



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΧΕΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ
ΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΩΝ ΔΕΣΜΩΝ CLIC ΤΟΥ CERN
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΥΨΗΛΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ Ε. ΓΑΖΗ

Διπλωματούχου Μηχανολόγου και Αεροναυπηγού Μηχανικού
Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Πατρών

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ιούλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΧΕΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ
ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΩΝ ΔΕΣΜΩΝ
CLIC ΤΟΥ CERN ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ
ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ
ΔΕΣΜΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ
ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΥΨΗΛΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ Ε. ΓΑΖΗ

Διπλωματούχου Μηχανολόγου και Αεροναυπηγού Μηχανικού
Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Πατρών

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Θ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
(Επιβλέπων)
2. Ρ. ΒΛΑΣΤΟΥ-ZANNH, Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Σ. ΚΟΥΡΚΟΥΛΗΣ, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Θ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
(Επιβλέπων)
2. Ρ. ΒΛΑΣΤΟΥ-ZANNH, Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Σ. ΚΟΥΡΚΟΥΛΗΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
4. Γ. ΤΣΙΠΟΛΙΤΗΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
5. Μ. ΚΟΚΚΟΡΗΣ, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.
6. Β. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Καθ. Πανεπ.
Πατρών
7. Ε. ΤΣΕΣΜΕΛΗΣ, ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Α΄
CERN

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2015

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανώτατη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ.Π. δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

(Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Θετικών Επιστημών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου και στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Πυρηνικών Ερευνών (CERN), το χρονικό διάστημα Ιουλίου 2009 – Ιουλίου 2015. Η δραστηριότητα του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Πυρηνικών Ερευνών (CERN) εντάσσεται στα πλαίσια της συμμετοχής της Ελλάδας ως ιδρυτικού μέλους στον εν λόγω διεθνή οργανισμό.

Είμαι βαθιά ευγνώμων κι υπόχρεος στους επιβλέποντες καθηγητές μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο τον Καθηγητή Θεόδωρο Αλεξόπουλο, την Καθηγήτρια Ρόζα Βλαστού-Ζαννή και τον Καθηγητή Σταύρο Κουρκουλή οι οποίοι με στήριξαν σε όλη την επίπονη προσπάθεια μου ως υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ στο CERN. Η βοήθεια, η ενθάρρυνση και καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών αλλά κυρίως και μετά το πέρας των, είναι ανεκτίμητες.

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον Καθηγητή Θεόδωρο Αλεξόπουλο, που με στήριξε και συνεχίζει να στηρίζει το παρόν έργο και τις προσπάθειες μου.

Ο Καθηγητής Σταύρος Κουρκουλής παρείχε σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση για την πειραματική μελέτη της διατριβής μου αφού με δίδαξε την πειραματική μεθοδολογία που έχει αναπτύξει και με καθοδήγησε να την χρησιμοποιήσω κι ενσωματώσω στη διατριβή μου.

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή και βαθιά μου ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα στο CERN, Καθηγητή Steinar Starnes ο οποίος με ανέλαβε ως διδακτορικό φοιτητή του και με καθοδήγησε σε όλες τις απαιτητικές αποστολές μου. Ο ενθουσιασμός και η δημιουργικότητά του με βοήθησαν υπερβολικά και με δίδαξαν πολύ. Τον ευχαριστώ που με επέβλεψε και κατεύθυνε τη δουλειά μου, με νουθέτησε μέσω εβδομαδιαίων σχεδιασμών και με βοήθησε να συντάξω επιστημονικές δημοσιεύσεις για επιστημονικά συνέδρια καθώς και αναφορές πειραμάτων. Αναγνωρίζω ότι η παρούσα διατριβή δεν θα μπορούσε να έχει πραγματοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη συμβολή του.

Θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δρα Alexander Samoshkin για τις διορθώσεις του και τις πολύ χρήσιμες συμβουλές του. Κατά τη διάρκεια των 4 τελευταίων ετών μου έχει προσφέρει τη βοήθειά του, τις προτάσεις του αλλά και την υπομονή του. Έχει συμβάλλει στην παρούσα διατριβή όπως επίσης έχει επηρεάσει καταλυτικά την επαγγελματική μου εμπειρία.

Ο Δρ Ιωάννης Παπαφιλίππου, CERN, με βοήθησε και με συμβούλεψε μέσω των συζητήσεών μας σε κρίσιμες στιγμές και γι αυτό αισθάνομαι ευγνώμων. Παρομοίως, ευχαριστώ τον Καθηγητή Βενέτιο Πολυχρονάκο, Brookhaven National Laboratory, ο οποίος βοήθησε με τις πολύτιμες συμβουλές και με τις διορθώσεις του στην αγγλική έκδοση της διδακτορικής διατριβής μου. Ακόμα ευχαριστώ τον Δρα Hermann Schmickler, CERN, ο οποίος με τις ακριβείς και ευθείες παρατηρήσεις του σχολίασε, συνέβαλε και στήριξε τη δουλειά μου.

Γυρίζοντας πίσω χρονικά, καλοκαίρι του 2005, ερχόμενος για πρώτη φορά να εργαστώ στο CERN, είμαι πραγματικά ευγνώμων στην Δρα Andromachi Tsirou, η

οποία δεν δέχτηκε ποτέ κάτι λιγότερο από την καλύτερη προσπάθεια μου. Ακόμα, την ευχαριστώ για την εξαιρετική προτροπή της να συνεχίσω σε ανώτερες σπουδές για διδακτορική διατριβή, όντας ο πρώτος (υπέροχος) άνθρωπος που πραγματικά με ενέπνευσε να ακολουθήσω μία τέτοια πορεία.

Ο ερευνητής Δρ Ίων Σταματελάτος, ο ερευνητής Δρ Σωτήριος Χαρισόπουλος μου έδωσαν πρόσβαση στα εργαστήρια τους, με βοήθησαν και αφιέρωσαν από τον χρόνο τους για να με διδάξουν και να βελτιστοποιήσουν την εργασία μου. Χωρίς τη συμβολή τους η παρούσα διατριβή δεν θα είχε ολοκληρωθεί.

Ο Καθηγητής Γεώργιος Παπανικολάου από το τμήμα των Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, πάντα με στήριξε από την εποχή των προπτυχιακών μου σπουδών και καθόλη την εκπόνηση της σπουδαστικής και διπλωματικής μου εργασίας, στις οποίες και με επέβλεψε. Στη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής ενέκρινε την πρώτη επιστημονική μου δημοσίευση και μου έδωσε τη δυνατότητα να την παρουσιάσω σε διεθνές επιστημονικό συνέδριο το φθινόπωρο του 2009.

Σε αυτό το σημείο ευχαριστώ τους φίλους μου που όντας κομμάτι της ζωής μου με βοήθησαν και με στήριξαν.

Πριν όλων, ευχαριστώ την πραγματική μου φίλη Σοφία. Έχει συμμετάσχει σε όλα τα σημαντικά γεγονότα της ζωής μου τα τελευταία 10 χρόνια και ήταν πάντα εκεί για μένα όταν την χρειάστηκα. Δεν μπορώ να σκεφτώ κάτι καλύτερο από ένα τεράστιο “ευχαριστώ” και την υπόσχεση ότι θα προσπαθήσω να ξεπληρώσω την αγάπη και τη στήριξη που μου έχει δώσει.

Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου πίσω στην Ελλάδα και συγκεκριμένα τον Άκη, το Βάγγο, το Γιώργο, το Νότη και τον Χάρη για την αγάπη και ενθάρρυνσή τους όλα αυτά τα χρόνια και που μου αποδεικνύουν στην κάθε παραμονή μου στην Ελλάδα ότι όντως γυρίζω σπίτι μου.

Η ζωή μου στην Ελβετία δεν θα ήταν ποτέ τόσο όμορφη, διασκεδαστική και ενδιαφέρουσα αν δεν ήταν εκεί οι φίλοι μου, ο Θεοδωρής, ο Μιχάλης, ο Χάρης, ο Γιάννης, η Στέλλα και η Νατάσα. Τους ευχαριστώ για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε και για τις φωνές που βάλαμε. Για τις συζητήσεις που είχαμε και τις προσπάθειες να βρούμε λύσεις στα μικρά και μεγάλα προβλήματά μας, που πάντοτε για μας φαινόταν μόνο μεγάλα.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω και την υπόλοιπη ελληνική κοινότητα του CERN, για τα μικρά και μεγάλα. Αν και δεν μπορώ να απαριθμήσω όλα τα ονόματα, μπορώ να θυμηθώ το Μάνο, τον Χρήστο, τον Κώστα, το Λευτέρη, τον Πάνο, το Γιώργο, τον Ηλία, τον Άλεξ και το Νίκο με τους οποίους μοιραστήκαμε ωραίες στιγμές και έχουμε ωραίες αναμνήσεις.

Η διατριβή μου είναι αφιερωμένη στους γονείς μου. Δε μπορώ να βρω λόγια για να ευχαριστήσω τη μητέρα μου Ελένη και τον πατέρα μου Βαγγέλη για την απεριόριστη αγάπη τους και την αφοσίωση τους να με μεγαλώσουν, να με στηρίξουν και να με βοηθήσουν. Μπορώ μόνο να πω ότι τους χρωστάω ό,τι είμαι και ό,τι έχω κάνει μέχρι τώρα στη ζωή μου. Θέλω ακόμα να προσθέσω ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στη Μάρθα, για την αγάπη της, τη βοήθεια και τις συμβουλές της.

Τελευταία αλλά όχι λιγότερο σημαντικά, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη Βάσια, που επηρέασε πρακτικά τα πάντα στη ζωή μου τα τελευταία 3 χρόνια

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

κάνοντάς την πολύχρωμη, όμορφη και χαρούμενη. Για όλα τα ταξίδια που κάναμε μαζί, που με έκανε ευτυχισμένο και που δημιουργεί το δυσκολότερο ίσως μέσα στην κάθε μου μέρα: το χαμόγελό μου.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών (CERN) και η μελέτη και ανάπτυξη του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ, CLIC)..... 1.34

- 1.1 Εισαγωγή στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Πυρηνικών Ερευνών (CERN)..... 1.35
- 1.2 Το ερευνητικό πρόγραμμα του CERN..... 1.36
- 1.3 Περίληψη της μελέτης του ΣΓΕΣΔ και βασικά σημεία της..... 1.38
- 1.4 Το σύστημα επιτάχυνσης Διπλής-Δέσμης (ΕΔΔ, CLIC Two-Beam)..... 1.39
- 1.5 Η Επιταχυντική Μονάδα Διπλής-Δέσμης (ΕΜΔΔ): Το μικρότερο επαναλαμβανόμενο υποσύστημα του επιταχυντή..... 1.40
 - 1.5.1 Περιγραφή και τύποι των Επιταχυντικών Μονάδων Διπλής-Δέσμης..... 1.40
 - 1.5.2 Τεχνικά συστήματα..... 1.41
 - 1.5.2.1 Το σύστημα του Πεδίου Ραδιοσυχνοτήτων 1.42
 - 1.5.2.2 Το σύστημα ψύξης 1.42
 - 1.5.2.3 Το σύστημα κενού..... 1.43
 - 1.5.2.4 Το σύστημα μαγνητών και ενεργειακής τροφοδοσίας αυτών 1.43
 - 1.5.2.5 Υποστηρικτικό σύστημα 1.44
 - 1.5.2.6 Συστήματα ευθυγράμμισης 1.44
 - 1.5.2.7 Σύστημα σταθεροποίησης 1.45
 - 1.5.2.8 Μετρητικά όργανα δέσμης..... 1.45
 - 1.5.2.9 Χειρισμός και μεταφορά 1.46

Κεφάλαιο 2. Το υποστηρικτικό σύστημα της Επιταχυντικής Μονάδας Διπλής-Δέσμης..... 2.48

- 2.1 Περιγραφή του υποστηρικτικού συστήματος και του συστήματος τοποθέτησης 2.49
- 2.2 Τεχνικές προδιαγραφές 2.50
 - 2.2.1 Η Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός 2.51
 - 2.2.2 Τα Υποστηρικτικά “V” τμήματα 2.54
 - 2.2.3 Τα Λίκνα Αντιστήριξης του υποστηρικτικού συστήματος και οι αισθητήρες ευθυγράμμισης..... 2.55
 - 2.2.4 Σημεία Μηχανικής Άρθρωσης..... 2.57
 - 2.2.5 Κινητήρες και ενεργητική ευθυγράμμιση..... 2.57

Κεφάλαιο 3. Μηχανολογικός Σχεδιασμός του Υποστηρικτικού Συστήματος του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ) 3.61

- 3.1 Περιγραφή της Μελέτης 3.62
 - 3.1.1 Εκτίμηση μαζών για τα δομικά μέρη της ΕΜΔΔ 3.62
 - 3.1.2 Οριακές συνθήκες για το υποστηρικτικό σύστημα..... 3.64

3.1.3	Οι συνθήκες λειτουργίας του υποστηρικτικού συστήματος.....	3.68
3.2	Μελέτη των επιμέρους διατάξεων με μοντέλα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.....	3.69
3.2.1	Εισαγωγή.....	3.69
3.2.2	Η μελέτη των υποψηφίων διατάξεων για την ΑΥΔ.....	3.70
3.2.3	Η μοντελοποίηση των υποψηφίων διατομών της ΑΥΔ για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία.....	3.73
3.2.4	Τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων των υποψηφίων διατομών της ΑΥΔ.....	3.75
3.2.5	Μελέτη της Γεωμετρίας και του Σχεδιασμού των Υποστηρίξεων “V”.....	3.77
3.2.6	Η μοντελοποίηση των υποψηφίων γεωμετριών των Υ-Δ για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία.....	3.78
3.2.7	Τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων των υποψηφίων γεωμετριών των Υ-Δ.....	3.79
3.2.8	Σύνοψη και συμπεράσματα του θεμελιώδους και εναλλακτικού σχεδιασμού του συστήματος αντιστήριξης.....	3.81
3.3	Μελέτη επιλογής δομικών υλικών για τα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων.....	3.82
3.3.1	Εισαγωγή.....	3.82
3.3.2	Η μελέτη των δομικών υλικών της ΑΥΔ.....	3.83
3.3.3	Η μοντελοποίηση των δομικών υλικών και τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.....	3.84
3.3.4	Η μελέτη υλικών για τα υποστηρίγματα Υ-V.....	3.86
3.3.5	Σύνοψη και συμπεράσματα για το θεμελιώδες και το εναλλακτικό δομικό υλικό για το υποστηρικτικό σύστημα.....	3.89

Κεφάλαιο 4. Η ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΔΙΠΛΗΣ-ΔΕΣΜΗΣ (ΕΜΔΔ) ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΩΝ ΔΕΣΜΩΝ (ΣΓΕΣΔ)..... 4.90

4.1	Εισαγωγή στην ανάπτυξη στρατηγικής για την κατασκευή.....	4.91
4.2	Σημεία κλειδιά στη στρατηγική της κατασκευής.....	4.93
4.2.1	Διαστασιολογικές ανοχές και βιομηχανικές εφαρμογές.....	4.93
4.2.2	Στρατηγική μεταφοράς και χειρισμού.....	4.95
4.2.3	Εγκατάσταση και εναλλαξιμότητα των διατάξεων του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ.....	4.97
4.3	Πρότυπη κατασκευή των Υποστηρικτικών συστημάτων για την ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ.....	4.99
4.3.1	Στοχευμένη καινοτομική κατασκευή των περιφερειακών εξαρτημάτων και διατάξεων του υποστηρικτικού συστήματος.....	4.100
4.3.2	Υποστηρικτικά συστήματα για τη διαμόρφωση ΕΡΓ.....	4.101
4.3.2.1	Περίπτωση Α (Boostec SiC).....	4.101
4.3.2.2	Περίπτωση Β (Micro-Controle SiC).....	4.107
4.3.2.3	Περίπτωση Γ (Erument 145/B).....	4.111

4.3.2.4	Περίπτωση Δ (Boostec SiC).....	4.115
4.3.3	Υποστηρικτικό σύστημα για το ΣΓΕΣΔ-ΠΚ.....	4.116
4.3.3.1	Περίπτωση Ε (Εμπορική συνεργασία των εταιριών ZTS και Boostec).....	4.117
4.3.4	Σύνοψη και αποτελέσματα των περιπτώσεων πρότυπων κατασκευών	4.118

Κεφάλαιο 5. ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΩΝ ΔΕΣΜΩΝ 5.119

5.1	Εισαγωγή στον ποιοτικό έλεγχο και τις μετρήσεις πιστοποίησης.....	5.120
5.2	Ποιοτικός έλεγχος και μετρήσεις πιστοποίησης (στις εργοστασιακές εγκαταστάσεις).....	5.121
5.2.1	Περίπτωση Α (Boostec SiC).....	5.122
5.2.2	Περίπτωση Β (Micro-Controle SiC).....	5.124
5.2.3	Περίπτωση Γ (Erument 145/B).....	5.126
5.3	Ποιοτικός έλεγχος και μετρήσεις πιστοποίησης (στο CERN).....	5.129
5.3.1	Περίπτωση Α (Boostec SiC).....	5.129
5.3.2	Περίπτωση Β (Micro-Controle SiC).....	5.131
5.3.3	Περίπτωση Γ (Erument 145/B).....	5.132
5.4	Μετρήσεις δυναμικής συμπεριφοράς και ανάλυση με προσομοιώσεις προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων.....	5.133
5.4.1	Η μοντελοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς της ΑΥΔ για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία.....	5.135
5.4.2	Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για τη δυναμική συμπεριφορά.....	5.135
5.5	Σύνοψη και συμπεράσματα για τον ποιοτικό έλεγχο και τις μετρήσεις πιστοποίησης.....	5.136

Κεφάλαιο 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΣΓΕΣΔ..... 6.138

6.1	Περιγραφή των πειραματικών δοκιμών.....	6.139
6.2	Εισαγωγή στα πειράματα ακτινοβολήσεων.....	6.139
6.2.1	Προσομοιώσεις ακτινοβολίας υποβάθρου με τον κώδικα FLUKA – Συνθήκες λειτουργίας του επιταχυντή ΣΓΕΣΔ.....	6.139
6.2.2	Προσομοιώσεις ακτινοβολίας υποβάθρου με τον κώδικα FLUKA – Απορροφούμενη δόση.....	6.140
6.2.3	Προσομοιώσεις ακτινοβολίας υποβάθρου με τον κώδικα FLUKA – Αποτελέσματα.....	6.141
6.3	Τα πειράματα ακτινοβολήσεων.....	6.143
6.3.1	Πειράματα ακτινοβολήσεων με δέσμες νετρονίων σε δοκίμια.....	6.143
6.3.2	Οι ραδιενεργές πηγές εκπομπής νετρονίων.....	6.144
6.4	Ο επιταχυντής Tandem του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε Δημόκριτος και η δέσμη νετρονίων.....	6.145

6.4.1	Το εργαστήριο του επιταχυντή Tandem	6.145
6.4.2	Οι δέσμες νετρονίων	6.147
6.4.3	Τα χαρακτηριστικά ακτινοβολήσεως με τη δέσμη νετρονίων	6.149
6.5	Ο έλεγχος των πειραμάτων ακτινοβολήσεως με δέσμες νετρονίων	6.151
6.6	Η ανάλυση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων ακτινοβολήσεως	6.152
6.6.1	Η φασματοσκοπία ακτίνων-γ	6.152
6.6.2	Η φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων-X	6.152
6.6.3	Η τεχνική των πολλαπλών ελασμάτων	6.153
6.6.4	Υπολογισμοί ενεργοποίησης	6.154
6.6.5	Ανάλυση αποτελεσμάτων	6.155
6.6.6	Υπολογισμοί ενεργοποίησης	6.156
6.7	Εισαγωγή στα πειράματα μηχανικών δοκιμών	6.157
6.8	Περιγραφή των μηχανικών δοκιμών αντοχής	6.158
6.9	Πειραματική διαδικασία για την απλή μονοαξονική θλίψη	6.159
6.10	Ανάλυση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα για την απλή μονοαξονική θλίψη	6.162
6.11	Περιγραφή της δοκιμής κάμψης τριών σημείων	6.166
6.12	Πειραματική διαδικασία για τη δοκιμή της κάμψης τριών σημείων	6.167
6.13	Ανάλυση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα για την κάμψη τριών σημείων	6.170
6.14	Περιγραφή των δοκιμών Βραζιλιανού δίσκου	6.171
6.15	Πειραματική διαδικασία για τις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου	6.172
6.16	Ανάλυση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα των δοκιμών Βραζιλιανού δίσκου	6.179
6.17	Σύνοψη και συμπεράσματα των πειραμάτων	6.179
6.17.1	Πειράματα ακτινοβολήσεως με δέσμες νετρονίων	6.179
6.17.2	Μηχανικές δοκιμές αντοχής	6.180
6.17.2.1	Συμπεράσματα από την απλή μονοαξονική θλίψη	6.180
6.17.2.2	Συμπεράσματα από την κάμψη τριών σημείων	6.181
6.17.2.3	Συμπεράσματα από τις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου	6.181
Κεφάλαιο 7.	ΣΥΝΟΨΗ	7.183
7.1	Σύνοψη της διατριβής	7.184
7.2	Τελικά συμπεράσματα	7.186
Βιβλιογραφία	189
Παράρτημα I Μηχανικές Ιδιότητες Υλικών και Κατασκευαστικά Σχέδια	195
Παράρτημα II Τεχνικές Παράμετροι για τον ΣΓΕΣΔ	201
Παράρτημα III Όροι και Ακρόνυμα	208
Παράρτημα IV Πίνακες εκτίμησης τιμών βάρους για τις διατάξεις της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ	213
Παράρτημα V Ανιχνευτής νετρονίων BF3	225

ANIXNEYTES NETRONION TRI-FΘOPIOYXOY BOPIOY.....	226
▪ Γενικά.....	226
▪ Σχηματισμός παλμού με την ανίχνευση νετρονίων	226
▪ Τάση λειτουργίας και χαρακτηριστική καμπύλη	228
▪ Ανίχνευση των θερμικών και ταχέων νετρονίων	228
Παράρτημα VI Ανιχνευτής ακτίνων-γ Γερμανίου υψηλής καθαρότητας	229
ANIXNEYTHS GERMANIOY YΨHΛHΣ KATHAPOTHΤΑΣ (HPGe).....	230
Παράρτημα VII Το υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ232	
EΙΣAΓΩΓΗ	233
TEΧNΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	234
ΤΟ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	235
▪ ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	235
▪ ΔΟΚΟΙ (ΑΥΔ)	235
Υποστηρίγματα Σχηματος V	237
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	238
Παράρτημα VIII Εφαρμογές και μικρομετρική ευθυγράμμιση του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ	239
EΙΣAΓΩΓΗ	240
ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ – (ΑΥΔ) ΔΟΚΟΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ.....	242
Μελέτη και Κατασκευή ΔΟΚΩΝ.....	242
Αισθητήρες και ενεργοποιητές	243
▪ <i>cWPS</i>	243
▪ <i>Κλινόμετρο</i>	244
▪ <i>Γραμμικοί μηχανισμοί κίνησης/ενεργοποιητές</i>	244
ΠΕΡΙΛΗΨΗ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	244
Παράρτημα IX Κατασκευή, επεξεργασία και ποιοτικός έλεγχος του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ	245
Παράρτημα X Αναλυτικές αναφορές μοντελοποίησης και αποτελεσμάτων Πεπερασμένων Στοιχείων με τον κώδικα ANSYS 251	
Στατική ανάλυση θεμελιώδους διατομής με δομικό υλικό SiC	252
7.3 Contents	253
7.4 Units.....	253
7.5 Model (C4).....	253
7.5.1 Geometry.....	253
7.5.2 Coordinate Systems	256
7.5.3 Mesh.....	256
7.6 Static Structural (C5)	257
7.6.1 Solution (C6).....	263
7.7 Material Data	264

7.7.1 SiC 3 (test)	264
Στατική ανάλυση θεμελιώδους διατομής με δομικό υλικό Erument.....	265
7.8 Contents	266
7.9 Units	266
7.10 Model (C4).....	266
7.10.1 Geometry	266
7.10.2 Coordinate Systems	269
7.10.3 Mesh	269
7.11 Static Structural (C5)	270
7.11.1 Solution (C6)	276
7.12 Material Data	277
7.12.1 Erument	277
Στατική ανάλυση θεμελιώδους διατομής με δομικό υλικό stainless stell.....	278
7.13 Contents	279
7.14 Units	279
7.15 Model (C4).....	279
7.15.1 Geometry	279
7.15.2 Coordinate Systems	282
7.15.3 Mesh	282
7.16 Static Structural (C5)	283
7.16.1 Solution (C6)	289
7.17 Material Data	290
7.17.1 Stainless Steel.....	290
Δυναμική ανάλυση θεμελιώδους διατομής με δομικό υλικό SiC	291
7.18 Contents	293
7.19 Units	293
7.20 Model (B4).....	293
7.20.1 Geometry	293
7.20.2 Coordinate Systems	296
7.20.3 Connections	296
7.20.4 Mesh	297
7.20.5 Named Selections	298
7.21 Modal (B5).....	298
7.21.1 Solution (B6)	300
7.22 Material Data	302
7.22.1 SiC	302
Δυναμική ανάλυση θεμελιώδους διατομής με δομικό υλικό Erument.....	303
7.23 Contents	305
7.24 Units	305
7.25 Model (B4).....	305

7.25.1	Geometry	305
7.25.2	Coordinate Systems	308
7.25.3	Connections	308
7.25.4	Mesh	309
7.25.5	Named Selections	310
7.26	Modal (B5)	310
7.26.1	Solution (B6)	312
7.27	Material Data	314
7.27.1	Erument	314
Δυναμική ανάλυση θεμελιώδους διατομής με δομικό υλικό stainless steel		315
7.28	Contents	316
7.29	Units	316
7.30	Model (B4)	316
7.30.1	Geometry	316
7.30.2	Coordinate Systems	319
7.30.3	Connections	319
7.30.4	Mesh	320
7.30.5	Named Selections	321
7.31	Modal (B5)	321
7.31.1	Solution (B6)	323
7.32	Material Data	325
7.32.1	Stainless Steel	325
Στατική ανάλυση εναλλακτικής διατομής με δομικό υλικό SiC		326
7.33	Contents	328
7.34	Units	328
7.35	Model (C4)	328
7.35.1	Geometry	328
7.35.2	Coordinate Systems	330
7.35.3	Mesh	331
7.36	Static Structural (C5)	332
7.36.1	Solution (C6)	338
7.37	Material Data	339
7.37.1	SiC	339
Στατική ανάλυση εναλλακτικής διατομής με δομικό υλικό Erument		340
7.38	Contents	342
7.39	Units	342
7.40	Model (C4)	342
7.40.1	Geometry	342
7.40.2	Coordinate Systems	344
7.40.3	Mesh	345
7.41	Static Structural (C5)	346

7.41.1	Solution (C6)	352
7.42	Material Data	353
7.42.1	Epument	353
	Στατική ανάλυση εναλλακτικής διατομής με δομικό υλικό stainless steel.....	354
7.43	Contents	355
7.44	Units	355
7.45	Model (C4).....	355
7.45.1	Geometry	355
7.45.2	Coordinate Systems.....	357
7.45.3	Mesh	358
7.46	Static Structural (C5)	359
7.46.1	Solution (C6).....	365
7.47	Material Data	366
7.47.1	Stainless Steel.....	366
	Δυναμική ανάλυση εναλλακτικής διατομής με δομικό υλικό SiC.....	367
7.48	Contents	369
7.49	Units	369
7.50	Model (B4).....	369
7.50.1	Geometry	369
7.50.2	Coordinate Systems.....	372
7.50.3	Connections	372
7.50.4	Mesh	373
7.50.5	Named Selections	373
7.51	Modal (B5).....	374
7.51.1	Solution (B6).....	376
7.52	Material Data	378
7.52.1	SiC	378
	Δυναμική ανάλυση εναλλακτικής διατομής με δομικό υλικό Epument.....	379
7.53	Contents	381
7.54	Units	381
7.55	Model (B4).....	381
7.55.1	Geometry	381
7.55.2	Coordinate Systems.....	384
7.55.3	Connections	384
7.55.4	Mesh	385
7.55.5	Named Selections	385
7.56	Modal (B5).....	386
7.56.1	Solution (B6).....	388
7.57	Material Data	390
7.57.1	Epument	390
	Δυναμική ανάλυση εναλλακτικής διατομής με δομικό υλικό stainless steel.....	390

7.58	Contents	392
7.59	Units	392
7.60	Model (B4).....	392
7.60.1	Geometry	392
7.60.2	Coordinate Systems.....	395
7.60.3	Connections	395
7.60.4	Mesh	396
7.60.5	Named Selections	396
7.61	Modal (B5).....	397
7.61.1	Solution (B6).....	399
7.62	Material Data	401
7.62.1	Stainless Steel.....	401
	Στατική ανάλυση V-shape διατομής με δομικό υλικό SiC	402
7.63	Contents	404
7.64	Units	404
7.65	Model (B4).....	404
7.65.1	Geometry	404
7.65.2	Coordinate Systems.....	407
7.65.3	Mesh	407
7.66	Static Structural (B5)	408
7.66.1	Solution (B6).....	414
7.67	Material Data	415
7.67.1	SiC	415
	Στατική ανάλυση V-shape διατομής με δομικό υλικό structural steel.....	416
7.68	Contents	418
7.69	Units	418
7.70	Model (B4).....	418
7.70.1	Geometry	418
7.70.2	Coordinate Systems.....	421
7.70.3	Mesh	421
7.71	Static Structural (B5)	422
7.71.1	Solution (B6).....	428
7.72	Material Data	429
7.72.1	Structural Steel	429
	Δυναμική ανάλυση συναρμολογημένου υποστηρικτικού συστήματος Οδηγού Δέσμης (Περίπτωση A - Boostec SiC).....	431
7.73	Contents	432
7.74	Units	432
7.75	Model (B4).....	432
7.75.1	Geometry	432
7.75.2	Coordinate Systems.....	436

7.75.3	Connections	436
7.75.4	Mesh	438
7.76	Modal (B5)	439
7.76.1	Solution (B6)	441
7.77	Material Data	443
7.77.1	Copper Alloy 2	443
7.77.2	Stainless Steel 2	444
7.77.3	Aluminum Alloy 2	445
7.77.4	SiC 2	447
Δυναμική ανάλυση συναρμολογημένου υποστηρικτικού συστήματος Κύριας Δέσμης (Περίπτωση Β – Micro-Controle SiC)		447
7.78	Contents	449
7.79	Units	449
7.80	Model (B4)	449
7.80.1	Geometry	449
7.80.2	Coordinate Systems	452
7.80.3	Connections	452
7.80.4	Mesh	453
7.81	Modal (B5)	454
7.81.1	Solution (B6)	456
7.82	Material Data	458
7.82.1	Stainless Steel 2	458
7.82.2	Copper Alloy 2	459
7.82.3	SiC 2	460

Παράρτημα XI Εκτεταμένη Περίληψη της Διδακτορικής Διατριβής στα Αγγλικά 463

Introduction to CERN – The European Organization for Nuclear Research	464
The research program of CERN	465
CLIC Study overview and key issues	467
The CLIC Two-Beam acceleration scheme	468
The CLIC Two-Beam Modules	468
▪ Description and types of Modules	468
Description of the CLIC supporting and positioning system	470
Description of the study	471
Introduction to the fabrication strategy	472
Key parameters for the fabrication	475
▪ Dimensional tolerances and industrial applications	475
Introduction to the qualification measurements	476
Description of tests	477
Introduction to the irradiation testing	478

Introduction to the mechanical testing	478
Summary of the study.....	479
Conclusions and outlook	481

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1-1: Ο Ευρωπαϊκός χάρτης με τα 20 κράτη-μέλη του CERN	1.35
Σχήμα 1-2: Το σύμπλεγμα επιταχυντών του CERN	1.36
Σχήμα 1-3: Απεικόνιση ενός στιγμιότυπου δημιουργίας ενός σωματιδίου Higgs ⁻	1.37
Σχήμα 1-4: Η διάταξη του ΣΓΕΣΔ σε ενέργεια συστήματος 3 TeV σύγκρουσης δεσμών	1.38
Σχήμα 1-5: Η διάταξη επιτάχυνσης ΕΜΔΔ	1.39
Σχήμα 1-6: Σχηματική αναπαράσταση της ΕΜΔΔ Τύπος-0	1.40
Σχήμα 1-7: Σχηματικές αναπαραστάσεις των ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ με ΚΔ-τετράπολα	1.41
Σχήμα 1-8: Τρισδιάστατη απεικόνιση της ΕΜΔΔ (Τύπος-1)	1.42
Σχήμα 1-9: Σχηματική αναπαράσταση του βαγονιδίου μεταφοράς και εγκατάστασης των ΕΜΔΔ μέσα στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ	1.47
Σχήμα 2-1: Σχηματική επεξήγηση της αρχής λειτουργίας της μηχανικής άρθρωσης του υποστηρικτικού συστήματος επονομαζόμενης ως Σύστημα Φιδιού	2.49
Σχήμα 2-2: Το υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ για τον Τύπο-0	2.50
Σχήμα 2-3: Σχηματική αναπαράσταση των ΕΜΔΔ συναρμολογημένες σε σειρά μέσα στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ	2.51
Σχήμα 2-4: Σχηματική αναπαράσταση της ΕΜΔΔ (Τύπος-0)	2.52
Σχήμα 2-5: Σχηματική αναπαράσταση των υποδοχών πάνω στη ΑΥΔ για τη πάκτωση/στερέωση των ΛΑ	2.54
Σχήμα 2-6: Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού Υ-V	2.54
Σχήμα 2-7: Σχηματική αναπαράσταση των Υ-V κάτω από φόρτιση	2.55
Σχήμα 2-8: Σχηματική αναπαράσταση των ΛΑ συναρμολογημένων σε μία ΑΥΔ (ΚΔ Τύπος-1)	2.56
Σχήμα 2-9: Σχηματική αναπαράσταση του συναρμολογημένου ΛΑ περιλαμβανομένων και όλων των αισθητήρων του	2.56
Σχήμα 2-10: Θεμελιώδης σχεδιασμός του Σημείου Μηχανικής Άρθρωσης	2.57
Σχήμα 2-11: Σχετικό σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιούμενο στον ΣΓΕΣΔ	2.57
Σχήμα 2-12: Σχηματική αναπαράσταση του ΛΑ-οδηγού με συναρμολογημένους (3) γραμμικούς κινητήρες υψηλής ευκρίνειας	2.58
Σχήμα 2-13: Σχηματική αναπαράσταση της ανοχής ευθυγράμμισης ανάμεσα σε δύο παρακείμενες ΑΥΔ	2.58
Σχήμα 2-14: Σχηματική αναπαράσταση των οδηγών και ακολούθων ΛΑ για την ΚΔ	2.59
Σχήμα 2-15: Διασυνδέσεις των άκρων των ΑΥΔ με ενεργητική ευθυγράμμιση	2.60
Σχήμα 3-1: Τυπική διαμόρφωση του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ Τύπου-0 του ΣΓΕΣΔ για την ΚΔ (Ιούλιος 2008)	3.62
Σχήμα 3-2: ΕΜΔΔ Τύπου-1 για τον ΣΓΕΣΔ (Ιούλιος 2009)	3.63
Σχήμα 3-3: Σχηματική αναπαράσταση επιμέρους τμημάτων της ΕΜΔΔ	3.64
Σχήμα 3-4: Αποτελέσματα προσομείωσης των παραμορφώσεων (σε μm) που υπόκεινται οι διατάξεις ΠΡ κάτω από το συνδυασμό θερμικών φορτίων, δυνάμεων κενού και βαρύτητας	3.65

Σχήμα 3-5: Το σύστημα συντεταγμένων του ΣΓΕΣΔ.....	3.65
Σχήμα 3-6: Οριακές συνθήκες ανάμεσα σε δύο (2) διαδοχικές ΕΜΔΔ σε σειρά Τύπων 1-0.....	3.66
Σχήμα 3-7: Προκαταρκτικός σχεδιασμός των Σφινκτέρων “Υ” (Σ-Υ)	3.67
Σχήμα 3-8: Σχηματική αναπαράσταση των διατομών των υποψηφίων διατάξεων που μελετήθηκαν για την ΑΥΔ.....	3.71
Σχήμα 3-9: Εναλλακτική διατομή μελετημένη για της ΑΥΔ	3.72
Σχήμα 3-10: Βελτιστοποιημένη υποψήφια εναλλακτική διατομή για την ΑΥΔ.....	3.72
Σχήμα 3-11: Μοντελοποιημένες διατομές ΑΥΔ σε περιβάλλον ANSYS Workbench	3.74
Σχήμα 3-12: Οριακές συνθήκες και συνθήκες καταπόνησης για την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων	3.74
Σχήμα 3-13: Τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για ευρείας και μαζικής παραγωγής υλικά (SiC και StSt).....	3.75
Σχήμα 3-14: Αποτελέσματα προσομοίωσης παραμορφώσεων για την ΑΥΔ.....	3.76
Σχήμα 3-15: Πρώιμος σχεδιασμός του εξωτερικού περιγράμματος των Υ-V συμβατός με τον διαθέσιμο χώρο μέσα στην ΕΜΔΔ	3.77
Σχήμα 3-16: Απεικονίσεις Υ-V για την ΚΔ και την ΟΔ	3.78
Σχήμα 3-17: Μοντελοποιημένες διατομές Υ-V σε περιβάλλον ANSYS Workbench	3.79
Σχήμα 3-18: Διάγραμμα παραμορφώσεων για τους διάφορους σχεδιασμούς των Υ-V	3.80
Σχήμα 3-19: Σχεδιασμός του βήματος υποσυναρμολόγησης των αποσπώμενων Υ-V στις ΑΥΔ με τις απαραίτητες μικρομετρικές ανοχές ακρίβειας (απόσπασμα του κατασκευαστικού σχεδίου)	3.81
Σχήμα 3-20: Διατομές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκριτική μελέτη δομικών υλικών της ΑΥΔ.....	3.83
Σχήμα 3-21: Ενδεικτική προσέγγιση θεμελιώδους σχεδιασμού των Υ-V.....	3.87
Σχήμα 3-22: Διασυνδεδεμένα (αποσπώμενα) Υ-V (StSt) επί μίας Ερμεντ (145/B) ΑΥΔ	3.88
Σχήμα 4-1: ΕΜΔΔ στο ΕΡΓ (αλληλουχία Τύπων 1-0-0-4)	4.92
Σχήμα 4-2: Ενδεικτική ΕΜΔΔ Τύπου-0 για το ΠΚ-ΣΓΕΣΔ	4.93
Σχήμα 4-3: Γενικός περιβάλλον όγκος των συστημάτων αντιστήριξης, μέρος των κατασκευαστικών προδιαγραφών, παρεχόμενων στις κατασκευαστικές εταιρίες. Τα πρότυπα υποστηρικτικά συστήματα ελέγχθηκαν για να έχουν 100% χωροταξική συμβατότητα και συμβατότητα όγκου με αυτό το μοντέλο.....	4.95
Σχήμα 4-4: Υποσυστήματα πρότυπων υποστηρικτικών συστημάτων για την ΕΜΔΔ Τύπου-0 του ΣΓΕΣΔ (ΕΡΓ)	4.96
Σχήμα 4-5: α) Συναρμολογημένη ΕΜΔΔ με το πλαίσιο μεταφοράς, β) Πλαίσιο μεταφοράς συναρμολογημένο πάνω στο σύστημα αντιστήριξης της ΕΜΔΔ (οι κοχλίες ανύψωσης διακρίνονται με κόκκινο χρώμα).....	4.96
Σχήμα 4-6: Αλληλουχία εγκατάστασης των ΕΜΔΔ (σε βήματα).....	4.97
Σχήμα 4-7: Σχηματική αναπαράσταση της ΑΥΔ με Υ-V με βάση τη στρατηγική συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης.....	4.98
Σχήμα 4-8: Πρότυπα υποστηρικτικά συστήματα για τις ΕΜΔΔ της διαμόρφωσης του ΕΡΓ	4.99
Σχήμα 4-9: Σχηματική αναπαράσταση των υποστηρικτικών συστημάτων μαζικής παραγωγής για τις ΕΜΔΔ της διατάξεως του ΣΓΕΣΔ-ΠΚ.....	4.100

Σχήμα 4-10: Μοντέλο τρισδιάστατης απεικόνισης και ένθετο κατασκευαστικό σχέδιο για πλάκα αντιστήριξης του ΟΔ-μαγνήτη.....	4.101
Σχήμα 4-11: α) Ακατέργαστη πρώτη ύλη SiC, b) SiC σε σκόνη και μονολιθικός δίσκος μετά από πυροσυσσωμάτωση SiC, c) Φάσεις μορφοποίησης και παραγωγής, d) Φρεζάρισμα τμήματος SiC, e) Τμήμα SiC κατά τη διαδικασία παραγωγής, f) Τμήματα SiC κατά την τελική συναρμολόγηση του τηλεσκοπίου Herschel.....	4.102
Σχήμα 4-12: ΑΥΔ με ενσωματωμένα Υ-V για την ΟΔ Τύπου-0 στη διαμόρφωση ΕΡΓ.....	4.103
Σχήμα 4-13: Μονολιθικά μέρη από SiC.....	4.104
Σχήμα 4-14: Μονολιθικά τμήματα από SiC της Περίπτωσης Α.....	4.104
Σχήμα 4-15: Μεταλλικές πλάκες με οπές με σπείρωμα για τη συναρμολόγηση των ΑΥΔ με τα ΛΑ.....	4.105
Σχήμα 4-16: Σ-Υ για το πρότυπο υποστηρικτικό σύστημα της ΟΔ για την ΕΜΔΔ Τύπου-0 (διαμόρφωση ΕΡΓ).....	4.106
Σχήμα 4-17: α) Πρότυπες σωλήνες τετραγωνικής διατομής από SiC, b) Εισαγωγική στρατηγική ευθυγράμμισης των Υ-V κατασκευασμένων από SiC, c) ΑΥΔ από SiC με συγκολλημένα Υ-V και συναρμολογημένα ΛΑ πριν την τελική σμίλευση ακριβείας, d) Κινητήριои σταθμοί που περιλαμβάνουν συναρμολογημένους ΓΚ και ΣΜΑ.....	4.108
Σχήμα 4-18: α) Αποσυναρμολογημένος κινητήριος σταθμός των δύο ΑΥΔ.....	4.109
Σχήμα 4-19: Παράδοση και μεθοδολογία εγκατάστασης του υποστηρικτικού συστήματος της Περίπτωσης Β.....	4.109
Σχήμα 4-20: Προεντεταμένη ΑΥΔ για την κατασκευή της Περίπτωσης Β.....	4.110
Σχήμα 4-21: Οι διαμορφώσεις των Σ-Υ για το πρότυπο υποστηρικτικό σύστημα της ΚΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-0 για το ΕΡΓ.....	4.111
Σχήμα 4-22: Υποστηρικτικά συστήματα από Erument 145/B: α) Υποστηρικτικό σύστημα στο PSI, b) Πάγκος αντιστήριξης για εργαλειομηχανές υψηλής ακρίβειας, c) Πάγκος αντιστήριξης για βιομηχανοποιημένο διανομέα κοπτικών εργαλείων... ..	4.112
Σχήμα 4-23: Μήτρα από ανοξείδωτο χάλυβα για την παραγωγή ΑΥΔ απο Erument 145/B.....	4.113
Σχήμα 4-24: Μοντελοποίηση και ενδεικτική φωτογραφία των Υ-V (StSt) με ενσωματωμένους Σ-Υ για την ΟΔ της ΕΜΔΔ Τυπου-1 για τη διαμόρφωση ΕΡΓ... ..	4.114
Σχήμα 4-25: Τελικό φρεζάρισμα ακριβείας των Υ-V (StSt) με την ΑΥΔ της Περίπτωσης Γ να φέρει τα τεχνητά βάρη αναπαράσταση των διατάξεων ΠΡ.....	4.115
Σχήμα 4-26: Εξωτερική γεωμετρία του όγκου της ΑΥΔ της Περίπτωσης Δ με ενσωματωμένα Υ-V από SiC.....	4.115
Σχήμα 4-27: Η αλληλουχία των ΕΜΔΔ για την εγκατάσταση του ΣΓΕΣΔ-ΠΚ (Τύποι 0-0-1 σε σειρά).....	4.117
Σχήμα 5-1: Διαφορετικοί τύποι απο Δ-ΠΠΜΑΔ: α) Στόχος Laser (Δ-ΠΠΜΑΔ), b) Οπτικός Στόχος (Δ-ΠΠΜΑΔ για μικρο-τριγωνομετρική μέτρηση), c) Οπτικό πρίσμα με φορέα συναρμολόγησης (Δ-ΠΠΜΑΔ με βάση), d) Φορέας για σφαιρικό πρίσμα (βάση για Δ-ΠΠΜΑΔ), e) Σφαιρικό πρίσμα (Δ-ΠΠΜΑΔ).....	5.121
Σχήμα 5-2: Επιφάνειες αναφοράς για τις ΑΥΔ με ενσωματωμένα Υ-V (SiC) της κατασκευής της Περίπτωσης Α.....	5.122
Σχήμα 5-3: Επιφάνειες αναφοράς για την κατασκευή του συστήματος αντιστήριξης και ευθυγράμμισης της Περίπτωσης Β (SiC).....	5.125

Σχήμα 5-4: Επιφάνειες αναφοράς για τις ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Γ (Erument 145/B)	5.127
Σχήμα 5-5: Συναρμολόγηση με διαφορετικούς ρυθμιστικούς βαθμονομητές (καλίμπρες): α) Λεπτομέρεια από το κατασκευαστικό σχέδιο (CLIALSS0065), β) ΠΠΜΑΔ για την ΑΥΔ από Erument συναρμολογημένη με βαθμονομητές-καλίμπρες (διακρίνονται κάτω από τα Υ-V) συναρμολογημένα κατά τον γεωμετρικό έλεγχο της ΑΥΔ σε συνάρτηση της θέσης των Υ-V.	5.129
Σχήμα 5-6: α) Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου του CMM κατά τη διενέργεια του διαστασιολογικού ελέγχου, β) Περίπτωση Β όπου η ΑΥΔ είναι φορτισμένη με εικονικά βάρη κατά τις μετρήσεις του ποιοτικού ελέγχου των ανοχών της.	5.131
Σχήμα 5-7: Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου της ΑΥΔ με Υ-V και εικονικά βάρη στο CMM για την κατασκευή της Περίπτωσης Γ κατά τη διάρκεια του διαστασιολογικού ελέγχου.....	5.132
Σχήμα 5-8: Πειραματική εγκατάσταση για τις μετρήσεις δυναμικής συμπεριφοράς του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ	5.135
Σχήμα 5-9: Μοντελοποιημένες διατομές ΑΥΔ σε περιβάλλον ANSYS Workbench	5.135
Σχήμα 5-10: Πρώτες ($1^{εξ}$) ιδιοσυχνότητες των: α) ΑΥΔ με εικονικά βάρη για την ΚΔ Τύπου-0, β) Υ-V για την ΚΔ Τύπου-0, γ) ΑΥΔ με εικονικά βάρη για την ΟΔ Τύπου-0, δ) Υ-V για την ΟΔ Τύπου-0.....	5.136
Σχήμα 5-11: Βάσεις ευθυγράμμισης κάτω από τα ΛΑ, οι οποίες δημιουργούν στο υποσύστημα ιδιοσυχνότητα μή παραμορφώσιμου σώματος.....	5.137
Σχήμα 6-1: α) Κύρια δέσμη (MB) και Δέσμη Οδηγός (DB). Οι συνεχείς γραμμές καθορίζουν τα όρια προσομοιώσεων, β) Χωρική κατανομή της απορροφούμενης δόσης από τις απώλειες 0.01% της κύριας δέσμης στα 9 GeV γ) Χωρική κατανομή της απορροφούμενης δόσης για μέγιστες απώλειες 1% της δέσμης οδηγού στα 2.4 GeV	6.141
Σχήμα 6-2: Απεικονίσεις των αποτελεσμάτων από προσομοιώσεις του κώδικα FLUKA: α) Ακτινοβολία υποβάθρου στη μελλοντική σήραγγα του επιταχυντή ΣΓΕΣΔ, β) Κατανομή της ραδιενεργού ακτινοβολίας πεδίου στη μελλοντική σήραγγα του επιταχυντή ΣΓΕΣΔ, γ) Λεπτομερής κατανομή της ραδιενεργού ακτινοβολίας πεδίου του ΣΓΕΣΔ εστιασμένη στην περιοχή της δέσμης των επιταχυνόμενων σωματιδίων και του υποστηρικτικού συστήματος.	6.142
Σχήμα 6-3: Ιδιότητες διείδυσης νετρονίων σε σύγκριση με άλλα σωματίδια....	6.144
Σχήμα 6-4: Οι αίθουσες του επιταχυντή Tandem: Οι αίθουσες των στόχων (GREEN and RED), 1) Τροφοδοτικό της δέσμης, 2) Πηγή σκέδασης, 3) Πηγή πρωτοεπιτάχυνσης, 4) Διάταξη απογυμνωσης ιόντων, 5) Μαγνήτης ανάλυσης, 6) Μαγνήτης εναλλαγής/σάρωσης.....	6.146
Σχήμα 6-5: Στο κέντρο ο επιταχυντής Tandem και περιμετρικά του απεικονίζονται σχηματικά οι λειτουργίες του: Η μηχανή και ο μαγνήτης ανάλυσης που αλλάζει πορεία της δέσμης κατά 90° για την επιλογή μονοενεργειακής δέσμης. Η επιταχυντική γραμμή δέσμης επιλέγεται με τη βοήθεια του μαγνήτη εναλλαγής/σάρωσης.	6.146
Σχήμα 6-6: Η περιοχή του στόχου της κλειστής κυψελίδας αερίου του επιταχυντή Tandem (RED Hall): α, β, γ, δ) Συναρμολογημένη πειραματική διάταξη στόχου για τη δέσμη πρωτονίων, ε, ς) Πειραματική χρήση της τεχνικής πολλαπλών ελασμάτων για τον χαρακτηρισμό της δέσμης των νετρονίων	6.148

Σχήμα 6-7: Η αίθουσα στόχου RED του επιταχυντή Tandem: Διαφορετικές απόψεις της συναρμολόγησης του στόχου από κλειστή κυψελίδα αερίου με το δειγματοφορέα ελασμάτων για τη βαθμονόμηση της δέσμης νετρονίων.....	6.148
Σχήμα 6-8: a) Η μετρούμενη ροή των νετρονίων σε σύγκριση με τη γωνία εκπομπής, b) Η ενεργειακή κατανομή της ροής των νετρονίων στις ονομαστικές ενέργειες 5.4, 6.4, 7.4, 8.4 and 9 MeV της δέσμης των νετρονίων, όπως προκύπτουν από τον κώδικα DIFBAS σύμφωνα με την δημοσίευση footnote 11.....	6.149
Σχήμα 6-9: a, b) Δείγματα και δειγματοφορέας πριν από τα πειράματα ακτινοβολήσεων, c, d) Σύνθετος δειγματοφορέας για τη συναρμολόγηση της πειραματικής διάταξης.....	6.151
Σχήμα 6-10: a, b, c, d) Plexiglas sandwiched specimens (για την θερμική διάσπαση), e, f) 40-50 $\mu\text{SV/h}$ για την περιοχή πέριξ της διαμόρφωσης συναρμολόγησης του δειγματοφορέα για χρονικό διάστημα βομβαρδισμού της τάξης ≤ 10 min.....	6.151
Σχήμα 6-11: Συσκευή ανιχνευτού Γερμανίου υψηλής καθαρότητας (μέτρησης μετά την ακτινοβολήση) για τη μέτρηση της ενεργότητας και τον χαρακτηρισμό των υλικών των δειγμάτων	6.152
Σχήμα 6-12: Η ειδική ενεργότητα του δείγματος SiC συναρτήσκει του χρόνου μετά την ακτινοβολήση με τα πειραματικά σημεία της μέτρησης μόνο στα επικρατούντα νουκλίδια.....	6.156
Σχήμα 6-13: Δείγματα για την απλή μονοαξονική καταπόνηση: a) Δείγμα SiC κατά τον προκαταρκτικό διαστασιολογικό έλεγχο, b) Δείγμα SiC πριν την πειραματική δοκιμή, c) Δείγμα Erument 145/B πριν την απλή μονοαξονική θλίψη.	6.159
Σχήμα 6-14: Σχέδια δειγμάτων απλής μονοαξονικής θλίψης.....	6.160
Σχήμα 6-15: Δείγματα μετά τις δοκιμές της απλής μονοαξονικής θλίψης: a, b, c) Δείγματα Erument 145/B μετά τις δοκιμές της απλής μονοαξονικής θλίψης, d) Δείγματα SiC πριν τη δοκιμή της απλής μονοαξονικής θλίψης, e, f, g) Δείγματα SiC μετά τις δοκιμές της απλής μονοαξονικής θλίψης.	6.162
Σχήμα 6-16: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα Eru1	6.163
Σχήμα 6-17: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S1... ..	6.163
Σχήμα 6-18: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-1	6.164
Σχήμα 6-19: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-2	6.164
Σχήμα 6-20: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-3	6.165
Σχήμα 6-21: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-4	6.165
Σχήμα 6-22: Δείγματα για τη δοκιμή της κάμψης τριών σημείων.....	6.167
Σχήμα 6-23: Δοκίμια σε πειράματα κάμψης τριών σημείων: a) Πειραματική απόσταση, b, c, e) Δοκίμια SiC πριν από τη δοκιμή κάμψης τριών σημείων, d, f) Δοκίμια SiC μετά από τη δοκιμή κάμψης τριών σημείων.....	6.168
Σχήμα 6-24: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S2... ..	6.169
Σχήμα 6-25: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S3&4	6.169

Σχήμα 6-26: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S5&6	6.170
Σχήμα 6-27: Δείγματα για τη δοκιμή της κάμψης τριών σημείων.....	6.171
Σχήμα 6-28: Δοκίμιο <i>Eruptent</i> σε δοκιμή Βραζιλιανού δίσκου	6.173
Σχήμα 6-29: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-1	6.174
Σχήμα 6-30: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-2	6.175
Σχήμα 6-31: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-3	6.175
Σχήμα 6-32: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-4	6.175
Σχήμα 6-33: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-5	6.176
Σχήμα 6-34: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-1	6.176
Σχήμα 6-35: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-2	6.176
Σχήμα 6-36: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-3	6.177
Σχήμα 6-37: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-4	6.177
Σχήμα 6-38: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-5	6.177
Σχήμα 6-39: Δοκίμια μετά από τις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου.....	6.179
Σχήμα 6-40: Δοκίμια μετά τα πειράματα: a, b, c) Δοκίμια απλής μονοαξονικής θλίψης, d, e) Δοκίμια κάμψης τριών σημείων.....	6.181
Σχήμα 7-1: Η πρώτη πειραματική ΕΜΔΔ Τύπου-0 του ΣΓΕΣΔ σε πραγματικό μέγεθος (εργαστηριακή διάταξη)	7.188
Σχήμα I-1: Κατασκευαστικά σχέδια Περίπτωσης Α	198
Σχήμα I-2: Κατασκευαστικά σχέδια Περίπτωσης Β	199
Σχήμα I-3: Κατασκευαστικά σχέδια Περίπτωσης Γ	200
Figure X-128: Map of Europe with the 20 member states of CERN	464
Figure X-129: The accelerator complex of CERN.....	465
Figure X-130: A Higgs Boson Event: A Higgs boson plus a jet in the opposite direction where the Higgs boson decays to two Z bosons and one Z boson decaying to e+e- and the other to μ+μ-	466
Figure X-131: The CLIC layout at 3 TeV.....	467
Figure X-132: The CLIC Two-Beam acceleration scheme	468
Figure X-133: Schematic layout of CLIC Type-0 Module	469
Figure X-134: Schematic layout of CLIC Modules with MBQs	469
Figure X-135: Supporting system concept: "Snake System"	470
Figure X-136: CLIC Two-Beam Module (Type-0) supporting system	471
Figure X-137: Typical CLIC Module Type-0 supporting system for the MB (July 2008)	472
Figure X-138: Modules in the LAB (sequence of Types 1-0-0-4).....	474

<i>Figure X-139: Indicative Module Type-0 in CLEX.....</i>	<i>474</i>
<i>Figure X-140: Rough external volume of the supporting systems, part of the fabrication specifications, provided to the manufacturing firms. The delivered supporting systems for the Modules were tested to have a volume compatibility of 100% with it.</i>	<i>476</i>
<i>Figure X-141: Different types of fiducials: a) Laser target (fiducial), b) Optical target (fiducial for micro-triangulation), c) Optical prism with its holder (fiducial with its support), d) Holder for spherical prism (fiducial support), e) Spherical prism (fiducial)</i>	<i>477</i>
<i>Figure X-142: Screenshots from FLUCA simulation: a) Radiation background in the future CLIC tunnel, b) Distribution of the radiation background in the future CLIC tunnel, c) The detailed distribution of the CLIC radiation background zoomed at the beam area.....</i>	<i>478</i>
<i>Figure X-143: CLIC Two-Beam Module Type-0 (LAB configuration).....</i>	<i>483</i>

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1-1: Τύποι από ΚΔ-τετράπολα (ποσότητες και για τους δύο ΓΕ).....	1.44
Πίνακας 1-2: Πληροφορίες εισόδου για τη μελέτη μεταφοράς: Αριθμός ΕΜΔΔ προς εγκατάσταση στη σήραγγα.....	1.46
Πίνακας 2-1: Διαστάσεις της ΑΥΔ της ΕΜΔΔ	2.52
Πίνακας 2-2: Διαστάσεις διατομής της ΑΥΔ της ΕΜΔΔ	2.52
Πίνακας 2-3: Γεωμετρικές ανοχές για τις επιφάνειες αναφοράς της ΑΥΔ	2.53
Πίνακας 2-4: Βασικές παράμετροι για τις ΑΥΔ	2.53
Πίνακας 2-5: : Διαστασιολόγηση υποδοχών των ΑΥΔ	2.54
Πίνακας 2-6: Διαστάσεις ενός τυπικού Υ-V	2.55
Πίνακας 3-1: Πίνακας περιγραφής των υποσυστημάτων των πειραματικών διατάξεων και των λειτουργιών αυτών.....	3.68
Πίνακας 3-2: Δοκιμές και λειτουργίες για τις επιμέρους διατάξεις της ΕΜΔΔ	3.69
Πίνακας 3-3: Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοιώσεων αναφορικά με τις μηχανικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά των υποψηφίων διατομών για της ΑΥΔ.....	3.77
Πίνακας 3-4: Αποτελέσματα προσομοίωσης της μηχανικής συμπεριφοράς για διαφορετικές διατάξεις των Υ-V.....	3.80
Πίνακας 3-5: Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων για τα δομικά υλικά της ΑΥΔ.....	3.85
Πίνακας 3-6: Αποτελέσματα δυναμικών προσομοιώσεων για μοντέλο ΑΥΔ με θεμελιώδη διατομή.....	3.86
Πίνακας 4-1: Οριακές συνθήκες για τους Σ-Υ της ΟΔ.....	4.106
Πίνακας 4-2: Συνοριακές συνθήκες για τους Σ-Υ της ΟΔ.....	4.111
Πίνακας 5-1: Οριακές συνθήκες και παράμετροι μετρήσεων.....	5.122
Πίνακας 5-2: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ σειριακού αριθμού 3079 της Περίπτωσης Α.....	5.123
Πίνακας 5-3: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ σειριακού αριθμού 3069 της Περίπτωσης Α.....	5.124
Πίνακας 5-4: Οριακές συνθήκες και παράμετροι μετρήσεων.....	5.124
Πίνακας 5-5: Διαστασιολογικός έλεγχος για το σύστημα αντιστήριξης και ευθυγράμμισης της Κατασκευής της Περίπτωσης Β (ΑΥΔ Α).....	5.125
Πίνακας 5-6: Διαστασιολογικός έλεγχος για το σύστημα αντιστήριξης και ευθυγράμμισης της Κατασκευής της Περίπτωσης Β (ΑΥΔ Β).....	5.126
Πίνακας 5-7: Συνοπτικός πίνακας ποιοτικού ελέγχου για την κατασκευή των υποστηρικτικών συστημάτων της Περίπτωσης Β.....	5.126
Πίνακας 5-8: Οριακές συνθήκες και παράμετροι μετρήσεων.....	5.126
Πίνακας 5-9: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Γ (DB01E)	5.128
Πίνακας 5-10: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Γ (DB02E).....	5.128
Πίνακας 5-11: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Α (3079).....	5.130
Πίνακας 5-12: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Α (3069).....	5.130

Πίνακας 5-13: Αποτελέσματα διαστασιολογικού ελέγχου για τις ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Β.....	5.132
Πίνακας 5-14: Όργανα μετρήσεων για τις δοκιμές δυναμικής συμπεριφοράς.....	5.134
Πίνακας 5-15: Σύγκριση αποτελεσμάτων δυναμικής ανάλυσης (τιμές που προκύπτουν από πειραματικές μετρήσεις και προσομοιώσεις).....	5.136
Πίνακας 6-1: Ενέργειες δεσμών πρωτονίων και δευτερίου με τις αντίστοιχες τιμές ενέργειας των παραγόμενων νετρονίων.....	6.147
Πίνακας 6-2: Δείγματα που ακτινοβολήθηκαν με δέσμες νετρονίων, ενέργεια δέσμης και άλλες παράμετροι των ακτινοβολήσεων.....	6.151
Πίνακας 6-3: Συνοπτικός πίνακας των ελασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν με τις χαρακτηριστικές παραμέτρους τους.....	6.154
Πίνακας 6-4: Σύνθεση δείγματος.....	6.156
Πίνακας 6-5: Μέσες τιμές διαστάσεων για τα δοκίμια της απλής μονοαξονικής θλίψης.....	6.160
Πίνακας 6-6: Ποσότητες δοκιμών για την απλή μονοαξονική θλίψη.....	6.161
Πίνακας 6-7: Μετρήσεις μεγεθών κατά την απλή μονοαξονική θλίψη.....	6.166
Πίνακας 6-8: Μέσες τιμές διαστάσεων για τα δοκίμια της κάμψης τριών σημείων.....	6.168
Πίνακας 6-9: Ποσότητες δοκιμών για την κάμψη τριών σημείων.....	6.168
Πίνακας 6-10: Μετρήσεις μεγεθών κατά την κάμψη τριών σημείων.....	6.170
Πίνακας 6-11: Μέσες τιμές διαστάσεων για τα δείγματα των δοκιμών του Βραζιλιανού δίσκου.....	6.171
Πίνακας 6-12: Διαστάσεις των δειγμάτων Βραζιλιανού δίσκου.....	6.174
Πίνακας 6-13: Διαστάσεις των δειγμάτων Βραζιλιανού δίσκου.....	6.174
Πίνακας 6-14: Μετρήσεις μεγεθών κατά την κάμψη τριών σημείων.....	6.178
Πίνακας Ι-1: Μηχανικές ιδιότητες SiC.....	196
Πίνακας Ι-2: Μηχανικές ιδιότητες Erument 145/B.....	197

Ειδικό Λεξιλόγιο Όρων και Ακρωνύμων

Όρος & Ορισμός (Ελληνικά)	Όρος & Ορισμός (Αγγλικά)
	TeV - Tera-electronVolts
AD - Πείραμα: Επιβραδυντής Αντιπροτονίων	AD - Antiproton Decelerator
ALICE (MAE) - Πείραμα: Μεγάλο Πείραμα Ιόντων του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή	ALICE - A Large Ion Collider Experiment
ATLAS (MAE) - Πείραμα: Μια Τοροειδής Συσκευή του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή	ATLAS - A Toroidal LHC ApparatuS
CMS (MAE) - Πείραμα: Συμπαγές Σωληνοειδές Μιωνίων	CMS - Compact Muon Solenoid
CNGS - Πείραμα: Νετρίνα του CERN για το Grand Sasso	CNGS - CERN Neutrinos to Grand Sasso
ISOLDE - Πείραμα: Άμεσα Συνδεδεμένος Ισοτροπικός Διαχωριστής	ISOLDE - Isotope Separator OnLine Device
LEIR - Πείραμα: Κυκλικός Επιταχυντής Ιόντων Χαμηλής Ενέργειας	LEIR - Low Energy Ion Ring
LHC-b (MAE) - Πείραμα: “beauty” Σωματιδίων του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή	LHC-b - Large Hadron Collider-beauty
n-ToF - Πείραμα: Μέτρησης του Χρόνου “πτήσης” των Νετρονίων	n-ToF - Neutrons Time of Flight
PS - Πείραμα: Σύγχροτρο Πρωτονίων	PS - Proton Synchrotron
Χαλκός	Cu - Copper
ΑΓΚ - Ακτινικός Γραμμικός Κινητήρας	RLA - Radial Linear Actuator
Αλουμίνιο	Alu - Aluminium
ΑΜΣ - Αρχείο Μηχανικών Σχεδίων του CERN	CDD - CERN Drawing Directory
ΑΜΔ - Αγωγός Μετάδοσης της Δέσμης	Drift tube
ΑΜΟ – Αυτο-κατευθυντήριο Μετρητικό Όργανο	Autocollimator
ΑΠΣ - Ανάλυση Πεπερασμένων	FEA (§3.1.2) - Finite Element Analysis

Στοιχείων

ΑΥΔ - Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Girder
ΑΧ - Ανοξειδωτος Χάλυβας	StSt - Stainless Steel
ΒΕ - Βαθμοί Ελευθερίας	DoF - Degrees of Freedom
ΓΕ - Γραμμικός Επιταχυντής	LINAC - LINear ACcelerator
ΓΚ - Γραμμικός Κινητήρας	LA - Linear Actuator
Δ-ΠΗΜΑΔ – Διατάξεις για την Πρότυπη Παραμετροποιημένη Μέτρηση Άξονα Δέσμης	Fiducials
ΔΕΜΕ - Διάταξη Εξαγωγής και Μεταφοράς Ενέργειας	PETS - Power Extraction and Transfer Structures
ΔΚ3Σ - Δοκιμή Κάμψης 3 Σημείων	3PB - Three-Point Bending
Ε&Α - Έρευνα και Ανάπτυξη	R&D - Research and Development
ΕΔ - Επιταχυντικές Διατάξεις	AS - Accelerating Structures
ΕΕΕΤΘ - Ειδικά Εξαρτήματα Ελέγχου και Ταυτοποίησης της Θέσης	Fiducials
ΕΚΕΦΕ - Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών	N.C.S.R. - National Centre for Scientific Research
ΕΜΔΔ - Επιταχυντική Μονάδα Διπλής-Δέσμης	TBM or Module - Two-Beam Module
ΕΜΔΔ - Επιταχυντική Μονάδα Διπλής-Δέσμης	TBM - Two-Beam Module
Εργαστήριο	LAB - Laboratory
Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών	CERN - Conseil Europeene de la Recherche Nucleaire
ΘΣΜ - Θεμελιώδης Σχεδιαστική Μελέτη	CDR - Conceptual Design Report
Ινστιτούτο Paul Scherrer	PSI - Paul Scherrer Institute
ΚΓΚ - Κάθετος Γραμμικός Κινητήρας	VLA - Vertical Linear Actuator
ΚΔ - Κύρια Δέσμη	MB - Main Beam
ΚΔ-μαγνήτης / Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης της δέσμης για την επιταχυντική Κύρια Δέσμη	MBQ - Main Beam Quadrupoles
ΚτΠ - Καρβίδιο του Πυριτίου	SiC (page 38) - Silicon Carbide: Καρβίδιο του Πυριτίου
ΛΑ - Λίκνο Αντιστήριξης	Cradle
ΜΑΕ - Μεγάλος Αδρονικός Επιταχυντής	LHC - Large Hadron Collider
ΜΔΑ - Μετρολογικό Δίκτυο Αναφοράς	MRN - Metrological Reference Network

ΜΜΣ - Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (υψηλής ακρίβειας)	CMM - Coordinate Measuring Machine
ΜΣΚ - Μονοαξονική Συμπιεστική Κόπωση	UCT - Uniaxial Compression Test
ΜΤΡ - Μέση Τετραγωνική Ρίζα	r.m.s. - root mean square
ΟΔ - Οδηγός Δέσμη	DB - Drive Beam
ΟΔ-μαγνήτες / Τετραπολικός μαγνήτες εστίασης της δέσμης για την επιταχυντική Δέσμη Οδηγό	DBQ - Drive Beam Quadrupoles
ΟΕΣΑΘ - Οπτικό Ενσύρματο Σύστημα Ανάγνωσης Θέσης	oWPS - optical Wire Positioning System
ΠΑΠ - Πλάνο Διασφάλισης Ποιότητας	QAP - Quality Assurance Plan
ΠΕ-ΣΓΕΣΔ - Πειραματικές Εγκαταστάσεις του ΣΓΕΣΔ	CTF - CLIC Test Facility
ΠΚ-ΣΓΕΣΔ - Πειραματικό Κέντρο του ΣΓΕΣΔ	CLEX - CLIC EXperimental hall
ΠΠ - Πιστοποίησης Ποιότητας	QA - Quality Assurance
ΠΠΜΑΔ - Πρότυπη Παραμετροποιημένη Μέτρηση Άξονα Δέσμης	Fiducialisation
ΠΠΠ - Πρωτόκολο Πειραμάτων Παραλαβής	ATP - Acceptance Test Protocol
ΠΣ - Πεπερασμένα Στοιχεία	FE (§3.1.2) - Finite Element
ΠΡ-Πεδίο Ραδιοσυχνότητων ή Ραδιοσυχνότητα	RF - Radio Frequency
ΣΑ - Σημείο Αλληλεπίδρασης των δεσμών του επιταχυντή που συγκρούονται	IP - Interaction Point
ΣΓΕΣΔ - Συμπαγής Γραμμικός Επιταχυντής Συγκρουόμενων Δεσμών	CLIC - Compact LInear Collider
ΣΘΔ - Συντελεστής Θερμικής Διαστολής	CTE - Coefficient of Thermal Expansion
ΣΜΑ - Σημεία Μηχανικής Άρθρωσης	Articulation Point
ΣΜΕΑΔ - Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου Απώλειας της Δέσμης	BLM - Beam Loss Monitors
ΣΜΘΕΔ - Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου της Θέσης της Δέσμης	BPM - Beam Position Monitors
ΣΜΕΜΑ - Συσκευή Μέτρησης και Ελέγχου Μετώπου Δέσμης	WFM / WakeField Monitor
ΣΟΜΔ - Σύστημα Οργάνωσης Μηχανικών Δεδομένων	EDMS / Engineering Data Management System
Σ-Υ - Σφιγκτήρες “Υ”	U-clamps

ΣΦ - Σύστημα Φιδιού

Snake System

ΥΔΔΠΕ - Υποστηρικτική Διάταξη Δικτύου Προ-Ευθυγράμμισης

SPN - Support Pre-alignment Network

ΥΕΔ – Υπερ-σύστημα Επιταχυντικών Διατάξεων

SAS (p 3.39) - Super Accelerating Structures

Υ-V - Υποστηρίγματα “V”

V-shaped supports

ΥΠ – Υπερ-σύγχροτρο Προτονίων

SPS - Super Proton Synchrotron

ΧΔΗΟ - Χαλκός Δεσμευμένων Ηλεκτρονίων Οξυγόνου

OFE (copper) - Oxygen-Free Electronic (copper)

ΧΣΑΘ - Χωρικό Σύστημα Ανάγνωσης Θέσης

cWPS - capacitive Wire Positioning System

Στους γονείς μου για την αγάπη, στήριξη, καθοδήγησή τους
και που με έκαναν τον άνθρωπο που είμαι σήμερα.

Περίληψη

Το CERN, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών, βασίζεται στη διεθνή συνεργασία στον τομέα της έρευνας της σωματιδιακής ή της φυσικής των υψηλών ενεργειών. Τα πειράματα που λαμβάνουν χώρα στις εγκαταστάσεις του επιτυγχάνονται με τη βοήθεια των υφιστάμενων επιταχυντών σωματιδίων. Επιπλέον, η προηγμένη έρευνα αλλά και η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας και κατασκευής σύγχρονων επιταχυντών είναι ένας από τους βασικούς στόχους του CERN. Για το λόγο αυτό, ο Συμπαγής Γραμμικός Επιταχυντής Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ) ή αλλιώς Compact Linear Collider (CLIC), είναι ένας καινοτόμος γραμμικός επιταχυντής συγκρουόμενων δεσμών ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων που μελετάται και σχεδιάζεται στο CERN. Ο ΣΓΕΣΔ έχει σχεδιαστεί και αποτελείται από τη συστηματική συναρμολόγηση μίας μεγάλης αλληλουχίας (μήκους περίπου 50 km) από Επιταχυντικές Μονάδες Διπλής-Δέσμης (ΕΜΔΔ) ή αλλιώς CLIC Two-Beam Modules οι οποίες αξιοποιούν μία πρότυπη αρχή στην επιτάχυνση των σωματιδίων που εφαρμόζεται για πρώτη φορά διεθνώς στο CERN, ήτοι στην αρχή της επιτάχυνσης της Διπλής-Δέσμης. Κάθε ΕΜΔΔ περιέχει πολλαπλά τεχνικά συστήματα που συμβάλλουν στην επιτυχή λειτουργία του.

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται τη μελέτη, ανάπτυξη, σχεδιασμό και τελικά την καινοτομική κατασκευή του πρότυπου υποστηρικτικού συστήματος για την αντιστήριξη, ευθυγράμμιση και σταθεροποίηση της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ. Αρχικά, οι επιστημονικές απαιτήσεις που προέρχονται από την περαιτέρω έρευνα στη σωματιδιακή φυσική μεταφράζονται σε τεχνικές προδιαγραφές υψηλών απαιτήσεων. Αναλόγως, διακρίνονται και καθορίζονται οι βασικές και απαραίτητες διατάξεις του υποστηρικτικού συστήματος. Οι συνθήκες λειτουργίας του ΣΓΕΣΔ προσδιορίζονται με βάση τις προλεχθείσες αλλά και άλλες συμπληρωματικές οριακές συνθήκες που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό της αλληλουχίας των σταδίων της σχεδιοκατασκευής μέχρι την πρότυπη κατασκευή και τον απαραίτητο ποιοτικό έλεγχο, ως το τελικό στάδιο ελέγχου.

Διεξήχθη μια μελέτη σε βάθος στα υλικά και στις διαμορφώσεις που προσομοιώθηκαν και αναλύθηκαν για να φθάσουμε στην τελική επιλογή της *θεμελιώδους* διαμόρφωσης και της *εναλλακτικής* της για το υποστηρικτικό σύστημα. Μια νέα στρατηγική κατασκευής σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με βάση τις πλέον προηγμένες δυνατότητες της πιο ανεπτυγμένης Ευρωπαϊκής βιομηχανικής παραγωγής. Σε εκείνο το σημείο, η καινοτόμος παραγωγή διαιρείται σε περιπτώσεις κατασκευής σύμφωνα με τη μοναδικότητα και περιπλοκότητα της κάθε περίπτωσης. Στη συνέχεια αναλύονται εμπειριστικά οι ποιοτικοί έλεγχοι που διεξήχθησαν εφεξής για τις πρώτες καινοτόμες διατάξεις που κατασκευάστηκαν, παραδόθηκαν και εγκαταστάθηκαν στο CERN.

Τα συστήματα αντιστήριξης που ελέγχθηκαν και επικυρώθηκαν θετικά, εγκαταστάθηκαν για λειτουργία. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, ξεκίνησε μια εκτεταμένη πειραματική φάση. Τα δομικά υλικά αυτών τα πρότυπων υποστηρικτικών διατάξεων ακτινοβολήθηκαν με ισοδύναμες δόσεις που προσομοιώνουν την μελλοντική ακτινοβολία υποβάθρου του ΣΓΕΣΔ σε διάφορες φάσεις στη διάρκεια της λειτουργίας του. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μηχανικές δοκιμές για τη

λεπτομερή μελέτη της συμπεριφοράς των δομικών υλικών, προσομοιώνοντας τις μελλοντικές συνθήκες λειτουργίας (στατικό φορτίο, γήρανση υλικών λόγω ακτινοβολίας, κλπ.) του συστήματος υποστήριξης μέσα στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ. Τα αποτελέσματά τους μελετήθηκαν και αναλύθηκαν τόσο για ακτινοβολημένα δοκίμια όσο και για δείγματα αναφοράς.

Τα συμπεράσματα συνοψίζουν τα αποτελέσματα της μελέτης. Η προσομοίωση επιβεβαιώθηκε και συγκρίθηκε με τα πειραματικά αποτελέσματα. Η διδακτορική διατριβή μελετά και παραθέτει όλα τα στάδια της επιτυχημένης μελέτης και σχεδιοκατασκευής πρότυπων συστημάτων για το υποστηρικτικό σύστημα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διερεύνηση των κρίσιμων σημείων σχεδιασμού και των απαντήσεων που δόθηκαν κατά την πρόοδο της μελέτης και τα ανάλογα συμπεράσματα που εξάγονται.

Κεφάλαιο 1.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός

Πυρηνικών Ερευνών (CERN)

και η μελέτη και ανάπτυξη του

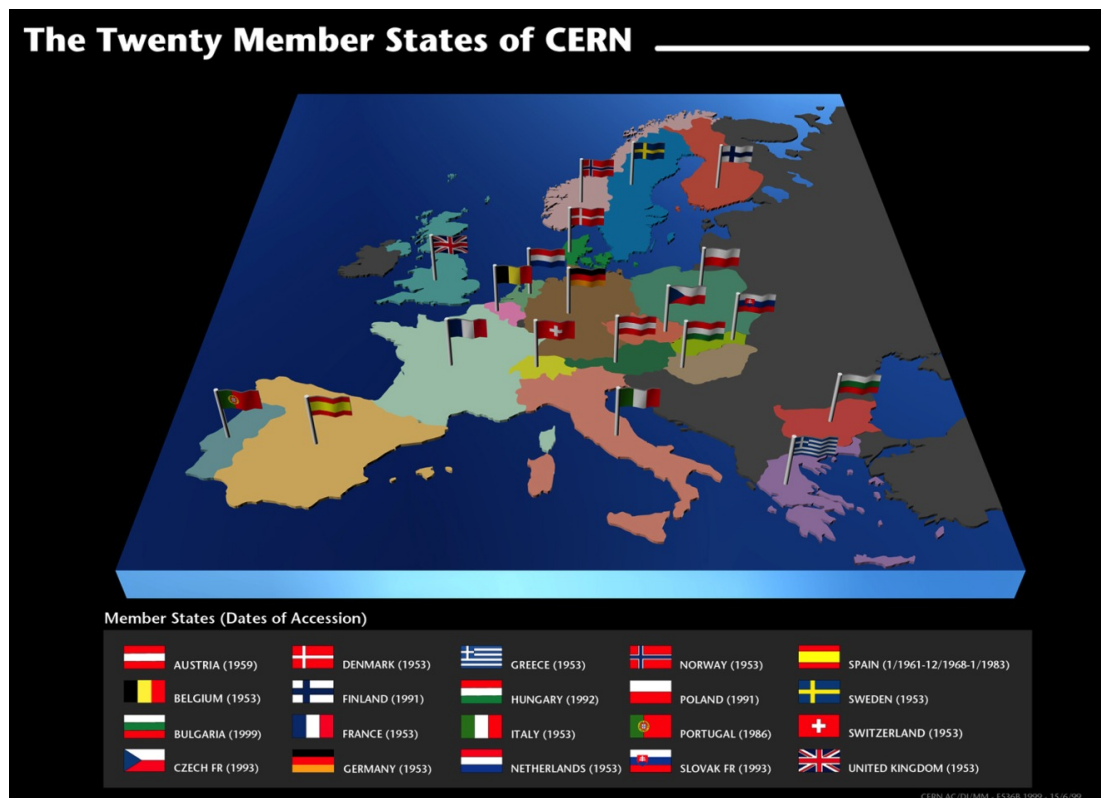
Συμπαγούς Γραμμικού

Επιταχυντή Συγκρουόμενων

Δεσμών (ΣΓΕΣΔ, CLIC)

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (CERN)

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών (CERN), είναι ένας διακυβερνητικός οργανισμός έρευνας της σωματιδιακής φυσικής με 20 κράτη μέλη¹. Ιδρύθηκε το 1955 από 12 χώρες, με την Ελλάδα μία από τις ιδρυτικές χώρες-μέλη (Σχήμα 1-1).



Σχήμα 1-1: Ο Ευρωπαϊκός χάρτης με τα 20 κράτη-μέλη του CERN

Η έδρα του είναι στη Γενεύη, αλλά οι εγκαταστάσεις του βρίσκονται και στις δύο πλευρές των γαλλο-ελβετικών συνόρων (<http://cern.ch/fp-procurement/map.html>).

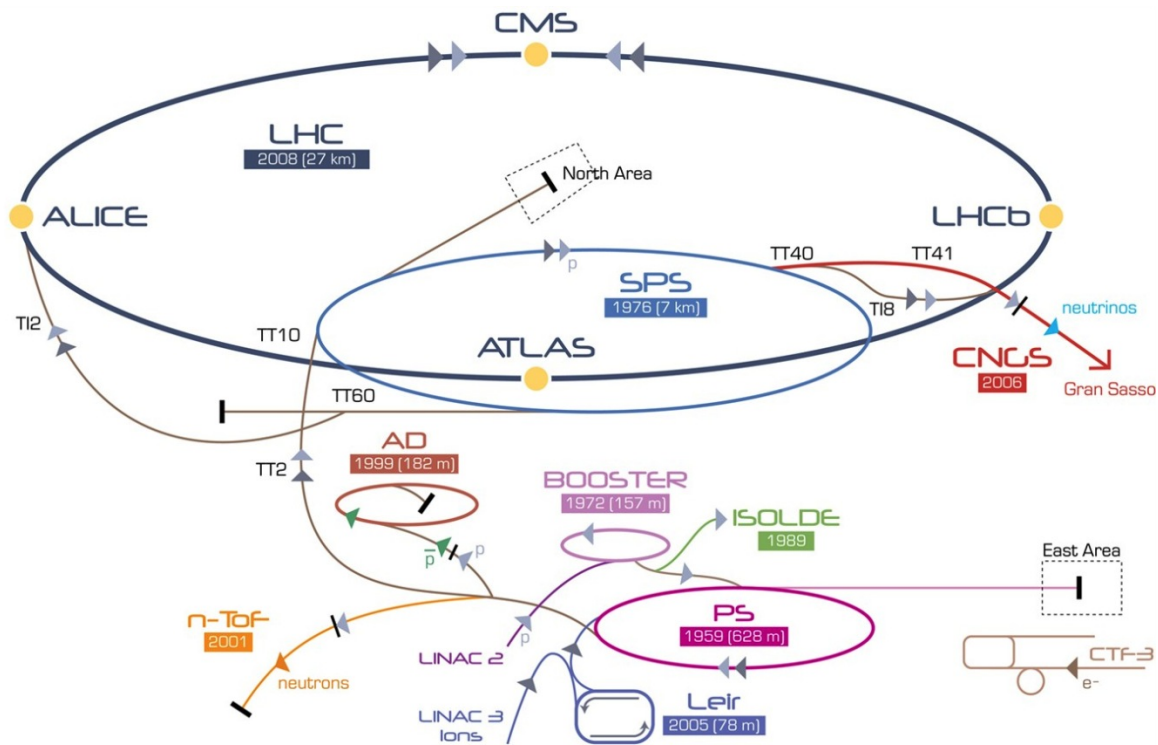
Η αποστολή του διεθνούς οργανισμού CERN είναι να επιτρέψει τη διεθνή συνεργασία στον τομέα της έρευνας υψηλών ενεργειών ή της σωματιδιακής φυσικής και για το σκοπό αυτό σχεδιάζει, κατασκευάζει και λειτουργεί επιταχυντές σωματιδίων και αναπτύσσει τις σχετικές πειραματικές εγκαταστάσεις ανιχνευτών για την ανίχνευση των προϊόντων των συγκρούσεων της δέσμης με σταθερό στόχο ή των δεσμών μεταξύ τους. Η απαραίτητη τελευταία, state-of-the-art, τεχνολογία έχει αναπτυχθεί σε πολλά επιστημονικά και τεχνολογικά πεδία, όπως επιταχυντές σωματιδίων και οργανολογία ανιχνευτών, επιστήμη των υλικών, των ηλεκτρονικών, της πληροφορικής κλπ. Προς το παρόν, περισσότεροι από 10 000 ερευνητές-χρήστες από επιστημονικά ερευνητικά ινστιτούτα σε όλο τον κόσμο των πέντε ηπείρων χρησιμοποιούν τις εγκαταστάσεις του CERN για τα πειράματά τους.

¹ Τα κράτη-μέλη του CERN είναι Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Ελβετία, ΕΛΛΑΔΑ, Ηνωμένο Βασίλειο, Ισπανία, Ιταλία, Νορβηγία, Ολλανδία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία*, Σλοβακία, Σουηδία, Τσεχία, Φινλανδία.

* Υποψήφιο κράτος για πλήρες μέλος

Αναπληρωματικά κράτη-μέλη: Κύπρος, Ισραήλ, Σερβία

Το σύμπλεγμα των επιταχυντικών συστημάτων στο CERN είναι μια διαδοχή των μηχανών επιτάχυνσης φορτισμένων σωματιδίων, που οικοδομήθηκε κατά τη διάρκεια των 50 χρόνων επιτυχούς λειτουργίας του, με όλο και υψηλότερες ενέργειες. Κάθε επιταχυντική μηχανή εισάγει τη δέσμη σωματιδίων στην επόμενη, η οποία αναλαμβάνει να τη φέρει σε ακόμη υψηλότερες τιμές της ενέργειάς της, και ούτω καθεξής. Η ναυαρχίδα του συγκροτήματος είναι ο Μεγάλος Αδρονικός Επιταχυντής (ΜΑΕ/ΛΗC), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1-2:



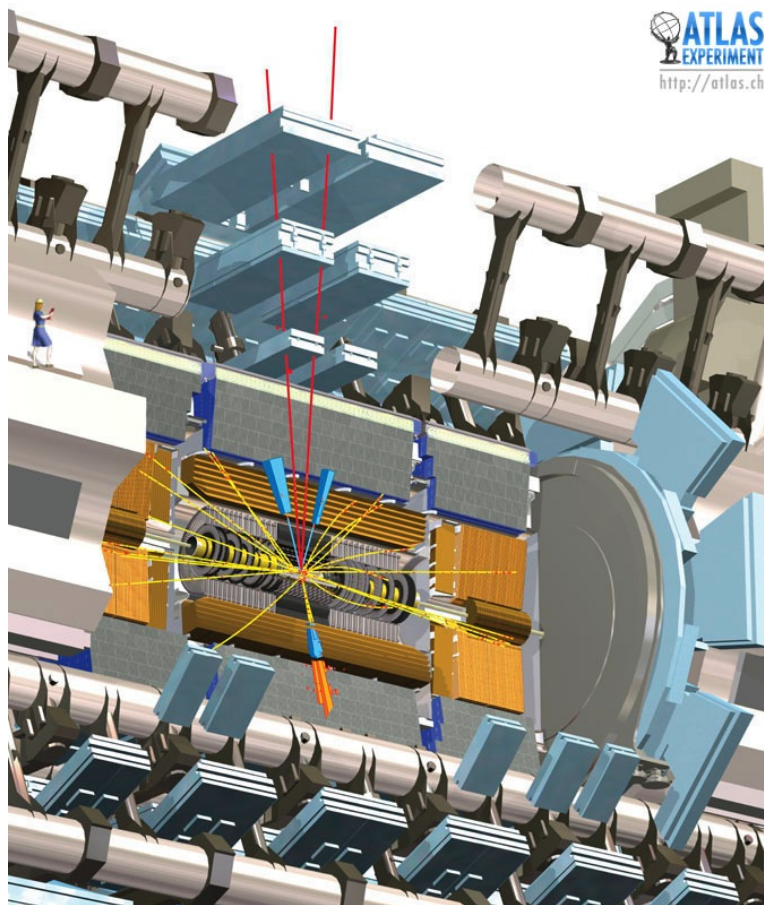
Σχήμα 1-2: Το σύμπλεγμα επιταχυντών του CERN

1.2 ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ CERN

Μετά την επιτάχυνση των δεσμών σωματιδίων στις επιθυμητές ενέργειες, οι δέσμες εστιάζονται και μορφοποιούνται για να συγκρουστούν μεταξύ τους ή με σταθερούς στόχους. Τα ανιχνευτικά συστήματα παρατηρούν και καταγράφουν τα αποτελέσματα αυτών των συγκρούσεων των δεσμών στα Σημεία Αλληλεπίδρασης (ΣΑ/IP).

Τέτοιες συγκρούσεις είναι μέρος των πειραμάτων (πειραματικών παρατηρήσεων) στο CERN, που συνεργάζονται και μελετούν τα φαινόμενα της σύγχρονης σωματιδιακής φυσικής. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα της συνεργασίας των πειραμάτων είναι η πορεία που ακολουθείται από τη δέσμη των σωματιδίων του ΜΑΕ, σε όλο το συγκρότημα επιταχυντών του CERN. Η δέσμη πρωτονίων παράγεται από τον πυρήνα του υδρογόνου στον επιταχυντή LINAC που περνά στο σύγχροτρο BOOSTER. Στη συνέχεια, η δέσμη των σωματιδίων εγχύεται στον επιταχυντή Proton Synchrotron (PS) και στη συνέχεια στον επιταχυντή Super Proton Synchrotron (SPS), διαδοχικά. Τέλος, η δέσμη εγχύεται στον ΜΑΕ. Στον ΜΑΕ, τα σωματίδια θα αποκομίσουν το μέγιστο της ενέργειας και συγκρούονται σε ένα από τα Σημεία Αλληλεπίδρασης (ΣΑ) του ΜΑΕ, όπου βρίσκεται ένας από τους μεγάλους ανιχνευτές-πειράματα (ATLAS, CMS, ALICE και LHC-β). Καθένας από τους ανιχνευτές του ΜΑΕ μελετά διάφορους τομείς της σωματιδιακής φυσικής. Από την άλλη πλευρά, και σύμφωνα με το γενικό χρονοδιάγραμμα και πειραματική προτεραιότητα, η παραγόμενη δέσμη σωματιδίων

θα μπορούσε εναλλακτικά να εγχύεται σε ένα από τα μη-πειράματα του MAE (π.χ., ISOLDE, κλπ.) που λειτουργούν παράλληλα.



Σχήμα 1-3: Απεικόνιση ενός στιγμιότυπου δημιουργίας ενός σωματιδίου Higgs

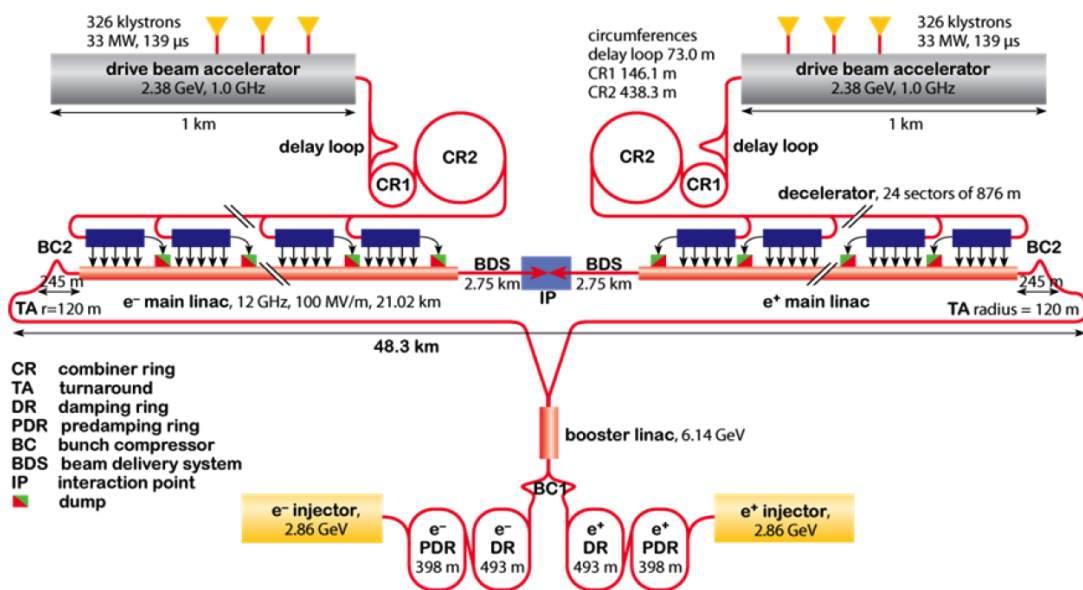
Παράλληλα με τα υπάρχοντα πειράματα, οι επιστήμονες του CERN επιδιώκουν την προηγμένη έρευνα και ανάπτυξη του γραμμικού συμπαγούς επιταχυντή νέας γενιάς. Η νέα επιταχυντική μηχανή θα μπορεί να αξιοποιήσει και να επεκτείνει τις ανακαλύψεις του MAE σε υψηλότερα ενεργειακά όρια. Η διεθνής συνεργασία του Compact Linear Collider (CLIC) = Συμπαγής Γραμμικός Επιταχυντής Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ), σχεδιάζεται στην ιδέα της πραγματοποίησης του επιταχυντή νέας γενιάς με δέσμες συγκρουόμενων ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων (αντι-ηλεκτρόνια) με ενέργειες που ανεβαίνουν μερικά TeV. Αυτό το φάσμα της ενέργειας είναι παρόμοια με του MAE, αλλά χρησιμοποιώντας τα ηλεκτρόνια και τα αντισωματίδια τους, παρά τα πρωτόνια, οι φυσικοί θα αποκτήσουν μια διαφορετική προοπτική για την υπό μελέτη νέα σωματιδιακή φυσική.

Το 1986 προτάθηκε μία πρότυπη επιτάχυνση Διπλής-Δέσμης (CLIC Two-Beam acceleration) προκειμένου να επιτευχθούν οι υψηλές ενέργειες δεσμών ηλεκτρονίων με πολλαπλά TeV, που είναι υψίστης σημασίας, παρέχοντας μια μοναδική ευκαιρία για την επίτευξη συγκρούσεων ηλεκτρονίων (e^-)-ποζιτρονίων (e^+) ενέργειας πολλαπλών TeV. Οι μελέτες αυτής της επιτάχυνσης συνεχίστηκαν στη δεκαετία του 1990, αλλά το 2004 το Συμβούλιο του CERN αποφάσισε να συστηματοποιηθούν και να ενταθούν οι μελέτες για την παραγωγή μιας Θεμελιώδους Σχεδιαστικής Μελέτης (ΘΣΜ) μέχρι το 2010, προκειμένου να ανταποκριθεί με την αναμενόμενη έναρξη και τα πρώτα αποτελέσματα από τη φυσική του MAE.

Η μελέτη για το ΣΓΕΣΔ φιλοξενείται από το CERN και οι εγκαταστάσεις δοκιμών του ΣΓΕΣΔ στο CERN ήταν και παραμένουν το κεντρικό τμήμα του έργου. Ωστόσο, πολλές άλλες εγκαταστάσεις δοκιμών (Stanford-USA, KEK-Tokyo, DESY-Germany, κλπ) διεξάγουν πειράματα και μελετούν τις βασικές παραμέτρους για μια τέτοια επιταχυντική μηχανή, η οποία θα προκύψει ως αποτέλεσμα συλλογικής διεθνούς συνεργασίας. Από το 2008 το ουσιαστικό επίκεντρο βρίσκεται στην αντιμετώπιση μιας σειράς βασικών θεμάτων σκοπιμότητας για έναν επιταχυντή μερικών TeV.

1.3 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΟΥ ΣΓΕΣΔ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΗΣ

Η μελέτη του ΣΓΕΣΔ (Σχήμα 1-4) επικεντρώνεται στο σχεδιασμό ενός γραμμικού επιταχυντή συγκρουόμενων δεσμών ηλεκτρονίων (e^-)-ποζιτρονίων (e^+) σε ενέργεια συστήματος των 3 TeV με φωτεινότητα των δεσμών της τάξης των $2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Παράλληλα, αναπτύσσεται παρόμοια σχεδίαση σε χαμηλότερη ενέργεια, στα 500 GeV για την κάθε δέσμη, με την ίδια φωτεινότητα. Η απαιτούμενη φωτεινότητα μπορεί να επιτευχθεί με ισχυρές δέσμες (14 MW έκαστη) που συγκρούονται σε εξαιρετικά μικρές διαστάσεις και υψηλή σταθερότητα πορείας. Οι επιταχυνόμενες δέσμες σωματιδίων έχουν διαστάσεις 45 nm σε οριζόντιο επίπεδο και 1 nm στο κατακόρυφο επίπεδο στο Σημείο Αλληλεπίδρασης (ΣΑ). Αυτές οι μικρές διαστάσεις μπορούν να επιτευχθούν μόνο με εξαιρετικά χαμηλές διαταραχές του επιταχυντικού συστήματος.



Σχήμα 1-4: Η διάταξη του ΣΓΕΣΔ σε ενέργεια συστήματος 3 TeV σύγκρουσης δεσμών

Η διάταξη που ακολουθεί ο ΣΓΕΣΔ προέρχεται από τα ιδιαίτερα καθορισμένα χαρακτηριστικά των γραμμικών επιταχυντών που επηρεάζουν έντονα το σχεδιασμό του:

- i. Οι δύο δέσμες γραμμικής επιτάχυνσης, των ηλεκτρονίων και των ποζιτρονίων επιτυγχάνουν την επιτάχυνση της εκάστοτε δέσμης με ένα μόνο πέρασμα. Κατά συνέπεια, απαιτούνται υψηλά πεδία επιτάχυνσης προκειμένου να διατηρηθεί το μήκος του επιταχυντή εντός λογικών ορίων.
- ii. Μετά την επιτάχυνση, οι δύο δέσμες συγκρούονται μόνο μία φορά. Σε μια κυκλική μηχανή, οι αντίθετα περιστρεφόμενες δέσμες σωματιδίων

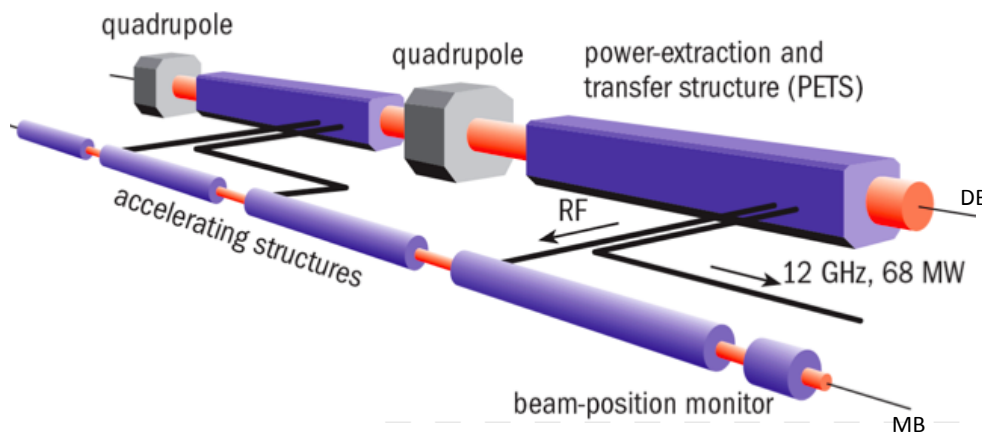
συγκρούονται εκ περιτροπής με υψηλή συχνότητα επανάληψης (δέκατα του εύρους kHz), ενώ, η συχνότητα επανάληψης στο γραμμικό επιταχυντή είναι συνήθως από 5 έως 100 Hz.

Έτσι, οι δύσκολες παράμετροι σχεδιασμού² του ΣΓΕΣΔ είναι απαραίτητο να πληρούνται, έτσι ώστε να παρέχουν την απαιτούμενη φωτεινότητα για τα προτεινόμενα πειράματα σωματιδιακής φυσικής. Το καινοτομικό σύστημα του ΣΓΕΣΔ έχει μια σειρά από βασικά ζητήματα σχεδιασμού. Ένα ουσιαστικό θέμα που συναντούμε σε πολλές περιπτώσεις είναι ότι οι απαιτούμενες δομικές και λειτουργικές προδιαγραφές του ΣΓΕΣΔ είναι ανώτερες από τις παρούσες κατασκευαστικές δυνατότητες της βιομηχανικής τεχνολογίας (above the present state-of-art). Πολλά από αυτά τα βασικά ζητήματα έχουν προσδιοριστεί για τον ΣΓΕΣΔ σύμφωνα με τη μελέτη των τεχνικών συστημάτων του μηχανήματος. Τα κύρια χαρακτηριστικά του ΣΓΕΣΔ αφορούν τη σκοπιμότητα, τη δυνατότητα κατασκευής, τις επιδόσεις, το κόστος και τις συνθήκες παροχής ισχύος.

Ένα προσιτό κόστος με ρεαλιστική ενεργειακή κατανάλωση, σε συνδυασμό με τις επιδόσεις επιτάχυνσης πέραν των σημερινών ορίων σε ενέργειες και φωτεινότητες, συνθέτουν και επιβάλλουν την ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος επιτάχυνσης που ακολουθεί τη διάταξη του επιτάχυνσης της Διπλής-Δέσμης.

1.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΔΙΠΛΗΣ-ΔΕΣΜΗΣ (ΕΔΔ, CLIC TWO-BEAM)

Σημαντικά κριτήρια οδήγησαν στην επιλογή Επιταχυντικών Διατάξεων³ (ΕΔ) από χαλκό σε ατμοσφαιρική θερμοκρασία. Το πεδίο που επιταχύνει τη δέσμη των σωματιδίων παράγεται από τις ΕΔ που τροφοδοτούνται με ραδιοσυχνότητα πολύ υψηλής ισχύος.



Σχήμα 1-5: Η διάταξη επιτάχυνσης ΕΜΔΔ

Στο σύστημα επιτάχυνσης Διπλής-Δέσμης του ΣΓΕΣΔ (Σχήμα 1-5) η επιταχυνόμενη ισχύς μεταφέρεται στις ΕΔ εξ επαγωγής από μια δεύτερη δέσμη ηλεκτρονίων, την Οδηγό Δέσμη (ΟΔ), η οποία εκτείνεται παράλληλα με την Κύρια Δέσμη (ΚΔ). Η ΟΔ παράγεται στις κεντρικές εγκαταστάσεις του συγκροτήματος ΣΓΕΣΔ. Η ισχύς της δέσμης εξάγεται από την ΟΔ και μετατρέπεται σε ενέργεια ραδιοσυχνότητας σε

² Παράμετροι σχεδιασμού: επιταχυντικό πεδίο, πεδίο RF του κύριου γραμμικού επιταχυντή, πηγή ισχύος RF, παράμετροι δέσμης, ρυθμός γραμμικής επιτάχυνσης, εκπεμπιμότητα-emittance, κλπ.

³ Επιταχυντικές κοιλότητες κανονικής αγωγιμότητας

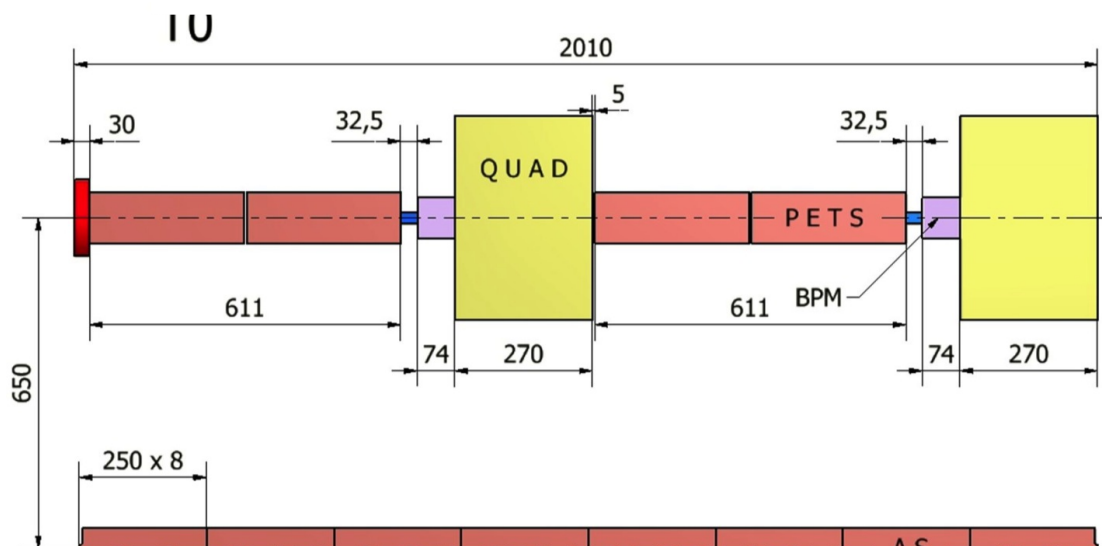
ειδικές μονάδες-δομές ραδιοσυχνοτήτων που ονομάζονται Διατάξεις Εξαγωγής και Μεταφοράς Ενέργειας (ΔΕΜΕ). Στη συνέχεια, η ισχύς μεταφέρεται από τις ΕΔ της ΚΔ, σε μια απόσταση περίπου 60 εκατοστών. Μία μονάδα ΔΕΜΕ παρέχει ισχύ RF για κάθε δύο ΕΔ (ένας αριθμός ο οποίος εξαρτάται από την ικανότητα υψηλής ισχύος των ΔΕΜΕ). Η διαβάθμιση μεταξύ των δύο ΓΕ (ΚΔ και ΟΔ) γίνεται για να επιτευχθεί σωστά ο σχετικός χρονισμός ανάμεσα σε δύναμη Πεδίου Ραδιοσυχνοτήτων (ΠΡ) και μετάδοσή της. Η πρότυπη διάταξη επιτάχυνσης Διπλής-Δέσμης δεν έχει κατασκευασθεί ποτέ στο παρελθόν και είναι η πρώτη φορά που θα λειτουργήσει στον ΣΓΕΣΔ.

