

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ



**Σχεδιασμός Αυτόνομων Ψηφιακών Μονάδων Βασισμένων σε
Μικροελεγκτές για τον Έλεγχο του Συστήματος Αερίων των
Ανιχνευτών NSW Micromegas του Πειράματος LHC-ATLAS**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Μακέδου Γεωργίου - Μάριου

Επιβλέπων : Μαλτέζος Σταύρος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, 2019

Ευχαριστίες

Κατά την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Σταύρο Μαλτέζο για την εμπιστοσύνη και καθοδήγηση του σε μένα, ως φοιτητής Κατεύθυνσης Μαθηματικών Επιστημών. Τον ευχαριστώ για την ευκαιρία που μου έδωσε να ενταχθώ στην ομάδα Πειραματικής Φυσικής Υψηλών Ενεργειών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με μοναδική αφορμή την αγάπη μου για τα ηλεκτρονικά και συστήματα ελέγχου, με την υποστήριξη του κ Αλεξόπουλου. Χωρίς το αστείρευτο πάθος του πάνω στα ηλεκτρονικά και στο σύστημα αερίου του ανιχνευτή, την ψυχραιμία του στη μεταλαμπάδευση των γνώσεων σε αχαρτογράφητα μέχρι τότε μονοπάτια από μέρους μου αλλά και την επιμονή και υπομονή που είχε μαζί μου στο εργαστήριο στο ΕΜΠ, αυτή η διπλωματική θα παρέμενε άπιαστο και ανεκπλήρωτο όνειρο.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον Δρα Πατρινό Κώστα για την πολύτιμη βοήθεια και συμβουλές του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με τον αισθητήρα οξυγόνου.

Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω τα μέλη της ομάδας Γιώργο και Πολυνείκη για την πολύτιμη βοήθεια και γνώσεις που μοιράστηκαν μαζί μου, πάνω στις ηλεκτρονικές διατάξεις και αισθητήρες. Ιδιαίτερα, τον Γιώργο για την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο εργαστήριο, και τον Πολυνείκη για την παροχή οποιασδήποτε πληροφορίας και βιβλιογραφίας περί CERN, ATLAS, Arduino και WinCC.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους φίλους συμφοιτητές μου Δημήτρη και Δημήτρη, για την υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχαν έμπρακτα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο ΕΜΠ. Χωρίς αυτούς η ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου θα καθυστερούσε δραματικά.

Επίσης θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω τον φίλο μου, συμφοιτητή και συναρριχητή Αλέξανδρο για τις άπειρες ώρες που με ανεχόταν στο σπίτι του κατά τη διάρκεια της εξεταστικής περιόδου, που ουσιαστικά με τη βοήθεια του αλλά και τις παρεμβάσεις του με έφερε σε αυτή την ευχάριστη καμπή της ζωής μου.

Ευχαριστώ θερμά την Ασπασία για τη στήριξη και εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλα αυτά τα χρόνια, δίνοντας μου συμβουλές για τον τρόπο που πρέπει να διαχειρίζομαι κρίσιμες καταστάσεις στη ζωή μου.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ από όλα στους γονείς μου Μαριάννα και Ανδρέα που με μεγάλωσαν με αρχές και αξίες, καθοδηγώντας τα πρώτα μου βήματα προς την ακαδημαϊκή ζωή και στηρίζοντας με σε όλες της εύκολες και δύσκολες στιγμές.

Σας ευχαριστώ όλους!

Γιώργος

Περίληψη

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των χαρακτηριστικών, καθώς και του τρόπου λειτουργίας του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) και της συμβολής αυτού στο πείραμα ATLAS που πραγματοποιείται στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών της Γενεύης.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί μία περιληπτική αναφορά στο πλάνο αναβάθμισης του επιταχυντή αδρονίων (LHC) καθώς και στο πρώτο στάδιο αναβάθμισης στον ανιχνευτή ATLAS. Βασικές αναβαθμίσεις όπως η αύξηση της φωτεινότητας στον LHC αλλά και η χρήση ανιχνευτών Micromegas στα δύο φασματόμετρα μιονίων κρίνονται αναγκαίες για την αύξηση της αποδοτικότητας του πειράματος ATLAS.

Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στο σχεδιασμό και κατασκευή ενός αυτόνομου ψηφιακού μετρητή ροής αερίου. Η συγκεκριμένη συσκευή θα χρησιμοποιηθεί ενεργά στο εργαστήριο BB5 του CERN, όπου γίνεται η κατασκευή και ο ποιοτικός έλεγχος των ανιχνευτών Micromegas.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο η εισροή αέρα στο εσωτερικό του ανιχνευτή Micromegas επιδρά αρνητικά στα αποτελέσματα των μετρήσεων και ανίχνευσης σωματιδίων. Επιπλέον, περιγράφεται η μέθοδος με την οποία η επιστημονική ομάδα καταγράφει τη συνολική περιεκτικότητα οξυγόνου στο μείγμα αερίου που παρέχεται στον ανιχνευτή, με τη χρήση μιας αυτόνομης μονάδας παρόμοιας με αυτήν που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Abstract

The first chapter of this theses describes the fundamental characteristics and operation of the Large Hadron Collider, host to one of the greatest experiments held at CERN, the Atlas Experiment

The second chapter reviews the upgrade plan of the LHC into HL-LHC during the long stop period 3 as long as some vital changes to the ATLAS Detector. In order to enhance luminosity and improve the detection rates in the experiment, the implementation of the Micromegas Quads with combination of the sTGC modules took place, with continuous upgrades till today.

The third chapter is aimed on the design and construction of a portable and autonomous device, capable of accurately measuring the flow and differential pressure within the Micromegas Gas Chamber. This device is about to be actively used at BB5 laboratory, dedicated to action Quality Assurance and Control of the Micromegas Quads.

The last chapter of this theses refers to the way oxygen infiltrates and contaminates the Micromegas Gas Chamber, negatively effecting stability and capability of the detector accurately track muons from collisions. Furthermore, the scientists team came up with a way of successfully measuring the concentration percentage of oxygen within the gas mixture by building a portable device, similar to the one mentioned on the previous chapter

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	5
Abstract	6
1. LHC ATLAS στο CERN	8
1.1 The Large Hadron Collider (LHC).....	8
1.2 Το πείραμα ATLAS	9
Σύστημα Μαγνητών.....	11
Εσωτερικός ανιχνευτής τροχιών	12
Τα καλορίμετρα Tile και LAr	13
Φασματόμετρα Μιονίων	13
Σύστημα σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων.....	14
2. HL-LHC και η phase-1 αναβάθμιση στο ATLAS	16
2.1 High Luminosity LHC Αναβάθμιση.....	16
2.2 New Small Wheel Upgrade	17
2.3 Ο ανιχνευτής Micromegas	19
3. Αυτόνομος ψηφιακός μετρητής ροής αερίου.....	22
3.1 Η ιδέα.....	22
3.2 Μικροελεγκτής Arduino Mega 2560	23
3.3 Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και Arduino Shields	25
3.4 Αισθητήρας διαφορικής πίεσης και ροόμετρο Definer 220	27
3.5 Η εμπέδηση αερίου	29
3.6 Το Πρωτόκολλο I ² C.....	31
3.7 Υλοποίηση	33
4. Επισκόπηση περιεκτικότητας οξυγόνου στον ανιχνευτή Micromegas	41
4.1 Θεωρητική μελέτη περιεκτικότητας οξυγόνου.....	41
4.2 Πειραματική διάταξη	45
Συμπεράσματα	48
Βιβλιογραφία	49

1. LHC ATLAS στο CERN

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή των χαρακτηριστικών, καθώς και του τρόπου λειτουργίας του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) και της συμβολής αυτού στο πείραμα ATLAS που πραγματοποιείται στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών της Γενεύης.

1.1 The Large Hadron Collider (LHC)

Πρόκειται για το τελευταίο στοιχείο σε σειρά, ενός γιγαντιαίου συμπλέγματος επιταχυντών σωματιδίων σε βάθος αρκετών εκατοντάδων μέτρων από την επιφάνεια της Γης. Η συνολική του έκταση αγγίζει τα 27 km, όπου κατά μήκος της περιφέρειας είναι τοποθετημένοι υπεραγωγίμοι μαγνήτες που επιταχύνουν και προσανατολίζουν δύο πολύ λεπτές δέσμες πρωτονίων ή άλλων ιόντων. Οι δέσμες αυτές επιταχύνονται κοντά στην ταχύτητα του φωτός και εν τέλει συγκρούονται μεταξύ τους σε τέσσερα σημεία του επιταχυντή, παράγοντας σωματίδια που προσελκύουν το ενδιαφέρον του σύγχρονου ερευνητή. Οι συνθήκες που επικρατούν μέσα στους μεγάλους σωλήνες είναι πολύ κοντά σε αυτές του απόλυτου κενού, για τη μείωση των συγκρούσεων με τα μόρια του αέρα. Προκειμένου οι μαγνήτες να άγουν ηλεκτρικό ρεύμα, χωρίς να συναντά μεγάλη αντίσταση ώστε να μην υπάρχει μεγάλη απώλεια ενέργειας, οι μαγνήτες ψύχονται σε θερμοκρασία πολύ κοντά στο απόλυτο 0 (δηλαδή $-271.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ή 1.9 K). Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σύστημα ψύξης ηλίου, το οποίο παρέχεται στην όλη διάταξη των σωληνώσεων του LHC [1].



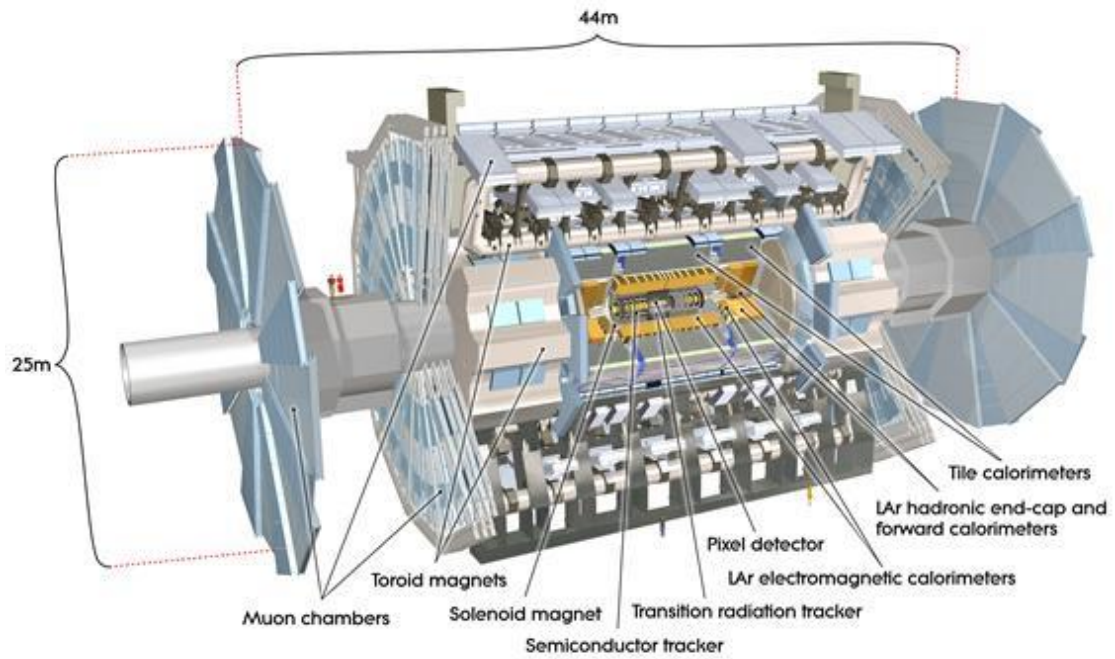
Εικόνα 1.1: Μέρος του LHC

Η ιδέα για την κατασκευή του LHC συλλήφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 όταν ακόμα ο πρόγονος του LHC, ο ανιχνευτής LEP δεν είχε τεθεί σε λειτουργία. Η πρώτη δέσμη σωματιδίων επιταχύνθηκε στο LHC το Σεπτέμβριο του 2008, σηματοδοτώντας την αρχή λειτουργίας του νέου ανιχνευτή. Τα πρώτα πειράματα που έλαβαν έγκριση από το Συμβούλιο του CERN ήταν το ALICE, ATLAS, CMS και LHCb. Καθένα από τα πειράματα είχε και έχει συγκεκριμένους ερευνητικούς στόχους. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται το πείραμα ATLAS.

1.2 Το πείραμα ATLAS

Το πείραμα ATLAS είναι ένα από τα 4 μεγάλα πειράματα που διεξάγονται στον μεγάλο επιταχυντή (LHC) του CERN. Σε κάθε run του πειράματος λαμβάνουμε εκατοντάδες δεδομένα που μας βοηθούν να κατανοήσουμε καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα σωματίδια, επιταχυνόμενα σχεδόν στην ταχύτητα του φωτός. Στόχος του πειράματος είναι η ανακάλυψη νέων σωματιδίων αλλά και επιβεβαίωση θεωριών της Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων, όσον αφορά τη δομή της ύλης αλλά και την ύπαρξη αντιύλης.

Βασικός πυλώνας του πειράματος είναι ο ανιχνευτής ATLAS, ο μεγαλύτερος σε όγκο ανιχνευτής σωματιδίων που έχει κατασκευαστεί ποτέ. Το σχήμα του επιταχυντή είναι κυλινδρικό, με μήκος 44 m, συνολικής διαμέτρου 25 m και βάρους 7000 t. Η σύγκρουση των δύο ακτινών πρωτονίων συμβαίνει στο κέντρο του ανιχνευτή, εκτοξεύοντας νέα σωματίδια προς κάθε κατεύθυνση επομένως στο περίβλημα του ανιχνευτή είναι τοποθετημένοι οι θάλαμοι των μιονίων, αλλά και τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία για την ομαλή λειτουργία του ανιχνευτή. Να σημειωθεί ότι η ταχύτητα των ακτινών που καταλήγουν στον ανιχνευτή ATLAS ταξιδεύουν σε ενέργειες που φτάνουν τα 7 TeV, σχεδόν αγγίζοντας την ταχύτητα του φωτός. Κάθε δευτερόλεπτο συμβαίνουν πάνω από ένα δισεκατομμύριο συγκρούσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων, από τις οποίες μόνο μία ανά εκατομμύριο μπορούν να εξετάζονται από τις επιστημονικές ομάδες [2].



Εικόνα 1-2 Ο ανιχνευτής ATLAS αποτελείται από πολλά διαφορετικά στοιχεία ηλεκτρονικών και πάνελ.

