



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

Τριδιάστατος σχεδιασμός μονάδων του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων και σκανδαλισμού για τους ανιχνευτές Micromegas για την αναβάθμιση New Small Wheel του ανιχνευτή ATLAS στον επιταχυντή LHC στο CERN.

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Αιμιλιανού Β. Κουλούρη

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αλεξόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβρης 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

Τριδιάστατος σχεδιασμός μονάδων του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων και σκανδαλισμού για τους ανιχνευτές Micromegas για την αναβάθμιση New Small Wheel του ανιχνευτή ATLAS στον επιταχυντή LHC στο CERN.

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Αιμιλιανού Β. Κουλούρη

Επιβλέπων: Θεόδωρος Αλεξόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 09/10/2014.

.....
Θεόδωρος Αλεξόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Σταύρος Μαλέζος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Γιώργος Τσιπολίτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Αιμιλιανός Β. Κουλούρης

Διπλωματούχος Φυσικός Εφαρμογών, Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., Ε.Μ.Π,
Σ.Ε.Μ.Φ.Ε., Ε.Μ.Π

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, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Ευχαριστίες

Για την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν κατά της συγγραφής της.

Ιδιαίτερως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου και "αρχηγό" κ. Θεόδωρο Αλεξόπουλο για όλη την καθοδήγηση και την βοήθεια που μου παρείχε για την συγκεκριμένη εργασία. Μου έδωσε την ευκαιρία να δουλέψω μαζί του στον πυρήνα της σύγχρονης φυσικής, κάτι που πολλοί θα ζήλευαν. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την πρώτη στιγμή και ανυπομονώ για τις επόμενες μας δραστηριότητες.

Ένα μεγάλο merci πάει στους συναδέλφους και φίλους Γεώργιο Ιακωβίδη, Στέφανο Λεοντσίνη, Κώστα Ντέκα, Στάθη Καρέντζο, Πάνο Γκουντούμη και Πάρη Μοσχοβάκο για τη βοήθεια και ανοχή τους.

Και επειδή ο τελευταίος είναι και ο πιο ωραίος, ευχαριστώ επίσης τους γονείς μου, Βασίλη και Πετρούλα, την αδερφή μου, Ασπούλα, και τον αδερφό μου, Jaigy, που με καθοδηγούν τόσα χρόνια, που με κρατούν στο σωστό δρόμο, και που μου θυμίζουν όσα ξεχνάω.

..//..

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια του σχεδιασμού της αναβάθμισης του ανιχνευτή ATLAS στο CERN. Η συγκεκριμένη αναβάθμιση περιλαμβάνει την αντικατάσταση των Small Wheel με τα New Small Wheel, με χαρακτηριστικά τέτοια ώστε να μπορεί το πείραμα να ανταπεξέλθει στις νέες απαιτήσεις που θα επέλθουν με την δεύτερη επανέναρξη της λειτουργίας του LHC το 2018. Αυτή η εργασία, όμως, έχει να κάνει με το σχεδιασμό στοιχείων ενός συνόλου υποσυστημάτων, όπως το σύστημα ανάγνωσης δεδομένων και το σύνολο υπηρεσιών των ανιχνευτών Micromegas του New Small Wheel. Τα τρισδιάστατα μοντέλα και οι προσομοιώσεις που έγιναν αφορούν κυρίως εξωτερική δομή, ηλεκτρονικές πλακέτες, καλώδια, σωλήνες μεταφοράς αερίου και νερού αλλά και εσωτερική διάρθρωση των ανιχνευτών Micromegas.

Abstract

This thesis was part of the upgrade of the ATLAS detector at CERN. This upgrade includes the replacement of the Small Wheels with New Small Wheels, to enable the experiment to meet the new requirements brought about by the forthcoming resurgence of the LHC in 2018. This particular project, however, has to do with the design of components from a set of subsystems such as the read-out data acquisition system and the service ecosystem of the Micromegas detectors. The three-dimensional models and the simulations created refer mainly to external form, circuit boards, cabling, gas and water piping and finally inner structure of the Micromegas detectors.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	13
1.1	CERN	13
1.2	LHC	13
1.3	ATLAS	14
1.4	NSW (New Small Wheel)	15
1.4.1	Αρχικά	15
1.4.2	Απαιτούμενες προδιαγραφές	15
1.4.3	Δομή	15
1.4.4	Μηχανική Στήριξη	19
1.4.5	Τοποθεσία	19
1.4.6	Σκοπός - Λειτουργία	20
1.5	Ανιχνευτές Micromegas – Αρχή λειτουργίας	21
2	Λειτουργία του συστήματος ανάγνωσης σημάτων	23
2.1	Trigger System	23
2.1.1	MMFE	23
2.1.2	L1DDC	23
2.1.3	ADDC	24
2.1.4	Συνδεσμολογία ηλεκτρονικών	24
3	Σχεδιασμός του ανιχνευτή και τρι-διάστατα μοντέλα	25
3.1	MMFE	25
3.2	L1DDC	27
3.2.1	Αρχικό σχέδιο	27
3.2.2	Τελικό σχέδιο	29
3.3	ADDC	31
3.4	Large Module 1,2 - 3D Model	31
3.4.1	LM2	32
3.4.2	LM1	33
3.5	Συνδυασμός Large Module 1 και Large Module 2	33
3.5.1	Προσθήκη MMFE	34
3.5.2	Προσθήκη L1DDC,ADDC	35
3.5.3	Προσθήκη Gas Interconnectors	37
3.5.4	Προσθήκη External Gas Manifold	38
3.5.5	Προσθήκη miniSAS Cables	41

3.5.6	Χωρική ανάλυση για τα καλώδια mSAS - Spatial studies for the mSAS cables	42
3.5.7	Προσθήκη Fibers, HV/LV	44
3.5.8	Προσθήκη Cooling Channel Connector	48
3.5.9	Συνολική παρουσίαση Large Wedge	49
3.6	Τοποθέτηση MMFE	53
3.6.1	Cooling Foam	54
3.6.2	Εισαγωγή και εξαγωγή της MMFE κάρτας	56
3.6.3	Zebra Connector	58
3.6.4	Εργαλείο εισαγωγής της κάρτας MMFE	59
4	Δοκιμές σε δέσμη – TestBeam material	69
4.1	Δέσμες	69
4.2	Ανιχνευτές	69
4.2.1	Tmm* - T*	69
4.2.2	MSW	70
4.2.3	ExMe	71
4.3	Διάταξη	75
4.3.1	Testbeam 8/2014	75
4.3.2	Testbeam 10/2014	78
5	Σχέδια για την ομάδα Brookhaven National Laboratory	83
6	FPGA programming introduction	85
6.1	Εισαγωγή στη VHDL	85
6.2	Ένα παράδειγμα	86
7	Υπολογιστικά Εργαλεία	87
7.1	Autodesk Inventor Pro 2013	87
7.2	Xilinx ISE 14.2	87
7.3	Keyshot 5	88
7.4	Camtasia Recorder 8	88
	Βιβλιογραφία	89

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται στα γενικότερα πλαίσια του σχεδιασμού του New Small Wheel (NSW), της αναβάθμισης του end-cap συστήματος μιονίων του ανιχνευτή ATLAS στο CERN.

1.1 CERN

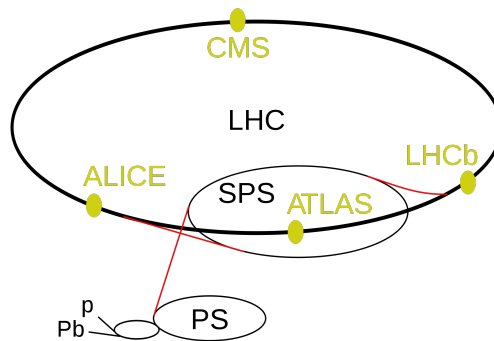
Στο CERN (γαλλικά: "Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire"), φυσικοί και μηχανικοί μελετούν τη δομή της ύλης. Χρησιμοποιούν τα μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα επιστημονικά όργανα στον κόσμο για να μελετήσουν τα βασικά συστατικά της ύλης - τα θεμελιώδη σωματίδια. Τα σωματίδια επιταχύνονται κοντά στην ταχύτητα του φωτός και συγκρούονται. Η διαδικασία αυτή δίνει τις φυσικές ενδείξεις για το πώς αλληλεπιδρούν τα σωματίδια, και παρέχει γνώση σχετικά με τους θεμελιώδεις νόμους της φύσης.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται στο CERN είναι επιταχυντές σωματιδίων και ανιχνευτές. Οι επιταχυντές συγκεντρώνουν και επιταχύνουν δέσμες σωματιδίων σε υψηλές ενέργειες πριν οι δέσμες συγκρουστούν μεταξύ τους ή με σταθερούς στόχους. Οι ανιχνευτές καταγράφουν τα αποτελέσματα αυτών των συγκρούσεων.



1.2 LHC

Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων (LHC) είναι ένας δακτύλιος 27 χιλιομέτρων που βρίσκεται εκατό μέτρα κάτω από τα σύνορα μεταξύ Γαλλίας και Ελβετίας και λειτουργείται από το CERN. Αποτελείται από υπεραγώγιμους μαγνήτες που μπορούν να επιταχύνουν και να κατευθύνουν δέσμες σωματιδίων. Αυτό επιτυγχάνεται με διπολικούς (για στροφή) και τετραπολικούς (για εστίαση) μαγνήτες. Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο LHC είναι ο τελευταίος σε μία σειρά επιταχυντών που διαδοχικά επιταχύνουν τα πρωτόνια, και τελικά δίνονται στον LHC για το τελευταίο μέρος της επιτάχυνσης.



1.3 ATLAS

Το ATLAS είναι ένα πείραμα σωματιδιακής φυσικής στον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων στο CERN, που επιδιώκει νέες ανακαλύψεις από τη μελέτη των συγκρούσεων των πρωτονίων υψηλής ενέργειας. Μεταξύ των πιθανών αγνώστων είναι επιπλέον διαστάσεις του χώρου, η ενοποίηση των θεμελιωδών δυνάμεων, καθώς και στοιχεία για τη σκοτεινή ύλη στο σύμπαν. Μετά την ανακάλυψη του μποζονίου Higgs, περαιτέρω δεδομένα θα επιτρέψουν την σε βάθος διερεύνηση των ιδιοτήτων του μποζονίου αυτού και ως εκ τούτου θα προκύψουν πληροφορίες για την προέλευση της μάζας των σωματιδίων.

Ο ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS), αποτελείται από τα εξής ανιχνευτικά και μη συστήματα:

1. Εσωτερικός Ανιχνευτής (Inner Detector)
 - (i) Pixel Detector
 - (ii) SCT (Semiconductor Tracker)
 - (iii) TRT (Transition Radiation Tracker)
2. Θερμιδόμετρα (Calorimeters)
 - (i) Υγρού Αργού (LAr)
 - (ii) Αδρονικό (Tile)
3. Σύστημα Μιονίων (Muon System)
 - (i) TGC (Thin Gap Chambers)
 - (ii) RPC (Resistive Plate Chambers)
 - (iii) MDT (Monitored Drift Tubes)
 - (iv) CSC (Cathode Strip Chambers)
4. Σύστημα Μαγνητών
 - (i) Central Solenoid Magnet
 - (ii) Barrel Toroid
 - (iii) End-cap Toroid

5. Σύστημα Σκανδαλισμού και Συλλογής Δεδομένων

- (i) Level 1 (40 MHz)
- (ii) Level 2 (100 kHz)
- (iii) Level 3 (3 kHz)

1.4 NSW (New Small Wheel)**1.4.1 Αρχικά**

Ο ATLAS ήδη περιλαμβάνει δύο Small Wheel, τα οποία όμως πρόκειται να αντικατασταθούν καθώς στα πλαίσια της επερχόμενης αναβάθμισης του ανιχνευτή θα πρέπει να αυξηθεί ο ρυθμός λήψης δεδομένων. Η εγκατάσταση αυτής της αναβάθμισης είναι προγραμματισμένη να ολοκληρωθεί κατά τη δεύτερη μεγάλη παύση λειτουργίας του LHC (Long Shutdown-2) το 2018. Φαίνεται πόσο απαιτητικό γίνεται το πείραμα αν δούμε την αναμενόμενη αύξηση στη φωτεινότητα της δέσμης. Η φωτεινότητα (Luminosity) ορίζεται ως ο λόγος του ρυθμού γεγονότων που καταγράφονται προς την ενεργό διατομή

$$L = \frac{1}{\sigma} \frac{dN}{dt}$$

Κατά την περίοδο που γράφεται το παρόν (2014) ολοκληρώνεται το Long Shutdown 1. Αρχικός στόχος είναι να επιτευχθεί φωτεινότητα ίση ή μεγαλύτερη από την προσχεδιασμένη, $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Στη συνέχεια, μετά το δεύτερο Long Shutdown, ο LHC θα λειτουργήσει με στόχο να 2-3πλασιαστεί η φωτεινότητα. Τέλος, τα σχέδια περιλαμβάνουν επιπλέον αναβάθμιση που θα οδηγήσει σε τουλάχιστον 5πλάσια φωτεινότητα.

1.4.2 Απαιτούμενες προδιαγραφές

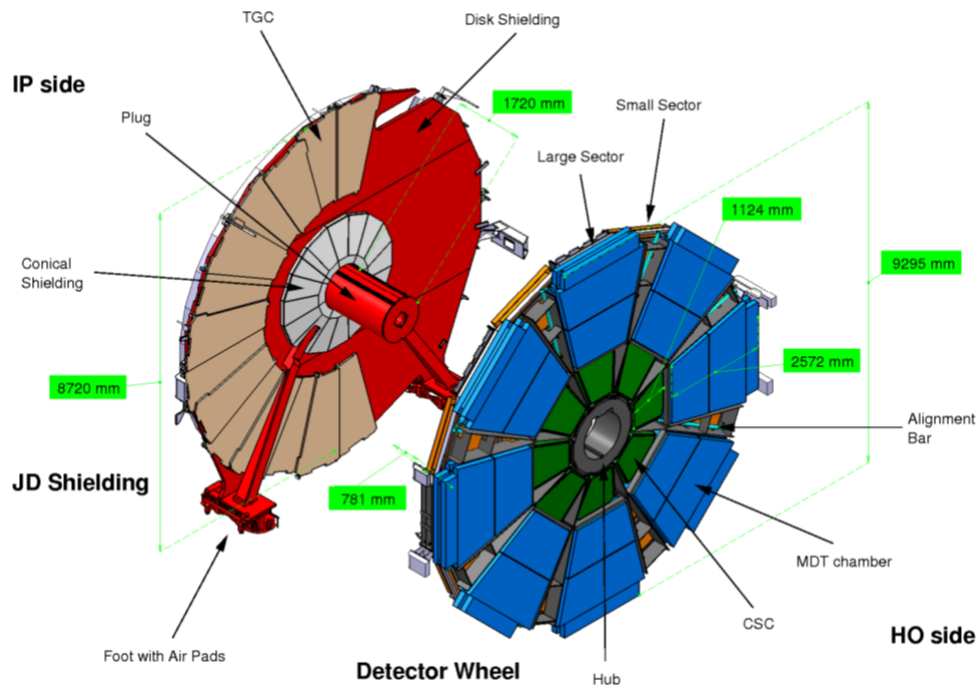
Οι απαιτούμενες προδιαγραφές, όσον αφορά τη φυσική, δε θα μας απασχολήσουν ιδιαίτερα, αλλά επιγραμματικά έχουν ως εξής:

- Η ακρίβεια στην ανίχνευση τροχιών του NSW σε λειτουργία High Luminosity θα πρέπει να είναι τουλάχιστον όσο είναι του τωρινού Small Wheel σε Low Luminosity (ATLAS NSW Technical design Report). Επιθυμητή ακρίβεια είναι τουλάχιστον 50 μm για τις τροχιές, στο επίπεδο x,y με z, τη διεύθυνση της δέσμης στο IP.
- Το cavern background είναι κάτι που πρέπει να έχει προβλεφθεί σωστά. Έχει να κάνει με σωματίδια που έρχονται μεν από την περιοχή του IP, αλλά δεν ανήκουν σε triggered γεγονότα.

1.4.3 Δομή

Το NSW θα αποτελείται από 2 τύπους ανιχνευτών, Micromegas και sTGC. Δεν υπάρχει ακόμα πλήρες σχέδιο για το NSW, αλλά βλέποντας το νυν SW, δίνεται μία πρώτη ιδέα για τη μορφή και το μέγεθος του.

Οι Micromegas και sTGC έχουν μελετηθεί και χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε πολλά πειράματα και εφαρμογές της ΦΥΕ και είναι πολύ σημαντικοί για την επίτευξη των ζητούμενων προδιαγραφών. Αυτή η διπλωματική όμως αφορά δουλειά επί των Micromegas μόνο. Πολλά χαρακτηριστικά των sTGC έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό, αλλά κατά κύριο λόγο χρειάστηκαν οι προκαθορισμένες διαστάσεις του «φακέλου» (envelope) των ανιχνευτών, δηλαδή ο μέγιστος χώρος που θα καταλαμβάνουν και οι θέσεις τους.



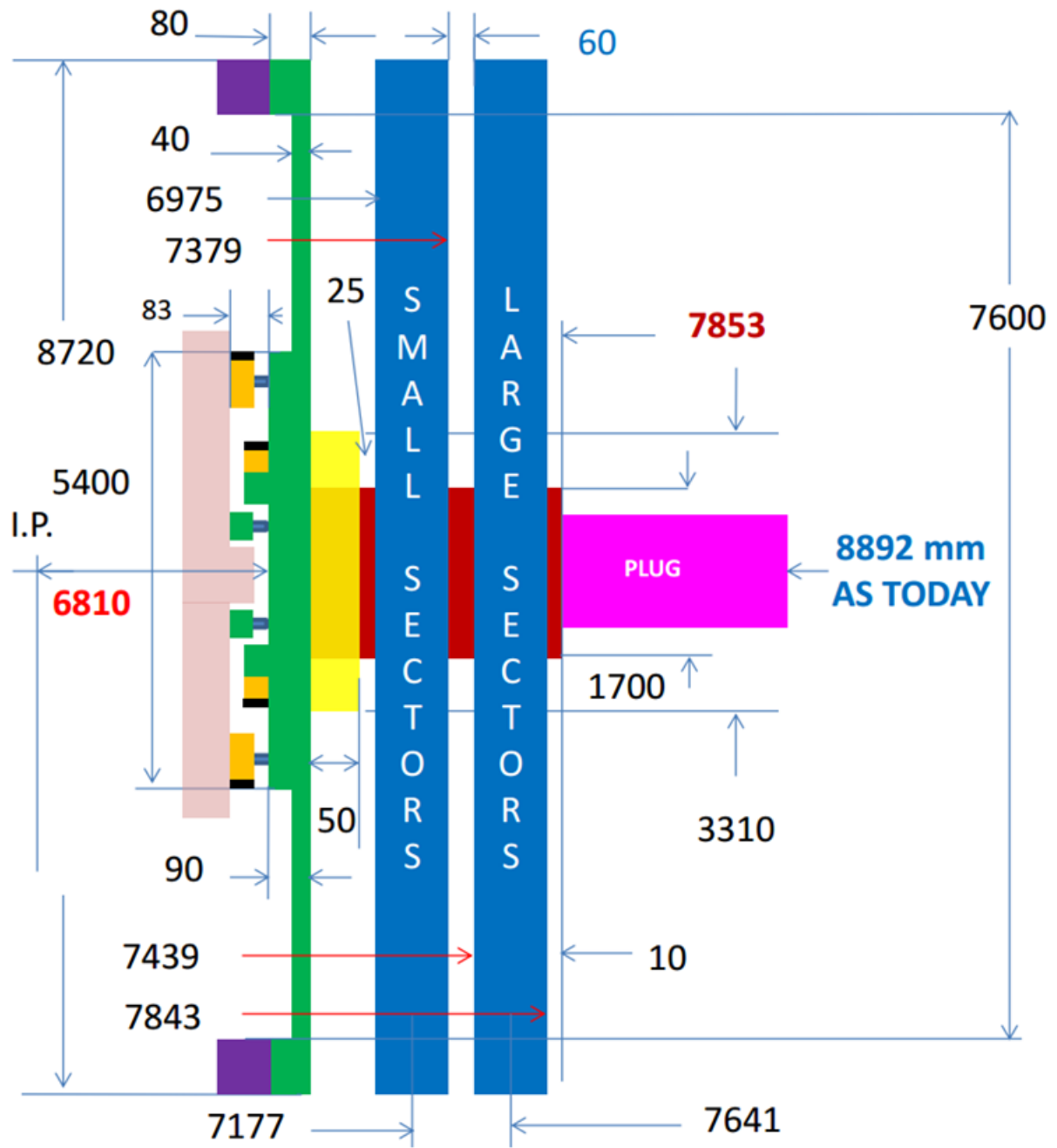
Πλάγια όψη - Envelope

Όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω, η σειρά με την οποία θα τοποθετηθούν οι διάφοροι τομείς Micromegas και οι sTGC είναι:

Micromegas – sTGC | spacer frame | sTGC – Micromegas.

Δηλαδή οι Micromegas θα βρίσκονται στις εξωτερικές μεριές, και στις εσωτερικές οι sTGC. Spacer Frame ονομάζεται ο χώρος ανάμεσα στους δύο Micromegas wheels (βλ. επόμενη σελίδα) που θα είναι άδειος, όσον αφορά εμάς, αλλά στην πραγματικότητα είναι δεσμευμένος για στοιχεία ευθυγράμμισης.

Όπως φαίνεται στη φωτογραφία στην επόμενη σελίδα, το NSW αποτελείται από δύο επιμέρους wheels που και οι δύο έχουν την ίδια διάρθρωση. Η μόνη διαφορά είναι στη γωνία στροφής ως προς τον άξονα που ορίζει η δέσμη, στις διαστάσεις και ελαφρώς στο σχήμα. Η κοινή διάρθρωση φαίνεται στη φωτό παρακάτω.

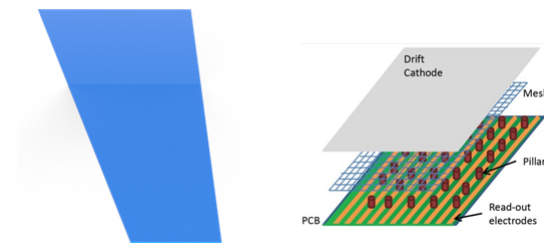


Εσωτερική διάρθρωση και ονοματολογία

Σε αυτό το σημείο θα δούμε την εσωτερική δομή του NSW. Θα ξεκινήσουμε με τη βασική δομική μονάδα, που είναι το plane.

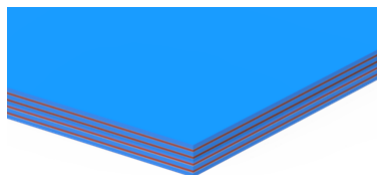
- Plane

Το plane περιέχει όλα τα απαραίτητα συστατικά (π.χ. πλέγμα, κάθοδος) για να ανιχνεύσει σωματίδια και να δώσει σήμα στα ηλεκτρονικά. Είναι δηλαδή ένας Micromegas. Τα επόμενα στοιχεία που αναφέρονται παρακάτω, αποτελούν συγκεκριμένες ομαδοποιήσεις αυτού του δομικού στοιχείου.



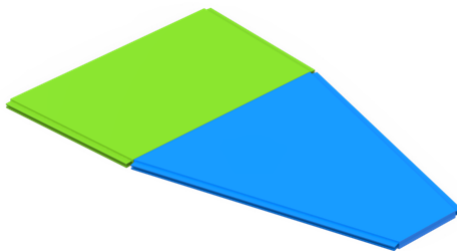
- Multiplet - Quadruplet - Module

Στο NSW τα planes τοποθετούνται σε τετράδες, το ένα πάνω από το άλλο για να σχηματίσουν ένα multiplet, το οποίο συχνά λέγεται και quadruplet λόγω του πλήθους (4) των planes που το αποτελούν. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας το multiplet είναι η πιο βασική δομική μονάδα, καθώς τα σχέδια και η ανάλυση που έγιναν αφορούν τα multiplets πρώτα, και ύστερα προχωρούν στις επόμενες ομαδοποιήσεις.



- Wedge

Το **wedge** αποτελείται από δύο modules, συνδεδεμένα κατά τη διεύθυνση r σε κυλινδρικές συντεταγμένες, του ίδιου τύπου ανιχνευτή. Παράδειγμα wedge φαίνεται στο σχέδιο:



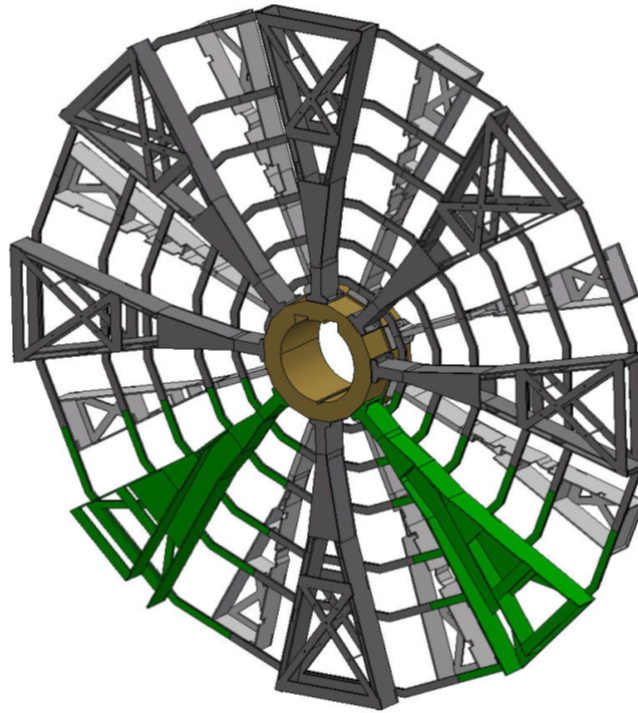
- Sector

Ο **sector**, λεγόμενος και σέκτορας, : είναι το 1/16ο του NSW και αποτελείται από wedges που ανήκουν στην ίδια γωνία κυλινδρικά. Η διάκριση μεταξύ των διαφόρων sectors γίνεται με την

προσθήκη του αντίστοιχου διακριτικού. Για παράδειγμα: Large Micromegas Sector είναι δύο Micromegas wedges.

1.4.4 Μηχανική Στήριξη

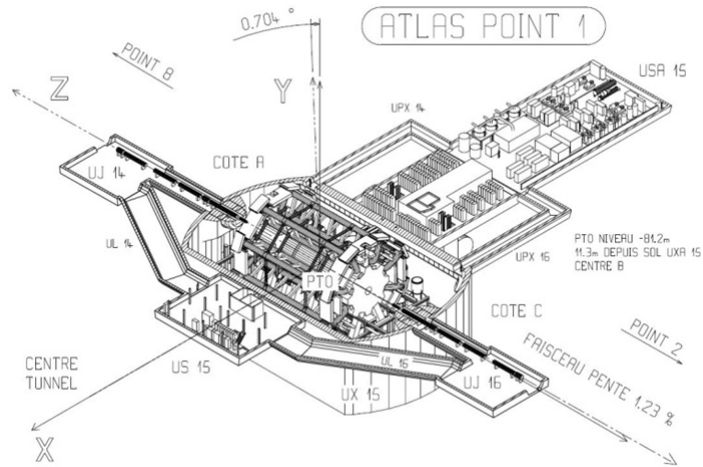
Το σύνολο των ανιχνευτών του NSW θα συναρμολογηθεί και θα στηρίζεται πάνω σε μία ενιαία κατασκευή, η οποία θα περιλαμβάνει και χώρο για όλα τα κανάλια υπηρεσιών (καλώδια επικοινωνίας, δεδομένων, ρεύματος, αέρα, υδρόψυξη) αλλά και για το σύστημα ευθυγράμμισης το οποίο είναι ένα ακόμα ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι του συνόλου.



Εικόνα 1.1: Αρχικό σχέδιο της μηχανικής στήριξης του NSW.

1.4.5 Τοποθεσία

Τα NSW θα αντικαταστήσουν τα SW που βρίσκονται στην πλευρά A και C του ανιχνευτή (cote A,C). Εκεί είναι τα end-cap, τα οποία είναι το τελευταίο μέρος του ανιχνευτή στην εκάστοτε μεριά και λειτουργούν ως καπάκι για να κλείνει ο κυλινδρικός ανιχνευτής.

