Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Ρευστών
Εργαστήριο Θερμικών Στροβιλομηχανών
Μονάδα Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου

# Συμβολή στη Συγκρότηση και Πιστοποίηση Διάταξης Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου

Διπλωματική Εργασία

Λιακάκος Φώτης

Επιβλέπων: Μαθιουδάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2018

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Ρευστών
Εργαστήριο Θερμικών Στροβιλομηχανών
Μονάδα Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου

# Συμβολή στη Συγκρότηση και Πιστοποίηση Διάταξης Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου

Διπλωματική Εργασία

Λιακάκος Φώτης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Μαθιουδάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2018

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η συμβολή στη συγκρότηση, τεκμηρίωση και πιστοποίηση διάταξης διακριβώσεων μετρητών φυσικού αερίου. Στο πλαίσιο αυτής της συμβολής, παρουσιάζεται η αναλυτική περιγραφή της εγκατάστασης LTT-360, που σε συνδυασμό με την εγκατάσταση FMTB-1600, αποτελούν τη Μονάδα Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου, του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών του ΕΜΠ.

Πιο συγκεκριμένα, η εγκατάσταση LTT-360 κατασκευάστηκε από το προσωπικό του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών και η πρωταρχική λειτουργία της αφορά στη διακρίβωση μετρητών φυσικού αερίου, οι οποίοι λειτουργούν κυρίως σε εύρος παροχών από 0.16 έως 360 λίτρων ανά ώρα, κάνοντας χρήση, ως πρότυπο, ενός μετρητή τύπου υγρού τυμπάνου, Ritter. Ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται αέρας υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες. Στόχος του εργαστηρίου αποτελεί η απόκτηση πιστοποιητικού διαπίστευσης, ώστε να παρέχει υπηρεσίες διακρίβωσης μετρητών Φ.Α..

Οι βασικοί στόχοι της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, είναι οι εξής: η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της εγκατάστασης, ο έλεγχος του βαθμού με τον οποίο αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας και τη μορφή της διάταξης επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης των μετρήσεων και της εξαγωγής αποτελεσμάτων, η ορθή παρουσίαση του τρόπου χρήσης της εγκατάστασης και του λογισμικού που αυτή διαθέτει με σκοπό τη διαδικασία της διακρίβωσης, η παρουσίαση της διαδικασίας εξαγωγής των αποτελεσμάτων έπειτα από κάθε μέτρηση, η περιγραφή της βασικής αρχής μέσω της οποίας το λογισμικό καθορίζει τον όγκο κάθε μέτρησης μέσω των ηλεκτρικών παλμών που καταγράφουν τα μετρητικά όργανα, η αναλυτική καταγραφή των επιμέρους στοιχείων που απαρτίζουν την εγκατάσταση LTT-360, καθώς και των διεργασιών που αυτά εκτελούν.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, στην παρούσα εργασία εμπεριέχονται, μεταξύ άλλων, ένα πλήθος πειραματικών δοκιμών, οι οποίες διεξήχθησαν από την αρχή μέχρι και το τέλος της συγκρότησης της εγκατάστασης LTT-360, ένα αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού του σφάλματος και της αβεβαιότητας μίας μέτρησης, καθώς επίσης και τα ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά σχέδια της διάταξης.

National Technical University of Athens
School of Mechanical Engineering
Fluids Section
Laboratory of Thermal Turbomachines
Natural Gas Meter Calibration Facility

Contribution to the Establishment and Accreditation of a Gas Meter Calibration Test Bench

Diploma Thesis

Liakakos Fotis

Supervisor: Konstantinos Mathioudakis, Professor NTUA

Athens 2018

# Abstract

The subject of this diploma thesis is to contribute to the establishment, documentation and certification of a gas meter calibration test bench. In the context of this contribution, a detailed description of the installation LTT-360 is presented which, along with the installation FMTB-1600, compose the Gas Meter Calibration Unit, located at the Laboratory of Thermal Turbomachines of NTUA.

More specifically, the installation LTT-360 was constructed and assembled by the personnel of the Laboratory of Thermal Turbomachines and its primary function focuses on the calibration of natural gas meters, which mainly operate with flowrates at the range of 0.16 to 360 litres per hour, using, as a standard, a Ritter drum-type gas meter. Air under atmospheric conditions is used as the working fluid. The main objective of the laboratory is to obtain an accreditation certificate, in order to provide calibration services for natural gas meters

The main objectives of this diploma thesis are the following: describing how exactly the installation operates, examining the extent to which changes in the operating conditions and set-up of the installation affect the process of obtaining the measurements and extracting results, accurately depicting how the installation and its software are properly operated throughout the calibration process, presenting the process of exporting the results after each measurement, describing the basic principle by which the software determines the volume of each measurement by means of the electrical pulses recorded by the measuring instruments, providing a detailed inventory of the individual components of the installation LTT-360, as well as stating the tasks that they perform.

In order to achieve the above objectives, this thesis includes, among other things, a number of experimental tests which were conducted at various stages throughout the installation's assembly, a numerical example of calculating the error and the uncertainty of a measurement, as well as the electrical and mechanical drawings of the installation.

# Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας επετεύχθη μέσω της στενής συνεργασίας μου με το προσωπικό του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών, που συνέβαλε στη δημιουργία της Μονάδας Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου, της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Για το λόγο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένα άτομα που συνεισέφεραν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση αυτής τις διπλωματικής εργασίας καθώς επίσης και τους ανθρώπους που με στήριξαν σε όλα τα χρόνια μου ως φοιτητής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Μαθιουδάκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα σε αυτήν την εργασία. Επίσης, τον ευχαριστώ θερμά για τις συμβουλές του, την προθυμία που έδειξε για την επίλυση των απορριών που παρουσιάστηκαν και την καθοδήγηση που μου παρείχε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Νικόλαο Αρετάκη για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε και για την προθυμία του στην επίλυση απορριών που εμφανίστηκαν, όσον αφορά στο κομμάτι των πειραματικών δοκιμών.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ τον κ. Χριστόφορο Ρωμέση, για τον χρόνο που αφιέρωσε στην επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας του εργαστηρίου και του επιμέρους εξοπλισμού και για τις συμβουλές του, τον κ. Βασίλειο Ζαφειράκη, για την βοήθειά του στη διαμόρφωση των ηλεκτρολογικών σχεδίων και στην εκτέλεση των πειραματικών δοκιμών, καθώς και τον κ. Σωτήρη Μαυράκη, για την βοήθειά του με τα μηχανολογικά σχέδια και τον χειρισμό της πειραματικής διάταξης.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, για τα εφόδια και τη στήριξη που μου παρείχαν σε όλα τα στάδια της ζωής μου.

# Περιεχόμενα

**Ευχαριστίες** ..... **iii**

**Περιεχόμενα** ..... **iv**

**Ακρωνύμια** ..... **vii**

**Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή** ..... **ix**

1.1 Στόχος και Δομή της Διπλωματικής Εργασίας ..... ix

**Κεφάλαιο 2 Γενικές Πληροφορίες Περί Μετρητών Φυσικού Αερίου** ..... **2**

2.1 Είδη Μετρητών Φυσικού Αερίου ..... 2

2.1.1 Μετρητές Θετικής Εκτόπισης (Positive Displacement Meters) ..... 3

2.1.2 Επαγωγικοί Μετρητές (Inferential Gas Meters) ..... 7

2.1.3 Άλλα Είδη Μετρητών ..... 11

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για τα διάφορα είδη μετρητών ροής,[19] ..... 13

2.2.1 Μετρητές Coriolis ..... 14

2.2.2 Μετρητές Υπερήχων (Ultrasonic Flowmeters) ..... 15

2.2.3 Μετρητές Δίνης (Vortex Flowmeters) ..... 17

2.2.4 Μετρητές Διαφορικής Πίεσης (Differential-Pressure) ..... 18

2.2.5 Μετρητές Θετικής Μετατόπισης (Διαφραγματικοί, Περιστροφικοί, κλπ.) ..... 19

2.2.6 Μετρητές με Στρόβιλο/Τουρμπίνας (Turbine Flowmeters) ..... 20

2.2.7 Θερμικοί Μετρητές ..... 21

2.2.8 Μετρητές Υγρού Τυμπάνου ..... 22

2.3 Συμπεράσματα ..... 23

**Κεφάλαιο 3 Αναλυτική Περιγραφή της Διάταξης Διακριβώσεων Μετρητών Φυσικού Αερίου LTT-360** ..... **25**

3.1 Περιγραφή της πορείας της ροής εντός της διάταξης LTT-360 και των βασικότερων επιμέρους τμημάτων της ..... 26

3.2 Χειρισμός της διάταξης LTT-360 με σκοπό τη διακρίβωση μετρητών Φ.Α. ..... 32

3.2.1 Βήματα προετοιμασίας με σκοπό τη διαδικασία διακρίβωσης ..... 32

3.2.2 Χρήση του λογισμικού κατά τη διαδικασία της διακρίβωσης ..... 42

3.3 Εκτίμηση σφάλματος και αβεβαιότητας ..... 45

3.3.1 Σφάλμα της μέτρησης ..... 46

3.3.2 Αβεβαιότητα της μέτρησης ..... 46

3.4 Σχηματική αναπαράσταση προσδιορισμού της ποσότητας του όγκου κάθε μέτρησης, μέσω της μεθόδου των ηλεκτρικών παλμών ..... 50

3.5 Αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού σφάλματος και αβεβαιότητας ..... 52

**Κεφάλαιο 4 Πειραματικές δοκιμές ελέγχου των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του μετρητή αναφοράς τύπου υγρού τυμπάνου-Ritter της διάταξης LTT-360 …….. ..... 58**

4.1 Πειραματική δοκιμή αφαίρεσης του νερού πλήρωσης σε διάταξη με μετρητή υγρού τυμπάνου-Ritter ..... 59
4.1.1 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας ..... 59
4.1.2 Πειραματική Διάταξη ..... 59
4.1.3 Καταγραφή των Μετρήσεων/Αποτελεσμάτων ..... 60
4.1.4 Παρατηρήσεις ..... 62
4.1.5 Διαγράμματα ..... 63
4.1.6 Συμπεράσματα ..... 65
4.2 Πειραματική δοκιμή εξάτμισης του νερού πλήρωσης σε διάταξη με μετρητή υγρού τυμπάνου-Ritter ..... 66
4.2.1 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας ..... 66
4.2.2 Πειραματική Διάταξη ..... 66
4.2.3 Καταγραφή των Μετρήσεων/Αποτελεσμάτων ..... 67
4.2.4 Παρατηρήσεις ..... 69
4.2.5 Διαγράμματα ..... 70
4.2.6 Συμπεράσματα ..... 71
4.3 Πειραματική δοκιμή ελέγχου της συνεισφοράς της ευθυγράμμισης του μετρητή αναφοράς στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων ..... 72
4.3.1 Πειραματική Διάταξη ..... 72
4.3.2 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας ..... 72
4.3.3 Καταγραφή των Αποτελεσμάτων ..... 74
4.3.4 Παρατηρήσεις ..... 75
4.3.5 Διαγράμματα ..... 76
4.3.6 Συμπεράσματα ..... 77
**Κεφάλαιο 5 Πειραματικές δοκιμές ελέγχου των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του συνόλου της διάταξης LTT-360 ..... 78**
5.1 Πειραματική δοκιμή εύρεσης του σφάλματος με τη μέθοδο των παλμών και με τη μέθοδο οπτικής ανάγνωσης των ενδεικτικών οργάνων ..... 79
5.1.1 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας ..... 79
5.1.2 Πειραματική Διάταξη ..... 79
5.1.3 Οπτική/χειροκίνητη μέθοδος υπολογισμού του σφάλματος ..... 80
5.1.4 Παράθεση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων και σύγκριση ..... 82
5.1.5 Παρατηρήσεις ..... 83
5.1.6 Συμπεράσματα ..... 84
5.2 Πειραματική δοκιμή αλλαγής της διάταξης των μετρητών στην εγκατάσταση LTT-360 ..... 85
5.2.1 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας ..... 85
5.2.2 Πίνακες αποτελεσμάτων και διαγράμματα ..... 87
5.2.3 Συμπεράσματα ..... 91

5.3 Πειραματική δοκιμή καταγραφής των πτώσεων πίεσης που παρατηρούνται εντός της διάταξης LTT-360 ..... 92
5.3.1 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας ..... 92
5.3.2 Πειραματική διάταξη ..... 92
5.3.3 Μετρητής υγρού τυμπάνου Ritter ..... 92
5.3.4 Παρατηρήσεις ..... 98
5.3.5 Συμπεράσματα ..... 99
**Κεφάλαιο 6 Σύνοψη - Συμπεράσματα ..... 101**
**Βιβλιογραφία – Πηγές ..... 102**
**Παράρτημα Α. Ηλεκτρολογικά σχέδια της εγκατάστασης LTT-360 ..... 104**
**Παράρτημα Β. Μηχανολογικά σχέδια της εγκατάστασης LTT-360 ..... 140**

# Ακρωνύμια

| | |
|---|---|
| Ε.Μ.Π. | Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο |
| ΜΟ.ΔΙ.ΜΕ.Φ.Α. | Μονάδα Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου |
| LTT | Laboratory of Thermal Turbomachines (Εργαστήριο Θερμικών Στροβιλομηχανών) |
| mut | Meter Under Test (Μετρητής Υπό Δοκιμή) |
| mfc | Mass Flow Meter/Controller (Ελεγκτής/Μετρητής Ροής) |
| δείκτης N | Αφορά τα μεγέθη που αναφέρονται στον μετρητή αναφοράς (standard) |
| δείκτης p | Αφορά τα μεγέθη που αναφέρονται στους μετρητές υπό δοκιμή (mut) |
| δείκτης amb | Αφορά τα μεγέθη που αναφέρονται στον περιβάλλοντα χώρο (ambient) |
| δείκτης corr | Αναφέρεται σε διορθωμένα μεγέθη (κυρίως για τη αναγωγή του όγκου του μετρητή Ritter στις συνθήκες του μετρητή υπό δοκιμή) |
| PD | Positive displacement (θετική μετατόπιση) |
| T | Θερμοκρασία |
| p | Πίεση |
| V | Όγκος |
| Q | Ογκομετρική παροχή |
| RH | Υγρασία |
| $f_e$ | Συνολικό σφάλμα μέτρησης |
| $f_N$ | Σφάλμα μέτρησης του προτύπου λόγω βαθμονόμησης |
| $U_e$ | Συνολική αβεβαιότητα μέτρησης |
| $U_V$ | Επιμέρους αβεβαιότητα όγκου |
| $U_p$ | Επιμέρους αβεβαιότητα πίεσης |
| $U_T$ | Επιμέρους αβεβαιότητα θερμοκρασίας |
| DAQ | Data Acquisition card (Κάρτα Απόκτησης δεδομένων) |
| ch | channel (αναφέρεται στα κανάλια της DAQ) |
| PSU | Power Supply Unit |

| | |
|---|---|
| GND | ground (γείωση) |
| temp | temperature |

# Κεφάλαιο 1
# Εισαγωγή

## 1.1 Στόχος και Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η συμβολή στη συγκρότηση, τεκμηρίωση και πιστοποίηση της διάταξης διακριβώσεων μετρητών φυσικού αερίου, LTT-360. Στο πλαίσιο αυτής της συμβολής, η παρούσα εργασία στοχεύει στην αναλυτική περιγραφή της εγκατάστασης LTT-360, της Μονάδας Διακρίβωσης Μετρητών Φυσικού Αερίου, του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών του ΕΜΠ. Η εγκατάσταση αυτή κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου από το προσωπικό του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών, με στόχο την παροχή υπηρεσιών διακρίβωσης μετρητών φυσικού αερίου, στο εύρος των 0.16 έως 360 λίτρων ανά ώρα. Για τη διακρίβωση μετρητών Φ.Α. εφαρμόζεται η μέθοδος της σύγκρισης του μετρητή υπό δοκιμή, με τον πρότυπο μετρητή της εγκατάστασης. Στην περίπτωση της μονάδας LTT-360, ως πρότυπο χρησιμοποιείται ένας μετρητής τύπου υγρού τυμπάνου-Ritter. Συνεπώς, η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην περιγραφή του τρόπου συγκρότησης, λειτουργίας και χρήσης του συνόλου της εγκατάστασης LTT-360 κατά την εργασία της διακρίβωσης, αλλά και των σημαντικότερων στοιχείων που την αποτελούν. Επιπλέον, αποσκοπείται η πειραματική διερεύνηση και καταγραφή των χαρακτηριστικών της εγκατάστασης και της συμπεριφοράς της υπό διαφορετικές συνθήκες (ως επί το πλείστον του προτύπου) και των δοκιμαζόμενων μετρητών.

Η δομή της διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

- **Μέρος Α':** Βιβλιογραφικό Μέρος: Γενικές πληροφορίες περί μετρητών.
    - **Κεφάλαιο 2:** Κατηγοριοποίηση και έκθεση πληροφοριών που αφορούν στην αρχή λειτουργίας των βασικότερων ειδών μετρητών που συναντώνται σήμερα. Απαρίθμηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που αφορούν στα διάφορα είδη μετρητών, καθώς επίσης και των εφαρμογών στις οποιες χρησιμοποιούνται συνηθέστερα.

- **Μέρος Β':** Περιγραφικό Μέρος: Αναλυτική περιγραφή της εκγατάστασης δοκιμών LTT-360.
    - **Κεφάλαιο 3:** Περιγραφή του συνόλου της πειραματικής διάταξης LTT-360, της πορείας της ροής του εργαζόμενου μέσου εντός αυτής, καθώς επίσης και των βασικότερων επιμέρους τμημάτων της και των διεργασιών που επιτελούν. Καταγραφή του ορθού τρόπου χειρισμού της μονάδας LTT-360, με σκοπό τη διακρίβωση μετρητών φυσικού αερίου. Δίδονται πληροφορίες σχετικά με τη σωστή προετοιμασία της εγκατάστασης, τη χρήση του λογισμικού διακρίβωσης από τον χρήστη, τη μεθοδολογία υπολογισμού του σφάλματος και της αβεβαιότητας των μετρήσεων. Επιπλέον, παρατίθεται μια σχηματική αναπαράσταση του τρόπου προσδιορισμού του όγκου του εργαζόμενου μέσου που διέρχεται από τους μετρητές υπό δοκιμή και αναφοράς, μέσω των ηλεκτρικών παλμών που καταγράφονται από τα όργανα

της διάταξης. Τέλος, δίδεται ένα αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού του σφάλματος και της αβεβαιότητας.

- **Μέρος Γ':** Πειραματικό Μέρος: Πειρατική διερεύνηση χαρακτηριστικών της εγκατάστασης και δοκιμαζομένων μετρητών. Ως εργαζόμενο μέσο στις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκε ατμοσφαιρικός αέρας.
    - **Κεφάλαιο 4:** Πειραματικές δοκιμές που αφορούν στην διερεύνηση της ευαισθησίας, των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του μετρητή αναφοράς της διάταξης LTT-360, υπό διαφορετικές συνθήκες.
    - **Κεφάλαιο 5:** Πειραματικές δοκιμές καταγραφής των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς της διάταξης LTT-360 ως σύνολο.
- **Κεφάλαιο 6:** Σύνοψη – Συμπεράσματα: Ανακεφαλαίωση των βασικότερων σημείων και συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας.
- **Παράρτημα Α:** Παράθεση των ηλεκτρολογικών σχεδίων και της συνδεσμολογίας των μετρητικών οργάνων της διάταξης LTT-360.
- **Παράρτημα Β:** Παράθεση των τριδιάστατων μοντέλων των βασικότερων στοιχείων που αποτελούν την εγκατάσταση LTT-360. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα μηχανολογικά σχέδια των τεμαχίων της εγκατάστασης από τα οποία έχουν αφαιρεθεί οι διαστάσεις τους, και ένας κατάλογος τεμαχίων της διάταξης.

# ΜΕΡΟΣ Α’

## Βιβλιογραφικό Μέρος

# Κεφάλαιο 2
# Γενικές Πληροφορίες Περί Μετρητών Φυσικού Αερίου

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται μια κατηγοριοποίηση για έναν μεγάλο αριθμό διαφόρων ειδών μετρητών αερίων, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η βασική αρχή λειτουργίας κάθε μετρητή ξεχωριστά, αναφέρονται οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται συνηθέστερα και τέλος γίνεται μια απαρίθμηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων που εμφανίζονται στη χρήση τους.

Επιπλέον, αξίζει να δοθεί προσοχή στις ενότητες του συγκεκριμένου κεφαλαίου που αναφέρονται στους μετρητές τύπου υγρού τυμπάνου, καθώς η εγκατάσταση LTT-360 που περιγράφεται σε βάθος στα κεφάλαια που ακολουθούν, χρησιμοποιεί έναν τέτοιο μετρητή, ώς μετρητή αναφοράς.

## 2.1 Είδη Μετρητών Φυσικού Αερίου

Στο παρακάτω εισαγωγικό κεφάλαιο δίδονται ορισμένες βασικές πληροφορίες και περιγραφές που αφορούν στην αρχή λειτουργίας των διαφόρων ειδών μετρητών αερίων. Οι μετρητές που εξετάζονται στην παρούσα ενότητα έχουν κατηγοριοποιηθεί σε μετρητές θετικής εκτόπισης, σε επαγωγικούς μετρητές και σε άλλα είδη μετρητών.

Περεταίρω πληροφορίες σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που συναντώνται στη χρήση κάθε είδους μετρητή αλλά και τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται συνηθέστερα, παρουσιάζονται στην ενότητα 2.2, σελ.13.

### 2.1.1 Μετρητές Θετικής Εκτόπισης (Positive Displacement Meters)

Η τεχνολογία των μετρητών θετικής εκτόπισης αποτελεί τη μόνη τεχνολογία μέτρησης ροής, η οποία μετρά απευθείας τον όγκο του ρευστού που διέρχεται από τον μετρητή. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω της επαναλαμβανόμενης "παγίδευσης" του εργαζόμενου μέσου σε "θαλάμους" πλήρως γνωστών διαστάσεων (άρα και χωρητικότητας) (Positive Displacement Flowmeter Technology, n.d.),[12]. Η διεργασία αυτή θα μπορούσε πολύ απλά να περιγραφεί ως το επαναλαμβανόμενο γέμισμα ενός δοχείου με το εργαζόμενο μέσο, και στη συνέχεια άδειασμα των περιεχομένων του κατάντι της ροής. Ο αριθμός των γεμισμάτων του δοχείου είναι αντιπροσωπευτικός της ροής εντός του μετρητή.

Η παγίδευση του εργαζόμενου μέσου συνήθως επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας κινούμενα (περιστρεφόμενα) μηχανικά μέρη, τα οποία σε συνεργασία με το κέλυφος του μετρητή, σφραγίζουν το ρευστό. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, τα κινούμενα μέρη τοποθετούνται με σφιχτές συναρμογές, προκειμένου να αποφευχθεί η διαρροή του εργαζόμενου μέσου δίχως αυτό να μετρηθεί (slippage). Σε ορισμένες περιπτώσεις μετρητών θετικής εκτόπισης, η στήριξη των κινούμενων μερών επιτυγχάνεται με τη χρήση ρουλεμάν. Οι περιστροφές μπορούν να καθοριστούν μηχανικά, είτε ανιχνεύοντας την κίνηση ενός περιστρεφόμενου μέρους. Μεγαλύτερη ροή εργαζόμενου μέσου, προκαλεί την αναλόγως αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Η περιστροφή των κινούμενων μερών παράγει σήμα, το οποίο λαμβάνεται και επεξεργάζεται από έναν πομπό (transmitter), προκειμένου να καθορίσει την ροή του μέσου. Ορισμένοι μετρητές διαθέτουν μηχανικούς καταχωρητές ως ενδεικτικά όργανα. Σε άλλες περιπτώσεις μετρητών, πραγματοποιείται παραγωγή ηλεκτρικών παλμών, και μέσω της χρήσης μίας δευτερεύουσας ηλεκτρικής συσκευής, καθορίζεται τελικά ο ρυθμός της ροής. Οι μετρητές θετικής εκτόπισης χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υγειηνής, καθαρών και διαβρωτικών ρευστών, όπως νερό και τρόφιμα αλλά και σε ορισμένες εφαρμογές με αέρια ως εργαζόμενο μέσο. Η βέλτιστη χρήση τους πραγματοποιείται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια σε συνδυασμό με λογικό κόστος.

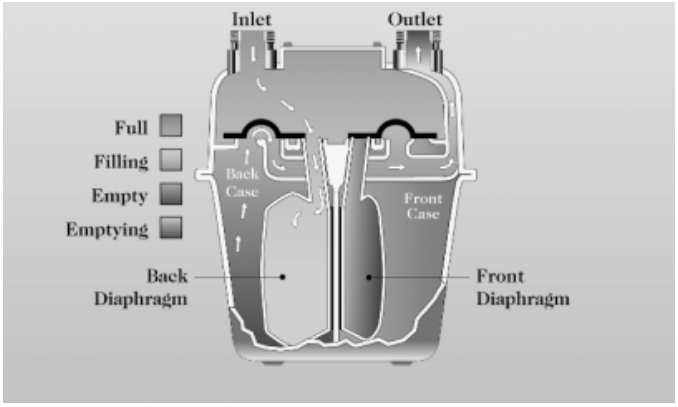
### 2.1.1.1 Διαφραγματικοί μετρητές (Diaphragm meters)

Ο πιο συνήθης τύπος μετρητή αερίου, ο οποίος χρησιμοποιείται τόσο σε οικιακές και μικρές εμπορικές εφαρμογές, όσο και σε μεγαλύτερες εφαρμογές βιομηχανικού τύπου (Κιοσσές, 2014),[20]. Ο μετρητής αποτελείται από ένα εξωτερικό στεγανό κιβώτιο, εντός του οποίοι υπάρχουν δύο θάλαμοι γνωστού όγκου. Ο κάθε θάλαμος χωρίζεται σε δύο ημι-θαλάμους μέσω ενός παραμορφώσιμου τοιχώματος, δηλαδή του διαφράγματος. Τα δύο διαφράγματα συνδέονται μεταξύ τους και μεταφέρουν την κίνησή τους, μέσω ενός περιστρεφόμενου εμβόλου, στο ενδεικτικό όργανο του μετρητή (Sofia, 2015),[14]. Το αέριο εισερχόμενο από τον αγωγό εισόδου, προκαλεί μια διαφορά πίεσης, η οποία προκαλεί την κίνηση του διαφράγματος. Η ροή του αερίου κατευθύνεται μέσω εσωτερικών βαλβίδων και οι θάλαμοι πληρώνονται και αποβάλλουν αέριο εναλλάξ. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια συνεχής ροή εντός του μετρητή. Καθώς τα διαφράγματα διαστέλλονται και συστέλλονται, η γραμμική κίνηση των διαφραγμάτων μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση, μέσω του μηχανισμού που περιγράφηκε παραπάνω, η οποία ενεργεί ως το πρωταρχικό στοιχείο ροής*. Γνωρίζοντας την χωρητικότητα κάθε θαλάμου και τον αριθμό των πληρώσεων/εκκενώσεων μέσω της κίνησης του διαφράγματος, καθίσταται δυνατός ο απευθείας προσδιορισμός της ποσότητας του όγκου του εργαζόμενου μέσου που διέρχεται από τον μετρητή.

Οι μετρητές αυτοί διαθέτουν πολύ ικανοποιητικό εύρος λειτουργίας και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως σε οικιακές εφαρμογές. Το βασικότερο αίτιο στην αύξηση του μετρητικού σφάλματος για τους μετρητές αυτού του τύπου, είναι οι διαρροές που εμφανίζονται στα κινούμενα μέρη και στο διάφραγμα του μετρητή. Οι διαρροές αυτές επηρεάζουν κυρίως τις μετρήσεις σε χαμηλές ογκομετρικές παροχές και ευθύνονται για την ένδειξη χαμηλότερων τιμών από τις πραγματικές.

Επιπλέον, οι διαφραγματικοί μετρητές είναι δυνατό να εξοπλιστούν με γεννήτριες παλμών, προκειμένου να μεταδώσουν ηλεκτρονικά τις ενδείξεις τους.

***πρωταρχικό στοιχείο ροής**: είναι το στοιχείο ενός μετρητή ροής που υποδεικνύει την ταχύτητα ή την παροχή της ροής.




(Paul G. Honchar, Equimeter Incorporated, 2001),[10]

Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση των θαλάμων και της πορείας της ροής εντός του διαφραγματικού μετρητή.

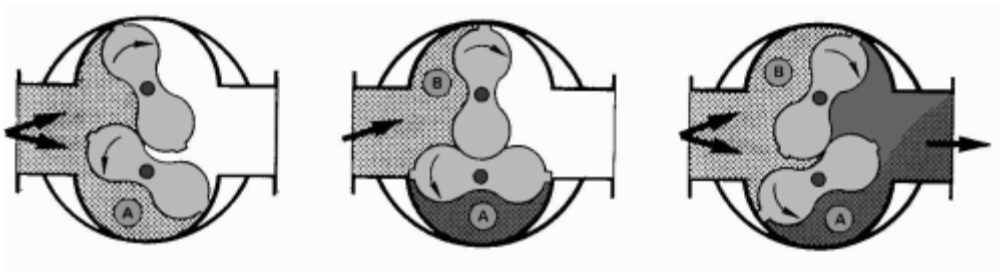
### 2.1.1.2 Περιστροφικοί μετρητές (Rotary meters)

Οι περιστροφικοί μετρητές είναι μηχανικά όργανα μεγάλης ακρίβειας, ικανά να χειριστούν μεγαλύτερες ποσότητες όγκου και υψηλότερες πιέσεις από τους διαφραγματικούς μετρητές. Κατατάσσονται και αυτοί στην κατηγορία των μετρητών θετικής μετατόπισης.

Εντός του μετρητή, δύο λοβοϊδείς ρότορες, οι δρομείς, είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργούν γύρω τους και μεταξύ του κελύφους του μετρητή θαλάμους με γνωστή χωρητικότητα όγκου. Η είσοδος του αερίου εντός του μετρητή προκαλεί την κατά σειρά πλήρωση των θαλάμων και αντίστροφη περιστροφή των δρομέων, λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται (Sofia, 2015),[14]. Με κάθε περιστροφή, διακινείται μια συγκεκριμένη ποσότητα όγκου του μέσου εντός του μετρητή, καθώς οι θάλαμοι έχουν γνωστές διαστάσεις. Γνωρίζοντας δηλαδή τον αριθμό των περιστροφών που πραγματοποιούνται, μπορεί να προσδιοριστεί και η ποσότητα όγκου του εργαζόμενου μέσου που διέρχεται από τον μετρητή. Η περιστροφική κίνηση του άξονα λειτουργεί ως πρωταρχικό στοιχείο ροής και παράγει ηλεκτρικούς παλμούς ή κινεί κάποιον οδομετρικό μηχανισμό.

Οι μετρητές αυτοί απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, εφόσον ακολουθηθούν σωστά οι οδηγίες εγκατάστασής τους. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, απαιτείται ένας περιοδικός έλεγχος και συντήρηση που αφορά κυρίως στη λίπανση των κινούμενων μερών. Η συχνότητα των ελέγχων εξαρτάται από τις απαιτήσεις του χρήστη και το είδος του εργαζόμενου μέσου και μπορεί να διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή. Επιπλέον, ένας άλλος τρόπος ελέγχου του μετρητή αποτελεί ο έλεγχος της πτώσης πίεσης μεταξύ της εισόδου (inlet) και της εξόδου (outlet) του μετρητή. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η πτώση αυτή δεν θα πρέπει να αυξηθεί σημαντικά (άνω του 50%) με την πάροδο του χρόνου από την τιμή του αρχικού ελέγχου (Allen),[21].

Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί σημαντικές βελτιώσεις που αφορούν στους περιστροφικούς μετρητές, οι οποίες οφείλονται στις κατασκευαστικές τεχνικές, στη χρήση καλύτερων υλικών, εφαρμογή ηλεκτρονικής διόρθωσης των μετρήσεων, προκαλώντας έτσι μία αύξηση στο βαθμό αξιοπιστίας και στην ακρίβεια των μετρητών αυτών, αλλά και στο εύρος λειτουργίας τους.




(Paul G. Honchar, Equimeter Incorporated, 2001),[10]

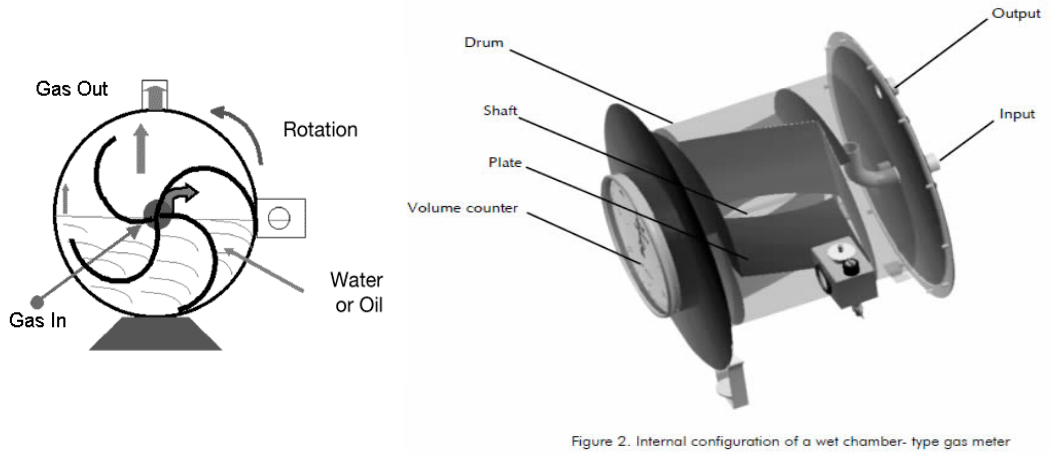
Σχήμα 2.2: Σχηματική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας ενός περιστροφικού μετρητή. Καθώς οι δρομείς περιστρέφονται, οι θάλαμοι πληρώνονται με το εργαζόμενο μέσο και διακινούν μια γνωστή ποσότητα όγκου.

### 2.1.1.3 Μετρητές τυμπάνου/υγρού θαλάμου (Drum/wet chamber type meters)

Οι μετρητές αυτού του τύπου ανήκουν στην οικογένεια των μετρητών θετικής εκτόπισης, όπως οι διαφραγματικοί, οι περιστροφικοί και άλλοι. Η συγκεκριμένη ωστόσο κατηγορία μετρητών παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις υψηλής ακρίβειας για ροές μικρότερων παροχών. Αυτός είναι και ο λόγος που οι μετρητές αυτοί χρησιμοποιούνται ευρέως ως βαθμονομητές (calibrators) για μετρητές άλλου τύπου και σε περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια μετρήσεων (εργατηριακές εφαρμογές).

Αποτελούνται από ένα κυλινδρικό τύμπανο που φέρει περιστρεφόμενο άξονα και το οποίο είναι διαμερισμένο σε επιμέρους θαλάμους. Οι θάλαμοι αυτοί είναι σφραγισμένοι χάρη στο υγρό το οποίο πληρώνει το εσωτερικό του μετρητή, η στάθμη του οποίου ξεπερνά το μέσο ύψος του εσωτερικού. Το υγρό που χρησιμοποιείται για τον σκοπό αυτό είναι συνήθως νερό ή κάποιου είδους έλαιο, (Litre Meter Ltd, Specialist measurement flow engineering, 2011),[8].

Ένας σωλήνας εισαγωγής σχήματος “L” (inlet tube) βρίσκεται στο εσωτερικό του μετρητή, με τη μια άκρη του να βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του υγρού. Τη στιγμή που κάποιο αέριο μεγαλύτερης πίεσης από αυτή στην άκρη της εξόδου (outlet) εισαχθεί μέσω του αγωγού εισαγωγής, οδηγείται στον πρώτο κατά σειρά θάλαμο. Η πίεση του δεύτερου κατά σειρά θαλάμου εκείνη τη στιγμή είναι ίδια με αυτή της εξόδου, που βρίσκεται εκτεθειμένη άνω της στάθμης. Λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται μέσω της ροής του αερίου, το τύμπανο περιστρέφεται και με τον τρόπο αυτό οι θάλαμοι πληρώνονται και εκκενώνονται εναλλάξ. Καθώς ο όγκος κάθε θαλάμου είναι συγκεκριμένος, με την κάθε περιστροφή του τυμπάνου είναι δυνατό να διαπιστωθεί ο όγκος του διερχόμενου αερίου, χωρίς να υπάρχουν διαρροές.




(STUDY OF THE DESIGN VARIABLES FOR A WET-CHAMBER GAS METER PROTOTYPE (MGCH), 2003),[15] - (Litre Meter Ltd, Specialist measurement flow engineering, 2011),[8]

Σχήμα 2.3: Αριστερά: Σχηματική απεικόνιση ενός μετρητή υγρού τυμπάνου που αναπαρειστά τον τρόπο λειτουργίας του. Δεξιά: Ρεαλιστικό μοντέλο μετρητή υγρού τυμπάνου.

### 2.1.2 Επαγωγικοί Μετρητές (Inferential Gas Meters)

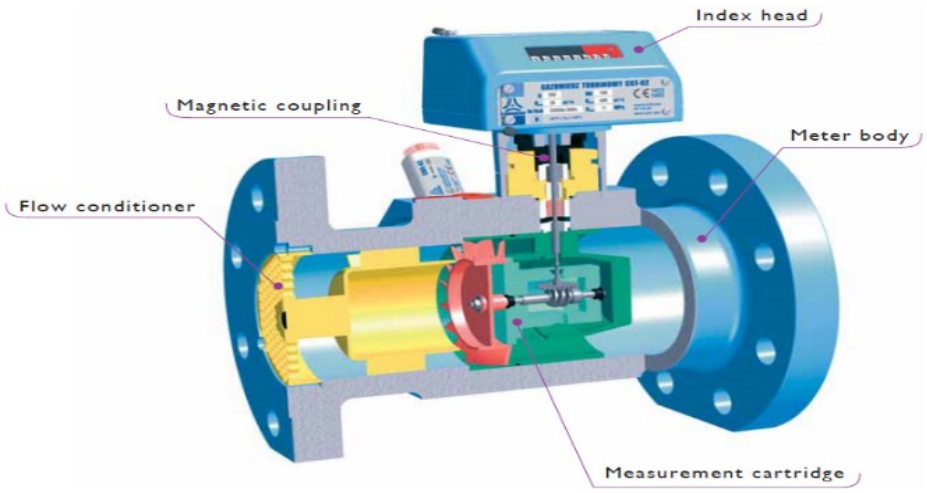
Οι μετρητές αυτής της κατηγορίας ονομάζονται επαγωγικοί καθώς εξάγουν συμπεράσματα για την ογκομετρική παροχή είτε μέσω παρατηρούμενων γεγονότων ή αποτελεσμάτων, είτε μέσω κάποιας άλλης ιδιότητας της ροής ή μετρούμενου μεγέθους, δίχως να μετρούν απευθείας την ογκομετρική παροχή (Inferential Meters, 2010),[7]. Πιο συγκεκριμένα, η μέτρηση του όγκου προκύπτει μέσω ενός παρατηρούμενου φυσικού αποτελέσματος που προκαλεί κάποια ιδιότητα της ροής (πχ. η ταχύτητά της), καθώς διέρχεται από μία γνωστή περιοχή στην οποία είναι πιθανό να βρίσκεται και κάποιο εμπόδιο ή να φέρει κάποια ιδιομορφία. Τα βασικότερα παραδείγματα επαγωγικών μετρητών αποτελούν οι μετρητές στροβίλου και οι μετρητές με στόμιο.

### 2.1.2.1 Μετρητές στροβίλου/τουρμπίνας (Turbine meters)

Οι μετρητές στροβίλου καθορίζουν την ογκομετρική παροχή του αερίου, εξακριβώνωντας την ταχύτητα με την οποία κινείται το αέριο εντός του μετρητή. Η διεύθυνση της ροής του εργαζόμενου μέσου εντός του μετρητή είναι παράλληλη με τον άξονα ενός στροβίλου με πτερύγια (πτερωτή). Η ροή του εργαζόμενου μέσου εντός του μετρητή, προκαλεί την περιστροφή της πτερωτής του στροβίλου. Η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται η πτερωτή είναι, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, ανάλογη με την ταχύτητα της ροής και τελικά με την ογκομετρική παροχή (Paul G. Honchar, Equimeter Incorporated, 2001),[10].

Η περιστροφική κίνηση μεταδίδεται με κατάλληλες μηχανικές διατάξεις ή μέσω μαγνητικού κυκλώματος στο ενδεικτικό όργανο του μετρητή. Επειδή η παροχή του αερίου καθορίζεται μέσω της ροής, είναι σημαντικό οι συνθήκες της ροής να είναι καλές. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη σχέση μεταξύ ταχύτητας περιστροφής και ογκομετρικής παροχής έχουν η ταχύτητα, η πίεση, η θερμοκρασία και η πυκνότητα του εργαζόμενου μέσου. Η αλλαγή των παραπάνω μεγεθών είναι πιθανό να προκαλέσει αλλαγές στη σχέση αναλογίας ταχύτητας περιστροφής και ογκομετρικής παροχής. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η διαρκής μέτρηση των μεγεθών αυτών, προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις. Συνήθως η έξοδος των μετρήσεων γίνεται από ένα ηλεκτρονικό ενδεικτικό όργανο, το οποίο εκτελεί και τις απαιτούμενες διορθώσεις.

Οι μετρητές αυτοί προκαλούν μια μικρή πτώση πίεσης λόγω του εμποδίου (πτερυγίων) που συναντά η ροή και δεν ενδείκνυνται για τη μέτρηση ροών μικρότερων παροχών ή για μη σταθερές καταστάσεις ροής. Ακόμα, η λειτουργία τους αντιμετωπίζει δυσκολίες σε περιπτώσεις όπου εμφανίζονται διαταραχές στη ροή. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με άλλες διατάξεις με σκοπό την εξάλειψη των διαταραχών αυτών.




(http://www.imacsys.co.uk/25/cgt-turbine-gas-meter, n.d.),[6]

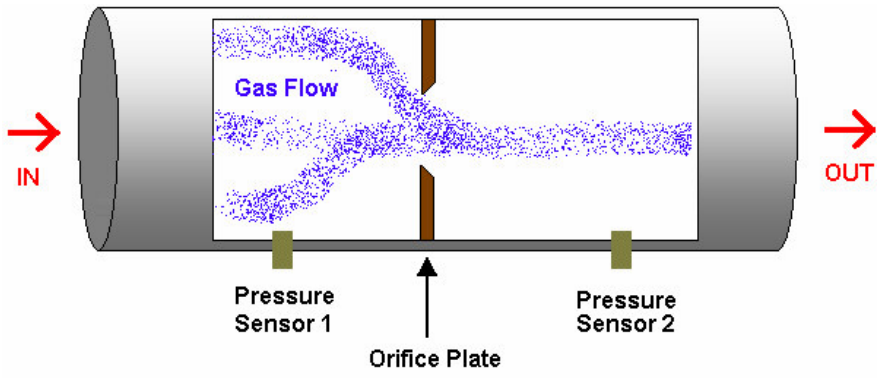
Σχήμα 2.4: Σχηματική απεικόνιση ενός μετρητή με στρόβιλο και των επιμέρους στοιχείων του.

### 2.1.2.2 Μετρητές στομίου/με στένωση (Orifice/nozzle meter)

Ένας μετρητής στομίου αποτελείται από έναν ευθύ κλειστό αγωγό εντός του οποίου βρίσκεται μία λεπτή πλάκα με ανοιχτό ένα στόμιο, του οποίου οι διαστάσεις και η γεωμετρία είναι γνωστές. Λόγω του εμποδίου αυτού που συναντά η ροή του μέσου (αερίου ή υγρού), δημιουργείται μια τοπική πτώση πίεσης, επηρεάζοντας έτσι την ροή. Πιό συγκεκριμένα, όταν η ροή του μέσου συναντά τη στένωση, η πίεσή της αυξάνεται τοπικά ανάντι αυτής, λόγω του εμποδίου που συναντά. Προκειμένου το μέσο να διέλθει της στένωσης, η ταχύτητά του πρέπει να αυξηθεί, ώστε η παροχή να παραμείνει σταθερή, προκαλώντας έτσι πτώση της πίεσης. Το μέγεθος της πτώσης αυτής συνδέεται με τον ρυθμό της ροής με την οποία ρέει το μέσο εντός του αγωγού. Η μέτρηση της πτώσης πίεσης δηλαδή παρέχει πληροφορίες για την παροχή της ροής και όχι τον όγκο της. Αποδεικνύεται ότι ο ρυθμός της ροής του ρευστού είναι ανάλογος της τετραγωνικής ρίζας της πτώσης πίεσης (Daniel Measurement and Control, Inc., 2010),[1].

Οι μετρητές αυτοί είναι διαφορικού τύπου, πράγμα που σημαίνει πως καθορίζουν την παροχή μετρώντας την διαφορά πίεσης κατά μήκος μιας προμελετημένης και προγραμματισμένης διαταραχής της ροής. Επιπρόσθετα, πρέπει να είναι γνωστά ή να μετρούνται επιπλέον μεγέθη, όπως η στατική πίεση, η πυκνότητα, η συνεκτικότητα και η θερμοκρασία του αερίου μαζί με την πτώση πίεσης, προκειμένου να υπολογίζεται σωστά το μέγεθος του όγκου που διακινείται.

Οι μετρητές αυτοί δεν έχουν μεγάλο εύρος λειτουργίας. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές εφαρμογές καθώς δεν έχουν μεγάλο κόστος συντήρησης και δεν αποτελούνται από κινούμενα μέρη. Συνήθως η χρήση τους αφορά στη μέτρηση καθαρών υγρών, αερίων και ρευμάτων ατμών. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε αγωγούς ανεξάρτητα από τις διαστάσεις τους. Ωστόσο, η χρήση τους είναι πιό συμφέρουσα σε αγωγούς μεγάλων διαστάσεων (διαμέτρων από 150 χιλιοστά και άνω). Οι μετρητές αυτοί είναι επίσης εγκεκριμένοι για συναλλαγές μεταφοράς μεταξύ διαχειριστών (custody transfer) από πολλούς οργανισμούς.




(http://www.fekete.com/SAN/TheoryAndEquations/FieldNotesTheoryAndEquations/TheoryGasOrifice.htm, n.d.),[5]

Σχήμα 2.5: Σχηματική απεικόνιση ενός μετρητή στομίου.

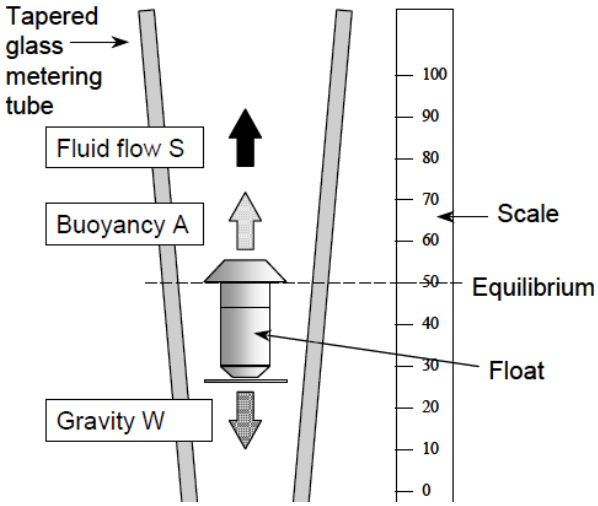
### 2.1.2.3 Μετρητές μεταβλητής επιφάνειας/πλωτήρα (Variable area/float style meter)

Οι μετρητές μεταβλητής επιφάνειας/πλωτήρα, ανήκουν στην κατηγορία των επαγωγικών μετρητών και χρησιμοποιούνται στη μέτρηση υγρών και αερίων, όπως το νερό, ο αέρας, βιομηχανικά αέρια και χημικά. Οι μετρητές αυτού του τύπου μετρούν τη ροή, μέσω της μεταβολής στην ελεύθερη επιφάνεια που αυτή προκαλεί εντός του μετρητή, κινώντας ένα εσωτερικό εξάρτημα του μετρητή (πλωτήρας).

Η μέτρηση της ροής πραγματοποιείται εντός ενός κάθετου μετρητικού σωλήνα, αντισταθμίζοντας το βάρος του πλωτήρα εντός με την ανωστική δύναμη που προκαλεί η ροή του εργαζόμενου μέσου. Η ίδια αρχή χρησιμοποιείται και σε οριζόντιους μετρητές, μόνο που σε αυτές τις περιπτώσεις η δύναμη αντίστασης οφείλεται σε ελατήρια με γνωστές σταθερές και όχι στην βαρύτητα. Συνήθως, οι ενδείξεις των μετρητών αυτών διαβάζονται τοπικά, μέσω των σημάνσεων που φέρουν οι διάφανοι σωλήνες τους, οι οποίες συνδέουν το ύψος του πλωτήρα με τον ρυθμό της ροής. Ωστόσο, υπάρχουν και μετρητές με σωλήνα μεταλλικής κατασκευής, οι οποίοι περιέχουν έναν πομπό που αισθάνεται το ύψος του πλωτήρα και μεταδίδει την πληροφορία αυτή ηλεκτρονικά.

Η χρήση αυτού του είδους μετρητών σε περιπτώσεις αδιαφανών, θολών ή βρώμικων υγρών με σωματίδια δεν ενδείκνυται, καθώς εμφανίζεται ο κίνδυνος συσσώρευσης επικαθίσεων και τελικά φραγής του σωλήνα ή κάλυψης των σημάνσεων (Variable Area (Float Style) Flowmeters for Clean Gas, n.d.),[17].

Οι μετρητές μεταβλητής επιφάνειας αποτελούν μία οικονομική επιλογή για τοπικές ενδείξεις/μετρήσεις αερίων ή υγρών σε βιομηχανικό περιβάλλον. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με όργανα υψηλότερης ακριβείας και συστήματα, με σκοπό την επικύρωση και τη ρύθμιση της ροής.




(Operating Principle of Variable Area Flow Meters, 2017),[9]

Σχήμα 2.6: Σχηματική απεικόνιση ενός μετρητή με πλωτήρα.

## 2.1.3 Άλλα Είδη Μετρητών

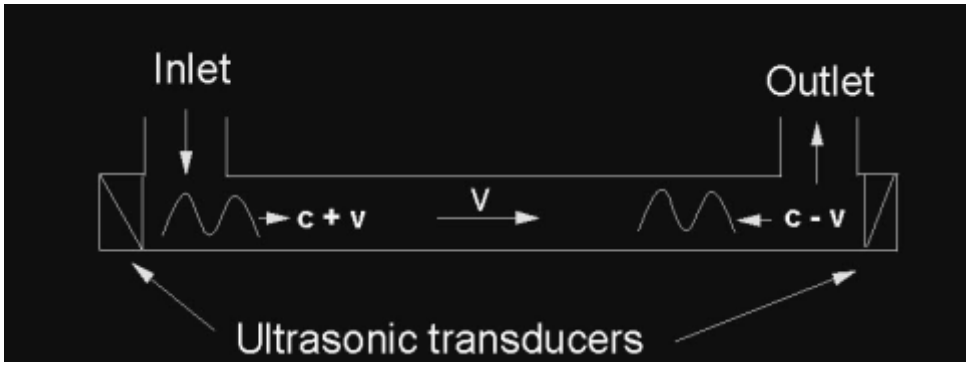
Στη συνέχεια παρουσιάζονται ξεχωριστά ορισμένα είδη μετρητών, τα οποία δεν ανήκουν στις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω (θετικής μετατόπισης, επαγωγικοί). Πιό συγκεκριμένα, γίνεται λόγος για τους μετρητές υπερήχων και τους μετρητές Coriolis.

### 2.1.3.1 Μετρητές υπερήχων (Ultrasonic meters)

Οι μετρητές αυτοί είναι πιο περίπλοκοι από τους μηχανικούς μετρητές, καθώς απαιτούν σημαντικές δυνατότητες επεξεργασίας σήματος και υπολογισμού και διακρίνονται σε μετρητές Doppler και transit-time (Κιοσσές, 2014),[20]. Οι μετρητές αυτοί καθορίζουν την ταχύτητα κίνησης του αερίου, μετρώντας την ταχύτητα με την οποία ο ήχος ταξιδεύει στο μέσο που διακινείται εντός ενός κλειστού αγωγού.

Οι πιο περίπλοκοι τύποι μετρητών transit-time, υπολογίζουν την μέση ταχύτητα του ήχου χρησιμοποιώντας πολλά “μονοπάτια” εντός του αγωγού. Το μήκος κάθε τέτοιου “μονοπατιού” είναι πλήρως γνωστό. Κάθε μονοπάτι αποτελείται από έναν υπερηχητικό μεταλλάκτη (ultrasonic transducer) στο ένα άκρο και έναν αισθητήρα (receiver) στο άλλο. Ο μετρητής δημιουργεί ένα σήμα με τον μεταλλάκτη και στη συνέχεια μετράται το χρονικό διάστημα που απαιτείται μέχρις ότου ο αισθητήρας ανιχνεύσει τον παλμό αυτό. Κάποια από τα σήματα αυτά έχουν κατεύθυνση όμοια με της ροής και μέσω αυτών υπολογίζεται η μέση ταχύτητα του ήχου στην κατεύθυνση αυτή. Σε άλλα μονοπάτια τα σήματα ταξιδεύουν αντίθετα της ροής και μέσω αυτών υπολογίζεται η μέση ταχύτητα των σημάτων στην αντίθετη κατεύθυνση. Ο μετρητής τότε συγκρίνει την διαφορά μεταξύ των δύο αυτών μέσων τιμών, ώστε να καθορίσει την ταχήτητα ροής του αερίου.

Αντίστοιχα, οι μετρητές τύπου Doppler στέλνουν σήματα υπερήχων τα οποία όμως ανακλώνται από τα κινούμενα σωματίδια του ρευστού (Paul G. Honchar, Equimeter Incorporated, 2001),[10]. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά για υγρά μέσα και μάλιστα μη-καθαρά, καθώς απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία της είναι η ύπαρξη σωματιδίων εντός της ροής.



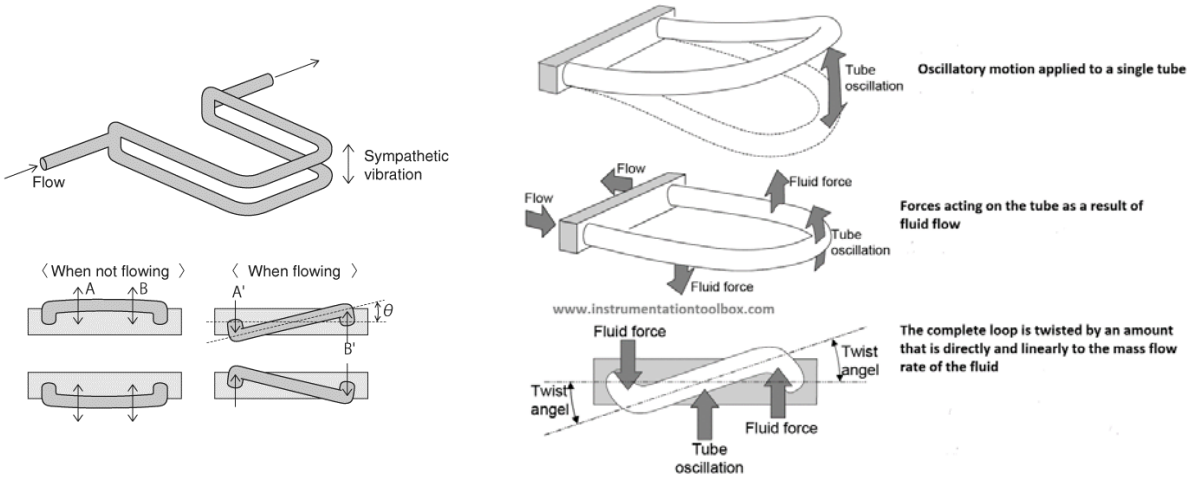

(Paul G. Honchar, Equimeter Incorporated, 2001),[10]

Σχήμα 2.7: Σχηματική απεικόνιση ενός μετρητή υπερήχων.