Τα κυριότερα υπό-εξαρτήματα του ανιχνευτή είναι :

- Το σύστημα μαγνητών
- Ο εσωτερικός ανιχνευτής τροχιών
- Τα καλορίμετρα Tile και LAr
- Το Φασματόμετρο μιονίων
- Το σύστημα σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων

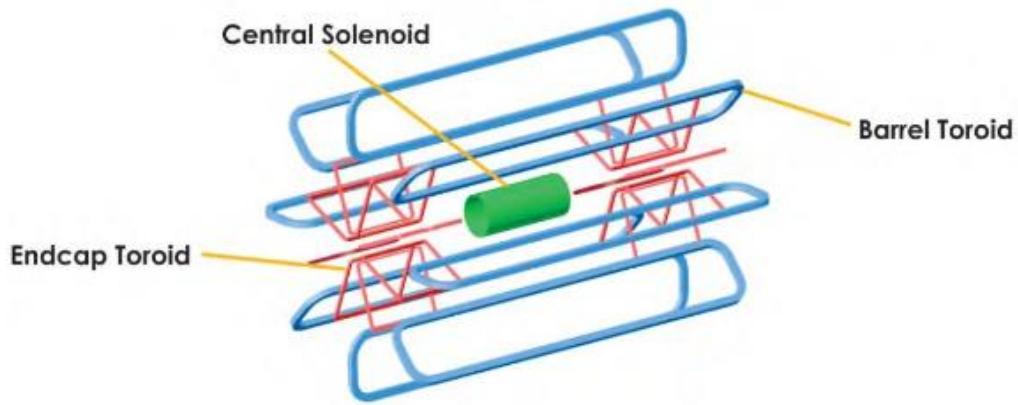
Σύστημα Μαγνητών

Το σύστημα μαγνητών είναι υπεύθυνο για την κάμψη των δεσμών πρωτονίων, άλλα και την σωστή κατεύθυνση και προσανατολισμό των σωματιδίων προς τα διαφορετικά στρώματα ανιχνευτών. Τα κύρια σημεία του συστήματος στα οποία θα αναφερθούμε είναι:

- Το κεντρικό Σωληνοειδές
- Το τοροειδές σύστημα κατά μήκος του κεντρικού barrel
- Το τοροειδές σύστημα στην αρχή και στο τέλος του barrel, ως καπάκια

Το κεντρικό σωληνοειδές τοποθετείται στο κέντρο του θαλάμου σύγκρουσης (barrel) των δεσμών, μπροστά από το καλορίμετρο παρέχοντας μαγνητικό πεδίο έντασης 2 T. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του καλοριμέτρου, η διάμετρος του καλωδίου στην περιφέρεια του κεντρικού σωληνοειδούς πρέπει να είναι όσο μικρότερη γίνεται, διατηρώντας τη λειτουργικότητα του. Το σωληνοειδές έχει μήκος 5.8 m, η εξωτερική διάμετρος του 2.56 m ενώ η εσωτερική του διάμετρος είναι 2.46 m. Προκειμένου οι μαγνήτες του σωληνοειδούς να φτάσουν στην υπεραγωγίμη λειτουργία τους, ψύχονται με το σύστημα ηλίου στα 4.8 K, το οποίο μοιράζεται στο σωληνοειδές και στο LAr Καλορίμετρο αντίστοιχα, αφού και τα δύο στοιχεία βρίσκονται σε κοινό θάλαμο κενού. Το μήκος του καλωδίου του σωληνοειδούς αγγίζει τα 9 km και κατά τη λειτουργία του ανιχνευτή διαρρέεται από ρεύμα έντασης 7.7 kA.

Το Τοροειδές σύστημα μαγνητών παράγει μαγνητικό πεδίο με μέση ένταση 0.5 T που απαιτείται για τη μέτρηση της ορμής από το φασματόμετρο μιονίων. Το σύστημα κατά μήκος του βαρελιού αποτελείται από 8 μεγάλα πηνία μήκους 25.3 m και συνολικού βάρους περίπου 830 t. Τα πηνία είναι κατασκευασμένα από καλώδιο του οποίου το μήκος αγγίζει τα 100 km. Το σύστημα λειτουργεί σε θερμοκρασία περίπου 4.7 K και το ρεύμα που διαρρέει το καλώδιο είναι έντασης περίπου 20.5 kA. Το σύστημα end cap αποτελείται από δύο μικρότερα Toroids με 8 πηνία το καθένα αξονικού μήκους 5 m και εξωτερικής διαμέτρου 10.7 m. Η ένταση ρεύματος που τα διαρρέει αλλά και η θερμοκρασία λειτουργίας είναι η ίδια με τα Barrel Toroid [3].

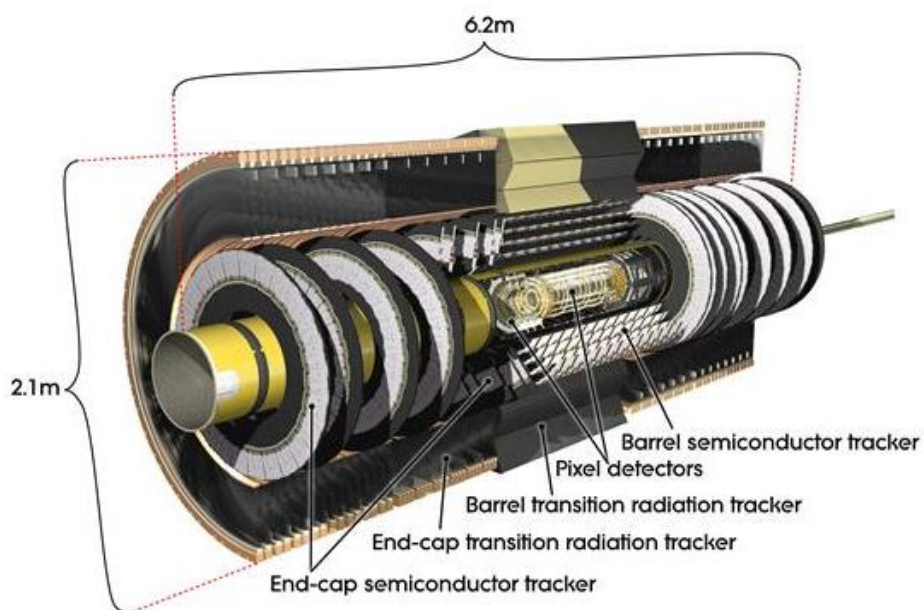


Εικόνα 3 Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος μαγνητών του επιταχυντή ATLAS

Εσωτερικός ανιχνευτής τροχιών

Πρόκειται για ένα ευαίσθητο τμήμα του ανιχνευτή ATLAS. Ο ανιχνευτής αυτός είναι υπεύθυνος για την μέτρηση και καταγραφή της κατεύθυνσης, ορμής και φορτίου των παραγόμενων σωματιδίων από τη σύγκρουση των πρωτονίων που επιταχύνθηκαν. Αποτελείται από τρία υποσυστήματα – ηλεκτρονικά κυκλώματα [4]:

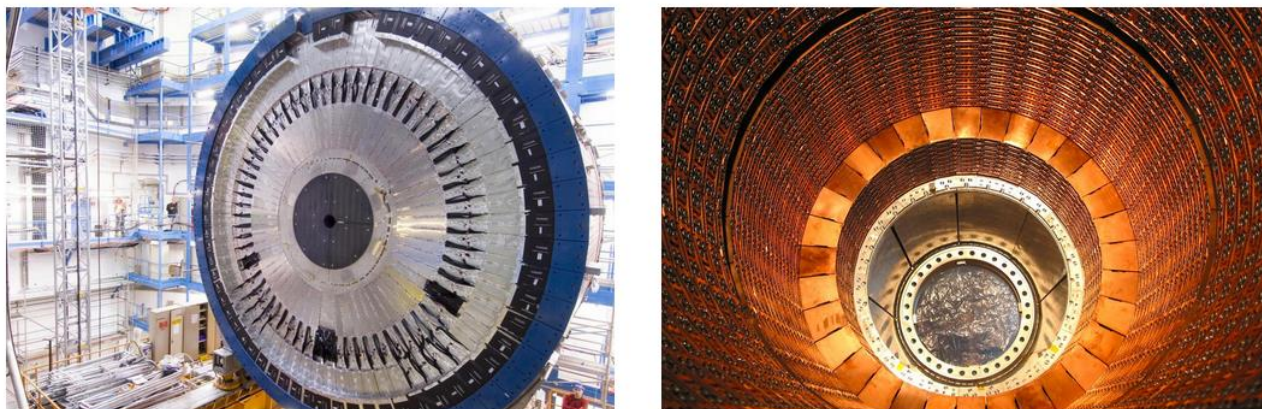
- Pixel detector
- Semiconductor Tracker
- Transition Radiation Tracker



Εικόνα 4 Ο εσωτερικός ανιχνευτής τροχιών με τα επιμέρους υποσυστήματα

Τα καλορίμετρα Tile και LAr

Τα καλορίμετρα μετρούν ενέργεια. Συγκεκριμένα στον ανιχνευτή ATLAS χρησιμοποιούνται δύο είδη καλοριμέτρων, το Tile και το LAr(Liquid Argon) [5].

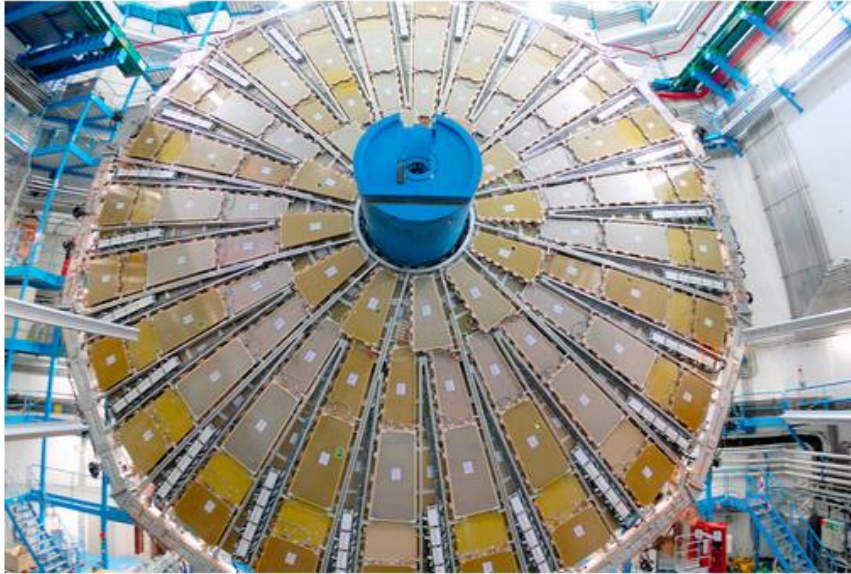


Εικόνα 5 Τα καλορίμετρα Tile (αριστερά) και LAr (δεξιά)

Όταν ένα αδρόνιο επιταχύνεται και διαπερνά τον ανιχνευτή χάνει ένα μεγάλο ποσοστό της αρχικής του κινητικής ενέργειας. Αυτήν ακριβώς την απώλεια ενέργειας καταγράφουν τα παραπάνω καλορίμετρα. Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να απορροφούν πλήρως τα σωματίδια που δημιουργούνται μετά την κρούση αδρονίων, καταγράφοντας την ενέργεια τους. Αποτελούνται από υψηλής απορροφητικότητας υλικά με μεγάλη πυκνότητα όπως μόλυβδος. Ανάμεσα στα στοιχεία μόλυβδου παραθέτονται στρώματα αργού για ενίσχυση του σήματος.

Φασματόμετρα Μιονίων

Υπάρχουν όμως και παραγόμενα σωματίδια, όπως τα μόνια τα οποία διαπερνούν τον εσωτερικό ανιχνευτή τροχιών και τα καλορίμετρα χωρίς να λαμβάνουμε πληροφορίες για αυτά. Έτσι γύρω από τον εσωτερικό ανιχνευτή τοποθετούμε ένα πολύπλοκο και ογκώδες σύστημα πλακών, τα φασματόμετρα μιονίων, τα οποία μπορούν και καταγράφουν πλήρως την κίνηση και κινητική ενέργεια τέτοιων σωματιδίων [6].



Εικόνα 6 Μέρος του Φασματόμετρου (TGC)

Τα μόνια κατατάσσονται και αυτά στην κατηγορία των λεπτονίων. Πρόκειται για ένα στοιχειώδες σωματίδιο με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο, παρόμοιο με το ηλεκτρόνιο. Τα μόνια είναι αρκετά βαρύτερα από τα ηλεκτρόνια, έχοντας την μισή ιδιοστροφομή (σπιν) από αυτά.

Σύστημα σκανδαλισμού και συλλογής δεδομένων

Μέσα στον ανιχνευτή ATLAS συμβαίνουν περίπου 1.7 δισεκατομμύρια κρούσεις μεταξύ πρωτονίων σε διάστημα ενός δευτερολέπτου, από τις οποίες εξάγουμε δεδομένα συνολικού μεγέθους της τάξης των 60 TB. Είναι προφανές ότι δεν μπορεί να εξετασθεί ένας τέτοιος όγκος δεδομένων τόσο γρήγορα, δημιουργώντας την ανάγκη υλοποίησης ενός έξυπνου συστήματος επιλογής δεδομένων, το σύστημα σκανδαλισμού ή αλλιώς Trigger System [7]. Το σύστημα αυτό συλλέγει και καταγράφει δεδομένα από 1000 κρούσεις – events, και διοχετεύει τα δεδομένα στο σύστημα συλλογής δεδομένων scada για περαιτέρω ανάλυση από το επιστημονικό προσωπικό.

Η επιλογή των κρούσεων που θα εξετασθούν γίνεται στο πρώτο επίπεδο υλικού του Trigger System και συλλέγει δεδομένα από τα καλορίμετρα και τα φασματόμετρα που βρίσκονται στο εσωτερικό του ανιχνευτή. Η ανάλυση των δεδομένων συνεχίζεται από

ένα πλήθος επεξεργαστών, περνώντας πλέον σε επίπεδο λογισμικού, το HLT (High Level Trigger). Σε αυτή τη φάση τα δεδομένα – events που προήλθαν από το πρώτο επίπεδο συλλογής δεδομένων (L1 hardware trigger) εξετάζονται μεμονωμένα ή ως σύνολο και αποθηκεύονται σε κατάλληλα μέσα. Στη συνέχεια διανέμονται σε ολόκληρο το επιστημονικό προσωπικό μέσα και έξω από το CERN μέσω σερβερ.



Εικόνα 7 Φωτογραφία ενός Scada συστήματος συλλογής δεδομένων

2. HL-LHC και η phase-1 αναβάθμιση στο ATLAS

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία περιληπτική αναφορά στο πλάνο αναβάθμισης του επιταχυντή αδρονίων (LHC) καθώς και στο πρώτο στάδιο αναβάθμισης στον ανιχνευτή ATLAS. Βασικές αναβαθμίσεις όπως η αύξηση της φωτεινότητας στον LHC αλλά και η χρήση ανιχνευτών Micromegas στα δύο φασματόμετρα μιονίων κρίνονται αναγκαίες για την αύξηση της αποδοτικότητας του πειράματος ATLAS.

