



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΚΑΙ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ



Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Φυσική και Τεχνολογικές Εφαρμογές»

**Σχεδιασμός Αυτόνομης Μονάδας Ελέγχου Στεγανότητας
Αερίου των Ανιχνευτών Micromegas του New Small Wheel
του Πειράματος ATLAS στο CERN**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της Σουλτάνας Κουτσούπη

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αλεξόπουλος

Αθήνα, Φεβρουάριος, 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΚΑΙ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ



Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Φυσική και Τεχνολογικές Εφαρμογές»

**Σχεδιασμός Αυτόνομης Μονάδας Ελέγχου Στεγανότητας
Αερίου των Ανιχνευτών Micromegas του New Small Wheel
του Πειράματος ATLAS στο CERN**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της Σουλτάνας Κουτσούπη

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αλεξόπουλος

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις

.....
Θ.Αλεξόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ε.Γαζής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Σ.Μαλτέζος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, 02/2022

.....

Κουτσούπη Σουλτάνα

Φυσικός Πανεπιστημίου Πατρών - Ρίου.

© (2022) 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 παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην μελέτη και υλοποίηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ελέγχου της διαρροής αερίου ανιχνευτικών διατάξεων Πειραματικής Φυσικής Υψηλών Ενεργειών. Συγκεκριμένα, μελετάται και κατασκευάζεται το αυτόματο σύστημα ελέγχου της διαρροής αερίου των ανιχνευτών τύπου Micromegas που τοποθετήθηκαν στο New Small Wheel του πειράματος ATLAS στον επιταχυντή LHC στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Ερευνών Πυρηνικής Φυσικής CERN.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματική εργασίας πραγματοποιήθηκε η μελέτη σχετικά με το πείραμα ATLAS του CERN και κυρίως με την αναβάθμιση των ηλεκτρονικών συστημάτων αυτού υπό την αναβάθμιση του New Small Wheel. Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε ενασχόληση με τις μεθόδους μέτρησης διαρροής αερίου και συνεπώς της στεγανότητας του ανιχνευτή. Ιδιαίτερα, υλοποιήθηκε εξολοκλήρου από την ομάδα Πειραματικής Φυσικής Υψηλών Ενεργειών & Συναφούς Οργανολογίας του Εθνικού Μετσόβιου 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 QA/QC έλεγχο τους στο εργαστήριο BB5 του CERN και τον χαρακτηρισμό της λειτουργικότητάς τους. Τέλος, λόγω της εργονομίας που διαθέτει αυτή η φορητή, αυτόνομη πειραματική διάταξη εκτός από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στις μετρήσεις διαρροής των ανιχνευτικών διατάξεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά και στη βιομηχανία αυτών.

Επιπροσθέτως, πέραν της θεωρητικής μελέτης που αναπτύσσεται στα πρώτα κεφάλαια, στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ενασχόληση και με τους μικροελεγκτές και ειδικότερα με τον μικροελεγκτή Arduino. Οι μικροελεγκτές, έχουν χαμηλό κόστος και είναι εύκολοι στην χρήση αλλά και στον προγραμματισμό γεγονός που εξυπηρετεί και απαντά σε πολλές χωροταξικές ανάγκες αλλά και σε οικονομικό όφελος. Ο μικροελεγκτής Arduino χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία ενός μενού ώστε ο χρήστης να έχει δυνατότητα επιλογής αερίου αλλά και στη λήψη δεδομένων από αισθητήρες ροής μάζας. Όλα τα συστήματα δεδομένων συνοδεύονται από ένα σύστημα ελέγχου. Τα συστήματα ελέγχου αναπτύχθηκαν με το λογισμικό WinCC OA της εταιρίας Siemens, το οποίο τη δεδομένη στιγμή είναι και το επίσημο λογισμικό ανάπτυξης συστημάτων ελέγχου για τις ανιχνευτικές διατάξεις του CERN.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η φορητή διάταξη ελέγχου διαρροής αερίου να είναι πλήρως αυτόνομη, γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής Arduino και πραγματοποιήθηκαν κάποιες δοκιμαστικές μετρήσεις.

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, it has designed an automated control system for the gas leak measurements of Micromegas detectors to be 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 dissertation, the study was carried out on the ATLAS experiment of CERN and mainly on the upgrade of its electronic systems under the upgrade of the New Small Wheel. Then, we study the methods of measuring and therefore we were dealt with the tightness of the detector. In particular, the experimental physics team of High Energy and Related Organology of the National Technical University of Athens carried out the construction of the experimental device and the design of an automatic system for recording, storing and leaking control of the leak detectors used by Micromegas particle detectors, which they use the software WinCC OA to control and check the QA/QC in the BB5 laboratory at CERN and the characterization of their functionality. Finally, due to the ergonomic of this portable, stand-alone experimental device, in addition to the advantages it offers in leak measurements of detectors, it can also be used in the industry in the future.

Additionally, rather than the theoretical study developed in the first chapters, we were dealt with the microcontrollers and in particular the Arduino microcontroller. The microcontrollers are low cost and easy in use but also in programming, a fact that serves and responds to many spatial needs but also to financial benefit. The Arduino microcontroller was used to create a menu so that the user can select gas as well as receive data from the mass flow sensors too. All the data acquisition systems are accompanied by a control system. The control systems were developed by Siemens WinCC OA software, which is currently the official development software for control systems at CERN's detection devices.

The aim of this diploma thesis is to make the portable gas leak control device completely autonomous, for this purpose the Arduino microcontroller was used, and some test measurements were performed below.

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της παρούσης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Θεόδωρο Αλεξόπουλο που με τις πολύτιμες συμβουλές του με κατεύθυνε σε μία πολύ ενδιαφέρουσα ακαδημαϊκή διαδρομή ώστε να βρω το κατάλληλο θέμα της διπλωματικής διατριβής που θα μου ταίριαζε και την παρότρυνσή του για συνεργασία με κ.Μαλτέζο Σταύρο. Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Μαλτέζο Σταύρο για όλες τις συμβουλές, τις πολύτιμες ακαδημαϊκές γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσε σε όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας και θα κρατώ σαν παρακαταθήκη στην μετέπειτα πορεία μου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ με αξιόλογους συναδέλφους και συμφοιτητές και για όλες τις συζητήσεις μας περί Φυσικής και τους προβληματισμούς που μου έθεσε ώστε να με κατευθύνει στα σωστά μονοπάτια βρίσκοντας λύσεις σε καίρια ζητήματα που προκύπταν κατά τη διάρκεια της εργασίας. Ακόμη, δεν παραβλέπω να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου, τον Πολυνείκη Τζανή για τις απορίες που μου έλυσε σχετικά με το WinCC OA και τον Σταμάτη Τζάνο σχετικά με τις απορίες μου στα Raspberry και στα Arduino και τον τρόπο προγραμματισμού τους. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιώργο Μακέδο για τις πολύτιμες συμβουλές που μου πρόσφερε σχετικά με τα Arduino. Επιπλέον, δεν ξεχνώ τον συμφοιτητή και φίλο μου Γιάννη Δρίβα ο οποίος ανήκει στην ομάδα ATLAS του CERN και μου έστειλε υπέροχες φωτογραφίες από την εγκατάσταση του NSW στο CERN ώστε να χρησιμοποιήσω στην εργασία μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις φίλες μου, την Χλόη, το Χαρούλι, την Ελεάνα και την Βαλιάννα, για την εμπιστοσύνη και την στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας και για την υπομονή τους όταν γκρίνιαζα σε σημεία που είχα κολλήσει. Ευχαριστώ, ακόμη, την «αρκουδίτσα» μου, τον σκύλο μου Ρόξυ που ποτέ δεν παραπονέθηκε για τις υπερβολικές βόλτες όταν χρειαζόμουν καθαρό αέρα για να λειτουργήσει το μυαλό μου. Βεβαίως, πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Χρήστο και Ελευθερία, τον αδερφό μου, Βασίλη και τον φίλο μου, Κωνσταντίνο, για την ανιδιοτελή αγάπη τους, για την αστείρευτη στήριξή τους σε όλα τα περίεργα και τρελά σχέδια που έχω ανά καιρούς κατά νου και που με βοηθούν να πραγματοποιώ κάθε μου όνειρο, για την υπομονή τους και για την εμπιστοσύνη που μου έχουν και που μου θυμίζουν κάθε μέρα πόσο δυνατή είμαι.

Σε μία από τις πιο δυνατές γυναίκες που έχω
γνωρίσει στη ζωή μου:

Στη γιαγιά μου, Πηνελόπη.

Περιεχόμενα

1ο Κεφάλαιο	15
1. Πείραμα ATLAS στον LHC του CERN	15
1.1 Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων LHC.....	18
1.2 Το καθιερωμένο Πρότυπο «Standard Model».....	20
1.3 Διατάξεις Επιταχυντών και Σύγχρονα Πειράματα.....	22
1.4 Ο Ανιχνευτής ATLAS.....	24
1.4.1 Σύστημα Μαγνητών και Εσωτερικός Ανιχνευτής Τροχιών (Magnet System & Inner Detector) 26	
1.4.2 Θερμιδόμετρα.....	29
1.4.3 Φασματομέτρα Μιονίων (Muon Spectrometer).....	29
1.5 Διάταξη New Small Wheel & Upgrade ^{[11][12]}	33
1.5.1 Επισκόπηση Ηλεκτρονικού Συστήματος NSW & VMM ASIC.....	37
2ο Κεφάλαιο	41
2. Ανιχνευτικό Σύστημα Αναβάθμισης NSW	41
2.1 Αρχή λειτουργίας Ανιχνευτών Αερίου.....	41
2.2 Αρχή λειτουργίας του ανιχνευτή Micromegas και Micromesh Gaseous Structure.....	47
2.3 Ανιχνευτές Micromegas για ATLAS NSW Upgrade.....	49
3ο Κεφάλαιο	52
3. Σύστημα αερίου των ανιχνευτών Micromegas	52
3.1 Σύστημα παροχής αερίου, μηχανισμός διαρροής και αίτια.....	52
3.2 Μέθοδοι και περιγραφή της πειραματικής διάταξης (BB5) για την μέτρηση διαρροής αερίου του ανιχνευτή Micromegas.....	55
3.2.1 Ο σταθμός ελέγχου στεγανότητας – γενική περιγραφή & αρχή λειτουργίας.....	56
3.2.2 Μέθοδος πτώσης πίεσης (PDR) & Μέθοδος απώλειας ροής(FLR).....	59
3.2.3 Μετρήσεις Διαρροής.....	63
3.2.4 Σύστημα αποθήκευσης δεδομένων.....	69
3.2.5 Sensitivity του ανιχνευτή Micromegas του NSW.....	70
4ο Κεφάλαιο	71
4. Σύστημα Ελέγχου SCADA – Εισαγωγή στο WinCC OA	71
4.1 Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου ATLAS – Εισαγωγή.....	71
4.2 WinCC Open Architecture.....	72
4.2.1 Αρχιτεκτονική και Βασικά Εργαλεία.....	72

4.3	<i>Σύστημα Αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου στο BB5</i>	77
4.3.1	<i>Εισαγωγή</i>	77
4.3.2	<i>Gas Tightness Station – BB5 και Λογισμικό Συλλογής Δεδομένων</i>	78
5°	Κεφάλαιο	83
5.	<i>Μικροελεγκτές – Μικροϋπολογιστές</i>	83
5.1	<i>Συστήματα Λήψης Δεδομένων</i>	83
5.2	<i>Μικροελεγκτές – Μικροϋπολογιστές</i>	84
5.3	<i>«Μικροελεγκτής Arduino» - Arduino Mega 2560 rev.3 – System on a Chip – Pinout – Arduino Shield – Λογισμικό</i>	85
6ο	Κεφάλαιο	90
6	<i>Εισαγωγή – Αυτόνομη Μονάδα Ελέγχου Διαρροής Αερίου</i>	90
6.1	<i>Arduino System - Προετοιμασία και Ηλεκτρική Συνδεσμολογία</i>	91
6.2	<i>Κώδικας σε γλώσσα IDE και Monitoring</i>	97
6.3	<i>Arduino Sketch (Script)</i>	99
6.4	<i>Διαδικασία Μέτρησης & Δοκιμαστικές Μετρήσεις στο BB5 (CERN)</i>	115
6.5	<i>Σύστημα Ελέγχου στο WinCC OA</i>	121
6.6	<i>Δυνατότητες και προοπτική αναβάθμισης του αυτόνομου συστήματος ελέγχου στεγανότητας</i>	126
	Βιβλιογραφία	128

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα [1]: Σχηματική Αναπαράσταση Επιταχυντών Και Εργαστηρίων Του Lhc. Ο 27 Μ Δακτύλιος Τροφοδοτείτε Με Δέσμες Σωματιδίων Στον Οποίο Συγκρούονται Στα Σημεία Που Είναι Τοποθετημένα Τα 4 Υπόγεια Πειράματα Atlas, Cms, Alice & Lhcb. _	18
Εικόνα [2]: Φωτογραφία από την σήραγγα του επιταχυντή LHC. _____	18
Εικόνα [3]: LHC Timeline 2011- 2040. [3] _____	20
Εικόνα [4]: Δομικοί λίθοι της Ύλης. _____	22
Εικόνα [5]: Απεικόνιση του ανιχνευτή ATLAS στο εσωτερικό και τα επί μέρους δομικά στοιχεία του. _____	25
Εικόνα [6]: Κεντρικό σωληνοειδές(πάνω) – «βαρέλι»(κάτω αριστερά) – «καπάκι»(κάτω δεξιά). _____	27
Εικόνα [7]: Σχηματική αναπαράσταση Inner Detector. _____	28
Εικόνα [8]: Monitored Drift Tubes (MDT). _____	30
Εικόνα [9]: Cathode Strip Chambers (CSC). _____	31
Εικόνα [10]: Resistive Plate Chambers (RPC). _____	32
Εικόνα [11]: Thin Gap Chambers (TGC). _____	33
Εικόνα [12]: Αριστερά : Σχηματική διάταξη των 16 τομέων του NSW μαζί με μερική εικόνα του SW και του κεντρικού κυλίνδρου από ορειχάλκο. Δεξιά: Σχηματική διάταξη των τεσσάρων πολυεπίπεδων του sTGCs και των MM ανιχνευτών συμπεριλαμβανομένης της δομή υποστήριξης. _____	35
Εικόνα [13]: Το ολοκληρωμένο NSW – εγκαταστάθηκε πρόσφατα στο CERN [14]. _____	36
Εικόνα [14]: Το ολοκληρωμένο NSW κατά την μεταφορά 06.07.2021 [14]. _____	36
Εικόνα [15]: Ερευνητική ομάδα NSW ATLAS – εγκαταστάσεις CERN (2021). _____	37
Εικόνα [16]: Σχηματική αναπαράσταση πλακέτας MMFE [16]. _____	38
Εικόνα [17]: Σχηματική αναπαράσταση πλακέτας LIDDC. _____	38
Εικόνα [18]: Σχηματική αναπαράσταση πλακέτας ADCC. _____	39
Εικόνα [19]: Σχηματική αναπαράσταση πλακέτας VMM ASIC [22]. _____	40
Εικόνα [20]: Γραφική απεικόνιση της λειτουργίας ανιχνευτή αερίου. _____	41
Εικόνα [21]: Φαινόμενο χιονοστιβάδας και δημιουργία σχηματισμού σταγόνας _____	42
Εικόνα [22]: Οι διαφορετικές περιοχές λειτουργίας των ανιχνευτών αερίου ανάλογα την εφαρμοζόμενη τάση. _____	44
Εικόνα [23]: Απεικόνιση διατομής ανιχνευτή Micromegas που δείχνει την κατανομή και τα δομικά στοιχεία του εσωτερικού του ανιχνευτή Micromegas και την αρχή λειτουργίας. _____	48
Εικόνα [24]: Ηλεκτρικό πεδίο ανιχνευτή Micromegas [24]. _____	48
Εικόνα [25]: Στάδια κατασκευής bulk Micromegas [25]. _____	49
Εικόνα [26]: Διάταξη New Small Wheel Upgrade [29]. _____	50
Εικόνα [27]: Δεξιά: 4 PCB ανάγνωσης που συνθέτουν ένα MM module [27]. Αριστερά: Μικρά και μεγάλα wedges, κάθε στρώμα μονάδα MM αποτελείται από 8 PCBs, τρία για το επάνω και πέντε για την κάτω μονάδα αντίστοιχα [28][29]. _____	51
Εικόνα [28]: Τυπική διαμόρφωση ενός μόνο καναλιού παροχής αερίου σε δύο wedges του MM [30]. _____	53
Εικόνα [29]: Τυπική διαμόρφωση παροχής αερίου στα Large Wedges (αριστερά) και στα Small Wedges (δεξιά) [29]. _____	53
Εικόνα [30]: Κτήριο 899 στο Cern – BB5. _____	55
Εικόνα [31]: Σχηματική αναπαράσταση της χωρικής διάταξης του κτηρίου 899 με όλους τους σταθμούς εργασίας [37]. _____	56
Εικόνα [32]: Αριστερά: Τα κανάλια παροχής αερίου για το σύστημα ελέγχου διαρροής. Δεξιά: σχηματική απεικόνιση του κυκλώματος [37]. _____	57
Εικόνα [33]: Κανάλι μέτρησης διαρροής αερίου με βάνες ελέγχου ροής [37]. _____	58
Εικόνα [34]: Πειραματική διάταξη μέτρησης διαρροής της μεθόδου PDR. _____	60
Εικόνα [35]: Πειραματική διάταξη μέτρησης διαρροής της μεθόδου FRL. _____	62
Εικόνα [36]: Αριστερά: Γραφική παράσταση της διαρροής αερίου διαφόρων ιατρικών υποδερμικών βελονών με το όριο αποδοχής. Δεξιά: Ιατρικές υποδερμικές βελόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία διαρροής. _____	63
Εικόνα [37]: MM QP n γεμισμένο με αέριο σε συγκεκριμένη πίεση. _____	64
Εικόνα [38]: Απομόνωση των MM QP n για την μέτρηση της πτώσης πίεσης. _____	64
Εικόνα [39]: Μέτρηση tare των αισθητήρων. _____	65
Εικόνα [40]: Μέτρηση του κλάδου διαρροής MM QP n της διάταξης. _____	65

Εικόνα [41]: Mass Flow Sensor D6F-P / Omron Electronics.	66
Εικόνα [42]: Αναλογική τάση εξόδου αισθητήρα D6F-P.	66
Εικόνα [43]: Αισθητήρας διαφορικής πίεσης SDP800 της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου.	67
Εικόνα [44]: Αισθητήρας βαρομετρική πίεσης μοντέλο HCLA12X5DU της εταιρίας Omron Electronics.	67
Εικόνα [45]: Αισθητήρας θερμοκρασίας περιβάλλοντος GE-2102 της εταιρίας Amphenol Advanced Sensors.	68
Εικόνα [46]: Analog-to-Digital Converter ADS1115 της εταιρίας Texas Instruments.	69
Εικόνα [47]: Σχηματική αναπαράσταση αρχιτεκτονικής του DCS χωρισμένο σε 2 μέρη.	72
Εικόνα [48]: Γραφικό περιβάλλον χρήστη ATLAS DCS με τα υποσυστήματα σε ιεραρχική δομή FSM.	73
Εικόνα [49]: Εργαλείο Graphical Editor του WinCC.	76
Εικόνα [50]: Περιοχή εντός του Gas Tightness Station για την αυτόματη δημιουργία των DPs.	78
Εικόνα [51]: Gas Tightness Station.	79
Εικόνα [52]: Τελική διάταξη συστήματος αυτόματου ελέγχου στο BB5.	79
Εικόνα [53]: Συνδεσιμότητα μεταξύ Fieldpoint, αισθητήρων και GTS.	80
Εικόνα [54]: Μέτρηση offset των αισθητήρων ροής μάζας εισόδου και εξόδου.	81
Εικόνα [55]: Μία από τις πρώτες πλακέτες Arduino [48].	86
Εικόνα [56]: Arduino Uno.	86
Εικόνα [57]: Arduino Mega 2560 Rev.3.	87
Εικόνα [58]: Αριστερά: Pins Arduino Mega 2560 Rev.3. Δεξιά: Τροφοδοσία Arduino Mega 2560 Rev.3 [48].	88
Εικόνα [59]: Shields πάνω σε Arduino με την ανωτέρω να παρέχω μία δοκιμαστική πλακέτα (breadboard).	89
Εικόνα [60]: Πρότυπη Αυτόνομη μονάδα ελέγχου διαρροής αερίου.	91
Εικόνα [61]: ενισχυτής ads1115 16-βιτ.	92
Εικόνα [62]: Αισθητήρες ροής μάζας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.	92
Εικόνα [63]: LCD Keypad Shield για σύνδεση με Arduino mega 2560 Rev. 3.	93
Εικόνα [64]: ADS1115	93
Εικόνα [65]: Συνδεσμολογία ADS1115 σε ARDUINO MEGA 2560 REV.3 [49].	94
Εικόνα [66]: Σχέδιο ηλεκτρονικών του sa-glt (Stand-Alone Gas Leak Test)	95
Εικόνα [67]: Φωτογραφία από την Εσωτερική Δομή της sa-glt-1 / Δύο Εμπορικοί Αισθητήρες MFS φαίνονται στα μαύρα κουτάκια.	97
Εικόνα [68]: Φωτογραφία από το εξωτερικό της sa-glt-1 Όπου φαίνεται η lcd οθόνη με το keypad.	97
Εικόνα [69]: Ένα συνολικό διάγραμμα του SA-GLT.	98
Εικόνα [70]: Ορθή λειτουργία ADS1115 συνδεδεμένο με το ARDUINO MEGA 2560 Rev.3 .	101
Εικόνα [71]: Πάνελ κανονικοποίησης μετρήσεων διαρροής.	116
Εικόνα [72]: από τον Ιανουάριο 2019 έως σήμερα έχουν ελεγχθεί 137 micromegas quads [50].	118
Εικόνα [73]: Μετρήσεις των $sm1$, $sm2$, $lm1$ και $lm2$ [50].	118
Εικόνα [74]: Η κατανομή gamma έχει συντονιστεί στο υπολογισμένο συνολικό μέσο όρο και στη διακύμανση του QL .	119
Εικόνα [75]: Αυτή η τεχνική βασίζεται στην χαμηλού κόστους oxygen probe analyzer για την συνεχή ροή αερίου .μια προσαρμοσμένη χαμηλή πλήρη κλίμακα της τάξεως του 1% είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην περίπτωση μας.	119
Εικόνα [76]: Βαθμονόμηση OPA sensor.	120
Εικόνα [77]: Ρυθμίσεις για την σύνδεση του Arduino στον OPC Server.	124
Εικόνα [78]: Ρύθμιση datapoints για τον OPC DA CLIENT.	125
Εικόνα [79]: Σταθερές αέριων πάνω στην φορητή διάταξη.	126

1ο Κεφάλαιο

1. Πείραμα ATLAS στον LHC του CERN

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο θα ακολουθήσει μία σύντομη περιγραφή του μεγαλύτερου Ευρωπαϊκού Κέντρου Πυρηνικών Ερευνών, CERN, ενώ στη συνέχεια θα δοθεί έμφαση και περιεκτική περιγραφή του πειράματος ATLAS στον μεγάλο επιταχυντή αδρονίων, LHC του CERN. [1]

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών, CERN, ιδρύθηκε στις 29 Σεπτεμβρίου 1954 από 12 χώρες της Ευρώπης, ενώ σήμερα απαρτίζεται από τα 12 κράτη – μέλη και από 27 κράτη ενεργά και υποψήφια μέλη. Το ακρωνύμιο CERN προέρχεται από τις γαλλικές λέξεις « Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire» το οποίο σημαίνει Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Πυρηνικής Έρευνας όπως αυτό συστάθηκε περί το 1952. Ωστόσο, μετέπειτα το συμβούλιο που είχε συσταθεί το 1952 διαλύθηκε κι έτσι το έτος 1954 το CERN έλαβε την τελική ονομασία όπως την γνωρίζουμε έως σήμερα ως «Europeenne pour la Recherche Nucleaire» το οποίο και σημαίνει Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικής Έρευνας. Το CERN βρίσκεται δυτικά της Γενεύης, στα σύνορα Ελβετίας και Γαλλίας και ανάμεσα στα μεγάλα επιτεύγματα που πραγματοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα :

- i. **1973:** Η ανακάλυψη των ουδέτερων ρευμάτων στο θάλαμο φυσαλίδων Gargamelle.
- ii. **1983:** Η ανακάλυψη των μποζονίων W & Z στα πειράματα UA1 και UA2.
- iii. **1995:** Η πρώτη δημιουργία ατόμων αντιυδρογόνου στο πείραμα PS210.
- iv. **1999:** Η ανακάλυψη της άμεσης παραβίασης CP στο πείραμα NA48.
- v. **2010:** Η απομόνωση 38 ατόμων αντιυδρογόνου.
- vi. **2011:** Η διατήρηση αντιυδρογόνου για πάνω από 15 λεπτά.
- vii. **2012:** Ένα μποζόνιο με μάζα $125.10 \pm 0.14 \text{ GeV} / c$ συνάδει με το μποζόνιο Χιγκς.

Το CERN σήμερα αποτελείται από περίπου 3000 μόνιμους εργαζόμενους, ενώ περίπου 6500 επιστήμονες και μηχανικοί, το μισό της κοινότητας της σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο, δουλεύουν σε πειράματα που οργανώνονται από το CERN.

Το CERN σήμερα φιλοξενεί ένα ευρύ φάσμα πειραμάτων. Επιστήμονες από ινστιτούτα σε όλο τον κόσμο συνεργάζονται για τη διεξαγωγή ενός διαφορετικού ερευνητικού προγράμματος, διασφαλίζοντας ότι το CERN καλύπτει πληθώρα θεμάτων στη Φυσική, από το Καθιερωμένο Μοντέλο έως την Υπερσυμμετρία και από εξωτικά ισότοπα έως κοσμικές ακτίνες. Αρκετές συνεργασίες εκτελούν πειράματα χρησιμοποιώντας τον επιταχυντή Large Hadron Collider, LHC, τον πιο ισχυρό επιταχυντή που έχει γνωρίσει ο κόσμος μας έως σήμερα.

Επιπροσθέτως, πειράματα σταθερού στόχου , πειράματα αντιύλης και πειραματικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν τον αδρονικό επιταχυντή LHC. Τα κυριότερα πειράματα που «τρέχουν» αυτή τη στιγμή στο CERN είναι 8 στον

αδρονικό επιταχυντή LHC και χρησιμοποιούν ανιχνευτές για την ανάλυση μυριάδων σωματιδίων που παράγονται από τις συγκρούσεις.

Κάθε πείραμα είναι ξεχωριστό και χαρακτηρίζεται από τους ανιχνευτές του. [2] Τα μεγαλύτερα πειράματα είναι αυτά του ATLAS (A Toroidal Lhc ApparatuS) και CMS (Compact Muon Solenoid) τα οποία χρησιμοποιούν ανιχνευτές γενικής χρήσης για να διερευνήσουν ένα μεγάλο φάσμα της ανεξερεύνητης έως σήμερα Φυσικής. Η ύπαρξη δύο ανεξάρτητων σχεδιασμένων ανιχνευτών είναι σπουδαίας σημασίας για την επιβεβαίωση τυχόν νέων ανακαλύψεων. Τα πειράματα ALICE (A Large Ion Collider Experiment) και LHCb (Large Hadron Collider beauty) διαθέτουν ανιχνευτές εξειδικευμένους για εστίαση σε συγκεκριμένα φυσικά φαινόμενα. Αυτοί οι 4 ανιχνευτές είναι εγκατεστημένοι υπόγεια σε τεράστιες σήραγγες στον LHC. Τα μικρότερα πειράματα στον LHC είναι τα TOTEM (Total, elastic and diffractive cross- section measurement) και LHCf (Large Hadron Collider forward), τα οποία επικεντρώνονται σε «Front Particles» - πρωτόνια ή βαριά ιόντα τα οποία δεν συναντιούνται όταν συγκρούονται οι δέσμες τους αλλά περνούν ξυστά το ένα από το άλλο. Το TOTEM χρησιμοποιεί ανιχνευτές τοποθετημένους και στις δύο πλευρές του σημείου που εκτείνεται ο CMS, ενώ το LHCb αποτελείται από δύο ανιχνευτές που τοποθετούνται κατά μήκος του LHC, στα 140 m στην κάθε πλευρά του σημείου σύγκρουσης του ATLAS. Το MoEDAL (Monopole and Exotics Detector at the LHC) χρησιμοποιεί ανιχνευτές που βρίσκονται κοντά στο LHCb για να αναζητήσει ένα υποθετικό σωματίδιο που ονομάζεται μαγνητικό μονόπολο. Το FASER (Forward Search Experiment), το νεότερο πείραμα του LHC, βρίσκεται 480 m από το σημείο σύγκρουσης ATLAS για να αναζητήσει νέα ελαφριά σωματίδια και να μελετήσει νετρίνα. Συνοψίζοντας λοιπόν τα πειράματα που λαμβάνουν χώρα στον LHC είναι :

ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, TOTEM, LHCf, MoEDAL, FASER

Ακόμη, στο CERN διεξάγονται πειράματα σταθερού στόχου, μία δέσμη επιταχυνόμενων σωματιδίων κατευθύνεται σε έναν στόχο στερεού, υγρού ή αερίου, ο οποίος από μόνος του μπορεί να είναι μέρος του συστήματος ανίχνευσης. Το COMPASS, το οποίο εξετάζει τη δομή των αδρονίων χρησιμοποιεί δοκούς από το Super Proton Synchrotron (SPS). Το SPS τροφοδοτεί επίσης τη Βόρεια περιοχή η οποία φιλοξενεί αντίστοιχα διάφορα πειράματα. Το NA61 / SHINE μελετά μια μετάβαση φάσης μεταξύ των αδρονίων και του πλάσματος quark- gluon και πραγματοποιεί μετρήσεις για πειράματα που περιλαμβάνουν κοσμικές ακτίνες και ταλαντώσεις νετρίνων. Το NA62 χρησιμοποιεί πρωτόνια από το SPS για να μελετήσει σπάνιες διασπάσεις καονίων. Το NA63 κατευθύνει δέσμες ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων σε ποικίλους στόχους για τη μελέτη διαδικασιών ακτινοβολίας σε ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Το NA64 αναζητά νέα σωματίδια που θα προκαλούσαν άγνωστη αλληλεπίδραση μεταξύ ορατής και σκοτεινής ύλης. Το UA9 ερευνά πως οι κρύσταλλοι θα μπορούσαν να βοηθήσουν να κατευθύνουν τις ακτίνες σωματιδίων σε συγκρούσεις υψηλών ενεργειών. Το πείραμα CLOUD χρησιμοποιεί δέσμες από το Proton Synchrotron για να διερευνήσει μια πιθανή σύνδεση μεταξύ κοσμικών ακτίνων και σχηματισμού νέφους. Το DIRAC, αναλύει δεδομένα και διερευνά την ισχυρή δύναμη μεταξύ των κουάρκ. Συνοψίζοντας λοιπόν τα πειράματα σταθερού στόχου που φιλοξενεί το CERN, είναι :

COMPASS, NA61, SHINE, NA62 -63-64, UA9, CLOUD

Ωστόσο, τα ανωτέρω περιγραφόμενα πειράματα δεν είναι τα μόνα που φιλοξενεί το CERN καθώς «τρέχουν» κι άλλα διάσημα πειράματα τα οποία μελετούν την αντιύλη. Τα κυριότερα από αυτά είναι το Antiproton Decelerator και το ELENA τα οποία εκτελούν πολλά πειράματα που μελετούν την αντιύλη και τις ιδιότητές της : AEGIS, ALPHA, ASACUSA, BASE και GBAR.

Τέλος, στο CERN εκτός από πειράματα υπάρχουν διάφορες εγκαταστάσεις εργαστήριων για πειράματα όπως το ISOLDE (Isotope mass Separator On – Line facility), MEDICIS, n_TOF (Neutron time of flight facility) και το CERN Neutrino Platform. Και φυσικά δεν θα μπορούσαν να λείπουν τα πολύ φημισμένα πειράματα τα οποία δεν χρησιμοποιούν επιταχυντές. Το AMS για παράδειγμα είναι ένα αναγνωρισμένο από το CERN πείραμα που βρίσκεται στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό , ο οποίος έχει το κέντρο ελέγχου του στο CERN. Τα πειράματα CAST και OSQAR αναζητούν υποθετικά σωματίδια σκοτεινής ύλης τα οποία ονομάζονται axions ή αλλιώς αξιόνια.

Το πείραμα ATLAS είναι ένας από τους δύο ανιχνευτές γενικής χρήσης στον LHC. Διερευνά και μελετά ένα ευρύ φάσμα πεδίων της Φυσικής, από την αναζήτηση του μποζονίου Higgs έως τις επιπλέον διαστάσεις και τα σωματίδια που θα μπορούσαν να αποτελούν τη σκοτεινή ύλη. Αν και έχει ίδιους στόχους με το πείραμα CMS, ωστόσο οι τεχνικές και ο σχεδιασμός του μαγνητικού συστήματος είναι εντελώς διαφορετικά.

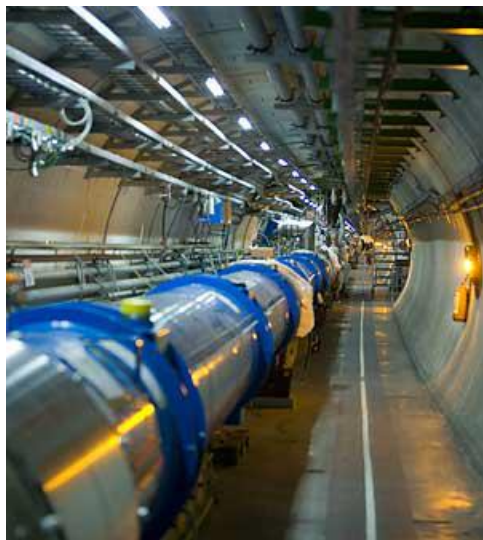
Δέσμες σωματιδίων από τον LHC συγκρούονται στο κέντρο του ανιχνευτή ATLAS με τη μορφή νέων σωματιδίων, τα οποία «κλυμπούν» έξω από το σημείο σύγκρουσης προς όλες τις κατευθύνσεις. Έξι διαφορετικά υποσυστήματα ανίχνευσης διατεταγμένα σε στρώματα γύρω από το σημείο σύγκρουσης καταγράφουν τις διαδρομές, την ορμή και την ενέργεια των σωματιδίων, επιτρέποντάς του να αναγνωριστούν ξεχωριστά. Ένα τεράστιο μαγνητικό σύστημα εκτρέπει τις διαδρομές των φορτισμένων σωματιδίων έτσι ώστε να μπορεί να μετρηθεί η ροπή τους. Οι αλληλεπιδράσεις στους ανιχνευτές ATLAS δημιουργούν μια τεράστια ροή δεδομένων. Για να καταγραφούν αυτά τα δεδομένα το πείραμα χρησιμοποιεί ένα προηγμένης τεχνολογίας σύστημα καταγραφής ώστε αυτό να επικοινωνεί με τον ανιχνευτή και να «πει» ποια συμβάντα πρέπει να καταγράψει και ποια πρέπει να αγνοήσει. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται πολύπλοκα συστήματα απόκτησης δεδομένων και υπολογιστών για την ανάλυση των συμβάντων σύγκρουσης που καταγράφηκαν. Με μήκος 46m, ύψος 25 m και πλάτος 25 m, ο ανιχνευτής ATLAS 7000 τόνων είναι ο μεγαλύτερος ανιχνευτής σωματιδίων που κατασκευάστηκε ποτέ. Είναι τοποθετημένος σε μία υπόγεια σήραγγα 100 m κοντά στον κύριο χώρο του CERN, στο χωριό Meyrin της Ελβετίας. *Εικόνα [1]*



ΕΙΚΟΝΑ [1]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ LHC. Ο 27 Μ ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΙΤΕ ΜΕ ΔΕΣΜΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΣΥΓΚΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΑ ΤΑ 4 ΥΠΟΓΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ATLAS, CMS, ALICE & LHCb.

1.1 Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων LHC

Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων είναι ο μεγαλύτερος και ισχυρότερος επιταχυντής στον κόσμο και τέθηκε σε λειτουργία στις 10 Σεπτεμβρίου του 2008. Το LHC αποτελείται από έναν δακτύλιο από υπεραγωγίσιμους μαγνήτες με μία σειρά από διατάξεις χάρη στις οποίες οφείλουν την επιτάχυνσή τους τα σωματίδια κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους. Ο μεγάλος επιταχυντής Αδρονίων έχει κυκλικό σχήμα και εκτείνεται σε έκταση 27 km, ενώ το βάθος του κυμαίνεται από 50 έως 175 m και κατασκευάστηκε κατά τα έτη 1984 – 1989 για τις ανάγκες του CERN LEP επιταχυντή ηλεκτρονίων – ποζιτρονίων, ο οποίος τέθηκε εκτός λειτουργίας περί το έτος 2000. Τα κτήρια της επιφάνειας φιλοξενούν βοηθητικούς μηχανισμούς, ηλεκτρονικούς και ψυκτικούς μηχανισμούς. *Εικόνα [2]*



ΕΙΚΟΝΑ [2]: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΗΡΑΓΓΑ ΤΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ LHC.

Δύο διαδοχικοί παράλληλοι σωλήνες δέσμης που διασταυρώνονται στα τέσσερα σημεία (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb) σε καθέναν από τους οποίους διέρχεται δέσμη πρωτονίων με τις δύο δέσμες να κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις γύρω από τον δακτύλιο.

Ο LHC διαθέτει περίπου 1200 διπολικούς μαγνήτες οι οποίοι φροντίζουν να κρατούν τις δέσμες σε κυκλική τροχιά ενώ 392 τεραπολικόι μαγνήτες εξασφαλίζουν ότι οι δέσμες είναι συγκεντρωμένες ώστε να επιτυγχάνονται ευκολότερα οι συγκρούσεις των σωματιδίων. Ακόμη, η θερμοκρασία λειτουργίας αυτών των μαγνητών κυμαίνεται περί τα 1.9 K.

Τα 4 κύρια πειράματα του LHC είναι τα εξής:

- Το πείραμα υψηλής φωτεινότητας (luminosity)
- Τα πειράματα γενικής φυσικής, ATLAS & CMS, τα οποία είναι σχεδιασμένα να ανιχνεύουν γεγονότα σε φωτεινότητα της τάξης του $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Τα πειράματα χαμηλής φωτεινότητας, LHCb το οποίο είναι σχεδιασμένο για να ανιχνεύει γεγονότα σε φωτεινότητα της τάξης $\mathcal{L} = 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και το TOTEM το οποίο είναι σχεδιασμένο να ανιχνεύει γεγονότα σε φωτεινότητα της τάξης $\mathcal{L} = 2 \cdot 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Το πείραμα ALICE είναι σχεδιασμένο για τη διερεύνηση δεσμών ιόντων σε φωτεινότητα της τάξης $\mathcal{L} = 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων από την έναρξη λειτουργίας του μεγαλύτερου επιταχυντή Αδρονίων, το 2008, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνονταν ο ρυθμός αλληλεπιδράσεων ϕ (reaction rate), τόσο αυξάνονταν και τα γεγονότα που ανιχνεύονταν με αποτέλεσμα να λαμβάνουν όλο και περισσότερες πληροφορίες.

Ο ρυθμός αλληλεπίδρασης είναι εξαρτώμενος από τον ρυθμό πρόπτωσης n των σωματιδίων της δέσμης πάνω σε σταθερό στόχο, την ενεργό διατομή σ και το πάχος d του στόχου. Τα μεγέθη αυτά ορίζουν τη Φωτεινότητα (Luminosity) \mathcal{L} και μέσω της σχέσης :

$$\phi = \sigma \cdot \mathcal{L}$$

Ωστόσο, στα σύγχρονα πειράματα Φυσικής Υψηλών Ενεργειών όπου η μέθοδος σταθερών στόχων δεν επιλέγεται, ο υπολογισμός της Φωτεινότητας δεν προκύπτει από τον ανωτέρω μαθηματικό τύπο αλλά από πιο πολύπλοκους υπολογισμούς με μονάδα μέτρησης του αριθμού των σωματιδίων ανά μονάδα εμβαδού επιφάνειας. Η απόλυτη Φωτεινότητα εξαρτάται από παραμέτρους της δέσμης και κατόπιν μελέτης έχει προκύψει ότι ο μαθηματικός τύπος δίνεται από την παρακάτω σχέση :

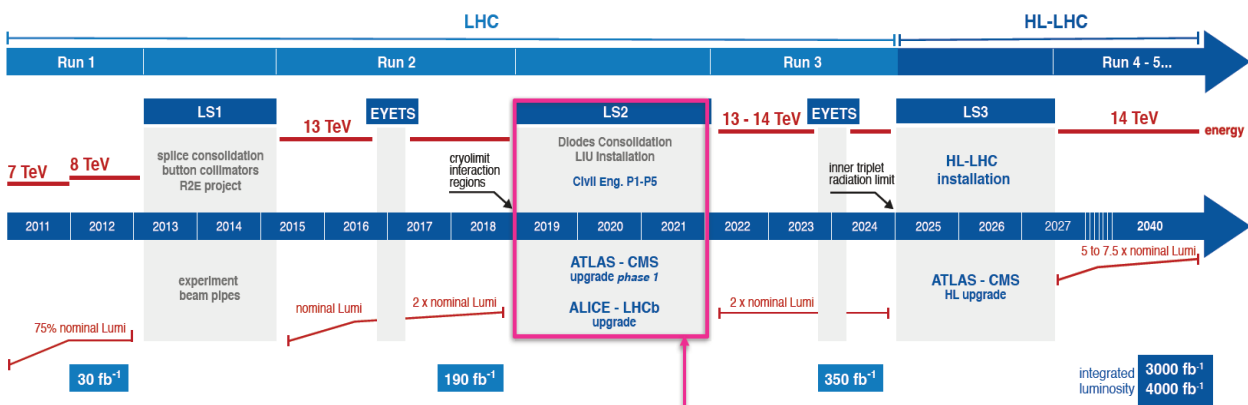
$$\mathcal{L} = \frac{n_b \cdot f_r \cdot n_1 \cdot n_2}{2\pi \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Όπου f_r είναι η συχνότητα περιστροφής του επιταχυντή LHC, n_b είναι ο αριθμός πακέτων που συγκρούονται στο σημείο αλληλεπίδρασης, n_1 & n_2 είναι οι αριθμοί των σωματιδίων σε 2 συγκρουόμενα πακέτα και τέλος όπου σ_x & σ_y είναι η διαμήκης και εγκάρσια διατομή των δεσμών.

Σε αυτή τη χρονική περίοδο, γίνεται αναβάθμιση του υπάρχοντος LHC με σκοπό την σημαντικής αύξησης της φωτεινότητας προκειμένου να αυξήσει αντίστοιχα και τη δυναμική του εύρους για νέες ανακαλύψεις μετά το έτος 2027. Στόχος του έργου και των ερευνητών είναι να αυξηθεί το μέγεθος της Φωτεινότητας κατά έναν παράγοντα 10 πέρα από την προβλεπόμενη τιμή σχεδιασμού του LHC.

Ωστόσο όμως, πριν φτάσουμε στην περαιτέρω ανάπτυξη του περιγραφόμενου στόχου, ακολουθεί μία ιστορική αναδρομή επίδοσης του LHC ανά τα έτη έως τη στιγμή που διακόπηκε η λειτουργία του προκειμένου να αναβαθμιστεί με σκοπό να λειτουργήσει μελλοντικά σε πολύ μεγαλύτερες τιμές ενεργειών. Επιπλέον, στην παρακάτω *Εικόνα [3]* φαίνεται ο προγραμματισμός για τα επόμενα έτη και οι προσδοκίες όσο αφορά το εύρος της ενέργειας λειτουργίας του.

Το έτος 2010 ο LHC λειτούργησε με ενέργειες σύγκρουσης $\sqrt{s} = 7$ TeV, ενώ κατά το έτος 2012 ακολούθησε αύξηση των ενεργειών σύγκρουσης σε $\sqrt{s} = 8$ TeV. Κατά το έτος 2012 μετά την ανακάλυψη του μποζονίου Higgs ο LHC τέθηκε σε διακοπή λειτουργίας προκειμένου να αναβαθμιστεί κατά τα έτη 2013 – 2014. Το έτος 2015 συγκρούσεις πρωτονίων $p - p$ πραγματοποιήθηκαν σε μεγαλύτερες ενέργειες σύγκρουσης της τάξης των $\sqrt{s} = 13$ TeV.



ΕΙΚΟΝΑ [3]: LHC TIMELINE 2011- 2040. [3]

1.2 Το καθιερωμένο Πρότυπο «Standard Model»

Μελέτες πολλών δεκαετιών και χιλιάδων φυσικών, ήδη από την πρώιμη δεκαετία του 1930, προσπαθούν να συμπληρώσουν το παζλ του κάδρου και οδήγησαν την ανθρωπότητα σε μία σαφέστερη εικόνα της δομής της ύλης. Το σύμπαν απαρτίζεται από δομικούς λίθους που ονόμασαν θεμελιώδη σωματίδια τα οποία κυβερνώνται από τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις.

Μέχρι σήμερα η επιστημονική κοινότητα έχει καταφέρει να κατανοήσει σε μεγάλο βαθμό ποια είναι τα στοιχειώδη σωματίδια και οι θεμελιώδεις δυνάμεις αλληλεπίδρασης των σωματιδίων, ενσωματώνοντας όλη αυτή τη γνώση στο πρότυπο μοντέλο της Φυσικής Σωματιδίων, το «Καθιερωμένο Πρότυπο».

Τα θεμελιώδη σωματίδια της ύλης εμφανίζονται σε δύο βασικούς τύπους, τα κουάρκς (quarks) και τα λεπτόνια (leptons). Κάθε τύπος αποτελείται από έξι σωματίδια τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε ζεύγη ή αλλιώς «γενιές». Τα ελαφρύτερα και πιο σταθερά σωματίδια αποτελούν την πρώτη γενιά, ενώ τα βαρύτερα και πιο ασταθή σωματίδια ανήκουν στη δεύτερη και τρίτη γενιά. Όλη η σταθερή ύλη στο σύμπαν συγκροτείται από σωματίδια που ανήκουν στην πρώτη γενιά, τα υπόλοιπα βαρύτερα σωματίδια διασπώνται γρήγορα σε πιο σταθερά και σε χρόνους που καθιστά αδύνατη την παρατήρησή τους με την παρούσα τεχνολογία. Τα έξι κουάρκς αντιστοιχίζονται σε τρεις γενιές- το «πάνω κουάρκ» (up) και το «κάτω κουάρκ» (down) σχηματίζουν την πρώτη γενιά, ακολουθούμενα από το «γοητευτικό κουάρκ» (charm) και «παράξενο κουάρκ» (strange), τέλος ακολουθούν το «κορυφαίο κουάρκ» (top) και το «κατώτερο (ή όμορφο) κουάρκ» (bottom or beauty). Τα κουάρκς συντίθενται είτε ανά δύο δημιουργώντας τα μεσόνια (mesons), είτε ανά τρία δημιουργώντας τα βαρυόνια (baryons).

Τα κουάρκς διακρίνονται επίσης σε τρία διαφορετικά «χρώματα» και αναμειγνύονται με μοναδικό τρόπο ώστε να σχηματίζουν άχρωμες συνθέσεις.

