

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

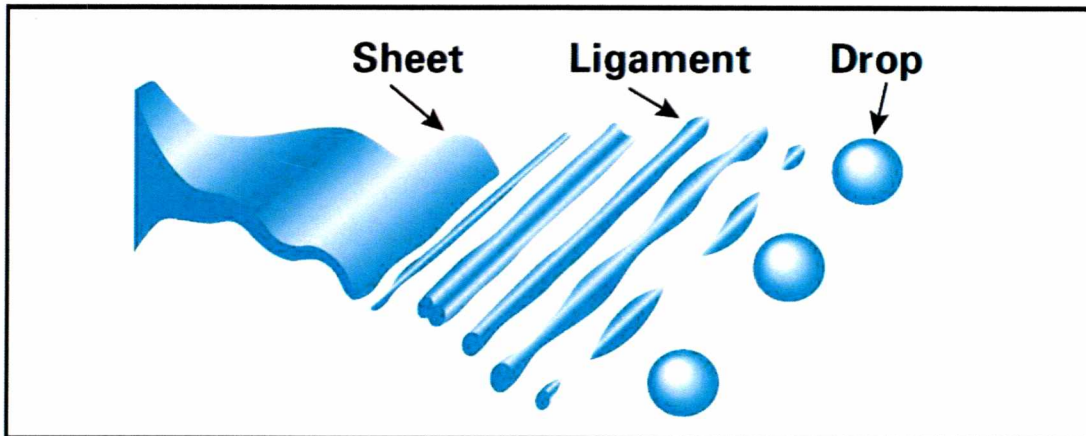


Διπλωματική Εργασία

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ LDV ΣΕ ΨΕΚΑΖΟΜΕΝΑ ΜΙΓΜΑΤΑ DIESEL - BIODIESEL

υπό

Χατζηνάκη Ιωάννη



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας

Φεβρουάριος 2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13562/1
Ημερ. Εισ.: 09-06-2015
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξινόητικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜ
2015
ΧΑΤ

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Πελεκάσης Νικόλαος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Σταπουντζής Ερρίκος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Δρ. Αναστάσιο Σταματέλλο, που χάρη στη πολύτιμη καθοδήγησή του κατάφερα να φέρω εις πέρας τη συγκεκριμένη εργασία. Η στήριξή του, οι γνώσεις και η εμπειρία του ήταν καθοριστικοί παράγοντες και απαραίτητα εφόδια τόσο για την κατάστρωση του απαραίτητου πειράματος, αλλά και για την απόκτηση της αναγκαίας αντίληψης για την κατανόηση των φαινομένων που εμπλέκονται. Έπειτα θερμές ευχαριστίες αξίζουν στον Διδάκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δημήτριο Τζιουτζιούμη ο οποίος με τη συνεχή επίβλεψη και το αδιάκοπο ενδιαφέρον για την εξέλιξη του θέματος αυτού, σε συνδυασμό με την επιστημονική του επάρκεια αποτέλεσε μία σημαντικότερη πηγή πληροφοριών και ένα ακόμη στήριγμα στη προσπάθειά μου αυτή. Επιπρόσθετα είμαι ευγνώμων στα μέλη της επιτροπής που με τις καίριες παρατηρήσεις τους συνετέλεσαν και αυτοί στην πληρέστερη κάλυψη του θέματος, προσφέροντάς μου νέες προοπτικές και ιδέες. Οι παρεμβάσεις, σε συνδυασμό με την τεχνογνωσία τους επιτάχυναν τις διαδικασίες τόσο της οργάνωσης της πειραματικής διάταξης αλλά και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων και παρατηρήσεων. Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που με την συμπαράστασή τους και ενίοτε με την ανοχή τους, στάθηκαν δίπλα μου τους τελευταίους μήνες αυτής της προσπάθειας.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον φίλο (πλέον) και συνεργάτη μου Remi Staub ,τελειόφοιτο του Ecole Polytechnique, Universite' d' Orleans, ο οποίος με τη διάθεσή του καθώς με τις γνώσεις και τη βοήθειά του αποτέλεσε ένα αναπόσπαστο κομμάτι του όλου εγχειρήματος. Υπήρξε ένας εξαιρετικός συνομιλητής μία αδιάκοπη πηγή προτάσεων καθ' όλη τη χρονική περίοδο αυτή.

Τέλος χρωστάω ευγνωμοσύνη στους γονείς μου Αλέξη και Μαρία που στάθηκαν στο πλευρό μου και με υποστήριξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Εκτός από την εμπιστοσύνη που μου επέδειξαν ηπήρξαν φίλοι και συνοδοιπόροι. Χωρίς αυτούς τίποτα δεν θα ήταν δυνατό και σε αυτούς αξίζουν τα μεγαλύτερα ευχαριστώ.

Χατζηνάκης Ιωάννης

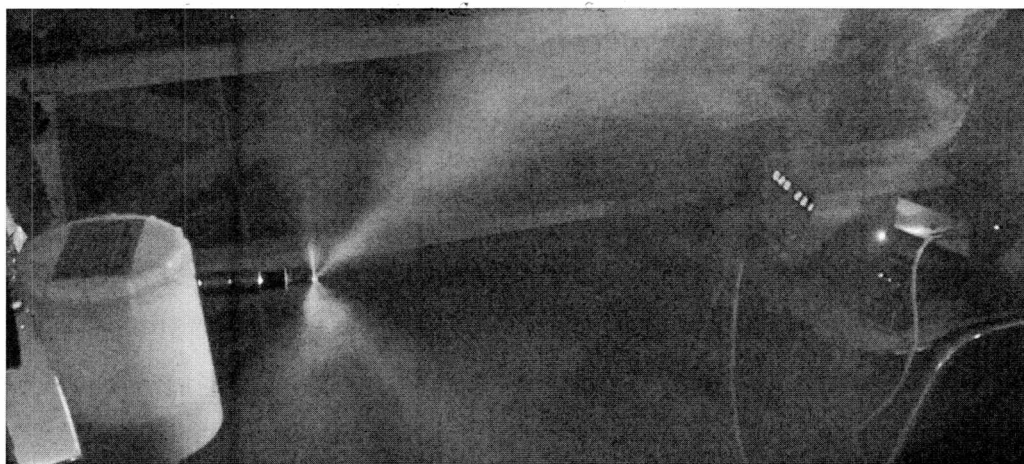
Περίληψη

Αν παρατηρήσουμε γύρω μας δεν είναι δύσκολο να αντιληφθούμε ότι η σημερινή κοινωνία και οικονομία βασίζεται σχεδόν εξ ολοκλήρου σε ένα προϊόν, το πετρέλαιο και τα υποπροϊόντα αυτού. Λιπαντικά, καύσιμα, πλαστικά είναι λίγα μόνο από την πληθώρα των εφαρμογών που συναντούμε καθημερινά. Πλέον οι οικολογικές συνέπειες από την καύση ορυκτών καυσίμων καθώς και η εξάρτηση από τα πετρελαιοπαραγωγά κράτη ωθούν την εύρεση πιο καθαρών και προσιτών πηγών *ενέργειας*^[6]. Άλλωστε πολλοί υποστηρίζουν ότι «το πετρέλαιο είναι πολύ χρήσιμο για να το καίμε».

Μία από τις υποσχόμενες και ανανεώσιμες πηγές καυσίμου είναι το βιοντίζελ το οποίο είναι καύσιμο φυτικής προέλευσης και χρησιμοποιείται ήδη σε μίγμα με το συμβατικό ντίζελ σε ποσοστό 5% κ.ό. Ένα από τα θέματα που ανακύπτουν είναι η επίδραση των μιγμάτων αυτών στις ήδη υπάρχουσες μηχανές εσωτερικής καύσης καθώς και ποια η μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα σε βιοκαύσιμο. Τα ερωτήματα προκύπτουν λόγω των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων του biodiesel σε σχέση με το πετρέλαιο καθώς και της μεγάλης του περιεκτικότητας σε μικροσωματίδια τα οποία είναι δύσκολο να φιλτραριστούν.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία απόπειρα να απαντηθούν ορισμένα από τα ερωτήματα αυτά, μέσω μίας πειραματικής διάταξης που περιλαμβάνει έναν εγχυτήρα με μία αντλία και ως μετρητικό όργανο ένα Laser Doppler Velocimetry με το αντίστοιχο λογισμικό του, το Flow Sizer.

Μετά την κατάστρωση της πειραματικής διάταξης γίνεται παρουσίαση των μεγεθών που μετρήθηκαν και η επεξεργασία αυτών προκειμένου να γίνει εν τέλει μία σύγκριση της συμπεριφοράς των μιγμάτων σε ελεγχόμενες συνθήκες ψεκασμού προς τη τελική εξαγωγή συμπερασμάτων και παρατηρήσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αποτελέσματα και από προηγούμενη πειραματική διάταξη όπου όμως οι ψεκασμοί πραγματοποιήθηκαν με χειροκίνητη αντλία.



Φωτογραφία Στιγμιότυπο από προγενέστερη πειραματική διάταξη με χειροκίνητη αντλία καυσίμων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο και υπόβαθρο	3
1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας.....	4
2.Λειτουργία εγχυτήρων	5
2.1 Τύποι εγχυτήρων	6
2.2 Δομή Πίδακα	10
2.3 Χαρακτηριστικά Μεγέθη	10
2.4 Σχηματισμός του Σπρευ	12
2.5 Επιδράσεις	14
3.Πειραματική Διάταξη	16
3.1 Χαρακτηριστικά του Καυστήρα.....	16
3.2 Χαρακτηριστικά του LDV.....	18
3.3 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των επιμέρους συσκευών του <i>laser</i>	21
3.4 Λογισμικό <i>laser</i>	23
3.5 Εκίνηση Πειράματος	23
3.6 Παρασκευή των μειγμάτων	28
4.0 Παρουσίαση Μετρήσεων	30
4.1 Απόλυτες Ταχύτητες Σταγονιδίων.....	30
4.2 Χαρακτηριστική διάμετρος των σωματιδίων.....	33
5. Έναρξη Υπολογισμών	36
5.1 Μέσες ταχύτητας σταγονιδίων	36
5.2 Κατανομή της ταχύτητας	37
5.3 Θεωρητικοί υπολογισμοί	40
5.4 Εναλλακτικός υπολογισμός	44
5.5 Υπολογισμός της μέσης διαμέτρου Σταγονιδίων	48
5.6 Τυπική απόκλιση	54
5.7 Παρατηρήσεις	55
5.8 Εκτίμηση του χρόνου καύσης	56
5.9 Οπτικόποίηση πειράματος	58
6. Σύνοψη διπλωματικής εργασίας	61
7. Υπόμνημα	63

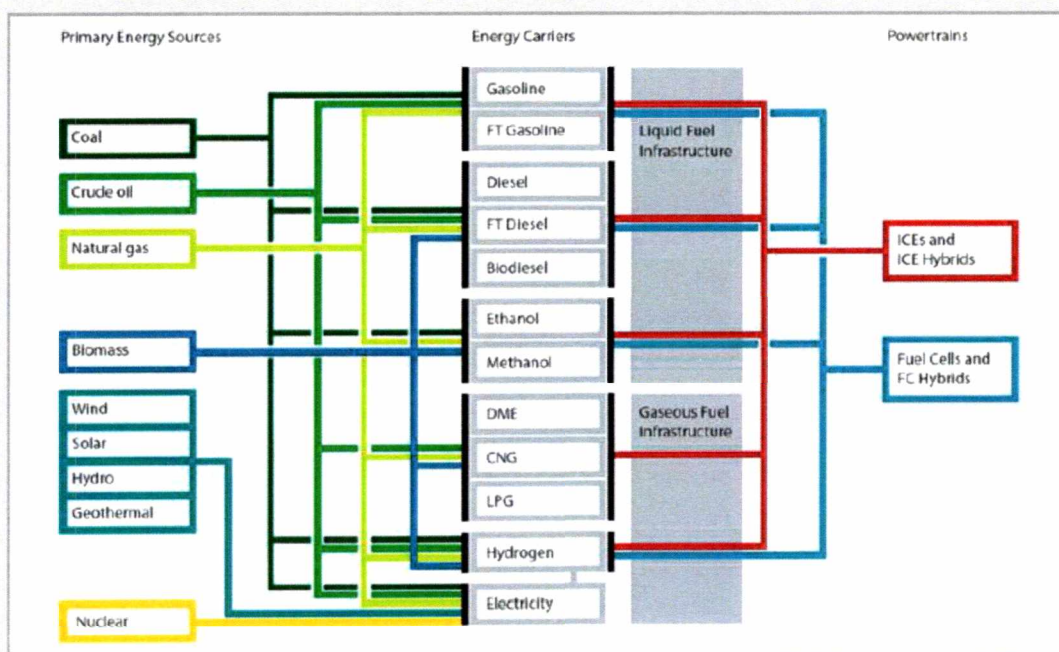
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιστημονική εξέλιξη στον τομέα της ενέργειας μας έχει εφοδιάσει με αρκετές νέες ενεργειακές πηγές οι οποίες σε συνδυασμό με τις παραδοσιακές προσπαθούν να καλύψουν τη συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε ως παραδοσιακά καύσιμα τον άνθρακα, τη πυρηνική, το πετρέλαιο και τα προϊόντα αυτών ενώ ως σύγχρονες πηγές και πιο καθαρές, θεωρούνται το φυσικό αέριο, η βιομάζα, το υδρογόνο και όλες οι Α.Π.Ε. Οι λόγοι για τους οποίους εξετάζουμε τα καύσιμα αυτού καθαυτού αλλά και συγκριτικά μεταξύ τους μπορούν να συνοψισθούν ως ακολούθως^[16] :

- Η αύξηση της απόδοσης σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις.
- Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.
- Νέα συστήματα μετατροπής ενέργειας και ελάττωση του παραμένουτος αντίκτυπού τους στο περιβάλλον (πυρηνική ενέργεια).

Τα εναλλακτικά καύσιμα δύναται να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες :

1. Συνθετικά καύσιμα τα οποία προέρχονται όμως από ορυκτές πηγές (GTL).
2. Πρώτης και δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμα.
3. Χαμηλής έως μηδενικής περιεκτικότητας άνθρακα καύσιμα (CNG).



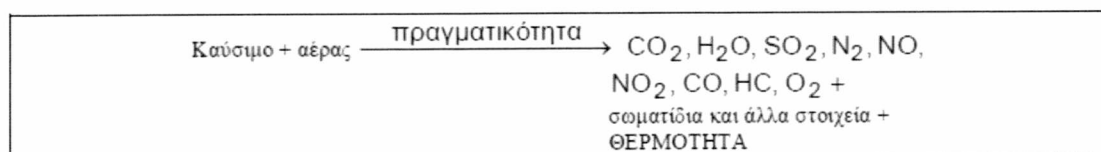
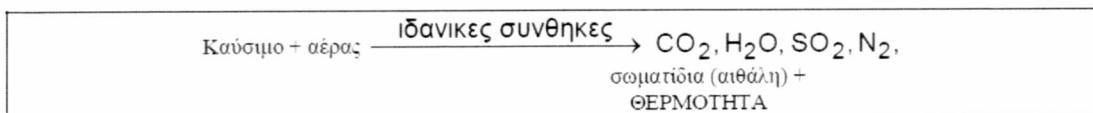
Πίνακας 1.1 Ενεργειακές πηγές και τα παράγωγα καύσιμα.

Παρόλο που θεωρητικά οι ανανεώσιμες πηγές καυσίμου υπερέχουν περιβαλλοντολογικά από τις συμβατικές δεν είναι εφικτή έως σήμερα η ευρεία χρήση τους καθώς πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές όπως το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο, ασφαλής αποθήκευση – ευκολία μεταφοράς, βέβαιη και

σταθερή παροχή, οικονομική βιωσιμότητα των εταιριών που τα παράγουν και τη διασφάλιση ότι εν τέλει συμβάλλουν στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και του κλίματος του πλανήτη.

Το βιοντίζελ γνωστό και ως πρώτης γενιάς BTL, αποτελεί ένα καύσιμο φυτικής προέλευσης (φυτά και λίπη), το οποίο φιλοδοξεί να αντικαταστήσει το γνωστό σε όλους μας πετρέλαιο μειώνοντας έτσι τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις από την καύση των συμβατικών καυσίμων. Καθώς προέρχεται από φυτικές ενώσεις αποτελεί μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ενώ παράλληλα είναι φιλική προς το περιβάλλον καθώς δεν περιέχει θείο και αρωματικές ενώσεις, δεν είναι τοξικό και είναι άμεσα βιοαποικοδομήσιμο. Παράλληλα έχει ιδιότητες παρόμοιες με αυτή του συμβατικού ντίζελ και γι' αυτό επιτρέπεται η ανάμειξή τους, πράγμα που συμβαίνει σήμερα. Πέρα όμως από τα περιβαλλοντολογικά οφέλη της χρήσης του υπάρχουν και οικονομικά οφέλη αφού θα επιτρέψει την απεξάρτηση του ντίζελ από τις όλο και αυξανόμενες τιμές του αργού πετρελαίου.

Όπως προαναφέραμε το βιοντίζελ είναι καθαρό, μη τοξικό και βιοαποικοδομήσιμο καύσιμο, δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις^[7] (αρωματικοί υδρογονάνθρακες π.χ. βενζόλιο C_6H_6 , τουλουόλιο $C_6H_5CH_3$) και οι εκπομπές των ρυπαντών οξειδίων του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστων υδρογονανθράκων (UHC) και αιθάλης που προέρχονται από την καύση του στις μηχανές ντίζελ είναι πολύ χαμηλές. Η παρουσία του θείου στα καύσιμα που ευθύνεται για τα οξείδια του θείου (SOx) στα καυσαέρια τα οποία αποτελούν έναν από τους κυριότερους ρύπους του ντίζελ. Στο βιοντίζελ η περιεκτικότητα σε θείο είναι πάρα πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική. Επίσης, το βιοντίζελ περιέχει αρκετό οξυγόνο (περίπου 10% κ.β.) πράγμα που καθιστά την καύση λιγότερο ατελή, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), σε άκαυστους υδρογονάνθρακες (H/C) και σε αιθάλη να είναι πολύ μικρότερη από ότι στο συμβατικό ντίζελ. Εκτός από τη χημική σύσταση του καταλισκόμενου καυσίμου η παραγωγή των ρύπων εξαρτάται και από το κατά πόσο η καύση είναι πλήρης ή ατελής. Επιπλέον, η καύση του βιοντίζελ δεν αυξάνει το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου), αφού η ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης αφομοιώνεται στη συνέχεια από το φυτό κατά τη φωτοσύνθεση.



Εικόνες 1.2, 1.3 Σχέσεις τέλει και ατελούς καύσης.

Ως πρώτες ύλες για την κατασκευή του χρησιμοποιούνται ελαιούχοι σπόροι (όπως σόγια, ελαιοκράμβη, ηλίανθοι κ.ά.), χρησιμοποιημένα ζωικά λίπη και φυτικά μαγειρικά έλαια, ελαιούχα δένδρα (φοίνικες, κοκκοφοίνικες κ.ά.) και μερικές ανεκμετάλλευτες πρώτες ύλες (άλγη, σκούρο ρύζι κ.ά.). Παρόλη την πληθώρα των πρώτων υλών για την δημιουργία του θα μπορούσαμε να πούμε ότι ένα τυπικό μείγμα τέτοιου καυσίμου αποτελείται από 30% λάδι καρπών σόγιας, 40% σπόρους ελαιοκράμβης και 30% από ανακυκλωμένο μαγειρικό λάδι.

Η χρήση του σε ποσοστό 5% κ.ο. στις ήδη υπάρχουσες μηχανές εσωτερικής καύσης δεν έχει σχεδόν καμία επίδραση στη λειτουργία τους. Ωστόσο σε υψηλότερο ποσοστό οι επιδράσεις αυτές είναι όλο και εντονότερες καθώς το μείγμα παρουσιάζει διαβρωτικές ιδιότητες στα μηχανικά μέρη, ενώ λόγω της προέλευσής του εμφανίζονται στερεά κατάλοιπα κυρίως στους εγχυτήρες τα οποία μπορεί να επικαθίσουν στις οπές του ψεκασμού. Βέβαια ακόμα ένα πλεονέκτημα είναι ότι συνεισφέρει στην καλύτερη λίπανση του κινητήρα. Δεν παύει όμως να πληροί τις προδιαγραφές που πρέπει να έχει ένα καύσιμο ενώ αποτελεί και μία εν δυνάμει οικονομικά βιώσιμη πηγή ενέργειας.

1.1 Κίνητρο και υπόβαθρο

Οι ψεκασμοί χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην καθημερινή μας ζωή. Από τις αγροτικές δραστηριότητες για τη διασπορά των φυτοφαρμάκων και του νερού μέχρι τις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων, στους λέβητες των καλοριφέρ ακόμα και στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες όπως αυτή της πλυντρίδας. Βέβαια σε κάθε εφαρμογή χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι εγχυτήρων καθώς χρειάζονται διαφορετικοί τύποι πίδακα για να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε όλες όμως ανεξαιρέτως τις Μ.Ε.Κ. η γενική επιδίωξη είναι η δημιουργία όσο κατά το δυνατόν μπορούμε ομοιόμορφου μείγματος καυσίμου – οξειδωτικού μέσου (λ.χ. αέρας). Δηλαδή τη λεπτότατη διασκόρπιση των μορίων του καυσίμου εντός της μαζός του αέρος.

Ανάλογα με τη περίπτωση διαχειριζομαστε διαφορετικές μαζικές παροχές αλλά και οι εφαρμογή του ψεκασμού γίνεται υπό διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα αλλάζουν οι φυσικές ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου ρευστού όπως το ιξώδες και η επιφανειακή τάση. Άρα πρόκειται για ένα πολυδιάστατο και δυναμικό φαινόμενο.

Σκοπός κάθε τέτοιου ψεκασμού, ειδικά στους κινητήρες και τους καυστήρες, είναι να αναμειχθούν όσο το δυνατόν περισσότερο το καύσιμο με τον αέρα έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η διεπιφάνεια καυσίμου – αέρα για να επιτύχουμε πληρέστερη καύση. Για παράδειγμα εάν έχουμε μία σφαίρα ρευστού με διάμετρο 3mm και καταφέρουμε να την σπάσουμε σε σταγονίδια διαμέτρου των 30μm τότε σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε 1.000.000 σταγονίδια. Θεωρώντας ότι ο ρυθμός καύσης μίας σφαίρας είναι ανάλογος του τετραγώνου της διαμέτρου τότε αυτόματα ο ρυθμός καύσης θα αυξηθεί κατά 10.000 φορές.^[12] Οι καύσεις ειδικά στους κινητήρες πραγματοποιούνται

βαθμηδόν με ψεκασμούς λαμβάνοντας θερμότητα από τη προηγούμενη καύση και διοχετεύοντας μέρος της ενέργειας για τη καύση του επόμενου. Χαρακτηριστικά μεγέθη για όλον το φαινόμενο της καύσης είναι η *ταχύτητα μετάδοσης της καύσης* ή αλλιώς *ταχύτητα εξαπλώσεως της φλογός* και ο ρυθμός εκλύσεως της θερμότητας γνωστός ως *ταχύτητα μεταστοιχειώσεως*.

Η ανάλυση η οποία λαμβάνει χώρα για κάθε τέτοια περίπτωση θα πρέπει να περιλαμβάνει τα προαναφερθέντα και επιπρόσθετα τις ιδιότητες του εγχετήρα όπως τη γεωμετρία του αλλά και τα υπόλοιπα μεγέθη όπως η πίεση ψεκασμού ο στροβιλισμός του πίδακα και τους περιορισμούς του χώρου στον οποίο καλείται να δημιουργηθεί ο πίδακας αυτός. Επίσης θα πρέπει να είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε το μέγεθος των σταγονιδίων που δημιουργούνται, την ταχύτητά τους, τον αριθμό τους, το μέγιστο μήκος το οποίο μπορούν να φτάσουν (διείσδυση), αλλά και την κατανομή τους σε σχέση με την απόσταση από το ακροφύσιο. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις σε τέτοιου είδους πειράματα γίνονται με τη βοήθεια laser. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιήθηκε ένα Laser Doppler Velocimetry προκειμένου να προσδιοριστούν τα μεγέθη αυτά σε συνδυασμό με το αντίστοιχο πρόγραμμα επεξεργασίας, το οποίο είναι το FlowSizer.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να συγκρίνει τις επιδράσεις που παρουσιάζονται όταν στους ψεκασμούς οι οποίοι γίνονται με ντίζελ σε έναν καυστήρα αντικαταστήσουμε το καύσιμο με βιοντίζελ ή με μείγματα ντίζελ – βιοντίζελ.

Εν κατακλείδι θα πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν δεδομένα από παλαιότερα πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν με χειροκίνητη αντλία καυσίμου. Όμως σε αυτή την πειραματική διαδικασία επιστρατεύτηκε ένας καυστήρας πετρελαίου με μηχανική αντλία, ο οποίος μας παρέχει συνεχή παροχή καυσίμου ώστε να προκύψουν ακριβέστερα αποτελέσματα.

1.2 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας

Το υπόλοιπο της διπλωματικής αυτής εργασίας χωρίζεται σε πέντε ενότητες οι οποίες καταλαμβάνουν τα ακόλουθα κεφάλαια :

Κεφάλαιο 2. Περιγράφονται οι αρχές λειτουργίας των εγχετήρων, τα είδη, το φαινόμενο του ψεκασμού, οι επιδράσεις και οι χαρακτηριστικές παράμετροι της ροής.

Κεφάλαιο 3. Αναφέρονται οι συσκευές που μας επιτρέπουν τη λήψη των μετρήσεων, ο τρόπος λειτουργίας τους, οι ρυθμίσεις που πραγματοποιήθηκαν και η παρασκευή των μιγμάτων καθώς και οι φυσικές ιδιότητές τους, όπως προκύπτουν από τη βιβλιογραφία.

Κεφάλαιο 4. Αποτελείται από την παράθεση των μετρηθέντων μεγεθών.

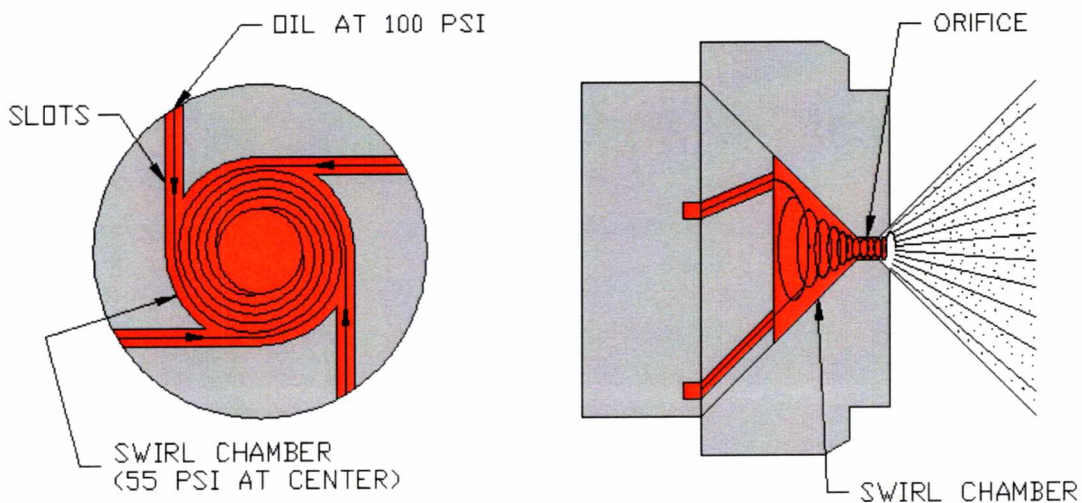
Κεφάλαιο 5. Απαρτίζεται από τους υπολογισμούς όπως η μέση διάμετρος και ταχύτητα των σταγονιδίων, των αριθμών που περιγράφουν τη διαδικασία

σχηματισμού του πίδακα, την εκτίμηση του χρόνου καύσης καθώς και από την οπτικοποίηση του πειράματος.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται ο διεξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων ενώ στο υπόμνημα (Κεφάλαιο 7.) παρατίθενται επιπρόσθετα διαγράμματα καθώς και αποτελέσματα από άλλες συγγενικές εργασίες.

2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΧΥΤΗΡΩΝ

Στους καυστήρες σκοπός του εγχυτήρα είναι να μπορέσει να διασπάσει το πετρέλαιο σε μικρά σταγονίδια. Για την διαδικασία αυτή απαιτείται όμως ενεργεια η οποία συνήθως προσφέρεται από μία αντλία ως αύξηση της πίεσης του ρευστού. Προκειμένου να διασπαστεί το καύσιμο αναγκάζεται να διατρέξει μία ελεγχόμενη αυλακοειδής διαδρομή, με υψηλή ταχύτητα, τα οποία το οδηγούν στον θάλαμο περιδίνισης. Τα υψηλής ταχύτητας ρεύματα του καυσίμου στροβιλίζονται με μεγάλη ταχύτητα στο εσωτερικό του θαλάμου αυτού. Η ταχύτητα περιδίνισης είναι τόσο υψηλή που δημιουργείται μία φουσαλλίδα στο κέντρο του θαλάμου, λόγω δυναμικής υποπίεσης, δηλαδή εκεί όπου εμφανίζονται και οι μέγιστες απόλυτες ταχύτητες. Από την εφαρμοζόμενη πίεση μερίπου η μισή μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια λόγω του στροβιλισμού ενώ η υπόλοιπη παραμένει αποθηκευμένη με τη μορφή πίεσης. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια αναγκάζει το ρευστό να εξέλθει από τον θάλαμο όπου και σπάει σε στροβιλιζόμενα σταγονίδια ρευστού, ενώ λόγω της φυγόκεντρου δύναμης που αναπτύσσεται ο εξερχόμενος πίδακας έχει τη μορφή κώνου.



Εικόνα 2.1 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας εγχυτήρα.^[12]

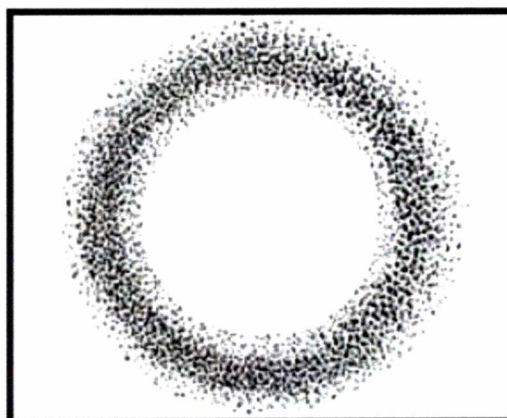
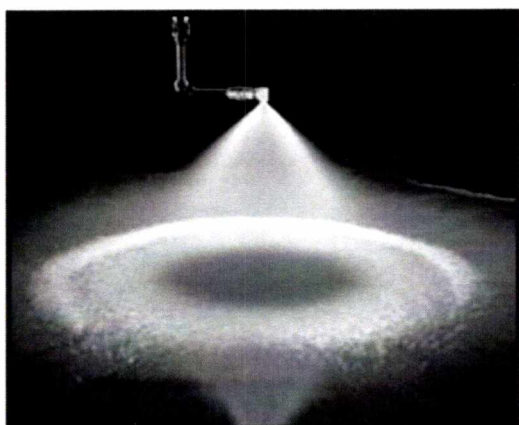
2.1 Τύποι Εγχυτήρων

Παρόλο τους πολλούς και διαφορετικούς τύπους ακροφυσίων που υπάρχουν μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πίδακα τον οποίο παράγουν. Το μέγεθος των σταγονιδίων αλλά και η δομή του παραγόμενου πίδακα έχει άμεση εξάρτηση με το είδος του ακροφυσίου. Ο τύπος ο οποίος αποτελεί κριτήριο για την επιλογή ενός εγχυτήρα, ειδικά για τους καυστήρες καθώς αποτελούν και το θέμα μας, καθορίζεται από τον αριθμό GPH ο οποίος ορίζεται ως^[10] :

$$GPH = \frac{\text{Αριθμός των BTU τα οποία χρειάζεται να παραχθούν από τη μονάδα}}{\text{Απόδοση μονάδας (\%)} * 140.000}$$

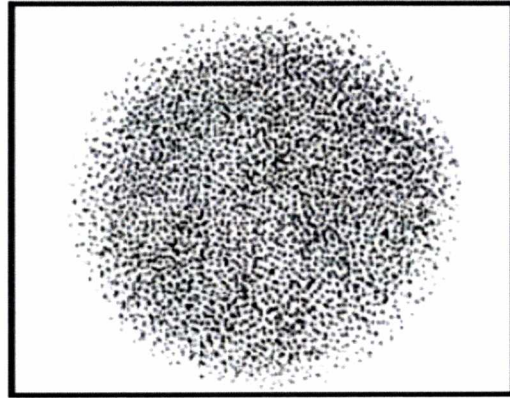
Έτσι διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους :

Τύπος A: Κενού κώνου. Δημιουργούν ένα σπρέι κωνικού σχήματος όπου στο εσωτερικό του υπάρχουν ελάχιστα σταγονίδια. Η κύρια μάζα των σταγονιδίων συγκεντρώνεται στην περιφέρεια του κώνου. Πλεονέκτημά τους αποτελεί ότι διατηρούν σταθερή γωνία ψεκασμού σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις και έχουν σταθερή μαζική παροχή. Τέτοιου είδους ακροφύσια χρησιμοποιούνται σε μικρούς καυστήρες όπου χρειαζόμαστε γρήγορη ανάφλεξη και σταθερή φλόγα η οποία διατηρείται κοντά στον εγχυτήρα με αντίστοιχο αριθμό GPH έως 1.



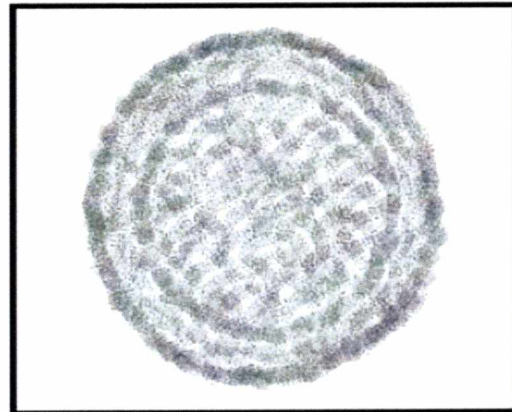
Εικόνα 2.2 Φωτογραφία και σχηματική απεικόνιση πίδακα εγχυτήρα Τύπου A^[2].

Τύπος B: Πλήρη κώνου. Σχηματίζουν έναν πίδακα από σωματίδια καυσίμου τα οποία είναι ομοιόμορφα κατανομημένα τόσο στην περιφέρεια αλλά και στο εσωτερικό του κώνου. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται ομαλή ανάφλεξη ή απαιτείται μεγάλο μήκος της σχηματιζόμενης φλόγας. Βασικό μειονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός του ότι σε μεγάλες παροχές (λ.χ. 8 GPH) παρατηρείται συμπεριφορά τύπου A ακροφυσίων. Συνήθως εφαρμόζονται σε καυστήρες οι οποίοι έχουν αριθμό GPH το οποίο κυμαίνεται από 2 έως 3.



Εικόνα 2.3 Φωτογραφία και σχηματική απεικόνιση πίδακα εγχυτήρα Τύπου B^[2].

Τύπος W : Οι εγχυτήρες αυτού του τύπου παράγουν ένα είδους σπρέι του οποίου η μορφή είναι ανάμεσα στο τύπου A και τύπου B. Δηλαδή ο παραγόμενος κώνος του μείγματος δεν είναι ούτε τελείως ομοιόμορφος ούτε όμως θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι είναι κενός από σωματίδια στο κέντρο του. Η συμπεριφορά του καθορίζεται από την παροχή. Σε υψηλές παροχές, πάνω από 8 GPH, ο παραγόμενος πίδακας τείνει να είναι πιο «πλήρης» ενώ σε χαμηλότερες παροχές από 0.4 – 8 GPH τείνει να είναι πιο «κενός».