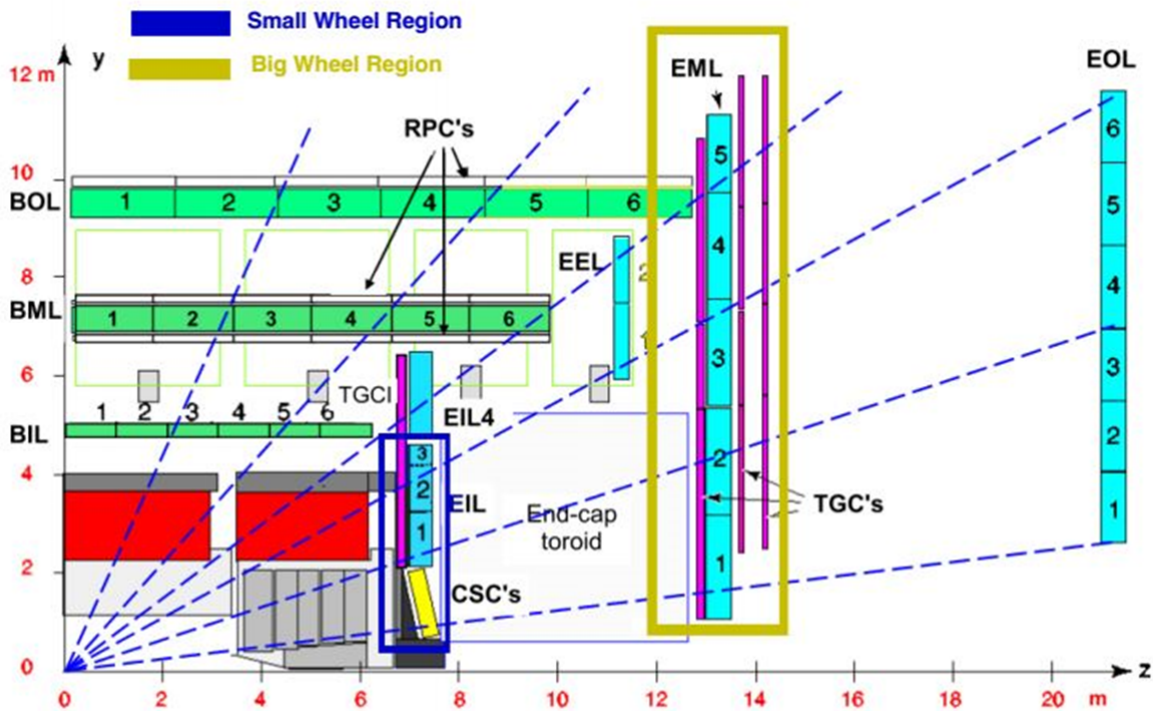


1.4.6 Σκοπός - Λειτουργία

Συγκεκριμένα, το NSW θα ανακατασκευάζει τροχιές μιονίων με ακρίβεια 100μm, ενώ παράλληλα θα διενεργεί προκαταρκτικό triggering. Οι δύο τεχνολογίες θαλάμων ανιχνευτών που θα περιλαμβάνει είναι:

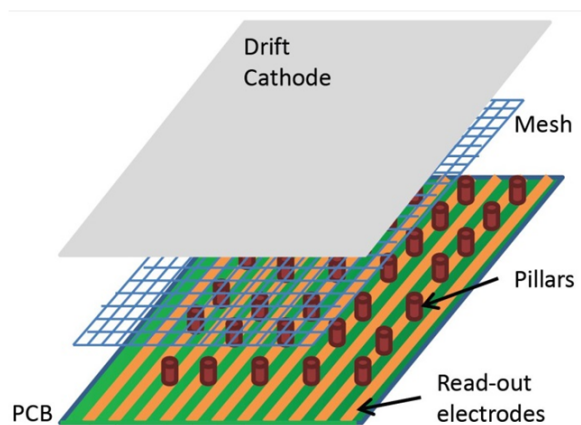
1. sTGC : Level-1 Triggering
2. Micromegas : precise tracking

Οι δύο τύποι αυτοί αποτελούν πολύ καλό συνδυασμό για την ανίχνευση, το σκανδαλισμό και την υψηλή απόδοση, που είναι απαραίτητη για το επερχόμενο HL-LHC Upgrade.

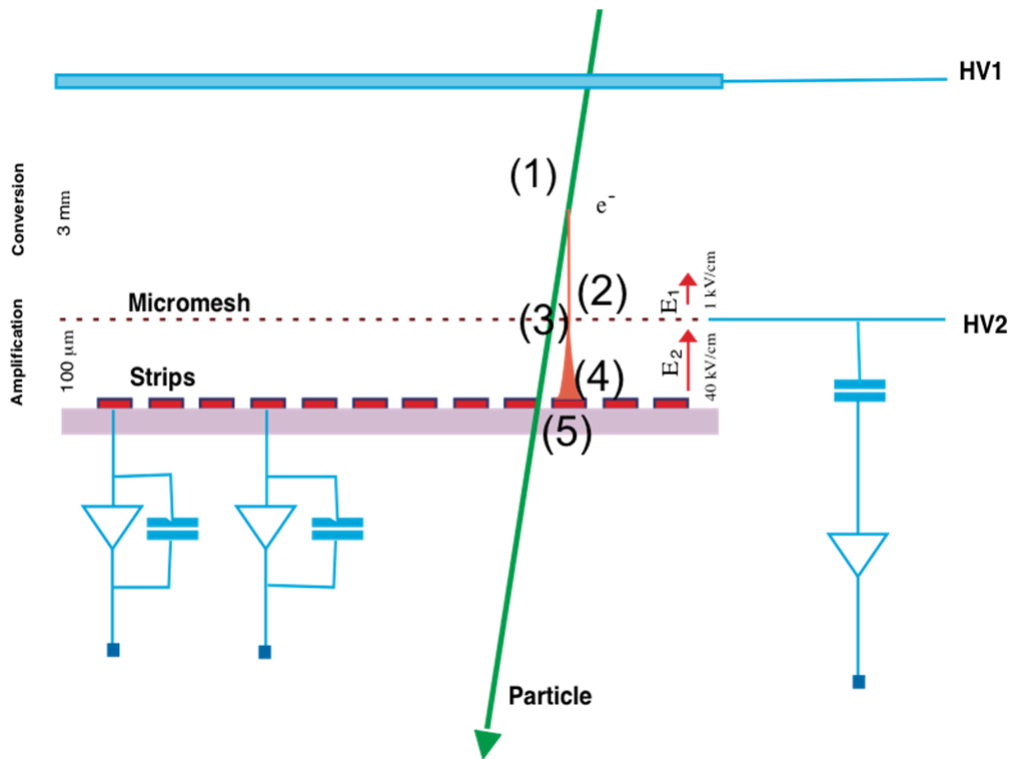


1.5 Ανιχνευτές Micromegas – Αρχή λειτουργίας

Ο τύπος ανιχνευτών Micromegas (MicroMEsh Gaseous Structure) είναι, όπως λέει και το όνομα τους, ανιχνευτής αερίου. Εκμεταλλεύεται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα φορτισμένο σωματίδιο μπορεί να ιονίζει το αέριο καθώς το διαπερνά. Απότοκος του ιονισμού είναι ένας αριθμός ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων τα οποία αναγκάζονται να κινηθούν σε αντίθετες κατευθύνσεις, λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από την κάθοδο και την άνοδο. Η κίνηση αυτών των φορτίων δημιουργεί ηλεκτρικό σήμα στις λωρίδες ανάγνωσης και αυτό το σήμα τελικά καταγράφεται από τα ηλεκτρονικά. Η εσωτερική δομή του ανιχνευτή φαίνεται εδώ: Φαίνεται το κύριο συστατικό, το πλέγμα, το οποίο είναι γειωμένο. Από πάνω τοποθετείται η κάθοδος. Μεταξύ αυτών δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο τάξης 300 V/cm , το οποίο «τραβάει» τα ηλεκτρόνια προς το πλέγμα. Με το που περάσει το πλέγμα, το ηλεκτρόνιο περνάει στην περιοχή ενίσχυσης, στην οποία το ηλεκτρικό πεδίο είναι τάξεως kV/cm . Αυτό το πεδίο είναι τόσο μεγάλο, ώστε να προκαλείται φαινόμενο «χιονοστιβάδας», δηλαδή πολλοί ιονισμοί, που λόγω του ηλ. πεδίου, ο ένας προκαλεί κι άλλους. Έτσι δημιουργείται τεράστιος αριθμός ζευγών ηλεκτρονίων-θετικών ιόντων. Τελικά όλο αυτό το



παραπανάσιο φορτίο που φέρουν τα ηλεκτρόνια προκαλεί είδωλο φορτίο στις λωρίδες ανάγνωσης. Αυτό το είδωλο φορτίο τελικά το λαμβάνουν τα ηλεκτρονικά που βρίσκονται στα άκρα των λωρίδων αυτών και έτσι έχουμε σήμα ότι ανιχνεύτηκε σωματίδιο.



Ένα πρόβλημα που υπήρχε στους ανιχνευτές ήταν ότι σε μεγάλες διαφορές δυναμικού δημιουργούνταν ηλεκτρικές εκκενώσεις μέσα στο αέριο. Η λύση ήταν η προσθήκη σειράς αντιστατικών λωρίδων πάνω από τα read-out strips. Αυτή η φαινομενικά απλή προσθήκη επέκτεινε τα όρια λειτουργίας αυτού του τύπου ανιχνευτών. Σημειωτέο ότι μεγάλο μέρος αυτής της τεχνολογίας αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ από την ελληνική ομάδα ΦΥΕ.

Κεφάλαιο 2

Λειτουργία του συστήματος ανάγνωσης σημάτων

Τώρα ακολουθεί μία περιγραφή της δομής του read-out system των ανιχνευτών Micromegas (MM). Αποτελείται από ένα σύνολο ηλεκτρονικών καρτών που συνδέονται μεταξύ τους και αναλαμβάνουν ένα πρώτο επίπεδο επεξεργασίας των δεδομένων που λαμβάνονται.

2.1 Trigger System

Οι δύο τεχνολογίες, MM και sTGC, συνεισφέρουν στο πρώτο επίπεδο σκανδαλισμού του συνολικού συστήματος μιονίων του ανιχνευτή.

2.1.1 MMFE

Το πρώτο επίπεδο ηλεκτρονικών είναι αυτό που λαμβάνει το σήμα από τα strips του πλέγματος. Αυτό το σύνολο ηλεκτρονικών είναι οι front end κάρτες (Micromegas Front End Boards: MMFE ή απλά FE). Αυτές οι κάρτες χρησιμοποιούν το VMM ASIC το οποίο είναι μία προγραμματίσιμη μονάδα που επιτρέπει την ανάγνωση των strips σε real-time (ART: Address in Real Time). Σε κάθε plane υπάρχουν 8 MMFE ανά πλευρά, στους MM. Εφόσον έχουμε 4 planes/wedge, 8 wedge/wheel, 4 MM wheels/NSW. Προκύπτουν τελικά 2048 MMFE για κάθε NSW. Από τις FE, το σήμα πάει στο επόμενο επίπεδο, που είναι οι κάρτες L1DDC (Level-1 Data Driver Card) και ADDC (ART data driver card).

2.1.2 L1DDC

Τα δεδομένα από τις front end περνάνε μέσω ενός 80 Mbps καλώδιο στις L1DDC. Αυτές οι κάρτες διαβάζουν 8 MMFE έκαστη, και μάλιστα πρέπει οι MMFE αυτές να μην ανήκουν στο ίδιο plane, για λόγους λειτουργικότητας. Αυτή η προϋπόθεση βασίζεται στη λογική ότι στην περίπτωση

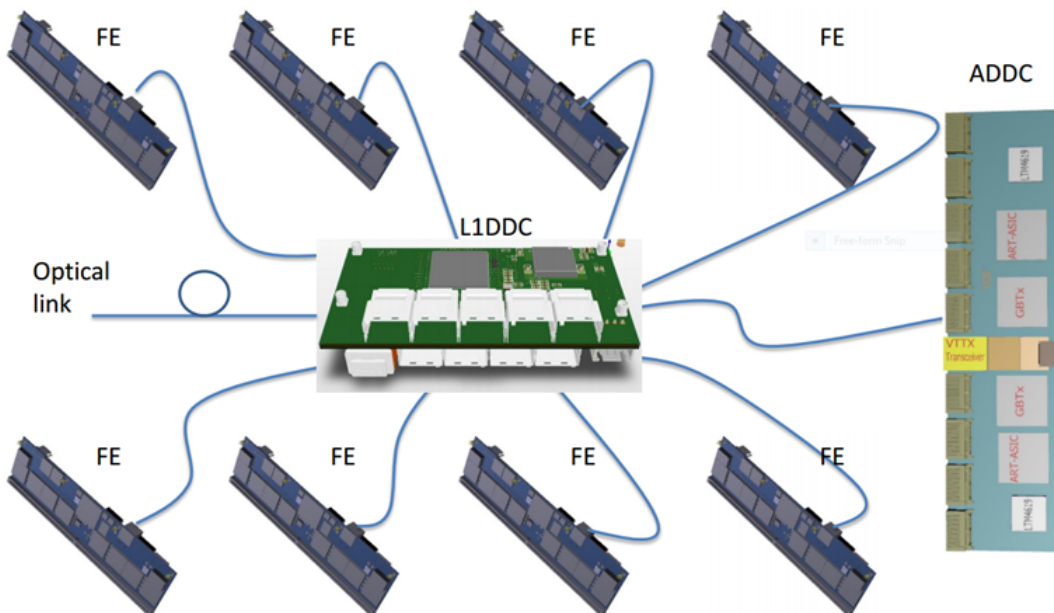
δυσλειτουργίας ηλεκτρονικών σε ένα σημείο (για παράδειγμα μία κάρτα) δεν πρέπει να χάνονται δεδομένα από άνω του ενός plane.

2.1.3 ADDC

Οι ART data driver κάρτες αφορούν κυρίως το triggering σύστημα. Παίρνουν από τις L1DDC τις διευθύνσεις των γεγονότων και τις στέλνουν σε ένα κεντρικό σύστημα μέσω οπτικών ινών ώστε να χρησιμοποιηθούν για το γενικό σκανδαλισμό.

2.1.4 Συνδεσμολογία ηλεκτρονικών

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πιο καθαρά η σειρά σύνδεσης των καρτών, που αντιστοιχεί στη μία πλευρά ενός plane.



Εικόνα 2.1: Συνδεσμολογία καρτών: Φαίνονται τα 3 είδη καρτών. Οι MMFE που λαμβάνουν το σήμα από τον ανιχνευτή, μία trigger data driver κάρτα που δέχεται δεδομένα από τις MMFE, και μία Level-1 readout data driver κάρτα που παίρνει δεδομένα από τις 8 MMFE.

Κεφάλαιο 3

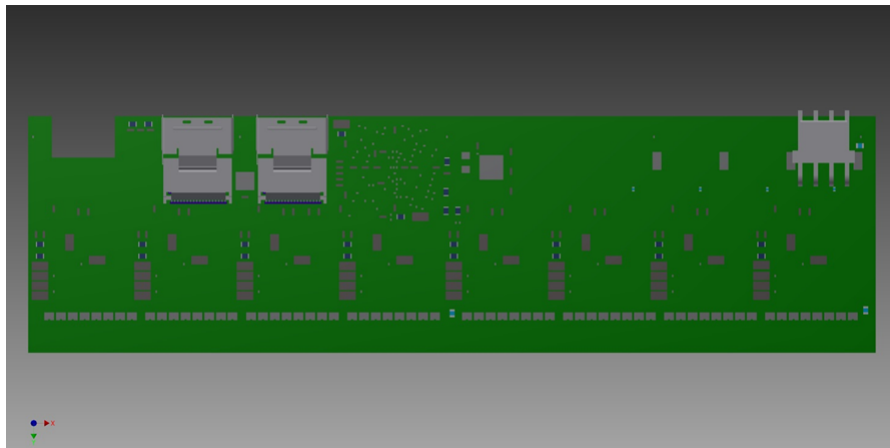
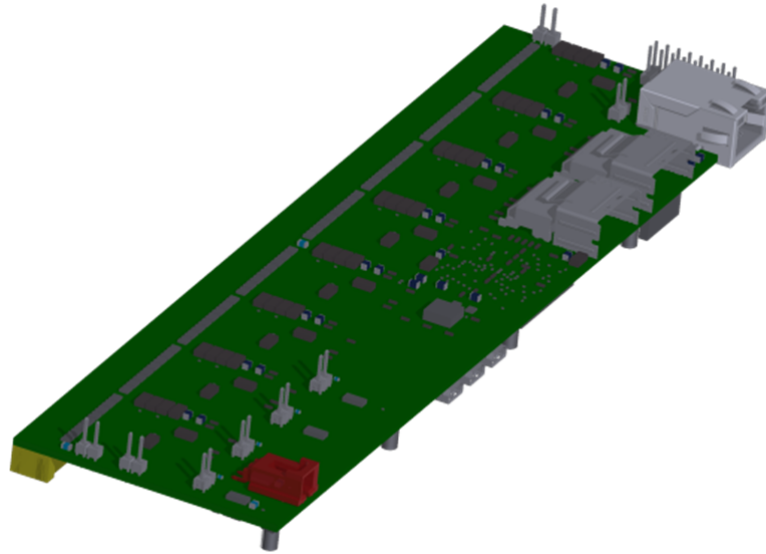
Σχεδιασμός του ανιχνευτή και τρι-διάστατα μοντέλα

Εδώ ακολουθεί μεγάλο μέρος της δουλειάς που έγινε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τα 3D μοντέλα προσφέρουν μεγάλη βοήθεια κατά τη σχεδίαση. Αυτό ισχύει για οποιοδήποτε προϊόν ή κατασκευή. Προφανώς παραμένουν πάντα μοντέλα της πραγματικότητας. Αποτελούν όμως πιστή αντιγραφή και επιτρέπουν τη μελέτη και την ανάλυση του αντικειμένου προς κατασκευή. Πολύ σημαντικό όμως είναι το γεγονός ότι με τα μοντέλα μπορούμε να δούμε αν αυτό που έχουμε γράψει στο χαρτί μπορεί να δουλέψει. Η δυνατότητα που προσφέρουν τα μοντέλα, η πρόληψη, επιλύει πολλά προβλήματα πριν καν εμφανιστούν στην πραγματικότητα. Μάλιστα γι' αυτό το λόγο πολλές φορές δεν αποκτά την αξία που της αξίζει.

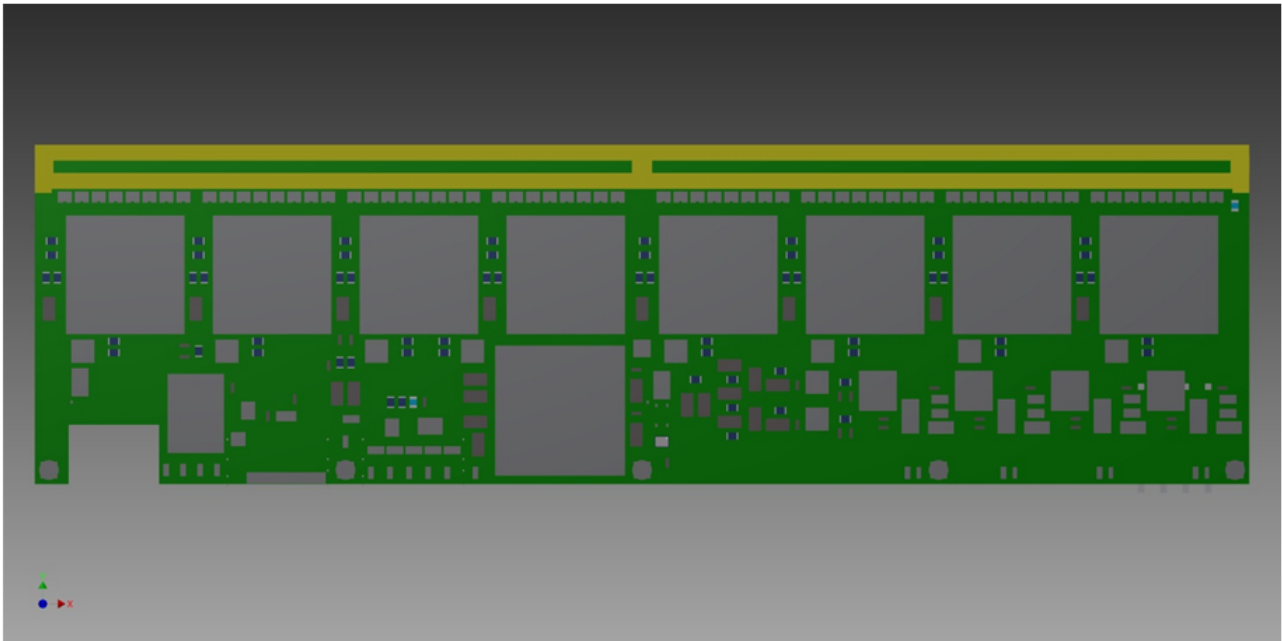
Τα σχέδια που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία έχουν τη μορφή στην οποία έφτασαν τον Οκτώβριο του 2014. Είναι πιθανό κατά τη συνέχεια της ανάλυσης και της επεξεργασίας να αλλάξουν τα σχέδια, και τελικά τα παρακάτω να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Γι' αυτό το λόγο, για τελευταίες εκδόσεις των σχεδίων και διευκρινήσεις καλύτερα να προηγείται επικοινωνία με το συγγραφέα ή τον επιβλέποντα καθηγητή.

3.1 MMFE

Αυτή η κάρτα είναι το πρώτο επίπεδο ηλεκτρονικών που δέχεται το σήμα από τα read-out strips του ανιχνευτή. Οι διαστάσεις της είναι 210×60 mm



Εικόνα 3.1: Άνω όψη της MMFE.



Εικόνα 3.2: Κάτω όψη της MMFE.

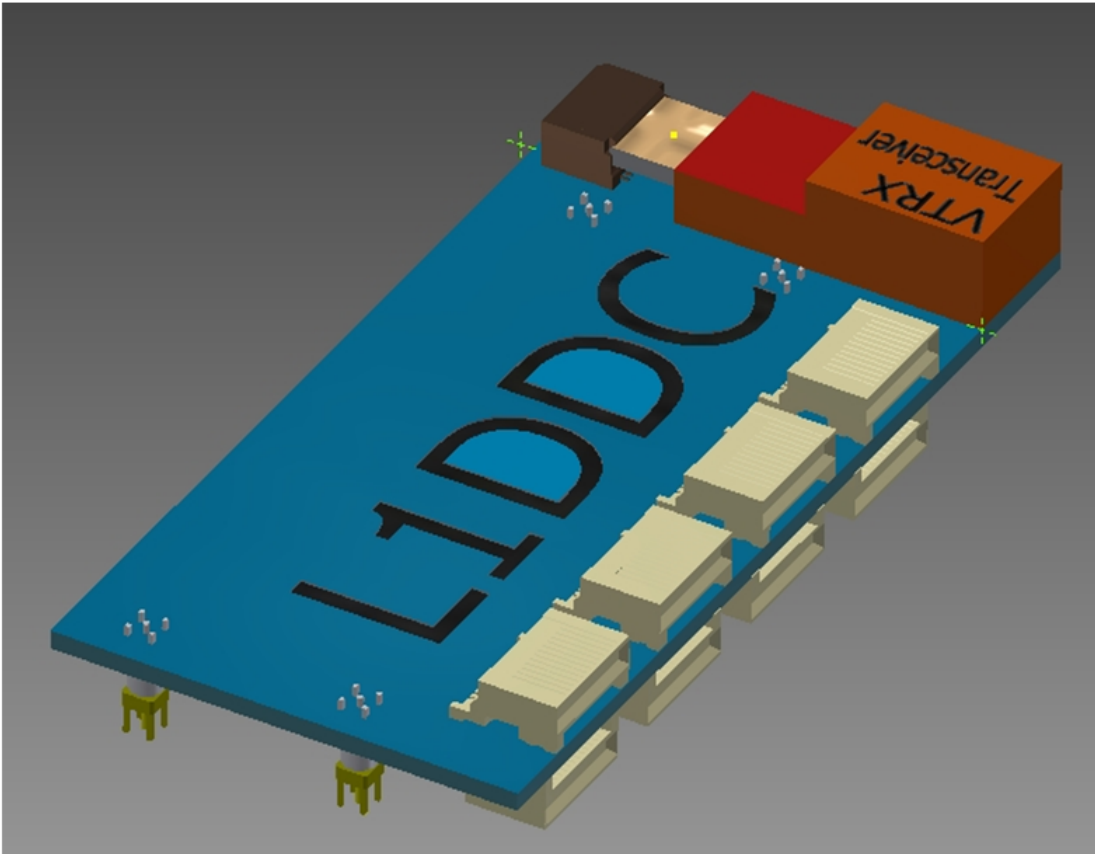
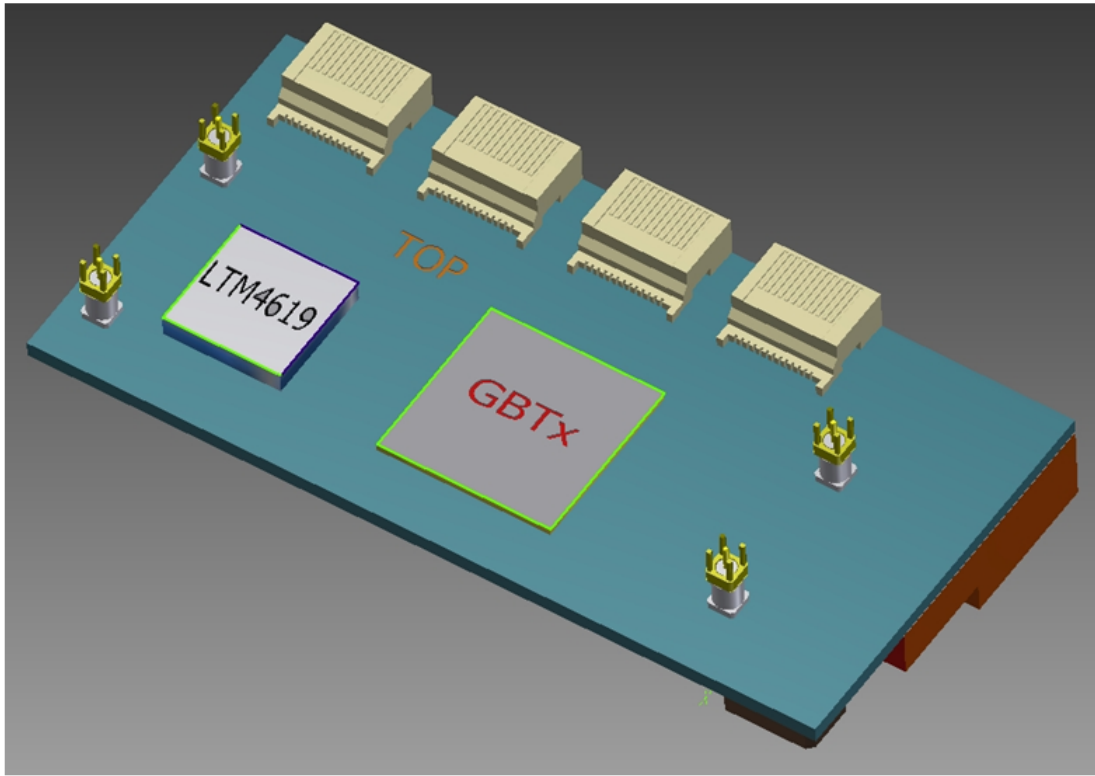
3.2 L1DDC

Η κάρτα αυτή είναι ένα σημαντικό μέρος της ενασχόλησης της ελληνικής ομάδας του ΕΜΠ.

3.2.1 Αρχικό σχέδιο

Στην αρχή η L1DDC είχε διαφορετικό σχέδιο από το πλέον ισχύον.
Το **παλιό** σχέδιο φαίνεται εδώ:

Βλέπουμε ότι στην αρχή το μήκος της πλακέτας ήταν το μισό από ότι τώρα. Οι 9 mSAS σύνδεσμοι βρίσκονταν τοποθετημένοι και στις δύο πλευρές της κάρτας, και κάτι που δεν φαίνεται στο 3D model, η πλακέτα ήταν πολύ πιο πυκνή ως προς τη δρομολόγηση των κυκλωμάτων. Από τη στιγμή που αποφασίστηκε να γίνουν διπλές οι κάρτες (L1DDC και ADDC), διευκολύνθηκε αρκετά το έργο του ηλεκτρονικού της ομάδας, Παναγιώτη Γκουντούμη.

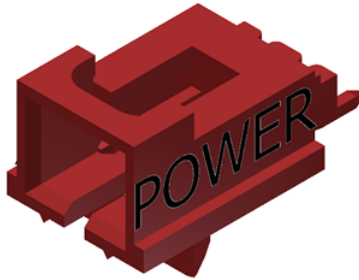


3.2.2 Τελικό σχέδιο

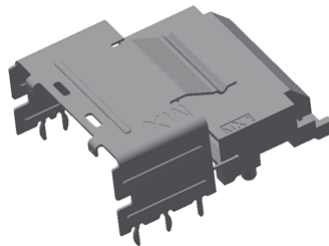
Η κάρτα L1DDC, στην παρούσα μορφή της, έχει τα εξής components:

1. Power connector.

Σε αυτό το σύνδεσμο θα κουμπώσουν τα Low Voltage καλώδια που περιλαμβάνονται σε ανάλυση παρακάτω και που είναι υπεύθυνα για την παροχή ρεύματος στις κάρτες.

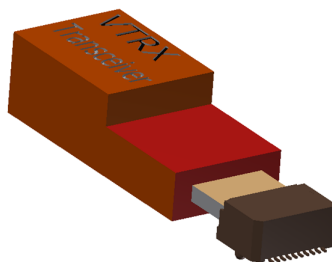


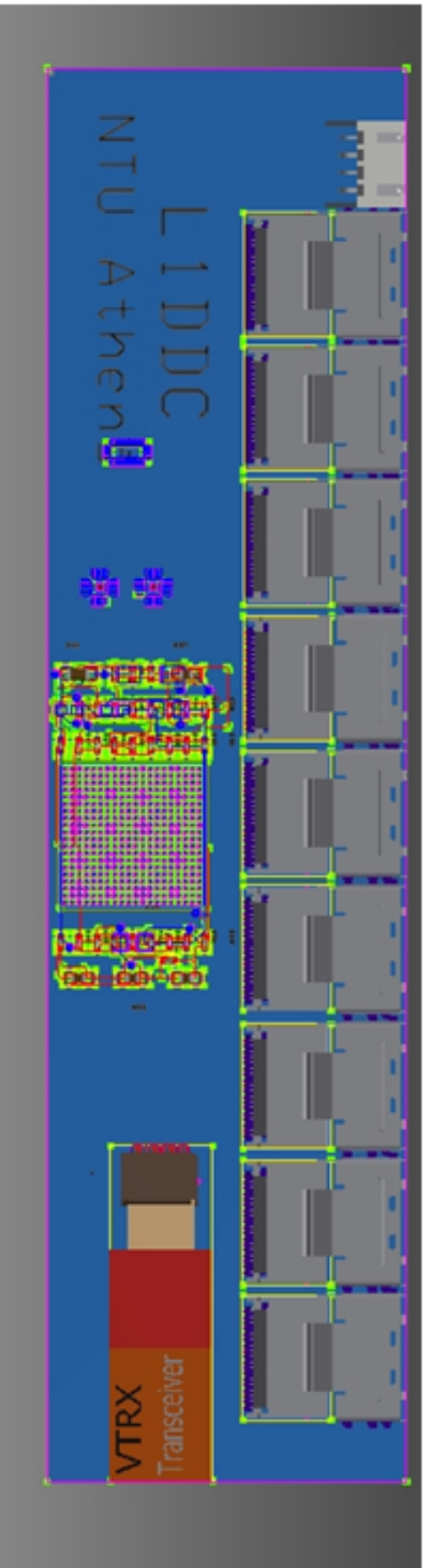
2. (8+1) miniSAS connectors. Αυτοί οι σύνδεσμοι είναι υποδοχές για τα καλώδια mSAS που θα δούμε παρακάτω, τα οποία συνδέουν τις MMFE με ADDC και L1DDC.



