



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ
& ΣΥΝΑΦΟΥΣ ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Ανάπτυξη Συστήματος Αυτόματου Ελέγχου Διαρροής Αερίου
των Ανιχνευτών MicroMeGas για την Αναβάθμιση του Small
Wheel του Πειράματος ATLAS στο CERN**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
Πολυνείκη Ι. Τζανή

Επιβλέπων:
Θεόδωρος Αλεξόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ
1 Οκτωβρίου 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

& ΣΥΝΑΦΟΥΣ ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Ανάπτυξη Συστήματος Αυτόματου Ελέγχου Διαρροής Αερίου
των Ανιχνευτών MicroMeGas για την Αναβάθμιση
του Small Wheel του Πειράματος ATLAS στο CERN**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Πολυνείκη Ι. Τζανή

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αλεξόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 1 Οκτωβρίου 2017.

.....
Θ. Αλεξόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ε. Γαζής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Σ. Μαλέζος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 1 Οκτωβρίου 2017

.....
Πολυνείκης Ι. Τζανής
Φυσικός Εφαρμογών Ε.Μ.Π.

© (2017) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. *All rights reserved.*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικό ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται η παρούσα σημείωση. Ζητήματα που αφορούν την εκτίμηση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη δήλωση εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία αναφέρεται στην μελέτη και υλοποίηση ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου της διαρροής αερίου ανιχνευτικών διατάξεων πειραματικής φυσικής υψηλών ενεργειών. Συγκεκριμένα, μελετάται και κατασκευάζεται το αυτόματο σύστημα ελέγχου της διαρροής αερίου των ανιχνευτών αερίου τύπου MicroMeGas που θα τοποθετηθούν στο New Small Wheel του πειράματος ATLAS στον επιταχυντή LHC στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Πυρηνικής Έρευνας CERN.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκε η ενασχόληση αρχικά με την αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών MicroMeGas και κυρίως με την εύρεση μεθόδων για την μέτρηση της διαρροής αερίου και συνεπώς τον χαρακτηρισμό της στεγανότητας του ανιχνευτή. Ιδιαίτερα, υλοποιήθηκε εξ ολοκλήρου από την ομάδα Πειραματικής Φυσικής Υψηλών Ενεργειών & Συναφούς Οργανολογίας του Εθνικού Μετσόβιο Πολυτεχνείου η κατασκευή της πειραματικής διάταξης και ο σχεδιασμός ενός αυτόματου συστήματος καταγραφής, αποθήκευσης και ελέγχου της διαρροής των ανιχνευτών σωματιδίων MicroMeGas με χρήση του λογισμικού WinCC-OA, με απώτερο σκοπό τον Q/A/QC έλεγχο τους στο εργαστήριο BB5 του CERN και τον χαρακτηρισμό της λειτουργικότητάς τους. Τέλος, το σύστημα που υλοποιήθηκε αποσκοπεί στην χρήση του για τον χαρακτηρισμό της στεγανότητας όχι μόνο των ανιχνευτών MicroMeGas αλλά και από διαφορετικές ανιχνευτικές διατάξεις της πειραματικής φυσικής υψηλών ενεργειών ή της βιομηχανίας στο προσεχές μέλλον.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μία συνοπτική περιγραφή του Ευρωπαϊκού Κέντρο CERN, του επιταχυντή LHC και του πειράματος ATLAS. Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται οι γενικές αρχές του New Small Wheel Upgrade, οι τύποι των ανιχνευτών που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και το νέο σύστημα ηλεκτρονικών για την σύλλογη και διανομή των δεδομένων. Το τρίτο κεφάλαιο, αποτελεί μία περιγραφή της φυσικής που διέπει τον ανιχνευτή MicroMeGas καθώς και την βελτίωση της τεχνολογίας του έως και τον τελικό τύπο που θα χρησιμοποιηθεί στο NSW. Στο τέταρτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται μία εισαγωγή στο κεντρικό σύστημα ελέγχου του πειράματος ATLAS καθώς και στο εργαλείο WinCC-OA που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του συστήματος αυτού. Το πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η εισαγωγή στις μεθόδους μέτρησης της διαρροής αερίου των ανιχνευτών αερίου. Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής αναφορά της υλοποίησης της διάταξης και του αυτόματου συστήματος ελέγχου της διαρροής αερίου του εργαστηρίου BB5 του CERN. Το έβδομο κεφάλαιο, αποτελεί τον οδηγό χρήσης του συστήματος καταγραφής, αποθήκευσης και ελέγχου της διαρροής αερίου Gas Tightness Station με σκοπό τον έλεγχο της διαρροής αερίου των MM QP του NSW. Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο περιγράφονται οι μετρήσεις της διαρροής αερίου διάφορων τύπων ανιχνευτών για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του συστήματος και του ορίου διαρροής των ανιχνευτών.

Abstract

This diploma thesis refers to the study and the implementation of an automated control system for the measurement of gas leak for particle detectors used in high energy physics experiments. Especially, has designed a automated control system for the gas leak measurements of MicroMeGas detectors to be located in the New Small Wheel of the experiment ATLAS in the Large Hadron Collider (LHC) at the European Organization for Nuclear Research known as CERN.

In the framework of this diploma thesis, firstly the operation principle of Micromegas detectors was studied and mainly the discovery of methods for measuring gas leak and therefore characterizing the tightness of the detectors. In particular, a experimental setup and a data acquisition, monitoring and processing software based on WinCC-OA has been developed by the Experimental High Energy Laboratory of National Technical University of Athens for the detectors QA/QC measurements at BB5 laboratory of CERN. Finally, the control system implemented aims for future use of the tightness of various gas detectors used in high energy physics area or industry.

In the first chapter, a concise description of the European Organization for Nuclear Research CERN, the Large Hadron Collider (LHC) and the experiment ATLAS is performed. The second chapter, describes the general principles of the New Small Wheel Upgrade, the types of particle detectors to be used and the new electronic system for the data acquisition and distribution. The third chapter is a description of the physics that governs the particle detector Micromegas and the improvement of its technology to the final formula to be used in NSW. In the fourth chapter an introduction to the detector control system of ATLAS experiment and the WinCC-OA tool used to develop this system is performed. The fifth chapter, introduces the methods for measuring the gas leak of gas particle detectors. In sixth chapter, an extensive description of the implementation of the experimental setup and the automated gas leak system of the laboratory BB5 of CERN is made. The seventh chapter, is a guide of the Gas Tightness Station to monitor the gas leakage of MM MP detectors of NSW. Finally, eight chapter describes the gas leakage measurements of various types of particle detectors to control the operation of experimental setup and the leakage limit of the detectors.

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Θεόδωρο Αλεξόπουλο ή αλλιώς "Αρχηγό" για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής και την ευκαιρία να εργαστώ σε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Επιπλέον, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση του, την υπομονή στα ερωτήματα μου καθώς και το πάθος του για την φυσική και τα ηλεκτρονικά που με ενέπνευσε ώστε να ασχοληθώ με την πειραματική φυσική υψηλών ενεργειών. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Σταύρο Μαλτέζο για την καθοδήγηση, βοήθεια και τις γνώσεις του που μου πρόσφερε πάνω στην φυσική και τους νόμους των αερίων για τον σχεδιασμό του συστήματος διαρροής αερίου μέσα από συζητήσεις και πολλές ώρες στο εργαστήριο. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γαζή, όπου μαζί με τον κ. Αλεξόπουλο και κ. Μαλτέζο μου έδωσαν την δυνατότητα να γίνω μέλος της αξιοθαύμαστης ομάδας όπου αναδεικνύει το ΕΜΠ και την ΣΕΜΦΕ στο CERN. Δεν παραβλέπω να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας, τον expert Πάρη για την βοήθεια και την μετάδοση των γνώσεων του στο WinCC και το DCS (πικατλ), τον Στάθη για τις πολύ χρήσιμες συμβουλές και συζητήσεις, τον Δημήτρη για την επίλυση αποριών πάνω στα ηλεκτρονικά και τον προγραμματισμό, τον Χρήστο για τις συζητήσεις πάνω σε θέματα firmware και φυσικής που είχαμε, τον Αιμίλιο για την βοήθεια του στο ROOT, τον Πάνο για τις συζητήσεις πάνω στις ηλεκτρονικές πλακέτες και για το αν η αεκ θα πάρει πρωτάθλημα και επιπρόσθετα τον Χρήστο και Χαρά για τις συζητήσεις που είχαμε κατά την διάρκεια των ατελείωτων ωρών στο γραφείο. Από την ομάδα του Brookhaven, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Βενέτιο Πολυχρονάκο για τις συζητήσεις μας πάνω σε θέματα ηλεκτρονικών και φυσικής καθώς και στην δυνατότητα που μου έδωσε μαζί με τον κ. Αλεξόπουλο να βρεθώ το καλοκαίρι στο CERN και να γίνω μέλος της ομάδας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επιπλέον τον Γιώργο Ιακωβίδη για την βοήθεια και τον χρόνο που μου αφιέρωσε για την επίλυση πολλών αποριών πάνω σε θέματα ανάλυσης, ηλεκτρονικών και φυσικής. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την εμπιστοσύνη και την στήριξη του καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Και εννοείται πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Ιωάννη και Αλκμήνη και την αδερφή μου Ασπασία που δίχως την στήριξη και αγάπη τους δεν θα είχα φτάσει σε αυτό το σημείο.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	viii
1 Το Πείραμα ATLAS στον LHC του CERN	1
1.1 Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων	1
1.2 Επιταχυντικές Διατάξεις και Πειράματα	1
1.3 Επίδοση του LHC	2
1.4 Ο Ανιχνευτής ATLAS	3
1.4.1 Σύστημα Μαγνητών (Magnet Sytem)	4
1.4.2 Εσωτερικός Ανιχνευτής Τροχιών (Inner Detector)	5
1.4.3 Καλορίμετρα (Calorimeters)	5
1.4.4 Φασματόμετρο Μιονίων (Muon Spectrometer)	6
2 New Small Wheel Upgrade	11
2.1 Υψηλής Φωτεινότητας LHC (HL-LHC)	11
2.2 New Small Wheel Upgrade	12
2.2.1 End-cap Muon Trigger	13
2.2.2 Tracking Performance & Efficiency	13
2.3 Η αρχή του New Small Wheel Upgrade	14
2.4 Η διάταξη του New Small Wheel	14
2.5 Επισκόπηση του Συστήματος Ηλεκτρονικών του NSW	16
2.6 VMM ASIC	18
3 Ανιχνευτής MicroMeGas	21
3.1 Αλληλεπίδραση φορτισμένων σωματιδίων με την ύλη	21
3.2 Διέγερση και Ιονισμός σε αέρια	23
3.3 Διάδοση παραγόμενων ιόντων και ηλεκτρονίων στο αέριο	24
3.3.1 Κίνηση Ιόντων	24
3.3.2 Κίνηση Ηλεκτρονίων	25
3.3.3 Χιονοστιβάδα Townsendκαι παραγωγή σήματος	26
3.4 Ανιχνευτές Αερίου	27
3.5 MICROMEsh Gaseous Structure	28
3.5.1 Δομή και αρχή λειτουργίας του ανιχνευτή Micromegas	28
3.5.2 Bulk Micromegas	30
3.5.3 Resistive Micromegas	30
3.6 Ανιχνευτές Micromegasγια το NSW Upgrade του ATLAS	31
4 Αυτόματο Σύστημα Ελέγχου του ATLAS & Εισαγωγή στο WinCC-OA	34
4.1 Εισαγωγή	34
4.2 Κεντρικό Σύστημα Ελέγχου του ATLAS	34
4.3 WinCC Open Architecture	35
4.3.1 Αρχιτεκτονική	35
4.4 Βασικά εργαλεία του WinCC-OA	37
4.4.1 Αρχαιοθέτηση	38
4.5 Πλαίσιο εργασίας Joint COntrols Project	38
4.6 Finite State Machine (FSM)	40

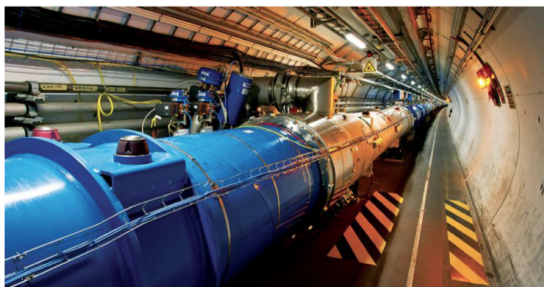
5 Θεωρητική μελέτη της διαρροής αερίου των ανιχνευτών MicroMeGas	42
5.1 Εισαγωγή	42
5.2 Σύστημα παροχής αερίου του NSW	42
5.3 Αιτία και μηχανισμός της διαρροής αερίου	43
5.4 Μέθοδοι μέτρησης διαρροής αερίου	44
5.4.1 Μέθοδος πώσης πίεσης (PDR)	44
5.4.2 Μέθοδος απώλειας ροής (FRL)	46
5.5 Σύνθετη Διάταξη	49
5.6 Μελέτη ευαισθησίας των ανιχνευτών MM του NSW	50
6 Ανάπτυξη συστήματος αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου	51
6.1 Εισαγωγή	51
6.2 Πειραματική διάταξη στο BB5	52
6.2.1 Μέτρηση διαρροής με FRL	53
6.2.2 Μέτρηση διαρροής με PDR	54
6.2.3 Αισθητήρες πειραματικής διάταξης	54
6.2.4 Αισθητήρας θερμοκρασίας(TS)	56
6.3 Φορητή πειραματική διάταξη	57
6.4 FieldPoint NI Analog-to-Digital Converter (ADC)	57
6.4.1 Συσκευή cFP-1804	57
6.4.2 Συσκευή cFP-AI-110	57
6.4.3 Συσκευή cFP-CB-1	58
6.5 Βασικά στοιχεία ενός OPC Server	59
6.6 Υλοποίηση Gas Tightness Station με χρήση WinCC-OA	60
6.6.1 Δημιουργία Project	60
6.6.2 Σύνδεση WinCC-Fieldpoint μέσω OPC	61
6.6.3 Σχεδιασμός	65
6.7 Σύστημα αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου στο BB5	68
7 Αρχές λειτουργίας του Gas Tightness Station	72
7.1 Εκκίνηση	72
7.2 Έλεγχος συνδεσιμότητας FieldPoint και αισθητήρων	72
7.3 Αντιστοίχιση καναλιών FieldPoint με αισθητήρες	74
7.4 Καθορισμός του offset των αισθητήρων	75
7.5 Βαθμονόμηση αισθητήρων	77
7.6 Καθορισμός ορίων διαρροής MM QP	78
7.7 Καθορισμός ορίου πίεσης	79
7.8 Μέτρηση διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL	80
7.8.1 1-Node Mode	83
7.8.2 4-Node Mode	86
7.8.3 Advanced Analysis	87
7.9 Μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο PDR	88
7.9.1 1-Node Mode	90
7.9.2 4-Node Mode	92
7.10 Αποθήκευση δεδομένων	93
7.10.1 NSW QA/QC Database	93
7.10.2 Ιστορικό δεδομένων	95
7.10.3 Online αποθήκευση δεδομένων	96
7.11 Έκτακτη βοήθεια	97
8 Μέτρηση διαρροής αερίου με χρήση του GTS	98
8.1 Βαθμονόμηση	98
8.2 Μέτρηση διαρροής MDT	100
8.3 Μέτρηση διαρροής SM1-M0	103
8.4 Μέτρησης διαρροής SM2-M0	108
A' Παράρτημα A	110
B' Παράρτημα B	118
Κατάλογος Σχημάτων	130

Το Πείραμα ATLAS στον LHC του CERN

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί μία εισαγωγή στον μεγάλο επιταχυντή αδρονίων (LHC) με έμφαση στο πείραμα ATLAS που διεξάγεται στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών (CERN). Στα επόμενα χρόνια το LHC θα αναβαθμιστεί σε μεγαλύτερη luminosity, σαν αποτέλεσμα το μιονικό φασματόμετρο του ATLAS πρέπει να αναδιαμορφωθεί ώστε να μπορεί να διαχειριστεί τα υψηλά ποσοστά των σωματιδίων. Για την αναβάθμιση του New Small Wheel επιλέχτηκε ο ανιχνευτής Micromegas, που είναι και το ουσιαστικό κίνητρο αυτής της εργασίας.

1.1 Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων

Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων (Large Hadron Collider, LHC) [1], είναι ο μεγαλύτερος και ισχυρότερος επιταχυντής στον κόσμο, ξεκίνησε την λειτουργία του τον Σεπτέμβριο του 2008 και παραμένει η τελευταία προσθήκη στο συγκρότημα επιταχυντών του CERN. Η πειραματική αυτή διάταξη, που βρίσκεται εκατοντάδες μέτρα κάτω από την Γη και τα σύνορα της Ελβετίας-Γαλλίας, πρόκειται για έναν δύο δεσμών υπεραγωγίμο επιταχυντή και συγκροστήρα όπου υπέρλεπτες δέσμες πρωτονίων επιταχύνονται κοντά στην ταχύτητα του φωτός ώσπου τελικά αλληλοσυγκρούονται μεταξύ τους παράγοντας εξωτικά σωματίδια. Μία εικόνα των LHC υπεραγωγίμων μαγνητών φαίνεται στο Σχ. 1.1. Επιπλέον, το LHC είναι εγκατεστημένο στο τούνελ περιμέτρου 26.7 km όπου είχε κατασκευαστεί μεταξύ του 1984 και 1989 για τις ανάγκες του CERN LEP [2] επιταχυντή όπου η λειτουργία του σταμάτησε το 2000. Σκοπός του LHC είναι να αποκαλύψει την φυσική πέρα από το Καθιερωμένο Πρότυπο με ενέργειες κέντρου μάζας για συγκρούσεις πρωτονίων-πρωτονίων πάνω από 14 TeV.



Σχήμα 1.1: Οι LHC υπεραγωγίμοι μαγνήτες στο 27 km LEP tunnel στο CERN

1.2 Επιταχυντικές Διατάξεις και Πειράματα

Πριν τα σωματίδια φτάσουν στο δακτύλιο του LHC, υποβάλλονται σε μία διαδικασία μέσω ενός συνόλου επιταχυντών. Πρόκειται για μία σειρά μηχανών που επιταχύνουν τα σωματίδια σε αυξανόμενα υψηλότερες ενέργειες. Κάθε μηχανή ενισχύει την ενέργεια των πακέτων των σωματιδίων πριν την έγχυση τους στο επόμενο μηχανήμα της σειράς.

Αρχικά μία απλή φιάλη υδρογόνου τροφοδοτεί τον θάλαμο πηγής ενός γραμμικού επιταχυντή με άτομα υδρογόνου, με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου οι πυρήνες του υδρογόνου απογυμνώνουν τα ηλεκτρόνια τους και τα πρωτόνια προχωρούν στο επόμενο στάδιο της διαδρομής επιτάχυνσης τους. Η αρχική επιτάχυνση πραγματοποιείται από τον LINear ACcelerator 2 (LINAC 2) [3], όπου επιταχύνει τα πρωτόνια σε ενέργεια 50 MeV. Η δέσμη έπειτα εισέρχεται στον Proton Synchrotron Booster (PSB), όπου η ενέργεια των πρωτονίων αυξάνεται στα 1.4 GeV, προτού περάσουν από το Proton Synchrotron (PS) αποκτώντας την ενέργεια των 25 GeV. Το τελευταίο βήμα πριν από τον LHC είναι το Synchrotron Super Proton (SPS), όπου τα πρωτόνια φτάνουν την ενέργεια

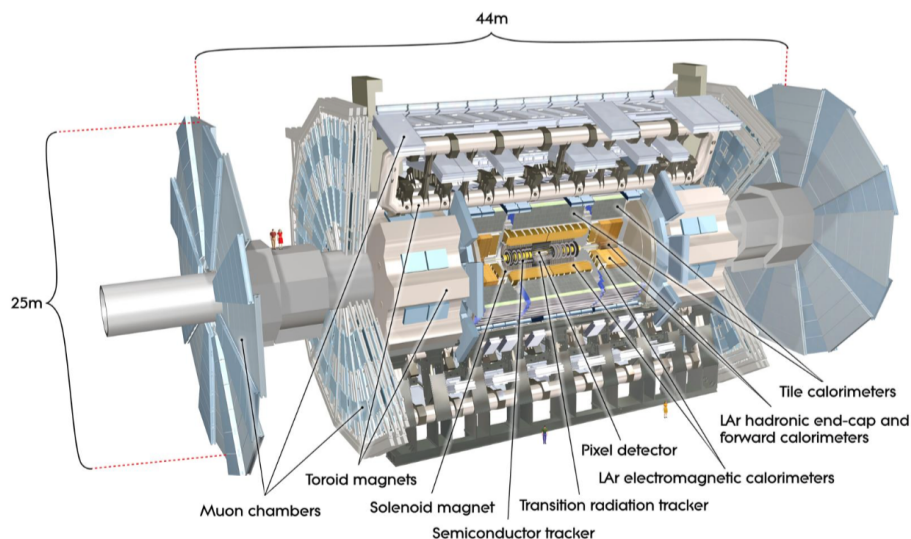
συνέχεια το LHC τέθηκε σε τερματισμό λειτουργίας για αναβαθμίσεις το 2013 και το 2014 και οι συγκρούσεις p-p επέστρεψαν το 2015 σε μεγαλύτερη ενέργεια σύγκρουσης $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$. Μία γενική εικόνα των παραμέτρων της δέσμης, της φωτεινότητας στα 4 χρόνια λειτουργίας του LHC αποτυπώνεται στο Σχ. 1.3.

Beam Parameters	Design	2010	2011	2012	2015
Centre-of-mass energy, \sqrt{s} [TeV]	14	7	7	8	13
Peak luminosity, L [$10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	10	0.21	3.65	7.73	5.02
Integrated luminosity, delivered, \mathcal{L} [fb^{-1}/y]	80-120	0.048	5.46	22.8	4.2
Integrated luminosity, recorded, \mathcal{L} [fb^{-1}/y]	–	0.045	5.08	21.3	3.9
Maximum number of colliding bunches	2880	348	1331 ¹	1380	2232
Maximum number of protons per bunch [10^{11}]	1.15	1.2	1.4	1.6	1.2
Minimum bunch spacing [ns]	25	150	50	50	25
Average pile-up (μ)	19.02	< 3	9.1	20.7	13.7

Σχήμα 1.3: Οι προβλεπόμενες τιμές της δέσμης και της φωτεινότητας όσο και οι πραγματικές τιμές κατά την διάρκεια των 4 χρόνων λειτουργίας του LHC.

1.4 Ο Ανιχνευτής ATLAS

Ο ανιχνευτής ATLAS (**A** Toroidal **A**pparatu**S**) [4], είναι ένας ανιχνευτής γενικής χρήσης, σχεδιασμένος να καλύψει τις ανάγκες πολλών πειραμάτων του LHC, όπως την αναζήτηση του σωματιδίου Higgs, την μελέτη της υπερσυμμετρίας, την απάντηση ερωτημάτων σχετικά με την ύπαρξη σκοτεινής ύλης και τυχόν ύπαρξη επιπλέον διαστάσεων. Το γενικό του σχήμα είναι κυλινδρικό, με μήκος 45 m, διάμετρο 25 m και ζυγίζει 7000 τόνους, επιπλέον είναι περίπου συμμετρικός κατά μήκος ως προς το σημείο αλληλεπίδρασης (IP) και είναι μέχρι σήμερα ο μεγαλύτερος ανιχνευτής σε όγκο που κατασκευάστηκε ποτέ. Μία γραφική αναπαράσταση του πειράματος ATLAS φαίνεται στο Σχ.1.4. Χωρίζεται στην περιοχή του barrel, όπου τα modules αποτελούν κυλινδρικά στρώματα και δύο περιοχές endcaps, όπου οι ανιχνευτές σχηματίζουν δίσκους για την αύξηση της κάλυψης του ανιχνευτή. Τα διαφορετικά μέρη του ανιχνευτή είναι ορατά στο ίδιο σχήμα με τη την σχεδίαση του ανιχνευτή να οφείλεται κυρίως στην ανάγκη να ικανοποιηθούν οι γενικές απαιτήσεις για τους ανιχνευτές του LHC .



Σχήμα 1.4: Γραφική αναπαράσταση του πειράματος ATLAS. Τα διαφορετικά μέρη του πειράματος σημειώνονται πάνω στο σχήμα.

Οι δέσμες των σωματιδίων περνούν από τον νοητό άξονα κυλινδρικής συμμετρίας του ανιχνευτή και συγκρούονται στο κέντρο του παράγοντας νέα σωματίδια. Τα διαφορετικά υποσυστήματα του ATLAS, τοποθετημένα σε στρώματα, καταγράφουν την τροχιά, την ορμή και την ενέργεια των παραγόμενων σωματιδίων. Ένας ισχυρός μαγνήτης κάμπει τις τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων επιτρέποντας την μέτρηση της ορμής τους, ενώ τα δεδομένα συλλέγονται από τα ηλεκτρονικά συστήματα του ανιχνευτή.

Προκειμένου να γίνουν σαφείς οι λεπτομέρειες για τα ανιχνευτικά συστήματα του ATLAS που θα αναφερθούν στην συνέχεια, είναι καλό σε αυτό το σημείο να οριστεί η έννοια της *pseudorapidity* (η). Αν η γωνία σε σχέση με τον άξονα της δέσμης ισούται με θ , τότε η *pseudorapidity* η [10] ορίζεται ως:

$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (1.2)$$

Ένα σωματίδιο με μεγάλη τιμή η , πιθανόν να αποδράσει από τον ανιχνευτή, αφού θα κινηθεί σχεδόν συγγραμικά με την δέσμη της τάξης των $90^\circ - 45^\circ$. Σαν αποτέλεσμα, τα end-caps του ανιχνευτή αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές του $|\eta|$, ενώ το κυλινδρικό

περίβλημα του barrel σε μικρότερες τιμές του $|\eta|$.

Τα κυριότερα υποσυστήματα του ATLAS είναι τα εξής:

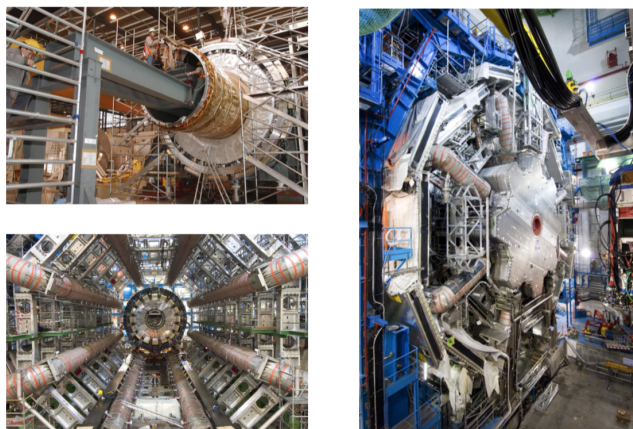
- Το σύστημα μαγνητών (Magnet System)
- Ο εσωτερικός ανιχνευτής τροχιών (Inner Detector)
- Τα καλορίμετρα (Calorimeters)
- Το φασματόμετρο μιονίων (Muon Spectrometer)
- Το σύστημα σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων (TDAQ)

1.4.1 Σύστημα Μαγνητών (Magnet System)

Ο ανιχνευτής ATLAS περιλαμβάνει 3 τύπους συστημάτων υπεραγωγίων μαγνητών ώστε να δώσει την δύναμη αυτή που απαιτείται για να κάμψει τις τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων και ακολούθως να καταστήσει δυνατή την μέτρηση της ορμής τους γύρω από το σημείο αλληλεπίδρασης (IP):

- Το Central Solenoid [11] που είναι υπεύθυνο για το μαγνητικό πεδίο στον εσωτερικό ανιχνευτή.
- Το air-core Barrel Torroid [12].
- Τα 2 air-cored End-Cap Torroids [13], που παρέχουν το αναγκαίο τοροειδές πεδίο για το μιονικό φασματόμετρο

Οι συνολικές διαστάσεις του μαγνητικού συστήματος καθορίζονται από την δομή του Barrel Torroid όπου εκτείνεται σε 26 m μήκος και εξωτερική διάμετρο της τάξεως των 20 m. Το υπεραγωγίμο μαγνητικό σύστημα του ATLAS ψύχεται με υγρό ήλιο σε θερμοκρασία 4.8 K, σε όρους ενέργειας οι τοροειδείς μαγνήτες είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένοι σε σειρά και λειτουργούν σε ρεύμα της τάξεως των 20 kA ενώ το κεντρικό σωληνοειδές λειτουργεί σε χαμηλότερη ονομαστική λειτουργία της τάξεως των 7.6 kA. Φωτογραφίες των 3 διαφορετικών τμημάτων του μαγνητικού συστήματος του πειράματος ATLAS φαίνονται παρακάτω στο Σχ. 1.5 .

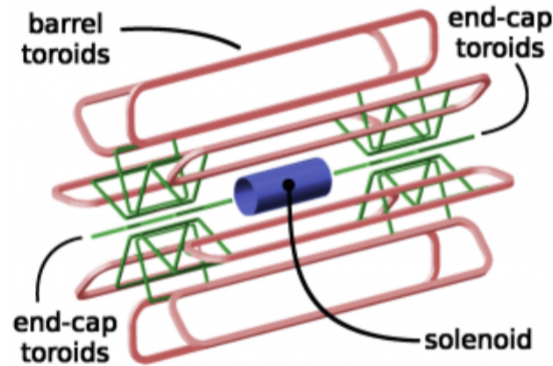


Σχήμα 1.5: Φωτογραφίες των 3 διαφορετικών τμημάτων του μαγνητικού συστήματος του πειράματος ATLAS. Στην πάνω αριστερά εικόνα, ο κυλινδρικός σωληνοειδής μαγνήτης εισάγεται μέσα στο υγρού αργού καλορίμετρο στην επιφάνεια. Στην κάτω εικόνα, φαίνονται τα 8 barrel coils στο εσωτερικό του ATLAS και δεξιά ένα από τους 2 end-cap τοροειδείς μαγνήτες στην τελική τους θέση περιβαλλόμενα από τα barrel toroid coils.

Το κεντρικό υπεραγωγίμο σωληνοειδές, είναι ευθυγραμμισμένο με τον άξονα της δέσμης και είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ένταση μαγνητικού πεδίου στα 2 T κατά μήκος της δέσμης για την μέτρηση της ορμής στον Inner Detector, ελαχιστοποιώντας το εκπεμπόμενο πάχος του μπροστά από το ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο που βρίσκεται στο barrel. Η εσωτερική και η εξωτερική διάμετρος είναι 2.46 m και 2.56 m αντίστοιχα και το μήκος του ανέρχεται στα 5.8 m. Είναι τοποθετημένο σε έναν κρουστάτη που το μοιράζεται με το καλορίμετρο για να ελαχιστοποιήσει την χρήση υλικού και λειτουργεί στους 4.8 K.

Το τοροειδές σύστημα μαγνητών παρέχει μαγνητικό πεδίο για την μέτρηση της ορμής στο φασματόμετρο μιονίων και έχει μέση τιμή έντασης περί τα 0.5 T. Το μαγνητικό πεδίο που είναι τοροειδές και κάθετο σε αυτό του σωληνοειδούς, δημιουργείται από οχτώ υπεραγωγίμα πηνία στο barrel, και από 2 τοροειδή με 8 πηνία το καθένα που βρίσκονται στα endcaps.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου ποικίλει ανάλογα με την pseudorapidity για την περιοχή του barrel με ανώτατη τιμή τα 3.9 T, ενώ για τα endcaps η μέγιστη τιμή αγγίζει τα 4.1 T. Μία σχηματική αναπαράσταση του μαγνητικού συστήματος του ATLAS που περιλαμβάνει τα 3 μέρη που προαναφέρθηκαν παρουσιάζεται στο Σχ.1.6.



Σχήμα 1.6: Σχηματική αναπαράσταση του μαγνητικού συστήματος του ATLAS. Το κεντρικό σωληνοειδές είναι εγκατεστημένο μέσα στο υγρού αργού καλορίμετρο (μπλε χρώμα), όπου περιβάλλεται από το barrel (κόκκινο χρώμα) και τα end-cap toroid coils (πράσινο χρώμα).

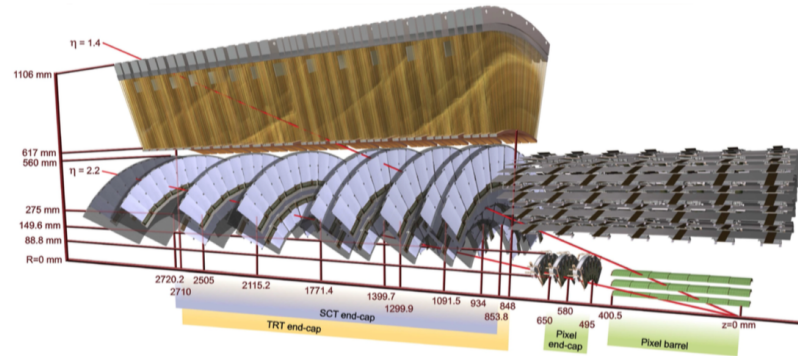
1.4.2 Εσωτερικός Ανιχνευτής Τροχιών (Inner Detector)

Ο εσωτερικός ανιχνευτής τροχιών του ATLAS (ID) [14][15], συνολικού μήκους 6.2 m, καλύπτει pseudorapidity εύρους της τάξης των $|\eta| \leq 2.5$ και αναλύει τις τροχιές των σωματιδίων που έχουν δραπέτεύσει από το σημείο αλληλεπίδρασης (IP). Βρίσκεται εσωτερικά ενός κυλίνδρου μήκους 7 m και ακτίνας 1.15 m και αποτελείται από τρεις υποανιχνευτικές διατάξεις. Στο εσωτερικό του συναντάμε τον Pixel Detector, κατόπιν τον SemiConductor Tracker και τέλος στο εξωτερικό του τον Transition Radiation Tracker. Ο εσωτερικός ανιχνευτής τροχιών συνδυάζει τους υψηλής ευκρίνειας ανιχνευτές στο εσωτερικό του με τα ανιχνευτικά τμήματα στην εξωτερική του ακτίνα του. Όλα περιλαμβάνονται στο κεντρικό σωληνοειδές, το οποίο παρέχει ένα μαγνητικό πεδίο της τάξεως των 2 T. Υψηλότερη ανάλυση επιτυγχάνεται γύρω από την περιοχή την κορυφής (vertex region) με την χρήση των ημιαγωγικών ανιχνευτών πίζελ (Silicon Pixel Detectors). Χαρακτηριστικά, για κάθε διαδρομή ο ημιαγωγικός ανιχνευτής πίζελ συμβάλει σε 3 ενώ ο ανιχνευτής μικρολωρίδων πυριτίου σε 4 ενδείξεις σημείων τροχιάς. Στο εξωτερικό τμήμα του εσωτερικού ανιχνευτή βρίσκεται ο Transition Radiation Tracker ο οποίος παρέχει πληροφορία για 36 σημεία ανά τροχιά και συμβάλει στην ταυτοποίηση των ηλεκτρονίων του πειράματος μέσω της ανίχνευσης της ακτινοβολίας μετάπτωσης των φωτονίων χρησιμοποιώντας τους drift tubes του. Η σχηματική αναπαράσταση του εσωτερικού ανιχνευτή τροχιών του ATLAS φαίνεται στο Σχ.1.7.

Η σχετική ακρίβεια της μέτρησης είναι καλά συνδυασμένη, έτσι ώστε καμία μέτρηση να μην υπεριοχέει στην ευκρίνεια της ορμής. Στην περιοχή του barrel ο Pixel Detector και ο SemiConductor Tracker είναι τοποθετημένοι σε ομόκεντρους κυλίνδρους γύρω από τον άξονα της δέσμης, ενώ τα end-caps του ανιχνευτή είναι τοποθετημένα σε δίσκους κάθετα προς τον άξονα της δέσμης. Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε ένα πολύ ισχυρό μαγνητικό πεδίο, που δημιουργείται από ένα κυλινδρικό υπεραγωγίμο πηνίο, το οποίο καμπυλώνει τις τροχιές των σωματιδίων. Μετρώντας τις παραμέτρους της τροχιάς, μπορούμε να βρούμε την ορμή, τη διεύθυνση, το πρόσημο του φορτίου και το σημείο προέλευσης του σωματιδίου.

1.4.3 Καλορίμετρα (Calorimeters)

Γύρω από τον εσωτερικό ανιχνευτή τροχιών, βρίσκονται τα καλορίμετρα [16], συσκευές σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφούν πλήρως την ενέργεια κάποιων τύπου σωματιδίων που προσπίπτουν επάνω τους. Συνήθως, τα καλορίμετρα είναι είτε αδρονικά, δηλαδή ανιχνεύουν μεσόνια ή βαρυόνια, είτε ηλεκτρομαγνητικά, δηλαδή ανιχνεύουν ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια και φωτόνια. Τα καλορίμετρα του πειράματος ATLAS είναι υπεύθυνα για την ακριβής μέτρηση της ενέργειας και της θέσης/κατεύθυνσης των ηλεκτρονίων και φωτονίων ή των jets, αξιολογώντας επίσης την έλλειψη ορμής p_T κάθε γεγονότος. Επιπλέον, είναι σε θέση να ταυτοποιήσουν σωματίδια και να συμβάλλουν στην ανακατασκευή της τροχιάς των μιονίων. Λόγω της μεγάλης ενέργειας κέντρου

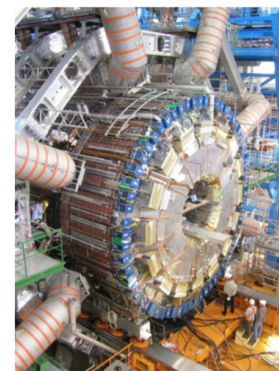
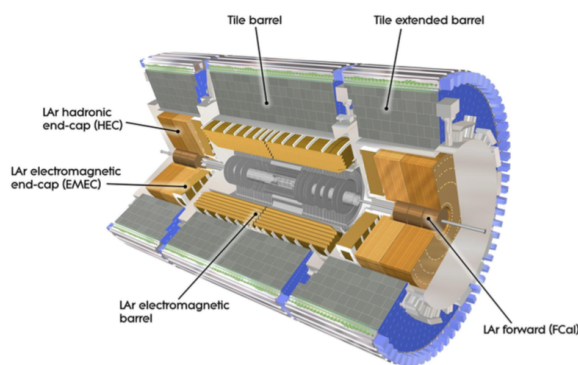


Σχήμα 1.7: Σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών υποσυστημάτων του εσωτερικού ανιχνευτή τροχιών του ATLAS. Εσωτερικά βρίσκεται ο Pixel Detector, κατόπιν ο SemiConductor Tracker και τέλος στο εξωτερικό του ο Transition Radiation Tracker.

μάζας που παρέχεται από το LHC, τα καλορίμετρα που χρησιμοποιούνται στα πειράματα θα πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιούν απαιτητικές απαιτήσεις απόδοσης σε ένα πρωτοφανές ενεργειακό εύρος που εκτείνεται από μερικά GeV μέχρι και την κλίμακα των TeV.

Μία γραφική αναπαράσταση των καλοριμέτρων του ATLAS παρουσιάζεται στο Σχ. 1.8, όπου τα διάφορα μέρη του καλοριμέτρου είναι ορατά. Το ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο (EM) καλύπτει την pseudorapidity περιοχή $|\eta| < 3.2$. Είναι ένας ανιχνευτής υγρού αργού (LAr) [17] με ηλεκτρόδια Karton σε σχήμα ακορντεόν και πλάκες απορρόφησης από μόλυβδο πάνω από την πλήρη κάλυψη του, διαιρούμενο στο τμήμα barrel και στα end-caps. Το LAr συμπληρώνεται με ένα αδρονικό καλορίμετρο σχεδιασμένο με την τεχνική σπινθηρογραφήματος σιδήρου (Tile) [18], όπου καλύπτει την pseudorapidity περιοχή $|\eta| < 1.7$ και την περιοχή ακόμη πιο κοντά στην δέση end-cap $3.1 < |\eta| < 4.9$ ολοκληρώνοντας το σύστημα καλοριμέτρων του πειράματος ATLAS.

Το επίπεδο του ηλεκτρομαγνητικού καλοριμέτρου, η οποία είναι εγκατεστημένη πλησιέστερα στον αγωγό της δέσμης, είναι σε θέση να παρέχει πολύ ακριβείς μετρήσεις της θέσης εισερχομένων σωματιδίων και της εναποτιθέμενης ενέργειας, με βάση την ηλεκτρομαγνητική τους αλληλεπίδραση με το υλικό. Τα υλικά απορρόφησης ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού καλοριμέτρου στην περιοχή του barrel, είναι μόλυβδος και ανοξείδωτος χάλυβας με υγρό αργόν ως υλικό δειγματοληψίας. Το αδρονικό καλορίμετρο απορροφά ενέργεια από τα σωματίδια μέσω της ισχυρής αλληλεπίδρασης (κυρίως αδρόνια) και διέρχονται από το ηλεκτρομαγνητικό καλορίμετρο και είναι λιγότερο ακριβή, τόσο στο μέγεθος της ενέργειας τους και στον εντοπισμό τους. Το υλικό απορρόφησης ενέργειας είναι χάλυβας, με σπινθηροβόλα πλακίδια που δέχονται την εναπόθεση ενέργειας. Πολλά από τα χαρακτηριστικά του καλοριμέτρου επιλέγονται από την αποδοτικότητα του κόστους τους γιατί το μηχάνημα είναι αρκετά μεγάλο και αποτελείται από τεράστια ποσά δομικού υλικού. Τα πολύ μπροστά τμήματα του αδρονικού καλοριμέτρου χρησιμοποιούν υγρό αργόν για δειγματοληψία, ενώ ο χαλκός και το βολφράμιο χρησιμοποιούνται ως απορροφητές.

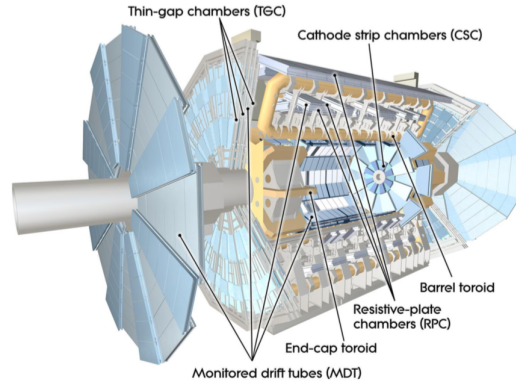


Σχήμα 1.8: Αριστερά: Σχηματική αναπαράσταση της διατομής των καλοριμέτρων του ATLAS. Το LAr και το Tile απεικονίζονται μαζί με την κατάτμηση τους στα barrel και end-cap καλορίμετρα. Δεξιά: Φωτογραφία του barrel καλοριμέτρου που έχει τοποθετηθεί στον ανιχνευτή ATLAS. Τα περιστρεφόμενα πηνία του end-cap που περιβάλλουν την διάταξη των καλοριμέτρων είναι επίσης ορατά

1.4.4 Φασματόμετρο Μιονίων (Muon Spectrometer)

Ο ρόλος του φασματόμετρου μιονίων (MS) [19] είναι να αναγνωρίσει, να μετρήσει μίονια και να πυροδοτηθεί από αυτά. Περιβάλλει τα καλορίμετρα και τα συστήματα του μιονικού φασματομέτρου, περιλαμβάνουν ανώτερες τεχνολογίες για τον σκανδαλισμό (triggering)

και για την ανακατασκευή των τροχιών των μιονίων (tracking). Στο Σχ. 1.9 είναι φανερή η διάταξη του συστήματος εντοπισμού των μιονίων του ATLAS.



Σχήμα 1.9: Σχηματική αναπαράσταση του φασματόμετρου μιονίων του ATLAS. Οι διάφορες τεχνολογίες των μιονικών θαλάμων του ανιχνευτή είναι ορατές.

Το μιονικό φασματόμετρο μιονίων του ATLAS αποτελείται από δύο υποανιχνευτικά συστήματα [19] για μετρήσεις ακριβείας:

- Monitored Drift Tubes (MDT)
- Cathode Strip Chambers (CSC)

Και δύο τεχνολογίες σκανδαλισμού:

- Resistive Plate Chambers (RPC)
- Thin Gap Chambers (TGC)

Στον παρακάτω πίνακα Σχ. 1.10 αποτυπώνονται η περιοχή της pseudorapidity $|\eta|$ και η ανάλυση του κάθε υποσυστήματος του φασματόμετρου μιονίων:

System	Function	$ \eta $ coverage	Resolution (mm)
MDT	tracking	< 2.7	$z = 0.035$
CSC	tracking	$2.0 - 2.7$	$r = 0.04, \phi = 5$
RPC	trigger	< 1.05	$z = 10, \phi = 10$
TGC	trigger	$1.05 - 2.4$	$r = 2 - 6, \phi = 3 - 7$

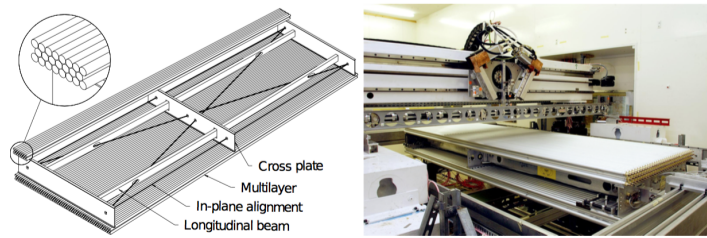
Σχήμα 1.10: Περιοχή της pseudorapidity $|\eta|$ και η ανάλυση του κάθε υποσυστήματος του φασματόμετρου μιονίων

Monitored Drift Tubes (MDT)

Οι θάλαμοι ολίσθησης (drift chambers) είναι ένας κλειστός χώρος γεμάτος με αέριο που περιέχει σύρματα που δεσμεύουν τα ηλεκτρόνια από τους ιονισμούς του αερίου μείγματος Ar-CO_2 (93 – 7%) που περιέχουν και μεταφέρουν το ηλεκτρικό σήμα. Μπορούν να υπολογίσουν με ακρίβεια την κάμψη των τροχιών των σωματιδίων στο $r - z$ επίπεδο του τοροειδούς μαγνήτη και παρέχουν μετρήσεις της ορμής των σωματιδίων την ορμής των σωματιδίων. Στο πείραμα ATLAS οι MDT καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή την υψηλής pseudorapidity της τάξεως των $|\eta| < 2.7$. Η βασική δομή ενός MDT απεικονίζεται στο Σχ. 1.11 (αριστερά). Αποτελείται από δύο πολυ-επίπεδα θαλάμων ολίσθησης χωρισμένα από ένα υποστηρικτικό πλαίσιο. Κάθε πολυ-επίπεδο συνθέτει τρία επίπεδα από σωλήνες με την εξαίρεση τις εσωτερικές δομές του μιονικού φασματόμετρου (μικρή ακτίνα) όπου ένα επιπλέον πλαίσιο από σωλήνες χρησιμοποιείται σε κάθε πολυ-επίπεδο βελτιώνοντας την αναγνώριση προτύπων σε περιοχές με υψηλό υπόβαθρο. Μία φωτογραφία των MDT φαίνεται στο Σχ. 1.11 (δεξιά) κατά την διαδικασία την κατασκευής και της διαδικασίας ελέγχου τους. Η χωρική ανάλυση ενός MDT σωλήνα μετά την διαδικασία της βαθμονόμησης και η διόρθωση για το ηλεκτρικό πεδίο του μαγνητικού πεδίου μπορεί να φτάνει τα $80 \mu\text{m}$. Συνδυάζοντας τις μετρήσεις των ηλεκτρονίων ιονισμού σε κάθε σωλήνα ολίσθησης σε κάθε σωλήνα, μπορεί να ανακατασκευαστεί ένα τμήμα 6 σημείων βελτιώνοντας την χωρική ανάλυση σε $40 \mu\text{m}$.

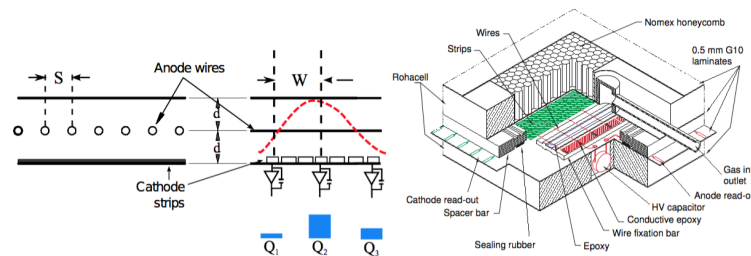
Cathode Strip Chambers (CSC)

Οι Cathode Strip Chambers (CSC) είναι αναλογικοί θάλαμοι όπου η κάθοδος είναι η λωρίδα ανάγνωσης (strip readout) και ένα συμμετρικό κελί μέσα στο οποίο το κενό μεταξύ ανόδου και καθόδου είναι ίσο με το πάχος του καλωδίου ανόδου (anode pitch). Η ακρίβεια της συντεταγμένης της θέσης γίνεται μετρώντας το φορτίο που επάγεται στις τμηματικές λωρίδες καθόδου



Σχήμα 1.11: Αριστερά : Σχηματική αναπαράσταση ενός MDT θαλάμου της περιοχής του barrel αποτελούμενος από δύο πολυεπίπεδα με τρία επίπεδα από σωλήνες ο καθένας. Δεξιά: Φωτογραφία ενός MDT θαλάμου κατά την διάρκεια την κατασκευής και της διαδικασίας ελέγχου του.

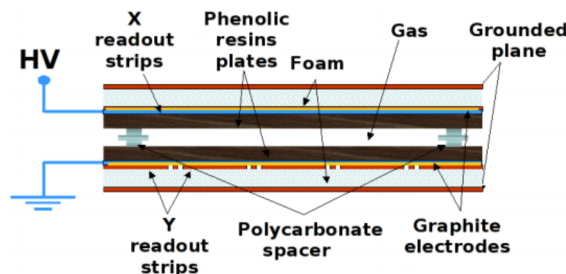
από την χιονοστιβάδα των ηλεκτρονίων που σχηματίζεται στο σύρμα ανόδου. Ουσιαστικά καλύπτουν τις περιοχές όπου η ροή των σωματιδίων είναι υψηλή και αντικαθιστούν τους MDTs και ταυτόχρονα συνδυάζουν υψηλή χωρική και χρονική ακρίβεια σε υψηλό ρυθμό. Είναι γεμισμένοι με αέριο μείγμα Ar-CO₂ (80 – 20%) και στα καλώδια επιβάλλεται τάση ίση με 1800 V. Η χωρική τους ακρίβεια είναι 60 μm για την συντεταγμένη των strips και 5 mm για αυτήν των καλωδίων. Επιπλέον αποτελούνται από 4 επίπεδα σε κάθε περιοχή end-cap και καλύπτουν τιμές pseudorapidity $|\eta| < 2.7$. Οι CSCs μετρούν την θέση των γεγονότων χρησιμοποιώντας μία σχεδόν ορθογώνια διάταξη των συρμάτων ανόδου και των καθοδικών λωρίδων (strips). Οι λωρίδες καθόδου κινούνται ακτινικά από την δέσμη και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της θέσης των γεγονότων ενώ τα σύρματα των ανόδων για την ακτινική θέση. Το σήμα που παράγεται τόσο στις λωρίδες όσο και στα καλώδια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του χρόνου ενός γεγονότος με παρόμοια ανάλυση. Στο Σχ. 1.12 αποτυπώνεται η δομή και λειτουργία του CSC καθώς και η εσωτερική του δομή. Καθώς ένα σωματίδιο περνάει μέσα από το αέριο μέσο του CSC το ιονίζει με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται να κινηθούν προς τα σύρματα ανόδου.



Σχήμα 1.12: Αριστερά : Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός CSC ανιχνευτή . Δεξιά: Η εσωτερική δομή ενός CSC .

Resistive Plate Chambers (RPC)

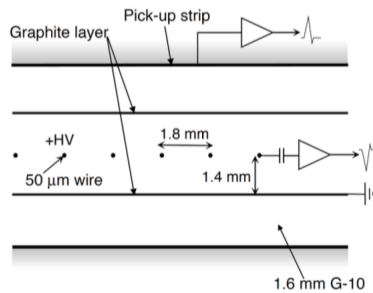
Στην περιοχή του barrel του ATLAS το σύστημα των Resistive Plate Chambers (RPC) είναι υπεύθυνο για την παροχή των σημάτων σκανδαλισμού trigger signals. Οι RPCs είναι ανιχνευτές αερίου παράλληλης πλάκας ικανοί να παρέχουν μέτρηση του χρόνου των σωματιδίων με ακρίβεια του 1 ns όπου και πληρεί τις απαιτήσεις του συστήματος σκανδαλισμού του ATLAS. Λειτουργούν με αέριο μείγμα αερίου πολλαπλών συστατικών C₂H₂F₂:4.5%-C₄H₁₀ : 0.3%SF₆. Επιπρόσθετα, η γρήγορη και χοντροειδής μέτρηση της τροχιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίσει τα γεγονότα από ανιχνευτές ακριβείας που σχετίζονται με την ανίχνευση την τροχιάς των μιονίων. Υπάρχουν τρία στρώματα από αυτούς τους θαλάμους σε κάθε end-cap του ανιχνευτή και καλύπτουν την περιοχή της pseudorapidity $|\eta| < 1.05$. Η δομή των RPCs αποτυπώνεται στο Σχ. 1.13.



Σχήμα 1.13: Η εσωτερική δομή ενός RPC ανιχνευτή.

Thin Gap Chambers (TGC)

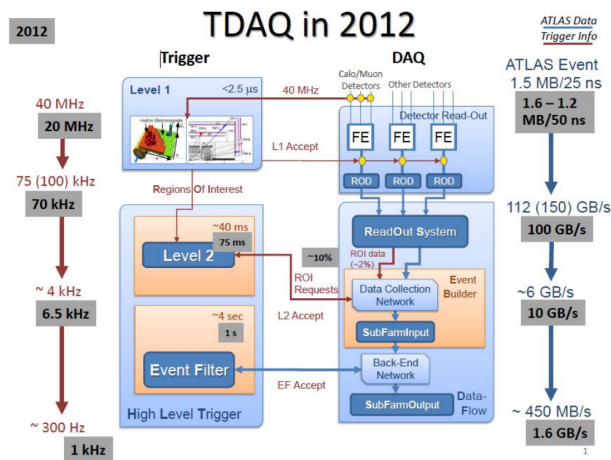
Οι πληροφορίες για το trigger στην περιοχή του μιονικού end-cap παρέχονται από τους TGCs. Επιπλέον είναι σε θέση να παρέχουν μία μέτρηση της αζιμουθιακής συντεταγμένης για να ολοκληρώσουν την συντεταγμένη κάμψης από τους θαλάμους MDT του end-cap. Η μεσαία end-cap περιοχή από MDTs συμπληρώνεται από 7 επίπεδα TGCs, οι οποίοι παρέχουν τόσο μετρήσεις για το triggering και την αζιμουθιακή συντεταγμένης, ενώ τα δύο στρώματα από στο εσωτερικό μιονικό end-cap δηλαδή το Small Wheel μετρούν την αζιμουθιακή συντεταγμένη. Οι TGCs είναι παρόμοιας τεχνολογίας με τους πολυκαναλικούς αναλογικούς θαλάμους με σύρματα ανόδου MWPC που περικλείονται από δύο επίπεδα γραφίτη ως κάθοδος και δύο επίπεδα ταινιών ανάγνωσης που εκτείνονται κάθετα στα καλώδια. Για τις μετρήσεις του χρόνου, των ορμών και την αζιμουθιακή συντεταγμένης, λειτουργούν με αέριο υψηλής απόσβεσης $\text{CO}_2 + 45\%n\text{-C}_5\text{H}_{12}$ και έναν υψηλό ηλεκτρικό πεδίο 3200 V. Υπάρχουν τέσσερα στρώματα από τους TGCs σε κάθε end-cap του ανιχνευτή ATLAS και η εσωτερική δομή του ανιχνευτή φαίνεται στο Σχ. .



Σχήμα 1.14: Η εσωτερική δομή ενός TGC ανιχνευτή.

Σύστημα Σκανδαλισμού και Συλλογής Σεδομένων (TDAQ)

Για την ανάγνωση των δεδομένων που συλλέγονται από τις αλληλεπιδράσεις που γίνονται κατά την διάρκεια του πειράματος στο ATLAS αναγκαίο είναι το σύστημα σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων (Trigger and Data Acquisition (TDAQ) [20]. Το σύστημα σκανδαλισμού αποτελείται από τρία ξεχωριστά επίπεδα : Το Level-1 (L1), το Level-2 (L2) και το Event Filter (EF). Κάθε επίπεδο σκανδαλισμού βελτιώνει τις αποφάσεις του προηγούμενου επιπέδου και καθορίζει συνεχώς δυναμικά νέα κριτήρια επιλογής. Από την άλλη μεριά, το σύστημα συλλογής δεδομένων λαμβάνει προσωρινά και αποθηκεύει τα δεδομένα από τα γεγονότα αυτά από τα ειδικά ηλεκτρονικά συστήματα ανάγνωσης των ανιχνευτών, στους ρυθμούς επιλογής που επιτρέπει το (L1). Το πρώτο επίπεδο σκανδαλισμού, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τους ανιχνευτές και τα συστήματα σκανδαλισμού των θαλάμων του μιονίου παίρνει την πρώτη απόφαση σε χρόνο λιγότερο από 2 μs . Με αυτήν την διαδικασία οι ο αρχικός ρυθμός συγκρούσεων των σωματιδίων με ρυθμό 20 MHz, μειώνεται σε 75 kHz. Έπειτα, τα δεδομένα είναι έτοιμα να τροφοδοτήσουν το Level-2 (L2) επίπεδο με δεδομένα που βρίσκονται στην περιοχή του ενδιαφέροντος (Region of Interest (Roi)). Το επίπεδο triggering 2 βασίζεται στα

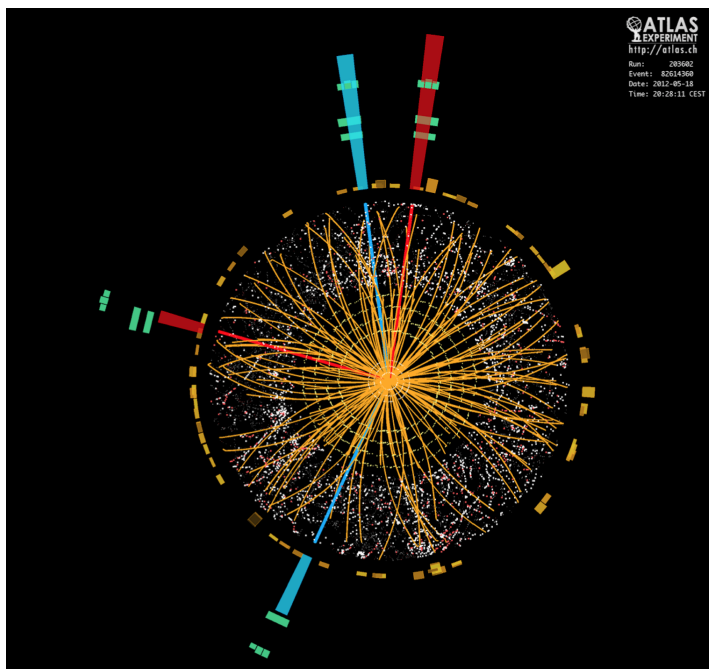


Σχήμα 1.15: Η σχηματική αναπαράσταση του συστήματος σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων του πειράματος ATLAS.

λογισμικά και χρησιμοποιεί τα δεδομένα που έχουν προκύψει από το L1 και σε συνδυασμό με τα δεδομένα του Inner Detector βελτιστοποιεί την επιλογή των δεδομένων. Με αυτήν την διαδικασία η επιλογή των δεδομένων βελτιώνεται και ο ρυθμός των γεγονότων είναι 3.5 kHz.

Από την στιγμή που τα δεδομένα είναι έτοιμα από το Level-2 (L2) [21] επίπεδο περνάνε στο τελικό επίπεδο του Event Filter όπου βασίζεται σε software και έχει πρόσβαση σε όλες τις προηγούμενες πληροφορίες. Ο ρυθμός πλέον μειώνεται στα 0.4 kHz και τα δεδομένα είναι έτοιμα για την τελικά ανάλυση. Η σχηματική αναπαράσταση του συστήματος σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων του πειράματος ATLAS που περιγράφηκε παραπάνω αποτυπώνεται στο Σχ. 1.15.

Μετά το επίπεδο του Event Filter τα δεδομένα είναι έτοιμα για ανάλυση. Πραγματοποιείται η ανακατασκευή της τροχιάς των σωματιδίων, η ταυτοποίηση του σωματιδίου μέσω της μέτρησης και της ορμής και πλέον έχουμε όλα τα στοιχεία για την ανακάλυψη νέων σωματιδίων και θεωριών ακόμα και πέρα από το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model). Στο Σχ. 1.16 φαίνονται οι τροχιές καθώς και οι ενέργειες που εναπόθεσαν τα σωματίδια που προέκυψαν από την αλληλεπίδραση p-p στο interaction point.



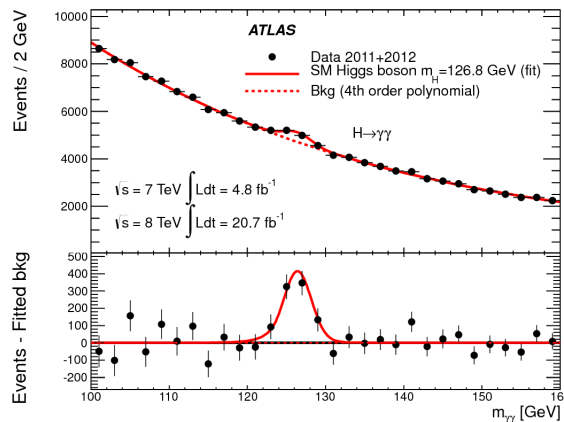
Σχήμα 1.16: Event από δεδομένα που λήφθηκαν από τον ανιχνευτή ATLAS.

New Small Wheel Upgrade

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία εκτενής περιγραφή του New Small Wheel Upgrade του πειράματος ATLAS του CERN. Με την αύξηση της φωτεινότητας του LHC είναι αναγκαία η αναβάθμιση του Small Wheel με δύο νέους τύπους ανιχνευτών, sTGC και Micromegas, οι οποίοι με την χρήση νέου συστήματος ηλεκτρονικών θα είναι σε θέση να επεξεργαστούν τον μεγάλο αριθμό σωματιδίων. Τέλος, θα αναλυθεί η διάταξη και η αρχή του New Small Wheel, οι ηλεκτρονικές που θα είναι υπεύθυνες για την συλλογή και διανομή των δεδομένων καθώς το VMM chip τύπου ASIC το οποίο θα αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για την συγκέντρωση των δεδομένων από τους ανιχνευτές.

2.1 Υψηλής Φωτεινότητας LHC (HL-LHC)

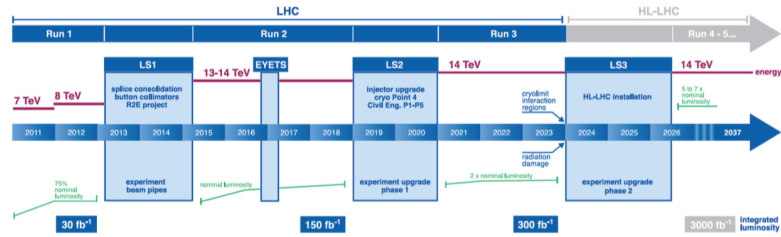
Κατά την διάρκεια του Run-1 (2010-2012), ο LHC μπορούσε να διανείμει συνολικά $\int \mathcal{L} dt = 28.26 \text{ fb}^{-1}$ από p-p συγκρούσεις δεδομένα οδηγώντας σε αξιοσημείωτα φυσικά αποτελέσματα από τα πειράματα όπως την ανακάλυψη του μποζονίου Higgs [22].



Σχήμα 2.1: Η ανακάλυψη του μποζονίου Higgs κατά την διάρκεια του Run-1 από δεδομένα του πειράματος ATLAS [23].

Το πολύ επιτυχές πρώτο LHC run έφτασε στο τέλος του τον Δεκέμβριο του 2012 και στην συνέχεια ακολούθησε μία μεγάλη απενεργοποίηση του LHC (Long Shutdown 1 (LS1)). Κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου των 2-χρόνων του shutdown, οι επιταχυντικές διατάξεις όσο και τα πειράματα προχώρησαν σε μία σειρά από αναβαθμίσεις και δραστηριότητες συντήρησης ώστε να αντιμετωπίσουν το πρόγραμμα του LHC . Κατά την διάρκεια του Run-2 που ξεκίνησε στις αρχές του 2015, το LHC προβλέπεται να λειτουργεί στην διπλάσια ενέργεια κέντρου μάζας (14 TeV) και μικρότερο bunch crossing (BC) της τάξεως των 25 ns και θα οδηγήσει σε αυξημένη φωτεινότητα ίση με $\mathcal{L} \approx 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

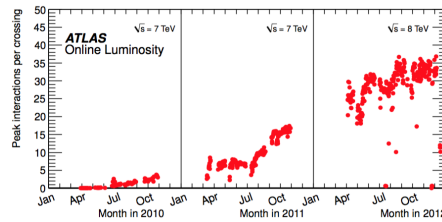
Το τρέχων χρονοδιάγραμμα του LHC , όπως φαίνεται στο Σχ. 2.2, προβλέπει 2 πρόσθετες περιόδους shutdown LS2 (2019) και LS3 (2024). Η αναβαθμισμένη αλυσίδα εγχυτήρων και το LHC μετά το LS2, θα οδηγήσει σε περαιτέρω αύξηση της φωτεινότητας όπου και θα φτάσει στην τάξη των $\mathcal{L} = 2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Η μετάβαση από τον LHC στον HL-LHC θα πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια του LS3, με περισσότερα από 3000 fb^{-1} δεδομένα να έχουν παραδοθεί κατά την διάρκεια του Run-3. Το δριμύ HL-LHC περιβάλλον θα είναι ιδιαίτερα απαιτητικό για τα πειράματα λόγω της προβλεπόμενης μέγιστης φωτεινότητας στην τάξη των $\mathcal{L} = 7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ για τα πειράματα ATLAS και CMS. Για να αντεπεξέλθουν τα πειράματα με τον προβλεπόμενο υψηλό ρυθμό σωματιδίων, μία σειρά από αναβαθμίσεις έχουν προταθεί για τα πειράματα του LHC ώστε να διατηρήσουν την λειτουργία τους και κατά την διάρκεια της περιόδου HL-LHC.



Σχήμα 2.2: Το βασικό χρονοδιάγραμμα του LHC

2.2 New Small Wheel Upgrade

Για το πείραμα ATLAS, μία τέτοια αύξηση της φωτεινότητας σημαίνει και αύξηση του ρυθμού των σωματιδίων. Στο παρακάτω Σχ. 2.3 αποτυπώνεται ο μέγιστος μέσος αριθμός ανά διασταύρωση της δέσμης συναρτήσει του χρόνου για p-p γεγονότα στην διάρκεια του 2010-12.

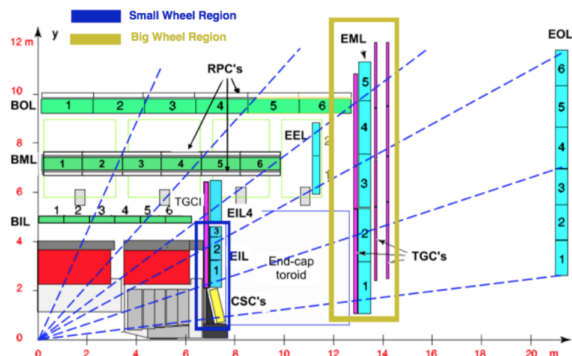


Σχήμα 2.3: Ο μέγιστος μέσος αριθμός ανά διασταύρωση της δέσμης συναρτήσει του χρόνου για p-p γεγονότα στην διάρκεια του 2010-12 [24].

Κατά την περίοδο μεταξύ του Long Shutdown 1 (LS1) και Long Shutdown 2 (LS2) ο αριθμός των ανελαστικών σκεδάσεων για κάθε διασταύρωση των πακέτων της δέσμης (bunch-crossing) αναμένεται να αυξηθεί από 35 σε 60-70 και στην συνέχεια κατά το (Long Shutdown 3 (LS3)) αυτός ο αριθμός θα ξεπεράσει τα 140. Τα περισσότερα μιονικά συστήματα του πειράματος ATLAS έχουν αρκετό περιθώριο για να διαχειριστούν αυτούς τους ρυθμούς των σωματιδίων, αλλά το “μπροστά” σύστημα του μιονικού φασματομέτρου, το λεγόμενο Small Wheel, δεν είναι σε θέση να διαχειριστεί αυτόν τον αριθμό με βάση τους ανιχνευτές που είναι εγκαταστημένοι αυτή τη στιγμή (MDTs, TGCs) όπου και προβλέπονται σε pseudorapidity $|\eta| = 2.7$, ρυθμός της τάξεως των 15 kHz/cm^2 . Ωστόσο, η περιοχή του end-cap καλύπτει γύρω στο 63% του μιονικού συστήματος του ATLAS, σαν αποτέλεσμα καθίσταται αναγκαία η αναβάθμιση αυτής της περιοχής ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες του HL-LHC [25].

Η αναβάθμιση Phase-I [26] του φασματομέτρου μιονίων του ATLAS επικεντρώνεται στην περιοχή των endcaps. Το σύστημα των υποανιχνευτών του barrel καλύπτει την περιοχή της pseudorapidity για $|\eta| < 1.0$ ενώ το σύστημα των endcaps καλύπτει το διάστημα $1.0 < |\eta| < 2.7$ για ανίχνευση μιονίων και το $1.0 < |\eta| < 2.4$ για Level-1 σκανδαλισμό. Οι περιοχές παραπάνω αποτυπώνονται στο Σχ. 2.4 όπου δείχνει μία εγκάρσια διατομή του ανιχνευτή ATLAS στο επίπεδο $z - y$. Οπότε σε υψηλή φωτεινότητα τα ακόλουθα 2 σημεία έχουν ιδιαίτερη σημασία:

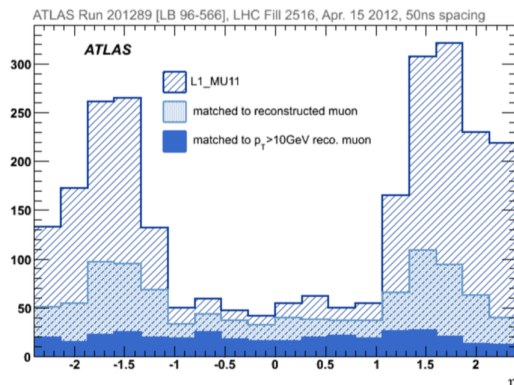
- Σκανδαλισμός μιονίων του end-cap (End-cap Muon Trigger)
- Αποτελεσματικότητα και απόδοση της ανίχνευσης τροχιών (Tracking Performance & Efficiency)



Σχήμα 2.4: Εγκάρσια διατομή του ανιχνευτή ATLAS στο επίπεδο $z - y$ [27].

2.2.1 End-cap Muon Trigger

Ο μιονικός σκανδαλισμός Level-1 της περιοχής του end-cap βασίζεται σε τροχιακές αποτυπώσεις στους θαλάμους TGC στο μεσαίο μιονικό σταθμό (Big Wheel) που είναι τοποθετημένος μετά τον τοροειδή μαγνήτη του end-cap. Η εγκάρσια ορμή των μιονίων, p_T , καθορίζεται από την γωνία του τμήματος που έλαβε σήμα, σε σχέση με την κατεύθυνση που δείχνει προς το σημείο αλληλεπίδρασης (IP). Χαμηλοενεργειακά σωματίδια, όπως πρωτόνια, που παράγονται στο υλικό που βρίσκεται μεταξύ του Small Wheel και του σταθμού του ηλεκτρομαγνητικού καλορίμετρου (EM), παράγουν ψεύτικους σκανδαλισμούς καθώς διαπερνούν τους θαλάμους της περιοχής του end-cap σε γωνία παρόμοια με τα πραγματικά υψηλής εγκάρσιας ορμής p_T μίονια. Αυτά τα fake triggers αποτελούν το 90% των συνολικών σκανδαλισμών και κατά συνέπεια ο ρυθμός ενεργοποίησης του μιονικού Level-1 στα end-caps προβλέπεται να είναι 8 με 9 φορές υψηλότερος στην περιοχή του barrel. Αυτή η κατάσταση φαίνεται στο Σχ. 2.5, όπου δείχνει ότι ένα μεγάλο κλάσμα των ανακατασκευασμένων μιονίων δεν ταυτίζονται με τα υποψήφια μίονια που προέρχονται από τον εσωτερικό ανιχνευτή.

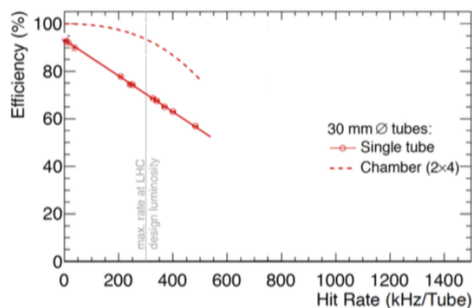


Σχήμα 2.5: Η κατανομή της pseudorapidity του Level-1 ρυθμού σκανδαλισμού σε τρία επίπεδα [27].

Στο Σχ. 2.5, η διακεκομμένη κατανομή του μιονικού σκανδαλισμού Level-1 με εγκάρσια ορμή $p_T > 10$ GeV (L1_MU11) αποτυπώνεται, ενώ με την ανοιχτή μπλε κατανομή αποτυπώνεται το υποσύνολο με τα υποψήφια μίονια όπου προκύπτουν από τα offline ανακατασκευασμένα μίονια συνδιάζοντας τις πληροφορίες από την τροχιά του εσωτερικού ανιχνευτή και του φασματόμετρου μιονίων με $p_T > 3$ GeV. Επιπλέον, η κατανομή με μπλέ χρώμα αποτυπώνει τα ανακατασκευασμένα μίονια με κατώφλι στην εγκάρσια ορμή ίσο με $p_T > 10$ GeV. Αυτή η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε το 2012 μας έδειξε ότι το 90% των συνολικών σκανδαλισμών στο end-cap οφείλεται σε fake triggers.

2.2.2 Tracking Performance & Efficiency

Στην περιοχή του Small Wheel η φωτεινότητα θα οδηγήσει σε αύξηση του ρυθμού των σωματιδίων σε 15 kHz/cm^2 , με αποτέλεσμα οι παρούσες ανιχνευτικές διατάξεις (MDTs, CSCs, TGCs) δεν θα είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν σε τέτοιους μεγάλους ρυθμούς ροής σωματιδίων. Αυτό μπορούμε να το δούμε από την εξάρτηση της αποδοτικότητας ενός μονού MDT σωλήνα από τον ρυθμό των γεγονότων. Η αποδοτικότητα δείχνει μία ταχέως μειούμενη τάση σε αντιδιαστολή με την αύξηση του ρυθμού γεγονότων, φτάνοντας ήδη το επίπεδο του 70% για το ρυθμό των γεγονότων όπου προβλέπονται για την υψηλή φωτεινότητα του LHC ($\approx 300 \text{ kHz/Tube}$). Το παραπάνω συμπέρασμα προκύπτει από το Σχ. 2.6.



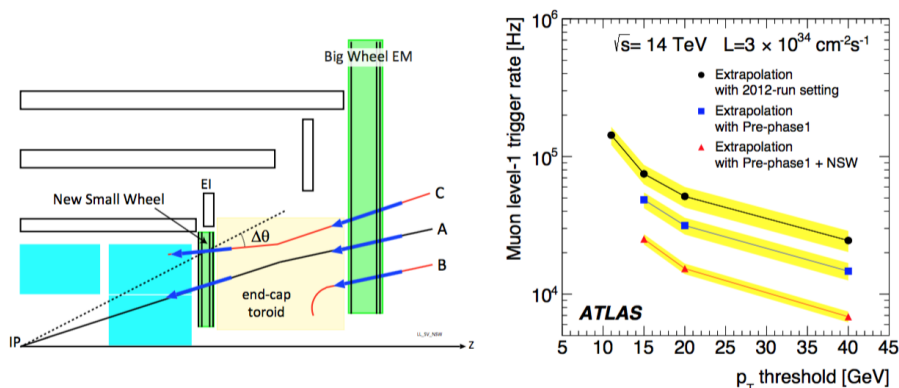
Σχήμα 2.6: Η αποδοτικότητα ενός μονού MDT σωλήνα και ενός MDT θαλάμου, 2X4 επίπεδα σωληνών, συναρτίζει του ρυθμού των γεγονότων από δεδομένα από πειράματα δέσμης σε φωτεινότητα $\mathcal{L} = 3 \times 10^{34} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$

[27].

2.3 Η αρχή του New Small Wheel Upgrade

Για την επίλυση των δύο παραπάνω προβλημάτων που περιορίζουν την απόδοση του ATLAS κατά την διάρκεια του HL-LHC, ο ATLAS προτείνει να αντικατασταθούν τα υπάρχοντα μιονικά Small Wheels με τα νέα New Small Wheels (NSW) κατά την διάρκεια του LS2. Το NSW είναι ένα σύνολο από ανιχνευτές παρακολούθησης τροχιών ακριβείας και ανιχνευτών σκανδαλισμού, οι οποίοι είναι ικανοί να δουλεύουν σε υψηλούς ρυθμούς ροής σωματιδίων με εξαιρετικές χωρικές και χρονικές αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο.

Μία επεξήγηση της αρχής της εκτίμησης της τροχιάς των σωματιδίων αποτυπώνεται στο Σχ. 2.7. Το υπάρχων σύστημα σκανδαλισμού του Big Wheel αποδέχεται και τις τρεις τροχιές που φαίνονται (A, B, C). Με την εισαγωγή του νέου συστήματος σκανδαλισμού του New Small Wheel [27], η λογική του σκανδαλισμού της περιοχής του end-cap θα αποδέχεται μόνο την τροχιά (A), όπου η επιθυμητή τροχιά θα επιβεβαιώνεται ταυτόχρονα και από το Big Wheel και το New Small Wheel. Η τροχιά (B) θα απορρίπτεται επειδή το NSW δεν θα βρίσκει κάποιο τμήμα που θα έρχεται από το σημείο αλληλεπίδρασης που ταιριάζει στο Big Wheel. Η τροχιά (C) θα απορρίπτεται επειδή το τμήμα της τροχιάς από το NSW δεν ταιριάζει με το σημείο αλληλεπίδρασης (IP).



Σχήμα 2.7: Αριστερά: Επεξήγηση της σύμπτωσης του συστήματος σκανδαλισμού του New Small Wheel [28].

Μετά την βελτίωση του συστήματος triggering με την προσθήκη του NSW συστήματος μόνο η τροχιά A των πραγματικών μιονίων, όπου θα επιβεβαιώνεται ταυτόχρονα από το BW και το NSW θα γίνεται αποδεκτή μειώνοντας έτσι τους ψεύτικους σκανδαλισμούς που βασίζονται στις τροχιές B, C. Οι προσομοιώσεις έγιναν ώστε να κατανοηθεί πλήρως η επίπτωση της αύξησης της φωτεινότητας στο συνολικό ρυθμό των σκανδαλισμών. Στο Σχ. η εκτίμηση του ρυθμού του Level-1 trigger για p-p συγκρούσεις σε ενέργεια $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ με στιγμιαία φωτεινότητα $\mathcal{L} = 3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ αποτυπώνεται σαν συνάρτησης του κατώφλιου εγκάρσιας ορμής p_T για τρεις διαφορετικές διαμορφώσεις. Οι προβλέψεις για το ρυθμό σκανδαλισμού, υποθέτοντας την τωρινή διαμόρφωση του συστήματος σκανδαλισμού, φαίνεται με μαύρη καμπύλη, ενώ η μπλε καμπύλη αποτυπώνει τον προσδοκώμενο μειωμένο ρυθμό σκανδαλισμού χρησιμοποιώντας δεδομένα από του θαλάμους EI4-TGC με Tile Calorimeter στην περιοχή $1 < |\eta| < 1.3$. Τέλος η κόκκινη καμπύλη αντιπροσωπεί τον προσδοκώμενο ρυθμό σκανδαλισμού με δεδομένα από το NSW όπου δείχνει μία αξιοσημείωτη μείωση του ρυθμού $\approx 15 \text{ kHz}$ για ένα κατώφλι της ορμής p_T ίσο με 20 GeV .