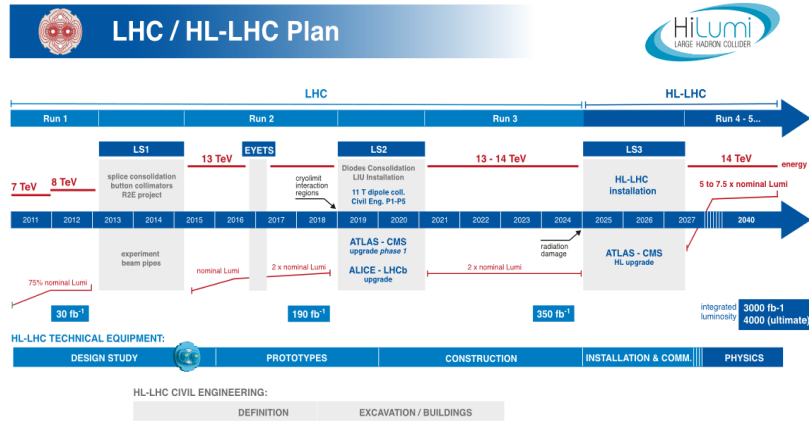
2.1 High Luminosity LHC Αναβάθμιση

Αυτή την περίοδο, ο επιταχυντής δημιουργεί συγκρούσεις μεταξύ πρωτονίων σε ενεργειακά επίπεδα του κέντρου μάζας της τάξης 13-14 TeV κατά την κρούση. Στόχος του HL-LHC προγράμματος είναι η αύξηση της συνολικής φωτεινότητας των δέσμων p-p αυξάνοντας πάνω από 14 TeV την ενέργεια κ.μ, γεγονός που θα οδηγήσει στην αύξηση των συνολικών συγκρούσεων μεταξύ πρωτονίων από 5 έως και 7 φορές, σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα.

Το μέγεθος L της φωτεινότητας ενός ανιχνευτή εκφράζει το πλήθος των πιθανών συγκρούσεων που συμβαίνουν σε μία μονάδα επιφάνειας, ανά μονάδα χρόνου. Αν ολοκληρώσουμε την L σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα t λαμβάνουμε την ολοκληρωμένη φωτεινότητα, μέγεθος που το μετράμε σε αντίστροφα femptobarns (fb^{-1}). Πρακτικά, 1 fb^{-1} δεδομένα ισοδυναμεί με τόσα δεδομένα όσα εκλαμβάνουμε από 10^{14} συγκρούσεις σωματιδίων μέσα στον ανιχνευτή. Μέχρι το τέλος του 2018, από την αρχή των πειραμάτων, υπολογίστηκε ότι ο LHC παρήγαγε δεδομένα περίπου ίσα με 150 fb^{-1} . Μετά το τέλος των αναβαθμίσεων του HL-LHC προγράμματος (μετά το LS 3 κατά τη διάρκεια του run 4) υπολογίζεται ότι ο επιταχυντής θα μπορεί μέσα σε διάστημα ενός μόνο έτους να αποφέρει $250\text{-}300 \text{ fb}^{-1}$ όγκο δεδομένων προς εξέταση. Στόχος μέχρι το τέλος του 2027 είναι η συλλογή 4.000 fb^{-1} .

Τα σωματίδια που μελετάει ο πειραματικός φυσικός μέσω των πειραμάτων στο CERN, όπως για παράδειγμα η καταγραφή του μποζονίου του Higgs το 2012 είναι εξαιρετικά δύσκολο να καταγραφούν. Επομένως μια τέτοιας τάξης αύξηση των δεδομένων θα οδηγήσει σε ακόμα περισσότερες επιτυχείς καταγραφές των γνωστών φαινομένων αλλά και καταγραφή νέων μηχανισμών. Ενδεικτικά κατά τη διάρκεια του run 4, στον HL-LHC θα είναι δυνατόν να προκύψουν τουλάχιστον 15 εκατομμύρια

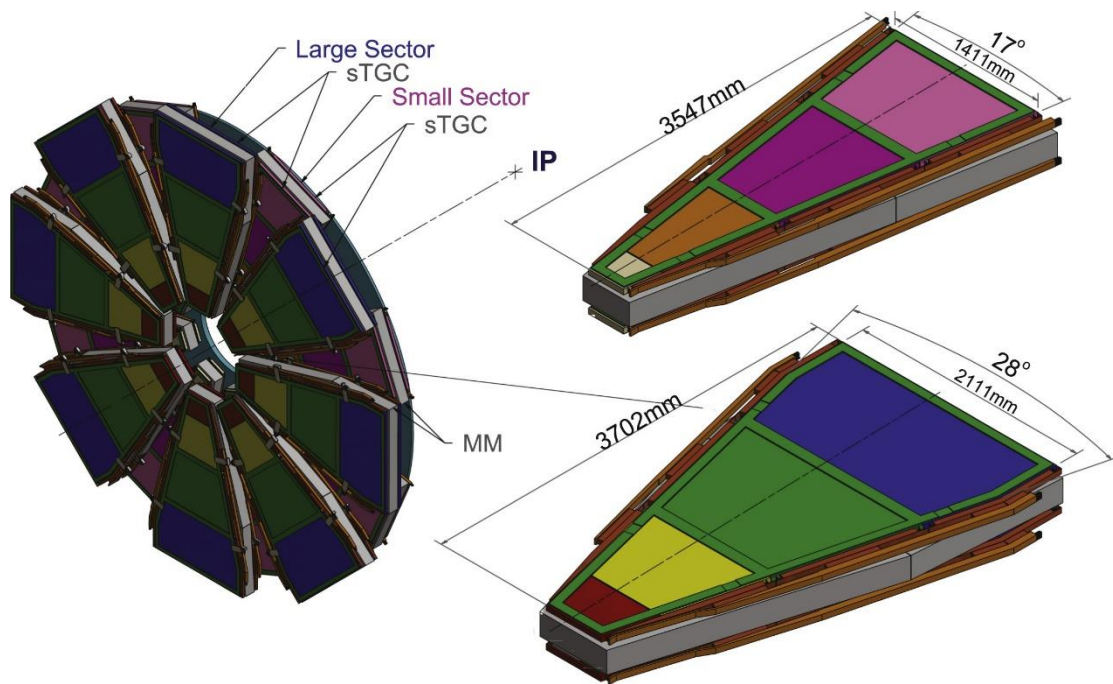
μποζόνια του Higgs μέσα σε ένα χρόνο, σε σχέση με τα 3 εκατομμύρια σωματίδια του LHC σήμερα [8].



Εικόνα 8 Από τον LHC στον HLumi Colider

2.2 New Small Wheel Upgrade

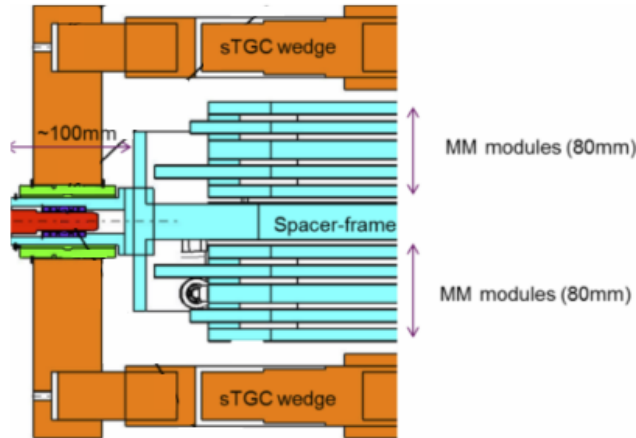
Πρόκειται για μία από της πιο σημαντικές αναβαθμίσεις στον εσωτερικό ανιχνευτή τροχιών, και συγκεκριμένα στα δύο φασματόμετρα μιονίων στην αρχή και στο τέλος του barrel. Προκειμένου να ανταπεξέλθει ο ανιχνευτής στην αύξησή του όγκου δεδομένων που θα προσφέρει στο μέλλον ο HL-LHC, οδηγούμαστε στην αντικατάσταση των ανιχνευτικών διατάξεων Cathode Strip Chambers (CSC) και Monitored Drift Tubes (MTB) από small-strip Thin Gap Chambers (sTGC) και τους ανιχνευτές Micromegas.



Εικόνα 9 Το New Small Wheel χωρισμένο σε δύο τομείς, καθένας εφοδιασμένος με συνδυασμό και των δύο νέων ανιχνευτικών διατάξεων sTGC και Micromegas (MM)

Ο μεγαλύτερος από τους τομείς του NSW (Large Sector) αποτελείται από 8 wedges. Κάθε wedge είναι εφοδιασμένη με 2 τετραπλέτες sTGC και ανάμεσα από αυτές παραθέτονται άλλες δύο τετραπλέτες Micromegas (Γκρι χρώμα). Το σύνολο των ανιχνευτικών διατάξεων στηρίζεται πάνω σε ένα στιβαρό μεταλλικό μηχανισμό (Spacer Frame). Τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των μερών του Large Sector, καλύπτονται από τον παρόμοιο αλλά μικρότερων διαστάσεων Small Sector, καλύπτοντας ολόκληρη την περιοχή των endcaps του barrel.

Ο συνδυασμός των δύο ανιχνευτικών διατάξεων MM και sTGC είναι αναγκαίος προκειμένου να πληρούνται οι προδιαγραφές του πειράματος ATLAS. Τα sTGC είναι υπεύθυνα κυρίως για τους σκανδαλισμούς, δηλαδή τις ανιχνεύσεις των μιονίων. Σημειώνοντας, οι ανιχνευτές Micromegas παρουσιάζουν εξαιρετική ακρίβεια στην ανακατασκευή της τροχιάς μιονίων σε πραγματικό χρόνο, των σωματιδίων που έχουν καταγράψει τα sTGC modules [9].

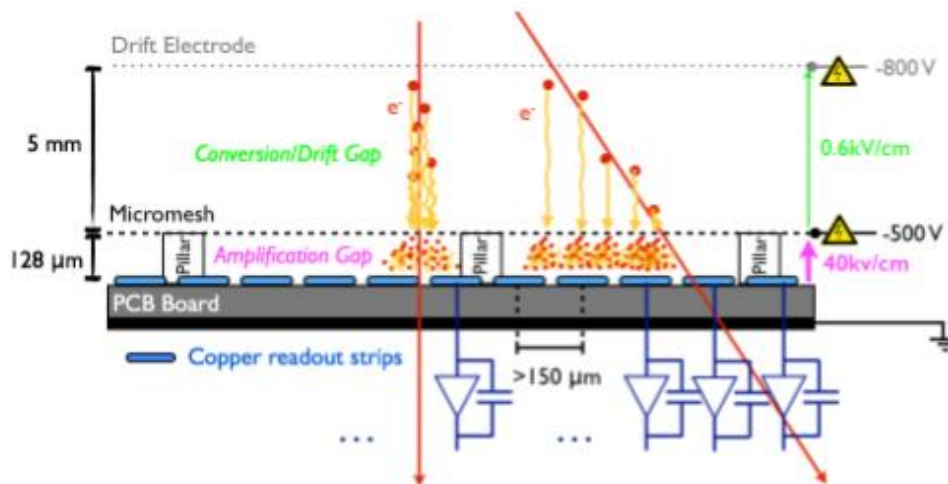


Εικόνα 10 Εγκάρσια διατομή ενός wedge του NSW.

Βλέποντας τη διατομή μιας wedge του NSW, παρατηρούμε ότι τα sTGC modules βρίσκονται στο εξωτερικό των wedges. Αυτή η επιλογή διάταξης δεν είναι τυχαία, καθώς η επαυξημένη απόσταση μεταξύ sTGC βελτιώνει την ανακατασκευή της τροχιάς από τους MM, για αυτό και οι τελευταίοι παραθέτονται ανάμεσα, στηριζόμενοι στον spacer.

2.3 Ο ανιχνευτής Micromegas

Ο ανιχνευτής αερίου Micromegas χρησιμοποιείται στο NSW του πειράματος ATLAS προκειμένου να καταγράφει τις τροχιές των σωματιδίων που εισέρχονται στον ανιχνευτή. Περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόδια, το ηλεκτρόδιο καθόδου-ολίσθησης στο πάνω μέρος του MM module και το ηλεκτρόδιο ενδείξεων στο κάτω μέρος. Ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένο ένα λεπτό μεταλλικό πλέγμα με οπές, χωρίζοντας έτσι σε δύο περιοχές τη δομή του ανιχνευτή. Πρόκειται για την περιοχή ολίσθησης και την περιοχή ενίσχυσης, από τις οποίες περνάει διαδοχικά το σωματίδιο, ιονίζοντας τα άτομα του μείγματος αερίου Ar-CO₂ που διαχέουμε με σταθερή ροή στον κλειστό και αεροστεγή θάλαμο του MM module. Στο αρχικό, bulk πλάνο των ανιχνευτών Micromegas, στο ηλεκτρόδιο ολίσθησης και στο πλέγμα ενίσχυσης (micromesh) εφαρμόζαμε αρνητικό δυναμικό υψηλής τάσης, ενώ το ηλεκτρόδιο ανίχνευσης στο κατώτερο στρώμα ήταν γειωμένο, δημιουργώντας έτσι δύο ηλεκτρικά πεδία στις δύο διακριτές περιοχές του ανιχνευτή.

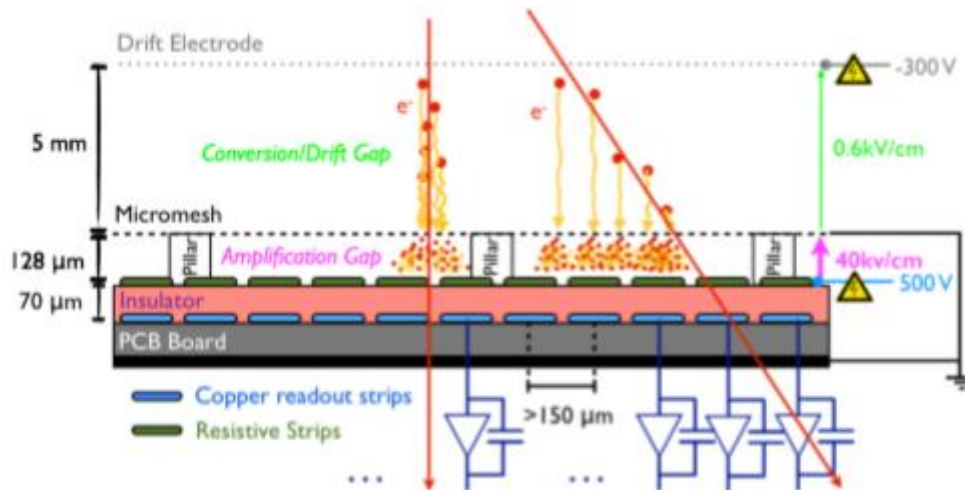


Εικόνα 11 Η αρχική δομή ενός MM module

Μελετώντας το παραπάνω σχηματικό, παρατηρούμε τη διαφορά της έντασης των δύο διακριτών ηλεκτρικών πεδίων μέσα στον ανιχνευτή (0.6 kV/cm στην περιοχή ολίσθησης έναντι 40 kV/cm στην περιοχή ενίσχυσης). Το ισχυρότερο ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή ενίσχυσης δημιουργεί χιονοστιβάδες ηλεκτρονίων που καταγράφονται από το ηλεκτρόδιο ενδείξεων, παράγοντας το επιθυμητό ενισχυμένο ηλεκτρικό σήμα προς εξέταση.

Λόγω των μικρών διαστάσεων της περιοχής ενίσχυσης, αλλά και την έκθεση του ηλεκτροδίου ενδείξεων στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο των 40 kV/cm, συχνά παρατηρούνταν το φαινόμενο των sparks(ηλεκτρικές εκκενώσεις) στο κατώτερο στρώμα ανίχνευσης. Ο μεγάλος αριθμός των ηλεκτρονίων των καταιγισμών δημιουργούσε προβλήματα στην καταγραφή, αλλά και δρούσε επιζήμια για τη μακροζωία του ανιχνευτή. Έτσι η ομάδα σχεδιασμού του ανιχνευτή Micromegas αναγκάστηκε να κάνει τροποποιήσεις στο αρχικό σχέδιο του [10].