3. GBT. Αυτό είναι ένα ASIC component, το οποίο είναι προγραμματίσιμο και είναι η καρδιά της κάρτας, μαζί με το FPGA Artix-7, που θα δουλεύει σε εναλλαγή με το GBT.

4. VTRX Transceiver. Αυτός ο πομποδέκτης οπτικών σημάτων αναλαμβάνει την αποστολή δεδομένων στον κεντρικό υπολογιστή, αλλά και τη λήψη δεδομένων για την αρχική ρύθμιση της καρτέλας κατά την έναρξη λειτουργίας της.





3.3 ADDC

Η κάρτα ADDC, όσον αφορά τα 3D μοντέλα, δε μας έχει απασχολήσει ιδιαίτερα καθώς δεν περιλαμβάνεται στα καθήκοντα της ομάδας. Παρόλα αυτά, τα 3D μοντέλα που φτιάχτηκαν σε αυτά τα πλαίσια δώθηκαν στην ομάδα της Arizona που τις ετοιμάζει, επειδή προς το παρόν δεν είχε ετοιμαστεί κάποιο μοντέλο.

Μία βασική διάφορα στο layout από τις L1DDC είναι ότι ο οπτικός transceiver είναι VTTX που σημαίνει ότι θα υλοποιεί μόνο αποστολή δεδομένων και όχι λήψη.

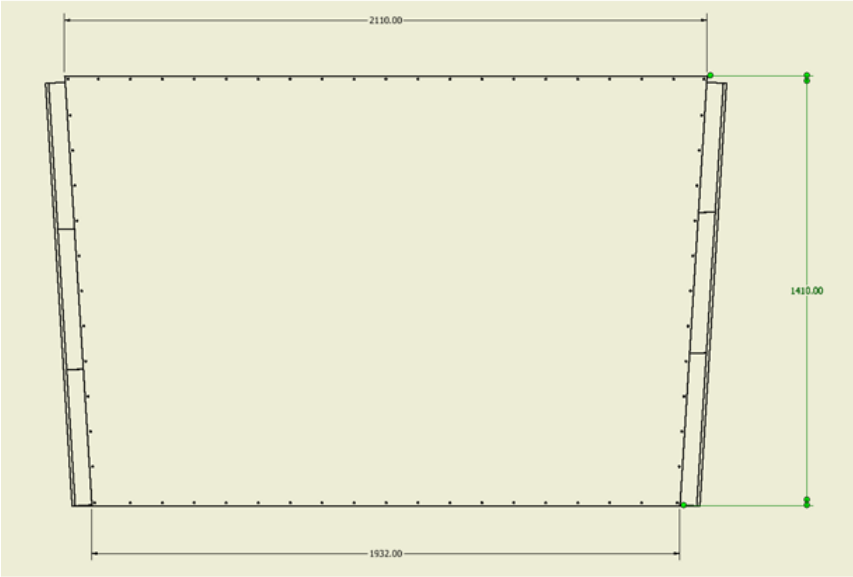
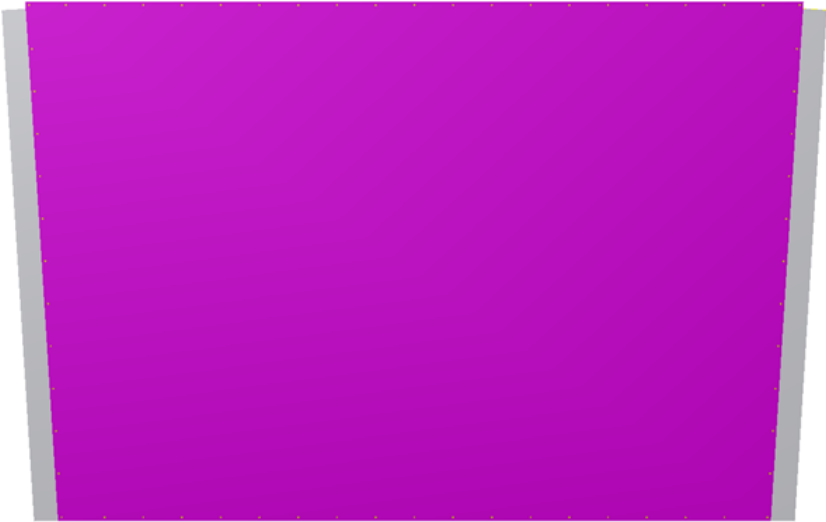
Σημειώνεται ότι ο σχεδιασμός της ADDC προέβλεπε αρχικά το μισό μέγεθος, όμοια με την L1DDC. Θα φανεί παρακάτω, κατά την παρουσίαση των σχεδίων του ανιχνευτή και της τοποθέτησης των καρτών, ο λόγος για τον οποίο έγινε αυτή η μετάβαση σε μεγαλύτερο μέγεθος καρτών.



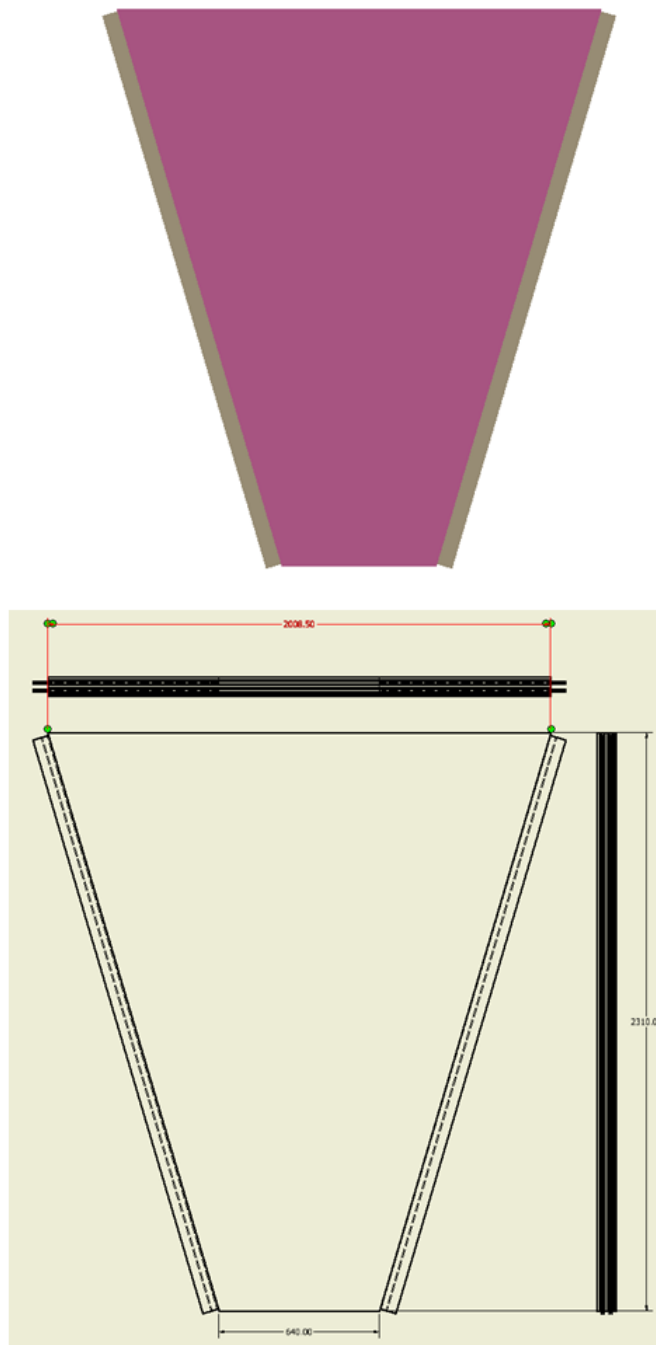
3.4 Large Module 1,2 - 3D Model

Έχουμε δει παραπάνω, ότι στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, ο βασικός λίθος είναι το module, του οποίου το 3D μοντέλο και σχέδιο φαίνεται παρακάτω.

3.4.1 LM2

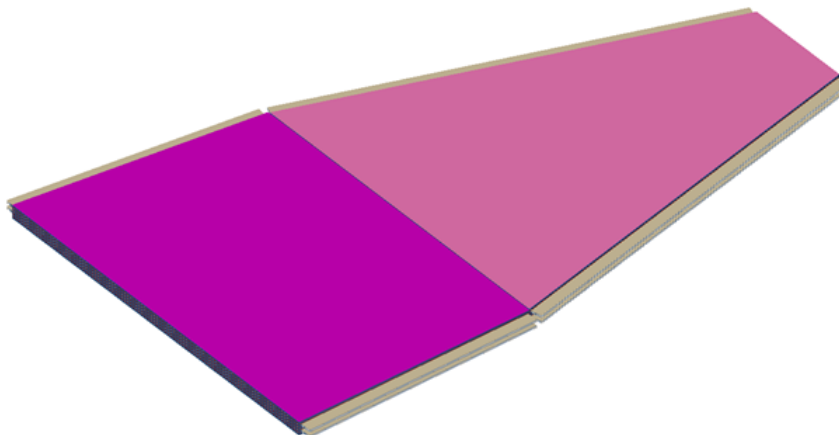


3.4.2 LM1



3.5 Συνδυασμός Large Module 1 και Large Module 2

Τελικά τα δύο modules φτιάχνουν το wedge που θα δούμε συχνά στις επόμενες σελίδες.



Προσεχώς θα δείξουμε πως θα τοποθετηθούν τα διάφορα components πάνω σε αυτό το στοιχείο. Τα συστατικά που θα προσθέσουμε περιλαμβάνουν χωρίς να περιορίζονται σε:

- Front end boards
- L1DDC boards
- ADDC boards
- Gas connectors
- External Gas manifold
- mSAS cabling (διασύνδεση των καρτών μεταξύ τους)
- fiber optics (διασύνδεση των L1 και ADDC με το κεντρικό σύστημα στο frame)
- High voltage και Low voltage cabling (για παροχή ρεύματος στους ανιχνευτές και στις κάρτες αντίστοιχα)
- Σύνδεσμος σωλήνων ψύξης

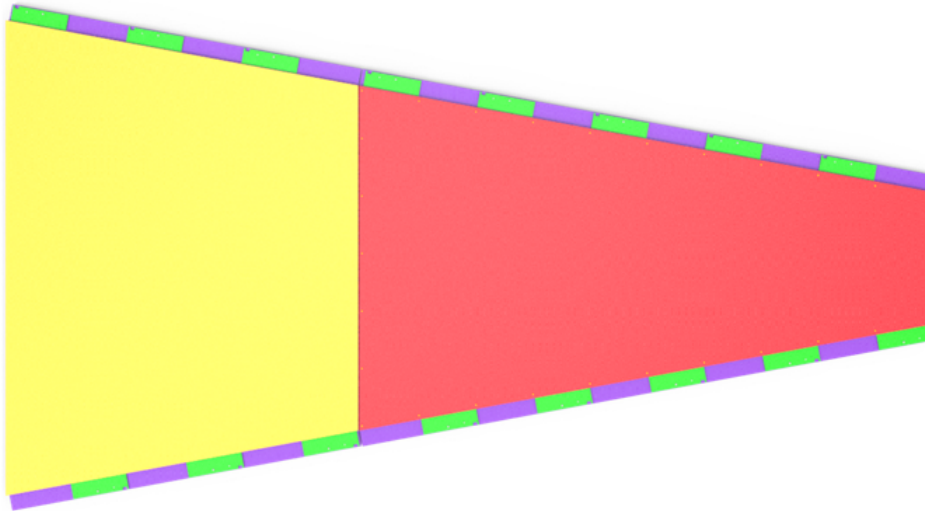
Σχεδόν με τη σειρά που παρουσιάστηκαν εδώ, ακολουθεί παρακάτω, βήμα-βήμα, η προσθήκη των στοιχείων.

3.5.1 Προσθήκη MMFE

Το πρώτο που θα προστεθεί στο μοντέλο είναι οι front end κάρτες. Η τοποθέτηση αυτών των καρτών είναι η πλέον σημαντική. Ο λόγος είναι ότι αυτές οι κάρτες περιλαμβάνουν τους zebra connectors που θα δούμε σε επόμενο μέρος. Αυτοί οι σύνδεσμοι «ζέβρα» κάνουν την επαφή με τα strips του ανιχνευτή. Αν λάβει κανείς υπόψη ότι αυτά τα strips έχουν πλάτος μερικά μικρόμετρα, και ότι απέχουν μεταξύ τους όμοια απόσταση, γίνεται κατανοητό ότι η τοποθέτησή τους είναι τόσο σημαντική όσο και δύσκολη και απαιτητική. Στα πλαίσια αυτής της δυσκολίας, έγινε η σχεδίαση ενός εργαλείου, που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, για την τοποθέτηση και αφαίρεση αυτών των καρτών, για χρήση απευθείας επί του ανιχνευτού.

Η σειρά τοποθέτησης είναι τρόπον τινά «εναλλάξ». Κάθε PCB, που αντιστοιχεί σε 1024 κανάλια-strips, διαβάζεται από 2 MMFE. Για λόγους που απαιτούν ιδιαίτερη εμβάθυνση για να εξηγηθούν

δεν τοποθετούνται στη σειρά. Δηλαδή, όπως φαίνεται στο σχέδιο, το πρώτο μισό του PC-Board διαβάζεται από «αριστερά», ενώ το άλλο μισό από «δεξιά». Θυμίζουμε ότι το LM2/SM2 αποτελείται από 3 PCBs ενώ το LM1/SM1 από 5.



3.5.2 Προσθήκη L1DDC,ADDC

Όπως είδαμε στα αρχικά σχέδια των L1 και ADDC, είχαν σχεδιαστεί αρχικά με την ιδέα να έχουν το μισό πλάτος από τις MMFE. Δηλαδή θα κατήλαβον χώρο ίσο με μισό PCB. Λόγω χωρικού προβλήματος που θα φανεί παρακάτω, αποφασίστηκε τελικά να ενωθούν 2 κάρτες σε μία.

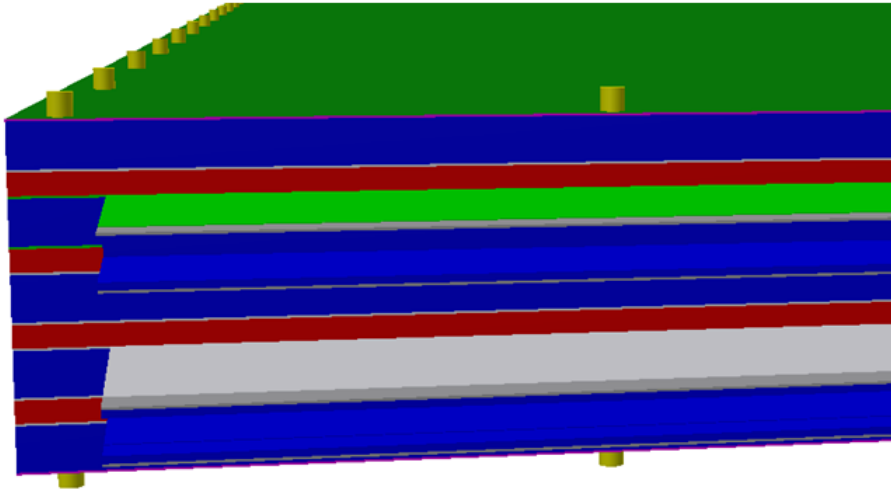
Πέρα από τις διαστάσεις των L1+ADDC υπήρχε και το θέμα του που θα τοποθετηθούν πάνω στον ανιχνευτή. Προφανώς υπάρχει χώρος για να μπουν οι κάρτες, αλλά καθότι πρέπει να έχουμε καλώδια από όλες τις κάρτες και υπάρχει περιορισμός για το μήκος των καλωδίων, ήταν κι αυτό ένα πρόβλημα.

Η πρώτη σκέψη ήταν να μπουν όλες οι κάρτες στο «πρώτο» layer, πάνω-πάνω όπως φαίνεται στις φωτογραφίες. Επειδή όμως πρέπει τα καλώδια μεταξύ των καρτών να είναι ανά ομάδες σε ίσα μήκη, τελικά υιοθετήθηκε η ιδέα να τοποθετηθούν οι κάρτες και στις δύο πλευρές του wedge (πάνω και κάτω).

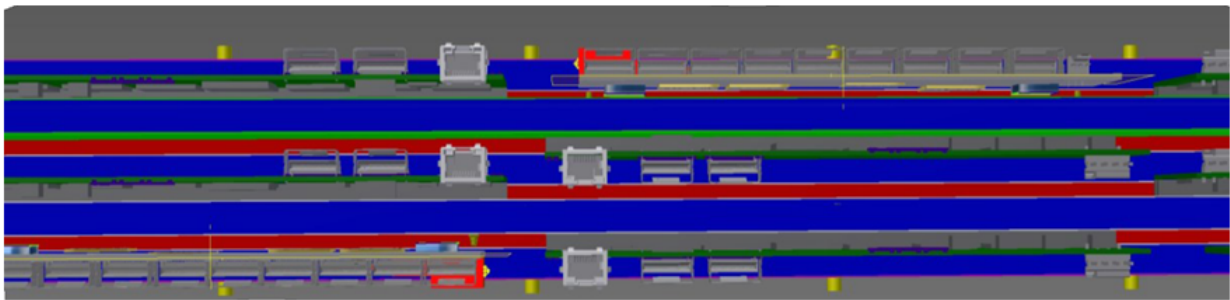
Ας δούμε πρώτα το χώρο που υπάρχει για τις κάρτες:

Στη φωτογραφία φαίνονται τα 4 layers, τα οποία διακρίνονται με κόκκινο χρώμα. Τα δύο μακρόστενα στοιχεία που εξέχουν από την πλευρά του module είναι αποκλειστικά για services. Εσωτερικά θα περνάει νερό προς ψύξη των ηλεκτρονικών. Στο cutout που φαίνεται στην έξω μεριά θα περάσουν καλώδια. Ο χώρος που μένει είναι έξω από το cutout, και εκεί θα τοποθετηθούν οι πλακέτες (όπως οι MMFE που ήδη μπήκανε).

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται μία πλάγια όψη με τις κάρτες τοποθετημένες:



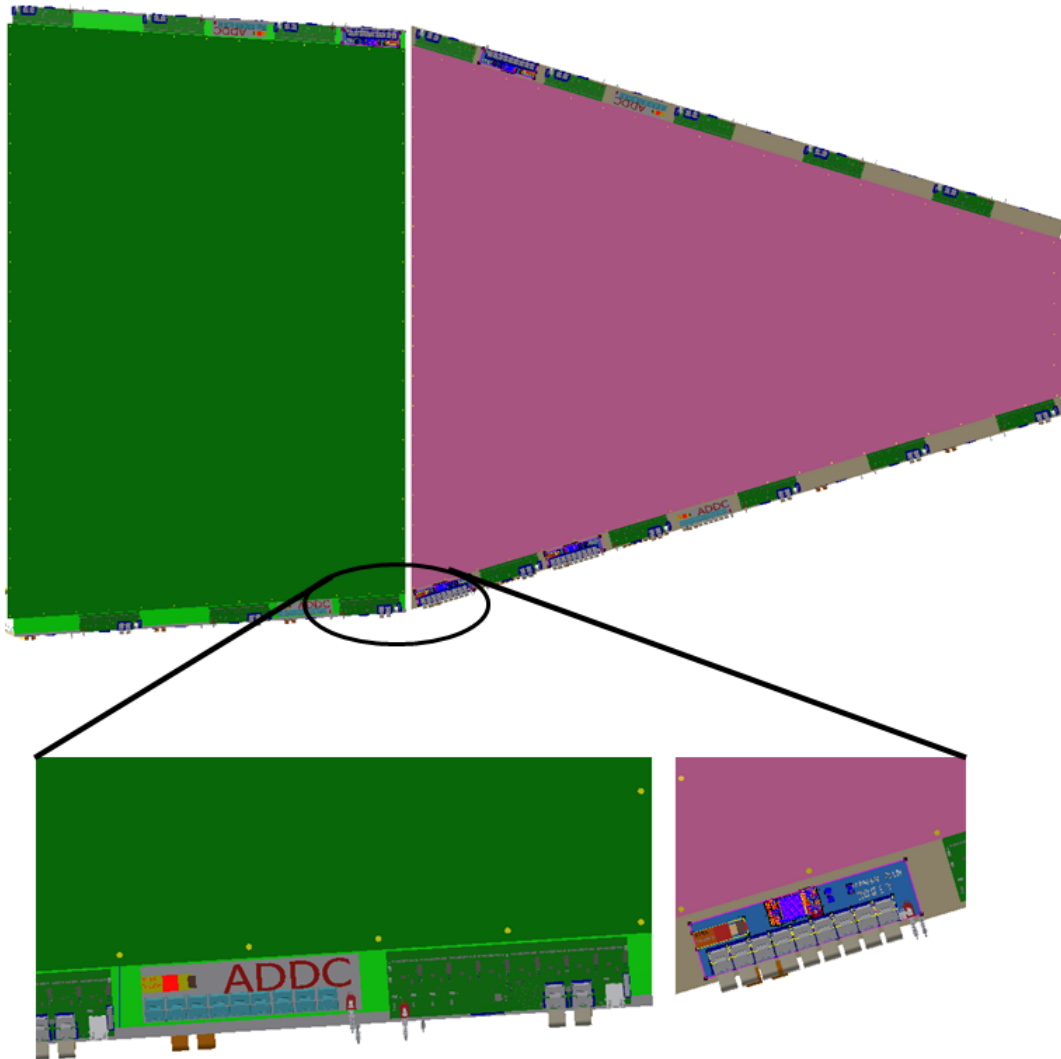
Εικόνα 3.3: - Η πάνω γωνία του Large MM Wedge. Η απόσταση των δύο κίτρινων pins που φαίνονται στην πρόσθια πλευρά της εικόνας αντιστοιχεί στη διάσταση μισού PCB.



Οι πράσινες είναι οι MMFE, και οι δύο άλλες, ADDC. Φαίνεται πως καλύπτονται τα 4 επίπεδα ανιχνευτή. Αν φτιάξουμε σε σχεδιάγραμμα το παραπάνω σχέδιο προκύπτει το εξής:

Layer 1	MMFE	ADDC
Layer 2		MMFE
Layer 3	MMFE	
Layer 4	<u>ADDC</u>	MMFE

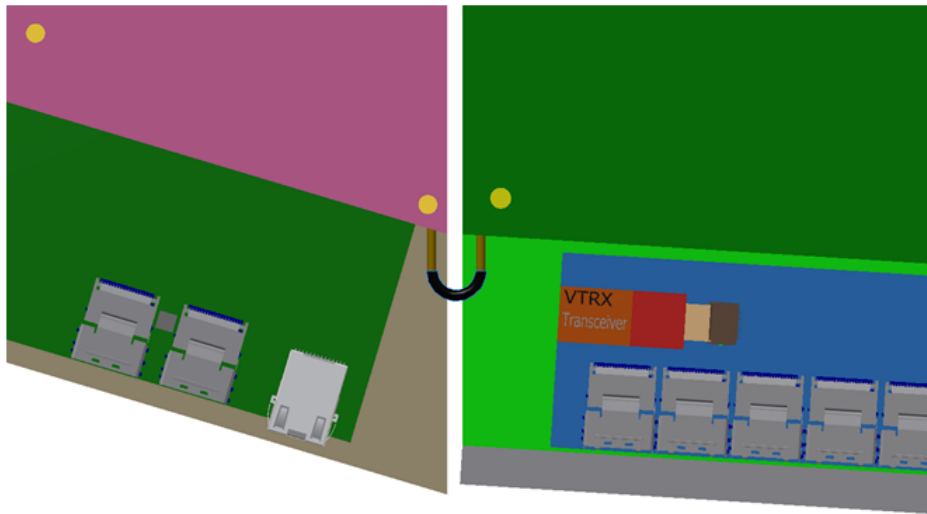
Έχοντας αυτό το scheme κατά νου, ας δούμε που τοποθετούνται οι L1+ADDC κάρτες στο wedge.



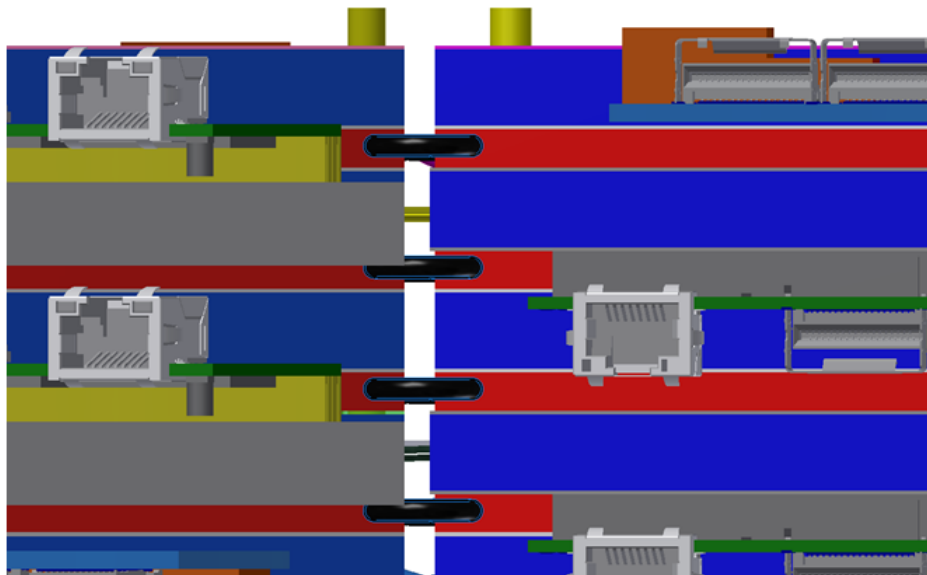
Οπότε οι τελικές θέσεις των καρτών L1 και ADDC είναι κοντά στη μέση του wedge ώστε να μειωθεί όσο γίνεται το μήκος των απαραίτητων καλωδίων, αλλά και για να διευκολυνθεί η υλοποίηση της προϋπόθεσης να είναι τα καλώδια ίσου μήκους.

3.5.3 Προσθήκη Gas Interconnectors

Το αέριο που χρειάζονται οι Micromegas για να δουλέψουν, μεταφέρεται με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Ανάμεσα στα multiplets περνά μέσα από απλούς συνδέσμους, έναν για κάθε plane. Δε χρειάζεται περαιτέρω περιγραφή γι' αυτό το στοιχείο καθώς είναι στα όρια των αρμοδιοτήτων μας, οπότε δεν έχει γίνει κάποια ιδιαίτερη μελέτη επ' αυτού.



Εικόνα 3.4: Gas interconnector (black).



Εικόνα 3.5: Gas interconnector, πλάγια όψη.

3.5.4 Προσθήκη External Gas Manifold

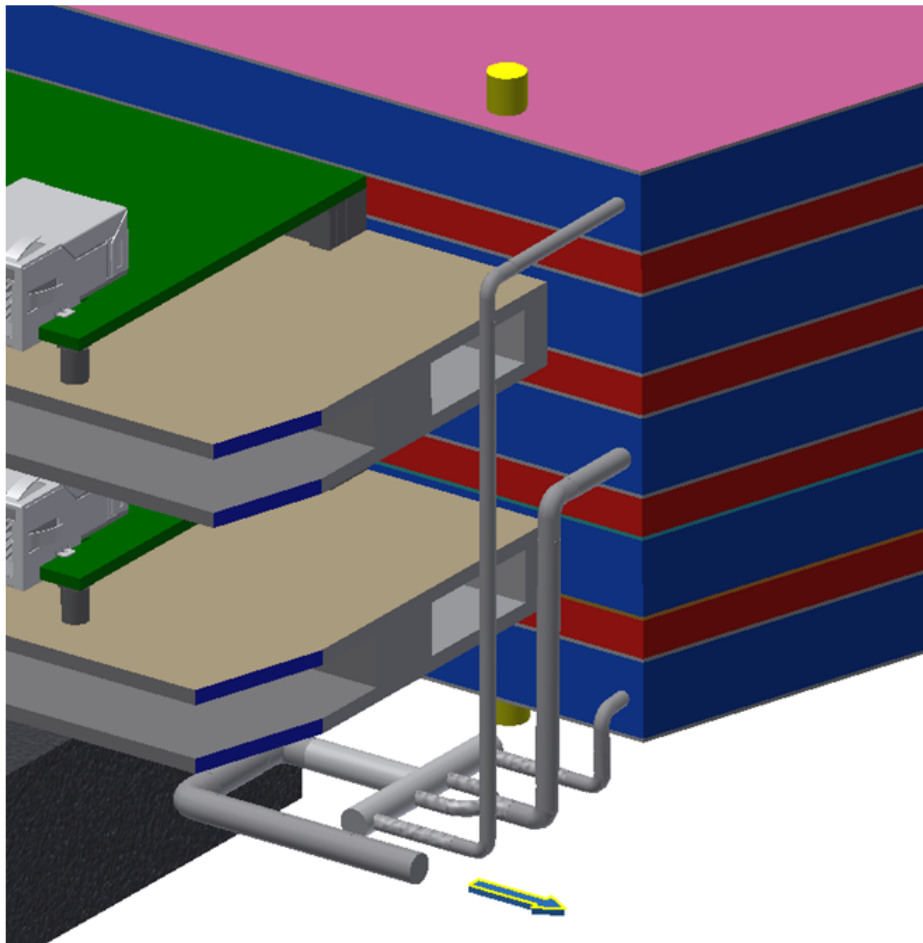
Ένα εξαιρετικά σημαντικό σημείο είναι η «εξωτερική πολλαπλότητα αερίου» που δεν είναι τίποτα άλλο από ένα σύνολο σωλήνων που ισομοιράζουν το αέριο στα planes, όταν έρχεται από προηγούμενο wedge ή από την πηγή.