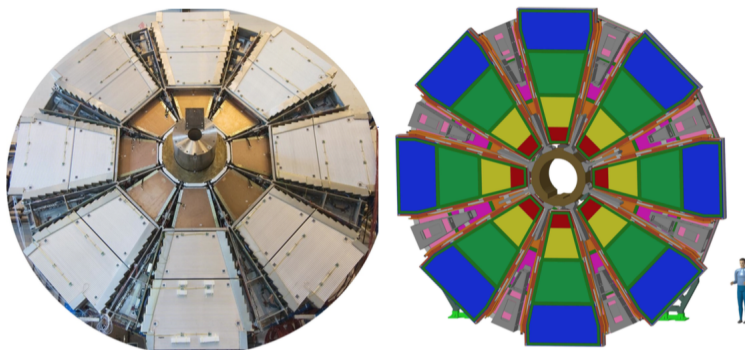
Το σχέδιο του NSW ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές για μία πολύ καλή γωνιακή διακριτική ικανότητα τροχιάς της τάξης του 1 mrad στο Level-1 trigger. Τα σήματα υποβάθρου στο υψηλής πυκνότητας τροχιών περιβάλλον του NSW, μπορούν να καταστέλλονται χρησιμοποιώντας αυτή την γωνιακή διακριτική ικανότητα. Για την Phase-II [29] αναβάθμιση του Level-1 συστήματος triggering για ακόμα υψηλότερη ακόμη υψηλότερη φωτεινότητα, ο χρόνος αντίδρασης θα μειωθεί ώστε πιο επιλεκτικοί σκανδαλισμοί από τα calorίμετρα και το νέο Level-1 σύστημα σκανδαλισμού ανίχνευσης καθώς και από το το μιονικό σύστημα, να μπορούν να εφαρμοσθούν. Η αναβάθμιση Phase-II θα βελτιώσει σημαντικά την διακριτική ικανότητα της p_T του μιονικού συστήματος σκανδαλισμού Level-1, ρίχνοντας το κατώτατο όριο ενεργοποίησης και μειώνοντας την συμβολή από μίονια χαμηλότερης p_T , μικρότερης από το ονομαστικό κατώτατο όριο.

Ουσιαστικά, αυτό θα επιτευχθεί με χρήση των δεδομένων από του ανιχνευτές ακριβείας (Monitored Drift Tubes), ως μέρος του μιονικού συστήματος πυροδότησης στα endcaps και συνδυάζοντας το με την γωνία του αντίστοιχου τμήματος που ενεργοποιήθηκε, που θα παρέχεται από το New Small Wheel. Επιπλέον, ακολουθώντας τις αρχές του τρέχοντος μιονικού συστήματος, το NSW θα πρέπει να αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα ανίχνευσης για να βελτιώσει την απόδοση αναγνώρισης προτύπων της ανακατασκευής της τροχιάς, απορρίπτοντας τα πολλαπλά γεγονότα υποβάθρου που αναμένονται στο περιβάλλον του Small Wheel. Ένας πλεοναστικός αριθμός των επιπέδων ανίχνευσης θα εξασφαλίσει επίσης την αποτελεσματική λειτουργία του ανιχνευτή, η οποία θα εξισορροπεί τυχόν αποτυχίες ενός επιπέδου ανίχνευσης.

2.4 Η διάταξη του New Small Wheel

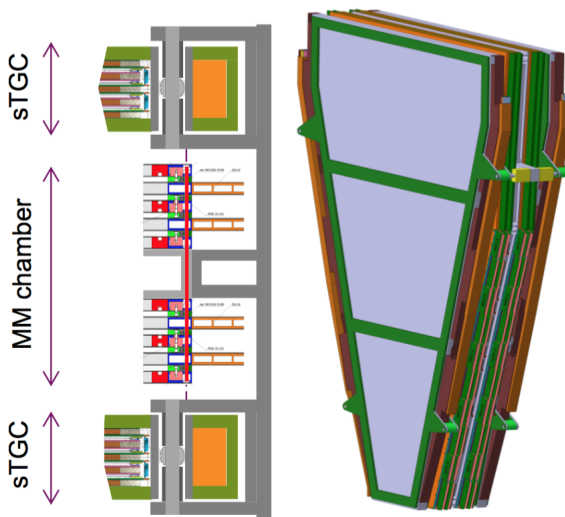
Το προτεινόμενο σύστημα ανίχνευσης του New Small Wheel [27] έχει σχεδιαστεί ώστε να πληρεί όλες τις προδιαγραφές που παρουσιάστηκαν στη προηγούμενη υποενοότητα. Οι τεχνολογίες ανίχνευσης που θα χρησιμοποιηθούν προέρχονται από την οικογένεια των

ανιχνευτών αερίου (gaseous detectors), η πρώτη είναι η τεχνολογία ενός πολυκαναλικού θαλάμου μικρολωρίδων που ονομάζεται small-strip Thin Gap Chambers (sTGCs) [30], και η δεύτερη προέρχεται από την κατηγορία των Micro-Pattern ανιχνευτές αερίου και ονομάζεται Micromesh Gaseous Structure (MicroMeGas) [31]. Η νέα πειραματική διάταξη θα αποτελείται από 16 επίπεδα ανίχνευσης σε 2 στρώσεις των 4 επιπέδων ανά τεχνολογία ανίχνευσης (4 επίπεδα sTGC και 4 επίπεδα Micromegas). Οι Micromegas και sTGC ανιχνευτές θα καλύπτουν πλήρως το NSW σε μία ανιχνευτική περιοχή της τάξεως των 1200 m^2 η κάθε μία. Το NSW θα ακολουθεί τις διαστάσεις του υπάρχοντος SW και η ίδια καταίτηση σε 16 τμήματα ανά τροχό (wheel) θα ακολουθηθεί με σκοπό ταιριάζει με τα υπάρχοντα Big Wheel και το μιονικό σταθμό το end-cap. Στο Σχ. φαίνεται το τωρινό Small Wheel στην επιφάνεια της γης πριν την εγκατάσταση του στο ATLAS καθώς και μία απεικόνιση της συνολικής διάταξης του New Small Wheel.



Σχήμα 2.8: Αριστερά: Το τωρινό Small Wheel στην επιφάνεια της γης πριν την εγκατάσταση του στο ATLAS. Δεξιά: Απεικόνιση της διάταξης του New Small Wheel.

Η διάταξη του NSW θα είναι εφοδιασμένη με 8 επίπεδα της κάθε τεχνολογίας χωρισμένα από ένα πλαίσιο της τάξεως των 50 mm. Το εσωτερικό κομμάτι θα αποτελείται από ανιχνευτές micromegas ενώ το εξωτερικό από sTGCs ανιχνευτές σχηματίζοντας μία περιοχή της τάξεως των 400 mm. Κάθε τμήμα θα αποτελείται από 2 wedges (μία διάταξη από modules μιας ενιαίας τεχνολογίας στην κατεύθυνση z , που καλύπτει έναν ολόκληρο τομέα (sector), στο επίπεδο $r - \phi$, προσανατολισμένα όπως φαίνονται στην σχηματική αναπαράσταση στο Σχ. 2.9 (αριστερά). Οι ανιχνευτές sTGC θα είναι ακτινικά χωρισμένοι σε 3 modules, (μία διάταξη από multiplets στην κατεύθυνση του r που αποτελεί ένα ενιαίο ανεξάρτητο αντικείμενο), ενώ οι micromegas σε δύο. Μία συνολική αναπαράσταση ενός τμήματος φαίνεται στο Σχ. 2.9 (δεξιά).



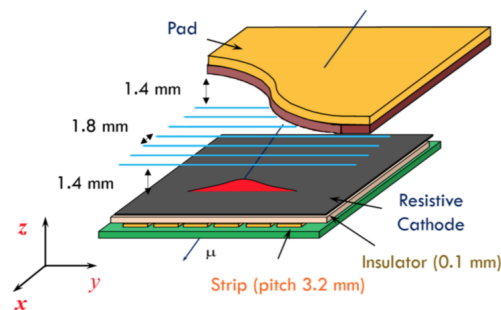
Σχήμα 2.9: Αριστερά: Οι ανιχνευτικές διάταξης στο εσωτερικό ενός sector. Δεξιά: Απεικόνιση ενός sector του New Small Wheel.

Οι ανιχνευτές sTGC έχουν κυρίως αναπτυχθεί για τον σκανδαλισμό, δεδομένης της απουσίας δυνατότητας αναγνώρισης που έχουν ώστε να πυροδοτούν καταγραφές. Οι ανιχνευτικές τεχνολογίες θα διατάσσονται με τέτοιο τρόπο (sTGC-MM-MM-sTGC) ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόσταση μεταξύ των δύο sTGC στρωμάτων. Καθώς θα πραγματοποιείται η ανακατασκευή της online τροχιάς, η απόσταση αυτή μεταξύ των sTGC στρωμάτων, επιτρέπει την βελτίωση της διακριτικής ικανότητας για την online ανακατασκευή της τροχιάς, δεδομένης της γωνίας, όπως αυτή παρέχεται από την πρώτη στρώση των ανιχνευτών. Από την άλλη μεριά, οι ανιχνευτές MM χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της τροχιάς λόγω της εξαιρετικής τους ακρίβειας παρακολούθησης της τροχιάς, λόγω του μικρού κενού (5 mm) και του μικρού βήματος λωρίδων (strip pitch 0.5 mm), περισσότερη για τον ανιχνευτή Micromegas που

θα τοποθετηθεί στο NSW θα δοθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, το NSW αναμένεται να λειτουργεί όλη την διάρκεια ζωής του πειράματος ATLAS, σαν αποτέλεσμα ο υψηλός αριθμός επιπέδων θα εξασφαλίσει μία σωστή απόδοση του ανιχνευτή και στην περίπτωση που κάποιο από τα επίπεδα αποτύχει ως προς την εύρυθμη λειτουργία του. Τέλος, οι δύο τεχνολογίες ανιχνευτών που θα χρησιμοποιηθούν συμπληρώνουν επίσης η μία την άλλη όσον αφορά τις κύριες λειτουργίες τους. Οι sTGC μπορούν να συμβάλλουν στην offline ακρίβεια εντοπισμού τροχιών, καθώς είναι σε θέση να μετρήσουν συγκρούσεις τροχιών με διακριτική ικανότητα περίπου στα 150 m. Οι ανιχνευτές MM θα υποβοηθούν τους sTGC για να παρέχουν βελτιωμένα αποτελέσματα της τροχιάς των σωματιδίων, καθώς θα λειτουργούν ως μηχανισμός σκανδαλισμού.

Η τεχνολογία ανίχνευσης των sTGC

Οι απαιτήσεις για το σύστημα σκανδαλισμού του NSW απαιτεί οι ανιχνευτές να παρέχουν ικανότητα αναγνώρισης και διαχωρισμού των παλμών που το διαπερνούν, επίσης απαιτείται καλή χρονική διακριτική ικανότητα και καλή γωνιακή διακριτική ικανότητα για online ανακατασκευές τμημάτων τροχιών και δηλαδή καλή online χωρική διακριτική ικανότητα. Οι small-strip Thin Gap Chambers (sTGC) θα αποτελούν τον κύριο μηχανισμό σκανδαλισμού παρέχοντας την κατάλληλη γωνιακή διακριτική ικανότητα για την online ανακατασκευή των τροχιών. Επιπλέον, οι ανιχνευτές αυτοί χαρακτηρίζονται από καλή διακριτική ικανότητα για την offline ανίχνευση τροχιών χρησιμοποιώντας τις καλύτερες συντεταγμένες ακριβείας (από τα readout strips), σε σχέση με τους τωρινούς ανιχνευτές TGC και το strip pitch τους ίσο με 3.2 mm, σαν αποτέλεσμα οι ανιχνευτές αυτοί να βοηθήσουν την ακριβή παρακολούθηση της τροχιάς των σωματιδίων κατά την διάρκεια του HL-LHC. Η εσωτερική δομή των ανιχνευτών sTGC αποτυπώνεται στο Σχ. 2.10. Το σήμα που οφείλεται στο drift των φορτίων ιονισμού και του πολλαπλασιασμού τους από το φαινόμενο της χιονοστιβάδας, επάγεται στα καλώδια ανόδου, τα readouts strips και pads βρίσκονται πίσω από τα καθοδικά επίπεδα.



Σχήμα 2.10: Η εσωτερική δομή του ανιχνευτή small-strip Thin Gap Chamber (sTGC).

Ο ανιχνευτής MicroMeGas

Ο resistive-strip MicroMeGas που θα χρησιμοποιηθεί στην αναβάθμιση του New Small Wheel θα αποτελεί τον κύριο μηχανισμό ανίχνευσης τροχιάς, όπου χαρακτηρίζεται από εξαιρετική χωρική διακριτική ικανότητα ($\sigma < 100 \mu$) ανεξάρτητα από την γωνία πρόσπτωσης του σωματιδίου, υψηλή ανιχνευτική απόδοση ακόμη και στις υψηλότερες τιμές θορύβου υποβάθρου, και καλό διαχωρισμό δύο τροχιών για να απορρίπτει τις γωνίες δέλτα ηλεκτρονίων που συνοδεύουν τα μόνια. Η πολύ λεπτή κατάτμηση των λωρίδων ανάγνωσης (readout-strips) των MM, μαζί με την αρκετά καλή χρονική διακριτική ικανότητα, μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί για να συμπληρώσει το σύστημα σκανδαλισμού με βάση το sTGC, προσθέτοντας στην σταθερότητα και την επαλήθευση του συστήματος ακόμη και ως εφεδρικά. Στο επόμενο κεφάλαιο, θα γίνει εκτενέστερη ανάλυση των ανιχνευτών αερίου και των φυσικών ιδιοτήτων που τους συνάγουν, καθώς και του ανιχνευτή MicroMeGas που θα χρησιμοποιηθεί στην αναβάθμιση του New Small Wheel.

2.5 Επισκόπηση του Συστήματος Ηλεκτρονικών του NSW

Με την αύξηση της φωτεινότητας, δηλαδή την αύξηση του ρυθμού αλληλεπιδράσεων λόγω των διαδοχικών αναβαθμίσεων, η χωρική διακριτική ικανότητα των ανιχνευτών του Small Wheel θα υποβαθμιστεί, ενώ το σύστημα του μιονικού σκανδαλισμού θα θεωρηθεί άχρηστο. Σαν αποτέλεσμα, πέρα από την αναβάθμιση των ανιχνευτών του NSW, απαιτείται και ένα εξελιγμένο σύστημα ηλεκτρονικών [27] [28] όπου αρχικά θα συλλέγει τα δεδομένα του triggering και να τα στέλνει στο τμήμα επεξεργασίας trigger του CERN γρήγορα και να αποθηκεύει την ενέργεια που εναποθέτουν τα σωματίδια στο σύστημα ανίχνευσης καθώς και το χρόνο που συνέβη αυτό.

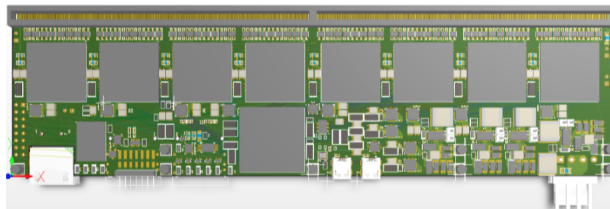
Οι βασικοί άξονες λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρονικών που βρίσκεται πάνω στους ανιχνευτές, τα Front-End Electronics (FE) [32], είναι η γρήγορη συλλογή δεδομένων του συστήματος σκανδαλισμού, η ακριβής μέτρηση ενέργειας και χρόνου, και η διανομή των δεδομένων αυτών στο σύστημα ηλεκτρονικών που παρεμβάλλεται μεταξύ του ανιχνευτή και του κέντρου υπολογιστών του CERN, τα Back-End Electronics. Επιπλέον θα πρέπει να λαμβάνουν εντολές για αλλαγές του τρόπου λειτουργίας τους από το κέντρο ελέγχου του ATLAS και να στέλνουν πίσω δεδομένα για εξωτερικούς παράγοντες. Τα ηλεκτρονικά αυτά, ενώ θα πρέπει να αντεπεξέλθουν στις αντίξοες συνθήκες της ακτινοβόλησης, πρωταρχικός τους σκοπός είναι να υπολογίζουν με γρήγορο και ακριβή

τρόπο το σκανδαλισμό και να ανακατασκευάζουν την τροχιά των σωματιδίων.

Το σύστημα των front-ent boards ηλεκτρονικών του NSW, απαρτίζεται από τις παρακάτω τρεις ηλεκτρονικές πλακέτες (Printed Circuit Boards, PCB):

MicroMeGas Front-Ent Board (MMFE)

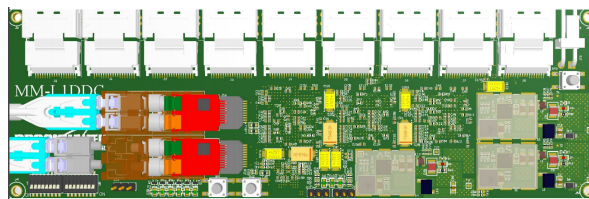
Η ηλεκτρονική αυτή πλακέτα [32] θα βρίσκεται πάνω στους ανιχνευτές MicroMeGas και πρωταρχικός της στόχος είναι η συλλογή των αρχικών σημάτων από τους αισθητήρες. Κάθε κάρτα MMFE περιλαμβάνει οκτώ ASIC [33] υπεύθυνα για το read-out, που ονομάζονται VMM [34]. Κάθε VMM ASIC έχει 64 κανάλια, όπου το καθένα αντιστοιχεί σε ένα strip του ανιχνευτή και συνολικά κάθε MMFE θα διαβάζει τα 512 readout-strips ενός MicroMeGas. Εκτός από το VMM στην πλακέτα αυτή υπάρχουν και άλλο ένα ASIC, το GBT-SCA (Slow Control Adapter) [35] και το Read-Out Controller (ROC) [36] υπεύθυνα για την διανομή των σημάτων monitoring/control από τα 8 VMM και των ψηφιακών δεδομένων σε μία e-link έξοδο. Μία σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας αποτυπώνεται στο Σχ. 2.11. Επιπλέον, τα πρωτότυπα των MMFE8 δεν θα διαθέτουν αυτά τα δύο βοηθητικά ASIC αλλά ένα FPGA [37] το οποίο θα υποκαθιστά τις λειτουργιών των δύο ASIC chip. Επιπλέον, οι κάρτες αυτές θα είναι εξοπλισμένες με εξωτερική προστασία εισόδου ενάντια στους σπινθήρες και διασφαλίζουν την είσοδο στα 8 VMM. Ευέλικτοι υψηλής συχνότητας σύνδεσμοι Zebra θα χρησιμοποιούνται για την σύνδεση των σημάτων από τους ανιχνευτές Micromegas με τα κανάλια των VMM.



Σχήμα 2.11: Σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας MMFE

Level-1 Data Driver Card (L1DDC)

Η κάρτα L1DDC [38] θα χρησιμεύει ως ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ των front-end πλακετών και του συστήματος Felix και έχει σχεδιαστεί για της ανάγκες αναβάθμισης του NSW από την ομάδα πειραματικής φυσικής υψηλών ενεργειών του EMIP. Το ROC chip από την MMFE συλλέγει τα δεδομένα από τα 8 VMM και τα στέλνει μέσω 80 Mb/s e-link σε ένα ASIC chip, το GBTx [35] που βρίσκεται πάνω στην L1DDC. Στην συνέχεια, το GigaBit Transceiver (GBTx) συμπύσσει τα δεδομένα σε ένα link οπτικής ίνας το οποίο καταλήγει στο σύστημα των back-end electronics και στο δίκτυο FELIX (Front End Link eXchange) [39]. Μία σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 2.12. Επίσης, μέσω της L1DDC και του GBTx αποστέλλονται στις MMFE8 τα δεδομένα TTC (Timing and Trigger Control), όπως για παράδειγμα τον χρονισμό (BC Clock) στα ASIC της MMFE8. Εκτός από αυτά τα δεδομένα, παρέχει και εντολές που αφορούν αλλαγές στην λειτουργικότητα των VMM ASIC.

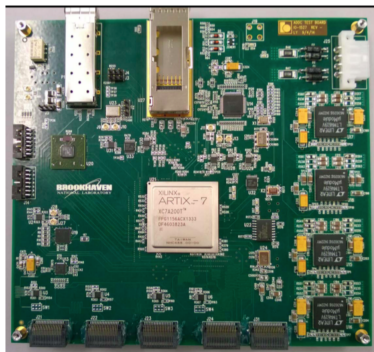


Σχήμα 2.12: Σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας L1DDC.

ART Data Driver Card (ADDC)

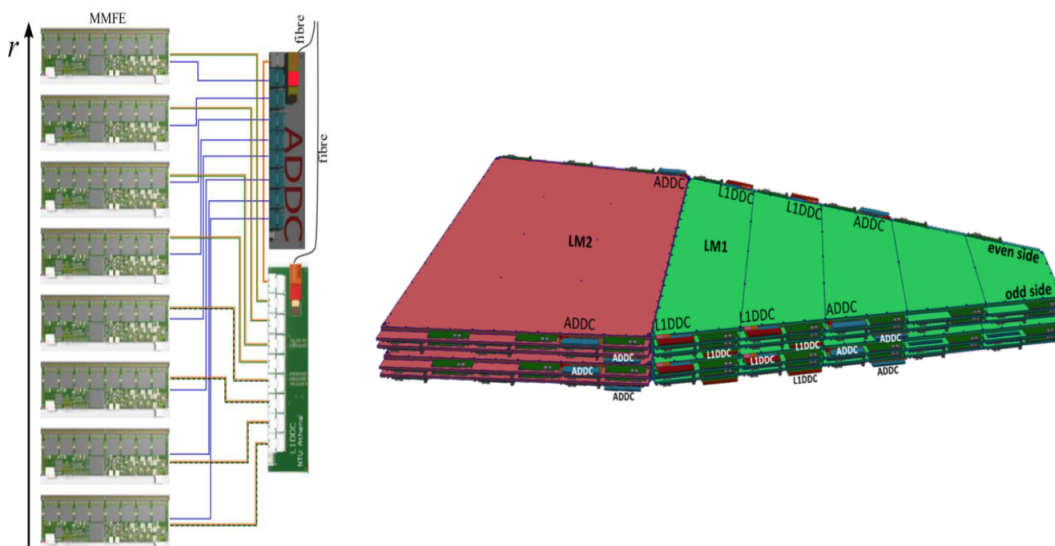
Η κάρτα ADDC [40] θα χρησιμοποιηθεί για τους ανιχνευτές Micromegas και θα δέχεται δεδομένα Address in Real Time (ART), τα πρώτα δεδομένα πάνω από το threshold από τις 8 MMFE. Δύο GBTx ASIC θα συλλέγουν τα δεδομένα ART και θα τα στέλνουν σε δύο βήματα μέσω ενός link οπτικής ίνας στα back-end electronics και συγκεκριμένα στο USA15 όπου και βρίσκεται ο κεντρικός επεξεργαστής του trigger. Για τους ανιχνευτές Micromegas, το πρωταρχικό σήμα trigger είναι το ART, το οποίο παράγεται από τα 64 κανάλια του VMM σε κάθε bunch crossing και αντιστοιχεί την 5-bit γεωγραφική διεύθυνση στην διεύθυνση του strip για κάθε γεγονός. Η πλακέτα αυτή επικοινωνεί με μία L1DDC, η οποία της στέλνει το configuration data από το κέντρο ελέγχου και της παρέχει σήματα χρονισμού. Μία σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας φαίνεται στο παρακάτω Σχ.2.13.

Τα front-end ηλεκτρονικά θα βρίσκονται εγκατεστημένα στα wedges των Micromegas αξονικά κατά μήκος των δύο πλευρών ώστε



Σχήμα 2.13: Σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας ADDC.

να αντισταθμίσει το φορτίο στις δύο πλευρές του ανιχνευτή καθώς και την τοποθέτηση των καλωδίων. Στο παρακάτω σχήμα Σχ.2.14 αποτυπώνεται η σχηματική αναπαράσταση της συνδεσμολογίας μεταξύ των front-end electronics του NSW(αριστερά) και η τοποθέτηση του κατά μήκος των wedges ενός Micromegas sector(δεξιά).



Σχήμα 2.14: Σχηματική αναπαράσταση της συνδεσμολογίας μεταξύ των front-end electronics του NSW (αριστερά) και η τοποθέτηση του κατά μήκος των wedges ενός Micromegas sector(δεξιά)

Η επικοινωνία μεταξύ των καρτών γίνεται σειριακά από 3 ζεύγη διαφορικών γραμμών που είναι το σήμα του ρολογιού (Clk+,Clk-), η μετάδοση των δεδομένων (Dout+,Dout-) και η λήψη των δεδομένων (Din+,Din-). Το σύνολο αυτών των ζευγών διαφορικών σημάτων ονομάζονται e-link, ακολουθούν το LVDS πρότυπο και μπορούν να προγραμματιστούν σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων (80, 160, 320 Mbps). Οι συνδέσεις μεταξύ της MMFE8 και της ADDC είναι ομοιόμορφες κατά μήκος της ακτινική κατεύθυνσης του ανιχνευτή με ρυθμό 160 MHz. Η L1DDC κάρτα υλοποιεί e-link συνδέσεις διαμόρφωσης, όπου βρίσκονται κατά μήκος της ακτινικής κατεύθυνσης με ρυθμό μετάδοσης τα 80/, Mbps, ενώ τα readout e-links με ρυθμό ροής 160 Mbps για τις τέσσερις εξωτερικές MMFE και 320 Mbps για τις εσωτερικές τέσσερις στον αριθμό. Αυτό οφείλεται στον υψηλότερο ρυθμό σωματιδίων που απαιτεί μεγαλύτερο bandwidth στην εσωτερική ακτίνα του ανιχνευτή.

2.6 VMM ASIC

Το VMM [34][41] είναι ένα front-end readout ASIC όπου σχεδιάστηκε από το Brookhaven National Laboratory (BNL) για τις ανάγκες της αναβάθμισης του New Small Wheel του πειράματος ATLAS στο CERN. Κατασκευάζεται με την διαδικασία των 180 nm Global Foundries 8RF-DM και με διαστάσεις $13.5 \times 8.4 \text{ mm}^2$ περιέχει περίπου πέντε εκατομμύρια τρανζίστορ με τεχνολογία CMOS. Κάθε ένα από τα 64 κανάλια του είναι συνδεδεμένο με ένα read-out strip και υλοποιεί έναν ενισχυτή φορτίου (charge amplifier), έναν ενισχυτή διαμόρφωσης shaping amplifier, έναν διευκρινιστή discriminator με κατώτερο κατώφλι και εντοπισμό κορυφής και έναν Timing to Amplitude Converter (TAC). Τα αναλογικά σήματα που παράγονται από αυτά τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα, ψηφιοποιούνται από 3 Analog-to-Digital Converters (ADC), με εξόδους 6, 8 και 10 bit. Στην συνέχεια, τα ψηφιακά δεδομένα που προκύπτουν, αποθηκεύονται σε μία FIFO η οποία αποστέλλει τα δεδομένα στο ROC ASIC της MMFE8. Το VMM3 θα παρασκευάζεται

και τα ψηφιοποιήσουν. Η μέτρηση του χρόνου γίνεται από τον 8-bit ADC μέσω της εξόδου του TAC, η μέτρηση της ενέργειας από τον 10-bit ADC που λαμβάνει το σήμα που φέρει την πληροφορία του μέγιστου ύψους του παλμού από τον peak detector, και τέλος ο 6-bit ADC μετατρέπει και αυτός το σήμα του peak detector αλλά με λιγότερη ακρίβεια. Η επιλογή του ADC για την κατασκευή του πακέτου εξαρτάται από τις ανάγκες του χρήστη.

Ανιχνευτής MicroMeGas

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία λεπτομερής περιγραφή των αρχών λειτουργίας του ανιχνευτή Micromegas. Ο ανιχνευτής αερίου Micromegas αποτελεί τον θεμέλιο λίθο της αναβάθμισης του Small Wheel του πειράματος ATLAS που ως σκοπό θα έχει την ανακατασκευή της τροχιάς των σωματιδίων που τον διαπερνούν κατά την σύγκρουση τους στο IP. Θα αναλυθεί η αρχή λειτουργίας και παραγωγής σήματος στον ανιχνευτή με την διέλευση ενός φορτισμένου σωματίου, καθώς και θα γίνει εκτενής αναφορά στην έρευνα για την βελτίωση της τεχνολογίας του ανιχνευτή Micromegas έως τελικά τον τύπο του ανιχνευτή που θα χρησιμοποιηθεί για το NSW. Τα περισσότερα θέματα που αναλύονται παρακάτω αποτελούν αναφορά στα βιβλία [43] [44] [45] .

3.1 Αλληλεπίδραση φορτισμένων σωματιδίων με την ύλη

Ο τρόπος λειτουργίας των ανιχνευτών στον τομέα της Πειραματικής Φυσικής Υψηλών Ενεργειών βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο η ακτινοβολία και τα διάφορα σωματίδια αλληλεπιδρούν με την ύλη του ανιχνευτή. Η αλληλεπίδραση του σωματιδίου εξαρτάται κυρίως στα χαρακτηριστικά του σκεδαζόμενου σωματιδίου και δευτερευόντως στο ενεργό υλικό του ανιχνευτή. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς μέσω των οποίων η ακτινοβολία αλληλεπιδρά και χάνει της ενέργεια της στην ύλη. Η αλληλεπίδραση των φορτισμένων σωματιδίων με την ύλη κυβερνάται από ηλεκτρομαγνητικές αντιδράσεις. Καθώς ένα φορτισμένο σωματίδιο εισέρχεται σε ένα απορροφούμενο μέσο, αλληλεπιδρά με δυνάμεις Coulomb ταυτόχρονα με όσα ηλεκτρόνια βρίσκονται στην περιοχή τροχιάς του σωματιδίου. Ανάλογα την ενέργεια του σωματιδίου και την απόσταση του σωματιδίου-ηλεκτρονίου μπορεί να προωθηθεί σε μία υψηλότερη ενεργειακή στοιβάδα (διέγερση) ή να απελευθερωθεί πλήρως από την δύναμη δέσμης του ατόμου (ιονισμός). Κατά την διάρκεια κάθε αλληλεπίδρασης, το σωματίδιο χάνει ένα μικρό ποσοστό της αρχικής του ενέργειας, και ύστερα από πολλαπλές σκεδάσεις το σωματίδιο τελικά σταματάει. Ο αριθμός των συγκρούσεων ιονισμού είναι τυχαίος και η μέση ελεύθερη διαδρομή μεταξύ δύο ιονισμών λ , δίνεται από την παρακάτω Εξ. (3.1):

$$\lambda = \frac{1}{N\sigma_I} \quad (3.1)$$

όπου, σ_I η ενεργός διατομή του ιονισμού για κάθε ηλεκτρόνιο και N η ηλεκτρονική πυκνότητα. Ο αριθμός των πρωταρχικών ζευγών ιόντων ανά μονάδα μήκους θα ισούται με $1/\lambda$ και εξαρτάται από τον τύπο του φορτισμένου σωματιδίου, την ταχύτητα καθώς και το μείγμα αερίου. Η πιθανότητα για κ αριθμό αντιδράσεων ιονισμού για μία απόσταση L ακολουθεί την κατανομή Poisson, όπως αποτυπώνεται στην Εξ. (3.2):

$$P(L/\lambda, \kappa) = \frac{(L/\lambda)^\kappa}{\kappa!} e^{-(L/\lambda)} \quad (3.2)$$

Η γραμμική ανασχετική ισχύς για φορτισμένα σωματίδια σε έναν απορροφητή ορίζεται ως απειροστή απώλεια ενέργειας προς το απειροστό διάστημα που διανύει μέσα στο υλικό σύμφωνα με την παρακάτω Εξ. (3.3)

$$S = -\frac{dE}{dx} \quad (3.3)$$

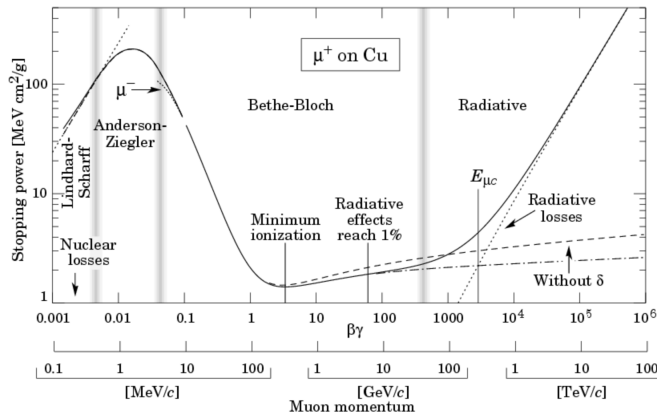
Η απώλεια ενέργειας του φορτισμένου σωματιδίου, μετρούμενη σε g/cm^2 σε ένα μέσο περιγράφεται από την κλασσική εξίσωση Bethe-Bloche, Εξ. (3.1)

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right) = Kz^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \gamma^2 \beta^2 T_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta)}{2} \right) \quad (3.4)$$

Οι σταθερές αυτής της εξίσωσης είναι, $\beta = u/c$ η σχετικιστική ταχύτητα του σωματιδίου, I η μέση ενέργεια διέγερσης, $K = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2$, $\gamma = E/Mc^2$, z το φορτίο του προσπίπτον σωματιδίου, Z και A ο ατομικός αριθμός και μάζα του απορροφητή, m_e η μάζα του ηλεκτρονίου, r_e η ακτίνα του ηλεκτρονίου, N_A ο αριθμός Avogadro, $\delta(\beta)$ ο όρος του φαινομένου πυκνότητας και T_{max} η μέγιστη κινητική ενέργεια που μπορεί να μεταδοθεί σε ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο σε μία σύγκρουση.

Από την παραπάνω εξίσωση 3.1, είναι εύκολα αντιληπτό ότι η απώλεια ενέργειας μειώνεται δραστικά με το κλάσμα $1/\beta^2$ για μικρές τιμές του $\beta\gamma$ καταλήγοντας σε μία ολική ελάχιστη τιμή. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να εξηγηθεί αν σκεφτούμε ότι το σωματίδιο

παραμένει περισσότερη ώρα στην εμβέλεια ενός ηλεκτρονίου αν έχει μικρή ταχύτητα και κατά συνέπεια η μεταφορά ενέργειας στο ηλεκτρόνιο είναι σημαντική. Τα περισσότερα σχετικιστικά σωματίδια έχουν μέσω απώλεια ενέργειας στην περιοχή αυτή και συνήθως αποκαλούνται ως σωματίδια ελάχιστης ιονιστικής ικανότητας (MIPs). Τα απώλεια ιοντισμού των MIPs, για όλα τα υλικά, κυμαίνεται στην περιοχή μεταξύ 1 και 2MeV/(g/cm²) ελαφρώς αυξανόμενη με το ατομικό αριθμό Z. Ωστόσο, όταν η τιμή του γινομένου βγ ξεπεράσει μία περιοχή τότε η ενεργειακή απώλεια υπόκειται σε σχετικιστική αύξηση με την κλίση να εξαρτάται από την μέση ενέργεια διέγερσης I, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχ. 3.1



Σχήμα 3.1: Εξίσωση Bethe-Bloch για την περιγραφή της απώλεια ενέργειας των φορτισμένων σωματιδίων σε ενεργό υλικό.

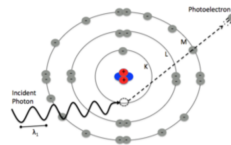
Επιπλέον, παρατηρείται ότι η εξίσωση Bethe-Bloch αποκλίνει για χαμηλές ενέργειες φορτισμένων σωματιδίων όπου η διαδικασία ανταλλαγής φορτίου ανάμεσα στο σωματίδιο και τον απορροφητή γίνεται σημαντική. Τα θετικά φορτισμένα σωματίδια θα αρχίσουν να προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια από τον απορροφητή, ελαττώνοντας έτσι το φορτίο και κατά συνέπεια την ανασχετική ισχύ. Η περίπτωση των ηλεκτρονίων είναι διαφορετική, καθώς συγκρίνονται με τα φορτισμένα σωματίδια καθώς σε αντίθεση με τον ιονισμό τα ηλεκτρόνια αλληλεπιδρούν κυρίως μέσω ακτινοβολίας Bremsstrahlung. Ο μέσος ρυθμός απώλεια ενέργειας των ηλεκτρονίων είναι μικρότερος σε σχέση με τα φορτισμένα σωματίδια καθώς αλλάζουν τροχιές μέσα στο μέσο του ανιχνευτή λόγω του γεγονότος ότι η μάζα του προσπίπτοντος σωματιδίου είναι ίση με αυτή των τροχιακών ηλεκτρονίων με τα οποία αλληλεπιδρά. Επιπλέον, υπάρχει η πιθανότητα το ηλεκτρόνιο να αλληλεπιδράσει με τους πυρήνες του υλικού που διασχίζει. Τα φωτόνια ή διαφορετικά ακτινοβολία γ, αλληλεπιδρούν με την ύλη αλλά μόνο με τρεις διαδικασίες αλληλεπίδρασης:

Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

Στο συγκεκριμένο φαινόμενο, ένα φωτόνιο αλληλεπιδρώντας με ένα άτομο του απορροφητή εξαφανίζεται και στην θέση του εξάγεται ένα φωτοηλεκτρόνιο από την εξωτερική στοιβάδα με κινητική ενέργεια:

$$E_{e^-} = hv - E_b \tag{3.5}$$

όπου E_b ισούται με την ενέργεια σύνδεσης του φωτοηλεκτρονίου στον αρχικό φλοιό. Το ιόν γεμίζει με την απορρόφηση ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου ή από την επανατοποθέτηση των ατομικών ηλεκτρονίων και της εκπομπής ενός ακτίνας-χ φωτονίου όπου είναι πιο πιθανόν να επαναπορροφηθεί πολύ κοντά στην περιοχή δημιουργίας του.

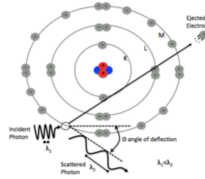


Σχήμα 3.2: Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο.

Σκέδαση Compton

Κατά την σκέδαση Compton, ανελαστική σκέδαση ενός ηλεκτρονίου από ένα φωτόνιο μέσα στο υλικό του απορροφητή καταλήγει στην μεταφορά ενέργειας στο ηλεκτρόνιο και σχετίζεται με την γωνία σκέδασης του ηλεκτρονίου. Επειδή η γωνία σκέδασης είναι εφικτή για οποιαδήποτε τιμή, η ενέργεια του σκεδαζόμενου ηλεκτρονίου παρουσιάζει ευρύ φάσμα τιμών. Η συνάρτηση της μεταφερούμενης ενέργειας με την γωνία σκέδασης για κάθε αλληλεπίδραση Coulomb μπορεί να υπολογιστεί από τους νόμους διατήρησης και ενέργειας και έχει την παρακάτω μορφή:

$$hv' = \frac{hv}{1 + \frac{hv}{m_0c^2}} (1 - \cos \theta) \tag{3.6}$$

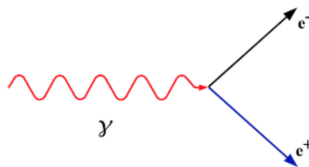


Σχήμα 3.3: Σκέδαση Compton.

όπου, m_0c^2 είναι η ενέργεια ηρεμίας του ηλεκτρονίου. Φαίνεται καθαρά ότι για μικρές σκεδάσεις, μικρό μέρος της ενέργειας του φωτονίου μεταφέρεται στο ηλεκτρόνιο.

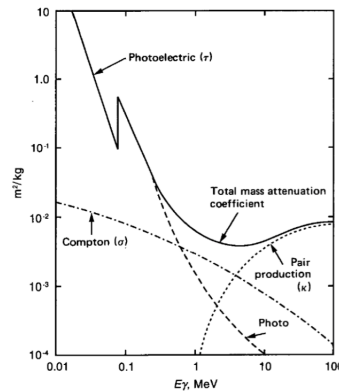
Δίδυμη Γένεση

Στην περίπτωση όπου η ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο της μάζας ηρεμίας του ηλεκτρονίου (1.02 MeV), η διαδικασία της δίδυμης γέννησης λαμβάνει χώρα όπου το φωτόνιο εξαυλώνεται και αντικαθίσταται από ένα ζευγάρι ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου. Όλη η εναπομένουσα ενέργεια μοιράζεται σαν κινητική ενέργεια των δύο παραγόμενων σωματιδίων. Στο



Σχήμα 3.4: Δίδυμη Γέννηση.

παρακάτω Σχ. 3.5 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της ενεργού διατομής των διαφορετικών φαινομένων αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας-γ με την ύλη. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η κυρίαρχη μορφή αλληλεπίδρασης με την ακτινοβολία-γ για



Σχήμα 3.5: Ενεργός διατομή φαινομένων ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης φωτονίων με την ύλη.

χαμηλές τιμές ενέργειας του ενός MeV.

3.2 Διέγερση και Ιονισμός σε αέρια

Η ανίχνευση των φορτισμένων σωματιδίων επιτυγχάνεται σε πολλούς τομείς της πειραματικής φυσικής υψηλών ενεργειών με την χρήση ανιχνευτών σωματιδίων και την εμφάνιση των φαινομένων της διέγερσης και του ιονισμού, καθώς το φορτισμένο διανύει το μέσον του ανιχνευτή.

Διέγερση

Στην περίπτωση της διέγερσης, ένα ατομικό ηλεκτρόνιο προσλαμβάνει ενέργεια και το άτομο οδηγείται σε ανώτερη ενεργειακή στοιβάδα. Κατά την επιστροφή του ατόμου στην σταθερή κατάσταση παράγεται ένα φωτόνιο, και τελικά υπάρχει η πιθανότητα του ιονισμού του αέριου μείγματος που αποτελείται συνήθως από ένα αέριο απόσβεσης με ενέργειας ιονισμού μικρότερη από την

ενέργεια της πρώτης διεγερμένης στάθμης του ευγενούς αερίου. Τα διεγερμένα άτομα ή μόρια του ευγενούς αερίου μπορούν να ιονίσουν τα άτομα του αποσβέστη μέσω κρούσεων που είναι γνωστό και ως φαινόμενο Penning.

Ιονισμός

Κατά την διαδικασία του ιονισμού, παράγεται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-ιόντος όταν η ενέργεια του σωματιδίου που διασχίζει το αέριο υπερβαίνει την ενέργεια ιονισμού των ατόμων του απορροφητή. Στα περισσότερα αέρια που χρησιμοποιούνται στις ανιχνευτικές διατάξεις, η ενέργεια ιονισμού για τα ελάχιστα δέσμια ηλεκτρόνια είναι μεταξύ 15 – 25eV. Ο ιονισμός του μέσου μπορεί να είναι είτε πρωτογενής είτε δευτερογενής (δ-ηλεκτρόνια).

Κατά τον ιονισμό, μπορούμε να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση τον αριθμό των παραγόμενων ζευγών γνωρίζοντας την συνολική απώλεια ενέργειας του σωματιδίου ΔE και τη μέση απώλεια ενέργειας του εισερχομένου σωματιδίου ανά ζεύγος ιόντων που δημιουργείται από την παρακάτω σχέση:

$$n_T = \frac{\Delta E}{W_i} \quad (3.7)$$

Το πλήθος των ζευγών είναι η μέση τιμή του μεγέθους n_T και ακολουθεί την κατανομή Poisson.

3.3 Διάδοση παραγόμενων ιόντων και ηλεκτρονίων στο αέριο

Οι αρχές λειτουργίας των ανιχνευτών αερίου που θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο βασίζονται στο σχηματισμό ιόντων και ηλεκτρονίων κατά την αλληλεπίδραση του σωματιδίου με το αέριο του ανιχνευτή μέχρι να φτάσει την περιοχή ανάγνωσης. Η θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων και ιόντων με την ολίσθηση και αλληλεπίδραση με τα άτομα/μόρια κάτω από την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου θα αναλυθούν παρακάτω. Αν δεν εφαρμόζεται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο τα ζεύγη ιόντων-ηλεκτρονίων μπορούν να επανασυνδεθούν, να συμμετέχουν σε συγκρούσεις μεταφοράς φορτίου ή να χάσουν μεγάλο μέρος της ενέργειας τους λόγω του φαινομένου της διάχυσης.

3.3.1 Κίνηση Ιόντων

Λόγω της μεγάλης τους μάζας, σε σύγκριση με τα ηλεκτρόνια, τα ιόντα ολισθαίνουν πιο αργά μέσα σε αέριο μέσο χάνοντας σημαντικό ποσοστό της ενέργειας τους καθώς αλληλεπιδρούν με τα άτομα/μόρια του αερίου μέσου.

Ταχύτητα ολίσθησης

Με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου στο αέριο όγκο ένα μέρος των θετικών ιόντων κινούνται κατά μήκος του πεδίου της καθόδου. Στην περίπτωση των ανιχνευτών αερίου, η μέση κινητική ενέργεια των ιόντων είναι συγκρίσιμη με την θερμική ταχύτητα των ατόμων του αερίου. Όταν το ιόν μάζας m , αλληλεπιδρά με τα μόρια του αερίου μάζας M , η σταθερά f εκφράζει την απώλεια ενέργειας του ιόντος και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f = \frac{2mM}{\sqrt{(m+M)^2}} \quad (3.8)$$

Η μέση ταχύτητα ολίσθησης της κίνησης των ιόντων εξαρτάται γραμμικά από το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$u_d^{ion} \simeq \left(\frac{1}{m+M}\right)^{1/2} \left(\frac{1}{3kT}\right)^{1/2} \left(\frac{1}{m+M}\right)^{eE/N\sigma} = \mu E \quad (3.9)$$

όπου μ είναι η κινητικότητα του ιόντος μέσα στο αέριο και σ η ενεργός διατομή της σκέδασης των ιόντων από μόρια του αερίου, k η σταθερά Boltzmann, T η θερμοκρασία και N η πυκνότητα.

Η τιμή της κινητικότητας του αερίου είναι χαρακτηριστικό ενός συγκεκριμένου ιόντος σε ένα αέριο μέσο στην περίπτωση σταθερών συνθηκών περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Στο παρακάτω πίνακα Σχ. 3.6 αποτυπώνεται η κινητικότητα των διάφορων ιόντων για διαφορετικό αέριο μέσο του ανιχνευτή.

Gas	Ion	Mobility ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)
Ar	Ar ⁺	1.535
Ar	CO ₂ ⁺	1.72
CO ₂	CO ₂ ⁺	1.09
Xe	Xe ⁺	0.57
CH ₄	CH ₄ ⁺	2.26
Ar	CH ₄ ⁺	1.87

Σχήμα 3.6: Πειραματικές τιμές την κινητικότητας των ιόντων για διάφορα αέρια μέσα σε ανιχνευτές αερίου.

Διάχυση

Στην παρουσία ενός ηλεκτρικού πεδίου, μία συγκεντρωμένη κατανομή από ιόντα θερμικά διαχύνονται συμμετρικά μέσω πολλαπλών σκεδάσεων με το υλικό του μέσου. Η κατανομή τους στο χώρο ακολουθεί μία Gaussian μορφή, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{dN}{N}(x, t) = \left(\frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \right) \exp \left(-\frac{x^2}{2(\sqrt{2Dt})^2} \right) dx \quad (3.10)$$

Η τυπική απόκλιση της παραπάνω εξίσωσης δίνει μία εκτίμηση της απόδοσης της διάχυσης των ιόντων ίση με $\sigma_x^{ion} = \sqrt{2Dt}$ για καρτεσιανές συντεταγμένες. Με την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου, τα ιόντα κινούνται κατά μήκος του πεδίου με μέση ταχύτητα διάχυσης u_d . Σε αυτήν την περίπτωση η σταθερά διάχυσης D , σχετίζεται με την κινητικότητα των ιόντων m σύμφωνα με την παρακάτω σχέση Einstein:

$$\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{e} \quad (3.11)$$

Με την αντικατάσταση της σταθεράς διάχυσης από την παραπάνω σχέση, η γραμμική τυπική απόκλιση για απόσταση x θα ισούται με:

$$\sigma_x^{ion} = \sqrt{\frac{2kTx}{eE}} \quad (3.12)$$

3.3.2 Κίνηση Ηλεκτρονίων

Στην περίπτωση των ηλεκτρονίων, η κατάσταση είναι πολύ διαφορετική, λόγω της μικρότερης μάζας σε σχέση με τα ιόντα, τα ηλεκτρόνια μεταφέρουν μόνο ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας τους στα γειτονικά άτομα και μόρια του αέρα κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης με αυτά.

Ταχύτητα ολίσθησης

Στην περίπτωση της μη παρουσίας ηλεκτρικού πεδίου, ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο σε ένα αέριο μέσο έχει θερμική κινητική ενέργεια ίση με $3/2k_B T$. Στην περίπτωση ύπαρξης ηλεκτρικού πεδίου, το ηλεκτρόνιο ξεκινά να συγκρούεται με τα μόρια του αερίου μέσου και αν η μέση ελεύθερη διαδρομή μεταξύ δύο συγκρούσεων είναι Δt τότε η ταχύτητα ολίσθησης μπορεί να εκφραστεί με την σχέση Townsend, η οποία είναι:

$$u_d^e = k \frac{eE}{m} \tau \quad (3.13)$$

όπου τ είναι η μέση ελεύθερη διαδρομή μεταξύ δύο συγκρούσεων και k σταθερά, με τιμές μεταξύ 0.75 και 1, εξαρτώμενη από την ενεργειακή κατανομή των ηλεκτρονίων. Ωστόσο, η συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας ολίσθησης και του ηλεκτρικού πεδίου είναι περισσότερο περίπλοκη από την στιγμή που η σταθερά τ δεν επηρεάζεται μόνο από το ηλεκτρικό πεδίο αλλά και από τις παραμέτρους του αέριο μέσου του ανιχνευτή.

Η εξίσωση της κίνησης για ένα ηλεκτρόνιο με μάζα m καθώς κινείται στο εσωτερικό ενός αερίου κάτω από την επίδραση ενός μαγνητικού πεδίου B και ηλεκτρικού πεδίου E έχει βελτιστοποιηθεί από τον Langevin με την προσθήκη ενός επιπλέον όρου που σχετίζεται με την δύναμη τριβής. Η σχέση αυτή λαμβάνει υπόψη την επιβράδυνση των ηλεκτρονίων τα οποία προέρχονται από τις αλληλεπιδράσεις με τα άτομα ή μόρια του αερίου και είναι η παρακάτω:

$$m \frac{dv_d^e}{dt} = e(\mathbf{E} + v_d^e \times \mathbf{B}) - \frac{m}{\tau} v_d^e \quad (3.14)$$

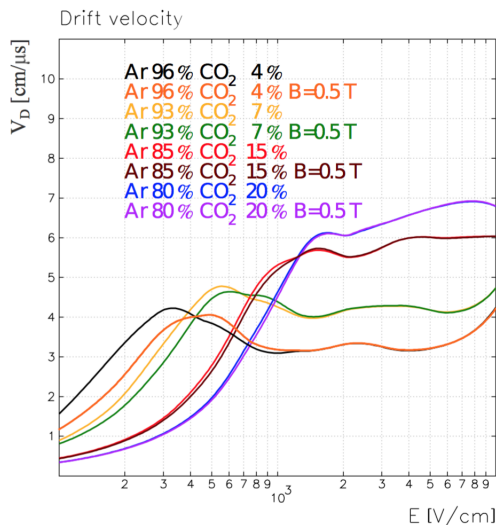
όπου $-\frac{m}{\tau} v_d^e$ αποτελεί την δύναμη τριβής και τ , η μέση χρονική διάρκεια μεταξύ δύο αλληλεπιδράσεων. Θεωρώντας ότι ένα ηλεκτρόνιο ολισθαίνει κάτω από σταθερή ταχύτητα σε ένα ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο, η ταχύτητα ολίσθησης για την περίπτωση ενός μηδενικού μαγνητικού πεδίου απλοποιείται από την παρακάτω εξίσωση:

$$|v_d^e| = \frac{eE}{m} \tau \quad (3.15)$$

Τέλος, στο παρακάτω Σχ. 3.8 αποτυπώνεται η εξάρτηση της ταχύτητας ολίσθησης των ηλεκτρονίων για διαφορετικά αέρια μείγματα και τιμές μαγνητικού πεδίου.

Διάχυση

Τα ηλεκτρόνια ιονισμού φτάνουν γρήγορα σε θερμική ισορροπία με τα μόρια αερίου στην απουσία ηλεκτρικού πεδίου αλλά λόγω της μικρότερης τους μάζας τα ηλεκτρόνια διαχέονται με μεγαλύτερη σταθερά διάχυσης σε σχέση με τα ιόντα. Με τη ύπαρξη ηλεκτρικού πεδίου, η κινητικότητα των ηλεκτρονίων διαφέρει σημαντικά με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου καθώς η κινητική τους ενέργεια μπορεί να αυξηθεί σημαντικά μεταξύ σύγκρουσης με τα άτομα/μόρια του αερίου και η τυπική απόκλιση σ_x^e αρχίζει να αποκλίνει από την τιμή $1/\sqrt{E}$ όπου έχει παρατηρηθεί στα ιόντα. Η έκταση της χρήσης εξαρτάται από το αέριο καθώς και από το



Σχήμα 3.7: Η ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων για διαφορετικά αέρια μείγματα και τιμές μαγνητικού πεδίου.

ηλεκτρικό πεδίο, όπου η Εξ. 3.16 περιγράφει αυτήν την εξάρτηση όπου για την περίπτωση των ηλεκτρονίων έχουμε αντικαταστήσει τον όρο της θερμικής ενέργειας με έναν εμπειρικό παράγοντα ϵ_k , γνωστό ως χαρακτηριστική ενέργειας.

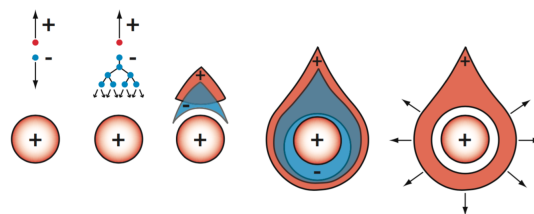
$$\frac{D}{\mu} = \frac{\epsilon_k}{e} \tag{3.16}$$

Ο γραμμικός χώρος της διάχυσης για την περίπτωση των ηλεκτρονίων σε υψηλό ηλεκτρικό πεδίο θα γραφτεί στην μορφή της Εξ.3.17 όπου k εξαρτάται από το αέριο και το ηλεκτρικό πεδίο. Σε αντίθεση, με την κλασσική εκτίμηση παρατηρήθηκε ότι για αρκετά αέρια ο συντελεστής διάχυσης δεν είναι ομοιόμορφος σε όλες τις κατευθύνσεις του ηλεκτρικού πεδίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν δύο συντελεστές διακύμανσης, ένας κατά μήκος της κατεύθυνσης μετατόπισης και ένας κατά μήκος της κατεύθυνσης εγκάρσιας προς αυτήν.

$$\sigma_x^e = \sqrt{\frac{2\epsilon_k x}{eE}} \tag{3.17}$$

3.3.3 Χιονοστιβάδα Townsend και παραγωγή σήματος

Υπό την επίδραση ισχυρής ηλεκτρικής δύναμης, τα ηλεκτρόνια ιονισμού μπορούν να αποκτήσουν επαρκή κινητική ενέργεια για τον περαιτέρω ιονισμό ουδέτερων μορίων αερίου με αποτέλεσμα την παραγωγή δευτερογενών ιονισμών. Τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια υπόκεινται επίσης στην ίδια διαδικασία και ιονισμοί υψηλότερης τάξης με την διαδικασία πολλαπλασιασμού παράγονται ώπου τελικά λαμβάνει την μορφή χιονοστιβάδας, γνωστό ως φαινόμενο Townsend. Λόγω της μάζας των ηλεκτρονίων έναντι στα ιόντα, τα ηλεκτρόνια μετακινούνται ταχύτερα σε σύγκριση με τα ιόντα σχηματίζοντας μία μορφή σταγόνας, όπου τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν την κεφαλή της σταγόνας με μία αργή ουρά ιόντων όπως αποτυπώνεται και στο Σχ. .



Σχήμα 3.8: Το φαινόμενο Townsend και ο σχηματισμός μορφής σταγόνας κατά την κίνηση των ιόντων και ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του ανιχνευτή με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου.

Ο αριθμός των δευτερευόντων ζευγών ιόντων που παράγονται ανά μονάδα μήκους της ολίσθησης είναι ισοδύναμος με έναν πολλαπλασιαστικό παράγοντα, ο οποίος καλείται πρώτος παράγοντας Townsend $\alpha = 1/\lambda$, όπου λ είναι η μέση ελεύθερη διαδρομή του ηλεκτρονίου ιονισμού. Στην πραγματικότητα ωστόσο, το ηλεκτρικό πεδίο δεν είναι ομοιόμορφο, αλλά έχει την μορφή $\alpha = \alpha(x)$. Ένας αρχικός πληθυσμός των ηλεκτρονίων n_e θα πολλαπλασιαστούν μετά από διαδρομή απόστασης dx μέσα σε dn_e ηλεκτρόνια και ο πολλαπλασιασμένος αριθμός ηλεκτρονίων για μία δεδομένη διαδρομή $x_1 \rightarrow x_2$ δίνεται από την Εξ.3.18, όπου n_0 ο αριθμός των ηλεκτρονίων στην θέση $x = 0$ και n ο συνολικός αριθμός των δευτερογενών ηλεκτρονίων-ιόντων που παράγονται κατά μήκος του όγκου του ανιχνευτή. Ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας δίνεται τότε από τον λόγο μεταξύ του τελικού και αρχικού ηλεκτρονιακού

πληθυσμού, $G = n/n_0$.

$$dn_e = n_e \alpha dx \rightarrow n_e = n_{e,0} \exp\left(\int_{x_1}^{x_2} \alpha(x) dx\right) \quad (3.18)$$

Οι παραπάνω εκφράσεις περιγράφουν την μέση ανάπτυξη χιονοστιβάδων, στην πραγματικότητα όμως οι αλληλεπιδράσεις ηλεκτρονίων-ατόμων κυριαρχούνται από στατιστικές διακυμάνσεις και ως εκ τούτου το μέγεθος της χιονοστιβάδας πρέπει να ακολουθεί μία κατανομή πιθανότητας. Ανάλογα με τον συντελεστή Townsend και το ηλεκτρικό πεδίο, η πιθανότητα να έχουμε n ηλεκτρόνια μετά από μία διαδρομή x για μία χιονοστιβάδα που ξεκινάει από ένα ηλεκτρόνιο εκφράζεται από τον νόμο Furry στην Εξ.3.19, όπου η πιθανότητα μειώνεται εκθετικά για την αύξηση του n με μέγιστο το $n = 1$. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πειραματικά ότι τα ηλεκτρόνια, υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου χρησιμοποιούν ένα σημαντικό μέρος της διαδρομής τους για να φθάσουν στην ενέργεια που μπορεί να παράγουν ιονισμούς και έτσι το εκθετικό της εξίσωσης εξελίσσεται σε κατακόρυφη κατανομή γνωστή και ως Polya.

$$P(n, x) = \frac{\exp(-n/\bar{n})}{\bar{n}}, \quad \bar{n} = \exp(-\alpha x) \quad (3.19)$$

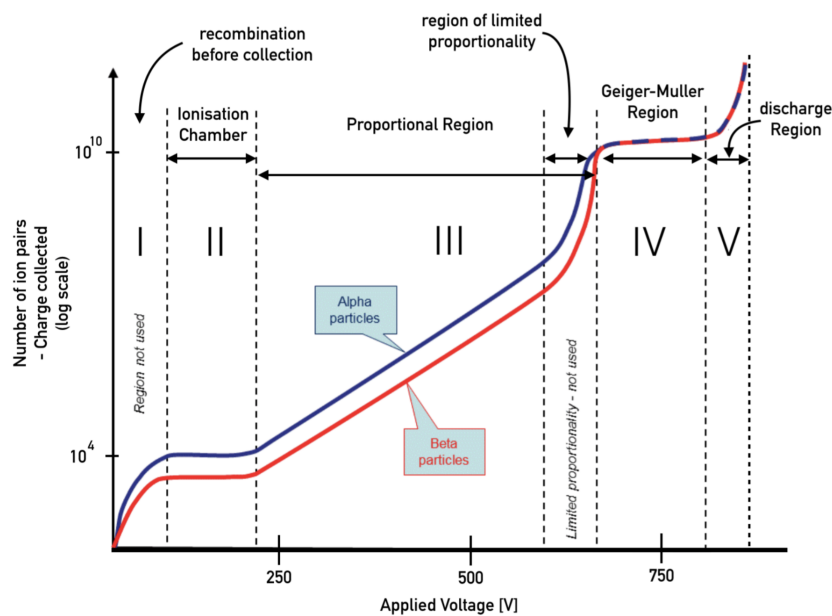
Η κίνηση των προϊόντων της χιονοστιβάδας δημιουργεί ηλεκτρικά σήματα στα ηλεκτρόδια του ανιχνευτή. Τα ηλεκτρόνια και τα θετικά ιόντα μετακινούνται προς αντίθετες κατευθύνσεις με διαφορετικές ταχύτητες και ως εκ τούτου προκαλούν σήματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ανάλογα με την διαμόρφωση του ανιχνευτή και του ηλεκτρικού πεδίου, τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια φτάνουν στην άνοδο μέσα σε λίγα nanoseconds με αποτέλεσμα την δημιουργία πολύ γρήγορων παλμών σήματος. Από την άλλη πλευρά, τα θετικά ιόντα μετακινούνται με ταχύτητα εκατοντάδες φορές μικρότερη σε σχέση με τα ηλεκτρόνια και το προκύπτον σήμα έχει μακρά ουρά με διάρκεια αρκετών εκατοντάδων nanoseconds. Θεωρητικά, η κίνηση ενός ηλεκτρονίου/ιόντος προκαλεί σήματα σε όλα τα στοιχεία ηλεκτροδίων με τα χαρακτηριστικά σήματος ανάλογα με τις γραμμές ηλεκτρικού πεδίου και την σχετική θέση του κινούμενου φορτίου σε σχέση με το στοιχείο ηλεκτροδίου. Σε ένα απλοποιημένο σχέδιο με σημειακό φορτίο κινούμενο κατά μήκος των γειωμένων ηλεκτροδίων, το επαγόμενο ρεύμα σε κάθε ηλεκτρόδιο θα δίνεται από το θεώρημα Schockley-Ramo:

$$I_n(t) = -\frac{q}{V_w} \mathbf{E}_n[\mathbf{x}(t)] \cdot \mathbf{u}(t) \quad (3.20)$$

όπου $\mathbf{E}_n[\mathbf{x}(t)] = -\nabla\psi_n[\mathbf{x}(t)]$ είναι το πεδίο, $\psi_n[\mathbf{x}(t)]$ το δυναμικό του ηλεκτροδίου n και $\mathbf{u}(t)$ η ταχύτητα ολίσθησης του σημειακού σωματιδίου.

3.4 Ανιχνευτές Αερίου

Οι ανιχνευτές αερίου έχουν χρησιμοποιηθεί και λειτουργούν σε διάφορες εφαρμογές και πειράματα με πολύ επιτυχημένα αποτελέσματα από τον περασμένο αιώνα. Παρά την μεγάλη πολυπλοκότητα, βασίζονται στην αρχή του ιονισμού, όπου το εισερχόμενο σωματίδιο αλληλεπιδρά με τα μόρια του αερίου του ανιχνευτή απελευθερώνοντας ζεύγη ηλεκτρονίων-ιόντων όπου πολλαπλασιάζονται με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου και τελικά μετατρέπονται σε ένα ικανά μετρήσιμο σήμα. Οι διαφορές μεταξύ τους διάφορους τύπους ανιχνευτών αερίων με βάση στο τάση που εφαρμόζεται αποτυπώνονται στο Σχ. 3.9.



Σχήμα 3.9: Περιοχές λειτουργίας ανιχνευτών αερίου.

Στο παραπάνω Σχ.3.9 παρουσιάζονται οι διαφορετικές περιοχές τάσης στις οποίες λειτουργούν τα είδη των ανιχνευτών αερίου. Σε

πολύ χαμηλές τιμές της τάσης το πεδίο δεν είναι ικανό να αποτρέψει φαινόμενα επανασύνδεσης και το φορτίο που τελικά συλλέγεται είναι πολύ μικρότερο από το φορτίο του πρωτογενούς ιονισμού (Περιοχή I). Η πιθανότητα για ένα ηλεκτρόνιο να διαφύγει των φαινομένων επανασύνδεσης και σύλληψης αυξάνεται με την τάση που εφαρμόζεται στον ανιχνευτή. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων αυξάνεται με την αύξηση της τάσης μέχρι μία οριακή τιμή που επιτυγχάνεται για τάση ίση με την τάση κορεσμού για κάποια αέρια αλλά το φορτίο που δημιουργείται από τον ιονισμό του αερίου συλλέγεται κατά μεγάλο ποσοστό από την άνοδο. Με περαιτέρω αύξηση της τάσης, πάνω από αυτήν την τάση κορεσμού, δεν παρατηρείται αύξηση και του συλλεγόμενου φορτίου. Η περιοχή II στην οποία το φορτίο που συλλέγεται παραμένει πρακτικά σταθερό ονομάζεται περιοχή ιονισμού και σε αυτήν ανήκουν οι τιμές της τάσης στις οποίες λειτουργούν οι θάλαμοι ιονισμού. Αν αυξηθεί η τάση πέρα από την περιοχή ιονισμού θα βρεθούμε στην περιοχή πολλαπλασιασμού (Περιοχή III). Τα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται από τον αρχικό ιονισμό επιταχύνονται με την σειρά τους αρκετά, λόγω της υψηλής τάσης V , με σκοπό να προκαλέσουν επιπρόσθετο ιονισμό μέσω συγκρούσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των αρχικών φορέων. Στο αρχικό τμήμα της περιοχής III, ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας εξαρτάται αρκετά από την ενέργεια του σωματιδίου ή από τον αρχικό αριθμό των παραγομένων ιόντων για δεδομένη τάση V . Βλέπουμε ότι στην συγκεκριμένη περιοχή ο ανιχνευτής δίνει παλμούς διαφορετικού ύψους για σωματίδια διαφορετικής ενέργειας. Αυτή η αναλογία μεταξύ του ύψους παλμού και του αρχικού ιονισμού, μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον ανιχνευτή για διαχωρισμό σωματιδίων με διαφορετικές ενέργειες. Η περιοχή III που περιλαμβάνει πολλαπλασιασμό ενώ ταυτόχρονα υπάρχει εξάρτηση του δημιουργούμενου παλμού (αριθμός συλλεγόμενων ιόντων), ονομάζεται αναλογική περιοχή. Στην περιοχή μεταξύ των III και IV, είναι ιδιαίτερα ισχυρός ο δευτερογενής ιονισμός με αποτέλεσμα, η ανεξαρτησία του ύψους του παλμού από τα χαρακτηριστικά του σωματιδίου. Το τελικό φορτίο αυξάνεται με την τάση και ο ανιχνευτής στην περιοχή αυτή λειτουργεί με περιορισμένη αναλογικότητα. Στην περιοχή V, το τελικό φορτίο που συλλέγεται είναι ανεξάρτητο του αρχικού ιονισμού και της τάσης. Στην περιοχή αυτή, το κυρίαρχο φαινόμενο είναι το φαινόμενο της χιονοστιβάδας και ο ανιχνευτής λειτουργεί σαν απαριθμητής Geiger-Muller. Σε πολύ υψηλές τιμές της τάσης η κατανομή φορτίου των ιόντων γίνεται κυρίαρχη και η διαδικασία πολλαπλασιασμού θα συνεχίζεται μέχρι η συγκέντρωση να προκαλεί πεδίο που σε συνδυασμό με την εφαρμοζόμενη τάση να μην επιτρέπει δευτερεύοντες ιονισμούς. Πάνω από μία ορισμένη τιμή τάσης, η ενίσχυση σταματά, λόγω ορίου Raether. Στην περιοχή V, παρατηρείται συνεχής εκφόρτιση με αποτέλεσμα να μην λαμβάνουμε σήμα στα ηλεκτρονικά του ανιχνευτή.

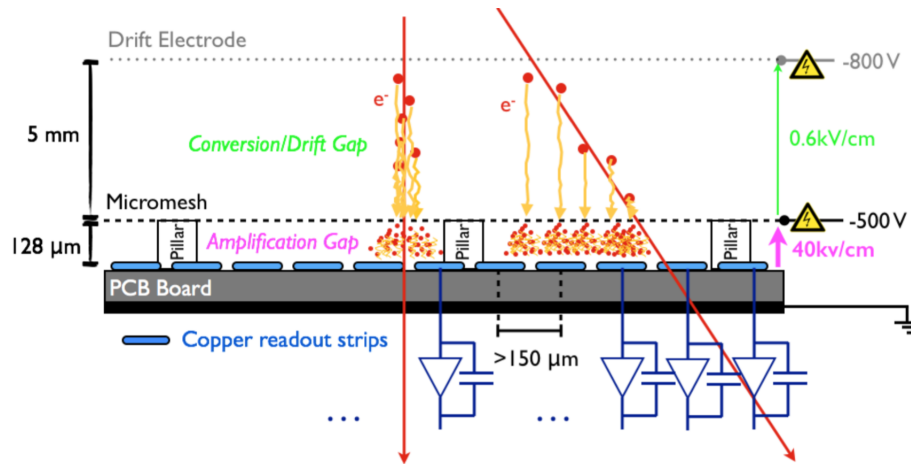
3.5 MICROMEsh Gaseous Structure

Ο ανιχνευτής MicroMeGas, προέρχεται από το ακρωνύμιο MICROMEsh Gaseous Structure, ανήκει σε μία συγκεκριμένη κατηγορία ανιχνευτών αερίου, που βασική αρχή είναι ο ιονισμός του αερίου μέσω του ανιχνευτή καθώς ένα σωματίδιο διέρχεται από το εσωτερικό του ιονίζει το αέριο και παράγει ένα ζεύγος ηλεκτρονίου/ιόντος. Η τεχνολογία των συγκεκριμένων ανιχνευτών, δημιουργήθηκε σε επιταχυντικές διατάξεις και σε πειράματα σωματιδιακής φυσικής. Η κατασκευή και μελέτη του συγκεκριμένου ανιχνευτή ξεκίνησε στο CEA-Saclay από τον Ιωάννη Γιοματάρη, την δεκαετία του 90'. Βεβαίως, υπήρξαν πρόγονοι του Micromegas, οι οποίοι είχαν κατασκευασθεί από τους A. Oed, G. Charpak και F. Sauli, οι οποίοι ασχολήθηκαν με τους πρώτους MicroStrip Gaseous Chambers. Το σύγχρονο μοντέλο του ανιχνευτή Micromegas, όπου και χρησιμοποιούμε οφείλει την ύπαρξη του στον I. Γιοματάρη-G. Charpak (1996). Ο ανιχνευτής Micromegas καθίσταται ως επιτυχημένος λόγω της σταθερότητας, γρήγορης απόκρισης, χρονικής διακριτικής ικανότητας, καλής ενεργειακής διακριτικής ικανότητας, καλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, υψηλής απόδοσης, μεγάλης ακρίβειας και τέλος ανθεκτικότητας στην ακτινοβολία.

3.5.1 Δομή και αρχή λειτουργίας του ανιχνευτή Micromegas

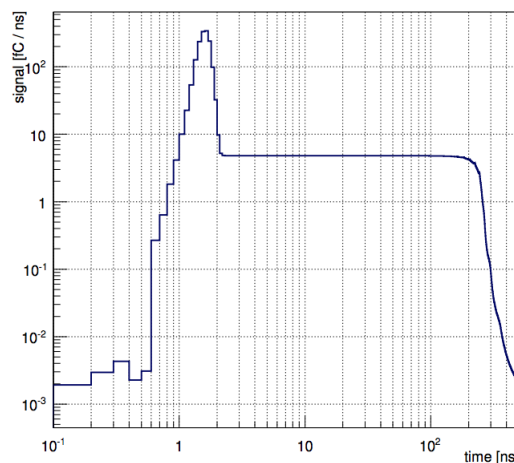
Οι τυπικοί ανιχνευτές MicroMeGas αποτελούνται από ένα επίπεδο ηλεκτρόδιο ανόδου (drift), ένα διάκενο αερίου με πάχος λίγων χιλιοστών που δρα ως περιοχή μετατροπής και ολίσθησης (conversion gap) και ένα λεπτό μεταλλικό πλέγμα (mesh) σε τυπική απόσταση $100 \mu\text{m}$ από το ηλεκτρόδιο ανάγνωσης (readout cathode), δημιουργώντας την περιοχή ενίσχυσης (amplification gap). Μία δομή από κυλινδρικές διαχωριστικές κολώνες (pillars), κατασκευασμένες από μονωτικό υλικό και τοποθετημένα με βήμα pitch λίγων χιλιοστών, ορίζουν τον ύψος της περιοχής ενίσχυσης (amplification gap) και στηρίζουν το πλέγμα. Η τυπική δομή και οι λειτουργικές παράμετροι ενός MM αποτυπώνονται στο Σχ. 3.10. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός, όπως θα δούμε και στην συνέχεια, μας επιτρέπει εφαρμόζοντας λογικές τιμές τάσης στα ηλεκτρόδια, να λαμβάνουμε υψηλές τιμές για το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή ενίσχυσης ($\sim 100 \text{ kV/cm}$) και σχετικά ασθενές στην περιοχή μετατροπής/ολίσθησης. Επιτυγχάνουμε έτσι ένα ιδιαίτερα υψηλό λόγο ανάμεσα στο ηλεκτρικό πεδίο της περιοχής ενίσχυσης και σε αυτό της περιοχής μετατροπής, κάτι που είναι απαραίτητο για την ιδανική λειτουργία του ανιχνευτή. Το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή ολίσθησης χαρακτηρίζεται από υψηλή τάση που εφαρμόζεται στο ηλεκτρόδιο και το πλέγμα ενώ το ηλεκτρικό δυναμικό επιλέγεται έτσι ώστε να ισούται με μερικές εκατοντάδες V/cm και $40 - 50 \text{ V/cm}$ στην περιοχή ενίσχυσης που επιτυγχάνει τιμές κέρδους της τάξης των 10^4 . Η άνοδος όπως αναφέραμε παραπάνω, μπορεί είτε να είναι ένα ενιαίο κομμάτι (pad) είτε να είναι χωρισμένη σε λωρίδες (strips).

Το φορτισμένο σωματίδιο αφού περάσει το ηλεκτρόδιο καθόδου (drift) βρίσκεται στην περιοχή μετατροπής που εκτείνεται μερικά mm πάνω από το πλέγμα (mesh). Κατά την διάρκεια της ολίσθησης του αλληλεπιδρά με το αέριο μέσω του ανιχνευτή εναποθέτοντας την ενέργεια του στα άτομα του αερίου μέσω του ιονισμού και της διέγερσης. Σαν αποτέλεσμα, ο ιονισμός του αερίου προκαλεί την δημιουργία ηλεκτρονίων και ιόντων στην περιοχή μετατροπής (conversion gap), τα μεν ηλεκτρόνια υπό την επίδραση ασθενούς ηλεκτρικού πεδίου ολισθαίνουν προς το mesh ενώ τα ιόντα ακολουθούν την αντίθετη κατεύθυνση προς το ηλεκτρόδιο της καθόδου. Μέσω του πλέγματος, τα ηλεκτρόνια οδηγούνται στην περιοχή ενίσχυσης όπου λόγω του ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου που επικρατεί



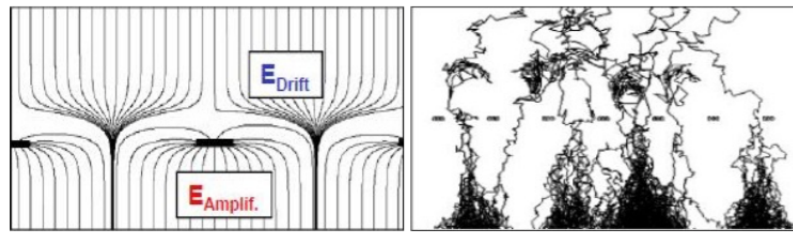
Σχήμα 3.10: Γραφική απεικόνιση μίας τυποποιημένης διατομής ενός ανιχνευτή MicroMeGas που απεικονίζει τα διάφορα μέρη της εσωτερικής δομής του ανιχνευτή και την αρχή λειτουργίας του [46].

στην περιοχή ενίσχυσης ισχυρού πεδίου. Σαν αποτέλεσμα δημιουργείται μία χιονοστιβάδα ηλεκτρονίων που συλλέγεται από τα ανοδικά strips ενώ τα δευτερεύοντα ιόντα ολισθαίνουν προς το πλέγμα όπου και συλλέγονται. Με ένα ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή ενίσχυσης 50 έως 100 φορές ισχυρότερο από το πεδίο μετατόπισης, το πλέγμα είναι διαφανές (transparent) σε ποσοστό μεγαλύτερο από 95% των ηλεκτρονίων. Η ηλεκτρονική χιονοστιβάδα λαμβάνει χώρα στην λεπτή περιοχή της ενίσχυσης σε χρόνο ίσο με 1 ns, παράγοντας έναν γρήγορο παλμό στις λωρίδες ανάγνωσης (readout strips). Τα ιόντα που παράγονται στην διαδικασία της χιονοστιβάδας κινούνται προς το πλέγμα με ταχύτητες περίπου 200 φορές πιο αργές σε σχέση με τα ηλεκτρόνια. Η παραμόρφωση των ηλεκτρονίων και ο σχηματισμός χιονοστιβάδας στην περιοχή ενίσχυσης για κάθετες και υπό γωνία τροχιές σωματιδίων απεικονίζονται στο Σχ. 3.10. Τα ηλεκτρόνια επειδή ταξιδεύουν μόνο σε ένα μικρό τμήμα του ανιχνευτή, συμβάλλουν κατά ένα μικρό ποσοστό στο σήμα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς σε αυτό να οφείλεται στην κίνηση των ιόντων, όπως φαίνεται και στο Σχ. 3.11.



Σχήμα 3.11: Προσομοίωση του ρεύματος που προκαλείται από την κίνηση ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων κατά την διάρκεια του σχηματισμού χιονοστιβάδας εντός της περιοχής ενίσχυσης του ανιχνευτή Micromegas [31].