Τα έξι λεπτόνια είναι παρόμοια διατεταγμένα σε τρεις γενιές και συντελούνται στα ηλεκτρόνια (electrons) με τα νετρίνο (neutrino) τους, τα μόνια (muons) με το νετρίνο τους και τα ταυ λεπτόνια (tau leptons) με τα νετρίνο τους αντίστοιχα. Τα ηλεκτρόνια, τα μόνια και τα ταυ λεπτόνια έχουν ηλεκτρικό φορτίο και μεγάλη μάζα ενώ τα νετρίνο τους είναι ουδέτερα και έχουν πολύ μικρή μάζα.

Τα κουάρκ και τα λεπτόνια, αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις ή με ισχυρές ή ασθενείς αλληλεπιδράσεις.

Στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων, οι θεμελιώδεις δυνάμεις που διέπουν το σύμπαν είναι τέσσερις: Η *ισχυρή, η ασθενής δύναμη, η ηλεκτρομαγνητική δύναμη και η βαρυτική δύναμη*. Οι θεμελιώδεις δυνάμεις λειτουργούν σε διαφορετικά εύρη και έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα. Τρεις από τις θεμελιώδεις δυνάμεις προκύπτουν από την ανταλλαγή φορέων των δυνάμεων. Οι φορείς των δυνάμεων ανήκουν σε μία ευρύτερη ομάδα και τα ονομάζουμε «Μποζόνια». Τα στοιχειώδη σωματίδια αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσα ανταλλαγής μποζονίων. Κάθε θεμελιώδης δύναμη ερμηνεύεται μέσω της θεωρίας ανταλλαγής των αντίστοιχων μποζονίων. Η ισχυρή δύναμη φέρεται από το γλουόνιο (gluon), η ηλεκτρομαγνητική φέρεται από το φωτόνιο (photon) και η ασθενής δύναμη φέρεται από τα W^\pm και Z^0 μποζόνια. Δεν υπάρχει κβαντική θεωρία της βαρύτητας μέχρι σήμερα και αν και μια τέτοια θεωρία θα πρέπει να περιλαμβάνει τον φορέα της ο οποίος θεωρητικά ονομάζεται βαρυόνιο (graviton), που όμως δεν έχει ακόμα εντοπισθεί πειραματικά. **Εικόνα [4]**.

Ωστόσο όμως, για τη φυσική των σωματιδίων, όταν πρόκειται για τη μικροσκοπική κλίμακα των σωματιδίων, η επίδραση της βαρύτητας είναι τόσο αδύναμη ώστε να θεωρείται αμελητέα. Στον μακρόκοσμο κυριαρχεί η βαρύτητα. Έτσι, το πρότυπο μοντέλο λειτουργεί ακόμα καλά, παρά τον απρόθυμο αποκλεισμό μιας από τις θεμελιώδεις δυνάμεις.

Ωστόσο, παρόλο που το Καθιερωμένο Πρότυπο περιγράφει με ακρίβεια τα φαινόμενα στον υποατομικό κόσμο, εξακολουθεί να έχει αδυναμίες [51]. Το Καθιερωμένο Μοντέλο είναι χρήσιμο στα πειράματα που βοηθάει την έρευνα στα πειράματα επιταχυντών, που όμως θα θέλαμε να αρθούν οι αδυναμίες του μέσω των αναβαθμίσεων και των μελλοντικών πειραμάτων που θα διεξαχθούν. Νέες μετρήσεις από πειράματα στο LHC θα βοηθήσουν ώστε να ανακαλύψουμε τα κομμάτια που λείπουν.

Elementary Particles						
Quarks	u up	c charm	t top	g gluon	Force Carriers	
	d down	s strange	b bottom	γ photon		
Leptons	ν_e e neutrino	ν_μ μ neutrino	ν_τ τ neutrino	W W boson		
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson		
3 →	I	II	III	← Generations		

ΕΙΚΟΝΑ [4]: ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ ΤΗΣ ΎΛΗΣ.

1.3 Διατάξεις Επιταχυντών και Σύγχρονα Πειράματα

Ένας επιταχυντής ωθεί φορτισμένα σωματίδια που κινούνται σε πολύ υψηλές ταχύτητες, κοντά στην ταχύτητα του φωτός. Έπειτα αυτά τα σωματίδια είτε προσπίπτουν σε έναν σταθερό στόχο είτε συγκρούονται με άλλα σωματίδια που κινούνται από την αντίθετη κατεύθυνση. Μελετώντας αυτές τις συγκρούσεις, οι επιστήμονες στο CERN, μπορούν να διερευνήσουν τον μικρόκοσμο [5].

Το Large Hadron Collider (LHC) είναι ο πιο ισχυρός επιταχυντής σωματιδίων παγκοσμίως και επιτυγχάνει την ταχύτητα των σωματιδίων πλησιάζοντας την ταχύτητα του φωτός. Κατά τις συγκρούσεις αυτών των σωματιδίων, οι επιστήμονες είναι σε θέση να μελετούν τα προϊόντα των συγκρούσεων αυτών και τις ιδιότητες τους αυξάνοντας έτσι τις γνώσεις μας για την προέλευση του Σύμπαντος. Αυτά τα ογκώδη προϊόντα των συγκρούσεων (νέα σωματίδια) έχουν απειροελάχιστη διάρκεια ζωής και δεν μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα.

Σχεδόν αμέσως μετά τη σύγκρουση διασπώνται σε ελαφρύτερα σωματίδια, τα οποία και αυτά με τη σειρά τους αποσυντίθεται σε ακόμη πιο ελαφριά σωματίδια. Τα σωματίδια που αναδύονται από αυτές τις διαδοχικές αποσυνθέσεις αναγνωρίζονται στα στρώματα (layers) του ανιχνευτή.

Οι επιταχυντές χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία για να επιταχύνουν και να κατευθύνουν τα σωματίδια στο σωστό σημείο για τη σύγκρουση. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ραδιοσυχνότητες οι οποίες επιταχύνουν τα σωματίδια, ενώ οι μαγνήτες εστιάζουν τις δέσμες και εκτρέπουν την τροχιά τους.

Στους κυκλικούς επιταχυντές τα σωματίδια επαναλαμβάνουν την ίδια διαδρομή για όσο χρειαστεί, λαμβάνοντας ώθηση σε κάθε στροφή. Θεωρητικά, η ενέργεια θα μπορούσε να αυξηθεί ξανά και ξανά. Ωστόσο, όσο περισσότερη ενέργεια έχουν τα σωματίδια, τόσο πιο ισχυρά πρέπει να είναι τα μαγνητικά πεδία για να τα διατηρούν στην κυκλική τροχιά τους. Αντίθετα, ένας γραμμικός επιταχυντής σχηματίζεται αποκλειστικά από επιταχυνόμενες δομές αφού τα σωματίδια δεν χρειάζεται να εκτρέπονται, αλλά επωφελούνται μόνο από στη διάρκεια μίας διαδρομής. Σε αυτή την περίπτωση για να επιτευχθεί αύξηση της ενέργειας θα πρέπει να αυξηθεί αντίστοιχα και το μήκος του επιταχυντή.

Το μέγεθος ενός επιταχυντή είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της ενέργειας, της ακτίνας καμπυλότητας (αν είναι κυκλικός), της σκοπιμότητας και του κόστους.

Ο τύπος των σωματιδίων, η ενέργεια των συγκρούσεων και η φωτεινότητα είναι τα σημαντικά χαρακτηριστικά ενός επιταχυντή.

Η φωτεινότητα είναι ένας βασικός δείκτης της απόδοσης ενός επιταχυντή και υποδεικνύει τον αριθμό των πιθανών συγκρούσεων ανά επιφανειακή μονάδα για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Η στιγμιαία φωτεινότητα εκφράζεται σε $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, ενώ η μέση φωτεινότητα αντιστοιχεί στο συνολικό αριθμό των συγκρούσεων που μπορεί να συμβούν σε μία δεδομένη περίοδο, εκφράζεται σε fb^{-1} , όπου μία μονάδα ενός fb^{-1} αντιστοιχεί σε 100 εκατομμύρια συγκρούσεις.

Τη δεδομένη περίοδο στο CERN λειτουργούν 11 επιταχυντές, οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι :

Antiproton Detector, Clear, Elena, Hie-Isolde, Leir, LHC, Liner 3 & 4, Proton Synchrotron, PS Booster, Super Proton Synchrotron

Η ανάπτυξη και η κατασκευή μιας επιταχυντικής διάταξης είναι μία χρονοβόρα διαδικασία, πολύπλοκη και υψηλού κόστους. Ο σχεδιασμός μπορεί να διαρκέσει ακόμη και αρκετά χρόνια. Για παράδειγμα, ο επιταχυντής ηλεκτρονίων – ποζιτρονίων LEP δεν είχε καν ξεκινήσει τη λειτουργία του όταν οι επιστήμονες του CERN είχαν ήδη σκεφτεί να τον αντικαταστήσουν με ένα πιο εξελιγμένο τεχνολογικά επιταχυντή και βεβαίως πιο ισχυρό. Αυτός ο σχεδιασμός χρονολογείται περίπου 24 χρόνια πριν ξεκινήσει η δημιουργία του LHC.

Από το έτος 2010, οι επιστήμονες εργάζονται στον σχεδιασμό του διαδόχου του LHC, ο οποίος θα καλείται LHC High – Luminosity. Αυτός ο νέος επιταχυντής υπολογίζεται να ξεκινήσει μετά το έτος 2025. Επιπλέον, οι

επιστήμονες του CERN έχουν ήδη ξεκινήσει προετοιμασία και για μελέτες επιταχυντών για μετά το έτος 2040, όπως για παράδειγμα το Future Circular Collider (FCC) ή το Compact Linear Collider (CLC).

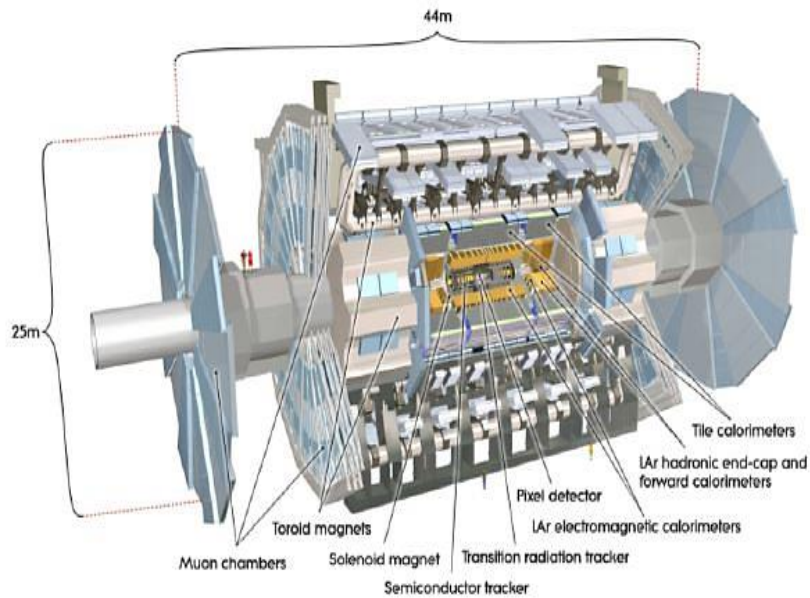
Τέλος, πραγματοποιούνται μελέτες σχετικά με εναλλακτικές τεχνικές επιτάχυνσης, όπως για παράδειγμα με το πείραμα AWAKE.

1.4 Ο Ανιχνευτής ATLAS

Ο ανιχνευτής ATLAS (**A Toroidal LHC ApparatuS**), είναι ένας από τους δύο ανιχνευτές γενικής χρήσης, σχεδιασμένος για να καλύψει τις ανάγκες πολλών πειραμάτων του LHC [4]. Μελετά ένα ευρύ φάσμα Φυσικής, από την αναζήτηση του Μποζονίου Higgs έως επιπλέον διαστάσεις και σωματίδια που θα μπορούσαν να συνθέσουν τη σκοτεινή ύλη. Αν και έχει τους ίδιους επιστημονικούς στόχους με το πείραμα CMS, χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνικές και έχει, επίσης, διαφορετικό σχεδιασμό μαγνητικού συστήματος.

Δέσμες σωματιδίων από το LHC συγκρούονται στο κέντρο του ανιχνευτή ATLAS δημιουργώντας νέα σωματίδια, τα οποία κινούνται εκτός του σημείου σύγκρουσης προς όλες τις κατευθύνσεις. Στη συνέχεια, έξι διαφορετικά υποσυστήματα ανίχνευσης διατεταγμένα σε στρώματα γύρω από το σημείο σύγκρουσης καταγράφουν τις διαδρομές, την ορμή και την ενέργεια των σωματιδίων, επιτρέποντας τους να αναγνωριστούν. Ένα τεράστιο σύστημα μαγνητών καμπυλώνει τις τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων έτσι ώστε να μπορεί να μετρηθεί η ροπή τους, ενώ τα δεδομένα συλλέγονται από τα ηλεκτρονικά συστήματα του ανιχνευτή.

Ο ανιχνευτής ATLAS έχει κυλινδρικό σχήμα, με μήκος διαμήκη άξονα περίπου 45 m και διάμετρο περίπου 25 m ενώ ζυγίζει 7000 τόνους και αποτελεί τον μεγαλύτερο ανιχνευτή σε όγκο παγκοσμίως έως σήμερα. *Εικόνα [5]*



ΕΙΚΟΝΑ [5]: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ATLAS ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΤΑ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ.

Για τις ανάγκες της ανάλυσης που ακολουθεί, είναι απαραίτητο να οριστεί το μέγεθος της pseudorapidity (η). Η pseudorapidity (η) // ψευδοωκύτητα ορίζεται ως ακολούθως με προϋπόθεση ότι η γωνία της δέσμης ορίζεται συναρτήσει της ολικής γωνίας θ σε σχέση με τον άξονα της δέσμης :

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

Η χρησιμότητα του μεγέθους pseudorapidity (η) είναι μεγάλη, καθώς ένα νέο σωματίδιο που έχει προκύψει από σύγκρουση με μεγάλη τιμή pseudorapidity (η) θα κινηθεί συγγραμικά με τη δέσμη, ενώ μικρότερες απόλυτες τιμές της pseudorapidity (η) δείχνουν ότι υπάρχει πιθανότητα διαφυγής του σωματιδίου από τον ανιχνευτή. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό του ανιχνευτή ATLAS στα καπάκια αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές του $|\eta|$, ενώ το κυλινδρικό μέρος (βαρέλι) αντιστοιχεί σε μικρές τιμές του $|\eta|$.

Πιο συγκεκριμένα, στην πειραματική φυσική σωματιδίων, η ψευδοωκύτητα είναι ένα μέγεθος που περιγράφει τη γωνία ενός σωματιδίου σε σχέση με τον άξονα της δέσμης και ορίζεται σύμφωνα με τη ανωτέρω σχέση. Ακόμη, σύμφωνα με αυτή, όπου θ είναι η γωνία μεταξύ της ορμής p του σωματιδίου και της θετικής κατεύθυνσης του άξονα της δέσμης. Ωστόσο, η ωκύτητα y ως συνάρτηση της ψευδοωκύτητας δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$y = \ln \left(\frac{\sqrt{m^2 + p_T^2} \cosh \eta + p_T \sinh \eta}{\sqrt{m^2 + p_T^2}} \right)$$

1.4.1 Σύστημα Μαγνητών και Εσωτερικός Ανιχνευτής Τροχιών (Magnet System & Inner Detector)

Το σύστημα μαγνητών του ανιχνευτή ATLAS περιλαμβάνει τρεις τύπους υπεραγωγίων μαγνητών, ώστε να είναι ικανοί να καμπυλώνουν την τροχιά των φορτισμένων σωματιδίων, των οποίων στη συνέχεια μετρείται η ορμή γύρω από το σημείο της σύγκρουσης [6][7].

Το υπεραγωγίο μαγνητικό σύστημα είναι σχεδιασμένο σύμφωνα με τις διαστάσεις του ανιχνευτή, δηλαδή καταλαμβάνει μήκος περίπου 26 m, ενώ η εξωτερική του διάμετρος είναι αντίστοιχα περίπου 20m.

Επιπροσθέτως, το σύστημα μαγνητών, εκτός από τον εσωτερικό μαγνήτη, περιλαμβάνει και τρία μεγαλύτερα σωληνοειδή που είναι τοποθετημένα γύρω από τα καλορίμετρα τα οποία αναφέρονται παρακάτω πιο αναλυτικά.

Ο εσωτερικός μαγνήτης, δηλαδή το κεντρικό υπεραγωγίο σωληνοειδές ζυγίζει περίπου 5 τόνους κι έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει ένταση μαγνητικού πεδίου 2 T σε 4.5 cm πάχος, τόσο για τη μέτρηση της ορμής στον εσωτερικό ανιχνευτή τροχιών όσο και για την ανάλυση των τροχιών των σωματιδίων που έχουν διαφύγει από τα σημεία σύγκρουσης, ενώ είναι συγγραμμικό με τον άξονα της δέσμης. Το κεντρικό σωληνοειδές μαζί με το καλορίμετρο είναι τοποθετημένα σε έναν κρουστάτη ο οποίος λειτουργεί με υγρό ήλιο στα 4.8 K ώστε να ψύχει το σύστημα μαγνητών.

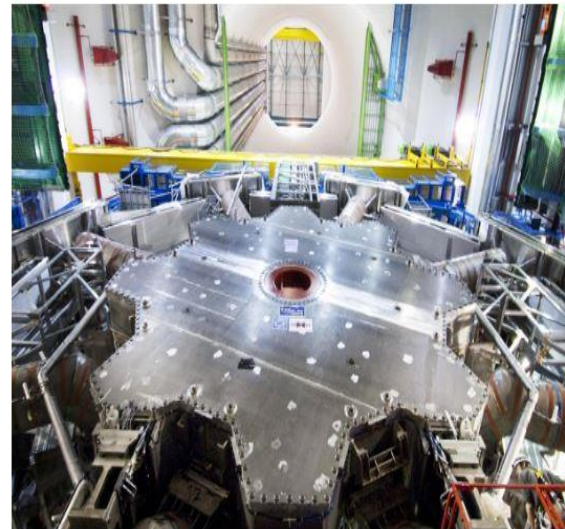
Ωστόσο, εκτός του κεντρικού σωληνοειδούς, στον ανιχνευτή ATLAS χρησιμοποιείται και ένα τοροειδές σύστημα μαγνητών το οποίο παρέχει επίσης μαγνητικό πεδίο για την μέτρηση της ορμής στο φασματόμετρο μιονίων με ένταση περίπου στα 0.5 T. Το μαγνητικό πεδίο των τοροειδών είναι κάθετο σε αυτό του σωληνοειδούς και δημιουργείται από οχτώ υπεραγωγία πηνία περιφερειακά του «βαρελιού» του ανιχνευτή, ενώ δύο τοροειδείς μαγνήτες με αντίστοιχα οχτώ πηνία είναι επίσης τοποθετημένοι στα «καπάκια» του ανιχνευτή. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου υπολογίζεται συναρτήσει της pseudorapidity (η) στην περιοχή του «βαρελιού», με τιμές εύρους περίπου στα 3.9 T μεγαλύτερη τιμή στο «βαρέλι» έως 4.1 T μεγαλύτερη τιμή στα «καπάκια». *Εικόνα [6]*



Barrel Toroid

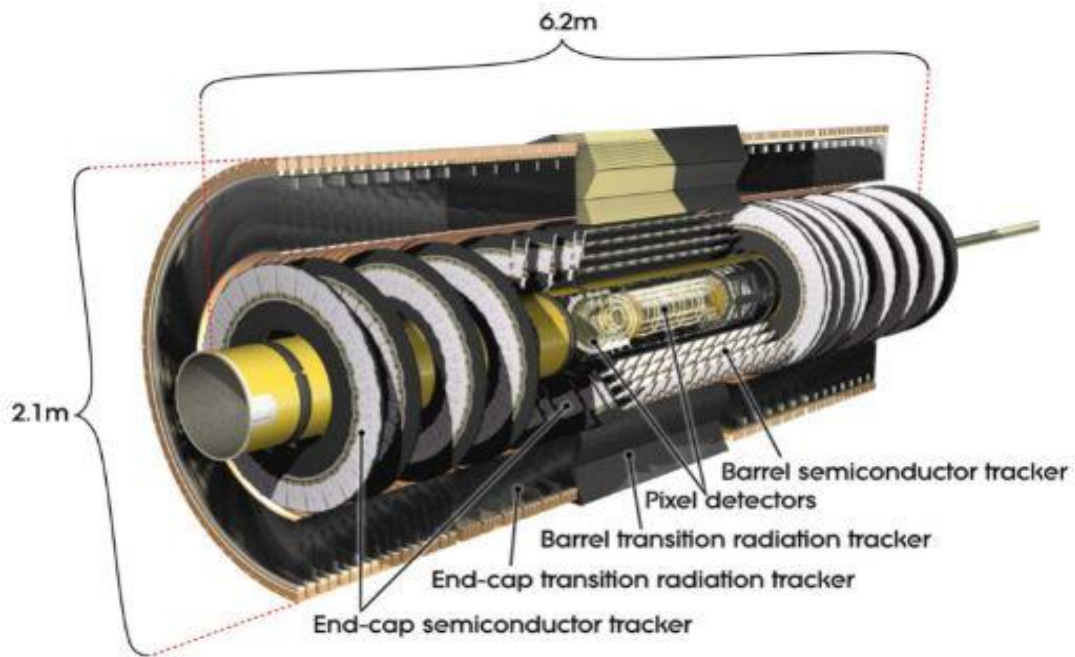


End-cap Toroid



ΕΙΚΟΝΑ [6] :ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΣΩΛΗΝΟΕΙΛΕΣ(ΠΑΝΩ) – «ΒΑΡΕΛΙ»(ΚΑΤΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ) – «ΚΑΠΑΚΙ»(ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ).

Ο Εσωτερικός Ανιχνευτής Τροχιών (**Inner Detector**) είναι ο πλησιέστερος ανιχνευτής στο σημείο αλληλεπίδρασης. Η σχηματική του αναπαράσταση φαίνεται στην *Εικόνα [7]* που ακολουθεί, έχει μήκος 6.2 m και διάμετρο 2.1 m.



ΕΙΚΟΝΑ [7]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ INNER DETECTOR.

Ο Εσωτερικός Ανιχνευτής Τροχιών καλύπτει την περιοχή των $|\eta| \leq 2.5$ και αναλύει τις τροχιές των σωματιδίων που έχουν διαφύγει από το σημείο σύγκρουσης. Πιο συγκεκριμένα, μετρά την κατεύθυνση, την ορμή, το φορτίο των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων καθώς και το σημείο προέλευσης αυτών, που παράγονται σε κάθε σύγκρουση. Τα κύρια στοιχεία του είναι ο Pixel Detector, ο Semiconductor Tracker (SCT) και ο Transition Radiation Tracker (TRT).

Η περιοχή του «βαρελιού» είναι κατασκευασμένη από ομόκεντρους κυλίνδρους γύρω από τον άξονα της δέσμης, ενώ οι περιοχές των «καπακιών» αποτελούνται από τρεις δίσκους κάθετους στον άξονα της δέσμης. Η κατασκευή του εσωτερικού ανιχνευτή τροχιών είναι συμπαγής και εξαιρετικά ευαίσθητη, όμως έχει μελετηθεί και έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιβιώνει σε συνθήκες υψηλής ακτινοβολίας.

Με τον Pixel Detector επιτυγχάνεται υψηλότερη ανάλυση γύρω από την περιοχή της κορυφής (vertex region). Στο εξωτερικό τμήμα του ανιχνευτή είναι τοποθετημένος ο Transition Radiation Tracker (TRT) ο οποίος έχει τη δυνατότητα να παρέχει πληροφορίες 36 σημείων ανά τροχιά συμβάλλοντας στην ταυτοποίηση του τύπου των σωματιδίων, π.χ. εάν πρόκειται για ηλεκτρόνια.

1.4.2 Θερμιδόμετρα

Ο αμέσως επόμενος ανιχνευτής σε απόσταση από τη δέσμη, είναι τα θερμιδόμετρα(ή αλλιώς καλορίμετρα). Τα θερμιδόμετρα έχουν σχεδιαστεί ώστε να απορροφούν τα σωματίδια από μια σύγκρουση, αναγκάζοντας τα να αποθέσουν όλη τους την ενέργεια και να σταματήσουν μέσα στον ανιχνευτή. Τα θερμιδόμετρα του ανιχνευτή ATLAS αποτελούνται από στρώματα ενός «απορροφητικού» υλικού πολύ υψηλής πυκνότητας που σταματά τα εισερχόμενα σωματίδια, αλληλοκαλυπτόμενα με στρώματα ενός «ενεργού» μέσου που μετρά την ενέργειά τους.

Συνήθως, τα θερμιδόμετρα είναι είτε αδρονικά, είτε ηλεκτρομαγνητικά. Τα αδρονικά θερμιδόμετρα ανιχνεύουν μεσόνια ή βαρυόνια καθώς αλληλοεπιδρούν με ατομικούς πυρήνες, ενώ τα ηλεκτρομαγνητικά ανιχνεύουν ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια και φωτόνια. Επιπλέον, τα θερμιδόμετρα μπορούν να σταματήσουν τα περισσότερα γνωστά σωματίδια εκτός από τα μύονια και τα νετρίνα. Τα στοιχεία του συστήματος θερμιδομετρίας του ανιχνευτή ATLAS είναι το Liquid Argon Calorimeter(LAr) και το Tile Hadronic Calorimeter.

Το ηλεκτρομαγνητικό θερμιδόμετρο υγρού αργού(LAr) καλύπτει μία περιοχή pseudorapidity (η) $|\eta| \leq 3.2$ και χρησιμοποιεί στρώματα μόλυβδου ως απορροφητικό υλικό και υγρό αργό ως «ενεργό» υλικό. Το ηλεκτρομαγνητικό θερμιδόμετρο έχει σχεδιαστεί σε μορφή ακορντεόν με τις πλάκες απορρόφησης από μόλυβδο να τον καλύπτουν σχεδόν πλήρως. Το ηλεκτρομαγνητικό θερμιδόμετρο υγρού αργού(LAr) συμπληρώνει τη λειτουργία του, με το αδρονικό θερμιδόμετρο το οποίο έχει σχεδιαστεί με την τεχνική σπινθηρογραφήματος σιδήρου(Tile).

Η κατασκευή του αδρονικού θερμιδόμετρου χωρίζεται σε τρία μέρη τα οποία εξαρτώνται από τη pseudorapidity(η) που καλύπτει το καθένα. Τα τρία μέρη του αδρονικού καλορίμετρου είναι τα ακόλουθα:

- Το τμήμα που καλύπτει το «βαρέλι» με $|\eta| \leq 1.7$
- Το τμήμα που καλύπτει τα «καπάκια» του με $1.5 < |\eta| < 3.2$
- Περιοχές κοντά στη δέσμη με $3.1 < |\eta| < 3.9$

Το ηλεκτρομαγνητικό θερμιδόμετρο είναι δομημένο σε δύο ομόκεντρους κυκλικούς δίσκους στα «καπάκια», έναν εξωτερικό και έναν εσωτερικό που καλύπτουν $3.175 < |\eta| < 2.5$ και $2.5 < |\eta| < 3.2$ αντίστοιχα, ενώ στο «βαρέλι» καλύπτουν $|\eta| \leq 1.475$.

1.4.3 Φασματομέτρα Μιονίων (Muon Spectrometer)

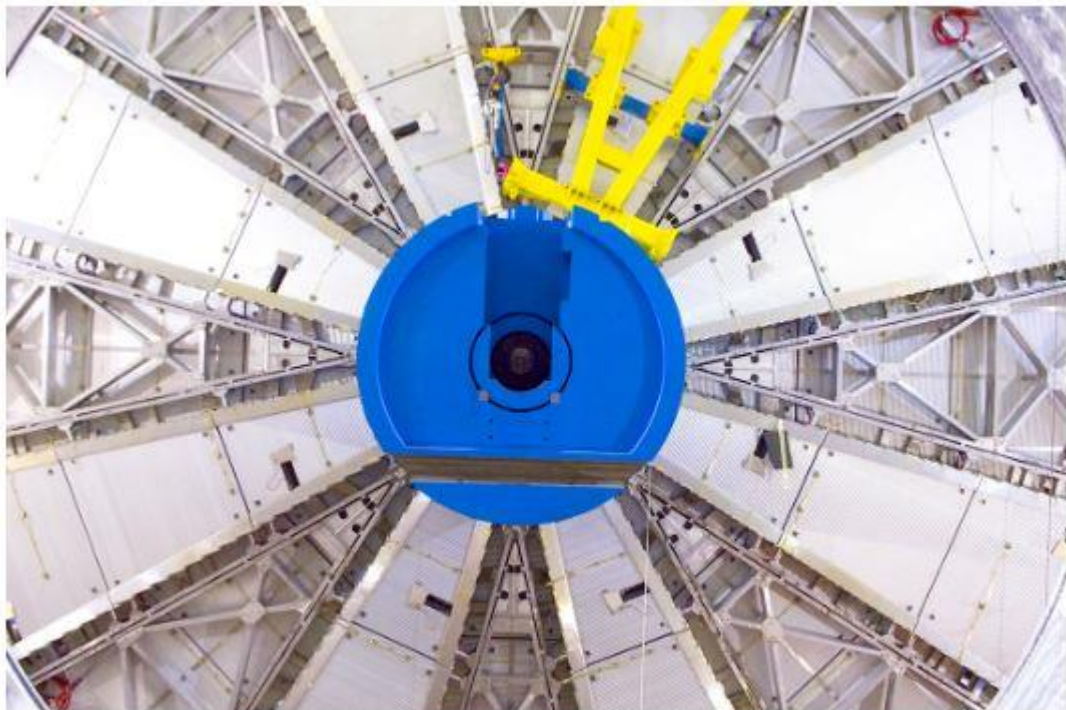
Τα μόνια είναι σωματίδια που συνήθως περνούν από το εσωτερικό του ανιχνευτή και σίγουρα από τα θερμιδόμετρα. Το φασματόμετρο μυνίων, αποτελείται από 4000 μεμονωμένους θαλάμους μυνίων που χρησιμοποιούν τέσσερις διαφορετικές τεχνολογίες από 48 ινστιτούτα σε 23 εργοστάσια παραγωγής σε όλο τον κόσμο [7].

Το φασματόμετρο μυνίων του ανιχνευτή ATLAS αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα :

- Monitored Drift Tubes (MDT)
- Cathode Strip Chambers (CSC)
- Resistive Plate Chambers (RPC)
- Thin Gap Chambers (TGC)

Monitored Drift Tubes (MDT)

Οι θάλαμοι ολίσθησης (drift chambers) περιέχουν αέριο και σύρματα ώστε να αποφεύγεται ο ιονισμός των ηλεκτρονίων από το μίγμα αερίου $\text{Ar} + 7\% \text{CO}_2$. Οι θάλαμοι ολίσθησης είναι 1171 με συνολικά 354240 σωλήνες. Επιπροσθέτως, οι θάλαμοι αποτελούνται από πολλά στρώματα σωλήνων σκληρού αλουμινίου (ALUMAN 100) με διάμετρο 3 cm και πάχος 400 μm . Τα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται από τα μόνια που διέρχονται από τους σωλήνες παρασύρονται σε ένα σύρμα που βρίσκεται στη μέση του σωλήνα, έτσι μετρώντας τους χρόνους άφιξης σε αρκετούς σωλήνες φαίνεται ότι η ανάλυση των σωλήνων μπορεί να φτάσει έως και 80 μm . (διάμετρος 3 cm, μήκος 0.85-6.5 m και ανάλυση σωλήνα 80 μm).*Εικόνα [8]*



ΕΙΚΟΝΑ [8]: MONITORED DRIFT TUBES (MDT).

Cathode Strip Chambers (CSC)

Οι Cathode Strip Chambers (CSC) είναι θάλαμοι οι οποίοι ουσιαστικά καλύπτουν περιοχές του ανιχνευτή όπου υπάρχει υψηλή ροή σωματιδίων, ενώ παράλληλα συνδυάζουν υψηλή χωρική και χρονική ακρίβεια σε υψηλό ρυθμό, με την ακρίβεια να είναι στα 60 μm στις λωρίδες και στα 5 mm στα καλώδια. Οι θάλαμοι είναι γεμισμένοι με μείγμα αερίου Αργού με Διοξείδιο άνθρακα σε αναλογία 80% Ar και 20% CO₂, ενώ στα καλώδια του θαλάμου εφαρμόζεται τάση 1800 V. Το σήμα που παράγεται από τις λωρίδες αλλά και τα καλώδια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του χρόνου του γεγονότος. *Εικόνα [9]*



ΕΙΚΟΝΑ [9]: CATHODE STRIP CHAMBERS (CSC).

Resistive Plate Chambers (RPC)

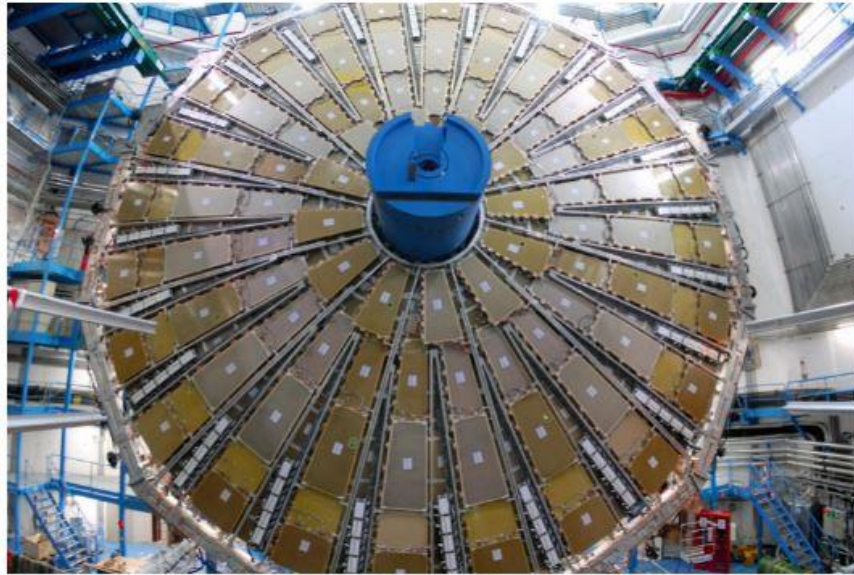
Οι Resistive Plate Chambers (RPC) είναι γρήγοροι ανιχνευτές αερίων που παρέχουν το σύστημα σκανδαλισμού – trigger system - παράλληλο με αυτά των DT και CSC στον ανιχνευτή ATLAS. Τα RPC αποτελούνται από δύο παράλληλες πλάκες, μια θετικά φορτισμένη άνοδο και μία αρνητικά φορτισμένη κάθοδο, και οι δύο κατασκευασμένες από συγκεκριμένο υλικό, ειδικό πλαστικό, πολύ υψηλής αντίστασης και στον ενδιάμεσο χώρο υπάρχει μείγμα αερίου πολλών συστατικών. Τα RPCs παρέχουν σκανδαλισμό στους ανιχνευτές MDTs και έχουν πολύ καλή διακριτική ικανότητα της τάξης των ns. *Εικόνα [11]*



ΕΙΚΟΝΑ [10]: RESISTIVE PLATE CHAMBERS (RPC).

Thin Gap Chambers (TGC) [9][10]

Στην περιοχή του μιονικού end – cap (καπάκι) οι πληροφορίες για το σκανδαλισμό παρέχονται από τους TGCs. Τα TGCs επίσης χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν ποιες λωρίδες πρέπει να διαβαστούν ώστε να ληφθεί πλήρως η συντεταγμένη κάμψης από τους θαλάμους MDT του end – cap δίδοντας την αζιμουθιακή συντεταγμένη. Η μεσαία end – cap περιοχή από MDTs συμπληρώνεται από 7 επίπεδα TGC, οι οποίοι παρέχουν μετρήσεις για το σκανδαλισμό και την αζιμουθιακή συντεταγμένη. Για τις μετρήσεις του χρόνου, των ορμών και της αζιμουθιακής συντεταγμένης λειτουργούν με αέριο πολλών συστατικών και ένα υψηλό ηλεκτρικό πεδίο 3200 V. *Εικόνα [12]*



ΕΙΚΟΝΑ [11]: THIN GAP CHAMBERS (TGC).

1.5 Διάταξη New Small Wheel & Upgrade [11][12]

Η ανιχνευτική διάταξη του New Small Wheel που προτάθηκε για την αντικατάσταση του προηγούμενου ανιχνευτικού συστήματος του πειράματος ATLAS, του Small Wheel, μελετήθηκε και σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να λύνει κάποια προβλήματα που προέκυψαν κατά την αναβάθμιση του πειράματος (αναλύονται στη συνέχεια) αλλά ταυτόχρονα να είναι και ένα έμπιστο ανιχνευτικό σύστημα που θα παρέχει αληθείς πληροφορίες για τα γεγονότα.

Το New Small Wheel είναι ουσιαστικά η συνέχεια της πρώτης φάσης της αναβάθμισης του φασματόμετρου μιονίων. Λόγω της αύξησης της φωτεινότητας του LHC κρίθηκε αναγκαία η αναβάθμιση του Small Wheel με δύο νέους τύπους ανιχνευτών, sTGC (small – strip Thin Gap Chambers) και Micromegas. Η πρώτη φάση (Run 1) διήρκεσε περίπου 2 χρόνια τα έτη 2010 – 2012 και έληξε ανακαλύπτοντας το τελευταίο τμήμα του Standard Model, το μποζόνιο Higgs. Στη συνέχεια, υπήρξε διακοπή της πρώτης φάσης η οποία είχε διάρκεια 2 έτη (Long Shutdown 1), 2012 - 2014. Η δεύτερη φάση (Run 2 - 2015) ξεκίνησε, στην πορεία, με ενέργεια 13TeV, ενώ η φωτεινότητα ήταν $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Μετά την δεύτερη παύση (Long Shutdown – LS2, 2019) του ανιχνευτή ATLAS η φωτεινότητα θα διπλασιαστεί και θα είναι $L = 2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Έτσι λοιπόν, στην τρίτη φάση πειραμάτων (Run 3) το σύστημα ηλεκτρονικών θα έχει αναβαθμιστεί και το New Small Wheel θα λειτουργεί τα έτη 2019 – 2032 με μία τρίτη διακοπή πειραμάτων (LS3) το έτος 2024. Η μετάβαση από τον LHC στον HL – LHC θα φέρει ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας στα πειράματα ATLAS και CMS δεδομένου ότι η μέγιστη φωτεινότητα θα αυξηθεί ακόμη περισσότερο και θα φτάσει τιμές της τάξεως των $L = 7 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Για να ανταποκριθούν τα πειράματα σε τόσο υψηλούς ρυθμούς σωματιδίων και να μπορούν να διατηρήσουν τη λειτουργία τους απαιτούνται αναβαθμίσεις.

Η βασική αρχή λειτουργίας του νέου συστήματος New Small Wheel που υπαγορεύει η υψηλή φωτεινότητα, συνδυάζει υψηλή απόδοση τόσο σε χαμηλούς ρυθμούς σωματιδίων όσο και σε υψηλούς. Ωστόσο, το στοίχημα κρίθηκε στο ότι θα πρέπει το NSW να παρέχει αληθείς πληροφορίες σκανδαλισμού.

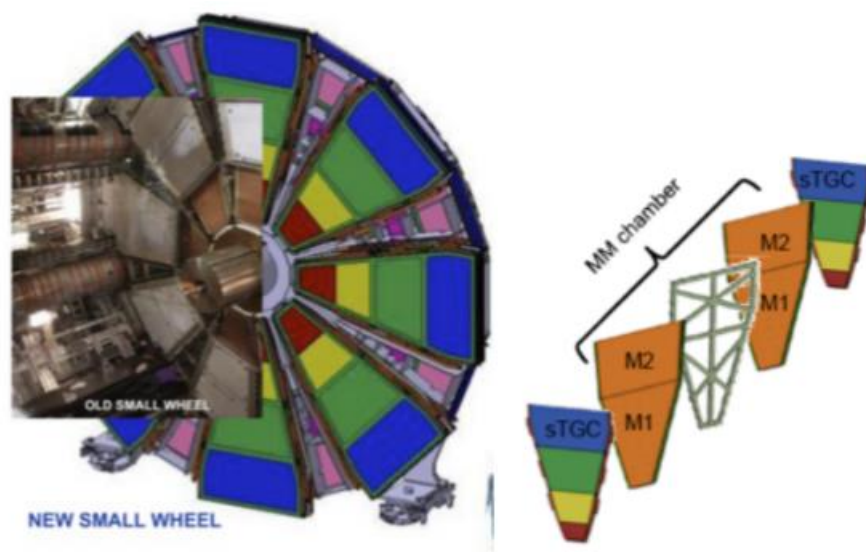
Το 2012 κατά την ανάλυση του triggering παρατηρήθηκε ότι το 90% των σκανδαλισμών στο end – cap (καπάκι) οφειλόταν σε ψευδής σκανδαλισμούς καθότι σωματίδια με χαμηλή ενέργεια που βρίσκονται μεταξύ του Small Wheel και του ηλεκτρομαγνητικού καλορίμετρου παρήγαγαν ψεύτικους σκανδαλισμούς κατά το πέρασμά τους από τους θαλάμους της περιοχής end – cap σε γωνία παρόμοια με τα πραγματικά υψηλής εγκάρσιας ορμής μόνια. Επιπροσθέτως, όπως προαναφέρθηκε πιο γενικά παραπάνω, υπήρξε και ένα δεύτερο πρόβλημα που απασχόλησε το επιστημονικό πληθυσμό του πειράματος. Η φωτεινότητα θα οδηγούσε σε αύξηση του ρυθμού των σωματιδίων σε 15 kHz /cm^2 γεγονός που σημαίνει ότι το υπάρχον ηλεκτρονικό σύστημα του ανιχνευτή δεν θα ήταν σε θέση να υποστηρίξει αυτούς του ρυθμούς των σωματιδίων.

Συνεπώς, για την επίλυση των δύο προβλημάτων τα οποία περιεγράφηκαν περιληπτικά παραπάνω, κατόπιν μελετών οι επιστήμονες πρότειναν την αντικατάσταση των μιονικών Small Wheels με τα νέα New Small Wheels (NSW) κατά τη διάρκεια της δεύτερης παύσης του πειράματος LS2 το 2019.

Το New Small Wheel αποτελείται από ένα σύστημα ανιχνευτών οι οποίοι παρακολουθούν τις τροχιές με ακρίβεια, καθώς και από ανιχνευτές σκανδαλισμού οι οποίοι λειτουργούν σε υψηλούς ρυθμούς ροής σωματιδίων, βάση των αναγκών που προέκυψαν, με πολύ καλές χωρικές και χρονικές αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο. Ουσιαστικά, η συνεισφορά του NSW στο πείραμα αναλύεται στην γεωμετρία των τροχιών των σωματιδίων κατά το πέρασμά τους από την ανιχνευτική διάταξη η οποία έχει μελετηθεί και αναλυθεί κατά το παρελθόν και βρίσκεται σε αρκετές αναφορές.

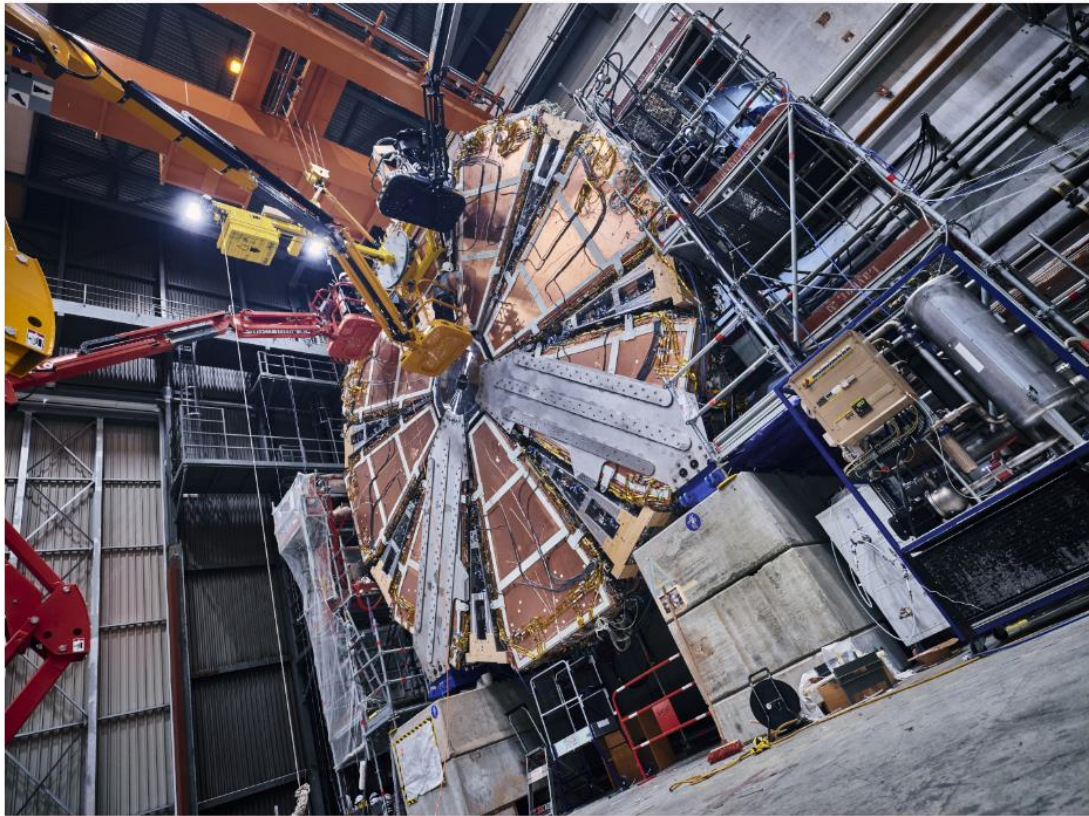
Οι τεχνολογίες ανίχνευσης που προτάθηκαν σαν βάση για τη δημιουργία και τη λειτουργία του NSW ήταν οι ανιχνευτές αερίου (gaseous detectors) για τους οποίους στη συνέχεια της παρούσας εργασίας θα ακολουθήσει ανάλυση για τη δομή και την αρχή λειτουργίας τους. Η τεχνολογία ενός πολυκαναλικού θαλάμου μικρολωρίδων που ονομάζεται small – strip Thin Gap Chambers (sTGCs) [11] καθώς και η τεχνολογία από τους Micro Pattern ανιχνευτές αερίου η οποία καλείται Micromesh Gaseous Structure (MicroMeGas) [12] χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την δημιουργία της δομής του NSW. Τα small – strip Thin Gap Chambers (sTGCs) χρησιμοποιήθηκαν για τον σκανδαλισμό, ενώ οι Micromesh Gaseous Structure (MicroMeGas) χρησιμοποιήθηκαν ως κύριο μέσο για την ιχνηλάτηση των τροχιών των σωματιδίων με μεγάλη ακρίβεια [13]. Η νέα διάταξη του NSW αποτελείται από 16 τομείς ανιχνευτών διατεταγμένους σε δύο πολυστρωματικά επίπεδα. Κάθε πολυστρωματικό επίπεδο περιλαμβάνει τέσσερα επίπεδα ανιχνευτών small – strip Thin Gap Chambers (sTGCs) και τέσσερα Micromesh Gaseous Structure (MicroMeGas). Το «σάντουιτς» αυτό των ανιχνευτών αποτελείται κατά σειρά από sTGCs – MM- MM – sTGCs και ουσιαστικά χρησιμοποιήθηκε για τη μεγιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των δύο πολυστρωματικών sTGCs ώστε κατά αυτή τη χωρική διάταξη να δύναται να παρέχουν την βέλτιστη γωνιακή ανάλυση τμήματος στο επίπεδο ενεργοποίησης όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (*Εικόνα [12]*) στην δεξιά πλευρά. Πιο επεξηγηματικά, οι sTGCs

τοποθετήθηκαν στη μεγαλύτερη μεταξύ τους απόσταση διότι έτσι παρέχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα για την ανακατασκευή της τροχιάς των μιονίων δεδομένης της γωνίας που εισέρχονται από την πρώτη στρώση των ανιχνευτών.