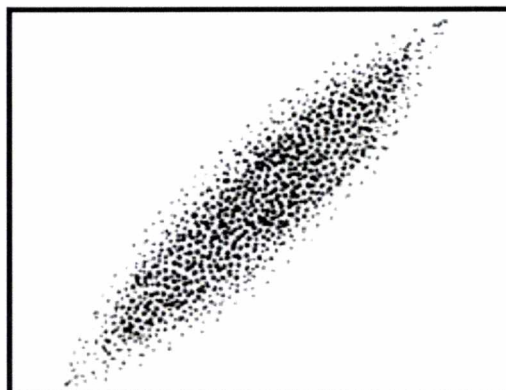
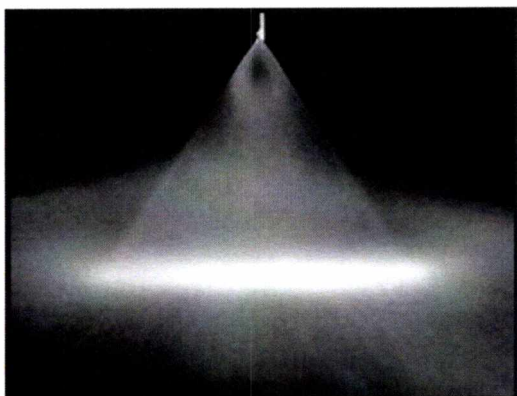


Εικόνα 2.4 Φωτογραφία και σχηματική απεικόνιση πίδακα εγχυτήρα Τύπου W^[2].

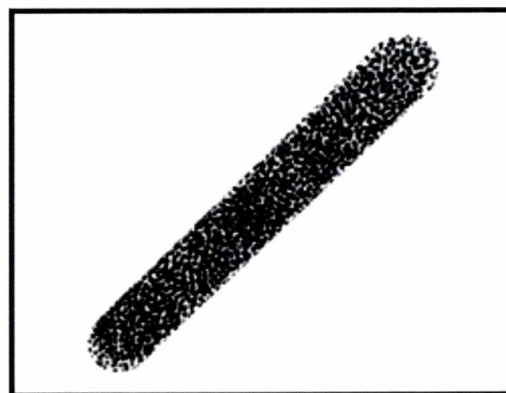
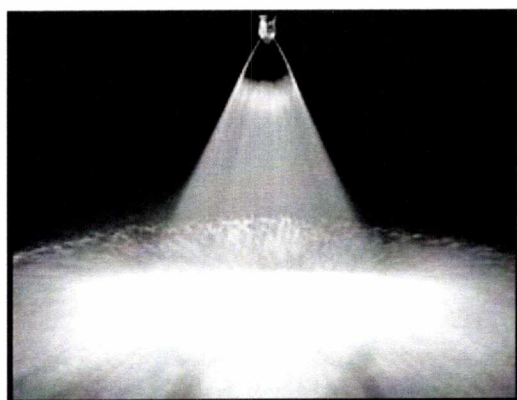


Γράφημα 2.5 Η διαφορετική μορφή των ρήθρων στο εσωτερικό του εκνεφωτή μας οδηγεί σε διαφορετικό είδος κώνου. Αριστερά έχουμε τύπου B ακροφύσιο (της εν λόγω πειραματικής διάταξης) ενώ δεξιά τύπου A.

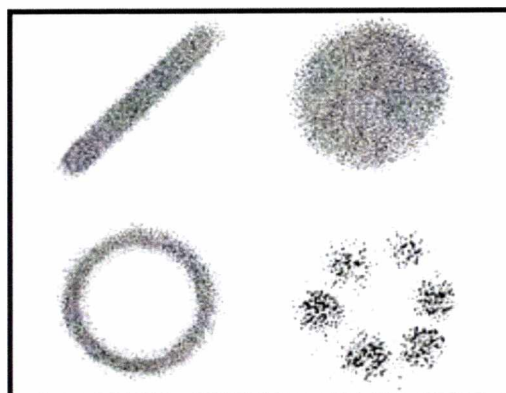
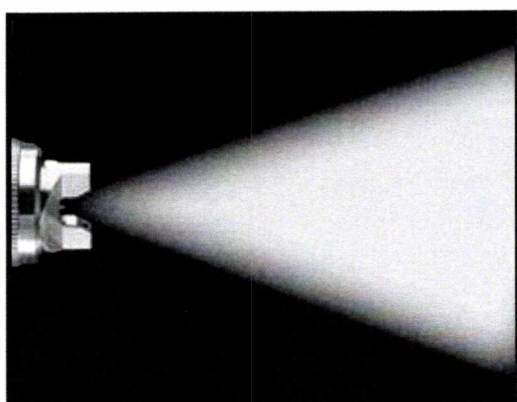
Διακρίνουμε όμως και εγχυτήρες για ειδικές εφαρμογές, όπως :



Εικόνα 2.6 Φωτογραφία και σχηματική απεικόνιση πίδακα εγχυτήρα για επίπεδο ψεκασμό με συγκέντρωση της ροής στο κέντρο.^[2]



Εικόνα 2.7 Φωτογραφία και σχηματική απεικόνιση πίδακα εγχυτήρα για επίπεδο ψεκασμό με ομοιόμορφη συγκέντρωση ροής.^[2]

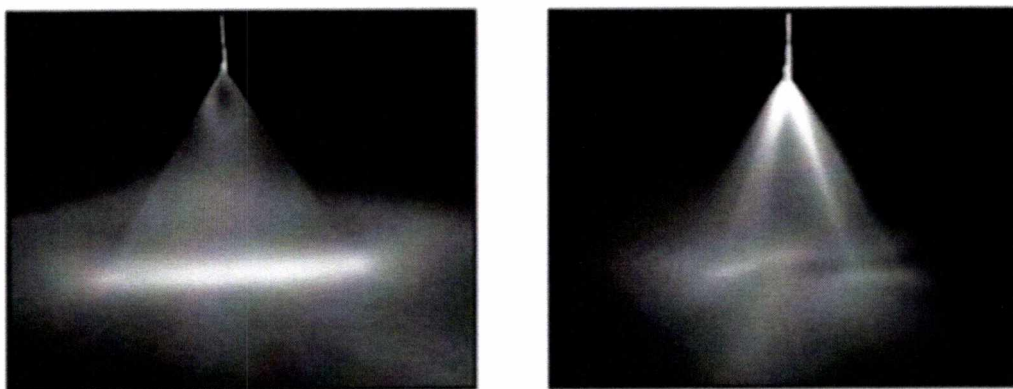


Εικόνα 2.8 Φωτογραφία και σχηματική απεικόνιση πίδακα εγχυτήρα ο οποίος μας επιτρέπει την ανάμιξη δύο ρευστών ή την υποβοήθηση της διάσπασης με ρεύμα αέρα για τις εφαρμογές που απαιτείται λεπτότατος σχηματισμός σταγονιδίων.^[2]

Πέρα όμως από το είδος της ροής και το επιθυμητό μέγεθος σταγονιδίων που απαιτείται από την εκάστοτε περίπτωση η ορθή συντήρηση του εξοπλισμού είναι μείζονος σημασίας. Αυτό διότι ειδικά η φθορά στην οπή του μπεκ ενδέχεται να οδηγήσει σε αποκλίσεις από το επιθυμητό αποτέλεσμα.



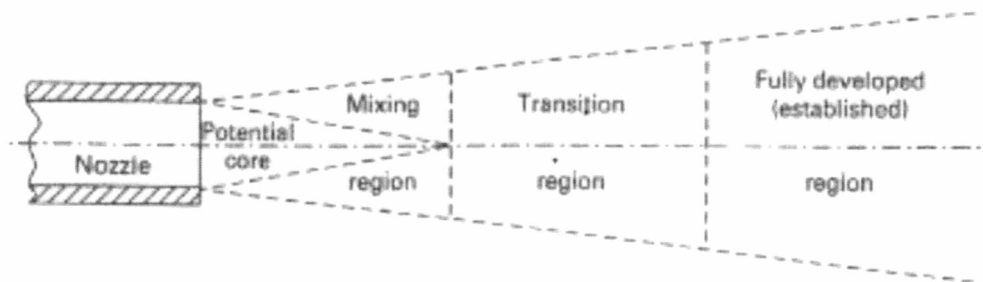
Εικόνα 2.9 Φωτογραφία εγχυτήρα πριν και μετά από χρήση. Η μεταβολή που παρατηρείται στην οπή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερων σφαιριδίων καυσίμου, ενώ μετρήθηκε αύξηση στην ογκομετρική παροχή της τάξεως του 30%.^[2]



Εικόνα 2.10 Φωτογραφία της επίδρασης της φθοράς του μπεκ στη παροχή και τη ροή του καυσίμου .^[2]

2.2 Δομή πίδακα

Το παραγόμενο σπρέι μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές. Αρχικά έχουμε τον κεντρικό πυρήνα ο οποίος αποτελείται από συμπαγές ρευστό το οποίο δεν έχει διαχωριστεί ακόμα σε σταγονίδια ο οποίος όμως δημιουργεί ένα συνοριακό στρώμα, ενώ παράλληλα έχει αρχίσει η ανάμειξη μεταξύ του αέρα και του καυσίμου. Στη συνέχεια ακολουθεί η μεταβατική περιοχή όπου ο κεντρικός πυρήνας πλέον έχει διαχωριστεί σε σταγονίδια αλλά υπάρχει ακόμα η επίδραση του συνοριακού στρώματος. Τέλος έχουμε την περιοχή όπου ο πίδακας έχει αναπτυχθεί πλήρως, ενώ λόγω ορμής δεν γίνονται αισθητές οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας και της βαρύτητας. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το μήκος της πρώτης περιοχής αντιστοιχεί σε 4 έως 5 φορές τη διάμετρο του ακροφυσίου ενώ η μεταβατική περιοχή αντιστοιχεί σε 10 περίπου διαμέτρους του ακροφυσίου.



Εικόνα 2.11 Σχηματική απεικόνιση των χαρακτηριστικών περιοχών της σχηματιζόμενης ροής.

Στο σημείο αυτό θα ήταν ωφέλιμο να ορίσουμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη τα οποία διέπουν τον σχηματισμό του σπρέι :

2.3 Χαρακτηριστικά Μεγέθη

Όταν οι αεροδυναμικές αντιστάσεις που τείνουν να διασπάσουν το ρευστό είναι υψηλότερες από την επιφανειακή τάση η οποία τείνει προς το σχηματισμό σφαίρας, τότε το ρευστό σχηματίζει σταγονίδια. Αυτό εκφράζεται μέσω του αριθμού Weber ο οποίος ορίζεται ως :

$$We_j = \frac{\rho_a \cdot V_{mj}^2 \cdot d_j}{\sigma}$$

Όπου :

ρ_a = η πυκνότητα του συμπιεζόμενου αέρα

V_{mj} = η μέση ταχύτητα του πίδακα, για ακίνητη ατμόσφαιρα αλλιώς χρησιμοποιούμε την σχετική ταχύτητα

d_j = η διάμετρος του πυρήνα του σπρέι ή η διάμετρος του ακροφυσίου

σ = η επιφανειακή τάση του ρευστού

Σύμφωνα με τον αριθμό Weber οι αεροδυναμικές αντιστάσεις εξαρτώνται βέβαια από τη σχετική ταχύτητα που έχει το ρευστό ως προς το περιβάλλον στο οποίο εκτονώνεται, δηλαδή τον αέρα. Οι δυνάμεις αυτές οι οποίες προκαλούνται στην διεπιφάνεια αέρα - ρευστού τείνουν να διασπάσουν τα αρχικά επίπεδα ροής που σχηματίζονται δρώντας έτσι αντίθετα στην επιφανειακή τάση του υγρού.

Ο αριθμός Ohnesorge καθορίζει την επίδραση του ιξώδους του ρευστού κατά τη διάρκεια της δημιουργίας των σταγονιδίων. Ορίζεται ως ακολούθως :

$$Oh = \frac{\mu_l}{\rho_l \cdot \sigma \cdot d_j} = \frac{[(\frac{\rho_l}{\rho_a}) \cdot We_j]^{\frac{1}{2}}}{Re_{jl}}$$

Όπου :

μ_l = το δυναμικό ιξώδες του ρευστού

ρ_l = η πηκνότητα του ρευστού

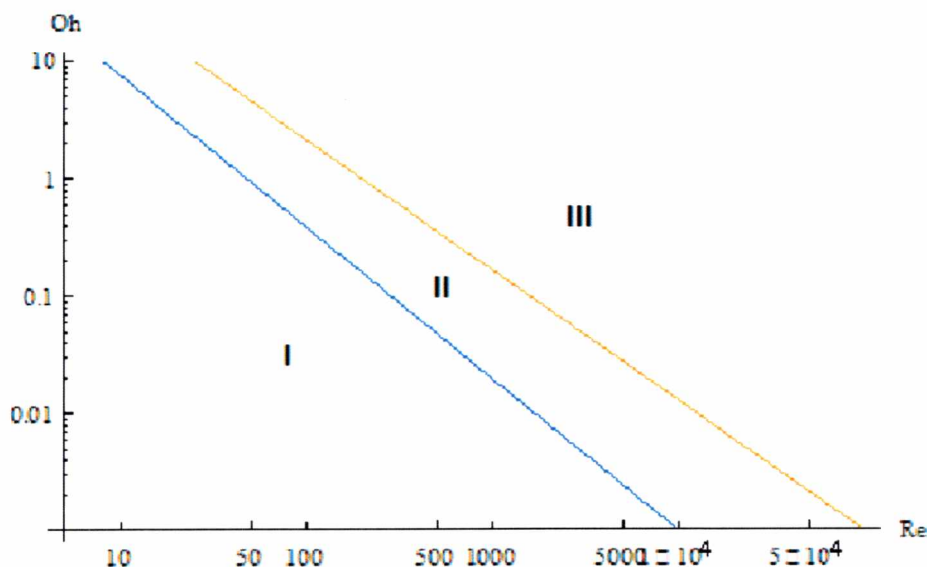
Προκειμένου να προκύψουν σταγονίδια η τιμή του αριθμού We θα πρέπει να ισούται τουλάχιστον με 12 (17 για heavy fuels)^[7]. Καθώς όμως αυξάνεται η τιμή του αριθμού Ohnesorge τότε αναμένεται η εμφάνιση του εκνεφώματος σε υψηλότερες τιμές του αριθμού We, λόγω της επίδρασης της επιφανειακής τάσης. Στη περίπτωση που ο αριθμός Ohnesorge είναι ιδιαίτερα χαμηλός τότε η απόκλιση του σχήματος των σωματιδίων από τη σφαίρα γίνεται αισθητή όταν ο αριθμός Weber ισούται περίπου με τη μονάδα.

Τέλος για να προσδιορίσουμε το είδος της ροής του πίδακα που σχηματίζεται ορίζουμε τον αριθμό Reynolds ως :^[9]

$$Re_{jl} = (\frac{\rho \cdot V_m}{\mu})_l \cdot d_j = \frac{V_m}{\nu_l} \cdot d_j$$

Όπου:

ν_l = το κινηματικό ιξώδες του ρευστού



Διάγραμμα 2.12 Λογαριθμικό διάγραμμα των μεγεθών Reynolds – Ohnesorge με τις αντίστοιχες περιοχές.

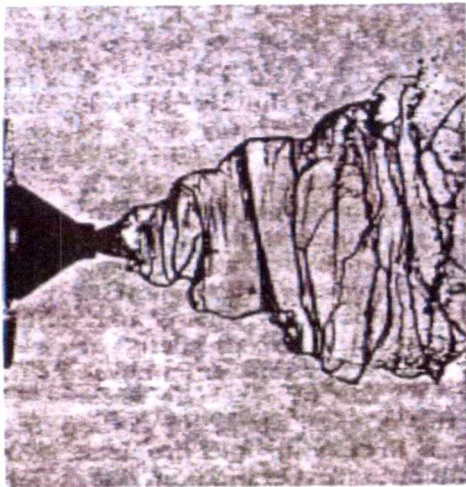
Το παραπάνω σχήμα αποτελεί μία παράσταση η οποία μας δείχνει τον τρόπο σχηματισμού των σταγονιδίων. Διακρίνουμε τρεις περιοχές:

- I. Ζώνη I: Σε αυτή τη περιοχή η διάσπαση συμβαίνει λόγω της επίδρασης της επιφανειακής τάσης του ρευστού. Από τη θεωρία προβλέπεται μέγιστη αστάθεια στα σχηματιζόμενα κύματα του ρευστού.
- II. Ζώνη II: Στην ενδιάμεση αυτή περιοχή τιμώς τα ελικοειδή κύματα του ρευστού απορροφούνται πριν από τη διάσπαση σε σταγονίδια. Έτσι η διάσπαση οφείλεται λόγω στην επίδραση του περιβάλλοντος στα σχηματιζόμενα “φύλλα” ρευστού, δηλαδή επιδρά ο αέρας με τις αντίστοιχες αεροδυναμικές αντιστάσεις.
- III. Ζώνη III: Τέλος στην τρίτη αυτή περιοχή η διάσπαση λαμβάνει χώρα πολύ κοντά στην έξοδο του εγχυτήρα λόγω αφ’ ενός των αεροδυναμικών επιδράσεων αλλά και λόγω της υψηλής τύρβης που σχηματίζεται.

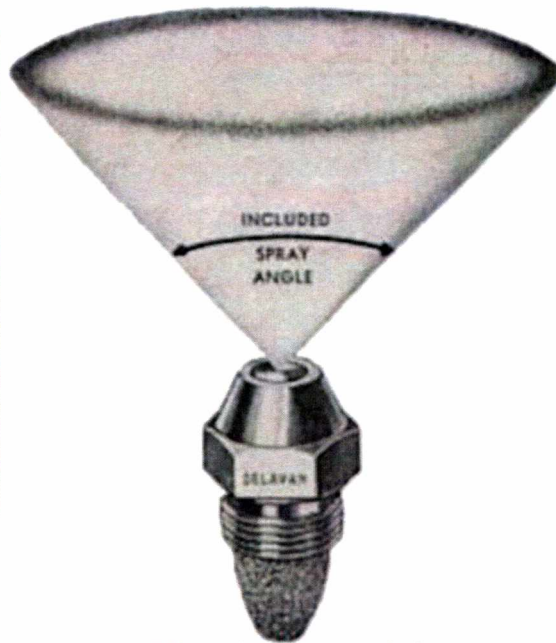
2.4 Σχηματισμός του σπρει

Όπως προαναφέραμε τα επιθυμητά μικροσταγονίδια του καυσίμου δεν σχηματίζονται ακαριαία στην έξοδο του ακροφυσίου. Πρόκειται για μία διαδικασία η οποία απαιτεί μεν ελάχιστο χρόνο αλλά δεν μπορεί να παραληφθεί. Γενικά ο μηχανισμός διάσπασης μπορεί να περιγραφεί με έξι βήματα :

- Παραμόρφωση του καυσίμου ώστε να δημιουργηθούν επίπεδα ή ρεύματα ροής.
- Εμφάνιση των πρώτων ρωγμών και αρχή του διαχωρισμού.
- Σχηματισμός συνδέσμων ή κενών στα επίπεδα.
- Κατάρρευση των συνδέσμων ή των κενών στα επίπεδα.
- Περαιτέρω διαχωρισμός λόγω των ταλαντώσεων στα σταγονίδια.
- Συσώρευση σταγονιδίων ή απόσπαση από τα μεγαλύτερα σταγονίδια.



Εικόνα 2.13 Ανάπτυξη και κατάρρευση του ρεύματος ροής προς το τελικό σχηματισμό σταγονιδίων.



Εικόνα 2.13 Η γωνία ψεκασμού, θ .

Ο δε χρόνος για να διασπαστεί μία σταγόνα σε μικρότερες λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο τις αεροδυναμικές επιδράσεις, προσεγγιστικά, δηλαδή θεωρώντας σταθερή την ταχύτητα και την ακτίνα της σφαίρας ως σταθερές, δίδεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\Delta t_b = 1,732 * \left(\frac{r_d}{V_d}\right) * \left(\frac{\rho_l}{\rho_a}\right), \text{ όπου}$$

r_d και V_d η διάμετρος και ο όγκος της σταγόνας αντίστοιχα. Βέβαια σε πραγματικές συνθήκες δεν είναι δυνατόν να ισχύει η παραπάνω σχέση καθώς και η ταχύτητα της σφαίρας μεταβάλλεται λόγω της επίδρασης του περιβάλλοντος αλλά και ο όγκος της αλλάζει λόγω εξάτμισης.

Η γωνία ψεκασμού, θεωρώντας ότι παραμένει σταθερή μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση :

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{1}{A} 4\pi (\rho_g/\rho_l)^{1/2} \frac{\sqrt{3}}{6}$$

Όπου :

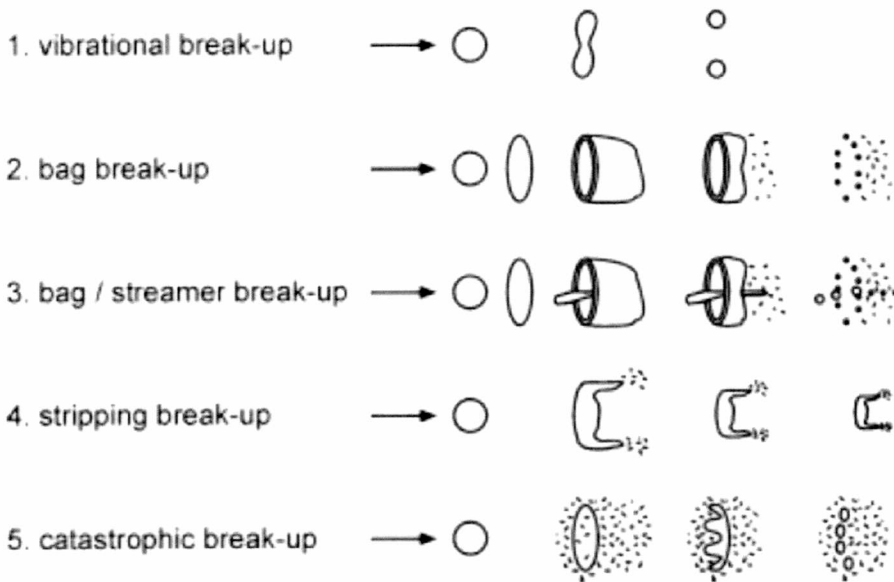
ρ_g, ρ_l = η πυκνότητα του υγρού και του αερίου αντίστοιχα

A = το εμβαδόν της οπής του εκνεφωτή

θ = η γωνία ψεκασμού

Συνοπτικά ο σχηματισμός του εκνεφώματος από μεγάλα σταγονίδια σε μικρότερα μπορεί να περιγραφεί από τους ακόλουθους πέντε μηχανισμούς.

- I. Διάσπαση λόγω ταλαντώσεων.
- II. Διάσπαση από την περιφέρεια.
- III. Διάσπαση από την περιφέρεια και από το κυρίως ρεύμα ροής.
- IV. Διάσπαση από τα άκρα.
- V. Καταστροφική διάσπαση.

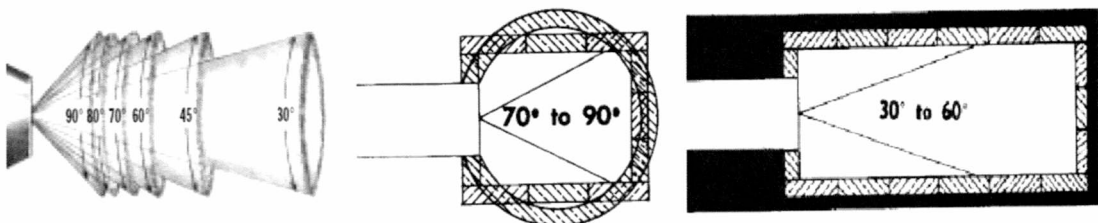


Εικόνα 2.14. Τρόποι διάσπασης των σφαιριδίων του ρευστού προς το σχηματισμό μικρότερων σταγονιδίων.

2.5 Επιδράσεις

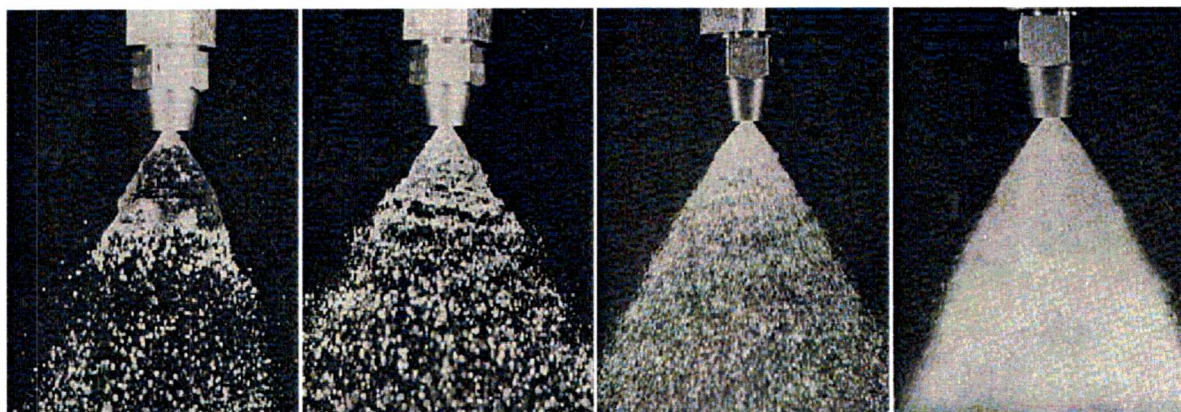
Υπάρχουν αρκετές ακόμη παράμετροι^[9] που επιδρούν και οι οποίες θα πρέπει να αναφερθούν προκειμένου να κατανοήσουμε το φαινόμενο του ψεκασμού.

- Η γωνία ψεκασμού. Πρόκειται για τη γωνία η οποία σχηματίζεται στην έξοδο του εγχυτήρα ή αλλιώς για την γωνία της κορυφής του σχηματιζόμενου κώνου σε απόσταση έως και 2'' από την έξοδο του εγχυτήρα. Η επιλογή της κατάλληλης γωνίας εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής. Για παράδειγμα σε περιπτώσεις καυστήρων όπου η οριζόντια τομή του χώρου καύσης είναι παραλληλόγραμμο, χρειαζόμαστε μεγάλη διείδυση της φλόγας και εφαρμόζονται μικρές γωνίες ψεκασμού, ενώ αντίστοιχα σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται μεγάλο μέτωπο φλόγας εφαρμόζονται μεγαλύτερες γωνίες ψεκασμού. Συνήθως οι μεγάλες γωνίες ψεκασμού συνεπάγονται και μικρότερα σωματίδια.



Εικόνα 2.15 Σχηματική παράσταση των γωνιών ψεκασμού, ανάλογα με την εφαρμογή^[10].

- Η πίεση του ψεκασμού. Πρόκειται για την διαφορά πίεσης η οποία υπάρχει μεταξύ του ρευστού το οποίο βρίσκεται στο εσωτερικό του μπεκ και του περιβάλλοντος στο οποίο θα εκτονωθεί. Η πίεση αυτή καθορίζεται από την εκάστοτε αντλία και έχει μείζονα ρόλο για τον καθορισμό του μεγέθους των σωματιδίων αλλά και τον βαθμό διείδυσης τους. Γενικά όμως όσο αυξάνεται η πίεση ψεκασμού τόσο μειώνεται το μέγεθος των σταγονιδίων.



Εικόνα 2.16 Στιγμιότυπα από ψεκαμούς με αντίστοιχη πίεση ψεκασμού 3, 10, 100 και 300 psi – ταχύτητα κλείστρου 2 εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου.

- Επιφανειακή τάση. Αποτελεί ιδιότητα του υγρού και πρόκειται για την τάση που εμφανίζει η επιφάνεια ενός ρευστού για να καταλάβει την ελάχιστη δυνατή επιφάνεια. Στους ψεκαμούς εμφανίζεται ως την τάση που έχει μία σταγόνα κατά την εκτόνωση του ρευστού να πάρει σφαιρικό σχήμα καταλαμβάνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή επιφάνεια με τον μέγιστο δυνατό όγκο.
- Ιξώδες. Πρόκειται για την αντίσταση που εμφανίζει ένα ρευστό σε ροή. Καύσιμα με μεγάλο ιξώδες χρειάζονται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας προκειμένου να ρέουν στο εσωτερικό των σωληνώσεων ή να διασπαστούν σε σταγονίδια μέσω ενός ακροφυσίου. Υπάρχει επίδραση της θερμοκρασίας και πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία παρατηρείται μείωση του ιξώδους. Βέβαια όσο αυξάνεται η πίεση ψεκασμού τόσο μειώνεται η επίδραση του ιξώδους στη δημιουργία των σταγονιδίων. Παρόλα αυτά όμως υπάρχει επίδραση η οποία είναι παρατηρήσιμη κυρίως σε εργαστηριακές μετρήσεις. Η γωνία ψεκασμού δεν αλλάζει σημαντικά όμως παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση σωματιδίων στο κέντρο του πίδακα, δηλαδή την ωφέλιμη γωνία ψεκασμού, κατά την άυξηση του ιξώδους. Επίσης αυξάνεται το μέγεθος των παραγόμενων σταγονιδίων επιβραδύνοντας έτσι τη διαδικασία της κάυσης, καθώς μεγαλύτερα σταγονίδια χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να καούν διανύοντας παράλληλα και μεγαλύτερη απόσταση στο εσωτερικό του καυστήρα.

3.0 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Για την πραγματοποίηση του πειράματος αυτού χρησιμοποιήθηκαν ένας τροποποιημένος καυστήρας πετρελαίου από λέβητα θέρμανσης από τον οποίο έχουν αφαιρεθεί ο φλογοσωλήνας και τα ηλεκτρόδια ανάφλεξης ο οποίος τοποθετήθηκε πάνω σε κατάλληλη βάση και στήριξη. Ουσιαστικά πρόκειται για μία διάταξη στην οποία η αντλία αυξάνει την πίεση του καυσίμου το οποίο εκτονώνεται μέσω του εγχητήρα στην ατμόσφαιρα. Επίσης το καύσιμο πριν από την εισαγωγή του στην ατλία περνά από ειδικό φίλτρο όπου και απομακρύνονται τυχόν στερεά κατάλοιπα και ακαθαρσίες.

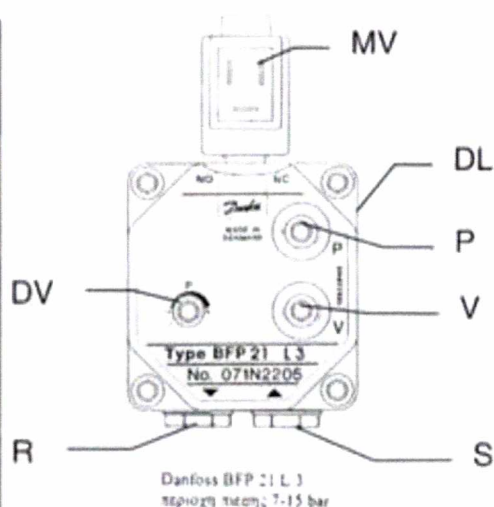
3.1 Χαρακτηριστικά του καυστήρα

Κατασκευαστής	Ecoflame S.P.A.
Ελάχιστη παροχή καυσίμου	1,8 kg/hr
Μέγιστη παροχή καυσίμου	4 kg/hr
Τάση	220 V / 50 Hz
Πίεση ψεκασμού	12 bar

➤ Αντλία^[15]

Τύπος : Φυγοκεντρική

Μέγιστη διαφορά πίεσης : 15 bar



Εικόνα 3.1 Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε και σχέδιο των επιμέρους στοιχείων της.

Επεξήγηση :

S	P	DV	MV	R	V	DL
Γραμμή αναρρόφησης	Μανόμετρο	Ρύθμιση Πίεσης	Μαγνητική Βαλβίδα	Γραμμή Επιστροφής	Υποπίεση	Γραμμή μπεκ

➤ Ακροφύσιο^[12]

Πλήρη κώνου, τύπος Β. Αποτελείται από φίλτρο προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι το ψεκαζόμενο καύσιμο θα είναι τελείως καθαρό από στερεά μικροσωματίδια, από τρία ρήθρα τα οποία οδηγούν το καύσιμο στον θάλαμο στροβιλισμού ενώ η διάμετρος του ακροφυσίου είναι 0,2mm.



Εικόνα 3.2 Ο εγχυτήρας της πειραματικής διάταξης.

Κατασκευαστής	Danfoss
Τύπος	SR
Παροχή	2,37 kg/hr , σε πίεση 10bar
Διάμετρος εξόδου ακροφυσίου	0,2 mm
Αριθμός ρήθρων	3
Μήκος ρήθρων	3mm
Γωνία ψεκασμού	80°
Τύπος πίδακα	Πλήρης κώνος

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά του εγχυτήρα της πειραματικής διάταξης.

Ο καυστήρας που χρησιμοποιήθηκε για ανάγκες του πειράματος αυτού έχει στερεωθεί σε ξύλινη βάση ενώ μαζί με το δοχείο καυσίμου τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό μίας υδροσύραγγας. Η επιλογή αυτή δεν ήταν τυχαία καθώς έτσι μπορούσαμε να έχουμε αποκομμένο το σύστημά μας από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος , λ.χ. τον εξωτερικό άνεμο αλλά και για λόγους υγιεινής του εργαστηρίου. Επίσης η κεφαλή του laser έχει στερεωθεί σε βάση η οποία μας επιτρέπει κίνηση και στις τρεις διαστάσεις, δίνοντάς μας την δυνατότητα να λάβουμε μετρήσεις για τη ροή και στους τρεις άξονες.



Φωτογραφία 3.4 Ολόκληρη η πειραματική διάταξη. Παρουσιάζονται 1. ο μηχανισμός κίνησης του laser, 2. ο τροποποιημένος καυστήρας και 3. ο Probe.

3.2 Χαρακτηριστικά LDV^[11]

Το λέιζερ το οποίο χρησιμοποιήθηκε, στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία (Laser Doppler Velocimetry), έχει την δυνατότητα να καταγράφει χαρακτηριστικά μεγέθη μίας ροής όπως την ταχύτητα των σωματιδίων, το μέγεθός τους, τη διασπορά κ.ά. Η φυσική αρχή που χρησιμοποιείται είναι να μετρήσουμε την ακτινοβολία η οποία ανακλάται από τα σωματίδια τα οποία ακολουθούν τη ροή. Καθώς ένα σωματίδιο βρίσκεται εκτός του όγκου ελέγχου (μετρήσεων) δεν αντανακλά καθόλου φως και επομένως δεν μετράται. Αντίθετα όταν βρίσκεται σε φωτεινή περιοχή, δηλαδή εντός του πεδίου μετρήσεων, ανταλακλά την προσπίπτουσα ακτινοβολία ενώ λόγω του φαινομένου Doppler καθώς κινείται με κάποια ταχύτητα, το ανακλώμενο φως έχει διαφορετική συχνότητα. Συλλέγοντας λοιπόν αυτές τις αντανακλάσεις και μέσω ειδικής επεξεργασίας προκύπτουν τα ζητούμενα δεδομένα.

Αρχικά έχουμε μία δέσμη φωτός η οποία προκύπτει από την κεφαλή του laser. Στη συνέχεια η ακτίνα αυτή διασπάται σε δύο δέσμες οι οποίες έχουν διαφορετική συχνότητα. Η διάσπαση αυτή συμβαίνει σε μία συσκευή η οποία ονομάζεται Multicolor Beam Generator ενώ η αλλαγή της συχνότητας, κατά 40 MHz, γίνεται μέσω ενός Bragg cell και εδράζονται αμέσως μετά την κεφαλή του laser. Οι δύο ακτίνες που προκύπτουν, η shifted και η unshifted, έχουν διπλό σκοπό.

Διαισθητικά, μας ορίζουν με ακρίβεια τον χώρο μετρήσεων ο οποίος καθορίζεται από τον όγκο ο οποίος περικλείεται από τη συμβολή τους. Οι μετρήσεις όμως οι οποίες λαμβάνουμε και ειδικά αυτές της ταχύτητας, αποτελούν απόλυτους αριθμούς

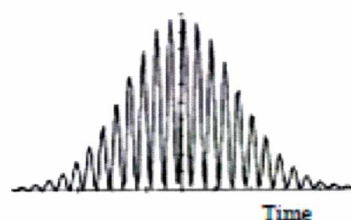
χωρίς να γνωρίζουμε την φορά της κίνησης. Με το να εφαρμόζουμε όμως δύο διαφορετικές ακτίνες δίνουμε λύση στο ερώτημα αυτό. Δηλαδή εάν έχουμε ένα σωματίδιο το οποίο κινείται κατά τη θετική διεύθυνση την οποία έχουμε ορίσει τότε η συχνότητα του ανακλώμενου φωτός θα είναι μεγαλύτερη των 40MHz, ενώ αν κινείται αντίθετα θα εμφανίζει χαμηλότερη συχνότητα κύματος. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η καταμέτρηση σωματιδίων τα οποία προκύπτουν από τις ανακυκλοφορίες ή και τις δίνες που προκύπτουν κατά τη διάρκεια του ψεκασμού. Στο σημείο συμβολής των δύο ακτίνων, δηλαδή στο πεδίο μετρήσεων σχηματίζονται κροσσοί, ή αλλιώς τομείς.