### 2.1.3.2 Μετρητές Coriolis

Ένας τέτοιος μετρητής αποτελείται συνήθως από έναν ή δύο κυρτούς κλειστούς αγωγούς, οι οποίοι είναι παράλληλα τοποθετημένοι μεταξύ τους και πάλλωνται στη συχνότητα συντονισμού. Οι μετρητές αυτοί χρησιμοποιούνται για την μέτρηση αερίων και υγρών. Όταν το ρευστό εντός ενός αγωγού βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, τότε τόσο το ανάντι όσο και το κατάντι κομμάτι του συγκεκριμένου αγωγού δονούνται σε φάση μεταξύ τους. Η συχνότητα της ταλάντωσης αυτής καθορίζεται από την πυκνότητα του σωλήνα (συμπεριλαμβανομένου και του μέσου που βρίσκεται στο εσωτερικό). Αυτό επιτρέπει την μέτρηση της πυκνότητας του αερίου σε πραγματικό χρόνο. Όταν το ρευστό εντός αρχίσει να ρέει ωστότο, δημιουργείται μια διαφορά φάσης στην ταλάντωση και εδώ χρησιμοποιείται η αρχή του φαινομένου Coriolis. Η αρχή αυτή υποδηλώνει μια σχέση μεταξύ της διαφοράς φάσης στην ταλάντωση του κατάντι και του ανάντι κομματιού του αγωγού με την παροχή μάζας του ρευστού που διακινείται εντός του αγωγού (Reddy, 2016),[13].

Οι μετρητές αυτοί χρειάζονται επιπλέον εξαρτήματα για να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις τους, όπως αισθητήρια όργανα (μεταλλάκτες), ηλεκτρονικά και υπολογιστικά στοιχεία για τη μεταφορά και την επεξεργασία του σήματος. Το εύρος λειτουργίας τους είναι αρκετά μεγάλο, με την ιδιαίτερη ικανότητα να μετρούν απευθείας την παροχή μάζας, δίνοντάς τους την μεγαλύτερη ακρίβεια από όλους τους μετρητές παροχής (How a Coriolis Mass Flow Meter Works, n.d.),[4]. Επιπλέον, μιας και μετρούν την πυκνότητα της ροής, έχουν τη δυνατότητα να υπολογίζουν τον ρυθμό της ροής στις συνθήκες ροής.




(Understanding Flow Sensors, n.d.),[16] - (How a Coriolis Mass Flow Meter Works, n.d.),[4]

Σχήμα 2.8: Αριστερά: Σχηματική απεικόνιση ενός μετρητή Coriolis με δύο παράλληλους αγωγούς.
Δεξιά: Σχηματική απεικόνιση μετρητή Coriolis με έναν αγωγό.

## 2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για τα διάφορα είδη μετρητών ροής,[19]

Ορισμένα από τα μειονεκτήματα που αφορούν στα διάφορα είδη μετρητών ροής οφείλονται στην τεχνολογία που χρησιμοποιούν, ενώ άλλα συνδέονται με την εφαρμογή, την εγκατάσταση ή τα υλικά κατασκευής τους. Για παράδειγμα, οι μετρητές με στρόβιλο (turbine meters), από την ίδια την φιλοσοφία που αφορά στη λειτουργία τους, διαθέτουν κινούμενα μέρη και παρόλο που οι κατασκευαστές τους έχουν πραγματοποιήσει βήματα για την αύξηση του επιπέδου της αξιοπιστίας τους, είναι αδύνατο να φανταστεί κάποιος έναν μετρητή με στρόβιλο δίχως κινούμενα μέρη. Οι μετρητές Coriolis, αντίθετα, δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη στο εσωτερικό τους, αλλά η τεχνολογία τους απαιτεί ογκώδη κατασκευή και συνεπώς μεγάλο κόστος. Οι μαγνητικοί μετρητές (magnetic flowmeters), δεν έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν υγρά υδρογονανθράκων διότι χρειάζονται ένα αγώγιμο ρευστό προκειμένου να εκτελέσουν μέτρηση (Yoder, 2011),[19].

Όσον αφορά στη μέτρηση ροής αερίων, είναι επιβεβλημένο να ελέγχονται τα πλεονετκήματα και τα μειονεκτήματα των διάφορων ειδών μετρητών ροής. Η ροή ενός αερίου είναι, από πολλές απόψεις, πιο δύσκολο να μετρηθεί από τη ροή ενός υγρού. Υπάρχουν παραδείγματα μετρητών ροής που συμπεριφέρονται άψογα στην μέτρηση αερίων, αλλά κάθε είδος μετρητή έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

### 2.2.1 Μετρητές Coriolis

Οι μετρητές αυτού του τύπου είναι οι ταχύτερα αναπτυσσόμενοι μετρητές τα τελευταία χρόνια. Σε πολλές μονάδες κατεργασιών αντικαθιστούν τους μετρητές διαφορικής πίεσης (differential pressure meters), οι οποίοι είναι μετρητές που χρησιμοποιούν την αρχή του Bernoulli δημιουργώντας μια πτώση πίεσης σε ένα σημείο της ροής. Παρά την μεγάλη αρχική τιμή αγοράς των μετρητών Coriolis, πολλοί χρήστες τους θεωρούν ως μια καλή επένδυση, όταν λαμβάνεται υπόψη το κόστος ιδιοκτησίας.

Οι μετρητές Coriolis χρησιμοποιούνται και για τη μέτρηση ροών αερίων αλλά έχουν ορισμένους περιορισμούς. Οι μετρητές αυτοί μετρούν με μεγαλύτερη ευκολία υγρά παρά αέρια καθώς τα πρώτα έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα. Παραδοσιακά, οι μετρητές Coriolis είναι ακριβοί και παρουσιάζουν δυσκολίες στην μεταχείρισή τους, όταν το μέγεθός τους υπερβαίνει τα 10 εκατοστά. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια ένας αριθμός προμηθευτών έχει αρχίσει την παραγωγή τέτοιων μετρητών που ξεπερνούν τα 15 εκατοστά. Ως αποτέλεσμα αυτής της εισροής στην δυνατότητα κατασκευής μετρητών τέτοιων μεγεθών, είναι πιθανή η σταδιακή αποδοχή τους σε μεγαλύτερα μεγέθη.

Ένα από τα θετικότερα χαρακτηριστικά των μετρητών αυτών συναντάται στο γεγονός ότι μετρούν την παροχή μάζας του μέσου απευθείας, που σημαίνει ότι δεν απαιτείται η χρήση κάποιας μαθηματικής σχέσης για τον υπολογισμό της. Οι περισσότεροι μετρητές άλλου τύπου, πέραν από τους θερμικούς μετρητές (thermal meters), μετρούν την ογκομετρική παροχή (μετρητές θετικής εκτόπισης).

Η ακρίβεια και η αξιοπιστία είναι οι βασικοί παράγοντες στην επιλογή ενός μετρητή. Οι μετρητές Coriolis έχουν υψηλή θέση και στις δυο αυτές κατηγορίες. Δεν είναι απλά οι μετρητές με την υψηλότερη ακρίβεια, αλλά και η συντήρηση που απαιτούν είναι ελάχιστη. Αυτό γιατί δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη, συνεπώς δεν απαιτούν σημαντικές εργασίες συντήρησης μετά την εγκατάσταση. Χωρίς κινούμενα μέρη να φθείρονται, αποτελούν πολύ αξιόπιστους μετρητές.

**Πλεονεκτήματα:**

- Υψηλή ακρίβεια
- Εγκεκριμένοι για συναλλαγές μεταφοράς μεταξύ διαχειριστών (custody transfer)
- Έχει ξεκινήσει η παραγωγή τους σε μεγαλύτερα μεγέθη
- Δυνατότητα χειρισμού σε εφαρμογές ειδών υγιεινής (sanitary applications)
- Δυνατότητα εφαρμογής σε έναν αγωγό, δίχως να απαιτείται διάτρυση
- Διαπρέπουν σε μεγέθη των 5 εκατοστών και κάτω
- Υψηλή αξιοπιστία
- Μεγάλο μέρος στην ανάπτυξη του προϊόντος βρίσκεται σε εξέλιξη

**Μειονεκτήματα:**

- Υψηλό αρχικό κόστος
- Ακόμα υψηλότερο κόστος και δυσκολία στον χειρισμό για μεγέθη άνω των 10 εκατοστών

- Η μέτρηση ροών αερίου μπορεί να είναι δύσκολη λόγω της χαμηλής πυκνότητας των αερίων
- Ορισμένες περιπτώσεις απαιτούν ροές υψηλών ταχυτήτων, με συνέπεια την εμφάνιση υψηλών πτώσεων πίεσης.
- Η εγκατάστασή τους στο εσωτερικό των τοιχωμάτων των σωλήνων, ενδέχεται να προκαλέσει μείωση της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα, επηρεάζοντας την ακρίβεια των μετρήσεων

### 2.2.2 Μετρητές Υπερήχων (Ultrasonic Flowmeters)

Υπάρχουν δύο βασικά είδη μετρητών ροής με υπερήχους – χρόνου διάβασης (transit-time) και Doppler. Ένας μετρητής ροής υπερήχων τύπου transit-time αποτελείται από έναν πομπό και έναν δέκτη. Δύο υπερηχητικά σήματα αποστέλλονται διαμέσου ενός σωλήνα (το ένα ακολουθεί την κατεύθυνση της ροής, το άλλο έχει αντίθετη κατεύθυνση). Ο μετρητής τότε μετρά τον χρόνο διάβασης κάθε σήματος. Όταν το υπερηχητικό σήμα ταξιδεύει με την ροή, η ταχύτητά του είναι μεγαλύτερη από το σήμα που ταξιδεύει στην αντίθετη κατεύθυνση. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο αυτές ταχύτητες και στον χρόνο που απαιτείται για να καλύψουν τα δυο αυτά σήματα μια όμοια απόσταση, είναι ανάλογη της ταχύτητας της ροής.

Πολλές τεχνολογικές βελτιώσεις έχουν εφαρμοστεί στους υπερηχητικούς μετρητές τις τελευταίες δεκαετίες. Λόγω των βελτιώσεων στην τεχνολογία της ηλεκτρονικής επεξεργασίας σημάτων, οι μετρητές αυτού του τύπου είναι σε καλύτερη θέση να μεταχειρίζονται ρευστά τα οποία δεν είναι εντελώς καθαρά. Οι βελτιώσεις αυτές έχουν επίσης συμβάλλει θετικά στην ακρίβεια των υπερηχητικών μετρητών, γεγονός που έχει οδηγήσει στην πιο ευρεία χρήση τους σε ποικίλες συνθήκες.

Μια άλλη σημαντική τεχνολογική βελτίωση αποτέλεσε η ανάπτυξη των μετρητών υπερήχων πολλαπλών διαδρομών, οι οποίοι χρησιμοποιούν περισσότερα του ενός υπερηχητικά σήματα για τον υπολογισμό του ρυθμού της ροής. Κάθε ένα μονοπάτι απαιτεί ένα ζεύγος πομπού και δέκτη. Χρησιμοποιώντας περισσότερα του ενός μονοπάτια, ο μετρητής μετρά την ροή σε περισσότερα σημεία, προσφέροντας μεγαλύτερη ακρίβεια.

Οι μετρητές υπερήχων κατέχουν ένα ξεχωριστό πλεονέκτημα έναντι των υπόλοιπων μετρητών νέας τεχνολογίας. Σε αντίθεση με τους μετρητές Coriolis, οι μετρητές υπερήχων έχουν πολύ καλή απόδοση όταν χρησιμοποιούνται σε σωλήνες μεγάλων μεγεθών. Περισσότερο από το 80% των μετρητών Coriolis χρησιμοποιούνται για σωλήνες διαμέτρου 5 εκατοστών ή και λιγότερο. Παρόλο που ορισμένοι μετρητές Coriolis χρησιμοποιούνται σε σωλήνες 10 και 15 εκατοστών, σε αυτά τα μεγέθη γίνονται δυσμεταχείριστοι και ακριβοί. Το μέγεθος είναι ένα πλεονέκτημα των μετρητών υπερήχων, μιας και οι μεγαλύτερες γραμμές προσφέρουν περισσότερο χώρο στο υπερηχητικό σήμα. Για σωλήνες των 15 εκατοστών και άνω οι μετρητές υπερήχων αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις καλύτερη επιλογή από τους Coriolis και ιδιαίτερα για μετρήσεις αερίων.

Επιπλέον, οι μετρητές υπερήχων κατέχουν ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τους μαγνητικούς μετρητές στο γεγονός ότι έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν μη-αγώγιμα ρευστά, αέρια και ατμό. Οι μαγνητικοί μετρητές έχουν αρκετά περιορισμένη χρήση στον τομέα της παραγωγής

πετρελαίου και αερίου καυσίμου, στις βιομηχανίες μεταφοράς και διύλισης, διότι τα παράγωγα του πετρελαίου δεν είναι αγώγιμα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι μαγνητικοί μετρητές δεν δύναται να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις υδραυλικών ρευστών (hydaulic fluids), πετρελαίου ή αερίων καυσίμων. Επίσης, αδυνατούν να μετρήσουν την ροή ρεύματος ατμού. Αυτός είναι ένας από τους πιό σημαντικούς παράγοντες που έχει οδηγήσει στην ταχεία ανάπτυξη της αγοράς των μετρητών υπερήχων έναντι των μαγνητικών μετρητών.

**Πλεονεκτήματα:**

- Υψηλή ακρίβεια
- Εγκεκριμένοι για συναλλαγές μεταφοράς μεταξύ διαχειριστών (custody transfer)
- Ευρεία εμβέλεια – χρήση σε υψηλές και χαμηλές πιέσεις
- Εφαρμόζουν σε έναν σωλήνα χωρίς να απαιτείται διείσδυση
- Αντοχή σε ακραίες θερμοκρασίες
- Αυτο-διάγνωση: από τη στιγμή της βαθμονόμισής τους, αξιολογήσεις μπορούν να διακρίνουν αλλαγές στις μετρήσεις, απαιτώντας έτσι λιγότερο συχνή βαθμονόμιση
- Μακροχρόνια αξιοπιστία
- Χαμηλή συντήρηση (δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη που απαιτούν αντικατάσταση ή λίπανση)

**Μειονεκτήματα:**

- Μεγάλο αρχικό κόστος
- Θόρυβος ακόμα και σε συχνότητες μη ανιχνεύσιμες από την ανθρώπινη ακοή μπορεί να παρεμποδίσει την ανίχνευση των παλμών
- Τα τοιχώματα του σωλήνα ενδέχεται να παρεμποδίσουν τα υπερηχητικά σήματα, αν ο μετρητής βρίσκεται στο εξωτερικό του σωλήνα
- Αν ο μετρητής βρίσκεται στο εσωτερικό του σωλήνα, η εσωτερική διάμετρος μειώνεται και ενδέχεται να επηρεαστεί η μετρητική ακρίβεια
- Ακαθαρσίες που συσσωρεύονται έχουν επίπτωση στην απόδοση (αυξημένη τριβή στα έδρανα) και τη μετρητική ακρίβεια

### 2.2.3 Μετρητές Δίνης (Vortex Flowmeters)

Οι μετρητές δίνης χρησιμοποιούν μια φυσική αρχή η οποία αφορά στο σχηματισμό μικρών στροβιλιζόμενων δινών (vortices) κατάντι ενός εμποδίου το οποίο έχει τοποθετηθεί εντός ενός ρεύματος. Οι μετρητές αυτοί κάνουν χρήση ενός φαινομένου το οποίο μελετήθηκε από τον von Karman κατά το οποίο όταν ένα επίπεδο αντικείμενο τοποθετηθεί στην κατεύθυνση μιας ροής, σχηματίζονται δύο σειρές από στροβιλιζόμενες δίνες οι οποίες έχουν αντίθετη φορά περιστροφής. Ως εμπόδιο χρησιμοποιείται ένα σώμα με ευρύ επίπεδο μέτωπο, το οποίο τοποθετείται υπό κατάλληλη γωνία ως προς τη ροή. Καθώς το ρευστό έρχεται σε επαφή με το σώμα, δημιουργείται μια σειρά από δίνες. Η ταχύτητα της ροής είναι ανάλογη με τη συχνότητα των δινών. Ο μετρητής αυτός καθορίζει τη συχνότητα μιας δίνης κάνοντας χρήση ενός αισθητήριου οργάνου, το οποίο μπορεί να μετρά πίεση, θερμοκρασία ή και υπερήχους.

Το βασικό πλεονέκτημα των μετρητών δίνης είναι η ευελιξία τους. Έχουν τη δυνατότητα μέτρησης ρευμάτων αερίων, υγρών και ατμού με αξιόπιστο τρόπο. Επιπλέον, είναι ανθεκτικοί στις υψηλές θερμοκρασίες που συναντώνται στα ρεύματα ατμού. Οι μετρητές διαφορικής πίεσης είναι το μόνο άλλο είδος μετρητών με τέτοιου είδους ευελιξία. Ωστόσο, οι μετρητές δίνης διαθέτουν μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς η πτώση πίεσης που εμφανίζεται σε αυτούς είναι μικρότερη από τους μετρητές διαφορικής πίεσης και έχουν τη δυνατότητα κανονικοποίησης της ροής αερίων σε συνθήκες περιβάλλοντος.

**Πλεονεκτήματα:**

- Μεγάλη ευελιξία – ικανοί για μετρήσεις υγρών, αερίων και ατμού
- Σχετικά μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία
- Δεν χρησιμοποιούν κινούμενα μέρη - χαμηλό κόστος συντήρησης
- Οι μετρητές πολλαπλών μεταβλητών παρέχουν μετρήσεις για την παροχή
- Ψηφιακή ή και αναλογική πληροφορία
- Έχουν αναπτυχθεί πρότυπα για συναλλαγές μεταφοράς μεταξύ διαχειριστών (custody transfer) από το API (American Petroleum Institute)

**Μειονεκτήματα:**

- Είναι πιθανό να προκαλέσουν πτώση πίεσης λόγω του επίπεδου σώματος
- Δεν ενδείκνυνται για χρήση σε υγρά υψηλής συνεκτικότητας
- Απαιτείται τυρβώδης ροή του μέσου
- Δυσκολία στη βαθμονόμηση
  (Vortex flow meter advantages and disadvantages, n.d.),[18].

## 2.2.4 Μετρητές Διαφορικής Πίεσης (Differential-Pressure)

Οι μετρητές διαφορικής πίεσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές μέτρησης ροής αερίων με χαμηλό κόστος (Differential Pressure Flowmeter Technology, n.d.),[2]. Παρά τους περιορισμούς τους, πολλοί χρήστες εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τέτοιους μετρητές, ειδικά σε συνδυασμό με επίπεδες πλάκες με στόμιο, όταν δεν απαιτείται ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια.

Τα τελευταία χρόνια κάνουν την εμφάνισή τους πομποί πίεσης οι οποίοι διαθέτουν πιο εξελιγμένα χαρακτηριστικά, που υπόσχονται υψηλότερη ακρίβεια, αξιοπιστία, διαγνωστική και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Η ανάγκη για μεγαλύτερη αξιοπιστία είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από τις βελτιώσεις στους πομπούς πίεσης.

### 2.2.4.1 Μετρητές Διαφορικής Πίεσης Πολλαπλών Μεταβλητών (Multivariable DP Flowmeters)

Η χρήση των μετρητών πολλαπλών μεταβλητών έχει αυξηθεί σε σημαντικό βαθμό τα τελευταία χρόνια. Οι μετρητές αυτού του τύπου συλλέγουν στοιχεία για περισσότερες από μία μεταβλητές. Συνήθως μετρούν διαφορά πίεσης ή/και θερμοκρασία. Πολλοί εξ' αυτών διαθέτουν έναν πομπό πίεσης και θερμοκρασίας ενσωματωμένους σε μια συσκευή, καθιστώντας έτσι μη αναγκαία την αγορά των προϊόντων αυτών ξεχωριστά. Οι μετρητές αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως για την μέτρηση της παροχής μιας ροής, ενώ το μέσο που εξετάζουν είναι συνήθως ατμός ή αέριο.

Όπως και για τους απλούς μετρητές διαφορικής πίεσης, έτσι και οι μετρητές πολλαπλών μεταβλητών απαιτούν ένα "φράγμα" προκειμένου να δημιουργηθεί ένα εμπόδιο στην κατεύθυνση της ροής, καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο δυνατή τη μέτρηση της πτώσης πίεσης. Είναι δυνατό να χρησημοποιηθούν σε συνδυασμό με σωλήνες Pitot, Venturi, επίπεδες πλάκες με στόμιο, στόμια ροής, κλπ. Οι μετρητές αυτοί παρέχουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα στοιχεία της ροής, πράγμα επιθυμητό.

Ένα κύριο πλεονέκτημα αυτού του είδους των μετρητών αποτελεί το χαμηλό τους κόστος. Οι επίπεδες πλάκες με στόμιο είναι αρκετά φθηνές και είναι δυνατό να εγκατασταθούν σε συνδυασμό με έναν μετρητή διαφοράς πίεσης, παρέχοντας έτσι μετρήσεις σχετικές με την ροή. Η λήψη μετρήσεων σε μια ροή μέσω της πτώσης πίεσης σε δύο σημεία της είναι μια από τις παλαιότερες τεχνικές μέτρησης ροής, καθιστώντας τους μετρητές που λειτουργούν με βάση αυτήν την αρχή ως τους πιό μελετημένους και κατανοητούς.

**Πλεονεκτήματα:**

- Χαμηλό κόστος
- Εκδοχές που εκτελούν μετρήσεις πολλαπλών μεταβλητών παρέχουν μετρήσεις για αέρια και ατμό
- Απλή στη λογική, γνωστή τεχνολογία
- Ευελιξία στις μετρήσεις, αν ληφθούν υπόψη και άλλες διατάξεις με τις οποίες είναι δυνατό να συνεργαστούν (όπως στόμια Venturi)

**Μειονεκτήματα:**

- Χαμηλό εύρος λειτουργίας
- Ενδέχεται να έχουν χαμηλή ακρίβεια
- Δυσκολία στη διαγνωστική
- Φθορά σε εξαρτήματα, όπως οι πλάκες με στόμιο που χρησιμοποιούνται, απαιτούν συστηματική συντήρηση
- Υψηλή πτώση πίεσης

### 2.2.5 Μετρητές Θετικής Μετατόπισης (Διαφραγματικοί, Περιστροφικοί, κλπ.)

Οι μετρητές αυτοί χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλο τον κόσμο, ειδικά για οικιακή χρήση και για περιπτώσεις τιμολόγησης τόσο νερού, όσο και αερίων καυσίμων. Παρά τον ανταγωνισμό που δέχονται από μετρητές νέων τεχνολογιών σε ορισμένους τομείς, οι μετρητές μετατόπισης παραμένουν η βέλτιστη λύση σε πολλές εφαρμογές.

Μεγάλος αριθμός μετρητών θετικής μετατόπισης που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις αερίων είναι οι διαφραγματικοί μετρητές. Ωστόσο, τεχνολογικές βελτιώσεις συντελούνται και σε ένα άλλο είδος μετρητών μετατόπισης. Οι μετρητές μετατόπισης περιστροφικού τύπου (rotary PD meters) αντικαθιστούν τους διαφραγματικούς μετρητές παλαιότερης τεχνολογίας. Αυτοί οι νεότεροι περιστροφικοί μετρητές είναι μικρότερου μεγέθους και ελαφρύτεροι από τους διαφραγματικούς.

Οι μετρητές μετατόπισης για εφαρμογές αερίων έχουν ως κύριους ανταγωνιστές τους μετρητές με στόβιλο (turbine meters). Παρόλα αυτά, οι μετρητές μετατόπισης συναντώνται κυρίως σε αγωγούς μικρότερης διατομής. Αντίθετα, οι μετρητές με στρόβιλο είναι πιό αποδοτικοί όταν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση σταθερής και μεγάλης παροχής ροής. Για τον λόγο αυτό, οι μετρητές με στρόβιλο είναι πιθανότερο να χρησιμοποιηθούν σε αγωγούς άνω των 25 εκατοστών σε διάμετρο. Σε τέτοια μεγέθη διαπρέπουν και οι μετρητές με υπερήχους. Για αγωγούς με μεγέθη από 10 έως 25 εκατοστά χρησιμοποιούνται τόσο οι μετρητές με υπερήχους, όσο και οι μετρητές με στρόβιλο και θετικής μετατόπισης. Για τα μικρότερα μεγέθη όμως, οι μετρητές μετατόπισης πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων, καθώς δεν επηρεάζονται αρνητικά από τις μικρές παροχές. Άλλοι τομείς στους οποίους οι μετρητές μετατόπισης πλεονεκτούν είναι στις μετρήσεις υγρών υψηλής συνεκτικότητας.

**Πλεονεκτήματα:**

- Δυνατότητα λήψης μετρήσεων με χαμηλό κόστος
- Πλεονεκτούν σε αγωγούς μικρότερων διατομών
- Καλοί για ροές μικρότερης παροχής
- Λειτουργία με μέσα υψηλής συνεκτικότητας
- Μεγάλη περίοδος ζωής

**Μειονεκτήματα:**

- Κινούμενα μέρη
- Απαιτούν συστηματική συντήρηση
- Ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προβλήματα αν εμφανιστούν ακαθαρσίες στη ροή

### 2.2.6 Μετρητές με Στρόβιλο/Τουρμπίνας (Turbine Flowmeters)

Οι μετρητές με στρόβιλο είναι δημοφιλείς και αποτελούν μια βιώσιμη επιλογή για μετρήσεις ροών αερίων. Υπερτερούν στις μετρήσεις καθαρών, σταθερών και μέτριων προς μεγάλων παροχών, μέσων χαμηλής συνεκτικότητας.

Υπάρχει μεγάλος αριθμός λόγων για τους οποίους οι μετρητές αυτοί συναντούν ευρεία χρήση σε εφαρμογές όπου υπάρχει ροή αερίων. Ένας από αυτούς είναι το χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τους μετρητές με υπερήχους, ειδικά σε αγωγούς μεγάλης διατομής. Η τιμή τους μπορεί ακόμα να συγκριθεί με αυτή των μετρητών μετατόπισης, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση ενός μετρητή με στρόβιλο μπορεί να αντικαταστήσει μεγαλύτερο αριθμό μετρητών μετατόπισης.

Επιπλέον, σημειώνονται βελτιώσεις στους μετρητές με στρόβιλο από τους κατασκευαστές, οι οποίες στοχεύουν στην αύξηση των επιπέδων αξιοπιστίας τους. Πολλές από αυτές τις βελτιώσεις επικεντρώνονται στην αύξηση της αξιοπιστίας των κινούμενων μερών του μετρητή. Τα έδρανα από άνθρακα έχουν αρχίσει να αντικαθίστανται από έδρανα πιο ανθεκτικών υλικών, όπως κεραμικά υλικά. Περεταίρω βελτιώσεις που εφαρμόζονται περιλαμβάνουν συστήματα αυτόματης λίπανσης και ελάττωσης της πτώσης πίεσης που δημιουργούν.

Το πρωταρχικό πλεονέκτημα των μετρητών αυτών είναι το σχετικά χαμηλό κόστος τους, όταν συγκρίνονται με τους μετρητές νέων τεχνολογιών. Παρά τις τεχνολογικές βελτιώσεις, η χρήση κινούμενων μερών αποτελεί μειονέκτημα για τους μετρητές με στρόβιλο. Οι μετρητές αυτοί προκαλούν επίσης μια πτώση πίεσης. Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα που οφείλεται στην τεχνολογία τους, μιας και η τοποθέτηση της πτερωτής εντός της ροής, προκαλεί πτώση της πίεσης.

**Πλεονεκτήματα:**

- Χαμηλό - μεσαίο αρχικό κόστος
- Υπερέχουν στη μέτρηση καθαρής, σταθερής, μεσαίας προς υψηλής ταχύτητας ροής με χαμηλή συνεκτικότητα
- Υψηλό εύρος λειτουργίας
- Αξιοπιστία

**Μειονεκτήματα:**

- Πτώση πίεσης
- Απαιτούν λίπανση των κινούμενων μερών
- Παραδοσιακά είναι μονής κατεύθυνσης (uni-directional)

### 2.2.7 Θερμικοί Μετρητές

Τόσο οι θερμικοί, όσο και οι μετρητές Coriolis, μετρούν την παροχή μάζας μιάς ροής. Παρόλα αυτά, οι θερμικοί μετρητές μετρούν την παροχή μάζας με αρκετά διαφορετικό τρόπο. Αντί να χρησιμοποιούν την ορμή της ροής, όπως κάνουν οι μετρητές Coriolis, οι θερμικοί μετρητές κάνουν χρήση των ιδιοτήτων της αγωγής θερμότητας των ρευστών προκειμένου να υπολογίσουν την παροχή μάζας. Παρότι ο μεγαλύτερος αριθμός μετρητών αυτού του τύπου έχουν ως μέσο αέριο, κάποιοι χρησιμοποιούνται και για την μέτρηση υγρών.

Τα ανεμόμετρα με θερμό σύρμα αποτελούνται από ένα λεπτό θερμαινόμενο σύρμα, το οποίο είναι μικρό σε μέγεθος και αρκετά εύθραυστο. Τα ανεμόμετρα αυτά χρησιμεύουν για τη δημιουργία προφίλ ταχυτήτων και για την έρευνα φαινομένων τύρβης. Λόγω της ευαισθησίας τους σε φθορές, δεν είναι ιδανικοί για χρήση σε βιομηχανικό περιβάλλον. Οι βιομηχανικοί θερμικοί μετρητές κάνουν χρήση μιάς παρόμοιας έννοιας, μετρώντας τον ρυθμό απομάκρυνσης της θερμότητας προκειμένου να καθορίσουν την παροχή μάζας, χρησιμοποιώντας ανθεκτικότερα αισθητήρια όργανα, κατάλληλα για το βιομηχανικό περιβάλλον.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών που αφορούν στους θερμικούς μετρητές. Κάποιοι από αυτούς μετρούν τον ρυθμό με τον οποίο “χάνεται” μια ποσότητα εισαγώμενης στο μέσο θερμότητας. Άλλοι, μετρούν τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα σε έναν θερμαινόμενο αισθητήρα και της περιβάλλουσας ροής. Οι μετρητές αυτοί συνήθως απαιτούν ένα ή και περισσότερα αισθητήρια όργανα, προκειμένου να λαμβάνουν μετρήσεις σε συγκεκριμένα σημεία της ροής.

Οι θερμικοί μετρητές διαθέτουν ορισμένα σημαντικά πλεονετκήματα. Ένα από αυτά αποτελεί η σχετικά χαμηλή τιμή αγοράς τους. Δεύτερον, οι θερμικοί μετρητές, διαθέτουν τη δυνατότητα μέτρησης ροών ακόμα και όταν το μέσο είναι αέριο χαμηλής πίεσης, το οποίο δεν είναι αρκετά πυκνό για να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με χρήση μετρητή Coriolis. Αυτά τα δύο πλεονεκτήματα δίνουν στους θερμικούς μετρητές μια ιδιαιτερότητα όσον αφορά στη μέτρηση παροχών αερίων. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι η μέτρια προς κακή ακρίβειά τους, αν και τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί βελτιώσεις στον τομέα αυτόν.

**Πλεονεκτήματα:**

- Μέτριο κόστος
- Ικανότητα μέτρησης ροής αερίων χαμηλής πίεσης
- Δυνατότητα για μέτρηση ροής σε καπνοδόχο (stack flow measurement)
- Κατάλληλοι για εφαρμογές παρακολούθησης εκπομπών
- Ικανοί για λήψη μετρήσεων σε αγωγούς μεγάλης διατομής

**Μειονεκτήματα:**

- Μέτρια πρός χαμηλή ακρίβεια
- Η σύσταση του αερίου πρέπει να είναι γνωστή
- Κυρίως χρησιμοποιούνται για αέρια, πολύ λίγες εφαρμογές σε υγρά
- Αδυνατούν να μετρήσουν παροχή ρεύματος ατμού

### 2.2.8 Μετρητές Υγρού Τυμπάνου

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι μετρητές υγρού τυμπάνου ανήκουν στην κατηγορία των μετρητών θετικής μετατόπισης, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια μετρήσεων σε εφαρμογές όπου η ροή έχει σχετικά μικρή ογκομετρική παροχή. Αυτός είναι και ο λόγος όπου οι μετρητές αυτοί χρησιμοποιούνται και ως όργανα διακρίβωσης άλλων μετρητών.

Το υπό μέτρηση αέριο εισάγεται στο τύμπανο από το κέντρο του στο εσωτερικό και καθώς πληρώνει τον πρώτο θάλαμο, εκτοπίζει το υγρό, προκαλώντας έτσι την περιστροφή του τυμπάνου. Όταν ο θάλαμος πληρωθεί με το αέριο, η βαλβίδα εισαγωγής καλύπτεται από τη στάθμη του υγρού. Εκείνη τη στιγμή, η εισαγωγή του επόμενου κατά σειρά θαλάμου ανοίγει και με τον τρόπο αυτό η περιστροφή συνεχίζεται. Ακολούθως, καθώς ο πρώτος θάλαμος γεμίζει με υγρό, το παγιδευμένο αέριο διαφεύγει μέσω της βαλβίδας εξόδου (Drum-type Gas Meters TG-Series (Wet-Test), 2015),[3]. Το υπό μέτρηση αέριο, δίερχεται μέσω του υγρού μέσου, γεγονός το οποίο προκαλεί μείωση του σφάλματος της μέτρησης, λόγω της σταθερής υγρασίας που διατηρείται εντός του μετρητή. Στις περιπτώσεις όπου ως υγρό πλήρωσης χρησιμοποιείται κάποιο έλαιο, αποτρέπονται θέματα εξάτμησης ή υψηλής υγρασίας. Ωστόσο, το έλαιο θα πρέπει να είναι χαμηλής συνεκτικότητας και υψηλής πίεσης ατμών.

Θετικά στοιχεία των μετρητών αυτών αποτελούν η υψηλή τους ακρίβεια, ειδικά σε περιπτώσεις χαμηλών παροχών, το μεγάλο εύρος λειτουργίας τους, η δυνατότητα μέτρησης διαβρωτικών και αδρανών αερίων και η συμπαγής κατασκευή τους, χωρίς την ανάγκη για συντήρηση.

Από την άλλη μεριά, πρέπει να τονιστεί πως το υγρό εντός του μετρητή είναι πιθανό να εξατμιστεί (στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται νερό), πράγμα που σημαίνει ότι απαιτείται έλεγχος της στάθμης και πλήρωσή του σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον, λόγω της εξάτμισης του νερού, είναι πιθανό να συγκεντρωθούν άλατα στις σωληνώσεις και καλό θα ήταν να ελέγχονται και αυτές. Τέλος, ο μετρητής πρέπει να είναι κατάλληλα ευθυγραμμισμένος και για τον λόγο αυτό διαθέτει ενδεικτικό όργανο στο άνω μέρος του και πόδια μεταβλητού μήκους που χρησιμεύουν για την διαδικασία της ευθυγράμμισης.

**Πλεονεκτήματα:**

- Ικανότητα μέτρησης μικρών ογκομετρικών παροχών με μεγάλη ακρίβεια
- Η χρήση ελαίου έναντι νερού για υγρό πλήρωσης εξαλήφει τον παράγοντα της υγρασίας και το φαινόμενο της εξάτμισης
- Δυνατότητα μέτρησης διαβρωτικών ή αδρανών αερίων
- Δεν απαιτούν συντήρηση
- Ικανοί για διακρίβωση άλλων μετρητών
- Ικανοποιητικό εύρος λειτουρίας
- Μετράται απευθείας ο όγκος του αερίου χωρίς να απαιτείται η μέτρηση δευτερευόντων μεγεθών όπως η ταχύτητα, η θερμοχωρητικότητα, κλπ.

**Μειονεκτήματα**

- Υψηλό αρχικό κόστος
- Απαιτείται πλήρωση του υγρού πλήρωσης στην ενδεικνύμενη στάθμη
- Η ευθυγράμμιση του μετρητή παίζει σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων
- Η εξάτμιση του υγρού είναι πιθανό να προκαλέσει εμφάνιση αλάτων στους αγωγούς (για τη χρήση νερού)
- Παράγοντας της υγρασίας στο εσωτερικό του μετρητή (για τη χρήση νερού)
- Χρήση ελαίου ως υγρού πλήρωσης συνεπάγεται αυξημένο κόστος
- Χρησιμοποιούνται για μετρήσεις αερίων και όχι υγρών

## 2.3 Συμπεράσματα

Μέσω του κεφαλαίου αυτού, προκύπτει το συμπέρασμα ότι στην επιλογή ενός μετρητή αερίου, πρωτεύοντα ρόλο έχει η εφαρμογή στην οποία ο μετρητής αυτός θα χρησιμοποιηθεί, καθώς δεν υφίσταται κάποιο είδος μετρητή, η απόκτηση και η χρήση του οποίου επιφέρει σημαντικό αριθμό πλεονεκτημάτων έναντι των υπολοίπων. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες στην απόφαση αυτή αποτελούν το αρχικό κόστος, το κόστος συντήρησης αλλά και η επιθυμητή ακρίβεια και αξιοπιστία του μετρητή.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθούν οι ενότητες του συγκεκριμένου κεφαλαίου που αφορούν στους μετρητές τύπου υγρού τυμπάνου, μιάς και ένας μετρητής τέτοιου τύπου χρησιμοποιείται και ως πρότυπο στη διάταξη LTT-360, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα που ακολουθεί. Πιό συγκεκριμένα, στην υποενότητα 2.2.8 καταγράφονται ορισμένα μειονεκτήματα για τους μετρητές τύπου υγρού τυμπάνου, όταν γίνεται χρήση νερού ως υγρού πλήρωσης. Τα φαινόμενα αυτά είχαν μάλιστα εμφανιστεί κατά την εξαγωγή των πρώτων πειραματικών δοκιμών, όπου γινόταν χρήση νερού ως υγρού πλήρωσης (ενότητες 4.1 και 4.2). Η αντικατάσταση του νερού με έλαιο ως υγρό πλήρωσης του συγκεκριμένου μετρητή αναφοράς, συνέβαλλε στην εξάλειψη των φαινομένων αυτών.

# ΜΕΡΟΣ Β’

## Περιγραφή της Μονάδας LTT-360

# Κεφάλαιο 3

## Αναλυτική Περιγραφή της Διάταξης Διακριβώσεων Μετρητών Φυσικού Αερίου LTT-360

Βασικός στόχος του παρόντος κεφαλαίου, αποτελεί η τεκμηρίωση της διάταξης διακρίβωσης LTT-360 και του λογισμικού που αυτή διαθέτει. Στα πλαίσια αυτής της τεκμηρίωσης, αρχικά δίνεται η περιγραφή του συνόλου της εγκατάστασης και των βασικότερων επιμέρους στοιχείων της. Στη συνέχεια, απαριθμίζονται κατά σειρά όλες οι διαδικασίες που πρέπει να εκτελεστούν προκειμένου να προετοιμαστεί ορθά η διάταξη και ακολούθως καταγράφεται ο χειρισμός της διάταξης και του λογισμικού της κατά τη διαδικασία της διακρίβωσης. Επιπλέον, δίδονται περεταίρω πληροφορίες σχετικά με τις δυνατότητες που παρέχει το λογισμικό στον χρήστη, που δεν αφορούν αποκλειστικά στη διαδικασία της διακρίβωσης, όπως ο χειρισμός και η εξαγωγή πληροφοριών από τη βάση δεδομένων.

Επιπρόσθετα, στο κεφάλαιο αυτό εκτελείται μια καταγραφή των μαθηματικών τύπων και της μεθοδολογίας, μέσω των οποίων υπολογίζονται τα αποτελέσματα κάθε μέτρησης, σε συνδυασμό με ένα αριθμητικό παράδειγμα. Επίσης, δίδεται μια σχηματική αναπαράσταση σε συνδυασμό με μια περιγραφή, με στόχο την εξήγηση της μεθόδου των ηλεκτρικών παλμών που χρησιμοποιεί το λογισμικό της διάταξης, προκειμένου να καθορίσει τον όγκο του εργαζόμενου μέσου που διέρχεται από τον μετρητή αναφοράς.

Τέλος, η τεκμηρίωση αυτή ολοκληρώνεται μέσω της συγκρότησης των ηλεκτρολογικών σχεδίων της διάταξης, καθώς επίσης και των μηχανολογικών σχεδίων των κατασκευαστικών τεμαχίων της (σε συνδυασμό με κατασκευή 3d μοντέλων). Τα ηλεκτρολογικά σχέδια του συνόλου της διάταξης, των επιμέρους στοιχείων της, όπως επίσης και ο κατάλογος τεμαχίων/ευρετήριο που συγκροτήθηκε, βρίσκονται στο Παράρτημα Α της παρούσας εργασίας. Τα μηχανολογικά σχέδια, σε συνδυασμό με ορισμένα παραδείγματα από τα τριδιάστατα μοντέλα των κατασκευαστικών τεμαχίων που συγκροτήθηκαν με σκοπό την καλύτερη κατανόησή τους, παρατίθενται στο Παράρτημα Β του παρόντος κειμένου.

## 3.1 Περιγραφή της πορείας της ροής εντός της διάταξης LTT-360 και των βασικότερων επιμέρους τμημάτων της

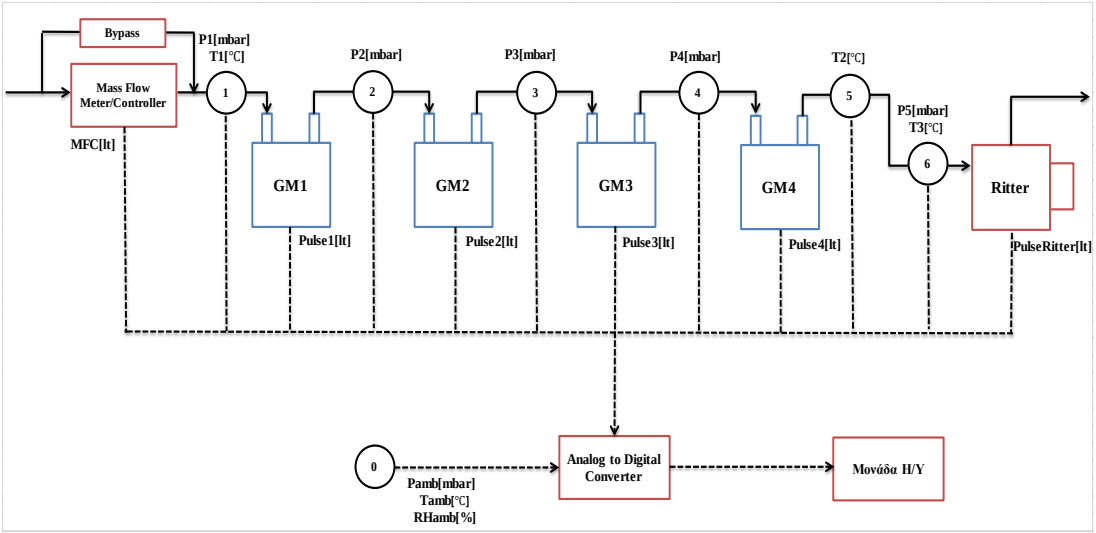
Σκοπός της παρούσας ενότητας αποτελεί η περιγραφή των βασικών τμημάτων που απαρτίζουν τη μονάδα LTT-360 και των διεργασιών που εκτελούν, καθώς επίσης και η περιγραφή της πορείας που ακολουθεί το εργαζόμενο μέσο εντός της συγκεκριμένης διάταξης. Επιπλέον, στην ενότητα αυτή απαριθμίζονται τα σημεία λήψης των μετρήσεων της εγκατάστασης, και δίδονται πληροφορίες σχετικά με τα μεγέθη που μετρώνται σε κάθε ένα από τα σημεία αυτά.

Σχήμα 3.1: Φωτογραφίες της μονάδας LTT-360 της ΜΟ.ΔΙ.ΜΕ.Φ.Α.

Στο σχήμα που δίδεται παρακάτω (Σχήμα 3.2), διακρίνεται η διαδρομή που ακολουθεί η ροή του υπό μέτρηση αερίου διαμέσου της πειραματικής διάταξης (γραμμή με συνεχή διαγράμμιση). Επιπλέον, διακρίνονται και τα σημεία των μετρήσεων (αριθμημένα από 0 έως 6) αλλά και τα σήματα που λαμβάνονται υπό μορφή ηλεκτρικών παλμών (διακεκομμένη γραμμή). Επίσης, τονίζεται ότι στο συγκεκριμένο σχέδιο χρησιμοποιείται κόκκινο χρώμα για τα βασικά στοιχεία της διάταξης LTT-360, ενώ μπλέ χρώμα χρησιμοποιείται στους μετρητές υπό δοκιμή.

Στη συνέχεια, στις σχετικές υποενότητες που ακολουθούν, παρατίθενται οι περιγραφές των βασικότερων τμημάτων που αποτελούν την εγκατάσταση LTT-360, σε συνδυασμό με αναφορές για τις εργασίες που επιτελούν.

## 3.1. Περιγραφή της Πορείας της Ροής Εντός της Διάταξης LTT-360 και των Βασικότερων Επιμέρους Τμημάτων της




Σχήμα 3.2: Σχηματική αναπαράσταση της διαδρομής που ακολουθεί η ροή του αερίου (συνεχής γραμμή) και των ηλεκτρικών σημάτων (διακεκομμένη γραμμή) της πειραματικής διάταξης. Τα σημεία λήψης μετρήσεων είναι αριθμημένα με τους αριθμούς από 0 έως 6 και οι μετρήσεις εκεί επιτυγχάνονται με τη χρήση κατάλληλων μεταλλακτών.

### Mass Flow Meter/Controller:

Ο mass flow meter/controller (mfc) βρίσκεται στην αρχή της διάταξης και ευθύνεται για τον έλεγχο του όγκου του εργαζόμενου μέσου (αέρας στην προκειμένη περίπτωση) που θα περάσει στην υπόλοιπη διάταξη. Αρχικά, ορίζεται μια συγκεκριμένη ποσότητα όγκου αέρα που θα επιτραπεί να διέλθει από τον mfc και κατ'επέκταση στην υπόλοιπη πειραματική διάταξη, προκειμένου να ληφθούν οι απαιτούμενες μετρήσεις. Αυτό γίνεται εισάγωντας την τιμή αυτή σε κατάλληλο πρόγραμμα του Η/Υ της διάταξης. Τη στιγμή όπου η τιμή αυτή επιτευχθεί, η παροχή του αέρα διακόπτεται μέσω του mfc και προχωράμε στην καταγραφή των ληφθέντων μετρήσεων και τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.2 ,το ηλεκτρικό σήμα του mfc καταγράφεται και χρησιμοποιείται για την εποπτεία σε πραγματικό χρόνο της παροχής $Q$[lt/h] του εργαζόμενου μέσου.

Σχήμα 3.3: Φωτογραφία του Mass Flow Meter/Controller της εταιρίας Bronkhorst που χρησιμοποιείται στην πειραματική διάταξη.

## Παράκαμψη (Bypass) του Mass Flow Meter/Controller:

Όπως διακρίνεται και από το γενικό Σχήμα 3.2, η ροή του εργαζόμενου μέσου που εισέρχεται στην εγκατάσταση, είναι δυνατό να παρακάμψει τον mass flow meter/controller μέσω μίας διάταξης με σωλήνα, η οποία είναι συνδεδεμένη παράλληλα με τη διάταξη του mfc. Στην πράξη δεν τίθεται ποτέ εκτός λειτουργίας η διαδρομή που περνά από τον mfc, παρά μόνο όταν περάσει ο ορισμένος από τον χειριστή όγκος εργαζόμενου μέσου. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο σε συνδυασμό με αυτή του mfc (λειτουργία σε παράλληλη σύνδεση), σε περιπτώσεις όπου επιθυμούμε να επιτύχουμε υψηλότερες τιμές παροχών (στο εύρος των 180-360 lt/h). Η εμπλοκή/απεμπλοκή της διάταξης αυτής γίνεται μέσω μίας βάνας, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.4.

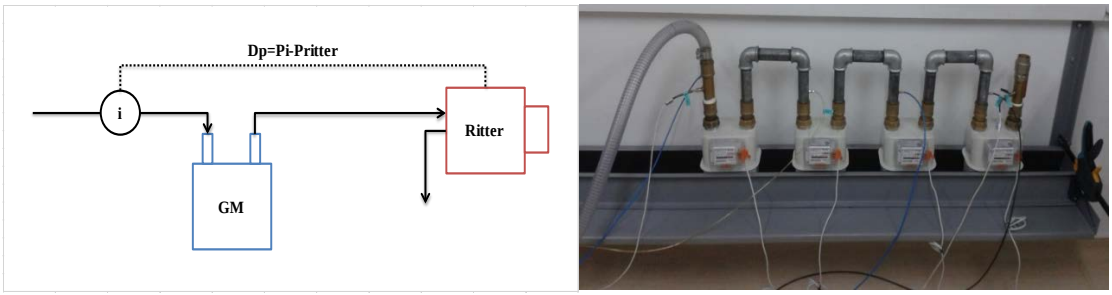
Η ποσότητα της ογκομετρικής παροχής που διακινείται μέσω της παράκαμψης είναι δυνατό να ελεγθχεί και να ρυθμιστεί μέσω της ρύθμισης της πίεσης που επικρατεί στην είσοδό της. Ωστόσο, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η πρόσδοση της απαιτούμενης επιπλέον ποσότητας ογκομετρικής παροχής γίνεται μέσω του mfc, ο οποίος, μέσω της επικοινωνίας του με το πρόγραμμα της διάταξης, ανιχνεύει την επιπλέον ποσότητα παροχής που απαιτείται για την επίτευξη του στόχου και εκτελεί τις απαιτούμενες ρυθμίσεις

.

Σχήμα 3.4: Φωτογραφία της παράλληλης διάταξης mfc/bypass της εγκατάστασης. Διακρίνεται επίσης στα δεξιά (κόκκινος μοχλός) η βάνα ανοίγματος/κλεισίματος της παράκαμψης.

## Μετρητές υπό Δοκιμή:

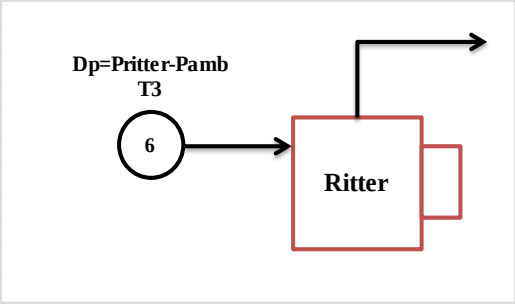
Αφού η ροή του εργαζόμενου μέσου περάσει από την παράλληλη διάταξη mfc/bypass, κατευθύνεται στην εν σειρά συνδεδεμένη διάταξη των μετρητών υπό δοκιμή. Οι μετρητές υπό δοκιμή που απεικονίζονται στο Σχήμα 3.5 είναι διαφραγματικοί μετρητές τύπου G4. Γενικότερα, είναι δυνατό να συνδεθούν έως και τέσσερις μετρητές υπο δοκιμή ίδιου τύπου σε σειρά στην εν λόγω εγκατάσταση, ανάλογα πάντα και με το πρότυπο που ακολουθείται. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2, στην είσοδο κάθε μετρητή υπό δοκιμή (σημεία 1 έως 4) λαμβάνονται μετρήσεις της διαφοράς της πίεσης $Dp$[mm$H_2O$] μεταξύ του κάθε σημείου και της πίεσης που μετράται στην είσοδο του μετρητή Ritter (Σχήμα 3.5), η οποία εξηγείται περεταίρω στην επόμενη υποενότητα. Επιπλέον, λαμβάνονται μετρήσεις της θερμοκρασίας $T$[$^o$C] που επικρατεί στην είσοδο του πρώτου και στην έξοδο του τελευταίου μετρητή υπό δοκιμή. Οι μετρήσεις αυτές επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας μεταλλάκτες πίεσης και θερμοκρασίας στα σημεία λήψης των μετρήσεων.




Σχήμα 3.5: Αριστερά: Σχηματική αναπαράσταση του υπολογισμού της διαφοράς πίεσης σε κάθε σημείο μέτρησης στην πειραματική διάταξη.
Δεξιά: Φωτογραφία της εν σειρά συνδεσμολογίας των μετρητών υπό δοκιμή στην πειραματική διάταξη.

## Μετρητής Υγρού Τυμπάνου-Ritter:

Στο τέλος της πειραματικής διάταξης βρίσκεται ο μετρητής υγρού τυμπάνου-Ritter, ο οποίος χρησιμοποιείται ως πρότυπο (master meter) της εγκατάστασης. Στην είσοδο του μετρητή Ritter μετράται η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου *T3*[$^o$C] αλλά και η διαφορά πίεσης *Dp*[mmH2O] μεταξύ της πίεσης στην είσοδο του μετρητή Ritter και της περιβαλλοντικής πίεσης. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της πίεσης στην είσοδο του κάθε μετρητή υπό δοκιμή (μέσω των διαφορών πίεσης που μετρώνται στις εισόδους των μετρητών υπό δοκιμή και του μετρητή αναφοράς και της πίεσης περιβάλλοντος που μετράται ξεχωριστά).




Σχήμα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση του υπολογισμού της διαφοράς πίεσης στην είσοδο του μετρητή Ritter.

Ο μετρητής Ritter πληρώνεται με έλαιο μέχρις ότου η στάθμη στο εσωτερικό του να φτάσει στα ενδεικνύμενα επίπεδα. Η πλήρωση του ελαίου και ο έλεγχος της στάθμης του γίνεται μέσω των βανών που βρίσκονται στο πίσω μέρος του μετρητή, όπως φαίνεται στο (Σχήμα 3.7). Επιπλέον, η σωστή λειτουργία του μετρητή προϋποθέτει την ευθυγράμμισή του. Αυτό γίνεται μέσω των ρυθμιζόμενων στηριγμάτων στη βάση του μετρητή, ενώ ο έλεγχος της ευθυγράμμισης του μετρητή γίνεται μέσω του ενδεικτικού οργάνου που βρίσκεται στο άνω μέρος του μετρητή.

Σχήμα 3.7: Αριστερά: Φωτογραφία της πίσω όψης του μετρητή Ritter όπου διακρίνονται: οι βάνες πλήρωσης του νερού (με τον κόκκινο μοχλό), οι αγωγοί εισόδου (inlet) και εξόδου (outlet) του αερίου και το ενδεικτικό όργανο πλήρωσης του μετρητή.
Δεξιά: Φωτογραφία της άνω όψης του μετρητή Ritter όπου διακρίνεται το ενδεικτικό όργανο ευθυγράμμισης του μετρητή.

