



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων & Συστημάτων Καύσης
Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ
ΤΑΙΡΙΑΣΜΑ ΔΕΙΚΤΩΝ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΣΕ
ΔΙΦΑΣΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΡΟΗΣ»**

Του Φοιτητή

Παύλου Γεωργίου Παυλόπουλου

Επιβλέπων

Φούντη Μαρία, Καθηγήτρια,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2015

- στους γονείς μου -



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του Τομέα Θερμότητας, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβείου Πολυτεχνείου με επιβλέπων μέλος ΔΕΠ την Επικ. Καθ. Μ. Φούντη.

Έχοντας ολοκληρώσει την μελέτη που μου ανατέθηκε, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω την Επικ. Καθ. Μ. Φούντη τόσο για τη βοήθειά της, όσο και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Υποψ. Διδ. Θ. Αχείμαστο για την συνεχή βοήθεια και προθυμία που έδειξε κατά τη συνεργασία μας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Υποψ. Διδ. Α. Δουκέλη για τη βοήθεια και τη συνεχή συμπαράσταση που μου παρείχε όποτε του ζητήθηκε.

Σε αυτό το σημείο δεν θα μπορούσα να αμελήσω να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στους γονείς μου (Γιώργο και Κλεονίκη), στα αδέρφια μου (Κωνσταντίνο και Αγγελική)

Η πολύτιμη υλική και ψυχολογική συμπαράστασή τους και η κατανόηση που επέδειξαν σε στιγμές αφόρητου άγχους και πίεσης, με βοήθησαν σε μεγάλο βαθμό στην αποπεράτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.



Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΜΒΟΛΑ.....	σελ. 1
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΟΡΩΝ.....	σελ. 3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ. 7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	σελ. 8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	σελ. 39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	σελ. 66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	σελ. 86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	σελ. 102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	σελ. 162
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 210



ΣΥΜΒΟΛΑ

Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτή είναι:

D	Η διάμετρος του σωλήνα μετά την αύξηση της διατομής
d	Η διάμετρος του σωλήνα πριν την αύξηση της διατομής
H	Step height, $H = (D - d) / 2$
Z	Αξονική απόσταση
X_R	Μήκος ζώνης ανακυκλοφορίας
U	Μέση αξονική ταχύτητα
V	Μέση ακτινική ταχύτητα
W	Μέση εφαπτομενική ταχύτητα
K	Τυρβώδη κινητική ενέργεια
η	Δείκτης διάθλασης
m	Παροχή μάζας
r	Ακτίνα, θέση
ν	Κινηματική συνεκτικότητα
μ	Δυναμική συνεκτικότητα
ρ	Πυκνότητα
C_V	Ογκομετρική φόρτιση
ϑ	Γωνία
α	»
α'	»
α''	»
β	»



θ'	»
θ''	»
λ	Μήκος κύματος
X	Ποσοστιαίες συγκεντρώσεις
f	Συχνότητα
Y	Απόσταση
D	Μετατόπιση
X_0	Απόσταση
r_a	Ακτινική απόσταση διαθλώμενων ακτίνων
r_1	»
r_2	»
$F.L.$	Εστιακή απόσταση
d_m	Διάμετρος όγκου μέτρησης
l_m	Μήκος όγκου μέτρησης
d_f	Απόσταση κροσσών
k	Ημιγωνία ακτίνων

ΔΕΙΚΤΕΣ

f	Ρευστό
p	Σωματίδια
$1,2$	Συνιστώσες μίγματος / Μέσα
i/in	Εσωτερικό μέγεθος
o/out	Εξωτερικό μέγεθος



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

A

Arrays: πίνακες

B

Breakpoints: σημεία φραγμών

Black diagram: σχηματικό διάγραμμα

(διάγραμμα που δείχνει τις βασικές λειτουργικές συνιστώσες και τις μεταξύ τους σχέσεις)

Boolean: μεταβλητή της άλγεβρας του Boole (η τιμή της είναι είτε 0 (ψευδές), είτε 1 (αληθές))

Bandwidth (BW): εύρος ζώνης

C

Controls: χειριστήρια

Connector: συνδετήρας, σύγκλιση

Clusters: σύμπλεγμα, τσαμπί

Char: χαρακτήρας (κάθε στοιχείο ενός συνόλου συμβόλων) π.χ. γράμμα, αριθμός

Carriage return (CR): χαρακτήρας επιστροφής

D

Data acquisition (DA/C): άμεση κτήση δεδομένων

Data flow: ροή δεδομένων

Default: εξ' ορισμού

Double precision float: περιθώριο δραστηριότητας με διπλή προσέγγιση

E



F

Functions: λειτουργίες

Formfeed (FF): χαρακτήρας τροφοδότησης σελίδας

Floating point: κινητή υποδιαστολή

G

H

Header: επικεφαλίδα (πληροφορίες αμετάβλητος που τυπώνονται στην κορυφή)

Hierarchy: ιεραρχικά

I

Interface: διασύνδεση, προσαρμογή

Indicator: ενδεικτικό όργανο

Increment: αύξηση

Integer: ακέραιος

Interleave: εναλλάσσω

J

K

L

Loop: βρόγχος προγράμματος (σειρά ανά εντολές που εκτελούνται επαναληπτικά)

M

Modular: αρθρωτά (λογισμικό με υποομάδες ή ενότητες)



Mode: τρόπος λειτουργίας

\mathcal{X}

Nodes: κόμβοι

New line (NL): χαρακτήρας νέας γραμμής

\mathcal{O}

\mathcal{P}

Primary adress: πρωτεύουσα διεύθυνση

\mathcal{Q}

\mathcal{R}

Range: περιοχή τιμών

Ring: δακτύλιος (κυκλικός, αλυσιδωτός, κατάλογος στον οποίο ο δείκτης του τελευταίου δεδομένου οδηγεί προς το πρώτο)

\mathcal{S}

String: σειρά, αλυσίδα, στοιχειοσειρά

Scalar: βαθμωτός (μονόμετρος όχι διανοματικός)

Space: κενό

\mathcal{T}

Tab: πλήκτρο στηλοθέτησης (χαρακτήρα)

Trigger: διεγέρτης (άμμεση εκτέλεση προγράμματος)

\mathcal{U}



V

Vertical tab (VT): χαρακτήρας γραμμοδέτηση

W

X

Y

Z



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικειμενικός σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας, που ασχολείται με την πειραματική μελέτη των διφασικών ροών υγρού - στερεού με χρήση οπτικών μεθόδων και ειδικότερα με τη μέθοδο Ανεμομετρίας Laser Doppler, ήταν η ανάπτυξη ενός υπολογιστικού κώδικα για τη διόρθωση των μετρούμενων τιμών διαφόρων μεγεθών, λόγω του φαινομένου της διάθλασης.

Μεγάλη βοήθεια, στο να γίνονται ακριβείς μετρήσεις, προσφέρει και το υπολογιστικό πακέτο "Labview".

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα με το οποίο μπορούμε να πάρουμε απευθείας μετρήσεις, να τις επεξεργαστούμε και να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα με έναν πολύ παραστατικό τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΔΙΦΑΣΙΚΕΣ ΡΟΕΣ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

A. Γενικά για διφασικές ροές

Το ευρύ φάσμα των εφαρμογών των πεδίων ροής (μηχανολογικών, χημικών διεργασιών, καύσης κ.ά.) καθώς και η ποικιλία των ειδών και των μορφών τους φανερώνουν τη σημαντικότητα και την αναγκαιότητα της επιστημονικής μελέτης τους. Απλή περίπτωση πεδίου ροής είναι η περίπτωση των ασυμπιέστων ρευστών (αερίων ή υγρών χαμηλών ταχυτήτων) ενώ πολύπλοκη μορφή είναι η περίπτωση των πολυ-φασικών ροών. Σ' αυτές, τις ροές η συνεχής και η διακριτή (διασπαρμένη) φάση, μπορεί να είναι το ίδιο το ρευστό σε διαφορετικές καταστάσεις θερμοκρασίας ή πίεσης (π.χ. υγρό - ατμός) ή ρευστό μέσα στο οποίο κινούνται στερεά σωματίδια ή δύο διαφορετικά ρευστά (π.χ. υγρό - υγρό, υγρό - αέριο). Σε πολλές από αυτές τις εφαρμογές παρατηρούνται φαινόμενα, όπως μεταφορά ορμής, μάζας και θερμότητας μεταξύ της διακριτής και της συνεχούς φάσης, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την έρευνα αυτών των φαινομένων.

Οι διφασικές ροές λόγω της διαδομένης συνάντησής τους σε βιομηχανικές εφαρμογές, στη φύση (φαινόμενο βροχής, χαλάζι, μουςώνες, κυκλώνες κλπ., στη βιολογία (π.χ. ροή, αίματος), σε φαρμακευτικές διεργασίες, χρήζουν ιδιαίτερης πειραματικής μελέτης και έρευνας. Οι πιο κοινές εφαρμογές διφασικών ροών στη βιομηχανία είναι:

- Η καύση υγρών καυσίμων σε σπρέυ.
- Η ξήρανση με σπρέυ στη χημική βιομηχανία και στη βιομηχανία κατεργασιών.
- Η πνευματική μεταφορά στερεών κόκκων σε αεραγωγούς.
- Η εξάτμηση σταγόνων.
- Η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη.
- Η καύση κονιοποιημένου άνθρακα
- Ο διασκορπισμός ρύπων από βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Βασικός στόχος της έρευνας του πεδίου ροής των διφασικών ροών είναι η λήψη αξιόπιστων μετρήσεων μέσω και στιγμιαίων ταχυτήτων των δύο φάσεων (διακριτής - συνεχούς) για την κατανόηση και επεξήγηση των φαινομένων κίνησης. Επιπλέον, μετρήσεις ταχύτητας των δύο φάσεων σε ροές σε απλές γεωμετρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη και πιστοποίηση υπολογιστικών μεθόδων διφασικών ροών και εμπειρικών αριθμητικών μοντέλων προσομοίωσης του φαινομένου των διφασικών ροών βασιζόμενοι σε αριθμητικές μεθόδους πρόλεξης. Η μελέτη συμβάλλει σε βελτιώσεις στις διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές που αποσκοπούν είτε στη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, είτε στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια μιας εργαστηριακής πειραματικής μελέτης ισοθερμοκρασιακής διφασικής ροής λαμβάνονται υπ' όψη οι παρακάτω παράγοντες:

- πρέπει να διατηρούνται οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες σταθερές (π.χ. θερμοκρασία)
- να λαμβάνεται υπόψη και να ελέγχεται η τυχόν συμμετρία της ροής (π.χ. αξονοσυμμετρική)
- να αποδεικνύεται η διατήρηση της μάζας της ροής. Αυτό επιτυγχάνεται είτε χρησιμοποιώντας ειδικά παροχόμετρα είτε ολοκληρώνοντας τα προφίλ ταχυτήτων των δύο φάσεων, σε αντιπροσωπευτικές θέσεις της ροής.

Ακόμα σημαντικό ρόλο στα χαρακτηριστικά της ροής παίζουν και οι οριακές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων, η επιφανειακή τραχύτητα και η γεωμετρία της, η σωματιδιακή φόρτιση, η σωματιδιακή αδράνεια, οι τοπικές μεταβολές της συγκέντρωσης των σωματιδίων, οι διασωματιδιακές συγκρούσεις καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της διακριτής φάσης που επηρεάζουν την σωματιδιακή κίνηση. Τέτοια είναι: οι δυνάμεις βαρύτητας και τριβής, οι δυνάμεις άνωσης και οπισθέλκουσας, οι δυνάμεις λόγω περιστροφικής κίνησης των σωματιδίων κ.ά.

Οι οπτικές μέθοδοι μέτρησης πεδίου ροής έχουν σαν βασικό τους πλεονέκτημα τη μη παρεμβατικότητα τους στο πεδίο ροής και βρίσκουν ιδιαίτερη εφαρμογή σε διφασικές ροές. Δεν αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά του πεδίου ροής στο σημείο διεξαγωγής των μετρήσεων. Ακόμα τέτοιες μέθοδοι πλεονεκτούν έναντι των άλλων γιατί είναι ευαίσθητες σε χαμηλές ταχύτητες καθώς και σε αναστροφή της κατεύθυνσης της ροής.

B. Μετρητικές Τεχνικές

Γενικά

Για τη μέτρηση της ταχύτητας ή της παροχής σε διφασικά πεδία ροής χρησιμοποιούνται γενικά δύο ειδών κατηγορίες μετρητικών τεχνικών: οι παρεμβατικές (κυρίως μηχανικές μέθοδοι) που παρεμβάλλονται στη ροή και οι μη παρεμβατικές (οπτικές και ακουστικές μέθοδοι) που αφήνουν αδιατάρακτο το πεδίο ροής.

Οι παρεμβατικές μέθοδοι, για να μετρήσουν την ταχύτητα και την παροχή του πεδίου ροής, στηρίζονται είτε σε θερμικά ή ηλεκτρομηχανικά φαινόμενα είτε στο θεώρημα Bernoulli.

Οι πιο γνωστές παρεμβατικές μέθοδοι είναι:

- σωλήνας Pitot (ροόμετρο ολικής πίεσης)
- μετρητής Venturi (ροόμετρο στένωσης διατομής)
- ροόμετρο πλωτήρος (ή ροόμετρο μεταβλητής διατομής)
- Ανεμόμετρα θερμαινόμενου νήματος
- Μαγνητικά ροόμετρα
- Μετρητικοί μιλίσκοι.

Οι οπτικές μέθοδοι έχουν τη δυνατότητα επιλογής ανάλογα με το αν απαιτούνται ολοκληρωτικές πληροφορίες για την ταχύτητα ή τη θερμοκρασία ολοκλήρου του πεδίου ροής ή αν χρειάζονται τοπικές πληροφορίες (τοπική ταχύτητα ή θερμοκρασία). Από τις οπτικές μεθόδους ευρύτερα χρησιμοποιούνται οι :

- L.D.A. (Laser Doppler Anemometry)
- P.D.A. (Phase Doppler Anemometry)
- P.I.V. (Partikle imaging Velocimetry)

} για τη μέτρηση του διανύσματος της τοπικής ταχύτητας και των συνιστωσών της

- μέθοδος οπτικοποίησης με φθορισμό ροδαμίνης
- μέθοδος Schlieren
- μέθοδος σκιαγράφησης
- μέθοδος οπτικογράφησης με συμβολή
(interferometry) κ.ά.

για την
απεικόνιση των
γενικότερων
χαρακτηριστικών
κίνησης των δύο
φάσεων

Αυτές οι μέθοδοι έχουν σαν κοινό χαρακτηριστικό τους την ανάγκη χρησιμοποίησης κατάλληλων σωματιδίων μέσα στο πεδίο ροής ώστε να προκαλέσουν σκέδαση του φωτός που στη συνέχεια εξετάζεται για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τα μεγέθη που χρήζουν προσοχής.

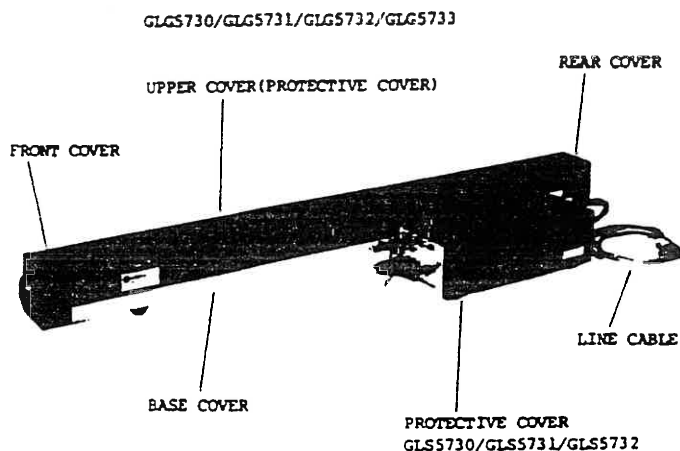
Οι περισσότερες από τις τεχνικές αυτές βρίσκουν περιορισμένη εφαρμογή σε διφασικές ροές (π.χ. σε πολύ αραιές ροές) διότι η παρουσία της διακριτής φάσης αναστέλλει τη σωστή λειτουργία τους.

Ανεμομετρία Laser Doppler

Γενικά για Laser

Στη συνέχεια παρουσιάζεται σύντομη αναφορά για τα συστήματα Laser και τις εφαρμογές τους και τις αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους. Το Laser είναι μια πηγή φωτεινής, μονοχρωματικής, συνεκτικής ακτινοβολίας, δηλαδή ένας "πολλαπλασιαστής" φωτός ο οποίος δημιουργεί ένα ρεύμα φωτονίων της αυτής συχνότητας, φάσης και διεύθυνσης.

Τα συστήματα Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) έχουν γίνει, τα τελευταία χρόνια, απαραίτητα εργαλεία για την επιστημονική έρευνα. Αυτό έγινε κυρίως γιατί επιτεύχθηκε η κατασκευή σταθερών πιο φθηνών συστημάτων, (όπως τα συστήματα Laser Ηλίου - Νέον He-Ne), σαν και αυτό που χρησιμοποιείται στο σύστημα LDA του εργαστηρίου καύσης και διφασικών μειγμάτων του ΕΜ.Π. (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Σύστημα Ανεμομετρίας Laser Doppler του (LDA) Εργαστηρίου Καύσης και Διφασικών μειγμάτων του Τομέα Θερμότητας

Εφαρμογές των Lasers

Υπάρχουν εφαρμογές των συστημάτων Laser σε πάρα πολλούς τομείς. Ενδεικτικά αναφέρονται:

– Επιστημονική έρευνα: Εφαρμόζονται στη μελέτη των ρευστο-μηχανικών πεδίων (μέτρηση ταχύτητας και μεγέθους σωματιδίων) καθώς και στη χημική ανάλυση και στη φωτοχημεία.

– Βιομηχανικές εφαρμογές: Χρησιμοποιούνται κυρίως στην κοπή, επιφανειακή επεξεργασία ή ακόμα και στην εξάχνωση υλικών. Αυτό επιτυγχάνεται με Laser μεγάλης ισχύος. Εστιάζοντας τέτοια Laser σε ένα συγκεκριμένο σημείο ενός υλικού, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος, προκαλούμε θέρμανση του υλικού. Τα Lasers μπορούν να διατρήσουν και να επεξεργαστούν ακόμα και σκληρά υλικά (π.χ. διαμάντια) να επισκευάσουν chips ημιαγωγών, να προκαλέσουν ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη κ.ά.

Χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση των ρύπων της ατμόσφαιρας, καθώς και στη μέτρηση με ακρίβεια πολύ μεγάλων αποστάσεων (π.χ. γης - σελήνης).

Ακόμα μεγάλη είναι η χρήση τους στην επιτάχυνση σωματιδίων αλλά και σε τεχνικές επιβράδυνσης ατόμων.

– Τηλεπικοινωνίες: Η ιδιότητα ενός Laser να μπορεί να "ταξιδέψει" το φως του σε απόσταση που φθάνει ακόμα και στο διάστημα, με μικρή μείωση στην ένταση του σήματός του, έκανε τα συστήματα Laser να έχουν μεγάλες εφαρμογές στις τηλεοπτικές εκπομπές όπως και στις διαστημικές επικοινωνίες. Ακόμα χρησιμοποιούνται για εγγραφές (οπτικές και ήχου) υψηλής πυκνότητας. Για παράδειγμα τέτοιες τεχνικές απλοποιούν την εγγραφή ενός ολογράμματος, με αποτέλεσμα μια τρισδιάστατη εικόνα να αναπαράγεται με μια ακτίνα Laser (μέθοδος ολογραφίας).

– Ιατρική: Ειδικές ακτίνες Laser (κατάλληλης συχνότητας) μπορούν να καυτηριάσουν ή να κόψουν συγκεκριμένους ιστούς του ανθρώπινου οργανισμού σε κλάσματα δευτερολέπτου, χωρίς να προκαλέσουν ζημιά στους περιβάλλοντες υγιείς, ιστούς στην περιοχή της επέμβασης. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε δύσκολες και πολύ λεπτές επεμβάσεις, όπως οφθαλμολογικές επεμβάσεις. Τελευταία έχουν αναπτυχθεί τεχνικές που χρησιμοποιούν ακτίνες Laser στην αφαίρεση ρυτίδων, μελανωμάτων, στιγμάτων του δέρματος κ.ά.

– Πολεμική βιομηχανία: Συστήματα Lasers αυτόματης καθοδήγησης αεροσκαφών, δορυφόρων και πυραύλων μελετώνται και κατασκευάζονται από την πολεμική βιομηχανία. Γνωστό παράδειγμα είναι και το πρόγραμμα Strategic Defense Initiative ("πόλεμος των άστρων") σύμφωνα με το οποίο θα κατασκευαζόταν ένα σύστημα, το οποίο θα ανίχνευε και κατόπιν με την καθοδήγηση ακτίνων Laser θα εξουδετέρωνε εχθρικούς βαλλιστικούς πυραύλους σε μεγάλο ύψος πάνω από το έδαφος, χωρίς να θέτει σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.

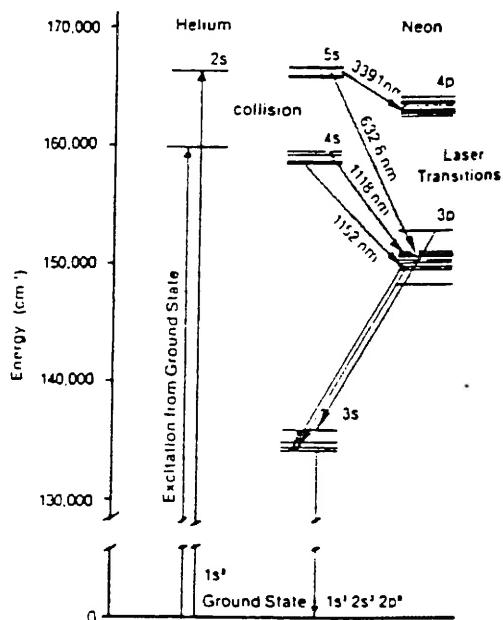
Αρχή λειτουργίας συστημάτων Laser

Οι βασικές αρχές του Laser περιγράφηκαν από τους Schawlow και Townes το 1958, ενώ το πρώτο Laser κατασκευάστηκε από τους Maiman και την Hughes Aircraft Company το 1960.

Όπως φαίνεται και από τον τρόπο που προήλθε η ονομασία Laser η λειτουργία του στηρίζεται στην εκπομπή ακτινοβολίας από διεγερμένα άτομα ή μόρια συνήθως κάποιου φθορίζοντος αερίου ή υλικού. Έτσι άτομα ή μόρια ενεργειακά διεγερμένα, μεταπίπτουν σε χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο, εκπέμποντας φωτόνια ενέργειας:

$$E=h \cdot \nu$$

όπου h είναι η σταθερά του Plank και ν η συχνότητα του φωτονίου. Αυτή είναι η στιγμιαία εκπομπή ακτινοβολίας ή φωτεινότητας. Το εκπεμπόμενο φωτόνιο περνώντας κοντά από άλλο άτομο σε κατάσταση διεγέρσεως προκαλεί παρόμοια εκπομπή. Τα εκπεμπόμενα και τα διεγειρόμενα φωτόνια είναι ίδια από κάθε άποψη, έχοντας την αυτή συχνότητα, φάση, κατεύθυνση και πόλωση. Έτσι για να είναι δυνατή η διατήρηση της ακτινοβολίας Laser, κατά τη λειτουργία του συστήματος, πρέπει η πλειοψηφία των ατόμων του φθορίζοντος μέσου να βρίσκεται σε κατάσταση διεγέρσεως. Ειδικά για το σύστημα He-Ne (που υπάρχει στο εργαστήριο), μίγμα αυτών των αερίων (10% Ne, 90% He) τοποθετείται σε στενό διάτρητο σωλήνα, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να ανανεώνεται από κάποια δεξαμενή. Αυτά τα Laser, διατηρούν τέτοια αναλογία αερίων ώστε να μεγιστοποιείται ο λόγος της ισχύος της παραγόμενης ακτίνας προς τον όγκο του σχηματιζόμενου εσωτερικά του σωλήνα πλάσματος. Το αέριο στον σωλήνα ιονίζεται από μια ηλεκτρική εκκένωση. Το πλάσμα που σχηματίζεται περιέχει πολλά άτομα He σε μετασταθείς καταστάσεις (βλ. σχήμα 1.2).

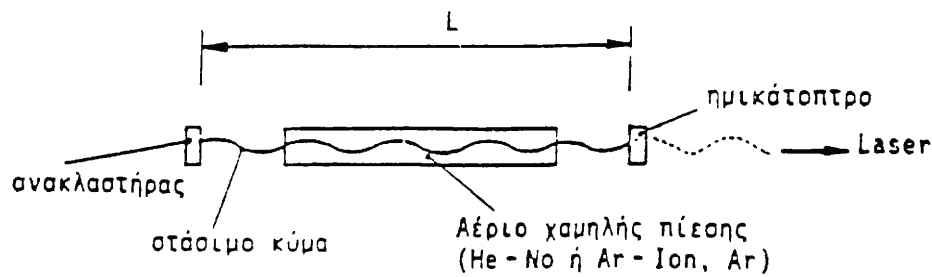


Σχήμα 1.2: Μετασταθείς καταστάσεις ατόμων He

Οι συνεχείς διεγέρσεις και υποδιεγέρσεις ατόμων που περιλαμβάνονται στο μίγμα, έχουν σαν αποτέλεσμα ένα ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται να εξέρχεται από τον σωλήνα σχεδόν παράλληλα με αυτόν. Το υπόλοιπο ποσοστό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξέρχεται από τα τοιχώματά του και έτσι δεν συνεισφέρει στη δημιουργία ακτίνας Laser.

Η πιθανότητα για κάποιο παραγόμενο φωτόνιο, που διασχίζει το σωλήνα, να διεγείρει ένα άλλο άτομο αερίου Ne, με αποτέλεσμα την εμπομπή και άλλου φωτονίου, εξαρτάται από την πυκνότητα του μίγματος των αερίων καθώς και το μήκος του σωλήνα. Η πιθανότητα αυτή υπολογίζεται στο 10% για ένα απλό πέρασμα κατά μήκος του σωλήνα.

Παράλληλα τοποθετούνται καθρέπτες ειδικής διαμόρφωσης (βλ. σχήμα 1.3) εσωτερικά και στις άκρες του διάτρητου σωλήνα, με σκοπό τα παραγόμενα φωτόνια να αντανακλώνται στις επιφάνειες των καθρεπτών και να συγκρούονται με τα άτομα του μείγματος He-Ne ώστε να διατηρείται η διαδικασία διέγερσής τους.



Σχήμα 1.3: Καθρέπτες ειδικής διαμόρφωσης

Χαρακτηριστικό της λειτουργίας είναι ότι η παραγόμενη ακτίνα Laser στο εσωτερικό του σωλήνα είναι 100 φορές ισχυρότερη από εκείνη που εξέρχεται από αυτόν. Αυτό οφείλεται στο ότι μόνο ενός επιθυμητού μήκους κύματος φωτόνια πολλαπλασιάζονται από τους καθρέπτες και μόνο το 10% της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξέρχεται από το σωλήνα.

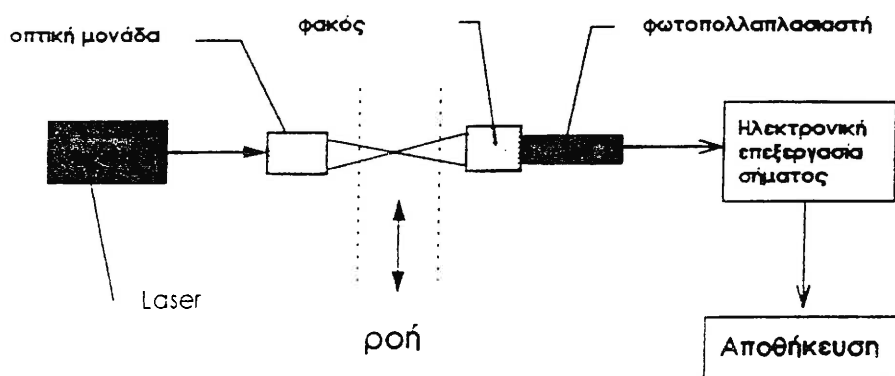
Είδη συστημάτων Laser

Τα συστήματα Laser ανάλογα με το φθορίζον υλικό ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες: στερεάς κατάστασης, αερίων, ημιαγωγών και υγρών. Τα σημαντικότερα συστήματα Laser είναι:

- Στερεά κατάσταση: Laser Ρουβιδίου, Laser Νεοδυμίου.
- Laser Οργανικών Χρωστικών.
- Αέρια κατάσταση Laser He-Ne, Laser ιόντων, Lasers CO₂, Laser He-Cd, Lasers ατμών - νερού, Laser HCN, Laser HF, παλμικό Laser αζώτου.
- Lasers ημιαγωγών (semi-conductor): Laser επαφής, Laser έγχυσης.

Διάταξη ανεμομετρίας Laser - Doppler

Η μέθοδος της ανεμομετρίας Laser Doppler κάνει χρήση του φαινομένου Doppler: η συχνότητα σήματος (ηχητικού, φωτεινού, ηλεκτρικού) που λαμβάνει η ηλεκτρονική διάταξη, εξαρτάται από την κίνηση της εκπέμπουσας στο σήμα πηγής.



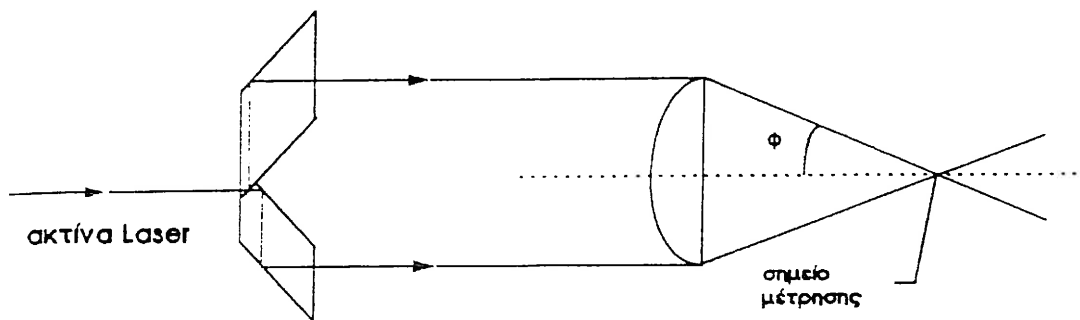
Σχήμα 1.4: Ηλεκτρονική διάταξη ανεμόμετρου Laser - Doppler

Στην πράξη χρησιμοποιείται μια διάταξη του σχήματος 1.4, η οποία περιέχει δύο φωτεινές ακτίνες ίδιας συχνότητας που τέμνονται σε κάποιο σημείο του πεδίου ροής. Το σκεδαζόμενο φως από το σωματίδιο που διαπερνά το σημείο τομής συλλέγεται από το φωτοπολλαπλασιαστή με σκοπό τη μέτρηση της συχνότητας του η. Τα σωματίδια προστίθενται συνήθως τεχνητά στη συνεχή φάση.

Πρέπει να είναι ακόμα αρκετά ώστε το λαμβανόμενο σήμα να είναι συνεχές και να έχουν κατάλληλη διάμετρο, ώστε να είναι σε θέση να παρακολουθήσουν πιστά τη ροή.

Η μέθοδος αυτή είναι μια μέθοδος μη παρεμβατική στο πεδίο ροής. Ισχύει τόσο η γραμμική σχέση για την ταχύτητα όσο και η μη αναγκαιότητα της βαθμονόμησης του συστήματος.

Η διάταξη μέτρησης που χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές είναι αυτή της εμπρόσθιας σκέδασης. Σε αυτή τη διάταξη η αρχική ακτίνα χωρίζεται σε δύο παράλληλες ακτίνες στην έξοδο από την οπτική μονάδα. Στη συνέχεια ένα σύστημα ειδικών φακών εστιάζει τις δύο αυτές ακτίνες σε ένα συγκεκριμένο σημείο του πεδίου της ροής (βλ. σχήμα 1.5).



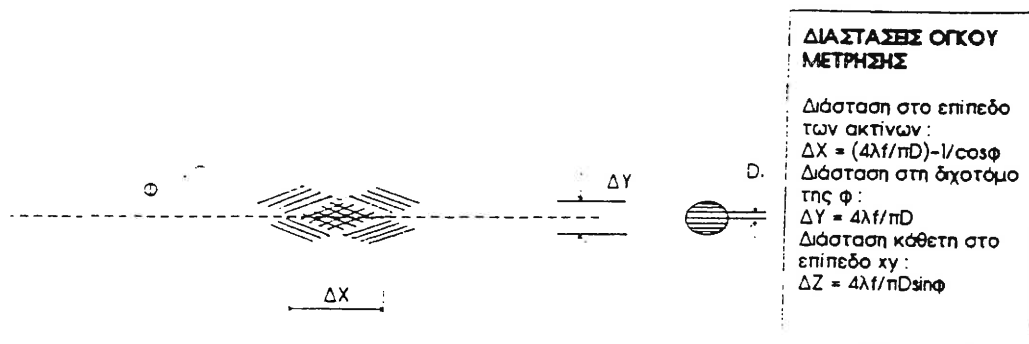
Σχήμα 1.5: Διάταξη εμπρόσθιας σκέδασης

Γύρω από αυτό το σημείο δημιουργείται ο όγκος μέτρησης (m.c.v. = measuring control volume) που κατά προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ελλειψοειδές. Στην περιοχή αυτή σχηματίζονται οι κροσσοί συμβολής.

Η ταχύτητα που θέλουμε να μετρήσουμε υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U = \lambda \cdot \frac{\eta}{2} \cdot \eta \mu \phi$$

όπου ϕ : η ημιγωνία της σχηματιζόμενης γωνίας τομής των ακτίνων και λ : το μήκος κύματος της αρχικής ακτίνας Laser (βλ. σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6: Κροσσοί συμβολής

Κάθε σωματίδιο, καθώς κινείται μέσα στην περιοχή μέτρησης, σκεδάζει το φως του Laser με συχνότητα Doppler

$$\eta = \frac{2 \cdot U \cdot \eta \mu \phi}{H \cdot \lambda}$$

όπου ένταση

$$U = \frac{\lambda \cdot \eta}{2 \eta \mu \phi}$$

η μετρούμενη ταχύτητα του οποίου δεν είναι σταθερή και έτσι επηρεάζεται η απόδοση του φωτοπολλαπλασιαστή. Έχουμε την καλύτερη απόδοση όταν ισχύει:

$$D_p = \frac{Df}{2}$$

δηλαδή όταν η διάμετρος των σωματιδίων είναι η μισή από την απόσταση των κροσσών συμβολής.

Πριν από τη χρήση των κατάλληλων φακών και την εστίαση οι δύο παράλληλες ακτίνες έχουν διάμετρο D , ενώ μετά την εστίαση η μία πλέον ακτίνα έχει διάμετρο d με $d < D$. Ισχύει:

$$d = \frac{4 \cdot \lambda \cdot f}{\pi \cdot D}$$

όπου: f : η εστιακή απόσταση του φακού. Όταν οι δύο ακτίνες εστιάζονται υπό γωνία 2ϕ σε απόσταση f τότε σχηματίζεται ελλειψοειδές. Σχηματίζεται δηλαδή ένα σύστημα κροσσών (fringe) συμβολής με απόσταση μεταξύ τους, που δίνεται από τη σχέση:

$$D_f = \frac{\lambda}{2 \cdot \eta\mu\phi}$$

Ακόμα το πλήθος των κροσσών συμβολής είναι:

$$v = \frac{\Delta Y}{D_f} = \frac{8 \cdot f \cdot \eta\mu\phi}{\pi \cdot D}$$

Η ένταση φωτεινότητας της ακτίνας Laser δεν είναι σταθερή κατά τη διάμετρό της. Ακολουθεί όμως μια κατανομή κατά Gauss: μέγιστη ένταση στο κέντρο της ακτίνας και μηδενική στην περιφέρειά της.

Αν I_1, I_2 η ένταση των ακτίνων σε κάθε σημείο του όγκου μέτρησης, τότε η ένταση κάθε σημείου του όγκου αυτού δίνεται από τη σχέση:

$$I(x, y, z) = I_1 + I_2 + 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{2 \sin \phi}{\lambda} \cdot x\right)$$

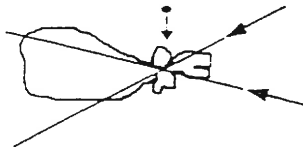
όπου: $I_1 = I_{1 \text{ μέγισ.}} \cdot \exp\left\{-\frac{\cos^2 \phi \cdot x^2 + y^2 + \sin^2 \phi \cdot z^2}{4 \cdot \left(\frac{\lambda \cdot f}{\pi \cdot D}\right)^2}\right\}$ και

$$I_1 = I_{1\text{μεγστ.}} \cdot \exp \left\{ - \frac{\cos^2 \varphi \cdot x^2 + y^2 + \sin^2 \varphi \cdot z^2}{4 \cdot \left(\frac{\lambda \cdot f}{\pi \cdot D} \right)^2} \right\}$$

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω τύπους η μεγαλύτερη φωτεινότητα παρουσιάζεται όταν οι δύο ακτίνες έχουν τις ίδιες εντάσεις:

$$I_{1\text{μεγ.}} = I_{2\text{μεγ.}}$$

Σε αυτή την περίπτωση ο όγκος μέτρησης παρουσιάζει τη μεγαλύτερη φωτεινότητα στο κέντρο του και όσο πλησιάζουμε προς τα άκρα του ελλειψοειδούς η ένταση αυτή της φωτεινότητας μειώνεται. Έτσι το κάθε σωματίδιο που διέρχεται από τον όγκο μέτρησης σκεδάζει φως συχνότητας η αλλά μεταβαλλόμενης έντασης. Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται η ένταση στις διάφορες γωνίες του σκεδαζόμενου φωτός από το σωματίδιο που περνά από τον όγκο μέτρησης.



Σχήμα 1.7: Μεταβολή της έντασης των ακτίνων

Από τα παραπάνω βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η ένταση του σκεδαζόμενου φωτός είναι πολύ μεγαλύτερη προς την κατεύθυνση των συμβαλλομένων ακτίνων. Αυτός είναι και ο λόγος που η διάταξη της εμπρόσθιας σκέδασης είναι πιο αποδοτική από αυτή της οπίσθιας σκέδασης. Στην τελευταία αυτή διάταξη σκέδασης χρησιμοποιούνται συνήθως φακοί μεγαλύτερης διαμέτρου για τη συγκέντρωση του σκεδαζόμενου φωτός.

Μικρό πρόβλημα δημιουργείται κατά τη διάκριση της κατεύθυνσης της μετρούμενης συνιστώσας (θετικής ή αρνητικής) της ταχύτητας. Σε αυτή την περίπτωση το πρόβλημα αντιμετωπίζεται ως εξής: μεταβάλλεται κατά V_{sn} η συχνότητα της μιας από τις δύο συμβαλλόμενες ακτίνες και έτσι η διαφορά στη συχνότητα των δύο ακτίνων έχει σαν αποτέλεσμα οι κροσοί που σχηματίζονται να μην είναι στάσιμοι αλλά να κινούνται με ταχύτητα U_{sn} , που εξαρτάται από τη συχνότητα μετατόπισης. Η συχνότητα με την οποία σκεδάζεται το φως (V_D) από κάποιο διερχόμενο σωματίδιο δίνεται από τη σχέση:

$$U_D = \lambda \cdot V_{D/z} \cdot \sin \varphi$$

όπου:

$$U_D = U_{sn} + U \text{ απόλυτη}$$

και

$$U_{sn} = \lambda \cdot V_{sn/z} \cdot \sin \varphi$$

Αυτή η μετατόπιση της συχνότητας βρίσκει εφαρμογή σε πεδία ροής που το επίπεδο τύρβης είναι υψηλό και είναι αναμενόμενο να έχουμε θετικές, αλλά και αρνητικές τοπικές τιμές ταχυτήτων στο πεδίο ροής.

Η μετρητική τεχνική Laser Doppler Anemometry συμπληρώνεται από μια ηλεκτρονική διάταξη επεξεργασίας σήματος. Όμως εκτενέστερη αναφορά για αυτή τη διάταξη γίνεται σε παρακάτω κεφάλαιο.

Μεταλλάκτες (Transducers)

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στα όργανα που λαμβάνουν τις μετρήσεις και καταγράφουν κάποια αποτελέσματα. Αυτά τα όργανα δεν χρησιμοποιούνται ποτέ από μόνα τους, αλλά σε συνεργασία με μεταλλάκτες (Transducers). Αυτοί είναι μηχανισμοί οι οποίοι ευαισθητοποιούνται από το μετρούμενο μέγεθος και αφού το μετατρέψουν παρέχουν στην έξοδό τους άλλο προσφορότερο να αξιοποιηθεί φυσικό μέγεθος. Τέτοιο φυσικό μέγεθος (προσφορότερο) θεωρείται κάποιο ηλεκτρικό σήμα (ένταση, τάση). Στόχος της χρήσης ενός μεταλλάκτη είναι η μετατροπή του τροφοδοτούμενου στην είσοδο σήματος του φυσικού μεγέθους, σε ηλεκτρικό σήμα.

Κάθε μεταλλάκτης δέχεται ένα σήμα εισόδου (I_{in}) και παράγει στην έξοδο ένα ηλεκτρικό σήμα (I_{out}) σύμφωνα με την χαρακτηριστική εξίσωση λειτουργίας του. Αυτή έχει τη γενική μορφή:

$$I_{out} = f(I_{in})$$

Το ηλεκτρικό σήμα που πέρνουμε στην έξοδο χαρακτηρίζεται ως αναλογικό σήμα ή αναλογική πληροφορία. Δηλαδή το σήμα εξόδου έχει την ιδιότητα να μεταβάλλεται λαμβάνοντας συνεχείς τιμές, καθώς μεταβάλλεται το σήμα του μετρούμενου μεγέθους.

Κύριο χαρακτηριστικό των μεταλλακτών είναι η ευαισθησία τους. Ορίζεται από τη σχέση:

$$n = \frac{d I_{out}}{d I_{in}}$$

Εκφράζει τη μεταβολή του ηλεκτρικού σήματος σε συνάρτηση με το μετρούμενο φυσικό μέγεθος.

Ακόμα θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και μεταλλάκτες οι οποίοι δεν παρέχουν απευθείας ηλεκτρικό σήμα. Έτσι επιβάλλεται η σύνδεση σε σειρά ενός δεύτερου μεταλλάκτη, ο οποίος τροφοδοτείται με το μη ηλεκτρικό σήμα του πρώτου και έτσι παρέχει τελικά στην έξοδο ηλεκτρικό σήμα.

Επίσης υπάρχουν μεταλλάκτες των οποίων μεταβάλλονται τα φυσικά χαρακτηριστικά όταν τροφοδοτούνται με το σήμα του υπό μέτρηση μεγέθους. Τέτοιο παράδειγμα μεταλλάκτη έχουμε όταν μεταβάλλεται η ηλεκτρική αντίσταση λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας ή μεταβάλλονται οι διαστάσεις ενός σύρματος λόγω της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης. Σε αυτή την περίπτωση η τροφοδότηση του μεταλλάκτη με ηλεκτρική ισχύ έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή κάποιου ηλεκτρικού μεγέθους (τάσης ή έντασης) που προκαλείται από τη μεταβολή των υπόψη, ηλεκτρικής φύσεως, χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του μεταλλάκτη.

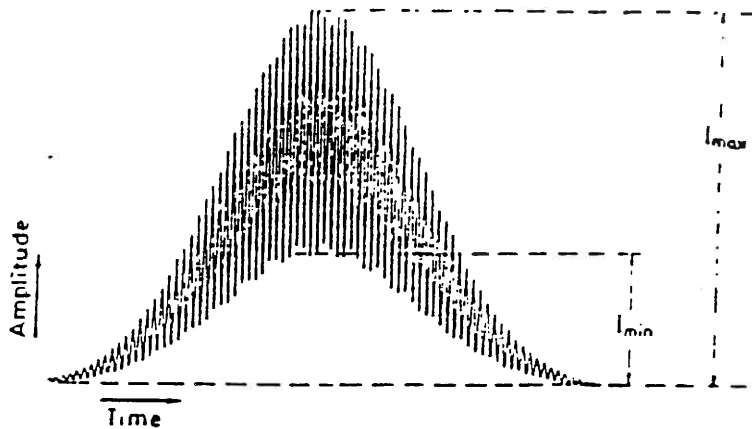
Χαρακτηριστικά και ποιότητα σημάτων Doppler

Όπως έχουμε πει και σε προηγούμενη παράγραφο, το φως που σκεδιάζεται από κάποιο σωματίδιο, καθώς αυτό διέρχεται του όγκου μέτρησης αποδίδει ένα ηλεκτρονικό σήμα. Το σήμα αυτό αποτελείται από ένα χαμηλής συχνότητας στοιχείο, την περιβάλλουσα του σήματος που απεικονίζει την κατά Gauss κατανομή της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός στον όγκο μέτρησης και ένα στοιχείο υψηλής συχνότητας. Αυτό δημιουργείται από την υπέρθεση των δύο μετατοπισμένων (λόγω συχνότητας) ακτίνων Laser στον όγκο μέτρησης σαν αποτέλεσμα της διέλευσης ενός σωματιδίου.

Η ποιότητα ενός σήματος εκφράζεται από το λόγο σήματος προς το θόρυβο (SNR). Ο λόγος αυτός εξαρτάται από τη Διαβάθμιση ή Ορατότητα του σήματος (signal visibility or modulation depth). Ορίζεται ως:

$$n_m = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

όπου I_{\max} και I_{\min} είναι η ένταση ενός σήματος Doppler στα δύο άκρα του εύρους του (βλ. σχήμα 1.8)



Σχήμα 1.8: Τυπικό σήμα L.D.A

Η πιο διαδεδομένη από τις διάφορες προσεγγιστικές σχέσεις για την ορατότητα σήματος Doppler για μέτρηση ταχύτητα σωματιδίων, είναι αυτή του Farmer W.H (1980) που βελτιώθηκε από τον Bachalo W.D.

Η σχέση δίνεται ως εξής:

$$V = \lambda \cdot \frac{J_1 \left(\frac{\pi \cdot \Gamma_p}{\delta} \right)}{\frac{\pi \cdot \Gamma_p}{\delta}}$$

όπου

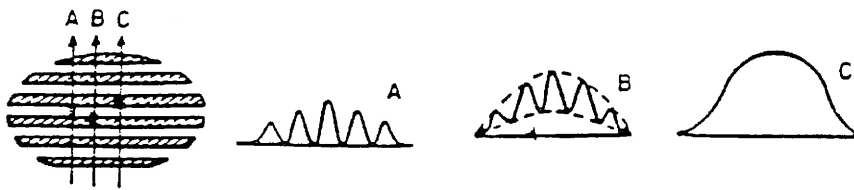
J_1 : η πρώτη τάξης συνάρτηση Bessel

Γ_p : η ακτίνα των σωματιδίων

δ : η απόσταση των κροσσών συμβολής στον όγκο ελέγχου.

Η ορατότητα ενός σήματος Doppler εξαρτάται και από το μέγεθος του διερχόμενου σωματιδίου καθώς και από τον τρόπο διέλευσής του μέσα από τον όγκο μέτρησης. Δηλαδή συνδέεται με την ποσότητα του φωτός που σκεδάζεται από κάποιο σωματίδιο που κινείται στον όγκο μέτρησης. Έτσι αν ένα μικρό σωματίδιο (A) διέρχεται του διαστήματος μεταξύ δύο κροσσών συμβολής έχουμε πλήρη ορατότητα του σήματος.

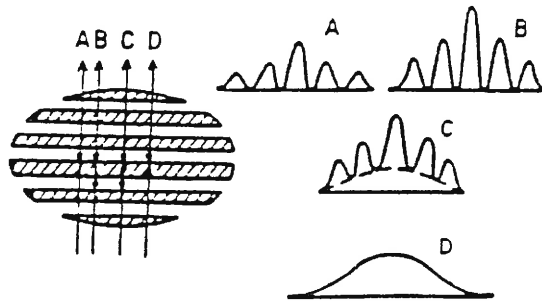
Αν το σωματίδιο είναι μεγαλύτερο και δεν βρίσκεται εξ' ολοκλήρου μέσα στο διάστημα δύο κροσσών συμβολής (B) τότε έχουμε μερική ορατότητα του σήματος. Τέλος αν ένα αρκετά μεγάλο σωματίδιο βρίσκεται πάνω σε ένα διάστημα κροσσών συμβολής (C) δεν εξάγεται κανένα συμπέρασμα για την ταχύτητα μιας και η ορατότητα του εκπεμπόμενου σήματος είναι μηδενική (βλ. σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9

Επίσης η ορατότητα ενός σήματος επηρεάζεται και από τον αριθμό των σωματιδίων που διέρχονται ταυτόχρονα από τον όγκο μέτρησης καθώς και από την σχετική τους θέση ως προς αυτόν. Δηλαδή, όταν ένα σωματίδιο διέρχεται του όγκου μέτρησης (A) ή δύο σωματίδια τα οποία χωρίζονται από ένα διάστημα κροσσού συμβολής (B), τότε η ορατότητα του σήματος είναι πλήρης. Αν διέλθουν του όγκου μέτρησης τρία σωματίδια εκ των οποίων το ένα βρίσκεται σε ένα διάστημα κροσσού συμβολής (C), έχουμε μερική ορατότητα του σήματος. Εάν περάσουν δύο σωματίδια, εκ των οποίων το ένα βρίσκεται σε ένα διάστημα κροσσού συμβολής (D) η ορατότητα του σήματος είναι μηδενική (βλ. σχήμα 1.10).

Ένας άλλος παράγοντας που μειώνει την ορατότητα του εκπεμπόμενου σήματος είναι και η αύξηση της σωματιδιακής συγκέντρωσης στο πεδίο ροής. Ακόμα βασικοί παράμετροι – που συνήθως αγνοούνται για ευκολία στην εξέταση των μετρήσεων – είναι: το σχήμα των σωματιδίων, η κατανομή της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός στον όγκο μέτρησης και οι οπτικές ιδιότητες των σωματιδίων.

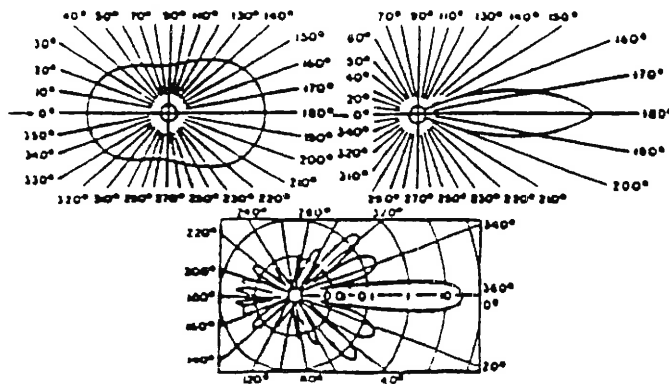


Σχήμα 1.10

Μια γενική θεωρία που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό τόσο των ακεραίων ποσοτήτων των σκεδαζόμενων παραμέτρων όσο και των τοπικών ποσοτήτων, όπως η ένταση και η φάση των σκεδαζόμενων κυμάτων φωτός, είναι και η θεωρία του Mie. Η θεωρία αυτή λαμβάνει υπόψη της, για τον υπολογισμό της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός από μικρά σωματίδια, τις εξής παραμέτρους:

- το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων
- την κατεύθυνση και τη γωνία από την οποία γίνεται η λήψη του σκεδαζόμενου φωτός
- το δείκτη διάθλασης του σωματιδίου
- την ένταση και το μήκος κύματος των προσπίπτουσών ακτίνων Laser που σχηματίζουν τον όγκο μέτρησης.

Στο σχήμα 1.11 παρουσιάζεται σχηματικά η μεταβολή της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων και την κατεύθυνση συλλογής του από την οπτική μονάδα της ηλεκτρονικής διάταξης.



Σχήμα 1.11

Στο συγκεκριμένο σύστημα Laser η συλλογή του σκεδαζόμενου φωτός γίνεται από την APD στις 0° , όπου σύμφωνα με τη θεωρία του Mie έχουμε την μέγιστη ένταση του φωτός.

Σύστημα επεξεργασίας σημάτων

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Τράπεζα φίλτρων.
- Μεταβατικός καταγραφέας.
- Ανιχνευτής κορυφής παλμού (BPD).
- Υπολογιστική μονάδα.

Τράπεζα φίλτρων (Band Pass Filter)

Το φως που εστιάζεται στην φωτοδίοδο δίνει στην έξοδό της ένα σήμα Doppler. Το σήμα αυτό διέρχεται από μια μονάδα υψιπερατών και βαθυπερατών φίλτρων της εταιρείας TSI. Αυτό γίνεται με σκοπό την βελτίωση αυτού του σήματος, δηλαδή την απομάκρυνση του θορύβου και της χαμηλής συχνότητας.

Τα υψιπερατά και τα βαθυπερατά φίλτρα έχουν συχνότητες:

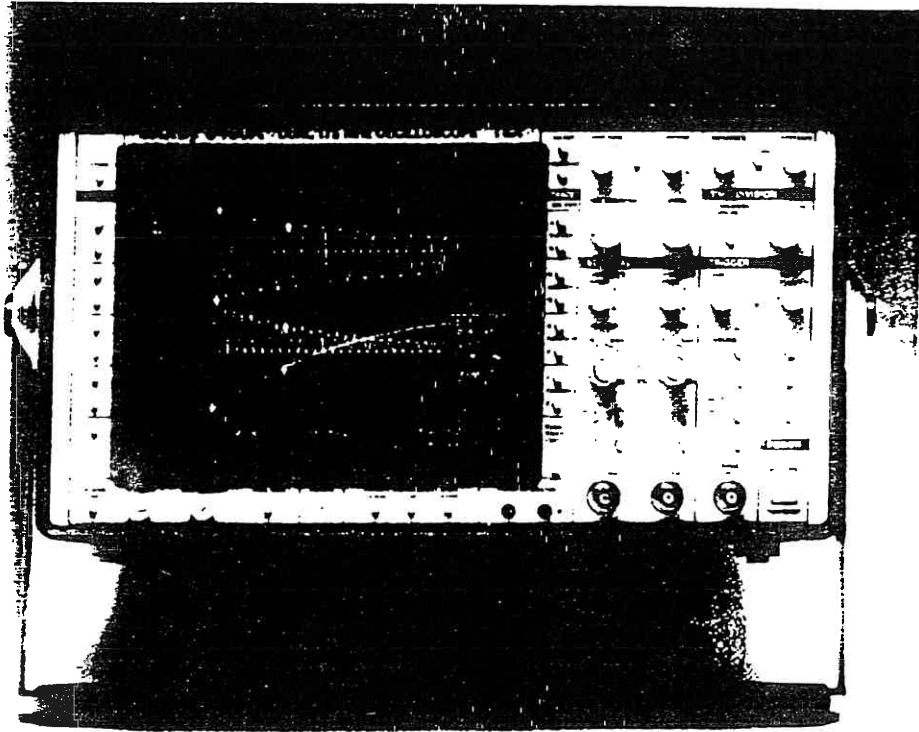
0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	MHz	και
0,2	0,5	1	2	5	10	20	50		MHz	αντίστοιχα

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους είναι:

Τάσης λειτουργίας	: 220W
Ισχύς	: 20 W
Μέγιστη παροχή τάσης	: 3V DC
Εσωτερική αντίσταση	: 50 Ohm

Μεταβατικός καταγραφέας (Transient Recorder)

Το επεξεργασμένο σήμα Doppler εξέρχεται από την τράπεζα φίλτρου που είδαμε παραπάνω και στη συνέχεια ψηφιοποιείται σε έναν ψηφιακό παλμογράφο της εταιρείας Le Croy (βλ. σχήμα 1.12 Le Croy 9400 A). Κάθε σήμα Doppler που εισέρχεται στον καταγραφέα ψηφιοποιείται σε 128 σημεία, ενώ 250 τέτοιοι ψηφιοποιημένοι παλμοί (bits) που συλλέγονται στον καταγραφέα μεταφέρονται στην υπολογιστική μονάδα για επεξεργασία, μέσω μιας παράλληλης κάρτας μεταφοράς δεδομένων GPIB - PCIIA υπό το πρωτόκολλο IEEE-488 που υποστηρίζει ο συγκεκριμένος παλμογράφος.



Σχήμα 1.12: Μεταβατικός καταγραφέας - Model 9400 AWPO1

Σε κάθε ψηφιοποιημένο παλμό (των 128 σημείων) που συλλέγεται από τον Η/Γ, πραγματοποιείται μετασχηματισμός Fourier FFT σε 64 σημεία απο όπου υπολογίζεται η μέση συχνότητα κάθε παλμού. Ταυτόχρονα καταγράφεται η ένταση κάθε σήματος (παλμού) και γίνεται διάκριση σε δύο ομάδες : σε σημεία υψηλής έντασης που είναι τα σωματίδια και σε σήματα χαμηλής έντασης που προέρχονται από το ρευστό (ντήζελ).