ΕΙΚΟΝΑ [12]: ΑΡΙΣΤΕΡΑ : ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ 16 ΤΟΜΕΩΝ ΤΟΥ NSW ΜΑΖΙ ΜΕ ΜΕΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ SW ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ ΑΠΟ ΟΡΕΙΧΑΛΙΚΟ. ΔΕΞΙΑ: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ sTGCs ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΜ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.

Η επιλογή οχτώ επιπέδων ανά ανιχνευτή υπαγορεύτηκε από την ανάγκη να παρέχουν ένα ισχυρό και πλήρως λειτουργικό σύστημα ανίχνευσης σε όλη τη διάρκεια της ζωής του ανιχνευτή. Ακολούθως, η σημερινή δομή του NSW δημιουργήθηκε ανά τμήματα από τις ομάδες του ATLAS των κρατών- μελών του CERN και κάθε τροχός συντελείται από 16 τομείς (8 μικρούς και 8 μεγάλους) όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Εικόνα [12]) στην αριστερή πλευρά. Η συνολική ανιχνευτική επιφάνεια δεσμεύει εμβαδόν 2400 m².



ΕΙΚΟΝΑ [13]: Το ολοκληρωμένο NSW – εγκαταστάθηκε πρόσφατα στο CERN [14].



ATLAS NSW being transported

ΕΙΚΟΝΑ [14]: Το ολοκληρωμένο NSW κατά την μεταφορά 06.07.2021 [14].



ΕΙΚΟΝΑ [15]: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ NSW ATLAS – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ CERN (2021).

1.5.1 Επισκόπηση Ηλεκτρονικού Συστήματος NSW & VMM ASIC

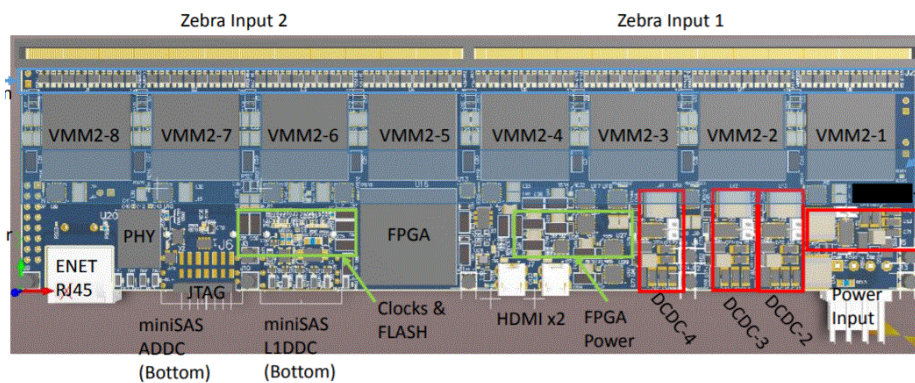
Κατά την αναβάθμιση των ανιχνευτών του NSW, κρίθηκε απαραίτητη και η αναβάθμιση των ηλεκτρονικών συστημάτων καθώς δεν θα ήταν εφικτό να ανταπεξέλθουν στην αύξηση του ρυθμού των σωματιδίων. Το νέο ηλεκτρονικό σύστημα θα έπρεπε να συλλέγει και να στέλνει τα δεδομένα σκανδαλισμού στο αντίστοιχο κέντρο επεξεργασίας δεδομένων σκανδαλισμού του CERN, να αποθηκεύει την ενέργεια των σωματιδίων καθώς και τον χρόνο που συνέβησαν τα γεγονότα.

Το ηλεκτρονικό σύστημα του NSW βασίζεται σε συγκεκριμένους πυλώνες λειτουργίας και είναι τοποθετημένο πάνω στους ανιχνευτές. Τα επονομαζόμενα Front- End Electronics είναι υπεύθυνα για τη συλλογή δεδομένων σκανδαλισμού, την μέτρηση του ακριβή χρόνου των γεγονότων και της ενέργειας που εναποθέτουν τα σωματίδια. Ενώ, στη συνέχεια, σειρά έχουν τα Back – End Electronics τα οποία είναι ο συνδετικός κρίκος του Control Room του CERN με τον ανιχνευτή.

Το σύστημα ηλεκτρονικών, Front – End Electronics, αποτελείται από τρεις ηλεκτρονικές πλακέτες(Printed Circuit Boards, PCB), οι οποίες περιγράφονται συνοπτικά στην συνέχεια.

Micromegas Front – End Board (MMFE)

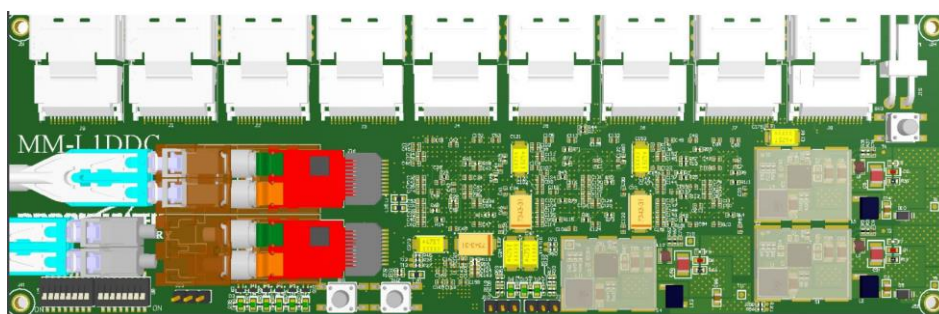
Η πλακέτα Micromegas Front – End Board (MMFE), *Εικόνα [16]*, είναι τοποθετημένη πάνω στους ανιχνευτές Micromegas και κατασκευάστηκε ώστε να συλλέγει τα πρωταρχικά σήματα από τους αισθητήρες. Κάθε κάρτα MMFE περιλαμβάνει οχτώ ASIC [15] τα οποία είναι υπεύθυνα για το read out, που καλούνται VMM [16]. Κάθε VMM ASIC έχει 64 κανάλια, όπου το καθένα αντιστοιχεί σε ένα strip του ανιχνευτή και συνολικά κάθε MMFE θα διαβάζει τα 512 read- out strips ενός Micromegas. Επίσης, οι κάρτες αυτές, των οποίων ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση στην *Εικόνα[14]*, θα είναι εξοπλισμένες με εξωτερική προστασία εισόδου ενάντια στους σπινθήρες και θα διασφαλίζουν την είσοδο στα 8VMM. Ευέλικτοι υψηλής συχνότητας σύνδεσμοι Zebra Input 1 & Zebra Input 2 θα χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των σημάτων από τους ανιχνευτές MicroMeGas με τα κανάλια VMM.



ΕΙΚΟΝΑ [16]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ MMFE [16].

Level – 1 Data Driver Card (L1DDC)

Η πλακέτα αυτή σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε αποκλειστικά για τις ανάγκες της αναβάθμισης του NSW από την ελληνική ομάδα πειραματικής φυσικής υψηλών ενεργειών του ΕΜΠ. Η χρήση της κάρτας [17] θα αφορά το μεταίχμιο στάδιο των front – end πλακετών και του συστήματος Felix. Τα 8 VMM θα συλλέγουν τα δεδομένα και θα τα στέλνουν μέσω 80 Mb/s e-link σε ένα ASIC chip, το GBTx [18] που βρίσκεται πάνω στην L1DDC. Εν συνεχεία, 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) [19]. *Εικόνα [17]*



ΕΙΚΟΝΑ [17]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ L1DDC.

ART Data Driver Card (ADDC)

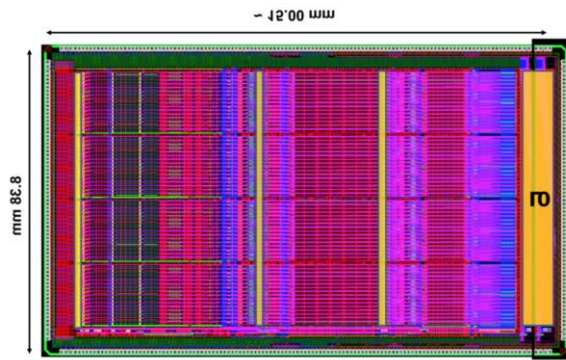
Η πλακέτα ADDC [20] θα χρησιμοποιηθεί για τους ανιχνευτές Micromegas και έχει σχεδιαστεί για να δέχεται δεδομένα Address in Real Time (ART), τα σήματα ART δημιουργούνται από το μπροστινό ASIC, δηλαδή, τα VMM chips για να υποδείξουν τη διεύθυνση του πρώτου συμβάντος άνω του κατώφλιου. Δύο GBTx ASIC θα συλλέγουν τα δεδομένα ART και θα τα στέλνουν σε δύο βήματα μέσω οπτικής ίνας στα back – end electronics. Η πλακέτα αυτή επικοινωνεί με μία L1DDC, η οποία της στέλνει το configuration data από το κέντρο ελέγχου και της παρέχει σήματα χρονισμού. *Εικόνα [18]*



ΕΙΚΟΝΑ [18]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ADDC.

VMM ASIC

Το VMM [21] είναι ένα front – end read out Application Specific Integrated Circuit (ASIC) και σχεδιάστηκε από το Brookhaven National Laboratory (BNL) της Νέας Υόρκης για την αναβάθμιση του NSW του ATLAS experiment στο CERN. Οι διαστάσεις του είναι $13.5 \times 8.4 \text{ mm}^2$ και περιέχει περίπου πέντε εκατομμύρια τρανζίστορ τεχνολογίας CMOS. Τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα που διαθέτει παράγουν αναλογικά σήματα τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται σε ψηφιακά από τρεις Analog to Digital Converters (ADC) με εξόδους 6, 8 και 10 bit. Τα ψηφιακά πλέον δεδομένα αποθηκεύονται σε FIFO η οποία με τη σειρά της τα αποστέλλει στην MMFE8. Ωστόσο, αυτό ήταν το πρώτο VMM ASIC το οποίο κατασκευάστηκε, ενώ στη συνέχεια θα κατασκευαστεί το VMM3 με την τεχνολογία Ball Grid Array (BGA) με pitch 1mm και το μέγεθος του θα είναι $21 \times 21 \text{ mm}^2$ σε συμφωνία με το pitch των ανιχνευτών MicroMeGas. Το VMM ASIC έχει 64 κανάλια τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα read out strip και υλοποιεί έναν ενισχυτή φορτίου, έναν ενισχυτή διαμόρφωσης, έναν διευκρινιστή με κατώτερο κατώφλι και εντοπισμό κορυφής (peak detection) και τέλος έναν Timing To Amplitude Converter (TAC). *Εικόνα [19]*



ΕΙΚΟΝΑ [19]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ VMM ASIC [22].

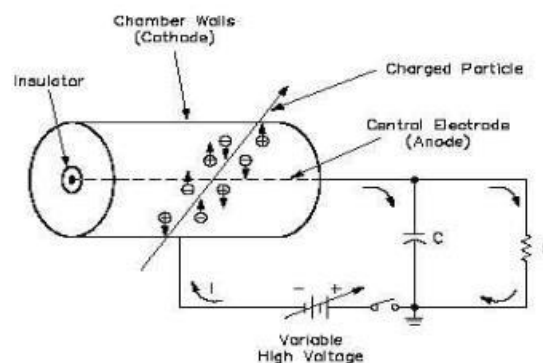
2^ο Κεφάλαιο

2. Ανιχνευτικό Σύστημα Αναβάθμισης NSW

Το δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής περιγράφει την αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών Micromegas. Οι ανιχνευτές αερίου αποτέλεσαν το κυριότερο τμήμα στην αναβάθμιση του Small Wheel και κατά συνέπεια στο πείραμα ATLAS. Στο ακόλουθο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του ανιχνευτή αερίου από την παραγωγή σήματος με τη διέλευση φορτισμένων σωματιδίων έως και το τελικό στάδιο της κατασκευής του.

2.1 Αρχή λειτουργίας Ανιχνευτών Αερίου

Οι ανιχνευτές αερίου έχουν μια ευρεία γκάμα εφαρμογών σήμερα, η ανακάλυψη και η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας προήλθε και εφαρμόζεται ήδη από τον περασμένο αιώνα σε διάφορους τομείς. Το χαμηλό κόστος κατασκευής και η ευκολία στη χρήση τους βοήθησε στη διαδεδομένη σήμερα χρήση τους στον επιστημονικό κόσμο. Ο δομικός λίθος λειτουργίας ενός ανιχνευτή αερίου βασίζεται στον ιονισμό ατόμων αερίου, *Εικόνα [20]*, πιο συγκεκριμένα το εισερχόμενο στον ανιχνευτή φορτισμένο σωματίδιο αλληλοεπιδρά με τα μόρια του αερίου του ανιχνευτή παράγοντας ζεύγη ηλεκτρονίων – ιόντων τα οποία με τη σειρά τους πολλαπλασιάζονται με την βοήθεια ενός εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου όπου εν τέλει μετατρέπονται σε σήμα ικανό να μετρηθεί. Οι τύποι των ανιχνευτών αερίου διαφοροποιούνται ανάλογα την εφαρμοζόμενη τάση του ηλεκτρικού πεδίου.



ΕΙΚΟΝΑ [20]: ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΑΕΡΙΟΥ.

Κατά τη διαδικασία του ιονισμού, παράγεται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου – ιόντος όταν η ενέργεια του σωματιδίου που διασχίζει τον ανιχνευτή υπερβαίνει την ενέργεια ιονισμού των ατόμων του απορροφητή. Ο ιονισμός του μέσου μπορεί να είναι είτε πρωτογενής είτε δευτερογενής. Κατά τον ιονισμό, έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση το πλήθος των παραγόμενων ζευγών γνωρίζοντας την συνολική απώλεια

ενέργειας του σωματιδίου και τη μέση τιμή της απώλειας ενέργειας του εισερχόμενου σωματιδίου στον ανιχνευτή ανά ζεύγος ιόντων που δημιουργείτε μέσω του μαθηματικού τύπου :

$$\varepsilon = 1 - P(0) = 1 - e^{-n}$$

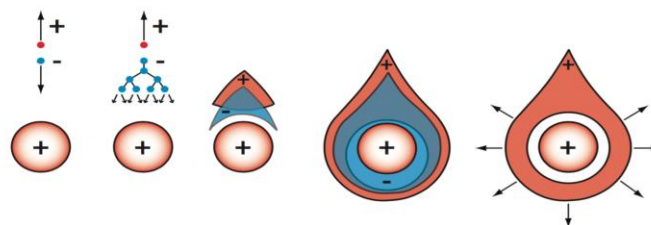
Όπου n ο μέσος αριθμός ηλεκτρονίων, ΔE η ολική απώλεια ενέργειας και w η μέση τιμή της ενέργειας που απαιτείται για να δημιουργηθεί ένα ζεύγος ιόντος – ηλεκτρονίου. Το πλήθος των ζευγών ακολουθεί την κατανομή Poisson, αν n ο μέσος αριθμός ηλεκτρονίων, τότε η πιθανότητα να συλλέξουμε k ηλεκτρόνια είναι:

$$P(k) = \frac{n^k}{k!} \cdot e^{-n}$$

Η ανιχνευτική ικανότητα δίνεται από την μαθηματική σχέση :

$$\varepsilon = 1 - P(0) = 1 - e^{-n}$$

Ωστόσο, σημαντικό ρόλο στην αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών αερίου εκτός από τον ιονισμό παίζει και το φαινόμενο της χιονοστιβάδας που δημιουργείται στο τελευταίο στάδιο ή όπως φαίνεται παρακάτω στην *εικόνα*[19] στην περιοχή V. Υπό την επίδραση ισχυρής τάσης, τα ηλεκτρόνια ιονισμού μπορούν να αποκτήσουν επαρκή κινητική ενέργεια για τον περαιτέρω ιονισμό των ουδέτερων μορίων του αερίου με αποτέλεσμα την παραγωγή δευτερογενών ιονισμών. Με τη σειρά τους τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια υπόκεινται στην ίδια διαδικασία και κατόπιν πολλαπλασιασμού παράγονται ιονισμοί μεγαλύτερης τάξης ώσπου τελικά συμβαίνει το «φαινόμενο της χιονοστιβάδας» ή αλλιώς «πολλαπλασιασμός χιονοστιβάδας». Ωστόσο, λόγω της ευκινησίας αλλά και της μεγαλύτερης μάζας τους, τα ηλεκτρόνια κινούνται ταχύτερα από τα ιόντα σχηματίζοντας μία μορφή που μοιάζει με σταγόνα όπου τα γρήγορα ηλεκτρόνια τοποθετούνται στην κεφαλή της σταγόνας ενώ στην ουρά της τοποθετούνται τα πιο αργά ιόντα, όπως φαίνονται στην ακόλουθη *Εικόνα* [21].



ΕΙΚΟΝΑ [21]: ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΧΙΟΝΟΣΤΙΒΑΔΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑΓΟΝΑΣ

Αν υποθέσουμε, ότι λ είναι η μέση ελεύθερη διαδρομή για το ηλεκτρόνιο, τότε ο λόγος $1/a$ εκφράζει την πιθανότητα να παρατηρηθεί ιονισμός ανά μονάδα μήκους [23]. Ο συντελεστής α είναι γνωστός ως «*συντελεστής Townsend*». Επιπροσθέτως, υποθέτοντας ακόμη ότι το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι ομογενές, τότε ο αριθμός των δευτερογενών ηλεκτρονίων τα οποία θα δημιουργήσουν το φαινόμενο της

χιονοστιβάδας dn είναι ανάλογος του μήκους της διαδρομής που θα διανύσουν τα αρχικά ηλεκτρόνια n . Επομένως θα έχουμε:

$$dn = \alpha \cdot n \cdot dx$$

Ολοκληρώνοντας την ανωτέρω σχέση και θεωρώντας ότι για $x = 0 \rightarrow n(0) = n_0$, τότε έχουμε:

$$n(x) = n_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

Βέβαια, πειραματικά έχει παρατηρηθεί ότι τα ηλεκτρόνια υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου χρησιμοποιούν σημαντικό μέρος της διαδρομής τους για να φθάσουν στην ενέργεια που μπορεί να παράγουν ιονισμούς και έτσι το εκθετικό μέρος της παραπάνω εξίσωσης εξελίσσεται σε κατακόρυφη κατανομή γνωστή και ως Polya, η οποία δίνεται από τη σχέση :

$$P(n, x) = \frac{e^{-n/\bar{n}}}{\bar{n}}, \bar{n} = e^{-\alpha x}$$

Ο παράγοντας πολλαπλασιασμού ή ενίσχυση, ωστόσο, δίνεται από το λόγο μεταξύ του τελικού και του αρχικού πλήθους ηλεκτρονίων, δηλαδή από τη σχέση :

$$G = \frac{n(x)}{n(0)} = \frac{n}{n_0}$$

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι η ενίσχυση του αερίου μπορεί να πάρει οποιεσδήποτε τιμές, όμως στην πραγματικότητα η ενίσχυση έχει πεπερασμένη τιμή και μπορεί να λάβει τιμές :

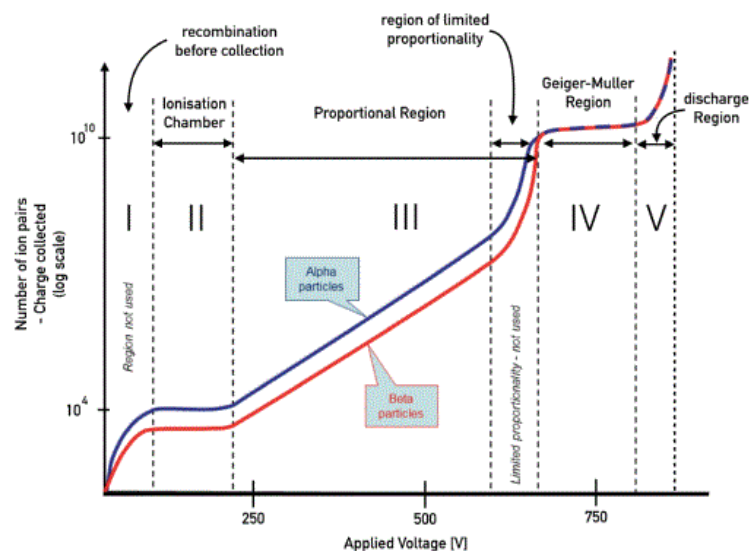
$$G < 10^8$$

Το ανωτέρω όριο της ενίσχυσης μπορεί επίσης να γραφεί και με τη μορφή $\alpha x < 20$, γνωστή ως το «όριο του Raether». Πάνω από αυτό το όριο (10^8 ηλεκτρόνια) συμβαίνει διάσπαση του αερίου (breakdown). Πιο συγκεκριμένα, αν τον παραπάνω όρο τον μετατρέψουμε σε όρο ενίσχυσης τότε πάνω από μία τιμή της ενίσχυσης, το ηλεκτρικό φορτίο βελτιώνει το ηλεκτρικό πεδίο που βρίσκεται στο χώρο μπροστά από την χιονοστιβάδα. Συνεπώς, τα ηλεκτρόνια και τα φωτόνια παράγονται με εξαιρετικά γρήγορο ρυθμό προκαλώντας αστάθειες στη διαδικασία του πολλαπλασιασμού. Εν συνεχεία, αν το πλήθος των φωτονίων είναι πολύ μεγάλο δεν μπορούν να «κατασβεσθούν» με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δευτερογενείς χιονοστιβάδες οι οποίες εν σειρά συνεισφέρουν στη δημιουργία **πλάσματος** συγκεκριμένης μορφής και σχήματος. Αυτό το πλάσμα ονομάζεται «**Streamer**». Σε αυτό το σημείο, αν το πλάσμα αυξηθεί και φτάσει έως το σημείο που είναι συνδεδεμένα τα ηλεκτρόδια του ανιχνευτή, τότε έχουμε τη δημιουργία ενός «**αγώγιμου μονοπατιού**» στο αέριο με αποτέλεσμα την διάσπαση του αερίου του ανιχνευτή ο οποίος λειτουργεί σαν πυκνωτής συγκεκριμένης χωρητικότητας, γεγονός για το οποίο δεν θα αναφερθούμε περαιτέρω στην παρούσα εργασία. Το «**φαινόμενο**

της χιονοστιβάδας» είναι απαραίτητο για τη διαδικασία της διηλεκτρικής καταρρεύσεως στα αέρια και αντιστοιχεί στην περιοχή V της **Εικόνα [21]**.

Η διαδικασία καταρρεύσεως στα αέρια έχει τη δυνατότητα να δημιουργηθεί μέσω διαφόρων εκφορτίσεων όπως *corona*, των *streamers*, των *leaders*, των *sparks* ή μέσω μια συνεχούς εκκένωσης της *arc* η οποία «γεφυρώνει» το χάσμα μεταξύ των ηλεκτρικών αγωγών στους οποίους εφαρμόζεται η τάση.

Στην ακόλουθη **Εικόνα [22]** φαίνονται οι διαφορετικές περιοχές λειτουργίας των ανιχνευτών αερίου ανάλογα την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ ανόδου και καθόδου.



ΕΙΚΟΝΑ [22]: ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ ΑΕΡΙΟΥ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ.

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι για πολύ χαμηλές τάσης υπάρχει ο κίνδυνος να μην παραχθεί ηλεκτρικός παλμός διότι τα ζεύγη ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων επανασυνδέονται πριν ακόμα προσεγγίσουν την άνοδο και την κάθοδο με αποτέλεσμα το φορτίο που τελικά συλλέγεται να είναι πολύ μικρότερο του πρωτογενούς ιονισμού, Περιοχή I. Αυξάνοντας τη τάση το πεδίο γίνεται ισχυρότερο μέχρι μια οριακή τιμή που επιτυγχάνεται τάση ίση με την τάση κορεσμού για ορισμένα αέρια όμως το φορτίο που δημιουργείται από τον ιονισμό συλλέγεται σε μεγάλο βαθμό στην άνοδο. Στην περίπτωση αυτή το φορτίο που τελικά συλλέγεται στην άνοδο είναι ανάλογο του πλήθους των αρχικών ζευγών ηλεκτρονίων – ιόντων που δημιουργήθηκαν και επομένως ανάλογο της εναπόθεσης ενέργειας των σωματιδίων στον ανιχνευτή. Αυτή η περιοχή λειτουργίας των ανιχνευτών Geiger – Muller όπου η μόνη πληροφορία που παρέχεται είναι απλώς η καταμέτρηση του πλήθους των σωματιδίων. Σε αυτό το σημείο έχει χαθεί, δηλαδή, η πληροφορία της ενέργειας των σωματιδίων. Σε περιπτώσεις όμως χρήσης ενός ανιχνευτή ως απεριθμητή ιονίζουσας ακτινοβολίας μπορεί απλώς η καταμέτρηση των γεγονότων ανά μονάδα χρόνου να είναι αρκετή. Η περιοχή II είναι η περιοχή στην οποία το φορτίο που συλλέγεται παραμένει σταθερό, η περιοχή αυτή ονομάζεται περιοχή ιονισμού και εφαρμόζονται τάσεις στις οποίες λειτουργούν οι θάλαμοι ιονισμού. Αυξάνοντας ακόμη περισσότερο την τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου μεταβαίνουμε στην περιοχή III του σχήματος η οποία είναι η περιοχή πολλαπλασιασμού. Τα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται από τον αρχικό ιονισμό επιταχύνονται λόγω της

υψηλής τάσης του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου με στόχο να προκαλέσουν επιπλέον ιονισμό μέσω συγκρούσεων με αποτέλεσμα την αύξηση των φορέων. Σε αυτή τη φάση η αναλογία του ύψους του παλμού που δημιουργείται και του αρχικού ιονισμού μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τον ανιχνευτή για τον διαχωρισμό σωματιδίων με διαφορετικές ενέργειες. Η περιοχή III λοιπόν για τον ανωτέρω λόγο ονομάζεται και αναλογική περιοχή. Στις περιοχές III και IV, ο δευτερογενής ιονισμός είναι εξαιρετικά ισχυρός με αποτέλεσμα να καθιστά ανεξάρτητο το ύψος του παλμού από τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων, όπως η ενέργεια ή χρονικός εντοπισμός αυτών. Τέλος, στην περιοχή V, το τελικό φορτίο που συλλέγεται είναι ανεξάρτητο και από την τάση του πεδίου και του αρχικού ιονισμού. Στην τελευταία αυτή περιοχή κυριαρχεί το φαινόμενο της χιονοστιβάδας και ο ανιχνευτής πλέον λειτουργεί όπως προαναφέρθηκε σαν απαριθμητής Geiger – Muller. Η ενίσχυση του πολλαπλασιασμού και η παραγωγή δευτερογενών ιονισμών σταματά πάνω από μία ορισμένη οριακή τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης λόγω ορίου Raether, το οποίο αναφέρθηκε ανωτέρω.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΧΟΛΙΑ
I	Επανασυζεύξεις των ιόντων πριν την συλλογή	Ασθενές σήμα
II	Συλλογή όλων των αρχικών ιόντων(κόρος), το ύψος του παλμού εξαρτάται από τη φύση και την κινητική ενέργεια του σωματιδίου.	Θάλαμος ιονισμού
III	Φαινόμενο του πολλαπλού ιονισμού → δευτερογενή ιόντα δημιουργούνται από τα αρχικά ιόντα με συντελεστή πολλαπλασιασμού που είναι ανάλογος της τάσης που εφαρμόζεται	Αναλογικός Ανιχνευτής
IV	Εξαιρετικά ισχυρός ο δευτερογενής ιονισμός ώστε το ύψος του παλμού είναι ανεξάρτητο των σωματιδίων, της κινητικής τους ενέργειας κτλ. Το τελικό φορτίο αυξάνεται με την τάση.	Περιορισμένη Αναλογικότητα
V	Το τελικό φορτίο που συλλέγεται είναι ανεξάρτητο του αρχικού ιονισμού και της τάσης. Εμφάνιση του φαινομένου της χιονοστιβάδας.	Geiger – Muller
VI	Διάσπαση αερίου ανιχνευτή.	Συνεχής διασπάσεις

Πίνακας[II]: Περιοχές ανιχνευτή και συνοπτική περιγραφή περιοχών.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ανιχνευτών [23] αερίου είναι τα ακόλουθα:

1. Η **εναισθησία (sensitivity)** ενός ανιχνευτή, είναι η ικανότητα να δημιουργήσει χρήσιμο σήμα ικανό να μετρηθεί για μία συγκεκριμένη ακτινοβολία. Είναι συνάρτηση των στοιχείων του ανιχνευτή, όπως :
 - a. Ο όγκος
 - b. Ο ενδογενής θόρυβος καθορίζει το ελάχιστο ποσό ιονισμού που είναι απαραίτητο να προκληθεί για συλλέξουμε μετρήσιμο σήμα.
 - c. Το προστατευτικό «παράθυρο» του οποίου το πάχος μπλοκάρει την ανίχνευση ακτινοβολιών κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή ενέργειας λόγω απορρόφησης.
 - d. Η ενεργός διατομή του υλικού αλλά και η μάζα του ανιχνευτή καθορίζουν την πιθανότητα της απορρόφησης μερικώς ή ολικώς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
2. Η **ενεργειακή διακριτική ικανότητα(Energy Resolution)** αναφέρεται στο διαχωρισμό της ενέργειας μεταξύ δύο διαφορετικών ακτινοβολιών κατά τη μέτρηση της ενέργειάς τους. Το μέτρο της διακριτικής ικανότητας του ανιχνευτή γνωστή και ως τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dN}{dE} = A \cdot e^{-\frac{(E-E_0)^2}{2\sigma^2}}$$

Όπου $\sigma = \frac{FWHM}{2\sqrt{2\ln 2}}$

3. Η **χωρική διακριτική ικανότητα(Spatial Resolution)** αναφέρεται στο διαχωρισμό της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο ίχνων που αφήνουν δύο ακτινοβολίες οι οποίες ανιχνεύονται ταυτόχρονα από τον ανιχνευτή.
4. Η **ανιχνευτική ικανότητα ή η απόδοση ενός ανιχνευτή** προσδιορίζεται από την πιθανότητα καταγραφής ενός γεγονότος όταν ένα σωματίδιο εκπέμπεται από μια σύγκρουση στοιχειωδών σωματιδίων. Η ανιχνευτική ικανότητα δίνεται από τη σχέση που αναφέρθηκε και ανωτέρω:

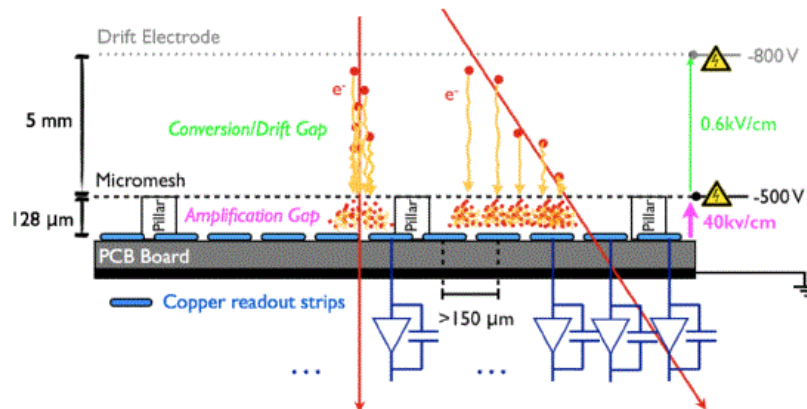
$$\varepsilon = 1 - P(0) = 1 - e^{-n}$$

5. Η **γεωμετρική αποδοχή(Solid Angle or Acceptance)** ορίζεται ως το ποσοστό της εκπεμπόμενης ή προσπίπτουσας ακτινοβολίας που μπορεί να γίνει δεκτό από τον ανιχνευτή. Η γεωμετρική αποδοχή μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη στερεά γωνία του ανιχνευτή η οποία αντιστοιχεί στην ενεργό περιοχή του ανιχνευτή.
6. Ο **χρόνος απόκρισης(Response Time)** ορίζεται ως ο χρόνος που είναι απαραίτητος ώστε να ανταποκριθεί ο ανιχνευτής και να αποδώσει ηλεκτρικό σήμα. Πιο συγκεκριμένα, δύο χαρακτηριστικοί μετρήσιμοι χρόνοι είναι ο **χρόνος ανόδου(rise time), t_r** , και ο **χρόνος καθόδου(fall time), t_f** , οι οποίοι λαμβάνονται στην έξοδο του ανιχνευτή.
7. Ο **ανενεργός χρόνος(Dead Time)** αναφέρεται στην ανικανότητα του ανιχνευτή να επεξεργαστεί ένα γεγονός όταν είναι απασχολημένος με κάποιο προηγούμενο συμβάν. Αυτό συμβαίνει όταν ο ρυθμός καταγραφής των γεγονότων είναι αρκετά μεγάλος.

2.2 Αρχή λειτουργίας του ανιχνευτή Micromegas και Micromesh Gaseous Structure

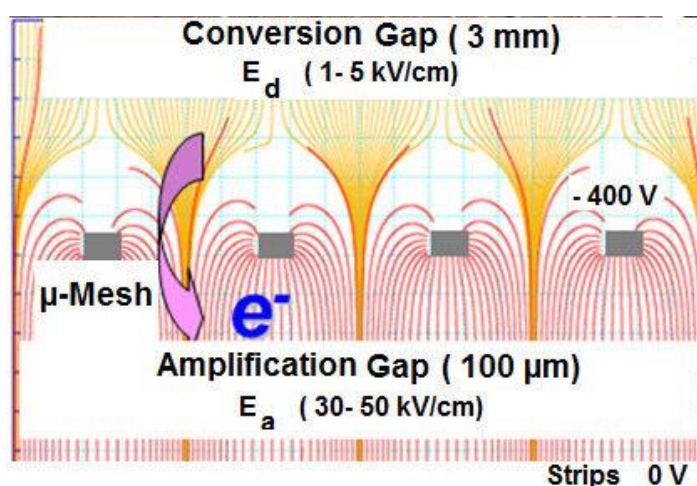
Ο ανιχνευτής *Micromegas* προέρχεται από τις λέξεις «**Micro Mesh Gaseous Structure**» και η τεχνολογία αυτού του είδους ανιχνευτών δημιουργήθηκε ως επί το πλείστον ώστε να χρησιμοποιηθεί από την επιστημονική κοινότητα σε επιταχυντικές διατάξεις και σε πειράματα σωματιδιακής φυσικής ή φυσικής σωματιδίων υψηλών ενεργειών. Ο ανιχνευτής *Micromegas* αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια (ένα επίπεδο ηλεκτρόδιο ανόδου – drift και ένα ηλεκτρόδιο καθόδου/ανάγνωσης – readout cathode), ένα διάκενο πάχους κάποιων χιλιοστών που χρησιμεύει ως περιοχή μετατροπής και ολίσθησης (conversion gap) και ένα μεταλλικό πλέγμα (mesh) τοποθετημένο σε ιδανική απόσταση των 100 μm από το ηλεκτρόδιο καθόδου/ανάγνωσης δημιουργώντας έτσι την περιοχή της ενίσχυσης.

Η δομή ενός συμβατικού ανιχνευτή *Micromegas*, *Εικόνα [23]*, από κάτω προς τα πάνω, αποτελείται από την άνοδο δηλαδή από 180 readout strips (εάν είναι δύο διαστάσεων τότε αποτελείται από 360 readout strips) στην διεύθυνση -x και αντίστοιχα στην διεύθυνση -y ή από ένα ενιαίο κομμάτι (pad). Το πλέγμα (mesh) καλύπτει επιφάνεια 10 cm^2 και είναι τοποθετημένο σε απόσταση των 128 μm πάνω από την άνοδο ή τα resistive strips ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Το υλικό κατασκευής του πλέγματος είναι από ανοξείδωτο ατσάλι ενώ για την αποφυγή καμπύλωσής του και για την διατήρηση της απόστασής του από την άνοδο, συνήθως είναι τοποθετημένοι υποστηρικτικοί πάσσαλοι, οι οποίοι καλούνται pillars και έχουν διάμετρο 400 μm . Τα pillars είναι τοποθετημένα σε απόσταση μεταξύ τους ίση με 2.5 mm και τυπώνονται από ένα φιλμ με τη μέθοδο της λιθογραφίας πάνω σε ένα εποξικό υπόστρωμα. Το πάχος του φιλμ καθορίζει και την περιοχή ενίσχυσης του ανιχνευτή. Στην περιοχή ενίσχυσης με ένα ηλεκτρικό πεδίο 50 έως 100 φορές ισχυρότερο από το πεδίο μετατόπισης, το πλέγμα (mesh) είναι διαφανές (transparent) σε ποσοστό μεγαλύτερο από 95% των ηλεκτρονίων. Η ηλεκτρονιακή στοιβάδα που λαμβάνει χώρα στην λεπτή περιοχή της ενίσχυσης πραγματοποιείται σε χρόνο ίσο με 1 ns παράγοντας ένα γρήγορο παλμό στα readout strips. Τα ιόντα που παράγονται κατά την ηλεκτρονιακή χιονοστιβάδα κινούνται προς το mesh με ταχύτητα περίπου 200 φορές πιο αργή σε σχέση με τα ηλεκτρόνια. Το ηλεκτρόδιο της καθόδου (drift mesh) αποτελείται από 138 wires/cm διαμέτρου 22 μm και είναι αντίστοιχα κατασκευασμένο από ανοξείδωτο ατσάλι, τοποθετείται σε απόσταση 5 mm πάνω από το πλέγμα.



ΕΙΚΟΝΑ [23]: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ MICROMEGAS ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ MICROMEGAS ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.

Όμως το ηλεκτρικό πεδίο, *Εικόνα [24]*, που εφαρμόζεται στην περιοχή μετατροπής (drift gap) αλλά και στην περιοχή πολλαπλασιασμού πρέπει να είναι ομογενές γεγονός που μπορεί να συμβεί τοποθετώντας πλέγμα (micromesh) ως μεσαίο ηλεκτρόδιο. Χρησιμοποιώντας το πλέγμα ως μεσαίο ηλεκτρόδιο, με αυτή τη διάταξη, το ηλεκτρικό πεδίο παραμορφώνεται κοντά στις οπές του πλέγματος, γεγονός πολύ σημαντικό για το ποσοστό των ηλεκτρονίων που διαπερνούν το πλέγμα και για το πόσο γρήγορη είναι η εκκένωση της περιοχής από θετικά ιόντα. Πιο επεξηγηματικά, διαθέτοντας ένα λεπτό πλέγμα και εφόσον το πεδίο του amplification gap του πλέγματος είναι μεγαλύτερο από το conversion gap οποιαδήποτε δυναμική γραμμή έρχεται πάνω από το μέρος του πλέγματος δεν επιστρέφεται στην κάτω πλευρά του με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος των ηλεκτρονίων του πλέγματος να λαμβάνονται από το επίπεδο της ανόδου (strips).

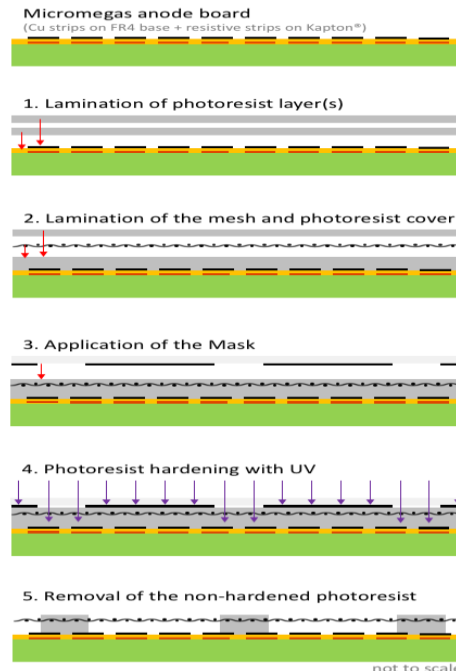


ΕΙΚΟΝΑ [24]: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ MICROMEGAS [24].

Ωστόσο, η προηγούμενη περιγραφή του ανιχνευτή Micromegas είναι η αρχή για την περαιτέρω εξέλιξη και ανάπτυξη των ανιχνευτών οι οποίοι υιοθετούν πλέον τη χρήση μικροπλέγματος. Ένα τέτοιο παράδειγμα εξέλιξης του ανιχνευτή αποτελεί η τεχνολογία bulk.

Η τεχνολογία bulk ουσιαστικά ενσωματώνει το μικροπλέγμα σε ένα τυπωμένο κύκλωμα PCB το οποίο αποτελεί την άνοδο από όπου συλλέγονται τα ηλεκτρόνια και εν τέλη το ηλεκτρονικό σήμα. Η τεχνολογία bulk λόγω των τυπωμένων κυκλωμάτων PCB αποτέλεσε έναν γρήγορο και ασφαλή τρόπο παραγωγής ανιχνευτών σε μεγάλα μεγέθη που βασίζονται στην τεχνολογία printed boards η οποία δίνει την δυνατότητα τοποθέτησης του μεταλλικού πλέγματος mesh με ακρίβεια στην υπολογισμένη απόσταση από τα ηλεκτρονικά ανάγνωσης, δηλαδή, τα readout strips. Στο σκεπτικό για τη χρήση των τυπωμένων κυκλωμάτων οδήγησε ο τρόπος κατασκευής τους, ο οποίος επιτυγχάνεται με στρώσεις (lamination), γεγονός που σημαίνει ότι αυξάνει την μηχανική αντοχή του υλικού που είναι κατασκευασμένα. Το υλικό κατασκευής τους είναι ένα φωτοπολυμερές συγκεκριμένων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών που καλείται Vacrel. Στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η διαδικασία του encapsulation, η οποία ουσιαστικά είναι η τοποθέτηση μιας στρώσης φωτοπολυμερούς στη συνέχεια ενός κομματιού micromesh και εν τέλη

ξανά μια στρώση από το φωτοπολυμερές συγκεκριμένων ιδιοτήτων κι έτσι δημιουργείται ένα «σάντουιτς» φωτοπολυμερούς το οποίο εκτίθεται εν τέλη σε ακτινοβολία (exposure) με στόχο τον σχηματισμό των pillars που στηρίζουν το micromesh. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται με τον πολυμερισμό των στρωμάτων ώστε να σκληρύνουν.



ΕΙΚΟΝΑ [25]: ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ BULK MICROMEGAS [25].

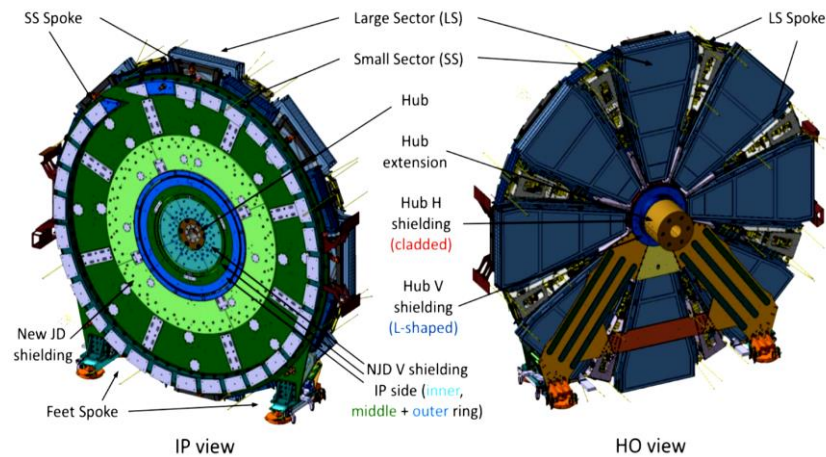
Τέλος, το ζητούμενο για την τελική κατασκευή ανιχνευτών micromegas είναι η πολύ λεπτή περιοχή ενίσχυσης η οποία τους καθιστά ευάλωτους σε εκκενώσεις (σπινθηρισμούς). Σπινθήρες μπορεί να προκύψουν όταν η τοπική συγκέντρωση των ηλεκτρονίων ξεπεράσει το κατώφλι των 10^7 σωματιδίων. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των εκκενώσεων τροποποιήθηκε ο ανιχνευτής ώστε να μειωθεί η ευαισθησία του στο φαινόμενο των σπινθηρισμών. Συνεπώς, αναπτύχθηκε μία τεχνολογία η οποία ονομάζεται spark resistant Micromegas [26]. Σε αυτή την τεχνολογία τα ηλεκτρονικά στοιχεία ανάγνωσης (readout strips) καλύπτονται με ανθεκτικό μονωτικό υλικό μεγάλης αντίστασης. Η ιδέα κατασκευής του spark resistant micromegas φαίνεται στην *Εικόνα [25]*.

2.3 Ανιχνευτές Micromegas για ATLAS NSW Upgrade

Στα πλαίσια αναβάθμισης της ανιχνευτικής διάταξης του πειράματος ATLAS θα έπρεπε να διατηρηθούν τα εξαιρετικά χαρακτηριστικά του ανιχνευτή, όμως παράλληλα, θα έπρεπε να αντιμετωπισθούν ζητήματα που ενδεχομένως να προκύπταν λόγω των αλληλεπιδράσεων σωματιδίων υψηλού ρυθμού (~ 15 kHz/cm²). Οι ανιχνευτές μετά την αναβάθμιση διαφέρουν από τον αρχικό σχεδιασμό και λειτουργία του ανιχνευτικού συστήματος κατά τα εξής δύο χαρακτηριστικά :

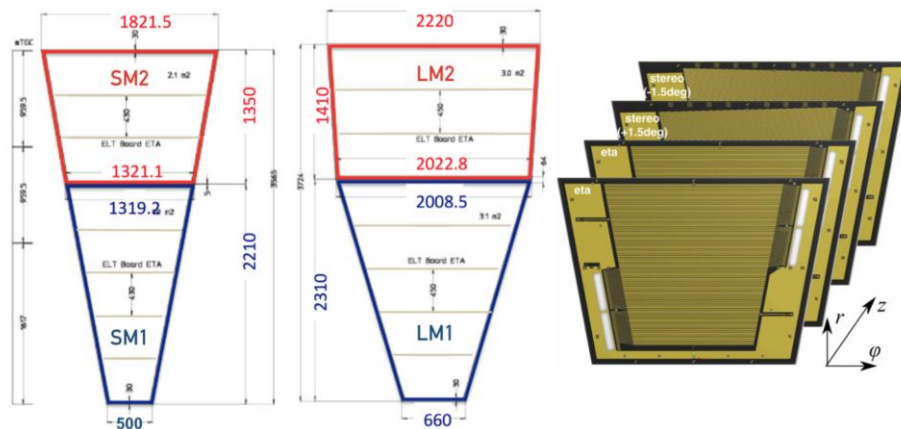
1. Προστασία ανθεκτικών λωρίδων όπως περιεγράφηκε παραπάνω
2. Εφαρμογή θετικής τάσης στις ανθεκτικές λωρίδες και γείωση του πλέγματος

Αυτές οι διαφοροποιήσεις στην ανιχνευτική διάταξη έκαναν τους ανιχνευτές να έχουν πιο σταθερή λειτουργία και οι σπινθηρισμοί έπαψαν να είναι πρόβλημα καθότι το ρεύμα που παράγεται από τους σπινθήρες γειώνεται αρκετά γρήγορα μέσω του πλέγματος ενώ ταυτόχρονα διατηρείται το δυναμικό του.



ΕΙΚΟΝΑ [26]: ΔΙΑΤΑΞΗ NEW SMALL WHEEL UPGRADE [29].