Το ηλεκτρικό πεδίο πρέπει να είναι ομογενές και στην περιοχή μετατροπής (conversion ή drift gap) αλλά και στην περιοχή πολλαπλασιασμού (amplification gap). Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του micromesh ως μεσαίο ηλεκτρόδιο. Έτσι η μορφή του ηλεκτρικού πεδίου παραμορφώνεται κοντά στις τρύπες του mesh. Η γνώση της υψής των δυναμικών γραμμών του πεδίου κοντά στο micromesh είναι θεμελιώδης θέμα για την λειτουργία του ανιχνευτή κυρίως για το ποσοστό των ηλεκτρονίων που διαπερνούν το mesh, καθώς και για το πόσο γρήγορη είναι η εκκένωση της περιοχής από τα θετικά ιόντα. Πιο συγκεκριμένα, ένα μέρος των δυναμικών γραμμών του πεδίου λόγω της κατανομής του φορτίου έξω από το mesh δημιουργούν ένα σχήμα σαν χοάνη, κοντά στις τρύπες του mesh. Έχοντας ένα λεπτό mesh και εφόσον το πεδίο του amplification gap είναι μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερο από το conversion gap οποιαδήποτε δυναμική γραμμή έρχεται από το πάνω μέρος του mesh δεν επιστρέφεται στην κάτω μεριά του. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος των ηλεκτρονίων να διαπερνούν το mesh και να λαμβάνονται πλήρως από το επίπεδο της ανόδου (strips).

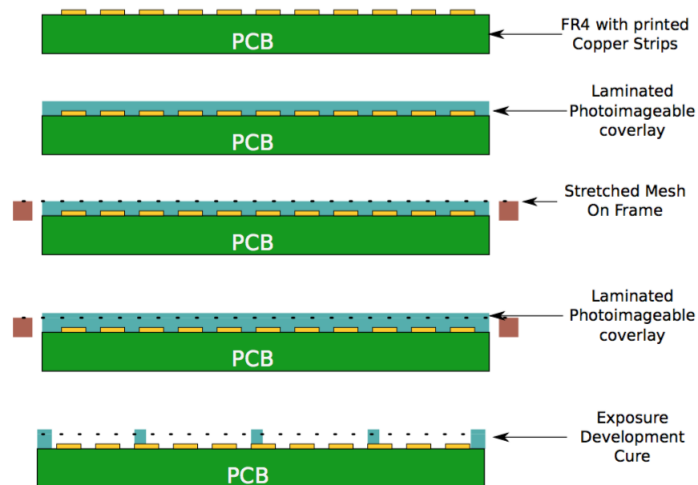


Σχήμα 3.12: Ηλεκτρικό πεδίου του ανιχνευτή MicroMegas

3.5.2 Bulk Micromegas

Η επιτυχημένη διάταξη του ανιχνευτή MicroMegas αποτέλεσε βάση για την περαιτέρω ανάπτυξη ανιχνευτών που υιοθετούν τη χρήση μικροπλέγματος ώστε να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα πειράματα με ποικίλες απαιτήσεις. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εξέλιξης του MicroMegas αποτελεί η εφεύρεση της τεχνολογίας bulk [47].

Η τεχνολογία bulk περιλαμβάνει την ενσωμάτωση του μικροπλέγματος στο τυπωμένο κύκλωμα (PCB) το οποίο αποτελεί την άνοδο από όπου και συλλέγουμε το φορτίο και έπειτα το σήμα. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε μία συμπαγή μεμονωμένη ανιχνευτική διάταξη χωρίς μεμονωμένα μέρη. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπει την βιομηχανική πλέον παραγωγή του ανιχνευτή σε μεγάλα μεγέθη και βασίζεται στην τεχνολογία printed board, η οποία μας επιτρέπει την εγκατάσταση του μεταλλικού mesh με ακρίβεια σε απόσταση από τα ηλεκτρονικά ανάγνωσης (readout strips). Η κυρίαρχη ιδέα αυτής της τεχνικής, συνίσταται στον περιορισμό του micromesh σε ένα φωτοπολυμερές συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων που ονομάζεται Vacrel. Ο περιορισμός αυτός επιτυγχάνεται με την διαδικασία της στρώματοςποίησης (lamination), κατά την δημιουργία του συγκεκριμένου υλικού, γίνεται με στρώσεις. Αυτή τη τεχνική εξασφαλίζει την μηχανική αντοχή του εκάστοτε υπο κατασκευή υλικού. Αφού έχει κατασκευαστεί το πρώτο κομμάτι τοποθετείται το micromesh, πάνω στο οποίο τοποθετείται με τον ίδιο τρόπο ένα δεύτερο κομμάτι από το ίδιο φωτοπολυμερές. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται encapsulation. Αφού επέλθει το κλείσιμο του micromesh στην κάψουλα του φωτοπολυμερούς, η κάψουλα εκτίθεται σε ακτινοβολία (exposure) με σκοπό τον σχηματισμό των pillars τα οποία στηρίζουν το micromesh και τέλος ολοκληρώνεται η διαδικασία με την σκλήρυνση και τον πολυμερισμό των στρωμάτων (layers του Vacrel). Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι πλέον η βασική επιλογή για την κατασκευή ανιχνευτών Micromegas και οι παραγόμενοι ανιχνευτές χαρακτηρίζονται και αυτοί από ομαλή λειτουργία επιβεβαιώνοντας και όλα τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης τεχνολογίας ανιχνευτών.



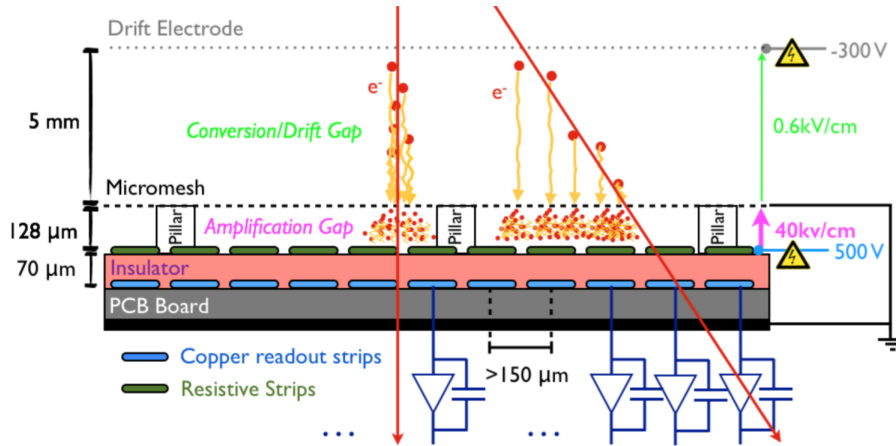
Σχήμα 3.13: Διαδικασία κατασκευής Bulk Micromegas

3.5.3 Resistive Micromegas

Παρά τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας των ανιχνευτών Micromegas και την πολλά υποσχόμενη διαδικασία βιομηχανικής κατασκευής, η πολύ λεπτή περιοχή ενίσχυσης μαζί με την λεπτομερή δομή ανάγνωσης καθιστά τους ανιχνευτές ιδιαίτερα ευάλωτους σε εκκενώσεις (σπινθήρες). Το φαινόμενο των εκκενώσεων εμφανίζεται όταν η τοπική συγκέντρωση των ηλεκτρονίων ξεπεράσει τα 10^7 σωματίδια. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ανιχνευτής λόγω της αύξησης του επαγόμενου φορτίου οδηγεί σε ολική εκκένωση του πλέγματος, όπου ο ρυθμός αυτών των εκκενώσεων είναι ανάλογος με τον ρυθμό των εισερχόμενων σωματιδίων. Το φαινόμενο αυτό δεν είναι καταστροφικό για χαμηλές ροές σωματιδίων αλλά σε περιβάλλον δέσμης υψηλής ροής βαρέων σωματιδίων επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του ανιχνευτή καθώς αυξάνει τον νεκρό χρόνο και συμβάλει στην φθορά των ηλεκτρονικών

ανάγνωσης. Σαν αποτέλεσμα, για την αντιμετώπιση του φαινομένου των sparks αποφασίσθηκε η τροποποίηση του ανιχνευτή ώστε να μειωθεί η ευαισθησία του στο συγκεκριμένο φαινόμενο.

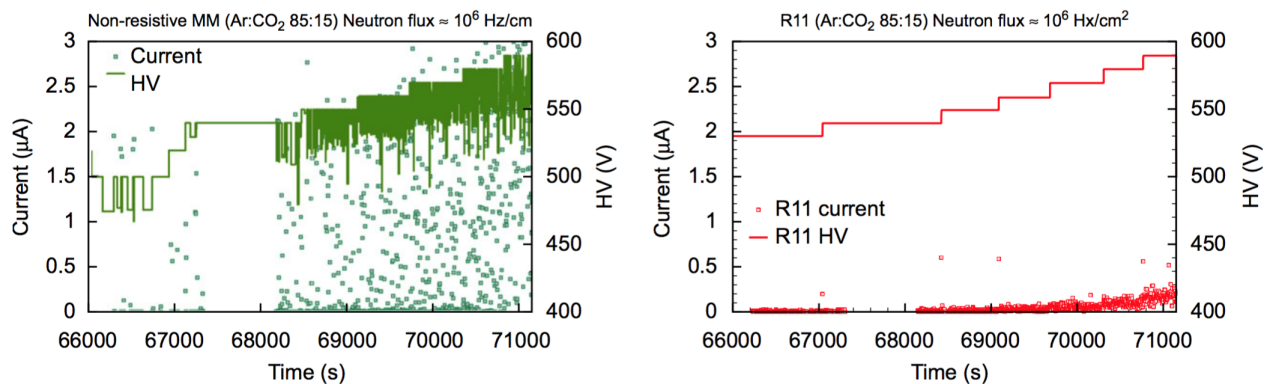
Τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα, ξεπεράστηκαν πρόσφατα με την εξέλιξη της τεχνολογίας spark resistant Micromegas [48]. Σε αυτήν την τεχνική, τα readout strips καλύπτονται με ένα ανθεκτικό μονωτικό στρώμα μεγάλης αντίστασης (ισοδύναμο με έναν αντιστάτη $15 - 50 \text{ M}\Omega/\text{cm}$) και έχει την ίδια γεωμετρία με τα readout strips. Αυτή η ανομοιομορφία γίνεται για να μειωθεί η διάχυση του φορτίου σε πολλά strips και να μειώσει την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης. Η ιδέα του resistive Micromegas περιγράφεται σχηματικά στο Σχ. 3.14.



Σχήμα 3.14: Γραφική απεικόνιση μίας διατομής του ανιχνευτή resistive Micromegas που απεικονίζει τα διάφορα μέρη της εσωτερικής δομής του και την αρχή λειτουργίας του [46].

Άλλη μία αλλαγή με βάση την διάταξη του bulk micromegas, αφορά το γεγονός ότι η ανάγνωση του σήματος δεν γίνεται απευθείας από τα readout electronics. Πρώτα, συλλέγεται το φορτίο από τα resistive strips, δηλαδή το φορτίο κατανέμεται στην πάνω πλευρά του resistive layer, ενώ στην συνέχεια στην κάτω πλευρά έχουμε την επαγωγή φορτίου ειδώλου. Το επαγόμενο φορτίο είναι αυτό που συλλέγεται από τα readout strips με αποτέλεσμα την δημιουργία του σήματος στα ηλεκτρονικά.

Οι νέοι τύπου ανιχνευτές Micromegas έχουν μελετηθεί ενδελεχώς σε διαφορετικές συνθήκες και με χρήση διαφορετικών αερίων. Στο παρακάτω Σχ. 3.15 αποτυπώνεται η σύγκριση της απόδοσης των νέων ανιχνευτών σε σχέση με τους non-resistive ανιχνευτές, όπου παρατηρείται η πτώση της τάσης του mesh στον non-resistive σε σύγκριση με τον resistive Micromegas.



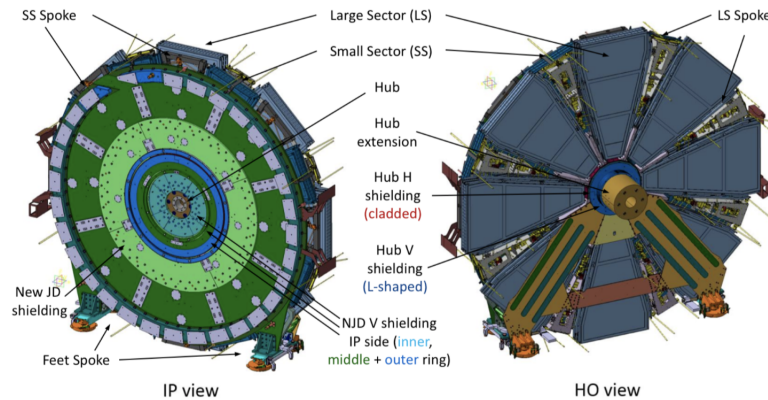
Σχήμα 3.15: Η συμπεριφορά της τάσης και του ρεύματος για έναν resistive και έναν non-resistive Micromegas σε περιβάλλον δέσμης νετρονίων ενέργειας 5.5 MeV συνολικής ροής $1.5 \times 10^6 \text{ n/cm}^2\text{s}$ [49].

3.6 Ανιχνευτές Micromegas για το NSW Upgrade του ATLAS

Το πείραμα ATLAS αποφάσισε να εξοπλίσει το εμπρόσθιο εσωτερικό σταθμό μιονίων και το Small Wheel με τους ανιχνευτές Micromegas στα πλαίσια της αναβάθμισης του New Small Wheel [27]. Με την λειτουργία της νέας διάταξης, οι ανιχνευτές αναμένεται να διατηρήσουν τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά τους, αντιμετωπίζοντας παράλληλα αλληλεπιδράσεις σωματιδίων υψηλού ρυθμού ($\sim 15 \text{ kHz/cm}^2$). Προβλέπονται επίσης διάφορες τροποποιήσεις στην διάταξη ανάγνωσης και ανίχνευσης λόγω του μεγάλου μεγέθους των ανιχνευτών. Οι ανιχνευτές της αναβάθμισης διαφέρουν σε τουλάχιστον δύο σημεία από το αρχικό σχέδιο των Micromegas: 1) Η προστασία ανθεκτικών λωρίδων χρησιμοποιείται όπως περιγράφηκε και παραπάνω, και δεύτερον αντί να εφαρμόζονται αρνητικές

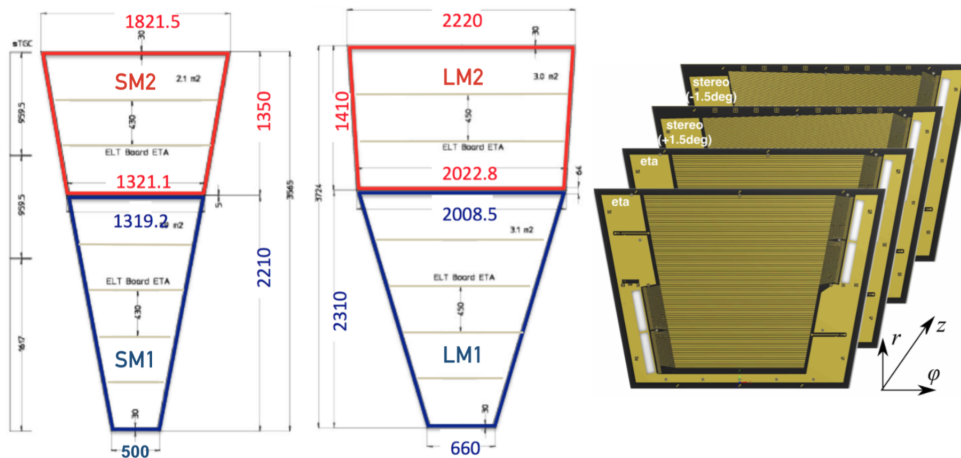
τάσεις στο πλέγμα ενίσχυσης και να κρατάμε τις ανθεκτικές λωρίδες λειωμένες, εφαρμόζουμε θετική τάση στις ανθεκτικές λωρίδες και το πλέγμα της ενίσχυσης γειώνεται. Αυτή η διάταξη έχει αποτέλεσμα την πιο σταθερή λειτουργία για τους ανιχνευτές και οι σπινθήρες παύουν να είναι πρόβλημα λόγω του γεγονότος ότι το ρεύμα που παράγεται από τους σπινθήρες διαφεύγει πολύ γρήγορα στην γη μέσω του πλέγματος με την ταυτόχρονη διατήρηση του δυναμικού του.

Η συνολική διάταξη του NSW, ακολουθεί το πρότυπο του Small Wheel με εναλλακτική διάταξη ανιχνευτών 8 μικρών και 8 μεγάλων τομέων (sectors). Οι 16 τομείς αλληλοεπικαλύπτονται στην αξιμουθιακή κατεύθυνση στα άκρα τους παρέχοντας πλήρη κάλυψη της ενεργούς περιοχής του ανιχνευτή. Η συνολική διάταξη του NSW αποτυπώνεται στο παρακάτω Σχ. 3.16.



Σχήμα 3.16: Η συνολική διάταξη του New Small Wheel Upgrade.

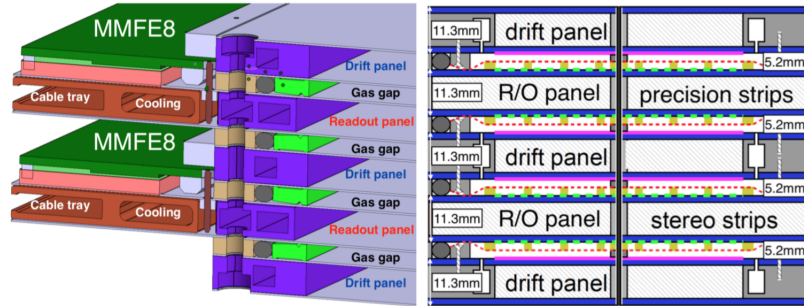
Κάθε τομέας αποτελείται από τέσσερις σφήνες(wedges), όπου δύο ανιχνευτές τροχιάς Micromegas είναι τοποθετημένοι και στις δύο πλευρές ενός κεντρικού πλαισίου διάκενου πάχους 50 mm και είναι τοποθετημένες από τις δύο σφήνες σκανδαλισμού (trigger) ανιχνευτών sTGC. Κάθε wedge αποτελείται από τέσσερα στρώματα της ίδιας τεχνολογίας, με κάθε στρώμα να είναι διαχωρισμένο ακτινικά σε μονάδες(modules). Κάθε επίπεδο των ανιχνευτών Micromegas, αποτελείται από σύο τραπεζοειδής μονάδες (M1,M2) και κάθε ενότητα χωρίζεται ακτινικά σε οκτώ PCB πλαίσια. Η άνω μονάδα (M2) αποτελείται από 3 πλακέτες PCB και η κάτω μονάδα M1 από 5 πλακέτες PCB κολλημένες ακριβώς με ένα ενδιάμεσο κενό μεταξύ τους ίσο με 400 μm κατά μήκος της ακτινικής κατεύθυνσης. Η κάρτα ανάγνωσης είναι ένα υλικό PCB πάχους 0.5 mm εξοπλισμένο από φωτολιθογραφία με 1024 λωρίδες χαλκού ύψους 17 μm και κλίσης 425 μm και 450 μm για μικρές και μεγάλες μονάδες αντίστοιχα. Ο προσανατολισμός των λωρίδων αποκαλύπτει την ανάγκη 3 ειδών PCB πλαισίων. Ένα με λωρίδες που κινούνται κάθετα προς την ακτινική κατεύθυνση, $y - strips$, μετρώντας την συντεταγμένη ακρίβειας και οι άλλες δύο με λωρίδες, $stereo - strips$, κεκλιμένες με μικρή stereo γωνία $pm1.5$ σε σχέση με την παράλληλη προς την ακτινική κατεύθυνση, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την μέτρηση της δεύτερης συντεταγμένης ϕ . Οι λωρίδες (strips) χωρίζονται σε δύο ίσες ομάδες και κάθε ομάδα κατευθύνεται σε αντίθετες πλευρές, με την πρώτη στην πάνω δεξιά γωνία ενώ η δεύτερη προς τα κάτω αριστερά. Η διάταξη των readout boards αποτυπώνεται στο Σχ. 3.17.



Σχήμα 3.17: Δεξιά: Σχηματική αναπαράσταση των 4 PCBs ανάγνωσης που θα συνθέτουν ένα MM module [50]. Αριστερά: Οι διαστάσεις των μικρών και μεγάλων σφηρών NSW MM. Κάθε στρώμα μονάδας MM αποτελείται από 8 PCBs, τρία για το επάνω και πέντε για την κάτω μονάδα αντίστοιχα [31].

Η διάταξη του New Small Wheel θα πρέπει να είναι σε θέση να μετρά την συνολική θέση της τροχιάς των μιονίων με ακρίβεια 80 μm στην δέσμη και 30 μm στην ακτινική κατεύθυνση. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτές, η σχετική ευθυγράμμιση

των δύο πάνελ ανάγνωσης πρέπει να είναι καλύτερη από $18 \mu m$. Για να επιτευχθεί μία τέτοια τιμή, κάθε επίπεδο είναι εξοπλισμένο με τρύπες, οι οποίες θα καθοδηγούν τους πείρους ευθυγράμμισης κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης, όπου τα πλαίσια θα βιδωθούν με ακρίβεια. Η εγκάρσια διατομή ενός quadroplet απεικονίζεται στο Σχ. 3.18. Στο ίδιο σχήμα, Σχ. 3.18, απεικονίζεται επιπλέον το εξωτερικό τμήμα της πλευράς του quadroplet. Ο εκτεταμένος χώρος των πλαισίων ανάγνωσης πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την δρομολόγηση των καλωδίων καθώς και την ψύξη των ηλεκτρονικών συσκευών ανίχνευσης. Οι λωρίδες ανάγνωσης στην πλακέτα PCB έρχονται σε επαφή με την front-end board μέσω ενός κονέκτορα Zebra. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλή σύνδεση των ηλεκτρονικών συσκευών ανίχνευσης με το PCB, έχει τοποθετηθεί μία ράβδος καταστολής στο εξωτερικό τμήμα του πίνακα μετατόπισης.



Σχήμα 3.18: Δεξιά: Η εσωτερική δομή του NSW MM. Αριστερά: Εγκάρσια διατομή του NSW MM που απεικονίζει τα κύρια στοιχεία ενός quadroplet [50].

Αυτόματο Σύστημα Ελέγχου του ATLAS & Εισαγωγή στο WinCC-OA

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή του αναγνώστη με το κεντρικό αυτόματο σύστημα ελέγχου του πειράματος ATLAS. Το κεντρικό σύστημα DCS του ATLAS ελέγχει την κατάσταση όλων των ανιχνευτών, υποανιχνευτών και συστήματος για την επίτευξη της βέλτιστης λειτουργίας του πειράματος. Επιπρόσθετα, γίνεται μία εισαγωγή στο πρόγραμμα και τις αρχές WinCC-OA της Siemens για την ανάπτυξη αυτόματων συστημάτων ελέγχου.

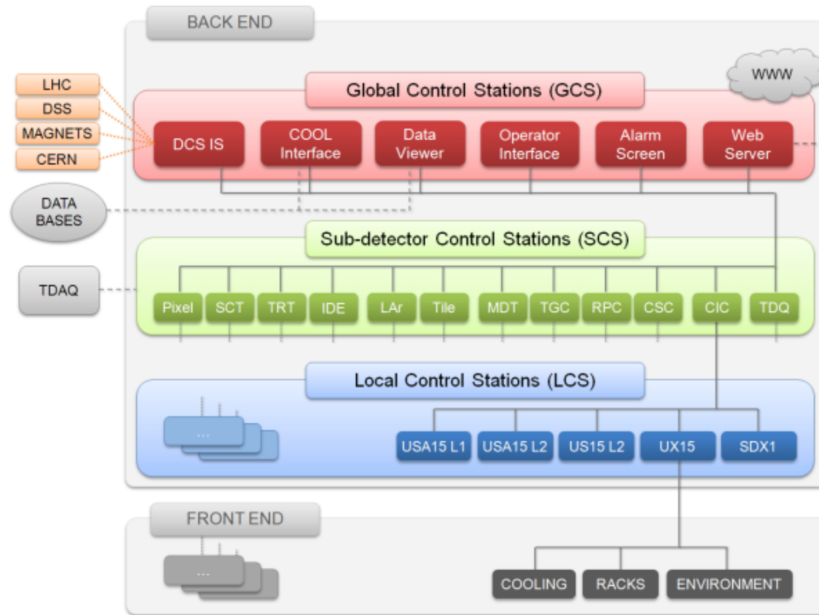
4.1 Εισαγωγή

Λόγω της πολυπλοκότητας και της μακροχρόνιας λειτουργίας του, ο ανιχνευτής ATLAS απαιτεί την ανάπτυξη ενός εξελιγμένου συστήματος ελέγχου ανιχνευτών ή αλλιώς Detector Control System (DCS). Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος είναι απαραίτητη ώστε να επιτρέψει την συνεπή και ασφαλή λειτουργία του ανιχνευτή καθώς και να λειτουργεί ως μία ομοιογενής διεπαφή σε όλους τους υπο-ανιχνευτές και την τεχνική υποδομή του πειράματος. Το κεντρικό σύστημα χειρίζεται την μετάβαση μεταξύ των πιθανών καταστάσεων λειτουργίας του ανιχνευτή ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την συνεχή παρακολούθηση και αρχειοθέτηση των λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Οποιαδήποτε ανωμαλία σε οποιοδήποτε υποσύστημα του ανιχνευτή ενεργοποιεί ένα σήμα ή αλλιώς μία ειδοποίηση (alarm), η οποία ενημερώνει τον χρήστη και είτε προσαρμόζεται με αυτόματες διεργασίες είτε επιτρέπει χειροκίνητες ενέργειες για τον ανακαθορισμό της σωστής λειτουργίας του συστήματος. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για ένα SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) σύστημα που περιγράφει μία κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτόματου ελέγχου και τηλεμετρίας.

4.2 Κεντρικό Σύστημα Ελέγχου του ATLAS

Το ATLAS DCS [51] [52] σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στα πλαίσια του κοινού έργου με τίτλο Joint COntrols Project (JCOP) [53], μίας συνεργασίας της ομάδας ελέγχου του CERN και των ομάδων DCS των πειραμάτων του LHC. Το JCOP συνδυάζει κοινά πρότυπα για την χρήση του DCS hardware βασισμένο στο SCADA σύστημα της Siemens, WinCC Open Architecture [54], γνωστό και ως PVSS με την παλαιότερη ονομασία του, όπου χρησιμεύει ως βάση για όλες τις εφαρμογές DCS. Το Σχ. 4.1 αποτυπώνει την αρχιτεκτονική του DCS [46] [31] που μπορεί να χωριστεί στον Front-End (FE) εξοπλισμό και ένα σύστημα Back-End (BE). Το FE περιλαμβάνει τον εξοπλισμό DCS, συμπεριλαμβανομένων των προσαρμοσμένων ηλεκτρονικών συστημάτων και συναφών υπηρεσιών, όπως τροφοδοτικά υψηλής τάσης και κυκλώματα ψύξης. Το BE σύστημα χρησιμοποιεί το λογισμικό WinCC, ενσωματώνοντας front-end συστήματα ελέγχου στα στοιχεία του JCOP framework για να διευκολύνει την ενσωμάτωση τυποποιημένων συσκευών υλικού και την εφαρμογή ομοιογενών εφαρμογών ελέγχου. Οι δύο άκρες του DCS επικοινωνούν κυρίως μέσω του βιομηχανικού πρωτοκόλλου bus CAN, ενώ το πρότυπο επικοινωνίας OPC χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων ως πρωτόκολλο λογισμικού για επικοινωνίες. Το σύστημα BE είναι οργανωμένο ιεραρχικά σε τρία επίπεδα, τους Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου (Local Control Stations (LCS)), τους Σταθμούς Ελέγχου των Υπο-ανιχνευτών (Sub-detector Control Stations (SCS)) και τους Κεντρικούς Σταθμούς Ελέγχου (Global Control Stations (GCS)). Συνολικά, το BE αποτελείται από περισσότερους από εκατό σταθμούς υπολογιστών συνδεδεμένους σε ένα κατακεντημένο σύστημα (distributed system). Η επικοινωνία μεταξύ των υπο-κόμβων του συστήματος αντιμετωπίζεται από το WinCC μέσω ενός τοπικού δικτύου. Μία κατακεντημένη μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, Finite State Machine (FSM), αντιπροσωπεύει την πλήρη ιεραρχία του BE συστήματος καθώς ενοποιεί περισσότερα από 10 εκατομμύρια στοιχεία δεδομένων σε μία ενιαία δομή δέντρου και εξασφαλίζει την σωστή λειτουργία και τον αποτελεσματικό χειρισμό των σφαλμάτων σε κάθε λειτουργικό στρώμα. Το πιο σημαντικό στοιχείο αυτού του συστήματος είναι η δομή datapoint (DP), που παίζει το ρόλο του παγκόσμιου μεταβλητού δικτύου. Κάθε στοιχείο(element) αυτής της δομής ένα μοναδικό όνομα και δυνατότητα ρύθμισης και χρησιμοποιούνται ειδικά DPs για την ανάγνωση των δεδομένων από τα στοιχεία του hardware που ενημερώνονται από την διεπαφή OPC [55]

επικοινωνίας διακομιστή-πελάτη.



Σχήμα 4.1: Γραφική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής DCS του πειράματος ATLAS χωρισμένο σε 3 επίπεδα: GCS, SCS και LCS.

Κάθε κόμβος FSM έχει ένα μοναδικό όνομα που βασίζεται στο όνομα του υποσυστήματος και στην λειτουργικότητα του ακολουθώντας της συμβάσεις του ATLAS DCS και η κατάσταση στην οποία βρίσκονται καθορίζονται από ένα αντίστοιχο εσωτερικό DP. Ο τύπος αντικειμένου FSM, ο οποίος καθορίζει την βασική λειτουργικότητα του κόμβου και των επιμέρους στοιχείων του, εξαρτάται από τον λειτουργικό σκοπό και την θέση του στοιχείου στην ιεραρχία αρχιτεκτονικής DCS. Το κύριο γραφικό περιβάλλον χρήστη του ATLAS DCS με όλα τα υποσυστήματα ενοποιημένα σε μία ιεραρχική δομή FSM αποτυπώνεται στο παρακάτω Σχ. 4.2. Η FSM βασίζεται σε ένα αυστηρό ιεραρχικό οικοδόμημα που το αποτελούν σχέσεις γονέα-παιδιού, όπου στην κατασκευή του δέντρου οι εντολές διαδίδονται από τους γονείς στα παιδιά, ενώ οι καταστάσεις από τα παιδιά προς τους γονείς. Με αυτόν τον τρόπο, όταν απαιτείται κάποια ενέργεια που αφορά όλα τα παιδιά είναι εξαιρετικά αποδοτικό να δοθεί η εντολή σε υψηλότερο κόμβο και αντιστοίχως η κατάσταση του υψηλότερου κόμβου συνοψίζει την κατάσταση όλων των κόμβων-παιδιών οποιασδήποτε γενιάς. Όλοι οι κόμβοι βρίσκονται σε κάποια προκαθορισμένη κατάσταση και δέχονται μόνο προκαθορισμένες εντολές όπως αυτές ορίζονται στον τύπο της FSM όπου και ανήκουν.

4.3 WinCC Open Architecture

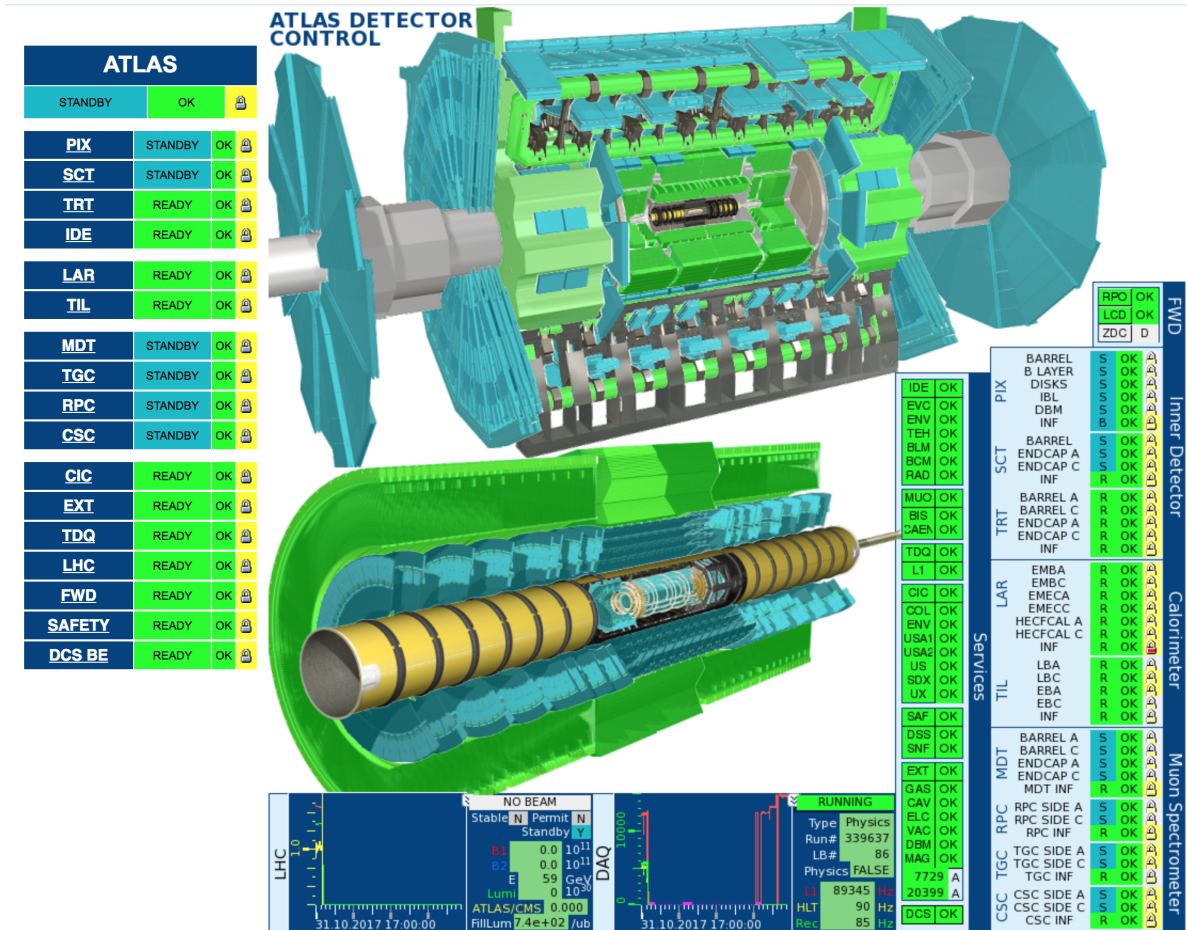
Το WinCC είναι ένα πακέτο λογισμικού με κύρια περιοχή εφαρμογής το χειρισμό και έλεγχο των τεχνικών εγκαταστάσεων χρησιμοποιώντας ένα πλήρες γραφικό περιβάλλον για την απεικόνιση και προσομοίωση των διάφορων μονάδων. Για την υλοποίηση των διαδικασιών αυτών απαιτείται ένα διαδραστικό περιβάλλον επικοινωνίας με το hardware για την παρακολούθηση, την μεταφορά εντολών, την χρήση συναγεργμών και την αποθήκευση του ιστορικού. Τελικά επιλέχθηκε από την επιτροπή JCOP λόγω της ευρείας χρήσης του εργαλείου για την κατασκευή αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου στους προγραμματιστές και στα πειράματα του CERN.

4.3.1 Αρχιτεκτονική

Η φιλοσοφία ενός συστήματος WinCC-OA βασίζεται στα κύρια δομικά του στοιχεία που είναι οι managers, οι οποίοι επικοινωνούν μέσω ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλου του WinCC, του TCP/IP. Οι διαχειριστές συνεισφέρουν στα δεδομένα και έπειτα αυτά μόνο στέλνονται για αλλαγή στον διαχειριστή γεγονότων (Event Manager), ο οποίος είναι και η καρδιά του συστήματος. Επιπλέον, οι οδηγοί μπορούν να διαμορφωθούν για να στέλνουν δεδομένα στον διαχειριστή γεγονότων όταν φαίνεται μία σημαντική αλλαγή. Έτσι, σε ένα σωστά διαμορφωμένο σύστημα ουσιαστικά δεν υπάρχει κανένα κώλυμα κυκλοφορίας δεδομένων σε σταθερές καταστάσεις, δηλαδή όταν δεν αλλάζουν οι μεταβλητές διαδικασίας.

Μία χαρακτηριστική εφαρμογή WinCC αποτελείται από διάφορους managers, οι οποίοι και αποτυπώνονται παρακάτω και στο Σχ. φαίνεται μία γραφική απεικόνιση τους.

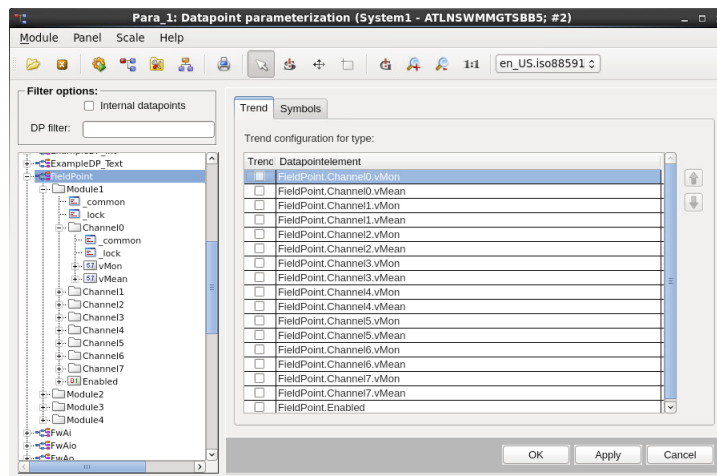
- **Διαχειριστής Γεγονότων (Event Manager - EVM)** : Αποτελεί το κέντρο επεξεργασίας του WinCC και είναι υπεύθυνος για όλες τις επικοινωνίες. Αποστέλλει ή λαμβάνει δεδομένα από τους Drivers, τα μεταβιβάζει στους Database Managers για να αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων και επιπλέον τα διαμοιράζει στους Managers που χρειάζεται να τα διαχειριστούν.



Σχήμα 4.2: Το κύριο γραφικό περιβάλλον χρήστη του ATLAS DCS με όλα τα υποσυστήματα ενοποιημένα σε μία ιεραρχική δομή FSM.

Επιπλέον, διατηρεί την εικόνα της διαδικασίας στην μνήμη, δηλαδή την τρέχουσα τιμή όλων των δεδομένων, όπως είναι αποθηκευμένη στα datapoints και εφασφαλίζει την διανομή όλων των δεδομένων, διαχειρίζεται τις προειδοποιήσεις και τους συναγερμούς του συστήματος.

- **Οδηγοί (Drivers)** : Ο manager υλοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας με το hardware όπου παρέχει την σύνδεση με τις εξωτερικές συσκευές μέσω προτύπων σύνδεσης όπως OPC, ModBus, κλπ. Επιτρέπει την επεξεργασία άμεσα και κατά την διάρκεια της λειτουργίας ομαλοποιώντας την ροή δεδομένων, αναλαμβάνει την μετατροπή τιμών και την επικοινωνία με τους drivers και τέλος παρέχει το application programming interface για την δημιουργία καινούριων interface.
- **Διαχειριστής βάσεων δεδομένων (DataBase Manager - DBM)** : Παρέχει την σύνδεση με την βάση δεδομένων, όπου καταγράφει τις πιο πρόσφατες τιμές και ειδοποιήσεις του συστήματος, ιστορικά δεδομένα αρχειοθέτησης τιμών και ειδοποιήσεων. Η πρόσβαση στην βάση δεδομένων γίνεται μέσω της γλώσσας SQL και το WinCC υποστηρίζει μία βελτιστοποιημένη έκδοση της RAIMA καθώς και την Oracle.
- **Διαχειριστές διεπαφής χρήστη (User Interface Managers - UIM)** : Είναι υπεύθυνοι για την οπτικοποίηση των μηνυμάτων που λαμβάνονται από τον Event Manager. Μπορούν να πάρουν τα δεδομένα του hardware από την βάση δεδομένων ή να στείλουν τα δεδομένα στη βάση δεδομένων να σταλούν στο hardware. Επιπλέον, οι UIM μπορούν επίσης να τρέξουν σε μία αναπτυσσόμενη κατάσταση, το PARA για την παραμετροποίηση των DPTs/DPs και το GEDI για τον γραφικό συντάκτη, όπου ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει τα δικά του panels. Επιπλέον, περιλαμβάνει πληθώρα βιβλιοθηκών και επιτρέπει στον χρήστη την προσθήκη επιπλέον προσηθικών και panels και τέλος παρέχει τον script editor για την συγγραφή κώδικα.
- **Διαχειριστής Control (CTRL)** : Το WinCC παρέχει την δυνατότητα ανάπτυξης αλγορίθμων για τον σχεδιασμό γραφικών (panels), την λήψη αποφάσεων, την δημιουργία εντολών και την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων. Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιεί ονομάζεται CTRL και βασίζεται στο συντακτικό της ANSI-C με επιπλέον τροποποιήσεις, όπως την μη ύπαρξη pointers, την ειδική επεξεργασία strings και δυναμικών πινάκων καθώς και διαθέτει μία πολύ μεγάλη βιβλιοθήκη από αλγορίθμους και συναρτήσεις ώστε να επιτρέπει την εισαγωγή αλγορίθμων για την εκτέλεση των λειτουργιών του προγράμματος.
- **Διαχειριστές API (API)** : Προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα να χτίσει την δική του βιβλιοθήκη από αλγορίθμους σε CTRL και την ενσωμάτωση τους στο υπάρχον σύστημα.



Σχήμα 4.4: Το εργαλείο PARA Database Editor του WinCC και ένα παράδειγμα της δομής ενός DPT.

Γραφικό Περιβάλλον Επεξεργασίας

Το WinCC επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει τα δικά του panels μέσω ενός ειδικού User Interface Manager, τον GEDI (Graphical EDitor). Ο χρήστης μπορεί να κατασκευάσει τις δικές του διεπαφές χρήστη, δηλαδή τα panels, με την χρήση αντικειμένων καθώς του παρέχεται η δυνατότητα σε διάφορα αντικείμενα όπως κουμπιά, πίνακες, πεδία κειμένου, λίστες κλπ. Σε αυτά ο developer μπορεί να ρυθμίσει μέσω scripts τις διάφορες διεργασίες του αντικειμένου, όπως τι πράξη να υλοποιεί καθώς καλείται (initialize), τι πράξη να υλοποιεί καθώς πατιέται (clicked), τι πράξη να υλοποιεί καθώς κλείνει (Close), καθώς και άλλα πολλά που δίνονται στην διακριτική ευχέρεια του προγραμματιστή. Κάποιες πολύ βασικές εντολές παρέχονται από το λογισμικό μέσω παραθύρων διαλόγου όμως για την μοντελοποίηση μίας σύνθετης διαδικασίας, αναγκαία είναι η δημιουργία διάφορων script όπου θα τρέχουν τους διάφορους αλγόριθμους. Στο Σχ. 4.5 απεικονίζεται ο Graphical Editor του WinCC, καθώς και οι διάφορες γραμμές εργαλείων, το panel και το Properly Editor όπου ο προγραμματιστής θα αντιστοιχεί τις διάφορες λειτουργίες των αντικειμένων του με τα Datapoint Elements.

Προγραμματισμός σε Control

Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, ο προγραμματιστής έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει τους δικούς του αλγόριθμους ώστε να καθορίσει την συμπεριφορά των αντικειμένων και των panel του καθώς και τον δυναμικό χειρισμό των γραφικών αντικειμένων και την τεχνική επεξεργασία. Το WinCC παρέχει μία πλήρη βιβλιοθήκη με μεθόδους και συναρτήσεις που διευκολύνουν την διαχείριση των δεδομένων, γραφικών και τις εξωτερικές επικοινωνίες. Η γλώσσα προγραμματισμού είναι η Control, μία γλώσσα που βασίζεται στην C αλλά παρουσιάζει κάποιες διαφοροποιήσεις με την εισαγωγή νέων τύπων μεταβλητών και πινάκων δυναμικού μεγέθους.

Συνδεσιμότητα με Hardware

Η σύνδεση του Event Manager με το hardware γίνεται μέσω των drivers και για το λόγο αυτό το WinCC διαθέτει διάφορους drivers με ξεχωριστά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως οι OPC, ProfiBus, CanBus, DIM κλπ.

4.4.1 Αρχαιοθέτηση

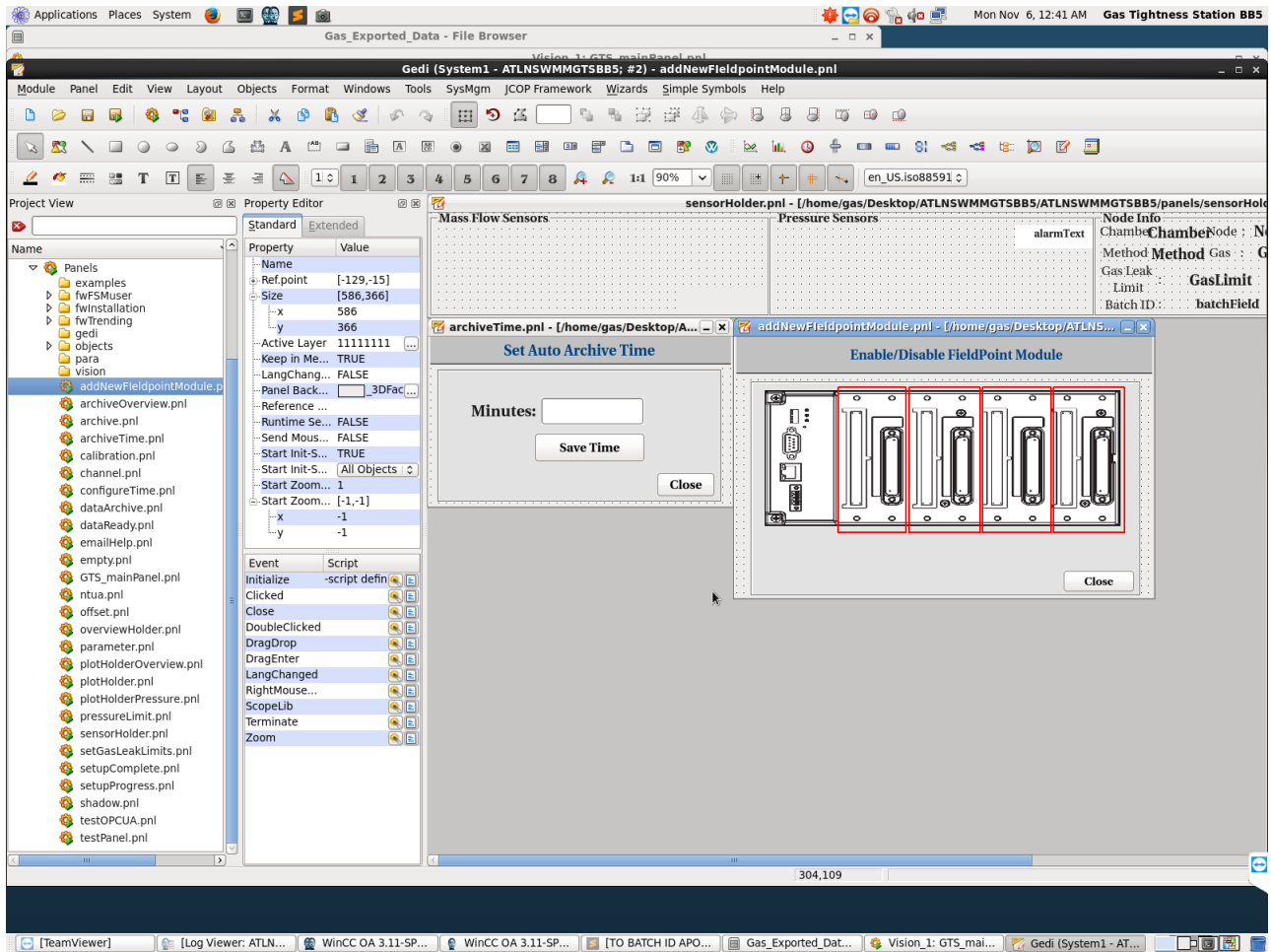
Παρέχεται η αυτόματη αρχειοθέτηση στην βάση δεδομένων των διάφορων τιμών των DPEs ώστε να ανακτηθούν αργότερα από τις διάφορες διεπαφές του χρήστη για απεικόνιση, επεξεργασία και για ότι άλλο επιθυμεί ο χρήστης.

Παραγωγή συναγεργμών και χειρισμός

Μέσω της Alert Screen του WinCC, ο χρήστης μπορεί να ερευνήσει τους διάφορους συναγεργμούς που έχουν δημιουργηθεί καθώς και τον λόγο και την τοποθεσία από όπου πυροδοτήθηκαν. Οι συναγεργμοί αυτοί αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων και μπορούν να εμφανιστούν επιλεκτικά από μία παρουσίαση συναγεργμών.

4.5 Πλαίσιο εργασίας Joint COntrols Project

Το κίνητρο για την δημιουργία του πακέτου JCOP Framework ήταν η διευκόλυνση στην ανάπτυξη του συστήματος ελέγχου στα πειράματα του CERN. Αποτελείται από ένα σύνολο οδηγιών, μερών και εργαλείων με στόχο την διευκόλυνση του χρήστη στην υλοποίηση εφαρμογών αυτόματου ελέγχου. Οι οδηγίες του Framework καθορίζουν μία ονομασία βάση σύμβασης για τα



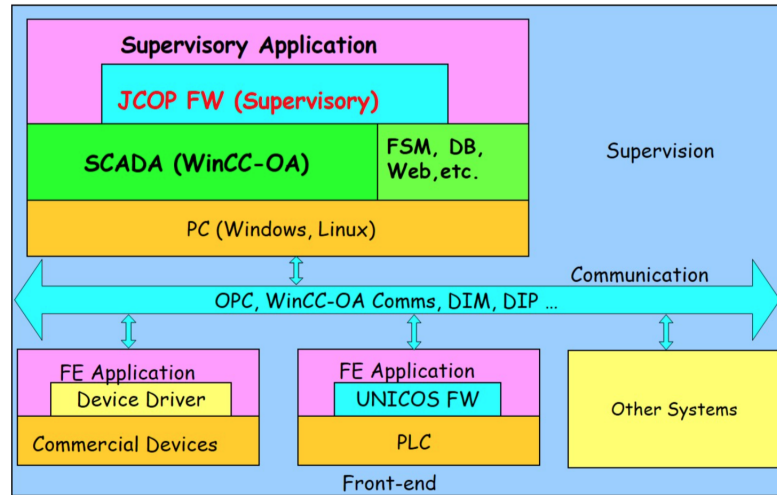
Σχήμα 4.5: Το εργαλείο Graphical Editor του WinCC.

Datapoints, τις λειτουργίες και τα αρχεία του WinCC και επίσης καλύπτουν την όψη και αίσθηση των γραφικών διεπαφής του συστήματος ελέγχου. Επομένως, το JCOP προσφέρει στον χρήστη ένα εύχρηστο περιβάλλον ώστε να συνθέσει το σύστημα του και να του προσφέρει κοινά χαρακτηριστικά σε μία σειρά από συστήματα για την εξοικονόμηση χρόνου και εργασίας. Όπως φαίνεται και στο Σχ. 4.6 το JCOPfw καταλαμβάνει το πρώτο επίπεδο της ιεραρχίας σύνδεσης με το hardware.

Κάποια από τα βασικά εργαλεία του JCOP Framework είναι τα εξής:

- **Installation Component:** Απαραίτητο για την εγκατάσταση των διάφορων components, την αφαίρεση ή ανανέωση των ήδη υπάρχοντων καθώς και την επίβλεψη της λειτουργίας των διάφορων components. Η εγκατάσταση του συγκεκριμένου component είναι αναγκαία για την εγκατάσταση των διάφορων components.
- **Core Component:** Παρέχει τις βασικές λειτουργίες των διάφορων components όπως την διαμόρφωση, ιεράρχηση, σύνδεση με το hardware και τις ειδοποιήσεις.
- **Access Control Component:** Αναγκαίο εργαλείο για τον έλεγχο και την πρόσβαση των χρηστών.
- **CAEN Power Supplies Component:** Επιτρέπει την σύνδεση του WinCC με τα τροφοδοτικά υψηλής τάσης της CAEN μέσω OPC server καθώς και των καναλιών τροφοδοσίας τους.
- **Configuration Database:** Απαραίτητο για την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων για το σύστημα ελέγχου σε μία εξωτερική βάση δεδομένων της Oracle, με σκοπό την αυτοματοποίηση του χειρισμού των δεδομένων διαμόρφωσης που απαιτούνται στο χρόνο εκτέλεσης.
- **Trending Tool:** Επιτρέπει την γραφική απεικόνιση των διαφορών τιμών των DPEs με την δημιουργία γραφημάτων.

Στο Σχ. 4.7 απεικονίζεται το panel για την διαχείριση των components. Η τμηματική προσέγγιση που ακολουθείται από το Framework προωθεί την τυποποίηση μέσα στις εφαρμογές ελέγχου και επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του κώδικα, μειώνοντας σημαντικά τις προσπάθειες ανάπτυξης και συντήρησης.



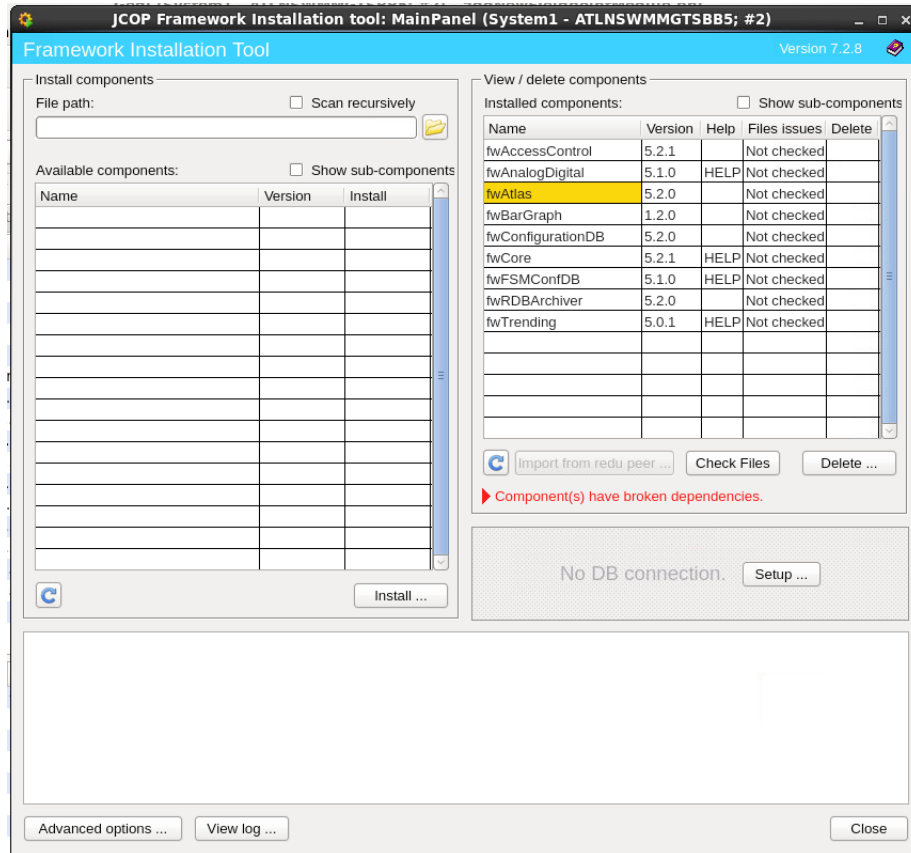
Σχήμα 4.6: Η αρχιτεκτονική του συστήματος και η θέση του JCOPFw στον πυρήνα του DCS.

4.6 Finite State Machine (FSM)

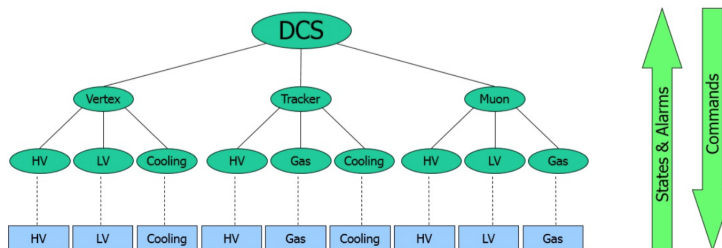
Η αναπαράσταση όλων των στοιχείων ελέγχου των ανιχνευτών από μία μηχανή πεπερασμένης κατάστασης (FSM) είναι βασική για τον ομοιογενή έλεγχο μίας ετερογενούς συλλογής FE συστημάτων των ανιχνευτών. Πρόκειται για ένα μοντέλο συμπεριφοράς του συστήματος που αποτελείται από έναν αριθμό πεπερασμένων καταστάσεων, μεταπτώσεων μεταξύ των καταστάσεων και ενεργειών. Ο μηχανισμός που υιοθετήθηκε για την μοντελοποίηση των ανιχνευτών των υποσυστημάτων στον LHC είναι η χρήση ιεραρχικής δομής γονέα/παιδιών. Η δομή αποτελείται από τρεις τύπους κόμβων:

- Device Units
- Logical Units
- Control Units

Οι μονάδες συσκευών (DU) μοντελοποιούν συγκεκριμένα κομμάτια του εξοπλισμού που τους αντιστοιχεί και επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο των καταστάσεων που προέρχονται από τις τιμές του hardware. Οι τιμές που προέρχονται από τους γονείς τους μεταφράζονται σε τιμές για την ρύθμιση της συσκευής και καθορίζουν την κατάσταση των συσκευών. Οι μονάδες ελέγχου (CU) ελέγχουν όλα τα στοιχεία που βρίσκονται χαμηλότερα στην ιεραρχία από αυτές και δεν μπορούν να είναι διεπαφές συσκευών αλλά μπορούν να περιέχουν μονάδες συσκευών ως παιδιά και να τις ελέγχουν. Τέλος, οι μονάδες λογικής (LU) ελέγχουν τις DU και έχουν σαν γονείς τις CU. Η σύνοψη της ιεραρχικής δομής της FSM απεικονίζεται στο Σχ. 4.8, όπου δίνεται ένα παράδειγμα της FSM ιεραρχίας.



Σχήμα 4.7: Το panel για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης των components του JCOFw.



Σχήμα 4.8: Μοντελοποίηση συστήματος ελέγχου χρησιμοποιώντας FSM.

Θεωρητική μελέτη της διαρροής αερίου των ανιχνευτών MicroMeGas

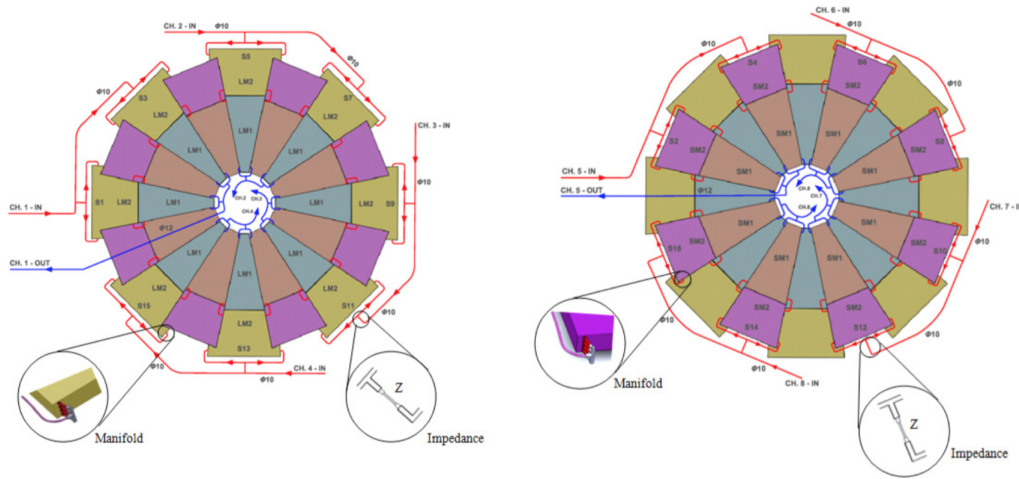
Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί την θεωρητική μελέτη των μεθόδων για τη μέτρηση της διαρροής αερίου των ανιχνευτών αερίου MicroMeGas. Για τη βέλτιστη λειτουργία και απόδοση των ανιχνευτών αναγκαία είναι η εύρεση μεθόδων για τον προσδιορισμό της διαρροής και συνεπώς της στεγανότητας τους. Θα γίνει εκτενής αναφορά στις μεθόδους πτώσης πίεσης (PDR) και απώλειας ροής μάζας (FRL) για την μέτρηση της διαρροής. Η μελέτη της διαρροής του αερίου βασίστηκε στις δημοσιεύσεις τις ομάδας στο ATLAS [56][57][58][59][60][61][62].

5.1 Εισαγωγή

Κατά την αναβάθμιση του New Small Wheel του μιονικού φασματομέτρου του πειράματος ATLAS, το υπάρχον Small Wheel θα αντικατασταθεί από δύο τύπους νέων ανιχνευτών, τον ανιχνευτή Micromegas (MM) και τον ανιχνευτή sTGC. Πρωταρχικός στόχος του MM είναι η βελτίωση του συστήματος σκανδαλισμού (triggering) καθώς και του προσδιορισμού της τροχιάς των σωματιδίων στην κεντρική περιοχή των τροχών. Κάθε New Small Wheel θα αποτελείται από 16 sectors, 8 μεγάλου και 8 μικρού τύπου, με επικάλυψη στις περιοχές του μεγάλου και του μικρού. Κάθε sector θα περιλαμβάνει 2 MM wedges, ένα εκ των οποίων θα καλύπτει την περιοχή προς το σημείο αλληλεπίδρασης (IP-side) και το άλλο την HO-side. Κάθε ένα από τα MM wedges, αποτελείται από 2 ανιχνευτές Micromegas, τα λεγόμενα Module 1(M1) και Module 2(M2). Κάθε ένα από αυτά τα Modules, αποτελείται από 4 παράλληλα επίπεδα συνθέτοντας ένα μία Multiplet (MP). Το αέριο λειτουργίας των MM MPs είναι μείγμα Ar+7%CO₂, όπου ρέει σε πίεση ελαφρώς πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση, περίπου στην τάξη των 10 mbar, συνθέτοντας έναν κύκλωμα ανοικτού σωλήνα (open pipe circuit). Τα απαραίτητα για την σωστή λειτουργία του συστήματος παροχής αερίου είναι η επίτευξη μίας ομοιόμορφης παροχής του αερίου κατά μήκος όλων των MM QPs, καθώς και ο αριθμός των 10 ανανεώσεων του μείγματος του αερία κάθε ημέρα. Η παροχή αερίου περιλαμβάνει 16 κανάλια ανά NSW, όπου κάθε κανάλι αερίου παρέχει αέριο εισόδου και επιστροφής σε δύο wedges ίδιας z-απόστασης. Η ροή του αερίου διαμέσου των wedges πρέπει να είναι ομοιόμορφη σε ποσοστό κάτω από 5%. Στην σταθερή κατάσταση της ροής του αερίου, ο ρυθμός ροής καθορίζεται από την συνολική αντίσταση (impedance) του κυκλώματος σωλήνα, όπου με την σειρά του προκαλεί σημαντικές απώλειες πίεσης κατά μήκος των τμημάτων του αερίου. Οι κύριες απώλειες πίεσης προέρχονται από το ιζώδες των σωλήνων ενώ οι δευτερεύουσες προέρχονται από τις τοπικές αντιστάσεις των επιμέρους στοιχείων.

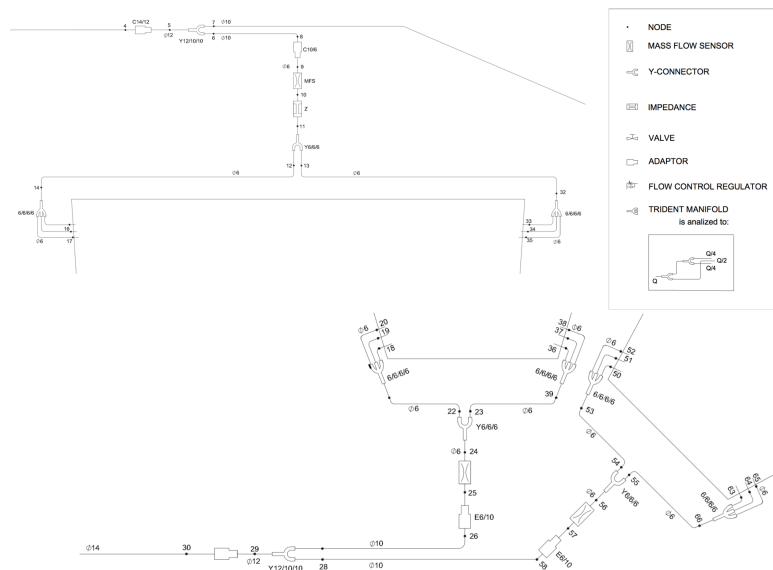
5.2 Σύστημα παροχής αερίου του NSW

Η παροχή του αερίου [56] γίνεται στα επίπεδα κάθε module, τα οποία ομαδοποιούμε σε MPs, όπου τα XM1 και XM2, X=S ή L, συνδέονται διαδοχικά μέσα σε κάθε wedge. Η έξοδος του XM2 είναι συνδεδεμένη στην είσοδο του XM1 και η έξοδος του XM1 είναι συνδεδεμένη στην επιστροφή της γραμμής του αερίου. Οι εισόδου αερίου του XM2 έρχονται από έναν 1-σε-3 manifold σχεδιασμένο ειδικά ώστε να μοιράζει το μείγμα αερίου ομοιόμορφα. Αναγκαίο να αναφερθεί ότι η μεσαία έξοδος του manifold παρέχει αέριο στα δύο εσωτερικά επίπεδα των MM και επομένως απαιτείται διπλή ροή αερίου σε σύγκριση με τα εξωτερικά στρώματα. Κατά μήκος της γραμμής του αερίου κάθε wedge μία κατάλληλη σύνθετη αντίσταση παρεμβάλλεται. Τα 16 κανάλια παροχής αερίου θα παρέχονται από τα υπάρχοντα racks του παλιού Small Wheel που τροφοδοτούσαν τους MDTs και τους CSCs. Κάθε κανάλι θα εξυπηρετεί 2 wedges αλλά όχι του ίδιου sector προκειμένου να διατηρηθεί η πλεοναστικότητα (redundancy) του συστήματος. Το πλήρες σχέδιο των καναλιών του αερίου είναι το εξής, τα large wedges (LW) που βρίσκονται στην μεριά του σημείου αλληλεπίδρασης (IP-side) είναι συνδεδεμένα με τα κανάλια 1-4 και τα HO-side LW είναι συνδεδεμένα με τα κανάλια 9-12. Τα IP-side SWs είναι συνδεδεμένα στα κανάλια 5-8 ενώ τα HO-side SWs στα κανάλια 13-16. Η διαμόρφωση των LW και SW του NSW αποτυπώνεται στο Σχ. 5.1. Μία λεπτομερής σύνδεση της εισόδου και εξόδου στην πλευρά του large module απεικονίζεται στο Σχ. 5.2 παράλληλα με τον πίνακα



Σχήμα 5.1: Η διαμόρφωση της παροχής αερίου στα Large Wedges (Αριστερά) και στα Small Wedges (Δεξιά).

των εξαρτημάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την ολοκλήρωση του συστήματος, με την trident manifold να σημειώνεται επιπλέον στον ισοδύναμο κύκλωμα. Η κατανομή αερίου των MPs σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη κάποιους βασικούς παράγοντες όπως την εισαγωγή του οξυγόνου λόγω της πεπερασμένης στεγανότητας, τα αποτελέσματα γήρανσης και το κόστος της αναπλήρωσης του αερίου, όπου η αρχική βάση θα αποτελείται από 10 αναπληρώσεις. Το εκτιμώμενο κόστος της διαρροής αερίου είναι περίπου 13, kCHF για κάθε χρόνο για αυτόν τον αριθμό των επαναπληρώσεων. Η προτιμώμενη ροή αερίου για τον SW είναι 17 L/h και για τον LW είναι 26 L/h, με διαφορές της τάξης του 10% να είναι ανεκτές. Για κάθε wedge θα εγκατασταθεί ένας αισθητήρας ροής μάζας (mass flow) ώστε να ελέγχεται η ισορροπία της ροής μάζας του αερίου κατά την διάρκεια λειτουργίας του NSW. Κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος αερίου, κάθε ποσοτική απόκλιση μεταξύ της ονομαστικής ροής μάζας και της μετρούμενης στην γραμμή επιστροφής κάθε καναλιού αερίου θα υποδεικνύουν μία διαρροή αερίου.



Ας θεωρήσουμε τώρα έναν θάλαμο όγκου V γεμάτο με ένα ιδανικό αέριο πίεσης p και απόλυτης θερμοκρασίας T , σύμφωνα με τον νόμο των ιδανικών αερίων θα έχουμε:

$$pV = nRT \quad (5.1)$$

όπου n είναι ο αριθμός των moles και R η σταθερά αερίου. Σύμφωνα με την παραπάνω Εξ.(5.1), στα αέρια ως συμπιεζόμενα υγρά, ο όγκος τους σχετίζεται με την πίεση για σταθερές θερμοκρασίες και συγκεκριμένη τιμή n . Για αυτόν τον λόγο, μία πιο προτιμητέα σχέση εκφρασμένη σε διαρροή αερίου βασίζεται στην ροή μάζας (ποσότητα διαρροής της ποσότητας dn/dt) δίνεται από την σχέση:

$$Q_L = \frac{d(pV)}{dt} = RT \frac{dn}{dt} \quad (5.2)$$

η οποία μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$Q_L = p \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt} = RT \frac{dn}{dt} \quad (5.3)$$

Μπορούμε να διερευνήσουμε 3 συνθήκες όπου έχουμε:

1. Θάλαμο με καθορισμένο όγκο και σταθερή θερμοκρασία. ($V = V_0 = \text{σταθερά}$, $T = \text{σταθερά}$)
2. Εύκαμπτο θάλαμο με καθορισμένη πίεση ($p = p_0 = \text{σταθερά}$)
3. Θάλαμο με καθορισμένο όγκο και πίεση χωρίς διαρροή αερίου ($pV = p_0 V_0 = \text{σταθερά}$, όπου $n = \text{σταθερά}$)

Αντικαθιστώντας στην 5.3 θα έχουμε:

1. $Q_L = V_0 \frac{dp}{dt}$
2. $Q_L = p_0 \frac{dV}{dt}$
3. $Q_L = V \frac{dp}{dt} + p \frac{dV}{dt} = 0$

Από την περίπτωση 3 οδηγούμαστε έτσι στην εξίσωση:

$$p_0 \frac{dV}{dt} = -V_0 \frac{dp}{dt} \implies \frac{dV}{dt} = -\frac{V_0}{p_0} \frac{dp}{dt} \quad (5.4)$$

Η τελευταία σχέση δείχνει ότι ο ρυθμός της διαρροής αερίου, εκφρασμένος από το ρυθμό όγκου του αερίου σχετίζεται με την πτώση του ρυθμού της πίεσης.

5.4 Μέθοδοι μέτρησης διαρροής αερίου

5.4.1 Μέθοδος πτώσης πίεσης (PDR)

Η αρχή της μεθόδου πτώσης πίεσης ή Pressure Decay Rate (PDR) [57], βασίζεται στην πτώση της πίεσης ενός αντικειμένου το οποίο αφού έχει πληρωθεί με αέριο σε μία καθορισμένη τιμή της πίεσης στην συνέχεια απομονώνεται από την παροχή της πίεσης. Η πίεση μέσα στο αντικείμενο, ένας ανιχνευτής για παράδειγμα, καταγράφεται μέσω ενός αισθητήρα πίεσης και καθώς το αέριο διαρρέει παρατηρείται πτώση πίεσης. Ο ρυθμός διαρροής μπορεί να υπολογιστεί από την αλλαγή της πίεσης σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Από την Εξ. 5.4, ο ρυθμός διαρροής εκφράζεται από τον ρυθμό όγκου του αερίου όπου σχετίζεται με τον ρυθμό πτώσης πίεσης, και σαν αποτέλεσμα η μετρούμενη πτώση πίεσης μπορεί να μετατραπεί σε ρυθμός διαρροής, εάν ο όγκος του μετρούμενου αντικειμένου είναι καθορισμένος. Επιπλέον, πρέπει ο χρόνος της μέτρησης να καταγραφεί και η μέτρηση της πτώσης πίεσης να καταγραφεί με μεγάλη ακρίβεια. Για τους ανιχνευτές Micromegas, όπου ο όγκος είναι καθορισμένος, ο ρυθμός διαρροής της μεθόδου πτώσης πίεσης (PDR) μπορεί να εκφραστεί ως:

$$Q_L = V \frac{dp}{dt} \rightarrow Q_L = \frac{(P_{in} - P_f) \cdot V}{t} = \frac{\Delta P \cdot V}{t} \quad (5.5)$$

όπου Q_L είναι ο ρυθμός διαρροής του αερίου σε μονάδες mbar L/s, P_{in} είναι η αρχική πίεση και P_f είναι η τελική πίεση, V ο όγκος σε L και t ο χρόνος της μέτρησης σε s.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ευαισθησία ως προς μικρές τιμές διαρροής, η ευκολία της μεθόδου ως προς άλλες τεχνικές μέτρησης διαρροής και το κόστος είναι το ελάχιστο ώστε να πραγματοποιηθεί. Επιπλέον, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο calibration του συστήματος βασισμένο σε ακριβή θεωρία διαρροής καθώς και εξαρτάται από τον όγκο του αντικειμένου που εξετάζεται.

Αβεβαιότητα μοντέλου

Στην μέθοδο PDR η κύρια ιδέα είναι η πειραματική μέτρηση του ρυθμού πτώσης πίεσης και με την ανάλυση της ως μία συνάρτηση του χρόνου προσδιορίζουμε τον ρυθμό διαρροής Q_L , λόγω μίας υποθετικής απώλειας μορίων του αερίου dn/dt . Σύμφωνα με τον νόμο των ιδανικών αερίων θα έχουμε:

$$\frac{d(PV)}{dt} = R_s T \frac{dm}{dt} \rightarrow \frac{V_0}{P_0} \frac{dP}{dt} = -Q_L \quad (5.6)$$

όπου R_S είναι συγκεκριμένη σταθερά αερίου και m η μάζα του αερίου στον όγκο V_0 . Ωστόσο, ο ρυθμός διαρροής Q_L εξαρτάται μόνο από την απόλυτη πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου υπό ανίχνευση και την βαρομετρική πίεση. Γενικά η πίεση περιβάλλοντος, P_0 είναι συνάρτηση της gauge πίεσης $p = p_g$ του υπό εξέταση θαλάμου, και επομένως, $Q_L = g(P, P_0) = g(P + p, P_0)$, όπου $p = P - P_0 \rightarrow dP = dp$. Εάν $P - P_0 \ll P_0$ ο ρυθμός της διαρροής εξαρτάται από την gauge πίεση, και ισούται με $Q_L = f(p)$. Με αποτέλεσμα, η παραπάνω εξίσωση να γίνεται:

$$\frac{V_0}{P_0} \frac{dp}{dt} = -f(p) \rightarrow \frac{dp}{f(p)} = -\frac{P_0}{V_0} dt \rightarrow \int_{p_0}^p \frac{dp'}{f(p')} = -\frac{P_0}{V_0} t \quad (5.7)$$

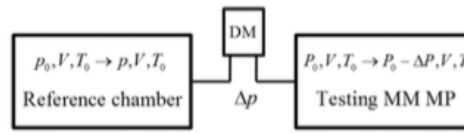
Από το παραπάνω ολοκλήρωμα υπολογίζουμε την πίεση p ως μία συνάρτηση του χρόνου (πτώση πίεσης), $p(t)$, και ο ρυθμός διαρροής για $t = 0$ είναι:

$$Q_{L,0} = f(p_0) = f(p(0)) = \frac{V_0}{P_0} \left[\frac{dp}{dt} \right]_{t=0} \quad (5.8)$$

Όμως η συνάρτηση $Q_L = f(p)$ περιγράφει την ροή μίας άγνωστης διαρροής orifice ή καναλιού, και επιπλέον το γεωμετρικό σχήμα και οι διαστάσεις της οποίας είναι άγνωστες. Ωστόσο, έχοντας τα πειραματικά δεδομένα της $p(t)$ μπορούμε να κάνουμε το fit του κατάλληλου μοντέλου.

Διάταξη

Η προτεινόμενη διάταξη για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο της πτώσης πίεσης που αποτυπώνεται στο Σχ. 5.5, αποτελείται από το μετρούμενο αντικείμενο, για παράδειγμα έναν MM MP, έναν θάλαμο αναφοράς, ένα διαφορικό μανόμετρο και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Ο υπό εξέταση θάλαμος θα τροφοδοτείται με αέριο έως και την καθορισμένη πίεση 3 mbar και στην συνέχεια θα απομονώνεται. Η πτώση πίεσης θα μετρείται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μέσω του διαφορικού μανόμετρου όπου θα καταγράφει την διαφορική πίεση μεταξύ στον μετρούμενο θάλαμο και στον θάλαμο αναφοράς ο οποίος θα πρέπει να διατηρείται όσο περισσότερο στεγανός γίνεται. Με αυτήν την τεχνική, οι μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης μπορούν να εξαλειφθούν και οι μεταβολές της θερμοκρασίας στους θαλάμους πρέπει αφαιρεθούν κατά την αρχή και το τέλος των μετρήσεων.



Σχήμα 5.3: Πειραματική διάταξη μέτρησης διαρροής με την μέθοδο της πτώσης πίεσης (PDR).

Οι πειραματικές δυσκολίες της μεθόδου επάγονται στους επόμενους παράγοντες 1) η σταθεροποίηση της πίεσης σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο με μία ασφαλή μέθοδο και την σχετική διαδικασία, 2) η ανάγκη για σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του πειραματικού χώρου που διεξάγεται η μέτρηση και 3) το αντιπροσωπευτικό σημείο και ο κατάλληλος χρόνος μέτρησης για τους MM MPs. Μία επιπλέον παράμετρος είναι η ανομοιομορφία των συγκεντρώσεων των αερίων στο εσωτερικό των MP (μείγμα αέρα και αερίου) και η ισορροπία δεν μπορεί να εγγραφεί για κάποιο χρονικό διάστημα. Τέλος, για την επιτυχή μέτρηση της διαρροής αερίου η αρχική πίεση για την μέτρηση πρέπει να καθορισθεί στην προτεινόμενη, 3 mbar, για όλους τους μετρούμενους MM MPs.