Έτσι από ένα προκαθορισμένο αριθμό ψηφιοποιημένων παλμών υπολογίζεται η μέση συχνότητα και η μέση τετραγωνική απόκλιση της. Τα μεγέθη αυτά πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή ταχύτητας: $velocity\ factor = 1.925\ m/sec/MHz$ μας δίνουν τις τιμές της μέσης ταχύτητας και της τετραγωνικής απόκλισής της. Οι σχέσεις που ισχύουν είναι:

Μέση ταχύτητα:

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^N (U_i)}{N}$$

Μέση τετραγωνική απόκλιση:

$$U_{\text{RMS}} = \left\{ \sum_{i=1}^N \left(\frac{\bar{U} - U_i}{N-1} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του μεταβατικού καταγραφέα είναι:

– κατακόρυφος αναλογικός τομέας

ευαισθησία : 5mV/div ÷ 1v/div για αντίσταση 50 Ohm και

5mV/div ÷ 5v/div για αντίσταση 1M Ohm

Εύρος συχνοτήτων: 50 Ω : DC ÷ 175 MHz στα 10 mV/div

και ÷ 225 MHz στα 1V/div

DC ÷ 150 MHz στα 5mV/div

1MΩ : AC : 10 Hz ÷ 100 MHz

1MΩ : DC : ÷ 100 MHz

Εσωτερική αντίσταση: 1 M Ohm

– Κατακόρυφος ψηφιακός τομέας

Συχνότητες λειτουργείας : 1, 10, 50 MHz

Signal to Noise Ratio : 44, 33.5, 42.5 dB

Μνήμη : 32 K

- Οριζόντιος τομέας

Εύρος : 2 nsec/div ÷ 100 sec/div

Ακρίβεια : μεγαλύτερη από 0,0002

Επεξεργασία παρεμβολής : 10p sec

- Όριο διέγερσης (Trigger Level)

Πηγές : CH1, CH2, LINE, EXT, EXT/10

Slope : θετική, αρνητική, window

Coupling : AC, LF, REJ, HF, REJ, DC

Modes : sequence, auto, normal, single

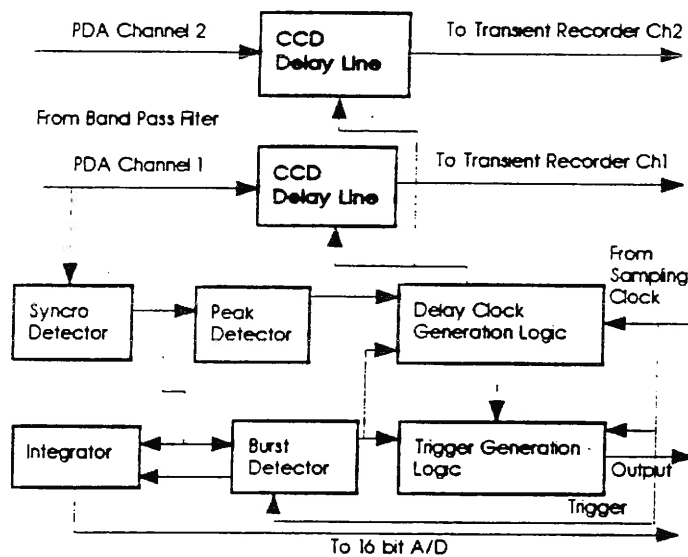
- Interface

α. GPIB (IEEE)

β. RS 232

Ανιχνευτής κορυφής παλμού (BPD: Burst Peak Detector)

Η βασική αρχή της λειτουργίας της συσκευής BPD είναι η ανίχνευση του εύρους σήματος Doppler, αφού αυτό περάσει από την τράπεζα φίλτρων. Με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος επιλέγει παλμούς που διακρίνονται για το υψηλό εύρος τους και τους προωθεί για επεξεργασία και ψηφιοποίηση στον μεταβατικό καταγραφέα. Μετά, οι ψηφιοποιημένοι πλέον παλμοί προωθούνται τότε στην υπολογιστική μονάδα όπου και γίνεται η στατιστική ανάλυση και η εξαγωγή των διαφόρων αποτελεσμάτων. Έτσι ο παλμός που επιλέγεται από την BPD έχει υψηλότερο SNR (signal to Noise Ratio = σήμα/θόρυβο). Αυτό διευκολύνει την επίτευξη υψηλής ακρίβειας κατά τον υπολογισμό της συχνότητας και κατεπέκταση την ανίχνευση των φάσεων της ροής που αντιπροσωπεύονται από τα σήματα Doppler. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα του ανιχνευτή κορυφής παλμού (B.P.D) απεικονίζεται στο σχήμα 1.13



Σχήμα 1.13: Ηλεκτρονικό κύκλωμα B.P.D.

Η διαδικασία επεξεργασίας αυτής της συσκευής είναι η εξής: τα ήδη φιλτραρισμένα σήματα Doppler μεταβιβάζονται, μέσω καναλιού, σε μια γραμμή υστέρησης CCD (Change Coupled Device: εποπτική συσκευή σύνδεσης) και σε έναν συγχρονισμένο ανιχνευτή. Αυτός ο ανιχνευτής παράγει

σήμα αντίστοιχο με την περιβάλλουσα του παλμού Doppler. Το σήμα αυτό χρησιμοποιείται για την επικύρωση του παλμού από τον ανιχνευτή παλμών, που διαθέτει ρυθμιζόμενο όριο διέγερσης (trigger level). Το όριο διέγερσης ρυθμίζεται πάντα έτσι ώστε να βρίσκεται πάνω από το επίπεδο του θορύβου του συστήματος.

Για να προσδιοριστεί η περιοχή του μέγιστου εύρους, που αντιστοιχεί στο μέσο (κέντρο) ενός παλμού Doppler, θα πρέπει να γίνει χρήση ενός ανιχνευτή κορυφής. Με αυτόν όταν ανιχνεύεται ένας παλμός, ενεργοποιείται ταυτόχρονα ο μεταβατικός καταγραφέας. Η διαδικασία αυτή είναι εφικτή μέσω μιας διεγειρόμενης γεννήτριας λογικής. Έτσι εξασφαλίζεται ότι ο μεταβατικός καταγραφέας ενεργοποιείται μόνο μια φορά κατά τη διάρκεια ενός παλμού.

Αυτό το γεγονός μας βοηθάει στην αντιμετώπιση σημάτων που προέρχονται από θόρυβο και στα οποία η περιβάλλουσα του παλμού εμφανίζει, πολλές φορές, αρκετές τιμές μικρών μεγίστων.

Έπειτα η διεγειρόμενη έξοδος (μετά το τέλος ενός παλμού) χρησιμοποιείται από τη γραμμή υστέρησης CCD για την αποθήκευση του κεντρικού τμήματος του διερχόμενου παλμού. Το ρολόι υστέρησης της γεννήτριας λογικής διασφαλίζει το γεγονός ότι οι γραμμές CCD αποθηκεύουν μόνο το κέντρο των δύο παλμών Doppler στο οποίο τα σήματα εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές τους. Όταν ενεργοποιηθεί ο μεταβατικός καταγραφέας το ρολόι υστέρησης της γεννήτριας λογικής, μεταβιβάζει το ρολόι του δείγματος από τον μεταβατικό καταγραφέα στις γραμμές υστέρησης CCD. Αρχίζει έτσι η μεταφορά των αποθηκευμένων κεντρικών τμημάτων των δύο σημάτων Doppler, από τις γραμμές CCD στον μεταβατικό καταγραφέα.

Ανακεφαλαιώνοντας τα παραπάνω, τα βασικά σημεία της λειτουργίας της συσκευής BPD είναι:

- το εύρος κάθε φιλτραρισμένου παλμού Doppler καταγράφεται με τη βοήθεια του ανιχνευτή κορυφής παλμού
- προσδιορίζεται η περιοχή του μέγιστου εύρους, που αντιστοιχεί στο κέντρο του παλμού Doppler.

Υπολογιστική μονάδα - Προγράμματα επεξεργασίας

Η επεξεργασία των ψηφιοποιημένων σημάτων Doppler και η στατιστική τους ολοκλήρωση μέσω του μετασχηματισμού Fourier (F.F.T.: Fast Fourier Transformation) γίνεται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια ενός προγράμματος (VELO) το οποίο αναπτύχθηκε στην έδρα της ρευστομηχανικής του πανεπιστημίου ERLANGEN - LSTM στη Γερμανία και η εγκατάστασή του στο Ε.Μ.Π. έγινε στα πλαίσια ερευνητικής συνεργασίας των δύο ιδρυμάτων.

Το πρόγραμμα αυτό έχει τη δυνατότητα εκτέλεσης πολύ ακριβούς μετασχηματισμού Fourier αφού ο χρήστης έχει την ικανότητα να επιλέξει τιμές για την παράμετρο FFT από την 64, 128 και 256 (τελευταία έκδοση). Στην έκδοση VELO 1 (διακριτική ικανότητα του μετασχηματικού Fourier: 64) αλλάζει ο τρόπος επικοινωνίας του Η/Υ με τον μεταβατικό καταγραφέα όσο και ο τρόπος μεταφοράς δεδομένων. Υπάρχει μια αμφίδρομη επικοινωνία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και ο έλεγχος του μεταβατικού καταγραφέα περνάει στον Η/Υ και μέσω του προγράμματος θέτονται αυτόματα οι επιλεγμένες παράμετροι λειτουργίας.

Η μεταφορά των ψηφιοποιημένων παλμών από τον καταγραφέα στον Η/Υ γίνεται σε συνεχή κατάσταση επεξεργασίας (sequential processing mode). Έτσι η λειτουργία των δύο μηχανημάτων είναι ανεξάρτητη. Έχουμε δηλαδή ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων. Η μνήμη του μεταβατικού καταγραφέα χωρίζεται σε 250 τμήματα ισομεγέδη και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ισάριθμων ψηφιοποιημένων παλμών. Αυτοί αποστέλλονται όλοι μαζί στον Η/Υ και ανά εκατό, επεξεργάζονται.

Ένα άλλο ειδικό λογισμικό είναι το Labview.

Αυτό είναι ένα πρόγραμμα ανάπτυξης εφαρμογών μέσω Windows, που δίνει τη δυνατότητα χειρισμού ψηφιακών οργάνων και κατά συνέπεια σημάτων.

Το πρόγραμμα αυτό μοιάζει με τα διάφορα εμπορικά συστήματα ανάπτυξης όπως C ή Basic. Διαφέρει σε ένα σημαντικό σημείο: στην προγραμματιστική γλώσσα που χρησιμοποιεί. Ενώ τα άλλα πακέτα προγραμμάτων χρησιμοποιούν γλώσσες βασισμένες σε κείμενο για τη δημιουργία του κώδικα, το Labview χρησιμοποιεί τη γραφική γλώσσα G, δημιουργώντας προγράμματα με μορφή block διαγράμματος.

Έτσι η χρήση του μπορεί να γίνει και από κάποιον με πολύ μικρή προγραμματιστική εμπειρία. Έχει ακόμα πολλές και μεγάλες βιβλιοθήκες χρήσιμες για τις προγραμματιστικές διαδικασίες. Διευκολύνει έτσι την επεξεργασία των μετρήσεων και βοηθάει στην ανάκτηση των σημάτων σε μικρό χρονικό διάστημα.

Η υπολογιστική μονάδα που είναι συνδεδεμένη με το σύστημα επεξεργασίας σημάτων, έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

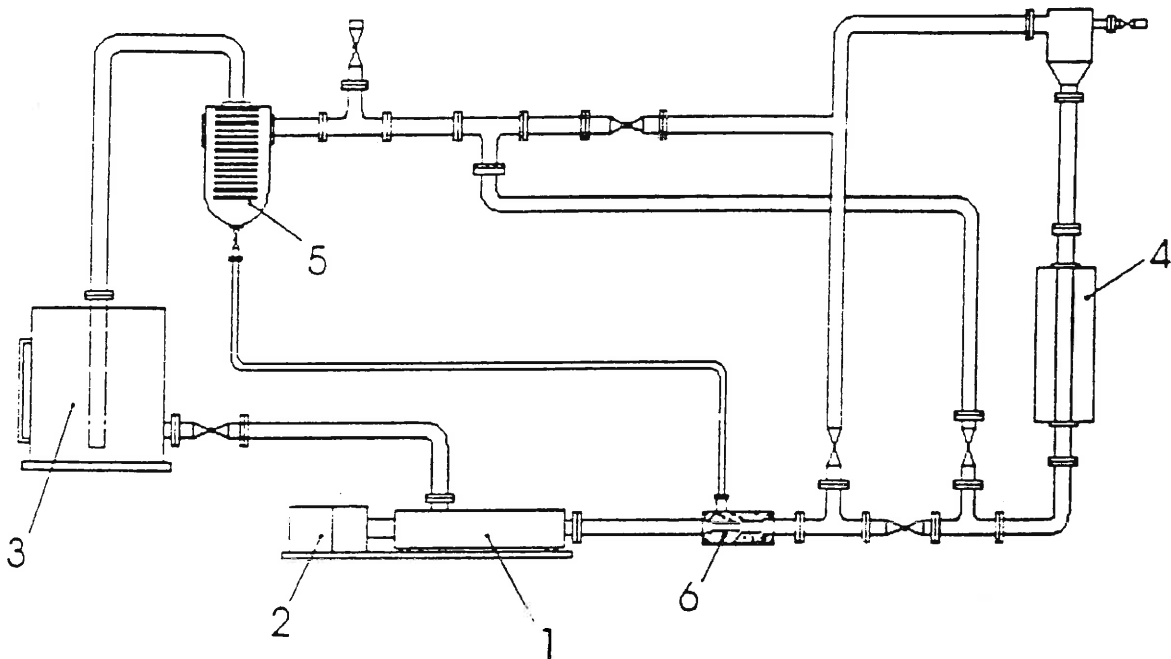
Επεξεργαστής	: 80386 SX - 33 MHZ
Συνεπεξεργαστής	: 80387
Σκληρός δίσκος	: 80 Mb
Μήμη RAM	: 4 Mb
Drives	: 3,5" και 5 1/4
Θύρες	: 1 σειριακή - 1 παράλληλη
Λειτουργικό	: Dos 6,0 - Windows 3,1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟΥ LASER
DOPPLER ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ
ΑΤΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΛΕΒΗΤΩΝ ΤΟΥ ΕΜΠ

Πειραματική εγκατάσταση

Η πειραματική εγκατάσταση μελέτης διφασικών ροών υγρού - στερεού του Εργαστηρίου του Τομέα Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του Ε.Μ.Π. (βλ. σχήμα 2.1) αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:



Σχήμα 2.1: Η πειραματική εγκατάσταση διφασικών ροών υγρού - στερεού

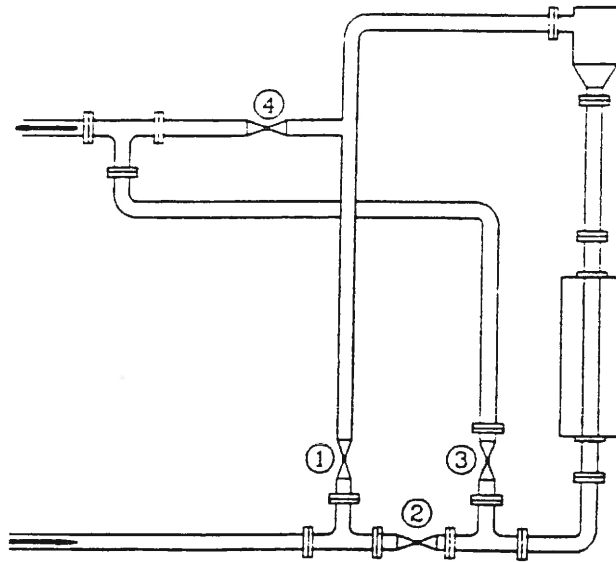
- Αντλία παροχής του ρευστού. (1)
- Ηλεκτρονικητήρας της αντλίας. (2)
- Δοχείο συλλογής του ρευστού. (3)
- Περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων. (4)
- Φυγοκεντρικός διαχωριστής σωματιδίων. (5)
- Αντλία κενού (τζιφάρι). (6)
- Σύστημα ελέγχου και ρύθμισης παροχής.
- Όργανα μέτρησης πίεσης και θερμοκρασίας.

Στη μελέτη αυτή της διφασικής ροής χρησιμοποιήθηκε ντήζελ (diesel) ενώ σαν διακριτή φάση χρησιμοποιούνται γυάλινα σωματίδια Dragonit-45. Η ονομαστική διάμετρος τους είναι $2 \text{ inc} \approx 51 \text{ mm}$. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί μαύρη συγκολλητή σωλήνα (με μεγαλύτερο πάχος τοιχωμάτων περίπου $2,5 \text{ mm}$ αντί της αντίστοιχης γαλβανισμένης. Αυτό γίνεται για την αποφυγή φαινομένων διάβρωσης λόγω της ροής πετρελαίου εντός των σωλήνων. Η επιλογή της διαμέτρου αυτής έγινε με σκοπό η εσωτερική διάμετρος της σωλήνας να ταιριάζει με την αντίστοιχη διάμετρο της γυάλινης σωλήνωσης, που υπάρχει στην περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων. Στα σημεία όπου είναι απαραίτητη η διατήρηση της εσωτερικής διαμέτρου η απόλυτη ευθύτητα της σωλήνας όπως π.χ. στο τμήμα προσαρμογής της ροής στην περιοχή των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε εξελατή σωλήνα (τούμπο) ονομαστικής διαμέτρου 52 mm και ποιότητας μετάλλου αντίστοιχης.

Έχουμε έτσι ένα κλειστό υδραυλικό κύκλωμα μέσα στο οποίο έχουμε ρευστό που αναρροφάται από δεξαμενή με τη βοήθεια κοχλιωτής αντλίας. Αφού το ρευστό διατρέξει τις σωληνώσεις και περάσει μέσα από το χώρο διεξαγωγής των μετρήσεων, επιστρέφει πάλι στη δεξαμενή συλλογής του. Στη διάταξη αυτή της μελέτης της διφασικής ροής η ροή του ρευστού είναι κατακόρυφη με φορά προς την κατεύθυνση της βαρύτητας. Το κύκλωμα με τη

χρήση 4 καθοδηγητικών βανών μπορεί να αντιστρέψει τη ροή χωρίς τροποποίηση στη διάταξη του κυκλώματος.

Αυτή η δυνατότητα παρέχεται με την κατάλληλη εναλλαγή των 4 κυρίων βανών (τύπου full-wave). Εκτός από αυτές τις κύριες βάνες έχουν προβλεφθεί και άλλες δύο βάνες, βοηθητικές: Μια για το άδειασμα του κυκλώματος (π.χ. λόγοι συντήρησης ή αστοχία υλικού) και είναι τοποθετημένη στο πιο χαμηλό σημείο του κυκλώματος και μια άλλη που επιτρέπει την εισαγωγή άλλου εξωτερικού ρεύματος ρευστού ή σωματιδίων και είναι τοποθετημένη στην αναρρόφηση της αντλίας (βλ. σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα καθοδηγητικών βανών

Παρουσίαση επιμέρους τμημάτων κυκλώματος

Ηλεκτροκινητήρας αντλίας

Ο ηλεκτροκινητήρας έχει ισχύ 7,5 KW (της εταιρείας Herbet Ode μοντέλο EEDF m/y) και περιστρέφεται με σταθερό ρυθμό 1450 rpm. Λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα και διαθέτει δικό του πίνακα ελέγχου με ανώτατο επιτρεπόμενο φορτίο 25A και χρονισμό μετατροπής των φάσεων από τρίγωνο σε αστέρα καθορισμένο γύρω στα 8 sec. Ο χρόνος αυτός χρειάζεται για να υπερκινήσει ο κινητήρας την αρχική αδράνεια του άξονα μετάδοσης της κίνησης και τον κοχλία της αντλίας καθώς και το βάρος των εξαρτημάτων του μειωτήρα, κατά τη φάση της εκκίνησης του συστήματος. Η μεταβολή της παροχής του συστήματος είναι εφικτή μέσω της αυξομείωσης του λόγου μετάδοσης του πλανητικού μειωτήρα (εταιρείας Mashinen - Fabric HANTS - LENTZE Gmbh & Co LENZE Disco - Ver stellgetriebe) από 1: 0,087 έως 1: 0,523 οπότε και έχουμε μεταβολή του αριθμού των στροφών ανά λεπτό από 126 rpm έως 758 rpm. Στο σημείο αυτό έχουμε μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του κοχλία της αντλίας και μέγιστη παροχή ρευστού.

Αντλία παροχής ρευστού

Το χρησιμοποιούμενο ρευστό κινείται μέσω μιας σπειρωειδούς αντλίας εκτοπίσεως (MOHNO Pumpe), σταθερής πλήρωσης (μοντέλο NESOA της εταιρείας Netzch - Mohnorpumpen GmbH). Η σπειροειδής αντλία εκτοπίσεως χρησιμοποιήθηκε έναντι μιας συνηθισμένης πτερωτής αντλίας αξονικής ή ακτινικής ροής παρόλα τα αυξημένα προβλήματα ασυμβατότητας και συντήρησης που μπορεί να προκύψουν. Αυτό γιατί ο συγκεκριμένος τύπος αντλιών (που επιλέχθηκε) πληρεί ορισμένες ειδικές προδιαγραφές, όπως σταθερή παροχή και βαθμό απόδοση, μεγάλη ποικιλία ρευστών που μπορεί να διαχειριστεί (ποικιλία ως προς τη συνεκτικότητα, την πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε στερεά ή ινώδη υλικά) κ.ά. Ακόμα αυτού του είδους οι αντλίες έχουν γραμμική εξάρτηση της παροχής από τον αριθμό των στροφών στην είσοδο του κεντρικού άξονα μετάδοσης καθώς και ομαλή - σχεδόν χωρίς

στροβιλισμούς - έξοδο ρευστού (από την αντλία). Αυτό συμβαίνει γιατί στην γραμμή κατάθλιψης της αντλίας δεν υπάρχουν βάνες που να παρεμβαίνουν στη ροή και λόγω του λαστιχένιου στάτη της, δρα η ίδια η βαλβίδα αντεπιστροφής στη ροή, κάνοντας περιττή την ύπαρξη τέτοιας βαλβίδας στο κύκλωμα.

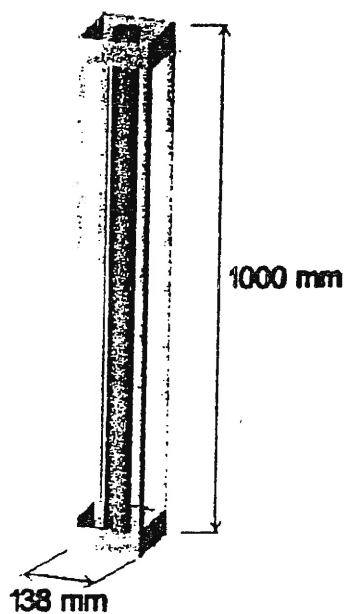
Περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων

Οι μετρήσεις γίνονται σε μια περιοχή όπου το χρησιμοποιούμενο ρευστό ρέει μέσα σε γυάλινο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 51 mm, πάχους τοιχωμάτων 1,8 mm και μήκους 1 m. Ο γυάλινος αυτός σωλήνας κατασκευάζεται από γυαλί τύπου Duran. Η περιοχή αυτή των μετρήσεων της ροής φωτίζεται από τις ακτίνες Laser.

Ο σωλήνας αυτός τοποθετήθηκε αρχικά σε ένα γυάλινο πλαίσιο, ορθογωνικής διατομής, ίδιου μήκους και κατασκευασμένο από τον ίδιο τύπο γυαλιού. Στον ενδιάμεσο χώρο υπάρχει ρευστό, συνήθως ίδιο με αυτό που ρέει εντός του κυρίως κυκλώματος. Αυτό βοηθάει στο εξής φαινόμενο: οι ακτίνες Laser κατά τη διόδό τους από ετερογενή υλικά υφίσταται διάθλαση, λόγω του μη ταιριάσματος του δείκτη διάθλασης του γυαλιού και του ρευστού στο κύκλωμα και στο γυάλινο, ορθογωνικό υλικό.

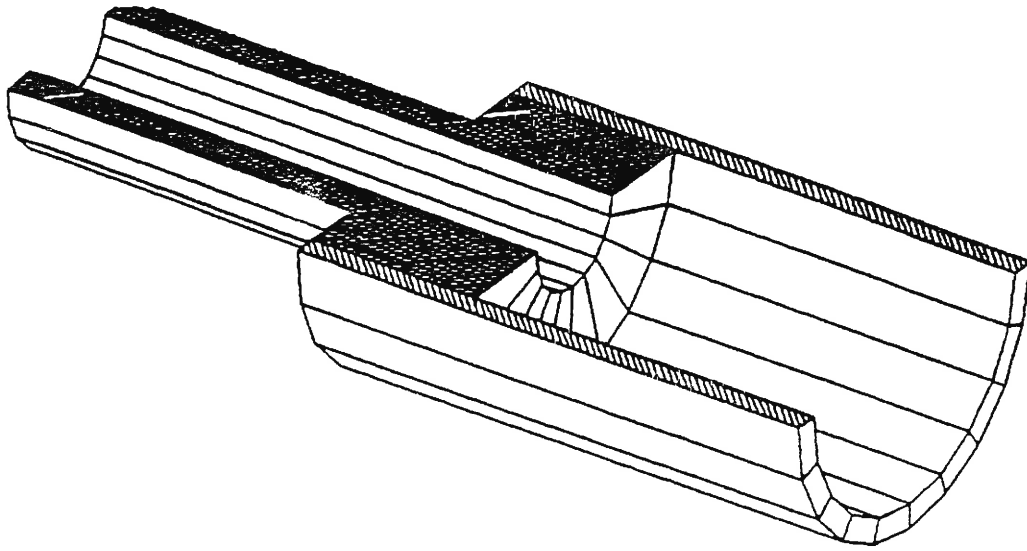
Έτσι με τη χρησιμοποίηση του ίδιου ρευστού και στο κύκλωμα και στον ενδιάμεσο χώρο σωλήνα πλαισίου, επιτυγχάνουμε το ταίριασμα των δεικτών διάθλασης ρευστού και γυαλιού. Επομένως ελαχιστοποιείται η απόκλιση της πορείας της ακτίνας Laser μέσα στην περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων της ροής.

Η όλη κατασκευή συνδέεται με την υπόλοιπη εγκατάσταση μέσω δύο ειδικά κατασκευασμένων από ντουραλουμίνιο υποδοχών που τελειώνουν και στα δύο άκρα τους σε τετράοπες τυποποιημένες φλάντζες (βλ. σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Περιοχή διεξαγωγής μετρήσεων

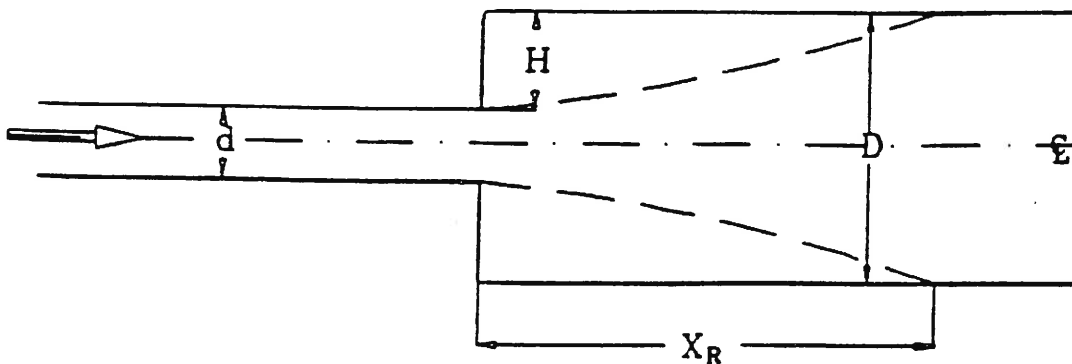
Κατά το σχεδιασμό του τμήματος αυτού της εγκατάστασης ήταν ανάγκη να δημιουργηθεί μια απότομη αύξηση της διατομής (sudden expansion). Αυτό επιτεύχθηκε με την κατασκευή ορειχάλκινου σωλήνα με πολύ λεία εσωτερική επιφάνεια και εσωτερική διατομή 50,5 mm. Με τον τρόπο αυτό έχουμε και αποκατάσταση της ροής που έχει διαταραχθεί περνώντας διαδοχικά από τα καμπύλα τμήματα και τις φλάντζες του κυκλώματος. Το ένα άκρο αυτού του σωλήνα εφαρμόστηκε μέσα στο γυάλινο σωλήνα, ενώ το άλλο μέσα στην κανονική σωλήνα του κυκλώματος και σταθεροποιήθηκε μέσα σε αυτήν με ειδική κατασκευή για αποφυγή κραδασμών. Έτσι τώρα το κύκλωμα της εγκατάστασης που μελετάται αποτελείται από δύο ομόκεντρους κυλινδρικούς αγωγούς, οι οποίοι δημιουργούν μια γεωμετρία απότομης αύξησης της διατομής, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Γεωμετρία απότομης αύξησης της διατομής

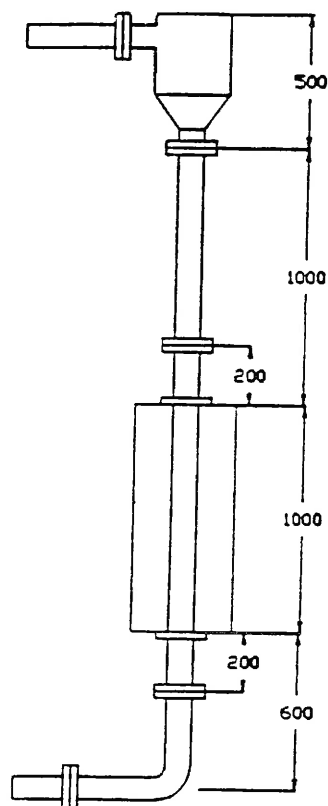
Ο ορειχάλκινος σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε έχει μήκος 1 m και χρειάζεται μήκος ανάπτυξης και αποκατάστασης της ροής περισσότερο από $10d$ (d : εσωτερική διάμετρος του ορειχάλκινου σωλήνα με $d = 25,5 \text{ mm}$), μετά το τελευταίο εμπόδιο του κυκλώματος και πριν από το σημείο "ανοίγματος" της διατομής όπως φαίνεται και παραπάνω έχουν με ένα λόγο αύξησης της διατομής $d:D$ που είναι ίσος με $1:2$.

Στο σχήμα 2.5 σημειώνονται τα διάφορα μεγέθη που αναφέρονται τόσο στο γυάλινο σωλήνα, όσο και στον ορειχάλκινο.



Σχήμα 2.5: Ορισμός μεγεθών

Για την βέλτιστη δυνατή προσαρμογή της ροής πριν από την περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων, έχει κατασκευαστεί ένα δοχείο κυλινδρικό, κωνικής κατάληξης. Ακόμα στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται το κατακόρυφο κομμάτι της εγκατάστασης, διαστασιολογημένο, το οποίο και περιλαμβάνει και την περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων.



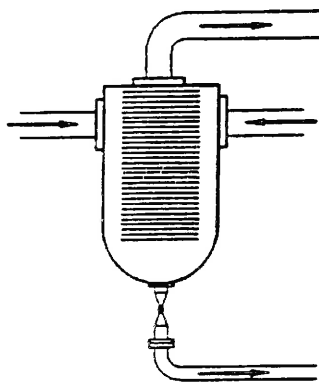
Σχήμα 2.6: Περιοχή μετρήσεων

Φυγοκεντρικός διαχωριστής σωματιδίων

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων σε διφασικές ροές πρέπει να προσεχθεί έτσι ώστε η ροή να είναι σταθερή και να έχει ελεγχόμενη σωματιδιακή φόρτιση. Γι' αυτό το λόγο, το διφασικό μίγμα (ρευστό - σωματίδια) εισέρχεται στον διαχωριστή, όπου διηθείται με τη βοήθεια λεπτών δακτυλίων, κατασκευασμένων από ανθεκτικό, στη διάβρωση από πετρελαιοειδή, πλαστικό. Τα σωματίδια συγκρατούνται από τους δακτύλιους αυτούς και λόγω της διαφοράς της πίεσης που δημιουργείται από την ύπαρξη της αντλίας κενού (τζιφάρι), επανεισέρχεται στη ροή έχοντας παρακάμψει την αντλία.

Η παράκαμψη αυτή της αντλίας γίνεται για την αποφυγή της σύνθλιψης των σωματιδίων από τον στάτη και τον κοχλία της αντλίας. Έτσι επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή φθορά των σωματιδίων. Η επανεισαγωγή τους στη ροή γίνεται μέσω της αντλίας κενού, από όπου μαζί με το ρευστό οδηγούνται στην περιοχή των μετρήσεων και ύστερα επιστρέφουν στο δοχείο συλλογής, του μίγματος, από όπου ξαναρχίζει η ανακύκλωση.

Η μέγιστη παροχή που είναι δυνατό να περάσει από τον διαχωριστή σωματιδίων είναι $250 \text{ m}^3/\text{h}$, μέγεθος που καλύπτει τις προδιαγραφές της εγκατάστασης (βλ. σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7: Διαχωριστής σωματιδίων

Αντλία κενού (τζιφάρι)

Η αντλία κενού είναι κατασκευασμένη από ελαφριά κράμματα σιδήρου, είναι τυποποιημένη στις $2 \text{ inc} \approx 51 \text{ mm}$ και αντιδιαβρωτική. Η μέγιστη δυνατή κύρια παροχή που μπορεί να περάσει από αυτήν είναι 225 lt/min και η πτώση πίεσης της κύριας παροχής, προς ανάκτηση πίεσης στη δευτερεύουσα συμπληρωματική είναι της τάξης του 35% της πίσω εισόδου. Η ογκομετρική παροχή του βοηθητικού ρεύματος καθορίζεται, ως ποσοστό της παροχής που εισέρχεται στην κύρια είσοδο της αντλίας κενού, δηλαδή της παροχής στην γραμμή κατάθλιψης. Με έναν ειδικό μηχανισμό, που είναι ενσωματωμένος στο τζιφάρι, είναι δυνατή η ρύθμιση της συμπληρωματικής παροχής, σε ποσοστό από 3% έως 5% της κύριας παροχής.

Όργανα μέτρησης πίεσης και θερμοκρασίας

Για τον έλεγχο του κυκλώματος που μελετάμε, από πλευράς πίεσης και θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται κατάλληλες διατάξεις. Η γνώση των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων παίζουν σπουδαίο ρόλο στην πειραματική μελέτη. Όσον αφορά την τιμή της πίεσης, αυτή δεν επιδρά ως παράμετρος στις μετρήσεις που λαμβάνονται. Όμως, αποτελεί ένδειξη της ασφαλούς λειτουργίας και σταθερότητας της αντλίας. Όσον αφορά δε τη γνώση της θερμοκρασίας και επομένως των θερμοκρασιακών μεταβολών του μίγματος, αυτές είναι απαραίτητες (όπως θα φανεί και στα παρακάτω κεφάλαια) για την ακριβή μελέτη των διφασικών ροών.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται δύο διατάξεις: Η πρώτη διάταξη περιλαμβάνει δύο απλά μανόμετρα μεταλλικής μεμβράνης με διαβάθμιση μέχρι 6 bar που είναι και η μέγιστη πίεση που αποδίδει η αντλία με μια βαθμίδα πίεσης. Το ένα μανόμετρο τοποθετείται στην αρχή του κυκλώματος και το άλλο στο τέλος. Έτσι έχουμε την πίεση στην γραμμή κατάθλιψης της αντλίας και την πίεση στην περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων, αντίστοιχα.

Η δεύτερη διάταξη περιλαμβάνει τρία θερμοστοιχεία τύπου J. Το πρώτο τοποθετείται στο δοχείο συλλογής του μίγματος και μετρά τη θερμοκρασία του στο σημείο αυτό. Αυτή τη θερμοκρασία τη θεωρούμε ίση με αυτή στην αναρρόφηση της αντλίας. Το δεύτερο τοποθετείται στην γραμμή κατάθλιψης, ώστε να προσδιορίζει την πρόσδοση θερμότητας από την αντλία στο μίγμα. Τέλος, το τρίτο θερμοστοιχείο ελέγχει τη θερμοκρασία στην επιστροφή του κυκλώματος. Είναι τοποθετημένο ακριβώς πριν από το δοχείο συλλογής του διφασικού μίγματος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των θερμοστοιχείων (που κατασκευάστηκαν από την εταιρεία: Amarell Electronic) είναι:

- Εύρος θερμοκρασίας: $- 40^{\circ}\text{C} \div 120^{\circ}\text{C}$
- Ακρίβεια: $0,1^{\circ}\text{C}$ στην περιοχή από $0^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$
- Υψηλή απόκριση αισθητηρίου (ανοξείδωτο ατσάλι)
- Εγγύηση: πάνω από 4.000 ώρες λειτουργίας
- Αυτόματος έλεγχος μπαταρίας

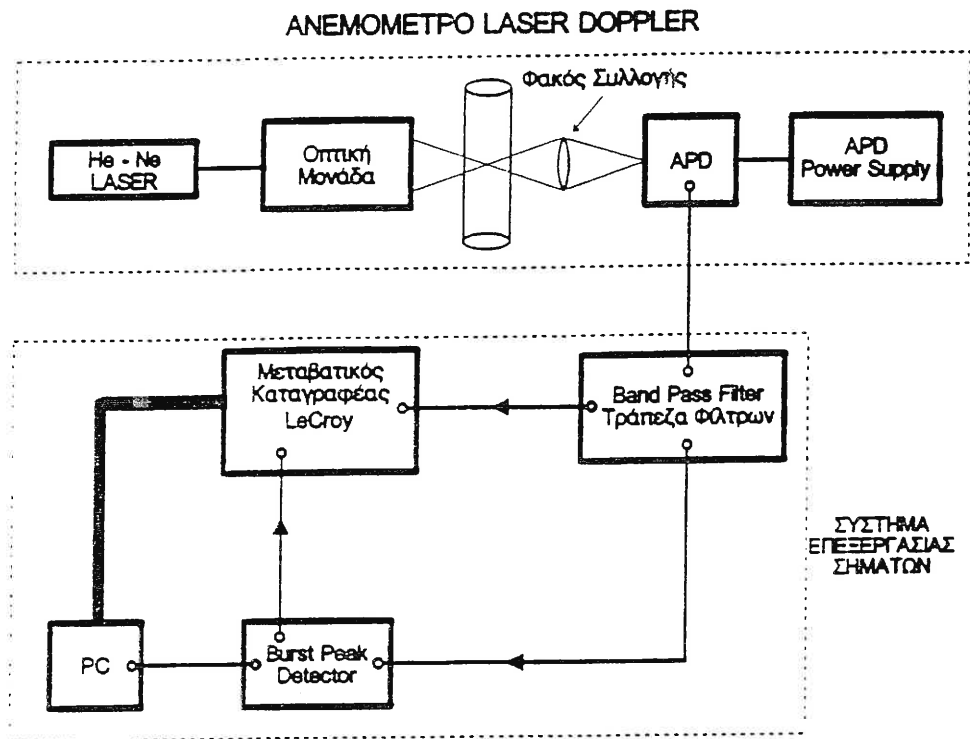
Η γνώση των τιμών της θερμοκρασίας στα παραπάνω σημεία είναι καθοριστική, αφού σαν κύρια πηγή πρόσδοσης θερμότητας στο ρευστό του δικτύου θεωρείται η αντλία και δευτερεύουσα πηγή οι περιβαντολλογικές, θερμοκρασιακές μεταβολές. Η θερμότητα που προσδίδει στο ρευστό, παράγεται λόγω τριβής του στάτη με τον κοχλία στη βαθμιά πίεσης και είναι η κύρια αιτία μεταβολής της θερμοκρασίας του ρευστού. Θεωρούμε ότι η θερμοκρασία του μίγματος δεν επηρεάζεται σημαντικά από της θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντα χώρου του εργαστηρίου. Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε σταθερά επίπεδα, σχεδιάστηκε σύστημα ψύξης με εργαζόμενο μέσο το νερό. Σαν επιφάνεια συναλλαγής της θερμότητας τοποθετείται μέσα στο δοχείο συλογής του διφασικού μίγματος, χάλκινη σερπαντίνα.

Περιγραφή του συστήματος Ανεμομετρίας Laser Doppler του Εργαστηρίου Ατμοκινητήρων και Λεβήτων

Πιο πάνω έχει περιγραφεί γενική η διάταξη και η μεθοδολογία της Ανεμομετρίας Laser Doppler. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια σύντομη περιγραφή της μετρητικής διάταξης του εργαστηρίου Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του Ε.Μ.Π. Αυτή αποτελείται κυρίως από δύο συστήματα:

- Το ανεμόμετρο Ανεμομετρίας Laser Doppler με την οπτική μονάδα.
- Το σύστημα επεξεργασίας των σημάτων.

Στο σχήμα 2.8 απεικονίζεται η μετρητική διάταξη του εργαστηρίου.



Σχήμα 2.8: Μετρητική διάταξη

A. Το ανεμόμετρο Laser Doppler

Το ανεμόμετρο Laser Doppler του Ε.Μ.Π. είναι ένα Laser He-Ne της εταιρείας NEC, ισχύος 50 mW. Είναι ανεμόμετρο διπλής ακτίνας: Dual Beam Anemometer. Έχει διπλό σύστημα κυττάρων Bragg (Brag cells) με δυνατότητα διαφοροποίησης της συχνότητας των ακτίνων από 0,1-50 MHz. Η αρχική ακτίνα Laser διαχωρίζεται από ένα πρισματικό διαχωριστή ακτίνων (beam splitter), σε δύο ίσης ισχύος παράλληλες ακτίνες με μεταξύ τους απόσταση 50 mm. Όπως έχουμε πει και σε προηγούμενη παράγραφο οι ακτίνες, με τη βοήθεια ενός συστήματος φακών τέμνονται σε συγκεκριμένο σημείο. Το σημείο αυτό είναι ο όγκος μέτρησης (m.c.v. = measuring control volume), ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση ίση με την εστιακή απόσταση (FL = Focus Length) από το σύστημα των συγκλίνοντων φακών (= 150 mm). Το σύστημα εμπρόσθιας σκέδασης (forward scatter) που χρησιμοποιείται, περιλαμβάνει φακό συλλογής (collecting lens) εστιακής απόστασης 200mm,

για να συγκεντρώσει το φως που σκεδάζεται από τον όγκο μέτρησης σε οπή φωτοδιόδου χιονοστιβάδας. Το Laser και η οπτική μονάδα είναι τοποθετημένα πάνω σε μια βάση αλουμινίου. Το ανεμόμετρο εικονίζεται στο Σχήμα 2.9: Ανεμόμετρο Laser - Doppler.



Σχήμα 2.9

Τεχνικά χαρακτηριστικά Laser είναι:

Ονομαστική ισχύς : 50 mW

Λειτουργική ισχύς : $\geq 25\text{mW}$

Μήκος κύματος : 632,8 nm

Διάμετρος ακτίνας Laser : $\approx 1,2\text{mm}$

Πόλωση : Γραμμική - οριζόντια

Δημιουργία θορύβου : κάτω από 1,0% r.m.s (10HZ - 10MHZ)

Η τροφοδοσία του Laser γίνεται από μια μονάδα της ίδιας εταιρείας (βλ. σχήμα 1.16). Έχει τεχνικά χαρακτηριστικά:

Παρεχόμενη ισχύς : 120 VA

Voltage : 220 VAC $\pm 10\%$

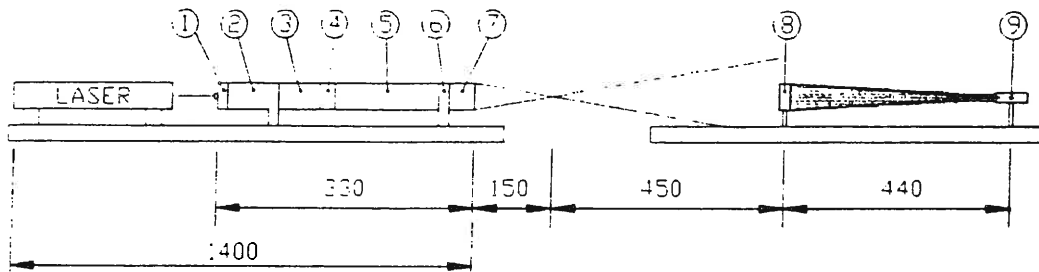
Συχνότητα : 50/60 Hz

Τάση διέγερσης : 15 KV

Β. Οπτική μονάδα

Η οπτική μονάδα και το Laser διατάσσονται όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10.

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. Polarization Rotator | 6. Rotating Mount |
| 2. Rotating Mount | 7. Transmitting Lens |
| 3. Beamsplitter | 8. Collecting Lens |
| 4. Ring Mount | 9. Avalanche-Photodiode |
| 5. Bragg-Cell | |



Σχήμα 2.10: Οπτική μονάδα και Laser Doppler

Η οπτική μονάδα του συστήματος αποτελείται από :

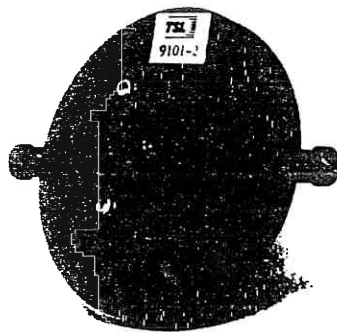
- *Περιστροφέας πόλωσης (Polarization Rotator)*

Η σωστή πόλωση της ακτίνας Laser είναι ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για την ποιότητα του σήματος που καταγράφεται. Αν η διεύθυνση της πόλωσης της προσπίπτουσας ακτίνας δεν είναι σωστή τότε μπορεί το φως να αναπολωθεί. Αυτό θα συμβεί αν π.χ. υπάρχουν εσωτερικές ανακλάσεις στο πρίσμα του διαχωριστή ακτίνων.

Το όργανο αυτό, λοιπόν, αλλάζει την πόλωση της εξερχόμενης από το Laser ακτίνας. Το φως που προέρχεται από το ανεμόμετρο είναι γραμμικά πολωμένο στην κάθετη διεύθυνση. Για να έχουμε την καλύτερη δυνατή, ποιότητα σήματος, πρέπει η πόλωση και των δύο ισοδύναμων ακτίνων (που

προέρχονται από τον διαχωριστή) να είναι όμοια, στην περιοχή των κροσσών συμβολής.

Ο περιστροφέας της πόλωσης, όπως και τα υπόλοιπα όργανα της οπτικής μονάδας του συστήματος (εκτός των φακών) είναι της εταιρείας TSI GmbH (μοντέλο 9101-2) (βλ. σχήμα 2.11).



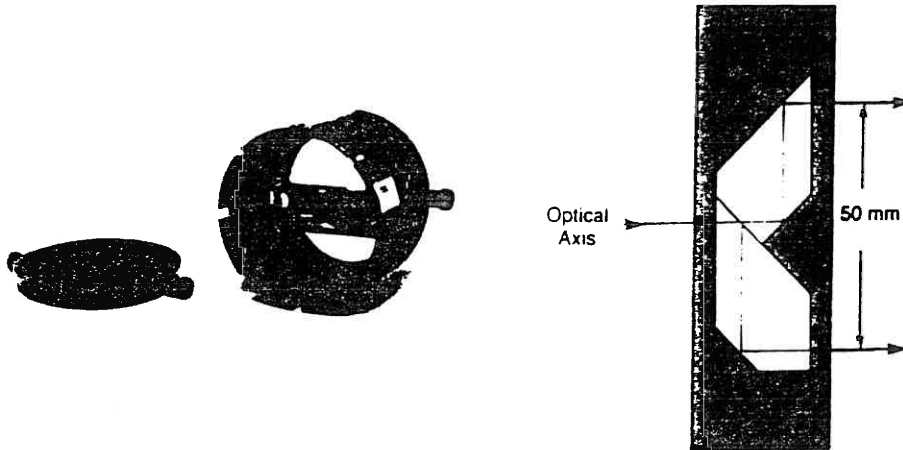
Σχήμα 2.11: Περιστροφέας πόλωσης: Model 9101-2

- Διαχωριστής Ακτίνων (Beamsplitter) και Δακτύλιος υποστήριξης (Ring Mount)

Ο διαχωριστής ακτίνων χωρίζει την εξερχόμενη από το Laser ακτίνα, σε δύο ισοδύναμης έντασης ακτίνες όταν η πόλωση της προσπίπτουσας ακτίνας είναι κάθετη στο επίπεδο των εξερχόμενων από αυτόν ακτίνων.

Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει και πρίσμα ικανό να χωρίσει την εισερχόμενη από το Laser ακτίνα σε δύο παράλληλες της ίδιας έντασης ακτίνες, που απέχουν κατά 50 mm μεταξύ τους. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για να γίνει σωστά ο διαχωρισμός (σε δύο ακτίνες ίσης έντασης) πρέπει η εισερχόμενη ακτίνα να είναι γραμμικά πολωμένη, κάθετα στο επίπεδο των χωριζόμενων ακτίνων.

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται (βλ. σχήμα 2.12) έχει τα εξής χαρακτηριστικά:



Σχήμα 2.12: Διαχωριστής ακτίνων Model 9115

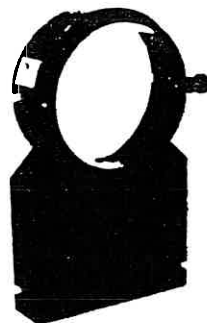
Διαχωρισμός ακτίνων : 50 mm

Μήκος : 51 mm

Διάμετρος : 83 mm

Βάρος : 0,4 kg

Για την υποστήριξη του διαχωριστή, τον ακολουθεί ένας δακτύλιος (βλ. σχήμα 2.13) ο οποίος εξασφαλίζει τη σταθερότητά του.



Σχήμα 2.13: Δακτύλιος υποστήριξης Model 9176

Ο δακτύλιος έχει χαρακτηριστικά:

Διάμετρος : 83 mm

Μήκος : 25 mm

Βάρος : 0,5 kg

- Περιστροφικός Δακτύλιος για τον διαχωριστή Ακτίνων (Rotating Mount for Beamsplitter) και Απλός Περιστροφικός Δακτύλιος (Rotating Mount)

Ο περιστροφικός δακτύλιος (βλ. σχήμα 2.14) για το διαχωριστή ακτίνων είναι τοποθετημένος μετά τον περιστροφέα πόλωσης και πριν τον διαχωριστή.



Σχήμα 2.14: Περιστροφικός δακτύλιος Model 9179

Με αυτή τη διάταξη των οργάνων εξασφαλίζουμε την κατάλληλη περιστροφή πόλωσης της απλής ακτίνας που εξέρχεται από το Laser. Όταν αυτός ο δακτύλιος χρησιμοποιείται σε συνεργασία με το διαχωριστή, εξασφαλίζει τη δυνατότητα περιστροφής του επιπέδου των ακτίνων και επιτρέπει τη διεξαγωγή μετρήσεων σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, κάθετη στον άξονα των οπτικών. Με τη χρήση δε, και κάποιου απλού περιστροφικού δακτυλίου, (βλ. σχήμα 2.15) μετά από τα κύτταρα Bragg, επιτυγχάνεται η περιστροφή ταυτόχρονα όλου του συστήματος των οπτικών. Ο περιστροφικός

δακτύλιος για το διαχωριστή είναι βαθμονομημένος ώστε να μπορεί να επιλεγεί η ακριβής θέση περιστροφής του συστήματος.



Σχήμα 2.15: Περιστροφικός δακτύλιος Model 9170

Για το συγκεκριμένο μήκος κύματος χρησιμοποιείται το μοντέλο με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Μήκος : 61 mm

Διάμετρος : 83 mm

Βάρος : 0,9 kg

Με τον απλό δακτύλιο, εκτός της εφαρμογής που παρουσιάστηκε παραπάνω, εξασφαλίζεται επίσης και η καλύτερη σύνδεση όλων των ενδιάμεσων οπτικών μερών με τους φακούς εστίασης. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Μήκος : 56 mm

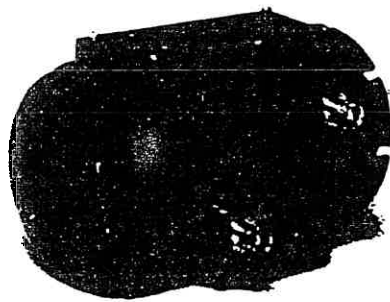
Διάμετρος : 83 mm

Βάρος : 0,6 kg

- Διπλά κύτταρα Bragg

Η μονάδα αυτή αποτελείται από δύο οπτικοακουστικούς διαμορφωτές (acousto - optic modulators) που συνδέονται κατάλληλα, έτσι ώστε να εξασφαλίζουν τη διέλευση των ακτίνων, που εξέρχονται από τον διαχωριστή, μέσα από αυτούς. Λειτουργούν δηλαδή σαν οπτικό ακουστικοί μετατοπιστές συχνότητας. Τα μοντέρνα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι: Gallium Phosphide και Lithium Niobate (σχήμα 2.16).

Οι δύο ακτίνες περνώντας μέσα από τα κύτταρα Bragg αποκτούν διαφορετική συχνότητα. Από αυτές, η μία αποκτά συχνότητα 40 MHz, ενώ η άλλη μια διαφορετική συχνότητα (50+X) MHz. Το "X" διαμορφώνεται από έναν μετατοπιστή συχνότητας (frequency shifter) σαν αυτόν που παρουσιάζεται παρακάτω (βλ. σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.16: Διπλά κύτταρα Model 9184

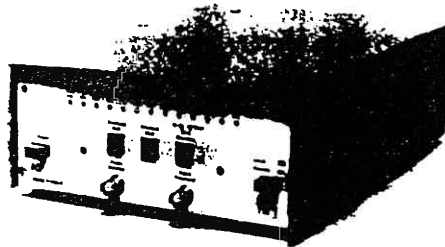
Η συσκευή αυτή δημιουργεί και την επιθυμητή διαφορά συχνότητας (frequency shift) ανάμεσα στις δύο ακτίνες. Αυτό είναι απαραίτητο για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Όπως έχουμε δει και σε προηγούμενη παράγραφο η μετατόπιση της συχνότητας είναι απαραίτητη στη διαδικασία της μέτρησης, αφού μόνο με αυτή μπορούμε να διακρίνουμε την κατεύθυνση κίνησης του σωματιδίου.

Το όλο σύστημα συνοδεύεται και από έναν ενισχυτή ισχύος (Power Amplifier). Αυτός ενισχύει τα σήματα που εισέρχονται ώστε να διαμορφώνονται οι επιθυμητές διαφορές συχνότητας: 2KHz ÷ 10MHz (σχήμα 2.18).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων είναι:

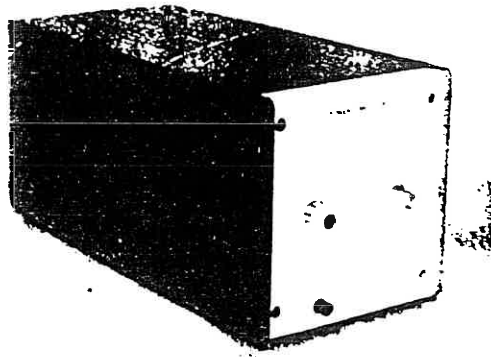
Double Bragg Cell :	Ύψος ακουστικού πεδίου	: 2 mm
	Ακουστική συχνότητα	: 40 MHz
	Ικανότητα διάθλασης	: 85 %
	Εύρος μήκους κύματος	: 400 ÷ 700 mm
	Μήκος	: 114 mm
	Διάμετρος	: 83 mm
	Βάρος	: 1,3 kg

Frequency Shifter : Απαιτούμενη ισχύς εισόδου : 1 ÷ 700 mV



Σχήμα 2.17: Μετατοπιστής συχνότητας Model 9186A-3

Εύρη συχνοτήτων {	Επεξεργαστής σήματος	: 25 MHz max
	Mix Frequency	: 30 ÷ 40 MHz
	Είσοδος	: 500 hms
	Έξοδος	: 500 hms
	Ισχύς	: 100/120/220/240 VAC
	Μήκος	: 282 mm
	Πλάτος	: 211 mm
	Ύψος	: 84 mm
	Βάρος	: 3,5 kg



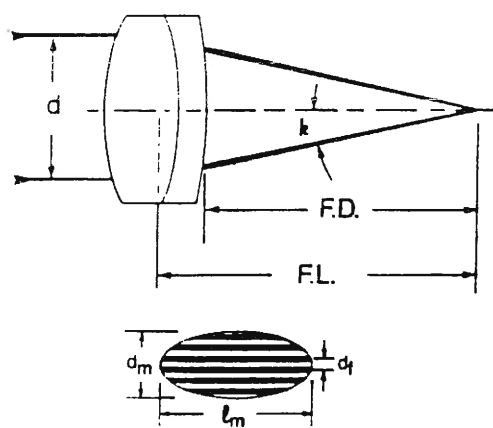
Σχήμα 2.18: Power Amplifier Model 10904

Power Amplifier :	Ισχύς εξόδου	: 2 ÷ 4 W
	Ισχύς εισόδου	: 115/230 VAC
	Μήκος	: 304 mm
	Πλάτος	: 127 mm
	Ύψος	: 133 mm
	Βάρος	: 3,7 kg

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως υψηλά τυρβώδεις ροές που τα σωματίδια διαπερνούν τον όγκο μέτρησης εντελώς τυχαία και η κατεύθυνσή τους μπορεί να διαφέρει τελείως από την κατεύθυνση της μετρούμενης συνιστώσας της ταχύτητας του μίγματος, δεν θα ήταν δυνατή η μελέτη της ταχύτητας των σωματιδίων χωρίς τη χρήση αυτής της μεθόδου.

- Φακοί

Ο φακός εκπομπής (transmitting lens) είναι ένας επίπεδος κυρτός φακός, εστιακής απόστασης $F.L. = 150 \text{ mm}$ που τοποθετείται στο τέλος της κύριας οπτικής μονάδας. Όπως παρουσιάστηκε δε και σε άλλη παράγραφο η ύπαρξη αυτού του φακού είναι η αιτία σύμφωνα με την οποία γίνεται η διασταύρωση των ακτίνων και έτσι έχουμε τη δημιουργία του όγκου μέτρησης (m.c.v.) (βλ. σχήμα 2.19).



Σχήμα 2.19: Φακός - όγκος μέτρησης

Μετά από αυτή τη διασταύρωση, οι ακτίνες ανακόπτονται με χρήση μάσκας. Ακολουθεί ο φακός συλλογής (collecting lens), που χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση και εστίαση του σκεδαζόμενου φωτός από τον όγκο μέτρησης σε οπές. Ο άξονας του φακού συλλογής τοποθετείται στον άξονα της ακτίνας Laser.

Ο όγκος μέτρησης που σχηματίζεται, στην περίπτωση του Laser του εργαστηρίου, έχει τις εξής διαστάσεις:

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$K = 9,46230$$

$$F.L. = 150 \text{ mm}$$

$$df = 1,9246 \mu\text{m}$$

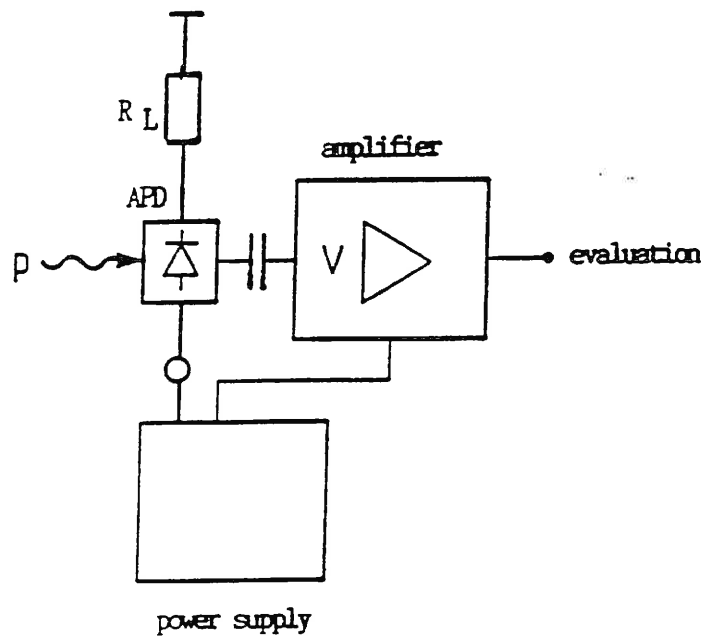
$$dm = 100,7 \mu\text{m}$$

$$I_m = 0,6042 \text{ mm}$$

• Φωτοδίοδος Χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode)

Το φως που σκεδαάζεται από τον όγκο μέτρησης, λόγω της κίνησης των σωματιδίων του διφασικού μίγματος, αφού συλλεχθεί από τον φακό συλλογής, εστιάζεται σε οπή μιας φωτοδίοδου (A.P.D.). Η φωτοδίοδος αυτή μετατρέπει τα φωτόνια του σκεδαζόμενου φωτός σε διαφορά δυναμικού, δηλαδή σε ηλεκτρο-αναλογικό σήμα. Αυτό το σήμα είναι και αυτό που τελικά ανιχνεύεται και καταγράφεται. Η εστίαση του σκεδαζόμενου φωτός γίνεται σε μια μικρή οπή (pinhole) διαμέτρου 0,2 mm.