Η διάταξη του NSW, *Εικόνα [26]*, αποτελείται από 16 τομείς, 8 μικρούς και 8 μεγάλους (sectors). Με τη σειρά του κάθε τομέας αποτελείται από τέσσερις σφήνες (wedges), όπου δύο ανιχνευτές τροχιάς Micromegas έχουν τοποθετηθεί και στις δύο πλευρές ενός κεντρικού πλαισίου διάκενου πάχους 50 mm και είναι τοποθετημένες από δύο σφήνες σκανδαλισμού (trigger) ανιχνευτών sTGC. Κάθε wedge αποτελείται από τέσσερα στρώματα της ίδια τεχνολογίας, με κάθε στρώμα να είναι διαχωρισμένο ακτινικά σε μονάδες (modules). Κάθε επίπεδο ανιχνευτών Micromegas, αποτελείται επίσης από δύο μονάδες σχήματος τραπεζοειδούς (M1, M2) και κάθε ενότητα χωρίζεται ακτινικά σε οκτώ PCB πλαίσια. Η άνω μονάδα, δηλαδή, η M2 αποτελείται με τη σειρά της από 3 πλακέτες PCB ενώ η κάτω μονάδα, δηλαδή η M1 αποτελείται από πέντε πλακέτες PCB κολλημένες με ένα ενδιάμεσο κενό μεταξύ τους ίσο με 400 μm κατά μήκος της ακτινικής διεύθυνσης. Η κάρτα ανάγνωσης είναι PCB πάχους 0.5 mm εξοπλισμένο με φωτολιθογραφία με 1024 λωρίδες χαλκού ύψους 17 μm και κλίσης 425 μm για μικρές και μεγάλες μονάδες αντίστοιχα. Ο προσανατολισμός των λωρίδων έκανε επιτακτική την ανάγκη τριών ειδών PCB πλαισίων. Ένα με λωρίδες που κινούνται κάθετα προς την ακτινική κατεύθυνση, *y – strips* μειώνοντας τη συντεταγμένη ακριβείας και άλλες δύο λωρίδες, *stereo – strips*, κεκλιμένες με μικρή στερεά γωνία 1.5 pm σε σχέση με την παράλληλη προς την ακτινική κατεύθυνση, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τη μέτρηση τη δεύτερης συντεταγμένης φ. Οι λωρίδες χωρίζονται σε δύο ομάδες και κάθε ομάδα κατευθύνεται σε αντίθετη πλευρά, με την πρώτη ομάδα να είναι στην πάνω δεξιά γωνία και με τη δεύτερη ομάδα να είναι προς τα κάτω αριστερά. Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται η διάταξη των readout strips. *Εικόνα [27]*.



ΕΙΚΟΝΑ [27]: ΔΕΞΙΑ: 4 PCB ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΠΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥΝ ΕΝΑ MM MODULE [27]. ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΜΙΚΡΑ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΑ WEDGES, ΚΑΘΕ ΣΤΡΩΜΑ ΜΟΝΑΔΑ MM ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ 8 PCBs, ΤΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΠΑΝΩ ΚΑΙ ΠΕΝΤΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΩ ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ [28][29].

3^ο Κεφάλαιο

3. Σύστημα αερίου των ανιχνευτών *Micromegas*

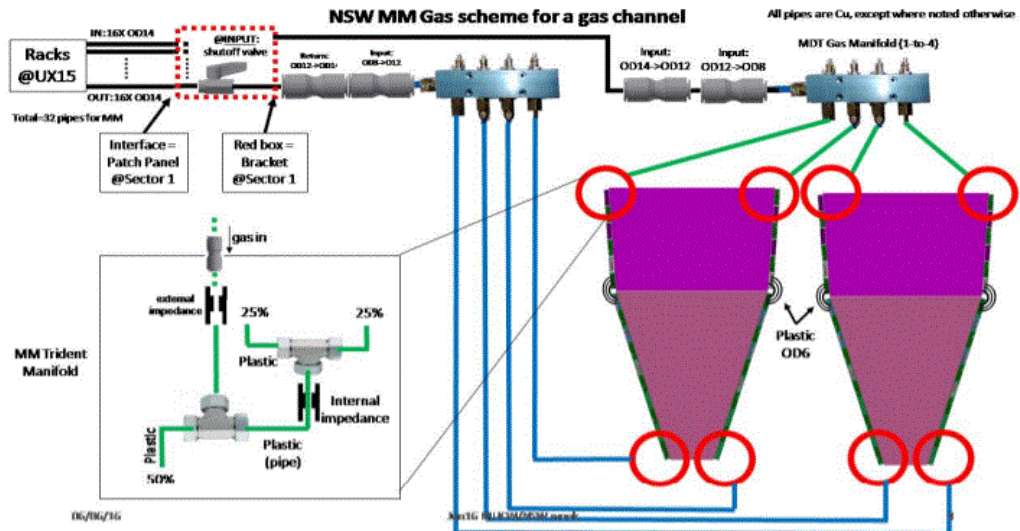
Στο παρόν κεφάλαιο ακολουθεί μία εκτενής περιγραφή του συστήματος παροχής αερίου των ανιχνευτών *Micromegas*, παρουσιάζεται επίσης η θεωρητική μελέτη των μεθόδων για τις μετρήσεις διαρροής του αερίου. Επιπρόσθετα, εκτός από τη θεωρητική μελέτη των μεθόδων, περιγράφεται και η πειραματική διάταξη για τη μέτρηση της διαρροής η οποία είναι εγκατεστημένη στο CERN, στο κτήριο 899 ή αλλιώς BB5. Ακόμη, ακολουθεί αναφορά στις μεθόδους πτώσης πίεσης (PDR) και απώλειας ροής μάζας (FRL), ενώ το κεφάλαιο αυτό κλείνει με περιγραφή της sensitivity του ανιχνευτή *Micromegas* του NSW. Η μελέτη για τη διαρροή του αερίου του ανιχνευτικού συστήματος βασίστηκε στις δημοσιεύσεις της ομάδας του πειράματος ATLAS [30][31][32][33][34][35][36].

3.1 Σύστημα παροχής αερίου, μηχανισμός διαρροής και αίτια

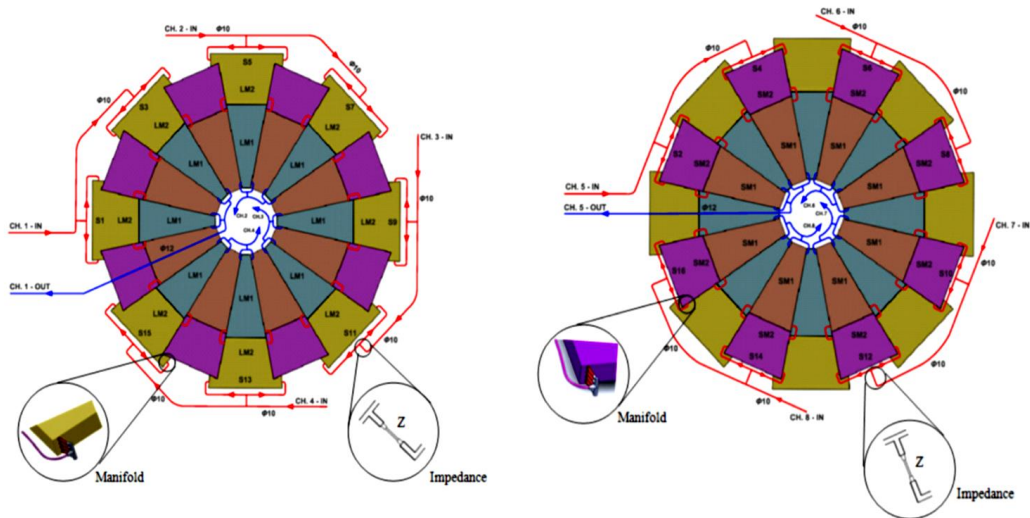
Όπως ήδη αναφέρθηκε και παραπάνω κάθε ένα από το *Micromegas* (MM) wedges, αποτελείται από δύο ανιχνευτές *Micromegas* τα οποία καλούμε και modules τα οποία με τη σειρά τους διακρίνουμε σε module 1 (M1) και module 2 (M2). Στη συνέχεια, κάθε ένα από τα modules αποτελείται από τέσσερα επίπεδα παράλληλα μεταξύ τους τα οποία αποτελούν μία Multiplet (MP). Το αέριο λειτουργίας των ανιχνευτών είναι ένα μείγμα αερίων το οποίο αποτελείται από τα συστατικά του Αργού και του Διοξειδίου του Άνθρακα σε συγκέντρωση Ar +7% CO₂ και ρέει με πίεση περίπου 10 mbar διαμέσου ενός κυκλώματος ανοιχτού σωλήνα. Η ολοκληρωμένη παροχή αερίου του ανιχνευτή περιλαμβάνει 16 κανάλια ανά NSW, όπου κάθε κανάλι αερίου παρέχει αέριο εισόδου και επιστροφής σε δύο wedges ίδιας απόστασης. Η ροή του αερίου διαμέσου του κυκλώματος και κατά συνέπεια των wedges πρέπει να είναι ομοιόμορφη ώστε να μην εμποδίζεται η ομαλή λειτουργία του ανιχνευτή. Συνεπώς, σε μία ομαλή κατάσταση ροής του αερίου, ο ρυθμός ροής καθορίζεται από την συνολική αντίσταση (impedance) του κυκλώματος η οποία προκαλεί απώλειες στην πίεση του αερίου κατά μήκος της διαδρομής του.

Το πλήρες σχέδιο του συστήματος παροχής του αερίου είναι τοποθετημένο ως ακολούθως: οι μεγάλες σφήνες (large wedges) που είναι τοποθετημένες στο σημείο αλληλεπίδρασης (IP-side) συνδέονται με τα κανάλια 1-4 και τα HO-side large wedges συνδέονται στα κανάλια 9-12. Τα IP-side συνδέονται στα κανάλια 5-8 και τα HO-side small wedges συνδέονται στα κανάλια 13-16. Τα 16 κανάλια παροχής αερίου παρέχονται από τα υπάρχοντα racks του παλιού Small Wheel που τροφοδοτούσαν τους MDTs και τους CSGs. Στη συνέχεια, ακολουθούν εικόνες, *Εικόνα [28]*, *Εικόνα [29]*, με την αναπαράσταση του συστήματος παροχής αερίου στα wedges.

Πιο συγκεκριμένα, η είσοδος της παροχής του αερίου [30] πραγματοποιείται στο επίπεδο κάθε module, τα οποία ομαδοποιούνται σε MPs, όπου τα XM1 και XM2 συνδέονται διαδοχικά μέσα σε κάθε wedge. Η έξοδος του XM2 συνδέεται στην είσοδο του XM1 και η έξοδος του XM1 συνδέεται στην επιστροφή παροχής του αερίου.



ΕΙΚΟΝΑ [28]: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΝΟΣ ΜΟΝΟ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΔΥΟ WEDGES ΤΟΥ ΜΜ [30].



ΕΙΚΟΝΑ [29]: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΑ LARGE WEDGES (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΣΤΑ SMALL WEDGES (ΔΕΞΙΑ) [29].

Η προτιμώμενη ροή αερίου για τους Small Wedges είναι 17 L/h ,ενώ για τους Large Wedges είναι 26 L/h με στατιστική διακύμανση της τάξεως του 10 % να είναι αποδεκτές για την ομαλή λειτουργία του ανιχνευτή. Επιπρόσθετα, η τελική διαμόρφωση του συστήματος αερίου περιλαμβάνει επίσης την εγκατάσταση αισθητήρα ροής μάζας αερίου (mass flow sensor), ο οποίος μετρά την ροή μάζας του μείγματος αερίου κατά τη λειτουργία του NSW. Όπου σε αυτή την περίπτωση κάθε μετρούμενη ροή μάζας αερίου διαφορετική από την ονομαστική θα σημαίνει διαρροή αερίου στη γραμμή επιστροφής κάθε καναλιού, γεγονός που θα υποδεικνύει πιθανή διαφοροποίηση στη στεγανότητα του ανιχνευτή και ενδεχομένως διαρροή αερίου από τον ανιχνευτή. Βεβαίως, σε όλη την διάταξη παροχής αερίου του ανιχνευτή λήφθηκε υπόψιν και το κόστος κατασκευής αλλά και η

ανατροφοδότηση του αερίου ανά κύκλο αναπλήρωσης και ολοκληρώθηκε σύμφωνα με τα βέλτιστα και συμφέροντα.

Στόχος της ανωτέρω προγραφείσας διαδικασίας ήταν η επίτευξη στεγανότητας του ανιχνευτή στο μέγιστο βαθμό ώστε να εγγυάται τη μέγιστη δυνατή απόδοση του και τη βέλτιστη λειτουργικότητά του. Ουσιαστικά όμως, ο προσδιορισμός του ρυθμού διαρροής του αερίου εκτός του ανιχνευτή είναι ένα πρόβλημα μηχανικής ρευστών. Συνεπώς, παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή της μεθόδου μέτρησης διαφυγής ενός ρευστού που μελετήθηκε για την επίτευξη της στεγανότητας του ανιχνευτή στο μέγιστο βαθμό.

Θεωρούμε έναν θάλαμο όγκου V γεμάτο με ιδανικό αέριο πίεσης p και απόλυτης θερμοκρασίας T , σύμφωνα με τον νόμο των ιδανικών αερίων έχουμε :

$$pV = nRT$$

Όπου n είναι ο αριθμός moles και R η σταθερά του αερίου. Σύμφωνα με την καταστατική εξίσωση των αερίων, ο όγκος των αερίων σχετίζεται με την πίεση για σταθερές θερμοκρασίες και συγκεκριμένη τιμή n . Χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση, η οποία εκφράζεται σε διαρροή αερίου και βασίζεται στην ροή μάζας (ποσότητα διαρροής της ποσότητας dn/dt) δίνεται από τη σχέση :

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

η οποία μπορεί να γραφτεί και ως εξής :

$$Q_L = p \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt} = RT \frac{dn}{dt}$$

Διερευνώντας τρεις συνθήκες που έχουμε:

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

Αντικαθιστώντας στην τελευταία σχέση έχουμε:

1. $Q_L = V_0 \frac{dp}{dt}$

2. $Q_L = p_0 \frac{dV}{dt}$

$$3. \quad Q_L = V \frac{dp}{dt} + p \frac{dV}{dt} = 0$$

Από την τρίτη περίπτωση καταλήγουμε στην παρακάτω εξίσωση:

$$p_0 = \frac{dV}{dt} = -V_0 \frac{dp}{dt} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = -\frac{V_0}{p_0} \frac{dp}{dt}$$

Η τελευταία σχέση δείχνει ότι ο ρυθμός της διαρροής αερίου, εκφρασμένος από το ρυθμό του αερίου σχετίζεται με την πτώση του ρυθμού της πίεσης. Μετρώντας έτσι το ρυθμό πτώσης πίεσης για έναν θάλαμο Micromegas με σταθερό όγκο:

$$Q_L = V \frac{dp}{dt}$$

Αυτή η μέθοδος καλείται PDR (Pressure Drop Rate) εκφράζοντας τη διαρροή σε $\text{bar} \cdot \text{L/s}$ ή σε $\text{mbar} \cdot \text{L/s}$. Εναλλακτικά για την μέτρηση διαρροής αερίου από τους ανιχνευτές χρησιμοποιείται και μία άλλη μέθοδος η οποία καλείται FRL (Flow Rate Loss). Και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζονται στη συνέχεια αναλυτικά.

3.2 Μέθοδοι και περιγραφή της πειραματικής διάταξης (BB5) για την μέτρηση διαρροής αερίου του ανιχνευτή Micromegas

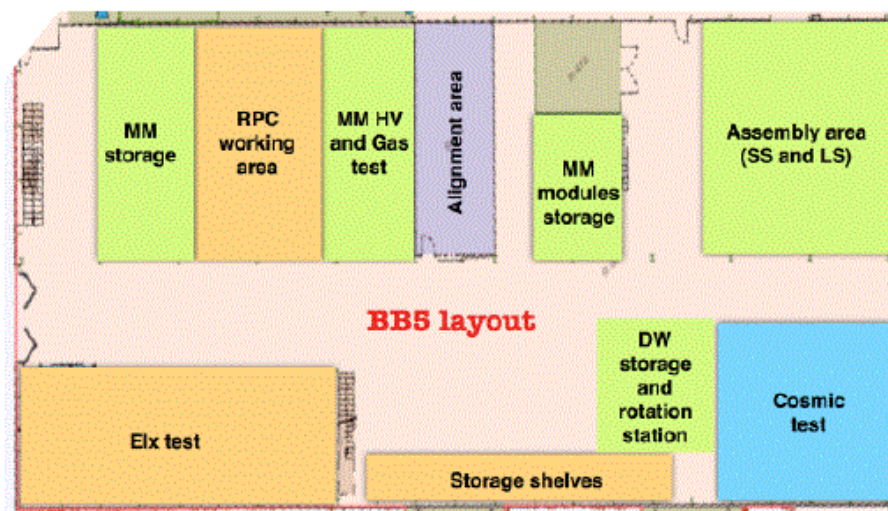


ΕΙΚΟΝΑ [30]: ΚΤΗΡΙΟ 899 ΣΤΟ CERN – BB5.

Διαφορετικά ινστιτούτα ανά την Ευρώπη κατασκευάζουν διαφορετικά τμήματα των modules του ανιχνευτή και πιο συγκεκριμένα τα ακόλουθα:

1. Το BMBF στη Γερμανία αναλαμβάνει το SM2
2. Το INFN στην Ιταλία αναλαμβάνει το SM1
3. Το ΑΠΘ σε συνεργασία με το Dubna στη Ρωσία και το Cern, αναλαμβάνει το LM2
4. Το Saclay στη Γαλλία αναλαμβάνει το LM1

Όλα τα μέρη των ανιχνευτών αποθηκεύονται και περνούν όλους τους απαραίτητους ελέγχους, δηλαδή, μηχανολογικό έλεγχο, ηλεκτρολογικό έλεγχο καθώς και έλεγχο στεγανότητας του συστήματος αερίου τους. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η συναρμολόγηση των επί μέρους τμημάτων τους και αφού ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση πραγματοποιείται ο έλεγχος των ηλεκτρονικών για την ορθή λήψη των δεδομένων. Οι πλειοψηφία αυτών των σταδίων ελέγχου και συναρμολόγησης για τους ανιχνευτές βρίσκεται στο κτήριο 899 του Cern, ή αλλιώς στο BB5. *Εικόνα [30]*

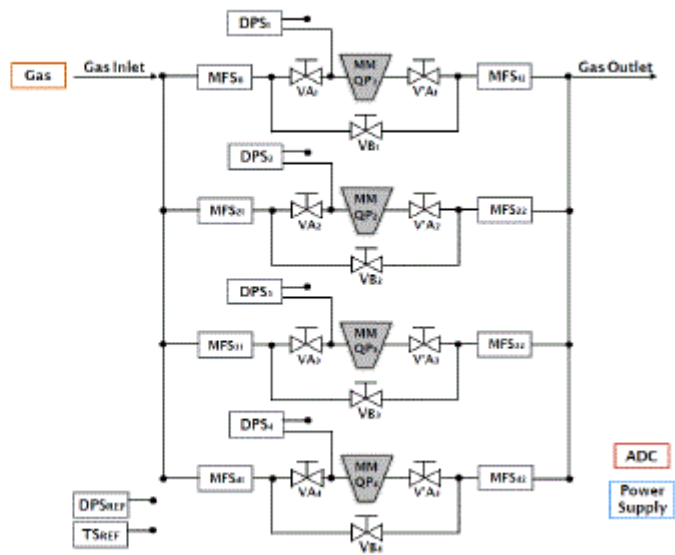
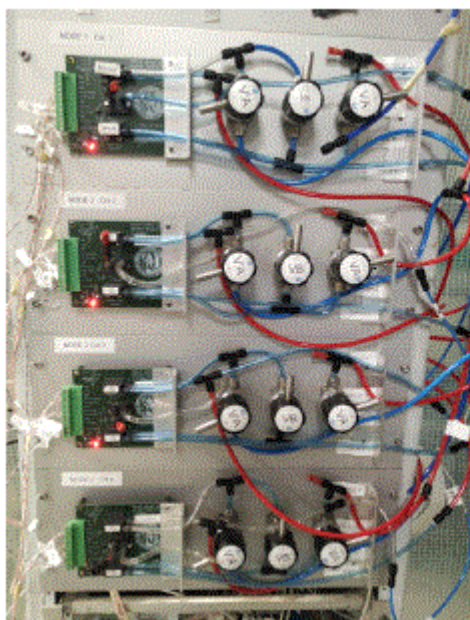


ΕΙΚΟΝΑ [31]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ 899 ΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ [37].

Ωστόσο, από την *Εικόνα [31]* το σημείο ενδιαφέροντος για την παρούσα εργασία είναι το σημείο με το μπλε χρώμα, δηλαδή ο χώρος Cosmic Test. Στο συγκεκριμένο χώρο, γνωστό και ως Cosmic Stand όλα τα συστήματα του ανιχνευτή θέτονται σε πλήρη λειτουργία και δοκιμάζεται η ανίχνευση κοσμικών μιονίων. Επιπροσθέτως, στο Cosmic Stand έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα ελέγχου των δεδομένων για την πίεση του συστήματος τροφοδοσίας του αερίου των ανιχνευτών. Ωστόσο, επειδή η μεταφορά των ανιχνευτικών διατάξεων στο συγκεκριμένο χώρο για την πραγματοποίηση των ελέγχων είναι αυξημένης δυσκολίας, εφευρέθηκε η φορητή διάταξη ελέγχου στεγανότητας των ανιχνευτών σε μέγεθος μικρής βαλίτσας, η οποία θα διευκολύνει σε σημαντικό βαθμό τον έλεγχο του συστήματος αερίου των ανιχνευτικών διατάξεων και είναι και το κεντρικό θέμα της παρούσας εργασίας.

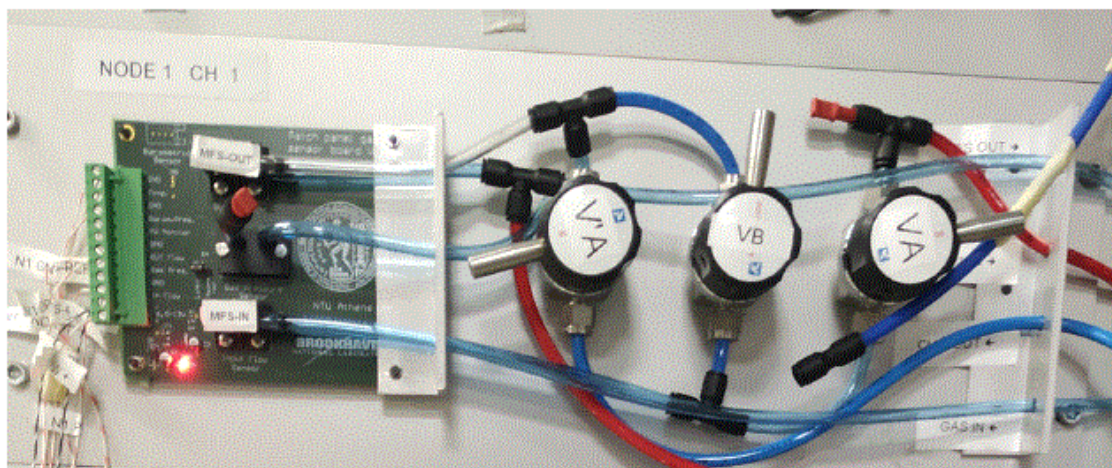
3.2.1 Ο σταθμός ελέγχου στεγανότητας – γενική περιγραφή & αρχή λειτουργίας

Ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία ελέγχου είναι η διασφάλιση της στεγανότητας του θαλάμου (gas tightness) για την ομαλή λειτουργία του ανιχνευτή αλλά και για την μέγιστη απόδοσή του. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, οι ανιχνευτές Micromegas είναι ανιχνευτές αερίου και βασική αρχή λειτουργίας τους είναι ο ιονισμός του αερίου κατά τη διέλευση των φορτισμένων σωματιδίων στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Στον σταθμός ελέγχου στεγανότητας, Gas Tightness Station που βρίσκεται στο BB5 του Cern πραγματοποιείται ο έλεγχος στεγανότητας του ανιχνευτή. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του NSW, ο ρυθμός διαρροής αερίου των modules θα πρέπει να ισούται με $10^{-5} \cdot V / \text{min}$, όπου V είναι ο όγκος του εκάστοτε module. Βέβαια, τα όρια διαρροής ποικίλουν λόγω των διαφορετικών όγκων των modules. Το σύστημα ελέγχου στεγανότητας των ανιχνευτικών διατάξεων αναπαρίσταται στην παρακάτω **Εικόνα [32]**.



ΕΙΚΟΝΑ [32]: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΡΡΟΗΣ. ΔΕΞΙΑ: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ [37].

Η διάταξη της **Εικόνα [32]** περιλαμβάνει σωλήνες για τη ροή του αερίου και βάνες ελέγχου με τις οποίες είναι δυνατός ο έλεγχος στις διαδρομές της διάταξης ή το by pass ορισμένων διαδρομών. Ενώ, στην ακόλουθη **Εικόνα [33]** απεικονίζεται ένα κανάλι μέτρησης ροής με την αντίστοιχη συνδεσμολογία και τις βάνες ελέγχου ροής.



ΕΙΚΟΝΑ [33]: ΚΑΝΑΛΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΒΑΝΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΟΗΣ [37].

Για την πραγματοποίηση της μέτρησης διαρροής αερίου των ανιχνευτών MM QPs προτάθηκε η ανωτέρω περιγραφόμενη πειραματική διάταξη με στόχο την ταυτόχρονη μέτρηση και των τεσσάρων MM QPs με χρήση μία εκ των δύο μεθόδων μέτρησης, την FRL ή την PDR. Η πλέον προτεινόμενη μέθοδος είναι αυτή της μέτρησης απώλειας ροής μάζας, FRL, καθότι πλεονεκτούσε έναντι της άλλης μεθόδου, όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο υποκεφάλαιο. Η μέθοδος PDR, αποκλείστηκε διότι ήταν απαραίτητη η καταγραφή θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων για τον επαναπροσδιορισμό του τελικού αποτελέσματος της κάθε μέτρησης. Ακόμη, με τη μέθοδο FRL ένα σημαντικό πλεονέκτημα που είχε έναντι της μεθόδου PDR είναι η ταχύτητα στη διεξαγωγή του αποτελέσματος καθώς σε λιγότερο από μία ώρα εξάγεται ασφαλές συμπέρασμα για τη στεγανότητα ή μη του θαλάμου, ενώ με τη μέθοδο PDR η μέτρηση διαρκεί κάποιες ώρες και υπεισέρχονται οι παράγοντες της μέτρησης της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης γεγονός που επηρεάζει τις μετρήσεις. Η πειραματική διάταξη του Gas Tightness Station των τεσσάρων QPs αποτελείται από 4 κόμβους ή αλλιώς 4 nodes. Η διάταξη αποτελείται, ακόμα, από τα ακόλουθα:

1. Φιάλη αερίου (αέρας ή μείγμα $Ar + 7\% CO_2$)
2. Τρεις βάνες υψηλής στεγανότητας V_{An} , V'_{An} και V_{Bn}
3. Δύο αισθητήρες ροής μάζας, MFS_{n1} και MFS_{n2}
4. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας, TS_{ref}
5. Ένας Analog-to-Digital Converter (ADC)
6. Ένα τροφοδοτικό τάσης (Power Supply)
7. Ανιχνευτής MM QP

Οι αισθητήρες της διάταξης παράγουν αναλογική τάση εξόδου V_{out} η οποία μετατρέπεται με κατάλληλο συντελεστή που εξαρτάται από το είδος του αερίου που έχει χρησιμοποιηθεί (αέρας ή μείγμα), σε ροή μάζας Q είτε σε διαφορική πίεση P , αυτή η αναλογική τάση V_{out} καταγράφεται μέσω του ADC συνδεδεμένο σε υπολογιστή.

3.2.2 Μέθοδος πτώσης πίεσης (PDR) & Μέθοδος απώλειας ροής (FLR)

Σε αυτή την υποενότητα περιγράφονται οι δύο μέθοδοι μέτρησης της διαρροής των ανιχνευτών αερίου οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον αυστηρό έλεγχο της στεγανότητας τους.

Μέθοδος Πτώσης Πίεσης (PDR)

Η μέθοδος *Pressure Decay Rate (PRD)* [38], στηρίζεται στην πτώση της πίεσης μιας συσκευής η οποία είναι γεμισμένη με αέριο σε μία συγκεκριμένη σταθερή τιμή πίεσης, ενώ στη συνέχεια απομονώνεται από την παροχή αερίου. Η καταγραφή της πίεσης εντός της συσκευής πραγματοποιείται μέσω ενός αισθητήρα πίεσης και καθώς το αέριο ρέει εντός της συσκευής μετρείται η πτώση της πίεσης ή μη μέσω του αισθητήρα. Ο ρυθμός της διαρροής είναι εφικτό να υπολογιστεί από την αλλαγή της πίεσης μετρούμενη για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο ρυθμός της διαρροής εκφράζεται από τον ρυθμό όγκου του αερίου ο οποίος σχετίζεται με τον ρυθμό πτώσης της πίεσης με αποτέλεσμα η μετρούμενη πτώση της πίεσης να είναι εφικτό να μετατραπεί με τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις σε ρυθμό διαρροής εφόσον ο όγκος της συσκευής είναι αυστηρά καθορισμένος. Επιπροσθέτως, υπάρχει ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την συγκεκριμένη μέθοδο μέτρησης διαρροής και αυτός ο παράγοντας είναι η μέτρηση του χρόνου ώστε η μέτρηση της πτώσης πίεσης να καθορίζεται με μεγάλη ακρίβεια. Για τους ανιχνευτές Micromegas οι οποίοι έχουν καθορισμένο όγκο, ο ρυθμός διαρροής της μεθόδου PDR δίνεται από την σχέση :

$$Q_L = V \frac{dp}{dt} \rightarrow Q_L = \frac{(P_m - P_f) \cdot V}{t} = \frac{\Delta P \cdot V}{t}$$

Στην παραπάνω σχέση όπου Q_L είναι ο ρυθμός διαρροής του αερίου σε mbar L/s, P_m είναι η αρχική πίεση και P_f είναι η τελική πίεση της συσκευής, όπου V είναι ο όγκος μετρούμενος σε L και τέλος t είναι ο χρόνος σε s.

Στα θετικά αυτής της μεθόδου συγκαταλέγεται η ευαισθησία ως προς τις μικρές τιμές διαρροής, η ευκολία στις μετρήσεις συγκριτικά με άλλες μεθόδους αλλά και το κόστος το οποίο είναι μικρό. Τέλος, σημαντική προσοχή πρέπει να δοθεί στη βαθμονόμηση του συστήματος για την ακρίβεια της μέτρησης καθώς εξαρτάται κάθε φορά από τον καθορισμένο όγκο της συσκευής της οποίας επιθυμούμε να ελέγξουμε τη στεγανότητα.

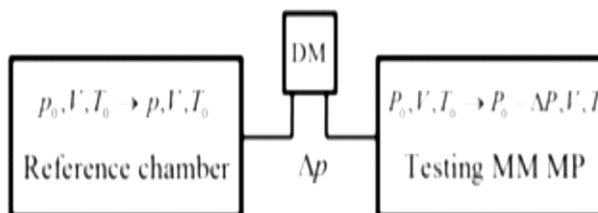
Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη για την μέθοδο μέτρησης διαρροής PDR αποτελείται από τη συσκευή της οποίας επιθυμούμε να ελέγξουμε τη στεγανότητα, έναν θάλαμο αναφοράς, ένα διαφορικό μανόμετρο και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. **Εικόνα [34]** Ο θάλαμος ο οποίος θέλουμε να ελεγχτεί τροφοδοτείται με αέριο έως και την καθορισμένη πίεση 3 mbar ενώ στη συνέχεια απομονώνεται. Η πτώση πίεσης μετρείται σε καθορισμένο χρονικό διάστημα μέσω του διαφορικού μανόμετρου το οποίο καταγράφει τη διαφορική πίεση μεταξύ του υπό ελέγχου θαλάμου και του θαλάμου αναφοράς.

Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, οι μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης μπορούν να εξαλειφθούν και οι μεταβολές της θερμοκρασίας στους θαλάμους πρέπει να αφαιρεθούν κατά και έναρξη και το τέλος των μετρήσεων.

Στα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου συγκαταλέγονται :

- Η σταθεροποίηση της πίεσης σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο.
- Η αναγκαιότητα για σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος που διεξάγεται η μέτρηση.
- Ο κατάλληλος χρόνος μέτρησης για του MM MPs.



ΕΙΚΟΝΑ [34]: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PDR.

Αβεβαιότητα Μοντέλου [29]

Από την καταστατική εξίσωση των αερίων και τον νόμο των ιδανικών αερίων έχουμε :

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

Στην παραπάνω σχέση όπου R_s είναι η σταθερά του αερίου και m η μάζα του σε όγκο V_0 . Ο ρυθμός διαρροής Q_L εξαρτάται μόνο από την απόλυτη πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου και την βαρομετρική πίεση. Η συνάρτηση P_0 είναι συνάρτηση της gauge πίεσης $p = p_g$ του θαλάμου που θέλουμε να ελέγξουμε τη στεγανότητα, άρα έχουμε :

$$Q_L = g(P, P_0) = g(P + p, P_0)$$

Όπου $p = P - P_0 \rightarrow dP = dp$. Εάν $P - P_0 \ll P$ ο ρυθμός της διαρροής εξαρτάται από την gauge πίεση, και ισούται με $Q_L = f(p)$.

Συνεπώς, η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

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

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

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

Όμως η συνάρτηση $Q_L = f(p)$ περιγράφει τη ροή μίας άγνωστης διαρροής ή καναλιού και επιπρόσθετα το γεωμετρικό σχήμα και οι διαστάσεις της οποίας είναι άγνωστες. Ωστόσο, έχοντας τα πειραματικά δεδομένα της $p(t)$ έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε fit το κατάλληλο μοντέλο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ωστόσο, εκτός από την αβεβαιότητα του μοντέλου, σε αυτή την τεχνική, πρέπει να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο διαστολής όγκου για το θάλαμο υπό μέτρηση και η αντιστάθμιση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Μέθοδος Απώλειας Ροής (FRL)

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, εκτός από την μέθοδο *Πτώσης Πίεσης (PDR)*, μία εναλλακτικά μέθοδος μέτρησης της διαρροής αερίου βασισμένη στην απευθείας μέτρηση της απώλειας ροής, είναι η μέθοδος απώλειας ροής (**Flow Rate Loss**).

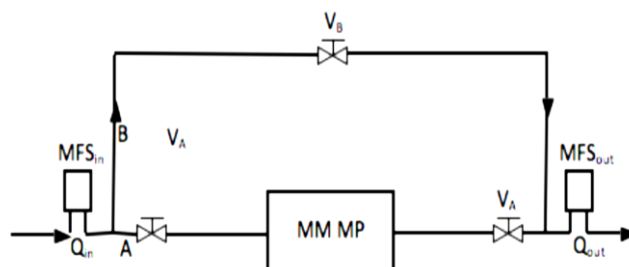
Η απώλεια ροής dV/dt μετρούμενη σε μονάδες L/h βασίζεται στον νόμο διατήρησης μάζας ο οποίος εφαρμόζεται κατά μήκος ενός ρεύματος ροής αερίου. Ουσιαστικά, η απώλεια ροής αποτελεί μία διαφορική μέτρηση με την βοήθεια αισθητήρων που μετρούν ροή μάζας (*Mass Flow Sensors*), ή μετρητές ροής μάζας (*Mass Flowmeters*). Ο ρυθμός διαρροής του αερίου λαμβάνοντας υπόψη την πίεση του αερίου είναι :

$$Q_L = p_0 \frac{dV}{dt}$$

Με την κατάλληλη μετατροπή της πυκνότητας του αερίου, αντί της p_0 , μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ατμοσφαιρική πίεση. Οι μετρήσεις με τη συγκεκριμένη μέθοδο πραγματοποιούνται με ευκολία δεδομένου ότι μόλις σταθεροποιηθεί η κατάσταση της ροής του αερίου διαμέσου των MM MPs δεν είναι αναγκαίος ο συνεχής έλεγχος της πίεσης και της θερμοκρασίας σε αντίθεση με τη μέθοδο PDR. Στην μέθοδο απώλειας ροής, FRL, ο παράγοντας που χρήζει προσοχής είναι η μέση πίεση εντός του υπό μέτρηση θαλάμου, η οποία πρέπει να σταθεροποιείται στα 3 mbar με τη χρήση ενός bubbler στην έξοδο της γραμμής του αερίου. Τέλος, η πίεση στην μέθοδο FRL είναι ο παράγοντας που δημιουργεί τη διαρροή είτε ο υπό εξέταση θάλαμος είναι εντελώς στεγανός, είτε είναι σε κύκλωμα σταθερής κατάστασης.

Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη της μεθόδου απώλειας ροής, FRL, περιλαμβάνει δύο αισθητήρες ροής μάζας (*Mass Flow Sensors*) από τους οποίους ο ένας βρίσκεται στην είσοδο της παροχής αερίου του MM MP και ο άλλος στην έξοδο της γραμμής αερίου. Επιπλέον, ένας σωλήνας διέλευσης τύπου push-in/push-out είναι απαραίτητος. Η συνδεσμολογία των αισθητήρων με του σωλήνες ροής του αερίου είναι τύπου «T» ή «Y». Ακόμη, τρεις μεγάλης στεγανότητας βαλβίδες τύπου «on/off» χρησιμοποιούνται για την απομόνωση της κύριας γραμμής (κλάδος A) και της γραμμής παράκαμψης (κλάδος B). Στην επόμενη *Εικόνα [35]* ακολουθεί η πειραματική διάταξη σχηματικά.



ΕΙΚΟΝΑ [35]: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ FRL.

Ο ρυθμός διαρροής του αερίου στην μέθοδο FRL είναι η διαφορική ηλεκτρική τάση μεταξύ των MFS στην είσοδο και στην έξοδο του υπό εξέταση θαλάμου με την αφαίρεση ενός επιπλέον όρου που βασίζεται στην επιμέρους διαφορά των κατασκευαστικών αναλογικών τάσεων εξόδου των δύο αισθητήρων [39]. Κατά την μετατροπή της τάσης σε ρυθμό διαρροής, το σήμα που λαμβάνουμε στην έξοδο παρουσιάζει κάποια διακύμανση, θεωρώντας, λοιπόν, ίσες διακυμάνσεις για τον κλάδο A και B, ο τελικός ρυθμός διαρροής μπορεί τελικά να γραφεί :

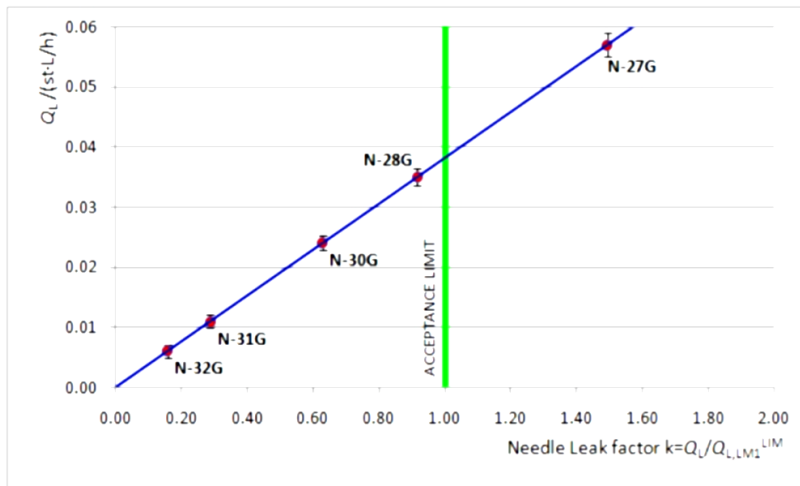
$$Q_L = Q_L^A \pm \sigma_L - Q_L^B \pm \sigma_L$$

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

Η βαθμονόμηση των MFS πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ιατρικών υποδερμικών βελονών τύπου 27G, 28G, 30G, 31G, 32G [40]. *Εικόνα [36]* Η ακρίβεια στη διάμετρό του είναι $19 \mu m$. Οι βελόνες εισέρχονται στον πλαστικό σωλήνα, όπου παρατηρήθηκε πειραματικά η μη ύπαρξη διαρροής μεταξύ της βελόνας και του πλαστικού σωλήνα. Μετρήθηκε πειραματικά η διαρροή των βελονών και αποτυπώνεται σχηματικά παρακάτω στην εικόνα[34], όπου στον οριζόντιο άξονα αποτυπώνεται ο ρυθμός διαρροής διαιρεμένος με τον επιτρεπόμενο όριο LM1, ενώ στον κάθετο άξονα της γραφικής παράστασης αποτυπώνεται ο ρυθμός διαρροής που μετρήθηκε. Έτσι, έχουμε τη δημιουργία ενός οδηγού διαρροής ο οποίος μπορεί να αποδώσει ταυτόχρονα δύο αποτελέσματα. Η βαθμονόμηση των MFS έγκειται ουσιαστικά 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 της ιατρικής υποδερμικής βελόνας καθορισμένης διαρροής. Ο παράγοντας F_{gas} δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{\text{gas}} = R_{\text{gas}} \times 0.00328 \times \frac{\Delta V_{\text{air}}}{\Delta V_{\text{gas}}} = R_{\text{gas}} \times 0.00328 \times \frac{\Delta V_{\text{air}} - V_{\text{air}}^{\text{ter}}}{\Delta V_{\text{gas}} - V_{\text{gas}}^{\text{ter}}}$$

Όπου R_{gas} ο σχετικός λόγος διαρροής για το αντίστοιχο αέριο, ΔV_{air} και $V_{\text{air}}^{\text{ter}}$ η διαρροή και το offset με χρήση αέρα, ΔV_{gas} και $V_{\text{gas}}^{\text{ter}}$ η διαρροή και το offset με χρήση οποιουδήποτε αερίου αντίστοιχα.



ΕΙΚΟΝΑ [36]: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΑΕΡΙΟΥ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΥΠΟΔΕΡΜΙΚΩΝ ΒΕΛΟΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΟΡΙΟ ΑΠΟΔΟΧΗΣ. ΔΕΞΙΑ: ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΥΠΟΔΕΡΜΙΚΕΣ ΒΕΛΟΝΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΡΡΟΗΣ.

Αέριο	Σχετικός λόγος διαρροής
Αέρας	1000
Αργόν	1243
Μείγμα Ar+7%CO ₂	1286

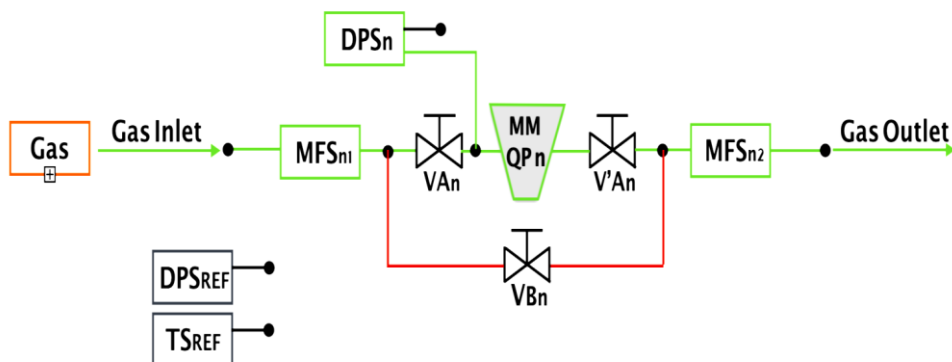
Πίνακας[III]: Μετρήσεις λόγου διαρροής διάφορων αερίων.

3.2.3 Μετρήσεις Διαρροής

Μέτρηση διαρροής με τη μέθοδο PDR

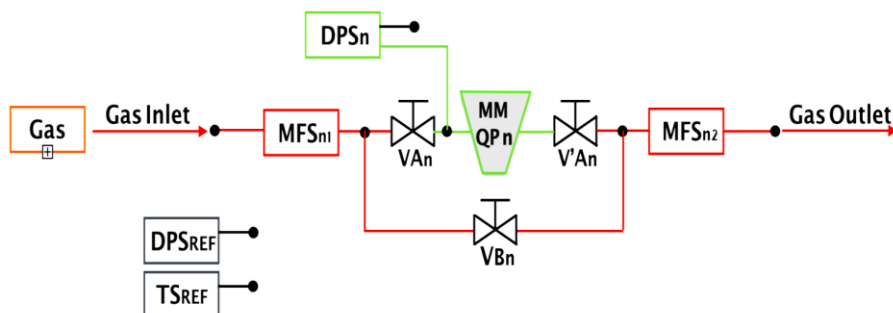
Η μέτρηση του ρυθμού διαρροής με τη μέθοδο PDR απαιτεί την τροφοδοσία του υπό εξέταση θαλάμου MM QP η με αέριο πίεσης 5 mbar, με την ενεργοποίηση των βαλβίδων V_{An} , V'_{An} και το κλείσιμο της βαλβίδας V_{Bn} που δεν επηρεάζει τη διάταξη όπως φαίνεται και στην παρακάτω σχηματική **Εικόνα [37]**.Εν συνεχεία, απαιτείται ακόμη

χρόνος για το επονομαζόμενο flashing του ανιχνευτή και το πλήρες γέμισμά του με το αέριο. Η επίτευξη του flashing αποτυπώνεται στην σταθεροποίηση του σήματος της ροής εξόδου με τον αισθητήρα MFS_{n2}.



ΕΙΚΟΝΑ [37]: MM QP N ΓΕΜΙΣΜΕΝΟ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΠΙΕΣΗ.

Το στάδιο της σταθεροποίησης ακολουθεί η απομόνωση του υπό εξέταση 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 φαίνεται και στην παρακάτω σχηματική παράσταση, **Εικόνα [38]**.



ΕΙΚΟΝΑ [38]: ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΤΩΝ MM QP N ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.

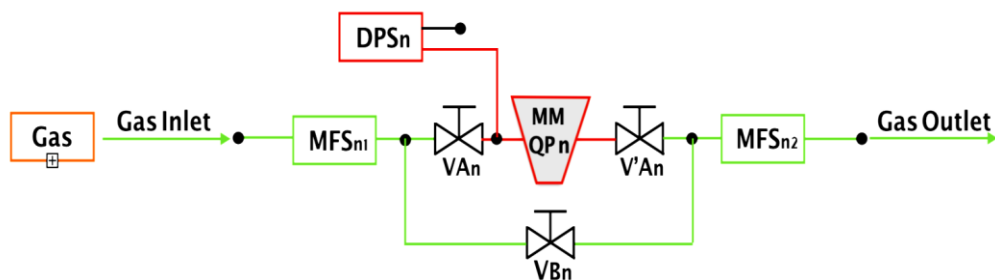
Μέτρηση διαρροής με τη μέθοδο FRL

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους, ο ρυθμός διαρροής με τη μέθοδο απώλειας ροής δίνεται από τη διαφορά της απώλειας ροής μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του αερίου του υπό εξέταση θαλάμου υπό πίεση αερίου ίση με 3 mbar από την ακόλουθη σχέση :

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

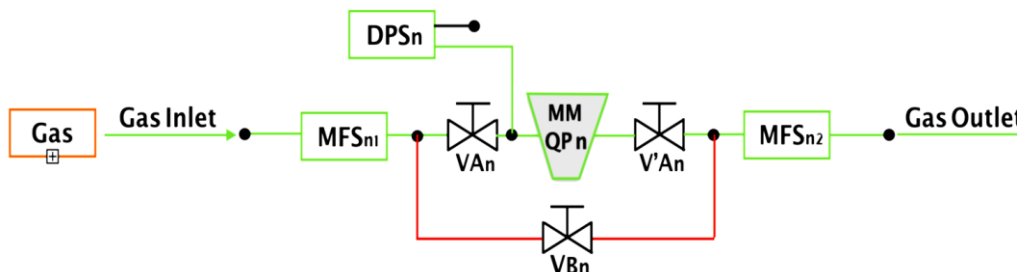
Όπου b είναι ο παράγοντας μετατροπής του αναλογικού σήματος εξόδου των ανιχνευτών σε ροή μάζας, ο όρος ΔV_0^A είναι το διαφορικό αναλογικό σήμα του κλάδου A και όρος ΔV_0^B είναι το διαφορικό αναλογικό σήμα του κλάδου B. Ο κλάδος A αποτελεί τον κλάδο μέτρησης της διαρροής του αερίου του υπό εξέταση θαλάμου, ενώ ο κλάδος B αποτελεί τον κλάδο μέτρησης του $ter/offset$ των δύο αισθητήρων.