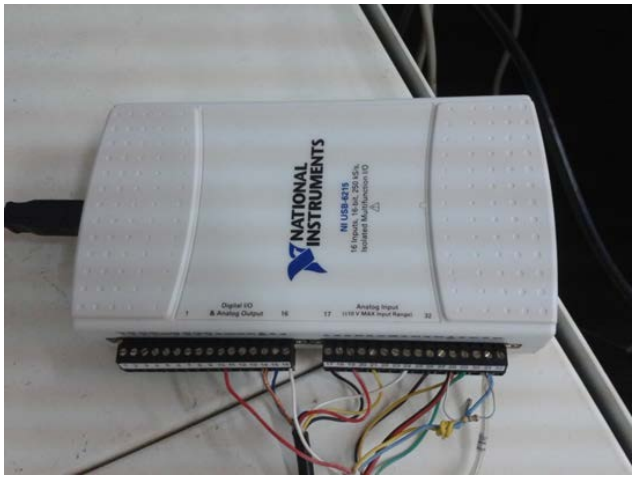
## Μετρητής Θερμοκρασίας/Υγρασίας:

Προκειμένου να καταγράφεται η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντα χώρου στον οποίο πραγματοποιείται η δοκιμή, χρησιμοποιείται ένα ψηφιακό θερμοϋγρασιόμετρο με τη δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας. Ο έλεγχος των παραπάνω μεγεθών μπορεί να γίνει μέσω της οθόνης (display) που φέρει η συσκευή, ενώ οι μετρήσεις καταγράφονται και αποθηκεύονται μέσω σύνδεσης με τον Η/Υ της διάταξης.

Σχήμα 3.8: Ψηφιακό θερμοϋγρασιόμετρο της εγκατάστασης.

## Αναλογοψηφιακός Μετατροπέας (Analog to Digital Converter):

Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας (ADC) χρησιμοποιείται για την μετατροπή των αναλογικών πληροφοριών όλων των μετρητικών οργάνων της διάταξης σε ψηφιακές πληροφορίες, προκειμένου να είναι δυνατή η μεταφορά τους στον ηλεκτρονικό υπολογιστή της διάταξης. Όλα τα μετρητικά όργανα των επιμέρους στοιχείων της διάταξης καθώς επίσης και οι μεταλλάκτες που βρίσκονται στα σημεία των μετρήσεων συνδέονται με τον ADC, προκειμένου να γίνει αρχικά μετατροπή και στη συνέχεια καταγραφή/αποθήκευση των πληροφοριών στον Η/Υ.



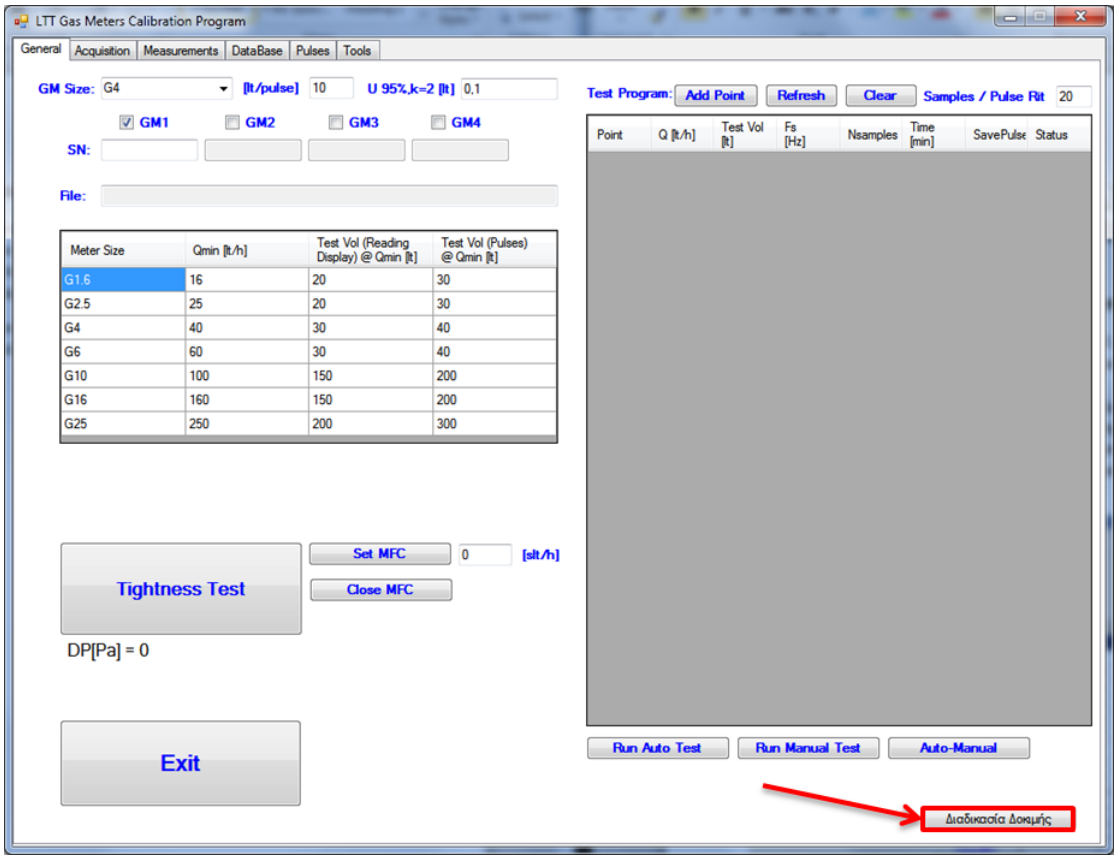

Σχήμα 3.9: Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας της διάταξης, τύπου 16-bit με δυνατότητα σύνδεσης 16 εισόδων.

# 3.2 Χειρισμός της διάταξης LTT-360 με σκοπό τη διακρίβωση μετρητών Φ.Α.

## 3.2.1 Βήματα προετοιμασίας με σκοπό τη διαδικασία διακρίβωσης

Προτού ξεκινήσει η διαδικασία της διακρίβωσης, είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν ορισμένα βήματα-κανόνες, προκειμένου να διασφαλιστεί η ορθότητα της μεθόδου. Το λογισμικό της μονάδας LTT-360 διαθέτει ένα πρόγραμμα-οδηγό που παρουσιάζει τα βήματα αυτά και καθοδηγεί τον χρήστη στην πορεία της διαδικασίας.

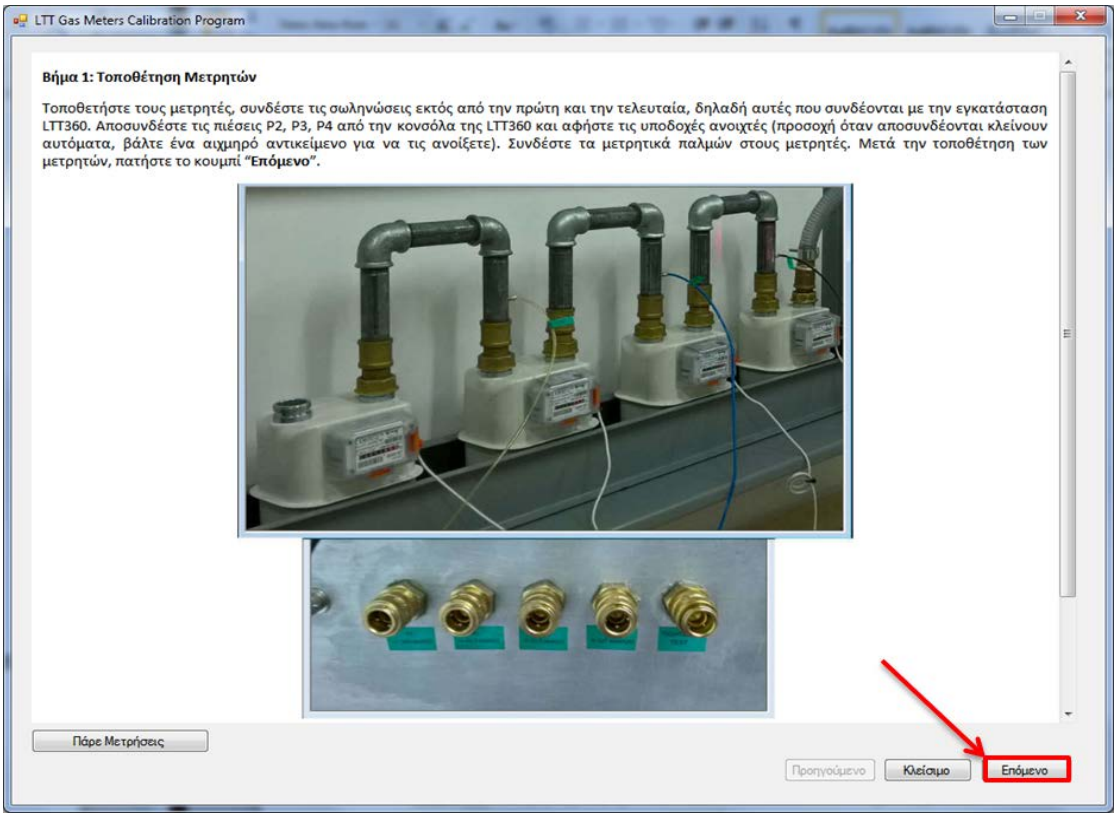
Παρακάτω, παρατίθενται τα βήματα αυτά σε συνδυασμό με φωτογραφίες και επιπλέον επεξηγήσεις όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο, με σκοπό την όσο γίνεται αναλυτικότερη περιγραφή του χειρισμού της διάταξης.




Σχήμα 3.10: Κεντρική καρτέλα (General) του προγράμματος “LTT Gas Meters Calibration Program”.

Το πρόγραμμα-οδηγός της διαδικασίας προετοιμασίας της διάταξης εμφανίζεται μέσω της κεντρικής καρτέλας του προγράμματος "**LTT Gas Meters Calibration Program**" που φαίνεται στο Σχήμα 3.10, χρησιμοποιώντας την επιλογή "**Διαδικασία Δοκιμής**" που βρίσκεται στην κάτω δεξιά μεριά της καρτέλας. Η επιλογή αυτή ανοίγει ένα νέο παράθυρο στο οποίο παρουσιάζονται οδηγίες σε βήματα απευθυνόμενα στον χρήστη της εγκατάστασης.

Στο πρώτο βήμα περιγράφεται η σωστή τοποθέτηση και η συνδεση των μετρητών υπό δοκιμή, όπως παρατηρείται και από το Σχήμα 3.11. Η διάταξη των μετρητών υπό δοκιμή συνδέεται μέσω σωληνώσεων, αφήνοντας για την ώρα ελεύθερη την είσοδο και την έξοδο (σημεία σύνδεσης με την εγκατάσταση LTT-360). Στη συνέχεια, πραγματοποιείται αποσύνδεση των υποδοχών των πιέσεων P2,P3,P4 που βρίσκονται στο πάνελ της μονάδας LTT-360, οι οποίες παραμένουν ανοιχτές. Τέλος, τα μετρητικά όργανα των παλμών της μονάδας LTT-360 συνδέονται με τους μετρητές υπό δοκιμή.




Σχήμα 3.11: Περιγραφή του πρώτου βήματος.

Στο σημείο αυτό αναφέρεται πως η μετάβαση στο επόμενο βήμα, πραγματοποιείται κάθε φορά μέσω της επιλογής "**Επόμενο**" , που βρίσκεται στο κάτω δεξιά μέρος του παραθύρου. Αντίστοιχα, για επιστροφή σε προγενέστερο βήμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επιλογή "**Προηγούμενο**", στο κάτω δεξιά μέρος του παραθύρου.

Το δεύτερο βήμα αφορά στην προετοιμασία/προθέρμανση των υπό δοκιμή μετρητών και στον έλεγχο των μετρητικών των παλμών. Πιο συγκεκριμένα, η ελεύθερη έξοδος του τελευταίου κατά σειρά μετρητή συνδέεται με τη μονάδα FMTB-1600 και μέσω αυτής, ρυθμίζεται η τιμή της παροχής που θα περάσει από τη διάταξη των μετρητών, με σκοπό την προετοιμασία τους. Παράλληλα, γίνεται έλεγχος λήψης των παλμών από όλους τους μετρητές

υπό δοκιμή (Pulse1-Pulse4) για τη διάταξη LTT-360. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επιλογής "**Παρε Μετρήσεις**" του παρόντος παραθύρου.

Σχήμα 3.12: Περιγραφή του δεύτερου βήματος.

Η επιλογή αυτή εμφανίζει το παράθυρο του σχήματος (Σχήμα 3.13). Ο έλεγχος λήψης παλμών για την εγκατάσταση LTT-360 γίνεται μέσω της στήλης "**Volts**", όπως φαίνεται παρακάτω. Μόλις εκτελεστεί ο απαραίτητος έλεγχος, επιλέγεται το κουμπί " **Σταμάτα Μετρήσεις**" και η διαδικασία συνεχίζεται πατώντας "**Επόμενο**".

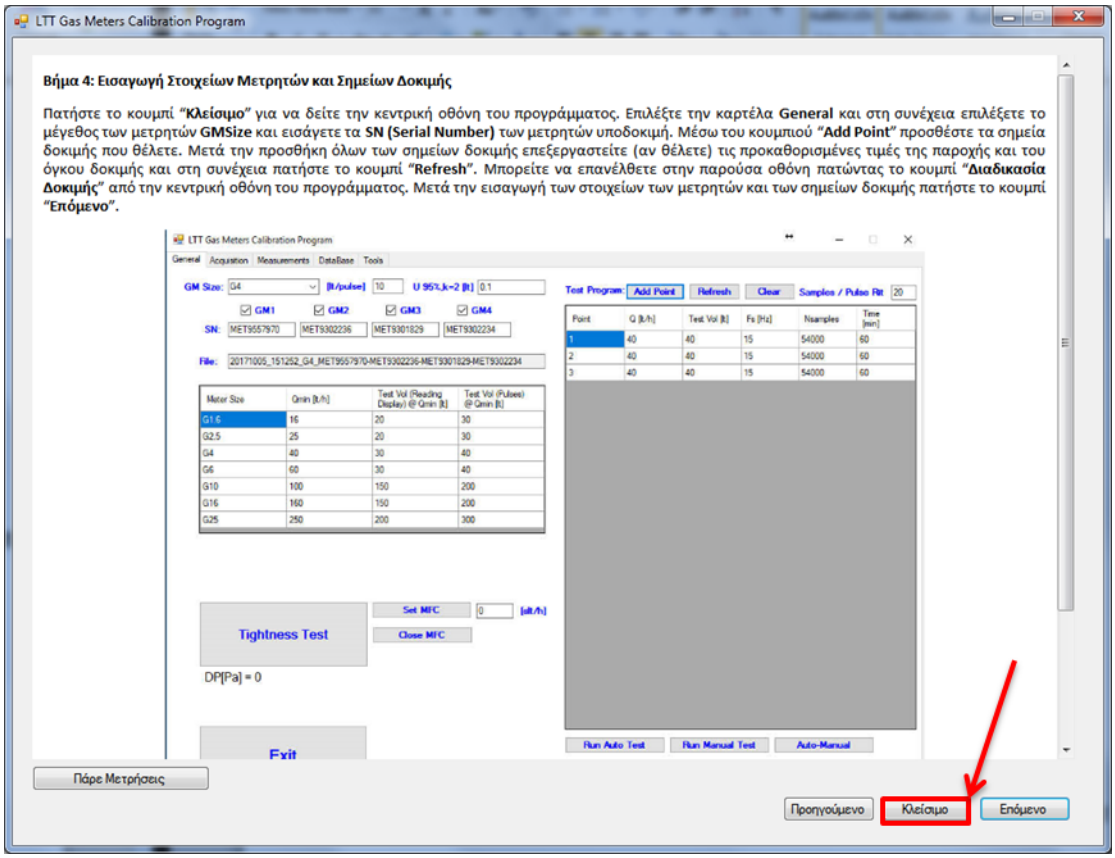
| CH | Position | Volts | Quantity | Units |
|---|---|---|---|---|
| 0 | MFC | | | ls/h |
| 1 | T1 | | | C |
| 2 | T2 | | | C |
| 3 | T3 | | | C |
| 4 | P1 | | | mmH20 |
| 5 | P2 | | | mmH20 |
| 6 | P3 | | | mmH20 |
| 7 | P4 | | | mmH20 |
| 8 | P5 | | | mmH20 |
| 9 | pulse1 | | | Volt |
| 10 | pulse2 | | | Volt |
| 11 | pulse3 | | | Volt |
| 12 | pulse4 | | | Volt |
| 13 | RHGM | | | % |
| 14 | pulseRitter | | | Volt |
| 15 | Pamb | | | mbar |

Σχήμα 3.13: Παράθυρο ελέγχου παλμών των μετρητικών οργάνων της μονάδας LTT-360, μέσω της τιμής που εμφανίζεται στη στήλη “Volts”.

Στο τρίτο βήμα, μόλις περάσει ο απαιτούμενος χρόνος για το “ζέσταμα” των υπό δοκιμή μετρητών, διακόπτεται η ροή της μονάδας FMTB-1600, αποσυνδέεται από αυτή η διάταξη των υπό δοκιμή μετρητών και συνδέεται με την εγκατάσταση LTT-360. Ακολούθως, επανατοποθετούνται οι πιέσεις P2,P3,P4 στο πάνελ της εγκατάστασης LTT-360. Πρέπει να δοθεί προσοχή στο γεγονός ότι η πέμπτη θύρα του πάνελ με τίτλο “**Tightness Test**”, πρέπει να παραμείνει κλειστή.

Σχήμα 3.14: Περιγραφή του τρίτου βήματος.

Στο βήμα που ακολουθεί, περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής των στοιχείων των μετρητών υπό δοκιμή και των σημείων λήψης των μετρήσεων. Για μετάβαση στο κυρίως πρόγραμμα προκειμένου να γίνει η εισαγωγή των παραπάνω στοιχείων, χρησιμοποιείται η επιλογή "**Κλείσιμο**", όπως διακρίνεται από το Σχήμα 3.15.



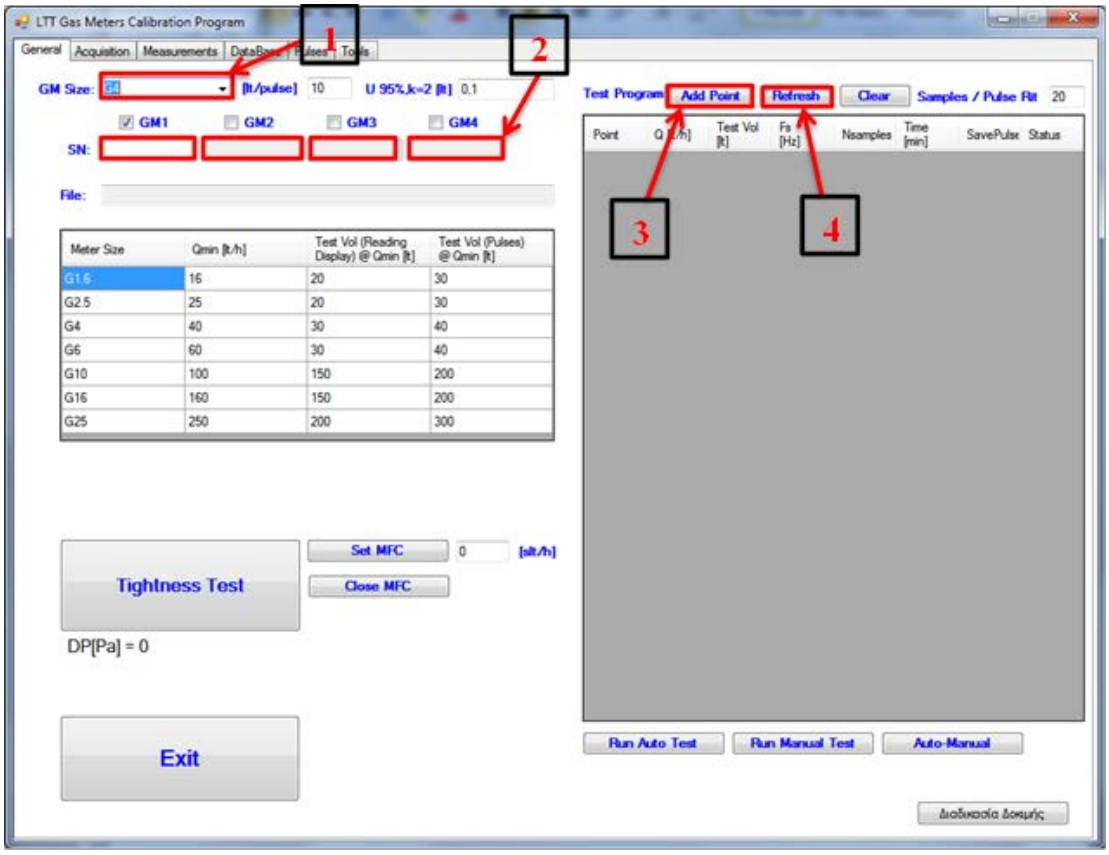

Σχήμα 3.15: Περιγραφή του τέταρτου βήματος.

Η επιλογή αυτή εμφανίζει την γενική καρτέλα "**General**" του "**LTT Gas Meters Calibration Program**", στην οποία συμπληρώνονται οι εξής πληροφορίες:

1) Μέγεθος των υπό δοκιμή μετρητών μέσω της επιλογής "**GM Size**".
2) Καθορισμός του αριθμού των μετρητών υπό δοκιμή (επιλέγοντας τα κελιά GM1,GM2,GM3,GM4) και εισαγωγή των σειριακών τους αριθμών στα αντίστοιχα κελιά με τίτλο "**SN**".
3) Καθορισμός των σημείων δοκιμής για τα οποία θα ληφθούν μετρήσεις μέσω της επιλογής "**Add Point**". Στο σημείο αυτό δηλώνονται οι διάφορες παράμετροι για κάθε ένα από αυτά τα σημεία, όπως: παροχή $Q$[lt/h], όγκος *Test Vol*[lt], συχνότητα δειγματοληψίας $F_s$[Hz], αριθμός δειγμάτων *Nsamples* , χρόνος *Time*[min] και αριθμός δειγμάτων ανά παλμό του μετρητή Ritter, μέσω του κελιού με τίτλο "**Samples/Pulse Rit**".
4) Τέλος, χρησιμοποιείται η επιλογή "**Refresh**".

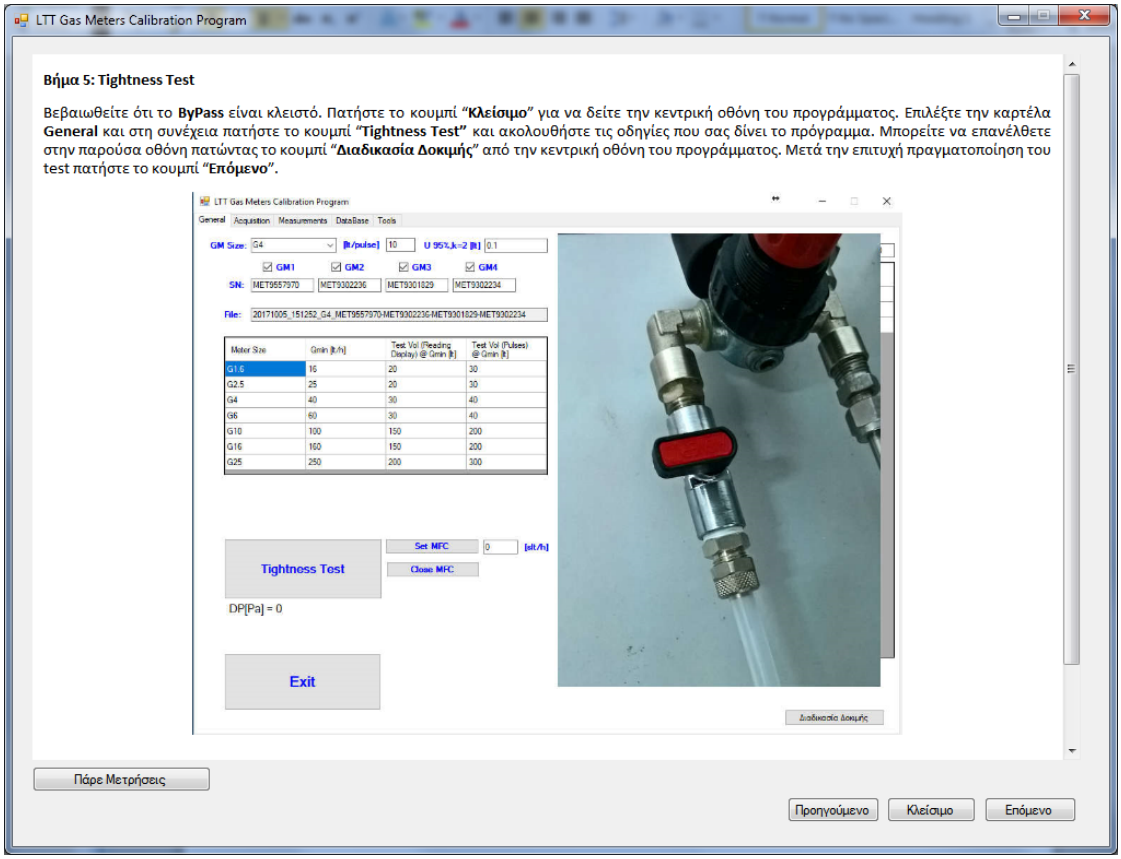
Να σημειωθεί ότι με την επιλογή "**Clear**", απομακρύνονται τα παρώντα σημεία δοκιμής για εισαγωγή νέων.

Σχηματική αναπαράσταση των παραπάνω βημάτων δίνεται στο Σχήμα 3.16 που ακολουθεί.




Σχήμα 3.16: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας συμπλήρωσης της καρτέλας “General” του “LTT Gas Meters Calibration Program”.

Αφού συμπληρωθούν όλες οι αναγκαίες πληροφορίες, χρησιμοποιείται και πάλι το κουμπί “**Διαδικασία Δοκιμής**” στο κάτω δεξιά μέρος του παραθύρου και εμφανίζεται το παράθυρο του προγράμματος-οδηγού. Με την επιλογή “**Επόμενο**” γίνεται μετάβαση στο βήμα που ακολουθεί.



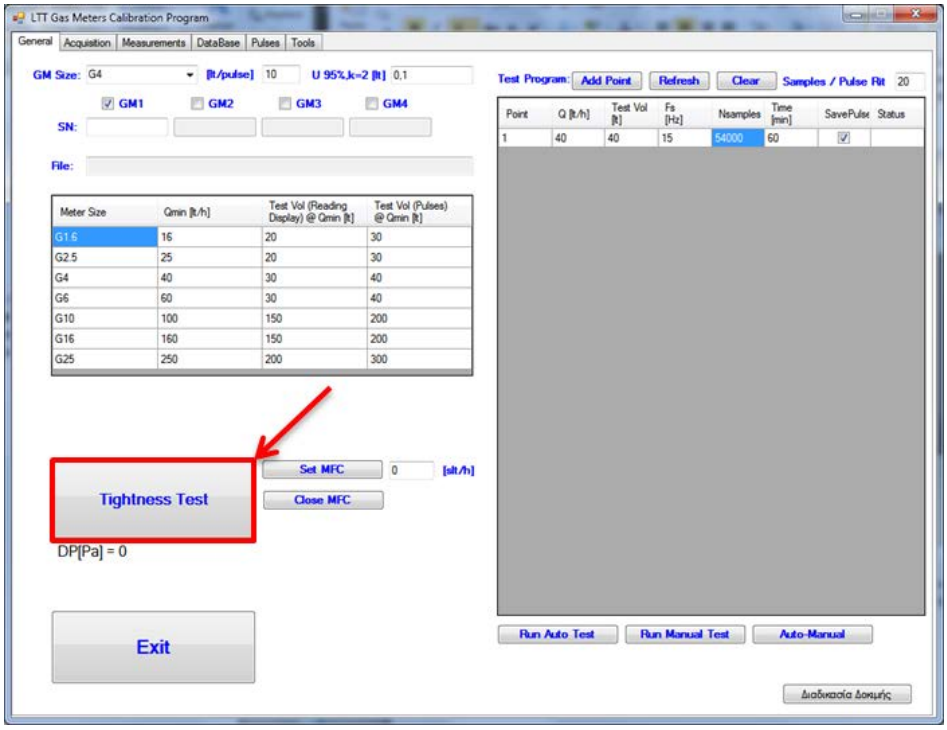

Σχήμα 3.17: Περιγραφή του πέμπτου βήματος.

Το βήμα αυτό αφορά στην εκτέλεση του "Tightness Test". Αρχικά, ο χειριστής της μονάδας πρέπει να βεβαιωθεί ότι η βάνα της διάταξης "bypass" της εγκατάστασης είναι κλειστή. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 3.18 που ακολουθεί.

Σχήμα 3.18: Φωτογραφία της κλειστής (αριστερά) και ανοιχτής (δεξιά) βάνας της διάταξης "bypass" της εγκατάστασης.

Στη συνέχεια, με την επιλογή “**Κλείσιμο**” στο παράθυρο του οδηγού, γίνεται μετάβαση στην καρτέλα “**General**” του “**LTT Gas Meters Calibration Program**”. Εκεί χρησιμοποιείται η επιλογή “**Tightness Test**” (Σχήμα 3.20), η οποία απαιτεί επιβεβαίωση ότι η βάνα στην έξοδο του μετρητή Ritter είναι κλειστή (Σχήμα 3.19). Αφού ο χειριστής κλείσει τη βάνα, επιλέγεται “**OK**” και η διαδικασία του tightness test ξεκινάει.

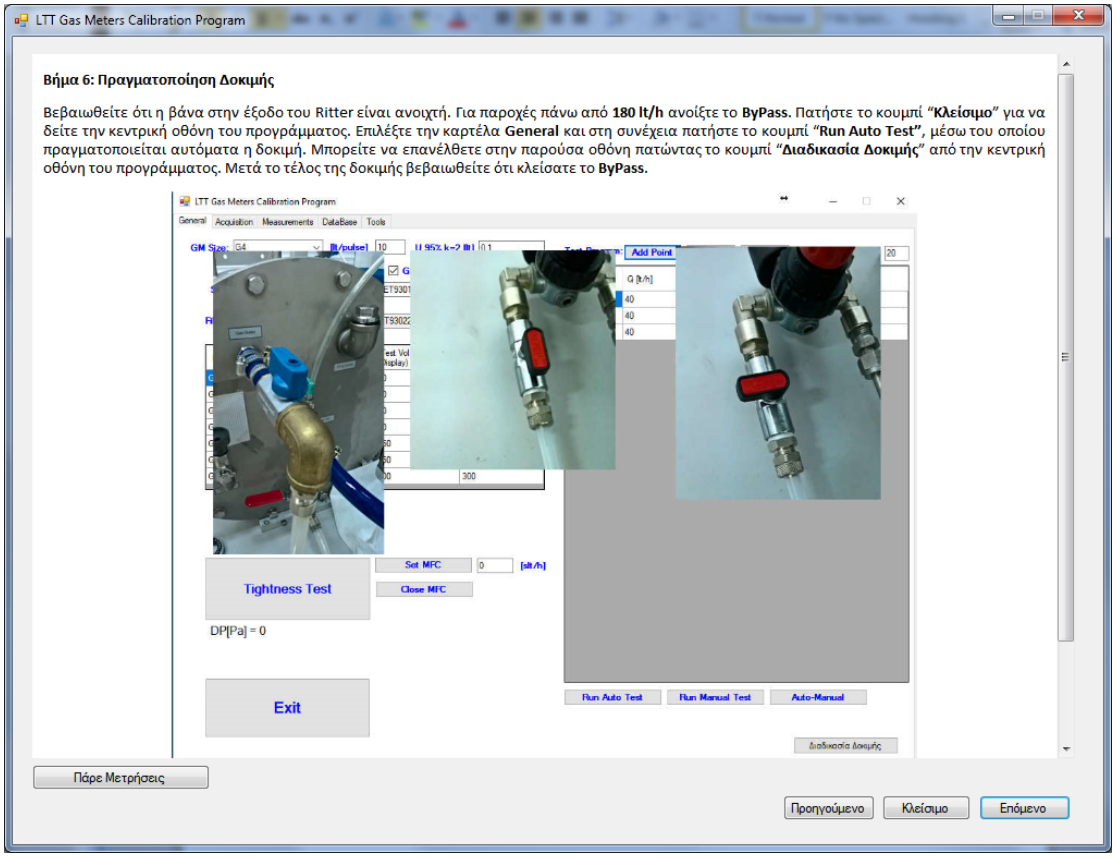
Σχήμα 3.19: Φωτογραφία της ανοιχτής βάνας στην έξοδο του μετρητή Ritter. Υπενθυμίζεται ότι για το tightness test, η βάνα πρέπει να είναι κλειστή.




Σχήμα 3.20: Επιλογή έναρξης του tightness test.

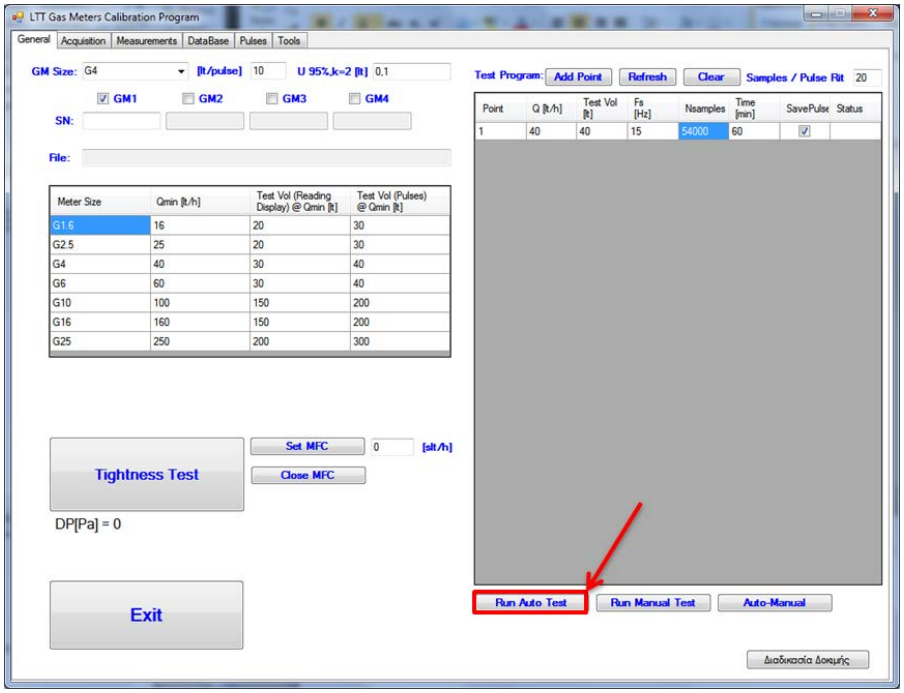
Μετά την επιτυχή εκτέλεση του tightness test, επιλέγονται και πάλι: “**Διαδικασία Δοκιμής**” και “**Επόμενο**” για τη μετάβαση στο βήμα που ακολουθεί.

Στο σημείο αυτό είναι έτοιμη να ξεκινήσει η διαδικασία της δοκιμής. Η βάνα στην έξοδο του Ritter πρέπει να ανοίξει (Σχήμα 3.19). Για δοκιμές όπου η παροχή του εργαζόμενου μέσου έχει οριστεί πάνω από 180 lt/h, η διάταξη του bypass πρέπει να ανοίξει. Σε άλλες περιπτώσεις παραμένει κλειστή (Σχήμα 3.18).




Σχήμα 3.21: Περιγραφή του έκτου βήματος.

Από την καρτέλα “**General**” του “**LTT Gas Meters Calibration Program**”, χρησιμοποιείται το “**Run Auto Test**”, μέσω του οποίου πραγματοποιείται αυτόματα η δοκιμή (Σχήμα 3.22).




Σχήμα 3.22: Έναρξη λήψης μετρήσεων μέσω του “Run Auto Test”.

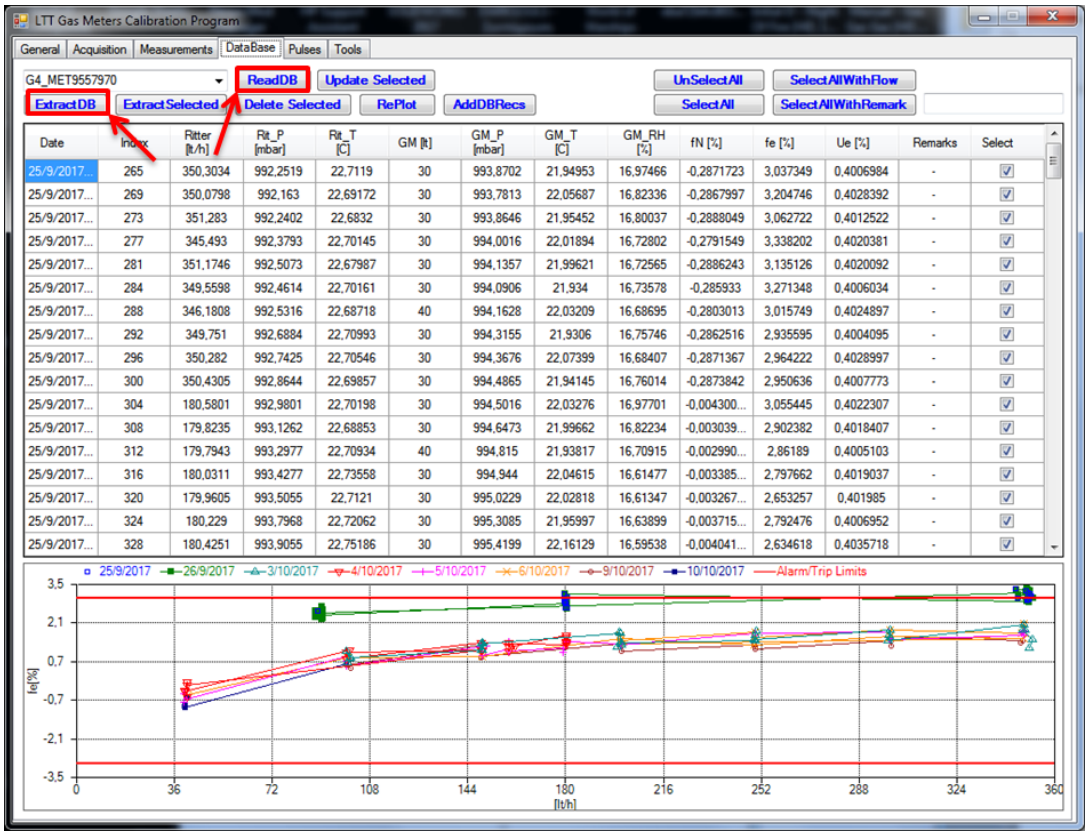
Μετά το τέλος της δοκιμής, ο χρήστης πρέπει να βεβαιωθεί ότι το bypass είναι κλειστό.

## 3.2.2 Χρήση του λογισμικού κατά τη διαδικασία της διακρίβωσης

Οι μετρήσεις της τρέχουσας δοκιμής, εμφανίζονται στην καρτέλα "**Measurements**" του προγράμματος "**LTT Gas Meters Calibration Program**". Επιπλέον, στο κάτω μέρος της καρτέλας εμφανίζονται μέσω διαγράμματος τα ζεύγη συνολικού σφάλματος μέτρησης ($f_e$[%]) και παροχής ($Q$[lt/h]), καθώς επίσης και τα μέγιστα επιτρεπτά όρια του σφάλματος.

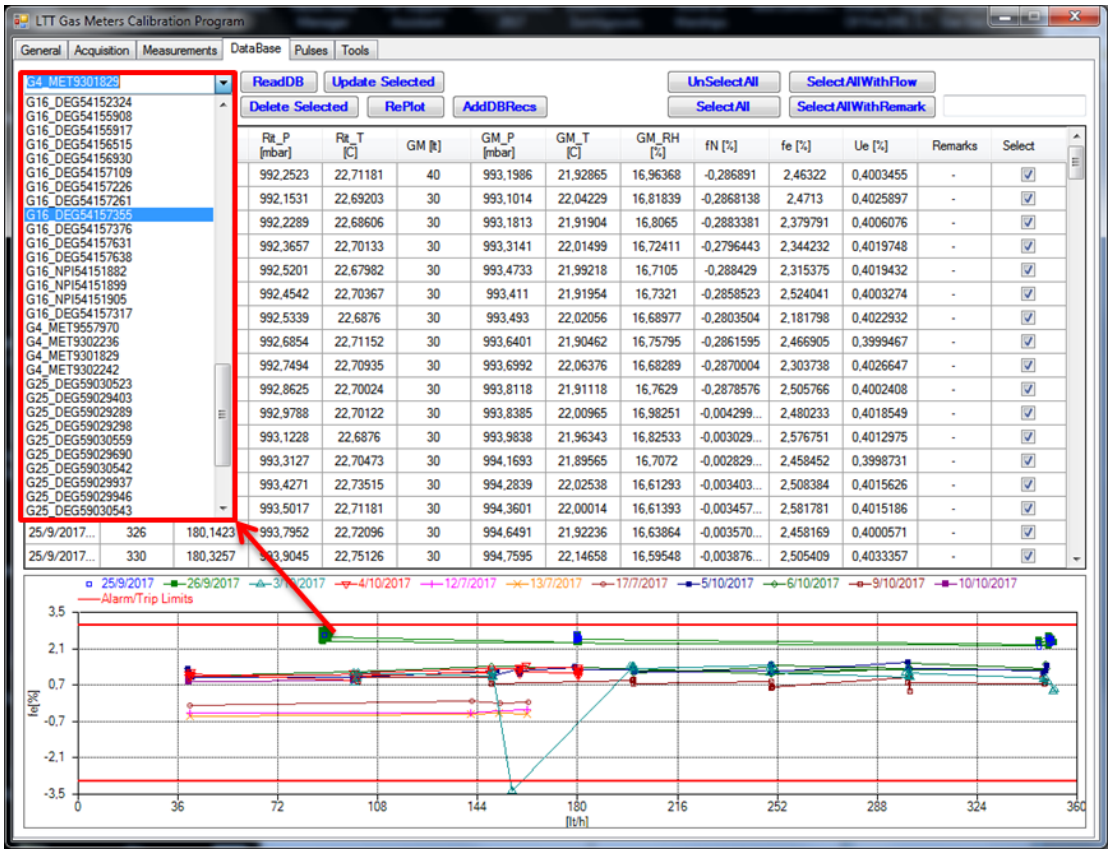
Στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να ανατρέξει σε παλαιότερες δοκιμές, αυτό μπορεί να γίνει μέσω της καρτέλας "**DataBase**", όπου με την επιλογή "**ReadDB**", το πρόγραμμα θα διαβάσει όλες τις δοκιμές που είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων.

Η επιλογή "**ExtractDB**" παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός αρχείου τύπου "excel", το οποίο εμπεριέχει όλες τις μετρήσεις-αποτελέσματα που διαθέτει η βάση δεδομένων. Σε περίπτωση όπου ο χρήστης επιθυμεί την εξαγωγή συγκεκριμένων μόνο δοκιμών, αυτό καθίσταται εφικτό με τη χρήση του "**ExtractSelected**", αφού πρώτα γίνει η επιλογή των επιθυμητών δοκιμών, μέσω της στήλης "**Select**" του πίνακα.




Σχήμα 3.23: Καρτέλα "DataBase" όπου στο πάνω μέρος συμπληρώνεται αυτόματα ο πίνακας των μετρούμενων μεγεθών για το κάθε σημείο ογκομετρκής παροχής του μετρητή που επιλέχθηκε. Στο κάτω μέρος παρατηρείται το διάγραμμα με τα σημεία που απεικονίζουν το συνολικό σφάλμα κάθε μετρητή υπό δοκιμή (με διαφορετικό χρώμα και σύμβολο η κάθε σειρά μετρήσεων), καθώς επίσης και τα μέγιστα επιτρεπτά όρια του σφάλματος (γραμμή με κόκκινο χρώμα).

Για την αναζήτηση των δοκιμών ενός συγκεκριμένου μετρητή υπό δοκιμή (με βάση τον τύπο/σειριακό αριθμό του μετρητή) στη βάση δεδομένων, γίνεται χρήση του άνω αριστερά κελιού της καρτέλας “**DataBase**”, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.24.



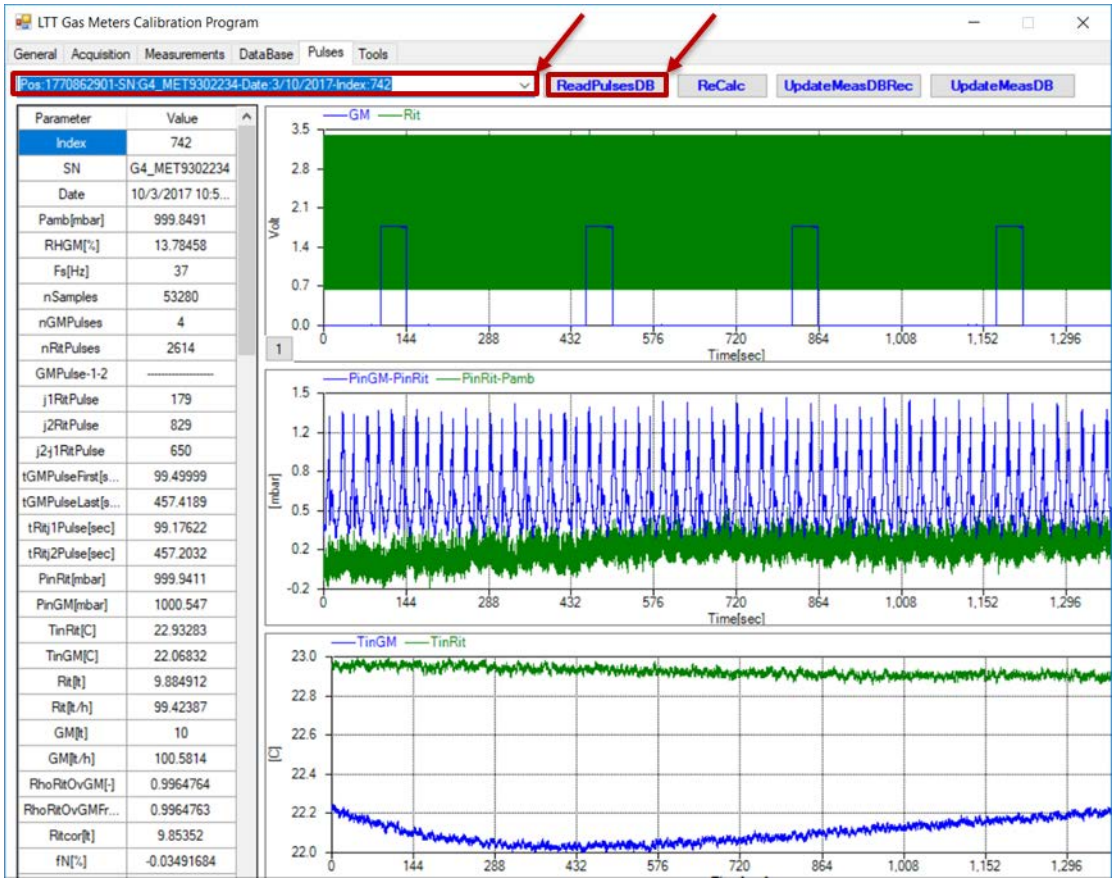

Σχήμα 3.24: Παράδειγμα αναζήτησης δοκιμών συγκεκριμένου μετρητή υπό δοκιμή στη βάση δεδομένων.

Επιπλέον, παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα επιλογής δοκιμών με βάση την τιμή της ογκομετρικής παροχής (σε [lt/h]) ή κάποιο άλλο ιδιαίτερο γνώρισμα ή χαρακτηριστικό που αφορά στη διαδικασία της δοκιμής (σχόλιο), που αναγράφεται στη στήλη με τίτλο “**Remarks**”. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των επιλογών “**SelectAllWithFlow**” και “**SelectAllWithRemark**” αντίστοιχα, αφού εισαχθεί η παράμετρος αναζήτησης στο κενό κελί στην άνω δεξιά μεριά του παραθύρου. Οι παραπάνω επιλογές, σε συνδυασμό με την επιλογή “**ExtractSelected**” επιτρέπουν την εξαγωγή των επιθυμητών κάθε φορά δοκιμών σε αρχείο τύπου “excel”.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στην καρτέλα “**Pulses**” του προγράμματος (Σχήμα 3.25), είναι δυνατό να επιλεγεί μια συγκεκριμένη μέτρηση, προκειμένου να εμφανιστούν επιπλέον στοιχεία που αφορούν στην μέτρηση αυτή. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν διαγραμματική απεικόνιση των παλμών του μετρητή υπό δοκιμή και του μετρητή αναφοράς, διαγράμματα μεταβολής των μετρούμενων πιέσεων και θερμοκρασιών, καθώς επίσης και μετρούμενα μεγέθη που δεν αναγράφονται στην καρτέλα “**DataBase**”, όπως η μέση τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά τη διάρκεια της δοκιμής, η υγρασία του περιβάλλοντα χώρου, οι

μέσες τιμές πιέσεων και θερμοκρασιών από παλμό σε παλμό (του μετρητή υπό δοκιμή) αλλά και σε όλο το διάστημα της δοκιμής (αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται τελικά), κλπ.

Προκειμένου το πρόγραμμα να εμφανίσει τα δεδομένα αυτά, πρέπει πρώτα να διαβάσει τη βάση δεδομένων μέσω της επιλογής "**ReadPulsesDB**" και στη συνέχεια η επιθυμητή μέτρηση επιλέγεται μέσω του τύπου/σειριακού αριθμού του μετρητή ή τον δείκτη ευρετηρίου της μέτρησης (index).

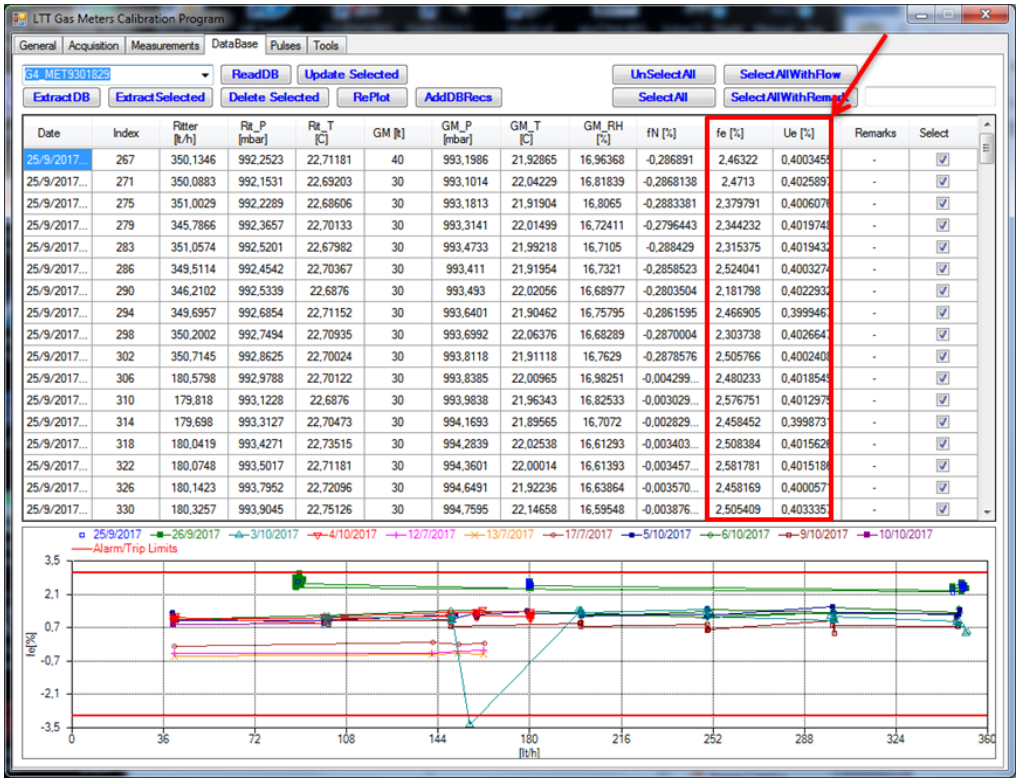



Σχήμα 3.25: Καρτέλα "Pulses" του προγράμματος. Η επιλογή της επιθυμητής δοκιμής πραγματοποιείται μέσω του άνω αριστερά κελιού. Η δεξιά περιοχή χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των μετρούμενων μεγεθών (παλμοί, πιέσεις, θερμοκρασίες) στο πεδίο του χρόνου. Στο αριστερά μέρος αναγράφονται αναλυτικά οι μέσοι όροι των μετρούμενων μεγεθών κατά τη διάρκεια της δοκιμής και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Οι μέσες τιμές των μετρούμενων μεγεθών και τα αποτελέσματα υπολογίζονται τόσο στα διαστήματα παλμού με επόμενο παλμό (του μετρητή υπό δοκιμή), όσο και σε όλο το διάστημα της δοκιμής (αυτές είναι οι τιμές που τελικά χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων). Αυτό γίνεται καθαρά για εποπτικούς σκοπούς.

## 3.3 Εκτίμηση σφάλματος και αβεβαιότητας

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρατίθεται η μεθοδολογία προσδιορισμού των αποτελεσμάτων κάθε μέτρησης, δηλαδή του σφάλματος και της αβεβαιότητας, μέσω των μετρούμενων μεγεθών που λαμβάνονται στα διάφορα σημεία μετρήσεων της διάταξης.

Το συνολικό σφάλμα της μέτρησης $f_e$[%] και η αβεβαιότητα $U_e$[%] εμφανίζονται για κάθε σημείο στον πίνακα της καρτέλας "**DataBase**" του προγράμματος "**LTT Gas Meters Calibration Program**", όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.26).




Σχήμα 3.26: Καρτέλα "DataBase" όπου διακρίνονται οι στήλες του συνολικού σφάλματος $f_e$[%] και της αβεβαιότητας $U_e$[%] για κάθε σημείο μετρήσεων για τον επιλεγμένο μετρητή.