Το όλο σύστημα περιέχει δύο μέρη (βλ. σχήμα 2.20):



Σχήμα 2.20: Μονάδα APD και Power Supply

– Το στοιχείο συλλογής του φωτός που αποτελείται από τα εξής μέρη:

- από την οπή που αναφέρεται παραπάνω (pinhole)
- από τη δίοδο και
- από ενισχυτές σήματος

– Μια συσκευή power supply.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση της φωτοδίοδου (για το συγκεκριμένο ανεμόμετρο Laser) είναι:

- η κβαντική απόδοση, δηλαδή ο αριθμός των ηλεκτρονίων που θα εκπεμφθούν από την κάθοδο για κάθε προσπίπτον στην κάθοδο φωτόνιο. Για το σύστημα Laser He-Ne η φωτοδίοδος για μήκος κύματος $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ παρουσιάζει χαμηλή κβαντική απόδοση.

• το μαύρο ρεύμα, δηλαδή τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την κάθοδο της φωτοδιόδου. Το ισχυρό μαύρο ρεύμα έχει σαν αποτέλεσμα η λήψη του σήματος να είναι κακή όταν γίνεται χρήση Laser μικρής ισχύος ή όταν το εξεταζόμενο πεδίο ροής παρουσιάζει χαμηλή πυκνότητα σωματιδίων. Ακόμα επειδή το σκεδαζόμενο φως δεν έχει μεγάλη ένταση, για να λειτουργήσει αποδοτικά η φωτοδιόδος, χρειάζεται ένας προενισχυτής σήματος ο οποίος εμφανίζεται με τη μορφή εξωτερικά επιβαλλόμενης τάσης, μεταξύ ανόδου και καθόδου. Η ενίσχυση αυτή του σήματος, προκαλεί την αύξηση της συχνότητας απόκρισης και του μαύρου ρεύματος της φωτοδιόδου.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο μερών της φωτοδιόδου είναι:

Φωτοδιόδος:	Εύρος φασματικής απόκρισης	: 400 ÷ 1200 nm
	Απόκριση	: 128 A/W στα 830 nm
	Εύρος συχνοτήτων	: 100 Hz ÷ 150 Mhz
	Τάση λειτουργίας	: ≈ 230 VDC
	Forward current	: 5 mA
	Back current	: 10 nA

Ενισχυτής:	Κέρδος	: 36 dB
	Τάση τροφοδοσίας	: 15v DC
	Forward current	: 100 mA
	Σήμα	: max 24 mA στα 50 ohm

Power Supply:	Μέγιστη ολική ισχύς	: ≈ 20 VA
	Παροχή ενισχυτή	: 15V DC, max 0,2 A
	Παροχή APD	: max 5 mA

Η APD και το Power Supply είναι της εταιρείας INVENT GmbH

- η απόκριση της συχνότητας σχετικά με τη συχνότητα των προσπιπτόντων φωτονίων.
- ο μεταβατικός χρόνος, δηλαδή ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που το φωτόνιο προσπίπτει στην κάθοδο μέχρι τη λήψη του σήματος στην έξοδο της φωτοδιόδου.

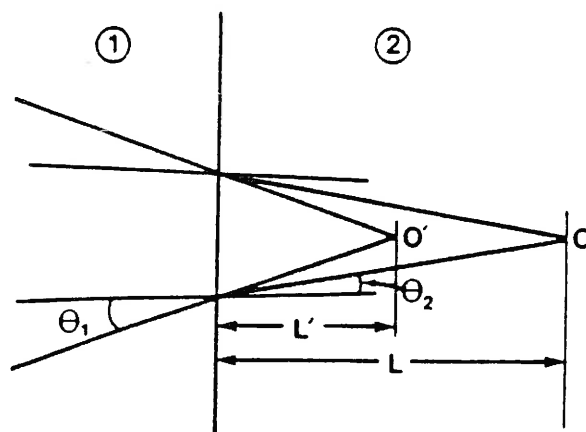


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

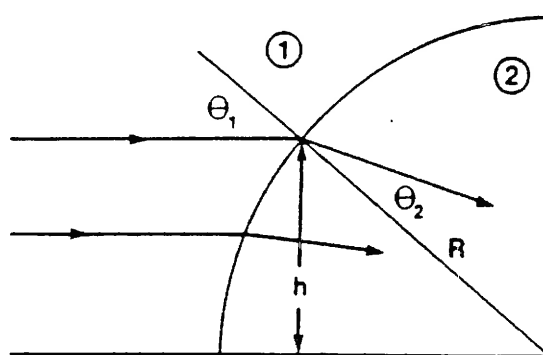
ΔΙΑΘΛΑΣΗ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ
ΤΑΙΡΙΑΣΜΑΤΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Διάθλαση - δείκτης διάθλασης

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, με τη μέθοδο LDA, παρουσιάζεται ένα βασικό πρόβλημα. Η εμφάνιση των φαινομένων της διάθλασης και ανάκλασης των φωτεινών ακτίνων Laser. Δηλαδή όταν οι φωτεινές ακτίνες προσπίπτουν υπό γωνία σε μια λεία επιφάνεια (επίπεδη ή καμπύλη) που αποτελεί το διαχωριστικό όριο μεταξύ δύο διαφανών μέσων, οι ακτίνες διαθλώνται. Αυτό ακριβώς συμβαίνει και στην περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων της πειραματικής εγκατάστασής μας, όπου οι ακτίνες διαθλώνται από το γυάλινο, ορθογωνικής διατομής, εξωτερικό πλαίσιο, το ρευστό και τον εσωτερικό γυάλινο σωλήνα που περιβάλλει το πεδίο ροής. Είναι προφανές ότι σε κλειστές ροές, στο σημείο που οι ακτίνες του Laser διέρχονται μέσα από το κυλινδρικό τοίχωμα του αγωγού, προκαλείται διάθλαση, λόγω της καμπυλότητάς του αγωγού στο σημείο αυτό, με αποτέλεσμα η κατεύθυνση των ακτίνων του Laser να μεταβάλλεται και να δημιουργείται μια μετατόπιση του σημείου τομής τους ή αλλιώς μετατόπιση στον όγκο μέτρησης στο πεδίο ροής (βλ. σχήματα 3.1-3.2).



Σχήμα 3.1: Μετατόπιση θέσης όγκου μέτρησης



Σχήμα 3.2

Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται ειδικά κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων σε διφασικές ροές είναι η διάθλαση των ακτίνων λόγω της παρουσίας των σωματιδίων (που αποτελούν τη διακριτή φάση) πριν αυτές διασταυρωθούν, για το σχηματισμό του όγκου μέτρησης. Τέτοιο πρόβλημα εμφανίζεται ακόμα και κατά τη διάθλαση και περίθλαση του σκεδαζομένου, από τον όγκο ελέγχου, φώτος πάνω στα σωματίδια μετά το σημείο μέτρησης. Ακόμα και η ύπαρξη φυσαλίδων ή ακαθαρσιών μέσα στο ρευστό μπορεί να επηρεάσουν τις μετρήσεις που λαμβάνονται. Έτσι παρατηρείται ότι η ένταση του λαμβανομένου σήματος από τη φωτοδίοδο (APD) αδυνατίζει. Δηλαδή περιορίζεται σημαντικά η μέγιστη κατ' όγκο φόρτιση της στερεάς φάσης, στην οποία είναι δυνατή η εφαρμογή των οπτικών μεθόδων. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων τίθενται κάποιοι περιορισμοί σε ότι αφορά το επίπεδο της σωματιδιακής ογκομετρικής φόρτισης. Σε ότι όμως αφορά το πρόβλημα των φυσαλίδων που είναι πιθανό να υπάρχουν στο κύκλωμα, αυτές απομακρύνονται από κατάλληλα τοποθετημένα στο κύκλωμα εξαιρεστικά, που απεγκλωβίζουν τον παγιδευμένο στο κύκλωμα αέρα.

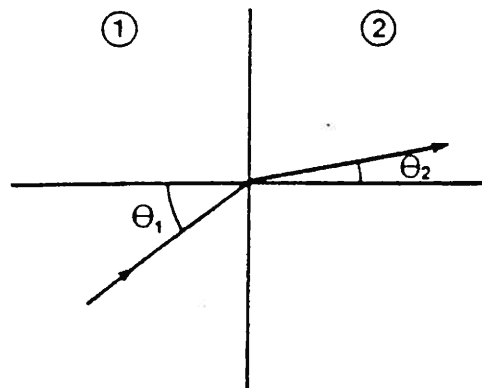
Οι πιθανές εγκλείσεις είναι δύσκολο να παγιδευτούν. Γίνεται όμως προσπάθεια με την τοποθέτηση επιπρόσθετου φίλτρου - πέραν του ήδη υπάρχοντος διαχωριστή - πριν την είσοδο της αντλίας.

Κάθε μέσο χαρακτηρίζεται από ένα δείκτη διάθλασης (refraction index) n , που ουσιαστικά περιγράφει τον βαθμό της διάθλασης στη διαχωριστική επιφάνεια. Έτσι π.χ. ο δείκτης διάθλασης του αέρα (ακριβέστερα του κενού) ισούται με τη μονάδα (αυθαίρετη). Ο αριθμός n , θεωρείται απλούστερα σαν μια παράμετρος της οποίας η τιμή είναι καθορισμένη μέσω πειραματικών μετρήσεων. Η φυσική σημασία του δείκτη διάθλασης ενός μέσου είναι η εξής: ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητα του φωτός στο θεωρούμενο μέσο.

Αν υποθέσουμε ότι μια ακτίνα προσπίπτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια των μέσων 1/2 στο σημείο τομής των αξόνων, τότε αυτή θα διαθλασθεί, σύμφωνα με τη σχέση:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Η παραπάνω σχέση ονομάζεται νόμος του Snell και ισχύει για οποιαδήποτε κλίση της προσπίπτουσας ακτίνας ως προς την επιφάνεια. Το n_1 είναι ο δείκτης διάθλασης του μέσου 1 και n_2 ο δείκτης διάθλασης του μέσου 2. Η γωνία θ_1 ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης και είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προσπίπτουσα ακτίνα και την κάθετο στην επιφάνεια. Η γωνία θ_2 ονομάζεται γωνία διάθλασης και ορίζεται από τη διαθλώμενη ακτίνα και την κάθετο στην επιφάνεια (βλ. 3.3)



Σχήμα 3.3

Ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτίνας και από τη θερμοκρασία. Ειδικά για τα στερεά ο δείκτης διάθλασης παραμένει σταθερός. Ενώ για τα ρευστά μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Είναι δηλαδή πολύ σημαντική η γνώση της συναρτησιακής σχέσης:

$$n=n(\tau)$$

Επιδιώκουμε η συνάρτηση αυτή να έχει μικρή κλίση, έτσι ώστε ο δείκτης διάθλασης να μην μεταβάλλεται πολύ με τη θερμοκρασία.

Στην παρούσα εργασία όλοι οι δείκτες διάθλασης υπολογίστηκαν για την ίδια τιμή μήκους κύματος ακτινοβολίας Laser ($\lambda=632,8$).

Μεθοδολογία ταιριάσματος δεικτών διάθλασης

Το πρόβλημα, που αναφέραμε παραπάνω, της μετατόπισης του όγκου μέτρησης αντιμετωπίζεται με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι και η χρήση διορθωτικών σχέσεων. Δηλαδή ο προσδιορισμός της ακριβούς θέσης του σημείου τομής των δύο ακτίνων γίνεται μέσα από την αναλυτική επίλυση εξισώσεων μετατόπισης των ακτίνων. Η εφαρμογή μιας σειράς διορθωτικών σχέσεων σε περιπτώσεις αγωγών με καμπύλη τοιχώματα ή όταν οι ακτίνες Laser διέρχονται μέσα από πολλές διαχωριστικές επιφάνειες με διάφορους δείκτες διάθλασης, αποδυνκύνεται ιδιαίτερα δύσκολη.

Ένας άλλος τρόπος επίλυσης του προβλήματος της μετατόπισης του όγκου μέτρησης είναι και η χρησιμοποίηση υλικών (ρευστών και στερεών) με όμοιους δείκτες διάθλασης. Αυτός ο τρόπος χαρακτηρίζεται ως ταιρίασμα των δεικτών διάθλασης. Έτσι το πρόβλημα της διάθλασης των ακτίνων, κατά το πέρασμά τους, από μια διαχωριστική επιφάνεια (interface) που οφείλεται στη διαφορά των τιμών των δεικτών διάθλασης των δύο υλικών, αντιμετωπίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη μείωση της διαφοράς αυτής.

Το ταιρίασμα των δεικτών διάθλασης παρέχει τη δυνατότητα διεξαγωγής μετρήσεων σε υψηλές φορτίσεις, ενώ αποτρέπει και τη μετατόπιση του όγκου ελέγχου μέσα στην περιοχή των μετρήσεων. Έτσι επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή διαφάνεια που επιτρέπει σε μια ακτίνα φωτός να διαπεράσει το επιθυμητό εύρος (βάθος) μέτρησης χωρίς να αλλάξει κατεύθυνση προσανατολισμό, εξαιτίας της διάθλασης που προκαλείται από τις δύο φάσεις της ροής (διακριτή - συνεχής).

Στη συγκεκριμένη διάταξη του εργαστηρίου, παρατηρήθηκε ότι το ταιρίασμα των δεικτών διάθλασης του γυάλινου πλαισίου, του diesel και του εσωτερικού γυάλινου σωλήνα που περιβάλλει το πεδίο ροής δεν αποτρέπει πλήρως τη μετατόπιση του όγκου μέτρησης. Μειώνει πάντως τη διαφορά των τιμών των δεικτών διάθλασης των υλικών που συναντά η ακτίνα κατά το πέρασμά της μέσα από αυτά. Αυτή η διαφορά είναι υπεύδυνη για το πρόβλημα της διάθλασης της ακτίνας. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στο πρόγραμμα που φτιάχτηκε με σκοπό τον υπολογισμό αυτής της μικρής αλλά υπαρκτής διαφοράς της θέσης μέτρησης στη διφασική ροή.

Επιλογή υλικών της πειραματικής διάταξης

Τα περισσότερα από τα συνηθισμένα οπτικά υλικά είναι διαφανή στην ορατή περιοχή του φάσματος, δηλαδή για μήκη κύματος από 400 nm έως 700 nm! Έτσι η περιοχή διεξαγωγής των μετρήσεων που περιλαμβάνει, εκτός των άλλων, το ορθογωνικής διατομής γυάλινο πλαίσιο και το γυάλινο σωλήνα είναι κατασκευασμένη από γυαλί DURAN που από τη βιβλιογραφία δίνεται με δείκτη διάθλασης $n = 1,473$ σε μήκος κύματος $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ και ανεξάρτητο της θερμοκρασίας. Πάχος τοιχωμάτων πλαισίου 4 mm, ενώ του σωλήνα $1,8 \pm 0,2 \text{ mm}$.

Για την προσομοίωση της διακριτής φάσης επιλέχθηκαν σωματίδια από γυαλί Pyrex, τύπου Dragonit - 45 με τα εξής χαρακτηριστικά:

Μέση διάμετρο : $d_p = 450 \mu\text{m}$

Κατανομή μεγέθους : $d_p = 400 \div 520$

Πυκνότητα : $P_p = 2500 \text{ kg/m}^3$

Δείκτης διάθλασης : $n_p = 1520$ για μήκος κύματος $\lambda = 632,8 \text{ nm}$

Το ρευστό που χρησιμοποιήθηκε είναι diesel κίνησης της εταιρείας Shell. Ο δείκτης διάθλασής του: $n = 1,4702$ για θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C , πυκνότητα $\rho = 0,83 \text{ kg/l}$ και κινηματική συνεκτικότητα $\nu = 5,36 \text{ c St}$. Το ρευστό αυτό επιλέχθηκε ανάμεσα σε πολλά άλλα, γιατί εκπληρούσε αρκετές από τις προϋποθέσεις (προδιαγραφές) όπως τίθενται από διάφορους ερευνητές σε παρόμοιες μελέτες:

- να έχει γνωστή ρευστομηχανική συμπεριφορά (γνωστή κινηματική και δυναμική συνεκτικότητα, γνωστές μεταβολές του με τη θερμοκρασία, γνωστή πυκνότητα, αριθμός Prandtl κ.ά.)
- να είναι άφλεκτο και ασφαλές στη χρήση από τους ερευνητές
- να είναι μη διαβρωτικό, μη τοξικό
- να έχει χαμηλό κόστος και να είναι διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες
- να έχει δείκτη διάθλασης κοντά στο $1,473$ σε θερμοκρασία κοντά σε αυτή του περιβάλλοντος.

Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή αυτού του ρευστού (diesel) είναι οι εξής:

- ευκολία εύρεσης
- όχι απαγορευτικό κόστος αγοράς
- σχετικά καλή γνώση ρευστομηχανικής συμπεριφοράς
- δείκτης διάθλασης $n_{25} = 1,4$ (δηλ. στους 25°C) σχεδόν ίδιος με δείκτη διάθλασης γυαλιού Duran ($n = 1,473$)

- η ικανότητά του να δεχθεί υψηλά επίπεδα φόρτισης της στερεάς φάσης (σωματίδια).

Μέτρηση ταχύτητας

Στην ανεμομετρία Laser Doppler, η εξίσωση που συνδέει την ταχύτητα των σωματιδίων, είτε της διακριτής, είτε της συνεχούς φάσης, με τη μετρούμενη συχνότητα του σκεδαζόμενου από αυτά φωτός, καθώς, διασχίζουν τους κροσσούς συμβολής του όγκου μέτρησης, δίνεται από τη σχέση:

$$v = \frac{\lambda}{2 \cdot n \cdot \sin \vartheta} f$$

όπου:

λ : μήκος κύματος ακτίνας Laser (nm)

n : δείκτης διάθλασης μέσου

ϑ : γωνία που σχηματίζει η ακτίνα με τον οπτικό άξονα (ή ημιγωνία συμβολής των ακτίνων)

f : συχνότητα (MHz).

Το μήκος κύματος και η διεύθυνση της ακτίνας επομένως και η ημιγωνία ϑ στο σημείο συμβολής των ακτίνων, θα αλλάξει αν οι ακτίνες περάσουν μέσα από διαφορετικά μέσα, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Αυτό οφείλεται στους διαφορετικούς δείκτες διάθλασης που έχουν αυτά τα μέσα. Ακόμα αν οι ακτίνες περάσουν από καμπύλες επιφάνειες, όπως στην υπό εξέταση περίπτωση (γυάλινος σωλήνας), ημιγωνία και το σημείο τομής των ακτίνων υφίστανται περαιτέρω αλλαγές εξαιτίας της γεωμετρίας αυτής.

Η μέτρηση αυτής της ταχύτητας γίνεται και για τις τρεις συνιστώσες της:

- Αξονική (U)
- Ακτινική (V)
- Εφαπτόμενη (W)

Η μέτρηση κάθε φορά διαφορετικής συνιστώσας ταχύτητας γίνεται με στροφή του επιπέδου των δύο συμβαλλόμενων ακτίνων Laser.

Αξονική συνιστώσα U

Το επίπεδο της αξονικής συνιστώσας των διασταυρωμένων ακτίνων είναι κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο. Το σημείο τομής τους, δηλαδή ο όγκος μέτρησης, κινείται κατά μήκος μιας διαμέτρου του σωλήνα. Η διάμετρος αυτή είναι και η διχοτόμος της γωνίας των ακτίνων στο επίπεδο που τέμνονται. Αποτελεί τον οπτικό άξονα του συστήματός μας. Στην ανάλυση που ακολουθεί συμπεριλαμβάνεται μόνο η μία από τις δύο ακτίνες. Αυτό γίνεται γιατί το όλο σύστημα είναι συμμετρικό ως προς τον οπτικό άξονα $x x'$.

Στην περίπτωση αυτή διάθλαση υφίσταται μόνο κατά την αξονική κατεύθυνση, αφού οι επιφάνειες που εξετάζονται είναι κάθετες στην διχοτόμο των ακτίνων.

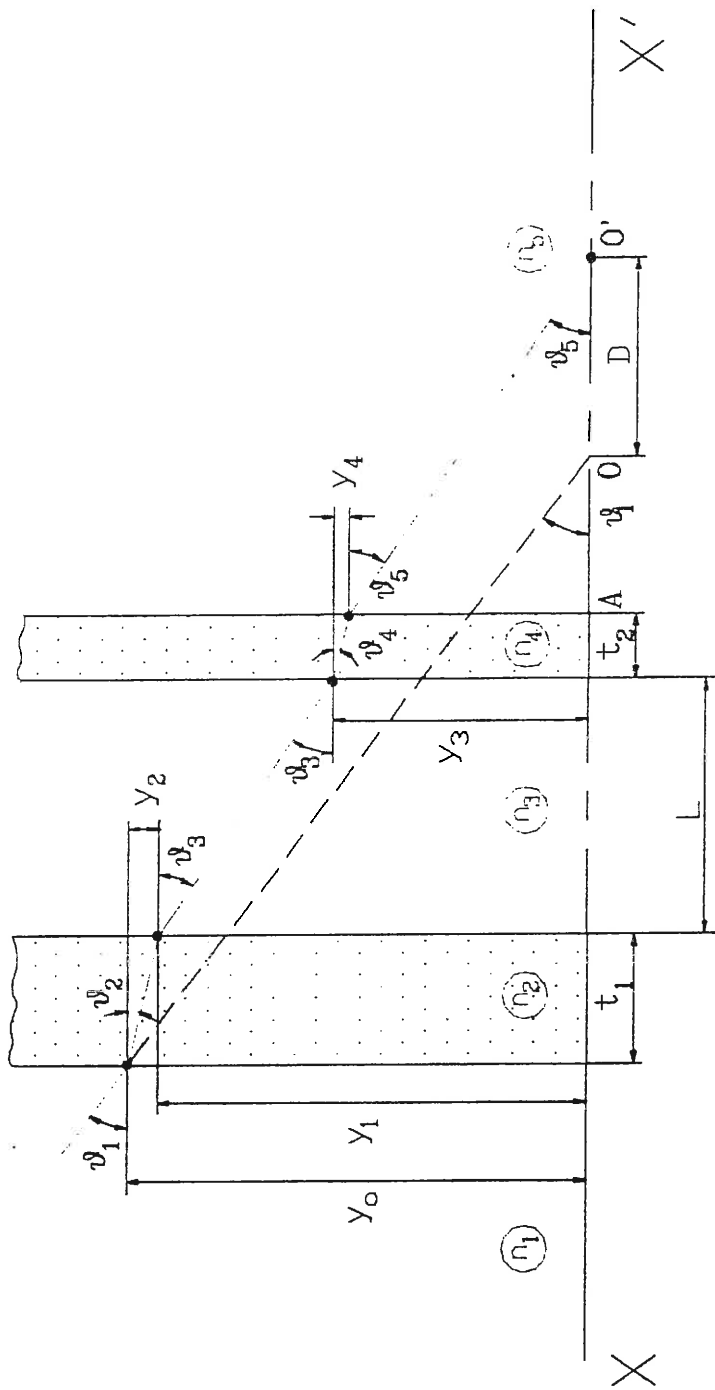
Από το σχήμα 3.4 έχουμε: $t_1 = 4\text{mm}$ και του γυάλινου σωλήνα $t_2 = 1,8\text{mm}$. Το μήκος $L = 37,7\text{mm}$ είναι η απόσταση των δύο γυάλινων επιφανειών. Η γωνία Θ_1 (ημιγωνία των ακτίνων) υπολογίζεται ως εξής:

$$\tan \vartheta_1 = \frac{(\text{απόσταση ακτίνων}) / 2}{\text{εστιακή απόσταση}}$$

όπου η απόσταση των ακτίνων για το συστήμά μας είναι 50 mm, ενώ η εστιακή απόσταση του φακού 150 m.

Από την προηγούμενη σχέση έχουμε ότι $\Theta_1 = 9,4623^\circ$. Το ύψος Y_0 για τη συγκεκριμένη θέση του σημείου O του σχήματος είναι 7,81 mm. Η απόσταση AO αντιπροσωπεύει τη θέση του κατακόρυφου άξονα πάνω στον οπτικό άξονα. Ισχύει:

$$D_{\frac{1}{2}} = 25,5\text{mm}$$



Σχήμα 3.4: Αξονική συνιστώσα

Θέλουμε να προσδιορίσουμε:

- την απόσταση OO' του ιδανικού σημείου τομής των ακτίνων O (χωρίς τη διάθλαση) από το πραγματικό σημείο O' (μετά τη διάθλαση των ακτίνων). Η απόσταση αυτή συμβολίζεται σαν D και ονομάζεται μετατόπιση των ακτίνων και
- τη γωνία Θ_5 που είναι η πραγματική ημιγωνία των ακτίνων αφού αυτές έχουν υποστεί τη διάθλαση.

Έχουμε, με την εφαρμογή του νόμου του Snell:

$$n_i \sin \Theta_i = n_j \sin \Theta_j \quad (i = 1, 2, \dots, 4 \quad j = i + 1)$$

όπου n_i : οι δείκτες διάθλασης των διαφόρων μέσων μετρημένοι στους 20°C .

Είναι:

$$n_1 = 1 \quad (\text{αέρας})$$

$$n_2 = 1,473 \quad (\text{γυαλί})$$

$$n_3 = 1,469 \quad (\text{diesel})$$

$$n_4 = 1,473 \quad (\text{γυαλί})$$

$$n_5 = 1,469 \quad (\text{diesel})$$

Έτσι προκύπτουν οι γωνίες:

$$\Theta_2 = 6,408^\circ$$

$$\Theta_3 = 0,4255^\circ$$

$$\Theta_4 = 0,408^\circ$$

$$\Theta_5 = 6,4255^\circ$$

Από το σχήμα προκύπτει λόγω της γεωμετρίας:

$$Y_2 = t_1 \times \tan \vartheta_2 \Rightarrow Y_2 = 0,44924\text{mm}$$

Άρα $Y_0 - Y_2 = Y_1 \Rightarrow Y_1 = 7,3607\text{mm}$

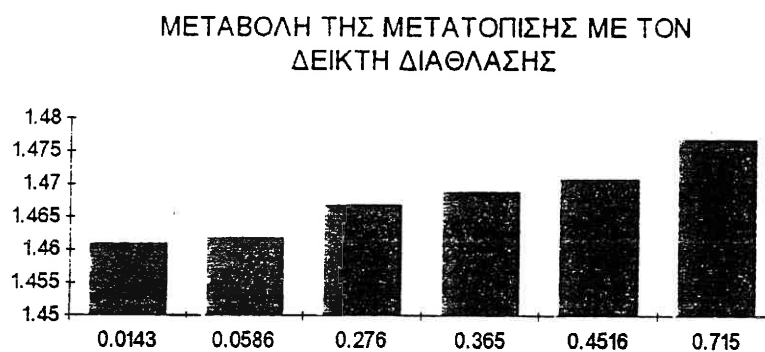
$$\tan \Theta_3 = \frac{Y_1 - Y_3}{L} \Rightarrow Y_3 = 3,11504\text{mm}$$

$$Y_4 = t_2 \times \tan \Theta_4 \Rightarrow Y_4 = 0,20216\text{mm}$$

$$\tan \Theta_5 = \frac{Y_3 - Y_4}{25,5 + D} \Rightarrow D = 0,365\text{mm}.$$

Έτσι βλέπουμε ότι η μετατόπιση των ακτίνων είναι πολύ μικρή.

Μια παραμετρική μελέτη του φαινομένου με παράμετρο αλλαγής του δείκτη διάθλασης του diesel λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας μας δίνει το παρακάτω διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1

Παρατηρώντας το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι η μετατόπιση διατηρείται σε ικανοποιητικά πλαίσια όταν το θερμοκρασιακό εύρος παραμένει στα επιθυμητά επίπεδα ($12^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$). Μηδενική μετατόπιση παρατηρείται περίπου στους 43.5°C . Κάτι τέτοιο βέβαια δεν είναι επιθυμητό μια και είναι αφενός δύσκολο να διατηρηθεί η θερμοκρασία του μίγματος

τόσο ψηλά και αφετέρου ο δείκτης διάθλασης με τιμή $n=1,461$ σε αυτή τη θερμοκρασία θα καθιστούσε δύσκολο το ταιρίασμά του με αυτό των σωματιδίων (1,520). Η δυσκολία οφείλεται κυρίως στο ότι η διαφορά των δύο δεικτών διάθλασης θα δημιουργούσε ξανά τα γνωστά, από άλλη παράγραφο, προβλήματα στη συλλογή του σκεδαζόμενου φωτός.

Εφαπτομενική συνιστώσα W

Για τη μέτρηση της δεύτερης συνιστώσας της ταχύτητας στρέφουμε κατά 90° το επίπεδο των δύο ακτίνων και τοποθετείται παράλληλα με το οριζόντιο επίπεδο. Παρατηρώντας την κάτοψη της περιοχής των μετρήσεων, σε τομή (σχήμα 3.5) εξετάζεται ξανά η μία μόνο ακτίνα αφού και εδώ το σύστημα που εξετάζουμε είναι συμμετρικό.

Το σημείο τομής των ακτίνων κινείται πάνω στον οπτικό άξονα κατά μήκος της διαμέτρου AA'. Η περίπτωση αυτή έχει μια ιδιαιτερότητα. Εκτός της διάθλασης λόγω διαφορετικών δ.δ. των μέσων, υφίσταται και διάθλαση των ακτίνων λόγω της ύπαρξης και των καμπύλων επιφανειών.

Θα γίνει προσπάθεια να υπολογιστεί το ποσό της μετατόπισης του σημείου τομής των ακτίνων λόγω της ύπαρξης των προαναφερθέντων αιτιών.

Από το σχήμα έχουμε:

$$t = 4\text{mm}, \quad x_0 = 69\text{mm}.$$

Το ύψος Y_0 για την τυχαία θέση K που εξετάζεται είναι: $Y_0 = 8,5\text{mm}$, το $r_0 = 69\text{mm}$. Η εσωτερική και η εξωτερική ακτίνα έχουν τιμές αντίστοιχα:

$$r_i = 25,5\text{mm} \text{ και } r_e = 27,3\text{mm}.$$

Η γωνία $\Theta_1 = 9,4623^\circ$ (όπως και προηγουμένως). Όμοια και οι δείκτες διάθλασης είναι γνωστοί. Από τον νόμο του Snell:

$$n \sin \Theta = n \cdot \sin \Theta$$

και εφαρμογή του για όλες τις περιπτώσεις που έχουμε επιφάνεια με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, έχουμε συνολικά 4 εξισώσεις:

$$n_1 \cdot \sin \Theta_1 = n_2 \cdot \sin \Theta'_1$$

$$n_2 \cdot \sin \Theta'_1 = n_3 \cdot \sin \Theta_2$$

$$n_3 \cdot \sin \alpha = n_4 \cdot \sin \alpha'$$

$$n_4 \cdot \sin \alpha'' = n_5 \cdot \sin \beta$$

Από την γεωμετρία του σχήματος είναι:

$$\tan \Theta_2 = \tan \Theta_1 = \frac{Y_o - X_1}{X_o - t - r_2} = \frac{\sin \Theta_2}{\cos \Theta_2} = \frac{\frac{n_1}{n_3} \sin \Theta_1}{\left[1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \Theta_1\right)^2\right]^{1/2}}$$

Όμως:

$$Y_1 = t \cdot \tan \Theta'_1 = \frac{t \cdot \sin \Theta'_1}{\cos \Theta'_1} = t \cdot \frac{\frac{n_1}{n_2} \sin \Theta_1}{\left[1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \Theta_1\right)^2\right]^{1/2}}$$

Επομένως:

$$r_2 = x_o - t - \frac{Y_o - \frac{t \cdot \frac{n_1}{n_2} \sin \Theta_1}{\left[1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \Theta_1\right)^2\right]^{1/2}}}{\frac{t \cdot \frac{n_1}{n_3} \sin \Theta_1}{\left[1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \Theta_1\right)^2\right]^{1/2}}}$$

Ακόμα από τη γεωμετρία είναι:

$$\frac{\sin \beta}{r_{\alpha}} = \frac{\sin(n - \Theta_{\alpha})}{r_i} = \frac{\sin \Theta_{\alpha}}{r_i}$$

$$\frac{\sin \alpha}{r_{\alpha}} = \frac{\sin(n - \Theta_i)}{r_o} = \frac{\sin \Theta_i}{r_o}$$

$$\frac{\sin \alpha}{r_2} = \frac{\sin(n - \alpha'')}{r_o} = \frac{\sin \alpha''}{r_o}$$

$$\Theta_{\alpha} = \beta + \phi_1$$

και:

$$\Theta_i = \alpha + \phi_2$$

Δηλαδή: $\phi_1 - \phi_2 = (\vartheta_{\alpha} - \vartheta_i) + \alpha - \beta$

και $\alpha'' = \alpha' + \phi_2 - \phi_1$

Επομένως $\vartheta_{\alpha} = \alpha' - \alpha'' + \vartheta_i - \alpha + \beta$.

Με εφαρμογή των δεδομένων της περίπτωσης μας παίρνουμε:

$$(r_2) = 17,32 \text{ mm}$$

$$(r_{\alpha}) = 17,57 \text{ mm}$$

$$\Theta_{\alpha} = 9,5851^{\circ}$$

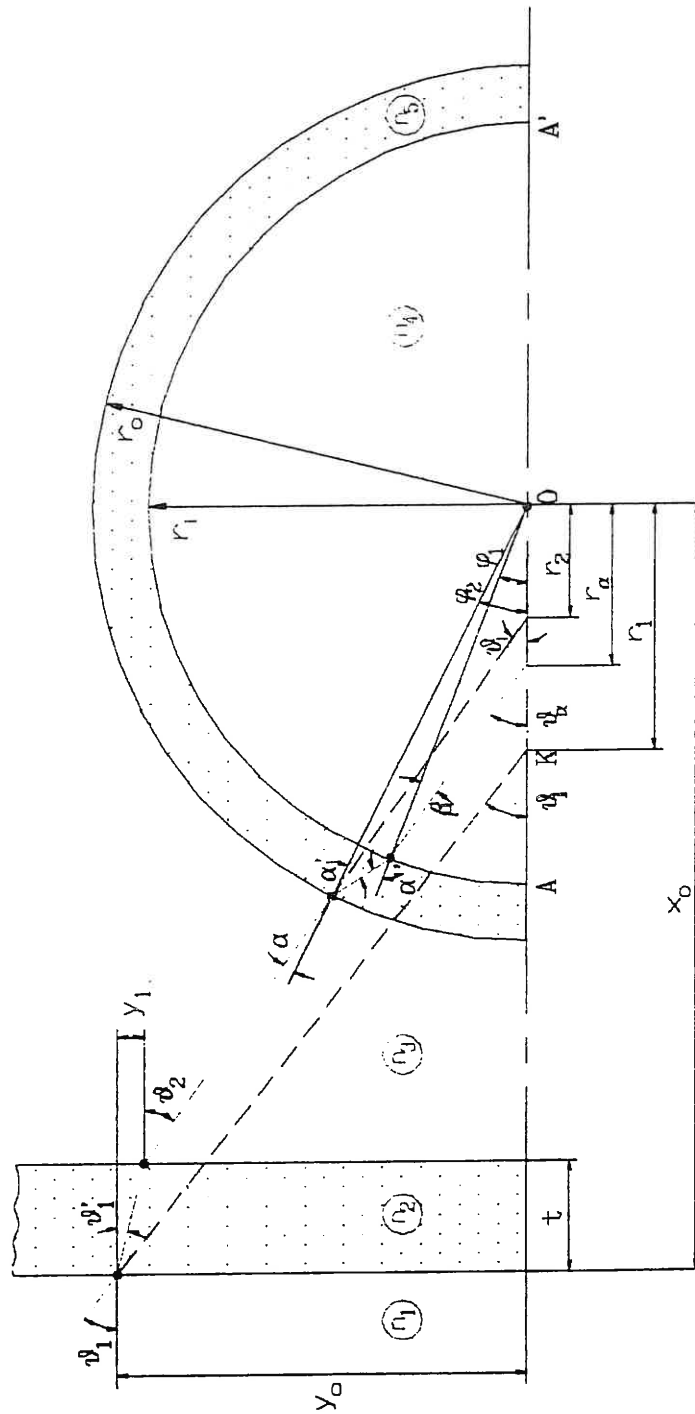
$$\Theta_i = 9,5840^{\circ}$$

$$\alpha = 6,0634^{\circ}$$

$$\beta = 6,5881^{\circ}$$

$$\alpha' = 8,9266^{\circ}$$

$$\alpha'' = 9,5624^{\circ}$$



Σχήμα 3.5: Εφαπτομενική συνιστώσα

και η μετατόπιση D θα είναι:

$$D = |r_1| - |r_a| = 0,43 \text{ mm}$$

Βλέπουμε και εδώ ότι η τιμή της είναι πολύ μικρή. Εδώ θα πρέπει να παρατηρηθεί ιδιαίτερα ότι η r_x (και επομένως η r_2) είναι αρνητική για θέσεις μεταξύ του κατακόρυφου άξονα του Laser, ενώ είναι θετική για θέσεις πέρα από τον κατακόρυφο άξονα της σωλήνας.

Ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας (V)

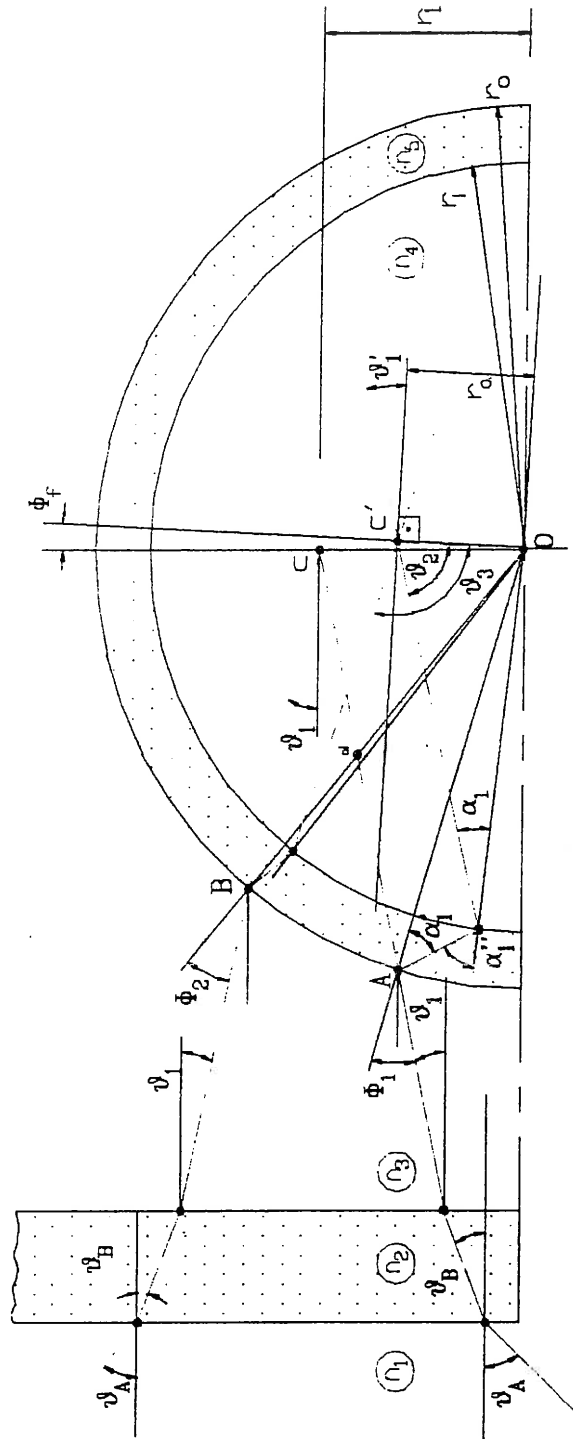
Για τη μέτρηση αυτής της συνιστώσας της ταχύτητας διατηρείται ο προσανατολισμός του επιπέδου των ακτίνων του Laser στη θέση που ήταν κατά τη μέτρηση της W -συνιστώσας. Τώρα όμως το σημείο τομής των ακτίνων που δεν έχουν υποστεί διάθλαση (από τους παράγοντες που αναφέρονται σε προηγούμενη παράγραφο) κινείται πάνω σε μια διάμετρο κάθετη στον οριζόντιο άξονα.

Η διαφορά στον υπολογισμό αυτής της συνιστώσας έγκειται στο ότι το νέο σημείο τομής των ακτίνων (πραγματικό) κείται σε μια νέα διάμετρο η οποία διαφέρει από την κάθετη κατά γωνία Φ_f .

Όπως είναι φυσικό σε αυτή την περίπτωση οι γεωμετρικοί υπολογισμοί είναι περίπλοκοι. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτής της συνιστώσας της ταχύτητας φαίνεται ότι η ημιγωνία Θ_1 των ακτίνων παραμένει αναλλοίωτη. Επομένως και ίση με τη γωνία Θ_1 των μη διαθλωμένων ακτίνων. Έτσι ο υπολογισμός της γωνίας Φ_f είναι αυτός που εστιάζει το ενδιαφέρον μας.

Στο σχήμα 3.6 φαίνεται ότι έχουμε τα ίδια γεωμετρικά μεγέθη, του πλαισίου και του γυάλινου σωλήνα, με αυτά της μελέτης της εφαπτομενικής συνιστώσας της ταχύτητας.

Σε αυτή την περίπτωση (σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες) εξετάζονται και οι δύο ακτίνες Laser με τα αντίστοιχα γεωμετρικά τους μεγέθη.



Σχήμα 3.6: Ακτινική συνιστώσα

Με εφαρμογή του νόμου του Snell έχουμε:

$$n_1 \Theta_A = n_2 \Theta_B$$

$$n_2 \Theta_B = n_3 \Theta_1$$

$$n_3 \cdot \sin \phi_1 = n_4 \cdot \sin \alpha'_1$$

$$n_4 \cdot \sin \alpha''_1 = n_5 \cdot \sin \alpha_1$$

$$n_3 \cdot \sin \phi_2 = n_4 \cdot \sin \beta'_1$$

$$n_4 \cdot \sin \beta''_1 = n_5 \cdot \sin \beta_1$$

Από τη γεωμετρία του σχήματος έχουμε:

$$\frac{\sin \Phi_1}{n_1} = \frac{\sin \left(\frac{\pi}{2} - \Theta_1 \right)}{r_o} = \frac{\cos \Theta_1}{r_o} \quad \text{και}$$

$$\frac{\sin \Phi_1}{n_1} = \frac{\sin \left(\frac{\pi}{2} - \Theta_1 \right)}{r_o} = \frac{\cos \Theta_1}{r_o}$$

από όπου είναι προφανές: $\Phi_1 = \Phi_2$

Επομένως: $\alpha'_1 = \beta'_1$

Ακόμα από τη γεωμετρία έχουμε:

$$\frac{\sin \Theta_2}{r_i} = \frac{\sin \alpha_1}{r_\alpha}$$

$$\frac{\sin \Theta_3}{r_i} = \frac{\sin \beta_1}{r_\alpha}$$

$$\frac{\sin \alpha'_1}{r_i} = \frac{\sin (\pi - \alpha''_1)}{r_o} = \frac{\sin \alpha''_1}{r_o}$$

$$\frac{\sin \beta'_1}{r_i} = \frac{\sin (\pi - \beta''_1)}{r_o} = \frac{\sin \beta''_1}{r_o}$$

από όπου προκύπτει: $\alpha''_1 = \beta''_1$

Ακόμα $\alpha_1 = \beta_1$ και $\sin \Theta_2 = \sin \Theta_3$ με $\Theta_2 \neq \Theta_3$

Δηλαδή: $\Theta_2 + \Theta_3 = \pi$

'Αρα η διχοτόμος είναι κάθετη στην ακτίνα r_α

Τότε είναι: $\Theta_2 = \frac{\pi}{2} - \Theta' \Rightarrow \sin \Theta_2 = \text{COS} \Theta'$

Από τα προηγούμενα έχουμε: $\text{COS} \Theta' = \frac{r_1}{r_\alpha} \cdot \text{COS} \Theta_1$

Είναι από τα τρίγωνα ΔAdO και ΔBdC : $\hat{\text{AOd}} = 2\Theta_1$

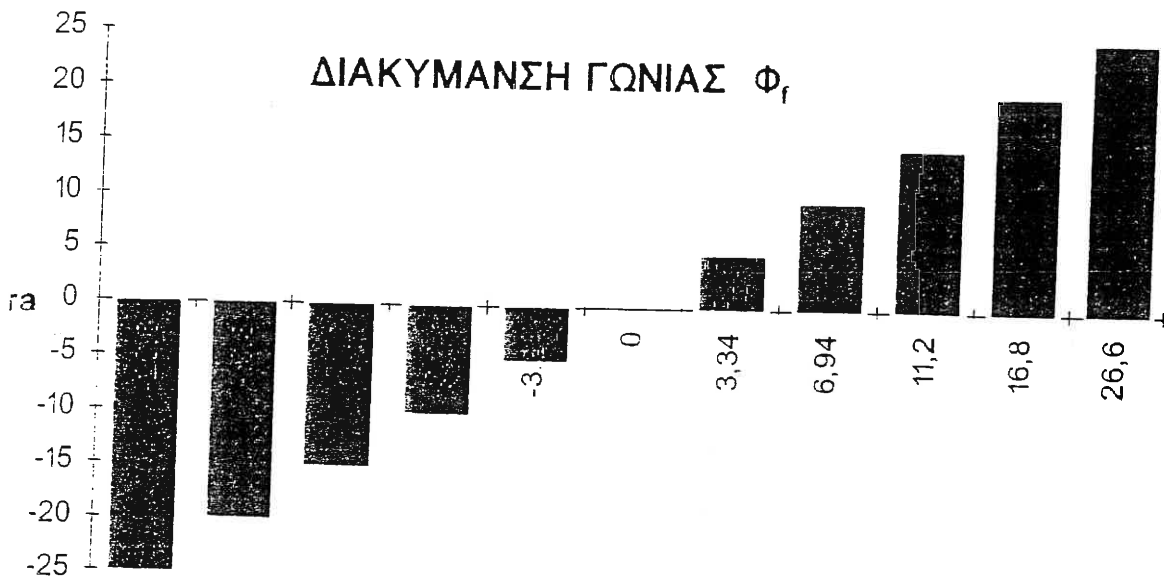
Επομένως $\Theta_1 = \Theta'$. Δηλαδή η ημιγωνία των ακτίνων δεν αλλάζει κατά τη μέτρηση αυτής της συνιστώσας της ταχύτητας. Ακόμα, η διχοτόμος των ακτίνων είναι πάντα κάθετη στην ακτίνα που κινείται ο όγκος μέτρησης.

'Αρα οι μετρήσεις αυτής της συνιστώσας της ταχύτητας γίνονται πάνω στην ακτίνα r_α και όχι στην ακτίνα r_1 . Τη διαφορά αυτή των ακτινών την προσδιορίζει η γωνία Φ_f .

Η γωνία Φ_f έχει υπολογιστεί πειραματικά από τους Bicen A.F. και Whitelaw J. (1981) και δίνεται από τον τύπο:

$$\Phi_f = \alpha_{rc} \cdot \sin \left(\frac{r_\alpha}{\pi_4 \cdot r_i} \cdot \text{COS} \Theta_1 \right) - \text{arc} \cdot \sin \left(\frac{r_\alpha}{\pi_4 \cdot r_o} \cdot \text{COS} \Theta_1 \right) - \text{arc} \cdot \sin \left(\frac{r_\alpha}{\pi_5 \cdot r_i} \cdot \text{COS} \Theta_1 \right) + \text{arc} \cdot \sin \left(\frac{r_\alpha}{r_o} \cdot \text{COS} \Theta_1 \right)$$

Η τιμή του r_α είναι θετική για θέσεις του σημείου τομής που βρίσκονται πάνω από τον οριζόντιο άξονα του συστήματος όταν οι ακτίνες βρίσκονται στο αριστερό ημιπίπεδο και αντιστρόφως. Ενώ η γωνία Φ_f είναι δεξιόστροφη για θετικές τιμές και αντίστροφα. Στο διάγραμμα 2 φαίνεται η μεταβολή της γωνίας Φ_f με την τιμή r_α για τις τιμές των δεικτών διάθλασης της πειραματικής μας διάταξης.



Διάγραμμα 2



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 40

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΩΔΙΚΑ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Γενική παρουσίαση του προγράμματος

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η αναλυτική παρουσίαση του προγράμματος "refraction" (διάθλαση). Το πρόγραμμα αυτό κατασκευάστηκε για να γίνει αναλυτική επίλυση του προβλήματος της διάθλασης ενός ζεύγους ακτίνων Laser πάνω σε μια προκαθορισμένη διάταξη ταιριάσματος δεικτών διάθλασης. Η διάταξη αυτή έχει αναλυτικά περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο κώδικας που αναπτύχθηκε, γράφτηκε σε γλώσσα Fortran, αποτελεί τη γεωμετρική επίλυση του προβλήματος της διάθλασης. Δηλαδή με τη βοήθεια του προγράμματος "refraction" υπολογίζεται γεωμετρικά η μετατόπιση που οφείλεται στη διάθλαση του σημείου τομής ενός ζεύγους ακτίνων Laser όταν αυτές "κτυπούν" σε μια διάταξη ταιριάσματος δείκτη διάθλασης, σαν και αυτή που υπάρχει στο εργαστήριο ατμοκινητήρων και λεβήτων του Ε.Μ.Π. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τη γεωμετρική αυτή λύση του προβλήματος έχουν αναλυτικά περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο πρόγραμμα αρχικά γίνονται κάποια σχόλια που αναφέρονται στο τι κάνει το πρόγραμμα αυτό. Επίσης γίνονται και οι δηλώσεις κάποιων μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια του προγράμματος και ορίζονται και τα μεγέθη τους.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα δέχεται, στην είσοδό του δύο αρχεία. Το πρώτο αρχείο (config) περιέχει όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για την επίλυση του προβλήματος αυτού (π.χ. μήκη, πλάτη, γωνίες κ.λπ.). Το δεύτερο αρχείο περιέχει τα δεδομένα των πειραματικών μετρήσεων που έχουν γίνει με τη διάταξη των ακτινών Laser. Τα αρχεία των δεδομένων πρέπει να έχουν κατάλληλη διαμόρφωση έτσι ώστε: στην πρώτη στήλη να απεικονίζεται η θέση που βρισκόμαστε (δηλαδή η απόσταση από το τοίχωμα στο οποίο γίνεται η μέτρηση) και στη δεύτερη και τρίτη στήλη: η τιμή της ταχύτητας και η τιμή του RMS της ταχύτητας. Είναι φανερό ότι όλες αυτές οι τιμές των διαφόρων μεγεθών που εξετάζονται είναι προς διόρθωση. Δηλαδή δεν έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση της διάθλασης που υπάρχει στην πειραματική μας διάταξη, κατά τη διάρκεια της μελέτης μας.

Πιο αναλυτικά, μέσα στο αρχείο εισόδου "config", το πρόγραμμα "διαβάζει" τα εξής χαρακτηριστικά του προβλήματος: στην πρώτη γραμμή τα πάχη T_1 , T_2 που είναι και τα πάχη του τετράγωνου κουτιού και του κυλίνδρου της διάταξης ταιριάσματος δείκτη διάθλασης, αντίστοιχα.

Στη δεύτερη γραμμή το πρόγραμμα "διαβάζει" το μήκος A της πλευράς του τετράγωνου κουτιού καθώς και τη διάμετρο R_{in} που είναι η εσωτερική διάμετρος του κυλίνδρου της πειραματικής μας διάταξης. Στην τρίτη γραμμή αναγράφονται η εστιακή απόσταση F του φακού και η γωνία THI που σχηματίζεται ανάμεσα στις δύο ακτίνες Laser. Στην τέταρτη γραμμή αναγράφεται ο δείκτης διάθλασης DNG του γυαλιού (που είναι και αυτός γνωστός αφού εμείς το επιλέξαμε). Στην πέμπτη γραμμή αναγράφεται η τιμή DR , που ουσιαστικά είναι το βήμα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για να κάνει τον αρχικό υπολογισμό της θέσης O , για την οποία θα πούμε περισσότερα παρακάτω. Έπειτα το πρόγραμμα καθορίζει την τιμή του π ως:

$$\pi = 4 \times \text{τόξο εφάπτομένης } 1$$

και υπολογίζει την τιμή της γωνίας THI σε ακτίνια:

$$\text{THI} = \frac{\pi \times \text{THI}}{180^\circ}$$

Τέλος ορίζει σαν τιμή του δείκτη διάθλασης του αέρα $DNA=1$.

Αν "τρέξουμε" το πρόγραμμα τότε αυτό ζητάει να πληκτρολογηθεί το όνομα του αρχείου εισόδου. Δηλαδή του αρχείου μέσα στο οποίο περιέχονται οι μετρήσεις που έγιναν με το Laser. Έπειτα ζητάει να πληκτρολογηθεί το όνομα του αρχείου εξόδου. Δηλαδή του αρχείου στο οποίο θα αποθηκευτούν οι διορθωμένες τιμές, πλέον, των μετρήσεων, (τιμές στις οποίες έχει ληφθεί υπόψη το φαινόμενο της διάθλασης).

Μετά το πρόγραμμα μας ζητάει να καθοριστεί ο δείκτης διάθλασης n_f του υγρού, που θα χρησιμοποιηθεί στην πειραματική μας διάταξη, ο οποίος είναι γνωστός. Στη συνέχεια ζητείται να καθοριστεί αν το αρχείο εισόδου προηγουμένως περιέχει την ακτινική, την αξονική ή την περιφερειακή

συνιστώσα της ταχύτητας. Η επιλογή της κατάλληλης συνιστώσας γίνεται με την εκλογή ενός αριθμού: 1, 2 ή 3 αντίστοιχα.

Έτσι, ανάλογα με την επιλογή του αριθμού, το πρόγραμμα ακολουθεί και διαφορετικό δρόμο για τον υπολογισμό της κατάλληλης συνιστώσας της ταχύτητας και επομένως και πραγματικής θέσης που βρισκόμαστε. Εννοείται ότι τα αρχεία έχουν τέτοια μορφή έτσι ώστε να περιέχουν μόνο: δύο τιμές θέσης την τιμή μιας μόνο συνιστώσας της ταχύτητας καθώς και την τιμή του RMS της ταχύτητας αυτής.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα ζητάει μια επιβεβαίωση αν τα στοιχεία που έχουν δοθεί είναι σωστά.

Αν η επιλογή είναι "Yes", δηλαδή είναι σωστά, συνεχίζει στον υπολογισμό της διάθλασης. Αν η επιλογή είναι "No", δηλαδή είναι λάθος, τότε επανέρχεται και ξαναζητάει να καθορίσουμε τα στοιχεία που χρειάζονται για την επίλυση του προβλήματός.

Το υπόλοιπο κομμάτι του προγράμματος, δηλαδή γραμμές 74-166, υπολογίζει τη θέση O. Τη θέση στην οποία το σημείο τομής των δύο ακτίνων του Laser βρίσκεται πάνω στο τοίχωμα της πειραματικής μας διάταξης για τις δύο από τις τρεις συνιστώσες της ταχύτητας που μετράμε (αξονική - περιφερειακή συνιστώσα της ταχύτητας). Για τον υπολογισμό της θέσης O ακολουθείται μια επαναληπτική διαδικασία. Δηλαδή, το πρόγραμμα, χρησιμοποιώντας το βήμα DR (που έχει καθοριστεί, όπως αναφέραμε και παραπάνω, στο αρχείο "config") αρχικά καθορίζει μια αρχική εκτίμηση της θέσης αυτής. Έπειτα κάνει τους υπολογισμούς για να βρει τα μεγέθη που εξετάζει μετά τη διάθλαση. Δηλαδή σε τι θέση αντιστοιχεί αυτό το διορθωμένο μέγεθος (μέγεθος που προκύπτει από το αρχικό αφού συνυπολογιστεί το φαινόμενο της διάθλασης). Στη συνέχεια προστίθεται το βήμα DR και γίνεται ξανά ο υπολογισμός με την ίδια διαδικασία. Αυτό συνεχίζεται έως ότου φτάσει τελικά σε τέτοια θέση ώστε το σημείο τομής των ακτίνων Laser μετά τη διάθλαση να βρίσκεται σχεδόν πάνω, να "ακουμπάει", το τοίχωμα της πειραματικής διάταξης.

Για την περίπτωση της μέτρησης της ακτινικής συνιστώσας της ταχύτητας σαν σημείο O ορίζεται το (O,O) δηλαδή το κέντρο του κυλινδρικού σωλήνα της πειραματικής διάταξης και όχι το τοίχωμα, όπως γίνεται στις άλλες δύο συνιστώσες της ταχύτητας.