Η σημασία του γίνεται κατανοητή αν σκεφτεί κανείς τη λειτουργία του MM. Το αέριο μέσα στον ανιχνευτή πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο ομοιόμορφα καταμεμημένο. Πρέπει να αποφευχθούν:

- Αραιώματα-πυκνώματα. Αν δεν είναι σταθερή η πίεση και η συγκέντρωση του αερίου τότε

όλη η θεωρία που μας επιτρέπει να παίρνουμε σωστές μετρήσεις θα βγάξει σφάλματα.

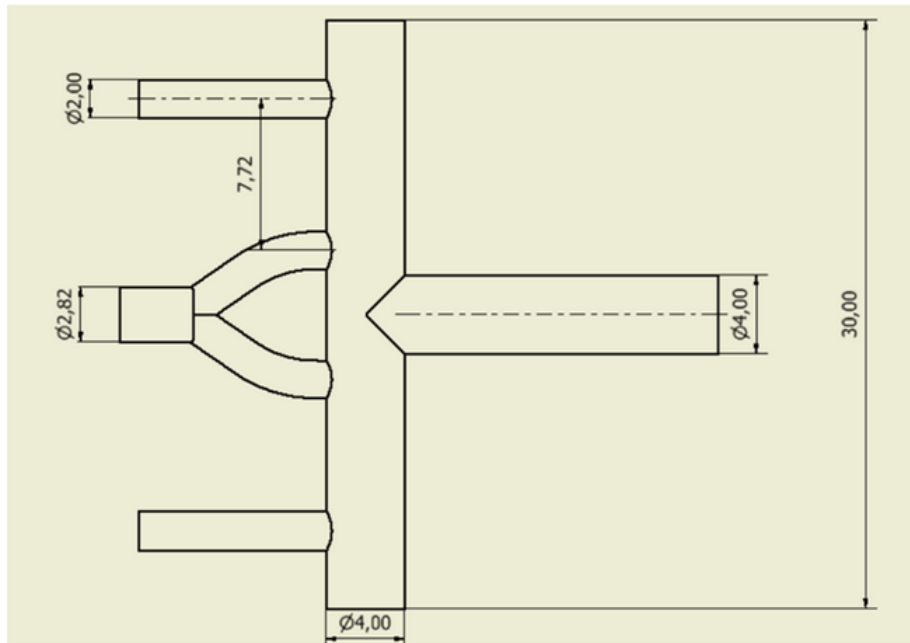
- Gas entrapment. Σε περίπτωση που κάποιο αέριο παγιδευτεί και δε μπορεί να φύγει/ανανεωθεί τότε μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα.
- Ασταθής ροή (turbulent flow)



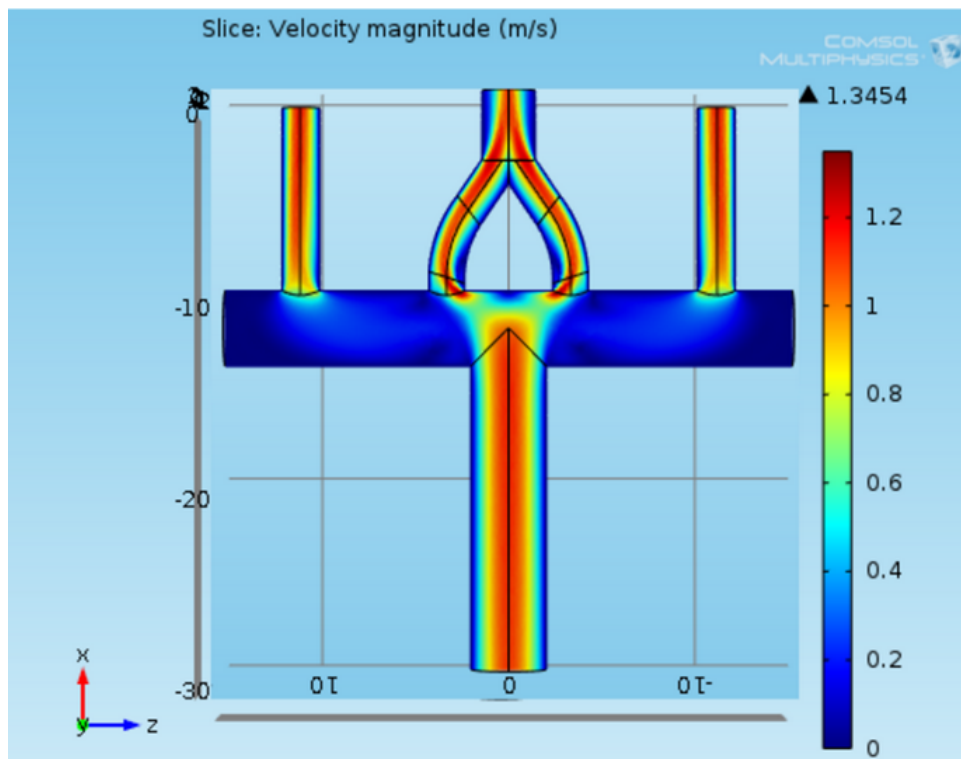
Αυτά τα ήσσονα φαινομενικά προβλήματα μπορεί να οδηγήσουν σε άσχημα αποτελέσματα. Πολύ απλό παράδειγμα: Αν εγκλωβιστεί αέρας, υπάρχουν ένα σωρό συστατικά που μπορεί να προκαλέσουν από λάθος στις μετρήσεις μέχρι και σπίθες στο κύκλωμα. Και ίσως το πρώτο να είναι χειρότερο, αν σκεφτεί κανείς το μέγεθος της επένδυσης χρόνου, χρημάτων και ανθρώπων που έχει γίνει.

Για το συγκεκριμένο manifold έχει γίνει μία σειρά προσομοιώσεων για τη ροή του αερίου, από τον Αντώνη Γιαννόπουλο, που θα παρουσιαστούν λεπτομερώς σε άλλη εργασία.

Παρόλα αυτά το σχέδιο φαίνεται εδώ:



Και μία εικόνα από προσομοίωση της ταχύτητας του αερίου κατά τη ροή:

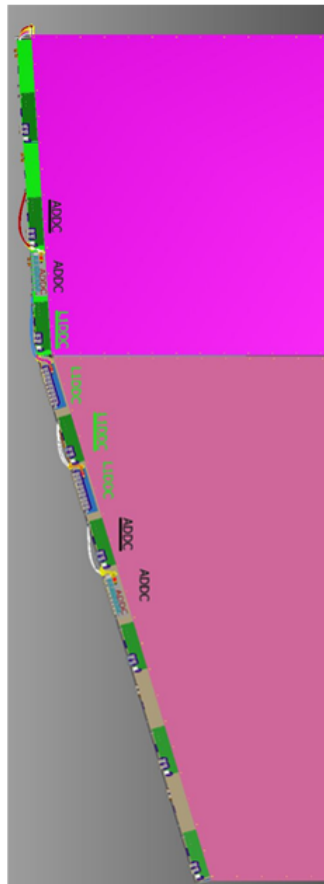


3.5.5 Προσθήκη miniSAS Cables

Όπως είδαμε παραπάνω, οι κάρτες θα συνδέονται μεταξύ τους με τον εξής «απλό» τρόπο: Μία L1DDC συνδέεται με μία ADDC και η κάθε μία από αυτές συνδέεται με 8 MMFE. Εφόσον, λοιπόν, έχουμε 4 planes και 1 L1DDC/plane, 1 ADDC/plane, 8 MMFE/plane, προκύπτει ένας πολύ μεγάλος αριθμός καλωδίων, για να συνδεθούν όλες αυτές οι κάρτες.

Ο συνολικός αριθμός καλωδίων στο NSW μπορεί να υπολογιστεί εύκολα. Πρώτα ας δούμε τα mSAS καλώδια που θα συνδέουν τις MMFE με τις L1DDC+ADDC.

- Για 1 plane (μία πλευρά, βλ. εικόνα) έχουμε $8 \text{ MMFE} \times (1 \text{ L1DDC} + 1 \text{ ADDC}) = 16 \text{ mSAS}$.
- Για όλο το plane (2 πλευρές) έχουμε 32 mSAS.
- Για ένα wedge: $4 \text{ planes} \times 32 \text{ cables/plane} = 128 \text{ mSAS}$,
- Για ένα sector (large+small): $4 \text{ MM wedges/sector} \times 128 \text{ cables/wedge} = 512 \text{ mSAS}$
- Για ολόκληρο NSW: $8 \text{ sectors/NSW} \times 512 = 4096 \text{ mSAS/NSW} !!!$

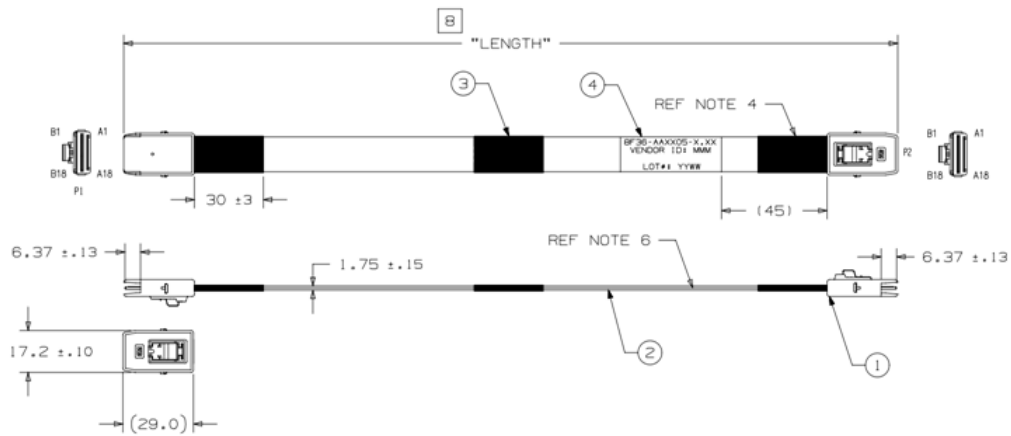


(για τα 2 NSW που θα τοποθετηθούν στις δύο μεριές, 8192 καλώδια!)

Θεωρώντας καλώδιο 3 μέτρων προκύπτει $8192 \times 3 = 24576 \text{ m}$

Αν προσθέσουμε και τα mSAS που χρειάζονται για τη σύνδεση L1DDC-ADDC, που είναι $8 \text{ ζεύγη/multiplet} \times 2 \text{ multiplet/sector} \times 16 \text{ sectors/wheel} \times 2 \text{ wheels/NSW} = 512 \text{ cables}$. Θεωρώντας 1 μέτρο καλώδια, μαζί με τα προηγούμενα γίνονται 25 km καλωδίων (για τα 2 NSW).

Είναι προφανές ότι το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί για να καλύψει αυτά τα 25 km, θα πρέπει να είναι η καλύτερη επιλογή. Προς το παρόν η επιλογή είναι το καλώδιο 3M Internal 36p miniSAS Ribbon Twinax, 8F36 series, Cable cross section: 28 mm². Το σχέδιο του καλωδίου φαίνεται εδώ:

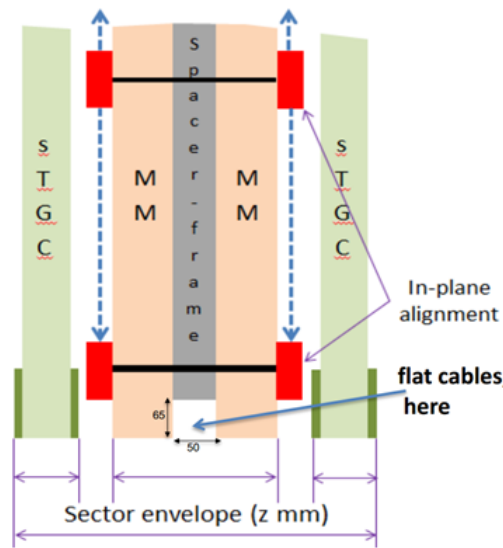


3.5.6 Χωρική ανάλυση για τα καλώδια mSAS - Spatial studies for the mSAS cables

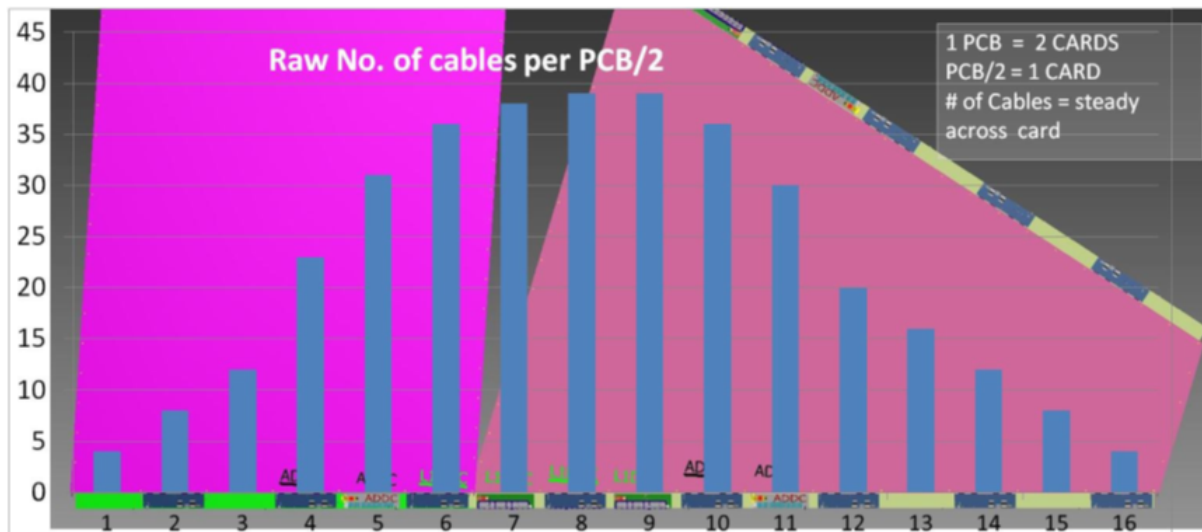
Όπως είδαμε, ο όγκος των καλωδίων είναι τόσο μεγάλος που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα. Πρέπει να υπάρχει αρκετός χώρος για να αποθηκευτούν τα καλώδια κατά τη λειτουργία αλλά και να μην εμποδίζουν τη λειτουργία των τεχνικών ή του ανιχνευτή.

Έχει προβλεφθεί να χρησιμοποιηθεί ο χώρος ανάμεσα στους ανιχνευτές για την εναπόθεση των καλωδίων. Ο χώρος αυτός λέγεται **spacer frame** και είναι μέρος της μηχανικής στήριξης του NSW (βλ. Φωτό).

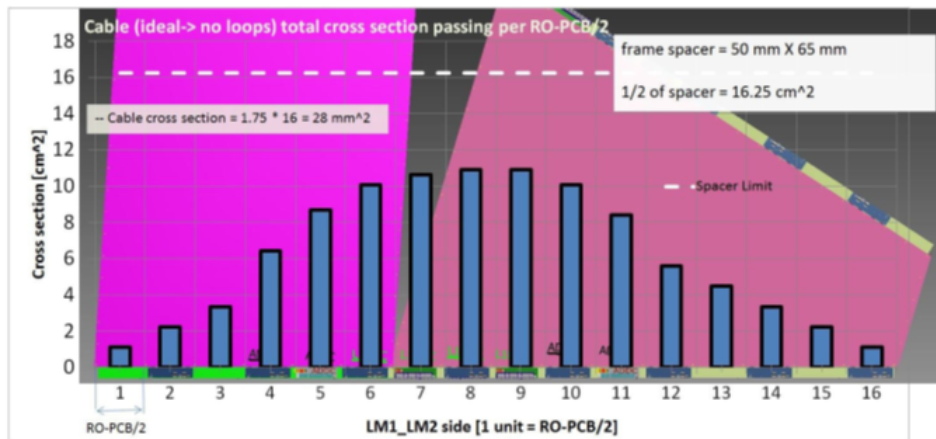
Ακόμα και με τον χώρο αυτό, δεν είναι τόσο απλό το πρόβλημα της τοποθέτησης των καλωδίων. Τα καλώδια συνδέουν κάρτες σε διάφορες θέσεις πάνω στο wedge και διανέμονται σε όλο το μήκος της πλευράς. Έγινε μία σειρά υπολογισμών που δείχνει την κατανομή αυτών των καλωδίων κατά μήκος της πλευράς του wedge.



Η ανάλυση αυτή έγινε για το σύνολο των καλωδίων, συμπεριλαμβανομένων και των power cables και fiber cables. Ας δούμε πρώτα τα mSAS καλώδια.



Στη γραφική παράσταση βλέπουμε την κατανομή των καλωδίων σε καθαρό πλήθος, κατά μήκος του wedge. Η μικρότερη μονάδα κατά μήκος της οποίας ο όγκος καλωδίων είναι σταθερός είναι το μισό PCB. Γι' αυτό το λόγο το πλάτος των bins στο γράφημα είναι ακριβώς τόσο. Από τις διαστάσεις του καλωδίου mSAS μπορούμε να εξάγουμε τη διατομή του καλωδίου. Επίσης γνωρίζουμε τις διαστάσεις του χώρου που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για την τοποθέτηση των καλωδίων. Επομένως μπορούμε να φτιάξουμε ένα γράφημα που να φαίνεται η μέγιστη διαθέσιμη διατομή που προσφέρει το spacer frame, και να plot-άρουμε τη συνολική διατομή των καλωδίων που περνάνε από κάθε σημείο, όμοια με την παραπάνω εικόνα.



Όπως φαίνεται, υπάρχει επαρκής χώρος για την τοποθέτησή τους. Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι υπάρχουν κι άλλα στοιχεία των services που θα πρέπει να έχουν χώρο για δικά τους components. Σημειώνεται ότι στο τελευταίο γράφημα έχει μπει μόνο το μισό spacer frame καθώς το άλλο μισό θα χρησιμοποιηθεί για τον άλλο MM-wheel, και ίσως και για τα καλώδια των sTGC, για τους οποίους δεν υπάρχει χώρος αλλού.

Επίσης, έχει σημασία ότι έχει αναπαρασταθεί γραφικά μόνο το καθαρό μήκος των καλωδίων, χωρίς τα περισευούμενα μέρη. Αυτά σκοπεύεται να εναποτεθούν στα άκρα του wedge, δηλαδή στις ουρές της γραφικής παράστασης, καθώς σε εκείνα τα σημεία υπάρχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα χώρου.

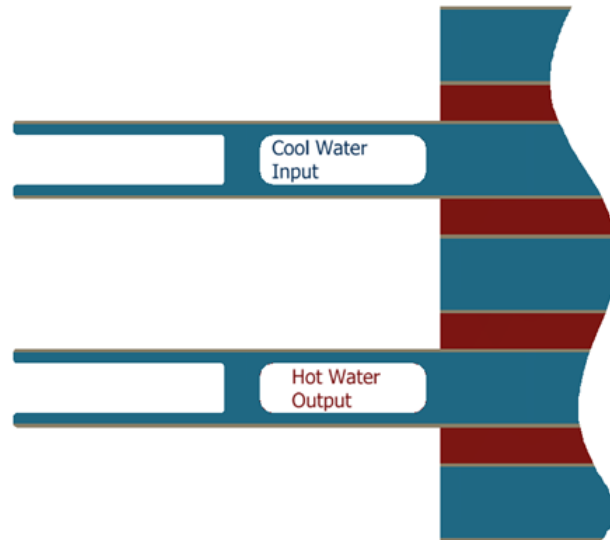
Συνεχίζουμε με τις οπτικές ίνες και τα καλώδια ρεύματος.

3.5.7 Προσθήκη Fibers, HV/LV

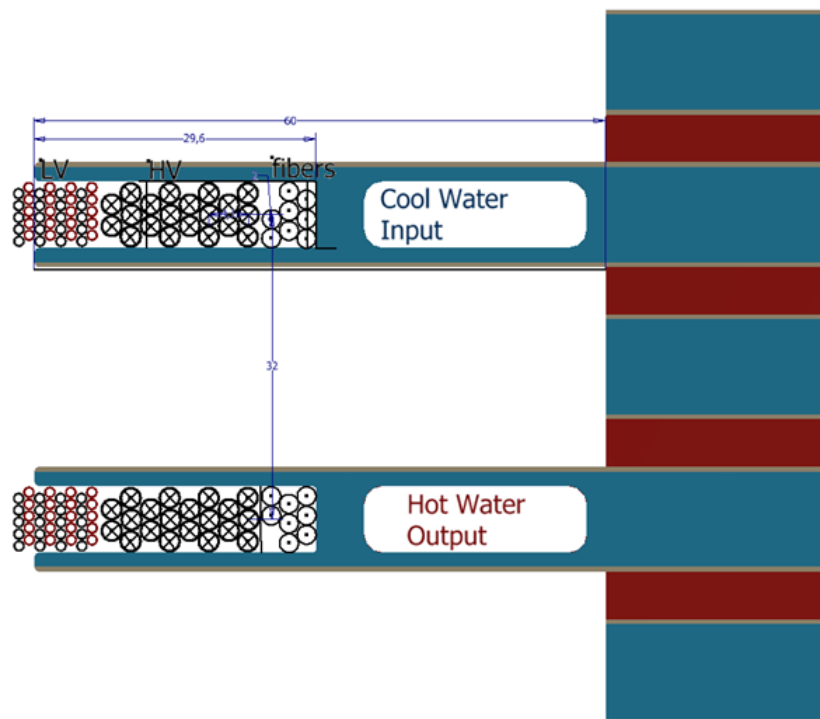
Οι οπτικές ίνες που χρειάζονται για την επικοινωνία μεταξύ των καρτών L1DDC-ADDC και του κεντρικού συστήματος δεν έχουν τόσο δυσκολία ή περιορισμούς. Το μόνο πιθανό πρόβλημα είναι η ευαισθησία που έχουν στην καμπύλωση. Καθώς είναι φτιαγμένες από υαλώδες υλικό, πρέπει να δίνεται προσοχή στη διαχείρισή τους.

Τα high και low voltage καλώδια είναι μάλλον τα πιο ανθεκτικά του συνόλου μας. Ξεκινούν από το rim (εξωτερικό μέρος – μεγάλη ακτίνα από IP) και φτάνουν στον ανιχνευτή αλλά και σε όλες τις κάρτες.

Τα HV/LV+fiber καλώδια θα μπουν στο λεγόμενο cooling cutout, το οποίο φαίνεται καθαρά σε πλάγια όψη του wedge.



Μετά την προσθήκη φαίνεται ως εξής:

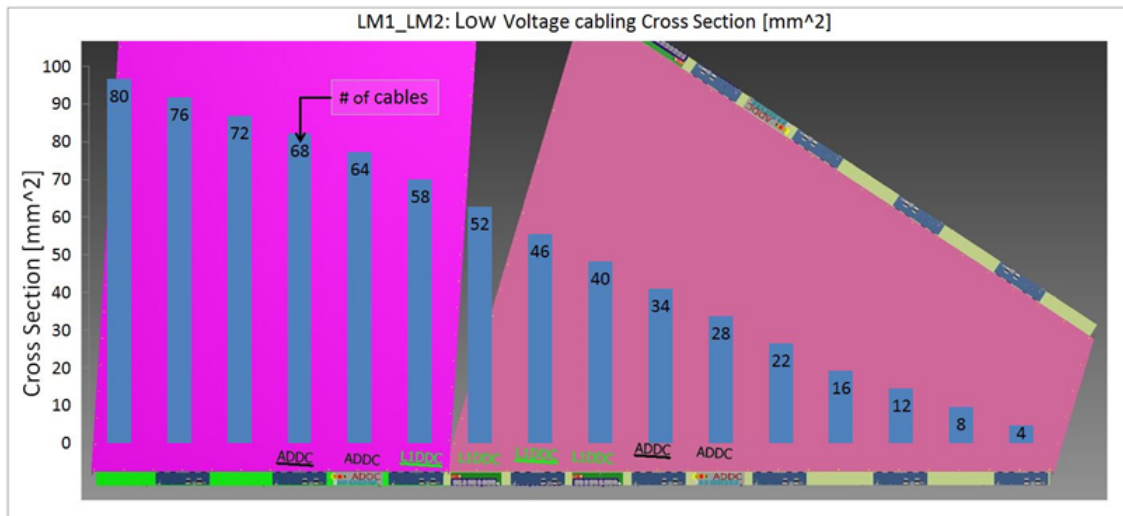


Ακολουθούν μερικά γραφήματα που δείχνουν την κατανομή των καλωδίων HV/LV+fibers κατά μήκος του wedge.

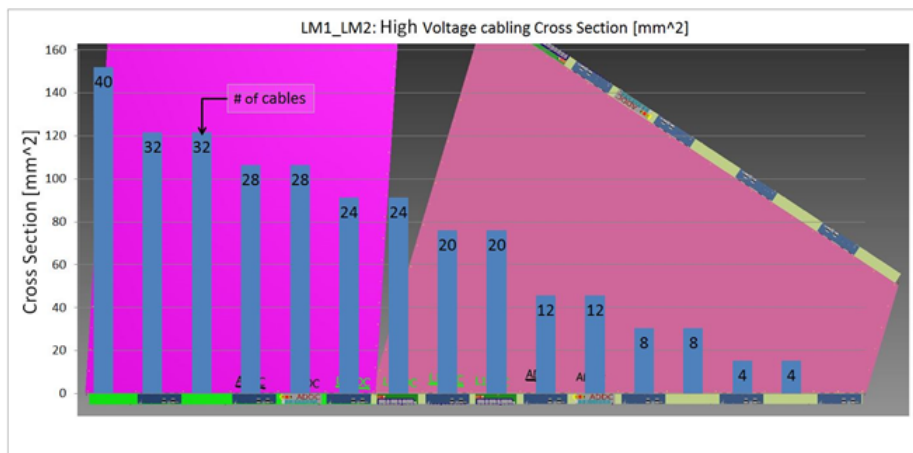
Ο αριθμός των καλωδίων εύκολα επαληθεύεται:

Πάντα αναφερόμενοι στη μία πλευρά μόνο του wedge, έχουμε:

- $4L1 + 4ADDC = 8$ ζεύγη fibers



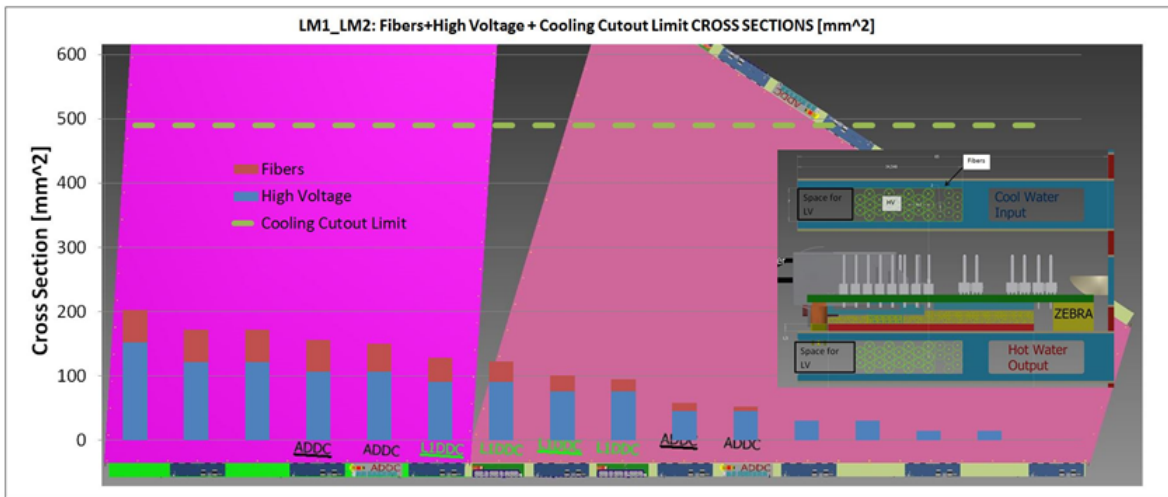
Εικόνα 3.6: Κατανομή cross-section καλωδίων χαμηλής τάσης κατά μήκος ενός wedge.