Μία από τις σημαντικότερες παρεμβάσεις της επιστημονικής ομάδας του CERN ήταν η εγκατάσταση ενός συστήματος προστατευτικών μονωτικών λωρίδων (resistive strips) ακριβώς πριν το ηλεκτρόδιο ενδείξεων ούτως ώστε να καταπολεμηθούν τα sparks από τις χιονοστιβάδες ηλεκτρονίων. Επιπλέον προχώρησε σε αλλαγή των υψηλών τάσεων που εφαρμοζόταν στα 3 κύρια σημεία του ανιχνευτή.



Εικόνα 12 Το νέο μοντέλο MM που χρησιμοποιείται στο NSW του ATLAS

Συγκεκριμένα, εφαρμόζουμε θετικό δυναμικό υψηλής τάσης στα resistive strips ενώ ταυτόχρονα κρατάμε γειωμένο το ηλεκτροδίο ενδείξεων και το πλέγμα ενίσχυσης. Επιπροσθέτως, τοποθετούμε ένα ειδικό μονωτικό στρώμα μεταξύ του ηλεκτροδίου και των μονωτικών λωρίδων προκειμένου να μην εκθέτουμε το πρώτο στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο των 40 kV/cm. Με αυτό το σχεδιασμό τα sparks έχουν μειωθεί αρκετά, οι γραμμές του πεδίου παρουσιάζουν καλύτερη εστίαση και ο ανιχνευτής λειτουργεί αποδοτικότερα.

3. Αυτόνομος ψηφιακός μετρητής ροής αερίου

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στο σχεδιασμό και κατασκευή ενός αυτόνομου ψηφιακού μετρητή ροής αερίου. Η συγκεκριμένη συσκευή θα χρησιμοποιηθεί ενεργά στο εργαστήριο BB5 του CERN, όπου γίνεται η κατασκευή και ο ποιοτικός έλεγχος των ανιχνευτών Micromegas.

3.1 Η ιδέα

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ανιχνευτές Micromegas λειτουργούν με τη διοχέτευση ενός μείγματος αερίων (93% Ar- 7% CO₂) [11]. Έχει αποδειχθεί πως αυτή η αναλογία είναι η κατάλληλη προκειμένου τα MM QPs να λειτουργούν αποδοτικά ως προς την καταγραφή των τροχιών των σωματιδίων

Είναι προφανές ότι κατά τη διάρκεια της καταγραφής των τροχιών, οι συνθήκες αερίου πρέπει να διατηρούνται σταθερές μέσα στον αεροστεγή θάλαμο των τετραπλετών Micromegas καθώς οποιαδήποτε αλλαγή στην πίεση ή στη ροή διοχέτευσης του αερίου θα επηρέαζε αρνητικά τη διαδικασία ανίχνευσης, μέσω μείωσης ή απότομης αύξησης του πλάτους έντασης του παραγόμενου ηλεκτρικού σήματος.

Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη μέτρησης σε πραγματικό χρόνο της ροής και διαφορικής πίεσης μεταξύ της εισόδου και εξόδου αερίου σε έναν ανιχνευτή Micromegas, από μία φορητή και αυτόνομη μονάδα. Ο μεγάλος όγκος των ανιχνευτικών διατάξεων αλλά και η μαζική παράγωγή αυτών δυσκόλεψε τη μεταφορά τους στο χώρο QA/QC του BB5, όπου ήδη υπήρχαν παρόμοιες συσκευές Flow Meter και μανόμετρα.

Θεωρήσαμε χρήσιμο να σχεδιαστεί μια συσκευή αυτόνομη, μικρών διαστάσεων με αισθητήρα υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας και συγκριτικά πολύ χαμηλού κόστους σε σχέση με τα σύγχρονα Flow Meter της αγοράς. Προκειμένου να σχεδιαστεί μια τέτοια φορητή συσκευή που θα μπορούσε να προσφέρει αξιόπιστες μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από ολοκληρωμένα κυκλώματα και μικροεπεξεργαστές.

Συγκεκριμένα, το ψηφιακό διαφορικό μανόμετρο βασίζεται στον κατάλληλο προγραμματισμό της πλακέτας Arduino, εφοδιασμένο με έναν ψηφιακό αισθητήρα διαφορικής πίεσης HCLA της First Sensor. Στις επόμενες παραγράφους θα

περιγράψουμε τα χαρακτηριστικά κάθε ηλεκτρονικού υποσυστήματος που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό της συσκευής, καθώς και τη διαδικασία βαθμονόμησης αυτής με τη χρήση του Definer Flow Meter στο CERN.

3.2 Μικροελεγκτής Arduino Mega 2560

Ο μικροελεγκτής Arduino Mega παρέχεται από την εταιρεία Arduino και είναι ανοικτού τύπου. Δηλαδή οποιαδήποτε άλλη εταιρεία ή και ιδιώτης μπορεί να συναρμολογήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα Arduino στο εργαστήριό του. Βασίζεται στο μικροεπεξεργαστή Atmel ATmega ο οποίος με κατάλληλο προγραμματισμό από το χρήστη μπορεί να ελέγχει οποιονδήποτε αισθητήρα ή ηλεκτρονικό ολοκληρωμένο κύκλωμα συνδέεται στο Arduino Board.

Το Arduino επικοινωνεί μέσω των θυρών Input - output, οι οποίες διακρίνονται σε ψηφιακού σήματος 0-1 ή αναλογικού με τιμές έως 5 V DC. Η έκδοση Mega 2560 διαθέτει συνολικά 54 ψηφιακού σήματος I/O pins και 16 αναλογικού. [12]



Εικόνα 13 Το Arduino Mega 2560 που χρησιμοποιήθηκε

Το Arduino είναι εφοδιασμένο με δύο θύρες στο αριστερό τμήμα του. Πρόκειται για μία θύρα USB μέσω της οποίας γίνεται ο προγραμματισμός της πλακέτας με τη χρήση του κατάλληλου open-source λογισμικού και μία δεύτερη θύρα για εξωτερική τροφοδοσία από 9 έως και 15 V DC.

Για τον προγραμματισμό της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arduino IDE για Windows, εφαρμογή που είναι σχεδιασμένη σε γλώσσα αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού Java. Παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον μέσω του οποίου ο χρήστης γράφει κώδικα σε γλώσσα C/C++ και τον ανεβάζει στην πλακέτα μέσω της θύρας USB. Ο κώδικας του Arduino έχει συγκεκριμένη δομή η οποία ονομάζεται Sketch. Η αρχικοποίηση των μεταβλητών, δήλωση βιβλιοθηκών αλλά και ο καθορισμός των I/O pins πραγματοποιούνται μέσω της συνάρτησης setup() η οποία λειτουργεί σαν μια τυπική Main(). Οι συναρτήσεις μετατροπής αλλά και η διαδικασία λήψης δεδομένων από τα επιμέρους ηλεκτρονικά και αισθητήρες που είναι συνδεδεμένα στο Arduino τρέχουν συνεχώς μέσω της συνάρτησης loop(). Ένα απλό παράδειγμα κώδικα γραμμένου σε δομή sketch.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);

    lcd.begin(16, 2);

    // Print a message to the LCD.
    lcd.print("Hello, world!");
}

uint8_t i=0;
void loop() {
    uint8_t buttons = lcd.readButtons();

    if (buttons) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);