Αφού το πρόγραμμα έχει καθορίσει και για τις τρεις συνιστώσες μέτρησης της ταχύτητας (ακτινική, περιφερειακή, αξονική) τη θέση O στο πρώτο κομμάτι του, προχωράει στο δεύτερο κομμάτι του. Εδώ γίνεται ο καθεαυτός υπολογισμός της διόρθωσης των μετρούμενων μεγεθών. Τέτοια μεγέθη είναι η θέση μέτρησης, η ταχύτητα και η τιμή του RMS της ταχύτητας. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται στις γραμμές 168-244. Σε αυτό το σημείο ο κώδικας, ανάλογα με το ποιά περίπτωση μέτρησης συνιστώσας της ταχύτητας έχει καθοριστεί αρχικά (1, 2 ή 3) κάνει και τον αντίστοιχο υπολογισμό χρησιμοποιώντας τις μαθηματικές σχέσεις που προκύπτουν από τη γεωμετρία και που αναφέρονται αναλυτικά όπως είπαμε, στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Μετά το τέλος και αυτού του μέρους του προγράμματος υπάρχουν 4 υπορουτίνες (subroutines) που χρησιμοποιούνται μέσα στο πρόγραμμα για τον υπολογισμό της διάθλασης. Συγκεκριμένα οι υπορουτίνες αυτές καλούνται σε ορισμένα σημεία του προγράμματος για να εκτελέσουν κάποιους υπολογισμούς. Αυτές είναι:

– Η υπορουτίνα "plane" κάνει τον υπολογισμό της διάθλασης πάνω σε ένα επίπεδο τοίχωμα. Στο όρισμα της υπορουτίνας αυτής περιέχονται τα X_1 , Y_1 , PHI_1 , AA όπου: X_1 , Y_1 οι συντεταγμένες του σημείου εκκίνησης μιας ακτίνας Laser και PHI_1 : η γωνία της ακτίνας αυτής ως προς τον οριζόντιο άξονα. Σαν AA ορίζουμε τη θέση του τοιχώματος (εξωτερικά) που επάνω του προσπίπτει η ακτίνα και έτσι πραγματοποιείται η διάθλαση. Τα DN_1 , DN_2 είναι οι δείκτες διάθλασης του ρευστού που υπάρχει πριν και μετά το τοίχωμα αντίστοιχα. Τα X_2 , Y_2 , PHI_2 , είναι λοιπόν τα διορθωμένα μεγέθη. Δηλαδή τα X_2 , Y_2 είναι ουσιαστικά οι συντεταγμένες του σημείου εκκίνησης της ακτίνας στην εσωτερική μεριά του τοιχώματος, ενώ PHI_2 : η νέα γωνία της ακτίνας ως προς τον οριζόντιο άξονα.

– Η υπορουτίνα "circle" κάνει τον υπολογισμό της διάθλασης μιας ακτίνας, με συγκεκριμένο σημείο εκκίνησης X_1, Y_1 και γωνία PHI_1 ως προς οριζόντιο άξονα, πάνω σε ένα κυκλικό τοίχωμα ακτίνας R . Οι δείκτες διάθλασης του ρευστού που υπάρχει πριν και μετά το κυκλικό τοίχωμα είναι αντίστοιχα DN_1, DN_2 . Στην έξοδο της υπορουτίνας έχουμε όπως και στην προηγούμενη υπορουτίνα τα X_2, Y_2, PHI_2 .

– Η υπορουτίνα "intersect" εκτελεί τον υπολογισμό της τομής δύο ακτίνων Laser με διαφορετικά σημεία εκκίνησης που συγκλίνουν. Σαν στοιχεία εκκίνησης θεωρεί τα X_1, Y_1, PHI_1 και X_2, Y_2, PHI_2 αντίστοιχα για κάθε μια από τις ακτίνες. Στην έξοδό της η υπορουτίνα μας δίνει το σημείο τομής των δύο αυτών ακτίνων. Δηλαδή τις συντεταγμένες X_t, Y_t .

– Η υπορουτίνα "angle" κάνει τον υπολογισμό της διεύθυνσης της διχοτόμου δύο τεμνόμενων ακτίνων Laser. Αν υποτεθεί ότι αυτές οι ακτίνες έχουν μια γωνία PHI_1 και PHI_2 αντίστοιχα, στην έξοδό της αυτή η υπορουτίνα δίνει τις τιμές AD και BD που είναι τα διευθύνοντα συνημίτονα του διανύσματος της διχοτόμου των δύο ακτίνων. Δηλαδή η υπορουτίνα "angle" χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διχοτόμου των δύο ακτίνων μετά τη διάθλαση. Έτσι, με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται και η απαιτούμενη ολοκληρωμένη διόρθωση που πρέπει να γίνει στην συνιστώσα της ταχύτητας, εφόσον υπάρχει στροφή στη διχοτόμο των δύο ακτίνων Laser.

Ακολουθεί ο κώδικας που περιγράφεται παραπάνω:


```
WRITE(*,*) 'GIVE REFRACTIVE INDEX OF FLUID, nf='
READ(*,*) DNF
WRITE(*,*) 'DO YOU WANT TO MAKE THE CALCULATIONS FOR:
&          1)PERIPHERAL VELOCITY COMPONENT (V)
&          2)RADIAL VELOCITY COMPONENTEN
&T (W)          3)AXIAL VELO
&CITY COMPONENT (U)
& (<1>,<2>,<3>)?'
1200 READ(*,*) L
IF((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2).OR.(L.EQ.3)) THEN
GOTO 1100
ELSE
WRITE(*,*) 'PLEASE REPEAT YOUR CHOISE (<1>,<2>,<3>)?'
GOTO 1200
ENDIF
1100 WRITE(*,*) 'ARE THE ABOVE VALUES CORRECT? (<Y> OR <N>)'
3  READ(*,*) AS2
IF((AS2.EQ.'N').OR.(AS1.EQ.'n')) THEN
GOTO 2
ELSE
IF((AS2.EQ.'Y').OR.(AS2.EQ.'y')) THEN
GOTO 4
ELSE
WRITE(*,*) 'PLEASE REPEAT YOUR CHOICE (<Y> OR <N>)'
GOTO 3
ENDIF
ENDIF

4  OPEN(15,FILE='CONFIG')
READ(15,*) T1,T2
READ(15,*) A,RIN
READ(15,*) F,THI
READ(15,*) DNG
READ(15,*) DR
CLOSE(15)

PI=4.*DATAN(1.)
THI=PI*THI/180.
DNA=1.
```

```
XP=RIN+F-20.  
YP=0.  
X11=XP  
X12=XP  
Y11=YP+DTAN(THI)*F  
Y12=YP-DTAN(THI)*F
```

```
DO 1000 I=1,1000000
```

```
IF(L.EQ.1) THEN
```

```
X11=X11+DR
```

```
X12=X12+DR
```

```
XP=XP+DR
```

```
YP=0.
```

```
ELSE
```

```
IF(L.EQ.2) THEN
```

```
X11=X11+DR
```

```
X12=X12+DR
```

```
XP=XP+DR
```

```
YP=0.
```

```
ELSE
```

```
X11=X11+DR
```

```
X12=X12+DR
```

```
XP=XP+DR
```

```
YP=0.
```

```
ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
c----- FIRST BEAM-----
```

```
CALL PLANE(X11,Y11,THI,A/2.,DNA,DNG,X21,Y21,PHI21)
```

```
CALL PLANE(X21,Y21,PHI21,A/2.-T1,DNG,DNF,X31,Y31,PHI31)
```

```
IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
```

```
CALL CIRCLE(X31,Y31,PHI31,RIN+T2,DNF,DNG,X41,Y41,PHI41)
```

```
ELSE
```

```
CALL PLANE(X31,Y31,PHI31,RIN+T2,DNF,DNG,X41,Y41,PHI41)
```

```
ENDIF
```

```
IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
```

```
CALL CIRCLE(X41,Y41,PHI41,RIN,DNG,DNF,X51,Y51,PHI51)
```

```
ELSE
CALL PLANE(X41,Y41,PHI41,RIN,DNG,DNF,X51,Y51,PHI51)
ENDIF
```

C-----SECOND BEAM-----

```
CALL PLANE(X12,Y12,-THI,A/2.,DNA,DNG,X22,Y22,PHI22)
CALL PLANE(X22,Y22,PHI22,A/2.-T1,DNG,DNF,X32,Y32,PHI32)
```

```
IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
CALL CIRCLE(X32,Y32,PHI32,RIN+T2,DNF,DNG,X42,Y42,PHI42)
ELSE
CALL PLANE(X32,Y32,PHI32,RIN+T2,DNF,DNG,X42,Y42,PHI42)
ENDIF
```

```
IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
CALL CIRCLE(X42,Y42,PHI42,RIN,DNG,DNF,X52,Y52,PHI52)
ELSE
CALL PLANE(X42,Y42,PHI42,RIN,DNG,DNF,X52,Y52,PHI52)
ENDIF
```

C-----INTERSECTION OF THE BEAMS-----

```
CALL INTERSECT(X11,Y11,THI,X12,Y12,-THI,XIN,YIN)
CALL INTERSECT(X51,Y51,PHI51,X52,Y52,PHI52,XF,YF)
```

```
RMCV=DSQRT(XF**2.+YF**2.)
IF((L.EQ.1).OR.(L.EQ.3)) THEN
```

```
IF(RMCV.LT.RIN) THEN
GOTO 1000
ELSE
OPEN(1,FILE=FILEIN)
OPEN(2,FILE=FILEOUT)
XP0=XP
YP0=YP
GOTO 1001
ENDIF
```

```
ELSE
```

```
IF(RMCV.GT.0.1) THEN
```

```
GOTO 1000
ELSE
OPEN(1,FILE=FILEIN)
OPEN(2,FILE=FILEOUT)
XP0=XP
YP0=YP
GOTO 1001
ENDIF
ENDIF
```

```
1000 CONTINUE
```

```
1001 DO 1002 I=1,1000
```

```
    READ(1,*,END=3300) POS,VEL,RMS
```

```
    IF(L.EQ.1) THEN
```

```
        X11=XP0-POS
```

```
        X12=XP0-POS
```

```
        Y11=YP0+DTAN(THI)*F
```

```
        Y12=YP0-DTAN(THI)*F
```

```
    ELSE
```

```
        IF(L.EQ.2) THEN
```

```
            X11=XP0
```

```
            X12=XP0
```

```
            Y11=YP0+DTAN(THI)*F+RIN-POS
```

```
            Y12=YP0-DTAN(THI)*F+RIN-POS
```

```
        ELSE
```

```
            X11=XP0-POS
```

```
            X12=XP0-POS
```

```
            Y11=YP0+DTAN(THI)*F
```

```
            Y12=YP0-DTAN(THI)*F
```

```
        ENDIF
```

```
    ENDIF
```

```
c----- FIRST BEAM-----
```

```
    CALL PLANE(X11,Y11,THI,A/2.,DNA,DNG,X21,Y21,PHI21)
```

```
    CALL PLANE(X21,Y21,PHI21,A/2.-T1,DNG,DNF,X31,Y31,PHI31)
```

```
    IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
```

```
        CALL CIRCLE(X31,Y31,PHI31,RIN+T2,DNF,DNG,X41,Y41,PHI41)
```

```
    ELSE
```

```
CALL PLANE(X31,Y31,PHI31,RIN+T2,DNF,DNG,X41,Y41,PHI41)
ENDIF
```

```
IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
CALL CIRCLE(X41,Y41,PHI41,RIN,DNG,DNF,X51,Y51,PHI51)
ELSE
CALL PLANE(X41,Y41,PHI41,RIN,DNG,DNF,X51,Y51,PHI51)
ENDIF
```

C-----SECOND BEAM-----

```
CALL PLANE(X12,Y12,-THI,A/2.,DNA,DNG,X22,Y22,PHI22)
CALL PLANE(X22,Y22,PHI22,A/2.-T1,DNG,DNF,X32,Y32,PHI32)
```

```
IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
CALL CIRCLE(X32,Y32,PHI32,RIN+T2,DNF,DNG,X42,Y42,PHI42)
ELSE
CALL PLANE(X32,Y32,PHI32,RIN+T2,DNF,DNG,X42,Y42,PHI42)
ENDIF
```

```
IF ((L.EQ.1).OR.(L.EQ.2)) THEN
CALL CIRCLE(X42,Y42,PHI42,RIN,DNG,DNF,X52,Y52,PHI52)
ELSE
CALL PLANE(X42,Y42,PHI42,RIN,DNG,DNF,X52,Y52,PHI52)
ENDIF
```

C-----INTERSECTION OF THE BEAMS-----

```
CALL INTERSECT(X11,Y11,THI,X12,Y12,-THI,XIN,YIN)
CALL INTERSECT(X51,Y51,PHI51,X52,Y52,PHI52,XF,YF)
```

```
RMCV=DSQRT(XF**2.+YF**2.)
WRITE(*,*) POS
IF(RMCV.GT.RIN) THEN
WRITE(*,*) 'POSITION IS OUT OF LIMITS'
GOTO 3300
ELSE
CALL ANGLE(THI,-THI,AD1,BD1)
CALL ANGLE(PHI51,PHI52,AD2,BD2)
DPHI=DACOS(AD1*AD2+BD1*BD2)
IF((L.EQ.1).OR.(L.EQ.3)) THEN
WRITE(2,'(5(1X,F12.6))') POS,RIN-XF,YF,VEL,RMS
```

```

ELSE
WRITE(2,'(5(1X,F12.6))') POS,XF,RIN-YF,DCOS(DPHI)*VEL,RMS
ENDIF
GOTO 1002
ENDIF

```

```
1002 CONTINUE
```

```
3300 STOP
```

```
END
```

```

SUBROUTINE PLANE(X1,Y1,PHI1,AA,DN1,DN2,X2,Y2,PHI2)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
PHI2=DASIN(DN1*DSIN(PHI1)/DN2)
X2=AA
Y2=DTAN(PHI1)*(AA-X1)+Y1
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CIRCLE(X1,Y1,PHI1,R1,DN1,DN2,X2,Y2,PHI2)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
C-----INTERSECTION WITH CYLINDER-----
A=DTAN(PHI1)
B=-DTAN(PHI1)*X1+Y1
DD=4.*R1**2.*(1.+A**2.)-4.*B**2.
IF(DD.LT.0.) THEN
WRITE(*,*) 'BEAM DOES NOT INTERSECT WALL'
GOTO 100
ELSE
ENDIF
XD=(-2*A*B+DSQRT(DD))/(2*(1.+A**2.))
YD=A*XD+B
C-----REFRACTION ON CYLINDER-----
DL=DSQRT((XD-X1)**2.+(YD-Y1)**2.)
A=(-XD+X1)/DL

```

```

B=(-YD+Y1)/DL
CT=(XD*A+YD*B)/R1
IF(PHI1.GE.0.) THEN
X3=DACOS(CT)
ELSE
X3=-DACOS(CT)
ENDIF
X4=DASIN(DN1*SIN(X3)/DN2)
A=-YD/XD
B=R1*DCOS(X4)/XD
AA=1.+A**2.
BB=2.*A*B
CC=-1.+B**2.
DD=BB**2.-4.*AA*CC
IF(DD.LT.0.) THEN
WRITE(*,*) 'IMPOSSIBLE BEAM POSITIONING'
GOTO 100
ELSE
ENDIF
B1=(-BB+DSQRT(DD))/(2*AA)
B2=(-BB-DSQRT(DD))/(2*AA)
A1=DSQRT(1-B1**2.)
A2=DSQRT(1-B2**2.)
XX1=DACOS((A1*(-XD+X1)+B1*(-YD+Y1))/DL)
XX2=DACOS((A2*(-XD+X1)+B2*(-YD+Y1))/DL)
IF(XX1.LE.XX2) THEN
A=A1
ELSE
A=A2
ENDIF

X2=XD
Y2=YD
IF(PHI1.GE.0.) THEN
PHI2=DACOS(A)
ELSE
PHI2=-DACOS(A)
ENDIF
GOTO 101

100 STOP

```


101 RETURN

END

SUBROUTINE INTERSECT(X1,Y1,PHI1,X2,Y2,PHI2,XT,YT)

IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)

A1=DTAN(PHI1)

B1=-DTAN(PHI1)*X1+Y1

A2=DTAN(PHI2)

B2=-DTAN(PHI2)*X2+Y2

XT=(B2-B1)/(A1-A2)

YT=A1*XT+B1

RETURN

END

SUBROUTINE ANGLE(PHI1,PHI2,AD,BD)

IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)

A1=DCOS(PHI1)

IF(PHI1.GE.0) THEN

B1=DSQRT(1.-A1**2.)

ELSE

B1=-DSQRT(1.-A1**2.)

ENDIF

A2=DCOS(PHI2)

IF(PHI2.GE.0) THEN

B2=DSQRT(1.-A2**2.)

ELSE

B2=-DSQRT(1.-A2**2.)

ENDIF

C=DCOS(0.5*DACOS(A1*A2+B1*B2))

DK=-B1/A1

DL=C/A1

AA=1.+DK**2.

BB=2.*DK*DL

CC=DL**2.-1.

DD=BB**2.-4.*AA*CC

BD1=(-BB+DSQRT(DD))/(2.*AA)

```
BD2=(-BB-DSQRT(DD))/(2.*AA)
AD1=DSQRT(1.-BD1**2.)
AD2=DSQRT(1.-BD2**2.)
X1=DACOS(AD1*A2+BD1*B2)
X2=DACOS(AD2*A2+BD2*B2)
IF(X1.LE.X2) THEN
AD=AD1
BD=BD1
ELSE
AD=AD2
BD=BD2
ENDIF
RETURN
END
```



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 50

ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ LABVIEW

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε αναλυτική μελέτη του προγράμματος ανάπτυξης εφαρμογών Labview σε συνδυασμό με την κάρτα GPIB-PCIIA και τον παλμογράφο LecRoy 9400A με σκοπό την επεξεργασία ψηφιακών σημάτων.

Το ειδικό λογισμικό Labview είναι ένα πρόγραμμα ανάπτυξης εφαρμογών, μέσω Windows, που δίνει τη δυνατότητα χειρισμού ψηφιακών οργάνων και κατά συνέπεια σημάτων, μέσω ειδικών interfaces.

Η κάρτα GPIB-PCIIA είναι ένας διάδρομος ψηφιακών δεδομένων γενικής χρήσης και με αυτή γίνεται η σύνδεση του υπολογιστή με τον παλμογράφο. Μετά από μελέτη σε ότι αφορούσε την κάρτα, έγινε εγκατάστασή της στον υπολογιστή (κάρτα και λογισμικό). Έπειτα, ακολούθησε η σύνδεση με τον παλμογράφο και η εύρεση της διεύθυνσης επικοινωνίας του οργάνου με τον υπολογιστή (primary address).

Σ' αυτό το σημείο άρχισε το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας, η μελέτη, εκμάθηση του Labview και η ανάπτυξη εφαρμογών σε αυτό. Αυτό έγινε με προσεκτική ανάγνωση των ειδικών manuals και παράλληλα εργαστηριακή εξάσκηση.

Αυτό προϋποθέτει ότι έχει γίνει η εγκατάσταση των ειδικών οδηγών-drivers του παλμογράφου, με τις οποίες γίνεται ο χειρισμός του Lecroy μέσω του υπολογιστή.

Με αυτούς τους οδηγούς-drivers έγιναν διάφορες εφαρμογές για την επεξεργασία των ψηφιακών σημάτων του παλμογράφου.

Επίσης γίνεται εισαγωγή στο Labview με έμφαση στα κύρια στοιχεία του, που είναι το Front Panel και το Block Diagram. Σ' αυτό το κεφάλαιο δίνεται μία σειρά βημάτων που καλό είναι να γίνουν από τον αναγνώστη μπροστά στον υπολογιστή για καλύτερη κατανόηση του προγράμματος.

Ακόμα περιέχονται τρία σημαντικά τμήματα, αυτό για τα μενού του Labview και τα τμήματα για τα Controls και τις Functions που είναι τα εργαλεία του Labview. Τα δύο τελευταία είναι το σημαντικότερο μέρος αυτού του κεφαλαίου, αφού θα είναι το κύριο βοήθημα για τον προγραμματισμό στο Labview.

Ακόμα γίνεται αναφορά σε όλα τα βοηθήματα που υπάρχουν για το Labview.

Πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι το ελάχιστο "υλικό" που χρειάζεται είναι ένας υπολογιστής 486 DX, με 8Mb RAM μνήμη, στα 50 MHz και 120 Mb σκληρό δίσκο.

2. ΚΑΡΤΑ GPIB

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κάρτα GPIB (General Purpose Interface Bus) είναι ένας σύνδεσμος ή σύστημα interface μέσω του οποίου διάφορες συνδεδεμένες ηλεκτρονικές συσκευές επικοινωνούν.

Η αρχική κάρτα GPIB σχεδιάστηκε από την Hewlett-Packard (με ονομασία HP-IB) με σκοπό τη σύνδεση και έλεγχο των προγραμματιζομένων οργάνων της Hewlett Packard. Λόγω του υψηλού ποσοστού δεδομένων που μπορούσε να μεταφέρεται (έφθανε το 1Mb/sec), η GPIB πολύ γρήγορα αύξησε τη δημοτικότητά της και σε άλλες εφαρμογές όπως intercomputer επικοινωνία και περιφερειακό έλεγχο. Μετά έγινε αποδεκτή σαν η βιομηχανική IEEE-488.

Η National Instruments επέκτεινε τη χρήση της GPIB ανάμεσα στους χρήστες υπολογιστών που κατασκευάστηκαν από άλλες εταιρείες εκτός της H-P.

Η GPIB-PCIIA που χρησιμοποιήθηκε είναι μία κάρτα interface IEEE-488 για τα IBM-PC, PC XT, PCXT, PC AT και συμβατούς υπολογιστές.

Αυτή η κάρτα μπορεί να λειτουργεί σαν GPIB-PCII ή GPIB-PCIIA ανάλογα με τη θέση του διακόπτη επιλογής στη κάρτα (jumpers).

3. LABVIEW

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το Labview είναι ένα πρόγραμμα ανάπτυξης εφαρμογών (μέσω Windows) όπως τα διάφορα εμπορικά συστήματα ανάπτυξης, C ή BASIC ή τα Labwindows (for DOS) της National Instruments, όμως το Labview είναι διαφορετικό από αυτές τις εφαρμογές σε ένα σημαντικό σημείο. Τα άλλα προγραμματιστικά πακέτα χρησιμοποιούν γλώσσες βασισμένες σε κείμενο για τη δημιουργία κώδικα ενώ στο Labview χρησιμοποιείται η γραφική προγραμματιστική γλώσσα G, για τη δημιουργία προγραμμάτων σε μορφή block διαγράμματος.

Το Labview μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολύ εύκολα με πολύ λίγη προγραμματιστική εμπειρία. Έχει ορολογία, εικόνες και ιδέες οικίες σε επιστήμονες και μηχανικούς και βασίζεται σε γραφικά σύμβολα αντί σε λεκτική γλώσσα για τη περιγραφή προγραμματιστικών πράξεων. Έχει μεγάλες σε έκταση βιβλιοθήκες από συναρτήσεις και υπορουτίνες για τις περισσότερες προγραμματιστικές διαδικασίες. Επίσης περιέχει βιβλιοθήκες για συγκεκριμένες εφαρμογές για data acquisition, GPIB και σειριακό έλεγχο οργάνων, ανάλυση, παρουσίαση και αποθήκευση δεδομένων.

Το Labview περιέχει επίσης συμβατικό πρόγραμμα ανάπτυξης εργαλείων έτσι ώστε να μπορούμε να βάζουμε breakpoints, να βλέπουμε τα δεδομένα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ή να τρέχουμε τα προγράμματα βήμα με βήμα.

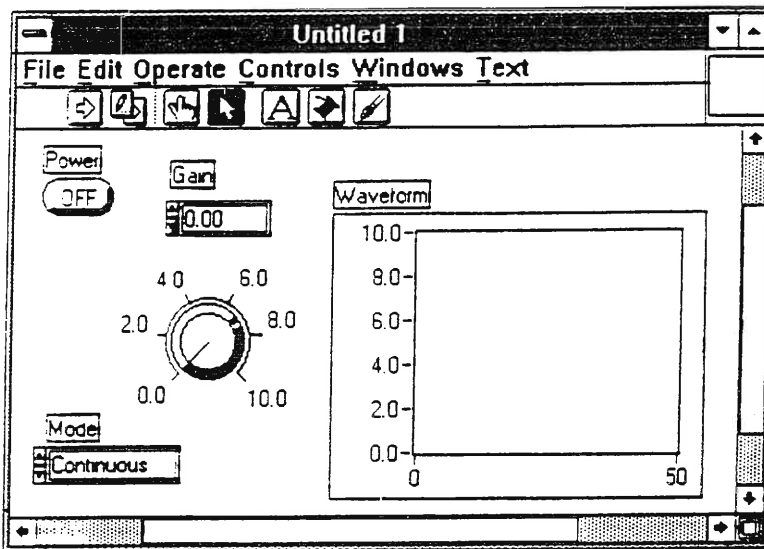
Τα προγράμματα του Labview ονομάζονται VIs (Virtual Instruments) λόγω της εμφάνισης και λειτουργίας τους που προσομοιώνουν τα φυσικά όργανα. Όμως μοιάζουν στις συναρτήσεις (functions) των συμβατικών προγραμματιστικών γλωσσών. Τα VIs έχουν διακοπτόμενο από τον χρήστη interface, ισοδύναμο πηγαίου κώδικα (source code) και δέχονται παραμέτρους από VIs υψηλότερων επιπέδων. Πιο κάτω δίνονται αναλυτικά τα 3 αυτά στοιχεία των VIs.

- Το διακοπτόμενο από τον χρήστη interface ενός VI ονομάζεται **front panel**, γιατί προσομοιώνει το panel του πραγματικού οργάνου. Το front panel μπορεί να έχει knobs, push buttons και άλλα controls και indicators. Βάζουμε δεδομένα χρησιμοποιώντας το mouse και το πληκτρολόγιο.
- Το VI παίρνει οδηγίες από το block diagram το οποίο κατασκευάζεται σε γλώσσα G. Το block diagram είναι επίσης πηγαίος κώδικας για το VI.
- Τα VIs μπορεί να είναι ιεραρχικά ή "modular". Μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε ως άνω επιπέδου προγράμματα ή σαν υποπρογράμματα μέσα σε άλλα προγράμματα ή σε υποπρογράμματα. Ένα VI μέσα σε ένα άλλο VI ονομάζεται subVI. Τα VIs μπορούν να παίρνουν δεδομένα από ένα subVI.

Με αυτά τα στοιχεία το Labview προωθεί την ιδέα του modular προγραμματισμού. Διαιρούμε την εφαρμογή σε μια σειρά διαδικασιών οι οποίες μπορούν να διαιρεθούν σε μια σειρά από απλές διαδικασίες. Φτιάχνουμε το VI φτιάχνοντας κάθε υποδιαδικασία και συνδυάζοντας τα subVI σε ένα άλλο block diagram.

FRONT PANEL

Το interface του χρήστη σε ένα VI είναι το ίδιο όπως το interface του χρήστη ενός φυσικού ηλεκτρονικού - ψηφιακού οργάνου - το front panel. Το front panel ενός VI μπορεί να είναι όπως στο πιο κάτω παράδειγμα :

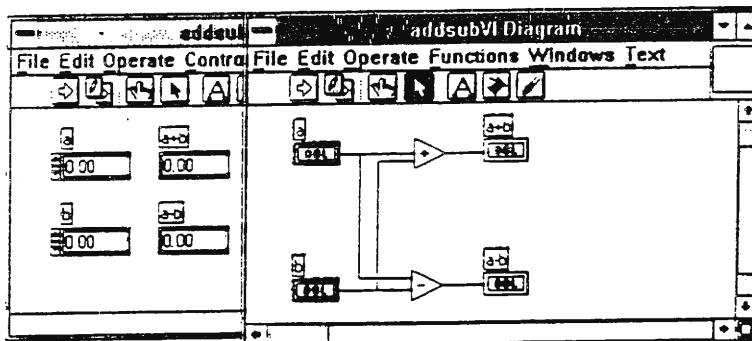


Το panel- window δείχνει το front panel ενός VI. Το front panel είναι αρχικά ένας συνδυασμός controls και indicators. Τα controls προσομοιώνουν τις συσκευές εισόδου των οργάνων και δίνουν δεδομένα στο block diagram του VI. Τα indicators προσομοιώνουν τις συσκευές εξόδου των οργάνων που δείχνουν τα δεδομένα που λαμβάνονται ή παράγονται από το block diagram.

BLOCK DIAGRAM

Το παράθυρο του διαγράμματος περιέχει το block diagram του VI το γραφικό πηγαίο κώδικα ενός VI του Labview. Κατασκευάζουμε το block diagram συνδέοντας με "καλώδιο" (συνεχής γραμμή) αντικείμενα που στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα, κάνουν συγκεκριμένες λειτουργίες και ελέγχουν τη ροή της εκτέλεσης.

Το πιο κάτω παράδειγμα απλού VI υπολογίζει το άθροισμα και τη διαφορά δύο αριθμών. Το διάγραμμα δείχνει διάφορα βασικά αντικείμενα block διαγράμματος: object nodes, terminals και wires.



Όταν τοποθετούμε ένα control ή indicator στο front panel το Labview τοποθετεί το αντίστοιχο terminal στο block diagram. Τα terminals μπορούν να παρομοιαστούν με εισόδους και εξόδους. Τα δεδομένα που βάζουμε στα controls πηγαίνουν από το front panel στο block diagram μέσω των terminals.

Τα nodes είναι στοιχεία εκτέλεσης του προγράμματος. Είναι ανάλογα με τις δηλώσεις, functions ή υπορουτίνες στις συμβατικές προγραμματιστικές γλώσσες.

Το Labview έχει μία μεγάλη βιβλιοθήκη από functions για μαθηματικά, σύγκριση, μετατροπή, I/O κ.α.

Τα καλώδια (wires) είναι μονοπάτια δεδομένων μεταξύ πηγών και τελικών terminals. Κάθε καλώδιο έχει διαφορετικό χρώμα ή τύπο ανάλογα με το τύπο δεδομένων που περνάει μέσα από το καλώδιο.

Η αρχή που διέπει την εκτέλεση των προγραμμάτων του Labview ονομάζεται data flow. Ένας κόμβος (node) εκτελείται μόνο όταν έρθουν όλα τα δεδομένα που χρειάζεται για την εκτέλεσή του. Μετά την εκτέλεση ο κόμβος δίνει τα δεδομένα σε όλες τις εξόδους του.

3.3 ΞΕΚΙΝΩΝΤΑΣ ΣΤΟ LABVIEW

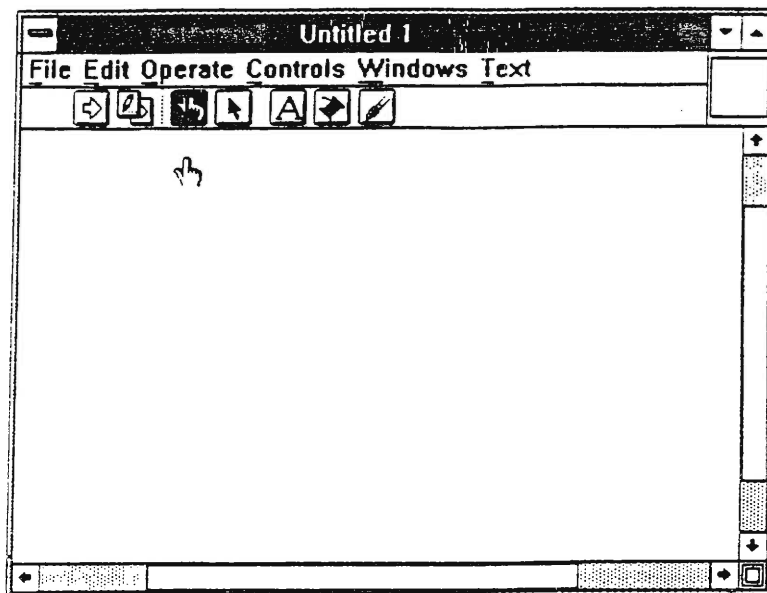
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως για τον προγραμματισμό σε LABVIEW χρησιμοποιούμε δύο επίπεδα: το front panel και το block diagram. Στο block diagram "γράφουμε" τον κώδικα του προγράμματος και το front panel χρησιμοποιείται για να δίνουμε δεδομένα στο block diagram ή για να εμφανίζουμε γραφικά ή σε άλλη μορφή τα αποτελέσματα που επιστρέφονται από το block diagram.

Ο κώδικας όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι στη γραφική γλώσσα G. Η γλώσσα αυτή έχει όλα τα στοιχεία μιας συμβατικής γλώσσας αλλά σε γραφική μορφή δηλαδή έχουμε loops, arrays, μαθηματικές συναρτήσεις κλπ.

Για μια πρώτη εξοικείωση με το LABVIEW ακολουθήσαμε τα πιο κάτω βήματα :

Αφού έχει φορτωθεί το LABVIEW, θα υπάρχει στα windows το menu LABVIEW. Μπαίνουμε στα windows και επιλέγουμε από το μενού LABVIEW το εικονίδιο labview.

- Είμαστε στο LABVIEW και βλέπουμε ότι έχει εμφανιστεί στο window panel ένα πλαίσιο όπως αυτό που βλέπουμε πιο κάτω:



Αυτό που βλέπουμε είναι: το front panel ενός untitled αρχείου. Βλέπουμε ότι η μορφή του παραθύρου είναι παρόμοια με αυτήν των windows.

- Επιλέγουμε με το αριστερό κουμπί του mouse (lbn) το FILE menu και μετά την επιλογή OPEN. Μετά με double - click επιλέγουμε το file EXAMPLES, APPS και TEMPSYS.LLB. Μπορούμε να δούμε τα παραδείγματα που περιέχονται σ' αυτή τη βιβλιοθήκη.
- Μέσα από κάποιο παράδειγμα επιλέγουμε από το μενού windows: show diagram για να δούμε το block διάγραμμα του παραδείγματος.
- Επιλέγουμε από το μενού WINDOWS το tile για να δούμε μαζί το front panel και το block diagram.

Ο δείκτης που μοιάζει με "χεράκι" ονομάζεται operating tool. Τα εργαλεία - tools είναι τα κουτιά - επιλογές που βρίσκονται στο πάνω μέρος του panel κάτω από τα μενού FILE, EDIT, OPERATE κλπ.

- Επιλέγουμε το tool - βελάκι για να τρέξουμε το πρόγραμμα. Παρατηρούμε τι γίνεται στο πρόγραμμα, βλέπουμε ότι το βελάκι αλλάζει και συγχρόνως εμφανίζεται ένα κουμπί STOP το οποίο μας επιτρέπει να σταματάμε την εκτέλεση του προγράμματος. Αυτό το κουμπί καλύτερα να μην χρησιμοποιείται.

Τώρα είμαστε σε EDIT mode (mode για γράψιμο). Αυτό φαίνεται από το "μολυβάκι" που υπάρχει στο 2ο εργαλείο.

- Επιλέγουμε το 2ο εργαλείο και βλέπουμε ότι στο εργαλείο εμφανίζεται μπροστά ένα "βελάκι". Αυτό δείχνει ότι είμαστε σε RUN mode δηλαδή στο mode για τρέξιμο του προγράμματος.

Για να μπορούμε να πάμε από EDIT σε RUN mode πρέπει το πρόγραμμα να είναι σωστό. Αν υπάρχει λάθος όταν επιλέξουμε RUN mode θα εμφανίσει μια λίστα με τα πιθανά λάθη. Όταν θέλουμε να γράψουμε ή να διορθώσουμε ένα πρόγραμμα πρέπει να είμαστε σε EDIT mode και όταν θέλουμε να το τρέξουμε σε RUN mode.

- Πατάμε το 3ο εργαλείο (σε RUN mode) και βλέπουμε ότι το πρόγραμμα τρέχει συνέχεια και αν το επιλέξουμε ξανά η εκτέλεση σταματάει.

Το 4ο εργαλείο (σε EDIT mode) είναι το resizing tool, με το οποίο αλλάζουμε θέση, μέγεθος, δεδομένα κλπ.

- Μέσα από ένα παράδειγμα δοκιμάζουμε να επιλέξουμε ένα αντικείμενο με τη βοήθεια του resizing tool. Του αλλάζουμε θέση έχοντας πατημένο το αριστερό κουμπί του mouse και μετακινώντας τον κέρσορα εκεί που θέλουμε. Αν απλά φέρουμε τον κέρσορα στο όριο του αντικειμένου και πατώντας το αρ.κ.π. τραβήξουμε τον κέρσορα σε οποία κατεύθυνση θέλουμε τότε το αντικείμενο αλλάζει μέγεθος.

- Μέσα από ένα παράδειγμα (πχ. το Temperature System Demo.vi) με το resizing tool και το αρ.κ.μ. πατημένο αλλάζουμε τη θέση των δεικτών στο temperute range.
- Στο ίδιο παράδειγμα αλλάζουμε την τιμή του low limit με τη βοήθεια του label tool, που είναι το εργαλείο με το "A" πάνω, πάμε πάνω στην υπάρχουσα τιμή και τη επιλέγουμε. Μετά γράφουμε τη νέα τιμή και πατάμε το enter που έχει εμφανιστεί στο edit mode palette.
- Χρησιμοποιούμε τα βελάκια που υπάρχουν στα αριστερά της τιμής για να την αλλάξουμε.

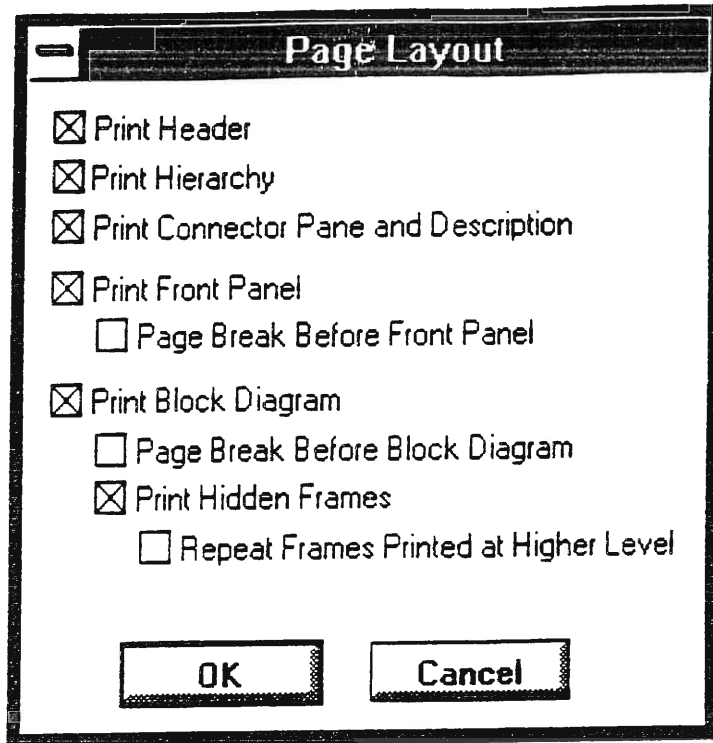
ΧΡΗΣΗ VI ΣΑΝ SUBVI

Για να μπορούμε να χρησιμοποιούμε ένα πρόγραμμα - VI που έχουμε φτιάξει σαν συνάρτηση σε ένα άλλο πρόγραμμα, πρέπει να φτιάξουμε εικονίδιο που το αντιπροσωπεύει. Αυτό γίνεται με την πιο κάτω διαδικασία:

1. Ανοίγουμε το VI
2. Αλλάζουμε σε EDIT mode
3. Επιλέγουμε τον ICON EDITOR από το πάνω δεξιά μέρος της οθόνης και επιλέγουμε EDIT ICON
4. Σχεδιάζουμε το εικονίδιο που θέλουμε και κλείνουμε τον ICON CONNECTOR
5. Επιλέγουμε Show connector από το pop-up μενού πάνω στο εικονίδιο
6. Πατάμε με το αριστερό κουμπί του mouse στο terminal στο connector
7. Πατάμε στο αντικείμενο του VI
8. Σώζουμε το VI

ΕΚΤΥΠΩΣΗ VI

Μπορούμε να εκτυπώσουμε το front panel, το block διάγραμμα ή άλλα επιλεγμένα κομμάτια του vi, με την επιλογή PRINT από το μενού FILE. Το Labview μας δίνει τις εξής επιλογές εκτύπωσης:



PRINT HEADER: εκτυπώνει το εικονίδιο, αριθμό σελίδας, ημερομηνία τελευταίας εκτύπωσης

PRINT HIERARCHY: εκτυπώνει ένα δενδροδιάγραμμα όλων των VI που έχουν φορτωθεί πρόσφατα στη μνήμη

PRINT CONN. PANE & DISCR.: εκτυπώνει το εικονίδιο και τον connector του VI καθώς και την περιγραφή του

PRINT FRONT PANEL: εκτυπώνει το front panel

PRINT BLOCK DIAGRAM: εκτυπώνει το block diagram

4. LABVIEW - ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

4.1 ΤΑ ΜΕΝΟΥ ΤΟΥ LABVIEW

Το labview χρησιμοποιεί τα μενού σε πολύ μεγάλο βαθμό. Το menu bar στο πάνω μέρος του VI window περιέχει πολλά pull down μενού. Παίρνουμε αυτά τα μενού αν πατήσουμε το αριστερό κουμπί του mouse πάνω στο μενού που θέλουμε.

Οι επιλογές του μενού FILE είναι παρόμοιες με άλλα προγράμματα του περιβάλλοντος των windows.

Οι επιλογές στο μενού EDIT χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής των προγραμμάτων. Η επιλογή Remove bad wires αφαιρεί τις κακές συνδέσεις από το block diagram.

Το μενού OPERATE έχει τις ίδιες επιλογές με μερικές από τις επιλογές του EDIT \RUN mode menu που υπάρχει στο πάνω μέρος του παραθύρου του προγράμματος.

Το μενού CONTROLS θα εξηγηθεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

Το μενού WINDOWS επιτρέπει να αλλάζουμε από το front panel στο block diagram και αντίθετα, να έχουμε παράθυρο για βοήθεια ή να βλέπουμε το front panel και το block diagram μαζί στην οθόνη.

Τέλος το μενού TEXT περιέχει διάφορες επιλογές για τον τύπο του κειμένου που ίσως χρειαστεί να γράψουμε.

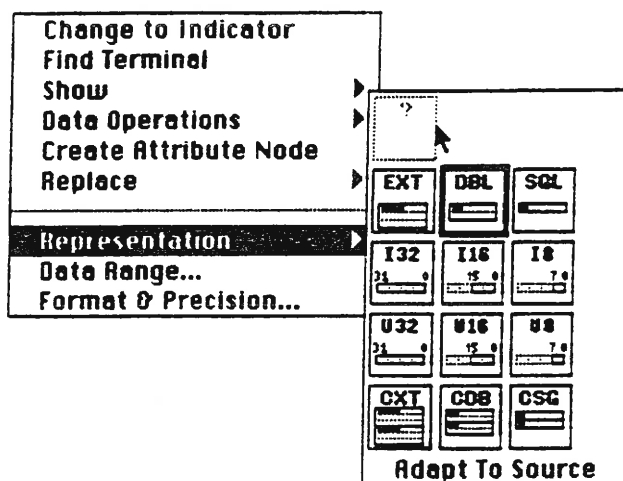
ΙΕΡΑΡΧΙΚΑ ΜΕΝΟΥ

Όταν οι επιλογές ενός μενού κρύβουν κάποια άλλα μενού κλπ. τότε έχουμε ιεραρχικά μενού.

Οι επιλογές που είναι υπομενού έχουν στα δεξιά τους ένα βελάκι και όταν τις επιλέξουμε εμφανίζουν το υπομενού.

ΜΕΝΟΥ PALLETE

Αυτά τα μενού εμφανίζονται σε μορφή παλέτας με δύο ή περισσότερα αντικείμενα τα οποία αντιπροσωπεύουν διάφορες επιλογές. Συνήθως τα αντικείμενα σε κάθε παλέτα έχουν μία κοινή ιδιότητα. Παράδειγμα:



EDIT / RUN MODE MENOY

Κάθε πρόγραμμα-VI μπορεί να είναι όπως ήδη αναφέραμε είτε σε RUN mode ή EDIT mode. Τα δύο αυτά μενού είναι σε μορφή παλέτας και τα αντικείμενα που περιέχουν θα εξηγηθούν πιο κάτω.

- EDIT mode μενού



1. Τρέχει το πρόγραμμα
2. Αλλάζει από edit σε run mode και αντίθετα
3. Operating tool - ουδέτερο εργαλείο κέρσορας
4. Positioning tool- για επιλογή αντικειμένων, αλλαγή μεγέθους, θέσης, τιμής

5. Labeling tool - εργαλείο για κείμενο ή τιμές
6. Wiring tool - Εργαλείο για καλωδίωση
7. Coloring box - επιλογή χρώματος για αντικείμενα

RUN mode μενού



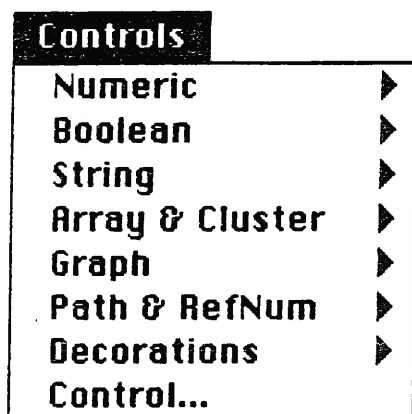
1. Τρέχει το πρόγραμμα.
2. Από run mode σε edit mode και το αντίθετο.
3. Συνεχές τρέξιμο του προγράμματος.
4. α. βάζουμε breakpoints β. βγάζουμε breakpoints.
5. Step node button - αν το επιλέξουμε επιτρέπει μεταγλώττιση ανά βήμα
6. Μας επιτρέπει να βλέπουμε την ροή των δεδομένων κατά την εκτέλεση του προγράμματος.
7. Με την επιλογή αυτή μπορούμε να εκτυπώνουμε το front panel του VI μετά την εκτέλεσή του. Τα subvi εκτυπώνονται μετά την κλήση τους.
8. Φυλάει τα δεδομένα από διάφορες εκτελέσεις σε διαφορετικά αρχεία.

4.2 CONTROLS

4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα controls είναι τα αντικείμενα με τα οποία φτιάχνουμε το front panel. Υπάρχουν 7 κατηγορίες controls που δίνονται πιο κάτω και στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά. Τα controls μπορούμε να τα επιλέξουμε από το μενού CONTROLS επιλέγοντας μία από τις 7 κατηγορίες. Το μενού CONTROLS εμφανίζεται στο παράθυρο με δύο τρόπους. Πρώτο με επιλογή του από το πάνω μέρος του παραθύρου με το αριστερό κουμπί του mouse και δεύτερο με το δεξί κουμπί του mouse πατημένο στην περιοχή που γράφουμε το πρόγραμμα.

Το CONTROLS μενού περιέχει τα εξής υπομενού:



Τα 7 υπομενού που βλέπουμε πιο πάνω είναι τύπου παλέτας. Αφού επιλέξουμε το υπομενού επιλέγουμε στη συνέχεια το αντικείμενο που θέλουμε πατώντας το αριστερό κουμπί του mouse. Τότε εμφανίζεται το αντικείμενο στη περιοχή σχεδιασμού. Το αντικείμενο μπορεί να μετακινηθεί σε όποιο σημείο θέλουμε με τον γνωστό τρόπο.

4.2.2 NUMERIC CONTROLS & INDICATORS

Το υπομενού αυτό έχει τις εξής επιλογές :

1. digital control
2. digital indicator
3. simple numeric
4. framed color box
5. color box
6. color ramp
7. text ring
8. pick ring
9. text pick & ring
10. menu ring
11. enumerated type
12. dialog ring
13. simple vertical slide
14. vertical slide
15. vertical pointer slide
16. vertical fill slide
17. tank
18. simple horizontal slide
19. horizontal slide
20. horizontal pointer slide
21. horizontal fill slide
22. thermometer
23. knob
24. dial
25. meter
26. gauge

Τα numeric controls & indicators χωρίζονται στις πιο κάτω κατηγορίες:

1. digital controls & indicators
2. slide
3. rotary numeric
4. ring controls
5. color box
6. color ramp

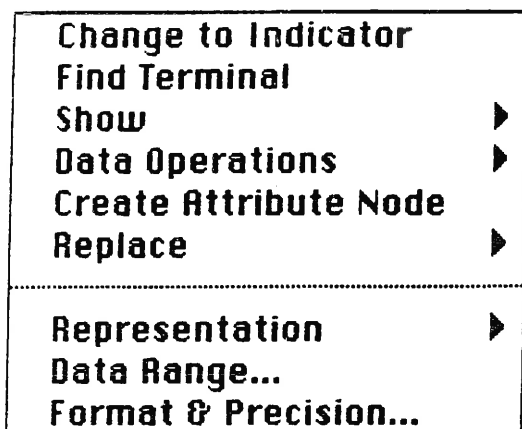
4.2.2.1 DIGITAL CONTROLS & INDICATORS

Τα digital numeric είναι ο πιο απλός τρόπος για να βάλουμε δεδομένα ή να παρουσιάσουμε δεδομένα (αριθμητικά). Αφού έχει γίνει η επιλογή σε κάποιο digital numeric βλέπουμε ότι υπάρχει κέρσορας μέσα στο αντικείμενο. Αν θέλουμε μπορούμε να βάλουμε σ' αυτή τη φάση τα δεδομένα με πληκτρολόγηση και μετά το enter που έχει εμφανιστεί στο πάνω μέρος του παραθύρου. Επίσης σ' αυτή τη φάση μπορούμε να γράψουμε τη επικεφαλίδα του αντικειμένου. Αν αυτά τα στοιχεία δεν τα δηλώσουμε αμέσως μετά τη επιλογή του από το μενού ο κέρσορας φεύγει από το αντικείμενο. Μπορούμε όμως να τα δηλώσουμε μετά με το label tool με τον τρόπο. Για να αλλάξουμε τα δεδομένα αυτά μπορούμε να το κάνουμε είτε όπως είπαμε πιο πάνω ή με τα βελάκια που βρίσκονται στα αριστερά του αντικειμένου. Τα numeric controls δέχονται μόνο δεκαψήφια νούμερα και τους όρους inf (infinity) και NaN (not a number). Αν βάλουμε αριθμούς εκτός ορίου τότε το control τα πάει στο όριο. Αν βάλουμε κάτι άσχετο δεν γίνεται δεκτό και μένει η παλιά τιμή.

Για να προχωράμε πιο γρήγορα στην αλλαγή της τιμής με τα βελάκια, πάμε πάνω στο βελάκι και με το αριστερό κουμπί του mouse πατημένο η τιμή θα αλλάζει πιο γρήγορα.

DIGITAL NUMERIC OPTIONS

Κάθε ομάδα αντικειμένων έχει διάφορες επιλογές (options). Αν πάμε πάνω σε ένα digital numeric και πατήσουμε το δεξί κουμπί του mouse τότε παίρνουμε τις πιο κάτω επιλογές :



Όπως βλέπουμε μπορούμε να μετατρέψουμε ένα control σε indicator και το αντίστροφο. Η επιλογή find terminal μας δείχνει το numeric που επιλέγουμε σε πιο στοιχείο αντιστοιχεί στο block diagram (αφού είπαμε ότι οποιοδήποτε control που εμφανίζεται στο front panel έχει το αντίστοιχο source code στο block diagram).

Από το υπομενού SHOW αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι το SHOW RADIX με το οποίο μπορούμε να πάμε από δεκαδικό σε 16δικό, 8δικό ή 2δικό.

Με την επιλογή REPRESENTATION μπορούμε να επιλέξουμε μία από τις 12 παραστάσεις αριθμών που υπάρχουν.

Με το DATA RANGE μπορούμε να αλλάξουμε τα όρια του control ή indicator.

Στο dialog box που εμφανίζεται δηλώνουμε το max, min, increment, default και αν η τιμή είναι εκτός ορίου τι θα γίνεται (ignore, coerce, suspend).

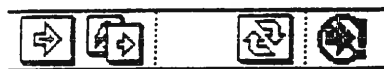
Αν η τιμή του control είναι λανθασμένη πριν την εκτέλεση το RUN mode μενού θα είναι:



Αν διορθώσουμε την τιμή θα γίνει :



Τρέχουμε το πρόγραμμα πατώντας το RE TRY κουμπί και μετά το RESUME κουμπί. Αν η τιμή είναι ξανά λάθος το RUN mode μενού θα είναι:

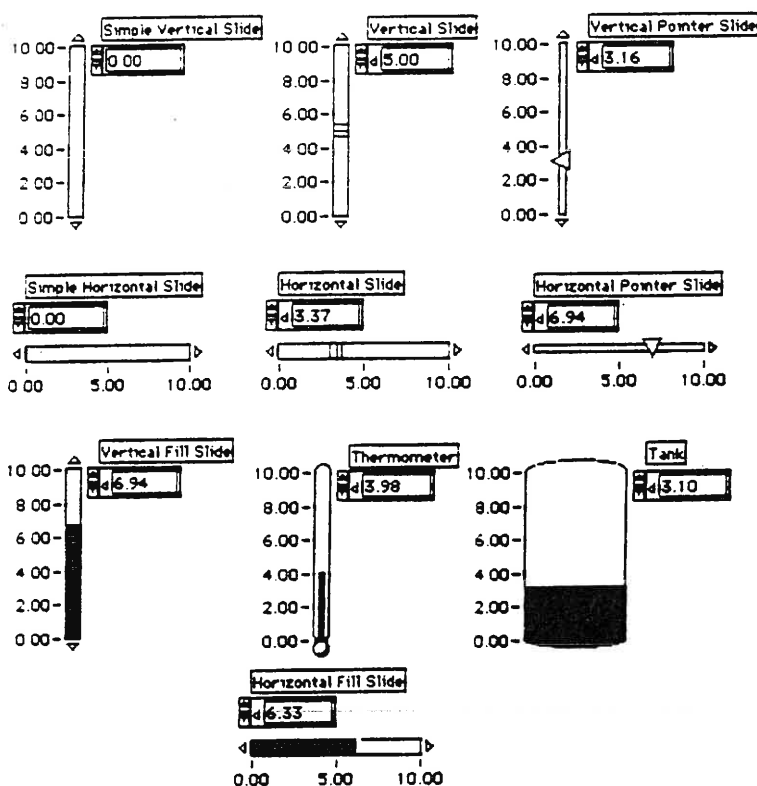


Με την επιλογή Format & Precision αλλάζουμε την παράσταση και την ακρίβεια του αριθμού μας.

Όσα έχουν αναφερθεί πιο πάνω για τα Controls ισχύουν και για τα indicators .

4.2.2.2 SLIDE NUMERIC CONTROLS & INDICATORS

Έχουμε τα εξής slide controls & indicators :



Κάθε slide έχει το δικό του digital display. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε digital displays για να βγάλουμε δεδομένα στα slide controls. Χρησιμοποιούμε το operating tool για τα εξής κομμάτια του slide: το slider (το κομμάτι που κινείται για να δείξει την τιμή του control), το slide housing (το μη κινητό μέρος με το οποίο το slider πάει πάνω ή πλάγια), το scale και τα increment buttons.

Εδώ οι επιλογές είναι οι ίδιες με τα digital και έχουμε επιπλέον :

1. Add slider (το οποίο προσθέτει ένα slider)

2. Scale

– Το Format & Precision είναι το ίδιο με αυτό που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο .

– Το μενού STYLE

– Το υπομενού Mapping δίνει τη δυνατότητα γραμμικής ή λογαριθμικής κλίμακας.

Μπορούμε να αλλάξουμε το min, max και μέγεθος του scale με τους εξής τρόπους:

1. Βάζουμε με το operating ή με το Labeling tool το νέο max ή min

2. Αλλάζουμε τη φορά της κλίμακας αν βάλουμε το τρέχον max στη θέση του min

3. Αν αλλάξουμε το μέγεθος με τον κλασικό τρόπο τότε η κλίμακα προσαρμόζεται

4. Μπορούμε να βάλουμε text scale επιλέγοντας TEXT LABELS από το μενού OPTIONS

FILLED & MULTIVALUED SLIDES

Τα NUMERIC CONTROLS περιέχουν 4 controls που μπορούν να γεμίζουν από το min στο σημείο τιμής του (slider value).

Όλα τα slides μπορούν να γίνουν fill.

Έχουμε 3 επιλογές fill:

1. fill από την ελάχιστη τιμή μέχρι τη θέση του slider

2. fill από τη μέγιστη τιμή μέχρι τη θέση του slider
3. καθόλου fill

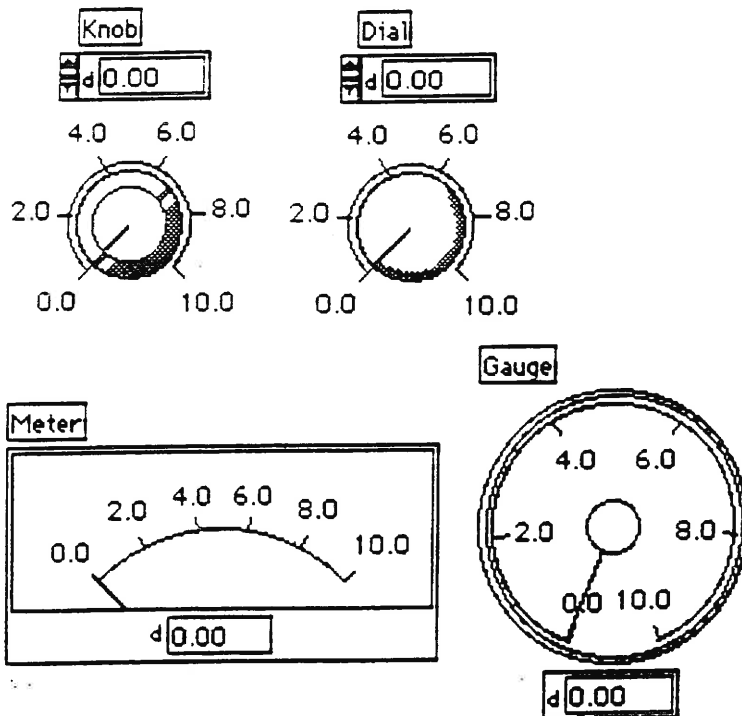
Μπορούμε επίσης να έχουμε περισσότερες από μία τιμές στο ίδιο slide με την επιλογή Add Slider από το μενού των επιλογών .

Όταν γίνει αυτό μας δίνονται 2 ακόμα τρόποι γεμίσματος :

4. fill μέχρι την πάνω τιμή
5. fill μέχρι την κάτω τιμή

2.2.3 THE ROTARY NUMERIC

Τα rotary numeric που έχουμε είναι :



Τα αντικείμενα rotary έχουν τις ίδιες επιλογές (options) με τα slide controls εκτός την επιλογή fill. Εδώ τα sliders είναι οι βελόνες και γυρνάνε αντί να μετακινούνται αλλά ο τρόπος λειτουργίας είναι ο ίδιος.

Μπορούμε καί εδώ να έχουμε πάνω από μία τιμή με την επιλογή Add Needle.

Μπορούμε να αλλάξουμε θέση στην κλίμακα με το positioning tool: το πάμε στην κλίμακα και δημιουργείται ένας δείκτης και κρατώντας πατημένο το αριστερό κουμπί του mouse αλλάζουμε τη γωνία.

4.2.2.4 RING CONTROLS

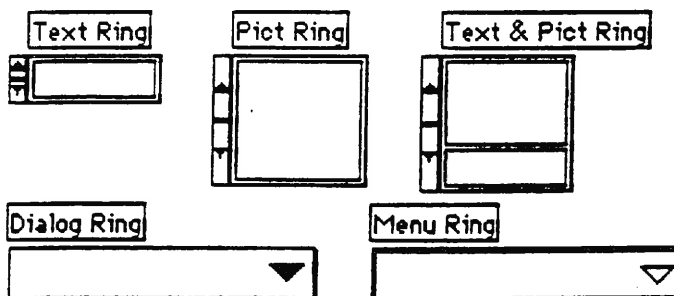
Τα Rings είναι ειδικά numeric αντικείμενα τα οποία συνδέουν απρόσημους 16-bit ακέραιους με strings, εικόνες ή και τα δύο.