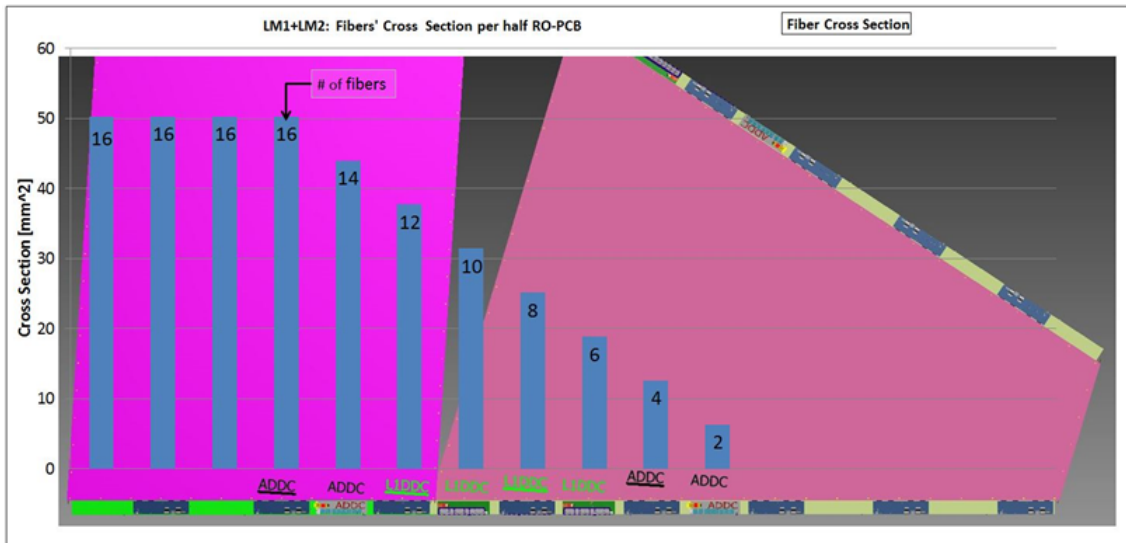
Εικόνα 3.7: Κατανομή cross-section καλωδίων υψηλής τάσης κατά μήκος ενός wedge.

- 32 MMFE + 4 L1 + 4 ADDC = 40 LV cable pairs
- 20 ζεύγη HV για τα PCBs

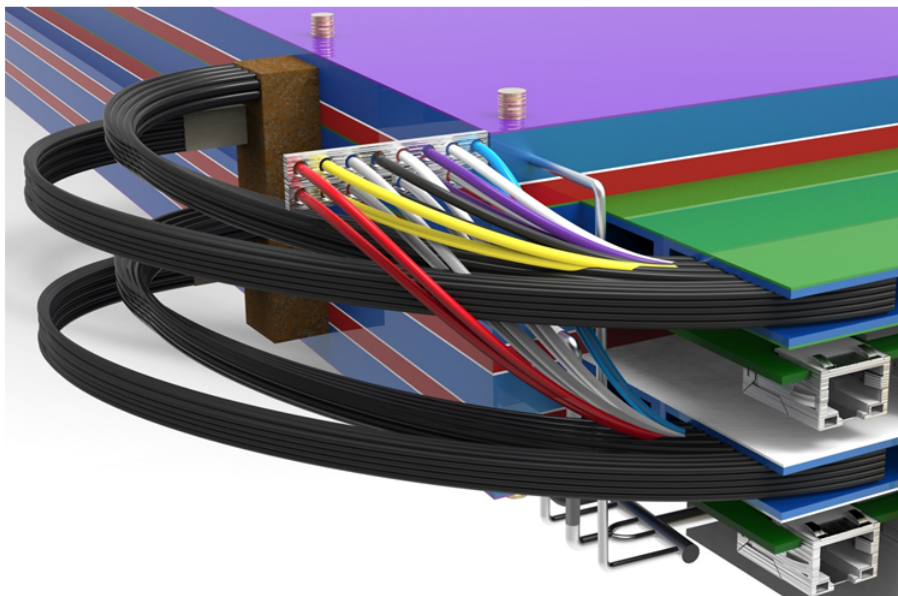
Βλέπουμε και στην εικόνα εδώ, τα καλώδια να έρχονται από το κεντρικό σύστημα, και να μπαίνουν στο κανάλι ψύξης.



Εικόνα 3.8: Κατανομή cross-section καλωδίων HV/LV+fiber κατά μήκος ενός wedge.

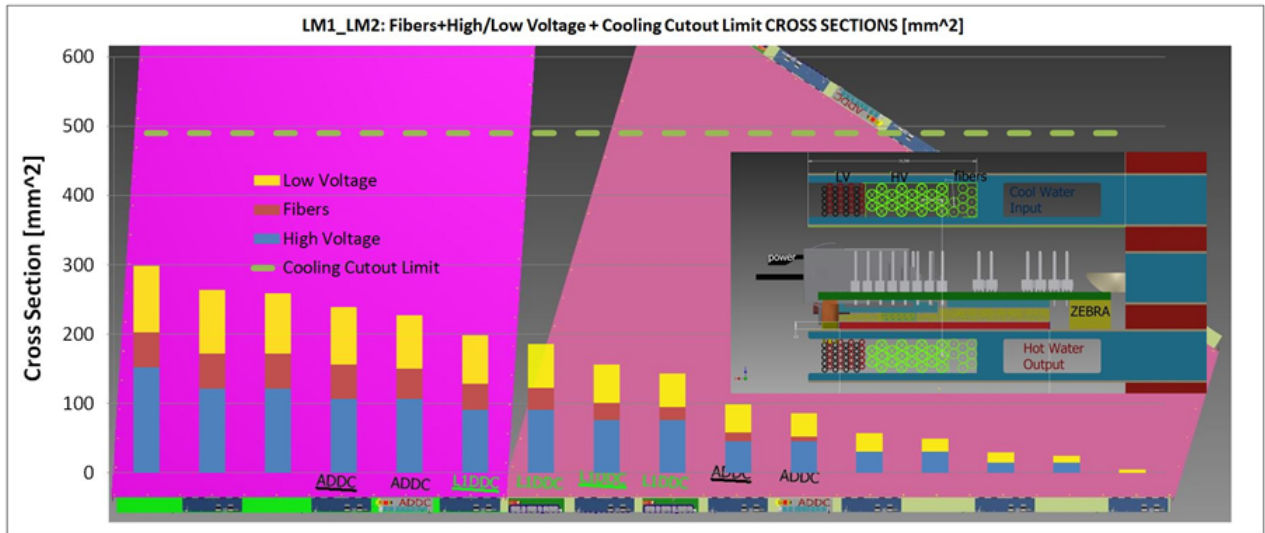


Εικόνα 3.9: Κατανομή των οπτικών ινών κατά μήκος του wedge. Παρατηρούμε ότι φτάνουν μέχρι τη μέση περίπου καθώς μέχρι εκεί μόνο υπάρχουν κάρτες L1DDC και ADDC.



Κατανομή HV/LV+fibers στο cooling cutout

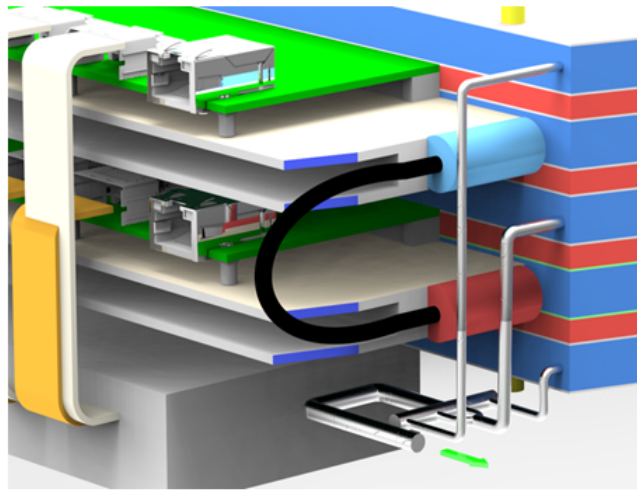
Όμοια με τις προηγούμενες κατανομές καλωδίων που είδαμε, τώρα έχουμε την κατανομή των καλωδίων ρεύματος και οπτικών ινών κατά μήκος του wedge.



Ο υπολογισμός έχει γίνει χωρίς να προσμετράται packing factor. Γι' αυτό το λόγο φαίνεται στο διάγραμμα ότι ο χώρος είναι υπεραρκετός. Παρόλα αυτά, μην ξεχνάμε ότι το πακετάρισμα των καλωδίων είναι δύσκολο, ειδικά για την περίπτωση που ίσως χρησιμοποιηθούν twisted pairs καλωδίων. Σε αυτή την περίπτωση θα χαθεί ακόμα περισσότερος χώρος από το cooling cutout.

3.5.8 Προσθήκη Cooling Channel Connector

Ένα ακόμα κομμάτι που υπέστη προκαταρκτικό σχεδιασμό είναι ο connector που συνδέει τις δύο διόδους νερού.

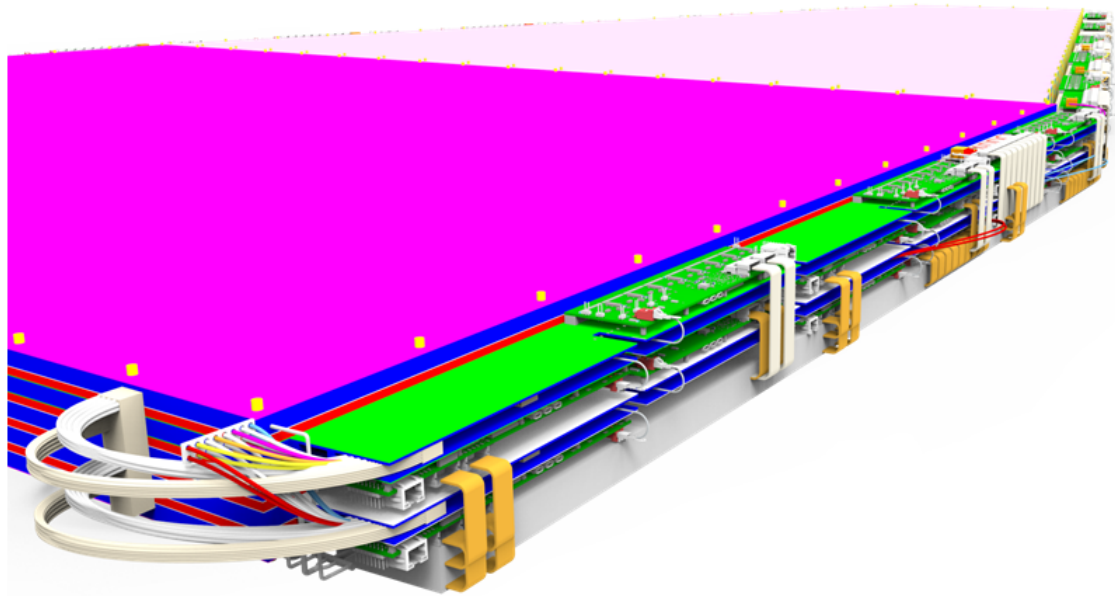


Στο σχέδιο φαίνεται το στοιχείο που παίρνει το νερό που έρχεται από το rim, και το διοχετεύει στο κάτω άνοιγμα για να συνεχίσει την πορεία του και να ψύξει την δεύτερη σειρά ηλεκτρονικών. Το στοιχείο αυτό είναι σχετικά τετριμμένο αν και έχει μελετηθεί αρκετά από άλλη ομάδα, στα πλαίσια ανάλυσης της θερμοκρασίας του νερού πριν την εισαγωγή και μετά την έξοδο από τους σωλήνες. Σε γενικότερο πλαίσιο, η ψύξη των ηλεκτρονικών έχει προβληματίσει πολύ, και επηρεάζει και τη δουλειά μας όπως θα δούμε σύντομα.

Τώρα λοιπόν που έχουν προστεθεί όλα τα κυρίως components, ας τα δούμε συγκεντρωμένα πάνω στο wedge.

3.5.9 Συνολική παρουσίαση Large Wedge

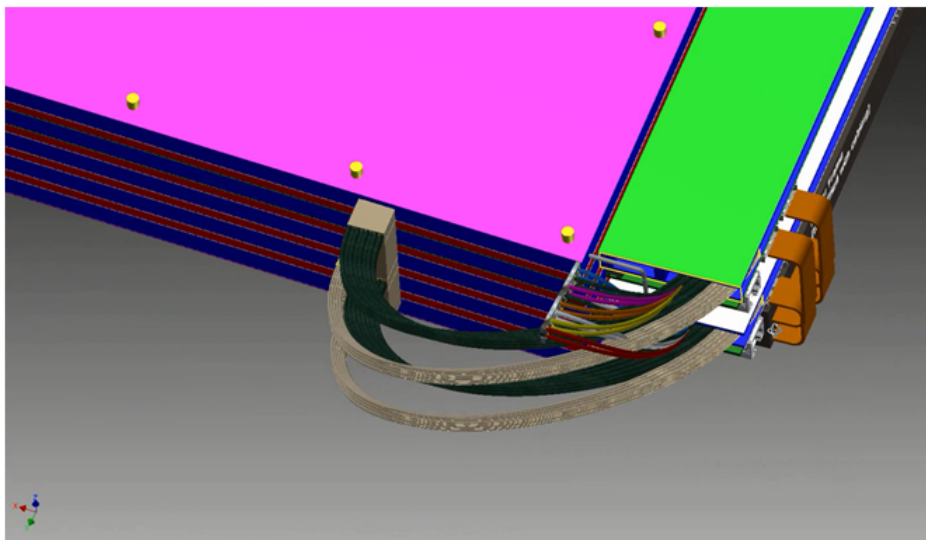
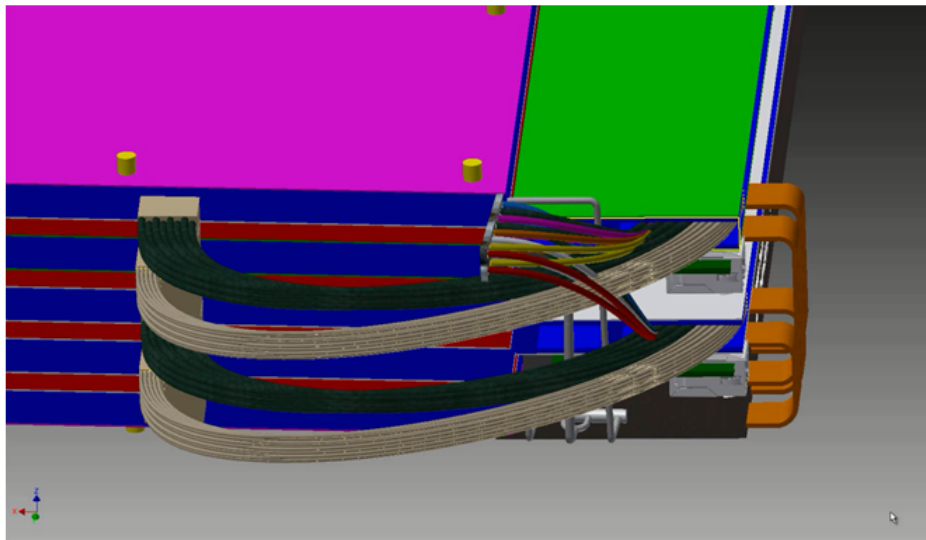
Στο σχέδιο εδώ φαίνεται ολόκληρη η πλευρά ενός Large Wedge.

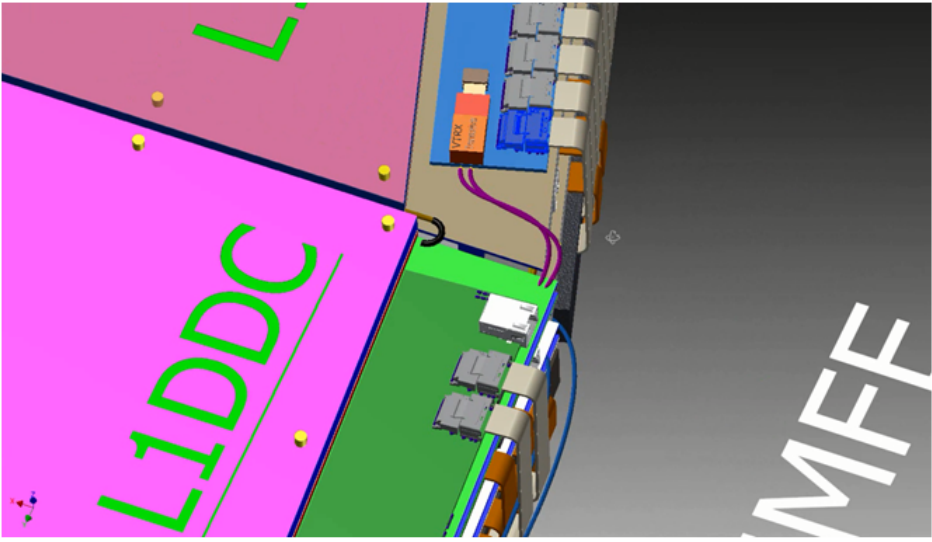
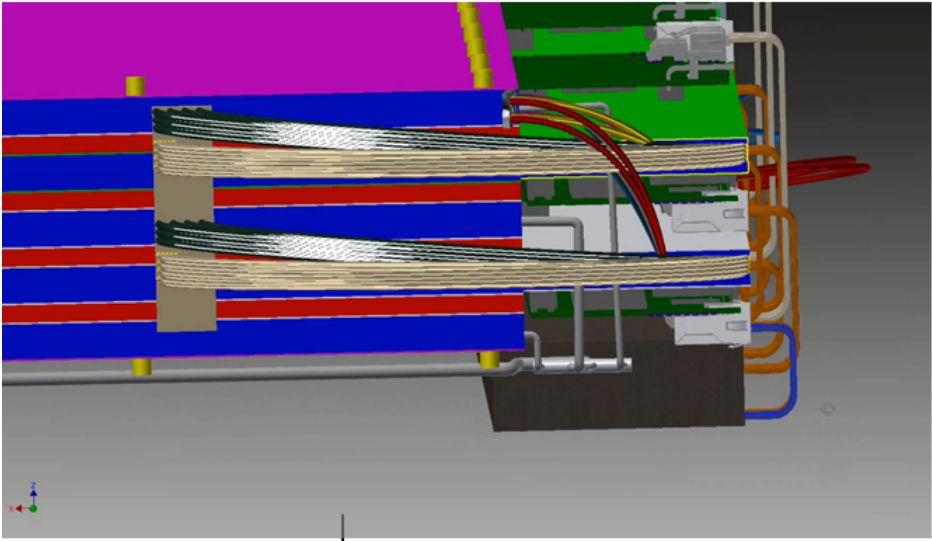


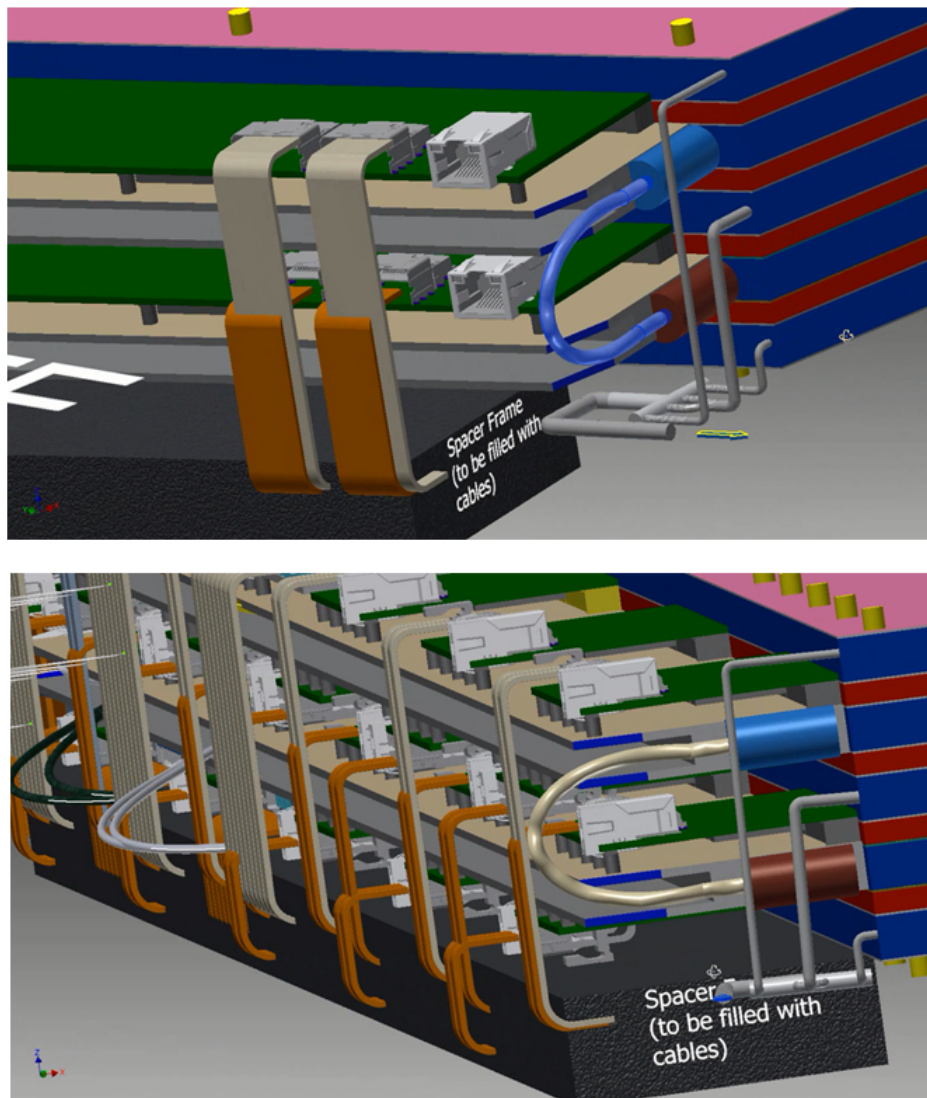
Από αριστερά προς τα δεξιά διαγράφονται τα εξής:

- Power converters
- Power cables
- Fiber cables
- External gas manifold
- MMFE + cabling...
- Ο Spacer Frame, αναπαρίσταται ως γκρι χώρος.

Ακολουθούν μερικές ακόμα φωτογραφίες από διάφορα σημεία στο wedge για καλύτερη παρουσίαση και κατανόηση του σχεδίου.





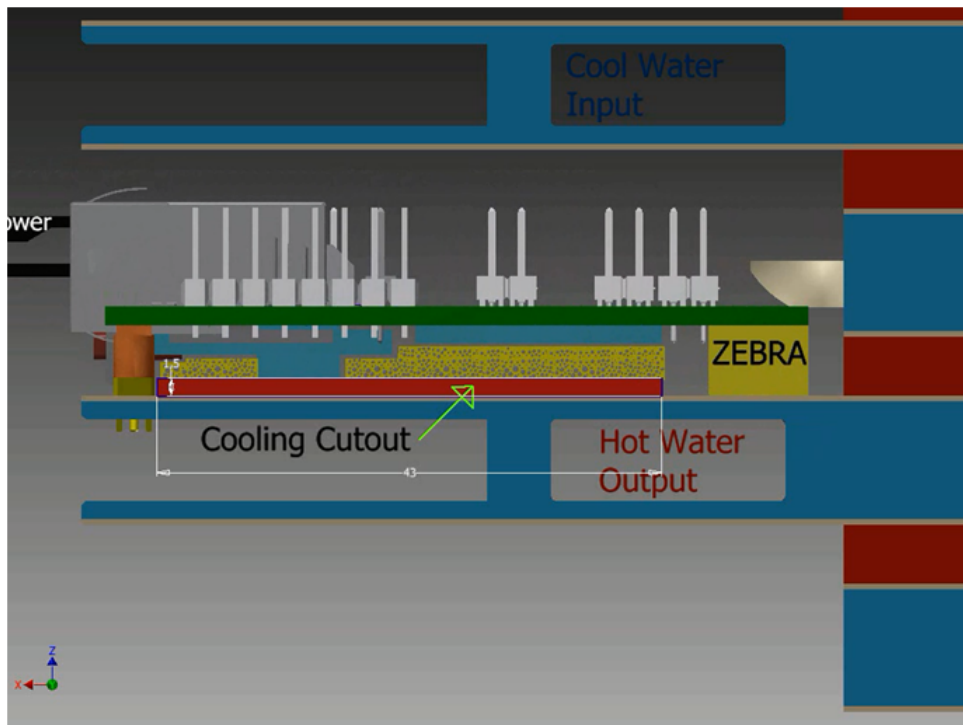
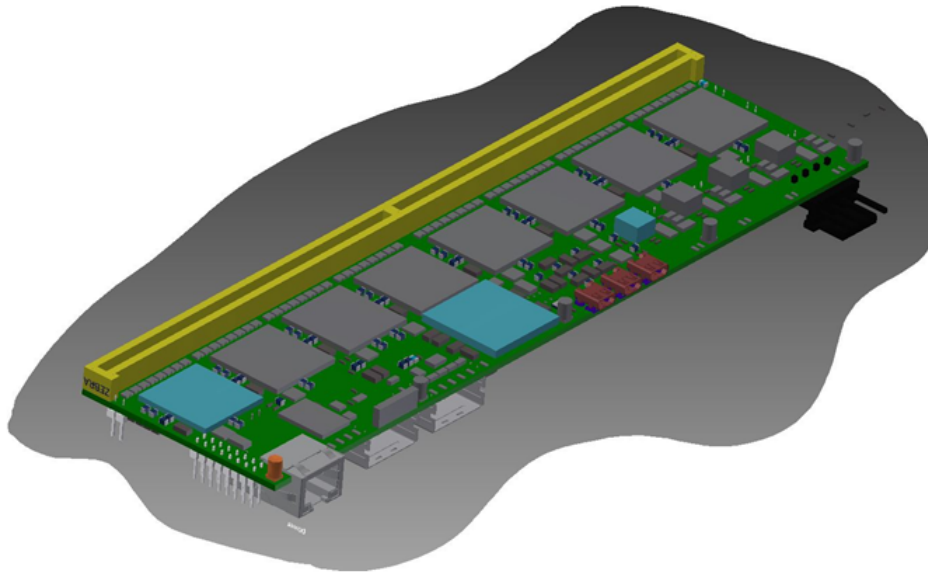


3.6 Τοποθέτηση MMFE

Ένα σημαντικό μέρος της δουλειάς αυτής περιλαμβάνει μελέτες για το πρόβλημα της τοποθέτησης της MMFE κάρτας επί του ανιχνευτού.

Έχουμε δει ήδη σε ποια σημεία θα τοποθετηθεί η κάρτα, και έχει γίνει αναφορά στη σημασία της ακριβούς τοποθέτησης της κάρτας.

Αν δούμε την κάρτα στη θέση που θα τοποθετηθεί (πλάγια όψη),

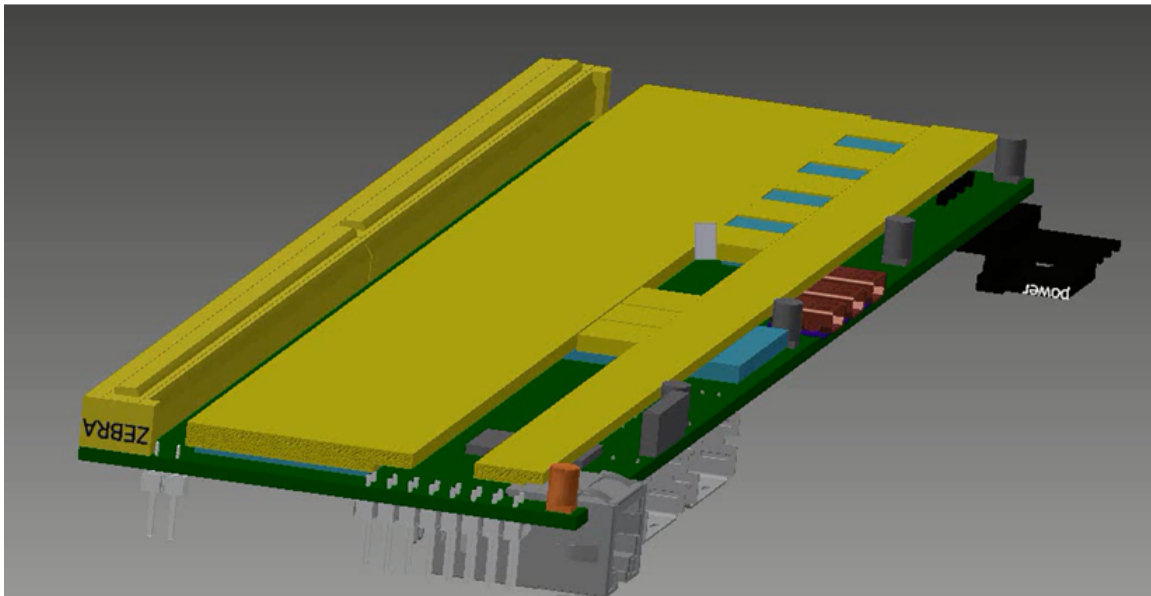
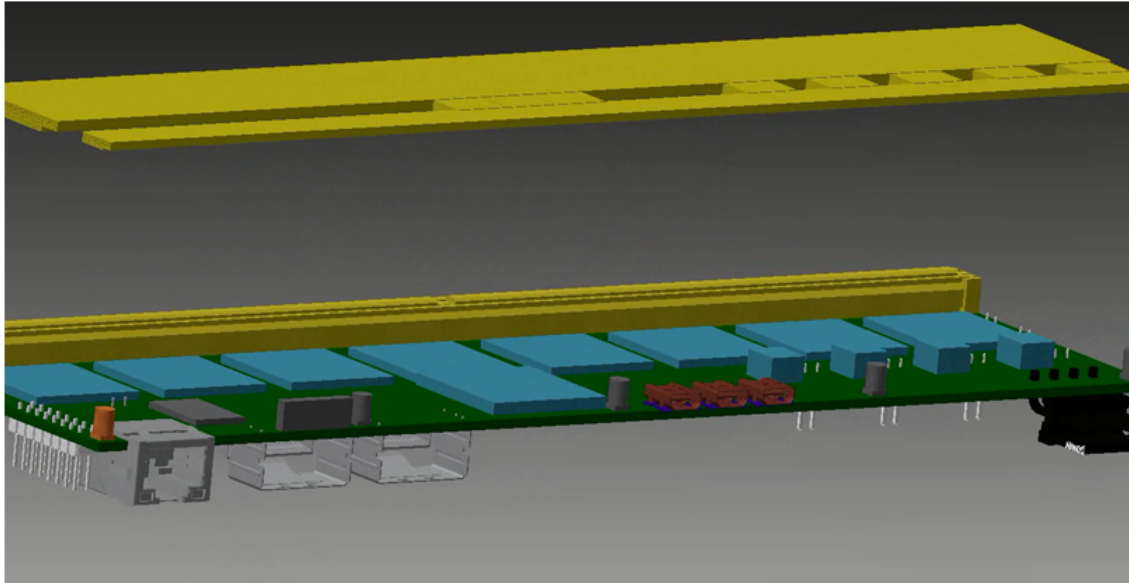


Καταλαβαίνει κανείς ότι ο διαθέσιμος χώρος επαρκεί πολύ οριακά για την τοποθέτηση.