Ο ΣΓΕΣΔ έχει μόνο μία σήραγγα στην οποία θα εγκατασταθεί η ΚΔ, η ΟΔ και οι δέσμες μεταφοράς. Το σύστημα επιτάχυνσης Διπλής-Δέσμης του ΣΓΕΣΔ προσφέρει καλή απόδοση ισχύος. Η ισχύς μεταφέρεται στο σημείο όπου μετατρέπεται σε Πεδίο Ραδιοσυχνοτήτων (ΠΡ) από μια δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία γίνεται σχεδόν χωρίς απώλειες. Η δέσμη θα περάσει μέσα από διάφορα συστήματα του επιταχυντή (*βρόχος υστέρησης, συνδυαστικός δακτύλιος, δακτύλιος απόσβεσης, σύστημα διανομής δέσμης, κ.λπ.*), πριν φτάσει στο σημείο αλληλεπίδρασης (Interaction Point-IP).

1.5 Η ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΠΛΗΣ-ΔΕΣΜΗΣ (ΕΜΔΔ): ΤΟ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ

1.5.1 Περιγραφή και τύποι των Επιταχυντικών Μονάδων Διπλής-Δέσμης

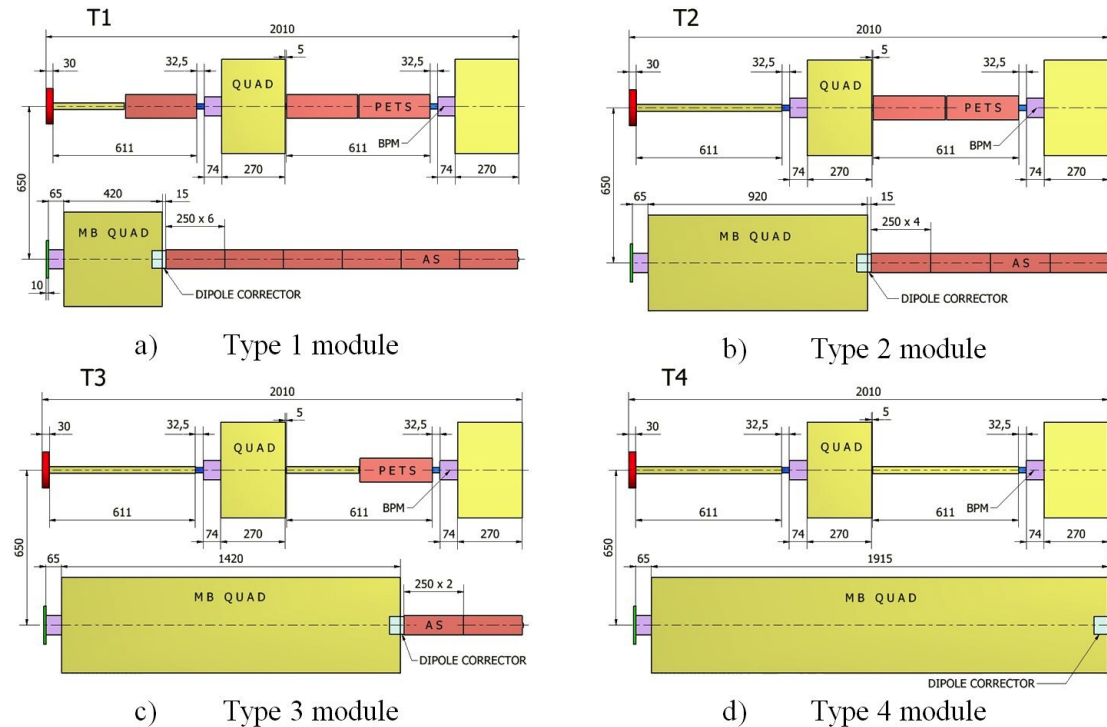
Οι Γραμμικοί Επιταχυντές (Κύριος και Οδηγός) σχηματίζονται από τα μικρότερα επαναλαμβανόμενα υποσυστήματα του επιταχυντή, που ονομάζονται «Επιταχυντικές Μονάδες Διπλής-Δέσμης = Two-Beam Modules (Σχήμα 1-6) και συναρμολογούνται σε σειρές. Οι ΕΜΔΔ στεγάζουν όλες τις κύριες συνιστώσες που εργάζονται για το ΠΡ του επιταχυντή (τμήματα) και τους μαγνήτες εστίασης.



Σχήμα 1-6: Σχηματική αναπαράσταση της ΕΜΔΔ Τύπος-0

Πέντε τύποι από ΕΜΔΔ ορίζονται σύμφωνα με τις οπτικές απαιτήσεις της δέσμης σωματιδίων (σχήματα 1-6 και 1-7). Για την επίτευξή τους, οι τετραπολικοί μαγνήτες εστίασης έχουν ενσωματωθεί στην ΚΔ, που έχουν υψηλές απαιτήσεις ευστάθειας (1

nm στο 1 Hz) και υποστήριξης. Χώρος για τα τετράπολα στον Κύριο ΓΕ γίνεται αφήνοντας έξω ένα ή πολλά ζευγάρια ΕΔ και την απομάκρυνση των αντίστοιχων ΔΕΜΕ. Η ΕΜΔΔ Τύπου-0 περιέχει μόνο ΕΔ στην ΚΔ, ενώ οι ΕΜΔΔ από τον Τύπο-1 μέχρι και τον Τύπο-4 έχουν ΚΔ-τετράπολα μεταβλητού μήκους, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο από δύο (2) έως οκτώ (8) ΕΔ.

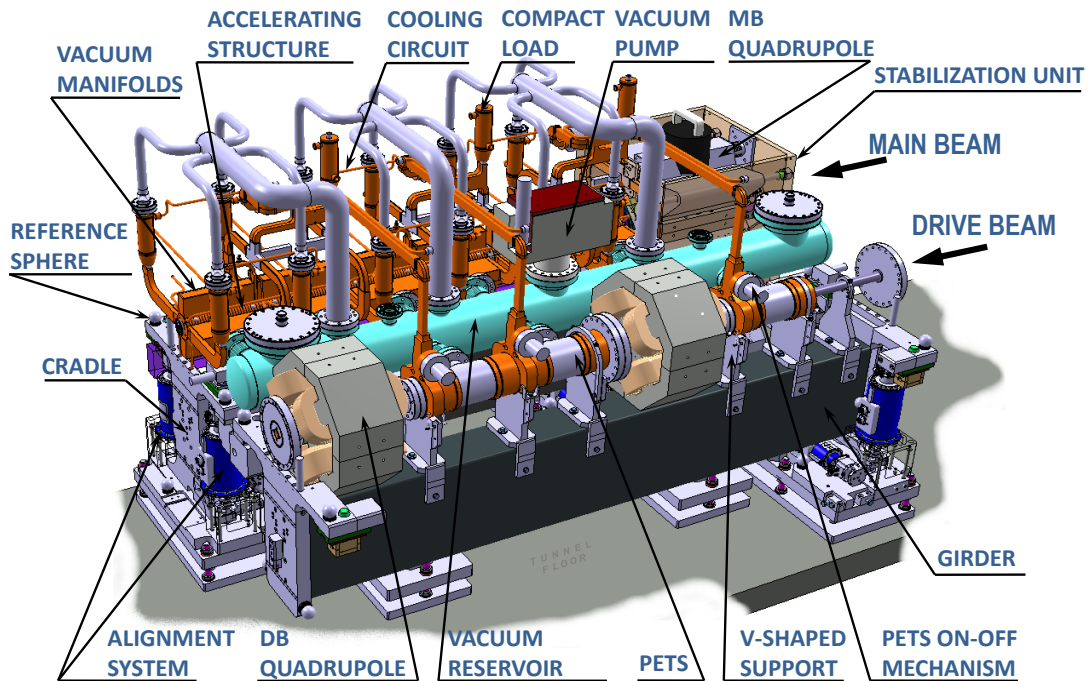


Σχήμα 1-7: Σχηματικές αναπαραστάσεις των ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ με ΚΔ-τετράπολα

Οι συνιστώσες του ΠΡ της ΕΜΔΔ είναι τοποθετημένες πάνω σε ένα ειδικό σύστημα στατικής υποστήριξης. Το μήκος της ΕΜΔΔ (2010 mm) καθορίζεται κυρίως από το μήκος (230 χιλιοστά) και τη λειτουργία των ΕΔ. Οι προσομοιώσεις δυναμικής της δέσμης (για τα ΟΔ-τετράπολα) δείχνουν ότι η ενδιάμεση απόσταση πρέπει να είναι περίπου 1 m ανάμεσα στους τετραπολικούς μαγνήτες μήκους περίπου 270 mm για να εφαρμόζεται επαρκής δύναμη εστίασης. Ο υπόλοιπος χώρος (στη ΔΟ) είναι διαθέσιμος στη συνέχεια για δύο ΔΕΜΕ και τις Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου της Δέσμης (BPM) και είναι επαρκής. Ένα τμήμα μήκους των 30 χιλιοστών έχει δεσμευτεί για την ενδιάμεσες συνδέσεις των Αμφιέρεστων Υποστηρικτικών Δοκών (ΑΥΔ). Μόνο λίγες ΕΜΔΔ με ΚΔ-τετράπολα και ΟΔ-τετράπολα απαιτούνται στους τελικούς τομείς του επιταχυντή (περίπου 10 m), όπου κάθε ΟΔ τροφοδοτείται και από έναν τομέα του ΓΕ.

1.5.2 Τεχνικά συστήματα

Ο σχεδιασμός της ΕΜΔΔ πρέπει να λάβει υπόψη τις απαιτήσεις για τα διάφορα τεχνικά συστήματα. Τα κύρια συστήματα είναι σχεδιασμένα και ενσωματωμένα για τη βελτιστοποίηση του συντελεστή πλήρωσης (που είναι περίπου 79%) και το κέρδος σε συνολικά μικρό και σύνθετο μέγεθος. Το Σχήμα 1-8 δείχνει μια τρισδιάστατη απεικόνιση μιας τυπικής ΕΜΔΔ, με τα κύρια συστατικά του όπως οι ΕΔ, ΔΕΜΕ και τετραπολικοί μαγνήτες.



Σχήμα 1-8: Τρισδιάστατη απεικόνιση της ΕΜΔΔ (Τύπος-1)

1.5.2.1 Το σύστημα του Πεδίου Ραδιοσυχνότητας

Τα κύρια τμήματα του συστήματος του ΠΡ είναι οι ΕΔ, τα ΔΕΜΕ και το δίκτυο διαμοιρασμού του ΠΡ. Ο σχεδιασμός των ΕΔ (για την ΚΔ) βασίζεται σε δίσκους χαλκού ελεύθερου από ενώσεις με οξυγόνο που συνδέονται για να σχηματίσουν μία συστοιχία δίσκων. Μέσα στις συστοιχίες των ΕΔ, η γεωμετρία των επιταχυντικών μονάδων δημιουργείται κρατώντας μία πλευρά του δίσκου επίπεδη και στην άλλη πλευρά μεταφέρονται όλα τα χαρακτηριστικά της μονάδας. Όλες οι μονάδες του κάθε ΕΔ επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μονάδων ίριδας που βρίσκονται στο κέντρο τους. Τέτοιες ίριδες χρησιμοποιούνται για την επιτάχυνση Διπλής-Δέσμης της δέσμης σωματιδίων, η οποία επιτυγχάνεται με τη συνδυασμένη λειτουργία του συστήματος του ΠΡ. Αρκετά υποσυστήματα του συστήματος του ΠΡ (Απόσβεση Φορτίων, Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου του Μετώπου της Δέσμης, Συμπαγείς Ζεύκτες, Κυματοδηγοί, κλπ.) είναι συγκολλημένες απευθείας στις ΕΔ.

Μέρος του συστήματος του ΠΡ (για την ΟΔ) με μεγάλη σημασία είναι τα ΔΕΜΕ. Ένα ΔΕΜΕ αποτελείται από οκτώ μέρη που χωρίζονται με αποσβεστικές υποδοχές. Πρόκειται για μια παθητική συσκευή μικροκυμάτων στην οποία η δέσμη των σωματιδίων (σε ομάδες) αλληλεπιδρά και επιταχύνεται. Η ισχύς του ΠΡ παράγεται στα ΔΕΜΕ και στη συνέχεια συλλέγεται και διανέμεται στις ΕΔ (της ΚΔ), μέσω των κυματοδηγών του δικτύου διαμοιρασμού του ΠΡ.

1.5.2.2 Το σύστημα ψύξης

Το μεγαλύτερο κομμάτι της ισχύος του ΠΡ χάνεται ως θερμότητα στις δομές ΕΜΔΔ. Κάθε τύπος ΕΜΔΔ απαιτεί μια διαφορετική διάταξη ψύξης, λόγω των τεσσάρων διαφορετικών συνθέσεων του ΚΔ-τετράπολα. Εκτός από τις θερμικές απώλειες, οι απαιτήσεις για το σύστημα ψύξης διέπονται από τις απαιτήσεις του κενού του επιταχυντικού σωλήνα, της ευθυγράμμισης και της μηχανικής σταθερότητας. Στο σύστημα ψύξης που χρησιμοποιείται κυκλοφορεί νερό για να ψύχονται τα εξαρτήματα του επιταχυντή. Αξίζει να σημειωθεί ότι όχι μόνο η ονομαστική

λειτουργία μάζας-ενέργειας των 3 TeV του CLIC πρέπει να πληρείται από το σύστημα ψύξης αλλά και κάποιες άλλες ενδιάμεσες λειτουργίες του, με ενέργειες όπως των 0.5 TeV. Η κατανάλωση ισχύος των 21 χιλιομέτρων ΓΕ είναι περίπου 70 MW και περίπου 95% αυτού ψύχεται από το σύστημα ψύξης του νερού. Η διαφορά θερμοκρασίας (ΔT), που θεωρείται κατά τη λειτουργία σε όλη την ΕΜΔΔ είναι της τάξης των 20 K.

1.5.2.3 *Το σύστημα κενού*

Η θεμελιώδης αρχή για το σύστημα κενού των ΕΜΔΔ είναι ένα “μη-θερμαινόμενο” σύστημα (δεν είναι δυνατόν να θερμανθεί το περίβλημα κενού) για λόγους γεωμετρικής σταθερότητας. Η προδιαγραφή κενού της ΕΜΔΔ είναι της τάξης του 10^{-9} mbar χαμηλότερη από τη συνήθη πίεση κενού σε άλλους επιταχυντές. Ο φάκελος κενού αποτελείται κυρίως από τα συστήματα του ΠΡ. Παρ'όλα αυτά, θάλαμοι κενού για τα τετράπολα είναι υπό σχεδιασμό. Για τις όλες τις Μονάδες εκτός του Τύπου-0, οι Αγωγός Μετάδοσης της Δέσμης (ΑΜΔ) που απαιτούνται για τη διατήρηση της επιτάχυνσης (για την ΟΔ) βασίζονται στον ίδιο σχεδιασμό του σωλήνα δέσμης του ΟΔ-τετράπολου, καθώς επίσης και του θαλάμου κενού για το ΚΔ-τετράπολο.

Η άντληση κενού δεν πρέπει να προκαλεί δονήσεις, ιδιαίτερα στο σύστημα σταθεροποίησης και υποστήριξης του ΚΔ-τετράπολου. Χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός των αντλιών κενού όπως περιστροφική/διαχύσεως αντλία cartridge, αντλία προσέλκυσης ιόντων και η αντλία NEG⁴ με υψηλή ταχύτητα άντλησης κενού.

1.5.2.4 *Το σύστημα μαγνητών και ενεργειακής τροφοδοσίας αυτών*

Το σύστημα μαγνητών αποτελείται κυρίως από τα ΟΔ-τετράπολα και τα ΚΔ-τετράπολα. Μεταξύ των σημαντικότερων στοιχείων των ΕΜΔΔ είναι τα ΚΔ-τετράπολα όπου απαιτούνται για την εστίαση της δέσμης e^+/e^- κατά μήκος των γραμμικών τμημάτων επιτάχυνσης. Τα ΚΔ-τετράπολα έχουν διαφορετικά μήκη, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-1.

Τύποι ΚΔ-τετραπόλων	Μήκος μαγνητικού πεδίου (mm)	Ποσότητα
Type-1	350	308
Type-2	850	1276
Type-3	1350	964

⁴ Non-Evaporated Getters (NEG): Μη εξαμιζόμενοι δεσμευτές τύπου (NEG), με βάση την αρχή της μεταλλικής επιφάνειας απορρόφησης των αερίων μορίων, είναι κυρίως πορώδη κράματα ή μίγματα κόνεως Al, Zr, Ti, V και σίδηρος (Fe). Είναι σημαντικά εργαλεία για τη βελτίωση της απόδοσης πολλών συστημάτων κενού. Το κράμα που σχηματίζει εύκολα σταθερές ενώσεις με ενεργά αέρια. Η επιστροφή NEG η οποία είναι φρυγμένη στην εσωτερική επιφάνεια των πλοίων υψηλού κενού, μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και σε χώρους που δεν είναι εύκολη η δυνατότητα άντλησης προς τα έξω, γεγονός που τα καθιστά πολύ δημοφιλή σε επιταχυντές σωματιδίων, όπως αυτό που περιγράφεται στην παρούσα διατριβή. Οι κύριες παράμετροι απορρόφησης του είδους των NEGs, όπως η ταχύτητα άντλησης και ικανότητα απορρόφησης, έχουν χαμηλά όρια. Ένας διαφορετικός τύπος NEG, αυτός χωρίς επιχρισμένες επιφάνειες, είναι η Tub getter. Η ενεργοποίηση αυτού του getters γίνονται μηχανικά ή σε μία θερμοκρασία από 550 K. Το εύρος θερμοκρασίας είναι από 0 έως 800K υπό HV / UHV συνθήκες.

Η αντλία τύπου NEG δρα ως δεσμευτής ή αντλία δεσμευτής που είναι σε θέση να μειώσει την πίεση σε λιγότερο από 10^{-7} Pa.

Type-4	1850	1472
--------	------	------

Πίνακας 1-1: Τύποι από ΚΔ-τετράπολα (ποσότητες και για τους δύο ΓΕ)

Δεδομένου ότι το ΚΔ-τετράπολο απαιτεί εξεζητημένες συνθήκες σταθερότητας και υποστήριξης και γι αυτό είναι σημαντικό να εδράζεται στο δικό του ξεχωριστό υποστηρικτικό σύστημα. Στηρίζεται και σταθεροποιείται πάνω σε ένα ειδικά σχεδιασμένο εξάποδο το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο να πληρεί τις συγκεκριμένες απαιτητικές συνθήκες ευστάθειας. Εκτός από τα ΚΔ-τετράπολα, όλα τα υπόλοιπα τμήματα της ΕΜΔΔ, και για τους δύο ΓΕ, ΚΔ και ΟΔ, εδράζονται και υποστηρίζονται επί των ΑΥΔ.

Κάθε ΕΜΔΔ περιέχει δύο ΟΔ-τετράπολα. Η λειτουργία των ΟΔ-τετραπόλων ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό κατά μήκος του επιβραδυντή (από 81,2 T/m μέχρι 8,12 T/m). Αυτές οι συνθήκες πληρούν τις απαιτήσεις οπτικής εστίασης της δέσμης κατά μήκος του επιβραδυντικού τομέα, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη βαθμωτή (gradient) ανακλαστικότητα της δέσμης που κυμαίνεται από 12,2 T και 1,2 T για ενέργειες της ΟΔ από 2,5 GeV έως και 0,25 GeV.

Η σήραγγα του ΣΓΕΣΔ υπολογίζεται να έχει ακτινοβολία υποβάθρου (περίπου 120 mSv/έτος) και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις (μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών, την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια, τον έλεγχο, τον όγκο) στους μετατροπείς ισχύος των μαγνητών. Έτσι, όλο το σύστημα τροφοδοσίας των μαγνητών διεξάγεται από υπο-σήραγγες (galleries) οι οποίες δεν υπόκεινται σε ακτινοβολία (αντιστοιχεί μία υπο-σήραγγα ανά κλάδο επιτάχυνσης).

1.5.2.5 Υποστηρικτικό σύστημα

Όλες οι διατάξεις ΠΡ (εκτός από το ΚΔ-τετράπολο) των ΕΜΔΔ έχουν εγκατασταθεί και ευθυγραμμίζονται από ένα καινοτομικό υποστηρικτικό σύστημα. Το υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ είναι μηχανικά αρθρωτό καθ' όλο το μήκος του ΓΕ της ΟΔ. Σε αντίθεση αυτού, η μηχανική συνέχεια του ΚΔ διακόπτεται από τα ανεξάρτητα μέσα έδρασης και υποστήριξης των ΚΔ-τετραπόλων. Το υποστηρικτικό σύστημα αποτελείται από διάφορα τμήματα υποστήριξης (ΑΥΔ, Υποστηρίξεις “V”, Λίκνα Αντιστήριξης, Σφιγκτήρες “Y”, κλπ.) για την εκπλήρωση των διαφόρων τεχνικών απαιτήσεων αντιστήριξης και σταθεροποίησης των τμημάτων του ΠΡ. Η σε βάθος έρευνα, μελέτη και ανάπτυξη τους θα παρουσιαστεί λεπτομερώς στα προσεχή κεφάλαια.

1.5.2.6 Συστήματα ευθυγράμμισης

Η ευθυγράμμιση της ΕΜΔΔ καταμερίζεται σε δύο βήματα:

- i. Τη μηχανική προ-ευθυγράμμιση (χωρίς να έχει αρχίσει ακόμα η λειτουργία της δέσμης του επιταχυντή): Η προ-ευθυγράμμιση χωρίζεται επίσης σε δύο τμήματα.
 - a. Αφετηρία της είναι ο **ακριβής προσδιορισμός της θέσης** των υποτμημάτων του επιταχυντή με τη βοήθεια δύο μετρητικών δικτύων: το Μετρολογικό Δίκτυο Αναφοράς (ΜΔΑ) και την Υποστηρικτική Διάταξη του Δικτύου Προ-Ευθυγράμμισης (ΥΔΔΠΕ).
 - b. Τελικό αποτέλεσμά του είναι ο **επαναπροσδιορισμός των υποστηρικτικών τμημάτων** με μικρομετρική ακρίβεια σε ένα εύρος ± 3 mm που να δίνει τη δυνατότητα για αναπρασαρμολογία της θέσης κατά

μήκος 3 BE (για να επιτευχθεί τελικώς η απαραίτητη ευθυγράμμιση της δέσμης σωματιδίων που περνά μέσα από τις διατάξεις του PP).

- ii. Ενεργητική (συνεχής) ευθυγράμμιση: Με την έναρξη λειτουργίας του επιταχυντή, η ενεργητική ευθυγράμμιση ξεκινά παράλληλα. Το συνολικό ανεκτό σφάλμα στον προσδιορισμό της θέσης των τμημάτων έχει υπολογιστεί να είναι 14 μm για τις ΕΔ και 17 μm για τα ΚΔ-τετράπολα.

1.5.2.7 Σύστημα σταθεροποίησης

Το σύστημα σταθεροποίησης είναι αφιερωμένο να εξασφαλίζει ότι οι επιβαλλόμενες εκτοπίσεις του κέντρου του μαγνητικού πεδίου παραμένουν κάτω από τα αποδεκτά όρια της ασφαλούς λειτουργίας του μαγνήτη. Η ολοκληρωμένη Μέση Τετραγωνική Ρίζα (MTP) των απόλυτων κατακόρυφων μετακινήσεων του κέντρου του μαγνητικού πεδίου κάθε ΚΔ-τετράπολο πρέπει να παραμείνει κάτω από 1,5 nm για τις συχνότητες άνω του 1 Hz. Ομοίως, θα πρέπει να παραμείνουν κάτω από το 5 nm οι μετατοπίσεις και στην πλευρική κατεύθυνση.

Η στρατηγική της σταθεροποίησης του ΚΔ-τετραπόλου βασίζεται σε ένα στιβαρό μέσο κινητοποίησης με σκληρούς πιεζοηλεκτρικούς ενεργοποιητές. Η μέτρηση της σχετικής μετατόπισης πραγματοποιείται μεταξύ του τετράπολου και ενός αδρανειακού συστήματος αναφοράς μάζας (σεισμόμετρο). Η μετάδοση των δονήσεων στη στήριξη του μαγνήτη σε χαμηλές συχνότητες είναι ενεργητικά μειούμενη. Το υπόβαθρο δονήσεων αποτελείται από το σεισμικό υπόβαθρο συνδυασμένο με το μετρητικό θόρυβο. Ο κύριος λόγος για την επιλογή της συγκεκριμένης στρατηγικής είναι η μεγάλη ανθεκτικότητα σε εξωτερικές διαταραχές.

Οι τάξεις μετατόπισης και η ακαμψία των ενεργοποιητών επιτρέπουν επίσης την επανατοποθέτηση του μαγνήτη στην κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση ενδιάμεσως των παλμών της δέσμης σωματιδίων με βήματα έως και 50 nm σε ένα εύρος $\pm 5 \mu\text{m}$.

1.5.2.8 Μετρητικά όργανα δέσμης

Τα μετρητικά όργανα δέσμης αποτελούνται κυρίως από τις Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου της Δέσμης (ΣΜΕΔ) και Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου Απωλειών της Δέσμης (ΣΜΕΑΔ). Τέτοιες συσκευές μπορούν να μετρήσουν την ποιότητα και την θέση της δέσμης σωματιδίων και παρέχουν πληροφορίες ανατροφοδότησης.

Το ΣΜΕΘΔ για την ΚΔ αποτελείται από δύο κοιλότητες, η πρώτη μετρά την θέση τόσο της X (πλάγια) όσο και της Y (κάθετη) κατεύθυνσης και η δεύτερη είναι η κοιλότητα αναφοράς που μετρά το φόρτιο και την φάση. Και οι δύο κοιλότητες είναι συντονισμένες στα 14 GHz. Το ΣΜΕΘΔ για την ΚΔ συνδέεται συμπαγώς με το ΚΔ-τετράπολο χωρίς τη δυνατότητα αναπροσαρμογής της θέσης του. Οι στόχοι του συστήματος ευθυγράμμισης τοποθετούνται στην κορυφή του, προκειμένου να μετρηθεί η σχετική θέση του ΣΜΕΘΔ σε σχέση με το μαγνήτη.

Υπάρχουν δύο ΣΜΕΘΔ για την ΟΔ της κάθε ΕΜΔΔ. Ο σχεδιασμός τους είναι λιγότερο εξεζητημένος από των ΣΜΕΘΔ για την ΚΔ και βασίζεται σε μορφή αγωγών ταινιών (striplines). Οι αγωγοί ταινιών (striplines) είναι ενσωματωμένοι στον θάλαμο κενού του ΚΔ-τετραπόλων. Κατά συνέπεια, τα ΣΜΕΘΔ συνδέονται συμπαγώς στο μαγνήτη μέσω ενός ειδικού βραχίονα, του οποίου το ένα άκρο έχει κολληθεί στο θάλαμο κενού του ΚΔ-τετραπόλου. Το άλλο άκρο είναι συνδεδεμένο με τα ΔΕΜΕ. Οι στόχοι ευθυγράμμισης είναι σφαίρες που τοποθετούνται στην επάνω πλευρά του

ΣΜΕΘΔ, επιτρέποντας τη μέτρηση του μηχανικού (πραγματικού) κέντρου σε σχέση με το μαγνητικό κέντρο.

Τα μετρητικά όργανα δέσμης που λειτουργούν στον επιταχυντή σε σχετικά μικρότερες ποσότητες και μετρούν διάφορα μεγέθη της δέσμης όπως ένταση, εγκάρσια και διαμήκης διατομή, αποτελούν ειδική υπο-ομάδα του κάθε επιβραδυντικού τμήματος για την ΟΔ και για τις ΕΜΔΔ Τυπων από 1 έως και 4 για την ΚΔ.

1.5.2.9 *Χειρισμός και μεταφορά*

Ο χώρος που απαιτείται για τη μεταφορά και την εγκατάσταση της ΕΜΔΔ στη σήραγγα έχει σημαντική επίδραση στη διατομή της. Ως εκ τούτου, διενεργήθηκαν μελέτες με σκοπό να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαν να μεταφερθούν οι ΕΜΔΔ με ασφάλεια και να εγκατασταθούν στη σήραγγα. Ένας εξίσου σημαντικός στόχος είναι η ανατροφοδότηση πολλών απαιτήσεων σχεδιασμού, που σχετίζεται με τη μεταφορά και την εγκατάσταση, στο συνολικό σχεδιασμό της ΕΜΔΔ. Οι απαιτήσεις αυτές έχουν επίσης συμπεριληφθεί στο σχεδιασμό των συστημάτων υποστήριξης και τοποθέτησης.

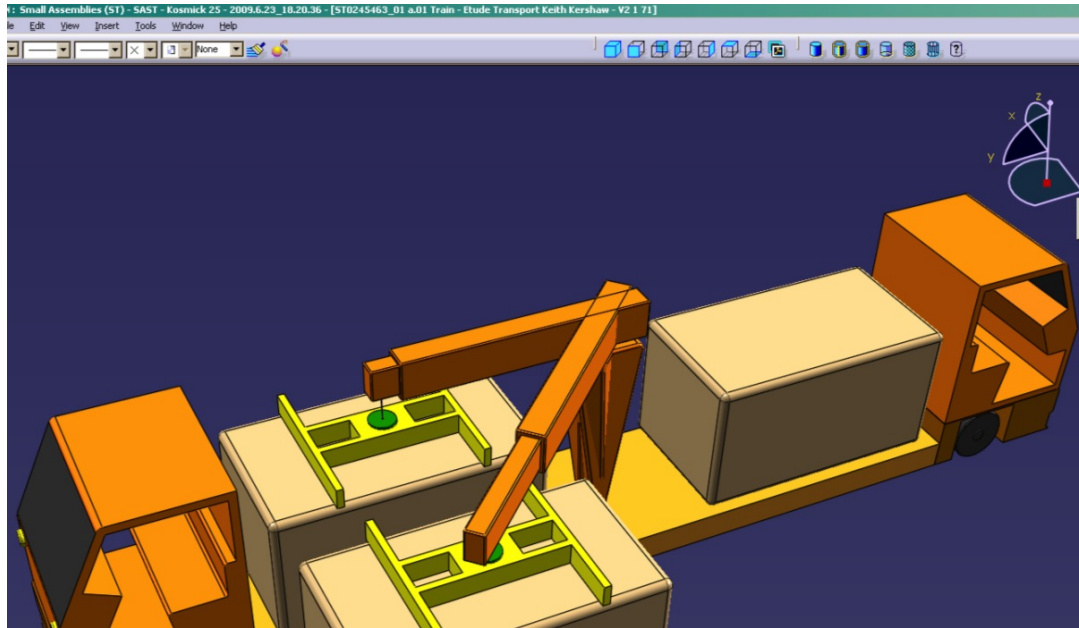
Ένας μεγάλος αριθμός από ΕΜΔΔ με τις διασυνδέσεις για εγκατάσταση στο έδαφος, πρέπει να μεταφερθεί και να εγκατασταθεί στη σήραγγα. Οι μεγάλοι αριθμοί επιβεβαιώνουν τη μεγάλη σημασία για τη βελτιστοποίηση ολόκληρης της ακολουθίας των μεταφορών των ΕΜΔΔ, ώστε να καταστεί δυνατή η ταχεία και αποτελεσματική μεταφορά και εγκατάστασή τους. Ο Πίνακας 1-2 παρουσιάζει τον αριθμό των ΕΜΔΔ.

Αντικείμενο	Ποσότητα (at 3 TeV)		Ποσότητα (at 500 GeV)		Διαστάσεις (mm)	Μάζα (kg)
	Ανά τομέα	Σύνολο	Ανά τομέα	Σύνολο		
ΕΜΔΔ	436	20924	436	4248	2010×1550×1200	1500
Αναμονές εγκατάστασης εδάφους στη σήραγγα	436	20924	436	4248	2010×1550×1200	200

Πίνακας 1-2: Πληροφορίες εισόδου για τη μελέτη μεταφοράς: Αριθμός ΕΜΔΔ προς εγκατάσταση στη σήραγγα

Στα σημεία εγκατάστασης των ΕΜΔΔ στη σήραγγα, οι διασυνδέσεις των ΕΜΔΔ στο έδαφος καταφθάνουν, εγκαθίστανται και ευθυγραμμίζονται. Μετά από αυτό, κάθε ΕΜΔΔ θα φτάσει με το ειδικό όχημα μεταφοράς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-9, και θα εγκατασταθεί με κατακόρυφη τοποθέτηση, έτσι ώστε να μην παρεμβαίνει στις διασυνδέσεις του εδάφους και του εξοπλισμού ευθυγράμμισης που έχουν ήδη εγκατασταθεί.

Μελετήθηκε ο προκαταρκτικός σχεδιασμός του οχήματος με τον ειδικό εξοπλισμό ανύψωσης, ώστε να δεσμευτεί ο απαραίτητος χώρος στο γενικό πλάνο ενσωμάτωσης και σχεδιασμού της σήραγγας. Επιπλέον, η μεθοδολογία εγκατάστασης προβλέπει τη δυνατότητα αφαίρεσης ενός ήδη εγκατεστημένου ΕΜΔΔ, εάν απαιτηθεί εκτεταμένη συντήρηση.



Σχήμα 1-9: Σχηματική αναπαράσταση του βαγονιδίου μεταφοράς και εγκατάστασης των ΕΜΑΔ μέσα στη σήραγγα του ΣΓΕΣΑ

Ο σχεδιασμός του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΑΔ πρέπει να υπακούει τις κατευθυντήριες γραμμές της μεταφοράς και εγκατάστασης καθώς και να προσαρμοστεί σε ειδικές μεταφορικές απαιτήσεις (π.χ. εισαγωγή λαβών και δοκαριών άρσης, υποστηρικτικών σημείων ή άγκιστρων), έτσι ώστε να επιτρέψει και να διευκολύνει τις εργασίες της μεταφοράς και του χειρισμού. Οι επιχειρήσεις αυτές λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των φάσεων της συναρμολόγησης στην επιφάνεια, του ελέγχου, της αποθήκευσης, τις οδικές μεταφορές προς τα σημεία πρόσβασης, κατάβασης και μεταφορών μέσα στη σήραγγα, και της εγκατάστασης στη σήραγγα.

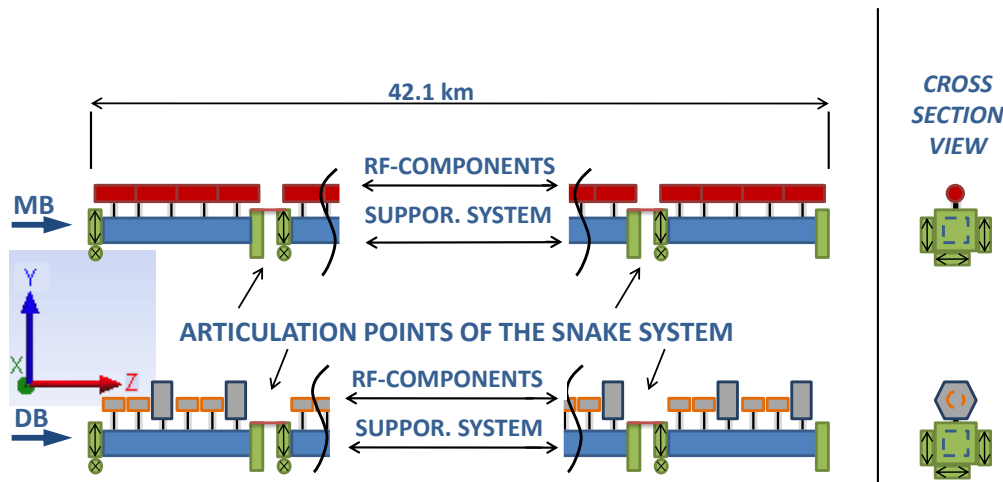
Μια τέτοια αρχή λειτουργίας για τη μεταφορά και την εγκατάσταση έχει επηρεάσει εξαιρετικά συγκεκριμένα σημεία κατασκευής του υποστηρικτικού συστήματος (μορφοποιώντας το σχεδιασμό του). Οι τεχνικές λεπτομέρειες και η διερεύνηση των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη θα συζητηθούν ειδικά στο κεφάλαιο 4.

Κεφάλαιο 2.

Το υποστηρικτικό σύστημα της Επιταχυντικής Μονάδας Διπλής- Δέσμης

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ

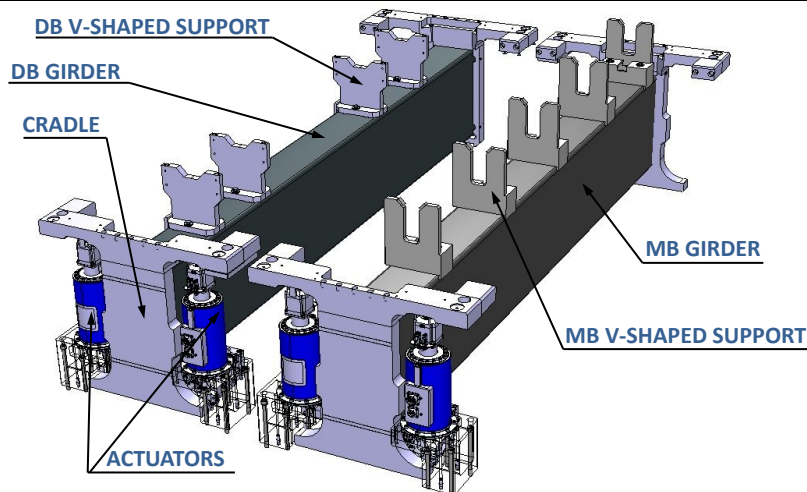
Τα τμήματα που χρησιμοποιούν το ΠΡ του ΣΓΕΣΔ με μικρομετρική ακρίβεια θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν με ένα ειδικά σχεδιασμένο υποστηρικτικό σύστημα. Τα θεμελιώδη υποστηρικτικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος είναι οι λεγόμενες Αμφιέρεστες Υποστηρικτικοί Δοκοί (ΑΥΔ-girders). Οι περιορισμοί του σχεδιασμού των ΑΥΔ υπαγορεύτηκαν κυρίως από τις τεχνικές προδιαγραφές της δέσμης και τις απαιτήσεις των συστημάτων του ΠΡ. Όλες οι Αμφιέρεστες Υποστηρικτικοί Δοκοί (ΑΥΔ-girders) διασυνδέονται και αποτελούν ένα συνεχές σύστημα που ονομάζεται Σύστημα Φιδιού = Snake System (Σχήμα 2-1). Αυτό το σύστημα επιτρέπει την μικρομετρικής ακρίβειας ευθυγράμμιση στο συνολικό μήκος των δύο ΓΕ. Μέσα από το ΣΦ οι ΑΥΔ, τοποθετούνται, παρακολουθούνται και ευθυγραμμίζονται εκ νέου.



Σχήμα 2-1: Σχηματική επεξήγηση της αρχής λειτουργίας της μηχανικής άρθρωσης του υποστηρικτικού συστήματος επωνομαζόμενης ως Σύστημα Φιδιού

Τα συστήματα του ΠΡ εδράζονται, σταθεροποιούνται και υποστηρίζονται στις ΑΥΔ-girders, μέσω από τα λεγόμενα υποστηρίγματα σχήματος “V” (Y-V) όπως απεικονίζονται Σχήμα 2-2. Ο σχεδιασμός αυτού του ενδιάμεσου στοιχείου αντιστήριξης έχει αρκετές τεχνικές λεπτομέριες που χρειάζονται μελέτη για να απαντηθούν σχετικά με τη μηχανική συμπεριφορά του και την ενσωμάτωσή του μέσα στις ΕΜΔΔ (διαθεσιμότητα χώρου, κλπ.).

Εκτός από τη μηχανική συμπεριφορά τους, τα υποστηρίγματα σχήματος Y-V απαιτούν σταθερή εγκατάσταση στις ΑΥΔ. Υπογραμμίζεται και πάλι, η μελέτη και ο σχεδιασμός της διασύνδεσης, καθώς και οι τεχνικές της συναρμολόγησης ήταν μια τεχνολογική πρόκληση. Ιδιαίτερα, σε συνδυασμό με το σχεδιασμό των υποστηριγμάτων σχήματος Y-V, διάφορα σχέδια τεχνικών μεθοδολογιών μελετήθηκαν για κάθε περίπτωση χωριστά για να επιτευχθεί η σύζευξη των Y-V και των ΑΥΔ.



Σχήμα 2-2: Το υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ για τον Τύπο-0

Ένα θεμελιώδες θέμα για την ορθή λειτουργία του ΣΦ είναι η ακαμψία των ΑΥΔ και των Υ-V. Είναι αναμενόμενο ότι οι ΑΥΔ και οι Υ-V θα έχουν υψηλότερες τιμές ακαμψίας σε σύγκριση με τα υπόλοιπα τμήματα που απαρτίζουν τις ΕΜΔΔ. Συνεπώς, η πιθανή παραμόρφωση των ΑΥΔ και των Υ-V έχει ληφθεί υπόψη κατά τη βαθμονόμηση των διατάξεων κίνησης-κινητήρων (Σχήμα 2-2).

Οι ΑΥΔ συγκρατούνται στα άκρα τους από τα λεγόμενα Λίκνα Αντιστήριξης (ΛΑ), τα οποία συνδέονται μηχανικά με τους κινητήρες και τους αισθητήρες ευθυγράμμισης. Η επανατοποθέτηση των ΑΥΔ επιτυγχάνεται με τη βοήθεια αυτών των κινητήρων. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να καθίσταται δυνατό να διορθώνονται οι θέσεις υποστήριξης σε τρεις διευθύνσεις για κάθε άκρο της ΑΥΔ. Οι κινητήρες λειτουργούν με μικρομετρική ακρίβεια και νανομετρικών διαστάσεων βήματα.

Για την ευθυγράμμιση των διατάξεων ΠΡ, είναι απαραίτητο να μεταφερθεί η γραμμή αναφοράς, η οποία αντιπροσωπεύει τον άξονα της δέσμης των φορτισμένων σωματιδίων, στην εξωτερική επιφάνεια των διατάξεων ΠΡ. Αυτό σημαίνει ότι το υποστηρικτικό σύστημα περιλαμβάνει επίσης τα απαραίτητα όργανα, χαρακτηριστικά για τη μεταβίβαση της γραμμής αλλά και των υπολοίπων σημείων αναφοράς.

2.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Για πρώτη φορά, ήταν αναγκαία να κατασκευαστούν και να ελεγχθούν διάφορες ΕΜΔΔ σε πραγματική κλίμακα. Τα υποστηρικτικά τους συστήματα, αν και είχαν μια γνωστή τεχνική όσον αφορά τις αρχές λειτουργίας τους, ήταν παντελώς αόριστα όσον αφορά το λεπτομερή τεχνικό και μηχανολογικό σχεδιασμό. Παρ' όλα αυτά, η αναμενόμενη λειτουργία τους ήταν ένα πολύ καλό σημείο έναρξης της μελέτης, έτσι ώστε να δημιουργηθεί τη βάση για τον προσδιορισμό των βασικών τεχνικών προδιαγραφών τους.

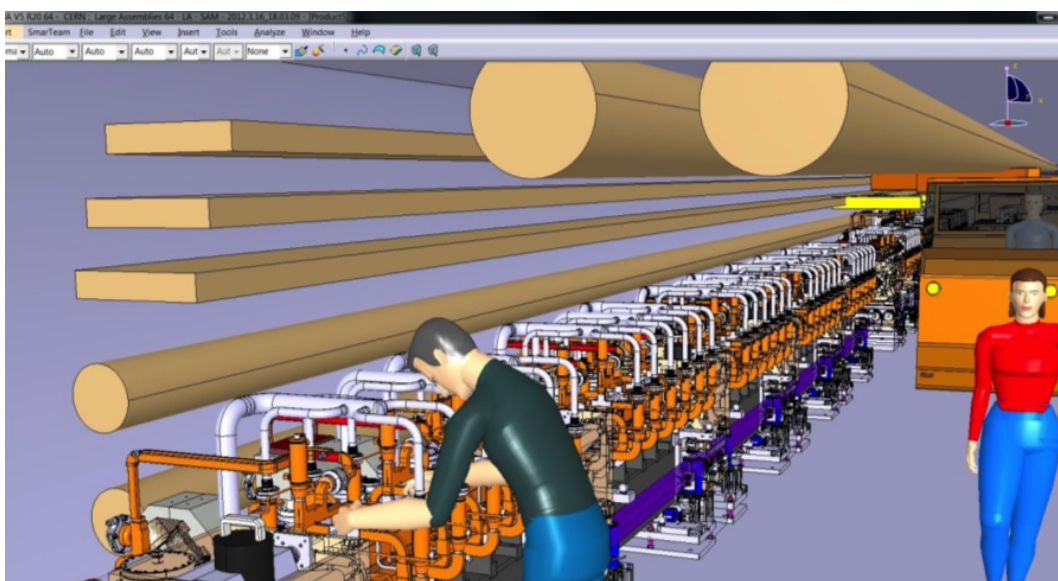
Μία από τις πιο κρίσιμες τεχνικές προδιαγραφές, που ισχύουν για όλα τα στοιχεία του υποστηρικτικού συστήματος, ήταν η συμβατότητα του όγκου. Το μηχάνημα του ΣΓΕΣΔ χρειαζόταν ένα ολοκληρωμένο σχεδιασμό. Ως εκ τούτου, το εξωτερικό περίγραμμα των βασικών υποσυστημάτων του ήταν προκαθορισμένο και εν συνεχεία χρειάστηκε να συντονιστεί με τη λειτουργία τους. Επιπροσθέτως, οι χαμηλές στατικές παραμορφώσεις και η υψηλή απόσβεση πιθανής δυναμικής διέγερσης των

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

υποστηρικτικών τμημάτων του συστήματος θα έπρεπε να θεωρούνται προφανώς από την πρώτη τεχνική προσέγγιση του συστήματος ως προαπαιτούμενα.

Δεδομένου ότι ποτέ στο παρελθόν δεν υπήρξε μια μηχανολογική πρόταση κατασκευής, ερωτήματα σχετικά με τη δυνατότητα υλοποίησης του έργου υφίσταντο. Τέτοιες ερωτήσεις και τεχνικά ζητήματα έπρεπε να αντιμετωπιστούν μέσω μιας πρότυπης βιομηχανικής κατασκευής σε συνδυασμό με τη δυνατότητα για μελλοντική μαζική παραγωγή.

Εν συντομία, συνοψίζοντας αυτή την πρώτη προσέγγιση του υποστηρικτικού ΣΦ, γίνεται σαφές ότι όλα τα τμήματά του οφείλουν να λειτουργούν τεχνικά άρτια και την ίδια στιγμή να υπάρχει η βέλτιστη διασύνδεση τους με της υπόλοιπη ΑΥΔ. Η άψογη συμβατότητα και η μικρομετρικά ακριβής συναρμολόγηση είναι κάποια από τα πολύ στοιχειώδη ζητήματα για την ομαλή λειτουργία του επιταχυντή ΣΓΕΣΔ συνολικά.

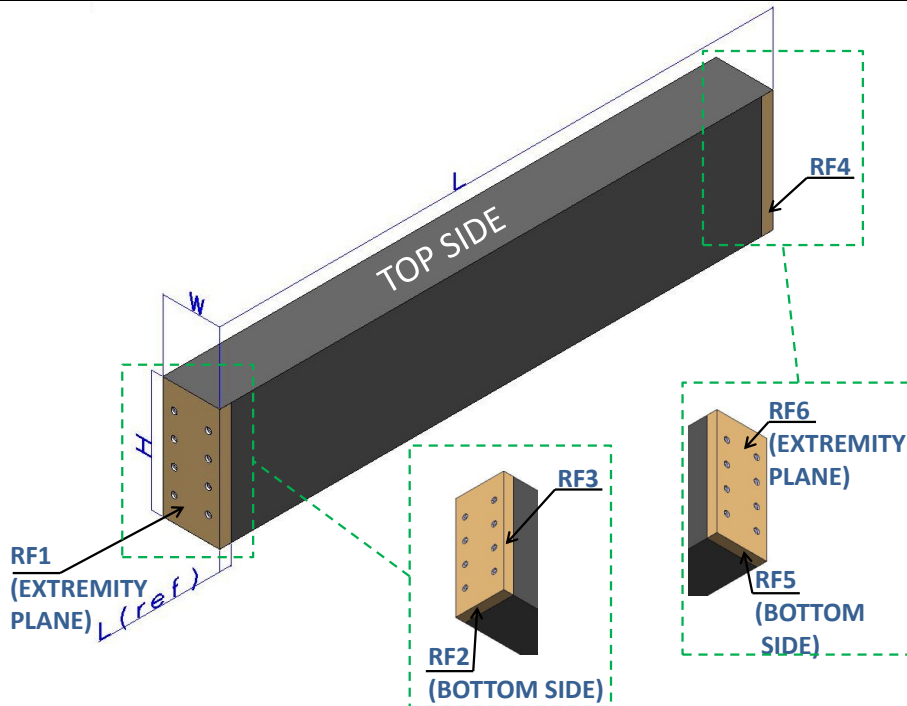


Σχήμα 2-3: Σχηματική αναπαράσταση των ΕΜΔ συναρμολογημένες σε σειρά μέσα στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ

2.2.1 Η Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός

Η ΑΥΔ είναι το βασικό τμήμα του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔ. Μία από τις κύριες λειτουργίες του είναι παρόμοια με αυτήν μιας οριζόντιας δοκού μηχανικής αντιστήριξης, αλλά οι ιδιότητες και οι διεπαφές του ορίζονται ειδικά σύμφωνα με τις αυστηρές απαιτήσεις της ΕΜΔ. Η γενική άποψη του εξωτερικού περιγράμματος, για μία τυπική ΑΥΔ (Τύπου-0) δίνεται στο Σχήμα 2-4.

Το μήκος της ΑΥΔ ποικίλλει ανάλογα με το είδος ΕΜΔ και ΓΕ. Η ΟΔ έχει σε όλες τις περιπτώσεις μια περίπου ΑΥΔ μήκους 2 m. Αντίθετα, για την ΚΔ, το μήκος της ΑΥΔ ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της ΕΜΔ. Οι διαστάσεις της ΑΥΔ ανάλογα με την κάθε περίπτωση εμφανίζονται στους πίνακες 2-1 και 2-2, σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά μέγεθος που εμφανίζεται στο Σχήμα 2-4.



Σχήμα 2-4: Σχηματική αναπαράσταση της ΕΜΔΔ (Τύπος-0)

ΑΥΔ για την ΟΔ	ΑΥΔ για την ΚΔ				
Όλων των Τύπων	Τύπος-0	Τύπος-1	Τύπος-2	Τύπος-3	Τύπος-4
L=1946 mm	L=1946 mm	L=1486 mm	L=1026 mm	L=566 mm	No girder

Πίνακας 2-1: Διαστάσεις της ΑΥΔ της ΕΜΔΔ

Μετά από εκτενή βελτιστοποίηση στον όγκο και το περίγραμμα, η διατομή της ΑΥΔ ακολούθησε τη διαστασιοποίηση που απεικονίζεται στο Σχήμα 2-4 και παίρνει τιμές από τον Πίνακα 2-2.

Μέγεθος	H (mm)	W (mm)	Lref (mm)
Τιμή	320	150	30

Πίνακας 2-2: Διαστάσεις διατομής της ΑΥΔ της ΕΜΔΔ

Η ακριβής συναρμολόγηση του υποστηρικτικού συστήματος είναι ένα από τα πρώτα βήματα για τη συναρμολόγηση μίας πλήρους ΕΜΔΔ. Για την πράξη αυτή οι διασυνδέσεις της ΑΥΔ με τα παρακείμενα στοιχεία της ΕΜΔΔ έπαιξαν σημαίνοντα ρόλο στο μηχανολογικό σχεδιασμό της ΑΥΔ. Η επιτυχής μετάβαση των μικρομετρικών αναφορών του άξονα της δέσμης των σωματιδίων στα μετρητικά μέσα των οργάνων ευθυγράμμισης είναι το ρητό αποτέλεσμα των επιτυχών μικρομετρικών διασυνδέσεων της ΑΥΔ. Τέτοιου είδους διασυνδέσεις απεικονίζεται στο Σχήμα 2-4 και έχουν σχεδιασθεί για γεωμετρικές ανοχές όπως αναφέρονται στον Πίνακα 2-3.

Μέγεθος	RF1 (μm)	RF2 (μm)	RF3 (μm)	RF4 (μm)	RF5 (μm)	RF6 (μm)
Επιφανειακή ακρίβεια	≥ 10	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 10

Πίνακας 2-3: Γεωμετρικές ανοχές για τις επιφάνειες αναφοράς της ΑΥΔ

Ένα θεμελιώδες ζήτημα για την εύρυθμη λειτουργία του ΣΦ είναι η δυσκαμψία της ΑΥΔ. Είναι σημαντικό ότι οι ΑΥΔ θα έχουν υψηλότερες τιμές ακαμψίας σε σύγκριση με τις άλλες συνιστώσες των ΕΜΔΔ. Με την απαίτηση αυτή, η επιτρεπόμενη στατική παραμόρφωση της ΑΥΔ, κάτω από συνθήκες φόρτισης, λαμβάνεται υπόψη σε πρώιμο στάδιο του σχεδιασμού του υποστηρικτικού συστήματος. Η βασική κατευθυντήρια γραμμή της μελέτης για τις συνθήκες φόρτωσης της ΑΥΔ-girder ήταν μια πρώτη εκτίμηση του βάρους του συνόλου της ΕΜΔΔ.

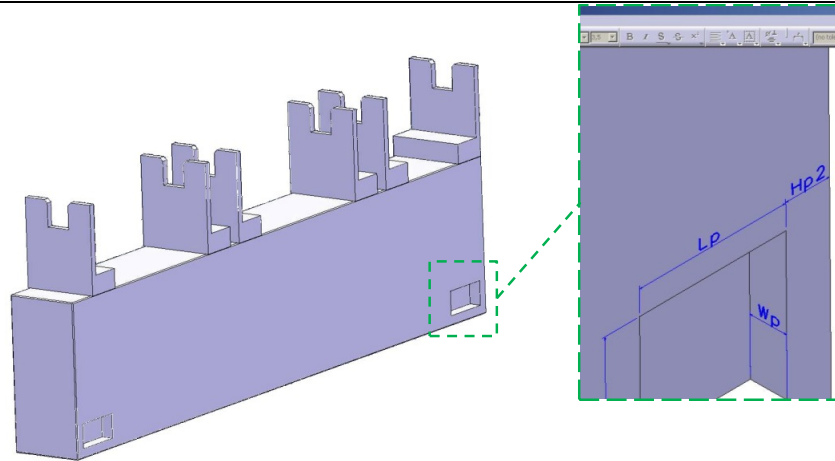
Η απόσβεση και η απομόνωση της δυναμικής συμπεριφοράς των ΕΜΔΔ αποτελούν πρόσθετες απαιτήσεις για την ΑΥΔ, έτσι ώστε να διατηρηθεί η μικρομετρική ευθυγράμμιση της δέσμης των φορτισμένων σωματιδίων. Τα υλικά και οι ανάλογες διαμορφώσεις που μελετήθηκαν (στο κεφάλαιο 3) έχουν δώσει επαρκείς λύσεις σε τέτοια μεγέθη.

Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος για κάθε ΑΥΔ-girder ήταν ένας επιπλέον περιοριστικός παράγοντας της μελέτης. Κάθε ΑΥΔ έχει εγκατασταθεί και εξαρτάται πλήρως από τα ΛΑ και τους κινητήρες των δύο άκρων του. Για το λόγο αυτό, το βάρος των ΑΥΔ πρέπει να είναι εντός των δυνατοτήτων της στατικής αντιστήριξης και μηχανοκίνησης των κινητήρων. Αυτή η τεχνική προδιαγραφή παίζει σημαντικό ρόλο για τον καθορισμό της πυκνότητας του υλικού που χρησιμοποιείται για τις ΑΥΔ των ΕΜΔΔ. Οι βασικές παράμετροι του σχεδιασμού των ΑΥΔ συνοψίζονται στον πίνακα 2-4.

Παράμετρος	Τιμή
Μέτρο ελαστικότητας	≥ 320 GPa
Μάζα ανά ΑΥΔ	≤ 240 kg
Μέγιστη επιτρεπτή κάθετη παραμόρφωση υπό συνθήκες φόρτισης	≤ 10 μm
Μέγιστη επιτρεπτή οριζόντια παραμόρφωση υπό συνθήκες φόρτισης	≤ 10 μm
Μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος επάνω στη ΑΥΔ (προσέγγιση ομαλής κατανομής επάνω στα Y-V)	~ 400 kg/m
Ιδιοσυχνότητα ΑΥΔ κάτω από συνθήκες φόρτισης (1^η ιδιοσυχνότητα)	> 50 Hz

Πίνακας 2-4: Βασικές παράμετροι για τις ΑΥΔ

Ένα από τα τελευταία στάδια της ακριβούς συναρμολόγησης είναι η άκαμπτη στερέωση των ΛΑ επάνω στα άκρα των ΑΥΔ. Για την πράξη αυτή, δημιουργήθηκαν ειδικά χαρακτηριστικά/υποδοχές εισηγμένα στις πλευρές της ΑΥΔ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-5 και τα μεγέθη τους ορίζονται στον Πίνακα 2-5.



Σχήμα 2-5: Σχηματική αναπαράσταση των υποδοχών πάνω στη ΑΥΔ για τη πάκτωση/στερέωση των ΛΑ

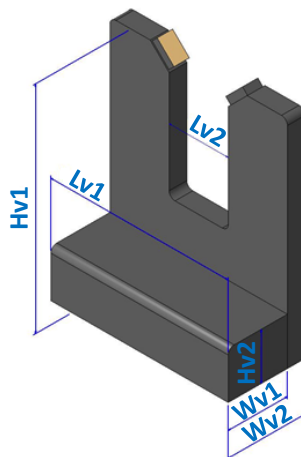
Μέγεθος	Vp (mm)	Hp1 (mm)	Lp (mm)	Hp2 (mm)	Wp (mm)
Τιμή	$\geq 20 \pm 1$	$\geq 100 \pm 1$	$\geq 100 \pm 1$	$\geq 30 \pm 1$	$\geq 25 \pm 1$

Πίνακας 2-5: : Διαστασιολόγηση υποδοχών των ΑΥΔ

Όλες οι προαναφερόμενες τεχνικές απαιτήσεις αναλύθηκαν έτσι ώστε να επιτευχθούν καλά καθορισμένες τεχνικές προδιαγραφές για την ΑΥΔ. Σε εκείνο το σημείο διενεργήθηκε ο κατάλληλος τεχνικός έλεγχος για να διαπιστωθεί ότι όλοι οι περιορισμοί ήταν όντως εφικτοί αν και μακράν απαιτητικοί για την υπολοποίηση τους.

2.2.2 Τα Υποστηρικτικά “V” τμήματα

Τα Υποστηρίγματα σχήματος “V” προσφέρουν τη διασύνδεση μεταξύ των στοιχείων ΠΡ και του υποστηρικτικού συστήματος. Θα πρέπει να ταιριάζουν μέσα στον περιορισμένο χώρο (όγκο) που έχει εκχωρηθεί για αυτά και επίσης να υποστηρίξει σθεναρά τα τμήματα του ΠΡ. Κατά συνέπεια, πρέπει να εδράζονται συμπαγώς και ορθά τοποθετημένα σε θέση στην επάνω πλευρά της ΑΥΔ. Μια τυπική διαμόρφωση για τα υποστηρίγματα σχήματος Y-V παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-6 με τις αντίστοιχες τιμές των διαστάσεών τους να δίνεται στον πίνακα 2-6.

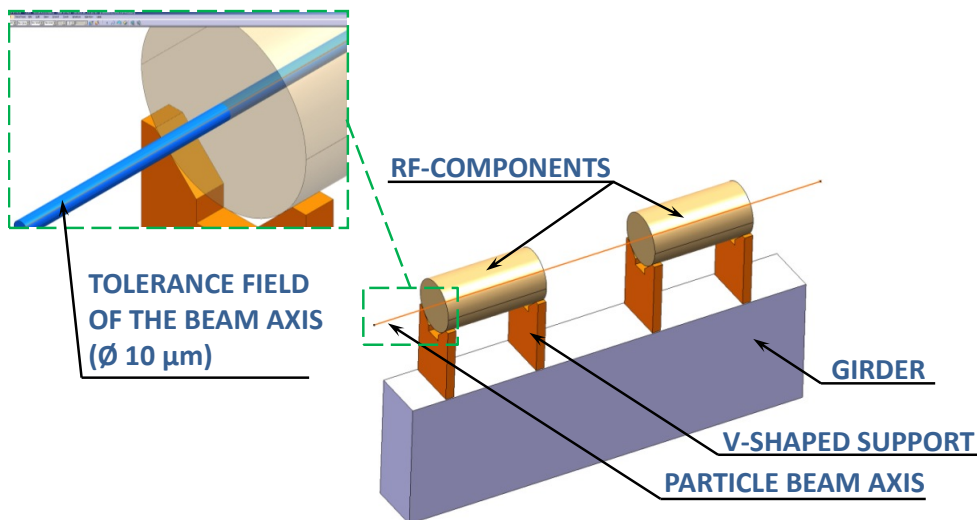


Σχήμα 2-6: Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού Y-V

Μέγεθος	Hv1 (mm)	Hv2 (mm)	Wv1 (mm)	Wv2 (mm)	Lv1 (mm)	Lv2 (mm)
Τιμή	184 ± 1	40 ± 1	50 ± 1	65 ± 1	150 ± 1	50 ± 1

Πίνακας 2-6: Διαστάσεις ενός τυπικού Y-V

Τα υποστηρίγματα σχήματος Y-V ενισχύουν τη σταθεροποίηση της θέσης των διατάξεων RF ώστε η δέσμη των σωματιδίων να περνά από τον άξονα τους. Το πεδίο ανοχής των αξόνων αναπαρίσταται με έναν κύλινδρο διαμέτρου 10 μm. Η θέση του άξονα καθορίζεται πολύ καλά και ελέγχεται μικρομετρικά με διεπιφάνειες αναφοράς των ΑΥΔ και των Λίκνων Αντιστήριξης (ΛΑ).



Σχήμα 2-7: Σχηματική αναπαράσταση των Y-V κάτω από φόρτιση

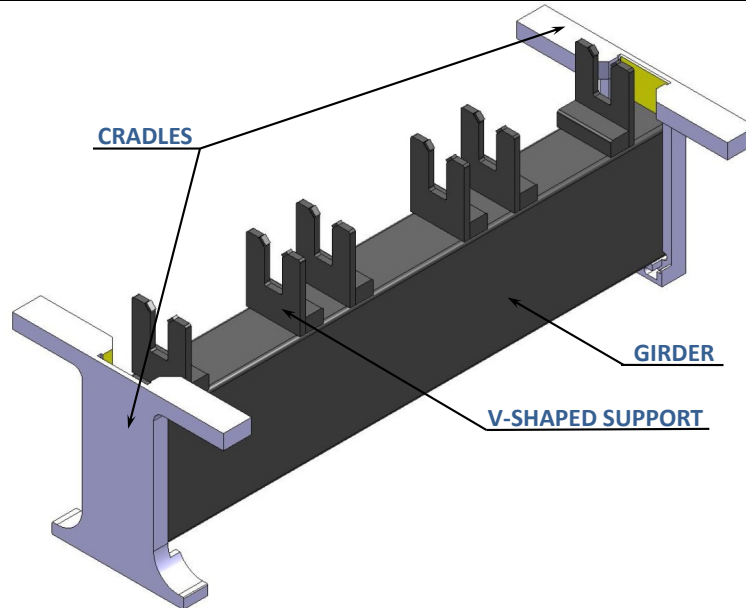
Ο λεπτομερής σχεδιασμός, ο αριθμός και η κατανομή της θέσης των Y-V επάνω στην ΑΥΔ-girder ποικίλλουν ανάλογως με τα στοιχεία ΠΡ που στηρίζουν και τον ΓΕ του οποίου αποτελούν μέρος του. Μπορούν να στηρίζουν την στατική θέση ενός από τα παρακάτω στοιχεία:

- i. ΕΔ για τη ΚΔ,
- ii. ΔΕΜΕ για τη ΟΔ,
- iii. ΑΜΔ για τη ΟΔ.

Ένα θέμα που μελετήθηκε εκτενώς ήταν η μέθοδος για τη μηχανική συναρμολόγηση του Y-V πάνω στις ΑΥΔ. Επίσης, η πάκτωση των στοιχείων του ΠΡ επάνω στα Y-V χρειάστηκε μελέτη και υλοποίηση. Η διεξοδική έρευνα για τις εν λόγω απαιτήσεις παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4, σύμφωνα με το μηχανολογικό σχεδιασμό των διαφόρων σχηματισμών/τύπων για την υποστήριξη του συστήματος.

2.2.3 Τα Λίκνα Αντιστήριξης του υποστηρικτικού συστήματος και οι αισθητήρες ευθυγράμμισης

Κάθε άκρο ΑΥΔ είναι εξοπλισμένο με ένα ΛΑ. Μία τυπική διαμόρφωση των συναρμολογημένων ΛΑ στις ΑΥΔ παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-8. Οι επιφάνειες με τις οποίες τα ΛΑ έρχονται σε επαφή με τις ΑΥΔ έχουν υποστεί επιφανειακή κατεργασία που τους παρέχει μικρομετρική ακρίβεια. Το άκρο της ΑΥΔ είναι πάντα σταθερά συνδεδεμένο στο ΛΑ.

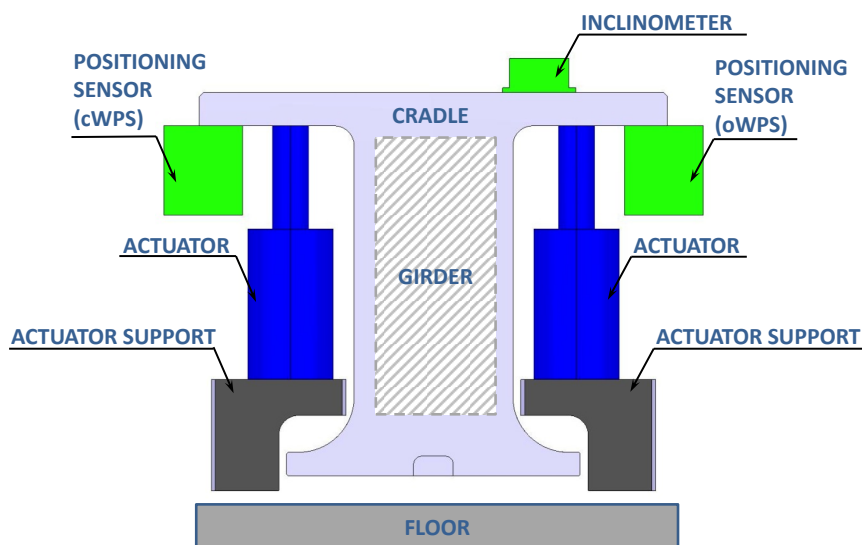


Σχήμα 2-8: Σχηματική αναπαράσταση των ΛΑ συναρμολογημένων σε μία ΑΥΔ (ΚΔ Τύπος-1)

Τέτοιου είδους υπο-μονάδα συναρμολόγησης όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-8, πρέπει να ελέγχεται γεωμετρικά, πριν από την εγκατάστασή της, έτσι ώστε να μετρηθεί η ακριβής θέση του άξονα των Y-V σε συνάρτηση με τις διεπαφές των αισθητήρων ευθυγράμμισης των ΛΑ. Οι μετρήσεις που επικυρώνουν τη μικρομετρική ακρίβεια θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 5.

Τα ΛΑ είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες ευθυγράμμισης και κλίσεων, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2-9. Οι διασυνδέσεις της βάσης επί της οποίας συναρμολογούνται οι αισθητήρες έχουν επίσης επιφανειακή ακρίβεια μικρομέτρων. Κάθε ΛΑ φιλοξενεί τους παρακάτω αισθητήρες:

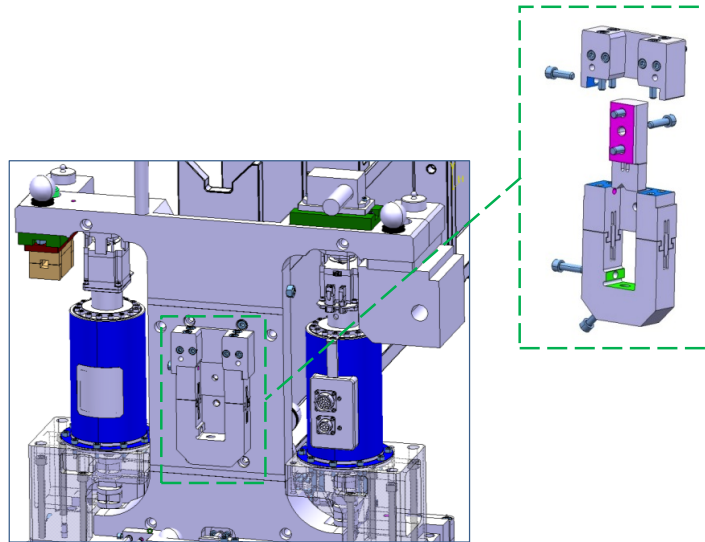
- i. 1 αισθητήρας Χωρικού Συστήματος Ανάγνωσης Θέσης (ΧΣΑΘ),
- ii. 1 αισθητήρας Οπτικού Ενσύρματο Συστήματος Ανάγνωσης Θέσης (ΟΕΣΑΘ),
- iii. 1 αισθητήρας κλίσης (ινκλινόμετρο).



Σχήμα 2-9: Σχηματική αναπαράσταση του συναρμολογημένου ΛΑ περιλαμβανομένων και όλων των αισθητήρων του

2.2.4 Σημεία Μηχανικής Άρθρωσης

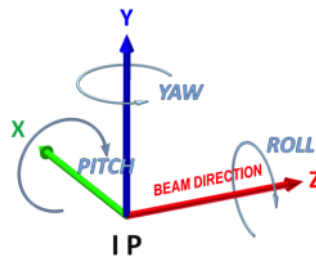
Τα Σημεία Μηχανικής Άρθρωσης (ΣΜΑ) είναι οι μηχανικές διασυνδέσεις μεταξύ των υποστηρικτικών συστημάτων της κάθε ΕΜΔΔ. Τα διασυνδεδεμένα υποστηρικτικά συστήματα των ΕΜΔΔ σε σειρά, που αποτελούν το ΣΦ του ΣΓΕΣΔ. Η πραγματική μηχανική σύνδεση υπάρχει μεταξύ των δύο γειτονικών ΛΑ των παρακείμενων ΑΥΔ δύο γειτονικών ΕΜΔΔ. Η τελική μηχανολογική διαμόρφωση του ΣΜΑ είναι ακόμη υπό έρευνα κάτω από τρέχουσα βελτιστοποίηση, αν και η λειτουργία του είναι σαφώς καθορισμένη. Μία πρότυπη διαμόρφωση του ΣΜΑ παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-10, που απεικονίζει την αρχή λειτουργίας της.



Σχήμα 2-10: Θεμελιώδης σχεδιασμός του Σημείου Μηχανικής Άρθρωσης

Η διασύνδεση παρέχεται από το ΣΜΑ και μπορεί να μεταφέρει από μια ΑΥΔ στη γειτονική της, μέχρι και τρεις (3) ΒΕ, σύμφωνα με το σύστημα συντεταγμένων που απεικονίζεται στο Σχήμα 2-11:

- i. Κατά μήκος του X-άξονα,
- ii. Κατά μήκος του Y-άξονα,
- iii. Γύρω από τον Z-άξονα (Roll).

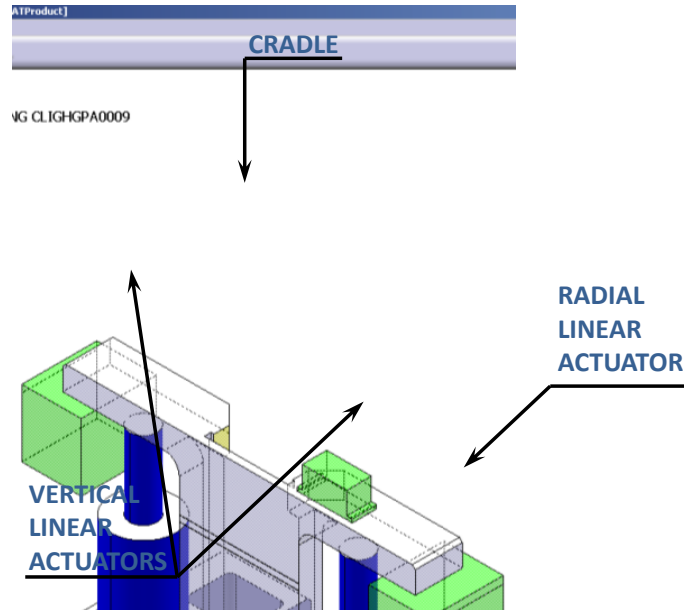


Σχήμα 2-11: Σχετικό σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιούμενο στον ΣΓΕΣΔ

2.2.5 Κινητήρες και ενεργητική ευθυγράμμιση

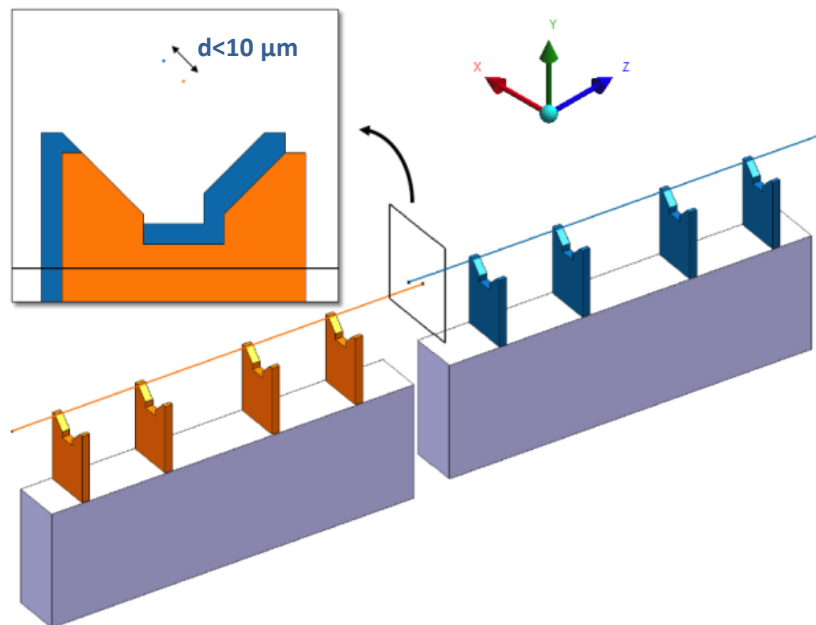
Οι κινητήρες χρησιμοποιούνται για να παρέχουν τις κατακόρυφες και πλευρικές μετατοπίσεις στα παρακείμενα ΛΑ. Τρεις (3) γραμμικοί κινητήρες υψηλής ανάλυσης είναι συναρμολογημένοι σε κάθε ΛΑ.-οδηγό, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-12. Οι κινητήρες έχουν ένα ελάχιστο βήμα μετατόπισης της τάξης των 0.5 μm καθ' όλο το φάσμα κίνησής τους και χρησιμοποιούν υψηλής ανάλυσης βηματικό ενεργοποιητή

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών για την απόκτηση της απαραίτητης ροπής κίνησης. Όλες οι κινήσεις ελέγχονται από αισθητήρες απόλυτης θέσης και ευκρίνειας 50 nm σε ένα εύρος κίνησης 60 cm.



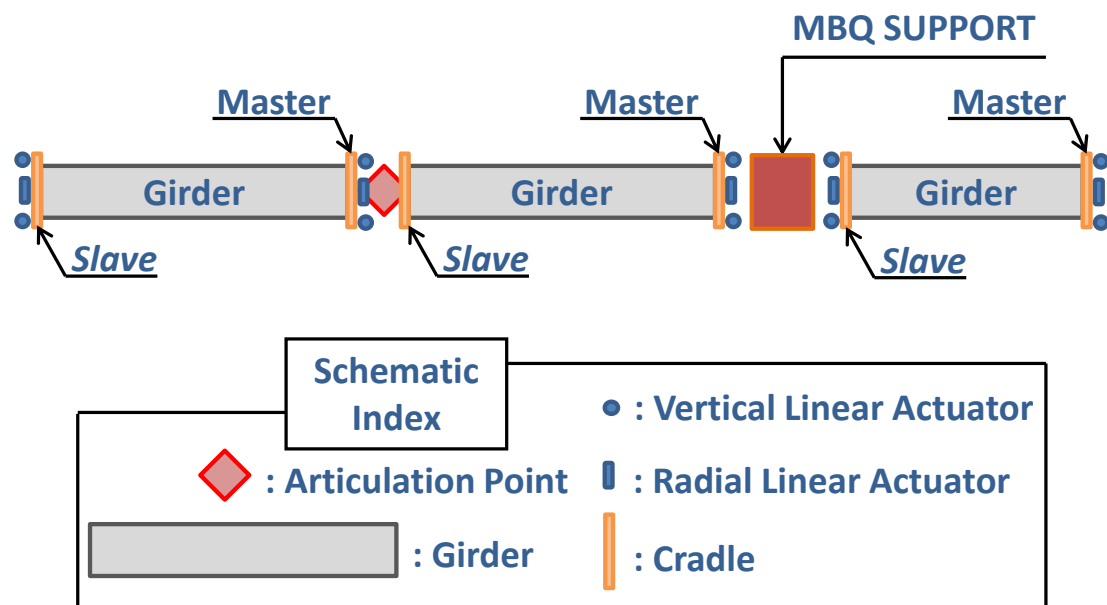
Σχήμα 2-12: Σχηματική αναπαράσταση του ΛΑ-οδηγού με συναρμολογημένους (3) γραμμικούς κινητήρες υψηλής ευκρίνειας

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η πρώτη σύγκρουση δεσμών των φορτισμένων σωματιδίων κατά τη λειτουργία του ΣΓΕΣΔ, οι άξονες των διατάξεων ΠΡ για κάθε ΕΜΔΔ πρέπει να είναι προ-ευθυγραμμισμένοι επί των ΑΥΔ εντός σφάλματος θέσης 10 μm (Σχήμα 2-13) για την απόσταση των 200 m, σε σύγκριση με μια ευθεία γραμμή. Οι προαναφερθέντες τιμές είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σχέση με τις ανοχές που έχουν κατά καιρούς επιτευχθεί σε άλλους γραμμικούς επιταχυντές.



Σχήμα 2-13: Σχηματική αναπαράσταση της ανοχής ευθυγράμμισης ανάμεσα σε δύο παρακείμενες ΑΥΔ

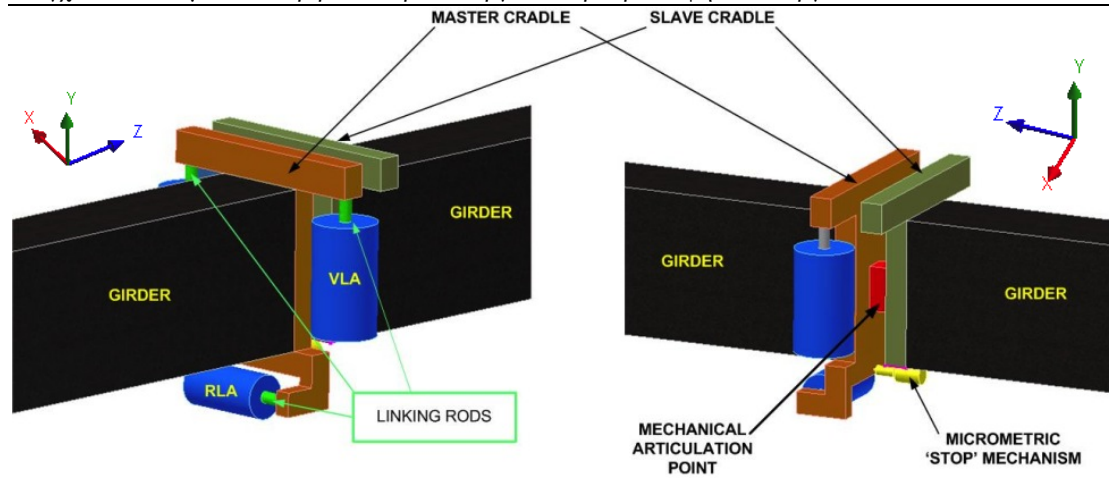
Για να πληρούνται αυτές οι αυστηρές ανοχές και λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των εξαρτημάτων και των συνθηκών του περιβάλλοντος λειτουργίας, απαιτείται η διενέργεια της προ-ευθυγράμμισης. Οι αισθητήρες του συστήματος ευθυγράμμισης παρέχουν την θέση των διατάξεων ΠΡ και οι κινητήρες ρυθμίζουν τις θέσεις των ΑΥΔ, έτσι ώστε να ευθυγραμμιστούν οι διατάξεις ΠΡ στην απόλυτη θεωρητική θέση τους. Τα ΛΑ των εκάστοτε δύο γειτονικών ΑΥΔ έχουν λειτουργία ΛΑ-οδηγού είτε ΛΑ-ακολουθού και συνδέονται μεταξύ τους από το ΣΜΑ.



Σχήμα 2-14: Σχηματική αναπαράσταση των οδηγών και ακολούθων ΛΑ για την ΚΔ

Η αρχή λειτουργίας του ΣΦ το οποίο επιτρέπει την κίνηση της ΑΥΔ με τρεις (3) ΒΕ παρουσιάζεται σε μία θεμελιώδη διαμόρφωση στο Σχήμα 2-14. Η κίνηση αυτή επιβάλλεται στο άκρο της ΑΥΔ οδηγού από τους κινητήρες, μέσω των αντίστοιχων ΛΑ. Η μετατόπιση του ενεργοποιητή εισάγεται στο ΛΑ-οδηγό. Το συνδεδεμένο άκρο της γειτονικής ΑΥΔ ακολούθου, παρακολουθεί παθητικά την κίνηση του ΛΑ-οδηγού. Στους κινητήρες έχουν ενσωματωθεί ράβδοι σύνδεσης, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2-15, και κάτω από το ΛΑ ένας μικρομετρικός μηχανισμός μπλοκάρει τη διαμήκη κίνηση (κατά μήκος του άξονα Z). Ο μηχανισμός και η εφαρμογή της κίνησης και επανατοποθέτησης έχουν σχεδιαστεί και επιθεωρηθεί από το CERN για την άρτια λειτουργικότητά τους. Συμπεριλαμβάνεται και η δυνατότητα εναλλαξιμότητας των κινητήρων, για κινητήρες του ίδιου τύπου (οριζόντιος ή κάθετος), κυρίως για ενδεχόμενους λόγους συντήρησης.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



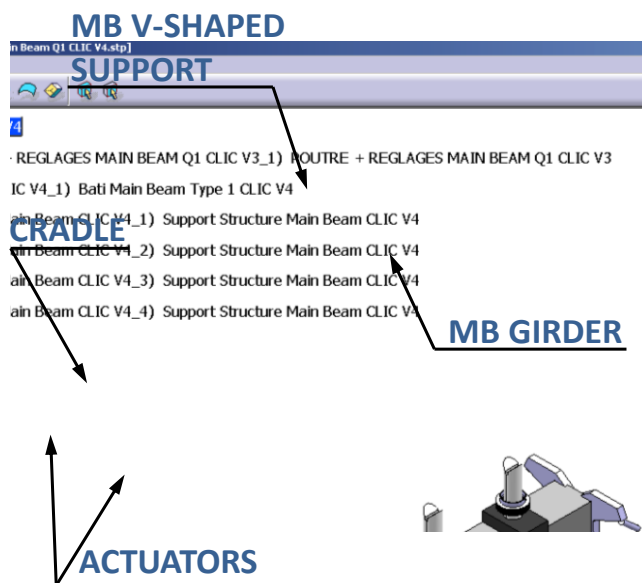
Σχήμα 2-15: Διασυνδέσεις των άκρων των ΑΥΔ με ενεργητική ευθυγράμμιση

Κεφάλαιο 3.

Μηχανολογικός Σχεδιασμός του Υποστηρικτικού Συστήματος του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ)

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το σημείο εκκίνησης για τη μελέτη σχεδιασμού και ανάπτυξη για υποστηρικτικό σύστημα του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ) ήταν οι τεχνικές απαιτήσεις, όπως αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2. Οι απαιτήσεις που προβλέπονται για την κατασκευή, οριοθέτησαν αυστηρά έναν πρώτο τεχνικό ορισμό λειτουργίας για το υποστηρικτικό σύστημα το οποίο ουσιαστικά χρειάζεται να χωρέσει σε μέγεθος μέσα στον προβλεπόμενο χώρο που διατίθεται για αυτό σε μία Επιταχυντική Μονάδα Διπλής-Δέσμης (ΕΜΔΔ). Ένα ημι-ακατέργαστο εξωτερικό περίγραμμα έχει προσδιοριστεί για κάθε συνιστώσα του συστήματος υποστήριξης, το οποίο περίγραμμα βασίστηκε στην χωρική βελτιστοποίηση της σήραγγας του ΣΓΕΣΔ.



Σχήμα 3-1: Τυπική διαμόρφωση του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ Τύπου-0 του ΣΓΕΣΔ για την ΚΑ (Ιούλιος 2008)

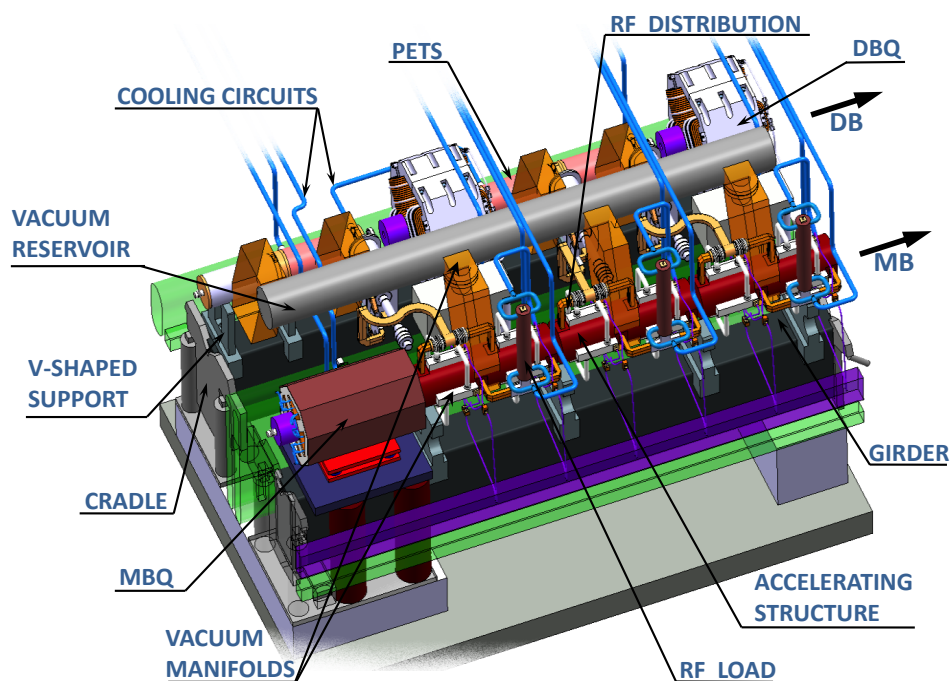
Το ενδεικτικό περίγραμμα του υποστηρικτικού συστήματος (όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3-1) κατέστη χωρικά συνεπές με την πραγματική δομή και τη λειτουργία του. Αλλά μόνο κάποιες από τις λειτουργικές απαιτήσεις του επιτεύχθηκαν εν μέρει από την εικονιζόμενη διαμόρφωση. Για το λόγο αυτό η αντίστοιχη μελέτη έπρεπε να λάβει υπόψη σαν απαραίτητες προϋποθέσεις τις ακόλουθες ανάγκες:

- Τις διαστάσεις των διατάξεων Πεδίου Ραδιοσυχνότητας (ΠΡ) που χρειάζονται στην τοποθέτηση και πλήρη υποστήριξη,
- Τις οριακές συνθήκες των εργασιών υποστήριξης και σταθεροποίησης,
- Τις διασυνδέσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση και υποστήριξη των διατάξεων ΠΡ.
- Τις συνθήκες κάτω υπό τις οποίες το υποστηρικτικό σύστημα θα λειτουργήσει.

3.1.1 Εκτίμηση μαζών για τα δομικά μέρη της ΕΜΔΔ

Το ιδιον-βάρος κάθε διάταξης ΠΡ είναι ένας από τους κύριους και καταλυτικούς παράγοντες αναφορικά με την διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων του υποστηρικτικού συστήματος. Η ΑΥΔ, ως το βασικό στοιχείο του υποστηρικτικού συστήματος, απαιτείται να αντισταθμίζει ενδεχόμενους κραδασμούς και να σταθεροποιεί το σύνολο των διατάξεων ΠΡ της κάθε ΕΜΔΔ, εντός των προδιαγεγραμμένων ανοχών που προβλέπονται από τις τεχνικές προδιαγραφές. Μετά

την συναρμολόγηση ακριβείας της ΕΜΔΔ, οι στατικές παραμορφώσεις των στοιχείων αντιστήριξης έχουν ένα από τους πιο ζωτικής σημασίας ρόλους για την ευθυγράμμιση της δέσμης και παράλληλα την ασφαλή λειτουργία του επιταχυντή. Κατά τη διάρκεια της μελέτης της ΕΜΔΔ, ο σχεδιασμός των εξαρτημάτων ΠΡ ήταν υπό διαμόρφωση ή υπό βελτιστοποίηση (με αλλαγές να συμβαίνουν συχνά κατά τη διαδικασία σχεδιασμού). Ωστόσο, μια αποτελεσματική και ασφαλής εκτίμηση του βάρους τους ήταν απαραίτητη ως το πρώτο βήμα. Για μία τέτοια εκτίμηση, μόνο το μέγιστο δυνατό βάρος κάθε διάταξης ΠΡ έπρεπε να ληφθεί υπόψη. Βάση των προλεχθέντων μέγιστων τιμών βάρους, ένας συντελεστής ασφάλειας της τάξης του 1,2 εφαρμόστηκε σύμφωνα επίσης με τη εκτίμηση της συνολικής ωριμότητας του όλου σχεδιασμού και της λειτουργικής ολοκλήρωσης των κύριων συστατικών της ΕΜΔΔ.



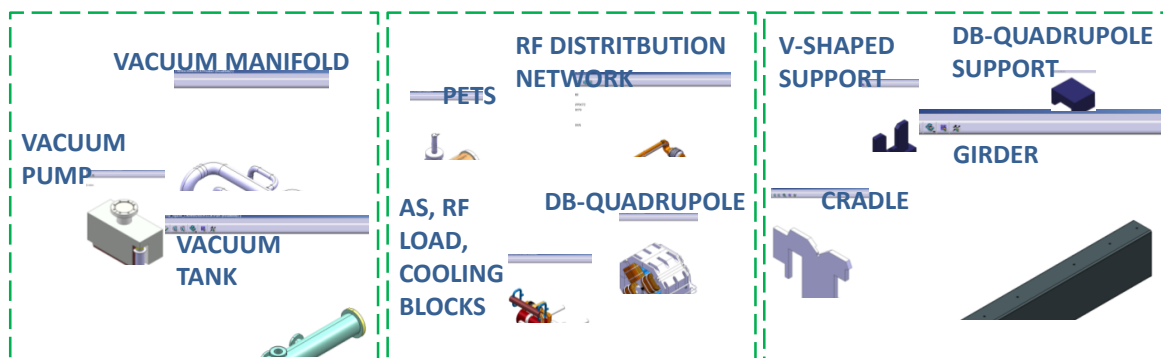
Σχήμα 3-2: ΕΜΔΔ Τύπου-1 για τον ΣΓΕΣΔ (Ιούλιος 2009)

Οι διαστάσεις και ιδίως ο όγκος των διατάξεων ΠΡ, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3-2, καθορίστηκαν σύμφωνα με τη λειτουργία τους. Ο μηχανολογικός σχεδιασμός τους είχε φθάσει στο στάδιο του σχεδιασμού παραγωγής μακετών (μόνο για μερικές εκ των διατάξεων). Για το λόγο αυτό και το εξωτερικό περίβλημα των διατάξεων ΠΡ δεν αποτελούσε πλέον αντικείμενο αλλαγών. Ένα τέτοιο γεγονός διαβεβαίωνε ότι η εκτίμηση μαζών και βαρών των στοιχείων, η οποία έλαβε χώρα, παρείχε στοιχεία για το «δυσκολότερο σενάριο» όσον αφορά το βάρος τους και τα στατικά τους φορτία. Μετά από αρκετούς μήνες, και καθώς παράλληλα ο σχεδιασμός των αληθινών διατάξεων ΠΡ συνεχίστηκε προοδευτικά, κατέστη προφανές ότι είχε βελτιστοποιηθεί μόνο η εσωτερική γεωμετρία των διαφόρων τμημάτων. Συνεπώς, είναι ασφαλές να αναφερθεί ότι η εκτίμηση των μαζών και βαρών εξακολουθεί να είναι ρεαλιστική μέχρι σήμερα, περίπου τέσσερα (4) χρόνια μετά τον αρχικό σχεδιασμό.

Μετά τον προσδιορισμό της κλίμακας όλων των εξαρτημάτων ΠΡ, το επόμενο βήμα της μελέτης εκτίμησης μαζών ήταν η περαιτέρω κατάτμηση της μελέτης σε υποπεριπτώσεις. Όπως ήδη παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1, ο ΣΓΕΣΔ διαθέτει πέντε (5) διαφορετικούς Τύπους (από 0 έως 4) από ΕΜΔΔ, σύμφωνα με τις εξειδικευμένες απαιτήσεις της μηχανής σε επιτάχυνση αλλά και εστίαση (οπτική) των δεσμών των

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

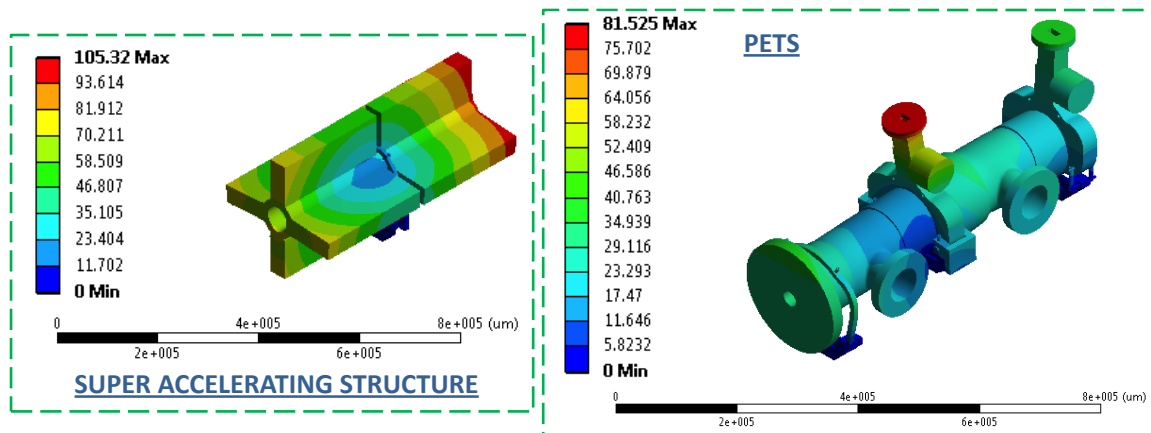
φορτισμένων σωματιδίων. Για το λόγο αυτό, η μελέτη εκτίμησης των μαζών και των βαρών πραγματοποιήθηκε “κατά περίπτωση” αναλόγως του εκάστοτε Τύπου ΕΜΔΔ και ακολούθησε η ανάλογη κατηγοριοποίησή τους. Οι υποπεριπτώσεις ερευνήθηκαν σύμφωνα με τους Τύπους ΕΜΜΔ και λήφθηκαν παράλληλα υπόψη όχι μόνο οι κύριες διατάξεις ΠΡ αλλά και τα σχετικά μικρότερα και επιμέρους βοηθητικά υποσυστήματα (σε μάζα και σε λειτουργία), όπως οι κυματοδηγοί, οι σωληνώσεις και τα εξαρτήματα συστημάτων κενού, τα κυκλώματα ψύξης, οι μηχανικές αρθρώσεις και τα εξαρτήματα συναρμολόγησης. Δεδομένου ότι ο σχεδιασμός των δύο ανεξάρτητων και παράλληλων επιταχυντικών γραμμών της ΕΜΔΔ (ΚΔ και ΟΔ) διαφέρει ριζικά, η κατηγοριοποίηση της μελέτης διαρθρώθηκε περαιτέρω σύμφωνα με την είδος της κάθε δέσμης. Οι πίνακες AIV-0-4 έως 0-10 του παραρτήματος IV συνοψίζουν αναλυτικά όλα τα δεδομένα που υπολογίστηκαν από την εκτίμηση μάζας και συμπεριλαμβάνουν επίσης επιπρόσθετες λεπτομερείς πληροφορίες και στοιχεία για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των στοιχείων ΠΡ.



Σχήμα 3-3: Σχηματική αναπαράσταση επιμέρους τμημάτων της ΕΜΔΔ

3.1.2 Οριακές συνθήκες για το υποστηρικτικό σύστημα

Αρκετές από τις επιμέρους λειτουργίες της μηχανής του ΣΓΕΣΔ, που επιτελούνται προκειμένου να επιτευχθεί η επιτάχυνση των δεσμών, μπορεί να διαταράξουν τη σταθερότητα των διατάξεων της ΕΜΔΔ. Μία από τις βασικές παραμέτρους επίδρασης έρχεται είτε από τη θερμική διαστολή ($\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) των συνιστωσών ΠΡ ή από τη δημιουργία και συντήρηση του υπερυψηλού κενού (10^{-9} mbar), εντός των Επιταχυντικών Διατάξεων (ΕΔ), των Διατάξεων Εξαγωγής και Μεταφοράς Ενέργειας (ΔΕΜΕ), καθώς και μέσα στον Αγωγό Μετάδοσης Δέσμης (ΑΜΔ: είτε είναι ενσωματωμένος μέσα στους μαγνήτες είτε όχι).

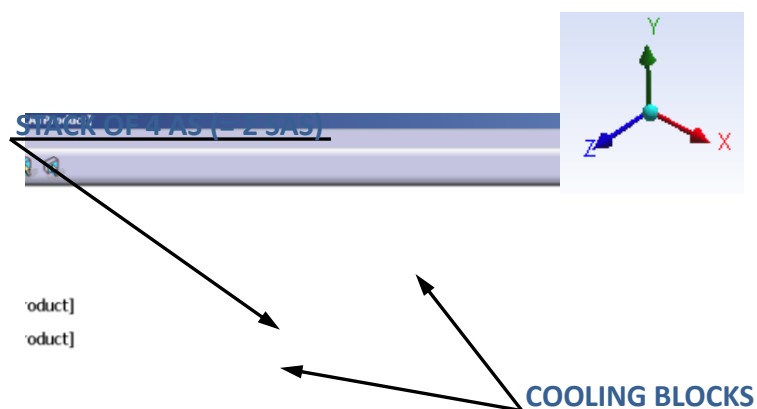


Σχήμα 3-4: Αποτελέσματα προσομείωσης των παραμορφώσεων (σε μm) που υπόκεινται οι διατάξεις ΠΡ κάτω από το συνδυασμό θερμικών φορτίων, δυνάμεων κενού και βαρύτητας

Για το λόγο αυτό, ήταν απαραίτητο να διερευνηθεί η δυναμική συμπεριφορά του επιταχυντή, έτσι ώστε να καταστεί δυνατό να ελεγχθεί η θέση και να διατηρηθεί η σταθερότητα της δέσμης μέσα σε επιτρεπτά όρια ώστε ο ΣΓΕΣΔ να λειτουργεί επιτυχώς. Οι κατάλληλες συνθήκες αντιστήριξης μπορούσαν να επιτευχθούν με τον καθορισμό και παράλληλο έλεγχο των οριακών συνθηκών μεταξύ του υποστηρικτικού συστήματος του ΣΓΕΣΔ και των διατάξεων ΠΡ. Επιπλέον, έπρεπε να ανακουφιστούν ή και να εξαλειφθούν σε μερικές περιπτώσεις οι πιθανές συγκεντρώσεις τάσεων ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία μικρο-ρωγμών ή ακόμα και η πρόκληση φαινομένων στατικής τριβής (ενδιάμεσα) μεταξύ των συνιστωσών των ΕΜΔΔ. Κατά συνέπεια, οι οριακές συνθήκες μελετήθηκαν κατά περίπτωση και αναπτύχθηκε ο αντίστοιχος μηχανολογικός σχεδιασμός. Ένας εύρυθμος συνδυασμός οριακών συνθηκών πακτώσεων και κυλίσεων επιτεύχθηκε ώστε να πληρούνται οι εκάστοτε τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας.

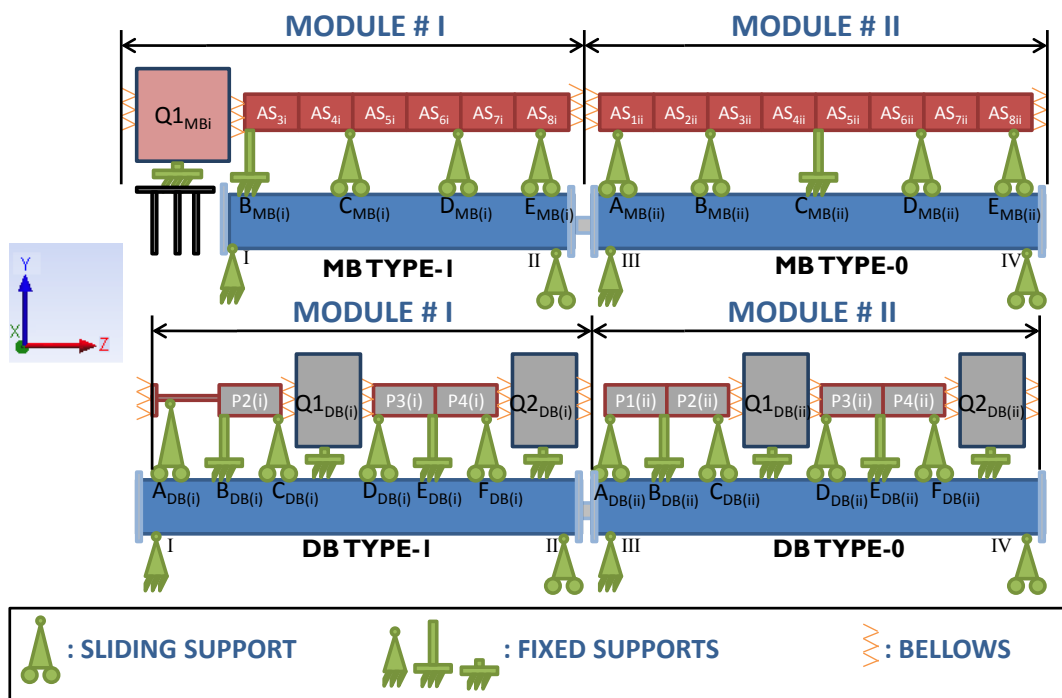
Αρχικά, μελετήθηκαν οι οριακές συνθήκες των ΕΔ, τα στοιχεία επιφορτισμένα με την πιο βασική λειτουργία του επιταχυντή και τις πιο αυστηρές προδιαγραφές. Η υπάρχουσα αρχή λειτουργίας τους απαιτούσε μια πάκτωση στους άξονες X και Y, αλλά συγχρόνως αδέσμευτη μετακίνηση κατά μήκος του άξονα Z προκειμένου να είναι ελεύθερη η θερμική τους διαστολή. Επιπροσθέτως, η περιστροφή περίξ του άξονα Z (roll) αφέθηκε επίσης αδέσμευτη ώστε να εξαλειφθούν οι παραμένουσες τάσεις και να αποφευχθεί μία πιθανή ρηγμάτωση ή άλλη βλάβη στην εξωτερική επιφάνεια των ΕΔ.

Μία πλήρης μονάδα ΕΔ αποτελείται από δύο (2) συστοιχίες που απαρτίζονται από (4) τέσσερα Υπερσυστήματα Επιταχυντικών Διατάξεων (ΥΕΔ). Το κάθε ΥΕΔ συγκροτείται από οκτώ (8) μονάδες ΕΔ. Η ΕΜΔΔ Τύπου-0 έχει μήκος περίπου 2m και είναι μία μερικώς συμπαγής δομή χαλκού της οποίας η συστολή και διαστολή θεωρήθηκε ένα πολύ ειδικό θέμα προς μελέτη και αποσαφήνιση για τη λειτουργία του ΣΓΕΣΔ. Τα αποτελέσματα προσομοιώσεων με βάση την ανάλυση των Πεπερασμένων Στοιχείων (ΠΣ) αποτύπωσαν ένα ακριβές μέσο μελέτης, επιβεβαιώνοντας ότι η ευθυγράμμιση της δέσμης μπορούσε να επιτευχθεί και να διατηρηθεί την ίδια στιγμή που οι συστοιχίες και οι γενικότερες δομές των ΕΔ είχαν απεμπλακεί στον άξονα Z προκειμένου να διαστέλλονται ελεύθερα κατά μήκος του.