Τα μεγέθη που θα χρειαστούν για τους απαιτούμενους υπολογισμούς είναι τα εξής:

$p_N$ – Πίεση στην είσοδο του μετρητή Ritter [mbar]

$V_N$ – Όγκος που μετρήθηκε από τον μετρητή Ritter [lt]

$T_N$ – Θερμοκρασία στην είσοδο του μετρητή Ritter [K]

$f_N$ – Σφάλμα του μετρητή Ritter που υπολογίζεται από τη βαθμονόμησή του [%]

$U_{pN}$ – Επιμέρους αβεβαιότητα του μετρητή Ritter λόγω πίεσης

$U_{TN}$ – Επιμέρους αβεβαιότητα του μετρητή Ritter λόγω θερμοκρασίας

$U_{VN}$ – Επιμέρους αβεβαιότητα του μετρητή Ritter λόγω όγκου

$p_P$ – Πίεση στην είσοδο του μετρητή υπό δοκιμή [mbar]

$V_P$ – Όγκος που μετρήθηκε από τον μετρητή υπό δοκιμή [lt]

$T_P$ – Θερμοκρασία στην είσοδο του μετρητή υπό δοκιμή [K]

$U_{pp}$ – Επιμέρους αβεβαιότητα του μετρητή υπό δοκιμή λόγω πίεσης

$U_{Tp}$ – Επιμέρους αβεβαιότητα του μετρητή υπό δοκιμή λόγω θερμοκρασίας

$U_{Vp}$ – Επιμέρους αβεβαιότητα του μετρητή υπό δοκιμή λόγω όγκου

### 3.3.1 Σφάλμα της μέτρησης

Η εύρεση των μεγεθών αυτών υπολογίζεται ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά, γίνεται αναγωγή της ποσότητας του όγκου του εργαζόμενου μέσου που πέρασε από τον μετρητή Ritter, στις συνθήκες του μετρητή υπό δοκιμή GM:

$$V_{Ncorr} = \frac{p_N \cdot V_N \cdot T_P}{T_N \cdot p_P \cdot \left(1 + {f_N}/{100}\right)} \quad (3.3.1)$$

Είναι δυνατό τώρα να υπολογιστεί το συνολικό σφάλμα της μέτρησης για κάθε μετρητή υπό δοκιμή, χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση:

$$f_e = \left(\frac{V_P}{V_{Ncorr}} - 1\right) \cdot 100 \ \ [\%] \quad (3.3.2)$$

### 3.3.2 Αβεβαιότητα της μέτρησης

Η συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης υπολογίζεται από τις επιμέρους αβεβαιότητες, με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω:

$$U_{epf} = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial U}{\partial x_i} \cdot Ux_i\right)^2} \quad (3.3.3)$$

,όπου με $x_i$ συμβολίζονται οι ποσότητες: ($V_N$ , $p_N$ , $T_N$ , $V_p$ , $p_p$ , $T_p$)

Οπότε η συνολική αβεβαιότητα δίνεται τελικά από την εξής σχέση:

$$U_e = \frac{U_{epf}}{V_{Ncorr}} \cdot 100\ [\%] \qquad (3.3.4)$$

Προκειμένου να γίνει χρήση της Σχέσης (3.3.3), απαιτείται πρώτα να προσδιοριστούν οι ποσότητες των επιμέρους αβεβαιοτήτων. Αυτές λοιπόν είναι:

- Επιμέρους αβεβαιότητες του μετρητή υπό δοκιμή:

**Όγκου:**

$$U_{Vp} = \frac{3}{200}[lt/pulse] \cdot \frac{1}{20}[pulse/samples] = 0.000745\ [lt] \qquad (3.3.5)\ *$$

*Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο στην περίπτωση των μετρητών τύπου G4. Σε περίπτωση δοκιμής άλλου τύπου μετρητή, χρησιμοποιείται κάποια άλλη παρόμοια σχέση που επιλέγεται αυτόματα από το πρόγραμμα, αφού εισαχθεί ο τύπος του μετρητή υπό δοκιμή.

**Πίεσης:**

$$U_{pp} = 0.3\ [mbar] \qquad (3.3.6)$$

**Θερμοκρασίας:**

$$U_{Tp} = 0.2\ [K] \qquad (3.3.7)$$

- Επιμέρους αβεβαιότητες του μετρητή αναφοράς (μετρητής Ritter):

**Όγκου:**

$$U_{VN} = 0.004 \cdot V_N\ [lt] \qquad (3.3.8)$$

**Πίεσης:**

$$U_{pN} = 0.3\ [mbar] \qquad (3.3.9)$$

**Θερμοκρασίας:**

$$U_{TN} = 0.2\ [K] \qquad (3.3.10)$$

Η συνάρτηση $U_{epf}$ χρησιμοποιεί τις μερικές παραγώγους της αβεβαιότητας, με τον τρόπο που φαίνεται στη συνέχεια. Αρχικά, παρατίθεται ο υπολογισμός των μερικών παραγώγων:

$$\frac{\partial U}{\partial V_N} = -\frac{p_N \cdot T_p}{p_p \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} \qquad (3.3.11)$$

$$\frac{\partial U}{\partial V_p} = 1 \qquad (3.3.12)$$

$$\frac{\partial U}{\partial p_N} = -\frac{V_N \cdot T_p}{p_p \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} \quad [lt/mbar] \qquad (3.3.13)$$

$$\frac{\partial U}{\partial p_p} = \frac{V_N \cdot p_N \cdot T_p}{{p_p}^2 \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} \quad [lt/mbar] \qquad (3.3.14)$$

$$\frac{\partial U}{\partial T_N} = \frac{V_N \cdot p_N \cdot T_p}{p_p \cdot {T_N}^2 \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)^2} \quad [lt/K] \qquad (3.3.15)$$

$$\frac{\partial U}{\partial T_p} = -\frac{V_N \cdot p_N}{p_p \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} \quad [lt/K] \qquad (3.3.16)$$

Οι ποσότητες από τις Σχέσεις (3.3.5) εως (3.3.16) είναι τώρα γνωστές και εισάγονται στη Σχέση (3.3.3).

Τέλος, καθίσταται τελικά δυνατό μέσω της Σχέσης (3.3.4), να υπολογιστεί η συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης.

**Παρατηρήσεις:**

Οι πιέσεις μετρώνται στην είσοδο κάθε μετρητή υπό δοκιμή και στην είσοδο του μετρητή αναφοράς.

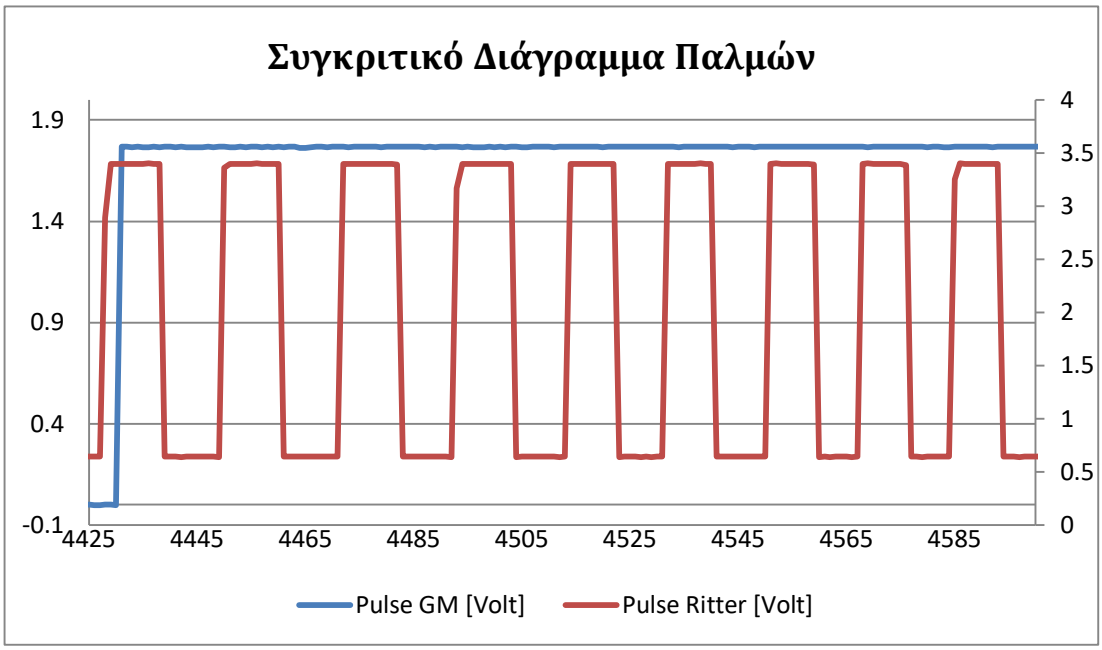
Οι θερμοκρασίες μετρώνται στην είσοδο του πρώτου ($T_1$) και στην έξοδο του τελευταίου ($T_2$) μετρητή υπό δοκιμή, καθώς επίσης και στην είσοδο του μετρητή Ritter ($T_3$).

Η θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε κάθε μετρητή υπό δοκιμή ($i$) υπολογίζεται ως εξής:

$$T_p(i) = \frac{(i-1)}{4} \cdot (T_2 - T_1) + T_1 \quad (3.3.17)$$

## 3.4 Σχηματική αναπαράσταση προσδιορισμού της ποσότητας του όγκου κάθε μέτρησης, μέσω της μεθόδου των ηλεκτρικών παλμών

Οι ηλεκτρικοί παλμοί που λαμβάνονται από τους μετρητές της πειραματικής διάταξης (υπό δοκιμή και αναφοράς) και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του όγκου του εργαζόμενου μέσου που πέρασε διαμέσου αυτών, είναι βηματικής μορφής, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα:




Σχήμα 3.27: Συγκριτικό διάγραμμα παλμών του μετρητή Ritter (με κόκκινο χρώμα) και ενός διαφραγματικού μετρητή υπό δοκιμή (με μπλέ χρώμα).

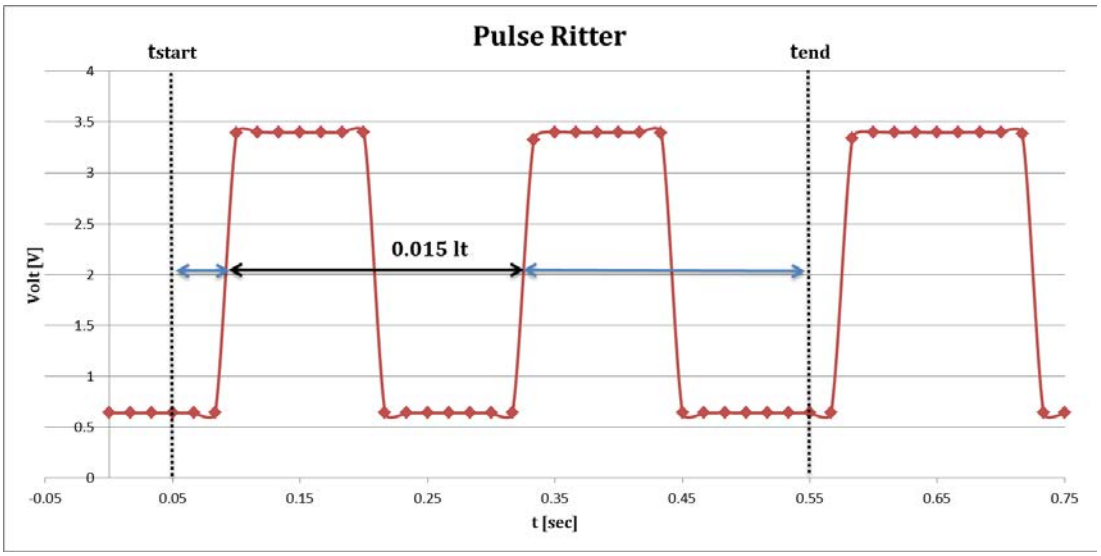
Όπως διακρίνεται από το Σχήμα 3.27, στο ίδιο χρονικό διάστημα που ένας μετρητής υπό δοκιμή παράγει σήμα ενός παλμού, ο μετρητής Ritter θα έχει μετρήσει σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό σημάτων (εξού και η μεγαλύτερη ακρίβεια του μετρητή Ritter).

Στην περίπτωση των μετρητών υπό δοκιμή, είναι γνωστό το μέγεθος της ποσότητας του όγκου που έχει διέλθει στο διάστημα ενός παλμού (πχ. για διαφραγματικό μετρητή τύπου G4, ένας παλμός αντιστοιχεί σε όγκο 10 λίτρων εργαζόμενου μέσου).

Όμοια και στην περίπτωση του μετρητή Ritter, ένας παλμός αντιστοιχεί σε ποσότητα 0.015 λίτρων εργαζόμενου μέσου.

Προκειμένου καταστεί σαφής ο τρόπος προσδιορισμού της ποσότητας του όγκου μέσω των παλμών, παρατίθεται το παρακάτω σχηματικό παράδειγμα:

Έστω ότι έχουμε το διάγραμμα παλμών του σχήματος (Σχήμα 3.28) για τον μετρητή Ritter και επιθυμούμε να προσδιορίσουμε τον όγκο του εργαζόμενου μέσου που πέρασε από αυτόν στο χρονικό διάστημα ($t_{start}$-$t_{end}$).




Σχήμα 3.28: Σχηματικό παράδειγμα προσδιοριμού όγκου μέσω παλμών του μετρητή Ritter για ένα χρονικό διάστημα ($t_{start}$-$t_{end}$).

Με βάση το Σχήμα 3.28, διακρίνεται ότι στο χρονικό διάστημα της δοκιμής του παραδείγματος, έχει καταγραφεί ένας "ολόκληρος" παλμός και συνεπώς έχουν διέλθει από τον μετρητή τουλάχιστον 0.015lt εργαζόμενου μέσου.

Επιπλέον, όπως υποδεικνύουν τα μπλέ διαστήματα του σχήματος, οι παλμοί που βρίσκονται στην αρχή και στο τέλος της δοκιμής δεν καταγράφηκαν "ολόκληροι". Πρέπει επομένως να προσδιοριστεί η ποσότητα του όγκου του εργαζόμενου μέσου που αναλογεί στα "κομμάτια" αυτά των παλμών.

Προκειμένου να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, το πρόγραμμα Η/Υ που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των παλμών, θα αποθηκεύσει τις χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης των παλμών στην αρχή και το τέλος του χρονικού διαστήματος ($t_{start}$-$t_{end}$), των "κομμένων" παλμών δηλαδή. Στη συνέχεια, συγκρίνοντας το συνολικό πλάτος (περίοδος) των παλμών αυτών με τα αντίστοιχα πλάτη των "κομματιών" που βρίσκονται εντός του χρονικού διαστήματος, προκύπτει και η ανάλογη ποσότητα του όγκου που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Στη γενικότερη λοιπόν περίπτωση όπου το χρονικό διάστημα λήψης μετρήσεων ($t_{start}$-$t_{end}$) εμπεριέχει N παλμούς, τότε θα ισχύει ότι έχουν περάσει σίγουρα N-2 το πλήθος "ολόκληροι" παλμοί, ενώ οι παλμοί στην αρχή και στο τέλος της μέτρησης είναι (στη γενικότερη περίπτωση) "κομμένοι" και χρησιμοποιείται η παραπάνω λογική για τον προσδιορισμό της ποσότητας του όγκου που πέρασε εκείνες τις περιόδους.

## 3.5 Αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού σφάλματος και αβεβαιότητας

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται αναλυτικά η αριθμητική διαδικασία υπολογισμού των απαιτούμενων μεγεθών με σκοπό τον προσδιορισμό του σφάλματος και της αβεβαιότητας. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν, έχουν προκύψει από πραγματική δοκιμή ενός διαφραγματικού μετρητή τύπου G4 στην εγκατάσταση LTT-360.

Για καλύτερη εποπεία, όλα τα δεδομένα-μετρήσεις καθώς επίσης και τα αποτελέσματα του παραδείγματος παρουσιάζονται στον πίνακα (Πίνακας 3.1) που φαίνεται παρακάτω.

| **Πίνακας Δεδομένων** | |
|---|---|
| $P_N$ [mbar] | 996.5665 |
| $P_p$ [mbar] | 998.1746 |
| $T_N$ [°C] | 22.77996 (295.9300 [K]) |
| $T_p$ [°C] | 22.38156 (295.5316 [K]) |
| $V_N$ [lt] | 29.66946 |
| $V_{Ncorr}$ [lt] | 29.5922 |
| $V_p$ [lt] | 30 |
| $f_N$ [%] | -0.03521019 |
| fe [%] | 1.3781 |
| Ue [%] | 0.413481 |
| $U_{pp}$ [mbar] | 0.3 |
| $U_{Tp}$ [K] | 0.2 |
| $U_{VN}$ [%] | 0.4 |
| $U_{pN}$ [mbar] | 0.3 |
| $U_{TN}$ [K] | 0.2 |
| $U_{Vp}$ [lt] | 0.000745 |

Πίνακας 3.1: Δεδομένα-μετρήσεις και αποτελέσματα του παραδείγματος.

**<u>Υπολογισμός σφάλματος της μέτρησης</u>**

Αρχικά γίνεται η διόρθωση του όγκου, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$V_{Ncorr} = \frac{p_N \cdot V_N \cdot T_P}{T_N \cdot p_P \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} =$$

$$= \frac{996.5665[mbar] \cdot 29.66946[lt] \cdot 295.5316[K]}{295.9300[K] \cdot 998.1746[mbar] \cdot \left(1 - {}^{0.03521019}/_{100}\right)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boldsymbol{V_{Ncorr} = 29.5922\ [lt]}$$

Έχοντας υπολογίσει τη διόρθωση του όγκου, προχωράμε στον υπολογισμό του συνολικού σφάλματος της μέτρησης:

$$f_e = \left(\frac{V_P}{V_{Ncorr}} - 1\right) \cdot 100 = \left(\frac{30[lt]}{29.5922[lt]} - 1\right) \cdot 100 \rightarrow$$

$$\rightarrow \boldsymbol{f_e = 1.3781} \ [\%]$$

**<u>Υπολογισμός επιμέρους αβεβαιότητας $U_{Vp}$</u>**

$$U_{vp} = \frac{3}{200}\left[\frac{lt}{pulse}\right] \cdot \frac{1}{20}\left[\frac{pulse}{samples}\right] \rightarrow \boldsymbol{U_{vp} = 0.000745[lt]}$$

**<u>Υπολογισμός επιμέρους αβεβαιότητας $U_{VN}$</u>**

Η επιμέρους αβεβαιότητα $U_{VN}$ δίνεται σε μονάδες [%] και θα πρέπει να γίνει μετατροπή της σε [lt]:

$$U_{VN} = \frac{0.4}{100} \cdot V_N = 0.004 \cdot 29.66946[lt] \rightarrow \boldsymbol{U_{VN} = 0.118678[lt]}$$

**<u>Υπολογισμός αβεβαιότητας της μέτρησης</u>**

Πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι μερικές παράγωγοι της αβεβαιότητας, όπως φαίνεται και από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{\partial U}{\partial V_N} = -\frac{p_N \cdot T_p}{p_p \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} =$$

$$= -\frac{996.5665[mbar] \cdot 295.5316\ [K]}{998.1746[mbar] \cdot 295.9300[K] \cdot \left(1 - {}^{0.0352102}/_{100}\right)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boldsymbol{\frac{\partial U}{\partial V_N} = -0.997396}$$

$$\boldsymbol{\frac{\partial U}{\partial V_p} = 1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial p_N} = -\frac{V_N \cdot T_p}{p_p \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} =$$

$$= -\frac{29.66946[lt] \cdot 295.5316[K]}{998.1746[mbar] \cdot 295.92996[K] \cdot \left(1 - {}^{0.0352102}/_{100}\right)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boldsymbol{\frac{\partial U}{\partial p_N} = -0.02969\ [lt/mbar]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial p_p} = \frac{V_N \cdot p_N \cdot T_p}{{p_p}^2 \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} =$$

$$= \frac{29.66946[lt] \cdot 996.5665[mbar] \cdot 295.5316[K]}{998.1746^2[mbar^2] \cdot 295.9300[K] \cdot \left(1 - {}^{0.0352102}/_{100}\right)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boldsymbol{\frac{\partial U}{\partial p_p} = 0.029646\ [lt/mbar]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial T_N} = \frac{V_N \cdot p_N \cdot T_p}{p_p \cdot {T_N}^2 \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)^2} =$$

$$= \frac{29.66946[lt] \cdot 996.5665[mbar] \cdot 295.5316[K]}{998.1746[mbar] \cdot 295.9300^2[K^2] \cdot \left(1 - {}^{0.0352102}/_{100}\right)^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boldsymbol{\frac{\partial U}{\partial T_N} = 1.00033\ \ [lt/K]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial T_p} = -\frac{V_N \cdot p_N}{p_p \cdot T_N \cdot \left(1 + {}^{f_N}/_{100}\right)} =$$

$$= -\frac{29.66946[lt] \cdot 996.5665[mbar]}{998.1746[mbar] \cdot 295.92996[K] \cdot \left(1 - {}^{0.03521019}/_{100}\right)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \boldsymbol{\frac{\partial U}{\partial T_p} = -1.10013\ \ [lt/K]}$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το γινόμενο των μερικών παραγώγων της αβεβαιότητας με τις αντίστοιχες επιμέρους αβεβαιότητες (**Πίνακας 9.5.1**), όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\frac{\partial U}{\partial V_N} \cdot U_{VN} = -0.997396 \cdot 0.118678[lt] = \boldsymbol{-0.11837[lt]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial V_p} \cdot U_{Vp} = 1 \cdot 0.000745[lt] = \boldsymbol{0.000745[lt]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial p_N} \cdot U_{pN} = -0.02969\ [lt/mbar] \cdot 0.3[mbar] = \boldsymbol{-0.0089083\ [lt]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial p_p} \cdot U_{pp} = 0.029646\ [lt/mbar] \cdot 0.3[mbar] = \boldsymbol{0.008894[lt]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial T_N} \cdot U_{TN} = 0.100033[lt/K] \cdot 0.2[K] = \boldsymbol{0.020007[lt]}$$

$$\frac{\partial U}{\partial T_p} \cdot U_{Tp} = -0.10013[lt/K] \cdot 0.2[K] = \boldsymbol{-0.02003[lt]}$$

Επόμενο βήμα είναι η εύρεση της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων των παραπάνω γινομένων (Σχέση 3.3.3):

$$U_{epf} =$$

$$= \sum \sqrt{(-0.11837)^2 + (-0.0089083)^2 + (0.008894)^2 + (0.020007)^2 + (-0.02003)^2 + (0.000745)^2}$$

$$= \sqrt{0.0149715[lt^2]} \rightarrow \boldsymbol{U_{epf} = 0.122358[lt]}$$

Τελικά, λαμβάνοντας υπόψη τη διόρθωση του όγκου, η συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης θα είναι:

$$U_e = \frac{U_{epf}}{V_{Ncorr}} \cdot 100 = \frac{0.122358[lt]}{29.5922[\mathrm{lt}]} \cdot 100 \rightarrow \boldsymbol{U_e = 0.413481}[\%]$$

# ΜΕΡΟΣ Γ’

## Πειραματικές Δοκιμές Εγκατάστασης LTT-360

# Κεφάλαιο 4

## Πειραματικές δοκιμές ελέγχου των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του μετρητή αναφοράς τύπου υγρού τυμπάνου-Ritter της διάταξης LTT-360

Όπως έχει αναφερθεί από το προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3), η διάταξη διακρίβωσης LTT-360 χρησιμοποιεί ως μετρητή αναφοράς έναν μετρητή τύπου υγρού τυμπάνου, Ritter. Στο Κεφάλαιο 2, δόθηκαν ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τις ιδιαιτερότητες των μετρητών αυτού του τύπου, σε συνδυασμό με μια περιγραφή της βασικής αρχής λειτουργίας τους. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρητές αυτού του τύπου πρέπει να πληρώνονται με κάποιο κατάλληλο υγρό πλήρωσης, η στάθμη του οποίου ελέγχεται μέσω κατάλληλου ενδεικτικού οργάνου. Επίσης, οι μετρητές αυτοί διαθέτουν ρυθμιζόμενες βάσεις, που σε συνδυασμό με ένα δεύτερο ενδεικτικό όργανο στο άνω μέρος τους, χρησιμοποιούνται για τη σωστή ευθυγράμμισή τους. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης, κρίθηκε αναγκαίο να διαπιστωθεί εάν οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και σε ποιό βαθμό.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, εμπεριέχονται όλες οι πειραματικές δοκιμές που εκτελέστηκαν και που επικεντρώνονται στον έλεγχο των χαρακτηριστικών και του τρόπου λειτουργίας του μετρητή αναφοράς τύπου υγρού τυμπάνου Ritter, της διάταξης LTT-360. Πιό συγκεκριμένα, οι δοκιμές αυτές αποσκοπούν στο να διαπιστώσουν εάν και σε ποιό βαθμό αλλαγές και μεταβολές στις οποίες υπόκειται ο μετρητής αναφοράς, επηρεάζουν τη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων.

Οι δύο πρώτες δοκιμές που παρουσιάζονται (ενότητες 4.1 και 4.2), αποτελούν τις πρώτες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στη διάταξη LTT-360, η συγκρότηση της οποίας εκείνη την περίοδο βρισκόταν ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Ως εκ τούτου, οι πειραματικές διατάξεις των συγκεκριμένων δοκιμών, διαφέρουν από την τελική διάταξη της εγκατάστασης. Ωστόσο, η καταγραφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στις περιπτώσεις αυτές είναι σημαντική, μιάς και στις δοκιμές αυτές εξετάζεται κυρίως η συμπεριφορά του μετρητή Ritter, του ίδιου μετρητή δηλαδή που χρησιμοποιείται ως πρότυπο και στην τελική διάταξη. Στις δοκιμές αυτές το υγρό πλήρωσης του μετρητή Ritter είναι νερό βρύσης.

Η δοκιμή που παρουσιάζεται στην ενότητα 4.3, αποτελεί την τελευταία και πιό πρόσφατη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε στην διάταξη LTT-360. Αυτό σημαίνει ότι η συγκρότηση της πειραματικής διάταξης και η ανάπτυξη του λογισμικού της την περίοδο που έλαβε χώρα η συγκεκριμένη δοκιμή, ήταν πλήρως ολοκληρωμένη. Στη δοκιμή αυτή, ως υγρό πλήρωσης του μετρητή Ritter χρησιμοποιείται λάδι και ο μετρητής έχει υποστεί εκ νέου βαθμονόμηση λόγω της αλλαγής αυτής.

# 4.1 Πειραματική δοκιμή αφαίρεσης του νερού πλήρωσης σε διάταξη με μετρητή υγρού τυμπάνου-Ritter

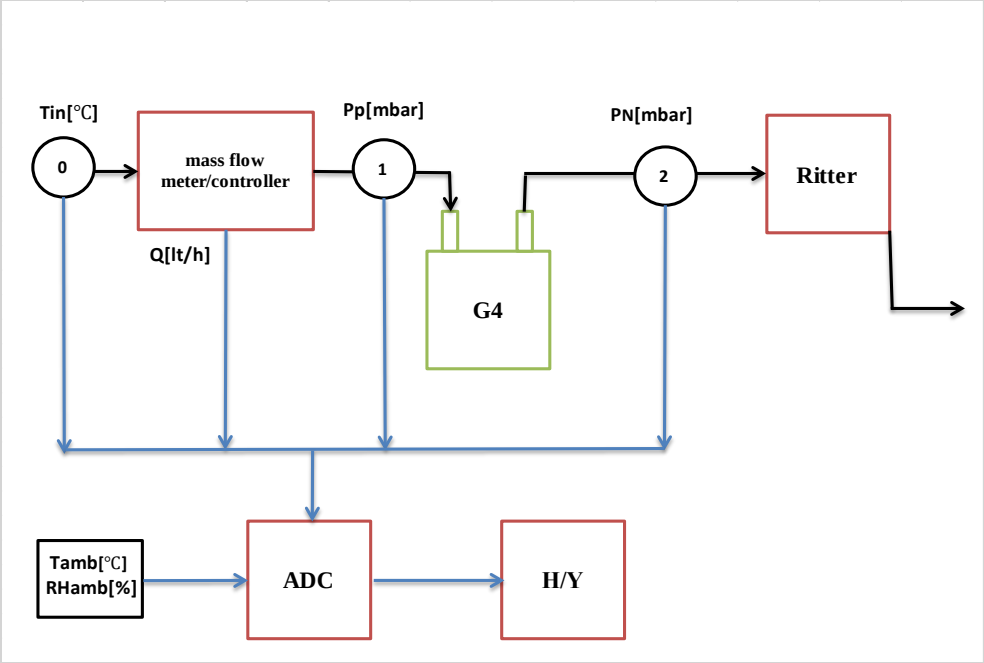
## 4.1.1 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Αρχικά, ο μετρητής Ritter πληρώθηκε στα κανονικά του επίπεδα με νερό, ευθυγραμμίστηκε και ελήφθη η πρώτη σειρά μετρήσεων σε ένα διάστημα παροχών εντός του εύρους των 40-180lt/h, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά. Στη συνέχεια, αφού αφαιρέθηκαν 49.2ml νερού από τον μετρητή Ritter, πραγματοποιήθηκαν τρείς σειρές μετρήσεων στο ίδιο εύρος λειτουργίας. Τέλος, αφαιρέθηκαν επιπλέον 49.9ml νερού (συνολικά δηλαδή αφαίρεση 99.1ml) και πραγματοποιήθηκαν άλλες δύο σειρές μετρήσεων. Το πείραμα εκτελέστηκε κατά τη διάρκεια δύο ημερών. Οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στην ενότητα 4.1.3.

## 4.1.2 Πειραματική Διάταξη

Στη συγκεκριμένη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε μια “απλή” διάταξη. Θα μπορούσε να υποθεί ότι τα βασικότερα στοιχεία της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης ήταν ο μετρητής αναφοράς τύπου υγρού τυμπάνου-Ritter, ο διαφραγματικός μετρητής υπό δοκιμή G4 και ο μετρητής/ελεγκτής ροής (mass flow meter/controller). Επιπλέον, η διάταξη περιλαμβάνει ένα σύνολο μετρητικών οργάνων και πιο συγκεκριμένα μεταλλάκτες (transducers) πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας σε συνδυασμό με τα ενδεικτικά όργανά τους. Κάθε μεταλλάκτης συνδέεται με αναλογοψηφιακό μετατροπέα (ADC converter), ο οποίος με τη σειρά του, αφού μετατρέψει την αναλογική πληροφορία σε ψηφιακή, συνδέεται με έναν Η/Υ, προκειμένου να γίνει καταγραφή και αποθήκευση των πληροφοριών. Στο Σχήμα 4.1 που ακολουθεί, δίνεται μια σχηματική απεικόνιση της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης.

Όπως παρατηρείται από το Σχήμα 4.1, μέσω χρήσης κατάλληλων μεταλλακτών, λαμβάνονται μετρήσεις της πίεσης που επικρατεί στην είσοδο του μετρητή υπό δοκιμή και στην είσοδο του μετρητή Ritter (σημεία 1 και 2 από το σχήμα αντίστοιχα). Επιπλέον, μετρώνται η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου στην είσοδο της διάταξης καθώς και η πίεση και η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου. Με τα δεδομένα αυτά καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της πτώσης πίεσης που προκαλεί ο μετρητής Ritter και ο υπό δοκιμή μετρητής.




Σχήμα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η πορεία της ροής εντός της διάταξης. Τα αριθμημένα σημεία αναπαριστούν τα σημεία λήψης των μετρήσεων. Με μπλέ χρώμα απεικονίζεται η ροή των ηλεκτρικών σημάτων από τους μεταλλάκτες στον αναλογοψηφιακό μετατροπέα και τελικά τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

### 4.1.3 Καταγραφή των Μετρήσεων/Αποτελεσμάτων

Οι μετρήσεις που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, καθώς επίσης και το συνολικό σφάλμα της μέτρησης (*fe*[%]), παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες. Η επεξεργασία των μετρήσεων αυτών, όπως επίσης και επεξηγηματικά σχόλια/παρατηρήσεις που αφορούν στην πειραματική διαδικασία, ακολουθούν στη συνέχεια, στην ενότητα 4.1.4.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | Pamb | DpRitter ($P_N$-Pamb) | DpG4 ($P_p$-Pamb) | Tin | $P_p$-$P_N$ | Συνολικό σφάλμα (fe) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [mbar] | [%] |
| **40** | 31.4 | 31.38 | 997.596 | 0.1394 | 0.5197 | 22.2844 | 0.3803 | -0.0482351 |
| **40** | 31.2 | 31.29 | 997.811 | 0.1469 | 0.5301 | 22.7662 | 0.3832 | -0.3993118 |
| **60** | 31.3 | 31.32 | 997.746 | 0.1559 | 0.5541 | 22.6334 | 0.3982 | 0.055963 |
| **100** | 31.5 | 31.425 | 997.708 | 0.1656 | 0.582 | 22.6735 | 0.4164 | 0.3503035 |
| **160** | 31.4 | 31.425 | 997.848 | 0.1843 | 0.6281 | 22.617 | 0.4438 | -0.0385078 |
| **180** | 31.7 | 31.44 | 997.725 | 0.1926 | 0.6409 | 22.6125 | 0.4483 | 0.9018020 |

Πίνακας 4.1: Πρώτη σειρά μετρήσεων, κανονικά επίπεδα νερού, ημέρα πρώτη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | Pamb | DpRitter ($P_N$-Pamb) | DpG4 ($P_p$-Pamb) | Tin | $P_p$-$P_N$ | Συνολικό σφάλμα (fe) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [mbar] | [%] |
| **40** | 31.2 | 31.11 | 997.9217 | 0.1535 | 0.554 | 22.7569 | 0.4005 | 0.179346046 |
| **40** | 31.4 | 31.275 | 997.9407 | 0.1642 | 0.5858 | 22.7267 | 0.4216 | 0.511840256 |
| **60** | 31.5 | 31.305 | 997.9005 | 0.1931 | 0.6389 | 22.7094 | 0.4458 | 0.664150357 |
| **100** | 31.6 | 31.305 | 997.8534 | 0.1847 | 0.6302 | 22.7462 | 0.4455 | 1.016891479 |

Πίνακας 4.2: Δεύτερη σειρά μετρήσεων, αφαίρεση 49.2ml νερού, ημέρα πρώτη, επανάληψη πρώτη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | Pamb | DpRitter ($P_N$-Pamb) | DpG4 ($P_p$-Pamb) | Tin | $P_p$-$P_N$ | Συνολικό σφάλμα (fe) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [mbar] | [%] |
| **40** | 31 | 31.05 | 999.4500 | 0.1523 | 0.5477 | 23.0802 | 0.3954 | -0.2714906 |
| **60** | 31.2 | 31.125 | 999.4636 | 0.1559 | 0.5611 | 22.931 | 0.4052 | 0.361483855 |
| **100** | 31.3 | 31.245 | 999.4446 | 0.1645 | 0.5809 | 22.7568 | 0.4164 | 0.287668165 |
| **160** | 31.3 | 31.215 | 999.365 | 0.1851 | 0.6153 | 22.6822 | 0.4302 | 0.345324982 |
| **180** | 31.2 | 31.02 | 999.2278 | 0.1903 | 0.621 | 22.6362 | 0.4307 | 0.62000746 |

Πίνακας 4.3: Τρίτη σειρά μετρήσεων, αφαίρεση 49.2ml νερού, ημέρα δεύτερη, επανάληψη δεύτερη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | Pamb | DpRitter ($P_N$-Pamb) | DpG4 ($P_p$-Pamb) | Tin | $P_p$-$P_N$ | Συνολικό σφάλμα (fe) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [mbar] | [%] |
| **40** | 31 | 31.02 | 998.6832 | 0.1528 | 0.5568 | 23.3858 | 0.404 | -0.174074533 |
| **60** | 31.3 | 31.125 | 999.0094 | 0.1562 | 0.5703 | 23.4968 | 0.4141 | 0.683658996 |
| **100** | 31.3 | 31.185 | 999.1635 | 0.1647 | 0.5905 | 23.0609 | 0.4258 | 0.481347035 |
| **160** | 31.4 | 31.23 | 999.2599 | 0.1866 | 0.6255 | 22.9536 | 0.4389 | 0.618238383 |
| **180** | 31.4 | 31.275 | 999.4164 | 0.1931 | 0.6326 | 23.1376 | 0.4395 | 0.440296922 |

Πίνακας 4.4: Τέταρτη σειρά μετρήσεων, αφαίρεση 49.2ml νερού, ημέρα δεύτερη, επανάληψη τρίτη.

| Παροχή (Q) | Ενδει ξη G4 ($V_p$) | Ενδειξ ηRitter ($V_N$) | Pamb | DpRitter ($P_N$-Pamb) | DpG4 ($P_p$-Pamb) | Tin | $P_p$-$P_N$ | Συνολικό σφάλμα (fe) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [mbar] | [%] |
| **40** | 31 | 30.96 | 996.8972 | 0.1534 | 0.5374 | 23.1541 | 0.3840 | 0.017598966 |
| **60** | 31.2 | 31.02 | 997.2326 | 0.1559 | 0.5472 | 23.2788 | 0.3913 | 0.699400793 |
| **100** | 31.5 | 31.125 | 997.5428 | 0.1662 | 0.5661 | 23.1658 | 0.3999 | 1.314809277 |
| **160** | 31.4 | 31.11 | 997.7281 | 0.1857 | 0.6261 | 23.0366 | 0.4404 | 1.006216149 |
| **180** | 31.3 | 31.095 | 997.8282 | 0.1953 | 0.6403 | 22.9014 | 0.4450 | 0.700436646 |

Πίνακας 4.5: Πέμπτη σειρά μετρήσεων, αφαίρεση 99.1ml νερού, ημέρα δεύτερη, επανάληψη πρώτη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | Pamb | DpRitter ($P_N$-Pamb) | DpG4 ($P_p$-Pamb) | Tin | $P_p$-$P_N$ | Συνολικό σφάλμα (fe) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [mbar] | [%] |
| **40** | 31 | 30.99 | 996.6361 | 0.1535 | 0.5335 | 23.4505 | 0.3800 | -0.079731526 |
| **60** | 31.3 | 31.035 | 996.5117 | 0.1555 | 0.5434 | 22.8398 | 0.3879 | 0.972664658 |
| **100** | 31.3 | 31.14 | 996.5396 | 0.1674 | 0.5652 | 22.9947 | 0.3978 | 0.623588606 |
| **160** | 31.6 | 31.14 | 996.6524 | 0.1875 | 0.5955 | 22.9628 | 0.4080 | 1.547999743 |
| **180** | 31.6 | 31.215 | 996.6882 | 0.1944 | 0.6033 | 22.9607 | 0.4089 | 1.270938054 |

Πίνακας 4.6: Έκτη σειρά μετρήσεων, αφαίρεση 99.1ml νερού, ημέρα δεύτερη, επανάληψη δεύτερη.

### 4.1.4 Παρατηρήσεις

1) Όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή της πειραματικής διάταξης, οι μετρήσεις που αφορούσαν στην θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου ελήφθησαν σε ένα μόνο σημείο, στην αρχή της διάταξης. Αυτό έγινε καθαρά από κατασκευαστικούς περιορισμούς, καθώς η εγκατάσταση την περίοδο αυτή βρισκόταν ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Συνεπώς, για αυτή τη δοκιμή θεωρήθηκε ότι η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου παρέμεινε αμετάβλητη σε όλη την πορεία του εντός της πειραματικής διάταξης. Αυτό αναμένεται να έχει επηρεάσει σε κάποιο βαθμό τα αποτελέσματα, καθώς η θερμοκρασιακή μεταβολή επιφέρει μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό σφάλμα από την μεταβολή της πίεσης (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2003),[11]. Ιδανικά, θα επιθυμούσαμε την καταγραφή της θερμοκρασίας στην είσοδο του μετρητή υπό δοκιμή και του μετρητή Ritter.
2) Η υγρασία που επικρατεί στο εσωτερικό του μετρητή Ritter θεωρείται αμετάβλητη και ίση με το 100%.
3) Ο συνολικός όγκος του εργαζόμενου μέσου που διήλθε από τους δύο μετρητές, ελήφθη μέσω των ενδείξεων των ενδεικτικών οργάνων των δύο μετρητών και όχι μέσω της μεθόδου των παλμών, που χρησιμοποιήθηκε σε μετέπειτα δοκιμές (ενότητες 4.3, 5.1, 5.2 και 5.3) . Αυτό σημαίνει πως πρέπει να ληφθεί υπόψη και το σφάλμα ανάγνωσης των ενδείξεων, όπως και η διακριτική ικανότητα των ενδεικτικών οργάνων.
4) Η σχέση υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συνολικού σφάλματος είναι η ακόλουθη:

$$f_e = f_N + f_p + f_r \quad (4.1.1)$$

,όπου:

$$f_r = \left(\frac{V_p}{V_N} - 1\right) \cdot 100 \ [\%] \quad (4.1.2)$$

ο όρος ο οποίος εκφράζει την απόκλιση ανάμεσα στις ενδείξεις των δύο μετρητών, σχετικά με τον όγκο του εργαζόμενου μέσου.

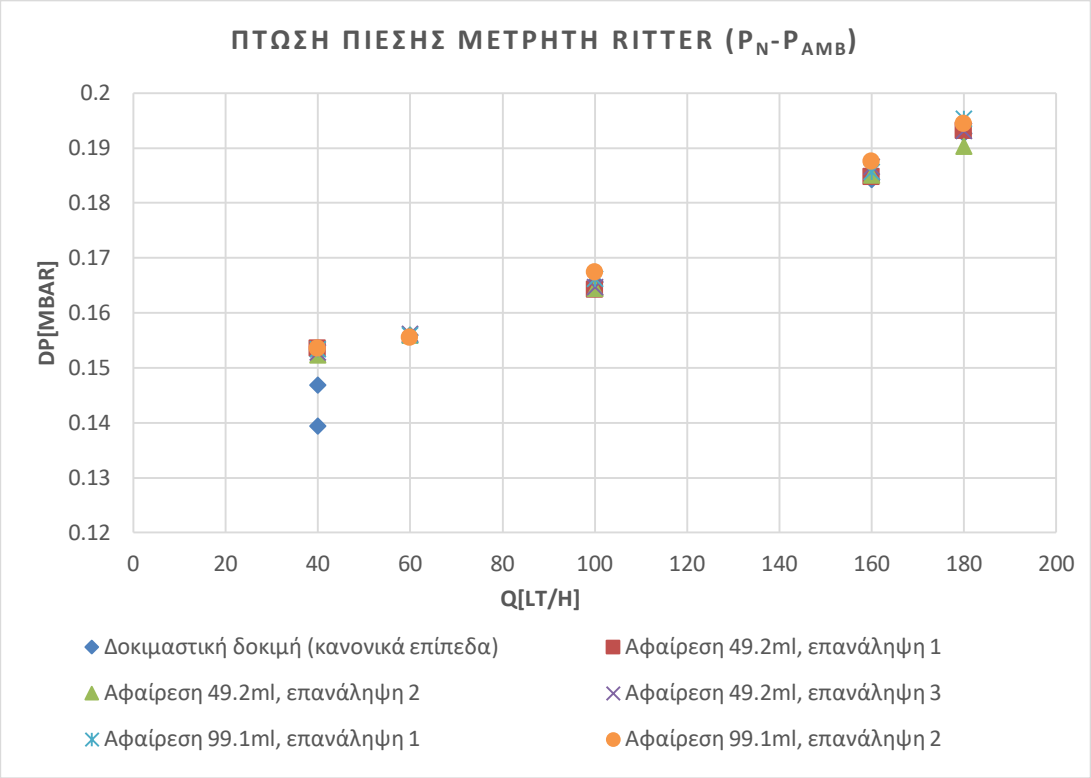
$$f_p = 0.1 \cdot \left(V_p - V_N\right) \ [\%] \quad (4.1.3)$$

ο όρος που εκφράζει τη συνεισφορά της διαφοράς πίεσης στην είσοδο του κάθε μετρητή.

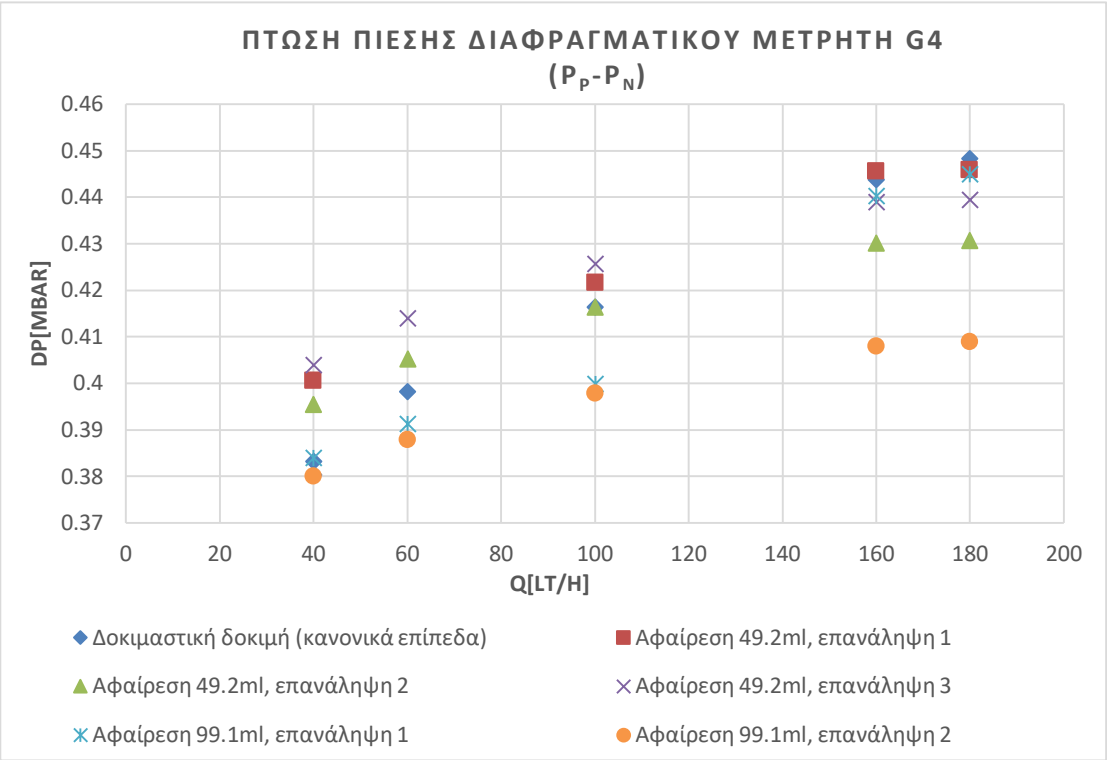
και $f_N$ ο όρος που εκφράζει το σφάλμα του μετρητή Ritter και δίνεται για δεδομένες παροχές $Q$[lt/h] από το εγχειρίδιο του μετρητή. Σε σημεία λήψης μετρήσεων με παροχές όπου δεν δίνεται απευθείας ο όρος αυτός από τον κατασκευαστή, η τιμή του προκύπτει μέσω της μεθόδου της αριθμητικής παρεμβολής.

### 4.1.5 Διαγράμματα

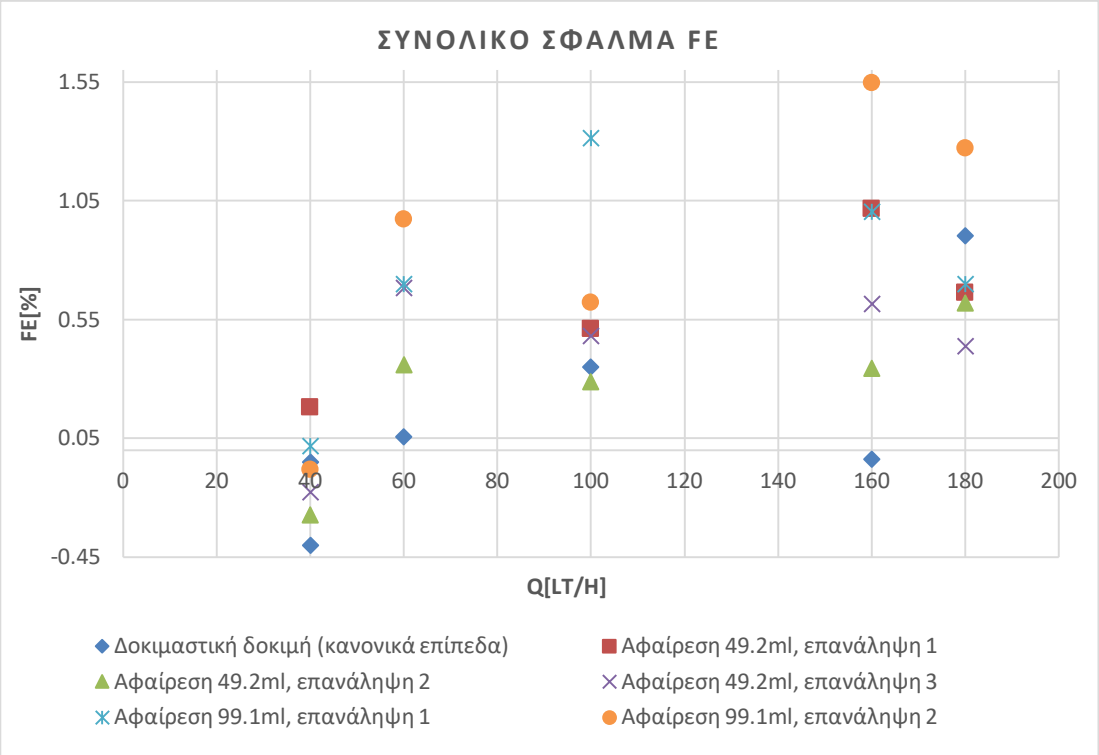
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα για την πτώση πίεσης των δύο μετρητών και για το συνολικό σφάλμα για κάθε μέτρηση που πραγματοποιήθηκε.




Σχήμα 4.2: Διάγραμμα της πτώσης πίεσης του μετρητή Ritter.




Σχήμα 4.3: Διάγραμμα της πτώσης πίεσης του διαφραγματικού μετρητή G4.




Σχήμα 4.4: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος της κάθε μέτρησης.

### 4.1.6 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.2, φαίνεται πως οι απώλειες πίεσης που προκαλεί ο μετρητής Ritter δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από περίπτωση σε περίπτωση, εκτός ίσως από τις δύο πρώτες μετρήσεις της δοκιμαστικής δοκιμής (στάθμη στα κανονικά επίπεδα). Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στο γεγονός ότι η πρώτη σειρά των μετρήσεων διεξήχθη χωρίς να προετοιμαστεί πρώτα η πειραματική διάταξη, όπως κανονικά συνηθίζεται (να ανοίξει δηλαδή η παροχή για ένα διάστημα των δέκα περίπου λεπτών έτσι ώστε να "ζεσταθεί"). Επιπλέον, οι απώλειες πίεσης του μετρητή Ritter φαίνεται να αυξάνονται όσο αυξάνεται και η ογκομετρική παροχή και μάλιστα η κάθε σειρά μετρήσεων μπορεί να προσεγγιστεί με ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού. Ωστόσο, οι καμπύλες αυτές δεν διέρχονται από την αρχή των αξόνων, δηλαδή ακόμα και με μηδενική παροχή φαίνεται πως υπάρχει κάποια παραμένουσα πτώση πίεσης εντός της διάταξης. Η ποσότητα αυτή εκφράζει την απαιτούμενη διαφορά πίεσης που απαιτείται, προκειμένου να τεθεί σε κίνηση ο εσωτερικός κινηματικός μηχανισμός του μετρητή, τη στιγμή που ξεκινά η ροή του μέσου. Οι πτώσεις των πιέσεων που εμφανίζονται εξετάζονται και στις επόμενες ενότητες, καθώς επίσης και αναλυτικότερα στην ενότητα 5.3.

Για τις πτώσεις πίεσης που εμφανίζονται στον διαφραγματικό μετρητή του σχήματος (Σχήμα 4.3) και πάλι παρατηρείται αύξησή τους με την αύξηση της ογκομετρικής παροχής. Επιπλέον, για ίδιες παροχές φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση των απωλειών πίεσης από περίπτωση σε περίπτωση (συγκρίνοντας με το αντίστοιχο διάγραμμα απωλειών του μετρητή Ritter), πράγμα που είναι πιθανό να οφείλεται στην φθορά που έχουν υποστεί τα κινούμενα μέρη του μετρητή από τις πολλές χρήσεις.

Όσον αφορά στο συνολικό σφάλμα του σχήματος (Σχήμα 4.4), παρατηρείται κατά κύριο λόγο μεγαλύτερη απόκλιση του σφάλματος στις περιπτώσεις όπου υπήρξε και μεγαλύτερη αφαίρεση του υγρού πλήρωσης (περιπτώσεις αφαίρεσης 99.1ml νερού). Στις περιπτώσεις όπου η ποσότητα του νερού που αφαιρέθηκε ήταν 49.2ml, παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα εμφανίζουν, γενικά, μικρότερη διασπορά. Ωστόσο, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι μη αποδεκτές. Φαίνεται λοιπόν πως μεγάλες απώλειες του υγρού πλήρωσης του μετρητή Ritter, ενδέχεται να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα και συνεπώς θα πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος, προκειμένου να διασφαλίζεται η συμπλήρωση των χαμένων ποσοτήτων του υγρού πλήρωσης.

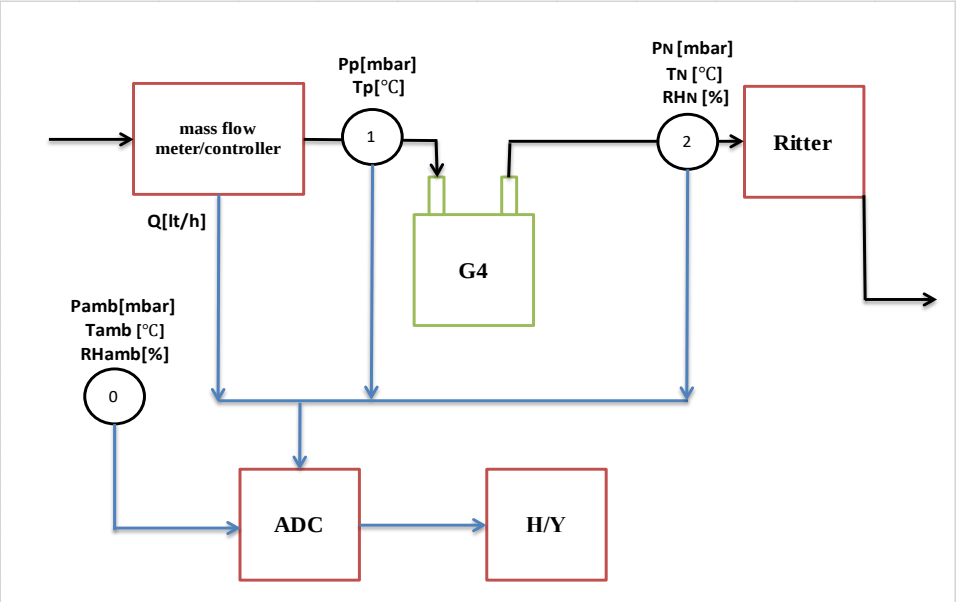
# 4.2 Πειραματική δοκιμή εξάτμισης του νερού πλήρωσης σε διάταξη με μετρητή υγρού τυμπάνου-Ritter

## 4.2.1 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Ο έλεγχος της στάθμης νερού πλήρωσης του μετρητή Ritter πραγματοποιήθηκε μία ημέρα πρίν την έναρξη της λήψης των μετρήσεων για τη δοκιμή αυτή. Η δοκιμή διήρκησε δύο ημέρες κατά τις οποίες ελήφθησαν επαναλαμβανόμενες σειρές μετρήσεων σε σημεία που καλύπτουν το εύρος 40-180lt/h. Τις ημέρες λήψης των μετρήσεων, δεν πραγματοποιήθηκε επιπλέον πλήρωση του νερού του μετρητή Ritter, ώστε να διαπιστωθεί εάν η ποσότητα του νερού που εξατμίστηκε με φυσικό τρόπο στο χρονικό διάστημα της δοκιμής ήταν σημαντική.

## 4.2.2 Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη της συγκεκριμένης δοκιμής είναι η ίδια με αυτή της δοκιμής που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα (4.1.2). Ωστόσο, μια σημαντική διαφορά είναι πως στην περίπτωση αυτή ελήφθησαν μετρήσεις της θερμοκρασίας στην είσοδο του διαφραγματικού μετρητή υπό δοκιμή και του μετρητή αναφοράς Ritter. Μια σχεδιαστική απεικόνιση της διάταξης δίνεται στο Σχήμα 4.5.