Είναι χρήσιμα π.χ. στα trigger mode. Δηλαδή ενώ ο χρήστης βλέπει label αυτό αντιστοιχεί σε κάποια τιμή η οποία χρησιμοποιείται στο block diagram.

Τα φτιάχνουμε με τον εξής τρόπο :

Όταν δηλώσουμε τα πρώτα label - αριθμό τότε χρησιμοποιούμε την επιλογή Add item before / after για να φτιάξουμε το ring .

Παράδειγμα :



4.2.2.5 ENUMERATION

Ένα enumeration είναι παρόμοιο με ένα ring. Αν ένα enumeration είναι συνδεδεμένο με μια δομή case τότε στο case βλέπουμε το string και όχι τον αριθμό.

Ο τύπος δεδομένων του enumeration είναι: απρόσημο byte, απρόσημη word (λέξη), ή απρόσημο long. Αυτά τα διαλέγουμε από τη παλέττα Representation.

Αν προσθέσουμε περισσότερα από ένα αντικείμενα στο enumeration τότε πρέπει να υπάρχει ο αντίστοιχος αριθμός cases.

4.2.2.6 COLOR BOX

Με αυτή την επιλογή μας δίνεται η δυνατότητα να βάζουμε ή να αλλάζουμε χρώμα στα αντικείμενα (π.χ. indicators).

Συνήθως τα COLOR BOX χρησιμοποιούνται στο front panel σαν indicators. Ο πιο καλός τρόπος να τα ορίσεις είναι στο block diagram με επιλογή COLOR BOX στο υπομενού STRUCTS & CONST. του μενού FUNCTIONS.

4.2.2.7 COLOR RAMP

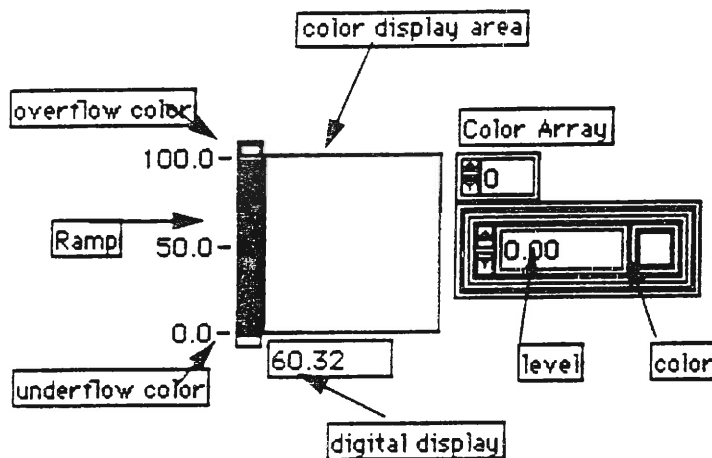
Η επιλογή COLOR RAMP παρουσιάζει κάθε χρώμα να αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή. Μπορούμε να φτιάξουμε ένα χρωματικό array το οποίο περιέχει τουλάχιστον 2 ζευγάρια και το κάθε ζευγάρι περιέχει ένα επίπεδο και την παρουσίαση ενός χρώματος που αντιστοιχεί σ'αυτό το επίπεδο.

Καθώς οι τιμές εισόδου αλλάζουν, το χρώμα που βλέπουμε αλλάζει στο χρώμα που αντιστοιχεί στην τιμή εισόδου.

Φτιάχνουμε τα ζευγάρια με χρήση της COLOR ARRAY. Το color array index δηλώνει τον αριθμό των levels - επιπέδων. Επιλέγουμε ένα επίπεδο με χρήση του color array index και δίνουμε το επίπεδο με το operating tool.

Επιλέγουμε το χρώμα κάθε επιπέδου αν πατήσουμε το αριστερό κουμπί του mouse στο color box. Επιλέγουμε το χρώμα από τη παλέτα που εμφανίζεται.

Παράδειγμα στο πιο κάτω σχήμα :



Όταν εμφανίζεται η color ramp μετά την επιλογή μας έχει 3 επίπεδα:

LEVEL 0: 0: μαύρο

LEVEL 1: 50: μπλε

LEVEL 2: 100: άσπρο

ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στα numeric controls συνήθως οι αριθμοί έχουν φυσική υπόσταση έχουν δηλαδή κάποιες μονάδες μετρήσεως.

Μπορούμε να δηλώσουμε τις μονάδες μετρήσεως επιλέγοντας: SHOW και μετά Unit label.

Στο Labview υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος για να δηλώνεται κάθε μονάδα μέτρησης. Δίνουμε πιο κάτω πίνακες με τις πιο γνωστές μονάδες μετρήσεως και τον τρόπο παράστασής τους στο Labview.

Quantity Name	Unit	Abbreviation
plane angle	radian	rad
solid angle	steradian	sr
time	second	s
length	meter	m
mass	gram	g
electric current	ampere	A
thermodynamic temperature	kelvin	K
amount of substance	mole	mol
luminous intensity	candela	cd

Quantity Name	Unit	Abbreviation
frequency	hertz	Hz
force	newton	N
pressure	pascal	Pa
energy	joule	J
power	watt	W
electric charge	coulomb	C
electric potential	volt	v
capacitance	farad	F
electric resistance	ohm	ohm
conductance	siemens	S
magnetic flux	weber	Wb

Quantity Name	Unit	Abbreviation
magnetic flux density	tesla	T
inductance	henry	H
luminous flux	lumen	lm
illuminance	lux	lx
Celsius temperature	degree Celsius	degC
activity	becquerel	Bq
absorbed dose	gray	Gy
dose equivalent	sievert	Sv

Quantity Name	Unit	Abbreviation
Fahrenheit temperature	degree Fahrenheit	degF
Celsius temperature difference	Celsius degree	Cdeg
Fahrenheit temperature difference	Fahrenheit degree	Fdeg
length	foot	ft
length	inch	in
length	mile	mi
area	acre	acre
pressure	atmosphere	atm
energy	calorie	cal
energy	British thermal unit	Btu

Quantity Name	Unit	Abbreviation
area	barn	b
force	dyne	dyn
energy	erg	erg
pressure	bar	bar

Quantity Name	Unit	Abbreviation
time	minute	min
time	hour	h
time	day	d
plane angle	degree	deg
plane angle	minute	'
plane angle	second	"
volume	liter	L
mass	metric ton	t
area	hectare	ha
energy	electron volt	eV
mass	unified atomic mass unit	u

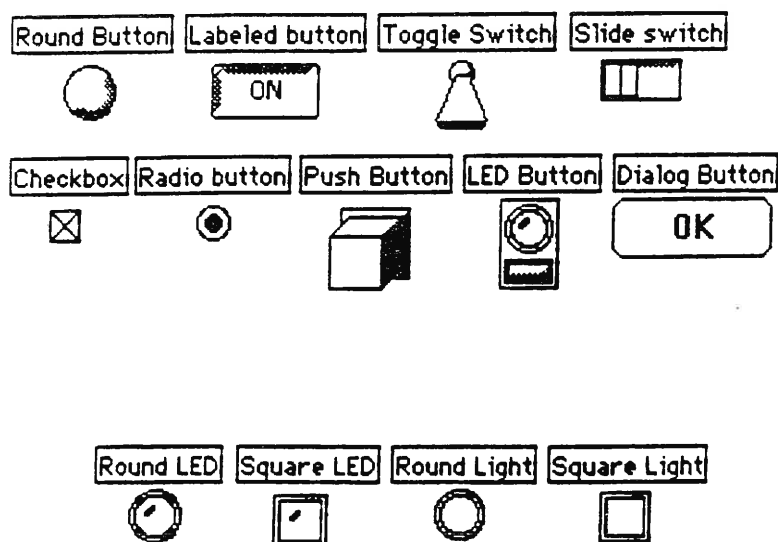
4.2.3 BOOLEAN CONTROLS & INDICATORS

Έχουμε τα εξής Boolean Controls :

1. square button
2. flat square button
3. square led
4. square light
5. square radio button
6. square push button
7. square push button 2
8. round button
9. flat round button
10. round led
11. round light
12. rount radio button
13. round push button
14. round push button 2

15. vertical switch
16. horizontal switch
17. vertical toggle switch
18. horizontal toggle switch
19. check box
20. vertical slide switch
21. horizontal slide switch
22. labelled square button
23. labelled round button
24. labelled rectangular button
25. labelled oblong button
26. rectangular stop button
27. round stop button
28. led button
29. dialog button

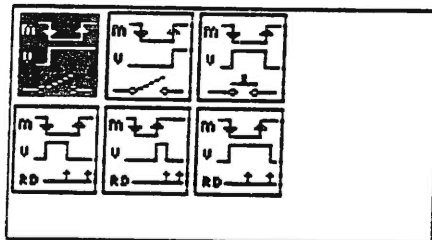
Τα boolean controls προσομοιώνουν μηχανικές κινήσεις: push buttons, toggle και slide switches. Παραδείγματα:



Τα boolean controls έχουν και τις εξής επιλογές (options) εκτός από τις 6 βασικές που παρουσιάσαμε στο Palette Menu:

Τα 1- 6 είναι γνωστά από προηγούμενα controls.

- Μπορούμε να βάλουμε ετικέτα (label) στα boolean controls ή να αλλάξουμε την ήδη υπάρχουσα με τη βοήθεια του label tool.
- Κανονικά το κείμενο-ετικέτα στα boolean controls είναι στο κέντρο, μπορούμε όμως να το πάμε όπου θέλουμε με χρήση της επιλογής Release Text ή να το επαναφέρουμε στο κέντρο με: Lock Text in center.
- Η επιλογή Mechanical Action έχει 6 διαφορετικούς τύπους κινήσεως. Στα σχήματα πιο κάτω το m: είναι η κίνηση του mouse, το v: είναι η τιμή εξόδου του control και το RD: είναι το σημείο στο χρόνο που το VI διαβάζει το control.



Αναλυτικά :



Switch When Pressed



Switch When Released



Switch Until Released



Latch When Pressed



Latch When Released

4.2.4 STRING & TABLE CONTROLS & INDICATORS

Η επιλογή γίνεται από την παλέτα STRING και περιέχονται τα εξής αντικείμενα :

1. string control
2. string indicator
3. simple string
4. table

4.2.4.1 STRING & INDICATORS

Αφού επιλέξουμε το string ή indicator στο front panel, εμφανίζεται ένα label tool το οποίο αναβοσβήνει. Αν θέλουμε γράφουμε την ετικέτα - label. Αν δεν βάλουμε ετικέτα εκείνη τη στιγμή τότε το label tool εξαφανίζεται. Μπορούμε όμως οποιαδήποτε άλλη στιγμή να βάλουμε ετικέτα με τον γνωστό τρόπο.

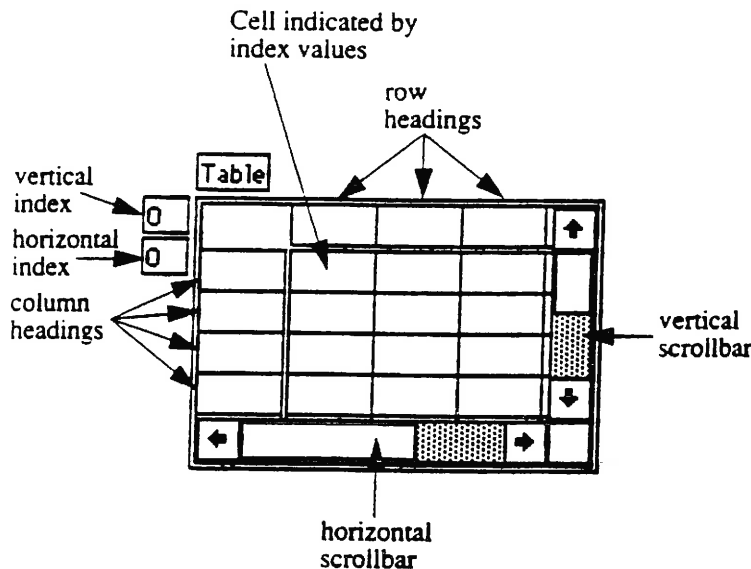
Τα δεδομένα στο string/indicator τα βάζουμε με τη βοήθεια του label tool.

Τα string / indicators έχουν τις πιο κάτω επιλογές :

1. Μπορούμε να μετατρέψουμε ένα string σε indicator και το αντίστροφο.
2. Μπορούμε να βλέπουμε στο block diagram το στοιχείο που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο string / indicator.
3. Με την υποεπιλογή scrollbar βάζουμε μια κάθετη μπάρα με βελάνια για καλύτερη διαχείριση του κειμένου στο string.

4.2.4.2 TABLE

Ένας πίνακας είναι ένα array από strings 2 διαστάσεων. Παράδειγμα:



Ενας πίνακας έχει επικεφαλίδες γραμμών και στηλών οι οποίες διαφοροποιούνται από τα δεδομένα με ένα λεπτό κενό διάστημα. Βάζουμε επικεφαλίδες με το label tool και κάνουμε update ή διαβάζουμε επικεφαλίδες με χρήση του Attribute node.

Μπορούμε να αλλάξουμε το μέγεθος του πίνακα αν πάμε στην άκρη του πίνακα με τον κέρσορα. Τότε εμφανίζεται το resizing tool και με το αριστερό κουμπί του mouse πατημένο μεγεθύνουμε ή μικραίνουμε τον πίνακα.

Μπορούμε να βάλουμε δεδομένα πιο γρήγορα αν πάμε με το operating ή label tool μέσα στον πίνακα και πατήσουμε το αριστερό κουμπί του mouse. Μετά πληκτρολογούμε τα δεδομένα και πατώντας enter στο πληκτρολόγιο αλλάζουμε cell.

Τέλος μπορούμε να κάνουμε copy / cut / paste στα δεδομένα μας από το Data Operations υπομενού.

4.2.5 ARRAY & CLUSTER CONTROLS & INDICATORS

Αυτό το μενού έχει τα εξής αντικείμενα :

1. **array** (ιδίου τύπου δεδομένα)
2. **cluster** (όχι υποχρεωτικά ίδιου τύπου δεδομένα)

4.2.5.1 ARRAYS

Ενα array είναι μια πολυμεταβλητή συλλογή δεδομένων ίδιου τύπου. Τα στοιχεία ενός array είναι διατεταγμένα και παίρνουμε κάποιο στοιχείο σύμφωνα με την αρίθμηση του array. Μπορούμε να έχουμε array μίας ή δύο διαστάσεων.

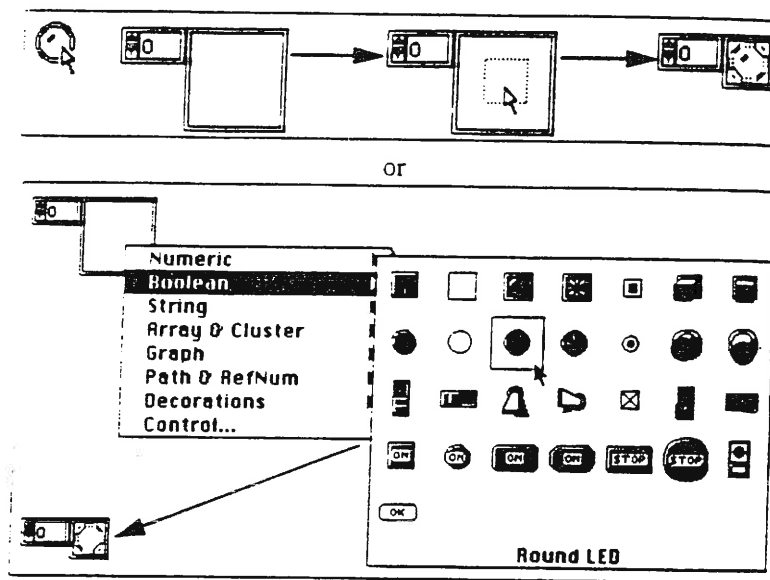
Για να δημιουργήσουμε ένα array επιλέγουμε το ARRAY από την επιλογή ARRAY & CLUSTER στο CONTROLS μενού.

Τα στοιχεία του array μπορεί να είναι numeric, boolean, string ή cluster αλλά όχι array ή chart.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να ορίσουμε τον τύπο ενός array:

1. Να φέρουμε μέσα στο element display ένα ήδη υπάρχον control οπότε θα πάρει τον τύπο αυτού του control.
2. Να πατήσουμε μέσα στο element display με το αριστερό κουμπί του mouse για να εμφανιστεί το μενού controls οπότε και θα επιλέξουμε αυτό που θέλουμε.

Π.Χ. Βλέπουμε τους δύο τρόπους για να δηλώσουμε τον τύπο boolean .



4.2.5.2 CLUSTERS

Τα clusters είναι τα ίδια με τα array με τη διαφορά ότι εδώ τα διατεταγμένα στοιχεία δεν είναι κατ' ανάγκη ίδιου τύπου.

Μέσα σ' ένα cluster shell μπορούμε να βάλουμε booleans, strings, charts, graphs, scalars, arrays και clusters.

Επιλογές :

1. Μπορεί να γίνει από control σε indicator και το αντίθετο
2. Κάνει την τιμή να πάει σε default
3. Επιλέγουμε τη σειρά των αντικειμένων με το **CLUSTER ORDER**
4. X button: φέρνει το cluster στη παλιά σειρά μετά την εισχώρηση μιας νέας.

ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ CLUSTER

Χρησιμοποιούμε την Bundle function για σύνδεση (στο block diagram και όχι στο front panel). Τη Bundle function την παίρνουμε από το μενού **ARRAY & CLUSTER** στο **FUNCTION** μενού.

4.2.6 GRAPH & CHART INDICATORS

Έχουμε δύο είδη Graphs και τρία είδη charts.

Το graph είναι ένα δισδιάστατο display από ένα ή περισσότερα plots. Τα δεδομένα σ' αυτή την περίπτωση λαμβάνονται όλα μαζί και μετά γίνεται η παράσταση τους.

Το chart παρόμοιο με το graph με τη διαφορά ότι ή ενημέρωση γίνεται σημείο προς σημείο.

Τα αντικείμενα που υπάρχουν στο υπομενού είναι:

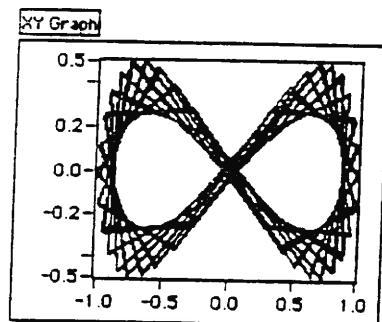
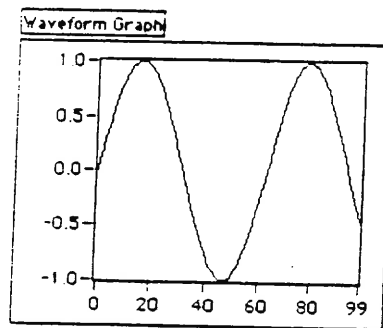
1. waveform
2. XY graph
3. waveform chart
4. intensity chart
5. intensity graph

4.2.6.1 WAVEFORM & XY GRAPH

Το waveform graph σχεδιάζει μόνο μονοσήμαντες συναρτήσεις με σημεία που είναι διανεμημένα ομαλά ως προς τον Χ άξονα.

Το XY Graph είναι γενικού σκοπού καρτεσιανό γραφικό αντικείμενο το οποίο το χρησιμοποιούμε για σχεδιασμό "πολυμεταβλητών" συναρτήσεων όπως κυκλικά σχήματα ή κυματομορφές με διάφορες τιμές timebase.

Παράδειγμα :



SINGLE PLOT GRAPH

Για single plot graph μπορούμε να έχουμε 2 τύπους δεδομένων :

1. single array
2. cluster από ένα αρχικό χ μία τιμή $\Delta\chi$ και ένα array του ψ .

Για single plot XY Graph έχουμε επίσης δύο τύπους δεδομένων :

1. cluster που περιέχει ένα χ array και ένα ψ array
2. array από σημεία όπου κάθε σημείο είναι ένα cluster από χ και ψ τιμές

MULTIPLY PLOT GRAPH

Μπορούμε να παραστήσουμε πολλά γραφήματα σε ένα single waveform XY graph. Κατά μεγάλο μέρος χρησιμοποιούμε arrays από τους τύπους που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

GRAPH OPTIONS (ΕΠΙΛΟΓΕΣ)

Μερικές από τις επιλογές του graph είναι :

XY Scale options : Format & Precision
 Style
 Mapping
 Auto Scale XY
 Grid Style
 Loose Fit

Η επιλογή Format & precision είναι γνωστή.

Το μενού style μας δίνει τη δυνατότητα επιλογής για να διαφοροποιούμε την κλίμακα.

Το mapping μας επιτρέπει να επιλέγουμε μεταξύ γραμμικής ή λογαριθμικής κλίμακας.

Το Auto scaling ρυθμίζει την κλίμακα αυτόματα.

Με το Grid style ελέγχουμε την φωτεινότητα.

Το Loose fit κάνει στρογγυλοποίηση στα νούμερα της κλίμακας σε πολλαπλάσια του 5.

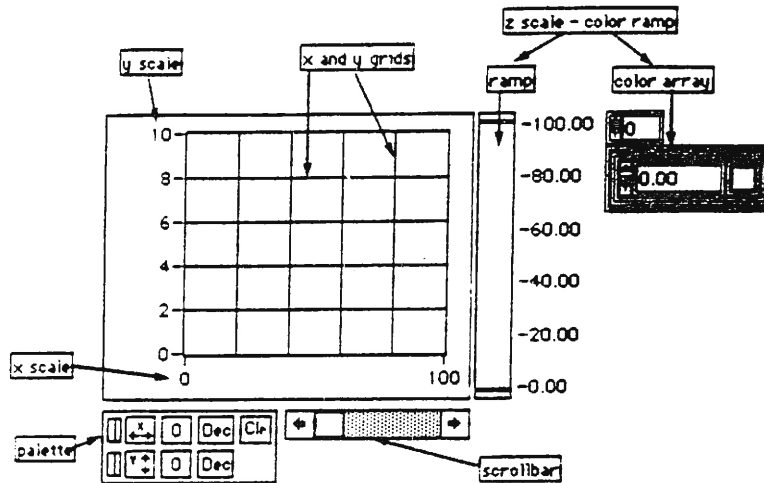
4.2.6.2 WAVEFORM CHART

Το Waveform chart είναι ένας ειδικός τύπος numeric indicator που παριστάνει ένα ή περισσότερα plots . Τα charts διαφέρουν από τα graphs στο ότι τα charts κρατάνε τα προηγούμενα δεδομένα μέχρι ένα μέγιστο που ορίζουμε εμείς.

4.2.6.3 INTENSITY CHART

Το intensity chart είναι ένας τρόπος παραστάσεως τρισδιάστατων δεδομένων σε δισδιάστατο plot .Το intensity chart δέχεται ένα δισδιάστατο array από αριθμούς και κάθε αριθμός αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο χρώμα .

Οι επιλογές του intensity chart είναι :



4.2.6.4 INTENSITY GRAPH

Το intensity graph είναι βασικά το ίδιο με το intensity chart εκτός του ότι δεν κρατάει τα προηγούμενα δεδομένα.

4.2.6.5 ΟΙ ΚΕΡΣΟΡΕΣ GRAPH

Σε κάθε graph μπορούμε να βάλουμε κέρσορες με τη βοήθεια της "παλέτας για τους κέρσορες". Ο κέρσορας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως marker. Μπορούμε να βάλουμε όσους κέρσορες θέλουμε σε ένα graph.

Ένας κέρσορας για graph έχει :

1. label - ετικέτα
2. X και Y συντεταγμένες (και Z αν χρειάζεται)
3. κουμπί το οποίο ελέγχει την κίνηση
4. κουμπί για την εμφάνιση του κέρσορα
5. κουμπί που δείχνει αν ο κέρσορας είναι κλειδωμένος σε ένα plot ή μπορεί να κινείται ελεύθερα .

4.2.7 PATH & REFNUMS

Το μενού path & refnums περιέχει τα εξής αντικείμενα:

1. file path control
2. file path indicator
3. data log
4. byte stream
5. device
6. occurrence
7. network connection

Το path control / indicator χρησιμεύει για να βάζουμε ένα μονοπάτι σαν file ή directory. Αν βάλουμε κάτι που είναι λάθος εμφανίζεται το σύμβολο: Not a Path.

Τα refnums χρησιμοποιούνται σε I/O λειτουργίες.

4.2.7 DECORATIONS

Τα αντικείμενα αυτά χρειάζονται μόνο για διακόσμηση.

4.3 BLOCK DIAGRAM

4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το block diagram όπως έχει ήδη αναφερθεί περιέχει τον πηγαίο κώδικα του προγράμματος. Αποτελείται από διάφορα αντικείμενα - functions τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Αυτά τα αντικείμενα - functions παίρνουν δεδομένα από το front panel ή από άλλα αντικείμενα.

Επιλέγουμε το αντικείμενο που θέλουμε πατώντας το δεξί κουμπί του mouse στο παράθυρο σχεδιασμού ή από το FUNCTION pop-up μενού.

Έχουμε τις εξής κατηγορίες FUNCTIONS :

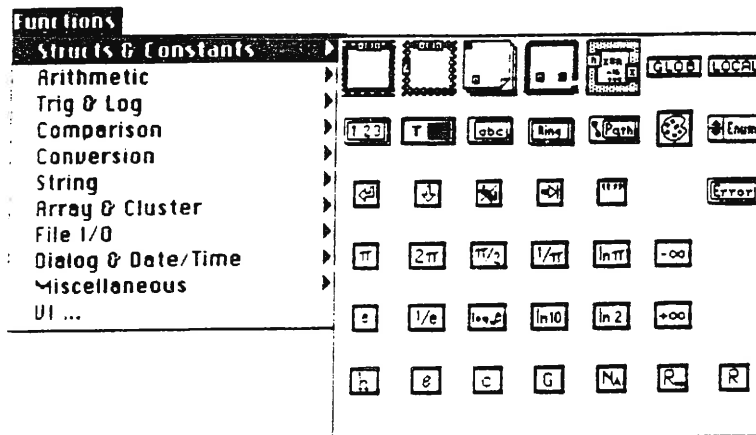
1. STRUCTS & CONSTANTS
2. ARITHMETIC
3. TRIG & LOG
4. COMPARISON
5. CONVERSION
6. STRING
7. ARRAY & CLUSTER
8. FILE I/O
9. DIALOG & DATETIME
10. MISCELLANEOUS
11. VI..
12. ANALYSIS
13. DAG
14. GPIB
15. NETWORK
16. SERIAL
17. TUTORIAL
18. UTILITY

Στη συνέχεια θα δοθούν αναλυτικά όλες οι κατηγορίες functions.

4.3.2 STRUCTS & CONSTANTS

Το μενού structs & constants περιέχει τα εξής αντικείμενα :

Τα περισσότερα από τα αντικείμενα που περιλαμβάνονται στο μενού structs & constants εξηγούνται στους πιο κάτω πίνακες :



Icon	Name
	Carriage return
	Line feed
	Tab
	Empty String
	End of Line

Icon	Name	Value
π	Pi	3.14159265358979320
2π	2 Pi	6.28318530717958650
$\pi/2$	Pi Divided by 2	1.57079632679489660
$1/\pi$	Reciprocal of Pi	0.31830988618379067
$\ln\pi$	Natural Log of Pi	1.14472988584940020
$-\infty$	Negative Infinity	$-\infty$
$+\infty$	Positive Infinity	∞
e	Natural Logarithm Base	2.71828182845904520
$1/e$	Reciprocal of e	0.36787944117144232
$\log_{10}e$	Common Logarithm of e	0.43429448190325183
$\ln 10$	Natural Logarithm of 10	2.30234095236904570
$\ln 2$	Natural Logarithm of 2	0.69314718055994531
h	Planck's Constant (J/Hz)	6.6262e-34
e	Elementary Charge (C)	1.6021892e-19
c	Speed of Light (m/sec)	299.792,458
G	Gravitational Constant ($N\ m^2/kg^2$)	6.6720e-11
N_A	Avogadro Number (1/mol)	6.0220e23
R_{∞}	Rydberg Constant (/m)	1.097373177e7
R	Molar Gas Constant (J/mol K)	8.31441

Οι δομές - structures, η formula node και οι τοπικές ολικές μεταβλητές θα αναλυθούν πιο κάτω.

4.3.2.1 STRUCTURES

Υπάρχουν οι εξής δομές :

FOR LOOP & WHILE LOOP

Ένα for loop εκτελεί το υποδιάγραμμα που περιέχει N φορές. Μπορούμε να δηλώσουμε την τιμή του N καλωδιώνοντας με κάποια τιμή εκτός του βρόγχου. Το i (iteration terminal) περιέχει κάθε φορά τον αριθμό της παρούσας εκτέλεσης. Δηλαδή :

for I = 0 to N-1

execute subdiagram

Το while loop εκτελεί το υποπρόγραμμα μέχρι να σταματήσει να είναι TRUE η boolean μεταβλητή που είναι συνδεδεμένη στο conditional terminal. Το i είναι όπως πιο πάνω. Το while loop είναι :

Do

Execute subdiagram

While condition is TRUE

Και οι δύο δομές έχουν terminals (shift registers) που χρησιμοποιούνται για πέρασμα δεδομένων από τη μία κατάσταση στην άλλη. Αυτά εμφανίζονται στο βρόγχο με την επιλογή Add Shift Register.

Το υποδιάγραμμα πρέπει να φτιάχνεται μετά τη δημιουργία των βρόγχων ή μετά την εμφάνιση του πρέπει να μετακινήσουμε μέσα στο βρόγχο όλα τα αντικείμενα του προγράμματος με τη βοήθεια του mouse .

CASE & SEQUENCE STRUCTURES

Και οι δύο δομές έχουν πολλαπλά υποδιαγράμματα.

Η δομή case έχει δύο περισσότερα υποδιαγράμματα από τα οποία εκτελείται αυτό που ορίζει η boolean ή αριθμητική μεταβλητή του selector.

Η boolean μεταβλητή επιτρέπει δύο καταστάσεις: FALSETRUE. Η αριθμητική μεταβλητή επιτρέπει πρακτικά απεριόριστες καταστάσεις. Προσθέτουμε καταστάσεις με τις επιλογές Add case.

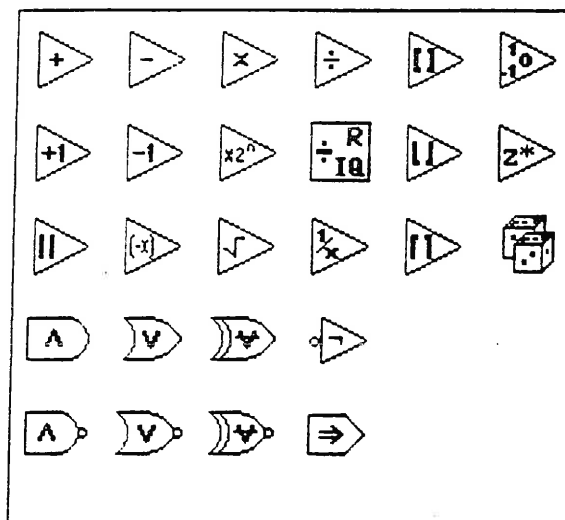
Η δομή sequence είναι ένας αριθμός subdiagram που εκτελείται σειριακά.

FORMULA NODE

Με αυτή την επιλογή το Labview μας δίνει τη δυνατότητα να εκτελούμε οποιαδήποτε μαθηματική φόρμουλα. Μέσα στο πλαίσιο της δομής αυτής γράφουμε τη φόρμουλα που θέλουμε ακολουθούμενη από ένα ερωτηματικό. Μπορούμε να έχουμε όσες εισόδους και εξόδους θέλουμε με την επιλογή Add input/output.

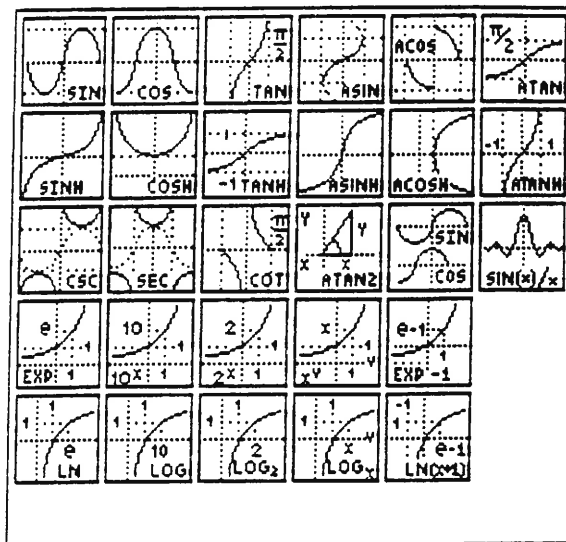
4.3.3 ARITHMETIC FUNCTIONS

Σ' αυτό το μενού περιέχονται διάφορες συναρτήσεις μίας ή δύο εισόδων που είναι είτε αριθμητικές ή λογικές. Πιο κάτω βλέπουμε όλες τις συναρτήσεις.



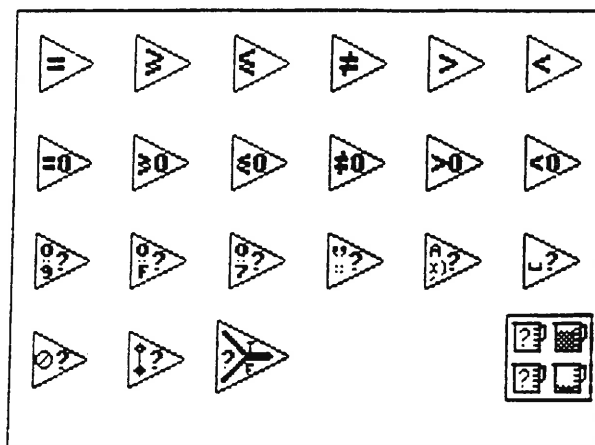
4.3.4 TRIGONOMETRIC & LOGARITHMIC FUNCTIONS

Σ' αυτό το μενού συναρτήσεων περιέχονται συναρτήσεις που κάνουν τριγωνομετρικές λογαριθμικές και εκθετικές λειτουργίες.



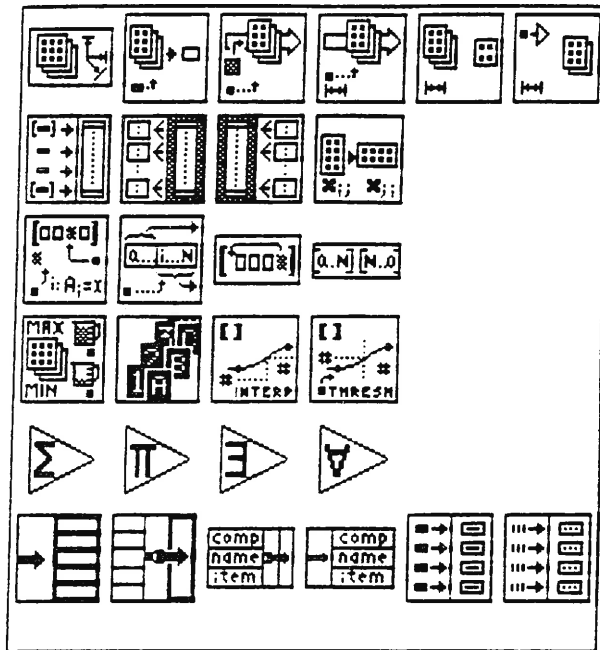
1.3.5 COMPARISON FUNCTIONS

Οι συναρτήσεις σύγκρισης είναι :



4.3.8 ARRAY & CLUSTER FUNCTIONS

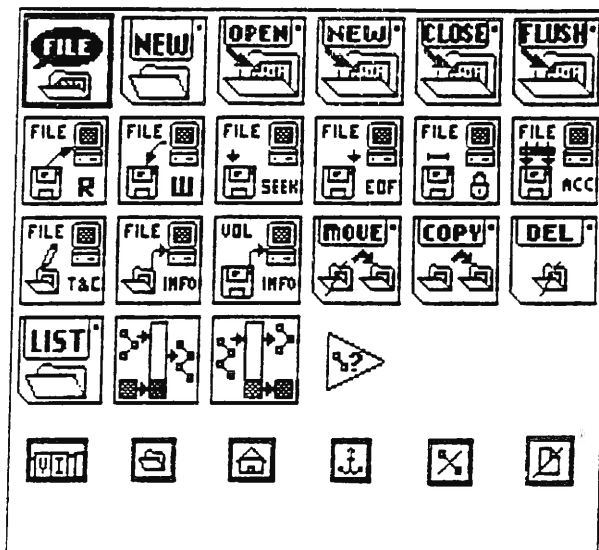
Το μενού Array & Cluster περιέχει τις πιο κάτω συναρτήσεις:



Οι συναρτήσεις array και cluster έχουν μεταβλητό αριθμό εισόδων, εξόδων. Η μεταβολή αυτή μπορεί να γίνει με τις εντολές Add και Remove.

4.3.9 FILE I/O FUNCTIONS

Οι συναρτήσεις file I/O διαχειρίζονται αρχεία (files) και καταλόγους (directories). Πιο κάτω βλέπουμε όλες τις συναρτήσεις.



1. file dialog
2. new directory
3. open file
4. new file
5. close file
6. flush file
7. read file
8. write file
9. seek
10. EOF
11. lock range
12. access rights
13. type and creator
14. file directory info
15. volume info
16. move
17. copy
18. delete
19. list directory

20. build path
21. strip path
22. path type
23. vi library
24. current vis path
25. default directory
26. empty path
27. not a path
28. not a refnum

Γενική συμπεριφορά των συναρτήσεων file I/O

Οι λειτουργίες αρχείων (file) είναι διαδικασίες 3 βημάτων. Πρώτο, φτιάχνουμε ή ανοίγουμε το αρχείο. Δεύτερο, γράφουμε ή διαβάζουμε δεδομένα και τρίτο, κλείνουμε το αρχείο.

Όταν δημιουργούμε ή ανοίγουμε ένα αρχείο πρέπει να δηλωθεί η θέση του (το path του).

Η μέθοδος για προσδιορισμό του αρχείου στόχου διαφέρει ανάλογα με το αν ο στόχος είναι ένα ανοικτό αρχείο ή αν είναι directory και ο στόχος προσδιορίζεται με χρήση του μονοπατιού (path). Το μονοπάτι περιγράφει τον τόμο που περιέχει τον στόχο, τα directories ανάμεσα στο πάνω επίπεδο και το στόχο και το όνομα του στόχου. Αν ο στόχος είναι ένα ανοικτό αρχείο χρησιμοποιούμε file refnum για να δείξουμε ότι το Labview θα εκτελέσει μια λειτουργία στο ανοικτό αρχείο. Το file refnum είναι ένας δείκτης αρχείου που συσχετίζεται από το Labview όταν ανοίγει το αρχείο. Όταν κλείνει το αρχείο ο συσχετισμός σταματά.

Αρχεία Datalog και Byte Stream

Ένα αρχείο που αποθηκεύει δεδομένα σαν σειριακούς ASCII χαρακτήρες ή bytes ονομάζεται byte stream αρχείο. Το Labview μπορεί επίσης να δημιουργήσει αρχεία με ένα δεύτερο είδος καταχώρισης δεδομένων, που λέγονται datalog αρχεία, στα οποία αποθηκεύονται δεδομένα ως σειριακά records από δεδομένα μοναδικού αυθαίρετου τύπου (ο οποίος ορίζεται κατά τη δημιουργία του αρχείου).

Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να μη θέλουμε να γράψουμε τα αρχεία σε μορφή byte stream διότι η μετατροπή δεδομένων από και σε string είναι χρονοβόρα διαδικασία. Αν δεν χρειάζεται τα δεδομένα να διαβάζονται και από άλλες εφαρμογές, γράφουμε τα δεδομένα σε datalog αρχείο. Σ' αυτή τη μορφή μπορούμε να διαχειριζόμαστε τα δεδομένα πιο εύκολα και γρήγορα.

4.3.10 DIALOG AND TIMING FUNCTIONS

Εδώ περιγράφονται τα κουτιά διαλόγου με ένα και δυο κουμπιά καθώς και οι συναρτήσεις χρονισμού, με τις οποίες υπολογίζεται η χρονική διάρκεια κάποιας λειτουργίας ή πραγματοποιείται μια λειτουργία για κάποιο χρονικό διάστημα. Πιο κάτω δίνονται οι συναρτήσεις αυτές.

1. one button dialog
2. two button dialog
3. datetime to seconds
4. get datetime in seconds
5. get datetime string
6. seconds to date-time
7. tick count (ms)
8. wait (ms)
9. wait till next ms multiple

4.3.11 MISCELLANEOUS FUNCTIONS

Σ' αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται συναρτήσεις που εκτελούν ποικίλες λειτουργίες, όπως ένωση και διάσπαση αριθμών, εύρεση εκθετών προσδιορισμός συσκευών I/O κλπ. Πιο κάτω δίνονται όλες αυτές οι συναρτήσεις.

1. mantissa & exponent
2. logical shift
3. rotate
4. rotate right with carry
5. rotate left with carry
6. lexical class
7. swap bytes
8. swap words
9. type cast
10. flatten to string
11. unflatten from string
12. split number
13. join numbers
14. stop
15. quit labview
16. code interface nodes
17. open device
18. write device
19. read device
20. device control status
21. size handle
22. handle peek
23. handle poke
24. generate occurrence
25. wait on occurrence
26. set occurrence

4.3.12 VI... FUNCTIONS

Με την επιλογή αυτής της κατηγορίας συναρτήσεων, το Labview μας δίνει τη δυνατότητα επιλογής ενός VI για να το χρησιμοποιήσουμε ως υποπρόγραμμα (subVI). Το VI αυτό μπορεί να είναι είτε έτοιμο σε μια βιβλιοθήκη ή να το έχουμε φτιάξει εμείς. Η επιλογή VI ... μας μεταφέρει σε ένα κατάλογο με όλα τα αρχεία του Labview. Με αυτό το τρόπο θα γίνεται και η επιλογή των συναρτήσεων που αφορούν τον παλμογράφο μας (LecRoy).

4.3.13 ANALYSIS FUNCTIONS

Η βασική ανάλυση στο Labview επεξεργάζεται ομάδες δεδομένων που είναι δοσμένα σε ψηφιακή μορφή. Χωρίζεται σε 3 κατηγορίες τη στατιστική ανάλυση, τη γραμμική άλγεβρα και τη αριθμητική ανάλυση. Μπορούμε να επιλέξουμε μία από τις τρεις κατηγορίες από το Function μενού και την επιλογή Analysis. Το υπομενού αυτό μας δίνει τη δυνατότητα επιλογής της κατηγορίας που θέλουμε.

Statistics

Εδώ έχουμε τις πιο κάτω συναρτήσεις :

1. mean
2. standard deviation
3. median
4. mode
5. histogram

Linear Algebra

Πιο κάτω βλέπουμε όλες τις συναρτήσεις της γραμμικής άλγεβρας :

1. dot product
2. outer product
3. $A \times B$

4. A x vector

5. inverse matrix

6. determinant

Array & Numeric

Εδώ αναφέρονται οι συναρτήσεις αριθμητικής ανάλυσης :

1. 1D linear evaluation

2. 1D polynomial evaluation

3. 2D linear evaluation

4. 2D polynomial evaluation

4.3.14 NETWORK FUNCTIONS

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι συναρτήσεις του Labview που υποστηρίζουν την επικοινωνία σε επίπεδο δικτύου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες: TCP/IP και Dynamic Data Exchange. Για τη χρήση αυτών των συναρτήσεων χρειάζεται υποστήριξη από το ανάλογο hardware.

4.3.15 SERIAL FUNCTIONS

Εδώ αναφέρονται οι συναρτήσεις για σειριακές λειτουργίες.

1. serial port init

2. serial port write

3. serial port read

4. bytes at serial port

5. serial port break

4.3.16 TUTORIAL FUNCTIONS

Εδώ υπάρχουν κάποιες συναρτήσεις -VI για εκμάθηση του Labview.

4.3.19 UTILITY FUNCTIONS

Εδώ αναφέρονται συναρτήσεις που εκτελούν υψηλού επιπέδου λειτουργίες εισόδου, εξόδου αρχείων και διαχειρίζονται πιθανά λάθη. Υπάρχουν δύο κατηγορίες συναρτήσεων: File και Error Handlers.

FILE FUNCTIONS

1. write characters to file
2. read characters from file
3. read lines from file
4. write to spreadsheet file
5. read from spreadsheet file
6. write to I16 file
7. read from I16 file
8. write to SGL file
9. read from SGL file
10. open/create/replace file
11. open file + (string)
12. write file + (string)
13. read file + (string)
14. write file + (I16)
15. read file + (I16)
16. write file + (SGL)
17. read file + (SGL)
18. close file +

ERROR HANDLERS

1. simple error handler
2. find first error
3. general error handler

4.3.17 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ LECROY

Για τον έλεγχο του παλμογράφου από το Labview έχουμε ένα αριθμό ειδικών συναρτήσεων. Τα VI αυτά υπάρχουν στη βιβλιοθήκη Lec93XX και τα επιλέγουμε από το block diagram και την επιλογή VI... Αυτές οι συναρτήσεις αναφέρονται πιο κάτω:

1. Acquire Waveform.vi

Ορισμός του mode : **auto/single/stop/norm**

2. Acquire-Read SeqWf.vi

Δειγματοληψία/εμφάνιση κυματομορφής και ορισμός του αριθμού των segment

3. Auto Setup.vi

4. Config-Read Meas.vi

Μετρήσεις , πχ: πλάτος/περίοδος/συχνότητα ...

5. Cursor Values.vi

Λήψη της θέσης των κερσόρων (απόλυτη/σχετική)

6. Display Trace.vi

Εμφάνιση επιλεγμένων καναλιών στην οθόνη

7. Example.vi

Ορισμός του trigger, auto setup, timebase κλπ

8. Math(wp01).vi

Ορισμός συναρτήσεων για πράξεις μεταξύ δύο καναλιών

9. Math (wp02).vi

FFT (με ορισμό παραθύρου, αριθμού σημείων κλπ.)

10. Math.vi

Δυνατότητα για πράξεις μεταξύ καναλιών μία φορά ή συνέχεια δίνοντας το μέσο όρο

11. Panel Save-Recall.vi

Δυνατότητα να καλεί ή να σώζει την οθόνη του παλμογράφου.

12. Position Cursor.vi

Τοποθέτηση των κερσόρων σε μια συγκεκριμένη θέση.

13. Read Errors.vi

14. Read Wave.vi

Δήλωση των σημείων δειγματοληψίας και διάβασμα κυματομορφής.

15. Receive Message.vi

16. Screen Options.vi

Ρυθμίσεις της οθόνης (φωτεινότητα, αριθμός οθονών κλπ.).

17. Send Message.vi

18. Seq Trig Times.vi

Δήλωση trigger time και trigger offset.

19. Seg Waveform Setup.vi

Ορισμός αριθμού και μεγέθους segment.

20. Smart Trigger.vi

Όλες οι επιλογές του smart trigger.

21. Store waveform.vi

Σώσιμο της κυματομορφής κάποιου καναλιού σε κάποια μνήμη.

22. Timebase.vi

Ορισμός για interleaved sampling ή όχι.

23. Trigger.vi

Όλες οι επιλογές του απλού trigger.

24. Vertical.vi

Ενίσχυση του probe και ορισμός του bandwidth του παλμογράφου.

25. Zoom.vi

Ορισμός του σημείου από το οποίο αρχίζει το zoom και αν θα υπάρχει multizoom ή όχι

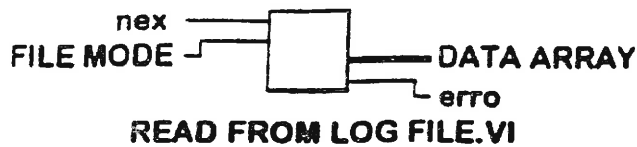
4.3.18 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Στις επόμενες σελίδες βλέπουμε μια εφαρμογή βασισμένη στις συναρτήσεις του Lecroy, σε εκτύπωση Labview.

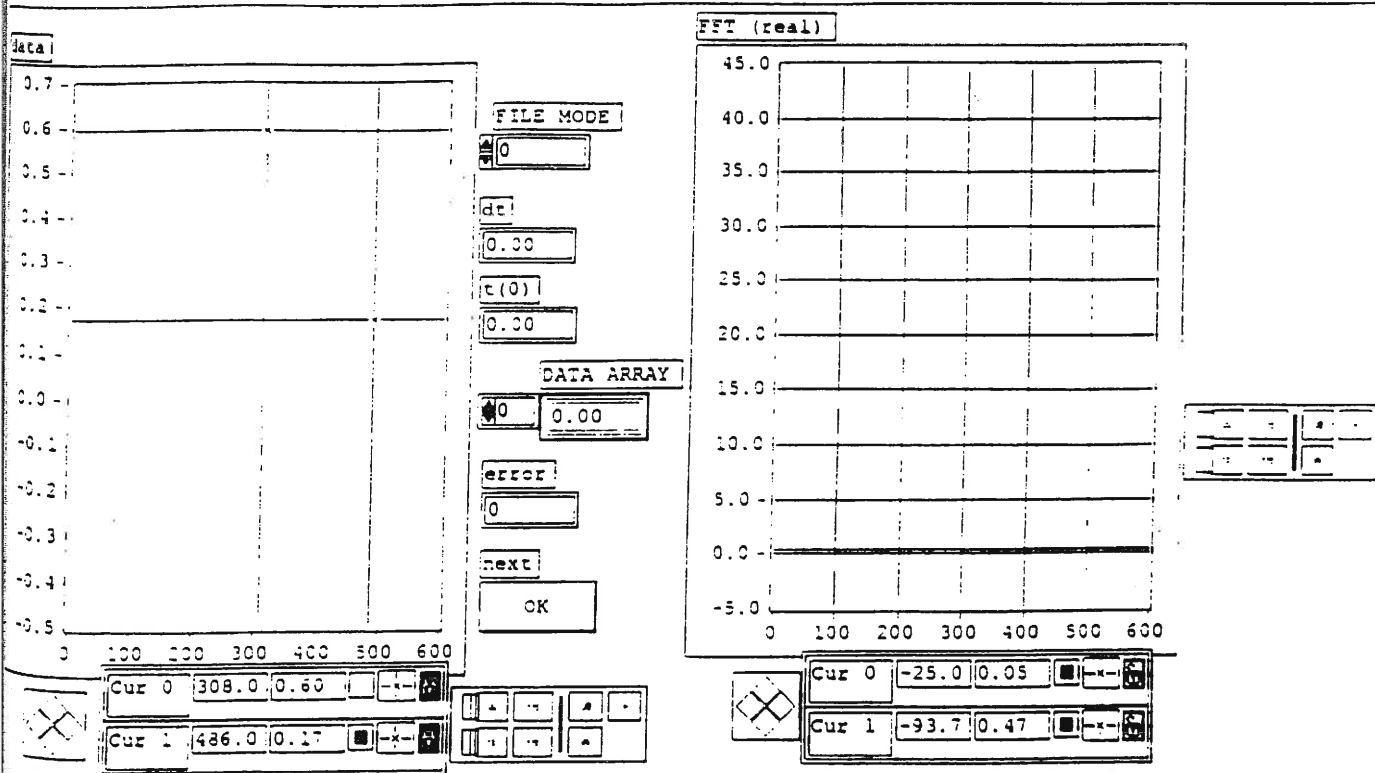
Όταν τρέξουμε την εφαρμογή αυτή, ζητείται να δηλώσουμε από ποιο αρχείο θα πάρει τις μετρήσεις. Αφού πάρει τις μετρήσεις αυτές τις βάσει στο γράφημα του front panel και αφού κάνει FFT βάζει το αποτέλεσμα στο διπλανό γράφημα.

Η πιο πάνω διαδικασία γίνεται μέχρι να τελειώσουν οι μετρήσεις.

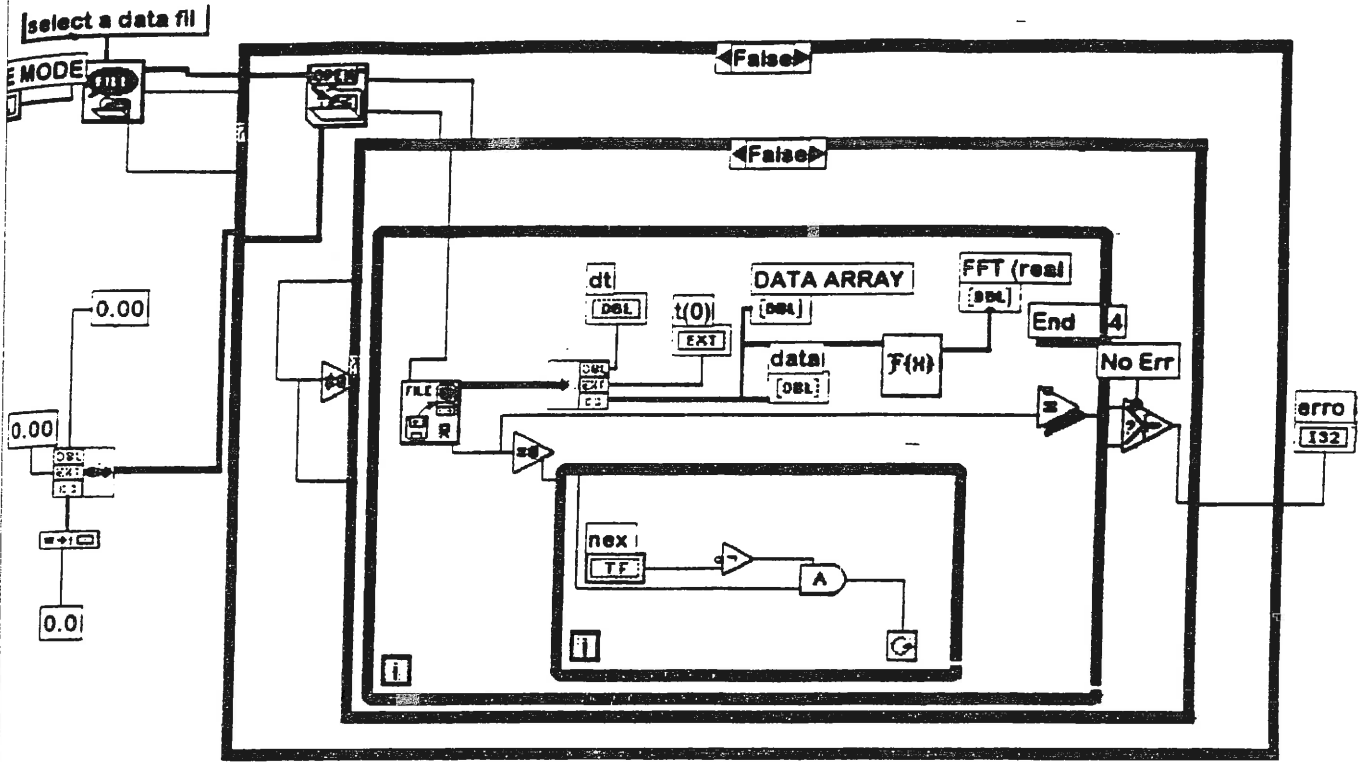
Connector Pane



Front Panel



Block Diagram



8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η επιλογή του Labview ως εργαλείο για ανάκτηση και επεξεργασία σημάτων από το ψηφιακό όργανο Lecroy είναι σε γενικές γραμμές επιτυχημένη. Το πρόγραμμα είναι αρκετά εύχρηστο. Επίσης έχει μεγάλες δυνατότητες προγραμματισμού και κατά συνέπεια δυνατότητα κατασκευής πολλών εφαρμογών. Η ευκολία που προσφέρει στη επεξεργασία των μετρήσεων είναι μεγάλη καθώς και στην ανάκτηση των σημάτων σε μικρό χρονικό διάστημα. Το μόνο μειονέκτημα που θα μπορούσε να αναφερθεί είναι η πολύ μικρή ευκρίνεια των σημάτων και η μεγάλη διαφορά που παρατηρείται από τον παλμογράφο μετά την ανάκτησή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Παρουσίαση πειραματικών αποτελεσμάτων - Διαγράμματα

Στις σελίδες 164 - 199 παρουσιάζονται τα διαγράμματα στα οποία φαίνονται παραστατικά τόσο οι πειραματικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών (ταχύτητας - RMS), όσο και οι τιμές που προκύπτουν με τη βοήθεια του υπολογιστικού κώδικα που αναπτύχθηκε στο Κεφ. 4.

Η ταχύτητα αναφέρεται στην διακριτή (γυάλινα σωματίδια) και στη συνεχή φάση (diesel) της διφασικής ροής και για τις τρεις συνιστώσες της (v , u , w). Ανάλογα γίνονται και τα διαγράμματα για τις τιμές του RMS. Οι μετρήσεις γίνονται σε τρεις διαφορετικές θέσεις του όγκου μέτρησης: σε αποστάσεις 7mm, 50mm και 300mm από το επάνω μέρος του.