Σχήμα 3-5: Το σύστημα συντεταγμένων του ΣΓΕΣΔ

Οι ίδιες οριακές συνθήκες προδιαγράφηκαν και εφαρμόστηκαν για τα μικρότερα σε μήκος τμήματα ΠΡ (όπως π.χ. για τις συστοιχίες ΕΔ για την ΚΔ των υπολοίπων Τύπων ΕΜΔΔ, όπως και για τα ΔΕΜΕ της ΟΔ). Με τον τρόπο αυτό, στοιχειοθετήθηκε ο θεμελιώδης σχεδιασμός αντιστήριξης των διατάξεων ΠΡ. Στο σημείο αυτό της μελέτης κατέστη αναγκαίο να εισαχθεί μία πάκτωση στο γεωμετρικό μέσον της εκάστοτε διάταξης και διαφορετικά σημεία ολίσθησης στα άκρα τους. Συμπληρωματικά, τμήματα πτυσσόμενου μήκους έχουν εισαχθεί στις περιοχές διασύνδεσης των διαδοχικών ΕΜΔΔ σε σειρά, έτσι ώστε να διευκολύνεται η οριζόντια μετατόπιση των άκρων των διατάξεων ΠΡ.



Σχήμα 3-6: Οριακές συνθήκες ανάμεσα σε δύο (2) διαδοχικές ΕΜΔΔ σε σειρά Τύπων 1-0

Επεξηγώντας το Σχήμα 3-6, η στήριξη ολίσθησης αποτελείται από μια μηχανική στερέωση επί της ΑΥΔ η οποία αφήνει ελεύθερες τις μετατοπίσεις στον άξονα Z των διατάξεων ΠΡ. Επιπλέον, παρατίθενται κατωτέρω τα διαφορετικά είδη των οριακών συνθηκών στήριξης μαζί με τους αντίστοιχους Βαθμούς Ελευθερίας (BE):

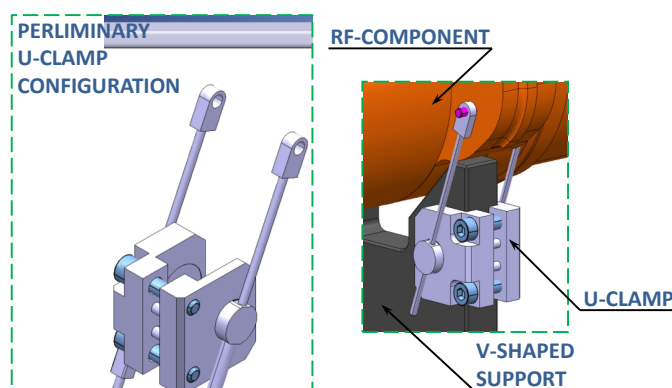
- i. Πάκτωση (0/6 BE):
 - a. Καμία επιτρεπόμενη μετατόπιση (0 BE) κατά μήκος των αξόνων X, Y και Z,
 - b. Καμία επιτρεπόμενη περιστροφή (0 BE) περίξ των αξόνων X, Y και Z.
- ii. Ολίσθηση:
 - a. Επιτρεπόμενη μετατόπιση (1 BE) κατά μήκος του άξονα Z,
 - b. Καμία επιτρεπόμενη μετατόπιση (0 BE) κατά μήκος των αξόνων X και Y,
 - c. Καμία επιτρεπόμενη περιστροφή (0 BE) περίξ των αξόνων X και Y.

Σε αυτό το σημείο, οι οριακές συνθήκες λειτουργίας θεωρήθηκαν ότι ήταν πλήρως καθορισμένες ώστε εν συνεχεία να κατασκευαστούν με τις ανάλογες προδιαγραφές οι αντίστοιχες διατάξεις υποστήριξης και σταθεροποίησης. Σε αυτή την φάση, τα σημεία εκκίνησης της πρότυπων κατασκευών ήταν η τροποποίηση, διαμόρφωση ή

συντήρηση των υπάρχοντων διατάξεων, προκειμένου να διασυνδέθούν με το καινοτομικό εξοπλισμό του υποστηρικτικού συστήματος.

Όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι Y-V είναι τα τμήματα του υποστηρικτικού συστήματος που χρησιμοποιούνται για την ενδιάμεση στήριξη και ακριβή τοποθέτηση των διατάξεων ΠΡ. Στο σχεδιασμό των Y-V δεν έχει συμπεριληφθεί κανένας τρόπος να εναλλάσσονται ή να είναι τροποποιήσιμες οι επιφάνειες διεπαφής τους με τις διατάξεις ΠΡ, οι οποίες έχουν μικρομετρική ακρίβεια (με ανάλογη μηχανική επεξεργασία). Για σκοπούς σταθεροποίησης και ευθυγράμμισης της δέσμης, χρειάστηκε να αναπτυχθούν ορισμένα βοηθητικά στελέχη. Τέτοια στελέχη-κομμάτια περικλύουν, με ειδικό τρόπο κατά περίπτωση, τις διατάξεις ΠΡ και σταθεροποιούν τους ΒΕ, προκειμένου να επιτρέπουν αποκλειστικά τις επιθυμητές μεταθέσεις και κινήσεις σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές.

Καθώς ο καινοτόμος σχεδιασμός των διατάξεων ΠΡ ήταν πλέον περίπλοκος, σε σχέση με την εσωτερική γεωμετρία όσο και με το εξωτερικό περίγραμμα, και σε συνδυασμό με την έλλειψη ελεύθερου χώρου γύρω τους, οδήγησε στην ιδέα της σύσφιξης και συγκράτησής τους πάνω στα Y-V με ειδικά στελέχη. Πολλά ακραία σημεία στο εξωτερικό κάποιων εκ των διατάξεων ΠΡ προσφέρουν κατάλληλες γεωμετρίες για την σύσφιξή τους ενώ σε άλλες περιπτώσεις σφήνες ή μορφοποιημένες κατάλληλα ατέρμονες κοχλίες (ντίτζες) μπορούσαν να εισαχθούν για να προσφέρουν συνθήκες συγκράτησης “push-pull”. Απαιτήθηκε για ακόμα μία φορά ένας καινοτόμος σχεδιασμός και η μελέτη που πραγματοποιήθηκε ήταν κατά-περίπτωση. Η μελέτη έγινε με βάση τις ήδη κατασκευασμένες διατάξεις ΠΡ και τις εφικτές τροποποιήσεις που επιτρεπόταν (με βάση την αρχική μελέτη λειτουργίας) να επιτευχθούν στο εξωτερικό των διατάξεων ΠΡ, έτσι ώστε οι τελευταίες να γίνουν συμβατές με την λειτουργία των συστημάτων-στελεχών σταθεροποίησης. Η εσωτερική διαμόρφωση των διατάξεων ΠΡ ήταν εξαιρετικής σημασίας να παραμείνουν αναλοιώτες, κυρίως από παραμορφώσεις και καταπονήσεις, έτσι ώστε να μη μεταβληθεί καθόλου η λειτουργία και απόδοσή τους στην επιτάχυνση των σωματιδίων. Καταλυτικός ήταν επίσης ο ρόλος που διαδραματίζουν οι πρόσθετες εξωτερικές διεπαφές που προστέθηκαν στις διατάξεις ΠΡ για να επιτελείται η σταθεροποίησή τους. Ήταν απαραίτητο να είναι μη-παραμορφώσιμες προκειμένου να ανθίστανται στις δυνάμεις που εφαρμόζονται σε αυτές από τη σύσφιξη και σταθεροποίηση.



Σχήμα 3-7: Προκαταρκτικός σχεδιασμός των Σφιγκτήρων “Y” (Σ-Y)

Τελικά, επιτεύχθηκε ένας εισαγωγικός θεμελιώδης σχεδιασμός των στελεχών σύσφιξης και στη συνέχεια η προσομοίωση και η ανάλυση με ΠΣ, με τη βοήθεια του ειδικού λογισμικού, επιβεβαίωσε την επιτυχή λειτουργία τους. Ο αρχικός στόχος

περατώθηκε και τα νέα στοιχεία του υποστηρικτικού συστήματος ονομάστηκαν απλά Σφιγκτήρες “Υ” (Σ-Υ) ανάλογα με το σχήμα και τη λειτουργία τους. Παρά ταύτα, εκτεταμένη σχεδιαστική βελτιστοποίησης απαιτήθηκε προκειμένου η ορθή λειτουργία αυτών των στελεχών να επιτευχθεί με τη βέλτιστη γεωμετρία και το μικρότερο δυνατό όγκο. Η εκτενής διαδικασία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης των Σ-Υ αναπτύσσεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 που πραγματεύεται διεξοδικά τις διαδικασίες κατασκευής, σύμφωνα με τις διαφορετικές διατάξεις των Υ-V του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ.

3.1.3 Οι συνθήκες λειτουργίας του υποστηρικτικού συστήματος

Θεωρήθηκαν απολύτως απαραίτητα τα πειράματα που αποδεικνύουν την επιτυχή λειτουργία των συναρμολογημένων ΕΜΔΔ και του υποστηρικτικού συστήματός τους. Ο κυρίαρχος και συγχρόνως επιτακτικός λόγος ήταν ότι για πρώτη φορά λειτουργικά εξαρτήματα για τον ΣΓΕΣΔ κατασκευάζονται σε πραγματική κλίμακα. Οι πειραματικές δοκιμές αυτές θα μπορούσαν να αποκαλύψουν πιθανές μελλοντικές βλάβες και σημεία στα οποία ενδεχομένως μειονεκτεί ο προτεινόμενος (υπάρχων) σχεδιασμός. Επίσης, η αλληλουχία συναρμολόγησης με λεπτομερείς διαδικασίες θα μπορούσε να προσδιοριστεί με ακριβή βήματα εφόσον τα επιμέρους τμήματα θα έχουν πλέον κατασκευαστεί, ελεγχθεί και πιστοποιηθεί ως έτοιμα για εγκατάσταση.

Το προτεινόμενο πρόγραμμα δοκιμών επεκτάθηκε ώστε να περιλαμβάνει αρκετούς επιμέρους στόχους για να διαχωριστεί τμηματικά η πειραματική διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό, προκρίνονται ή απορρίπτονται τα κατασκευασμένα πρότυπα τμήματα πριν την τελική συναρμολόγηση. Με αυτή τη στρατηγική ελέγχου και πρόκρισης των προτύπων τμημάτων βελτιστοποιείται για πρώτη φορά ο χρόνος και η διαδικασία για τη συναρμολόγηση. Σε πρώτη φάση, πραγματοποιούνται τα δομικά (μηχανολογικά) πειράματα, έτσι ώστε να ελεγχθεί η μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων και μερών μίας πλήρους ΕΜΔΔ υπό συνθήκες λειτουργίας στο εργαστηριακό περιβάλλον⁵. Σε δεύτερη φάση, οι μονάδες αυτές εισάγονται σε ένα πλήρως λειτουργικό περιβάλλον μίας πειραματικής επιταχυντικής μηχανής μέσα σε μία από τις ειδικά διαμορφωμένες πειραματικές αίθουσες του πειραματικού κέντρου του ΣΓΕΣΔ (ΠΚ-ΣΓΕΣΔ). Εκεί, ενσωματώνονται καταλλήλως με πλήρεις συνθήκες λειτουργίας στην υπάρχουσα πειραματική επιταχυντική μηχανή, όπου πρωταρχικός στόχος είναι να λειτουργήσουν επιτυχώς στον επιταχυντικό τους ρόλο και να αποφέρουν ως αποτελέσματα τις αναμενόμενες συγκρούσεις σωματιδίων ώστε να επικυρωθεί η λειτουργία τους πλέον στην πράξη.

Πειραματικές Διατάξεις	ΠΡ διατάξεις	Υποστηρικτικό Σύστημα
ΕΡΓ	Με λειτουργίες προσομοίωσης	Με λειτουργίες ρεαλιστικές
ΠΚ-ΣΓΕΣΔ	Με λειτουργίες ρεαλιστικές	Με λειτουργίες ρεαλιστικές

Πίνακας 3-1: Πίνακας περιγραφής των υποσυστημάτων των πειραματικών διατάξεων και των λειτουργιών αυτών

Λεπτομερείς πληροφορίες συνοψίζονται στους πίνακες 3-1 και 3-2, αναφορικά με τις υφιστάμενες διατάξεις και λεπτομέρειες για τις δοκιμές και τους πειραματικούς

⁵ “ΕΡΓ” καθορίζονται οι ΕΜΔΔ που δοκιμάζονται στα εν λόγω πειράματα ώστε να ειδικεύονται με βάση τις “εργαστηριακές” οριακές συνθήκες μελέτης.

σκοπούς τους. Οι διατάξεις που αναφέρονται να έχουν μόνο λειτουργίες προσομοίωσης σημαίνει ότι είναι κατασκευασμένες από το ίδιο ακριβώς υλικό, έχουν τον ίδιο όγκο, βάρος, γεωμετρία (εσωτερική και εξωτερική) και κατασκευαστικές ανοχές με τις διατάξεις των ρεαλιστικών λειτουργιών. Σημειώνεται όμως ότι οι διατάξεις με λειτουργίες προσομοίωσης δεν τροφοδοτούνται και δεν έχουν λειτουργία επιτάχυνσης. Αντιθέτως οι διατάξεις με ρεαλιστικές λειτουργίες είναι επακριβώς κατασκευασμένα τελικά τμήματα της επιταχυντικής μηχανής. Οι λεπτομερείς διαφορές των δύο (2) διαφορετικών διατάξεων μπορεί να εξεταστεί από τον πίνακα 3-2. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πειραματικό πρόγραμμα είναι ακόμη σε εξέλιξη, οι κύριες δοκιμές έχουν ήδη διεξαχθεί και τα δεδομένα τους είναι στο τελικό στάδιο της ανάλυσης όπως επίσης, και το σύνολο των δευτερευόντων πειραμάτων είναι στο τελικό στάδιο της ολοκλήρωσης τους.

Πειραματικές και λειτουργικές συνθήκες	ΕΡΓ	ΠΚ-ΣΓΕΣΔ
Επιτάχυνση δέσμης στοιχειωδών σωματιδίων	Όχι	Ναι
ΠΡ για επιτάχυνση	Όχι	Ναι
Συναρμολόγηση ακριβείας	Ναι	Ναι
Πιστοποιημένη ευθυγράμμιση της δέσμης	Ναι	Ναι
Θερμικές δοκιμές	Ναι	Όχι
Δοκιμές πεδίου κενού	Ναι	Ναι
Δοκιμές διαδικασίας μεταφοράς	Ναι	Ναι
Ποιοτικός έλεγχος	Ναι	Ναι
Έλεγχος επιφανειακής ακρίβειας και κατασκευαστικών ανοχών	Ναι	Ναι

Πίνακας 3-2: Δοκιμές και λειτουργίες για τις επιμέρους διατάξεις της ΕΜΔΔ

3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.2.1 Εισαγωγή

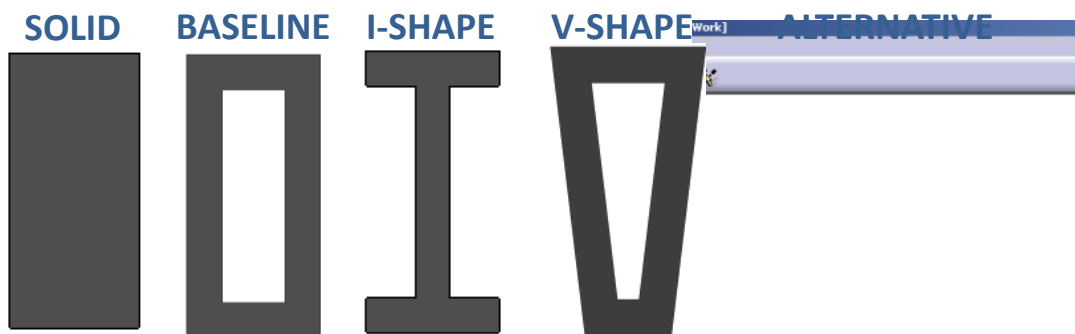
Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα υποστήριξης και των δύο τύπων των διατάξεων ΕΡΓ και ΠΚ-ΣΓΕΣΔ έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί με τις ίδιες προδιαγραφές (ώστε να αντιστοιχούν σε ρεαλιστικές απαιτήσεις), τα υλικά κατασκευής, ο ποιοτικός έλεγχος, ο έλεγχος αξιοπιστίας τους και οι μορφοποιήσεις τους μελετήθηκαν και επικυρώθηκαν με πανομοιότυπα αλλά ελαφρώς διαφοροποιημένα κριτήρια. Για το ΕΡΓ, ο σχεδιασμός του υποστηρικτικού συστήματος έπρεπε να ακολουθήσει τις τεχνικές προδιαγραφές, όπως αυτές παρουσιάστηκαν διεξοδικά στο κεφάλαιο 2. Με βάση την πρώτη παραγωγή προτύπου αυτής της φάσης, η ανάλογη βελτιστοποίηση θα λάμβανε χώρα κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την φάση του ποιοτικού ελέγχου του. Επιπροσθέτως των ήδη ισχύοντων αυστηρών τεχνικών προδιαγραφών, οι

απαιτήσεις για την υποστήριξη και σταθεροποίηση του συστήματος ΠΚ-ΣΓΕΣΔ έπρεπε να επιτευχθούν με κατασκευές βασισμένες εξ' ολοκλήρου σε υλικά που δύναται να ανθίστανται των καταπονήσεων που προκαλούνται κάτω από συνθήκες υψηλού ραδιενεργού υποβάθρου.

Μέχρι στιγμής τα δεδομένα και οι πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν ως προαπαιτούμενα του σχεδιασμού (τεχνικές προδιαγραφές, εκτίμηση βάρους, συννοριακές συνθήκες, η δυνατότητα και μεθοδολογία μεταφοράς της ΕΜΔΔ, κλπ.), σε συνδυασμό με τον διαθέσιμο όγκο αλλά και τις γενικές εξωτερικές διαστάσεις που διατίθενται για τα επιμέρους τμήματα του συστήματος υποστήριξης για την ΕΜΔΔ του ΕΡΓ παρείχαν τις βασικές αρχές για την περαίωση της μελέτης. Μια λεπτομερής έρευνα για τις συμβατές διαμορφώσεις του αντιστηρικτικού συστήματος ήταν το βασικό σημείο αρχής για την εκκίνηση της υλοποίησης του σχεδιασμού και κατασκευής του προτύπου επιταχυντικού συστήματος. Το επόμενο βήμα ήταν η διερεύνηση των δομικών υλικών που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Αυτό το μελετητικό βήμα αφορούσε αρχικά απλές αναλύσεις αλλά και με τη βοήθεια της ανάλυσης των πεπερασμένων στοιχείων και τις επιμέρους προσομοιώσεις των υπό μελέτη τμηματικών διατάξεων με υλικά που δυνητικά ήταν χρησιμοποιήσιμα ως δομικά. Ως μοντέλο για την ανάλυση και σύγκριση των δύο ακρογωνιαίων βημάτων της ανάλυσης, *σχεδιασμός διάταξης* και *δομικό υλικό*, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα υποστήριξης της ΚΔ για την ΕΜΔΔ Τύπου-0. Αυτό το μοντέλο θεωρείται η πιο δύσκολη και συγχρόνως απαιτητική περίπτωση για μελέτη προκειμένου να αναγνωριστούν και να απαντηθούν οι πιο δύσκολες τεχνικές προδιαγραφές του υπό επεξεργασία συστήματος αντιστήριξης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εν λόγω διάταξη υποστήριξης περιλαμβάνει την ΑΥΔ η οποία σταθεροποιεί, στηρίζει και ευθυγραμμίζει την πιο πυκνο-φορτωμένη και συμπυκνωμένη διάταξη ΠΡ με το μεγαλύτερο βάρος (όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στους πίνακες του Παραρτήματος IV).

3.2.2 Η μελέτη των υποψηφίων διατάξεων για την ΑΥΔ

Το βασικό συστατικό του αντιστηρικτικού συστήματος ήταν η ΑΥΔ η οποία ενεργεί ως ο κύριος φορέας στατικής αντιστήριξης για όλες τις ΕΜΔΔ. Μια στοχευμένη έρευνα για την εισαγωγική μορφοποίηση της δοκού ήταν το πρώτο βήμα. Ο χώρος και οι διαστάσεις που προορίζονται για την ΑΥΔ βασίστηκε σε αρχική μελέτη σε συνδυασμό με την χωροταξική εκτίμηση της σήραγγας του ΣΓΕΣΔ και τελειοποιήθηκε ως αποτέλεσμα της προκαταρκτικής βελτιστοποίησης. Για το λόγο αυτό, η δυνατή διατομή της ΑΥΔ δεν θα ήταν επιτρεπτό να ξεπεράσει σε εξωτερικό περίβλημα τις διαστάσεις τα 320 mm σε ύψος, 150 mm σε πλάτος και 1946 mm σε μήκος. Τέτοια διαμόρφωση μπορεί να περιγραφεί ως ένας σωλήνας ορθογωνικής διατομής με τοιχώματα ομογενούς πάχους καθ' όλο το μήκος του.

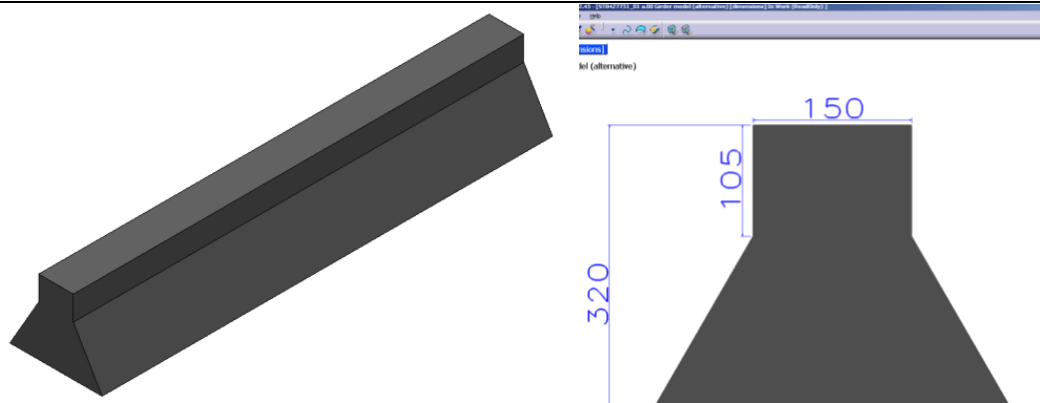


Σχήμα 3-8: Σχηματική αναπαράσταση των διατομών των υποψηφίων διατάξεων που μελετήθηκαν για την ΑΥΔ

Καθαρά για λόγους σύγκρισης, κάθε μία από τις υποψηφίες διατάξεις θεωρήθηκε μία “συμπαγής” διατομή πάντα με ίδιες ακριβώς εξωτερικές διαστάσεις. Εν συνεχεία, μελετήθηκε μία διατομή “γιώτα” (I) επίσης συμβατή με το εξωτερικό περίβλημα της δοκού. Παρόλο που αρχικά ελήφθη υπόψη στη μελέτη ένα σχήμα διατομής δοκού “ήτα” (H), η εξωτερική διαστασιολόγηση της δοκού δεν επέτρεψε την ορθή στατική λειτουργία της. Για το λόγο αυτό εγκαταλείφθηκε από τα πρώτα στάδια της έρευνας.

Παράλληλα μελετήθηκε η βελτιστοποίηση της διατομής με εναλλακτικό σχεδιασμό η οποία διεξάγεται έχοντας περιθώριο για ελαφριά σχηματική ευελιξία σχεδιασμού. Σε αυτή την εναλλακτική περίπτωση, ο αυστηρά καθορισμένος όγκος ήταν το ελάχιστο σημασίας αντικείμενο για την ΑΥΔ αποδεχόμενοι μερικές τροποποιήσεις που θα επέτρεπαν τον εντοπισμό πιθανών σημείων βελτιστοποίησης. Η υπό μελέτη διατομή βασίστηκε σε ένα υβρίδιο των ήδη μελετημένων και αποδεδειγμένων λειτουργικών διατομών της ΑΥΔ. Η βασική διάταξη κόπηκε κατά μήκος πιο ψηλά από το κατακόρυφο μισό της και στο κάτω μέρος εισήχθη μία τριγωνική-τραπεζοειδής βάση (Σχήμα 3-8). Ο κύριος λόγος για αυτό ήταν να μειωθεί το κέντρο βάρους της δοκού και να παρέχεται πρόσθετη σταθερότητα. Η “εναλλακτική” διατομή που μελετήθηκε σε αυτό το βήμα είχε πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα, αλλά ενέπλεξε δύο σοβαρά μειονεκτήματα:

- i. Το εξωτερικό περίβλημα της δοκού τροποποιήθηκε και σε αυτή την εναλλακτική περίπτωση διότι υπερέβαινε τον ειδικό επιτρεπόμενο όγκο και τις εξωτερικά επιτρεπόμενες διαστάσεις, όπως επιβεβαιώνεται στην Εικόνα 3-9,
- ii. Σε μια τέτοια εναλλακτική εγκάρσια τομή, μία σημαντική ποσότητα της πρώτης ύλης προστέθηκε (σε σύγκριση με τις έως τώρα μελετημένες διατομές) και σε κάθε περίπτωση, η τιμή κόστους της κάθε ΑΥΔ ατομικά αλλά και συνολικά είχε αυξηθεί.

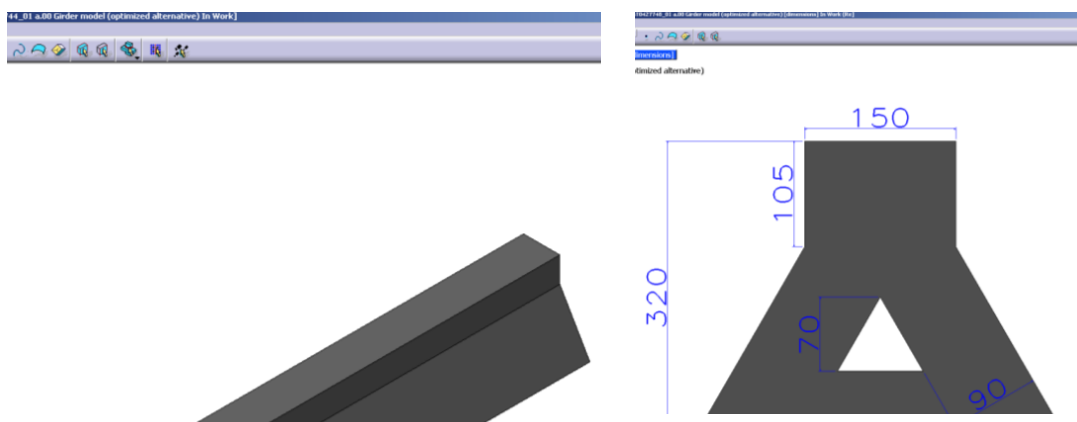


Σχήμα 3-9: Εναλλακτική διατομή μελετημένη για της ΑΥΔ

Σε αυτή την φάση της μελέτης, το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) και ο ανοξείδωτος χάλυβας (StSt) χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματικά υλικά στη συγκριτική μελέτη των τάσεων και παραμορφώσεων. Οι επιλογές υλικού βασίστηκαν στα εξής δεδομένα:

- i. Ο ανοξείδωτος χάλυβας (StSt) είναι το πλέον σύνηθες δομικό υλικό υποστηρικτικών συστημάτων και συστημάτων αντιστήριξης τα οποία ακολουθούν μαζική παραγωγή ή ακόμα και παραγωγή κατά παραγγελία,
- ii. Το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) θεωρείται ότι παρουσιάζει την πλέον, όλων των άλλων υποψηφίων υλικών, ενδιαφέρουσα αναλογία μέτρου ελαστικότητας με πυκνότητα (E/ρ). Μια τέτοια αναλογία σηματοδοτεί ότι το υλικό είναι άκαμπτο και ταυτόχρονα ελαφροσταθμισμένο.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων (ΠΣ) για τη μελέτη των εναλλακτικών διατομών ήταν πολύ ελπιδοφόρα. Δεδομένου ότι η εναλλακτική έκδοση απεδείχθη ότι ήταν ζωτικής σημασίας. Επιπροσθέτως, απαιτήθηκε να διερευνηθεί η βελτιστοποίηση αυτής της διατομής. Σε αυτή την περίπτωση, η μελέτη εστιάζεται στην αφαίρεση του υλικού στην θέση της κεντρικής περιοχής της διατομής της ΑΥΔ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-10. Οι διαστάσεις για το υλικό που μελετήθηκε να αφαιρεθεί επελέγησαν μετά από δοκιμές σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατικής ανάλυσης της παραμόρφωσης και των τάσεων που εναπομένουν. Τελικά, αναπτύχθηκε μια πιο οικονομικά αποδοτική, όσον αφορά την απαιτούμενη πρώτη ύλη, διατομή αλλά και πάλι υπερέβαινε κατά πολύ την εδραιωμένη διαστασιολόγηση της ΑΥΔ.



Σχήμα 3-10: Βελτιστοποιημένη υποψήφια εναλλακτική διατομή για την ΑΥΔ

3.2.3 Η μοντελοποίηση των υποψηφίων διατομών της ΑΥΔ για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύθηκε η λειτουργία του ΣΦ αλλά και των των επιμέρους τμημάτων του υποστηρικτικού συστήματος. Παράλληλα καθορίστηκαν οι βαθμοί ελευθερίας του κάθε συστήματος οπότε και προσδιορίστηκε και το μοντέλο λειτουργίας της ΑΥΔ. Αναλόγως, οι συνθήκες λειτουργίας του υποστηρικτικού συστήματος προέκυψαν από τις οριακές συνθήκες του ΣΓΕΣΔ, όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα υποκεφάλαια 3.1.2 και 3.1.3.

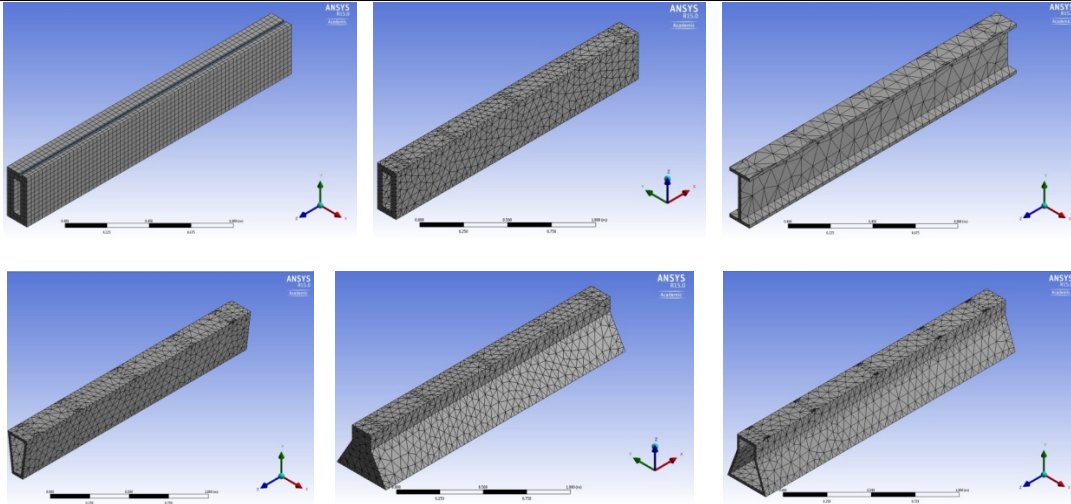
Οι διαφορετικές διατομές της ΑΥΔ προσομοιώθηκαν προκειμένου να μελετηθούν οι αναμενόμενες τάσεις και παραμορφώσεις. Η επιλογή της διατομής είναι πλέον σημαντική καθώς υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στις κατασκευαστικές τεχνικές των επιμέρους διατομών. Αποτέλεσμα αυτών είναι το διαφορετικό κόστος αλλά και η διαφορετική στρατηγική κατασκευής που ακολουθεί η κάθε διατομή. Οπότε, προκειμένου να προσομοιωθούν χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας ANSYS Wokrbench σε συνδυασμό με ιδανικές ιδιότητες οικογένειας υλικών όπως θα αναλυθεί στο επόμενο Κεφάλαιο 3.2.4. Ξεχωριστή μελέτη ακολουθεί στο Κεφάλαιο 3.3 για να βελτιστοποιηθεί η εφαρμογή πραγματικών κατασκευαστικών υλικών στις επιλεγμένες διατομές.

Ο κώδικας ANSYS περιέχεται σε πακέτο Computer Aided Engineering (CAE) και είναι λογισμικό μηχανικής προσομοίωσης με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Μέχρι στιγμής, το ANSYS χρησιμοποιείται ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική, την τεχνολογία ενέργειας, τη μηχανική των υλικών, τα έργα πολιτικού μηχανικού αλλά και την ακαδημαϊκή κοινότητα. Η πλατφόρμα του ANSYS προορίζεται για την ανάλυση και προσομοίωση με πεπερασμένα στοιχεία των τα αποτελέσματά του χρησιμοποιούνται συνδέοντας τη δομική μηχανική, multiphysics, ρευστοδυναμική κλπ Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιήθηκε το ANSYS για την προσομοίωση πεπερασμένων στοιχείων των μοντέλων της ΑΥΔ και των Υ-Δ προκειμένου αφενός να μελετηθεί και αναγνωριστούν οι κατάλληλες και βέλτιστες γεωμετρίες και δομικά υλικά προς κατασκευή. Αφετέρου, τα αποτελέσματα του ANSYS ήρθαν σε σύγκριση με τα κατασκευαστικά αποτελέσματα και τα αποτελέσματα των ποιοτικών ελέγχων των κεφαλαίων 4 και 5.

Οι διαφορετικές διατομές της ΑΥΔ αρχικά σχεδιάστηκαν σε περιβάλλον Computer Aided Design (CAD). Το CATIA v5 επιλέχθηκε ως το λογισμικό σχεδιασμού. Ο βασικός λόγος είναι η διαστασιολογική λεπτομέρεια και ακρίβεια των παραγόμενων τρισδιάστατων μοντέλων του CATIA. Παράλληλα, δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας δισδιάστατων κατασκευαστικών σχεδίων, από τα τρισδιάστατα μοντέλα, που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για την κατασκευή των προτύπων υποστηρικτικών συστημάτων από τη βιομηχανία, όπως θα δούμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

Τα μοντέλα CAD του CATIA εισήχθησαν στο ANSYS και απλοποιήθηκαν με τη βοήθεια του ANSYS Design Modeler. Είναι απαραίτητο να αφαιρεθούν από τα τρισδιάστατα μοντέλα πληροφορίες που αφορούν κατεργασιμότητα, επιφανειακή ακρίβεια κλπ αφού δεν είναι χρήσιμες κατά την προσομοίωση. Επίσης, σε περίπτωση που το μοντέλο δεν απλοποιηθεί επαρκώς, υπάρχει ο κίνδυνος για το λογισμικό ANSYS να καταστεί αδύνατο να συγκλίνει σε λύσεις και να μην υπάρχουν φερέγγυα αποτελέσματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μοντελοποίηση, ανάλυση και προσομοίωση ξεκίνησε από την αρχή. Οι διαφορετικές μοντελοποιημένες γεωμετρίες των ΑΥΔ παρουσιάζονται ακολούθως στο Σχήμα 3-11.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιοενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

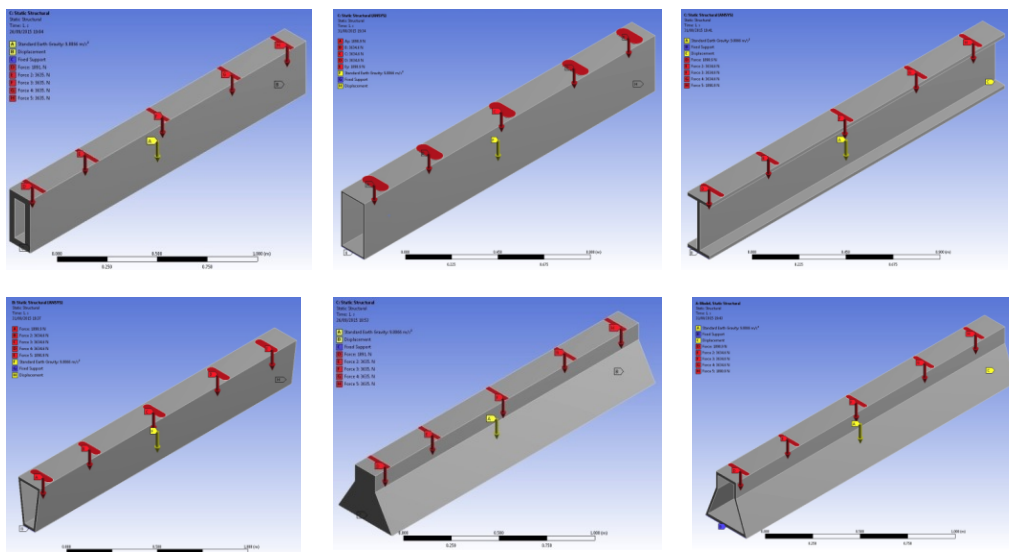


Σχήμα 3-11: Μοντελοποιημένες διατομές ΑΥΔ σε περιβάλλον ANSYS Workbench

Έχοντας καταστρώσει τα μοντέλα προς προσομοίωση με πεπεραμένα στοιχεία, ήταν απαραίτητο ακολούθως να εισαχθούν οι οριακές συνθήκες της ανάλυσης. Προκειμένου το μοντέλο της ΑΥΔ να είναι κατά το δυνατό ρεαλιστικό, μελετήθηκαν οι υπάρχουσες οριακές συνθήκες του συστήματος και οι βαθμοί ελευθερίας, όπως προσδιορίστηκαν και στο Σχήμα 3-6.

Στις οριακές συνθήκες της ανάλυσης, εισήχθησαν μία (1) κύλιση και μία (1) πάκτωση επί των άκρων της ΑΥΔ. Εφαρμόστηκε η επιτάχυνση της βαρύτητας και δεδομένου ότι οι θερμοκρασιακές αλλαγές (ΔT) στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ δεν είναι σημαντικές, δεν εφαρμόστηκαν οριακές συνθήκες θερμοκρασιακών αλλαγών. Επίσης, η ΑΥΔ και τα υποστηρικτικά συστήματα του ΣΓΕΣΔ στο σύνολο τους δεν δέχονται διαφορές πιέσεων κατά τη λειτουργία τους, οπότε και στο μοντέλο δεν χρησιμοποιήθηκε διαφορά πίεσης (ΔP).

Η ΑΥΔ δέχεται θλιπτικά φορτία από τα Υ-Δ. Για το λόγο αυτό, αναγνωρίστηκαν από το μοντέλο CATIA οι περιοχές έδρασης των Υ-Δ επί της ΑΥΔ και εφαρμόστηκαν περιοχές κατανεμημένων φορτίων όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 3-12.



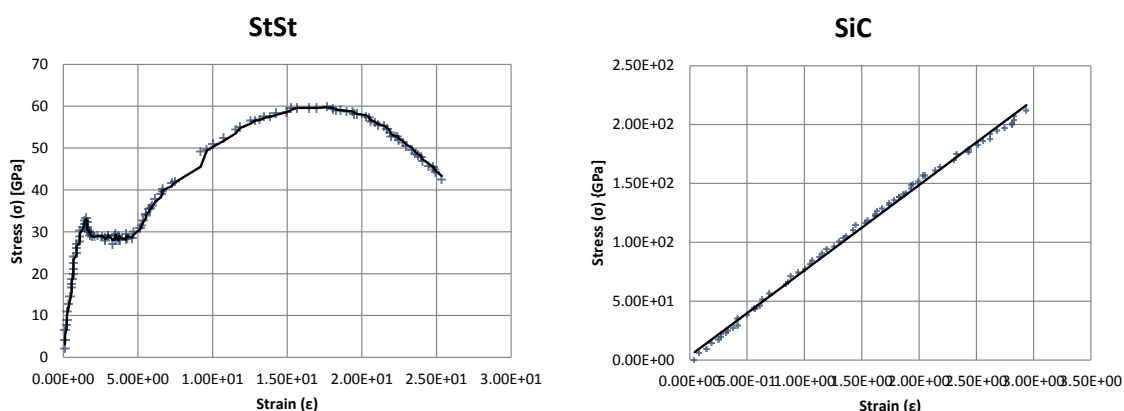
Σχήμα 3-12: Οριακές συνθήκες και συνθήκες καταπόνησης για την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων

Οι λεπτομερείς παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των διαφορετικών διατομών ΑΥΔ δίνονται στην αναφορά μελέτης στο Παράρτημα Χ. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση μετά από ενδελεχή βελτιστοποίηση των μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων. Παράλληλα, οι παράμετροι παρουσιάστηκαν στην ομάδα μηχανικών μελετών του CLIC από την οποία και εγγύρθηκαν προς προσομοίωση.

Οι ιδιότητες των δομικών υλικών των ΑΥΔ θα μελετηθούν στο επόμενο βήμα της διατριβής και θα αναλυθούν στο Κεφάλαιο 3-3. Λόγω της κρισιμότητας της γεωμετρίας κατασκευής, οι διατομές της ΑΥΔ κρίθηκαν πρωταρχικό σημείο για την παρούσα διατριβή και εξετάζονται πριν την ανάλογη μελέτη των υποψηφίων υλικών. Για τις προσομοιώσεις και σύγκρισή τους χρησιμοποιήθηκαν ιδανικές παράμετροι κατασκευαστικών υλικών SiC και structural StSt.

3.2.4 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων των υποψηφίων διατομών της ΑΥΔ

Οι υπόλοιπες από τις εναλλακτικά προτεινόμενες διατομές αναλύθηκαν παρομοίως και προσομοιώθηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν τόσο ο StSt όσο και το SiC σε αντιπαραβολή για να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους. Η αυστηρή απαίτηση σε αυτό το μέρος της μελέτης ήταν η κατακόρυφη και εγκάρσια παραμόρφωση της δοκού: Με τα δεδομένα φορτία του μοντέλου λόγω των διατάξεων ΠΠ σε συνδυασμό με τις συνοριακές συνθήκες της δοκού επέτρεπαν ένα όριο στατικής παραμόρφωσης της τάξης των 10 μm στα αποτελέσματα της προσομοίωσης. (σε εγκάρσιες και κατακόρυφες παραμορφώσεις).

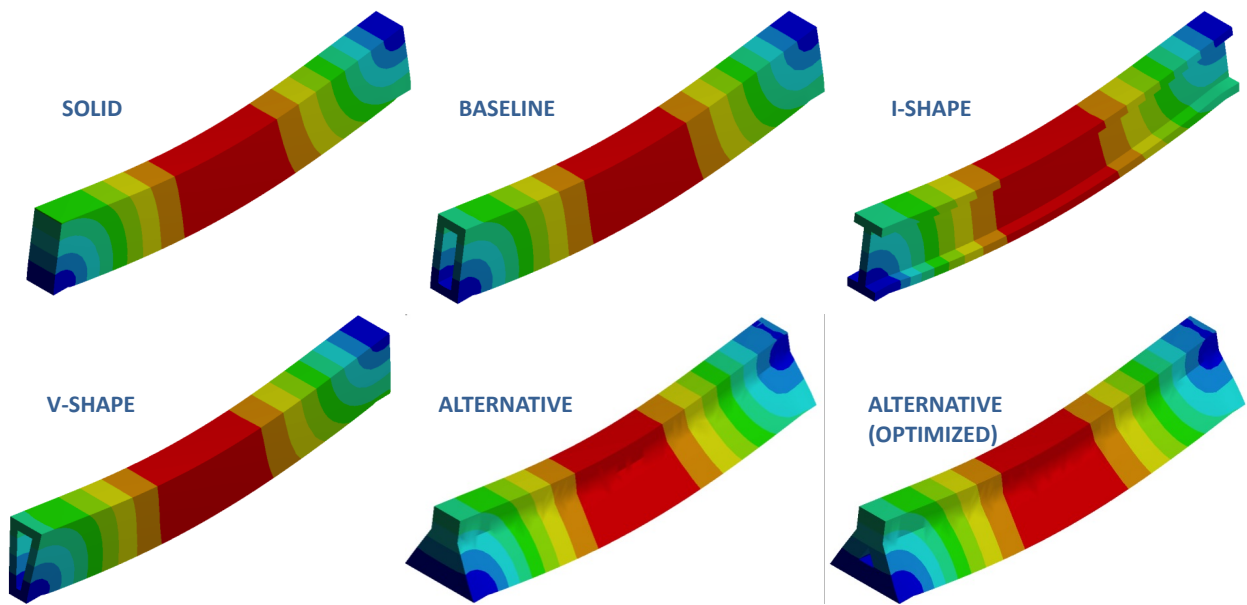


Σχήμα 3-13: Τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για ευρείας και μαζικής παραγωγής υλικά (SiC και StSt)

Εκτός από αυτή την αυστηρή προδιαγραφή παραμόρφωσης, καταγράφηκαν οι προκύπτουσες τάσεις και καταπονήσεις. Έπρεπε να ληφθεί υπόψη ότι ένα δύσκαμπτο, ανελαστικό αλλά συγχρόνως ψαθυρό υλικό, όπως το SiC, έχει ένα σχετικά μικρό εύρος στα όρια της ελαστικής περιοχής του. Ένα τέτοιο γεγονός θα μπορούσε να προκαλέσει την εμφάνιση μικρορωγμών έως και σοβαρές ασυνέχειες εάν οι παραμένουσες τάσεις αυξάνονται ανεξέλεγκτα. Τα τυπικά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων του StSt και του SiC, τονίζουν εμφαντικά τα προλεχθέντα και αναπαρίστανται στο Σχήμα 3-11 προς επαλήθευση της εμφανέστατα μεγάλης διαφοράς της μηχανικής τους συμπεριφοράς (ελαστική συμπεριφορά, όριου πλαστικότητας και ασυνέχειας).

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιασμοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Ακολουθώντας τα αποτελέσματα της μελέτης προσομοίωσης της Εικόνας 3-12, μπορούμε να δούμε την αναπαράσταση των παραμορφώσεων των ΑΥΔ κάτω από τα εκάστοτε επιβαλλόμενα στατικά φορτία των διατάξεων ΠΡ. Ακόμα, σε αυτό το στάδιο της μελέτης τα φορτία έχουν εφαρμοστεί κατευθείαν επί της δοκού στις δεδομένες γεωμετρικές περιοχές (επιφάνειες) της άνω πλευράς της, όπου οι Υ-V θα εδράζονται μελλοντικά μετά τη συναρμολόγηση. Ο λόγος ήταν ότι οι γεωμετρίες και ο σχεδιασμός των Υ- δεν είχε μελετηθεί και αναπτυχθεί ακόμα. Έτσι, δεν υπάρχουν εκτιμήσεις για το σχεδιασμό τους σε αυτό το αρχικό στάδιο. Ως εκ τούτου, αντί να υποθέσουμε αόριστα το σχεδιασμό των πρώτων προτύπων, η μελέτη σύγκρισης της διατομής της ΑΥΔ βασίστηκε σε ασφαλέστερα κριτήρια και σε πιο συντηρητικά πιθανά πρότυπα για ανάλυση με ΠΣ.



Σχήμα 3-14: Αποτελέσματα προσομοίωσης παραμορφώσεων για την ΑΥΔ

Διατομή ΑΥΔ	SiC κάθετες παραμορφ ώσεις (μm)	SiC τάσεις (MPa)	SiC τάσεις (von Mises)	StSt κάθετες παραμορφ ώσεις (μm)	StSt τάσεις (MPa)	StSt τάσεις (von Mises)
Θεμελιώδης (Baseline)	8.7	8.6	1.8×10^{-5}	22.1	18.2	9.1×10^{-5}
Συμπαγής (Solid)	15.7	13.7	3.7×10^{-5}	31.2	29.5	7.7×10^{-5}
Γιώτα (I- shape)	9.6	18.8	4.5×10^{-5}	20.8	19.5	9.8×10^{-5}
Ύψιλον (V- shape)	10.6	20.1	4.8×10^{-5}	19.2	26.8	1.3×10^{-4}
Εναλλακτική (Alternative)	12.2	39.1	5.7×10^{-5}	15.4	40.5	7.4×10^{-5}
Βελτιωμένη εναλλακτική	7.9	32.8	7.7×10^{-5}	19.0	36.7	1.8×10^{-4}

(Optimized alternative)

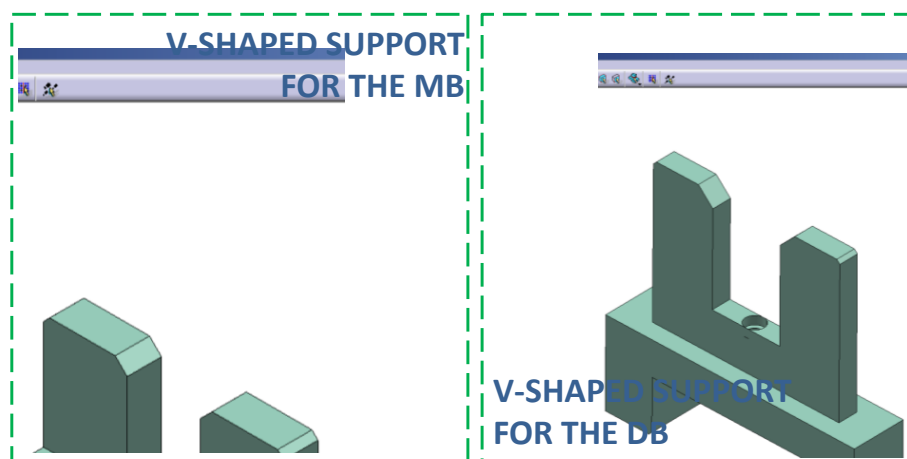
Πίνακας 3-3: Πίνακας αποτελεσμάτων προσομοιώσεων αναφορικά με τις μηχανικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά των υποψηφίων διατομών για της ΑΥΔ

Καταγράφηκε ένας συνοπτικός πίνακας προκειμένου να κατευθυνθούμε σε ένα ολοκληρωμένο συμπέρασμα και να προσωρήσουμε στην επιβεβαίωση της διατομής της ΑΥΔ, συνοψίζοντας και συγκρίνοντας τη μηχανική τους συμπεριφορά. Ο Πίνακας 3-3, παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τις στατικές παραμορφώσεις καθώς επίσης και για τις τάσεις και καταπονήσεις αναφορικά με τις διατομές των ΑΥΔ που μελετήθηκαν και αναλύθηκαν, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 3-12.

3.2.5 Μελέτη της Γεωμετρίας και του Σχεδιασμού των Υποστηρίξεων “V”

Συνεχίζοντας να μελετούμε τη γεωμετρία του συστήματος αντιστήριξης, μετά την ΑΥΔ και τη μελέτη της εγκάρσιας διατομής της, προβαίνουμε στην ειδική μελέτη εστιασμένη στα Y-V υποστηρίγματα. Το περίγραμμα και το σχήμα τους ήταν υπό συζήτηση και βασιζόταν εξ’ ολοκλήρου στη συμβατότητά τους με την εξωτερική γεωμετρία των διατάξεων του ΠΡ με τις οποίες θα έρχονται σε επαφή. Για το λόγο αυτό, τα Y-V της ΚΔ, υποστήριξη και σταθεροποίηση των ΕΔ, ακολουθούν ένα πρότυπο σχεδιασμό, αλλά συγχρόνως εναρμονίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με τα Y-V για την ΟΔ, η οποία υποστηρίζει τα ΔΕΜΕ, ερχόμενη σε επαφή με τις εξωτερικές υποδεξαμενές των ΔΕΜΕ ή με τους συζεύκτες τους.

Παράλληλα, τα Y-V έπρεπε να είναι σταθερά πακτωμένα στην άνω πλευρά της ΑΥΔ. Ένα τέτοιο τεχνικό ζήτημα εξετάστηκε προς μελέτη για πρώτη φορά και έπρεπε να απαντηθεί σε συνδυασμό με τον περιορισμένο χώρο που ήταν διαθέσιμος μεταξύ της επάνω πλευράς της ΑΥΔ και των διατάξεων ΠΡ (και για τις δύο περιπτώσεις της ΚΔ και της ΟΔ). Η προκείμενη διάταξη των Y-V, δεν επέτρεπε ευελιξία στο σχεδιασμό τους αλλά ούτε και άφηνε περιθώρια για κάποια πιθανή προσθήκη τμημάτων με στόχο την περαιτέρω σταθεροποίηση ή αντιστηρικτική υποβοήθηση των διατάξεων ΠΡ.



Σχήμα 3-15: Πρώιμος σχεδιασμός του εξωτερικού περιγράμματος των Y-V συμβατός με τον διαθέσιμο χώρο μέσα στην ΕΜΔΔ

Λόγω των τεχνικών προδιαγραφών, τα Y-V βασίστηκαν σε δύο καινοτομικούς σχεδιασμούς περιπτώσεις για την κατασκευή τους:

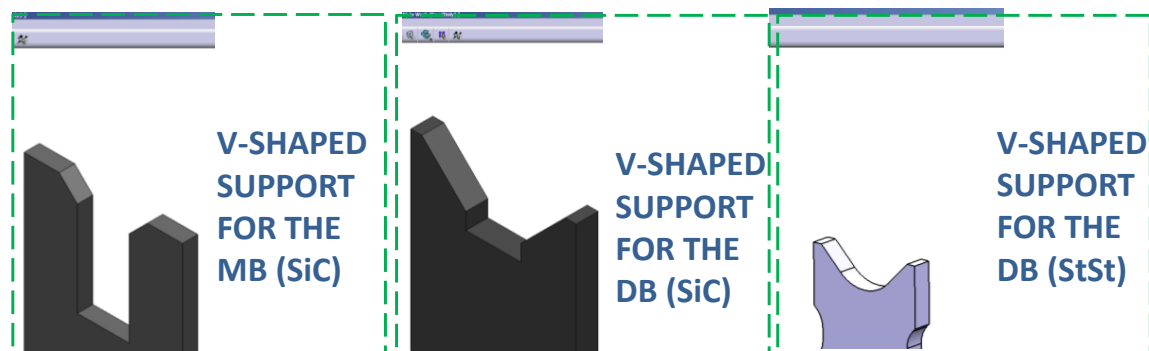
- i. Τα Y-V είναι ενοποιημένα/ενσωματωμένα πάνω στην ΑΥΔ,

- ii. Τα Y-V είναι αποσπασμένα ως αυτόνομα τμήματα και συναρμολογημένα επάνω στην ΑΥΔ.

Η επιλογή της ενσωμάτωσης των Y-V στην ΑΥΔ είχε αρκετά πλεονεκτήματα αλλά παρουσίαζε και μικρά μειονεκτήματα. Το κύριο πλεονέκτημα είναι η υψηλή σταθερότητα που μια ενσωματωμένη μονάδα θα μπορούσε να προσφέρει. Η δυνατότητα αυτή υπάρχει μόνο με την δομική ενίσχυση του Y-V για την αντιστήριξη στην κατεύθυνση στην οποία εφαρμόζεται η συγκράτηση του βάρους των διατάξεων ΠΡ. Επιπλέον, η μέθοδος της στερέωσης και της εν συνεχεία πάκτωσης των Y-V θα προκύψει από τη στρατηγική κατασκευής της δοκού. Κατά συνέπεια, η επιλογή του υλικού των Y-V επιβεβαιώνεται αυτόματα από την ανάλογη επιλογή υλικού για την ΑΥΔ.

Από την άλλη πλευρά, είναι η πρώτη φορά που εξετάζεται η πιθανότητα να σχηματιστούν επιφάνειες αναφοράς με αυστηρές μικρομετρικές ανοχές τοποθέτησης⁶ από τις διεπαφές των Y-V, ως προς τις διατάξεις ΠΡ σε σχέση με τις επιφάνειες αναφοράς στις πλευρές της ΑΥΔ, η οποία θα είναι σε επαφή με τις Y-V. Αυτό το γεγονός θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα από τους κορυφαία πλεονεκτήματα και θα καλυφθεί εκτενώς στον ειδικό κεφάλαιο 4 της παρούσας διατριβής, το οποίο πραγματεύεται την κατασκευή.

Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα της ενσωμάτωσης των Y-V επί της δοκού ήταν ότι δεν υπάρχει μελλοντικά καμία ελαστικότητα όσον αφορά την τοποθέτησή τους, ειδικά επί του διαμήκου άξονα της δέσμης: δηλαδή του Z-άξονα. Επίσης, η μεταφορά της συναρμολογημένης ΕΜΔΔ για μελλοντική εγκατάσταση στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ θα χρειαστεί ειδικό χειρισμό για την αποφυγή πιθανής μετατόπισης του κέντρου βάρους της που θα μπορούσε να προκαλέσει ατύχημα και να επιφέρει σημαντική βλάβη, αστοχία σε μακροσκοπικό επίπεδο, επί των Y-V.



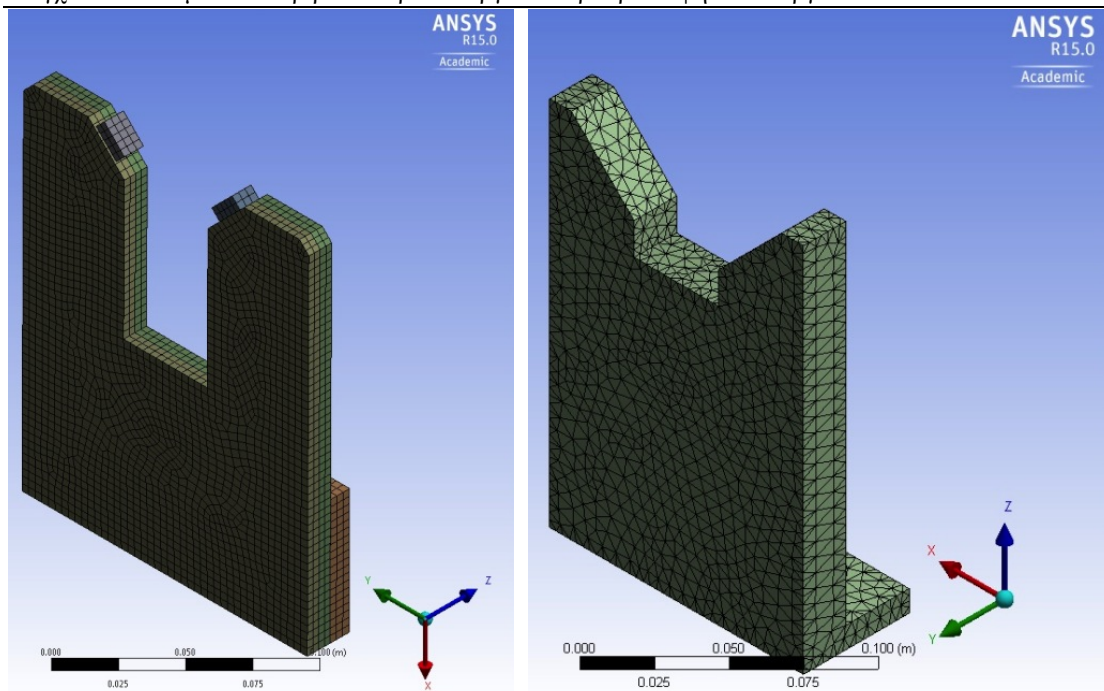
Σχήμα 3-16: Απεικονίσεις Y-V για την ΚΔ και την ΟΔ

3.2.6 Η μοντελοποίηση των υποψηφίων γεωμετριών των Y-Δ για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία

Προκειμένου να μελετηθούν σε βάθος οι μηχανικές καταπονήσεις των Y-V, πραγματοποιήθηκε επίσης ανάλυση τους με τον κώδικα ANSYS. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση με ΠΣ των ΑΥΔ χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση των Y-V. Κατά τον τρόπο αυτό και όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.2.3, οι Y-V μοντελοποιήθηκαν σε περιβάλλον ANSYS, κατόπιν σχεδιαστικής απλούστευσης τους στο CAD λογισμικό CATIA και παρουσιάζονται ακολούθως.

⁶ Στον όρο «αυστηρές» εμπεριέχεται ένα σφάλμα τοποθέτησης των εξαρτημάτων μικρότερο από 10 μm από την απόλυτη θέση τοποθέτησης μεταξύ τους.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



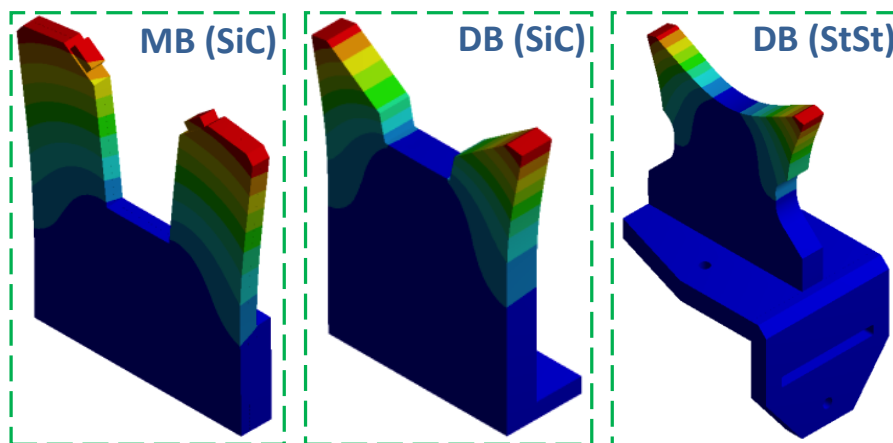
Σχήμα 3-17: Μοντελοποιημένες διατομές Y-V σε περιβάλλον ANSYS Workbench

Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των Y-V ήταν ίδια (με ακριβώς ίδιες μηχανικές ιδιότητες) όπως και για τις ΑΥΔ. Στο πρώιμο ακόμα αυτό στάδιο της μελέτης, θεωρήθηκε ότι το SiC θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή Y-V ακόμα κι αν αυτό δεν είχε γίνει ποτέ στο παρελθόν. Όμως, όπως και θα παρουσιαστεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, αυτή η θεώρηση ήταν ρεαλιστική εφόσον η παραγωγή Y-V με SiC αποδείχτηκε εφικτή.

Επίσης, όπως θα αναλυθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας διατριβής, ο συνδυασμός των μοντέλων ΑΥΔ και Y-V χρησιμοποιήθηκε για την δυναμική ανάλυση και προσομοίωση των συναρμολογημένων πλέον υποστηρικτικών συστημάτων. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η μελέτη και σύγκρισή τους, επίσης η μοντελοποίηση των γεωμετριών τους αλλά και των δομικών υλικών τους σε περιβάλλον ANSYS ήταν ταυτόσημη.

3.2.7 Τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων των υποψηφίων γεωμετριών των Y-Δ

Προκειμένου να καθοριστεί ο σχεδιασμός που θα υιοθετηθεί ως θεμελιώδης, θα πρέπει και οι δύο διαφορετικές διαμορφώσεις του Y-V να τεθούν υπό εξέταση. Η παραμόρφωση ενός τέτοιου τμήματος σχεδιάστηκε με προδιαγραφές που του επέτρεπαν να παραμορφώνεται με περίπου μία τάξη μεγέθους μικρότερη από αυτή της επιτρεπτής παραμόρφωσης της ΑΥΔ. Λόγω της έρευνας που διεξήχθη, ανακαλύφθηκε διαθέσιμος ένας περιορισμένος ελεύθερος χώρος γύρω από την περιοχή της βάσης των Y-V, οπότε προστέθηκε στο σχεδιασμό τους μία μικρή βάση σταθεροποίησης (Σχήμα 3-15). Μια τέτοια διαμόρφωση θα παρέχει εύκολα πρόσθετη σταθερότητα στην πάροδο του χρόνου με μία σχετικά μικρή αύξηση του κόστους κατασκευής. Τελικά μια τέτοια μικρή βάση εισήχθη ως βασικό χαρακτηριστικό στον θεμελιώδη σχεδιασμό των Y-V. Φυσικά το ακριβές σχήμα της σχεδιάστηκε αργότερα ανάλογα με τον χώρο και την προδιαγραφή στήριξης του κάθε προτύπου Y-V, είτε για την ΚΔ είτε για την ΟΔ.



Σχήμα 3-18: Διάγραμμα παραμορφώσεων για τους διάφορους σχεδιασμούς των Y-V

Όπως απεικονίζεται στα σχήματα 3-14 και 3-15, τα δύο προαναφερθέντα υλικά SiC και StSt προσομοιώθηκαν σε μία πρώτη προσέγγιση συγκριτικής ανάλυσης.

Y-V	Παραμορφώσεις (μm)	Τάσεις (MPa)	Τάσεις (von Mises)
ΚΔ (SiC)	2.9	30.5	7.6×10^{-5}
ΟΔ (SiC)	1.1	12.6	3.5×10^{-5}
ΟΔ (StSt)	15.4	19.8	15.1×10^{-5}

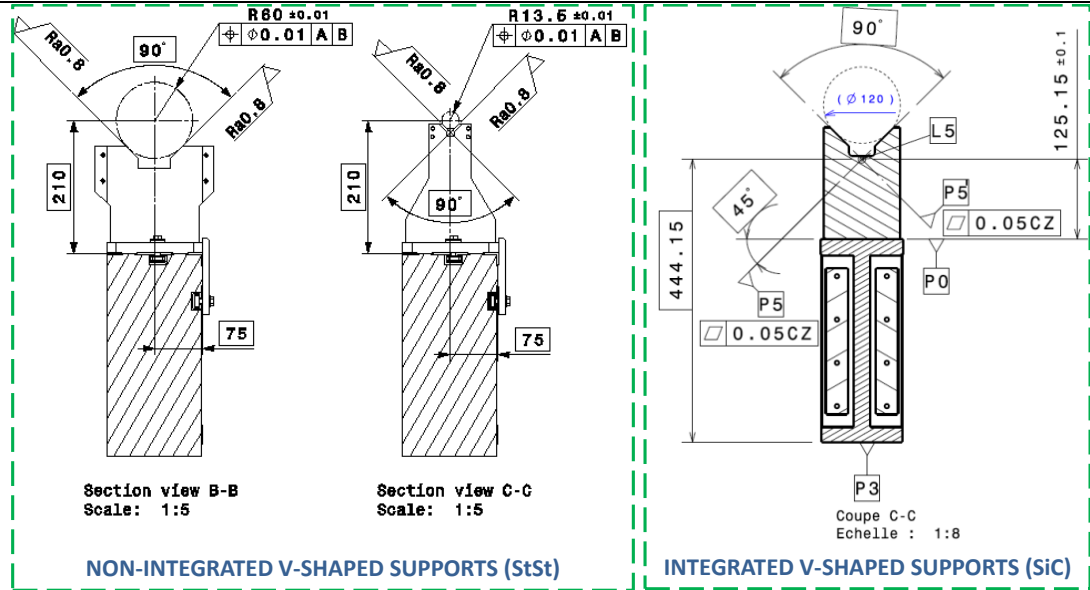
Πίνακας 3-4: Αποτελέσματα προσομοίωσης της μηχανικής συμπεριφοράς για διαφορετικές διατάξεις των Y-V

Ειδικότερα, για τη συναρμολόγηση ακριβείας των μη ενσωματωμένων Y-V ήταν αναγκαία να χρησιμοποιηθούν αρκετά ειδικά χαρακτηριστικά. Τέτοια χαρακτηριστικά εισήχθησαν στο σχεδιασμό των ΑΥΔ ως ένθετα (οπές με σπειρώματα, βάσεις συναρμολόγησης, ράγες, κ.α.) παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο συμβατές διασυνδέσεις για τις διεπαφές/διασυνδέσεις των Y-V. Κάθε ένα από αυτά τα ενδιάμεσα χαρακτηριστικά μελετήθηκαν ανάλογα με την κάθε περίπτωση, δεδομένου ότι ο σχεδιασμός της ΑΥΔ ήταν σε εξέλιξη για την φάση της κατασκευής προτύπων.

Τελικά, πραγματοποιήθηκε μια σχετική έρευνα πραγματοποιήθηκε για τον ποιοτικό έλεγχο στο σχεδιασμό των Y-V. Τα μηχανολογικά σχέδια, συμπεριλαμβανομένης της διαδικασίας κατασκευής, ακολούθησαν μια πορεία κατασκευής η οποία ήταν σε θέση να επιβεβαιώνεται πιστά από τις μετρήσεις ευθυγράμμισης κατά τη διάρκεια της κατασκευής μετά από κάθε κύριο βήμα. Για το λόγο αυτό, ήταν εφικτό να εισαχθούν στο σχεδιασμό και αργότερα στην κατασκευή των Y-V οι ακόλουθες ανοχές στην γεωμετρική τους ακρίβεια:

- i. Το όριο επιπεδότητας των επιφανειών των Y-V που χρησιμοποιούνται ως επιφάνειες διεπαφής για τις διατάξεις ΠΡ και την ΑΥΔ δεν ξεπερνάει τα 10 μm,
- ii. Η ακρίβεια τοποθέτησης του άξονα της δέσμης σε σχέση με τις επιφάνειες διεπαφής των Y-V για την ΑΥΔ δεν ξεπερνά τα 10 μm,
- iii. Η ακρίβεια τοποθέτησης των Y-V, στη διαμήκη διεύθυνση της ΑΥΔ και του άξονα της δέσμης (άξονας-Z), δεν ξεπερνά τη σχετική ακρίβεια του 1 mm.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



Σχήμα 3-19: Σχεδιασμός του βήματος υποσυναρμολόγησης των αποσπώμενων Y-V στις ΑΥΔ με τις απαραίτητες μικρομετρικές ανοχές ακρίβειας (απόσπασμα του κατασκευαστικού σχεδίου)

3.2.8 Σύνοψη και συμπεράσματα του θεμελιώδους και εναλλακτικού σχεδιασμού του συστήματος αντιστήριξης

Η παρουσιαζόμενη μελέτη σχεδιασμού πραγματοποιήθηκε σε συνδυασμό με τη μελέτη υλικού που ακολουθεί. Ωστόσο, είναι ασφαλές να αναφερθεί ότι η έκβαση της μελέτης σχεδιασμού αν και επηρέασε καταλυτικά την αρχική μορφοποίηση του υποστηρικτικού συστήματος, δεν μπορούσε να επιβάλλει τα αποτελέσματά της.

Εμβαθύνοντας περισσότερο, έχει αποδειχθεί ότι υπάρχουν πολλαπλές υπονήπιες διατομές της ΑΥΔ που πληρούν τις αυστηρές προδιαγραφές κατακόρυφης παραμόρφωσής της. Οι πλεονεκτικές παράμετροι όμως που καθορίζουν τελικά την επιλογή της θεμελιώδους διάταξης της δοκού ήταν:

- i. Δυνατότητα βιομηχανικής παραγωγής,
- ii. Πλήρης συμμόρφωση της προτεινόμενης ΑΥΔ για το ΣΓΕΣΔ με τις λοιπές τεχνικές προδιαγραφές,
- iii. Πλήρης συμβατότητα με τον χώρο που διατίθεται χώρο ο οποίος είναι πλήρως συμβατός με το σύνθετο σχεδιασμό της ΕΜΔΔ,
- iv. Διατομή τυποποιημένης ή όσο το δυνατόν περισσότερο τυποποιήσιμης κατασκευής και παραγωγής,
- v. Δυνατότητα ενσωμάτωσης των Y-V στην ΑΥΔ,
- vi. Δυνατότητα εφαρμογής στην ΑΥΔ των διαφορετικών του ενός κατασκευαστικών υλικών,
- vii. Επιλογή διατομής με βάση τη συμβατότητα των επιφανειών διεπαφής των ΑΥΔ με τα γειτονικά εξαρτήματα του υποστηρικτικού συστήματος (ΛΑ, γραμμικοί κινητήρες ευθυγράμμισης, κλπ.).

Μια διατομή που ταιριάζει με όλες τις παραπάνω απαιτήσεις, αλλά εξακολουθεί να έχει μια πιο πρωτότυπη σχεδίαση, όπως τις εναλλακτικές λύσεις που μελετήθηκαν θα χρειάζεται ειδικές μηχανές παραγωγής για να περατωθεί. Ως εκ τούτου, το κόστος παραγωγής των ΑΥΔ θα ήταν σημαντικά υψηλότερο για μια τέτοια ειδική πρότυπη κατασκευή. Επιπροσθέτως, μία αναγνωριστική φάση πρότυπης παραγωγής χρειάζεται

ανάπτυξη και μελέτη της διατομής βάσης των εργοστασιακών μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν. Συνεπώς δεν θα ήταν δυνατή η επαναληψιμότητα της παραγωγής.

Η διατομή εναλλακτικού σχεδιασμού της ΑΥΔ θεωρείται επίσης χρήσιμη να προσομοιωθεί παράλληλα και στη μελέτη του δομικού υλικού της. Η επιλογή της διατομής έγινε με βάση το γεγονός ότι η θεωρούμενη ως εναλλακτική διατομή, έναντι της θεμελιώδους διατομής, παρέχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες εγκάρσιες διατομές που μελετήθηκαν:

- i. Σχετικά χαμηλή εγκάρσια παραμόρφωση κάτω από τα εφαρμοζόμενα φορτία των διατάξεων ΠΡ,
- ii. Συγκριτικά υψηλότερες ιδιοσυχνότητες κάτω από τα εφαρμοζόμενα φορτία των διατάξεων ΠΡ.

Για τους προαναφερθέντες λόγους, η επιλογή δομικού υλικού για την ΑΥΔ είναι η καταλυτική παράμετρος, με βάση την οποία η θεμελιώδης διατομή θα επιβεβαιωθεί και επιλεγεί. Επιπλέον, οι διαδικασίες παρασκευής, και η αποκτηθείσα γεωμετρική ακρίβεια περιορίζονται σημαντικά από το υλικό. Η μελέτη διατομής και μορφοποίησης των δοκών ήταν εντατική και παρέδωσε ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Ωστόσο, ο προσδιορισμός της θεμελιώδους διαμόρφωσης θα προκριθεί σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα της μελέτης επικύρωσης του δομικού υλικού για την ΑΥΔ αλλά και το σύνολο του συστήματος αντιστήριξης.

Αν και μερικά δευτερεύοντα μειονεκτήματα θα μπορούσαν να συμβούν κατά τη διαδικασία κατασκευής, η θεμελιώδης διαμόρφωση για τα Υ-V καθόριζε ρητά να είναι ενσωματωμένα επί της δοκού. Υπαγορευόταν κατ' αυτόν τον τρόπο το γενικό τους σχήμα κάνοντάς τα μία απερίσπαστη μονάδα μαζί με την ΑΥΔ.

Δεδομένου ότι ο σχεδιασμός ενός Σ-Υ θεωρείται καινοτόμος και μελετάται κατά περίπτωση για να απαντήσει στις ανάγκες της εκάστοτε διάταξης ΠΡ, η θεμελιώδης μορφολογία τους και οι διεπαφές τους δεν είχαν ακόμα διερευνηθεί. Ακόμη, δεν είχε γίνει προσπάθεια για τη μελέτη βελτιστοποίησης στο σχεδιασμό των Υ-V, ή οποιουδήποτε άλλου τμήματος του υποστηρικτικού συστήματος, σχετικά με τις διεπαφές τους με τους Σ-Υ. Η αποτελεσματική λειτουργία και η βελτιστοποίηση, για τα εν λόγω στοιχεία, θα έπρεπε να εξεταστεί και μελετηθεί λεπτομερώς σε μεταγενέστερο στάδιο και θα παρουσιαστεί στη συνέχεια της διατριβής.

3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.3.1 Εισαγωγή

Η μελέτη υλικού ξεκίνησε με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος αντιστήριξης και την ανάλογη μελέτη διαμόρφωσής του. Δύο διαφορετικές προσεγγίσεις του υποστηρικτικού συστήματος ήταν αναγκαίες να μελετηθούν, για το ΕΡΓ (μία μακέτα σε πραγματική κλίμακα με διατάξεις ΠΡ) και για ΠΚ-ΣΓΕΣΔ με πραγματική δέσμη σωματιδίων και επιτάχυνση δέσμης με εφαρμογή ραδιοσυχνότητας. Η μελέτη των υλικών που εξετάστηκαν κατέληξε ότι πρέπει να πληρούν όλες τις βασικές προϋποθέσεις σε συνδυασμό με την αναγκαιότητα για σχετική αφθαρσία των μηχανικών ιδιοτήτων τους από τη σχετική ακτινοβολία. Τα πρότυπα των υποστηρικτικών συστημάτων αναμενόταν να δοκιμαστούν στο ΕΡΓ στην φάση εκκίνησης της μελέτης. Στη συνέχεια, μερικές πρότυπες ΕΜΔΔ, με τα αντίστοιχα συστήματα αντιστήριξής τους, θα πρέπει να ενσωματωθούν στην

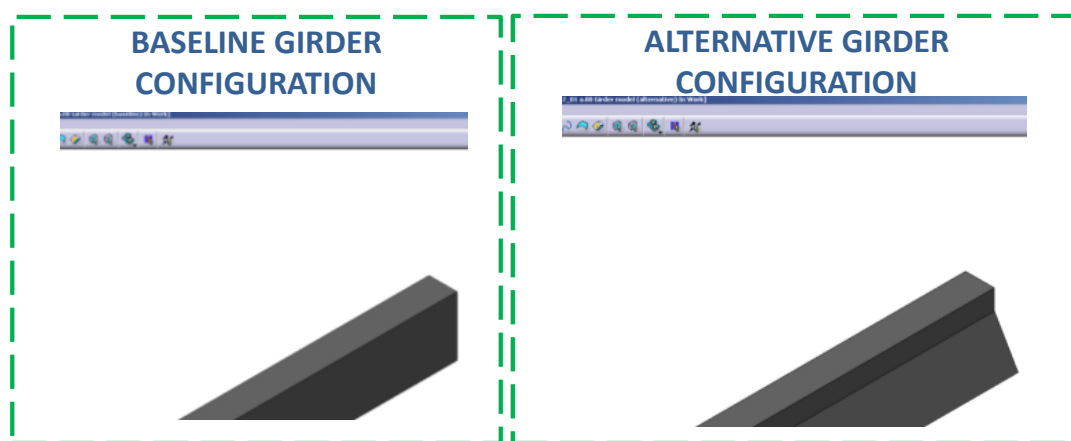
πειραματική διάταξη του ΠΚ.ΣΓΕΣΔ. Έτσι, μια καθολική λύση για την υποστήριξη και σταθεροποίηση του συστήματος χρειάστηκε να σχεδιαστεί σε μακροπρόθεσμη βάση.

Τα υλικά που αρχικά μελετήθηκαν ήταν παρόμοια με αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις δοκιμών του ΣΓΕΣΔ (ΠΕ-ΣΓΕΣΔ, ΠΚ-ΣΓΕΣΔ, κλπ.). Ωστόσο, μία από τις μεγαλύτερες δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν ήταν ότι ζητούμενο ήταν να υπερκεραστεί η αδυναμία εκβιομηχάνησης της κατασκευής του υποστηρικτικού συστήματος. Τα κατασκευαστικά ζητήματα που απαντήθηκαν μαζί με τα επιτεύγματα που πραγματοποιήθηκαν σε αυτό τον τομέα θα αναφερθούν στο παρόν κεφάλαιο, αλλά θα καλυφθούν εκτενώς και αναλυθούν στο κεφάλαιο 4 που είναι εξ'ολοκλήρου αφιερωμένο στην πρότυπη βιομηχανική κατασκευή του συστήματος αντιστήριξης.

Επιπρόσθετα με τα υλικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, μια ενδιαφέρουσα και πολλά υποσχόμενη προοπτική για ανάλυση ήταν οι τυποποιημένες λύσεις που προτάθηκαν από την βιομηχανία υψηλής τεχνολογίας. Σε αυτή την κατεύθυνση, διερευνήθηκαν παρόμοιες εφαρμογές αντιστήριξης και σταθεροποίησης σε άλλες επιταχυντικές εγκαταστάσεις του CERN αλλά και σε γειτονικά ερευνητικά ιδρύματα (π.χ. Ινστιτούτο Paul Scherrer, Ζυρίχη).

3.3.2 Η μελέτη των δομικών υλικών της ΑΥΔ

Οι Διαφορετικοί παράμετροι αναλύθηκαν προκειμένου να σχηματιστεί μια βάση για τη μεθοδολογία της μελέτης σύγκρισης των δομικών υλικών της δοκού. Η βοήθεια των ΠΣ για την ανάλυση ήταν ένας καθοριστικός παράγοντας. Στην ανάλυση αυτή, δύο ξεχωριστές διατομές χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση: η *θεμελιώδης* διατομή κι η *εναλλακτική* της.



Σχήμα 3-20: Διατομές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκριτική μελέτη δομικών υλικών της ΑΥΔ

Μία από τις προϋποθέσεις για τη μελέτη και ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς του καθενός από τα υλικά ήταν η εξέταση της ομοιογένειας της συμπεριφοράς τους σε όλες τις διευθύνσεις της εκάστοτε διατομής. Ένα τέτοιο κριτήριο εντάχθηκε στην καθιερωμένη μεθοδολογία σύγκρισης. Είναι γνωστό ότι στην πραγματικότητα, οι βιομηχανικές διαδικασίες κατασκευής εισάγουν πολλές προσμίξεις /επιμολύνσεις /ακαθαρσίες και μικρο-στοιχεία στα υλικά. Ένα τέτοιο γεγονός θα μπορούσε να κάνει τη ρεαλιστική συμπεριφορά ενός στοιχείου (όπως τη δοκό) να αποκλίνουν από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Για την ελαχιστοποίηση αυτού του κινδύνου, τα

δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για να δώσουν τιμές στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών, ήταν αντίστοιχες με τα ακριβή τεχνικά δελτία και χαρακτηριστικά που προέρχονται από τις βιομηχανίες που κατασκεύασαν αργότερα τα πρότυπα των συστήματος αντιστήριξης. Σε μερικές από τις περιπτώσεις οι τιμές των ιδιοτήτων που διαβιβάστηκαν για τα υλικά, ήταν αυτοτελώς ζητούμενες στα τεχνικά χαρακτηριστικά των πρώτων τμημάτων για την ΕΜΔΔ. Οι ιδιότητες των υλικών είναι διαθέσιμες στο Παράρτημα Ι για λεπτομερή μελέτη. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι οι πιο κρίσιμες μηχανικές ιδιότητες για αυτή τη μελέτη θεωρείται ότι είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young, η αναλογία του Poisson και η πυκνότητα υλικού.

3.3.3 Η μοντελοποίηση των δομικών υλικών και τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων

Η προσομοίωση με ΠΣ επικεντρώθηκε στη στατική παραμόρφωση της δοκού. Μία από τις πιο αυστηρές απαιτήσεις ήταν και πάλι τα 10 μm της στατικής κατακόρυφης παραμόρφωσης υπό συνθήκες φορτίου. Εκτός από αυτό, ο συντελεστής θερμικής διαστολής και το μέτρο ελαστικότητας ερευνήθηκαν έτσι ώστε να είναι δυνατό να διατηρούνται οι αναγκαίες μικρομετρικές γεωμετρικές ανοχές μετά την κατεργασία του υλικού με τις κατάλληλες εργαλιομηχανές. Για το σκοπό αυτό το όριο για μέτρο ελαστικότητας ορίστηκε να είναι ίσο και δυνητικά μεγαλύτερο από 100 GPa.

Παράλληλα, τα υλικά που συμπεριλήφθηκαν για τις προαναφερθείσες αυστηρές λειτουργικές προδιαγραφές αναλύθηκαν επίσης για την συμπεριφορά τους σε δυναμικές καταπονήσεις. Οι προσομοιώσεις έγιναν έτσι ώστε να προκύψουν από τη μελέτη οι ιδιοσυχνότητες που εμφανίζουν τα διάφορα υλικά. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι το υποστηρικτικό σύστημα είναι μία σύνθετη συναρμολόγηση ακριβείας από ένα μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων. Μολονότι, ορισμένα από τα εξαρτήματα μπορούν να ενσωματωθούν ή δυνητικά να είναι ενσωματώσιμα (π.χ. Y-V, Σ-Y, κλπ) και πακτωμένα στο σύστημα, το τελικό προϊόν συναρμολόγησης έχει σχετική χαμηλή ιδιοσυχνότητα. Στη συνέχεια, θα πρέπει να θεωρούμε ότι μετά την τελική συναρμολόγηση, τα συστατικά PP αυξάνουν επιπροσθέτως το κέντρο βάρους της ΕΜΔΔ. Η ΕΜΔΔ λοιπόν εμφανίζεται με ένα συγκριτικά ακόμα χαμηλότερο εύρος ιδιοσυχνοτήτων. Προκαταρκτικές μελέτες έδειξαν μια εκτίμηση της ιδιοσυχνότητας στα 30 Hz για το σύνολο μιας πλήρους συναρμολογημένης ΕΜΔΔ Τύπου-0.

Η ΑΥΔ κατείχε επίσης ένα ανώτατο όριο όσον αφορά το δυνατό ίδιον-βάρος της. Τα απαιτούμενα δομικά υλικά της αναλύθηκαν και ελέγχθηκαν προς σύγκριση επίσης για την πυκνότητα τους. Μια τέτοια ατομική παράμετρος δεν ήταν δυνατό να εφαρμοστεί γενικώς ως μέτρο διαλογής, με αποτέλεσμα ένα ανάλογο όριο να μπορούσε να αποκλείσει αρκετά από τα πιθανά υλικά χωρίς ουσιαστικό αποτέλεσμα. Έτσι, ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας του Young και η πυκνότητα συγκρίθηκαν και ελέγχθηκαν για να αποδοθεί στη μελέτη η επιπλέον σχετική τους παράμετρος.

Για να είναι εφικτή μια μικρομετρική ακρίβεια σμιλευμένη σε αρκετές από τις επιφάνειες της δοκού ήταν απαραίτητος προσδιορισμός των επιφανειών αναφοράς. Τα δομικά υλικά που επιλέχθηκαν για την ΑΥΔ, εξασφάλιζαν ότι οι επιφάνειες αυτές θα μπορούσαν να αποκτήσουν μικρομετρική ακρίβεια και να τη διατηρήσουν καθ' όλες τις πιθανές διαδικασίες και στάδια που θα περάσουν, π.χ. μια ΑΥΔ, μεταφορά, συναρμολόγηση, εγκατάσταση κ.λ.π.. Ένας τέτοιος παράγοντας θα μπορούσε να καθοριστεί μόνον εφόσον διαπιστωθούν οι εν λόγω διαδικασίες. Εν τω μεταξύ, μια

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ενδεικτική σύγκριση του Συντελεστή Θερμικής Διαστολής (ΣΘΔ–CTE) χρησιμοποιήθηκε για τους ίδιους σκοπούς.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Λόγος Poisson	Πυκνότητα (g/cm ³)	Παραμορφώσεις σε ονομαστικές συνθήκες στατικής φόρτισης θεμελιώδους διατομής (μm)	Παραμορφώσεις σε ονομαστικές συνθήκες στατικής φόρτισης ενελλακτικής διατομής (μm)
Aluminium -6061- AHC	68.9	0.33	2.71	51.2	26.3
Austenitic Stainless Steel	190.3	0.305	8.03	25.1	15.3
Aramid Fiber	70	0.34	1.38	46.8	21.1
Beryllium	307	0.085	1.852	11.4	5.7
Carbon Fibers	380 (anisotropic)	0.105	1.825	9.6	4.8
Epument 145/B	90	0.3	2.4	32.7	18.9
Silicon Carbide	420	0.16	3.21	8.7	12.2
Stainless Steel 440° C	206.7	0.27	7.758	22.1	15.4
Structural Steel	200	0.3	8.08	21.4	13.0
Titanium	102.8	0.361	4.51	37.5	20.6

Πίνακας 3-5: Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων για τα δομικά υλικά της ΑΥΔ

Για τη σύγκριση ΣΘΔ των υλικών της δοκού, αναζητήθηκαν και μελετήθηκαν, κυρίως για StSt, διαφορετικά κράματα από το ίδιο υλικό. Ο λόγος ήταν ότι τα διάφορα υλικά που προέρχονται από την ίδια οικογένεια έχουν αποδειχθεί αρκετές φορές να παρουσιάζουν διαφορετικές μικρομετρικές μετατοπίσεις υπό τα ίδια στατικά φορτία. Εκτός από αυτό το γεγονός, ο παρόμοιος ΣΘΔ τους θα μπορούσε να επιβεβαιώσει ότι μόνον συγκεκριμένα κράματα θα μπορούσαν να είναι πιθανοί υποψήφιοι για την ΑΥΔ. Για μια τέτοια ειδική μελέτη εξετάστηκαν, βιομηχανικά υλικά μαζικής παραγωγής, αλλά και καινοτομικά υλικά στο πλαίσιο της έρευνας.

Οι μικρομετρικές ανοχές και ο τρόπος εφαρμογής τους στη δοκό και στα υπόλοιπα συστατικά του συστήματος αντιστήριξης θα αναλυθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 4 που

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

πραγματοεύεται την πρότυπη κατασκευή. Ωστόσο, είναι ασφαλές να αναφερθεί ότι χωρίς τέτοιου είδους επιφανειακές ακρίβειες, επιπεδότητα και σχετικές ακρίβειες, ανάγνωση θέσης και τοποθέτηση, η ουσιαστική τελική συναρμολόγηση ακριβείας της ΕΜΔΔ δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί. Συνεπώς, είναι υποχρεωτικό ότι το εκάστοτε επιλεγμένο δομικό υλικό της ΑΥΔ πληρεί τα ανάλογα πρότυπα.

Υλικό	ΣΘΔ ($10^{-6} \times K^{-1}$)	Λόγος ελαστικότητας προς πυκνότητα	Ιδιοσυχνότητα – 1 st περίοδος (Hz)
Aluminium -6061-AHC	22.2	25.4	85.7
Austenitic Stainless Steel	17.3	23.7	89.8
Aramid Fiber	3.7	50.7	3823.2
Beryllium	11.5	165.8	210.2
Carbon Fibers	1.1	208.2	7451.8
Erument 145/B	15.0	37.5	2297.7
Silicon Carbide	5.2	130.8	187.3
Stainless Steel 440°C	9.9	5.8	84.0
Structural Steel	12.0	24.7	84.7
Titanium	8.6	227.9	81.6

Πίνακας 3-6: Αποτελέσματα δυναμικών προσομοιώσεων για μοντέλο ΑΥΔ με θεμελιώδη διατομή

Ένα από τα πρώτα αποτελέσματα της μελέτης υλικού της δοκού ήταν ότι το SiC ανήκει σε μια οικογένεια υλικών για τα οποία ισχύει η επιλεγμένη μας προτυποποίηση μικρομετρικών ανοχών. Επιπλέον, μετά από τη μελέτη, σαν εναλλακτικό δομικό υλικό, προτάθηκε μια συμφέρουσα επιλογή. Η οικογένεια των υλικών Erument μελετήθηκε και αποδείχθηκε ότι θα μπορούσε να εξασφαλίσει τις περισσότερες από τις αυστηρές απαιτήσεις για την κατασκευή ΑΥΔ. Τα μειονεκτήματα της εναλλακτικής λύσης ήταν περιορισμένα με το μεγάλο πλεονέκτημα να υπερिσχύει. Το κόστος βιομηχανικής κατασκευής ήταν δέκα φορές χαμηλότερο στην πρότυπη παραγωγή δοκών. Μια τέτοια θεώρηση ήρθε μετά από το γεγονός ότι μια μελλοντική μαζική βιομηχανική παραγωγή (~ 40 000 μονάδες) δύναται επίσης να επιτευχθεί για τις δοκούς του ΣΓΕΣΔ. Βέβαια η περίπτωση εκβιομηχάνισης σε τέτοιο βαθμό κατασκευής ΑΥΔ είναι μελλοντική και θα αφορά και επιπρόσθετους παράγοντες αξιολόγησης: παρούσα τεχνολογία, στάδιο μελέτης σύγχρονων υλικών, κλπ.

Στο Παράρτημα X της διατριβής παρατίθενται αναλυτικά οι αναφορές μελέτης που εξάχθηκαν από τον κώδικα ANSYS με τα αποτελέσματα, τις μοντελοποιημένες γεωμετρίες και τις μηχανικές ιδιότητες των γεωμετριών που προσομοιώθηκαν.

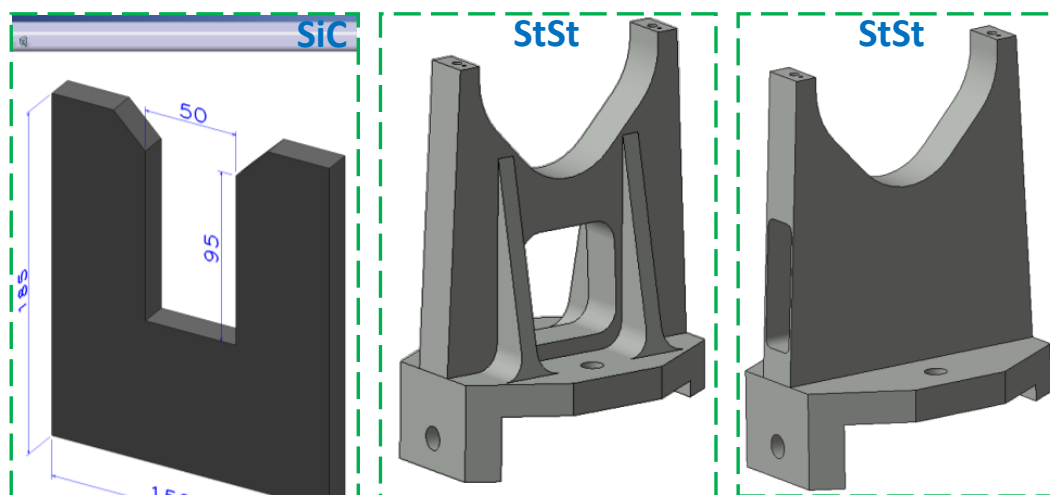
3.3.4 Η μελέτη υλικών για τα υποστηρίγματα Y-V

Δικαίως μπορούμε να αναφέρουμε ότι το δομικό υλικό της ΑΥΔ ήταν αποφασιστικής σημασίας για την επιλογή των ανάλογων δομικών υλικών των Y-V. Επειδή

θεωρήθηκαν ενσωματώσιμα κατά το σχεδιασμό της θεμελιώδους μορφής της δοκού. Το SiC ήταν αναπόφευκτα μία από τις επικρατούσες επιλογές δομικού υλικού για τέτοια συστατικά. Ωστόσο, ξεκίνησε μια εκτεταμένη έρευνα, ως μέρος της παρούσας μελέτης, κυρίως για να επιβεβαιώσει τις βασικές τεχνικές πληροφορίες για τα υποστηρίγματα Y-V.

Το πάχος του κυρίου σώματος αντιστήριξης ενός Y-V, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3-13 και 3-18, σχεδιάστηκε για πρώτη φορά βασισμένο στον αντίστοιχο όγκο που προορίζεται για αυτό το τμήμα της ΕΜΔΔ. Το εν λόγω Y-V κάλυψε μια χωρική διάταξη που ήταν το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού του συνολικού διαθέσιμου όγκου της ΕΜΔΔ σε μια πολύ πυκνο-φορτωμένη περιοχή. Μία τέτοια προκαταρκτική σχεδίαση σε περίγραμμα είχε αρχικά επαληθευτεί από τη μελέτη διαμόρφωσης. Έτσι, μετά την προσομοίωση, το υλικό SiC ανταπεξήλθε με επιτυχία στα επιβαλλόμενα φορτία με πολύ χαμηλές παραμορφώσεις, βάση της προκαταρκτικής διαστασιολόγησης των Y-V.

Ακολουθώντας τη μελέτη, άρχισε να προσεγγίζεται η θεμελιώδης μορφοποίηση για τα Y-V. Ήταν προφανές ότι ο μηχανισμός διασύνδεσής τους, με την ΑΥΔ, ήταν απαραίτητος να διατηρεί την ίδια ή τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό παρόμοια μηχανική συμπεριφορά με τα Y-V. Εσφαλμένη ανάλυση του ζητήματος διασύνδεσής τους θα μπορούσε να οδηγήσει σε μειωμένη ακαμψία και αποσταθεροποίηση, με πιθανές ρωγμές ή μακροσκοπικά ρηγματώσεις και θραύση ακόμη στην χειρότερη περίπτωση (τοπική ή ολική) κάτω από συνθήκες φόρτισης. Συνεπώς, το SiC ήταν επίσης υποψήφιο προς χρήση για αυτόν τον συγκεκριμένο μηχανικό σύνδεσμο. Στο ειδικό κεφάλαιο 4 για την πρότυπη κατασκευή αποσαφηνίζονται οι εξειδικευμένες τεχνικές που εφαρμόζονται για την εκπλήρωση αυτής της απαίτησης.



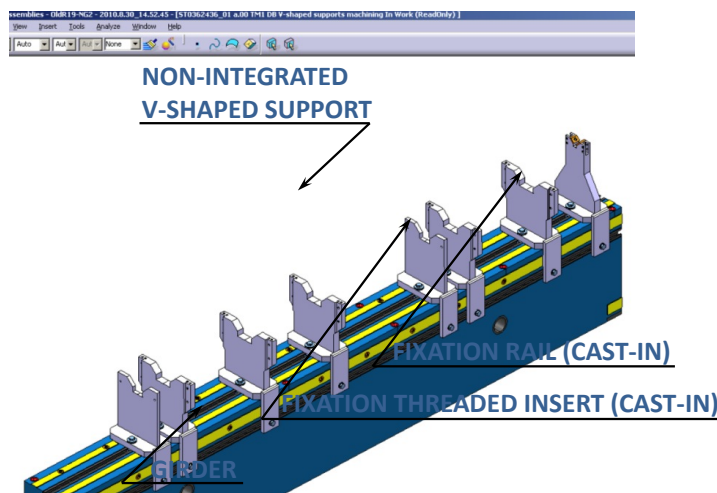
Σχήμα 3-21: Ενδεικτική προσέγγιση θεμελιώδους σχεδιασμού των Y-V

Το θεμελιώδες υλικό για τα Y-V, μετά από έρευνα, αποφασίστηκε να είναι το SiC. Παράλληλα, μια εναλλακτική λύση, το Erument ήταν απαραίτητη για να είναι συμβατή με το εναλλακτικό δομικό υλικό της ΑΥΔ. Το υλικό Erument ήταν ενισχυμένο με ένθετα συμπαγή κομμάτια και προσμίξεις προκειμένου να έχει την κατάλληλη στερεότητα. Ήταν αδύνατο να πληρεί τις απαιτήσεις της μηχανικής συμπεριφοράς των Y-V σε τόσο περιορισμένο χώρο. Άλλα διερευνήθηκαν έγκυρα υλικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή αυτή. Τελικώς, δύο

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

δυνατότητες προήχθησαν για περαιτέρω μελέτη ως ικανές για πιθανή υλοποίηση κομματιών Y-V.

- i. Επειδή το υλικό Erument χυτεύεται σε πρωτότυπο μορφοποιητή (καλούπι) κατά τη διάρκεια της κατασκευής, τα Y-V θα μπορούσαν να είναι έγκλειστα-ένθετα υποστηρίγματα όπως πολλά άλλα από τα χαρακτηριστικά των δοκών από Erument.
- ii. Μια άλλη προσέγγιση εντοπίστηκε με ένθετα συμβατά για διασύνδεση και στερέωση εισηγμένα μέσα στην ΑΥΔ από Erument. Τέτοια μηχανικά χαρακτηριστικά θα διασυνδέσουν και πακτώσουν τα Y-V επί της δοκού. Τέτοια λύση, επίσης, παρέχει σημαντική ευελιξία για τη διαμήκη τοποθέτηση των Y-V επί της δοκού.



Σχήμα 3-22: Διασυνδεδεμένα (αποσπώμενα) Y-V (StSt) επί μίας Erument (145/B) ΑΥΔ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο σχεδιασμός των διατάξεων ΠΡ ήταν σε εξέλιξη. Η διαμήκης τοποθέτηση των Y-V, ωστόσο, ήταν εντελώς εξαρτημένη από το σχεδιασμό δομής των διατάξεων ΠΡ. Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε να σχεδιαστούν αποσπώμενα Y-V, κατασκευασμένα από StSt ως εναλλακτική λύση για τις δοκούς Erument.

Σε αυτή την εναλλακτική περίπτωση, μια νέα μεθοδολογία συναρμολόγησης καθώς και ευθυγράμμιση εισήχθη για τα αποσπώμενα Y-V. Με αυτό τον τρόπο, μια ειδική συγκριτική μελέτη ξεκίνησε να εντοπίζει τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία μιας τέτοιας διαρρύθμισης. Τα τελικά αποτελέσματα θα παρουσιαστούν λεπτομερώς στο σχετικό κεφάλαιο 5, παρέχοντας παράλληλα χρήσιμα στοιχεία για την ανάλυση και επικύρωση και των δύο λύσεων, της θεμελιώδους και της εναλλακτικής για τα υποστηρίγματα Y-V.

Τελικά, σε όλες τις διαμορφώσεις των Y-V και τα δομικά τους υλικά (θεμελιώδης και εναλλακτική λύση), η αυστηρή απαίτηση ήταν το όριο παραμόρφωσής τους. Είτε υπό στατική φόρτιση, είτε επίσης κατά τη μεταφορά και τη συναρμολόγηση της ΕΜΔΔ (κρίσιμες και αναγκαστικές διαδικασίες), έπρεπε να είναι σχετικά άκαμπτα και παραμορφώσιμα με διαφορά τουλάχιστον μίας (1) τάξης μεγέθους μικρότερη από αυτήν της ΑΥΔ. Για παράδειγμα, τα Y-V από SiC παραμορφώνονται σε νανοκλίμακα υπό στατικές συνθήκες φόρτισης αν και τα Y-V από StSt παραμορφώνονται σε μικρομετρική κλίμακα αλλά σε πολύ μικρότερες τιμές από την ανάλογη εναλλακτικής λύσης δοκού από Erument.

3.3.5 Σύνοψη και συμπεράσματα για το θεμελιώδες και το εναλλακτικό δομικό υλικό για το υποστηρικτικό σύστημα

Η μελέτη υλικού για το σύστημα αντιστήριξης του ΣΓΕΣΔ είχε ακολουθήσει τη μελέτη διαμόρφωσης χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματά της ως είσοδο για τη συνέχεια. Και τα δύο προλεχθέντα βήματα διαμόρφωσαν έναν απαραίτητο ενδιάμεσο σύνδεσμο από τις λειτουργικές προδιαγραφές, που εκδίδονται από τις απαιτήσεις της φυσικής, στις τεχνικές προδιαγραφές των μηχανικών για την κατασκευή προτύπων.

Η μελέτη υλικού έλαβε ως είσοδο τους περιορισμούς από τη μελέτη διαμόρφωσης και προσέφερε, σαν αποτέλεσμα, τις επιλογές των δομικών υλικών που εφαρμόζονται για την βιομηχανική παραγωγή προτύπων διατάξεων. Η φάση πρότυπης κατασκευής βασίστηκε εξολοκλήρου σε αυτά τα πρώτα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ώστε να παραχθούν οι εφικτές λύσεις για το σύστημα αντιστήριξης και να προχωρήσει η μελέτη.

Συνοψίζοντας τη μελέτη υλικών καταλήγουμε στην επιλογή του υλικού SiC ως θεμελιώδους και του υλικού Epument ως έγκυρο υποψήφιο για μία εναλλακτική λύση. Τα αποτελέσματα με τη βοήθεια ΠΣ επιβεβαιώθηκαν/διασταυρώθηκαν και επαληθεύτηκαν σε πραγματικής κλίμακας συστήματα αντιστήριξης για ΕΜΔΔ που θεωρούνται τα πλέον ρεαλιστικά για καινοτομική κατασκευή. Η παραγωγή μιας ΑΥΔ πραγματικής κλίμακας κατασκευασμένη από οποιοδήποτε από αυτά τα υλικά δεν είχε λάβει χώρα ποτέ στη πολύχρονη μελέτη του ΣΓΕΣΔ, εισάγοντας νέες και άκρως ενδιαφέρουσες προκλήσεις και ανάγκες για καινοτόμες ιδέες για την εφαρμογή και πραγμάτωση μιας τόσο απαιτητικής πρότυπης κατασκευής.

Κεφάλαιο 4.

Η ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΔΙΠΛΗΣ-ΔΕΣΜΗΣ (ΕΜΔΔ) ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΩΝ ΔΕΣΜΩΝ (ΣΓΕΣΔ)

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η ακρίβεια κατασκευής και συναρμολόγησης του συστήματος υποστήριξης του ΣΓΕΣΔ είναι στην αιχμή της διαθέσιμης τεχνολογίας. Ως εκ τούτου, τα πρότυπα τμήματα των συστημάτων αντιστήριξης και σταθεροποίησης έπρεπε να κατασκευαστούν για εκτεταμένες δοκιμές και την επικύρωση της λειτουργίας τους. Οι επιλεγμένες λύσεις για τις πρότυπες δοκούς βασίστηκαν σε διαφορετικά υλικά, θεμελιώδης και εναλλακτική λύση, με εξειδικευμένες συνθέσεις. Οι αντίστοιχες μέθοδοι κατασκευής ήταν αναγκαίες για να είναι σύμφωνες με τις τεχνικές απαιτήσεις. Η κατασκευή προτύπου έλαβε χώρα στην αλυσίδα της μελέτης, μετά από την ποιοτική προσέγγιση των τεχνικών απαιτήσεων με τις τεχνικές προδιαγραφές και τη φάση σχεδιασμού που ακολούθησε. Επιτεύχθηκε η επιτυχής σύμβαση και παρακολούθηση σύμφωνα με το πρόγραμμα παραγωγής. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας κατασκευής ήταν η παράδοση των πρώτων καινοτομικών τμημάτων. Η υλοποίηση αυτών των προτύπων εμφανίστηκε ως η πιο προηγμένη εφαρμογή των συστημάτων υποστήριξης της ΕΜΔΔ και έδωσε για πρώτη φορά τη δυνατότητα πειραματικής μελέτης τους.