Καθώς ένα σωματίδιο διαπερνά τους κροσσούς ανταλακλά ένα μέρος του προσπίπτοντος φωτός. Το κενό που δημιουργείται ανάμεσα στις φωτεινές και σκοτεινές περιοχές του φωτός εξαρτάται από την γωνία που σχηματίζουν μεταξύ τους ο ακτίνες συμβολής και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που επιστρέφεται από το σωματίδιο υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

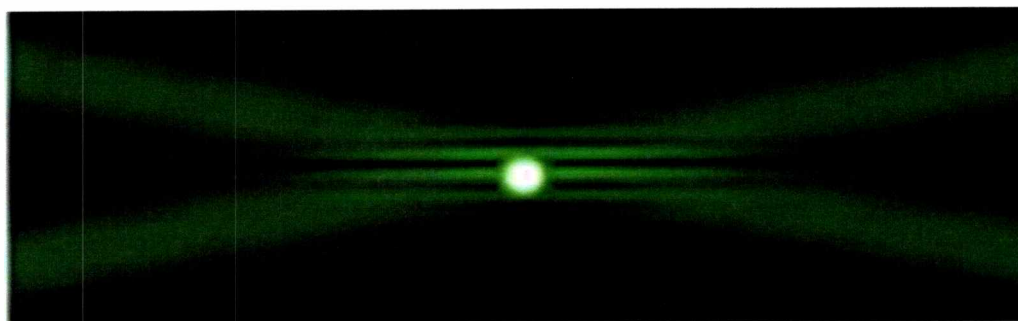
$$\delta = \frac{\lambda}{2\sin(k)}, \text{ όπου } \lambda \text{ το μήκος κύματος και } 2k \text{ η γωνία}$$

των ακτίνων.

Επομένως γνωρίζοντας την απόσταση που διανύει μία σταγόνα και τον χρόνο που χρειάζεται, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητά της. Η λειτουργία των κροσσών γίνεται σαφέστερη από το ακόλουθο σχήμα :



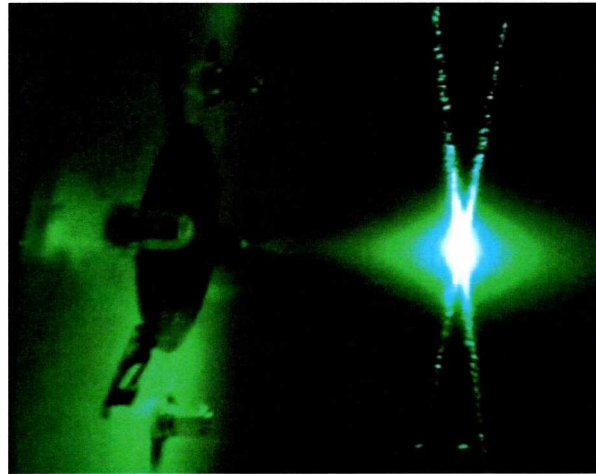
Σχήμα 3.4 Το παραγόμενο μήκος κύματος από το διερχόμενο σωματίδιο



Εικόνα 3.5 Απεικόνιση του διερχόμενου σωματιδίου ρευστού από τους σχηματιζόμενους κροσσούς.

Το ανακλώμενο φως συλλέγεται από Photomultiplier Tubes (PMTs) και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα. Οι PMTs προκειμένου να συλλέξουν και να μεταδώσουν το φως χρησιμοποιούν οπτικές ίνες. Το παραχθέν σήμα πρώτα φιλτράρεται προκειμένου να αποκοπούν η χαμηλή ακτινοβολία που παράγεται όταν ένα σωματίδιο εισέρχεται και εξέρχεται από τον όγκο μετρήσεων (downmixing). Συνοπτικά το ποσό της ακτινοβολίας που ανακλάται από ένα σωματίδιο σε σχέση με τον χρόνο διέλευσής του παρουσιάζεται (εικόνα 3.4) σκίτσο. Αναφέρουμε ότι η διακύμανση που παρατηρείται οφείλεται στους κροσσούς (fringes) που αναφέραμε παραπάνω.

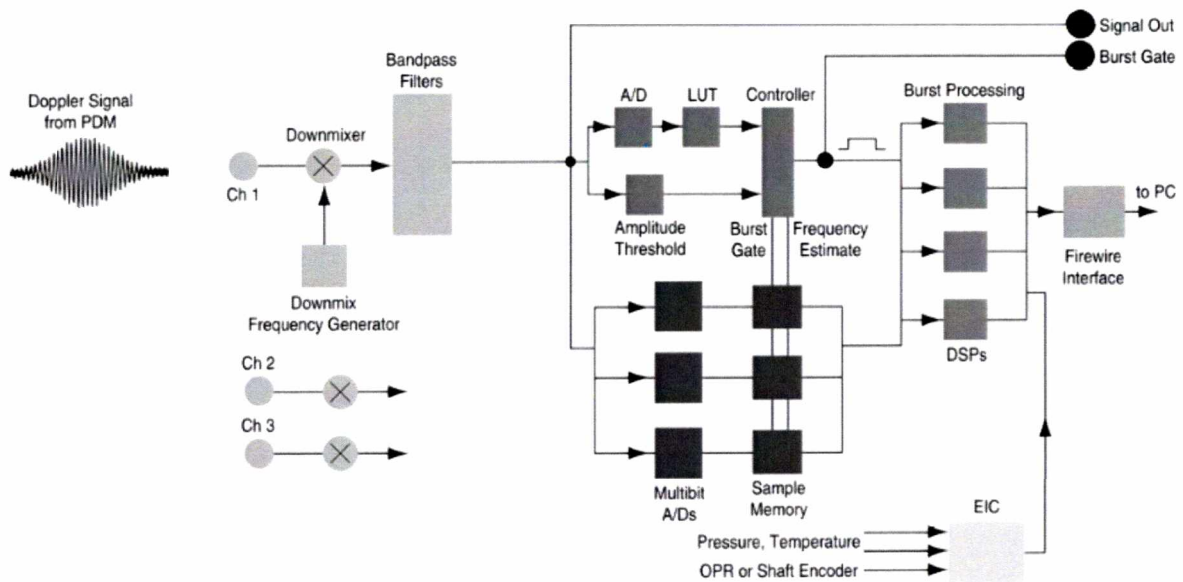
Έπειτα τα σήματα αυτά περνούν από μία σειρά «φίλτρων» προκειμένου να μειωθεί ο θόρυβος. Πρόκειται για μία επεξεργασία μέσω της οποίας βελτιώνεται σημαντικά η ακρίβεια των μετρήσεων που λαμβάνουμε καθώς απομακρύνονται διάφορες παραμορφώσεις που προκαλούνται αφού ούτε το σήμα μεταφέρεται αυτούσιο στον επεξεργαστή αλλά ούτε το σύστημά μας είναι αποκομμένο από το περιβάλλον.



Φωτογραφία 3.6 Σχηματισμός του όγκου μετρήσεων από τις δέσμες του LDV.

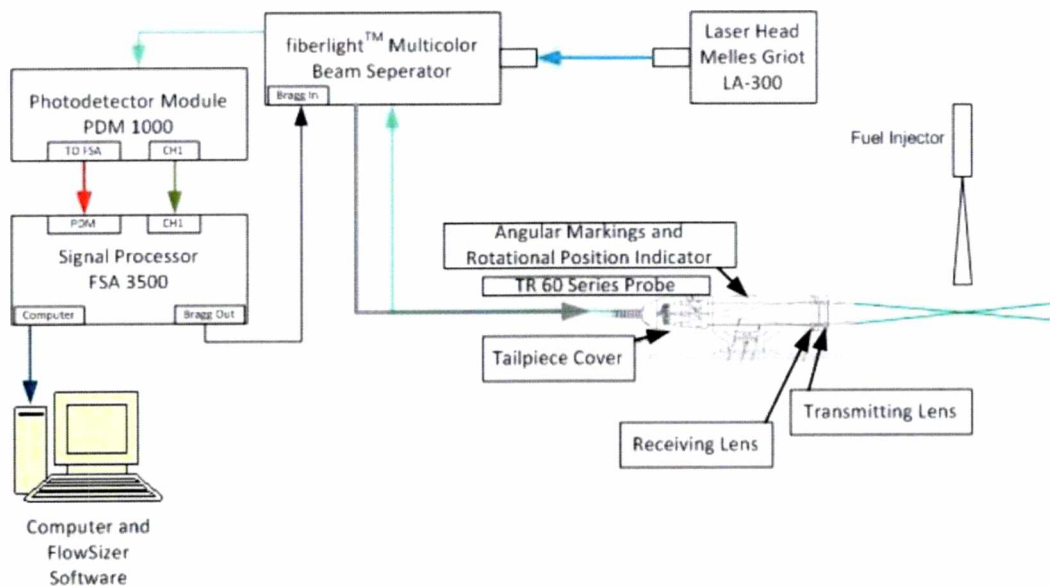
Με άλλα λόγια αυξάνεται ο λόγος Signal to Noise ratio (SNR). Εν συνεχεία οι συχνότητες που μετρήσαμε μεταφέρονται στον επεξεργαστή σήματος.

Η ακολουθεία επεξεργασίας του σήματος παρουσιάζεται παρακάτω :



Εικόνα 3.7 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας ανάλυσης και εξαγωγής του σήματος .

Αντίστοιχα ολόκληρη η διάταξη, δηλαδή το laser, μέσω της οποίας μετράμε τα χαρακτηριστικά των σταγονιδίων είναι :



Εικόνα 3.8 Σχηματική απεικόνιση των συσκευών που εμπλέκονται στη διαδικασία των μετρήσεων.

3.3 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των επιμέρους συσκευών του laser^[11]

Laser Head		Model FSA 3500 Signal Processor	
<i>Laser Model</i>	400A03	<i>Frequency Range</i>	300 Hz to 100 MHz
<i>Laser type</i>	Argon ion laser	<i>Maximum Sampling Rate</i>	400 MHz
<i>Wave length</i>	457 to 514 nm	<i>Resolution of Burst Sampling Analog to Digital Converters</i>	8 bits
<i>Minimum – maximum power</i>	50 – 300 mW	<i>Maximum Data Rate</i>	100 kHz
<i>Beam diameter</i>	0.68 mm ± 5%	<i>Maximum Samples / Burst</i>	256
<i>Beam divergence</i>	1.1mm ± 5%	<i>Downmixing Frequencies</i>	0.1 to 40 MHz
<i>Operating ambient temperature</i>	5 to 40 °C	<i>Analog Out Range Resolution</i>	0 – 10 V 12 bits
<i>Storage Temperature</i>	-30° to 60°C	<i>Line Voltage</i>	85 – 265 VAC
<i>Cooling system</i>	Air cooled	<i>Current Usage</i>	1.5 A, 100 – 120 VAC 0.8 A, 220 – 240 VAC
<i>Warm up time</i>	Minimum 15 min.	<i>Operating temperature</i>	0 to 40°C

Model PDM1000 Photo Detector Module		Multicolor Beam Separator	
<i>Frequency Range</i>	0 Hz to 175 MHz	<i>Possible Beams Color</i>	Blue, Green, Violet
<i>Intensity ADC (Phase models only)</i>	12 bits	<i>Beam shifted Frequency</i>	40 MHz
<i>Calibration Laser Diode (Phase models only)</i>			
<i>Maximum Power</i>	3 mW		
<i>Wavelength</i>	635 nm		

TR 260 Probe			
<i>Probe diameter</i>	83 mm	<i>Number of fringes</i>	24
<i>Standoff Range</i>	120 – 750 mm	<i>Lens model</i>	TL06 – 350
<i>Probe Beam Diameter</i>	2.65 mm	<i>Focal Distance</i>	363 mm
<i>Probe Beam Spacing</i>	50 mm	<i>Beam crossing half angle</i>	3.97°
<i>Lens Diameter</i>	61.5 mm	<i>Mesurement volume diameter</i>	90 μm (for 514nm laser wave length)
<i>Fringes Spacing</i>	1.39 μm		

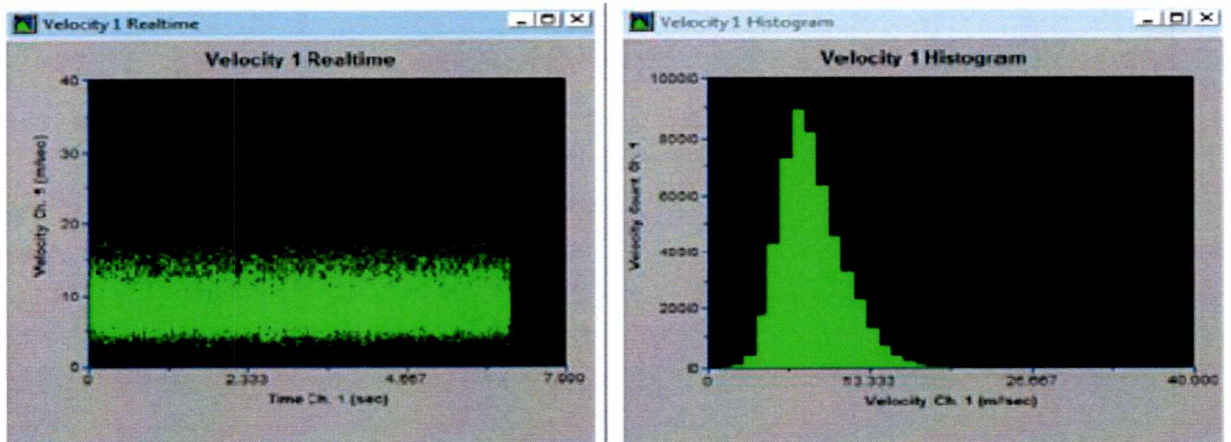
Πίνακες 3.9, 3.10, 3.11 Χαρακτηριστικά λειτουργίας των επιμέρους συσκευών του LDV.



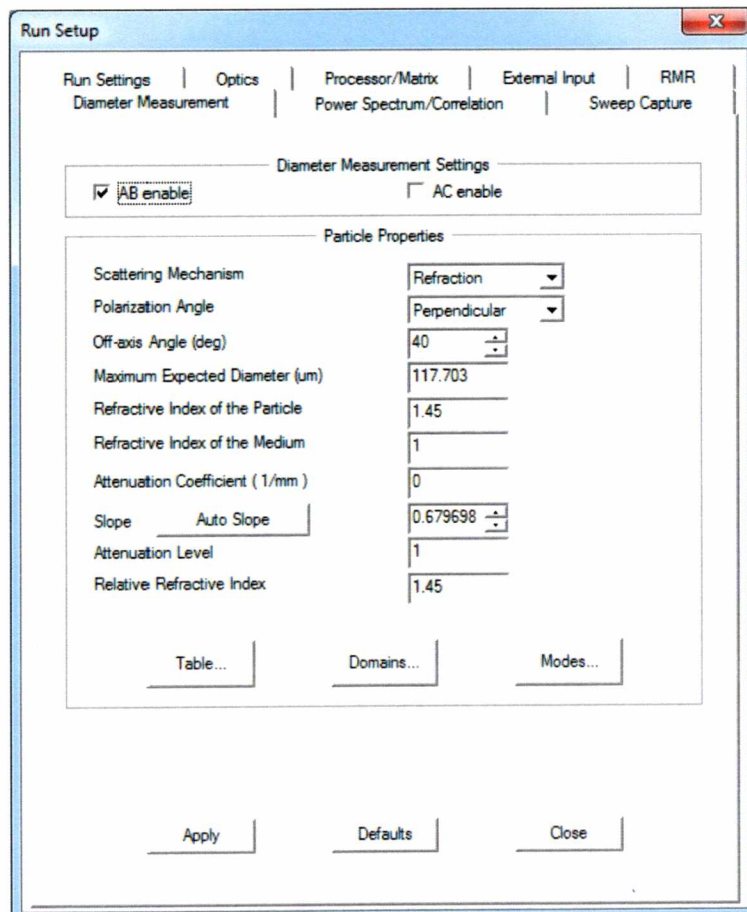
Φωτογραφία 3.12 Συσκευές που εμπλέκονται στη διαδικασία των μετρήσεων. Διακρίνονται : 1. Laser Head, 2. Multicolor Beam Separator και 3. Photo Detector Module.

3.4 Λογισμικό Laser

Όπως προαναφέραμε το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των μετρήσεων είναι αυτό το οποίο μας παρέχεται από το ίδιο το laser, δηλαδή το FlowSizer. Το συγκεκριμένο λογισμικό μας δίνει στοιχεία για την ταχύτητα όπως φαίνεται ακολούθως :



Εικόνα 3.13 Διαγράμματα των μετρήσεων όπως προκύπτουν από το λογισμικό Flow Sizer.



Εικόνα 3.14 Καθορισμός των παραμέτρων των μετρήσεων.

Επίσης μας παρέχει δεδομένα για τον αριθμό των σταγονιδίων, τη διάμετρό τους κ.ά. Βέβαια τα δεδομένα τα που ληφθούν εξαρτώνται από τις αρχικές ρυθμίσεις που έχουμε κάνει στο πρόγραμμα.

3.5 Εκκίνηση Πειράματος

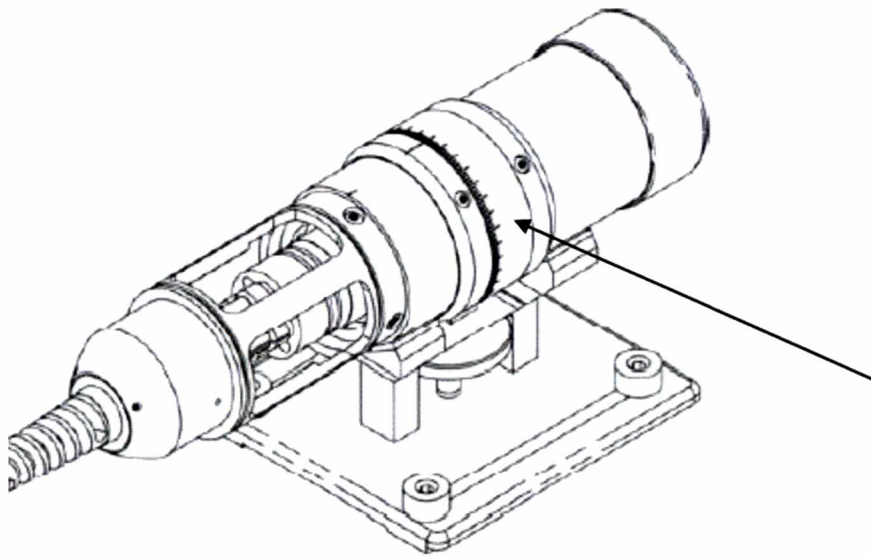
Μετά την κατασκευή της βάσης, της τοποθέτησης του καυστήρα επάνω της, και την τοποθέτηση μέσα στην υδροσύραγγα μαζί με το δοχείο καυσίμου έπρεπε να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες μετρήσεις.

Αρχικά έπρεπε να εξετάσουμε αν ο ψεκασμός είναι παράλληλος προς το επίπεδο και ότι η ακτίνα του laser θα προσπίπτει κάθετα στη ροή καθώς θα μπορούσε να υπάρχει κατασκευαστική ατέλεια ή και λανθασμένη τοποθέτηση του εξοπλισμού. Πραγματοποιώντας μικρορυθμίσεις κυρίως για την ορθή τοποθέτηση και στήριξη της βάσης στο εσωτερικό της σύραγγας ακολούθησε στόχευση της παραγόμενης ροής με δέσμη φωτός προκειμένου να εξακριβώσουμε οπτικά τυχόν αποκλίσεις. Ακολούθησε μία σειρά μετρήσεων έτσι ώστε να βεβαιωθούμε ότι όντως ψεκάζουμε σε ευθεία και ότι υπάρχει η κεντρική γραμμή της ροής και ότι δεν αποκλίνει. Προκειμένου όμως να είμαστε βέβαιοι ότι δεν θα υπάρχουν ταλαντώσεις, κυρίως λόγω της λειτουργίας της αντλίας, η οποίες πιθανόν να αλλοίωναν τις μετρήσεις, το ακροφύσιο στερεώθηκε πάνω στη βάση με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορεί ούτε να κινηθεί ούτε να ταλαντωθεί. Έπειτα ακολούθησε ακόμα μία σειρά μετρήσεων προκειμένου να επιβεβαιώσουμε ότι η ροή που δημιουργείται είναι η επιθυμητή.



Φωτογραφία 3.15 Στήριξη του ακροφυσίου, το δοχείο καυσίμου και το φίλτρο σε διάταξη στο εσωτερικό της υδροσύραγγας.

Μία άλλη παράμετρος που εξετάστηκε ήταν η γωνία των δύο δεσμών του laser ήταν παράλληλη προς τη ροή. Δηλαδή εάν ένα σωματίδιο καυσίμου τέμνει κάθετα τους κροσσούς που δημιουργούνται στο χώρο συμβολής των δύο ακτίνων, της shifted και της unshifted. Εάν το καύσιμο διαπερνούσε τους κροσσούς υπό μία γωνία πλην των 90° είναι βέβαιο ότι η ταχύτητα η οποία θα μετρώταν δεν θα ήταν η πραγματική.



Εικόνα 3.16 Σχηματική απεικόνιση της κεφαλής του laser με την αντίστοιχη θέση του μοιρογνωμονίου.

Για τον προσδιορισμό της γωνίας έγινε λήψη μετρήσεων για διάφορες γωνίες του φακού (40°, 50°, 60°, 75°, 80°, 85°, 90°, 90.2°, 90.3° και 100°), χρησιμοποιώντας ως σύστημα αναφοράς το μοιρογνωμόνιο το οποίο βρίσκεται στη βάση του. Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι μέσες ταχύτητες που προέκυψαν για την ίδια θέση και ως τιμή επιλέχθηκε αυτή για την οποία προέκυψε η μεγαλύτερη μέση ταχύτητα. Οι τιμές που προέκυψαν είναι οι ακόλουθες :

Γωνία (°)	40	50	60	60.2	75	80	85	90	90.2	90.3	100
Μέση ταχύτητα (m/s)	5.4452	7.4321	7.6435	7.2589	8.1811	8.4006	8.496	8.6161	8.5453	8.593	8.5458

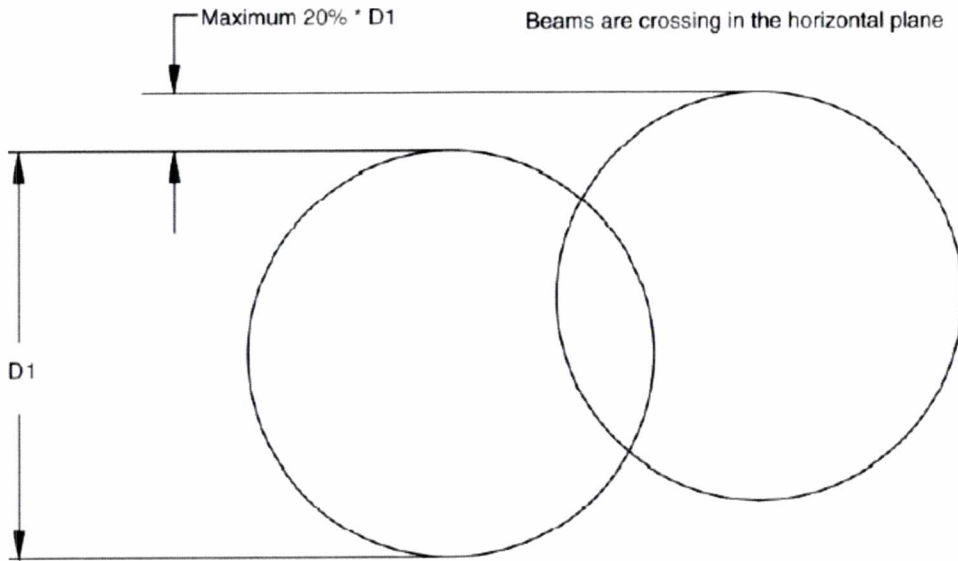
Πέρα από τις μικρές διακυμάνσεις που παρατηρούνται, η μέγιστη μέση ταχύτητα εμφανίζεται για τις 90°, τιμή η οποία επιλέχθηκε για τη λήψη των επόμενων μετρήσεων.

Ο επόμενος έλεγχος αφορούσε την ποιότητα των ακτίνων του laser στο σημείο τομής. Ο έλεγχος αυτός, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή, πραγματοποιείται ως ακολούθως :

- Εκκίνηση του laser και λειτουργία με ισχύ χαμηλότερη από την μέγιστη.
- Τοποθετούμε το ειδικό κατοπτρικό εργαλείο κοντά στο σημείο τομής των ακτίνων.
- Προβάλλουμε το παραχθέν είδωλο τουλάχιστον ένα μέτρο από το εν λόγω εξάρτημα.
- Τέλος μετακινούμε το εξάρτημα αυτό στη διεύθυνση των ακτίνων.

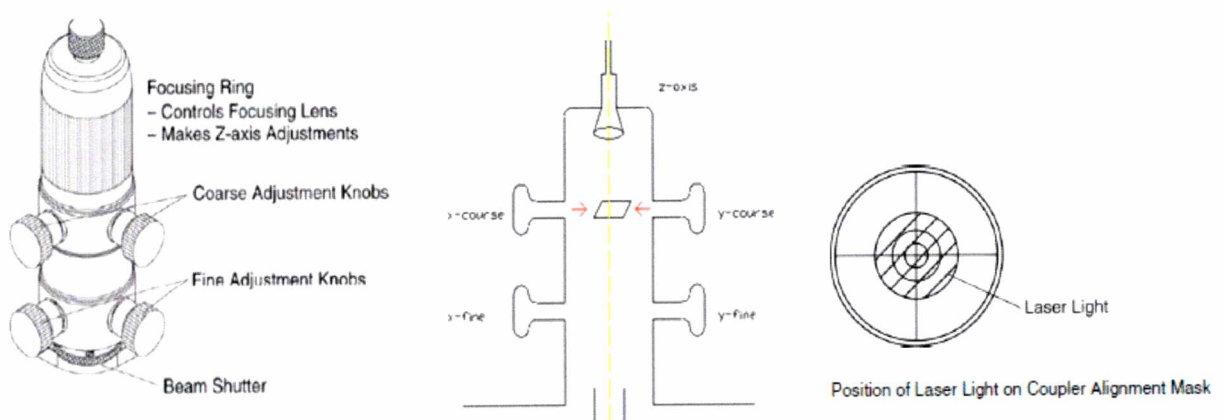
Το παραγόμενο είδωλο αποτελείται από δύο δίσκους, οι οποίοι όταν στοχεύουμε με το μικροσκόπιο στο σημείο τομής, θα πρέπει να συμπίπτουν. Το όριο για την αλληλοκάλυψή τους είναι το 80% της διαμέτρου τους. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική διότι εάν οι δύο παραγόμενοι δίσκοι συμπίπτουν λιγότερο τότε μειώνεται

ο αριθμός των σχηματιζόμενων κροσσών και επηρεάζεται σημαντικά ο συνολικός όγκος μετρήσεων. Στη περίπτωση μας ο έλεγχος αυτός πραγματοποιήθηκε οπτικά ενώ οι δύο προβολές των ακτίνων συνέπιπταν σχεδόν απόλυτα. Η φωτογράφιση του ειδώλου ήταν αδύνατη λόγω του ιδιαίτερα χαμηλού φωτισμού.



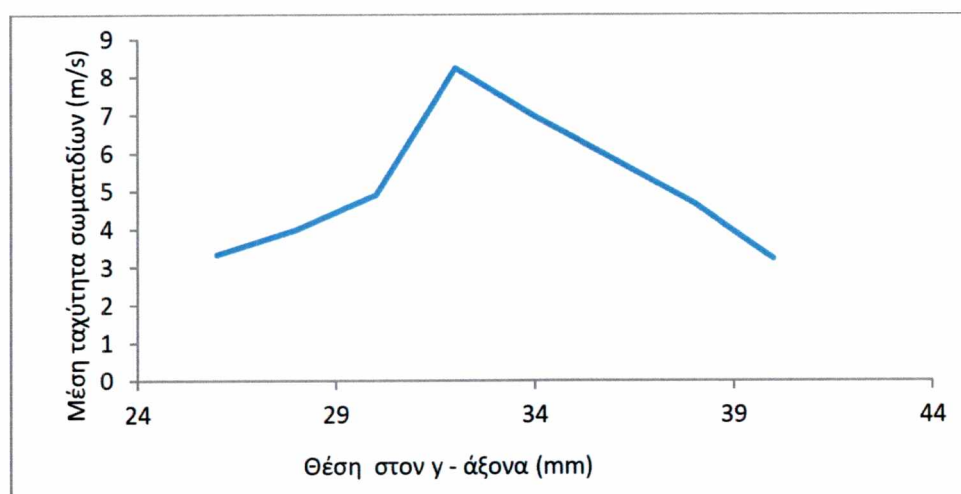
Εικόνα 3.17 Σχηματική απεικόνιση του ελέγχου εστίασης των δύο δεσμών του φωτός.

Η ρύθμιση της εστίασης των δύο ακτίνων πραγματοποιείται από τις συνδέσεις των οπτικών ινών με τον Multicolour Beam Separator οι οποίες ονομάζονται Fiberbotic Couplers. Η αρχή λειτουργίας τους περιγράφεται ως ακολούθως και αποσαφηνίζεται στα παρακάτω σχήματα. Στο εσωτερικό των εν λόγω συνδετήρων υπάρχει μία οπή μέσα από την οποία διέρχεται η δέσμη του laser. Προκειμένου όμως η ακτίνα να στοχεύει στο κέντρο του καλωδίου των οπτικών ινών έτσι ώστε να μην υπάρχει απώλεια σήματος επιβάλλεται να περνά ακέραια από το εσωτερικό της οπής αυτής. Επιπρόσθετα υπάρχει και η δυνατότητα μετακίνησης της οπής αυτής για την πραγματοποίηση της καλύτερης δυνατής στόχευσης. Παρόλο που δεν χρειάστηκε να προβούμε σε τέτοιου είδους ρυθμίσεις αποτελεί μία παράμετρο η οποία ελέγχθηκε και εξετάστηκε.



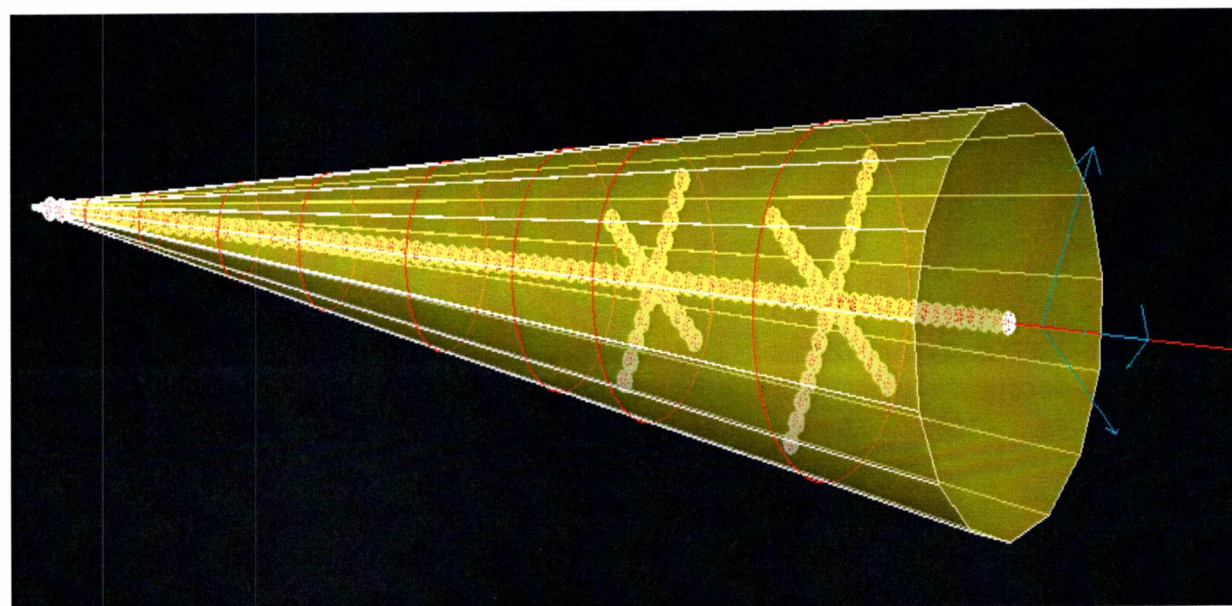
Εικόνα 3.18 Στόχευση της ακτίνας του laser προκειμένου να μην υπάρχει απώλεια σήματος.

Μία ακόμη παράμετρος που έπρεπε να καθοριστεί ήταν η τοποθέτηση ενός ορθοκανονικού συστήματος συντεταγμένων ως αρχή προκειμένου να τοποθετηθούν οι μετρήσεις πάνω σε ένα υπολογιστικό πλέγμα και να γίνει δυνατή η ανάλυση των δεδομένων και η εξαγωγή των συμπερασμάτων. Έτσι ως βάση ορίστηκε η θέση $x = 416 \text{ mm}$, $y = 32 \text{ mm}$ και $z = 322.1 \text{ mm}$. Οι θέσεις αυτές προσδιορίστηκαν πειραματικά καθώς ως πρώτο σημείο για τον x – άξονα ορίστηκε η πρώτη θέση στην οποία υπήρχαν αρκετά σωμάτια για τη λήψη μίας μέτρησης και αντίστοιχα για τον y – άξονα το σημείο στο οποίο εμφανίστηκε η μέγιστη μέση ταχύτητα των σωματιδίων.

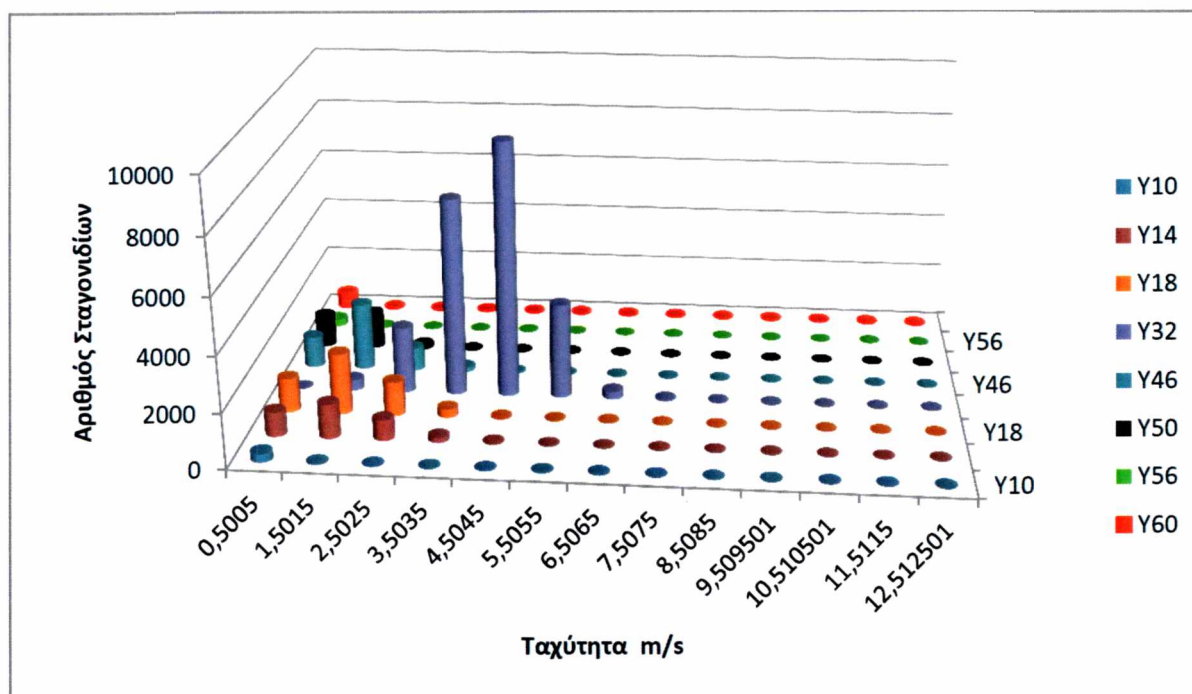


Διάγραμμα 3.19 Μέση ταχύτητα σωματιδίων συναρτήσει της γωνίας κεφαλής του laser.