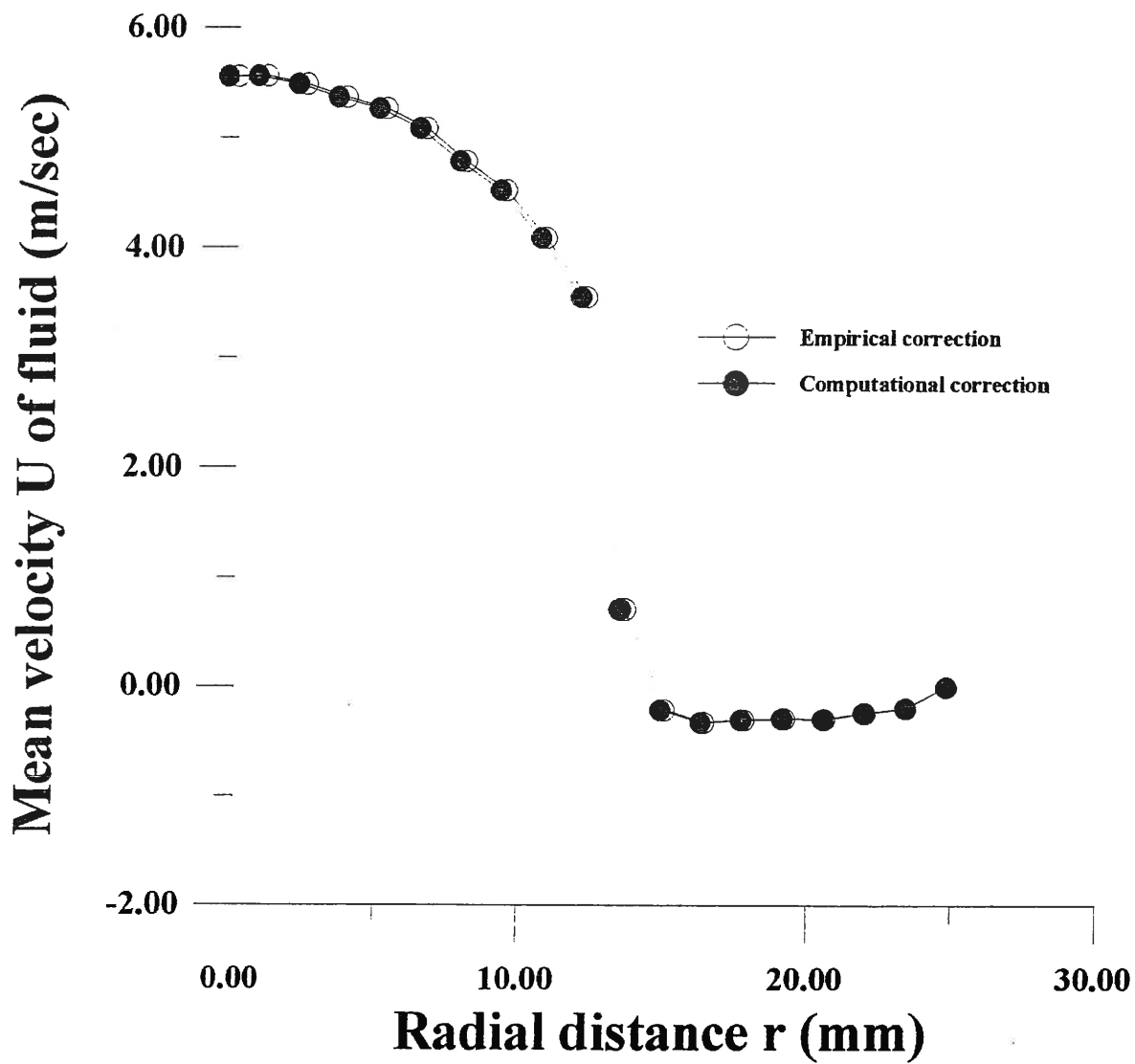
Όμοια στις σελίδες 200 - 205 παρουσιάζονται τα ανάλογα διαγράμματα όταν σαν μέσο για τη ροή χρησιμοποιείται το νερό. Και εδώ τα διαγράμματα γίνονται για τρεις θέσεις από την αρχή του όγκου μέτρησης: στα 6 mm, 50mm και 300mm.

Στη σελίδα 206 φαίνεται ο γεωμετρικός τύπος των μετατοπίσεων που παρουσιάζονται για την V-συνιστώσα της ταχύτητας, (στα 6mm από την αρχή του όγκου μέτρησης) όταν έχουμε διφασική ροή diesel - γυάλινων σωματιδίων.

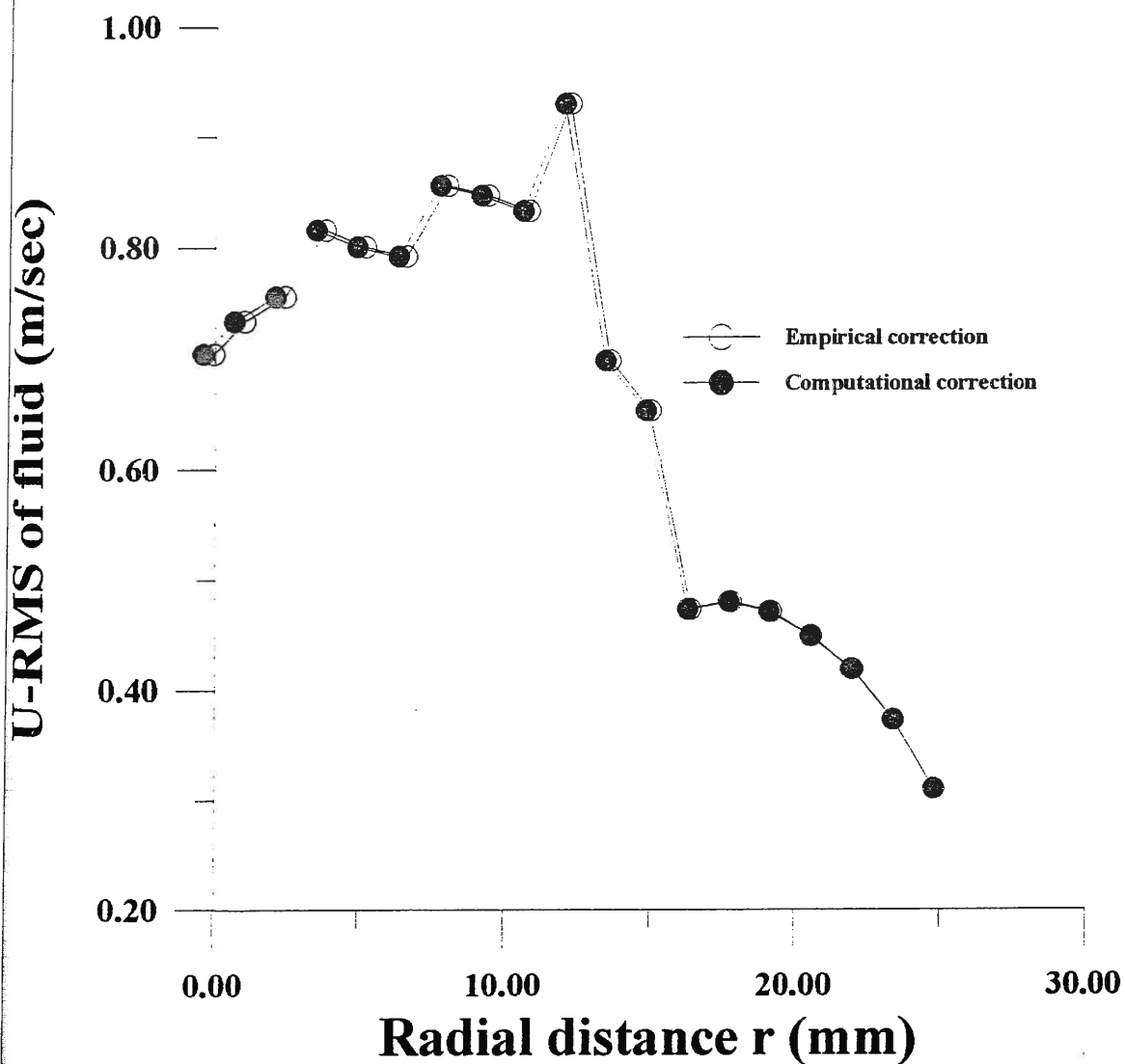
Για τις άλλες δύο συνιστώσες της ταχύτητας δεν γίνονται τα ανάλογα διαγράμματα γιατί οι μετατοπίσεις που εμφανίζονται είναι πρακτικά μηδενικές ή πολύ κοντά στο μηδέν.

Έτσι, για να έχουμε καλύτερη εποπτία των μετατοπίσεων, στις σελίδες 207 - 208 ακολουθούν τα διαγράμματα που παριστάνουν γραφικά το % σφάλμα της μετατόπισης που εμφανίζεται κατά τη μέτρηση των συνιστωσών της ταχύτητας U , W .