Για τα πρότυπα υποστηρικτικά συστήματα αλλά και για αυτά της μαζικής παραγωγής με διαμορφώσεις για ΕΡΓ και για ΠΚ-ΣΓΕΣΔ, διεξήχθησαν αρκετές έρευνες αγοράς, έρευνες τιμών και προκηρύξεις διαγωνισμών σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που αναφέρονται. Ανταποκρίθηκαν διεθνείς εταιρείες που με τις προσφορές και τις προτάσεις τους πρότειναν καινοτομικές σχεδιαστικές λύσεις για τις μεθόδους κατασκευής, τα υλικά κατασκευής και το τελικό στάδιο παραγωγής. Μετά τις αντίστοιχες τεχνικές συναντήσεις αξιολόγησης, σύγκριση και ανάλυση σχεδιασμού, οι περιπτώσεις κατασκευής ορίστηκαν σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

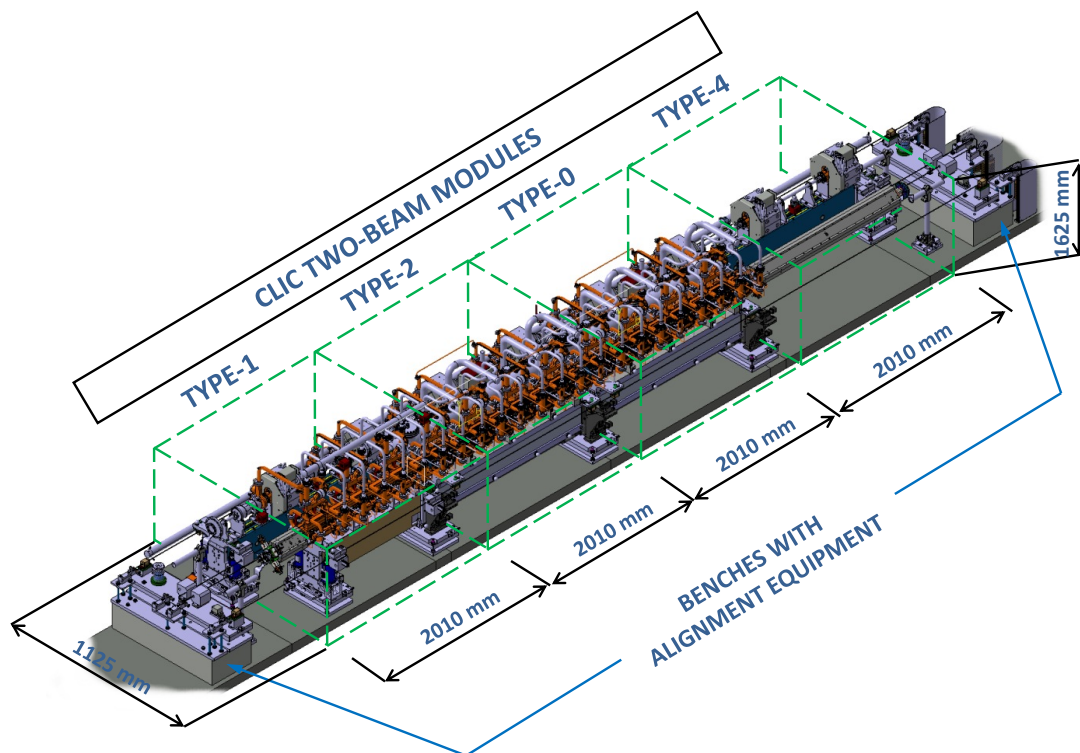
- i. Βέλτιστη συμβατότητα με τις τεχνικές προδιαγραφές,
- ii. Πλήρης συμβατότητα με τις τεχνικές προδιαγραφές χώρου,
- iii. Βελτιστοποίηση σχεδιασμού για κάθε τμήμα ξεχωριστά,
- iv. Δυνατότητα πιστοποίησης ποιότητας από την εταιρία και δυνατότητα ασφαλούς μεταφοράς των υποστηρικτικών συστημάτων, που να προεξοφλεί το επιτυχές του αποτελέσματος,
- v. Αξιοπιστία βιομηχανικού ελέγχου, λειτουργικότητας, αποδόσεων και δυνατότητας συντήρησης κατασκευής μετά την τελική παράδοση κι εγκατάσταση.

Τέτοιες περιπτώσεις κατασκευής περιγράφονται με στόχο να παρουσιαστούν όλες οι λεπτομέρειες για τις επιλεγμένες τεχνικές και τα εγκατεστημένα συστήματα αντιστήριξης. Η πρώτη παρτίδα των προτύπων παραδόθηκε για να εγκατασταθεί στο εργαστήριο για τη δοκιμή και την επικύρωση τους, με φόρτιση τμημάτων ΠΡ μακέτας. Οι ΕΜΔΔ Τύπων 1-0-0-4 ήταν η αλληλουχία που έχει επιλεγεί για τη συγκεκριμένη έκδοση. Με τον τρόπο αυτό, εγκαθίστανται ΕΜΔΔ διαφόρων Τύπων σε σειρά που επιλέχθηκαν με βάση τη συχνότητα της παρουσίας της συγκεκριμένης αλληλουχίας ΕΜΔΔ στον μελλοντικό επιταχυντή ΣΓΕΣΔ. Μετά την επιτυχημένη επικύρωση αυτής της πρώτης έκδοσης των προτύπων και τη βελτιστοποίηση που ανατροφοδότησε σχετικά το σχεδιασμό, ακολουθεί η δεύτερη φάση σχεδιασμού και κατασκευής των επόμενης γενιάς στηριγμάτων.

Κατά τη δεύτερη φάση κατασκευής, ξεκίνησε μια ανάλογη αλλά διαφορετική σειρά παραγωγής. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό, οι ΕΜΔΔ με μία αλληλουχία των Τύπων 0-0-1 επρόκειτο να εγκατασταθεί στο ΠΚ-ΣΓΕΣΔ. Σε αυτή την περίπτωση, όλα τα

υποσυστήματα των ΕΜΔΔ ήταν πραγματικά και για πρώτη φορά σε πραγματική κλίμακα ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ, μεταξύ άλλων δοκιμών και λειτουργιών, για να επιτευχθεί επιτάχυνση δεσμών των υποατομικών φορτισμένων σωματιδίων. Και στις δύο περιπτώσεις των προτύπων και αυτών της μαζικής παραγωγής, όλα τα υποστηρικτικά συστήματα ήταν από πραγματικά στοιχεία. Ο λόγος ήταν η άμεση σκοπιμότητα ελέγχου και δοκιμών που απαιτούνται για την επικύρωση προς επιβεβαίωση όλων των κρίσιμων προϋποθέσεων για να προχωρήσει η επίτευξη ενός βιώσιμου σχεδιασμού για την επιταχυντική μηχανή του ΣΓΕΣΔ.

Στη μαζική παραγωγή περιλαμβάνονται όλα τα πιθανά σημεία βελτιστοποίησης που προέρχονται από την επικύρωση της κατασκευής προτύπων. Για το λόγο αυτό, η στρατηγική κατασκευής που ακολουθήθηκε στην παραγωγή εν σειρά διέφερε με εκείνη για την κατασκευή προτύπων. Η κατασκευή προτύπων σε περιπτώσεις Α και Γ, αναλύονται στο παρόν κεφάλαιο, ενώ τα σημερινά συστήματα υποστήριξης κατασκευάζονται από τη βιομηχανία σε ξεχωριστά τμήματα με σχεδιασμό και επίβλεψη από το CERN και στη συνέχεια συναρμολογούνται με καινοτομικές στρατηγικές ακριβείας στο CERN. Για λόγους σύγκρισης, το πρότυπο της περίπτωσης κατασκευής Β χτίστηκε και παραδόθηκε στο CERN ως ένα πλήρες πακέτο συστήματος αντιστήριξης, τοποθέτησης και ευθυγράμμισης, αλλά με μια ειδικά ανεπτυγμένη τεχνική για την επίτευξη τελικής ακριβείας στην ανοχή ευθυγράμμισής του, με προεντεταμένες δοκούς κάτω από μηχανικά φορτία.

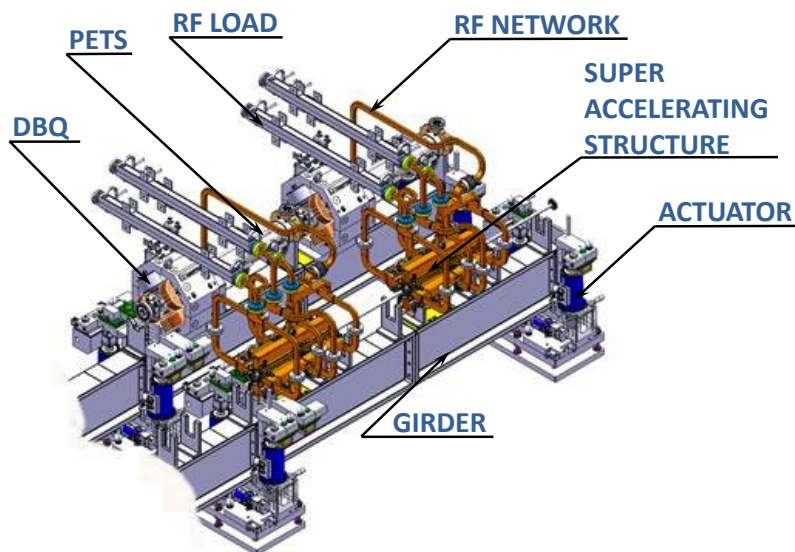


Σχήμα 4-1: ΕΜΔΔ στο ΕΡΓ (αλληλουχία Τύπων 1-0-0-4)

Από την άλλη πλευρά, για την μαζική παραγωγή, σχεδιάστηκαν και παραγγέλθηκαν από το CERN για το ΣΓΕΣΔ ολοκληρωμένα συστήματα αντιστήριξης. Η προσπάθεια του μηχανικού, το συνολικό κόστος των συνιστώσων, ο χρόνος συναρμολόγησης και το ανθρώπινο δυναμικό που απαιτούνται για την τελική συναρμολόγηση ακριβείας των επιμέρους τμημάτων απέδειξε ότι η λύση της αγοράς είναι λιγότερο αποτελεσματική. Επιπλέον, τα πλήρη υποστηρικτικά συστήματα της μαζικής παραγωγής θα μπορούσαν να επικυρωθούν με περισσότερο χρονικά αποτελεσματικές

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

μεθόδους, όπως παρουσιάζεται με όλες τις λεπτομέρειες και τα στάδια μελέτης και κατασκευής στο αντίστοιχο κεφάλαιο 5.



Σχήμα 4-2: Ενδεικτική ΕΜΔΔ Τύπου-0 για το ΠΚ-ΣΓΕΣΔ

Καταλήγοντας, από τη σκοπιά του σχεδιασμού, ένα πλήρες σύστημα αντιστήριξης θα μπορούσε να είναι με ακρίβεια ελέγξιμο αναφορικά με τη συμβατότητα του όγκου του. Στη συνέχεια, οι ανοχές κατασκευής και η αποτελεσματικότητα λειτουργίας θα έχουν τη δυνατότητα να επικυρωθούν ενδελεχώς. Αρκετοί από τους ενδιάμεσους και μακροσκελείς ποιοτικούς ελέγχους επικύρωσης θεωρήθηκαν βήματα περιττά και καταργήθηκαν θέτοντας τη βάση για ακριβέστερα κριτήρια επικύρωσης εφαρμοσμένα αποκλειστικά για την εν λόγω πρότυπη κατασκευή.

4.2 ΣΗΜΕΙΑ ΚΛΕΙΔΙΑ ΣΤΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τόσο τα πρότυπα όσο και τα τμήματα από την παραγωγή σειράς είναι απαραίτητα για την καθιέρωση μιας στρατηγικής κατασκευής έχοντας υπόψη την αντιμετώπιση των βασικών τεχνικών θεμάτων που σχετίζονται με την υλοποίηση των συστημάτων αντιστήριξης. Αυτά τα βασικά τεχνικά θέματα μελετούνται και αντιμετωπίζονται προκειμένου να ξεπεραστούν κυρίως τα κατασκευαστικά όρια της διαθέσιμης βιομηχανικής τεχνολογίας σήμερα. Οι επίμονες προσπάθειες για τη μελέτη της μηχανικής και η στρατηγική της κατασκευής έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή καινοτικών απαντήσεων σε αυτές τις βασικές παραμέτρους:

- i. Δυνατότητες κατασκευής με μικρομετρικές ανοχές εφαρμόζονται στο σύνολο των τμημάτων και υποσυστημάτων που απαρτίζουν το υποστηρικτικό σύστημα,
- ii. Ειδικά ανεπτυγμένη στρατηγική για την εγκατάσταση και δυνατότητα εναλλαγής του συστήματος αντιστήριξης βασισμένες στη στρατηγική μεταφοράς του ΣΓΕΣΔ και στις διαδικασίες χειρισμού,
- iii. Εξειδικευμένη μελέτη για τη στρατηγική μεταφοράς και χειρισμού της ΕΜΔΔ σύμφωνα με την εδραιωμένη μεθοδολογία εγκατάστασης και χωροταξίας του ΣΓΕΣΔ.

4.2.1 Διαστασιολογικές ανοχές και βιομηχανικές εφαρμογές

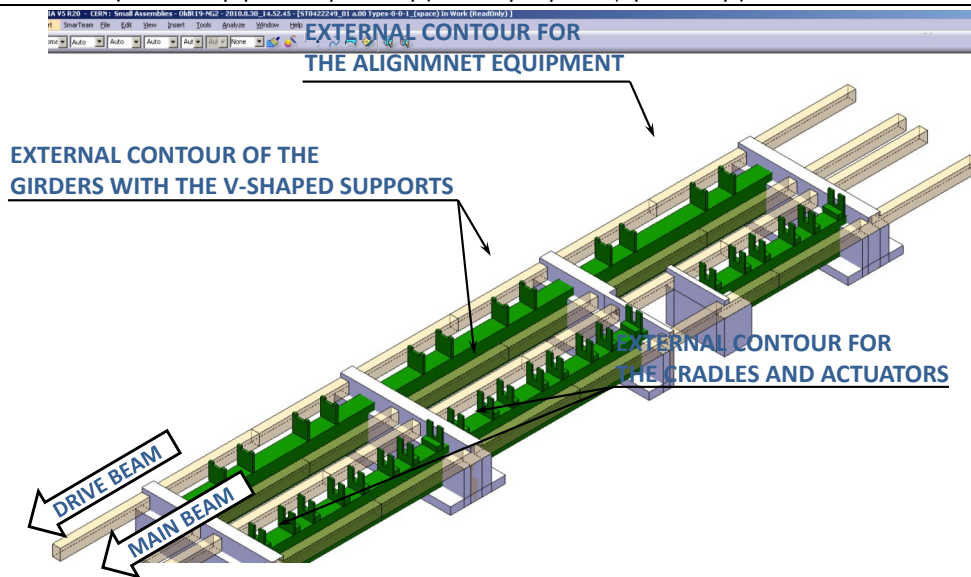
Όπως συζητήθηκε μέχρι τώρα, η επιτυχής λειτουργία για τον μελλοντικό επιταχυντή ΣΓΕΣΔ απαιτεί ανοχές αναφοράς για την εγκατάσταση με μικρομετρική ακρίβεια για

τη λειτουργία του άξονα της δέσμης των φορτισμένων σωματιδίων που επιταχύνονται. Στα αποτελέσματα της μελέτης του συστήματος της αντιστήριξης ελήφθη υπόψη ότι τα περισσότερα από τα υποσυστήματα που κατασκευάζονται για έναν τέτοιο επιταχυντή απαιτούν ακρίβεια σχήματος της ίδιας (μικρομετρικής) τάξης μεγέθους. Για την υφιστάμενη εφαρμογή, η μεγάλη πλειοψηφία των ευρωπαϊκών βιομηχανικών επιχειρήσεων μηχανολογικών κατασκευών υψηλής τεχνολογίας δεν απαιτείται να εφαρμόζουν τέτοιου είδους κατασκευαστικές ανοχές στους τομείς εξειδίκευσής τους. Συνεπώς, κρίθηκε απαραίτητο να αρχίσει μία εποικοδομητική συνεργασία με τις εταιρείες που είναι σε θέση να εκτελέσουν κατασκευές σε επίπεδο μικρομηχανικής και σε συνδυασμό με προηγμένες εφαρμογές στη μηχανική των υλικών.

Παρόμοια πεδία εφαρμογών θα μπορούσαν να θεωρηθούν αυτά της διαστημικής τεχνολογίας, της πυρηνικής τεχνολογίας και των αμυντικών κατασκευών. Σημαντική ερευνητική προσπάθεια έλαβε χώρα, ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένας διάυλος επικοινωνίας, σε συνεργασία και με συνεπαγόμενη μεταφορά τεχνογνωσίας, με τις επιχειρήσεις αυτών των τομέων. Οι ανάγκες κατασκευής της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ από τις ευρωπαϊκές κατασκευαστικές επιχειρήσεις, αναφέρονταν σύμφωνα με τις προϋποθέσεις των εμπορικών κανονισμών για τις προμήθειες του οργανισμού CERN. Ως πρώτο βήμα, οι επιχειρήσεις που είχαν κατασκευάσει τα πρόσφατα μικρού αριθμού και περιορισμένων διαστάσεων πρότυπα πολύ μικρότερης κλίμακας για τις εισαγωγικές δοκιμές του ΣΓΕΣΔ προσκλήθηκαν σε επαφή και αργότερα η μελέτη απευθύνθηκε και σε πολλές άλλες επιμέρους επιχειρήσεις μικρομηχανικών κατασκευών που ανταποκρίθηκαν στις τεχνολογικές απαιτήσεις για την πορεία της μελέτης.

Επιπλέον των απαιτούμενων αυστηρών προδιαγραφών κατασκευής, οι συνεργαζόμενες με το CERN βιομηχανικές επιχειρήσεις απαιτείται να διαθέτουν τις αντίστοιχες μεθόδους για την αξιολόγηση και τη συνολική επικύρωση του ελέγχου ποιότητας της κατασκευής και λειτουργίας μετά την παραγωγή των υποσυστημάτων και των τμημάτων των προτύπων. Για τα πιο κρίσιμα τμήματα των υποστηρικτικών συστημάτων, αρκετές μετρήσεις διαστασιολογικού ελέγχου είχε προβλεφθεί να παρεμβληθούν κατά τη διάρκεια των ενδιάμεσων σταδίων κατασκευής. Ακριβή εξαρτήματα των εργαλειομηχανών και ιδιαίτερα ανεπτυγμένα όργανα μέτρησης απαιτούνται μαζί με την τεχνογνωσία και εμπειρία αφιερωμένη σε ποιοτικούς ελέγχους για την ορθή αξιολόγηση του βιομηχανικού αποτελέσματος.

Ο συνδυασμός των δυνατοτήτων παραγωγής σε μικρομηχανική και του ελέγχου κατασκευαστικών ανοχών ακριβείας συντελούν στη μορφοποίηση του γενικού εξωτερικού προφίλ του προϊόντος/έργου. Η ανάλυση κατασκευής σε βάθος του παρόντος κεφαλαίου για τις στρατηγικές και τις μεθόδους υλοποίησης ακολουθούνται με τις σχετικές τεχνικές αξιολόγησης και τα ανακτηθέντα αποτελέσματα (κεφάλαιο 5).

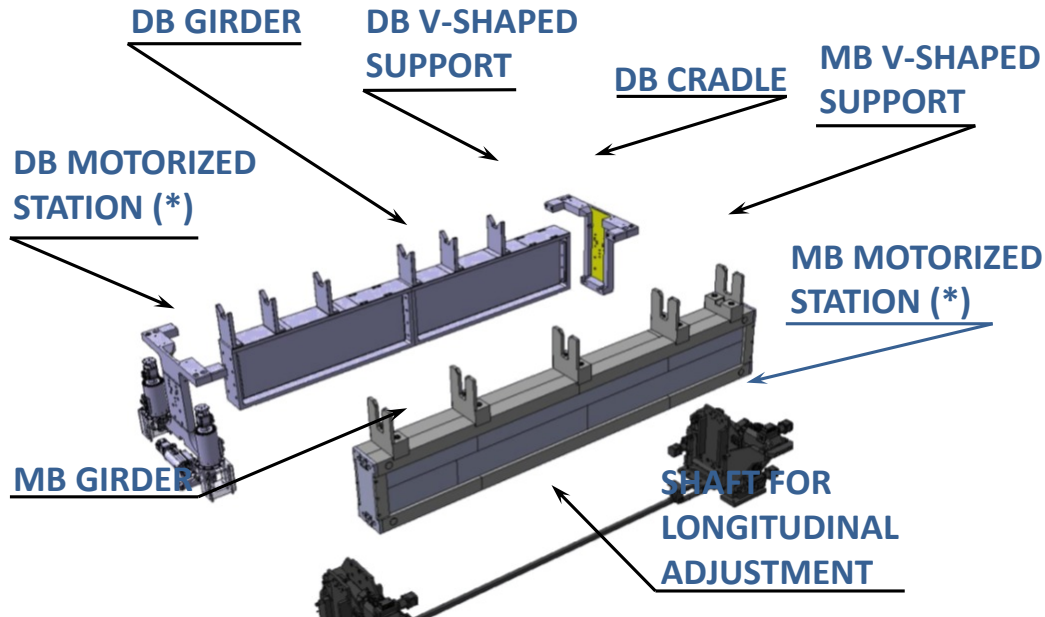


Σχήμα 4-3: Γενικός περιβάλλον όγκος των συστημάτων αντιστήριξης, μέρος των κατασκευαστικών προδιαγραφών, παρεχόμενων στις κατασκευαστικές εταιρίες. Τα πρότυπα υποστηρικτικά συστήματα ελέγχθηκαν για να έχουν 100% χωροταξική συμβατότητα και συμβατότητα όγκου με αυτό το μοντέλο.

4.2.2 Στρατηγική μεταφοράς και χειρισμού

Μία από τις βασικές παραμέτρους της μηχανολογίας που αναπτύχθηκε για όλους τους τύπους των ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ ήταν η διαμόρφωση της στρατηγικής και της μεταφοράς των επιμέρους διαδικασιών τους. Μία από τις κύριες αρχές είναι ότι η κάθε ΕΜΔΔ θα συναρμολογηθεί στο κατάλληλο ενδεικνυόμενο εργαστηριακό περιβάλλον στην επιφάνεια της γης και στη συνέχεια θα μεταφέρεται στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ και θα εγκαθίσταται σε σειρά. Για το λόγο αυτό το σύστημα αντιστήριξης έχει σχεδιαστεί για να ανθίσταται σε στατικές αλλά και σε δυναμικές καταπονήσεις και κραδασμούς. Παρουσιάζει στήριξη και σταθεροποίηση όλων των συστατικών κατά τη μεταφορά και τις διαδικασίες χειρισμού μεταφοράς.

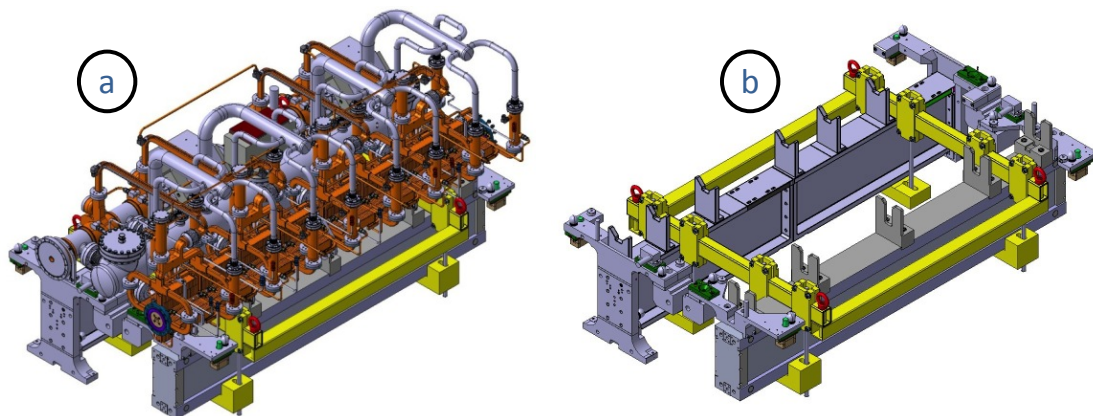
Η προβλεπόμενη διαδικασία ξεκινά με την ενδεικτική συναρμολόγηση των ΕΜΔΔ ξεχωριστά σε ειδικό εργαστήριο. Κατ' αρχήν, οι μηχανοκίνητοι ή αλλιώς κινητήριοι σταθμοί (συναρμολόγηση κινητήρων) εγκαθίστανται στις ειδικές πλάκες ευθυγράμμισης. Το υποσύστημα των ΑΥΔ με Y-V συναρμολογείται στα ΛΑ και κατέρχεται κάθετα από πάνω σε κίνηση και στερεώνονται επί των μηχανοκίνητων σταθμών. Στη συνέχεια, εγκαθίστανται τα στοιχεία ΠΡ που αποτελούνται από τις ΕΔ, τα ΔΕΜΕ και τους ΟΔ-μαγνήτες. Οι διατάξεις ΠΡ, του κενού και το δίκτυο ψύξης συναρμολογούνται ακολούθως στην τελική θέση του. Μία προ-ευθυγράμμιση επιτυγχάνεται ως βήμα επιβεβαίωσης της τελικής θέσης. Η πρώτη ακριβής συναρμολόγηση έλαβε χώρα στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου. Η ΕΜΔΔ είναι έτοιμη να μετατοπιστεί και να μεταφερθεί στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ. Όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν πριν θα μεταφερθούν ως μία μονάδα της ΕΜΔΔ με μόνη εξαίρεση τους μηχανοκίνητους σταθμούς. Κατ' αρχάς, οι σταθμοί θα εγκατασταθούν και πακτωθούν στο πάτωμα της σήραγγας και στη συνέχεια η ΕΜΔΔ θα συναρμολογηθεί σε αυτούς.



(*) MOTORIZED STATION: CRADLE, ACTUATORS, ACTUATOR INSTALLATION FEATURES

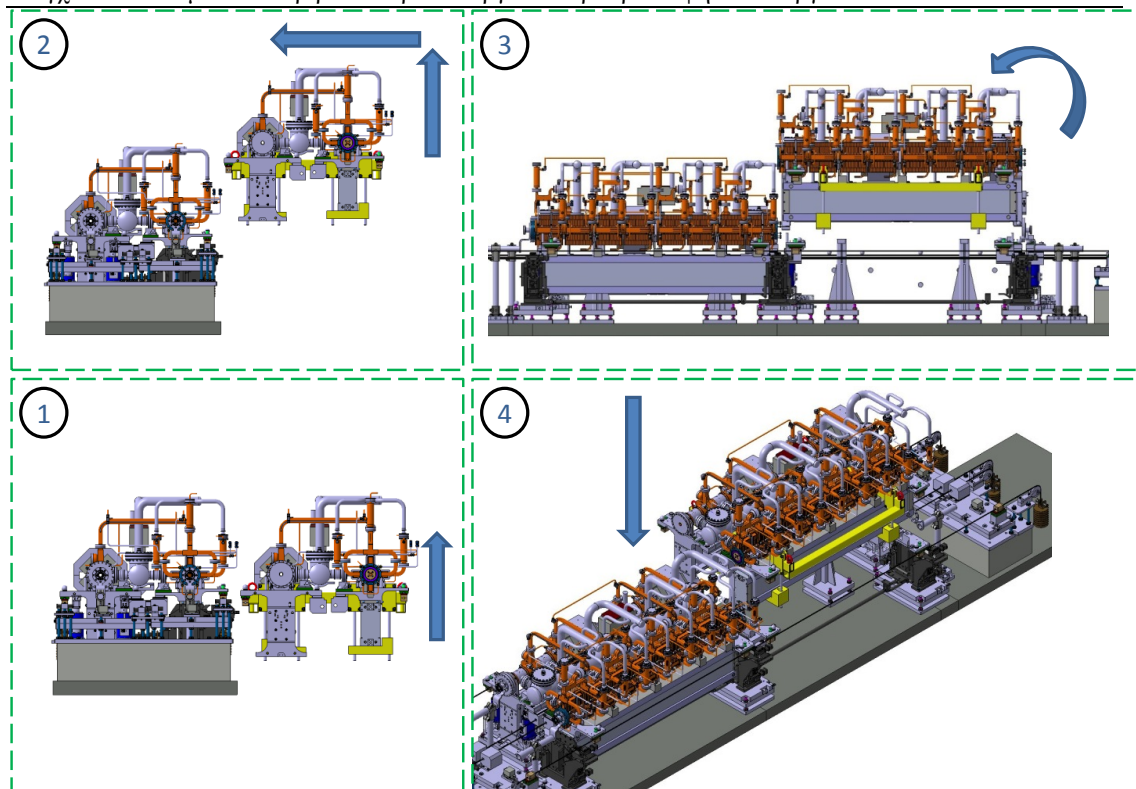
Σχήμα 4-4: Υποσυστήματα πρότυπων υποστηρικτικών συστημάτων για την ΕΜΔΔ Τύπου-0 του ΣΓΕΣΔ (ΕΡΓ)

Ειδικά πλαίσια μεταφοράς μελετήθηκαν και προτάθηκαν. Ένα τέτοιο πλαίσιο θα διασφαλίσει τη σταθεροποίηση κατά την ανύψωση και όλους τους χειρισμούς της ΕΜΔΔ, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4-5α. Το πλαίσιο της μεταφοράς θα είναι σε επαφή με το σύστημα αντιστήριξης της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ. Τα σημεία ανύψωσης της ΕΜΔΔ έχουν τέσσερις (4) συνολικά κοχλίες συγκεκριμένων προδιαγραφών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-5β. Ο κύριος λόγος είναι να διατηρηθεί μια αρτίως εξισορροπημένη κίνηση για το κέντρο μάζας της ΕΜΔΔ καθ'όλη τη διάρκεια της μεταφοράς και του χειρισμού μεταφοράς.



Σχήμα 4-5: α) Συναρμολογημένη ΕΜΔΔ με το πλαίσιο μεταφοράς, β) Πλαίσιο μεταφοράς συναρμολογημένο πάνω στο σύστημα αντιστήριξης της ΕΜΔΔ (οι κοχλίες ανύψωσης διακρίνονται με κόκκινο χρώμα)

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



Σχήμα 4-6: Αλληλουχία εγκατάστασης των ΕΜΔΔ (σε βήματα)

Μια πολύ σημαντική προϋπόθεση για τη μεταφορά είναι ότι καθ'όλη τη διαδικασία, τόσο η ΑΥΔ της ΚΔ όσο και η ΑΥΔ της ΟΔ πρέπει να παραμείνουν σε απόλυτα οριζόντια θέση. Πρόσθετες περιβαλλοντικοί παράμετροι, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία θα πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται λεπτομερώς. Κρούσεις και ταλαντώσεις πρέπει να αποφεύγονται σε κάθε περίπτωση, έτσι ώστε να μην προκληθεί οποιαδήποτε βλάβη στην ΕΜΔΔ και ενδεχομένως να χαθεί η προ-ευθυγράμμιση των υποσυστημάτων της.

Επιπροσθέτως, η ειδικώς ανεπτυγμένη μεθοδολογία εγκατάστασης της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ απεικονίζεται στο Σχήμα 4-6 με τη σχετική αλληλουχία των βημάτων εγκατάστασης.

4.2.3 Εγκατάσταση και εναλλαξιμότητα των διατάξεων του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ

Η μεθοδολογία αποσυναρμολόγησης και εναλλαξιμότητας των υποσυστημάτων και διατάξεων ήταν από τα επιπλέον βασικά κριτήρια σχεδιασμού για την ΕΜΔΔ και κατά συνέπεια και για το σύστημα αντιστήριξης. Η δυνατότητα αποτελεσματικής και διεξοδικής συντήρησης των ΕΜΔΔ έχει διερευνηθεί και εισαχθεί ως μια βασική στρατηγική λειτουργία. Έτσι, στην περίπτωση αυτή μία ΕΜΔΔ ανυψώνεται και αφαιρείται από τη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ σύμφωνα με τη μεθοδολογία μεταφοράς και εν συνεχεία μετακινείται σε ένα υπέργειο εργαστήριο. Ακολούθως, οποιαδήποτε από τις διατάξεις της ΕΜΔΔ δυσλειτουργεί μπορεί να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί με μία εφεδρική ή μία άλλη διάταξη προσφάτως συντηρημένη. Για να διευκολυνθεί μία τέτοια διαδικασία αλλά και να υπάρξει ελάχιστη απώλεια χρόνου και μέγιστη δυνατή ακρίβεια, η στρατηγική συναρμολόγησης των ΕΜΔΔ σε σειρά για να σχηματίσουν το ΣΓΕΣΔ ακολούθησε την αρχή της μεταφοράς της εγκατάστασης εξαρτημάτων "κάθετα από επάνω".

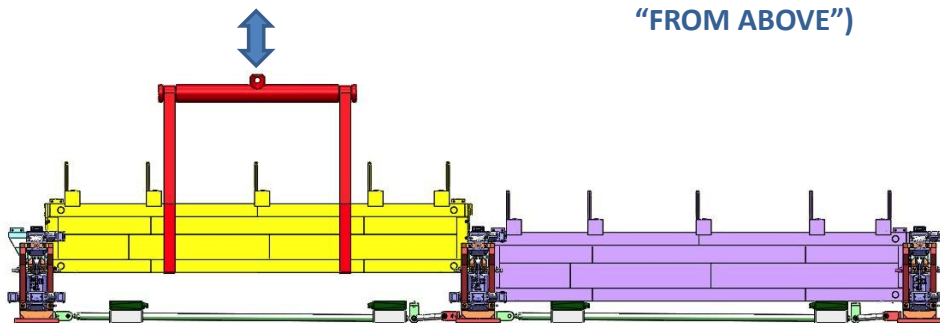
Στην περίπτωση που η ΑΥΔ θα πρέπει να αντικατασταθεί για συντήρηση, ισχύει η ίδια μεθοδολογία απεγκατάστασης. Ένας υποβοηθητικός πάγκος/βάση θα σταθεροποιήσει την ΕΜΔΔ στο εργαστήριο και όλα τα εξαρτήματα και οι διατάξεις ΠΡ θα πρέπει σταδιακά να μετατοπιστούν, από την κορυφή προς τα κάτω. Εν συνεχεία, η δοκός θα πρέπει να αποσυναρμολογηθεί από τους κινητήριους σταθμούς και να αρθεί προς την επάνω διεύθυνση από την εναπομένουσα ΕΜΔΔ με τη βοήθεια ειδικού εξοπλισμού που αποτελείται από ειδικά μελετημένο και σχεδιασμένο συνδυασμό ειδικού κρεμαστού γερανού και ιμάντων ανύψωσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-7.

Τα εξαρτήματα της ΕΜΔΔ έχουν σχεδιαστεί για να είναι εναλλάξιμα, προκειμένου να ανταποκριθούν με την παρούσα στρατηγική συντήρησης. Δεν μπορούμε να βασιστούμε σε μοναδικά συστατικά για την ΕΜΔΔ καθώς οι προσπάθειες συντήρησης τους θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικές χρονικές καθυστερήσεις της λειτουργίας του επιταχυντή. Όλα τα μέρη έχουν συναρμολογηθεί και εγκατασταθεί με πρότυπες διαδικασίες, όπως έχει αναλυθεί, αλλά προβλέπεται επίσης και πιθανή αντικατάστασή τους, αν χρειαστεί, από πανομοιότυπα ανταλλακτικά τους. Ειδικότερα, οι συνιστώσες του υποστηρικτικού συστήματος είναι ρητά σχεδιασμένες ώστε να είναι εύκολα αντικαταστάσιμες και για το λόγο αυτό πολλά από τα χαρακτηριστικά κατασκευής τους και τις στρατηγικές παραγωγής τους που ακολουθούνται επιλέχθηκαν με γνώμονα τα παρακάτω κριτήρια:

- i. Δυνατότητα μαζικής παραγωγής,
- ii. Δυνατότητα εκβιομηχανοποίησης της παραγωγής,
- iii. Δυνατότητα προσυναρμολόγησης των κινητήριων σταθμών,
- iv. Ενσωματωμένα Y-V στις ΑΥΔ,
- v. Χρήση εξειδικευμένου ανυψωτικού εξοπλισμού.



**GIRDER
ASSEMBLY/DISASSEMBLY
METHODOLOGY
(AS DEFINED IN THE TEXT
"FROM ABOVE")**



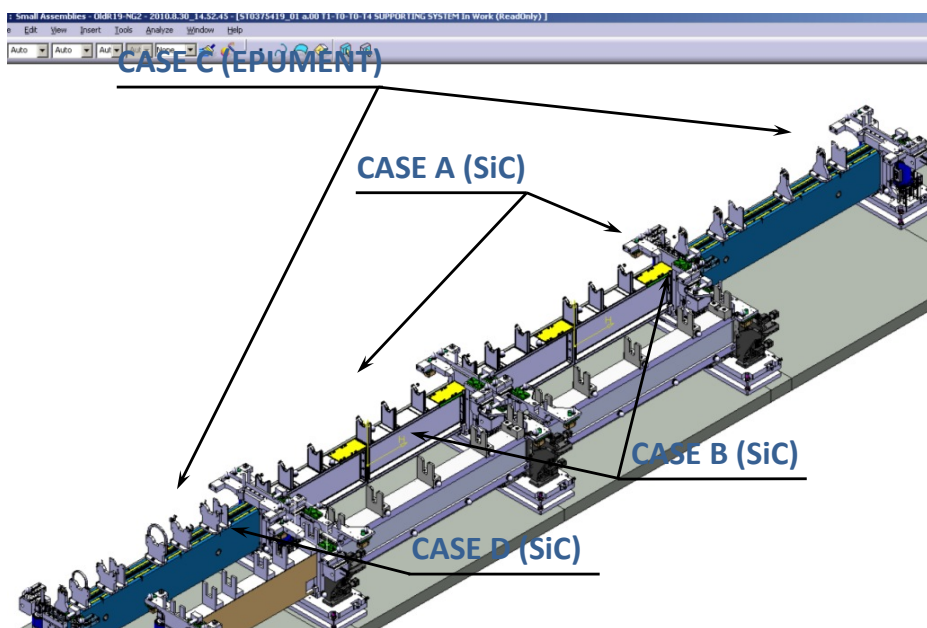
Σχήμα 4-7: Σχηματική αναπαράσταση της ΑΥΔ με Y-V με βάση τη στρατηγική συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης

4.3 ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΔΔ ΤΟΥ ΣΓΕΣΔ

Η Έρευνα και Ανάπτυξη (E & A) για το υποστηρικτικό σύστημα για την ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ έφτασε πλέον στην κατάσταση στην οποία αναμενόταν να παγειωθεί ο σχεδιασμός της και να προκριθούν τα εγκεκριμένα κατασκευαστικά σχέδια. Ο επιτυχής συγκερασμός του μηχανολογικού σχεδιασμού και των βασικών κατασκευαστικών παραμέτρων έχει επιτευχθεί. Οι δύο διαφορετικές διαμορφώσεις, ΕΡΓ και ΣΓΕΣΔ-ΠΚ, διαχωρίστηκαν και ξεκίνησαν οι σχετικές έρευνες αγοράς για την υλοποίηση.

Αρχικά διερευνήθηκε η διαμόρφωση ΕΡΓ, είναι χωρισμένη σε αρκετές υπο-περιπτώσεις κατασκευής έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αντίστοιχων διαφορετικών στρατηγικών μελέτης και υλοποίησης:

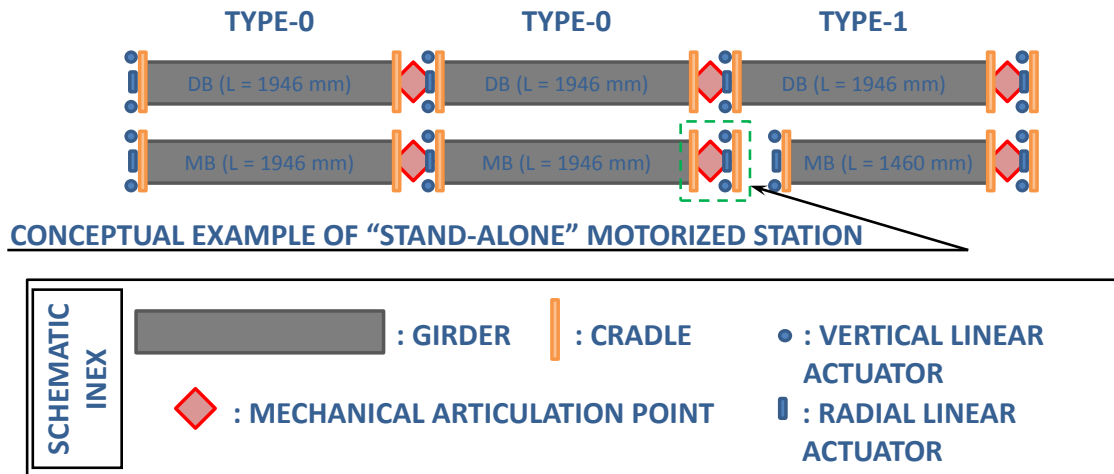
- i. Δύο ΑΥΔ κατασκευασμένες από SiC με ενσωματωμένα Y-V για την ΟΔ των ΕΜΔΔ Τύπων 0-0 συναρμολογημένες σε σειρά στο εργαστήριο του CERN (Περίπτωση Α),
- ii. Δύο πλήρη υποστηρικτικά συστήματα (με ΑΥΔ κατασκευασμένες από SiC με ενσωματωμένα Y-V) για την ΚΔ των ΕΜΔΔ Τύπων 0-0 συναρμολογημένα σε σειρά, από την προκρινθείσα βιομηχανική μονάδα (Περίπτωση Β),
- iii. Δύο ΑΥΔ κατασκευασμένες από Ερument με ένθετα εξαρτήματα για πακτώσεις μερών αντιστήριξης προοριζόμενες για την ΟΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-1 και για την ΟΔ της ΕΜΔΔ, συναρμολογημένα στο εργαστήριο του CERN (Περίπτωση Γ),
- iv. Μία ΑΥΔ κατασκευασμένη από SiC με ενσωματωμένα Y-V για την ΚΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-1, συναρμολογημένη στο εργαστήριο του CERN (Περίπτωση Δ).



Σχήμα 4-8: Πρότυπα υποστηρικτικά συστήματα για τις ΕΜΔΔ της διαμόρφωσης του ΕΡΓ

Ακολούθησε η πρόσκληση για υποβολή προσφορών για τις προμήθειες των συστημάτων αντιστήριξης του ΣΓΕΣΔ-ΠΚ. Σε αυτή την δεύτερη περίπτωση, τα ολοκληρωμένα υποστηρικτικά συστήματα σχηματίζουν σε σειρά ΕΜΔΔ για την αλληλουχία Τύπων 0-0-1 και ζητήθηκε να κατασκευαστούν με βάση της πρότυπες καινοτομικές μελέτες, να παραδοθούν και να εγκατασταθούν απευθείας στην εργαστηριακή υποδομή του CERN. Ο κύριος λόγος, όπως αναφέρθηκε και πριν, ήταν

η μέγιστη απόδοση για το χρονοδιάγραμμα της διαδικασίας κατασκευής και εγκατάστασης πριν την πειραματική τους λειτουργία. Φυσικά, η προκαταρκτική μελέτη σε αυτό το στάδιο θα υπάκουε σε βελτιστοποίηση που επιβλήθηκε από τα πρότυπα που μελετήθηκαν, κατασκευάστηκαν, εγκαταστάθηκαν και λειτούργησαν πειραματικά στη διάταξη του EPG.



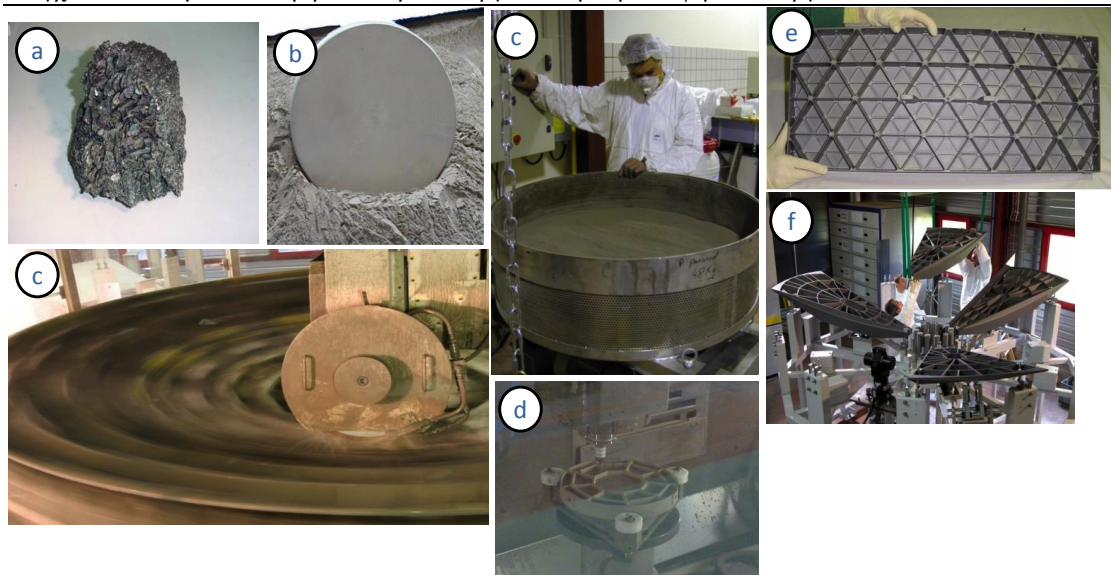
Σχήμα 4-9: Σχηματική αναπαράσταση των υποστηρικτικών συστημάτων μαζικής παραγωγής για τις ΕΜΔΔ της διατάξεως του ΣΓΕΣΔ-ΠΚ

4.3.1 Στοχευμένη καινοτομική κατασκευή των περιφερειακών εξαρτημάτων και διατάξεων του υποστηρικτικού συστήματος

Το σύστημα αντιστήριξης της ΕΜΔΔ περιλαμβάνει διάφορα συστατικά που θεωρούνται περιφερειακής λειτουργίας. Η λειτουργία τους είναι αναμφισβήτη σημαντική, ωστόσο, η απλότητά τους και η προσαρμοστικότητα του σχεδιασμού τους, ανάλογα με τα γειτονικά τους υποσυστήματα, τα καθιστούν ως βοηθητικά. Τέτοια περιφερειακά συστατικά θεωρούνται:

- i. **Σ-Υ**: Ενσωματωμένα στα Y-V (StSt) ή υφιστάμενα ως μεμονωμένα συστατικά. Είναι συμβατά με το σχεδιασμό των Y-V για όλες τις περιπτώσεις υποστηρικτικών συστημάτων, εξασφαλίζοντας ότι σε κάθε περίπτωση, συγκεκριμένοι ΒΕ εμφανίζονται στις διεπαφές τους. Οι Σ-Υ μελετήθηκαν (κεφάλαιο 3) και θα παρουσιαστούν στο παρόν κεφάλαιο, ακολουθώντας τις περιπτώσεις κατασκευής των υποστηρικτικών συστημάτων.
- ii. **ΛΑ**: Ο πρότυπος σχεδιασμός τους βασίζεται στις διασυνδέσεις των άκρων της εκάστοτε ΑΥΔ και τη στρατηγική σύνδεσης που ακολουθεί στην κάθε περίπτωση. Την ίδια στιγμή, πρέπει να προβλεφθεί η έδραση των αισθητήρων ευθυγράμμισης και να είναι συμβατά με τον διαθέσιμο όγκο που τους αναλογεί μέσα στο περίγραμμα της ΕΜΔΔ. Ο σχεδιασμός τους διαφέρει δραστικά ανά περίπτωση και είναι ανάλογος με τις κατασκευαστικές στρατηγικές που ακολουθήθηκαν, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια του κεφαλαίου.
- iii. **Πλάκες αντιστήριξης** για τους ΟΔ-μαγνήτες: Τα τμήματα διασύνδεσης ανάμεσα στις ΑΥΔ και τους μαγνήτες χρειάζονται εξειδικευμένη μελέτη. Οι απαιτήσεις ευθυγράμμισης των μαγνητών σε συνδυασμό με τον περιορισμένο διαθέσιμο χώρο εισήγαγαν την ανάγκη για τα νέα αυτά μέρη. Η λειτουργία τους κρατήθηκε απλή, αν και η κατασκευή τους απαιτεί μικρομετρικές ανοχές στις επιφάνειες επαφής τους και ακριβή συναρμολόγηση με ακριβείς λάμες αντιστάθμισης. Με αυτή τη μεθοδολογία που ακολουθείται, επιτεύχθηκε η

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

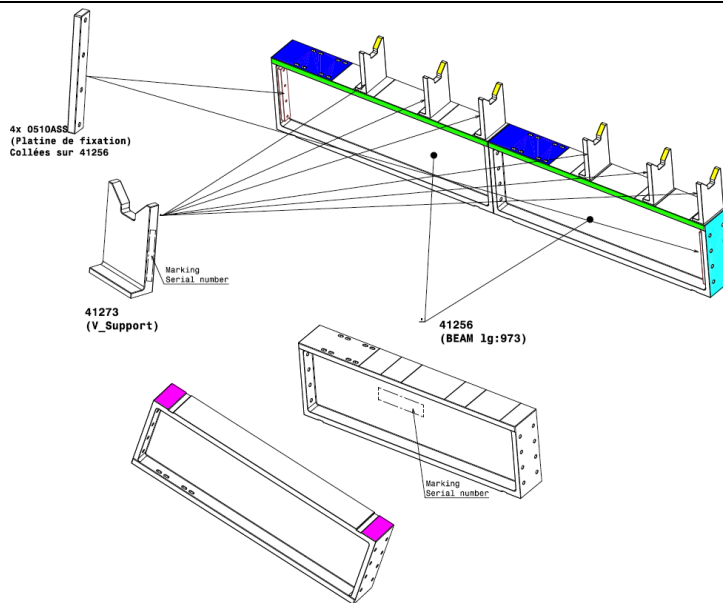


Σχήμα 4-11: a) Ακατέργαστη πρώτη ύλη SiC, b) SiC σε σκόνη και μονολιθικός δίσκος μετά από πυροσυσσώματωση SiC, c) Φάσεις μορφοποίησης και παραγωγής, d) Φρεζάρισμα τμήματος SiC, e) Τμήμα SiC κατά τη διαδικασία παραγωγής, f) Τμήματα SiC κατά την τελική συναρμολόγηση του τηλεσκοπίου Herschel

Σε αυτή την Περίπτωση Α, το σημείο εκκίνησης κατασκευής των τμημάτων από SiC είναι η ανάληψη του υλικού στη μορφή της παρεχόμενης πρώτης ύλης. Τέτοιο υλικό έρχεται σε μορφή κόκκων (σκόνη SiC), το οποίο θα μορφοποιηθεί αργότερα και το τελικό τμήμα θα παραχθεί μετά από αρκετές διαδικασίες κατασκευής. Με βάση αυτή την πρώτη πληροφορία, ξεκίνησε η μελέτη για την ευελιξία στο σχεδιασμό.

Ο μηχανολογικός σχεδιασμός, που αποτέλεσε τη βάση για την κατασκευή, εξυπηρέτησε όλες τις απαιτήσεις: συμβατότητα στον χώρο, δυσκαμψία, λόγος απόσβεσης, κλπ. και έδωσε σχήμα στα πρώτα τμήματα του πρότυπου υποστηρικτικού συστήματος για την ΟΔ της EMMΔ Τύπου-0 στο EPG. Αρχικά, η μεθοδολογία κατασκευής εστιάστηκε στα ενσωματωμένα Y-V. Μια τέτοια επιλογή κατασκευής βασίστηκε στη δομική ανάλυση και προσομοίωση του συστήματος αντιστήριξης (κεφάλαιο 3). Επίσης, για τους σκοπούς της επικύρωσης των αναγκών ευθυγράμμισης, ήταν θετικό να ξεκινήσει η μελέτη κατασκευής με μια τέτοια στρατηγική.

Ένας από τους κύριους λόγους για τα πρώτα τμήματα του προτύπου ήταν να αποδειχθεί η εφικτή κατασκευή τους σε πραγματική κλίμακα. Επιπλέον, σε μεταγενέστερο στάδιο, να μελετηθούν για παραγωγή τα Y-V με την δυνατότητα ευέλικτης τοποθέτησης κατά τον διαμήκη άξονα της ΑΥΔ, όπως είχε προγραμματιστεί. Ένα τέτοιο στάδιο όμως βρίσκεται μετά από την επιτυχή δοκιμή και επαλήθευση των πρώτων τμημάτων του προτύπου.



Σχήμα 4-12: ΑΥΔ με ενσωματωμένα Y-V για την ΟΔ Τύπου-0 στη διαμόρφωση ERF

Η μέθοδος κατασκευής των τμημάτων του προτύπου που διακρίνονται στην Εικόνα 4-12 εστιάστηκε στη διαδικασία υλοποίησης που προτάθηκε από την επιλεγμένη επιχείρηση. Επιχειρήθηκε μία αυστηρή δοκιμή της δυνατότητας ακριβούς μηχανικής κατασκευής προτύπων της εργοστασιακής εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, ο κύριος παράγοντας ήταν, ότι τα μονολιθικά τμήματα μήκους 2 m από SiC ποτέ στο παρελθόν δεν είχαν κατασκευαστεί με αυτή τη στρατηγική και με τις ζητούμενες ακρίβειες σύμφωνα με τον σχεδιασμό. Επιπλέον, ο εξειδικευμένος κλίβανος στον οποίο λαμβάνουν χώρα πολλές από τις διαδικασίες παραγωγής του SiC παρέχει την δυνατότητα να φιλοξενεί και να επεξεργάζεται θερμικά τμήματα μήκους μέχρι 1,6 m. Ένα άλλο μείζον ζήτημα ήταν ότι η μεθοδολογία κατασκευής δεν είχε ποτέ ξανά ελεγχθεί για την παραγωγή ακρίβειας στο σχήμα και την ομοιογένεια του εν λόγω υλικού για κατασκευές τμημάτων τέτοιου μήκους. Αυτά τα ζητήματα επηρέασαν δραστικά τη μελέτη και κατέληξαν σε διάσπαση της ΑΥΔ αλλά κι άλλων τμημάτων του συστήματος αντιστήριξης σε διάφορα μέρη τα οποία στη συνέχεια παράγονται ως μονολιθικά τμήματα από SiC.

Η διαδικασία κατασκευής ξεκίνησε με πυροσυσσωμάτωση της σκόνης SiC σε στερεά τεμάχια δημιουργώντας τα πρώτα μονολιθικά τμήματα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε σε ειδικό βιομηχανικό φούρνο κοντά στους 2000 °C. Τα συστατικά τα οποία έχουν ταυτοποιηθεί για κατασκευή ως στερεά μονολιθικά (πολυκρυσταλλικά υλικά) ήταν τα έξι (6) επιμέρους Y-V και η ΑΥΔ με διατομή “γιώτα” (I-σχήματος) που χωρίζεται σε δύο (2) ισομήκη μέρη για την ΟΔ Τύπου-0, όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 4 - 13.



Σχήμα 4-13: Μονολιθικά μέρη από SiC

Μετά την παραγωγή ακολούθησε η διαμόρφωση των μονολιθικών τμημάτων με την ένωσή τους με διαδικασία συγκόλλησης. Πριν από την ενοποίηση των τμημάτων, οι επιφάνειές τους σμιλεύτηκαν με μικρομετρική ακρίβεια για να επιτευχθεί μία πρώτη επαρκής ακρίβεια επιπεδότητας προκειμένου να είναι σε καλή επαφή η μία με την άλλη επιφάνεια για τη σύνδεση και συγκόλληση. Όταν τα τμήματα τοποθετήθηκαν μέσα στον κλίβανο επιτεύχθηκε η ανάλογη ακριβής συναρμολόγηση. Τέλος, ένας κύκλος θερμικής συγκόλλησης στους 800 °C ένωσε τα ισομήκη υποτμήματα της ΑΥΔ και τα Y-V σε μία μονολιθική μονάδα.



Σχήμα 4-14: Μονολιθικά τμήματα από SiC της Περίπτωσης Α

Το τελικό στάδιο παραγωγής για την ΑΥΔ από SiC με τα ενσωματωμένα Y-V ήταν η μικρομετρικών ανοχών μηχανουργική επεξεργασία για την επίτευξη της ανάλογης ακρίβειας επί των επιφανειών αναφοράς τους. Όλες οι επιφάνειες των διατάξεων ΠΡ ή και άλλων τμημάτων του υποστηρικτικού συστήματος που έρχονται σε επαφή με τα γειτονικά στοιχεία σχεδιάστηκαν να θεωρούνται ως αναφορές τοποθέτησης. Επομένως μια επιφανειακή μικρομετρική ακρίβεια ήταν απαραίτητη για την χρησιμοποίησή της στο μέλλον κατά την ακριβή συναρμολόγηση και εγκατάστασή τους. Όλες οι ανοχές περιελήφθησαν στα σχετικά σχέδια κατασκευής. Η γενική απαίτηση για τις επιφάνειες αναφοράς σε αυτά τα πρώτα τμήματα προτύπου να έχουν επιφανειακή επιπεδότητα τάξης μεγέθους των 10 μm επί των επιφανειών αναφοράς και ακρίβεια τοποθέτησης 20 μm έως 50 μm στις επιφάνειες αναφοράς της ΑΥΔ σε σχέση με τον άξονα της δέσμης των Y-V. Λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια που περιλαμβάνουν όλες τις κατασκευαστικές ανοχές είναι διαθέσιμα στο Παράρτημα Ι.

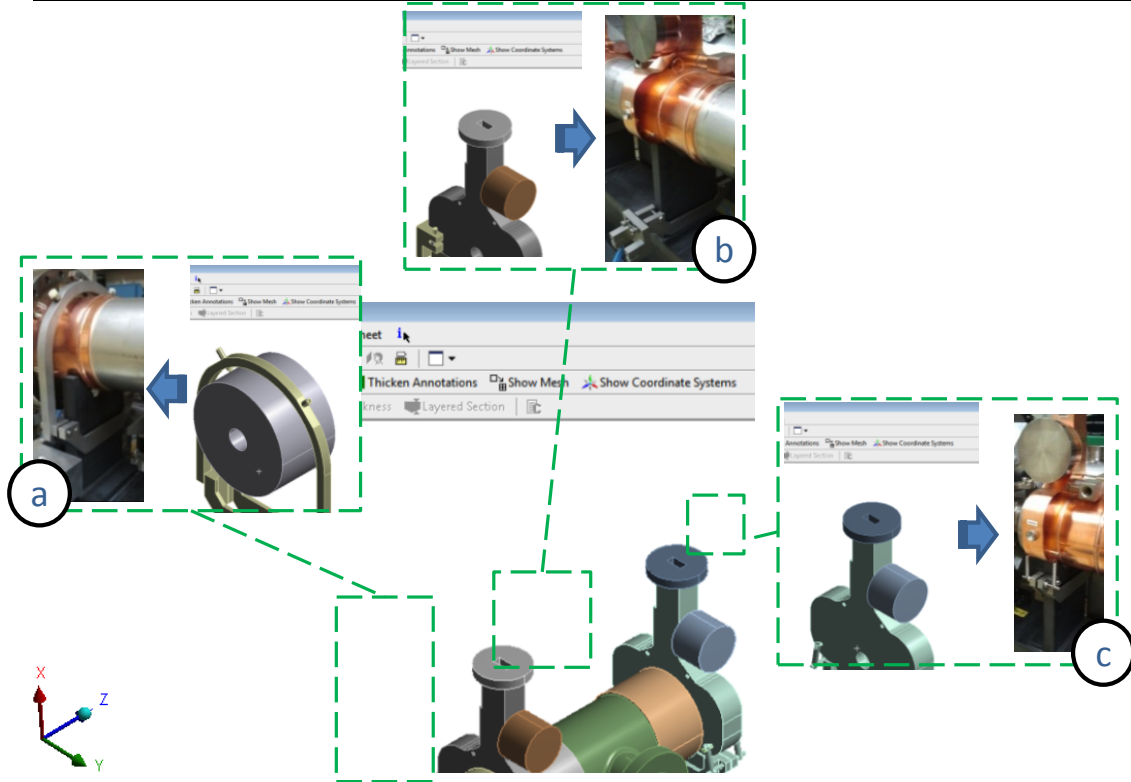
Ως αποτέλεσμα της μελέτης, ήδη από τη φάση του σχεδιασμού, ήταν απαραίτητο να μελετηθεί μία μέθοδος σταθερής στερέωσης των γύρω υποστηρικτικών εξαρτημάτων του συστήματος στην ΑΥΔ. Το υλικό SiC είναι ιδιαίτερος ψαθυρό ειδικά στις διατμητικές τάσεις που προκαλούνται από τις δυνάμεις που επιβάλλονται απ' ευθείας στη δοκό από μεταλλικούς κοχλίες ή άλλα εξαρτήματα σύσφιξης. Για τον λόγο αυτό, μελετήθηκαν εναλλακτικές μέθοδοι στερέωσης. Επιλέχθηκαν ειδικές μεταλλικές πλάκες (StSt), για να βελτιωθεί η συναρμολόγηση της δοκού με τα ΛΑ με μια στερεή και δυνατή μέθοδο. Σε αυτές τις πλάκες διανοίχτηκαν οπές με σπείρωμα και κολλήθηκαν με κόλλα πολυμερισμού απευθείας στα άκρα των ΑΥΔ. Σε αυτή τη ζώνη οι ΑΥΔ φέρουν οπές, χωρίς σπείρωμα, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για να τοποθετηθούν με ακρίβεια και να συνδυαστούν με τις οπές με σπείρωμα των μεταλλικών πλακών. Τα ΛΑ έχουν κοχλιωθεί με τη βοήθεια εμπορικών κοχλιών και στερεώνονται στις μεταλλικές πλάκες διατηρώντας και σταθεροποιώντας τη δοκό. Στο ειδικό κεφάλαιο (κεφάλαιο 6), μελετάται και αναλύεται ο έλεγχος της πολυμερούς κόλλας σε περιβάλλον ακτινοβολίας. Το υλικό των μεταλλικών πλακών είναι ανοξειδωτός χάλυβας 316. Το κράμα χάλυβα έχει επελεχθεί ως ένα από τα λιγότερο πιθανά μαγνητικά κράματα του χάλυβα με επαρκή τιμή στο μέτρο ελαστικότητας και ακαμψίας του. Οι μεταλλικές πλάκες ήταν διάτρητες με οπές M8 και M10 οπές.



Σχήμα 4-15: Μεταλλικές πλάκες με οπές με σπείρωμα για τη συναρμολόγηση των ΑΥΔ με τα ΛΑ

Από την άλλη πλευρά, η στρατηγική για την συναρμολόγηση των διατάξεων ΠΡ στη δοκό διαιρέθηκε σε επιμέρους βήματα. Αρχικά, τα στοιχεία της επιταχυντικής μονάδας ΠΡ τοποθετούνται επί των Υ-V. Η μικρομετρική ακρίβεια της θέσης τους ελέγχεται και παρακολουθείται ανά πάσα στιγμή με την εξειδικευμένη τεχνική που έχει αναπτυχθεί στο CERN χρησιμοποιώντας τα Ειδικά Εξαρτήματα Ελέγχου και Ταυτοποίησης της Θέσης (ΕΕΕΤΘ) που κολλούνται απευθείας πάνω στα τμήματα.

Μετά από επιβεβαίωση και επαλήθευση της ακριβούς συναρμολόγησης των διατάξεων ΠΡ πάνω στο υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ, τα επιμέρους στοιχεία στερεώνονται και σταθεροποιούνται από τους Σ-Y. Οι Σ-Y έχουν ποικίλες διαμορφώσεις που εξυπηρετούν τις διαφορετικές οριακές συνθήκες, σύμφωνα με τους ΒΕ που περιορίζουν σε κάθε περίπτωση. Το εξωτερικό σχήμα των διατάξεων ΠΡ επικράτησε στη μελέτη και σχεδίαση των Σ-Y. Για τα ΔΕΜΕ της ΟΔ, οι Σ-Y έχουν ένα σχετικά απλό σχήμα ημι-κυκλικού πλαισίου, παρόμοιο με μία μεταλλική σύσφιξη. Η μελέτη σχεδιασμού των Σ-Y παρείχε μια διαθέσιμη έγκυρη λύση για μια λειτουργία “σύσφιξης-χαλάρωσης” (“push-pull”) όσο και για τη λειτουργία ενός μεταλλικού ιμάντα περιλαμβάνοντας τη διάταξη ΠΡ, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4-16.



Σχήμα 4-16: Σ-Y για το πρότυπο υποστηρικτικό σύστημα της ΟΑ για την ΕΜΔΔ Τύπου-0 (διαμόρφωση ΕΡΓ)

Στον παρακάτω Πίνακα 4-1, οι διαφορετικές διαμορφώσεις για τα Σ-Y περιγράφονται με τους ανάλογους ΒΕ οι οποίοι είτε δεσμεύονται είτε αφήνονται ελεύθεροι για τους Σ-Y. Το βασικό επίδικο στη σχεδίαση τους ήταν να συνδυαστούν επιτυχώς όλοι οι παρακάτω παράγοντες:

- i. Η πλήρης χωρική συμβατότητα,
- ii. Η επιθυμητή λειτουργία,
- iii. Η συμβατότητα σύνδεσης και διεπιφανειών με τα Y-V.

Δεδομένου ότι οι Σ-Y δεν αποτελούν ένα κύριο συστατικό του υποστηρικτικού συστήματος, ο καινοτομικός σχεδιασμός τους ακολουθεί τη μελέτη σχεδιασμού των εκάστοτε Y-V της Περίπτωσης Α. Είναι μη-ενσωματωμένα στοιχεία λόγω του υλικού κατασκευής (SiC) των Y-V. Εντούτοις, αργότερα επί του τρέχοντος κεφαλαίου, έχουν επίσης σχεδιαστεί να μπορούν να ενσωματωθούν στα Y-V, όταν αυτό καθίσταται δυνατόν για τις περιπτώσεις Y-V κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα.

Σχεδιασμός Σ-Y για το σχήμα 4-16	Περιγραφή	Αδέσμευτοι ΒΕ	Διευθύνσεις ΒΕ
a	Κύλιση	1	Κατά μήκος του Z-axis
b	Πάκτωση	0	-
c	Κύλιση	1	Κατά μήκος του Z-axis

Πίνακας 4-1: Οριακές συνθήκες για τους Σ-Y της ΟΑ

4.3.2.2 *Περίπτωση Β (Micro-Controle SiC)*

Η πρώτη επιτυχής μελέτη και κατασκευή της ΑΥΔ από SiC με ενσωματωμένα Y-V διεξήχθη σε δύο σχεδόν παράλληλες περιπτώσεις κατασκευής, τις Α και Β. Οι περιπτώσεις αυτές αντανακλούν τις ανάγκες αντιστήριξης και σταθεροποίησης της ΟΔ και αντίστοιχα της ΚΔ για την ΕΜΔΔ Τύπου-0 στη διαμόρφωση ΕΡΓ. Οι προδιαγραφές ευθυγράμμισης των δύο παράλληλων δοκών ήταν ταυτόσημες. Με βάση την εμπειρία που συσσωρεύτηκε από την έναρξη και πραγματοποίηση της παραγωγής της Περίπτωσης Α, η κατασκευή της Περίπτωσης Β ξεκίνησε λίγους μήνες αργότερα για την περάτωση υποστηρικτικού συστήματος για την ΚΔ των δύο (2) ΕΜΔΔ του Τύπου-0. Σε αυτή την περίπτωση, δύο (2) κύριες απαιτήσεις σχεδιασμού και κατασκευής προστέθηκαν στις ήδη υπάρχουσες:

- i. Μελετήθηκε και παράχθηκε σε πρότυπη παραγωγή πλήρες σύστημα αντιστήριξης και ευθυγράμμισης,
- ii. Βελτιστοποιήθηκε η χωρική συμπίκνωση που απαιτήθηκε αναφορικά με τον όγκο του υποστηρικτικού συστήματος.

Παρά το γεγονός ότι η πρότυπη κατασκευή της Περίπτωσης Α επικυρώθηκε με επιτυχία, ιδίως αν ληφθεί υπόψη ότι ήταν η πρώτη πραγματικής κλίμακας πρότυπη κατασκευή υποστηρικτικού συστήματος ΕΜΔΔ στην ιστορία σχεδιασμού και κατασκευής του ΣΓΕΣΔ, όπου ανακαλύφθηκαν μερικά βήματα βελτιστοποίησης.

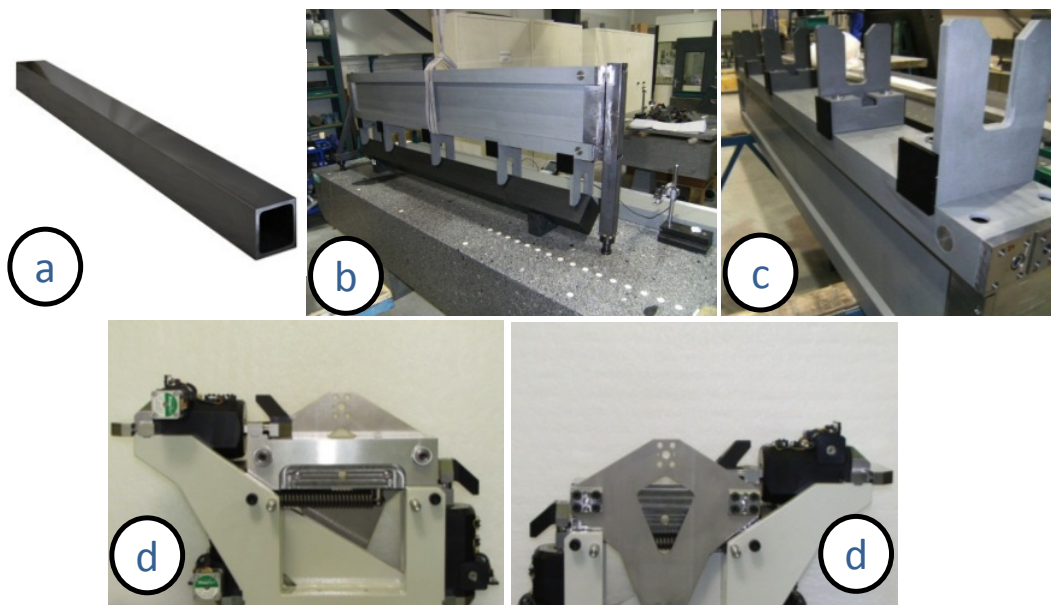
Με την εισαγωγή πολλαπλών επιφανειών αναφοράς μικρομετρικής ακρίβειας στην ΑΥΔ (Περίπτωση Α) η ακριβής συναρμολόγηση ήταν πλέον μια πραγματικότητα. Αλλά από την άποψη της βιομηχανικής παραγωγής, απαιτήθηκε μια μακρά και δαπανηρή διαδικασία. Προκειμένου να βελτιωθεί σχετικά το επίπεδο του κόστους κατασκευής, η ΑΥΔ και οι Y-V ζητήθηκαν να είναι μέρος ενός συνολικού πακέτου προσφοράς που επίσης να συμπεριλαμβάνει και ΛΑ, Σημεία Μηχανικής Άρθρωσης (ΣΜΑ), Κάθετοι Γραμμικοί Κινητήρες (ΚΓΚ) και Ακτινικοί Γραμμικοί Κινητήρες (ΑΓΚ). Με μια τέτοια στρατηγική, η πλειάδα των απαιτούμενων μικρομετρικών ανοχών σχήματος για τις διεπιφάνειες που χρησιμεύουν στα ενδιάμεσα στάδια συναρμολόγησης αναθεωρήθηκαν:

- i. Από ΑΥΔ σε ΛΑ,
- ii. Από ΛΑ σε ΣΜΑ,
- iii. Από ΛΑ σε Γραμμικούς Κινητήρες (ΓΚ).

Εν συντομία, σχετικά με τη στρατηγική της παραγωγής της Περίπτωσης Β, όπως και στην Περίπτωση Α, οι επιφάνειες αναφοράς για την ευθυγράμμιση είχαν υψηλή μικρομετρική ακρίβεια. Επίσης, αντί να συμπεριληφθούν δύσκολες ανοχές σχήματος για τα ενδιάμεσα στάδια της συναρμολόγησης, έγινε μία άμεση συσχέτιση από τις επιφάνειες αναφοράς του ΣΜΑ (και των ΛΑ) σε σχέση με τον άξονα της δέσμης (και τον νοητό άξονα των Y-V). Ο τελικός στόχος για την τοποθέτηση του άξονα των Y-V, με σχετική ανοχή θέσης 10 μm σε σχέση με το ΣΜΑ, επιτεύχθηκε με μια τελική λείανση ακριβείας στις διεπιφάνειες των Y-V, λαμβάνοντας υπόψη τις αναφορές ευθυγράμμισης του ΣΜΑ και τις επιφάνειες αναφοράς του. Η τελική μηχανουργική επεξεργασία ακριβείας επιτεύχθηκε με ομοιώματα φορτίων τοποθετημένα επί των δοκών. Ο λόγος ήταν ότι έπρεπε να ληφθεί υπόψη η επίδραση παραμορφώσεων των διατάξεων ΠΡ για αυτή την τελική ακριβή λειτουργία και μέτρηση θέσης. Τα ενδιάμεσα στάδια κατεργασίας και οι μετρήσεις δεν ακυρώθηκαν, αλλά θα μπορούσαν να συνοψιστούν σε μια μεθοδολογία κατασκευής που κοστίζει σαφώς

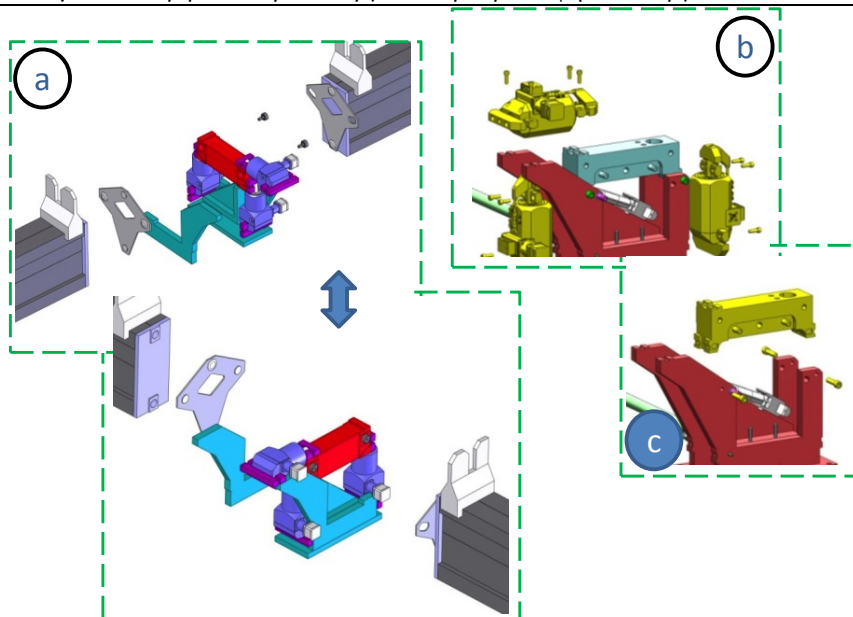
λιγότερο σε έξοδα κατασκευής και είναι περισσότερο αποτελεσματική στον χρόνο και στο πρόγραμμα παραγωγής.

Επιπροσθέτως, εκτός από τα προαναφερθέντα βελτιστοποιημένα βήματα, ο νέος πλέον σχεδιασμός ήταν πιο συμπαγής από την άποψη της χωροταξικής διάταξης. Δεδομένου ότι η μεθοδολογία συναρμολόγησης των υποσυστημάτων και διατάξεων δεν πραγματοποιείται μόνο με βάση τις επιφάνειες αναφοράς, τα Y-V για μια ακόμη φορά σχεδιάστηκαν ως ενσωματωμένα τμήματα της ΑΥΔ. Επίσης, τα ΛΑ και το ΣΜΑ έχουν σχεδιαστεί ξεχωριστά. Τέλος οι ΓΚ είχαν ένα τυποποιημένο σχεδιασμό (πρωτότυπη λύση) σε ένα πολύ πιο βελτιστοποιημένο όγκο (εξωτερικές διαστάσεις).



Σχήμα 4-17: a) Πρότυπες σωλήνες τετραγωνικής διατομής από SiC, b) Εισαγωγική στρατηγική ευθυγράμμισης των Y-V κατασκευασμένων από SiC, c) ΑΥΔ από SiC με συγκολλημένα Y-V και συναρμολογημένα ΛΑ πριν την τελική σμίλευση ακριβείας, d) Κινητήριοι σταθμοί που περιλαμβάνουν συναρμολογημένους ΓΚ και ΣΜΑ.

Παρομοίως με την Περίπτωση Α, το πρώτο επίτευγμα για την πρότυπη κατασκευή έλαβε χώρα με την έγκριση των κατασκευαστικών σχεδίων (Παράρτημα Ι). Το σχέδιο της ΑΥΔ ακολουθούσε μια εγκάρσια διατομή I-σχήματος, με βάση την ανάλογη μελέτη που είχε πραγματοποιηθεί. Ωστόσο, αυτή τη φορά, αντί να χρησιμοποιηθεί μια ειδικά μελετημένη διατομή για το σχεδιασμό της ΑΥΔ, κολλήθηκαν μεταξύ τους πρωτότυποι σωλήνες ορθογωνικής διατομής από SiC προκειμένου να σχηματίσουν τη δοκό. Οι Y-V θα διαμορφωθούν με την κοπή και τη λείανση κολλημένων τυποποιημένων πλακών από SiC. Οι πλάκες και οι σωλήνες που σχηματίζονται με μία διαδικασία πυροσυσσωματώσεως περίπου στους 2000°C, έχουν πανομοιότυπο τρόπο μορφοποίησης με την δομική ύλη της Περίπτωσης Α, αλλά με διαφορετική χημική σύνθεση (διαφορετικό κατασκευαστή) και διεργασία παρασκευής. Τα ακριβή χημικά συστατικά και οι λεπτομερείς αναλογίες παραμένουν εμπιστευτικές και τα δικαιώματα αναπαραγωγής τους ανήκουν στις μεταποιητικές επιχειρήσεις, χωρίς αντίστοιχο δικαίωμα δημοσιοποίησής τους στην παρούσα διατριβή.



Σχήμα 4-18: a) Αποσυναρμολογημένος κινητήριος σταθμός των δύο ΑΥΔ
b) Βήμα συναρμολόγησης των ΓΚ (στους κινητήριους σταθμούς),
c) Βήμα συναρμολόγησης του ΣΜΑ (στους κινητήριους σταθμούς).

Η ακριβής τόνρευση έλαβε χώρα στις διεπιφάνειες αναφοράς των ακολούθων υποτημημάτων του υποστηρικτικού συστήματος της Περίπτωσης Β:

- i. Επιφάνειες διεπαφής των ΑΥΔ,
- ii. Επιφάνειες διεπαφής των Υ-V,
- iii. Επιφάνειες διεπαφής των ΛΑ.

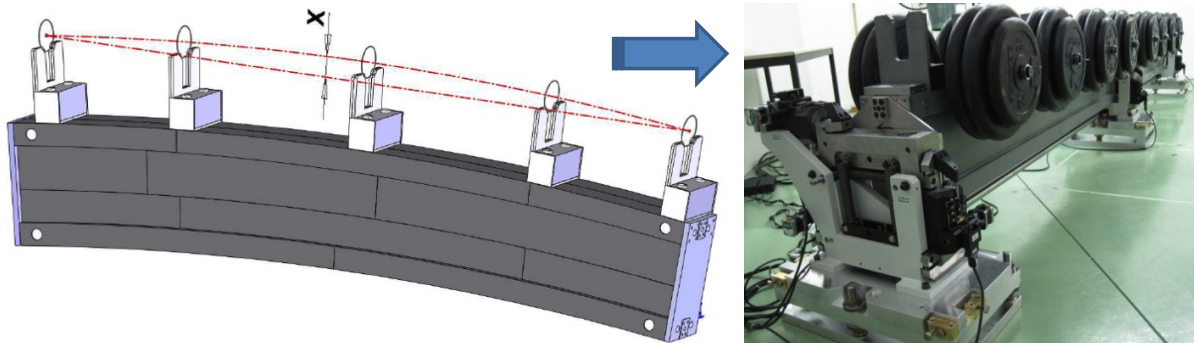


Σχήμα 4-19: Παράδοση και μεθοδολογία εγκατάστασης του υποστηρικτικού συστήματος της Περίπτωσης Β

Η πρώτη απόπειρα δοκιμαστικής συναρμολόγησης επιβεβαίωσε τη συμβατότητα των διεπαφών μεμονωμένα του κάθε υποσυστήματος. Η προκαταρκτική ευθυγράμμιση των Υ-V κατά την πρώτη συναρμολόγηση ακριβείας έγινε με τη χρήση μιας καινοτόμου μεθοδολογίας. Οι διεπαφές των Υ-V που προορίζονται για τις συνιστώσες ΠΡ είχαν σταθεροποιηθεί στην κορυφή ενός πάγκου/βάσης. Στη συνέχεια, στην ΑΥΔ, που είχε σταθεροποιηθεί ανάποδα, συγκρατήθηκαν τα Υ-V με κοχλίες και κόλλα. Τελευταίο στάδιο της προκαταρκτικής ευθυγράμμισης ήταν η επιβεβαίωση της ακριβούς θέσης τους από ένα Αυτοκατευθυντήριο Μετρητικό Όργανο (autocollimator). Κατόπιν το συναρμολογημένο υποσύστημα των Υ-V και της δοκού προχώρησε στην φάση του φρεζαρίσματος της τελικής ακριβείας.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Στην κατασκευή της Περίπτωσης Β, η ΑΥΔ αποτελείται από σωλήνες ορθογωνικής διατομής, που όπως αποδείχθηκε είναι παραμορφώσιμες σε κάθετη διεύθυνση με αξιόλογα μεγαλύτερο από τον καθορισμένο βαθμό. Για να εκπληρωθούν οι αυστηρές απαιτήσεις για την ευθυγράμμιση του άξονα της δέσμης των διατάξεων ΠΡ, εφαρμόστηκε η λύση της προέντασης. Μετά την τελική συναρμολόγηση, τα Υ-V υπέστησαν μηχανική κατεργασία μικρομετρικής ακρίβειας με μια τέτοια αντίστοιχη προένταση φορτίου. Το φορτίο που αντιπροσώπευε τις διατάξεις ΠΡ αργότερα θα τοποθετηθεί στη δοκό και για τις επερχόμενες μετρήσεις.

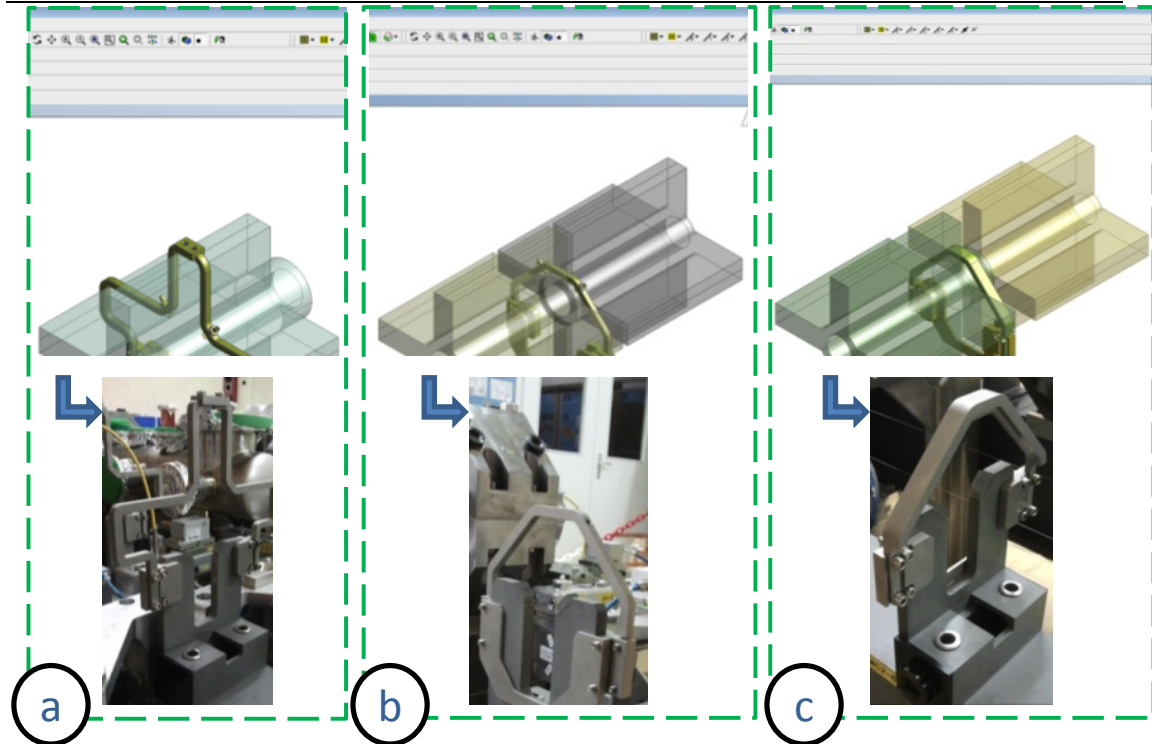


Σχήμα 4-20: Προεντεταμένη ΑΥΔ για την κατασκευή της Περίπτωσης Β

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4-20, οι διασυνδέσεις και διεπαφές των Υ-V για τις διατάξεις ΠΡ αφέθηκαν ελεύθερα και φρεζαρίστηκαν, για την επίτευξη των απαιτούμενων ανοχών επιφανειακής ακρίβειας και ακρίβειας τοποθέτησης. Τέλος, το υποσύστημα εγκαθίσταται στους μηχανοκίνητους σταθμούς και η ευθυγράμμιση του άξονα της δέσμης της διαμόρφωσης της Περίπτωσης Β μετρήθηκε και αναπροσαρμόστηκε με τη βοήθεια των κινητήρων ευθυγράμμισης.

Για την εγκατάσταση και στερέωση των διατάξεων ΠΡ στα Υ-V, χρησιμοποιήθηκαν οι Σ-Υ. Ο σχεδιασμός τους και πάλι υπαγορεύεται από τις οριακές συνθήκες που απαιτούνται να υλοποιηθούν, αλλά επίσης και από τον πολύ πιο περιορισμένο χώρο σε σύγκριση με την ΟΔ της Περίπτωσης Α. Επίσης, η ρεαλιστική αλληλουχία ενεργειών των διατάξεων ΠΡ, για την περίπτωση που εξετάζουμε, λειτουργεί ως πρόσθετη τεχνική προδιαγραφή. Σε αυτή την Περίπτωση Β, η ΚΔ αποτελείται από οκτώ (8) Επιταχυντικές διατάξεις συστοιχισμένες/συγκολλημένες μεταξύ τους ώστε να απαρτίζουν μία συσκευή από χαλκό, μήκους περίπου 2 m. Επομένως, η θερμική διαστολή του υποσυστήματος αυτού είναι πλέον πολύ σημαντικός παράμετρος να ληφθεί υπόψη για να προσομοιωθεί και η ασφαλής λειτουργία του. Μετά από έρευνα, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μία διεπαφή πλαστικής σφαίρας στην άκρη των κοχλιών υποστήριξης των Σ-Υ. Με αυτή τη μέθοδο, αποφεύγεται εντελώς η τριβή μεταξύ χαλκού και ανοξείδωτου χάλυβα.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



Σχήμα 4-21: Οι διαμορφώσεις των Σ-Υ για το πρότυπο υποστηρικτικό σύστημα της ΚΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-0 για το ΕΡΓ

Στον Πίνακα 4-2, παρουσιάζονται αναλυτικά οι ΒΕ που δεσμεύονται ή αφήνονται ελεύθεροι από τους Σ-Υ για την κατασκευή της Περίπτωσης Β.

Σχεδιασμός Σ-Υ του Σχήματος 4-21	Περιγραφή	Αδέσμευτοι	Κατευθύνσεις
		ΒΕ	ΒΕ
a	Κύλιση	1	Κατά μήκος του Z-axis
b	Κύλιση	1	Κατά μήκος του Z-axis
c	Πάκτωση	0	-

Πίνακας 4-2: Συνοριακές συνθήκες για τους Σ-Υ της ΟΔ

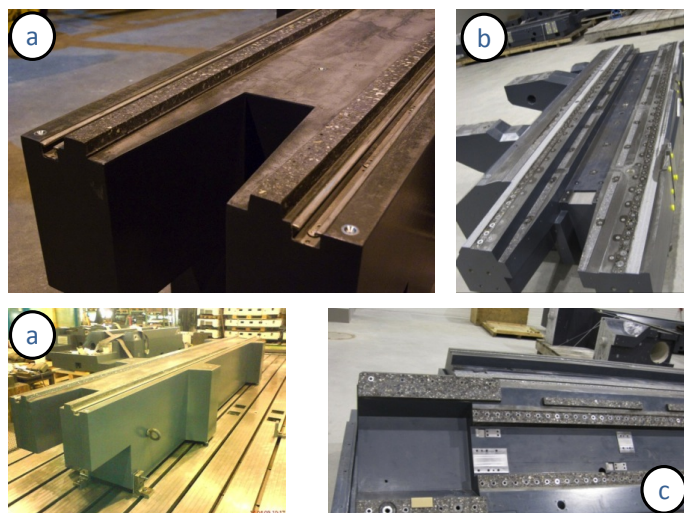
4.3.2.3 Περίπτωση Γ (Erument 145/B)

Τα αποτελέσματα του ποιοτικού ελέγχου από την εν εξελίξει κατασκευή των υποστηρικτικών συστημάτων SiC, για τις δύο (2) ΕΜΔΔ Τύπου-0, αποδείχθηκαν πολύ ελπιδοφόρα. Παράλληλα διερευνήθηκαν εναλλακτικές λύσεις, ως μέρος της συνολικής στρατηγικής. Το αυστηρό χρονοδιάγραμμα, αλλά και οι περιορισμένοι πόροι ανθρώπινου δυναμικού στην απασχόληση του παρόντος έργου, τεκμηριώνουν ότι μόνο ένα (1) υλικό παρουσιάζει βιώσιμη εναλλακτική λύση που μπορεί να παραχθεί σε αυτή τη φάση ως πρότυπη κατασκευή. Για τους λόγους που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο 3 της διατριβής, το εναλλακτικό υλικό με τον καλύτερο συνδυασμό απόδοσης θα προχωρήσει σε κατασκευή και άλλων προτύπων. Έτσι, το διαπιστευμένο υλικό για μια εναλλακτική λύση υποστήριξης σε πρότυπο σύστημα επιλέχθηκε να είναι το βιομηχανικό υλικό Erument 145/B.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Στην παρούσα Περίπτωση κατασκευής Γ, αποφασίστηκε να κατασκευαστούν δύο (2) ΑΥΔ ξεχωριστά, ένα για την ΟΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-1 και ένα για την ΟΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-4. Ο λόγος ήταν ότι εφόσον το μήκος και οι άλλες παράμετροι της ΑΥΔ είχαν μελετηθεί και καθοριστεί για τις δύο ΟΔ, θα μπορούσε να ξεκινήσει η παραγωγή τους. Για την ΚΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-1, η μονάδα δυναμικής σταθεροποίησης του ΚΔ-μαγνήτη ήταν ακόμη υπό σχεδιασμό και το αντίστοιχο μήκος της ΑΥΔ ήταν ακόμη υπό μελέτη.

Παρόμοιο νεοαποκτηθέν με το Erument 145/B βιομηχανικό υλικό, ακολουθώντας εφάμιλη βιομηχανική στρατηγική κατασκευής και από παρεμφερή οικογένεια υλικών είχε χρησιμοποιηθεί στο εγγύς παρελθόν για την υποστήριξη και σταθεροποίηση εφαρμογών γραμμικού επιταχυντή σε ένα συνεργαζόμενο με το CERN ερευνητικό κέντρο, το Ινστιτούτο Paul Scherrer (PSI) στη Ζυρίχη. Κατά την σχετική μελέτη, το υλικό είχε επιλεγεί για την πολύ υψηλή αναλογία που παρουσίαζε η απόσβεσή του με τη σκληρότητά του καθώς και για την ειδική συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι κατασκευές του απέναντι σε δυναμικές καταπονήσεις που προκαλούνται κυρίως από τα υποσυστήματα του επιταχυντή όταν ο τελευταίος βρίσκεται σε λειτουργία.



Σχήμα 4-22: Υποστηρικτικά συστήματα από Erument 145/B: a) Υποστηρικτικό σύστημα στο PSI, b) Πάγκος αντιστήριξης για εργαλειομηχανές υψηλής ακρίβειας, c) Πάγκος αντιστήριξης για βιομηχανοποιημένο διανομέα κοπτικών εργαλείων.

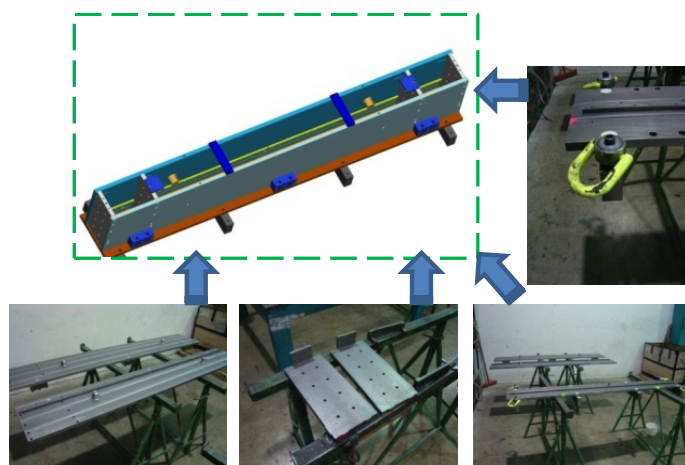
Το υλικό Erument 145/B αναπτύχθηκε αρχικά για ειδικές βιομηχανικές εφαρμογές όπως στηρίγματα αλλά και μεγάλες εφαρμογές αντιστήριξης, όπως κοπτικές μηχανές CNC ή πάγκους αντιστήριξης για οπτικό εξοπλισμό αλλά και για τη σταθεροποίηση μαγνητών σε ιατρικές εφαρμογές. Διακριτικά πλεονέκτημά του είναι ότι όλα τα εξαρτήματα που κατασκευάζονται από αυτό το υλικό είναι σχεδιασμένα μετά από πρότυπη μελέτη και εξ ορισμού με μια προσαρμοστικότητα στη μαζική παραγωγή λόγω της οργάνωσης παραγωγής. Ένα πρόσθετο καθοριστικό πλεονέκτημα είναι ότι η χονδρική τιμή της πρώτης ύλης είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σύγκριση με το κεραμικό SiC με συντελεστή περίπου 1/10. Αυτή η πραγματικότητα έκανε αυτό το χυτό υλικό με μεταλλική και ανόργανη όπλιση να είναι η αναπόφευκτη επιλογή για μια εναλλακτική κατασκευή για το υποστηρικτικό σύστημα των ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ.

Το συγκεκριμένο χυτό ορυκτό υλικό αποτελείται από μία εποξική χημική βάση ρυτίνης και προσθέτων υλικών με χημικούς σταθεροποιητές, ενισχυμένο με πέτρες διαφόρων διαμέτρων, ανόργανες προσμίξεις και μεταλλικά κομμάτια. Ο οπλισμός του υλικού καθορίζεται πάντα από τις εκάστοτε τεχνικές προδιαγραφές της κατασκευής. Μολονότι πρόκειται για ένα σχετικά μη ακριβό υλικό κατασκευής, η μελέτη και ο

σχεδιασμός του τελικού υλικού βασίζονται στην πρωτότυπη μηχανολογική μελέτη και μηχανική υλοποίηση. Οι διαστάσεις των πετρών επίσης ποικίλουν ανάλογα με τον όγκο και τον σχεδιασμό του τελικού προϊόντος. Το πρώτο βήμα είναι η παραγωγή ενός καλούπι. Το καλούπι μπορεί να είναι κατασκευασμένο από ξύλο, κοινό ή ανοξείδωτο χάλυβα. Το ξύλινο καλούπι μπορεί να παράγει αρκετές μονάδες από την τελική δομή με χαμηλή ποιότητα στο εξωτερικό σχήμα, ενώ το καλούπι από ανοξείδωτο χάλυβα δίνει την καλύτερη δυνατή εξωτερική επιφανειακή ακρίβεια. Επίσης, το καλούπι από ανοξείδωτο χάλυβα διαρκεί στο χρόνο χωρίς σκουριά και έχει τη δυνατότητα να παράγει απερίσπαστα "καθαρές" (χωρίς ανεπιθύμητες προσμίξεις προερχόμενες από το καλούπι) διατάξεις και κατασκευές από το χυτό ορυκτό. Για τους λόγους αυτούς ένα καλούπι από ανοξείδωτο χάλυβα επιλέχθηκε για την κατασκευή της ΑΥΔ της Περίπτωσης Γ. Το καλούπι συναρμολογήθηκε και μέσα σε αυτό όλα τα ένθετα κομμάτια που προορίζονταν να είναι ενσωματωμένα στην ΑΥΔ σταθεροποιήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι πακτωμένα στην τελική επιφάνεια της δοκού:

- i. Ένθετες οπές με σπείρωμα και βάση διαμόρφωσης άγκυρας,
- ii. Σωλήνες μεταφοράς ανοξείδωτου χάλυβα για χειρισμό και μεταφορές,
- iii. Ράγες για υποβοήθηση πάκτωσης από ανοξείδωτο χάλυβα,
- iv. Βάσεις έδρασης από ανοξείδωτο χάλυβα που εξυπηρετούν την ασφαλή σύσφιξη και σταθεροποίηση.

Το σύνθετο υλικό Epument 145/B χύνεται μέσα στο καλούπι και αναδεύεται σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση για 12 ώρες ώστε να ομογενοποιηθεί και κατόπιν να στερεοποιηθεί εξωτερικά. Δεδομένου ότι η ΑΥΔ επρόκειτο να είναι εξολοκλήρου καλουπωμένη, η μόνη επιλογή για τη διατομή της ήταν να είναι συμπαγής. Τεχνικές αφαίρεσης βάρους μελετήθηκαν, όπως είναι η εισαγωγή κενών σωληνώσεων στο κυρίως σώμα της ΑΥΔ, αλλά ήδη το υφιστάμενο βάρος της ήταν εντός των τεχνικών προδιαγραφών. Μετά από το πέρας εργασιών παρασκευής μιας εβδομάδας, το καλούπι αποσυναρμολογείται και ανακτήθηκε η δοκός. Σε εκείνο το σημείο όλες οι εξωτερικές επιφάνειες της ΑΥΔ εξομαλύνθηκαν, λειάνθηκαν λεπτομερώς και επικαλύφθηκαν με ανακλαστική ουσία ("λουστραρίστηκαν") υψηλής πυκνότητας ενισχυτικού σταθεροποιητή έτσι ώστε να αποκτηθεί μια κλειστή πορώδης επιφάνεια, με πορώδη συντελεστή $\leq 5\%$.

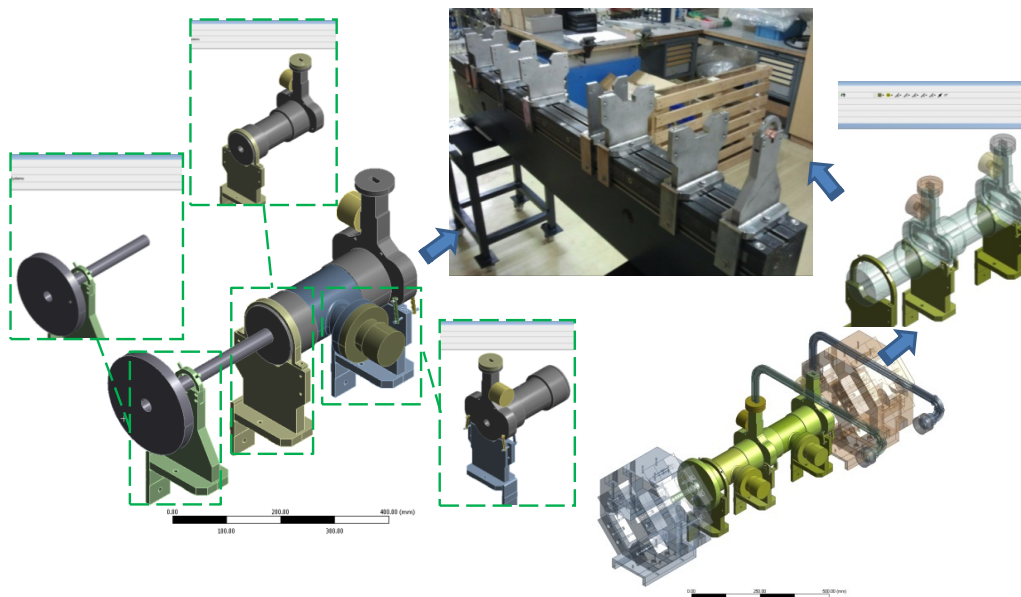


Σχήμα 4-23: Μήτρα από ανοξείδωτο χάλυβα για την παραγωγή ΑΥΔ από Epument 145/B

Το τελικό στάδιο της κατασκευής της ΑΥΔ για το πρότυπο της Περίπτωσης Γ ήταν η ακριβής λείανση των επιφανειών αναφοράς της. Όπως παρουσιάζεται λεπτομερώς στα σχέδια κατασκευής (Παράρτημα Ι), όλες οι επιφάνειες οι οποίες είχαν σχεδιαστεί

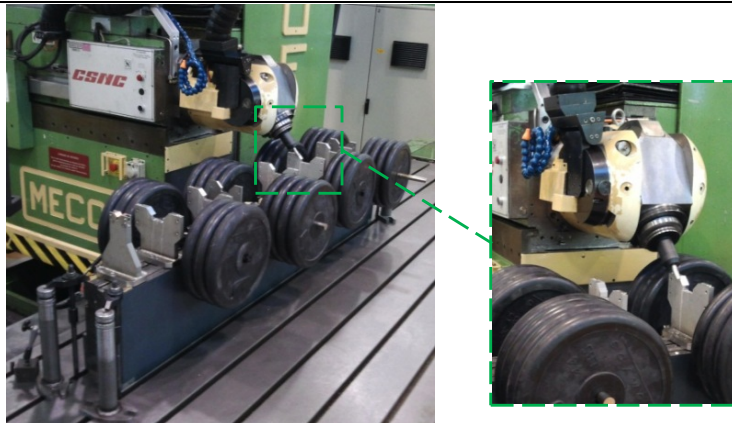
για να χρησιμοποιηθούν για τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων επί της δοκού ήταν φρεζαρισμένα με μικρομετρική επεξεργασία. Η επιπεδότητά τους και η ακρίβεια τοποθέτησης ήταν κρίσιμης σημασίας για την ακριβή διαδικασία συναρμολόγησης της επιταχυντικής μηχανής ΣΓΕΣΔ, όπως και στις προηγούμενες Περιπτώσεις Α και Β. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή, όπου το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ήταν χαμηλότερο από την τεχνική προδιαγραφή που ορίζεται για την δοκό, η επιτυχία στη δημιουργία και επαλήθευση των επιφανειών αναφοράς ήταν το σημείο κλειδί για την επιτυχία αυτής της διαμόρφωσης προτύπου.

Οι επιφάνειες αναφοράς της ΑΥΔ εγγυώνται την ακριβή τοποθέτηση και ευθυγράμμιση των Υ-V και των ΛΑ. Η στερέωση αυτών των υποστηρικτικών διατάξεων σχετικά με την ΑΥΔ επιτεύχθηκε είτε με οπές με σπείρωμα και σιδηροτροχιές που έχουν ενσωματωθεί (πακτωμένα) στην δοκό. Σε αυτή την υπόθεση οι Υ-V θα μπορούσαν να γίνουν με διαφορετικά υλικά από τη δοκό, κάτι που ξεκίνησε να μελετηθεί αντίστοιχα. Το υλικό που επιλέχθηκε για αυτή την κατασκευή ήταν StSt. Το πιο σημαντικό από τα πλεονεκτήματα της StSt ήταν ότι τα Σ-Y μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται να ενσωματωθούν ως αναπόσπαστο κομμάτι στα Υ-V. Για το λόγο αυτό διενεργήθηκε μια ειδική μελέτη που συνδύαζε αλλά και βελτιστοποιούσε το σχεδιασμό αυτών των διατάξεων, η οποία οδήγησε στις τεχνικές προδιαγραφές και το σχεδιασμό των Υ-V για την κατασκευή της Περίπτωσης Γ.