        if (buttons & BUTTON_UP) {
            lcd.print("UP ");
            lcd.setBacklight(RED);
        }
        if (buttons & BUTTON_DOWN) {
            lcd.print("DOWN ");
            lcd.setBacklight(YELLOW);
        }
        if (buttons & BUTTON_LEFT) {
            lcd.print("LEFT ");
            lcd.setBacklight(GREEN);
        }
        if (buttons & BUTTON_RIGHT)
            lcd.print("RIGHT ");
            lcd.setBacklight(TEAL);
        }
        if (buttons & BUTTON_SELECT)
            lcd.print("SELECT ");
            lcd.setBacklight(VIOLET);
        }
    }
}
```

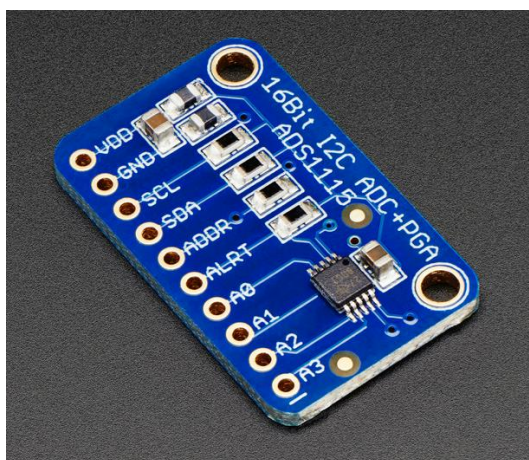
Εικόνα 14 Κώδικας Arduino για την προβολή ενός μηνύματος hello world με τη χρήση LCD display screen

3.3 Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και Arduino Shields

Ο ADS1115 είναι ένας ενισχυτής – μετατροπέας αναλογικού σήματος τάσης σε ψηφιακό. Επειδή οι μηχανές και οι υπολογιστές δεν μπορούν να κατανοήσουν το μέγεθος της τάσης και των V, αντιστοιχούν κάθε μετρήσιμη τάση σε έναν φυσικό αριθμό. Αν ο ADC είναι 16-bit, τότε το εύρος από 0 – 6.144 V μετρήσιμης ηλεκτρικής τάσης διαιρείται σε $2^{16-1} = 32768$ διαφορετικούς φυσικούς αριθμούς bits. Το πρώτο bit αφορά το πρόσημο της τιμής της τάσης, αφού ο adc είναι ικανός να μετράει και αρνητικές τάσεις. Επομένως η ανάλυση του σήματος διαμοιράζεται σε

$$\frac{6.144 \text{ V}}{32767 \text{ bits}} = 0.1875\text{mV/bit}$$

μας δίνει την ακρίβεια της μέτρησης τάσης. [9]

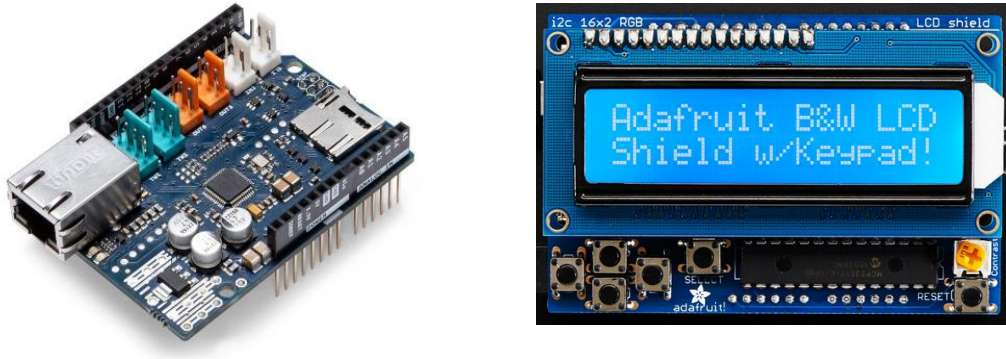


Εικόνα 15 Ο ADS1115

Για παράδειγμα, αν ο μετατροπέας διαβάσει την τάση που εφαρμόζεται στο κανάλι A0 και επιστρέψει την τιμή $x \in \mathbb{N}$, μέσω της συνάρτησης $\text{Real Voltage} = x \cdot 0.1875 / 1000$ θα λάβουμε την πραγματική τιμή της τάσης σε Volts.

Τα Arduino Shields είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα – πλακέτες οι οποίες παρέχουν επιπλέον δυνατότητες στο μικροελεγκτή. Είναι συμβατές με τις

περισσότερες εκδόσεις του Arduino αφού κουμπώνουν απευθείας πάνω στα pins έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα shield ταυτόχρονα από ένα Arduino. Στο παρόν πρότζεκτ θα εγκατασταθούν δύο shields, Ethernet Shield και LCD Display Shield.



Εικόνα 16 Τα Ethernet και LCD Display Shields

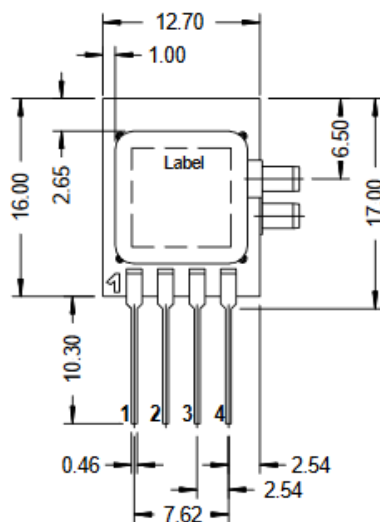
Το Ethernet Shield χρησιμοποιεί το μικροσίπ W5500 της Wiznet το οποίο επιτρέπει τη σύνδεση και επικοινωνία του Arduino με οποιοδήποτε δίκτυο, μέσω σύνδεσης Ethernet RJ45. Υποστηρίζει όλα τα σύγχρονα πρωτόκολλα δικτύων όπως TCP,UDP,IPv4 και PPPoE για μεταφορά δεδομένων. Επιπλέον παρέχει και μία θέση SD Card για την αποθήκευση δεδομένων, αφού το Arduino διαθέτει αποθηκευτικό χώρο μόνο για την εκτέλεση των sketches. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο shield είναι για τη μελλοντική σύνδεση του αυτόνομου ψηφιακού μετρητή ροής αερίου με το σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων WinCC της Siemens που χρησιμοποιείται στο BB5 εργαστήριο του CERN.

Το LCD Shield παρέχει την απευθείας ανάγνωση οποιασδήποτε μέτρησης σε πραγματικό χρόνο χωρίς τη χρήση υπολογιστή, αυξάνοντας τη φορητότητα της συσκευής. Διαθέτει μία οθόνη LCD δύο γραμμών, μεγέθους 16 χαρακτήρων ώστε να είναι εφικτή η ανάγνωση πολλών σημαντικών ψηφίων στις μετρήσεις, μεγιστοποιώντας την ακρίβεια τους. Επιπλέον, το LCD Shield είναι εφοδιασμένο με 5 κουμπιά, έτσι ώστε ο χρήστης να πλοηγείται με άνεση στο μενού του μετρητή, επιλέγοντας την επιθυμητή λειτουργία – συνάρτηση είτε της ροής ή της πίεσης προς προβολή. []

Και τα δύο Shield κουμπώνουν στο επάνω μέρος του Arduino και επικοινωνούν με αυτό μέσω των ψηφιακών pins 20-21 SDA(Serial Data Line) και SCL (Serial Clock Line) μέσω του πρωτοκόλλου I²C όπου θα γίνει αναφορά στις επόμενες παραγράφους.

3.4 Αισθητήρας διαφορικής πίεσης και ροόμετρο Definer 220

Ο αισθητήρας HCLA 25X5DU [14] της First Sensor είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα αισθητήρα που πραγματοποιεί μετρήσεις πίεσης ξηρών αερίων σε σωληνώσεις μικρών διαστάσεων. Διαθέτει δύο τρόπους λειτουργίας, τη μέτρηση απόλυτης τιμής της πίεσης, με σημείο αναφοράς αυτό της μηδενικής πίεσης, άλλα επιπλέον διαθέτει και τη δυνατότητα μέτρησης διαφορικής πίεσης μεταξύ δύο σημείων λήψης. Το εύρος μετρήσεων απόλυτης πίεσης του αισθητήρα είναι από 0 έως και 75 bar, ενώ το εύρος μετρήσεων διαφορικής πίεσης μεταξύ των καναλιών high και low είναι από 0 έως και 2.5 mbar.



Εικόνα 17 Ο αισθητήρας διαφορικής πίεσης HCLA 25X5DU

Το pinout του αισθητήρα:

- 1: +Vs : Τροφοδοσία τάσης από 4.5 – 5.5 V για την ομαλή λειτουργία του αισθητήρα.
- 2: Vout : Η τάση εξόδου του αισθητήρα η οποία θα διαβάζεται από τον ADS1115. Η τιμή της κυμαίνεται από 0.25 έως 4.25V.
- 3: Gnd : Το άκρο αυτό συνδέεται με τη γείωση (0 V) του κυκλώματος. Το κύκλωμα θα διαθέτει κοινή γείωση μεταξύ του αισθητήρα – Arduino –ADS1115
- 4: Internal Connection : Το άκρο εσωτερικών συνδέσεων, δεν συνδέεται σε κάποιο μέρος του συστήματος.

Η μετατροπή της τάσης εξόδου σε τιμές πίεσης προκύπτει από τη γραμμική σχέση των ευρών των δύο μεγεθών. Συγκεκριμένα, το εύρος τάσης 0.25- 4.25 V αντιστοιχίζεται στο εύρος πίεσης 0-2.5 mbar. Επειδή όμως συχνά αυτή η γραμμική σχέση παρουσιάζει μικρά σφάλματα της τάξης 0.05 mbar χρησιμοποιούμε ένα pressure meter / flow meter προκειμένου να βαθμονομήσουμε τις τιμές του αισθητήρα, πετυχαίνοντας μετρήσεις μεγαλύτερης ακρίβειας. Ο τρόπος βαθμονόμησης απαιτεί την σύνδεση σε σειρά του αισθητήρα της HCLA με το μανόμετρο μεταξύ των καναλιών HIGH LOW. Έτσι αντιστοιχίζουμε τις τιμές τάσης εξόδου του αισθητήρα HCLA με τις ακριβείς τιμές πίεσης του μανομέτρου.



Εικόνα 18 Definer 220 FLOW meter

Η διαδικασία βαθμονόμησης του αισθητήρα HCLA για τη μέτρηση της ροής του μείγματος αργού – διοξειδίου στην είσοδο και έξοδο του συστήματος στα MM Quads, είναι παρόμοια με τη μέθοδο που ακολουθήσαμε για τις μετρήσεις πίεσης. Αυτή τη φορά αντιστοιχίζουμε τιμές πίεσης που μετράμε από τον αισθητήρα σε mbar με τις ακριβείς τιμές ροής σε L/η του Flow meter Definer 220 [15]. Η συνάρτηση προκύπτει με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για την εύρεση των συντελεστών α,β, όπως ακριβώς και με τη γραμμική σχέση τάσης – διαφορικής πίεσης.

3.5 Η εμπέδηση αερίου

Η σχέση μεταξύ της διαφοράς πίεσης και ροής ενός αερίου στην πραγματικότητα δεν είναι γραμμική, και αυτό διότι δεν εξαρτάται μόνο από τις φυσικές διαστάσεις του καναλιού, όπως η διάμετρος και το μήκος του. Σύμφωνα με το νόμο του Poiseuille, όταν ένα ρευστό ρέει με σταθερή ροή μέσα από ένα κανάλι, παρατηρείται πτώση πίεσης σε 3 διαφορετικές περιοχές του καναλιού. Επομένως έχουμε 3 διαφορετικούς όρους που καθορίζουν τη συνολική πτώση πίεσης ΔP , έναν που οφείλεται στο στροβιλισμό του ρευστού κατά την είσοδο στο κανάλι λόγω συμπίεσης,

$$\Delta P_c = \zeta_c \left(\frac{1}{2} \rho u^2 \right)$$

όπου u είναι η μέση ταχύτητα του ρευστού, ρ η πυκνότητα του και ζ_c αριθμητική σταθερά. Πτώση πίεσης δημιουργείται κατά την έξοδο του ρευστού από το κανάλι λόγω εκτόνωσης της ροής με τύπο

$$\Delta P_e = \zeta_e \left(\frac{1}{2} \rho u^2 \right)$$

και τέλος έναν που διαμορφώνεται με βάση τις ενεργειακές απώλειες λόγω τριβής μέσα στο κανάλι.

Συνολική πτώση πίεσης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$h = \left(\zeta_c + f \frac{L_c}{D} + \zeta_e \right) \frac{u^2}{2g}$$

όπου f είναι ο συντελεστής τριβής σύμφωνα με το νόμο Poiseuille, L το μήκος του καναλιού (choke point) και D η εσωτερική διάμετρος του καναλιού. Μπορούμε να απλουστεύσουμε τη σχέση αντικαθιστώντας τους αριθμητικούς όρους ζ_c και ζ_e με το άθροισμά τους ζ . Μία επιπλέον αριθμητική παράμετρος C πρέπει να συμπεριληφθεί στον τελικό τύπο :

$$\Delta P = \left[\left(\zeta + Cf \frac{L}{D} \right) \frac{\rho u^2}{2} \right] \quad (1)$$

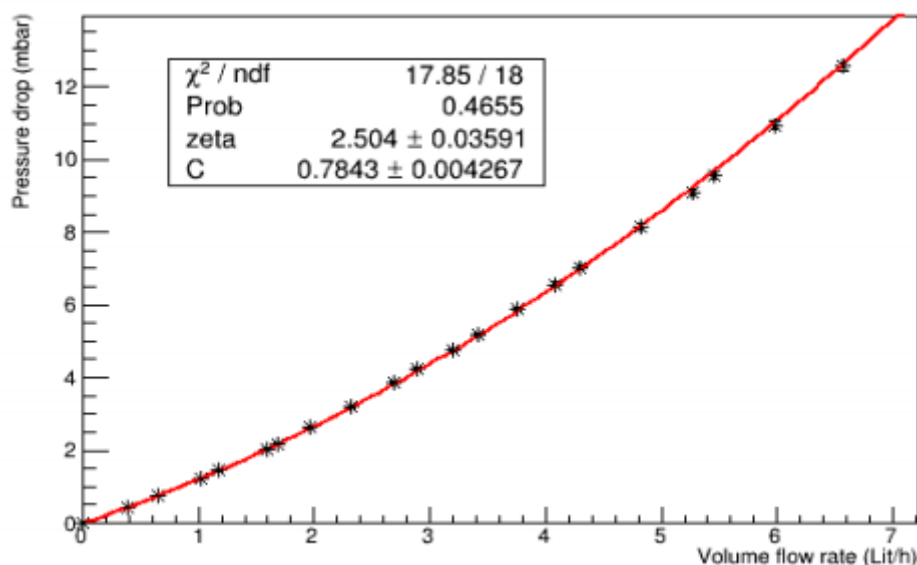
Το παραπάνω θεωρητικό μοντέλο περιέχει παραμέτρους οι οποίες πρέπει να υπολογιστούν πειραματικά. Για παράδειγμα ο παράγοντας $\frac{L}{D}$ παίζει σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο προσδιορίζοντας τη σχέση μεταξύ της παραμέτρου ζ και του συντελεστή τριβής f του Poiseuille.

Το πειραματικό μοντέλο προκύπτει με τη χρήση των σχέσεων $Q = \frac{u\pi D^2}{4}$ και το συντελεστή τριβής $f = \frac{64\mu}{\rho D u}$, αντικαθιστώντας στην (1). Τελικώς,

$$\Delta P = \frac{128\mu LCQ}{\pi D^4} + \frac{8\zeta\rho Q^2}{\pi^2 D^4}$$

με $C < 1$ και L το μήκος του καναλιού όπου ρέει το ρευστό με ροή Q .

Προκειμένου να προσεγγιστεί η σχέση μεταξύ ροής και διαφορικής πίεσης, παραθέτουμε εντός του καναλιού μέτρησης μία εμπέδηση (impedence) η οποία ουσιαστικά στενεύει το κανάλι, λειτουργώντας σαν αντίσταση σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα [16]. Πρόκειται για ένα κυλινδρικού σχήματος μεταλλικό κομμάτι μήκους 10 mm το οποίο κατά μήκος του κεντρικού άξονα φέρει οπή διαμέτρου 0.9 mm. Έχει αποδειχθεί πως οι συγκεκριμένες διαστάσεις της impedance δίνουν την παραμετροποίηση που χρειαζόμαστε ούτως ώστε να μπορούμε με σχετικά μικρό σφάλμα να προσεγγίσουμε τη σχέση ροής – ΔP σχεδόν γραμμικά στο εύρος 0-7 L/h ροής.



Εικόνα 19 Η γραμμικότητα εξασφαλίζεται με την χρήση της ZTM13 impedance

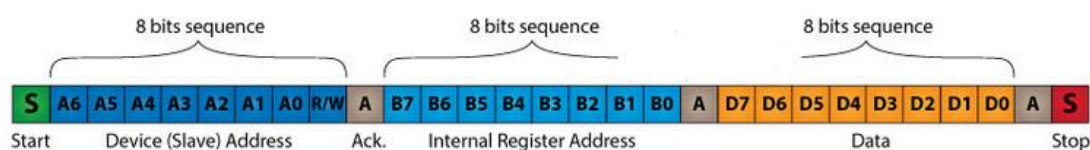
Η εμπέδηση αερίου (impedence) που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την αυτόνομη ψηφιακή συσκευή είναι μια από τις εσωτερικές(internal) εμπεδήσεις, υπεύθυνες για την κατανομή του αερίου αναμεσα στα διάκενα του MM. Οι αναφερόμενες έχουν σχεδιαστεί από την ομάδα μας με τη χρήση εργαστηριακών προσομοιώσεων, και η κατασκευή τους ανατέθηκε σε ειδικό μηχανουργείο στην Αθηνά. Στο τέλος της παραγωγής έγινε ποιοτικός έλεγχος από την ομάδα στο εργαστήριό μας.

3.6 Το Πρωτόκολλο I²C

Πρόκειται για ένα σειριακό διάλυο επικοινωνίας μεταξύ ηλεκτρονικών συστημάτων, μικροελεγχτών και αισθητήρων, σχεδιασμένος από τη Phillips. Το πρωτόκολλο απαιτεί τη σύνδεση τουλάχιστον δύο συσκευών, από τις οποίες η μία λειτουργεί ως master, ενώ οι υπόλοιπες ως slave. Συνήθως ο μικροελεγκτής λειτουργεί ως master για την λήψη δεδομένων από μία άλλη slave ηλεκτρονική συσκευή – πλακέτα ή ολοκληρωμένο τσιπ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το Arduino θα λαμβάνει την τάση εξόδου του ADS1115 adc converter, μέσω του διαύλου I2C. Η μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών πραγματοποιείται μέσω δύο γραμμών αμφίδρομης

κατεύθυνσης, τις γραμμές SCL και SDA. Το κανάλι SCL (Serial Clock Line) είναι υπεύθυνο για το συγχρονισμό των συζευγμένων συσκευών, ενώ το κανάλι SDA (Serial Data Line) πραγματοποιεί τη μεταφορά δεδομένων με ταχύτητα έως και 5Mbits το δευτερόλεπτο. Οι γραμμές αυτές συνδέονται σε όλες τις συσκευές, που υπάρχουν πάνω στο δίαυλο I²C. Προφανώς εκτός από τα παραπάνω καλώδια που μεταφέρουν δεδομένα, απαιτείται και ένα τρίτο καλώδιο το οποίο είναι η γείωση (GND). Ο δίαυλος λειτουργεί παρέχοντας τάση 5V από το ίδιο το Arduino.

Οποιαδήποτε συσκευή συνδέεται στο δίαυλο I²C ορίζεται από μία διεύθυνση, την οποία η master συσκευή ανακαλεί προκειμένου να λάβει ή να στείλει δεδομένα. Οι διευθύνσεις των συσκευών του I²C διαύλου είναι είτε 7-bit (θεωρητικά έως 128 συσκευές στο δίαυλο), είτε 10-bit (θεωρητικά έως 1024 συσκευές στο δίαυλο) ή ακόμη και 16-bit (θεωρητικά 65536 συσκευές στο δίαυλο). Τα δεδομένα που μεταφέρονται μέσω της γραμμής SDA είναι μεγέθους 8-bit δηλαδή 1 Byte.

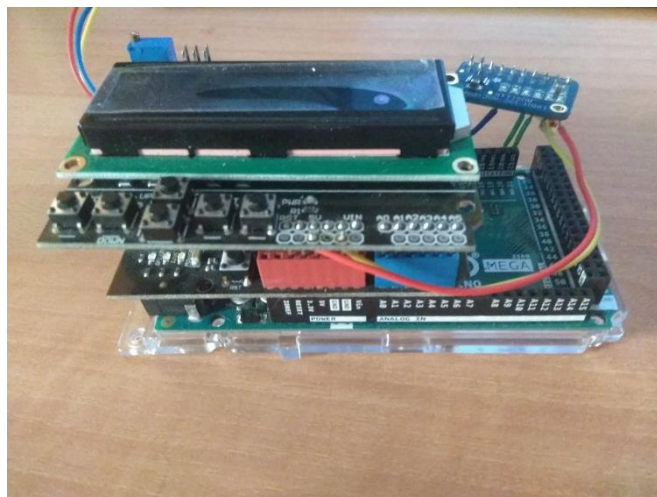


Εικόνα 20 Παράδειγμα επικοινωνίας δύο συσκευών του πρωτοκόλλου I²C

Οι ακολουθίες bit Start Stop και A(cknowledge) είναι αναγκαίες και δημιουργούνται αποδίδοντας στη γραμμή SCL τη λογική τιμή μηδέν (0-1.3V σε ένα σύστημα με τροφοδοσία τάσης 5V). Με αυτόν τον τρόπο συγχρονίζονται οι δύο συσκευές, ενεργοποιείται ή κλείνει ο δίαυλος, αλλά και επιβεβαιώνεται η οποιαδήποτε ανταλλαγή δεδομένων[16].

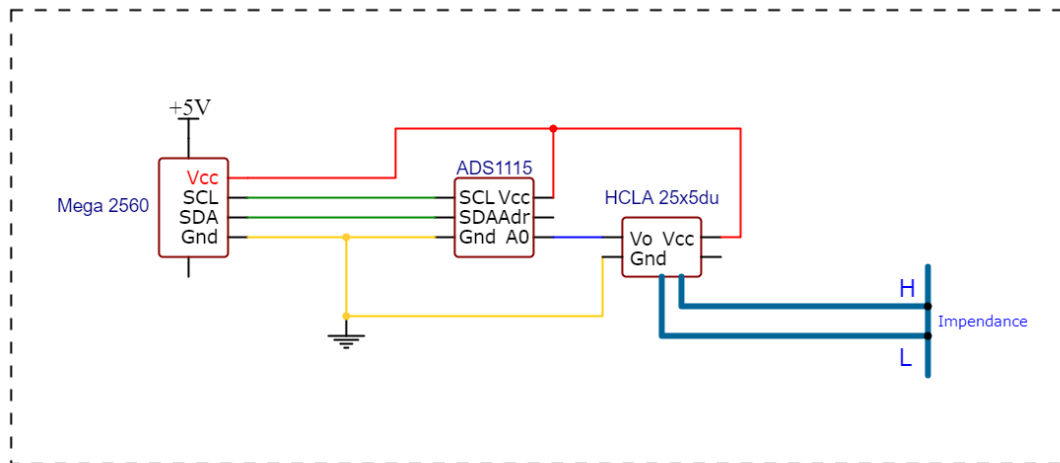
3.7 Υλοποίηση

Σε πρώτη φάση τοποθετούμε το Ethernet shield πάνω στο Arduino και στη συνέχεια ακριβώς πάνω από αυτό τοποθετούμε την Οθόνη.



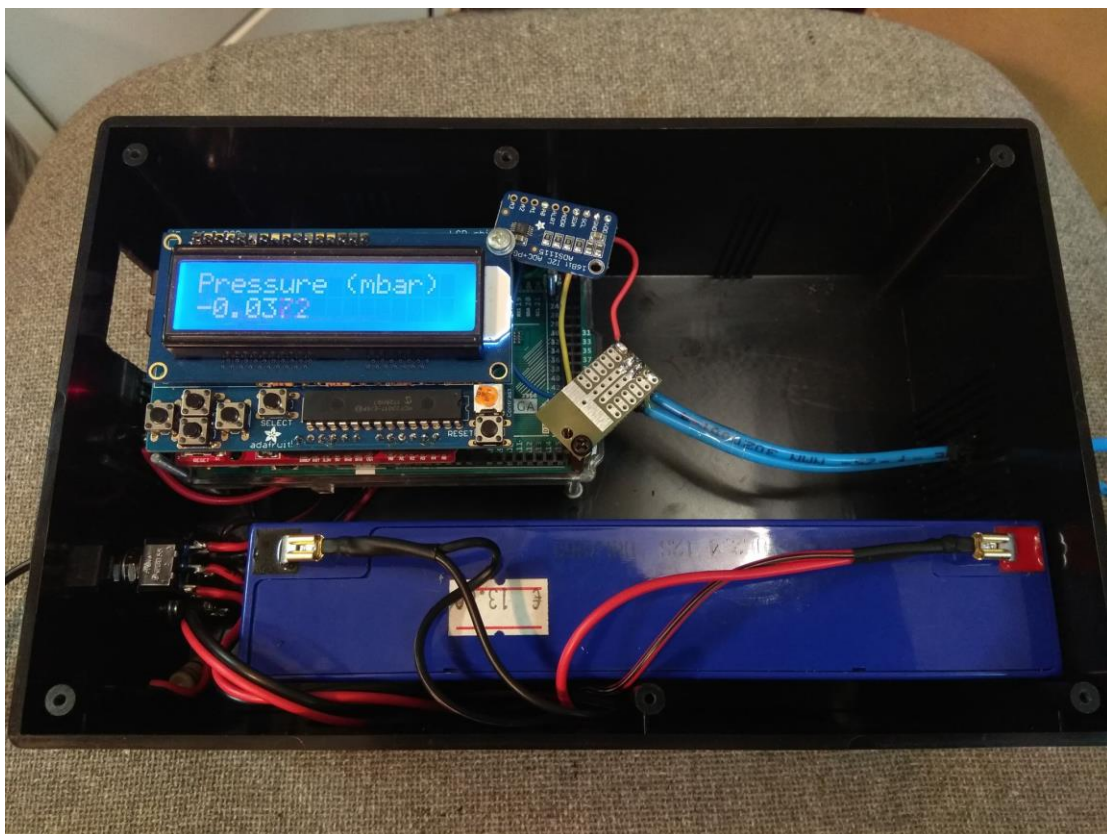
Εικόνα 21 Τοποθέτηση των δύο Shields και σύνδεση τροφοδοσίας στον ADC 1115

Έπειτα στηρίζουμε τον ADS1115 πάνω στο Arduino και το συνδέουμε με την τάση τροφοδοσίας 5V που παρέχει το Arduino (Κόκκινο καλώδιο). Στη συνέχεια γειώνουμε το μετατροπέα στη κεντρική γείωση του κυκλώματος με το κίτρινο καλώδιο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο μετατροπέας ADS1115 επικοινωνεί μέσω του πρωτοκόλλου I²C (SDA και SCL pins στο Arduino) μέσω των πράσινων καλωδίων. Στη συνέχεια, στηρίζουμε τον αισθητήρα HCLA πάνω στο Arduino και τον συνδέουμε κατάλληλα στον ADC (κανάλι A0) προκειμένου να λάβουμε τις τιμές της τάσης εξόδου του αισθητήρα.



Εικόνα 21 Σχηματικό του υποσυστήματος Arduino- Αισθητήρας

Προκειμένου η όλη διάταξη να προστατεύεται και να μεταφέρεται εύκολα, ήταν απαραίτητη η χρήση πλαστικής συσκευασίας – κουτί, η οποία θα φέρει εκτός από τη διάταξη Arduino – Shields- Αισθητήρα και μία μπαταρία, προσδίδοντας αυτονομία στο ψηφιακό μετρητή ροής αερίων. Επιπλέον η στήριξη της διάταξης σε καθορισμένο ύψος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση χειροποίητων αποστατών, στηριζόμενοι στο κάτω μέρος του κουτιού.



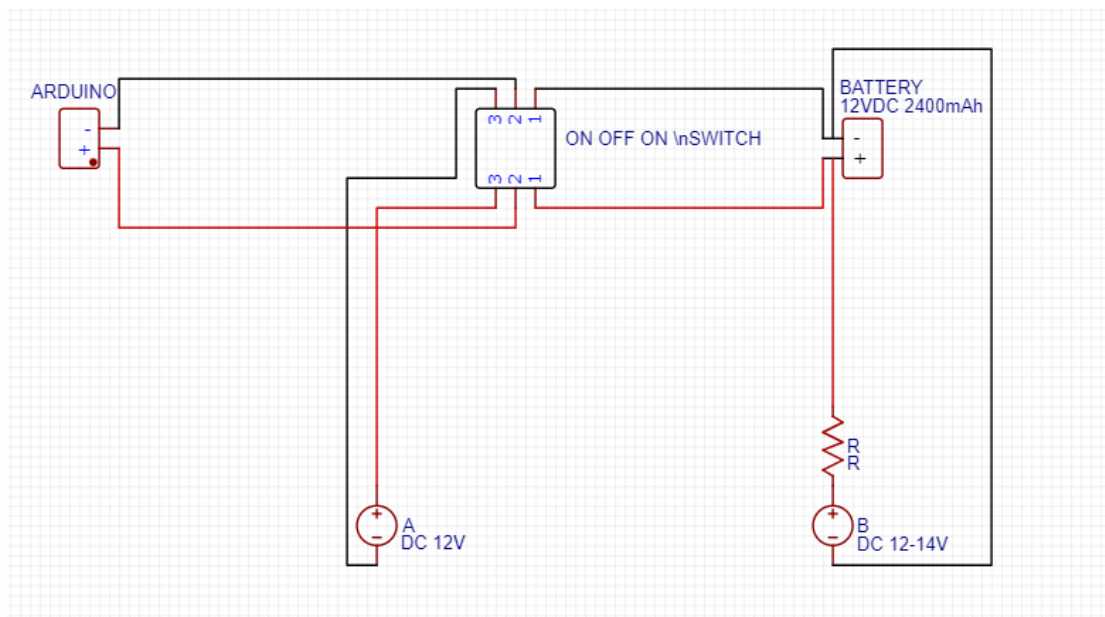
Εικόνα 22 Εσωτερικό του κουτιού με την ολοκληρωμένη διάταξη

Ο αυτόνομος ψηφιακός μετρητής ροής διαθέτει δύο επιλογές τροφοδοσίας. Μπορεί να λειτουργήσει με τη χρήση της ενσωματωμένης μπαταρίας ή συνδέοντας κατευθείαν το Arduino με μία εξωτερική τροφοδοσία τάσης 12-14 VDC. Η ενσωματωμένη μπαταρία είναι επαναφορτιζόμενη και μπορεί να φορτιστεί πάλι με τον ίδιο τρόπο. Προκειμένου να διατηρηθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας αλλά και η αποφυγή βραχυκυκλωμάτων που θα προκαλέσει ζημιά στα ηλεκτρονικά υποσυστήματα, εγκαταστάθηκε ένας διακόπτης on – off – on μαζί με μία αντίσταση.



Εικόνα 23 Πλαϊνή λήψη του μετρητή

Ο διακόπτης τριών καταστάσεων επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ των επιλογών τροφοδοσίας του μετρητή (Μπαταρία ή εξωτερική τροφοδοσία ή απενεργοποίηση συστήματος). Οι δύο έξοδοι A, B χρησιμοποιούνται για την εξωτερική τροφοδοσία και την επαναφόρτιση της μπαταρίας αντίστοιχα. Απαραίτητη επίσης ήταν η δημιουργία ανοιγμάτων στην πλαϊνή πλευρά του μετρητή προκειμένου οι θύρες USB και Ethernet να είναι προσβάσιμες, καθώς επίσης και στην πρόσοψη. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη μέτρηση ροής ή πίεσης του αερίου από το keypad ακριβώς κάτω από την LCD οθόνη. Η μπαταρία χωρητικότητας 2400 mAh επιτρέπει την τροφοδοσία του αυτόνομου συστήματος για αρκετές ώρες, καθώς η κατανάλωση ρεύματος της συσκευής δεν ξεπερνά τα 150 mA.



Εικόνα 24 Σχηματικό τροφοδοσίας του ψηφιακού μετρητή ροής.

Ο κώδικας sketch του Arduino, όπως αναφέρθηκε ξεκινά με τη δήλωση των βιβλιοθηκών του Arduino IDE.