Στο εν λόγω σημείο του άξονα $-y$ παρουσιάζονται και οι μέγιστες απόλυτες ταχύτητες της ροής. Οι μετρήσεις αυτές οπτικοποιούνται στο ακόλουθο διάγραμμα :



Γράφημα 3.20 Αναπαράσταση του κώνου ψεκασμού καθώς και ενδεικτικά σημεία μετρήσεων.



Διάγραμμα 3.21 Απεικόνιση του προφίλ ταχυτήτων κατά μήκος του άξονα y στη θέση $x = 10.6 \text{ mm}$.

Στα γραφήματα όμως που ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις έχουν απεικονιστεί με αρχή τη θέση (0,0,0) η οποία και αντιστοιχεί στην οπή του μπεκ. Έτσι ορίστηκε και το βήμα των μετρήσεων το οποίο είναι 5 mm στην x-κατεύθυνση, 2 mm στην y-κατεύθυνση ενώ κατά μήκος του z-άξονα δεν υπήρξε σάρωση, θεωρώντας συνθήκες συμμετρίας. Όσον αφορά τις εσωτερικές ρυθμίσεις στο λογισμικό του laser, το FlowSizer, μέσω του οποίου γίνεται η καταγραφή, ως μέγιστος χρόνος καταγραφής ορίστηκαν τα 10sec ή τα 60.000 σωματίδια και ο ελάχιστος αριθμός τους τα 800. Τέλος πριν την έναρξη της καταγραφής ο καυστήρας αφήνονταν να λειτουργήσει για μερικά δευτερόλεπτα (2-4 sec) προκειμένου να σταθεροποιηθεί η ροή και να μην υπάρχει επίδραση των μεταβατικών φαινομένων που συμβαίνουν κατά την έναρξη του ψεκασμού.

3.6 Παρασκευή των μειγμάτων

Για τις ανάγκες του πειράματος αυτού, παρασκευάστηκαν μείγματα diesel – biodiesel με τις αντίστοιχες κατ' όγκο αναλογίες : B5, B20, B40, B60, B80, B100.

Ο δείκτης δίπλα από το κάθε B_ αναφέρεται στο ποσοστό του biodiesel που περιέχεται στο κάθε μίγμα. Δηλαδή, για παράδειγμα, B40 σημαίνει ότι στο συγκεκριμένο μίγμα έχουμε 60% diesel και 40% biodiesel, αντίστοιχα το B0 είναι καθαρό περέλαιο και το B100 καθαρό biodiesel, κατ' όγκο αναλογία. Η ποσότητα του μίγματος που παρήχθηκε για κάθε περίπτωση ήταν ένα λίτρο, ενώ τα μείγματα

αναμειγνύονταν εκ νέου πριν τη χρήση τους, προκειμένου να μην υπάρξει διαχωρισμός φάσεων.



Φωτογραφία 3.22 Τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη περαίωση του πειράματος.

Οι ιδιότητες των μιγμάτων προκύπτουν από τη βιβλιογραφία^[3] και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

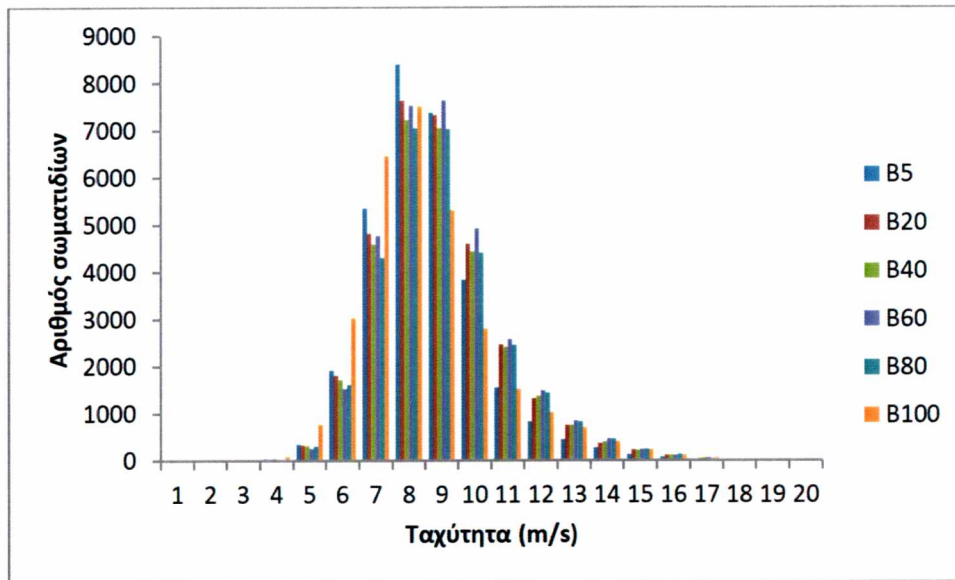
Μίγμα	Πυκνότητα (kg/m^3)	Κινηματικό Ιξώδες (mm^2/s)	Επιφανειακή Τάση (N/m)
B5	828	2.693	0.02600
B20	840	3.039	0.02637
B40	852	3.384	0.02674
B60	864	3.730	0.02711
B80	876	4.075	0.02748
B100	880	4.420	0.02800

Πίνακας 3.23 Τα μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν και οι ιδιότητές τους.

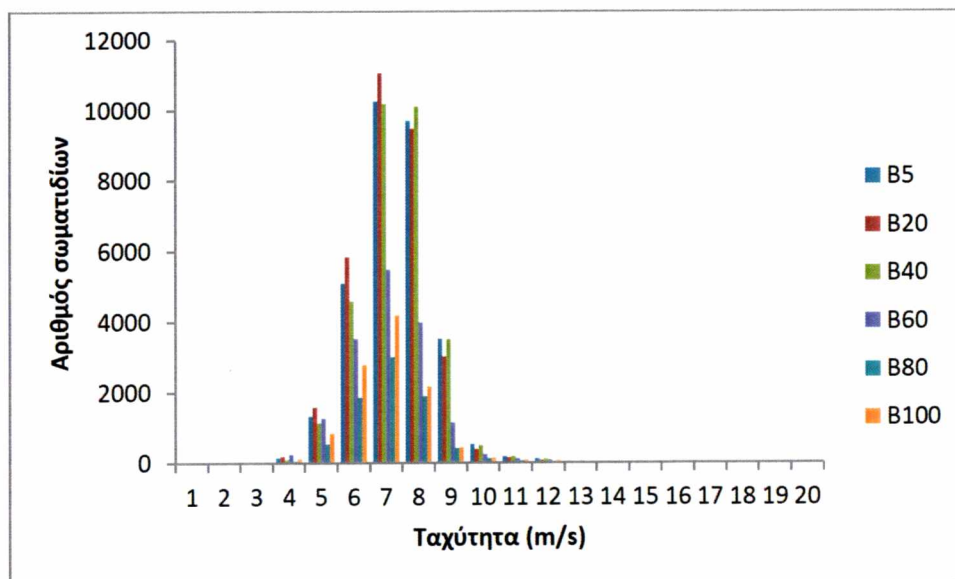
4.0 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1 Απόλυτες Ταχύτητες Σταγονιδίων

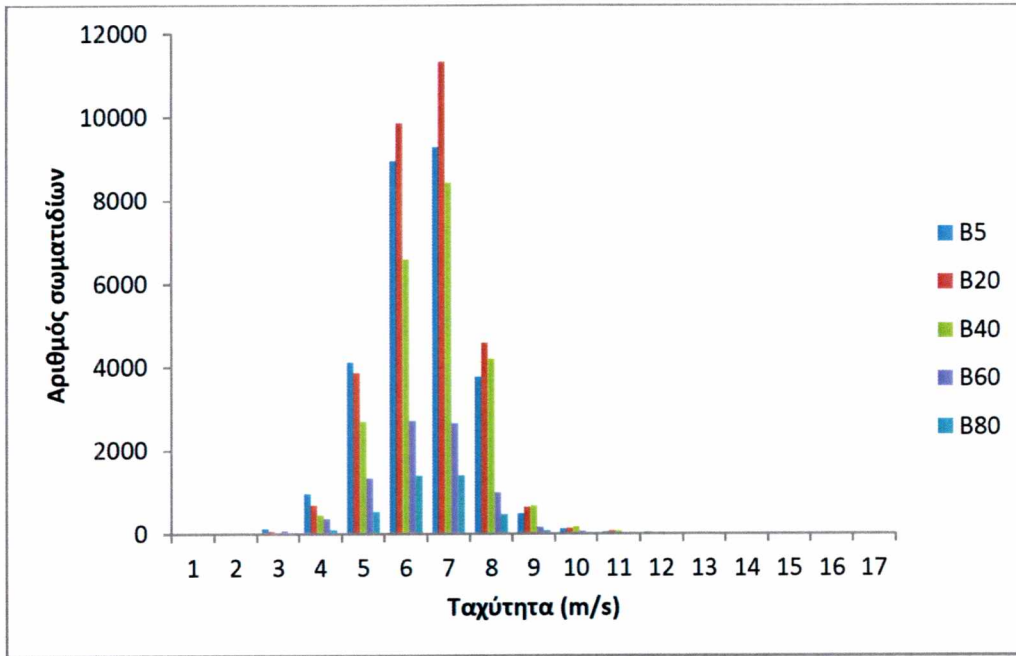
Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται διαγράμματα της κατανομής της ταχύτητας και του αριθμού των σωματιδίων για ορισμένες ενδεικτικές θέσεις :



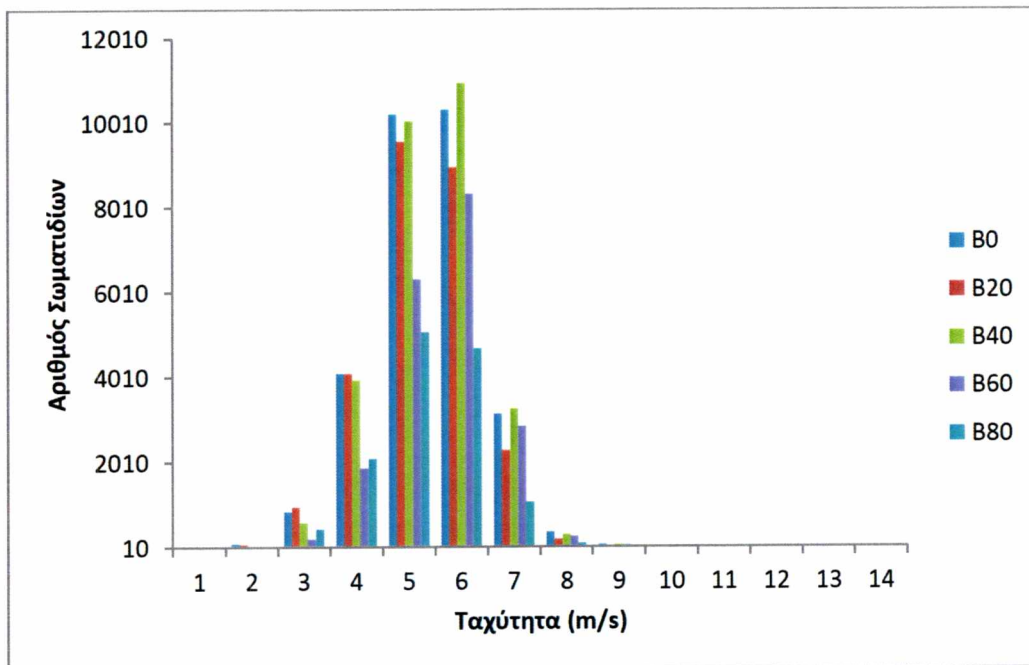
Γράφημα 4.1 : Ταχύτητες και αριθμός σωματιδίων στη θέση $x = 18 \text{ mm}$.



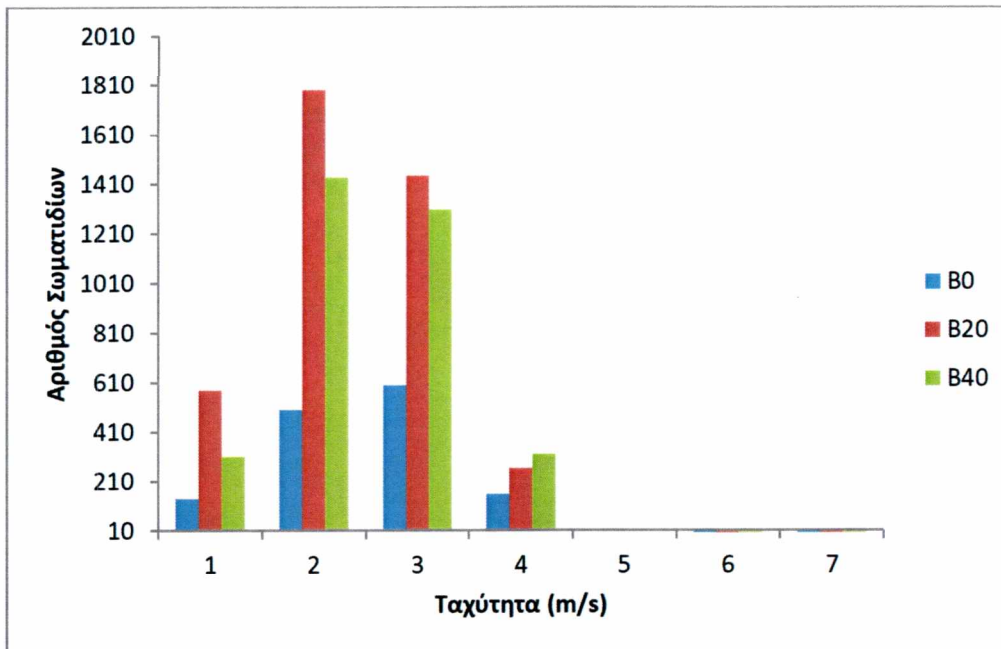
Γράφημα 4.2 : Ταχύτητες και αριθμός σωματιδίων στη θέση $x = 53 \text{ mm}$.



Γράφημα 4.3 : Ταχύτητες και αριθμός σωματιδίων στη θέση $x = 68 \text{ mm}$.



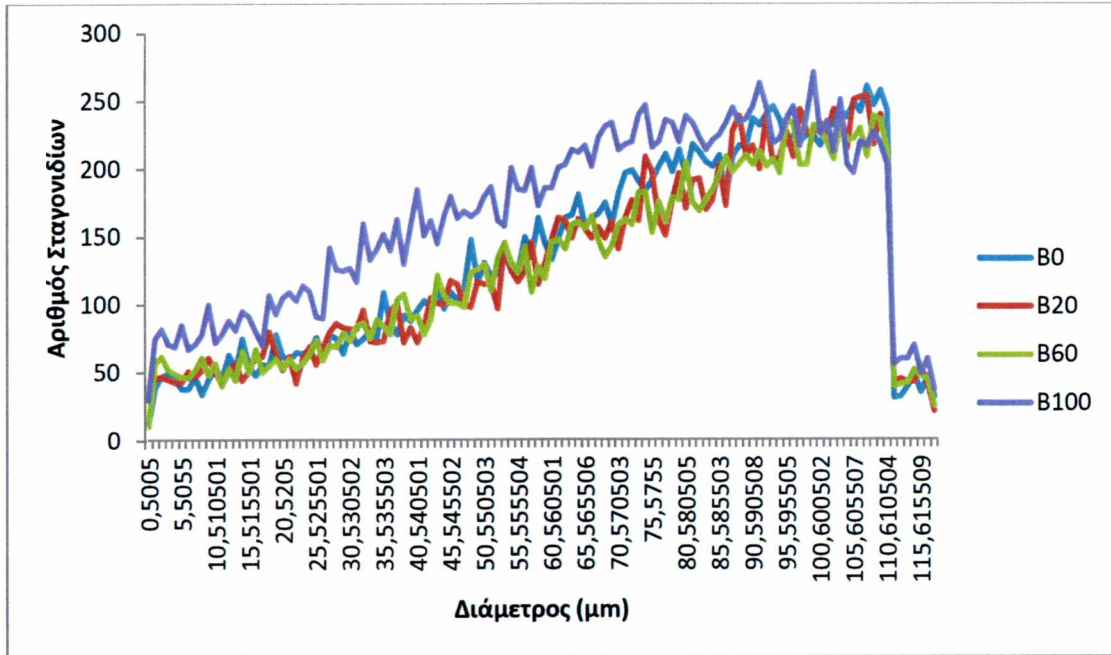
Γράφημα 4.4 Ταχύτητες και αριθμός σωματιδίων στη θέση $x = 88 \text{ mm}$.



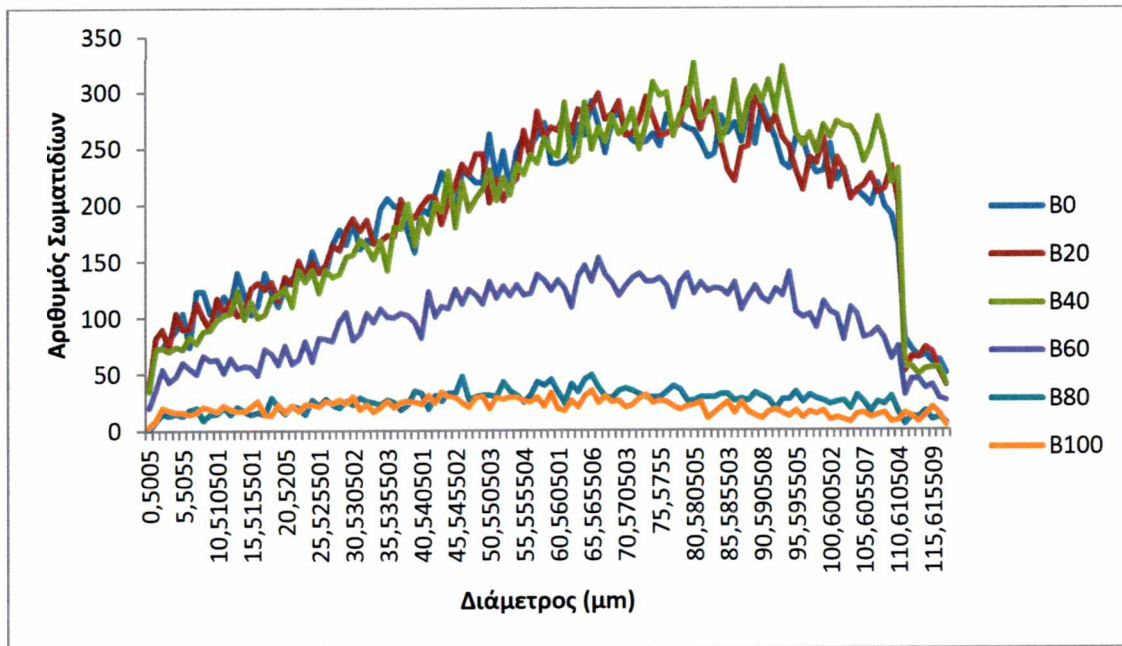
Γράφημα 4.5 Ταχύτητες και αριθμός σωματιδίων στη θέση $x = 208 \text{ mm}$.

Τα ανωτέρω γραφήματα αποτελούν απεικόνιση των μετρήσεων της ταχύτητας που λαμβάνουμε μέσω του LDV. Λαμβάνοντας υπ' όψιν μας το γεγονός ότι το μίγμα B5 είναι αυτό που χρησιμοποιείται σήμερα στις μηχανές εσωτερικής καύσης δεν προκαλεί έκπληξη ότι διαφαίνεται να διασπάται σε πολλά μικροσταγονίδια καυσίμου τα οποία εξέρχονται του εγχυτήρα με μεγάλη ταχύτητα ($\approx 7 \text{ m/s}$), η οποία είναι και η επιθυμητή συμπεριφορά ενός καυσίμου. Αντίστοιχα όμως το B20 και το B40 κατά τη πρόοδο της σάρωσης στον $-x$ άξονα εμφανίζουν παραπλήσια έως κυρίαρχη συμπεριφορά καθώς τείνουν να διασπώνται εξ' ίσου σε σταγονίδια που κινούνται με παραπλήσιες ταχύτητες. Τα μίγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα όμως σε βιοκαύσιμο δεν ακολουθούν την ίδια τάση, καθώς η αυξημένη επιφανειακή τους τάση (Πιν. 3.17) υπερνικά προς σχηματισμό μεγαλύτερων σφαιριδίων που εξέρχονται με χαμηλότερη ταχύτητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αεροδυναμικών συντελεστών, καθώς η προβαλλόμενη επιφάνεια αυξάνεται, με συνέπεια την άμεση επιβράδυνση των σταγονιδίων αυτών.

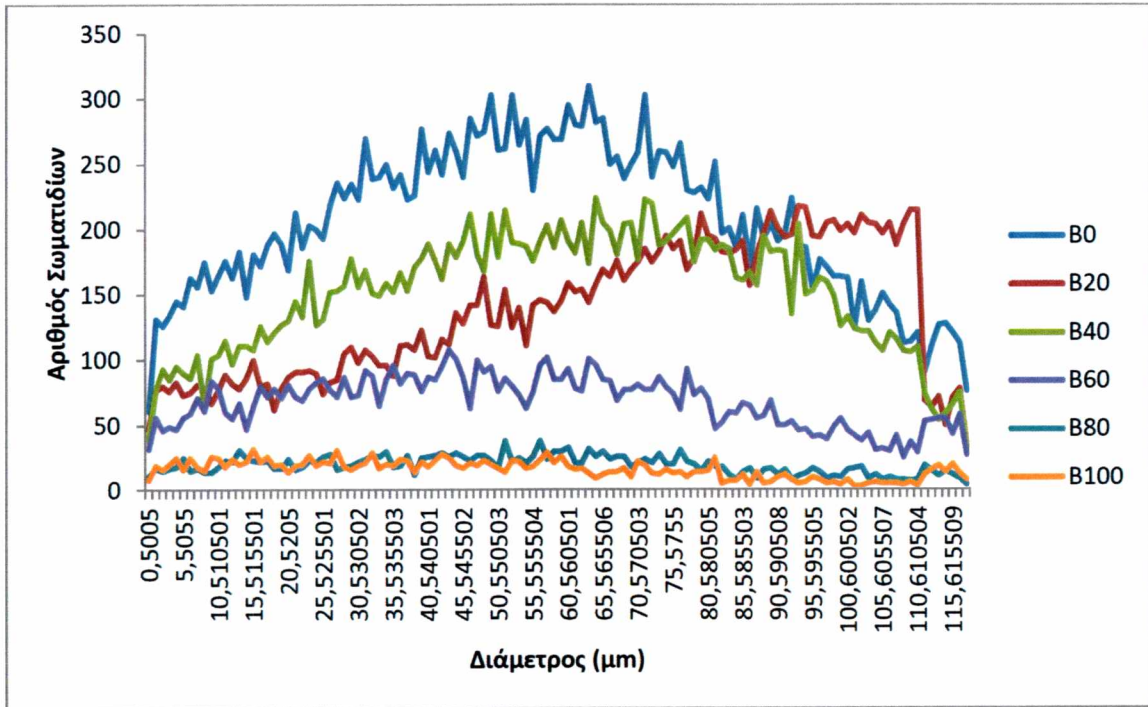
4.2 Χαρακτηριστική διάμετρος των Σωματιδίων



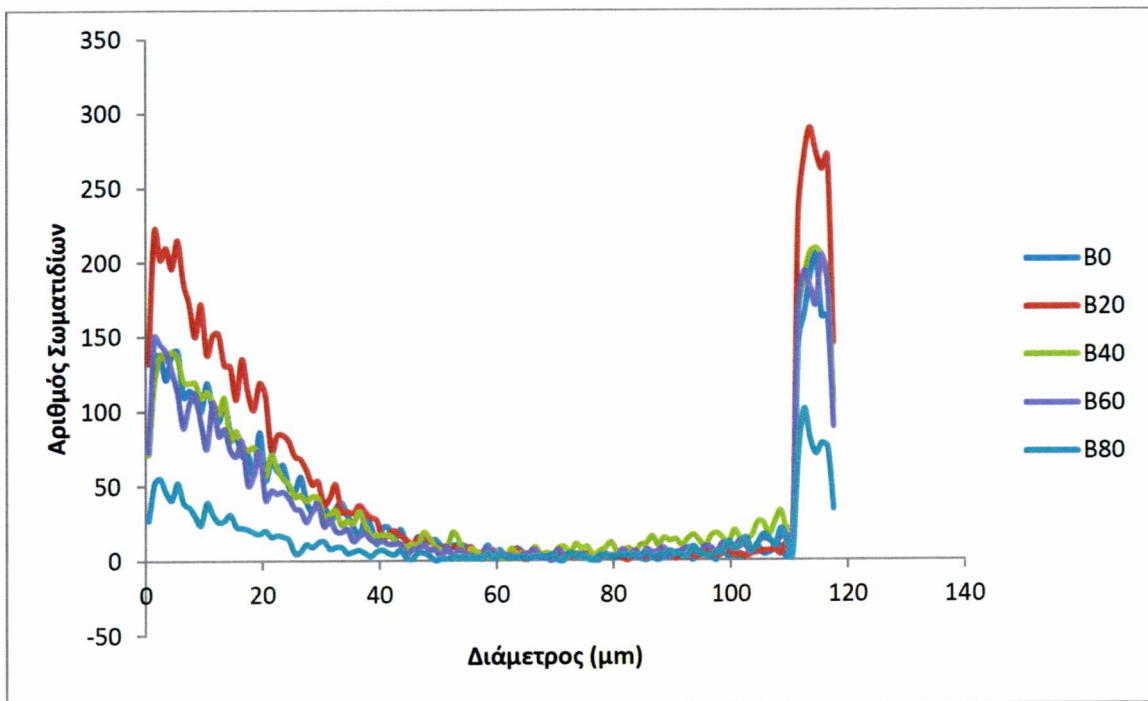
Γράφημα 4.6 Απεικόνιση της διαμέτρου και του αριθμού σταγονιδίων στη θέση $x = 1.3 \text{ mm}$.



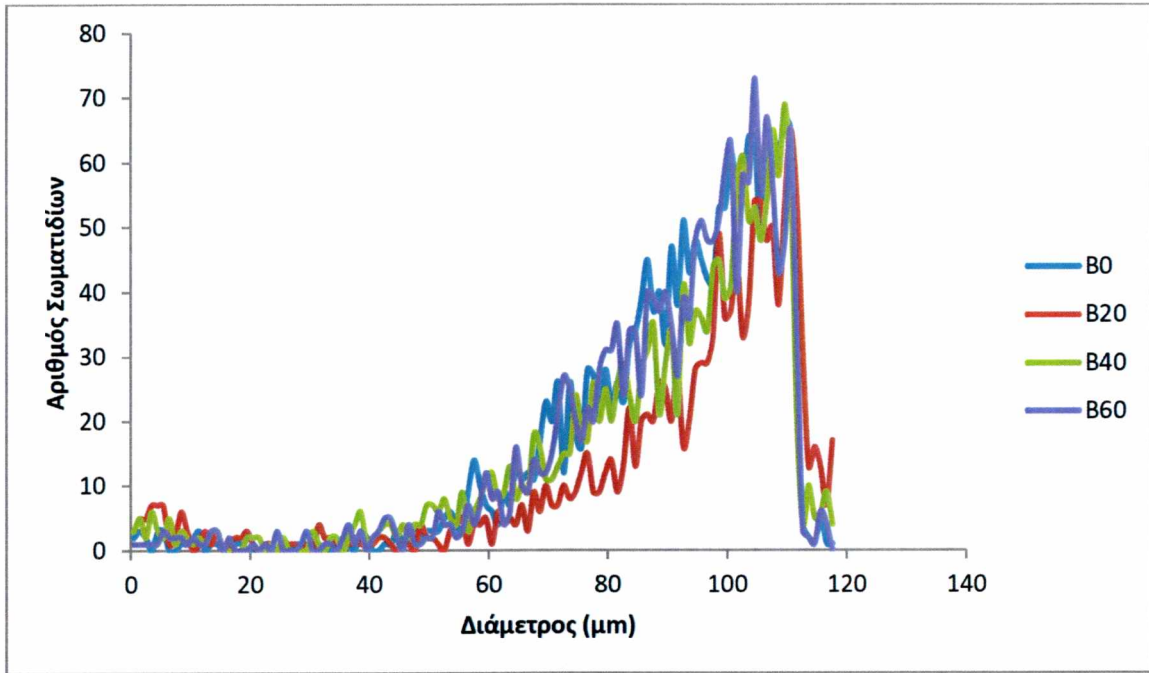
Γράφημα 4.7 Απεικόνιση της διαμέτρου και του αριθμού σταγονιδίων στη θέση $x = 3.8 \text{ mm}$.



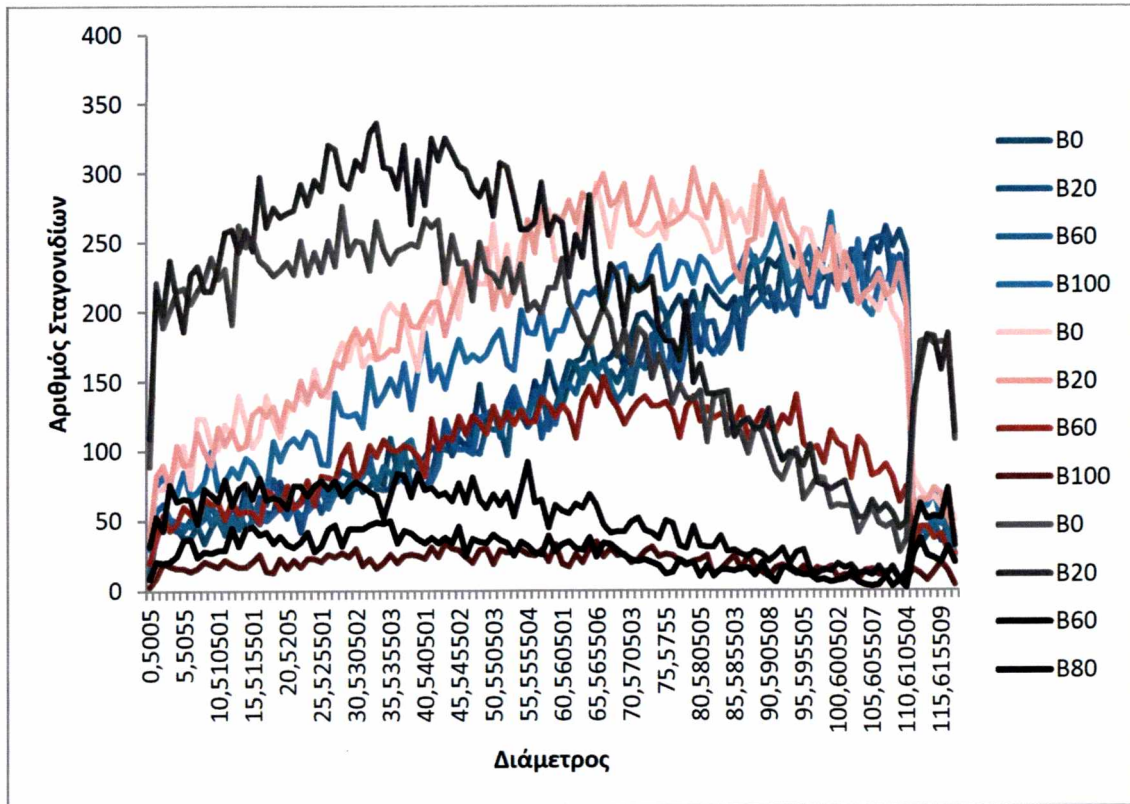
Γράφημα 4.8 Απεικόνιση της διαμέτρου και του αριθμού σταγονιδίων στη θέση $x = 4.8 \text{ mm}$.



Γράφημα 4.9 Απεικόνιση της διαμέτρου και του αριθμού σταγονιδίων στη θέση $x = 108 \text{ mm}$.



Γράφημα 4.10 Απεικόνιση της διαμέτρου και του αριθμού σταγονιδίων στη θέση $x = 148 \text{ mm}$.



Γράφημα 4.11 Συγκριτική απεικόνιση της διαμέτρου και του αριθμού σταγονιδίων στις θέσεις: $x = 3.8 \text{ mm}$ (μπλε), $x = 4.8 \text{ mm}$ (κόκκινο) και $x = 5.8 \text{ mm}$ (μαύρο).

Παρατήρηση : Το παραπάνω γράφημα (5.6) μας δίνει τη δυνατότητα να παρακολουθήσουμε τη διαδικασία κατάρρευσης των στρωμάτων του ρευστού (κόκκινο και μπλε) ενώ όσο απομακρινόμαστε από το ακροφύσιο συνεχίζεται η διάσπαση των σχηματισμένων σταγόνων του ρευστού σε ακόμα μικρότερα σωματίδια καυσίμου (μαύρο) όπου και παρατηρείται ο μέγιστος αριθμός σταγονιδίων.

5. ΕΝΑΡΞΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

5.1 Μέσες ταχύτητες των σωματιδίων

Με τον όρο μέσες ταχύτητες αναφερόμαστε στο άθροισμα του γινομένου του αριθμού σταγονιδίων με τη ταχύτητα του καθενός δια το πλήθος τους. Δηλαδή :

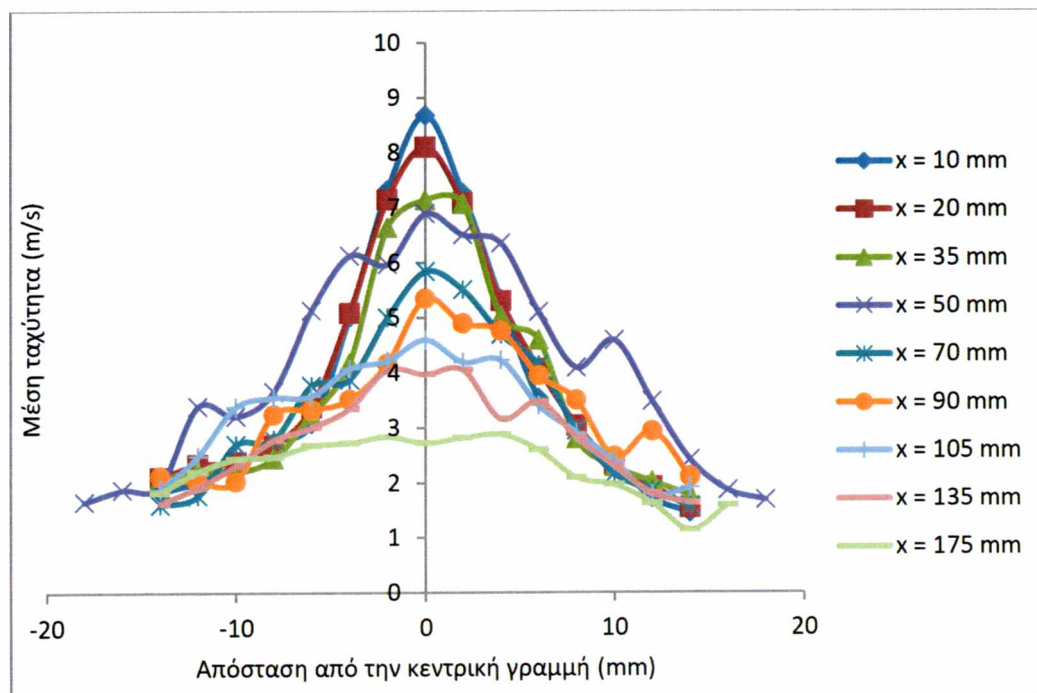
$$\bar{V} = \sum n_i V_i / n_i$$

\bar{V} = η μέση ταχύτητα εξόδου

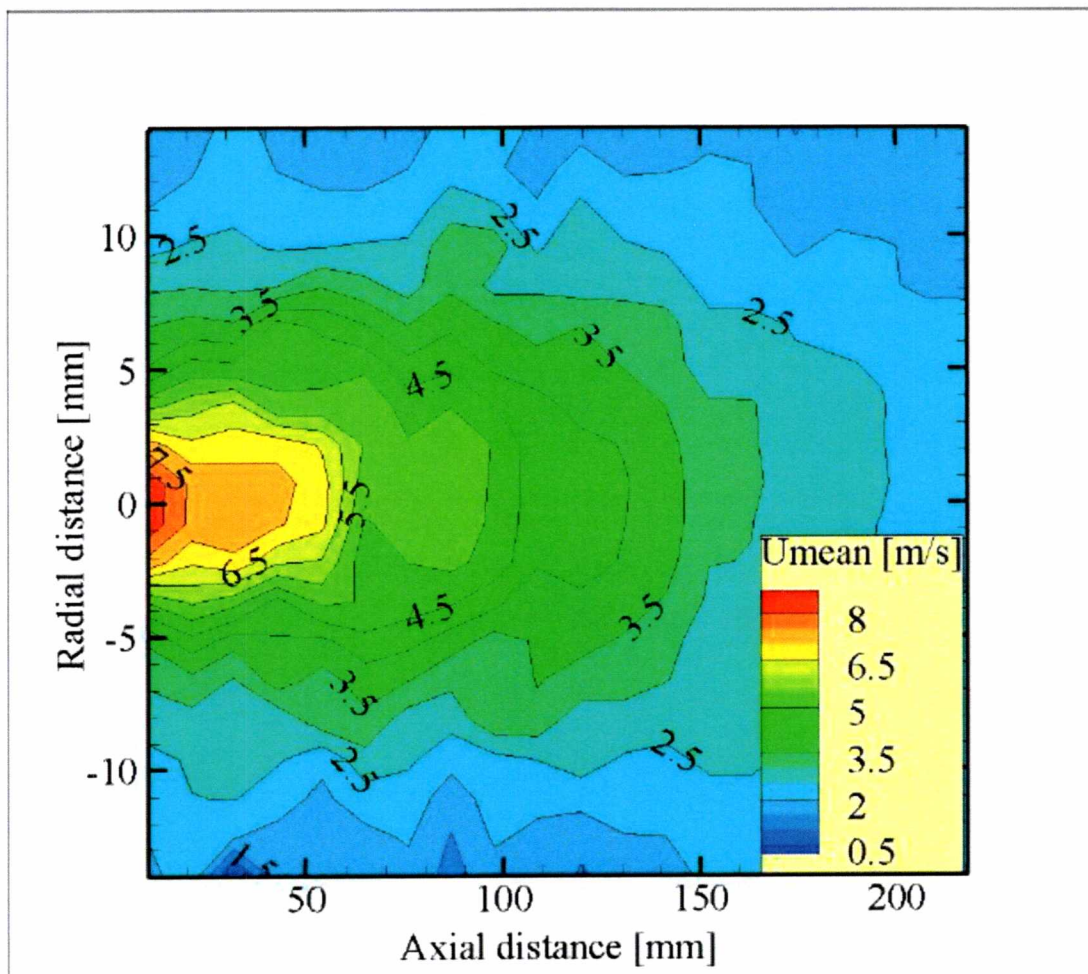
V_i = η ταχύτητα εξόδου του κάθε σταγονιδίου

n_i = ο αριθμός σταγονιδίων

Εφόσον έχουμε προσδιορίσει την κεντρική γραμμή και προκειμένου να είναι το διάγραμμα πιο εύληπτο, η κατανομή των ταχυτήτων στον y – άξονα και για διάφορες θέσεις στον άξονα x έχουμε ότι :



Γράφημα 5.1 Κατανομή μέσης ταχύτητας κατά τον άξονα -y συναρτήσει της θέσης μετρήσεως (-x άξονας).



Γράφημα 5.2 Συνοπτική κατανομή μέσης ταχύτητας από την οπή του ακροφυσίου κατά μήκος του άξονος $-x$.^[23]

5.2 Κατανομή της Ταχύτητας

Οι συγκεκριμένες καμπύλες ταχυτήτων θα μπορούσαν να προσεγγιστούν μέσω της τροποποιημένης κατανομής Gauss. Το μοντέλο αυτό προσέγγισης ορίζεται ως ακολούθως :

$$y = 1/\sqrt{2\pi} * e^{-\frac{1}{2} * (\frac{x-\mu}{\sigma})^2}$$

Όπου :

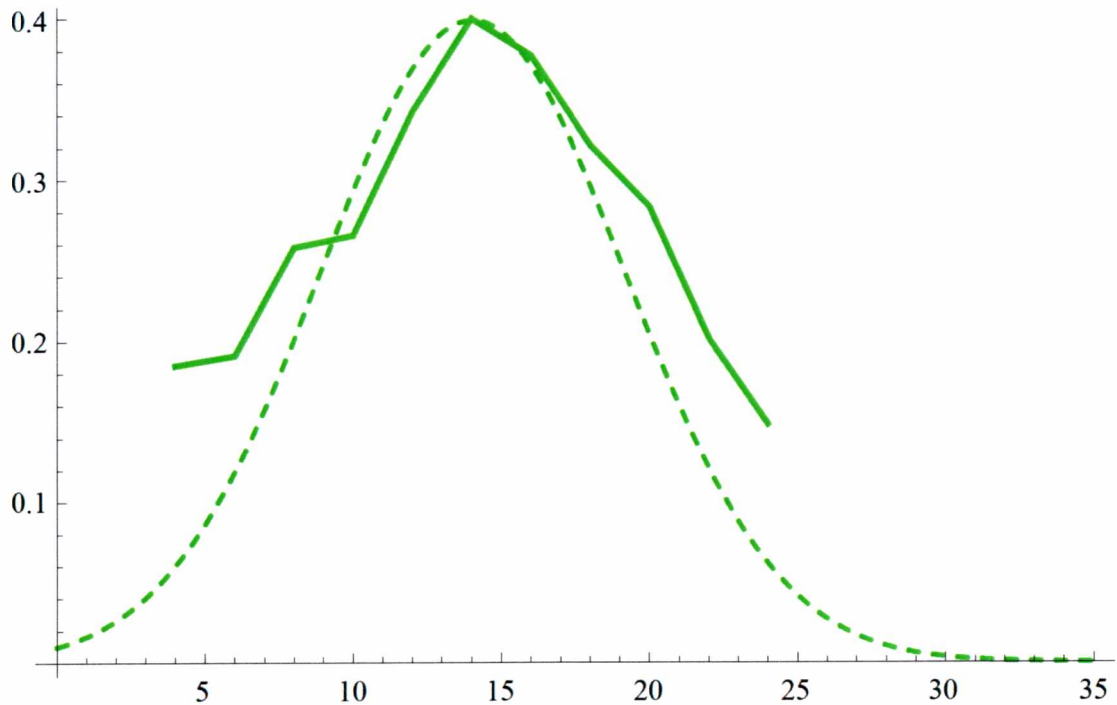
x, y = οι συντεταγμένες στο σύστημα αξόνων

μ = μέση τιμή της κατανομής και

σ = η διασπορά

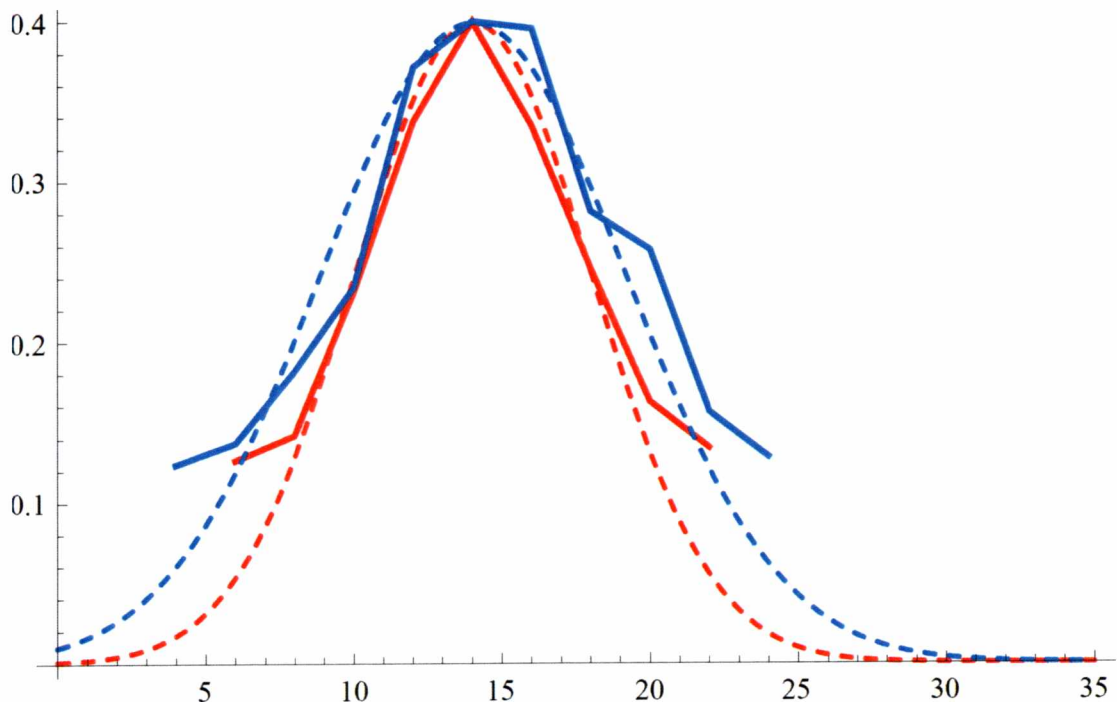
Μέσω του λογισμικού Mathematica, αδιαστατοποιώντας τις συνιστώσες της ταχύτητας προκειμένου να υπάρξει τρόπος σύγκρισης, προκύπτει για τη θέση $x =$

70mm το ακόλουθο γράφημα, όπου με διακεκομμένη παρουσιάζεται η προσέγγιση της καμπύλης των τιμών :



Γράφημα 5.3 Κατανομή με μέση τιμή $\mu = 14.72$, τυπική απόκλιση $\sigma = 2.54$ στη θέση $x = 70mm$.

Ενδεικτικά παρουσιάζονται και οι κατανομές στις ακόλουθες θέσεις :

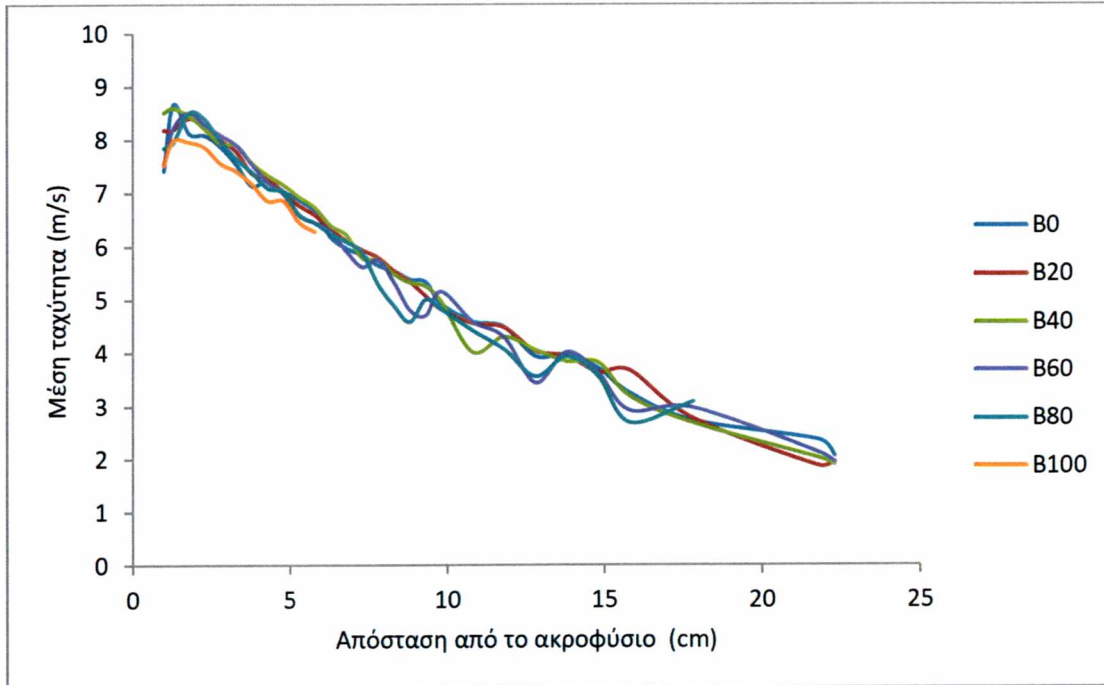


Γράφημα 5.4 Οι κατανομές στη θέση $x = 10mm$ με μέση τιμή $\mu = 14.037$, τυπική απόκλιση $\sigma = 4$ (κόκκινο) αντίστοιχα στη θέση $x = 5mm$ με $\mu = 14,037$ και $\sigma = 5.15$ (μπλε).

Αντίστοιχα κρατώντας σταθερές τις συντεταγμένες των y και z αξόνων και κινούμενοι μόνο κατά μήκος του x – άξονα προκύπτει το διάγραμμα μέσων ταχυτήτων για όλα τα μίγματα. Βασικές παραδοχές για αυτές τις μετρήσεις ήταν ότι :

- η κεντρική γραμμή παραμένει ευθεία και δεν καμπυλώνει λόγω της βαρύτητας.
- η απόσταση μετρήσεων από το μπεκ καθορίζεται από το σημείο σχηματισμού του σπρέι.

Έτσι το διάγραμμα που προκύπτει είναι το εξής :



Γράφημα 5.5 Γραφική παράσταση της μέσης ταχύτητας συναρτήσει της αποστάσεως από την οπή του ακροφυσίου.

Η πρώτη παρατήρηση αφορά τη καμπύλη στην αρχή του σχήματος. Φαίνεται να μην είναι λογικό να γίνεται έναρξη του ψεκασμού με μικρή ταχύτητα, στην συνέχεια η ταχύτητα να αυξάνεται και ύστερα από λίγα χιλιοστά να ακολουθεί φθίνουσα πορεία. Αυτό το παράδοξο είναι απόρροια του τρόπου μετρήσεών μας. Ακόμα και μετά από τα 10 mm όπου και ξεκινούν οι μετρήσεις εξακολουθεί να υπάρχει ένας συμπαγής πυρήνας ρευστού. Καθώς ο όγκος μετρήσεων του LDV, με τους σχηματιζόμενους κροσσούς, βρίσκεται στο εσωτερικό του πυρήνα δεν μπορεί να λάβει μέτρηση καθώς υπάρχει μία μόνο αντανάκλαση από το πυρήνα του πίδακα. Μπορεί όμως να καταγράψει τα σωματίδια που αποσπώνται πρώτα πριν όμως από τον πλήρη σχηματισμό του σπρέι. Επίσης πρόκειται για μία περιοχή με ισχυρούς στροβιλισμούς, που δεν δυνάμεθα να τους καταγράψουμε. Καθώς όμως προχωράμε τη σάρωση κατά $-x$ έχουμε τον πλήρη σχηματισμό του πίδακα και πλέον καταγράφουμε τις ταχύτητες των σωματιδίων. Στη συνέχεια οι υπολογισθείσες μέσες ταχύτητες μειώνονται κάτω από την επίδραση των τριβών με την ατμόσφαιρα καθώς και εκτρέπονται στο τέλος υπό την επίδραση της βαρύτητας.

Μία ακόμη παρατήρηση είναι ότι οι μέσες ταχύτητες τείνουν στο να μειώνονται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του μίγματος σε βιοκαύσιμο. Αν και δεν είναι ευδιάκριτη διαφορά επιβεβαιώνεται και από άλλες έρευνες (Lee, Park, Kwon) οι οποίες υποστηρίζουν ότι η πτώση της ταχύτητας οφείλεται στο υψηλότερο ιξώδες του biodiesel σε σχέση με το συμβατικό πετρέλαιο. Λόγω του ιξώδους αυξάνονται οι τριβές στο εσωτερικό του μπεκ και έτσι δικαιολογείται η μείωση της μέσης ταχύτητας της ροής.

Επιπρόσθετα λόγω και πάλι της διαφοράς του ιξώδους τα μίγματα με υψηλότερη συγκέντρωση σε βιοκαύσιμο τείνουν να είναι πιο ασταθή (βλ. B60 & B80). Το υψηλότερο ιξώδες έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγαλύτερα σφαιρίδια ρευστού τα οποία επηρεάζονται από την βαρύτητα και να ακολουθούν «πιο καμπυλόγραμμη τροχιά» ενώ υφίστανται υψηλότερες τριβές καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερη προβαλλόμενη επιφάνεια με αποτέλεσμα να επιβραδύνονται με υψηλότερο ρυθμό σε σχέση με τα μικρότερα σωματίδια.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις γίνονται πιο κατανοητές αν εξετάσουμε το μήκος διείσδυσης του σπρέι στο εσωτερικό της υδροσύραγγας. Για παράδειγμα τα μίγματα B0, B20 και B40 διεισδύουν πάνω από 22 cm ενώ το B80 κατά 17.8 cm και τέλος το B100 του οποίου η ροή εκτράπηκε τόσο πολύ που δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν μετρήσεις για περισσότερα από 5.3 cm κατά τον άξονα x στο εσωτερικό της σύραγγας.

5.3 Θεωρητικοί Υπολογισμοί

Με δεδομένο ότι έχουμε ένα πρόβλημα ρευστοδυναμικής και θεωρώντας ότι ακριβώς στην έξοδο του εγχυτήρα το ρευστό μας δεν έχει προλάβει να διασπαστεί και να σχηματίσει σταγονίδια, τότε η μέση ταχύτητα εξόδου, θεωρώντας σταθερή μαζική παροχή και αγνοώντας τα φαινόμενα συμπίεστικότητας θα προκύπτει από τη σχέση :

$$\dot{m} = \rho * \bar{V} * A ,$$

όπου : ρ = η πυκνότητα του καυσίμου.

\bar{V} = η μέση ταχύτητα εξόδου του καυσίμου.

$A = \pi * \frac{D^2}{4}$, το εμβαδόν της επιφάνειας εξόδου του ακροφυσίου, διαμέτρου D.

Εν συνεχεία παρουσιάζονται οι υπολογισμοί για τους αριθμούς Weber, Reynolds και Ohnesorge αντίστοιχα για κάθε περίπτωση.

Παίρνοντας τα απαραίτητα δεδομένα από τον πίνακα ιδιοτήτων των μειγμάτων και καθώς γνωρίζουμε ότι η μαζική παροχή του ακροφυσίου είναι 2.37 kg/h και θεωρώντας σταθερή πυκνότητα αέρα η οποία ισούται με 1.2 kg/m³, έχουμε ότι :

• B5 :

$$\bar{V}_{B5} = \frac{2.37 \text{ (kg/h)}}{828 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}}\right) * 3.14 * \frac{0.0002^2}{4} \text{ (m}^2\text{)}} = 25.32 \text{ m/s}$$

$$We_{B5} = \frac{1.2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 25.32^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 0.0002 \text{ (m)}}{0.02600 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)} = 5.91$$

$$Re_{B5} = \frac{25.32 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * 1000000 \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{m}^2}\right)}{2.693 \text{ (mm}^2 \text{ /s)}} * 0.0002 \text{ (m)} = 1880.43$$

$$Oh_{B5} = \frac{\left[\frac{828}{1.2} * 5.91\right]^{0.5}}{1880.43} = 0.034$$

• B20 :

$$\bar{V}_{B20} = \frac{2.37 \text{ (kg/h)}}{840 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}}\right) * 3.14 * \frac{0.0002^2}{4} \text{ (m}^2\text{)}} = 24.96 \text{ m/s}$$

$$We_{B20} = \frac{1.2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 24.96^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 0.0002 \text{ (m)}}{0.02637 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)} = 5.67$$

$$Re_{B20} = \frac{24.96 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * 1000000 \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{m}^2}\right)}{3.039 \text{ (mm}^2 \text{ /s)}} * 0.0002 \text{ (m)} = 1642.64$$

$$Oh_{B20} = \frac{\left[\frac{840}{1.2} * 5.67\right]^{0.5}}{1642.64} = 0.038$$

• B40 :

$$\bar{V}_{B40} = \frac{2.37 \text{ (kg/h)}}{852 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}}\right) * 3.14 * \frac{0.0002^2}{4} \text{ (m}^2\text{)}} = 24.59 \text{ m/s}$$

$$We_{B40} = \frac{1.2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 24.59^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 0.0002 \text{ (m)}}{0.02674 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)} = 5.42$$

$$Re_{B40} = \frac{24.59 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * 1000000 \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{m}^2}\right)}{3.384 \text{ (mm}^2 \text{ /s)}} * 0.0002 \text{ (m)} = 1453.31$$

$$Oh_{B40} = \frac{[\frac{852}{1.2} * 5.42]^{0.5}}{1453.31} = 0.042$$

• B60 :

$$\bar{V}_{B60} = \frac{2.37 (kg/h)}{864 (\frac{kg}{m^3}) * 3600 (\frac{s}{h}) * 3.14 * \frac{0.0002^2}{4} (m^2)} = 24.25 \text{ m/s}$$

$$We_{B60} = \frac{1.2 (\frac{kg}{m^3}) * 24.25^2 (\frac{m}{s})^2 * 0.0002 (m)}{0.02711 (\frac{N}{m})} = 5.20$$

$$Re_{B60} = \frac{24.25 (\frac{m}{s}) * 1000000 (\frac{mm^2}{m^2})}{3.730 (mm^2 / s)} * 0.0002 (m) = 1300.26$$

$$Oh_{B60} = \frac{[\frac{864}{1.2} * 5.2]^{0.5}}{1300.26} = 0.047$$

• B80 :

$$\bar{V}_{B80} = \frac{2.37 (kg/h)}{876 (\frac{kg}{m^3}) * 3600 (\frac{s}{h}) * 3.14 * \frac{0.0002^2}{4} (m^2)} = 23.92 \text{ m/s}$$

$$We_{B80} = \frac{1.2 (\frac{kg}{m^3}) * 23.92^2 (\frac{m}{s})^2 * 0.0002 (m)}{0.02748 (\frac{N}{m})} = 4.99$$

$$Re_{B80} = \frac{23.92 (\frac{m}{s}) * 1000000 (\frac{mm^2}{m^2})}{4.075 (mm / s)} * 0.0002 (m) = 1173.98$$

$$Oh_{B80} = \frac{[\frac{876}{1.2} * 4.99]^{0.5}}{1173.98} = 0.051$$

• B100 :

$$\bar{V}_{B100} = \frac{2.37 (kg/h)}{880 (\frac{kg}{m^3}) * 3600 (\frac{s}{h}) * 3.14 * \frac{0.0002^2}{4} (m^2)} = 23.82 \text{ m/s}$$

$$We_{B80} = \frac{1.2 (\frac{kg}{m^3}) * 23.82^2 (\frac{m}{s})^2 * 0.0002 (m)}{0.028 (\frac{N}{m})} = 4.86$$

$$Re_{B100} = \frac{23.82 (\frac{m}{s}) * 1000000 (\frac{mm^2}{m^2})}{4.420 (mm^2 / s)} * 0.0002 (m) = 1077.83$$

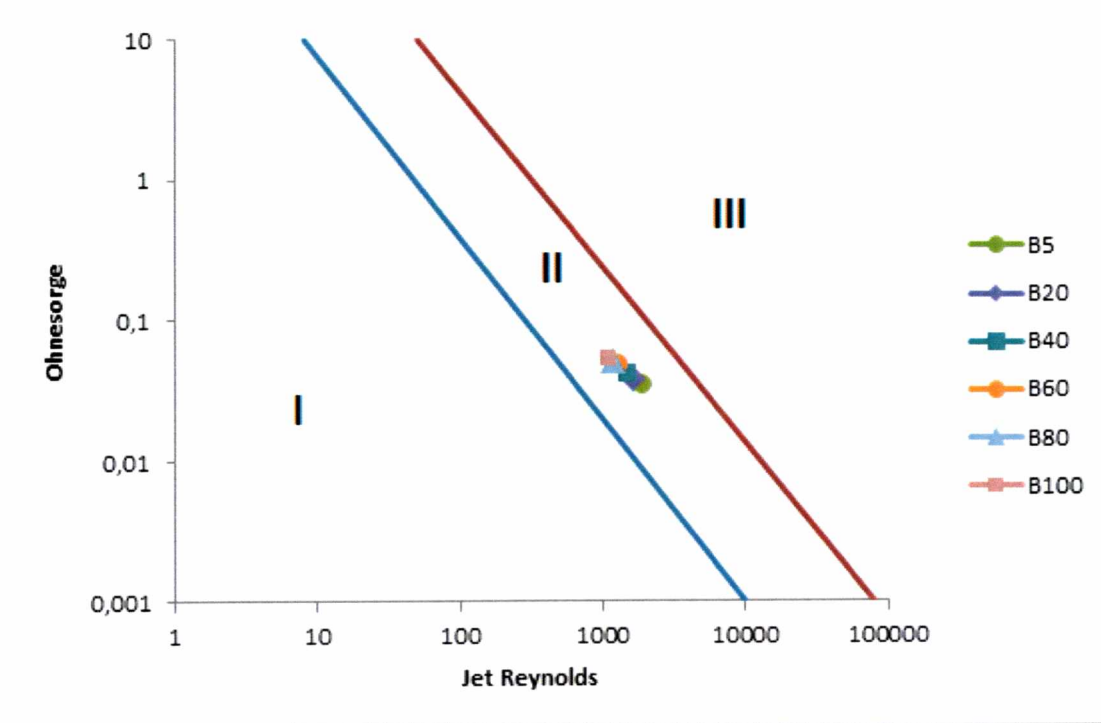
$$Oh_{B100} = \frac{\left[\frac{880}{1.2} * 4.86\right]^{0.5}}{1077.83} = 0.055$$

Τα παραπάνω αποτελέσματα συνοψίζονται ως εξής :

Μίγμα	We (Weber)	Re (Reynolds)	Oh (Ohnesorg)
B5	5.91	1880.43	0.034
B20	5.67	1642.64	0.038
B40	5.42	1453.31	0.042
B60	5.2	1330.26	0.047
B80	4.99	1173.98	0.051
B100	4.86	1077.83	0.055

Πίνακας 5.6 Συνοπτική παρουσίαση των ανωτέρω υπολογισμών .

Τοποθετώντας τις υπολογισθέντες τιμές στο διάγραμμα Re – Oh έχουμε ότι :



Γράφημα 5.7 Απεικόνιση των υπολογισθέντων σημείων Oh-Re στο λογαριθμικό διάγραμμα (1^ηθεώρηση) .

5.4 Εναλλακτικός υπολογισμός :^[17]

Πραγματοποιώντας τις πράξεις όμως παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση με το θεωρητικό σκέλος της εργασίας καθώς ο αριθμός Weber θα πρέπει να ισούται τουλάχιστον με δώδεκα. Επομένως για να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί κατεφεύγουμε σε εναλλακτικό υπολογισμό από τη θεωρία των Μ.Ε.Κ.

Ο δεύτερος ρόπος υπολογισμού της ταχύτητας εγχύσεως του καυσίμου από το μπεκ που παρουσιάζεται προκύπτει από τη ανάλυση των εμβολοφόρων μηχανών. Η μέση ταχύτητα διαφυγής του καυσίμου από την οπή του εγχυτήρα υπολογίζεται ως :

$$C = \varepsilon * \sqrt{(2 * \Delta p_k / \rho_B)}$$

Όπου :

ε = συντελεστής εκροής

$\Delta p_k = p_k - p$ = η εκάστοτε διαφορά πίεσεως του καυσίμου που εγχέεται

ρ_B = η πυκνότητα του καυσίμου

C = μέση ταχύτητα εγχύσεως

Ο συντελεστής εκροής ορίζεται ως ακολούθως :

$$\varepsilon = 0.592 + \frac{4.5}{\sqrt{Re}}$$

Ως αφετηρία για την έναρξη των υπολογισμών μας θα θεωρήσουμε τον αριθμό Reynolds γνωστό, από τη περίπτωση της μη – συμπίεσότητας, προκειμένου να προκύψει ο συντελεστής εκροής και η αναθεωρημένη ταχύτητα εξόδου.

Για το B5 :

$$\varepsilon_5 = 0.592 + \frac{4.5}{\sqrt{1880.43}} = 0.695$$

$$C_5 = 0.695 * (2 * 14 * 10^5 \frac{N}{m^2} / 828 \frac{kg}{m^3})^{1/2} = 0.695 * (28 * 10^5 \frac{kg \cdot m}{s^2} / 828 \frac{kg}{m^3})^{1/2} = 40.46 \text{ m/s.}$$

Ομοίως και για τα υπόλοιπα μίγματα :

Για το B20 :

$$\varepsilon_{20} = 0.592 + \frac{4.5}{\sqrt{1642.64}} = 0.703$$

$$C_{20} = 0.703 * (2 * 14 * 10^5 \frac{N}{m^2} / 840 \frac{kg}{m^3})^{1/2} = 40.58 \text{ m/s.}$$

Για το B40 :

$$\varepsilon_{40} = 0.592 + \frac{4.5}{\sqrt{1453.31}} = 0.71$$

$$C_{40} = 0.71 * (2 * 14 * 10^5 \frac{N}{m^2} / 852 \frac{kg}{m^3})^{1/2} = 40.7 \text{ m/s.}$$

Για το B60 :

$$\varepsilon_{60} = 0.592 + \frac{4.5}{\sqrt{1330.26}} = 0.715$$

$$C_{60} = 0.715 * (2 * 14 * 10^5 \frac{N}{m^2} / 864 \frac{kg}{m^3})^{1/2} = 40.69 \text{ m/s.}$$

Για το B80 :

$$\varepsilon_{80} = 0.592 + \frac{4.5}{\sqrt{1173.98}} = 0.723$$

$$C_{80} = 0.723 * (2 * 14 * 10^5 \frac{N}{m^2} / 876 \frac{kg}{m^3})^{1/2} = 40.87 \text{ m/s.}$$

Για το B100 :

$$\varepsilon_{60} = 0.592 + \frac{4.5}{\sqrt{1077.83}} = 0.729$$

$$C_{100} = (2 * 14 * 10^5 \frac{N}{m^2} / 880 \frac{kg}{m^3})^{1/2} = 41.11 \text{ m/s.}$$

Γνωρίζοντας όμως ότι οι υπολογισμοί ως αφητηρία έχουν την υπόθεση της μη-συμπίεστότητας ακολουθείται μία επαναληπτική διαδικασία για την εξομάλυνση αυτού του αρχικού σφάλματος. Συνεπώς οι τιμές για το συντελεστή εκροής, τον αριθμό Reynolds και τη ταχύτητα εξόδου συγκλίνουν στις ακόλουθες :

	Αρχική Υπόθεση			1 ^η επανάληψη			2 ^η επανάληψη			3 ^η επανάληψη			4 ^η επανάληψη		
	Re	ε	c	Re'	ε'	c'	Re'	ε'	c'	Re'	ε'	c'	Re'	ε'	c'
B5	1880.43	0.69	40.46	3004.86	0.67	39.2	2911.23	0.67	39.27	...	...	...	2916.53	0.67	39.27
B20	1642.64	0.70	40.59	2671.24	0.68	39.2	2580.19	0.68	39.29	...	...	...	2585.6	0.68	39.28
B40	1453.31	0.71	40.7	2405.7	0.68	39.19	2316.61	0.68	39.29	...	...	...	2322.13	0.68	39.29
B60	1330.26	0.71	40.72	2183.63	0.68	39.18	2100.97	0.69	39.28	...	...	...	2106.29	0.69	39.28
B80	1173.98	0.72	40.89	2015.75	0.69	39.13	1929.07	0.69	39.26	...	...	...	1934.82	0.69	39.25
B100	1077.83	0.72	41.12	1860.86	0.69	39.27	1777.26	0.69	39.41	...	...	...	1782.98	0.7	39.4

Πίνακας 5.8 Παρουσίαση αποτελεσμάτων, από τη υπολογιστική μέθοδο, του αριθμού Reynolds, του συντελεστή εκροής και της ταχύτητας εξόδου.

Αντίστοιχα οι αναθεωρημένες παράμετροι είναι :

$$We_{B5} = \frac{1.2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 39.27^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2 * 0.0002(m)}{0.02600 \left(\frac{N}{m} \right)} = 14.23$$

$$We_{B20} = \frac{1.2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 39.28^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2 * 0.0002(m)}{0.02637 \left(\frac{N}{m} \right)} = 14.04$$

$$We_{B40} = \frac{1.2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 39.29^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2 * 0.0002(m)}{0.02674 \left(\frac{N}{m} \right)} = 13.85$$

$$We_{B60} = \frac{1.2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 39.28^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2 * 0.0002(m)}{0.02711 \left(\frac{N}{m} \right)} = 13.66$$

$$We_{B80} = \frac{1.2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 39.25^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2 * 0.0002(m)}{0.02748 \left(\frac{N}{m} \right)} = 13.45$$

$$We_{B100} = \frac{1.2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 39.4^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2 * 0.0002(m)}{0.028 \left(\frac{N}{m} \right)} = 13.3$$

Ο αριθμός Weber τείνει μας δείχνει εξ' ορισμού τη τάση που έχει το ρευστό, λόγω αεροδυναμικών αντιστάσεων, να σχηματίζει σταγονίδια. Από τους παραπάνω υπολογισμούς παρατηρούμε ότι ενώ η ταχύτητα εξόδου παρουσιάζει μεν διακυμάνσεις λόγω επιδράσης των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων, ο αριθμός Weber μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του μίγματος, δηλαδή δυσχεραίνει ο σχηματισμός σταγονιδίων κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται από τις πειραματικές μετρήσεις καθώς μετρούμε λιγότερα και μεγαλύτερα σταγονίδια όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε βιοκαύσιμο. Αντίστοιχα οι αριθμοί Ohnesorge που προκύπτουν είναι :

$$Oh_5 = \frac{\left[\left(\frac{\rho_l}{\rho_a} \right) * We \right]^{0.5}}{Re} = \frac{\left[\left(\frac{828}{1.2} \right) * 14.23 \right]^{0.5}}{2916.53} = 0.034$$

$$Oh_{20} = \frac{\left[\left(\frac{840}{1.2} \right) * 14.04 \right]^{0.5}}{2585.6} = 0.0383$$

$$Oh_{B40} = \frac{\left[\frac{852}{1.2} * 13.85 \right]^{0.5}}{2322.13} = 0.042$$

$$Oh_{B60} = \frac{\left[\frac{864}{1.2} * 13.66 \right]^{0.5}}{2106.29} = 0.047$$

$$Oh_{B80} = \frac{\left[\frac{876}{1.2} * 13.45 \right]^{0.5}}{1934.82} = 0.051$$

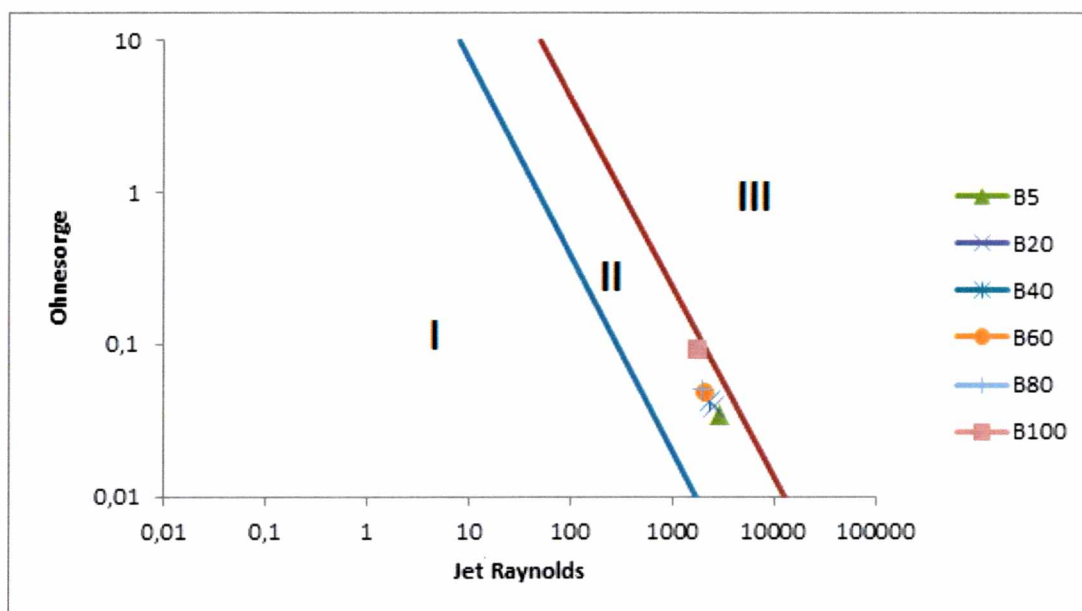
$$Oh_{B100} = \frac{\left[\frac{880}{1.2} * 13.3\right]^{0.5}}{1077.83} = 0.091$$

Συνοψίζοντας :

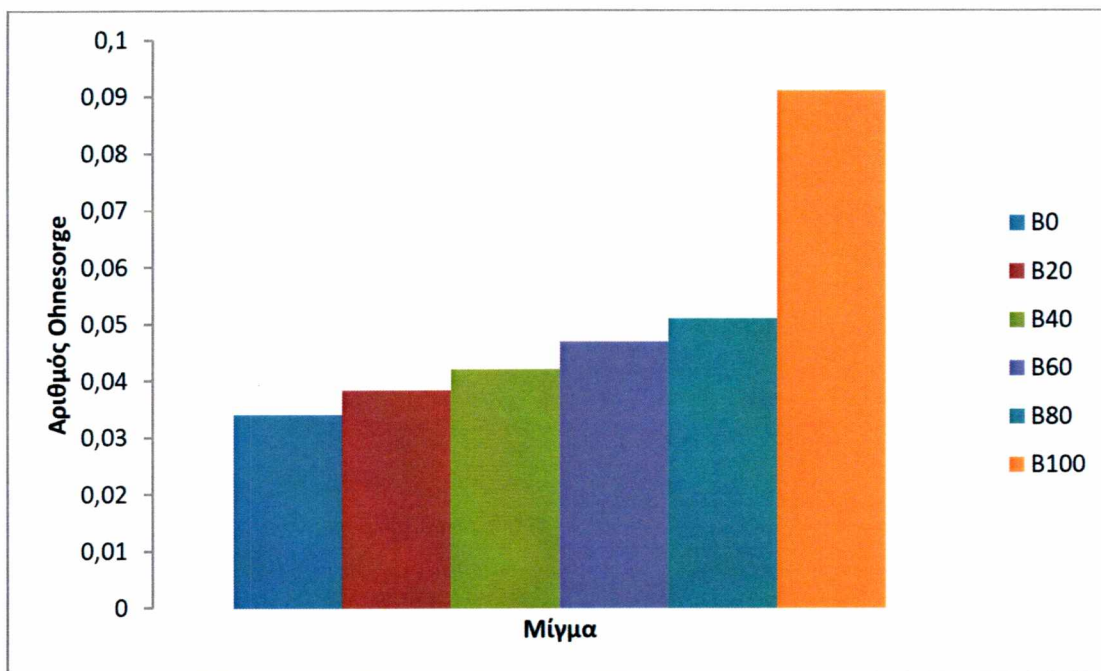
Μίγμα	We (Weber)	Re (Reynolds)	Oh (Ohnesorg)
B5	14.23	2916.53	0.034
B20	14.04	2585.6	0.0383
B40	13.85	2322.13	0.042
B60	13.66	2106.29	0.047
B80	13.45	1934.82	0.051
B100	13.3	1782.98	0.091

Πίνακας 5.9 Συνοπτική παρουσίαση της αναθεωρημένης ακολουθίας υπολογισμών .