Αντιστάθμιση Θερμοκρασίας

Κατά την διάρκεια της μέτρησης με την μέθοδο PDR, οι μεταβολές της θερμοκρασίας δεν μπορούν να αποφευχθούν και είναι σημαντικό να καταγραφούν με την βοήθεια ενός αισθητήρα θερμοκρασίας. Οι μεταβολές αυτές επηρεάζουν την πτώση της πίεσης προκαλώντας εσφαλμένη εκτίμηση του ποσοστού της διαρροής αερίου χωρίς κάποιο είδος αντιστάθμισης. Αν πάρουμε τον νόμο των ιδανικών αερίων και υπολογίσουμε την πτώση πίεσης θεωρώντας μία ταυτόχρονη μεταβολή της θερμοκρασίας θα έχουμε:

$$\frac{dpV}{dT} = R_S T \frac{dm}{dt} + m R_S \frac{dT}{dt} \quad (5.9)$$

Καθορίζοντας, $P = p + P_0 \Rightarrow p = P - P_0$ και $R_S T = P_0 / \rho_0$ και αναδιαμορφώνοντας τους όρους θα έχουμε:

$$V_0 \frac{dp}{dt} = R_S T \rho_0 \frac{dV}{dt} + \rho_0 V_0 R_S \frac{dT}{dt} \Rightarrow \frac{V_0}{P_0} \frac{dp}{dt} - \frac{V_0}{T} \frac{dT}{dt} = \frac{dV}{dt} = -f(p) \quad (5.10)$$

Εναλλακτικά, στην πραγματικότητα, οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι πολύ μικρές σε σχέση με την αρχική T_0 και έτσι στην τελευταία εξίσωση μπορούμε να θέσουμε T_0 αντί για T . Χρησιμοποιώντας επιπλέον την σχέση της θερμοκρασίας σε βαθμούς $^{\circ}C$: $d\theta = d(T - 273.15) = dT$ θα έχουμε:

$$\frac{V_0}{P_0} \frac{dp}{dt} - \frac{V_0}{T_0} \frac{d\theta}{dt} = \frac{dV}{dt} = -f(p) \quad (5.11)$$

Επιπλέον, θεωρούμε ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας $d\theta/dt$ είναι σταθερή για μικρή χρονική περίοδο κοντά στο $t = 0$. Καθορίζουμε επιπλέον, $q_\theta = (V_0/T_0)d\theta/dt$ και θεωρούμε αυτόν τον παράγοντα ως σταθερό κατά την διάρκεια της πτώσης πίεσης τότε έχουμε:

$$\frac{V_0}{P_0} \frac{dp}{dt} - q_\theta = -f(p) \quad (5.12)$$

Τελικά, με βάση την μέτρηση της πτώσης πίεσης, ο ρυθμός διαρροής μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση λαμβάνοντας υπόψιν την αντιστάθμιση της θερμοκρασίας.

$$Q_{L,0} = f(p_0) = f(p(0)) = \left| q_\theta - \frac{V_0}{P_0} \left[\frac{dp}{dt} \right]_{t=0} \right| \quad (5.13)$$

Εάν $d\theta/dt < 0$ τότε, χωρίς την αντιστάθμιση της θερμοκρασίας ο ρυθμός διαρροής υπερεκτιμάται. Στην αντίθετη περίπτωση όπου $d\theta/dt > 0 \Rightarrow q_\theta > 0$, χωρίς την αντιστάθμιση της θερμοκρασίας ο ρυθμός διαρροής υποεκτιμούνται.

Φαινόμενο διαστολής όγκου

Εάν ένας μετρούμενος θάλαμος έχει κάποιον βαθμό ελαστικότητας, μετά από την συμπίεση φαίνεται να έχει υποβληθεί σε μία μικρή διεύρυνση. Στην περίπτωση της μεθόδου PDR, αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την σωστή μέτρηση του ρυθμού διαρροής. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να περιγραφεί από τον νόμο των ιδανικών αερίων:

$$-P_0 Q_L = \frac{dpV}{dt} = V_0 \frac{dp}{dt} + P_0 \frac{dV}{dt} \quad (5.14)$$

Ορίζουμε την σταθερά της συμμόρφωσης όγκου c , volume compliance, όπου ($0 < c < 1$) ως εξής:

$$c = \frac{dV/V_0}{dp/P_0} \quad (5.15)$$

Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις θα έχουμε τελικά:

$$-P_0 Q_L = V_0(1+c) \frac{p}{t} \Rightarrow \frac{V_0}{P_0} \frac{dp}{dt} = -\frac{Q_L}{(1+c)} \quad (5.16)$$

Από την τελευταία σχέση, το αποτέλεσμα είναι ο ρυθμός πτώσης πίεσης να είναι αρκετά μικρότερος για δεδομένη διαρροή αερίου με έναν παράγοντα $1/(1+c)$ που κυμαίνεται στην περιοχή $[0, 1)$. Μπορούμε να συσχετίσουμε τώρα την σταθερά c με το μέτρο ελαστικότητας του Young, E . Έτσι, με βάση τον ορισμό του c θα έχουμε, $c = P_0/E$. Επομένως, η σταθερά c είναι η αμοιβαιότητα της του συντελεστή Young που κανονικοποιείται και μετράει ένα είδος επέκτασης όγκου (Volume Expansion Strain (VES)). Κατά την διάρκεια της μέτρησης της διαρροής αερίου με την μέθοδο PDR, έστω και μία μικρή επέκταση του όγκου του θαλάμου, μπορεί να οδηγήσει σε υποεκτίμηση του ρυθμού διαρροής σύμφωνα με τον παραπάνω μηχανισμό. Η επέκταση του όγκου VES μπορεί να μετρηθεί πειραματικά με την βοήθεια μίας διαδικασίας βαθμονόμησης μέσω της FRL μεθόδου που θα περιγραφεί στην συνέχεια.

5.4.2 Μέθοδος απώλειας ροής (FRL)

Μία εναλλακτική μέθοδος για την μέτρηση της διαρροής αερίου προτείνεται και βασίζεται στην απευθείας μέτρηση της απώλειας ροής (FRL) [57], dV/dt σε μονάδες L/h, της οποίας η αρχή λειτουργίας βασίζεται στον νόμο περί διατήρησης μάζας που εφαρμόζεται κατά μήκος ενός ρεύματος ροής αερίου. Η απώλεια ροής συνιστά ουσιαστικά μία διαφορική μέτρηση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί χρησιμοποιώντας αισθητήρες ροής μάζας, mass flow sensors (MFS) ή μετρητές ροής μάζας, mass flowmeters. Η απώλεια ροής, ως ρυθμός διαρροής, μπορεί να μετατραπεί για λόγους σύγκρισης σύμφωνα με τον τυπικό ορισμό της διαρροής αερίου λαμβάνοντας υπόψιν την πίεση του αερίου κατά την ροή του ως εξής:

$$Q_L = p_0 \frac{dV}{dt} \quad (5.17)$$

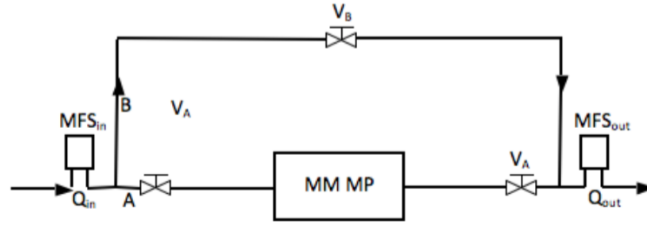
Αντί της πίεσης p_0 , μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ατμοσφαιρική πίεση χρησιμοποιώντας την κατάλληλη μετατροπή της πυκνότητας του αερίου σε αυτήν την πίεση. Είναι προφανές ότι η μέθοδος FRL είναι πιο "φυσική" και εύκολη ως προς την υλοποίηση της. Οι μετρήσεις πρέπει να καταγράφονται κατά την διάρκεια της σταθερής κατάστασης της ροής αερίου διαμέσου των MM MPs και δεν απαιτείται ένας αριθμός λεπτών χειρισμών και ελέγχων της πίεσης και της θερμοκρασίας. Στην μέθοδο αυτήν μοναδικός κρίσιμος παράγοντας είναι η μέση πίεση μέσα στους θαλάμους, η οποία μπορεί να σταθεροποιηθεί στο επίπεδο περίπου των 3 mbar με την βοήθεια ενός bubbler στην έξοδο της γραμμής του αερίου. Επιπλέον, η πίεση είναι ο κύριος παράγοντας που δημιουργεί την διαρροή είτε ο θάλαμος είναι τελείως στεγανός είτε είναι σε κύκλωμα ροής σταθερής κατάστασης.

Διάταξη

Η πειραματική διάταξη για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL περιλαμβάνει 2 αισθητήρες ροής μάζας (MFS) από τους οποίους ο ένας θα βρίσκεται στην είσοδο της παροχής αερίου του MM MP και ο άλλος στην έξοδο της γραμμής αερίου και επιπλέον, ένας σωλήνας διέλευσης τύπου push-in/push-out απαιτείται. Οι τύπου "T" και "Y" συνδέσεις επιτρέπουν την απόκλιση της ροής σε ένα τμήμα δίχως διαρροής (tare ή offset όρος) του οποίου ο ρυθμός ροής θα πρέπει να αφαιρεθεί. Επιπρόσθετα, 3 μεγάλης στεγανότητας βαλβίδες τύπου on/off χρησιμοποιούνται για την απομόνωση της κανονικής γραμμής (κλάδος A) και την γραμμής παράκαμψης (κλάδος B). Η πειραματική διάταξη απεικονίζεται στο Σχ. 5.4.

Παίρνουμε ως παράδειγμα, αισθητήρες MFS για την πραγματοποίηση της μέτρησης του ρυθμού διαρροής που παρουσιάζουν γραμμική απόκλιση ως προς την έξοδο της αναλογικής τους τάσης και ισούται με:

$$V_0 = bQ + a \quad (5.18)$$



Σχήμα 5.4: Πειραματική διάταξη μέτρησης διαρροής με την μέθοδο της απώλειας ροής (FRL).

Η εξίσωση αυτή προκύπτει από την βαθμονόμηση των αισθητήρων με τα στοιχεία που έχει δώσει ο κατασκευαστής και a, b είναι οι δύο όροι της εξίσωσης. Ο ρυθμός απώλειας ροής μάζας Q εκφράζεται από την αναλογική τάση εξόδου των αισθητήρων. Ο αντίστοιχος ρυθμός ροής Q δίνεται από τον κατασκευαστή το οποίο αντιστοιχεί σε κανονικές συνθήκες (1 bar, 0° C) και μπορεί να επανατικοποιηθεί για διαφορετικές θερμοκρασίες.

Οι αναλογικές τάσεις των MFS στην είσοδο (inlet) θα δίνονται από το παρακάτω ζεύγος για τους δύο κλάδους A και B της διάταξης.

$$V_{0,in}^A = b Q_{in}^A + a \leftrightarrow Q_{in}^A = \frac{1}{b} (V_{0,in}^A - a) \quad (5.19)$$

$$V_{0,in}^B = b Q_{in}^B + a \leftrightarrow Q_{in}^B = \frac{1}{b} (V_{0,in}^B - a) \quad (5.20)$$

Οι αναλογικές τάσεις των MFS στην έξοδο (outlet) θα δίνονται από το παρακάτω ζεύγος για τους δύο κλάδους A και B της διάταξης.

$$V_{0,out}^A = b Q_{out}^A + a \leftrightarrow Q_{out}^A = \frac{1}{b} (V_{0,out}^A - a) \quad (5.21)$$

$$V_{0,out}^B = b Q_{out}^B + a \leftrightarrow Q_{out}^B = \frac{1}{b} (V_{0,out}^B - a) \quad (5.22)$$

Σαν αποτέλεσμα, ο μετρούμενος ρυθμός διαρροής του αερίου θα ισούται με:

$$\begin{aligned} Q_L &= (Q_{in}^A - Q_{out}^A) - (Q_{in}^B - Q_{out}^B) \\ &= \frac{1}{b} (V_{0,in}^A - V_{0,out}^A) - \frac{1}{b} (V_{0,in}^B - V_{0,out}^B) \\ &= \frac{1}{b} (\Delta V_0^A - \Delta V_0^B) \end{aligned} \quad (5.23)$$

Στην πραγματικότητα όμως οι δύο αισθητήρες παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά ως προς την απόκριση τους, για αυτό αν θεωρήσουμε b_1, b_2 τις σταθερές που προέκυψαν από την κανονικοποίηση η πραγματική εξίσωση μετατρέπεται ως εξής:

$$Q_L = \frac{1}{b_1} \left(\Delta V_0^A - \frac{b_1}{b_2} \Delta V_0^B \right) \quad (5.24)$$

Ο λόγος b_1/b_2 πρέπει να θεωρηθεί ίσος με την μονάδα επειδή ο κατασκευαστής δίνει μόνο ένα μόνο σει από σημεία βαθμονόμησης. Αντίθετα, η σύγκριση που δίνεται από τον κατασκευαστή δείχνει μία διαφοροποίηση ως προς τα δείγματα των αισθητήρων. Ως εκ τούτου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διαφορά μεταξύ b_1 και b_2 έχει ένα άνω όριο που ισούται με το πάνω όριο της επαναληψιμότητας (repeatability) που στην περίπτωση μας ισούται με 1%. Συνεπώς ο λόγος b_1/b_2 επηρεάζει το συστηματικό σφάλμα στην τάξη του 1%, ενώ ο όρος b_1 το επηρεάζει στο επίπεδο της απόλυτης ακρίβειας των αισθητήρων που ισούται με 5%. Το συστηματικό σφάλμα μπορεί να αφαιρεθεί εάν βαθμονομήσουμε τους αισθητήρες χρησιμοποιώντας πιο ακριβή ροόμετρα.

Είναι σαφές ότι ο ρυθμός διαρροής είναι γραμμική συνάρτηση της διαφοράς των αναλογικών εξόδων τάσης των δύο αισθητήρων MFS για τον κλάδο A και B αντίστοιχα. Το σχετικό σφάλμα της διαρροής Q_L ισούται με αυτό της κλίσης b που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο. Οι διαφορές της τάσης μπορούν να μετρηθούν απευθείας με ένα ψηφιακό βολτόμετρο ή με την είσοδο των αναλογικών τάσεων σε κάποιο κομπιούτερ εξοπλισμένο με μία μονάδα 16-bit Analog-to-Digital Converter (ADC), που θα παρέχει την ελάχιστη ακρίβεια των 4.5 ψηφίων. Επιπρόσθετα, ο ρυθμός διαρροής, ως θετική ποσότητα, θα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω μεθοδολογία:

$$Q_L^A = \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} [Q_{in,n}^A - Q_{out,n}^A] = \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} (\Delta Q)_n^A \quad (5.25)$$

$$Q_L^B = \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} [Q_{in,n}^B - Q_{out,n}^B] = \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} (\Delta Q)_n^B \quad (5.26)$$

$$Q_L = Q_L^A - Q_L^B \quad (5.27)$$

Ο τελικός ρυθμός διαρροής θα πρέπει να διορθωθεί για τις διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας των δύο αισθητήρων στην είσοδο και στην έξοδο των μετρήσεων ή μία λύση είναι η τοποθέτηση τους όσο το δυνατόν κοντινότερα ο ένας στον άλλον και η καταγραφή της θερμοκρασίας τους με ελάχιστη ακρίβεια της τάξεως των 0.5° C.

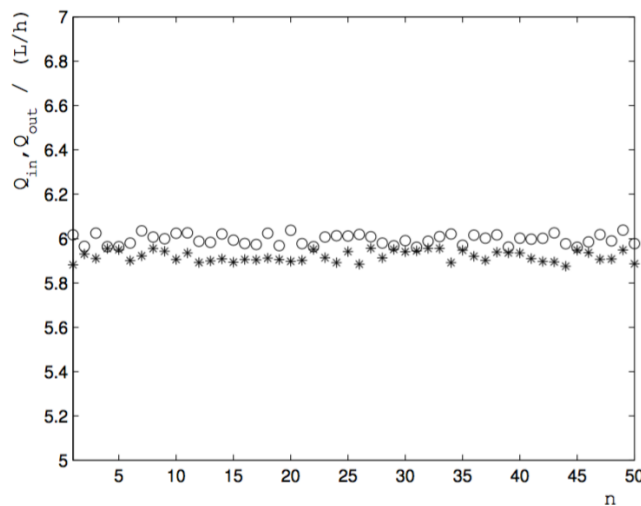
Ανάλυση σήματος και ελάττωση θορύβου

Ο ρυθμός διαρροής του αερίου στην FRL μέθοδο είναι η διαφορική ηλεκτρική τάση μεταξύ των MFS στην είσοδο και στην έξοδο του θαλάμου με την αφαίρεση ενός επιπλέον tare όρου που βασίζεται στην επιμέρους διαφορά των κατασκευαστικών αναλογικών τάσεων εξόδου των δύο αισθητήρων [57]. Κατά την μετατροπή της τάσης σε ρυθμό διαρροής, το σήμα παρουσιάζει κάποια διακύμανση, θεωρώντας ίσες διακυμάνσεις για τον κλάδο Α και Β, ο τελικός ρυθμός διαρροής μπορεί τελικά να γραφτεί ως:

$$Q_L = Q_L^A \pm \sigma_L - Q_L^B \pm \sigma_L \quad (5.28)$$

όπου μέση τιμή $Q_L = Q_L^A - Q_L^B$ και τυπική απόκλιση $\sigma_L = \sqrt{2\sigma_L^2} = \sigma_L\sqrt{2}$. Συνεπώς, το όριο ανίχνευσης, για λόγο σήματος προς θόρυβο (S/N) ίσο με την μονάδα, θα πρέπει να ισούται με $\sigma_L\sqrt{2}$.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος της μείωσης του θορύβου βασίζεται στην μέθοδο Lock-In Amplifier που αναλύεται στο Παράρτημα Χ. Το διαφορικό σήμα (ηλεκτρική τάση) πρέπει να εφαρμοστεί σε έναν lock-in ενισχυτή μετά την διαμόρφωση του από μία ημιτονοειδή κυματομορφή με κατάλληλη συχνότητα. Σύμφωνα με την θεωρητική μελέτη, με την χρησιμοποίηση αυτής της τεχνικής μπορούμε να αυξήσουμε τον λόγο S/N σε ένα επίπεδο της τάξης του 10 ή περισσότερο. Με τον ίδιο τρόπο, μπορούμε να χειριστούμε το tare διαφορικό σήμα ώστε να ελαχιστοποιήσουμε τις διακυμάνσεις που περιλαμβάνει. Στο Σχ. 5.5 αποτυπώνεται η αναγκαιότητα της χρήσης της μεθόδου Lock-In Amplifier όπου αποτυπώνονται οι μετρήσεις της διαρροής αερίου καθώς και του όρου tare ανάμεσα στους δύο MFS. Με την μέθοδο αυτή θα ελαχιστοποιηθεί η διακύμανση του διαφορικού σήματος, σαν αποτέλεσμα θα έχουμε ένα "καθαρότερο" σήμα και θα μπορούμε να μετρήσουμε με μεγάλη ακρίβεια την διαρροή του MM MP.



Σχήμα 5.5: Σχεδιάγραμμα των ρυθμών ροής στην είσοδο (κύκλοι) και στην έξοδο(αστέρια) σαν συνάρτηση του αριθμού n .

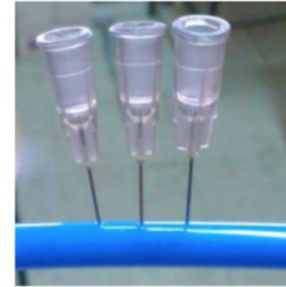
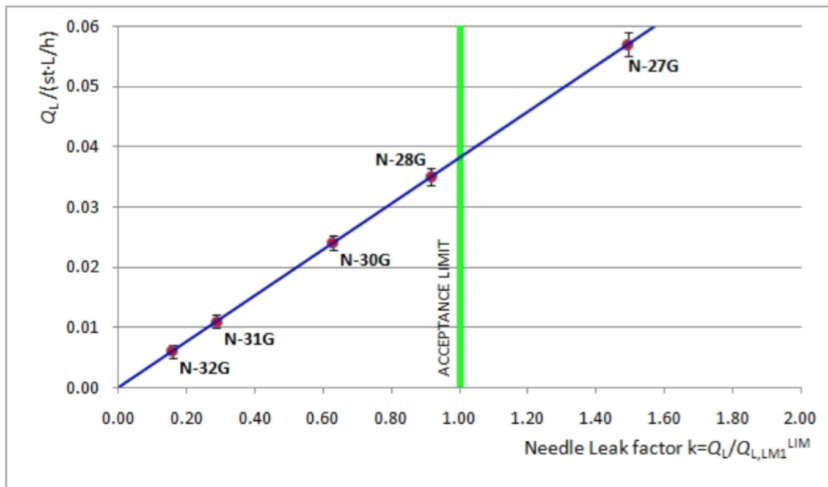
Βαθμονόμηση των MFS με χρήση ιατρικών βελονών

Ο προσδιορισμός του ορίου ανίχνευσης της διάταξης πραγματοποιήθηκε με την χρήση υποδερμικών ιατρικών βελονών τύπου 27G, 28G, 30G, 31G, 32G [58]. Η ακρίβεια στην διάμετρο τους είναι $19 \mu\text{m}$, ωστόσο ενδιαφερόμαστε μόνο για τον ρυθμό ροής εφόσον υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης με μεγαλύτερη ακρίβεια με την πειραματική διάταξη μας. Οι βελόνες εισέρχονται στην μεριά της πλαστικής σωλήνας, όπου και παρατηρήθηκε πειραματικά η μη ύπαρξη διαρροής μεταξύ της βελόνας και της μεριάς του σωλήνα. Αυτές οι βελόνες βοηθούν στην βαθμονόμηση της πειραματικής διάταξης μέτρησης της διαρροής των MM MP. Μετρήθηκε πειραματικά η διαρροή των βελονών και αποτυπώνονται στην γραφική παράσταση του Σχ. 5.6 όπου στον οριζόντιο άξονα έχουμε τον ρυθμό διαρροής διαιρεμένο με τον επιτρεπόμενο όριο του LM1 ενώ στον κάθετο άξονα αποτυπώνεται ο ρυθμός διαρροής που μετρήθηκε, σαν αποτέλεσμα δημιουργείται ένα οδηγός διαρροής ο οποίος μπορεί να δώσει ταυτόχρονα δύο αποτελέσματα.

Η βαθμονόμηση έγκειται στον προσδιορισμό του συντελεστή F_{gas} για την μετατροπή της αναλογικής τάσης εξόδου των αισθητήρων V_{out} σε μονάδες ροής μάζας L/h για διαφορετικά αέρια με την χρήση ιατρικής βελόνας καθορισμένης διαρροής, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, και δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$F_{gas} = R_{gas} \times 0.00328 \times \frac{\Delta V_{air}}{\Delta V_{gas}} = R_{gas} \times 0.00328 \times \frac{\Delta V_{air} - \Delta V_{air}^{ter}}{\Delta V_{gas} - \Delta V_{gas}^{ter}} \quad (5.29)$$

όπου R_{gas} ο σχετικός λόγος διαρροής για το αντίστοιχο αέριο (Πίνακας 8.1), ΔV_{air} και ΔV_{air}^{ter} η διαρροή και το offset με χρήση αέρα, ΔV_{gas} και ΔV_{gas}^{ter} η διαρροή και το offset με χρήση οποιουδήποτε αερίου αντίστοιχα.



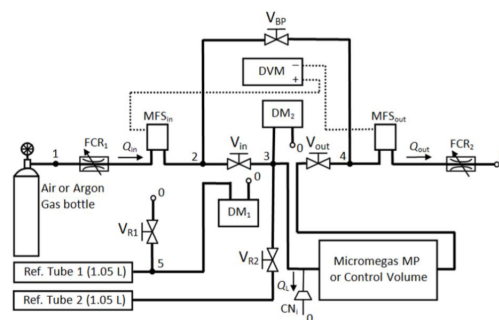
Σχήμα 5.6: Η γραφική παράσταση της διαρροής αερίου διαφόρων ιατρικών βελονών με το όριο αποδοχής και οι υποδερμικές ιατρικές βελόνες που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία διαρροής.

Αέριο	Σχετικός λόγος διαρροής
Αέρας	1.000
Αργόν	1.243
Μείγμα Ar:CO2	1.286

Πίνακας 5.1: Σχετικός λόγος διαρροής

5.5 Σύνθετη Διάταξη

Μία σύνθετη πρώτυπη πειραματική διάταξη [58] για την μέτρηση του ρυθμού διαρροής αερίου προτείνεται για τον συνδυασμό των μεθόδου πτώσης πίεσης (PDR) καθώς και της μεθόδου ρυθμού ροής (FRL). Η διάταξη, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 5.7, βασίζεται πάνω στις γενικές αρχές που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Στην είσοδο θα έχουμε την παροχή του αερίου (αέρας ή αργό), στην συνέχεια ακολουθεί ένας ρυθμιστής ελέγχου ροής (FCR) και οι 2 αισθητήρες ροής μάζας (MFS) όπου με την βοήθεια ενός βολτόμετρου θα καταγράφεται τον διαφορικό σήμα, δηλαδή ο ρυθμός διαρροής του θαλάμου προς εξέταση. Επιπλέον, θα έχουμε δύο κλάδους A και B που θα ρυθμίζονται από τις 3 βαλβίδες ώστε να μετριέται απευθείας η διαρροή και το tare των αισθητήρων.



Σχήμα 5.7: Πρωτότυπη πειραματική διάταξη για εκτίμηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο PDR και FRL.

Ένα διαφορικό μανόμετρο εσωτερικά του κλάδου A, χρησιμοποιείται για την μέτρηση της πίεσης στο εσωτερικό του θαλάμου ώστε να διατηρείται στο επίπεδο των 3 mbar. Επιπλέον, υπάρχει και μία τέταρτη βαλβίδα, η V_{R2} που επιτρέπει την σύνδεση του θαλάμου με έναν θάλαμο αναφοράς για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο της πτώσης πίεσης (PDR) καθώς και ένα πρόσθετο διαφορικό μανόμετρο για την καταγραφή των μεταβολών της ατμοσφαιρικής πίεσης για την επανεκτίμηση των τελικών αποτελεσμάτων. Η διαδικασία μέτρησης και για τις δύο μεθόδους προϋποθέτει μία σταθερή κατάσταση της ροής του αερίου πριν την εκκίνηση της καταγραφής των δεδομένων. Ο απαιτούμενος χρόνος της μέτρησης εξαρτάται από τον όγκο του θαλάμου υπό εξέταση. Στην PDR μέθοδο, μετά την σταθερή κατάσταση αναγκαία είναι η απομόνωση της ισορροπίας μεταξύ των απομονωμένων όγκων, ενώ στην FRL μέθοδο μετά από την σταθερή κατάσταση της ροής του αερίου επιτυγχάνεται και η σωστή πίεση της μέτρησης του θαλάμου.

5.6 Μελέτη ευαισθησίας των ανιχνευτών MM του NSW

Σύμφωνα με τα προαπαιτούμενα που από το NSW τα όρια αποδοχής [57] της διαρροής αερίου είναι $V \times 10^{-5} \text{ L/min} = V \times 10^{-5}/60 \text{ L/min}$, όπου V ο όγκος του αντίστοιχου MM Module. Σύμφωνα με αυτά τα απαιτούμενα, συμπληρώνουμε τον Πίνακα 5.8, όπου στην εισαγωγή της μεθόδου FRL τα όρια πρέπει να πολλαπλασιαστούν επί 4 λόγω των 4 MPs που βρίσκονται παράλληλα. Η πτώση πίεσης στην μέθοδο PDR είναι 0.6 mbar/h για όλους τους τύπους των MM MPs. Το επίπεδο της διαρροής αερίου των MM MPs αναμένεται να είναι μεγαλύτερο από $10^{-7} \text{ bar} \cdot \text{L/s}$ και επομένως οι παραπάνω μέθοδοι κρίνονται επαρκής.

MM Module type	Volume (L)	Q_L PDR (bar·L/s)	Q_L FRL (st·L/s)	Q_L FRL for MPs (L/h)
LM1	15.91	2.65×10^{-6}	1.07×10^{-5}	0.0382
LM2	15.41	2.57×10^{-6}	1.03×10^{-5}	0.0370
SM1	9.71	1.62×10^{-6}	6.47×10^{-6}	0.0233
SM2	10.81	1.80×10^{-6}	7.20×10^{-6}	0.0259

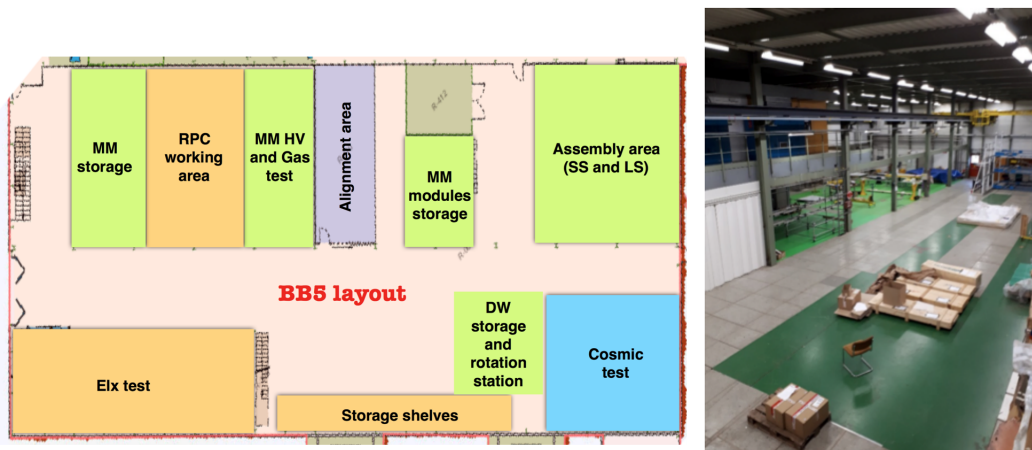
Σχήμα 5.8: Όρια αποδοχής της διαρροής αερίου για τους διάφορους τύπους των MM MPs που έχουν τεθεί από το NSW.

Ανάπτυξη συστήματος αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου

Στο παρών κεφάλαιο γίνει η περιγραφή της πειραματικής διάταξης και η ανάπτυξη του αυτόματου συστήματος ελέγχου Gas Tightness Station για την μέτρηση της διαρροής αερίου και τον έλεγχο QA/QC των ανιχνευτών MM QP που θα λάβουν χώρα στο εργαστήριο BB5 του CERN. Γίνεται εκτενής αναφορά στην πειραματική διάταξη για την μέτρηση της διαρροής αερίου με χρήση των μεθόδων FRL και PDR καθώς και στους αισθητήρες και συσκευές που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία της. Επιπλέον, αναλύεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του συστήματος και τέλος γίνεται αναφορά στην επικοινωνία του με τους αισθητήρες μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας OPC.

6.1 Εισαγωγή

Η μαζική παραγωγή των Micromegas Modules (MM) για την αναβάθμιση του New Small Wheel (NSW) του μιονικού φασματομέτρου του πειράματος ATLAS απαιτεί την ύπαρξη ανεξάρτητων ελέγχων διασφάλισης ποιότητας και ποιότητας ελέγχου Q_A/Q_C . Ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα του ελέγχου είναι η διασφάλιση της στεγανότητας του θαλάμου (gas tightness), συνεπώς ο έλεγχος της διαρροής αερίου είναι καίριος για την ομαλή λειτουργία και μέγιστη απόδοση των ανιχνευτών Micromegas. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, οι ανιχνευτές Micromegas είναι ανιχνευτές αερίου όπου βασική τους αρχή είναι ο ιονισμός του αερίου κατά την διέλευση του φορτισμένου σωματιδίου από το εσωτερικό του ανιχνευτή και η συλλογή των ηλεκτρονίων που παράγονται στην περιόδo ενίσχυσης και σαν αποτέλεσμα η διαμόρφωση του παλμού στα ηλεκτρονικά ανάγνωσης. Με την ύπαρξη διαρροής αερίου, ο ανιχνευτής Micromegas χάνει την μέγιστη ικανότητα του ως προς τον πολλαπλασιασμό των ηλεκτρονίων στην περιοχή της ενίσχυσης λόγω της ύπαρξης του οξυγόνου του αέρα στο εσωτερικό του ανιχνευτή με ιδιότητα να δεσμεύει τα ηλεκτρόνια που παράγοντα στην περιοχή μετατροπής του ανιχνευτή. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του NSW, γενικός κανόνας για τον ρυθμό διαρροής του αερίου των διάφορων Micromegas Modules είναι ο ρυθμός διαρροής να ισούται με το $10^{-5} \times V$ ανά λεπτό, όπου V είναι ο όγκος του εκάστοτε module, συνεπώς τα διάφορα όρια διαρροής ποικίλλουν λόγω των διαφορετικών όγκων.



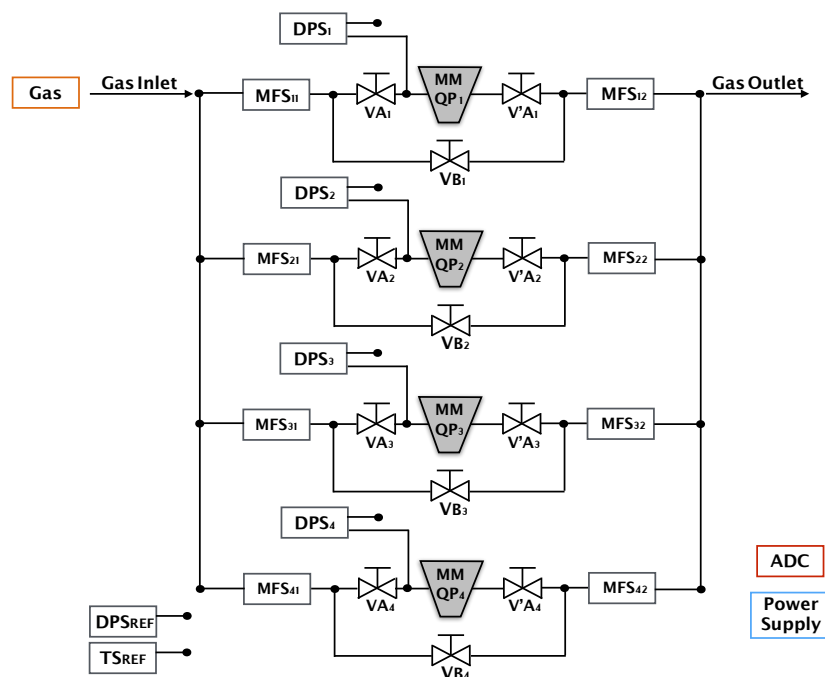
Σχήμα 6.1: Το εργαστήριο BB5 του CERN.

Κατά την παραγωγή των Micromegas Modules (MM) από τον Ιανουάριο του 2018 έως τα τέλη του 2019, οι Q_A/Q_C έλεγχοι των MM θα πραγματοποιούνται στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο του εργαστηρίου BB5 του CERN, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.1. Κατά την έλευση των ανιχνευτών, πρωταρχικό έργο αποτελεί ο έλεγχος της υψηλής τάσης (HV Test) καθώς και την στεγανότητας του αερίου (Gas Tightness Test). Εφόσον, οι δύο έλεγχοι είναι επιτυχημένοι οι MM MPs θα προχωρούν στους επόμενους ελέγχους όπως τον έλεγχο των ηλεκτρονικών, την τοποθέτηση των συνδέσεων, την λήψη δεδομένων από κοσμικά μόνια καθώς και την ευθυγράμμιση τους.

Η εξέταση της διαρροής αερίου θα πραγματοποιηθεί με την χρήση δύο μεθόδων, την μέθοδο της πώσης πίεσης (PDR) και την μέθοδο απώλειας ροής (FRL) όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η πολυπλοκότητα της πειραματικής διάταξης ελέγχου διαρροής των δύο μεθόδων απαιτεί την δημιουργία ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου όπου θα παρέχει την δυνατότητα επεξεργασίας, ελέγχου και καταγραφής των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες της πειραματικής διάταξης. Το σύστημα αυτόματου ελέγχου της διαρροής αερίου σχεδιάστηκε στο λογισμικό WinCC-OA, το οποίο θα αναλυθεί εκτενώς στις επόμενες ενότητες, παρέχει την δυνατότητα μέτρησης της διαρροής αερίου των ανιχνευτών αερίου μέσω απλοποιημένης διεπαφής χρήστη για την αυτοματοποίηση, αποτελεσματικότητα και βελτιστοποίηση των μετρήσεων για τον καθορισμό της διαρροής αερίου των MM QPs.

6.2 Πειραματική διάταξη στο BB5

Για την πραγματοποίηση του ελέγχου της διαρροής αερίου των MM QPs προτάθηκε μία πειραματική διάταξη όπως απεικονίζεται στο Σχ. 7.1, για την ταυτόχρονη μέτρηση 4 MM QPs με χρήση είτε της μεθόδου FRL είτε της μεθόδου PDR. Η προτεινόμενη μέθοδος είναι αυτή της απώλειας ροής μάζας (Flow Rate Loss (FRL)) όπου τα πλεονεκτήματα της όπως αναδείχθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο βρίσκονται στην απλότητα, ταχύτητα και της απευθείας μέτρησης της διαρροής αερίου με μόνο κρίσιμο παράγοντα αυτόν της πίεσης εσωτερικά του θαλάμου υπό ανίχνευση. Κατά την μέθοδο PDR, αναγκαία είναι η καταγραφή της θερμοκρασίας καθώς και της ατμοσφαιρικής πίεσης καθ όλη την διάρκεια της μέτρησης για τον επαναπροσδιορισμό του τελικού αποτελέσματος. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου FRL έναντι της PDR, επάγεται στο γεγονός της ταχύτητας της μεθόδου καθώς σε χρόνο λιγότερο από 1 ώρα μπορεί να παραχθεί επαρκές συμπέρασμα για την διαρροή του θαλάμου, ενώ αντίθετα στην μέθοδο PDR η μέτρηση διαρκεί αρκετές ώρες για την εξαγωγή του συμπεράσματος, χρόνος κατά τον οποίο το τελικό μπορεί να υποεκτιμηθεί ή να υπερεκτιμηθεί από τις μεταβολές τόσο στην θερμοκρασία και στην ατμοσφαιρική πίεση που συμβαίνουν στον συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

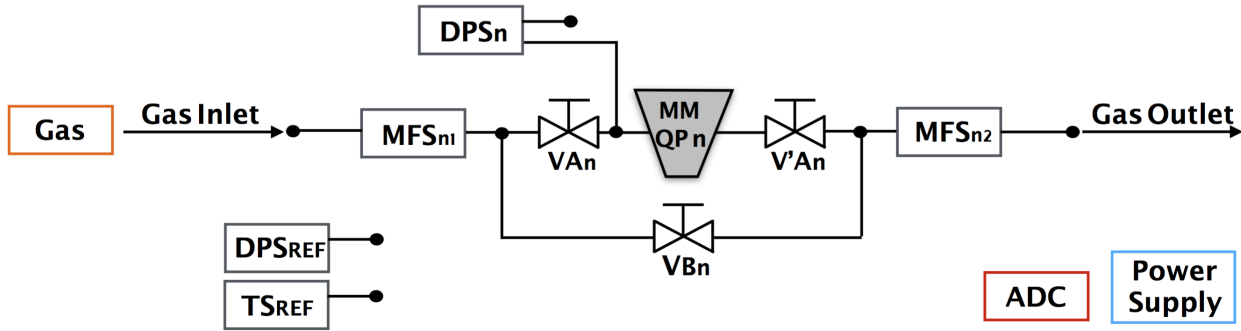


Σχήμα 6.2: Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου 4 MM QPs στο εργαστήριο BB5 του CERN.

Η πειραματική διάταξη της μέτρησης της διαρροής αερίου των 4-QPs αποτελείται από 4 κόμβους ή αλλιώς 4 nodes. Η διάταξη πρόκειται για την υπέρθεση ενός node και για λόγους απλότητας και περιγραφής μπορεί να παρασταθεί στην διάταξη του Σχ. 6.3 με την μορφή ενός node όπου $1 \leq n \leq 4$.

Η διάταξη αποτελείται από τα εξής αντικείμενα:

- Φιάλη αερίου (αέρας ή μείγμα Ar : CO₂)
- 3 βάνες υψηλής στεγανότητας, V_{An} , V'_{An} και V_{Bn}



Σχήμα 6.3: Η απλοποιημένη μορφή της πειραματικής διάταξης μέτρησης της διαρροής αερίου 4 MM QPs στο εργαστήριο BB5 του CERN.

- 2 αισθητήρες ροής μάζας, MFS_{n1} και MFS_{n2}
- 2 αισθητήρες διαφορικής πίεσης, DPS_n , DPS_{ref}
- 1 αισθητήρας θερμοκρασίας, TS_{ref}
- 1 Analog-to-Digital Converter (ADC)
- 1 τροφοδοτικό τάσης (Power Supply)
- Ανιχνευτής MM QP

Το παρόν σύστημα μπορεί να υποστηρίξει την μέτρηση της διαρροής αερίου των ανιχνευτών MM QP με χρήση και των 2 μεθόδων FRL και PDR με την υποστήριξη των κατάλληλων αισθητήρων αντίστοιχα. Κατά την ροή του αερίου διαμέσου της διάταξης, οι διάφοροι αισθητήρες θα παράγουν μία αναλογική τάση εξόδου V_{out} η οποία θα μετατρέπεται με τον κατάλληλο συντελεστή σε μία ροή μάζας Q είτε στην διαφορική πίεση P , αυτή η αναλογική τάση V_{out} θα καταγράφεται μέσω ενός ADC συνδεδεμένο σε κάποιον υπολογιστή. Στις επόμενες υποενότητες θα αναλυθεί η διαδικασία μέτρησης με τις δύο μεθόδους και ο τρόπος αξιοποίησης της διάταξης.

6.2.1 Μέτρηση διαρροής με FRL

Στην μέθοδο απώλειας ροής FRL [57], ο ρυθμός διαρροής του αερίου από τον ανιχνευτή MM QP εκφράζεται από την διαφορά της απώλειας ροής μεταξύ της εισόδου και την εξόδου του αερίου του θαλάμου κάτω από πίεση αερίου ίση με 3 mbar από την παρακάτω σχέση:

$$Q_L = \frac{1}{b} (\Delta V_0^A - \Delta V_0^B) \quad (6.1)$$

όπου b είναι ο παράγοντας μετατροπής του αναλογικού σήματος εξόδου των ανιχνευτών σε ροή μάζας, ΔV_0^A είναι το διαφορικό αναλογικό σήμα του κλάδου A και ΔV_0^B είναι το διαφορικό αναλογικό σήμα του κλάδου B. Ο κλάδος A αποτελεί τον κλάδο μέτρησης της διαρροής του αερίου του θαλάμου ενώ ο κλάδος B αποτελεί τον κλάδο μέτρησης του ter/offset των δύο αισθητήρων. Στην συνέχεια θα αναλυθεί ο μέθοδος της μέτρησης της αναλογικής τάσης των κλάδων A και B.

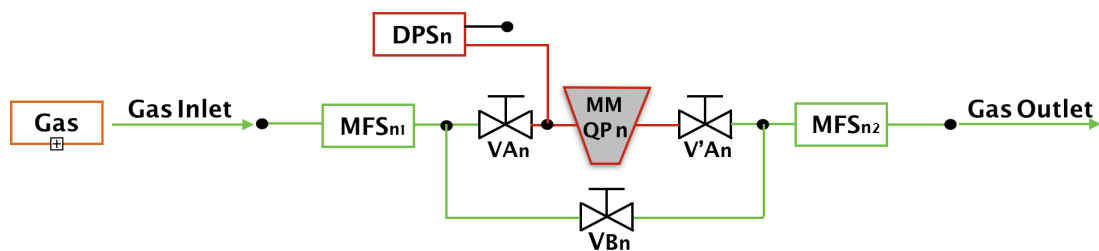
Μέτρηση ΔV_0^B

Πρωταρχικό βήμα πριν την μέτρηση του ter των αισθητήρων, είναι ο έλεγχος της πίεσης παροχής να ισούται με 3 mbar με την χρήση του αισθητήρα διαφορικής πίεσης DPS_n .

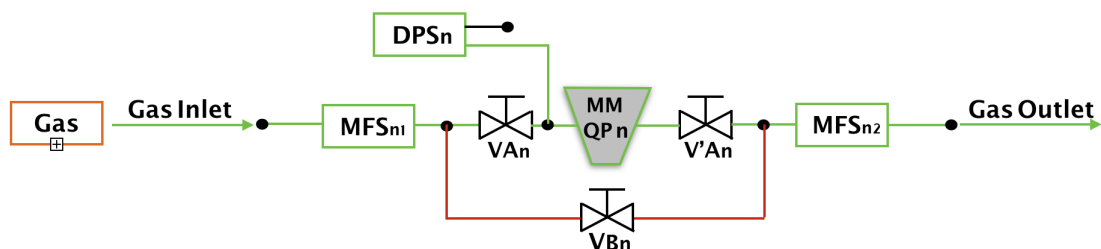
Η μέτρηση του ter των αισθητήρων γίνεται με την παράκαμψη του θαλάμου MM QP η και την διέλευση του αερίου μόνο διαμέσου των δύο αισθητήρων ροής μάζας, MFS_{n1} και MFS_{n2} , με το κλείσιμο των βαλβίδων V_{An} , V'_{An} και το άνοιγμα της βαλβίδας V_{Bn} . Όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.7, η διαδικασία αυτή επιτρέπει την διόδο του αερίου μέσω των αισθητήρων και την παράκαμψη του θαλάμου MM QP. Με την σταθεροποίηση της ροής, το διαφορικό σήμα ΔV_0^B καταγράφεται.

Μέτρηση ΔV_0^A

Η μέτρηση της διαρροής του θαλάμου MM QP η γίνεται με την παράκαμψη του κλάδου B και την διέλευση του αερίου μόνο διαμέσου των δύο αισθητήρων ροής μάζας, MFS_{n1} και MFS_{n2} , και του θαλάμου με το άνοιγμα των βαλβίδων V_{An} , V'_{An} και το κλείσιμο της βαλβίδας V_{Bn} . Όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.16, η διαδικασία αυτή επιτρέπει την διόδο του αερίου μέσω των αισθητήρων και τον θάλαμο MM QP η. Με την σταθεροποίηση της ροής, το διαφορικό σήμα ΔV_0^A καταγράφεται.



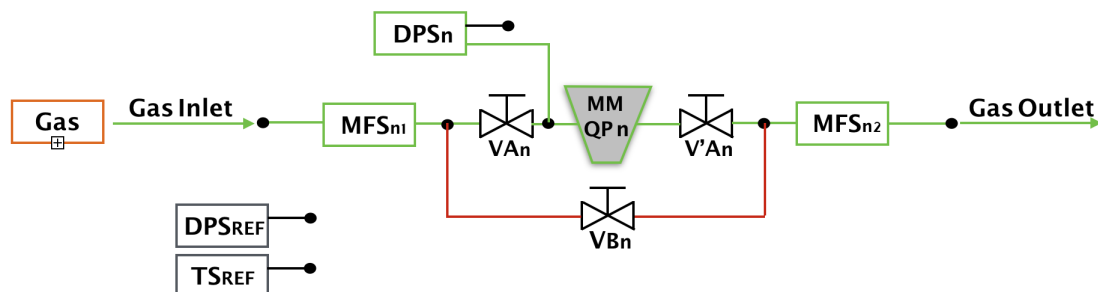
Σχήμα 6.4: Η μέτρηση του κλάδου tare των αισθητήρων της διάταξης.



Σχήμα 6.5: Η μέτρηση του κλάδου διαρροής του MM QP n της διάταξης.

6.2.2 Μέτρηση διαρροής με PDR

Η μέτρηση του ρυθμού διαρροής με την μέθοδο PDR απαιτεί αρχικά την τροφοδοσία του θαλάμου MM QP n με αέριο πίεσης όπως τα 5 mbar, με την ενεργοποίηση των βαλβίδων V_{An} , V'_{An} και το κλείσιμο της βαλβίδας V_{Bn} που δεν επηρεάζει την διάταξη μας, όπως αποτυπώνεται και στο Σχ. 6.6. Στην συνέχεια, απαιτείται χρόνος για το λεγόμενο flashing του ανιχνευτή και την πλήρη πλήρωση του με το αέριο. Η επίτευξη του flushing αποτυπώνεται στην σταθεροποίηση του σήματος της ροής εξόδου το αισθητήρα MFS_{n2} .



Σχήμα 6.6: Πλήρωση του MM QP n με αέριο καθορισμένης πίεσης.

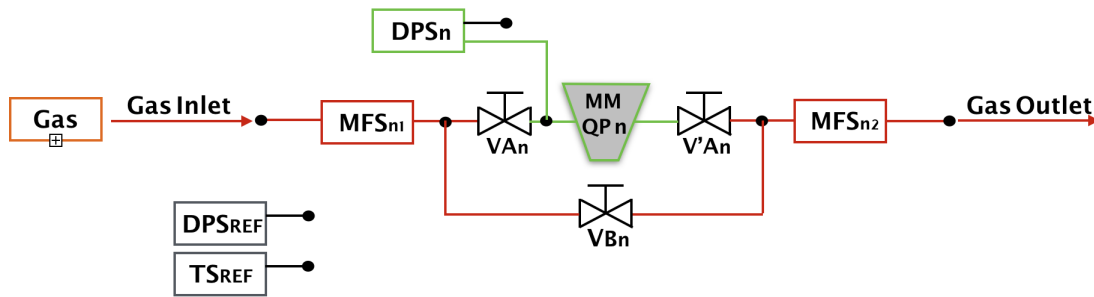
Από την στιγμή της σταθεροποίησης, επόμενο βήμα είναι η απομόνωση του θαλάμου MM QP n με το κλείσιμο των βαλβίδων V_{An} , V'_{An} και η καταγραφή της πτώσης πίεσης μέσω του αισθητήρα DPS_n καθώς και της ατμοσφαιρικής πίεσης μέσω του αισθητήρα DPS_{ref} και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος TS_{ref} , όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 6.7.

6.2.3 Αισθητήρες πειραματικής διάταξης

Όπως προαναφέρθηκε, η πειραματική διάταξη για την μέτρηση της διαρροής αερίου των ανιχνευτών Micromegas στο BB5 του CERN απαιτεί την χρήση αισθητήρων με αναλογική έξοδο τάσης για την καταγραφή της ροής, πίεσης και θερμοκρασίας που είναι αναγκαίες για τις δύο μεθόδους μέτρησης. Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν για την λειτουργία της πειραματικής διάταξης.

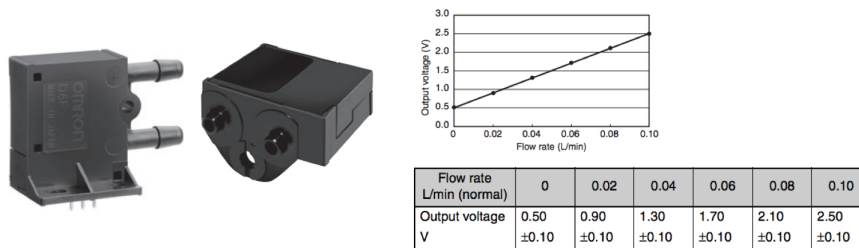
Αισθητήρας ροής μάζας (MFS)

Ο αισθητήρας ροής μάζας, mass flow sensor (MFS) που επιλέχθηκε είναι ο D6F-P [63] από την Omron Electronics, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 6.8. Πρόκειται για ένα συμπαγή, υψηλής ακρίβειας μέτρησης ροής αισθητήρα με ανώτερη αντίσταση στους εξωτερικούς παράγοντες περιβάλλοντος. Είναι ικανός να μετρήσει ροή εύρους 0 – 0.1 L/min με ακρίβεια $\pm 5\%$ με επαναληψιμότητα στην τάξη του $\pm 1\%$. Η τάση τροφοδοσίας του για την ομαλή λειτουργία του είναι 4.75 – 5.25 VDC και η κατανάλωση σε ρεύμα



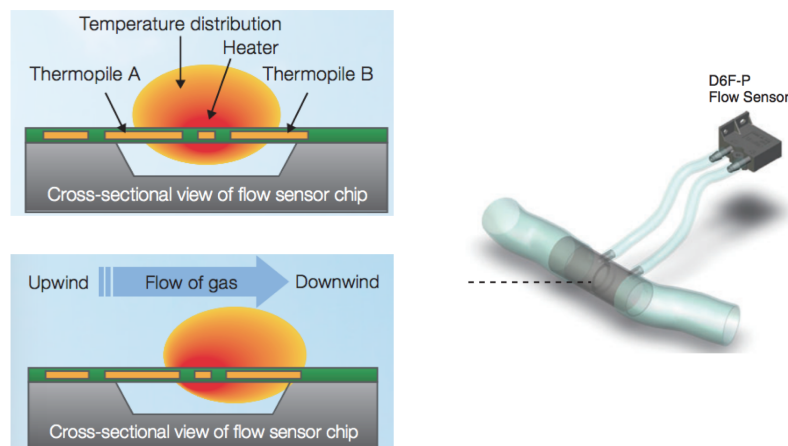
Σχήμα 6.7: Απομόνωση του MM QP n για την μέτρηση της πτώσης πίεσης.

είναι της τάξεως των 15 mA. Πλεονέκτημα του αισθητήρα είναι η αναλογική τάση εξόδου όπου είναι ίση με 0.5 – 2.5 V, όπου η τάση εξόδου είναι ανάλογη της ροής μάζας που διαπερνάει τον αισθητήρα.



Σχήμα 6.8: Αισθητήρας ροής μάζας D6F-P από της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.

Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα ροής βασίζεται στην μέτρηση της ροής μάζας. Κατά την απουσία ροής αερίου, η κατανομή της θερμοκρασίας γύρω από τον θερμαντήρα είναι συμμετρική. Όταν υπάρχει ροή αέρα, η θερμοκρασία της πάνω επιφάνειας ψυχραίνεται ενώ η θερμοκρασία της κάτω πλευράς θερμαίνεται διακόπτοντας την συμμετρία της κατανομής της θερμοκρασίας. Με την ανίχνευση αυτής της διαφοράς θερμοκρασίας που εμφανίζεται ως μία διαφορά στις ηλεκτροκινητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από τις θερμοπύλες, επιτρέπει την ροή μάζας και την ροή μάζας ταχύτητας χωρίς την επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης. Από την στιγμή που η θερμοπύλη παράγει θερμοηλεκτρική δύναμη, η κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ χαμηλότερη από ότι όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος των αντιστάσεων. Ο τρόπος λειτουργίας και εφαρμογής αποτυπώνεται στο Σχ. 6.9.

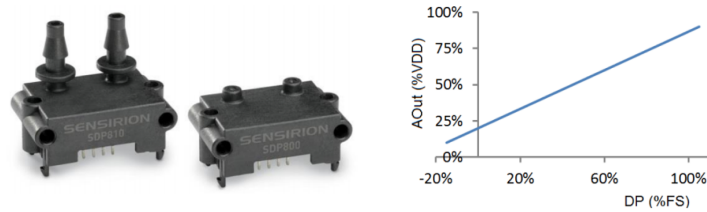


Σχήμα 6.9: Ο τρόπος λειτουργίας και εφαρμογής του αισθητήρα ροής μάζας D6F-P από της Omron Electronics.

Αισθητήρας διαφορικής πίεσης (DPS)

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε για την μέτρηση της διαφορικής πίεσης είναι ο SDP800 [64] της Omron Electronics, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 6.10. Ο αισθητήρας έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές μεγάλου όγκου, μετράει την πίεση του αέρα και μη επιθετικών αερίων με εξαιρετική ακρίβεια και χωρίς μετατόπιση. Οι αισθητήρες καλύπτουν την μέτρηση της διαφορικής πίεσης

εύρους ± 5 mbar και παρέχουν ιδιαίτερη ακρίβεια της τάξης του 3% στο κάτω άκρο του εύρους μέτρησης καθώς και επαναληψιμότητα 0.5 % των μετρήσεων. Η τάση τροφοδοσίας τους είναι $3 - 5.5V_{DD}$ και το ρεύμα κατανάλωσης είναι $3.8 - 5.5$ mA. Επιπλέον,



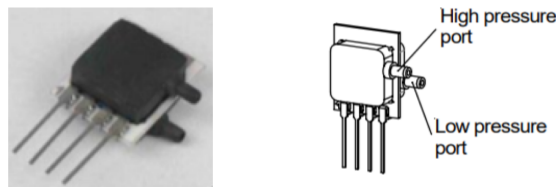
Σχήμα 6.10: Αισθητήρας διαφορικής πίεσης SDP800 από της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.

διαθέτει αναλογική τάση εξόδου, η οποία μπορεί να διαμορφωθεί σε γραμμική ή τετραγωνική με ξεχωριστό pin του αισθητήρα. Η διαφορική πίεση μετράται από ένα στοιχείο θερμικού αισθητήρα χρησιμοποιώντας τεχνολογία ροής. Η αναλογική γραμμική τάση εξόδου του αισθητήρα είναι $0.1 - 0.9V$ και η βαθμονομημένη με αέρα διαφορική πίεση συναρτίζει της τάσης εισόδου και εξόδου δίνεται από την σχέση:

$$DP = \frac{750 \cdot A_{out}}{V_{DD}} - 150 \quad (6.2)$$

Αισθητήρας διαφορικής βαρομετρικής πίεσης DPS_{REF}

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε για την μέτρηση της διαφορικής πίεσης είναι ο HCLA12X5DU [65] της Omron Electronics, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 6.11. Ο αισθητήρας επιλέχθηκε για την καταμέτρηση της βαρομετρικής πίεσης λόγω της μεγάλης του ακρίβειας 0.25% για μέτρηση πίεση μεταξύ $0 - 12.5$ mbar. Η τάση τροφοδοσίας του είναι 5 V και παρέχει γραμμική αναλογική τάση εξόδου εύρους $0.25 - 4.25$ V.



Σχήμα 6.11: Αισθητήρας βαρομετρικής διαφορικής πίεσης HCLA12X5DU από της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.

6.2.4 Αισθητήρας θερμοκρασίας(TS)

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε για την καταγραφή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος είναι ο GE-2102 [66] της Amphenol Advanced Sensors, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 6.12. Ο αισθητήρας μπορεί να καταγράψει την εσωτερική ροή του αερίου που τον διαπερνά. Η τάση τροφοδοσίας του είναι 5 V, μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες $-40 - 120^\circ$ C και παρέχει αναλογική γραμμική τάση εξόδου.



Σχήμα 6.12: Αισθητήρας θερμοκρασίας περιβάλλοντος GE-2102 από της Amphenol Advanced Sensors και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.

6.3 Φορητή πειραματική διάταξη

Για την πραγματοποίηση γρήγορων μετρήσεων, κατασκευάστηκε μία μικρογραφία της πειραματικής διάταξης του BB5 στην θέση μίας βαλίτσα ώστε να χρησιμεύσει ως φορητή μονάδα μέτρησης της διαρροής αερίου με χρήση και των δύο μεθόδων FRL και PDR. Η διάταξη σε σχήμα βαλίτσας όπως φαίνεται στο Σχ. 6.13, περιλαμβάνει τους αισθητήρες ροής μάζας (MFS) που προαναφέρθηκαν, βαλβίδες υψηλής στεγανότητας καθώς και ψηφιακό μανόμετρο για την καταγραφή της διαφορικής πίεσης καθώς και ρυθμιστή της παροχής εισόδου όσο και εξόδου.



Σχήμα 6.13: Φορητή πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου.

6.4 FieldPoint NI Analog-to-Digital Converter (ADC)

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, η αισθητήρες της πειραματικής διάταξης παρέχουν αναλογική τάση εξόδου σαν αποτέλεσμα να απαιτείται η ψηφιοποίηση των σημάτων των αισθητήρων για την μετέπειτα καταγραφή τους και σχεδιασμού ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου. Η ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων θα γίνει με την συσκευή FieldPoint της National Instruments, μία συσκευή Analog-to-Digital Converter (ADC). Η επιλογή της συσκευής έγινε λόγω της δυνατότητας του ψηφιοποίησης αναλογικού σήματος με ακρίβεια 16 – bit λόγω της αναγκαιότητας καταγραφής των διαφορικών σημάτων των αισθητήρων που είναι της τάξης των mV καθώς και της δυνατότητας σύνδεσης μέσω Ethernet απευθείας σε υπολογιστή και επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου OPC server. Η μονάδα FieldPoint αποτελείται από 3 επιμέρους συσκευές για την καταγραφή του αναλογικού σήματος και την ψηφιοποίηση του όπου θα αναλυθούν εκτενέστερα στις επόμενες υποενότητες.

Η μονάδα FieldPoint αποτελείται από :

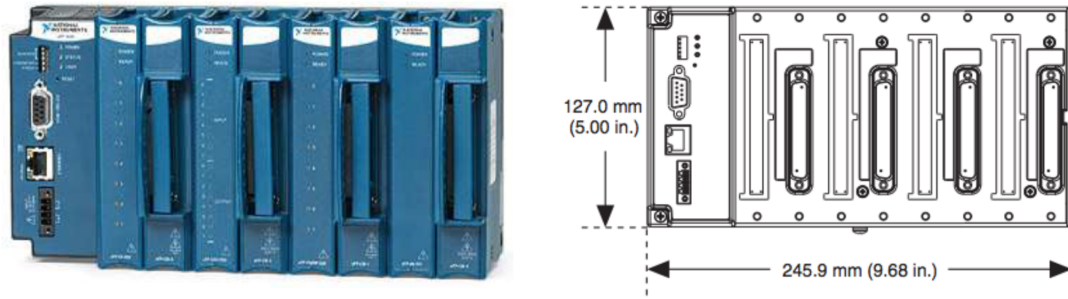
- cFP-1804
- cFP-AI-110
- cFP-CB-1

6.4.1 Συσκευή cFP-1804

Η συσκευή cFP-1804 [67], όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 6.14, μπορεί να συνδεθεί με μέχρι και τέσσερα Compact FieldPoint I/O modules σε ένα δίκτυο Ethernet ή σε τερματικά με σειριακή σύνδεση RS-232. Το cFP-1804 προσφέρει την δυνατότητα I/O επέκτασης σε κάθε προγραμματιζόμενο controller (PAC - programmable automation controller) ή υπολογιστή με Ethernet ή σειριακή συνδεσιμότητα. Είναι συμβατή με πολλά προγράμματα όπως το LabView, CompactRIO και υποστηρίζει πρότυπα επικοινωνίας όπως το Modbus και φυσικά το OPC το οποίο και θα χρησιμοποιηθεί. Για την ομαλή λειτουργία της μονάδας απαιτείται τροφοδοσία 11 – 30 V, ενώ αντέχει ρεύμα έως και 1.5 mA. Στο cFP-1804 συνδέονται στην συνέχεια τα modules cFP-AI-110 και cFP-CB-1.

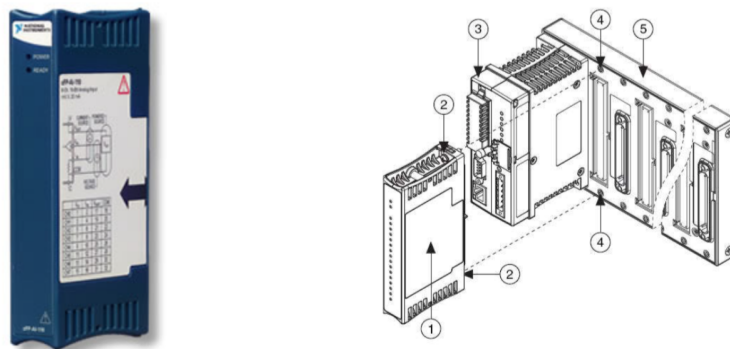
6.4.2 Συσκευή cFP-AI-110

Η συσκευή cFP-AI-110 [68] είναι μία 8-κάναλη συσκευή για την μέτρηση αναλογικών σημάτων. Για μεγάλη ακρίβεια και αποβολή θορύβου, η συσκευή χρησιμοποιεί έναν 16-bit ADC με ένα χαμηλοπερατό φίλτρο σε κάθε κανάλι, που μπορεί να ρυθμιστεί στα



Σχήμα 6.14: Η μονάδα cFP-1804 [67], μέρος της συνολικής συσκευής FieldPoint της National Instruments.

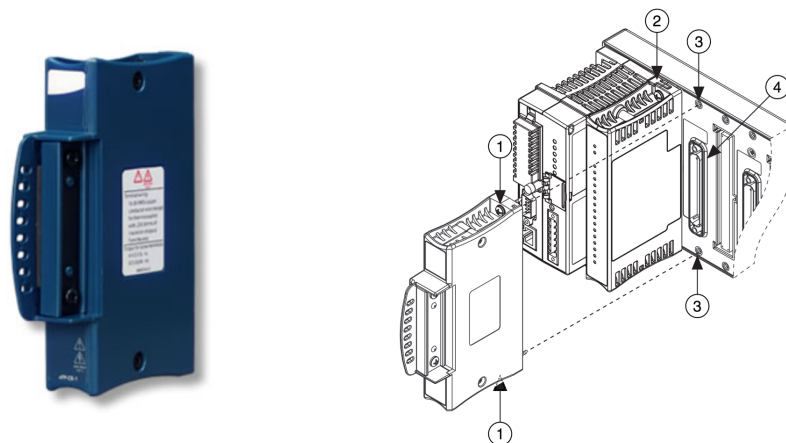
50/60 Hz. Με τον υψηλής ακρίβειας ADC στην συσκευή, το FieldPoint επιτυγχάνει υψηλής ακρίβειας μετρήσεις για εισερχόμενο αναλογικό σήμα τάσης ± 10 V και ρεύματος ± 20 mA. Συνδέεται απευθείας στην μονάδα cFP-1804 με λειτουργία Hot Plug-and-Play όπως φαίνεται στο Σχ. 6.15. Για τις ανάγκες της πειραματικής διάταξης, η συσκευή επιλέχθηκε να αναλύει εισερχόμενο αναλογικό σήμα τάσης εύρους 0 – 5 V με ακρίβεια μέτρησης 90 μ V.



Σχήμα 6.15: Η μονάδα cFP-AI-110 και ο τρόπος σύνδεσης στην μονάδα cFP-1804.

6.4.3 Συσκευή cFP-CB-1

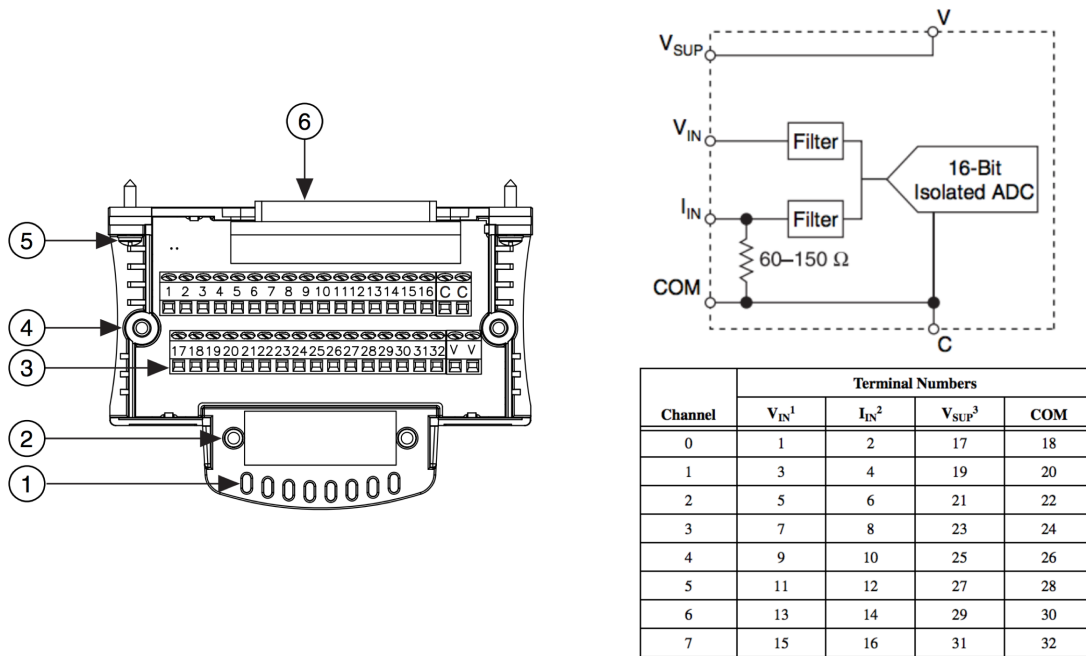
Στην συσκευή cFP-CB-1 [69], όπως απεικονίζεται στο Σχ. 6.16, συνδέονται τα καλώδια που μεταφέρουν το αναλογικό σήμα που θέλουμε να καταγράψουμε. Η συσκευή παρέχει 36 υποδοχείς που υποστηρίζουν την μέτρηση 8 σημάτων εισόδου, είτε τάση είτε ρεύμα.



Σχήμα 6.16: Η μονάδα cFP-CB-1 και ο τρόπος σύνδεσης στην μονάδα cFP-1804.

Υποστηρίζει την μέτρηση ρεύματος και τάσης με διαφορετική τοποθέτηση στους διάφορους υποδοχείς όπως φαίνεται στο Σχ. 6.17. Κάθε κανάλι έχει διαφορετικούς εισόδους για μέτρηση τάσης (V_{IN}) και μέτρηση ρεύματος (I_{IN}). Η είσοδος της τάσης και του ρεύματος αναφέρονται στο κοινό τερματικό COM, που είναι εσωτερικά συνδεδεμένο το ένα με το άλλο και το τερματικό C. Στο Σχ.

6.17 απεικονίζεται το εσωτερικό κύκλωμα της συσκευής για την μέτρηση ρεύματος ή τάσης καθώς και ο πίνακας των καναλιών και την σύνδεση των αισθητήρων στις σωστές θέσεις. Υπάρχει επιπλέον μία επιλογή V_{SUP} για την τροφοδοσία των αισθητήρων με τάση 10 – 30 VDC, μη ικανοποιητική για τα δεδομένα των αισθητήρων όπου χρειάζονται μέγιστη τάση ίση με 5 V.



Σχήμα 6.17: Το εσωτερικό κύκλωμα της μονάδας cFP-CB-1 και το mapping των καναλιών εισόδου.

6.5 Βασικά στοιχεία ενός OPC Server

Ένας OPC Server έχει ως σκοπό την διασύνδεση με μία συσκευή και την ανταλλαγή δεδομένων με αυτή. Παρέχει επιπλέον τις κατάλληλες λειτουργίες ώστε να μπορεί να δεχθεί και να στείλει δεδομένα στο λειτουργικό σύστημα σε μία τυποποιημένη μορφή. Πριν την ύπαρξη ενός OPC server, κάθε υπολογιστής έπρεπε να έχει εγκαταστημένη την συσκευή καθώς και τους διάφορους drivers που συνοδεύουν την συσκευή. Στην περίπτωση του FieldPoint που θα χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση της πειραματικής διάταξης έπρεπε να είναι εγκαταστημένος ο driver της συσκευής καθώς και σε όλους τους υπολογιστές όπου θα χρησιμοποιούνταν μέσω LAN σύνδεσης. Με την ανάπτυξη ενός OPC Client είναι δυνατή η δικτυακή χρήση της συσκευής χωρίς την περαιτέρω εγκατάσταση προγραμμάτων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας server ο οποίος περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την συσκευή που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε και κάθε υπολογιστής συνδέεται ως client στον server και μπορεί να χρησιμοποιήσει την συσκευή. Τα πλεονεκτήματα από την χρήση ενός τέτοιου server είναι η ταχύτητα των αυτοματοποιημένων διαδικασιών καθώς διαφορετικοί υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια συσκευή βασιζόμενοι στα ίδια πρότυπα και η μείωση του αριθμού των συσκευών που χρειάζεται. Επιπλέον, δεν υπάρχει σύγκρουση δεδομένων και πολλοί client αυτού του server μπορούν να λαμβάνουν δεδομένα ταυτόχρονα.



Σχήμα 6.18: Η βελτιστοποίηση ενός συστήματος με την χρήση του πρωτόκολλου επικοινωνίας OPC.

Το μοντέλο λειτουργίας βασίζεται στην σχέση server-client, ουσιαστικά ο OPC server είναι ένας driver συμβατός με τις προδιαγραφές του OPC που έχει σαν στόχο την ανταλλαγή δεδομένων με ένα σύστημα, ενώ ο OPC client αποτελεί το λογισμικό που

χρησιμοποιείται για αυτήν την επικοινωνία. Μεταφέρει δηλαδή το αίτημα που προέρχεται από το σύστημα και το στέλνει στον OPC server για επεξεργασία και αντίστροφα. Οι προδιαγραφές του προτύπου βασίζονται στις διασυνδέσεις που υλοποιούνται από τους OPC Servers. Το πρότυπο OPC DA (data access) χωρίζεται σε 3 αντικείμενα: στον DA server, τις ομάδες groups και τα στοιχεία items. Κάθε group περιέχει κατάλληλα ομαδοποιημένα items, τα οποία αναπαριστούν τις συνδέσεις των δεδομένων μέσα στον server. Σημειώνεται επιπλέον ότι κάθε item δεν μπορεί να προσπελαστεί ξεχωριστά αλλά μόνο μέσω του group που το περιέχει. Πέρα από το πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων αναπτύχθηκαν και άλλα πρότυπα σχετικά με την ασφάλεια ευαίσθητων πληροφοριών (OPC Security), σχετικά με τον αυτόματο έλεγχο των δεδομένων (OPC Alarms & Events), που προέρχονται από το πρώτο πρότυπο OPC Data Access, με την επικοινωνία των servers μεταξύ τους (OPC Data eXchange) με στόχο την επιτάχυνση και βελτίωση των αυτοματοποιημένων διαδικασιών.

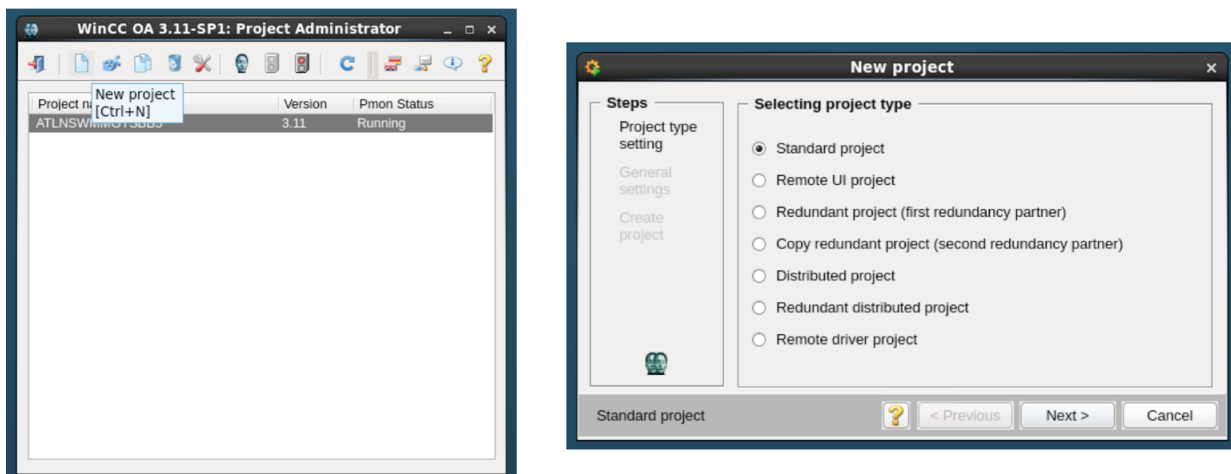
6.6 Υλοποίηση Gas Tightness Station με χρήση WinCC-OA

Η προσπάθεια καταλήγει στον σχεδιασμό ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου βασισμένο στην πειραματική διάταξη όπου θα εφαρμοστεί στο BB5 για τον έλεγχο της διαρροής αερίου με την καταγραφή, αρχειοθέτηση και ανάλυση των δεδομένων που θα συλλέγονται από τους διάφορες αισθητήρες της διάταξης. Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζεται η υλοποίηση του Gas Tightness Station με την χρήση του WinCC-OA που θα χρησιμοποιηθεί για την έλεγχο της διαρροής αερίου των ανιχνευτών Micromegas στο εργαστήριο BB5 του CERN για την εγκατάστασή τους στο New Small Wheel του πειράματος ATLAS. Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να παρέχει το GTS είναι τα παρακάτω:

- Υποστήριξη FRL και PDR για διάφορα είδη αερίου
- Καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων από τους αισθητήρες
- Έλεγχος σε πραγματικό χρόνο της διαρροής του αερίου σε κάθε MM QP
- Προειδοποίηση χρήστη μέσω alarms για επίτευξη πίεσης ή ροής πέρα από τα προκαθορισμένα όρια
- Αυτοματισμός και ταχύτητα στις μετρήσεις

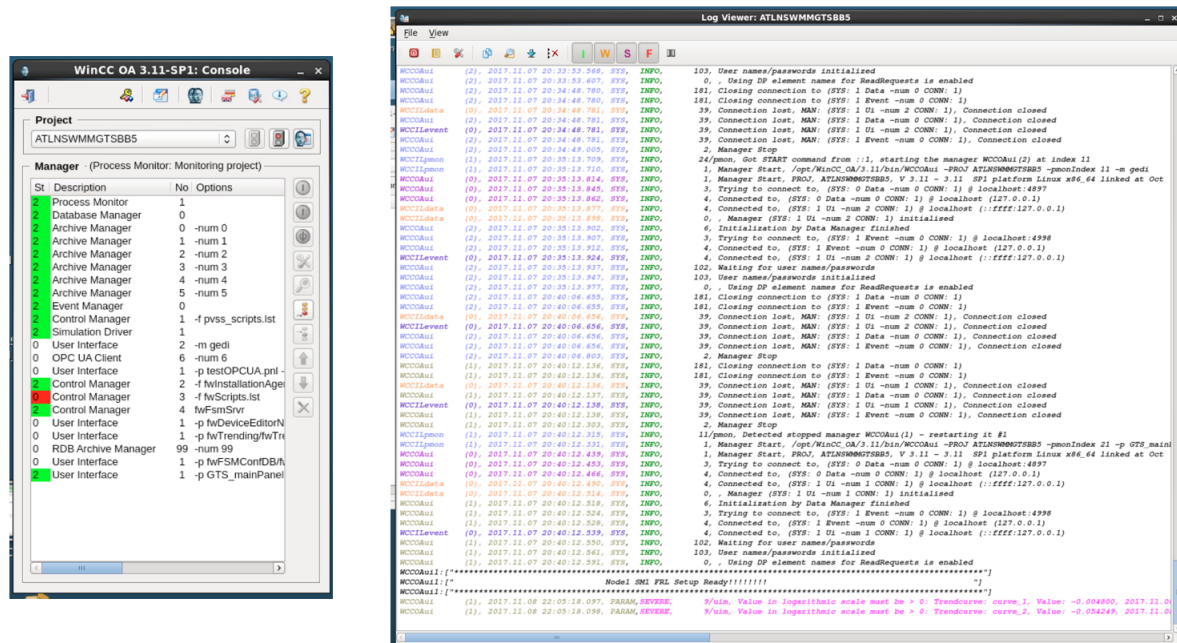
6.6.1 Δημιουργία Project

Πρωταρχικό βήμα για την υλοποίηση του συστήματος είναι η εκκίνηση του WinCC-OA και συγκεκριμένα η έναρξη του Project Administrator. Με το άνοιγμα του panel επιλέγουμε το κουμπί με την ένδειξη New Project, στην συνέχεια ανοίγει ένα διαφορετικό panel, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 6.19, για την παραμετροποίηση του project, στο οποίο θέτουμε το όνομα του συστήματος ATLNSWMMGTSSBB5, τον τύπο Standard Project καθώς και άλλες επιλογές που σχετίζονται με την γλώσσα ή γενικές ρυθμίσεις όπως η τοποθεσία που θέλουμε να αποθηκευτεί το project.



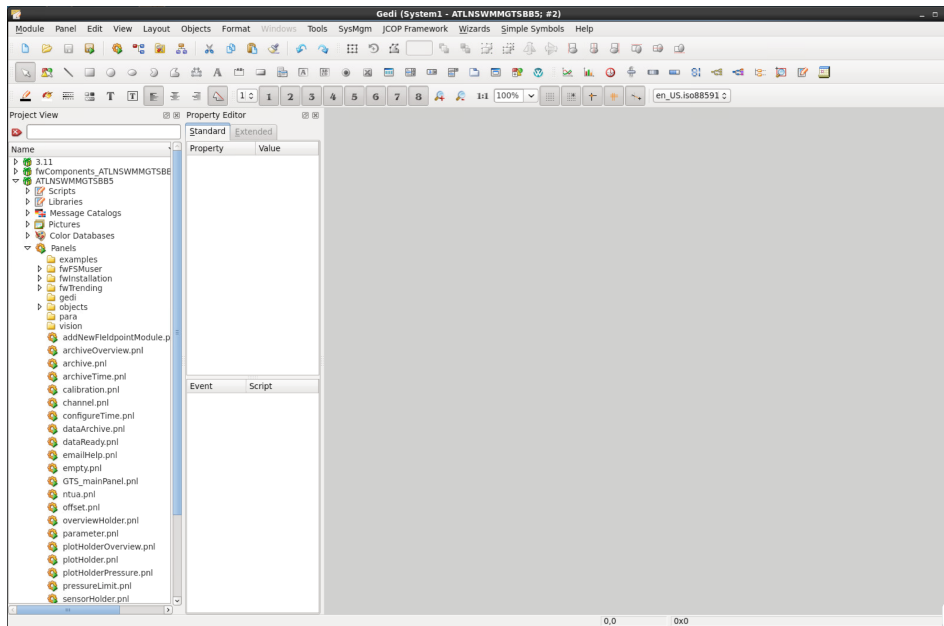
Σχήμα 6.19: Δημιουργία νέου Project στο WinCC.