```
#include <Ethernet.h>
#include <OPC.h>
#include <Adafruit_RGBLCDShield.h>
#include <utility/Adafruit_MCP23017.h>
#include <math.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
```

Αυτές είναι οι βιβλιοθήκες προκειμένου το Arduino να διαχειρίζεται τα δεδομένα από και προς όλες τις slave συσκευές και συνδεδεμένα shields. Έπειτα ακολουθεί η αρχικοποίηση ορισμένων χρήσιμων τοπικών μεταβλητών.

```
Adafruit_RGBLCDShield lcd = Adafruit_RGBLCDShield();
OPCSerial aOPCSerial;
//OPCEthernet aOPCEthernet;

//byte mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x0E, 0xAD, 0x8D };

IPAddress ip(192, 168, 1, 179);
//IPAddress gateway(192,168,1,1);
//IPAddress dns_server(192,168,1,1);
IPAddress subnet(255,255,255,0);

/*
 * Server listen port
 */
const int listen_port = 80;

Adafruit_ADS1015 ads;
int pos;
float realVoltage=0;
float realPressureHCLAcalibrated=0;
int16_t adc0;
```

Πρόκειται για αρχικοποιήσεις μεταβλητών που χρησιμοποιούν κυρίως τα Shields (LCD και Ethernet), αλλά και κάποιες διευθύνσεις IP και mac που χρειάζονται για το στήσιμο ενός OPC server.

Στη συνέχεια ακολουθεί η μέθοδος setup() η οποία αποδίδει το κεντρικό μενού του μετρητή στην LCD οθόνη.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  aOPCSerial.setup();
  //aOPCEthernet.setup(listen_port,mac,ip);
  lcd.begin(16, 2);           // start lcd library
  ads.begin();               // start ads library
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Main Menu      ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Choose Function ");
  pinMode(All, OUTPUT);
  pinMode(A10, OUTPUT);
  digitalWrite(All, HIGH);
  digitalWrite(A10, LOW);
  //aOPCEthernet.addItem("Voltage",opc_read,opc_float, callback);
  aOPCSerial.addItem("Voltage",opc_read,opc_float, callback);
  aOPCSerial.addItem("Pressure",opc_read,opc_float, callback);
}
```

Τέλος η μέθοδος loop() που περιλαμβάνει την ανάγνωση των μετρήσεων από τον αισθητήρα HCLA και τον ADS1115 adc και την εμφάνιση των μετρήσεων στην οθόνη ανάλογα με το κουμπί που πατάει ο χρήστης.

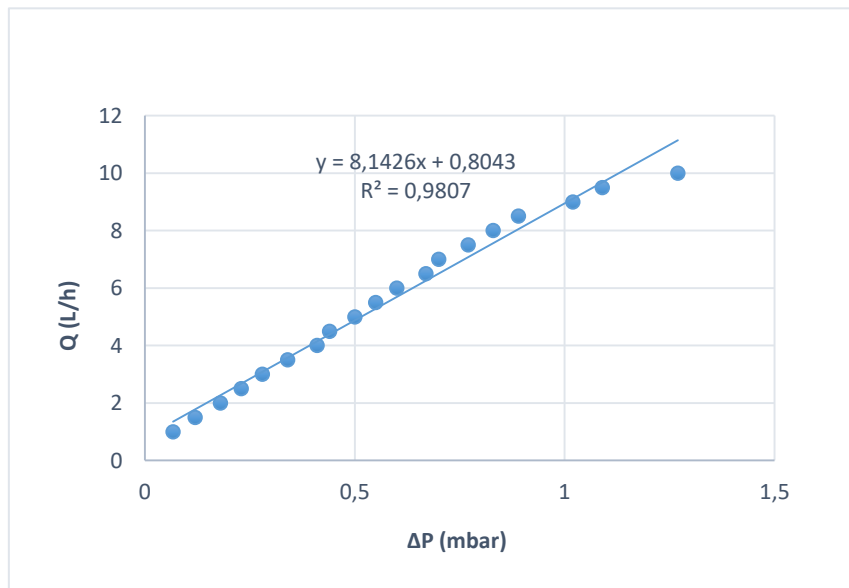
```
void loop()
{
  realVoltage=adc0*0.1875F;//5.0000/65535.0000; //ADC converter
  delay(500);
  uint8_t buttons = lcd.readButtons();
  if (buttons) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    if (buttons & BUTTON_UP)
    {
      lcd.clear();
      while(1>0)
      {
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Pressure (mbar) ");
        lcd.setCursor(0,1);
        adc0=ads.readADC_SingleEnded(0);
        realVoltage=adc0*0.1875F/1000.0;//5.0000/65535.0000; //ADC converter
        realPressureHCLAcalibrated=3.1354*realVoltage-0.8000; //HCLA cal
        lcd.print(realPressureHCLAcalibrated,4);
        aOPCSerial.processOPCCommands();
        buttons = lcd.readButtons();
        if (buttons & BUTTON_DOWN)
          break;
        delay(300);
      }
    }
  }
}
```

```

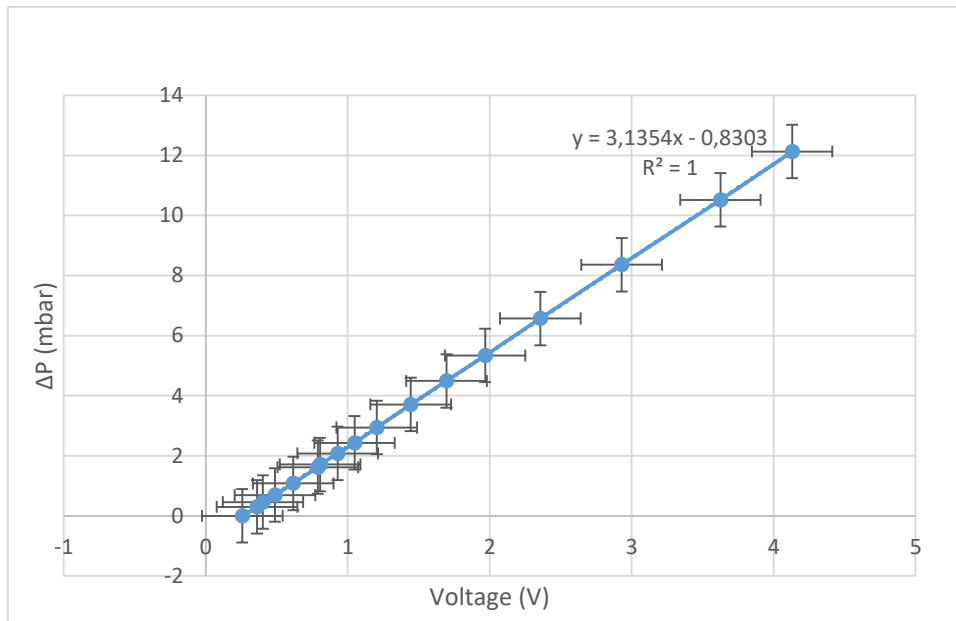
if (buttons & BUTTON_DOWN)
{
  lcd.clear();
  while (1>0)
  {
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Flow Rate (L/h) ");
    lcd.setCursor(0,1);
    adc0=ads.readADC_SingleEnded(0);
    realVoltage=adc0*0.1875F/1000.0;//5.0000/65535.0000; //ADC converter
    float realPressureHCLA=3.1354*realVoltage-0.8000;
    float dp=realPressureHCLA;
    float flowRate=8.1426*dp + 0.8043;
    lcd.print(flowRate,4);
    buttons = lcd.readButtons();
    if (buttons & BUTTON_UP)
      break;
    delay(300);
  }
}