3.6.1 Cooling Foam

Ύστερα από πολλά δοκιμαστικά σχέδια του cooling cutout, τελικά θα υπάρχει ένα extra cutout το οποίο θα συνδέεται μέσω θερμικών αγωγών με το νερό ψύξης. Στη συνέχεια, για να μπορέσουν

να ψυχθούν σωστά όλα τα στοιχεία της κάρτας, θα τοποθετηθεί και ένας αγωγίμος «αφρός» πάνω στην κάρτα, ώστε να υπάρχει σε όλη την έκταση επαφή με το ψυκτικό στοιχείο. Η θέση του θερμικά αγωγίμου αφρού φαίνεται στα παρακάτω σχέδια:

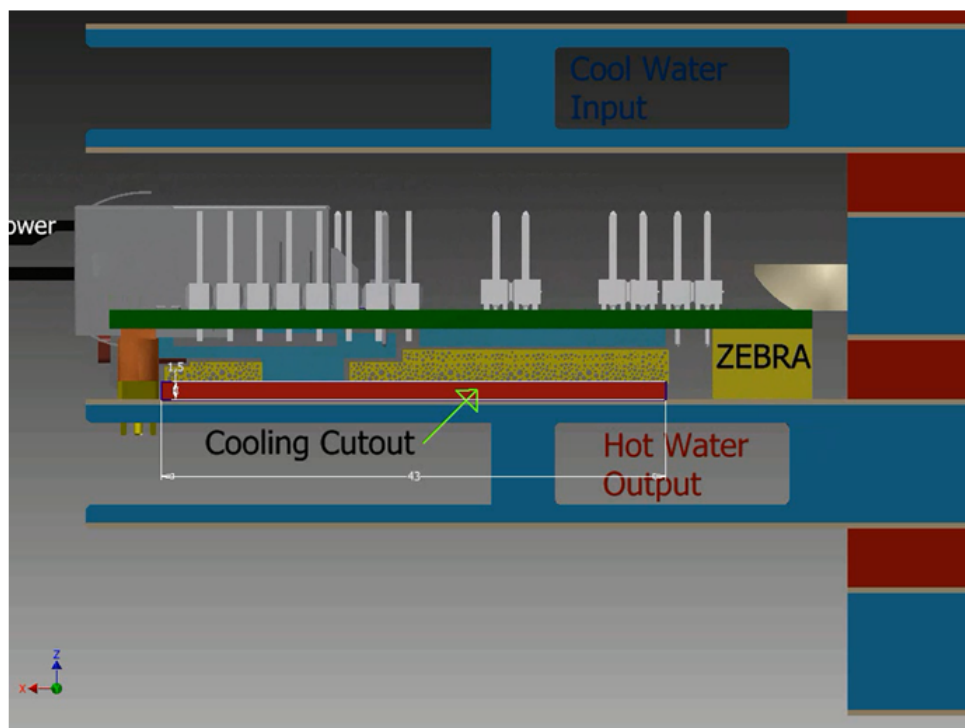


Εικόνα 3.10: Η MMFE. Κίτρινο σπογγώδες είναι ο αγωγίμος αφρός που θα είναι σε επαφή με το ψυκτικό κύκλωμα.

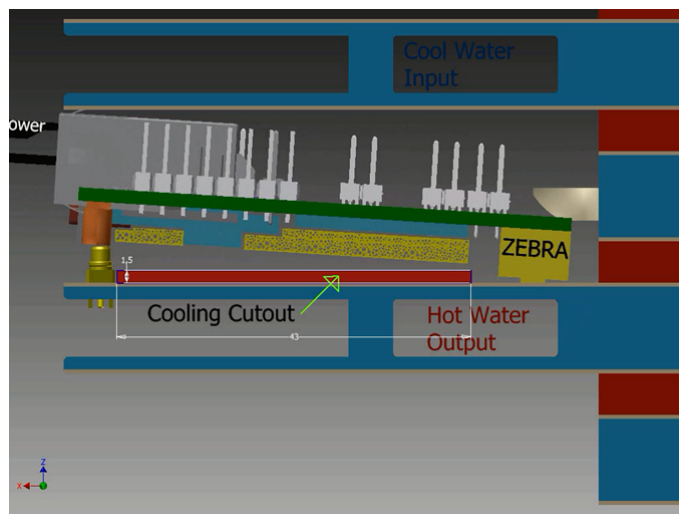
3.6.2 Εισαγωγή και εξαγωγή της MMFE κάρτας

Αυτή η λειτουργία πρέπει να γίνει με ακρίβεια. Αν δε γίνει προσεκτικά μπορεί να γίνει ζημιά στα ηλεκτρονικά συστήματα πάνω στην πλακέτα.

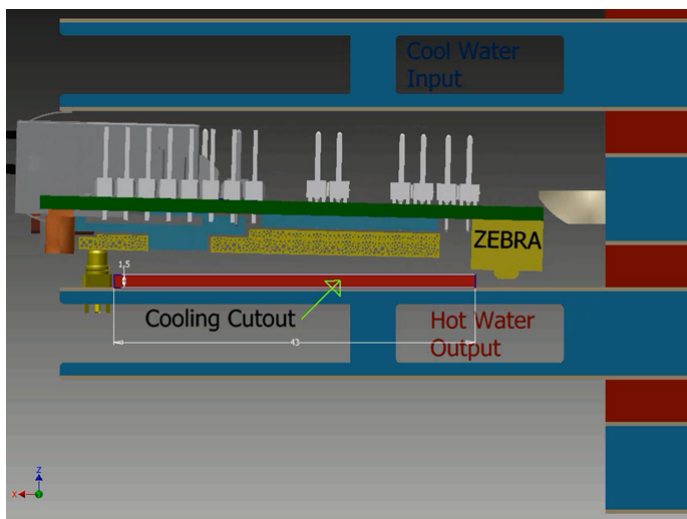
Η εισαγωγή-εξαγωγή της κάρτας γίνεται κατά τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα:



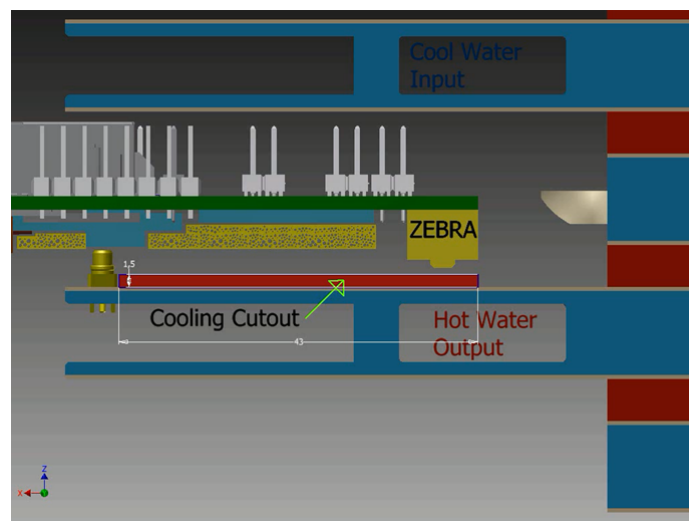
Αρχικά η πλακέτα περιστρέφεται γύρω από άξονα παράλληλο στη μεγάλη διάσταση του zebra connector (κάθετα στο σχέδιο, που διέρχεται από το πίσω μέρος του zebra (στο σχέδιο δεξιά). Κατά τη διάρκεια αυτής της κίνησης πραγματοποιείται η αποσύνδεση των αρσενικών ground pins της πλακέτας από τα αντίστοιχα θυληκά που είναι σταθερά τοποθετημένα στο PCB. Στο σχέδιο είναι χρωματισμένα χάλκινα και χρυσά, αντίστοιχα.



Στη συνέχεια ολόκληρη η πλακέτα κινείται προς τα έξω και ταυτόχρονα το πίσω μέρος (zebra) αποσπάται από το PCB και περνάει πολύ κοντά από τον G10 holder αλλά και το cooling cutout.



Τελικά η πλακέτα βρίσκεται πάλι σε οριζόντια θέση, σε σχέση με την αρχική θέση. Απο εκεί και έπειτα το μόνο που μένει είναι να κινηθεί η πλακέτα παράλληλα στο πλάτος της (στο σχέδιο: οριζόντια διεύθυνση).



Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να αντληθούν και να γίνουν κατανοητές παρακολουθώντας το video-animation (εικονοσειρά) που δείχνει την κίνηση συνεχόμενη. Εκεί φαίνεται πολύ καθαρά πόσο λίγος χώρος υπάρχει για την κίνηση της πλακέτας.

Η στήριξη γίνεται σε δύο άξονες. Το κύριο μέρος είναι τα ground pins (στηρίγματα), στο σχέδιο πάνω είναι χρωματισμένα χρυσά. Αυτά τα ground pins θα βρίσκονται ήδη βιδωμένα στο σωστό σημείο, και γι αυτό αποτελούν και οδηγό κατά κάποιο τρόπο της πλακέτας για να μπορεί να μπει στη σωστή θέση.

Το δεύτερο μέρος στήριξης είναι ο zebra connector, ο οποίος δείκνεται στα σχέδια με το αναγνωριστικό "ZEBRA", σε χρώμα κίτρινο γενικά.

3.6.3 Zebra Connector

Αυτός ο σύνδεσμος θα μπορούσε να αποτελέσει βάση για πολλές διπλωματικές εργασίες και μελέτες, καθότι είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ του σήματος που δημιουργείται και των ηλεκτρονικών. Όπως ίσως φαίνεται από τη φωτογραφία, ο zebra αποτελείται κυρίως από ελαστομερές υλικό που μπορεί να υποστεί συμπίεση για να εφαρμόσει καλά πάνω σε strips. Το περιελιχθέν υλικό είναι κυρίως χαλκός (Cu), που προφανώς χρειάζεται για να άγει το ηλεκτρικό σήμα.



Το μοντέλο που θα πιθανότατα θα χρησιμοποιηθεί είναι αυτό της φωτογραφίας και είναι της εταιρείας ZAXIS, με pitch 150 μm , που σημαίνει ότι οι αποστάσεις μεταξύ των strips (πάχος = 50 μm) χαλκού είναι 150 μm .

Δοκιμές συνδετικότητας

Η σύνδεση του zebra βασίζεται καθαρά στην συμπίεση του ώστε να γίνει επαφή με τα strips. Λόγω της φύσης του υλικού, η πίεση που πρέπει να δεχτεί είναι της τάξης των 10 κιλών. Η εκάστοτε πίεση προφανώς οδηγεί σε αντίστοιχη παραμόρφωση (γενικά της τάξης του 10%). Μελέτη της πίεσης και συνδεσιμότητας έγινε από τον κ. Ιωάννη Γκιάλα στα πλαίσια της μελέτης για το NSW.

3.6.4 Εργαλείο εισαγωγής της κάρτας MMFE

Βασική ιδέα

Στα πλαίσια μελέτης του προβλήματος της ακριβούς τοποθέτησης της κάρτας έγινε μια προσπάθεια να σχεδιαστεί ένα χειροκίνητο εργαλείο που να διευκολύνει την τοποθέτηση των καρτών, κυρίως στο εσωτερικό μέρος. Επιπλέον η ιδέα είναι να μην αφήνει ευχέρεια στο άτομο που την τοποθετεί να προκαλέσει ζημιά στην πλακέτα κατά την εισαγωγή.

Η βασική ιδέα είναι η εξής: Έχοντας στα χέρια μας τις προσομοιώσεις της επιθυμητής κίνησης της πλακέτας, προσπαθούμε να σχεδιάσουμε ένα εργαλείο που θα:

- Είναι σταθερό ως προς το wedge
- Κρατάει σφιχτά την πλακέτα κατά τη διάρκεια της κίνησης
- Οδηγεί την πλακέτα ντετερμινιστικά και χωρίς σφάλμα μέσα στην εσοχή.
- Μπορεί να τοποθετείται και να αφαιρείται εύκολα πάνω στην κατασκευή του ανιχνευτή
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε
- Μπορεί να κατασκευαστεί εύκολα

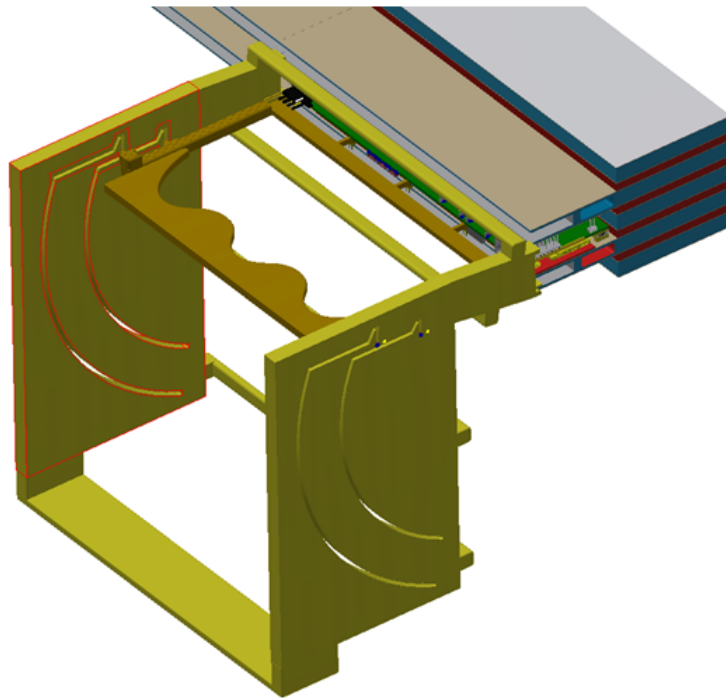
Έγινε λοιπόν ένα πρωταρχικό σχέδιο που στη συνέχεια θα δωθεί στους γνώστες μηχανολόγους για να το ελέγχσουν και φυσικά να βελτιώσουν με τις γνώσεις τους.

Κινούμενο στοιχείο

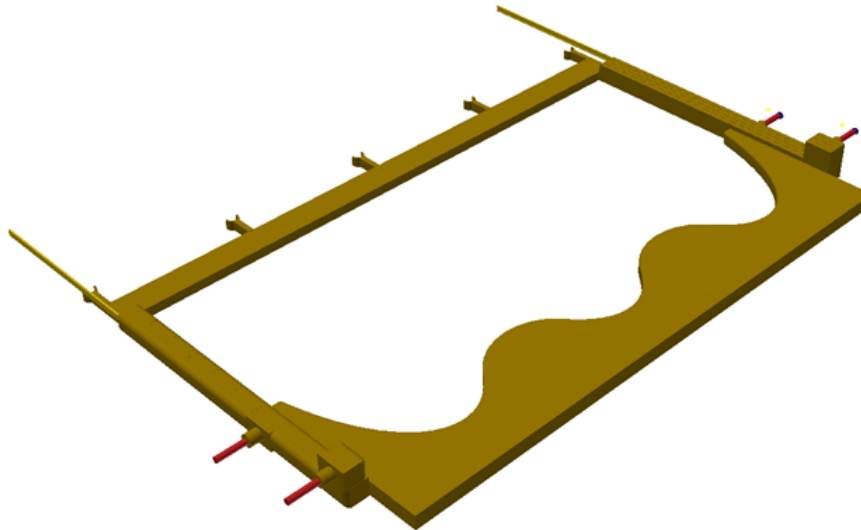
Το πρώτο στοιχείο που θα δούμε είναι αυτό που θα κρατάει την πλακέτα και θα αναλάβει τα μισά καθήκοντα του εργαλείου.

Οι κόκκινοι άξονες που φαίνονται ανά δύο στα πλάγια θα ακολουθούν τον οδηγό του σταθερού στοιχείου. Εφόσον δεν υπάρχει δυνατότητα να κινηθούν στη διεύθυνση παράλληλα στην πλευρά του wedge, τότε μπορούν να κινηθούν μόνο στο επίπεδο κάθετο σε αυτή τη διεύθυνση. Σε αυτό ακριβώς το επίπεδο θα κινηθούν και οι πλακέτες κατά την τοποθέτηση.

Επιπλέον, είναι εμφανή τα 5 clips-πιαστράκια, στα οποία θα σφηνωθούν τα αρσενικά ground pins της πλακέτας ώστε να υπάρχει σταθερό grip της πλακέτας.



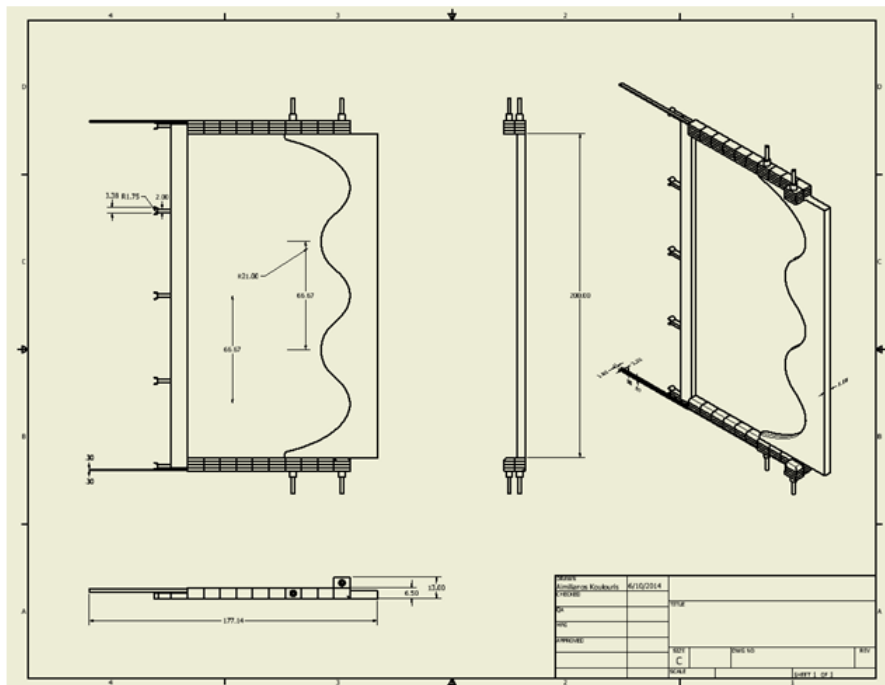
Εικόνα 3.11: Σχέδιο του Insertion Tool για τις MMFE, πάνω στην άκρη του wedge.



Εικόνα 3.12: Προοπτική όψη του κινούμενου στοιχείου.

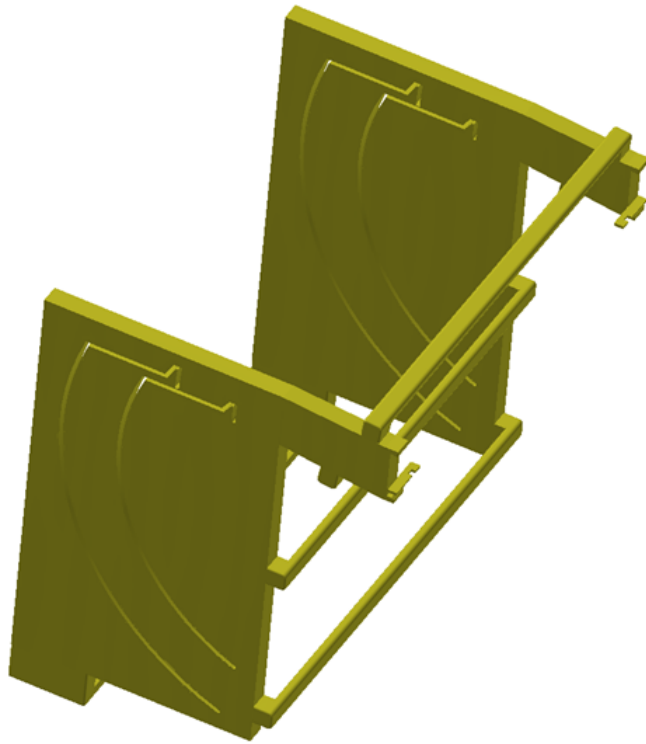
Στη συνέχεια, υπάρχει το railing οδηγός, όπου θα εισέλθει η πλακέτα για να είναι πιο σταθερή ως προς το κινούμενο στοιχείο.

Το καμπυλωτό στοιχείο είναι χειρολαβή για να επιτρέπει στο χειριστή να οδηγεί το κινούμενο στοιχείο στη διαδρομή του οδηγού.



Σταθερό στοιχείο

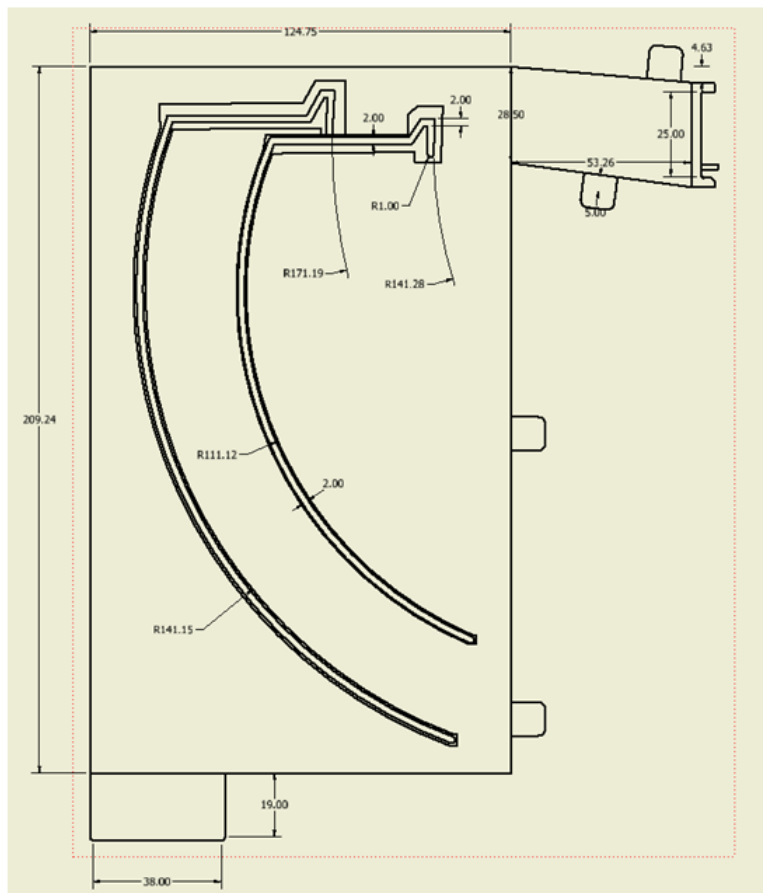
Το επόμενο στοιχείο που θα δούμε είναι το κύριο σώμα της κατασκευής, το οποίο πιάνεται στο σώμα του wedge, και περιλαμβάνει την προσεκτικά σχεδιασμένη διαδρομή που θα ακολουθούν οι οδηγοί του κινούμενου στοιχείου.



Σε αυτό το στοιχείο παρατηρούμε κάποιες λεπτομέρειες, και υπό-μέρη.

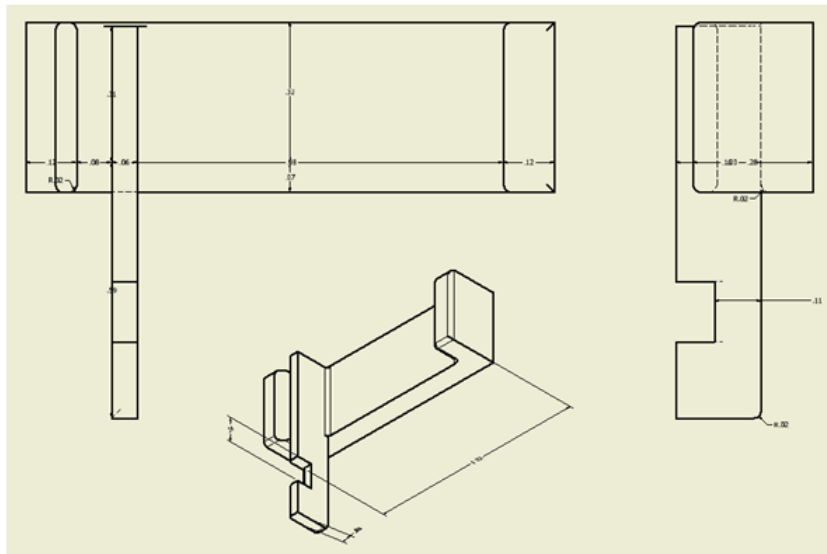
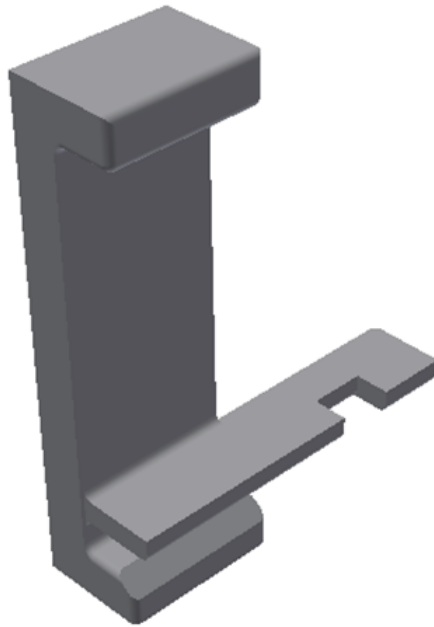
1. Το συμπαγές σώμα στις δύο πλευρές είναι ο οδηγός των κόκκινων αξόνων που είδαμε πριν.
2. Φαίνονται κάποια beams (ράβδοι), τα οποία λειτουργούν ως στήριγμα και ενώσεις μεταξύ των δύο κυρίως στοιχείων.
3. Φαίνεται ακόμη στις δύο μεριές ένα εξάρτημα σαν grip, το οποίο στοχεύει να πιάνεται στα ground pins στο PCB τα οποία θεωρητικά θα είναι στη σωστή θέση. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η ευθυγράμμιση του εργαλείου με τα strips στο PCB.

Η πλαϊνή όψη δείχνει πιο καθαρά το σχέδιο του οδηγού:



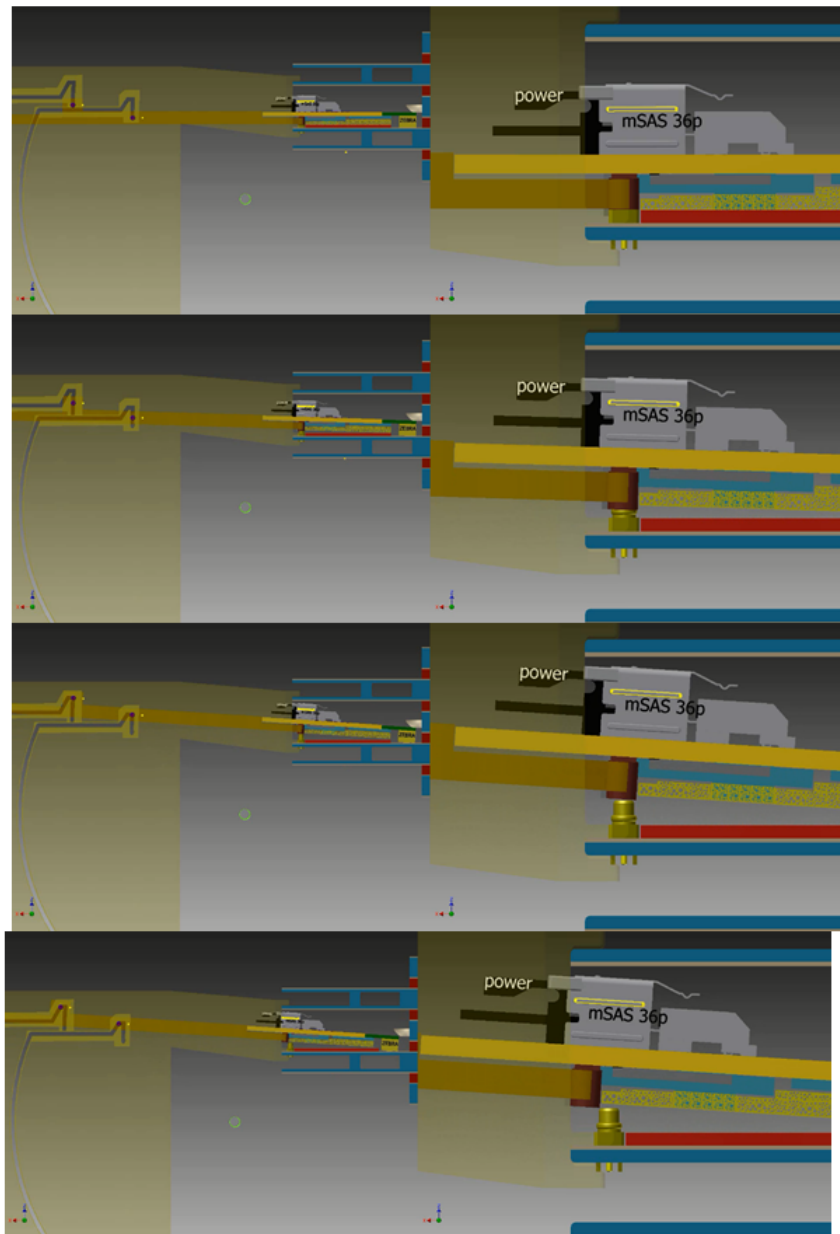
Υπενθυμίζουμε ότι ο σχεδιασμός αυτός έγινε από απευθείας μετατροπή των στοιχείων του animation της εισαγωγής. Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση της πλακέτας κατά την εισαγωγή-εξαγωγή προσομοιώθηκε αυτούσια, και στη συνέχεια από τα δεδομένα της προσομοίωσης και με χρήση γεωμετρίας έγινε εξαγωγή των κατάλληλων θέσεων των οδηγών του εργαλείου

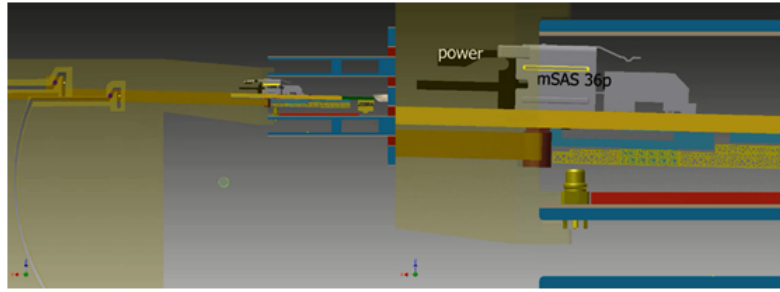
Το στοιχείο που θα ευθυγραμμίζει όλο το εργαλείο με τα ground pins, αλλά και θα του επιτρέπει να πιάνεται πάνω στο PCB φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Κανονικά είναι συνεχόμενο με το κύριο μέρος του εργαλείου, αλλά μπορεί να παρουσιαστεί και ξεχωριστά για να φανούν οι διαστάσεις και η λειτουργικότητα.