Σχήμα 4.5: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης. Με μαύρο χρώμα απεικονίζεται η πορεία της ροής εντός της διάταξης. Τα αριθμημένα σημεία αναπαριστούν τα σημεία λήψης των μετρήσεων. Με μπλέ χρώμα απεικονίζεται η ροή των ηλεκτρικών σημάτων από τους μεταλλάκτες στον αναλογοψηφιακό μετατροπέα και τελικά στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

### 4.2.3 Καταγραφή των Μετρήσεων/Αποτελεσμάτων

Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν (συνολικό σφάλμα $f_e$[%] και αβεβαιότητα της μέτρησης $U_e$[%]), παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | $P_p$ | $P_N$ | DpG4 ($P_p$-$P_N$) | $T_N$ | $T_p$ | Συνολικό σφάλμα ($f_e$) | Αβεβαιότητα μέτρησης ($U_e$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [°C] | [%] | [%] |
| **40** | 30.8 | 31.200 | 998.918140 | 998.514607 | 0.403533 | 21.6118 | 21.3342 | -1.29230000 | 0.762799 |
| **60** | 30.9 | 31.230 | 998.830345 | 998.412813 | 0.417532 | 21.7754 | 21.5233 | -0.85150558 | 0.763433 |
| **100** | 31.2 | 31.290 | 998.765453 | 998.332473 | 0.432980 | 21.8487 | 21.6314 | -0.10168768 | 0.762284 |
| **160** | 31.1 | 31.350 | 998.607478 | 998.157546 | 0.449932 | 21.8857 | 21.6902 | -0.66096770 | 0.760994 |
| **180** | 31.3 | 31.335 | 998.488183 | 998.029726 | 0.458457 | 21.9055 | 21.7248 | -0.01280943 | 0.761045 |

Πίνακας 4.7: Πρώτη σειρά μετρήσεων, ημέρα πρώτη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | $P_p$ | $P_N$ | DpG4 ($P_p$-$P_N$) | $T_N$ | $T_p$ | Συνολικό σφάλμα ($f_e$) | Αβεβαιότητα μέτρησης ($U_e$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [°C] | [%] | [%] |
| **40** | 30.8 | 31.155 | 997.379484 | 996.949068 | 0.430416 | 22.0814 | 21.8020 | -1.17567514 | 0.763422 |
| **60** | 30.8 | 31.230 | 997.683692 | 997.248492 | 0.435201 | 21.9928 | 21.6428 | -1.19708142 | 0.763298 |
| **100** | 31.2 | 31.305 | 998.011503 | 997.566501 | 0.445002 | 21.8159 | 21.6516 | -0.17251329 | 0.761905 |
| **160** | 31.1 | 31.305 | 998.229292 | 997.772814 | 0.456478 | 21.7975 | 21.7112 | -0.54120231 | 0.761642 |
| **180** | 31.3 | 31.335 | 998.322093 | 997.861838 | 0.460255 | 21.8328 | 21.6933 | -0.01577089 | 0.761031 |

Πίνακας 4.8: Δεύτερη σειρά μετρήσεων, ημέρα πρώτη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | $P_p$ | $P_N$ | DpG4 ($P_p$-$P_N$) | $T_N$ | $T_p$ | Συνολικό σφάλμα ($f_e$) | Αβεβαιότητα μέτρησης ($U_e$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [°C] | [%] | [%] |
| **40** | 30.8 | 31.185 | 997.059116 | 996.628537 | 0.430579 | 21.9928 | 21.9908 | -1.28895089 | 0.762798 |
| **180** | 31.2 | 31.350 | 997.196794 | 996.734663 | 0.462131 | 22.0814 | 21.9096 | -0.38061501 | 0.760781 |
| **40** | 30.8 | 31.155 | 997.272239 | 996.838710 | 0.433529 | 22.2002 | 22.0647 | -1.19738722 | 0.763294 |
| **180** | 31.2 | 31.380 | 997.245605 | 996.782090 | 0.463515 | 22.1622 | 22.0201 | -0.48621640 | 0.760208 |

Πίνακας 4.9: Τρίτη και τέταρτη σειρά μετρήσεων (μέγιστες και ελάχιστες παροχές μόνο), ημέρα πρώτη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | $P_p$ | $P_N$ | DpG4 ($P_p$-$P_N$) | $T_N$ | $T_p$ | Συνολικό σφάλμα ($f_e$) | Αβεβαιότητα μέτρησης ($U_e$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [°C] | [%] | [%] |
| **40** | 30.9 | 31.350 | 997.143246 | 996.721717 | 0.421529 | 22.1844 | 21.8429 | -1.42268793 | 0.760331 |
| **60** | 31.0 | 31.365 | 997.048578 | 996.621844 | 0.426734 | 22.2489 | 21.9491 | -0.94191520 | 0.761190 |
| **100** | 31.2 | 31.485 | 996.994732 | 996.556422 | 0.438310 | 22.2987 | 22.0175 | -0.69864074 | 0.759060 |
| **160** | 31.4 | 31.530 | 996.949861 | 996.497136 | 0.452725 | 22.3440 | 22.0729 | -0.24978994 | 0.758058 |
| **180** | 31.4 | 31.545 | 996.903709 | 996.444230 | 0.459479 | 22.3638 | 22.1095 | -0.33584390 | 0.757599 |

Πίνακας 4.10: Πρώτη σειρά μετρήσεων, ημέρα δεύτερη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | $P_p$ | $P_N$ | DpG4 ($P_p$-$P_N$) | $T_N$ | $T_p$ | Συνολικό σφάλμα ($f_e$) | Αβεβαιότητα μέτρησης ($U_e$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [°C] | [%] | [%] |
| **40** | 31.0 | 31.380 | 995.754190 | 995.318488 | 0.435702 | 22.6103 | 22.3517 | -1.22543188 | 0.759656 |
| **60** | 31.0 | 31.395 | 996.443536 | 996.002550 | 0.440985 | 22.4461 | 22.2141 | -1.05790665 | 0.760554 |
| **100** | 31.2 | 31.455 | 996.562069 | 996.115128 | 0.446940 | 22.4192 | 22.1935 | -0.62165537 | 0.759468 |
| **160** | 31.4 | 31.545 | 996.689494 | 996.230824 | 0.458670 | 22.3919 | 22.1636 | -0.31125375 | 0.757728 |
| **180** | 31.5 | 31.515 | 996.811044 | 996.350718 | 0.460325 | 22.3841 | 22.1413 | 0.07304278 | 0.758085 |

Πίνακας 4.11: Δεύτερη σειρά μετρήσεων, ημέρα δεύτερη.

| Παροχή (Q) | Ενδειξη G4 ($V_p$) | Ενδειξη Ritter ($V_N$) | $P_p$ | $P_N$ | DpG4 ($P_p$-$P_N$) | $T_N$ | $T_p$ | Συνολικό σφάλμα ($f_e$) | Αβεβαιότητα μέτρησης ($U_e$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [lt/h] | [lt] | [lt] | [mbar] | [mbar] | [mbar] | [°C] | [°C] | [%] | [%] |
| **60** | 31.0 | 31.440 | 995.656134 | 995.214537 | 0.441598 | 22.6501 | 22.4002 | -1.193487 | 0.759814 |
| **100** | 31.3 | 31.530 | 995.508188 | 995.059171 | 0.449018 | 22.6926 | 22.4574 | -0.536909 | 0.758207 |
| **160** | 31.5 | 31.560 | 995.843416 | 995.381761 | 0.461654 | 22.7623 | 22.5283 | -0.038614 | 0.757476 |
| **180** | 31.6 | 31.575 | 995.902492 | 995.440000 | 0.465606 | 22.7663 | 22.5748 | 0.1832614 | 0.756971 |

Πίνακας 4.12: Τρίτη σειρά μετρήσεων, ημέρα δεύτερη.

### 4.2.4 Παρατηρήσεις

1) Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το πείραμα έλαβε μέρος κατά τη διάρκεια δύο ημερών. Το νερό του μετρητή Ritter πληρώθηκε μία ημέρα πρίν την έναρξη των μετρήσεων και δεν πειράχθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής.
2) Στη συγκεκριμένη δοκιμή πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της θερμοκρασίας του μέσου σε δύο σημεία: Στην είσοδο του μετρητή υπό δοκιμή και στην είσοδο του μετρητή Ritter. Ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιήθηκε αυτό, υπήρξε η ανάγκη για πρόσθεση της συμβολής της θερμοκρασιακής μεταβολής του εργαζόμενου μέσου στον υπολογισμό του συνολικού σφάλματος.
3) Η σχέση υπολογισμού του συνολικού σφάλματος είναι η ακόλουθη (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2003),[11]:

$$f_e = f_N + f_p + f_r + f_T \quad (4.2.1)$$

,όπου οι όροι $f_r$[%] και $f_p$[%] υπολογίζονται με βάση τις Σχέσεις (4.1.2) και (4.1.3) ,της ενότητας 4.1.4, αντίστοιχα.

Ο όρος $f_N$[%], που εκφράζει το σφάλμα του μετρητή Ritter δίνεται από το εγχειρίδιο του μετρητή για δεδομένες ογκομετρικές παροχές. Στις περιπτώσεις παροχών όπου δεν δινόταν κάποια σγκεκριμένη τιμή, η τιμή αυτή υπολογίστηκε μέσω αριθμητικής παρεμβολής.

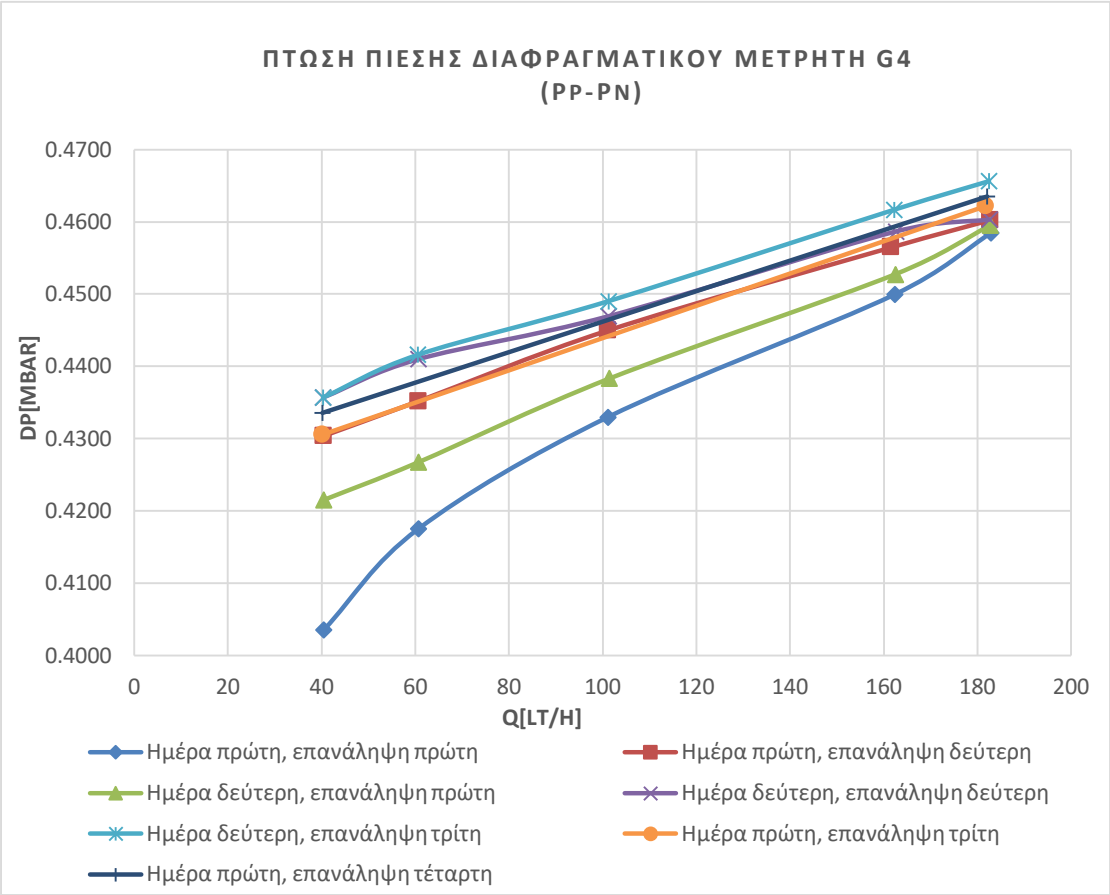
Ο όρος $f_T$[%], εκφράζει τη συνεισφορά της θερμοκρασιακής μεταβολής του εργαζόμενου μέσου, μέσω των μετρήσεων της τιμής της θερμοκρασίας του στην είσοδο του μετρητή υπό δοκιμή και στην είσοδο του μετρητή Ritter και εκφράζεται μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$f_T = 0.34 \cdot \left(T_N - T_p\right) \ [\%] \quad (4.2.2)$$

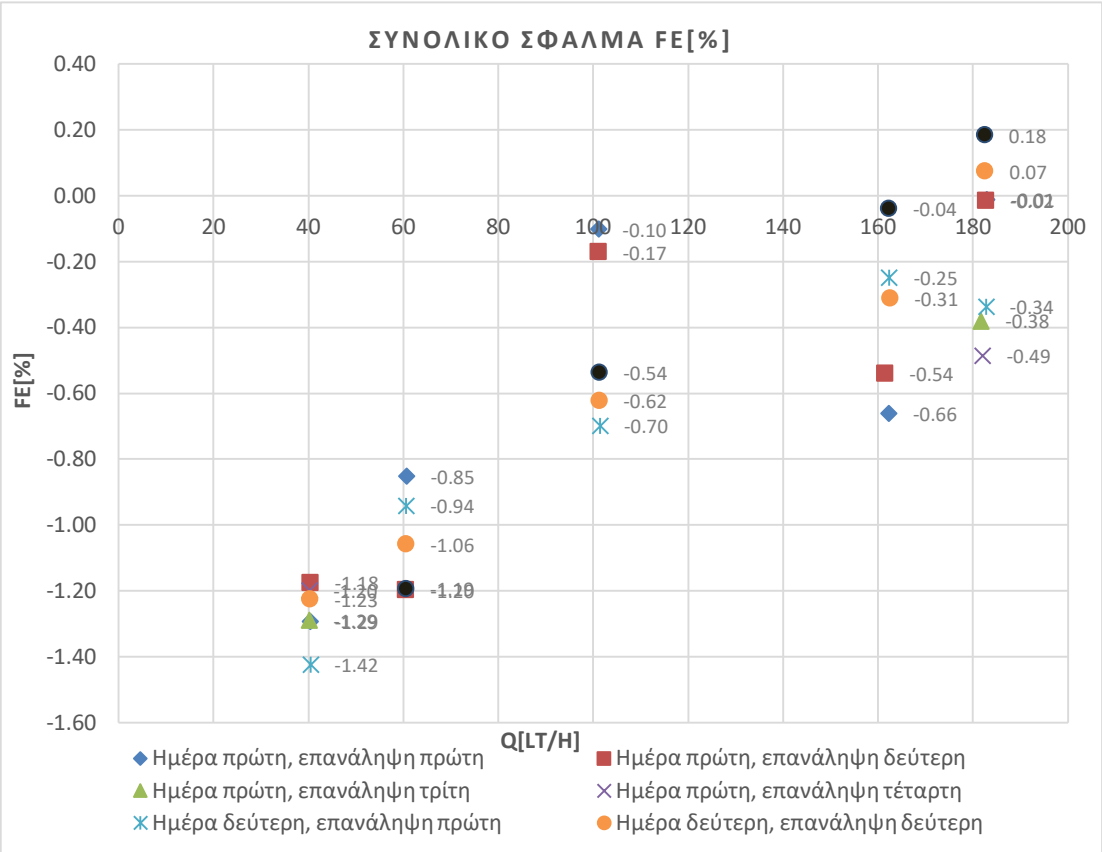
,όπου $T_N$[°C] και $T_p$[°C], οι θερμοκρασίες του εργαζόμενου μέσου στην είσοδο του μετρητή αναφοράς και υπό δοκιμή αντίστοιχα.

4) Η τρίτη και η τέταρτη κατά σειρά επαναλήψεις της πρώτης ημέρας των δοκιμών περιέχουν μετρήσεις αποκλειστικά για τα σημεία μέγιστης και ελάχιστης παροχής (40lt/h και 180lt/h αντίστοιχα).
5) Στη συγκεκριμένη δοκιμή, δεν παρέχονται δεδομένα που αφορούν στην πτώση πίεσης του μετρητή Ritter. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τη διάρκεια της δοκιμής, λόγω αλλαγών που συνέβησαν στο λογισμικό της διάταξης, δεν αποθηκεύεται πλέον η πίεση περιβάλλοντος $P_{amb}$ , όπως γινόταν στην προηγούμενη πειραματική διαδικασία. Ωστόσο, η πτώση πίεσης του μετρητή Ritter, εξετάζεται αναλυτικότερα στην ενότητα 5.2.

### 4.2.5 Διαγράμματα




Σχήμα 4.6: Διάγραμμα της πτώσης πίεσης του διαφραγματικού μετρητή G4.




Σχήμα 4.7: Διάγραμμα του συνολικού σφάλματος για κάθε σειρά μετρήσεων.

### 4.2.6 Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τα σχήματα (Σχήμα 4.3 και Σχήμα 4.6), παρατηρείται ότι οι καμπύλες της πτώσης πίεσης του διαφραγματικού μετρητή G4 έχουν παρόμοια μορφή μεταξύ των δύο περιπτώσεων που εξετάστηκαν. Αυτό αναμενόταν, μιάς και η πειραματική διάταξη παρέμεινε όμοια στις δύο δοκιμές.

Μέσω του σχήματος (Σχήμα 4.7) του συνολικού σφάλματος, είναι δυνατή η σύγκριση των αποκλίσεων των αποτελεσμάτων με τις αποκλίσεις της προηγούμενης δοκιμής που παρατίθενται στο Σχήμα 4.4. Φαίνεται λοιπόν, πως στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα από περίπτωση σε περίπτωση έχουν μικρότερες αποκλίσεις στα σημεία με κοινές παροχές. Με βάση αυτό, προκύπτει ότι η ποσότητα του νερού πλήρωσης του μετρητή υγρού τυμπάνου που εξατμίστηκε με φυσικό τρόπο κατά το διάστημα των δύο ημερών στις οποίες έλαβε χώρα η δοκιμή αυτή, δεν ήταν αρκετά σημαντική ώστε να προκαλέσει αξιοσημείωτες μεταβολές στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνοντας και τη θερμοκρασιακή μεταβολή ανάμεσα στις εισόδους των μετρητών για τον υπολογισμό του συνολικού σφάλματος, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυξάνεται.

# 4.3 Πειραματική δοκιμή ελέγχου της συνεισφοράς της ευθυγράμμισης του μετρητή αναφοράς στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων

## 4.3.1 Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη στην οποία διεξήθχει η συγκεκριμένη δοκιμή, είναι η "κανονική" διάταξη, που χρησιμοποιείται στη διαδικασία της διακρίβωσης μετρητών και που έχει ήδη περιγραφεί σε προηγούμενα κεφάλαια (ενότητα 3.1). Η μόνη διαφορά στην περίπτωση αυτή, είναι το γεγονός ότι ως μετρητής υπό δοκιμή χρησιμοποιήθηκε ένας περιστροφικός (rotary) μετρητής υψηλής ακρίβειας, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη διακρίβωση άλλων μετρητών.

## 4.3.2 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας

Σε πρώτο στάδιο, αφού εκτελέστηκαν οι απαραίτητοι έλεγχοι και εργασίες για τη σωστή λειτουργία της διάταξης LTT-360, ορίστηκαν δύο τιμές ογκομετρικών παροχών (250 και 350 λίτρα ανά ώρα), για τις οποίες θα υπολογισθεί το συνολικό σφάλμα $f_e$[%] για κάθε περίπτωση που εξετάζεται. Σε κάθε περίπτωση, ελήφθησαν τρείς επαναλήψεις για τις ορισμένες αυτές τιμές της ογκομετρικής παροχής. Συνεπώς, σε κάθε περίπτωση που εξετάστηκε αντιστοιχεί ένα πλήθος έξι μετρήσεων.

Οι περιπτώσεις οι οποίες εξετάστηκαν είναι οι εξής: ευθυγράμμιση-αναφορά (Σχήμα 4.8), περιστροφή του μετρητή αναφοράς πρός τα αριστερά (Σχήμα 4.9), περιστροφή του μετρητή αναφοράς πρός τα πίσω και πρός τα εμπρός (Σχήμα 4.10) και τέλος εκ νέου ευθυγράμμιση του μετρητή αναφοράς-επαλήθευση.

Η ευθυγράμμιση του μετρητή αναφοράς ελέγχεται μέσω του ενδεικτικού οργάνου που διαθέτει στο άνω μέρος του και αποτελείται από έναν θάλαμο πληρωμένο με υγρό, εντός του οποίου υπάρχει μία φυσαλίδα. Η κορυφή του θαλάμου αποτελείται από διάφανο γυαλί και στο κέντρο της επιφάνειάς του είναι σχεδιασμένος ένας κύκλος. Η σωστή ευθυγράμμιση του μετρητή Ritter πραγματοποιείται μέσω της ρύθμισης των στηριγμάτων στην βάση του, με σκοπό η φυσαλίδα να μετατοπιστεί και να παραμείνει στο κέντρο του κύκλου. Για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν (πλήν της αναφοράς), τα στηρίγματα ρυθμίστηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε η φυσαλίδα να εξέλθει από τα όρια του κύκλου και να "αγγίξει" την άκρη του θαλάμου. Επιπλέον, στην περίπτωση της περιστροφής του μετρητή πρός τα αριστερά, τοποθετήθηκε ένα μοιρογνωμόνιο στην κορυφή του μετρητή Ritter, προκειμένου να μετρηθεί η στροφή του ως πρός την αναφορά. Στη συνέχεια ακολουθούν σχήματα με φωτογραφίες που ελήφθησαν για κάθε μία περίπτωση.

Σχήμα 4.8: Αριστερά: Ένδειξη του μοιρογνωμονίου για την περίπτωση της αναφοράς.
Δεξιά: Ένδειξη του ενδεικτικού οργάνου του μετρητή Ritter για την περίπτωση της αναφοράς.

Σχήμα 4.9: Αριστερά: Ένδειξη μου μοιρογνωμονίου για την περίπτωση της αριστερόστροφης περιστροφής.
Δεξιά: Ένδειξη του ενδεικτικού οργάνου του μετρητή Ritter για την περίπτωση της αριστερόστροφης περιστροφής.

Σχήμα 4.10: Αριστερά: Ένδειξη του ενδεικτικού οργάνου του μετρητή Ritter για την περίπτωση της περιστροφής πρός τα πίσω.
Δεξιά: Ένδειξη του ενδεικτικού οργάνου του μετρητή Ritter για την περίπτωση της περιστροφής πρός τα εμπρός.

### 4.3.3 Καταγραφή των Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν (συνολικό σφάλμα $f_e$[%] της μέτρησης) για κάθε περίπτωση που εξετάστηκε παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

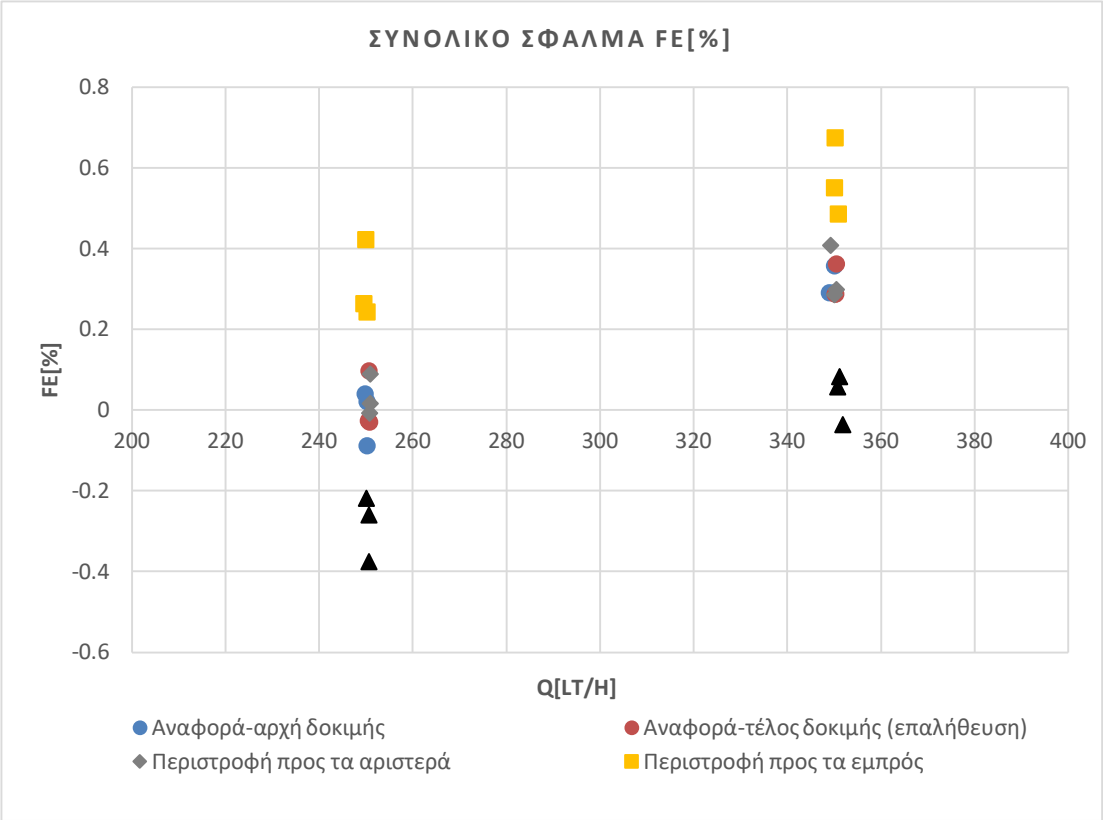
| Ευθυγράμμιση-Αναφορά | | Περιστροφή πρός τα αριστερά | | Περιστροφή πρός τα εμπρός | | Περιστροφή πρός τα πίσω | | Ευθυγράμμιση-Επαλήθευση | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q[lt/h] | fe[%] | Q[lt/h] | fe[%] | Q[lt/h] | fe[%] | Q[lt/h] | fe[%] | Q[lt/h] | fe[%] |
| 349.149 | 0.28967 | 349.277 | 0.40843 | 350.214 | 0.54850 | 351.892 | -0.0354 | 350.591 | 0.36061 |
| 250.02 | 0.03879 | 250.922 | 0.08951 | 249.73 | 0.26254 | 250.132 | -0.2188 | 250.804 | 0.09506 |
| 350.257 | 0.35622 | 350.149 | 0.28546 | 351.061 | 0.48432 | 351.178 | 0.08317 | 350.366 | 0.28638 |
| 250.352 | 0.01896 | 250.904 | 0.01651 | 250.349 | 0.24087 | 250.696 | -0.2590 | 250.876 | -0.0319 |
| 350.21 | 0.28837 | 350.531 | 0.29884 | 350.305 | 0.67300 | 350.737 | 0.05778 | 350.457 | 0.28639 |
| 250.328 | -0.0898 | 250.801 | -0.0079 | 250.176 | 0.42111 | 250.607 | -0.3757 | 250.601 | -0.0288 |

Πίνακας 4.13: Καταγραφή του συνολικού σφάλματος της κάθε μέτρησης για την κάθε περίπτωση που εξετάστηκε.

### 4.3.4 Παρατηρήσεις

1) Με βάση τα σχήματα (Σχήμα 4.9 και Σχήμα 4.8), διακρίνεται ότι στην περίπτωση της αριστερόστροφης περιστροφής του μετρητή αναφοράς, η ένδειξη του μοιρογνωμονίου μετακινήθηκε από την τιμή $+1^o$ (αναφορά) στην τιμή $-1^o$ (περιστροφή). Συνεπώς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο μετρητής Ritter έχει περιστραφεί δύο περίπου μοίρες πρός τα αριστερά.
2) Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση ο μετρητής Ritter περιστράφηκε μέχρι το σημείο που η φυσαλίδα στο ενδεικτικό του όργανο "αγγίξει" κάποιο από τα τοιχώματα του θαλάμου στον οποίο βρίσκεται. Αυτό σημαίνει ότι ο μετρητής αναφοράς θα μπορούσε να περιστραφεί και σε μεγαλύτερο βαθμό, χωρίς ωστόσο να υπάρχει κάποια ένδειξη για τον βαθμό περιστροφής του, καθώς τη στιγμή που η φυσαλίδα ακουμπήσει τα τοιχώματα του θαλάμου, δεν έχει άλλο περιθώριο μετακίνησης. Συνεπώς, για τέτοιες περιπτώσεις η σύγκριση με την αναφορά θα απαιτούσε τη χρήση κάποιου άλλου οργάνου (πχ. μοιρογνωμονίου).
3) Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, το υγρό πλήρωσης του μετρητή αναφοράς υγρού τυμπάνου στη δοκιμή αυτή και σε αυτές που ακολουθούν δεν είναι νερό, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις (ενότητες 4.1 και 4.2) αλλά έλαιο. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε εκ νέου βαθμονόμηση του μετρητή Ritter, λόγω της αλλαγής αυτής.
4) Η αλλαγή αυτή συμβάλλει στην εξάλειψη του φαινομένου της εξάτμισης του υγρού πλήρωσης και της συμβολής του παράγοντα της υγρασίας εντός του μετρητή Ritter στο αποτέλεσμα.

### 4.3.5 Διαγράμματα




Σχήμα 4.11: Διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων κάθε περίπτωσης.

### 4.3.6 Συμπεράσματα

Με βάση το Σχήμα 4.11, παρατηρείται ότι η περίπτωση της αριστερόστροφης (ή και δεξιόστροφης) περιστροφής του μετρητή Ritter, δεν επιφέρει επίπτωση στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Συνεπως, οι θάλαμοι και ο μηχανισμός πλήρωσής τους με αέρα στο εσωτερικό του μετρητή, δεν επηρεάζονται από την αλλαγή στη στάθμη του υγρού στην περίπτωση αυτή. Αυτό αναμενόταν, μιάς και ο μετρητής είναι συμμετρικός ως πρός αυτόν τον άξονα περιστροφής, άρα η στροφή του πρός αυτές τις διευθύνσεις δεν επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του μετρητή.

Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει για τις άλλες δύο περιπτώσεις μετακίνησης του μετρητή. Παρατηρείται ότι η στροφή του μετρητή πρός τα εμπρός, επιφέρει σημαντική αύξηση της τιμής του σφάλματος, που σημαίνει ότι ο μετρητής αναφοράς μετρά μικρότερες ποσότητες όγκου απ' ότι πραγματικά διέρχονται μέσω αυτού. Αντίστοιχα, η περιστροφή του μετρητή πρός τα πίσω, επιφέρει σημαντική μείωση της τιμής του σφάλματος, δηλαδή ο μετρητής αναφοράς μετρά μεγαλύτερες ποσότητες όγκου από τις πραγματικές. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο είναι κατασκευασμένοι και τοποθετημένοι οι θάλαμοι στο εσωτερικό του μετρητή Ritter.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεγάλες μεταβολές στα αποτελέσματα που εμφανίστηκαν στις περιπτώσεις της στροφής του μετρητή αναφοράς πρός τα εμπρός και πρός τα πίσω, αντιπροσωπεύουν ακραίες περιπτώσεις στροφής του μετρητή. Αυτό σημαίνει ότι υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, αν και είναι πιθανό ο μετρητής Ritter να μην είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένος, δεν αναμένεται να παρατηρηθούν σημαντικές μεταβολές στα αποτελέσματα, όπως αυτές που παρατηρήθηκαν στην δοκιμή αυτή.

# Κεφάλαιο 5

## Πειραματικές δοκιμές ελέγχου των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του συνόλου της διάταξης LTT-360

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, συγκεντρώθηκαν όλες οι πειραματικές δοκιμές που αφορούσαν αποκλειστικά στη λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του μετρητή αναφοράς της διάταξης LTT-360. Ωστόσο, στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης μελέτης, καθίσταται αναγκαία η καταγραφή και η διερεύνηση της συμπεριφοράς και των χαρακτηριστικών του συνόλου της διάταξης LTT-360, προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθή λειτουργία της.

Οι πειραματικές δοκιμές που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο, αφορούν στη διερεύνηση της συμπεριφοράς του συνόλου της εγκατάστασης LTT-360 και όχι αποκλειστικά στον μετρητή αναφοράς. Για το λόγο αυτό, στις ενότητες που ακολουθούν εξετάζεται η συμπεριφορά της διάταξης μετρητών υπό δοκιμή και μετρητή αναφοράς, καθώς επίσης και η αξιοπιστία του λογισμικού, μέσω του οποίου γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Σκοπός της δοκιμής που παρατίθεται στην ενότητα 5.1 αποτελεί η επαλήθευση της μεθόδου των παλμών, που χρησιμοποιείται από το λογισμικό της εγκατάστασης ως πρωταρχική μέθοδος υπολογισμού του σφάλματος για την εγκατάσταση LTT-360.

Στην ενότητα 5.2, αποσκοπείται να διευκρινιστεί εαν και κατά πόσο η αλλαγή της εν σειρά διάταξης των μετρητών (υπό δοκιμή και αναφοράς) της εγκατάστασης LTT-360, επηρεάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στην ενότητα 5.3, παρατίθεται μια αναλυτική καταγραφή των πτώσεων πίεσης της ροής του εργαζόμενου μέσου εντός της πειραματικής διάταξης, που οφείλουν την εμφάνισή τους στους μετρητές υπό δοκιμή και αναφοράς της διάταξης.

Σημειώνεται ότι όλες οι παραπάνω δοκιμές εκτελέστηκαν τη χρονική περίοδο όπου η πειραματική διάταξη LTT-360 ήταν πλήρως συγκροτημένη και η ανάπτυξη του λογισμικού ολοκληρωμένη. Επιπλέον, ως υγρό πλήρωσης του μετρητή Ritter στις δοκιμές αυτές χρησιμοποιείται λάδι και ο μετρητής έχει υποστεί εκ νέου βαθμονόμηση λόγω της αλλαγής αυτής. Στην απόφαση αντικατάστασης του νερού με έλαιο συνέβαλε η ανάγκη εξάλειψης του φαινομένου της εξάτμισης του υγρού πλήρωσης, αλλά και του παράγοντα της υγρασίας στο εσωτερικό του μετρητή Ritter.

# 5.1 Πειραματική δοκιμή εύρεσης του σφάλματος με τη μέθοδο των παλμών και με τη μέθοδο οπτικής ανάγνωσης των ενδεικτικών οργάνων

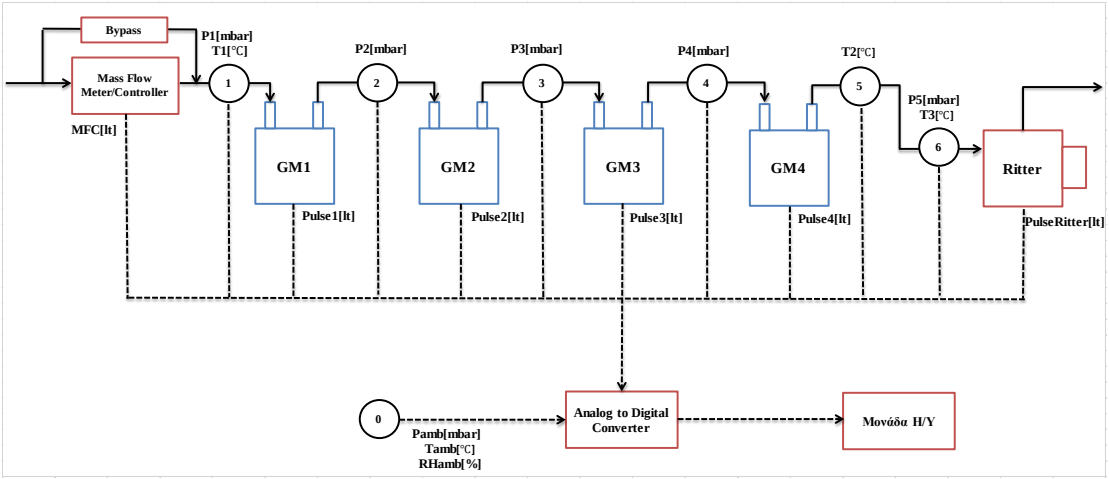
## 5.1.1 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας

Η συγκεκριμένη δοκιμή επικεντρώνεται στον προσδιορισμό του σφάλματος των μετρήσεων με δύο τρόπους: Στην μια περίπτωση το συνολικό σφάλμα $f_e$[%] υπολογίζεται αυτόματα μέσω της μεθόδου των παλμών που χρησιμοποιείται από το λογισμικό της εγκατάστασης LTT-360. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της μεθόδου των παλμών προσδιορίζεται ο όγκος του εργαζόμενου μέσου που διήλθε από κάθε μετρητή υπό δοκιμή και από τον μετρητή Ritter. Οι υπολογισμοί που απαιτούνται στη συνέχεια, εκτελούνται αυτόματα από το λογισμικό (αναλυτικότερες πληροφορίες στις ενότητες 3.3και 3.4). Στη δεύτερη περίπτωση, ο όγκος του εργαζόμενου μέσου που πέρασε από κάθε μετρητή υπό δοκιμή προσδιορίστηκε διαβάζοντας οπτικά τις τιμές των ενδεικτικών τους οργάνων στην αρχή και στο τέλος της κάθε μέτρησης και αφαιρώντας τις αρχικές τιμές από τις τελικές. Ο όγκος για τον μετρητή Ritter, ελήφθη από το ηλεκτρονικό “display” που διαθέτει η συσκευή. Στη συνέχεια, το σφάλμα υπολογίστηκε “χειροκίνητα”, δίχως δηλαδή να γίνει χρήση του λογισμικού της εγκατάστασης, αλλά πραγματοποιώντας τους υπολογισμούς αναλυτικά.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφραγματικοί μετρητές υπό δοκιμή τύπου G4, συνδεδεμένοι σε σειρά, με την είσοδο του πρώτου να συνδέεται με την έξοδο του mfc και την έξοδο του τελευταίου να συνδέεται με την είσοδο του μετρητή αναφοράς Ritter (κανονική διάταξη). Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε παροχή 180lt/h και επιτράπηκαν συνολικά να περάσουν 40lt εργαζόμενου μέσου από τον mfc.

## 5.1.2 Πειραματική Διάταξη

Η συγκεκριμένη δοκιμή διεξήχθη την περίοδο όπου η εγκατάσταση LTT-360 είχε συγκροτηθεί πλήρως. Αυτό σημαίνει ότι στην έξοδο του mfc είναι δυνατό να συνδεθεί μια διάταξη έως και τεσσάρων διαφραγματικών μετρητών υπό δοκιμή G4. Η έξοδος της διάταξης αυτής συνδέεται με την είσοδο του μετρητή αναφοράς Ritter και η έξοδός του επικοινωνεί με το περιβάλλον. Στην είσοδο κάθε μετρητή υπό δοκιμή, αλλά και στην είσοδο του μετρητή Ritter, λαμβάνονται μετρήσεις της πίεσης που επικρατεί. Επιπλέον, η θερμοκρασία μετράται στην είσοδο και στην έξοδο της διάταξης των μετρητών υπό δοκιμή και στην είσοδο του μετρητή Ritter. Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης δίνεται στο Σχήμα 5.1.




Σχήμα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης. Η διάταξη αυτή αποτελεί και την ολοκληρωμένη διάταξη που χρησιμοποιείται για τη διακρίβωση μετρητών στην εγκατάσταση LTT-360.

Ακολούθως, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εύρεση των αποτελεσμάτων στην περίπτωση της “οπτικής” μεθόδου, ενώ στη συνέχεια παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες για ευκολία στη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

### 5.1.3 Οπτική/χειροκίνητη μέθοδος υπολογισμού του σφάλματος

Στον πίνακα (Πίνακας 5.1) που δίδεται παρακάτω, παρατίθενται όλες οι μετρήσεις-δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τους υπολογισμούς.

| Μετρητής (Index) | Αρχική ένδειξη [lt] | Τελική ένδειξη [lt] | Όγκος G4 $V_p$[lt] | Όγκος Ritter $V_N$[lt] | Πίεση Ritter $p_p$[mbar] | Πίεση G4 $p_N$[mbar] | Θερμοκρασία G4 $T_p$[K] | Θερμοκρασία G4 $T_N$[K] | fn[%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **GM1 (815)** | 54286.1 | 54327.0 | 40.90 | 39.93 | 1001.028 | 999.3190 | 295.7043 | 296.4678 | 0.03814022 |
| **GM2 (816)** | 66607.6 | 66648.8 | 41.20 | 39.93 | 1000.617 | 999.3173 | 295.7256 | 296.4687 | 0.03811086 |
| **GM3 (817)** | 64487.0 | 64527.8 | 40.80 | 39.93 | 999.859 | 999.3192 | 295.7407 | 296.4657 | 0.03813160 |
| **GM4 (818)** | 37941.2 | 37982.2 | 41.00 | 39.93 | 1000.351 | 999.3188 | 295.7653 | 296.4679 | 0.03813925 |

Πίνακας 5.1: Μετρήσεις-δεδομένα της δοκιμής. Στις πρώτες στήλες του πίνακα αναγράφονται οι αρχικές και οι τελικές ενδείξεις των ενδεικτικών οργάνων των διαφραγματικών μετρητών.

## Διόρθωση του όγκου του μετρητή Ritter

Στην περίπτωση της οπτικής ανάγνωσης των ενδείξεων των μετρητικών οργάνων, απαιτείται διόρθωση του όγκου που διέρχεται από τον μετρητή Ritter ($V_N$), αρχικά λόγω της βαθμονόμησης (calibration) των μετρητικών και έπειτα λόγω αναγωγής των συνθηκών που επικρατούν στους υπό δοκιμή μετρητές.

Σε ένα μόνο βήμα, η διόρθωση αυτή είναι δυνατό να εκφραστεί μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$V_{Ncorr}[lt] = \frac{3.04198}{3} \cdot \frac{p_N[mbar] \cdot V_N[lt] \cdot T_P[K]}{T_N[K] \cdot p_P[mbar] \cdot \left(1 + {f_N[\%]}/{100}\right)} \qquad (5.1.1)$$

Με τον τρόπο αυτό συμπληρώνεται ο Πίνακας 5.2, που εμπεριέχει τις διορθωμένες τιμές του όγκου για τον μετρητή Ritter.

| Μετρητής (Index) | $V_N$[lt] | $V_{Ncorr}$ [lt] |
|---|---|---|
| **GM1 (815)** | 39.93 | 40.30016137 |
| **GM2 (816)** | 39.93 | 40.31944761 |
| **GM3 (817)** | 39.93 | 40.35253893 |
| **GM4 (818)** | 39.93 | 40.33573275 |

Πίνακας 5.2: Πίνακας με τις διορθωμένες τιμές του όγκου του μετρητή Ritter, μέσω της Σχέσης 5.1.1.

## Εύρεση του συνολικού σφάλματος της μέτρησης

Καθίσταται τώρα δυνατός ο υπολογισμός του σφάλματος της μέτρησης, αρκεί να γίνει χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$f_e[\%] = \left(\frac{V_p[lt]}{V_{Ncorr}[lt]} - 1\right) \cdot 100\ [\%] \qquad (5.1.2)$$

Μέσω της Σχέσης 5.1.2 προκύπτει το συνολικό σφάλμα της μέτρησης για τον κάθε μετρητή. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα (Πίνακας 5.3):

| Μετρητής (Index) | fe[%] |
|---|---|
| **GM1 (815)** | 1.48842737 |
| **GM2 (816)** | 2.18393963 |
| **GM3 (817)** | 1.10887959 |
| **GM4 (818)** | 1.64684562 |

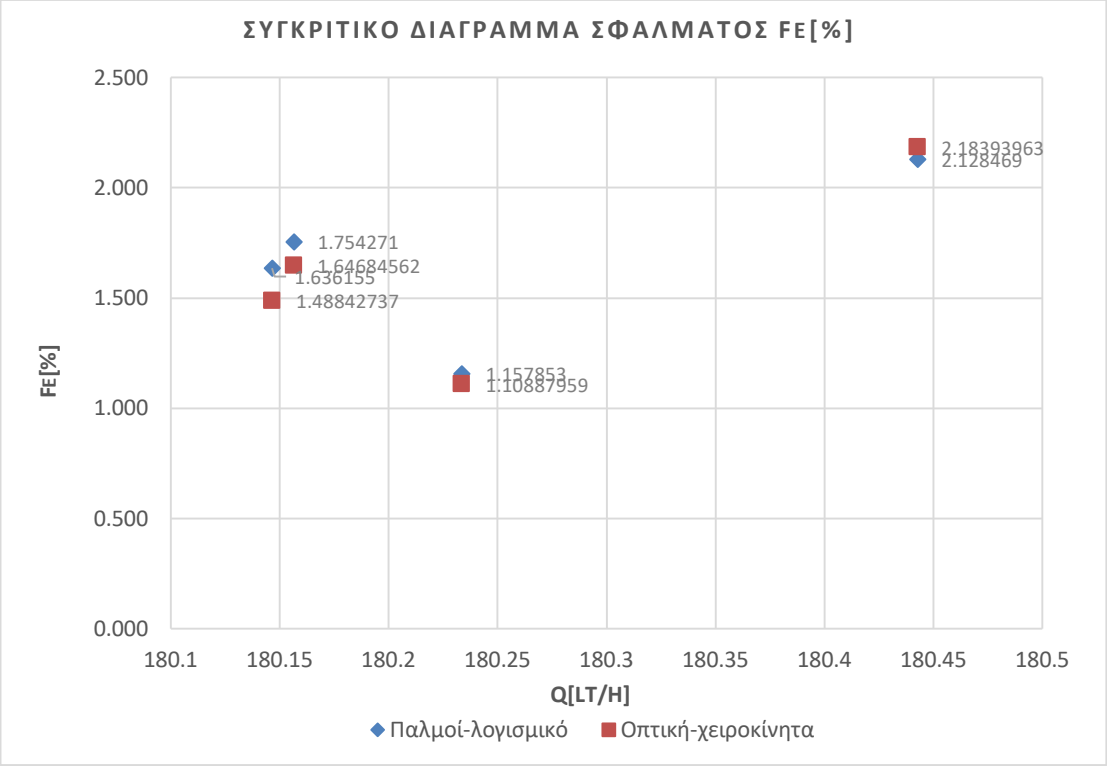
Πίνακας 5.3: Πίνακας με το συνολικό σφάλμα της μέτρησης για τη "χειροκίνητη" μέθοδο, μέσω της Σχέσης 5.1.2.

### 5.1.4 Παράθεση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων και σύγκριση

Στον πίνακα (Πίνακας 5.4) που παρατίθεται παρακάτω, βρίσκονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα (συνολικό σφάλμα) των δύο περιπτώσεων που εξετάστηκαν, δηλαδή της μεθόδου των παλμών και της "χειροκίνητης" μεθόδου. Το Σχήμα 5.2 παρέχει γραφική σύγκριση των αποτελεσμάτων.

| | **Μέθοδος υπολογισμού** | | |
|---|---|---|---|
| | **Παλμοί-λογισμικό** | **Οπτική-χειροκίνητα** | **Παροχή** |
| **Μετρητής (Index)** | **fe[%]** | **fe[%]** | **Q[lt/h]** |
| **GM1 (815)** | 1.636155 | 1.48842737 | 180.1466 |
| **GM2 (816)** | 2.128469 | 2.18393963 | 180.4426 |
| **GM3 (817)** | 1.157853 | 1.10887959 | 180.2335 |
| **GM4 (818)** | 1.754271 | 1.64684562 | 180.1564 |

Πίνακας 5.4: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.




Σχήμα 5.2: Συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

### 5.1.5 Παρατηρήσεις

1) Η αναλυτική μέθοδος υπολογισμού του σφάλματος από το λογισμικό αλλά και η λογική που ακολουθείται για τον προσδιορισμό του όγκου μέσω της μεθόδου των παλμών, αναλύονται στις ενότητες 3.3 και 3.4 της παρούσας μελέτης, οι οποίες περιγράφουν την λειτουργία της εγκατάστασης LTT-360.
2) Μιάς και η ποσότητα του όγκου για κάθε μετρητή υπό δοκιμή, στην περίπτωση της οπτικής μεθόδου, καθορίστηκε διαβάζοντας τις ενδείξεις των μετρητικών τους οργάνων, πρέπει να ληφθεί υπόψη το σφάλμα ανάγνωσης του παρατηρητή, αλλά και η διακριτική ικανότητα των οργάνων.

### 5.1.6 Συμπεράσματα

Με βάση τον πίνακα (Πίνακας 5.4) αλλά και το Σχήμα 5.2, παρατηρείται ότι οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν αποτελέσματα με πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους. Οι αποκλίσεις αυτές είναι πιθανό να οφείλονται στην διακριτική ικανότητα των ενδεικτικών οργάνων αλλά και στο σφάλμα ανάγνωσης των ενδείξεων από τον ανθρώπινο παρατηρητή, καθώς επίσης και σε άλλα σφάλματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Ωστότο, τα αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά, ώστε να επιβεβαιώνουν την ορθότητα της μεθόδου των παλμών και του λογισμικού που χρησιμοποιείται από την εγκατάσταση LTT-360. Πρέπει επίσης να τονιστεί το γεγονός ότι η μέθοδος των παλμών που χρησιμοποιεί το λογισμικό της διάταξης για τον προσδιορισμό της ποσότητας του όγκου του εργαζόμενου μέσου, σε συνδασμό με τους υπολογισμούς που εκτελεί στη συνέχεια για τον προσδιορισμό του αποτελέσματος, αποτελούν μια μέθοδο με σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό αξιοπιστίας, σε σύγκριση με την “χειροκίνητη” μέθοδο. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι μέσω της χρήσης του λογισμικού της διάταξης, αποφεύγεται ένας σημαντικός αριθμός σφαλμάτων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.

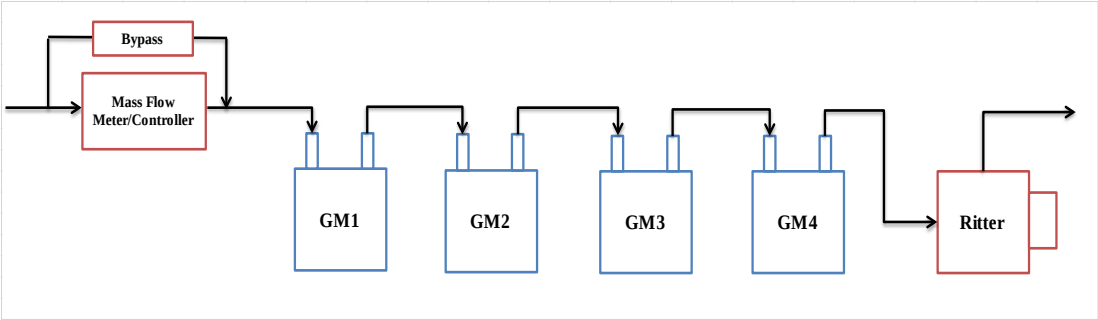
# 5.2 Πειραματική δοκιμή αλλαγής της διάταξης των μετρητών στην εγκατάσταση LTT-360

## 5.2.1 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας

Στη συγκεκριμένη δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφραγματικοί μετρητές G4 (μετρητές υπό δοκιμή), οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε τρείς διαφορετικές διατάξεις. Για κάθε μια από τις διατάξεις αυτές ελήφθησαν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, σε παροχές που καλύπτουν όλο το εύρος λειτουργίας της εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται (σφάλμα και αβεβαιότητα της μέτρησης) προέκυψαν ως ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων (επαναλήψεων) για κάθε κοινό σημείο μετρήσεων (παροχής). Περιγραφές των διατάξεων παρουσιάζονται στη συνέχεια στις αντίστοιχες υποενότητες. Στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου, βρίσκονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα και πίνακες με τα αποτελέσματα για τις τρείς περιπτώσεις που εξετάστηκαν, με σκοπό την καλύτερη εποπτεία και σύγκριση.

### 5.2.1.1 Διάταξη 1η: Η ροή εισέρχεται πρώτα στους μετρητές υπό δοκιμή και έπειτα στον μετρητή Ritter (“κανονική” διάταξη)

Στην περίπτωση αυτή, η ροή του εργαζόμενου μέσου, αφού περάσει από τον mass flow meter/controller (mfc), εισέρχεται στην εν σειρά διάταξη των υπό δοκιμή μετρητών, απ’ όπου διέρχεται και από τα σημεία των μετρήσεων. Στο τέλος της διάταξης, βρίσκεται ο μετρητής Ritter (master meter), η έξοδος του οποίου επικοινωνεί με το περιβάλλον. Σχηματική απεικόνιση της συγκεκριμένης διάταξης δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.3).

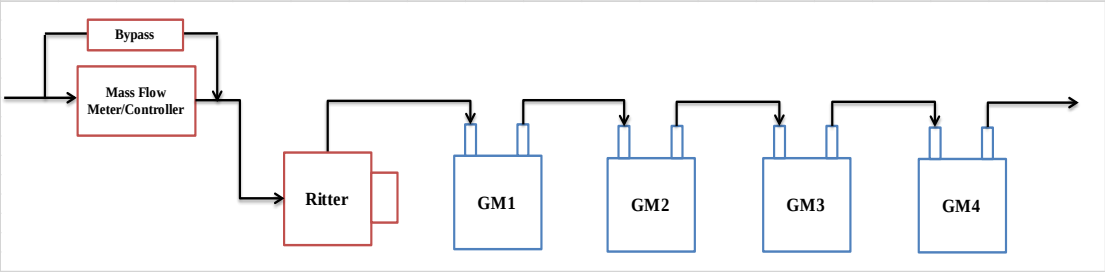



Σχήμα 5.3: Σχηματική απεικόνιση της πρώτης (κανονικής) διάταξης.

Η διάταξη αυτή αποτελεί την “κανονική” διάταξη της εγκατάστασης. Η διαδικασία δηλαδή της διακρίβωσης μετρητών και η εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων πραγματοποιείται συνδέοντας τους μετρητές υπό δοκιμή και αναφοράς, με τον τρόπο που απεικονίζεται σχεδιαστικά στο Σχήμα 5.3, ενώ στο Σχήμα 3.5 δίνεται μια φωτογραφία του τρόπου σύνδεσης των μετρητών υπό δοκιμή.