Με την επιτυχή δημιουργία του project ATLNSWMMGTSSBB5, εκκινούνται 2 επιπλέον panel, το έδνσολε και το Logviewer όπως φαίνονται στο παρακάτω Σχ. 6.20.



Σχήμα 6.20: Console και Logviewer.

Το Console αποτελεί το σημαντικότερο στοιχείο του project καθώς περιλαμβάνει όλους τους managers, αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο η λειτουργία του καθενός, που είναι αναγκαίοι για την υλοποίηση του συστήματος και επιτρέπουν την εκκίνηση/λήξη καθώς και την παραμετροποίηση τους. Το Logviewer είναι το εργαλείο όπου γίνεται το debugging του συστήματος και ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τα διάφορα σφάλματα που σχετίζονται με την λειτουργία του project. Κατά την εκκίνηση του project, ένα νέο panel θα εκκινήσει, το Graphical Editor (GEDI), που απεικονίζεται στο Σχ. 6.21, και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την σχεδίαση του συστήματος.



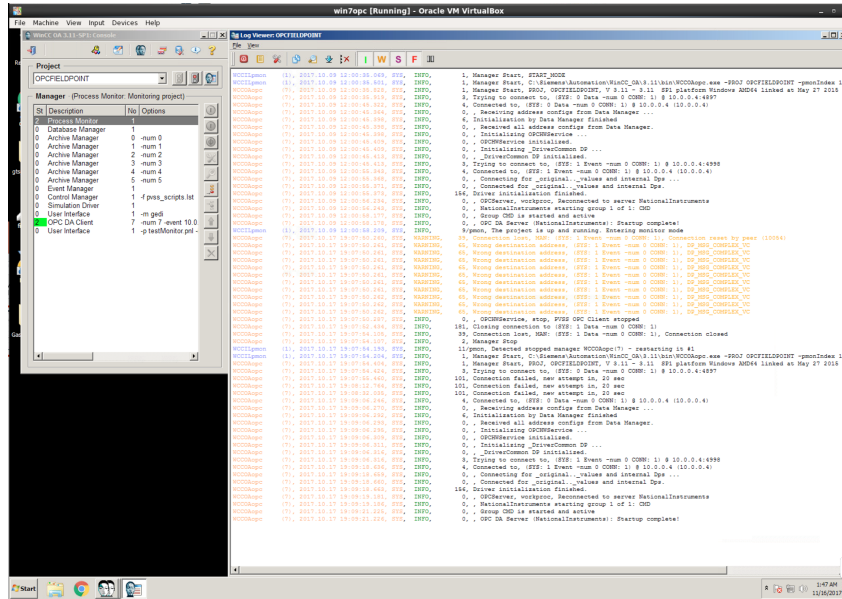
Σχήμα 6.21: Το panel Graphical Editor (GEDI) για την σχεδίαση και παραμετροποίηση του συστήματος.

6.6.2 Σύνδεση WinCC-Fieldpoint μέσω OPC

Όπως προαναφέραμε, οι αισθητήρες της διάταξης παρέχουν αναλογική τάση εξόδου και το σήμα καταλήγει στην μονάδα FieldPoint, η οποία επιτρέπει την μετάδοση των δεδομένων μέσω Ethernet και πρωτόκολλο επικοινωνίας OPC απευθείας στον υπολογιστή. Στην πραγματικότητα, το FieldPoint παρέχει τα δεδομένα σε πρωτόκολλο OPC DA Client, τα οποία μπορούν συλλεχθούν από το WinCC αυτόματα μέσω ειδικού manager OPC DA Client που παρέχει. Για την ανάπτυξη όμως του συστήματος διαρροής αερίου, ένα από τα προαπαιτούμενα από το πείραμα ATLAS ήταν η ανάπτυξη του συστήματος σε σύστημα περιβάλλοντος Linux και συγκεκριμένα σε

Scientific Linux 6. Το πρόβλημα που προέκυψε οφειλονταν στο γεγονός ότι το WinCC-OA σε Linux δεν υποστήριζε το πρωτόκολλο OPC DA Client το οποίο ήταν αναγκαίο για την επικοινωνία του FieldPoint με τον υπολογιστή.

Η λύση δόθηκε με την χρήση ενός εικονικού μηχανήματος (virtual machine) εφοδιασμένο με Windows, εσωτερικά του συστήματος Linux για την υποστήριξη του OPC DA Client. Εσωτερικά του Windows Machine, δημιουργήθηκε ένα νέο Project στο WinCC, το OPCFIELDPOINT όπου θα σύλλεγε τα αντικείμενα τύπου OPC DA Client, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 6.22.



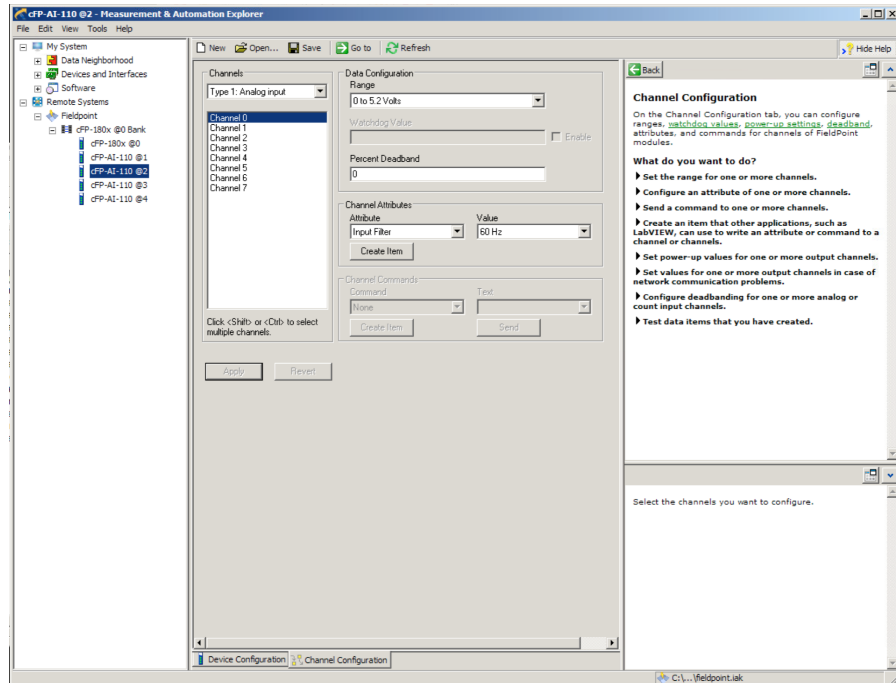
Σχήμα 6.22: Το νέο project OPCFIELDPOINT του Windows Virtual Machine εσωτερικά του Linux Machine.

Για την σύνδεση ωστόσο του υπολογιστή με την μονάδα FieldPoint χρειάστηκαν επιπλέον βήματα να υλοποιηθούν.

Για την σύνδεση του OPC Server ώστε να επικοινωνεί το WinCC project με το FieldPoint απαιτείται η εγκατάσταση του προγράμματος Measurement and Automation της National Instruments. Αφού ξεκινήσει το πρόγραμμα επιλέγουμε Remote Systems και με δεξί κλικ επιλέγουμε Find Devices. Εφόσον, έχει συνδεθεί το Fieldpoint στην κάρτα δικτύου του υπολογιστή τότε θα εμφανιστεί το Device FieldPoint. Στην συνέχεια επιλέγοντας το FieldPoint και το tab Network Settings, θα ορίσουμε static ip στην συσκευή μας με τις εξής ρυθμίσεις:

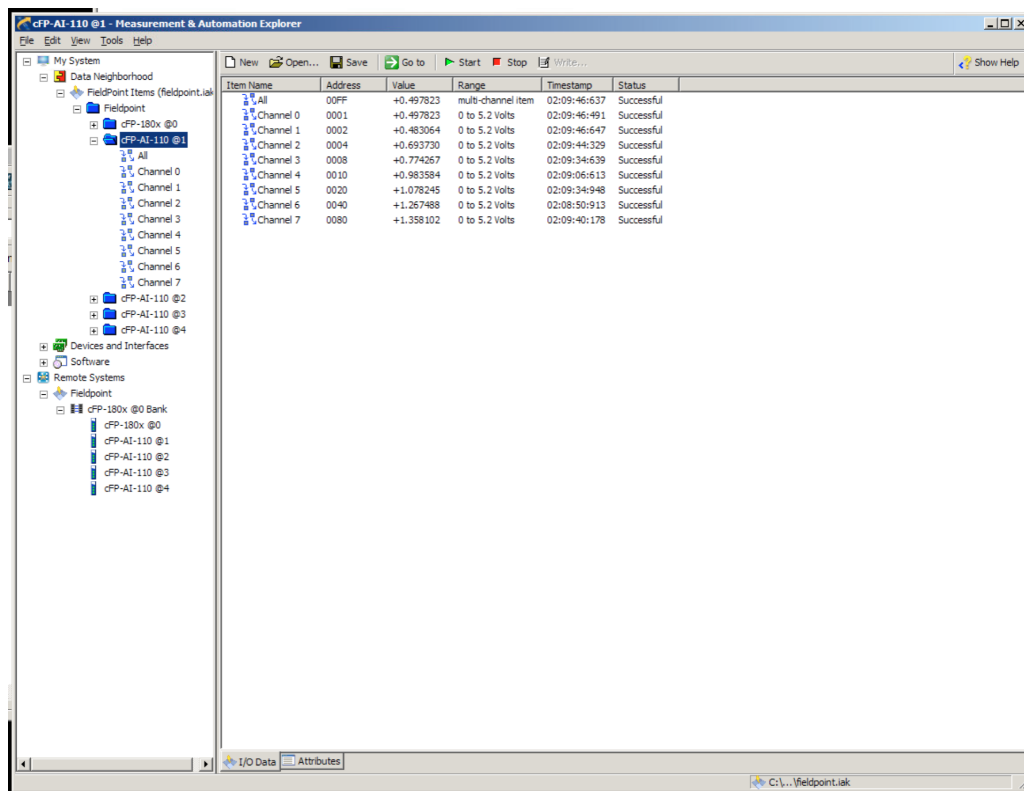
- **IPv4:** 10.0.0.5
- **Subnet:** 255.255.255.0
- **Gateway:** 0.0.0.0

Η επιλογή του static ip της συσκευής Fieldpoint ως 10.0.0.1 για την συνδεσιμότητα με τον Windows Machine που έχει το static ip 10.0.0.1 και για να επιτευχθεί η επικοινωνία είναι αναγκαίο να βρίσκονται σε κοινό subnet. Στην συνέχεια, επιλέγοντας το FieldPoint εμφανίζεται το cFP - 180x @0 Bank όπου μας δίνει την δυνατότητα να παραμετροποιήσουμε τις ρυθμίσεις για κάθε ένα από τα 8 κανάλια του κάθε ένα από τα 4 cFP-AI-110, όπως το εύρος και είδος ανάγνωσης του καναλιού εισόδου καθώς και τον ρυθμό δειγματοληψίας του κάθε καναλιού αντίστοιχα όπως φαίνεται και στο Σχ. 6.23.



Σχήμα 6.23: Παραμετροποίηση των καναλιών εισόδου μέσω του λογισμικού Measurement and Automation της National Instruments.

Στην συνέχεια, ο χρήστης μέσω της επιλογής Data Neighbourhood, FieldPoint Items, FieldPoint μπορεί να την σωστή επικοινωνία της κάθε μονάδας cFP-AI-110 με το FieldPoint, καθώς και τις τιμές της τάσης ή ρεύματος που καταγράφει στο πραγματικό χρόνο, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 6.24.



Σχήμα 6.24: Έλεγχος της επικοινωνίας μεταξύ FieldPoint και Windows Virtual Machine με την καταγραφή των τιμών των καναλιών εισόδου σε πραγματικό χρόνο.

Με τον έλεγχο της σωστής επικοινωνίας μεταξύ Windows Virtual Machine και FieldPoint, με την επιλογή File και SaveAll δημιουργείται ένα αρχείο FieldPointOPC2.exe που σηματοδοτεί την εκκίνηση ενός OPC Server ως διεργασία περιβάλλοντος στο εσωτερικό

του υπολογιστή.

Στην συνέχεια ακολουθεί σύνδεση του OPC Server που παρέχει το FieldPoint με το project OPCFIELDPOINT του Windows Virtual Machine. Αρχικό βήμα είναι η δημιουργία ενός manager τύπου OPC DA Client μέσω του Console του project OPCFIELDPOINT. Με την εισαγωγή του `-num 7` στα χαρακτηριστικά του manager καθορίζουμε ότι αυτός θα είναι ο 7 διαχειριστής πέρα από τους βασικούς. Επιπλέον, ανοίγουμε το config file του project μέσω του console και κάτω από τις υπάρχουσες γραμμές εισάγουμε το εξής:

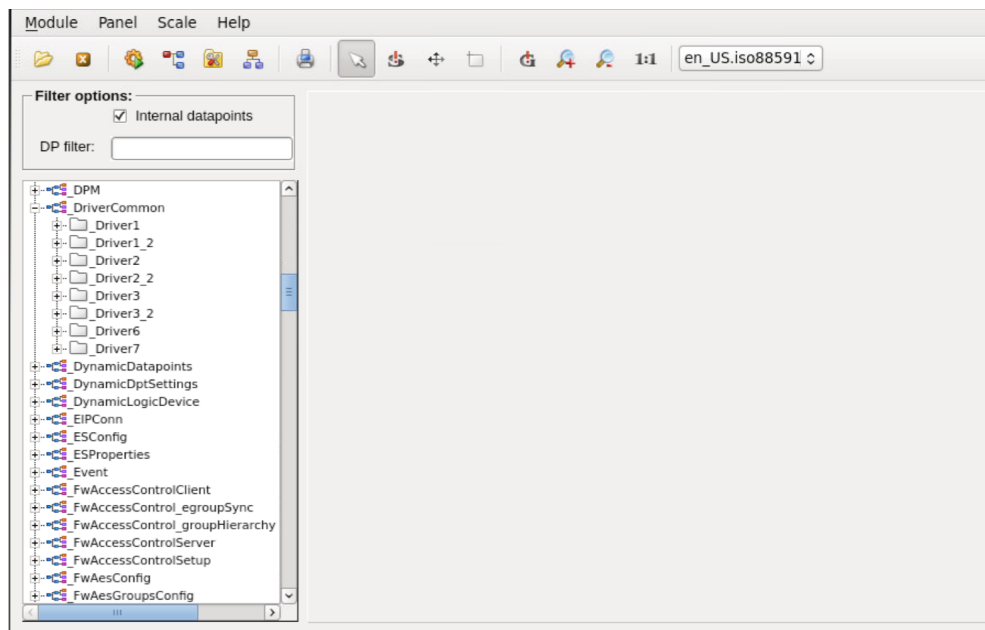
[opc]

[server="NationalInstruments""National Instruments.OPCFieldPoint"]

Με αυτόν τον τρόπο δηλώνεται ο server, ορίζουμε δηλαδή ότι θα συμπεριλάβουμε τον server National Instruments.OPCFieldPoint που έχει δημιουργηθεί από το πρόγραμμα Measurement and Automation της National Instruments. Το [opc_7] δηλώνει ότι ο server client που έχει τον αριθμό 7 (-num 7) θα επικοινωνήσει με τον διακομιστή αυτόν.

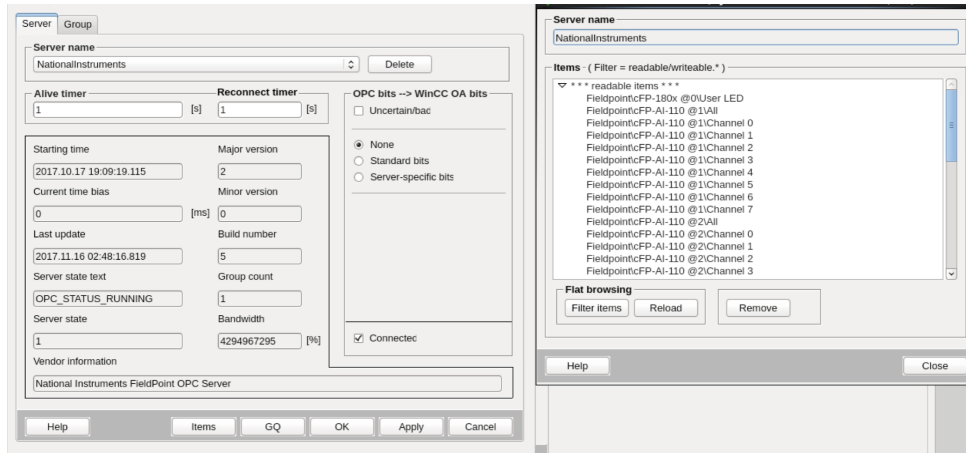
Επόμενο βήμα είναι να κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο project ώστε να συνδεθεί με τον OPC Server που έχουμε δημιουργήσει. Για να κάνουμε τις απαραίτητες ρυθμίσεις, πρέπει να ανοίξουμε το Para μέσα από το Gedi το οποίο μας επιτρέπει την παραμετροποίηση των DPTs και DPs. Για την σωστή επικοινωνία του project με το FieldPoint απαιτείται η χειροκίνητη δημιουργία καθορισμένων DPs με συγκεκριμένο τύπο DPT. Τα αντικείμενα που πρέπει να δημιουργηθούν είναι τα εξής και η διαδικασία επιπλέον απεικονίζεται στο Σχ.6.25:

- **DP: _Driver7 DPT: _DriverCommon**
- **DP: _Stat_Configs_driver_7 DPT: _Statistics_DriverConfigs**



Σχήμα 6.25: Δημιουργία DPs για την σύνδεση με τον OPC DA Client του FieldPoint.

Στην συνέχεια, μέσω του Gedi ανοίγουμε το Vision και επιλέγουμε το panel SysMgm. Στο tab Driver βρίσκεται το κουμπί OPC Driver, με το οποίο μπορούμε να παραμετροποιήσουμε τον OPC Server. Επιπλέον, στο παράθυρο του OPC Parameterization μπορούμε να δούμε όλες τις πληροφορίες που περιέχει ο OPC Server, επιλέγοντας το κουμπί Show Item Configuration μπορούμε να ελέγξουμε ξανά την σωστή επικοινωνία του FieldPoint με τον project OPCFIELDPOINT, όπως απεικονίζεται και στο Σχ. 6.26.

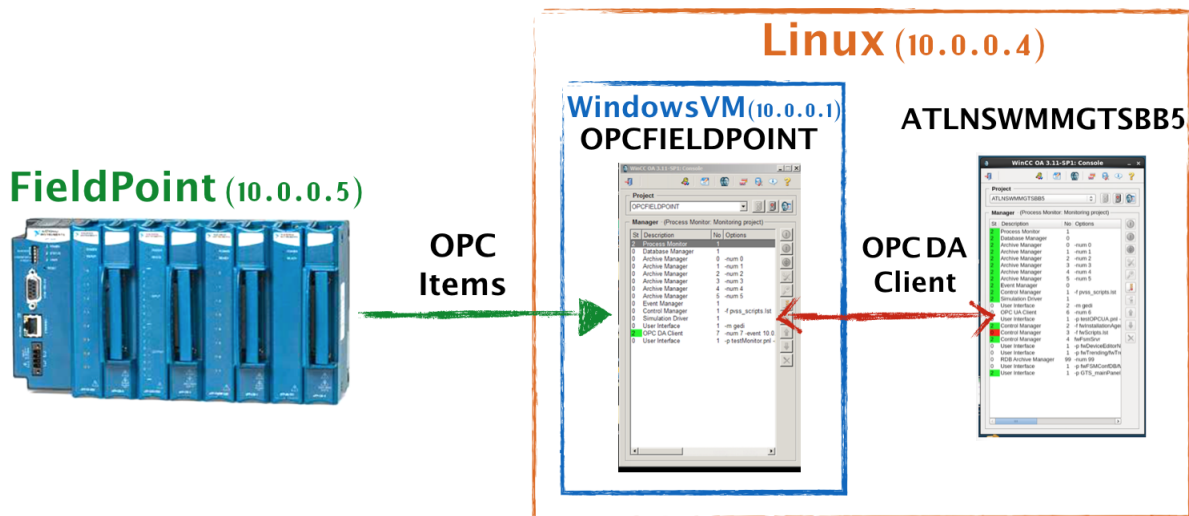


Σχήμα 6.26: Έλεγχος της επικοινωνίας μεταξύ FieldPoint και του project OPCFIELDPOINT που βρίσκεται στο Windows Virtual Machine.

Επόμενο βήμα και σημαντικό, αποτελεί η μεταφορά των δεδομένων μέσω του OPC DA Client από το project OPCFIELDPOINT στο κύριο project ATLNSWMMGTSSBB5 του Linux Machine. Για την επίτευξη της σύνδεσης, πρέπει να θέσουμε μία από τις κάρτες δικτύου του Linux Machine να κατέχει το static ip, 10.0.0.4. Με αυτόν τον τρόπο, το Linux Machine(10.0.0.4) βρίσκεται στο ίδιο subnet με το Windows Virtual Machine(10.0.0.1) και το FieldPoint(10.0.0.5) και έτσι καθίσταται δυνατή η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Τελευταίο βήμα, είναι η παραμετροποίηση του OPC DA Client στο project OPCFIELDPOINT ως εξής:

-num 7- event 10.0.0.4 -data 10.0.0.4

Η τεχνική αυτή βασίζεται ουσιαστικά στην δημιουργία ενός distributed WinCC system, όπου το project OPCFIELDPOINT προωθεί τους Event, Data manager στο project ATLNSWMMGTSSBB5 καθιστώντας δυνατή την σύνδεση του project μας με την συσκευή FieldPoint. Αναγκαίο για την σωστή λειτουργία της σύνδεσης, είναι η διατήρηση της επικοινωνίας μεταξύ των δύο project και η συνεχής λειτουργία του project εσωτερικά στο Linux Virtual Machine. Για λόγους παρουσίασης και απλότητας, στο Σχ. 6.27 παρουσιάζεται ο τρόπος επικοινωνίας και η σύνδεση μέσω του πρωτοκόλλου OPC στο εσωτερικό του υπολογιστή.



Σχήμα 6.27: Ο τρόπος σύνδεσης και επικοινωνίας της συσκευής FieldPoint με το project με την χρήση ενός Windows Virtual Machine.

6.6.3 Σχεδιασμός

Το τελικό βήμα για την υλοποίηση του Gas Tightness Station αποτελεί ο σχεδιασμός της διεπαφής χρήστη (user interface) μέσω του εργαλείου Gedi του WinCC. Ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να γίνει με βάση τις ανάγκες του χρήστη, δίνοντας του την δυνατότητα πληθώρας επιλογών με ταυτόχρονη αυτοματοποίηση των διεργασιών για την αποφυγή σφαλμάτων καθώς και τον δυναμικό σχεδιασμό των διάφορων αντικειμένων. Το σύστημα που θα σχεδιαστεί θα αποτελείται panel όπου θα περιέχουν αντικείμενα που θα υλοποιούν διεργασίες για την αυτοματοποίηση των μετρήσεων και της καταγραφής των δεδομένων με βάση την πειραματική διάταξη. Συνεπώς, το ζητούμενο στον σχεδιασμό του αυτόματου συστήματος ελέγχου είναι η αντιστοίχιση των διάφορων αντικειμένων των panel με τα DPes που περιέχουν όλη την πληροφορία των αισθητήρων. Πρωταρχικό βήμα είναι ο σχεδιασμός των DPes

που θα έχουν συγκεκριμένο DPT και θα περιλαμβάνουν όλη την πληροφορία σχετικά με διάφορους αισθητήρες και θα καλούνται μέσα από τα διάφορα αντικείμενα του panel.

Δημιουργία DPs

Για την δημιουργία των DPs σχεδιάστηκε ειδική περιοχή μέσα στο panel όπου ο χρήστης με την επιλογή των διαθέσιμων κουμπιών κατασκευάζει αυτόματα τα διάφορα DPs. Η περιοχή εντός του συστήματος GTS αποτυπώνεται στο Σχ. 6.28.

The screenshot displays the 'Gas Tightness Station' software interface. On the left is a vertical sidebar with navigation buttons: 'Setup', 'Overview', 'Node 1', 'E-Logbook', 'Archived Data', 'NSW QA/QC Database', 'Settings', 'Exit', and 'About'. The main window is titled 'Vision_1: GTS_mainPanel.pnl'. It features several configuration panels:

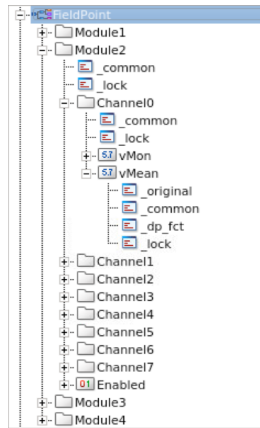
- Sensor Alias:** A table with columns 'Alias', 'Channel', and 'Voltage'. It lists various modules and channels with their corresponding voltage readings.
- FieldPoint Settings:** Includes 'Enable/Disable Module' and 'OPC DA Client Communication' buttons.
- Sensors Gas Calibration:** Contains 'Sensors Gas Calibration' and 'Mass Flow Sensor Offset' buttons.
- Pressure Limit:** Features a 'Set Pressure Limit' button.
- Gas Leak Limits:** Features a 'Set Gas Leak Limits' button.
- DPTs Settings (highlighted in blue):** A collection of buttons for configuring different DPT types: 'FieldPoint', 'Chambers FRL', 'Chambers PDR', 'Gas Leak Chambers Limits', 'Calibration', 'Offset', 'Pressure Limit', 'Archive Time', 'Archive All', 'Run Counter', and 'cFP-1804'.
- Auto Archive Time:** Includes a 'Set Auto Archive Time' button.
- Delete Archive List:** Includes a 'Delete Archive List' button.
- Archive Counter:** Includes a 'Reset Counter' button.
- EMERGENCY Developer Help:** Includes a 'Send Email' button.
- Advance Gas Leak Analysis:** Includes a button for 'Advanced Analysis (Under Construction)'.

Σχήμα 6.28: Η περιοχή εντός του Gas Tightness Station για την αυτόματη δημιουργία των DPs του συστήματος.

Η περιοχή DPTs Settings περιλαμβάνει διάφορα κουμπιά όπου με το πάτημα των εκάστοτε κουμπιών δημιουργούνται τα αντίστοιχα DPs. Η δημιουργία αυτής της περιοχής ήταν αναγκαία για την μεταφορά του project σε διαφορετικό υπολογιστή και η αυτόματη αναδημιουργία των DPs. Η δημιουργία των κουμπιών έγινε μέσω του Gedi και ακολούθως μέσω script ορίστηκε η διεργασία που θα επιτελείται κατά το πάτωμα του κουμπιού (clicked process). Η βασική εντολή που χρησιμοποιήθηκε εντός των κωδικών ήταν η εντολή `dpTypeCreate`, όπου δημιουργεί τον τύπο δηλαδή τα αντικείμενα του datapoint και η εντολή `dpCreate` που δημιουργεί τα DPs βασισμένα στην μορφή που διαμορφώθηκε μέσω του DPT. Ωστόσο, για την ευκολότερη κατανόηση του αναγνώστη θα παρουσιαστεί η δομή του FieldPoint και Chamber FRL DPT μιας και αποτελούν τα σημαντικότερα DPs του project και τα υπόλοιπα DPs κατασκευάζονται με παρόμοια μορφή.

Πρωταρχικό βήμα για το project, ήταν η δημιουργία ενός DPT όπου θα υλοποιεί την δομή του FieldPoint και θα επέτρεπε την αντιστοίχιση των 8 καναλιών κάθε module που τοποθετούνταν σε DPE για την περαιτέρω χρησιμοποίησή τους μέσα στο panel. Η δομή του DPT που αφορά το FieldPoint, που αποτυπώνεται στο Σχ. 6.30, αποτελείται από 4 Modules τύπου structure όπου αποτελούν τα 4 διαθέσιμα modules που μπορούν να συνδεθούν με το FieldPoint. Κάθε Module αποτελείται από τα 8 κανάλια (Channels0-7) τύπου structure, κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει 2 DPEs τύπου float, το `vMon` που επιστρέφει την τιμή της αναλογικής τάσης εισόδου σε πραγματικό χρόνο και το `vMean` που επιστρέφει τον μέσο όρο των 60 αναγνώσεων της τιμής τάσης κάθε δευτερόλεπτο. Στην πραγματικότητα το `vMon` αποτελεί την μοναδική επαφή του συστήματος με το FieldPoint καθώς έχει δημιουργηθεί ειδικό config τύπου Periphery Address που συνδέει το συγκεκριμένο DPE με το OPC item του συγκεκριμένου καναλιού του module του FieldPoint. Για το `vMean` έχει κατασκευαστεί ειδικό config τύπου Datapoint Function όπου υπολογίζει αυτόματα τον μέσο όρο της τιμής του `vMean` του ίδιου καναλιού. Επιπλέον, για κάθε Module του FieldPoint υπάρχει ένα επιπλέον

DPE Enabled τύπου Boolean που αφορά την σύνδεση του εκάστοτε Module με το FieldPoint.

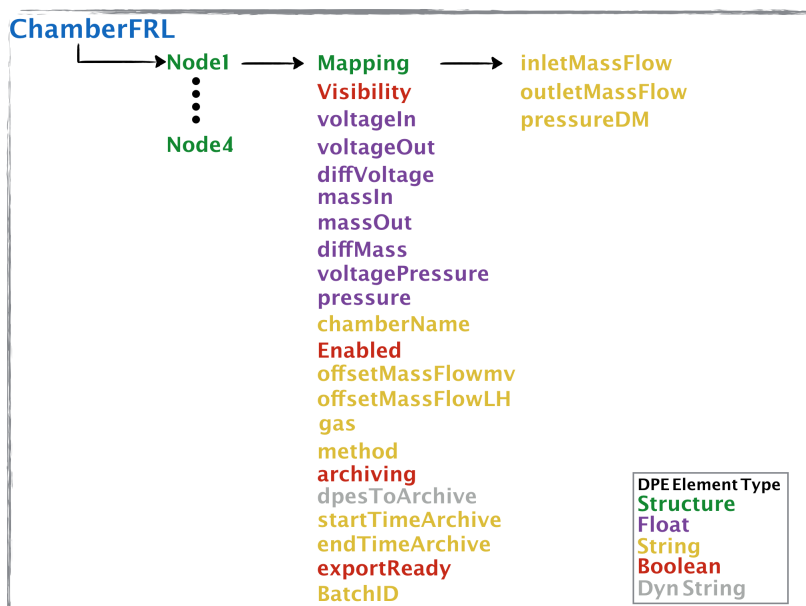


Σχήμα 6.29: Η δομή του DPT Fieldpoint για την σύνδεση του project με την συσκευή FieldPoint.

Το σημαντικότερο DP του project είναι το ChamberFRL, όπου παρέχει την πληροφορία όλων των αισθητήρων για κάθε node και σαν αποτέλεσμα όλης της πειραματικής διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της μέτρησης της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL. Το DPT ChamberFRL αποτελείται από 4 nodes (Node1-Node4) όπου είναι τύπου structure και αποτελούν ουσιαστικά τα 4 nodes της πειραματικής διάταξης. Κάθε ένα Node περιλαμβάνει όλη την πληροφορία για τον MM QP που εξετάζεται. Τα DPEs αναλύονται παρακάτω:

- **Mapping** Το DPE τύπου structure περιλαμβάνει την πληροφορία των καναλιών του FieldPoint που αντιστοιχίζονται με τους αισθητήρες MFS και DPS. Αποτελείται από τα DPE τύπου string, inletMassFlow, outletMassFlow και pressureDM, όπου περιλαμβάνουν το String του καναλιού του FieldPoint που αντιστοιχεί στο εκάστοτε κανάλι. Για παράδειγμα, το περιεχόμενο του inletMassFlow είναι "Module1.Channel0" δηλαδή η ροή εισόδου και συνεπώς η έξοδος τάσης του MFS εισόδου έχει συνδεθεί με το κανάλι 0 του Module 1 που είναι συνδεδεμένο πάνω στο FieldPoint.
- **voltageIn** Το DPE τύπου float περιλαμβάνει την πληροφορία των καναλιών του FieldPoint που αντιστοιχίζονται με τους αισθητήρες MFS εισόδου σε μονάδες V.
- **voltageOut** Το DPE τύπου float περιλαμβάνει την μέση τιμή της αναλογικής τάσης του MFS εξόδου σε μονάδες V.
- **diffVoltage** Το DPE τύπου float υλοποιεί και επιστρέφει την διαφορά μεταξύ της αναλογικής τάσης των MFS εισόδου και εξόδου σε μονάδες V.
- **massIn** Το DPE τύπου float περιλαμβάνει την μέση τιμή της πραγματικής ροής του MFS εισόδου σε μονάδες L/h καθώς έχει μετατραπεί σε ροή με την εφαρμογή παραμέτρου που καθορίζεται με την μέθοδο της βαθμονόμησης του αισθητήρα.
- **massOut** Το DPE τύπου float περιλαμβάνει την μέση τιμή της πραγματικής ροής του MFS εξόδου σε μονάδες L/h καθώς έχει μετατραπεί σε ροή με την εφαρμογή παραμέτρου που καθορίζεται με την μέθοδο της βαθμονόμησης του αισθητήρα.
- **diffMass** Το DPE τύπου float υλοποιεί και επιστρέφει την διαφορά μεταξύ της αναλογικής τάσης των MFS εισόδου και εξόδου σε μονάδες l/h.
- **voltagePressure** Περιλαμβάνει την μέση τιμή της αναλογικής τάσης του αισθητήρα DPS σε μονάδες V.
- **pressure** Το DPE τύπου float περιλαμβάνει την μέση τιμή της πραγματικής πίεσης του αισθητήρα DPS σε μονάδες mbar.
- **chamberName** Το DPE τύπου string εμφανίζει την πληροφορία του είδους του MM QP που είναι υπό εξέταση στο εκάστοτε node όπως SM1, SM2, LM1, LM2.
- **Enabled** Το DPE τύπου boolean εμφανίζει την πληροφορία ως προς την ενεργοποίηση του αντίστοιχου node της πειραματικής διάταξης δηλαδή αν βρίσκεται MM QP στην συγκεκριμένη θέση.
- **offsetMassFlowmv** Το DPE τύπου string εμφανίζει την πληροφορία για το offset/tare των δύο αισθητήρων MFS εισόδου και εξόδου σε μονάδες mV.
- **offsetMassFlowLH** Το DPE τύπου string εμφανίζει την πληροφορία για το offset/tare των δύο αισθητήρων MFS εισόδου και εξόδου σε μονάδες L/h.
- **gas** Το DPE τύπου string εμφανίζει την πληροφορία για το αέριο που χρησιμοποιείται για την εξέταση του MM QP στο συγκεκριμένο Node.
- **method** Το DPE τύπου string εμφανίζει την πληροφορία για την μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εξέταση του MM QP στο συγκεκριμένο node.
- **Enabled** Το DPE τύπου boolean εμφανίζει την πληροφορία αν γίνεται καταγραφή (archiving) των δεδομένων από το συγκεκριμένο node σε πραγματικό χρόνο.

- **dpesToArchive** Το DPE τύπου dyn string είναι array από τους αισθητήρες της διάταξης δηλαδή τα αντίστοιχα DPEs όπου θα γίνει η αποθήκευση των δεδομένων τους της στιγμή που ο χρήστης το επιθυμεί.
- **startTimeArchive** Το DPE τύπου string παρέχει την πληροφορία της στιγμής εκκίνησης της καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων των αισθητήρων.
- **endTimeArchive** Το DPE τύπου string παρέχει την πληροφορία της στιγμής ολοκλήρωσης της καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων των αισθητήρων.
- **exportReady** Το DPE τύπου boolean παρέχει την πληροφορία αν τα δεδομένα που αποθηκεύτηκαν προηγουμένως είναι έτοιμα για την εξαγωγή τους.
- **BatchID** Το DPE τύπου string παρέχει την πληροφορία της ταυτότητας του MM QP που εξετάζεται, είναι το MTF Batch ID που ορίζεται κατά την κατασκευή του ανιχνευτή στα production sites.



Σχήμα 6.30: Η δομή του DP ChamberFRL που περιέχει όλη την πληροφορία για τον chamber που εξετάζεται μέσω της μεθόδου FRL στο εκάστοτε node της πειραματικής διάταξης.

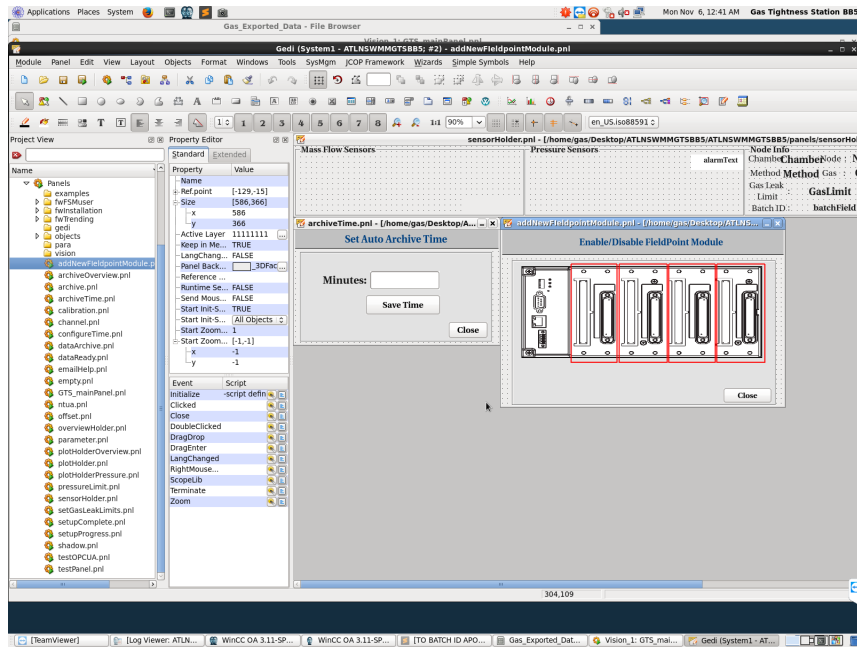
Γραφικό περιβάλλον

Μέσω του Gedi, υλοποιήθηκε το Gas Tightness Station, όπου σχεδιάστηκαν οι διάφορες διεπαφές χρήστη, δηλαδή τα panels, με την χρήση αντικειμένων όπως κουμπιά, πίνακες, πεδία κειμένου, λίστες κλπ. Σε κάθε ένα από τα αντικείμενα αυτά πρέπει να ρυθμιστούν μέσω scripts οι διάφορες διεργασίες του αντικειμένου, όπως τι πράξη να υλοποιεί καθώς καλείται (initialize), τι πράξη να υλοποιεί καθώς πατιέται (clicked), τι πράξη να υλοποιεί καθώς κλείνει (Close), καθώς και άλλες λειτουργίες που σχετίζονται με την σύνδεση των panels μεταξύ τους. Κάποιες πολύ βασικές εντολές παρέχονται από το λογισμικό μέσω παραθύρων διαλόγου όμως για την μοντελοποίηση μίας σύνθετης διαδικασίας, αναγκαία είναι η δημιουργία διάφορων script όπου θα τρέχουν τους διάφορους αλγορίθμους. Στο Σχ. 6.31 απεικονίζεται ο Graphical Editor του WinCC, καθώς και οι διάφορες γραμμές εργαλείων, το panel και το Properly Editor όπου αντιστοιχίστηκαν οι διάφορες λειτουργίες των αντικειμένων του με τα Datapoint Elements.

Το τελικό περιβάλλον του συστήματος αποτελείται από πολλαπλά panel όπου δαπανήθηκε αρκετός χρόνος για τον σχεδιασμό τους και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Για την σωστή λειτουργία του συστήματος γράφτηκε πληθώρα βιβλιοθηκών κώδικα που θα υλοποιούν κοινές διαδικασίες και θα λειτουργούν δυναμικά αναλόγως τα ορίσματα που θα δέχονται κάθε φορά. Μέρος του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του τελικού συστήματος επισυνάπτεται στο Παράρτημα. Στο Σχ. 6.32 παρουσιάζεται μία πρώτη ιδέα από το Gas Tightness System που σχεδιάστηκε για την πραγματοποίηση της μέτρησης διαρροής αερίου των ανιχνευτών MM QP στο εργαστήριο BB5. Η περιγραφή του συστήματος και οι αρχές λειτουργίας με την πληθώρα επιλογών του συστήματος θα περιγραφτούν αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

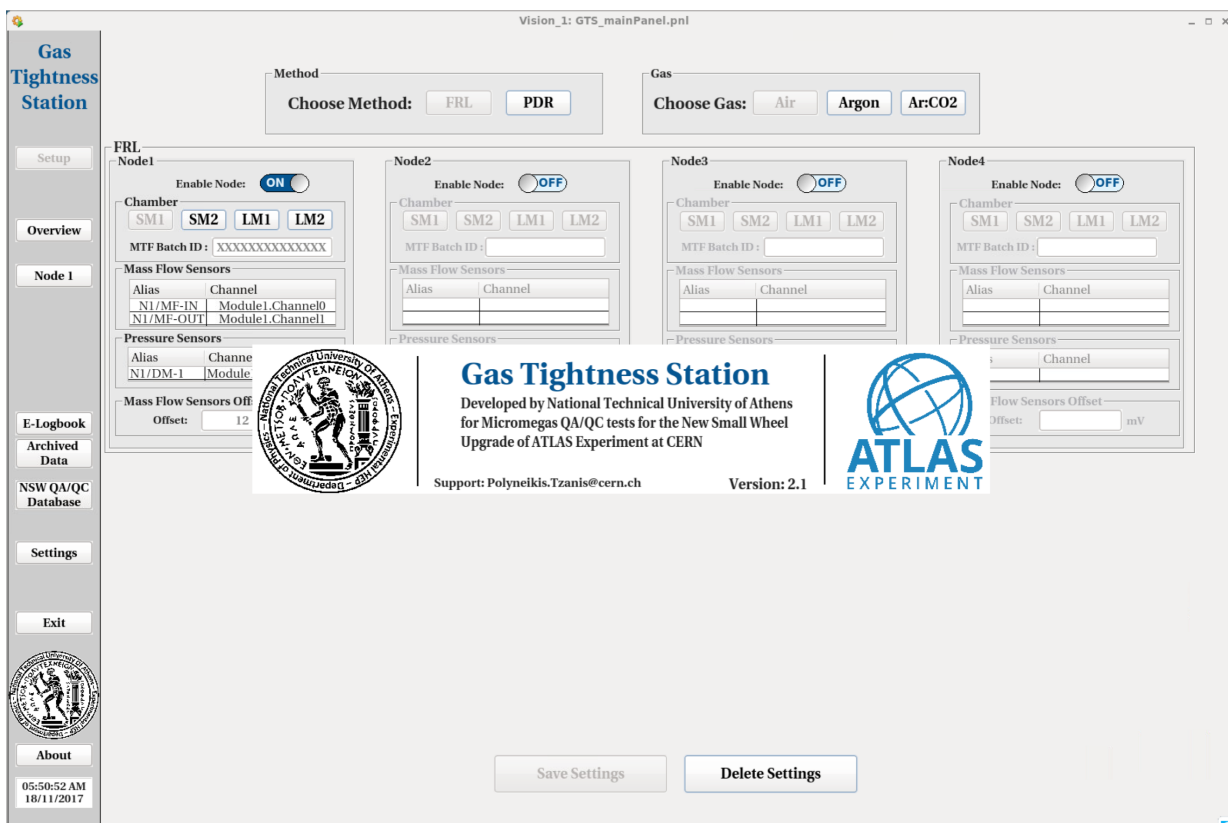
6.7 Σύστημα αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου στο BB5

Με την σχεδίαση του Gas Tightness Station έχει ολοκληρωθεί η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου στο εργαστήριο BB5 του CERN. Η τελική διάταξη των μετρήσεων θα έχει την μορφή του Σχ. 6.33, όπου αποτυπώνεται η ροή του αερίου μέσα από την φιάλη μείγματος αερίου Ar : CO7 διέρχεται από ένα ρυθμιστή ροής και στην συνέχεια θα εισέρχεται στους 4 κλάδους (nodes). Στο εσωτερικό ενός node εισέρχεται στον αισθητήρα ροής εισόδου MFS_{in} . Το αέριο έπειτα διακλαδίζεται στον κλάδο διαρροής και

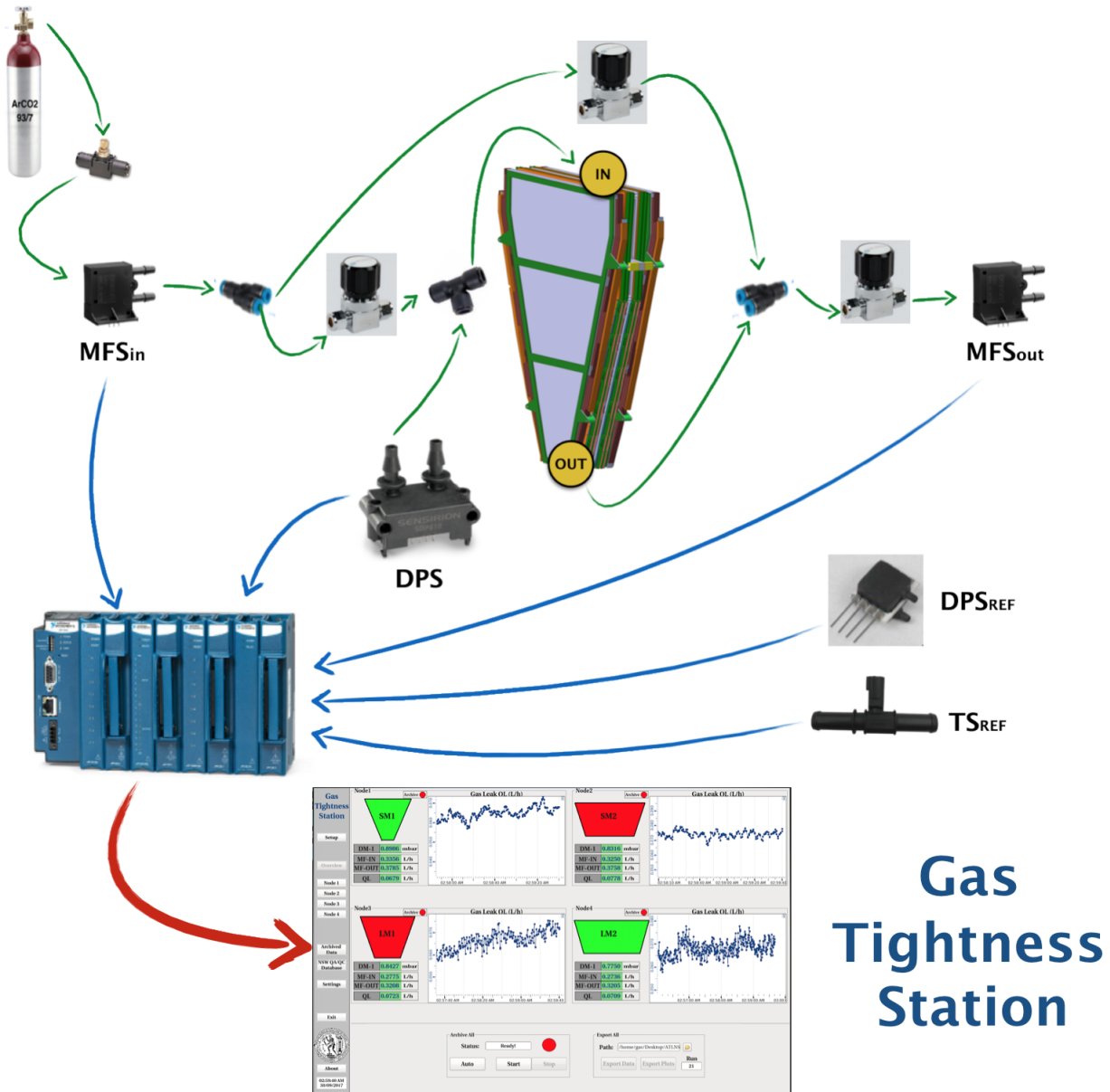


Σχήμα 6.31: Το εργαλείο Graphical Editor του WinCC.

κλάδο παράκαμψης οι οποίοι ρυθμίζονται μέσω βαλβίδων υψηλής στεγανότητας. Κατά την είσοδο στο κλάδο διαρροής, το αέριο εισέρχεται στον αισθητήρα πίεσης και έπειτα στον MM QP όπου και εξέρχεται καταλήγοντας στον αισθητήρα ροής εξόδου MFS_{out} . Ταυτόχρονα καταγράφονται οι τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας μέσα από τους αισθητήρες DPS_{ref} και TS_{ref} . Όλοι οι αισθητήρες παράγουν αναλογική τάση η οποία καταλήγει στο FieldPoint και ψηφιοποιεί τα δεδομένα. Τέλος, τα δεδομένα μεταφέρονται στον υπολογιστή μέσα Ethernet και μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας OPC γίνεται ο έλεγχος, η καταγραφή και η ανάλυση των δεδομένων μέσω του Gas Tightness Station.



Σχήμα 6.32: Η τελική μορφή του Gas Tightness Station.



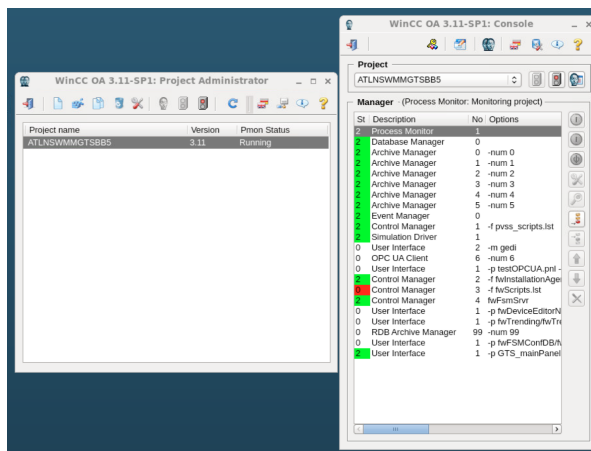
Σχήμα 6.33: Η τελική μορφή του συστήματος αυτόματου ελέγχου της διαρροής αερίου των MM QP στο BB5.

Αρχές λειτουργίας του Gas Tightness Station

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί τον αναλυτικό οδηγό για την μέτρηση της διαρροής αερίου με χρήση του Gas Tightness Station. Γίνεται εκτενής αναφορά των βημάτων που θα πρέπει να εκτελέσει ο χρήστης για την μέτρηση της διαρροής των MM QP μέσω των μεθόδων FRL και PDR με χρήση του Gas Tightness Station.

7.1 Εκκίνηση

Ο χρήστης εκκινεί το project ATLNSWMMGTSBB5 μέσα από το Project Administrator του WinCC επιλέγοντας το project και πατώντας το κουμπί με την ένδειξη Start Project. Κατά την εκκίνηση του project θα ανοίξει το Console με όλους τους Managers που είναι αναγκαίοι για την σωστή λειτουργία του καθώς και το logviewer για την διερεύνηση διάφορων σφαλμάτων.

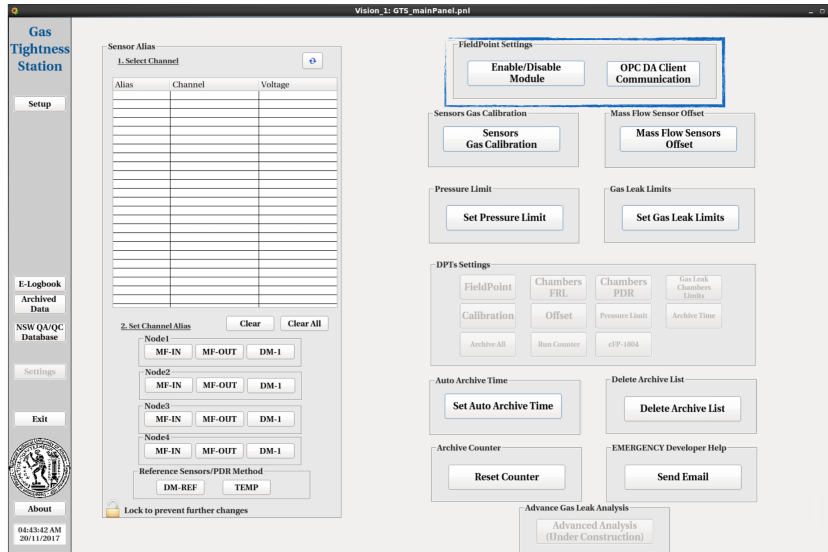


Σχήμα 7.1: Εκκίνηση του Gas Tightness Station μέσω του Project Administrator του WinCC.

Αυτόματα, θα εκκινήσει ο manager όπου περιλαμβάνει το User Interface του Gas Tightness Station και το UI του GTS εμφανιστεί όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.2. Αποτελεί την πρώτη επαφή του χρήστη με το σύστημα GTS οι δυνατότητες των διάφορων επιλογών που παρατηρεί θα περιγραφτούν εκτενώς στις επόμενες υποενότητες.

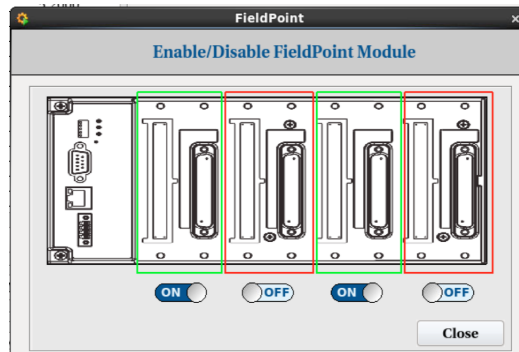
7.2 Έλεγχος συνδεσιμότητας FieldPoint και αισθητήρων

Πρωταρχικό βήμα για την πραγματοποίηση μετρήσεων διαρροής αερίου των ανιχνευτών MM QP είναι η σωστή λειτουργία των αισθητήρων και η συνδεσιμότητα τους με το FieldPoint και ακολούθως με τον υπολογιστή και το σύστημα GTS. Επομένως, σχεδιάστηκε μέσω του GTS να δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της συνδεσιμότητας μέσω του κουμπιού Settings που βρίσκεται στην αριστερή στήλη του αρχικού panel, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.3. Με το πάτημα του κουμπιού Settings ο χρήστης εισέρχεται σε ένα νέο περιβάλλον που περιλαμβάνει πληθώρα επιλογών. Για τον έλεγχο της συνδεσιμότητας των αισθητήρων και του FieldPoint έχει σχεδιαστεί το πλαίσιο FieldPoint Settings που περιλαμβάνει 2 κουμπιά, το Enable/Disable Module και το OPC DA Client Communication.



Σχήμα 7.2: Έλεγχος της συνδεσιμότητας μεταξύ FieldPoint, αισθητήρα και GTS.

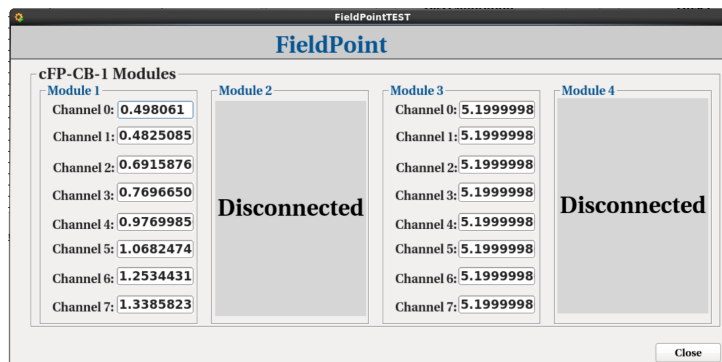
Αρχικά, ο χρήστης πατάει το κουμπί με την ένδειξη Enable/Disable Module με σκοπό να ενεργοποιήσει το Module cFP-CB-1 που έχει συνδέσει πάνω στο FieldPoint. Ένα νέο παράθυρο ανοίγει, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.3, όπου ο χρήστης ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τα Modules στις συγκεκριμένες θέσεις του FieldPoint με τον διακόπτη On/Off. Στην περίπτωση μας, ενεργοποιήσαμε τα 2 Modules, όσα και είχαμε συνδέσει πάνω στην μονάδα FieldPoint.



Σχήμα 7.3: Ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των Modules cFP-CB-1 που έχουν τοποθετηθεί στο FieldPoint μέσω του κουπιού Enable/Disable Module του Settings Tab.

Με την ολοκλήρωση της ενεργοποίησης των Modules, ο χρήστης πατάει το κουμπί Close όπου και επιστρέφει στην προηγούμενη περιοχή και συγκεκριμένα στο Tab Settings του Σχ. 7.3.

Έπειτα πρέπει να γίνει και ο έλεγχος της συνδεσιμότητας των αισθητήρων στο εκάστοτε Module. Αυτό πραγματοποιείται με την επιλογή του κουπιού OPC DA Client Communication όπου ανοίγει ένα νέο παράθυρο όπως φαίνεται στο Σχ. 7.4.



Σχήμα 7.4: Έλεγχος της συνδεσιμότητας των Modules cFP-CB-1 με το FieldPoint

Στο παράθυρο αυτό (Σχ. 7.4), ο χρήστης ελέγχει την αναλογική τάση εισόδου των 8 καναλιών των modules που είναι συνδεδεμένα με το FieldPoint. Με τον έλεγχο της τάσης σε κάθε κανάλι μπορεί να ελέγξει την σωστή συνδεσιμότητα με τον αντίστοιχο κανάλι του Module καθώς οι τιμές ανανεώνονται σε πραγματικό χρόνο.

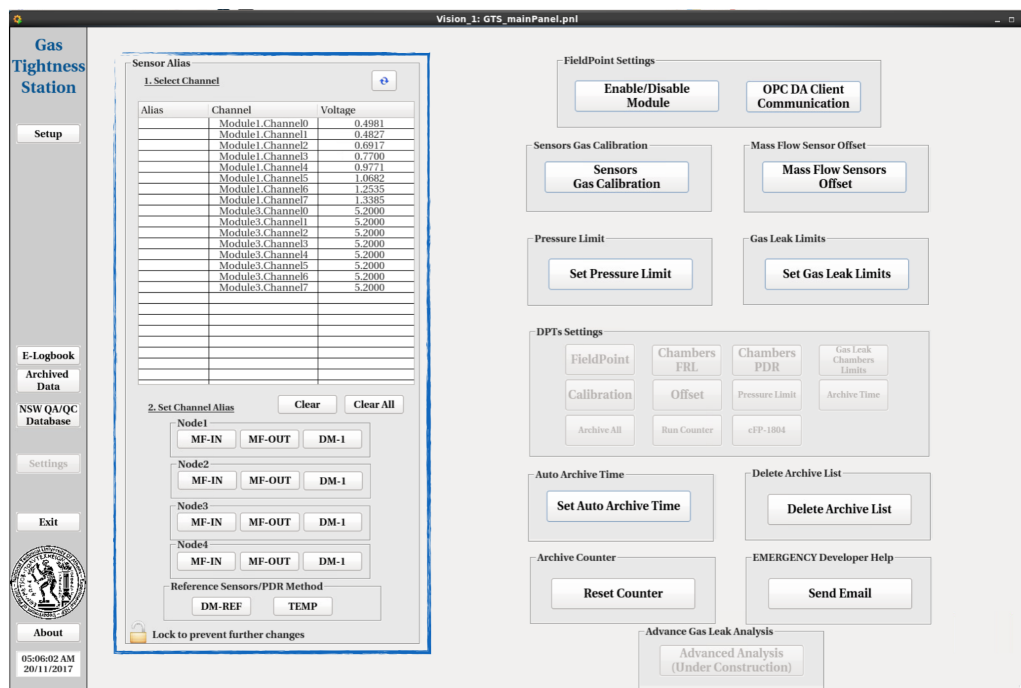
Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει συνδεσιμότητα και όλα τα Modules εμφανίζονται ως Disconnected, αυτό οφείλεται στην μη σωστή σύνδεση του OPC DA Client. Ο χρήστης θα πρέπει να ελέγξει 3 πράγματα σε περίπτωση που δεν έχει επιτευχθεί η σωστή σύνδεση:

- Έλεγχος σωστής τροφοδοσία του FieldPoint
- Έλεγχος της σύνδεσης του FieldPoint με τον υπολογιστή μέσω Ethernet cable
- Έλεγχος της κατάστασης του project OPCFIELDPOINT που βρίσκεται στο Windows Virtual Machine

Εφόσον και τα 3 ζητούμενα έχουν ελεγχθεί σωστά τότε η επικοινωνία με το FieldPoint θα επιτευχθεί και οι τιμές της τάσης των καναλιών των Modules θα ανανεωθούν αυτόματα. Σε περίπτωση που οι τιμές των τάσεων δεν είναι οι αναμενόμενες ο χρήστης πρέπει να ελέγξει την τροφοδοσία των αισθητήρων καθώς και την σωστή σύνδεση των αισθητήρων με τα κανάλια του FieldPoint όπως και αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

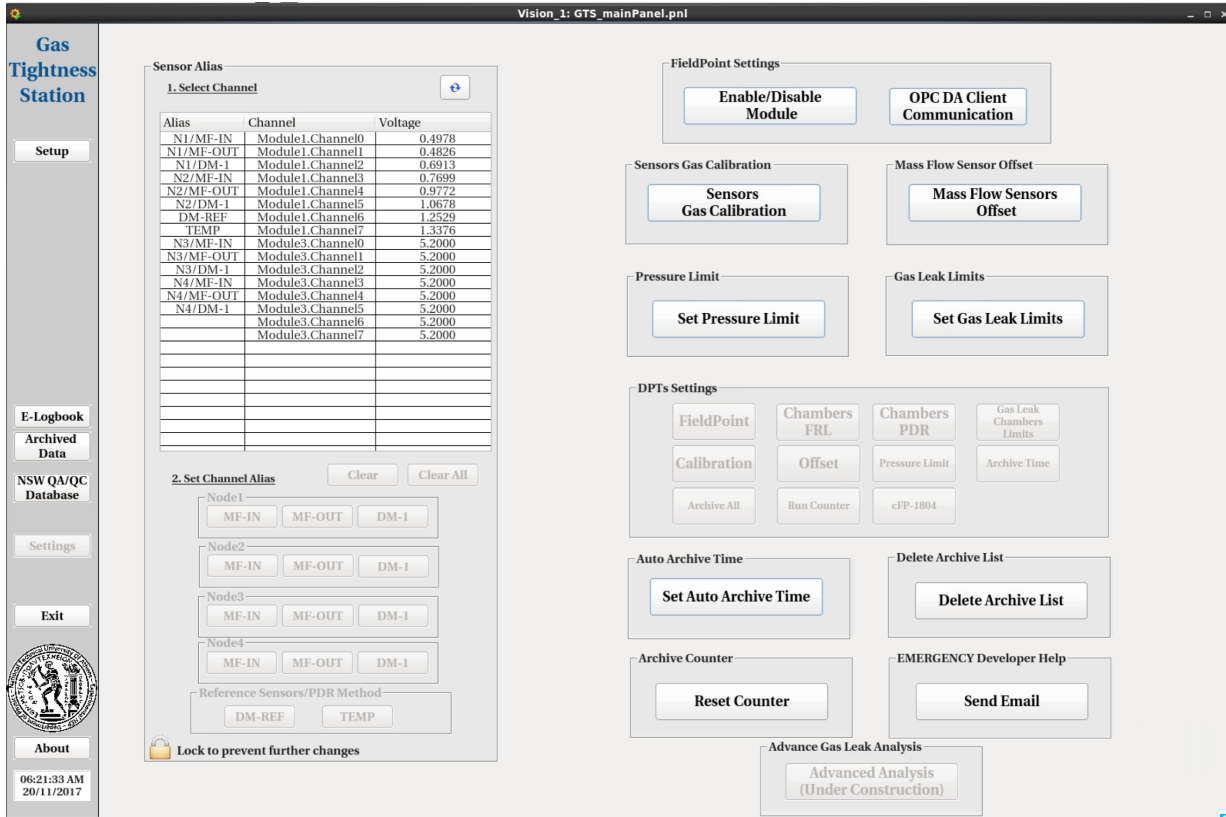
7.3 Αντιστοίχιση καναλιών FieldPoint με αισθητήρες

Μετά την επιτυχή σύνδεση των αισθητήρων στο FieldPoint και την σωστή επικοινωνία με το GTS, πρέπει σε δεύτερο βήμα να επιτευχθεί η αντιστοίχιση των καναλιών των Modules με τους αισθητήρες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από το πλαίσιο Sensor Alias στην περιοχή του Settings Tab όπως φαίνεται και στο Σχ. 7.5. Επιπλέον, ο χρήστης με το Refresh button είναι πλέον σε θέση να δει στο πίνακα όλα τα διαθέσιμα κανάλια των module που έχει ενεργοποιήσει. Στην πρώτη στήλη είναι το alias του καναλιού που αποτελεί και την αντιστοίχιση του αισθητήρα στο κανάλι της δεύτερης στήλης και στην τρίτη στήλη φαίνεται η τιμή της τάσης του αντίστοιχου καναλιού.



Σχήμα 7.5: Αντιστοίχιση των αισθητήρων στα κανάλια του FieldPoint.

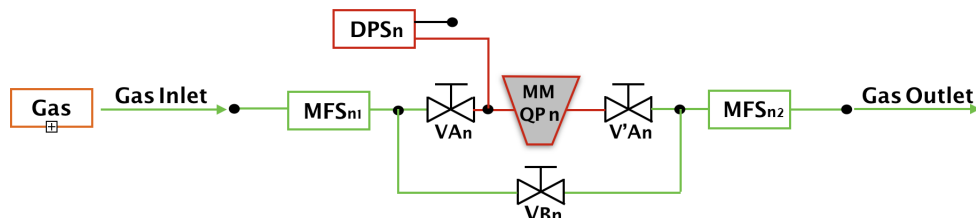
Ο χρήστης αρχικά επιλέγει την κλειδαριά ώστε να του δώσει το σύστημα με τα κουμπιά που βρίσκονται κάτω από το πίνακα την δυνατότητα να μπορεί να αντιστοιχεί τους αισθητήρες ροής μάζας (MFS) εισόδου και εξόδου, τους αισθητήρες πίεσης (DM-1) για κάθε node της πειραματικής διάταξης καθώς και τα κανάλια που αντιστοιχούν στον αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης (DM-REF) και τον αισθητήρα θερμοκρασίας περιβάλλοντος (TEMP). Με την ολοκλήρωση της αντιστοίχισης, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.6 ο χρήστης πατάει την κλειδαριά ώστε να κλειδώσουν οι επιλογές τους και να μην αλλαχθούν καταλάθος στην πορεία χρήσης του προγράμματος. Επιπλέον, το σύστημα έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο όπου να απομνημονεύει την αντιστοίχιση αυτήν και να μην είναι αναγκαία αυτή η ρύθμιση κάθε φορά που ο χρήστης επιθυμεί να πραγματοποιήσει μέτρηση. Επιπλέον, η αντιστοίχιση αυτή δεν προβλέπεται να ρυθμιστεί ξανά από τον χρήστη καθώς οι αισθητήρες της πειραματικής διάταξης στο BB5 θα είναι καθορισμένοι τόσο η θέση όσο και η αντιστοίχιση τους με τα κανάλια του FieldPoint.



Σχήμα 7.6: Ολοκλήρωση της αντιστοίχισης των αισθητήρων στα κανάλια του FieldPoint.

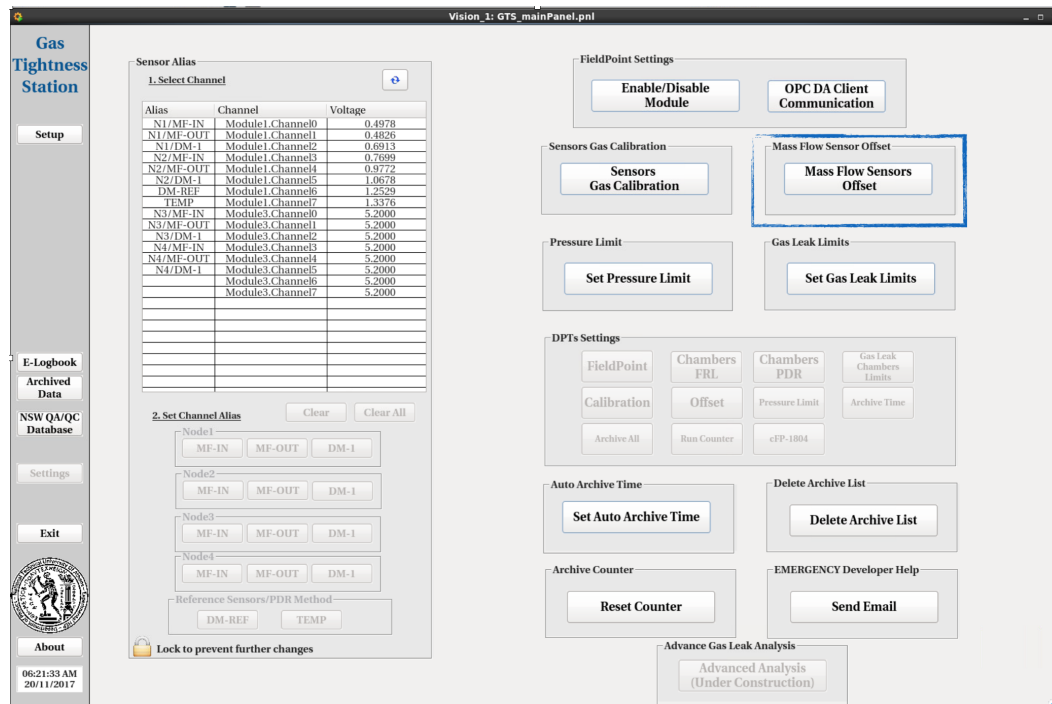
7.4 Καθορισμός του offset των αισθητήρων

Όπως προαναφέραμε και στο κεφάλαιο 6, οι αισθητήρες μάζας ροής εισόδου και εξόδου, MFS_{IN} και MFS_{OUT} , παρουσιάζουν κάποια διαφοροποίηση μερικών mV για αυτό είναι αναγκαία η μέτρηση του offset/tare των ζευγών αισθητήρων κάθε node. Για την πραγματοποίηση της μέτρησης του offset των αισθητήρων ρυθμίζουμε της βαλβίδες ώστε το αέριο να παρακάμπτει τον θάλαμο MM QP όπως φαίνεται και στο Σχ. 7.7.



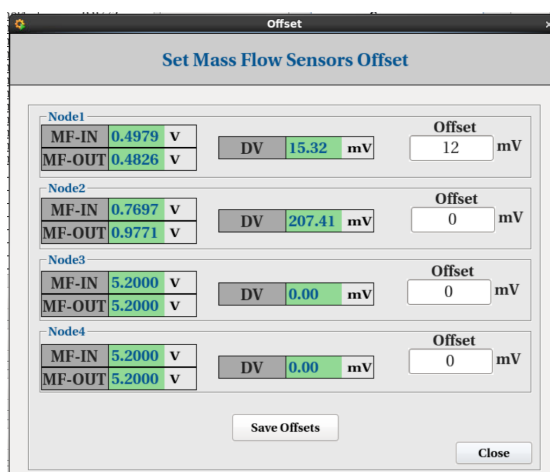
Σχήμα 7.7: Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS_{IN} και MFS_{OUT} της πειραματικής διάταξης.

Η δυνατότητα μέτρησης του offset μπορεί να υλοποιηθεί μέσω του GTS και συγκεκριμένα από το κουμπί Mass Flow Sensors Offset στο περιοχή του Tab Settings και στο πλαίσιο Mass Flow Sensor Offset όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχ. 7.8.



Σχήμα 7.8: Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS_{IN} και MFS_{OUT} της πειραματικής διάταξης.

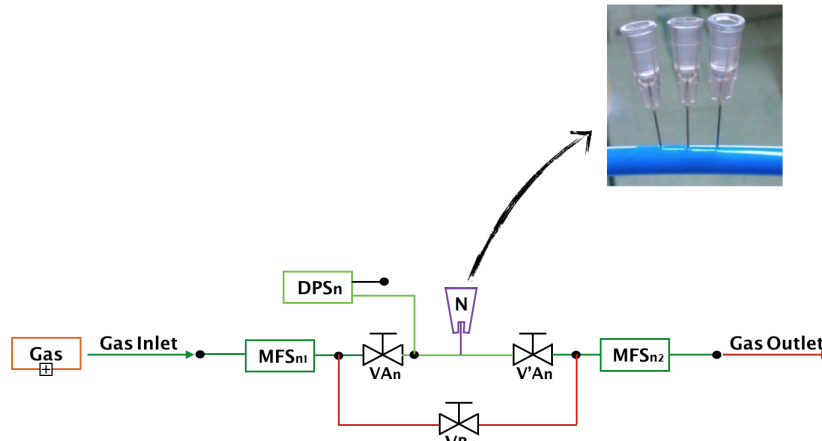
Με την επιλογή του κουμπιού αυτό, εμφανίζεται στον χρήστη ένα νέο παράθυρο όπως φαίνεται στο Σχ. 7.9. Μέσα από αυτό, ο χρήστης σε πραγματικό χρόνο μπορεί να ελέγξει την αναλογική τάση των αισθητήρων ροής εισόδου και εξόδου για κάθε node καθώς και την διαφορά τους μέσα από το πλαίσιο DV. Στα διαθέσιμα πλαίσια που βρίσκονται στο δεξί μέρος, ο χρήστης καθορίζει το offset σε μονάδες mV για κάθε node. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τάσεις που αναγράφονται για τους αισθητήρες για κάθε node, πρόκειται για τον στατιστικό μέσο όρο 60 μετρήσεων που γίνονται ανά δευτερόλεπτο. Ο καθορισμός του offset μπορεί να πραγματοποιηθεί την πρώτη φορά μέτρησης της πειραματικής διάταξης. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που οι υπό εξέταση MM QP έχουν πολύ μικρή διαρροή συνεπώς μερικές δεκάδες mV διαφορικό σήμα τάσης, θα πρέπει το offset να καθοριστεί ίσο με το 0 και να μελετηθεί αναλυτικά η συμπεριφορά του offset ώστε να αφαιρεθεί έπειτα από το αποτέλεσμα της διαρροής. Με την ολοκλήρωση του καθορισμού των offset για κάθε node ο χρήστης πατάει το κουμπί με την ένδειξη Save Offsets για να αποθηκευτούν οι ρυθμίσεις του. Θα πρέπει να τονιστεί ξανά, ότι σε περίπτωση που θέλει ο χρήστης να κάνει μέτρηση ή να επανακινήσει το σύστημα δεν τίθεται η ανάγκη για επαναρύθμιση των offset επειδή αποθηκεύονται μόνιμα οι τιμές μέχρις ότου επανακαθοριστούν εκ νέου από τον χρήστη.



Σχήμα 7.9: Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS_{IN} και MFS_{OUT} της πειραματικής διάταξης.

7.5 Βαθμονόμηση αισθητήρων

Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα είναι η βαθμονόμηση όλων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης. Δηλαδή πρέπει να καθορισθεί ο μετασχηματισμός της αναλογικής τάξης εξόδου των αισθητήρων ροής, πίεσης και θερμοκρασίας για κάθε ποδε ξεχωριστά και για κάθε είδος αερίου που θα χρησιμοποιηθεί όπως αέρας και μείγμα $Ar : CO_2$. Η βαθμονόμηση των αισθητήρων θα γίνει μέσω των προδιαγραφών που έχουν θέσει οι κατασκευαστές καθώς και με την τεχνητή δημιουργία διαρροής με την χρήση ιατρικής βελόνας όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5 όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.10. Χωρίς την σωστή βαθμονόμηση των αισθητήρων, οι τιμές της ροής ή της πίεσης που θα παράγουμε θα είναι λανθασμένοι σαν αποτέλεσμα θα γίνεται αλλοίωση του αποτελέσματος της διαρροής των MM QP.



Σχήμα 7.10: Πειραματική διάταξη βαθμονόμησης αισθητήρων ροής μάζας με χρήση υποδερμικών ιατρικών βελονών.

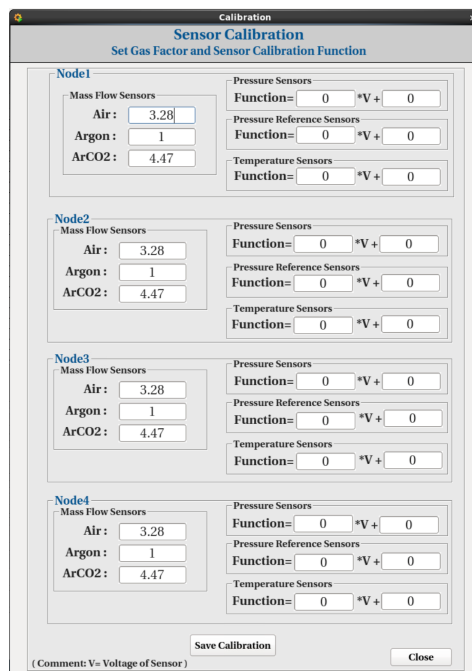
Μέσα από το GTS είναι η δυνατή η βαθμονόμηση των αισθητήρων με την εισαγωγή της σχέσης μετατροπής της αναλογικής τάξης εξόδου στην σωστή τιμή της μέτρησης του αισθητήρα ροής σε L/h , πίεσης σε $mbar$ και θερμοκρασίας σε C . Αυτή η ρύθμιση γίνεται μέσα από το κουμπί Sensors Gas Calibration που βρίσκεται στην περιοχή Tab Settings όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 7.11.

Alias	Channel	Voltage
N1/MF-IN	Module1.Channel0	0.4978
N1/MF-OUT	Module1.Channel1	0.4826
N1/DM-1	Module1.Channel2	0.6913
N2/MF-IN	Module1.Channel3	0.7699
N2/MF-OUT	Module1.Channel4	0.9772
N2/DM-1	Module1.Channel5	1.0678
DM-REF	Module1.Channel6	1.2529
TEMP	Module1.Channel7	1.3576
N3/MF-IN	Module3.Channel0	5.2000
N3/MF-OUT	Module3.Channel1	5.2000
N3/DM-1	Module3.Channel2	5.2000
N4/MF-IN	Module3.Channel3	5.2000
N4/MF-OUT	Module3.Channel4	5.2000
N4/DM-1	Module3.Channel5	5.2000
	Module3.Channel6	5.2000
	Module3.Channel7	5.2000

Σχήμα 7.11: Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS_{IN} και MFS_{OUT} της πειραματικής διάταξης.

Με το πάτημα του κουμπιού, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο όπως φαίνεται στο Σχ. 7.12. Ο χρήστης μέσα από αυτό το παράθυρο έχει την δυνατότητα της βαθμονόμησης των αισθητήρων. Αποτελείται από 4 πλαίσια, κάθε ένα για ένα node της διάταξης. Ο χρήστης

αρχικά καθορίζει την σχέση μετατροπής των αισθητήρων ροής μάζας για 3 τύπους αερίου, τα οποία είναι αέρας, αργό και μείγμα Ar : CO₂. Στο δεξιό μέρος έχει την δυνατότητα να εισάγει τις πρωτοβάθμιες εξισώσεις που προέκυψαν από την βαθμονόμηση του αισθητήρα πίεσης, βαρομετρικής πίεσης και θερμοκρασίας.