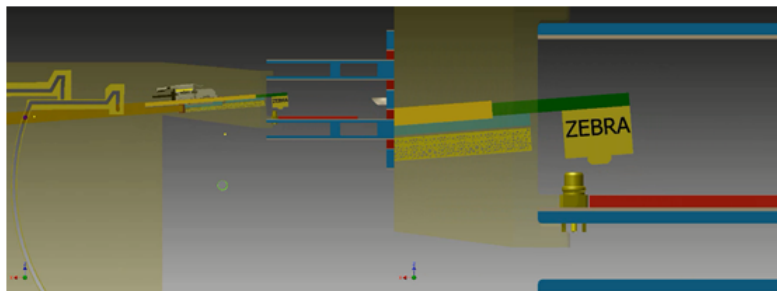
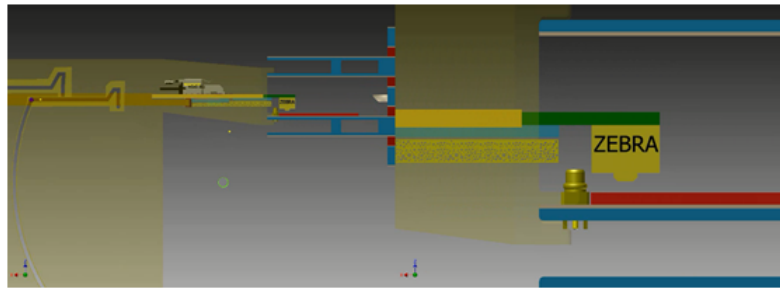
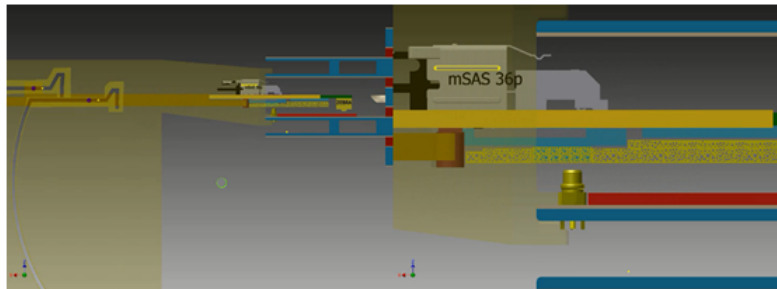
Εργαλείο εν κινήσει

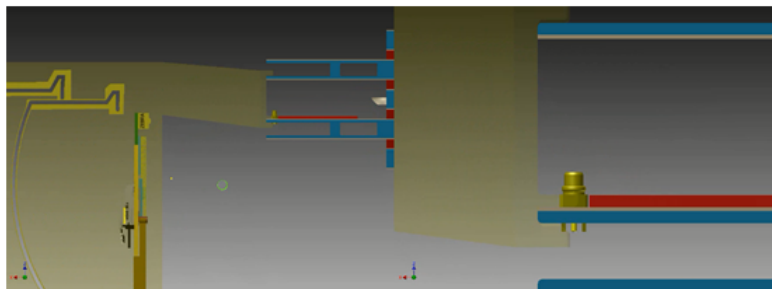
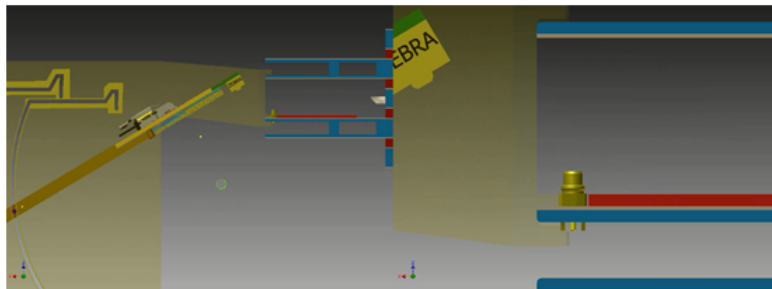
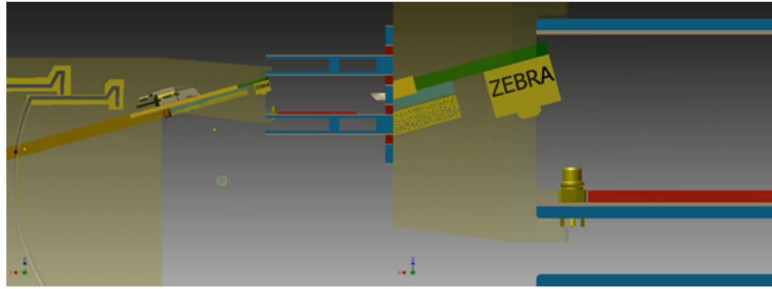
Ακολουθεί σειρά από στιγμιότυπα που φαίνεται η κίνηση της κάρτας κατά την εξαγωγή της από τη θέση της.





α





Το εργαλείο λοιπόν, ενώ φαίνεται ότι δουλεύει και ικανοποιεί όλες μας τις προϋποθέσεις, μένει να δοκιμαστεί στην πραγματικότητα. Ακόμα και αν δε δουλέψει όπως επιθυμούμε, είναι μία πολύ καλή αρχική ιδέα για ένα τελικό προϊόν.

Κεφάλαιο 4

Δοκιμές σε δέσμη – TestBeam material

Ένα εξίσου μεγάλο μέρος τον τελευταίο καιρό ήταν τα TestBeam.

Κατά τη διάρκεια ενός testbeam δοκιμάζονται ανιχνευτές σε διάφορες συνθήκες. Οι συνθήκες αυτές είναι πάντα λιγότερο έντονες από το πραγματικό πείραμα που θα ακολουθήσει στον LHC. Κυρίως ελέγχεται η σωστή λειτουργία από άποψη απόδοσης, καθώς η εισερχόμενη δέσμη είναι κατά κύριο λόγο γνωστή και δεδομένη, άρα δεν υπάρχει ανάγκη προσδιορισμού τροχιάς, ενέργειας και είδους των εισερχομένων σωματιδίων.

4.1 Δέσμες

Μέχρι τη στιγμή που το παρόν ήταν υπό συγγραφή, τα ολοκληρωμένα testbeam ήταν δύο. Η τοποθεσία της διάταξης και της ομάδας ήταν στις περιοχές T9 και T10 του PS, στο CERN.

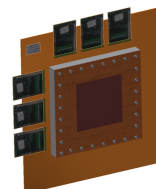
Η δέσμη και στις δύο περιπτώσεις ήταν κυρίως πρωτόνια και πιόνια, χαμηλής ενέργειας τάξης μερικών GeV.

4.2 Ανιχνευτές

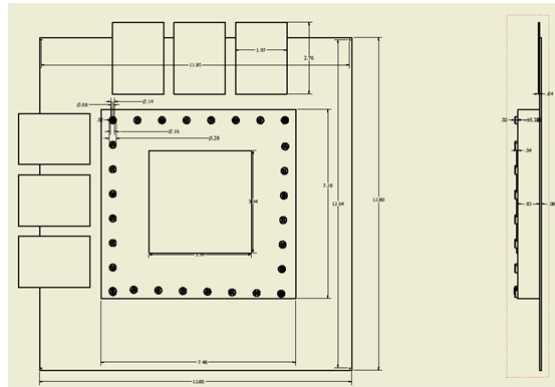
Οι διάφοροι ανιχνευτές που χρησιμοποιήθηκαν στα testbeam παρουσιάζονται σε αυτό το σημείο. Κατά κύριο λόγο είναι ανιχνευτές Micromegas μικρού μεγέθους αλλά ακολουθώντας το γενικό σχεδιασμό του τελικού προϊόντος για το NSW.

4.2.1 Tmm* - T*

Το πιο στοιχειώδες μέρος της διάταξης είναι μία σειρά μικρών MM οι οποίοι είναι όμοιοι με το σχέδιο πάνω. Περιλαμβάνονται 7 τέτοιοι και ονομάζονται:

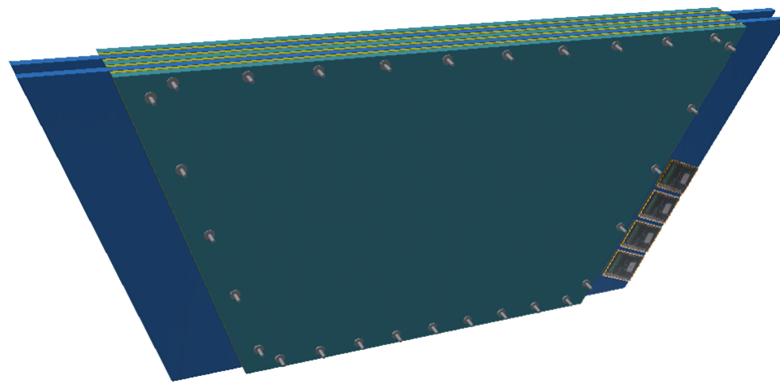


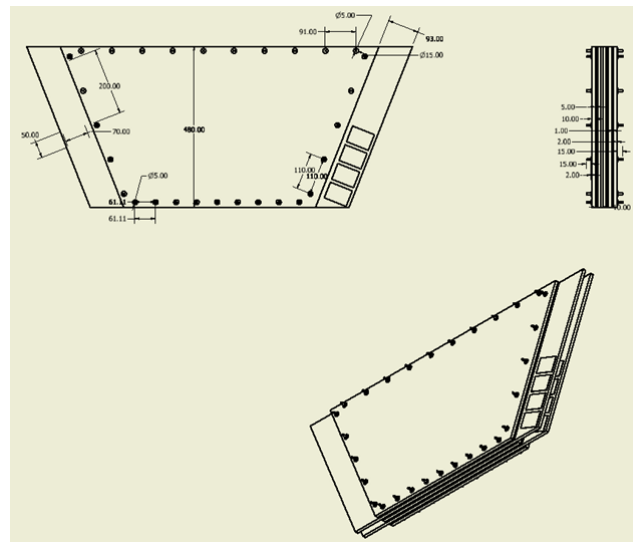
1. Tmm2
2. Tmm3
3. T2
4. TQF
5. Tmm5
6. Tmm6
7. Tmm4



4.2.2 MSW

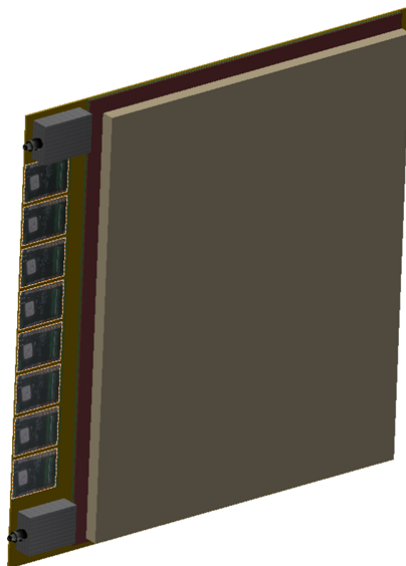
Ο MSW (πλήρες όνομα MMSW = Micromegas Small Wheel prototype) είναι ένα μεγαλύτερο πρωτότυπο MM το οποίο μάλιστα θα τοποθετηθεί μέσα στο ATLAS Cavern για λειτουργία σε πραγματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του Run 2. Η τοποθέτηση είναι προγραμματισμένη για τον Οκτώβριο του 2014.

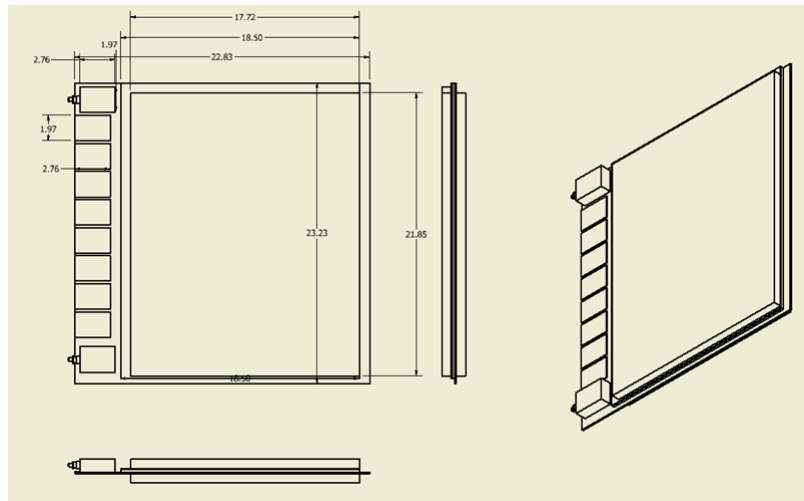




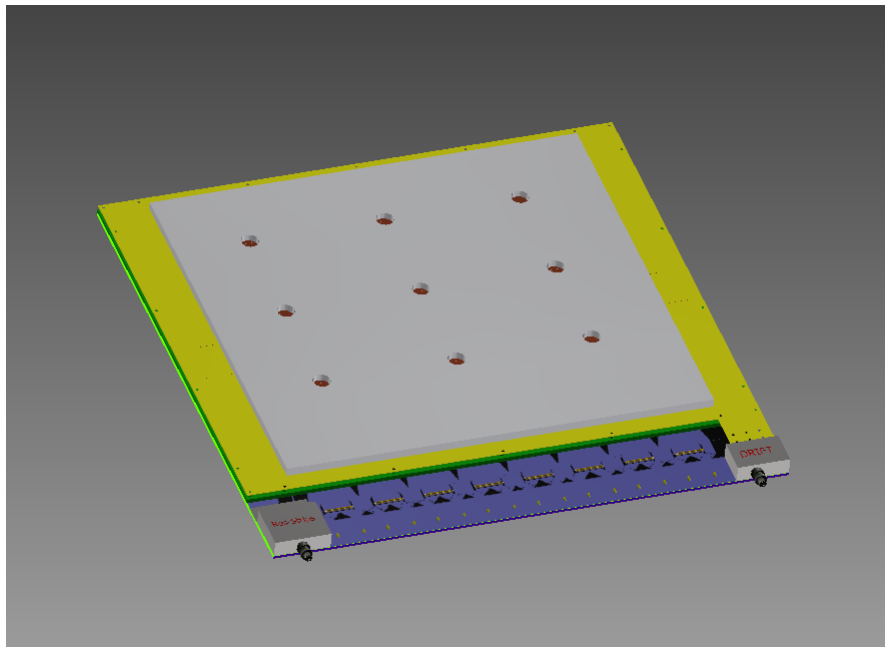
4.2.3 ExMe

Ο Exchangable Mesh Micromegas είναι ένα ακόμα πρωτότυπο Micromegas το οποίο έχει ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό. Το πλέγμα σε αυτό τον ανιχνευτή μπορεί να αλλάχτεί, κάτι που μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε περίπτωση βλάβης, ή απλά για δοκιμή διαφορετικών πλεγμάτων.

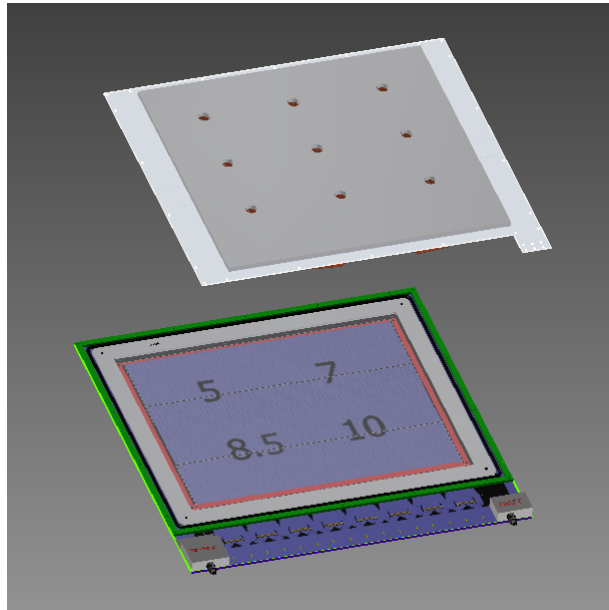




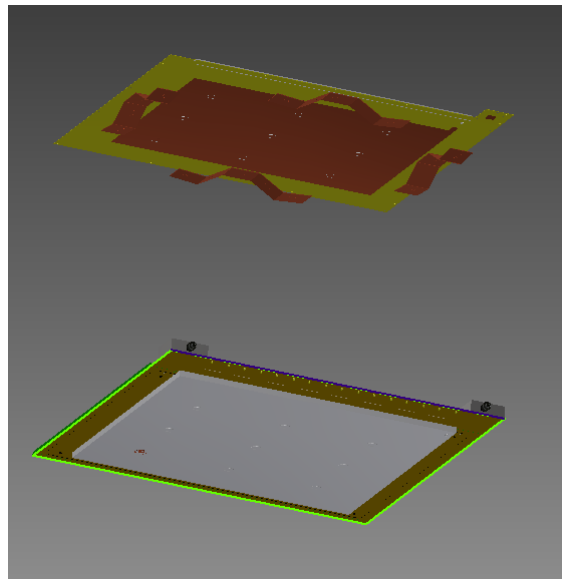
Βλέπουμε και ένα πιο αναλυτικό σχέδιο του ExMe.



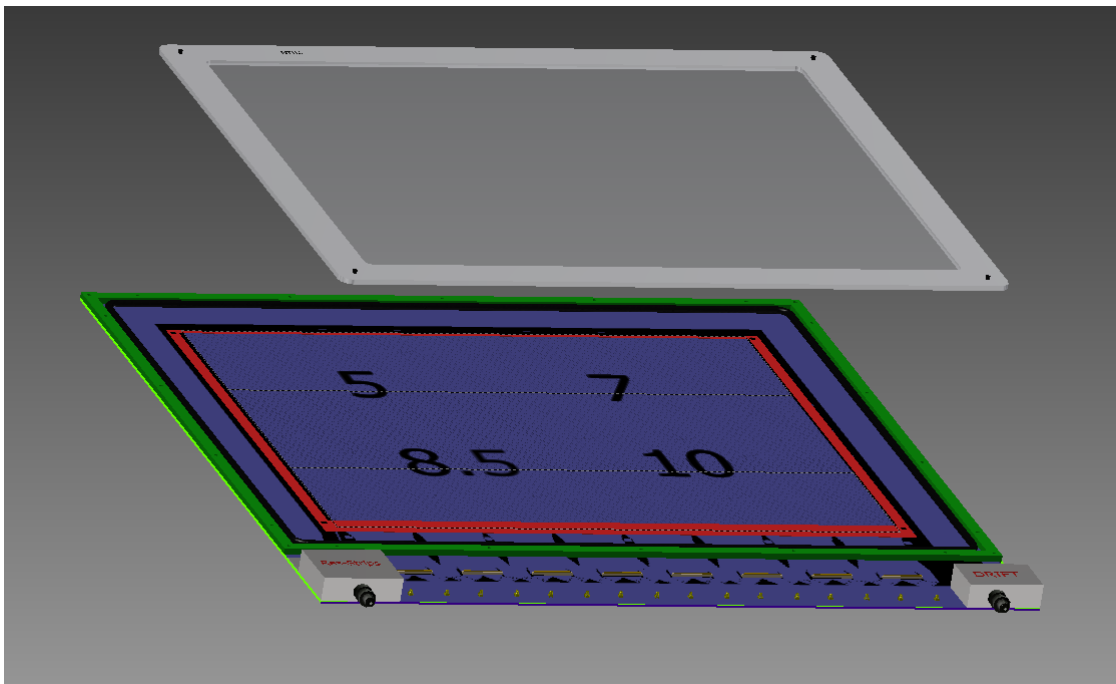
Βγαίνει το πάνω PCB, και αποκαλύπτεται το πράσινο external frame και το γκρι mesh.



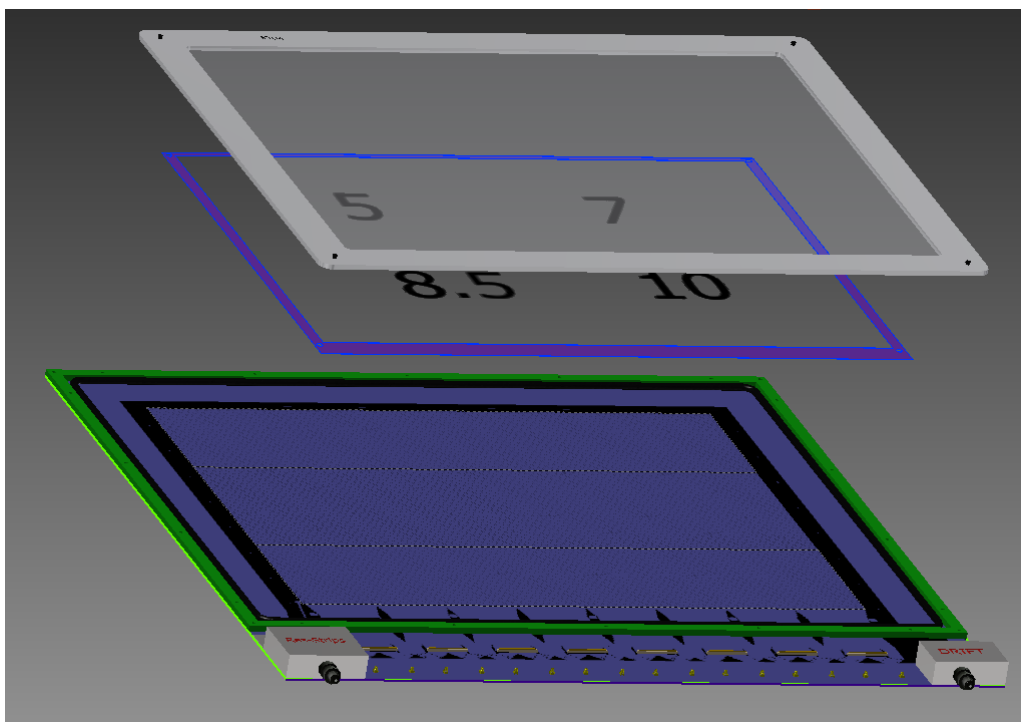
Στο κάτω μέρος του top PCB βλέπουμε τα ελάσματα που κρατάνε το mesh στη θέση του όταν είναι συναρμολογημένη η διάταξη.



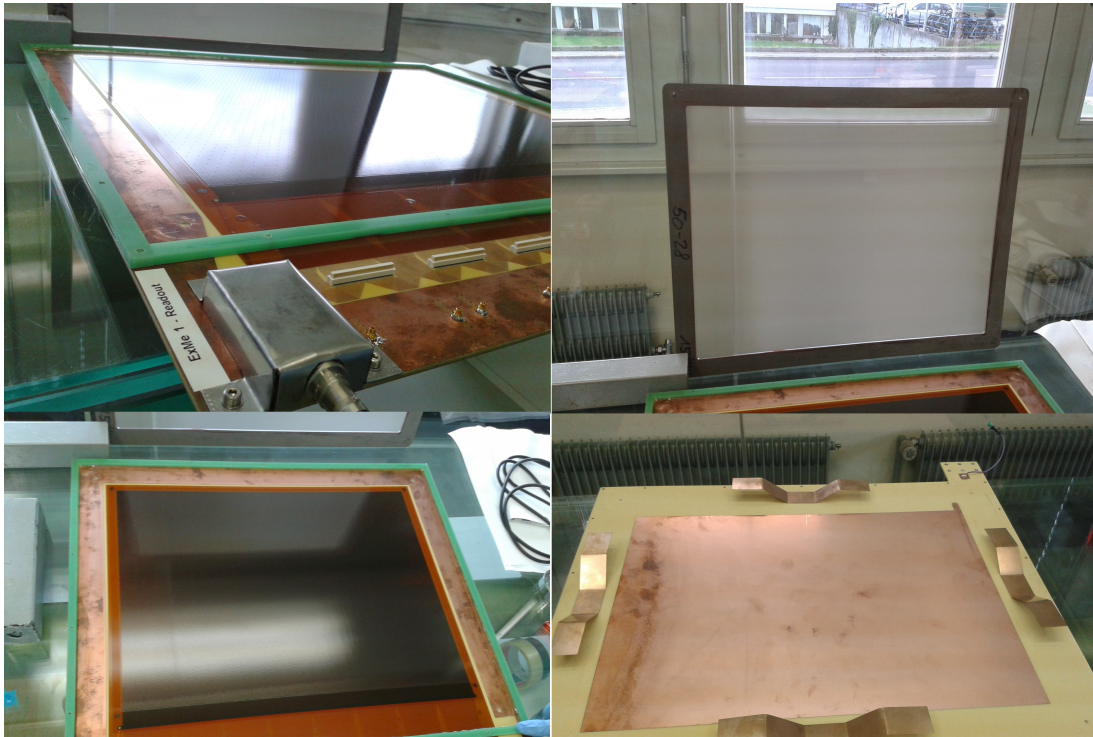
Και όταν βγαίνει το mesh...



...φαίνεται και το επίπεδο των pillars που στο συγκεκριμένο μοντέλο έχουν μεταβλητό pitch. Η απόσταση δηλαδή μεταξύ δύο pillars είναι σε κάθε περιοχή όσο αναγράφεται στην εικόνα.



Τέλος βλέπουμε τον Exchangable Mesh ανοιγμένο στο εργαστήριο:



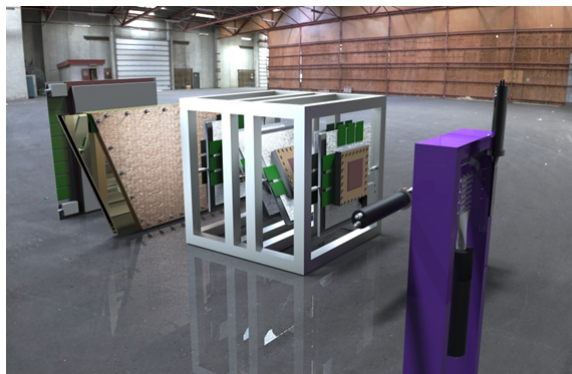
Εικόνα 4.1: Απεικόνιση του πραγματικού ExMe (αριστερά), του mesh και του πάνω PCB (δεξιά).

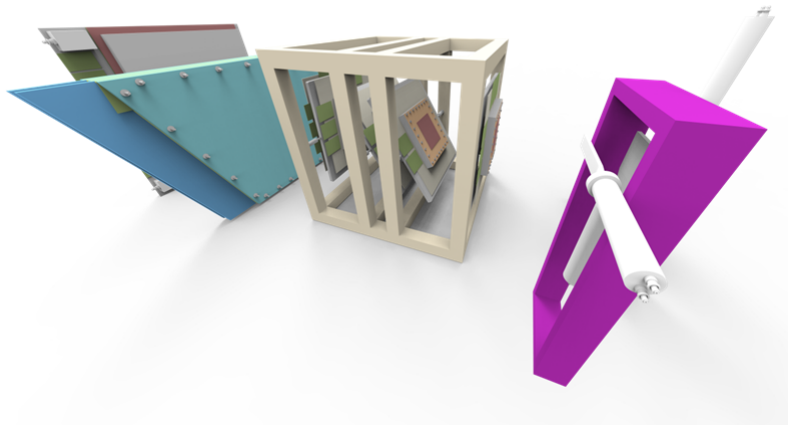
4.3 Διάταξη

Τώρα θα παρουσιαστούν οι πειραματικές διατάξεις των δύο testbeams ως τώρα. Θα φανεί ότι μοιάζουν πολύ μεταξύ τους. Η παραμικρή όμως λεπτομέρεια που αλλάζει στις αποστάσεις ή στις γωνίες είναι σημαντική για τις μετρήσεις.