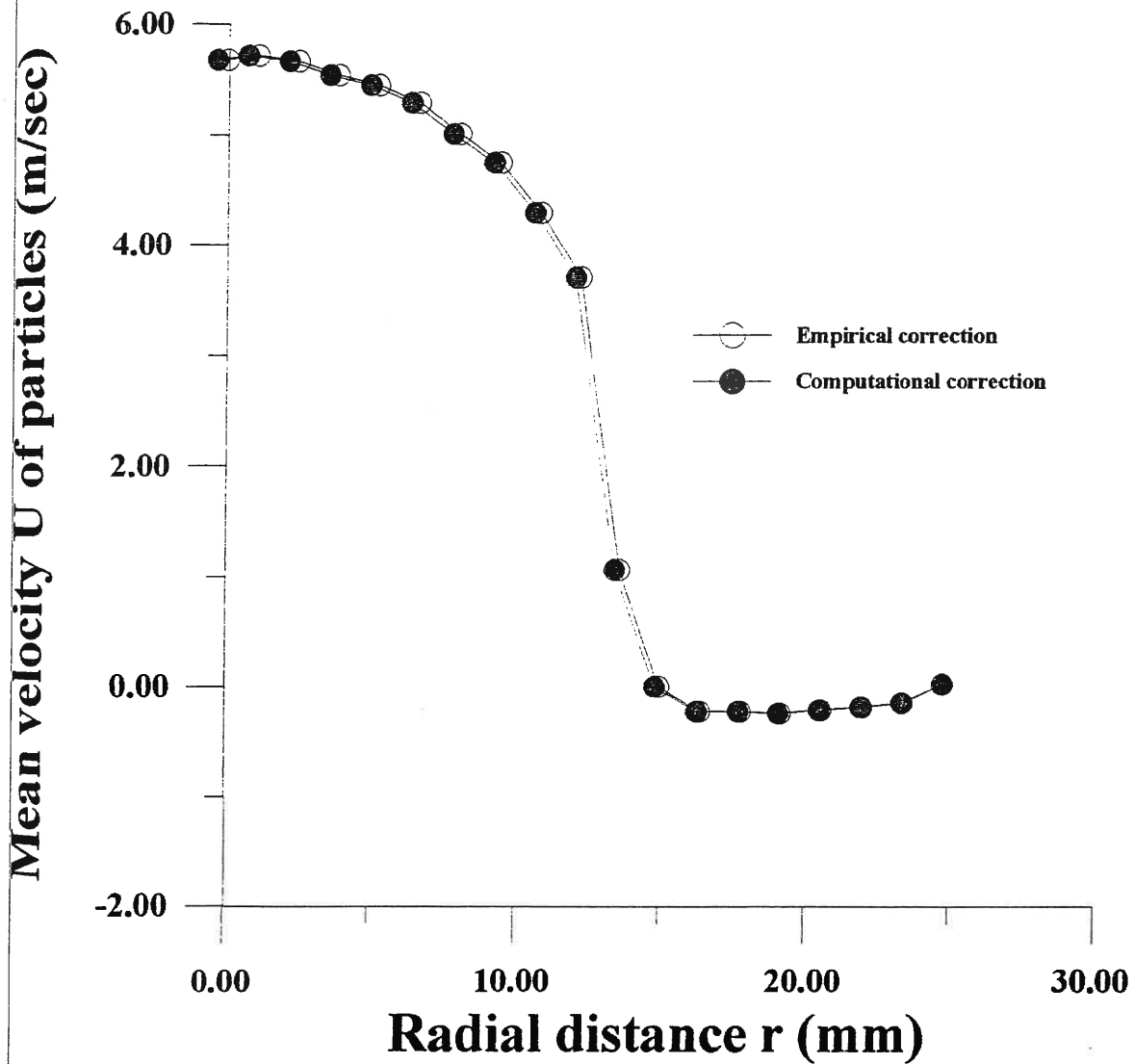
Measurements for Diesel at 6 mm



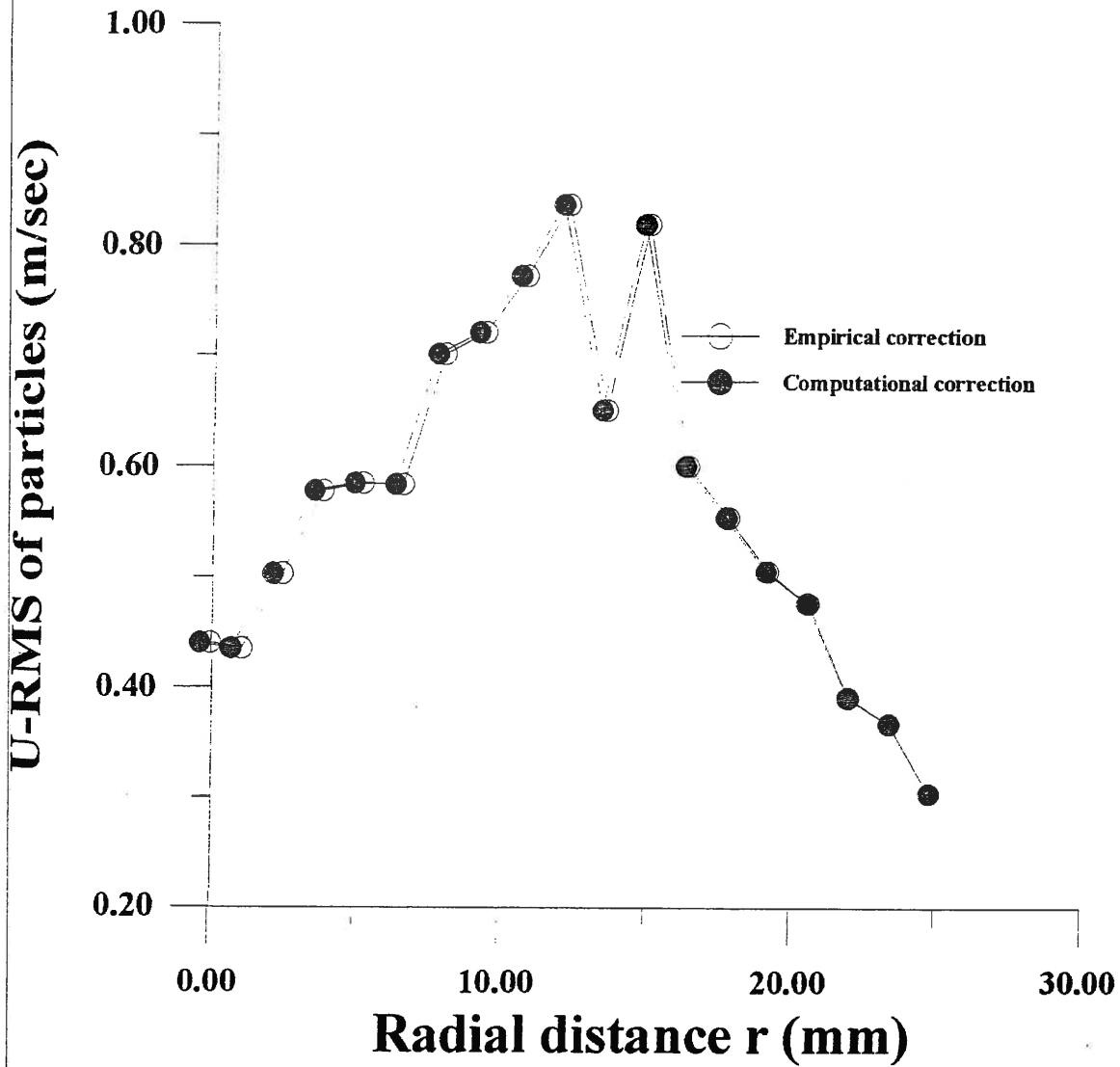
Measurements for Diesel at 6 mm



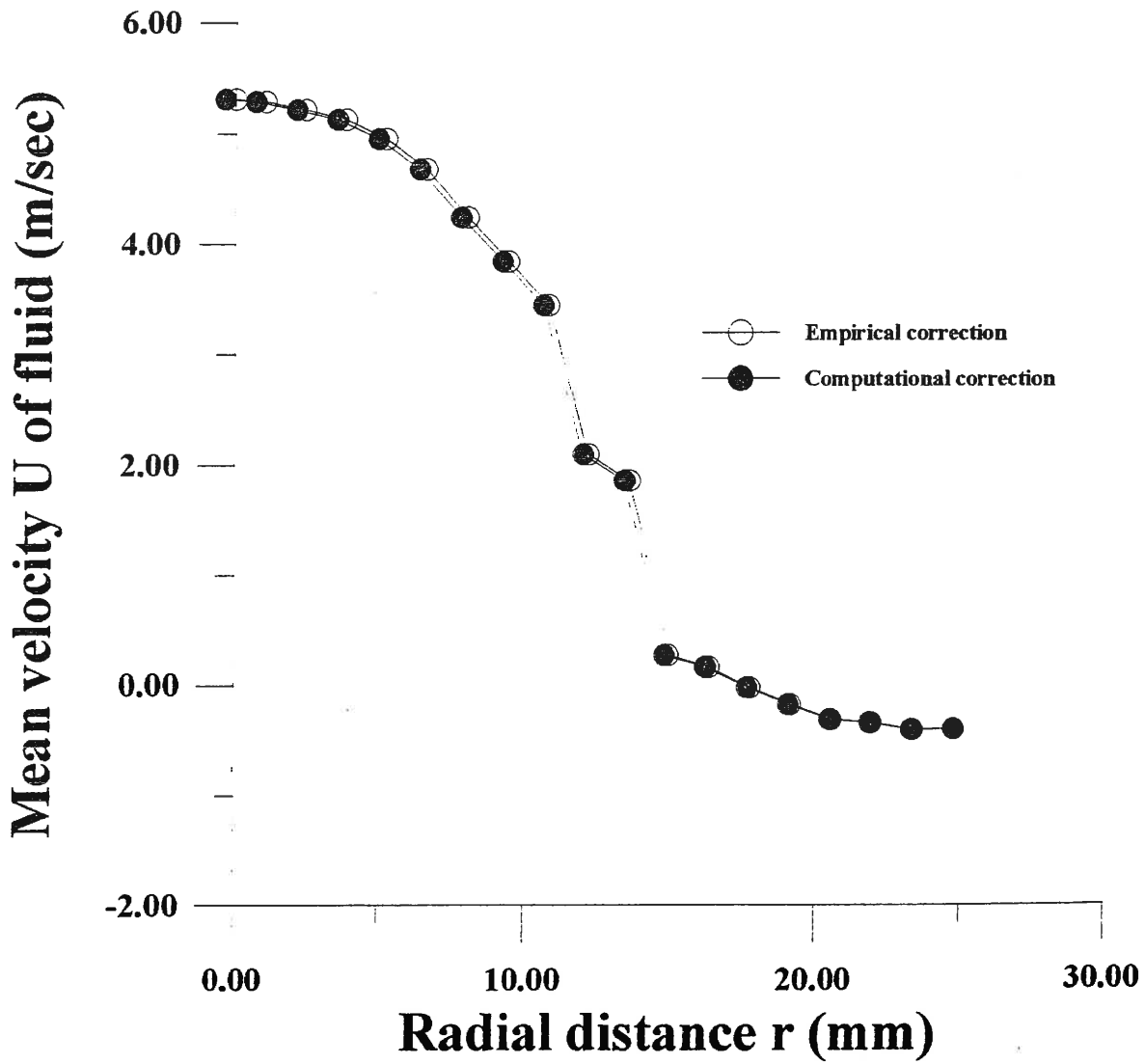
Measurements for Diesel at 6 mm



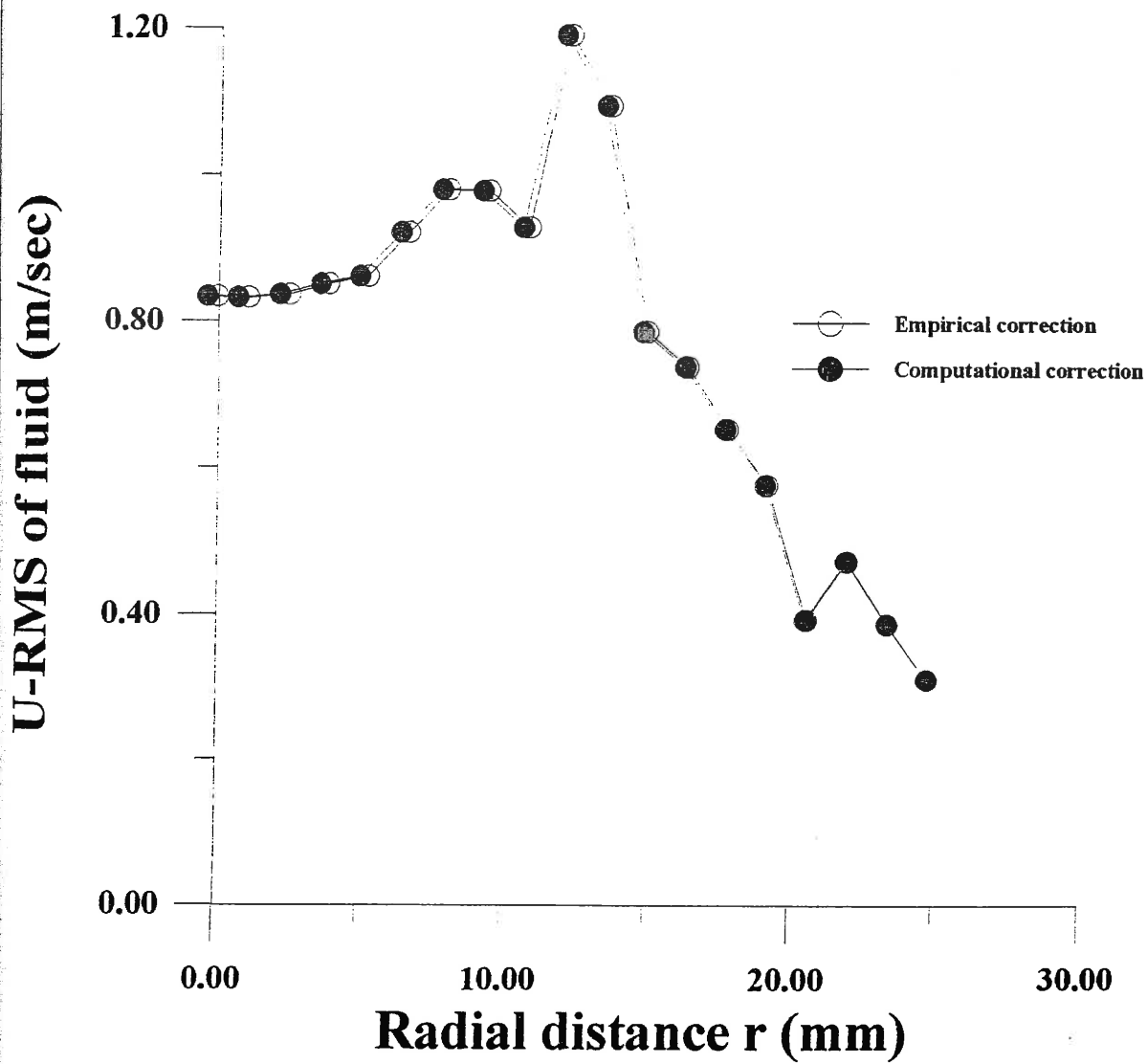
Measurements for Diesel at 6 mm



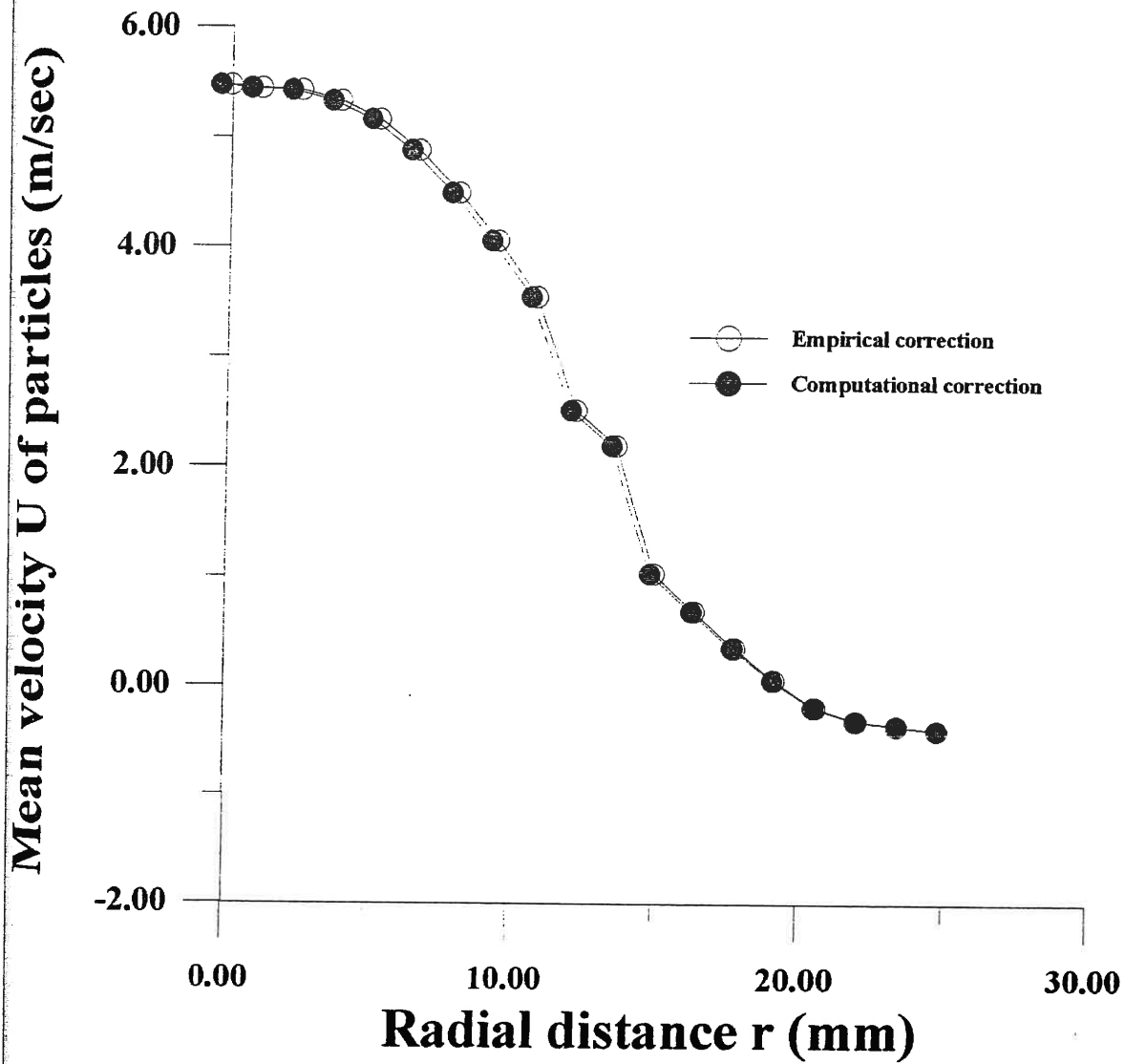
Measurements for Diesel at 50 mm



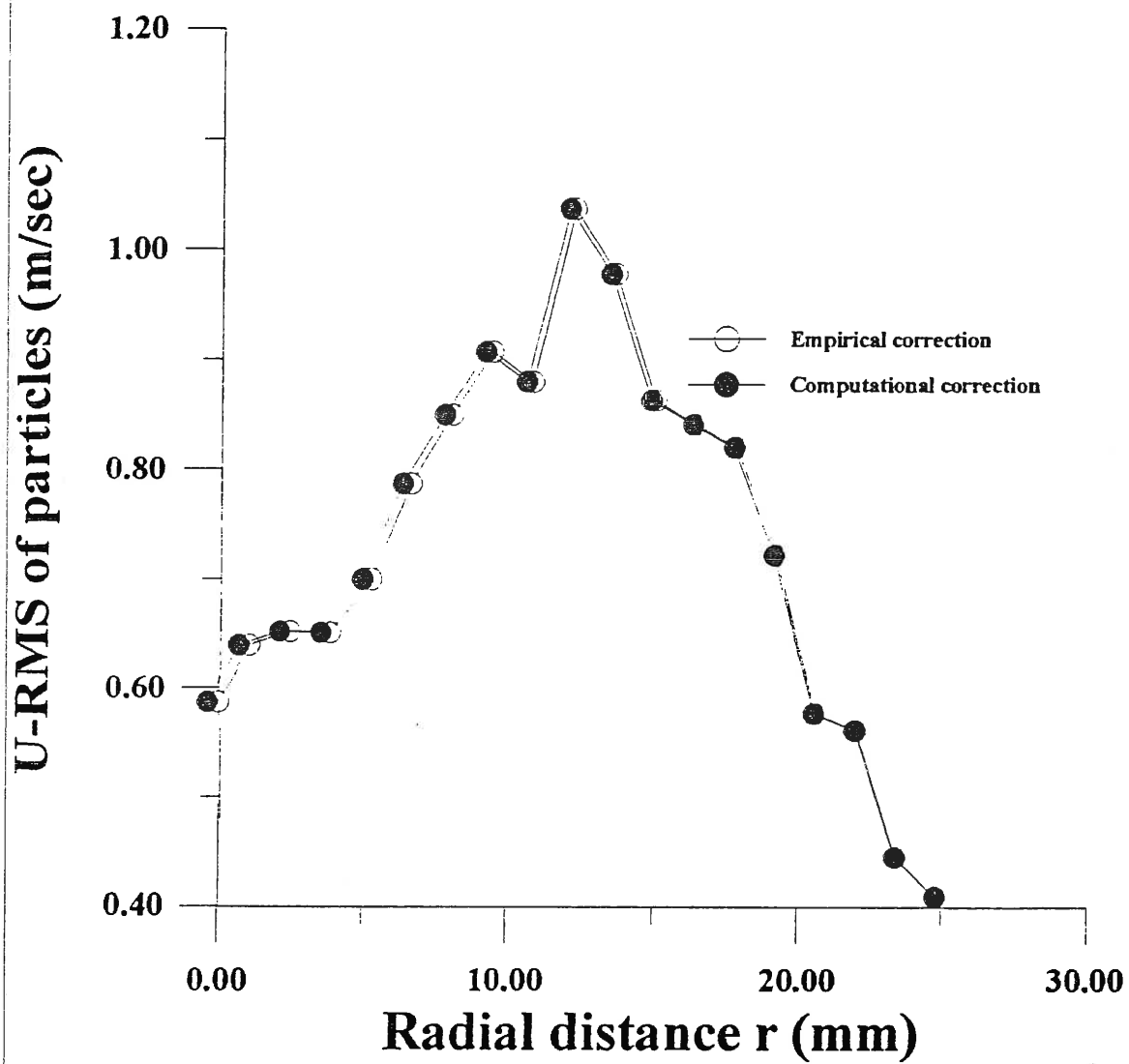
Measurements for Diesel at 50 mm



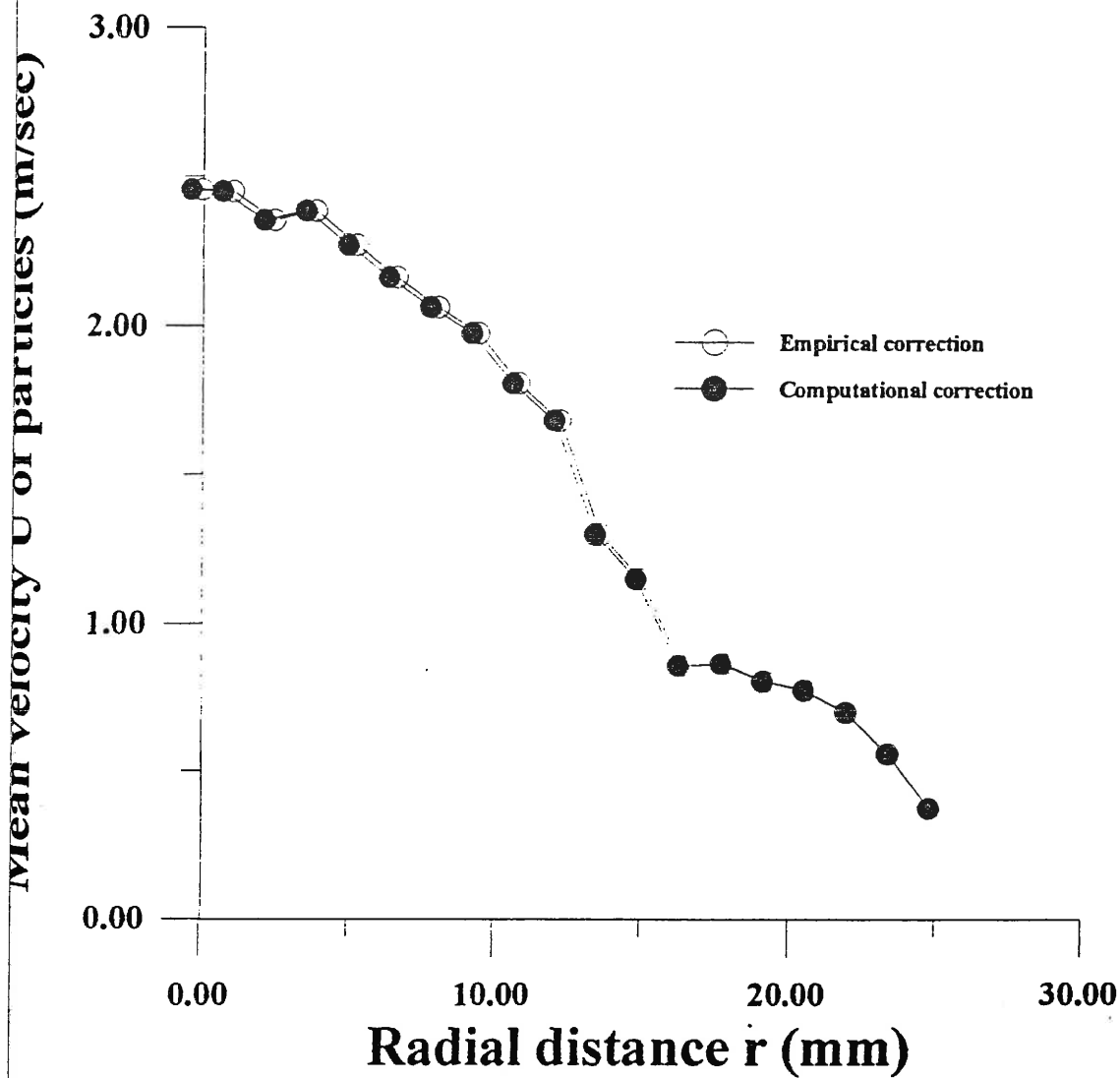
Measurements for Diesel at 50 mm



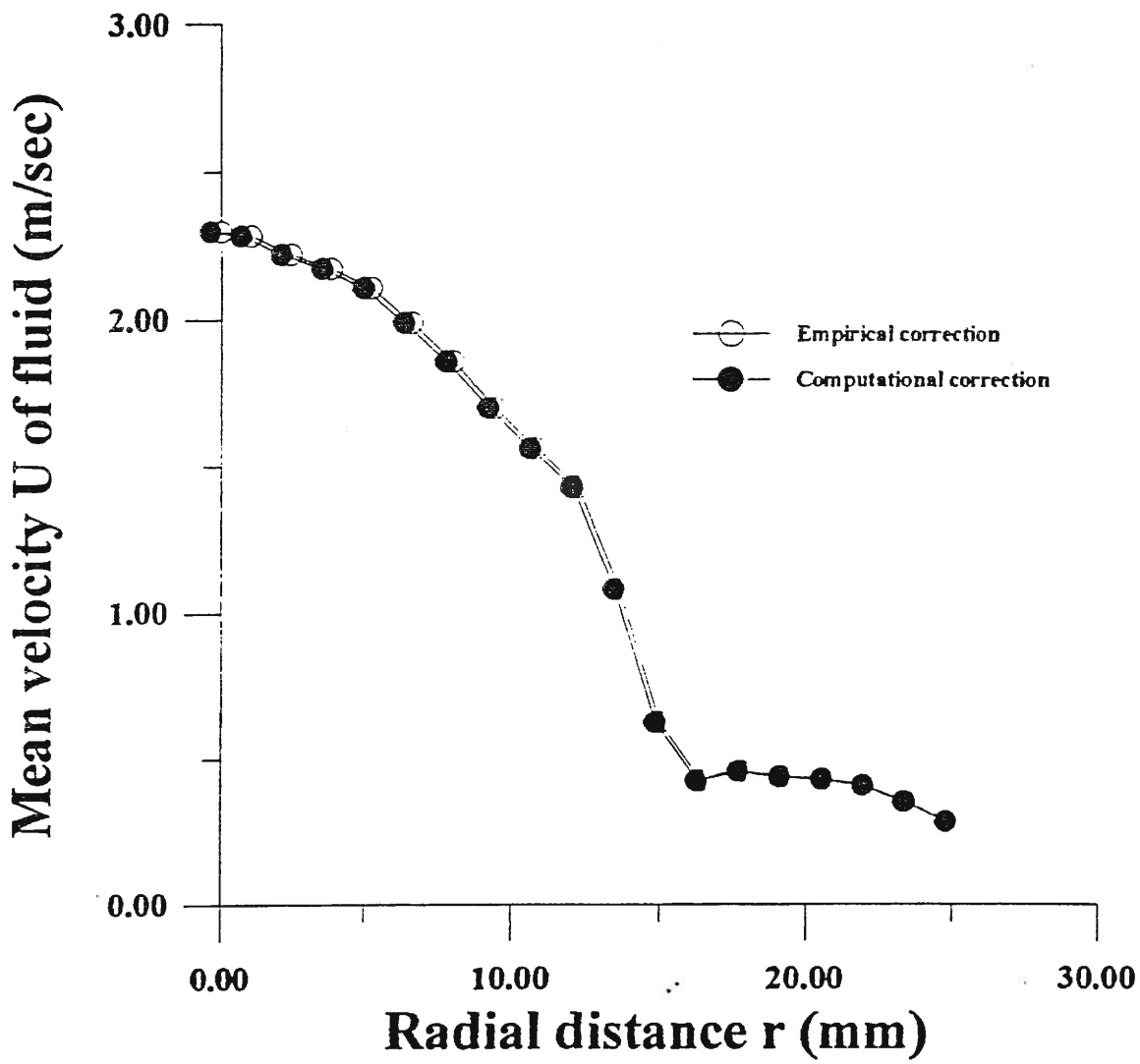
Measurements for Diesel at 50 mm



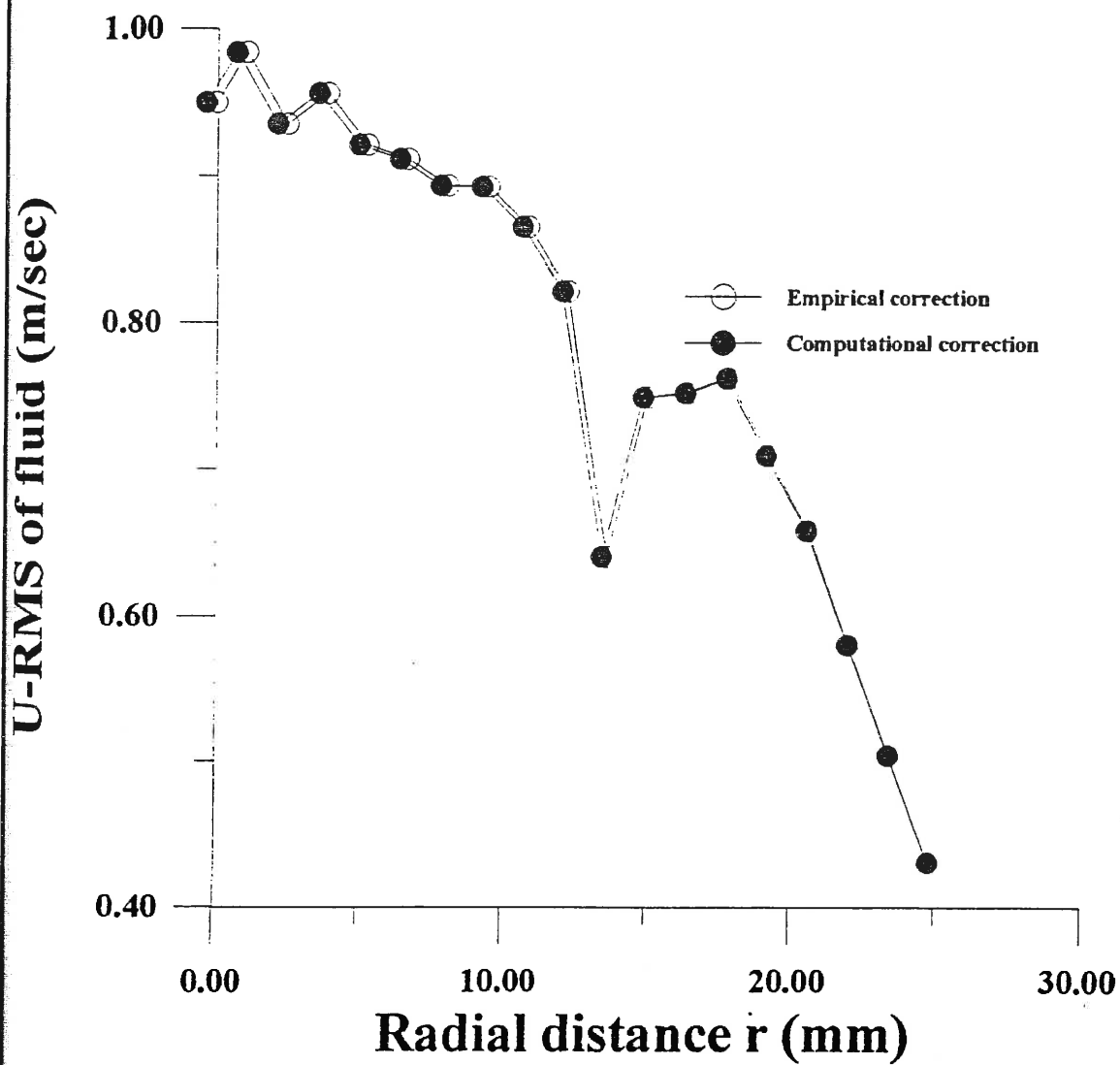
Measurements for Diesel at 200 mm



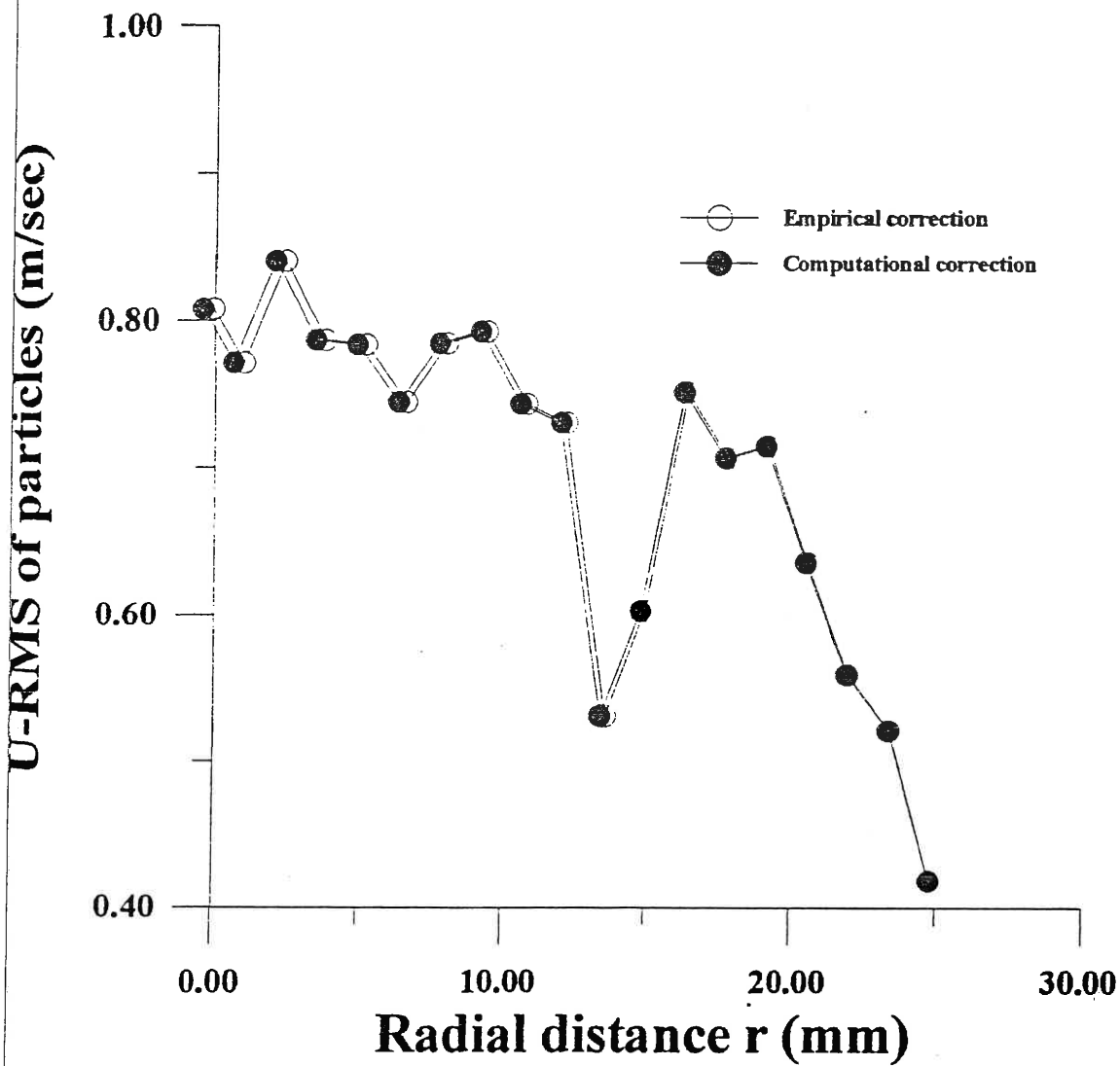
Measurements for Diesel at 200 mm



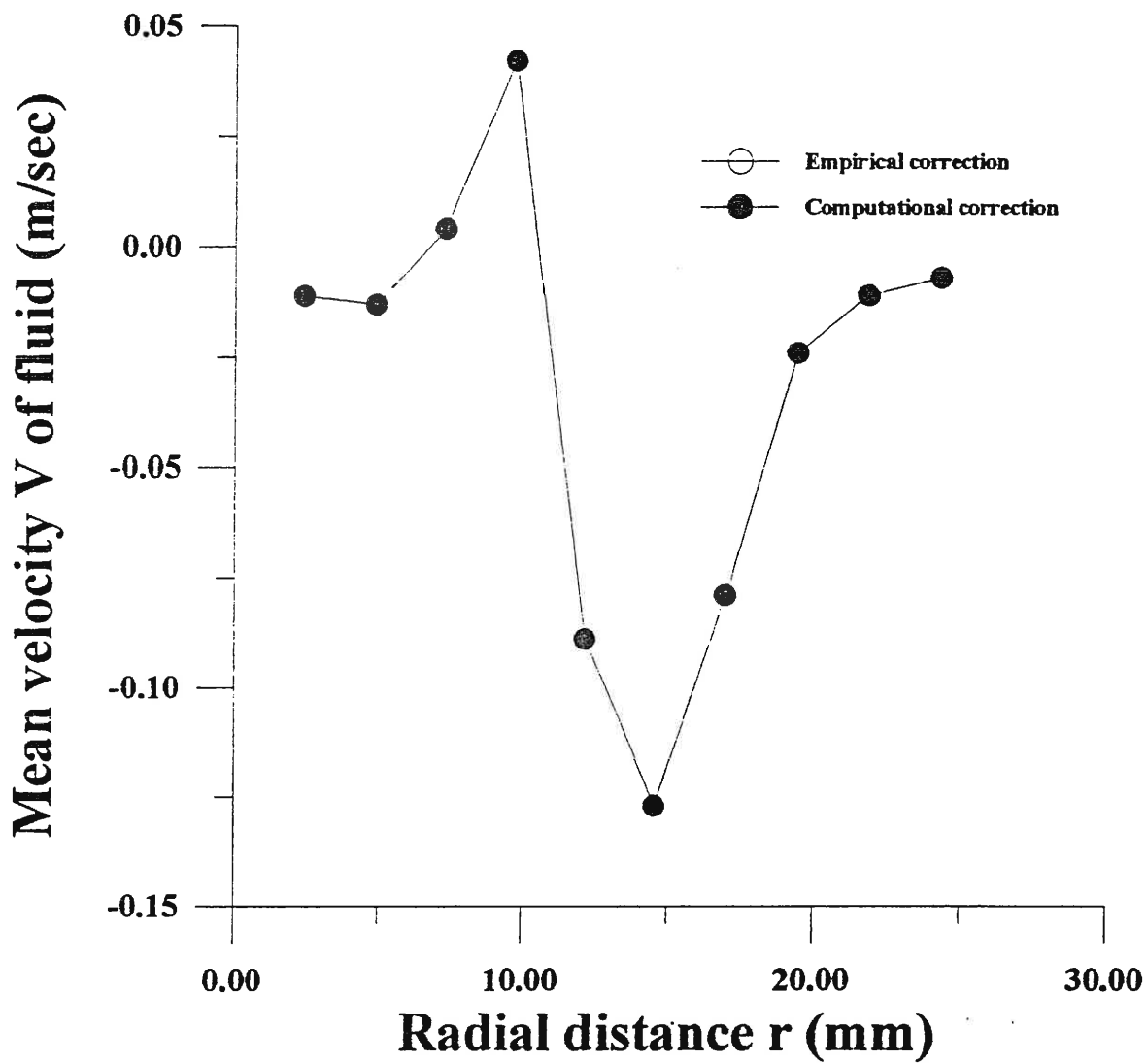
Measurements for Diesel at 200 mm



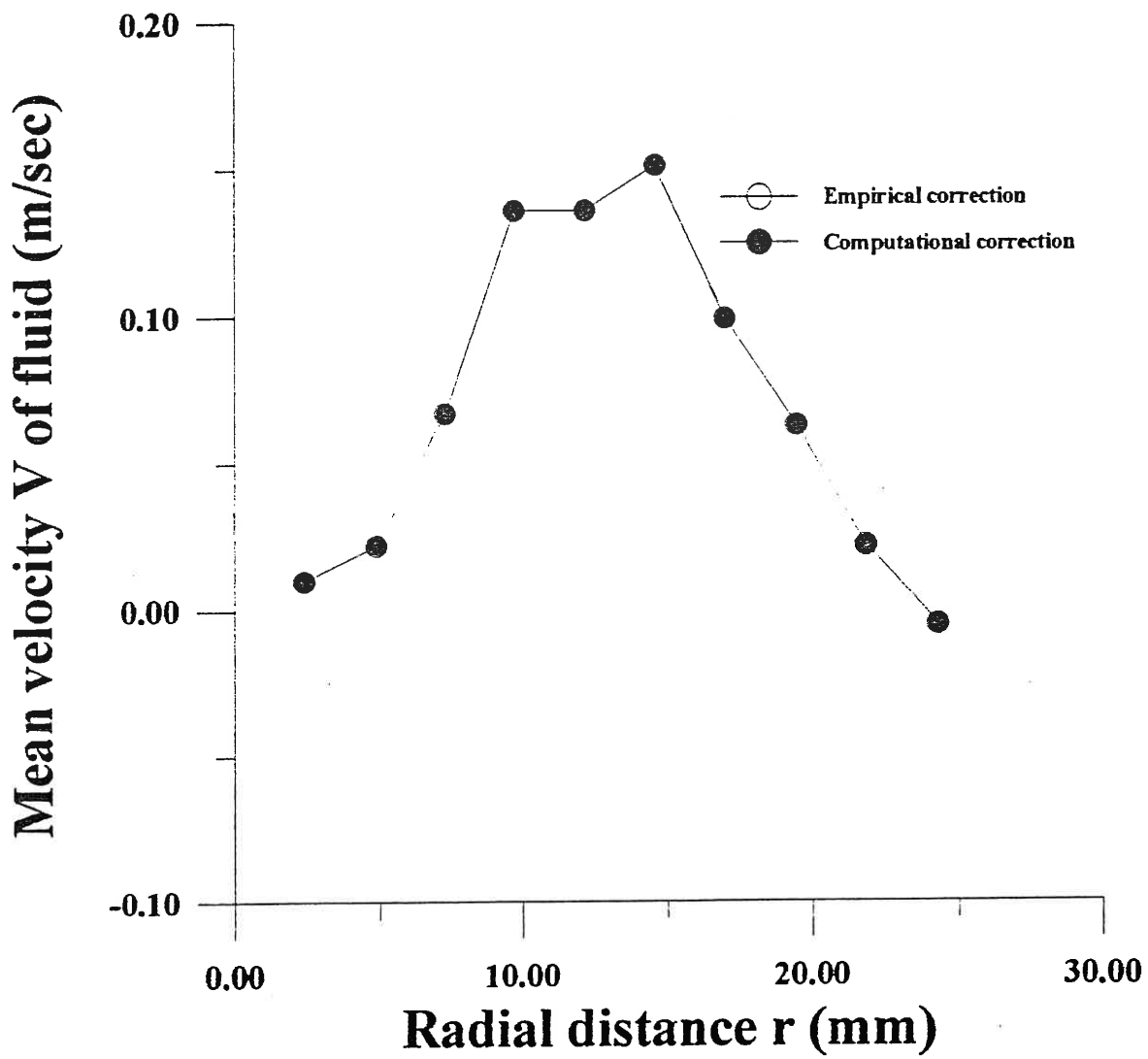
Measurements for Diesel at 200 mm



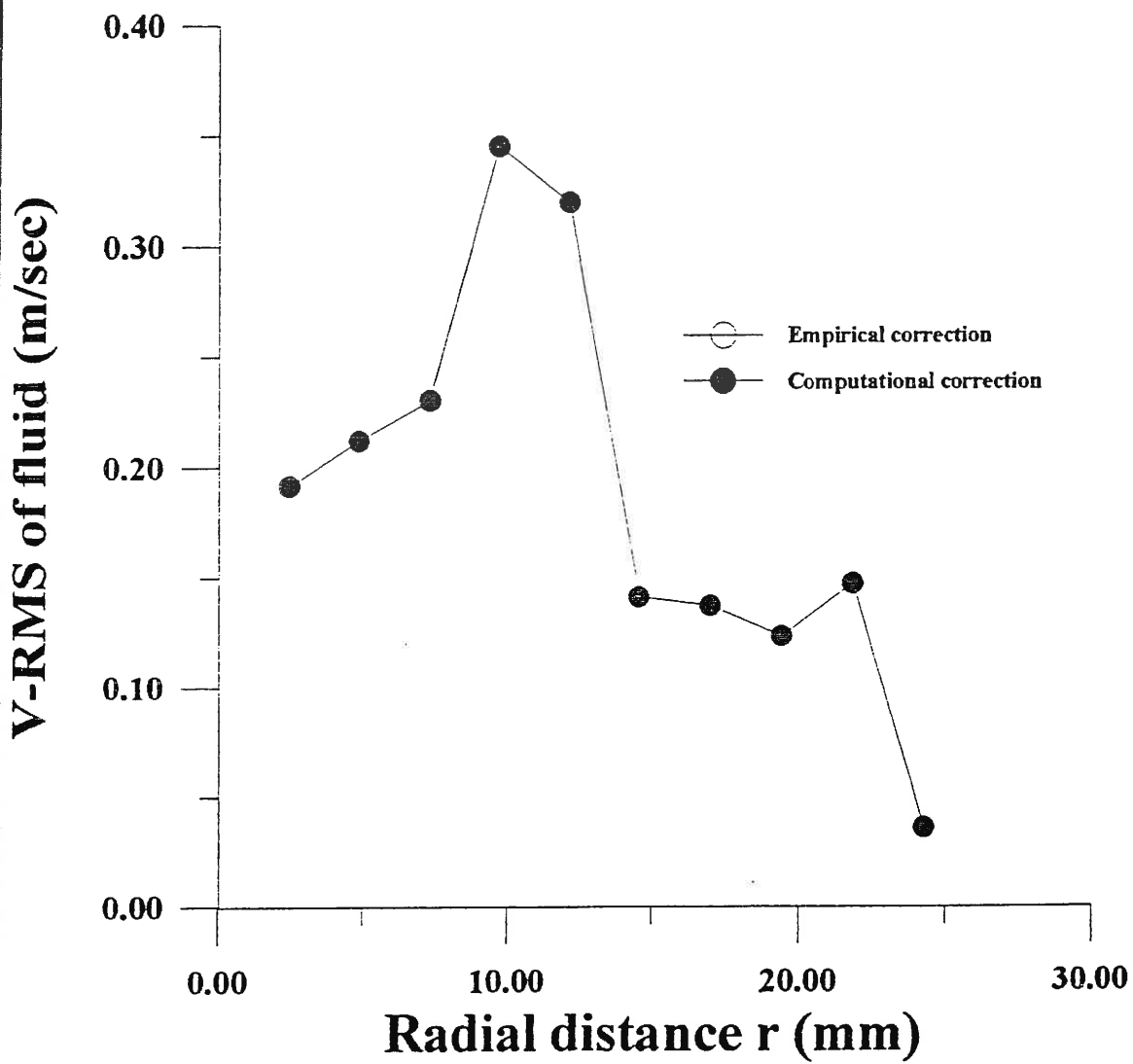
Measurements for Diesel at 6 mm



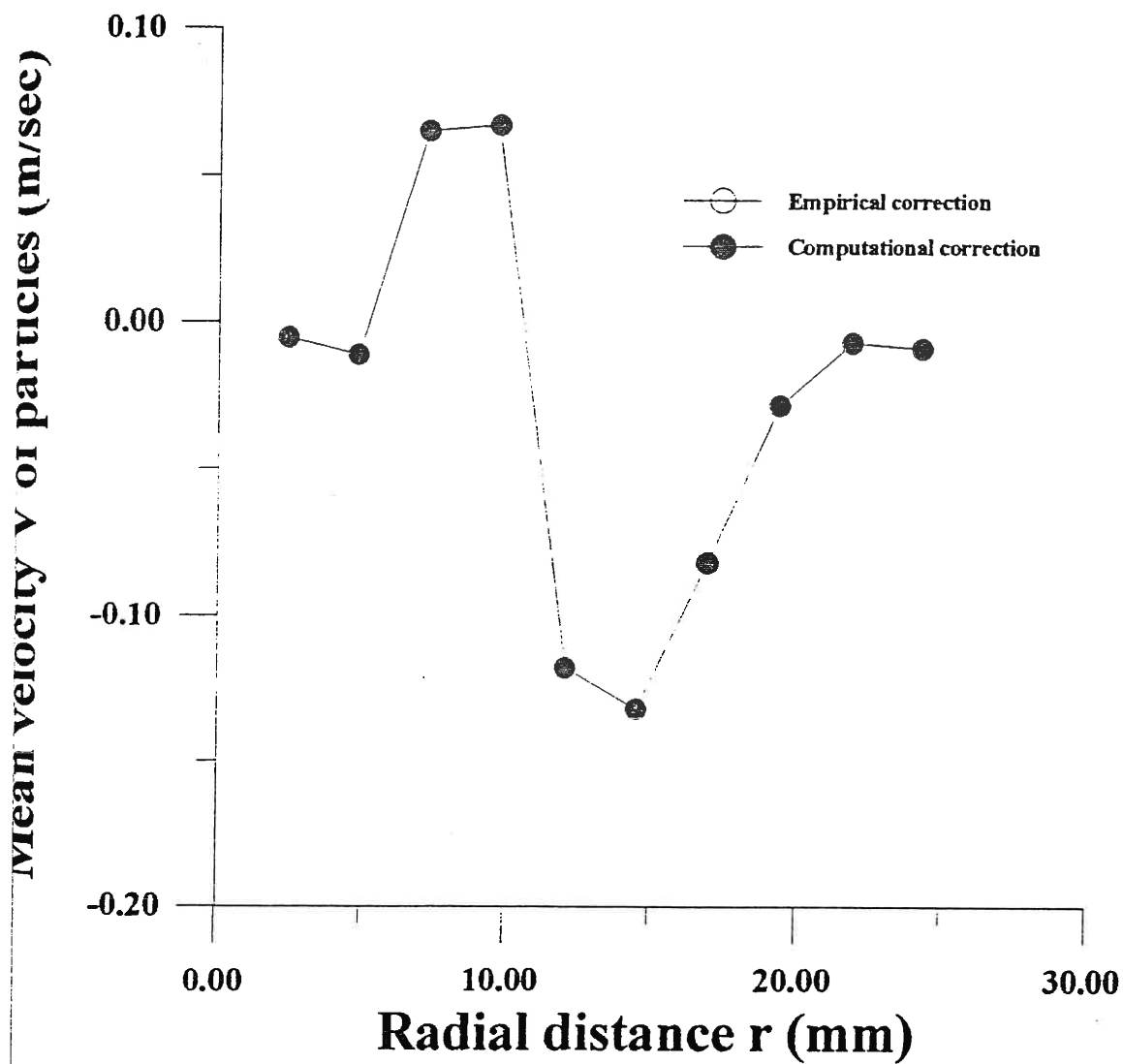
Measurements for Diesel at 50 mm



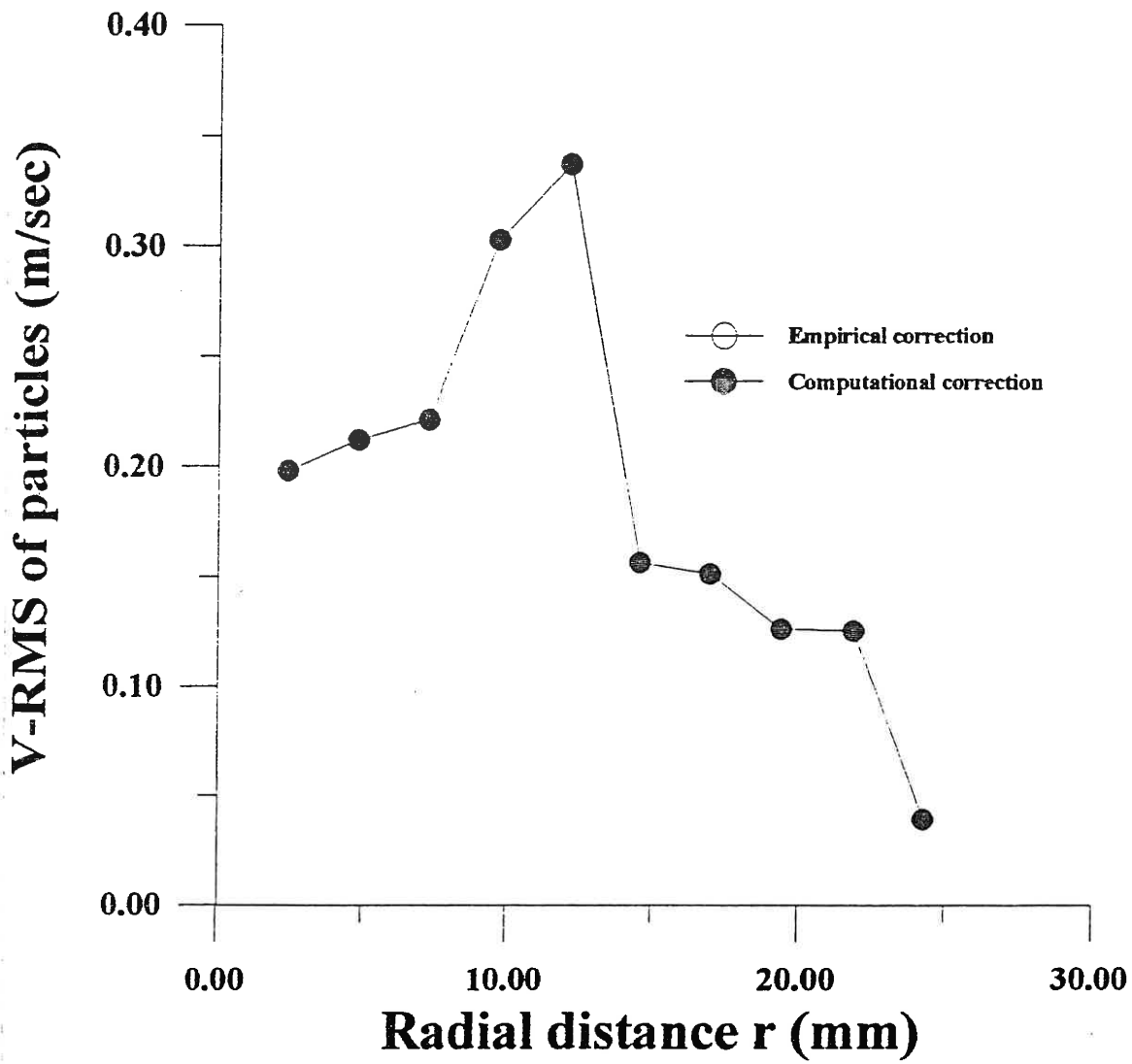
Measurements for Diesel at 6 mm



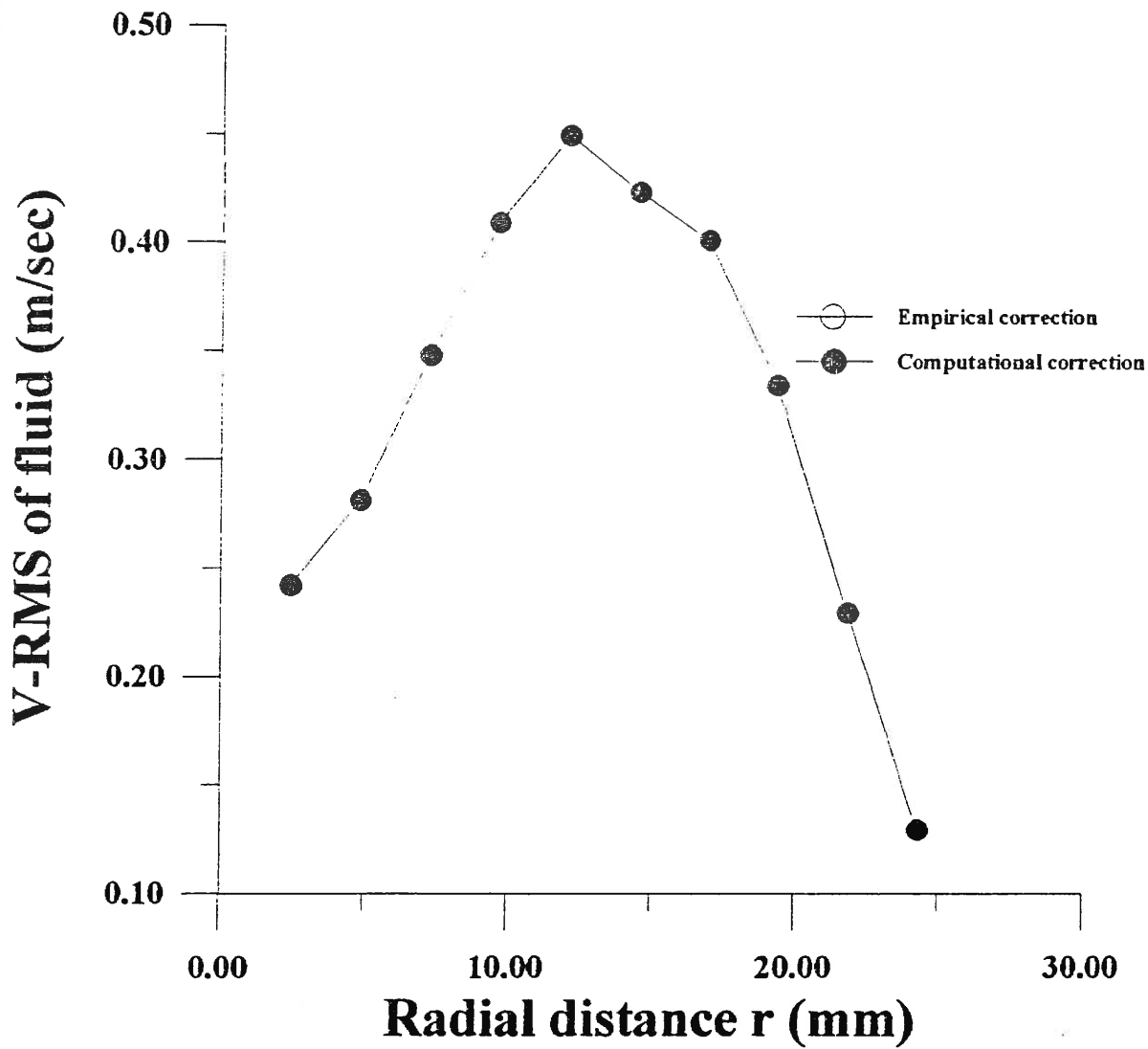
Measurements for Diesel at 6 mm



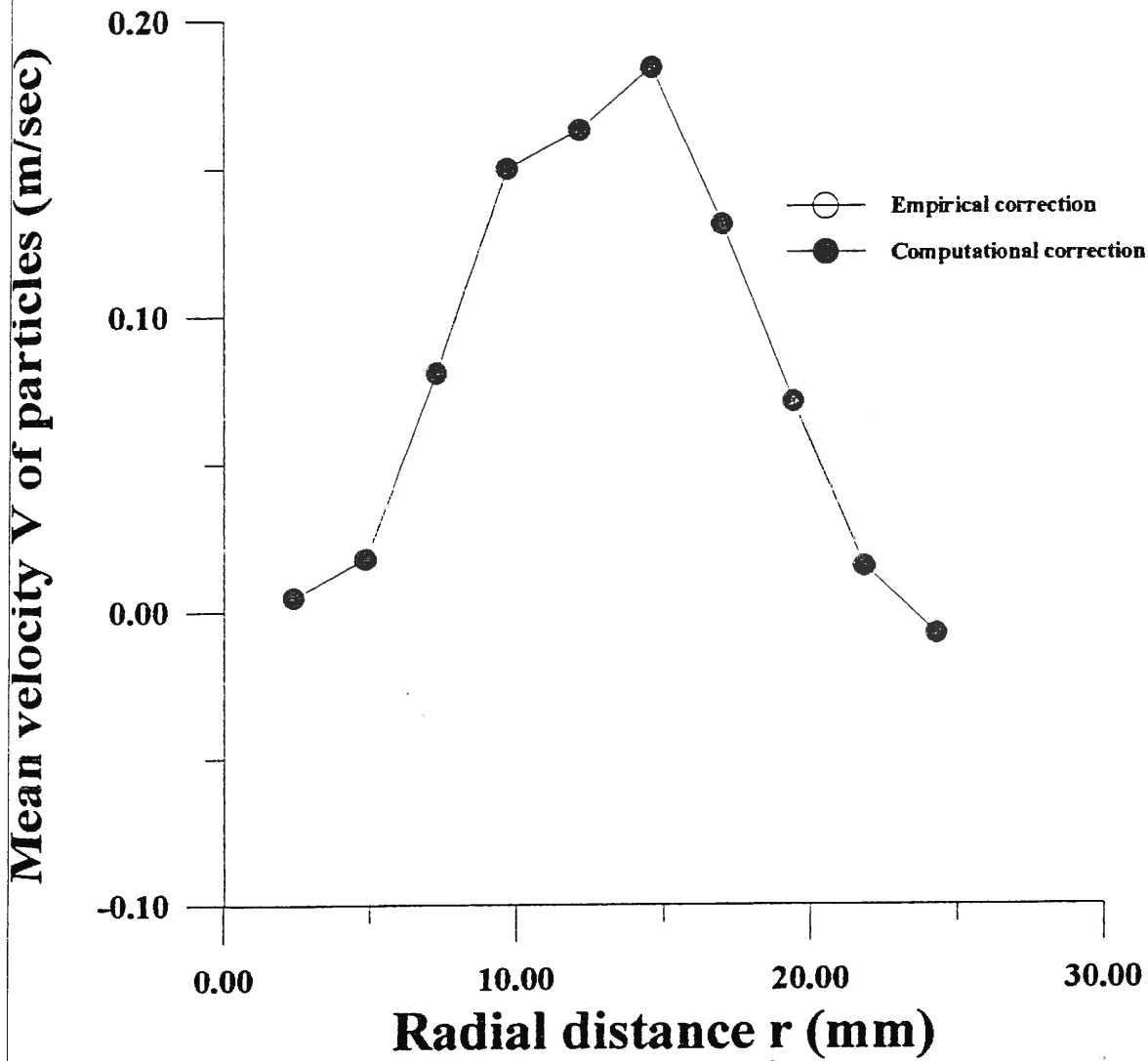
Measurements for Diesel at 6 mm



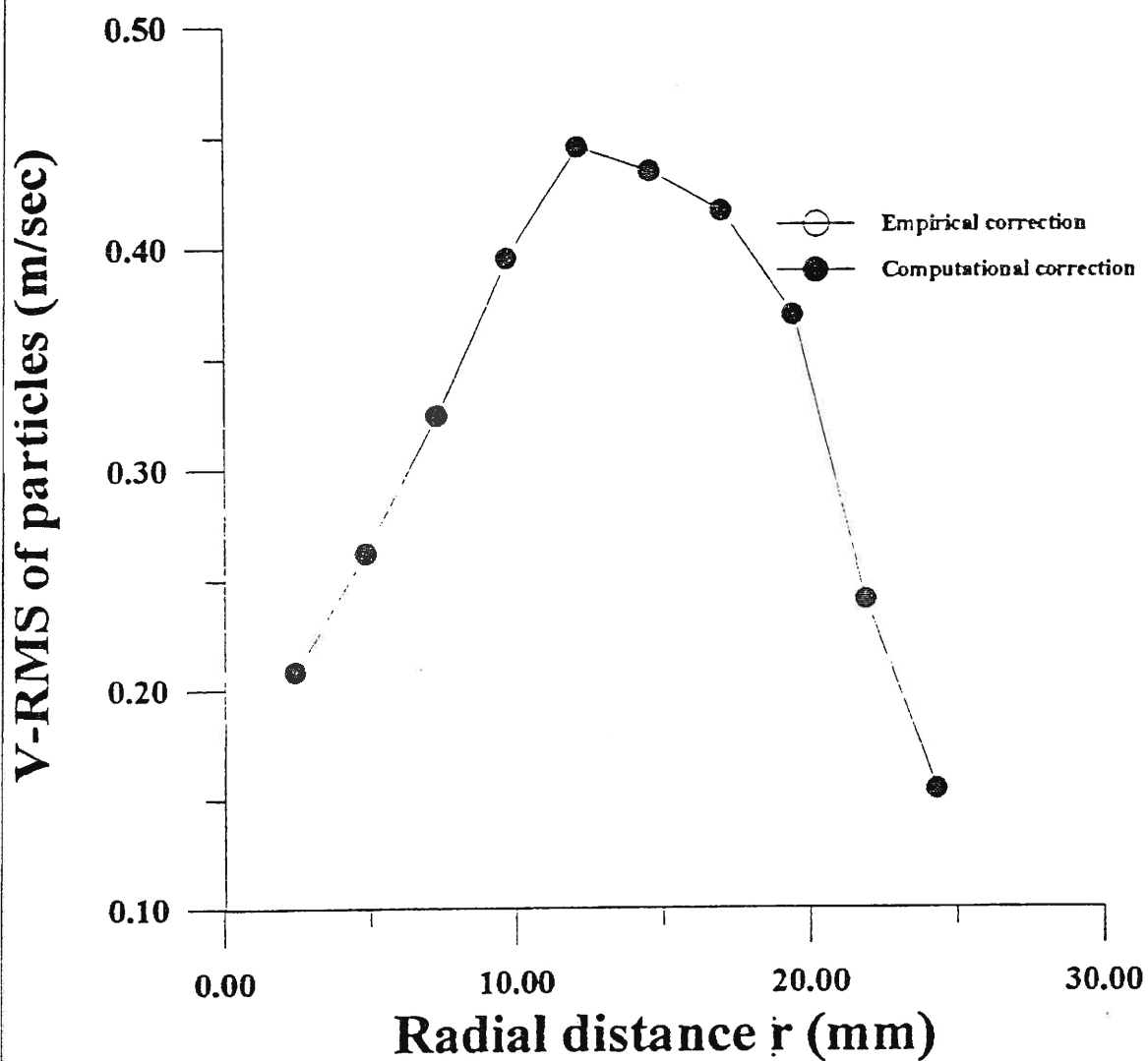
Measurements for Diesel at 50 mm



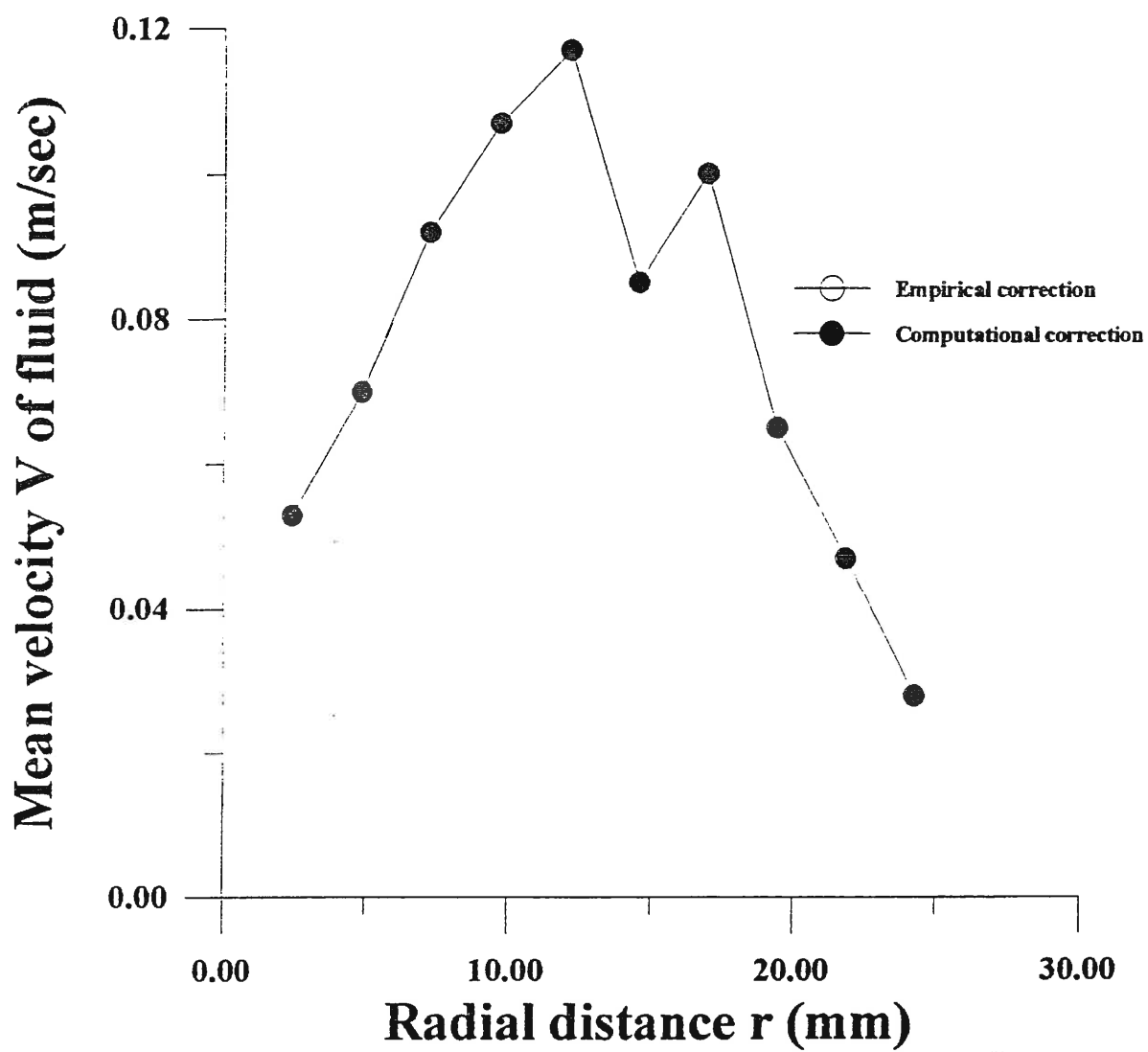
Measurements for Diesel at 50 mm



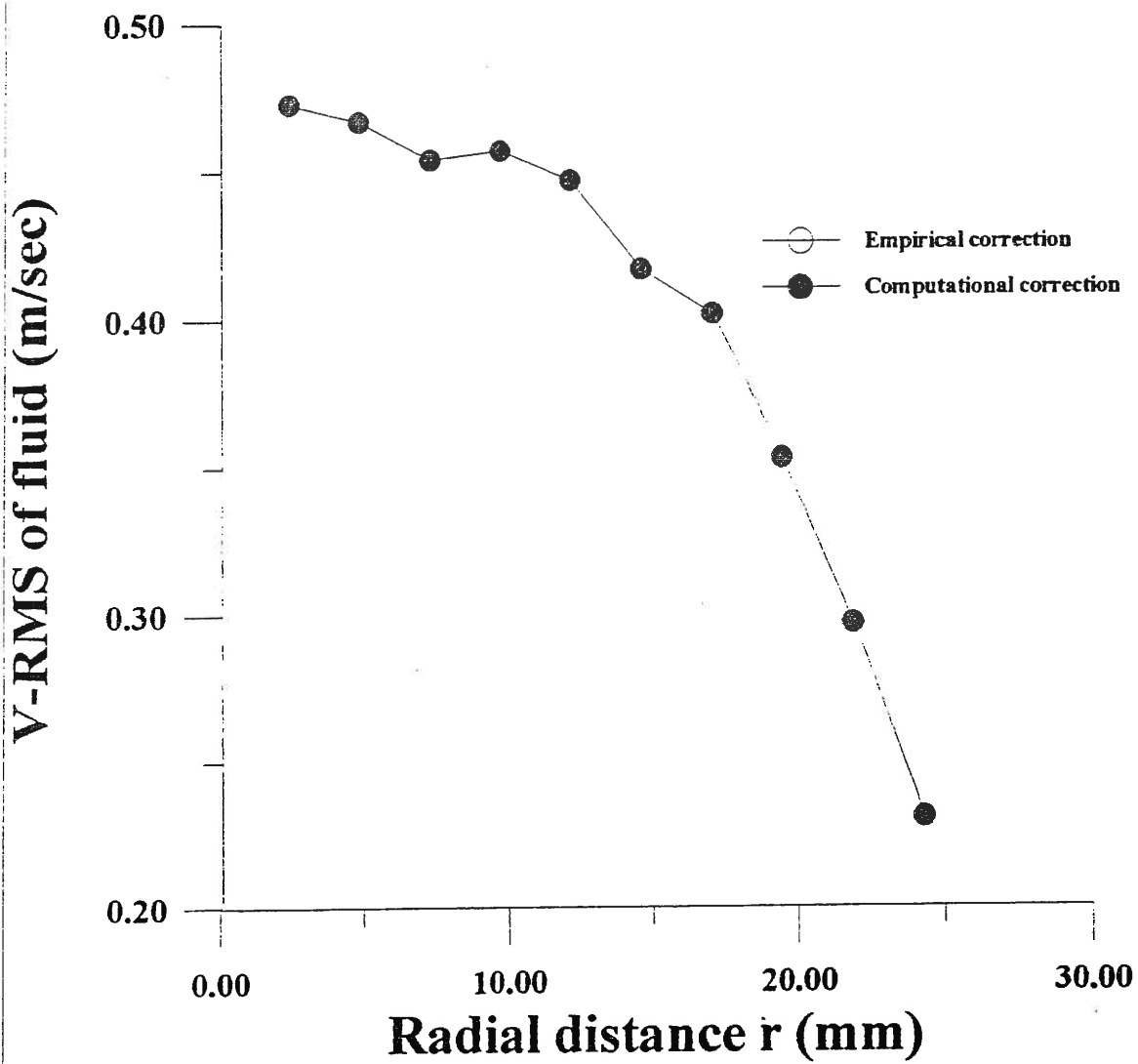
Measurements for Diesel at 50 mm



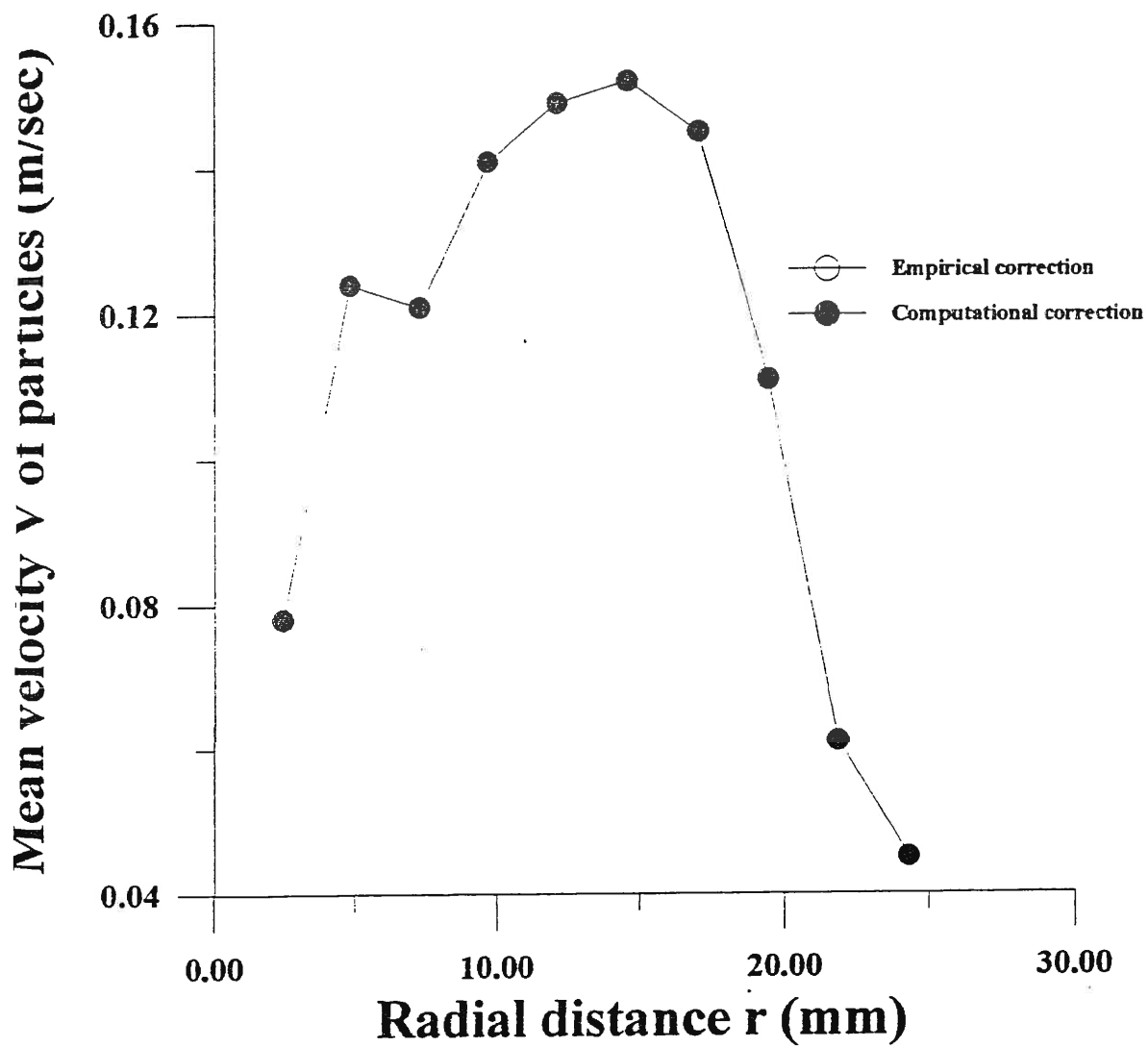
Measurements for Diesel at 200 mm



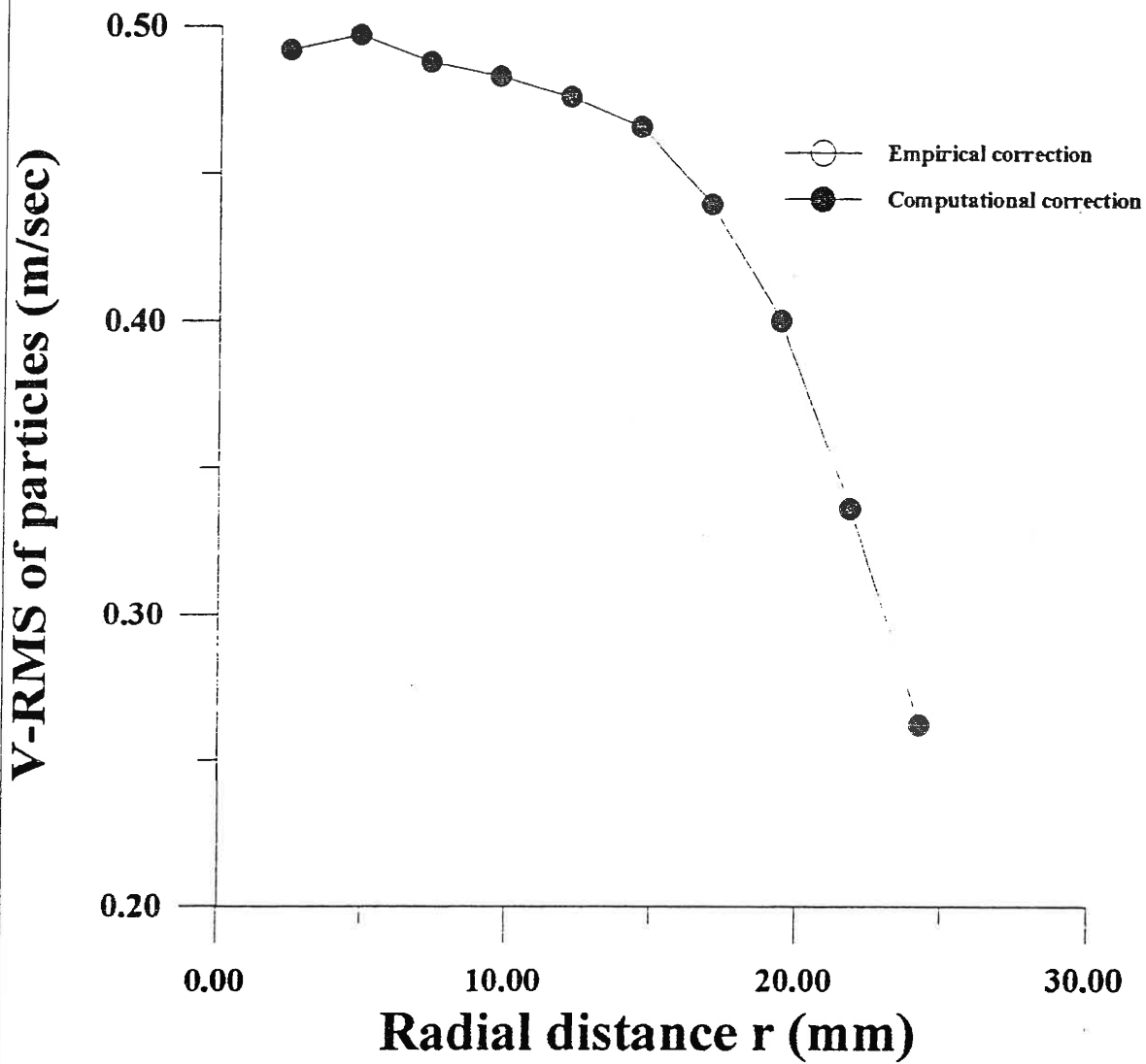
Measurements for Diesel at 200 mm



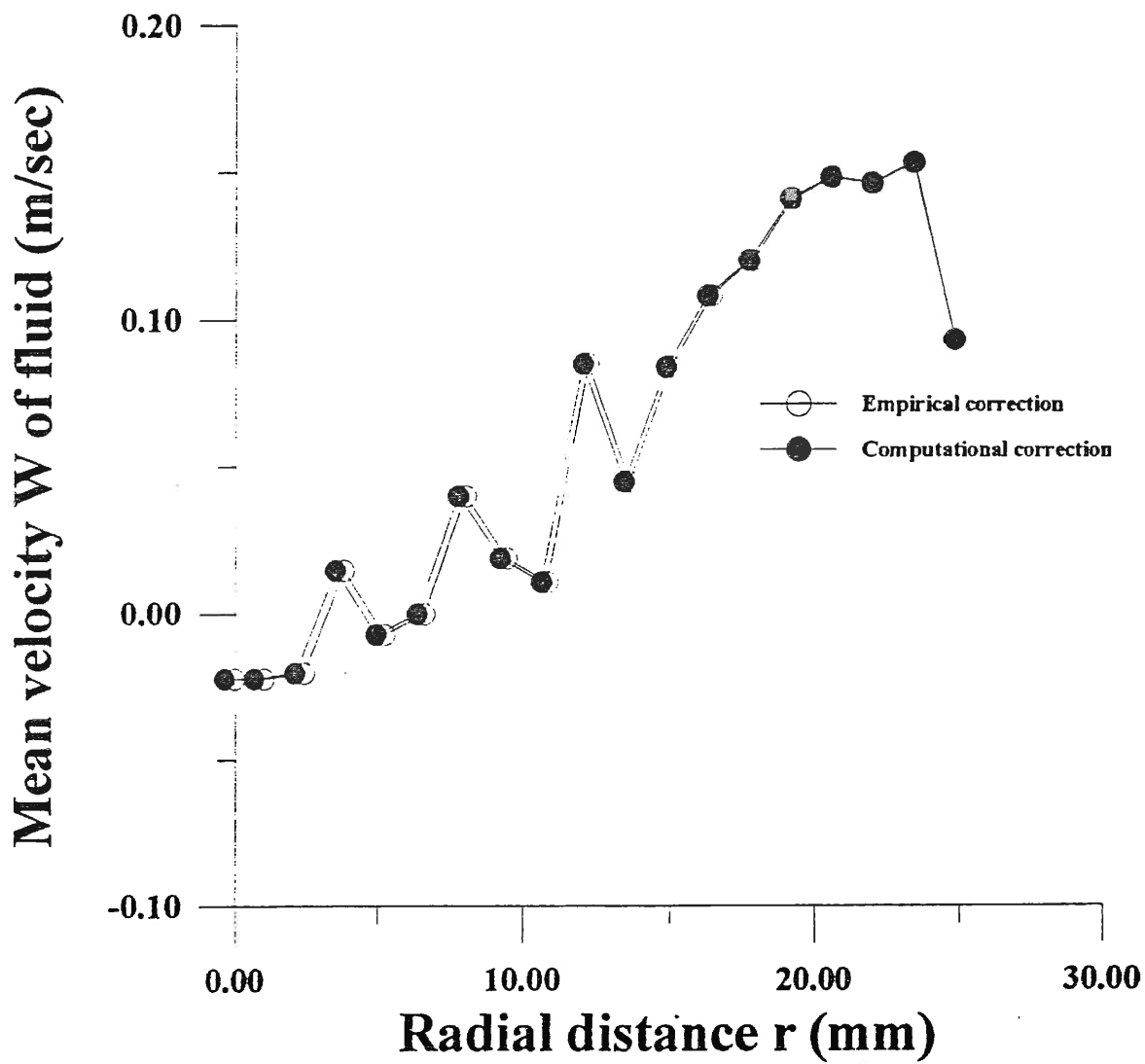
Measurements for Diesel at 200 mm



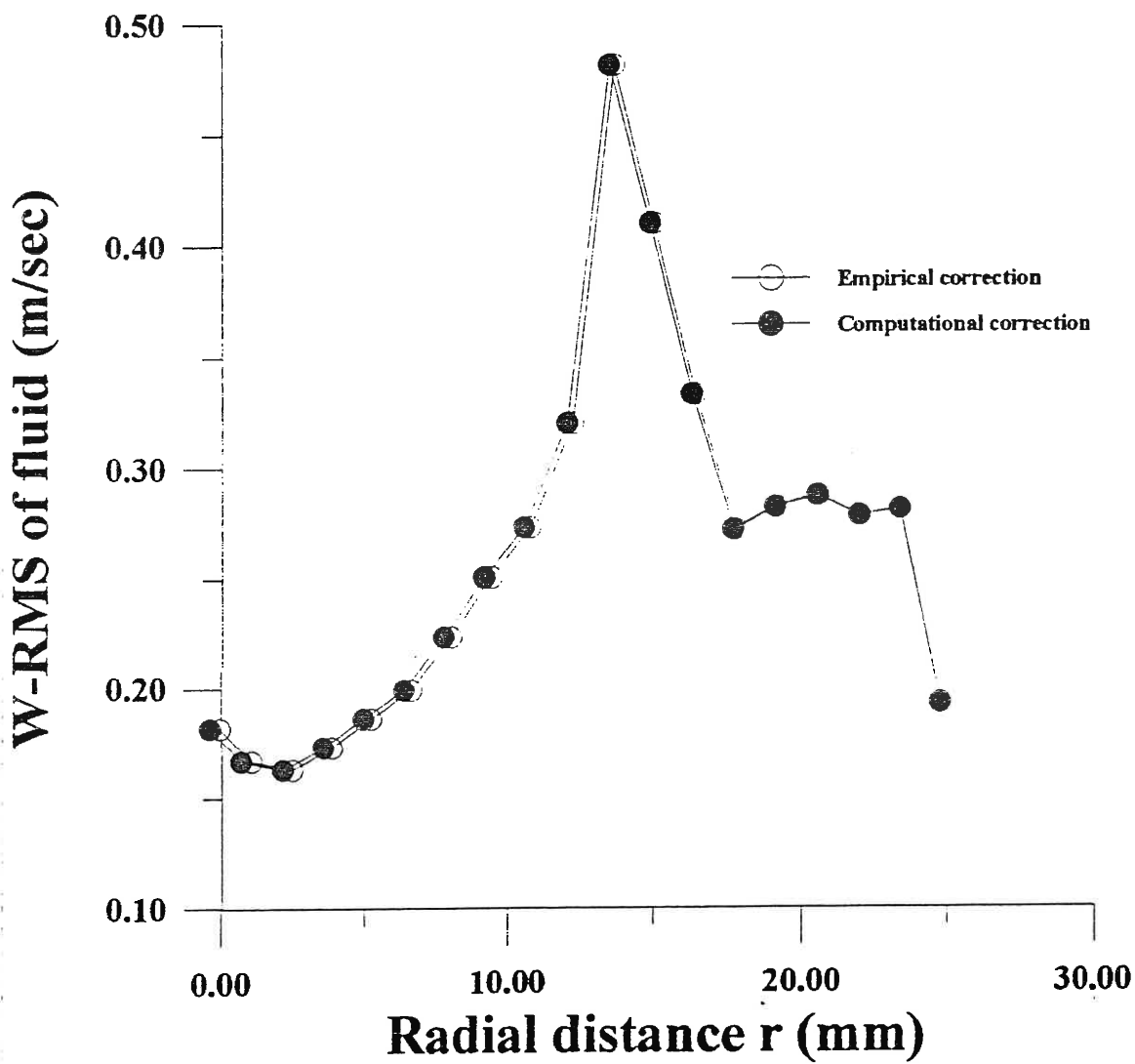
Measurements for Diesel at 200 mm



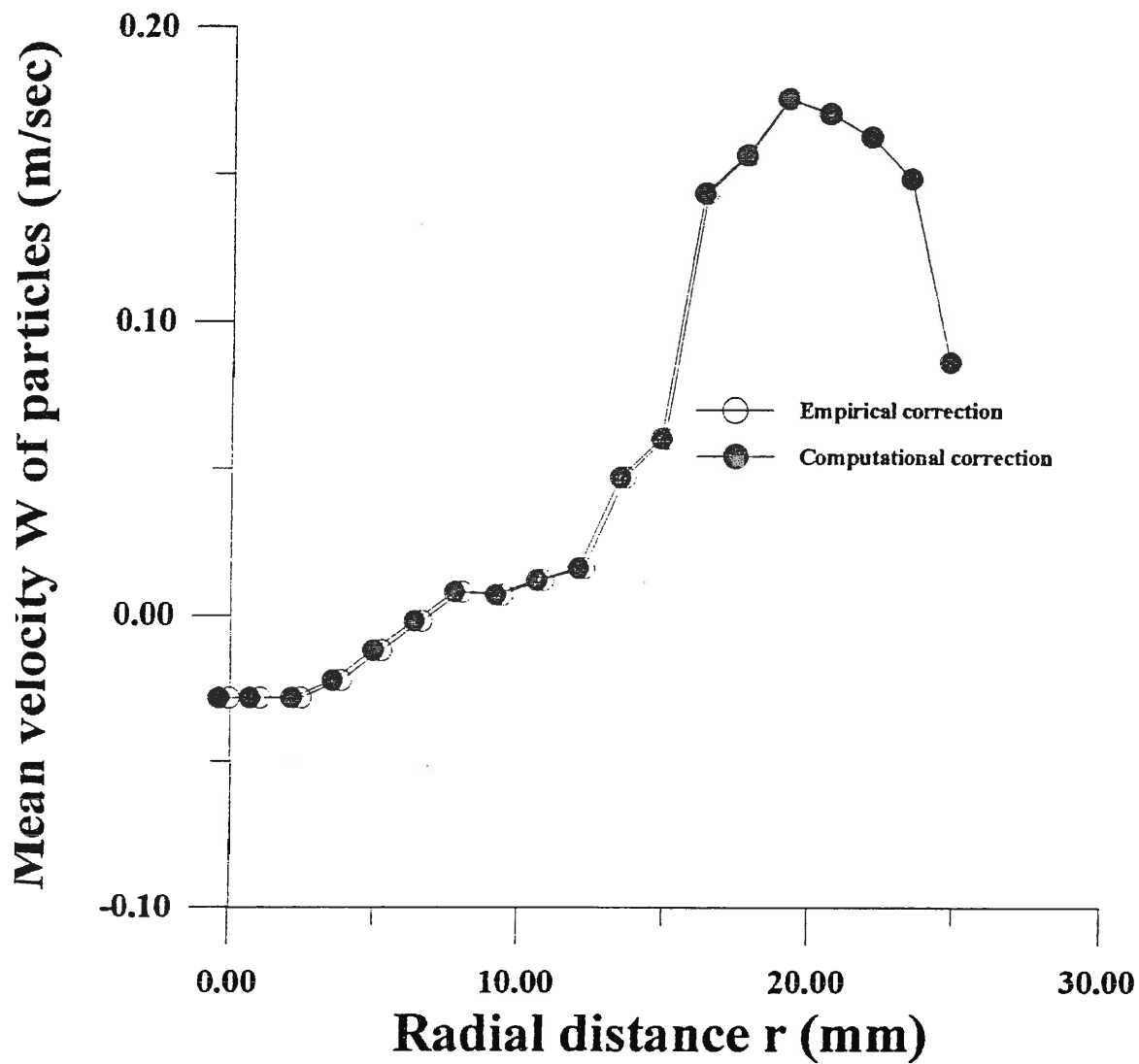
Measurements for Diesel at 6 mm



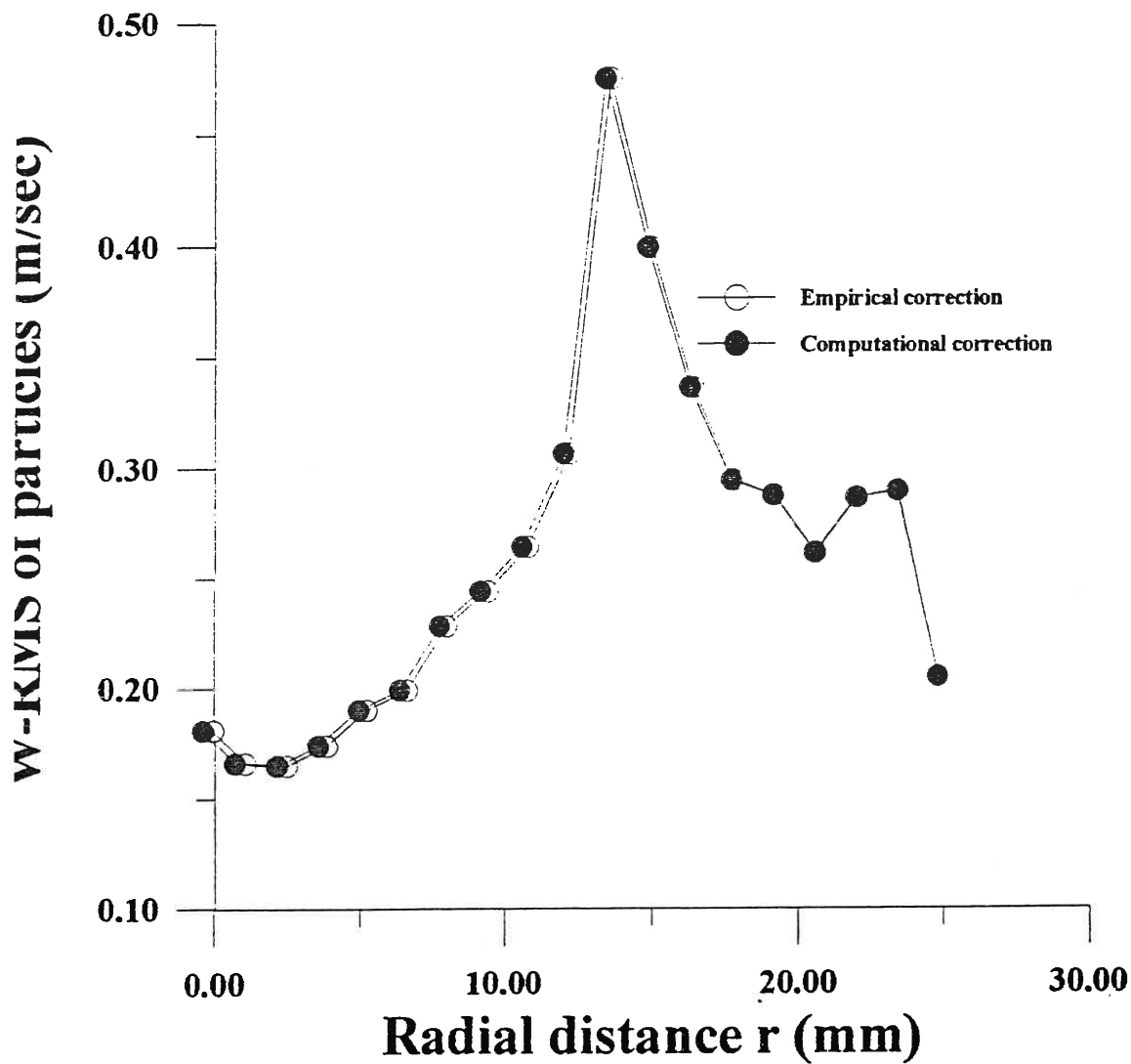
Measurements for Diesel at 6 mm



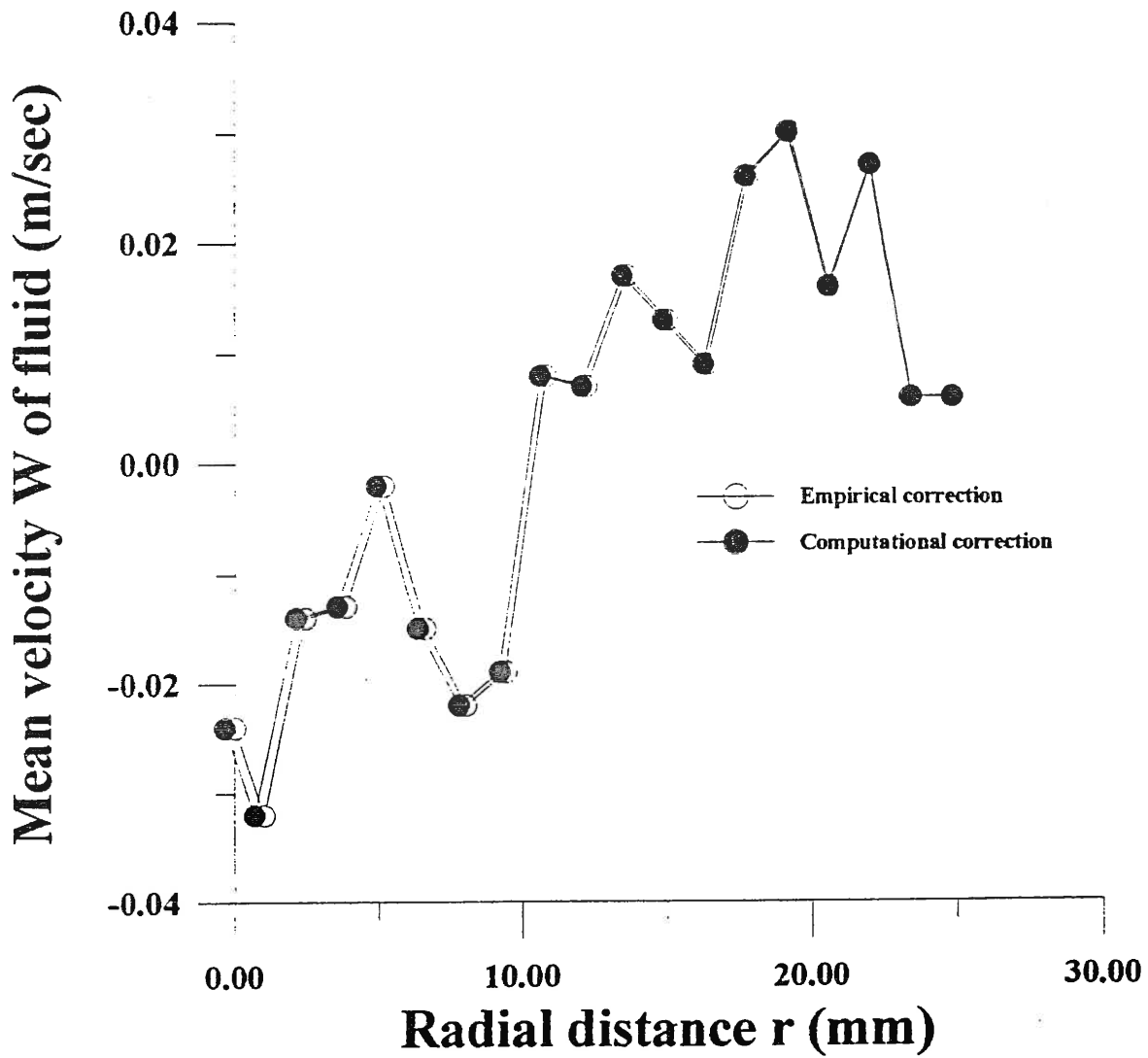
Measurements for Diesel at 6 mm



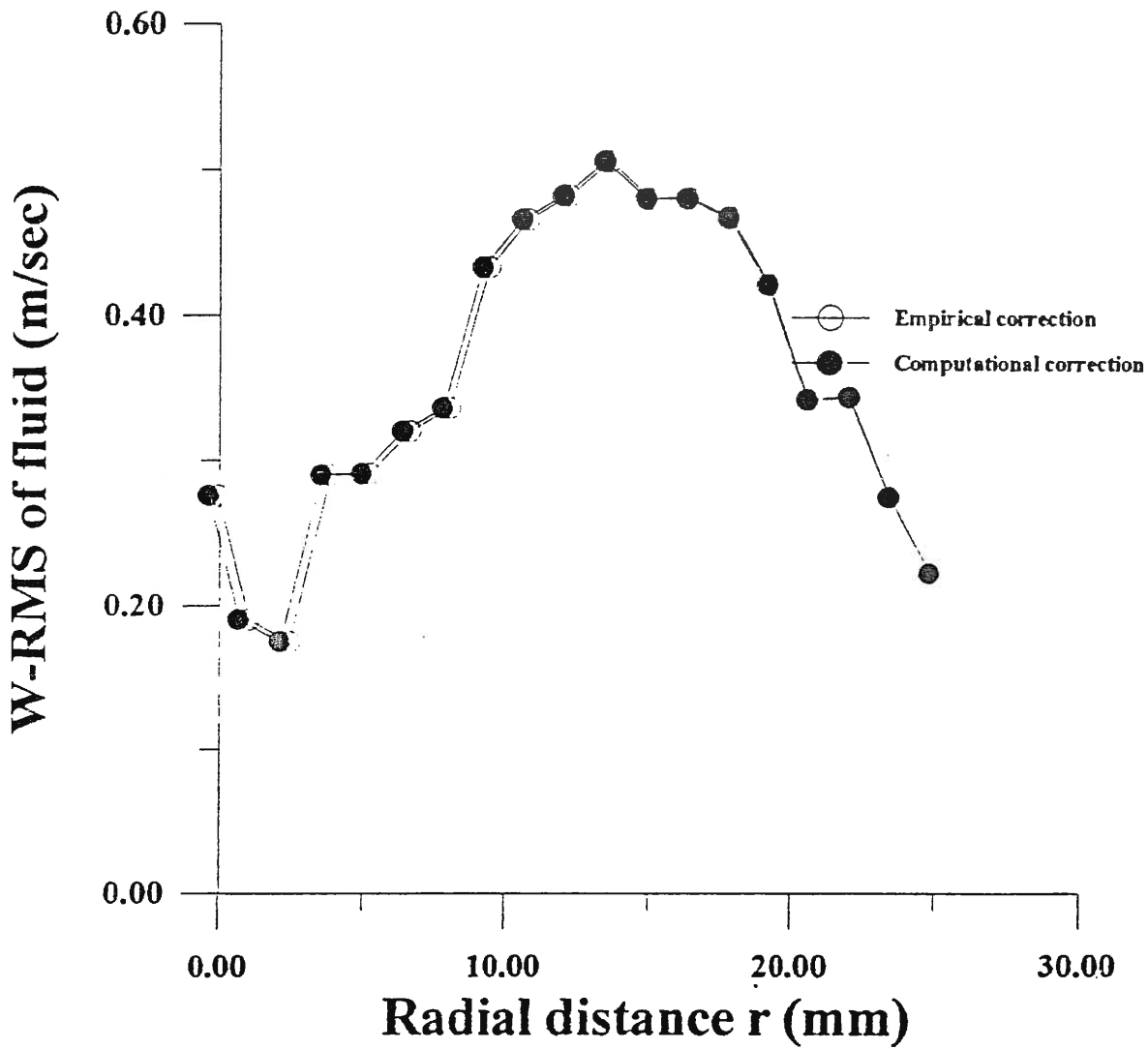
Measurements for Diesel at 6 mm



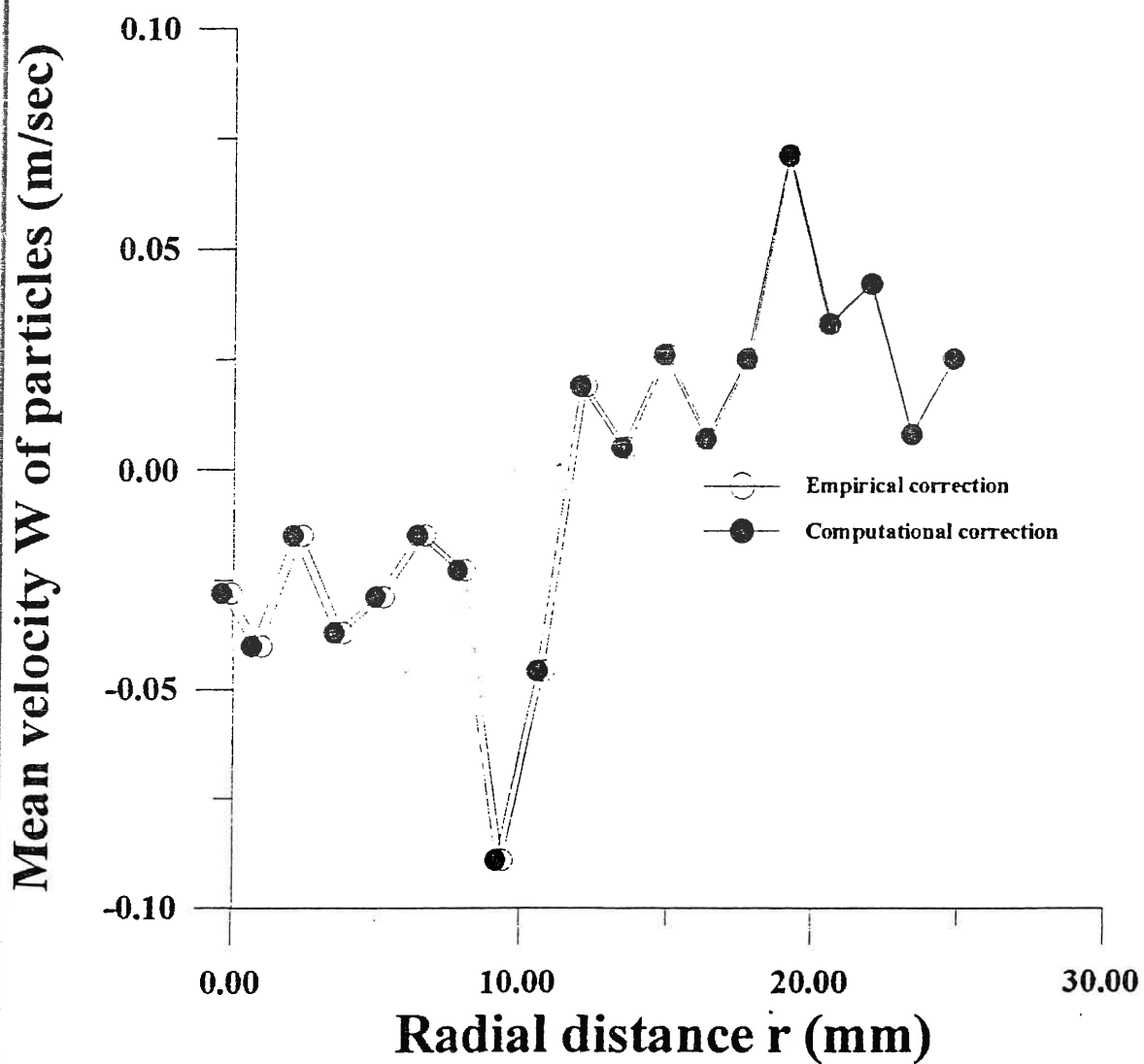
Measurements for Diesel at 50 mm



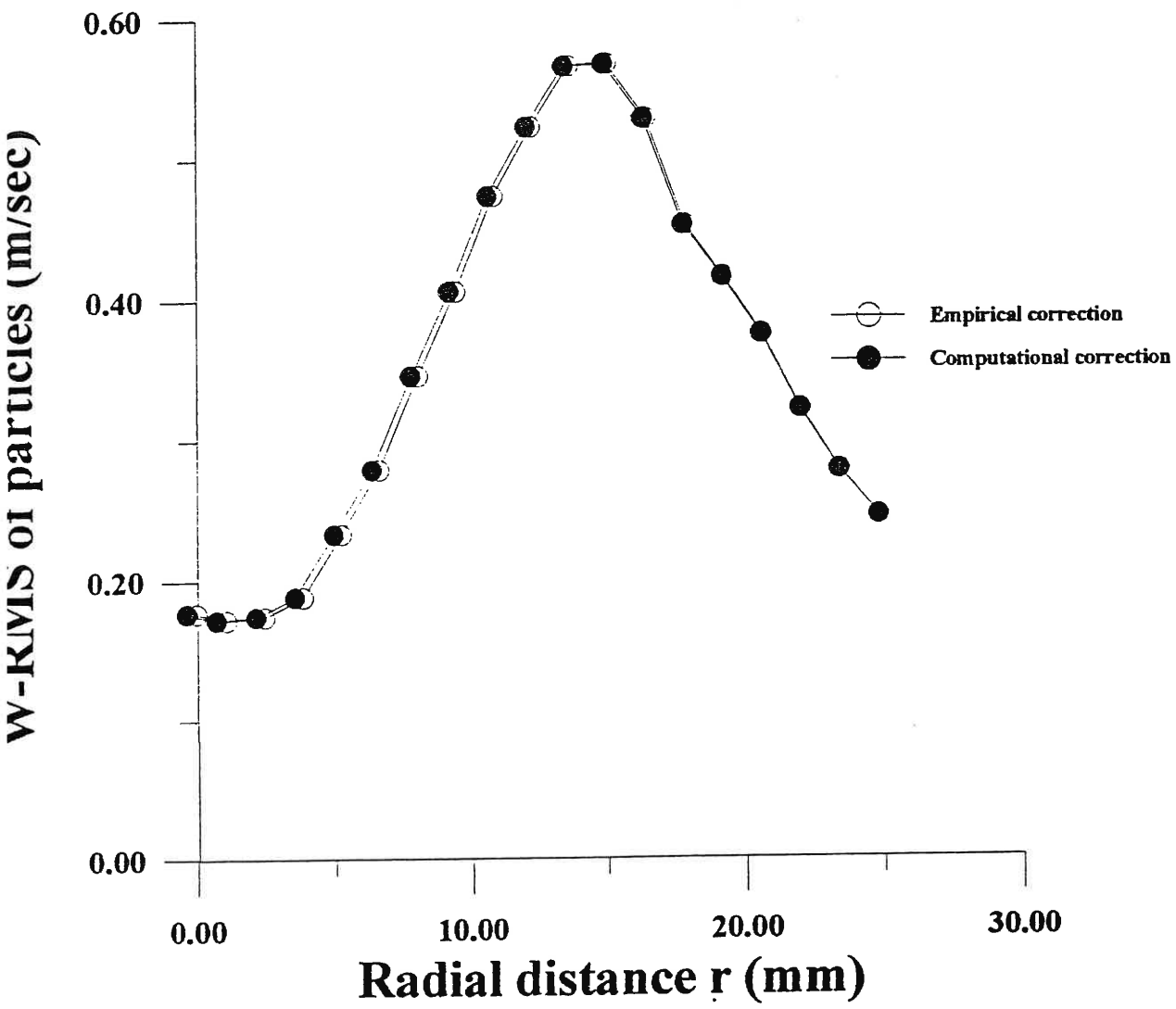
Measurements for Diesel at 50 mm



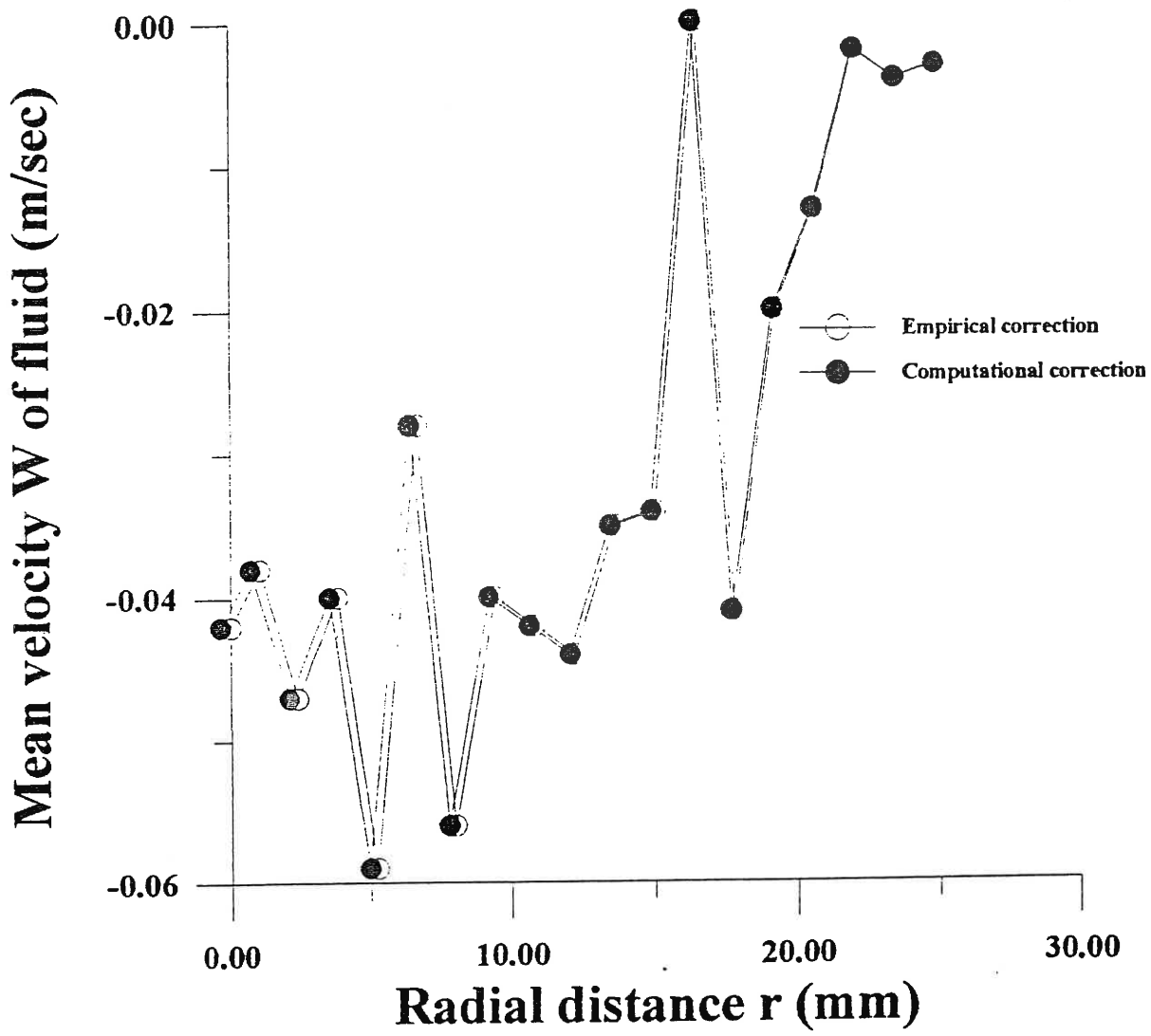
Measurements for Diesel at 50 mm



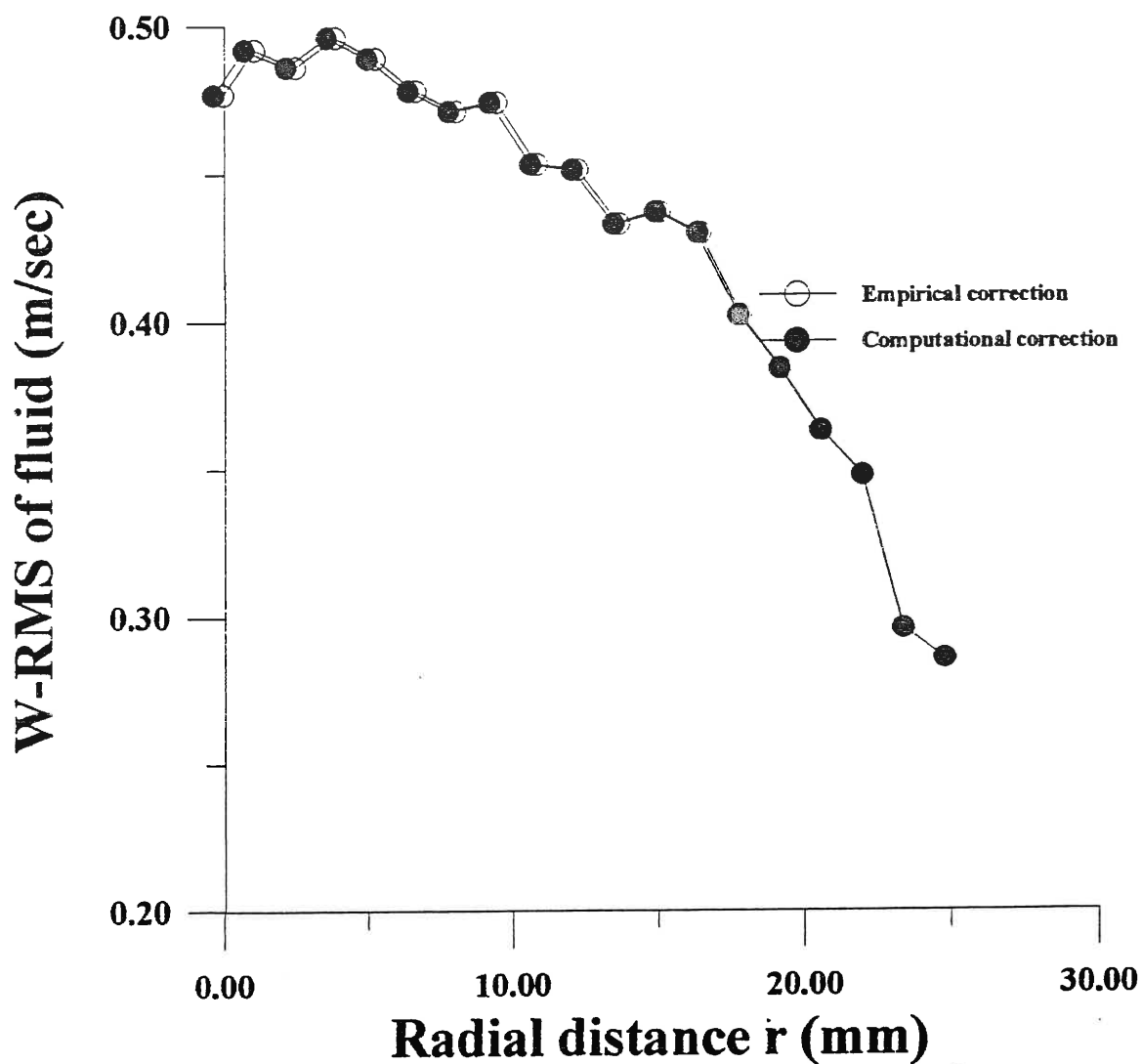
Measurements for Diesel at 50 mm



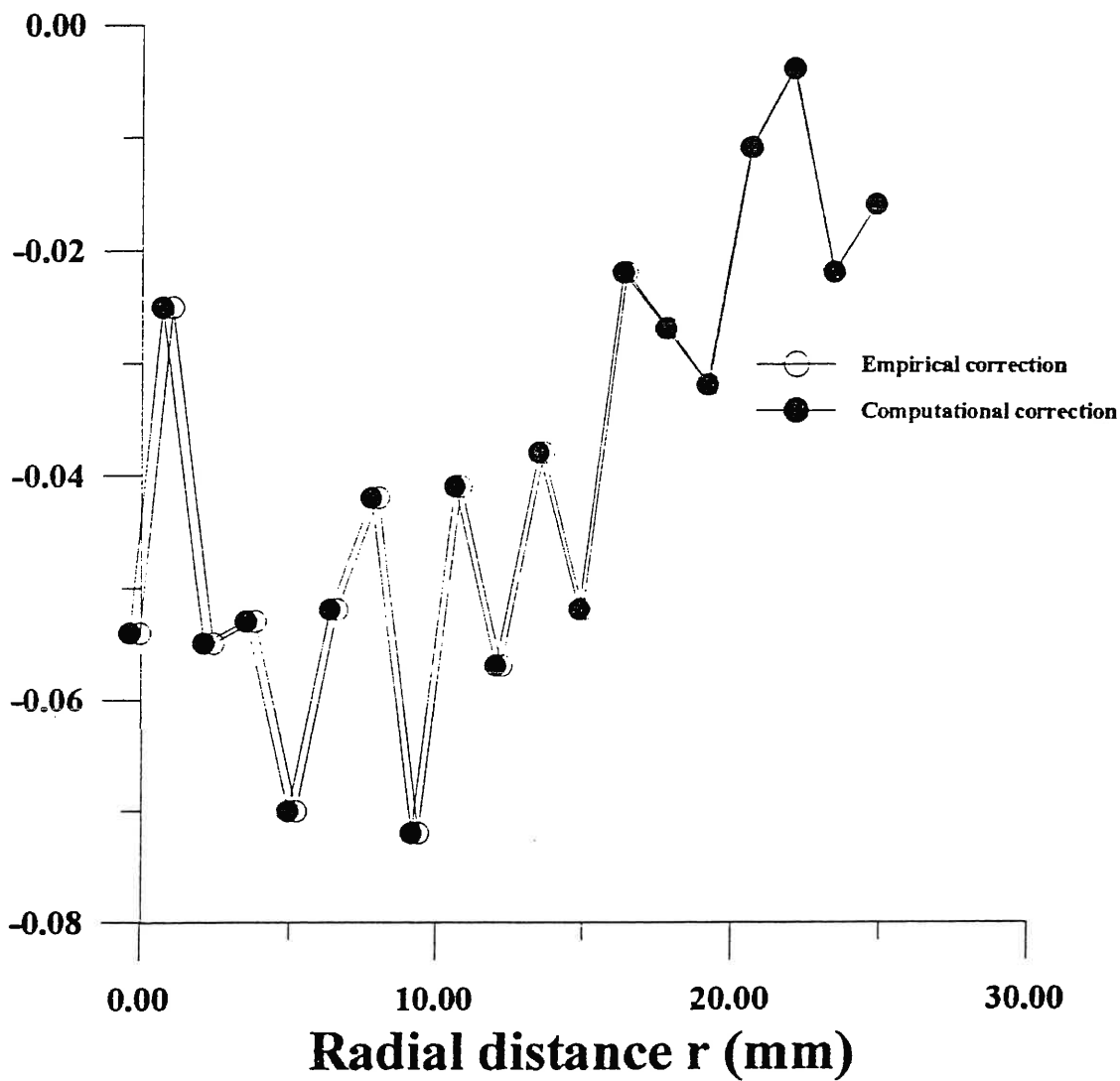
Measurements for Diesel at 200 mm



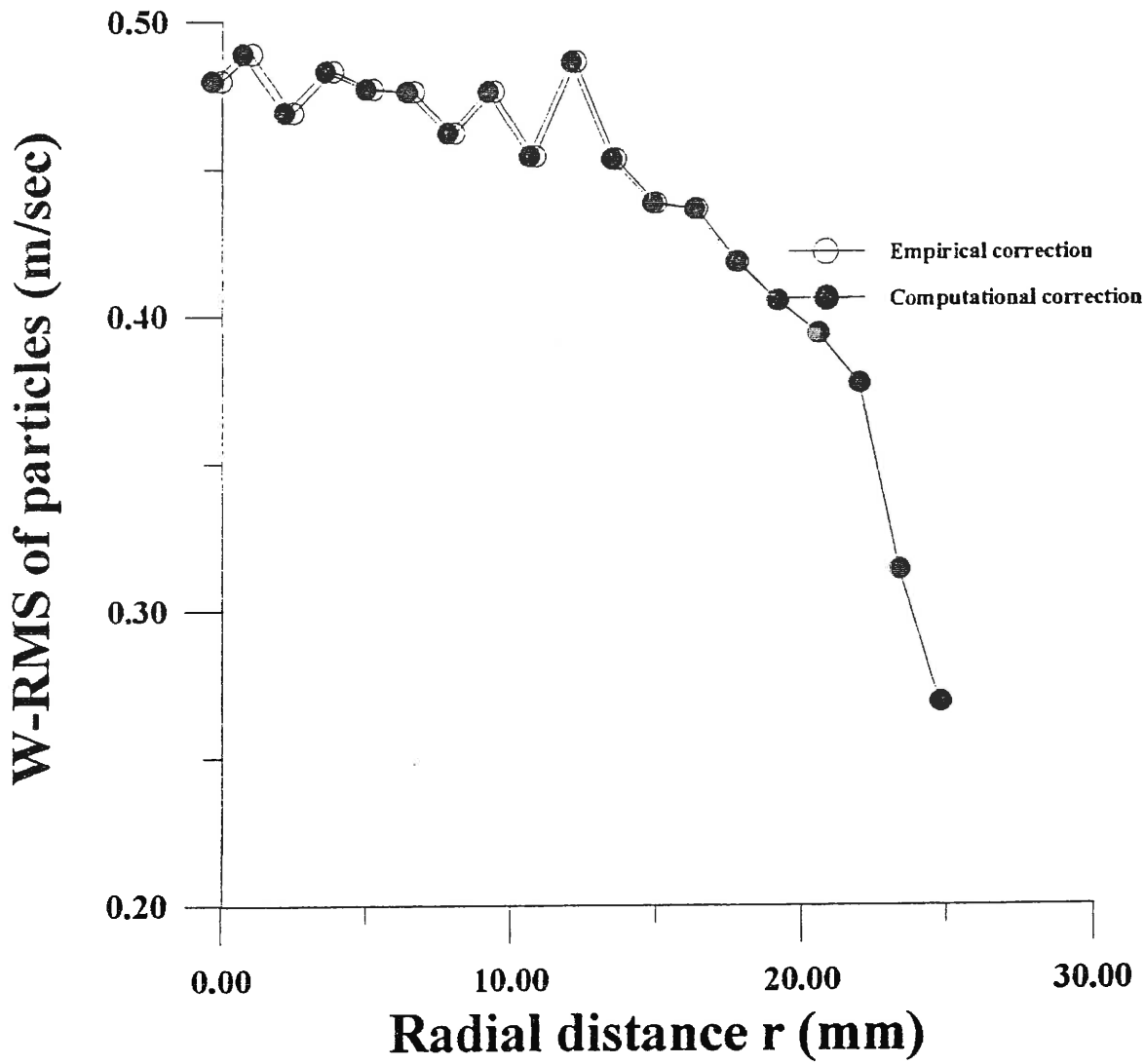
Measurements for Diesel at 200 mm



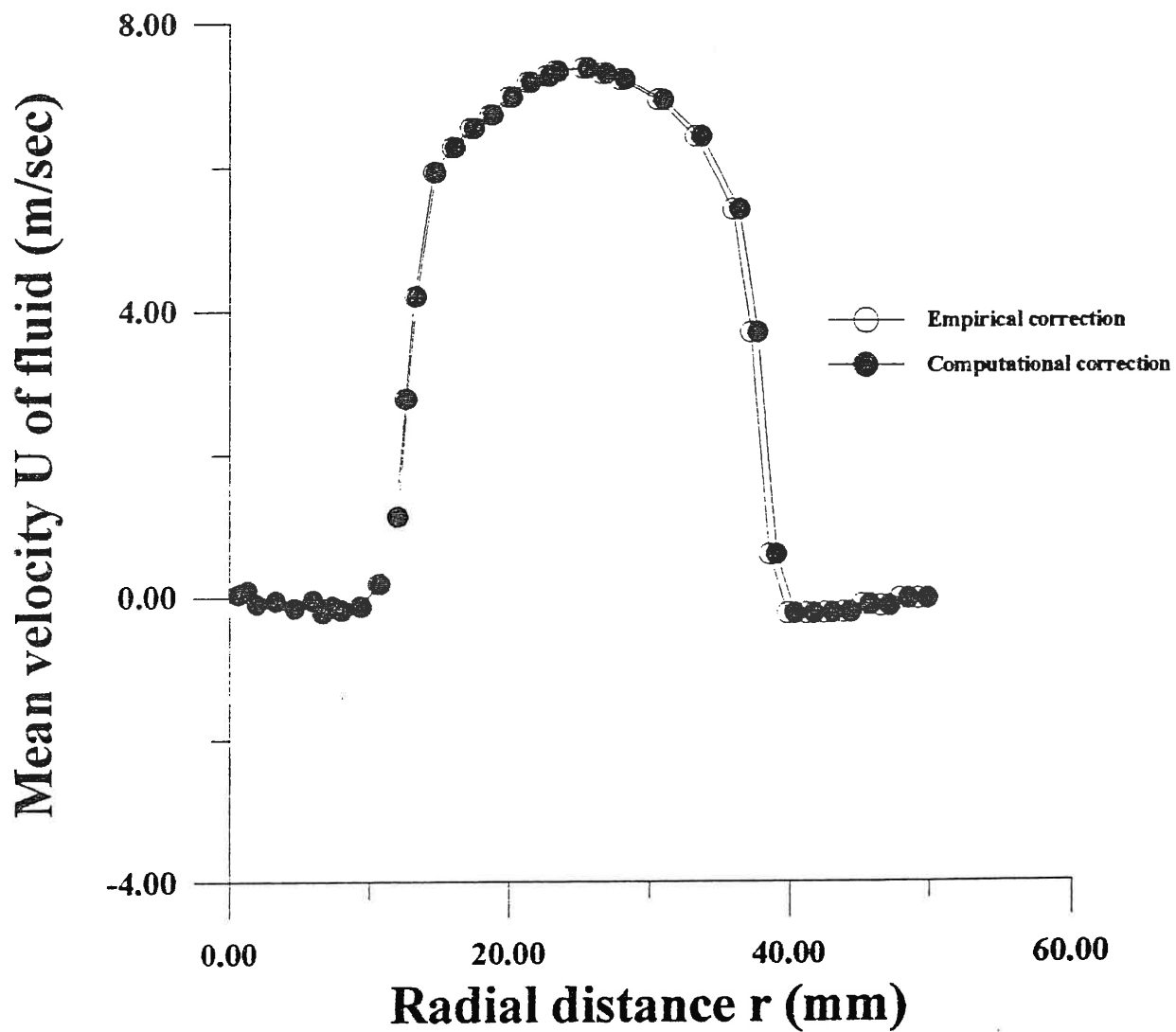
Measurements for Diesel at 200 mm



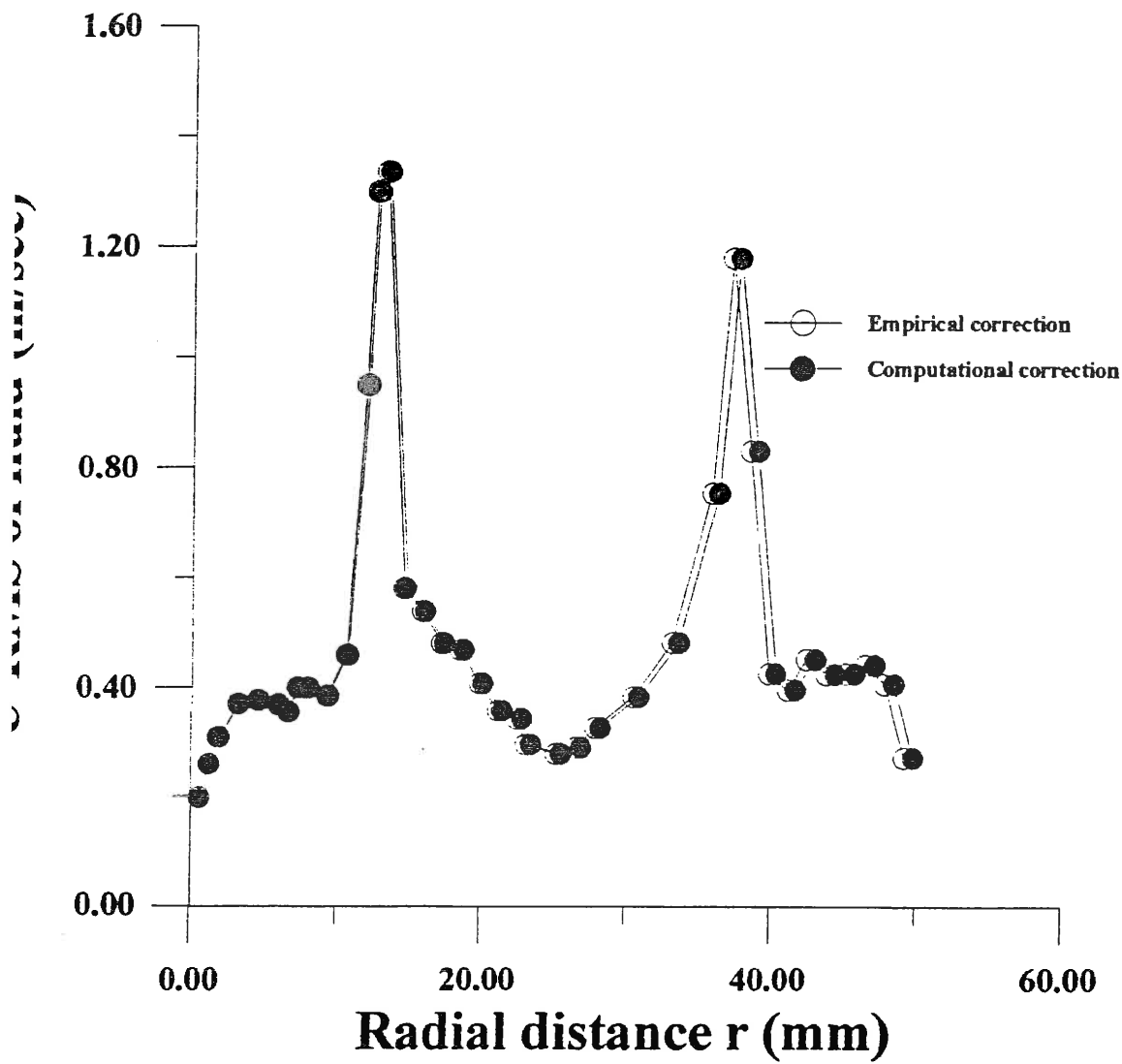
Measurements for Diesel at 200 mm

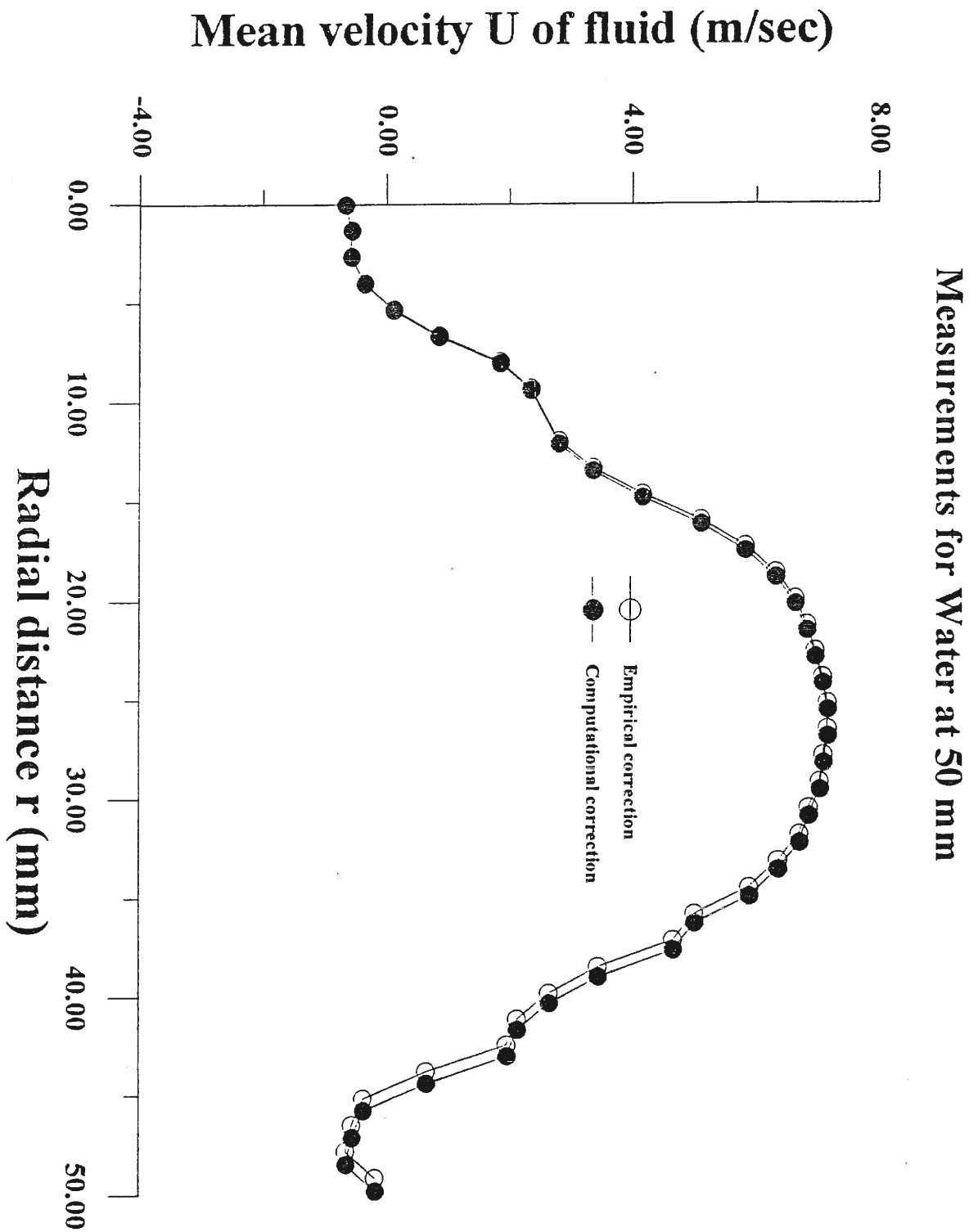


Measurements for Water at 7 mm



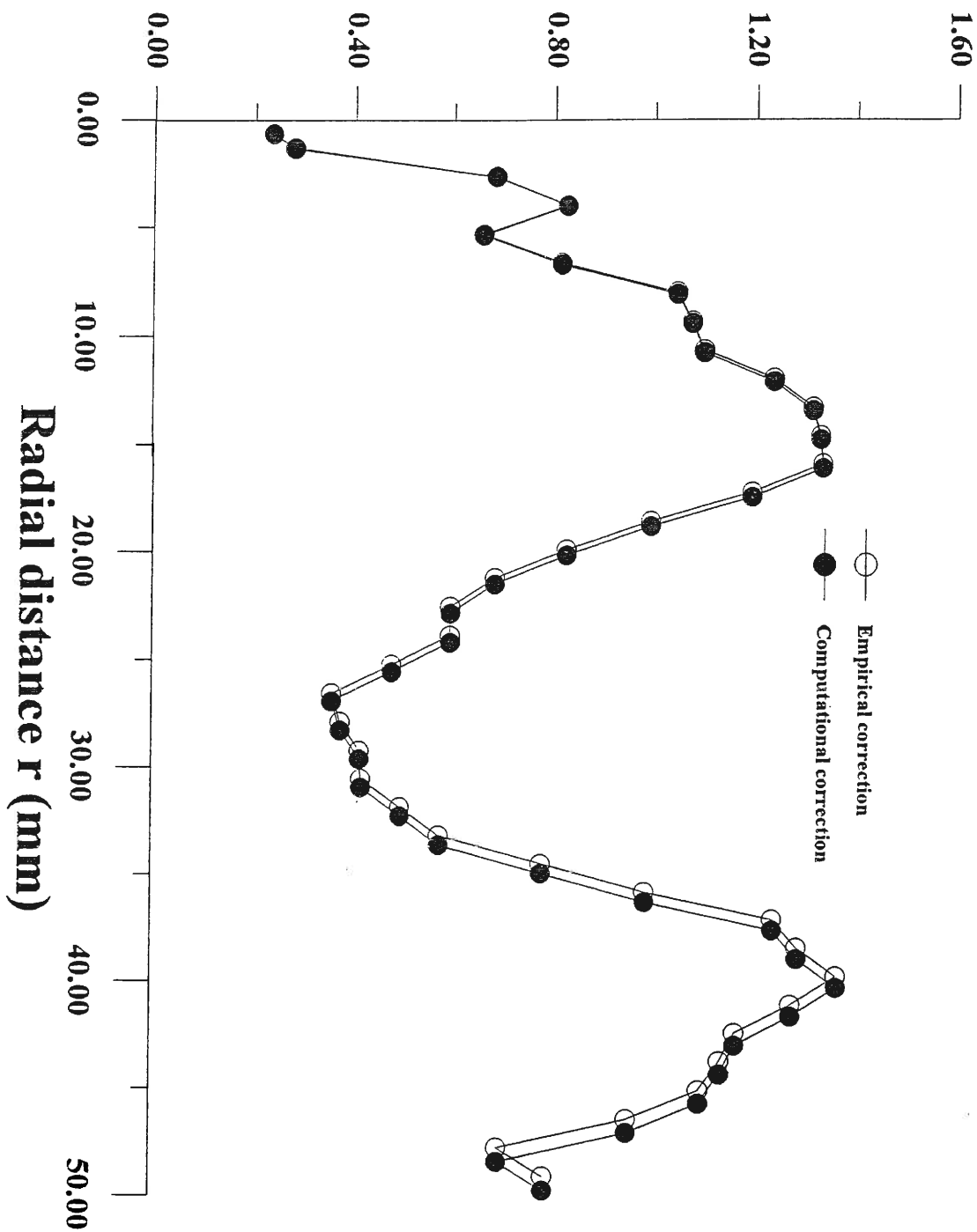
Measurements for Water at 7 mm

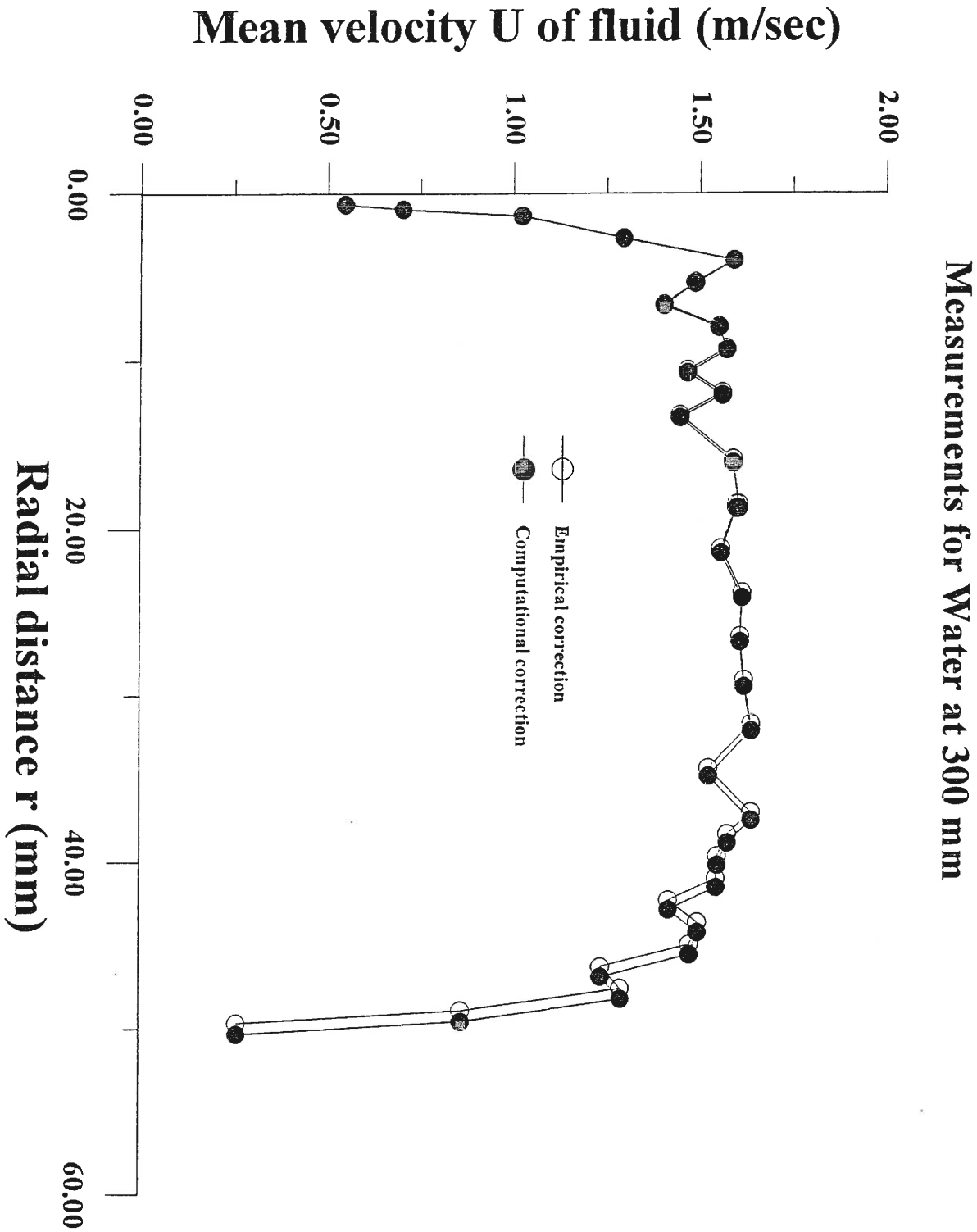


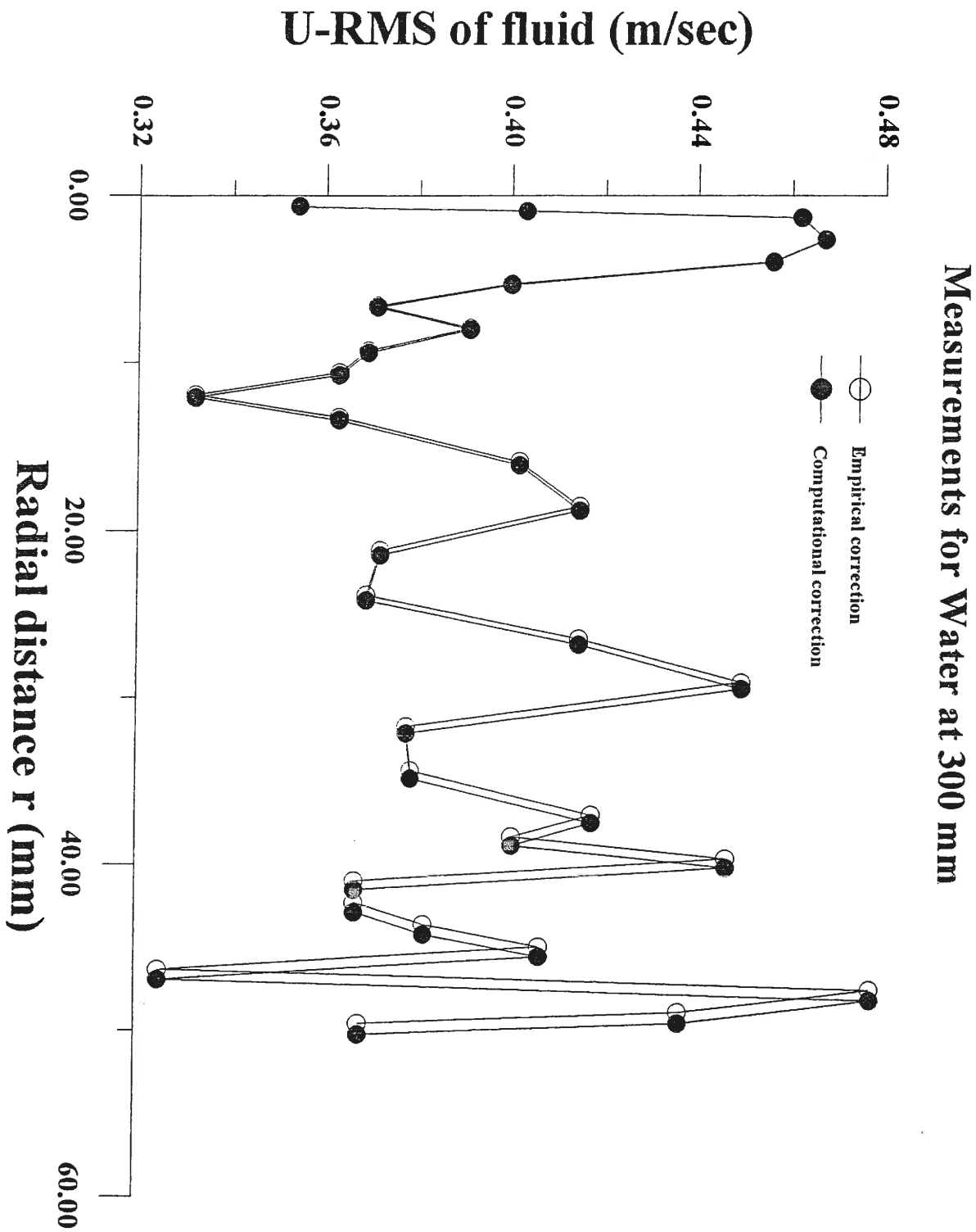


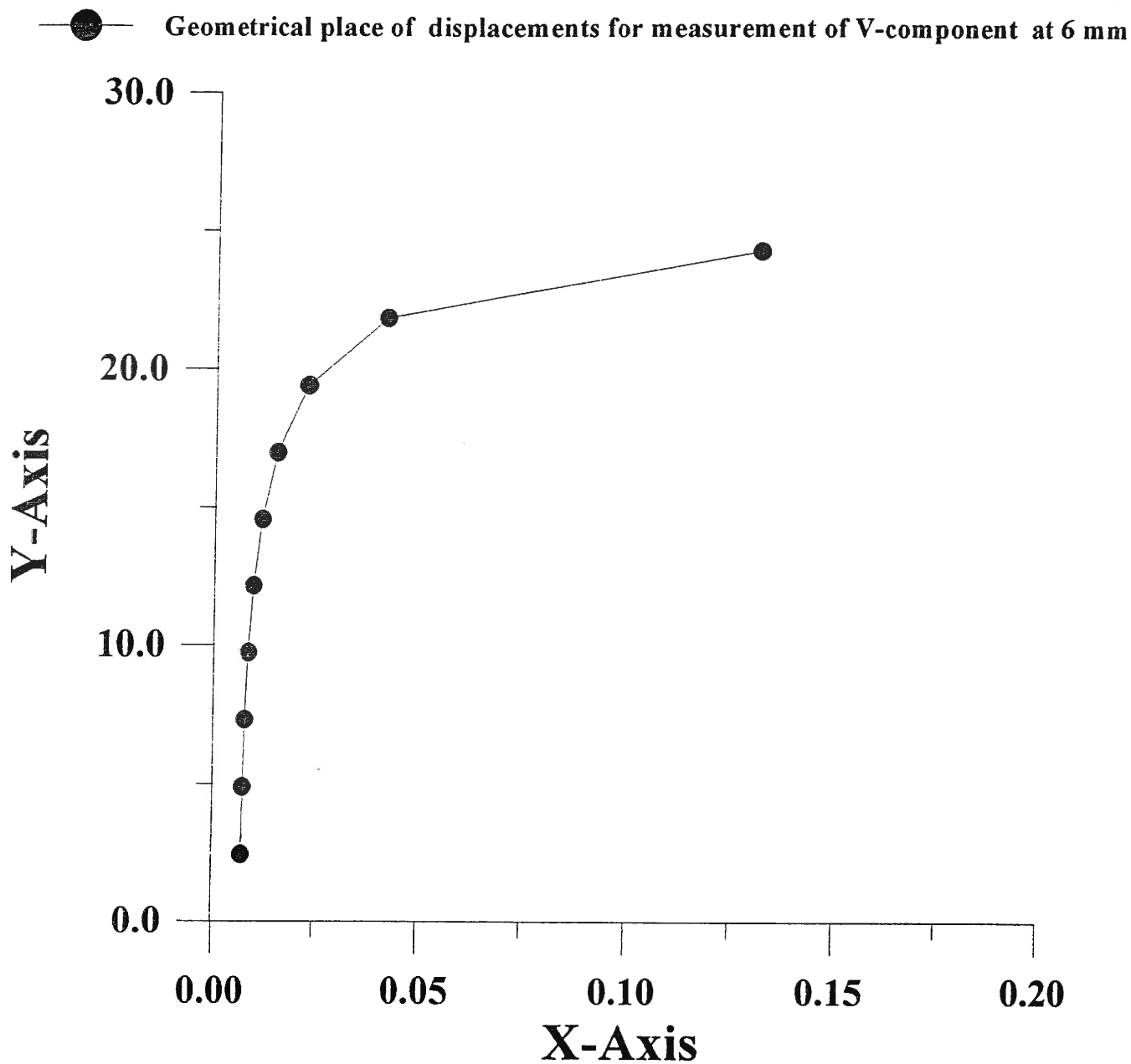
U-RMS of fluid (m/sec)

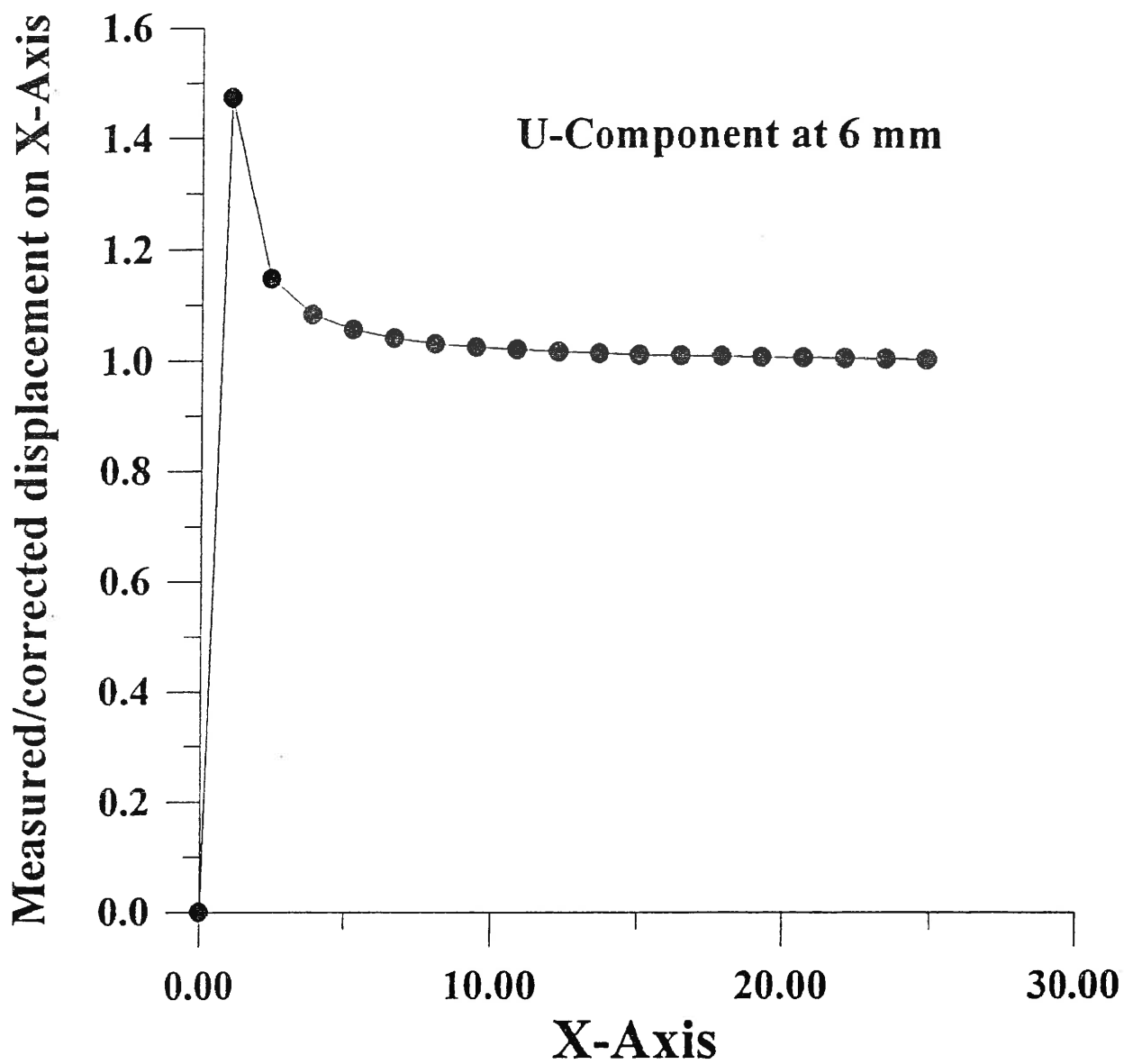
Measurements for Water at 50 mm

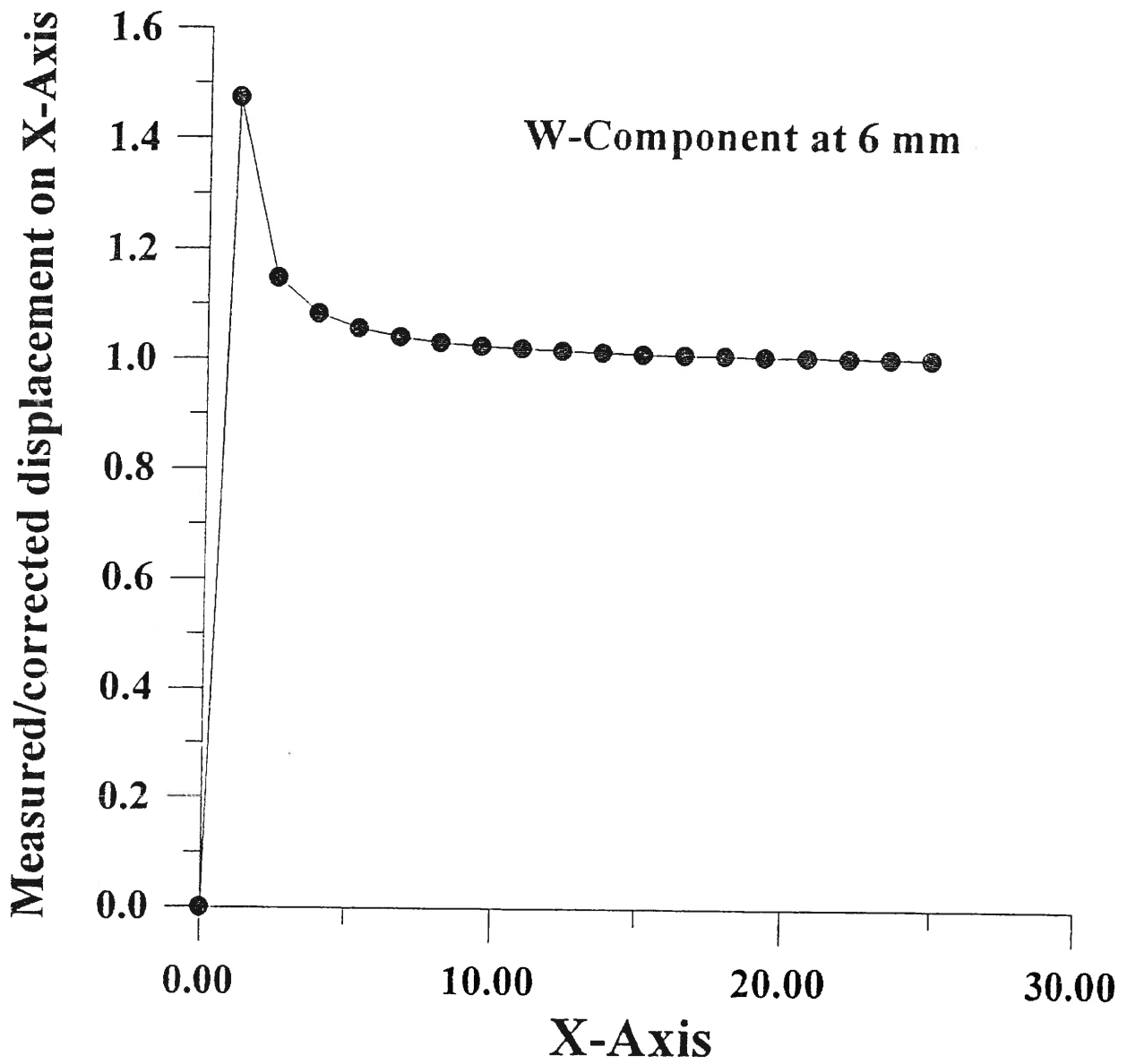












Συμπεράσματα

Παρατηρούμε ότι η μεθοδολογία του ταιριάσματος των δεικτών διάθλασης που εφαρμόστηκε στη διφασική ροή που μελετήσαμε ήταν πολύ επιτυχής. Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν πειραματικά ήταν πάρα πολύ κοντά στα αποτελέσματα που παίρνουμε με τη χρήση του υπολογιστικού κώδικα που αναπτύχθηκε στο Κεφ. 4.

Αντίθετα, στην περίπτωση του νερού, οι αποκλίσεις των τιμών των μεγεθών που εξετάζονται είναι αρκετά μεγαλύτερες.

Για να είναι ακριβή τα αποτελέσματα της πειραματικής μελέτης των διφασικών ροών υγρού στερεού με τη χρήση οπτικών μεθόδων θα πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη του φαινομένου της διάθλασης

Η μεθοδολογία του ταιριάσματος των δεικτών διάθλασης είναι ένα πρώτο βήμα για να πάρει κανείς όσο γίνεται πιο ακριβείς μετρήσεις. Βλέπουμε όμως ότι υπάρχουν ακόμα αποκλίσεις οι οποίες και μπορούν να διορθωθούν με τη χρήση του υπολογιστικού κώδικα που αναπτύχθηκε κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Achimastos Th., Dimopoulos D., Klipfel A., and Founti M. (1993):** "Investigation of particle dispersion in an axisymmetric vertical two-phase sudden expansion flow", 5th Intern. Symposium on Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements, Paris.