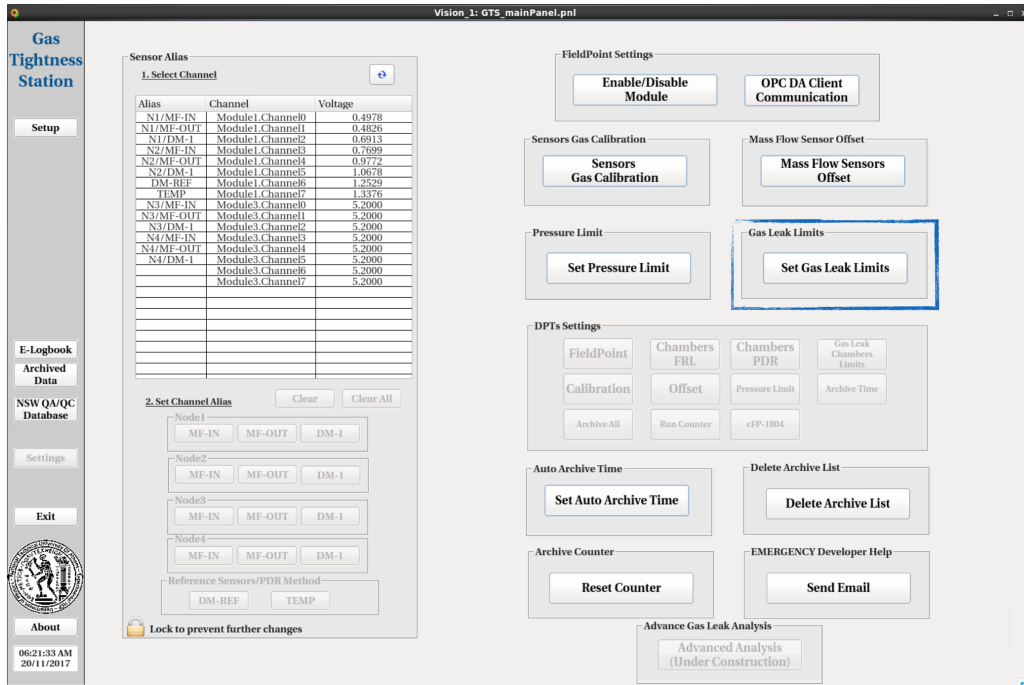


Σχήμα 7.12: Παράθυρο βαθμονόμησης των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης με την εισαγωγή των συντελεστών και των σχέσεων μετατροπής για τους διάφορους αισθητήρες για διαφορετικά αέρια.

Με την εισαγωγή των σχέσεων, ο χρήστης είναι έτοιμος να πατήσει το κουμπί με την ένδειξη Save Calibration για την αποθήκευση των ρυθμίσεων που έχει κάνει. Πρέπει να σημειωθεί ότι η βαθμονόμηση του συστήματος και ο καθορισμός των παραμέτρων μπορεί να γίνει μόνο πριν ή μετά από κάποια μέτρηση, καθώς και η βαθμονόμηση απαιτείται κατά την πρώτη φορά που θα γίνει η εγκατάσταση των αισθητήρων στην πειραματική διάταξη του BB5.

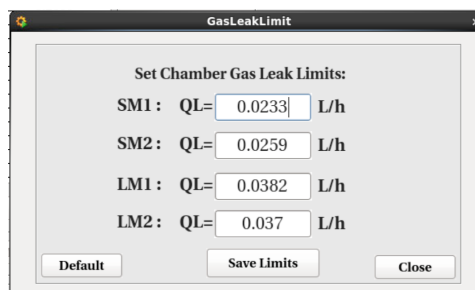
7.6 Καθορισμός ορίων διαρροής MM QP

Από προηγούμενο κεφάλαιο, οι ανιχνευτές MM QP που θα είναι υπό εξέταση στο BB5 πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα όρια διαρροής αερίου τα οποία έχουν καθοριστεί για κάθε τύπο MM QP (LM1, LM2, SM1, SM2). Το GTS δίνει την δυνατότητα ελέγχου της διαρροής αερίου των ανιχνευτών σε πραγματικό χρόνο ώστε ο χρήστης να μπορεί να αποφανθεί για την κατάσταση του ανιχνευτή άμεσα με την ειδοποίηση του μέσω ειδικού alarm. Για τον έλεγχο, ο χρήστης μέσω του GTS έχει την δυνατότητα να εισάγει τα όρια διαρροής αερίου των MM QP μέσα από το κουμπί Set Gas Leak Limits στο πλαίσιο Gas Leak Limits στο Tab Settings, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 7.13.



Σχήμα 7.13: Καθορισμός ορίων διαρροής αερίου για κάθε τύπο των ανιχνευτών MM QP μέσα από το Tab Settings του GTS.

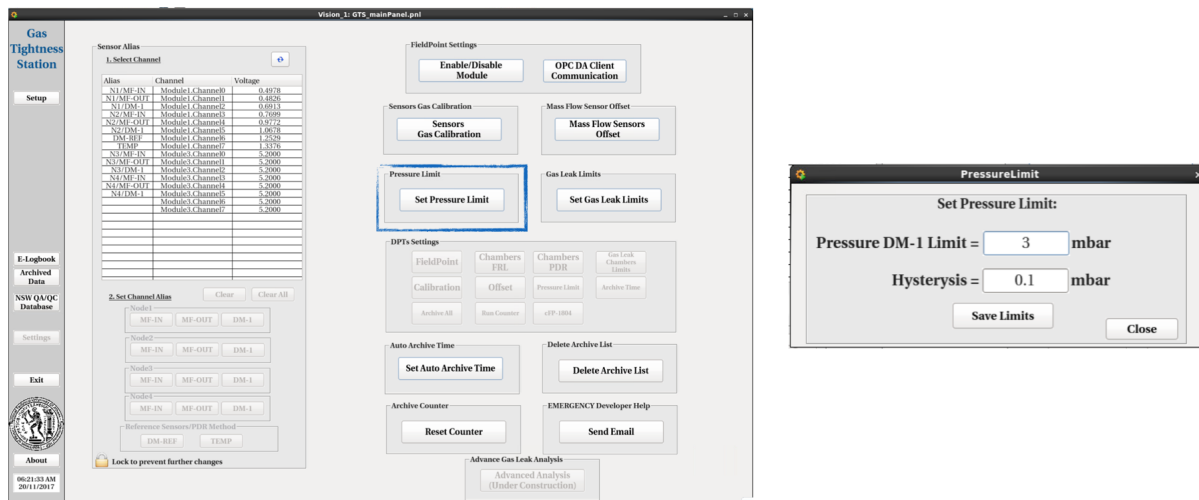
Με το πάτημα του κουμπιού, ένα νέο παράθυρο εμφανίζεται στον χρήστη όπως απεικονίζεται στο Σχ. 7.14. Μέσα από το παράθυρο, ο χρήστης καθορίζει τα όρια διαρροής αερίου σε L/h για κάθε τύπο των ανιχνευτών MM QP όπου με το κουμπί Save Limits αποθηκεύει τις ρυθμίσεις. Επιπλέον, μέσα από το κουμπί Default συμπληρώνονται αυτόματα τα προτεινόμενα όρια διαρροής όπως έχουν καθοριστεί στο κεφάλαιο 5.



Σχήμα 7.14: Καθορισμός ορίων διαρροής αερίου για κάθε τύπο των ανιχνευτών MM QP.

7.7 Καθορισμός ορίου πίεσης

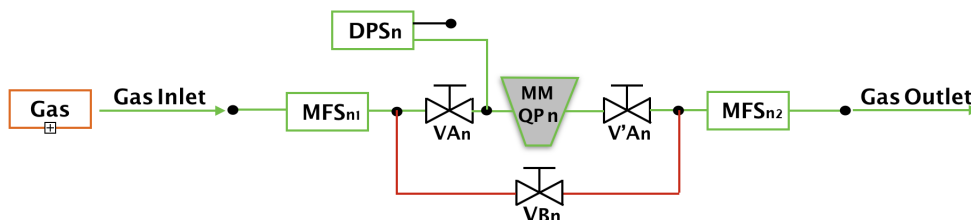
Για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL αναγκαία η ρύθμιση της πίεσης στο καθορισμένο όριο των 3 mbar, διαφορετική τιμή της πίεσης θα οδηγούσε σε υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση της διαρροής αερίου. Έτσι για την σωστή μέτρηση της διαρροής αερίου πρωταρχική είναι η σταθεροποίηση της πίεσης του αισθητήρα DMS στην καθορισμένη τιμή καθώς και ο έλεγχος της τιμής αυτής σε πραγματικό χρόνο με την ειδοποίηση με alarm του χρήστη σε περίπτωση που μεταβληθεί η πίεση πέρα από αυτήν την τιμή. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει το όριο της πίεσης όλων των node της διάταξης με κάποια υστέρηση ως προς την τιμή που εισάγει μέσα από το κουμπί Set Pressure Limit που βρίσκεται στο πλαίσιο Pressure Limit του Settings Tab όπως φαίνεται στο Σχ. 7.15.



Σχήμα 7.15: Καθορισμός ορίων διαρροής αερίου για κάθε τύπο των ανιχνευτών MM QP.

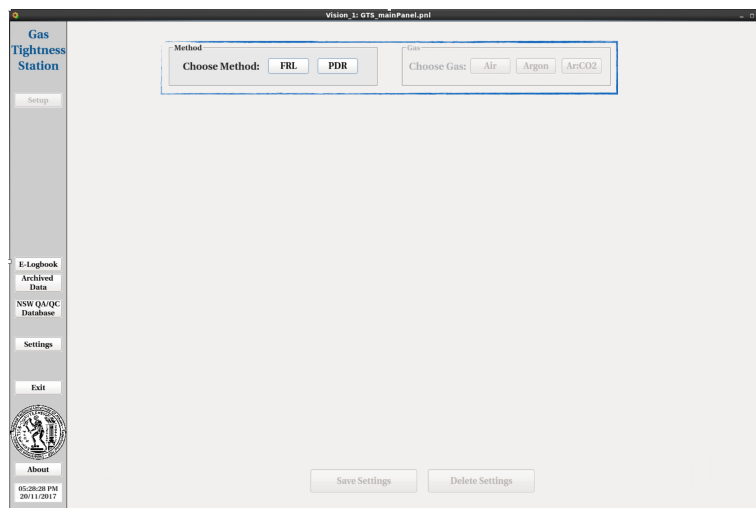
7.8 Μέτρηση διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL

Με την ολοκλήρωση των βημάτων που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, ο χρήστης πλέον είναι σε θέση να πραγματοποιήσει μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL. Αρχικό βήμα, είναι να ρυθμίσει τις βαλβίδες ώστε το αέριο να εισέρχεται στον κλάδο διαρροής και να διαπερνά τον ανιχνευτή MM QP για κάθε node όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 7.16.



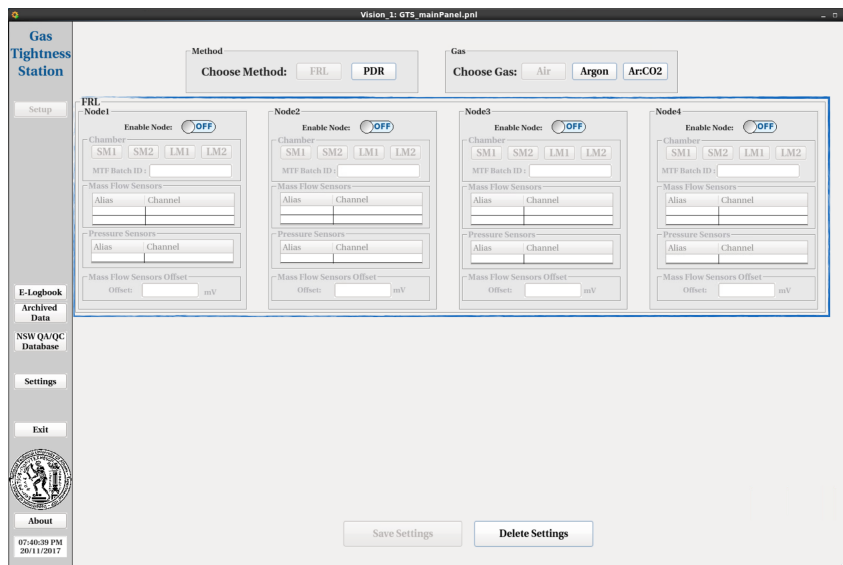
Σχήμα 7.16: Η ρύθμιση των βαλβίδων για την μέτρηση της διαρροής αερίου του MM QP.

Επόμενο βήμα, αποτελεί η ρύθμιση της πειραματικής διάταξης μέσα από το πάνελ του GTS. Ο χρήστης προετοιμάζει το σύστημα μέσα από το Tab Setup όπου του δίνεται η δυνατότητα επιλογής μεταξύ FRL και PDR μεθόδου. Με το πάτημα της FRL μεθόδου γίνεται διαθέσιμη η επιλογή του αερίου που θα χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση, οι επιλογές που δίνονται είναι για αέρα, αργό και Ar : CO2 όπως φαίνεται στο Σχ. 7.17.

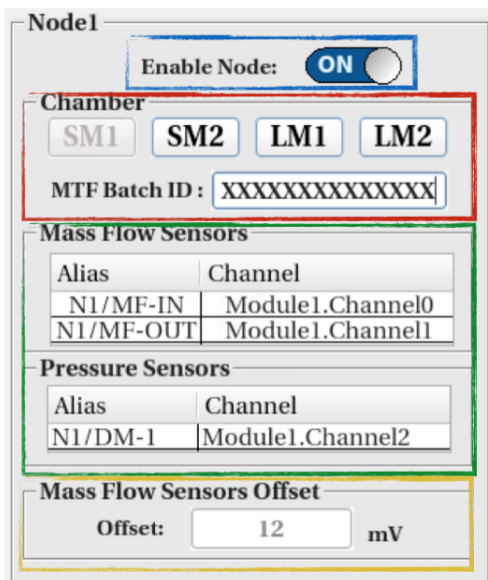


Σχήμα 7.17: Επιλογή μεθόδου και αερίου που θα χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της διαρροής του MM QP.

Με την επιλογή του αερίου, γίνεται ορατό στον χρήστη το πλαίσιο FRL που περιλαμβάνει 4 υποπλαίσια κάθε ένα για ένα node της πειραματικής διάταξης, τα οποία περιλαμβάνουν την πληροφορία του κάθε node αντίστοιχα.



Σχήμα 7.18: Παραμετροποίηση των ρυθμίσεων για κάθε node για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL.

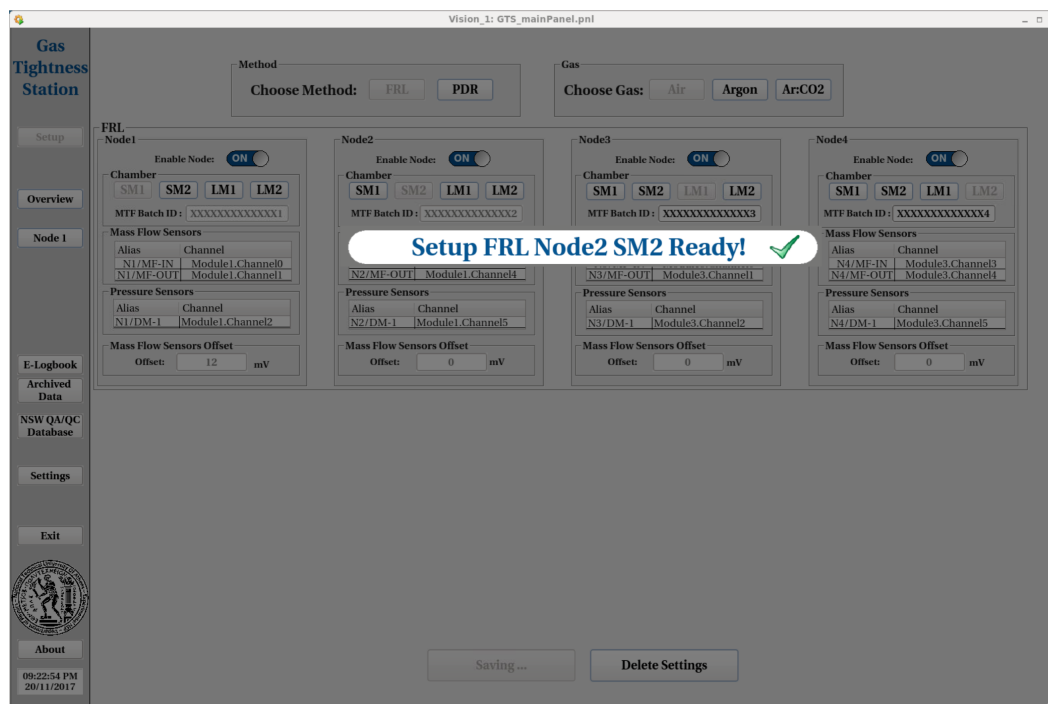


Σχήμα 7.19: Η παραμετροποίηση του node για την μέτρηση με την μέθοδο FRL .

Με την ολοκλήρωση της ρύθμισης των nodes για τους διαθέσιμους ανίχνευτες MM QP που είναι υπό εξέταση ο χρήστης είναι έτοιμος να πατήσει το κουμπί Save Settings για την εκκίνηση της τελικής ρύθμισης του αυτόματου συστήματος ελέγχου για τον αριθμό των nodes που έχει επιλέξει, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.20. Πρέπει να σημειωθεί, το γεγονός ότι το GTS δίνει την δυνατότητα της μέτρησης από 1 έως και 4 nodes ταυτόχρονα και εξαρτάται από την ενεργοποίηση των nodes από τον χρήστη. Το κουμπί Delete Settings διαγράφει τις ρυθμίσεις από προηγούμενη ρύθμιση που έγινε ώστε να ξεκινήσει εκ νέου η δημιουργία νέας πειραματικής διάταξης.

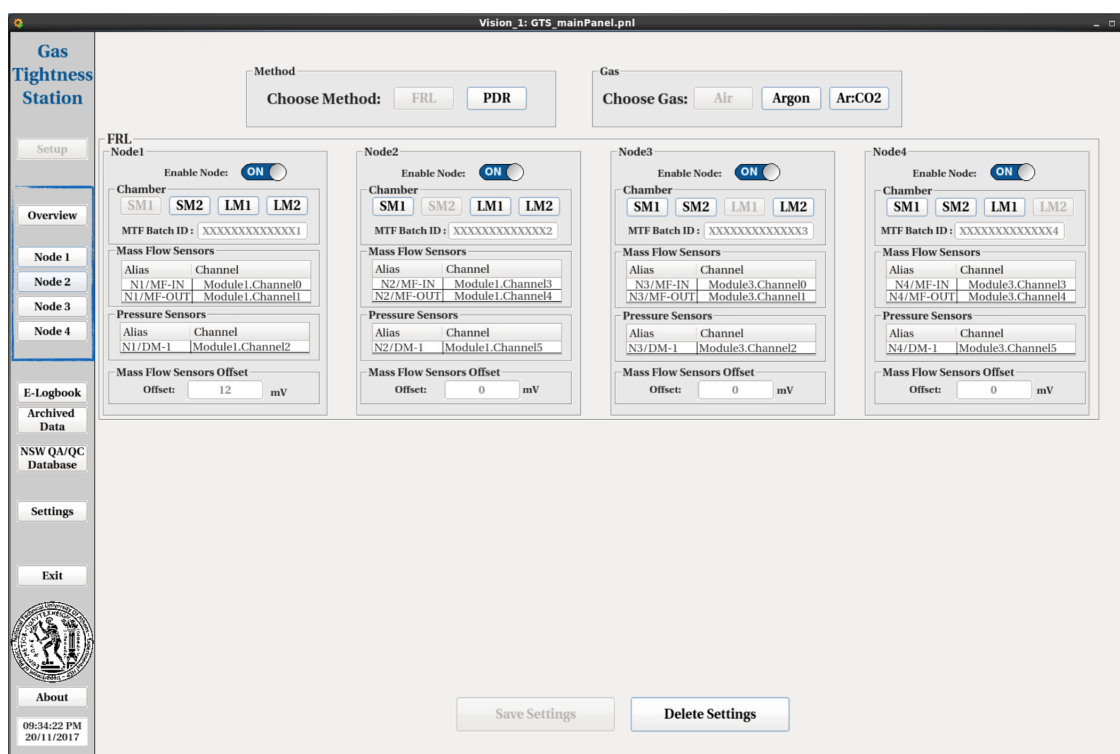
Η παραμετροποίηση ενός node της μεθόδου FRL χωρίζεται στα εξής επιμέρους πλαίσια :

- **Μπλε πλαίσιο:** Ενεργοποίηση του αντίστοιχου node.
- **Κόκκινο πλαίσιο:** Επιλογή του τύπου του MM QP που βρίσκεται στο αντίστοιχο node και εισαγωγή του 14ψήφιου κωδικού MTF Batch ID που αποτελεί την ταυτότητα του ανιχνευτή.
- **Πράσινο πλαίσιο:** Περιλαμβάνει την πληροφορία για τους αισθητήρες ροής μάζας MFS και πίεσης DPS ως προς την αντιστοίχιση με τα κανάλια του FieldPoint. Οι πίνακες των αισθητήρων συμπληρώνονται αυτόματα με την ενεργοποίηση του εκάστοτε node εφόσον έχει ολοκληρωθεί η αντιστοίχιση που περιγράφηκε στην ενότητα 7.3.
- **Κίτρινο πλαίσιο:** Εμφανίζει την τιμή του offset/tare των 2 αισθητήρων MFS του αντίστοιχου node, τιμή η οποία ρυθμίστηκε με την διαδικασία που περιγράφηκε στην ενότητα 7.4.



Σχήμα 7.20: Η αυτόματη διαδικασία ρύθμισης κάθε node με το πάτημα του κουμπιού Save Settings και την αποθήκευση των ρυθμίσεων που έχει θέσει ο χρήστης.

Με την ολοκλήρωση της ρύθμισης των nodes, ο χρήστης παρατηρεί ότι στο δεξί μέρος της γκρι μπάρας έχουν γίνει διαθέσιμα τα κουμπιά Overview και Node 1-Node 4 (αναλόγως τον αριθμό των nodes που έχει επιλέξει). Μέσα από αυτά τα κουμπιά ο χρήστης μπορεί να κάνει γενική επισκόπηση της πειραματικής διάταξης με τον ταυτόχρονο έλεγχο των 4 nodes (4-Node Mode) που έχει επιλέξει (Overview button) καθώς και αναλυτικός έλεγχος ξεχωριστά του κάθε node (1-Node Mode) και συνεπώς του κάθε MM QP ξεχωριστά (Node X button, όπου X=1-4), όπως φαίνεται στο Σχ. 7.21. Οι λειτουργίες των 2 τύπων κουμπιών θα αναλυθεί εκτενώς στις επόμενες υποενότητες.

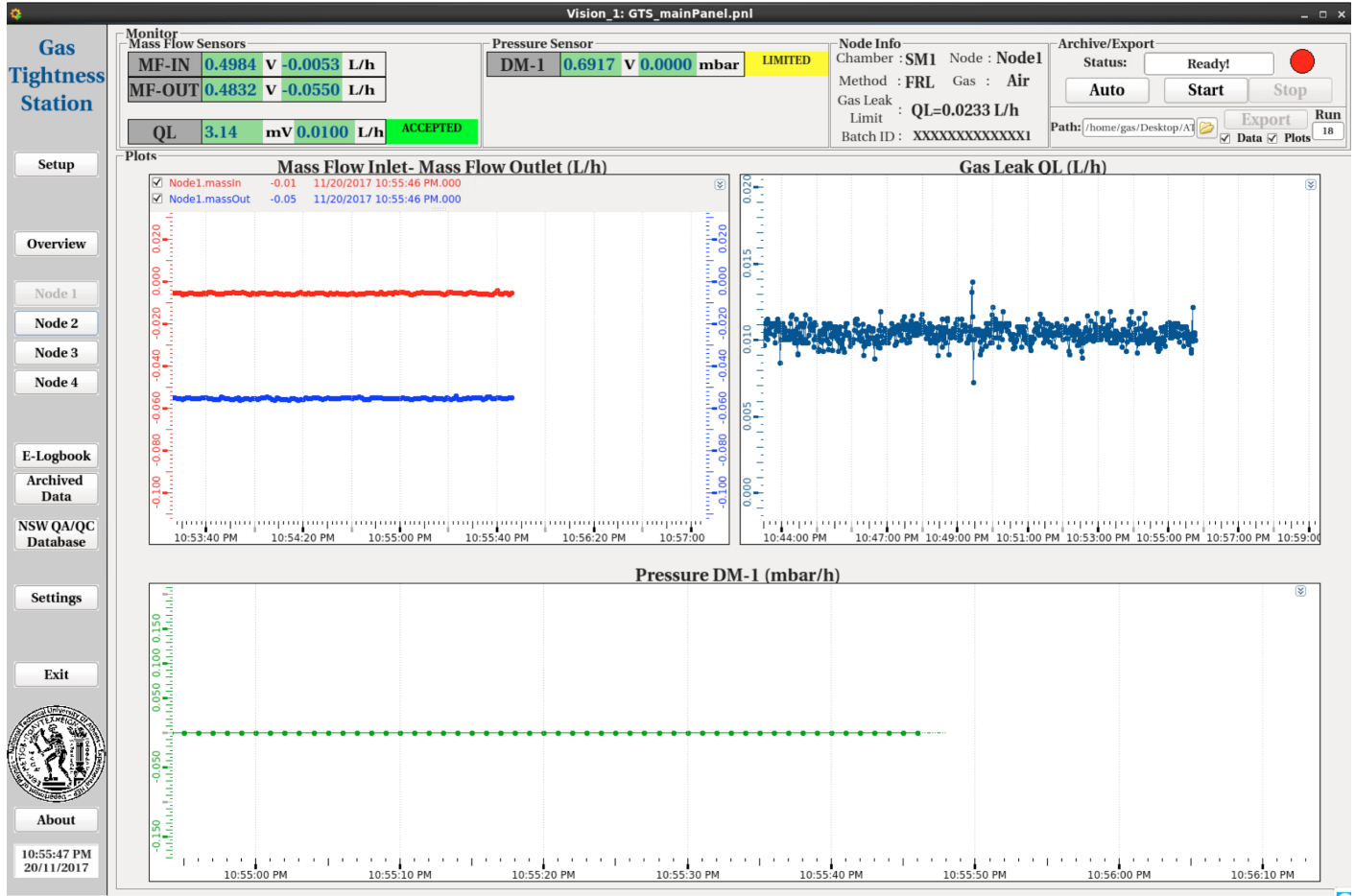


Σχήμα 7.21: Οι επιλογές ελέγχου των nodes, 1-Node Mode και 4-Node Overview Mode.

7.8.1 1-Node Mode

Ο χρήστης πατώντας ένα από τα κουμπιά Node X εισέρχεται στον 1-Node έλεγχο, δηλαδή στον έλεγχο και καταγραφή των δεδομένων όλων των αισθητήρων ενός node. Την στιγμή που πατάει το κουμπι εμφανίζεται μία νέα διεπαφή χρήστη, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.22, που περιλαμβάνει όλη την πληροφορία για το εκάστοτε node και χωρίζεται σε 4 πλαίσια πληροφορίας:

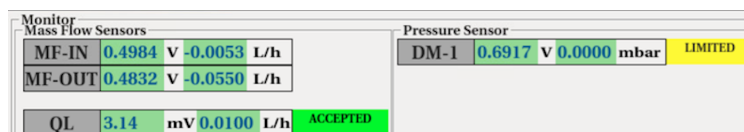
- Έλεγχος των τιμών των αισθητήρων του node και απευθείας έλεγχος της διαρροής μέσω alarm
- Πληροφορία για το όριο διαρροής, το BatchID του MM QP και την μέθοδο και το αέριο της μέτρησης
- Γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς των αισθητήρων και της διαρροής στον χρόνο
- Καταγραφή και αποθήκευση των τιμών των αισθητήρων σε μορφή δεδομένων ή γραφικών παραστάσεων



Σχήμα 7.22: Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode.

Monitor

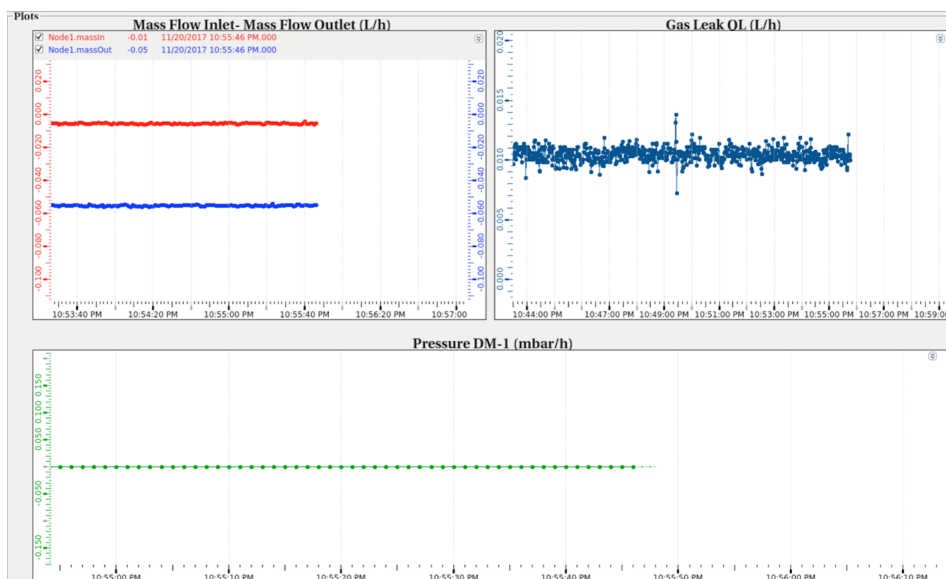
Μέσα από το πλαίσιο Monitor, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.23, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει σε πραγματικό χρόνο την τιμή του αισθητήρα ροής μάζας (MFS) εισόδου και εξόδου σε μονάδες V και L/h, καθώς και της διαρροής Q_L του MM QP στις ίδιες μονάδες που στην πραγματικότητα η διαρροή είναι η διαφορά μεταξύ του αισθητήρα MF-OUT με τον MF-IN. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο της τιμή του αισθητήρα πίεσης DM σε μονάδες V και mbar. Επιπλέον, έχει δοθεί η δυνατότητα μέσω alarm ο χρήστης να ειδοποιείται για το αν ο ανιχνευτής ξεπερνάει ή βρίσκεται μέσα στο όριο διαρροής καθώς και την πίεση στο εσωτερικό του ανιχνευτή που τέθηκε με την διαδικασία που περιγράφηκε στην ενότητα 7.6 και 7.7. Όλες οι τιμές των αισθητήρων που αναγράφονται, πρόκειται για τον μέσο όρο των 60 μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο που καταγράφει το FieldPoint.



Σχήμα 7.23: Έλεγχος των τιμών των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο FRL.

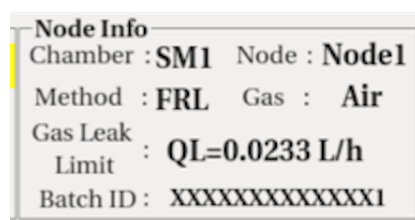
Plots

Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη μέσω του πλαισίου plots να παρακολουθήσει την συμπεριφορά των διάφορων αισθητήρων σε σχέση με τον χρόνο, ειδικότερα μπορεί να παρακολουθήσει σε κοινό γράφημα τον αισθητήρα μάζας ροής εισόδου και εξόδου, την διαρροή αερίου του ανιχνευτή καθώς και την πίεση στο εσωτερικό του node, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.24.



Σχήμα 7.24: Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο FRL.

Node Info

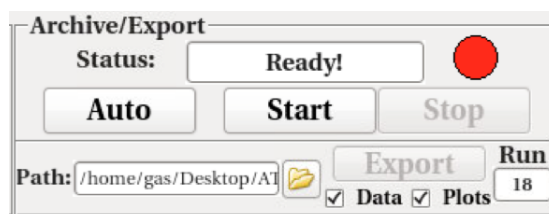


Το πλαίσιο αυτό παρέχει στον χρήστη την πληροφορία για τον τύπο, όρια διαρροής και MTF Batch ID του ανιχνευτή MM QP καθώς και σε ποιο node βρίσκεται και τι αέριο ή ποια μέθοδος χρησιμοποιείται για την μέτρηση της διαρροής του αερίου, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.25.

Σχήμα 7.25: Οι αναλυτικές πληροφορίες για το συγκεκριμένο node στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση της διαρροής του αερίου.

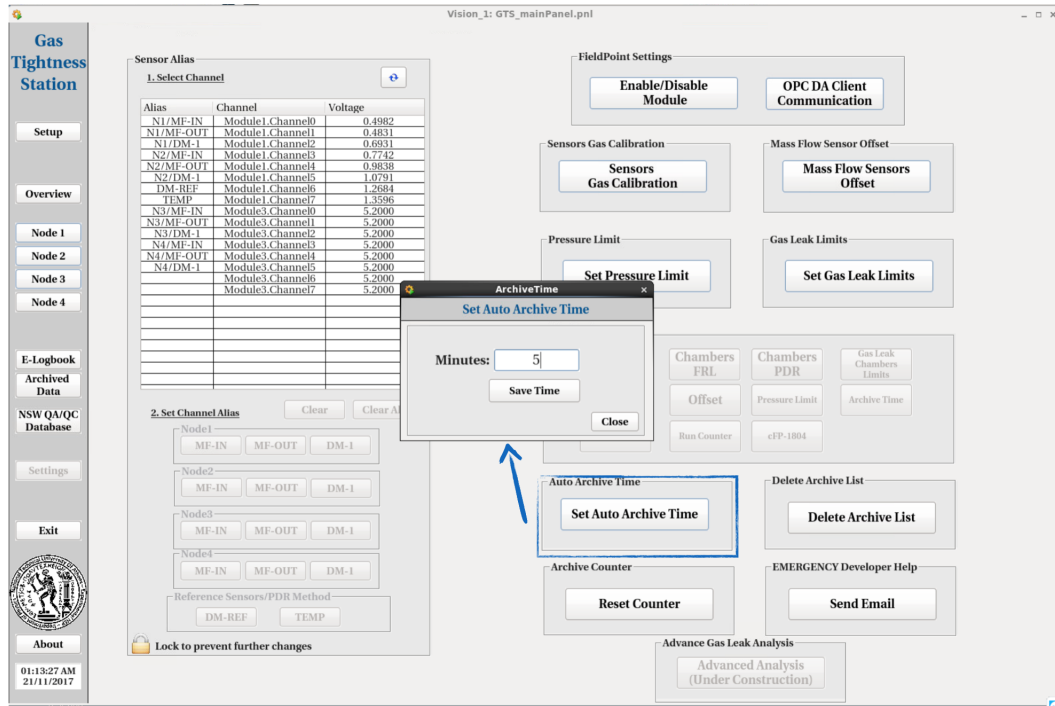
Archive/Export

Μέσα από το πλαίσιο αυτό, ο χρήστης έχει την δυνατότητα της αποθήκευσης και της εξαγωγής των δεδομένων των αισθητήρων του node. Καθώς ο χρήστης εκκινεί την διαδικασία καταγραφής των δεδομένων μέσω του κουμπιού Start, το πλαίσιο του Status αλλάζει σε κατάσταση Archiving ενώ ο κύκλος αναδεικνύει την κατάσταση που βρίσκεται το σύστημα δηλαδή καταγραφής ή όχι. Με το κουμπί Stop, ο χρήστης σταματάει την καταγραφή των δεδομένων και το κουμπί Export γίνεται διαθέσιμο για την εξαγωγή των δεδομένων.



Σχήμα 7.26: Πλαίσιο για την αποθήκευση και εξαγωγή των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης.

Το κουμπί Auto αποτελεί μέτρηση καθορισμένου χρόνου ο οποίος μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη μέσα από το Tab Setting και το κουμπί Auto Archive Time όπου ρυθμίζει σε λεπτά τον χρόνο της μέτρησης Auto, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.27.



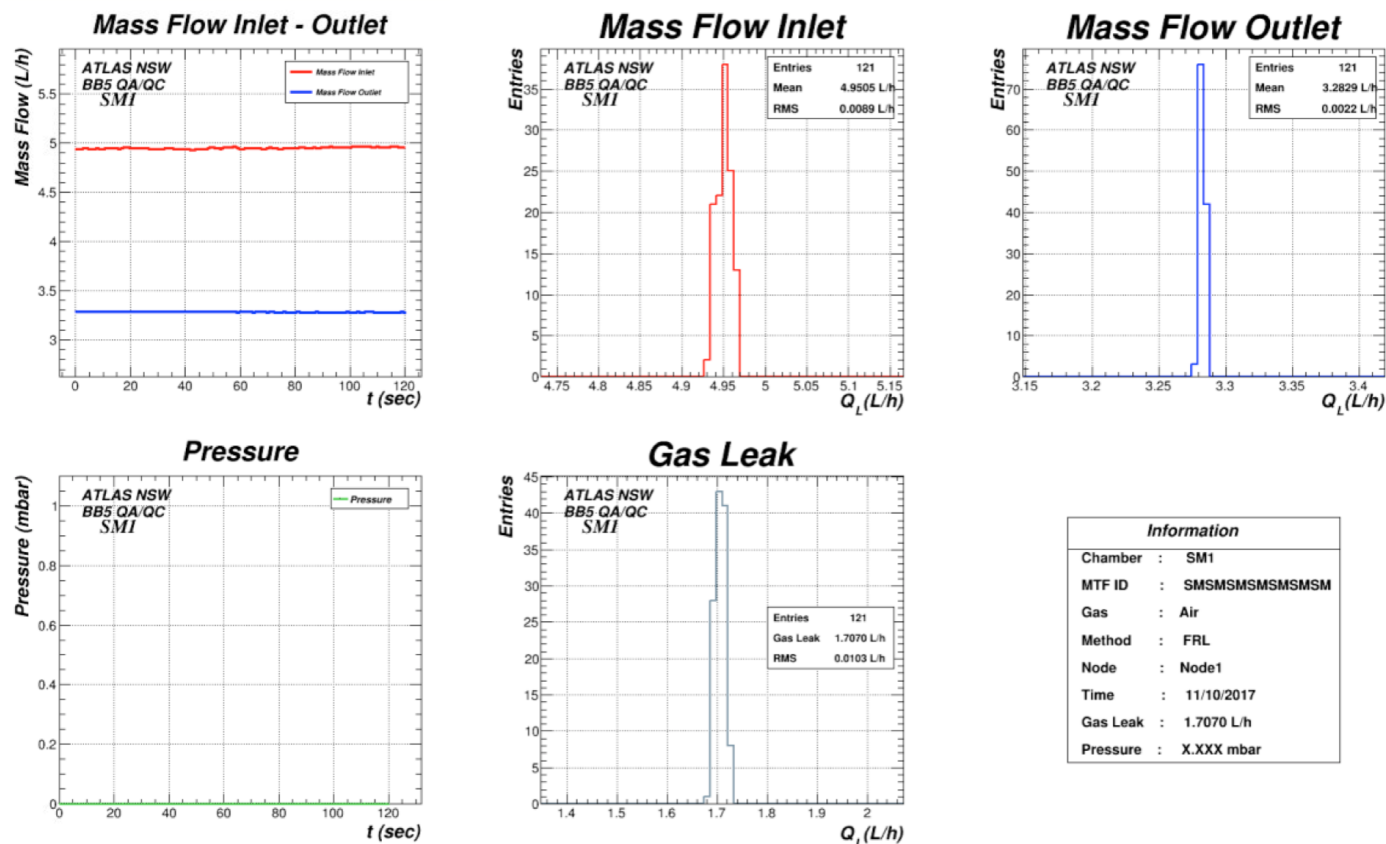
Σχήμα 7.27: Καθορισμός του χρόνου της αυτοματοποιημένης καταγραφής δεδομένων.

Μετά το πέρας του καθορισμένου χρόνου στην λειτουργία Auto ή όταν ο χρήστης πατήσει το Stop, σταματάει η καταγραφή των δεδομένων και το κουμπί Export γίνεται διαθέσιμο στον χρήστη. Στο πλαίσιο Path μέσω του εικονιδίου του φακέλου μπορεί να καθορίσει το σημείο στον υπολογιστή που θα εξαχθούν τα δεδομένα. Το GTS δίνει την δυνατότητα να εξαγάγει τα δεδομένα σε data ή plots είτε και στα 2. Όταν ο χρήστης επιλέξει την μορφή εξαγωγής data, εξάγεται ένα αρχείο ASCII με όνομα run_X.dat, όπου X είναι ο αριθμός της μέτρησης (Run), στο path που έχει καθορίσει. Το αρχείο ASCII που δημιουργείται έχει συγκεκριμένη δομή και αποτελείται από μία γραμμή που περιλαμβάνει την πληροφορία του node, του τύπου του ανιχνευτή, της μεθόδου, του αερίου, το offset των αισθητήρων καθώς το Batch ID του ανιχνευτή. Στην συνέχεια περιλαμβάνει μία στήλη του χρόνου της μέτρησης, τις στήλες του αισθητήρα ροής μάζας εισόδου και εξόδου L/h, την διαρροή του αερίου σε μονάδες L/h καθώς και την πίεση σε μονάδες mbar.

Time	Node: Node1	Chamber: SM1	Method: FRL	Gas: Air	Offset: 0.039L/h	BatchID: SMSMSMSMSMSMS
			MF-IN(L/h)	MF-OUT(L/h)	QL(L/h)	Pressure(mbar)
11/10/2017 10:21:38			4.93776	3.28720	1.68992	0.00000
11/10/2017 10:21:39			4.93802	3.28720	1.69017	0.00000
11/10/2017 10:21:40			4.93802	3.28642	1.69096	0.00000
11/10/2017 10:21:41			4.95077	3.28798	1.70215	0.00000
11/10/2017 10:21:42			4.94557	3.28746	1.69746	0.00000
11/10/2017 10:21:43			4.93854	3.28590	1.69200	0.00000
11/10/2017 10:21:44			4.93854	3.28737	1.69053	0.00000
11/10/2017 10:21:45			4.93854	3.28746	1.69044	0.00000

Σχήμα 7.28: Η δομή του εξαγωγίσιμου αρχείου ASCII με τα δεδομένα για τους αισθητήρες και την πληροφορία του node στην μέτρηση με την μέθοδο FRL.

Η δεύτερη δυνατότητα που έχει ο χρήστης είναι να εξαγάγει τα δεδομένα σε γραφικές παραστάσεις για ευκολότερη διερεύνηση των αποτελεσμάτων. Για την δημιουργία των γραφημάτων χρησιμοποιήθηκε το ROOT Data Analysis Framework [70] του CERN όπου μέσω κατάλληλου αλγόριθμου μπορεί να εκτελεστεί στο υπόβαθρο μέσω shell script και να παράξει τα γραφήματα από τα δεδομένα των ανιχνευτών. Το εξαγωγίσιμο αρχείο είναι μία εικόνα τύπου png με όνομα run_X_plot.png, όπου X είναι ο αριθμός της μέτρησης (Run), και αποθηκεύεται στο path που έχει καθορίσει ο χρήστης. Ένα παράδειγμα του αρχείου γραφημάτων που παράγεται δίνεται παρακάτω στο Σχ. 7.29.

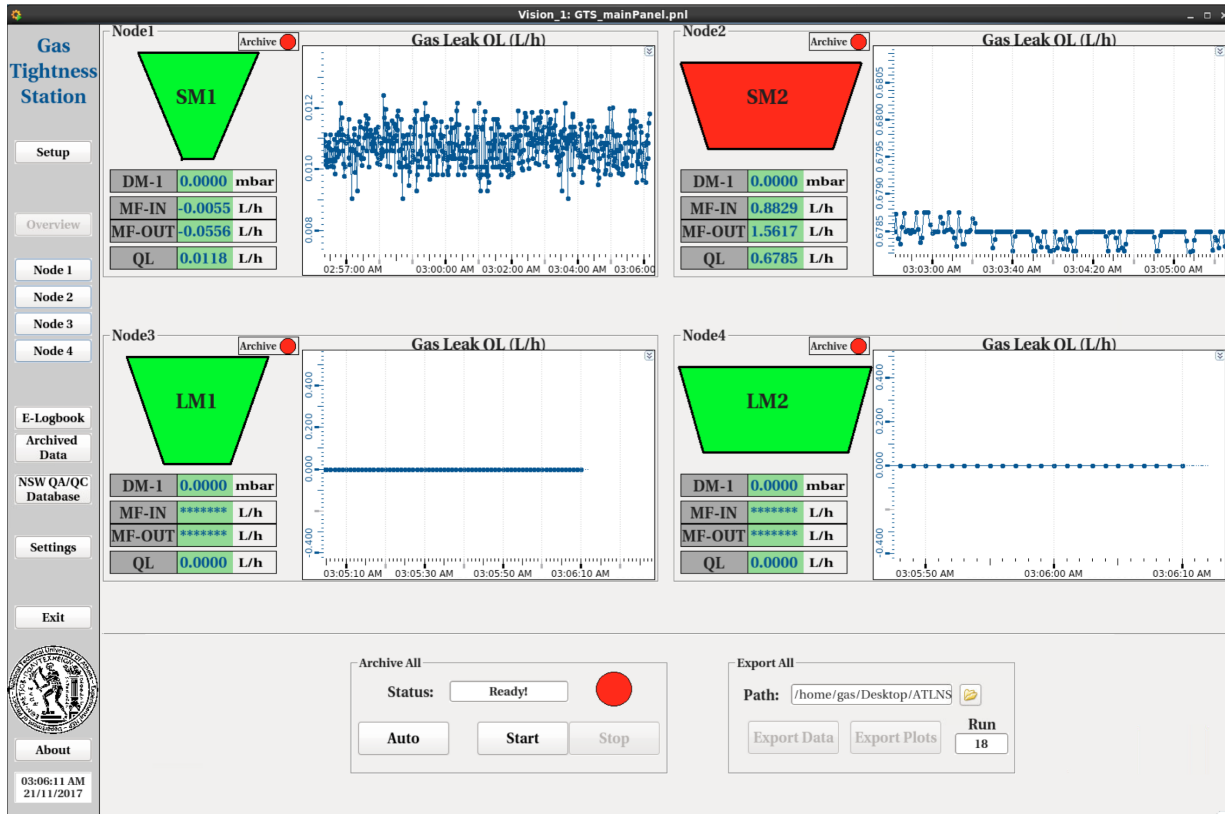


Σχήμα 7.29: Το περιεχόμενο του αρχείου γραφημάτων που παράγεται από την καταγραφή των δεδομένων των αισθητήρων.

Παράγονται το γράφημα των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, τα ιστογράμματα της κατανομής της ροής εισόδου και εξόδου, το γράφημα της πίεσης και τέλος η διαρροή του αερίου. Επιπλέον, για όλα τα ιστογράμματα δίνεται η πληροφορία των μετρήσεων (Entries) δηλαδή πόσα δευτερόλεπτα διήρκεσε η μέτρηση καθώς και η μέση τιμή των μετρήσεων μαζί με την τυπική απόκλιση RMS σε μονάδες L/h. Τέλος, παράγεται ένας πίνακας που παρέχει την πληροφορία της μέτρησης που διεξήχθη, όπως ο τύπος και το Batch ID του MM QP, το αέριο που χρησιμοποιήθηκε, η μέθοδος, η ημερομηνία, η τελική διαρροή του ανιχνευτή καθώς και η πίεση της μέτρησης.

7.8.2 4-Node Mode

Ο χρήστης επιλέγοντας το κουμπί Overview που βρίσκεται στο αριστερό μέρος του GTS έχει την δυνατότητα να κάνει γενική επισκόπηση της πειραματικής διάταξης σε ένα κοινό γραφικό περιβάλλον. Το νέο αυτό περιβάλλον, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.30, παρέχει την δυνατότητα του ελέγχου της διαρροής αερίων σε όλα τα nodes που έχει ενεργοποιήσει ο χρήστης. Ο χρήστης μπορεί να κάνει έλεγχο των ροών εισόδου/εξόδου, της πίεσης και της διαρροής αερίου ταυτόχρονα για όλους τους MM MPs που είναι διαθέσιμοι. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα μέσω γραφικής αναπαράστασης της διαρροής αερίου να ελέγχει την διαρροή στον χρόνο. Τα διαφορετικά χρώματα των ανιχνευτών που απεικονίζονται αποτελούν την ειδοποίηση (alarm) για το αν ο ανιχνευτής βρίσκεται μέσα ή έξω από τα όρια διαρροής που έχουν τεθεί. Επιπρόσθετα, υπάρχει η ένδειξη Archiving όπου δείχνει της κατάσταση καταγραφής του εκάστοτε node σε περίπτωση που γίνεται καταγραφή δεδομένων μέσα από το 1-Node Mode.



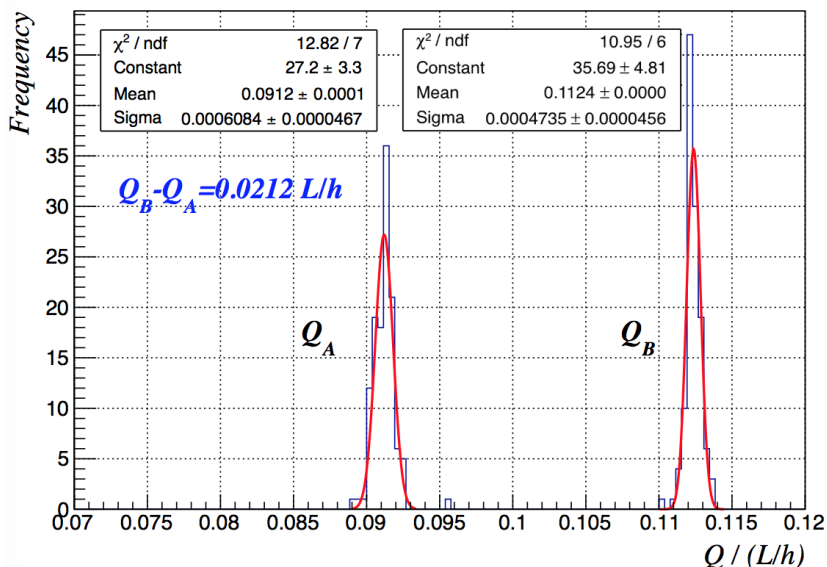
Σχήμα 7.30: Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 4-Node Mode στην μέθοδο FRL.

Export/Archive All

Στον έλεγχο 4-Node Mode δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων των αισθητήρων ταυτόχρονα σε όλους τους MM MPs και το πάτημα του κουμπιού Start ή Auto, όπου ο χρόνος της αυτοματοποιημένης μέτρησης είναι κοινός με το 1-Node Mode. Με την επιλογή Stop ο χρήστης έχει την δυνατότητα ολοκλήρωσης της καταγραφής των δεδομένων. Εφόσον, ολοκληρωθεί η διαδικασία μέτρησης, τα κουμπιά Export Data και Export Plots γίνονται διαθέσιμα, ώστε ο χρήστης να εξάγει τα δεδομένα και τα γραφήματα αντίστοιχα. Η δομή του αρχείου ASCII και του αρχείου γραφημάτων που παράγεται έχει ακριβώς την ίδια μορφή με αυτή που περιγράφηκε στο 1-Node Mode, με την διαφορά ότι αρχείο ASCII είναι υπέρθεση του αρχείου του 1-Node Mode για κάθε node όπως δίνεται στο Σχ. 7.28 και παράγονται διαφορετικά αρχεία γραφημάτων για τα διαφορετικά nodes με την ίδια δομή γραφημάτων όπως του 1-Node Mode που φαίνεται στο Σχ. 7.29.

7.8.3 Advanced Analysis

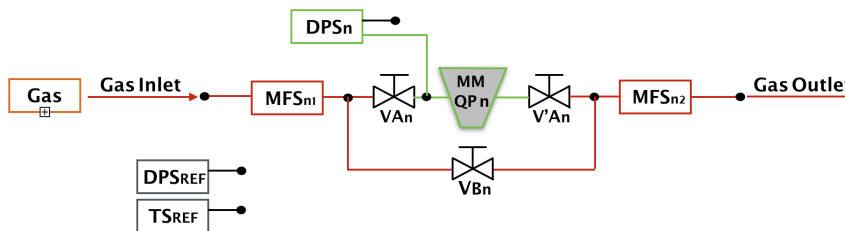
Όπως έχουμε προαναφέρει, ο ρυθμός διαρροής του αερίου ισούται με την διαφορά του διαφορικού σήματος των αισθητήρων ροής μάζας (MFS) με το offset των αισθητήρων αυτών. Στην περίπτωση πολύ μικρής διαρροής αερίου της τάξεως των μερικών mV, αναγκαία είναι η μελέτη της συμπεριφοράς του offset των αισθητήρων με την καταγραφή των δεδομένων στον κλάδο offset όπως περιγράφηκε στο Κεφ. 7.5. . Στις περιπτώσεις μικρής διαρροής, το GTS παρέχει την δυνατότητα λεπτομερής ανάλυσης της διαρροής μέσω του κουμπιού Advanced Analysis του Tab Settings. Για την πραγματοποίηση της μέτρησης, ο χρήστης πρέπει να συλλέξει δύο διαφορετικά σετ μετρήσεων με τιμή offset του αντίστοιχου node ίση με 0, ένα σετ θα αποτελείται από τα δεδομένα των δύο αισθητήρων για το offset των αισθητήρων όπως περιγράφηκε στο Κεφ. 7.4 και ένα σετ μετρήσεων με την μέτρηση της διαρροής του MM QP με την διαδικασία που περιγράφηκε στο Κεφ. 7.8. Με την επιλογή των δύο αρχείων θα πραγματοποιείται η λεπτομερής ανάλυση της διαρροής και το τελικό αποτέλεσμα θα αποτελείται από ένα ιστόγραμμα που θα περιλαμβάνει τις κατανομές του offset και της διαρροής μαζί με τα χαρακτηριστικά των δύο κατανομών και την τελική διαρροή του θαλάμου η οποία θα προκύπτει από την διαφορά των δύο αυτών κατανομών, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.31.



Σχήμα 7.31: Χρήση της προχωρημένης ανάλυσης για τον καθορισμό της διαρροής αερίου του MM QP με τον πρόσθετο υπολογισμό της κατανομής του offset των αισθητήρων ροής μάζας στην μέθοδο FRL.

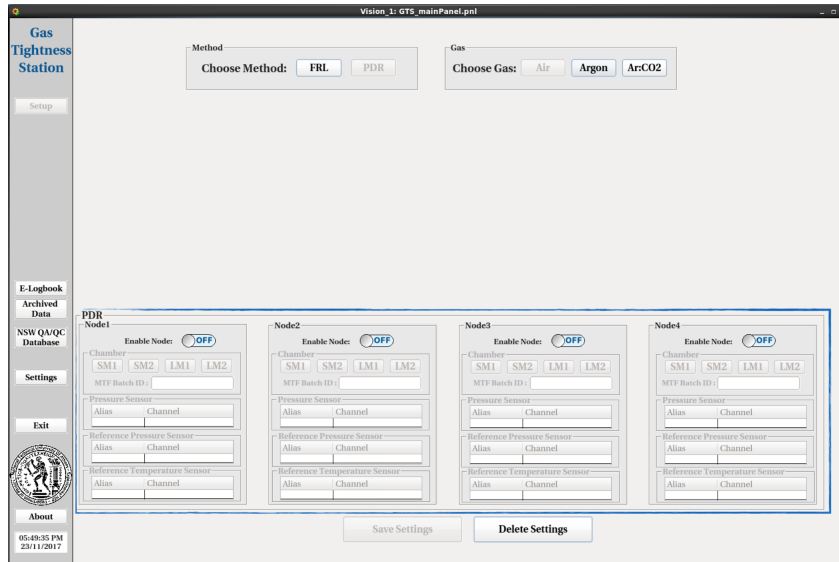
7.9 Μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο PDR

Η πειραματική διάταξη του BB5 επιτρέπει την μέτρηση της διαρροής του αερίου και με την μέθοδο PDR. Για την μέτρηση με την μέθοδο της πτώσης πίεσης απαιτείται αρχικά η τροφοδοσία του θαλάμου MM QP με αέριο πίεσης της τάξεως των 5 mbar, εφόσον επιτευχθεί η σταθεροποίηση της πίεσης εντός του θάλαμο επόμενο βήμα είναι η απομόνωση του θαλάμου, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.32, και η καταγραφή της πτώσης πίεσης μέσω των δεδομένων του αισθητήρα πίεσης και της διόρθωσης με την χρήση των δεδομένων του αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης και της θερμοκρασίας.



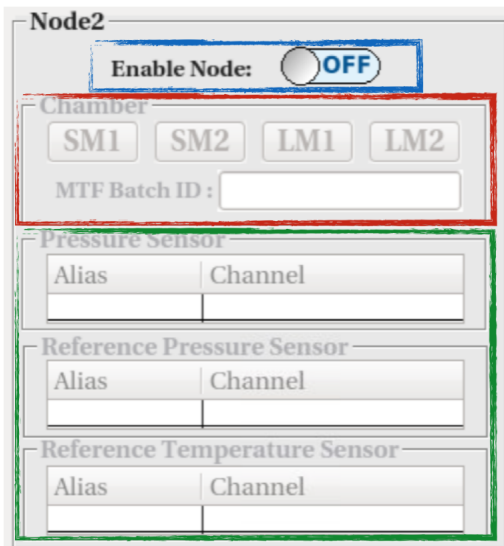
Σχήμα 7.32: Απομόνωση του MM QP n για την μέτρηση της πτώσης πίεσης.

Επόμενο βήμα, αποτελεί η ρύθμιση της πειραματικής διάταξης μέσα από το πάνελ του GTS και το Tab Setup όπου ο χρήστης επιλέγει την μέθοδο PDR καθώς και τον τύπο του αερίου που θα χρησιμοποιήσει για την μέτρηση. Με την επιλογή του αερίου γίνεται ορατό στον χρήστη το πλαίσιο PDR που περιλαμβάνει 4 υποπλαίσια κάθε ένα για ένα node της πειραματικής διάταξης, τα οποία περιλαμβάνουν την πληροφορία για κάθε node αντίστοιχα όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ.7.33.



Σχήμα 7.33: Παραμετροποίηση των ρυθμίσεων για κάθε node για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο PDR.

Η παραμετροποίηση ενός node της μεθόδου PDR χωρίζεται στα εξής επιμέρους πλαίσια :



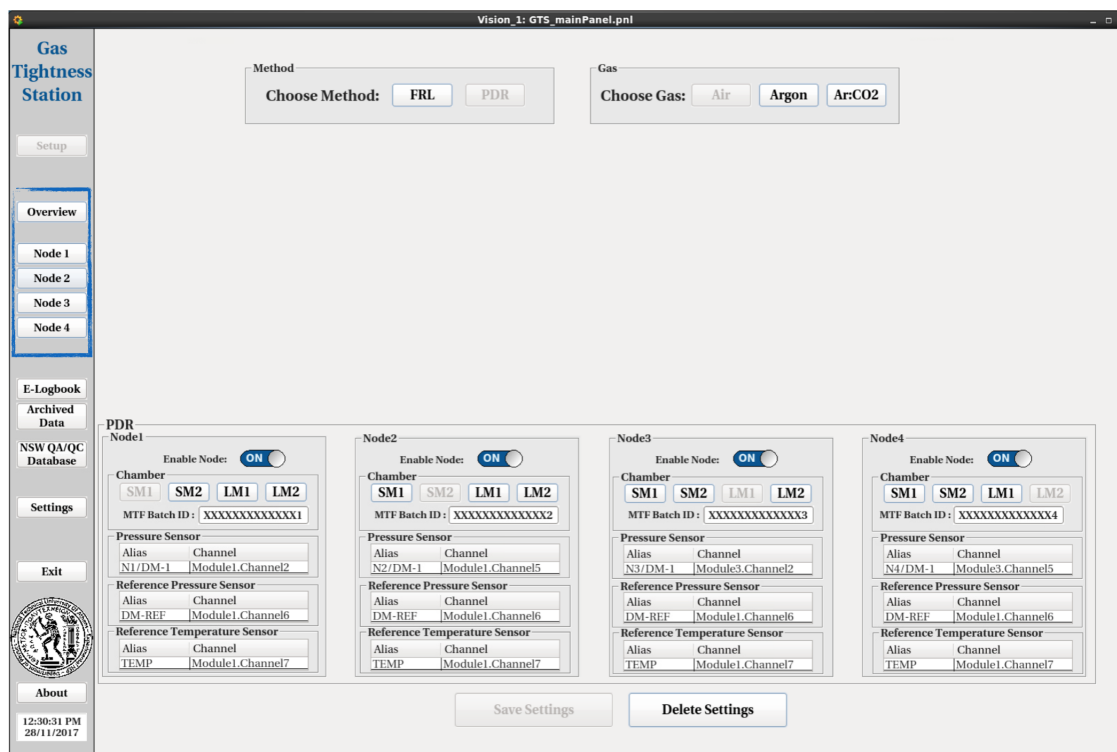
Η παραμετροποίηση ενός node της μεθόδου PDR χωρίζεται στα εξής επιμέρους πλαίσια :

- **Μπλε πλαίσιο:** Ενεργοποίηση του αντίστοιχου node.
- **Κόκκινο πλαίσιο:** Επιλογή του τύπου του MM QP που βρίσκεται στο αντίστοιχο node και εισαγωγή του 14ψήφιου κωδικού MTF Batch ID που αποτελεί την ταυτότητα του ανιχνευτή.
- **Πράσινο πλαίσιο:** Περιλαμβάνει την πληροφορία για τον αισθητήρα πίεσης DPS, τον αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης DPS_{REF} και τον αισθητήρα θερμοκρασίας TS_{REF} του αντίστοιχου node και περιλαμβάνει επιπλέον την αντιστοίχιση με τα κανάλια του FieldPoint. Οι πίνακες των αισθητήρων συμπληρώνονται αυτόματα με την ενεργοποίηση του εκάστοτε node εφόσον έχει ολοκληρωθεί η αντιστοίχιση που περιγράφεται στην ενότητα 7.3.

Σχήμα 7.34: Η παραμετροποίηση του node για την μέτρηση με την μέθοδο PDR .

Με την ολοκλήρωση της ρύθμισης των nodes για τους διαθέσιμους ανιχνευτές MM QP που είναι υπό εξέταση, ο χρήστης είναι έτοιμος να πατήσει το κουμπί Save Settings για την εκκίνηση της τελικής ρύθμισης του αυτόματου συστήματος ελέγχου για τον αριθμό των nodes που έχει επιλέξει, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.34. Το κουμπί Delete Settings διαγράφει τις ρυθμίσεις από προηγούμενη ρύθμιση που έγινε ώστε να ξεκινήσει εκ νέου η δημιουργία νέας πειραματικής διάταξης.

Με την ολοκλήρωση της ρύθμισης των nodes, ο χρήστης παρατηρεί ότι στο δεξί μέρος της γκρι μπάρας έχουν γίνει διαθέσιμα τα κουμπιά Overview και Node 1-Node 4 (αναλόγως τον αριθμό της πειραματικής διάταξης που έχει επιλέξει). Μέσα από αυτά τα κουμπιά ο χρήστης μπορεί να κάνει γενική επισκόπηση της πειραματικής διάταξης με τον ταυτόχρονο έλεγχο των 4 nodes (4-Node Mode) με την επιλογή του Overview καθώς και αναλυτικό έλεγχο ξεχωριστά του κάθε node (1-Node Mode) και συνεπώς κάθε MM QP ξεχωριστά με την επιλογή του Node X Button όπως φαίνεται στο Σχ. 7.35.



Σχήμα 7.35: Οι επιλογές ελέγχου των nodes, 1-Node Mode και 4-Node Overview Mode.

7.9.1 1-Node Mode

Ο χρήστης πατώντας ένα από τα κουμπιά Node X εισέρχεται στον 1-Node έλεγχο, δηλαδή στον 1-Node έλεγχο, δηλαδή στον έλεγχο και καταγραφή όλων των αισθητήρων ενός node. Την στιγμή που πατάει το κουμπί εμφανίζεται μία νέα διεπαφή χρήστη όπως φαίνεται στο Σχ. 7.36, που περιλαμβάνει όλη την πληροφορία για το εκάστοτε node και χωρίζεται σε 4 πλαίσια πληροφορίας:

- Έλεγχος και γραφική αναπαράσταση της συμπεριφοράς των αισθητήρων των τιμών των αισθητήρων του node
- Πληροφορία για το όριο διαρροής, το BatchID του MM QP, την μέθοδο και το αέριο της μέτρησης
- Καταγραφή και αποθήκευση των τιμών σε αισθητήρων σε μορφή δεδομένων

Monitor

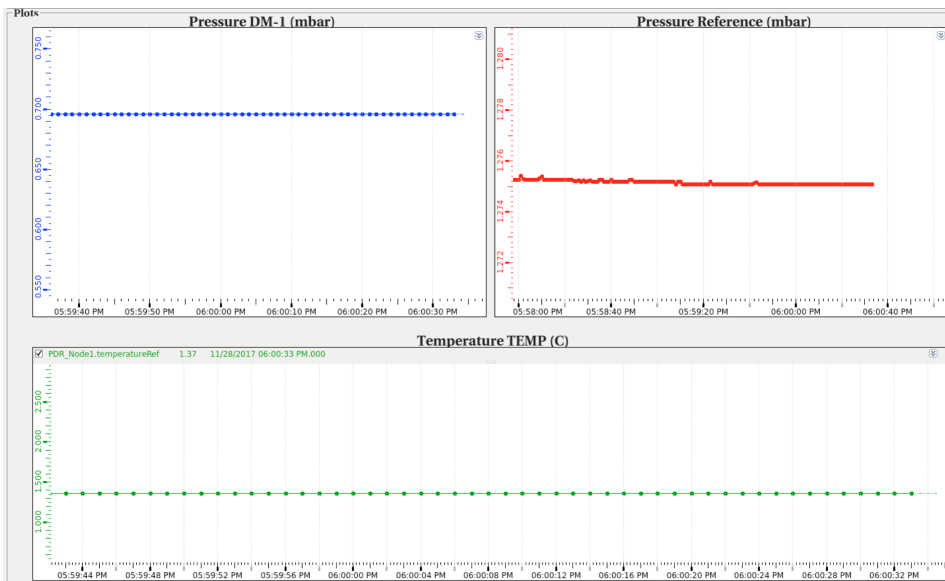
Μέσα από το πλαίσιο Monitor, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.36, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθήσει σε πραγματικό χρόνο την τιμή του αισθητήρα της πίεσης (DPS ή DM – 1) σε μονάδες V και mbar, τον αισθητήρα της βαρομετρικής πίεσης (DPS_{REF} ή DM – REF) σε μονάδες V και mbar και την τιμή του αισθητήρα θερμοκρασίας (TEMP) σε μονάδες V και C. Επιπλέον, έχει δοθεί η δυνατότητα ο χρήστης μέσω alarm να ειδοποιείται για την πίεση εσωτερικά του θαλάμου (DPS ή DM – 1), ώστε κατά της πλήρωση του θαλάμου με αέριο η πίεση να μην ξεπερνάει την τιμή που τέθηκε στην ενότητα 7.7. Όλες οι τιμές των αισθητήρων που αναγράφονται πρόκειται για τον μέσο όρο των 60 μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο που καταγράφει το FieldPoint.

Monitor Pressure Sensors				Temperature Sensor				
DM-1	0.6930	V 0.6930	mbar	LIMITED	TEMP	1.3612	V 1.3612	C
DM-REF	1.2719	V 1.2719	mbar					

Σχήμα 7.36: Έλεγχος των τιμών των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο PDR.

Plots

Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη μέσω του πλαισίου Plots να παρακολουθήσει την συμπεριφορά των διαφόρων αισθητήρων σε σχέση με τον χρόνο, ειδικότερα μπορεί τον αισθητήρα πίεσης (DPS ή DM – 1), τον αισθητήρα της βαρομετρικής πίεσης (DPS_{REF} ή DM – REF) καθώς και τον αισθητήρα θερμοκρασίας (TEMP) όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 7.37.



Σχήμα 7.37: Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο PDR.

Node Info



Node Info	
Chamber :	SM1 Node : Node1
Method :	PDR Gas : Air
Gas Leak Limit :	QL=0.0233 L/h
Batch ID :	XXXXXXXXXXXXX1

Το πλαίσιο αυτό παρέχει στον χρήστη την πληροφορία για τον τύπο, όρια διαρροής και MTF Batch ID του ανιχνευτή MM QP καθώς και σε ποιο node βρίσκεται και τι αέριο ή ποια μέθοδος χρησιμοποιείται για την μέτρηση της διαρροής του αερίου, όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.38.

Σχήμα 7.38: Οι αναλυτικές πληροφορίες για το συγκεκριμένο node στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση της διαρροής του αερίου.

Archive/Export

Μέσα από το πλαίσιο αυτό, ο χρήστης έχει την δυνατότητα της αποθήκευσης και της εξαγωγής των δεδομένων των αισθητήρων του node. Καθώς ο χρήστης εκκινεί την διαδικασία καταγραφής των δεδομένων μέσω του κουμπιού Start, το πλαίσιο του Status αλλάζει σε κατάσταση Archiving ενώ ο κύκλος αναδεικνύει την κατάσταση που βρίσκεται το σύστημα δηλαδή καταγραφής ή όχι. Με το κουμπί Stop, ο χρήστης σταματάει την καταγραφή των δεδομένων και το κουμπί Export γίνεται διαθέσιμο για την εξαγωγή των δεδομένων.

Archive/Export	
Status:	Ready! 
Auto	Start Stop
Path: /home/gas/Desktop/AI 	Export Run 18
<input checked="" type="checkbox"/> Data	<input type="checkbox"/> Plots

Σχήμα 7.39: Πλαίσιο για την αποθήκευση και εξαγωγή των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης για την μέθοδο PDR.

Το κουμπί Auto αποτελεί μέτρηση καθορισμένου χρόνου σε λεπτά ο οποίος μπορεί να ρυθμιστεί από τον χρήστη μέσα από το Tab Settings και το κουμπί Auto Archive Time όπως φαίνεται στο Σχ. 7.27.

Με το πέρας του καθορισμένου χρόνου στην λειτουργία Auto ή όταν ο χρήστης πατήσει το Stop, σταματάει η καταγραφή των δεδομένων και το κουμπί Export γίνεται διαθέσιμο στον χρήστη. Στο πλαίσιο Path μέσω του εικονιδίου του φακέλου μπορεί να καθοριστεί το σημείο στον υπολογιστή όπου θα εξαχθούν τα δεδομένα. Σε αντίθεση με την μέθοδο FRL, το GTS δίνει την δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε αρχείο ASCII με όνομα run_X.dat, όπου X είναι ο αριθμός της μέτρησης(Run), στο path που έχει καθορίσει. Το αρχείο ASCII που δημιουργείται έχει συγκεκριμένη δομή και αποτελείται από μία γραμμή που περιλαμβάνει την

πληροφορία του node, του τύπου του ανιχνευτή, της μεθόδου και του αερίου που χρησιμοποιείται για την μέτρηση του MM QP. Στην συνέχεια περιλαμβάνει μία στήλη του χρόνου της μέτρησης, τις στήλες του αισθητήρα πίεσης και βαρομετρικής πίεσης σε μονάδες mbar καθώς μία στήλη του αισθητήρα θερμοκρασίας όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 7.40.

Time	Pressure(mbar)	Pressure Ref(mbar)	Temperature(C)
28/11/2017_20:03:10	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:11	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:12	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:13	0.69254	1.26614	1.35564
28/11/2017_20:03:14	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:15	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:16	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:17	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:18	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:19	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:20	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:21	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:22	0.69254	1.26606	1.35564
28/11/2017_20:03:23	0.69254	1.26606	1.35564

Σχήμα 7.40: Η δομή του εξαγωγίσιμου αρχείου ASCII με τα δεδομένα για τους αισθητήρες και την πληροφορία του node στην μέτρηση με την μέθοδο PDR.

7.9.2 4-Node Mode

Ο χρήστης επιλέγοντας το κουμπί Overview που βρίσκεται στο αριστερό μέρος του GTS έχει την δυνατότητα να κάνει γενική επισκόπηση της πειραματικής διάταξης σε ένα κοινό γραφικό περιβάλλον. Το νέο αυτό περιβάλλον, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.41, παρέχει την δυνατότητα της μέτρησης της διαρροής αερίου σε όλα τα ενεργοποιημένα nodes με τον έλεγχο της πίεσης του ανιχνευτή, της βαρομετρικής πίεσης και της θερμοκρασίας. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της πίεσης στο εσωτερικό του ανιχνευτή μέσω γραφικής αναπαράστασης στον χρόνο και μέσω της ένδειξης Archiving δείχνει την κατάσταση καταγραφής των δεδομένων των αισθητήρων του εκάστοτε node.



Σχήμα 7.41: Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 4-Node Mode στην μέθοδο PDR.

Export/Archive All

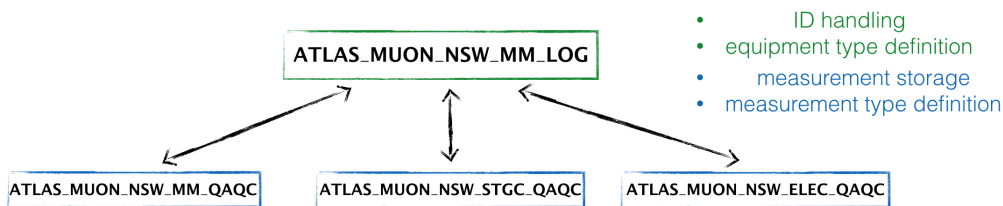
Στον έλεγχο 4-Node Mode δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων των αισθητήρων ταυτόχρονα σε όλους τους MM MPs και το πάτημα του κουμπιού Start ή Auto, όπου ο χρόνος της αυτοματοποιημένης μέτρησης είναι κοινός με το 1-Node Mode. Με την επιλογή Stop ο χρήστης έχει την δυνατότητα ολοκλήρωσης της καταγραφής των δεδομένων. Εφόσον, ολοκληρωθεί η διαδικασία μέτρησης, το κουμπί Export Data, ώστε ο χρήστης να εξάγει τα δεδομένα. Η δομή του αρχείου ASCII που παράγεται έχει ακριβώς

την ίδια μορφή με αυτή που περιγράφηκε στο 1-Node Mode, με την διαφορά ότι αρχείο ASCII είναι υπέρθεση του αρχείου του 1-Node Mode για κάθε node όπως δίνεται στο Σχ. 7.40.

7.10 Αποθήκευση δεδομένων

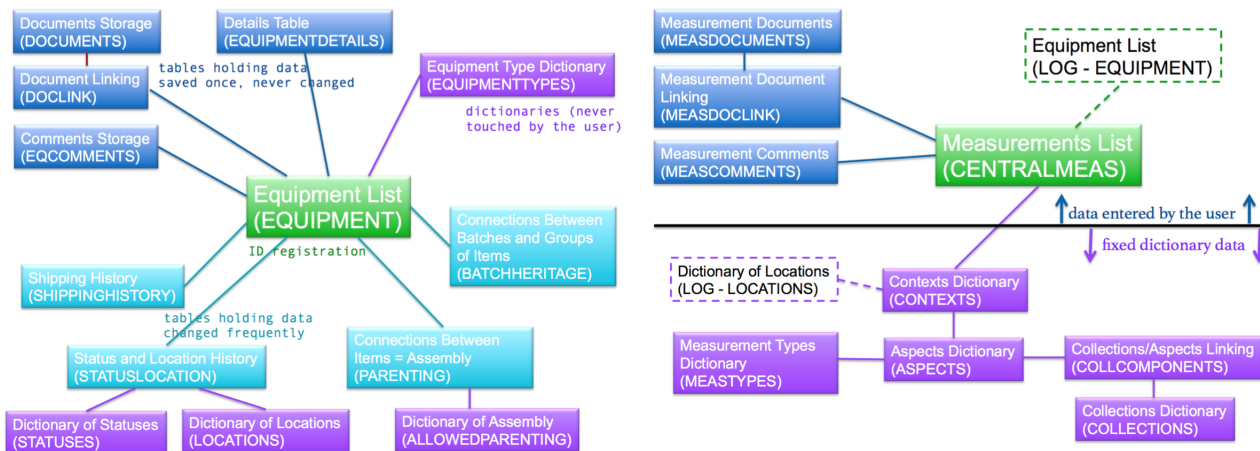
7.10.1 NSW QA/QC Database

Πέρα από την αποθήκευση των δεδομένων των μετρήσεων στο τοπικό δίσκο του υπολογιστή, αναγκαία είναι η κατοχύρωση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε μία κεντρική Database. Για τον σκοπό της κατοχύρωσης των αποτελεσμάτων τις QA/QC μετρήσεις δηλαδή την μέτρηση της διαρροής των ανιχνευτών MM QP, κατασκευάστηκε από το πανεπιστήμιο του Freiburg η κεντρική Logistics Database ATLAS_MUON_NSW_MM_LOG. Περιλαμβάνει την καταχώριση ταυτότητας (ID) και των χειρισμό όλου του εξοπλισμού του NSW όπως στοιχεία και παρτίδες ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για Micromegas, sTGC ή εξοπλισμός ηλεκτρονικών καθώς και το ιστορικό διάφορων τιμών που έχουν αποθηκευτεί. Κάτω από την κεντρική Logistics Database ATLAS_MUON_NSW_MM_LOG βρίσκονται 3 υπό databases που περιλαμβάνουν την αναλυτική πληροφορία για τους Micromegas, sTGC, Electronics και είναι οι ATLAS_MUON_NSW_MM_QAQC, ATLAS_MUON_NSW_STGC_QAQC και ATLAS_MUON_NSW_ELEC_QAQC αντίστοιχα. Οι υπό databases περιλαμβάνουν τις αποθηκευμένες ρυθμίσεις καθώς και τον τύπο των μετρήσεων, όπως αποτυπώνεται και στο παρακάτω Σχ. 7.42.



Σχήμα 7.42: Η δομή της NSW QA/QC Database.

Επιπλέον, στο Σχ. 7.43 αποτυπώνεται η δομή της Database Logistics (αριστερά) και η δομή της MM QA/QC (δεξιά). Οι databases αποτελούνται από διάφορους πίνακες, για παράδειγμα η MM QAQC αποτελείται από τον κεντρικό CENTRALMEAS όπου περιλαμβάνει την λίστα των μετρήσεων με την πληροφορία του αποτελέσματος, του ακριβές χρόνου και του shifter, το MEASCOMMENTS που περιλαμβάνει τα σχόλια του χρήστη για την μέτρηση που πραγματοποιήσε, το MEASDOCUMENTS που περιλαμβάνει τα αρχεία των δεδομένων της μέτρησης όπου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να προσθέσει και τέλος το MEASDOCLINK που περιέχει την σύνδεση της μέτρησης με τα αρχεία που προσέθεσε ο χρήστης.



Σχήμα 7.43: Η δομή της NSW QA/QC Database.