Σχήμα 4-24: Μοντελοποίηση και ενδεικτική φωτογραφία των Υ-V (StSt) με ενσωματωμένους Σ-Y για την ΟΑ της ΕΜΔΔ Τυπου-1 για τη διαμόρφωση ΕΡΓ

Ο σχεδιασμός των Υ-V πέρασε αρκετές φάσεις προόδου μέχρις ότου έφθασε στο βέλτιστο στάδιο για την παραγωγή. Ο μεγαλύτερος περιορισμός της μελέτης, και πάλι, ήταν η απαιτούμενη συμπύκνωση όγκου του σχεδιασμού στο εξάρτημα. Εκτός από αυτό, δεδομένου ότι ο σχεδιασμός αυτών των νέων Υ-V αναπτύχθηκε εκ νέου, η στρατηγική παραγωγής μελετήθηκε επίσης και αναθεωρήθηκε συμπεριλαμβάνοντας τελικά όλα τα ενδιάμεσα στάδια προκειμένου να φτάσουμε μέχρι την τελική κατεργασία και ακριβή συναρμολόγηση του υποστηρικτικού συστήματος.

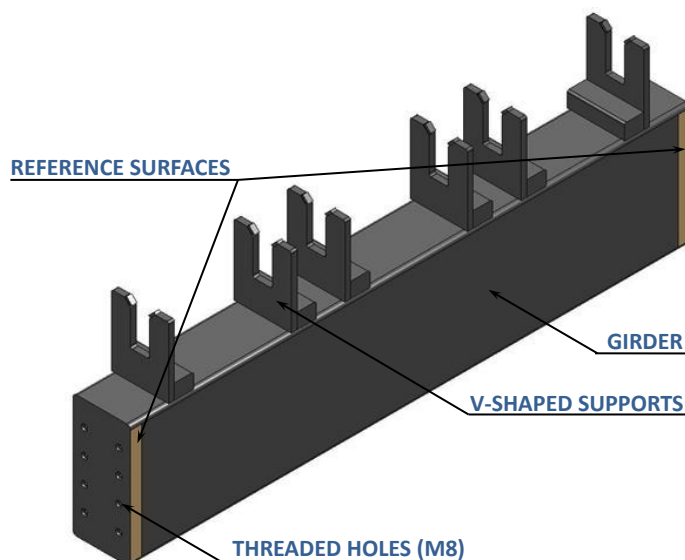


Σχήμα 4-25: Τελικό φρεζάρισμα ακριβείας των Y-V (StSt) με την ΑΥΔ της Περίπτωσης Γ να φέρει τα τεχνητά βάρη αναπαράσταση των διατάξεων ΠΡ

4.3.2.4 Περίπτωση Δ (Boostec SiC)

Το τελευταίο κομμάτι που λείπει για την εγκατάσταση ΕΡΓ ήταν το σύστημα υποστήριξης της ΚΔ Τύπου-1. Για την περίπτωση αυτή μια ΑΥΔ περίπου 1,5 m μήκους ήταν απαραίτητη ως κύρια υποστηρικτική διάταξη γύρω από την οποία θα συναρμολογηθεί το υπόλοιπο σύστημα αντιστήριξης. Η θεμελιώδης διαμόρφωση που είχε ήδη σχεδιαστεί ήταν πλέον εδραιωμένη, λόγω των άριστων αποτελεσμάτων των ποιοτικών ελέγχων της. Συγχρόνως η έλλειψη εφαρμογών αντιστήριξης από άλλα δυνητικά αξιοποιήσιμα υλικά (μεταλλικοί αφροί ή εναλλακτικά υλικά) οδήγησε στη λύση να ακολουθήσει η Περίπτωση Δ την ίδια κατασκευαστική διαδικασία με εκείνη της κατασκευής από SiC.

Αυτή τη φορά μια μονολιθική ΑΥΔ κατασκευασμένη εξολοκλήρου από SiC αναπτύχθηκε με ένα πολύ παρόμοιο σχεδιασμό με την ήδη υπάρχουσα και εγκατεστημένη ΟΔ Τύπου-0 με ένθετα ενσωματωμένα Y-V. Η διαμόρφωση των ΛΑ στις άκρες της ΑΥΔ και η συναρμολόγηση των κινητήρων για την ευθυγράμμιση ακολούθησαν επίσης παρόμοι στρατηγική και βήματα υπολοίψης.



Σχήμα 4-26: Εξωτερική γεωμετρία του όγκου της ΑΥΔ της Περίπτωσης Δ με ενσωματωμένα Y-V από SiC

Τα άκρα της ΑΥΔ ήταν “γραζαρισμένα” και λειασμένα προκειμένου να έχουν μικρομετρική επιφανειακή ακρίβεια για την τελική συναρμολόγηση. Όλες οι

επιφάνειες αναφοράς υποβλήθηκαν σε μηχανική κατεργασία που λάμβανε υπόψη την ακριβή θέση του άξονα των Y-V με όριο ανοχής τοποθέτησης τα 10 μm , για αυτή την κατασκευή της Περίπτωσης Δ. Οπές με σπείρωμα (M8) χρησιμοποιήθηκαν για την επιτυχή στερέωση και σταθερή πάκτωση των ΛΑ.

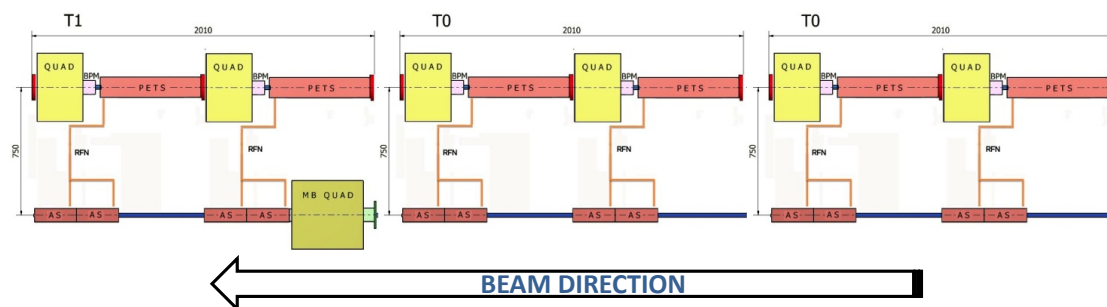
Ένα βασικό σημείο στο οποίο βελτιστοποιήθηκε ο σχεδιασμός των Y-V εφαρμόστηκε στην παρούσα περίπτωση κατασκευής. Με βάση τον διαθέσιμο χώρο και όγκο γύρω από τη βάση των Y-V, εισήχθησαν στο σχεδιασμό τους τετραγωνικά κομμάτια. Η τροποποίηση αυτή έγινε ώστε να επιτευχθεί μια καλύτερη δυναμική συμπεριφορά, με υψηλότερη 1^η ιδιοσυχνότητα της ΑΥΔ, αλλά και συνδυαστικά με τη δυναμική ανάλυση. Επιβάλλεται ένα επαυξημένο όριο τάσεων για την ελαστική περιοχή παραμορφώσεων, στη στατική συμπεριφορά της κατασκευής με αυτό τον πρότυπο βελτιστοποιημένο σχεδιασμό.

4.3.3 Υποστηρικτικό σύστημα για το ΣΓΕΣΔ-ΠΚ

Με βάση τα διδάγματα που αντλήθηκαν από τον σχεδιασμό και υλοποίηση κατασκευής των προτύπων, το επόμενο βήμα για την κατασκευή του υποστηρικτικού συστήματος ήταν η μαζική παραγωγή τους. Αυτή η παραγωγή θα πρέπει να εγκατασταθεί στο ΣΓΕΣΔ-ΠΚ με αληθινές διατάξεις ΠΡ για επιτάχυνση δέσμης υποατομικών φορτισμένων σωματιδίων. Με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί σχετικά με την στρατηγική και το σχεδιασμό της παραγωγής, μια βασική μεθοδολογία είχε συσταθεί για τη μελέτη και την παραγωγή της προμήθειας που περιλαμβάνει όλα τα αναγκαία υποσυστήματα που βοηθούν στην αντιστήριξη, σταθεροποίηση και ευθυγράμμιση. Η μελέτη ξεκίνησε και στη συνέχεια επακολούθησε πρόσκληση για την υποβολή προσφορών, έτσι ώστε να αναληφθεί η κατασκευή και προμήθεια προς το CERN των πλήρων υποστηρικτικών συστημάτων για τις ΕΜΔΔ Τύπων 0-0-1 και την εγκατάστασή τους στο ΣΓΕΣΔ-ΠΚ.

Η θεμελιώδης διαμόρφωση με SiC ήταν για μια ακόμη φορά σε χρήση, δεδομένου ότι οι μηχανικές του ιδιότητες και εφικτές κατασκευαστικές ανοχές ήταν πολύ ελπιδοφόρες ιδιαίτερα σε περιβάλλον με υπόβαθρο ραδιενεργού ακτινοβολίας του ΣΓΕΣΔ-ΠΚ. Λεπτομερής ανάλυση των πειραμάτων που έλαβαν χώρα σχετικά με τις δοκιμές σε υπόβαθρο υψηλής ακτινοβολίας θα ακολουθήσει στο ειδικό πειραματικό κεφάλαιο 6.

Παράλληλα, τα Y-V επιλέχθηκαν να είναι πλήρως ενσωματώσιμα. Όχι μόνο διότι το SiC σαν υλικό έχει μία πλέον ανθεκτική συμπεριφορά στην ακτινοβολία, αλλά επίσης λόγω των εξαιρετικά καλών αποτελεσμάτων ευθυγράμμισης. Η επικύρωση των μετρήσεων θα παρουσιαστεί διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο 5. Ο συγκεκριμένος αριθμός των Y-V ποικίλει ακολουθώντας πάντα την εξειδικευμένη διαμόρφωση των συνιστωσών ΠΡ για το ΚΔ και ΟΔ αντίστοιχα.



Σχήμα 4-27: Η αλληλουχία των ΕΜΔΔ για την εγκατάσταση του ΣΓΕΣΔ-ΠΚ (Τύποι 0-0-1 σε σειρά)

4.3.3.1 Περίπτωση Ε (Εμπορική συνεργασία των εταιριών ZTS και Boostec)

Ο χρόνος και η αποδοτικότητα της μελέτης βελτιστοποιήθηκαν ακολουθώντας την θεμελιώδη στρατηγική κατασκευής. Για την εν λόγω περίπτωση μαζικής παραγωγής, απαιτήθηκαν ασφαλή αποτελέσματα κατασκευής και λειτουργίας από τις ανάγκες του ΣΓΕΣΔ-ΠΚ, χωρίς το περιθώριο δοκιμών για τα υποστηρικτικά συστήματα των ΕΜΔΔ. Έτσι, για τις ΑΥΔ και τα Υ-V, αποφασίστηκε να διατηρηθεί η πρότυπη διατομή και η γενική εξωτερική επιτυχής γεωμετρία της κατασκευής της Περίπτωσης Α, ως η πλέον αξιόπιστη λύση.

Η ίδια διαδικασία κατασκευής ακολουθήθηκε για την παραγωγή των τμημάτων SiC. Ωστόσο, αυτή τη φορά, οι διαστασιολογικές και γενικές γεωμετρικές ανοχές των άκρων και διεπαφών της ΑΥΔ (όπου τα ΛΑ συναρμολογούνται) είχαν χαλαρώσει σε σχέση με την κατασκευή της Περίπτωσης Α. Ο λόγος ήταν ότι μέχρι τώρα, το τελικό στάδιο της ακριβούς μηχανουργικής κατεργασίας είχε προστεθεί στη βασική στρατηγική κατασκευής. Έτσι, η ΑΥΔ, με τα ενσωματωμένα Υ-V και τα συναρμολογημένα ΛΑ, υπόκεινται σε μηχανουργική κατεργασία φρεζαρίσματος και λείανσης υπό συνθήκες φόρτισης σε ένα τελικό στάδιο της κατασκευής. Ο νοητός άξονας των Υ-V ευθυγραμμίστηκε και ορίζεται ακριβώς σε σχέση με τις επιφάνειες αναφοράς των ΛΑ όπου αργότερα θα συναρμολογηθούν και οι αισθητήρες ευθυγράμμισης. Υπό την έννοια αυτή, οι διεπιφάνειες της δοκού που χρησιμοποιούνται για τη συναρμολόγηση των ΛΑ, χρειάζεται να υπακούουν μεν σε μικρομετρικές ανοχές ($\leq 50 \mu\text{m}$) αλλά όχι με την αυστηρή απαίτηση των $10 \mu\text{m}$ της ακριβείας τοποθετήσεως, όπως και για το νοητό άξονα των Υ-V.

Τα ΛΑ ακολουθούν το σχεδιασμό της Περίπτωσης Α, καθώς αυτό ήταν επίσης συμβατό με τις επιλεγμένες ΑΥΔ. Εντούτοις, ο σχεδιασμός του ΣΜΑ βελτιστοποιήθηκε προκειμένου να παρέχει ακόμα πιο ακριβή ευθυγράμμιση για τον άξονα της επιταχυνόμενης δέσμης. Με περισσότερες λεπτομέρειες παρατηρούμε ότι ο σχεδιασμός του τροποποιήθηκε έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης της ευθυγράμμισης δημιουργήθηκε, ένα νοητό τεχνητό σημείο άρθρωσης (ορισμένο εξολοκλήρου από τη λειτουργία του) στο ύψος ακριβώς του άξονα της δέσμης ανάμεσα σε δύο (2) γειτονικές ΑΥΔ. Αυτή τη φορά, δεδομένου ότι η πραγματική ακτίνα δέσμης σωματιδίων υφίσταται και επιτάχυνεται, τα ΣΜΕΜΔ είναι σε θέση να παρακολουθούν με νανομετρική ακρίβεια την θέση της δέσμης των σωματιδίων και να δίνουν σήμα ανά πάσα στιγμή που χρειάζεται. Έτσι, η κίνηση της ευθυγράμμισης και της άρθρωσης θα μπορούσε να εφαρμοστεί και να ελεγχθεί με μια άμεση πρακτική μέθοδο και όχι εμμέσως με τη βοήθεια υπολογισμών, όπως προηγουμένως για τα πρότυπα των Περιπτώσεων από Α έως Δ.

Για τους κινητήρες ενεργοποίησης και ευθυγράμμισης, ένα παρόμοιο σχέδιο μηχανολογικής ευθυγράμμισης χρησιμοποιήθηκε όπως στην κατασκευή της Περίπτωσης Α. Στην τρέχουσα περίπτωση όμως, όλα τα εσωτερικά μέρη των κινητήρων κατασκευάστηκαν ειδικά από κατάλληλο χάλυβα StSt (AISI 304 και 316) έτσι ώστε τα κράματά τους να μην μαγνητίζονται και ενεργοποιούνται από την περιβάλλουσα ραδιενέργεια. Ο λόγος ήταν ότι τα προκείμενα κράματα StSt έχουν αποδειχθεί ότι επηρεάζονται κατά το λιγότερο δυνατό (μαγνήτιση, ραδιο-ενεργοποίηση και κόπωση από ακτινοβολία) από την ραδιενεργή ακτινοβολία υποβάθρου που προκαλείται από την επιτάχυνση φορτισμένων σωματιδίων των διατάξεων ΠΡ.

4.3.4 Σύνοψη και αποτελέσματα των περιπτώσεων πρότυπων κατασκευών

Η επιβεβαίωση δυνατότητας της κατασκευής για το υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ ήταν ένα από τα πλέον μείζονα επιτυχή αποτελέσματα που εξάγονται από τις πρωτότυπες φάσεις κατασκευής, τόσο των προτύπων τμημάτων όσο και αυτών της μαζικής παραγωγής. Μολονότι, τέθηκαν τεχνικά ζητήματα που αμφισβητούσαν τις πιθανές διαστάσεις των διατάξεων και τις γεωμετρικές ανοχές τους πριν από την έναρξη της μελέτης, εντούτοις τα παραγόμενα συστήματα αντιστήριξης απέδειξαν ότι μπόρεσαν να επιτευχθούν ρεαλιστικά και τεχνικώς άρτια αποτελέσματα. Εκτός τούτου, οι σχετικές τεχνικές κατασκευής που ανακαλύφθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στη στρατηγική κατάστρωσης και εδραιοποιήθηκε η ειδική διαδικασία υλοποίησης. Με βάση τα πολύ ενθαρρυντικά στοιχεία, η δυνατότητα εκβιομηχάνισης της παραγωγής θεωρείται πλέον λογική και αναμένεται να ξεκινήσει σύντομα η ανάλογη έρευνα για την σχετική οργάνωση παραγωγής.

Ως γεγονός, η μελέτη που εκπονήθηκε κατέληξε σε μια θεμελιώδη διαμόρφωση που υιοθετήθηκε πλήρως από την ερευνητική ομάδα του CERN-CLIC. Τα πρώτα σχέδια για το πρότυπο υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ εξετάστηκαν και βελτιστοποιήθηκαν, μέχρι τελικά οι μηχανολογικές λύσεις που προτάθηκαν να είναι διαθέσιμες σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που δημιουργήθηκαν από τις απαιτήσεις της νέας σωματιδιακής φυσικής που θα μελετηθεί στον Συμπαγή Γραμμικό Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών. Τα υποσυστήματα και οι διατάξεις της μελέτης επαλήθευσαν την επιτυχή λειτουργία τους, ανάλογα με το υλικό και την επιλογή διαμόρφωσης για καθένα από αυτά. Επιπλέον, η πιστοποιημένη διαδικασία μεταφοράς για τα υποστηρικτικά συστήματα πραγματικής κλίμακας της ΕΜΔΔ ήταν συνεπής με τους απόλυτους περιορισμούς της εγκατάστασης που θα υφίστανται στο μέλλον μέσα στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ.

Τέλος, τα μετρητικά όργανα και η μετρητική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκαν με τη βοήθεια τεχνικών της τοπογραφίας στη μελέτη, επικύρωσαν την καταλληλότητα των διατάξεων που κατασκευάστηκαν. Οι διαστασιολογικοί και γεωμετρικοί έλεγχοι και οι διαδικασίες ελέγχου καταλληλότητας και πιστοποίησης ποιότητας κατέληξαν να περιλαμβάνουν πολλά και πολλαπλά βήματα, όπως θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο 5. Η ζητούμενη επιτυχής λειτουργία και βέλτιστη απόδοση των συστημάτων αντιστήριξης που απαιτούνται να επαληθευθούν, οδήγησαν σε αρκετές επαναληπτικές μετρήσεις σε συνδυασμό με την μελέτη, προσομοίωση αλλά κι ανάλυση των δεδομένων που αποκτήθηκαν.

Κεφάλαιο 5.

ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΩΝ ΔΕΣΜΩΝ

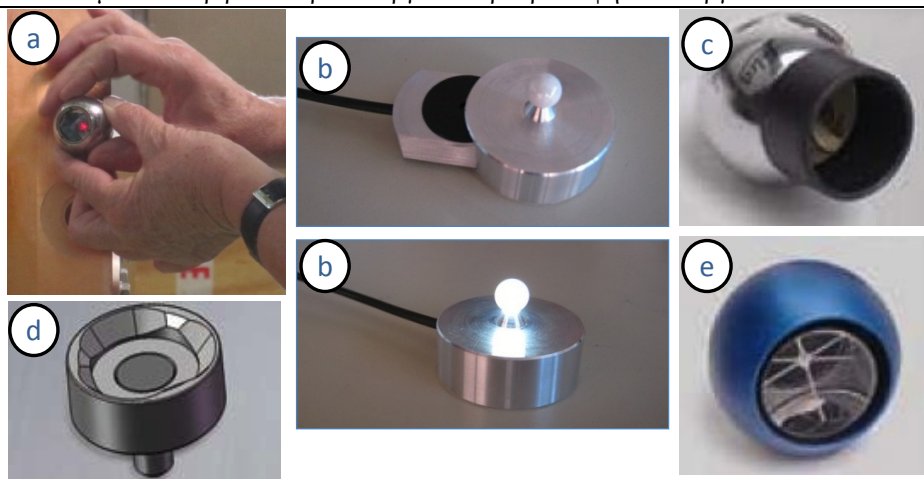
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η μελέτη συνεχίζεται με τον ποιοτικό έλεγχο για τα πρότυπα αλλά και τα τμήματα μαζικής παραγωγής των υποστηρικτικών συστημάτων της ΕΜΔΔ. Η λειτουργία τους θα μπορούσε να ελεγχθεί μέσω προκαταρκτικού ελέγχου για την επαλήθευση των ανοχών κατασκευής τους. Οι διαστάσεις των διαφόρων τμημάτων θεωρούνται σχετικά ογκώδεις (σε σχέση με την ζητούμενη γεωμετρική ακρίβεια του σχήματός τους) και η γεωμετρική επικύρωσή τους είναι πλέον απαιτήθηκε και απαιτούσε ειδική μελέτη και σχεδιασμό. Ακολουθώντας λοιπόν αυτή την ανάγκη μια ειδική στρατηγική μέτρησης, συνδυάζοντας σχετική τοπογραφία με μηχανολογία, αναπτύχθηκε προκειμένου να διερευνηθεί εάν όντως όλες οι ανοχές των κατασκευαστικών σχεδίων είχαν εφαρμοστεί αρτίως.

Όταν τελείωσε η κατασκευή του κάθε υποσυστήματος πραγματοποιήθηκε, μια πρώτη ενδεικτική επιθεώρηση. Στο στάδιο αυτό, οι κατασκευαστικές εταιρείες μέτρησαν και ταυτοποίησαν τις γεωμετρικές ανοχές που είχαν επιτευχθεί (με τα μετρητικά μέσα που οι ίδιες είχαν στη διάθεσή τους) και μια ομάδα με προσωπικό από το CERN διασταύρωσε αυτές τις μετρήσεις (με μετρητικά όργανα και εξοπλισμό του CERN), κατά τη διάρκεια μιας επιτετραμμένης επίσκεψης στο εκάστοτε εργοστάσιο ή εγκαταστάσεις κατασκευής.

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα αυτού του πρώτου σταδίου ελέγχου και επικύρωσης επιβεβαιώσουν τη γεωμετρική ακρίβεια των τμημάτων κατασκευής σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές, τα υποσυστήματα και οι διατάξεις που τα απαρτίζουν παραδίδονται στις εγκαταστάσεις του CERN για περαιτέρω έλεγχο. Στη συνέχεια, μια διεξοδική επικύρωση πραγματοποιείται με τα διαθέσιμα όργανα μέτρησης του CERN. Τέλος και εφόσον οι μετρούμενες γεωμετρικές ανοχές επιβεβαιωθούν, η προμήθεια προκρίνεται ως θετική και δίνεται η έγκριση για εγκατάσταση. Σε όλα τα στάδια μετρήσεων, τα υποσυστήματα αντιστήριξης ελέγχονται κάτω από την προέκταση εικονικών φορτίων, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές μελλοντικές οριακές συνθήκες λειτουργίας.

Κατά τη δεύτερη και τελική σειρά μετρήσεων ελέγχου και επικύρωσης (στις εγκαταστάσεις του CERN), η διαδικασία Πρότυπης Παραμετροποιημένης Μέτρησης Άξονα Δέσμης (ΠΠΜΑΔ “fiducialisation”) πραγματοποιήθηκε παράλληλα. Αυτή η διαδικασία έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί αποκλειστικά από το CERN προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα να μετρείται και να υπολογίζεται με μεγάλη ακρίβεια ο άξονας της δέσμης στοιχειωδών σωματιδίων με τη βοήθεια ειδικών μετρητικών αισθητήρων και λαμβάνοντας υπόψη τις επιφάνειες αναφοράς του ίδιου του τμήματος υπό μέτρηση. Τα ειδικά σχεδιασμένα μέσα (συχνά οπτικούς στόχους ή στόχους laser) κολλήθηκαν σε διάφορα προσβάσιμα σημεία των τμημάτων του υποστηρικτικού συστήματος. Στη συνέχεια, ο έλεγχος των γεωμετρικών ανοχών και διαστάσεων που προβλέπεται με τη βοήθεια των Διατάξεων-ΠΠΜΑΔ (Δ-ΠΠΜΑΔ) έδωσε στοιχεία για τις γεωμετρικές ανοχές των υποσυστημάτων και τμημάτων. Τα δεδομένα από τις μετρήσεις υποβλήθηκαν σε επεξεργασία ώστε να βρεθούμε σε θέση να καθορίσουμε με ακρίβεια τα επίπεδα, τα διανύσματα και τέλος τις επιφάνειες αναφοράς για τις μετρηθείσες συνιστώσες. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να αναπαριστούμε και να ελέγχουμε την θέση των εξαρτημάτων και των διατάξεων με μικρομετρική ακρίβεια.



Σχήμα 5-1: Διαφορετικοί τύποι απο Δ-ΠΠΜΑΔ: a) Στόχος Laser (Δ-ΠΠΜΑΔ), b) Οπτικός Στόχος (Δ-ΠΠΜΑΔ για μικρο-τριγωνομετρική μέτρηση), c) Οπτικό πρίσμα με φορέα συναρμολόγησης (Δ-ΠΠΜΑΔ με βάση), d) Φορέας για σφαιρικό πρίσμα (βάση για Δ-ΠΠΜΑΔ), e) Σφαιρικό πρίσμα (Δ-ΠΠΜΑΔ)

Η ακριβής συναρμολόγηση μπορούσε να αρχίσει μετά την επιτυχή τοποθέτηση των Δ-ΠΠΜΑΔ στα κατάλληλα μέρη. Οι συναρμολογημένες υπομονάδες του συστήματος αντιστήριξης εγκαταστάθηκαν στις διεπαφές τους στο έδαφος. Κατά συνέπεια, η εγκατάσταση του υποστηρικτικού συστήματος ολοκληρώθηκε μετά την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4. Μετά το πέρας της εγκατάστασης, ο άξονας των Y-V ήταν ευθυγραμμισμένος εντός σφάλματος 10 μm σε ανοχή τοποθέτησης σε σχέση με τις επιφάνειες αναφοράς του υποστηρικτικού συστήματος. Μόλις η περιγραφείσα αλληλουχία των διαδικασιών έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία, το υποστηρικτικό σύστημα είναι έτοιμο για να στηρίξει, σταθεροποιήσει και ευθυγραμμίσει τις διατάξεις ΠΡ.

Το επόμενο στάδιο αφορά τις διατάξεις ΠΡ, στις οποίες έχουν επίσης τοποθετηθεί Δ-ΠΠΜΑΔ, οι οποίες εγκαθίστανται και ευθυγραμμίζονται. Η ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ τώρα είναι σε φάση συναρμολόγησης. Πριν από την έναρξη της λειτουργίας της ΕΜΔΔ και της ενεργού ευθυγράμμισης (με ενεργοποίηση των ΓΚ), διεξάγεται ένας τελευταίος έλεγχος για τη δυναμική συμπεριφορά της συνολικής μέχρι τώρα εγκατάστασης. Οι συναρμολογημένοι ΓΕ, δηλαδή η ΚΔ και η ΟΔ στην εγκατάσταση του ΕΡΓ υποβάλλονται ατομικά σε δυναμικές μετρήσεις. Οι ιδιοσυχνότητές τους αναγνωρίζονται και καταγράφονται.

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις που αναφέρονται προηγουμένως και αφορούν σε μεγάλο βαθμό τον ποιοτικό έλεγχο. Ο στόχος είναι να περιγραφεί η στρατηγική που ακολουθείται για να πιστοποιηθούν οι κατασκευαστικές ανοχές των διατάξεων και να συγκριθούν τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν.

5.2 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ (ΣΤΙΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ)

Οι μετρήσεις που διενεργήθηκαν από το CERN στις εκάστοτε ιδιωτικές εργοστασιακές εγκαταστάσεις (βιομηχανικό περιβάλλον και ανάλογες συνθήκες μέτρησης) επιτεύχθηκαν με τη βοήθεια μετρητικού τύπου Laser Tracker και μοντέλου Leica LTD500 με την μετρητική ακρίβεια 1 σ . Τα υποστηρικτικά συστήματα ελέγχθηκαν για τη συμμόρφωσή τους με τις τεχνικές προδιαγραφές που επιβλήθηκαν στις προμήθειες που παραδόθηκαν και εγκαταστάθηκαν στο CERN.

5.2.1 Περίπτωση Α (Boostec SiC)

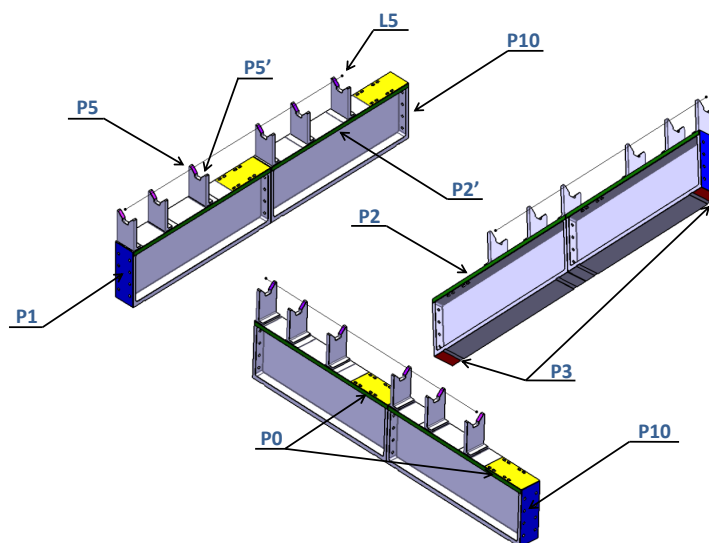
Για την κατασκευή της Περίπτωσης Α, ο μετρητικός της έλεγχος έλαβε χώρα στις εγκαταστάσεις της κατασκευαστικής εταιρίας κάτω από τις περιβάλλουσες (οριακές) συνθήκες και τεχνικές παραμέτρους που παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5-1:

Μέγεθος	Τιμή
Μεταβολή θερμοκρασίας (ΔT)	20.5 °C – 20.8 °C = 0.3 °C
Ακρίβεια μετρήσεων επιπεδότητας και εκκεντρότητας για τον Laser Tracker (Leica LTD500)	10 μm r.m.s.
Ακρίβεια μετρήσεων τοποθέτησης για τον Laser Tracker (Leica LTD500)	20 μm r.m.s.

Πίνακας 5-1: Οριακές συνθήκες και παράμετροι μετρήσεων

Ο κύριος στόχος των μετρήσεων πιστοποίησης ήταν να διερευνηθεί και (αν αυτό καταστεί δυνατό) να επιβεβαιωθούν ότι στο σύνολό τους οι γεωμετρικές ανοχές των κατασκευασμένων ΑΥΔ (με ενσωματωμένα τα Υ-V) ήταν συνεπής με τα κατασκευαστικά σχέδια και τις τεχνικές προδιαγραφές. Για το λόγο αυτό, οι διαστασιολογικές ανοχές των επιφανειών αναφοράς απαιτείται να προσδιοριστούν και να ελεγχθούν. Μια ειδική μεθοδολογία αναπτύχθηκε για την παρούσα έρευνα. Το πρώτο στάδιο της μεθόδου προσέγγισης παρουσιάζεται στο σχήμα 5-2 ονοματίζοντας την κάθε επιφάνεια αναφοράς.

Για κάθε μία από τις δύο δοκούς για την ΟΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Α, ένας πίνακας δημιουργήθηκε με αποτελέσματα τα οποία συνοψίζουν τις ανοχές των μηχανολογικών σχεδίων και τους ποιοτικούς εκέγχους που πραγματοποιήθηκαν. Όλες οι τιμές παρέχονται στους Πίνακες 5-2 και 5-3. Σε αυτούς τους πίνακες, οι υπογραμμισμένες τιμές εξάγονται από τα σχέδια κατασκευής και αντιπροσωπεύουν τις ακριβείς τεχνικές προδιαγραφές του CERN. Όλες οι μετρηθείσες τιμές παρουσιάζονται σε μορφή χωρίς υπογράμμιση.



Σχήμα 5-2: Επιφάνειες αναφοράς για τις ΑΥΔ με ενσωματωμένα Υ-V (SiC) της κατασκευής της Περίπτωσης Α

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Αξιίζει να σημειωθεί ότι στο παρόν στάδιο επικύρωσης, οι μετρούμενες τιμές αποκάλυψαν ότι οι γεωμετρικές ανοχές ήταν εντός του εύρους ανοχής και πλήρως εναρμονισμένες με τις τεχνικές προδιαγραφές. Έτσι, οι υποστηρικτικές διατάξεις (ΑΥΔ με Υ-V) της Περίπτωσης Α θεωρήθηκαν επιτυχημένες και επικυρώθηκαν θετικά για εγκατάσταση .

Επιφάνειες Αναφοράς	P0	P1	P2	P2'	P3	P5	P5'	P10	Άξονας Αναφοράς L5
P0	<u>20 μm</u> (local) <u>200 μm</u> 15 μm (local) 50 μm	<u>350 μm</u>	<u>350 μm</u> 24 μm	<u>400 μm</u>	<u>300 μm</u>			<u>350 μm</u>	<u>400 μm</u>
P1		<u>20 μm</u> 7 μm	<u>50 μm</u> 1 μm	<u>150 μm</u> 6 μm	<u>50 μm</u> 16 μm			<u>100 μm</u>	<u>100 μm</u> 17 μm
P2	<u>350 μm</u> 24 μm	<u>50 μm</u> 1 μm	<u>50 μm</u> 8 μm	<u>100 μm</u>	<u>100 μm</u> 9 μm			<u>50 μm</u> 5 μm	<u>150 μm</u>
P2'		<u>150 μm</u> 6 μm	<u>100 μm</u>	<u>50 μm</u> 9 μm	<u>200 μm</u> 7 μm			<u>150 μm</u> 3 μm	<u>250 μm</u>
P3	<u>300 μm</u> 16 μm	<u>50 μm</u> 16 μm	<u>100 μm</u> 9 μm	<u>200 μm</u> 7 μm	<u>20 μm</u> (local) <u>50 μm</u> 9 μm (local) 43 μm			<u>50 μm</u> 3 μm	<u>100 μm</u>
P5						<u>50 μm</u>			
P5'							<u>50 μm</u>		
P10	<u>350 μm</u>	<u>100 μm</u>	<u>50 μm</u> 5 μm	<u>150 μm</u> 3 μm	<u>50 μm</u>			<u>20 μm</u> 2 μm	<u>100 μm</u> 6 μm

Πίνακας 5-2: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ σειριακού αριθμού 3079 της Περίπτωσης Α

Παρά το γεγονός ότι οι προκαταρκτικές μετρήσεις πιστοποίησαν ότι οι υποστηρικτικές διατάξεις της Περίπτωσης Α πληρούν όλες τις προϋποθέσεις των επιβεβλημένων τεχνικών προδιαγραφών, ζητήθηκε μια σχετική τροποποίηση περιορισμένης έκτασης. Κατά την φάση της κατασκευής των παρόντων πρώτων σε σειρά κατασκευής προτύπων, πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση σχετικά με τη μεθοδολογία της ακριβούς συναρμολόγησης των διατάξεων ΠΡ στα υποστηρικτικά συστήματα. Ως εκ τούτου, μερικές από τις διαστασιολογικές ανοχές που περιλήφθηκαν στα σχέδια κατασκευής απαιτείται να ενημερωθούν και να εκσυγχρονιστούν, δεδομένου ότι δεν ήταν πια χρησιμοποιήσιμα. Η τροποποίηση που απαιτήθηκε στην κατασκευή της Περίπτωσης Α περιελάμβαναν την εκ νέου μηχανουργική κατεργασία (σμίλευση και εν συνέχεια λείανση) των επιφανειών αναφοράς P2 και P2'. Στη συνέχεια, η ακρίβεια τοποθέτησης αυτών των επιφανειών αναφοράς αποκαταστάθηκε σύμφωνα με την πιο πρόσφατη και αναγνωρισμένη μελέτη.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Επιφάνειες Αναφοράς	P0	P1	P2	P2'	P3	P5	P5'	P10	Άξονας Αναφοράς Axis L5
P0	<u>20 μm</u> (local) <u>200 μm</u> 19 μm (local) 61 μm	<u>350 μm</u>	<u>350 μm</u> 14 μm	<u>400 μm</u>	<u>300 μm</u>			<u>350 μm</u>	<u>400 μm</u>
P1		<u>350 μm</u> 7 μm	<u>20 μm</u> 1 μm	<u>50 μm</u> 11 μm	<u>150 μm</u> 2 μm			<u>100 μm</u>	<u>100 μm</u> 18 μm
P2		<u>350 μm</u> 14 μm	<u>50 μm</u> 1 μm	<u>50 μm</u> 8 μm	<u>100 μm</u> 10 μm			<u>50 μm</u> 3 μm	<u>150 μm</u>
P2'		<u>400 μm</u>	<u>150 μm</u> 11 μm	<u>100 μm</u>	<u>50 μm</u> 10 μm	<u>200 μm</u> 12 μm		<u>150 μm</u> 2 μm	<u>250 μm</u>
P3		<u>300 μm</u> 2 μm	<u>50 μm</u> 10 μm	<u>100 μm</u> 12 μm	<u>200 μm</u> 20 μm (local) 50 μm 13 μm (local) 22 μm			<u>50 μm</u> 11 μm	<u>100 μm</u>
P5						<u>50 μm</u>			
P5'							<u>50 μm</u>		
P10		<u>350 μm</u>	<u>100 μm</u> 3 μm	<u>50 μm</u> 2 μm	<u>150 μm</u>	<u>50 μm</u>		<u>20 μm</u> 2 μm	<u>100 μm</u> 32 μm

Πίνακας 5-3: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ σειριακού αριθμού 3069 της Περίπτωσης Α

5.2.2 Περίπτωση Β (Micro-Controle SiC)

Επόμενο βήμα για τον ποιοτικό έλεγχο ήταν ο έλεγχος για την επικύρωση της κατασκευής της Περίπτωσης Β στις εργοστασιακές εγκαταστάσεις της εταιρείας παραγωγής. Κατά συνέπεια, οι οριακές συνθήκες και οι τεχνικές παράμετροι κατά τη διάρκεια αυτών των μετρήσεων αναφέρονται στον Πίνακα 5-4:

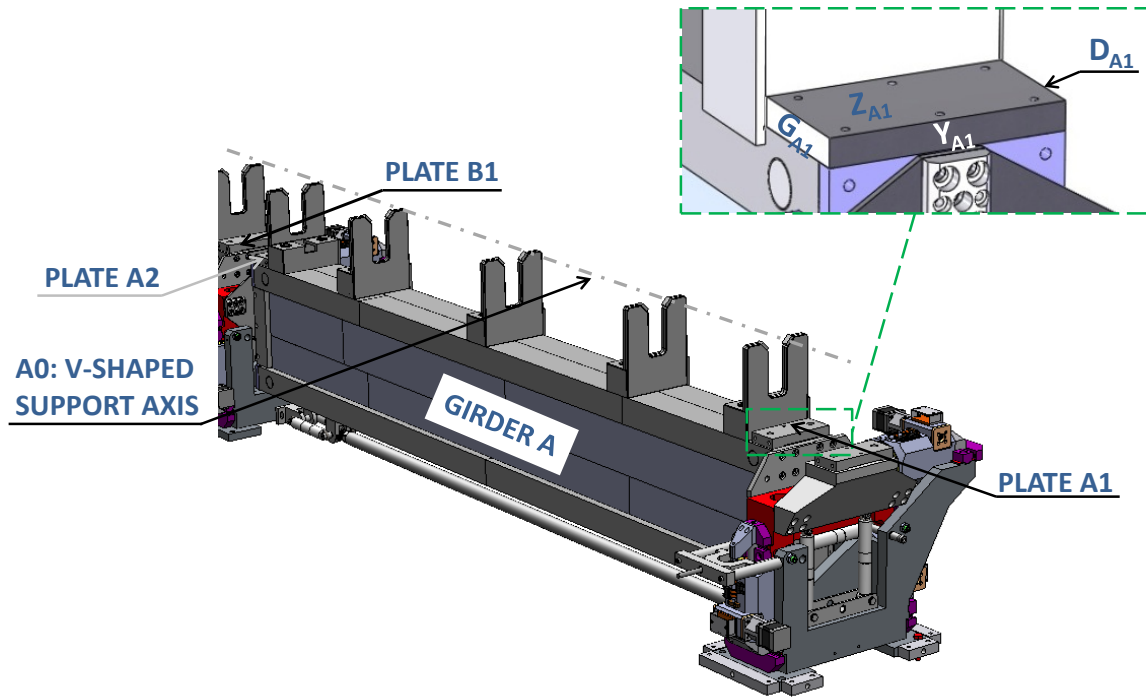
Μέγεθος	Τιμή
Μεταβολή θερμοκρασίας (ΔΤ)	18.6 °C – 18.9 °C = 0.3 °C
Ακρίβεια μετρήσεων επιπεδότητας και εκκεντρότητας για τον Laser Tracker (Leica LTD500)	10 μm r.m.s.
Ακρίβεια μετρήσεων τοποθέτησης για τον Laser Tracker (Leica LTD500)	20 μm r.m.s.

Πίνακας 5-4: Οριακές συνθήκες και παράμετροι μετρήσεων

Σε αυτή την περίπτωση κατασκευής ωστόσο συμπεριλαμβάνονται ολοκληρωμένα συστήματα αντιστήριξης και ευθυγράμμισης (για την ΚΔ της ΕΜΔΔ Τύπου-0 για το

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

EPΓ). Για το λόγο αυτό, ο ουσιώδης και απαραίτητος ποιοτικός έλεγχος των διαστασιολογικών ανοχών αντιστοιχεί στις μετρήσεις της θέσης του άξονα αναφοράς των Y-V σε σχέση με τις επιφάνειες αναφοράς και διασύνδεσης για τους αισθητήρες ευθυγράμμισης, για κάθε μία ΑΥΔ. Μια νέα μέθοδος προσέγγισης αναπτύχθηκε για να ελέγξει επαρκώς αυτή την περίπτωση, όπως παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 5-3 εντοπίζοντας τις επιφάνειες αναφοράς που ελέγχθηκαν.



Σχήμα 5-3: Επιφάνειες αναφοράς για την κατασκευή του συστήματος αντιστήριξης και ευθυγράμμισης της Περίπτωσης Β (SiC)

Οι τιμές που μετρήθηκαν κατά τον διαστασιολογικό έλεγχο παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες 5-5 και 5-6.

ΑΥΔ Α	Γεωμετρική Ανοχή	D_{A1}	G_{A1}	Z_{A1}	Y_{A1}	D_{A2}	G_{A2}	Z_{A2}	Y_{A2}
	Επιπεδότητα (μm)	6	4	6	6	7	5	10	6
	Θέση σε σχέση με το Α0 (μm)	65	51	18	-	1	33	31	-

Πίνακας 5-5: Διαστασιολογικός έλεγχος για το σύστημα αντιστήριξης και ευθυγράμμισης της Κατασκευής της Περίπτωσης Β (ΑΥΔ Α)

Είναι χρήσιμο να σημειωθεί ότι οι επιφάνειες αναφοράς $Y_{A\#}$ και $Y_{B\#}$ είναι πάντα κάθετες ως προς τους αντίστοιχους άξονες των Y-V. Ως εκ τούτου, προκύπτει ότι η σχετική θέση μεταξύ $Y_{A\#}$ και Α0 για την ΑΥΔ Α και κατά συνέπεια η ανάλογη σχετική θέση μεταξύ $Y_{B\#}$ και Β0 για την ΑΥΔ Β, δεν μπορούν να καθοριστούν.

ΑΥΔ Β	Γεωμετρική Ανοχή	D_{B1}	G_{B1}	Z_{B1}	Y_{B1}	D_{B2}	G_{B2}	Z_{B2}	Y_{B2}
	Επιπεδότητα (μm)	9	9	12	8	6	4	7	9
	Θέση σε σχέση με το Β0 (μm)	33	49	9	-	30	3	5	-

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Πίνακας 5-6: Διαστασιολογικός έλεγχος για το σύστημα αντιστήριξης και ευθυγράμμισης της Κατασκευής της Περίπτωσης Β (ΑΥΔ Β)

Καταλήγοντας, το κύριο συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι τα υποστηρικτικά συστήματα που παρήχθησαν για την κατασκευή της Περίπτωσης Β τηρούσαν πλήρως τις ανοχές που επιβάλλονται από τις τεχνικές προδιαγραφές στα μηχανολογικά σχέδια. Στον Πίνακα 5-7 μπορούμε να βρούμε συνοπτικά τις γεωμετρικές ανοχές που ακολουθήθηκαν κατά την κατασκευή και εν συνεχεία στην φάση του ποιοτικού ελέγχου επαληθεύτηκαν προκρίνοντας θετικά τα συστήματα αντιστήριξης της κατασκευής της Περίπτωσης Β.

Μέγεθος	Τιμή
Μετρούμενη ομοκεντρότητα των Y-V της ΑΥΔ Α	5 μm
Μετρούμενη ομοκεντρότητα των Y-V της ΑΥΔ Β	6 μm
Ομοκεντρότητα των Y-V καθορισμένη στις Τεχνικές Προδιαγραφές	$\leq 10 \mu\text{m}$
Επιπεδότητα των επιφανειών αναφοράς καθορισμένη στις Τεχνικές Προδιαγραφές	$\leq 20 \mu\text{m}$
Ακρίβεια θέσης για τις πλάκες αναφοράς (χρησιμοποιούμενες για τη συναρμολόγηση των αισθητήρων ευθυγράμμισης) ως προς τον άξονα των Y-V, καθορισμένη στις Τεχνικές Προδιαγραφές (για κάθε ΑΥΔ ξεχωριστά)	$\leq 100 \mu\text{m}$

Πίνακας 5-7: Συνοπτικός πίνακας ποιοτικού ελέγχου για την κατασκευή των υποστηρικτικών συστημάτων της Περίπτωσης Β

5.2.3 Περίπτωση Γ (Erument 145/B)

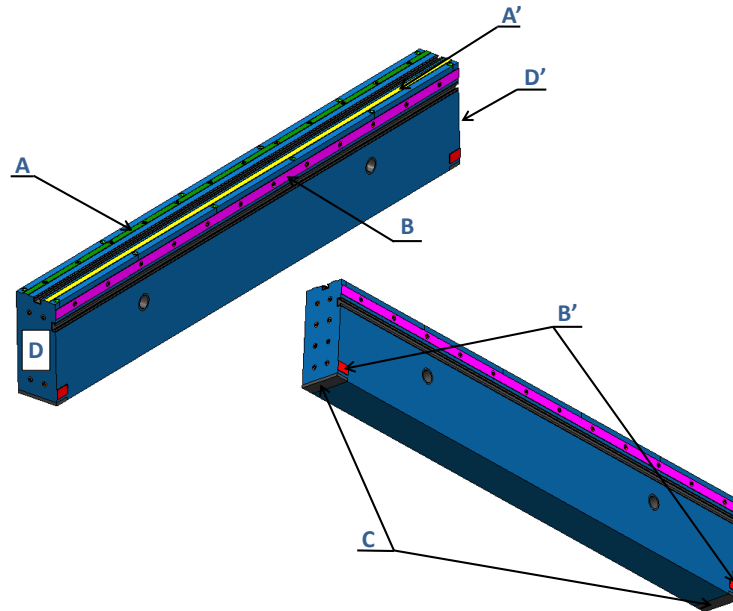
Σύμφωνα με τον καθιερωμένο έλεγχο όπως παρουσίασε προηγουμένως στις στρατηγικές κατασκευής, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μέσα για το διαστασιολογικό και ποιοτικό έλεγχο στις κατασκευαστικές ανοχές για την επικύρωση της κατασκευής της Περίπτωσης Γ. Μία ειδικά προσδιορισμένη μεθοδολογία αναπτύχθηκε αναλόγως και για αυτή την περίπτωση. Οι όροι και οι τεχνικές παράμετροι του ποιοτικού ελέγχου επικύρωσης, παρομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις, παρατίθενται στον Πίνακα 5-8:

Μέγεθος	Τιμή
Μεταβολή θερμοκρασίας (ΔT)	21.2 °C – 22.0 °C = 0.8 °C
Ακρίβεια μετρήσεων επιπεδότητας και εκκεντρότητας για τον Laser Tracker (Leica LTD500)	10 μm r.m.s.
Ακρίβεια μετρήσεων τοποθέτησης για τον Laser Tracker (Leica LTD500)	20 μm r.m.s.

Πίνακας 5-8: Οριακές συνθήκες και παράμετροι μετρήσεων

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Μία καθοριστική διαφορά στη διαμόρφωση της Περίπτωσης Γ, σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, ήταν η απουσία ενσωματωμένων Υ-V. Ως αποτέλεσμα, οι διαστασιολογικές ανοχές της επιπεδότητας, για την τοποθέτηση των επιφανειών αναφοράς των δύο ΑΥΔ, απαιτούνται να ελεγχθούν και πιστοποιηθούν απευθείας χωρίς ενδιάμεσα στάδια. Η σχετική μεθοδολογία χαρακτηρισμού, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου επιβεβαίωσης των επιφανειών αναφοράς, απεικονίζεται σχηματικά στο σχήμα 5-4.



Σχήμα 5-4: Επιφάνειες αναφοράς για τις ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Γ (Erument 145/B)

Επιφάνειες Αναφοράς	A	A'	B	B'	C	D	D'
A	<u>10 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>20 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>
	9 μm	9 μm	264 μm	264 μm	400 μm	1 μm	30 μm
A'	<u>40 μm</u>	<u>10 μm</u>	<u>20 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>80 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>
	9 μm	9 μm	264 μm	264 μm	400 μm	1 μm	30 μm
B	<u>20 μm</u>	<u>20 μm</u>				<u>50 μm</u>	<u>50 μm</u>
	3 μm	3 μm	<u>10 μm</u>	<u>20 μm</u>	<u>60 μm</u>	6 μm	1 μm
B'	<u>40 μm</u>	<u>40 μm</u>				<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>
	3 μm	3 μm	<u>20 μm</u>	<u>10 μm</u>	<u>80 μm</u>	6 μm	1 μm
C	<u>40 μm</u>	<u>80 μm</u>					
	400 μm	400 μm	<u>60 μm</u>	<u>80 μm</u>	13 μm		
D	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>50 μm</u>	<u>70 μm</u>		<u>10 μm</u>	<u>10 μm</u>
	1 μm	1 μm	6 μm	6 μm	<u>110 μm</u>	7 μm	150 μm
D'	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>50 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>110 μm</u>	<u>10 μm</u>	<u>10 μm</u>

	30 μm	30 μm	1 μm	1 μm	150 μm	10 μm
--	-------	-------	------	------	--------	-------

Πίνακας 5-9: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Γ (DB01E)

Οι ειδικές μήτρες των πινάκων 5-9 και 5-10 συνοψίζουν τις μετρηθείσες γεωμετρικές ανοχές των δύο ΑΥΔ για την ΟΔ. Παρομοίως με την ήδη εφαρμοσμένη τεχνική έλεγχο, οι υπογραμμισμένες τιμές εξάγονται από τις τεχνικές προδιαγραφές και οι μή υπογραμμισμένες τιμές είναι οι κατασκευαστικές ανοχές που συμπεριλαμβάνονται απευθείας στα κατασκευαστικά σχέδια.

Παρά την προσπάθεια τόσο κατά τη διάρκεια της φάσης της μηχανολογικής ανάλυσης όσο και κατά τις φάσεις του σχεδιασμού και της παραγωγής, οι απαιτητικές γεωμετρικές ανοχές κατασκευής δεν εκπληρώθηκαν για αυτή την περίπτωση. Από την αρχή της μελέτης, η προκείμενη εναλλακτική διαμόρφωση (της Περίπτωσης Γ) δεν έχει επιδείξει την πλήρη συμμόρφωση με τις τεχνικές απαιτήσεις του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ. Ωστόσο, όπως έχει αναλυθεί εκτενώς (κεφάλαιο 4), η μεθοδολογία κατασκευής του αποκαλύπτει πολλές δυνατότητες ευελιξίας για την παραγωγή και προβλέπει χώρο για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού. Αυτό αποδείχθηκε ότι είναι ο κύριος λόγος ώστε να διατηρηθεί ως βιώσιμη λύση για μελλοντική παραγωγή.

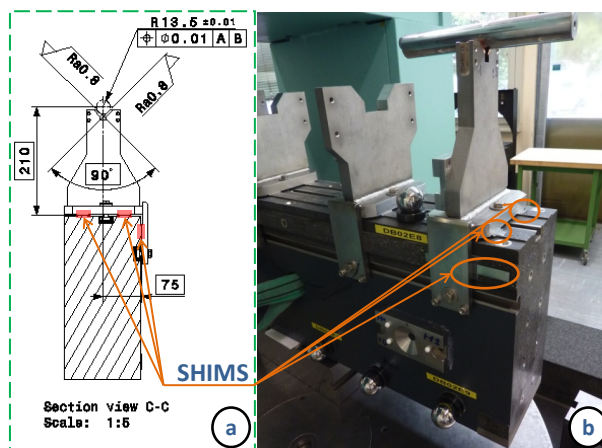
Επιφάνειες Αναφοράς	A	A'	B	B'	C	D	D'
A	<u>10 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>20 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>
	10 μm	10 μm	76 μm	76 μm	300 μm	12 μm	2 μm
A'	<u>40 μm</u>	<u>10 μm</u>	<u>20 μm</u>	<u>40 μm</u>	<u>80 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>
	10 μm	10 μm	76 μm	76 μm	300 μm	12 μm	2 μm
B	<u>20 μm</u>	<u>20 μm</u>				<u>50 μm</u>	<u>50 μm</u>
	76 μm	76 μm	<u>10 μm</u>	<u>20 μm</u>	<u>60 μm</u>	11 μm	11 μm
B'	<u>40 μm</u>	<u>40 μm</u>				<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>
	76 μm	76 μm	<u>20 μm</u>	<u>10 μm</u>	<u>80 μm</u>	11 μm	11 μm
C	<u>40 μm</u>	<u>80 μm</u>					
	300 μm	300 μm	<u>60 μm</u>	<u>80 μm</u>	25 μm		
D	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>50 μm</u>	<u>70 μm</u>		<u>10 μm</u>	<u>10 μm</u>
	12 μm	12 μm	11 μm	11 μm	<u>110 μm</u>	8 μm	40 μm
D'	<u>70 μm</u>	<u>70 μm</u>	<u>50 μm</u>	<u>70 μm</u>		<u>10 μm</u>	<u>10 μm</u>
	2 μm	2 μm	11 μm	11 μm	<u>110 μm</u>	40 μm	8 μm

Πίνακας 5-10: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Γ (DB02E)

Οι μετρήσεις ποιοτικού ελέγχου και διαστασιολογικής επικύρωσης έκριναν ακατάλληλες τις ΑΥΔ της Περίπτωσης Γ. Ως εκ τούτου, θεωρήθηκε ότι οι επιφάνειες αναφοράς που υστερούσαν σε ακρίβεια έπρεπε να υποστούν εκ νέου τις απαραίτητες μηχανουργικές κατεργασίες προκειμένου να αποκτήσουν τις αναγκαίες γεωμετρικές ανοχές των κατασκευαστικών σχεδίων. Έχοντας υπόψη αυτή την επιλογή, μια άλλη

στρατηγική προσέγγιση βελτιστοποίησης ήρθε στο προσκήνιο. Δεδομένου ότι στην περίπτωση αυτή δεν υφίστανται ενσωματωμένα Y-V, η διόρθωση των σφαλμάτων των επιφανειών αναφοράς θα μπορούσε να ρυθμιστεί κατά τη διάρκεια της διεργασίας της συναρμολόγησης ακριβείας. Αυτή η νέα προσέγγιση επιλέχθηκε ως η πλέον αποτελεσματική λύση που πρέπει να ακολουθηθεί για να διορθώσει τις ατέλειες στην επιφανειακή ακρίβεια των ΑΥΔ από Erument. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η επιλογή ήταν αποτελεσματική σε επίπεδο μηχανικής αλλά και στον απαιτούμενο χρόνο που είναι απαραίτητος προκειμένου να διορθωθούν οι ατέλειες σχήματος και ανοχών των ΑΥΔ.

Η κατά-βήμα εκτέλεση αυτής της μεθόδου αποδείχθηκε επιτυχής. Όμως, σε σύγκριση με τις κατασκευές των άλλων περιπτώσεων, πραιτέρω χρόνος αλλά και προσπάθεια μηχανικών ήταν απαραίτητη για την απόκτηση των ζητούμενων αποτελεσμάτων. Χρειάστηκαν πολλές επαναλήψεις της διαδικασίας εγκατάστασης με διαφορετικούς τύπους βαθμονομητών (καλίμπρες), κατόπιν αρκετών συνεδριών για την επικύρωση των επιτυχών μετρήσεων. Έτσι, αν και τελικά επιτεύχθηκαν οι απαιτούμενες ανοχές, αποφασίστηκε η μεθοδολογία αυτή να είναι αποφευχτέα στο μέλλον. Ωστόσο, η εξαγωγή αυτού του συμπεράσματος ήταν ένα πολύ καλό μάθημα για το μέλλον .



Σχήμα 5-5: Συναρμολόγηση με διαφορετικούς ρυθμιστικούς βαθμονομητές (καλίμπρες): a) Λεπτομέρεια από το κατασκευαστικό σχέδιο (CLIALSS0065), b) ΠΠΜΑΔ για την ΑΥΔ από Erument συναρμολογημένη με βαθμονομητές-καλίμπρες (διακρίνονται κάτω από τα Y-V) συναρμολογημένα κατά τον γεωμετρικό έλεγχο της ΑΥΔ σε συνάρτηση της θέσης των Y-V.

5.3 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ (ΣΤΟ CERN)

Ο προκαταρκτικός έλεγχος και επικύρωση των ανοχών των διαστάσεων κατέληξαν σε ελπιδοφόρα αποτελέσματα και, κατά συνέπεια, οι πρότυπες κατασκευές παραδόθηκαν επιτυχώς στο CERN. Με το ειδικό μηχάνημα μέτρησης γεωμετρικών συντεταγμένων του CERN (CMM) επιβεβαιώθηκε ο προκαταρκτικός έλεγχος και οι μετρήσεις που λήφθηκαν με μεγαλύτερη ακρίβεια πάνω στις γεωμετρικές ανοχές των συστημάτων αντιστήριξης και συγκρίθηκαν για εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος. Η προδιαγραφική μέτρησης ακριβείας του CMM ήταν $\pm 6 \mu\text{m}$ σε ακρίβεια 3σ .

5.3.1 Περίπτωση A (Boostec SiC)

Ένας συνδυασμός ποιοτικών ελέγχων και γεωμετρικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για την υποδοχή και επικύρωση των διατάξεων για την κατασκευή της Περίπτωσης A. Σε πρώτη φάση, το CMM του CERN ελέγχει και επιβεβαιώνει τις

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

προκαταρκτικές μετρήσεις που είχαν διενεργηθεί στη μονάδα παραγωγής. Παράλληλα, η ΠΠΜΑΔ των δύο ΑΥΔ επιτεύχθηκε.

Μετά από αυτό το βήμα, τα (ήδη ΠΠΜΑΔ) ΛΑ είχαν τοποθετηθεί με συναρμολόγηση ακριβείας επί των ΑΥΔ με τη βοήθεια των βαθμονομητών (καλιμπρών). Τότε τα υποσυστήματα, που περιλαμβάνουν ΑΥΔ με Υ-V και ΛΑ, συναρμολογούνται επί των ΚΓΚ (οι οποίοι έχουν ήδη εγκατασταθεί στις βάσεις τους που είναι πακτωμένες στο έδαφος). Μια σειρά από εικονικά φορτία τοποθετούνται σε κάθε δοκό και η ευθυγράμμιση των Υ-V επικυρώνεται για άλλη μια φορά με το ειδικό Laser Tracker του CERN. Αυτές οι μετρήσεις ευθυγράμμισης ήταν η αφετηρία για το τελικό βήμα, το οποίο θα είναι η ακριβής συναρμολόγηση των διατάξεων ΠΡ για τα υποστηρικτικά συστήματα των ΕΜΔΔ.

Επιφάνειες Αναφοράς	P0	P1	P2	P2'	P3	P5	P5'	P10	Άξονας Αναφοράς L5
P0	15 μm		24 μm						
P1		4 μm	1 μm	6 μm	16 μm			73 μm	17 μm
P2	24 μm	1 μm	6 μm		9 μm			5 μm	
P2'		6 μm		6 μm	7 μm			3 μm	
P3		16 μm	9 μm	7 μm	18 μm			3 μm	65 μm
P5									
P5'									
P10		73 μm	5 μm	3 μm	3 μm			9 μm	6 μm

Πίνακας 5-11: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Α (3079)

Επιφάνειες Αναφοράς	P0	P1	P2	P2'	P3	P5	P5'	P10	Άξονας Αναφοράς L5
P0	19 μm		14 μm						
P1		5 μm	1 μm	11 μm	2 μm			63 μm	18 μm
P2	14 μm	1 μm	7 μm		10 μm			10 μm	
P2'		11 μm		8 μm	12 μm			2 μm	
P3		2 μm	10 μm	12 μm	9 μm			11 μm	49 μm
P5									
P5'									
P10		63 μm	10 μm	2 μm	11 μm			9 μm	32 μm

Πίνακας 5-12: Διαστασιολογικός έλεγχος για την ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Α (3069)

Τέλος, χρησιμοποιώντας ακριβώς την ίδια ονοματολογία των σχ. 5-2, οι μετρήσεις ποιοτικού ελέγχου που πιστοποιούν την παραλαβή των υποστηρικτικών συστημάτων, επιτεύχθηκαν και παρουσιάζονται στους πίνακες 5-11 και 5-12. Οι μετρήσεις του

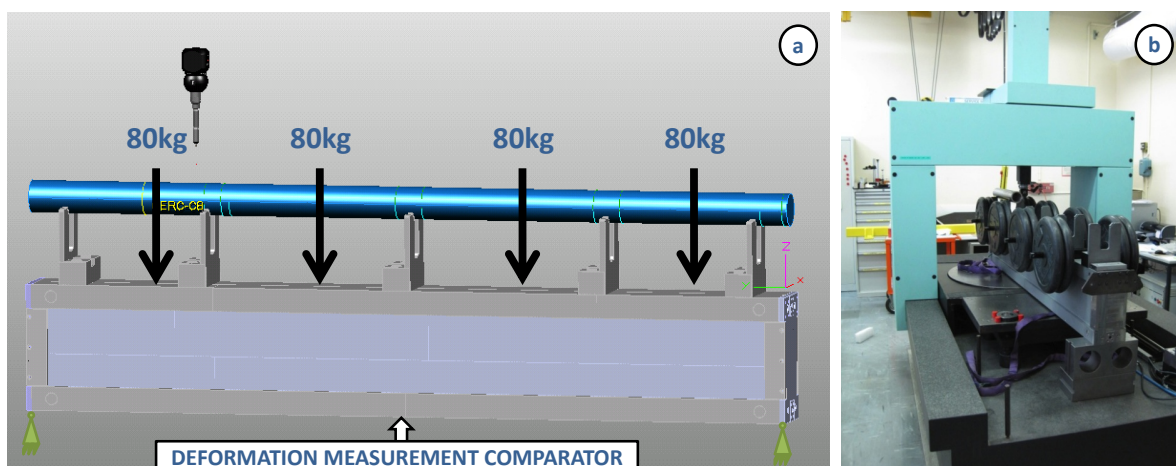
Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

διαστασιολογικού ελέγχου πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον μιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της τάξης του $\Delta T = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Οι τιμές μέτρησης που τροποποιήθηκαν και διορθώθηκαν παρουσιάζονται ενημερωμένες με **πλάγια-έντονη** μορφή σε αυτό το στάδιο προεπιλογής σε σχέση με τον έλεγχο των διαστάσεων που παρουσιάστηκε προκαταρκτικά. Όλες οι υπόλοιπες τιμές επιβεβαιώνονται από το CMM να είναι οι ίδιες όπως μετρήθηκαν στην μονάδα παραγωγής (κατά τον προκαταρκτικό έλεγχο που διενεργήθηκε και περιγράφεται στην παράγραφο 5.2).

Και οι δύο ΑΥΔ (ταξινομημένες κατά αύξοντες αριθμούς 3069 και 3079, αντίστοιχα) της κατασκευής της Περίπτωσης Α, έχουν επικυρωθεί θετικά κατά την παραλαβή τους, δεδομένου ότι καλύπτουν απόλυτα τις ανοχές των κατασκευαστικών σχεδίων (όπως αυτά εμφανίζονται στο Παράρτημα Ι).

5.3.2 Περίπτωση Β (Micro-Controle SiC)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η επιβεβαίωση του προκαταρκτικού ποιοτικού ελέγχου των ανοχών και ακριβείας των διαστάσεων θεωρήθηκε ότι έπρεπε να μελετηθεί ώστε να επιτυγχάνεται σε λιγότερα στάδια από ό,τι για τις υπόλοιπες περιπτώσεις κατασκευής. Επίσης αυτή τη φορά το CMM του CERN χρησιμοποιήθηκε για να επαληθεύσει την ορθή ευθυγράμμιση των Υ-V παράλληλα με τη επιτυχή διαδικασία για τη ΠΠΜΑΔ τους.



Σχήμα 5-6: α) Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου του CMM κατά τη διενέργεια του διαστασιολογικού ελέγχου, β) Περίπτωση Β όπου η ΑΥΔ είναι φορτισμένη με εικονικά βάρη κατά τις μετρήσεις του ποιοτικού ελέγχου των ανοχών της.

Προκειμένου να ελεγχθεί η ομοκεντρότητα των Υ-V, ένας μαρμάρινος κύλινδρος αναφοράς έρχεται σε επαφή με τις διεπιφάνειές τους. Η ακρίβεια της κυλινδρικής επιφάνειας του επιτρέπει έναν ακριβή υπολογισμό από τον οποίο και προκύπτουν τα αποτελέσματα ευθυγράμμισης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-7. Εκτός από τον παρόντα έλεγχο, για σύγκριση και διασταύρωση των αποτελεσμάτων αλλά επίσης και για τον έλεγχο της επαναληψιμότητας της τοποθέτησης των κινητήρων ενεργοποίησης, χρησιμοποιήθηκε ένα ΑΜΟ. Το ΑΜΟ τοποθετήθηκε πάνω σε διαδοχικά Υ-V (για τη μέτρηση της ευθύτητας του άξονα τους για κάθε μία ΑΥΔ) και τα αποτελέσματα των μετρήσεών του, μετά την απαραίτητη στατιστική επεξεργασία, αποδείχθηκαν να είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του CMM του CERN.

Κατά τη διάρκεια όλων των προαναφερθέντων γεωμετρικών ελέγχων, με εικονικά βάρη φορτωμένα επί των δοκών, ακολουθήθηκαν βήμα προς βήμα οι ακριβώς ίδιες διαδικασίες ελέγχου και μεθοδολογίες επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε στο

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

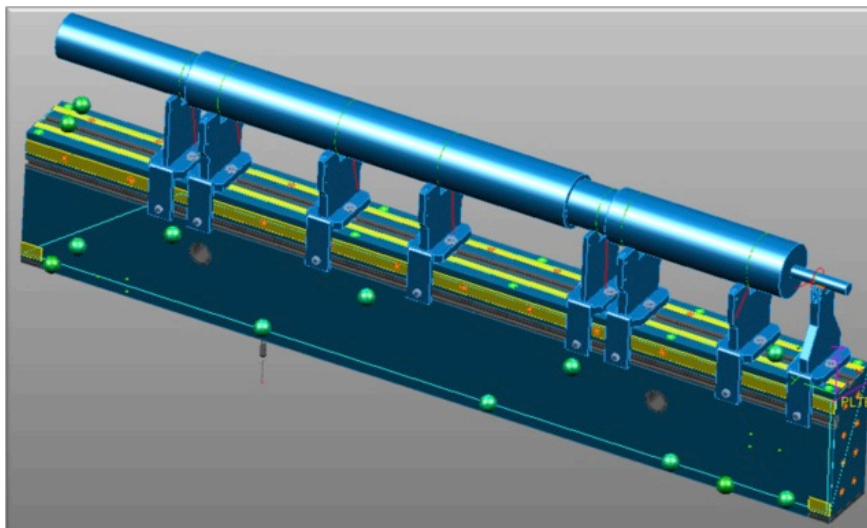
υπόλοιπο των περιπτώσεων κατασκευής. Μετά από αυτό το στάδιο, οι ΑΥΔ μεταφέρονται προς εγκατάσταση στους μηχανοκίνητους σταθμούς τους (οι οποίοι είναι ήδη εγκατεστημένοι στις βάσεις τους στο έδαφος). Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρησιμοποιούνται βαθμονομητές (καλίμπρες) για τη συναρμολόγηση τους ή κατά την εγκατάστασή τους αφού αυτό δεν κρίθηκε απαραίτητο για να επιτευχθεί η ακριβής συναρμολόγηση.

	Ομοκεντρότητα Y-V
ΑΥΔ Α	6 μm
ΑΥΔ Β	7 μm

Πίνακας 5-13: Αποτελέσματα διαστασιολογικού ελέγχου για τις ΑΥΔ της κατασκευής της Περίπτωσης Β

5.3.3 Περίπτωση Γ (Erument 145/B)

Μετά την απόδοση της καθιερωμένης πλέον στρατηγικής επικύρωσης, οι δοκοί της κατασκευής στην Περίπτωση Γ φορτώνονται με εικονικά βάρη για να ελεγχθούν στο CMM του CERN. Ωστόσο, ήταν απαραίτητο να έχουν τα στοιχεία Y-V συναρμολογημένα επί των ΑΥΔ πριν από τον έλεγχο αλλά και πριν την ΠΠΜΑΔ τους. Τα εν λόγω υποσυστήματα ήταν προκαθορισμένα στη συναρμολόγησή τους, καθώς ο ποιοτικός έλεγχος των ανοχών των διαστάσεών τους ήταν κρίσιμος για την επικύρωση της ευθυγράμμισης των Y-V τους (το κάθε Y-V σε σχέση με το διαδοχικό του), κατά την οποία οι διατάξεις ΠΡ θα συναρμολογηθούν. Καλίμπρες ή σφήνες (με πάχος μικρομετρικής ακρίβειας) τοποθετήθηκαν ενδιάμεσως των ΑΥΔ και των Y-V προκειμένου να βοηθήσουν την ορθή τοποθέτηση, συναρμολόγηση και πάκτωση με βίδες και ράγες των Y-V επί των ΑΥΔ.



Σχήμα 5-7: Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου της ΑΥΔ με Y-V και εικονικά βάρη στο CMM για την κατασκευή της Περίπτωσης Γ κατά τη διάρκεια του διαστασιολογικού ελέγχου

Όπως και σε προηγούμενες περιπτώσεις, κύλινδροι αναφοράς (StSt) χρησιμοποιήθηκαν για να βοηθήσουν στον έλεγχο της ομοκεντρότητας των Y-V κατά τις μετρήσεις του CMM, όπως επίσης αναπαρίσταται στο Σχήμα 5-7. Μια χρονοβόρα ακριβής συναρμολόγηση πραγματοποιήθηκε με αρκετές μεμονωμένες προσπάθειες για την επίτευξη της επαναληψιμότητας της ακρίβειας στη συναρμολόγηση του κάθε

Y-V στην ΑΥΔ, με διαφορετικά είδη από καλίμπρες κατασκευασμένες από StSt (με πάχος αναφοράς από 10 μm έως και 50 μm). Κατά την τελευταία αναφερθείσα διαδικασία, τα αποτελέσματα των μετρήσεων επιβεβαίωσαν ότι τα υποσυστήματα ήταν ορθώς συναρμολογημένα σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις της ευθυγράμμισης και άρχισε η εγκατάστασή τους.

5.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα πρώτα πρότυπα των υποστηρικτικών συστημάτων ελέγχθηκαν για τις διαστασιολογικές τους ακρίβειες και εγκαταστάθηκαν στο εργαστήριο. Οι διατάξεις ΠΡ ακολουθώντας συναρμολογούνται επί των υποστηρικτικών διαμορφώσεων. Μετά την ολοκλήρωση της επιτυχούς συναρμολόγησης και εγκατάστασης, έπρεπε να ελεγχθεί η δυναμική απόκριση συνολικά της ΕΜΔΔ. Η συγκεκριμένη μελέτη και έρευνα θεωρήθηκε πλέον σημαντική, δεδομένου ότι θα δύναται να προσφέρει:

- i. Πληροφορίες σχετικά με την ανοχή ως προς τις επικείμενες επιβαλλόμενες δονήσεις για το ενδεχόμενο της μεταφοράς των ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ,
- ii. Πληροφορίες σχετικά με την αποφυγή στοχευμένων συχνοτήτων που θα μπορούσαν να ταιριάζουν με τις ιδιοσυχνότητες του συστήματος και κατ'επέκταση να διαταράζουν τη σταθερότητα και ευθυγράμμιση, κατά τη λειτουργία του μηχανήματος.

Αν και οι ιδιοσυχνότητες των μεμονωμένων στοιχείων της ΕΜΔΔ έχουν μελετηθεί και προσδιοριστεί, οι ιδιοσυχνότητες των συναρμολογημένων υποσυστημάτων που απαρτίζουν την ΕΜΔΔ δεν έχουν ακόμη μετρηθεί αλλά ούτε και είχαν πρότινος προσομοιωθεί.

Μια πειραματική ανάλυση των ιδιοσυχνοτήτων ήταν υποχρεωτική ώστε να αναγνωριστούν όλες αυτές οι φυσικές συχνότητες, αποσβεστικοί παράγοντες και οι σχετικές μορφές-πρότυπα («μοτίβα» ή και patterns) των δομικών παραμορφώσεων τα λεγόμενα δυναμικά σχήματα ή σχήματα ρυθμών (mode shapes). Στην περίπτωσή μας, οι φυσικές συχνότητες και τα σχήματα ρυθμών διεγείρονται προκειμένου να μετρηθούν, αναλυθούν και προσδιοριστούν πειραματικά.

Η διάταξη των δυναμικών δοκιμών για την κάθε ΑΥΔ αλλά και για κάθε τύπο Y-V (ΚΔ και ΟΔ) παρουσιάζονται στα Σχήματα 5-8. Τα σχετικά όργανα που χρησιμοποιούνται για τις δυναμικές μετρήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-14.

Όργανο	Τύπος	Τεχνική περιγραφή
Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	PCB Piezotronics 356A15	Sensitivity 10.2 mV/(m/s ²), range 2 Hz to 5 kHz, mass 10.5 g.
Τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο	PCB Piezotronics 356A33	Sensitivity 1.02 mV/(m/s ²), range 2 Hz to 7 kHz, mass 5.3 g.
Σφύρα κρούσης (διέγερσης)	PCB Piezotronics 086D05	Sensitivity 0.23 mV/N, range ± 22,240 N pk, mass 0.32 Kg.
Αναλυτής Φάσματος πραγματικού χρόνου	MKII ®	Input channels 16, sampling frequency 384 Hz, range 10 mV to 50 V.

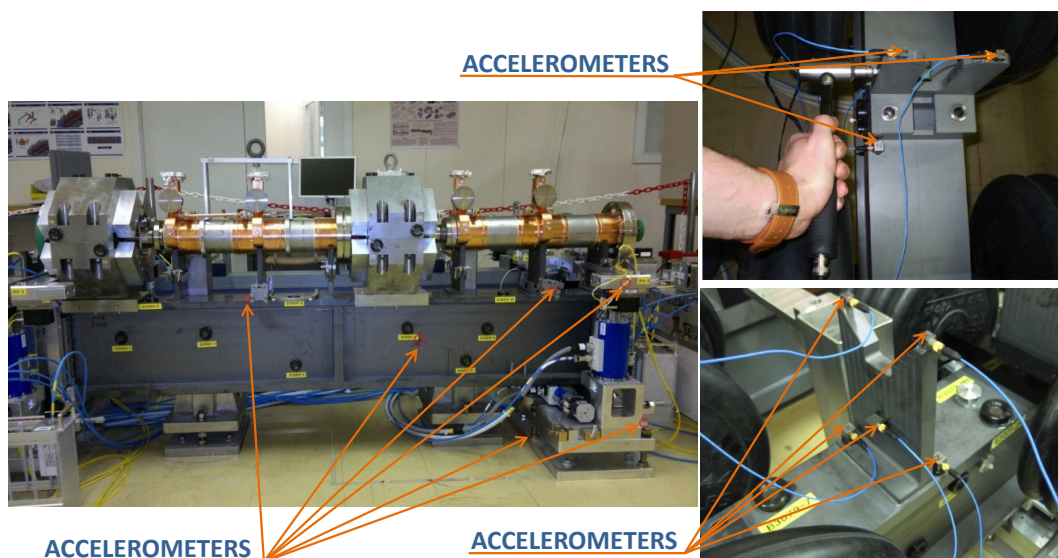
Πίνακας 5-14: Όργανα μετρήσεων για τις δοκιμές δυναμικής συμπεριφοράς

Οι χαρακτηριστικές συχνότητες των Y-V και των AYΔ μετρήθηκαν και αναλύονται σε αυτή την πρώτη φάση της μελέτης. Τα επιταχυνσιόμετρα ήταν κολλημένα σε διάφορα στοιχεία του υποστηρικτικού συστήματος. Μια διέγερση εισάγεται σε κάθε στοιχείο με τη βοήθεια μίας σφύρας κρούσης. Τα επιταχυνσιόμετρα λαμβάνουν το σήμα της δόνησης που περνά μέσα από τη διάταξη και στη συνέχεια διαβιβάζεται σε πραγματικό χρόνο στον αναλυτή φάσματος (τεχνικές λεπτομέρειες που αναφέρονται στον Πίνακα 5-14). Το μετρούμενο σήμα ελέγχεται και υφίσταται μετεπεξεργασία μέσω του ειδικού λογισμικού του υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με τον αναλυτή φάσματος.

Ένα απλοποιημένο εικονικό μοντέλο που συμπεριλαμβάνει όλα τα σημεία μετρήσεων, για όλες τις διατάξεις, ήταν αναγκαίο να δημιουργηθεί και μελετηθεί (στο ανάλογο εξειδικευμένο λογισμικό) έτσι ώστε να είναι εφικτή η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων για να παραχθούν τα δυναμικά σχήματα και οι χαρακτηριστικές συχνότητες. Για την μετεπεξεργασία και τον προσδιορισμό του μέγεθους, της φάσης και της χαρακτηριστικής κατεύθυνσης περιελήφθησαν οι συναρτήσεις μεταφοράς που αποκτώνται από τα σημεία μέτρησης.

Μετά τον επιτυχή προσδιορισμό όλων των συναρτήσεων μεταφοράς των διατάξεων, το τελευταίο στάδιο της δυναμικής ανάλυσης είναι η εξαγωγή της δυναμικής συγχρονισμένης παραμόρφωσης των πειραματικά προσδιορισμένων χαρακτηριστικών ιδιοσυχνοτήτων απόκρισης. Το κρίσιμο θέμα αυτού του τελικού βήματος της μελέτης είναι ότι ο αριθμός των διεγερμένων ιδιοσυχνοτήτων (παρουσιάζονται ως κορυφές συντονισμού) πρέπει και αξιολογείται ποιοτικά για να εξαχθεί το τελικό συμπέρασμα.

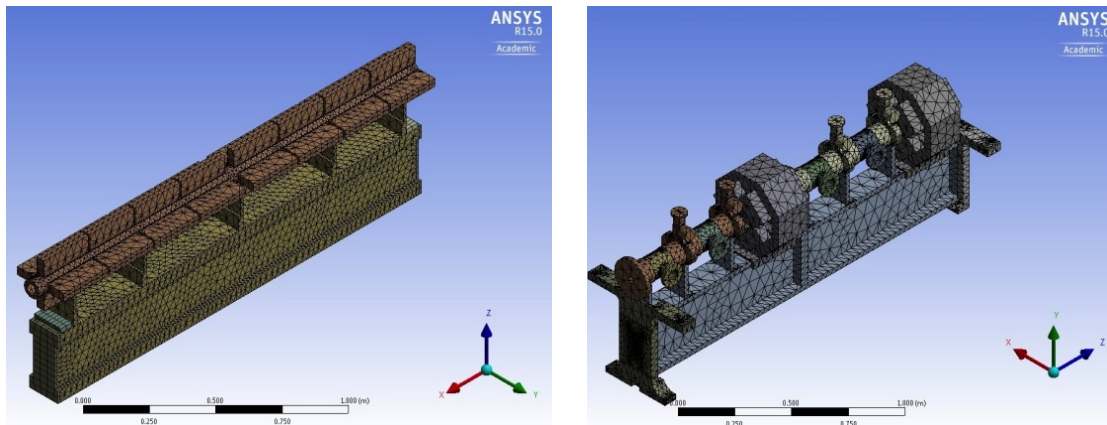
Έχοντας συνοψίσει τα σχετικά συμπεράσματα με την ανάλυση των δεδομένων από τις μετρήσεις, ακολουθεί ο τελικός έλεγχος σύγκρισης που αποτελεί τον τελικό συγκεντρωτικό στόχο αυτής της φάσης μετρήσεων και ποιοτικού ελέγχου. Οι πειραματικά προσδιορισμένες χαρακτηριστικές ιδιοσυχνότητες συγκρίνονται σε τιμές και σε γραφική ερμηνεία με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση αναφορικά με τις καμπύλες και τιμές των χαρακτηριστικών ιδιοσυχνοτήτων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έχουν προκύψει από ανάλυση με ΠΣ του συνόλου της ΕΜΔΔ, κατά τη φάση σχεδιασμού του υποστηρικτικού συστήματος.



Σχήμα 5-8: Πειραματική εγκατάσταση για τις μετρήσεις δυναμικής συμπεριφοράς του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ

5.4.1 Η μοντελοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς της ΑΥΔ για την ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία

Η δυναμική ανάλυση του συναρμολογημένου υποστηρικτικού συστήματος ήταν πλέον απαιτητική. Απλουστεύτηκαν σε CAD περιβάλλον CATIA οι γεωμετρίες των επιταχυντικών διατάξεων (για την ΚΔ) καθώς και των ΔΕΜΕ και των τετράπολων μαγνητών (για την ΟΔ). Επίσης, οι γεωμετρίες των couplers που παρεμβάλλονται ενδιάμεσα των ΔΕΜΕ θεωρήθηκαν σημαντικές και συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο ΠΣ.



Σχήμα 5-9: Μοντελοποιημένες διατομές ΑΥΔ σε περιβάλλον ANSYS Workbench

Στην περίπτωση της ΟΔ, στο μοντέλο συμπεριλήφθηκαν τα ΛΑ πακτωμένα στην ΑΥΔ λόγω μεγέθους αλλά και τύπου συναρμολόγησης. Στην περίπτωση της ΚΔ, τα ΛΑ ακολουθούν σύνθετο σχεδιασμό με περιορισμένο όγκο και μάζα. Επιπροσθέτως, η μάζα των ΣΜΑ της ΚΔ στηρίζεται μερικώς στα ελατήρια προέντασης. Για τους προαναφερθέντες λόγους και προκειμένου η προσομοίωση να περιγράφει την χειρότερη δυνατή κατάσταση (worse case scenario) για το σύστημα τα ΛΑ δεν μοντελοποιήθηκαν κατά την ανάλυση με ΠΣ της ΚΔ.

5.4.2 Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων για τη δυναμική συμπεριφορά

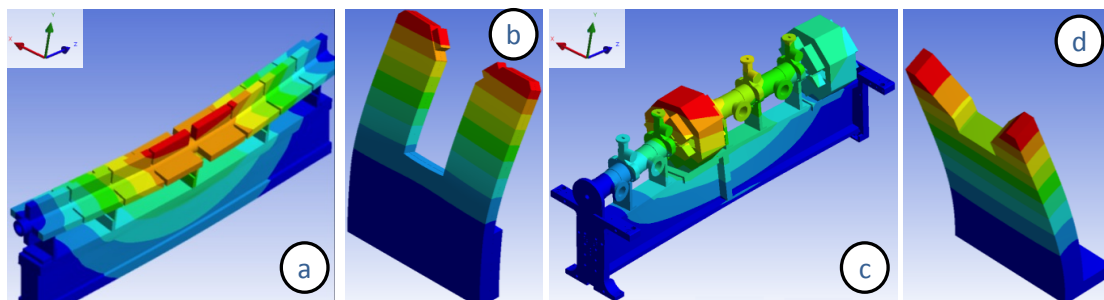
Ο συνοπτικός Πίνακας 5-15 συγκεντρώνει όλες τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο οι πρώτες ιδιοσυχνότητες των Y-V μπορούσαν να ανιχνευτούν. Οι ιδιοσυχνότητες που έπονται σε τιμή από τις μετρηθείσες πέφτουν έξω από την περιοχή των δυνατοτήτων δυναμικής διέγερσης της σφύρας κρούσης.

Διάταξη υποστηρικτικού συστήματος	Προσομοιωμένη 1 ^η ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μετρηθείσα 1 ^η ιδιοσυχνότητα (Hz)	Σφάλμα (%)
ΚΔ ΑΥΔ	114	-	-
ΚΔ Y-V	801	785	2.0
ΟΔ ΑΥΔ	50	59	15.2

ΟΔ Y-V	1581	1490	6.1
--------	------	------	-----

Πίνακας 5-15: Σύγκριση αποτελεσμάτων δυναμικής ανάλυσης (τιμές που προκύπτουν από πειραματικές μετρήσεις και προσομοιώσεις)

Το περιθώριο σφάλματος μικρότερο του 20% μεταξύ της προσομοίωσης και των μετρήσεων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αποδεκτό εύρος σφάλματος για τις διατάξεις και τα υποσυστήματα της ΕΜΔΔ του υποστηρικτικού συστήματος. Οι γραφικές αναπαραστάσεις των πρώτων (1^{ov}) ιδιοσυχνοτήτων για τις διατάξεις παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-10.



Σχήμα 5-10: Πρώτες (1^{es}) ιδιοσυχνότητες των: a) ΑΥΔ με εικονικά βάρη για την ΚΔ Τύπου-0, b) Y-V για την ΚΔ Τύπου-0, c) ΑΥΔ με εικονικά βάρη για την ΟΔ Τύπου-0, d) Y-V για την ΟΔ Τύπου-0.

5.5 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΟΙΟΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ο επιτυχής έλεγχος και η επικύρωση των πρότυπων συστημάτων αντιστήριξης επιβεβαίωσαν τη συνολική λειτουργικότητά τους, όπως περιγράφεται στο τρέχον κεφάλαιο 5. Η υπόθεση και μελέτη ανά περίπτωση της μεθοδολογίας για τον γεωμετρικό έλεγχο έδωσαν την δυνατότητα για μια σε βάθος ανάλυση και ακριβή εξέταση των κατασκευαστικών παραμέτρων και πεπραγμένων. Τα χρησιμοποιούμενα όργανα μέτρησης κρατήθηκαν ίδια για όλες τις περιπτώσεις, έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε με ασφάλεια τα αποτελέσματα της αξιολόγησης και του ελέγχου. Εκτός από αυτό, οι δυνατότητες και ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός μέτρησης των βιομηχανιών ελέγχθηκαν, ώστε να αξιολογηθεί η πιθανή μελλοντική συνεργασία μαζί τους για μία ευρεία μαζική παραγωγή. Σε κάθε περίπτωση, τα αποτελέσματα των κατασκευών που εξακριβώθηκαν από τους προμηθευτές διασταυρώθηκαν με αυτά του CERN και επικυρώθηκαν χρησιμοποιώντας κινητά μέσα (Laser Tracker) ανάγνωσης αποτελεσμάτων περιορισμένης ακρίβειας αλλά και συγκριτικά, σταθερό (CMM) μετρητικό εξοπλισμό μεγαλύτερης ακριβείας.

Οι μετρήσεις δυναμικής συμπεριφοράς που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών πιστοποίησης απέδειξαν ότι είναι σε άρτια συμφωνία με τα προκαταρκτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης. Το περιθώριο σφάλματος μεταξύ της προσομοίωσης και των πειραματικών μετρήσεων αναλύθηκε, επιβεβαιώθηκε και θεωρήθηκε λογικό σε σχέση με την δυναμική συμπεριφορά των πρότυπων υποστηρικτικών συστημάτων. Αναλυτικά, οι ιδιοσυχνότητες των υποσυστημάτων και διατάξεων ταυτοποιήθηκαν σωστά. Ωστόσο, ανιχνεύθηκαν αρκετές ιδιοσυχνότητες που παραπέμπουν σε συμπεριφορά μή παραμορφώσιμου σώματος. Αποδείχθηκε κατά αυτόν τον τρόπο λοιπόν ότι ο γειτονικός εξοπλισμός που απαιτείται για την ευθυγράμμιση (ΛΑ, αισθητήρες, κλπ) των υποσυστημάτων χρήζει ακόμα, περαιτέρω μελέτης και βελτιστοποίησης όσον αφορά τη σταθερότητα τους. Ως τελικό

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

αποτέλεσμα, αποφασίστηκε ότι οι εν λόγω διαμορφώσεις θα πρέπει να μελετηθούν και στερεοποιηθούν επιπροσθέτως στο μέλλον (π.χ. καλουπώνοντάς τες σε οπλισμένο χυτό σκυρόδεμα).



Σχήμα 5-11: Βάσεις ευθυγράμμισης κάτω από τα ΛΑ, οι οποίες δημιουργούν στο υποσύστημα ιδιοσυχνότητα μή παραμορφώσιμου σώματος

Τα βασικά/κύρια ερωτήματα που τίθενται σχετικά με τη σκοπιμότητα και ρεαλιστικότητα της κατασκευής θεωρούνται πλέον ότι έχουν απαντηθεί με την παρούσα μελέτη. Η λειτουργία της ΕΜΔΔ και ειδικά του υποστηρικτικού συστήματός της είχε επίσης ταυτοποιηθεί και πιστοποιηθεί. Παρουσιάστηκαν οι πειραματικές δοκιμές και οι ποιοτικοί έλεγχοι για τα πρότυπα· ως εκ τούτου ερχόταν στο προσκήνιο το επόμενο προγραμματισμένο βήμα της μελέτης. Η συμπεριφορά των δομικών υλικών υπό την ακτινοβολία υποβάθρου του επιταχυντή έπρεπε να διερευνηθεί και να εξακριβωθεί. Η απάντηση της μικροδομής των δομικών υλικών υπό τις αναμενόμενες συνθήκες λειτουργίας απαιτείται να προσομοιωθεί, και στη συνέχεια να δοκιμαστεί και να επιβεβαιωθεί, όπως θα συζητηθεί και στο επόμενο κεφάλαιο 6. Με μια τέτοια στρατηγική προσέγγισης θα μπορούσε να εξασφαλιστεί εξ' αρχής η ομαλή και ασφαλής λειτουργία του επιταχυντή.

Κεφάλαιο 6.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΣΓΕΣΔ

6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Τα δομικά υλικά του υποστηρικτικού συστήματος του ΣΓΕΣΔ πρέπει να πληρούν ποικίλες απαιτήσεις στην αντοχή τόσο στο υπόβαθρο υψηλής ραδιενεργού ακτινοβολίας όσο και στις συνδυασμένες μηχανικές καταπονήσεις. Οι ιδιότητες των υλικών στην αντοχή στο υπόβαθρο υψηλής ραδιενεργού ακτινοβολίας μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση και κρίσιμες επιπτώσεις για την ασφάλεια προσωπικού, την κύρια λειτουργία του επιταχυντή αλλά και το περιβάλλον της εγκατάστασης. Επιπλέον, πιθανή ενεργοποίηση μερικών πυρήνων εκ των υλικών, λόγω του υψηλού ραδιενεργού υποβάθρου, θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση δόσεων ακτινοβολίας του προσωπικού για τις περιόδους συντήρησης του επιταχυντή, το οποίο θα μπορούσε να περιπλέξει περαιτέρω τον χειρισμό και τη συντήρηση των διατάξεων και των υποσυστημάτων του ΣΓΕΣΔ. Επιπρόσθετα, η μακροχρόνια ενεργοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε προϊόντα που απαιτούν ειδική επεξεργασία, αποθήκευση ή διάθεσή τους ως ραδιενεργών αποβλήτων στο τέλος της λειτουργίας της εγκατάστασης του επιταχυντή.

Επίσης, η ραδιολογική κόπωση των δομικών υλικών λόγω της υψηλής ακτινοβολίας υποβάθρου θα μπορούσε να προκαλέσει κρίσιμα ζητήματα αντικραδαμικής ευστάθειας ή εν γένει καταπόνηση της αντοχής των δυναμικών φορτίων και λειτουργίας στην κάθε περίπτωση. Τα ζητήματα αυτά θα μπορούσαν να είναι μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων του εκάστοτε υλικού, συντόμευση των κύκλων ζωής των διατάξεων ή ακόμη και αλλοίωση της μικροδομής των υλικών.

Σε τελική ανάλυση, τα δυναμικά φορτία που επιβάλλονται ή οι παραμένουσες τάσεις που εφαρμόζονται επί των υλικών σε συνδυασμό με την υψηλή ακτινοβολία ραδιενεργού υποβάθρου θα μπορούσαν να προκαλέσουν ακόμα και αστοχία σε μακροσκοπικό επίπεδο. Οι πιθανότητες αυτές ενδέχεται δυνητικά να αποβούν καταστροφικές για το υποστηρικτικό σύστημα του ΣΓΕΣΔ και ως εκ τούτου, θεωρήθηκε απολύτως απαραίτητο να προβούμε σε συνδυασμένα πειράματα ακτινοβολήσεων δοκιμών με κατάλληλες ισχυρές δέσμες και εν συνεχεία μηχανικών δοκιμών και καταπονήσεων των δομικών υλικών.

6.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΕΩΝ

6.2.1 Προσομοιώσεις ακτινοβολίας υποβάθρου με τον κώδικα FLUKA⁷ – Συνθήκες λειτουργίας του επιταχυντή ΣΓΕΣΔ

Για τον υπολογισμό των προσομοιώσεων με τον κώδικα FLUKA, ελήφθησαν υπόψη οι κατωτέρω συνθήκες πραγματικής λειτουργίας του επιταχυντή ΣΓΕΔ καθώς και πιθανές βλάβες σε επιμέρους συστήματα, ως υπόθεση εργασίας:

1. Λαμβάνεται υπόψη ως δεδομένο ότι στη διάρκεια της επιτάχυνσης της διπλής δέσμης του ΣΓΕΔ, υφίσταται απώλεια δέσμης μέχρι κάποια μέγιστα ποσοστά ασφαλείας για να μην υποστούν ανεπανόρθωτη ζημιά ευαίσθητα τμήματα του επιταχυντή
2. Με βάση τα ανωτέρω η γραμμή της Κύριας Δέσμης, στο τέλος της γραμμικής επιτάχυνσης πρέπει να μην δεχθεί περισσότερο από 0.01% των ηλεκτρονίων

⁷ **Κώδικας FLUKA:** <http://www.fluka.org/fluka.php>, είναι ένα πλήρες λογισμικό πακέτο προσομοίωσης της σωματιδιακής φυσικής. Έχει πολλές εφαρμογές στην πειραματική φυσική των υψηλών ενεργειών, στην τεχνολογία των επιταχυντών, στην θωράκιση των ανιχνευτών και στο σχεδιασμό ανιχνευτικών τηλεσκοπίων, μελετών κοσμικών ακτίνων, δοσιμετρία των ιοντιζουσών ακτινοβολιών, ιατρική φυσική και ραδιο-βιολογία.

του πακέτου δέσμης που αντιστοιχεί σε 1.16×10^8 ηλεκτρόνια και η Δέσμη Οδηγός όχι περισσότερο από 1.0 % των ηλεκτρονίων του πακέτου δέσμης $\sim 1.53 \times 10^{12}$ ηλεκτρόνια

3. **Δυναμική της Δέσμης** για τμήμα του επιταχυντή διπλής δέσμης: ελήφθη ως απώλεια ποσοστό $\sim 10^{-3}$ της πλήρους έντασης της Κύριας Δέσμης για μήκος 20km του γραμμικού επιταχυντή, ή απώλεια ποσοστό $\sim 10^{-3}$ της πλήρους έντασης της Δέσμης Οδηγού για μήκος 875m του επιβραδυντή, που προκύπτουν σαν αποτέλεσμα της απώλειας της φωτεινότητας, λόγω των διακυμάνσεων της δέσμης
4. **Ενεργοποίηση** (θέμα εισόδου του προσωπικού): Εκτιμάται μια παραμένουσα δόση βασισμένη σε προσομοιώσεις του κώδικα FLUKA από την απώλεια δέσμης στα τμήματα του επιταχυντή διπλής δέσμης, με βάση τα όρια δυναμικής της δέσμης
5. **Ζημιά σε συστήματα της γραμμής της δέσμης** (λαμβάνεται υπόψη η απορροφούμενη δόση στην εποξική ρητίνη των τετραπόλων), με βάση τα όρια δυναμικής της δέσμης

Ζημιά στα ηλεκτρονικά: οι προσομοιώσεις σε μή θωρακισμένα τμήματα ηλεκτρονικών περιορίζονται σε κατώτερα όρια από αυτά που υπολογίζονται με βάση τη δυναμική της δέσμης, ενώ προσομοιώσεις με θωρακισμένα τμήματα δίδουν ελάχιστη επίδραση της απώλειας της δέσμης

6.2.2 Προσομοιώσεις ακτινοβολίας υποβάθρου με τον κώδικα FLUKA – Απορροφούμενη δόση

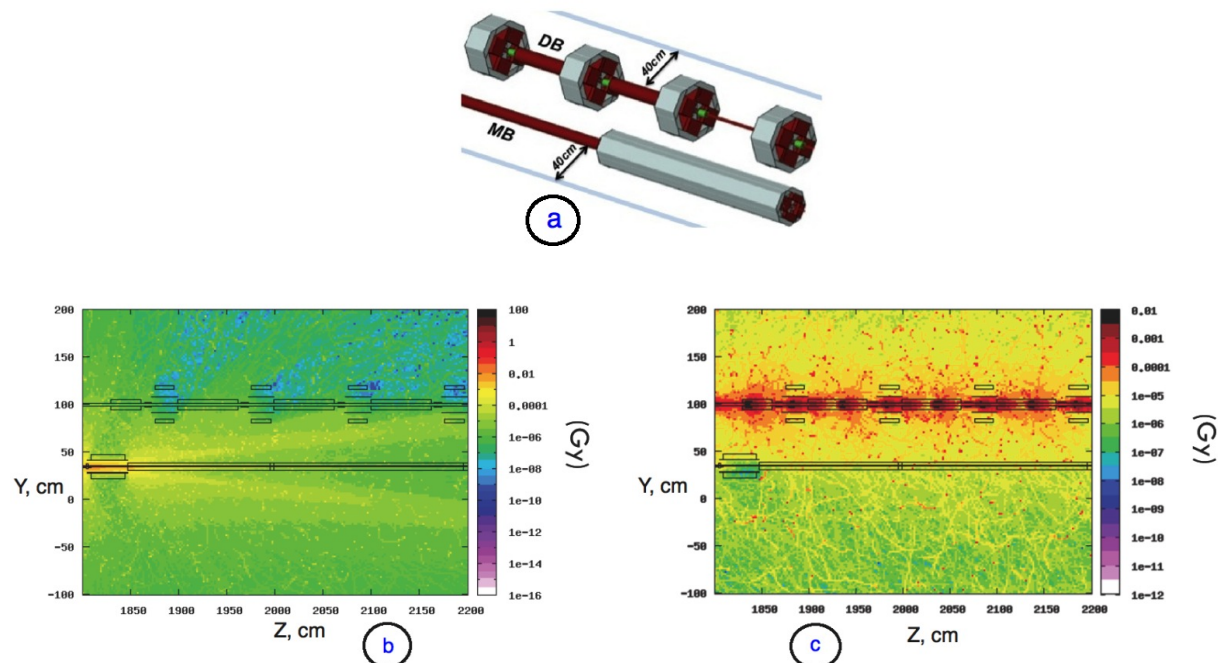
ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1. Υπόθεση προσομοίωσης των απωλειών δέσμης όπως περιγράφηκαν ανωτέρω με τον κώδικα FLUKA
2. Η γεωμετρία περιλαμβάνει το τούνελ, τις συνιστώσες της γραμμής του επιταχυντή και το υποστηρικτικό σύστημα από καρβίδιο πυριτίου
3. Οι απώλειες αντιπροσωπεύουν τα ηλεκτρόνια που κινούνται κατά μήκος του άξονα της δέσμης και δημιουργούνται σε κυκλική κατανομή μέσα στις διατάξεις μεταφοράς ενέργειας (PETS/AS) πριν τα τετράπολα

Οι επιτρεπόμενες απώλειες σε μέγιστες και ελάχιστες ενέργειες για Δέσμη Οδηγού (ΔΟ) και Κύρια Δέσμη (ΚΔ) είναι: για ενέργεια της ΔΟ στα 2.4 GeV, επιτρεπόμενη απώλεια 0.24 GeV, για ενέργεια της ΚΔ στα 1500 GeV, επιτρεπόμενη απώλεια 9 GeV

ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΣΕΙΣ

Οι απορροφούμενες δόσεις για απώλειες της Κύριας Δέσμης (ΚΔ) και της Δέσμης Οδηγού (ΔΟ), όπως περιγράφηκαν ανωτέρω, περιγράφονται στα κατωτέρω διαγράμματα, όπου στο διάγραμμα 6.1a απεικονίζονται οι δύο δέσμες ΚΔ και ΔΟ καθώς και οι συνεχείς γραμμές εκατέρωθεν σε απόσταση 40 cm από κάθε δέσμη όπου είναι τα όρια υπολογισμού των καταγισμών των σωματιδίων. Στο διάγραμμα 6.1b απεικονίζεται η χωρική κατανομή της απορροφούμενης δόσης από τις απώλειες κατά 0.01% της Κύριας Δέσμης στα 9 GeV, με ανεπαίσθητη επίδραση στην ασφάλεια λειτουργίας της Κύριας Δέσμης. Στο διάγραμμα 6.1c απεικονίζεται η χωρική κατανομή της απορροφούμενης δόσης για μέγιστες απώλειες κατά 1% της Δέσμης Οδηγού στα 2.4 GeV, όπου θεωρείται οριακή για την ασφάλεια λειτουργίας της Κύριας Δέσμης.



Σχήμα 6-1: a) Κύρια δέσμη (MB) και Δέσμη Οδηγός (DB). Οι συνεχείς γραμμές καθορίζουν τα όρια προσομοιώσεων, b) Χωρική κατανομή της απορροφούμενης δόσης από τις απώλειες 0.01% της κύριας δέσμης στα 9 GeV c) Χωρική κατανομή της απορροφούμενης δόσης για μέγιστες απώλειες 1% της δέσμης οδηγού στα 2.4 GeV

6.2.3 Προσομοιώσεις ακτινοβολίας υποβάθρου με τον κώδικα FLUKA – Αποτελέσματα

Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που εκτελέστηκαν με τον κώδικα FLUKA, ευρίσκεται ότι ο μελλοντικός επιταχυντής ΣΓΕΣΔ πρόκειται να λειτουργήσει κάτω από συνθήκες υψηλής ακτινοβολίας ραδιενεργού υποβάθρου (Σχήμα 6-1a) για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το σύστημα αντιστήριξης βρίσκεται σε μία ζώνη με υψηλό επίπεδο ραδιενεργού ακτινοβολίας υποβάθρου (Σχήμα 6-1c), που περιβάλλει τις διατάξεις ΠΡ. Η ακτινοβολία ραδιενεργού υποβάθρου είναι κυρίως αποτέλεσμα της λειτουργίας των διατάξεων ΠΡ δηλαδή παράγεται, συντηρείται και ανανεώνεται κατά την επιτάχυνση της δέσμης σωματιδίων (ΕΔ) ή την επιβράδυνση της (ΔΕΜΕ).

Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που εξάγονται, από τις προσομοιώσεις των διαγραμμάτων 6.1b και 6.1c, είναι:

1. Τα σημεία που υποδεικνύονται με τα βέλη στα διαγράμματα 6.1b και 6.1c αντιστοιχούν στο ίδιο επίπεδο ραδιενέργειας πλησίον του Τετραπόλου της Κύριας Δέσμης τόσο για μέγιστη απώλεια (1%) της ενέργειας από την Δέσμη Οδηγό, όσο και την απώλεια (0.01%) της ενέργειας της Κύριας Δέσμης. Αυτό σημαίνει ότι ο επιταχυντής ΣΓΕΔ μπορεί να λειτουργεί ασφαλώς ακόμα και στην μέγιστη δυνατή απώλεια της Δέσμης Οδηγού.
2. Ανιχνευτής με κατάλληλη χρονική διακριτική ικανότητα, μπορεί να διακρίνει την μεταξύ των δύο δεσμών (ΚΔ, ΔΟ) προερχόμενη απώλεια ενέργειας.
3. Το σύστημα προστασίας της πειραματικής μηχανής έχει την δυνατότητα να ανιληφθεί και να δράσει κατάλληλα σε περίπτωση υψηλού ραδιενεργού υποβάθρου.