Εν τέλει έπειτα από τους απραπάνω υπολογισμούς το διάγραμμα Oh – Re που προκύπτει είναι :



Γράφημα 5.10 Απεικόνιση των υπολογισθέντων σημείων Oh-Re στο λογαριθμικό διάγραμμα (2^η θεώρηση)



Γράφημα 5.11 Αυξημένη επίδραση του ιξώδους του ρευστού κατά τη δημιουργία σταγονιδίων. Ως συνέπεια αυτού οδηγούμαστε σε μεγαλύτερα σταγονίδια.

Παρατηρούμε ότι ανεξαρτήτως του μίγματος που χρησιμοποιήσαμε οι τιμές που προέκυψαν από τους υπολογισμούς βρίσκονται την δεύτερη περιοχή του διαγράμματος. Αυτό συνεπάγεται ότι η διάσπαση του πίδακα σε σταγονίδια συμβαίνει κυρίως λόγω των αεροδυναμικών αντιστάσεων. Επιπρόσθετα οι τιμές αυτές είναι συγκεντρωμένες σε μία περιοχή χωρίς μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους. Έτσι μπορούμε να εξαγάγουμε το συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά των μιγμάτων, όσον αφορά τη περιοχή ανάμειξης, είναι παραπλήσια. Για τη περίπτωση όπου υπάρχει απόκλιση στη ανωτέρω διαδικασία πραγματοποιήθηκε επιπρόσθετος υπολογισμός για τη περίπτωση όπου ο συντελεστής εκροής ισούται με τη μονάδα (υπόμνημα).

5.5 Υπολογισμός της Μέσης Διαμέτρου Σταγονιδίων

Θεωρώντας ότι η κεντρική γραμμή του ψεκασμού είναι ευθεία και η ίδια για όλα τα μίγματα το επόμενο βήμα ήταν να ακολουθείσει εξαγωγή των δεδομένων από τις μετρήσεις προκειμένου να αποκτήσουμε τις τιμές της διαμέτρου και της κατανομής των σωματιδίων.

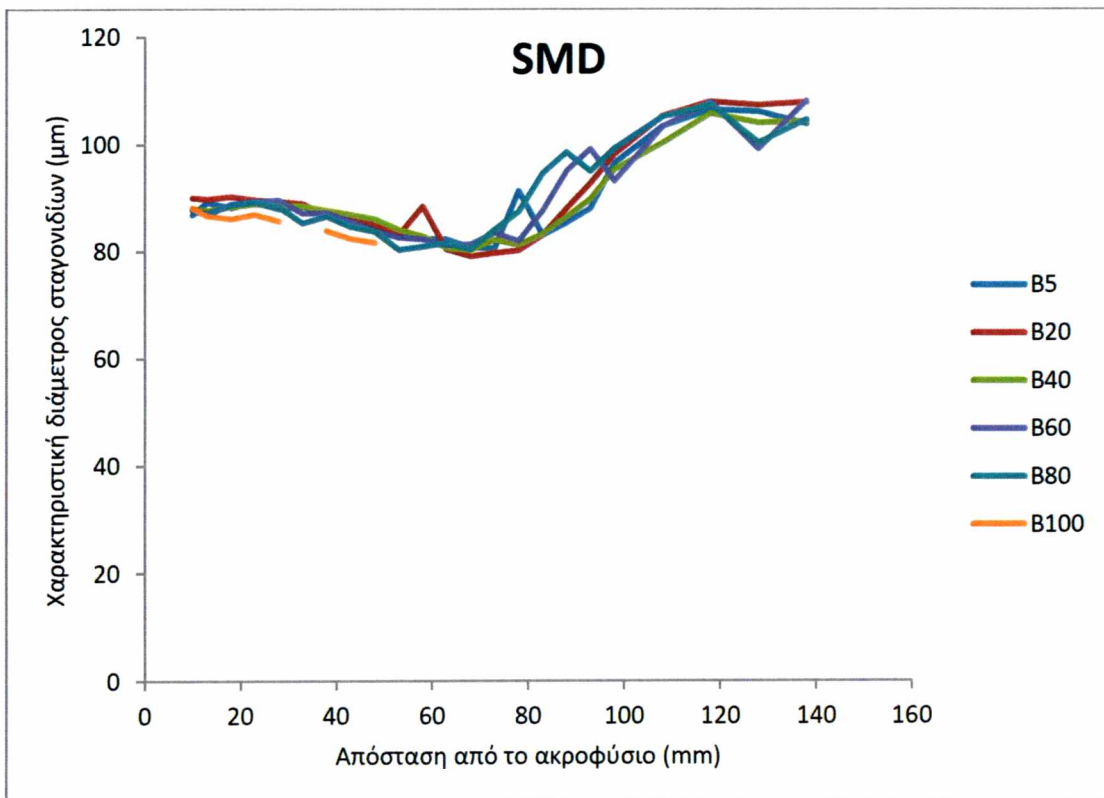
Όσον αφορά το μέγεθος των παραγόμενων σταγονιδίων μπορούμε να εξετάσουμε τρία χαρακτηριστικά μεγέθη^[7]: Μέση διάμετρος του Sauter (SMD), Αριθμητική Μέση Διάμετρος (AMD) και Ογκομετρική Μέση Διάμετρος (VMD). Τα παραπάνω μεγέθη ορίζονται ως ακολούθως :

$$SMD = \frac{\sum_i N_i * D_i^3}{\sum_i N_i * D_i^2}$$

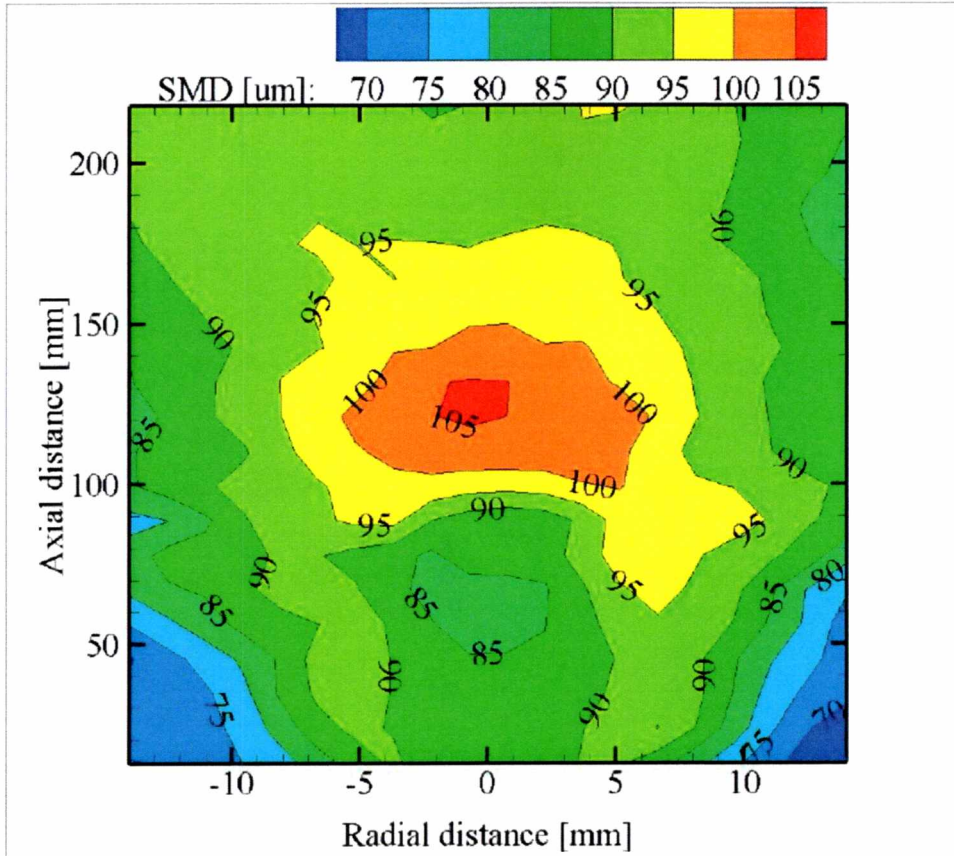
$$VMD = \left(\frac{\sum_i N_i * D_i^3}{\sum_i N_i} \right)^{1/3}$$

$$AMD = \frac{\sum_i N_i * D_i}{\sum_i N_i}$$

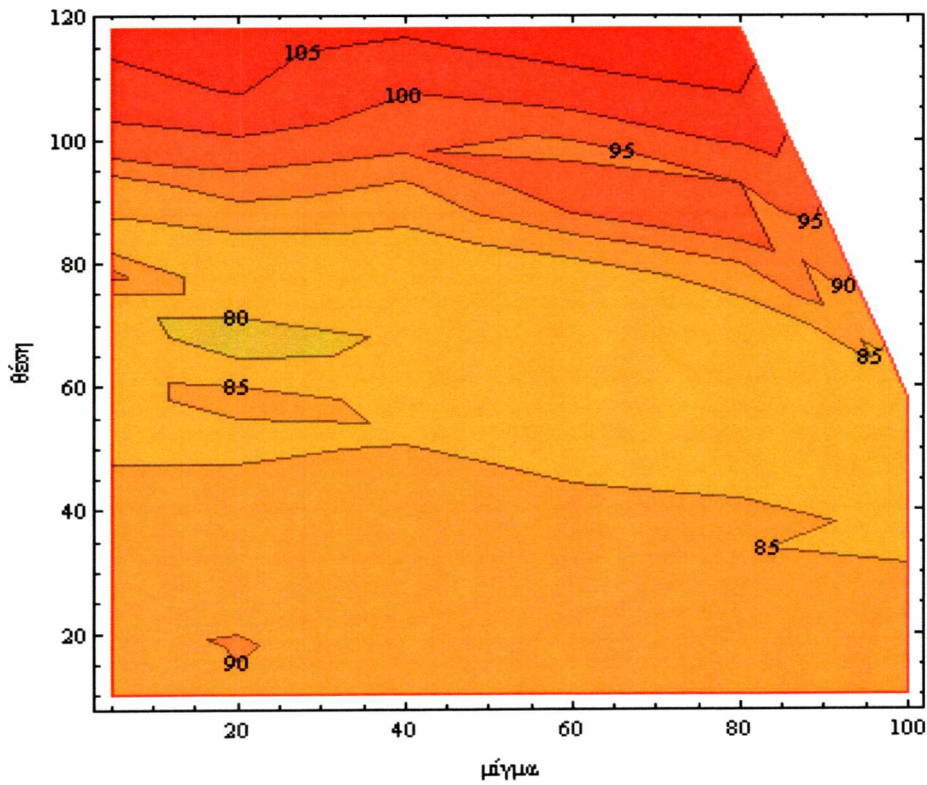
Πρόκειται για μία εκτίμηση για τη μέση διάμετρο των σταγονιδίων που παράγονται κατά τη διάσπαση της ροής. Δεν πρόκειται για διαφορετικούς χαρακτηριστικούς αριθμούς για την περιγραφή του νέφους του καυσίμου, πρόκειται μόνο για διαφορετικό τρόπο υπολογισμού ενός μεγέθους, της μέσης διαμέτρου της σχηματιζόμενης σταγόνας καυσίμου, το οποίο αποτελεί κρίσιμο μέγεθος για το ποσοστό ανάμειξης αέρα – καυσίμου και εν τέλει για την ταχύτητα της καύσης. Αυτό γίνεται εμφανές στα ακόλουθα γραφήματα :



Γράφημα 5.12 Απεικόνιση της χαρακτηριστικής διαμέτρου του Sauter των σταγονιδίων σε σχέση με την απόσταση από το ακροφύσιο.

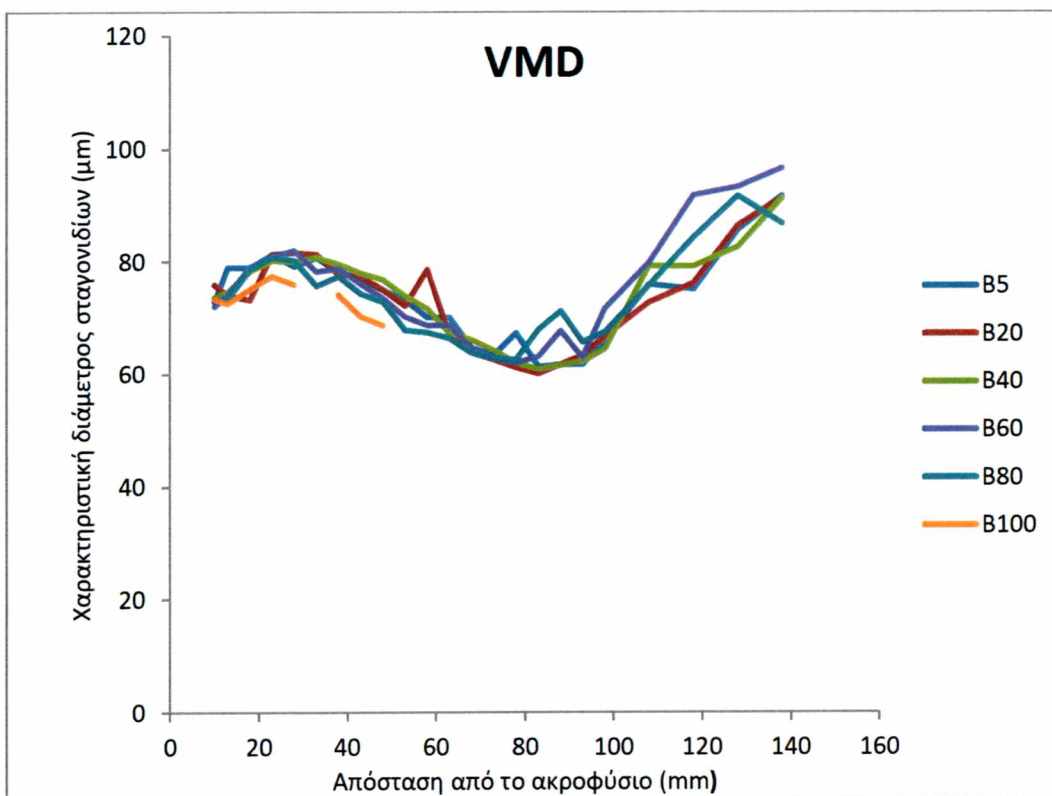


Γράφημα 5.13 Συνοπτική κατανομή της SMD διαμέτρου σε τομή κάθετη στον άξονα $-z$.^[23]

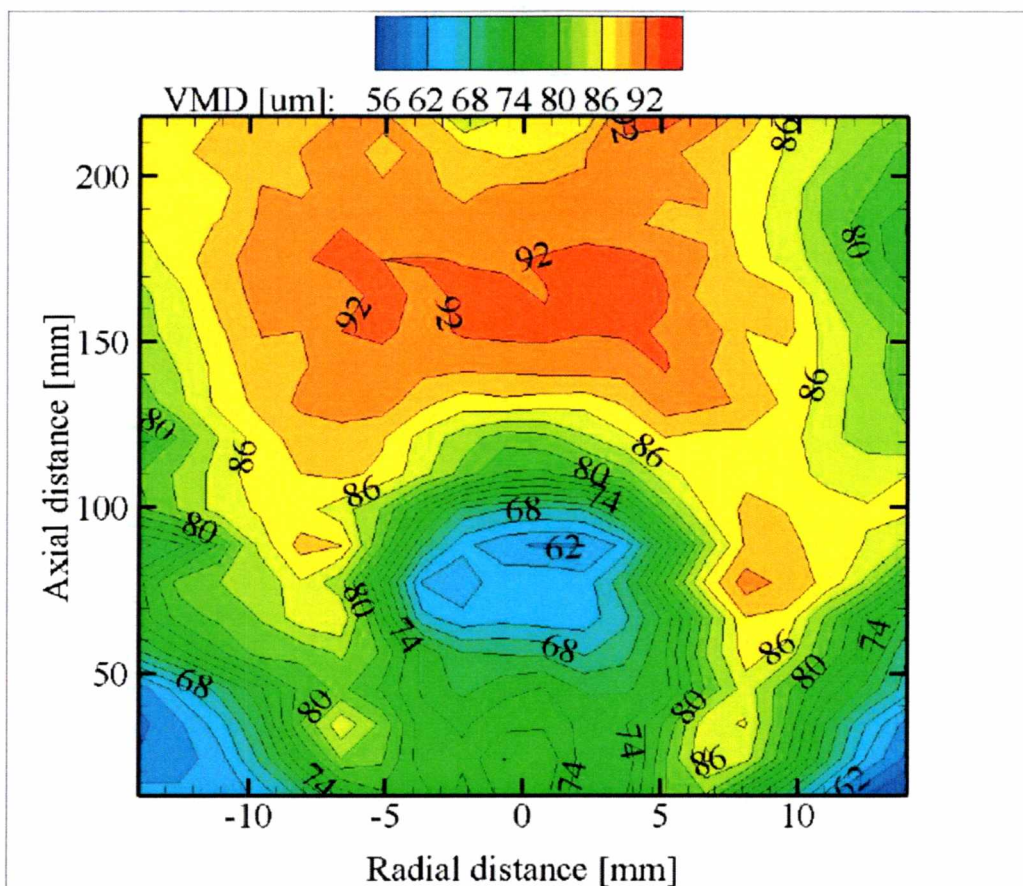


Γράφημα 5.14 Ισομερείς καμπύλες της διαμέτρου (SMD) των μιγμάτων .

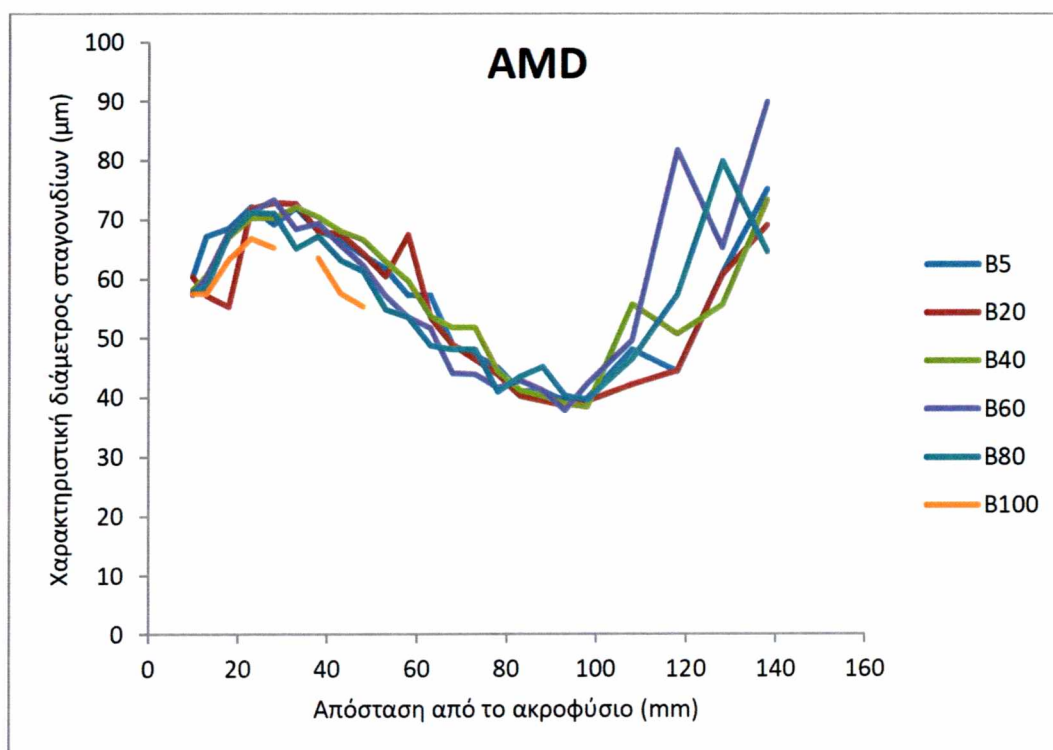
Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις ξεκινούν από τη θέση $x = 10\text{mm}$. Αυτό οφείλεται στη φύση του του μετρητικού οργάνου, του laser. Προκειμένου να υπάρχει καταγραφή, όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, το laser μετρά τις αντανάκλασεις των σταγονιδίων. Όμως για να υπάρχουν οι σκεδάσεις αυτές η ροή θα πρέπει να έχει διασπαστεί σε νέφος κάτι που δεν συμβαίνει ακαριαία στην έξοδο του μπεκ. Στην έξοδο του εγχυτήρα υπάρχει ένας συμπαγής κώνος ρευστού ο οποίος διασπάται μετέπειτα σε μικροσταγονίδια και στο εσωτερικού του οποίου δεν μπορούμε να έχουμε καταγραφή. Γι' αυτό το λόγω κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ορίστηκε η απόσταση του 1cm προκειμένου να αρχίσει να σχηματίζεται ένας επαρκής αριθμός σταγόνων και να υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα.



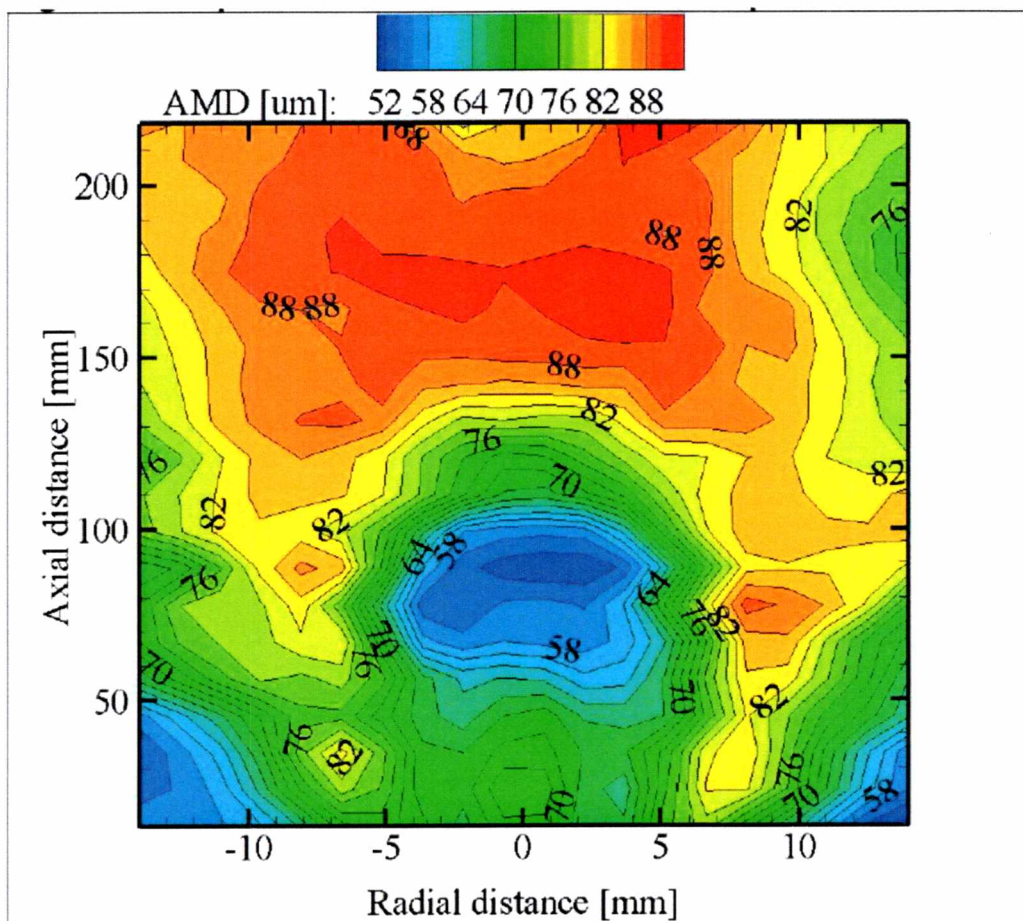
Γράφημα 5.15 Απεικόνιση της ογκομετρικής χαρακτηριστικής διαμέτρου των σφαιριδίων(παραδοχή) σε σχέση με την απόσταση από το ακροφύσιο.



Γράφημα 5.16 Συνοπτική κατανομή της VMD διαμέτρων σε τομή κάθετη στον άξονα $-z$.^[23]

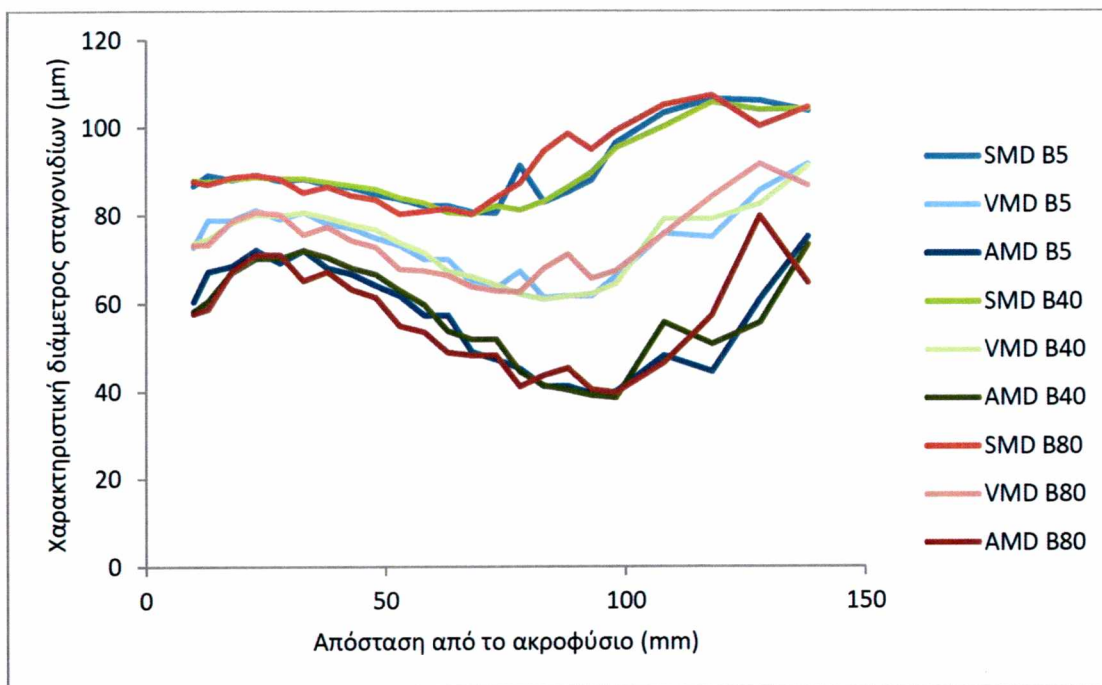


Γράφημα 5.17 Απεικόνιση της μέσης αριθμητικής διαμέτρων των σταγονιδίων σε σχέση με την απόσταση από το ακροφύσιο.



Γράφημα 5.18 Συνοπτική κατανομή της AMD διαμέτρου σε τομή κάθετη στον άξονα $-z$.^[23]

Στα παραπάνω γραφήματα απεικονίζεται η εξέλιξη των SMD, VMD και AMD παραμέτρων κατά μήκος της αξονικής απόστασης από το ακροφύσιο. Οι τρεις αυτές κατανομές παρατηρούμε ότι ακολουθούν την ίδια τάση αυξομείωσης με μικρή απόκλιση. Αυτή η παρατήρηση έρχεται αντιμέτωπη με ότι θα περιμέναμε από την θεωρία. Εφόσον το biodiesel έχει υψηλότερη επιφανειακή τάση θα αναμέναμε ότι το μέγεθος των σταγονιδίων θα αυξάνεται, όσο κινούμαστε από το B0 στο B100. Όμως από το B60 μίγμα και όσο αυξάνονταν η εκάστοτε περιεκτικότητα σε biodiesel η αντλία δεν μπορούσε να ανταποκριθεί επαρκώς στις διαφορετικές εντατικές ιδιότητες του ρευστού με αποτέλεσμα να μην έχουμε απόλυτα αξιόπιστες μετρήσεις. Αποκορύφωμα αποτελεί η περίπτωση του καθαρού biodiesel όπου δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν μετρήσεις στις προαποφασισμένες θέσεις καθώς λόγω της επίδρασης της βαρύτητας η ροή γίνονταν καμπυλόγραμμη (άλλαξε η κεντρική γραμμή μετρήσεων) ενώ το πλήθος των δημιουργώμενων σωματιδίων ήταν πάρα πολύ μικρό.



Γράφημα 5.19 Συγκριτική παρουσίαση των ανωτέρω γραφημάτων.

Εξετάζοντας τις παραπάνω συγκεντρωτικές καμπύλες γίνεται αντιληπτό ότι η διάσπαση σε σταγονίδια ξεκινά από τη θέση $x = 25\text{mm}$ και συνεχίζεται μέχρι περίπου και τη θέση $x = 85\text{mm}$. Στη συνέχεια τα σταγονίδια χάνουν την ορμή τους λόγω των αεροδυναμικών αντιστάσεων και δεν μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω. Επίσης παρατηρείται το φαινόμενο να αυξάνεται η χαρακτηριστική διάμετρος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός του ότι οι σταγόνες με χαμηλή ταχύτητα πλέον συγκρούονται μεταξύ τους και επαναενώνονται, δημιουργώντας έτσι μεγαλύτερα σφαιρίδια καυσίμου.

5.6 Τυπική Απόκλιση

Ένας άλλος τρόπος για να γίνει κατανοητή η διακύμανση της διαμέτρου των σωματιδίων αλλά και του πως επηρεάζεται από τις ιδιότητες του μίγματος είναι να υπολογίσουμε την διασπορά της. Δηλαδή να εξεταστεί διαστατική ομοιογένεια του εκνεφώματος. Από τον ορισμό της διασποράς έχουμε ότι :

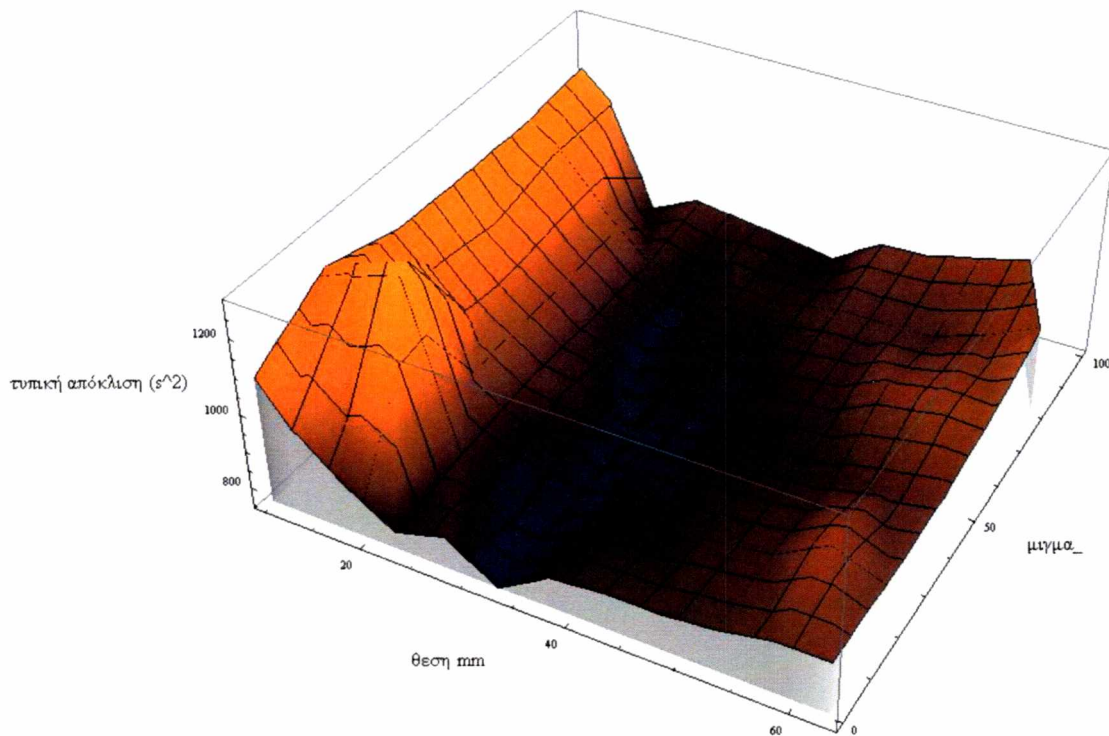
$$S^2 = \frac{\sum(D-\bar{D})^2 * n}{N}$$

Όπου:

D = η διάμετρος μίας ομάδας n σωματιδίων, όπως παρέχεται από τις μετρήσεις του laser.

\bar{D} = η μέση διάμετρος των N σωματιδίων τα οποία αποτελούν το σύνολο των μετρήσεων του εκάστοτε μίγματος για κάθε θέση.

Αναπαριστώντας όλο το εύρος των δεδομένων προκύπτει ότι :



Γράφημα 5.20 Πλήρης απεικόνιση της τυπικής απόκλισης ως συνάρτηση της θέσης και του μίγματος.

5.7 Παρατηρήσεις

Εξετάζοντας τα παραπάνω γραφήματα μπορούμε να καταλήξουμε σε δύο κύρια συμπεράσματα :

A) Το μίγμα B20 έχει την τάση να σχηματίζει μεγαλύτερο αριθμό σωματιδίων με μικρή μέση διάμετρο. Ειδικότερα για σημεία που βρίσκονται στη μεταβατική περιοχή σχηματισμού του σπρέι όπου γίνεται η ανάμειξη του αέρα με το καύσιμο και σχηματίζεται η απαρχή της φλόγας.