Το πρώτο σκέλος της μέτρησης, πριν από την μέτρηση του tare των αισθητήρων, είναι ο έλεγχος της πίεσης της παροχής η οποία πρέπει να είναι ίση με 3 mbar με τη βοήθεια του αισθητήρα διαφορικής πίεσης DPS_n . Στη συνέχεια, η μέτρηση του tare των αισθητήρων ολοκληρώνεται παρακάμπτοντας τον θάλαμο $MM\ QP_n$ και επιτρέποντας τη διέλευση του αερίου μόνο μέσω των αισθητήρων ροής μάζας, MFS_{n1} ΚΑΙ MFS_{n2} , κλείνοντας τις βαλβίδες V_{An} , V'_{An} και ανοίγοντας την βαλβίδα V_{Bn} . Όταν η ροή σταθεροποιείται, καταγράφεται το διαφορικό σήμα ΔV_0^B . *Εικόνα [39]*



ΕΙΚΟΝΑ [39]: ΜΕΤΡΗΣΗ TARE ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.

Στο δεύτερο σκέλος της μέτρησης του υπό εξέταση θαλάμου πραγματοποιείται η παράκαμψη του κλάδου B και η διέλευση του αερίου πραγματοποιείται μέσω των δύο αισθητήρων ροής μάζας, MFS_{n1} και MFS_{n2} , ανοίγοντας τις βαλβίδες V_{An} , V'_{An} και κλείνοντας την βαλβίδα V_{Bn} . Όταν η ροή σταθεροποιείται, καταγράφεται το διαφορικό σήμα ΔV_0^A . *Εικόνα [40]*

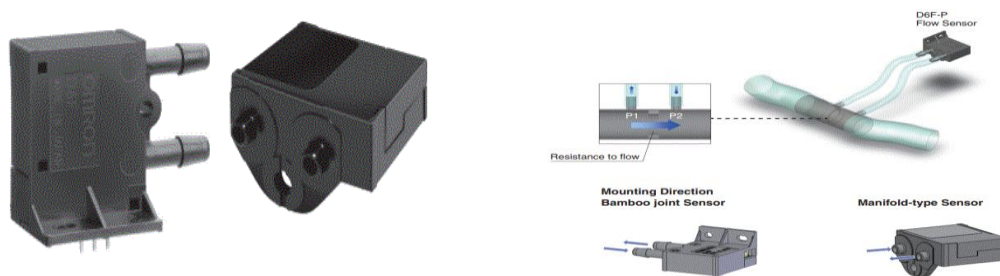


ΕΙΚΟΝΑ [40]: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΔΙΑΡΡΟΗΣ $MM\ QP_n$ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.

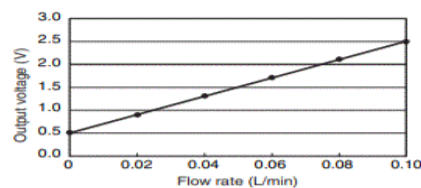
Αισθητήρες πειραματικής διάταξης

Αισθητήρας ροής μάζας (Mass Flow Sensors)

Για την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη, επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας της εταιρείας Omron Electronics και καλείται D6F-P *Εικόνα [41]* [41]. Αφορά έναν αισθητήρα συμπαγή που προσφέρει υψηλής ακρίβειας μετρήσεις ροής με αντίσταση στους εξωτερικούς παράγοντες περιβάλλοντος. Έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ροή εύρους 0 – 0.1 L/min με ακρίβεια $\pm 5\%$ με επαναληψιμότητα της τάξης του $\pm 1\%$. Η τάση τροφοδοσίας του για την ομαλή λειτουργία του είναι 4.75 – 5.25 VDC (*Εικόνα [42]*) και έχει ενεργειακή κατανάλωση της τάξεως των 15mA. Το πλεονέκτημα και ένα από τα κριτήρια επιλογής του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι η αναλογική τάση εξόδου η οποία ισούται με 0.5 – 2.5 V, όπου η τάση εξόδου είναι ανάλογη της μάζας που διαπερνάει τον αισθητήρα.



ΕΙΚΟΝΑ [41]: MASS FLOW SENSOR D6F-P / OMRON ELECTRONICS.



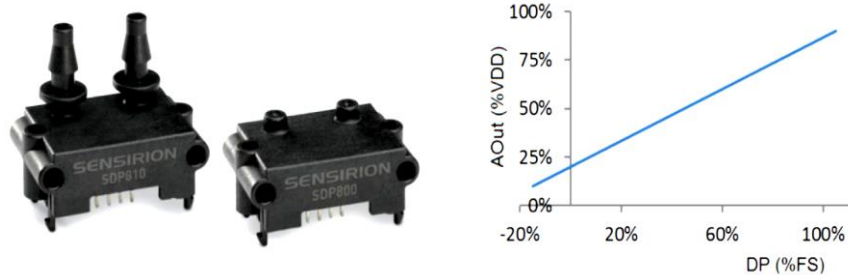
Flow rate L/min (normal)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
Output voltage V	0.50 ± 0.10	0.90 ± 0.10	1.30 ± 0.10	1.70 ± 0.10	2.10 ± 0.10	2.50 ± 0.10

ΕΙΚΟΝΑ [42]: ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ D6F-P.

Αισθητήρας διαφορικής πίεσης (DPS)

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε για την μέτρηση της διαφορικής πίεσης είναι ο SDP800 *Εικόνα [43]* [42] της εταιρείας Omron Electronics και φαίνεται στην *Εικόνα [43]: Αισθητήρας διαφορικής πίεσης SDP800* της Omron Electronics και η αναλογική τάση εξόδου. Ο αισθητήρας SDP800 έχει σχεδιαστεί για μετρήσεις πίεσης του αέρα και μη επιθετικών αερίων με υψηλή ακρίβεια, χωρίς μετατόπιση. Οι αισθητήρες καλύπτουν την μέτρηση της διαφορικής πίεσης εύρους

± 5 mbar και έχουν την δυνατότητα ακρίβειας της τάξης του 3% και επαναληψιμότητα 0.5% των μετρήσεων. Η τάση τροφοδοσίας του είναι 3 – 5.5 V DD, ενώ η ενεργειακή του κατανάλωση είναι 3.8-5.5 mA.

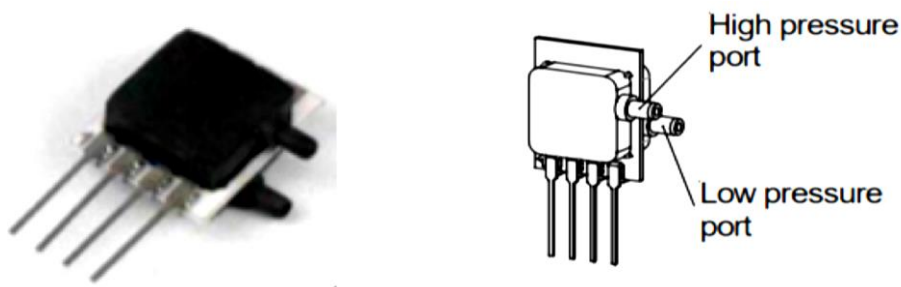


ΕΙΚΟΝΑ [43]: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ SDP800 ΤΗΣ OMRON ELECTRONICS ΚΑΙ Η ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ.

Η αναλογική τάση εξόδου είναι 0.1 – 0.9 V .

Αισθητήρας διαφορικής βαρομετρικής πίεσης (DPS_{REF})

Ο αισθητήρας διαφορικής βαρομετρικής πίεσης που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο HCLA12X5DU *Εικόνα [44]* [43] της εταιρίας Omron Electronics. Το πλεονέκτημα αυτού του αισθητήρα είναι η εξαιρετική του ακρίβεια της τάξεως του 0.25% για μέτρηση πίεσης εύρους 0-12.5 mbar. Η τάση τροφοδοσίας του είναι 5 V και παρέχει γραμμική αναλογική τάση εξόδου 0.25-4.25 V.



ΕΙΚΟΝΑ [44]: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟ HCLA12X5DU ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ OMRON ELECTRONICS.

Αισθητήρας θερμοκρασίας (TS)

Ο αισθητήρας που επιλέχθηκε για την καταγραφή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος είναι το μοντέλο GE-2102 *Εικόνα [45]* [44] της εταιρίας Amphenol Advanced Sensors. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει τη δυνατότητα να καταγράφει την εσωτερική ροή του αερίου που τον διαπερνά. Ακόμη, έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε

θερμοκρασίες $-40 - 120$ °C, η τάση τροφοδοσίας του είναι 5 V και μπορεί να παρέχει αναλογική γραμμική τάση εξόδου.

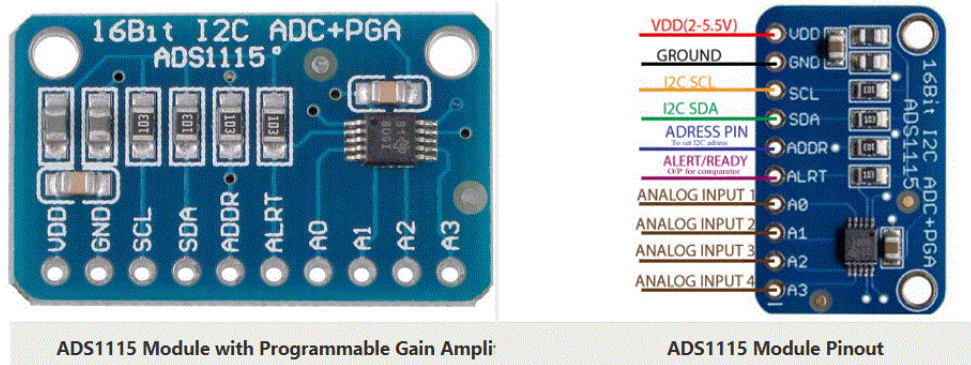


ΕΙΚΟΝΑ [45]: ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ GE-2102 ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ AMPHENOL ADVANCED SENSORS.

FieldPoint NI Analog-to-Digital Converter (ADC)

Καθώς οι αισθητήρες της πειραματικής διάταξης παρέχουν αναλογική τάση εξόδου, για την καταγραφή και ανάγνωση του σήματος είναι αναγκαία η ψηφιοποίηση των σημάτων των αισθητήρων. Η ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων εξόδου πραγματοποιείται με τη συσκευή FieldPoint ADS1115 *Εικόνα [46]* της εταιρίας Texas Instruments και είναι μία συσκευή που μετατρέπει ουσιαστικά το αναλογικό σήμα των αισθητήρων σε ψηφιακό, είναι πιο συγκεκριμένα ένας analog-to digital Converter (ADC). Η τροφοδοσία της συσκευής είναι 2-5.5 V. Επιπροσθέτως, η συσκευή επιλέχθηκε καθώς έχει τη δυνατότητα της μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα με ακρίβεια 16-bit λόγω της αναγκαιότητας της καταγραφής των διαφορικών σημάτων των αισθητήρων που είναι της τάξεως των mV καθώς επίσης και της δυνατότητας που έχει για σύνδεση μέσω Ethernet απευθείας σε υπολογιστή με επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου OPC server. Τέλος, η συσκευή αυτή αποτελείται από τρία επιμέρους στοιχεία τα οποία είναι :

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



ΕΙΚΟΝΑ [46]: ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER ADS1115 ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ TEXAS INSTRUMENTS.

3.2.4 Σύστημα αποθήκευσης δεδομένων

Το σύστημα αποθήκευσης δεδομένων συνδέεται στενά με το λεγόμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας των αισθητήρων και καλείται OPC server. Ένας OPC server έχει σκοπό τη διασύνδεση με μία συσκευή και την ανταλλαγή δεδομένων. Το πλεονέκτημα της χρήσης ενός OPC server είναι ότι μπορεί να συνδεθεί με την συσκευή χωρίς να είναι αναγκαία η εγκατάσταση συγκεκριμένων driver ώστε η συσκευή να μπορεί να συνδεθεί με έναν υπολογιστή για την αποστολή και αποθήκευση των δεδομένων, καθώς ο OPC server χρησιμοποιεί έναν OPC Client. Με τη χρήση του OPC Client αυτό που πετυχαίνουμε είναι η διαδικτυακή χρήση της συσκευής χωρίς κάποια περαιτέρω εγκατάσταση. Επιπροσθέτως, κάθε υπολογιστής που μπορεί να συνδεθεί στον server ως client, έχει τη δυνατότητα να κάνει χρήση της συσκευής. Η χρήση του, δίνει τη δυνατότητα, επίσης, να συνδέονται ταυτόχρονα πολλοί υπολογιστές, χρησιμοποιώντας τη συσκευή χωρίς να συγκρούονται τα δεδομένα των χρηστών με αποτέλεσμα την ταχύτερη διεκπεραίωση των διαδικασιών αφού είναι σχεδόν αυτοματοποιημένες. Ο OPC Client αποτελεί το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του υπολογιστή με τον OPC server.

Αρχή λειτουργίας OPC server

Ο OPC Client μεταφέρει το αίτημα που προέρχεται από τη συσκευή και στο στέλνει στον OPC server για επεξεργασία και αντίστροφα. Το πρότυπο OPC DA (data access) χωρίζεται σε τρία αντικείμενα:

- DA server
- Groups
- Items

Κάθε group περιλαμβάνει κατάλληλα ομαδοποιημένα items, τα οποία αναπαριστούν τις συνδέσεις των δεδομένων μέσα στον server. Κάθε item, με τη σειρά του, δεν έχει τη δυνατότητα να προσπεραστεί αλλά μόνο μέσω του group που το περιέχει.

Εν κατακλείδι, αυτός ο τρόπος μεταφοράς και αποθήκευσης δεδομένων αναπτύσσεται συνεχώς και πλέον έχει δημιουργηθεί πρότυπο ασφαλείας σχετικά με την μεταφορά αναίσθητων δεδομένων το οποίο καλείται OPC Security, σχετικά με τον αυτόματο έλεγχο των δεδομένων το οποίο καλείται OPC Alarms & Events, σχετικά με την καταγωγή των δεδομένων το οποίο καλείται OPC Data Access και τέλος σχετικά με την επικοινωνία μεταξύ των servers το οποίο καλείται OPC Data Exchange με σκοπό την επιτάχυνση και την βελτίωση των αυτοματοποιημένων διαδικασιών.

3.2.5 *Sensitivity του ανιχνευτή Micromegas του NSW*

Κατόπιν πειραμάτων, τα όρια αερίου είναι όπως ήδη έχει αναφερθεί στην υποενότητα 3.2.1 $V \cdot 10^{-5} \text{L/min} = V \cdot 10^{-5} / 60 \text{L/min}$, όπου V ο όγκος του αντίστοιχου MM module. Κατά την χρήση της μεθόδου FRL τα όρια πρέπει να πολλαπλασιάζονται με έναν παράγοντα των τεσσάρων μονάδων λόγω των τεσσάρων MPs που βρίσκονται παράλληλα.

MM Module type	Volume (V)	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^{-5}	0.0233
SM2	10.81	1.80×10^{-6}	7.20×10^{-5}	0.0259

Πίνακας[III]: Όρια αποδοχής της διαρροής αερίου για τους MM MPs.

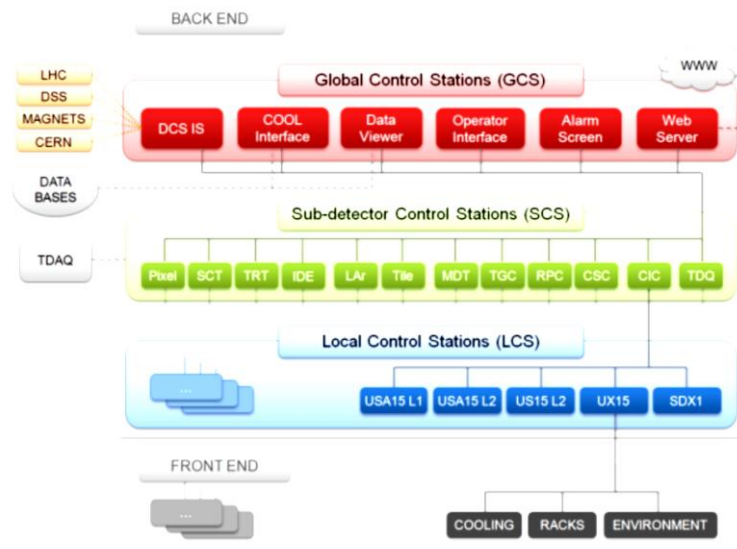
4^ο Κεφάλαιο

4. Σύστημα Ελέγχου SCADA – Εισαγωγή στο WinCC OA

Το SCADA (Supervision Control And Data Acquisition) ή απλούστερα σύστημα ελέγχου – εποπτείας και μεταφοράς δεδομένων λειτουργίας από απόσταση, είναι ένα βιομηχανικό σύστημα μέτρησης και ελέγχου που αποτελείται από έναν κεντρικό διακομιστή ή έναν κύριο σταθμό, μία κύρια τελική μονάδα, ένα ή περισσότερα στοιχεία συλλογής τομέων και μονάδες ελέγχου και τέλος μία συλλογή του λογισμικού προτύπων που χρησιμοποιήθηκε στο όργανο ελέγχου και τον έλεγχο για τον εντοπισμό και καταγραφή των στοιχείων σε μακρινή απόσταση. Αντίστοιχα, το WinCC OA έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας και υψηλής πολυπλοκότητας καθώς και για έργα με ειδικές απαιτήσεις με προσαρμοστική λειτουργικότητα. Το WinCC OA δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει συστήματα SCADA ανεξάρτητα από προμηθευτές που προσφέρουν πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό – ακόμη και μέσω εγγενών διεπαφών χρήσεων IOS και Android. Λόγω της επεκτασιμότητας και της ευελιξίας, το WinCC OA είναι η καλύτερη επιλογή για κεντρικούς σταθμούς ελέγχου και γεωγραφικά ευρέως καταναμημένα συστήματα.

4.1 Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου ATLAS – Εισαγωγή

Το κεντρικό σύστημα ελέγχου του ATLAS στο CERN καλείται ATLAS DCS [47][48] σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στα πλαίσια ενός έργου που ονομάζεται Joint Controls Project (JCOP) [49]. Το JCOP έχει τη δυνατότητα να συνδυάζει πρότυπα για τη χρήση του DCS (Distance Control Systems) hardware και η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο σύστημα SCADA της εταιρίας Siemens, WinCC Open Architecture . Το DCS hardware αναφέρεται στο σύστημα ελέγχου ανιχνευτών και η χρήση του είναι ζωτικής σημασίας καθώς επιτρέπει στο ανιχνευτικό σύστημα να λειτουργεί με ασφάλεια και ως διεπαφή με όλα τα υπό-συστήματα του πειράματος. Για οποιαδήποτε ανωμαλία στην λειτουργία του ανιχνευτή ή σε κάποιο υποσύστημα αυτού, το DCS, ενεργοποιεί έναν συναγερμό (alarm) που ενημερώνει τον χρήστη ή προσαρμόζεται με αυτόματες διαδικασίες στην εκάστοτε κατάσταση ώστε το ανιχνευτικό σύστημα να λειτουργήσει ομαλά ή τέλος επιτρέπει τις χειροκίνητες μεταβολές για τον εκ νέου καθορισμό των σωστών παραμέτρων και επομένως και της ορθής λειτουργίας του ανιχνευτικού συστήματος. Η αρχιτεκτονική του DCS χωρίζεται σε δύο μέρη, τον Front-End (FE) εξοπλισμό και ένα σύστημα Back-End (BE) *Εικόνα [47]*. Το BE σύστημα χρησιμοποιεί το λογισμικό WinCC, ενσωματώνοντας FE συστήματα ελέγχου στα στοιχεία του JCOP framework για να διευκολύνει την ενσωμάτωση τυποποιημένων συσκευών υλικού και την εφαρμογή ομοιογενών ελέγχου. Το σύστημα BE είναι οργανωμένο σε τρία επιμέρους τμήματα, τους Τοπικούς Σταθμούς Ελέγχου (Local Control Stations – LCS), του Σταθμούς Ελέγχου των Υπό-συστημάτων των ανιχνευτών (Sub-detector Control Stations – SCS) και τους Κεντρικούς Σταθμούς Ελέγχου (Global Control Stations – GCS). Η επικοινωνία μεταξύ των υπό-κόμβων του συστήματος πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού.



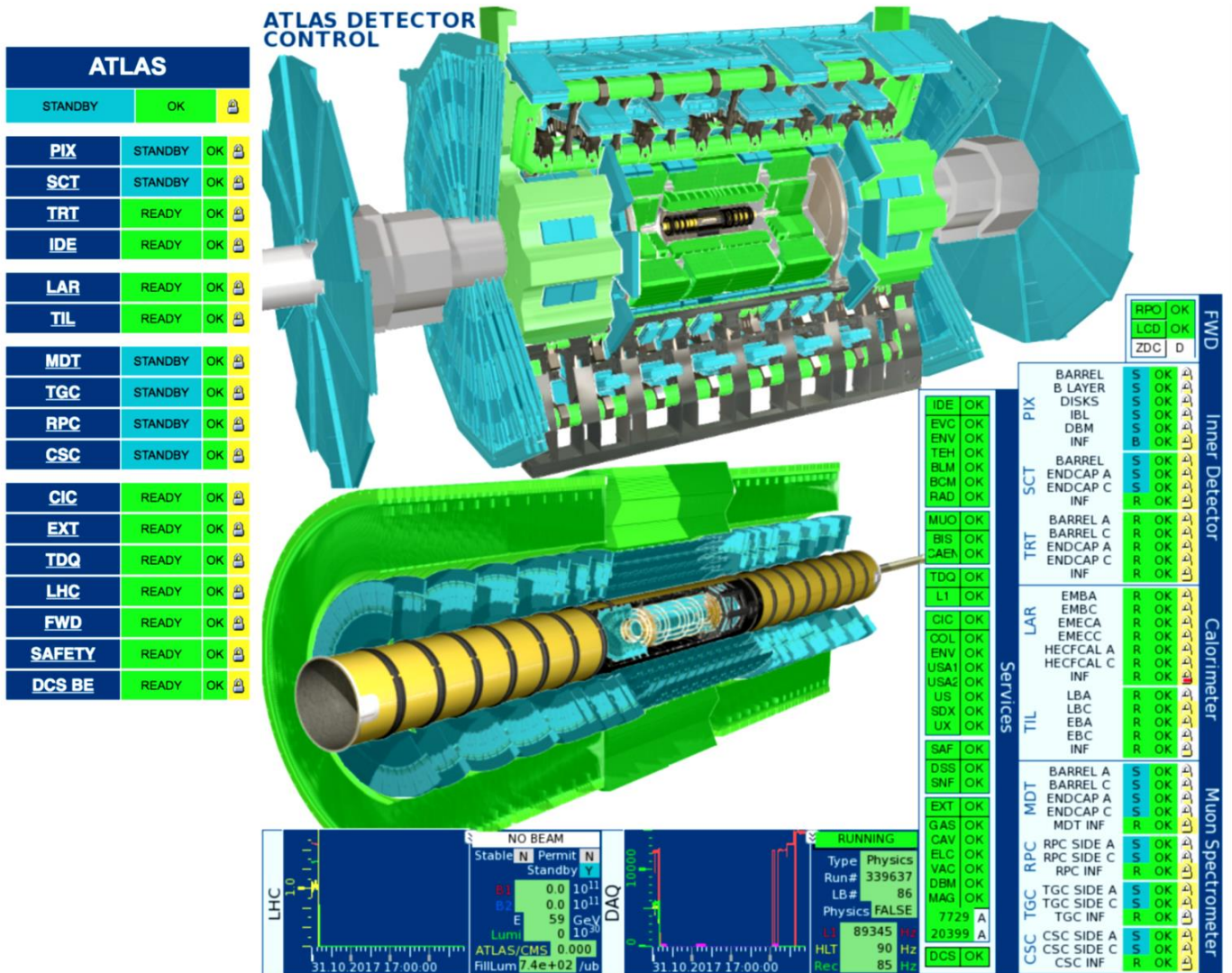
ΕΙΚΟΝΑ [47]: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΥ DCS ΧΩΡΙΣΜΕΝΟ ΣΕ 2 ΜΕΡΗ.

4.2 WinCC Open Architecture

Το WinCC Open Architecture είναι ένα πακέτο λογισμικού όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγική παράγραφο αυτού του κεφαλαίου με κύρια περιοχή εφαρμογής το χειρισμό και τον έλεγχο τεχνικών κυρίως εγκαταστάσεων χρησιμοποιώντας ένα πλήρες γραφικό περιβάλλον για την απεικόνιση και προσομοίωση των διάφορων μονάδων. Για την υλοποίηση των διαδικασιών αυτών είναι αναγκαίο ένα περιβάλλον επικοινωνίας με το hardware για την παρακολούθηση, την μεταφορά εντολών, την χρήση συναγερμών και την αποθήκευση του ιστορικού. Λόγω της χρησιμότητας αυτού του εργαλείου επιλέχθηκε από το CERN για την κατασκευή αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου στους προγραμματιστές και στα πειράματα αυτού.

4.2.1 Αρχιτεκτονική και Βασικά Εργαλεία

Τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος WinCC OA είναι οι managers που επικοινωνούν μέσω ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλλου του WinCC, του TCP/IP. Οι διαχειριστές συνεισφέρουν στα δεδομένα και έπειτα αυτά στέλνονται μόνο για αλλαγή στον διαχειριστή γεγονότων (Event Manager) ο οποίος αποτελεί και το κυριότερο κομμάτι του συστήματος. Μία τυπική εφαρμογή WinCC OA αποτελείται από διάφορους managers, οι οποίοι και φαίνονται στην ακόλουθη *Εικόνα [48]*:



ΕΙΚΟΝΑ [48]: ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΧΡΗΣΤΗ ATLAS DCS ΜΕ ΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΗ FSM.

Managers WinCC ΟΑ

- Διαχειριστές Γεγονότων (*Event Manager – EVM*) :

Οι διαχειριστές γεγονότων αποτελούν το κέντρο επεξεργασίας του WinCC και είναι υπεύθυνοι για όλες τις επικοινωνίες. Λαμβάνει ή στέλνει δεδομένα από τους drivers, τα μεταφέρει στους Database Managers ώστε να αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων. Επιπροσθέτως, διατηρεί την εικόνα της διαδικασίας στην μνήμη, πιο συγκεκριμένα, την τρέχουσα τιμή όλων των δεδομένων, όπως είναι αποθηκευμένη στα datapoints και εξασφαλίζει την διανομή όλων των δεδομένων, και τέλος διαχειρίζεται τις προειδοποιήσεις και τους συναγερμούς του συστήματος.

- Οδηγοί (*Drivers*):

Οι οδηγοί επιτρέπουν την άμεση επεξεργασία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας θεσμοθετώντας την ομαλή ροή των δεδομένων, αναλαμβάνουν ακόμη, την μετατροπή των τιμών και την επικοινωνία με τους drivers και τέλος παρέχουν το application programming interface για τη δημιουργία νέων interface. Επίσης, ο manager υλοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας με το hardware όπου παρέχει τη σύνδεση με τις εξωτερικές συσκευές μέσω προτύπων σύνδεσης όπως το OPC, ModBus κ.α.

- ***Διαχειριστής Βάσεων Δεδομένων (Database Manager – DBM) :***

Ο DBM παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης με την βάση δεδομένων, καταγράφει τις πιο πρόσφατες τιμές και ειδοποιήσεις του συστήματος, ιστορικά δεδομένα αρχειοθέτησης τιμών καθώς και ειδοποιήσεων. Η πρόσβαση στη βάση δεδομένων πραγματοποιείται μέσω SQL και το WinCC υποστηρίζει την Oracle και RAIMA.

- ***Διαχειριστές Διεπαφής Χρήστη (User Interface Managers – UIM):***

Οι UIM είναι υπεύθυνοι για την μετατροπή των μηνυμάτων σε μία ειδική οπτική μορφή ώστε να λαμβάνονται από τους Event Managers. Ακόμη, έχουν τη δυνατότητα να παίρνουν τα δεδομένα του hardware από την database ή αναλαμβάνουν αν στείλουν τα δεδομένα στο hardware. Επιπροσθέτως, οι UIM μπορούν επίσης να τρέξουν σε μία αναπτυσσόμενη, το PARA για την παραμετροποίηση των DPTs/DPs και το GEDI για τον γραφικό συντάκτη, όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει τα δικά του panels. Τέλος, περιλαμβάνει αρκετές βιβλιοθήκες και παρέχει τη δυνατότητα προσθήκης επιπλέον panels από τον χρήστη καθώς επίσης και τον script editor για τη συγγραφή κώδικα.

- ***Διαχειριστής Ελέγχου (Control – CTRL):***

Το WinCC παρέχει την δυνατότητα ανάπτυξης αλγορίθμων για τον σχεδιασμό γραφικών, panels, την λήψη αποφάσεων, τη δημιουργία εντολών και την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων. Η γλώσσα προγραμματισμών που χρησιμοποιεί καλείται CTRL και βασίζεται στο συντακτικό της ANSI-C με επιπλέον τροποποιήσεις, όπως για την ύπαρξη pointers, την ειδική επεξεργασία strings και δυναμικών πινάκων καθώς επίσης διαθέτει και μία αρκετά μεγάλη βιβλιοθήκη από αλγόριθμους και συναρτήσεις ώστε να επιτρέπει την εισαγωγή αλγορίθμων για την εκτέλεση των λειτουργιών του προγράμματος.

- ***Διαχειριστές API (API) :***

Οι διαχειριστές προσφέρουν στο χρήστη τη δυνατότητα να χτίσει την δική του βιβλιοθήκη από

αλγορίθμους σε CTRL και την ενσωμάτωση τους στο υπάρχον σύστημα.

- **Διαχειριστές αρχείων (Archive Managers) :**

Οι managers, αυτοί, επιτρέπουν στον χρήστη να αρχειοθετεί τα δεδομένα για μετέπειτα ανάκτηση και εξέταση καθώς και την δυνατότητα να διευθετήσει σε ποιον θα αποθηκεύσει τα αντίστοιχα δεδομένα.

- **Διαχειριστής ASCII :**

Επιτρέπει στον χρήστη την εξαγωγή /εισαγωγή της διαμόρφωσης ενός Project (DPTs/DPs) από/σε ένα αρχείο ASCII. Ακόμη, επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν ποια στοιχεία πρέπει να εξαχθούν ώστε να γίνεται ευκολότερο για τον χρήστη η ενσωμάτωση τμημάτων της εργασίας του σε ένα έτοιμο Project.

Στο WinCC ένα ολοκληρωμένο σύστημα περιλαμβάνει έναν Event Manager, έναν Data Manager καθώς κι έναν αριθμό από άλλους managers, διεπαφές χρήστη και άλλων πραγμάτων οι οποίοι μπαίνουν σε λειτουργία μόνο όταν καλούνται. Η δομή καθώς και η επικοινωνία πραγματοποιούνται μέσω κοινού πρωτοκόλλου TCP/IP που επιτρέπει την δημιουργία συστημάτων σε ένα δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών επιτυγχάνοντας το διαμοιρασμό του φόρτου σε πολλούς υπολογιστές και τον διαχωρισμό των λειτουργιών με την δημιουργία ενός distributed system.

Βασικά Εργαλεία του WinCC OA

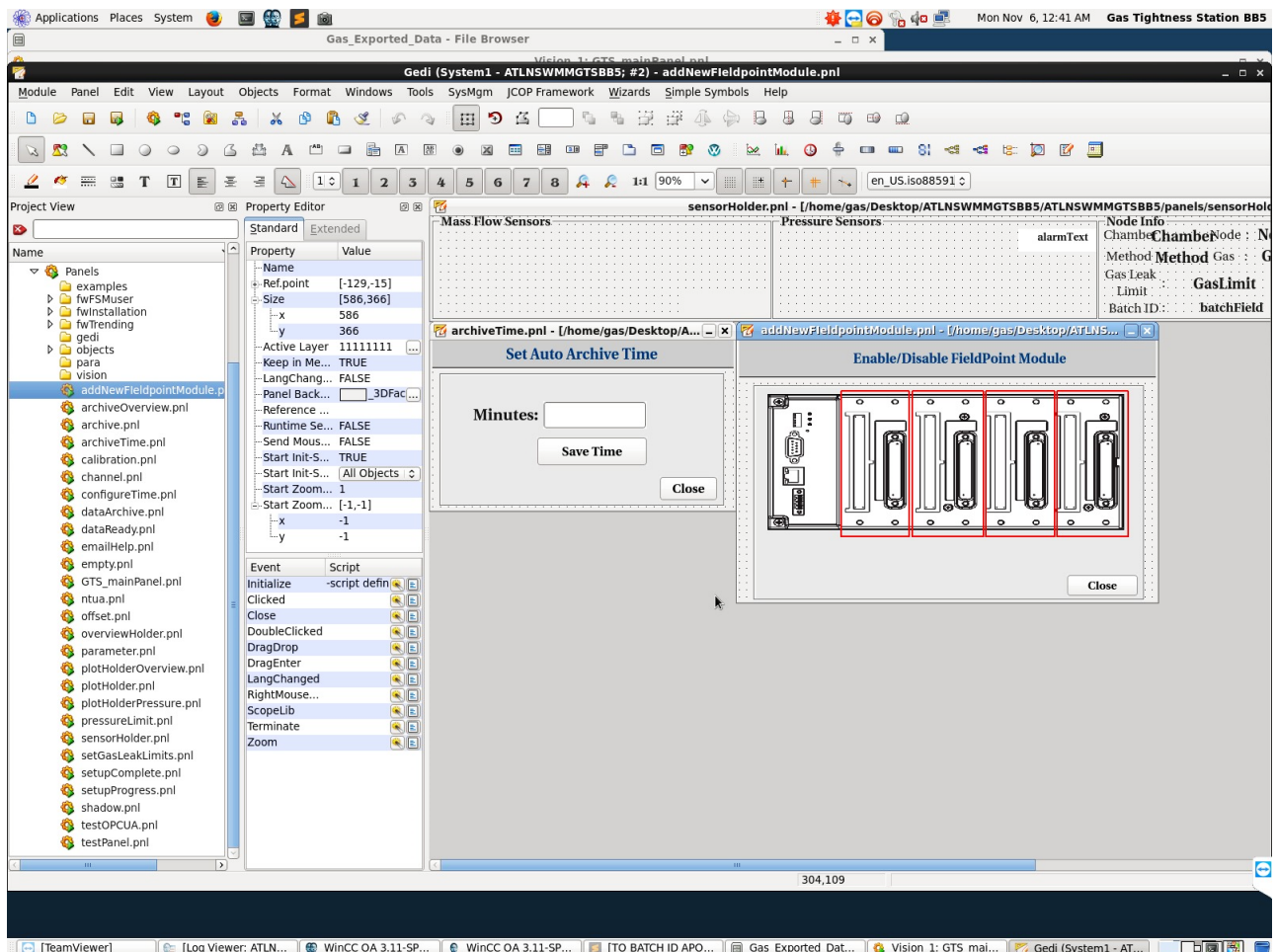
- **Database**

Η δομή του WinCC OA βασίζεται στα λεγόμενα datapoints και η επεξεργασία καθώς και η επικοινωνία μεταξύ των managers όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελεί μία αντικειμενοστραφή διαδικασία. Όλη η πληροφορία που περιέχουν τα datapoints βρίσκεται στα Datapoints Elements (DPE). Κάθε DPE αντιστοιχεί σε μία τιμή ή σε μία κατάσταση DP, ενώ μέσω των Datapoint Attributes (DPA) έχουμε τη δυνατότητα να λαμβάνουμε πληροφορίες και να αλλάζουμε μία κατάσταση. Η δομή και η λειτουργία στο σύνολό της καθορίζεται από τον εκάστοτε χρήστη και πραγματοποιείται μέσω του PARA Database Editor του WinCC. Επιπροσθέτως, ένα ακόμη χρήσιμο εργαλείο είναι το FieldPoint που αποτελεί το λεγόμενο Datapoint Type (DPT), το οποίο με τη σειρά του αποτελείται από τέσσερα Structure Elements (Modules). Εν συνεχεία, τα Modules αποτελούνται από οκτώ Structure Elements (Channels) τα οποία με τη σειρά τους περιλαμβάνουν το καθένα από δύο Datapoint Elements τύπου float, καθώς κι ένα DPE όπου είναι τύπου Boolean. Επίσης, κάθε DPE ενδέχεται να περιλαμβάνει κάποια αρχεία ρύθμισης (configs).

- **Γραφικό Περιβάλλον Επεξεργασίας**

Το γραφικό περιβάλλον επεξεργασίας του WinCC OA περιλαμβάνει ένα ειδικό User Interface Manager, τον GEDI (Graphical Editor) που επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει τα δικά του panels. Στα panels ο χρήστης έχει τη

δυνατότητα να κατασκευάσει αντικείμενα όπως κουμπιά, πίνακες, πεδία κειμένου, λίστες κ.α. , πάνω στα οποία ο developer μπορεί να ρυθμίσει μέσω συγκεκριμένων scripts τις διάφορες διεργασίες μεταξύ των αντικειμένων. Στην παρακάτω **Εικόνα [49]** φαίνεται ο Graphical Editor του WinCC, καθώς και οι διάφορες γραμμές εργαλείων, το panel και το Property Editor όπου ο προγραμματιστής θα δημιουργήσει τις λειτουργίες των αντικειμένων του με τα Datapoint Elements.



ΕΙΚΟΝΑ [49]: ΕΡΓΑΛΕΙΟ GRAPHICAL EDITOR ΤΟΥ WINCC.

- **Προγραμματισμός σε CTRL**

Το WinCC παρέχει μία πλήρη βιβλιοθήκη με μεθόδους και συναρτήσεις που διευκολύνουν τη διαχείριση των δεδομένων, των γραφικών και τις επικοινωνίες. Η γλώσσα προγραμματισμού που αναφέρθηκε και νωρίτερα ονομάζεται control και δίνει τη δυνατότητα στον προγραμματιστή να δημιουργήσει δικούς του αλγόριθμους ώστε να καθορίσει τη συμπεριφορά και τη λειτουργία των αντικειμένων και του panel.

- **Συνδεσιμότητα με Hardware**

Η σύνδεση του Event Manager με το hardware πραγματοποιείται μέσω των drivers. Το WinCC διαθέτει μία ευρεία

γκάμα οδηγών με διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως OPC, ProfiBus, CanBus, DIM κ.α.

- **Αρχειοθέτηση**

Η αρχειοθέτηση ολοκληρώνεται αυτόματα στη βάση δεδομένων των διαφόρων τιμών των DPEs ώστε να ανακτηθούν αργότερα από τις διάφορες διεπαφές του εκάστοτε χρήστη για απεικόνιση, επεξεργασία και διάφορα άλλα. Ακόμη, παρέχετε η δυνατότητα μέσω του Screen Alert του WinCC OA στον χρήστη να ερευνάει τους διάφορους συναγερμούς που έχουν ενεργοποιηθεί καθώς και την αιτία αλλά και τον τόπο από τον οποίο προέρχονται. Οι συναγερμοί, αντίστοιχα, αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων και μπορούν να εμφανιστούν επιλεκτικά από μία παρουσίαση συναγερμών.

4.3 Σύστημα Αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου στο BB5

4.3.1 Εισαγωγή

Το σύστημα αυτόματου ελέγχου βασισμένο στην πειραματική διάταξη στο BB5 για τον έλεγχο της διαρροής αερίου με την καταγραφή, αρχειοθέτηση και ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από τους διάφορους αισθητήρες της διάταξης δημιουργήθηκε με το WinCC OA. Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του **Gas Tightness Station** στο BB5 του CERN με χρήση του WinCC OA είναι τα ακόλουθα :

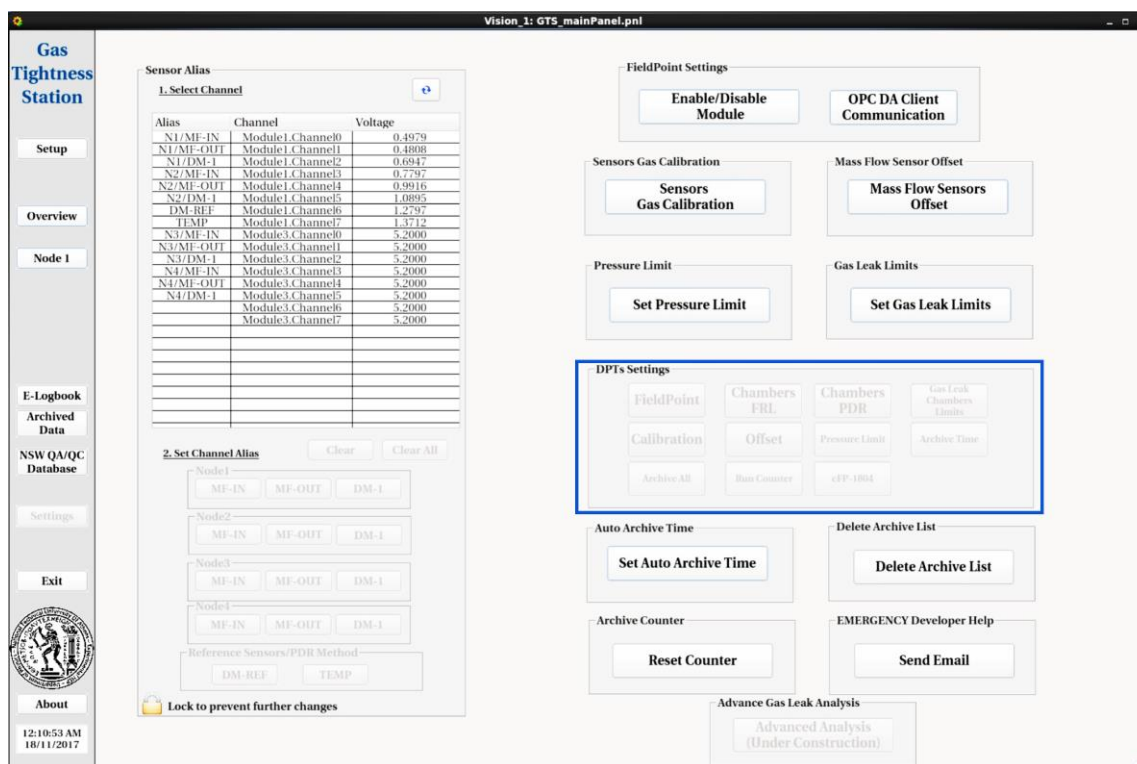
- Υποστήριξη FRL και PDR για διάφορα είδη αερίου
- Καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων από τους αισθητήρες
- Έλεγχος της διαρροής αερίου των MM QPs σε πραγματικό χρόνο
- Προειδοποίηση χρήστη μέσω alarms για επίτευξη πίεσης ή ροής πέρα από τα επιτρεπτά όρια
- Αυτοματισμός και ταχύτητα στις μετρήσεις

Με το δημιουργία του Project μέσω του WinCC OA, ξεκινούν δύο επιπλέον panel, το Console και το Longviewer. Το Console περιλαμβάνει όλους τους managers του Project, ενώ το Longviewer είναι το εργαλείο για τον εντοπισμό σφαλμάτων που σχετίζονται με τη λειτουργία του Project. Ακόμη, με την εκκίνηση του Project, ενεργοποιείται και ξεκινά το Graphical Editor (GEDI) που αποτελεί το σημαντικότερο εργαλείο για τον σχεδιασμό του συστήματος.

Επιπροσθέτως, οι αισθητήρες της διάταξης του BB5 παρέχουν αναλογική τάση εξόδου και το σήμα τους καταλήγει στο Fieldpoint, όπου μέσω του πρωτοκόλλου OPC μεταφέρονται απευθείας στον συνδεδεμένο υπολογιστή για ανάγνωση. Το Fieldpoint παρέχει τα δεδομένα σε πρωτόκολλο OPC DA Client από όπου το WinCC μπορεί να τα συλλέξει αυτόματα μέσω ειδικού manager.

Το τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση του Gas Tightness Station στο BB5 αποτελούσε ο σχεδιασμός της διεπαφής του χρήστη (user interface) μέσω του GEDI. Η δημιουργία και η αντιστοίχιση των αντικειμένων για τον σχεδιασμό του αυτόματου συστήματος πραγματοποιήθηκε μέσω του panel με τα DPEs που περιέχουν τις

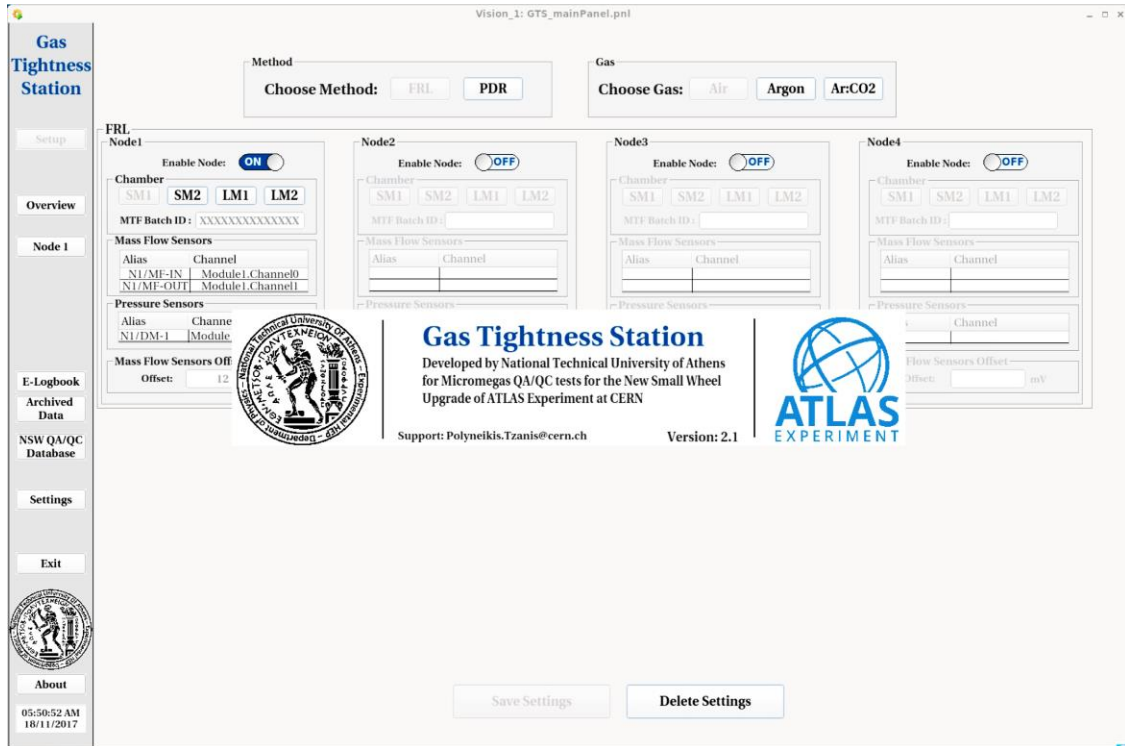
πληροφορίες των αισθητήρων **Εικόνα [50]**. Ο σχεδιασμός των DPs που έχουν συγκεκριμένο DPT περιλαμβάνουν όλη την πληροφορία σχετικά με διάφορους αισθητήρες και καλούνται μέσα από τα διάφορα αντικείμενα του panel.