Στο Σχήμα 6-2a παρουσιάζεται η προσομοίωση με τον κώδικα FLUKA του ΣΓΕΣΔ σε ονομαστική λειτουργία, με κατακόρυφο άξονα την ενεργό διατομή σε cm²

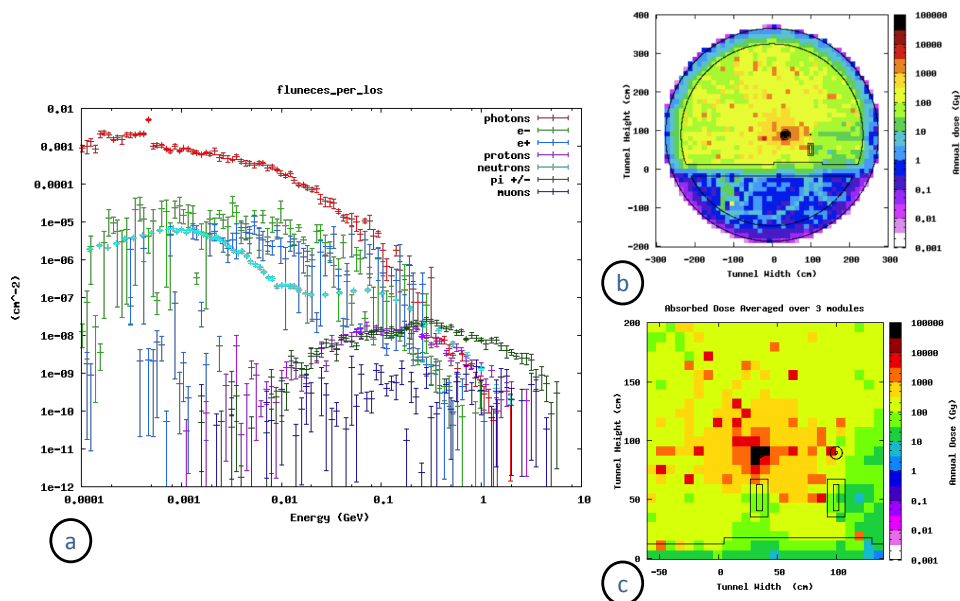
Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

συναρτήσει της ενέργειας των παραγομένων σωματιδίων σε GeV. Παρατηρείται ότι τα φωτόνια (γ), ηλεκτρόνια (e^-), ποζιτρόνια (e^+), και τα νετρόνια (n) είναι κυρίαρχα κυρίως στις χαμηλές τιμές του ενεργειακού φάσματος από 1keV και μέχρι την ενέργεια του 1 GeV. Τα πρωτόνια (p), πιόνια+ (π^+), πιόνια- (π^-) και μίονια (μ^\pm) εμφανίζονται περίπου στο μέσο του ενεργειακού εύρους στην τιμή των 10 MeV με μέγιστη ενέργεια που φτάνει μέχρι και τα 10 GeV.

Στο Σχήμα 6-2b παρουσιάζεται η προσομοίωση της κατανομής της ραδιενεργού ακτινοβολίας υποβάθρου στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ κατά τη διάρκεια της ονομαστικής (πλήρους) λειτουργίας του απεικονίζεται μέσω του χρωματικού κώδικα. Σημειώνεται ότι το μέγιστο επίπεδο της κατανομής εστιάζεται αποκλειστικά στη θέση της Δέσμης Οδηγού, όπως αναμένεται λόγω των περισσότερων απωλειών ενέργειας.

Στο Σχήμα 6-2c έχουμε μια ειδική εστίαση του σχήματος 6-2b, η οποία δίνει το φάσμα ενέργειας της περιοχής (σε τομή) της εκάστοτε ΕΜΔΔ, όπου η ακτινοβολία υποβάθρου είναι κατά βάση υψηλότερη από οποιονδήποτε άλλο χώρο μέσα στη σήραγγα κυρίως στη θέση της Δέσμης Οδηγού, με συντελεστή που εμφανίζεται συγκριτικά μεγαλύτερος έως και κατά τρεις τάξεις μεγέθους (102-103). Η λειτουργία της Κύριας Δέσμης παραμένει οριακά ασφαλής, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα του διαγράμματος 6.1.

Συμπερασματικά, έχοντας υπόψη ότι για την περιοχή της Κύριας Δέσμης η τιμή της κρίσιμης ετήσιας απορροφούμενης δόσης είναι $\sim 97 \text{ Gy}^8$, οι υπολογισμοί προσομοίωσης επιβεβαιώνουν την ασφαλή λειτουργία του ΣΓΕΔ στην ονομαστική του ενέργεια λειτουργίας.



Σχήμα 6-2: Απεικονίσεις των αποτελεσμάτων από προσομοιώσεις του κώδικα FLUKA: a) Ακτινοβολία υποβάθρου στη μελλοντική σήραγγα του επιταχυντή ΣΓΕΣΔ, b) Κατανομή της ραδιενεργού ακτινοβολίας πεδίου στη μελλοντική σήραγγα του επιταχυντή ΣΓΕΣΔ, c) Λεπτομερής κατανομή της ραδιενεργού ακτινοβολίας πεδίου του ΣΓΕΣΔ εστιασμένη στην περιοχή της δέσμης των επιταχυνόμενων σωματιδίων και του υποστηρικτικού συστήματος.

⁸ A. Patapenka, “Beam loss simulation along the CLIC Main Line and prediction of damages to electronics”, CLIC Workshop, 2012

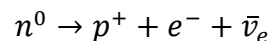
6.3 ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΕΩΝ

Για να διερευνηθεί η μηχανική συμπεριφορά και πιθανή αποσάθρωση των δομικών υλικών των υποστηρικτικών συστημάτων, εξ' αιτίας του υποβάθρου ραδιενεργού ακτινοβολίας, απαιτούνται κατάλληλα πειράματα βομβαρδισμού με δέσμες νετρονίων των υλικών των υποστηρικτικών συστημάτων με βάση τις πιο πρόσφατες διαθέσιμες προσομοιώσεις ραδιενεργού ακτινοβολίας (απώλειες ακτινοβολίας της δέσμης του ΣΓΕΣΔ). Μετά τον βομβαρδισμό νετρονίων, τα δείγματα των υλικών αυτών θα συγκριθούν με αντίστοιχα δείγματα ανέπαφων υλικών ως προς τον έλεγχο των μηχανικών τους ιδιοτήτων, όπως περιγράφεται στο 6.7.

6.3.1 Πειράματα ακτινοβολήσεων με δέσμες νετρονίων σε δοκίμια

Για να διερευνηθεί η μηχανική συμπεριφορά και πιθανή αποσάθρωση των δομικών υλικών εξ' αιτίας του υποβάθρου ραδιενεργού ακτινοβολίας, απαιτούνται κατάλληλα πειράματα με δέσμες νετρονίων για τα υποστηρικτικά συστήματα με βάση τις πιο πρόσφατες διαθέσιμες προσομοιώσεις ραδιενεργού ακτινοβολίας (απώλειες ακτινοβολίας της δέσμης του ΣΓΕΣΔ).

Εισαγωγικά, το σωματίδιο νετρόνιο ανακαλύφθηκε το 1932 από τον Chadwick (Cambridge), έχοντας μηδενικό ηλεκτρικό φορτίο και μία πολύ αδύναμη ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση. Η μάζα νετρονίου ισούται με $939,56 \text{ MeV}/c^2$ που το καθιστά ελαφρώς βαρύτερο από το πρωτόνιο. Ο χρόνος ημι-ζωής του είναι 886.7 s (~ 15 λεπτά), όπου εν συνεχεία τα ελεύθερα νετρόνια υποβάλλονται σε βήτα διάσπαση κατά την αντίδραση:



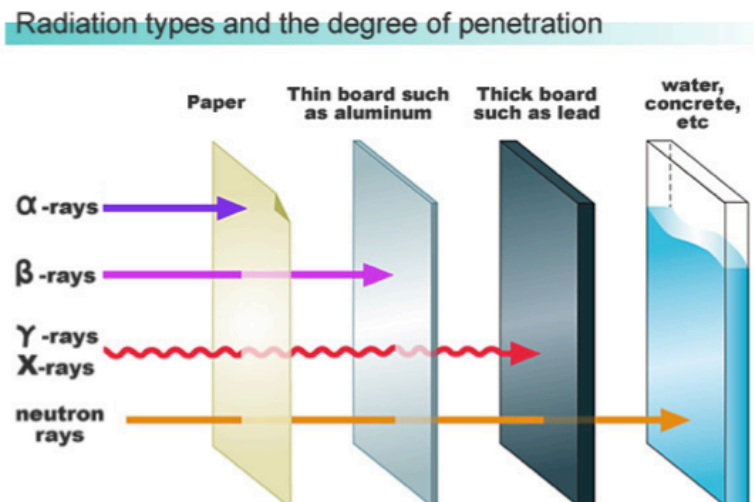
Η μαγνητική ροπή του νετρονίου είναι $-1.91 \mu\text{N} = -9.6623640 \times 10^{-27} \text{ J/T}$ που το καθιστά μάλλον ευαίσθητο στις μαγνητικές ιδιότητες των υλικών.

Η πυρηνική μαγνητόνη στην ανωτέρω σχέση είναι $\mu_N = 5.05078324(13) \times 10^{-27} \text{ J/T}$.

Σημειώνεται ότι η πυρηνική μαγνητόνη ορίζεται από τη σχέση:

$$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p}$$

Δεδομένου ότι ένα νετρόνιο δεν έχει φορτίο, μπορεί εύκολα να εισέλθει σε έναν πυρήνα και να προκαλέσει αντίδραση. Νετρόνια αλληλεπιδρούν πρωταρχικά με τον πυρήνα ενός ατόμου, με εξαίρεση την ειδική περίπτωση της μαγνητικής σκέδασης όπου η αλληλεπίδραση περιλαμβάνει την περιστροφή νετρονίων και τη μαγνητική ροπή του ατόμου. Η μαγνητική σκέδαση δεν εξετάζεται σε αυτή τη μελέτη, καθώς επίσης και η αλληλεπίδραση μεταξύ των νετρονίων και των ηλεκτρονίων παραλείπονται εσκεμμένα, διότι δεν ενδιαφέρει το αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Εναλλακτικά λαμβάνεται μόνο υπόψη η αλληλεπίδραση των νετρονίων με τα άτομα και τους πυρήνες.



Σχήμα 6-3: Ιδιότητες διείσδυσης νετρονίων σε σύγκριση με άλλα σωματίδια

Οι δέσμες των νετρονίων χρησιμοποιούνται ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες για ποικίλα πειράματα λόγω των ιδιοτήτων τους, που τους επιτρέπουν να εισχωρούν στην ύλη και να αντιδρούν με τους πυρήνες των ατόμων. Σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια, τα φωτόνια αλλά και τα βαριά φορτισμένα σωματίδια, τα νετρόνια υφίστανται εξαιρετικά αδύναμες ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Τα νετρόνια κατά συνέπεια μπορούν να περάσουν μέσα από την ύλη, σε μεγάλο βαθμό ανεμπόδιστα. Οι μοναδικές αλληλεπιδράσεις που έχουν είναι ουσιαστικά με τους πυρήνες των ατόμων, παρέχοντας εμμέσως ιοντίζουσα ακτινοβολία.

6.3.2 Οι ραδιενεργές πηγές εκπομπής νετρονίων

Δέσμες νετρονίων παρέχονται είτε από ραδιενεργές πηγές ισοτόπων, είτε από επιταχυντές, είτε από πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Οι συνήθεις πηγές νετρονίων που χρησιμοποιούνται στην έρευνα αλλά και στη βιομηχανία κατατάσσονται σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

- i. Πυρηνικοί αντιδραστήρες,
- ii. Πηγές ραδιενεργής σύντηξης (D-T γεννήτριες),
- iii. Δέσμες πυρηνικών επιταχυντών (από βομβαρδισμό με πρωτόνια),
- iv. Ραδιο-ισότοπα (^{252}Cf).

Επιπρόσθετα, τα νετρόνια μπορούν να παραχθούν από άλλους τύπους ραδιενεργών πηγών μέσω δευτερευόντων πυρηνικών αντιδράσεων (σχάσεων).

Οι αντιδράσεις των νετρονίων μπορεί να λαμβάνουν χώρα σε οποιαδήποτε τυχαία ενέργεια και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να παρακολουθείται η ενεργός διατομή της αντίδρασης ως συνάρτηση της ενέργειας και του είδους της αντίδρασης.

Για ένα δεδομένο ενεργειακό φάσμα τα ενδεχόμενα νετρόνια – θερμικά, επιθερμικά, ενισχυμένα, γρήγορα – δεν παράγουν όλα τα είδη των πιθανών διασπάσεων και αντιδράσεων ούτε και είναι εξίσου εφικτά. Η δυνατότητα και η σημασία της κάθε αντίδρασης βασίζεται στους πυρήνες των εκάστοτε στόχων αλλά επίσης και στην ενέργεια των νετρονίων.

Γενικά και με σειρά αυξανόμενης δυσκολίας από την άποψη της θεωρητικής προσέγγισης, οι πιο βασικοί τύποι αλληλεπίδρασης νετρονίων με την ύλη είναι:

- i. **(n,n)** -- Ελαστική σκέδαση: υφίστανται δύο (2) διαδικασίες πιθανής σκέδασης κατά τις οποίες δρουν διαφορετικοί μηχανισμοί. Αφενός, τα νετρόνια μπορούν και αλληλεπιδρούν στην επιφάνεια ενός πυρήνα ατόμου (χωρίς να εισχωρήσουν σε αυτόν) όπως θα περιγράφαμε μία σύγκρουση μεταξύ σφαιρών μπιλιάρδου. Αφετέρου, υπάρχει η συντονισμένη σκέδαση η οποία περιλαμβάνει το σχηματισμό σύνθετου πυρήνα και την επανεκπομπή του νετρονίου.
- ii. **(n,γ)** -- Ακτινοβολία σύλληψης νετρονίου και εκπομπής φωτονίου.
- iii. **(n,n')** -- Ανελαστική σκέδαση. Η συγκεκριμένη αντίδραση συμβαίνει σε περίπτωση διέγερσης σε πυρηνικό επίπεδο.
- iv. **(n,p)**, **(n,α)**, -- Ακτινοβολία σύλληψης νετρονίου και εκπομπής φορτισμένου σωματιδίου.
- v. **(n,f)** – Σχάση.

Οι ακτινοβολίες με νετρόνια χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην πυρηνική βιομηχανία, στην έρευνα και επιστήμη των υλικών, στην τεχνολογία απεικόνισης, σε ιατρικές εφαρμογές κ.α.

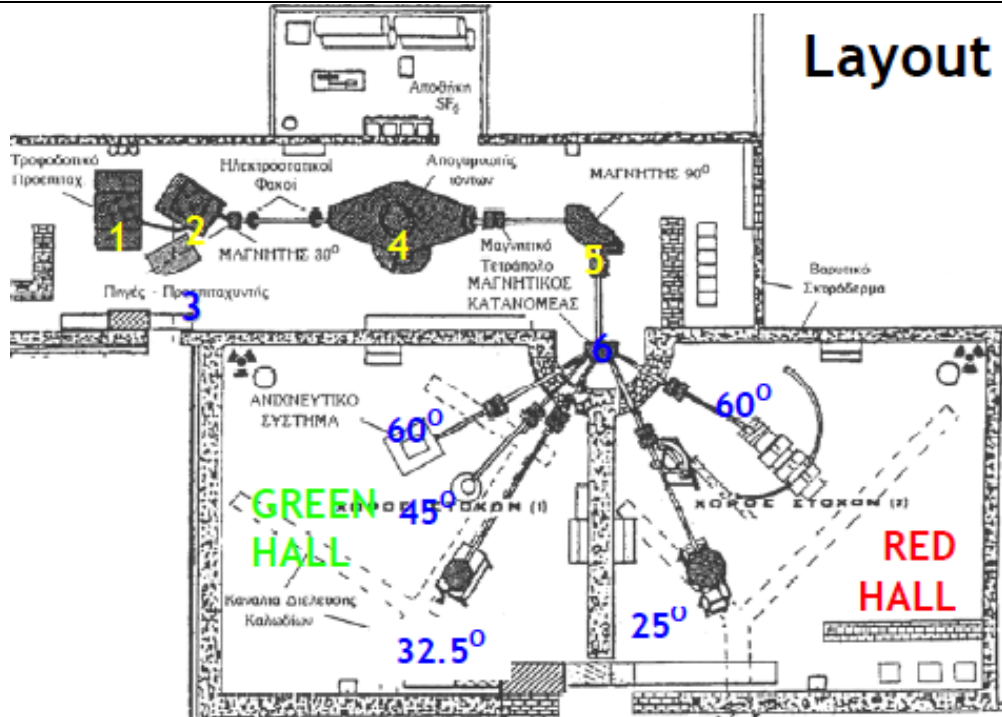
6.4 Ο ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗΣ TANDEM ΤΟΥ Ε.Κ.Ε.Φ.Ε ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ ΚΑΙ Η ΔΕΣΜΗ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ

6.4.1 Το εργαστήριο του επιταχυντή Tandem

Ο επιταχυντής Tandem Van der Graff του Εθνικού Κέντρου Ερευνών Φυσικών Επιστημών “Δημόκριτος”, επιταχύνει μονο-ενεργειακές δέσμες φορτισμένων σωματιδίων, όπως πρωτόνια, δευτέρια, σωματίδια-α, άνθρακα και οξυγόνο. Οι δέσμες νετρονίων παράγονται από την αντίδραση ${}^2\text{H}(d, n){}^3\text{He}$ η οποία γίνεται με το βομβαρδισμό ενός στόχου αερίου δευτερίου με επιταχυνόμενη δέσμη δευτερίου έχοντας ρεύμα δέσμης της τάξης των $\sim 1\text{--}2$ μA .

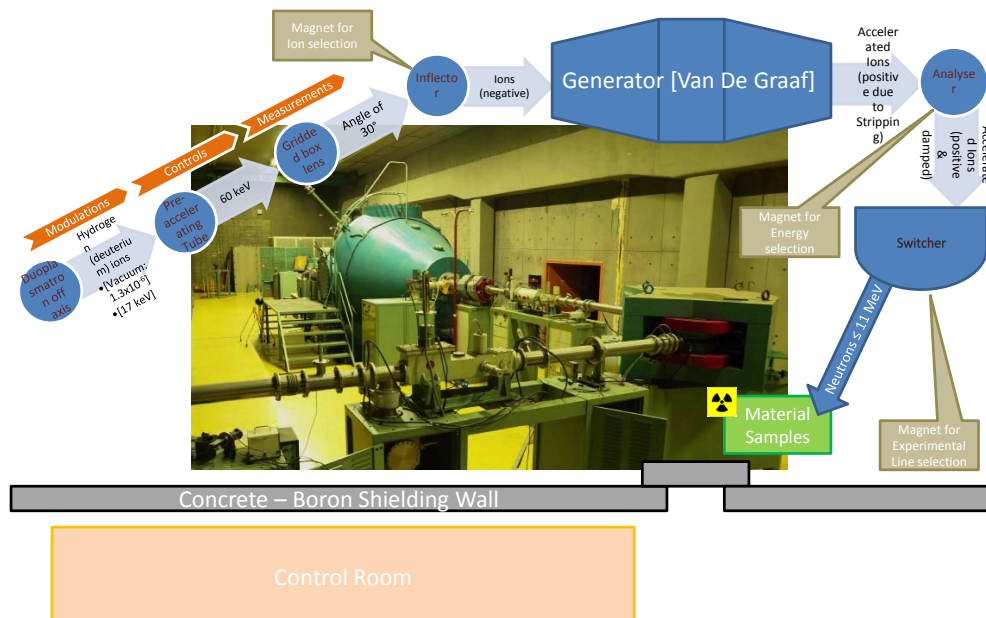
Η διάταξη της συνδεσμολογίας του επιταχυντή Tandem καθώς κι οι δύο (2) αίθουσες πειραματικών στόχων παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-3. Στο Σχήμα 6-4 παρουσιάζεται η εικόνα το σύνολο της επιταχυντικής μηχανής Tandem σε συνδυασμό με τον μαγνήτη επιλογής ιόντων, τον μαγνήτη ανάλυσης της ενέργειας της δέσμης και τον μαγνήτη εναλλαγής/επιλογής κατεύθυνσης που οδηγούν στις γραμμές των πειραματικών στόχων.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



Σχήμα 6-4: Οι αίθουσες του επιταχυντή Tandem: Οι αίθουσες των στόχων (GREEN and RED), 1) Τροφοδοτικό της δέσμης, 2) Πηγή σκέδασης, 3) Πηγή πρωτοεπιτάχυνσης, 4) Διάταξη απογνωσης ιόντων, 5) Μαγνήτης ανάλυσης, 6) Μαγνήτης εναλλαγής/σάρωσης.

Επιπρόσθετα, στο Σχήμα 6-3, παρατίθεται μια σχηματική αναπαράσταση των σταδίων λειτουργίας του επιταχυντή, δίνοντας με λεπτομέρειες βήμα προς βήμα την επιταχυντική διαδικασία που εφαρμόζεται στα σωματίδια της δέσμης από το κάθε επιμέρους τμήμα της επιταχυντικής μηχανής.



Σχήμα 6-5: Στο κέντρο ο επιταχυντής Tandem και περιμετρικά του απεικονίζονται σχηματικά οι λειτουργίες του: Η μηχανή και ο μαγνήτης ανάλυσης που αλλάζει πορεία της δέσμης κατά 90° για την επιλογή μονοενεργειακής δέσμης. Η επιταχυντική γραμμή δέσμης επιλέγεται με τη βοήθεια του μαγνήτη εναλλαγής/σάρωσης.

6.4.2 Οι δέσμες νετρονίων

Ο Πίνακας 6.1 περιλαμβάνει τα ενεργειακά εύρη των δεσμών πρωτονίων και δευτερίου, τα οποία είναι διαθέσιμα για πειράματα στο εργαστήριο του επιταχυντή Tandem του Δημοκρίτου, μαζί με τα αντίστοιχα εύρη ενεργειών των νετρονίων για τις τρεις (3) αντιδράσεις σε σταθερή γωνία εκπομπής νετρονίων ($\Theta = 0^\circ$). Για την παρούσα μελέτη οι αντιδράσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ακόλουθες ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ και ${}^2\text{H}({}^2\text{H},n){}^3\text{He}$.

Πυρηνικά Αντίδραση	Ενεργειακό Εύρος Πρωτονίων/Δευτερίου (MeV)	Ενεργειακό Εύρος Νετρονίων (MeV)
${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$	1.9 – 7.9	0.12 – 6.24
${}^2\text{H}({}^2\text{H}, n){}^3\text{He}$	0.8 – 8.4	3.9 – 11.5
${}^3\text{H}({}^2\text{H}, n){}^4\text{He}$	0.8 – 8.4	16.4 – 25.7

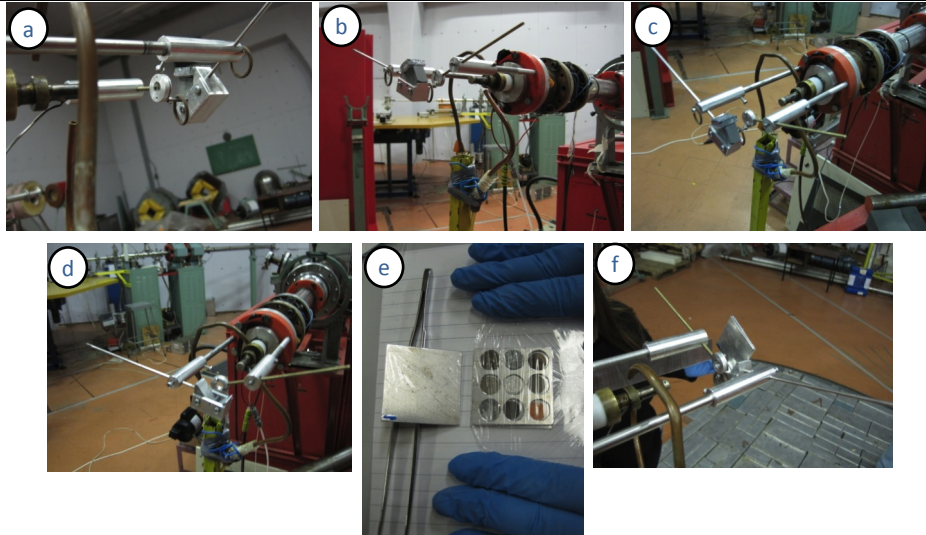
Πίνακας 6-1: Ενέργειες δεσμών πρωτονίων και δευτερίου με τις αντίστοιχες τιμές ενέργειας των παραγόμενων νετρονίων

Με περισσότερες λεπτομέρειες, η αντίδραση ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ παράγει μονοενεργειακά νετρόνια ενεργειακού εύρους από 120 έως και 650 keV, από δέσμη με επιταχυνόμενα πρωτόνια ενεργειακών τιμών από 1.92 έως και 2.37 MeV. Τα πρωτόνια προσκρούουν σε ένα στόχο ${}^7\text{LiF}$ που είναι πακτωμένος σε βάση αλουμινίου και παράλληλα ψύχεται με αέρα που παρέχεται από ένα ειδικά σχεδιασμένο κλειστό κύκλωμα. Οι ροές νετρονίων μπορούν να φτάσουν από 10^3 έως και 10^4 kHz/cm² για το ρεύμα τροφοδοσίας της δέσμης της τάξης μερικών μA . Περαιτέρω επιτάχυνση των πρωτονίων έως και 7.9 MeV μπορεί να παράξει νετρόνια με ενέργειες έως και 6.24 MeV, τα οποία όμως αξίζει να σημειωθεί ότι παύουν πλέον να είναι καθαρά μονοενεργειακά.

Η αντίδραση ${}^2\text{H}({}^2\text{H},n){}^3\text{He}$ παράγει νετρόνια που φέρουν ενέργειες μέσα στο εύρος των 3.9 και 11.5 MeV με μία επιταχυνόμενη δέσμη δευτερίου σε ενεργειακό εύρος από 0.8 έως και 8.4 MeV που βομβαρδίζει ένα αερόψυκτο στόχο από κλειστό κυψελίδα αερίου, που είναι υπερπληρωμένο με δευτέριο.

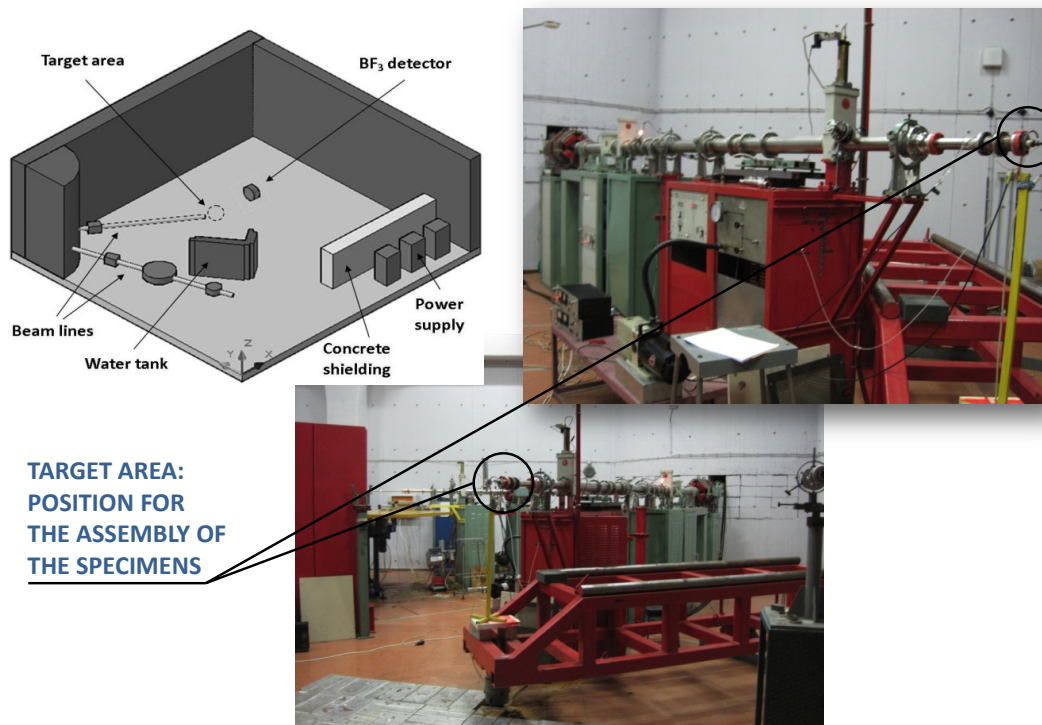
Η παραγόμενη δέσμη νετρονίων δεν είναι εντελώς μονοενεργειακή (quasimonoeenergetic), κυρίως λόγω των επιπτώσεων της διάσπασης (break-up) του δευτερίου και αντιδράσεων (${}^2\text{H},n$) με τα δομικά υλικά του απαρτίζουν τον στόχο του αερίου, όπως ακριβώς απεικονίζεται στο Σχήμα 6-5. Ο στόχος από κλειστό κυψελίδα αερίου ήταν εφοδιασμένος στην είσοδο με έλασμα μολυβδενίου (Mo) πάχους 5 μm και ένα έλασμα λευκόχρυσου (Pt) πάχους 1 mm στο σημείο τερματισμού της δέσμης. Ο στόχος ήταν αέριο δευτερίου που ψύχεται συνεχώς από ένα ψυχρό πίδακα αέρα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ακτινοβόλησης ώστε με αυτή την πρακτική να μειώνεται ο κίνδυνος αστοχίας ή άλλης ζημίας στο φύλλο μολυβδενίου (Mo). Η ονομαστική πίεση του δευτερίου υπολογίστηκε έως τα 1500 mbar και ήταν υπό συνεχή παρακολούθηση. Η προηγούμενος περιγραφείσα εγκατάσταση τέθηκε υπό βομβαρδισμό της δέσμης των πρωτονίων για να επιτευχθεί μία παραγωγή ροής νετρονίων που κυμαίνεται μεταξύ $3 \times (10^5 - 10^6) \text{n/cm}^2/\text{s}$ που ακτινοβολούσε/βομβάρδιζε τα δείγματα των υπό μελέτη υλικών. Η ροή της δέσμης των νετρονίων εκρέει από το προσπίπτον ρεύμα της δέσμης των πρωτονίων, το οποίο μετρείται απευθείας επί του αερίου στόχου του δευτερίου.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



Σχήμα 6-6: Η περιοχή του στόχου της κλειστής κυψελίδα αερίου του επιταχυντή Tandem (RED Hall): a, b, c, d) Συναρμολογημένη πειραματική διάταξη στόχου για τη δέσμη πρωτονίων, e, f) Πειραματική χρήση της τεχνικής πολλαπλών ελασμάτων για τον χαρακτηρισμό της δέσμης των νετρονίων

Η γραμμή της δέσμης σωματιδίων του επιταχυντή, αφού περάσει από το μαγνήτη ανάλυσης και τον μαγνήτη εναλλαγής (switcher στο Σχήμα 6-4), εισάγεται στη δεξιά (RED) αίθουσα στόχου του εργαστηρίου όπως αναπαρίσταται με φωτογραφικές λεπτομέρειες στο Σχήμα 6-6, με τη γραμμή της δέσμης νετρονίων, την θωράκιση τοιχώματος νερού και το μεγάλο δειγματοφορέα.

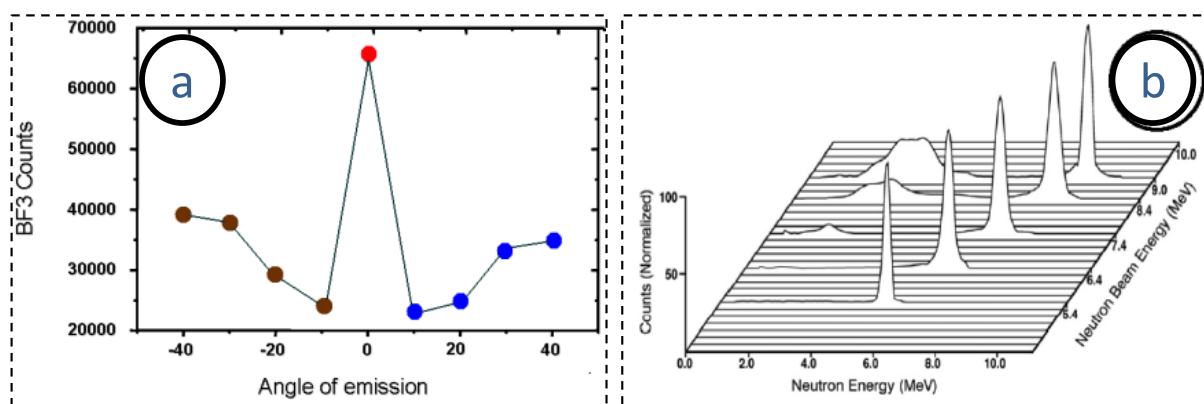


Σχήμα 6-7: Η αίθουσα στόχου RED του επιταχυντή Tandem: Διαφορετικές απόψεις της συναρμολόγησης του στόχου από κλειστή κυψελίδα αερίου με το δειγματοφορέα ελασμάτων για τη βαθμονόμηση της δέσμης νετρονίων

Αναλυτικές λεπτομέρειες των πειραματικών συνθηκών της δέσμης των νετρονίων στο εργαστήριο του Επιταχυντή Tandem του ΕΚΕΦΕ “Δημόκριτος” παρέχονται στις δημοσιεύσεις 9.

6.4.3 Τα χαρακτηριστικά ακτινοβόλησης με τη δέσμη νετρονίων

Τα χαρακτηριστικά της δέσμης νετρονίων παρέχονται από μετρήσεις του εργαστηρίου του επιταχυντή Tandem του ΕΚΕΦΕ “Δημόκριτος” και παρουσιάζονται στο Σχήμα 6-7, όπου απεικονίζονται γραφικώς: α) η μετρούμενη ροή νετρονίων συναρτήσει της γωνίας εκπομπής και β) η μεταβολή για διάφορες ενέργειες των νετρονίων συναρτήσει της γωνίας εκπομπής τους όπως φαίνεται, που παράγεται από την αντίδραση $^2\text{H}(^2\text{H},n)^3\text{He}$. Σύμφωνα με τις προαναφερθείσες οριακές συνθήκες η δέσμη νετρονίων προτιμήθηκε για την ακτινοβόληση των δειγμάτων υλικών κατά μήκος του άξονα της δέσμης (γωνία $\Theta=0^\circ$), εγκαθιστώντας τα προς ακτινοβόληση δείγματα στην πλησιέστερη δυνατή απόσταση από το στόχο αερίου.



Σχήμα 6-8: a) Η μετρούμενη ροή των νετρονίων σε σύγκριση με τη γωνία εκπομπής, b) Η ενεργειακή κατανομή της ροής των νετρονίων στις ονομαστικές ενέργειες 5.4, 6.4, 7.4, 8.4 and 9 MeV της δέσμης των νετρονίων, όπως προκύπτουν από τον κώδικα DIFBAS σύμφωνα με την δημοσίευση footnote 11

Τα πειράματα ακτινοβόλησης διεξήχθησαν στο πλαίσιο της αξιολόγησης των ιδιοτήτων ενεργοποίησης αλλά και γήρανσης υλικού λόγω ισοδύναμης ακτινοβολίας υποβάθρου, των δύο υποψήφιων δομικών υλικών των υποστηρικτικών συστημάτων της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ: πορώδες καρβίδιο του πυριτίου (SiC) και σύνθετο Erument 145/B. Το πυροσυσσωματωμένο καρβίδιο του πυριτίου (SiC) συνδυάζει τις φυσικές ιδιότητες της υψηλής σκληρότητας, χαμηλής πυκνότητας και σχετικά περιορισμένο πορώδες. Κατέχει ικανοποιητική αντοχή στην φθορά, εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση και η χαμηλή θερμική διαστολή του σε συνδυασμό με την υψηλή θερμική αγωγιμότητά του οδηγεί σε εξαιρετική αντοχή στην αιφνίδια θερμική διαταραχή.

Το σύνθετο υλικό Erument 145/B είναι μία σύνθεση τριών συστατικών και παρουσιάζεται ως ένα ανόργανο πολυμερές χυτό με βάση μια εποξική ρητίνη που περιλαμβάνει ένα ειδικό συνδυασμό πληρωτικών παραγόντων και σταθεροποιητών που αποτελείται από πρώτες ύλες. Το υλικό Erument προσφέρει πλούσια χαρακτηριστικά όπως υψηλότερη ακαμψία, χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, συντελεστή θερμικής διαστολής συγκρινόμενα με αυτά των δομικών χαλύβων, όμως

⁹ Neutron induced reactions at the Athens Tandem Accelerator NCSR “Demokritos”, R. Vlastou et al, J Rad. Nucl. Chem., 272, 219 (2007)
Characterization of the neutron flux distribution at the Athens Tandem Accelerator NCSR “Demokritos”, R. Vlastou et al. NIM B269 (2011) 3266

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

με αρκετά χαμηλότερη συμπεριφορά ερπυσμού υπό την επιρροή τάσεων και σημαντικά χαμηλότερο κόστος κατασκευής για τις εφαρμογές του.

Μια λεπτομερής αξιολόγηση των ιδιοτήτων ενεργοποίησης ενός υλικού απαιτεί σαφή γνώση των ακόλουθων παραμέτρων:

- i. Λεπτομερής γεωμετρία του κάθε δείγματος,
- ii. Σύνθεση υλικών, ακόμη και σε επίπεδα προσμείξεων,
- iii. Ακτινοβολία υποβάθρου (τύπος, φάσματα ενέργειας, ροές),
- iv. Ενεργός διατομή αντίδρασης με αναφορά στην ενέργεια ενδιαφέροντος,
- v. Χρονικός προγραμματισμός της μηχανής λειτουργίας.

Στην παρούσα διατριβή, ο συνδυασμός ιδιοτήτων ενεργοποίησης από δέσμες νετρονίων αλλά και γήρανσης υλικού λόγω ισοδύναμης ακτινοβολίας υποβάθρου, για το SiC και το Epument, εξετάστηκαν μετά την ακτινοβόλησή τους τους στην εγκατάσταση του επιταχυντή Tandem του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος".

Η σύνθεση των δειγμάτων των υλικών προσδιορίστηκε με προσομοίωση σε ένα προκαταρκτικό επίπεδο και αξιολογήθηκε η επαγόμενη ενεργοποίηση νετρονίων για την πειραματική ακτινοβόληση έως και 10 MeV. Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις δόσεων ακτινοβολίας του ΣΓΕΣΔ, οι ροές των νετρονίων που επιτεύχθηκαν στα πειράματα ακτινοβόλησης αντανακλούν περίπου σε ποσοστό 60% της ροής των νετρονίων για την ονομαστική λειτουργία του μελλοντικού ΣΓΕΣΔ.

Περιγραφή Δοκιμίου	Αριθμός ακτινοβολιμών ενων δοκιμίων	Αριθμός μη-ακτινοβολιμένων δοκιμίων	Πειραματική διαμόρφωση	Ενέργεια Δέσμης Νετρονίων ν	Χρόνος Ακτινοβόλησης	Απόσταση από το στόχο ακτινοβόλησης
Πολλαπλά ελάσματα	1 set of 9 foils	2 sets of 9 foils (each)	Bare	4.78 MeV	3 hours	5 cm, 7.5 cm
SiC (Boostec)	3	1 reference, 1 spare	Bare, Plexiglas sandwich	4.78 MeV, 10.9 MeV	3 hours each session	8 cm
SiC (Micro-Controle)	3	1 reference, 1 spare	Bare, Plexiglas sandwich	4.78 MeV, 10.9 MeV	3 hours each session	7.5 cm
Κολλημένο SiC (Boostec & 3M) *	3	1 reference, 1 spare	Bare, Plexiglas sandwich	4.78 MeV, 10.9 MeV	3 hours each session	10 cm
Glued SiC (Micro-Controle & Locktite) *	3	1 reference, 1 spare	Bare, Plexiglas sandwich	4.78 MeV, 10.9 MeV	3 hours each session	10 cm
Epument 145/B	3	1 reference, 1 spare	Bare, Plexiglas sandwich	4.78 MeV, 10.9 MeV	3 hours each session	7.5 cm

* επιπρόσθετη 8-ωρη βραδυνή ακτινοβόληση στα 4.78 MeV σε 7.5 cm απόσταση από το στόχο

Πίνακας 6-2: Δείγματα που ακτινοβολήθηκαν με δέσμες νετρονίων, ενέργεια δέσμης και άλλες παράμετροι των ακτινοβολήσεων

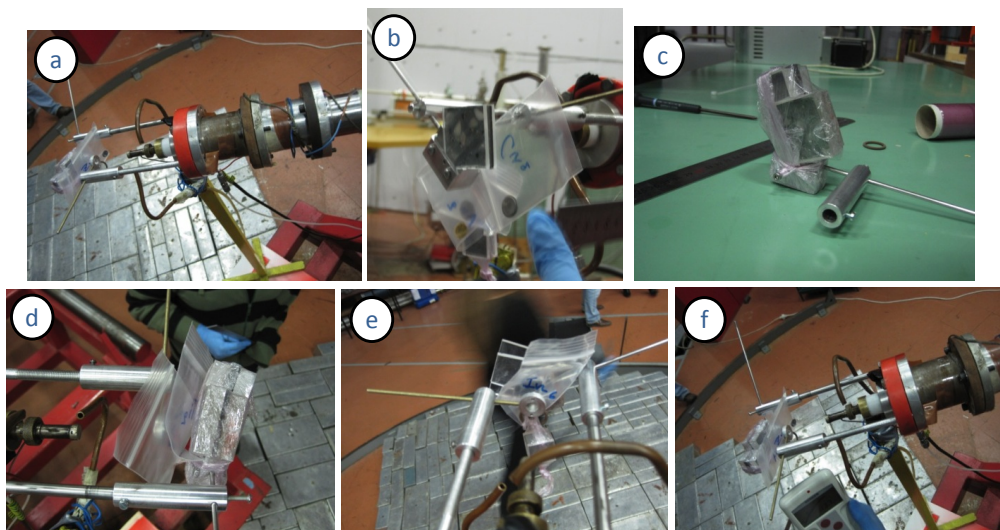
Η Εικόνα 6-9 δείχνει ενδεικτικά τα βασικότερα από τα βήματα κατά τη διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων σε συνδυασμό με τις ειδικώς κατασκευασμένες διαμορφώσεις συναρμολόγησης. Κάθε δείγμα ξεχωρίστηκε, ονομάστηκε, και καταχωρήθηκε. Στη συνέχεια, τα δείγματα καθαρίζονται με καθαρό οινόπνευμα και τοποθετούνται στον ειδικό δειγματοφορέα συναρμολόγησης με κατάταξη για τα πειράματα ακτινοβολήσεως και τη μετέπειτα μελέτη.



Σχήμα 6-9: a, b) Δείγματα και δειγματοφορέας πριν από τα πειράματα ακτινοβολήσεων, c, d) Σύνθετος δειγματοφορέας για τη συναρμολόγηση της πειραματικής διάταξης

6.5 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΕΩΝ ΜΕ ΔΕΣΜΕΣ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ

Όλα τα δείγματα των υλικών, που αναφέρονται προηγουμένως, ακτινοβολήθηκαν στον επιταχυντή Tandem του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος". Ο επιταχυντής παρείχε δέσμες νετρονίων με τις ήδη αναφερθείσες τεχνικές προδιαγραφές. Η διακύμανση της ροής της δέσμης των νετρονίων παρακολουθείται χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή νετρονίων BF₃¹⁰. Σε αυτήν την περίπτωση της διατριβής η προσπίπτουσα ακτινοβολία επιτελείται από μία δέσμη ενέργειας δευτερίου, παρέχοντας μια δέσμη νετρονίων ενέργειας ίσης περίπου με 4.8 MeV.

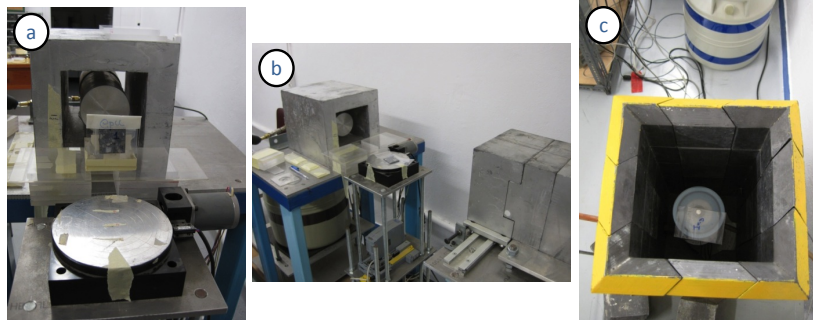


Σχήμα 6-10: a, b, c, d) Plexiglas sandwiched specimens (για την θερμική διάσπαση), e, f) 40-50 μSV/h για την περιοχή περίξ της διαμόρφωσης συναρμολόγησης του δειγματοφορέα για χρονικό διάστημα βομβαρδισμού της τάξης ≤ 10 min.

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6-9, ο έλεγχος της συσσώρευσης της δέσμης νετρονίων και η περαιτέρω σχετική βαθμονόμηση μεταξύ των διαφορετικών

¹⁰ Βλ. Παράρτημα V

ακτινοβολήσεων και πειραμάτων επιτεύχθηκε με την τεχνική των πολλαπλών ελασμάτων που περιγράφεται παρακάτω στην 6.6.3. Όπως φαίνεται προηγουμένως στο Σχήμα 6-5e και επίσης στο Σχήμα 6-9c & d, τα πολλαπλά ελάσματα συναρμολογήθηκαν σε μία ειδικά κατασκευασμένη διαμόρφωση δειγματοφορέα από κάδμιο (Cd). Τα φύλλα μετρούνται μετά την ακτινοβολήση από έναν θωρακισμένο ανιχνευτή γερμανίου υψηλής καθαρότητας (HPG)¹¹ (Σχήμα 6-10) ώστε να έχει ελαχιστοποιηθεί το υπόβαθρο από άλλες πιθανές υφιστάμενες πηγές του περιβάλλοντος του εργαστηρίου.



Σχήμα 6-11: Συσκευή ανιχνευτού Γερμανίου υψηλής καθαρότητας (μέτρησης μετά την ακτινοβολήση) για τη μέτρηση της ενεργότητας και τον χαρακτηρισμό των υλικών των δειγμάτων

6.6 Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΕΩΝ

Η μεθοδολογία για τον χαρακτηρισμό και έλεγχο της εναποτιθέμενης δόσης της δέσμης νετρονίων στα υπό βομβαρδισμό δείγματα με την τεχνική των πολλαπλών ελασμάτων που χρησιμοποιήθηκε, περιγράφεται και εφαρμόζεται στην φασματοσκοπία ακτίνων-γ και την ανάλυση XRF. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση του δείγματος επιπροσθέτως της ανάλυσης ενεργοποίησης νετρονίων.

6.6.1 Η φασματοσκοπία ακτίνων-γ

Τα ακτινοβολημένα δείγματα μεταφέρθηκαν και κατόπιν μετρήθηκαν στο εργαστήριο φασματομετρίας ακτίνων γάμμα του Ινστιτούτου Πυρηνικής Τεχνολογίας & Ακτινοπροστασίας του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος". Το χρησιμοποιούμενο φασματόμετρο ακτίνων γάμμα αποτελείται από έναν ανιχνευτή HPGe, τύπου GEM80, EG & G ORTEC που έχει ποσοστό 85% της σχετική απόδοσης (με ονομαστικές διαστάσεις κρυστάλλου 81.5 mm σε διάμετρο και 57.7 mm σε μήκος) και η επεξεργασία ψηφιακών δεδομένων του συστήματος σήματος απόκτησης η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη και ελεγχόμενη με τη βοήθεια υπολογιστή με κάρτα DSPEC-Plus™ και την εφαρμογή λογισμικού Vision™ Gamma. Ο ανιχνευτής περιβάλλεται από ένα προστατευτικό κάλυμμα μόλυβδου με 5 cm πάχος, όπως αποδίδεται στο Σχήμα 6-11.

6.6.2 Η φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων-X

Το υπο-εκατοστιαίο όργανο (milli-probe) του ανιχνευτή φασματογράφου XRF αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο του Επιταχυντή Tandem και αποτελείται από μία Rh-άνοδο, ένα πλαϊνό παράθυρο ακτίνων-X χαμηλής ενέργειας (50 W, 50 kV, παράθυρο

¹¹ Βλ. Παράρτημα VI

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

βηρυλλίου (Be) πάχους 75 μm), μία Si-PIN δίοδο του ανιχνευτή ακτίνων-X (XR-100CR, AMPTEK Inc) με κρύσταλλο πάχους 500 μm ονομαστικού πάχους (165 eV FWHM σε ακτίνα Ka του ατόμου Mn) και έναν επεξεργαστή ψηφιακών σημάτων (PX4, AMPTEK Inc.) Η διάσταση (διατομή) της δέσμης στην θέση που πραγματοποιείται η ακτινοβόλησή της είναι περίπου 3 mm.

6.6.3 Η τεχνική των πολλαπλών ελασμάτων

Ένα σύνολο ελασμάτων από διάφορα ταξινομημένα υλικά, από στοιχεία Αλουμίνιο (Al) μέχρι Χρυσός (Au), ακτινοβολήθηκαν απευθείας απογυμνωμένα ή καλύφθηκαν με κάδμιο (Cd) για τον προσδιορισμό του φάσματος νετρονίων του επιταχυντή Tandem και του ρυθμού ροής της δέσμης στην περιοχή του δείγματος. Τα ελάσματα ακτινοβολήθηκαν συνολικά για 12 ώρες. Η ενεργοποίηση με τη διαδικασία ακτινοβόλησης, επιτεύχθηκε στα ελάσματα μέσω των σχετικών πυρηνικών αντιδράσεων και με το κατώφλι ενέργειας των νετρονίων που συνοψίζονται στον Πίνακα 6-3. Τα αποτελέσματα του πίνακα αποτελούν τον χαρακτηρισμό της δέσμης νετρονίων του επιταχυντή Tandem για την περαιτέρω αξιοποίηση των αποτελεσμάτων βομβαρδισμού των δειγμάτων υλικών των υπό σχεδίαση δοκών υποστήριξης του γραμμικού επιταχυντή ΣΓΕΣΔ.

Ελάσματα	Αντίδραση	Ενέργεια (κατώφλι)	Χρόνος ημιζωής
Au	$^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$	Thermal	2.69 d
Co	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$	Thermal	5.27 y
In	$^{115}\text{In}(n, \gamma)^{116\text{m}}\text{In}$	Thermal	54 m
Cu	$^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$	Thermal	12.8 h
In	$^{115}\text{In}(n, \gamma)^{116\text{m}}\text{In}$	1.457 eV	54 m
Au	$^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$	4.906 eV	2.69 d
Co	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$	132 eV	5.27 y
Fe	$^{58}\text{Fe}(n, \gamma)^{59}\text{Fe}$	230 eV	45.1 d
Mn	$^{55}\text{Mn}(n, \gamma)^{56}\text{Mn}$	337 eV	2.57 h
Cu	$^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$	580 eV	12.8 h
In	$^{115}\text{In}(n, n')^{115\text{m}}\text{In}$	1.2 MeV	4.5 h
Ti	$^{47}\text{Ti}(n, p)^{47}\text{Sc}$	2.2 MeV	3.43 d
Zn	$^{64}\text{Zn}(n, p)^{64}\text{Cu}$	2.8 MeV	12.8 h
Ni	$^{58}\text{Ni}(n, p)^{58}\text{Co}$	2.8 MeV	72 d
Fe	$^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$	3.1 MeV	310 d

Ti	$^{46}\text{Ti}(n, p)^{46}\text{Sc}$	3.9 MeV	85 d
Al	$^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$	4.4 MeV	9.45 m
Fe	$^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$	6.0 MeV	2.57 h
Co	$^{59}\text{Co}(n, \alpha)^{56}\text{Mn}$	6.8 MeV	2.57 h
Cu	$^{63}\text{Cu}(n, \alpha)^{60}\text{Co}$	6.8 MeV	5.27 y
Al	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$	7.2 MeV	15.06 h
Ti	$^{48}\text{Ti}(n, p)^{48}\text{Sc}$	7.6 MeV	
Mn	$^{55}\text{Mn}(n, 2n)^{54}\text{Mn}$	11.5 MeV	310 d
Cu	$^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$	12.4 MeV	10.1 m
Ni	$^{58}\text{Ni}(n, 2n)^{57}\text{Ni}$	13.5 MeV	36 h

Πίνακας 6-3: Συνοπτικός πίνακας των ελασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν με τις χαρακτηριστικές παραμέτρους τους

6.6.4 Υπολογισμοί ενεργοποίησης

Παράλληλα έγιναν οι υπολογισμοί ενεργοποίησης χρησιμοποιώντας τον κώδικα FISPACT και την βιβλιοθήκη πυρηνικών δεδομένων EAF (European Activation File) μέσω της γενικής βιβλιοθήκης ENDF (Evaluated Nuclear Data File). Ο FISPACT είναι ο κώδικας απογραφής που περιλαμβάνεται στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Νευτρονικής Ενεργοποίησης (EASY = European Activation SYstem). Ο κώδικας FISPACT έχει αναπτυχθεί για υπολογισμούς ακτινοενεργοποίησης με δέσμες νετρονίων, δευτερίων και πρωτονίων που προκαλούνται στα υλικά που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές πυρηνικής τεχνολογίας. Επιπλέον, παρέχει τους ατομικούς αριθμούς και την ενεργότητα των στοιχείων ενός υλικού που υφίσταται ακτινοβόληση από νετρόνια ή ακτινοβολία φορτισμένων σωματιδίων, και μπορεί να αποδώσει επίσης λεπτομέρειες για τις αντιδράσεις εξόδου (κανάλια) μέσω των οποίων σχηματίζονται τα σχετικά νουκλίδια. Ο κώδικας FISPACT χρησιμοποιεί εξωτερικές βιβλιοθήκες των ενεργών διατομών των πυρηνικών αντιδράσεων και δεδομένα διάσπασης για όλα τα σχετικά νουκλίδια υπολογίζοντας ένα σχετικά μεγάλο εύρος νουκλιδίων που παράγονται ως αποτέλεσμα της ακτινοβόλησης ενός υλικού με προκαθορισμένες ροές νετρονίων.

Στα τρέχοντα δεδομένα EAF η ενεργός διατομή βασίζεται στο μορφότυπο ομάδας ενεργειών Vitamin-J 175 που κυμαίνεται από 0 έως και 61.442 MeV. Οι δικοί μας υπολογισμοί έγιναν για τις ενέργειες νετρονίων 1 MeV, 4.8 MeV, 10 MeV, 20 MeV και 50 MeV αντίστοιχα.

Το πρόγραμμα λειτουργίας του επιταχυντή αποτελείται από 7.5 κύκλους ακτινοβόλησης μέσα σε 180 ημέρες λειτουργίας συνεχούς δέσμης και 185 ημέρες συντήρησης χωρίς δέσμη. Η αρχική μας υπόθεση αφορούσε ένα ρυθμό ροής XX? νετρονίων $3 \times (10^5 - 10^6) \text{cm}^{-2}/\text{s}^{-1}$. Μετά το τέλος του τελικού κύκλου ακτινοβόλησης, οι υπολογισμοί ενεργοποίησης διεξήχθησαν στο τέλος του χρόνου ακτινοβόλησης και σε χρονικά διαστήματα 1d, 7d, 30d και 185d μετά την ακτινοβόληση. Στο τέλος του κάθε χρονικού διαστήματος αξιολογήθηκαν τα κυρίαρχα νουκλίδια, η ενεργότητά

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

τους, ο ρυθμός δόσης των συνολικών ακτίνων γάμμα καθώς και οι αντιδράσεις εξόδου (κανάλια) για την παραγωγή των εν λόγω νουκλιδίων.

Η στοιχειακή σύνθεση των δειγμάτων προσδιορίστηκε με τη μέθοδο XRF σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα και παρουσιάζεται στο 6.6.5.

6.6.5 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Ο Πίνακας 6-4 παρουσιάζει τη σύνθεση των δειγμάτων SiC, από τις δοκούς υποστήριξης του ΣΓΕΔ, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, η οποία ελήφθη από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία και από τις μετρήσεις XRF. Για τα στοιχεία που δεν μετρήθηκαν με τη μέθοδο συγκέντρωσης XRF, οι τιμές της δίνονται επίσης από την βιβλιογραφία.

Το σύνθετο υλικό Epument 145/B είναι χυτό ανόργανο πολυμερές τριών-συστατικών με βάση μία βιομηχανική εποξική ρητίνη και κατασκευάζεται από τη Γερμανική εταιρία Epucret. Οι μετρήσεις XRF έδειξαν - όπως ήταν άλλωστε αναμενόμενο - μια μεγάλη διακύμανση στη στοιχειακή του σύνθεση με τα διάφορα δείγματα. Σαφώς, η XRF δεν μπορεί να αξιολογηθεί ως η καταλληλότερη μέθοδος επιλογής για την στοιχειακή ανάλυση ενός τέτοιου ανομοιογενούς υλικού και κάποια άλλη τεχνική ενδεχομένως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για αυτόν τον έλεγχο, όπως για παράδειγμα η ανάλυση νετρονικής ενεργοποίησης (NAA). Ωστόσο, η δεδομένη XRF μέθοδος μέτρησης παρέχεται μαζί με μία κατά μέσο όρο "μακροσκοπική" σύνθεση του υλικού, προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα του πίνακα 6.4 στη μελέτη των μηχανικών δοκιμών 6.7.

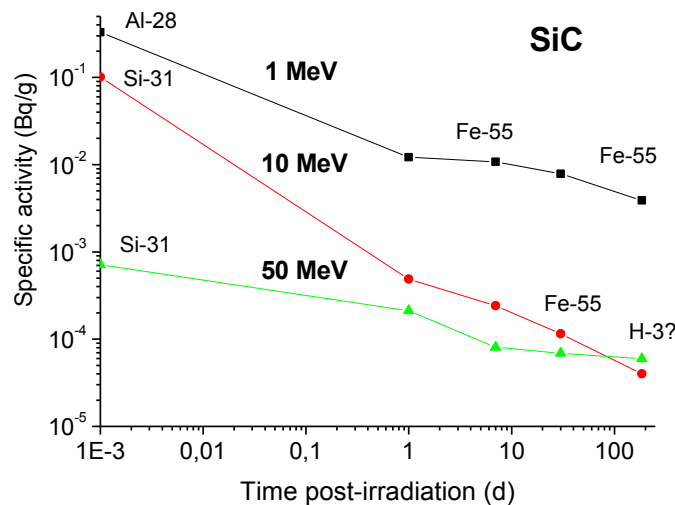
Στοιχείο	SiC (% w/w)		Epument 145/B (% w/w)		
	Στοιχεία αναφοράς	Από μετρήσεις XRF και αναφοράς	Μέρος A	Μέρος B	Μέρος C
C	29,85	25,122			
Si	69,8	69,8			
B	0,15	0,107			
Na	0,000072	0,000072			
Mg	0,000018	0,00337			
Al	0,18	3,8007			
P	0,000066	0,000066			
S	0,000034	0,02668	0.04361	0.01279	
Cl	0,00002	0,00002	0.257	0.03741	0.054
K	0,000005	0,000005			0.04632
Ca	0,00025	0,04704		0.0251	
Ti	0,0052	0,0109			0.02878
V	0,005	0,03855	0.04581	0.04581	
Cr	0,00038	0,02092	0.02703		0.03122
Mn	0,000002	0,0007	0.01073		0.03119
Fe	0,0068	0,4101		0.03194	
Co	0,000089	0,000089			
Ni	0,0011	0,005691	0.00155		
Cu	0,000024	0,001318	0.00146		0.00075
Zn	0,00046	0,00046	0.00537		
As	0,000027	0,000027			

Zr	0,00032	0,003615	0.00525	0.00101
Nb	0,00001	0,00001		
Mo	0,000075	0,000075		
W	0,000019	0,000019		
Pb	0,000012	0,000012	0.00471	0.00372
Ba		0,6005	0.113	

Πίνακας 6-4: Σύνθεση δείγματος

6.6.6 Υπολογισμοί ενεργοποίησης

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού ραδιενεργού δραστηριότητας για ακτινοβολία νετρονίων 1, 10 και 50 MeV ως συνάρτηση του χρόνου μετά το τέλος της ακτινοβόλησης φαίνεται στο Σχήμα 6-12, σύμφωνα με τις πραγματικές συνθήκες «του πειράματος» που περιγράφηκαν. Για την ενέργεια της ακτινοβολίας νετρονίων 1 MeV στο τέλος του κύκλου ακτινοβόλησης η ανάλογη ειδική ενεργότητα υπολογίστηκε να είναι 1.65×10^{-1} Bq/g. Το Αλουμίνιο-28 (^{28}Al) ήταν το κυρίαρχο νουκλίδιο (68% της συνολικής δραστηριότητας). Κατά το χρονικό διάστημα από 1 έως και 185 ημέρες, η δραστηριότητα μετά την ακτινοβόληση αξιολογήθηκε σε σχέση με το χρόνο. Μετά από 185 ημέρες από την ακτινοβόληση, το επικρατές νουκλίδιο ήταν ο Σίδηρος-55 (^{55}Fe). Ακτινοβόληση με νετρόνια σε υψηλότερες ενέργειες οδήγησε σε χαμηλότερη ενεργότητα του δείγματος καρβιδίου του πυριτίου (SiC).



Σχήμα 6-12: Η ειδική ενεργότητα του δείγματος SiC συναρτίζεται του χρόνου μετά την ακτινοβόληση με τα πειραματικά σημεία της μέτρησης μόνο στα επικρατούντα νουκλίδια

Κατά τη συνεδρία της ακτινοβόλησης με νετρόνια της τάξης των 10 MeV, η ειδική ενεργότητα του δείγματος Καρβιδίου του Πυριτίου (SiC) ήταν 5×10^{-2} Bq/g και το Πυρίτιο-31 (^{31}Si) ήταν το κυρίαρχο νουκλίδιο (99% της συνολικής ενεργότητας). Για διάστημα 185 ημερών μετά την ακτινοβόληση, η μέτρηση της γενικής ραδιενεργού ενεργότητας του δοκιμίου έδωσε τιμή 2×10^{-5} Bq/g και τα κυρίαρχα νουκλίδια ήταν Σίδηρος-55 (^{55}Fe), Βάριο-133 (^{133}Ba) και Ψευδάργυρος-65 (^{65}Zn) συμβάλλοντας, αντίστοιχα, σε ποσοστά 46%, 24% και 14% της συνολικής ενεργότητας. Τέλος, κατά την ακτινοβόληση με δέσμες νετρονίων ενέργειας 50 MeV, μετρήθηκε η ειδική ενεργότητα του δείγματος του Καρβιδίου του Πυριτίου (SiC) με τιμή 3.5×10^{-6} Bq/g, όπου το Πυρίτιο-31 (^{31}Si) ήταν πάλι το κυρίαρχο νουκλίδιο με ένα ποσοστό της τάξης

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

του 60% επί της συνολικής ενεργότητας. Για την 185 ημέρα μετά το πέρας της ακτινοβόλησης, η συνολική ενεργότητα ήταν 3×10^{-5} Bq/g με κυρίαρχα νουκλίδια ο Σίδηρος-55 (^{55}Fe) και το Τρίτιο (^3H).

Ακριβώς στο Σχήμα 6-11 παρουσιάζεται η ειδική ενεργότητα του Καρβιδίου του Πυριτίου σαν συνάρτηση μέτρησης του χρόνου συντήρησης, δηλ. μέτρησης χωρίς δέσμη για τρεις χαρακτηριστικές ενέργειες βομβαρδισμού των νετρονίων 1, 10, 50 MeV, λαμβάνοντας υπόψη κυρίως την ενεργότητα των πυρήνων ^{28}Al , ^{31}Si , ^{55}Fe .

Συμπερασματικά: Διαπιστώνεται η μέγιστη συμβολή στην ενεργοποίηση του δείγματος από τους πυρήνες Αλουμίνο-28 (^{28}Al) για την ενέργεια νετρονίων 1 MeV και Πυρίτιο-31 (^{31}Si) για τις ενέργειες νετρονίων 10 και 50 MeV. Για να καταλήξουμε σε οριστικό συμπέρασμα, ελήφθησαν υπόψη τα δεδομένα των ορίων ασφαλείας προσωπικού, από τον σχετικό κανονισμό ραδιο-προστασίας του CERN 12, όπου για κάθε εργαζόμενο σε περιοχή εντός του τούνελ του επιταχυντή ή εντός των στοών των πειραμάτων το ετήσιο όριο είναι 6 mSv. Από το σχήμα 6-11, αν θεωρήσουμε μόνο τη μέγιστη τιμή της ειδικής ενεργότητας του πυρήνα Αλουμίνο-28 (^{28}Al) ίση περίπου με 0.5 Bq/g και σταθερή για 365 μέρες, βρίσκουμε την αντίστοιχη επιβάρυνση του προσωπικού με 0,001346 mSv/y, τιμή κατά πολύ μικρότερη του ετησίου ορίου ασφαλείας 6 mSv/y του προσωπικού του CERN.

Συνεπώς το συμπέρασμα είναι ότι δικαιώνεται η επιλογή των υλικών των δοκών στήριξης του ΣΓΕΔ με Καρβίδιο Πυριτίου για την ασφάλεια του προσωπικού, όσον αφορά την όποια δυνατή ενεργοποίηση υποστεί το υλικό στη διάκριση της λειτουργίας του επιταχυντή.

6.7 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Η συμπεριφορά και η ανάλογη αντίδραση των υλικών κάτω από εξωτερικούς παράγοντες που προκαλούν τάσεις και καταπονήσεις ελέγχεται μέσω των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Η αντίσταση την οποία αποδίδει κάθε υλικό προς τις επιβαλλόμενες συνθήκες φόρτωσης αποτελεί τον τρόπο αλληλεπίδρασης που σχετίζεται με τη δομική συμπεριφορά του κάθε συστατικού του. Ως εκ τούτου, οι λειτουργικές συνθήκες προσομοιώνονται με τις καταπονήσεις (στατική ή δυναμική) των δοκιμών. Η ανάλυση δοκιμών και αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων *in situ* παρέχει ένα χαρακτηρισμό του υλικού αναλόγως με την αναμενόμενη συμπεριφορά που θα επιδείξει το εκάστοτε τμήμα.

Προκειμένου να προχωρήσουμε σε ένα τέτοιο χαρακτηρισμό υλικών, όπως αυτός περιγράφηκε προηγουμένως, χρειάστηκε να παραχθούν πειραματικά οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων. Τα θεμελιώδη μεγέθη των υπό δοκιμή υλικών περιλαμβάνονται σε αυτές τις καμπύλες, όπως μέτρο ελαστικότητας, η πλαστική παραμόρφωση, το όριο αστοχίας, κλπ.

Η μεθοδολογία δοκιμών που χρησιμοποιήθηκε είναι κατά τα πειραματικά πρότυπα αναφερόμενα σε εύθραυστα υλικά, δεδομένου ότι όλα τα υλικά που δοκιμάστηκαν κατηγοριοποιούνται ως κεραμικά, λεπτά κεραμικά ή και σύνθετα υλικά. Η θερμοκρασία κάτω από την οποία έγινε η δοκιμή αντιστοιχούσε στις συνθήκες λειτουργίας και κατηγοριοποιήθηκε ως χαμηλή θερμοκρασία:

$$T_{oper} = T_{test} < 10 \times T_{melt}$$

¹² CERN Radiation Protection, <http://cas.web.cern.ch/cas/Bilbao-2011/Lectures/Vincke.pdf>

Όπου οι αντίστοιχες μεταβλητές στοιχειάζονται σε T_{oper} : θερμοκρασία των συνθηκών λειτουργίας, T_{test} : θερμοκρασία των συνθηκών δοκιμής, T_{melt} : η θερμοκρασία του σημείου τήξεως του υλικού.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι στην ψαθυρή θραύση των δοκιμών αντοχής των υλικών που έλαβαν χώρα, συναντήσαμε και τις δύο αντίστοιχες πιθανότητες:

- i. Ενδοκρυσταλλική ψαθυρή θραύση,
- ii. Περικρυσταλλική ψαθυρή θραύση.

Ο λόγος ήταν ότι σε κάθε ένα από τα δοκιμασμένα υλικά, μπορούν πιθανόν να παράγονται διάφορες περιπτώσεις αστοχίας, δίνοντας με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα να λάβουμε αποτελέσματα προς σύγκριση. Ο μικρομηχανισμός που ακολουθούσε η αστοχία του εκάστοτε υλικού μπορεί να διαφέρει ανάλογα με μία από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- i. Πειραματική εγκατάσταση,
- ii. Μεθοδολογία φόρτισης,
- iii. Η επίδραση του μεγέθους του δοκιμίου.

Για το λόγο αυτό, η ακολουθούμενη πειραματική μεθοδολογία ήταν τυποποιημένη, ώστε να αποφευχθούν πιθανές ανακολουθίες που κάνουν μη συγκρίσιμα τα αποτελέσματα, που προέρχονται από τις διαφορετικές περιπτώσεις των δοκιμών.

6.8 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ

Τα μηχανολογικά πειράματα ξεκινούν με τις μηχανικές δοκιμές αντοχής. Για αυτό το στάδιο, η *απλή Μονοαξονική Θλίψη (simple Uniaxial Compression Test – UCT¹³)* επιλέχθηκε ως διαδικασία δοκιμής. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αντοχή σε θλίψη/εφελκυσμό, αναλόγως του υλικού, είναι η συνηθέστερη από τις δοκιμές αντοχής και συνήθως εφαρμόζεται ως προκαταρκτικός έλεγχος. Στην περίπτωση μας εφαρμόζεται διερευνητικά σε τέτοιες περιπτώσεις μηχανικών δοκιμών. Ωστόσο, η καταλυτική αιτία για μια τέτοια επιλογή δοκιμών ήταν ότι όλα τα δομικά στοιχεία του υποστηρικτικού συστήματος υποβάλλονται μεταγενέστερα μόνο σε θλιπτικά φορτία κατά τη διάρκεια της μελλοντικής πραγματικής λειτουργίας τους. Τα κοινά αποτελέσματα από την απλή μονοαξονική θλίψη ή τον απλό εφελκυσμό είναι:

- i. Μπορούμε να εξάγουμε από τα πειραματικά δεδομένα των δύο δοκιμών παρόμοια γραφήματα τάσεων-παραμορφώσεων για ένα συγκεκριμένο υλικό,
- ii. Μπορούμε να επιβάλλουμε παρόμοιες ή και τις ίδιες τιμές στις πειραματικές συνθήκες για την θλίψη φόρτισης/εφελκυσμού.

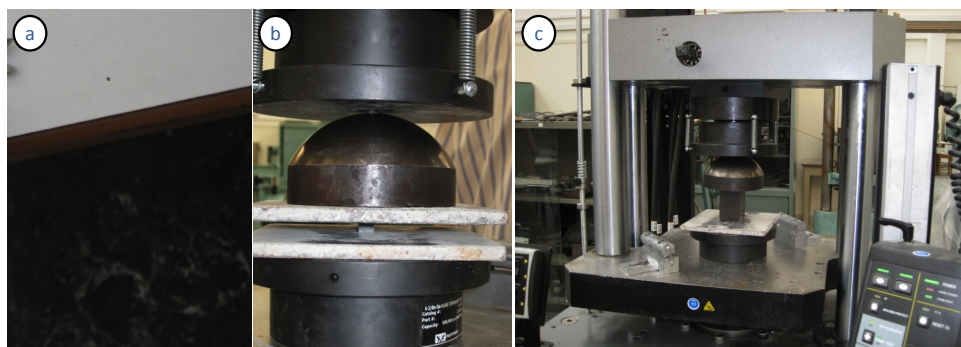
Οι κύριες ποιοτικές διαφορές μεταξύ των προαναφερθέντων δοκιμών είναι ότι:

- i. Οι κατευθύνσεις για την εφαρμογή των φορτίων δοκιμών είναι αντίθετες για καθεμία από αυτές τις δύο διαφορετικές μηχανικές δοκιμές,
- ii. Το αποτέλεσμα της απλής μονοαξονικής θλίψης είναι η αύξηση της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου, ενώ κατά την δοκιμή του εφελκυσμού η διαμήκης διάσταση του δείγματος αυξάνεται.

Οι εφαρμοζόμενοι κανόνες για την απλή μονοαξονική θλίψη παρέχουν ευελιξία χρησιμοποιώντας για τα πειράματα, δείγματα κυλινδρικής ή κυβικής διατομής. Τα

¹³ Στην παρούσα μελέτη η μονοαξονική θλίψη είναι πάντα απλή χωρίς περιορισμούς.

τυποποιημένα δείγματα κυβικής διατομής επιλέχθηκαν σύμφωνα με την ανάλογη δυνατότητα κατασκευής τους.



Σχήμα 6-13: Δείγματα για την απλή μονοαξονική καταπόνηση: α) Δείγμα SiC κατά τον προκαταρκτικό διαστασιολογικό έλεγχο, β) Δείγμα SiC πριν την πειραματική δοκιμή, γ) Δείγμα Erument 145/B πριν την απλή μονοαξονική θλίψη.

Για αρκετές κατηγορίες ψαθυρών υλικών, όπως τα κεραμικά και τα σύνθετα υλικά, αλλά επίσης τα γαιώδη και τα πορώδη υλικά (όπως Erument 145/B) το μέτρο ελαστικότητας υπό συμπίεση μετράται να είναι υψηλότερο από ό,τι το μέτρο ελαστικότητας υπό καταπόνηση εφελκυσμού. Ωστόσο, για τα κεραμικά (όπως τα δοκίμια SiC) ένα τέτοιο γεγονός είναι περιορισμένο, επιβεβαιώνοντας τις περίπου ίσες τιμές που αποκτήθηκαν πειραματικά για το μέτρο ελαστικότητας με θλιπτικές και εφελκυστικές δοκιμές αντίστοιχα. Επιπλέον, είναι γνωστό από την βιβλιογραφία το γεγονός ότι όλα τα παρόμοια υλικά που έχουν δοκιμαστεί υπόκεινται στο νόμο του Hooke μόνο για μια εξαιρετικά περιορισμένη περιοχή (αν τυχόν αυτή υπάρξει και αναγνωριστεί στα αποτελέσματα και ανάλυση της δοκιμής) στη μηχανική συμπεριφορά τους (πειραματικά διαγράμματα και μετρήσεις).

Όσον αφορά το όριο διαρροής και το όριο αστοχίας, όπως και σε παρόμοιες περιπτώσεις οι δύο αυτές μηχανικές ιδιότητες θεωρούνται ότι έχουν σχεδόν ταυτόσημο σημείο και μέτρο αφού όπως περιγράφηκε, αναφερόμαστε σε εύθραυστα υλικά.

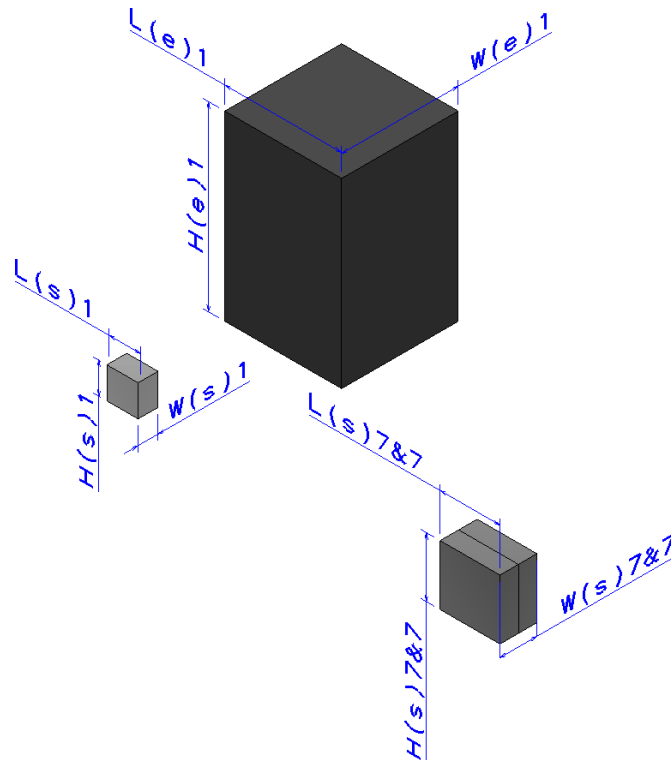
6.9 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΛΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

Οι διαμορφώσεις όλων των δειγμάτων της τρέχουσας πειραματικής φάσης ακολουθούν ορθογωνική διατομή, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6-13. Η γενική εξωτερική διαστασιολόγηση του δείγματος ρυθμίζεται από το σχετικά μικρό σε μέγεθος στόχο της δέσμης νετρονίων των δοκιμών ακτινοβολήσης που προηγήθηκαν. Αν και σε αυτή τη φάση της μελέτης, οι ανθρώπινοι πόροι και το χρονοδιάγραμμα που εφαρμόστηκε ήταν περιορισμένα, ένας ικανοποιητικός αριθμός από δείγματα ελέγχθηκε για να εξαχθούν χρησιμοποιήσιμα αποτελέσματα.

Οι τιμές των διαστάσεων για τα δείγματα δίνονται στον Πίνακα 6-5. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-13, το δείγμα 7&7 αποτελείται από δύο (2) τμήματα SiC κολλημένα μεταξύ τους. Οι κύριοι λόγοι που οδηγούν να δοκιμαστεί μια τέτοια διαρρύθμιση δοκιμών είναι:

- i. Βασικός λόγος είναι ότι ο συγκεκριμένος τύπος κόλλας χρησιμοποιήθηκε σε διάφορα υποσυστήματα κατά την κατασκευή και τη συναρμολόγηση των συστημάτων αντιστήριξης για τις ΕΜΔΔ της διαμόρφωσης ΕΡΓ. Το γεγονός

- αυτό καθιστούσε αναγκαία της δοκιμή και έλεγχο της εν λόγω κόλλας σε περιβάλλον υποβάθρου υψηλής ραδιενεργού ακτινοβολίας,
- ii. Δεύτερον, η επίδραση του μεγέθους των δειγμάτων μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητή χρησιμοποιώντας διαφορετικά τμήματα κολλημένα μεταξύ τους.



Σχήμα 6-14: Σχέδια δειγμάτων απλής μονοαξονικής θλίψης

Ωστόσο, η κατεύθυνση φόρτισης κατά την οποία η κόλλα χρησιμοποιείται, παράλληλα προς τον άξονα δείγματος, επιβεβαίωσε ότι δεν υπάρχει περαιτέρω τεχνητή επίδραση (ενίσχυση) στις ιδιότητες του δείγματος ή της πειραματικής μεθοδολογίας από την κόλλα.

Διάσταση	s1 (mm)	e1 (mm)	s7&7 (mm)
L	10.5	40.5	20
H	10.5	63.5	21
W	6.5	40.5	12.5

Πίνακας 6-5: Μέσες τιμές διαστάσεων για τα δοκίμια της απλής μονοαξονικής θλίψης
Οι συνολικές ποσότητες των δειγμάτων που δοκιμάστηκαν σε αυτή την πειραματική φάση παρατίθενται στον Πίνακα 6-6.

Δοκίμιο	Ακτινοβολημένα	Αναφοράς (μη-ακτινοβολημένα)
s1	1	1
e1	-	2
s7&7	2	2

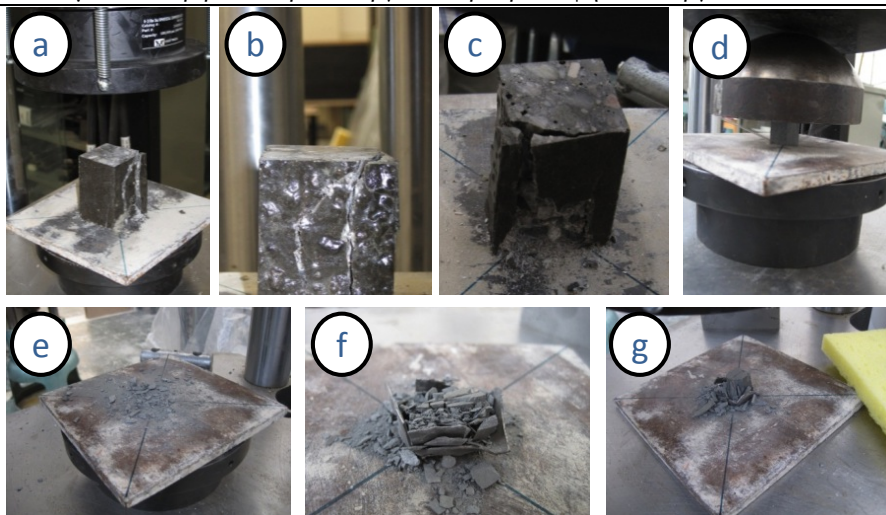
Πίνακας 6-6: Ποσότητες δοκιμών για την απλή μονοαξονική θλίψη

Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο να εξασφαλισθεί ότι και τα δύο (2) άκρα έδρασης του κάθε δείγματος ήταν σε ικανοποιητική ανοχή τοποθέτησης (παραλληλία) μεταξύ τους και συγχρόνως κάθετα προς τον διαμήκη άξονά τους. Η εγκατάσταση που συναρμολογήθηκε επέτρεψε να καλυφθούν οι διεπιφάνειες των δειγμάτων και οι πλάκες της μηχανής των δοκιμών με λεπτά μαλακά φύλλα μολύβδου (Pb). Με αυτό τον τρόπο, οι ατέλειες που παράγονται από τα κοπτικά εργαλεία επί των επιφανειών των δειγμάτων εξαλείφονται και οι διεπιφάνειες των πλακών εξομαλύνονται. Επιπλέον, τοποθετήθηκε η ειδική ημι-σφαιρική κεφαλή που παρεμβάλλεται μεταξύ της πλάκας φόρτισης και του μετακινούμενου εμβόλου του πλαισίου προκειμένου να διασφαλιστεί στο μέγιστο δυνατό η συνθήκη ομοαξονικότητας μεταξύ του φορτίου και του άξονα του δοκιμίου.

Όλα τα πειράματα διεξήχθησαν χωρίς λίπανση των βάσεων των δειγμάτων και των πλακών φόρτωσης. Αυτό θεωρήθηκε κατάλληλο, δεδομένου ότι τα συμπεράσματα της μελέτης θα πρέπει να εφαρμοστούν άμεσα για τη συναρμολόγηση της ΕΜΔΔ, κατά την οποία η οποιαδήποτε χρήση των λιπαντικών δε έχει νόημα, και μπορεί να αποβεί ακόμα και δυνητικά επικίνδυνη για πιθανά ατυχήματα. Φυσικά είναι γνωστό ότι η επίδραση της τριβής σχετικά με τα αποτελέσματα της απλής μονοαξονικής θλίψης δεν είναι αμελητέα, ιδίως στην περίπτωση των γεωδύλικών. Πάντως ο σκοπός της δοκιμής ήταν η συγκριτική μελέτη των πειραματικών αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από τα δείγματα των διαφόρων μεγεθών. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι αφού το λιπαντικό έχει απαγορευτεί από όλα τα πειράματα αυτής της φάσης, η τριβή δεν θα αλλοιώσει τα συγκριτικά φαινόμενα.

Οι δοκιμές διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας ένα άκαμπτο σκελετό-πλαίσιο υδραυλικής φόρτισης και χωρητικότητας της τάξης των 300 kN. Θεωρώντας ότι το μέγιστο φορτίο καταγράφεται κατά τη διάρκεια της σειράς αυτών των δοκιμών και δεν υπερβαίνει τα 100 kN, μπορεί να ειπωθεί ότι η ακαμψία του πλαισίου θεωρείται ασφαλώς άπειρη. Μια τέτοια υπόθεση λειτουργίας είναι πλέον σημαντική, ιδιαίτερα όσον αφορά την περιοχή μετά τη μέγιστη κορυφή του διαγράμματος τάσης-καταπόνησης. Σε όλες τις περιπτώσεις το φορτίο εφαρμόστηκε ψευδο-στατικά με ένα χαμηλό ρυθμό ίσο με $0.1 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$. Οι αξονικές μετατοπίσεις μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας το ειδικό λογισμικό της μηχανής δοκιμών. Σύμφωνα με τη διαμόρφωση του πειράματος, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στη γεωμετρική μέση των ορθογωνίων πλακών χάλυβα προεξοφλώντας με τον τρόπο αυτό τη συμμετρία του φορτίου και επίσης την προσπάθεια να αποφευχθεί η οποιαδήποτε πιθανή επίδραση επί των αποτελεσμάτων της περιστροφής των πλακών φόρτισης. Η περιστροφή της πλάκας (yaw και roll) ελέγχθηκε και θεωρείται ότι είναι αμελητέα, ακόμη και κατά τη διάρκεια δημιουργίας αλλά και μετά από την έντονη ρηγμάτωση των πλευρικών επιφανειών των δειγμάτων.

Οι τυπικές εικόνες των δειγμάτων παρουσιάζονται στο Σχήμα 6-14 αφού έχουν υποστεί τις σχετικές δοκιμές. Η αναμενόμενη μικτή αστοχία παρατηρείται σαφώς: Τα τμήματα των δειγμάτων κοντά στις πλάκες φόρτισης συνθλίβονται, ενώ ρωγμές σχεδόν διαμήκεις διατρέχουν τον κύριο κορμό των δειγμάτων.



Σχήμα 6-15: Δείγματα μετά τις δοκιμές της απλής μονοαξονικής θλίψης: a, b, c) Δείγματα Erument 145/B μετά τις δοκιμές της απλής μονοαξονικής θλίψης, d) Δείγματα SiC πριν τη δοκιμή της απλής μονοαξονικής θλίψης, e, f, g) Δείγματα SiC μετά τις δοκιμές της απλής μονοαξονικής θλίψης.

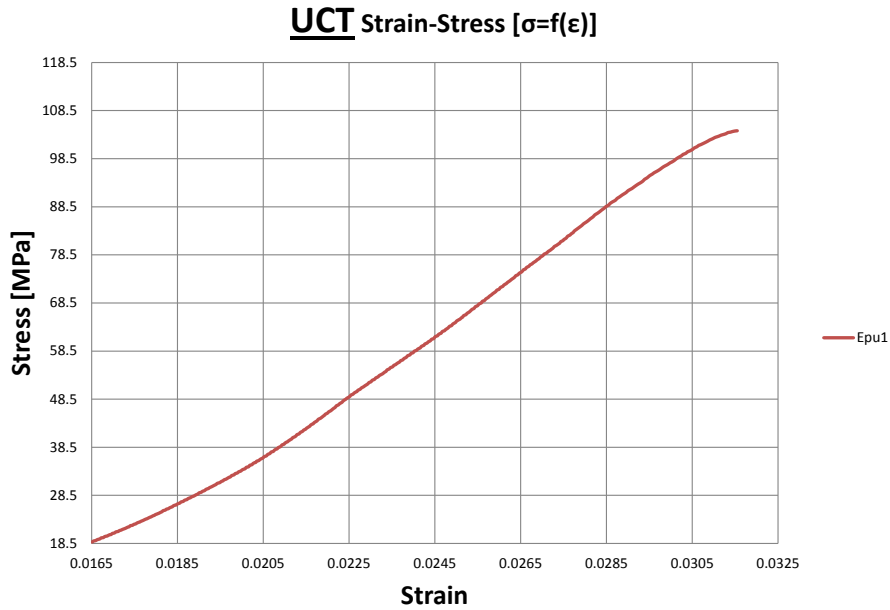
6.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΛΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

Τα μεγέθη που ελέγχονται και καταγράφονται κατά τη διάρκεια των δοκιμών ήταν ο χρόνος του πειράματος, το φορτίο και η αξονική μετατόπιση. Τα μετρηθέντα δεδομένα επεξεργάστηκαν περαιτέρω με τη βοήθεια του κατάλληλου εμπορικού λογισμικού προκειμένου να εξαλειφθεί ο μετρητικός θόρυβος. Οι τάσεις υπολογίστηκαν στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός ειδικού υπολογιστικού αλγορίθμου. Τα διαγράμματα των αξονικών τάσεων-παραμορφώσεων χαράχθηκαν από τα δεδομένα μετά την επεξεργασία. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων καμπυλών που σχεδιάστηκαν παρατίθενται στα ακόλουθα σχήματα του παρόντος υποκεφάλαιου για τα δείγματα που αναφέρθηκαν στον Πίνακα 6-6.

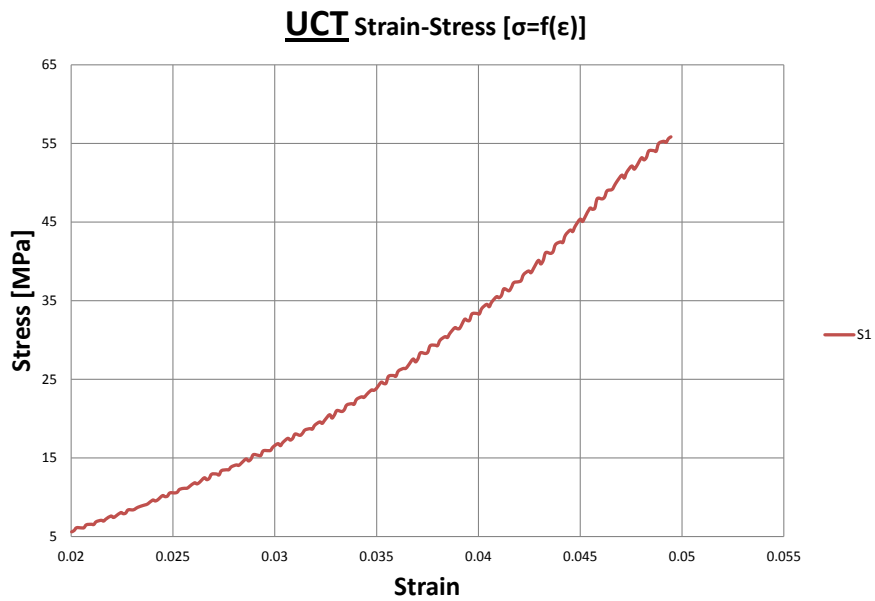
Από τις καμπύλες των σχημάτων του παρόντος υποκεφάλαιου, κατέστη δυνατόν να υπολογιστούν οι τιμές μερικών χαρακτηριστικών μηχανικών μεγεθών όπως σ_{peak} : μέγιστη τάση, E : μέτρο ελαστικότητας και του W : πυκνότητα ενέργειας παραμόρφωσης που δαπανάται μέχρι του φορτίου αιχμής ή μέχρι την πρώτη ορατή εξωτερική ρωγμή. Όσον αφορά το W , χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό του:

$$W = \frac{\sigma_{peak} \times \epsilon_{peak}}{2}$$

δεδομένου ότι δεν υπήρχε καμία ένδειξη εξωτερικής ρωγμής να εμφανίζεται πριν από την μέγιστη τάση. Συνεπώς, η τιμή του W δεν υπολογίστηκε με αριθμητική ολοκλήρωση από τα πειραματικά δεδομένα αλλά ημι-εμπειρικά. Η ακαμψία που παρουσιάζουν τα υλικά των δειγμάτων ήταν ο κύριος λόγος για μια τέτοια συμπεριφορά. Οι μέσες τιμές της μέγιστης τάσης και των υπόλοιπων μετρηθέντων ιδιοτήτων συνοψίζονται στον Πίνακα 6-7. Η μέγιστη τάση προφανώς και παρουσιάζει μια ισχυρή εξάρτηση από τις εκάστοτε διαστάσεις του δείγματος.

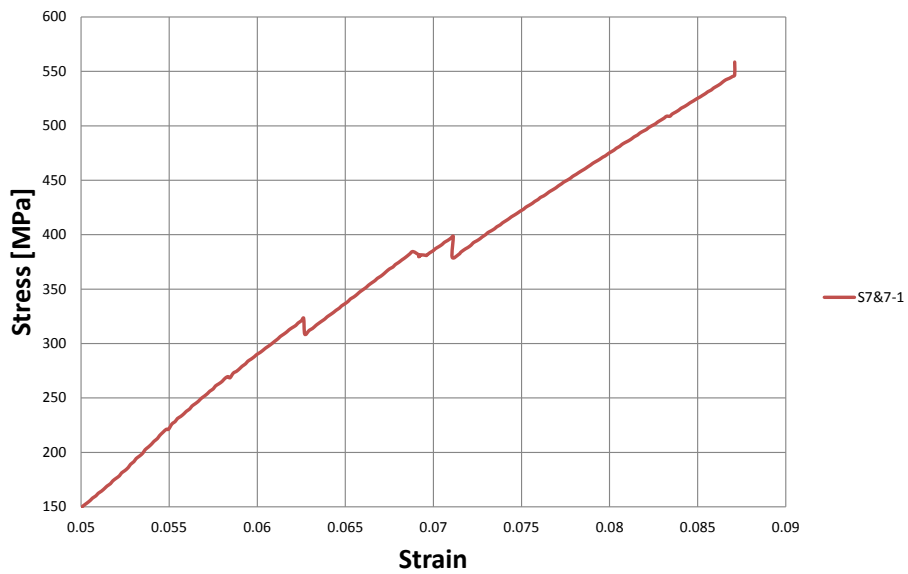


Σχήμα 6-16: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα Epu1



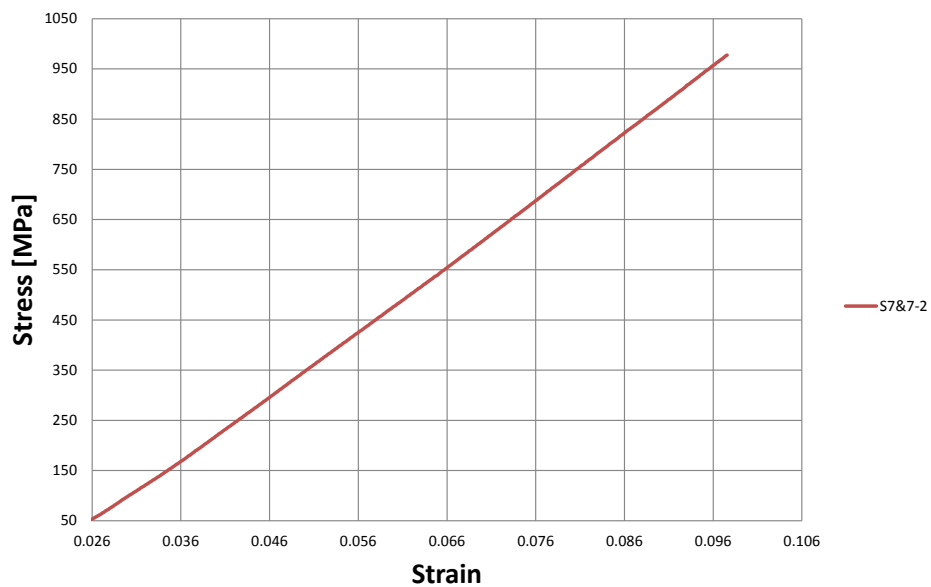
Σχήμα 6-17: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S1

UCT Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]

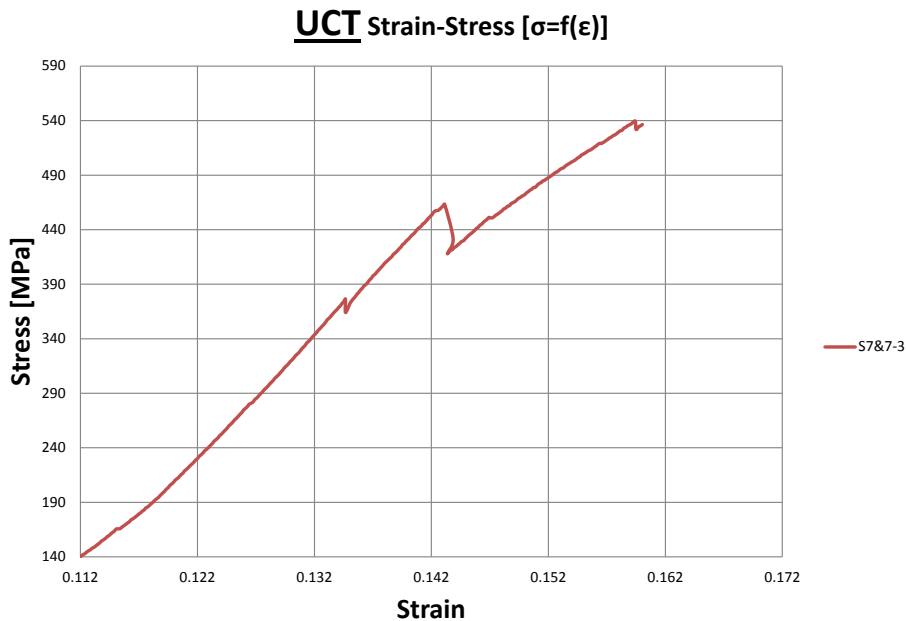


Σχήμα 6-18: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-1

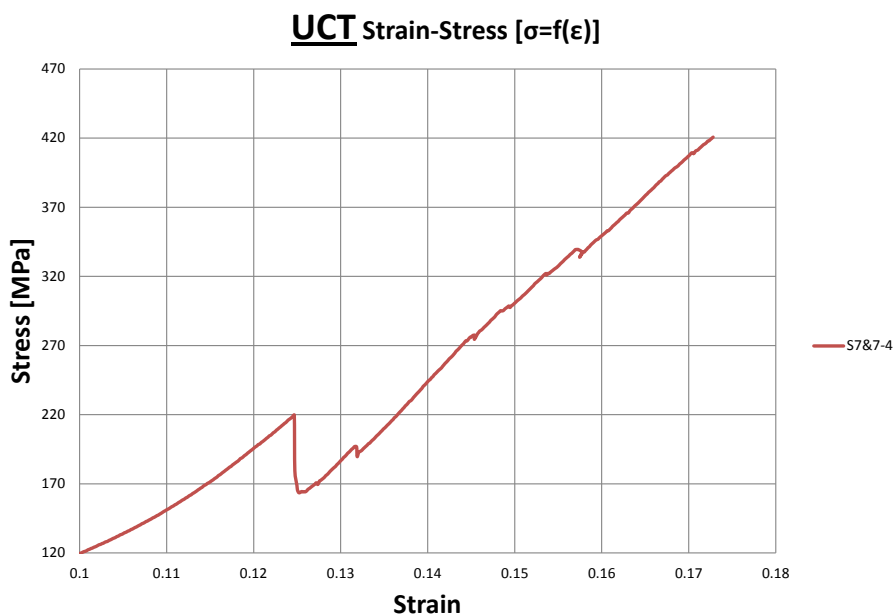
UCT Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



Σχήμα 6-19: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-2



Σχήμα 6-20: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-3



Σχήμα 6-21: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S7&7-4

Είναι σαφές ότι από το Σχήμα 6-21 εξάγονται δύο μέτρα ελαστικότητας. Είναι επίσης εμφανές, ότι το δεύτερο μέτρο ελαστικότητας είναι μεγαλύτερο του πρώτου, γεγονός αναντίστοιχο με την αναμενόμενη συμπεριφορά του υλικού. Κάτι τέτοιο ερμηνεύεται μελετώντας τη γεωμετρία του διπλού δοκιμίου S7&7-4 από SiC. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η έδραση του δοκιμίου (S7&7-4) κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν ήταν επαρκής (ανεπιτυχής) στην μηχανή θλίψης με αποτέλεσμα να μετρηθούν τα δύο διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας. Παραταύτα, η γραφική παράσταση παρατίθεται για λόγους πληρότητας της μελέτης και τα πειραματικώς εξαγόμενα μεγάλθη του δοκιμίου S7&7-4 που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-7 ακολούθως, αφορούν το πρώτο μετρηθέν μέτρο ελαστικότητας.

	σ_{peak} (MPa)	ϵ_{peak}	E (MPa)	W (kPa)	Load _{max} (N)
E1	104.3	0.03267	3142.3	1.70384	5661.72
S1	55.8401	0.04946	1101.2	1.3808	3840.32
S7&7-1	558.579	0.08748	6587.9	24.4334	44618.5
S7&7-2	977.527	0.09757	11093	47.6906	96396.8
S7&7-3	539.463	0.16226	3104.7	43.7664	903.01
S7&7-4	420.735	0.17431	2300.6	36.669	3600.01

Πίνακας 6-7: Μετρήσεις μεγεθών κατά την απλή μονοαξονική θλίψη

Σε αρκετές περιπτώσεις, τα δείγματα εμφανίστηκαν να συμπεριφέρονται ως σύνθετες διατάξεις μάλλον παρά ως ομοιογενές υλικό. Όσον αφορά το μέτρο ελαστικότητας, φαίνεται ότι η τιμή του εξαρτάται επίσης από το μέγεθος των δειγμάτων, σε αντίθεση με ό,τι ήταν ίσως αναμενόμενο. Όμως αξίζει να τονίσουμε ότι επίσης και αυτή η παρατήρηση είναι σε καλή ποιοτική σύμφωνα με την αντίστοιχη βιβλιογραφία [60], [61], [62].

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται επιβεβαιώνουν σε μεγάλο βαθμό ότι οι μηχανικές σταθερές εξαρτώνται περισσότερο ή λιγότερο από το μέγεθος των δειγμάτων. Ωστόσο, πρέπει να γίνει δεκτό ότι το ωφέλιμο φορτίο των υλικών αυτών στην πράξη και κατά τη λειτουργία τους περιορίζεται σε ένα τμήμα μόνο του σ - ϵ διαγράμματος, πολύ κάτω από τη μέγιστη τάση. Οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας κυμαίνονται μεταξύ πολύ ευρέων ορίων, ενώ είναι ορατή η αντίστοιχη διάχυση των τιμών. Η προαναφερόμενη παρατήρηση θα μπορούσε να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι η πυκνότητα ενέργειας περιλαμβάνει την επίδραση των παραμορφώσεων σε όλες τις (τρεις) διευθύνσεις. Η επίδραση του μεγέθους του δείγματος επέρχεται πάνω στην τάση του υλικού να διαστέλλεται και να επεκτείνεται κάθετα ως προς την κατεύθυνση φόρτισης. Με αυτό τον τρόπο καθορίζεται ο μηχανισμός αστοχίας του δοκιμίου, αποδεικνύοντας τη μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων αντοχής.

Τα ακτινοβολημένα δείγματα αποδείχθηκε ότι συνεχίζουν να έχουν τις περισσότερες από τις μηχανικές ιδιότητές τους, παρόμοιες με τα δείγματα αναφοράς (μη-ακτινοβολημένα). Αξιοσημείωτη διαφορά παρατηρείται στο ανώτατο όριο των μετρούμενων παραμορφώσεων. Συμπεραίνεται, ότι η ακτινοβολία προκαλεί ένα μεγαλύτερο δυναμικό παραμόρφωσης για τα εξεταζόμενα υλικά ή διευκολύνει με την ανάλογη “γήρανση” που προκαλεί, την επιπρόσθετη παραμόρφωση του υλικού πριν από την αστοχία. Ένα τέτοιο αποτέλεσμα θα μπορούσε να μεταφραστεί ως ελαττούμενο E (το οποίο και είναι εμφανές) και επιπροσθέτως μειωμένη ακαμψία στο επίπεδο της μικροδομής του υλικού. Με βάση την γνωστή βιβλιογραφία [60], [61], [62] σχετικά με τη συμπεριφορά παρόμοιων ψαθυρών υλικών υπό υψηλή ακτινοβολία, μπορούμε να εγγηθούμε ότι τα εν λόγω αποτελέσματα αναμένονται και επιβεβαιώνονται.

6.11 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΤΡΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

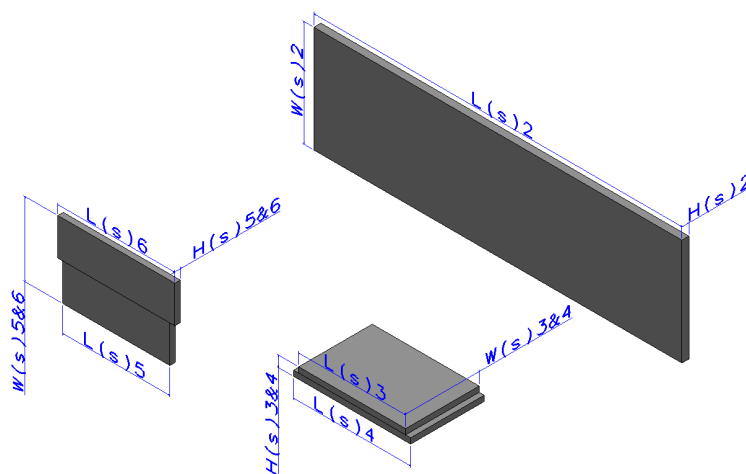
Η μηχανική δοκιμή συνεχίστηκε με το πείραμα *κάμψης τριών σημείων* (3PB). Η κάμψη τριών σημείων θεωρείται, από την επιστημονική κοινότητα της μηχανικής, ως μία από τις πιο δημοφιλείς μηχανικές δοκιμές και χρησιμοποιείται ευρέως τόσο για πρακτικούς λόγους, καθώς και για καθαρά επιστημονικές εφαρμογές. Ο καταλυτικός όμως λόγος που συντέλεσε στην επιλογή της ως δοκιμή των υπό μελέτη υλικών στην

παρούσα διδακτορική διατριβή, ήταν και πάλι το γεγονός ότι η σε πραγματικό χρόνο φόρτισης και λειτουργίας, οι οριακές συνθήκες των ΑΥΔ της ΕΜΔΔ θα μπορούσαν να απλουστευθούν και να μοντελοποιηθούν σχεδόν εξολοκλήρου σύμφωνα με την κάμψη τριών σημείων. Έτσι, με την δοκιμή της κάμψης τριών σημείων, η βασικότερη μονάδα υποστήριξης του συστήματός μας μοντελοποιήθηκε και δοκιμάζεται σε προσομοιωμένες συνθήκες που ταιριάζουν στη μελλοντική της λειτουργία.