B) Επίσης παρατηρούνται σημεία στα διαγράμματα όπου ενώ η διάμετρος των σωματιδίων ακολουθεί φθίνουσα πορεία αυξάνει απότομα (βλ. π.χ. για διάμετρο 115 μm). Αυτό οφείλεται στο γεγονός του ότι καθώς οι ψεκασμοί πραγματοποιήθηκαν σε υδροσύραγγα όταν τα σωματίδια χάσουν την ορμή τους λόγω της οπισθέλκουσας δύναμης, συγκρούονται και ξαναενώνονται προς σχηματισμό μεγαλύτερων.

Γ) Τέλος παρατηρούμε ότι η περιοχή του B20 στη θέση $x = 18 \text{ mm}$ παρουσιάζει τη μέγιστη διασπορά. Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως ότι στην περιοχή αυτή τα σταγονίδια του μίγματος διασπώνται ταχύτερα σε σχέση με τις υπόλοιπες θέσεις προς σχηματισμό σταγονιδίων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν στο σημείο αυτό πλήθος σφαιριδίων με μικρότερη και μεγαλύτερη διάμετρο που δεν έχουν προλάβει ακόμα να διασπαστούν. Έπειτα στη θέση $x = 33 \text{ mm}$ η γραφική παράσταση παρουσιάζει το ελάχιστό της το οποίο διαφαίνεται να είναι περίπου το ίδιο για όλες τις περιπτώσεις μιγμάτων. Σε αυτό το σημείο έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της διάσπασης και πλέον επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ομοιογένεια. Εν συνεχεία η τιμή της παραπάνω παράστασης δείχνει να αυξάνεται. Το παραχθέντα σωματίδια έχοντας χάσει πλέον το μεγαλύτερο μέρος της ορμής τους λόγω των αεροδυναμικών αντιστάσεων σχηματίζουν ένα νέφος, εντός του οποίου πολλά σταγονίδια συγκρούονται μεταξύ τους και επαναενώνονται προς σχηματισμό μεγαλύτερων σφαιριδίων.

5.8 Εκτίμηση του χρόνου καύσης

Βέβαια ο τελικός στόχος κάθε ψεκασμού τέτοιου είδους είναι η καύση του μίγματος. Θεωρώντας τα σταγονίδια καυσίμου ως σφαίρες^[1] όπου η καύση τους ξεκινά από την εξωτερική επιφάνεια και συνεχίζει προς το κέντρο, είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι η ταχύτητα καύσης κάθε τέτοιου σταγονιδίου είναι ανάλογη με την διάμετρο της σφαίρας αυτής. Ένας τρόπος για τον υπολογισμό του χρόνου αυτού είναι^[1]:

$$t_{\text{καύσης}} = \frac{\rho_{\text{υγρ}} \cdot D_0^2}{8\Gamma \cdot \ln(1+B)}$$

Όπου :

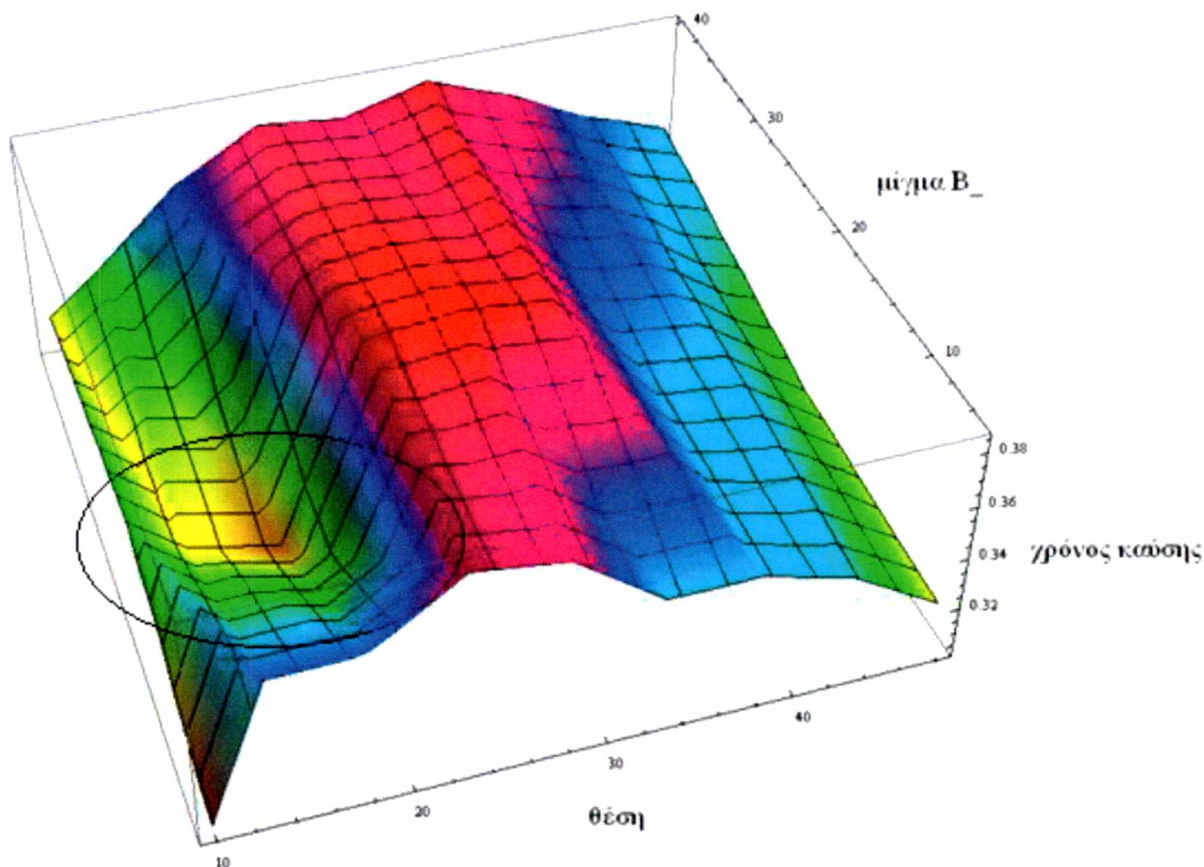
D_0 = η αρχική διάμετρος της σταγόνας

Γ, B = παράμετροι που εξαρτώνται από το είδος του καυσίμου και τις συνθήκες καύσης (*)

(*) = για υδρογονάνθρακες που καίγονται σε ατμοσφαιρικό αέρα $\Gamma \approx 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ και

$B \approx 5.15$.

Ουσιαστικά πρόκειται για μία απλοποιημένη εκτίμηση του χρόνου καύσης αλλά στην προκειμένη περίπτωση μας επιτρέπει τη ποιοτική σύγκριση των χρόνων καύσης μεταξύ των μιγμάτων παρά μία ακριβής λύση.



Γράφημα 5.21 : Τριδιάστατη απεικόνιση της ταχύτητας καύσης των μιγμάτων. Σκόπιμα παραλείπονται σημεία και θέσεις μετρήσεων για την καλύτερη εκκρίνεια του γραφήματος.

Στο παραπάνω διάγραμμα εστιάζουμε στην περιοχή που παρατηρήσαμε ότι έχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον από το διάγραμμα με τη διασπορά. Γίνεται πλέον εμφανές ότι η περιοχή που θίξαμε και προηγουμένως (B20, $x = 18 \text{ mm}$) εμφανίζει τον ελάχιστο χρόνο καύσης. Συνεπώς με ασφάλεια θα μπορούσαμε να πούμε ότι αυτό το μίγμα φαίνεται να παρουσιάζει ευνοϊκότερες ιδιότητες ακόμα και από το καθαρό diesel όσον αφορά την συμπεριφορά του ως καύσιμο. Όλοι οι ανωτέρω υπολογισμοί ισχύουν υπό τις εξής παραδοχές^[4] :

- ότι η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα είναι ομοιόμορφη.
- πίεση παραμένει αμετάβλητη.
- η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους 300K.

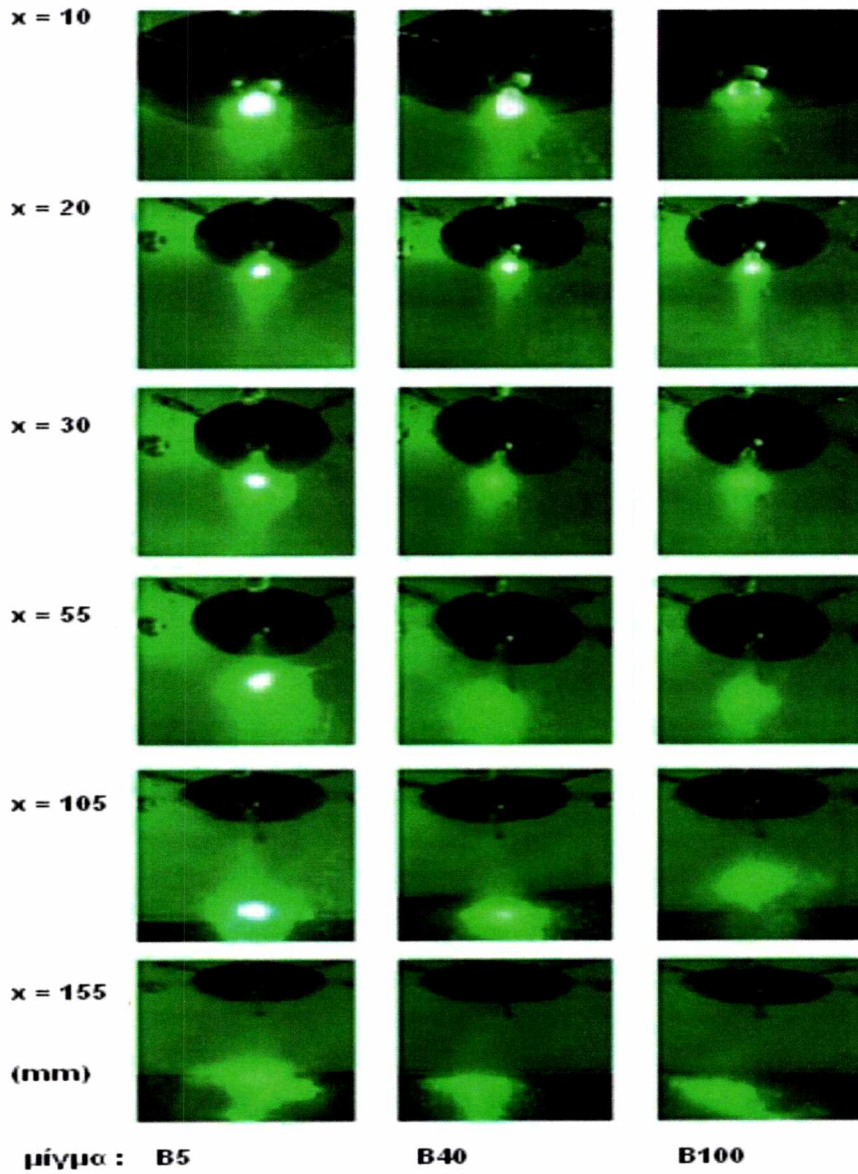
5.9 Οπτικοποίηση πειράματος

Τέλος, πέρα από τις μετρήσιμες και υπολογίσιμες διαφορές μεταξύ των εξετασμένων περιπτώσεων, προέκυψαν και οπτικές διαφορές στο σχηματιζόμενο εκνέφωμα. Κατά τη διάρκεια των ψεκασμών μέσω ενός ξεχωριστού laser που χρησιμοποιήθηκε μόνο γι' αυτό το σκοπό (plane laser) ορίσαμε κάθετα επίπεδα στο εσωτερικό του κώνου (στις ίδιες θέσεις μετρήσεων) που σχηματίζεται και με τη βοήθεια κάμερας, πραγματοποιήθηκε καταγραφή των πιο αισθητών οπτικά διαφορών. Τέτοιες διαφορές είναι η φωτεινότητα του σχηματιζόμενου ορατού κύκλου καθώς και το εμβαδόν του. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και η συσκευή παρουσιάζονται ακολούθως :

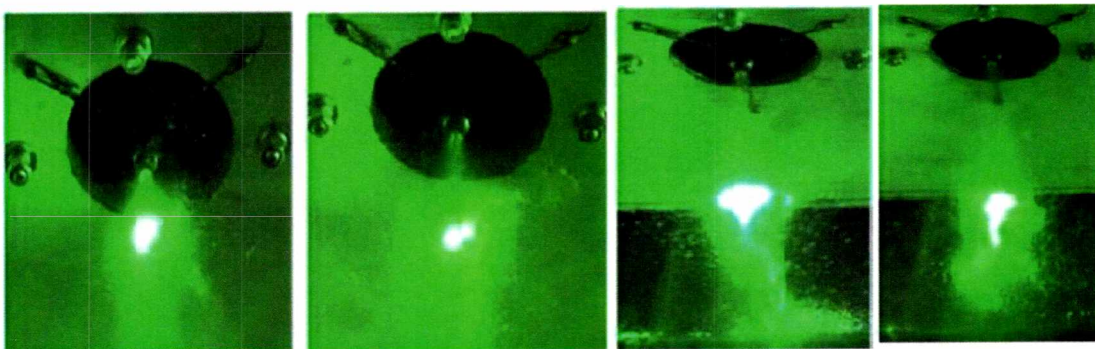


Χαρακτηριστικά του Plane Laser	
Κατασκευαστής	La Vision
Τύπος	Επίπεδο laser
Μέγιστη ισχύς	1,277 W
Συχνότητα	10000 Hz
Μήκος κύματος	532 nm
Χρώμα δέσμης	Πράσινο

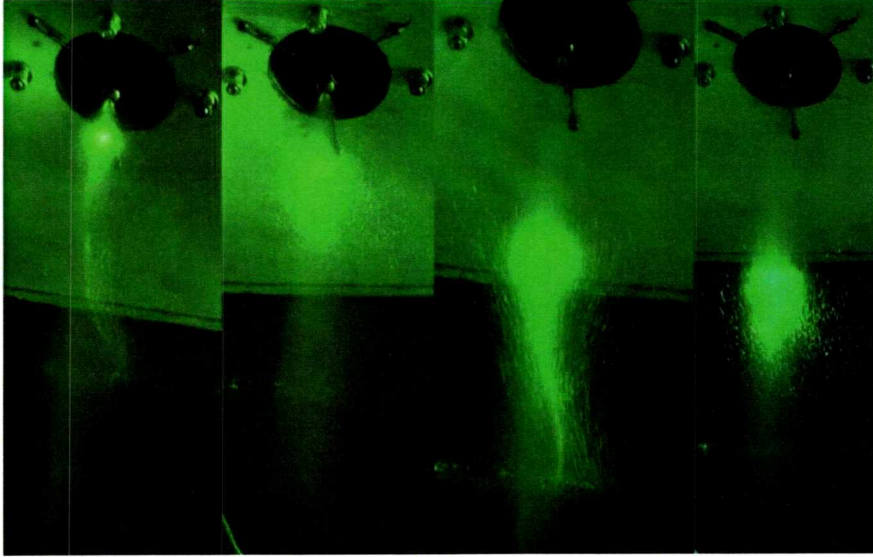
Φωτογραφία 5.22 Το επίπεδο laser που μας επέτρεψε να πραγματοποιηθεί η οπτικοποίηση του πειράματος.



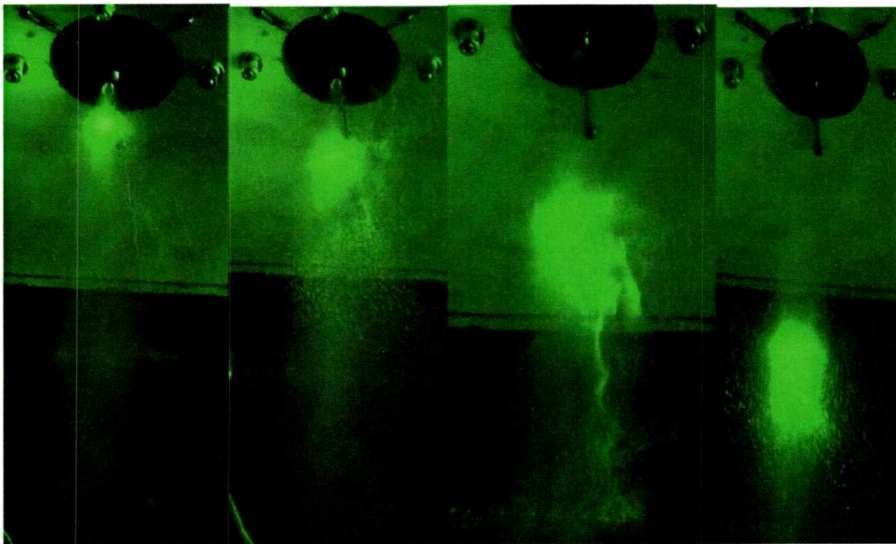
Εικόνα 5.23 : Παράθεση φωτογραφιών για διάφορα μίγματα και θέσεις τη χρονική στιγμή $t = 7.5$ s από την αρχή του ψεκασμού, για όλες τις περιπτώσεις.



Συλλογή φωτογραφιών 5.25 Εικόνες ψεκασμού καθαρού diesel σε 3, 5.5, 10.5, και 15.5 cm από το ακροφύσιο.



Συλλογή φωτογραφιών 5.26 Εικόνες ψεκασμού μίγματος *diesel - biodiesel (B40)* σε 3, 5.5, 10.5, και 15.5 cm από το ακροφύσιο.



Συλλογή φωτογραφιών 5.26 Εικόνες ψεκασμού μίγματος *diesel - biodiesel (B100)* σε 3, 5.5, 10.5, και 15.5 cm από το ακροφύσιο.

Παρατηρώντας τη φωτεινότητα του κάθε δίσκου είναι εμφανές ότι καθώς μετακινούμαστε από τα μίγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε *biodiesel* σε υψηλότερες συγκεντρώσεις η ποσότητα του ανακλώμενου φωτός ελαττώνεται, λόγω της μεταβολής του μεγέθους των σωματιδίων. Επίσης γνωρίζουμε ότι το εμβαδόν του δίσκου θα πρέπει να φθίνει λόγω της μεγαλύτερης διαμέτρου που μετρήθηκε από την πειραματική διάταξη, η οποία οφείλεται και πάλι στο μέγεθος των σωματιδίων του σπρέι καθώς έχουν μεγαλύτερο όγκο συνεπώς και μεγαλύτερη ορμή.

6. Σύνοψη Διπλωματικής Εργασίας

Από το διάγραμμα Reynolds – Ohnesorge καθίσταται σαφές ότι ο μηχανισμός σχηματισμού του πίδακα είναι ο ίδιος σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστικαν παραπάνω. Παρόλο που υπάρχει διαφορά στις φυσικές ιδιότητες των μιγμάτων δεν έχουμε να αντιμετωπίσουμε ένα καινούριο φαινόμενο σχηματισμού σπρίντ απλοποιώντας έτσι τη μελέτη και τη σύγκριση του σχηματιζόμενου κώνου καυσίμου.

Η εκτίμηση της κεντρικής γραμμής της ροής που εκτιμήθηκε βάση του μίγματος B5 παρέμεινε αναλλοίωτη με εξαίρεση το B100 όπου και εκτράπηκε διότι η αντλία δεν μπορούσε να παρέχει αναλογικά το ίδιο ποσό ενέργειας, λόγω της αύξησης του ιξώδους. Επομένως αν θέλουμε να προχωρήσουμε σε αύξηση της περιεκτικότητας των ήδη υπάρχοντων μιγμάτων της αγοράς τίθεται ένα άνω όριο στο οποίο θα μπορούν να ανταποκριθούν οι αντλίες των συσκευών που λειτουργούν με πετρέλαιο. Περεταίρω αύξηση θα έχει αρνητική απόδοση στη λειτουργία όλων των μηχανικών μερών.

Όπως αναμένονταν και επιβεβαιώθηκε από τις μετρήσεις, η ταχύτητα των σωματιδίων μειώνονταν καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε βιοκαύσιμο. Επίσης το μήκος της διείσδυσης της δέσμης ακολούθησε και αυτό φθίνουσα πορεία, λόγω και πάλι των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων. Συνεπώς πάλι αναδεικνύεται ο κομβικός ρόλος της αντλίας στη περίπτωση αλλαγής του μίγματος καυσίμου.

Από τα διαγράμματα ταχυτήτων, των SMD και τη θεωρία^[2] προκύπτει ότι οι αρχικοί μηχανισμοί διάσπασης της ροής είναι οι ταλαντώσεις και οι αεροδυναμικές αντιστάσεις που εμφανίζονται στα φύλλα ροής του ρευστού. Εν συνεχεία η διάσπαση των σφαιριδίων σε μικροσταγονίδια οφείλεται στον αεροδυναμικό συντελεστή (Cd). Όμως όσο ελαττώνεται η διάμετρος φθίνει ο συντελεστής Cd και λόγω της διατήρησης της ορμής τα σταγονίδια επιταχύνονται τη στιγμή της διάσπασής τους και οδηγούμαστε εν τέλει σε μεγαλύτερες ταχύτητες στα μικροσταγονίδια, πριν από την οριστική επιβράδυνσή τους.^[8]

Οι διαφορετικές εκτιμήσεις για την διάμετρο (SMD, AMD, VMD) εμφανίζουν της ίδια τάση (βλ. Γραφ. 5.9). Δηλαδή η διάμετρος των σωματιδίων κατά τη διάρκεια του φαινομένου της διάσπασης φθίνει. Όμως καθώς χάνουν την αποκτηθείσα ορμή τα σταγονίδια συγκρούονται και επαναενώνονται οδηγώντας έτσι στο σχηματισμό μεγαλύτερων σωματιδίων. Επιπρόσθετα λόγω της επιφανειακής τάσης που είναι μεγαλύτερη στο βιοκαύσιμο, η διαπίστωση αυτή εμφανίζεται εντονότερη στα μίγματα με περιεκτικότητα άνω του 60% κ.ό.

Μέσω των χαραχθέντων ισουψών καμπυλών για τη διάμετρο μπορούμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη της διαμέτρου συναρτήσει της περιεκτικότητας. Επίσης από τις ισουψείς του χρόνου καύσης έχουμε μία αντιστοιχία μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάστηκαν δίδοντάς μας τη δυνατότητα να κάνουμε εκτιμήσεις για τη λειτουργία και για τη απόκριση μίας συσκευής σε περίπτωση αλλαγής του καυσίμου. Ας μην ξεχνάμε ότι εξετάστηκαν ορισμένα μίγματα σε συγκεκριμένες

θέσεις. Μέσα από τα προαναφερθέντα διαγράμματα και σε συνδυασμό με τα τριδιάστατα σχήματα έχουμε βάση εκτίμησης για όλα τα πιθανά μίγματα και για μεγάλο εύρος θέσεων.

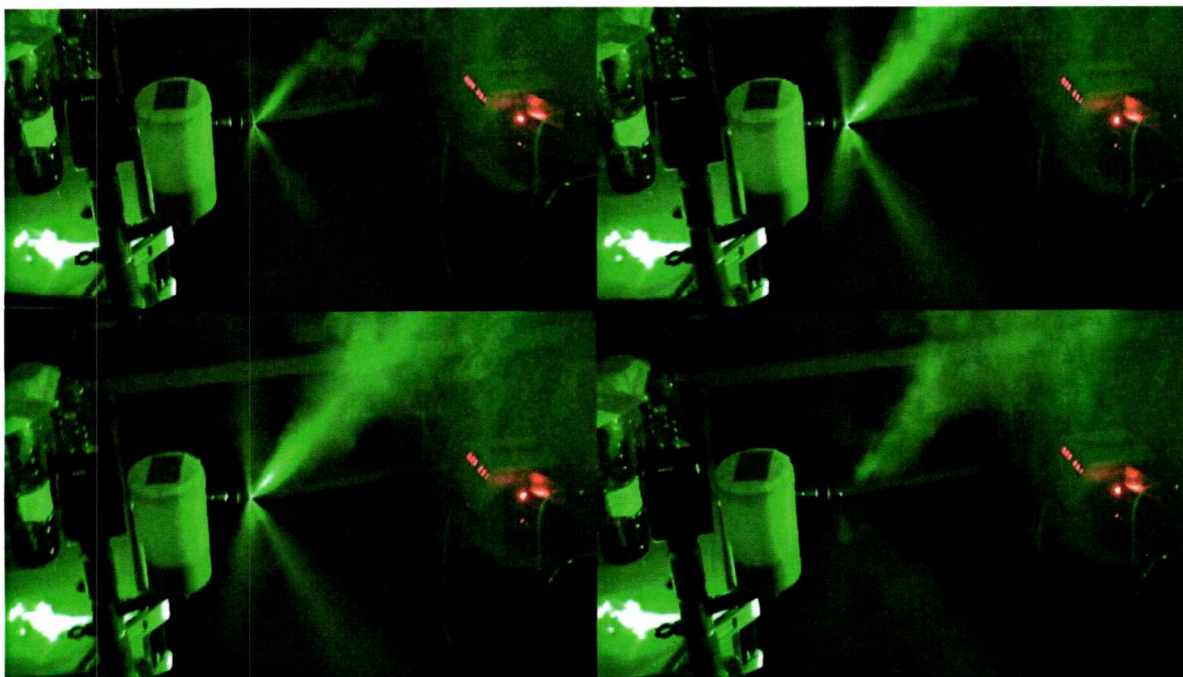
Επιπρόσθετα τα παραπάνω συμπεράσματα – παρατηρήσεις που αφορούν τη χαρακτηριστική διάμετρο των σωματιδίων επιβεβαιώνονται και οπτικά. Τόσο στη περίπτωση του συνεχόμενου ψεκασμού που εξετάστηκε στη εν λόγω εργασία όσο και σε προηγούμενες πειραματικές διατάξεις όπου οι ψεκασμοί ήταν διακοπτόμενοι με χειροκίνητη αντλία. Όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια του εκνεφώματος σκεδάζουν μεγαλύτερο ποσό φωτός, που μεταφράζεται σε αυξημένη φωτεινότητα. Αντίστοιχα στα μίγματα με υψηλότερο ιξώδες, σχηματίζονται μεγαλύτερα σταγονίδια ρευστού που απορροφούν την ακτινοβολία και σκεδάζουν μικρότερο ποσοστό αυτής (βλ. Φωτ. 6.1 κ' 6.2).

Ακόμη και οι παραδοχές που χρησιμοποιήσαμε χρίζουν περαιτέρω εξέτασης. Γνωρίζοντας λ.χ. ότι η παροχή καυσίμου δεν παραμένει αμετάβλητη, παρόλα αυτά τη θεωρήσαμε σταθερή προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Από τη βιβλιογραφία^[8] προκύπτει πως η διαφορά στη πίεση ψεκασμού, για να διατηρηθεί αναλλοίωτη η παροχή όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε βιοκαύσιμο είναι προοδευτικά αυξανόμενη έως τη τάξη του 25% του αρχικού Δρ, στη περίπτωση του καθαρού biodiesel. Κάτι τέτοιο δεν ήταν δυνατό να εφαρμοστεί στο εργαστήριο καθώς η εφαρμοζόμενη διαφορά πίεσης ήταν σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις.

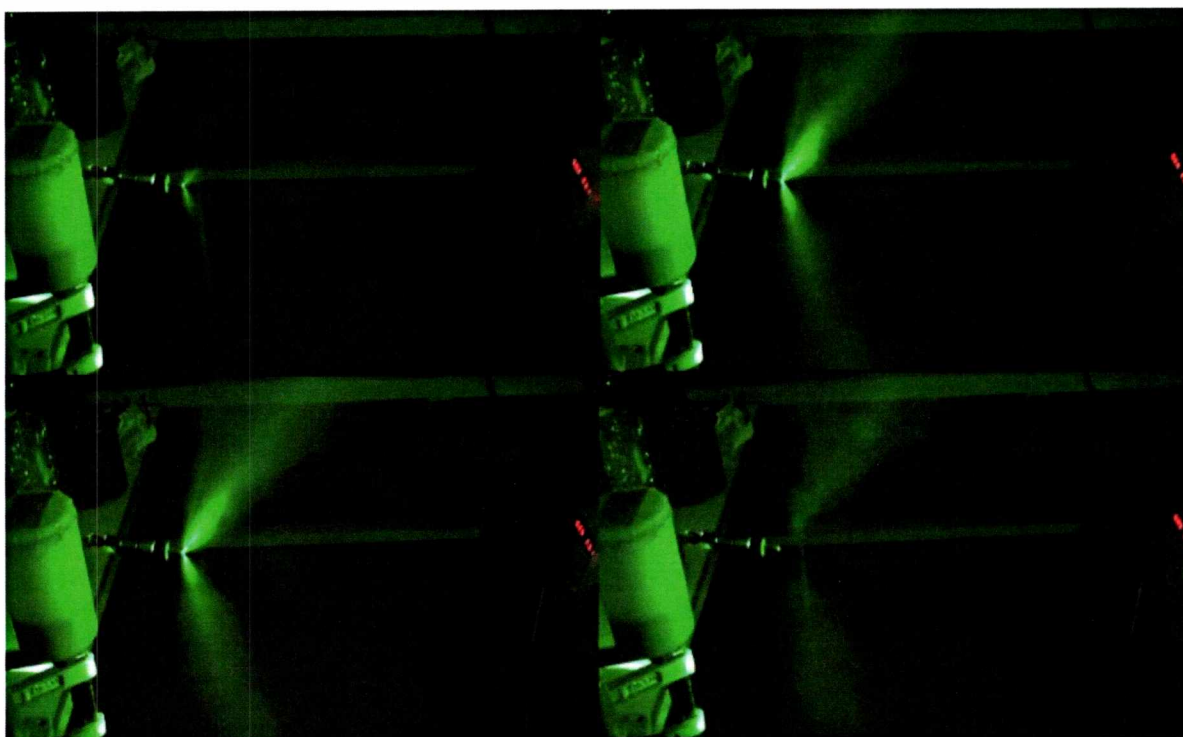
Όσον αφορά τις πρακτικές εφαρμογές αναδύκνεται πως η σωστή επιλογή του ακροφυσίου είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εκάστοτε εφαρμογή. Η βελτιστοποίηση της καύσης συνάδει με τον τύπο του εγχυτήρα, κάτι που μεταφράζεται και σε καλύτερη αξιοποίηση του καταναλισκόμενου καυσίμου. Παράλληλα η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων (SOx, NOx, UHC κ.ο.κ) επιρεάζεται από το είδος του καυσίμου αλλά και από τη ορθή συντήρηση. Συνεπώς η χρήση ή η περειαίρω εξάπλωση των βιοκαυσίμων δεν αποτελεί πανάκεια για τη μείωση των ρυπαντικών φορτίων της ατμόσφαιρας.

Τέλος το μίγμα “ειδικού ενδιαφέροντος” B20 στην περιοχή 10 έως 18 mm από το μπεκ, εμφανίζει αξιοσημείωτες ιδιότητες σε σχέση με τα υπόλοιπα καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλη διασπορά με συνέπεια τον μικρότερο χρόνο καύσης. Χρίζει επομένως περαιτέρω έρευνας με περισσότερα ενδιάμεσης περιεκτικότητας μίγματα καυσίμων και πύκνωση των μετρήσεων στη περιοχή αυτή.

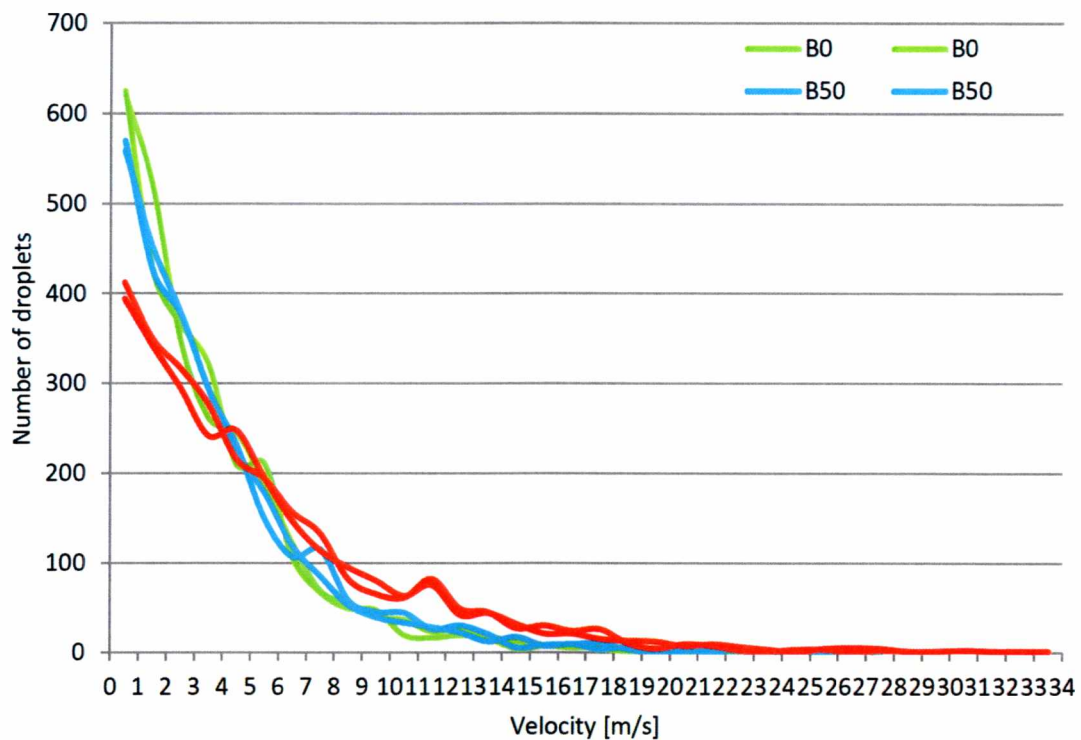
7. ΥΠΟΜΝΗΜΑ



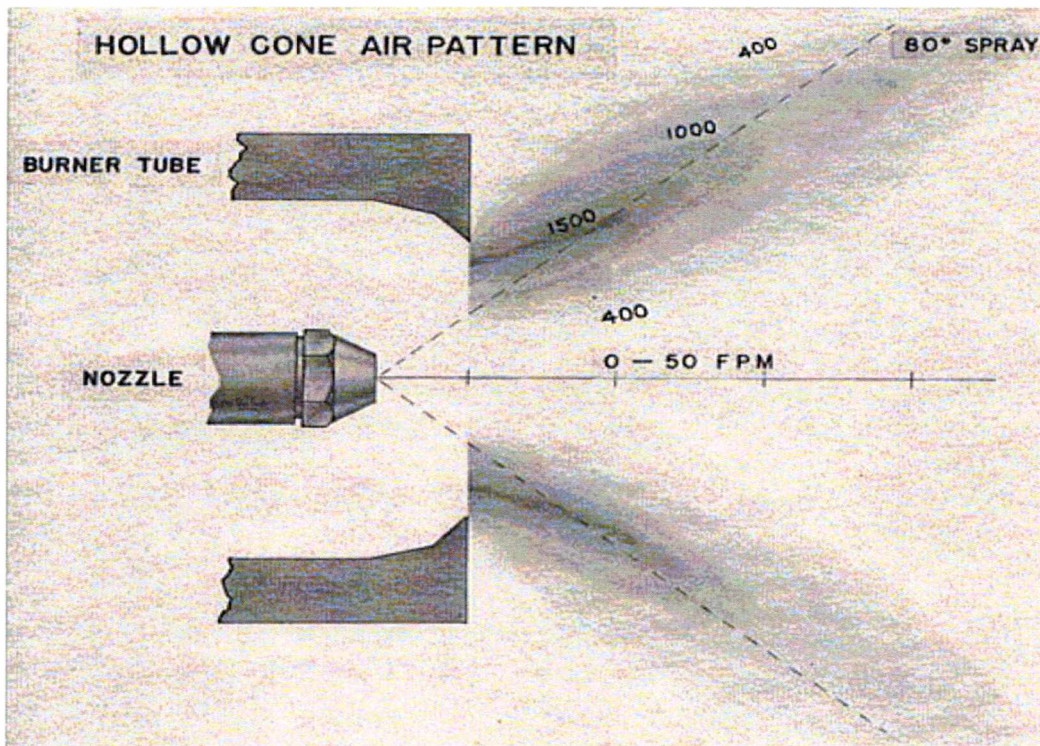
Φωτογραφία 7.1 Σχηματισμός πίδακα καυσίμου σε χειροκίνητη αντλία για το καθαρό πετρέλαιο.