#### 5.2.1.2 Διάταξη 2η: Η ροή εισέρχεται πρώτα στον μετρητή Ritter και έπειτα στους μετρητές υπό δοκιμή (“ανάποδη” διάταξη)

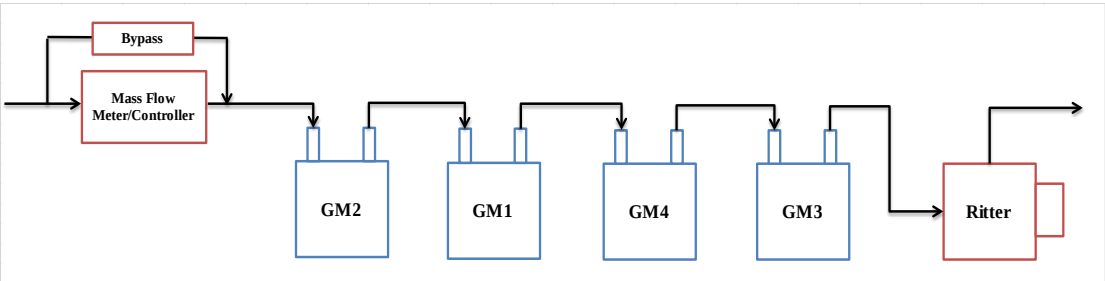
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η σειρά σύνδεσης των μετρητών υπό δοκιμή παρέμεινε ίδια με πρίν. Αυτό που άλλαξε σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, είναι ότι ο μετρητής Ritter τοποθετήθηκε στην έξοδο του mfc και συνεπώς η ροή θα περάσει πρώτα από τον master meter και έπειτα από τους μετρητές υπό δοκιμή. Αν και η διάταξη των μετρητών υπό δοκιμή δεν υπέστη αλλαγές σε σχέση με την “κανονική” διάταξη, για χάρη απλότητας η παρούσα διάταξη αναφέρεται ως “ανάποδη”, λόγω της αλλαγής στη θέση του μετρητή αναφοράς. Σχηματική απεικόνιση της συγκεκριμένης διάταξης δίνεται στο Σχήμα 5.4 που ακολουθεί.




Σχήμα 5.4: Σχηματική απεικόνιση της δεύτερης (ανάποδης) διάταξης.

#### 5.2.1.3 Διάταξη 3η: Η ροή εισέρχεται πρώτα στους μετρητές υπό δοκιμή, αλλάζοντας τις μεταξύ τους θέσεις και έπειτα στον μετρητή Ritter (αλλαγή θέσης)

Τελευταία περίπτωση είναι αυτή της αλλαγής θέσης των μετρητών υπό δοκιμή. Εδώ, όπως και στην πρώτη περίπτωση, ο μετρητής Ritter επανατοποθετείται στο τέλος της διάταξης. Αυτό που αλλάζει σε σχέση με την πρώτη διάταξη είναι η σειρά (αλληλουχία) των υπό δοκιμή μετρητών. Πιο συγκεκριμένα, ο μετρητής της θέσης 1 άλλαξε θέση με τον μετρητή της θέσης 2 και ο μετρητής της θέσης 3 άλλαξε θέση με τον μετρητή της θέσης 4. Η σχηματική απεικόνιση της διάταξης δίνεται στο Σχήμα 5.5. Η αλλαγή της θέσης των διαφραγματικών μετρητών μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητή συγκρίνοντας τα σχήματα (Σχήμα 5.3 και Σχήμα 5.5).




Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση της τρίτης διάταξης (αλλαγής θέσης). Παρατηρείται ότι οι θέσεις των μετρητών GM1 και GM2, όπως και των GM3 και GM4 έχουν αντιστραφεί, σε σχέση με το Σχήμα 5.3.

### 5.2.2 Πίνακες αποτελεσμάτων και διαγράμματα

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκαν όλοι οι μετρητές υπό δοκιμή.

Τα σημεία λήψης των μετρήσεων επιλέχθηκαν με στόχο να καλύπτουν όλο το εύρος λειτουργίας της εγκατάστασης LTT-360 και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια προέκυψαν από τον μέσο όρο των μετρήσεων επαναλαμβανόμενων δοκιμών, για κάθε κοινό σημείο ογκομετρικής παροχής που εξετάστηκε.

Στους πίνακες (Πίνακας 5.6, Πίνακας 5.7, Πίνακας 5.8, Πίνακας 5.9), βρίσκονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα για τους μετρητές υπό δοκιμή GM1, GM2, GM3, και GM4 αντίστοιχα, ενώ στα σχήματα (Σχήμα 5.6, Σχήμα 5.7, Σχήμα 5.8, Σχήμα 5.9) δίνονται τα διαγράμματα του συνολικού σφάλματος της μέτρησης, για κάθε περίπτωση.

| Μετρητής GM1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Κανονική Διάταξη | | Ανάποδη Διάταξη | | Αλλαγή Θέσης | |
| Παροχή Q[lt/h] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] |
| **40** | -0.682126 | 0.403615 | -0.636963 | 0.401852 | -0.820936 | 0.404298 |
| **100** | 0.689242 | 0.403351 | 0.718602 | 0.400470 | 0.577992 | 0.405353 |
| **150** | 1.119150 | 0.403393 | 1.104975 | 0.401195 | 1.090980 | 0.403083 |
| **180** | 1.282354 | 0.402277 | 1.303778 | 0.404176 | 1.426772 | 0.404653 |
| **200** | 1.235792 | 0.402889 | 1.226024 | 0.402155 | 1.212277 | 0.402324 |
| **350** | 1.730028 | 0.40295 | 1.736243 | 0.405401 | 1.469369 | 0.403435 |

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα για τον μετρητή υπό δοκιμή GM1.

| Μετρητής GM2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Κανονική Διάταξη | | Ανάποδη Διάταξη | | Αλλαγή Θέσης | |
| Παροχή Q[lt/h] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] |
| **40** | 2.104074 | 0.402387 | 2.175745 | 0.403239 | 1.973993 | 0.403996 |
| **100** | 1.392424 | 0.402994 | 1.363925 | 0.400282 | 1.33491 | 0.405672 |
| **150** | 1.878232 | 0.403023 | 1.864034 | 0.40107 | 1.796085 | 0.403149 |
| **180** | 2.134574 | 0.402001 | 2.069469 | 0.404015 | 2.043209 | 0.404531 |
| **200** | 2.047956 | 0.402789 | 2.095316 | 0.401793 | 1.952892 | 0.402971 |
| **350** | 2.539419 | 0.402516 | 2.568301 | 0.405218 | 2.318056 | 0.404168 |

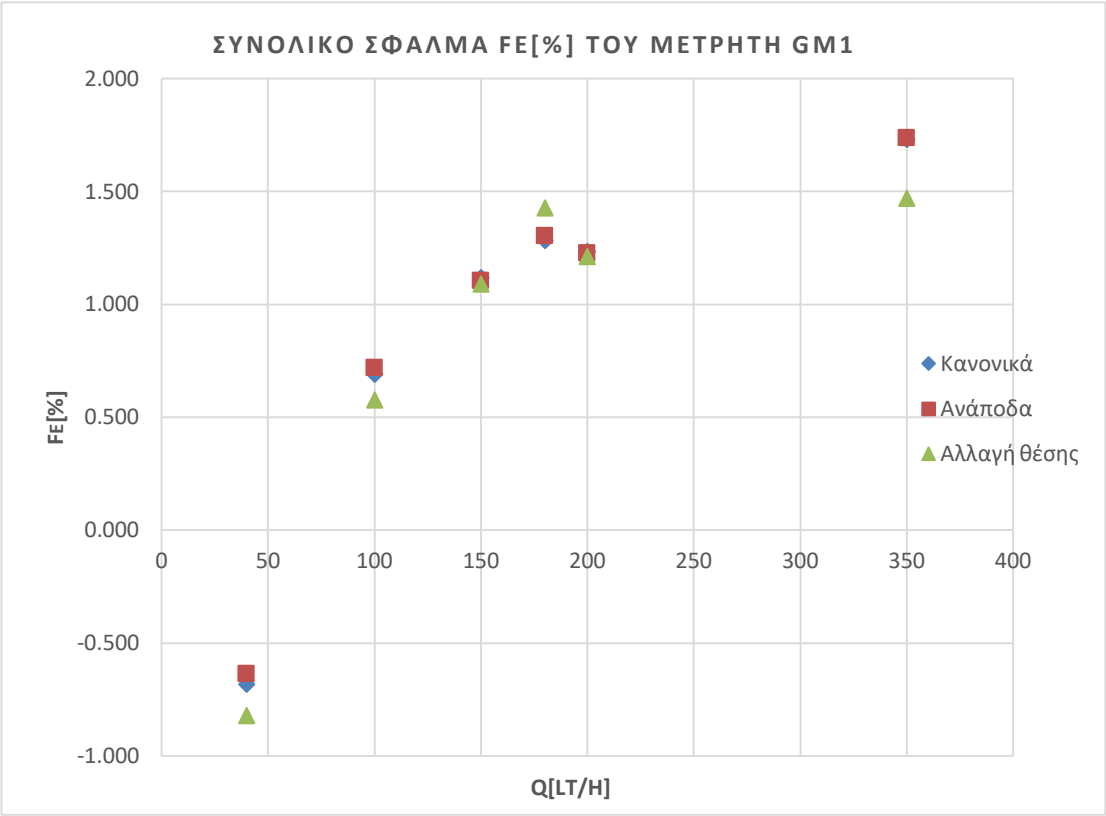
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα για τον μετρητή υπό δοκιμή GM2.

| Μετρητής GM3 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Κανονική Διάταξη | | Ανάποδη Διάταξη | | Αλλαγή Θέσης | |
| Παροχή Q[lt/h] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] |
| **40** | 1.070390 | 0.403184 | 1.135465 | 0.401050 | 0.987974 | 0.403260 |
| **100** | 1.034432 | 0.402716 | 1.026907 | 0.400309 | 0.991021 | 0.404538 |
| **150** | 1.135511 | 0.402780 | 1.189128 | 0.400918 | 1.042573 | 0.402212 |
| **180** | 1.141210 | 0.401680 | 1.207351 | 0.403667 | 1.148028 | 0.404170 |
| **200** | 1.054172 | 0.402494 | 1.254002 | 0.401369 | 0.834830 | 0.401131 |
| **350** | 1.137751 | 0.402236 | 1.326889 | 0.405885 | 0.846800 | 0.401969 |

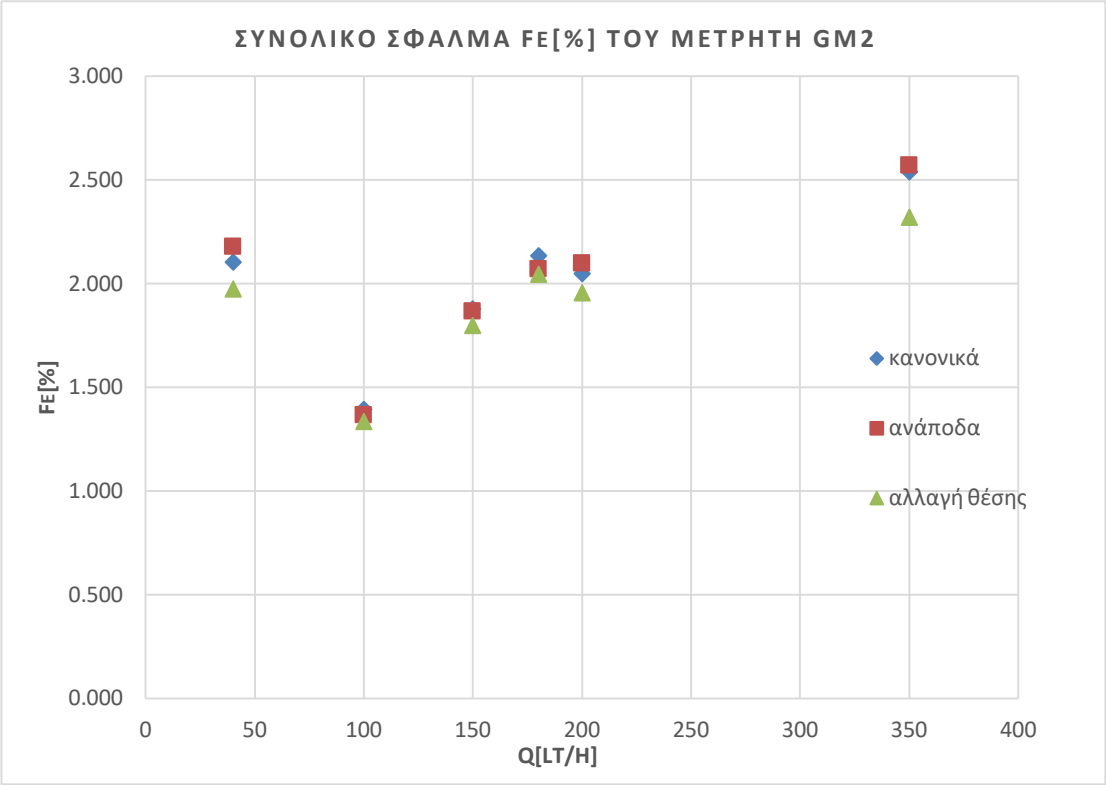
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα για τον μετρητή υπό δοκιμή GM3.

| Μετρητής GM4 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Κανονική Διάταξη | | Ανάποδη Διάταξη | | Αλλαγή Θέσης | |
| Παροχή Q[lt/h] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] | Συνολικό σφάλμα $f_e$[%] | Αβεβαιότητα $U_e$[%] |
| **40** | 1.390032 | 0.402975 | 1.050570 | 0.401008 | 1.257453 | 0.403634 |
| **100** | 1.768436 | 0.402413 | 1.352191 | 1.352191 | 1.676763 | 0.404878 |
| **150** | 1.958791 | 0.402519 | 1.861623 | 0.401026 | 2.000305 | 0.402675 |
| **180** | 2.043097 | 0.402018 | 1.883030 | 0.403518 | 1.962543 | 0.404379 |
| **200** | 2.025653 | 0.402277 | 2.009538 | 0.400859 | 2.000938 | 0.401649 |
| **350** | 2.493974 | 0.402083 | 2.065789 | 0.405859 | 1.934794 | 0.402802 |

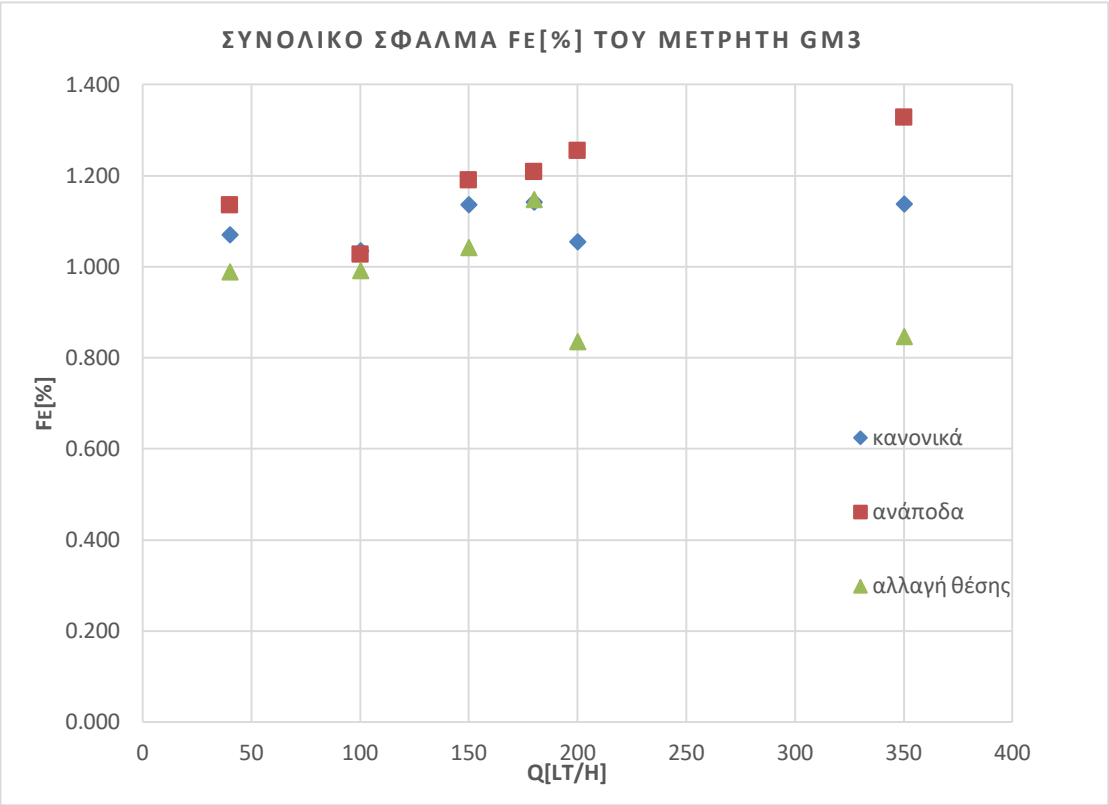
Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα για τον μετρητή υπό δοκιμή GM4.



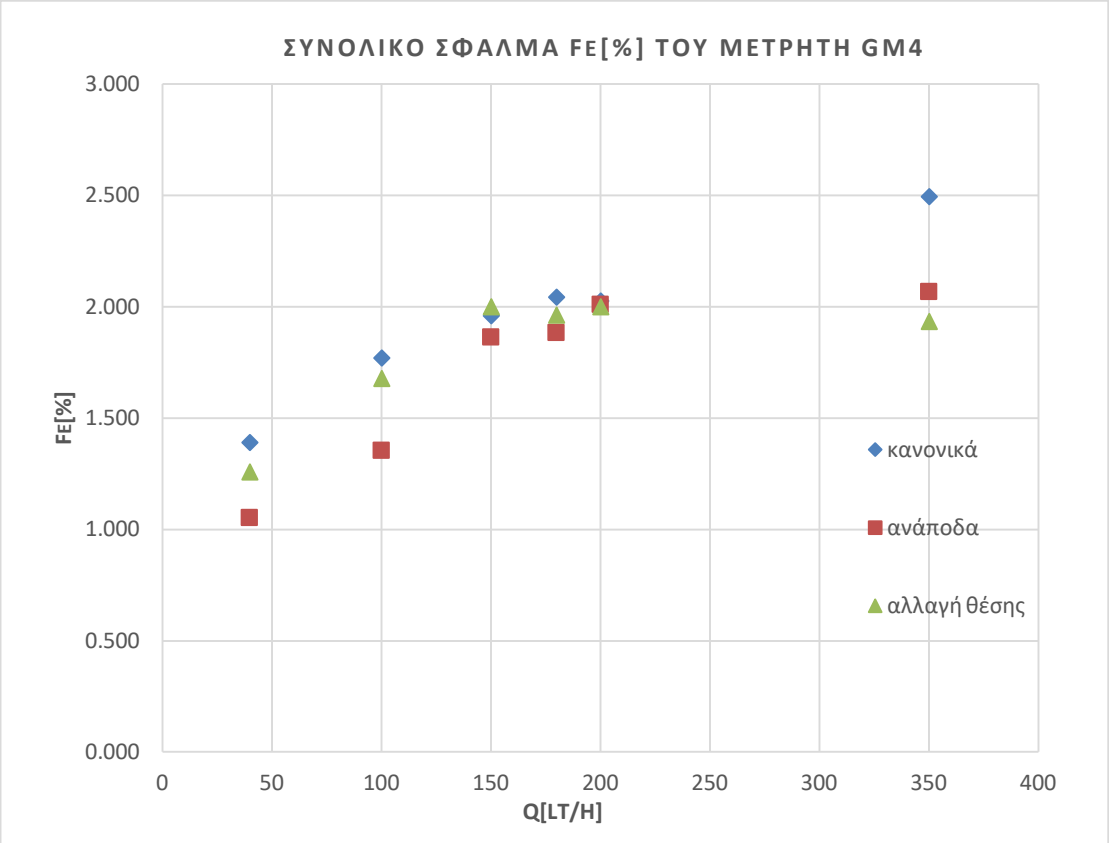

Σχήμα 5.6: Διάγραμμα συνολικού σφάλματος για τον μετρητή υπό δοκιμή GM1.




Σχήμα 5.7: Διάγραμμα συνολικού σφάλματος για τον μετρητή υπό δοκιμή GM2.




Σχήμα 5.8: Διάγραμμα συνολικού σφάλματος για τον μετρητή υπό δοκιμή GM3.




Σχήμα 5.9: Διάγραμμα συνολικού σφάλματος για τον μετρητή υπό δοκιμή GM4.

### 5.2.3 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα σχήματα (Σχήμα 5.6, Σχήμα 5.7, Σχήμα 5.8, Σχήμα 5.9), προκύπτει ότι δεν σημειώνονται σημαντικές αποκλίσεις ανάμεσα στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, για τους τέσσερις αυτούς μετρητές υπό δοκιμή. Η τοποθέτηση δηλαδή του μετρητή Ritter στην αρχή ή στο τέλος της διάταξης των υπό δοκιμή μετρητών, καθώς επίσης και η αλλαγή των μεταξύ τους θέσεων, δεν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στο αποτέλεσμα της μέτρησης.

Επιπλέον, ακόμα και αν σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάστηκαν για κάποιους συγκεκριμένους μετρητές υπό δοκιμή, αυτές δεν είναι τόσο σημαντικές και μάλιστα δεν εμφανίζονται σε συστηματική βάση, σε βαθμό που να προκαλούν ανησυχία για τη συμπεριφορά της διάταξης ή για την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

# 5.3 Πειραματική δοκιμή καταγραφής των πτώσεων πίεσης που παρατηρούνται εντός της διάταξης LTT-360

## 5.3.1 Περιγραφή της Πειραματικής Διαδικασίας

Στη συγκεκριμένη ενότητα, συγκεντρώνονται στοιχεία από έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων και επαναλήψεων, με σκοπό να καταγραφούν οι πτώσεις της πίεσης στη ροή του εργαζόμενου μέσου που εμφανίζονται σε διάφορα σημεία της διάταξης LTT-360.

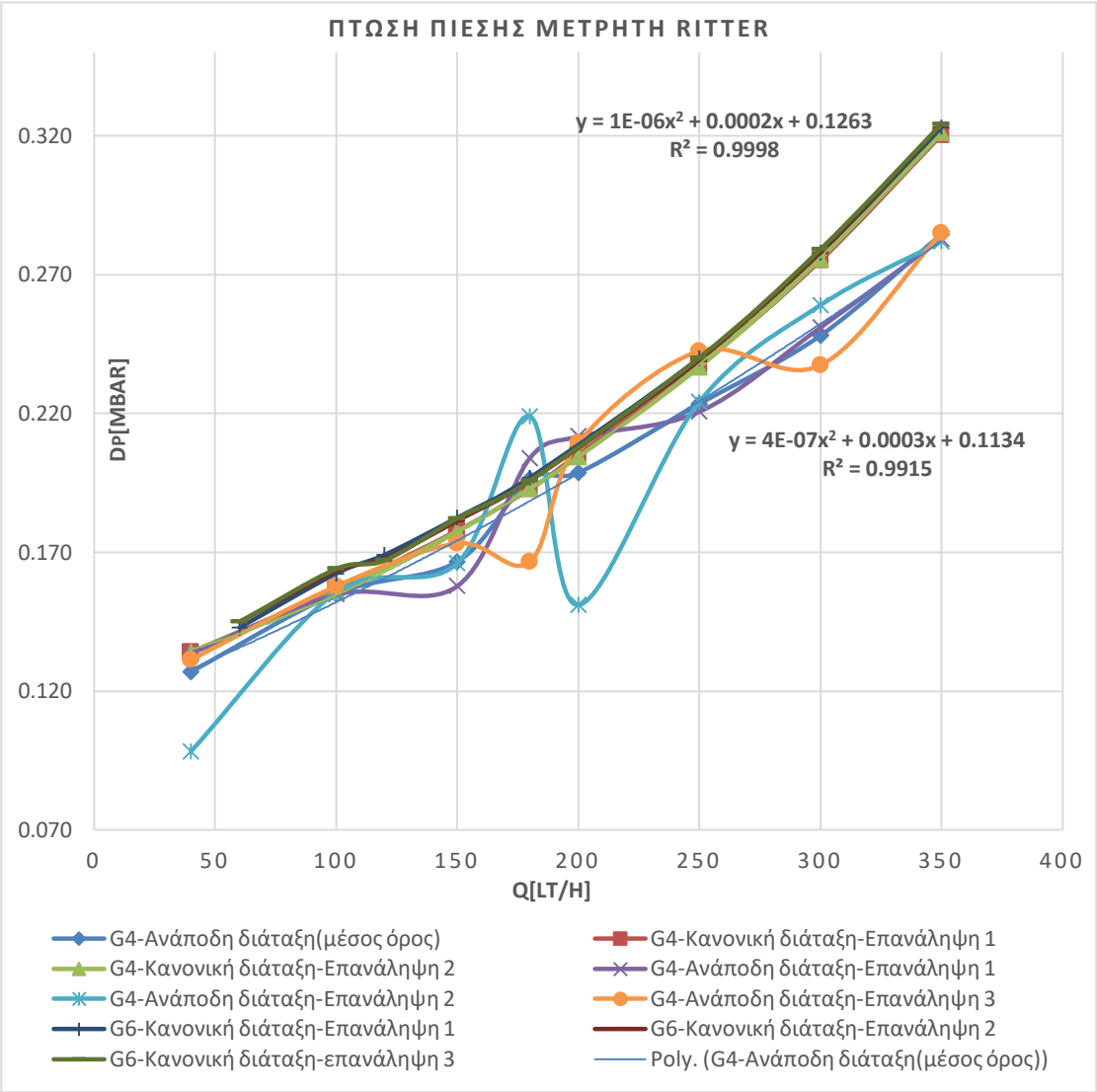
Για το λόγο αυτό, στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται δεδομένα από έναν μεγάλο αριθμό σειρών μετρήσεων και διαφορετικών δοκιμών. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον προκαλεί η περίπτωση του μετρητή υγρού τυμπάνου Ritter, μιάς και ο μετρητής αυτός είναι ο μετρητής αναφοράς (master meter) της μονάδας LTT-360. Για λόγους εποπτικούς και πληρότητας, παρατίθενται στοιχεία και για έναν αριθμό διαφραγματικών μετρητών υπό δοκιμή τύπου G4 και G6.

## 5.3.2 Πειραματική διάταξη

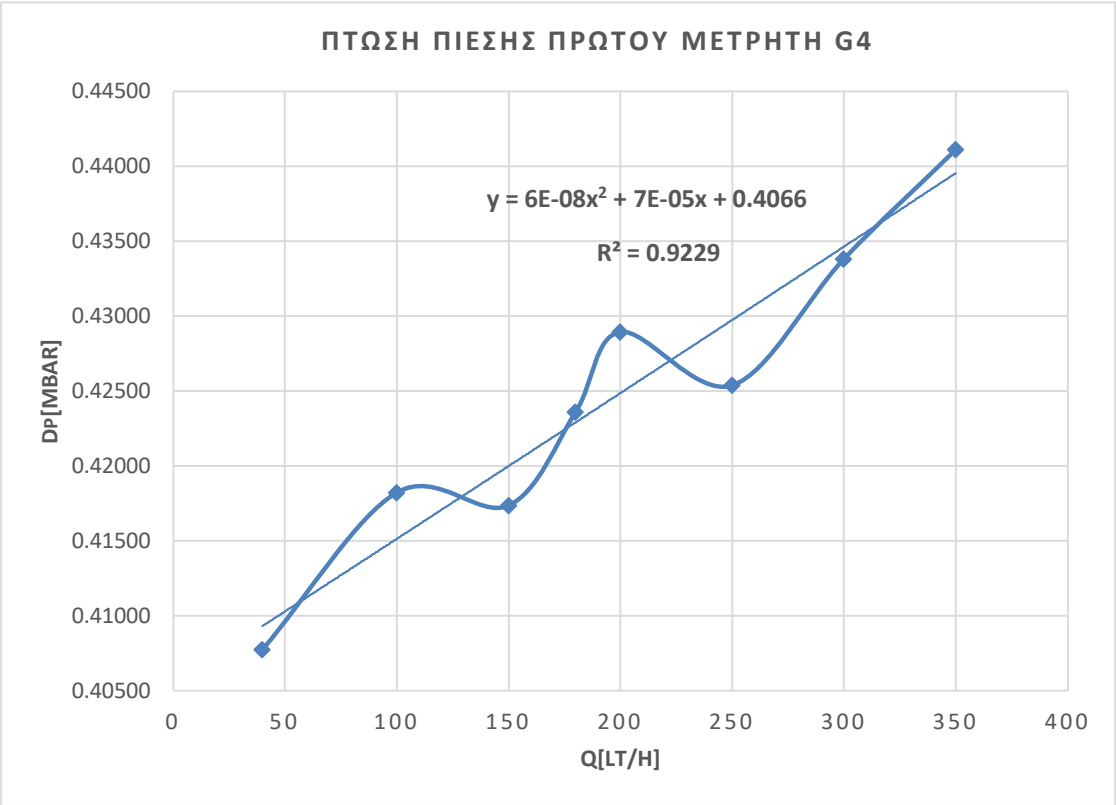
Τα δεδομένα του παρόντος κεφαλαίου αφορούν τις εξής περιπτώσεις: Δύο εξ αυτών είναι περιπτώσεις “κανονικής” διάταξης, όπως περιγράφηκε από την ενότητα 5.2.1.1, (Σχήμα 5.3). Η μία χρησιμοποιεί διάταξη διαφραγματικών μετρητών υπό δοκιμή τύπου G4 και η άλλη τύπου G6. Η άλλη περίπτωση είναι η περίπτωση της “ανάποδης” διάταξης της ενότητας 5.2.1.2, (Σχήμα 5.4), για την οποία χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι μετρητές υπό δοκιμή τύπου G4 με την πρώτη περίπτωση. Τα αποτελέσματα των παραπάνω περιπτώσεων αναπαρίστανται μέσω του σχήματος (Σχήμα 5.10).

## 5.3.3 Μετρητής υγρού τυμπάνου Ritter

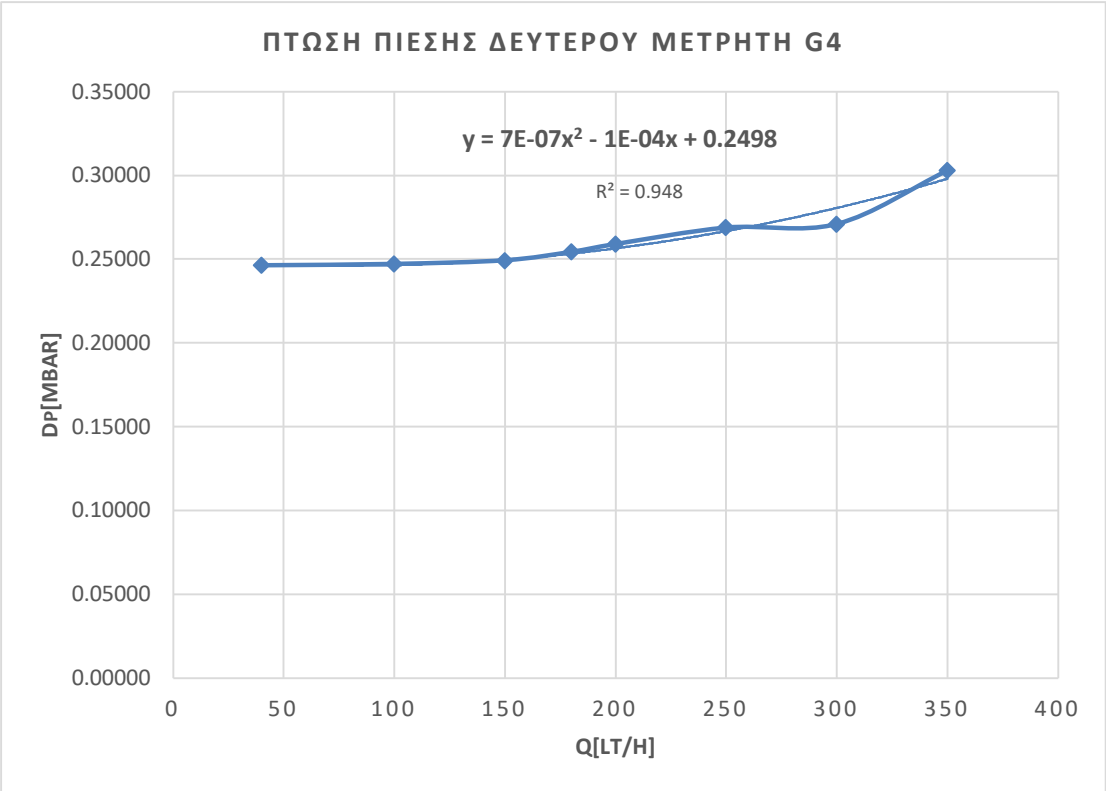
Στο Σχήμα 5.10, που ακολουθεί διακρίνονται οι καμπύλες της πτώσης πίεσης για τον μετρητή αναφοράς Ritter. Τα σημεία των μετρήσεων καλύπτουν την ογκομετρική παροχή για το εύρος 40-350lt/h. Για τις περιπτώσεις της “κανονικής” διάταξης, η πτώση πίεσης σε κάθε σημείο παροχής εκφράζεται ως η διαφορά της πίεσης που επικρατεί στην έξοδο του μετρητή Ritter (ατμοσφαιρική πίεση, $P_{amb}$) από την πίεση που επικρατεί στην είσοδό του ($P_N$). Στις περιπτώσεις της “ανάποδης” διάταξης, η πτώση πίεσης εκφράζεται ως η διαφορά της πίεσης εξόδου του μετρητή Ritter (θεωρείται ίση με την πίεση εισόδου στον πρώτο διαφραγματικό μετρητή υπό δοκιμή $P_1$), από την πίεση εισόδου στον μετρητή αναφοράς ($P_N$).



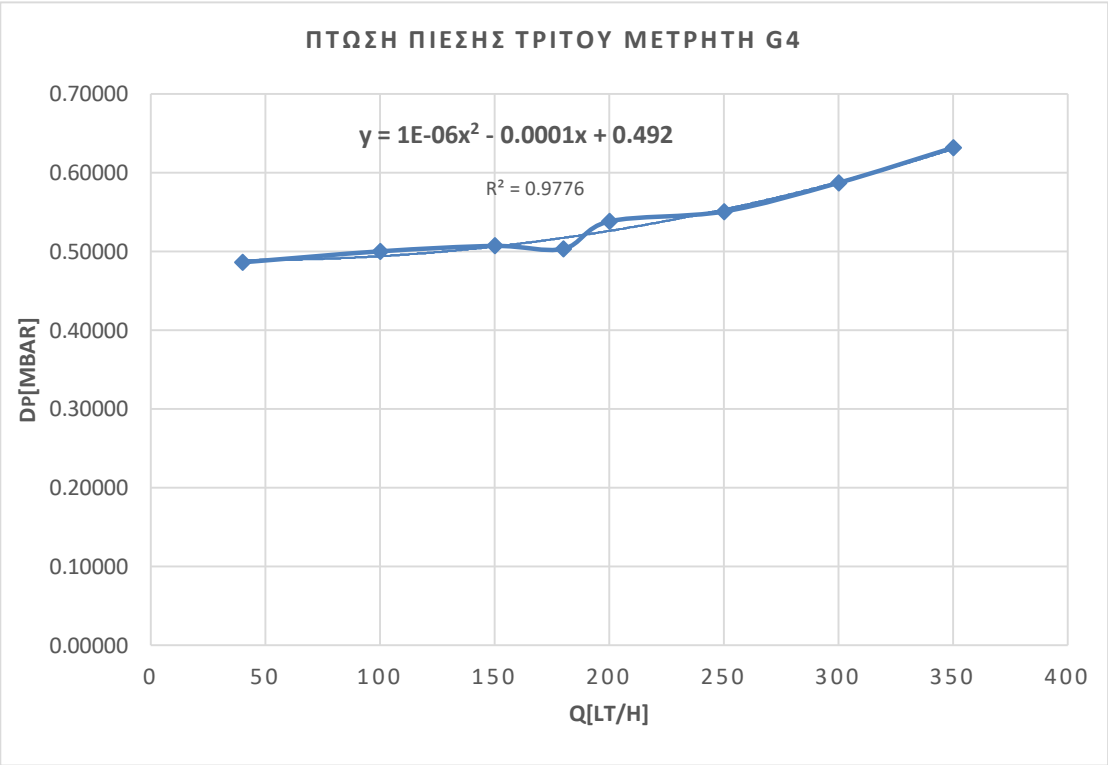

Σχήμα 5.10: Καμπύλες της πτώσης πίεσης εντός του μετρητή Ritter, για τις διάφορες περιπτώσεις που εξετάστηκαν.



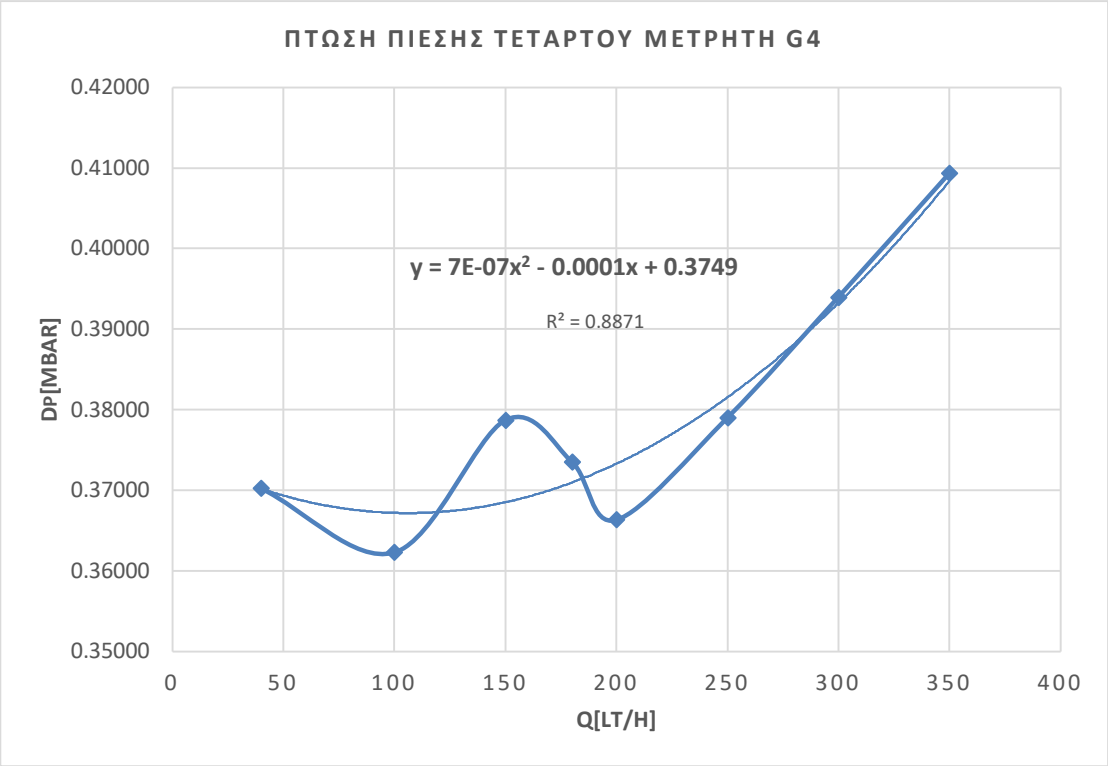

Σχήμα 5.11: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του πρώτου διαφραγματικού μετρητή τύπου G4.



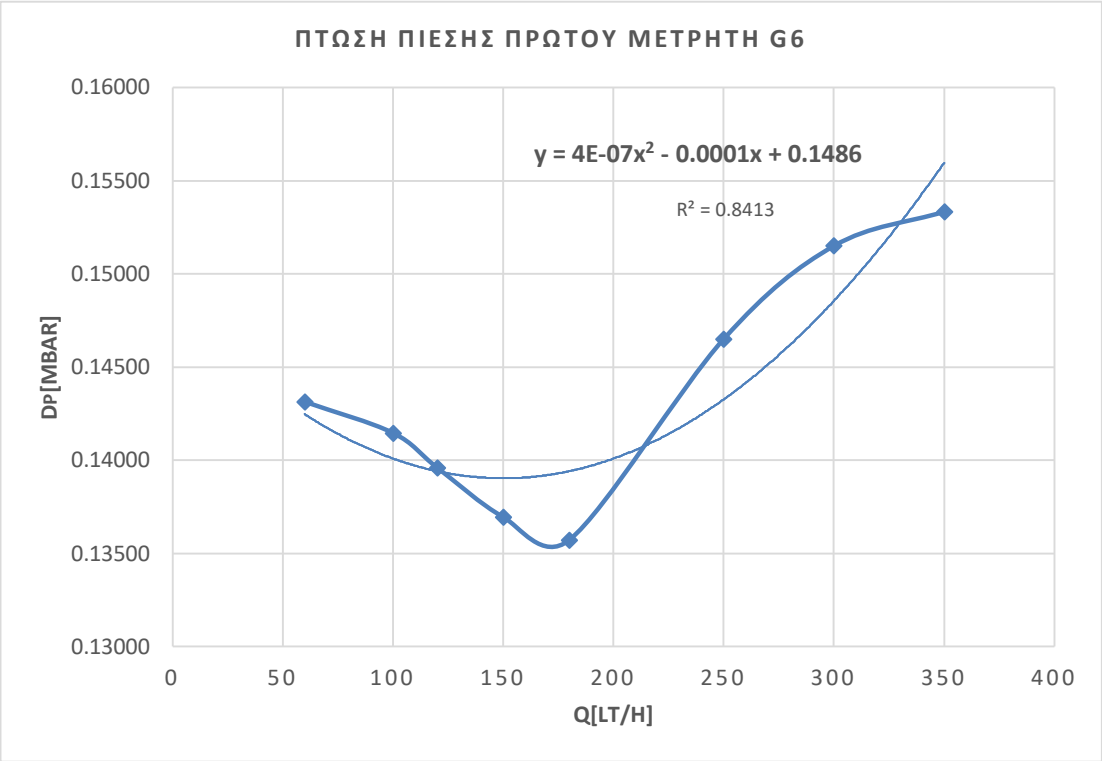

Σχήμα 5.12: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του δεύτερου διαφραγματικού μετρητή τύπου G4.



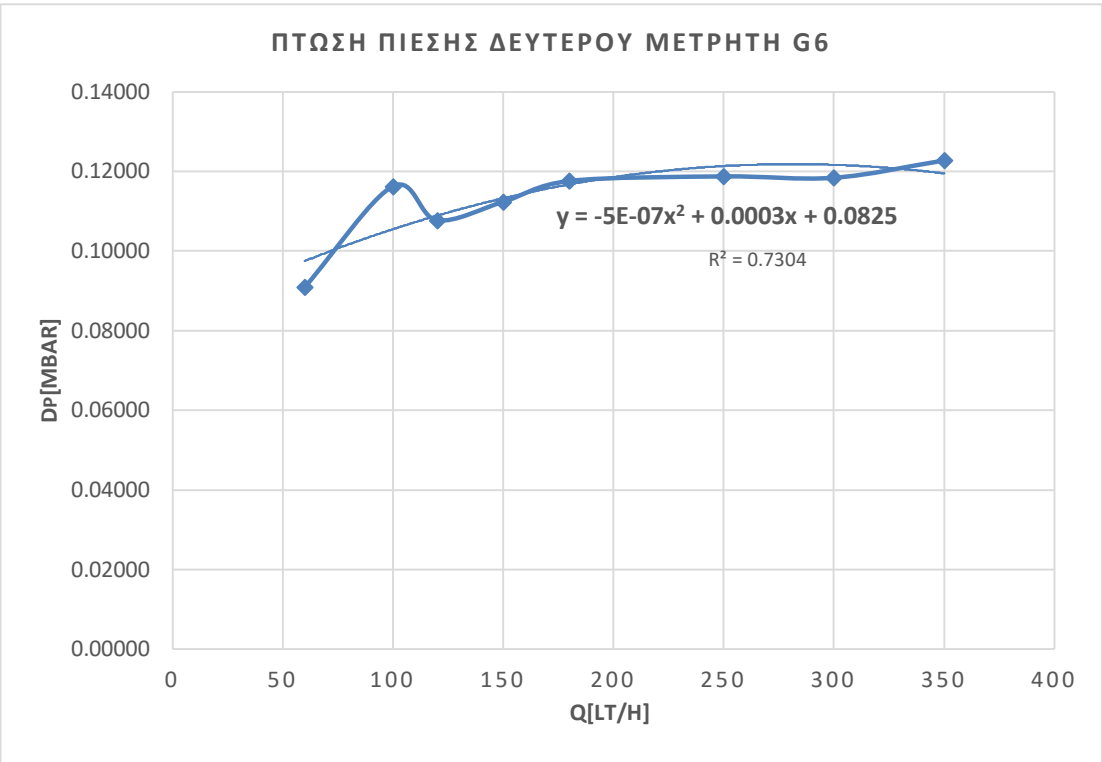

Σχήμα 5.13: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του τρίτου διαφραγματικού μετρητή τύπου G4.



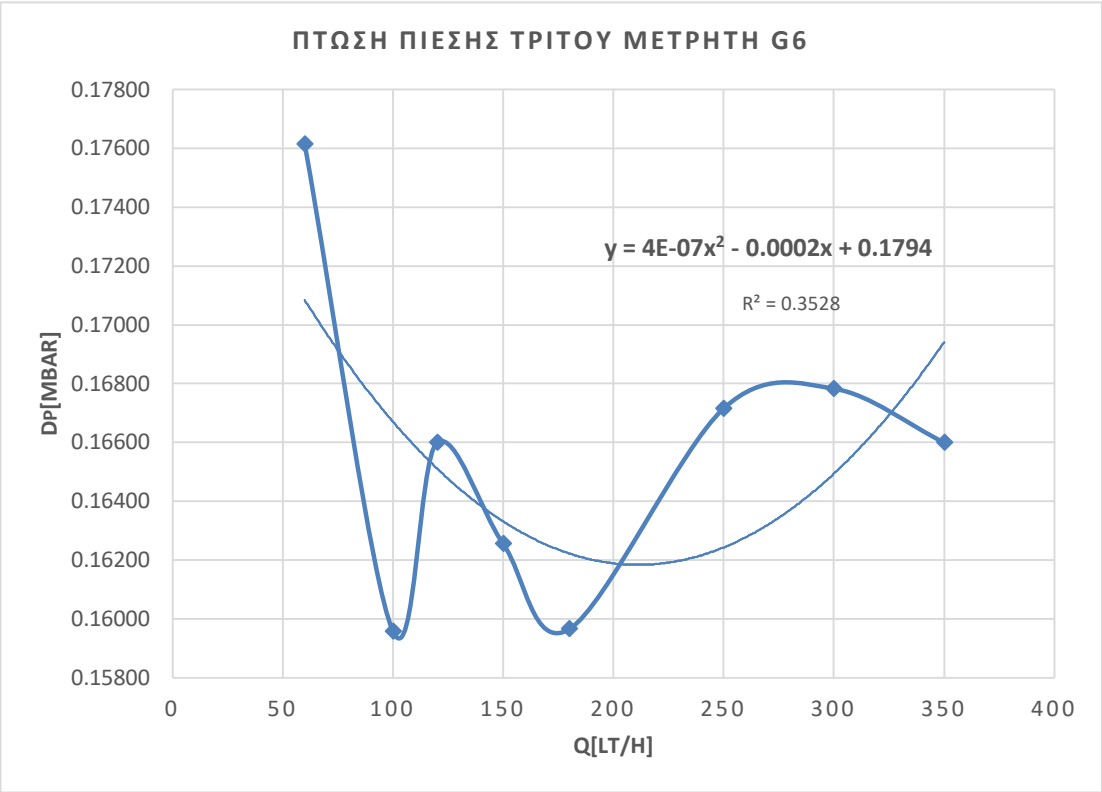

Σχήμα 5.14: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του τέταρτου διαφραγματικού μετρητή τύπου G4.



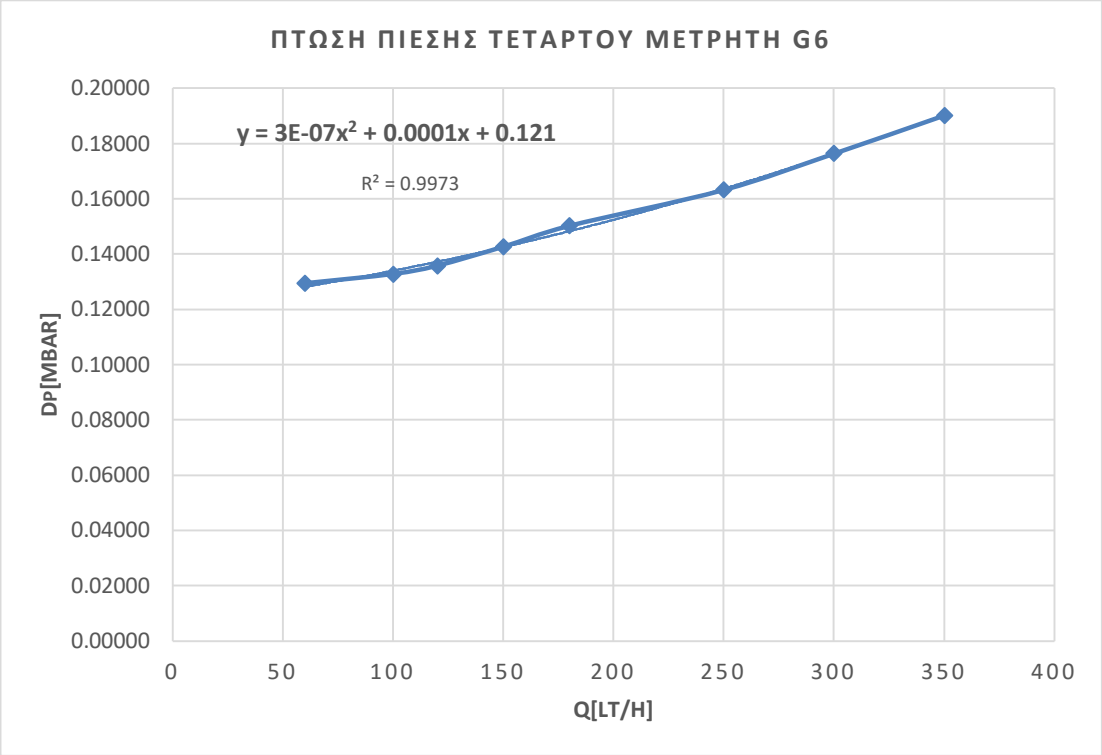

Σχήμα 5.15: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του πρώτου διαφραγματικού μετρητή τύπου G6.




Σχήμα 5.16: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του δεύτερου διαφραγματικού μετρητή τύπου G6.




Σχήμα 5.17: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του τρίτου διαφραγματικού μετρητή τύπου G6.




Σχήμα 5.18: Καμπύλη των μέσων τιμών της πτώσης πίεσης του τέταρτου διαφραγματικού μετρητή τύπου G6.

### 5.3.4 Παρατηρήσεις

1) Στο Σχήμα 5.10 παρίστανται συνολικά εννιά καμπύλες: Οι δύο εξ αυτών αποτελούν επαναλήψεις της περίπτωσης της "κανονικής" διάταξης των μετρητών G4 και άλλες τρείς αφορούν στην περίπτωση της "κανονικής" διάταξης των μετρητών G6. Τρείς καμπύλες απεικονίζουν επαναλήψεις που έγιναν στην περίπτωση της "ανάποδης" διάταξης των μετρητών G4. Η τελευταία καμπύλη απεικονίζει τον μέσο όρο των μετρήσεων για τις περιπτώσεις της "ανάποδης" διάταξης.
2) Παρατηρείται ότι στις περιπτώσεις της "κανονικής" διάταξης, οι καμπύλες έχουν πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους (σχεδόν ταυτίζονται). Η προσέγγιση μίας εξ αυτών με ένα πολυώνυμο δευτέρου βαθμού δίνει το εξής αποτέλεσμα:

$$y = 10^{-6} \cdot x^2 + 0.0001 \cdot x + 0.1347 \quad (5.3.1)$$

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα αναγράφεται και η στατιστική ποσότητα $R^2$ για την προσεγγιστική καμπύλη, η τιμή της οποίας (όσο τείνει στην μονάδα) υποδηλώνει το πόσο κοντά αυτή περνά από τα πραγματικά σημεία των μετρήσεων .

3) Για τις περιπτώσεις της "ανάποδης" διάταξης, προσεγγίζοντας την καμπυλη των μέσων όρων των πιέσεων με πολυώνυμο δευτέρου βαθμού, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$y = 4 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 0.0003 \cdot x + 0.1134 \quad (5.3.2)$$

Πάλι για την περίπτωση αυτή αναγράφεται η ποσότητα $R^2$ στο διάγραμμα.

4) Στα σχήματα (Σχήμα 5.11, Σχήμα 5.12, Σχήμα 5.13, Σχήμα 5.14, Σχήμα 5.15, Σχήμα 5.16, Σχήμα 5.17, Σχήμα 5.18) παρουσιάζονται οι καμπύλες της πτώσης πίεσης συναρτήσει της ογκομετρικής παροχής για τους οκτώ μετρητές υπό δοκιμή. Οι τέσσερις πρώτοι, αναφέρονται στην περίπτωση της "κανονικής" διάταξης με τους διαφραγματικούς μετρητές τύπου G4 και οι άλλοι τέσσερις για την περίπτωση "κανονικής" διάταξης με διαφραγματικούς μετρητές τύπου G6. Η καμπύλη κάθε διαγράμματος έχει προκύψει από μέσες τιμές επαναλαμβανόμενων σειρών μετρήσεων. Για παράδειγμα, αν στην περίπτωση του πρώτου μετρητή υπό δοκιμή G4, το πλήθος των μετρήσεων που έχουν ληφθεί για την παροχή των 40lt/h είναι n, τότε η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί στο αντίστοιχο διάγραμμα για την παροχή των 40lt/h θα είναι:

$$Dp_{40} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(p_{in,40}^{i} - p_{out,40}^{i})}{n} \quad (5.3.3)$$

Στα διαγράμματα αυτά αναγράφονται επίσης προσεγγιστικά πολυώνυμα δευτέρου βαθμού μαζί με την στατιστική ποσότητα $R^2$ για κάθε ένα από αυτά.

### 5.3.5 Συμπεράσματα

Με βάση το Σχήμα 5.10, για τις περιπτώσεις όπου ο μετρητής Ritter βρίσκεται στο τέλος της διάταξης, παρατηρείται ότι οι καμπύλες της πτώσης πίεσης που εμφανίζεται στον μετρητή Ritter, ακολουθούν παρόμοια μορφή με πολύ μικρές αποκλίσεις (σχεδόν ταυτίζονται). Η πτώση πίεσης φαίνεται να είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ογκομετρικής παροχής, όπως παρατηρείται και από τις Σχέσεις 5.3.1 και 5.3.2. Επιπλέον, από τα παραπάνω διαγράμματα και σχέσεις, φαίνεται πως για μηδενισμό της ογκομετρικής παροχής, εμφανίζεται μια μικρή ποσότητα παραμένουσας πτώσης πίεσης. Η ποσότητα αυτή εκφράζει την απαιτούμενη διαφορά πίεσης που απαιτείται, προκειμένου να τεθεί σε κίνηση ο εσωτερικός κινηματικός μηχανισμός του μετρητή.