```

Οι συναρτήσεις μετατροπής τάσης – διαφορικής πίεσης και διαφορικής πίεσης – ροής προέκυψαν εφαρμόζοντας τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.



Εικόνα 25 Σχέση διαφορικής πίεσης - Ροής



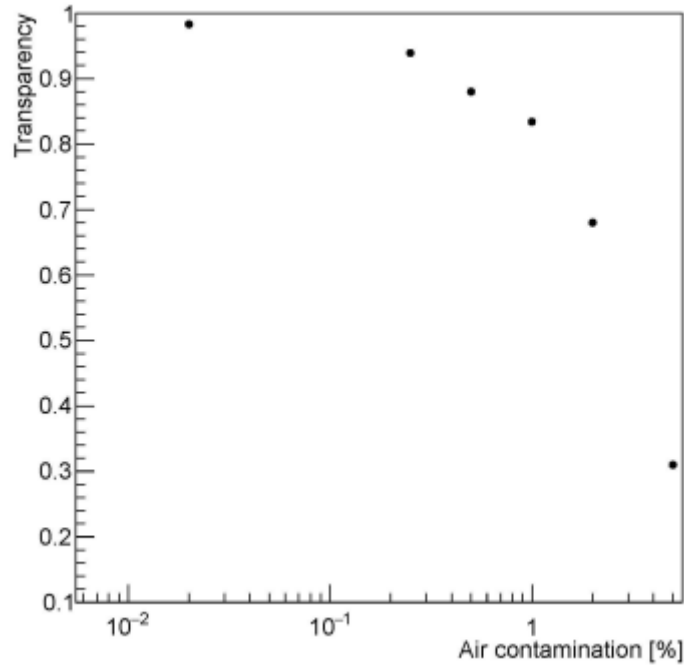
Εικόνα 26 Σχέση Τάσης εξόδου- Διαφορικής πίεσης

4. Επισκόπηση περιεκτικότητας οξυγόνου στον ανιχνευτή Micromegas

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο η εισροή αέρα στο εσωτερικό του ανιχνευτή Micromegas επιδρά αρνητικά στα αποτελέσματα των μετρήσεων και ανίχνευσης σωματιδίων. Επιπλέον, περιγράφεται η μέθοδος με την οποία η επιστημονική ομάδα καταγράφει τη συνολική περιεκτικότητα οξυγόνου στο μείγμα αερίου που παρέχεται στον ανιχνευτή, με την ανάπτυξη μιας αυτόνομης μονάδας παρόμοιας με αυτήν που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.1 Θεωρητική μελέτη περιεκτικότητας οξυγόνου

Ο ανιχνευτής Micromegas λειτουργεί με τη διοχέτευση ενός πολύ συγκεκριμένου μείγματος αερίου (93% Ar + 7% CO₂) εντός του σχεδόν αεροστεγούς τμήματός του. Έχει παρατηρηθεί πως παρόλο που έχει τοποθετηθεί ένα καλώδιο κατασκευασμένο από λάστιχο, κατά μήκος των επαφών που δημιουργούνται μεταξύ των MM modules, υπάρχουν μικρές οπές. Μέσω των οπών αυτών ο αέρας της ατμόσφαιρας εισέρχεται μέσω του μηχανισμού της διάχυσης εντός του συστήματος αερίου του ανιχνευτή, μολύνοντας τον με οξυγόνο. Τα μόρια του οξυγόνου, λόγω της υψηλής ηλεκτραρνητικότητας του, μπλοκάρουν τις μικρές οπές του Micromesh πλέγματος του Micromegas, από τις οποίες περνούν τα διεγείροντα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα να μειώνεται η απόδοση του πλέγματος αλλά και το συνολικό πλάτος του σήματος ανίχνευσης. Η απόδοση του πλέγματος μετριέται με τη χρήση μίας τεχνητής μονάδας μέτρησης που αφορά τη γεωμετρία του πλέγματος, Micromesh Transparency με τιμές από 0 έως και 1 (Πλήρες gas amplification). [11]



Εικόνα 27 Η πτώση σήματος σε σχέση με την περιεκτικότητα οξυγόνου στο μείγμα αερίου

Παρατηρείται πως ακόμα και μια τόσο μικρή περιεκτικότητα O_2 της τάξης 1% επιφέρει μείωση του της Transparency και του σήματος περίπου 17%

Την ώρα που ο ανιχνευτής λειτουργεί με τη φυσιολογική παροχή των 6.8 L/h στα Small Modules(SM) και 10.4 L/h στα Large Modules το εισερχόμενο οξυγόνο εισχωρεί μέσα στο στεγανό τμήμα του ανιχνευτή , αναμειγνύεται με το μείγμα αργού και καταλήγει στην απόληξη του συστήματος αερίου. Σύμφωνα με τους νόμους της διάχυσης, κατά την κατάσταση σταθερής ροής (SSF) ο ρυθμός εισροής του οξυγόνου στο σύστημα του MM QP θα είναι ίσος με το ρυθμό εξαγωγής αυτού από την απόληξη-εξάτμιση του συστήματος προς την ατμόσφαιρα. Έτσι μετρώντας την περιεκτικότητα οξυγόνου στην απόληξη ενός MM QP, είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε το ρυθμό εισροής οξυγόνου στο σύστημα. Προϋπόθεση μιας πετυχημένης μέτρησης κατά την κατάσταση σταθερής ροής είναι η αφετέρου εξαγωγή-flushing της ήδη υπάρχουσας ποσότητας αέρα η οποία έχει παγιδευτεί πριν τη λειτουργία του ανιχνευτή. Επειδή όμως μια τέτοια διαδικασία δεν είναι αποτελεσματική λόγω του μεγάλου μεγέθους του ανιχνευτή αλλά και του μεγάλου όγκου του αέρα που πρέπει να αποχετευτεί στην ατμόσφαιρα.

Προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο της διάχυσης του οξυγόνου που σχετίζεται με τη στεγανότητα του ανιχνευτή, η ομάδα δημιούργησε μία διάταξη με την οποία θα καταγράφει το ποσοστό οξυγόνου στην έξοδο του ανιχνευτή, αλλά και τη

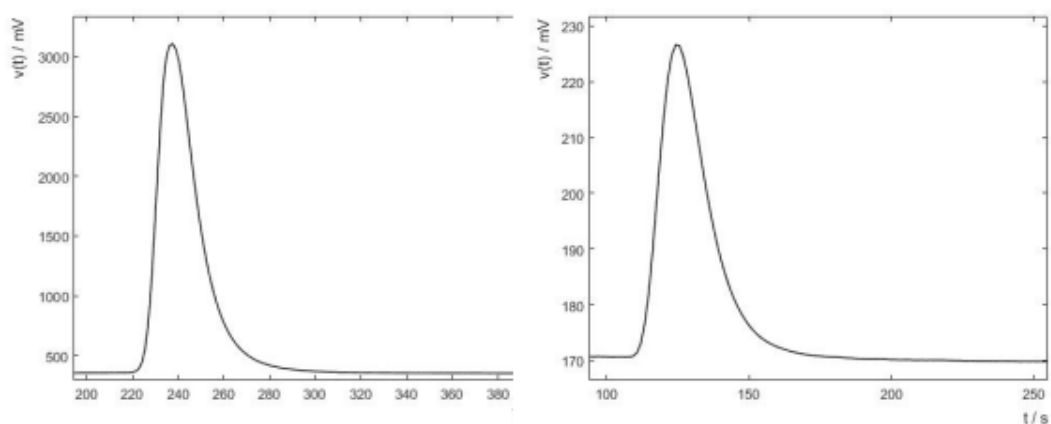
διεξαγωγή εικονικών πειραμάτων διάχυσης σε έναν πλαστικό σωλήνα PU διαμέτρου 6 mm.

Ο τρόπος με τον οποίο θα διεκπεραιώνονται τα πειράματα διάχυσης είναι με τη χρήση ειδικών καναλιών τα οποία θα παρεμβάλλονται σε έναν κλάδο της διάταξης, τα οποία θα διαφέρουν ως προς τη διάμετρο της οπής που θα φέρει το καθένα.



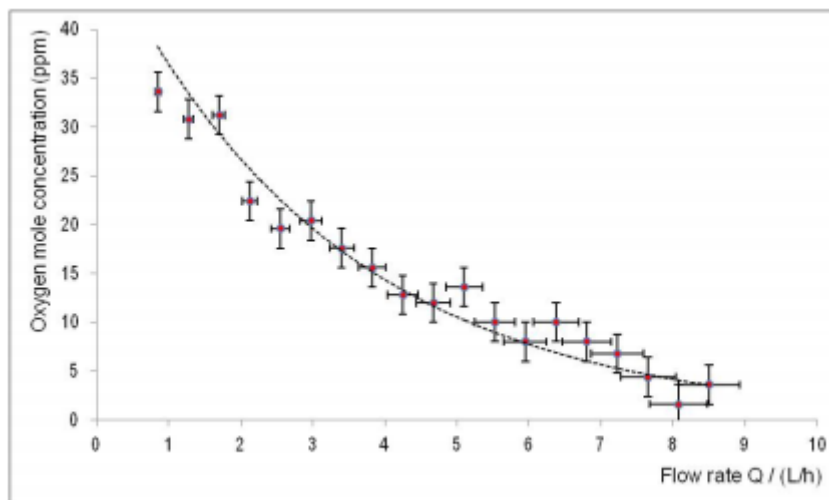
Εικόνα 28 Κανάλια διάχυσης

Οι μέθοδοι με τις οποίες θα καταγράφονται οι μετρήσεις στα πειράματα διάχυσης είναι δύο. Η μία περιλαμβάνει την καταγραφή των δεδομένων από τον αισθητήρα οξυγόνου κατά την κατάσταση σταθερής ροής μέσα από τον πειραματικό κλάδο (SSF). Η δεύτερη θα καταγράφει την συνολική ποσότητα οξυγόνου που διοχετεύτηκε από ένα συγκεκριμένο κανάλι διάχυσης σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (TFS).



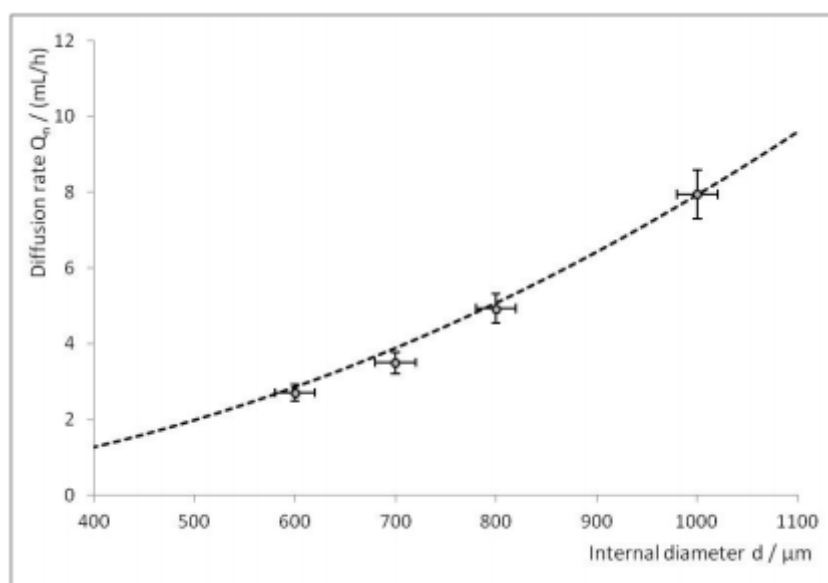
Εικόνα 29 Αποτελέσματα μετρήσεων TFS για δύο διαφορετικά κανάλια οπών. Αριστερά για το κανάλι orifice-4 διαμέτρου 1mm και μήκους 1mm σε χρονικό διάστημα 120s. Δεξιά για το κανάλι Needle 32G διαμέτρου 0.108mm και μήκους 12.7mm σε χρονικό διάστημα 960s.

Παρατηρούμε ότι το σήμα που λαμβάνουμε από τον αισθητήρα οξυγόνου μεταβάλλεται ανάλογα τη διάμετρο, το μήκος και τον χρόνο διάχυσης κατά την TFS κατάσταση.



Εικόνα 30 Σχέση μεταξύ ροής και συγκέντρωσης mol οξυγόνου κατά την SSF κατάσταση

Ο λόγος για τον οποίο παρατηρείται μείωση περιεκτικότητας οξυγόνου κατά την αύξηση της ροής αργού (99%) είναι εξαιτίας της αύξησης της πίεσης εντός του καναλιού η οποία αποτρέπει την είσοδο του αέρα της ατμόσφαιρας.

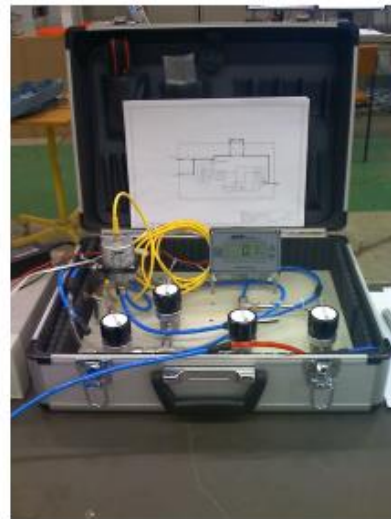


Εικόνα 31 Σχέση μεταξύ ρυθμού εισροής οξυγόνου και διαμέτρου οπής στην SSF κατάσταση.