6.12 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΤΡΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Μια σειρά από δοκιμές κάμψης τριών σημείων εκτελέστηκε σε δείγματα SiC. Όλα τα δείγματα της τρέχουσας φάσης δοκιμών ακολουθούν τη γενική διαμόρφωση μιας επίπεδης πλάκας όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6-22. Τα δοκίμια από Erument 145/B έχουν αποκλειστεί από αυτή την πειραματική φάση, δεδομένου ότι οι διαστάσεις των ένθετων σε αυτό ενισχύσεων του (ενισχυτικά πετρών και ένθετα) ήταν πολύ μεγάλες σε σύγκριση με τις συνολικές εξωτερικές διαστάσεις των δειγμάτων που εξετάζονται. Για το λόγο αυτό, το υλικό αυτό δεν μπορούσε να θεωρηθεί ομοιογενές και τα πιθανά αποτελέσματα δεν μπορούσαν να θεωρηθούν συγκρίσιμα. Οι δοκιμές διεξήχθησαν με τη βοήθεια ενός υδραυλικού άκαμπτου σκελετού-πλαίσιου φόρτισης και χωρητικότητας της τάξης των 300 kN.

Οι τιμές των διαστάσεων των δειγμάτων δίνονται στον Πίνακα 6-8. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-22, τα δείγματα S3&4 και S5&6 αποτελούνταν από δύο (2) SiC επίπεδες πλάκες κολλημένες μεταξύ τους. Η κόλλα που χρησιμοποιείται στις δοκιμές της κάμψης τριών σημείων είναι ταυτόσημη με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε επίσης κατά τη συναρμολόγηση της ΕΜΔΔ και για την παρασκευή δείγματος καθώς και της απλής μονοαξονικής θλίψης.



Σχήμα 6-22: Δείγματα για τη δοκιμή της κάμψης τριών σημείων

Σε αντίθεση με την περίπτωση της απλής μονοαξονικής θλίψης, αυτή την φορά, η κατεύθυνση στην οποία η κόλλα χρησιμοποιείται ορίζει και τη λειτουργία της. Για το δείγμα S5&6, η κόλλα χρησιμοποιείται ακριβώς όπως ένας παράγοντας διασύνδεσης μεταξύ των πλακών και δεν θεωρείται ότι επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του συνολικού δείγματος. Το φορτίο από την κάμψη τριών σημείων εφαρμόστηκε παράλληλα με τις κολλημένες επιφάνειες του S5&6. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει για την περίπτωση του δείγματος S3&4 κατά την οποία η κόλλα προσφέρει ένα ενισχυτικό

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

στοιχείο και θεωρείται ότι ουσιαστικά βελτιστοποιεί αρκετές από τις ιδιότητες δείγματος. Στην περίπτωση αυτή, το φορτίο από το κάμψη τριών σημείων εφαρμόστηκε κάθετα στις κολλημένες επιφάνειες των S3&4.

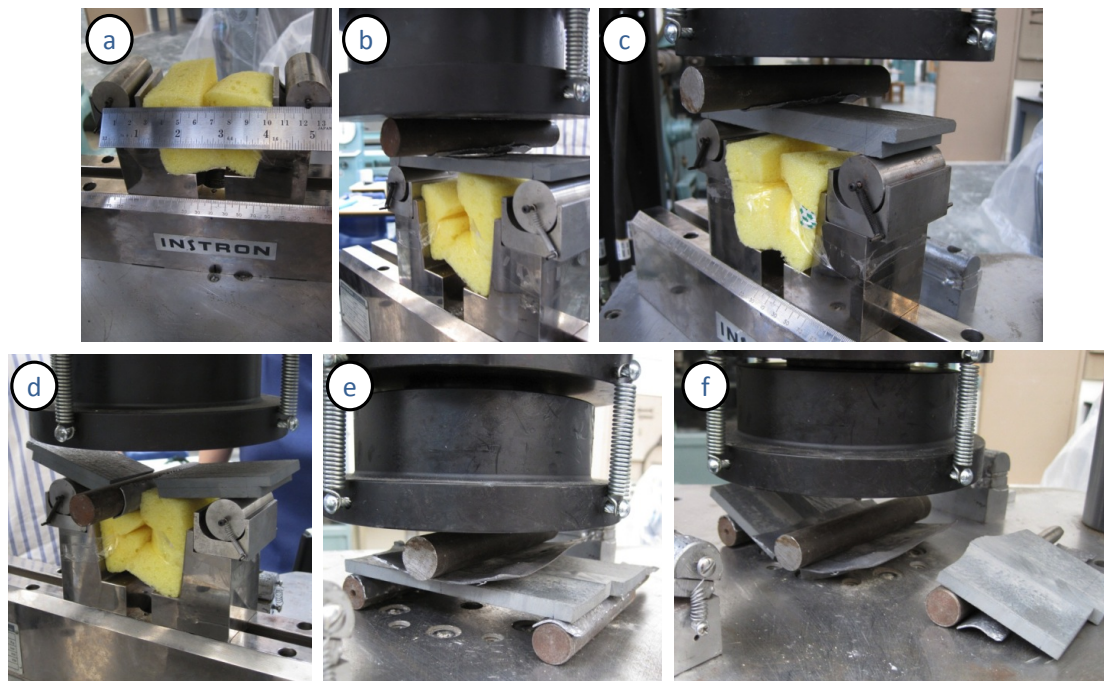
Διάσταση	s2 (mm)	s3 (mm)	s4 (mm)	s5 (mm)	s6 (mm)
L	475	138	150	138	150
H	7	6.25	6.25	6.5	6.5
W	137	95	95	47.5	47.5

Πίνακας 6-8: Μέσες τιμές διαστάσεων για τα δοκίμια της κάμψης τριών σημείων

Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε δύο κυλίνδρους διαμέτρου 20 mm και το φορτίο εφαρμόστηκε ομοιόμορφα κατά μήκος του πάχους των δοκιμίων με τη βοήθεια ενός τρίτου κυλίνδρου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-24. Η κατεύθυνση φόρτισης συνέπεσε με το επίπεδο της ισοτροπίας του υλικού πράγμα που σημαίνει ότι στην πραγματικότητα το φορτίο εφαρμόζεται κάθετα προς τα στρώματα του δοκιμίου.

Δοκίμιο	Ακτινοβολημένα	Αναφορές (μη-ακτινοβολημένα)
s2	1	1
s3&4	1	1
s5&6	1	1

Πίνακας 6-9: Ποσότητες δοκιμίων για την κάμψη τριών σημείων

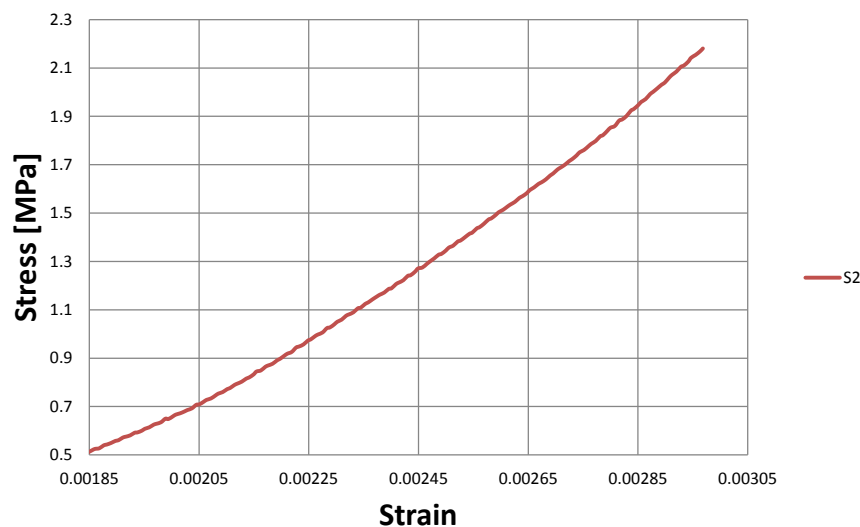


Σχήμα 6-23: Δοκίμια σε πειράματα κάμψης τριών σημείων: a) Πειραματική απόσταση, b, c, e) Δοκίμια SiC πριν από τη δοκιμή κάμψης τριών σημείων, d, f) Δοκίμια SiC μετά από τη δοκιμή κάμψης τριών σημείων

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

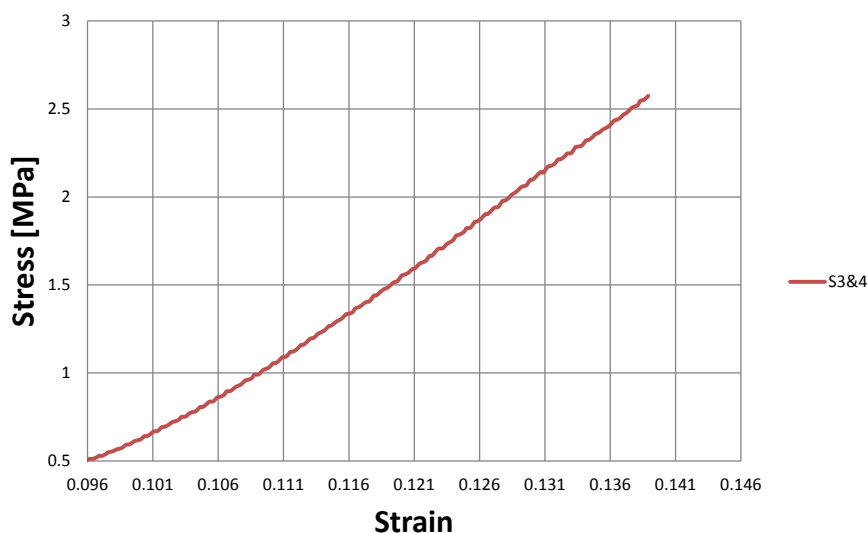
Στο ενδιάμεσο των κυλίνδρων και των δοκιμίων, εισήχθη ένα μαλακό λεπτό στρώμα από μόλυβδο (Pb). Με την εφαρμογή του αυτή, παρόμοια με εκείνη της περίπτωσης της απλής μονοαξονικής θλίψης, εξομαλύνεται η διεπαφή μεταξύ της μηχανής φόρτισης και του δοκιμίου. Ως αποτέλεσμα, το δοκίμιο αστοχεί κάτω από το φορτίο της δοκιμής και όχι λόγω των πιθανών ανωμαλιών των διεπιφανειών επαφής. Ένα τέτοιο γεγονός ταυτοποιήθηκε και επιβεβαιώθηκε επίσης με οπτική επιθεώρηση στα άκρα όπου εκκίνησε η αστοχία των δοκιμίων.

3PB Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



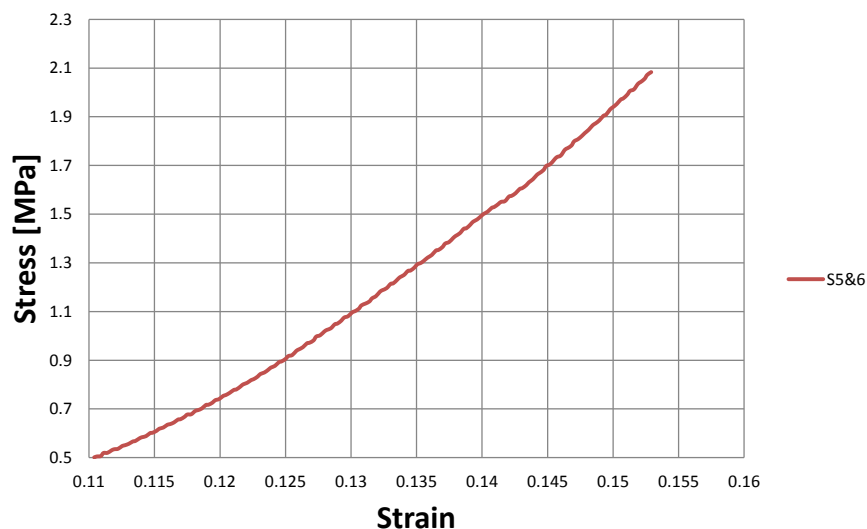
Σχήμα 6-24: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S2

3PB Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



Σχήμα 6-25: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S3&4

3PB Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



Σχήμα 6-26: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα S5&6

Ακολούθησε υπολογισμός για τις τάσεις που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της δοκιμής στο μεσαίο σημείο της κάτω ίνας, σε συνάρτηση με τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Στον Πίνακα 6-10 οι τιμές των αξονικών τάσεων σ_{xx} συνοψίζονται μεταξύ των υπολοίπων μετρούμενων μηχανικών ιδιοτήτων, οι οποίες αναπαρίστανται γραφικά στα Σχήματα 6-24 – 6-26.

	σ_{peak} (MPa)	ϵ_{peak}	E (MPa)	W (kPa)	$P_{F(\text{max})}$ (N)
S2	2.180696	0.003008	628.07	0.00328	2239.171
S3&4	2.57408	0.14033	14.36	0.18061	5078.8
S5&6	2.08341	0.15352	10.443	0.15992	4110.69

Πίνακας 6-10: Μετρήσεις μεγεθών κατά την κάμψη τριών σημείων

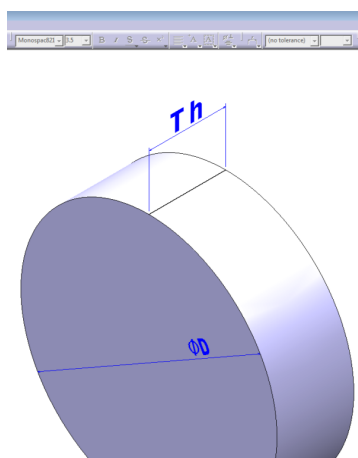
6.13 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΜΨΗ ΤΡΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Τα κύρια συμπεράσματα της πειραματικής μελέτης μπορούν να συνοψισθούν στα εξής σημεία:

- i. Το φορτίο αστοχίας ποικίλει μεταξύ των ορίων $2000 \text{ MN} < P_F < 5000 \text{ MN}$.
- ii. Η αστοχία (μακροσκοπικά) εκκίνησε σε όλες τις περιπτώσεις από την κάτω ίνα και διαδόθηκε κάθετα προς τον άξονα του δοκιμίου και με διεύθυνση προς το σημείο φόρτωσης.
- iii. Η επίδραση του συγκεντρωμένου φορτίου αποδείχθηκε σημαντική σε μια μικρή περιοχή γύρω από το σημείο εφαρμογής, διανέμοντας το πεδίο τάσεων μόνον στο τμήμα ακριβώς κάτω από αυτό. Ακόμη και για αυτό το τμήμα, η επίδραση καθίσταται αμελητέα σε μία απόσταση "z" μικρότερη από το μισό ύψος (τιμές για το μέγεθος "H(s)" του Σχήματος 6-22) του δοκιμίου.

6.14 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΟΥ ΔΙΣΚΟΥ

Οι μηχανικές δοκιμές συνεχίστηκαν με τις *δοκιμές βραζιλιανού δίσκου (Brazilian disk testing)*. Οι δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου είναι ένας σύννηθης επιστημονικός τρόπος για να μετρηθεί έμμεσα η αντοχή σε εφελκυσμό των ψαθυρών υλικών. Αλλά και να διερευνηθεί η ομοιογένεια του υλικού. Η δοκιμή του Βραζιλιανού δίσκου χρησιμοποιείται επίσης για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό των πετρωμάτων. Στη δοκιμή του Βραζιλιανού δίσκου, το δοκίμιο έχει τη γεωμετρία ενός κυκλικού δίσκου. Ο δίσκος φορτίζεται ομοιόμορφα και συμπιέζεται μέχρι την αστοχία του. Ο δίσκος συμπιέζεται κατά μήκος της διαμέτρου του για να ληφθεί έμμεσα η αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό. Στη δοκιμή του Βραζιλιανού δίσκου, η μία πλευρά του δίσκου είναι σταθερά εδραζόμενη και η συμμετρική πλευρά του δίσκου δέχεται τα εξωτερικά φορτία. Η γεωμετρία των δοκιμίων του Βραζιλιανού δίσκου που χρησιμοποιήθηκαν δείχνεται στο Σχήμα 6-27.



Σχήμα 6-27: Δείγματα για τη δοκιμή της κάμψης τριών σημείων

Κατά τη δοκιμή η αντοχή αυξάνεται από το εσωτερικό του δείγματος, ενώ το φορτίο εφαρμόζεται στο δίσκο. Οι αρχικές ρωγμές εμφανίζονται στις επιφάνειες επαφής του δείγματος. Η εγκάρσια κατεύθυνση αναφέρεται στην κατακόρυφη κατεύθυνση φόρτισης κατά τη διάμετρο του δείγματος. Σε αυτή τη μελέτη, η δοκιμή του Βραζιλιανού δίσκου γίνεται αρχικά για να εξακριβωθεί εάν το υλικό Epurment είναι ομοιογενές, έτσι ώστε οι ακόλουθες μελέτες και δοκιμές να διεκπεραιωθούν ακολούθως. Εφόσον το υλικό είναι ομοιογενές, η γραμμή της αστοχίας του δείγματος θα πρέπει να είναι κάθετη στο δοκίμιο, κατά μήκος της διαμέτρου του. Ως εκ τούτου, οι διαστάσεις των δειγμάτων για τις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου συνοψίζονται στον Πίνακα 6-11.

Διάσταση	BR-S (mm)	BR-B (mm)
D	104	190
Th	30	61

Πίνακας 6-11: Μέσες τιμές διαστάσεων για τα δείγματα των δοκιμών του Βραζιλιανού δίσκου

Στις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου, η συμπίεση που εφαρμόζεται στο δείγμα και είναι κάθετη προς την κατακόρυφη διάμετρο, είναι σταθερή στην περιοχής γύρω από το κέντρο του δοκιμίου. Με βάση την υπόθεση ότι η αστοχία θα ξεκινήσει από το σημείο της μέγιστης τάσης εφελκυσμού, η αντοχή εφελκυσμού για τις δοκιμές μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL} = 0.636 \frac{P}{DL}$$

Όπου P είναι το φορτίο θλίψης κατά την αστοχία (N), D είναι η διάμετρος του δίσκου (mm), και L είναι το πάχος του δίσκου (mm). Με τη μετρούμενη παραμόρφωση εφελκυσμού ε_t (%), το μέτρο ελαστικότητας E (GPa) του ισότροπου υλικού για τη δοκιμή Βραζιλιανού δίσκου μπορεί να υπολογιστεί ακολούθως.

$$E = \sigma_t / \varepsilon_t = \arctan \frac{y}{x}$$

Όπου σ_t είναι η τάση εφελκυσμού (MPa), $\arctan(y/x)$ αντιπροσωπεύει την κλίση της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων. Ο τύπος δίνει τη σχέση μεταξύ E, σ_t και ε_t . Επίσης, ο λόγος Poisson μπορεί να υπολογιστεί από τον ακόλουθο τύπο.

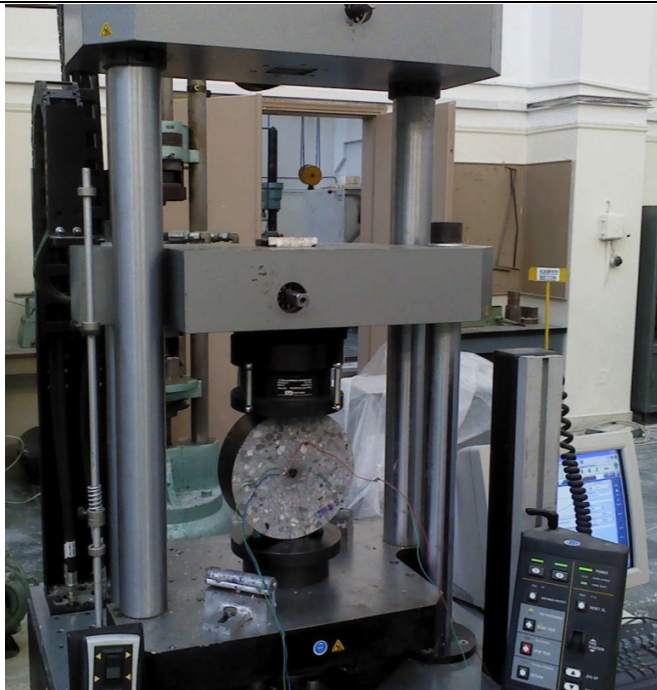
$$\nu = \varepsilon_v / \varepsilon_h$$

Όπου ε_v είναι η εγκάρσια παραμόρφωση (%) και ε_h είναι η αξονική παραμόρφωση (%). Το μέτρο ελαστικότητας του Young της δοκιμής Βραζιλιανού δίσκου μπορεί να συγκριθεί με το ανάλογο από τις δοκιμές της κάμψης τριών σημείων (3PB). Εάν οι αντίστοιχες τιμές είναι οι ίδιες, επιβεβαιώνεται ότι το υλικό είναι ομογενές.

6.15 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΟΥ ΔΙΣΚΟΥ

Μια σειρά από δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου διεξάχθηκαν σε δείγματα Erument. Τα δοκίμια SiC είναι κοστοβόρα σε δοκίμια παρόμοιων διαστάσεων και απαιτούν ειδικές κατασκευαστικές τεχνικές για παραγωγή σε τέτοια μεγέθη οπότε και απορίφθηκαν για τον κύκλο δοκιμών του Βραζιλιανού δίσκου.

Αρχικά με της μηχανικές δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου επιβεβαιώνεται ότι η υπόθεση της δομικής ομοιογένεια του Erument υλικού είναι έγκυρη. Στο πείραμα, χρησιμοποιήθηκε μηχανή INSTRON 30 TON. Το ψευδοστατικό φορτίο της δοκιμής είναι 100 kN. Η πειραματική διάταξη συναρμολογήθηκε χωρίς καμπύλες σιαγόνες φόρτισης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-28. Στη πειραματική διάταξη ελέγχθηκε η έδραση των δειγμάτων κατά τις δοκιμές για να αποτραπούν πιθανές εκκεντρότητες με τα επίπεδα των πλακών φόρτισης. Ακόμα ελέγχθηκε η ευθυγράμμιση του γεωμετρικού κέντρου του δείγματος και των κέντρων των επιφανειών φόρτισης, έτσι ώστε το φορτίο συμπίεσης να περνά μέσα από τα δύο κέντρα κατά μήκος της κάθετης κατεύθυνσης.



Σχήμα 6-28: Δοκίμιο Erument σε δοκιμή Βραζιλιανού δίσκου

Πριν από την έναρξη της δοκιμής, το γεωμετρικό κέντρο του κάθε δίσκου μετρήθηκε και αναγνωρίστηκε. Το κέντρο χρησιμοποιείται για τον ορισμό της θέσης των τριπλών μετρητών τάσης (μηκυνσιόμετρο HBM). Τα μηκυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται ως αισθητήρες μέτρησης για την απόκτηση των πειραματικών δεδομένων από κάθε δείγμα δοκιμής. Μία τριπλή ροζέτα (μηκυνσιόμετρο) τοποθετήθηκε σε κάθε δείγμα με ακρίβεια θέσης ± 1 mm. Για τη μέτρηση της παραμόρφωσης του κέντρου του δίσκου, ένα μηκυνσιόμετρο κολλήθηκε στο κέντρο του δίσκου κατά μήκος της κάθετης κατεύθυνσης ως προς την κατεύθυνση φόρτισης. Ένας αισθητήρας δύναμης χρησιμοποιείται για την καταγραφή του εφαρμοζόμενου φορτίου. Το σύστημα απόκτησης δεδομένων τάσεων-παραμορφώσεων χρησιμοποιήθηκε για να καταγραφούν τα δεδομένα καταπόνησης. Στη συνέχεια, το μέτρο ελαστικότητας του Young μπορεί να επιλυθεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής με ακρίβεια, το κατάλληλο μηκυνσιόμετρο είναι απαραίτητο και καθορίζεται με βάση τις ιδιότητες του υλικού δοκιμής. Η ομοιότητα του Συντελεστή Θερμικής Διαστολής (CTE) του υλικού αναγνωρίζεται για να συγκριθεί και να επιλέξουμε το κατάλληλο μηκυνσιόμετρο HBA. Έτσι, η κατάλληλη κατηγορία μηκυνσιόμετρου HBA αναγνωρίστηκε για το Erument υλικό.

Κάθε ένα σήμα του μηκυνσιόμετρου HBA λαμβάνεται από ηλεκτρονική γέφυρα. Υπάρχουν τρεις αισθητήρες στις αντίστοιχες διαφορετικές κατεύθυνσεις (οριζόντια, κάθετα και υπό γωνία 45°) για κάθε τριπλό μηκυνσιόμετρο, όπως δείχνει το σχήμα 6-28. Αντίστοιχα, τα τρία κανάλια από την ηλεκτρονική γέφυρα συνδέθηκαν με τους αντίστοιχους αισθητήρες. Η κόλληση του μηκυνσιόμετρου στο γεωμετρικό κέντρο του κάθε δείγματος πολυμερίζεται επί τουλάχιστον 24 ώρες πριν την έναρξη της δοκιμής.

Τα μηκυνσιόμετρα HBA συναρμολογήθηκαν σε πέντε (5) μεγάλα και πέντε (5) μικρά δείγματα Erument. Για να διασφαλιστεί το επιτυχές αποτέλεσμα των δοκιμών, ο προσανατολισμός του πρώτου αισθητήρα του μηκυνσιόμετρου είναι παράλληλος με

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

την κατακόρυφη διάμετρο του δίσκου. Ο δεύτερος αισθητήρας του μηχανοστόμετρου τοποθετείται παράλληλα στην πλατφόρμα φόρτισης (το οποίο σημαίνει κάθετα προς την κατακόρυφη διάμετρο του δίσκου και του πρώτου αισθητήρα).

Για την προσομοίωση ενός στατικού φορτίου, η ταχύτητα φόρτισης ορίστηκε σε 0,02 mm/min με τη βοήθεια υπολογιστή. Η σχετικά χαμηλής ταχύτητας δοκιμή μπορεί να μειώσει το ακαριαίο αποτέλεσμα της ρήξης στα δείγματα κατά τις δοκιμές.

Ωστόσο, προηγουμένως μετρήθηκαν λεπτομερώς οι διαστάσεις των διαφορετικά δοκιμίων των Erument Βραζιλιανών δίσκων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίσκων Erument παρατίθενται στους Πίνακες 6-12 και 6-13. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όλα τα δείγματα έγιναν δεκτές για δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου.

Διάσταση	BR-B-1 (mm)	BR-B-2 (mm)	BR-B-3 (mm)	BR-B-4 (mm)	BR-B-5 (mm)
D	189.68	189.77	190.02	189.68	189.73
Th	61.34	61.79	62.40	61.62	61.79

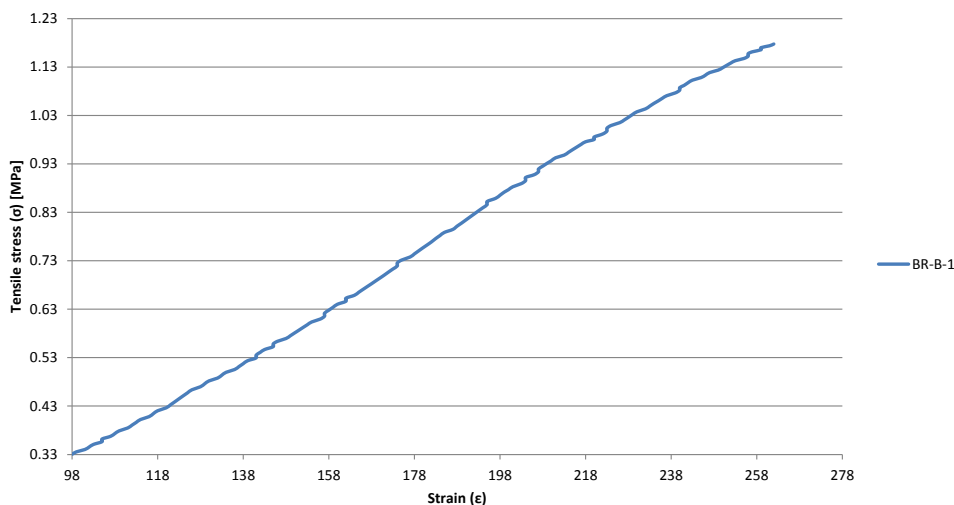
Πίνακας 6-12: Διαστάσεις των δειγμάτων Βραζιλιανού δίσκου

Διάσταση	BR-S-1 (mm)	BR-S-2 (mm)	BR-S-3 (mm)	BR-S-4 (mm)	BR-S-5 (mm)
D	104.79	104.86	104.78	104.74	104.78
Th	30.99	31.02	30.20	30.90	31.16

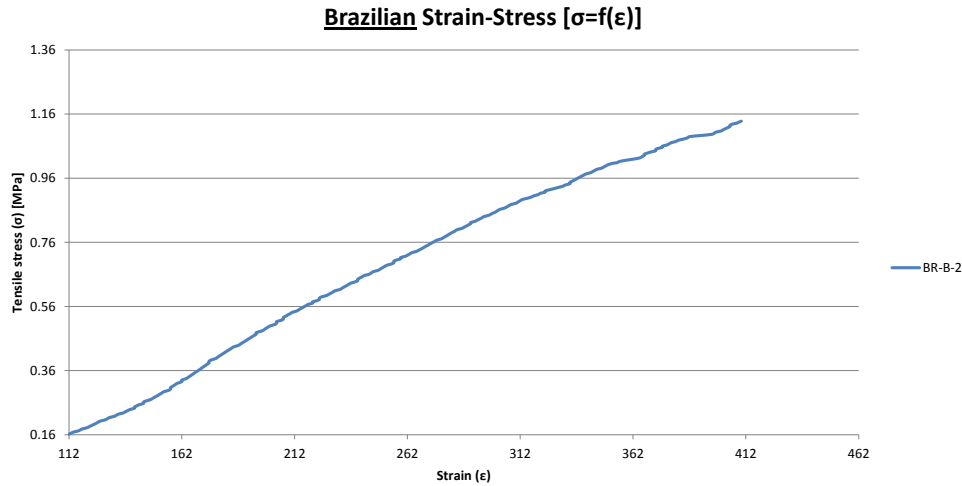
Πίνακας 6-13: Διαστάσεις των δειγμάτων Βραζιλιανού δίσκου

Από τη δοκιμή Βραζιλιανού δίσκου ελήφθησαν τα πειραματικά δεδομένα μέσω του συστήματος της ηλεκτρονικής γέφυρας. Μετρήθηκαν παραμόρφωση, θλίψη, τάση συμπίεσης και θλιπτικό φορτίο που καταγράφηκαν από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω των μηχανοστόμετρων. Μετά την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων, χαράχθηκαν οι ανάλογες γραφικές παραστάσεις για κάθε δοκίμιο.

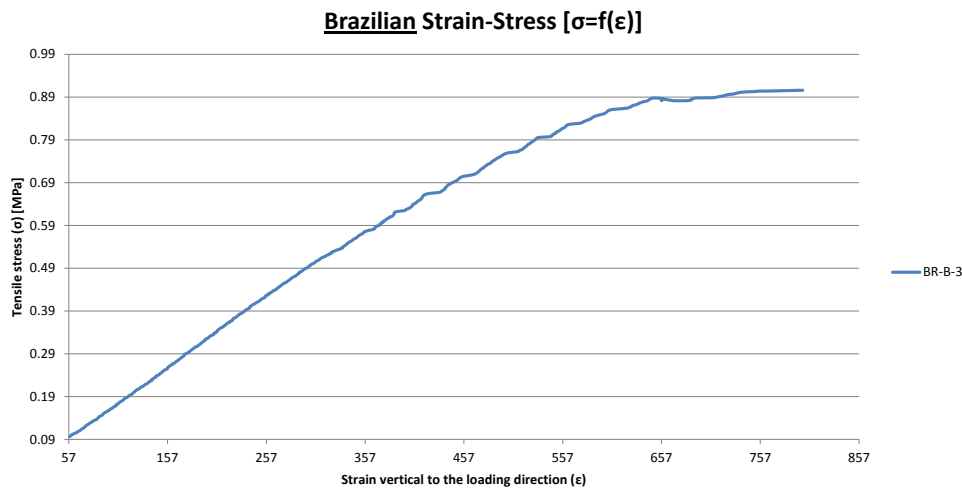
Brazilian Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



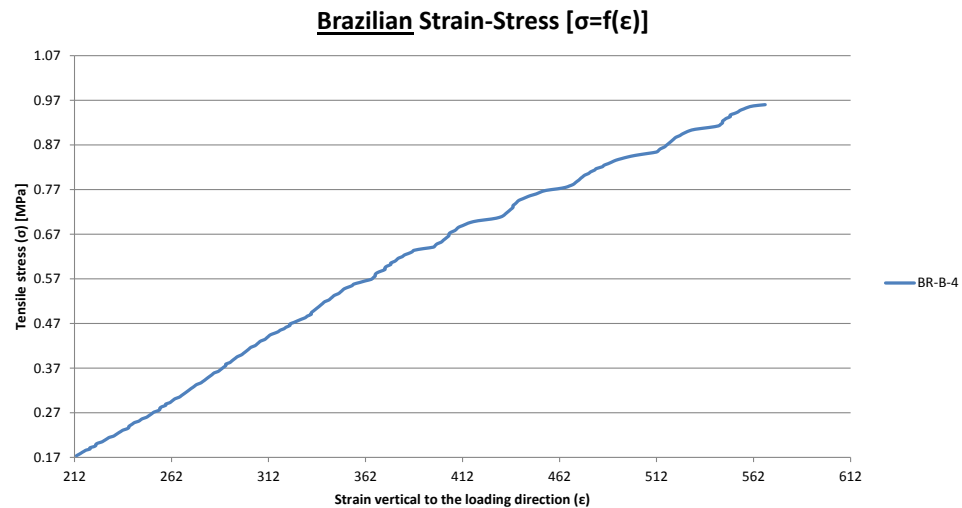
Σχήμα 6-29: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-1



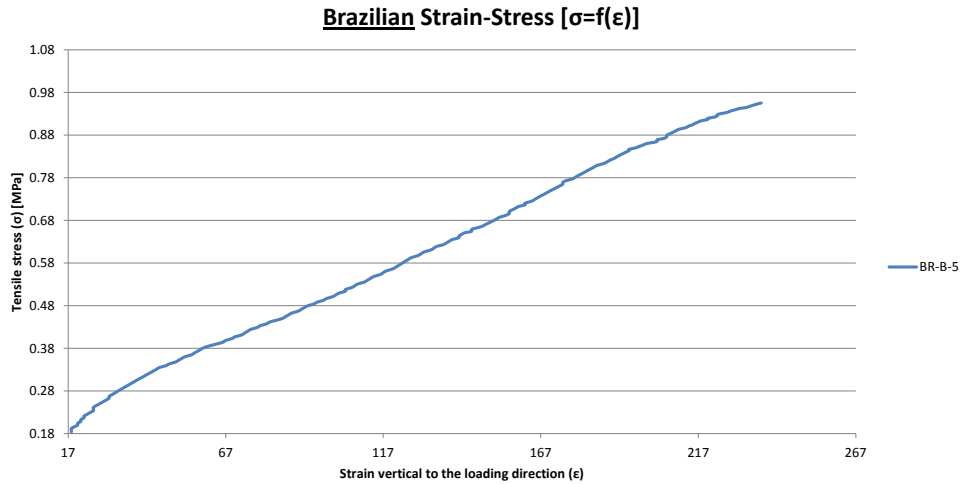
Σχήμα 6-30: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-2



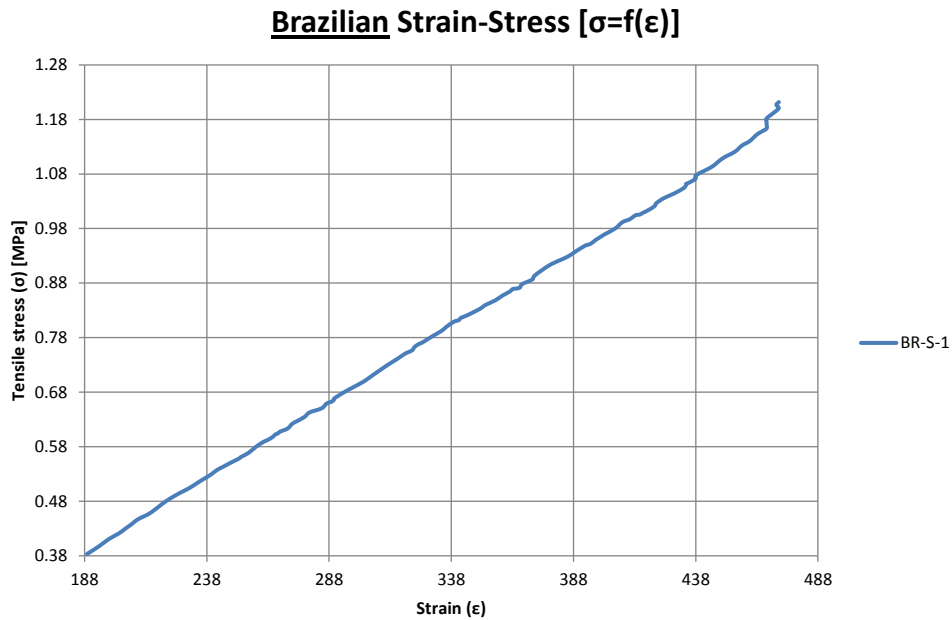
Σχήμα 6-31: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-3



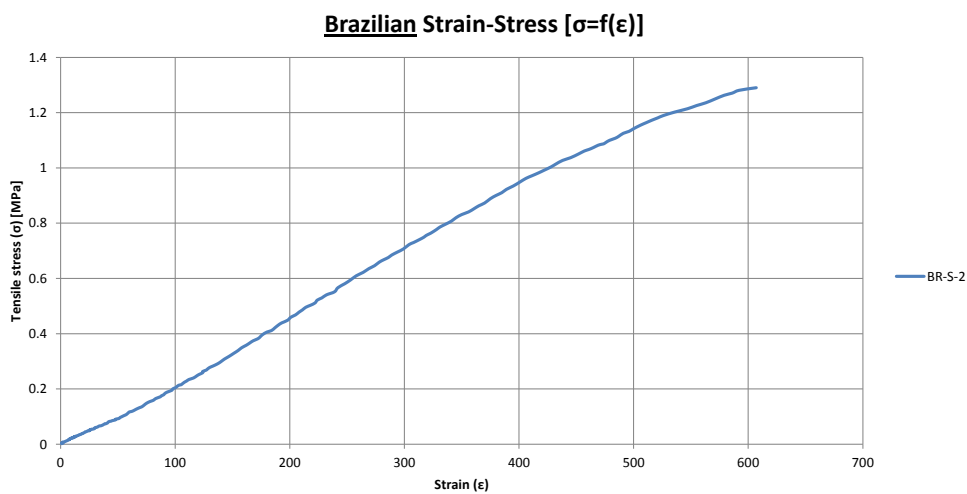
Σχήμα 6-32: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-4



Σχήμα 6-33: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-B-5

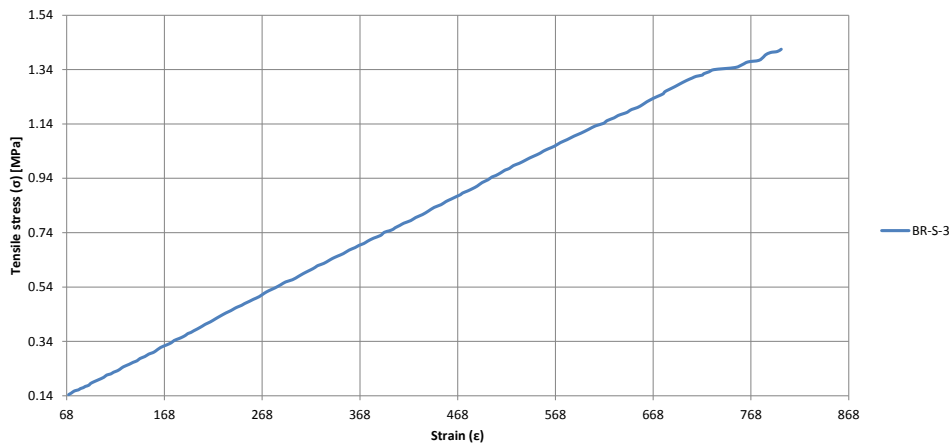


Σχήμα 6-34: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-1



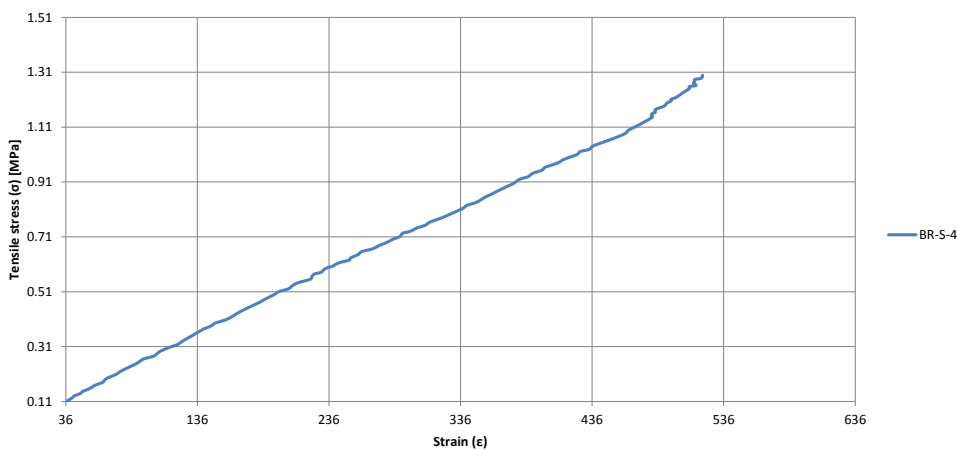
Σχήμα 6-35: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-2

Brazilian Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



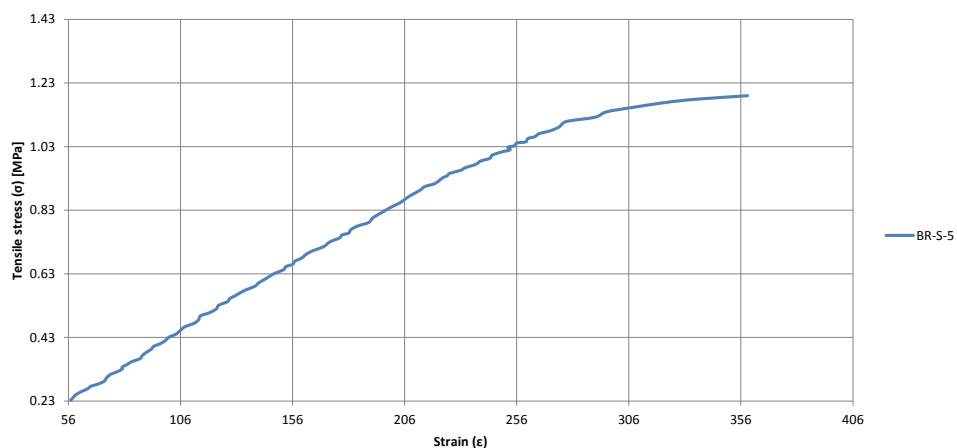
Σχήμα 6-36: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-3

Brazilian Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



Σχήμα 6-37: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-4

Brazilian Strain-Stress [$\sigma=f(\epsilon)$]



Σχήμα 6-38: Γραφική παράσταση τάσεων-παραμορφώσεων για το δείγμα BR-S-5

Μπορούμε να σχολιάσουμε ότι η παραμόρφωση αυξήθηκε αργά για φορτία μικρότερη από 20 kN. Σε αυτό το στάδιο, η φόρτιση συσσωρεύεται με το μέτωπο των τάσεων να ξεκινά από την επιφάνεια επαφής και να εξαπλώνεται προς το κάτω μέρος του δείγματος. Εν τω μεταξύ, η συγκέντρωση τάσης αρχίζει να αυξάνεται κατά μήκος

της κατακόρυφης διαμέτρου του δείγματος μέχρι την αστοχία. Η μέγιστη παραμόρφωση, η μέγιστη φόρτιση και η μέγιστη καταπόνηση λήφθηκαν και καταγράφηκαν από την πειραματική διάταξη.

Λόγω της γραμμικότητας των καμπυλών των τάσεων-παραμορφώσεων, το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να ληφθεί από την κλίση της καμπύλης. Επίσης, η αστοχία των δειγμάτων Erument παρουσίασαν συμπεριφορά ομοιογενούς υλικού. Έτσι, η τάση εφελκυσμού μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια των αναλυτικών σχέσεων του κεφαλαίου 6-15.

Τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με τη θεωρία που αναφέρεται στο προηγούμενο κεφάλαιο 6-15, αποδεικνύοντας επίσης ότι η παραμόρφωση του δείγματος είναι ανάλογη της θλιπτικής φόρτισης. Τα μέγιστα φορτία που εφαρμόστηκαν στις δοκιμές του Βραζιλιανού δίσκου, οι μέγιστες παραμορφώσεις, οι μέγιστες τάσεις και οι μέγιστες μετατοπίσεις για τα δείγματα Erument αναφέρονται αντίστοιχα στον Πίνακα 6-14.

	Max Load (kN)	Max Strain (mm/mm)	Max Stress (MPa)	Max Displacement (mm)
Erument BR-B-1	216.88	515	1.18	0
Erument BR-B-2	207.95	535	1.14	0
Erument BR-B-3	168.74	800	0.91	0
Erument BR-B-4	176.26	571	0.96	0
Erument BR-B-5	175.88	420	0.96	0
Erument BR-S-2	69.50	885	1.36	15.69
Erument BR-S-3	70.75	1286	1.42	39.31
Erument BR-S-4	68.41	521	1.35	38.01
Erument BR-S-5	64.46	410	1.25	35.81

Πίνακας 6-14: Μετρήσεις μεγεθών κατά την κάμψη τριών σημείων

Από τις τιμές του Πίνακα 6-14 φαίνεται ότι οι μέγιστες παραμορφώσεις για τα δοκίμια Erument-B και Erument-S είναι σε παρόμοια τάξη μεγέθους. Αντιθέτως τα μέγιστα φορτία είναι πλέον διαφορετικές για τις δύο οικογένειες δοκιμών.

6.16 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΟΥ ΔΙΣΚΟΥ

Στο Σχήμα 6-39 παρουσιάζονται οι διαδρομές που ακολούθησε η αστοχία για τα δοκίμια Erument διαφορετικού μεγέθους. Οι ρωγμές που παρατηρούνται στα δοκίμια είναι κατά μήκος της κατακόρυφης διαμέτρου του κάθε δίσκου. Επίσης οι ρηγματώσεις γύρω από το κέντρο του δίσκου συμμορφώνονται με το αναμενόμενο αποτέλεσμα αστοχίας πρότυπου ομογενούς υλικού. Παρά το γεγονός ότι υφίστανται μικρο-ρωγμές γύρω από την κύρια γραμμή ρωγμής είναι ασφαλές να θεωρηθεί από τα πειράματα Βραζιλιανού δίσκου ότι το Erument είναι ομοιογενές υλικό.



Σχήμα 6-39: Δοκίμια μετά από τις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου

6.17 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

6.17.1 Πειράματα ακτινοβολήσεων με δέσμες νετρονίων

Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα των πειραμάτων ακτινοβολήσεων με δέσμες νετρονίων θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαιτερότητα, εξαιτίας των ειδικών συνθηκών των πολλών περιορισμών στις πειραματικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν, αλλά και των παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό και για την μετέπειτα ανάλυση των δεδομένων. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι απαιτείται ενδεχομένως μια εκτεταμένη μελλοντική έρευνα των ιδιοτήτων για τα δομικά υλικά του ΣΓΕΣΔ σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου που θα αφορά θέματα ακτινοπροστασίας του προσωπικού όπως και την διαχείριση των αποβλήτων και των συστατικών του εν λόγω επιταχυντή.

Η εφαρμογή της δέσμης ακτινοβολίας των νετρονίων στα υποψήφια δομικά υλικά του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ σε διαφορετικές ενέργειες νετρονίων αποδείχθηκε πλέον χρήσιμο ως εργαλείο για τη μελέτη και ανάλυση των υλικών. Από τα αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας αναγνωρίστηκαν τα ακόλουθα:

- i. Η ακριβής σύνθεση των βιομηχανικών υλικών των δειγμάτων, μια αναγκαία προϋπόθεση για τη λεπτομερή στοιχειακή ανάλυση των εξεταζόμενων

- δειγμάτων (από NAA ή LSNA), πράγμα που επαληθεύει ή/και διορθώνει πειραματικά την ονομαστική σύνθεση υλικού που παρέχεται από τον προμηθευτή.
- ii. Οι υπολογισμοί ενεργοποίησης, οι οποίοι δίνουν όλες τις πιθανές μορφές ενεργοποιημένων νουκλιδίων καθώς και των αντίστοιχων ενεργειών τους.
 - iii. Η κατά πολύ κάτω του ονομαστικού ορίου ασφαλείας απορροφούμενη δόση από το προσωπικό εργαζόμενο στο χώρο στου επιταχυντή ΣΓΕΔ, εξ αιτίας της ενεργοποίησης των στοιχείων των υλικών.
 - iv. Η φάση προετοιμασίας των δοκιμών για τις ακόλουθες μηχανικές δοκιμές αντοχής και τις αναλύσεις τους, οι οποίες πέτυχαν να αποδώσουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη εσωτερική δομή των υλικών μέσω των τυποποιημένων καταστροφικών δοκιμών (απλής μονοαξονικής θλίψης και κάμψης τριών σημείων).

6.17.2 Μηχανικές δοκιμές αντοχής

6.17.2.1 Συμπεράσματα από την απλή μονοαξονική θλίψη

Όπως αναφέρεται από τη βιβλιογραφία [60], [61], [62] και επιβεβαιώθηκε με ικανοποιητικά αποτελέσματα στα πειράματα των δοκιμών της απλής μονοαξονικής θλίψης του κάθε εξεταζόμενου υλικού, η απόλυτη τιμή του ορίου διαρροής είναι υποπολλαπλάσια σε σχέση με το εφελκυστικό όριο διαρροής, σύμφωνα και με τα διαθέσιμα βιομηχανικά πρότυπα των υλικών. Επιπλέον, η ρηγμάτωση και αστοχία του Erument 145/B, που εμφανίζεται κάτω από τα θλιπτικά φορτία, δικαιολογείται να έχει σχήμα διαμήκους κατάγματος και υπό γωνία περίπου 45° σε σχέση με τον άξονα που εφαρμόζεται η φόρτιση. Η περαιτέρω εξήγηση αυτού του γεγονότος αναγνωρίζεται από τη θεωρία ότι τα εύθραυστα υλικά παρουσιάζουν χαμηλή αντίσταση στην διατμητικές τάσεις σε σύγκριση με τις κανονικές θλιπτικές τάσεις. Οι συνήθεις καταπονήσεις στην περίπτωση αυτή έχουν την τάση να "κλείσουν" τις υφιστάμενες μικρο-ρωγμές σε περιοχές που εμφανίζουν ανωμαλίες στην εσωτερική μικροδομή του υλικού. Έτσι, αρχίζει το κάταγμα στο υψηλότερο δυνατό σημείο της φόρτισης κάτω από τις ορθές τάσεις. Η θλίψη που οδηγεί σε θραύση του υλικού επηρεάζεται από την εσωτερική δομή και την υπάρχουσα υφή του υλικού. Οι πολυπληθείς συνοριακές επιφάνειες που υπάρχουν στην μικροδομή του εν λόγω υλικού έχουν σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζεται μία λιγότερο ανθεκτική συμπεριφορά στη συμπίεση. Κατά συνέπεια, η δεδομένη εσωτερική υφή καθορίζει τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα όρια των ρωγμών και των αστοχιών σε σχέση με τον άξονα των συνθηκών φόρτισης.

Ωστόσο, τα επίπεδα των ολισθήσεων/ρών που εμφανίζονται στα πειράματα θλίψης επιβεβαιώνουν ότι λόγω των πρακτικών διαμορφώσεων στις οριακές συνθήκες των πειραμάτων, η απόλυτη (ιδανική) μονοαξονική καταπόνηση του δείγματος δεν είναι εφαρμόσιμη. Στην πραγματικότητα, οι δυνάμεις τριβής που αυξάνονται ανάμεσα στις διεπαφές των δοκιμών και τις λαβές της πειραματικής μηχανής (με ακραίες άκαμπτες πλάκες) της δοκιμής θλίψης δημιουργούν μια τριαξονική δύναμη. Για το λόγο αυτό, οι πραγματικές διαστάσεις του δοκιμαζόμενου δείγματος επηρεάζουν τα αποτελέσματα, όπως η ήδη προαναφερθείσα και αποδεδειγμένη επίδραση του μεγέθους.

Η εξάρτηση των αποτελεσμάτων από το μέγεθος, θεωρήθηκε αναμενόμενη όπως αναγνωρίστηκε στα αποτελέσματα, καθότι αποτελεί κοινό κανόνα να εμφανίζεται σε

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

δοκίμια με διαστάσεις μικρότερες από 50 cm, κάτι που ισχύει για όλες τις πειραματικές περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Με αυτό τον τρόπο, η τυποποιημένη μεθοδολογία και οι προδιαγραφές που εφαρμόστηκαν για όλα τα πειράματα διαβεβαίωσαν την αντικειμενικότητα και τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 6-40: Δοκίμια μετά τα πειράματα:
a, b, c) Δοκίμια απλής μονοαξονικής θλίψης,
d, e) Δοκίμια κάμψης τριών σημείων

6.17.2.2 Συμπεράσματα από την κάμψη τριών σημείων

Η επίδραση του συγκεντρωμένου φορτίου κατά τις δοκιμές της κάμψης τριών σημείων είναι δεσπόζουσα στους μηχανισμούς αστοχίας της μακροδομής των δοκιμίων, όπως άλλωστε και απεικονίζεται στο Σχήμα 6-40. Αν και το πρόβλημα της συχνά εμφανιζόμενης τραχιάς υπάρχουσας διεπιφάνειας των δειγμάτων υπερκεράστηκε με τα ελάσματα μολύβδου (Pb) που τοποθετήθηκαν, εν τούτοις η αστοχία σε περισσότερα από δύο (2) δοκίμια, επιβεβαιώνει την επίδραση των επιφανειακών ανωμαλιών σε σχέση με τον μηχανισμό αστοχίας και των πειραματικών αποτελεσμάτων. Επίσης, για τις συγκεκριμένες μηχανικές δοκιμές, η επίδραση του μεγέθους διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στις μετρούμενες μηχανικές ιδιότητες, χωρίς όμως να τις αλλοιώσει σε τέτοιο βαθμό ώστε να υφίσταται κορεσμό η συγκρισιμότητα τους.

Είναι επίσης ιδιαίτερος σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μετρηθείσες παραμορφώσεις διαφαίνονται μεγάλες σε σχέση με τη γνωστή σκληρότητα ενός τέτοιου υλικού. Αλλά είναι επίσης γνωστό ότι οι παραμορφώσεις που προέρχονται από τις μηχανικές δοκιμές κάμψης (π.χ. κάμψη τριών σημείων) έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες τιμές από αυτές που εμφανίζονται στις ανάλογες μηχανικές δοκιμές εφελκυσμού. Για το λόγο αυτό, αλλά και λόγω της συμπερασματικά “λογικής” τάξης μεγέθους των απόλυτων παραμορφώσεων (strains) που μετρήθηκαν, καταλήγουμε στο αποτέλεσμα να μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την ακρίβεια και την ορθότητα των μετρήσεων.

6.17.2.3 Συμπεράσματα από τις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου

Παρατηρούμε ότι η διάδοση των ρωγμών αστοχίας στους Βραζιλιανούς δίσκους από υλικό Epument, περνά από το κέντρο των δειγμάτων κατά μήκος του άξονα φόρτισης.

Αποδεικνύεται ότι το εν λόγω υλικό συμπεριφέρεται ομοιογενώς οπότε και για το λόγο αυτό ήταν δυνατό και αναγκαίο να προβούμε επίσης στα πειράματα μηχανικής αντοχής της κάμψης τριών σημείων και απλής μονοαξονικής θλίψης. Από το σύνολο των πειραμάτων μετρήθηκαν και επιβεβαιώθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

Στα πειράματα Βραζιλιανού δίσκου δεν χρησιμοποιήθηκαν για την έδραση των δοκιμίων ημισφαιρικές δαγκανές, αφού κάτι τέτοιο δεν κρίθηκε αναγκαίο λόγω των επαρκώς μεγάλων διαστάσεων των δοκιμίων. Από τις αποκλίσεις των τιμών τάσεων και παραμορφώσεων αλλά και από την αστοχία των δοκιμίων που παρατηρήθηκε, δεν αναγνώστηκαν εκκεντρότητες. Οπότε οι δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου θεωρήθηκαν επιτυχείς.

Επίσης, οι πειραματικές τιμές των τάσεων και παραμορφώσεων των δύο (2) διαφορετικών γεωμετρικών οικογενειών των δοκιμίων (μικρά και μεγάλα) είναι στην ίδια τάξη μεγέθους, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-14. Οι αποκλίσεις ανάμεσα τους ήταν ανεκτές. Συμπερασματικά, επιβεβαιώνεται όπως αναμενόταν, ότι στις δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου οι τιμές των τάσεων και παραμορφώσεων είναι ανεξαρτητες από το μέγεθος των δειγμάτων.

Κεφάλαιο 7.

ΣΥΝΟΨΗ

7.1 ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή περιλαμβάνει τη μελέτη, τον σχεδιασμό και την κατασκευή του υποστηρικτικού συστήματος της Επιταχυντικής Μονάδας Διπλής-Δέσμης (EMΔΔ–Two-Beam Module) του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ–CLIC). Επιγραμματικά, η διδακτορική διατριβή, περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον μηχανολογικό σχεδιασμό, την επιλογή υλικών και την επιλογή διαμόρφωσης/διάταξης των συστημάτων. Επιπλέον, παραθέτει τις μελέτες προσομοίωσης, ειδική μελέτη καταμέτρησης των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, κατασκευή προτύπων σε κλίμακα 1:1, πρότυπο ποιοτικό έλεγχο, πειραματική επιβεβαίωση και μηχανολογική ανάλυση του αποτελέσματος, για το σύστημα αντιστήριξης.

Στο κεφάλαιο 1, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών (CERN) και η μελέτη του ΣΓΕΣΔ παρουσιάζονται συνοπτικά. Ο στόχος είναι να μελετηθεί η επισκόπηση του επιστημονικού περιβάλλοντος, οι δεδομένες εισαγωγικές πληροφορίες και τα θέματα σκοπιμότητας σχετικά με τον επιταχυντή ΣΓΕΣΔ καθώς και η καινοτομική κατασκευή και η μελλοντική εγκατάστασή του. Επιπλέον, παρουσιάζεται το μελλοντικό πρόγραμμα σωματιδιακής φυσικής του CERN, ο επόμενη γενιάς γραμμικός συμπαγής επιταχυντής, διάδοχος του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή (LHC), με προγραμματισμό η λειτουργία του να προωθήσει περαιτέρω την έρευνα νέας φυσικής με τη μελέτη των συγκρούσεων ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων (συγκρούσεις $e^+ e^-$) σε υψηλά ενεργειακά επίπεδα, τα μεγαλύτερα διεθνώς.

Στο κεφάλαιο 2, το υποστηρικτικό σύστημα της EMΔΔ περιγράφεται σε συνθήκες αρχής λειτουργίας και γενικούς όρους συνλειτουργίας με όλα τα υποσυστήματα του ΣΓΕΣΔ. Οι παρεχόμενες πληροφορίες περιγράφουν διεξοδικά τις μηχανολογικές απαιτήσεις και τις τεχνικές προδιαγραφές για την έννοια της Αμφιέρεστης Υποστηρικτικής Δοκού (AYΔ), των Υποστηρίξεων “V” (Y-V) και των άλλων διατάξεων και των συστημάτων υποστήριξης. Τα συστήματα ευθυγράμμισης και τοποθέτησης, όπως οι βάσεις, τα σημεία άρθρωσης, οι κινητήρες/ενεργοποιητές και οι αισθητήρες ευθυγράμμισης περιγράφονται επίσης για να πλαισιώσουν αλλά και να συνεισφέρουν στην κατανόηση της μελέτης. Ο συνδυασμός της έρευνας για τη μελλοντική λειτουργία αλλά και τη λειτουργικότητα του εκάστου εξαρτήματος στην εγκατάσταση διαμορφώνεται στις τεχνικές προδιαγραφές. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα αντιστήριξης ορίζεται αρτίως και οι διάφορες συνιστώσες του περιγράφονται πλήρως από τεχνικής και μηχανικής άποψης.

Το κεφάλαιο 3 παρουσιάζει τον λεπτομερή μηχανολογικό σχεδιασμό του υποστηρικτικού συστήματος της EMΔΔ με τα αντίστοιχα στάδια ανάπτυξής του. Το βάρος των διαφόρων συστατικών υπολογίζεται και προσδιορίζονται οι οριακές συνθήκες των γειτονικών υποσυστημάτων μαζί με τις πρώτες καινοτομικές τεχνικές προδιαγραφές της EMΔΔ. Η έρευνα φτάνει σε ένα τελικό στάδιο, όπου σε αυτή την φάση περατώνεται ένας από τους βασικότερους στόχους της παρούσας διατριβής: ο ορισμός της *θεμελιώδους* υποστηρικτικής διάταξης καθώς και των *εναλλακτικών* της διαρρυθμίσεων. Με αυτό τον τρόπο για πρώτη φορά από τη στιγμή που άρχισε να μελετάται ο ΣΓΕΣΔ αποκτά ένα *θεμελιώδες* σύστημα υποστήριξης με εξειδικευμένο υλικό και ανεπτυγμένη γεωμετρία ώστε να εξυπηρετείται πλήρως η αναγκαία λειτουργικότητα για κάθε ένα από τα συστατικά του. Η εκτεταμένη μελέτη του σχεδιασμού των διατάξεων, με τις πιθανές βελτιώσεις στις μηχανολογικές επιδόσεις τους, θεωρούνται και αντιμετωπίστηκαν ως πρωταρχικής σημασίας. Οι μελέτες

προσομοίωσης που ακολουθούν, επιβεβαιώνουν τις μηχανικές επιλογές και προωθούν τη μελέτη της διατριβής επιπλέον, με τη βελτιστοποίηση των διαφόρων παραμέτρων σχεδιασμού. Οι μελέτες με τα μοντέλα των πεπερασμένων στοιχείων έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα να αναδείξουν και να επιβεβαιώσουν το βέλτιστο υιοθετούμενο υλικό με τις ανάλογες διατάξεις/διαμορφώσεις και παρέχουν επίσης τις εναλλακτικές λύσεις, για λόγους σύγκρισης.

Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζεται η πρότυπη κατασκευή των πρώτων καινοτομικών συστημάτων υποστήριξης για το ΣΓΕΣΔ με διαφορετικά δομικά υλικά. Οι διαφορετικές διαμορφώσεις και τα ανάλογα υποσυστήματα για την υποστήριξη των διατάξεων της ΕΜΔΔ καθορίζονται μηχανολογικά και διαιρούνται σε περιπτώσεις με την εδραίωση κατασκευαστικών στρατηγικών, που καθορίζονται για κάθε περίπτωση. Η παραγωγή και πάλι χωρίζεται σε κατασκευή προτύπων και μαζική παραγωγή, που εξυπηρετούν τις ανάγκες για σημαντική, ταχεία και αποτελεσματική πρόοδο σχετικά με τον ανάλογο χρονικό ορίζοντα. Η πρότυπη κατασκευή ξεκίνησε και η παρακολούθηση της παραγωγής συνεχίστηκε έως ότου επιτεύχθηκε ιστορικά να παραχθεί το πρώτο υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ σε πραγματική κλίμακα για τη μηχανή του ΣΓΕΣΔ. Η λεπτομερής επιλογή των πολυάριθμων βιομηχανικών διαδικασιών που εξετάζονται, προσέφεραν τις κατασκευές των προτύπων σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Θεμελιώδους Σχεδιαστικής Μελέτης (ΘΣΜ-CDR) με χρονικά περιθώρια εντός της καθορισμένης προθεσμίας. Τα νεοαποκτηθέντα συστήματα αντιστήριξης δημιουργήθηκαν από καρβίδιο του πυριτίου (SiC) αλλά και από το καινοτομικό χυτό ορυκτό υλικό με την εμπορική ονομασία Erument.

Επιπλέον, το βήμα της εκτεταμένης βελτιστοποίησης που επιτυγχάνεται στη συνέχεια, ολοκλήρωσε με επιτυχία το μηχανολογικό σχεδιασμό που καλύπτει όλες τις πτυχές των υπολειπόμενων ανοικτών παραμέτρων σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος υποστήριξης. Η επακόλουθη μαζική παραγωγή ξεκινά μετά βήμα-βήμα με την καθιερωμένη πλέον *θεμελιώδη* στρατηγική κατασκευής. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης θα αποδώσουν τα πρώτα συστήματα που θα υποστηρίζουν, θα σταθεροποιούν και θα ευθυγραμμίζουν τις μονάδες που πρόκειται να εγκατασταθούν στο Πειραματικό Κέντρο του ΣΓΕΣΔ (ΠΚ-ΣΓΕΣΔ) στις εγκαταστάσεις του CERN.

Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται οι μετρήσεις του ποιοτικού ελέγχου των προτύπων. Τα πειραματικά αποτελέσματά τους σε συνδυασμό με τις δυναμικές δοκιμές αναλύονται και τα αποτελέσματα καταλήγουν να συμφωνούν με τις προκαθορισμένες τεχνικές προδιαγραφές. Οι διαστασιολογικοί έλεγχοι, οι μετρήσεις δυναμικής συμπεριφοράς και οι εκτεταμένες ποιοτικές δοκιμές απέδειξαν την ορθή σχεδιοκατασκευή τόσο της πρότυπης κατασκευής όσο και της μαζικής παραγωγής. Μετά το πέρας αυτής της φάσης, επιβεβαιώθηκε ο αξιόπιστος *θεμελιώδης* σχεδιασμός με βασική επιτυχία. Η αποδοτικότητα όσον αφορά το κόστος της συνολικής παραγωγής κρίνεται ως πλέον ικανοποιητική. Ωστόσο, η βελτιστοποίηση μόνο για αυτήν την παράμετρο θα μπορούσε να συνεχιστεί στο μέλλον, λαμβάνοντας υπόψη μια πιθανή περαιτέρω εκβιομηχάνιση της παραγωγής.

Στο κεφάλαιο 6, παρουσιάζεται η εκτεταμένη μελέτη των δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται για τις κατασκευές προτύπων υπό το πρίσμα των μηχανολογικών πειραμάτων και δοκιμών (απλή μονοαξονική συμπίεση, κάμψη τριών σημείων, δοκιμές Βραζιλιανού δίσκου) με ακτινοβολημένα δείγματα και δοκίμια αναφοράς. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία νετρονίων που επιτεύχθηκε πλησίασε σε ένα ικανοποιητικό ποσοστό σε ισοδύναμη δόση την υψηλή ακτινοβολία ραδιενεργού υποβάθρου παραγόμενη από την προσομοιωμένη ονομαστική μελλοντική λειτουργία

του ΣΓΕΣΔ. Εξάγονται ακολούθως τα αποτελέσματα από την ανάλυση ενεργοποίησης με δέσμες νετρονίων. Μία καινοτομική μεθοδολογία δοκιμών αναπτύσσεται για την επιλογή των δομικών υλικών για το υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ. Τα υποψήφια υλικά θα πρέπει να πληρούν όλες τις απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες για την επιτυχή λειτουργία της ΕΜΔΔ. Επιπλέον, τα δείγματα υλικού πρέπει να διέρχονται μέσω της νέας διεξοδικής πειραματικής διαδικασίας ελέγχου:

- i. Ακτινοβολήση με υψηλές ενέργειες και ροές δεσμών νετρονίων,
- ii. Μηχανικές δοκιμές πριν και μετά την ακτινοβολήση,
- iii. Ποιοτικός έλεγχος και έλεγχος της μικροδομής του υλικού πριν και μετά την ακτινοβολήση και τις μηχανικές δοκιμές.

Το τελευταίο μέρος της μελέτης είναι η ανάλυση των δεδομένων που προέρχονται από τις πειραματικές δοκιμές μετά το πέρας της πρότυπης παραγωγής. Μελετώνται οι ατομικές ιδιότητες ενεργοποίησης του κάθε υλικού. Στο συγκεκριμένο στάδιο έρχονται τα πειράματα με δέσμες νετρονίων που καταπονούν σε μικρομετρική κλίμακα τα δομικά υλικά των υποστηρικτικών συστημάτων. Τέλος, οι μηχανικές δοκιμές που ακολουθούν, επιβεβαίωσαν ότι τα υλικά που επιλέγονται για τα πρότυπες κατασκευές αλλά και τη μελλοντική μαζική παραγωγή μπορούν να ανθίστανται τόσο στο υπόβαθρο υψηλής ακτινοβολίας των πειραμάτων φυσικής όσο και στον αναμενόμενο χρόνο λειτουργίας με ένα πολύ ικανοποιητικό συντελεστή ασφαλείας. Επιπλέον, ο πειραματικός ραδιολογικός χαρακτηρισμός των υλικών από τα προαναφερθέντα μέσα, επιβεβαίωσε τις προκαταρκτικές προσομοιώσεις, που αποτελούσαν βάση της αρχικής υπόθεσης της μελέτης. Τα επιτυχή αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι τα δεδομένα και ο σχεδιασμός παραμένουν ενήμερα, αφού άλλωστε βασίζονται σε μια προσεκτικά σχεδιασμένη μηχανολογική προσέγγιση.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο 7.2 και ακολουθείται από τα σχετικά συμπεράσματα. Οι παράμετροι και η πρόοδος της μελέτης της διατριβής παρουσιάζονται σε αρκετές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια των τελευταίων 4 ετών σε εσωτερικές συνεδριάσεις, διεθνή σεμινάρια και συνέδρια αλληλεπιδρώντας, με αυτό τον τρόπο στο κοινό τα εν εξελίξει αποτελέσματα με τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Η καλή συμφωνία μεταξύ της προσομοίωσης, της προτυποποίησης, του ποιοτικού ελέγχου και των πειραματικών αποτελεσμάτων δημοσιεύονται [17], [18], [19], [21], [22], [35], [38] και σχολιάζονται. Στα προηγούμενα κεφάλαια μια πλήρης παρουσίαση όλων των πτυχών της μηχανικής μελέτης και σχεδιοκατασκευής για το υποστηρικτικό σύστημα της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ παρουσιάστηκε και αναλύθηκε διεξοδικά.

Μερικά επιπλέον βήματα πειραματικών δοκιμών θα μπορούσαν να συνεχιστούν στο μέλλον. Αυτά θα πρέπει να ακολουθούν τις ενδεχόμενες δυναμικές ενημερώσεις των τεχνικών προδιαγραφών ανάλογα με τις πιθανές μεταβολές των απαιτήσεων από πλευράς της νέας φυσικής που θα μελετηθεί στον επιταχυντή ΣΓΕΣΔ. Ο σχεδιασμός του μελλοντικού επιταχυντή έχει επιτευχθεί σήμερα χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω εξελίξεις.

7.2 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα γενικά συμπεράσματα της διατριβής μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- i. Πλέον προηγμένα και απαιτητικά σε μηχανική συμπεριφορά συστήματα υποστήριξης απαιτούνται για τη στήριξη, τη σταθεροποίηση, την ευθυγράμμιση

και την επανατοποθέτηση των επιταχυντών σωματιδίων νέας γενιάς. Για την ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ έλαβε χώρα μια μελέτη του συνολικού υποστηρικτικού συστήματος. Σκοπός της μελέτης αυτής είναι ο ορισμός της αντίστοιχης *θεμελιώδους* διάταξης υποστήριξης και των εναλλακτικών της λύσεων για το δομικό υλικό και τη διαμόρφωση-διάταξή της. Οι τεχνικές προδιαγραφές που καταρτίστηκαν για το υποστηρικτικό σύστημα έλαβαν υπόψη τους τις ποικίλες απαιτήσεις του επόμενης γενιάς γραμμικού επιταχυντή που θα φιλοξενήσει πειράματα φυσικής συγκρουομένων δεσμών των υποατομικών σωματιδίων ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων στις μεγαλύτερες μέχρι τώρα ενέργειες 1.5+1.5 TeV που έχουν επιτευχθεί. Η κατασκευή του πρότυπου υποστηρικτικού συστήματος διερευνήθηκε σύμφωνα με τις υπάρχουσες και τις διαθέσιμες τεχνολογίες. Οι προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων που πραγματοποιήθηκαν σε συνδυασμό με αναλυτικούς υπολογισμούς απάντησαν στα αρχικά ερωτήματα για της εφικτότητα των διατάξεων αναφορικά κυρίως του σχετικά μεγάλου μέγεθους των στοιχείων του συστήματος. Οι πρώτες πρωτότυπες ΑΥΔ παραδόθηκαν στο CERN, το Νοέμβριο του 2011 για εκτεταμένες δοκιμές και πειράματα αλλά και παράλληλους ποιοτικούς ελέγχους.

- ii. Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι ο καθορισμός και η σχεδιοκατασκευή του πρότυπου συστήματος αντιστήριξης του ΣΓΕΣΔ με ενσωματωμένο εξοπλισμού ευθυγράμμισης και επανατοποθέτησης. Η μελέτη αποδείχθηκε να είναι πλέον απαιτητική και τα αποτελέσματα των δοκιμών, που δημοσιεύεται σε αυτή τη διδακτορική διατριβή, είναι πρωτότυπα και πρωταρχικής σημασίας για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτιστοποίηση για την ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ.
- iii. Τα καινοτομικά υποστηρικτικά συστήματα για τις ΕΜΔΔ έχουν ακολουθήσει εξειδικευμένη ανάπτυξη και πρότυπες μεθόδους επικύρωσης. Οι πρότυπες κατασκευές που παραδόθηκαν, μετρήθηκαν, ελέγχθηκαν και πληρούν τις αυστηρές απαιτήσεις και ειδικές παραμέτρους, όπως αυτές περιλαμβάνονται στις σχετικές τεχνικές προδιαγραφές. Η στρατηγική της παραγωγής έλαβε υπόψη επιτυχώς τους μικρομετρικούς περιορισμούς και τις διαστασιολογικές ανοχές για τις ανάγκες της ακριβούς συναρμολόγησης. Με αυτόν τον τρόπο, η μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων υποστήριξης επιβεβαίωσε τη λειτουργικότητά τους, βρισκόμενη συνεπής με τις προδιαγραφές του ΣΓΕΣΔ.
- iv. Οι μετρήσεις ακτινοβολίας απέδειξαν ότι οι μετρούμενες ιδιότητες ενεργοποίησης των δομικών υλικών είναι σε καλή συμφωνία με τις προσομοιωμένες και αναμενόμενες τιμές. Ένα τέτοιο βήμα προόδου, οδήγησε στη συνακόλουθη δυνατότητα για πειράματα με δέσμες νετρονίων υψηλών ενεργειών και υψηλή συνολική ροή. Ακολούθως, έχει τυποποιηθεί ο περαιτέρω σχεδιασμός πειραμάτων ακτινοβολιών με δέσμες νετρονίων παρόμοιων δοκιμών για το μέλλον.
- v. Παράλληλα, επιτεύχθηκε η ανάλυση των δεδομένων από τις μηχανικές δοκιμές των ακτινοβολημένων δοκιμίων και των δειγμάτων αναφοράς. Τα πρώτα αποτελέσματα είναι πράγματι πολύ θετικά με την αποκάλυψη ότι δεν λαμβάνουν χώρα σημαντικές αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες και τη μικροδομή των υλικών που καταπονήθηκαν.
- vi. Ο ποιοτικός έλεγχος για τα παραχθέντα υποστηρικτικά συστήματα συνεχίζεται μετά την τετελεσμένη πρόοδο. Τυχούσα προσπάθεια βελτιστοποίησης θα

πρέπει να επικεντρωθεί στη μείωση του κόστους παραγωγής με παράλληλο άξονα τη μέγιστη δυνατότητα εκβιομηχάνισης.

Για την επόμενη γενιά επιταχυντών των εγκαταστάσεων του CERN, ένα συνεπυγμένο συμπέρασμα παρουσιάζει την ακόλουθη κατάσταση:

Παρά το γεγονός ότι σήμερα ο Μεγάλος Αδρονικός Επιταχυντής συγκρουόμενων δεσμών πρωτονίων-πρωτονίων (LHC), που αποτελεί τη ναυαρχίδα των επιταχυντών του CERN αλλά και όλης της ανθρωπότητας για τα πειράματα σωματιδιακής φυσικής, συνεχίζει να συλλέγει δεδομένα για τη συναρπαστική νέα φυσική που προκύπτει, προχωρούμε σε πειραματικές δοκιμές συγκρουόμενων δεσμών με λεπτόνια (ηλεκτρόνια-ποζιτρόνια) στο θέατρο ενός γραμμικού συμπαγούς επιταχυντή του αύριο. Μέσα από ενδελεχή μελέτη και λεπτομερή περιγραφή της μηχανικής, η επιταχυντική μηχανή επόμενης γενιάς του ΣΓΕΣΔ προετοιμάζεται για την πιλοτική κατασκευή της, ακόμη και κατά τη διάρκεια της συγγραφής αυτών των γραμμών της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Η μελέτη αυτή αποδεικνύεται σκληρή και απαιτητική και τα αποτελέσματα των δοκιμών είναι πρωταρχικής σημασίας για την υλοποίηση μιας εποχής επιταχυντών πρωτοποριακής και μεταγενέστερης αυτής του LHC.

Η ευκαιρία να ολοκληρωθεί η μελέτη της παρούσας διδακτορικής διατριβής μέσα από την ελευθερία ενός νέου και αναπτυσσόμενου ακόμα έργου ήταν τόσο συναρπαστική όσο και προκλητική. Πράγματι, τα καρποφόρα αποτελέσματα παραδόθηκαν και τα πρώτα υποστηρικτικά συστήματα των μονάδων του ΣΓΕΣΔ λειτουργούν σήμερα στην πειραματική διάταξη δοκιμών ΠΕ-ΣΓΕΣΔ/ΠΚ-ΣΓΕΣΔ (CTF/CLEX) με άριστες αποδόσεις, Σχήμα 7-1.

Υπάρχουν, επίσης, κάποιες επιστημονικές απόψεις που επιμένουν να αναφέρουν ότι η απαιτούμενη τεχνολογία για την κατασκευή του ΣΓΕΣΔ δεν είναι ακόμη διαθέσιμη και θα είναι μακρύς ο δρόμος έρευνας για να γίνει διαθέσιμη για το CERN στο εγγύς μέλλον. Όπως πάντα, η απάντηση στις σκέψεις αυτές δίνεται μόνο μέσα από τις πράξεις και τη σκληρή δουλειά. Για όλη την ομάδα εργασίας που μελετά και αναπτύσσει την ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ και τους επιστήμονες και τους μηχανικούς που επικουρούν στην κατασκευή του επόμενης γενιάς γραμμικού συμπαγούς επιταχυντή, ο ΣΓΕΣΔ είναι ένα καινοτομικό τεχνολογικό επίτευγμα υψηλής ακρίβειας, ένα εργαλείο της έρευνας και της παρατήρησης που θα παραδοθεί για λειτουργία στους φυσικούς των υψηλών ενεργειών: Σίγουρα, ο ΣΓΕΣΔ είναι μία τεράστια επιστημονική και τεχνολογική προσπάθεια που προσφέρει πολύ περισσότερα από ό,τι συναντά απλά το μάτι...



Σχήμα 7-1: Η πρώτη πειραματική ΕΜΔΔ Τύπου-0 του ΣΓΕΣΔ σε πραγματικό μέγεθος (εργαστηριακή διάταξη)

Βιβλιογραφία

- [1] **The CERN website** <http://www.cern.ch>
- [2] **The CLIC website** <http://clic-study.org>
- [3] **The CERN Document Server** <http://cdsweb.cern.ch>
- [4] **The CLIC Programme: Towards a staged e^+e^- : Linear Collider exploring the Terascale [CLIC Conceptual Design Report]**, CERN-2012-005, Geneva, Switzerland, August 2012
- [5] **CLIC 2008 Parameters**, F. Tecker et al., CERN-OPEN-2008-021, CLIC-Note-764, Geneva, Switzerland, June 2008
- [6] **The Joint Accelerator Conferences Website** <http://www.jacow.org/>
- [7] **Towards CLIC feasibility**, J.P. Delahaye et al., pp. 4769-4773, FRXCMH01, 1st International Particle Accelerator Conference, Kyoto, Japan, May 2010
- [8] **Technical Specification for the CLIC Two-Beam Module**, EPAC'08, G. Riddone et al. (CLIC-Note-744), pp. 607-609, MOPP028, 11th European Particle Accelerator Conference, Genoa, Italy, June 2008
- [9] **CLIC Two-Beam Module design and integration**, G. Riddone, A. Samoshkin, D. Gudkov, pp. 91-93, MOP020, 25th Linear Accelerator Conference, Tsukuba, Japan, September 2010
- [10] **The CLIC machine protection**, M. Jonker et al., pp.2860-2862, WEPEB071, 1st International Particle Accelerator Conference, Kyoto, Japan, May 2010
- [11] **Requirements of CLIC Beam Loss Monitoring System**, M. Sapinski, et al. (CERN-ATS-2010-105), pp.2869-2871, WEPEB074, 1st International Particle Accelerator Conference, Kyoto, Japan, May 2010
- [12] **Requirements of a beam loss monitoring system for the CLIC Two-Beam Modules**, S. Mallows et al. (CERN-ATS-2011-066) pp. 2385-2387, WEPC171, 2nd International Particle Accelerator Conference 2011, San Sebastian, Spain, September 2011
- [13] **The CERN Engineering and Equipment Data Management Service** <https://edms.cern.ch>
- [14] **Technical Specification for the main beam & drive beam girder of the CLIC two-beam module**, EDMS 1061067 (DO-26346/BE/CLIC) CERN, Geneva, Switzerland, February 2009
- [15] **Technical specification for the supporting systems of the RF structures for the CLIC Two-Beam Modules in CLEX**, EDMS 1164992 (IT-3713/BE/CLIC), CERN, Geneva, Switzerland, November 2011
- [16] **Technical Specification of the Main Beam girder (with V-shaped supports) for the CLIC two-beam module type 1 (LAB configuration)**, EDMS 1180917 (DO-27284/BE/CLIC), CERN, Geneva, Switzerland, February 2011
- [17] **Study of the supporting system for the CLIC Two-Beam Module**, N. Gazis, G. Riddone, H. Mainaud-Durand, A. Samoshkin, D. Gudkov, S. Simopoulos, E. Hinis, T. Alexopoulos (CLIC-Note-857), pp. 201-206, Issue 2,

Vol. 4, Journal of Engineering Science and Technology Review [ISSN:1791-2377], September 2010

- [18] **Study and application of micrometric alignment on the prototype girders of the CLIC Two-Beam Module**, N. Gazis, M. Anastasopoulos, G. Riddone, A. Samochkine, H. Mainaud-Durand (CLIC-Note-878), pp. 96-99, Vol. 495, Key Engineering Materials [ISBN-13:978-3-03785-292-7], Trans Tech Publications, Switzerland, November 2011
- [19] **Fabrication and validation of the prototype supporting system for the CLIC Two-Beam Modules**, N. Gazis, G. Riddone, S. Griffet, A. Samoshkin (CERN-ATS-2011-047), pp. 1015-1017, TUPC012, 2nd International Particle Accelerator Conference 2011, San Sebastian, Spain, September 2011
- [20] **Design specification for supporting and alignment systems of a linear particle collider**, R. Nousiainen, Master Thesis, CLIC-Note-778, Geneva, Switzerland, April 2009
- [21] **Weight Estimation of the CLIC-Module**, N. Gazis, A. Samoshkin, EDMS 1009300, CERN, Geneva, Switzerland, September 2009
- [22] **ANSYS simulations for the CLIC Two-Beam Module Drive Beam V-shaped supports**, N. Gazis EDMS 1155144, CERN. Geneva, Switzerland, July 2011
- [23] **CLIC active pre-alignment system: Proposal for CDR and program for TDR**, H. Mainaud-Durand et al., 11th International Workshop on Accelerator Alignment, DESY, Hamburg, Germany, September 2010
- [24] **The CLIC alignment studies: Past, Present and Future**, H. Mainaud-Durand, CERN-TS-Note-2005-028, CERN, Geneva, Switzerland, January 2006
- [25] **Qualification of ZTS VVU KOSICE linear actuator**, M. Sosin, EDMS 1141392, CERN, Geneva, Switzerland, April 2011
- [26] **Micrometric alignment metrology: Means, developments and applications**, H. Mainaud-Durand et al., TS-Note-2004-038, CERN, Geneva, Switzerland, February 2009
- [27] **Fiducialisation and pre-alignment**, S. Griffet, EDMS 1096130, CERN. Geneva, Switzerland, September 2010
- [28] **Feasibility of the CLIC metrological reference network**, T. Touze et al., 11th International Workshop on Accelerator Alignment, DESY, Hamburg, Germany, September 2010
- [29] **Issues and feasibility demonstration of positioning close loop control of the CLIC supporting system using a test mock-up with five degrees of freedom**, M. Sosin et al. (CERN-ATS-2012-079), pp. 3, 3rd International Particle Accelerator Conference, New Orleans, LA, USA. May 2012
- [30] **Strategy and validation of fiducialisation for the pre-alignment of CLIC components**, S. Griffet et al. (CERN-ATS-2012-078), pp. 3, 3rd International Particle Accelerator Conference, New Orleans, LA, USA. May 2012

- [31] **Theoretical and practical feasibility demonstration of a micrometric remotely controlled pre-alignment system for the CLIC linear collider**, H. Mainaud-Durand et al., (CERN-ATS-2011-082), pp. 547, MOP0030, 2nd International Particle Accelerator Conference 2011, San Sebastian, Spain, September 2011
- [32] **Validation of a Micrometric remotely controlled pre-alignment system for the CLIC Linear Collider using a test setup (Mock-Up) with 5 degrees of freedom**, H. Mainaud-Durand et al. (CERN-ATS-2011-081), pp.544, MOPO029, 2nd International Particle Accelerator Conference 2011, San Sebastian, Spain, September 2011
- [33] **The Paul Scherrer Institute** <http://www.psi.ch>
- [34] **Experimental modal analysis of a mineral cast girder and ground vibration measurements at PSI**, M. Guinchard, M. Sylte, EDMS 1001061, Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland, May 2009
- [35] **Comparison of simulation & measurements for the modal behavior of the supporting system for CLIC Two-Beam Module in the LAB**, N. Gazis, EDMS 1170885, CERN, Geneva, Switzerland, November 2011
- [36] **Modal analysis of the CLIC girder**, R. Moron-Ballester, M. Guinchard, EDMS 1159189, CERN, Geneva, Switzerland August 2011
- [37] **Experimental modal analysis of the CLIC Boostec girder**, T. Kostamovaara, R. Moron-Ballester, M. Guinchard, EDMS 1184906, CERN, Geneva, Switzerland, March 2012
- [38] **Radiological properties for the materials of the CLIC-Module supporting system: A preliminary investigation**, N. Gazis, D. Vasilopoulou, F. Tzika, V. Kantarelou, A. Lagoyiannis, I.E. Stamatelatos, EDMS 1155133, CERN, Geneva, Switzerland, February 2011
- [39] **The neutron facility at NCSR “Demokritos” – Implementation in the case of $^{232}\text{Th}(n,2n)$ reaction**, R. Vlastou, C.T. Papadopoulos, G. Perdikakis, M. Kokkoris, C.A. Kalfas, S. Kossionides, D. Karamanis and P.A. Assimakopoulos, pp. 324-328, Vol. 701(1), American Institute of Physics Conference proceedings, 2004
- [40] **Sources of Monoenergetic Neutrons**, M. Drogg, Proceedings of the International Atomic Energy Agency consultant meeting on neutron source properties, International Nuclear Data Committee (NDS-114/GT), June 1980
- [41] **Study of the proton–proton collisions with E 1/4 14 TeV at LHC, CERN, with the use of MDT chambers, in regions of high neutron background radiation**, P. Savva, Ph.D. Thesis, CERN, Geneva, Switzerland, 2006
- [42] **Determination of the ATLSA MDT chambers response to 0.5-10 MeV neutrons and development of a simulation model**, P. Savva et al., pp. 402-411, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A575, March 2007
- [43] **Resolution studies of a Prototype set of High Pressure Monitored Drift Tubes**, M. Hill, J. Huth, V. Gratchev, V. Polychronakos, V. Tcherniatine, A. Chikanian, ATL-M-PN-121, CERN, Geneva, Switzerland, 1996

- [44] **Table of Isotopes, eighth ed., R.B. Firestone, V.S. Shirley, S.Y.F. Chu, C.M. Baglin, J. Zipkin, Wiley Interscience, New York, USA, 1996**
- [45] **FISPACT-2005: User manual, UKAEA FUS 514, EURATOM-UKAEA Fusion, 2005**
- [46] **Utilization of the high current capability of the Demokritos Tandem, G. Vourvopoulos, T. Paradelis and A. Asthenopoulos, pp. 23-25, Nuclear Instruments and Methods A220, 1984**
- [47] **The European Activation File: EAF-2010, Neutron-Induced Cross Section library UKAEA FUS 514, EURATOM/UKAEA Fusion**
- [48] **Experimental investigation of radioactivity induced in the fusion power plant structural material SiC and in the breeder material Li4SiO4 by 14-MeV neutrons, K. Siedel, pp. 585-590, Fusion Engineering and Design 58-59, Elsevier, 2001**
- [49] **Sensitivity and uncertainty analyses of 14 MeV neutron benchmark experiment on silicon carbide, I. Kodeli, pp. 437-442, Fusion Engineering and Design 69, Elsevier, 2003**
- [50] **Benchmark analysis of neutronics performances of a SiC block irradiated with 14 MeV neutrons, M. Angelone, pp. 475-479, Fusion Engineering and Design 63-64, Elsevier, 2002**
- [51] **Impurities and evaluation of induced activity of SiC_f/SiC composites, I.E. Stamatelatos et al., pp. 511-514, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B213, 2004**
- [52] **Demonstration of an SiC Neutron Detector for High-Radiation Environments, J.G. Siedel et al., pp. 567-571, Vol. 46, No. 3, IEEE Transactions on electron devices, March 1999**
- [53]
- [54] **A treatise on the mathematical theory of elasticity, A.E.H. Love, University press, London, United Kingdom, 1927**
- [55] **The influence of surface loading on the flexure of beams, C. Wilson, pp. 481-503, Vol. 32, Philosophical Magazine, 1891**
- [56] **The phenomenon of rupture and flow in solids, A.A. Griffith, pp. 163-198, Vol. 221, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, United Kingdom, 1921**
- [57] **Theory of elasticity, S.P. Timoshenko, J.N. Goodier, Mc Graw Hill ,New York, USA, 1970**
- [58] **A contribution to the theory of elasticity of non-isotropic materials (with applications to problems of bending and torsion), E. Reissner, pp. 418-428, Vol. 30, Philosophical Magazine, 1940**
- [59] **Continuum fracture mechanics of uniaxial compression on brittle rocks, I. Vardoulakis, J.F. Labuz, E. Papamichos, J. Tronvoll, pp. 4313-4335, Vol. 35, International Journal of Solid Structures, 1988**

- [60] **Three-point bending of transversely isotropic rock-type materials: an analytical, numerical and experimental study**, G.E. Exadaktylos, S.K. Kourkoulis, 4th Greek Association of Computational Mechanics – Congress on Computational Mechanics, Patras, Greece, 27-29 June 2002
- [61] **Influence of nonlinearity and double elasticity on flexure of rock beams – I. Technical Theory**, G.E. Exadaktylos, I. Vardoulakis, S.K. Kourkoulis, pp. 4091-4117, Vol. 38, International Journal of Solid Structures, 2001
- [62] **Local strains due to punch effect in three-point bending of marble beams**, S.K. Kourkoulis, M.C. Stavropoulou, I. Vardoulakis, G.E. Exadaktylos, pp. 623-626, 9th International Congress on Rock Mechanics, Paris, France, 1999
- [63] **Jets produced in association with Z-bosons in CMS at the LHC**, C. Lazaridis, Ph.D. Thesis, CMS-TS-2011-044, CERN, Geneva, Switzerland, 2011

Παράρτημα Ι

Μηχανικές Ιδιότητες Υλικών και Κατασκευαστικά Σχέδια

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Παράμετρος	Τιμή
Θεωρητική πυκνότητα	$3.21 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Αντοχή σε θλίψη	3000 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	420 GPa
Πηλίκον Poisson	0.16
Συντελεστής θερμικής διαστολής	$4.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (20-500°C)
	$4.6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (20-1000°C)
	$5.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (20-1400°C)
Θερμική αγωγιμότητα	180 W/mK (στους 20°C)
	68 W/mK (στους 500°C)
	40 W/mK (στους 1000°C)
Ειδική θερμοχωρητική σταθερά	680 J/kg.K (στους 20°C)
	1040 J/kg.K (στους 500°C)
	1180 J/kg.K (στους 1000°C)
Μέγιστο θερμικό σοκ	325°C
Σκληρότητα Vickers	22 GPa (φορτίο 500g)
Προσανατολισμός κρυσταλλικής δομής	Alpha SiC
Μέσο μέγεθος κόκκου	$15 \times 10^{-6} \text{ m}$
Συνολικό πορώδες υλικού	< 3.5 %
Ανοιχτό πορώδες υλικού	0 %

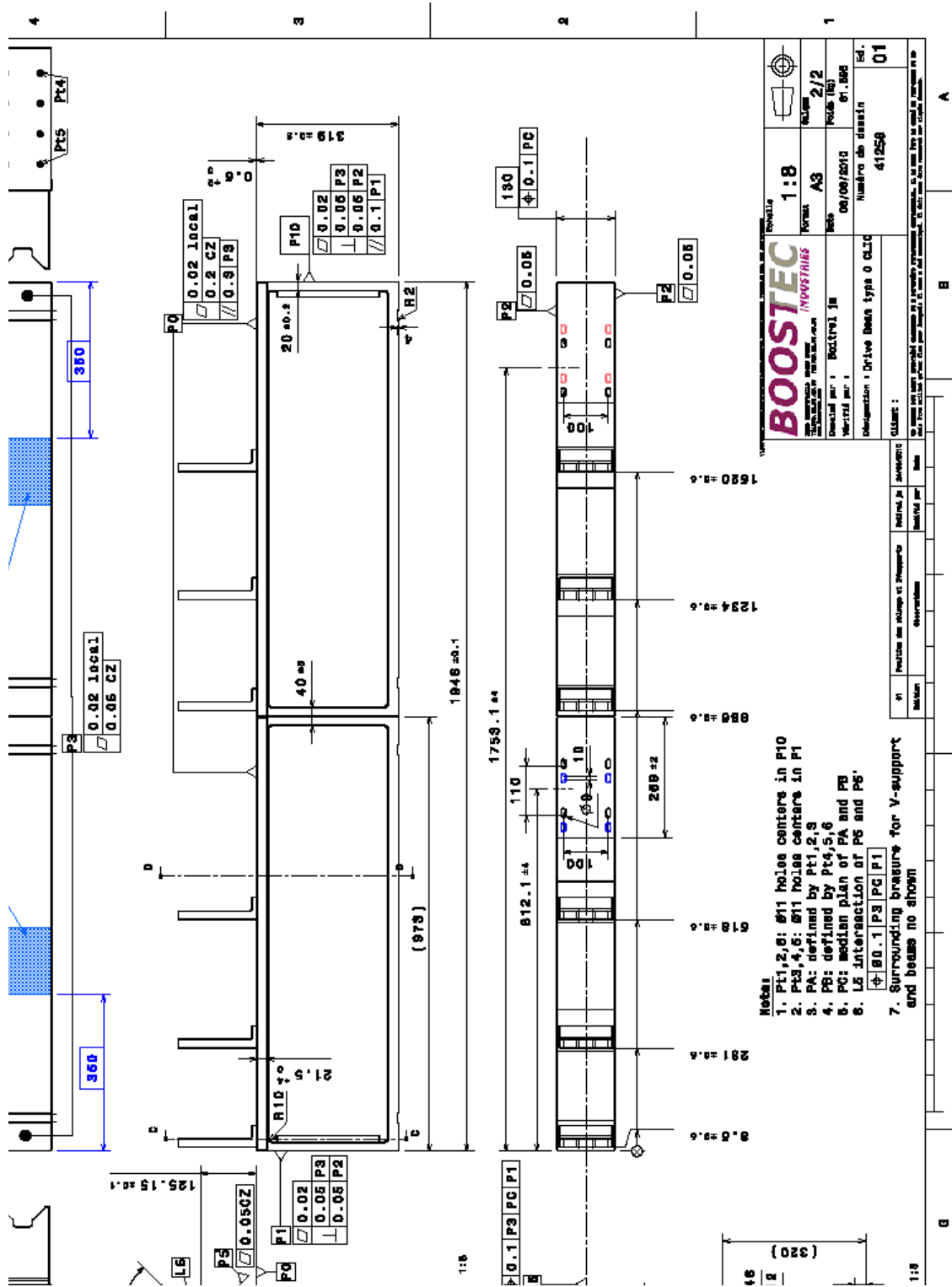
Πίνακας I-1: Μηχανικές ιδιότητες SiC

Παράμετρος	Τιμή
Πυκνότητα	2,4 g/cm ³
Αντοχή σε θλίψη	130 – 150 N/mm ²
Αντοχή σε κάμψη	30 – 40 N/mm ²
Μέτρο ελαστικότητας	40 – 45 kN/mm ²
Πηλίκον Poisson	0.30
Λογαριθμική μείωση	0.022
Συντελεστής θερμικής διαστολής (στους 20°C)	$15 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Θερμική αγωγιμότητα (στους 20°C)	2.9 W/mK
Ειδική θερμοχωρητική σταθερά (στους 25°C)	0.73 J/g K

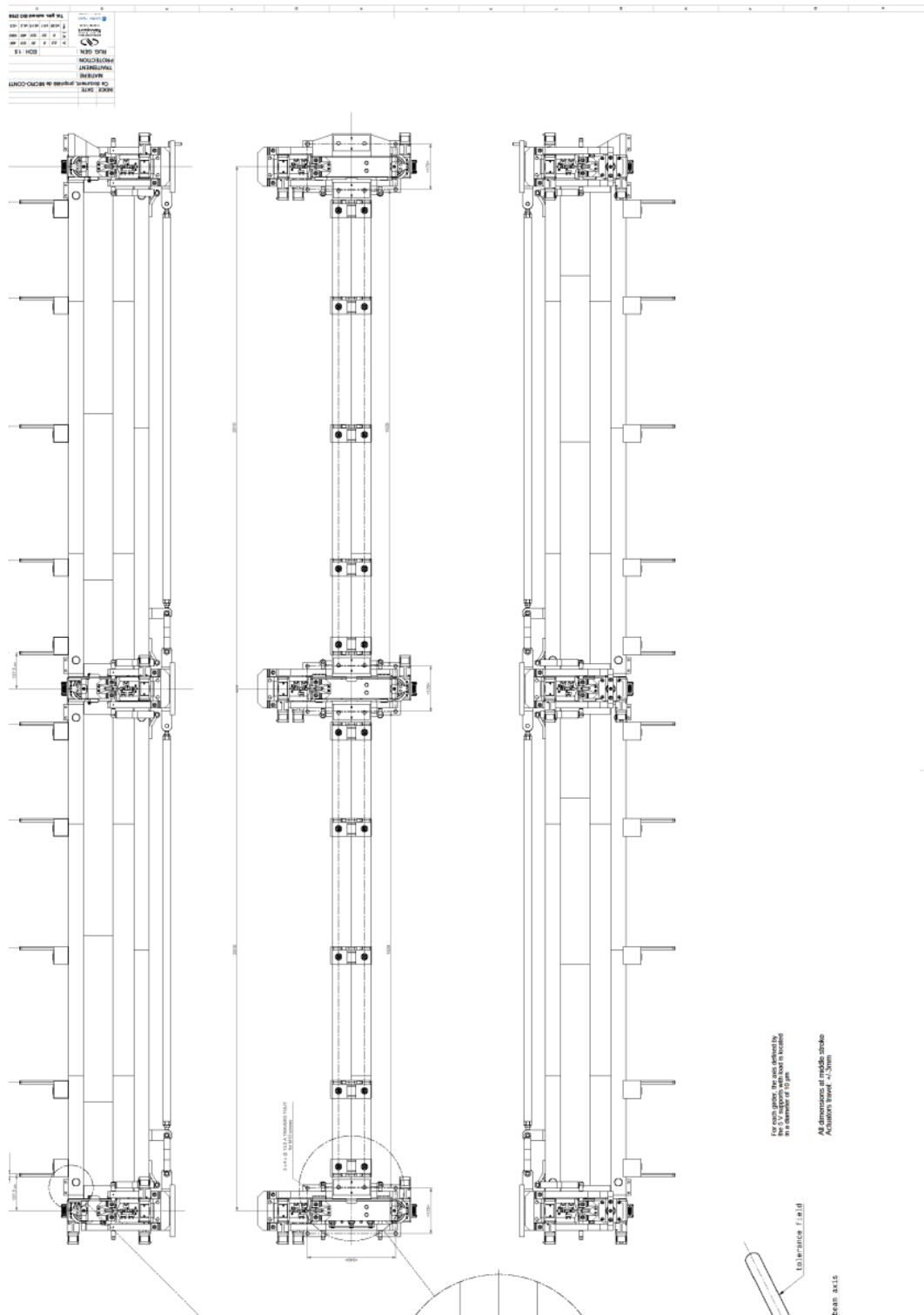
Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Θερμική διάχυση (στους 25°C)	1.75 mm ² /s
Ελάχιστο πάχος κατασκευής	90 mm
Μέγιστο μέγεθος κόκκου	16

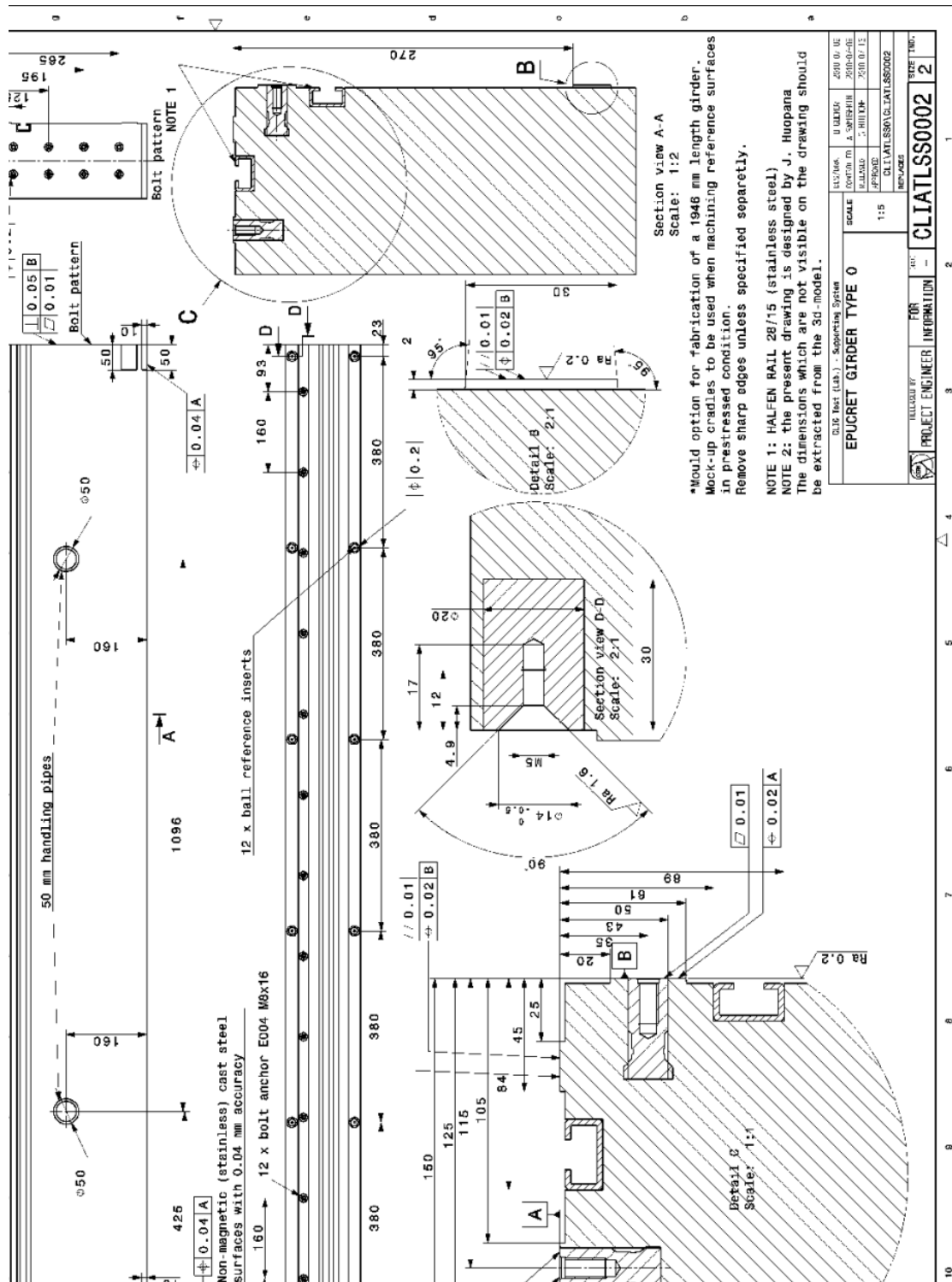
Πίνακας I-2: Μηχανικές ιδιότητες Erument 145/B