Στη περίπτωση όπου ο μετρητής Ritter τοποθετήθηκε στην αρχή της διάταξης (ανάποδη διάταξη), οι καμπύλες από το Σχήμα 5.10 φαίνεται να ακολουθούν παρόμοια μορφή με της προηγούμενης περίπτωσης. Η σημαντικότερη διαφορά που παρατηρείται, είναι ότι στην προκειμένη περίπτωση εμφανίζονται κάποιες διακυμάνσεις της πτώσης πίεσης από σημείο σε σημείο. Ενώ δηλαδή αναμένουμε αύξηση της πτώσης πίεσης ανάλογης του τετραγώνου της ογκομετρικής παροχής, σε ορισμένα σημεία παρατηρείται μείωση της πτώσης πίεσης για αύξηση της παροχής. Επίσης, οι σειρές των μετρήσεων που επαναλήφθησαν εμφανίζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις από την περίπτωση της “κανονικής” διάταξης. Αυτό είναι πιθανότερο να οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση αυτή, το εργαζόμενο μέσο αφού εξέλθει από τον μετρητή Ritter, εισέρχεται στην εν σειρά διάταξη των διαφραγματικών μετρητών. Πρέπει δηλαδή να υπερνικήσει την αντίσταση των διαφραγματικών μηχανισμών που ακολουθούν, οι οποίοι όμως είναι χαμηλότερης ποιότητας από τους μηχανισμούς του μετρητή Ritter. Οι αυξομειώσεις δηλαδή της πίεσης που εμφανίζονται, οφείλονται πιθανότατα στην κίνηση των διαφραγμάτων και τις τριβές που προκαλούνται από την κίνησή τους. Ωστόσο, ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις, η γενική εικόνα των καμπυλών αυτών υποδηλώνει ότι η αύξηση της τιμής της παροχής οδηγεί σε αύξηση των πτώσεων πίεσης.

Για την περίπτωση των διαφραγματικών μετρητών υπό δοκιμή, τα Σχήματα 5.11 έως 5.18 δείχνουν ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου η καμπύλη πτώσης πίεσης ακολουθεί την αναμενόμενη μορφή (ανάλογη με το τετράγωνο της ογκομετρικής παροχής), με ομαλή καμπύλη που είναι δυνατό να προσεγγιστεί με πολυώνυμο δευτέρου βαθμού, το οποίο περνά πολύ κοντά από τα σημεία των μετρήσεων (πχ. Σχήμα 5.18, του οποίου η καμπύλη έχει ομαλή μορφή και η ποσότητα $R^2$ είναι πολύ κοντά στη μονάδα). Ωστόσο, υπάρχουν και περιπτώσεις μετρητών για τους οποίους οι καμπύλες δεν ακολουθούν την αναμενόμενη μορφή και εμφανίζονται έντονες μεταβολές από μέτρηση σε μέτρηση (πχ. Σχήμα 5.17). Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στους ίδιους τους μετρητές και πιό συγκεκριμένα στις κατασκευαστικές διαφορές που υπάρχουν από μετρητή σε μετρητή (για τους μετρητές ίδιου τύπου, μεγέθους και κατασκευαστή), στην παλαίωση και τη φθορά που υφίστανται με την πάροδο του χρόνου και τη χρήση τους. Παρόλα αυτά, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, παρατηρείται γενικά αύξηση των πτώσεων πίεσης με την αύξηση της ογκομετρικής παροχής, ακόμα και αν σε ορισμένα σημεία σημειώνονται διακυμάνσεις.

Τέλος, ελέγχοντας την ποσότητα της παραμένουσας πτώσης πίεσης για μηδενική ογκομετρική παροχή για όλους τους μετρητές, παρατηρείται ότι αυτή έχει τη μικρότερη τιμή για τον μετρητή Ritter. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανισμός του μετρητή Ritter απαιτεί μικρότερη πτώση πίεσης προκειμένου να τεθεί σε κίνηση απ’ότι οι μηχανισμοί των

διαφραγματικών μετρητών. Κάτι τέτοιο αναμενόταν, μιάς και ο μετρητής Ritter είναι μεγαλύτερης ακριβείας και άρα κατασκευασμένος από υλικά υψηλότερης ποιότητας από τους διαφραγματικούς μετρητές. Επιπλέον, ένας άλλος παράγοντας είναι ότι ο μετρητής Ritter είναι καινούριος, κάτι το οποίο δεν μπορεί να υποθεί για τους διαφραγματικούς μετρητές της δοκιμής.

# Κεφάλαιο 6
## Σύνοψη - Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, σε αυτή τη διπλωματική εργασία εκτελέστηκε η σύνταξη των μηχανολογικών σχεδίων (καθώς επίσης και η κατασκευή των τριδιάστατων μοντέλων των διαφόρων στοιχείων) και του καταλόγου τεμαχίων της διάταξης διακρίβωσης μετρητών φυσικού αερίου LTT-360, της ΜΟ.ΔΙ.ΜΕ.Φ.Α., του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών του ΕΜΠ. Επιπλέον, συντάχθηκαν τα ηλεκτρολογικά σχέδια της εγκατάστασης, δόθηκε μια αναλυτική περιγραφή του συνόλου της διάταξης και των βασικότερων επιμέρους στοιχείων της, κάνοντας αναφορά στις διεργασίες που εκτελεί το καθένα. Βασικός στόχος όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, υπήρξε η διεξοδική καταγραφή των χαρακτηριστικών και των στοιχείων που αποτελούν τη διάταξη διακριβώσεων LTT-360, στο πλαίσιο της συμβολής στην κατασκευή και τη συγκρότηση της συγκεκριμένης διάταξης.

Δεύτερος βασικός στόχος, υπήρξε η συμβολή στην τεκμηρίωση της διάταξης LTT-360 και του λογισμικού της. Όσον αφορά στο κομμάτι αυτό, αρχικά δόθηκαν αναλυτικές οδηγίες που αφορούν στην προετοιμασία και στον χειρισμό της εγκατάστασης και του λογισμικού που αυτή διαθέτει. Ακολούθως, ελέγχθηκε η λειτουργία του λογισμικού της εγκατάστασης και διαπιστώθηκε η ορθότητά του, μέσω της χρήσης του, της καταγραφής της μεθόδου λειτουργίας του και τελικά μέσω εκτέλεσης στοχευμένης πειραματικής δοκιμής. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ένας αριθμός πειραματικών δοκιμών με στόχο τον έλεγχο της συμπεριφοράς και την καταγραφή των χαρακτιριστικών της εγκατάστασης LTT-360 ως σύνολο, αλλά και του μετρητή αναφοράς της ξεχωριστά. Μέσω των δοκιμών αυτών, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση συμπεριφέρεται όπως αναμενόταν και πως τόσο ο μετρητής προτύπου, όσο και το σύνολο της διάταξης λειτουργούν ορθά και τα αποτελέσματα που υπολογίζουν είναι αξιόπιστα. Επίσης, πρέπει να τονιστεί πως οι δοκιμές στις οποιες εμφανίστηκαν αξιοσημείοτες αποκλίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων, αντιστοιχούν σε ακραίες μεταβολές που εφαρμόστηκαν προμελετημένα στη διάταξη (ή στον μετρητή αναφοράς) με στόχο τον έλεγχο της ευαισθησίας τους, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως τέτοιες αποκλίσεις στα αποτελέσματα δεν αναμένεται να παρατηρηθούν υπό κανονικές συνθήκες.

Μέσω της χρήσης και της μελέτης του μετρητή αναφοράς της διάταξης, χρησιμοποιώντας ως υγρό πλήρωσης τόσο το νερό, όσο και ειδικό έλαιο κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η χρήση ελαίου ως υγρού πλήρωσης για τον μετρητή αναφοράς υγρού τυμπάνου της διάταξης, είναι πιό συμφέρουσα, καθώς οδήγησε στην εξάλειψη ενός αριθμού μειονεκτημάτων που εμφανίζονται στους μετρητές αυτού του τύπου, όταν γίνεται χρήση νερού ως υγρό πλήρωσης. Επομένως, η κίνηση αυτή (αντικατάσταση του νερού και χρήση ελαίου) υπήρξε σημαντική, καθώς μέσω αυτής αυξάνεται περεταίρω η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Κλείνοντας, αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι υπάρχει η δυνατότητα για μελλοντικές πειραματικές μελέτες, στοχευμένες στην εγκατάσταση LTT-360 αλλά και σε συνδυασμό με την άλλη εγκατάσταση της μονάδας, την FMTB-1600, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος των χαρακτηριστικών τους και των αποτελεσμάτων τους στο κοινό εύρος λειτουργίας τους.

# Βιβλιογραφία – Πηγές


[1] Daniel Measurement and Control, Inc. (2010). *Fundamentals of Orifice Meter Measurement.* Houston, Texas.

[2] *Differential Pressure Flowmeter Technology*. (n.d.). Ανάκτηση από Universal Flow Monitors: http://www.flowmeters.com/differential-pressure-technology

[3] *Drum-type Gas Meters TG-Series (Wet-Test)*. (2015). Ανάκτηση από https://www.ritter.de: https://www.ritter.de/en/products/drum-type-gas-meters/

[4] *How a Coriolis Mass Flow Meter Works*. (n.d.). Ανάκτηση από Learning Instrumentation And Control Engineering: http://www.instrumentationtoolbox.com/2017/02/how-coriolis-mass-flow-meter-works.html?m=1#axzz54YHyu68X

[5] *http://www.fekete.com/SAN/TheoryAndEquations/FieldNotesTheoryAndEquations/TheoryGasOrifice.htm*. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.fekete.com/SAN/TheoryAndEquations/FieldNotesTheoryAndEquations/TheoryGasOrifice.htm

[6] *http://www.imacsys.co.uk/25/cgt-turbine-gas-meter*. (n.d.). Ανάκτηση από http://www.imacsys.co.uk/25/cgt-turbine-gas-meter

[7] *Inferential Meters*. (2010). Ανάκτηση από Measurement Information for Technicians and Consumers: http://metrology.burtini.ca/inferential.html

[8] *Litre Meter Ltd, Specialist measurement flow engineering*. (2011). Ανάκτηση από Wet Drum: https://www.litremeter.com/Technology/Gas_Meters.php

[9] *Operating Principle of Variable Area Flow Meters*. (2017, 02). Ανάκτηση από www.instrumentationtoolbox.com: http://www.instrumentationtoolbox.com/2017/02/operating-principle-of-variable-area.html#axzz54YHyu68X

[10] Paul G. Honchar, Equimeter Incorporated. (2001). *Fundamental Principles of Gas Turbine Meters.* 1350 Bayshore Hwy., Ste. 200, Burlingame, CA 94010: American School of Gas Measurement Technology.

[11] Physikalisch-Technische Bundesanstalt. (2003). *Testing Instructions, Measuring Instruments for Gas, Gas Meters, Testing of Gas Volume Meters with Air at Atmospheric Pressure* (Τόμ. Volume 29). Braunschweig and Berlin: PTB, in cooperation with the supervising verification authorities.

[12] *Positive Displacement Flowmeter Technology*. (n.d.). Ανάκτηση από Universal Flow Monitors: http://www.flowmeters.com/positive-displacement-technology

[13] Reddy, S. B. (2016, 1 9). *Coriolis Mass Flow Meter Working Principle*. Ανάκτηση από https://instrumentationtools.com:

https://instrumentationtools.com/coriolis-mass-flow-meter-working-principle/#.WmC8VqiWZPZ

[14] Sofia. (2015). *GAS METERS – PRINCIPLES OF OPERATION*. Ανάκτηση από http://www.calibrate.co.uk: http://www.calibrate.co.uk/gas-meters-principles-of-operation/

[15] *STUDY OF THE DESIGN VARIABLES FOR A WET-CHAMBER GAS METER PROTOTYPE (MGCH)*. (2003). Ανάκτηση από SciELO (scientific electronic library online): http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53832004000100008

[16] *Understanding Flow Sensors*. (n.d.). Ανάκτηση από https://www.keyence.com/ss/products/process/flowknowledge/types/coriolis.jsp

[17] *Variable Area (Float Style) Flowmeters for Clean Gas*. (n.d.). Ανάκτηση από Universal Flow Monitors: http://www.flowmeters.com/

[18] *Vortex flow meter advantages and disadvantages*. (n.d.). Ανάκτηση από http://metern.net : http://metern.net/blog-metern-in-the-flow/vortex-flow-meter-advantages-and-disadvantages-12.html

[19] Yoder, J. (2011). *Part I&II: Pros & Cons of Gas Flowmeters.* Ανάκτηση από www.flowresearch.com

[20] Κιοσσές, Χ. (2014). *Μετρητές Παροχής σε Δίκτυα Αερίου.* ΤΕΙ Καβάλας, Καβάλα.

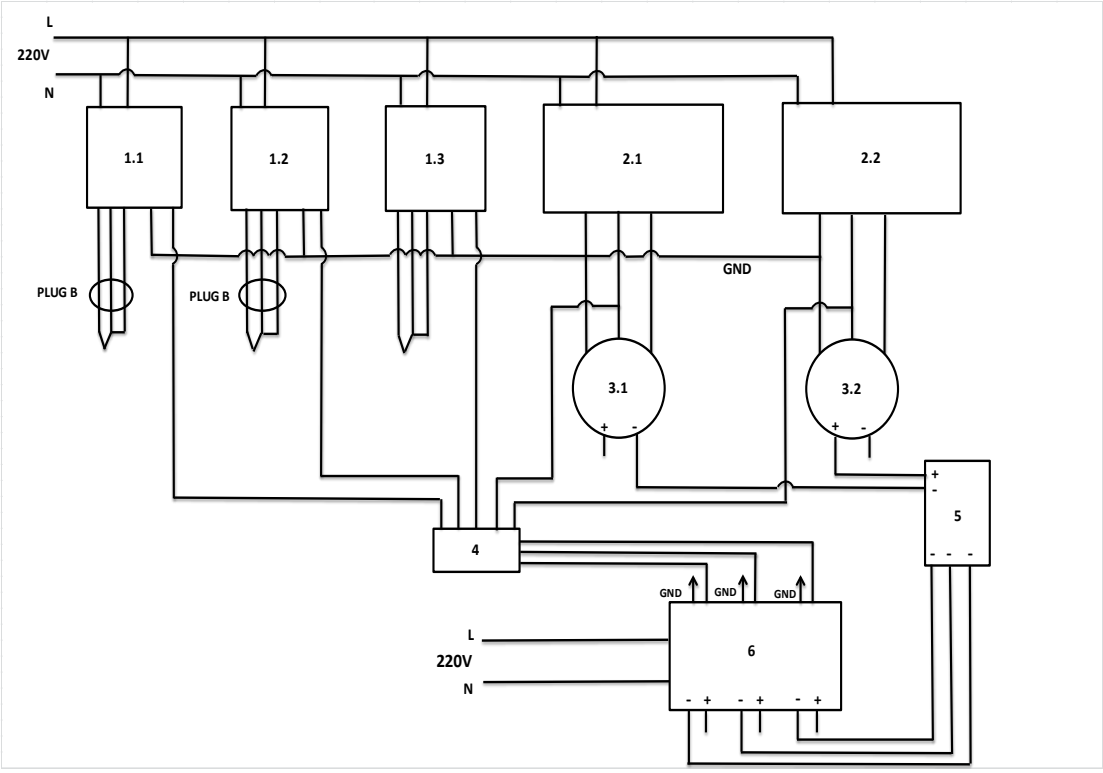
[21] Allen, Lawrence H. *Fundamental Principles of Rotary Meters*. Dresser Inc.

# Παράρτημα Α.
## Ηλεκτρολογικά σχέδια της εγκατάστασης LTT-360

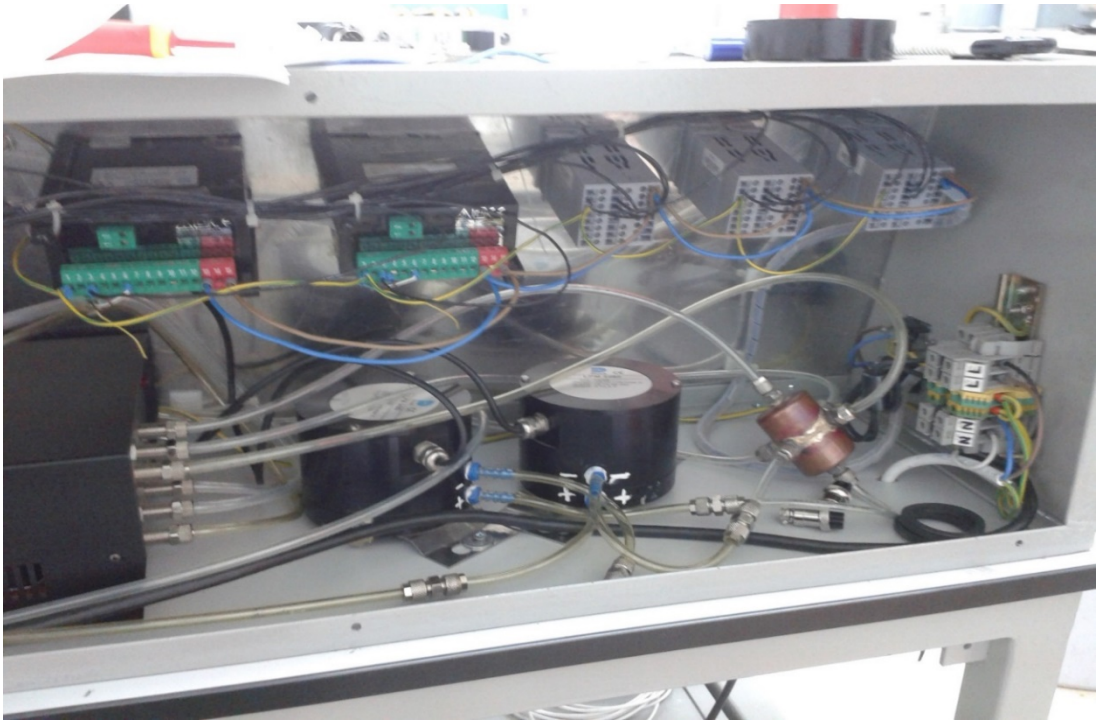
Σκοπός της ενότητας αυτής αποτελεί η λεπτομερής περιγραφή της ηλεκτρολογικής συνδεσμολογίας της εγκατάστασης LTT-360, με στόχο την τεκμηρίωσή της. Στο Σχήμα Α - 1 που δίνεται στη συνέχεια, παρουσιάζεται η γενική απεικόνιση της ηλεκτρολογικής συνδεσμολογίας των βασικότερων επιμέρους οργάνων της.

Στο Σχήμα Α - 2, δίδονται φωτογραφίες της συνδεσμολογίας των οργάνων της διάταξης που βρίσκονται στην πίσω μεριά του panel.

Ο Πίνακας Α - 1 εμπεριέχει τον κατάλογο/ευρετήριο των τεμαχίων που διακρίνονται στο Σχήμα Α - 1.




Σχήμα Α - 1: Συνολική απεικόνιση της ηλεκτρολογικής συνδεσμολογίας των οργάνων.



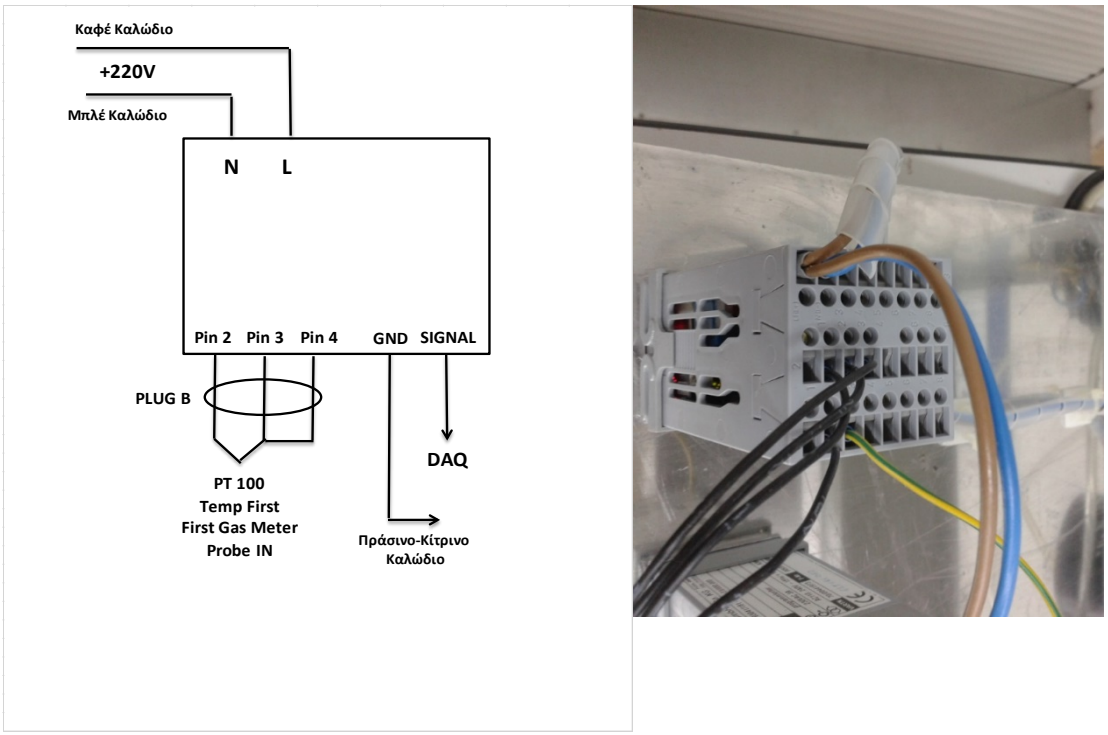
Σχήμα Α - 2: Φωτογραφίες της συνδεσμολογίας των οργάνων στην πίσω μεριά του panel.
Από πάνω αριστερά πρός τα δεξιά: TRA74A, TRA73A, T3, T2, T1.
Από κάτω αριστερά πρός τα δεξιά: P2, P3 και P4 (εντός του μαύρου κουτιού, διακρίνονται μόνο οι έξοδοι προς το βαρελάκι κοινών πιέσεων), P5, P1, ΒΑΡΕΛΑΚΙ ΚΟΙΝΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ.

# Κατάλογος Τεμαχίων

| Α/Α | Κωδικός Συσκευής (Αριθμός Ταυτοποίησης) | Κατασκευαστής | Μοντέλο | Περιγραφή | Σελίδα |
|---|---|---|---|---|---|
| **1.1** | T1 | UTECO | - | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ PT100 ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΝΔΕΙΞΗ | σελ.107 |
| **1.2** | T2 | UTECO | - | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ PT100 ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΝΔΕΙΞΗ | σελ.108 |
| **1.3** | T3 | UTECO | - | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ PT100 ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΝΔΕΙΞΗ | σελ.109 |
| **2.1** | TRA73A | - | - | ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ ΠΙΕΣΗΣ P1 | σελ.111 |
| **2.2** | TRA74A | - | - | ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ ΠΙΕΣΗΣ P5 | σελ.112 |
| **3.1** | P1 | DRUCK | LMP 5480 | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ | σελ.113 |
| **3.2** | P5 | DRUCK | LMP 5480 | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ | σελ.114 |
| **4** | DATA ACQUISITION | - | - | - | - |
| **5** | - | - | - | ΒΑΡΕΛΑΚΙ ΚΟΙΝΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ | σελ.115 |
| **6** | P2 | RS | 160PC 395257 | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ | σελ.116 |
| **6** | P3 | RS | 160PC 395257 | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ | σελ.116 |
| **6** | P4 | RS | 160PC 395235 | ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΠΙΕΣΗΣ | σελ.116 |
| - | PT100 SENSOR | - | - | ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΟΡΓΑΝΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ | σελ.118 |
| - | RHGM | - | - | ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΓΡΑΣΙΟΜΕΤΡΟ | σελ.117 |
| - | RHRITTER | - | - | ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΓΡΑΣΙΟΜΕΤΡΟ | σελ.117 |
| - | 8-ΠΙΝΟ ΒΥΣΜΑ TEMPS (PLUG B) | - | - | ΣΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ | σελ.110 |
| - | 8-ΠΙΝΟ ΒΥΣΜΑ PULSES | - | - | ΣΗΜΑΤΑ ΠΑΛΜΩΝ | σελ.119 |
| - | ΒΥΣΜΑ PHILIPS | - | - | ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ RITTER ΣΕ PANEL | σελ.120 |
| - | EDU 32 FP | - | - | ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ DISPLAY RITTER | σελ.121 |

Πίνακας Α - 1: Κατάλογος τεμαχίων του σχήματος (Σχήμα Α - 1).

# T1 (Αισθητήρας Θερμοκρασίας PT100 με Ψηφιακή Ένδειξη)




Σχήμα Α - 3: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του ενδεικτικού οργάνου μαζί με το αισθητήριο όργανο (sensor) και φωτογραφία της ηλεκτρολογικής συνδεσμολογίας του ενδεικτικού οργνάνου πίσω από το panel (δεξιά).

**Παρατηρήσεις:**

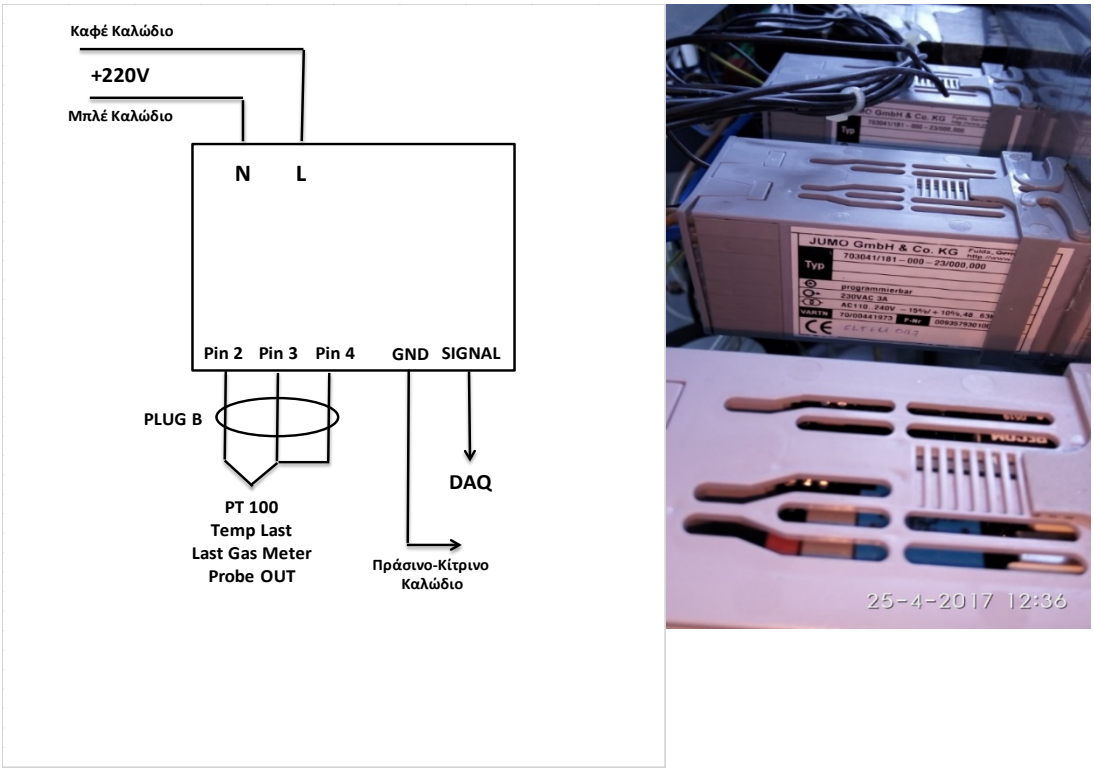
Τα pins στο σχέδιο αναφέρονται στην αρίθμηση των εσοχών του μετρητικού οργάνου όπου τοποθετούνται τα καλώδια (Σχήμα Α - 3, δεξιά).

Το PLUG B του σχεδίου αναφέρεται σε 8-πινο βύσμα στο οποίο συνδέονται οι θερμοκρασίες, το άκρο του οποίου βρίσκεται στο panel. Η σχηματική απεικόνισή του θα δοθεί στην συνέχεια (σελ.110).

Το ενδεικτικό όργανο καταγράφει την θερμοκρασία εισόδου του εργαζόμενου μέσου στον πρώτο μετρητή υπό δοκιμή.

Μια αναλυτικότερη περιγραφή του αισθητήριου οργάνου PT100 δίνεται παρακάτω (σελ.118).

# T2 (Αισθητήρας Θερμοκρασίας PT100 με Ψηφιακή Ένδειξη)




Σχήμα Α - 4: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του ενδεικτικού οργάνου μαζί με το αισθητήριο όργανο (sensor) και φωτογραφία του ενδεικτικού οργνάνου πίσω από το panel (δεξιά).

**Παρατηρήσεις:**

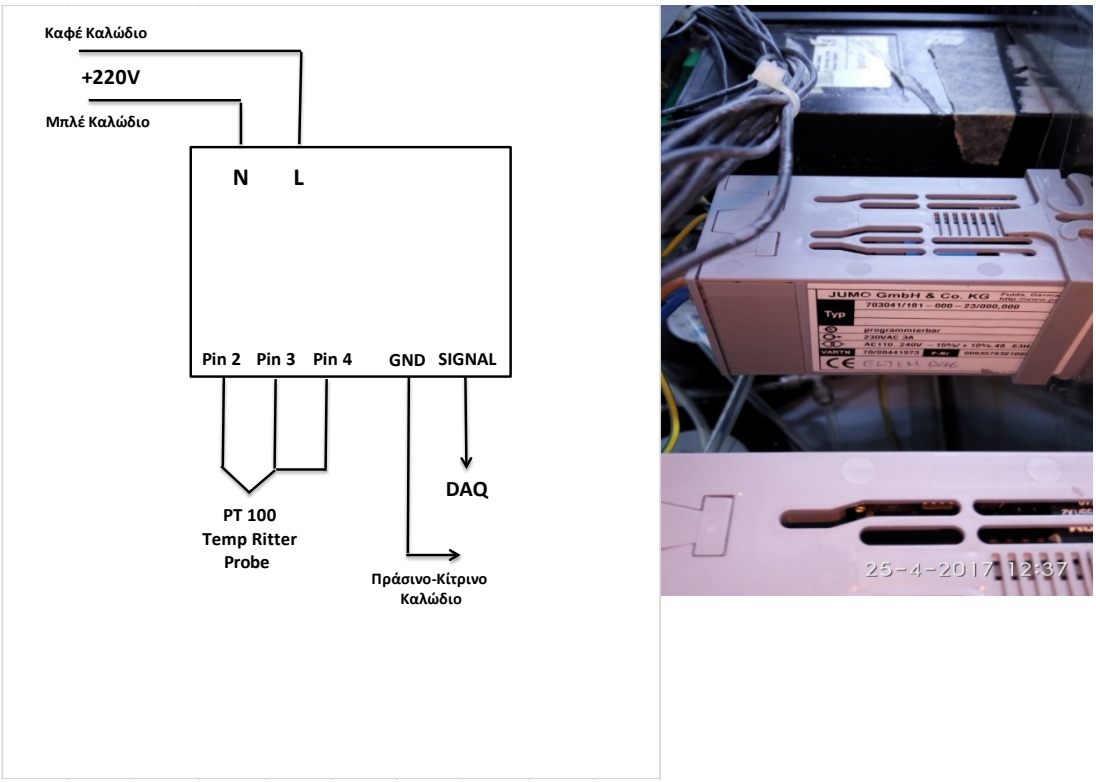
Τα pins στο σχέδιο αναφέρονται στην αρίθμηση των εσοχών του μετρητικού οργάνου όπου τοποθετούνται τα καλώδια και είναι όμοια με αυτά στο Σχήμα Α - 3 (δεξιά), σελίδα 107.

Το PLUG B του σχεδίου αναφέρεται σε 8-πινο βύσμα στο οποίο συνδέονται οι θερμοκρασίες, το άκρο του οποίου βρίσκεται στο panel. Η σχηματική απεικόνισή του θα δοθεί στην συνέχεια (σελ.110).

Το ενδεικτικό όργανο καταγράφει την θερμοκρασία εξόδου του εργαζόμενου μέσου από τον τελευταίο μετρητή υπό δοκιμή.

Μια αναλυτικότερη περιγραφή του αισθητήριου οργάνου PT100 δίνεται παρακάτω (σελ.118).

# Τ3 (Αισθητήρας Θερμοκρασίας PT100 με Ψηφιακή Ένδειξη)




Σχήμα Α - 5: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του ενδεικτικού οργάνου μαζί με το αισθητήριο όργανο (sensor) και φωτογραφία του ενδεικτικού οργνάνου πίσω από το panel (δεξιά).

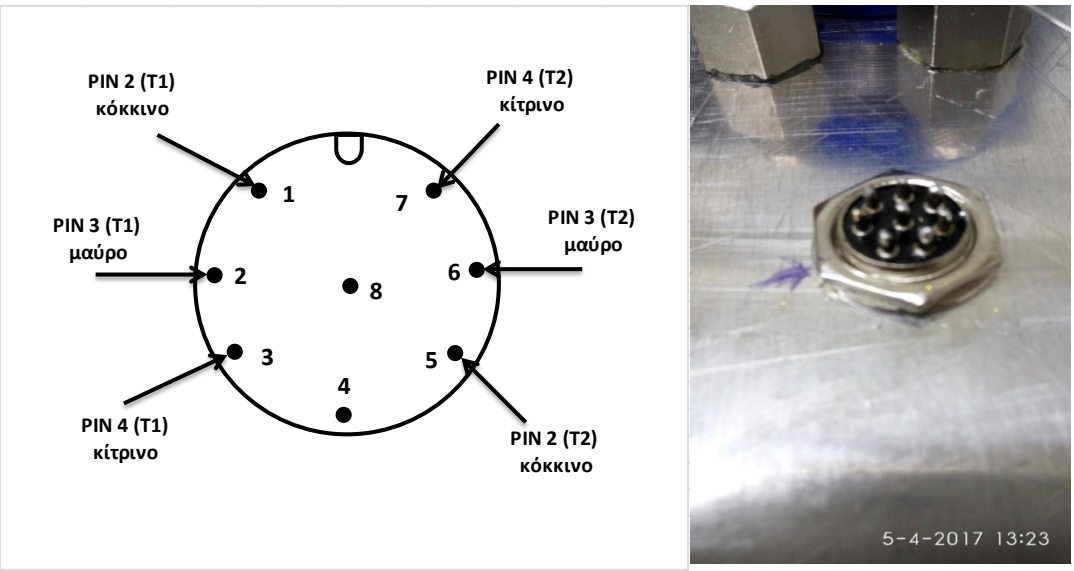
**Παρατηρήσεις:**

Τα pins στο σχέδιο αναφέρονται στην αρίθμηση των εσοχών του μετρητικού οργάνου όπου τοποθετούνται τα καλώδια και είναι όμοια με το Σχήμα Α - 3 (δεξιά), σελίδα 107.

Το ενδεικτικό όργανο καταγράφει την θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου στην είσοδο του μετρητή RITTER (master meter).

Μια αναλυτικότερη περιγραφή του αισθητήριου οργάνου PT100 δίνεται παρακάτω (σελ.118).

# 8-ΠΙΝΟ ΒΥΣΜΑ TEMPS (PLUG B)



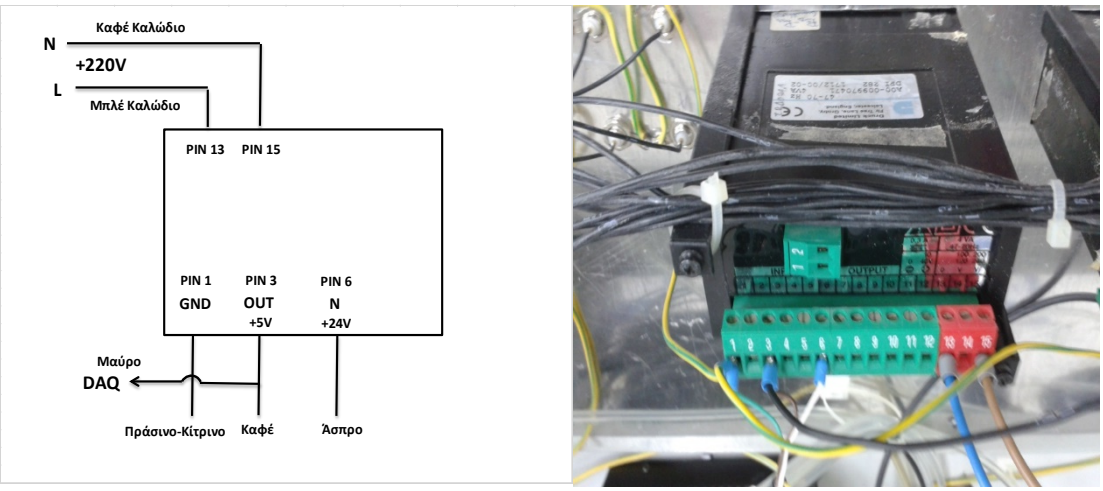

Σχήμα Α - 6: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του βύσματος και φωτογραφία της θέσης του στο panel (δεξιά).

**<u>Παρατηρήσεις:</u>**

Τα pins στο σχέδιο αναφέρονται στην αρίθμηση των εσοχών των μετρητικών οργάνων (T1 και T2) και συνδέονται με το θηλικό βύσμα PLUG B στα σχήματα (Σχήμα Α - 3 και Σχήμα Α - 4, σελ. 107 και 108).

Το συγκεκριμένο βύσμα, το οποίο βρίσκεται στο panel, δέχεται σήματα θερμοκρασιών από τους αισθητήρες θερμοκρασίας T1, T2 (σελ. 107 και 108).

# TRA73A (Ενδεικτικό Όργανο Πίεσης P1)




Σχήμα Α - 7: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του ενδεικτικού οργάνου πίεσης TRA73A και φωτογραφία (δεξιά) στην οποία διακρίνονται τα χρώματα των καλωδίων και η αρίθμηση των εσοχών (pins) του οργάνου.

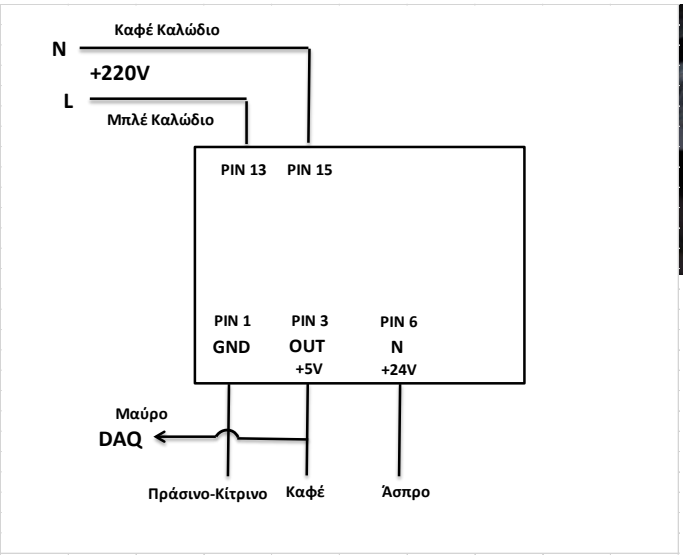
**<u>Παρατηρήσεις:</u>**

Τα pins στο σχέδιο αναφέρονται στην αρίθμηση των εσοχών του μετρητικού οργάνου όπου τοποθετούνται τα καλώδια και διακρίνονται στο Σχήμα Α - 7 (δεξιά).

Όπως φαίνεται στη σχεδιαστική απεικόνιση, από το pin 3 του μετρητικού οργάνου αναχωρούν δύο καλώδια: το ένα μαύρο με κατεύθυνση προς την κλεμμοσειρά και ένα καφέ με κατεύθυνση τον αντίστοιχο αισθητήρα πίεσης (P1), σελίδα 113.

Τα καλώδια από τα pins 1,3 και 6 με χρώματα πράσινο, καφέ και άσπρο αντίστοιχα, συνδέονται με τον αισθητήρα πίεσης P1 (όργανο υπ’αριθμόν 3.1 στο συνολικό σχέδιο του σχήματος Σχήμα Α - 1), το οποίο απεικονίζεται αναλυτικά παρακάτω (σελ. 113).

# TRA74A (Ενδεικτικό Όργανο Πίεσης P5)



Σχήμα Α - 8: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του ενδεικτικού οργάνου πίεσης TRA74A και φωτογραφία (δεξιά) του οργάνου.Η αρίθμηση των pins και η διάταξη των καλωδίων είναι όμοια με αυτή του σχήματος (Σχήμα Α - 7, δεξιά), στη σελίδα 111.

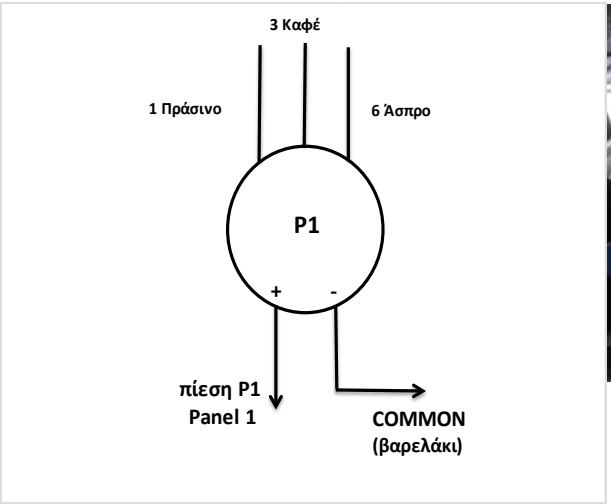
**<u>Παρατηρήσεις:</u>**

Τα pins στο σχέδιο αναφέρονται στην αρίθμηση των εσοχών του μετρητικού οργάνου όπου τοποθετούνται τα καλώδια και είναι όμοια με αυτά στο Σχήμα Α - 7 (δεξιά), σελίδα 111.

Όπως φαίνεται στη σχεδιαστική απεικόνιση, από το pin 3 του μετρητικού οργάνου αναχωρούν δύο καλώδια: το ένα μαύρο με κατεύθυνση προς την κλεμμοσειρά και ένα καφέ με κατεύθυνση τον αντίστοιχο αισθητήρα πίεσης (P5), σελίδα 114.

Τα καλώδια από τα pins 1,3 και 6 με χρώματα πράσινο,καφέ και άσπρο αντίστοιχα, συνδέονται με τον αισθητήρα πίεσης P5 (όργανο υπ’αριθμόν 3.2 στο συνολικό σχέδιο του σχήματος Σχήμα Α - 1), το οποίο απεικονίζεται αναλυτικά παρακάτω (σελ. 114).

# P1 (Αισθητήρας Πίεσης)



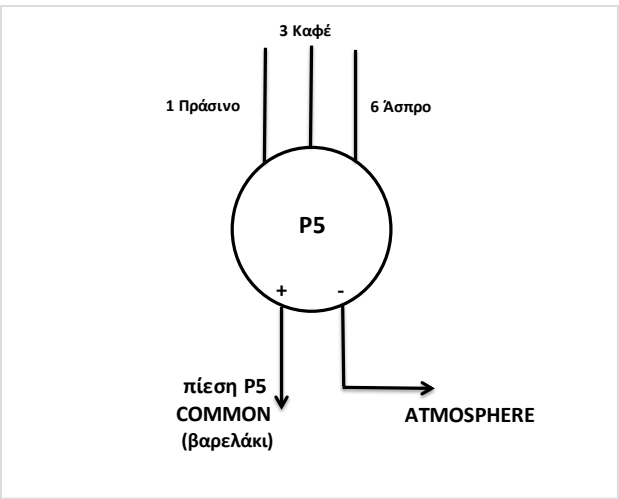
Σχήμα Α - 9: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του αισθητήριου οργάνου πίεσης P1 και φωτογραφία του οργάνου (δεξιά).

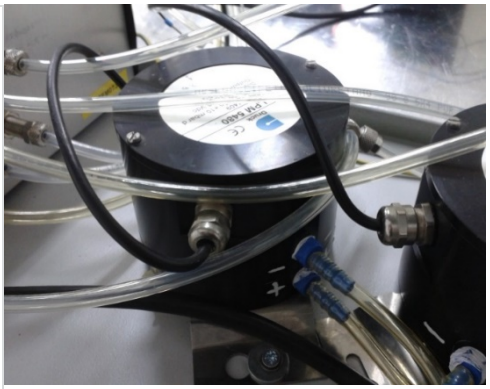
**<u>Παρατηρήσεις:</u>**

Οι αριθμοί 1,2 και 3 στο σχέδιο του σχήματος (Σχήμα Α - 9) αναφέρονται στα pins του αντίστοιχου ενδεικτικού οργάνου TRA73A (σελ. 111) και συνδέονται με το αισθητήριο όργανο P1 μέσω των καλωδίων με χρώματα πράσινο,καφέ και άσπρο αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα (Σχήμα Α - 9), το θετικό άκρο της πίεσης συνδέεται με το panel, ενώ το αρνητικό με το “βαρελάκι κοινών πιέσεων”.

# P5 (Αισθητήρας Πίεσης)



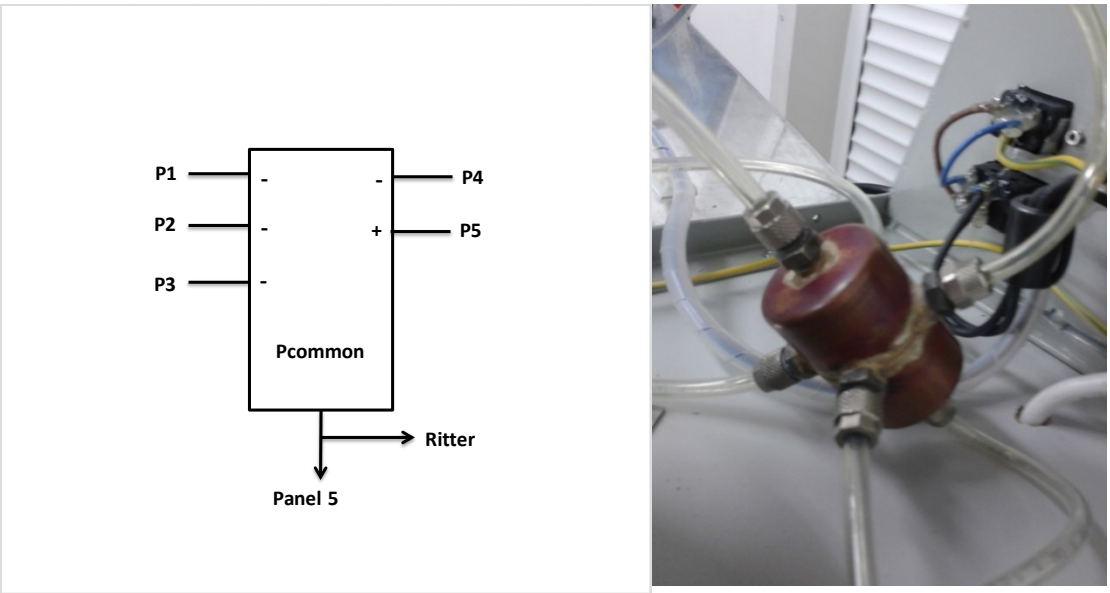
Σχήμα Α - 10: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) του αισθητήριου οργάνου πίεσης P5 και φωτογραφία του οργάνου (δεξιά).

**<u>Παρατηρήσεις:</u>**

Οι αριθμοί 1,2 και 3 στο σχέδιο του σχήματος (Σχήμα Α - 10) αναφέρονται στα pins του αντίστοιχου ενδεικτικού οργάνου TRA74A (σελ. 112) και συνδέονται με το αισθητήριο όργανο P5 μέσω των καλωδίων με χρώματα πράσινο,καφέ και άσπρο αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα Α - 10, το θετικό άκρο της πίεσης συνδέεται με το “βαρελάκι κοινών πιέσεων”, ενώ το αρνητικό με το εξωτερικό περιβάλλον (ατμόσφαιρα).

# “Βαρελάκι” Κοινών Πιέσεων



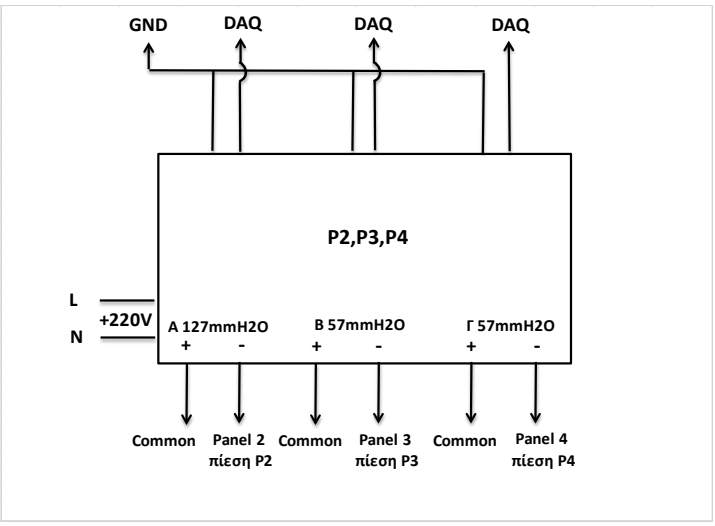

Σχήμα Α - 11: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) για το βαρελάκι κοινών πιέσεων και φωτογραφία του οργάνου (δεξιά).

**Παρατηρήσεις:**

Όπως φαίνεται από το Σχήμα Α - 11, όλα τα αρνητικά άκρα των πιέσεων των οργάνων (εκτός από το P5 (πίεση P5), καταλήγουν στο βαρελάκι.

Η πίεση P1- έρχεται από το αισθητήριο όργανο P1, η πίεση P5+ από το αισθητήριο όργανο P5 και οι πιέσεις P2-, P3- και P4- από τους αισθητήρες πίεσης P2, P3 και P4, αναλυτική περιγραφή των οποίων δίνεται παρακάτω (σελ. 116).

# Αισθητήρια Όργανα Πίεσης P2, P3 ΚΑΙ P4



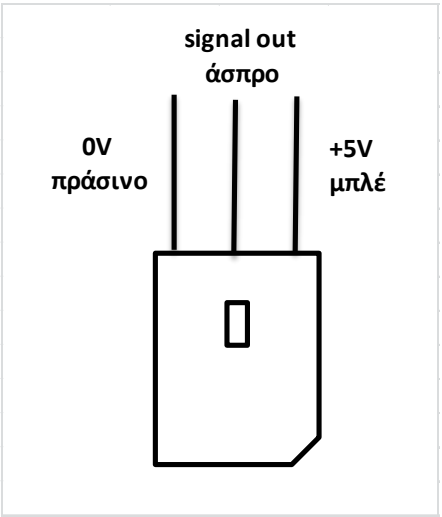
Σχήμα Α - 12: Σχεδιαστική απεικόνιση (αριστερά) για τα όργανα P2, P3 και P4 και φωτογραφία του οργάνου (δεξιά).

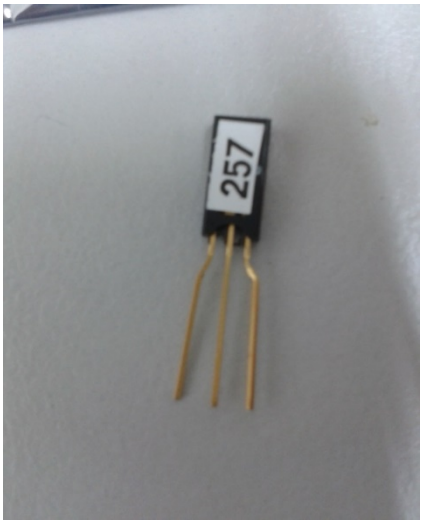
**Παρατηρήσεις:**

Τα θετικά άκρα των πιέσεων συνδέονται στο “βαρελάκι” κοινών πιέσεων, ενώ τα αρνητικά άκρα των πιέσεων καταλήγουν στο panel της διάταξης.

Όπως διακρίνεται και από το Σχήμα Α - 12 (δεξιά), τα αισθητήρια όργανα πίεσης εμπεριέχονται όλα μαζί σε μία συσκευή.

# Ψηφιακά Υγρασιόμετρα RHGM και RHRitter



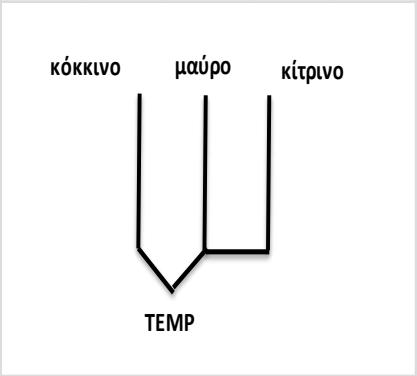




Σχήμα Α - 13: Σχεδιαστική απεικόνιση των στοιχείων RHGM και RHRitter (όμοια και για τα δύο στοιχεία),αριστερά και φωτογραφία του στοιχείου, δεξιά.

**Παρατηρήσεις:**

Τα υγρασιόμετρα RHRitter και RHGM αποτελούν αισθητήρες μέτρησης υγρασίας και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της υγρασίας στο εσωτερικό του μετρητή τυμπάνου (RITTER) και στην έξοδο του mass flow meter αντίστοιχα.

# Στοιχεία Θερμοκρασίας PT100

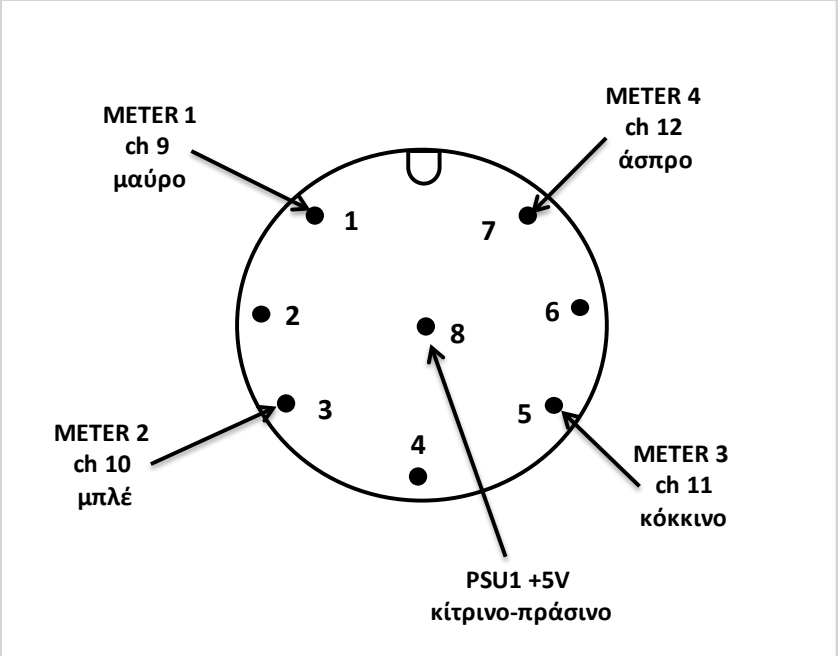



Σχήμα Α - 14: Σχεδιαστική απεικόνιση των στοιχείων PT100 (κοινή και για τα τρία στοιχεία).

**Παρατηρήσεις:**

Όπως διακρίνεται από το συνολικό σχέδιο (Σχήμα Α - 1, σελ. 104) αλλά και τα σχέδια των ενδεικτικών οργάνων Τ1, Τ2, Τ3 (Σχήμα Α - 3, Σχήμα Α - 4 και Σχήμα Α - 5 σελ.107, σελ.108 και σελ.109) τα στοιχεία PT100 χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου στα σημεία λήψης μετρήσεων της διάταξης.