Όπως ήταν αναμενόμενο, μεγαλύτερο ποσοστό εισροής έχουμε μέσω μεγαλύτερων οπών κατά την SSF κατάσταση.

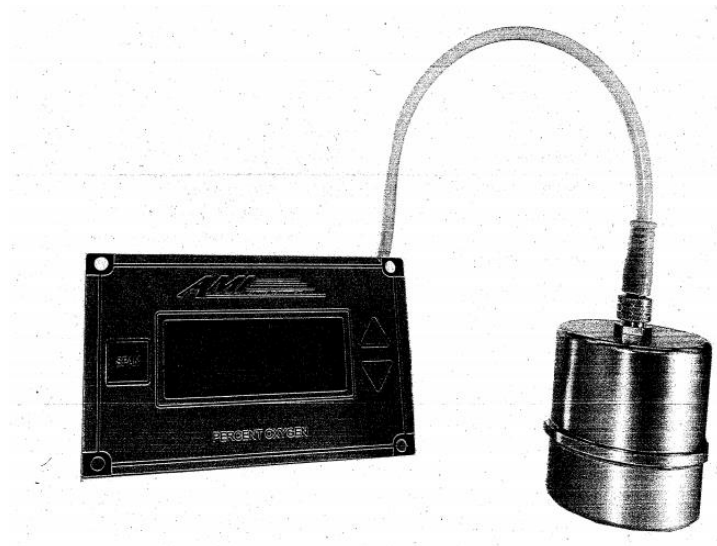
4.2 Πειραματική διάταξη

Για την υλοποίηση της διάταξης χρησιμοποιήθηκε πλαστικός σωλήνας PU διαμέτρου 6 mm στην κατασκευή των κλάδων. Προκειμένου οι κλάδοι να αποσπώνται ή να απομονώνονται από το υπόλοιπο της διάταξης, αλλά και να κατευθύνεται η ροή σε συγκεκριμένους κλάδους της διάταξης χρησιμοποιήθηκαν ειδικές βάνες τύπου ON-OFF. Έπειτα, ολόκληρη η διάταξη τοποθετήθηκε πάνω σε μια ειδική μεταλλική βάση. Προκειμένου να μπορούν να υλοποιούνται μετρήσεις των MM QP σε διάφορα τμήματα του εργαστηρίου BB5 ολόκληρη η διάταξη μαζί με τη βάση τοποθετήθηκε μέσα σε ένα βαλιτσάκι για ευκολία μετακίνησης.



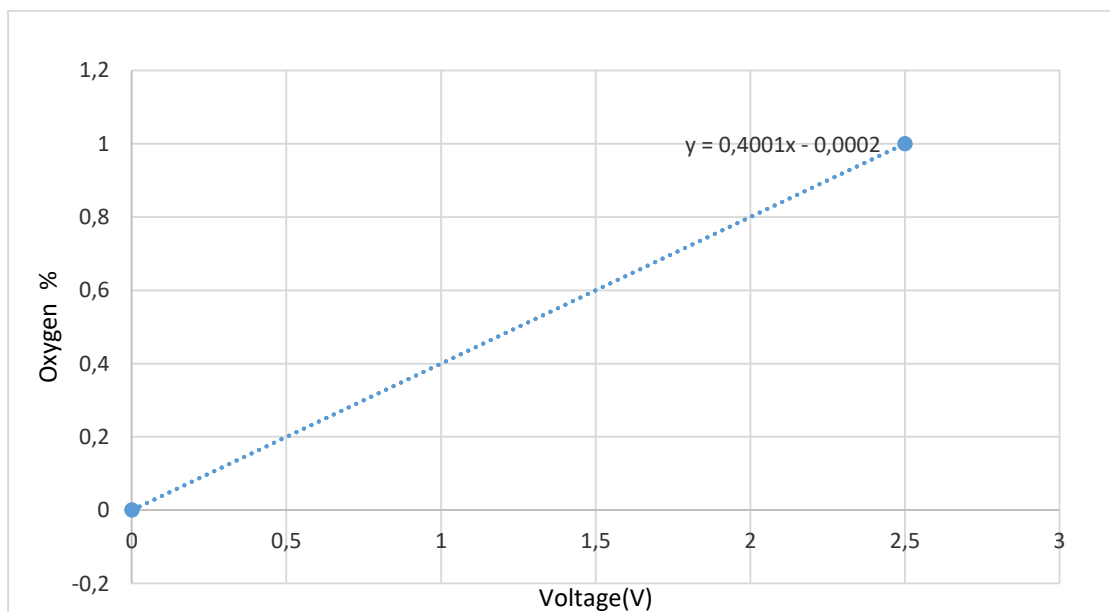
Εικόνα 32 φωτογραφίες από την τελική μορφή της διάταξης- OPA portable setup

Οι μετρήσεις ποσοστού οξυγόνου πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του αισθητήρα Model 60 της AMI. [17]



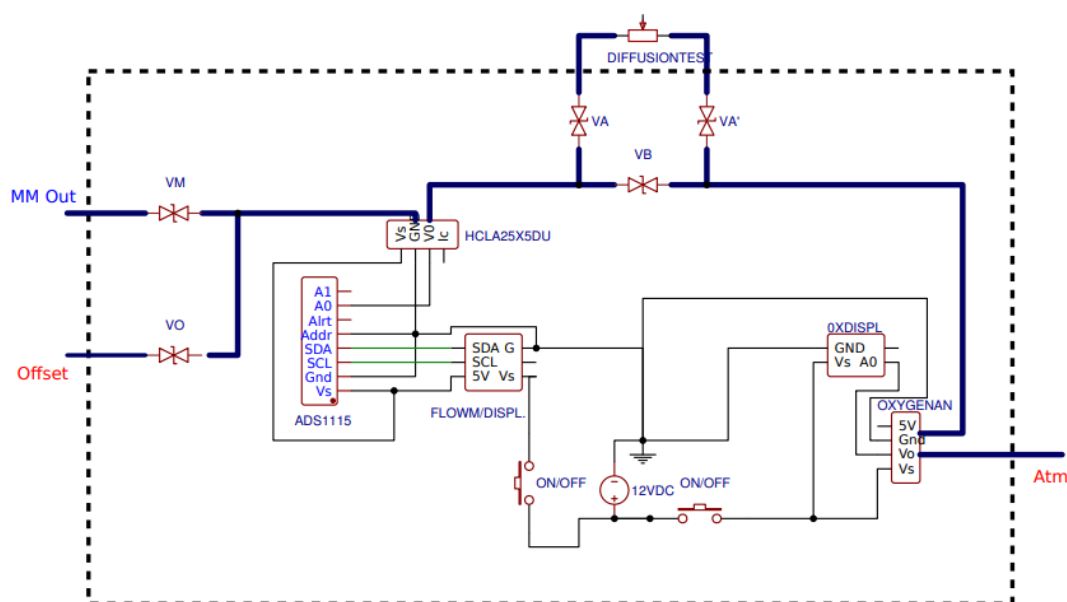
Εικόνα 33 Ο αισθητήρας oxygen analyzer 60 της AMI.

Πρόκειται για έναν υψηλής ακρίβειας αισθητήρα ο οποίος ανιχνεύει την περιεκτικότητα οξυγόνου σε ένα μείγμα αερίου μέσω μίας χημικής αντίδρασης που πραγματοποιείται στο εσωτερικό του. Παράγει ηλεκτρικό σήμα από 0-2.5V, ανάλογο με το ποσοστό οξυγόνου που ανιχνεύεται στο μείγμα. Το εύρος της περιεκτικότητας-%O₂ είναι από 0-100%. Η βαθμονόμηση του αισθητήρα έγινε με τη χρήση 99.9% Ar, λαμβάνοντας ένα πολύ μικρό ηλεκτρικό σήμα από τον αισθητήρα περίπου 0.5mV. Η σχέση μεταξύ %O₂ και τάσης εξόδου του αισθητήρα προσεγγίστηκε γραμμικά.



Εικόνα 34 Σχέση τάσης-%O₂.

Η AMI μαζί με τον αισθητήρα παρέχει και μία μικρή οθόνη LCD προκειμένου ο χρήστης να καταγράφει τις μετρήσεις %O₂. Η οθόνη LCD παρείχε ακρίβεια 0.5%, αδυνατώντας να επωφεληθεί την ακρίβεια του αισθητήρα. Έτσι για την καταγραφή μετρήσεων ακριβείας χρησιμοποιήθηκε μία διάταξη βασισμένη σε Arduino, εφοδιασμένο με το LCD display shield. Παρόμοια, με τον Αυτόνομο ψηφιακό μετρητή Ροής Αερίου το OPA μετράει με εξαιρετική ακρίβεια την τάση εξόδου του αισθητήρα οξυγόνου χάρη στον ADS1115 μετατροπέα ψηφιακού-αναλογικού σήματος. Ο adc μετράει την τάση εξόδου και μέσω της συνάρτησης μετατροπής αποδίδει στην οθόνη την τιμή του %O₂ με ακρίβεια 2 δεκαδικών ψηφίων. [19]



Εικόνα 35 Το σχηματικό της διάταξης του OPA

Στην είσοδο MM out συνδέουμε την εξαγωγή του συστήματος αερίου του MM QP. Έπειτα από τις μετρήσεις του Μετρητή ροής κατευθύνουμε το αέριο προς τον αισθητήρα οξυγόνου και λαμβάνουμε τις μετρήσεις %O₂ από το δεύτερο Arduino με το LCD shield. Ο κλάδος diffusion test αφορά τα πειράματα διάχυσης που πραγματοποίησε η ομάδα με τις διάφορες διατομές οπών. Στην είσοδο offset του OPA συνδέεται απευθείας η παροχή του μείγματος αερίου των MM QP για έλεγχο ποιότητας. Το σύστημα OPA τροφοδοτείται με μπαταρία 12VDC, προσδίδοντας το φορητό χαρακτήρα του.

Συμπεράσματα

Αναγκαία προϋπόθεση για την επιτυχία του πειράματος σε κάθε run είναι ο ενδεδειγμένος έλεγχος και συντήρηση των υποσυστημάτων του ανιχνευτή. Το εργαστήριο BB 5 στο CERN είναι υπεύθυνο για την κατασκευή και συντήρηση των πολύ σημαντικών ανιχνευτικών διατάξεων που αφορούν το πείραμα ATLAS, τους ανιχνευτές Micromegas.

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα προς εξέταση της επιστημονικής ομάδας στο εργαστήριο ήταν η αποτελεσματική καταγραφή και έλεγχος του συστήματος αερίου που παρέχεται στους ανιχνευτές. Το μείγμα αργού βοηθάει στο να καταγράφουν και να αναπαριστούν οι τροχιές που διαγράφουν τα διερχόμενα σωματίδια που παράγονται από την σύγκρουση των δέσμων πρωτονίων. Συνθήκες όπως η πίεση και ροή του αερίου αλλά και η μόλυνση του μείγματος από τον ατμοσφαιρικό αέρα πρέπει να ελέγχονται και να καταγράφονται όχι μόνο στο στάδιο της συντήρησης και ποιοτικού ελέγχου, αλλά και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ανιχνευτή.

Έτσι εκδηλώθηκε το ενδιαφέρον για το σχεδιασμό μιας αυτόνομης συσκευής βασισμένη στο microcontroller Arduino Mega 2560 η οποία θα αντικαθιστούσε παρωχημένα εργαλεία και αναλογικά όργανα μέτρησης ροής όπως το analog rotameter. Επιπλέον βασικό πλεονέκτημα της συσκευής είναι ότι συνδυάζει δύο όργανα μέτρησης σε μία ενιαία και αυτόνομη ψηφιακή συσκευή, ικανή να μετράει σε πραγματικό χρόνο τις συνθήκες της διαφορικής πίεσης και ροής στην εξαγωγή ενός MM Quad με εξαιρετική ακρίβεια που φθάνει τα επίπεδα ακόμα και των πιο σύγχρονων μέσων με κόστος αρκετά μικρότερο.

Θα πρέπει να τονίσουμε το γεγονός ότι η συγκεκριμένη συσκευή είναι ικανή, με κατάλληλο προγραμματισμό να αποστέλλει τα δεδομένα στο κοινό σύστημα συλλογής δεδομένων του CERN μέσω ενός OPC server και του scada συστήματος Win CC. Πρόκειται για συστήματα και τεχνολογίες που χρησιμοποιεί ολόκληρο το CERN προκειμένου να υπάρχει ένα κοινό υπόβαθρο – framework για τις διάφορες επιστημονικές ομάδες που εργάζονται στα πειράματα του CERN.

Τέλος, ο σχεδιασμός της συγκεκριμένης συσκευής αποτελεί μία αφετηρία για περαιτέρω ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών πάνω στον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών και παραμέτρων του συστήματος αερίου των MM QPs με τη χρήση είτε του ίδιου microprocessor ή άλλων όπως το Raspberry Pie.

Βιβλιογραφία

- [1] <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>
- [2] <https://atlas.cern/discover/experiment>
- [3] <https://atlas.cern/discover/detector/magnet-system>
- [4] <https://atlas.cern/discover/detector/inner-detector>
- [5] <https://atlas.cern/discover/detector/calorimeter>
- [6] <https://atlas.cern/discover/detector/muon-spectrometer>
- [7] <https://atlas.cern/discover/detector/trigger-daq>
- [8] <https://home.cern/resources/faqs/high-luminosity-lhc>
- [9] Σταμάτης Δ. Τζάνος ‘Συστήματα λήψης δεδομένων και ελέγχου ανιχνευτών για την Phase I αναβάθμιση του New Small Wheel - Atlas’
- [10] Konstantinos A. Ntekas ‘Performance characterization of the Micromegas detector for the New Small Wheel upgrade and Development and improvement of the Muon Spectrometer Detector Control System in the ATLAS experiment’
- [11] T. Alexopoulos , E. N. Gazis , S. Maltezos , S. Palestini , K. Patrinos , V. Gika , C. Kitsaki , G. Koutelieris ‘Experimental study of Air/Oxygen Diffusion in the NSW Micromegas Quadruplets
- [12] Ιωάννης Παπακριβόπουλος ‘Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης περιβαλλοντικών συνθηκών βασισμένο σε Arduino και WinCC_OA’
- [13] HCLA differential pressure sensor Series by First sensor datasheet
- [14] Definer 220 Data Sheet by Mesa Labs USA
- [15] T. Alexopoulos, E. N. Gazis, S. Maltezos, Patrinos, V. Gika, C.G. Koutelieris ‘Evaluation Method and Production Quality Control of the Gas 4 Impedances of the NSW Micromegas Quadruplets’
- [16] The I2C protocol – Wikipedia
- [17] Probe 60 Oxygen analyzer by AMI USA User’s guide
- [18] T. Alexopoulos, S. Maltezos, I. Gnesi, G. Koutelieris, P. Tzanis, G. Makedos ‘Impact of the Temperature Variations to the Sealing Performance 4 of the NSW Micromegas Quadruplets’