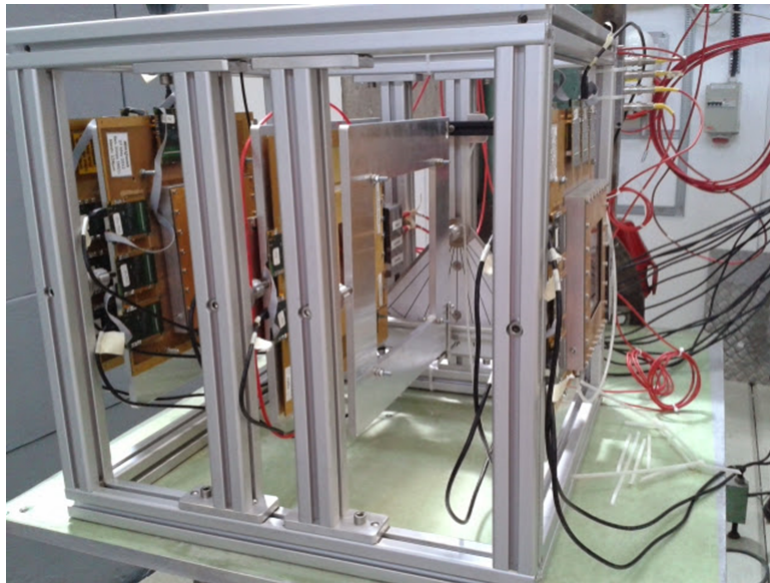
4.3.1 Testbeam 8/2014

Η διάταξη τον Αύγουστο του 2014 περιλάμβανε σταδιακά όλους τους προαναφερθείσες ανιχνευτές.





Από πίσω προς τα εμπρός οι ανιχνευτές είναι ExMe, MSW, πλαίσιο με στηρίγματα για τους Tmm2 κλπ, και τέλος σπινθηριστές που χρησιμοποιούνται για το σκανδαλισμό του συστήματος λήψης δεδομένων.



Δοκιμάστηκαν διαφορετικές γωνίες για τους ανιχνευτές κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Οι T2, TQF είναι προσαρμοσμένοι σε στρεφόμενη βάση, που διευκολύνει τη στροφή τους. Για τον MSW χρειάστηκε λίγο προσπάθεια για να μπορέσει να στηριχτεί σε στροφή. Κάτω φαίνεται το setup του DCS+DAQ online συστήματος. Πλέον αποτελεί τετριμμένη διαδικασία, αλλά χωρίς να είναι τετριμμένη η λογική και η υλοποίηση.

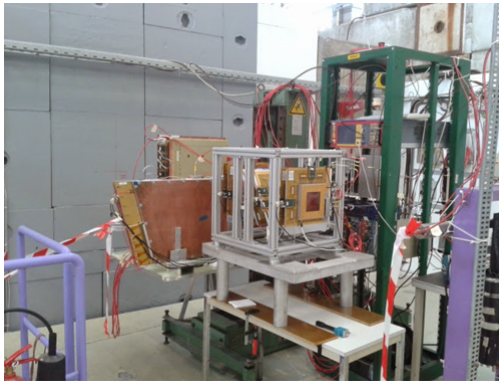


Coincidence?

Οι σπινθηριστές βρίσκονται τοποθετημένοι στην αρχή και στο τέλος του σωματιδιακού τηλεσκοπίου που αποτελεί η διάταξή μας. Όταν ένα σωματίδιο, π.χ. μιονίο, περνά από τον scintillator δημιουργείται ένα σήμα που εύκολα μετατρέπεται σε ψηφιακό. Αυτό γίνεται και στους 3 scintillators της διάταξης (2 στην αρχή, ένας στο τέλος). Αυτά τα σήματα περνάνε από μία λογική πύλη AND που μας επιτρέπει να γνωρίζουμε πότε πέρασε ένα σωματίδιο κι από τους τρεις. Αυτό είναι το λεγόμενο coincidence. Αυτό χρειάζεται καθώς τα ηλεκτρονικά των MM καταγράφουν γεγονότα ασταμάτητα, πόσο μάλλον από κοσμική ακτινοβολία. Έχοντας όμως την πληροφορία του coincidence, μπορούμε και γνωρίζουμε πότε ακριβώς πρέπει να πάρουμε τα δεδομένα από τα on-detector ηλεκτρονικά.



Εικόνα 4.2: Η επιστημονική μέθοδος στήριξης. Cable ties κρατούν τους σπινθηριστές στη θέση τους.



Εικόνα 4.3: Ολόκληρη η διάταξη.

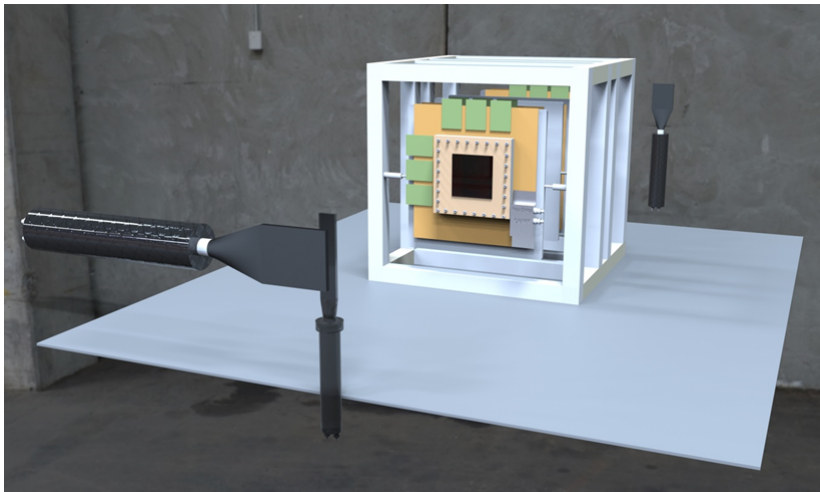


Εικόνα 4.4: Ο χώρος του testbeam. T9.

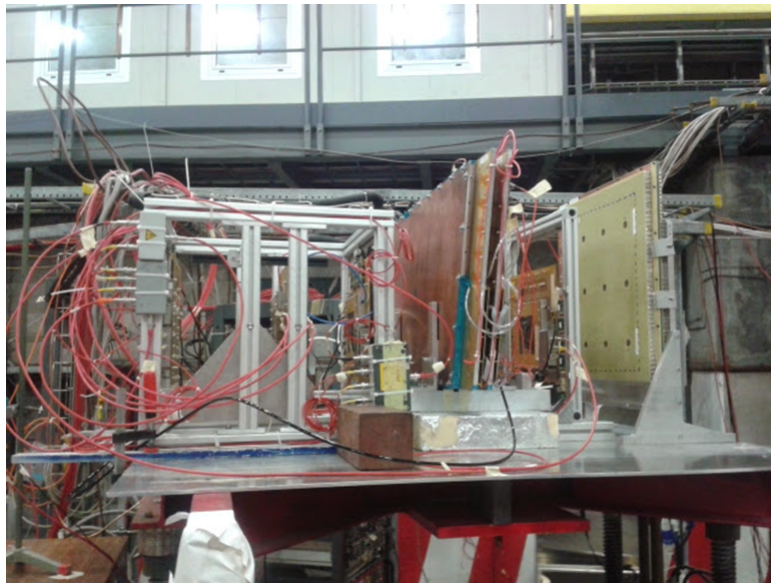
4.3.2 Testbeam 10/2014

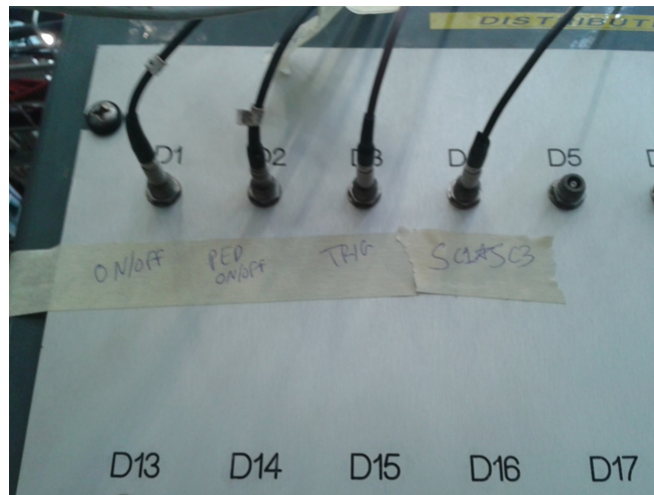
Η μόνη διαφορά από την προηγούμενη διάταξη είναι σε κάποιο στάδιο προστέθηκε ο Tmm4 MM, όπως φαίνεται στο σχέδιο.

Πρώτη Διάταξη



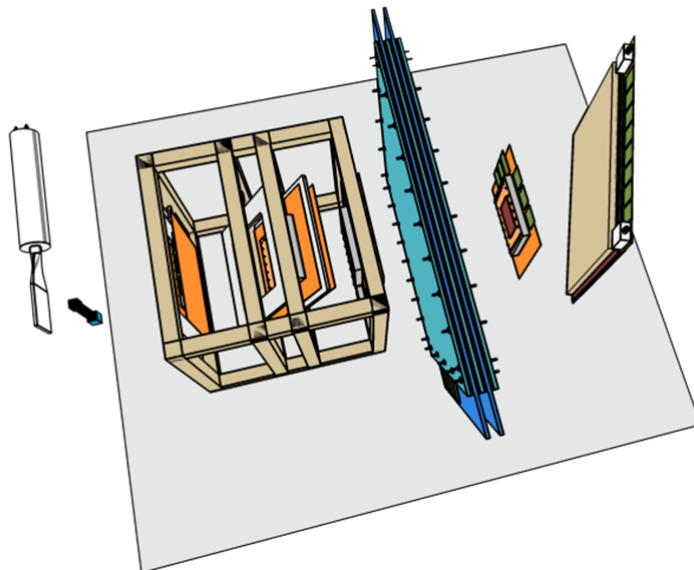
Δεύτερη Διάταξη





Στροφή του ExMe

Όπως ήδη αναφέρθηκε, γίνεται μελέτη των ανιχνευτών και υπό γωνία.





MSW υπό γωνία

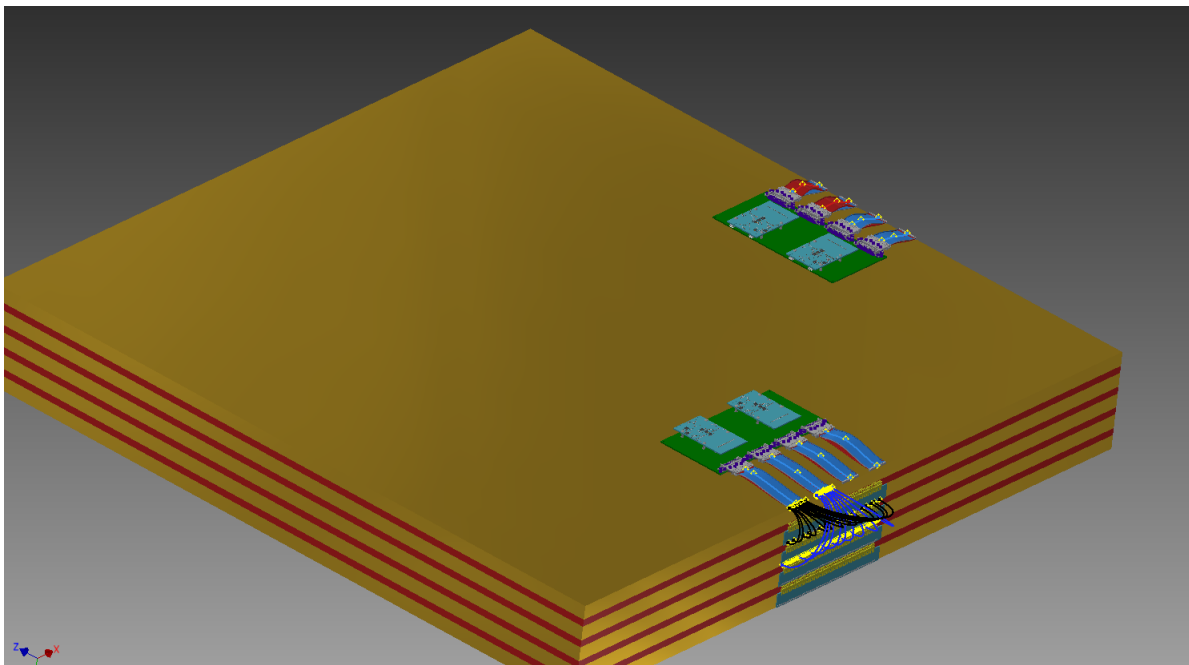
Η υπό γωνία μελέτη συνεχίζεται στηρίζοντας τον MSW υπό γωνία.



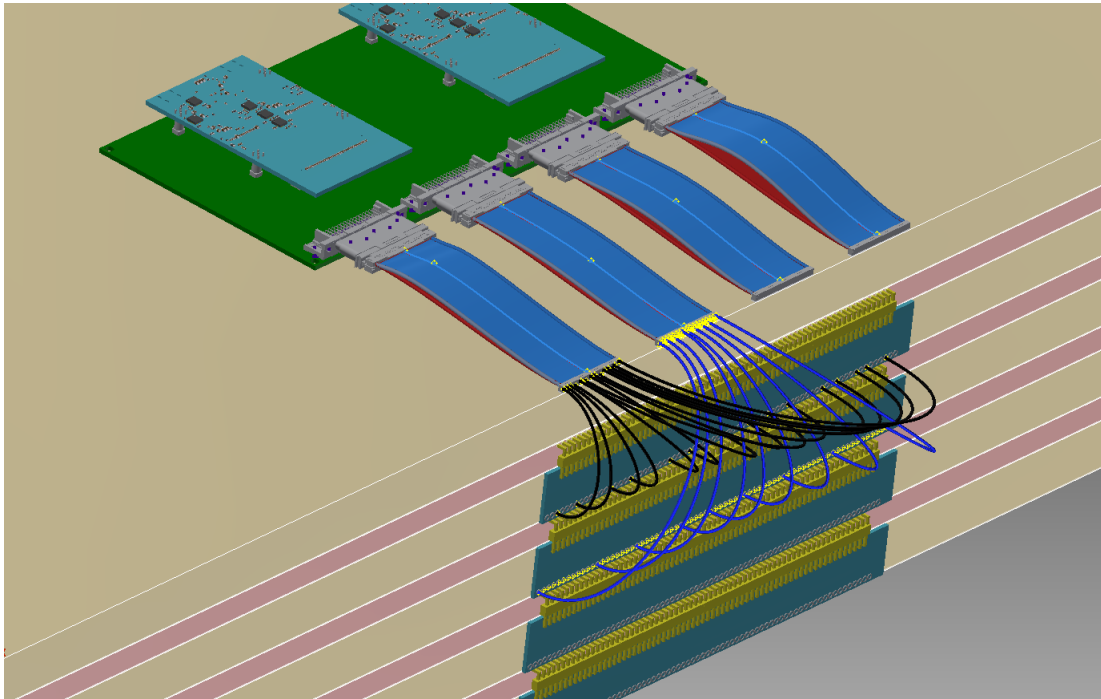
Κεφάλαιο 5

Σχέδια για την ομάδα Brookhaven National Laboratory

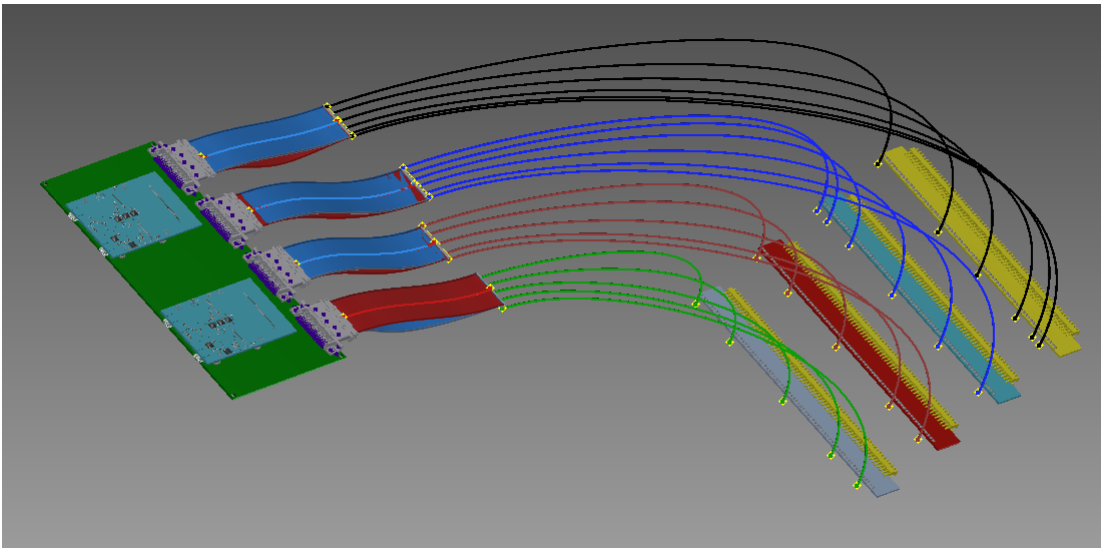
Ένα ακόμα κομμάτι της δουλειάς αφορά τον τριδιάστατο σχεδιασμό για τα ηλεκτρονικά ενός πρωτοτύπου ανιχνευτή, από την ομάδα του Brookhaven.



Εικόνα 5.1: Ο ανιχνευτής, φαίνεται ως υποτυπώδες σχέδιο, με τα planes να διαγράφονται κόκκινα. Στις πλευρές του ανιχνευτή έχουν τοποθετηθεί οι read-out boards από τις οποίες ξεκινούν τα καλώδια που καταλήγουν στις κυρίως κάρτες.



Εικόνα 5.2: Ίδια όψη με πριν, αλλά κοντινότερο πλάνο.



Εικόνα 5.3: Προβολή μίας κάρτας με όλα τα καλώδια που ξεκινούν από αυτή και καταλήγουν στις "front end".

Κεφάλαιο 6

FPGA programming introduction

Ένα ακόμα μέρος της πολυπτυχούς αυτής εργασίας είναι πρωτογενής δουλειά πάνω στον προγραμματισμό των ηλεκτρονικών της L1DDC. Λόγω χρονικών περιορισμών και άλλων δυσκολιών δεν υπάρχει έτοιμος κώδικας προς παρουσίαση. Όμως μπορεί να γίνει μία μικρή παρουσίαση της λειτουργίας της κάρτας, της γλώσσας VHDL ή και κάποιων τεχνολογιών και μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν.

6.1 Εισαγωγή στη VHDL

Η λέξη **VHDL** είναι ακρωνύμιο. Σημαίνει VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Hardware Description Language. Είναι μία ιδιαίτερη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για την περιγραφή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα FPGA (Field Programmable Gate Arrays) τα οποία αποτελούνται από τεράστιο αριθμό λογικών πυλών, οι οποίες ως σύνολο μπορούν να προγραμματιστούν κατά βούληση του καταναλωτή-πελάτη. Δηλαδή, ένα FPGA είναι ένας microcontroller που μπορεί να προγραμματιστεί για να κάνει ό,τι θέλουμε. Πλέον ο προγραμματισμός των FPGA έχει φτάσει να θεωρείται τέχνη και επιστήμη. Τα βασικά στοιχεία της γλώσσας είναι:

- **Entity**, παριστάνει την οντότητα που αντιστοιχεί στα pins της πλακέτας. Ανεξάρτητα δηλαδή από το component που θα μπει, τα pins της πλακέτας είναι δεδομένα και προκαθορισμένα.
- **Architecture** είναι το component που μπαίνει πάνω στο entity ως αρχιτεκτονική. Κατά τη δήλωσή του δηλαδή γίνεται η αντιστοίχιση των pins του component με τα pins του entity.
- **Process** είναι ένα σύνολο διαδικασιών που γίνονται παράλληλα. Η παραλληλία εδώ δεν έχει σχέση με parallel computing, αλλά με το γεγονός ότι σε ένα κύκλωμα κάθε πράξη που γράφεται γίνεται στον ίδιο κύκλο ρολογιού, οπότε πολλές πράξεις που γράφονται μαζί στο ίδιο process γίνονται «ταυτόχρονα».
- **Signal** αντιστοιχεί σε ένα σήμα μέσα στο κύκλωμα. Ανάλογα με τη δήλωσή του, μπορεί να είναι απλό καλώδιο ή μπορεί να περιλαμβάνει ένα register για την αποθήκευση της τιμής.
- **Variable** χρησιμοποιείται για διευκόλυνση δήλωσης μεταβλητών μη τετριμμένου τύπου, όπως String, Integer.

- **Port**, χρησιμοποιείται για δήλωση των pins εισόδου και εξόδου στα components.

Μία λεπτομέρεια που βοηθάει την κατανόηση του entity και του architecture, είναι ότι ένα entity μπορεί να έχει πολλά architectures. Σε αντιστοιχία με την πραγματικότητα, όπου σε ένα καθορισμένο σημείο στην πλακέτα μπορεί να τοποθετηθεί ποικιλία στοιχείων, αρκεί όμως να υπάρχει η αντιστοίχιση των pins. Στη VHDL μπορούν να γραφούν διαφορετικά architecture με την προϋπόθεση ότι ορίζεται σε άλλο αρχείο ποιο architecture χρησιμοποιείται στην εκάστοτε εφαρμογή.

6.2 Ένα παράδειγμα

Εδώ παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα υλοποίησης μία λογικής πύλης AND, που δέχεται σαν είσοδο δύο ή περισσότερα ψηφιακά σήματα. Στην έξοδο δίνει -1- αν τα σήματα εισόδου είναι όλα -1-, και -0- σε κάθε άλλη περίπτωση.

Είναι η ίδια συνάρτηση που χρησιμοποιείται στο coincidence των σπινθηριστών που είδαμε παραπάνω, απλά με άλλο αριθμό εισόδων.

```
-- (τα σχόλια ξεκινάνε με '--')
```

```
-- κάνουμε import τη βιβλιοθήκη std_logic από την κεντρική IEEE
```

```
library
```

```
library IEEE;
```

```
use IEEE.std_logic_1164.all;
```

```
-- ορισμός μίας entity
```

```
entity AND_GATE is
```

```
  port (
```

```
    input_1 : in std_logic;
```

```
    input_2 : in std_logic;
```

```
    output0 : out std_logic);
```

```
end entity AND_GATE;
```

```
-- εδώ ορίζεται το architecture
```

```
architecture Behavioral of AND_GATE is
```

```
begin
```

```
  output0 <= input_1 and input_2;
```

```
end architecture Behavioral;
```

Κεφάλαιο 7

Υπολογιστικά Εργαλεία

Ακολουθούν λίγα λόγια για τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της διπλωματικής αυτής.

7.1 Autodesk Inventor Pro 2013

Το Autodesk Inventor είναι ένα πρόγραμμα τύπου AutoCAD, το οποίο χρησιμοποιείται για τριδιάστατη αναπαράσταση, σχεδιασμό, προσομοίωση και οπτικοποίηση προϊόντων. Μπορεί να διαχειριστεί μεγάλη ποικιλία συγγενών αρχείων. Τα κυριότερα είναι STEP, DWF και DWG, τα οποία βρίσκονται πιο συχνά στην αγορά καθώς είναι βολικά για διακίνηση και ανταλλαγή σχεδίων μεταξύ μηχανικών που χρησιμοποιούν διαφορετικά CAD προγράμματα.



Για την παρούσα δουλειά επιλέχθηκε αυτό το πρόγραμμα διότι υπήρχε προηγούμενη εμπειρία. Αν παρουσιαζόταν η ανάγκη για πιο απαιτητική προσομοίωση, θα μπορούσε να είχε γίνει χρήση προγραμμάτων όπως το ANSYS Workbench, ή το COMSOL, τα οποία επιπλέον περιλαμβάνουν και πακέτα φυσικής (electromagnetics, fluids, etc).

7.2 Xilinx ISE 14.2

Το πρόγραμμα αυτό αναλαμβάνει τη σύνθεση (synthesis) και την ανάλυση (analysis) των HDL σχεδίων που στοχεύουν στον προγραμματισμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Οι δυνατότητές του είναι ιδιαίτερα ευρείες και παρέχουν μεγάλη ελευθερία στο χρήστη ώστε να παραμετροποιήσει στο μέγιστο βαθμό το σχέδιό του.



7.3 Keyshot 5

Το πρόγραμμα Keyshot χρησιμοποιήθηκε για rendering των μοντέλων. Η πιο κοντινή λέξη στα ελληνικά είναι «απόδοση». Αυτό που κάνει είναι να παίρνει το μοντέλο, σε μορφή αρχείου STEP για παράδειγμα, και να κάνει ανάλυση εικόνας στο μοντέλο για να αποδώσει πιο σωστά την οπτική και προοπτική του αντικειμένου σε τριδιάστατο χώρο.

Οι δυνατότητες του περιλαμβάνουν την προσθήκη πραγματικών υλικών, που υπάρχουν σε βιβλιοθήκες μέσα στο πρόγραμμα, με αποτέλεσμα να βοηθάει στη ρεαλιστική απεικόνιση των αντικειμένων. Επιπλέον διαθέτει και μεγάλη γκάμα από backgrounds τα οποία επίσης βοηθούν στην αναπαράσταση των αντικειμένων, καθώς φαίνεται πιο ολοκληρωμένα η παρουσία τους στο χώρο.

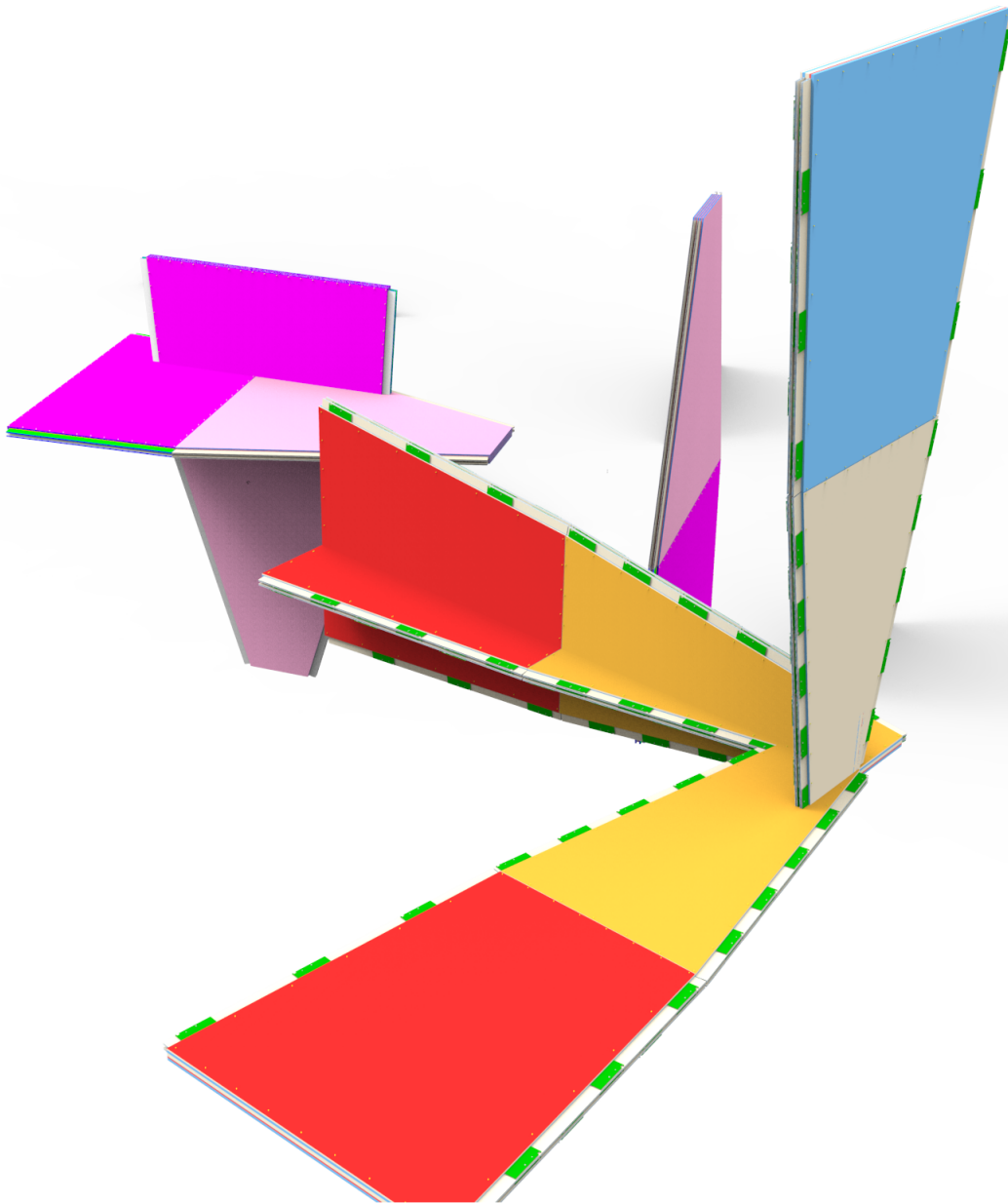


7.4 Camtasia Recorder 8

Αυτό το πρόγραμμα χρησιμεύει σε επεξεργασία εικονοσειρών (video editing). Πολλά από τα animations που δημιουργήθηκαν κατεγράφησαν και υπέστησαν επεξεργασία με τη χρήση αυτού του προγράμματος.

Βιβλιογραφία

- [1] T. Alexopoulos et al., *A spark-resistant bulk-micromegas chamber for high-rate applications*, Nucl. Instr. Meth. A 640 (2011) 110-118.
- [2] Y. Giomataris et al., *"MICROMEGAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments"*, Nucl. Instr. Meth. A376, 29-35, (1996).
- [3] G. Iakovidis, *Research and Development in Micromegas Detector for the ATLAS Upgrade*. PhD Thesis at NTUA, Oct 2014.
- [4] The ATLAS Collaboration, *New Small Wheel Technical Design Report*, (CERN-LHCC-2013-006;ATLAS-TDR-020). [URL]



no comment