# 8-Πινο Βύσμα Pulses



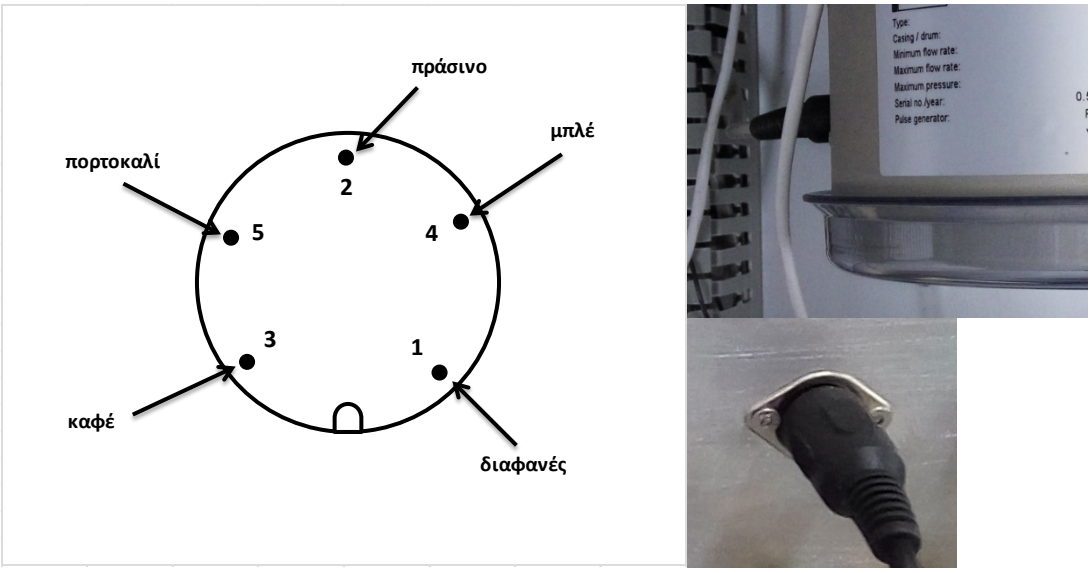

Σχήμα Α - 15: Σχεδιαστική απεικόνιση του 8-πινου βύσματος. Η ονομασία “METER” στο σχέδιο αναφέρεται στους μετρητές υπό δοκιμή (meters under test) της διάταξης. Η ονομασία “PSU1” στο σχέδιο αναφέρεται στην πρώτη από τις τρείς μονάδες παροχής ισχύος που χρησιμοποιεί η διάταξη (Power Supply Unit).

**<u>Παρατηρήσεις:</u>**

Το συγκεκριμένο βύσμα, το οποίο βρίσκεται στο panel, δέχεται σήματα παλμών από τους διάφορους μετρητές υπό δοκιμή (υπ’αριθμόν 1 εως 4), όπως φαίνεται και από το Σχήμα Α - 15.

Τα κανάλια (channels) από το Σχήμα Α - 15 αναφέρονται στη συνδεσμολογία του βύσματος με την κάρτα απόκτησης δεδομένων (DAQ).

# Βύσμα PHILIPS Μετρητή Ritter-Panel




Σχήμα Α - 16: Αριστερά: Σχεδιαστική απεικόνιση του βύσματος PHILIPS για τον μετρητη RITTER. Δεξιά: Φωτογραφία του βύσματος PHILIPS στον μετρητή RITTER (πάνω) και του αντίστοιχου βύσματος στο panel της διάταξης (κάτω).

**<u>Παρατηρήσεις:</u>**

Για το συγκεκριμένο βύσμα, το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του μετρητή RITTER με το αντίστοιχο ενδεικτικό του όργανο (οθόνη-display), έχει προστεθεί επέκταση με χρήση καλωδίου και ενός όμοιου βύσματος PHILIPS στο panel της διάταξης.

Το ενδεικτικό όργανο του μετρητή RITTER (display) για το οποίο κατασκευάστηκε αυτή η προέκταση, δίνεται στην επόμενη σελίδα (σελ. 121).

Περεταίρω πληροφορίες για το συγκεκριμένο βύσμα, μπορούν να βρεθούν μέσω του εγχειριδίου οδηγιών (manual) του μετρητή τυμπάνου RITTER.

# ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΤΗ RITTER (DISPLAY)

Σχήμα Α - 17: Φωτογραφία του ενδεικτικού οργάνου (display) του μετρητή RITTER.

**Παρατηρήσεις:**

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για το συγκεκριμένο όργανο προστέθηκε προέκταση του βύσματος PHILIPS από τον μετρητή RITTER στο panel, για μεγαλύτερη ευελιξία.

Το συγκεκριμένο display έχει τη δυνατότητα ένδειξης του συνολικού όγκου του εργαζόμενου μέσου που διέρχεται από τον μετρητή, από την έναρξη των μετρήσεων [lt], της ταχύτητας με την οποία το εργαζόμενο μέσο διέρχεται από τον μετρητή [lt/sec] ή και των δύο παραπάνω ενδείξεων. Για την αλλαγή της ένδειξης, χρησιμοποιείται το κουμπί “MODE”.

Για μηδενισμό των πιο πρόσφατων ενδείξεων, χρησιμοποιείται το κουμπί “RESET” με άσκηση επαναλαμβανόμενης πίεσης.

Το κουμπί “ON/OFF”, χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του ηλεκτρονικού display.

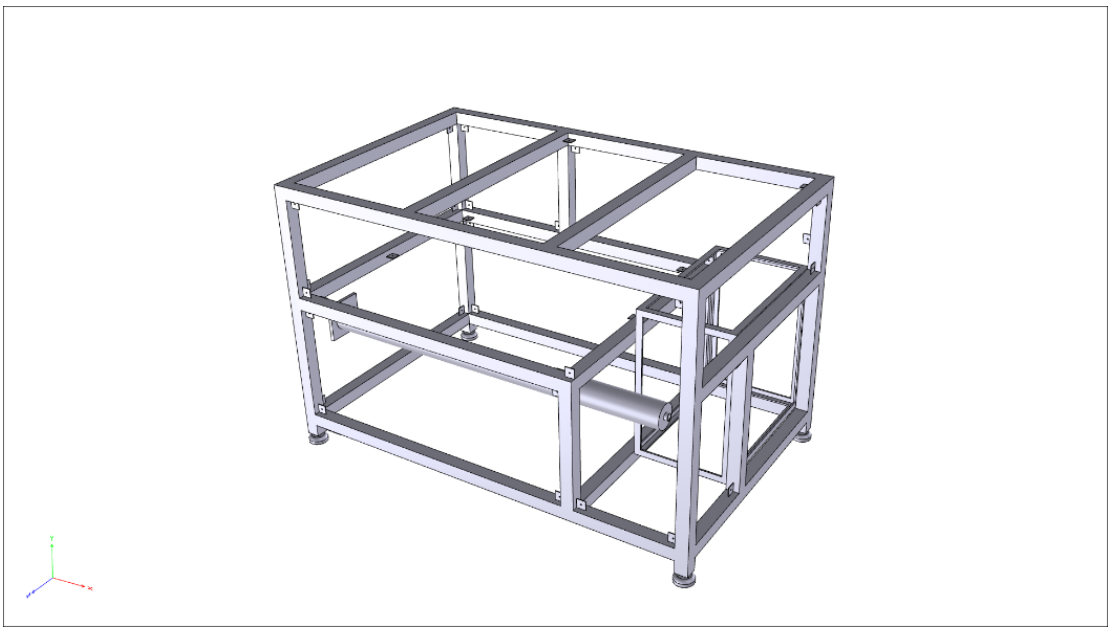
# Παράρτημα Β.
# Μηχανολογικά σχέδια της εγκατάστασης LTT-360

Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται τα μηχανολογικά σχέδια της εγκατάστασης LTT-360, αλλά και ένα σχέδιο που αφορά μια προέκταση της εγκατάστασης FMTB-1600 της ΜΟ.ΔΙ.ΜΕ.Φ.Α. Τα σχέδια έγιναν με χρήση του προγράμματος “Solidworks”, κατασκευάζοντας πρώτα ένα τριδιάστατο μοντέλο (3d model) και στη συνέχεια εξάγωντας το μηχανολογικό του σχέδιο από το μοντέλο αυτό, μέσω του προγράμματος. Η διαδικασία αυτή έγινε για κάθε τεμάχιο που παρατίθεται στην ενότητα αυτή. Στόχος υπήρξε η αναλυτική καταγραφή και περιγραφή των στοιχείων της διάταξης, για την τεκμηρίωσή της.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα στη χρήση του προγράμματος “Solidworks” για την απεικόνιση των μηχανολογικών τεμαχίων βρίσκεται στο γεγονός ότι εκτός του μηχανολογικού σχεδίου, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί το τριδιάστατο μοντέλο που κατασκευάζεται, εξάγωντάς το σε κάποιο αρχείο (πχ. τύπου .pdf, κλπ). Με τον τρόπο αυτό, επιτυχγάνεται καλύτερη εποπτεία και κατανόηση των επιμέρους τεμαχίων, μιάς και τα 3d αρχεία παρέχουν δυνατότητες εφαρμογής τομών, περιστροφής κ.α. για κάθε κατασκευαστικό τεμάχιο.

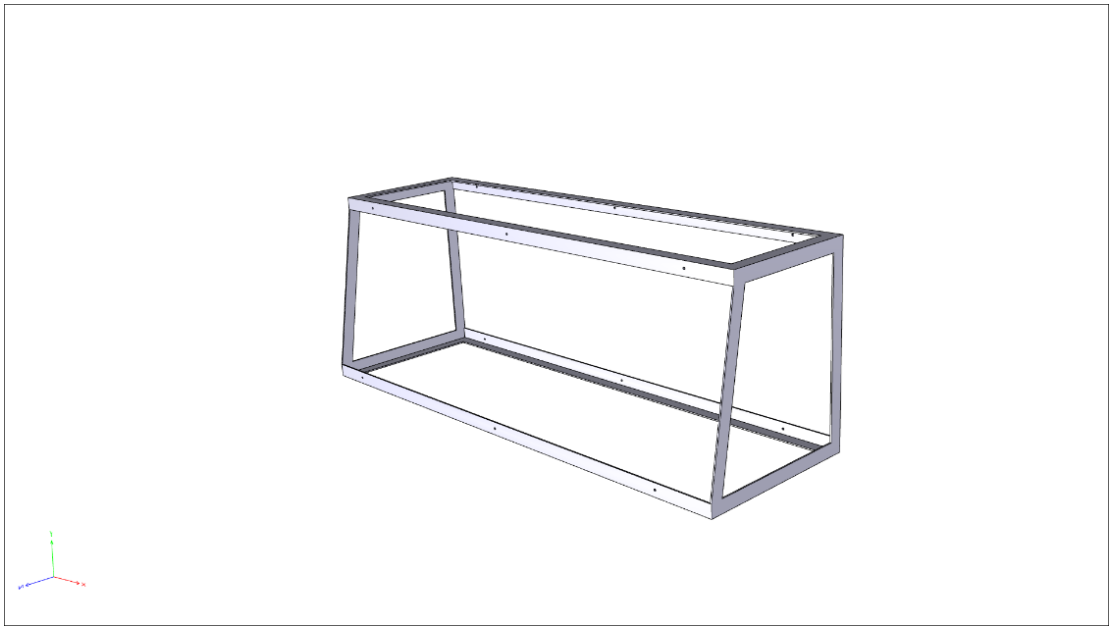
## Παράρτημα τριδιάστατων μοντέλων

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται φωτογραφίες-παραδείγματα από τα τριδιάστατα μοντέλα ορισμένων τεμαχίων, που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των μηχανολογικών σχεδίων.

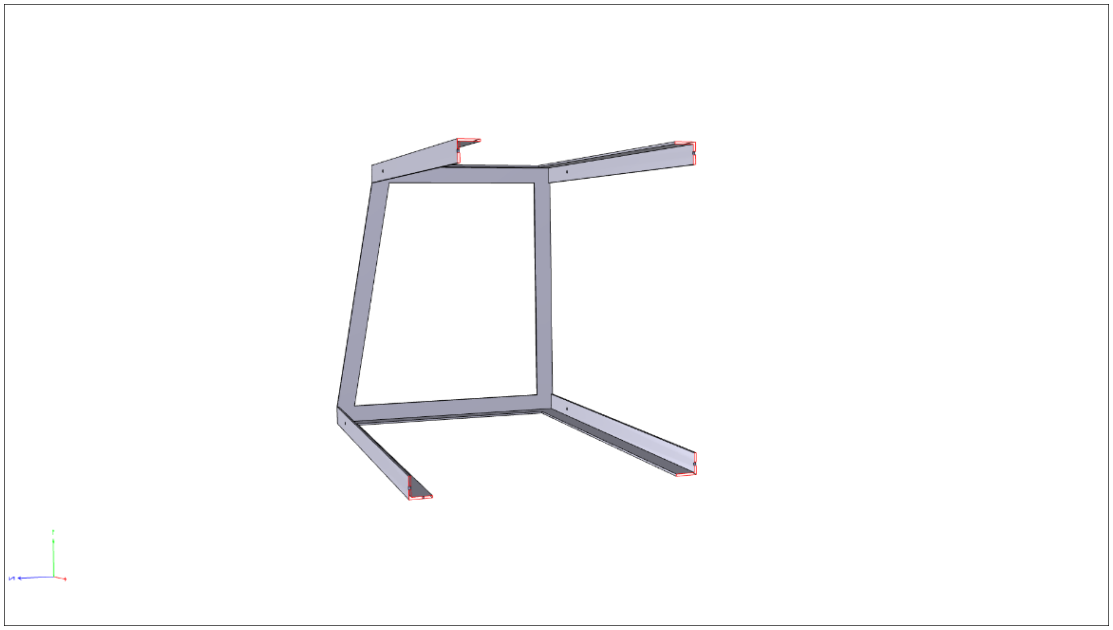


Σχήμα Β - 1: Τριδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου της κλίνης δοκιμών.

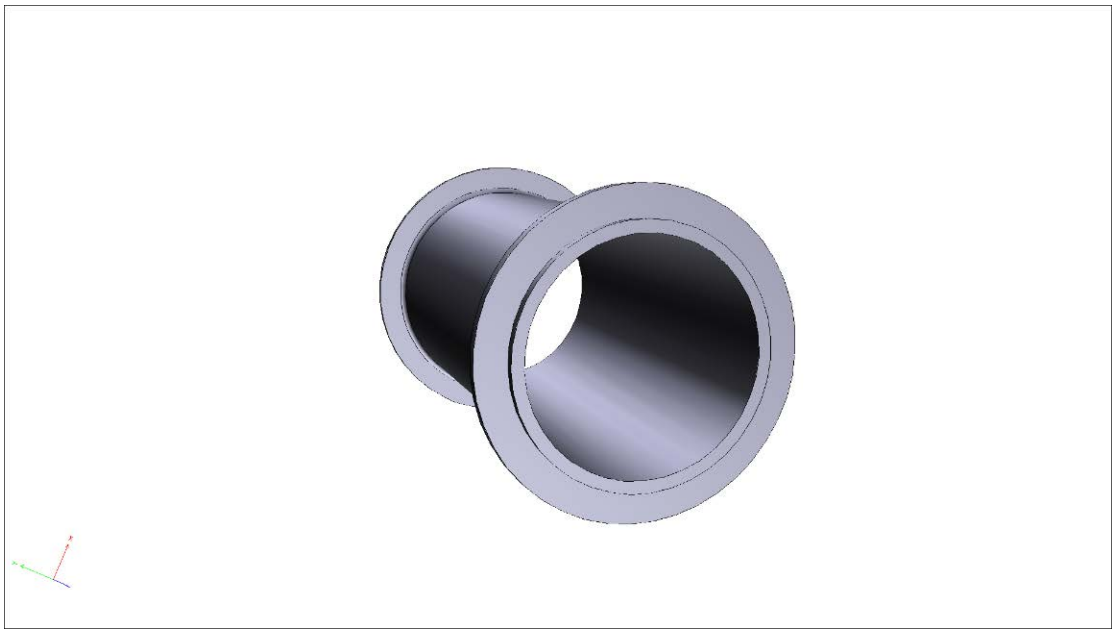
Σχήμα Β - 2: Κλίνη δοκιμών - Παράδειγμα τομής



Σχήμα Β - 3: Τριδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου της κονσόλας.

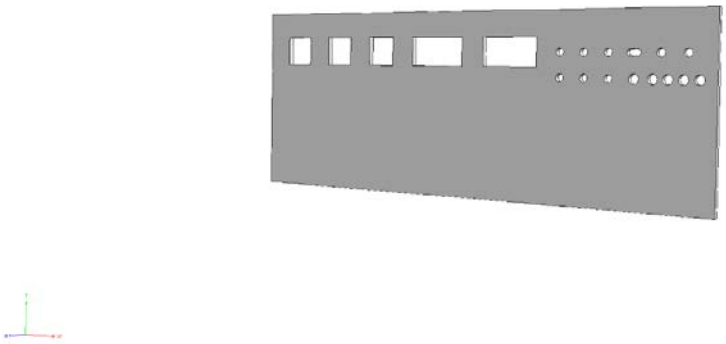


Σχήμα Β - 4: Κονσόλα κλίνης - Παράδειγμα τομής.

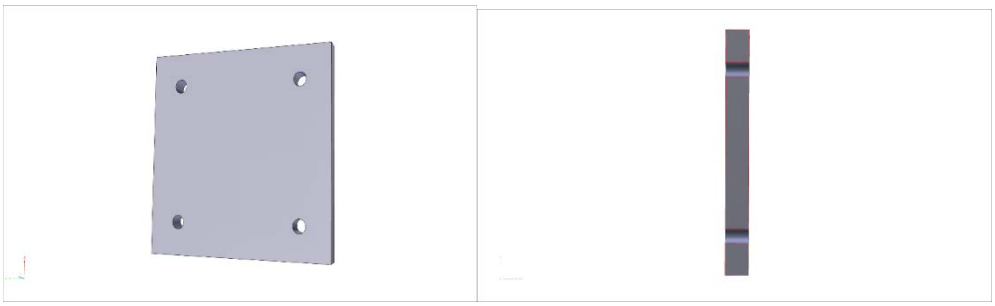


Σχήμα Β - 5: Τριδιάστατη απεικόνιση της προέκτασης της μονάδας FMTB-1600.

Σχήμα Β - 6: Προέκταση μονάδας FMTB-1600 – Παράδειγμα τομής.



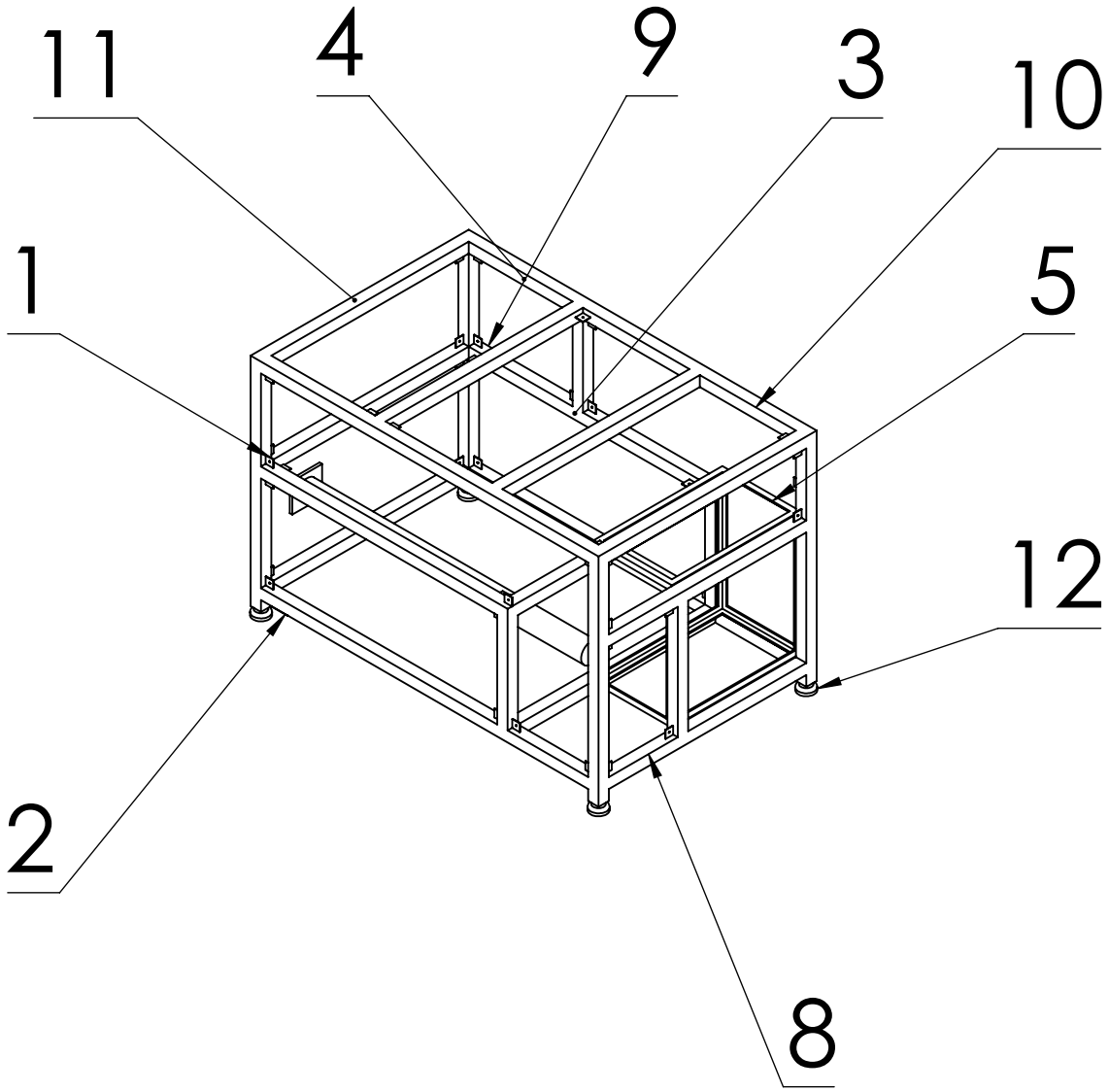
Σχήμα Β - 7: Τριδιάστατη απεικόνιση του panel της μονάδας LTT-360.



Σχήμα Β - 8: Τριδιάστατη απεικόνιση των στηριγμάτων στη βάση της μονάδας LTT-360 και τομή του τεμαχίου (δεξιά).

# Παράρτημα μηχανολογικών σχεδίων

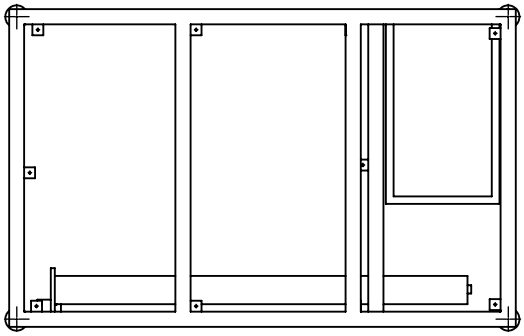
Σημειώνεται ότι σε όλα τα σχέδια που παρατίθενται στη συνέχεια, έχουν αφαιρεθεί οι διαστάσεις. Οι κλίμακες των τεμαχίων, είναι ακριβώς αυτές που αναγράφονται σε κάθε σχέδιο, λαμβάνοντας υπόψη ότι αναφέρονται στην περίπτωση εκτύπωσης σε χαρτί τύπου Α4.



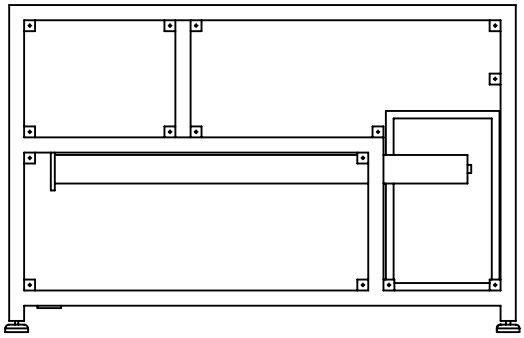

| | ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ | |
|---|---|---|
| **Α/Α** | **ΤΙΤΛΟΣ** | **ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ** |
| 1 | ΛΑΜΑΚΙΑ | 44 |
| 2 | ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΡΟΔΕΣ | 4 |
| 3 | ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕΛΑΜΙΝΗΣ 1 | 1 |
| 4 | ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕΛΑΜΙΝΗΣ 2 | 1 |
| 5 | ΘΗΚΗ Η/Υ | 1 |
| 6 | ΚΟΝΣΟΛΑ | 1 |
| 7 | PANEL ΚΟΝΣΟΛΑΣ | 1 |
| 8 | ΛΑΜΑΡΙΝΑ | 1 |
| 9 | ΠΛΕΞΙΓΚΛΑΣ 1 | 1 |
| 10 | ΠΛΕΞΙΓΚΛΑΣ 2 | 1 |
| 11 | ΚΛΙΝΗ | 1 |
| 12 | ΒΑΣΕΙΣ ΚΛΙΝΗΣ | 4 |

# ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ 1

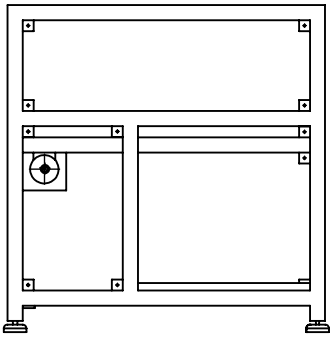
ΚΑΤΟΨΗ



ΠΡΟΟΨΗ



ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ



| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING<br>REVISION<br>ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο ΣΚΕΛΕΤΟΣ 40x40 ΤΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΡΑΝΤΖΑΡΙΣΤΟΣ |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. Κλινη

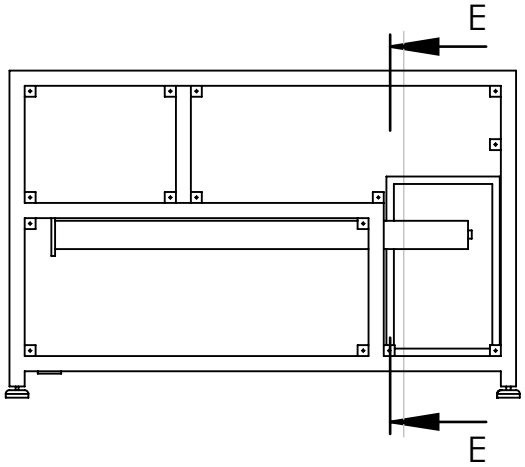
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:20

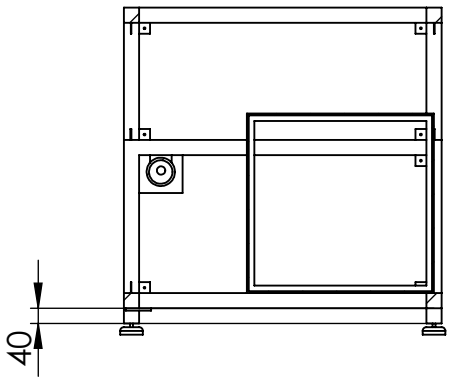
SHEET 2 OF 6

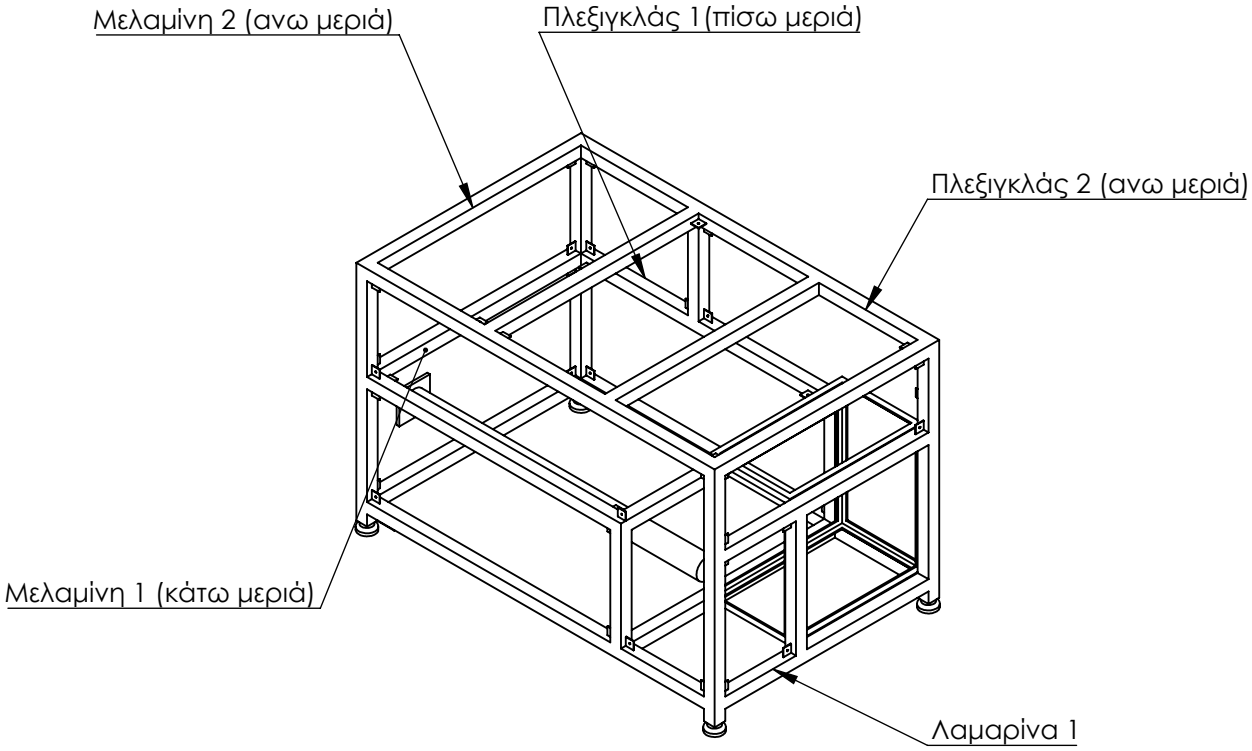
# ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ 2

ΠΡΟΟΨΗ




ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ-ΤΟΜΗ E-E




| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION<br>ΣΗΜΕΙΩΣΗ: ΟΙ ΔΟΚΟΙ 40x40 ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΟΝ ΣΚΕΛΕΤΟ ΤΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΡΑΝΤΖΑΡΙΣΤΕΣ |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. Κλινη

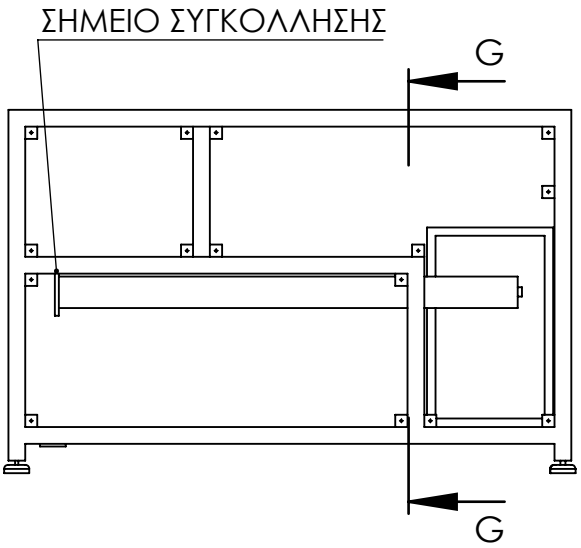
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:20

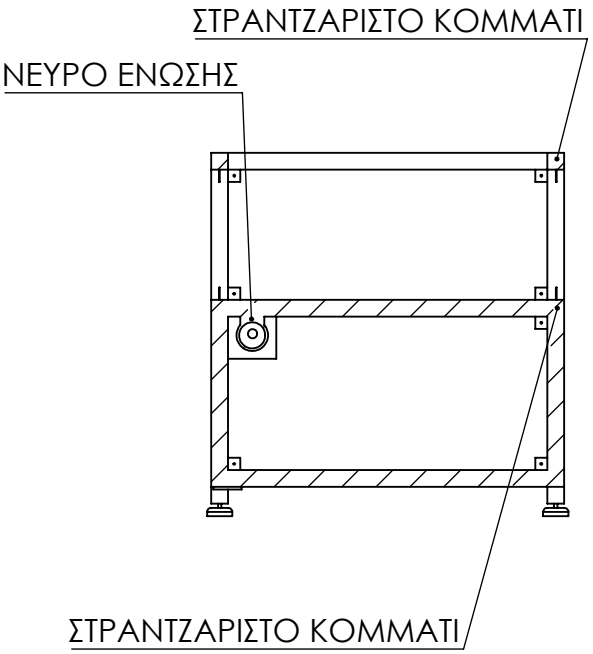
SHEET 3 OF 6

# ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ 3

ΠΡΟΟΨΗ




ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ-ΤΟΜΗ G-G




| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION<br>ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΡΑΝΤΖΑΡΙΣΤΟΣ |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. Κλινη

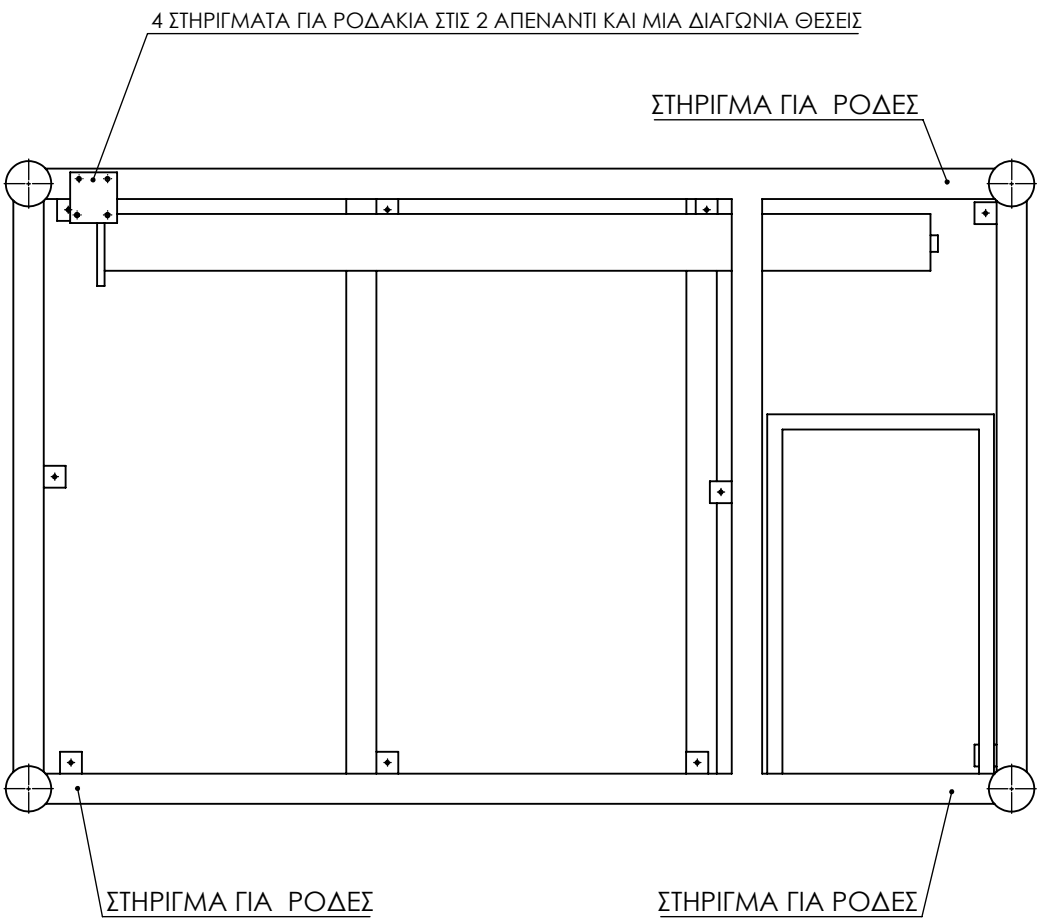
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:18

SHEET 4 OF 6

# ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ 4

## ΑΝΟΨΗ




| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION<br>ΣΗΜΕΙΩΣΗ: ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΥΠΑΡΧΟΥΝ 4 ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΡΟΔΕΣ ΣΕ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ. ΜΟΝΟ ΕΝΑ ΕΧΕΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΕΙ ΓΙΑ ΕΥΚΟΛΙΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ. |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ: ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. Κλινη

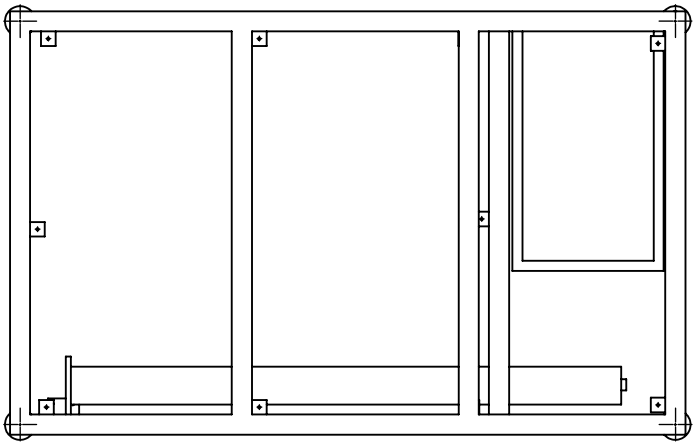
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:10

SHEET 5 OF 6

# ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ 5

ΚΑΤΟΨΗ



| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΚΛΙΝΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΥΛΙΚΟ:

ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO.

Κλινη

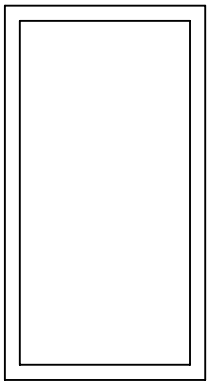
A4

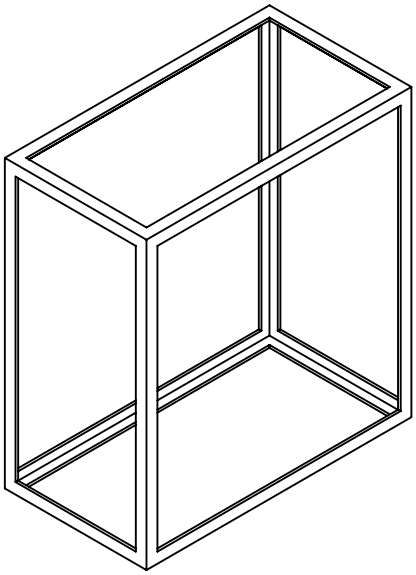
ΚΛΙΜΑΚΑ:1:15

SHEET 6 OF 6

# ΘΗΚΗ Η/Υ

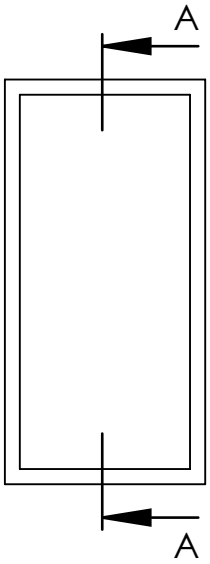
ΚΑΤΟΨΗ

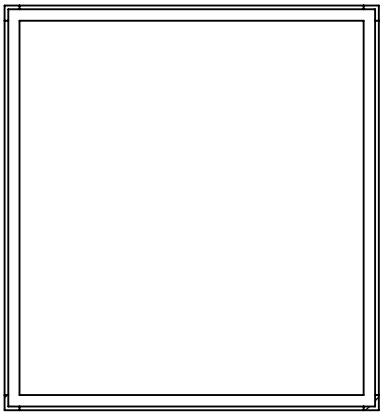




ΠΡΟΟΨΗ

ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ



ΤΟΜΗ A-A

| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ: ΘΗΚΗ Η/Υ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

DWG NO. ΘηκηPC

A4

WEIGHT:

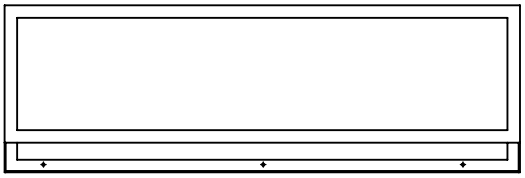
ΚΛΙΜΑΚΑ:1:10

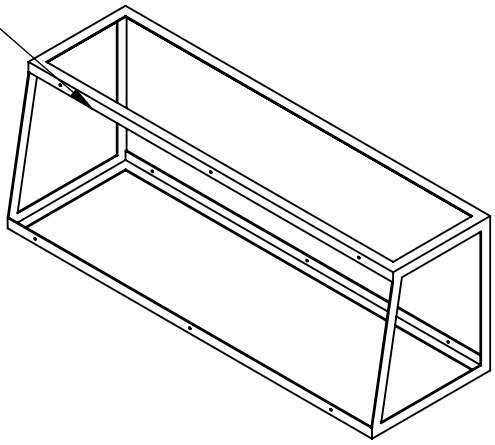
SHEET 1 OF 1

# ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ 1

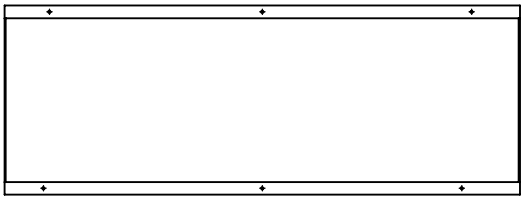
ΚΑΤΟΨΗ

ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ PANEL ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

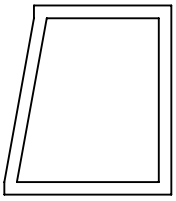




ΠΡΟΟΨΗ



ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ



| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING<br>REVISION<br>ΣΗΜΕΙΩΣΗ: ΣΤΟ ΜΠΡΟΣΤΙΝΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ ΤΟΠΟΘΕΤΕΙΤΑΙ ΤΟ PANEL ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ: ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. κονσολα

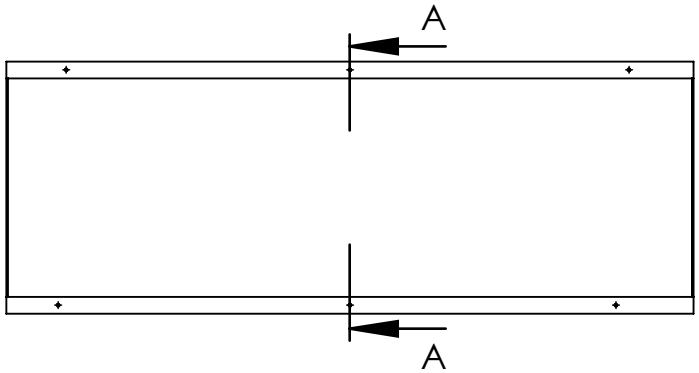
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:12

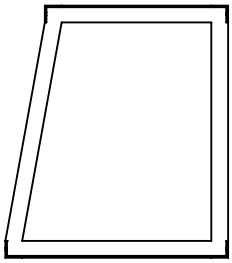
SHEET 1 OF 3

# ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ 2

ΠΡΟΟΨΗ




ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ-ΤΟΜΗ A-A



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING | REVISION | |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ: ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. κονσολα

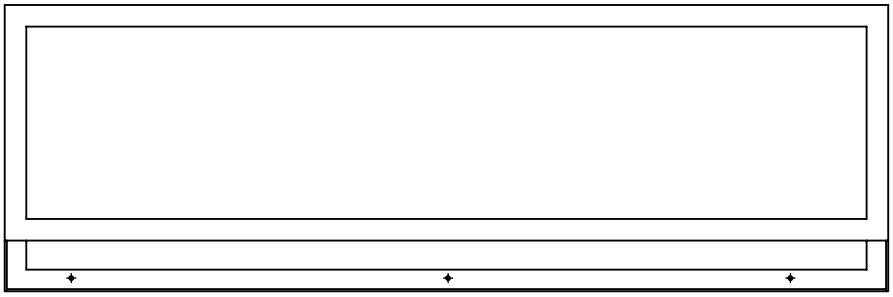
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:9

SHEET 2 OF 3

# ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ 3

ΚΑΤΟΨΗ



| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ: ΣΚΕΛΕΤΟΣ ΚΟΝΣΟΛΑΣ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. κονσολα

A4

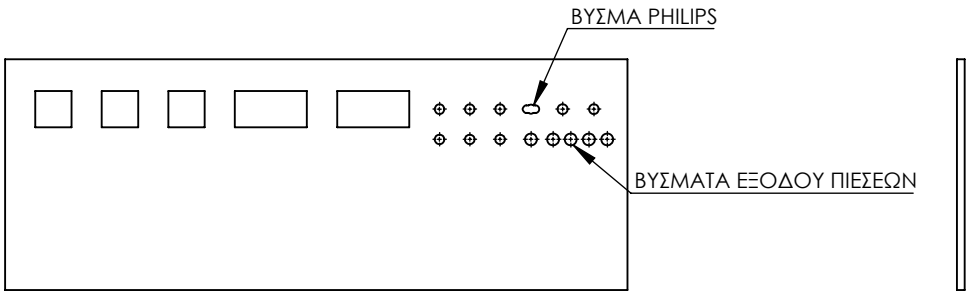
ΚΛΙΜΑΚΑ:1:7

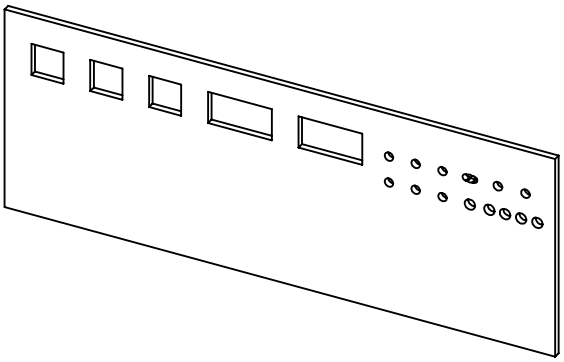
SHEET 3 OF 3

# PANEL ΚΟΝΣΟΛΑΣ

ΠΡΟΟΨΗ

ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ



| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ: PANEL ΚΟΝΣΟΛΑΣ

ΥΛΙΚΟ: ΛΑΜΑΡΙΝΑ

WEIGHT:

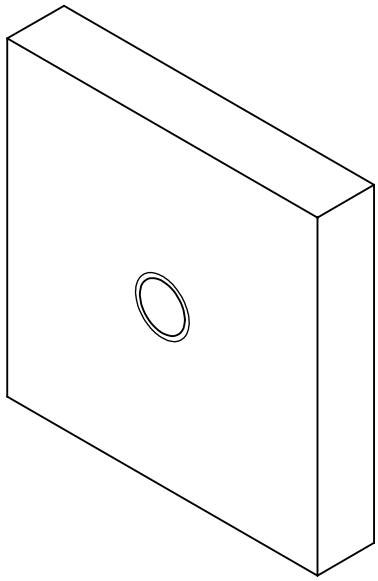
DWG NO. panel

A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:10

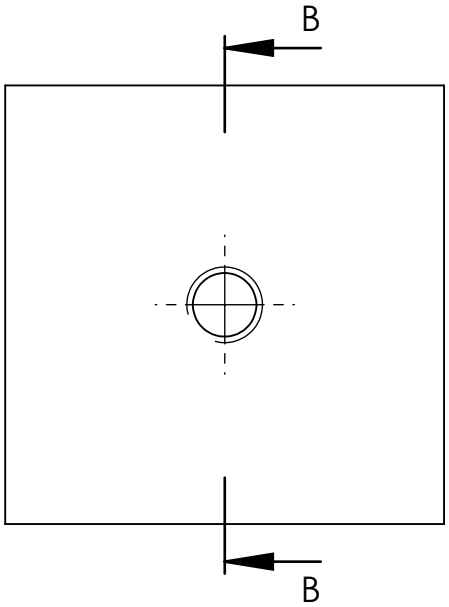
SHEET 1 OF 1

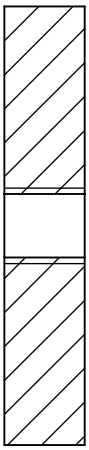
# ΛΑΜΑΚΙΑ



ΠΡΟΟΨΗ

ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ-ΤΟΜΗ B-B



ΤΟΜΗ B-B

| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 44 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING<br>REVISION<br>ΣΗΜΕΙΩΣΗ: ΤΑ ΛΑΜΑΚΙΑ ΕΧΟΥΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΕΙ ΣΤΟΝ ΣΚΕΛΕΤΟ ΤΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΜΕΣΩ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ: ΛΑΜΑΚΙΑ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. autakia

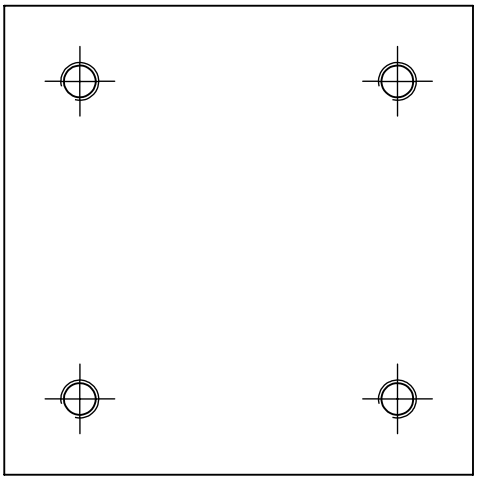
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ: 2:1

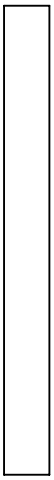
SHEET 1 OF 1

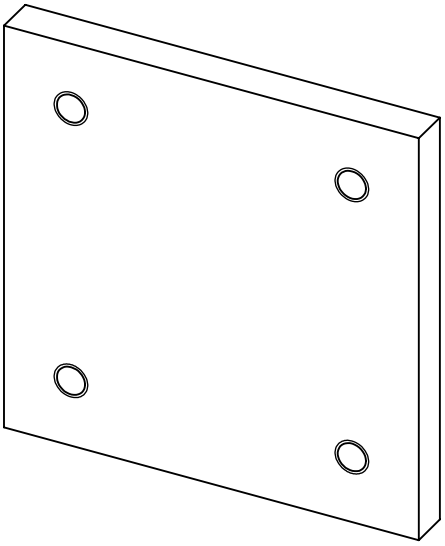
# ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΡΟΔΕΣ

ΠΡΟΟΨΗ



ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ





| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:4 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΡΟΔΕΣ

ΥΛΙΚΟ: ΧΑΛΥΒΑΣ

WEIGHT:

DWG NO. Στηριγματαγιαροδες

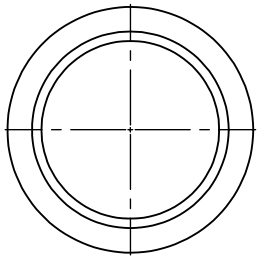
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:1

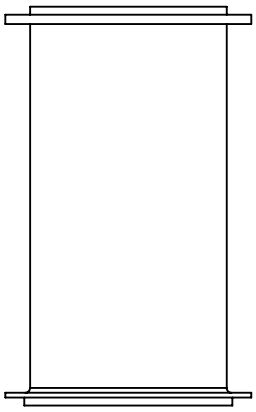
SHEET 1 OF 1

# ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ FMTB-1600 1

ΠΡΟΟΨΗ-ΑΡΣΕΝΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ



ΚΑΤΟΨΗ



| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ FMG-1600

ΥΛΙΚΟ: ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

WEIGHT:

DWG NO. Part10

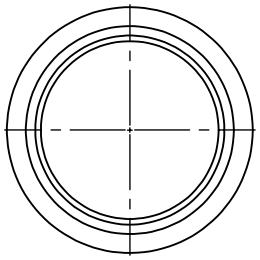
A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:8

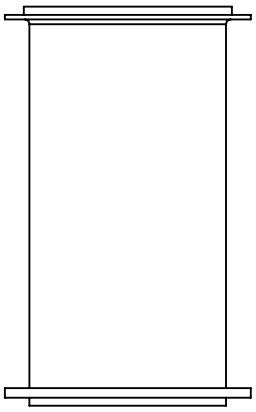
SHEET 1 OF 3

# ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ FMTB-1600 2

ΠΙΣΩ ΟΨΗ-ΘΗΛΥΚΗ ΠΛΕΥΡΑ



ΚΑΤΟΨΗ



| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ FMG-1600

ΥΛΙΚΟ:

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

WEIGHT:

DWG NO.

Part10

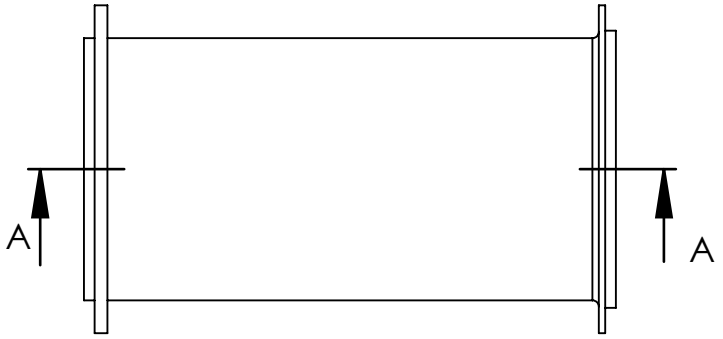
A4

KLIMAKA:1:8

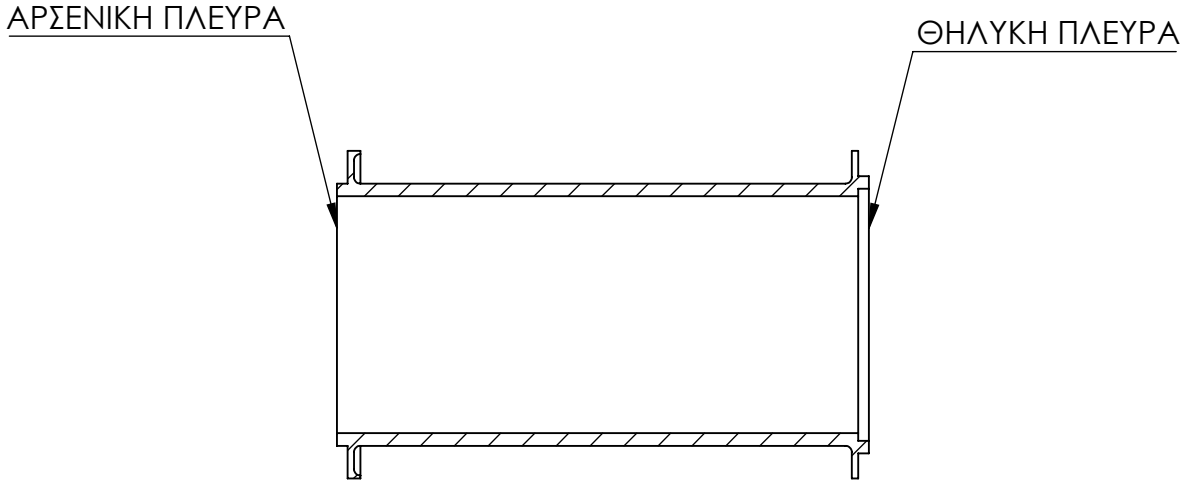
SHEET 2 OF 3

# ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ FMTB-1600 3

ΚΑΤΟΨΗ




ΚΑΤΟΨΗ-ΤΟΜΗ A-A




| | | | |
|---|---|---|---|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: | ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:1 | DEBURR AND BREAK SHARP EDGES | DO NOT SCALE DRAWING / REVISION |

| | NAME | SIGNATURE | DATE |
|---|---|---|---|
| DRAWN | | | |
| CHK'D | | | |
| APPV'D | | | |
| MFG | | | |
| Q.A | | | |

ΤΙΤΛΟΣ:

ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ FMG-1600

ΥΛΙΚΟ: ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

WEIGHT:

DWG NO. Part10

A4

ΚΛΙΜΑΚΑ:1:6

SHEET 3 OF 3