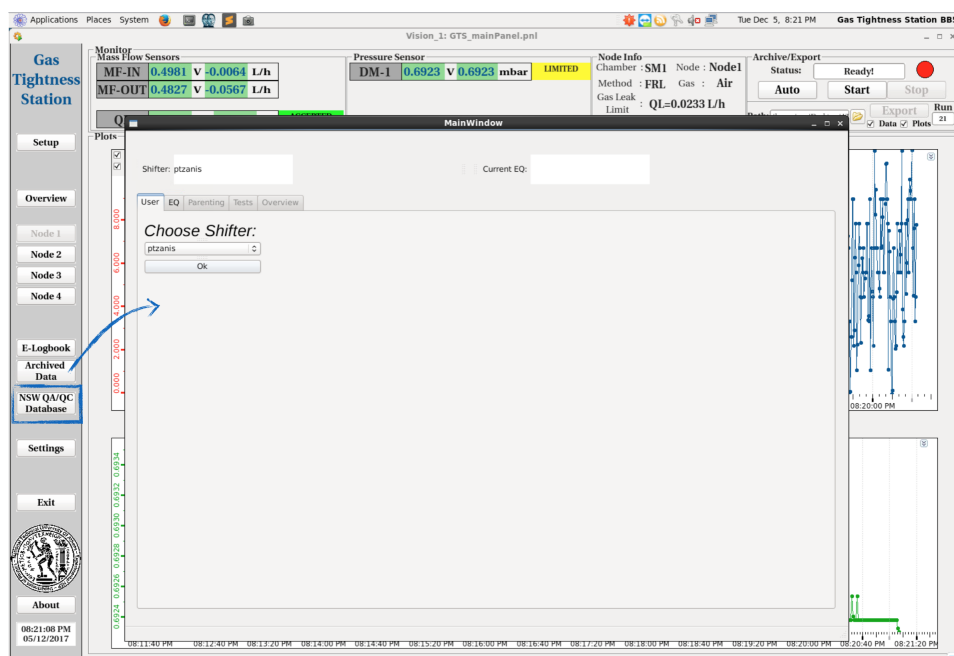
Η δομή του κεντρικού πίνακα CENTRALMEAS φαίνεται στο Σχ. 7.44 και αποτελείται από την στήλη της γραμμής που προστίθεται το id που αντιστοιχίζεται από την Logistics Database, μία λέξη για την πληροφορία της μέτρησης, την τιμή της μέτρησης ή το αποτέλεσμα στην περίπτωση των QA/QC μετρήσεων, το όνομα του χρήστη και την ημερομηνία της μέτρησης.

line_ID	EQ_ID (LOG)	context_string	value	shifter	date/time
1	4657	HC_thickn_MAX_INFN	10.14	Edo	2016-10-16
2	4657	HC_thickn_MIN_INFN	10.08	Edo	2016-10-16
3	4657	HC_thickn_AVG_INFN	10.11	Edo	2016-10-16
...
55	3645	HC_thickn_MAX_INFN	10.16	Kim	2016-10-17
56	3645	HC_thickn_MIN_INFN	10.03	Kim	2016-10-17
57	3645	HC_thickn_AVG_INFN	10.10	Kim	2016-10-17

ID of Equipment (from LOG) Context String (QAQC Dictionary) Value Measurement Info (shifter, time)

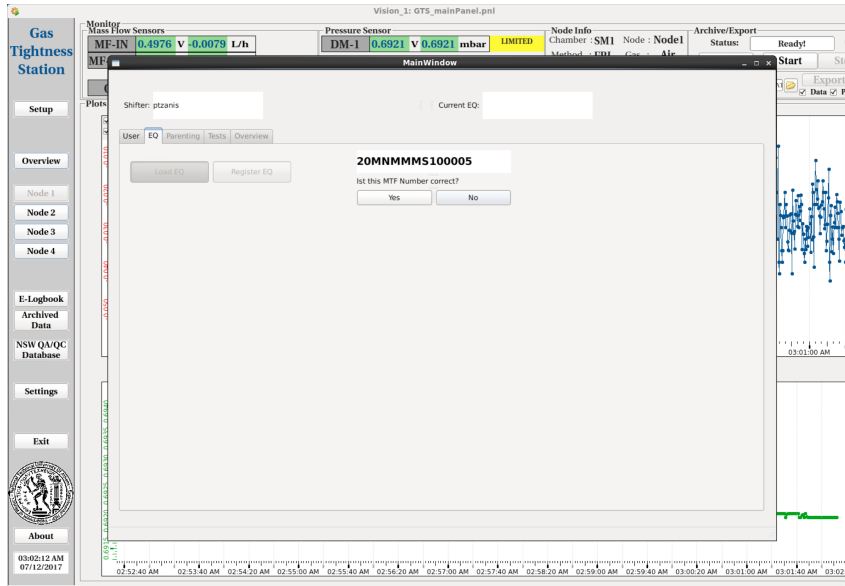
Σχήμα 7.44: Η δομή και το περιεχόμενο του κεντρικού πίνακα CENTRALMEAS.

Για την προσθήκη των δεδομένων των μετρήσεων της διαρροής αερίου των MM QP, το GTS δίνει την δυνατότητα της προσθήκης αυτών των δεδομένων μέσα από το κουμπί NSW QA/QC Database, όπου με το πάτημα ο χρήστης εισέρχεται σε ένα νέο περιβάλλον που έχει σχεδιαστεί από το πανεπιστήμιο του Freiburg για την σύνδεση με την κεντρική βάση δεδομένων, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.45.



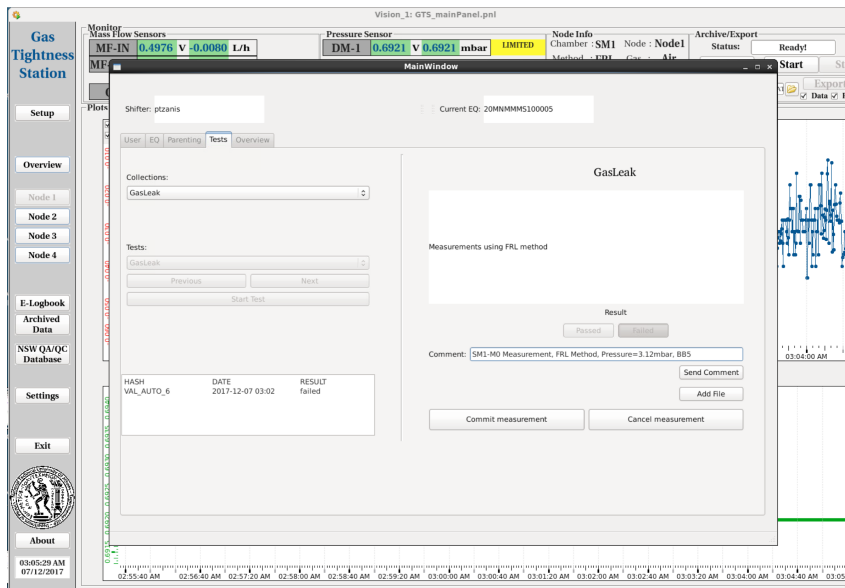
Σχήμα 7.45: Είσοδος του χρήστη στο Freiburg GUI για την αποθήκευση των μετρήσεων στην NSW QA/QC Database.

Στην συνέχεια ο χρήστης επιλέγει το όνομα του στην λίστα των shifters και αφού πατήσει το κουμπί Ok γίνεται διαθέσιμο το Tab όπου πατώντας το κουμπί Load EQ πληκτρολογεί το MTF Batch ID ενός MM QP και πατάει Yes εφόσον έχει πληκτρολογήσει το σωστό Batch ID, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.46.



Σχήμα 7.46: Εισαγωγή του Batch ID του MM QP στο Freiburg GUI.

Στην συνέχεια, γίνονται διαθέσιμα στον χρήστη τα Tabs Parenting, Tests, Overview. όπου ο χρήστης μέσα από το Tests μπορεί να καταχωρίσει τα δεδομένα της μέτρησης Gas Leak πατώντας το κουμπί Start Test. Στο πλαίσιο δεξιά βρίσκονται διάφορες οδηγίες ως προς την μέτρηση ή την εισαγωγή των δεδομένων, καθώς και η δυνατότητα ο χρήστης να προσθέσει σχόλια και αρχεία των δεδομένων και γραφημάτων που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Με την συμπλήρωση των δεδομένων, ο χρήστης μέσω της επιλογής Commit Measurement κατοχυρώνει την μέτρηση στην κεντρική βάση των δεδομένων και η κατοχύρωση του γίνεται εμφανής στην αριστερή λίστα του παραθύρου όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 7.47. Επιπλέον, ο χρήστης μέσω του Tab Overview μπορεί να δει μία γενική επισκόπηση των μετρήσεων που έχει κατοχυρώσει στην NSW QA/QC DB για τον αντίστοιχο ανιχνευτή MM QP και Batch ID.

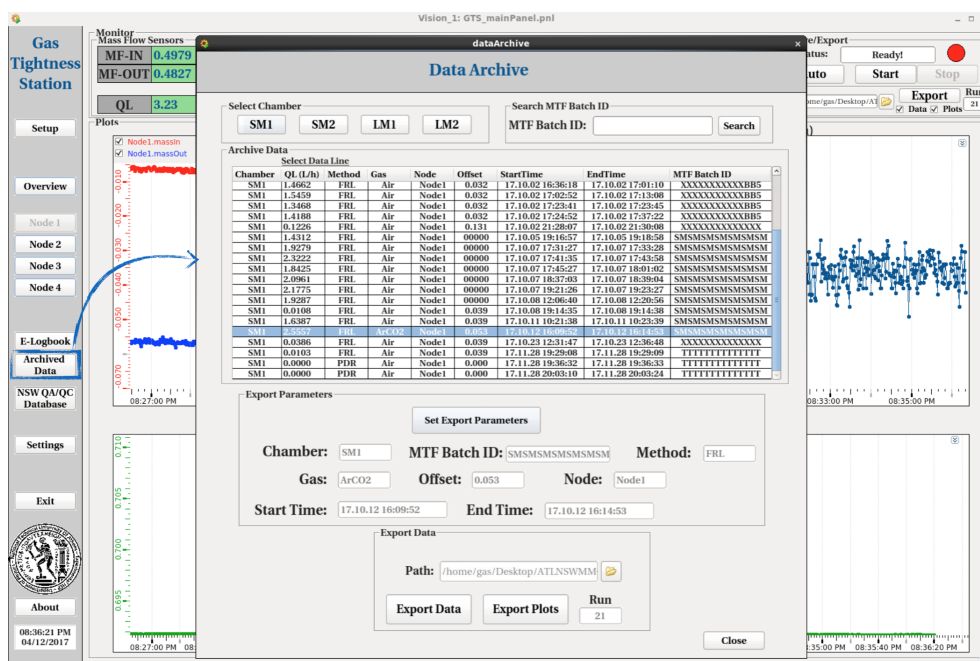


Σχήμα 7.47: Κατοχύρωση των δεδομένων στην NSW QA/QC DB μέσω του Freiburg GUI.

7.10.2 Ιστορικό δεδομένων

Το GTS δίνει την δυνατότητα της αναζήτησης του ιστορικού των δεδομένων στον τοπικό δίσκο του υπολογιστή, ώστε ο χρήστης να μπορεί να ανατρέξει στις μετρήσεις που πραγματοποίησε στο παρελθόν. Μέσα από το κουμπί Archived Data, ο χρήστης εισέρχεται σε ένα νέο γραφικό περιβάλλον όπου πραγματοποιεί την αναζήτηση με βάση τον τύπου του MM QP είτε το Batch ID που αποτελεί και την ταυτότητα του κάθε θαλάμου. Με την επιλογή εκ των δύο, γίνονται ορατά στον πίνακα οι συνθήκες πραγματοποίησης της μέτρησης, όπως η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, η διαρροή που μετρήθηκε, το αέριο, ο χρόνος μέτρησης, το offset των αισθητήρων καθώς και το Batch Id του κάθε θαλάμου, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 7.48. Ο χρήστης επιλέγει την γραμμή της

μέτρησης που επιθυμεί και πατάει το κουμπί Set Export Parameters ώστε να αποτυπωθεί η πληροφορία της μέτρησης στα διάφορα πλαίσια, έπειτα γίνονται διαθέσιμες οι επιλογές Export Data και Export Plots όπου ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει σε μορφή ASCII και γραφημάτων τα δεδομένα που συλλέχτηκαν κατά την μέτρηση στην τοποθεσία που έχει καθορίσει μέσα από το Path με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια για την εξαγωγή των δεδομένων. Τα δεδομένα που εξάγονται βρίσκονται στον τοπικό δίσκο του υπολογιστή, ωστόσο αναγκαία είναι η έρευνα εναλλακτικών μεθόδων αποθήκευσης και εξαγωγής των δεδομένων για την ασφάλεια των δεδομένων.



Σχήμα 7.48: Ιστορικό καταγραφής των μετρήσεων και εξαγωγή των δεδομένων.

7.10.3 Online αποθήκευση δεδομένων

Για την διασφάλιση των δεδομένων των μετρήσεων της διαρροής αερίου των ανιχνευτών MM QP αναπτύχθηκε η ιστοσελίδα cern.ch/mmgtlogbookbb5 με σκοπό να αποτελέσει το ψηφιακό online ημερολόγιο για την καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων. Μέσα από την ιστοσελίδα, ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει τα δεδομένα των μετρήσεων που πραγματοποιήσει σε μορφή ASCII και γραφημάτων, καθώς και να προσθέσει στον πίνακα την αναλυτική πληροφορία της μέτρησης καθώς και στο ημερολόγιο που βρίσκεται στο κάτω μέρος του Σχ. 7.49. Συνεπώς, δίνεται η δυνατότητα ασφαλούς αποθήκευσης των δεδομένων και πρόσβασης από χρήστες για την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων του ποιοτικού ελέγχου των ανιχνευτών MM QP.

Micromegas Gas Tightness Station E-Logbook BBS

Home
Measurements

E-Logbook

Chamber	MTF Batch ID	Gas Leak (L/h)	Pressure (mbar)	Result	Run Number	Method	Gas	Node	Time	Shifter	Comments
SM1-MD	-	1.707	2.5 (7)	Not Pass	15	FRL	Air	Node 1	11/10/2017	Stavros	pressure not equal to 3 mbar
SM1-MD	-	2.67	3.12	Not Pass	16	FRL	ArCO2	Node 1	12/10/2017	Stavros	

Documents

Calendar

Σχήμα 7.49: Ιστοσελίδα ψηφιακού ημερολογίου για την διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων των μετρήσεων καθώς και την προσβασιμότητας από πολλαπλούς χρήστες.

7.11 Έκτακτη βοήθεια

Για την διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του GTS και της σωστής πραγματοποίησης της μέτρησης του ορίου διαρροής των ανιχνευτών MM QP, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη σε περίπτωση ανάγκης να επικοινωνήσει με τον υπεύθυνο του GTS ώστε να του δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες για την συνέχιση των μετρήσεων του. Η δυνατότητα αυτή δίνεται μέσα από το Tab Settings και το κουμπί Send Email, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.50, όπου ο χρήστης γράφει το όνομα του και το email του καθώς και το σχόλιο που επιθυμεί να στείλει στον υπεύθυνο του GTS ώστε να επικοινωνήσει αμέσως με τον χρήστη για την επίλυση της κατάστασης που αντιμετωπίζει.

Gas Tightness Station

Sensor Alias

Alias	Channel	Voltage
N1(MF-DS)	Module1 Channel1	0.4073
N1(MF-DS1)	Module1 Channel1	0.4827
N1(MF-DS)	Module1 Channel2	0.0528
N2(MF-DS)	Module1 Channel2	0.1747
N2(MF-DS1)	Module1 Channel2	0.0688
N2(MF-DS)	Module1 Channel3	0.0938
DM-BEE	Module1 Channel3	0.2748
TXMAP	Module1 Channel3	1.3661
N3(MF-DS)	Module1 Channel3	0.1159
N3(MF-DS1)	Module1 Channel3	0.1205
N3(MF-DS)	Module1 Channel4	0.0608
N3(MF-DS1)	Module1 Channel4	0.1159
N3(MF-DS)	Module1 Channel5	0.1159
N3(MF-DS1)	Module1 Channel5	0.1159

FieldPoint Settings

Enable/Disable Module

OPC DA Client Communication

Sensors Gas Calibration

Mass Flow Sensor Offset

Gas Leak Limits

Chambers PDE

Archive Counter

EMERGENCY Developer Help

Developer Help

Shifter's Email:

Comment:

Send Email

Σχήμα 7.50: Ιστοσελίδα ψηφιακού ημερολογίου για την διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων των μετρήσεων καθώς και την προσβασιμότητας από πολλαπλούς χρήστες.

Μέτρηση διαρροής αερίου με χρήση του GTS

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά των μετρήσεων της διαρροής αερίων διάφορων ανιχνευτών με χρήση του συστήματος Gas Tightness Station (GTS). Αρχικά, περιγράφεται η διαδικασία της βαθμονόμησης των αισθητήρων με την χρήση υποδερμικής ιατρικής βελόνας και στην συνέχεια αναδεικνύεται η μέθοδος της μέτρησης της διαρροής καθώς και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσα από το σύστημα.

8.1 Βαθμονόμηση

Για την μέτρηση του ρυθμού διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL, αναγκαία είναι η βαθμονόμηση των αισθητήρων ροής μάζας (MFS). Η βαθμονόμηση έγκειται στον προσδιορισμό του συντελεστή F_{gas} για την μετατροπή της αναλογικής τάσης εξόδου των αισθητήρων V_{out} σε μονάδες ροής μάζας L/h για διαφορετικά αέρια με την χρήση ιατρικής βελόνας καθορισμένης διαρροής, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, και δίνεται από την παρακάτω σχέση.

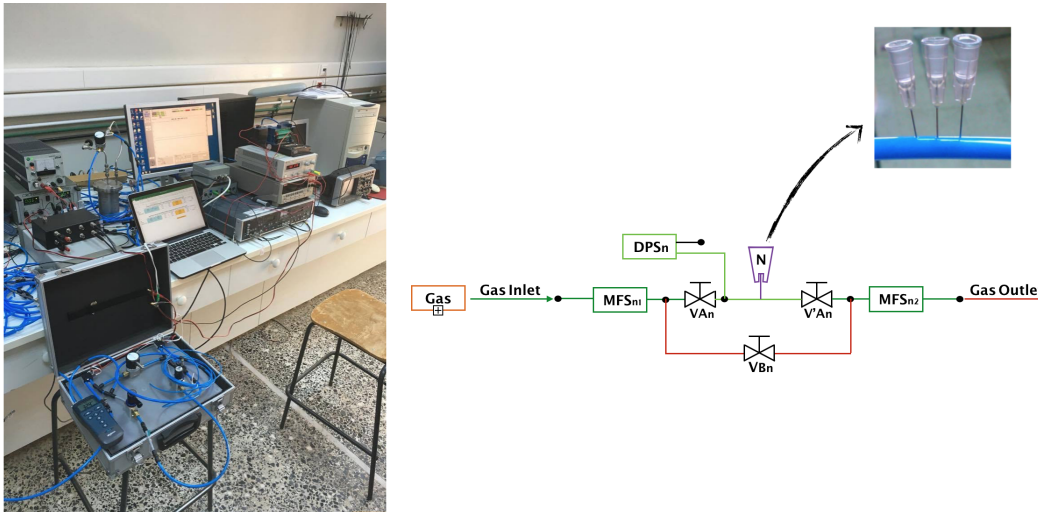
$$F_{gas} = R_{gas} \times 0.00328 \times \frac{\Delta V_{air}}{\Delta V_{gas}} = R_{gas} \times 0.00328 \times \frac{\Delta V_{air} - \Delta V_{air}^{ter}}{\Delta V_{gas} - \Delta V_{gas}^{ter}} \quad (8.1)$$

όπου R_{gas} ο σχετικός λόγος διαρροής για το αντίστοιχο αέριο (Πίνακας 8.1), ΔV_{air} και ΔV_{air}^{ter} η διαρροή και το offset με χρήση αέρα, ΔV_{gas} και ΔV_{gas}^{tare} η διαρροή και το offset με χρήση οποιουδήποτε αερίου αντίστοιχα.

Για την πραγματοποίηση της διαδικασίας της βαθμονόμησης χρησιμοποιήθηκε το φορητό σύστημα μέτρησης διαρροής αερίου και ιατρικές βελόνες διαφορετικής διαμέτρου όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 8.1.

Αέριο	Σχετικός λόγος διαρροής
Αέρας	1.000
Αργόν	1.243
Μείγμα Ar:CO2	1.286

Πίνακας 8.1: Σχετικός λόγος διαρροής

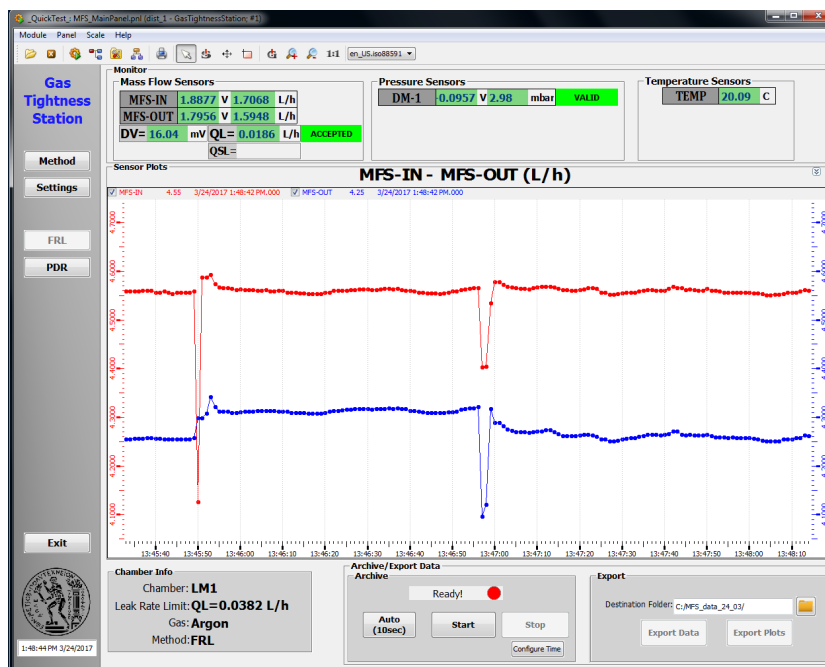


Σχήμα 8.1: Η πειραματική διάταξη για την βαθμονόμηση των αισθητήρων ροής μάζας με την χρήση ιατρικών βελόνων.

Η συνοπτική διαδικασία μέτρησης του παράγοντα F_{gas} περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

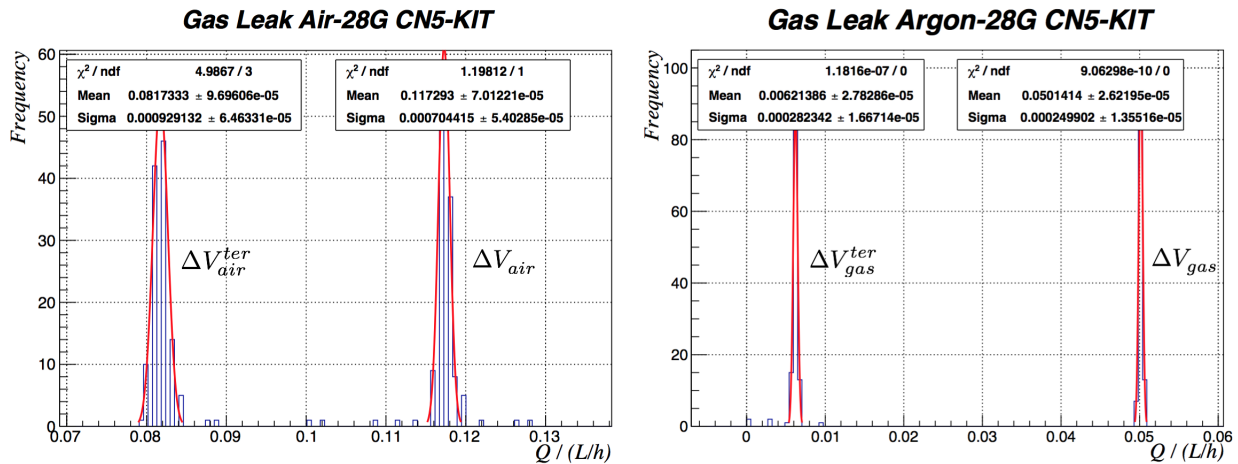
- Τοποθέτηση της ιατρικής βελόνας στο κλάδο διαρροής της πειραματικής διάταξης
- Μέτρηση του offset ΔV_{air}^{tare} και της διαρροής ΔV_{air} μέσω των αισθητήρων MFS για αέρα
- Μέτρηση του offset ΔV_{gas}^{tare} και της διαρροής ΔV_{gas} μέσω των αισθητήρων MFS για το αντίστοιχο αέριο
- Υπολογισμός του παράγοντα F_{gas}

Για τις μετρήσεις του offset των αισθητήρων ροής μάζας και της διαρροής αερίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο με ιδιαίτερη προσοχή στην σταθεροποίηση της πίεσης στην τάξη των 3 mbar επειδή διαφοροποιήσεις της πίεσης στις μετρήσεις θα οδηγούσε σε υπό-εκτίμηση ή υπερ-εκτίμηση του παράγοντα F_{gas} . Για την καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε μία παλαιότερη έκδοση του GTS που παρέχει τις δυνατότητες για την αποκλειστική μέτρηση ενός node και η φιλοσοφία παραμένει ίδια όπως φαίνεται στο Σχ. 8.2.



Σχήμα 8.2: Καταγραφή της διαρροής αερίου για αέρα και αργόν με χρήση της ιατρικής βελόνας 28G CN5.

Στο Σχ. 8.2 αποτυπώνεται η μετάβαση της πειραματικής διάταξης από τον κλάδο offset στον κλάδο διαρροής με την αλλαγή των βαλβίδων υψηλής στεγανότητας. Η βαθμονόμηση έγινε με την χρήση της ιατρικής βελόνας 28G CN5 για μετρήσεις με αέρα, αργό και μείγμα Ar:CO₂ και τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν μέσα από το GTS αποτυπώνονται στο Σχ. ρεφραλιθρατιονΠλοισ.



Σχήμα 8.3: Μέτρηση της διαρροής αερίου για αέρα και αργόν με χρήση της ιατρικής βελόνας 28G CN5.

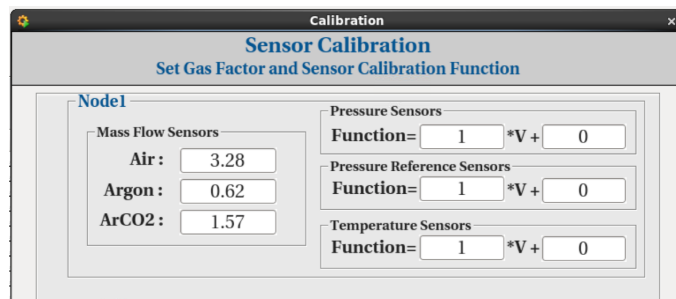
Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αναλύθηκαν με την χρήση του ROOT Data Analysis Framework, όπου δημιουργήθηκαν σε κοινό γράφημα τα ιστογράμματα των κατανομών για το offset και την διαρροή της αντίστοιχης βελόνας. Χρησιμοποιήθηκε Gaussian Fit για τον προσδιορισμό του μέσου όρου της κατανομής για τον ακτιβέστερο υπολογισμό της διαφοράς των δύο κατανομών που αποτελεί και την λεπτομερή διαρροή της ιατρικής βελόνας με τον συνυπολογισμό της συμπεριφοράς του offset των αισθητήρων. Τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν για τα διάφορα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του παράγοντα μετατροπής σύμφωνα με την Εξ. 8.1 και αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές του παράγοντα μετατροπής αφορούν αποκλειστικά το σετ των αισθητήρων

Αέριο	Παράγοντας μετατροπής F_{gas}
Αέρας	0.00328
Αργόν	0.00062
Μείγμα Ar:CO2	0.00157

Πίνακας 8.2: Παράγοντας μετατροπής της αναλογικής τάσης εξόδου των αισθητήρων MFS σε ροή μάζας.

του φορητού συστήματος μέτρησης της διαρροής. Για την πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί για τον QA/QC έλεγχο των ανιχνευτών MM MP πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία για κάθε ένα από τα 4 nodes της διάταξης ώστε να καθοριστούν οι ακριβείς σχέσεις μετατροπής για τα 4 σετ των MFS. Με την ολοκλήρωση των μετρήσεων, οι παράγοντες συμπληρώθηκαν στο παράθυρο του Sensors Gas Calibration μέσα από το Tab Settings του GTS όπως φαίνεται στο Σχ. 8.4. Με την ολοκλήρωση της ρύθμισης του παράγοντα το GTS είναι έτοιμο για την μέτρηση της διαρροής αερίου οποιουδήποτε τύπου ανιχνευτή.

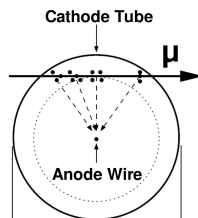


Σχήμα 8.4: Ρύθμιση του παράγοντα μετατροπής μέσα από το GTS.

8.2 Μέτρηση διαρροής MDT

Οι ανιχνευτές αερίου MDT αποτελούν σημαντικό μέρος του μιονικού φασματομέτρου του πειράματος ATLAS του CERN. Κάθε ένας θάλαμος MDT αποτελείται από μία συστοιχία σωλήνων MDT οι οποίοι αποτελούν το βασικό ανιχνευτικό σύστημα. Ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από σκληρό κράμα αλουμινίου και έχει εξωτερική διάμετρο 3 cm και πάχος τοιχώματος 400 μm . Ο σωλήνας γεμίζεται με εύφλεκτο αέριο μείγμα Ar:CO2 με σύσταση 93%-7% αντίστοιχα σε απόλυτη πίεση 3 bar. Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο περνάει τον σωλήνα, ionίζει τα άτομα αερίου κατά μήκος της τροχιάς του και δημιουργεί ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα, όπου αυτή η ενεργειακή απόθεση δεν κατανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος της διαδρομής του σωματιδίου αλλά εμφανίζεται σε

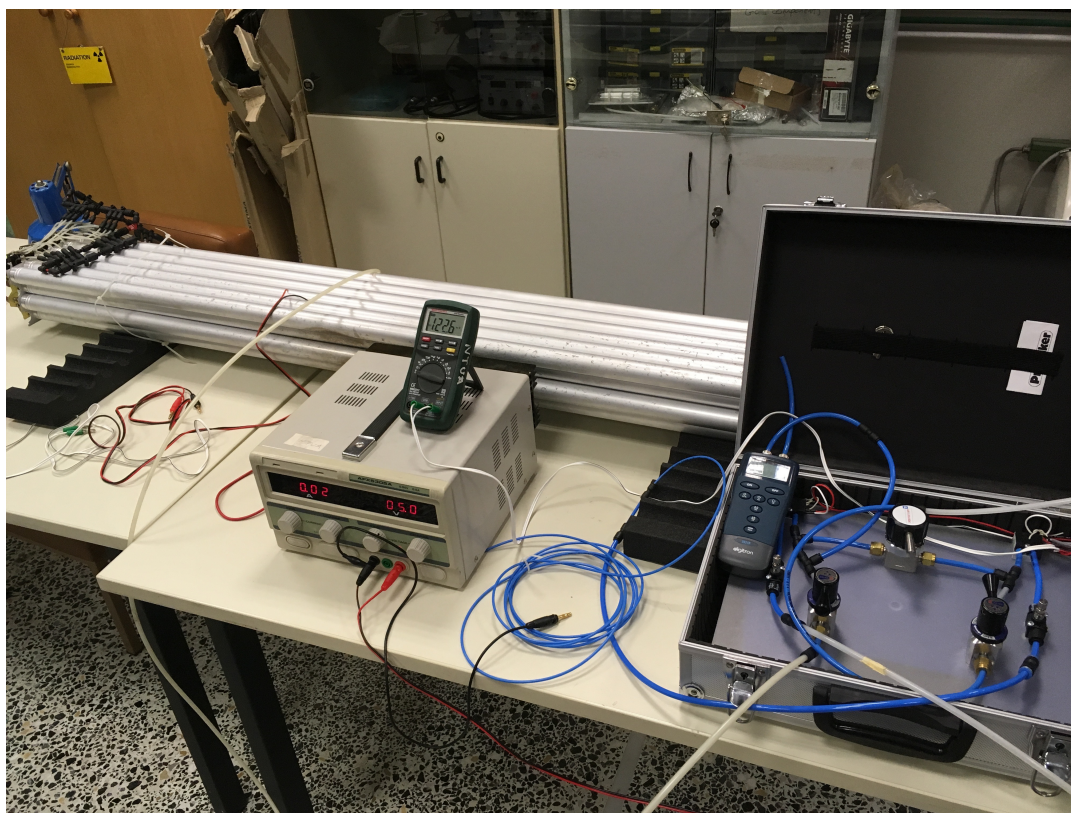
τυχαίες συστάδες. Προκειμένου να συλληχθεί αυτό το σήμα, μία θετική υψηλή τάση εφαρμόζεται στο σύρμα το οποίο δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ του σύρματος και του σωλήνα που προκαλεί την κίνηση των παραγόμενων ηλεκτρονίων προς την άνοδο και των ιόντων προς την κάθοδο όπως φαίνεται στο Σχ. 8.5.



Σχήμα 8.5: Η δομή του ανιχνευτή MDT.

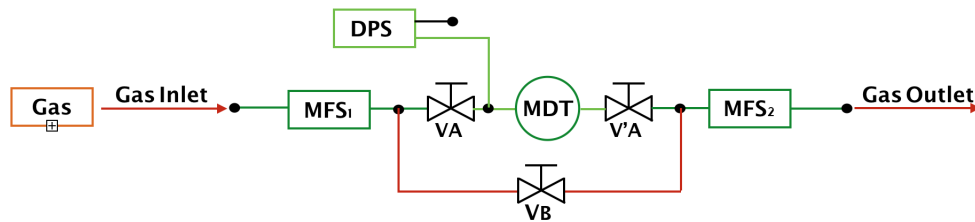
Όπως προαναφέρθηκε, οι MDT ως ανιχνευτές αερίου επηρεάζονται τόσο στην απόδοση και λειτουργικότητα τους από την διαρροή του αερίου μέσου που διαθέτουν και την ύπαρξη οξυγόνου στο εσωτερικό τους που δεσμεύει ένα σημαντικό ποσό των ηλεκτρονίων που παράγονται από την διέλευση φορτισμένων σωματιδίων. Έτσι, αναγκαία είναι η μέτρηση του ρυθμού διαρροής για τον χαρακτηρισμό του θαλάμου ως στεγανό ή μη.

Για την δοκιμή του συστήματος μέτρησης διαρροής GTS χρησιμοποιήθηκε μία συστοιχία 24 MDT tubes συνολικού όγκου 28 L του εργαστηρίου και το φορητό σύστημα διαρροής αερίου που βαθμονομήθηκε όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.6.



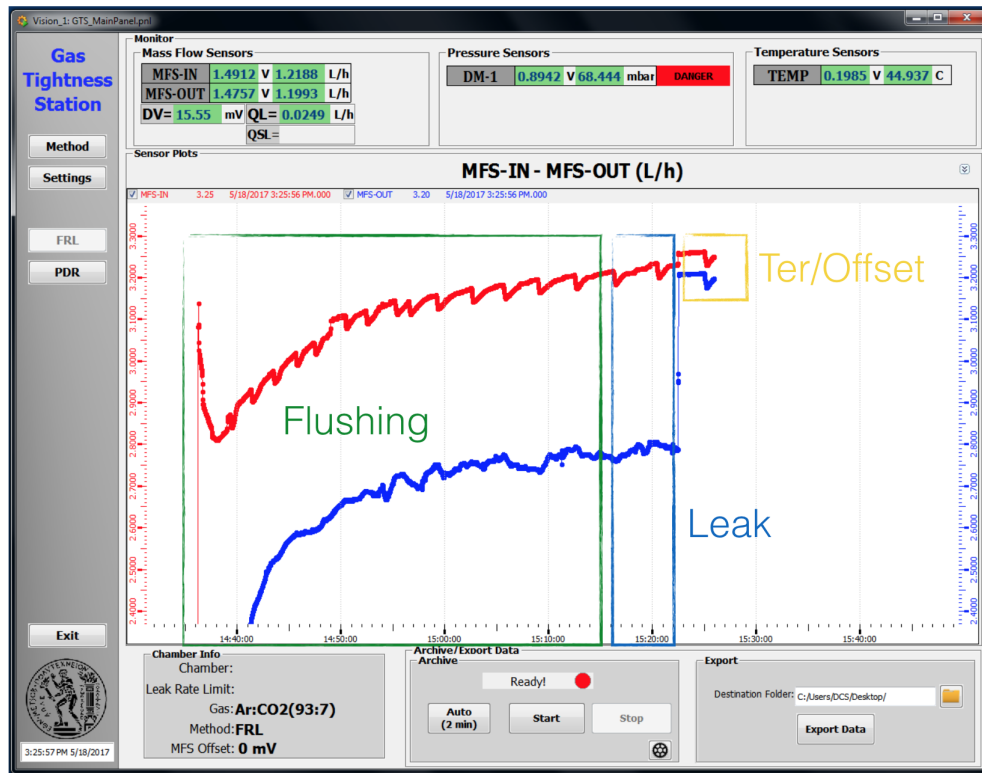
Σχήμα 8.6: Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής του ανιχνευτή MDT.

Η μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL αποτελείται από την μέτρηση του tare των αισθητήρων με χρήση του κλάδου παράκαμψης και η μέτρηση της διαρροής του θαλάμου αλλάζοντας θέση τις βαλβίδες υψηλής στεγανότητας VA, V'A και VB. Πρωταρχικό βήμα πριν των μετρήσεων είναι ο έλεγχος της πίεσης παροχής να ισούται με 3 mbar με την χρήση του αισθητήρια διαφορικής πίεσης DPS.



Σχήμα 8.7: Η σχηματική αναπαράσταση της διάταξης μέτρησης της διαρροής της συστοιχίας των MDT.

Η μέτρηση του tare/offset των αισθητήρων και της διαρροής της θαλάμου έγινε με χρήση του GTS όπου και μελετήθηκε εκτενώς η συμπεριφορά του όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 8.8.



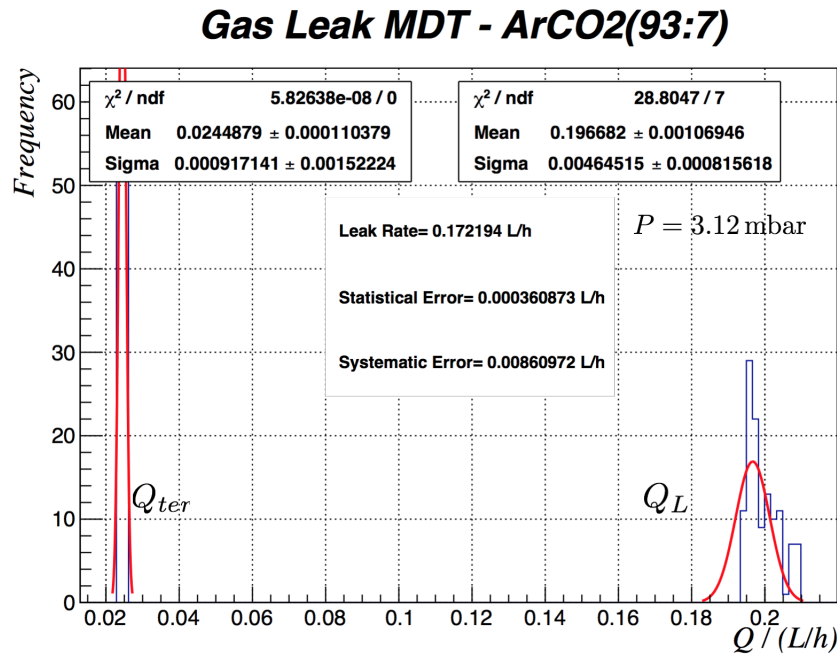
Σχήμα 8.8: Η μέτρηση του tare/offset των αισθητήρων και της διαρροής της θαλάμου MDT με χρήση του GTS.

Στο παραπάνω Σχ. 8.8 αποτυπώνονται 3 διαφορετικές περιοχές συμπεριφοράς του θαλάμου MDT:

- **Flushing** (Πράσινη Περιοχή): Με την είσοδο του μείγματος Ar:CO₂ στο εσωτερικό του ανιχνευτή MDT παρατηρείται το λεγόμενο flushing όπου το μείγμα εισόδου απωθεί τον αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό του ανιχνευτή μέχρι την ολοκληρωτική πλήρωση του ανιχνευτή με αέριο μείγμα. Η διαδικασία εξαρτάται από τον συνολικό όγκο του θαλάμου καθώς και την στεγανότητα και ο χρόνος για το πλήρη γέμισμα του θαλάμου MDT με αέριο μείγμα ολοκληρώθηκε ύστερα από χρονικό διάστημα 45 λεπτών.
- **Leak** (Μπλε Περιοχή): Με την πάροδο του flushing καθίσταται η ισορροπία ενός του ανιχνευτή και αποτυπώνεται η σταθερή διαφορά των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου όπου συμπίπτει με την διαρροή του ανιχνευτή.
- **tare/Offset** (Κίτρινη Περιοχή): Με την αποθήκευση των δεδομένων των αισθητήρων της διαρροής αερίου, είμαστε σε θέση να μελετήσουμε το tare/offset των αισθητήρων ροής μάζας (MFS) εισόδου και εξόδου με την αλλαγή των βαλβίδων VA, V'A και VB στον κλάδο παράκαμψης.

Παρατηρείται επιπλέον μία ταλάντωση στην συμπεριφορά των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου που οφείλεται στην ύπαρξη προβλήματος με τον ρυθμιστή πίεσης της φιάλης αερίου.

Επομένως, έγινε η καταγραφή των δεδομένων στην περιοχή Leak και tare/Offset μέσω του συστήματος GTS με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση για την εύρεση της διαρροής του αερίου του ανιχνευτή MDT. Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν παράχθηκε το κοινό γράφημα που αποτυπώνει τις κατανομές της διαρροής καθώς και του offset όπως αποτυπώνεται στο Σχ. 8.9.

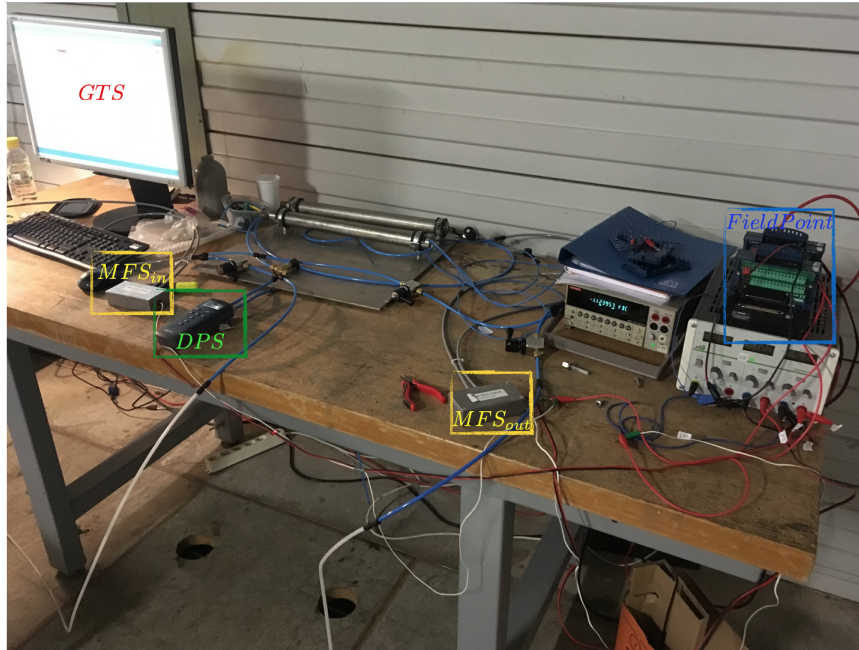


Σχήμα 8.9: Η ανάλυση των δεδομένων για τον καθορισμό της διαρροής του ανιχνευτή MDT με χρήση της μεθόδου FRL μέσω του GTS.

Με την ανάλυση των δεδομένων, η τελική διαρροή αερίου που μετρήθηκε ισούται με $Q_L = 0.17 \text{ L/h}$ με στατιστικό σφάλμα 0.1% και συστηματικό σφάλμα 5% σε πίεση ανιχνευτή ίση με $P = 3.12 \text{ mbar}$, αποτέλεσμα το οποίο δεν καθιστά τον ανιχνευτή πλήρως λειτουργικό καθώς είναι αναγκαία η συνεχής πλήρωση του με αέριο μείγμα.

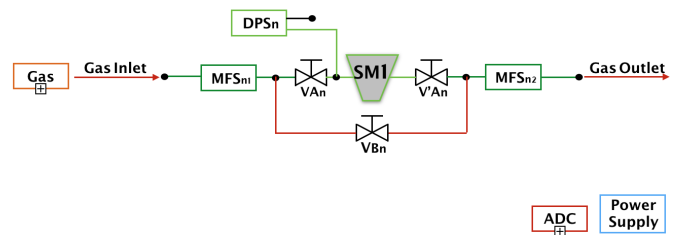
8.3 Μέτρηση διαρροής SM1-M0

Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού του 2017 πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της διαρροής ενός πρωτότυπου (Module 0) MM MP τύπου SM1 στο εργαστήριο BB5 του CERN. Στόχος ήταν η πρώτη μέτρηση της διαρροής ενός πειραματικού MM MP για την βελτίωση της κατασκευής των MM MPs στα production sites καθώς και μία πρώτη ευκαιρία ελέγχου του αυτόματου συστήματος ελέγχου GTS. Για την πραγματοποίηση της μέτρησης πραγματοποιήθηκε η κατασκευή ενός node της πειραματικής διάταξης που προτάθηκε για το BB5, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.10. Η διάταξη αποτελείται από τους δύο αισθητήρες ροής μάζας εισόδου και εξόδου, το διαφορικό μανόμετρο, την συσκευή FieldPoint και το τροφοδοτικό για την παροχή τάσης για την λειτουργία των αισθητήρων.



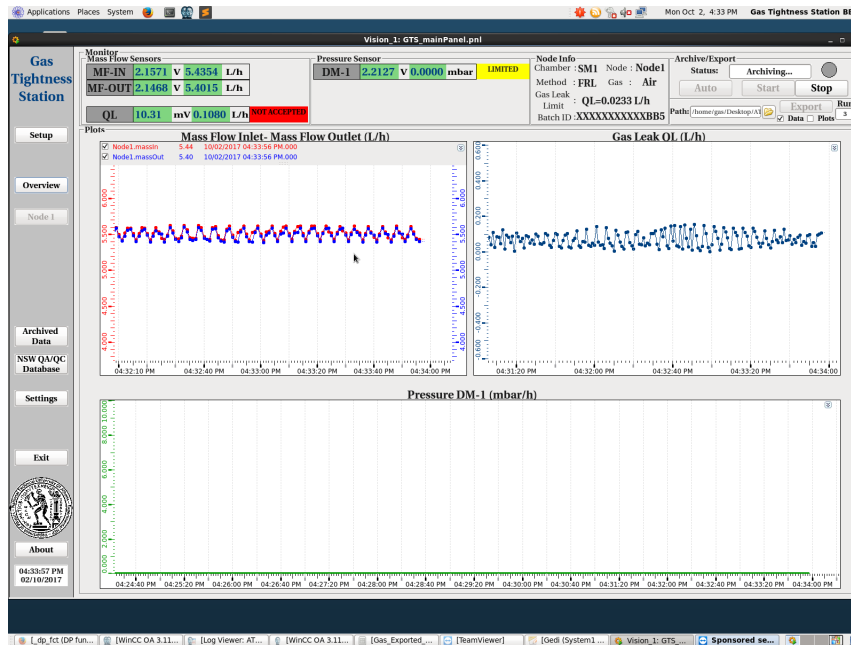
Σχήμα 8.10: Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου 1 Node. με την μέθοδο FRL στο BB5.

Στο παρακάτω Σχ. 8.11 αποτυπώνεται η εικόνα της διάταξης μαζί με τον SM1-M0 καθώς και η σχηματική αναπαράσταση της διάταξης αυτής για την ευκολότερη κατανόηση της αρχής λειτουργίας της.



Σχήμα 8.11: Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου του SM1-M0 με την μέθοδο FRL στο BB5 και η σχηματική της αναπαράσταση.

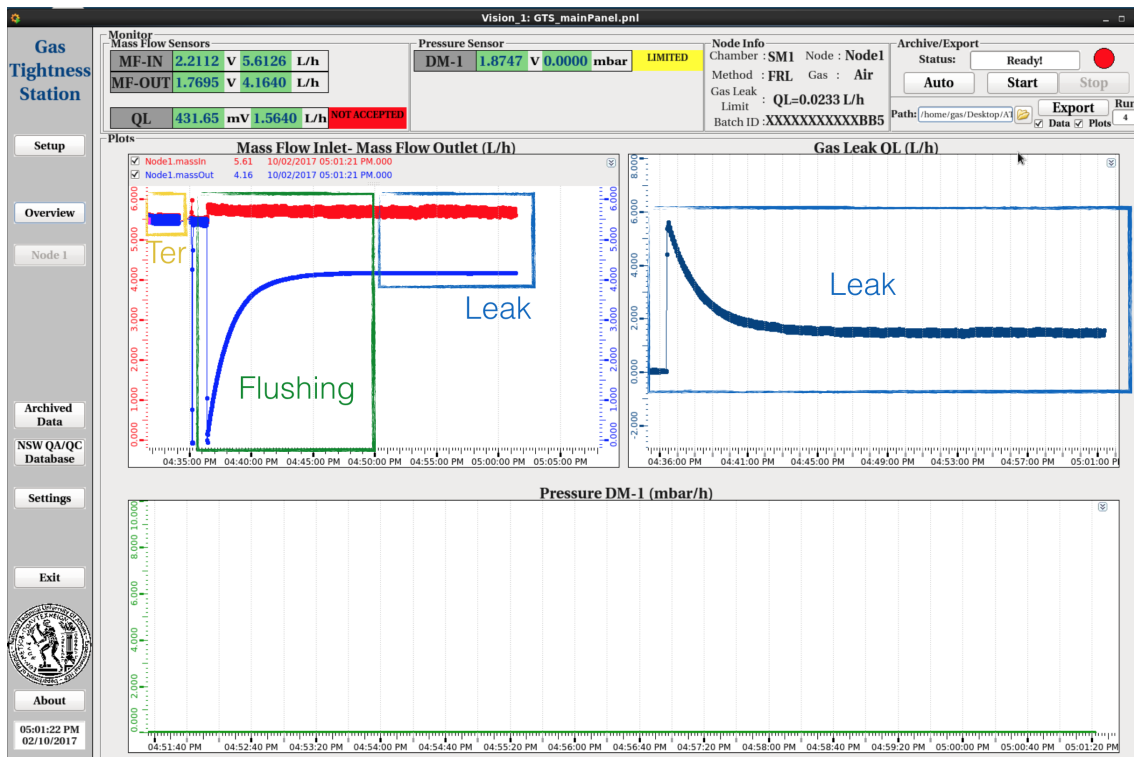
Πρωταρχικό βήμα αποτελεί η μέτρηση του offset των αισθητήρων MFS μέσα από το GTS, μέτρηση η οποία αποτυπώνεται στο Σχ. 8.12 όπου και υπολογίστηκε το offset στην τάξη των 10 mV με την ροή του αερίου μέσα από τον κλάδο παράκαμψης της διάταξης. Η τιμή αυτή κατοχυρώθηκε στο αντίστοιχο node 1 όπου πραγματοποιήθηκε η μέτρηση από την επιλογή Mass Flow Sensors Offset του Tab Settings.



Σχήμα 8.12: Μέτρηση του offset των αισθητήρων MFS για την μέθοδο FRL μέσω του GTS.

Με τον καθορισμό του offset των αισθητήρων, το σύστημα είναι έτοιμο για την μέτρηση της διαρροής του SM1-M0, μέτρηση η οποία πραγματοποιήθηκε με την χρήση δύο αερίων, αέρα και μείγματος Ar:CO₂ για την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας της διάταξης.

Η μέτρηση της διαρροής πραγματοποιήθηκε με την εναλλαγή των βαλβίδων VA, V'A και VB στον κλάδο διαρροής και την είσοδο του αέρα στο ανιχνευτή. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά ο αέρας με σκοπό την βελτιστοποίηση της ταχύτητας μέτρησης της διαρροής λόγω του πιθανού μεγάλου χρόνου flushing του SM1-M0 στην περίπτωση του μείγματος Ar:CO₂. Με χρήση του GTS έγινε η μελέτη της συμπεριφοράς του ανιχνευτή στην πορεία του χρόνου, όπου στο Σχ. 8.13 αποτυπώνονται οι διάφορες περιοχές συμπεριφοράς του.

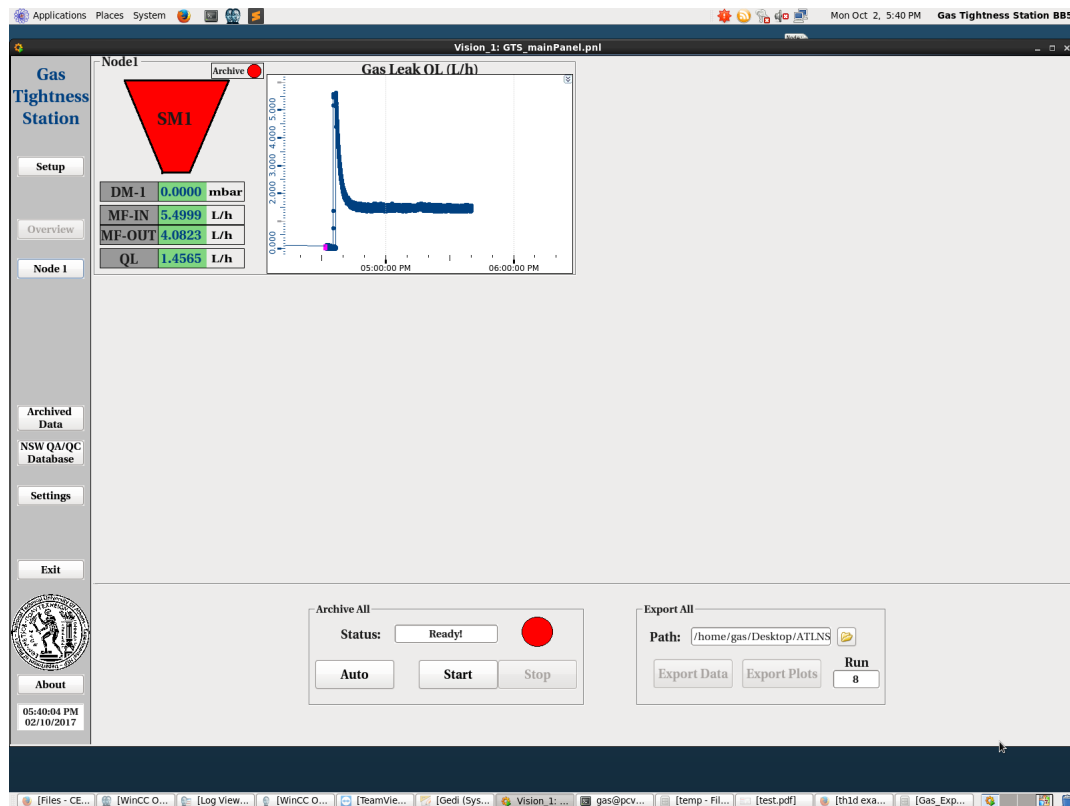


Σχήμα 8.13: Μέτρηση της διαρροής αερίου του ανιχνευτή SM1-M0 με την μέθοδο FRL μέσω του GTS.

Οι περιοχές που προκύπτουν από την καταγραφή των δεδομένων είναι οι παρακάτω:

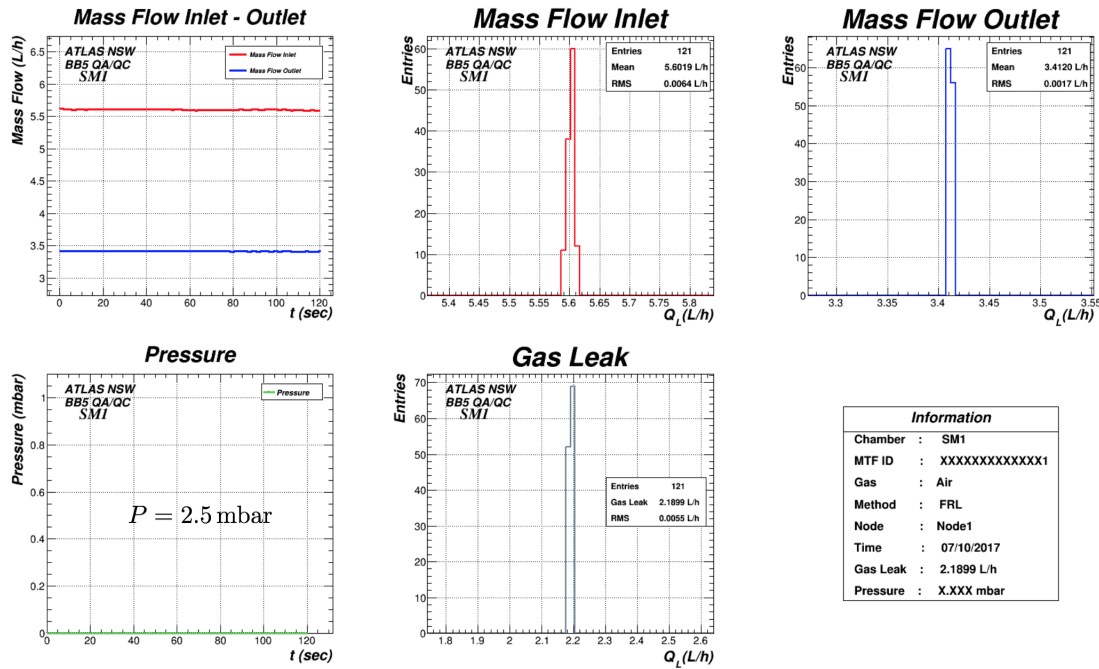
- **tare/Offset** (Κίτρινη Περιοχή): Με την αποθήκευση των δεδομένων των αισθητήρων της διαρροής αερίου, είμαστε σε θέση να μελετήσουμε το tare/offset των αισθητήρων ροής μάζας (MFS) εισόδου και εξόδου με την αλλαγή των βαλβίδων VA, V'A και VB στον κλάδο παράκαμψης.
- **Flushing** (Πράσινη Περιοχή): Με την είσοδο του αέρα στο εσωτερικό του ανιχνευτή SM1-M0 παρατηρείται flushing. Ωστόσο, η διαδικασία του flushing είναι πολύ γρηγορότερη σε σχέση με τον MDT λόγω της χρήσης του αέρα για την κάλυψη του SM1-M0.
- **Leak** (Μπλε Περιοχή): Με την πάροδο του flushing καθίσταται η ισορροπία ενός του ανιχνευτή και αποτυπώνεται η σταθερή διαφορά των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου όπου συμπίπτει με την διαρροή του ανιχνευτή.

Απευθείας μέσω του alarm NOT ACCEPTED του GTS μπορούμε να πληροφορηθούμε για το εάν ο ανιχνευτής βρίσκεται εντός του ορίου διαρροής όπου για τον SM1-M0 ισούται με $Q_L = 0.0233 \text{ L/h}$. Ωστόσο, στο γράφημα της πίεσης, δεν φαίνεται μεταβολή της πίεσης λόγω της σύνδεσης ψηφιακού διαφορικού μανόμετρου αντί για τον αισθητήρα πίεσης που παρέχει αναλογική τάση εξόδου. Επιπλέον, μέσα από την επιλογή Tab Overview μπορεί να γίνει γενική επισκόπηση των ανιχνευτών της πειραματικής διάταξης όπου στην διάταξη μας έχουμε μόνο έναν SM1-M0, αποτυπώνεται το σχήμα του ανιχνευτή, η καταγραφή της απευθείας διαρροής του θαλάμου και οι τιμές των αισθητήρων καθώς και μέσω του χρώματος μπορούμε να πληροφορηθούμε άμεσα ότι ο θάλαμος δεν μπορεί να θεωρηθεί εντός των επιτρεπτών ορίων όπως φαίνεται στο Σχ. 8.14.

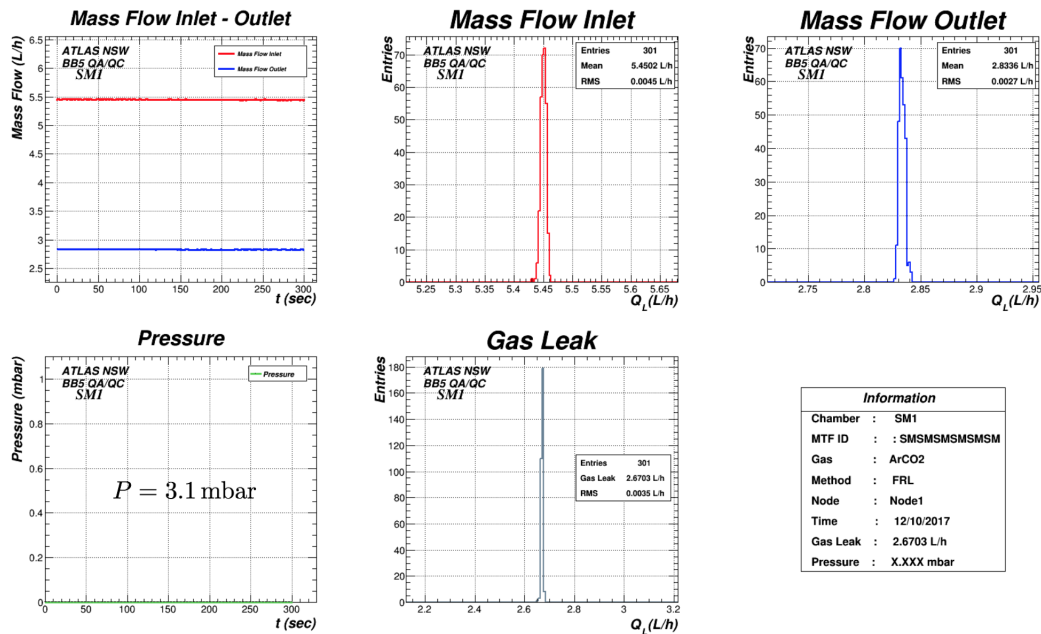


Σχήμα 8.14: Παρακολούθηση της διαρροής αερίου του ανιχνευτή SM1-M0 με την μέθοδο FRL μέσω της επιλογής Overview του GTS.

Με την σταθεροποίηση της διαρροής, δηλαδή της συμπεριφοράς των αισθητήρων ροής μάζας, το σύστημα είναι έτοιμο να καταγράψει και αποθηκεύσει τα δεδομένα των αισθητήρων καθώς και να παράξει τα γραφήματα που θα αποτελούν την τελική ανάλυση της διαρροής μέσα από τις επιλογές του πλαισίου Archive/Export του Σχ.8.13. Τα τελικά γραφήματα της μέτρησης της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL για δύο διαφορετικά αέρα αποτυπώνονται στα Σχ. 8.15 και Σχ. 8.16 .



Σχήμα 8.15: Αυτοματοποιημένη ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης για αέρα.



Σχήμα 8.16: Αυτοματοποιημένη ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης για μείγμα Ar:C02.

Στα παραπάνω γραφήματα, αποτυπώνεται η αναλυτική πληροφορία των αισθητήρων καθώς και η αναλυτική πληροφορία της πειραματικής διάταξης. Από το ιστόγραμμα του Gas Leak, μπορεί να εξαχθεί το αποτέλεσμα της διαρροής αερίου μαζί με το RMS της τιμής του. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει την πληροφορία για την διαρροή του SM1-M0 για τα δύο αέρια, με χρόνο μέτρησης τα 5 λεπτά: Παρατηρούμε την διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων της διαρροής που οφείλεται στις διαφορετικές πιέσεις

Αέριο	Διαρροή Q_L (L/h)	RMS (L/h)	Πίεση (mbar)
Αέρας	2.19	0.0055	2.5
Μείγμα Ar:C02	2.67	0.0035	3.1

που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Ωστόσο, με κανονικοποίηση μπορεί να δοθεί το τελικό αποτέλεσμα της διαρροής του

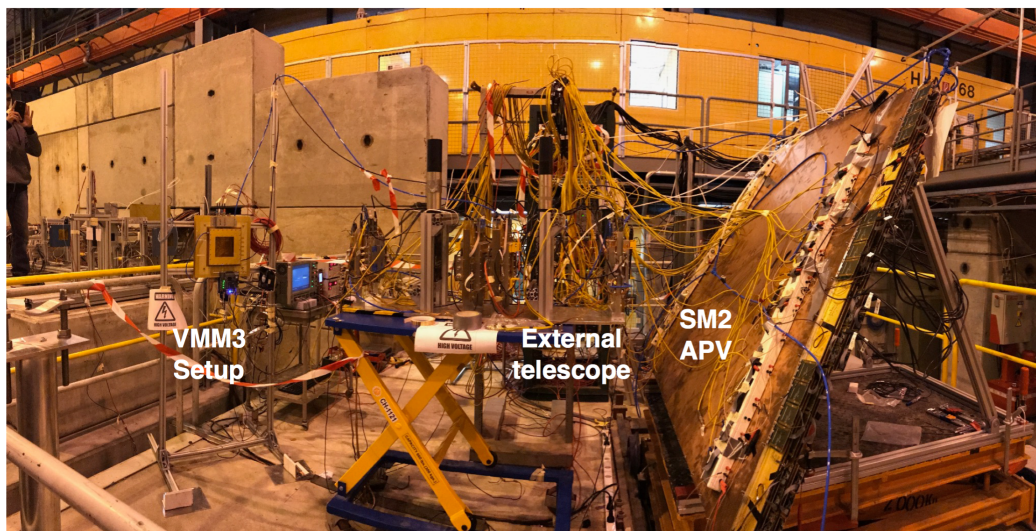
SM1-M0 σε πίεση ίση με 3 mbar:

$$Q_L = 2.580 \pm 0.003 \text{ L/h}$$

Το όριο διαρροής του SM1-M0 ισούται με 0.0233 L/h για πίεση ίση με 3 mbar, με αποτέλεσμα ο υπό εξέταση ανιχνευτής SM1-M0 να είναι 100 φορές περίπου παραπάνω από το όριο που έχει καθοριστεί. Συνεπώς, μπορούμε εύκολα να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο συγκεκριμένος SM1-M0 δεν μπορεί να καταστεί ως στεγανός καθώς και λειτουργικός για την χρήση του στον New Small Wheel του πειράματος ATLAS.

8.4 Μέτρησης διαρροής SM2-M0

Τον Αύγουστο του 2017 πραγματοποιήθηκε TestBeam με δοκιμαστική δέσμη πιονίων στην περιοχή H8C του Prevešin του CERN, σκοπός του οποίου ήταν η μελέτη των ηλεκτρονικών VMM τύπου ASIC καθώς και της χωρικής διακριτικής ικανότητας του MM-MP τύπου SM2 με χρήση των ηλεκτρονικών APV25. Η διάταξη αποτελείται από 1 TLP και έναν TMM Micromegas Chamber εξοπλισμένοι με 2 κάρτες MMFE1, διάφορους Micromegas τύπου GEM και TMM που χρησιμοποιούνταν ως εξωτερικό τηλεσκόπιο καθώς και τον MM MP SM2 εξοπλισμένο με ηλεκτρονικά τύπου APV25, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.17.



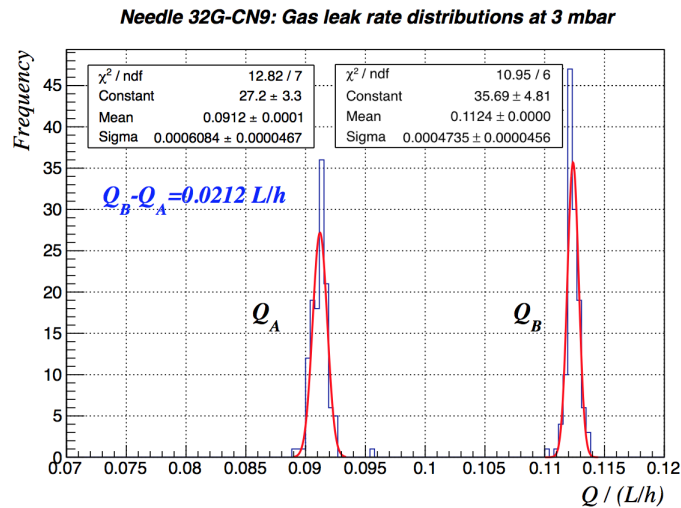
Σχήμα 8.17: Η διάταξη του TestBeam του Αυγούστου 2017 στην περιοχή H8C του Prevešin του CERN.

Για την βέλτιστη λειτουργία και απόδοση του SM2-M0 τέθηκε το ερώτημα της διαρροής αερίου με σκοπό την σωστή ρύθμιση της παροχής του με αέριο μείγμα Ar:CO₂. Για τον σκοπό αυτόν, χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη του BB5 για την μέτρηση της διαρροής με την μέθοδο FRL.

Πρωταρχικός σκοπός της μέτρησης ήταν η βαθμονόμηση της πειραματικής διάταξης ώστε να βρεθεί ο παράγοντας μετατροπής F_{gas} για την περίπτωση του μείγματος. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η ιατρική βελόνα 32G CN9 για τον καθορισμό του παράγοντα. Η μέτρηση της του offset και της διαρροής της βελόνας που έγινε καταγράφηκε στον παρακάτω πίνακα:

Αέριο	ΔV_{gas} (mV)	ΔV_{gas}^{tare} (mV)	Παράγοντας μετατροπής F_{gas}	Πίεση (mbar)
Αέρας	12.2	5	0.00328	3.3
Μείγμα Ar:CO ₂	25.29	18.49	0.00447	3.3

Πίνακας 8.3: Βαθμονόμηση πειραματικής διάταξη με χρήση της βελόνας 32G CN9.



Σχήμα 8.18: Βαθμονόμηση πειραματικής διάταξης με χρήση της βελόνας 32G CN9.

Με την βαθμονόμηση της πειραματικής διάταξης, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της διαρροής αερίου του SM2-M0 και καταχωρήθηκαν στον παρακάτω πίνακα:

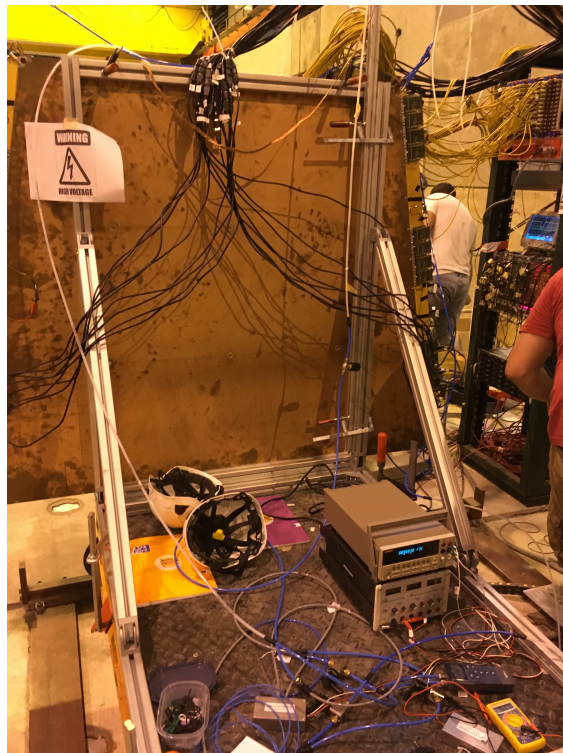
Αέριο	ΔV_{gas} (mV)	ΔV_{gas}^{tare} (mV)	Πίεση (mbar)
Μείγμα Ar:CO2	82.4	14.4	3.0

Πίνακας 8.4: Μέτρηση της διαρροής αερίου του SM2-M0 με χρήση της μεθόδου FRL.

Συνεπώς, η τελική διαρροή του SM2-M0 συνολικού όγκου 43.2 L ισούται με:

$$Q_L = 0.30 \pm 0.03 \text{ L/h}$$

Τιμή η οποία είναι 11.9 φορές μεγαλύτερη από το όριο του SM2 (0.0233 L/h) και καθιστά τον ανιχνευτή λειτουργικό με την συνεχή πλήρωση του με αέριο μείγμα.



Σχήμα 8.19: Η διάταξη για τη μέτρηση της διαρροής του SM2-M0 με την μέθοδο FRL.