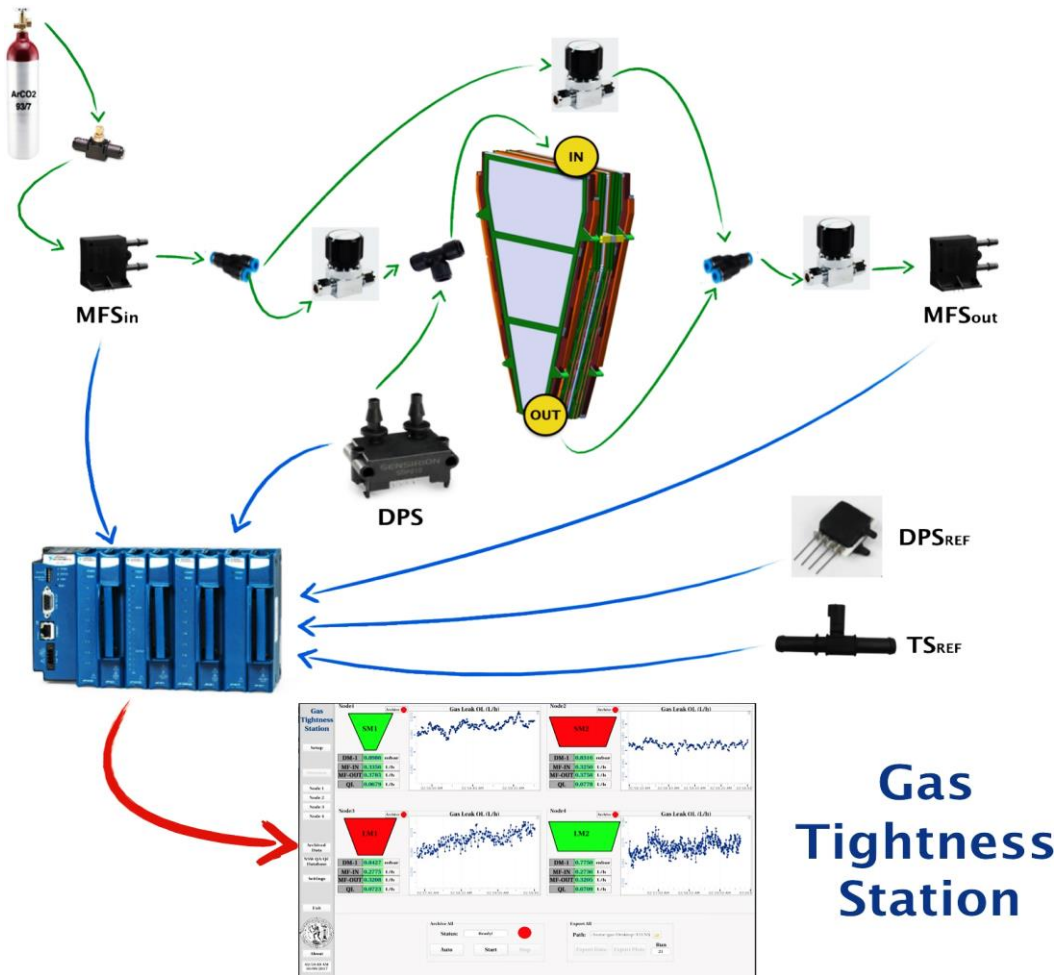
ΕΙΚΟΝΑ [50]: ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ GAS TIGHTNESS STATION ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ DPs.

4.3.2 Gas Tightness Station – BB5 και Λογισμικό Συλλογής Δεδομένων

Η τελική διάταξη **Εικόνα [52]** από όπου προκύπτουν κι οι μετρήσεις και αποτυπώνεται η ροή του αερίου από την φιάλη μείγματος Ar+7%CO₂ διέρχεται από έναν ρυθμιστή ροής και στη συνέχεια εισέρχεται στους τέσσερις κλάδους (nodes). Από το εσωτερικό ενός node εισέρχεται στον αισθητήρα ενός εισόδου MFS_{in}. Στη συνέχεια, το αέριο διαμοιράζεται στον κλάδο διαρροής και στον κλάδο παράκαμψης οι οποίοι ρυθμίζονται μέσω ηλεκτροβάνων υψηλής στεγανότητας. Κατά την είσοδο του αερίου στον κλάδο διαρροής, το αέριο εισέρχεται στον αισθητήρα πίεσης και έπειτα στον MM QP από όπου εξέρχεται και καταλήγει στον αισθητήρα ροής εξόδου MSF_{out}. Ταυτόχρονα με τις καταγραφές των αισθητήρων πίεσης, καταγράφονται και οι τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας μέσω των αισθητήρων DPS_{ref} και TS_{ref}. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο, οι αισθητήρες παράγουν αναλογική τάση η οποία καταλήγει στο fieldpoint και μετατρέπει το σήμα σε ψηφιακό. Κλείνοντας, τα δεδομένα μεταφέρονται στον υπολογιστή μέσω ethernet και μέσω του πρωτοκόλλου OPC πραγματοποιείται ο έλεγχος, η καταγραφή και η ανάλυση αυτών. **Εικόνα [51]**



EIKONA [51]: GAS TIGHTNESS STATION.

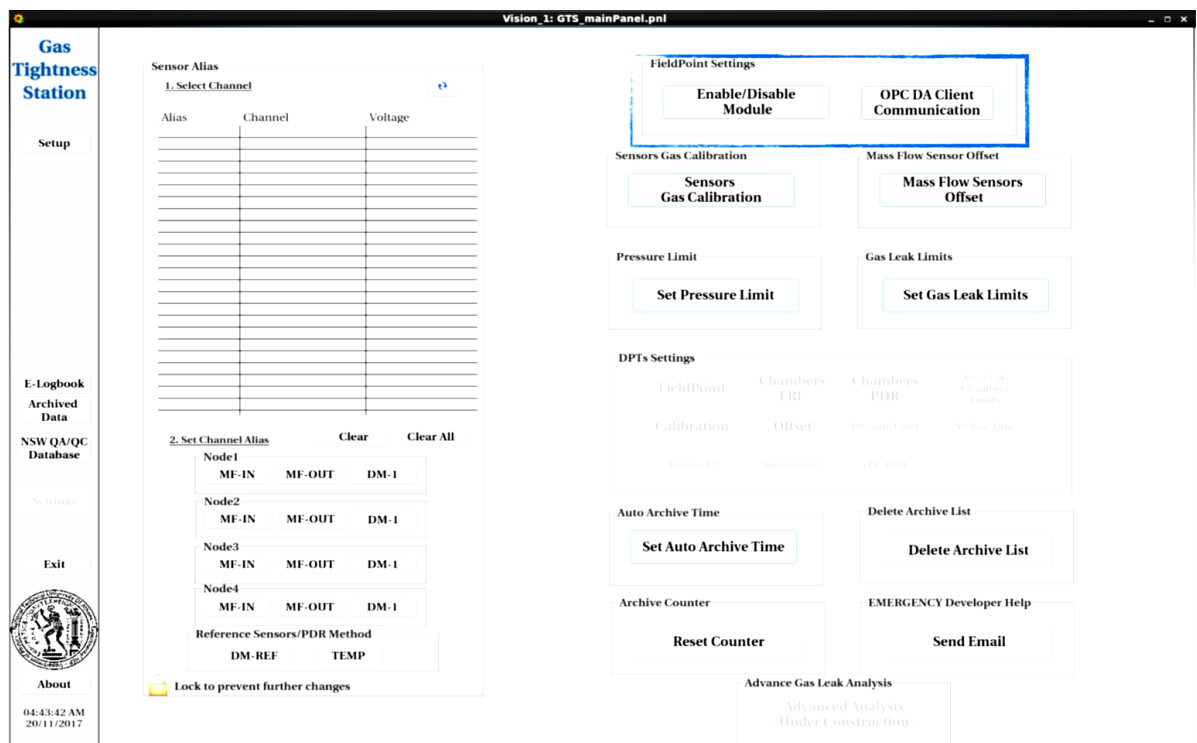


**Gas
Tightness
Station**

EIKONA [52]: ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ ΒΒ5.

Για να ξεκινήσει ο χρήστης να λαμβάνει μετρήσεις στο σταθμό μέτρησης διαρροής αερίου είναι αναγκαίο να ακολουθήσει τα παρακάτω βήματα, όπου περιγράφεται ουσιαστικά συνοπτικά και η αρχή λειτουργίας του Gas Tightness Station :

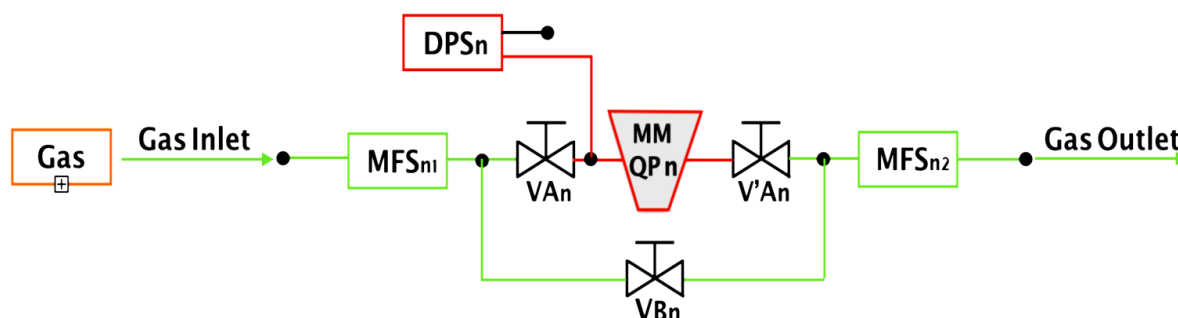
- ❖ **Εκκίνηση** : Ο χρήστης εκκινεί το Project μέσω του WinCC οπότε εκκινείται και το Console και Longviewer.
- ❖ **Έλεγχος συνδεσιμότητας αισθητήρων – fieldpoint**. Πραγματοποιείται ο έλεγχος συνδεσιμότητας του Fieldpoint με τους αισθητήρες. Για τον έλεγχο αυτό έχει σχεδιαστεί το πλαίσιο Fieldpoint Settings το οποίο περιλαμβάνει δύο κουμπιά, Enable/Disable Module και το OPC DA Client Communication. Με την επιλογή του Enable/Disable Module ο χρήστης ενεργοποιεί/απενεργοποιεί το module ου έχει συνδεθεί πάνω στο Fieldpoint, ενώ με το κουμπί OPC DA Client Communication ελέγχει τη συνδεσιμότητα των αισθητήρων με το εκάστοτε module. **Εικόνα [53]**



ΕΙΚΟΝΑ [53]: ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΞΥ FIELDPOINT, ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ GTS.

- ❖ **Αντιστοίχιση καναλιών fieldpoint με αισθητήρες**. Η αντιστοίχιση των modules επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το πλαίσιο Sensor Alias στην περιοχή των settings tab. Επιπλέον, μέσω του Refresh Button ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει σε μορφή πίνακα όλα τα κανάλια των modules που έχει ενεργοποιήσει. Μόλις ο χρήστης ολοκληρώσει με επιτυχία την αντιστοίχιση, έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την κλειδαριά ώστε οι επιλογές του να κλειδωθούν και να μην μπορούν να μεταβληθούν από λάθος κατά την συνέχεια της χρήσης του προγράμματος.
- ❖ **Καθορισμός του offset των αισθητήρων**. Είναι αναγκαίος ο καθορισμός του offset των αισθητήρων λόγω

της διαφοροποίησης μερικών mV που παρουσιάζουν τα ζεύγη αισθητήρων κάθε node. Για την μέτρηση του offset ο χρήστης ρυθμίζει τις βαλβίδες ώστε το αέριο να παρακάμπτει το θάλαμο MM QP. Ο καθορισμός του offset πραγματοποιείται την πρώτη φορά μέτρησης της πειραματικής διάταξης. *Εικόνα [54]*



ΕΙΚΟΝΑ [54]: ΜΕΤΡΗΣΗ OFFSET ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΡΟΗΣ ΜΑΖΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ.

- ❖ **Βαθμονόμηση αισθητήρων.** Η βαθμονόμηση των αισθητήρων πραγματοποιείται βάση προδιαγραφών που έχουν θέσει οι κατασκευαστές καθώς και με την τεχνητή δημιουργία διαρροής με την χρήση ιατρικών υποδερμικών βελονών όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο. Στη συνέχεια, με τη χρήση του button Sensors Gas Calibration που βρίσκεται στην περιοχή Settings Tab ο χρήστης εισάγει την αναλογική σχέση μετατροπής της τάσης εξόδου στη σωστή τιμή της μέτρησης του αισθητήρα ροής σε L/h, πίεσης σε mbar και της θερμοκρασίας σε βαθμούς Celsius.
- ❖ **Καθορισμός Ορίων Διαρροής MM QP.** Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο της διαρροής αερίου του ανιχνευτή ώστε να μπορεί να βγάλει συμπέρασμα για την κατάσταση του ανιχνευτή με ειδοποίηση μέσω ειδικού alarm. Εισάγοντας τα όρια διαρροής του αερίου των MM QP μέσω των buttons Set Gas Leak Limits στο Settings Tab, η ομαλότητα της λειτουργίας του ανιχνευτή πραγματοποιείται ουσιαστικά χειροκίνητα και ελέγχεται από το χρήστη.
- ❖ **Καθορισμός του ορίου πίεσης.** Χρησιμοποιώντας την μέθοδο μέτρησης διαρροής FRL είναι αναγκαία η ρύθμιση της πίεσης σε συγκεκριμένο όριο των 3 mbar. Με την σταθεροποίηση της πίεσης του αισθητήρα DMS στη συγκεκριμένη τιμή είναι εφικτός ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο από τον χρήστη με την ειδοποίηση ειδικού alarm. Με το button Set Pressure Limit οριοθετείτε η πίεση στη συγκεκριμένη τιμή.
- ❖ **Μέτρηση διαρροής με FRL ή PDR.** Αφού ο χρήστης ολοκληρώσει τα ανωτέρω βήματα είναι πλέον σε θέση να ξεκινήσει τις μετρήσεις του. Ξεκινώντας, θα πρέπει να ρυθμιστούν οι βαλβίδες ώστε να διαπερνούν τον ανιχνευτή MM QP για κάθε node. Στη συνέχεια, μέσω του button Tab Setup δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει με ποια μέθοδο επιθυμεί να πραγματοποιήσει τις μετρήσεις διαρροής. Με την επιλογή της FRL μεθόδου, δίνεται και η επιλογή αερίου, το οποίο μπορεί να είναι είτε ατμοσφαιρικός αέρας, είτε αργό ή και μείγμα αργού με διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, ακολουθεί η παραμετροποίηση των nodes της μεθόδου FRL και εφόσον ολοκληρωθεί και η συγκεκριμένη διαδικασία, ο χρήστης πατώντας το button Save Settings είναι έτοιμος για την εκκίνηση της τελικής ρύθμισης του αυτόματου συστήματος ελέγχου. Με το button Delete Settings, διαγράφονται οι ρυθμίσεις και είναι δυνατή η εκκίνηση εκ νέου και η

δημιουργία νέας πειραματικής διάταξης.

- ♣ **Archive/Export.** Με το button archive/export δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αποθηκεύει και να εξάγει τα δεδομένα των αισθητήρων. Τα αρχεία που εξάγει ο χρήστης είναι ASCII, ενώ μέσω ενός script που μπορεί να εκτελεστεί στο υπόβαθρο δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει γραφήματα. Για τα γραφήματα χρησιμοποιήθηκε το ROOT Data Analysis Framework του CERN [50].

5^ο Κεφάλαιο

5. Μικροελεγκτές – Μικροϋπολογιστές

Οι μικροελεγκτές, MCU (Micro Controller Unit) είναι προγραμματιζόμενα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Ο πρώτος στον κόσμο εμπορικός μικροεπεξεργαστής ήταν ο 4004 της Intel, κυκλοφόρησε στις 15 Νοεμβρίου του 1971. Ο 4004 επεξεργαζόταν 4 δυαδικά ψηφία (bits) δεδομένων παράλληλα. Δηλαδή ήταν τετράμπιτος (4 bit) επεξεργαστής. Τριάντα χρόνια μετά, οι μικροϋπολογιστές σε ενσωματωμένα συστήματα (που βρίσκονται σε οικιακές συσκευές, οχήματα και κάθε είδους εξοπλισμό) είναι συνήθως 8-bit, 16-bit, 32-bit, ή 64-bit. Μικροϋπολογιστές Desktop/consumer όπως ο Apple Macintosh και PC είναι κυρίως 32-bit αλλά σταδιακά γίνονται 64-bit, ενώ οι μικροϋπολογιστές - σταθμοί εργασίας που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες και οι μηχανικοί καθώς και οι υπερυπολογιστές είναι 64-bit. Η πρώτη γενιά των μικροϋπολογιστών, που προοριζόνταν για ειδικούς ηλεκτρολόγους μηχανικούς και για την προσωπική χρήση από ανθρώπους που ασχολούνταν με τον μικροϋπολογιστή ως χόμπι, ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας 1970 με τον MITS Altair να αποτελεί το πιο γνωστό παράδειγμα. Με το πέρας του 1977 ξεκίνησε να κυκλοφορεί η δεύτερη γενιά γνωστή και σαν οικιακοί υπολογιστές. Αυτοί ήταν πιο εύκολοι στην χρήση από τους προκατόχους τους των οποίων η χρήση προαπαιτούσε εξοικείωση με πρακτική ηλεκτροτεχνία. Το κρίσιμο γεγονός που μετέτρεψε των μικροϋπολογιστή από ένα χόμπι μιας μικρής ομάδας ανθρώπων σε ένα εργαλείο για την επιχείρηση ήταν η διάθεση στην αγορά των προγραμμάτων VisiCalc spreadsheet (αρχικά για τον Apple II). Μετά την έλευση από την IBM του IBM PC το 1981, ο όρος Προσωπικός υπολογιστής σήμαινε κυρίως μικροϋπολογιστές συμβατούς με την αρχιτεκτονική του IBM PC (PC συμβατός).

5.1 Συστήματα Λήψης Δεδομένων

Με τον όρο λήψη δεδομένων καλείται κάθε διαδικασία κατά την οποία σήματα που μετρούν φυσικές διεργασίες ή φυσικά συστήματα, μετατρέπονται σε ψηφιακές αριθμητικές τιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να επεξεργαστούν από υπολογιστή. Πιο συγκεκριμένα, λήψη δεδομένων καλείται η ψηφιοποίηση κάθε είδους σήματος από κάποιες διεργασίες τα οποία στη συνέχεια μπορούν να αναγνωστούν και να επεξεργαστούν. Τα συστήματα λήψης δεδομένων εν συντομία καλούνται DAS (Data Acquisition System) ή DAQ. Τα κύρια στοιχεία που συντελούν από όπου αντλούνται τα σήματα – λήψη δεδομένων είναι τα συνήθη ακόλουθα:

- Αισθητήρες (sensors) οι οποίοι μετατρέπουν φυσικές παραμέτρους ως ηλεκτρικά σήματα.
- Κυκλώματα προσαρμογής σήματος, για την μετατροπή των σημάτων από τους αισθητήρες σε μορφή που να μετατρέπεται σε ψηφιακές τιμές.
- Μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog-to-Digital Converters / ADC)

Τέτοιου είδους εφαρμογές ελέγχονται συνήθως από μικροελεγκτές και προγράμματα σε γενικές γλώσσες προγραμματισμού, κι όχι ειδικευμένες, όπως για παράδειγμα σε C++, Python, Fortran κ.α. Επιπροσθέτως, εκτός από τις εφαρμογές υπάρχουν και ανοιχτά συστήματα λογισμικού με εύκολη εγκατάσταση τα οποία συμβάλουν στο

βελτίωση των αυτοματοποιημένων συστημάτων και ειδικά σε πειράματα που είναι αναγκαία η ταχύτητα της λήψης δεδομένων αλλά και η επεξεργασία αυτών.

Αρκετά συχνά, το σύστημα που συναντούμε ανάμεσα σε έναν υπολογιστή και την ψηφιοποίηση του σήματος είναι το DAQ Hardware το οποίο πιθανόν να είναι σε μία από τις ακόλουθες μορφές :

- Μονάδες επικοινωνίας (USB, Serial Ports κ.α.)
- Ηλεκτρονικές κάρτες που συνδέονται στην μητρική πλακέτα του υπολογιστή (S-100 bus, MCA κ.α.)

Σε όλα τα παραπάνω η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω ενός bus, το οποίο ουσιαστικά φροντίζει να μεταφέρει δεδομένα από ένα τμήμα ενός υπολογιστή σε ένα άλλο ή μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών. Οι λειτουργίες ενός bus είναι εφικτό να προγραμματιστούν από τον χρήστη μέσω ενός μικροελεγκτή, προγραμματίζοντάς τον να εκτελεί ειδικευμένες λειτουργίες, παραδείγματος χάριν :

- Αναμονή σήματος για έναρξη διαδικασίας (triggering)
- Υπολογισμών χρόνων
- Να επιτρέπει την αύξηση της τάσης σε κάποιο σημείο του κυκλώματος
- Εγγραφή μιας ψηφιακής τιμής στη μνήμη RAM

Εν κατακλείδι, για κάθε σύστημα λήψης δεδομένων με μικροελεγκτή είναι αναγκαίο να εγκαθίσταται ένα πρόγραμμα οδηγός, δηλαδή ένας driver. Οι drivers είναι οδηγοί που δίνουν την δυνατότητα στους μικροελεγκτές να επικοινωνούν με τον περιφερειακό εξοπλισμό και κατά συνέπεια τα σήματα και την λήψη τους από τον υπολογιστή. Τα προγράμματα αυτά είτε υλοποιούνται ως αυτοματοποιημένο λογισμικό για πολυχρησιμοποιούμενες συσκευές εισόδου – εξόδου του υπολογιστή (π.χ. ποντίκι, πληκτρολόγιο, κάμερα κ.α.) από τις ίδιες εταιρείες που κατασκευάζουν τα προϊόντα εισόδου – εξόδου του υπολογιστή είτε πρέπει να υλοποιηθούν από την αρχή στον υπολογιστή πριν την χρήση του για κάποια συγκεκριμένη χρήση (π.χ. Microsoft cloud).

5.2 Μικροελεγκτές – Μικροϋπολογιστές

Οι μικροελεγκτές είναι σε θέση να ακολουθήσουν όλες τις εντολές που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη τους. Στη σύνθεσή τους υπάρχουν πολλά λειτουργικά μπλοκ και καθένα από αυτά εκτελεί μια συγκεκριμένη εργασία. Η σύνθεσή τους είναι παρόμοια με αυτή των υπολογιστών καθώς περιλαμβάνουν μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας, συσκευές εισόδου / εξόδου και μνήμη. Πιο συγκεκριμένα, οι μικροελεγκτές συνήθως αποτελούνται από :

- Επεξεργαστή που μπορεί να είναι 4-bit, 32-bit ή και 64-bit
- Μνήμη RAM για αποθήκευση δεδομένων
- Μνήμη ROM, EPROM, EEPROM, Flash κ.α. για την αποθήκευση προγραμματιστικών παραμέτρων ή διαδικασιών
- Γεννήτρια ψηφιακών ρολογιών για μετρήσεις χρόνου
- Προγραμματίσιμες περιφερειακές εισόδους και εξόδους

Συνεπώς, οι μικροελεγκτές είναι αναγκαίοι σε περιπτώσεις συστημάτων λήψης δεδομένων και πιο γενικά για την υλοποίηση αυτοματοποιημένων διαδικασιών.

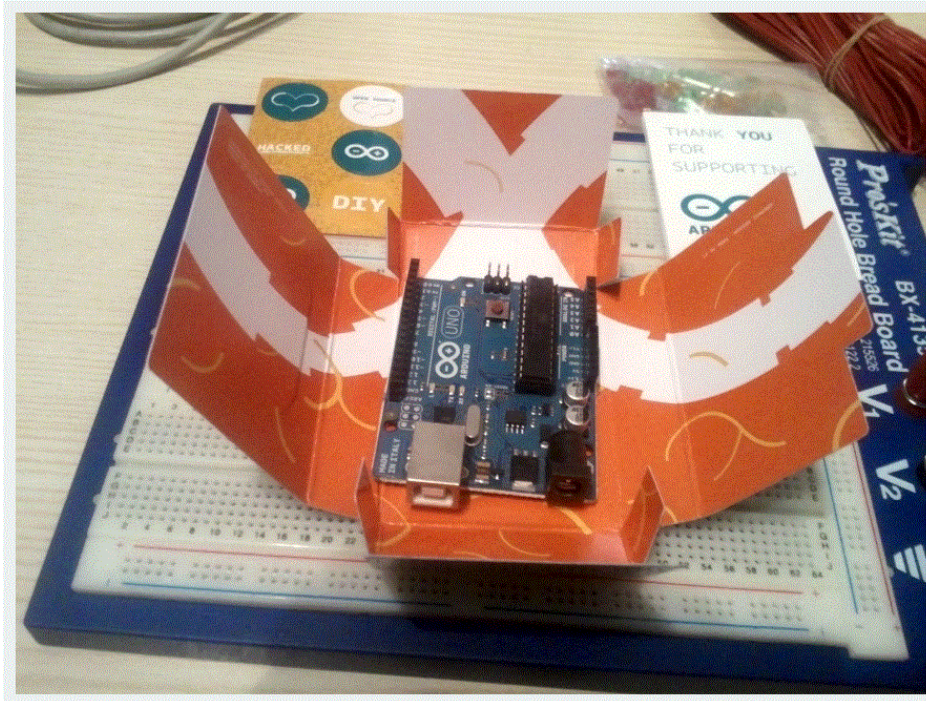
Σήμερα, κάποια από τα είδη των μικροελεγκτών είναι οι ARM επεξεργαστές, η τεχνολογία Microchip Atmel AVR, Intel 8051, η τεχνολογία PIC, οι ημιαγωγοί NXP κ.α.

Στην παρούσα εργασία ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Arduino MEGA 2560 Rev.3.

5.3 «Μικροελεγκτής Arduino» - Arduino Mega 2560 rev.3 – System on a Chip – Pinout – Arduino Shield – Λογισμικό

Η εταιρεία Arduino είναι μία εταιρεία – κοινότητα που κατασκευάζει hardware και software ανοιχτού λογισμικού και σχεδιάζει και παράγει μικροελεγκτές μιας πλακέτας για την κατασκευή ψηφιακών συσκευών. Τα προϊόντα της συγκεκριμένης εταιρείας είναι υπό την άδεια της GNU (General Public License) που επιτρέπει την κατασκευή πλακετών Arduino Hardware και Software. Επιπλέον, η εταιρεία Arduino δίνει τη δυνατότητα σε νέους χρήστες να προβούν σε αγορά kit, ώστε ως αρχάριοι να μπορούν να ασχοληθούν με τον μικροελεγκτή χωρίς να χρειάζεται να αναζητούν τα επιπλέον υλικά και στοιχεία που ενδεχομένως χρειαστούν για το project τους (καλώδια, τροφοδοτικό κ.α.) [48].

Στόχος της εταιρείας είναι η παραγωγή μικροελεγκτών πολύ χαμηλού κόστους και με ευκολία στη χρήση τόσο της πλακέτας όσο και του ανοιχτού λογισμικού της (χωρίς χρέωση συνδρομής) ώστε αρχάριοι χρήστες να έχουν την δυνατότητα να δημιουργήσουν τις κατασκευές τους χρησιμοποιώντας αισθητήρες και άλλου είδους επιπλέον εξαρτήματα ανάλογα το project. Η προέλευση της ονομασίας του «Arduino» προήλθε από ένα μπαρ στην πόλη Ivrea της Ιταλίας στην οποία σύχναζαν οι δημιουργοί του. *Εικόνα [55] Εικόνα [56] Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.]*



ΕΙΚΟΝΑ [55]: ΜΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ ΠΛΑΚΕΤΕΣ ARDUINO [48].



ΕΙΚΟΝΑ [56]: ARDUINO UNO.

Το Arduino διαθέτει ένα ανοιχτού τύπου λογισμικό, όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω. Όλα τα λογισμικά και οι πλακέτες είναι διαθέσιμες μέσω της Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 άδειας.

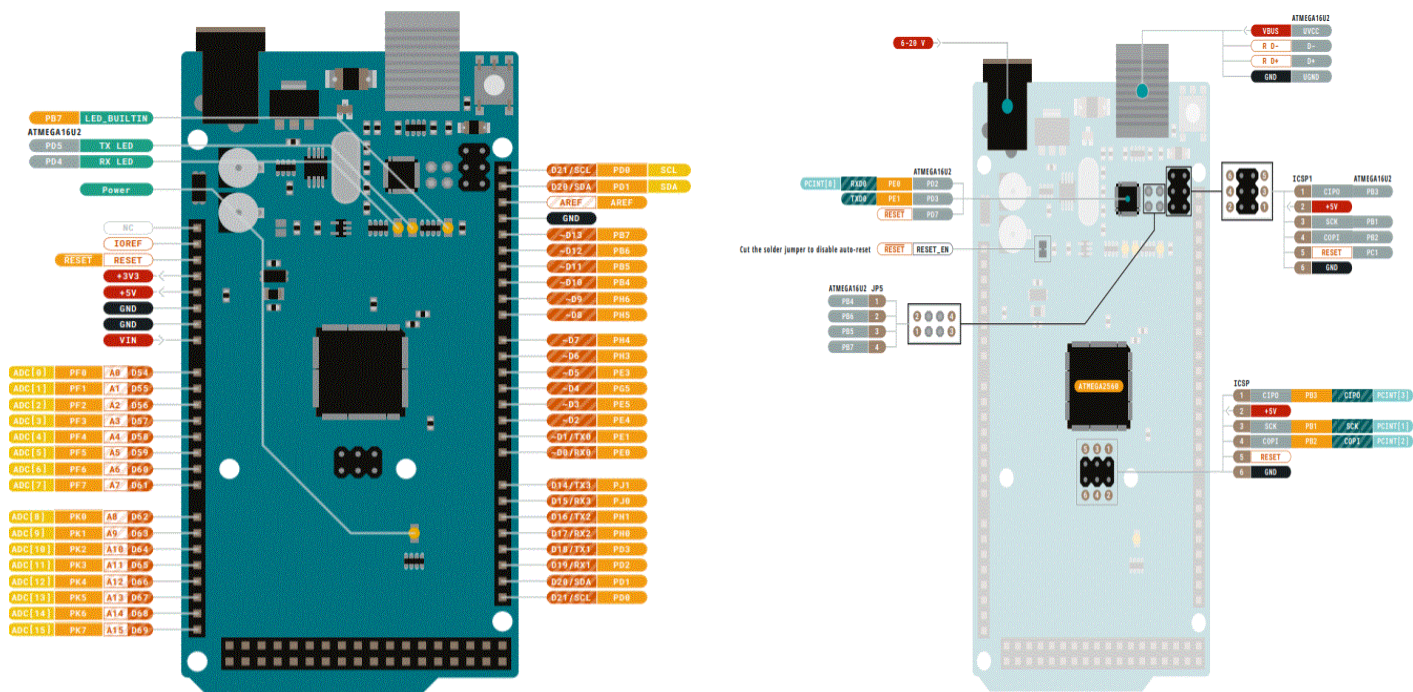
Arduino Mega 2560 Rev.3

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ως μικροελεγκτής χρησιμοποιήθηκε το Arduino Mega 2560 Rev.3 *Εικόνα [57]* του οποίου η παραγωγή ξεκίνησε το 2018. Τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- Μικροελεγκτής ATmega2560
- Τροφοδοσία λειτουργίας : 5 V
- Digital I / O Pins: 54
- Analog Input Pins:16
- Μνήμη Flash :256 KB
- Ταχύτητα Ρολογιού: 16 MHz
- Λαμπάκια Led : 13
- SPRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB



ΕΙΚΟΝΑ [57]: ARDUINO MEGA 2560 REV.3.



ΕΙΚΟΝΑ [58]: ΑΡΙΣΤΕΡΑ: PINS ARDUINO MEGA 2560 REV.3. ΔΕΞΙΑ: ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ARDUINO MEGA 2560 REV.3 [48].

System on a Chip

Οι πλακέτες Arduino αποτελούνται από Atmel 8-bit AVR μικροελεγκτή με διαφορετικές μνήμες Flash, pins αλλά και λειτουργίες. Το 32-bit Arduino due, βασισμένο στη λίστα Atmel SAM3X8E πρωτοεμφανίστηκε το 2012 και περιέχει όλες τις συμβατότητες των Arduino.

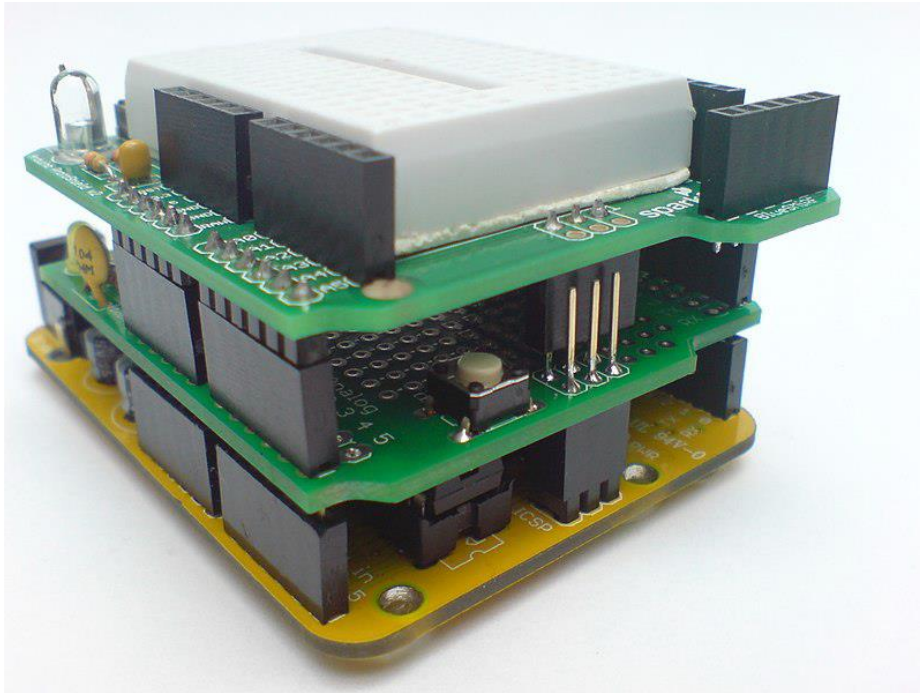
Pinout

Τα Arduino διαθέτουν μονές ή διπλές σειρές από pins, είτε αρσενικά είτε θηλυκά τα οποία χρησιμοποιούνται για προγραμματισμό ή για συνδεσμολογία με άλλα κυκλώματα. Η πλειοψηφία αυτών διαθέτουν τα I/O pins τους για χρήση της πλακέτας και σύνδεση με άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Παραδείγματος χάριν, τα Diecimila, Duemiliana και Uno, παρέχουν τη δυνατότητα για σύνδεση σε 14 ψηφιακά I/O pins, έξι εκ των οποίων έχουν τη δυνατότητα να παράγουν παλμούς πλάτους διαμόρφωσης και έξι αναλογικές εισόδους που επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν I/O pins. Αυτά τα pins βρίσκονται πάνω στην πλακέτα μέσω 2.54mm θηλυκής κεφαλής. Πάνω στα I/O pins, μπορεί επιπλέον ο χρήστης να συνδέσει τα επονομαζόμενα shields που παρέχονται σαν hardware, τα οποία είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα διαφόρων λειτουργιών. *Εικόνα [58]*

Arduino Shields

Τα Arduino και γενικότερα, όλες οι συμβατές πλακέτες με Arduino, είναι εφικτό να χρησιμοποιήσουν ολοκληρωμένα κυκλώματα ή άλλες πλακέτες ως επέκταση οι οποίες κουμπώνουν πάνω στα pins των Arduino *Εικόνα [58]*. Τα shields δίνουν την δυνατότητα στα Arduino να επεκτείνουν ουσιαστικά τις λειτουργίες και τις δυνατότητές τους. Κάποια τέτοια shields μπορούν, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθούν για συνδεσιμότητα μέσω

ethernet (Ethernet Shield), για αισθητήρες GPS (GPS Shield), για σύνδεση με οθόνες LCD (LCD Display), για σύνδεση μέσω Wifi (Wifi Shield) κ.α. Μάλιστα, αρκετά shields μπορούν να φτιαχτούν από τους χρήστες και επιπλέον είναι δυνατή η εγκατάστασή πολλών shields ταυτόχρονα.



ΕΙΚΟΝΑ [59]: SHIELDS ΠΑΝΩ ΣΕ ARDUINO ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΩΤΕΡΩ ΝΑ ΠΑΡΕΧΩ ΜΙΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΠΛΑΚΕΤΑ (BREADBOARD).

Λογισμικό

Τα προγράμματα Arduino μπορούν να γραφούν σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού με κατάλληλο μεταγλωττιστή ο οποίος παράγει δυαδικό κώδικα μηχανής για τον επεξεργαστή της συγκεκριμένης πλακέτας. Η Atmel παρέχει για τους χρήστες ένα περιβάλλον ανάπτυξης για τον 8-bit AVR και τον 32-bit ARM Cortex-M μικροελεγκτή τους. Το AVR Studio και το Amtel Studio. Σε επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται παράγραφός με περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με το λογισμικό των Arduino.

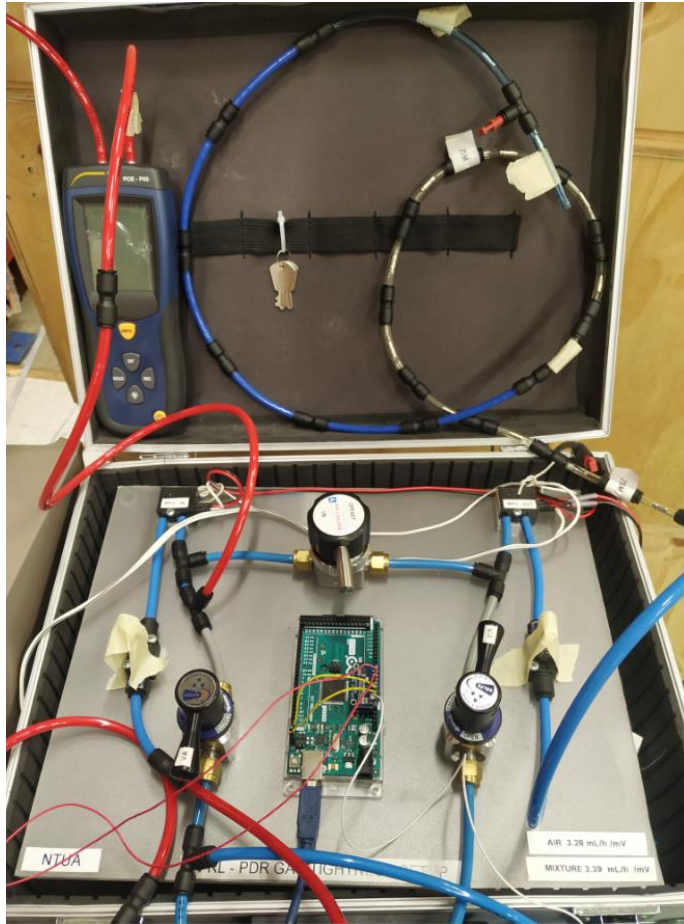
6ο Κεφάλαιο

6 *Εισαγωγή – Αυτόνομη Μονάδα Ελέγχου Διαρροής Αερίου*

Η Αυτόνομη Μονάδα Ελέγχου Διαρροής Αερίου *Εικόνα [60]* όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε παραπάνω κεφάλαιο είναι ουσιαστικά μία φορητή διάταξη σε βαλιτσάκι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις διαρροής αερίου των ανιχνευτών ως προς την πίεση, την ροή και την διαρροή. Η ιδέα για την Αυτόνομη Μονάδα Ελέγχου Στεγανότητας Αερίου προήλθε με στόχο την ευκολία και την ταχύτερη διαδικασία των μετρήσεων είτε με την μέθοδο FRL είτε με την μέθοδο PDR ώστε να αποφεύγονται οι μεταφορές των ανιχνευτών στην πειραματική διάταξη στο BB5 του CERN κι αντ' αυτού οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται με την αυτόνομη συσκευή μεταφέροντας μόνο το βαλιτσάκι. Η διάταξη αυτή είναι ουσιαστικά μία μικρογραφία της διάταξης στο BB5 και περιλαμβάνει αισθητήρες ροής μάζας (MFS), βαλβίδες υψηλής στεγανότητας, ψηφιακό μανόμετρο για την μέτρηση και την καταγραφή της διαφορικής πίεσης καθώς και ρυθμιστή της παροχής εισόδου και εξόδου του αερίου. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι η Αυτόνομη Μονάδα Ελέγχου Διαρροής του Αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις και με τις δύο προαναφερθείσες μεθόδους, προτιμητέα μέθοδος για τις δοκιμαστικές μετρήσεις με την φορητή διάταξη είναι η FRL καθότι πλεονεκτεί έναντι της PDR στα ακόλουθα [50]:

- Δεν είναι ευαίσθητη στη διαστολή ή τη συμπίεση του υπό δοκιμή όγκου, γεγονός πολύ σημαντικό σε περίπτωση που MM QP ή Wedges παρουσιάσουν μικρή αλλαγή πίεσης της τάξεως λίγων mbar.
- Δεν είναι ευαίσθητη στη μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των δοκιμών της διαρροής αερίου.
- Η μετρούμενη ποσότητα είναι σταθερή τιμή και όχι ρυθμός, γεγονός που επιτρέπει τους υπολογισμούς στατιστικής ανάλυσης αποφεύγοντας τη χρήση κάποιου στατιστικού μοντέλου όπως στην περίπτωση της μεθόδου PDR.
- Επιτρέπει την παρακολούθηση του ρυθμού διαρροής κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των μετρήσεων για τη βελτίωση της στεγανότητας του υπό μελέτη όγκου.
- Η στατιστική αβεβαιότητα εξαρτάται από την επαναληψιμότητα των αισθητήρων ροής μάζας και έχει τη δυνατότητα να είναι έως και 0.2, ενώ αυτό το ποσοστό μπορεί να μειωθεί με παράταση της διάρκειας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μέθοδος FRL κρίθηκε η καταλληλότερη μέθοδος για τις μετρήσεις της αεροστεγανότητας των ανιχνευτών Micromegas. Ακόμη, στο BB5 στο CERN έχει εγκατασταθεί μία διάταξη για παράλληλη δοκιμή τεσσάρων Quads ταυτόχρονα.



ΕΙΚΟΝΑ [60]: ΠΡΟΤΥΠΗ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΑΕΡΙΟΥ.

Η διάταξη πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Arduino Mega2560 rev.3
- Mass Flow Sensors
- Mass Flow Meter
- Βαλβίδες

6.1 Arduino System - Προετοιμασία και Ηλεκτρική Συνδεσμολογία

Η αρχική σχεδιαστική ιδέα για την φορητή διάταξη μετρήσεων ήταν η δημιουργία μιας συσκευής με τη δυνατότητα να καλύπτει τις βασικές λειτουργίες που ήταν απαραίτητες για όλα τα στάδια μέχρι την ολοκλήρωση των MM QP και των Wedges. Πιο συγκεκριμένα, η βάση για την έναρξη της θεωρητικής μελέτης σχετικά με τις μετρήσεις διαρροής ήταν ο νόμος Poiseuille για τα ρευστά. Ωστόσο, με το πέρας της θεωρητικής μελέτης για τις μετρήσεις διαρροής και εφόσον ολοκληρώθηκε, προχωρήσαμε στο πρακτικό μέρος για το οποίο χρειάστηκαν διάφορα στοιχεία μέχρι την ολοκλήρωση του έργου αυτού τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω ενώ κάποια εκ των οποίων περιεγράφηκαν ήδη και σε προηγούμενα κεφάλαια.

Η προετοιμασία του Arduino για την πειραματική διάταξη της παρούσας εργασίας χωρίζεται σε δύο στάδια, το πρώτο στάδιο αφορά την προετοιμασία του hardware, ενώ το δεύτερο στάδιο αφορά την προετοιμασία του software το οποίο δίνεται δωρεάν από τους κατασκευαστές του Arduino, ενώ ο προγραμματισμός αυτού ολοκληρώθηκε με την χρήση του ειδικού λογισμικού των κατασκευαστών. Το Arduino Mega 2560 Rev. 3 που χρησιμοποιήθηκε για το αυτόνομο σύστημα διαρροής αερίου διαθέτει αναλογικές ηλεκτρονικές εισόδους και εξόδους σημάτων, ενώ η ακρίβειά του είναι 16-bit. Επιπροσθέτως, αναγκαίο για την μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι ένας Analog-to-Digital Converter Amplifier (ADC). Για την διάταξή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο ενισχυτής ADS1115 16-bit. *Εικόνα [61]*

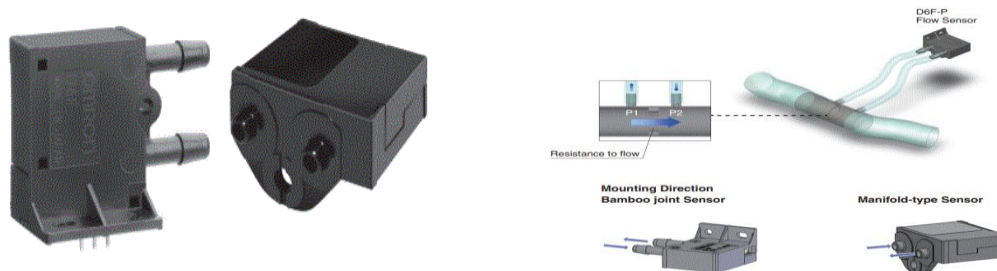


ΕΙΚΟΝΑ [61]: ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ADS1115 16-BIT.

Ακόμη, για την διάταξη της αυτόνομης μονάδας ελέγχου διαρροής του αερίου χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες μέτρησης μάζας ροής (MFS) καθώς και ένα LCD Keypad Shield ώστε να είναι εφικτό από τον χρήστη να μπορεί να βλέπει στην οθόνη τις μετρήσεις που λαμβάνει.

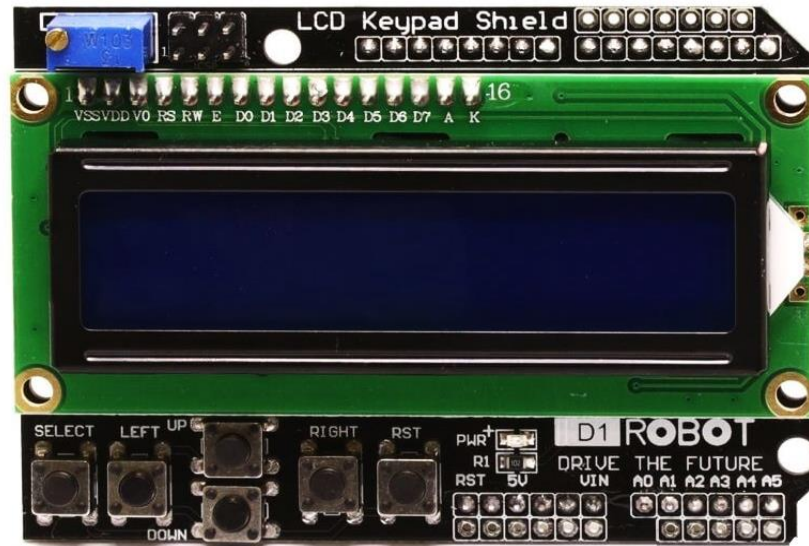
MFS

Έχει προηγηθεί εκτενείς αναφορά στο κεφάλαιο 3.2.2 Μέθοδος πτώσης πίεσης (PDR) & Μέθοδος απώλειας ροής(FLR) σχετικά με τους αισθητήρες μάζας ροής αερίου. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρίας Omron.