2. **Barlow R. and Morrison C. (1990):** "Two-phase velocity measurements in dense particle-laden jets", Exps. in Fluids, vol. 9, p.p. 93+105.
3. **Bicen A.F. and Whitelaw J.H. (1981):** "Refraction correction for LDA measurements in flows with curved optical boundaries", Department of Mech. Eng. Imperial College of Science and Technology.
4. **Boadway J.D. and Karahan E. (1981):** "Correction of Laser Doppler Anemometer Readings for Refractions at Cylindrical Interfaces".
5. **Founti M., Achimastos Th. and Dimopoulos D., (1994):** "Effects of increasing the particle loading in an axisymmetric vertical liquid-solid sudden expansion flow", Symposium on Experimental and Computational Aspects of Validation of Multiphase flow CFD Codes. ASME FLUIDS ENGINEERING DIVISION SUMMER MEETING (FEDSM) Lake Tahoe, Nevada.
6. **Founti M., Achimastos Th., Dimopoulos D. and Klipfel A. (1995):** "Experimental and computational investigation of particle-particle interaction in a vertical, sudden expansion liquid-solid flow", προς παρουσίαση στο 2nd International Conference on Multiphase Flow (April 3-7, 1995), Kyoto, Japan.

7. **Founti M. and Klipfel A. (1993):** "Measurements and predictions in vertical sudden expansion two-phase flows", 2nd Intern. Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, Florence.
8. **Hardalupas Y., Taylor A.M.K.P. and Whitelaw J.H. (1990):** "Particle dispersion in a vertical round sudden-expansion flow", Phil, Trans. R. Soc. Lond. A. (1991) 341, p.p. 441÷412.
9. **Getting Started with Your GPIB-PCII/IIA.** Copyright 1992, 1994 National Instruments Corporation.
10. **INVENT GmbH (1988):** "Avalanche-Photodiode (APD 1.1 - Manual".
11. **Labview for Windows - Tutorial / User Manual / Function Reference Manual / GPIB & Serial Port Reference Manual / Base Analysis Vi Reference Manual.** Copyright 1992, 1994 National Instruments Corporation.
12. **Lee S.L. and Durst F. (1982):** "On the motion of particles in turbulent flows", Int. J. of Multiphase Flow, 8, p.p. 125÷146.
13. **NEC Corporation (1987):** "Laser Instruction Manual"
14. **Nouri J.M., Whitelaw J.H. and Yanneskis M. (1988):** "A refractive - index matching technique for solid/liquid flows", Laser Anamometry in Fluid Mechanics, Lisbon.
15. **Qui H.-H. and Sommerfeld M. (1992):** "A reliable method for determining the measurement volume size and particle mass fluxes using Phase-Doppler anemometry", Exps. in Fluids, Vol. 13, p.p. 393÷404.

16. Sommerfeld M. and Zivkovic G. (1992): "Recent advances in the numerical simulation of pneumatic conveying through pipe systems", Computational Methods in Applied Sciences, Elsevier Science Publishers, p.p. 201÷212.
17. Sommerfeld M. (1989): "Particle dispersion in turbulent flow: The effect of particle size distribution", Intern. Conference on Mechanics of Two-phase Flows, June 12-15, 1989, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.
18. Stieglmeyer M., Tropea C., Welser N. and Nitsche W. (1989): "Experimental Investigation of the Flow Through Axisymmetric Expansions", Transactions of the ASME, Vol. 111, p.p. 464÷471.
19. Yanneskis M. (1987): "Velocity, Particle Sizing and Concentration Measurement Techniques for Multi-Phase Flow", Powder Technology, 49, p.p. 261÷269.
20. Zisselmar R. and Molerus O. (1979): "Investigation of Solid-Liquid pipe flow with regard to turbulence modification", The Chemical Engineering Journal, 18 (1979), p.p. 233÷239.
21. Αχείμαστος Θ. (1995): Διπλωματική εργασία, θέμα: "Διερεύνηση μεθοδολογίας ταιριάσματος δεικτών διάθλασης σε διφασικές ροές με αυξανόμενη ογκομετρική φόρτιση".
22. Καρνάρος Κ. (1996): Διπλωματική εργασία, θέμα: "Μελέτη τυρβώδους πεδίου ροής σε γεωμετρία απότομης αύξησης διατομής".



23. Φούντη Μ. (1989): "Εισαγωγή στην Ανεμομετρία Laser Doppler",
Τμήμα Μηχ. Μηχ. Ε.Μ.Π., Τομέας Θερμότητας, Εργαστήριο
Ατμοπαραγωγών και Θερμικών Εγκαταστάσεων.