Παράρτημα A

Το παράρτημα αυτό περιλαμβάνει δείγμα κώδικα για την ανάλυση με το πρόγραμμα Root Data Analysis Framework που έγινε για την αυτόματη ανάλυση των δεδομένων από το Gas Tightness Station.

```
1 {
2
3   int number_of_lines1=0;
4   int events;
5   string line1;
6   ifstream myfile1("temp.dat");
7   //ifstream myfile1("run_11.dat");
8
9   gROOT->SetBatch(kTRUE);
10
11   vector<string> ar1;
12
13
14   while (getline(myfile1, line1))
15   {
16       ++number_of_lines1;
17       ar1.push_back(line1);
18   }
19
20   int entries1= number_of_lines1-1;
21
22   // cout << "Number of entries in file data1: "<< events<<endl;
23
24   int counter=0;
25
26   for(int i=0;i<=entries1;i++)
27   {
28       if(ar1[i]==" ")
29       {
30           counter++;
31       }
32   }
33
34   }
35
36   int numberOfNodes=counter/2;
37   events=number_of_lines1-numberOfNodes*4;
38
39   int numberOfLinesPerNode=events/numberOfNodes;
40   int nodeCounter=0;
41   double massInlet[entries1],massOutlet[entries1],gasLeak[entries1],pressure[entries1];
42
43
44   // cout<<"numberOfLinesPerNode—> "<<numberOfLinesPerNode<<endl;
45
46   // cout<<" number of Nodes—>" "<<numberOfNodes<<endl;
47
48
49
50   TMultiGraph **multigraphInletOutlet;
51   TLatex **tt4;
52   TLatex **tt5;
53   TLatex **tt6;
54
55
```



```

56 multigraphInletOutlet=new TMultiGraph*[numberOfNodes];
57 tt4 =new TLatex*[numberOfNodes];
58 tt5 =new TLatex*[numberOfNodes];
59 tt6 =new TLatex*[numberOfNodes];
60
61 for (int i=0;i<numberOfNodes;i++)
62 {
63
64     int infoLine=(numberOfLinesPerNode+4);
65     // cout<<" Line of Node ->"<<infoLine<<endl;
66
67
68
69
70     std::string node = ar1[infoLine*i].substr(6,5);
71     std::string chamber = ar1[infoLine*i].substr(26,3);
72     std::string method = ar1[infoLine*i].substr(45,3);
73     std::string gas = ar1[infoLine*i].substr(61,5);
74     std::string offset = ar1[infoLine*i].substr(80,5);
75     std::string batchID = ar1[infoLine*i].substr(104,14);
76
77     std::string time = ar1[infoLine*i+3].substr(0,10);
78
79     //cout<<batchID<<endl;
80
81
82 /*
83     cout<<node<<endl;
84     cout<<chamber<<endl;
85     cout<<method<<endl;
86     cout<<gas<<endl;
87     cout<<offset<<endl;
88     cout<<time<<endl;
89     cout<<batchID<<endl;
90
91 */
92
93     int maxGasLeak = 0;
94     int minGasLeak = 0;
95     int minInlet = 0;
96     int maxInlet = 0;
97     int minOutlet = 0;
98     int maxOutlet = 0;
99
100
101
102 for (int k=0;k<numberOfLinesPerNode;k++)
103 {
104     massInlet[k]=0;
105     massOutlet[k]=0;
106     gasLeak[k]=0;
107     pressure[k]=0;
108     std::string massInletString = ar1[infoLine*i+k+3].substr(22,7);
109     // cout<<ar1[infoLine*i+k+3]<<endl;
110     std::string massOutletString = ar1[infoLine*i+k+3].substr(32,7);
111     std::string gasLeakString = ar1[infoLine*i+k+3].substr(42,7);
112     std::string pressureString = ar1[infoLine*i+k+3].substr(52,7);
113
114     massInlet[k] = atof(massInletString.c_str());
115     massOutlet[k] = atof(massOutletString.c_str());
116     gasLeak[k] = atof(gasLeakString.c_str());
117     pressure[k] = atof(pressureString.c_str());
118
119     //cout<<pressure[k]<<endl;
120
121
122     if (gasLeak[k]>gasLeak[maxGasLeak])
123     { maxGasLeak=k;}
124
125     if (gasLeak[k]<gasLeak[minGasLeak])
126     { minGasLeak=k;}
127
128     if (massInlet[k]>massInlet[maxInlet])
129     {
130         maxInlet=k;

```

```

131     }
132     if (massInlet[k]<massInlet[ minInlet ])
133     {
134         minInlet=k;
135     }
136
137     if (massOutlet[k]<massOutlet[ minOutlet ])
138     {
139         minOutlet=k;
140     }
141
142     if (massOutlet[k]>massOutlet[ maxOutlet ])
143     {
144         maxOutlet=k;
145     }
146
147
148
149     // total<<std::setprecision(13)<<gasLeak[i]<<" "<<result2[i]<<endl;
150
151
152
153
154     }
155     // cout<<"Max Inlet → "<<massInlet[maxInlet]<<" Min outlet → "<<massOutlet[minOutlet]<<endl;
156     //cout<<"-----"<<endl;
157
158
159
160     char nodeLatex[5], chamberLatex[3], gasLatex[5], methodLatex[3], timeLatex[10], batchIDLatex[14];
161     sprintf(nodeLatex, "%s", "");
162     sprintf(chamberLatex, "%s", "");
163     sprintf(gasLatex, "%s", "");
164     sprintf(methodLatex, "%s", "");
165     sprintf(timeLatex, "%s", "");
166     sprintf(batchIDLatex, "%s", "");
167
168
169
170     sprintf(nodeLatex, "%s", node.c_str());
171     sprintf(chamberLatex, "%s", chamber.c_str());
172     sprintf(gasLatex, "%s", gas.c_str());
173     sprintf(methodLatex, "%s", method.c_str());
174     sprintf(timeLatex, "%s", time.c_str());
175     sprintf(batchIDLatex, "%s", batchID.c_str());
176
177
178
179     // cout<<batchIDLatex<<endl;
180
181     double timeCount[entries1];
182     double counterTime=0.0;
183
184
185
186
187
188
189     // TCanvas *massInletCanvas=new TCanvas("massInletCanvas", "massInletCanvas", 400, 400);
190     // massInletCanvas.SetGrid();
191
192
193     multigraphInletOutlet[i]=new TMultiGraph();
194
195     // TMultiGraph *multigraphInletOutlet = new TMultiGraph();
196     for(int z=0; z<events; z++)
197     {
198         timeCount[z]=0;
199         timeCount[z]=timeCount[z]+counterTime;
200         counterTime=counterTime+1.0;
201     }
202
203     TCanvas *monitorFRL=new TCanvas(Form("MonitorFRL_%i", i+1), Form("MonitorFRL_%i", i+1), 1650, 1000);
204     monitorFRL->Divide(3, 2);
205

```

```

206 // ----- MASS FLOW SENSORS MULTIGRAPH -----
207
208
209
210 TGraph *massInletGraph = new TGraphErrors(numberOfLinesPerNode, timeCount, massInlet);
211 massInletGraph->SetMarkerColor(1);
212 massInletGraph->SetMarkerStyle(20);
213 massInletGraph->SetMarkerSize(0.2);
214 massInletGraph->SetFillStyle(22);
215 massInletGraph->SetLineWidth(3);
216 massInletGraph->SetFillColor(0);
217 massInletGraph->SetLineColor(2);
218 massInletGraph.SetTitle("Mass Flow Inlet");
219
220     multigraphInletOutlet[i]->Add(massInletGraph);
221
222 TGraph *massOutletGraph = new TGraphErrors(numberOfLinesPerNode, timeCount, massOutlet);
223 massOutletGraph->SetMarkerColor(1);
224 massOutletGraph->SetMarkerStyle(22);
225 massOutletGraph->SetMarkerSize(0.2);
226 massOutletGraph->SetFillStyle(0);
227 massOutletGraph->SetLineWidth(3);
228 massOutletGraph->SetFillColor(0);
229 massOutletGraph->SetLineColor(4);
230 massOutletGraph.SetTitle("Mass Flow Outlet");
231
232     multigraphInletOutlet[i]->Add(massOutletGraph);
233
234     monitorFRL->cd(1);
235     gPad->SetGrid();
236     gPad->SetTickx();
237     gPad->SetTicky();
238
239
240
241
242     multigraphInletOutlet[i]->Draw("APL");
243
244     multigraphInletOutlet[i].SetTitle("#scale[1.1]{#font[72]{#scale[1.2]{Mass Flow Inlet - Outlet}}}");
245     multigraphInletOutlet[i].GetXaxis().SetTitle("#scale[1.4]{#font[72]{t (sec)}}");
246     multigraphInletOutlet[i].GetYaxis().SetTitle("#scale[1.4]{#font[72]{Mass Flow (L/h)}}");
247
248
249
250     auto legend = new TLegend(0.6,0.77,0.87,0.87);
251     legend->AddEntry(massInletGraph, "#scale[1.]{#font[72]{Mass Flow Inlet}}");
252     legend->AddEntry(massOutletGraph, "#scale[1.]{#font[72]{Mass Flow Outlet}}");
253     legend->Draw();
254
255
256     tt4[i] = new TLatex();
257     tt4[i].SetNDC(kTRUE);
258     tt4[i].SetTextFont(32);
259
260
261     tt5[i] = new TLatex();
262     tt5[i].SetNDC(kTRUE);
263     tt5[i].SetTextFont(32);
264
265     tt6[i] = new TLatex();
266     tt6[i].SetNDC(kTRUE);
267     tt6[i].SetTextFont(32);
268
269     tt4[i].DrawLatex(0.15, 0.84, "#scale[0.8]{#font[72]{ATLAS NSW}}");
270     tt5[i].DrawLatex(0.15, 0.80, "#scale[0.8]{#font[72]{BB5 QA/QC}}");
271     tt6[i].DrawLatex(0.19, 0.76, chamberLatex);
272
273
274     if (massOutlet[minOutlet]<massInlet[maxInlet])
275     {
276     multigraphInletOutlet[i]->GetYaxis().SetRangeUser(massOutlet[minOutlet]-massOutlet[minOutlet]/5, massInlet[
277     maxInlet]+massInlet[maxInlet]/5.0);
278     }
279     if (massOutlet[minOutlet]>massInlet[maxInlet])
280     {

```

```

280         multigraphInletOutlet [ i ]->GetYaxis () .SetRangeUser (massInlet [ maxInlet ]-massInlet [ maxInlet ]/25,massOutlet
[ minOutlet ]+massOutlet [ minOutlet ]/15);
281     }
282     multigraphInletOutlet [ i ]. GetYaxis ()->SetTitleOffset (1.4);
283
284
285
286
287     // ----- MASS FLOW INLET HISTOGRAM -----
288
289     monitorFRL->cd (2);
290     gPad->SetGrid ();
291     gPad->SetTickx ();
292     gPad->SetTicky ();
293     // gStyle->SetOptStat (1);
294
295
296     TH1D *massInletGraphHisto=new TH1D(Form("Inlet_%i", i+1),
297                                     "#scale[1.4]{#font[72]}{#scale[1.2]}{Mass Flow Inlet}};#scale[1.4]{#font
[72]}{Q_{L}(L/h)};#scale[1.4]{#font[72]}{Entries}" ,numberOfLinesPerNode/2,massInlet [ minInlet ]-massInlet [
minInlet ]/25,massInlet [ maxInlet ]+massInlet [ maxInlet ]/25);
298         for (int h=0;h<numberOfLinesPerNode;h++)
299             {
300                 massInletGraphHisto->Fill (massInlet [h]);
301             }
302         massInletGraphHisto.Draw ();
303         massInletGraphHisto.SetLineColor (2);
304         massInletGraphHisto.SetLineWidth (2);
305
306
307         double mean=0,rms=0;
308
309         mean=massInletGraphHisto->GetMean ();
310         rms=massInletGraphHisto->GetRMS ();
311
312         TPaveText *pt = new TPaveText (.60,.73,.89,.88,"bNDC");
313         pt->AddText (Form ("#scale[1.8]{Entries           %i}" ,numberOfLinesPerNode));
314         pt->AddText (Form ("#scale[1.8]{Mean           %0.4f L/h}" ,mean));
315         pt->AddText (Form ("#scale[1.8]{RMS           %0.4f L/h}" ,rms));
316         pt->SetTextAlign (12);
317         pt->SetFillColor (0);
318         pt->SetBorderSize (1);
319
320         pt.Draw ();
321         tt4 [ i ] = new TLatex ();
322         tt4 [ i ].SetNDC (kTRUE);
323         tt4 [ i ].SetTextFont (32);
324
325
326         tt5 [ i ] = new TLatex ();
327         tt5 [ i ].SetNDC (kTRUE);
328         tt5 [ i ].SetTextFont (32);
329
330         tt6 [ i ] = new TLatex ();
331         tt6 [ i ].SetNDC (kTRUE);
332         tt6 [ i ].SetTextFont (32);
333
334         tt4 [ i ].DrawLatex (0.15, 0.84,"#scale[0.8]{#font[72]}{ATLAS NSW}");
335         tt5 [ i ].DrawLatex (0.15, 0.80,"#scale[0.8]{#font[72]}{BB5 QA/QC}");
336         tt6 [ i ].DrawLatex (0.19, 0.76,chamberLatex);
337         massInletGraphHisto.GetXaxis ()->SetTitleOffset (1.2);
338
339
340     // ----- MASS FLOW OUTLET HISTOGRAM -----
341     monitorFRL->cd (3);
342
343     gPad->SetGrid ();
344     gPad->SetTickx ();
345     gPad->SetTicky ();
346     //gStyle->SetOptStat (1);
347
348
349     TH1D *massOutelGraphHisto=new TH1D(Form("Outlet_%i", i+1),
350                                     "#scale[1.4]{#font[72]}{#scale[1.2]}{Mass Flow Outlet}};#scale[1.4]{#font
[72]}{Q_{L}(L/h)};#scale[1.4]{#font[72]}{Entries}" ,numberOfLinesPerNode/2,massOutlet [ minOutlet ]-massOutlet [

```

```

minOutlet]/25,massOutlet [maxOutlet]+massOutlet [maxOutlet]/25);
351
352
353
354     for (int h=0;h<numberOfLinesPerNode;h++)
355     {
356         massOutelGraphHisto->Fill (massOutlet [h] );
357     }
358     massOutelGraphHisto.Draw () ;
359     massOutelGraphHisto.SetLineColor (4) ;
360     massOutelGraphHisto.SetLineWidth (2) ;
361
362     double mean=0,rms=0;
363
364
365     mean=massOutelGraphHisto->GetMean () ;
366     rms=massOutelGraphHisto->GetRMS () ;
367
368     TPaveText *pt = new TPaveText (.60,.73,.89,.88, "bNDC" );
369     pt->AddText (Form ("#scale [1.8]{Entries          %i" ,numberOfLinesPerNode) );
370     pt->AddText (Form ("#scale [1.8]{Mean          %0.4f L/h" ,mean) );
371     pt->AddText (Form ("#scale [1.8]{RMS          %0.4f L/h" ,rms) );
372     pt->SetTextAlign (12) ;
373     pt->SetFillColor (0) ;
374     pt->SetBorderSize (1) ;
375
376
377     pt.Draw () ;
378
379     tt4 [i] = new TLatex () ;
380     tt4 [i].SetNDC (kTRUE) ;
381     tt4 [i].SetTextFont (32) ;
382
383
384     tt5 [i] = new TLatex () ;
385     tt5 [i].SetNDC (kTRUE) ;
386     tt5 [i].SetTextFont (32) ;
387
388     tt6 [i] = new TLatex () ;
389     tt6 [i].SetNDC (kTRUE) ;
390     tt6 [i].SetTextFont (32) ;
391
392     tt4 [i].DrawLatex (0.15, 0.84, "#scale [0.8]{# font [72]{ATLAS NSW} " );
393     tt5 [i].DrawLatex (0.15, 0.80, "#scale [0.8]{# font [72]{BB5 QA/QC} " );
394     tt6 [i].DrawLatex (0.19, 0.76, chamberLatex) ;
395     massOutelGraphHisto.GetAxis ()->SetTitleOffset (1.2) ;
396
397
398
399
400     // ----- PRESSURE GRAPH -----
401
402
403     monitorFRL->cd (4) ;
404
405
406
407     TGraph *pressureGraph = new TGraphErrors (numberOfLinesPerNode, timeCount, pressure) ;
408
409     pressureGraph.GetAxis ()->SetTitleOffset (1.25) ;
410
411     pressureGraph->SetMarkerColor (1) ;
412     pressureGraph->SetMarkerStyle (34) ;
413     pressureGraph->SetMarkerSize (0.2) ;
414     pressureGraph->SetFillStyle (22) ;
415     pressureGraph->SetLineWidth (3) ;
416     pressureGraph->SetFillColor (0) ;
417     pressureGraph->SetLineColor (8) ;
418     pressureGraph.SetTitle ("Pressure" );
419
420
421     pressureGraph.Draw ("APL" );
422
423     pressureGraph.SetTitle ("#scale [1.1]{# font [72]{# scale [1.2]{Pressure} } " );
424     pressureGraph.GetAxis () .SetTitle ("#scale [1.4]{# font [72]{t (sec) } " );

```

```

425 pressureGraph.GetAxis().SetTitle("#scale[1.4]{#font[72]{Pressure (mbar)}}");
426
427 pressureGraph.GetAxis()->SetTitleOffset(1.4);
428
429 auto legend = new TLegend(0.7,0.82,0.87,0.87);
430 legend->AddEntry(pressureGraph, "#scale[1.]{#font[72]{Pressure}}");
431 legend->Draw();
432
433 gPad->SetGrid();
434 gPad->SetTickx();
435 gPad->SetTicky();
436
437
438 tt4[i] = new TLatex();
439 tt4[i].SetNDC(kTRUE);
440 tt4[i].SetTextFont(32);
441
442 tt5[i] = new TLatex();
443 tt5[i].SetNDC(kTRUE);
444 tt5[i].SetTextFont(32);
445
446 tt6[i] = new TLatex();
447 tt6[i].SetNDC(kTRUE);
448 tt6[i].SetTextFont(32);
449
450 tt4[i].DrawLatex(0.15, 0.84, "#scale[0.8]{#font[72]{ATLAS NSW}}");
451 tt5[i].DrawLatex(0.15, 0.80, "#scale[0.8]{#font[72]{BBS QA/QC}}");
452 tt6[i].DrawLatex(0.19, 0.76, chamberLatex);
453
454
455 // ----- GAS LEAK HISTOGRAM -----
456
457
458 monitorFRL->cd(5);
459
460
461 TH1D *gasLeakGraph=new TH1D(Form("Gas Leak_%i", i+1),
462 "#scale[1.4]{#font[72]{#scale[1.2]{Gas Leak}}}; #scale[1.4]{#font[72]{Q_{L}(L/h)}}; #scale
463 [1.4]{#font[72]{Entries}}", numberOfLinesPerNode/2,
464 gasLeak[minGasLeak]-gasLeak[minGasLeak]/5, gasLeak[maxGasLeak]+gasLeak[maxGasLeak]/5);
465
466 // gasLeakGraph->SetBit(TH1D::kCanRebin);
467 gasLeakGraph.GetAxis()->SetTitleOffset(1.4);
468
469
470 for(int h=0;h<numberOfLinesPerNode;h++)
471 {
472 gasLeakGraph->Fill(gasLeak[h]);
473 }
474
475 gasLeakGraph.SetLineColor(36);
476 gasLeakGraph.SetLineWidth(2);
477 gPad->SetGrid();
478 gPad->SetTickx();
479 gPad->SetTicky();
480
481
482
483 gasLeakGraph.Draw();
484
485
486 tt4[i] = new TLatex();
487 tt4[i].SetNDC(kTRUE);
488 tt4[i].SetTextFont(32);
489
490
491 tt5[i] = new TLatex();
492 tt5[i].SetNDC(kTRUE);
493 tt5[i].SetTextFont(32);
494
495 tt6[i] = new TLatex();
496 tt6[i].SetNDC(kTRUE);
497 tt6[i].SetTextFont(32);
498

```

```

499 tt4[i].DrawLatex(0.15, 0.84, "#scale[0.8]{#font[72]{ATLAS NSW}}");
500 tt5[i].DrawLatex(0.15, 0.80, "#scale[0.8]{#font[72]{BB5 QA/QC}}");
501 tt6[i].DrawLatex(0.19, 0.76, chamberLatex);
502
503 gStyle->SetOptStat(0);
504
505 gasLeakGraph.GetYaxis()->SetTitleOffset(1.4);
506
507
508 double mean=0,rms=0;
509
510 mean=gasLeakGraph->GetMean();
511 rms=gasLeakGraph->GetRMS();
512
513 TPaveText *pt = new TPaveText(.60,.43,.88,.58, "bNDC");
514 pt->AddText(Form("#scale[1.5]{Entries          %i}", numberOfLinesPerNode));
515 pt->AddText(Form("#scale[1.5]{Gas Leak          %0.4f L/h}", mean));
516 pt->AddText(Form("#scale[1.5]{RMS              %0.4f L/h}", rms));
517 pt->SetTextAlign(12);
518 pt->SetFillColor(0);
519 pt->SetBorderSize(1);
520
521
522 pt.Draw();
523
524 // ----- INFO -----
525
526 monitorFRL->cd(6);
527
528
529 TPaveText *info = new TPaveText(0.2,0.2,0.8,0.8, "bNDC");
530 info->AddText("#scale[1.2]{#font[72]{          Information}}");
531 info->AddLine(.0,.87,1,.87);
532 info->AddText(Form("Chamber      :      %s", chamberLatex));
533 info->AddText(Form("MIF ID       :      %s", batchIDLatex));
534 info->AddText(Form("Gas         :      %s", gasLatex));
535 info->AddText(Form("Method      :      %s", methodLatex));
536 info->AddText(Form("Node        :      %s", nodeLatex));
537 info->AddText(Form("Time       :      %s", timeLatex));
538 info->AddText(Form("Gas Leak   :      %0.4f L/h", mean));
539 info->AddText(Form("Pressure  :      %0.5s mbar", "X.XXX"));
540
541
542 info->SetTextAlign(12);
543 info->SetFillColor(0);
544 info->SetBorderSize(1);
545
546
547 info.Draw();
548
549 monitorFRL.SaveAs("test.png");
550
551
552 }
553
554
555
556
557
558
559
560 }

```

Παράρτημα Β

Το παράρτημα αυτό περιλαμβάνει δείγμα κώδικα για τον σχεδιασμό του συστήματος Gas Tightness Station στον WinCC-OA.

```
1 main()
2 {
3
4
5
6 // — FRL Pre-check Nodes
7
8 for (int i=1;i<=4;i++)
9 {
10     shape massList=getShape("massListN"+i);
11     shape pressureList=getShape("pressureListN"+i);
12     if (massList.lineCount()<2 || pressureList.lineCount()<1)
13     {
14         dpSet("Node"+i+".Enabled",FALSE);
15     }
16
17
18 }
19
20
21
22 bool enabled;
23 int enabledNodes=4;
24 int countNodes=0;
25 dyn_string finalArchivedAll;
26
27 bool isMtfIDRight=TRUE;
28 for (int i=1;i<=enabledNodes;i++)
29 {
30     dpGet("Node"+i+".Enabled",enabled);
31     if (enabled)
32     {
33         shape mtfBatchShape=getShape("idFieldN"+i);
34         string mtfBatchId=mtfBatchShape.text();
35         int mftLength=strlen(mtfBatchId);
36
37         if (mftLength!=14)
38         {
39
40             isMtfIDRight=FALSE;
41             mtfBatchShape.backCol("red");
42
43         }
44     }
45 }
46
47
48 //// ***** FRL ***** //////////////////////////////////—————
49 if (FRL_Button.enabled==FALSE && isMtfIDRight==TRUE)
50 {
51
52     this.text("Saving ...");
53     this.enabled (FALSE); //
54
55     addSymbol(myModuleName(),myPanelName(),"shadow.pnl","shadow",
56             makeDynString(),0,0,1,1,1);
```



```

57
58 bool enabled;
59 int enabledNodes=4;
60 int countNodes=0;
61 dyn_string finalArchivedAll;
62 for (int i=1;i<=enabledNodes;i++)
63 {
64     dpGet("Node"+i+".Enabled",enabled);
65     if(enabled)
66     {
67
68         string node="Node"+i;
69
70         dyn_string massFlowSensors,pressureSensors;
71
72
73
74         //string gas="Air";
75         string gas;
76         string nodeAlias;
77         string method;
78
79         if(node=="Node"+i)
80         {
81             nodeAlias="N"+i;
82         }
83
84         // ----- Method Setup -----
85
86         dpSet(node+".method","FRL");
87
88         // --- Gas Setup
89
90         if(airButton.enabled==FALSE)
91         {
92             dpSet(node+".gas","Air");
93             gas="Air";
94         }
95         if(argonButton.enabled==FALSE)
96         {
97             dpSet(node+".gas","Argon");
98             gas="Argon";
99         }
100        if(arcoButton.enabled==FALSE)
101        {
102            dpSet(node+".gas","ArCO2");
103            gas="ArCO2";
104        }
105
106        //--- Offset L/h
107
108        double offset;
109        dpGet("Offset_"+node+".offsetmV",offset);
110        float factor;
111        float result;
112
113
114        dpGet("Calib_"+node+".mass"+gas+"Factor",factor);
115
116        result=factor*offset/1000;
117
118        dpSet(node+".offsetMassFlowLH",result);
119
120
121        // ----- Mass Flow Sensors Mapping Setup -----
122        getValue("massList"+nodeAlias,"getColumnN",1,massFlowSensors);
123
124        dyn_string alias=dpGetAlias(massFlowSensors);
125
126        for (int i=1;i<=dynlen(massFlowSensors);i++)
127        {
128            if(alias[i]==nodeAlias+"/MF-IN")
129            {
130                dpSet(node+".Mapping.inletMassFlow",massFlowSensors[i]);
131            }

```

```

132
133     if (alias [ i ] == nodeAlias + "/MF-OUT")
134     {
135         dpSet (node + ".Mapping.outletMassFlow" , massFlowSensors [ i ] ) ;
136     }
137
138
139 }
140
141
142
143 // ----- Pressure Sensors Mapping Setup -----
144 getValue ( "pressureList" + nodeAlias , "getColumnN" , 1 , pressureSensors ) ;
145 dpSet (node + ".Mapping.pressureDM" , pressureSensors ) ;
146
147 // ----- Offset Mass Flow Sensors Setup -----
148
149 float offsetVoltageMassFlow ;
150 getValue ( "offsetField" + nodeAlias , "text" , offsetVoltageMassFlow ) ;
151 dpSet (node + ".offsetMassFlowmV" , offsetVoltageMassFlow ) ;
152
153 /// ----- Default Offset
154
155 dpSet ( "Offset_" + node + ".offsetmV" , offsetVoltageMassFlow ) ;
156
157
158
159 // ##### Mass Flow Sensor DPE Connection #####
160
161
162 /////-----Voltage-----
163 string voltageInlet , voltageInletValue ;
164 string voltageOutlet , voltageOutletValue ;
165 string offsetVoltageValue ;
166
167 dpGet (node + ".Mapping.inletMassFlow" , voltageInlet ) ;
168 dpGet (node + ".Mapping.outletMassFlow" , voltageOutlet ) ;
169
170 voltageInletValue = voltageInlet + ".vMean:_original.._value" ;
171 voltageOutletValue = voltageOutlet + ".vMean:_original.._value" ;
172 offsetVoltageValue = "Offset_" + node + ".offsetmV:_original.._value" ;
173
174
175 dyn_string inlet , outlet , diffV ;
176 inlet = makeDynString (voltageInletValue) ;
177 outlet = makeDynString (voltageOutletValue) ;
178 diffV = makeDynString (voltageInletValue , voltageOutletValue , offsetVoltageValue) ;
179
180 dpSetWait (node + ".voltageIn:_dp_fct.._type" , 60 ,
181     node + ".voltageIn:_dp_fct.._param" , inlet ,
182     node + ".voltageIn:_dp_fct.._fct" , "p1") ;
183
184 dpSetWait (node + ".voltageOut:_dp_fct.._type" , 60 ,
185     node + ".voltageOut:_dp_fct.._param" , outlet ,
186     node + ".voltageOut:_dp_fct.._fct" , "p1") ;
187
188 dpSetWait (node + ".diffVoltageV:_dp_fct.._type" , 60 ,
189     node + ".diffVoltageV:_dp_fct.._param" , diffV ,
190     node + ".diffVoltageV:_dp_fct.._fct" , "fabs (p1-p2)*1000-p3") ;
191
192 /////----- Mass Flow -----
193
194 dyn_string inletMass , outletMass ;
195
196 string massFactorValue , diffVoltageNEW ;
197
198
199 massFactorValue = "Calib_" + node + ".mass" + gas + "Factor:_original.._value" ;
200 diffVoltageNEW = node + ".diffVoltageV:_original.._value" ;
201
202
203 inletMass = makeDynString (voltageInletValue , massFactorValue) ;
204 dpSetWait (node + ".massIn:_dp_fct.._type" , 60 ,
205     node + ".massIn:_dp_fct.._param" , inletMass ,
206     node + ".massIn:_dp_fct.._fct" , "(p1-0.5)*p2") ;

```

```

207 outletMass=makeDynString(voltageOutletValue ,massFactorValue) ;
208 dpSetWait (node+".massOut:_dp_fct.._type",60,
209 node+".massOut:_dp_fct.._param", outletMass ,
210 node+".massOut:_dp_fct.._fct", "(p1-0.5)*p2");
211
212
213
214 /*
215 dyn_string diffMass;
216 diffMass=makeDynString(inlet ,outlet ,offsetVoltageValue ,massFactorValue) ;
217 dpSetWait (node+".diffMass:_dp_fct.._type", 60,
218 node+".diffMass:_dp_fct.._param", diffMass ,
219 node+".diffMass:_dp_fct.._fct", "fabs(p1-p2-p3/1000)*p4");
220
221 */
222 // new configuration for 1 point
223
224 int dpfuct=9;
225 dyn_string dyn_dpfuct;
226
227 float offsetValue;
228 dpGet("Calib_"+node+".mass"+gas+"Factor",offsetValue);
229
230 dyn_string diffMass;
231 diffMass=makeDynString(diffVoltageNEW);
232 dyn_dpfuct=makeDynString(dpfuct);
233 dpSetWait (node+".diffMass:_dp_fct.._type", 63,
234 node+".diffMass:_dp_fct.._param", diffMass ,
235 node+".diffMass:_dp_fct.._stat_type",dyn_dpfuct ,
236 node+".diffMass:_dp_fct.._interval",1,
237 node+".diffMass:_dp_fct.._delay",0,
238 node+".diffMass:_dp_fct.._read_archive",0,
239 node+".diffMass:_dp_fct.._fct", "fabs(p1*"+offsetValue+")/1000");
240
241
242
243 // ##### Pressure Sensor DPE Connection #####
244
245 string pressure ,pressureValue;
246 dpGet(node+".Mapping.pressureDM",pressure);
247
248 pressureValue=pressure+".vMean:_original.._value";
249
250 dyn_string pressVoltage;
251 pressVoltage=makeDynString(pressureValue);
252 dpSetWait (node+".voltagePressure:_dp_fct.._type",60,
253 node+".voltagePressure:_dp_fct.._param", pressVoltage ,
254 node+".voltagePressure:_dp_fct.._fct", "p1");
255
256 string pressureFactorValue ,pressureFactorValue2nd;
257 pressureFactorValue="Calib_"+node+".pressureFactor:_original.._value";
258 pressureFactorValue2nd="Calib_"+node+".pressureFactor2nd:_original.._value";
259
260 dyn_string pressureFinal;
261 pressureFinal=makeDynString(pressureValue ,pressureFactorValue ,pressureFactorValue2nd);
262 dpSetWait (node+".pressure:_dp_fct.._type",60,
263 node+".pressure:_dp_fct.._param", pressureFinal ,
264 node+".pressure:_dp_fct.._fct", "p1*p2+p3");
265
266
267 // ----- Archive DPES----- ***
268
269 dyn_string dpestoarchive;
270
271 dpestoarchive[1]=node+".massIn";
272 dpestoarchive[2]=node+".massOut";
273 dpestoarchive[3]=node+".diffMass";
274 dpestoarchive[4]=node+".pressure";
275
276 dpSet (node+".dpesToArchive",dpestoarchive);
277
278
279
280
281 for(int i=1;i<=4;i++)

```

```

282 {
283   finalArchivedAll [ i+4*countNodes]=dpestoarchive [ i ];
284 }
285
286   countNodes++;
287   // ##### Chamber Name DPE Connection #####
288
289   shape chamberSM1=getShape (nodeAlias+"_SM1" );
290   shape chamberSM2=getShape (nodeAlias+"_SM2" );
291   shape chamberLM1=getShape (nodeAlias+"_LM1" );
292   shape chamberLM2=getShape (nodeAlias+"_LM2" );
293
294   if (chamberSM1.enabled==FALSE)
295   {
296     string chamberName=chamberSM1.text ();
297     dpSet (node+".chamberName",chamberName);
298   }
299
300   if (chamberSM2.enabled==FALSE)
301   {
302     string chamberName=chamberSM2.text ();
303     dpSet (node+".chamberName",chamberName);
304   }
305
306   if (chamberLM1.enabled==FALSE)
307   {
308     string chamberName=chamberLM1.text ();
309     dpSet (node+".chamberName",chamberName);
310   }
311
312   if (chamberLM2.enabled==FALSE)
313   {
314     string chamberName=chamberLM2.text ();
315     dpSet (node+".chamberName",chamberName);
316   }
317
318   string chamber;
319   dpGet (node+".chamberName",chamber);
320   string methodFinal;
321   dpGet (node+".method",methodFinal);
322
323   // —— MIF Batch ID
324
325   shape mtfBatchShape=getShape ("idField"+nodeAlias);
326   string mtfBatchId=mtfBatchShape.text ();
327
328   dpSet (node+".BatchID",mtfBatchId);
329
330
331   mtfBatchShape.enabled (FALSE);
332
333
334   ChildPanelOn ("setupProgress.pnl", "setup",makeDynString (" $node:" +node, " $chamber:" +chamber, " $method:" +
methodFinal),500,300);
335   delay (3);
336   PanelOffPanel ("setup");
337   ChildPanelOn ("setupComplete.pnl", "setupReady",makeDynString (" $node:" +node, " $chamber:" +chamber, " $method:" +
methodFinal),500,300);
338   delay (3);
339   PanelOffPanel ("setupReady");
340
341
342   // —— Plots Setup ——
343
344   // Clean
345   RootPanelOnModule ("empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" Monitor",makeDynString (""));
346
347   RootPanelOnModule ("empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" InletOutlet",makeDynString (""));
348
349   RootPanelOnModule ("empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" GasLeak",makeDynString (""));
350
351   RootPanelOnModule ("empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" Pressure",makeDynString (""));
352
353   RootPanelOnModule ("empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" Overview",makeDynString (""));
354

```

```

355
356
357 // Send Panels on Modules
358 delay(1);
359 RootPanelOnModule("sensorHolder.pnl", "sensorList", "embMod"+node+"Monitor", makeDynString("$node:"+node, "
$chamber: "+chamber, "$method: "+methodFinal));
360
361 RootPanelOnModule("plotHolder.pnl", "Inlet/Outlet", "embMod"+node+"InletOutlet", makeDynString("$purpose: "+
inlet_outlet", "$node:"+node, "$method: "+methodFinal));
362
363 RootPanelOnModule("plotHolder.pnl", "GasLeak", "embMod"+node+"GasLeak", makeDynString("$purpose: "+ "gasLeak", "
$node: "+node, "$method: "+methodFinal));
364
365 RootPanelOnModule("plotHolderPressure.pnl", "Pressure", "embMod"+node+"Pressure", makeDynString("$node: "+node,
"$purpose: "+ "pressure", "$method: "+methodFinal));
366
367 RootPanelOnModule("overviewHolder.pnl", "overview", "embMod"+node+"Overview", makeDynString("$node: "+node, "
$chamber: "+chamber, "$method: "+methodFinal));
368
369
370 dpSet(node+".Visibility", TRUE);
371
372
373 string visibility;
374 dpGet(node+".Visibility", visibility);
375 shape nodeButton=getShape(node+"Button");
376 if(visibility)
377 {
378     nodeButton.visible(TRUE);
379 }
380
381 overviewButton.visible(TRUE); // make overview button visible
382
383
384 DebugN("#####");
385 DebugN("                FRL SETUP COMPLETED!!");
386 DebugN("*****");
387 DebugN("                "+node+" Setup Ready");
388 DebugN("#####");
389
390 dpSet("currentMethod.", "FRL");
391
392 // this.enabled(FALSE); //
393
394 } // if(enabled) for nodes
395 else
396 {
397
398 shape nodeButton=getShape("Node"+i+"Button");
399     nodeButton.visible(FALSE);
400 }
401
402
403
404 }/// node loop
405
406
407
408
409 if(countNodes!=0)
410 {
411 RootPanelOnModule("empty.pnl", "empty", "archiveModuleOverview", makeDynString(""));
412 delay(1);
413 RootPanelOnModule("archiveOverview.pnl", "overviewArchive", "archiveModuleOverview", makeDynString("$node: "+ "", "
$chamber: "+ "", "$method: "+ "FRL"));
414
415 SwitchLayer(1, 6);
416 setupButton.enabled(TRUE);
417 overviewButton.enabled(FALSE);
418 }
419
420
421
422 dpSet("archiveEnabledNodes.dpesToArchive", finalArchivedAll);
423

```

```

424
425
426
427
428 removeSymbol(myModuleName(),myPanelName(),"shadow");
429
430
431     this.text("Save Settings");
432
433
434
435
436 } // —— FRL end
437
438
439 //—————
440
441
442 // —— PDR Pre-check Nodes
443
444
445 for(int i=1;i<=4;i++)
446 {
447
448
449     shape pressureListPDR=getShape("pressureNode"+i);
450     shape pressureRefList=getShape("pressureRefNode"+i);
451     shape temperature=getShape("temperatureNode"+i);
452     if (pressureListPDR.lineCount()<1 || pressureRefList.lineCount()<1 || temperature.lineCount()<1 )
453     {
454         dpSet("PDR_Node"+i+".Enabled",FALSE);
455     }
456
457
458 }
459
460 bool isMtfIDRightPDR=TRUE;
461 for(int i=1;i<=enabledNodes;i++)
462 {
463     dpGet("PDR_Node"+i+".Enabled",enabled);
464     if(enabled)
465     {
466         shape mtfBatchShape=getShape("idFieldPDRN"+i);
467         string mtfBatchId=mtfBatchShape.text();
468         int mftLength=strlen(mtfBatchId);
469
470         if(mftLength!=14)
471         {
472
473             isMtfIDRightPDR=FALSE;
474             mtfBatchShape.backCol("red");
475
476         }
477     }
478
479
480
481 }
482
483
484
485 ////          ***** PDR *****
486 ////////////////—————#####
487 if(PDR_Button.enabled==FALSE && isMtfIDRightPDR==TRUE)
488 {
489     this.text("Saving ...");
490
491     addSymbol(myModuleName(),myPanelName(),"shadow.pnl","shadow",
492             makeDynString(),0,0,1,1,1);
493
494
495 bool enabled;
496 int enabledNodes=4;
497 int countNodes=0;

```

```

498 dyn_string finalArchivedAll;
499 for (int i=1;i<=enabledNodes;i++)
500 {
501     dpGet("PDR_Node"+i+".Enabled",enabled);
502     if(enabled)
503     {
504
505
506         string node="PDR_Node"+i;
507
508     dyn_string pressureSensor, pressureRefSensor, temperatureSensor;
509
510     //string gas="Air";
511     string gas;
512     string nodeAlias;
513     string method;
514
515     if (node="Node"+i)
516     {
517         nodeAlias="N"+i;
518     }
519
520     // ----- Method Setup -----
521
522     dpSet("PDR_"+node+".method","PDR");
523
524     // --- Gas Setup
525
526     if (airButton.enabled==FALSE)
527     {
528         dpSet("PDR_"+node+".gas","Air");
529         gas="Air";
530     }
531     if (argonButton.enabled==FALSE)
532     {
533         dpSet("PDR_"+node+".gas","Argon");
534         gas="Argon";
535     }
536     if (arcoButton.enabled==FALSE)
537     {
538         dpSet("PDR_"+node+".gas","ArCO2");
539         gas="ArCO2";
540     }
541
542
543     // ----- Pressure Sensor Mapping Setup -----
544     getValue("pressure"+node,"getColumnN",1,pressureSensor);
545     dpSet("PDR_"+node+".Mapping.pressureDM",pressureSensor);
546
547     // ----- Pressure Reference Sensor Mapping Setup -----
548     getValue("pressureRef"+node,"getColumnN",1,pressureRefSensor);
549     dpSet("PDR_"+node+".Mapping.pressureRef",pressureRefSensor);
550
551     // ----- Temperature Sensor Mapping Setup -----
552     getValue("temperature"+node,"getColumnN",1,temperatureSensor);
553     dpSet("PDR_"+node+".Mapping.temperatureRef",temperatureSensor);
554
555
556
557
558     // ##### Pressure Sensor DPE Connection #####
559
560
561     ////-----Pressure-----
562     string voltagePressure,voltagePressureValue;
563
564     dpGet("PDR_"+node+".Mapping.pressureDM",voltagePressure);
565
566     voltagePressureValue=voltagePressure+".vMean:_original.._value";
567
568
569     dyn_string press;
570     press=makeDynString(voltagePressureValue);
571
572

```

```

573 dpSetWait ("PDR_"+node+". voltagePressure: _dp_fct .. _type" ,60,
574 "PDR_"+node+". voltagePressure: _dp_fct .. _param" , press ,
575 "PDR_"+node+". voltagePressure: _dp_fct .. _fct" , "p1");
576
577
578
579 //—— Pressure Reference ——
580
581 string voltageRefPressure , voltageRefPressureValue;
582
583 dpGet ("PDR_"+node+". Mapping. pressureRef" , voltageRefPressure);
584
585 voltageRefPressureValue=voltageRefPressure+" .vMean: _original .. _value";
586
587
588 dyn_string pressRef;
589 pressRef=makeDynString( voltageRefPressureValue );
590
591
592 dpSetWait ("PDR_"+node+". voltagePressureRef: _dp_fct .. _type" ,60,
593 "PDR_"+node+". voltagePressureRef: _dp_fct .. _param" , pressRef,
594 "PDR_"+node+". voltagePressureRef: _dp_fct .. _fct" , "p1");
595
596 //—— Temperature ——
597
598 string temperature , temperatureValue;
599
600 dpGet ("PDR_"+node+". Mapping. temperatureRef" , temperature);
601
602 temperatureValue=temperature+" .vMean: _original .. _value";
603
604
605 dyn_string temp;
606 temp=makeDynString( temperatureValue );
607
608
609 dpSetWait ("PDR_"+node+". voltageTemperatureRef: _dp_fct .. _type" ,60,
610 "PDR_"+node+". voltageTemperatureRef: _dp_fct .. _param" , temp,
611 "PDR_"+node+". voltageTemperatureRef: _dp_fct .. _fct" , "p1");
612
613
614
615 // ##### Factors #####
616
617 string pressureFactor , pressureRefFactor , temperatureFactor , pressureFactor2nd , pressureRefFactor2nd ,
618 temperatureFactor2nd;
619
620 pressureFactor="Calib_"+node+". pressureFactor: _original .. _value";
621 pressureRefFactor="Calib_"+node+". pressureRefFactor: _original .. _value";
622 temperatureFactor="Calib_"+node+". temperatureFactor: _original .. _value";
623 pressureFactor2nd="Calib_"+node+". pressureFactor2nd: _original .. _value";
624 pressureRefFactor2nd="Calib_"+node+". pressureRefFactor2nd: _original .. _value";
625 temperatureFactor2nd="Calib_"+node+". temperatureFactor2nd: _original .. _value";
626
627 // —— Pressure , PressureRef , Temperature dpe function setup
628
629 dyn_string pressFinal , pressResFinal , temperatureFinal;
630
631 //pressure
632 pressFinal=makeDynString( voltagePressureValue , pressureFactor , pressureFactor2nd );
633 dpSetWait ("PDR_"+node+". pressure: _dp_fct .. _type" ,60,
634 "PDR_"+node+". pressure: _dp_fct .. _param" , pressFinal ,
635 "PDR_"+node+". pressure: _dp_fct .. _fct" , "p1*p2+p3");
636
637 //pressureRef
638 pressResFinal=makeDynString( voltageRefPressureValue , pressureRefFactor , pressureRefFactor2nd );
639 dpSetWait ("PDR_"+node+". pressureRef: _dp_fct .. _type" ,60,
640 "PDR_"+node+". pressureRef: _dp_fct .. _param" , pressResFinal ,
641 "PDR_"+node+". pressureRef: _dp_fct .. _fct" , "p1*p2+p3");
642
643 //temperature
644 temperatureFinal=makeDynString( temperatureValue , temperatureFactor , temperatureFactor2nd );
645 dpSetWait ("PDR_"+node+". temperatureRef: _dp_fct .. _type" ,60,
646 "PDR_"+node+". temperatureRef: _dp_fct .. _param" , temperatureFinal ,

```



```

647         "PDR_"+node+".temperatureRef:_dp_fct.._fct", "p1*p2+p3");
648
649 // Archive DPEs ----- *****
650
651 dyn_string dpestoarchive;
652
653 dpestoarchive[1]="PDR_"+node+".pressure";
654 dpestoarchive[2]="PDR_"+node+".pressureRef";
655 dpestoarchive[3]="PDR_"+node+".temperatureRef";
656
657 dpSet("PDR_"+node+".dpesToArchive",dpestoarchive);
658
659
660 for(int i=1;i<=3;i++)
661 {
662     finalArchivedAll[i+3*countNodes]=dpestoarchive[i];
663 }
664
665     countNodes++;
666
667 // ##### Chamber Name DPE Connection #####
668
669 shape chamberSM1=getShape(nodeAlias+"_SM1_PDR");
670 shape chamberSM2=getShape(nodeAlias+"_SM2_PDR");
671 shape chamberLM1=getShape(nodeAlias+"_LM1_PDR");
672 shape chamberLM2=getShape(nodeAlias+"_LM2_PDR");
673
674
675 if(chamberSM1.enabled==FALSE)
676 {
677     string chamberName=chamberSM1.text();
678     dpSet("PDR_"+node+".chamberName",chamberName);
679 }
680
681 if(chamberSM2.enabled==FALSE)
682 {
683     string chamberName=chamberSM2.text();
684     dpSet("PDR_"+node+".chamberName",chamberName);
685 }
686
687 if(chamberLM1.enabled==FALSE)
688 {
689     string chamberName=chamberLM1.text();
690     dpSet("PDR_"+node+".chamberName",chamberName);
691 }
692
693 if(chamberLM2.enabled==FALSE)
694 {
695     string chamberName=chamberLM2.text();
696     dpSet("PDR_"+node+".chamberName",chamberName);
697 }
698
699 string chamber;
700 dpGet("PDR_"+node+".chamberName",chamber);
701 string methodFinal;
702 dpGet("PDR_"+node+".method",methodFinal);
703
704 // ----- MIF Batch ID
705
706 shape mtfBatchShapePDR=getShape("idFieldPDR"+nodeAlias);
707 string mtfBatchIdPDR=mtfBatchShapePDR.text();
708
709 dpSet("PDR_"+node+".BatchID",mtfBatchIdPDR);
710
711
712
713 ChildPanelOn("setupProgress.pnl","setup",makeDynString("$node:"+node,"$chamber:"+chamber,"$method:"+
methodFinal),500,300);
714     delay(3);
715     PanelOffPanel("setup");
716     ChildPanelOn("setupComplete.pnl","setupReady",makeDynString("$node:"+node,"$chamber:"+chamber,"$method:"+
methodFinal),500,300);
717     delay(3);
718     PanelOffPanel("setupReady");
719 // removeSymbol(myModuleName(),myPanelName(),"shadow");

```

```

720 // ----- Plots Setup -----
721
722 // Clean
723 RootPanelOnModule( "empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" Monitor", makeDynString( "" ) );
724
725 RootPanelOnModule( "empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" InletOutlet", makeDynString( "" ) );
726
727 RootPanelOnModule( "empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" GasLeak", makeDynString( "" ) );
728
729 RootPanelOnModule( "empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" Pressure", makeDynString( "" ) );
730
731 RootPanelOnModule( "empty.pnl", "empty", "embMod"+node+" Overview", makeDynString( "" ) );
732
733
734
735 // Send Panels on Modules
736 delay(1);
737 RootPanelOnModule( "sensorHolder.pnl", "sensorList", "embMod"+node+" Monitor", makeDynString( "$node:" +node, "
738 $chamber:" +chamber, "$method:" +methodFinal) );
739
740 RootPanelOnModule( "plotHolder.pnl", "pressure", "embMod"+node+" InletOutlet", makeDynString( "$purpose:" +
741 pressure, "$node:" +node) );
742
743 RootPanelOnModule( "plotHolder.pnl", "pressureRef", "embMod"+node+" GasLeak", makeDynString( "$purpose:" +
744 pressureRef, "$node:" +node) );
745
746 RootPanelOnModule( "plotHolderPressure.pnl", "temperature", "embMod"+node+" Pressure", makeDynString( "$node:" +
747 node, "$purpose:" +temperature) );
748
749 RootPanelOnModule( "overviewHolder.pnl", "overview", "embMod"+node+" Overview", makeDynString( "$node:" +node, "
750 $chamber:" +chamber, "$method:" +methodFinal) );
751
752
753 dpSet( "PDR_"+node+". Visibility", TRUE );
754
755 string visibility;
756 dpGet( "PDR_"+node+". Visibility", visibility );
757 shape nodeButton=getShape( node+"Button" );
758 if( visibility )
759 {
760     nodeButton.visible( TRUE );
761 }
762
763 overviewButton.visible( TRUE ); // make overview button visible
764
765
766 DebugN( "#####" );
767 DebugN( "                                PDR SETUP COMPLETED!!" );
768 DebugN( "#####" );
769 DebugN( "                                "+node+" Setup Ready" );
770 DebugN( "#####" );
771
772 dpSet( "currentMethod.", "PDR" );
773
774 this.enabled( FALSE ); //
775
776 } // if(enabled) for nodes
777 else
778 {
779 shape nodeButton=getShape( "Node"+i+"Button" );
780 nodeButton.visible( FALSE );
781 }
782
783
784 }/// node loop
785
786 if( countNodes!=0 )
787 {
788 RootPanelOnModule( "empty.pnl", "empty", "archiveModuleOverview", makeDynString( "" ) );
789 delay(1);

```

```
790 RootPanelOnModule("archiveOverview.pnl", "overviewArchive", "archiveModuleOverview", makeDynString("$node: "+"", "$chamber: "+"", "$method: "+"PDR"));
791 SwitchLayer(1, 6);
792 setupButton.enabled(TRUE);
793 overviewButton.enabled(FALSE);
794 }
795
796
797
798 dpSet("archiveEnabledNodes.dpesToArchive", finalArchivedAll);
799
800     removeSymbol(myModuleName(), myPanelName(), "shadow");
801
802     this.text("Save Settings");
803
804 } // —— PDR *****
805
806
807
808
809 }
810
811
812
813
814
815
816
817
818
```

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Οι LHCυπεραγωγίμοι μαγνήτες στο 27 km LEP tunnelστο CERN	1
1.2	Σχηματική αναπαράσταση επιταχυντών-εγχυτήρων του LHC. Φαίνεται παραπάνω ο εγχυτήρας και οι προ-επιταχυντές που τροφοδοτούν τον 27 km δακτύλιο με δέσμες σωματιδίων. Οι δέσμες συγκρούονται σε 4 πειραματικές περιοχές εισαγωγής που αντιστοιχούν στα υπόγεια πειράματα (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb).	2
1.3	Οι προβλεπόμενες τιμές της δέσμης και της φωτεινότητας όσο και οι πραγματικές τιμές κατά την διάρκεια των 4 χρόνων λειτουργίας του LHC.	3
1.4	Γραφική αναπαράσταση του πειράματος ATLAS. Τα διαφορετικά μέρη του πειράματος σημειώνονται πάνω στο σχήμα.	3
1.5	Φωτογραφίες των 3 διαφορετικών τμημάτων του μαγνητικού συστήματος του πειράματος ATLAS. Στην πάνω αριστερά εικόνα, ο κυλινδρικός σωληνοειδής μαγνήτης εισάγεται μέσα στο υγρού αργού καλοριμέτρο στην επιφάνεια. Στην κάτω εικόνα, φαίνονται τα 8 barrel coilsστο εσωτερικό του ATLASκαι δεξιά ένα από τους 2 end-cartοροειδής μαγνήτες στην τελική τους θέση περιβαλλόμενα από τα barrel toroid coils.	4
1.6	Σχηματική αναπαράσταση του μαγνητικού συστήματος του ATLAS. Το κεντρικό σωληνοειδές είναι εγκατεστημένο μέσα στο υγρού αργού καλοριμέτρο (μπλε χρώμα), όπου περιβάλλεται από το barrel(κόκκινο χρώμα) και τα end-cap toroid coils(πράσινο χρώμα).	5
1.7	Σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών υποσυστημάτων του εσωτερικού ανιχνευτή τροχιών του ATLAS. Εσωτερικά βρίσκεται ο Pixel Detector, κατόπιν ο SemiConductor Trackerκαι τέλος στο εξωτερικό του ο Transition Radiation Tracker.	6
1.8	Αριστερά: Σχηματική αναπαράσταση της διατομής των καλοριμέτρων του ATLAS. Το LArκαι το Tileαπεικονίζονται μαζί με την κατάτμηση τους στα barrelκαι end-capκαλοριμέτρα. Δεξιά: Φωτογραφία του barrelκαλοριμέτρου που έχει τοποθετηθεί στον ανιχνευτή ATLAS. Τα περιστρεφόμενα πηνία του end-capπου περιβάλλουν την διάταξη των καλοριμέτρων είναι επίσης ορατά	6
1.9	Σχηματική αναπαράσταση του φασματόμετρου μιονίων του ATLAS. Οι διάφορες τεχνολογίες των μιονικών θαλάμων του ανιχνευτή είναι ορατές.	7
1.10	Περιοχή της pseudorapidity $ \eta $ και η ανάλυση του κάθε υποσυστήματος του φασματόμετρου μιονίων	7
1.11	Αριστερά : Σχηματική αναπαράσταση ενός MDTθαλάμου της περιοχής του barrelαποτελούμενος από δύο πολυεπίπεδα με τρία επίπεδα από σωλήνες ο καθένας. Δεξιά: Φωτογραφία ενός MDTθαλάμου κατά την διάρκεια την κατασκευής και της διαδικασίας ελέγχου του.	8
1.12	Αριστερά : Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας ενός CSCανιχνευτή . Δεξιά: Η εσωτερική δομή ενός CSC.	8
1.13	Η εσωτερική δομή ενός RPCανιχνευτή.	8
1.14	Η εσωτερική δομή ενός TGCανιχνευτή.	9
1.15	Η σχηματική αναπαράσταση του συστήματος σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων του πειράματος ATLAS.	9
1.16	Eventαπό δεδομένα που λήφθηκαν από τον ανιχνευτή ATLAS.	10
2.1	Η ανακάλυψη του μποζονίου Higgsκατά την διάρκεια του Run-1από δεδομένα του πειράματος ATLAS[23].	11
2.2	Το βασικό χρονοδιάγραμμα του LHC	12
2.3	Ο μέγιστος μέσος αριθμός ανά διασταύρωση της δέσμης συναρτήσει του χρόνου για p-pγεγονότα στην διάρκεια του 2010-12 [24].	12
2.4	Εγκάρσια διατομή του ανιχνευτή ATLASστο επίπεδο $z - y$ [27].	12
2.5	Η κατανομή της pseudorapidityτου Level-1ρυθμού σκανδαλισμού σε τρία επίπεδα [27].	13
2.6	Η αποδοτικότητα ενός μονού MDTσωλήνα και ενός MDTθαλάμου, 2X4 επίπεδα σωλήνων, συναρτήσει του ρυθμού των γεγονότων από δεδομένα από πειράματα δέσμης σε φωτεινότητα $\mathcal{L} = 3 \times 10^{34} \text{ cm}_2\text{s}^{-1}$	13
2.7	Αριστερά: Επεξήγηση της σύμπτωσης του συστήματος σκανδαλισμού του New Small Wheel[28].	14
2.8	Αριστερά: Το τωρινό Small Wheelστην επιφάνεια της γης πριν την εγκατάσταση του στο ATLAS. Δεξιά: Απεικόνιση της διάταξης του New Small Wheel.	15

2.9	Αριστερά: Οι ανιχνευτικές διάταξης στο εσωτερικό ενός sector. Δεξιά: Απεικόνιση ενός sector του New Small Wheel.	15
2.10	Η εσωτερική δομή του ανιχνευτή small-strip Thin Gap Chamber (sTGC).	16
2.11	Σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας MMFE	17
2.12	Σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας L1DDC.	17
2.13	Σχηματική αναπαράσταση της πλακέτας ADDC.	18
2.14	Σχηματική αναπαράσταση της συνδεσμολογίας μεταξύ των front-end electronics του NSW(αριστερά) και η τοποθέτηση του κατά μήκος των wedges ενός Micromegas sector(δεξιά)	18
2.15	VMM3 die layout	19
2.16	Σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής ενός καναλιού του VMM.	19
2.17	Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας υπολογισμού του ύψους του παλμού καθώς και του χρόνου της εμφάνισης του παλμού.	19
3.1	Εξίσωση Bethe-Bloch για την περιγραφή της απώλειας ενέργειας των φορτισμένων σωματιδίων σε ενεργό υλικό.	22
3.2	Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο.	22
3.3	Σκέδαση Compton.	23
3.4	Δίδυμη Γέννηση.	23
3.5	Ενεργός διατομή φαινομένων ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης φωτονίων με την ύλη.	23
3.6	Πειραματικές τιμές την κινητικότητας των ιόντων για διάφορα αέρια μέσα σε ανιχνευτές αερίου.	24
3.7	Η ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων για διαφορετικά αέρια μείγματα και τιμές μαγνητικού πεδίου.	26
3.8	Το φαινόμενο Townsend και ο σχηματισμός μορφής σταγόνας κατά την κίνηση των ιόντων και ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του ανιχνευτή με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου.	26
3.9	Περιοχές λειτουργίας ανιχνευτών αερίου.	27
3.10	Γραφική απεικόνιση μίας τυποποιημένης διατομής ενός ανιχνευτή MicroMeGas που απεικονίζει τα διάφορα μέρη της εσωτερικής δομής του ανιχνευτή και την αρχή λειτουργίας του [46].	29
3.11	Προσομοίωση του ρεύματος που προκαλείται από την κίνηση ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων κατά την διάρκεια του σχηματισμού χιονοστιβάδας εντός της περιοχής ενίσχυσης του ανιχνευτή Micromegas[31].	29
3.12	Ηλεκτρικό πεδίο του ανιχνευτή MicroMegas	30
3.13	Διαδικασία κατασκευής Bulk MicroMegas	30
3.14	Γραφική απεικόνιση μίας διατομής του ανιχνευτή resistive Micromegas που απεικονίζει τα διάφορα μέρη της εσωτερικής δομής του και την αρχή λειτουργίας του [46].	31
3.15	Η συμπεριφορά της τάσης και του ρεύματος για έναν resistive και έναν non-resistive Micromegas σε περιβάλλον δέσμης νετρονίων ενέργειας 5.5 MeV συνολικής ροής 1.5×10^6 n/cm ² s [49].	31
3.16	Η συνολική διάταξη του New Small Wheel Upgrade.	32
3.17	Δεξιά: Σχηματική αναπαράσταση των 4 PCBs ανάγνωσης που θα συνθέτουν ένα MM module[50]. Αριστερά: Οι διαστάσεις των μικρών και μεγάλων σφηνών NSW MM. Κάθε στρώμα μονάδας MM αποτελείται από 8 PCBs, τρία για το επάνω και πέντε για την κάτω μονάδα αντίστοιχα [31].	32
3.18	Δεξιά: Η εσωτερική δομή του NSW MM. Αριστερά: Εγκάρσια διατομή του NSW MM που απεικονίζει τα κύρια στοιχεία ενός quadroplet[50].	33
4.1	Γραφική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής DC του πειράματος ATLAS χωρισμένο σε 3 επίπεδα: GCS, SCS και LCS.	35
4.2	Το κύριο γραφικό περιβάλλον χρήστη του ATLAS DC με όλα τα υποσυστήματα ενοποιημένα σε μία ιεραρχική δομή FSM.	36
4.3	Η αρχιτεκτονική ενός τυπικού συστήματος WinCC-OA και το σύνολο των managers από τους οποίους αποτελείται.	37
4.4	Το εργαλείο PARA Database Editor του WinCC και ένα παράδειγμα της δομής ενός DPT.	38
4.5	Το εργαλείο Graphical Editor του WinCC.	39
4.6	Η αρχιτεκτονική του συστήματος και η θέση του JCOPF στον πυρήνα του DC.	40
4.7	Το panel για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης των component του JCOPF.	41
4.8	Μοντελοποίηση συστήματος ελέγχου χρησιμοποιώντας FSM.	41
5.1	Η διαμόρφωση της παροχής αερίου στα Large Wedges(Αριστερά) και στα Small Wedges(Δεξιά).	43
5.2	Η διαμόρφωση της παροχής αερίου στα Large Wedges(Αριστερά) και στα Small Wedges(Δεξιά).	43
5.3	Πειραματική διάταξη μέτρησης διαρροής με την μέθοδο της πτώσης πίεσης (PDR).	45
5.4	Πειραματική διάταξη μέτρησης διαρροής με την μέθοδο της απώλειας ροής (FRL).	47
5.5	Σχεδιάγραμμα των ρυθμών ροής στην είσοδο (κύκλοι) και στην έξοδο(αστέρια) σαν συνάρτηση του αριθμού n	48
5.6	Η γραφική παράσταση της διαρροής αερίου διαφόρων ιατρικών βελονών με το όριο αποδοχής και οι υποδερμικές ιατρικές βελόνες που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία διαρροής.	49
5.7	Πρωτότυπη πειραματική διάταξη για εκτίμηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο PDR και FRL.	49
5.8	Όρια αποδοχής της διαρροής αερίου για τους διάφορους τύπους των MM MP που έχουν τεθεί από το NSW.	50
6.1	Το εργαστήριο BB5 του CERN.	51

6.2	Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου 4 MM QP στο εργαστήριο BB5 του CERN.	52
6.3	Η απλοποιημένη μορφή της πειραματικής διάταξης μέτρησης της διαρροής αερίου 4 MM QP στο εργαστήριο BB5 του CERN.	53
6.4	Η μέτρηση του κλάδου ταρետων αισθητήρων της διάταξης.	54
6.5	Η μέτρηση του κλάδου διαρροής του MM QP της διάταξης.	54
6.6	Πλήρωση του MM QP ημε αέριο καθορισμένης πίεσης.	54
6.7	Απομόνωση του MM QP για την μέτρηση της πτώσης πίεσης.	55
6.8	Αισθητήρας ροής μάζας D6F-Ραπό της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.	55
6.9	Ο τρόπος λειτουργίας και εφαρμογής του αισθητήρα ροής μάζας D6F-Ραπό της Omron Electronics.	55
6.10	Αισθητήρας διαφορικής πίεσης SDP800 από της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.	56
6.11	Αισθητήρας βαρομετρικής διαφορικής πίεσης HCLA12X5DU από της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.	56
6.12	Αισθητήρας θερμοκρασίας περιβάλλοντος GE-2102 από της Amphenol Advanced Sensors και η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα.	56
6.13	Φορητή πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου.	57
6.14	Η μονάδα cFP-1804 [67], μέρος της συνολικής συσκευής FieldPoint της National Instruments.	58
6.15	Η μονάδα cFP-AI-110 και ο τρόπος σύνδεσης στην μονάδα cFP-1804.	58
6.16	Η μονάδα cFP-CB-1 και ο τρόπος σύνδεσης στην μονάδα cFP-1804.	58
6.17	Το εσωτερικό κύκλωμα της μονάδας cFP-CB-1	59
6.18	Η βελτιστοποίηση ενός συστήματος με την χρήση του πρωτόκολλου επικοινωνίας OPC.	59
6.19	Δημιουργία νέου Project στο WinCC.	60
6.20	Console και Logviewer.	61
6.21	Το panel Graphical Editor (GEDI) για την σχεδίαση και παραμετροποίηση του συστήματος.	61
6.22	Το νέο project OPCFIELDPOINT του Windows Virtual Machine εσωτερικά του Linux Machine.	62
6.23	Παραμετροποίηση των καναλιών εισόδου μέσω του λογισμικού Measurement and Automation της National Instruments.	63
6.24	Έλεγχος της επικοινωνίας μεταξύ FieldPoint και Windows Virtual Machine με την καταγραφή των τιμών των καναλιών εισόδου σε πραγματικό χρόνο.	63
6.25	Δημιουργία DP για την σύνδεση με τον OPC DA Client του FieldPoint.	64
6.26	Έλεγχος της επικοινωνίας μεταξύ FieldPoint και του project OPCFIELDPOINT που βρίσκεται στο Windows Virtual Machine.	65
6.27	Ο τρόπος σύνδεσης και επικοινωνίας της συσκευής FieldPoint με το project με την χρήση ενός Windows Virtual Machine.	65
6.28	Η περιοχή εντός του Gas Tightness Station για την αυτόματη δημιουργία των DP του συστήματος.	66
6.29	Η δομή του DPT Fieldpoint για την σύνδεση του project με την συσκευή FieldPoint.	67
6.30	Η δομή του DP Chamber FRL που περιέχει όλη την πληροφορία για τον chamber που εξετάζεται μέσω της μεθόδου FRL στο εκάστοτε node της πειραματικής διάταξης.	68
6.31	Το εργαλείο Graphical Editor του WinCC.	69
6.32	Η τελική μορφή του Gas Tightness Station.	70
6.33	Η τελική μορφή του συστήματος αυτομάτου ελέγχου της διαρροής αερίου των MM QP στο BB5.	71
7.1	Εκκίνηση του Gas Tightness Station μέσω του Project Administrator του WinCC.	72
7.2	Έλεγχος της συνδεσιμότητας μεταξύ FieldPoint, αισθητήρα και GTS.	73
7.3	Ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των Modules cFP-CB-1 που έχουν τοποθετηθεί στο FieldPoint μέσω του κουπιού Enable/Disable Module του Settings Tab.	73
7.4	Έλεγχος της συνδεσιμότητας των Modules cFP-CB-1 με το FieldPoint	73
7.5	Αντιστοίχιση των αισθητήρων στα κανάλια του FieldPoint.	74
7.6	Ολοκλήρωση της αντιστοίχισης των αισθητήρων στα κανάλια του FieldPoint.	75
7.7	Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS _{IN} και MFS _{OUT} της πειραματικής διάταξης.	75
7.8	Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS _{IN} και MFS _{OUT} της πειραματικής διάταξης.	76
7.9	Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS _{IN} και MFS _{OUT} της πειραματικής διάταξης.	76
7.10	Πειραματική διάταξη βαθμονόμησης αισθητήρων ροής μάζας με χρήση υποδερμικών ιατρικών βελονών.	77
7.11	Μέτρηση του offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου, MFS _{IN} και MFS _{OUT} της πειραματικής διάταξης.	77
7.12	Παράθυρο βαθμονόμησης των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης με την εισαγωγή των συντελεστών και των σχέσεων μετατροπής για τους διάφορους αισθητήρες για διαφορετικά αέρια.	78
7.13	Καθορισμός ορίων διαρροής αερίου για κάθε τύπο των ανιχνευτών MM QP μέσα από το Tab Settings του GTS.	79
7.14	Καθορισμός ορίων διαρροής αερίου για κάθε τύπο των ανιχνευτών MM QP.	79
7.15	Καθορισμός ορίων διαρροής αερίου για κάθε τύπο των ανιχνευτών MM QP.	80
7.16	Η ρύθμιση των βαλβίδων για την μέτρηση της διαρροής αερίου του MM QP.	80
7.17	Επιλογή μεθόδου και αερίου που θα χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της διαρροής του MM QP.	80
7.18	Παραμετροποίηση των ρυθμίσεων για κάθε node για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο FRL.	81

7.19 Η παραμετροποίηση του node για την μέτρηση με την μέθοδο FRL.	81
7.20 Η αυτόματη διαδικασία ρύθμισης κάθε node με το πάτημα του κουμπιού Save Settings και την αποθήκευση των ρυθμίσεων που έχει θέσει ο χρήστης.	82
7.21 Οι επιλογές ελέγχου των nodes, 1-Node Mode και 4-Node Overview Mode.	82
7.22 Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode.	83
7.23 Έλεγχος των τιμών των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο FRL.	83
7.24 Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο FRL.	84
7.25 Οι αναλυτικές πληροφορίες για το συγκεκριμένο node στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση της διαρροής του αερίου.	84
7.26 Πλαίσιο για την αποθήκευση και εξαγωγή των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης.	84
7.27 Καθορισμός του χρόνου της αυτοματοποιημένης καταγραφής δεδομένων.	85
7.28 Η δομή του εξαγωγίμου αρχείου ASCII με τα δεδομένα για τους αισθητήρες και την πληροφορία του node στην μέτρηση με την μέθοδο FRL.	85
7.29 Το περιεχόμενο του αρχείου γραφημάτων που παράγεται από την καταγραφή των δεδομένων των αισθητήρων.	86
7.30 Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 4-Node Mode στην μέθοδο FRL.	87
7.31 Χρήση της προχωρημένης ανάλυσης για τον καθορισμό της διαρροής αερίου του MM QP με τον πρόσθετο υπολογισμό της κατανομής του offset των αισθητήρων ροής μάζας στην μέθοδο FRL.	88
7.32 Απομόνωση του MM QP για την μέτρηση της πτώσης πίεσης.	88
7.33 Παραμετροποίηση των ρυθμίσεων για κάθε node για την μέτρηση της διαρροής αερίου με την μέθοδο PDR.	89
7.34 Η παραμετροποίηση του node για την μέτρηση με την μέθοδο PDR.	89
7.35 Οι επιλογές ελέγχου των nodes, 1-Node Mode και 4-Node Overview Mode.	90
7.36 Έλεγχος των τιμών των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο PDR.	90
7.37 Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 1-Node Mode στην μέθοδο PDR.	91
7.38 Οι αναλυτικές πληροφορίες για το συγκεκριμένο node στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση της διαρροής του αερίου.	91
7.39 Πλαίσιο για την αποθήκευση και εξαγωγή των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης για την μέθοδο PDR.	91
7.40 Η δομή του εξαγωγίμου αρχείου ASCII με τα δεδομένα για τους αισθητήρες και την πληροφορία του node στην μέτρηση με την μέθοδο PDR.	92
7.41 Έλεγχος των αισθητήρων και του MM QP του κάθε node με 4-Node Mode στην μέθοδο PDR.	92
7.42 Η δομή της NSW QA/QC Database.	93
7.43 Η δομή της NSW QA/QC Database.	93
7.44 Η δομή και το περιεχόμενο του κεντρικού πίνακα CENTRALMEAS.	94
7.45 Είσοδος του χρήστη στο Freiburg GUI για την αποθήκευση των μετρήσεων στην NSW QA/QC Database.	94
7.46 Εισαγωγή του Batch ID του MM QP στο Freiburg GUI.	95
7.47 Κατοχύρωση των δεδομένων στην NSW QA/QC DB μέσω του Freiburg GUI.	95
7.48 Ιστορικό καταγραφής των μετρήσεων και εξαγωγή των δεδομένων.	96
7.49 Ιστοσελίδα ψηφιακού ημερολογίου για την διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων των μετρήσεων καθώς και την προσβασιμότητας από πολλαπλούς χρήστες.	97
7.50 Ιστοσελίδα ψηφιακού ημερολογίου για την διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων των μετρήσεων καθώς και την προσβασιμότητας από πολλαπλούς χρήστες.	97
8.1 Η πειραματική διάταξη για την βαθμονόμηση των αισθητήρων ροής μάζας με την χρήση ιατρικών βελονών.	99
8.2 Καταγραφή της διαρροής αερίου για αέρα και αργόν με χρήση της ιατρικής βελόνας 28G CN5.	99
8.3 Μέτρηση της διαρροής αερίου για αέρα και αργόν με χρήση της ιατρικής βελόνας 28G CN5.	100
8.4 Ρύθμιση του παράγοντα μετατροπής μέσα από το GTS.	100
8.5 Η δομή του ανιχνευτή MDT.	101
8.6 Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής του ανιχνευτή MDT.	101
8.7 Η σχηματική αναπαράσταση της διάταξης μέτρησης της διαρροής της συστοιχίας των MDT.	102
8.8 Η μέτρηση του tare/offset των αισθητήρων και της διαρροής της θαλάμου MDT με χρήση του GTS.	102
8.9 Η ανάλυση των δεδομένων για τον καθορισμό της διαρροής του ανιχνευτή MDT με χρήση της μεθόδου FRL μέσω του GTS.	103
8.10 Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου 1 Node με την μέθοδο FRL στο BB5.	104
8.11 Η πειραματική διάταξη μέτρησης της διαρροής αερίου του SM1-M0 με την μέθοδο FRL στο BB5 και η σχηματική της αναπαράσταση.	104
8.12 Μέτρηση του offset των αισθητήρων MFS για την μέθοδο FRL μέσω του GTS.	105
8.13 Μέτρηση της διαρροής αερίου του ανιχνευτή SM1-M0 με την μέθοδο FRL μέσω του GTS.	105
8.14 Παρακολούθηση της διαρροής αερίου του ανιχνευτή SM1-M0 με την μέθοδο FRL μέσω της επιλογής Overview του GTS.	106
8.15 Αυτοματοποιημένη ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης για αέρα.	107
8.16 Αυτοματοποιημένη ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων της πειραματικής διάταξης για μείγμα Ar:C02.	107
8.17 Η διάταξη του Test Beam του Αυγούστου 2017 στην περιοχή H8C του Prevezzintou CERN.	108
8.18 Βαθμονόμηση πειραματικής διάταξη με χρήση της βελόνας 32G CN9.	109

8.19H διάταξη για τη μέτρηση της διαρροής του SM2-M0με την μέθοδο FRL. 109

Bibliography

- [1] Oliver Sim Bruning, Paul Collier, P Lebrun, Stephen Myers, Ranko Ostojic, John Poole, and Paul Proudlock. *LHC Design book*. CERN Yellow Reports: Monographs. CERN, Geneva, 2004.
- [2] Carlo Wyss. *LEP design book, v.3: LEP2*. CERN, Geneva, 1996. Vol. 1-2 publ. in 1983-84.
- [3] K Barnes et al. *The PS complex as proton pre-injector for the LHC: design and implementation book*. CERN Yellow Reports: Monographs. CERN, Geneva, 2000.
- [4] ATLAS Collaboration. *ATLAS detector and physics performance: Technical Design book, 1*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1999.
- [5] CMS Collaboration. *CMS Physics: Technical Design book Volume 2: Physics Performance*, volume 34. 2007.
- [6] ALICE Collaboration. *ALICE: Physics Performance book. ALICE physics performance : Technical Design book*, volume 32 of *Technical Design book ALICE*. CERN, Geneva, 2005.
- [7] LHCb Collaboration. *LHCb : Technical Proposal*. Tech. Proposal. CERN, Geneva, 1998.
- [8] Stefan Mättig. *The Online Luminosity Calculator of ATLAS*. *Journal of Physics: Conference Series*, 331(2):022035, 2011.
- [9] TOTEM Collaboration. *TOTEM, Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation at the LHC: Technical Proposal*. Number CERN-LHCC-99-007. LHCC-P-5. Geneva, Mar 1999.
- [10] Cheuk-Yin Wong. *Introduction to high-energy heavy-ion collisions*. World Scientific, Singapore, 1994.
- [11] *ATLAS central solenoid: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1997.
- [12] J P Badiou, J Beltramelli, J M Baze, and J Belorgey. *ATLAS barrel toroid: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1997.
- [13] *ATLAS end-cap toroids: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1997.
- [14] S Haywood, L Rossi, R Nickerson, and A Romaniouk. *ATLAS inner detector: Technical Design book, 2*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1997.
- [15] *Alignment of the ATLAS Inner Detector and its Performance in 2012*. Number ATLAS-CONF-2014-047. Geneva, Jul 2014.
- [16] *TLAS calorimeter performance: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1996.
- [17] *ATLAS liquid-argon calorimeter: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1996.
- [18] *ATLAS tile calorimeter: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1996.
- [19] *ATLAS muon spectrometer: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 1997.
- [20] Peter Jenni, Marzio Nessi, Markus Nordberg, and Kenway Smith. *ATLAS high-level trigger, data-acquisition and controls: Technical Design book*. Technical Design book ATLAS. CERN, Geneva, 2003.
- [21] M Sutton, N P Konstantinidis, J T M Baines, D Emelianov, P Parodi, C Schiavi, and H Drevermann. *A Fast Tracking Algorithm for the ATLAS Level 2 Trigger*. Number ATL-DAQ-CONF-2006-018. ATL-COM-DAQ-2006-039. Geneva, Jan 2006.

- [22] ATLAS Collaboration. *Search for exclusive Higgs and Z boson decays to $\phi\gamma$ and $\rho\gamma$ with the ATLAS detector. Search for exclusive Higgs and Z boson decays to $\phi\gamma$ and $\rho\gamma$ with the ATLAS detector.* Number CERN-EP-2017-273. Geneva, Dec 2017.
- [23] Collaboration ATLAS. *Plot of invariant mass distribution of diphoton candidates after all selections of the inclusive analysis for the combined 7 TeV and 8 TeV data.* Jul 2013.
- [24] Ariel Schwartzman. Jet energy calibration at the LHC. *Int. J. Mod. Phys.*, A30(31):1546002, 2015.
- [25] Lucio Rossi and Oliver Brüning. *The High Luminosity Large Hadron Collider: the new machine for illuminating the mysteries of Universe.* Advanced series on directions in high energy physics. World Scientific, Hackensack, NJ, 2015.
- [26] *Letter of Intent for the Phase-I Upgrade of the ATLAS Experiment.* Number CERN-LHCC-2011-012. LHCC-I-020. Geneva, Nov 2011.
- [27] T Kawamoto, S Vlachos, L Pontecorvo, J Dubbert, G Mikenberg, P Iengo, C Dallapiccola, C Amelung, L Levinson, R Richter, and D Lellouch. *New Small Wheel Technical Design book.* Number CERN-LHCC-2013-006. ATLAS-TDR-020. Jun 2013. ATLAS New Small Wheel Technical Design book.
- [28] ATLAS Collaboration. *Technical Design book for the Phase-I Upgrade of the ATLAS TDAQ System.* Number CERN-LHCC-2013-018. ATLAS-TDR-023. Sep 2013. Final version presented to December 2013 LHCC.
- [29] Collaboration ATLAS. *Letter of Intent for the Phase-II Upgrade of the ATLAS Experiment.* Number CERN-LHCC-2012-022. LHCC-I-023. Geneva, Dec 2012.
- [30] A. Abusleme et al. Performance of a Full-Size Small-Strip Thin Gap Chamber Prototype for the ATLAS New Small Wheel Muon Upgrade. *Nucl. Instrum. Meth.*, A817:85–92, 2016.
- [31] Georgios Iakovidis and Theodoros Alexopoulos. *Research and Development in Micromegas Detector for the ATLAS Upgrade.* Oct 2014.
- [32] Panagiotis Gkountoumis. *Electronics Design and System Integration of the ATLAS New Small Wheels.* Number ATL-MUON-PROC-2016-012. Geneva, Nov 2016.
- [33] K. Golshan. *Physical Design Essentials: An ASIC Design Implementation Perspective.* Springer US, 2007.
- [34] Georgios Iakovidis, Venetios Polychronakos, and Gianluigi De Geronimo. *VMM - An ASIC for Micropattern Detectors.* Number ATL-MUON-PROC-2015-015. Geneva, Nov 2015.
- [35] A Gabrielli, S Bonacini, K Kloukinas, A Marchioro, P Moreira, A Ranieri, and D De Robertis. *The GBT-SCA, a radiation tolerant ASIC for detector control applications in SLHC experiments.* 2009.
- [36] Radu Mihai Coliban, Stefan Popa, Traian Tiberiu Tulbure, Victor Sorin Martoiu, Lorne Levinson, and Jos Vermeulen. *The Read Out Controller for the ATLAS New Small Wheel.* Jan 2016.
- [37] Steve Kilts. *Advanced FPGA design: architecture, implementation, and optimization.* John Wiley & Sons, 2007.
- [38] Panagiotis Gkountoumis. *Level-1 Data Driver Card of the ATLAS New Small Wheel Upgrade Compatible with the Phase II 1 MHz Readout Scheme.* Number ATL-MUON-PROC-2016-010. Geneva, Nov 2016.
- [39] Kevin Thomas Bauer. *FELIX: the new detector readout system for the ATLAS experiment.* Number ATL-DAQ-PROC-2017-042. Geneva, Nov 2017.
- [40] L Yao, V Polychronakos, H Chen, K Chen, H Xu, S Martoiu, N Felt, and T Lazovich. *The address in real time data driver card for the MicroMegas detector of the ATLAS muon upgrade*, volume 12. 2017.
- [41] De Geronimo G. Polychronakos V., IakovidisG. *ATLAS NSW Electronics Specifications: Component VMM3a.* Geneva, 2017.
- [42] Christos Bakalis. *Guide Learning of VHDL Language and Application in the Firmware Development for the MMFES Boards for the Upgrade of ATLAS Experiment at CERN.* Athens, 2017.
- [43] Walter Blum, Werner Riegler, and Luigi Rolandi. *Particle detection with drift chambers; 2nd ed.* Springer, Berlin, 2008.
- [44] William R Leo. *Techniques for nuclear and particle physics experiments: a how-to approach.* Springer Science & Business Media, 2012.
- [45] Jonathan Bortfeldt. *Floating Strip Micromegas.* Springer, 2015.

- [46] Konstantinos Ntekas and Theodoros Alexopoulos. *Performance characterization of the Micromegas detector for the New Small Wheel upgrade and Development and improvement of the Muon Spectrometer Detector Control System in the ATLAS experiment*. 2016.
- [47] I. Giomataris, R. De Oliveira, S. Andriamonje, S. Aune, G. Charpak, P. Colas, G. Fanourakis, E. Ferrer, A. Giganon, Ph. Rebourgeard, and P. Salin. *Micromegas in a bulk*, volume 560. 2006.
- [48] T. Alexopoulos, J. Burnens, R. de Oliveira, G. Glonti, O. Pizzirusso, V. Polychronakos, G. Sekhniaidze, G. Tsipolitis, and J. Wotschack. *A spark-resistant bulk-micromegas chamber for high-rate applications*. 2011.
- [49] T. Alexopoulos, G. Iakovidis, and G. Tsipolitis. *Study of resistive micromegas detectors in a mixed neutron and photon radiation environment*. 2012.
- [50] M. Byszewski and J. Wotschack. *Resistive-strips micromegas detectors with two-dimensional readout*. 2012.
- [51] H. J. Burckhart, J. Cook, V. Filiminov, T. Franz, O. Gutzwiller, V. Khomutnikov, and S. Schlenker. *The Common Infrastructure Control of the ATLAS experiment*. 2008.
- [52] A. Barriuso Poy, H. Boterenbrood, H. J. Burckhart, J. Cook, V. Filimonov, S. Franz, O. Gutzwiller, B. Hallgren, V. Khomutnikov, S. Schlenker, and F. Varela. *The detector control system of the ATLAS experiment*, volume 3. 2008.
- [53] Oliver Holme, Manuel Gonzalez-Berges, Piotr Golonka, and Sascha Schmeling. *The JCOP Framework*. Number CERN-OPEN-2005-027. Geneva, Sep 2005.
- [54] Siemens. *WinCC-OA*.
- [55] P. P. Nikiel, B. Farnham, S. Franz, S. Schlenker, H. Boterenbrood, and V. Filimonov. *OPC Unified Architecture within the Control System of the ATLAS Experiment*. Mar 2014.
- [56] Evangelos Gazis, Theodoros Alexopoulos, Stavros Maltezos, Sotirios Vlachos, Efstathios Karentzos, Aimilianos Koulouris, Paris Moschovakos, and Georgios Koutelieris. *Design of the ATLAS New Small Wheel Gas Distribution System for the Micromegas Detector Modules*. Number ATL-MUON-PROC-2016-005. Geneva, Sep 2016.
- [57] Theodoros Alexopoulos, Stavros Maltezos, and Evangelos Gazis. *Investigation of Gas Leak Test Methods for the NSW Micromegas Multiplet's Mass Production*. Number ATL-COM-MUON-2015-054. Geneva, Oct 2015.
- [58] Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, and Stavros Maltezos. *Gas Leak Test Prototype Setup for the NSW Micromegas Multiplets: Implementation and Calibration Technique*. Number ATL-COM-MUON-2015-094. Geneva, Nov 2015.
- [59] Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Stavros Maltezos, Efstathios Karentzos, and Paris Moschovakos. *Advanced Techniques for Signal Processing and Data Analysis developed for the Gas Tightness Station of NSW Micromegas Multiplets*. Number ATL-COM-MUON-2016-008. Geneva, Feb 2016.
- [60] Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Stavros Maltezos, Sandro Palestini, and Aimilianos Koulouris. *Individual Gas Mixture Manifolds for the NSW Micromegas Wedges*. Number ATL-COM-MUON-2017-002. Geneva, Feb 2017.
- [61] Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Stavros Maltezos, and Athanasios Antoniou. *Surface Topography of the Materials used in NSW Micromegas Quadruplets*. Number ATL-COM-MUON-2017-003. Geneva, Feb 2017.
- [62] Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Mauro Iodice, Stavros Maltezos, Givi Sekhniaidze, Athanasios Antoniou, and Georgios Koutelieris. *Determination of the Feasible Gas Sealing Level of the NSW Micromegas Quadruplets*. Number ATL-COM-MUON-2017-004. Geneva, Feb 2017.
- [63] Omron Electronics. Mass flow sensor d6f datasheet. http://www.mouser.com/ds/2/307/en-d6f_series-1128136.pdf, 2017.
- [64] Omron Electronics. Differential pressure sensor sdp800 datasheet. http://www.mouser.com/ds/2/682/Sensirion_Differential_Pressure_Sensors_SDP8xx_Ana-1146863.pdf, 2017.
- [65] Omron Electronics. Differential barometric pressure sensor hcla12x5du datasheet. http://www.mouser.com/ds/2/313/DS_Standard-HCLA_E_11629-607264.pdf, 2017.
- [66] Amphenol Advanced Sensors. Temperature sensor ge-2102 datasheet. <http://www.mouser.com/ds/2/18/AAS-920-657D-Thermometrics-Inline-FTFTS-060817-web-1113371.pdf>, 2017.
- [67] National Instruments. Ni cfp-1804. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202527>, 2017.

-
- [68] National Instruments. Ni cfp-ai-110. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/11581>, 2017.
- [69] National Instruments. Ni cfp-cb-1. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/116171>, 2017.
- [70] CERN. Root data analysis framework. <https://root.cern.ch/>, 2017.