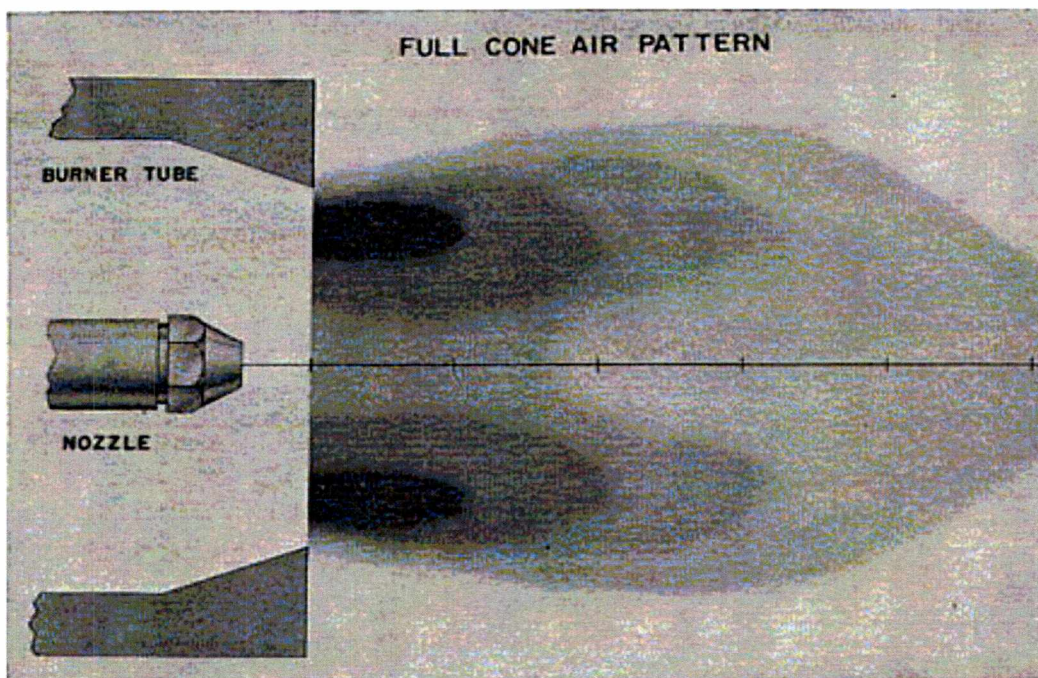
Φωτογραφία 7.2 Σχηματισμός πίδακα μίγματος καυσίμου B60 σε χειροκίνητη αντλία.



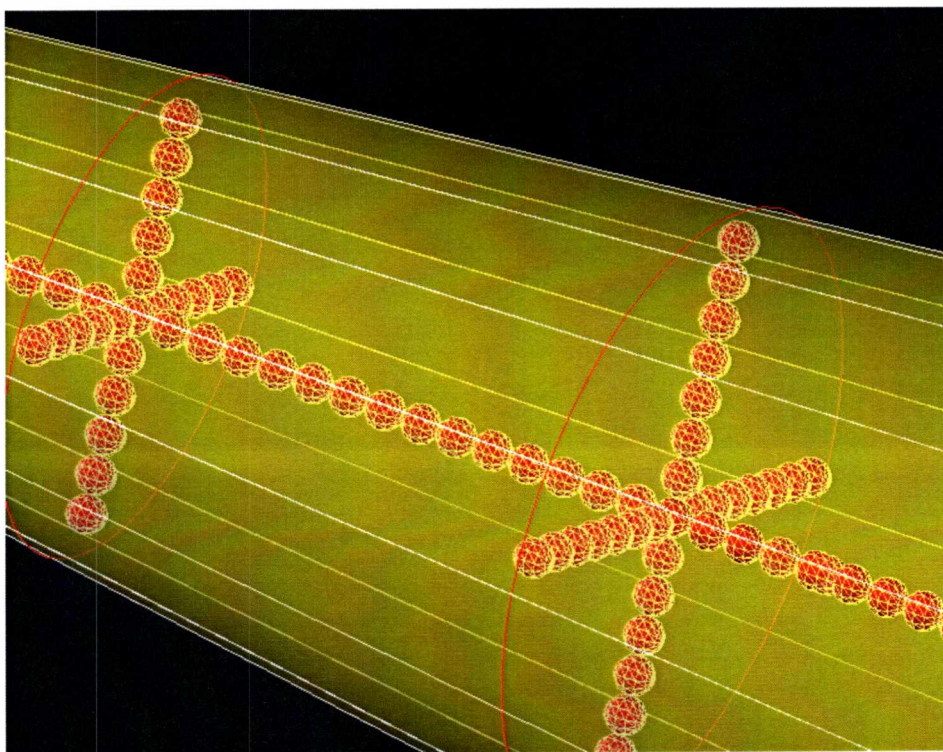
Γράφημα 7.3 Αποτελέσματα από προηγούμενες πειραματικές μετρήσεις με χειροκίνητη αντλία καυσίμων .



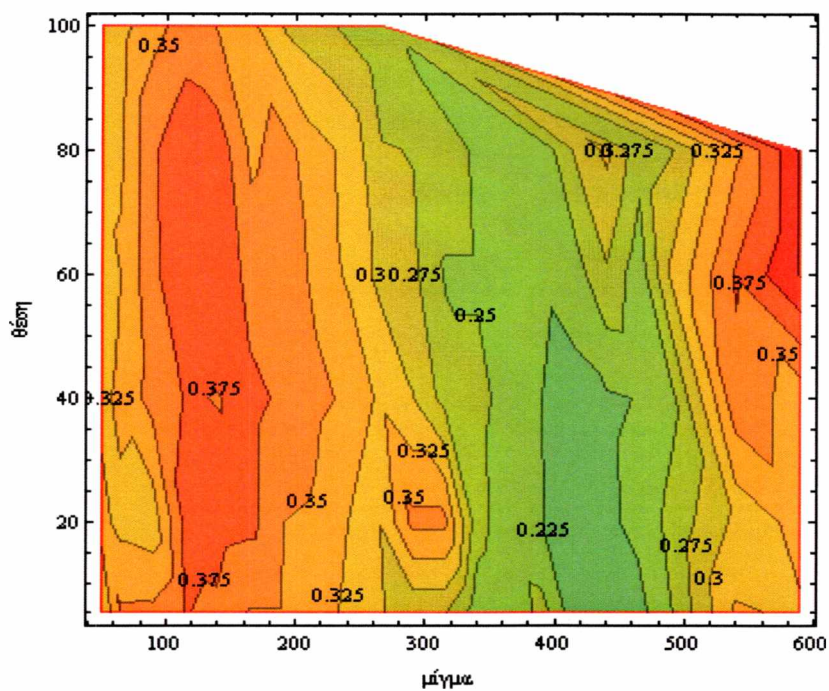
Γράφημα 7.4 Σχηματική απεικόνιση της ροής σε τύπου A ακροφύσιο. Το εσωτερικό της ροής τείνει να είναι πιο «κενό». Παρατηρείται δε, ότι στο εσωτερικό του κώνου κατά τη καύση παράγεται αιθάλη που δεν εξαλείφεται με καμία άλλη ρύθμιση (π.χ. παροχής αέρα).^[12]



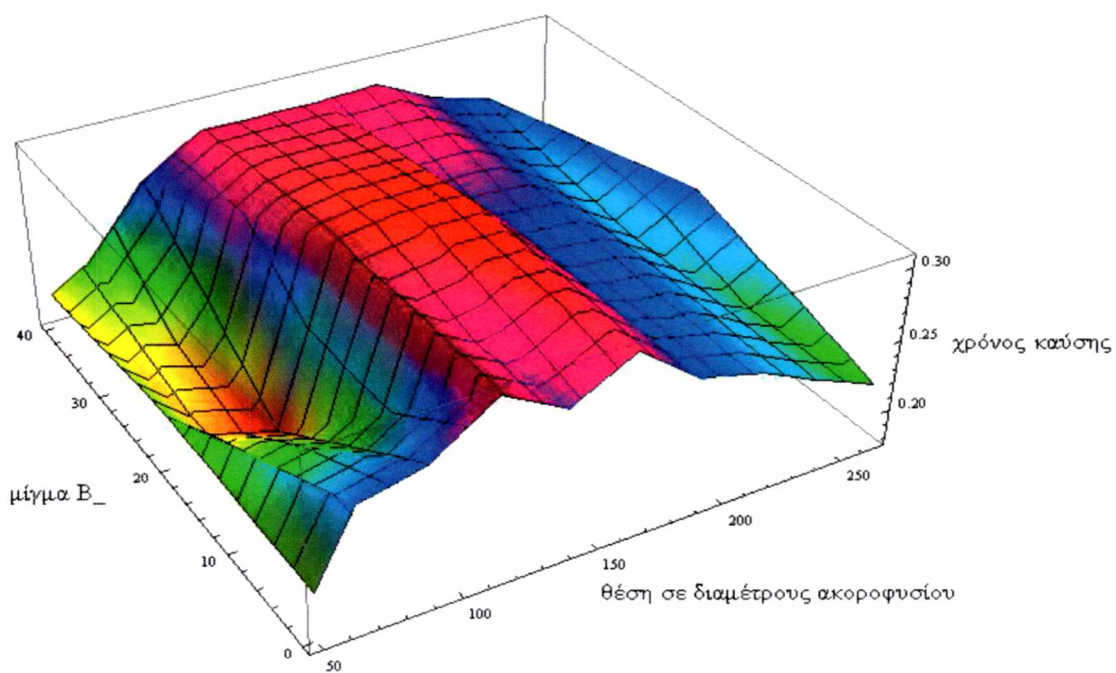
Γράφημα 7.5 Σχηματική απεικόνιση της ροής σε τύπου B ακροφύσιο. Το εσωτερικό της ροής τείνει να είναι πιο ομοιόμορφο από του τύπου A. Παρατηρείται ότι εμφανίζει καλύτερη συμπεριφορά κατά τη διεργασία της καύσης και ειδικότερα στις εκπομπές του CO λόγω της υψηλότερης παροχής αέρα που μετράται στο εσωτερικό του εκνεφώματος. Για την εφαρμογή του όμως απαιτείται μακρύτερος θάλαμος καύσης διότι έχει μικρότερη ωφέλιμη γωνία ψεκασμού από του κενού κώνου ακροφύσια. ^[12]



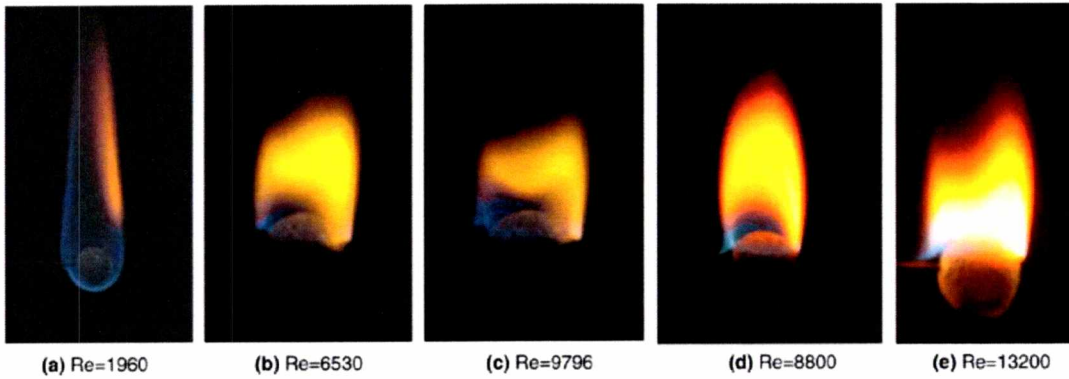
Γράφημα 7.6 Μεγέθυνση αναπαράστασης του κώνου ψεκασμού με τα αντίστοιχα σημεία μετρήσεων .



Γράφημα 7.7 Ισοψείς της ταχύτητας καύσης συναρτήσει του μίγματος και της θέσης . Η θέση σε διαμέτρους ακροφυσίου.

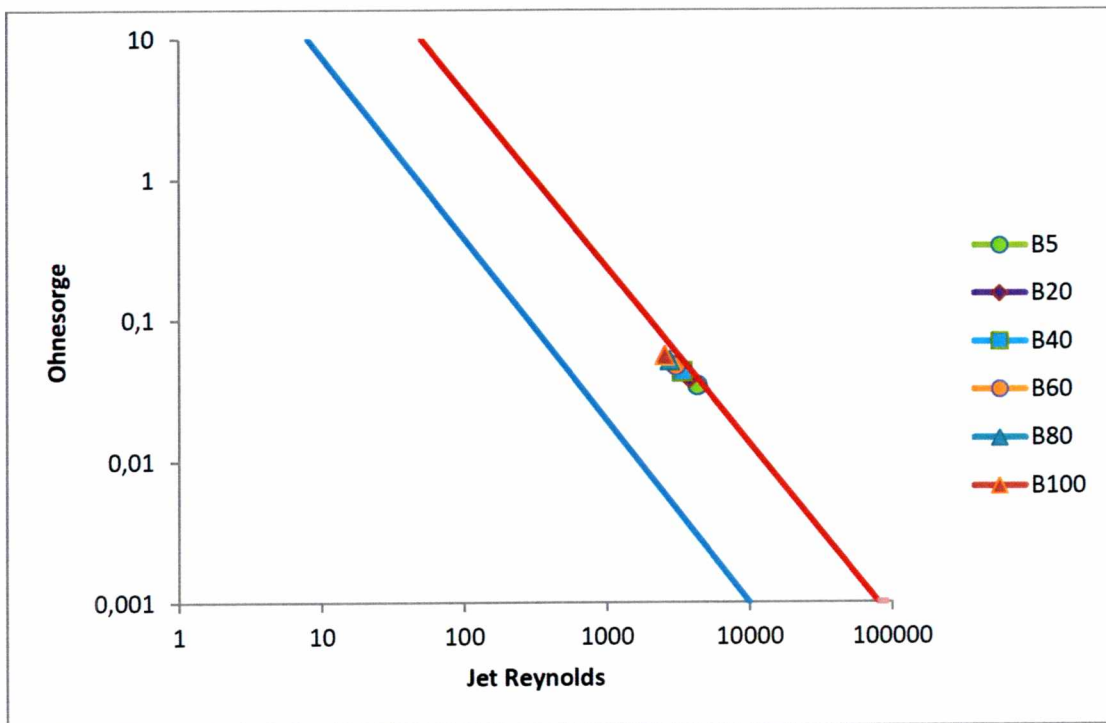


Γράφημα 7.8 Εκτίμηση της ταχύτητας καύσης συναρτήσει του μίγματος και της θέσης . Η θέση σε διαμέτρους ακροφυσίου.

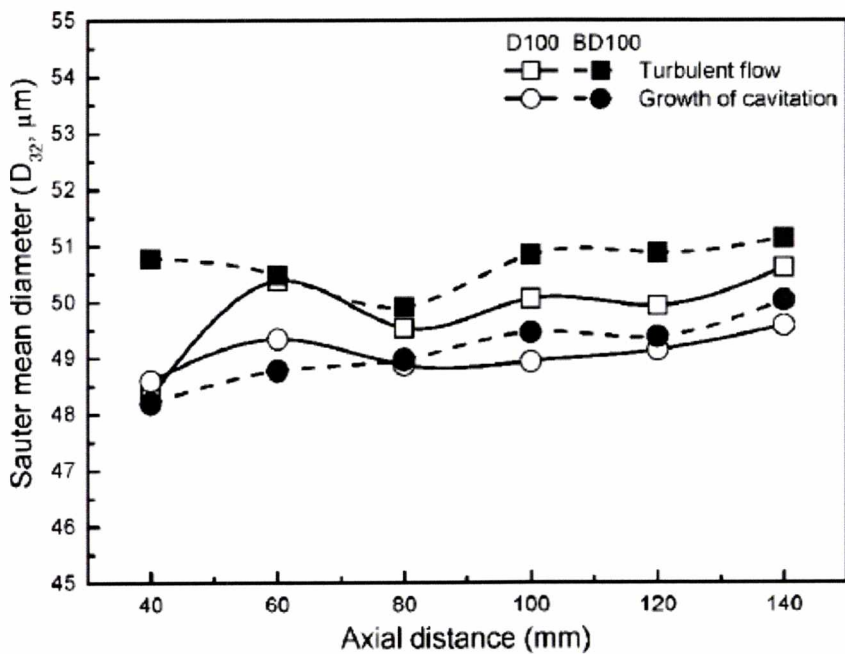


Flame photographs for particle diameters of (a-c) 12.2 mm, (d,e) 16.4 mm, and free-stream velocities of (a) 1.2 m/s, (b,d) 4.0 m/s and (c,e) 6.0 m/s.

Φωτογραφίες 7.9 Οπτικοποίηση της επίδρασης του μεγέθους αλλά και της σχετικής ταχύτητας του σταγονιδίου στη δομή της παραγόμενης φλόγας^[4].

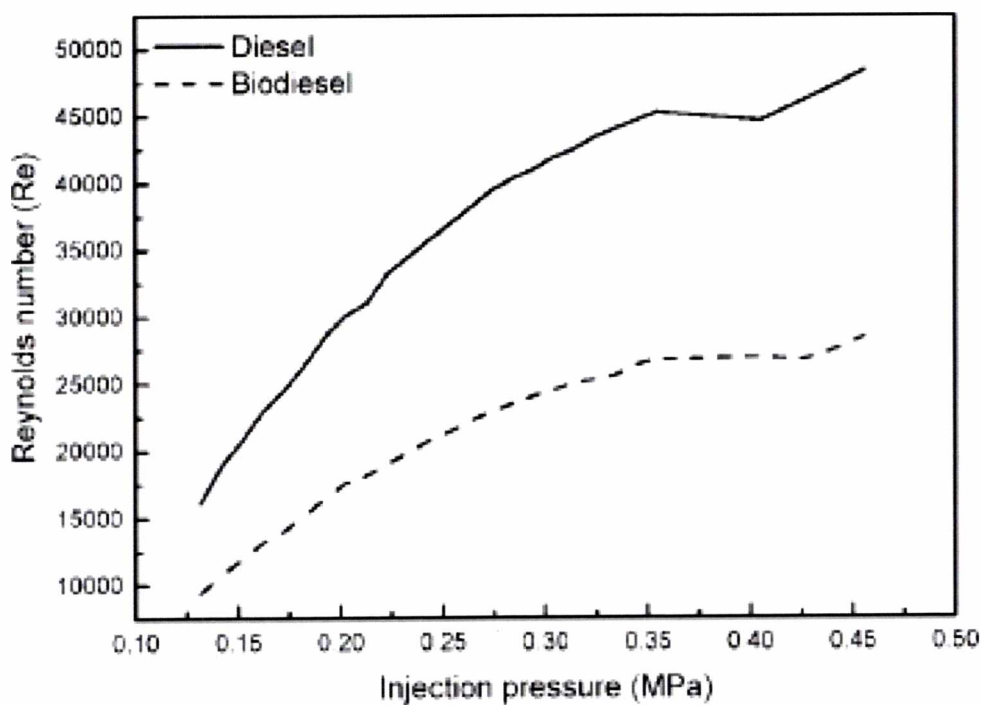


Γράφημα 7.10 Αναπαράσταση των σημείων $Oh - Re$ για την περίπτωση όπου ο συντελεστής εκροής ισούται με τη μονάδα ($\epsilon=1$).

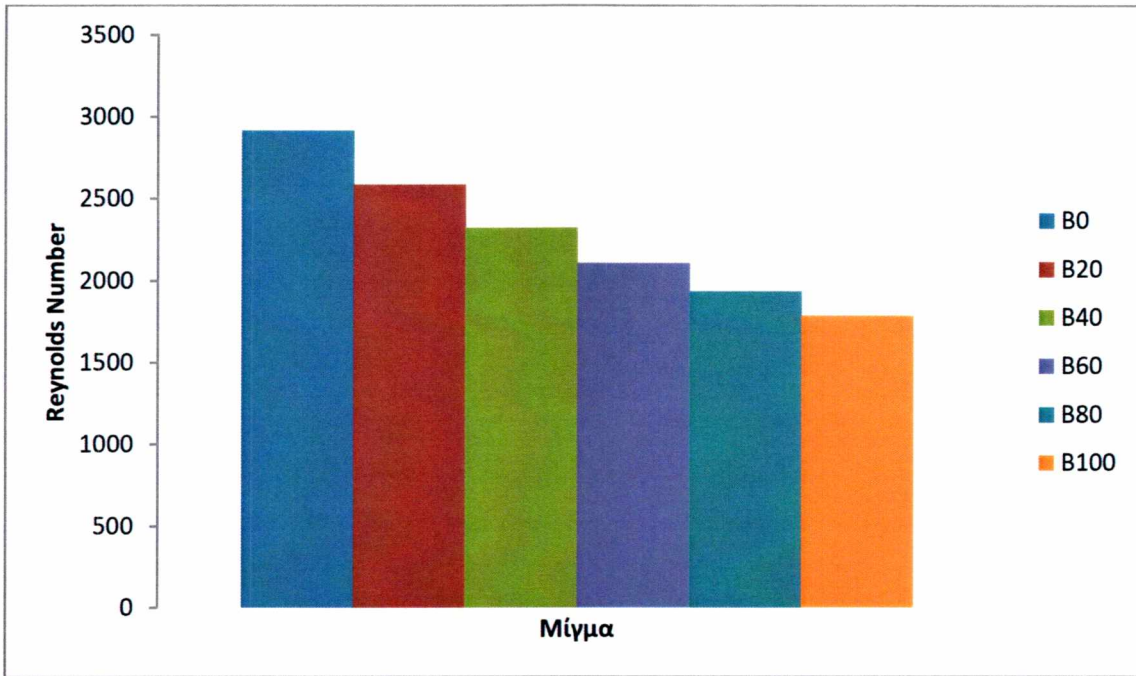


(a) Diesel and biodiesel

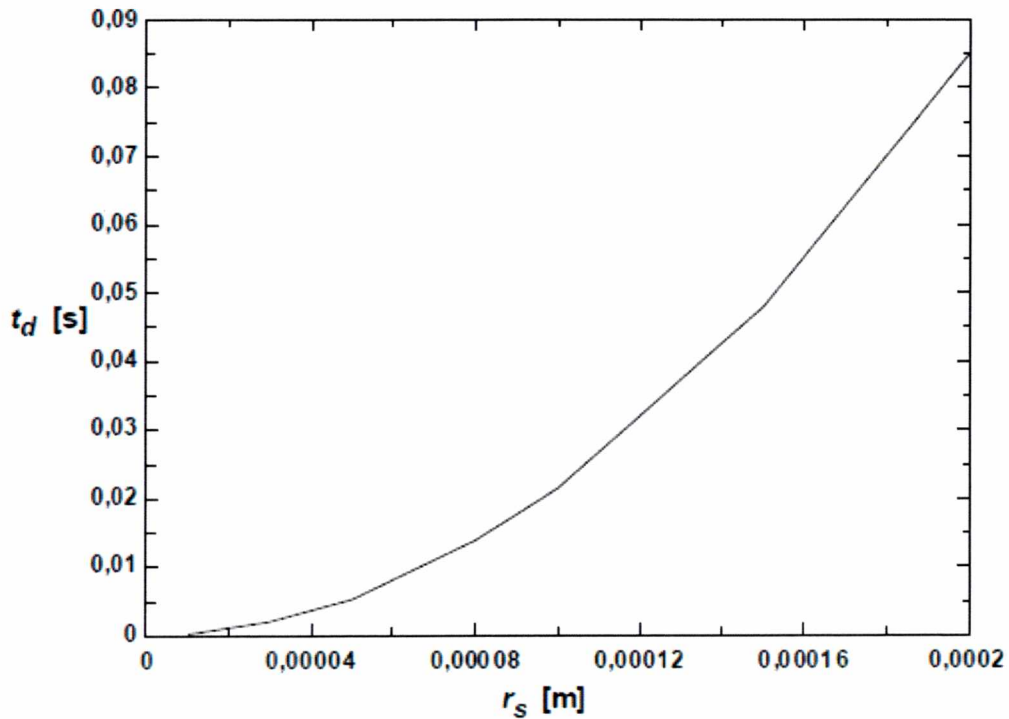
Γράφημα 7.10 . Αποτελέσματα από άλλες πειραματικές μετρήσεις για το SMD.^[2]



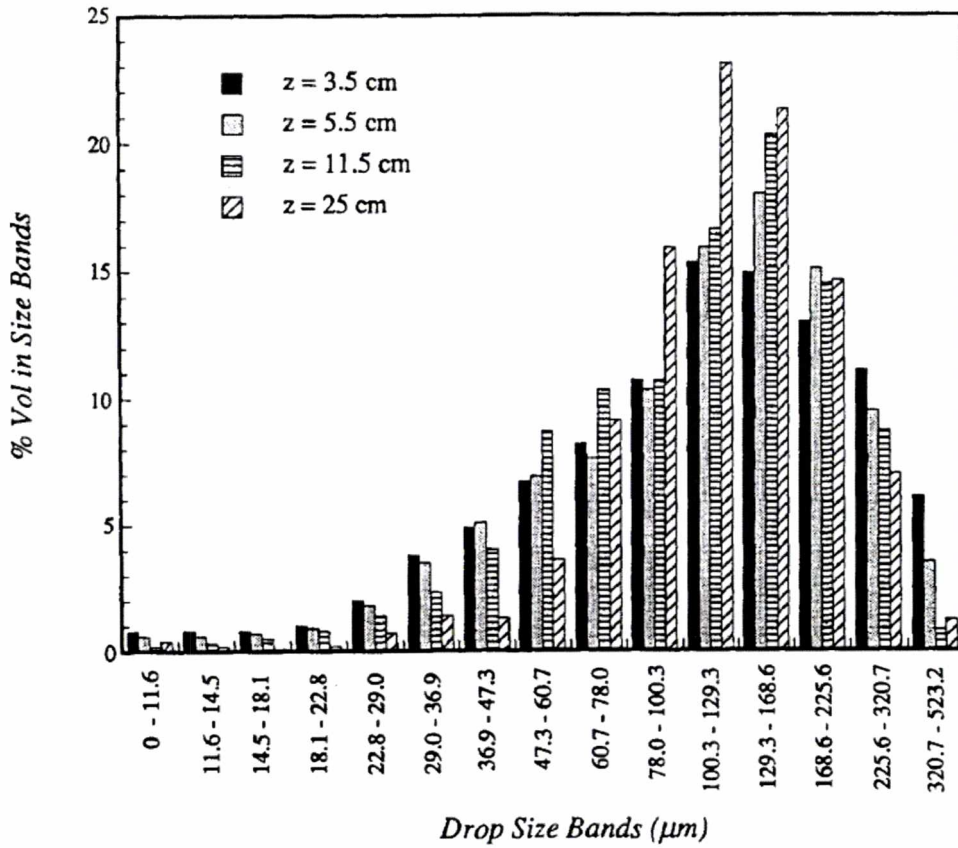
Γράφημα 7.11 . Αποτελέσματα από άλλες πειραματικές μετρήσεις για τη συσχέτιση του αριθμού Reynolds και της πίεσης ψεκασμού.^[2]



Γράφημα 7.12 Επίδραση των ιδιοτήτων του καυσίμου στον αριθμό Reynolds με τα δεδομένα της συγκεκριμένης εργασίας. Η κύρια επίδραση ανάγεται στο είδος της ροής και ποιο συγκεκριμένα στην τύρβη του ρευστού.^[8]



Γράφημα 7.13 Χρόνος διάσπασης σταγόνας συναρτήσει του αρχικού μεγέθους της.^[19]



Γράφημα 7.14 Διάμετρος σταγονιδίων από άλλες πειραματικές μετρήσεις.^[19]

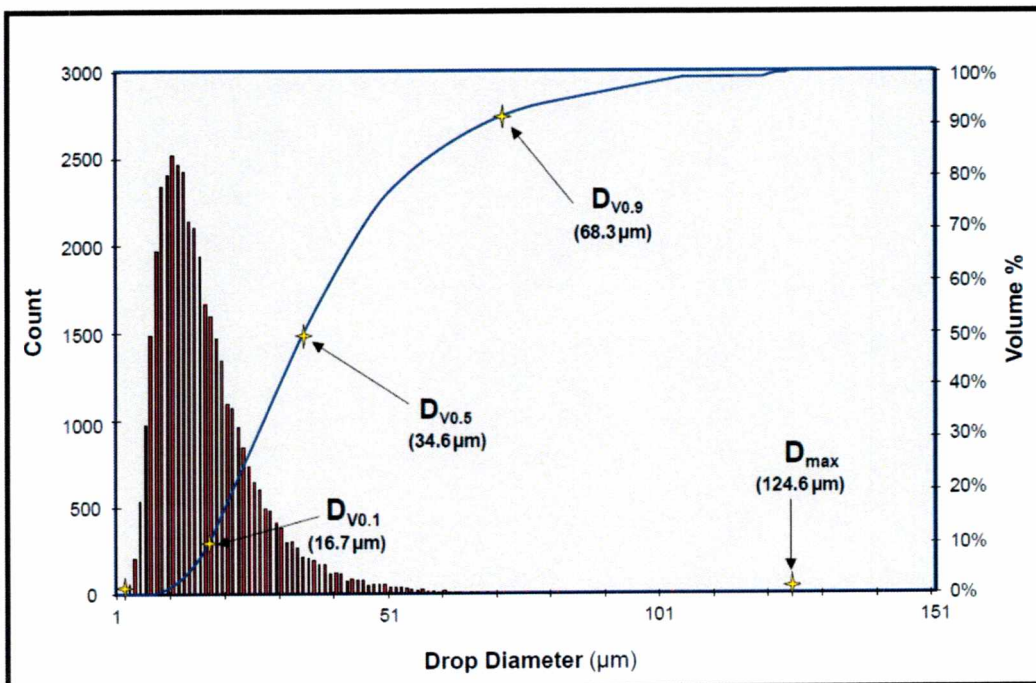
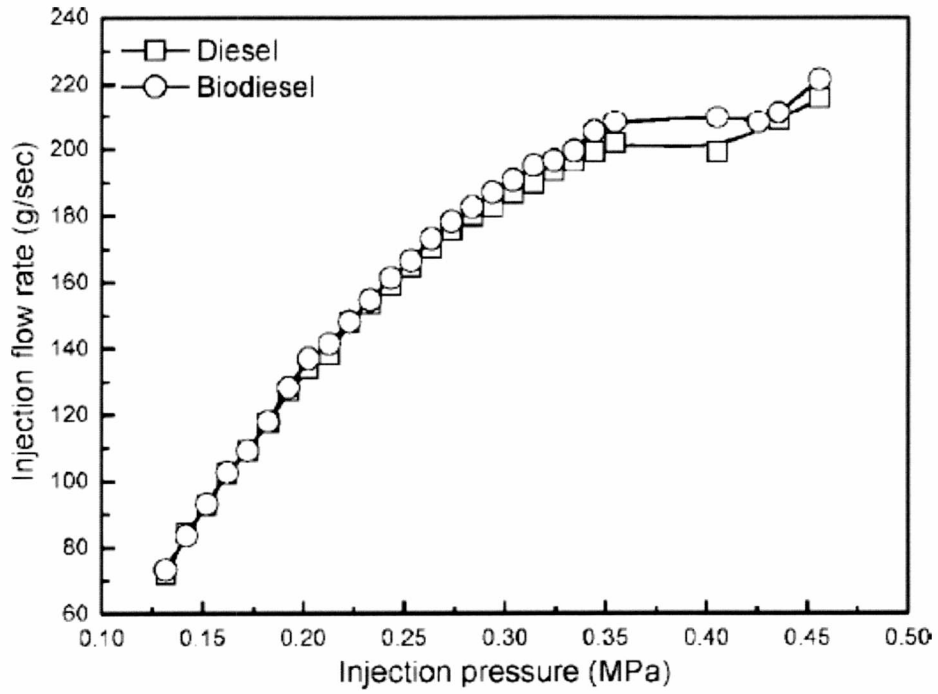


Figure 5. Typical drop size distribution.

Γράφημα 7.15 Διάμετρος σταγονιδίων από άλλες πειραματικές μετρήσεις. Η παραπάνω κατανομή με το αντίστοιχα ποσοστά όγκου θεωρείται αντιπροσωπευτική για όλες τις περιπτώσεις ψεκασμών.^[2]



Γράφημα 7.16 Συσχετισμός της μαζικής παροχής συναρτήσει του είδους του καυσίμου και της πίεσεως ψεκασμού. Στην περίπτωση του βιοκαυσίμου παρόλου του αυξημένου ιζώδους μετράται υψηλότερη παροχή για την ίδια διαφορά πίεσεως.^[7]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μ. Φούντη, *Μαθηματικό μοντέλο εξάτμισης και καύσης σταγόνας υγρού καυσίμου*. Ε.Μ.Π 2004
2. Rudolf J. Schick, *Spray Technology Reference Guide, Understanding Drop Size*.
3. Seung Hyun Yoon, Su Han Park and Chang Sik Lee, *Experimental Investigation on the Fuel Properties of Biodiesel and Its Blends at Various Temperatures*. Department of Mechanical Engineering, Hanyang UniVeristy. 2008
4. V. Raghavan 1, V. Babu *, T. Sundararajan, R. Natarajan, *Flame shapes and burning rates of spherical fuel particles in a mixed convective environment*. 2005
5. Forman A. Williams, Michael Hicks, *Fundamental Studies in Droplet Combustion and Flame Extinguishment in Microgravity*. University of California, San Diego 21 November 2007
6. Παπαστάθη Κυριακή, *Πετρέλαιο – Διύλιση και προϊόντα*. 2009
7. J.M. Ballester, G. Dopazo, *Experimental Study of the influence of atomization Characteristics on the Combustion of Heavy Oil*. 1994
8. Su Han Park, Hyun Kyu Suh, Chany Sik Lee, *Effect of Cavitating Flow on the flow on fuel Atomization Characteristics of Biodiesel and diesel Fuels*. Department of Mechanical Engineering, Hanyang UniVeristy. October 2007
9. P. Raghu, N. Nallusanny, *Study on the Characteristics of Diesel and Biodiesel under non Evaporating Conditions*. Department of Mechanical Engineering Sri Venkateswara College of Engineering, Tamilnadu, India . 2012
10. Delavan, *A total look at oil Burner Nozzles*.
11. TR/TM Series Fiberoptic Probes , Owner's Manual. Νοέμβριος 2005.
12. Fuel Nozzles For Oil Burners, Technical Aspects of Application.
13. Charles E. Baukal, *Industrial Burners*. 2003
14. John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 2000
15. Oil + Gas Burners / Oil + Gas Boilers – Οδηγίες Συντήρησης.
16. Klaus Mollenhauer, Helmut Tschoke, *Handbook of Diesel Engines* : Springer. 2010
17. Ν.Π. Δημόπουλου, *Μηχαναι Εσωτερικής Καύσεως, τεύχος III - Ροή του Καυσίμου*. 1978
18. Μ. Φούντη, *Εισαγωγή στα φαινόμενα καύσης*. Ε.Μ.Π. 2004
19. J. Parrilla, C. Cortes, *Modelling of droplet burning for rapessed oil as liquid fuel*, Centro Politécnico Superior, University of Zaragoza (Spain).
20. TSI_Incorporated, *TR/TM Series, Fiberoptic Probes*. November 2005.
21. Lee, C. S. and R. D. Reitz, *Effect of liquid properties on the breakup mechanism of high-speed liquid drops*. Atomization Sprays **11**: 1-19. 2001
22. Wu, Z., Z. Zhu, *An experimenal study on the spray structure of oxygenated fuel using laser-based visualization and particle image velocimetry*. Fuel **85**: 1458-1464. 2006

23. Remi Staub, Χατζηνάκης Ιωάννης, *Influence of the biodiesel blended ratio on the spray characteristics*. 2013
24. Bernard Challen, Rodica Baranescu, *Diesel Engine ~ Reference Book – Second edition*. 1999 : Butterworth Heinemann
25. V. Raghavan 1, V. Babu *, T. Sundararajan, R. Natarajan, *Flame shapes and burning rates of spherical fuel particles in a mixed convective environment*, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600 036, India. September 2005
26. John B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals* , First Edition : McGraw-Hill. 2000



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124394