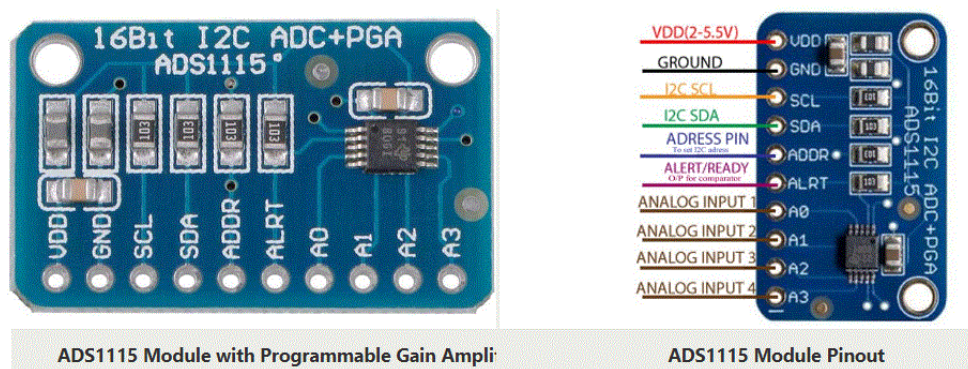


ΕΙΚΟΝΑ [62]: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΡΟΗΣ ΜΑΖΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ.

LCD KEYPAD SHIELD



ΕΙΚΟΝΑ [63]: LCD KEYPAD SHIELD ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ARDUINO MEGA 2560 REV. 3.



ADS1115 Module with Programmable Gain Ampli

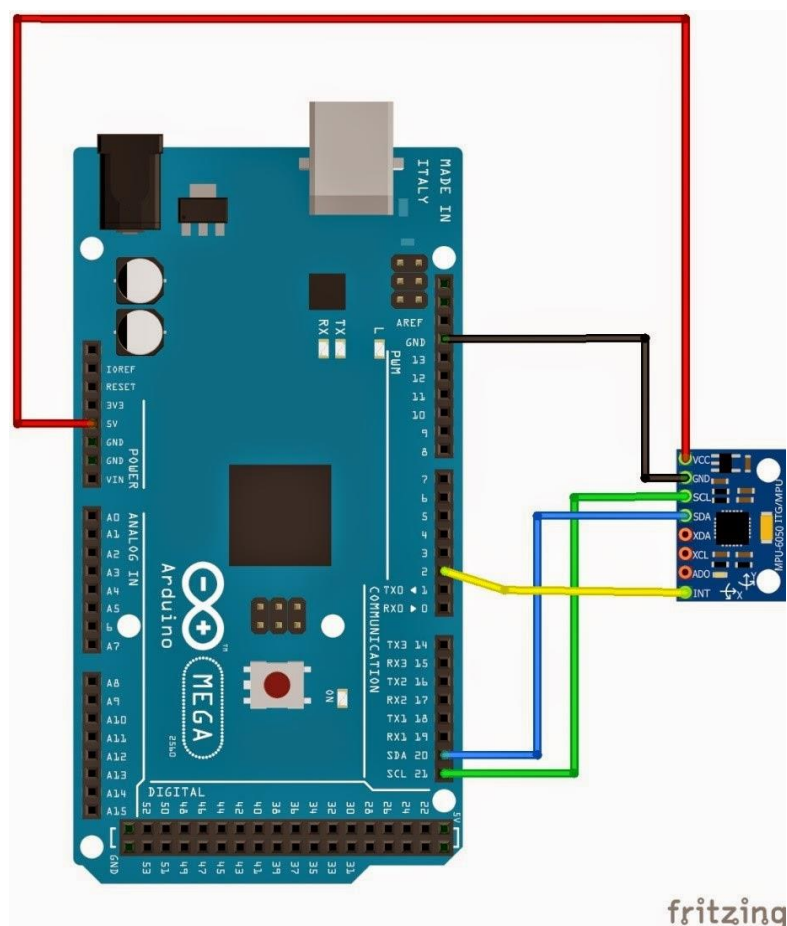
ADS1115 Module Pinout

ΕΙΚΟΝΑ [64]: ADS1115

Τα χαρακτηριστικά του κυκλώματος της *Εικόνας [65]*, αναφέρονται επίσης και στο υποκεφάλαιο Μέθοδος πτώσης πίεσης (PDR) & Μέθοδος απώλειας ροής(FLR):

- 16-bit resolution
- Sample rate: 8/860 samples/second
- Τροφοδοσία : 2.0 V – 5.5 V
- Κατανάλωση σε χαμηλό ρεύμα : 150 Ma
- Επικοινωνία I2C
- 4 μονής κατάληξης και 2 διαφορικής κατάληξης εισόδους

Η σύνδεση του ADS1115 με το Arduino πραγματοποιήθηκε με τον ακόλουθο τρόπο και η επικοινωνία τους πραγματοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου I2C :



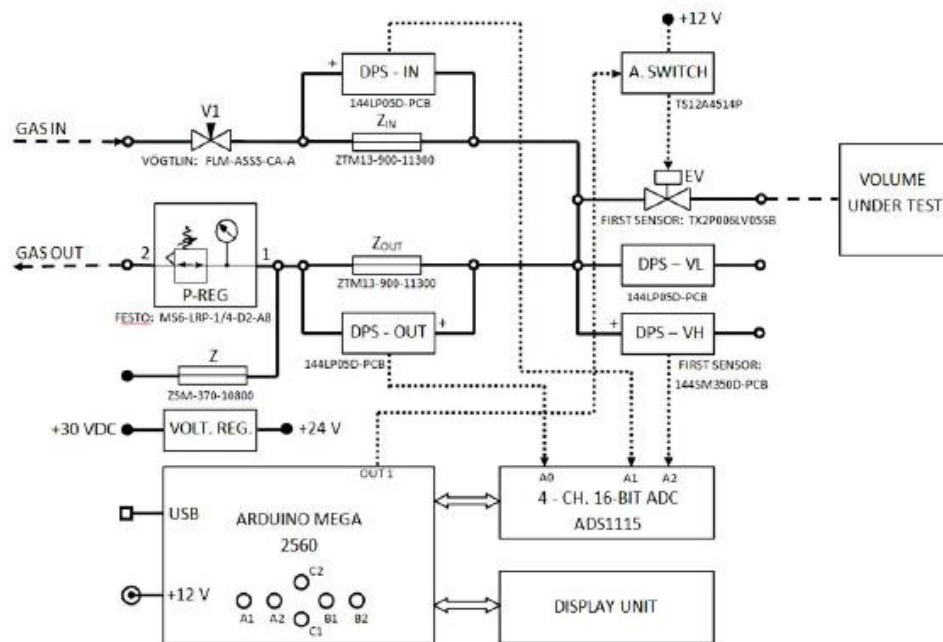
ΕΙΚΟΝΑ [65]: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ADS1115 ΣΕ ARDUINO MEGA 2560 REV.3 [49].

Ο ενισχυτής ADS1115 συνδέθηκε αρχικά πάνω στα εξωτερικά pins του Arduino για ευκολία στην μετακίνηση του ίδιου αλλά και για τη χρήση του καθώς και τις δοκιμές αυτού. Ενώ η σύνδεση με τον υπολογιστή πραγματοποιήθηκε μέσω USB. Στην συνέχεια, ο ενισχυτής ADC συνδέθηκε μέσω καλωδιώσεων στα αντίστοιχα pins του Arduino όταν οι δοκιμές είχαν πλέον ολοκληρωθεί με επιτυχία. Ακόμη, επειδή οι αισθητήρες ροής μάζας δεν ήταν άμεσα διαθέσιμοι και υπήρξαν καθυστερήσεις στην παραλαβή τους λόγω πανδημίας Covid-19, για τις δοκιμές του Arduino αλλά και του ADC χρησιμοποιήθηκε μία μπαταρία 1.5 V ώστε να επιβεβαιωθεί η ορθή λειτουργία τους.

Ηλεκτρική Συνδεσμολογία

Για την πρακτική ολοκλήρωση της αρχικής ιδέας χρησιμοποιήθηκε αρχικά ο νόμος του Poiseuille ο οποίος εφαρμόστηκε σε έναν μικρό κοίλο σωλήνα ως σύνθετη αντίσταση (impedance). Οι σύνθετες αντιστάσεις είναι τύπου ZTM (DPS στην **Εικόνα [66]: Σχέδιο ηλεκτρονικών του sa-glt (Stand-Alone Gas Leak Test)**) και είναι μία για την είσοδο και μία για την έξοδο. Για την μέτρηση της πίεσης gauge χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί αισθητήρες με δύο διαφορετικές πλήρεις κλίμακες, μία για τα MM QP και τα Wedges και μία για τη δοκιμή του “spacer frame”.

Για την ρύθμιση της πίεσης χρησιμοποιήθηκε ρυθμιστής πίεσης για υψηλότερες πιέσεις και μία σύνθετη αντίσταση για τις χαμηλότερες πιέσεις.



ΕΙΚΟΝΑ [66]: ΣΧΕΔΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΤΟΥ SA-GLT (STAND-ALONE GAS LEAK TEST)

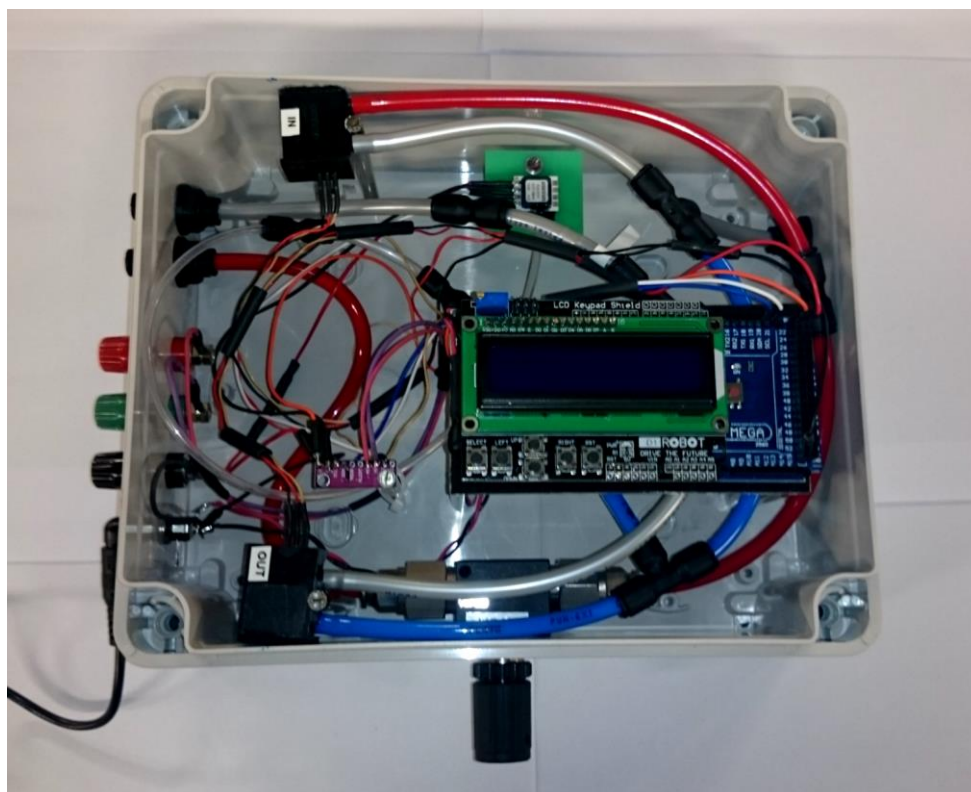
Στοιχεία διάταξης και σχεδίου που φαίνονται στην **Εικόνα [66]** :

- DPS-IN: Differential Pressure Sensor (F.S. 0-5 mbar)
- DPS-OUT: Differential Pressure Sensor (F.S. 0-5 mbar)
- DPS-VL: Differential Pressure Sensor (F.S. 0-5 mbar)
- DPS-VH: Differential Pressure Sensor (F.S. 0-350 mbar)
- P-REG: Pressure Regulator
- EV: Electro valve (normal closed)
- V1: Flow Control Valve
- ZIN: Gas Impedance for upstream flow
- ZOUT: Gas Impedance for downstream flow

Με βάση το σχέδιο της παραπάνω σχηματικής παράστασης στην **Εικόνα [66]: Σχέδιο ηλεκτρονικών του sa-gl** (*Stand-Alone Gas Leak Test*) κατασκευάστηκε μία πρότυπη διάταξη η οποία καλείται “*Stand-Alone Gas Leak Tester (SA-GLT)*”. Εν συνεχεία κατασκευάστηκε, συν αρμολογήθηκε ουσιαστικά μία δεύτερη διάταξη πανομοιότυπη με την πρώτη, συνεπώς πλέον έχουμε τα SA-GLT-1 & SA-GLT-2. Ωστόσο, η πρωτότυπη διάταξη που κατασκευάστηκε, δηλαδή, το SA-GLT-1, περιείχε κάποιες τροποποιήσεις ανάλογα την διαθεσιμότητα των εξαρτημάτων.

Για τις μετρήσεις της ροής του αερίου χρησιμοποιήθηκαν δύο εμπορικοί αισθητήρες ροής μάζας (MFS) της εταιρίας Omron με πολύ χαμηλή πλήρη κλίμακα της τάξεως των 0-6 L/h με στόχο την επίτευξη καλύτερης απόλυτης ακρίβειας. Ο ρυθμιστής πίεσης και ο αισθητήρας πίεσης με υψηλή πλήρη κλίμακα καθώς και η ηλεκτροβάνα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμη παρά μόνο σε μικρότερες παρόμοιες ημιτελής διατάξεις για δοκιμές στο αν ακολουθούν τα πρότυπα λειτουργίας που έχουν αποδώσει οι κατασκευαστές τους στα datasheets. Αυτή η αυτόνομη μονάδα ελέγχου διαρροής αερίου ενσωματώνει και περικλείει όλο το γνωσιακό υπόβαθρο και την εμπειρία που αποκτήθηκε από την ελληνική ομάδα ATLAS του CERN στη μέθοδο FRL κι ειδικότερα, όχι μόνο στην επιλογή εξαρτημάτων αλλά και στην συγγραφή του κώδικα του λογισμικού για την λειτουργία της μονάδας αλλά και για την ευκολία στην χρήση και την ανάγνωση των δεδομένων των μετρήσεων.

Η αυτόνομη μονάδα είναι εξοπλισμένη με ενιαία οθόνη LDC 2 × 16 ψηφίων για την εμφάνιση και την ανάγνωση όλων των αναγκαίων παρακολουθούμενων μετρήσεων, δηλαδή την ροή του αερίου στην είσοδο, την ροή του αερίου στον κλάδο εξόδου, η διαφορά στα ποσοστά της ροής (δίνεται από τους διαφορικούς αισθητήρες πίεσης) και την gauge πίεση στον υπό εξέταση όγκο. Επιπλέον, παρέχει προειδοποιητικά μηνύματα ασφαλείας (alarm), οδηγίες καθώς και ενημέρωση του χρόνου που προήλθε. Αυτός ο συνδυασμός λειτουργιών εκτελείται από τον μικροελεγκτή Arduino Mega 2560 Rev. 3 σε συνδυασμό με τον μετατροπέα του αναλογικού σε ψηφιακό σήμα, τον ADC 16-bit καναλιών. Η οθόνη ανάγνωσης LCD 2x16 συνδυάζεται με πληκτρολόγιο, δηλαδή, με ηλεκτρονική κάρτα keypad που παρέχει 6 πλήκτρα – κουμπιά τα οποία χρησιμοποιούνται για την επιλογή μίας λειτουργίας του Arduino. Στις ακόλουθες εικόνες φαίνονται η μπροστινή όψη με τις οδηγίες διαμόρφωσης :



ΕΙΚΟΝΑ [67]: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ SA-GLT-1 / ΔΥΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ MFS ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΜΑΥΡΑ ΚΟΥΤΑΚΙΑ.



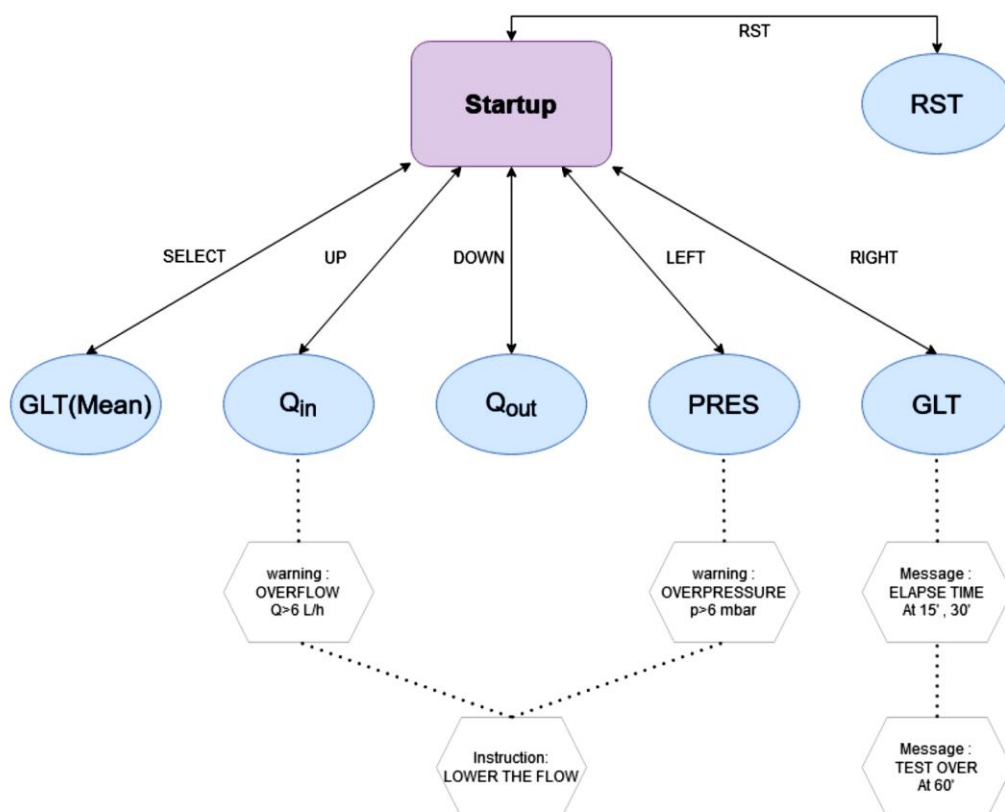
ΕΙΚΟΝΑ [68]: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ SA-GLT-1 ΌΠΟΥ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η LCD ΟΘΟΝΗ ΜΕ ΤΟ ΚΕΥΡΑΔ.

6.2 Κώδικας σε γλώσσα IDE και Monitoring

Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μία παραλλαγή της C/C++ για μικροελεγκτές με αρχιτεκτονική AVR όπως το ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++ [48]. Όσο αφορά τον μεταγλωττιστή, χρησιμοποιείται το AVR gcc, ενώ το AVR libc χρησιμοποιείται ως βασική βιβλιοθήκη της C. Η συγγραφή του κώδικα της αυτόνομη μονάδας ελέγχου ολοκληρώθηκε χάριν στο προγραμματιστικό περιβάλλον των Arduino, το οποίο διευκόλυνε την διαδικασία. Το Arduino IDE είναι ένα πρακτικό περιβάλλον για την συγγραφή προγραμμάτων, τα οποία ονομάζονται sketch στην ορολογία των Arduino και ο κώδικας παρουσιάζεται με χρωματική σήμανση ώστε να διευκολύνει τον χρήστη στην συγγραφή αλλά και στην εύρεση σφαλμάτων, ειδικότερα όταν ο κώδικας περιλαμβάνει αρκετές γραμμές. Επιπλέον, το Arduino IDE διαθέτει αρκετά παραδείγματα έτοιμων sketch τα οποία είναι εξαιρετικά βοηθητικά για αρχάριους χρήστες, μερικές βιβλιοθήκες για προέκταση γλώσσας που χρησιμεύουν στον εύκολο χειρισμό διάφορων επιπλέον εξαρτημάτων. Επιπροσθέτως, περιλαμβάνει έναν μεταγλωττιστή για τα sketch καθώς και serial monitor που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της σειριακής θύρας (USB), ενώ αναλαμβάνει να στείλει αλφαριθμητικά την επιλογή του χρήστη στο Arduino μέσω αυτής και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το debugging των sketch του χρήστη.

Monitoring

Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο και όπως φαίνεται στην **Εικόνα [63]** το Key-pad Shield διαθέτει 6 πλήκτρα και πατώντας οποιοδήποτε πλήκτρο πραγματοποιείται η αντίστοιχη ανάγνωση. Όταν πατηθεί ένα άλλο πλήκτρο, τότε μία νέα λειτουργία που είναι προγραμματισμένη στον μικροελεγκτή, ξεκινά. Ο ρυθμός ροής στην είσοδο και την έξοδο καταγράφεται από τους αισθητήρες ροής μάζας (MFS) της εταιρίας Omron, έχουν απόλυτη ακρίβεια 5% και επαναληψιμότητα 0.2%, ενώ κατά τον υπολογισμό της διαφοράς της ροής εισόδου και εξόδου η ακρίβεια αυξάνεται στο 7%. Η gauge πίεση καταγράφεται από έναν διαφορετικό αισθητήρα, ενισχυμένο, χαμηλής πίεσης (144LP05D-PCB από First Sensor ή σειρά HCLA από PRO, τύπου HCLA12x5U) με πλήρη κλίμακα 5 mbar και 12 αντίστοιχα. Η ακρίβεια ανάγνωσης αυτών των αισθητήρων είναι της κλίμακας 0.1% όπως την δίνει ο κατασκευαστής. Επιπροσθέτως, σε αυτή την μονάδα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε ένας συγκεκριμένος αριθμός αναγνώσεων των διαφορετικών ποσοτήτων σε κάθε μέτρηση, όπου ο χρήστης στην οθόνη του Arduino βλέπει την μέση τιμή αυτών. . Πιο συγκεκριμένα, για τον ρυθμό ροής και πίεσης χρησιμοποιήθηκαν 16 μετρήσεις λαμβάνοντας την μέση τιμή, ενώ για την διαφορική πίεση του ρυθμού διαρροής χρησιμοποιήθηκαν 4 μετρήσεις λαμβάνοντας εξίσου τη μέση τιμή σε έναν βρόχο. Επομένως, οι διακυμάνσεις των διαφορών καταστέλλονται από έναν συντελεστή 2. Η μέση τιμή των μετρήσεων υπολογίζεται εντός του βρόχου ανάγνωσης χρησιμοποιώντας έναν αναδρομικό τύπο. Ωστόσο, λόγω των 15-bit για την μετατροπή του ADC (είναι 16-bit αλλά το 1-bit χρησιμοποιείται για το πρόσημο) το μενού του Arduino βάση των buttons είναι όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα :



ΕΙΚΟΝΑ[69]: ΈΝΑ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ SA-GLT.

Ο αριθμός των ψηφίων που εμφανίζονται στην οθόνη LCD είναι πέντε, ωστόσο, επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι η μετατροπή των 15-bit αντιστοιχεί σε 4 και 2/3 εμφανιζόμενα στοιχεία. Ακόμη, ο κώδικας του λογισμικού περιλαμβάνει ορισμένες χρήσιμες προειδοποιήσεις ασφαλείας και μηνύματα οδηγιών.

- Προειδοποίηση : «OVERPRESSURE», όταν η πίεση gauge ξεπεράσει το όριο ασφαλείας για τον ανιχνευτή το οποίο είναι τα 6 mbar, $p > 6 \text{ mbar}$.
- Προειδοποίηση : «OVERFLOW», όταν η ροή αερίου ξεπεράσει στην είσοδο την πλήρη κλίμακα του αισθητήρα μάζας ροής το οποίο είναι $Q > 6 \text{ L/h}$.
- Οδηγία : «LOWER THE FLOW !» εμφανίζεται στην περίπτωση που υπάρχει πίεση ή ροή κοντά στο όριο.
- Μήνυμα: «ELAPSE TIME» εμφανίζεται στα 15' από την έναρξη του GLT
- Μήνυμα: «TEST OVER» εμφανίζεται μετά από 180' τα οποία είναι ο τυπικός χρόνος διάρκειας ενός GLT.

6.3 *Arduino Sketch (Script)*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα Arduino Sketch αφορούν ουσιαστικά τον κώδικα που γράφετε για την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας ή και λειτουργίας του Arduino. Αρχικά, για την παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του Arduino χρησιμοποιώντας κάποια έτοιμα παραδείγματα προγραμμάτων (scripts) τα οποία είναι αποθηκευμένα στην βιβλιοθήκη που διαθέτει το λογισμικό του Arduino IDE. Συνεπώς, αρχικά χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο πρόγραμμα – παράδειγμα:

```
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

Το ανωτέρω πρόγραμμα επιβεβαίωσε την ορθή λειτουργία του Arduino Mega 2560 Rev.3 και το έθεσε σε λειτουργία με την διαδικασία να αναβοσβήνει το λαμπάκι του με βήμα 1 δευτερόλεπτο. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε δοκιμή για την ορθή λειτουργία της οθόνης LCD-Keypad, για την οποία χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο πρόγραμμα – παράδειγμα (Adafruit Crystal Licuid):

```
// include the library code:
```

```

#include "Wire.h"
#include "Adafruit_LiquidCrystal.h"

// initialize the library with the numbers of the interface pins
Adafruit_LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  // set up the LCD's number of rows and columns:
  lcd.begin(16, 2);
  // Print a message to the LCD.
  lcd.print("hello, world!");
}

void loop() {
  // set the cursor to column 0, line 1
  // (note: line 1 is the second row, since counting begins with 0):
  lcd.setCursor(0, 1);
  // print the number of seconds since reset:
  lcd.print(millis()/1000);
}

```

Με αυτό το script επιβεβαιώθηκε η ορθή λειτουργία της οθόνης, στην οποία κατά την εκτέλεση του προγράμματος αναγράφονταν “Hello, world!” .

Συνεπώς, προχωρήσαμε με τις δοκιμές για την ορθή λειτουργία των στοιχείων και συνεχίσαμε με την δοκιμή του ADS1115 με τον παρακάτω κώδικα :

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
Adafruit_ADS1115 ads1115; // constructs an ADS1115 item at address 0x48

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Initializing ADS1115...");
  delay(2000);
  Serial.println("Single-ended readings from AIN0, AIN1, AIN2, AIN3...");
  delay(2000);
}

```

```

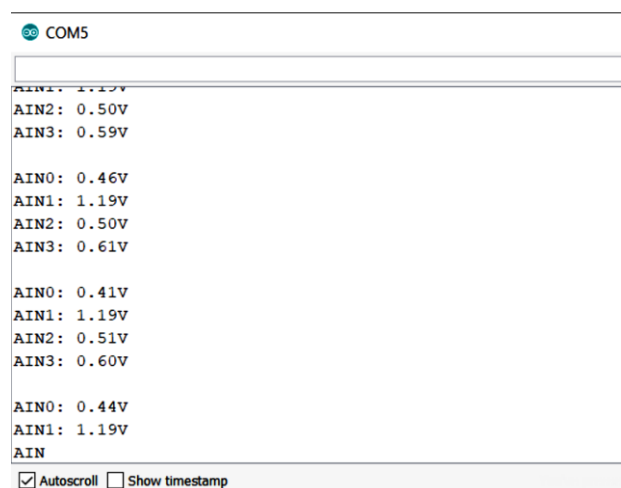
Serial.println("ADC Range: +/- ... ");
ads1115.begin(); // Initialize ADS1115
delay(2000);
}

void loop(void) {
  int16_t adc0, adc1, adc2, adc3;

  adc0 = ads1115.readADC_SingleEnded(0);
  adc1 = ads1115.readADC_SingleEnded(1);
  adc2 = ads1115.readADC_SingleEnded(2);
  adc3 = ads1115.readADC_SingleEnded(3);
  Serial.print("AIN0: "); Serial.println(adc0);
  Serial.print("AIN1: "); Serial.println(adc1);
  Serial.print("AIN2: "); Serial.println(adc2);
  Serial.print("AIN3: "); Serial.println(adc3);
  Serial.println(" ");
  delay(1200);
}

```

Από τον παραπάνω κώδικα φαίνεται ότι στη συνάρτηση *setup()* τοποθετούνται όλες οι λεπτομέρειες για την σειριακή εκτέλεση της λήψης των δεδομένων, ενώ στην συνάρτηση *loop()* γίνεται η ανάγνωση των αναλογικών εισόδων και αντίστοιχα τυπώνονται οι τιμές που διαβάστηκαν. Το Arduino για την εκτέλεση του παραπάνω προγράμματος συνδέθηκε σε μία απλή μπαταρία των 1.5 V.



ΕΙΚΟΝΑ [70]: ΟΡΘΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ADS1115 ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΜΕ ΤΟ ARDUINO MEGA 2560 REV.3 .

- *Ο κώδικας για τη δημιουργία του μενού του Arduino βάση του διαγράμματος της Εικόνα[69] είναι ο ακόλουθος :*

```
#include <LiquidCrystal.h>

#include <math.h>

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_ADS1015.h>

#define i2c_address 0x27 lcd.setCursor(0, 1);

const int sdaPin = 20 ;

const int sclPin = 21 ;

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

const int listen_port = 80;

Adafruit_ADS1115 ads;

float Flow_in = 0.0000F;

float Flow_out = 0.0000F;

float Flow_diff = 0.0000F;

float Flow_test = 0.0000F;

float Pressure = 0.0000F;

float multiplier = 0.0020F;// float multiplier = 0.125F; //mV

void setup()

{

Serial.begin(9600);

lcd.begin(16, 2);
```

```

ads.begin();

lcd.print("STAND ALONE GLT");

delay(1000);

ads.setGain(GAIN_ONE); // 1x gain +/- 4.096V
}

```

```

void loop()
{
int16_t adc0, adc1, adc2, adc3 ;

adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);
adc1 = ads.readADC_SingleEnded(1);
adc2 = ads.readADC_SingleEnded(2);
adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3);

Serial.println(adc0);
Serial.println(adc1);
Serial.println(adc2);
Serial.println(adc3);

lcd.clear();

Flow_in =(adc0*multiplier - 493.4)*0.0039 ;

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("Q_IN      ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(Flow_in,4);

lcd.print(" L/h");

delay(1500);

lcd.clear();

Flow_out =(adc3*multiplier - 477.5)*0.0039 ;

```

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Q_OUT      ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(Flow_out,4);
lcd.print(" L/h");
delay(1500);
lcd.clear();
Flow_diff=1000*(Flow_in-Flow_out);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Q_L      ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(Flow_diff,4);
lcd.print(" mL/h");
delay(1500);
Pressure=(adc1*multiplier-250)*12.5/4000; //HCLA diff. pres. sensor, cal. factor (12.5 mbar/4 V)=3.125 mbar/V,
offset 250 mV corresp. 0.25*3.125=0.78125 mbar
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("P      ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(Pressure,4);
lcd.print(" mbar");
delay(1500);

}

```

- *Κώδικας για την επιλογή αερίου στο μενού του Arduino :*

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
//LCD pin to Arduino
```



```

const int pin_RS = 8;
const int pin_EN = 9;
const int pin_d4 = 4;
const int pin_d5 = 5;
const int pin_d6 = 6;
const int pin_d7 = 7;
const int pin_BL = 10;
LiquidCrystal lcd( pin_RS, pin_EN, pin_d4, pin_d5, pin_d6, pin_d7);
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("STAND ALONE GLT");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("CHOOSE MENU");
}
void loop() {
  int x;
  x = analogRead (0);
  lcd.setCursor(10,1);
  if (x < 60) {
    lcd.print ("Right ");
  }
  else if (x < 200) {
    lcd.print ("Up  ");
  }
  else if (x < 400){
    lcd.print ("Down ");
  }
}

```

```

else if (x < 600){
    lcd.print ("Left ");
}
else if (x < 800){
    lcd.print ("Select");
}
}

//If we are out of bounds on th menu then reset it.
if (currentMenuItem < 0 || currentMenuItem > 2) {
currentMenuItem = 0;
}

//If we have changed Index, saves re-draws.
if (state != lastState) {
if (state == 1) {
//If Up
currentMenuItem = currentMenuItem - 1;
displayMenu(currentMenuItem);
} else if (state == 2) {
//If Down
currentMenuItem = currentMenuItem + 1;
displayMenu(currentMenuItem);
} else if (state == 3) {
//If Selected
selectMenu(currentMenuItem);
}
}

//Save the last State to compare.
lastState = state;
}

```

```

//Small delay
delay(2000);
}
//Display Menu Option based on Index.
void displayMenu(int x) {
switch (x) {
case 1:

lcd.print ("-> Menu Option 1");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print(" Gas: Air ");
lcd.setCursor (0,1);

break;
case 2:

lcd.print ("-> Menu Option 2");
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print(" Gas: Ar+7%CO2 ");
lcd.setCursor (0,1);
break;
}
}
}

```

- *Σύνολο όλων των επιμέρους τμημάτων του τελικού προγράμματος του Arduino :*

```
// include the library code:
```

```
#include <LiquidCrystal.h> // initialize the library by associating any needed LCD interface pin // with the arduino
pin number it is connected to
```

```

#include <Wire.h>

#include <math.h>

#include <Adafruit_ADS1015.h>

#define i2c_address 0x27 lcd.setCursor(0, 1);

const int buttonPin1 = 8, buttonPin2 = 9, buttonPin3 = 10, buttonPin4 = 11, buttonPin5 = 12, buttonPin6 = 13; //
the number of the pushbutton pin

const int rs = 8, en = 9, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;

const int sdaPin = 20 ;

const int sclPin = 21 ;

// variables will change:

int buttonState1 = 0, buttonState2 = 0, buttonState3 = 0, buttonState4 = 0, buttonState5 = 0, buttonState6 = 0; //
variable for reading the pushbutton status

LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

Adafruit_ADS1015 ads;

Adafruit_ADS1015 ads1015(0x49); // construct an ads1115 at address 0x49

float Voltage = 0.000;

float Voltage2 = 0.000;

float pressure = 0.000;

float pressure2 = 0.000;

int offset = 0; // zero pressure calibration

int fullscale = 500; // max pressure calibration

void setup() {{

lcd.begin(16, 2); // set up the LCD's number of columns and rows:

{

```

```

Serial.begin(9600);

Serial.println ("Initalizing ADS1115 ... ");

delay(2000);

Serial.println ("Single - ended readings from AIN0, AIN1, AIN2, AIN3...");

Serial.println("ADC Range: +/- 1.024V (1 bit = 0.5mV/ADS1015, 0.03125mV/ADS1015)");

ads.setGain(GAIN_FOUR); // 1x gain +/- 4.096V

delay(2000);

ads1015.begin(); //In itialize ADS1115

delay(2000);

}

// The ADC input range (or gain) can be changed via the following
// functions, but be careful never to exceed VDD +0.3V max, or to
// exceed the upper and lower limits if you adjust the input range!
// Setting these values incorrectly may destroy your ADC!

//
//                ADS1015 ADS1115
//
//                -----
// ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); // 2/3x gain +/- 6.144V  1 bit = 3mV   0.1875mV (default)
// ads.setGain(GAIN_ONE);      // 1x gain  +/- 4.096V  1 bit = 2mV   0.125mV
// ads.setGain(GAIN_TWO);      // 2x gain  +/- 2.048V  1 bit = 1mV   0.0625mV
// ads.setGain(GAIN_FOUR);     // 4x gain  +/- 1.024V  1 bit = 0.5mV  0.03125mV
// ads.setGain(GAIN_EIGHT);    // 8x gain  +/- 0.512V  1 bit = 0.25mV  0.015625mV
// ads.setGain(GAIN_SIXTEEN);  // 16x gain +/- 0.256V  1 bit = 0.125mV 0.0078125mV
//
//
void loop() {

// read the state of the pushbutton value:

lcd.clear ();

```

```
buttonState1 = digitalRead(buttonPin1), buttonState2 = digitalRead(buttonPin2), buttonState3 =
digitalRead(buttonPin3), buttonState4 = digitalRead(buttonPin4), buttonState5 = digitalRead(buttonPin5),
buttonState6 = digitalRead(buttonPin6);
```

```
int16_t adc0, adc1, adc2, adc3 ;

adc0 = ads1015.readADC_SingleEnded (0);
adc1 = ads1015.readADC_SingleEnded (1);
adc2 = ads1015.readADC_SingleEnded (2);
adc3 = ads1015.readADC_SingleEnded (3);

Serial.print("AIN0: "); Serial.println(adc0);
Serial.print("AIN1: "); Serial.println(adc1);
Serial.print("AIN2: "); Serial.println(adc2);
Serial.print("AIN3: "); Serial.println(adc3);

Serial.println(" ");

delay(3000);

// check if the pushbutton is pressed. If it is, the buttonState is HIGH:
if (200 < buttonState1 < 400) {
  // buttonState1 = C1
  if (600 < buttonState3 < 800) {
    //buttonState3 = A1

    float multiplier = 0.0020F; /* ADS1015 @ +/- 6.144V gain (12-bit results) */
    //float multiplier = 0.1875F; /* ADS1115 @ +/- 6.144V gain (16-bit results) */

    adc0 = ads1015.readADC_SingleEnded (0);
    Voltage =(( adc0*multiplier - 500 )*3.28) ;

    // for (Voltage = 0.001, Voltage <= 0.050, Voltage = ++ );
    // sum = sum + Voltage
```

```

Serial.println ("Gas Leak "); Serial.println (Voltage ); Serial.println("mL/h" );
Serial.println (adc0);
lcd.print("Gas Leak "); lcd.print (Voltage ); lcd.print("mL/h" );
lcd.setCursor(12, 6);
delay(2000);
}
else if (400 < buttonState4 < 600) {
//ButtonState4 = A2

float pressure ;
adc1 = ads1015.readADC_SingleEnded (1);
pressure = (adc1 - offset ) * 500 / (fullscale - offset ) ;

Serial.println ("GasPressure: "); Serial.println (pressure ); Serial.println("mbar" );
Serial.println (adc1);
lcd.print("GasPressure: "); lcd.print("mbar" );
lcd.setCursor(12, 6);
delay(2000);
}
else if (0 < buttonState5 < 60){
//buttonState5 = B1

float multiplier = 0.0020F; /* ADS1015 @ +/- 6.144V gain (12-bit results) */
//float multiplier = 0.1875F; /* ADS1115 @ +/- 6.144V gain (16-bit results) */

adc2 = ads1015.readADC_SingleEnded (2);
Voltage2 = (( adc2 * multiplier ) - 500 ) * 3.28 ;
Serial.println("Gass Flow RateIN"); Serial.println (Voltage2 ); Serial.println("mL/h" );
Serial.println (adc2);

```

```

lcd.print("GFR IN L/H ");
lcd.setCursor(12, 6);
delay(2000);
}
else if (buttonState6 == HIGH){
//buttonState6 = B2
adc3 = ads1015.readADC_SingleEnded (3);
pressure2 = (adc3 - offset )* 500 / (fullscale - offset) ;
Serial.println("Gass FlowRateOUT"); Serial.println (pressure2 ); Serial.println("mL/h" );
Serial.println (adc3);
lcd.print("GFR OUT L/H ");
lcd.setCursor(12, 6);
delay(2000);
}
else {
Serial.println("Press Button ");
lcd.print("Press Button ");
lcd.setCursor(12, 6);
delay(2000);
}
lcd.setCursor(12, 6);

}

else if (buttonState1 == LOW and buttonState2 == HIGH){
//buttonState2 = C2
if (buttonState3 = HIGH) {
//buttonState3 = A1
float multiplier = 0.0020F; /* ADS1015 @ +/- 6.144V gain (12-bit results) */

```



```

//float multiplier = 0.1875F; /* ADS1115 @ +/- 6.144V gain (16-bit results) */

adc0 = ads1015.readADC_SingleEnded (0);
Voltage =(( adc0*multiplier) - 500 )*3.39 ;

Serial.println ("Gas Leak   "); Serial.println (Voltage   ); Serial.println("mL/h"   );

lcd.print("Gas Leak   "); lcd.print (Voltage   ); lcd.print("mL/h"   );
  lcd.setCursor(12, 6);
  delay(2000);
}

else if (buttonState4 == HIGH) {
  //ButtonState4 = A2

  float pressure ;
  adc1 = ads1015.readADC_SingleEnded (1);
  pressure = (adc1 - offset )* 500 / (fullscale - offset) ;

  Serial.println ("GasPressure:  "); Serial.println (pressure   ); Serial.println("mbar"   );
  lcd.print("GasPressure:  "); lcd.print("mbar"   );
  lcd.setCursor(12, 6);
  delay(2000);
}

else if (buttonState5 == HIGH){
  //buttonState5 = B1

  float multiplier = 0.0020F; /* ADS1015 @ +/- 6.144V gain (12-bit results) */
  //float multiplier = 0.1875F; /* ADS1115 @ +/- 6.144V gain (16-bit results) */

```

```

adc2 = ads1015.readADC_SingleEnded (2);
Voltage2 =(( adc2*multiplier) - 500 )*3.39 ;
Serial.println("Gass Flow RateIN"); Serial.println (Voltage2      ); Serial.println("mL/h"      );
Serial.println (adc2);
lcd.print("GFR IN L/H  ");
lcd.setCursor(12, 6);
    delay(2000);
}
else if (buttonState6 == HIGH){
//buttonState6 = B2
adc3 = ads1015.readADC_SingleEnded (3);
pressure2 = (adc3 - offset )* 500 / (fullscale - offset) ;
Serial.println("Gass FlowRateOUT"); Serial.println (pressure2      ); Serial.println("mL/h"      );
Serial.println (adc3);
lcd.print("GFR OUT L/H  ");
lcd.setCursor(12, 6);
    delay(2000);
}

else {
Serial.println("Press Button  ");
lcd.print("Press Button  ");
lcd.setCursor(12, 6);
    delay(2000);
}
lcd.setCursor(12, 6);
}

```

```

else {
Serial.println("Choose Gas:  ");
lcd.print("Choose Gas:  ");
lcd.setCursor(0, 1);
  delay(3000);
  lcd.clear ();
}

```

6.4 Διαδικασία Μέτρησης & Δοκιμαστικές Μετρήσεις στο BB5 (CERN)

Οι ανιχνευτές κατά τη διαδικασία των δοκιμαστικών μετρήσεων βρίσκονταν σε διάφορα σημεία του κτηρίου 899 ή αλλιώς στις εγκαταστάσεις BB5 του CERN, σε διάφορα στάδια κατασκευής και συναρμολόγησης. Στόχος ήταν η μέτρηση διαρροής σε όλα τα στάδια για την επιβεβαίωση ότι κάθε επόμενο βήμα έχει ολοκληρωθεί με τον σωστό τρόπο και το σύστημα αερίου του ανιχνευτή δεν έχει επηρεαστεί. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν κατά την διαδικασία αναβάθμισης του NSW.

Μεγάλη προσοχή κατά τη διαδικασία των μετρήσεων χρειάζεται στην εκκίνηση της φορητής αυτόνομης συσκευής ελέγχου στεγανότητας ώστε η αύξηση της πίεσης να πραγματοποιηθεί σταδιακά, καθώς γεμίζει ο όγκος του ανιχνευτή με αέριο διότι δεν θα πρέπει να ξεπεράσει το κατώφλι των 3 – 4 mbar, καθώς υπάρχει αυξημένος κίνδυνος να προκληθεί ανεπανόρθωτη βλάβη στον υπό εξέταση θάλαμο του ανιχνευτή.

Στο σύστημα ελέγχου, επίσης, έχει δοθεί η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέγει το αέριο που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει και η διαδικασία από κι έπειτα εκτελείτε όσο το δυνατόν πιο αυτοματοποιημένα γίνεται χωρίς να επιβαρύνει τον χρήστη με πολύπλοκές διεργασίες και επιλογές. Στο BB5 η μέτρηση της διαρροής γίνεται στις συνθήκες του εργαστηρίου, οι οποίες δεν ταυτίζονται με τις συνθήκες του πειράματος. Έτσι, το πάνελ κανονικοποίησης στοχεύει στο να κανονικοποιηθεί η διαρροή της μέτρησης στις συνθήκες του πειράματος, οι οποίες είναι στα 3 mbar και σε θερμοκρασία δωματίου, δηλαδή περίπου στους 24°C.

NORMALISATION PANEL

[Help](#)
[Exit](#)

LIVE LEAK

Q_L	16.29	mV	55.2	mL/h
-----	-------	----	------	------

DATA SELECTION

Set pressure	Set leak	Set temperature
3.0	0.00	24.0
Set	Set	Set

Press set to select from the live leak.

NORMALISATION

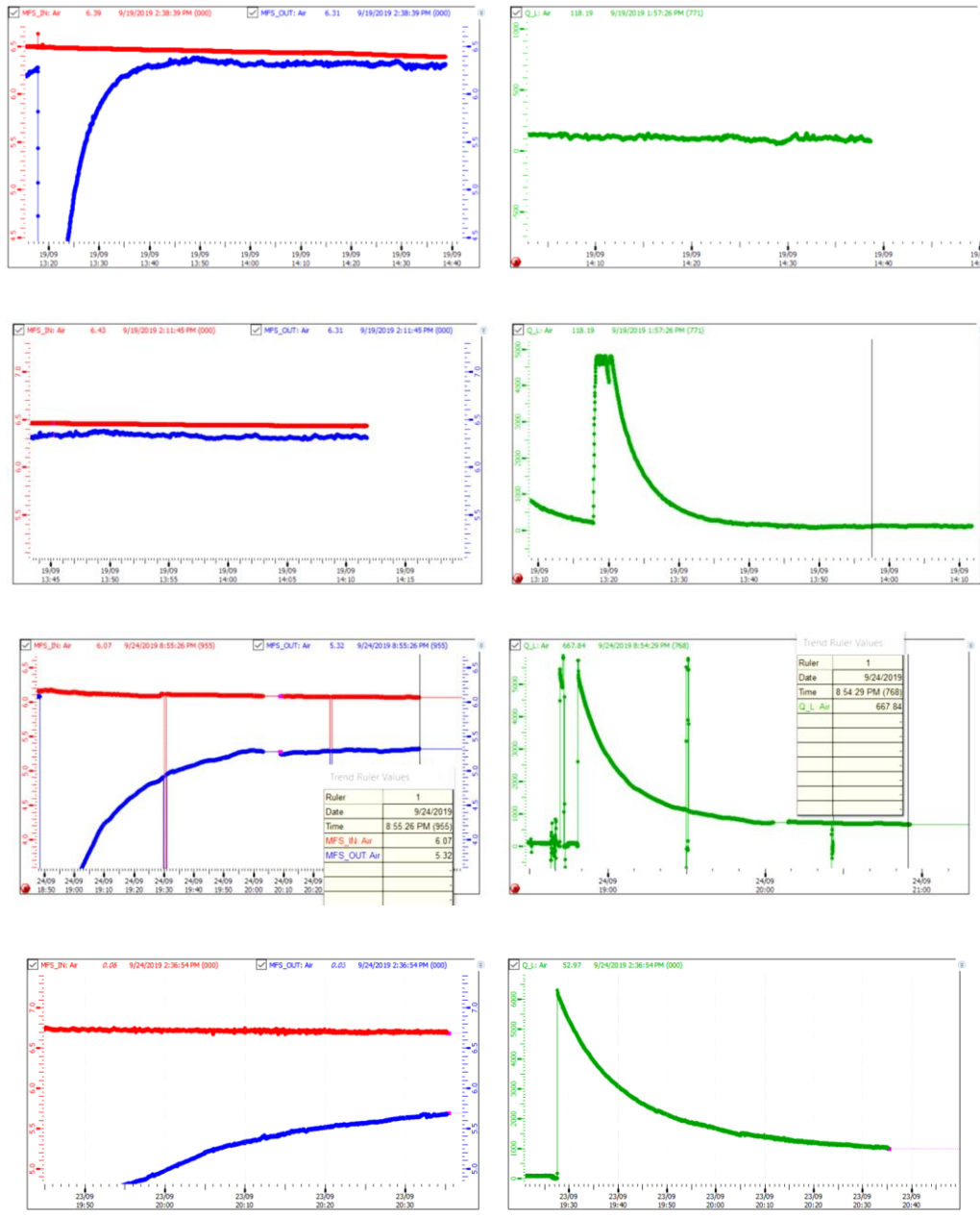
Normalised leak at 24.0°C:	0.0	mL/h
Normalised leak at 3 mbar:	0.0	mL/h
Normalised leak for gas:	0.0	mL/h

E I ΚΩΝΑ [71]: ΠΑΝΕΛ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΙΑΡΡΟΗΣ.

Έστω ότι η μέτρηση έχει ολοκληρωθεί και ο θάλαμος βρίσκεται σε ισορροπία. Τότε στο σύστημα ελέγχου θα εμφανίζεται μία σταθερή τιμή διαρροής σε mV (με μικρές διακυμάνσεις ωστόσο), έστω η Q_L . Τότε, η τιμή της τάσης διαρροής θα πολλαπλασιαστεί με την αντίστοιχη σταθερά του αερίου η οποία είναι $3.28 \frac{mL/h}{mV}$ για τον αέρα, ενώ για το μίγμα αερίου(αργό με 7% διοξείδιο του άνθρακα) είναι $3.39 \frac{mL/h}{mV}$. Στον κώδικα του Arduino έχουν συμπεριληφθεί οι σταθερές του αερίου, έτσι επιλέγοντας το αντίστοιχο μενού από τις επιλογές τότε επιλέγεται αυτόματα και το πρόγραμμα εκτέλεσης βάση της επιλογής αερίου. Όσο αφορά την πίεση, η μέτρηση διεξήχθη σε mbar όπως έχει ήδη αναφερθεί :

$$Q_L^{NSW} = Q_L^p = Q_L^\theta \frac{3.0}{p}$$

Τα όρια διαρροής που ισχύουν για την μέθοδο FRL όπως έχουν ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και βάση αυτών ορισμένες διαδικασίες ελέγχου του ανιχνευτή για τη διαρροή ακολουθεί :



Στα παραπάνω διαγράμματα μεθόδου FRL εμφανίζεται η εξής διαφορά :

$$Q_L = MFS1 - MFS2$$

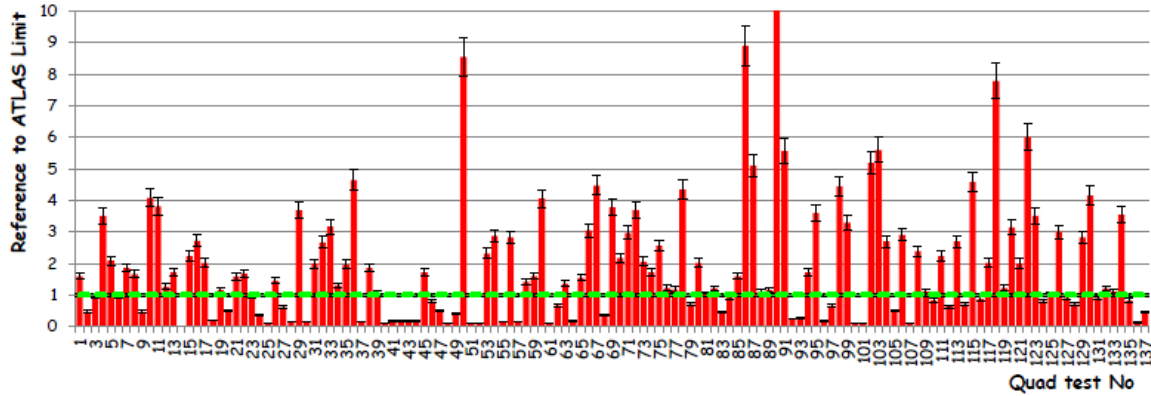
Όπου MFS1 η μέτρηση του αισθητήρα εισόδου και MFS2 η μέτρηση του αισθητήρα εξόδου. Οι υψηλές κορυφές στα γραφήματα οφείλονται στη μεγάλη ροή μάζας στον αισθητήρα εισόδου και στη σχεδόν μηδενική ροή μάζας στον αισθητήρα εξόδου. Με την πάροδο του χρόνου η διαφορά αυτή μειώνεται συνεχώς καθώς το αέριο φτάνει στην έξοδο. Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας στον υπό εξέταση θάλαμο, η διαφορά αυτή σταθεροποιείται και σε αυτό το σημείο μετράτε η διαρροή.

Ο ρυθμός διαρροής για το NSW έχει το κατώφλι :

$$Q_L = V \times 10^{-5} \text{ L/min}$$

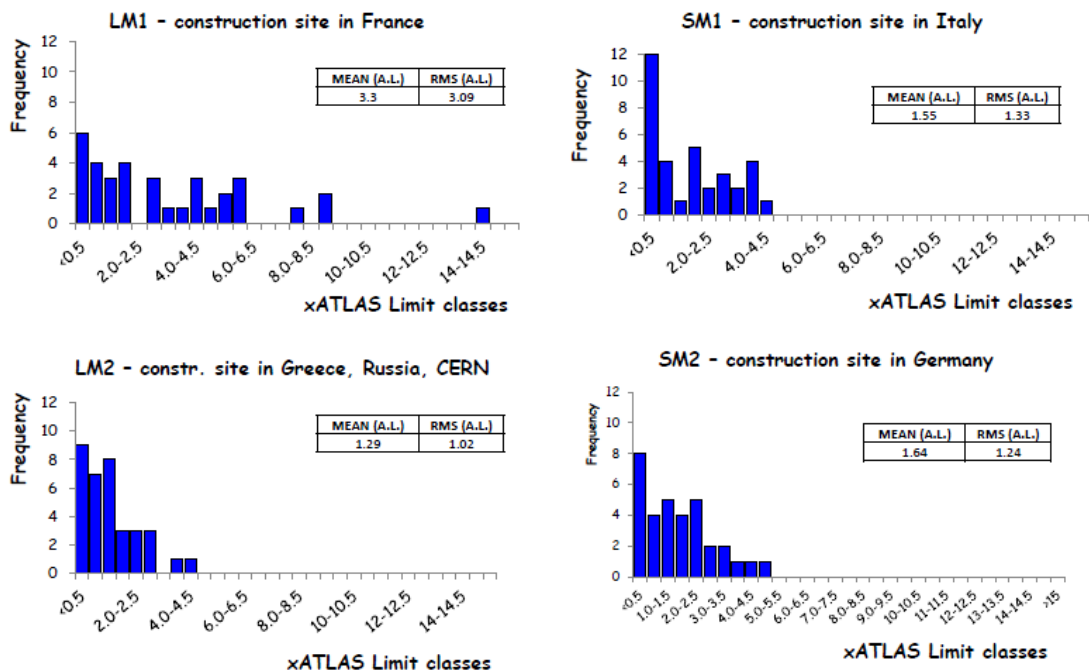
Ακόμη, για την μέθοδο FRL, τα όρια διαρροής κάθε module είναι :

	SM1	SM2	LM1	LM2
$Q_L(\text{mL/h})$	23.3	25.9	38.2	37.1

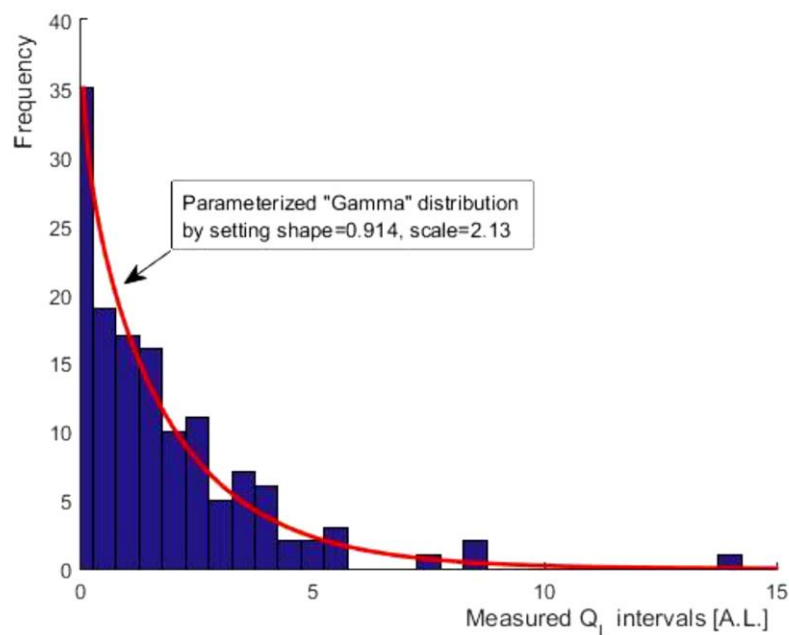


In total, 137 Micromegas Quads have been tested and validated since January 2019

EIKONA [72]: ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ 2019 ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ ΕΧΟΥΝ ΕΛΕΓΧΘΕΙ 137 MICROMEAS QUADS [50].



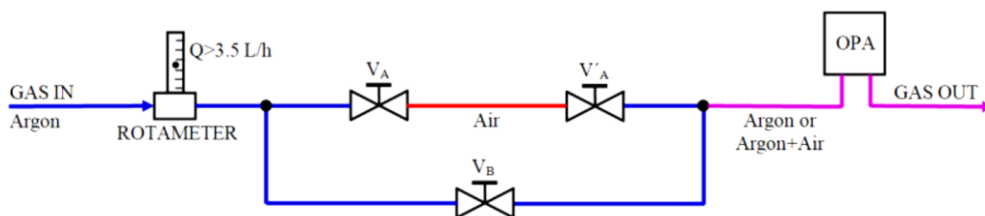
EIKONA [73]: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ SM1, SM2, LM1 ΚΑΙ LM2[50].



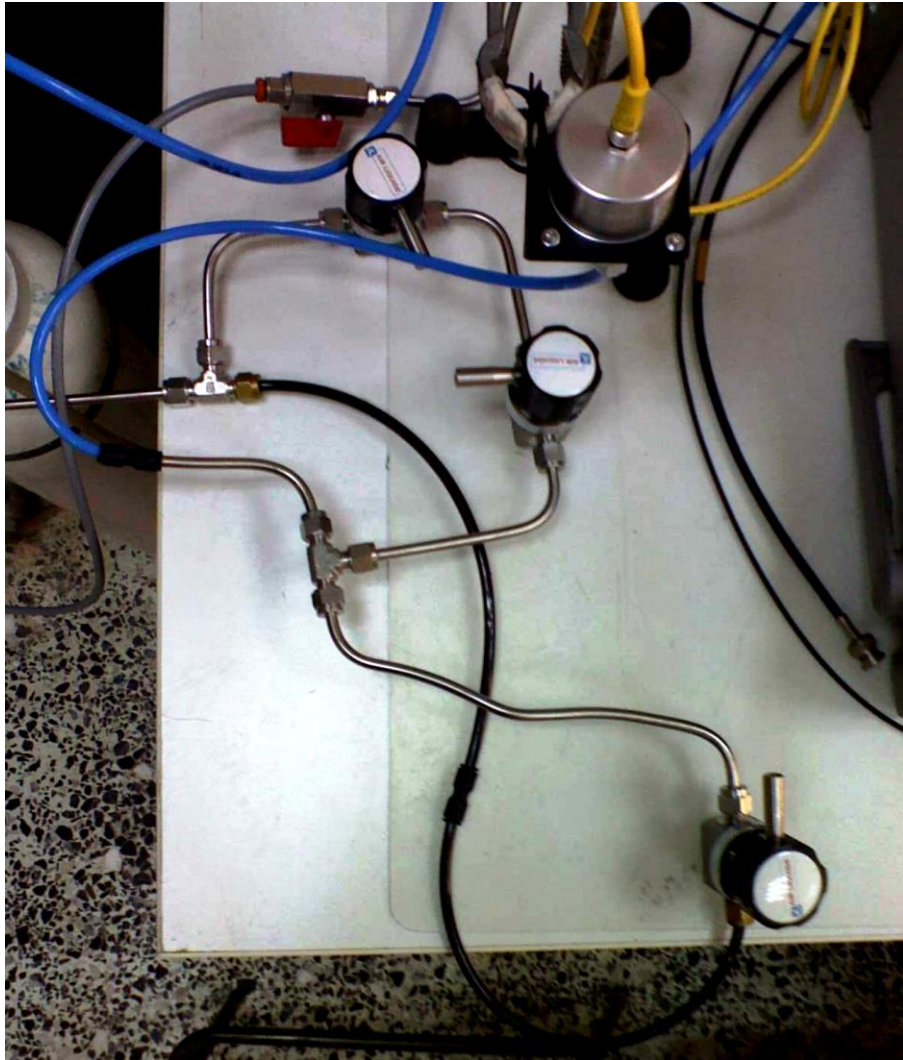
ΕΙΚΟΝΑ [74]: Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΑΜΜΑ ΕΧΕΙ ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΕΙ ΣΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΚΑΙ ΣΤΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ Q_L .

- Διάμεσος= $x \cdot 1.3$ A.L.
- Πιθανότητα λήψης $Q_L < x \cdot 1$ A.L. = 41.8%

Μία ακόμη τεχνική για την μέτρηση διαρροής αερίου ,με συνεχή ροή αερίου, η οποία έχει ξεκινήσει πρόσφατα και βρίσκεται στα στάδια των δοκιμών είναι η τεχνική μετρήσεων με την χρήση φιάλης οξυγόνου και βάνες ή αλλιώς Oxygen Probe Analyzer. Μία σύνοψη, στο αρχικό αυτό στάδιο αυτή της τεχνικής παρουσιάζεται παρακάτω. Φυσικά, σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι για αυτή την τεχνική δεν έχουν ολοκληρωθεί οι δοκιμές, συνεπώς δεν έχουν διεξαχθεί συμπεράσματα και βεβαίως επιδέχεται ακόμη βελτιώσεις και ενδεχομένως αναβαθμίσεις μελλοντικά.


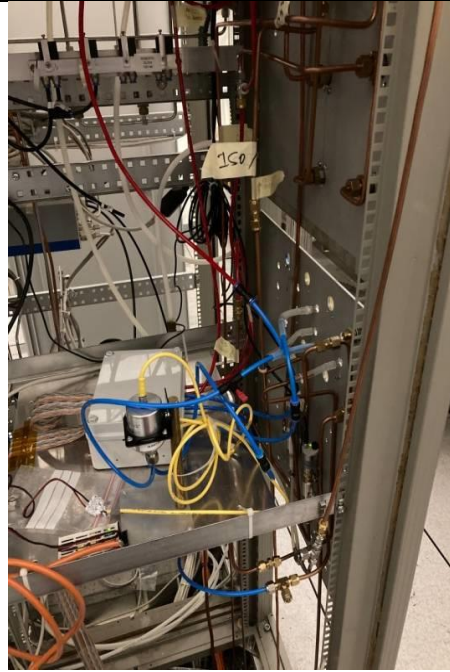
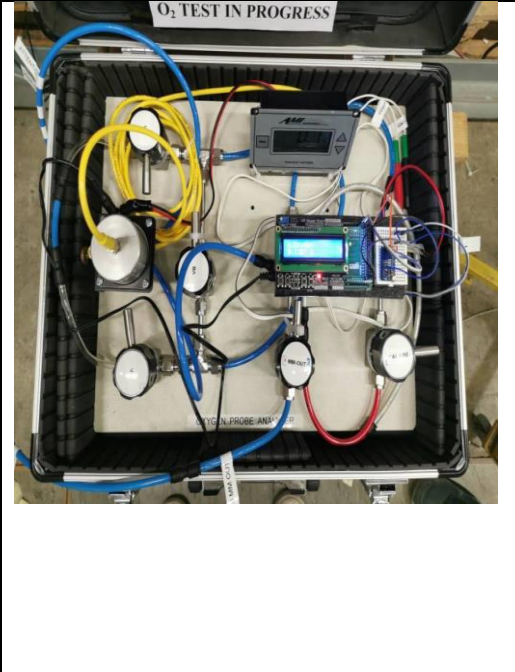


ΕΙΚΟΝΑ [75]: ΑΥΤΗ Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ OXYGEN PROBE ANALYZER ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΕΧΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ .ΜΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΧΑΜΗΛΗ ΠΛΗΡΗ ΚΑΙΜΑΚΑ ΤΗΣ ΤΑΞΕΩΣ ΤΟΥ 1% ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΑΣ.



ΕΙΚΟΝΑ [76]: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ OPA SENSOR.

Ο παλμός εξόδου της τάσης αποτελεί σήμα μεταβατικής κατάστασης ροής (TSF) όταν όγκος αέρα 2mL διέρχεται από τον OPA. Με αυτή την ενσωμάτωση μπορούμε να βαθμονομήσουμε τον αισθητήρα. Ένα σήμα σταθερής κατάστασης ροής μπορεί να καταγραφεί χρησιμοποιώντας μία σταθερή ροή αερίου. Η άμεση βαθμονόμηση των OPA πραγματοποιήθηκε εν τέλει με μία φιάλη που περιείχε μίγμα αερίου $A_r + 7\%O_2$.

		
<p>OPA -1 (B.191 CERN – NSW) Δοκιμαστική μέτρηση S. Wedge:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Oxygen : 0.278% • % Air: 1.337% • Ανανεώσεις : $0.24d^{-1}$ 	<p>OPA -2 (GIF++ - SPS) Δοκιμαστική μέτρηση ενός Quad :</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Oxygen : 0.134% • % Air: 0.640% • Ανανεώσεις : $0.91d^{-1}$ 	<p>OPA -3 (BB5-CRS) Δοκιμαστική μέτρηση D. Wedge:</p> <ul style="list-style-type: none"> • % Oxygen : 0.182% • % Air: 0.869% • Ανανεώσεις : $0.33d^{-1}$

Η τάση εξόδου καταγράφεται με 16-bit Arduino Mega 2560 και μετατράπηκε σε ποσοστό οξυγόνου λαμβάνοντας υπόψη το offset του αισθητήρα για καθαρό Αργό ή μίγμα αργού $A_r + 7\%CO_2$.

Συμπεράσματα :

- Τα τελευταία 6 χρόνια, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετά projects σχετικά με τους NSW και το σύστημα αερίου στα Wedges με ένα από αυτά να είναι το αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου στεγανότητας των ανιχνευτικών διατάξεων, το οποίο είναι και πρωτοπόρο σε αυτό τον τομέα.
- Για τη στεγανότητα αερίου των Quads και των Wedges, εισήχθησαν νέες μέθοδοι, τεχνικές και όργανα και πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες δοκιμές κατά τη λειτουργία τους.
- Η συνολική τελική στατιστική κατανομή της διαρροής των Micromegas Quads δείχνει ότι ακολουθεί ένα σχήμα κατανομής Γάμμα.
- Με μια ακριβείας και χαμηλού κόστους τεχνική παρακολούθησης του ποσοστού οξυγόνου μπορεί να οδηγηθεί κανείς σε συμπεράσματα σχετικά με το επίπεδο πτώσης της απόδοσης των Micromegas Wedges.

6.5 Σύστημα Ελέγχου στο WinCC OA

Για την κατασκευή του κώδικα – server που θα διαθέτει η αυτόνομη μονάδα ελέγχου η λογική που χρησιμοποιήθηκε είναι ίδια με εκείνης για την κατασκευή του αυτόματου συστήματος ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του BB5. Η κατασκευή του κώδικα – server θα περιέχει και τα δεδομένα σε clients.

Η διάταξη server – client έχει το Arduino ως server διάθεσης των δεδομένων και ένα laptop με την εφαρμογή στο WinCC OA ως client. Η ενδοεπικοινωνία πραγματοποιείται μέσω καλωδίων ethernet.

Καταρχήν, ο τελικός κώδικας θα πρέπει να περιέχει αρκετές βιβλιοθήκες καθώς η μετάδοση των δεδομένων θα γίνεται μέσω καλωδίου ethernet με την χρήση του πρωτοκόλλου OPC. Συνεπώς, θα πρέπει να εισαχθούν και οι βιβλιοθήκες OPC και Ethernet. Εν συνεχεία, θα πρέπει να καθοριστούν και οι παράμετροι για την επικοινωνία του OPC πρωτοκόλλου, όπως παραδείγματος χάριν είναι οι MAC Address, IP Address, Subnet Mask και port επικοινωνίας. Για την επικοινωνία χρησιμοποιείται η εντολή *ads.readADCSignalEnded()* να χρησιμοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιστρέφει ένα OPC item. Ακολουθώντας την βιβλιοθήκη OPC για Arduino, αυτό επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο τρόπο :

```
Float callbackAX(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value){return ads.readADC_SignalEnded(X);
```

Όσο αφορά τον μετατροπέα του αναλογικού σε ψηφιακό σήμα, δηλαδή τον ADC, γενικά, 16-bit resolution σημαίνει 65536 samples, ωστόσο, όπως αναφέρθηκε το 1-bit χρησιμοποιείται για το πρόσημο, επομένως, θα έχουμε 32768 samples τάσης με το πρώτο να αναφέρεται στο 0. Έτσι, η μετατροπή έχει ως ακολούθως :

$$\frac{ADCResolution}{Voltage Applied} = \frac{ADCReads}{Analog Voltage Measured}$$

Η τιμή ενός bit, καθορίζεται από το PGA του ενισχυτή. Η κλασική λειτουργία, διαιρεί τα 6.144 V σε 32767 βήματα. Γεγονός που σημαίνει ότι :

$$Voltage resolution = \frac{6.144 V}{32767 bits} = 0.187mV/bit$$

Η τιμή 6.144 V μπορεί να προκαλεί σύγχυση, πείθοντας τον αναγνώστη ότι υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης τέτοιας τάσης. Στην πραγματικότητα όμως, σε περίπτωση που ξεπεραστεί κατά 10% η τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης (5 V σε αυτή την περίπτωση) τότε αυξάνονται οι πιθανότητες να προκληθεί ζημιά στον ενισχυτή, γι' αυτό το λόγο με gain = 1, ο ενισχυτής δίνει τάση 4.096 V, η οποία ονομάζεται και τάση λειτουργίας :

$$Voltage resolution = \frac{4.096 V}{32767 bits} = 0.1250mV/bit$$

Το τμήμα του κώδικα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύνδεση του Arduino με opc server είναι το ακόλουθο :

```

#include <OPC.h>
#include <Ethernet.h>
#include <Bridge.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

Adafruit_ADS1115 ads;

// OPC
OPCEthernet aOPCEthernet;
byte mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x0E, 0xAD, 0x8D };
IPAddress ip(10,0, 0, 11);
IPAddress subnet(255,255,255,0);
const int listen_port = 80;
const int LED=53;
// create a callback function for the OPCItem
float callbackA0(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value){
return ads.readADC_SingleEnded(0);
}
float callbackA1(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value){
return ads.readADC_SingleEnded(1);
}
float callbackA2(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value){
return ads.readADC_SingleEnded(2);
}
float callbackA3(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value){
return ads.readADC_SingleEnded(3);
}

```

Το led 53 θα μένει αναμμένο ώστε να είναι σίγουρος ο χρήστης ότι ο κώδικας τρέχει σωστά. Βέβαια, ως IPAddress πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη από τον χρήστη ώστε να μπορεί ο client να βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο. Οι συναρτήσεις *setup()* και *loop()* :

```

void setup() {

pinMode(LED,OUTPUT);
// The ADC input range (or gain) can be changed via the following
// functions, but be careful never to exceed VDD +0.3V max, or to
// exceed the upper and lower limits if you adjust the input range!
// Setting these values incorrectly may destroy your ADC!
// ADS1015 ADS1115
// -----
// ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); // 2/3x gain +/- 6.144V 1 bit = 3mV 0.1875mV (default)
ads.setGain(GAIN_ONE); // 1x gain +/- 4.096V 1 bit = 2mV 0.125mV
// ads.setGain(GAIN_TWO); // 2x gain +/- 2.048V 1 bit = 1mV 0.0625mV
// ads.setGain(GAIN_FOUR); // 4x gain +/- 1.024V 1 bit = 0.5mV 0.03125mV
// ads.setGain(GAIN_EIGHT); // 8x gain +/- 0.512V 1 bit = 0.25mV 0.015625mV
// ads.setGain(GAIN_SIXTEEN); // 16x gain +/- 0.256V 1 bit = 0.125mV 0.0078125mV
ads.begin();
/*
* OPCNet Object initialization
*/
aOPCEthernet.setup(listen_port,mac,ip);

```

```

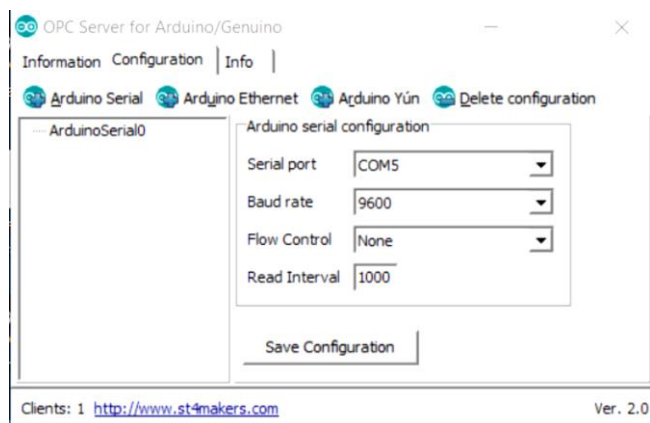
aOPCEthernet.addItem("A0",opc_read, opc_float, callbackA0);
aOPCEthernet.addItem("A1",opc_read, opc_float, callbackA1);
aOPCEthernet.addItem("A2",opc_read, opc_float, callbackA2);
aOPCEthernet.addItem("A3",opc_read, opc_float, callbackA3);
}
void loop()
{
digitalWrite(LED,millis()/1024%2);
aOPCEthernet.processOPCCommands(); }

}

```

Έτσι λοιπόν, το Arduino είναι έτοιμο να στέλνει συνεχώς δεδομένα με τη διεύθυνση 10.0.0.11., αρκεί η σύνδεση ενός client που θα περιλαμβάνει τα δεδομένα για τη χρήση από το WinCC OA.

Για την ορθή λειτουργία του OPC Server στο Arduino, πρέπει να εγκατασταθεί και το λογισμικό OPC Server for Arduino στον υπολογιστή με τις ρυθμίσεις που αντιστοιχούν στον κώδικα του Arduino IDE ως εξής:



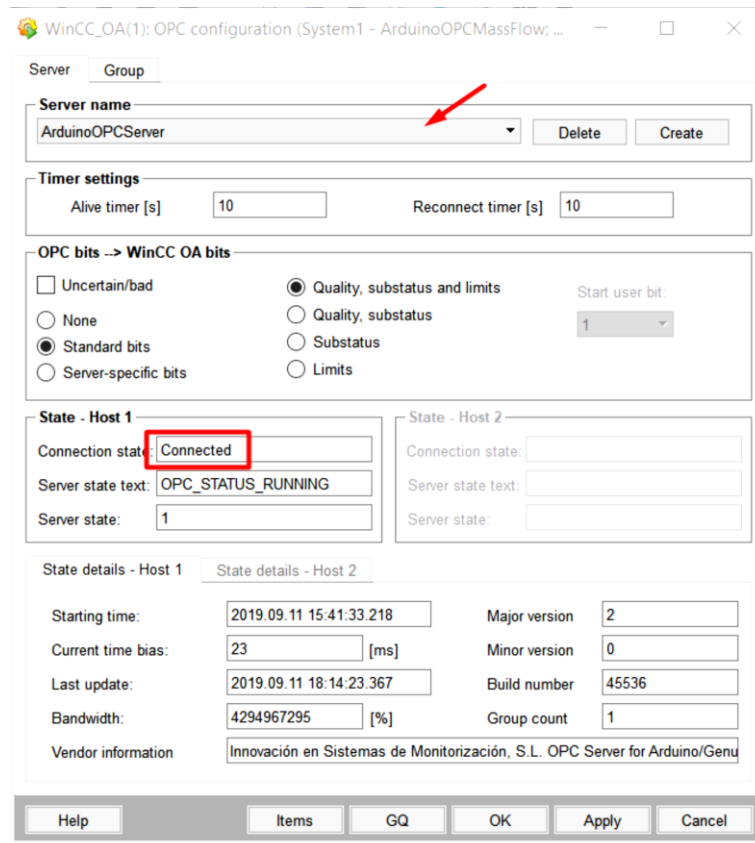
ΕΙΚΟΝΑ [77]: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ARDUINO ΣΤΟΝ OPC SERVER.

Για τον έλεγχο της λειτουργίας του server στο Arduino, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό DataSpy. Με τον ίδιο τρόπο όπως περιεγράφηκε και σε παραπάνω κεφάλαιο, όπως και με τον OPC UA Client, εισάγεται στο project console ένας OPC DA Client. Ενώ, στη συνέχεια, πρέπει να εισαχθούν και οι κατάλληλες γραμμές στον κώδικα στο config file του project, όπου X το νούμερο του manager :

[opc_X]

Server = "ArduinoOPCServer.2"

Πριν συνδεθεί ο client, πρέπει να ρυθμιστούν κατάλληλα και τα αντίστοιχα datapoints. Τέλος, στο System Management φτιάχνονται οι ρυθμίσεις για το OPC DA Client :



ΕΙΚΟΝΑ [78]: ΡΥΘΜΙΣΗ DATAPOINTS ΓΙΑ ΤΟΝ OPC DA CLIENT.

Το σύστημα ελέγχου σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί μέχρι αυτό το σημείο, θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Ένα textfield για τα δεδομένα εισόδου (Mass Flow In)
- Ένα textfield για τα δεδομένα εξόδου (Mass Flow Out)
- Ένα textfield για τα δεδομένα διαρροής (Leak)

Επιπροσθέτως, θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις τιμές για τις μετρούμενες τάσεις από τους αισθητήρες αλλά και σε μονάδες διαρροής αλλά και την επιλογή ελέγχου από τον χρήστη για το αέριο, καθώς για κάθε αέριο όπως αναφέρθηκε παραπάνω αντιστοιχεί μία διαφορετική σταθερά αναλογίας τάσης – διαρροής η οποία, μάλιστα, είναι σημειωμένη και πάνω στη φορητή διάταξη.



ΕΙΚΟΝΑ [79]: ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ ΦΟΡΗΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.

6.6 Δυνατότητες και προοπτική αναβάθμισης του αυτόνομου συστήματος ελέγχου στεγανότητας

Οι δυνατότητες που δίνει στους χρήστες το αυτόνομο σύστημα ελέγχου στεγανότητας καθώς και τα πλεονεκτήματα είναι αρκετά και πολύ βοηθητικά ως προς την διεκπεραίωση των μετρήσεων διαρροής.

Σε αυτή την ιδέα, για την κατασκευή του αυτόνομου συστήματος ελέγχου λήφθηκε αρχικά υπόψιν η ασφάλεια αλλά και η ευκολία στην διεξαγωγή των μετρήσεων. Κύριο μέλημα μας, ήταν ο χρήστης να μπορεί να πραγματοποιεί τις μετρήσεις του με ασφάλεια και ως προς το χωροταξικό κομμάτι αλλά και ως προς την αξιοπιστία των μετρήσεων, ενώ δεύτερη κατά σειρά είναι η ευκολία, να μπορεί δηλαδή ο χρήστης χωρίς να χρειάζεται να κάνει πολλές κινήσεις ή υπολογισμούς να χρησιμοποιεί τη φορητή διάταξη. Είναι πολύ σημαντικό, στις εργαστηριακές συνθήκες να διευκολύνεται η κάθε διαδικασία και να μπορεί ο χρήστης με άνεση να προχωράει το project του, χωρίς να σπαταλάει χρόνο για πολύπλοκες συνδέσεις.

Εφόσον, διεκπεραιώθηκαν τα δύο μελήματα μάς κατά προτεραιότητα, στη συνέχεια, σειρά είχε να δημιουργηθεί ένα σύστημα που να μπορεί ο κάθε χρήστης να έχει το δικό του πάνελ εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, να δημιουργηθεί βάση δεδομένων ώστε ο κάθε χρήστης να μπορεί να δει ποιες μετρήσεις πήρε ο κάθε προηγούμενος χρήστης γι' αυτό και δημιουργήθηκε η σύνδεση με τον server.

Επιπροσθέτως, χάριν στον εργονομικό της σχεδιασμό, η αυτόνομη συσκευή ελέγχου στεγανότητας μπορεί να συνδεθεί σε κάθε είδους ανιχνευτή αερίου καθώς και να μεταφερθεί εύκολά και με ασφάλεια χωρίς να υπάρχει φόβος για τυχόν πρόσκληση ζημιάς αφού το βαλιτσάκι που είναι διατεταγμένη είναι από ανθεκτικό υλικό.

Στις προοπτικές αναβάθμισης της αυτόνομης συσκευής ελέγχου στεγανότητας, μπορεί να συμπεριληφθεί η δημιουργία ιδιωτικού προφίλ για κάθε χρήστη συνδεδεμένος με δικό του προσωπικό κωδικό καθώς και ένα δέντρο χρηστών με διακλαδώσεις που θα μπορούν οι χρήστες να συνδεθούν ταυτόχρονα απομακρυσμένα ώστε να βλέπουν τις αποθηκευμένες μετρήσεις στον server ή και ακόμη να μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω μηνυμάτων. Ακόμη, σε αυτό το πλαίσιο θα μπορούσε να δημιουργηθεί μία επιπλέον πλατφόρμα μέσω WinCC OA στην οποία οι χρήστες να διαχωρίζονται βάση ρόλων χρησιμοποιώντας κωδικούς ασφαλείας, ώστε για τους πιο έμπειρους χρήστες να είναι επιτρεπτή η διεξαγωγή μετρήσεων ενώ για τους πιο άπειρους να έχουν μόνο τη δυνατότητα ανάγνωσης των δεδομένων ώστε να είναι πιο ασφαλής και αξιόπιστη η διαδικασία των μετρήσεων.

Επίσης, μελλοντικά στην φορητή αυτή η διάταξη θα μπορούσε να ενταχθεί η σύνδεση μέσω Wifi. Χρησιμοποιώντας και συνδέοντας το Arduino Mega 2560 με Wifi Shield οι χρήστες δεν θα χρειάζεται να χρησιμοποιούν καλώδιο Ethernet για τις συνδέσεις τους.

Τέλος, στον κώδικα λειτουργίας του Arduino Mega 2560 θα μπορούσε μελλοντικά να προστεθεί η δυνατότητα μέτρησης χρόνου διεξαγωγής των μετρήσεων διαρροής αλλά και πληθώρα διαφορετικών μενού για την διεξαγωγή μετρήσεων πολλών διαφορετικών αερίων, όπως παραδείγματος χάριν αζώτου, μιγμάτων αζώτου, οξυγόνου κ.α.

Βιβλιογραφία

1. CERN. [CERN Wikipedia](#)
2. [Πειράματα CERN](#)
3. HEP 2021 – 38th Conference on Recent Developments in High Energy Physics and Cosmology 16-19 June 2021, Thessaloniki, Greece. ONLINE. [HEP 2021 – 38th Conference on Recent Developments in High Energy Physics and Cosmology](#)
4. Universite de Geneve. Improving particle-flow stability to pile-up using learning machine. [Improving particle-flow stability to pile-up using learning machine.](#)
5. Experiments Cern. <https://atlas.cern/discover/detector/inner-detector>
6. The Inner Detector. CERN. [The Inner Detector](#)
7. Muon Spectrometer. CERN. [Muon Spectrometer.](#)
8. Small-strip Thin Gap Chambers for the ATLAS experiment. [Small-strip Thin Gap Chambers for the ATLAS experiment.](#)
9. Μελέτη των ανιχνευτών Micromegas με χρήση του VMM ASIC readout για την αναβάθμιση του NSW. Χρήστος Παρασκευόπουλος, Φεβρουάριος 2017, Αθήνα. [Μελέτη των ανιχνευτών Micromegas με χρήση του VMM ASIC readout για την αναβάθμιση του NSW](#)
10. Abusleme et al. Performance of a FullSize Small Strip Thin Gap Chamber Prototype for the ATLAS New Small Wheel Muon Upgrade. *Nucl. Instrum. Meth.*, A817:85–92, 2016.
11. Georgios Iakovidis and Theodoros Alexopoulos. [Research and Development in Micromegas Detector for the ATLAS Upgrade](#) Oct 2014.
12. The New Small Wheel Upgrade Project of the ATLAS Experiment April 2016 *Nuclear and Particle Physics Proceedings* 273-275:1160-1165 DOI: [10.1016/j.nuclphysbps.2015.09.182](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2015.09.182)
<https://www.researchgate.net/publication/303715228> *The New Small Wheel Upgrade Project of the ATLAS Experiment*
13. First ATLAS NSW nears completion. 07/06/2021 by Katarina Anthony. [First ATLAS NSW nears completion](#)
ATLAS NSW Transporting. Transportation of components for the ATLAS detector- traffic disruption to be expected on Route de Meyrin on 2 and 6 July from 10 to 11 a.m. 24/06/2021.
<https://home.cern/news/announcement/cern/transportation-components-atlas-detector-traffic-disruptions-be-expected> - *ATLAS NSW Transporting*
14. K. Golshan. *Physical Design Essentials: An ASIC Design Implementation Perspective*. Springer US, 2007. Georgios Iakovidis, Venetios Polychronakos, and Gianluigi De Geronimo. [VMM - An ASIC for Micropattern Detectors](#). Number ATLMUONPROC2015015. Geneva, Nov 2015.
15. MMFE-8 Specification. Ken Johns, Charlie Armijo, Bill Hart, Sarah Jones, Dan Tompkins University of Arizona [MMFE-8 Specification. Ken Johns, Charlie Armijo, Bill Hart, Sarah Jones, Dan Tompkins University of Arizona](#)
16. Panagiotis Gkoutoumis. [Level1 Data Driver Card of the ATLAS New Small Wheel Upgrade Compatible with the Phase II 1 MHz Readout Scheme](#). Number ATLMUONPROC2016010. Geneva, Nov 2016.
17. A Gabrielli, S Bonacini, K Kloukinas, A Marchioro, P Moreira, A Ranieri, and D De Robertis. [The GBTSCA, a radiation tolerant ASIC for detector control applications in SLHC experiments](#). 2009.
18. Kevin Thomas Bauer. [FELIX: the new detector readout system for the ATLAS experiment](#). Number ATLDAQPROC2017042. Geneva, Nov 2017.

19. 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.
20. Georgios Iakovidis, Venetios Polychronakos, and Gianluigi De Geronimo. [*VMM An ASIC for Micropattern Detectors*](#). Number ATLMUONPROC2015015. Geneva, Nov 2015.
21. De Geronimo G. Polychronakos V., IakovidisG. [*ATLAS NSW Electronics Specifications: Component VMM3a*](#). Geneva, 2017.
22. Ευστάθιος Καρέντζος.«Μελέτης της παροχής αερίου στους ανιχνευτές MicroMegas» Αθήνα 2013.«[Μελέτης της παροχής αερίου στους ανιχνευτές MicroMegas](#)»
23. Mounir Hamid. MICROMEGAS Detector: Conception and Development based on Neon gas at High Energy Physics using 55 Fe X-ray Source. September 2014. [https://www.researchgate.net/publication/324068810 MICROMEGAS Detector Conception and Development based on Neon gas at High Energy Physics using 55 Fe X-ray Source](https://www.researchgate.net/publication/324068810_MICROMEGAS_Detector_Conception_and_Development_based_on_Neon_gas_at_High_Energy_Physics_using_55_Fe_X-ray_Source)
24. Fabian Kuger. Signal Formation Processes in Micromegas Detectors and Quality Control for large size Detector Construction for the ATLAS New Small Wheel. August 2017.[https://www.researchgate.net/publication/318981598 Signal Formation Processes in Micromegas Detectors and Quality Control for large size Detector Construction for the ATLAS New Small Wheel](https://www.researchgate.net/publication/318981598_Signal_Formation_Processes_in_Micromegas_Detectors_and_Quality_Control_for_large_size_Detector_Construction_for_the_ATLAS_New_Small_Wheel)
25. T. Alexopoulos, J. Burnens, R. de Oliveira, G. Glonti, O. Pizzirusso, V. Polychronakos, G. Sekhniaidze, G. Tsipolitis, and J. Wotschack.<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168900211005869> 2011.
26. M Byszewski and J Wotschack.Resistive – strips micromegas detectors with two – dimensional readout.[Resistive – strips micromegas detectors with two – dimensional readout](#).
27. Georgios Iakovidis and Theodoros Alexopoulos. Research and Development in Micromegas Detector for the ATLAS Upgrade.[Research and Development in Micromegas Detector for the ATLAS Upgrade](#). Oct.2014.
28. Πολυνεϊκης Τζανής. Ανάπτυξη συστήματος αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου των ανιχνευτών Micromegas για την αναβάθμιση του Small Wheel του πειράματος ATLAS στο CERN. Οκτώβριος 2017. [Ανάπτυξη συστήματος αυτόματου ελέγχου διαρροής αερίου των ανιχνευτών Micromegas για την αναβάθμιση του Small Wheel του πειράματος ATLAS στο CERN](#).
29. Evangelos Gazis, Theodoros Alexopoulos, Stavros Maltezos, Sotirios Vlachos, Efstathios Karentzos, Aimilianos Koulouris, Paris Moschovakos, and Georgios Koutelieris. Number ATLMUONPROC2016005. Geneva, Sep 2016. Design of the ATLAS NSW Gas Distribution System for the Micromegas Detector Modules. [Design of the ATLAS NSW Gas Distribution System for the Micromegas Detector Modules](#).
30. Theodoros Alexopoulos, Stavros Maltezos, and Evangelos Gazis. Number ATLCOMMUON2015054. Geneva, Oct 2015. Investigation of the Gas Leak Test Methods for the NSW Micromegas Multiplet's Mass Production. [Investigation of the Gas Leak Test Methods for the NSW Micromegas Multiplet's Mass Production](#).
31. [Gas Leak Prototype for the NSW Micromegas Multiplets: Implementation and Calibration Technique](#). Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, and Stavros Maltezos. Number ATLCOMMUON2015094. Geneva, Nov 2015. Gas Leak Prototype for the NSW Micromegas Multiplets: Implementation and Calibration Technique.
32. Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Stavros Maltezos, Efstathios Karentzos, and Paris Moschovakos. Number ATLCOMMUON2016008. Geneva, Feb 2016. Advanced Techniques for the Signal Processing and Data Analysis development for the Gas Tightness Station of NSW Micromegas Multiplets. [Advanced Techniques for the Signal Processing and Data Analysis development for the Gas Tightness Station of NSW Micromegas Multiplets](#).

33. Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Stavros Maltezos, Sandro Palestini, and Aimilianos Koulouris. Number ATLCOMMUON2017002. Geneva, Feb 2017. Individual Gas Mixture for the NSW Micromegas Wedges. [Individual Gas Mixture for the NSW Micromegas Wedges.](#)
34. Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Stavros Maltezos, and Athanasios Antoniou. Number ATLCOMMUON2017003. Geneva, Feb 2017. Surface Topography of the Materials used in NSW Micromegas Quadruplets. [Surface Topography of the Materials used in NSW Micromegas Quadruplets.](#)
35. Theodoros Alexopoulos, Evangelos Gazis, Mauro Iodice, Stavros Maltezos, Givi Sekhniaidze, Athanasios Antoniou, and Georgios Koutelieris. ATLCOMMUON2017004. Geneva, Feb 2017. Determination of the Feasible Gas Sealing Level of the NSW Micromegas Quadruplets. [Determination of the Feasible Gas Sealing Level of the NSW Micromegas Quadruplets.](#)
36. Σταμάτης Τζάνος. Σύστημα λήψης δεδομένων και ελέγχου ανιχνευτών για την Phase I αναβάθμιση του New Small Wheel – ATLAS. Ιανουάριος 2020. [Σύστημα λήψης δεδομένων και ελέγχου ανιχνευτών για την Phase I αναβάθμιση του New Small Wheel – ATLAS.](#)
37. Theodoros Alexopoulos, Stavros Maltezos, and Evangelos Gazis. Investigation of the Gas Leak Test Methods for the NSW Micromegas Multiplet's Mass Production. [Investigation of the Gas Leak Test Methods for the NSW Micromegas Multiplet's Mass Production.](#) Number ATLCOMMUON2015054. Geneva, Oct 2015.
38. Omron Electronics. Mass flow sensor d6f datasheet. [Omron Electronics. Mass flow sensor d6f datasheet.](#)
39. Omron Electronics. Differential pressure sensor sdp800 datasheet [Omron Electronics. Differential pressure sensor sdp800 datasheet](#) 2017.
40. Omron Electronics. Differential barometric pressure sensor hcla12x5du datasheet. [Omron Electronics. Differential barometric pressure sensor hcla12x5du datasheet.](#) 2017.
41. Amphenol Advanced Sensors. Temperature sensor ge2102 datasheet. [Amphenol Advanced Sensors. Temperature sensor ge2102 datasheet](#) 2017.
42. High resolution dual slope A/D Converter. [High resolution dual slope A/D Converter.](#)
43. Ultra-small, low power, 16-bit Analog-to Digital Converter with Internal Interface. Texas Instruments. [Ultra-small, low power, 16-bit Analog-to Digital Converter with Internal Interface](#)
44. H J Burckhart, J Cook, V Filiminov, T Franz, O Gutzwiller, V Khomutnikov, and S Schlenker. The common Infrastructure Control of the ATLAS experiment. [The common Infrastructure Control of the ATLAS experiment.](#) 2008.
45. 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. [The Detector Control System of the ATLAS experiment.](#) volume 3. 2008.
46. Oliver Holme, Manuel GonzalezBerges, Piotr Golonka, and Sascha Schmeling. The JCOP Framework. [The JCOP Framework.](#) Number CERNOPEN2005027. Geneva, Sep 2005.
47. CERN. Root data analysis framework. <https://root.cern.ch> 2017.
48. Official Site Arduino https://content.arduino.cc/assets/PinoutMega2560rev3_latest.pdf?_gl=1*_ema9rr*_ga*NjQyNDk0MTg2LjE2NDY5NDAYNTE.*_ga_NEXN8H46L5*MTY0NzA2NjUyMi41LjEuMTY0NzA2NjU4NC4w .
49. ADC to Arduino Connection. [ADC to Arduino Connection.](#)
50. T. Alexopoulos, E.N. Gazis, S. Maltezos, G. Koutelieris, S. Koutsoupi, P. Tzani, S. Vlachos. Methods used for Gas Tightness Test and percent Oxygen Monitoring of the NSW Micromegas Detectors of LHC-ATLAS Experiment. [Methods used for Gas Tightness Test and percent Oxygen Monitoring of the NSW Micromegas Detectors of LHC-ATLAS Experiment.](#) 2021.

51. Η Φυσική του Καθιερωμένου Προτύπου των Στοιχειωδών Σωματιδίων και των Αλληλεπιδράσεων. Αδυναμίες Καθιερωμένου Προτύπου.
Σπύρος Κονιτόπουλος, [Αδυναμίες Καθιερωμένου Προτύπου](#)