Σχήμα I-1: Κατασκευαστικά σχέδια Περίπτωσης Α



Σχήμα I-2: Κατασκευαστικά σχέδια Περίπτωσης Β



Σχήμα Ι-3: Κατασκευαστικά σχέδια Περίπτωσης Γ

Παράρτημα II

Τεχνικές Παράμετροι για τον

ΣΓΕΣΔ

Παράμετρος	Συμβολισμός	Αναθεωρημένες τιμές του	
		Απριλίου 2010	
			Μονάδες
<u>Συνολικές Παράμετροι</u>			
Ενέργεια Κέντρου Μάζας Συχνότητα Πεδίου	E_{cm}	3000	GeV
Ραδιοσυχνότητες (ΠΡ) Βασικού Γραμμικού Επιταχυντή	f_{RF}	11.994	GHz
Φωτεινότητα (δέσμης)	L	5.9	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Φωτεινότητα (στο 1% της ενέργειας)	$L_{99\%}$	2	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Ρυθμός επαναληψιμότητας του Γραμμικού Επιταχυντή	f_{rep}	50	Hz
Αριθμός σωματιδίων/ πακέτο	N_b	3.72	10^9
Αριθμός πακέτων/ παλμό Χρονικός διαχωρισμός πακέτων	k_b	312	
	Δt_b	0.5 (6 periods)	ns
Συνολικό χρονικό μήκος της συστοιχίας των πακέτων	τ_{train}	156	ns
Ισχύς Δέσμης / Δέσμη Χωρίς φορτίο / με φόρτιση	P_b	14	MW
βαθμίδα διαφοράς δυναμικού	$G_{unl/l}$	120 / 100	MV/m
Συνολικό μήκος δύο γραμμικών επιταχυντών	l_{linac}	42.16	km
Συνολικό μήκος δέσμης προς παράδοση	l_{BD}	2 x 2.75	km
Προτεινόμενο μήκος υποδομής	l_{tot}	48.4	km
Συνολική AC ισχύς υποδομής	P_{tot}	415	MW
Τριφασική ενεργειακή απόδοση της κύριας δέσμης	η_{tot}	7	%
<u>Σύστημα παράδοσης δέσμης & Σημείο αλληλεπίδρασης</u>			
Συνολικό μήκος διαγνωστικού τομέα	l_{diag}	2 x 0.37	km
Συνολικό μήκος συστήματος συγκρουόμενων δεσμών	l_{coll}	2 x 1.92	km

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Συνολικό μήκος τελικού συστήματος εστίασης	I_{FF}	2 x 0.46	km
Είσοδος εγκάρσιας οριζοντίας εκπεμπτικότητας (κανον.)	γ_{ϵ_x}	660	nm rad
Είσοδος εγκάρσιας κάθετης εκπεμπτικότητας (κανον.)	γ_{ϵ_y}	20	nm rad
Ονομαστική οριζόντια συνάρτηση βήτα του Σημείου Αλληλεπίδρασης (ΣΑ)	β^*_x	6.9	mm
Ονομαστική κάθετη συνάρτηση βήτα του Σημείου Αλληλεπίδρασης (ΣΑ)	β^*_y	0.068	mm
Οριζόντιο μέγεθος δέσμης του Σημείου Αλληλεπίδρασης (ΣΑ) πριν τη σύγκρουση	σ^*_x	45	nm
Κάθετο μέγεθος δέσμης του Σημείου Αλληλεπίδρασης (ΣΑ) πριν τη σύγκρουση	σ^*_y	1	nm
Μήκος πακέτου (δέσμης) Αρχικό ισοδυναμο (RMS) ενεργειακό εύρος	$\sigma_{s.inj}$	44	nm
Συνολικό ενεργειακό εύρος	$\sigma^*_{DE/E}$	0.29	%
Γωνία αλληλεπίδρασης στο Σημείο Αλληλεπίδρασης (ΣΑ)	θ_C	20	mrad
Διαταραχές	D_x / D_y		
Παράμετρος ακτινοβολίας πέδησης	Y_0		
Ονομαστικό εύρος ακτινοβολίας πέδησης	δ_B	29	%
Αριθμός φωτονίων / ηλεκτρόνιο	n_γ	2.2	
Αριθμός ζευγών ($p_T^{\min}=20\text{MeV}/c, \theta_{\min}=0.2$)	N_{pairs}	45	
Αριθμός σύμφωνων ζευγών	N_{coh}	38	10^7
Αδρονικά γεγονότα / σύγκρουση (δεσμών)	N_{hadron}	2.7	
Αριθμός καταγισμών ($p_T^{\min}=3.2\text{ GeV}/c$)	N_{jets}		
Φωτεινότητα κορυφής	L_{pk}	5.9	$10^{34}\text{ cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$
Φωτεινότητα (στο 1% της	$L_{99\%}$	2.0	10^{34} cm^{-2}

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ενέργειας)			s^{-1}
Ανοχή αβεβαιότητας (τελικά τετράπολα) (για 2% απώλεια της Φωτεινότητας)		0.14 - 0.18	nm
Κύριος Γραμμικός Επιταχυντής			
Παράγων αρχικής δέσμης	F	78.6	%
Ποσοστό ενεργειακής ανατροφοδότησης & αναπλήρωσης	ovh_{rep}	5	%
Ποσοστό λειτουργίας εκτός κορυφής	$ovh_{off-crest}$	5	%
Μήκος επιταχυντικής διάταξης (ενεργό/πλήρες)	l_{struct}	0.229	m
a/λ	a/λ	0.11	
Ταχύτητα ομάδας	v_g/c	1.66 - 0.83	%
Χρόνος αρχικής δέσμης / χρόνος ανόδου	t_f	62.9/22.4	ns
ΠΡ -> απόδοση κύριας δέσμης	η_{bRF}	27.7	%
Ανοχή προ-ευθυγράμμισης επιταχυντικής διάταξης (1σ)		14	μm
Ανοχή προ-ευθυγράμμισης τετραπόλου (1σ)		17	μm
Ανοχή προ-ευθυγράμμισης τετραπόλου για Προσδιορισμό Θέσης Δέσμης (ΠΘΔ) (1σ)		14	μm
Σχετική θέση επιτ. δομής και ανάγνωση ΠΘΔ (1σ)		5	μm
Επιβραδυντής			
Αριθμός μονάδων δέσμης οδηγού / Γραμ. Επιτ.	N_{unit}	24	
Μήκος μονάδας (ολικό)	$L_{unit,total}$	876.6	m
Μέσος παράγων αρχικής δέσμης	F		%
Αριθμός μονάδων Διάταξης Εξαγωγής και Μεταφοράς Ενέργειας (ΔΕΜΕ) / μονάδα	$N_{PETS,unit}$	1491	
Μήκος των ΔΕΜΕ (ενεργό/συνολικό)	L_{PETS}	0.213	m
Ονομαστική έξοδος ισχύος ΠΡ / ΔΕΜΕ	P_{out}	136	MW
Απόδοση μεταφοράς		93.8	%

ΔΕΜΕ > Υβριδικής Επιταχυντικής Δομής (ΥΕΔ) [Hybrid Dumped accelerating Structures HDS]			
Αριθμός επιταχυντικών διατάξεων / ΔΕΜΕ		2	
Επιταχυντική ισχύς κύριας δέσμης / ΔΕΜΕ	P_{acc}	2 x 63.9	MW
Ενεργειακή ενίσχυση κύριας δέσμης / μονάδα Δέσμη οδηγός -> Απόδοση	DE_{main}	62.5	GeV
ΙΠ (είσοδος ΥΕΔ)	η_{decRF}	65	%
Ανοχή ΔΕΜΕ (1σ)		31	μm
<u>Κύρια Δέσμη στην Εισαγωγή δέσμης στο Γραμμικό Επιταχυντή</u>			
Ενέργεια (δέσμης)	$E_{b,inj}$	9	GeV
Αριθμός σωματιδίων / πακέτο	N_b	3.72	10^9
Μήκος πακέτου	$\sigma_{s,inj}$	44	nm
Εύρος ενέργειας	$\Delta E/E_{inj}$	1.6	%
Εγκάρσια συνιστώσα οριζόντιας εκπεμπτικότητας (κανον.)	$\gamma_{Ex,inj}$	600	nm rad
Εγκάρσια συνιστώσα κάθετης εκπεμπτικότητας (κανον.)	$\gamma_{Ey,inj}$	10	nm rad
<u>Κύρια Δέσμη στο Δακτύλιο Απόσβεσης (ΔΑ) πριν την εξαγωγή</u>			
Ενέργεια	$E_{b,DR}$	2.86	GeV
Αριθμός σωματιδίων / πακέτο	N_b	4.1	10^9
Μήκος πακέτου	$\sigma_{s,DR}$	1.4	mm
Εύρος ενέργειας	$\sigma E/E_{DR}$	0.13	%
Εγκάρσια συνιστώσα οριζόντιας εκπεμπτικότητας (κανον.)	$\gamma_{Ex,DR}$	480	nm rad
Εγκάρσια συνιστώσα κάθετης εκπεμπτικότητας (κανον.)	$\gamma_{Ey,DR}$	4.5	nm rad
Διαμήκης εκπεμπτικότητα		5960	eVm
<u>Δακτύλιος Απόσβεσης ηλεκτρονίων/ποζιτρονίων</u>			
Περίμετρος δακτυλίου	C_{DR}	420.56	m
Αριθμός των αποθηκευμένων	N_{train}	2	

συστοιχιών			
Αριθμός πακέτων / συστοιχία	$k_{b,DR}$	156	
Χρον. Διαχωρισμός πακέτων	$\Delta t_{b,DR}$	1	ns
Συχνότητα ΠΡ	f_{DR}	999.5	MHz
Μήκος μαγνήτη τύπου Wiggler	l_{wig}	104	m
Χρόνοι απόσβεσης	$\tau_x / \tau_y / \tau_z$	1.88/1.91/0.96	ms
Λόγος οριζόντιου προς εγκάρσιο συντονισμό φάσεων	Q_x / Q_y	55.46 / 11.6	
Βασικές παράμετροι της Δέσμης Οδηγού			
Ενέργεια (εισαγωγή στον επιβραδυντή)	$E_{in,dec}$	2.37	GeV
Ενέργεια (τελική, ελάχιστη)	$E_{fin,dec}$	237	MeV
Μέσο ρεύμα παλμού	I_{dec}	101	A
Διάρκεια συστοιχίας	t_{train}	243.7	ns
Αριθμός πακέτων / συστοιχία	$N_{b,dec}$	2922	
Φορτίο πακέτου	$Q_{b,dec}$	8.4	nC
Χρονικός διαχωρισμός πακέτου	$D_{b,dec}$	0.083	ns
Ισοδύναμο (rms) μήκος πακέτου,	$\sigma_{s,dec}$	1	mm
Ισοδύναμη (rms) Κανονικοποιημένη Εκπεμπτικότητα	$\gamma_{e,dec}$	150	$\mu\text{m rad}$
Γραμμικό Επιταχυντή Δέσμης Οδηγού			
Συχνότητα ΠΡ	f_{RF}	999.5	MHz
Συνολικός αριθμός των klystrons	N_{kly}		
Ισχύς κορυφής Klystron	P_{kly}	15	MW
Συχνότητα επαναληψιμότητας	f_{rep}	50	Hz
Ενέργεια δέσμης	E_i	2.37	GeV
Μήκος παλμού (ολική συστοιχία)	t_i	140.3	μs
Ρεύμα δέσμης παλμού	I_i	4.2	A
Φορτίο παλμού	Q_i	590	μC
Αριθμός πακέτων/ παλμό	N_b	70128	
Μήκος πακέτων (rms) Κανονικοποιημένη εκπεμπτικότητα (στην εισαγωγή)	σ_s	3 -> 1	mm
	$\gamma_{e,i}$	≤ 100	$\mu\text{m rad}$

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Ολικό ενεργειακό εύρος (στην εισαγωγή)	$\Delta E/E$	≤ 1	%
Απόδοση τριφασικού/ΠΡ	η_{ACRF}	58.6	%
Απόδοση ΠΡ προς δέσμη οδηγό	η_{bRF}	93	%
<u>Γραμμή Καθυστέρησης</u>			
Μήκος	L_D	73.05 m	m
Συχνότητα εκτροπέα ΠΡ	f_D	499.8	MHz
Παράγων συνδυασμού	FC_D	2	
Μήκος πακέτου (rms)	σ_s	2	mm
<u>Συνδυαστικός Δακτύλιος1</u>			
Μήκος	L_{R1}	~292	m
Συχνότητα εκτροπέα ΠΡ	f_{R1}	999.5	MHz
Παράγων συνδυασμού	FC_{R1}	3	
Μήκος πακέτου (rms)	σ_s	2	mm
<u>Συνδυαστικός Δακτύλιος2</u>			
Μήκος	L_{R2}	438.28	m
Συχνότητα εκτροπέα ΠΡ	f_{R2}	2998.6	MHz
Παράγων συνδυασμού	FC_{R2}	4	
Μήκος πακέτου (rms)	σ_s	2	mm

Πίνακας Π-1: Παράμετροι του ΣΓΕΣΔ (CLIC)

Παράρτημα III

Όροι και Ακρώνυμα

Όρος & Ορισμός (Ελληνικά)	Όρος & Ορισμός (Αγγλικά)
	TeV - Tera-electronVolts
AD - Πείραμα: Επιβραδυντής Αντιπροτονίων	AD - Antiproton Decelerator
ALICE (MAE) - Πείραμα: Μεγάλο Πείραμα Ιόντων του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή	ALICE - A Large Ion Collider Experiment
ATLAS (MAE) - Πείραμα: Μια Τοροειδής Συσκευή του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή	ATLAS - A Toroidal LHC ApparatuS
CMS (MAE) - Πείραμα: Συμπαγές Σωληνοειδές Μιωνίων	CMS - Compact Muon Solenoid
CNGS - Πείραμα: Νετρίνα του CERN για το Grand Sasso	CNGS - CERN Neutrinos to Grand Sasso
ISOLDE - Πείραμα: Άμεσα Συνδεδεμένος Ισοτροπικός Διαχωριστής	ISOLDE - Isotrope Separator OnLine Device
LEIR - Πείραμα: Κυκλικός Επιταχυντής Ιόντων Χαμηλής Ενέργειας	LEIR - Low Energy Ion Ring
LHC-b (MAE) - Πείραμα: “beauty” Σωματιδίων του Μεγάλου Αδρονικού Επιταχυντή	LHC-b - Large Hadron Collider-beauty
n-ToF - Πείραμα: Μέτρησης του Χρόνου “πτήσης” των Νετρονίων	n-ToF - Neutrons Time of Flight
PS - Πείραμα: Σύγχροτρο Πρωτονίων	PS - Proton Synchrotron
Χαλκός	Cu - Copper
ΑΓΚ - Ακτινικός Γραμμικός Κινητήρας	RLA - Radial Linear Actuator
Αλουμίνιο	Alu - Aluminium
ΑΜΣ - Αρχείο Μηχανικών Σχεδίων του CERN	CDD - CERN Drawing Directory
ΑΜΔ - Αγωγός Μετάδοσης της Δέσμης	Drift tube
ΑΜΟ - Αυτοκατευθυντήριο Μετρητικό Όργανο	Autocollimator
ΑΠΣ - Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων	FEA (§3.1.2) - Finite Element Analysis
ΑΥΔ - Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Girder
ΑΧ - Ανοξειδωτος Χάλυβας	StSt - Stainless Steel
ΒΕ - Βαθμοί Ελευθερίας	DoF - Degrees of Freedom
ΓΕ - Γραμμικός Επιταχυντής	LINAC - LINear ACcelerator
ΓΚ - Γραμμικός Κινητήρας	LA - Linear Actuator

Δ-ΠΗΜΑΔ – Διατάξεις για την Πρότυπη Παραμετροποιημένη Μέτρηση Άξονα Δέσμης	Fiducials
ΔΕΜΕ - Διάταξη Εξαγωγής και Μεταφοράς Ενέργειας	PETS - Power Extraction and Transfer Structures
ΔΚ3Σ - Δοκιμή Κάμψης 3 Σημείων	3PB - Three-Point Bending
E&A - Έρευνα και Ανάπτυξη	R&D - Research and Development
ΕΔ - Επιταχυντικές Διατάξεις	AS - Accelerating Structures
ΕΕΕΤΘ - Ειδικά Εξαρτήματα Ελέγχου και Ταυτοποίησης της Θέσης	Fiducials
ΕΚΕΦΕ - Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών	N.C.S.R. - National Centre for Scientific Research
ΕΜΔΔ - Επιταχυντική Μονάδα Διπλής-Δέσμης	TBM or Module - Two-Beam Module
ΕΜΔΔ - Επιταχυντική Μονάδα Διπλής-Δέσμης	TBM - Two-Beam Module
Εργαστήριο	LAB - Laboratory
Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών	CERN - Conseil Europeene de la Recherche Nucleaire
ΘΣΜ - Θεμελιώδης Σχεδιαστική Μελέτη	CDR - Conceptual Design Report
Ινστιτούτο Paul Scherrer	PSI - Paul Scherrer Institute
ΚΓΚ - Κάθετος Γραμμικός Κινητήρας	VLA - Vertical Linear Actuator
ΚΔ - Κύρια Δέσμη	MB - Main Beam
ΚΔ-μαγνήτης / Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης της δέσμης για την επιταχυντική Κύρια Δέσμη	MBQ - Main Beam Quadrupoles
ΚτΠ - Καρβίδιο του Πυριτίου	SiC (page 38) - Silicon Carbide: Καρβίδιο του Πυριτίου
ΛΑ - Λίκνο Αντιστήριξης	Cradle
ΜΑΕ - Μεγάλος Αδρονικός Επιταχυντής	LHC - Large Hadron Collider
ΜΔΑ - Μετρολογικό Δίκτυο Αναφοράς	MRN - Metrological Reference Network
ΜΜΣ - Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων (υψηλής ακρίβειας)	CMM - Coordinate Measuring Machine
ΜΣΚ - Μονοαξονική Συμπιεστική Κόπωση	UCT - Uniaxial Compression Test
ΜΤΡ - Μέση Τετραγωνική Ρίζα	r.m.s. - root mean square
ΟΔ - Οδηγός Δέσμης	DB - Drive Beam
ΟΔ-μαγνήτες / Τετραπολικός μαγνήτης	DBQ - Drive Beam Quadrupoles

**εστίασης της δέσμης για την
επιταχυντική Δέσμη Οδηγό**

ΟΕΣΑΘ - Οπτικό Ενσύρματο Σύστημα Ανάγνωσης Θέσης	oWPS - optical Wire Positioning System
ΠΔΠ - Πλάνο Διασφάλισης Ποιότητας	QAP - Quality Assurance Plan
ΠΕ-ΣΓΕΣΔ - Πειραματικές Εγκαταστάσεις του ΣΓΕΣΔ	CTF - CLIC Test Facility
ΠΚ-ΣΓΕΣΔ - Πειραματικό Κέντρο του ΣΓΕΣΔ	CLEX - CLIC EXperimental hall
ΠΠ - Πιστοποίησης Ποιότητας	QA - Quality Assurance
ΠΠΜΑΔ - Πρότυπη Παραμετροποιημένη Μέτρηση Άξονα Δέσμης	Fiducialisation
ΠΠΠ - Πρωτόκολο Πειραμάτων Παραλαβής	ATP - Acceptance Test Protocol
ΠΣ - Πεπερασμένα Στοιχεία	FE (§3.1.2) - Finite Element
ΠΡ-Πεδίο Ραδιοσυχνοτήτων ή Ραδιοσυχνότητα	RF - Radio Frequency
ΣΑ - Σημείο Αλληλεπίδρασης των δεσμών του επιταχυντή που συγκρούονται	IP - Interaction Point
ΣΓΕΣΔ - Συμπαγής Γραμμικός Επιταχυντής Συγκρουόμενων Δεσμών	CLIC - Compact LInear Collider
ΣΘΔ - Συντελεστής Θερμικής Διαστολής	CTE - Coefficient of Thermal Expansion
ΣΜΑ - Σημεία Μηχανικής Άρθρωσης	Articulation Point
ΣΜΕΑΔ - Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου Απώλειας της Δέσμης	BLM - Beam Loss Monitors
ΣΜΘΕΔ - Συσκευές Μέτρησης και Ελέγχου της Θέσης της Δέσμης	BPM - Beam Position Monitors
ΣΜΕΜΑ - Συσκευή Μέτρησης κι Ελέγχου Μετώπου Δέσμης	WFM / WakeField Monitor
ΣΟΜΔ - Σύστημα Οργάνωσης Μηχανικών Δεδομένων	EDMS / Engineering Data Management System
Σ-Υ - Σφιγκτήρες “Υ”	U-clamps
ΣΦ - Σύστημα Φιδιού	Snake System
ΥΔΔΠΕ - Υποστηρικτική Διάταξη Δικτύου Προ-Ευθυγράμμισης	SPN - Support Pre-alignment Network
ΥΕΔ - Υπερσύστημα Επιταχυντικών Διατάξεων	SAS (p 3.39) - Super Accelerating Structures
Υ-V - Υποστηρίγματα “V”	V-shaped supports
ΥΠ - Υπερσύγχροτρο Πρωτονίων	SPS - Super Proton Synchrotron

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

**ΧΔΗΟ - Χαλκός Δεσμευμένων
Ηλεκτρονίων Οξυγόνου**

**OFE (copper) - Oxygen-Free Electronic
(copper)**

**ΧΣΑΘ - Χωρικό Σύστημα Ανάγνωσης
Θέσης**

cWPS - capacitive Wire Positioning System

Πίνακας III-2: Ειδικό λεξιλόγιο

Παράρτημα IV

Πίνακες εκτίμησης τιμών

βάρους για τις διατάξεις της

ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ΚΥΡΙΑ ΔΕΣΜΗ (T-0)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Κυρίας Δέσμης και ειδική στήριξη				1	0
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	5	75
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080			50
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	70	4	280
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	5	4	20
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου	Χαλκός	8940	1	4	4
Ραδιοσυχνότητες	Χαλκός	8940	1	4	4
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			265
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	56	1	230
Σύνολο					976

Πίνακας IV-3: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΚΔ Τύπος-0]

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ΟΔΗΓΟΣ ΔΕΣΜΗ (T-0)	Υλικό	Πυκνότη τα (kg/m³)	Βάρος/ Μονάδε ς (kg)	Ποσότη τα	Συνολι κό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Οδηγου Δέσμης και ειδική στήριξη			112	2	224
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγμα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	13/15	0 και 6	90
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080			50
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	22	4	88
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	3	4	12
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητω ν	Χαλκός	8080			0
	Χαλκός	8940	11/AS	4	44
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			13
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	56	1	233
Σύνολο					802

Πίνακας IV-4: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΟΔ Τύπος-0]

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ΚΥΡΙΑ ΔΕΣΜΗ (T-1)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Κυρίας Δέσμης και ειδική στήριξη					191
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο	Αλουμίνιο	6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβας	Ανοξείδωτος Χάλυβας	15	4	60
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβας	Ανοξείδωτος Χάλυβας			38
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβας	Ανοξείδωτος Χάλυβας	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	Χαλκός	70	3	210
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβας	Ανοξείδωτος Χάλυβας	5	3	15
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου	Χαλκός	Χαλκός	1	3	3
Ραδιοσυχνότητες	Χαλκός	Χαλκός	1	3	3
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	Χαλκός			50
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	Καρβίδιο πυριτίου	44	1	1720
Σύνολο					790

Πίνακας IV-5: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΚΔ Τύπος-1]

ΟΔΗΓΟΣ ΔΕΣΜΗ (T-1)	Υλικό	Πυκνότη ητα (kg/m³)	Βάρος/ Μονάδε ς (kg)	Ποσότη η α	Συνολι κό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Οδηγού Δέσμης και ειδική στήριξη			112	2	224
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	13/15	1 και 5	88
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080			50
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	22	3	66
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	3	3	9
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητας	Χαλκός	8080			1
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			10
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	56	1	233
Σύνολο					762

Πίνακας IV-6: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΟΔ Τύπος-1]

ΚΥΡΙΑ ΔΕΣΜΗ (T-2)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Κυρίας Δέσμης και ειδική στήριξη					416
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	3	45
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080			26
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	70	2	140
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	5	2	10
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητας	Χαλκός	8940	1	2	2
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			34
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	28	1	114
Σύνολο					837

Πίνακας IV-7: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΚΔ Τύπος-2]

ΟΔΗΓΟΣ ΔΕΣΜΗ (T-2)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/ Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Οδηγού Δέσμης και ειδική στήριξη			112	2	224
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	13/15	3 και 3	84
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080			50
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	22	2	44
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	3	2	6
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητας	Χαλκός	8080			2
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			7
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	56	1	233
Σύνολο					720

Πίνακας IV-8: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΟΔ Τύπος-2]

ΚΥΡΙΑ ΔΕΣΜΗ (T-3)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Κυρίας Δέσμης και ειδική στήριξη					640
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	2	30
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080			14
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	70	1	70
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	5	1	5
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητας	Χαλκός	8940	1	1	1
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			17
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	14	1	56
Σύνολο					882

Πίνακας IV-9: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΚΔ Τύπος-3]

ΟΔΗΓΟΣ ΔΕΣΜΗ (T-3)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/ Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Οδηγού Δέσμης και ειδική στήριξη			112	2	224
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	13/15	4 και 2	82
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080			50
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	22	1	22
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	3	1	3
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητας	Χαλκός	8080			3
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			4
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	56	1	233
Σύνολο					680

Πίνακας IV-10: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΟΔ Τύπος-3]

ΚΥΡΙΑ ΔΕΣΜΗ (T-4)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Κυρίας Δέσμης και ειδική στήριξη					783
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	80
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	0	13
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080			0
Αντλίες κενού			20	1	0
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	15	1	20
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	70	0	15
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβας	8080	5	0	0
Κυματοδηγοί Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητας	Χαλκός	8940	1	0	0
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			0
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	14	0	0
Σύνολο					911

Πίνακας IV-11: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΚΔ Τύπος-4]

ΟΔΗΓΟΣ ΔΕΣΜΗ (T-4)	Υλικό	Πυκνότητα (kg/m³)	Βάρος/ Μονάδες (kg)	Ποσότητα	Συνολικό Βάρος (kg)
Τετραπολικός μαγνήτης εστίασης Οδηγού Δέσμης και ειδική στήριξη			112	2	224
Λίκνο Αντιστήριξης	Αλουμίνιο		6.5	2	13
Υποστηρίγματα «V»	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	13/15	6 και 0	78
Δίκτυο αγωγών κενού (συγκολήσεις και ηλώσεις)	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080			50
Αντλίες κενού			20	1	20
Δοχείο κενού	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	15	1	15
Επιταχυντικές Διατάξεις	Χαλκός	8940	22	0	0
Βάρη	Ανοξείδωτος Χάλυβα ς	8080	3	0	0
Κυματοδηγοί	Χαλκός	8080			4
Διαχωριστές Πεδίου Ραδιοσυχνότητας	Χαλκός	8940	11/AS	0	0
Διάταξη Ψύξης	Χαλκός	8940			0
Αμφιέρεστη Υποστηρικτική Δοκός	Καρβίδιο πυριτίου	3128	56	1	233
Σύνολο					637

Πίνακας IV-12: Εκτίμηση βάρους διατάξεων ΕΜΔΔ [ΟΔ Τύπος-4]

Παράρτημα V

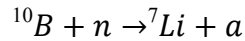
Ανιχνευτής νετρονίων BF₃

ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ ΤΡΙ-ΦΘΟΡΙΟΥΧΟΥ ΒΟΡΙΟΥ

▪ Γενικά

Ένας τυπικός ανιχνευτής BF₃ αποτελείται από ένα κυλινδρικό σωλήνα αλουμινίου γεμάτο με αέριο πλήρωσης BF₃ σε πίεση από 0,5 έως 1,0 ατμόσφαιρα. Το αέριο του τριφθοριούχου Βορίου επιτυγχάνει δύο πράγματα:

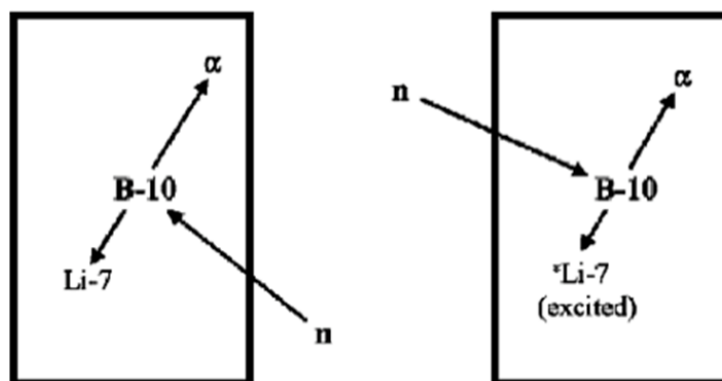
- λειτουργεί σαν το αναλογικό αέριο πλήρωσης
- υποβάλλεται στην αντίδραση (n, άλφα) με τα θερμικά νετρόνια



Για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα ανίχνευσης, το BF₃ είναι εμπλουτισμένο με το ισότοπο B-10. Συνήθεις εμπλουτισμοί αυξάνουν τη συνιστώσα του B-10 σε 96% (κανονικά το B-10 είναι 20% και το B-11 80%). Το Αλουμίνιο χρησιμοποιείται συνήθως για το τοίχωμα του κυλίνδρου (κάθοδος), λόγω της μικρής ενεργού διατομής του αλληλεπίδρασης με τα νετρόνια. Η άνοδος είναι σχεδόν πάντα ένα ενιαίο λεπτό σύρμα κάτω από το άξονα του σωλήνα.

▪ Σχηματισμός παλμού με την ανίχνευση νετρονίων

- Όταν ένα νετρόνιο απορροφάται από τη συνιστώσα B-10 του αερίου, παράγονται ένα σωματίδιο άλφα και ο πυρήνας ανάκρουσης Li-7 που κατευθύνονται μακριά σε αντίθετες κατευθύνσεις. Η κίνηση του σωματιδίου άλφα και του πυρήνα Li-7 δημιουργεί πρωτογενή ζεύγη ιόντων στο αέριο.
- Το μέγεθος του προκύπτοντος παλμού εξαρτάται από το αν ο πυρήνας του λιθίου παράγεται στη βασική κατάσταση ή σε μία διεγερμένη κατάσταση. Όταν ο πυρήνας του λιθίου αφήνεται στη βασική κατάσταση (ποσοστό περίπου 6%), ο παλμός είναι μεγαλύτερος από ό,τι εάν ο πυρήνας παράγεται σε μία διεγερμένη κατάσταση (ποσοστό περίπου 94%), επειδή το σωματίδιο άλφα και πυρήνας Li-7 έχουν περισσότερη κινητική ενέργεια (2.792 MeV έναντι 2.310 MeV) για να δημιουργήσουν ζεύγη ιόντων.



Alpha kinetic energy = 1.78 MeV
Li-7 kinetic energy = 1.02 MeV

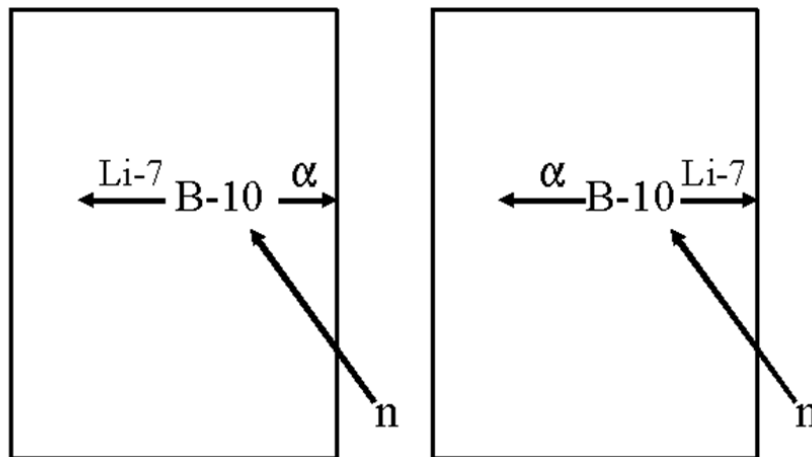
Alpha kinetic energy = 1.47 MeV
Li-7 kinetic energy = 0.84 MeV

Σχήμα V-1: Το φάσμα του BF₃ και το φαινόμενο τοιχώματος

Σε ένα ανιχνευτή μεγάλης διαμέτρου, όλη η κινητική ενέργεια του σωματιδίου άλφα και πυρήνα ανάκρουσης Li-7 εναποτίθεται στο αέριο του ανιχνευτή. Ως εκ τούτου, το φάσμα ύψους παλμού εμφανίζει δύο κορυφές: μία μεγάλη στα 2.310 MeV (οι

πυρήνες λιθίου παράγονται σε μία διεγερμένη κατάσταση) και μία μικρή στα 2.792 MeV (οι πυρήνες λιθίου παράγονται στη βασική κατάσταση).

Για σωλήνες τυπικού μεγέθους (π.χ., διαμέτρου 2-5 cm), παράγονται μικρότεροι παλμοί συχνά επειδή είτε το σωματίδιο άλφα ή πυρήνα Li-7 καταθέτουν μέρος της ενέργειάς του στο τοίχωμα του ανιχνευτή παρά στο αέριο. Μόνο σπάνια το σωματίδιο άλφα και ο πυρήνας Li-7 μπορεί να χτυπήσει και τα δύο το τοίχωμα του ανιχνευτή. Εάν η αλληλεπίδραση των νετρονίων πραγματοποιείται στο αέριο αρκετά κοντά προς τη μία πλευρά του σωλήνα τότε είτε το σωματίδιο άλφα ή ο πυρήνας του λιθίου θα είναι μεγαλύτερη απόσταση προς την άλλη πλευρά του σωλήνα για να χτυπήσουν το τοίχωμα, από την εμβέλεια του σωματιδίου.



The Li-7 deposits all its kinetic energy in the gas while the alpha particle deposits only a fraction of its energy.

The alpha particle deposits all its kinetic energy in the gas while the Li-7 deposits only a fraction of its energy.

Σχήμα V-2: Το Li-7 εναποθέτει όλη την κινητική του ενέργεια στο αέριο, ενώ το σωματίδιο άλφα εναποθέτει μόνο μέρος της ενέργειάς του. Το σωματίδιο άλφα εναποθέτει όλη την κινητική του ενέργεια στο αέριο, ενώ το Li-7 εναποθέτει μόνο μέρος της ενέργειάς του

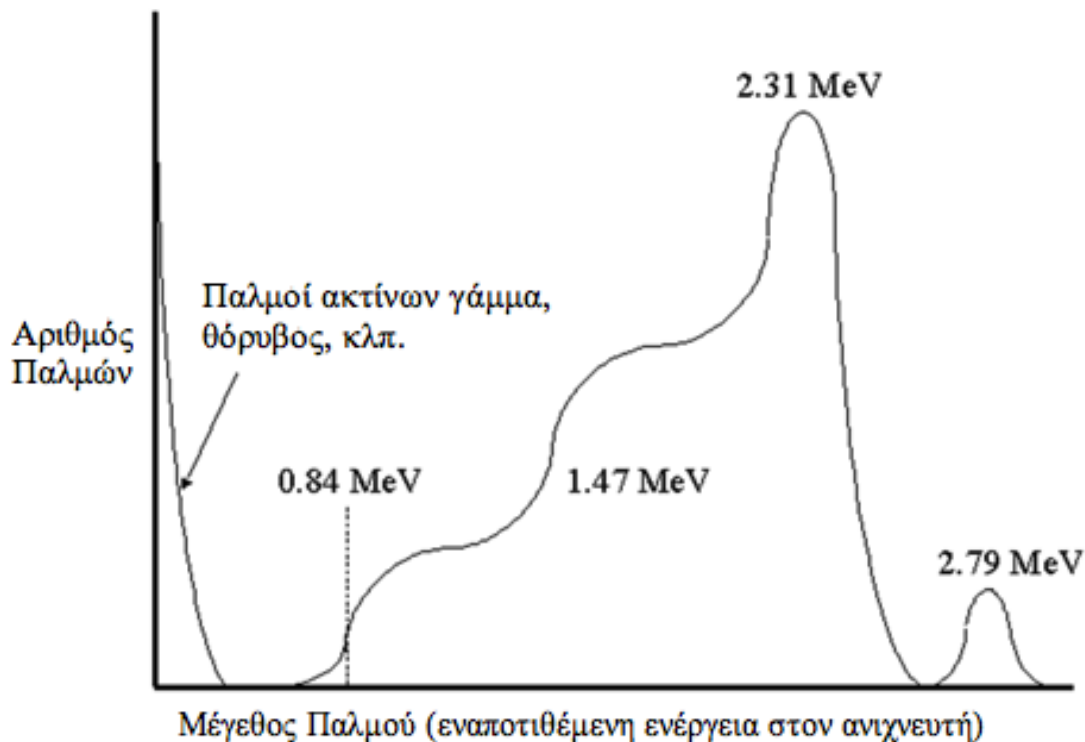
Το "φαινόμενο τοιχώματος" που προκύπτει δημιουργεί δύο στάδια στην αριστερή πλευρά της κορυφής 2.31 MeV. Η κατώτερη βαθμίδα στα αριστερά παράγεται ως αποτέλεσμα, όπου το σωματίδιο άλφα κτυπάει το τοίχωμα και ο πυρήνας Li-7 αποθέτει όλη την ενέργειά του (π.χ. 0.84 MeV) στο αέριο. Η υψηλότερη βαθμίδα δεξιά είναι αποτέλεσμα από την πρόσκρουση του πυρήνα Li-7 στο τοίχωμα ενώ το σωματίδιο άλφα καταθέτει όλη του την ενέργεια (π.χ. 1.47 MeV) στο αέριο.

Το παρακάτω σχήμα αποτελεί ένα υπόδειγμα μελέτης του φάσματος ύψους παλμού από τον ανιχνευτή BF3. Ειδικότερα, σε ένα πραγματικό φάσμα τα δύο βήματα προς τα αριστερά της κορυφής 2.31 MeV είναι πιο δύσκολο να γίνουν διακριτά μεταξύ τους από αυτή που φαίνεται εδώ.

Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι το φάσμα αυτό δεν σχετίζεται με την ενέργεια των νετρονίων - είναι απλά μια λειτουργία της κατασκευής του ανιχνευτή. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, ο ρυθμός καταμέτρησης από τον ανιχνευτή είναι αυτό που μεταφέρει χρήσιμες πληροφορίες και όχι το ύψος παλμού.

Σημειώστε ότι οι ακτίνες γάμμα παράγουν σχετικά μικρές παλμούς και αυτά μπορούν να απορριφθούν εύκολα από τον κατάλληλο καθορισμό του κατωφλίου. Αυξάνοντας το μέγεθος του ανιχνευτή μειώνεται η επίδραση τοιχώματος, όπως φαίνεται στο

φάσμα και αυτό καθιστά ευκολότερη τη διάκριση παλμών γάμμα από εκείνα που παράγονται από τα νετρόνια.



Σχήμα V-3

▪ Τάση λειτουργίας και χαρακτηριστική καμπύλη

Ο καλύτερος τρόπος για να προσδιοριστεί η τάση λειτουργίας ενός ανιχνευτή BF₃ είναι να δημιουργηθεί μια χαρακτηριστική καμπύλη (ρυθμός μέτρησης έναντι υψηλής τάσης). Η καμπύλη είναι παρόμοια με εκείνη ενός ανιχνευτή Geiger Mueller επειδή και οι δύο έχουν μακρύ επίπεδο πλατώ. Όπως ήταν η περίπτωση με τον ανιχνευτή GM, η τάση λειτουργίας του ανιχνευτή BF₃ θα πρέπει να επιλέγεται στο «οροπέδιο» ακριβώς πάνω από το γόνατο. Όταν η τάση λειτουργίας έχει ρυθμιστεί, ο ηλεκτρονικός θόρυβος και οι παλμοί είναι πολύ υψηλοί, λόγω του υποβάθρου των ακτίνων γάμμα που μπορεί να υπερβαίνουν τη ρύθμιση του κατωφλίου και να δημιουργούν μη πραγματικές μετρήσεις. Μια συνήθης τάση λειτουργίας για τον ανιχνευτή BF₃ μπορεί να είναι από 1500 μέχρι 2000 volts.

▪ Ανίχνευση των θερμικών και ταχέων νετρονίων

Οι "γυμνοί" ανιχνευτές BF₃ σχεδόν αποκλειστικά ανταποκρίνονται στα αργά (χαμηλής ενέργειας) νετρόνια – η πιθανότητα ότι ένα ταχύ (υψηλής ενέργειας) νετρόνιο θα απορροφηθεί από το Βόριο-10 είναι πολύ μικρή. Για να μπορούμε να ανιχνεύουμε ταχέα νετρόνια, ο κύλινδρος του BF₃ πρέπει να περιβάλλεται από ένα κατάλληλο ρυθμιστή (moderator). Το πάχος του ρυθμιστή (π.χ. πολυ-αιθυλένιο) μπορεί να κυμαίνεται σε 1 - 6 inches εξαρτώμενο από το ενεργειακό φάσμα των νετρονίων και άλλων περιορισμών.

Παράρτημα VI

Ανιχνευτής ακτίνων-γ Γερμανίου υψηλής καθαρότητας

ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑΣ (HPGe)

Οι ανιχνευτές HPGe δημιουργούνται με τον εξαιρετικό καθαρισμό του στοιχείου Γερμανίου και την σταδιακή αύξησή του σε ένα κρύσταλλο. Ο κρύσταλλος περνά μέσα από μια σειρά βημάτων επεξεργασίας με αποκορύφωμα την προσκόλληση των θετικών και αρνητικών επαφών, οι οποίες τον μετατρέπουν σε μια ηλεκτρονική δίοδο. Η ειδική ιδιότητα αυτής της διόδου είναι ότι άγει ρεύμα σε αναλογία με την ενέργεια ενός φωτονίου (ακτίνων γάμμα) εναποθέτοντας ενέργεια σε αυτό. Η σχέση μεταξύ της ενέργειας και του ρεύματος είναι τόσο ακριβής στους ανιχνευτές HPGe ώστε οι ενέργειες μετρούνται σε οσοστό καλύτερο από το 1/10 του 1%.

Ο υψηλής καθαρότητας ανιχνευτής Γερμανίου (HPGe) είναι η μόνη τεχνολογία ανίχνευσης ακτινοβολίας που παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τον ακριβή και αξιόπιστο προσδιορισμό των ραδιονουκλιδίων από τις χαρακτηριστικές τους εκπομπές των ακτίνων-γ. Οι ανιχνευτές HPGe έχουν μια βελτίωση 20 - 30x σε διακριτική ικανότητα σε σχέση με εκείνη των ανιχνευτών με Ιωδιούχο Νάτριο (NaI). Επιπλέον, οι ανιχνευτές NaI , σε αντίθεση με τους ανιχνευτές HPGe, έχει αποδειχθεί για να έχουν κακές επιδόσεις σε περιπτώσεις με ανάμικτα ισότοπα, θωράκιση, καθώς και σε υψηλό υπόβαθρο. Σε περίπτωση με δευτερεύοντα ρόλο ανίχνευσης για την θετική ταυτοποίηση συναγερού ως προς την ακτινοβολία υποβάθρου ή σε συνδυασμό πρωτοβάθμιας / δευτεροβάθμια ανίχνευση (όπως μια φορητή οθόνη HPGe), η τεχνολογία HPGe, σε συνδυασμό με πιο τους σύγχρονους αλγόριθμους φασματικής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο και ανάλογα ηλεκτρονικά πιστοποιημένα στο πεδίο, μπορεί να εντοπίσει με ακρίβεια και να εξακριβωθεί εάν οι συναγεροί προκλήθηκαν από αθώες ραδιολογικές πηγές, ή εάν είναι αλήθεια λόγω παρουσίας πυρηνικών ή ραδιολογικών κινδύνων.

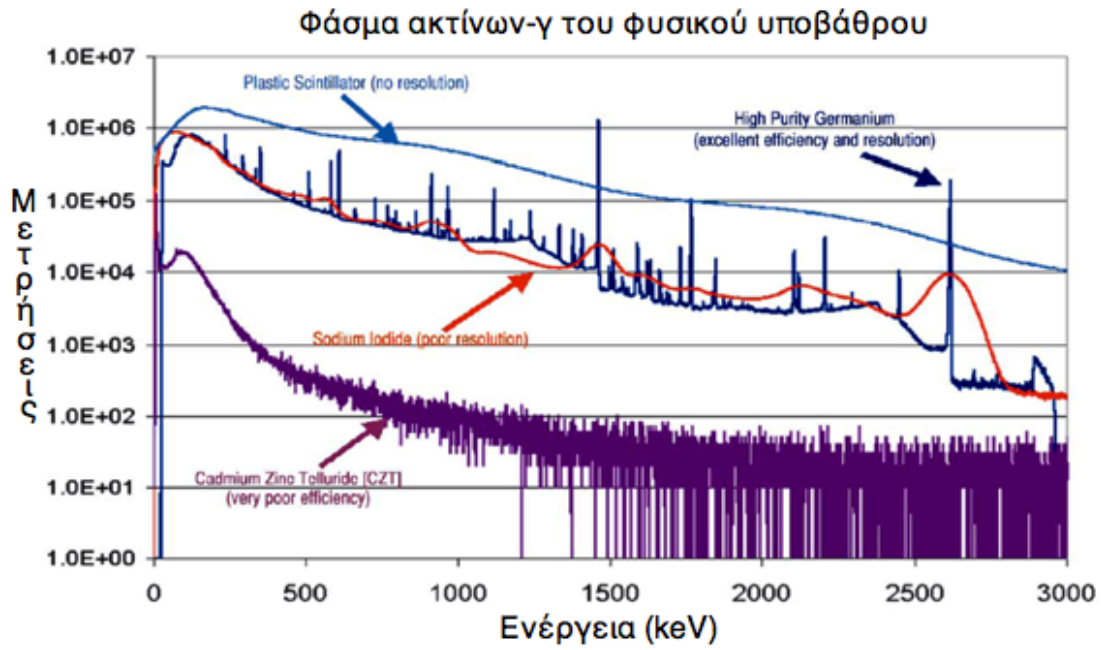
Οι ανιχνευτές ακτινοβολίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : στους μετρητές υποβάθρου και στους ευαίσθητους μετρητές ενέργειας. Οι μετρητές υποβάθρου μετρούν κάθε γεγονός (γάμμα ή νετρόνιο) το ίδιο, ανεξάρτητα από την ενέργειά του. Οι ευαίσθητοι ανιχνευτές ενέργειας - που χρησιμοποιούνται σε Συσκευές Προσδιορισμού Ραδιο-Ισοτόπων (ΣΠΡΙ) - αναλύουν ξεχωριστά τις εκπομπές ακτίνων-γάμμα από ένα ραδιενεργό ισότοπο και προσπαθούν να προσδιορίσουν την πηγή της ακτινοβολίας.

Εξ αιτίας της παρουσίας των συνήθων φυσικών ραδιενεργών υλικών που υπάρχουν στο νόμιμο εμπόριο - κεραμικά πλακίδια, λίπασμα, μαζί με τα ραδιονουκλίδια που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές ή ιατρικές εφαρμογές – οι ανιχνευτές υποβάθρου μπορούν να δώσουν συναγερού αρκετά συχνά . Αυτό το είδος "ψευδώς θετικό σήμα" δεν είναι στην πραγματικότητα ένα πραγματικά ψευδώς θετικό, επειδή το υλικό είναι πράγματι ραδιενεργό. Αυτοί οι συναγεροί που προκαλούνται από τα ανωτέρω υλικά ή τα αντίστοιχα ραδιοϊσότοπα αναφέρονται συχνά ως «συναγερούς θορύβου», που αναστέλλουν τη ροή του νόμιμου εμπορίου . Πολλές από αυτούς τους συναγερούς θορύβου απαιτούν την ανάλυση μιας υψηλής καθαρότητας ανιχνευτή Γερμανίου για να προσδιοριστεί η πραγματική αιτία του συναγερού ακτινοβολίας. Αν τα οχήματα, τα πακέτα αποστολής, ή οι άνθρωποι έπρεπε να σταματήσουν κάθε φορά που εντοπίστηκε ένα αυξημένο επίπεδο ακτινοβολίας, το εμπόριο θα πρέπει να σταματήσει και η προκύπτουσα αρνητική οικονομική επίπτωση θα είναι τεράστια.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει μια σύγκριση της φυσικής ακτινοβολίας υποβάθρου, όπως συλλέγονται από τέσσερις διαφορετικούς τύπους των ανιχνευτών ακτινοβολίας. Οι ανιχνευτές πλαστικού σπινθηριστή δεν έχουν την ικανότητα να αναλύσουν

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

κορυφές γάμμα. Οι ανιχνευτές με Ιωδιούχο Νάτριο (NaI) και Τελλουριούχο Κάδμιο-Ψευδάργυρο (CZT) έχουν περιορισμένες ικανότητες να αναλύσουν τις γραμμές των ακτίνων-γάμμα. Οι υψηλής καθαρότητας ανιχνευτές Γερμανίου (HPGe) έχουν υψηλή ικανότητα ανάλυσης.



Σχήμα VI-4

Παράρτημα VII

Το υποστηρικτικό σύστημα της

ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ

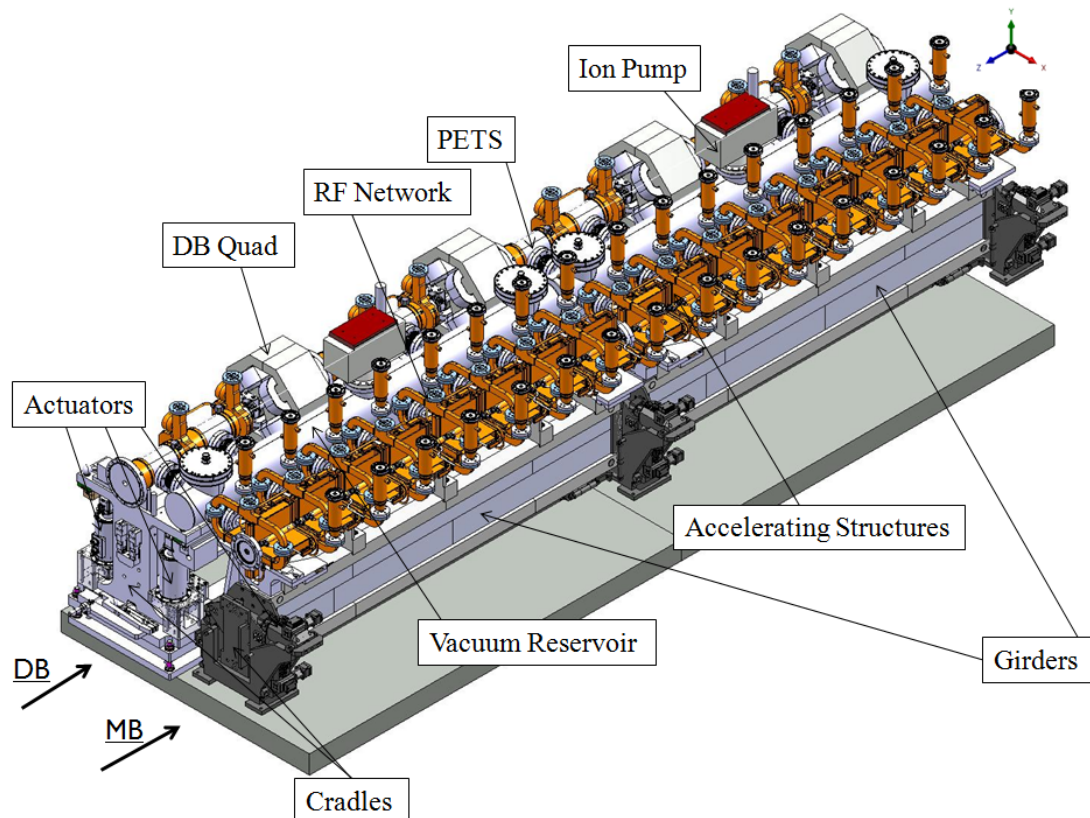
Η μελέτη του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουομένων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ) Compact Linear Collider (CLIC) στοχεύει στην ανάπτυξη ενός επιταχυντή συγκρουομένων δεσμών e^+e^- σε ενέργειες TeV. Οι δομές ΣΓΕΣΔ μικρο-ακρίβειας θα έχουν βαθμίδα επιτάχυνσης 100 MV/m και ευθυγραμμίζονται με τον άξονα της δέσμης. Οι περιορισμοί κατασκευής της δέσμης υπαγορεύονται κυρίως από τη μελέτη φυσικής του επιταχυντή και τις απαιτήσεις του συστήματος ΠΡ (RF). Η μελέτη ακρίβειας αυτών των δεσμών είναι μια δύσκολη περίπτωση που αφορά την επιλογή υλικών, του μηχανολογικού σχεδιασμού, καθώς και την πρότυπο κατασκευή και την πειραματική δοκιμή.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουομένων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ) Compact Linear Collider (CLIC) επικεντρώνεται στο σχεδιασμό ενός γραμμικού επιταχυντή συγκρουόμενων δεσμών e^+e^- στην ενέργεια συστήματος δεσμών 3 TeV με φωτεινότητα $2 \cdot 1.034 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ένας δεύτερος σχεδιασμός είναι σε χαμηλότερη ενέργεια συστήματος δεσμών 500 GeV και με την ίδια φωτεινότητα για σύγκριση με τον εναλλακτικό/ανταγωνιστικό σχεδιασμό της υπεραγωγίμης τεχνολογίας του Διεθνούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουομένων δεσμών (International Linear Collider = ILC) [1]. Η απαιτούμενη φωτεινότητα μπορεί να επιτευχθεί με ισχυρές δέσμες (14 MW η κάθε μία) που συγκρούονται έχοντας εξαιρετικά μικρές διαστάσεις και την υψηλής κλίμακας σταθερότητα. Οι επιταχυνόμενες δέσμες σωματιδίων έχουν διαστάσεις από 45 nm σε οριζόντιο επίπεδο και 1 nm στο κατακόρυφο επίπεδο στο σημείο αλληλεπίδρασης. Αυτές οι μικρές διαστάσεις των δεσμών του ΣΓΕΣΔ μπορούν να ληφθούν μόνο με εξαιρετικά μικρή εκπεμπτικότητα (emittance) που βασίζεται στο καινοτόμο σύστημα επιτάχυνσης διπλής πορείας. Σε αυτό η ισχύς ΠΡ (RF) εξάγεται από μία δέσμη χαμηλής ενέργειας, αλλά κινητήρια δοκός υψηλής έντασης την Οδηγό Δέσμη (DB), και μεταφέρεται σε μία υψηλής ενέργειας δέσμη επιτάχυνσης, που ονομάζεται κύρια δέσμη (MB). Οι επιταχυντικές διατάξεις της κύριας δέσμης (MB) λειτουργούν στα 11.9942 GHz με βαθμίδα επιτάχυνσης 100 MV/m. Οι δύο γραμμικοί επιταχυντές είναι εξοπλισμένοι με μονάδες διπλής δέσμης, όπου τοποθετούνται όλα τα κύρια ΠΡ (RF) στοιχεία μαζί και τα στοιχεία εστίασης των δεσμών (Σχήμα 1). Το συνολικό μήκος του κάθε γραμμικού επιταχυντή είναι περίπου 21 χιλιόμετρα. Τα στοιχεία ΠΡ (RF) έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις ευθυγράμμισης για να είναι επιτρεπτή η σύγκρουση των δεσμών. Στη συνέχεια, η ευθυγράμμιση θα πρέπει να βασίζεται συνεχώς στις πληροφορίες που δόθηκαν από το Σύστημα Μέτρησης & Ελέγχου Θέσης Δέσμης (ΣΜΘΕΔ) (Beam Position Monitor = BPM). Δεδομένου ότι οι διατάξεις (ΠΡ) RF είναι τοποθετημένες σε δοκούς (ΑΥΔ) η αποδεκτή παραμόρφωση είναι μεγέθους 10 μm . Η μονάδα διπλής δέσμης (ΕΜΔΔ) έχει μήκος 2010 mm, το οποίο καθορίζει το μέγιστο μήκος της δοκού (ΑΥΔ). Για το ΣΠ το μήκος δοκού είναι σταθερό στα 1946 mm. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι υποστήριξης της κύριας δέσμης MB, λόγω των διαφορετικών μηκών των τετραπόλων της κύριας δέσμης MB, που απαιτούνται για την εκπλήρωση των προδιαγραφών της οπτικής της δέσμης. Οι μαγνήτες εστίασης μπορεί να αντικαταστήσουν ένα ή μερικά ζευγάρια επιταχυντικών διατάξεων (AS). Για παράδειγμα, η μονάδα τύπου 1 δύο δεσμών έχει το μικρότερο μήκος τετραπόλου της κύριας δέσμης MB, ως εκ τούτου το απαιτούμενο μήκος δοκού (ΑΥΔ) είναι περίπου 1.5 μm . Η μονάδα τύπου 4 δύο δεσμών, έχοντας το μεγαλύτερο μήκος μαγνήτη, δεν απαιτεί καμία δοκός (ΑΥΔ), λόγω αυτοδύναμης υποστηρικτικής διάταξης. Οι τετράπολοι μαγνήτες της κύριας δέσμης MB υποστηρίζονται ξεχωριστά λόγω των αυστηρών απαιτήσεων της σταθερότητάς τους (1 nm για πάνω από 1Hz). Κάθε δοκός (ΑΥΔ) έχει μία εξωτερική

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

διατομή 320 mm x 150 mm. Η διαστασιολόγηση των δοκών ΑΥΔ) είναι το αποτέλεσμα μιας συνολικής βελτίωσης του σχεδιασμού που θα λαμβάνει συγχρόνως υπόψη τους περιορισμούς της σήραγγας του ΣΓΕΣΔ (CLIC) . Οι δομές επιβράδυνσης της οδηγού δέσμης DB είναι οι διατάξεις εξαγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (PETS), οι οποίες συνδέονται με την επιταχυντική διάταξη της κύριας δέσμης MB μέσω ενός σύνθετου δικτύου κυματοδήγησης, που συνδέει διάφορες συνιστώσες ΠΠ (RF), όπως τη λειτουργία φλάντζας στραγγαλισμού, υβριδικά συστήματα, φορτία υψηλής ισχύος και διαιρέτες.



Σχήμα VII-5: Δύο ΕΜΔΔ Τύπου-0 συναρμολογημένες σε σειρά

Για την κύρια δέσμη, ο συντελεστής πλήρωσης είναι περίπου 79%, ο οποίος είναι το αποτέλεσμα βελτιστοποίησης πολλών οπτικών δέσμης και ολοκλήρωσης μηχανικών στοιχείων.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι δοκοί (ΑΥΔ) θα υποστηρίξουν το σύστημα επιτάχυνσης και επιτρέπουν την ευθυγράμμιση των διατάξεων ΠΠ (RF), οι οποίες πρέπει να σχηματίζουν μια μη μεταβαλλόμενη “αλυσίδα” καθόλο το μήκος του γραμμικού επιταχυντή. Πρόσθετες προδιαγραφές λειτουργιών επιβράδυνσης και απομόνωσης της δυναμικής συμπεριφοράς των μονάδων διπλής δέσμης (ΕΜΔΔ) του ΣΓΕΣΔ, ώστε να διατηρείται η ευθυγράμμιση της δέσμης σε μια περιοχή μερικών μm.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των δοκών (ΑΥΔ) περιληπτικά είναι:

- Μέγιστη στατική κάθετη ή πλευρική παραμόρφωση των 10 μm
- Μέγιστο βάρος δοκού (ΑΥΔ) 240 kg
- Μέγιστο μήκος σχεδόν 2 m
- Μέγιστο ανεκτό νεκρό βάρος 400 kg/m

- Μέγιστο διατομής 320 mm x 150 mm
- Ανοχή για επιπεδότητα της επιφάνειας 2 μm καθόλο το μήκος του διαμήκους άξονα της δοκού (ΑΥΔ)
- Ανθεκτικότητα σε φαινόμενα γήρανσης λόγω υψηλού ραδιενεργού υποβάθρου

ΤΟ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

▪ ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Όλες οι δοκοί (ΑΥΔ) μαζί αποτελούν ένα σύστημα μηχανικά διασυνδεδεμένο που ονομάζεται «σύστημα φίδι» (Σχήμα 2). Το σύστημα αυτό επιτρέπει την ακριβή ευθυγράμμιση στο συνολικό μήκος των δύο γραμμικών επιταχυντών. Μέσω του "συστήματος φιδιού" οι δοκοί παρακολουθούνται ως προς τη θέση και επανα-ευθυγραμμίζονται.

Η επανατοποθέτηση των δοκών (ΑΥΔ) επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των ενεργοποιητών/γραμμικών κινητήρων που τοποθετούνται σε κάθε πλευρά της δοκού. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να έχουμε τις δυνατές διορθώσεις σε κάθε άκρο της δοκού σε τρεις κατευθύνσεις. Οι ενεργοποιητές/γραμμικοί κινητήρες λειτουργούν με μικρόμετρο ακριβείας και βήματα νανομέτρου. Ένα βασικό ζήτημα για τη σωστή λειτουργία του συστήματος φιδιού είναι η ακαμψία των δοκών και των στηριγμάτων σχήματος V. Αναμένεται ότι οι δοκοί (ΑΥΔ) και τα στηρίγματα σχήματος V θα έχουν υψηλότερες τιμές ακαμψίας σε σύγκριση με άλλα συστατικά των μονάδων διπλής δέσμης (ΕΜΔΔ) του ΣΓΕΣΔ. Ως εκ τούτου, η πιθανή στατική παραμόρφωση των δοκών (ΑΥΔ) και υποστηριγμάτων μορφής V, λαμβάνονται υπόψη κατά το έγκαιρο στάδιο, στη διάρκεια βαθμονόμησης των ενεργοποιητών/γραμμικών κινητήρων. Για την ευθυγράμμιση των επιμέρους συστατικών του συστήματος, είναι απαραίτητο να μεταφερθεί η αναφορά ευθυγράμμισης, που αντιπροσωπεύει τον άξονα δέσμης, στην εξωτερική επιφάνεια των διατάξεων ΠΡ (RF). Αυτό σημαίνει ότι το υποστηρικτικό σύστημα περιλαμβάνει επίσης τη δυνατότητα μεταφοράς της αναφοράς ευθυγράμμισης.

▪ ΔΟΚΟΙ (ΑΥΔ)

Δεδομένου ότι η ακαμψία δοκού (ΑΥΔ) έχει μεγάλη σημασία, επιτεύχθηκε η λεπτομερής μελέτη των διαφόρων υλικών, που διατίθενται σήμερα στην αγορά. Τα δυνητικά κατάλληλα υλικά για την παραγωγή υποστηρικτικής δοκού (ΑΥΔ) συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Έγινε μια σειρά από προσομοιώσεις εξετάζοντας διάφορα υλικά και διαφορετικά σχήματα υποστηρικτικής δοκού (Πίνακας 2) πριν από την επιλογή της βέλτιστης λύσης που πληρούν τις απαιτήσεις κατασκευής του ΣΓΕΣΔ.

Υλικό	Στατική Παραμόρφωση φόρτισης με στοιχεία ΠΡ (RF) (μm)
Αλουμίνιο -6061- ΑHC	43.39
Ανοξείδωτος χάλυβας (μη μαγν.)	36.49
Καρβίδιο Πυριτίου (SiC)	03.38
Δομικός χάλυβας	36.29

Ανοξειδωτος χάλυβας 440°C	35.32
Τιτάνιο	46.86
Βυρήλλιο	82.64
Ίνες άνθρακα	66.68
Erument 140/5	15.08
Ίνες αραμιδίου	69.96

Πίνακας VII-13

Εξαιτίας του περιορισμένου χώρου, η δοκός θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν συμπαγής (Σχήμα 3). Ως εκ τούτου, η ορθογώνια διατομή δοκός με εξωτερικές διαστάσεις (320 mm X 150 mm X 2000 mm) ορίζεται ως το αποτέλεσμα μιας εκτεταμένης βελτιστοποίησης.

Η δοκός πρέπει να έχει χαμηλή στατική παραμόρφωση και να είναι αξιόπιστη ως θεμελιώδες στοιχείο για το σύστημα υποστήριξης του ΣΓΕΣΔ. Προσομοιώσεις με βάση τη δομική συμπεριφορά έγιναν συγκρίνοντας τις μηχανικές ιδιότητες των διαφορετικών αναφερθέντων υλικών. Τα καλύτερα αποτελέσματα ακαμψίας στην αναλογία απόσβεσης υπέδειξαν το καρβίδιο του πυριτίου (SiC), το οποίο έχει επιλεγεί.

Για την προμήθεια της δοκού χρησιμοποιήθηκαν ως βάση οι τεχνικές προδιαγραφές του CERN. Το μήκος (έως 1946 mm) παραμένει η κύρια πρόκληση κριτήριο για τους κατασκευαστές της δοκού από SiC. Η διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης που απαιτείται για την παραγωγή του SiC που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, περιορίζονται με τις εφικτές λύσεις στη βιομηχανία (π.χ. διαστάσεις του κλιβάνου, το υλικό ομοιογένεια κλπ). Ως εκ τούτου, έχουν μελετηθεί αρκετές τεχνικές κατασκευής (όπως συγκόλληση, εποξική κόλληση). Πριν από την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της δοκού βάσης, το πάχος του τοιχώματος θεωρήθηκε να είναι 10 mm. Μετά τις διαρθρωτικές προσομοιώσεις αυξήθηκε σε 50 mm. Μία τέτοια τιμή παραμένει πλήρως συμβατή με τους περιορισμούς του χώρου και τους περιορισμούς των μεθόδων κατασκευής του SiC.

Εναλλακτικές μελέτες των στηρικτικών δοκών και περαιτέρω σχεδιασμοί προσομοίωσης έχουν προχωρήσει στην απόκτηση επιπλέον συγκριτικών στοιχείων. Τα βασικά κριτήρια της έρευνας, σε σύγκριση με την αρχική τιμή της δοκού από SiC, ήταν :

- Λιγότερο στάδια στη κατασκευή,
- Μικρότερη χρονική διάρκεια της παραγωγής,
- Μεγαλύτερη ευελιξία στη στερέωση του εμφυτεύματος,
- Χαμηλότερο κόστος.

Προέκυψε η χρήση ορυκτών υλικών. Ένα από αυτά, το "Erument 145B" (Εικόνα 7) χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα για τις στηρικτικές δοκούς της διάταξης επιταχυντή XFEL στο PSI [6], φαίνεται ιδιαίτερα ενδιαφέρον για την μονάδα της διπλής δέσμης του ΣΓΕΔ. Σε ένα τέτοιο υλικό έχει αποδειχθεί ότι έχουν παρόμοιες τιμές παραμόρφωσης με το υλικό του SiC.

Για όλους τους τύπους των στηρικτικών δοκών, επιτεύχθηκε στατική προσομοίωση παραμόρφωσης. Η εκτίμηση βάρους καθενός έγινε χωριστά από τα συστατικά που υποστηρίζονται στη δοκό, με βάση την προκαταρκτική σχεδίαση που έχει επιπλέον ένα περιθώριο ασφαλείας 20% (Σχήμα 4). Έχει παρατηρηθεί το μειονέκτημα με το

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

υλικό Erument 145B να έχει χαμηλό μέτρο ελαστικότητας σε σύγκριση με το τυπικό υλικό του SiC.

- Erument = 40-45 GPa :

Στατική παραμόρφωση κατά 53.5 μm (για φορτίο 1.946 mm πλάτος δοκού),

- $E_{\text{SiC}} = 170\text{-}210$ GPa :

Στατική Παραμόρφωση 6.81 μm (για φορτίο 1.946 mm πλάτος δοκού).

Ωστόσο, αρκετά μικρόμετρα ακρίβειας, τα οποία είναι αναγκαία για την αντιστάθμιση της παραμόρφωσης λόγω μελλοντικών συστατικά φόρτωσης, μπορεί να επιτευχθεί με προεντεταμένη λείανση ακριβείας μετά την επεξεργασία από το καλούπι. Τα κριτήρια βάρους και αντοχής στην ραδιενεργό ακτινοβολία πληρούνται για το υλικό Erument. Για την ανάλυση της μονάδας τύπου 0 διπλής δέσμης, κάθε δοκός μελετήθηκε μεμονωμένα εφαρμόζοντας την αρχή λειτουργίας των ενεργοποιητών/γραμμικών κινητήρων, που καθορίζουν τις οριακές συνθήκες στη δοκό. Η ανάλυση βασίστηκε στο σχεδιασμό της στηρικτικής δοκού με τρεις διαφορετικές Ευρωπαϊκές εταιρείες που παράγουν μονάδες διπλής δέσμης.

Τρεις ανεξάρτητες αναλύσεις έγιναν με τη διαμόρφωση διαφορετικών δοκών (Πίνακας 3). Κάθε διαμόρφωση βελτιστοποιήθηκε σύμφωνα τόσο με το υλικό σκοπιμότητας όσο και με τη βιομηχανική διαδικασία κατασκευής.

Για το υλικό SiC χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές τεχνικές κατασκευής:

- Δύο υλικά SiC μισού μήκους, 1 m το καθένα, τα οποία συγκολλούνται μεταξύ τους (εταιρεία Α),
- Πρότυπο ορθογώνιας διατομής υλικού SiC μηχανικές δοκοί με μικρότερο μέγεθος κολλημένες μαζί σχηματίζοντας την απαιτούμενη στηρικτική δοκό (εταιρεία Β).

Μεταλλική ορυκτή δοκός (εταιρεία Γ) κατασκευάστηκε από εποξικές ρητίνες ενισχυμένες με πέτρες διαφόρων διαμέτρων. Χρησιμοποιήθηκε ένα καλούπι για να παραχθεί η δοκός. Όλες οι επιφάνειες αναφοράς της δοκού λειάνθηκαν μετά την κατασκευή με ακρίβεια μικρότερη από 2 μm . Αυτή η ακρίβεια απαιτείται, καθώς όλα τα στοιχεία PP (RF) θα συναρμολογηθούν σε σχέση με αυτές τις επιφάνειες. Όλες οι διεπαφές με τις συνιστώσες PP (RF) και οι ενεργοποιητές/γραμμικοί κινητήρες (Πίνακας 4) επίσης λειαινούνται με ακρίβεια καλύτερη από 20 μm . Επιπλέον, για να επιτευχθεί η αναγκαία ακρίβεια, αφού συναρμολογηθεί το σύστημα υποστήριξης, πρέπει να βαθμονομούνται οι ενεργοποιητές/γραμμικοί κινητήρες για να ληφθούν υπόψη τα συμπεράσματα και να ελαχιστοποιηθεί η όποια ανακρίβεια στη κατασκευή της δοκού (Σχήμα 5).

ΥΠΟΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΣΧΗΜΑΤΟΣ V

Τα συστατικά μεταξύ των συστατικών PP (RF) και της δοκού είναι τα στηρίγματα σχήματος V (Σχήμα 6). Στο σχεδιασμό ενός τέτοιου στοιχείου τέθηκαν ζητήματα σχετικά με την ακαμψία του υλικού και την διαθεσιμότητα χώρου. Η δυνατότητα του χώρου για τα στηρίγματα σχήματος V είναι πολύ περιορισμένη.

Ένα άλλο ζήτημα είναι η σταθερή στερέωση του στηρίγματος σχήματος V στη δοκό από υλικό SiC. Η δοκός SiC έχει πολύ υψηλή ακαμψία, αλλά είναι εύθραυστη. Οι μηχανικές μέθοδοι στερέωσης δεν είναι συμβατοί με μια τέτοια κατάσταση. Ως εκ τούτου, έχει αποφασιστεί να χρησιμοποιηθεί είτε κόλλα ή θερμοσυγκόλληση για τα στηρίγματα σχήματος V για την πλήρη ενσωμάτωσή τους στη δοκό (Σχήμα 6). Στη

συνέχεια, ένα σφιγκτήρας με μαλακό ενδιάμεσο υλικό θα χρησιμοποιηθεί, για να στερεωθούν τα στοιχεία ΠΡ (RF).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προηγμένα υποστηρικτικά συστήματα απαιτούνται για την σταθεροποίηση και ευθυγράμμισης των επιταχυντών σωματιδίων. Πραγματοποιήθηκε μελέτη της συνολικής στήριξης του συστήματος για τη μονάδα διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν ο καθορισμός της γραμμής βάσης υλικού υποστήριξης του συστήματος και της συνολικής διαμόρφωσης. Οι τεχνικές προδιαγραφές που εκδόθηκαν για το σύστημα υποστήριξης της μονάδας διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ, έλαβαν υπόψη τις απαιτήσεις της φυσικής που θα προκύψει από τα πειράματα της δέσμης. Διερευνήθηκε η πιθανή κατασκευή του συστήματος υποστήριξης πρωτότυπης μονάδας διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ, σύμφωνα με τις διαθέσιμες τεχνολογίες. Διαφορετικά υλικά και διαμόρφωση σχήματος εξετάστηκαν πριν από τον καθορισμό της μονάδας διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ. Έγιναν προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων και αναλυτικοί υπολογισμοί για να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα και να προσδιοριστεί το μέγεθος του συστήματος υποστήριξης. Σύμφωνα με το τρέχον πρόγραμμα, οι πρώτοι δοκοί προτύπου κατασκευής αναμένεται να παραδοθούν στο CERN, τον Νοέμβριο του 2010 για εκτεταμένες δοκιμές.

Η μελέτη αυτή είναι πολύ δύσκολη και τα αποτελέσματα των δοκιμών θα είναι πρωταρχικής σημασίας για την υλοποίηση μιας μετα - LHC (Μεγάλος Αδρονικός Επιταχυντής = Large Hadron Collider) [14] εποχής.

Παράρτημα VIII

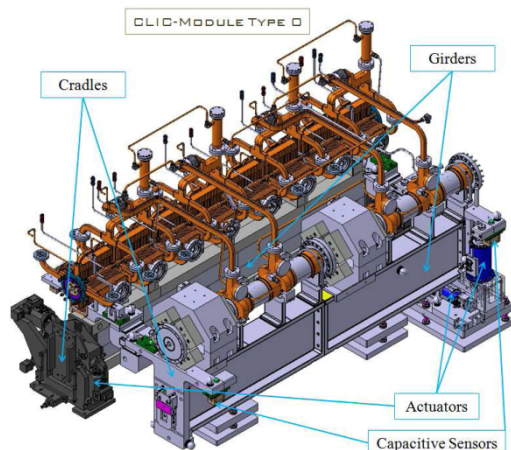
Εφαρμογές και μικρομετρική ευθυγράμμιση του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ

Ο Συμπαγής Γραμμικός Επιταχυντής Συγκρουόμενων Δεσμών (ΣΓΕΣΔ = CLIC), που βρίσκεται επί του παρόντος υπό μελέτη στο CERN, στοχεύει στην ανάπτυξη ενός επιταχυντή συγκρουόμενων δεσμών $e+e-$ σε ενέργειες TeV. Οι δομές ΣΓΕΣΔ μικρο-ακρίβειας έχουν βαθμίδα επιτάχυνσης 100 MV/m και ευθυγραμμίζονται με τον άξονα της δέσμης, με ειδικά σχεδιασμένους δοκούς υποστήριξης (ΑΥΔ). Οι περιορισμοί κατασκευής της δοκού υπαγορεύονται από αυστηρές απαιτήσεις των αποτελεσμάτων φυσικής που αναμένονται. Η μικρομετρική προ-ευθυγράμμιση κατά μήκος αρκετών χιλιομέτρων από επαναλαμβανόμενα τμήματα, επιτρέπουν στις διατάξεις του ΣΓΕΣΔ = CLIC να εκπληρώσουν την επιτάχυνσή τους και τη λειτουργικότητα σύγκρουσης. Η μελέτη αυτών των δοκών (ΑΥΔ) και η εξελιγμένη μέθοδος ευθυγράμμισής τους, είναι μια τεχνολογική προκλήση που αφορά ειδική μηχανική σχεδίαση, καθώς και την παραγωγή προτύπων και την πειραματική δοκιμή τους.

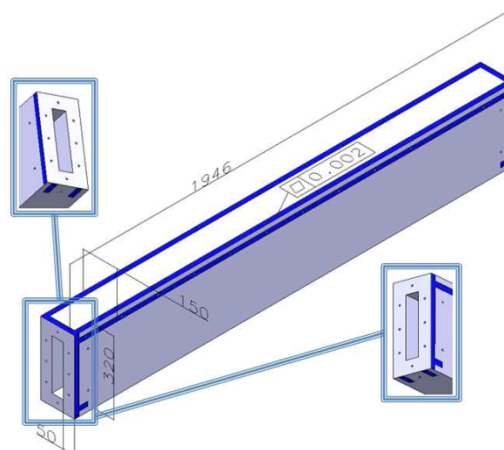
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη του ΣΓΕΣΔ [1] είναι αφιερωμένη στον σχεδιασμό ενός επιταχυντή συγκρουόμενων δεσμών $e+e-$ σε ενέργειες TeV με φωτεινότητα $2 \cdot 1.034 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Παράλληλα, αναπτύσσεται μια εξίσου ενδιαφέρουσα σχεδίαση σε χαμηλότερη ενέργεια, έως 500 GeV και στην ίδια φωτεινότητα για σύγκριση με τον εναλλακτικής τεχνολογίας επιταχυντή τον Διεθνή Γραμμικό Επιταχυντή Σωματιδίων (ΔΓΕΣ = ILC). Στον ΣΓΕΣΔ απαιτούμενη φωτεινότητα μπορεί να επιτευχθεί με ισχυρές δέσμες σωματιδίων (14 MW η κάθε μία) να συγκρούονται έχοντας εξαιρετικά μικρές διαστάσεις (διατομής) και σταθερότητα υψηλής κλίμακας. Οι ταχείες δέσμες σωματιδίων πρέπει να έχουν διαστάσεις από 45 nm σε οριζόντιο επίπεδο και 1 nm στο κατακόρυφο επίπεδο (το σημείο αλληλεπίδρασης).

Η βασική λειτουργία επιτάχυνσης του ΣΓΕΣΔ αποτελείται από δύο παράλληλες δέσμες, όπου ενέργεια των ραδιοσυχνοτήτων ΠΡ (RF) εξάγεται από την δέσμη χαμηλής ενέργειας, αλλά υψηλής έντασης δέσμης σωματιδίων, που ονομάζεται Οδηγός Δέσμη ΟΔ (DB), και μεταφέρεται στην παράλληλη υψηλής ενέργειας δέσμη των σωματιδίων και ονομάζεται Κύρια Δέσμη ΚΔ (MB). Η επιτάχυνση της δέσμης των σωματιδίων επιτυγχάνεται με τις υψηλής ακρίβειας επιταχυντικές δομές ΠΡ (RF), που λειτουργεί σε 11,9942 GHz με την επιταχυνόμενη βαθμίδα 100 MV/m, οι οποίες είναι τοποθετημένες και προ-ευθυγραμμισμένες σε ειδικά αναπτυγμένα στηρίγματα, τους αποκαλούμενους αμφιέραστης υποστήριξης δοκούς (ΑΥΔ). Οι δομές επιβράδυνσης της ΟΔ που συνδέονται με τα επιταχυντικές διατάξεις ΕΔ (AS) της ΚΔ μέσω κυματοδηγών, συνδέουν διάφορες συνιστώσες RF όπως η λειτουργία φλάντζα στραγγαλισμού, υβριδικά συστήματα, τα φορτία υψηλής ισχύος και οι διαιρέτες. Οι δύο γραμμικοί επιταχυντές σχηματίζονται από τη μονάδα διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ που είναι η μικρότερη επαναλαμβανόμενη μονάδα του επιταχυντή, που στηρίζει όλα τα κύρια συστατικά ΠΡ (RF) και τους εστιάζοντας μαγνήτες (Σχήμα 1). Το συνολικό μήκος του κάθε γραμμικού επιταχυντή είναι περίπου 21 χιλιόμετρα. Μερικές μονάδες διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ ορίστηκαν, σύμφωνα με τις απαιτήσεις για την βέλτιστη οπτική της ΚΔ, εκπληρώνοντας συγχρόνως, την ολοκλήρωση των τετράπολων μαγνητών εστίασης, οι οποίοι έχουν υψηλές απαιτήσεις ευστάθειας (1 nm σε πάνω από 1 Hz), και τη δική τους ειδική υποστήριξη.



Σχήμα VIII-6: Μονάδα διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ (Τύπος 0)



Σχήμα VIII-7: Χώρος διαστάσεων (AYΔ) δοκού

Το μήκος των (AYΔ) δοκών της ΚΔ εξαρτάται από τον τύπο της μονάδας. Οι μαγνήτες εστίασης μπορεί να αντικαταστήσουν ένα ή μερικά ζευγάρια επιταχυντικών διατάξεων. Για παράδειγμα, η μονάδα διπλής δέσμης τύπου 1 είναι εξοπλισμένη με τη μικρότερο σε μήκος μαγνήτη ΚΔ. Συνεπώς, το απαιτούμενο μήκος δοκού είναι περίπου 1.5 m. Η μονάδα τύπου 4 δεν απαιτεί καμμία δοκό ΚΔ, δεδομένου ότι έχει μαγνήτη που καλύπτει όλο το μήκος της ΚΔ. Το μήκος της ΚΔ της δοκού στερεώνεται σε μήκος 1946 mm αυτοδύναμα.

Για το ουσιαστική προ-ευθυγράμμιση των μονάδων του ΣΓΕΣΔ, οι διατάξεις ΠΡ (RF) πρέπει να προ-ευθυγραμμιστούν μέσα σε μερικά μικρά σε απόσταση 200 m, σε σχέση με μια ευθεία γραμμή, έτσι ώστε να είναι εφικτές οι πρώτες συγκρούσεις των σωματιδίων. Αυτές οι τιμές είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σύγκριση με τις ανοχές που επιτεύχθηκαν σε άλλους επιταχυντές.

Η δια-σύγκριση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων ευθυγράμμισης για χρονικό διάστημα άνω των 20 ετών της ερευνητικής προσπάθειας, οδήγησε στη λύση η οποία είναι επί του παρόντος στο στάδιο της επικύρωσης στο CERN μέσα από την πραγματική διαδικασία κατασκευής και ελέγχου μακέτας υπό κλίμακα. Η κατασκευή αποτελείται από τεντωμένα σύρματα άνω των 200 m μήκους και επικάλυψη πάνω από το μισό του μήκους τους, παρέχοντας έτσι μια σταθερή και καθορισμένη ευθυγράμμιση αναφοράς για τον προσδιορισμό της θέσης των εξαρτημάτων. Ενσύρματοι αισθητήρες θέσης (WPS) συζευγμένοι με τα στοιχεία που πρέπει να είναι προ-ευθυγραμμισμένοι, εκτελούν τις μετρήσεις με ανοχή λίγων μικρόμετρων, σε σχέση με αυτά τα σύρματα [2]. Οι μετρήσεις αυτές αποτελούν στη συνέχεια την είσοδο για τους γραμμικούς ενεργοποιητές, οι οποίοι θα πραγματοποιήσουν την αναγκαία αναπροσαρμογή του συστήματος υποστήριξης. Δύο διαφορετικοί τύποι αισθητήρων χρησιμοποιούνται για αυτή τη διαδικασία προ - ευθυγράμμισης. Καθώς η μηχανική σύνδεση μεταξύ των στοιχείων που πρέπει να προ-ευθυγραμμισμένοι έχει περιοριστεί στους 3 βαθμούς ελευθερίας, οι χωρικοί αισθητήρες του Ενσύρματου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (cWPS), θα παρέχουν τις πληροφορίες σχετικά με ακτινικές και κατακόρυφες μετατοπίσεις και κλίσεις, καθώς και τις πληροφορίες κλίσης σε σχέση με τον άξονα δέσμης των σωματιδίων που διέρχεται από τα διατάξεις ΠΡ (RF) της μονάδας διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ. Η αναγκαία αναπροσαρμογή θα πραγματοποιηθεί από γραμμικούς κινητήρες/ενεργοποιητές, που περιέχει κωδικοποιητές απόλυτης υψηλής ανάλυσης.

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ – (ΑΥΔ) ΔΟΚΟΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ.

Οι δοκοί σχηματίζουν ένα σύστημα μηχανικά αρθρωτών “αλυσίδων” σε όλο το μήκος του γραμμικού επιταχυντή, με σύστημα υποστήριξης που επιτρέπει την ευθυγράμμιση των διατάξεων ΠΡ (RF). Η απόσβεση και η απομόνωση της δυναμικής συμπεριφοράς της μονάδας διπλής δέσμης του ΣΓΕΣΔ, είναι πρόσθετες απαιτήσεις για τις δοκούς, ώστε να διατηρούν την μικρομετρική ευθυγράμμιση της δέσμης των σωματιδίων. Οι κύριες απαιτήσεις για τις δοκούς συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Όριο Ελαστικότητας	$\geq 400 \text{ GPa}$
Μάζα ανά δοκό (ενιαίο)	$\leq 240 \text{ kg}$
Μέγιστη εγκάρσια παραμόρφωση σε συνθήκες φορτίου	10 μm
Μέγιστη πλευρική παραμόρφωση σε συνθήκες φορτίου	10 μm
Μέγιστο βάρος αντοχής της δοκού (καταναμημένο)	400 kg/m
Επιτρεπτές διαστάσεις δοκού: Ύψος (H), Πλάτος (W), Μήκος (L), Πάχος τοιχώματος (wt) *	H = 320 \pm 1 mm, W = 150 \pm 1 mm, L = 1946 \pm 1 mm, wt = 50 \pm 1 mm
Εξωτερική διατομή επιφάνειας	8 καθορισμένες οπές με σπείρωμα $\varnothing 10$
Επιφάνειες αναφοράς	Χρωματιστές επιφάνειες με επιτεδότητα των 2 μm (Σχήμα 2)
Βασικό σχήμα διατομής	Ορθογώνιο, κοίλο

Πίνακας VIII-14: Τεχνικές Προδιαγραφές (ΑΥΔ) Δοκού στήριξης

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΩΝ

Οι βασικές κατευθυντήριες γραμμές της μελέτης για τη δοκό ήταν οι τεχνικές απαιτήσεις και μια πρώτη εκτίμηση του βάρους για τη μονάδα διπλής δέσμης.

Η επιλογή υλικών για την δοκό ήταν καθοριστική, μαζί με τον έλεγχο σκοπιμότητας σε αυτό το στάδιο της μελέτης. Βιομηχανικά υλικά (π.χ. αλουμίνιο, ανοξείδωτος χάλυβα και άλλοι) αποκλείστηκαν λόγω της αυστηρής τεχνικής προδιαγραφής της δοκού. Διερευνήθηκαν εναλλακτικές των υλικών (π.χ. ίνες άνθρακα, αφρώδη μέταλλα) τα οποία δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για το συγκεκριμένο μεγάλο μήκος της δοκού (2m). Ως εκ τούτου, βασική ύλη για τις δοκούς διπλής δέσμης επιλέγεται να είναι το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) και εναλλακτικό υλικό, που αναπτύχθηκε πρόσφατα, το ορυκτό χυτό Erument. Τόσο το επιλεγμένο υλικό της βασικής γραμμής όσο και τα εναλλακτικά υλικά πληρούν όλες τις τεχνικές απαιτήσεις και παράλληλα τις βελτιστοποιημένες λύσεις με επαρκή απόσβεση συμπεριφοράς για πιθανά δυναμικά φορτία στον επιταχυντή (ιδιοσυχνότητες δοκού ≥ 50 [Hz]).

Από το χώρο αρχειοθέτησης των δικαιολογητικών στοιχείων του συστήματος, μόνο το εξωτερικό περίβλημα της δοκού προσδιορίστηκε στις τεχνικές προδιαγραφές. Οπότε, διερευνήθηκαν διαφορετικές διατομές σύμφωνα με τις μεθόδους κατασκευής και τις διαθέσιμες ακριβείς εφαρμογές κατεργασίας (για τις επιφάνειες αναφοράς). Αναλύθηκαν οι εσωτερικές ενισχύσεις της δοκού και προσομοιώθηκαν και εκτελέστηκαν για διάφορες διατομές σχήματος δοκού I και II. Οι διαμορφώσεις της βασικής γραμμής των προτύπων της δοκού της μονάδας διπλής δέσμης επιλέχθηκαν ώστε να είναι ένα στερεό και ένα κοίλο ενισχυμένο I-σχήμα δοκού. Αυτές οι δύο διαφορετικές διαμορφώσεις προσδιορίστηκαν για διάφορους λόγους:

- I. Στερεά σχήματος I δοκός: παρέχει σταθερότητα και ακαμψία για τη μονάδα διπλής δέσμης. Οι επιφάνειες αναφοράς απλώς λαμβάνονται με μηχανική κατεργασία υψηλής ακρίβειας.
- II. Κοίλου σχήματος I δοκός: σχηματίζεται από κολλημένες δοκούς τυποποιημένη υλικού από SiC. Η μηχανική κατεργασία επιφάνειες αναφοράς, σε αυτήν την περίπτωση, επιτυγχάνεται με προένταση της συνολική δοκού κατά τον διαμήκη άξονά του.

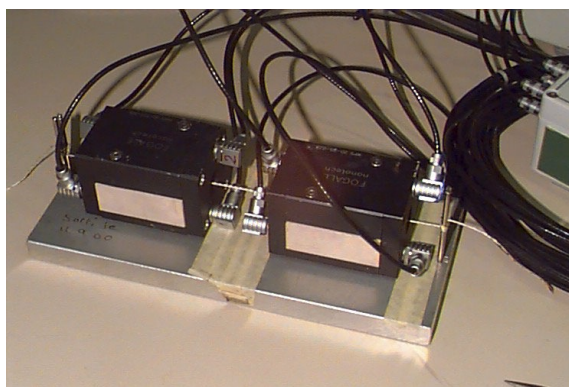
Η πρότυπη δοκός της μονάδας διπλής δέσμης είχε αγοραστεί και παραδόθηκε στο CERN το Δεκέμβριο του 2010 [3]. Από τα πρότυπα αυτά, οι εκτεταμένες δοκιμές ευθυγράμμισης διεξήχθησαν παράλληλα με την έρευνα για τη μεθοδολογία της συναρμολόγησης ακριβείας. Την ίδια στιγμή, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της δοκού, είναι υπό μηχανική μελέτη και δοκιμές σε ραδιενεργό ακτινοβολία υποβάθρου για την τελική αξιολόγηση. Η μαζική παραγωγή ενός τέτοιου στοιχείου απαιτεί την πειραματική επιβεβαίωση για να προσδιορίσει την βέλτιστη απόδοση για το σύστημα υποστήριξης της μονάδας διπλής δέσμης.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ

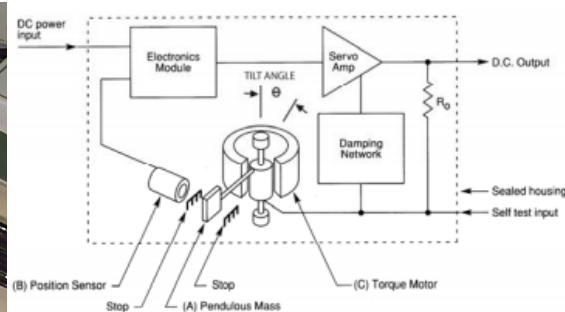
▪ *cWPS*

Οι ενσύρματοι αισθητήρες θέσης χωρητικότητας *cWPS*, που έχουν εγκριθεί από το ομάδα εργασίας του CERN, χρησιμοποιούν την τεχνική μέτρησης της χωρητικότητας κατά μήκος δύο κάθετων αξόνων, για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ του μηχανικού άξονα και ενός τεντωμένου σύρματος που χρησιμεύει ως άξονας αναφοράς. Σε κάθε άξονα μέτρησης, το σύρμα πηγαίνει ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια. Το σύρμα είναι κατασκευασμένο από ίνες άνθρακα και η γεωμετρία του συντηρείται από ένα περίβλημα με ύφασμα νηματίων από Peek (πολυαιθέρας-αιθέρας-κετόνη). Πραγματοποιήθηκε έλεγχος μέτρησης από ένα σύστημα τροχαλίας χωρίς τριβές και αντίβαρο σε ένταση, που αναπτύχθηκε στην ομάδα έρευνας.

Ενώ η εφαρμογή του *cWPS* παραμένει μια ακριβή λύση και είναι ακριβής τύπος του αισθητήρα που πληρεί τις απαιτήσεις της προ-ευθυγράμμισης, με σχετικά υψηλό κόστος και με εξάρτηση από αγωγία καλώδια για να λειτουργήσει, οδήγησε στην έρευνα και την αξιολόγηση των εναλλακτικών τύπων αισθητήρων, όπως οι αντίστοιχοι οπτικοί.



Σχήμα VIII-8: Αισθητήρες χωρητικότητας WPS σε σειρά



Σχήμα VIII-9: Αρχή λειτουργίας του κλινομέτρου

▪ **Κλινόμετρο**

Ο τύπος του κλινόμετρου χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές προ-ευθυγράμμισης είναι η σειρά AILSO κλισιομέτρων από την Althen. Η αρχή λειτουργίας αυτού του κλινόμετρου εξηγείται ως ακολούθως. Καθώς το κλινόμετρο έχει κλίση κατά μήκος του ευαίσθητου άξονά του, ένα εκκρεμές μάζας που βρίσκεται στο εσωτερικό προσπαθεί να κινείται επίσης προς την κατεύθυνση της κλίσης. Αυτή η μετατόπιση ανιχνεύεται από τους αισθητήρες θέσης στα δύο άκρα της διαδρομής μάζας, η οποία στη συνέχεια παράγει ένα σήμα εξόδου σφάλματος. Αυτό το σήμα σφάλματος στη συνέχεια τροφοδοτείται σε έναν ενισχυτή σερβο συζευγμένο με τον οπλισμό ενός κινητήρα ροπής η οποία κινεί την μάζα πίσω στην αρχική του θέση. Η τάση εξόδου που δημιουργείται μετά το ρεύμα, περνά μέσα από μια ωμική αντίσταση είναι ανάλογη προς το ημίτονο της γωνίας κλίσης [4].

▪ **Γραμμικοί μηχανισμοί κίνησης/ενεργοποιητές**

Οι ενεργοποιητές που θα χρησιμοποιηθούν για την εκ νέου ρύθμιση των διατάξεων ΠΡ (RF), κατασκευάζονται από την εταιρεία ZTS. Είναι γραμμικοί μηχανισμοί κίνησης/ενεργοποιητές με την απαιτούμενη μετατόπιση των 0.5 μm σε όλο το φάσμα μέτρησης και χρησιμοποιούν υψηλής ανάλυσης βηματικό κινητήρα για την απόκτηση της απαραίτητης ροπής , ενώ όλες οι κινήσεις ελέγχονται από τους αισθητήρες απόλυτης θέσης RENISHAW RELA, με διακριτική ικανότητα 50 nm κατά μήκος 60 mm του κινούμενου εύρους [5].

Μετά τις πρώτες δοκιμές αυτών των ενεργοποιητών στο CERN, ορισμένες ήσσονος σημασίας σφάλματα που εμφανίστηκαν σχετικά με τη συμπεριφορά σπασμοδική κίνηση και ταλαντώσεις του μπλοκ σύνδεσης, αλλά η ανάπτυξη είναι ακόμη σε εξέλιξη. Επιπλέον, ένα άλλο είδος των ενεργοποιητών πρόκειται να εγκατασταθεί και να αξιολογούνται από τα μέσα του 2011 παρέχοντας μια εναλλακτική λύση για την εκ νέου ρύθμιση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν ο προσδιορισμός και η κατασκευή του πρότυπου συστήματος υποστήριξης του ΣΓΕΣΔ με ενσωματωμένο εξοπλισμό ευθυγράμμισης. Εκδόθηκαν οι τεχνικές προδιαγραφές και εκτεταμένη πειραματική δοκιμή βρίσκεται σε εξέλιξη. Η μελέτη για την προηγμένη υποστήριξη και την ευθυγράμμιση των συστημάτων είναι πολύ δύσκολη και τα αποτελέσματα των δοκιμών θα είναι πρωταρχικής σημασίας για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτιστοποίηση του ΣΓΕΣΔ.

Παράρτημα ΙΧ

Κατασκευή, επεξεργασία και ποιοτικός έλεγχος του υποστηρικτικού συστήματος της ΕΜΔΔ του ΣΓΕΣΔ

Οι διατάξεις ΠΡ μικρομετρικής ακρίβειας τοποθετούνται και ευθυγραμμίζονται με την βοήθεια των ειδικά σχεδιασμένων ΑΥΔ, που παρέχουν σταθερότητα και τις συνθήκες ευθυγράμμισης. Οι ΑΥΔ έχουν την απαιτούμενη στιβαρότητα και απόσβεσης που απορρέει φυσικές ιδιότητες των δομικών των υλικών, αποτέλεσμα των αυστηρών επιβεβλημένων προδιαγραφών των διατάξεων ΠΡ. Επιπλέον, πολλά ζητήματα, όπως ο περιβάλλον όγκος τους και ο περιορισμός του βάρους τους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Διαφορετικές έννοιες στήριξης παρουσιάζονται λεπτομερώς, μετά από διάφορες τεχνικές κατασκευής για κάθε υλικό. Εκτεταμένες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί στις ΕΜΔΔ και στα υποστηρικτικά τους συστήματα προκειμένου να πιστοποιήσουν την σωστή και μακροχρόνια τους λειτουργία. Τα λεπτομερή αποτελέσματα τους έχουν επίσης δημοσιευτεί.

Ο ΣΓΕΣΔ, του οποίου η τελική κατασκευή μελετάται και προπαρασκευάζεται στο CERN, στοχεύει στην ανάπτυξη ενός πολυ-ενεργειακού επιταχυντή ποζιτρονίου-ηλεκτρονίου ($e^+ e^-$) σε κλίμακα TeV και θα βασίζεται σε μία διάταξη επιτάχυνσης διπλής-δέσμης. Στην επιτάχυνση διπλής-δέσμης, η ενέργεια του Πεδίου Ραδιοσυχνότητας (ΠΡ) εξάγεται από μια εκ των δεσμών, αυτή της χαμηλής ενέργειας και παράλληλα υψηλής έντασης, η ονομαζόμενη Οδηγός Δέσμη και μεταφέρεται στη δέσμη που διατρέχει παράλληλα, η οποία έχει μία συγκριτικά υψηλή ενέργεια, η ονομαζόμενη Κύρια Δέσμη. Οι ΕΜΔΔ, είναι οι μικρότερες επαναλαμβανόμενες μονάδες που συνθέτουν τις δύο παράλληλες δέσμες. Οι διατάξεις ΠΡ των ΕΜΔΔ επαναλαμβάνονται περιοδικά τόσο στην ΚΔ όσο και στην ΟΔ με υψηλές απαιτήσεις μικρομετρικής ευθυγράμμισης για να γίνει δυνατή η σύγκρουση των δέσμών σωματιδίων στο σημείο αλληλεπίδρασης. Για να επιτευχθεί αυτό, οι ΑΥΔ τους πρέπει να έχουν στατική κάθετη παραμόρφωση μικρότερη από 10 μm . Λόγω των απαιτήσεων εστίασης για την ΚΔ, σημεία εστίασης των δεσμών καθορίστηκαν, στα οποία επικεντρώνονται οι τετράπολοι μαγνήτες-ΚΔ και αντικαθιστούν τις διατάξεις ΠΡ. Όλοι οι τετράπολοι μαγνήτες-ΚΔ έχουν το δικό τους ανεξάρτητο υποστηρικτικό σύστημα λόγω των υψηλών απαιτήσεων για σταθερότητάς τους (1,5 nm ολοκληρωμένης μετατόπισης σε συχνότητα 1 Hz). Για το λόγο αυτό το μήκος της ΑΥΔ της ΚΔ εξαρτάται από τον Τύπο της εκάστοτε ΕΜΔΔ και κυμαίνεται από 446 mm έως 1946 mm. Το μήκος της ΑΥΔ της ΟΔ είναι πάντα σταθερό και ισοδυναμεί με 1946 mm. Η κατασκευή καθώς επίσης και η ακρίβεια συναρμολόγησης του όλου συστήματος των ΕΜΔΔ σε σειρά, που απαρτίζουν τον ΣΓΕΣΔ, βρίσκεται στην αιχμή των διαθέσιμων τεχνολογιών. Κατά συνέπεια, τα πρότυπα του υποστηρικτικού συστήματος κατασκευάζονται για εκτεταμένη πειράματα και έλεγχοι επικύρωσης λειτουργίας. Για τις ΑΥΔ, το θεμελιώδες κομμάτι του υποστηρικτικού συστήματος του ΣΓΕΣΔ, μία θεμελιώδης αλλά και εναλλακτικές διατάξεις ερευνήθηκαν. Οι επιλεγόμενες λύσεις για τις πρότυπες κατασκευές βασίζονται σε διαφορετικά δομικά υλικά. Οι αντίστοιχες μέθοδοι κατασκευής είναι σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές. Οι προσομοιώσεις με πεπερασμένα στοιχεία και δοκιμές ελέγχων πιστοποίησης διεξάγονται για να συγκρίνουν και να χαρακτηρίσουν μηχανικά τα πρώτα πρότυπα. Τα υποστηρικτικά συστήματα των διατάξεων ΠΡ, αποτελούν επίσης μέρος του ευρύτερου συστήματος υποστήριξης και επανατοποθέτησης, μαζί με τους κινητήρες και τους αισθητήρες ανίχνευσης θέσης. Οι διατάξεις ΠΡ συναρμολογούνται και υποστηρίζονται μηχανικά επί των δοκών μέσω των Υποστηρικτικών-V. Η ίδια η ΑΥΔ στατικά εδράζεται επί των διαμήκων άκρων της από την αποκαλούμενα Λίκνα Αντιστήριξης, στα οποία συναρμολογούνται μηχανικά οι κινητές και οι αισθητήρες. Όλα τα αποτελέσματα του πειραματικού προγράμματος, μαζί με τις τεχνικές λεπτομέριες και τις οριακές

συνθήκες που επιβλήθηκαν, παρουσιάζονται μαζί με τις τρέχουσες και τις προγραμματισμένες εργασίες στα Κεφάλαια 5 και 6.

Οι ΑΥΔ συναρμολογούνται ώστε να αποτελούν μία αλυσιδωτή μηχανικά άρθρωση σε όλο το μήκος του επιταχυντή. Τα Λίκνα Αντιστήριξης παρέχουν μέσω των διαμήκη άκρων των γειτονικών ΑΥΔ στατική στήριξη και διασύνδεση μέσω ενός κοινού Σημείου Μηχανικής Άρθρωσης. Η ΑΥΔ ορθογωνικής διατομής 320×150 mm, είναι αποτέλεσμα μιας γενικότερης βελτιστοποίησης του μηχανολογικού σχεδιασμού, η οποία λαμβάνει υπόψη διάφορες παραμέτρους, όπως οι χωρικοί περιορισμοί της σήραγγας εγκατάστασης του επιταχυντή. Για την εκπλήρωση των απαιτήσεων της φυσικής ταλάντωσης του συστήματος, οι δονήσεις που προκαλούνται από το περιβάλλον αλλά και από τις συνθήκες λειτουργίας πρέπει να αποσβένονται.

Οι αντίστοιχες ιδιοσυχνότητες θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 50 Hz τουλάχιστον (μέση ιδιοσυχνότητα λειτουργίας των Επιταχυντικών Διατάξεων) ώστε να εξασφαλίσουν την αναμενόμενη δυναμική συμπεριφορά της ΕΜΔΔ. Οι πλευρικές και κατακόρυφες παραμορφώσεις σε τιμές μικρότερες από 10 μm είναι αποδεκτές. Για την επίτευξη αυτών των απαιτήσεων το δομικό υλικό της ΑΥΔ πρέπει να είναι σχετικά άκαμπτο, και ως συνέπεια έχει κριθεί απαραίτητο από τη συγκριτική μελέτη που περιγράφεται λεπτομερώς στα Κεφάλαια 3 και 4 της παρούσας διατριβής, το μέτρο ελαστικότητας της μεγαλύτερο από 320 GPa.

Επιπροσθέτως, κάθε ΑΥΔ ζυγίζει λιγότερο από 250 kg, ώστε να είναι συμβατή με τους διαθέσιμους ενεργοποιητές που εκτελεί την συντελούν την ευθυγράμμιση. Το στατικό φορτίο που οφείλεται στις διατάξεις ΠΡ και τα συστήματα που εδράζονται επί της ΑΥΔ ανέρχονται στα 400 kg/m για κάθε δοκό. Όλες οι διαφορετικές επιλογές δομικών υλικών για μέλετη επιβάλλουν τεχνικές κατασκευής συμβατές με τις προαναφερθείσες απαιτήσεις. Λόγω της εγγύτητας της ΑΥΔ στη δέσμη φορτισμένων σωματιδίων του επιταχυντή, η παράμετρος που επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το αναμενόμενο υψηλό υπόβαθρο ακτινοβολίας. Επιφάνειες αναφοράς είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί η ορθή τοποθέτηση και ακριβής συναρμολόγηση των διατάξεων ΠΡ στις ΑΥΔ. Η ανοχή επιπεδότητας κυμαίνεται από 10 μm έως και 25 μm και οι τιμές της έχουν μελετηθεί κι επιτευχθεί για όλες τις επιφάνειες αναφοράς, όπως απεικονίζονται αναλυτικά στα κατασκευαστικά σχέδια του Παραρτήματος 1.

Τα Υποστηρίγματα «V» παρέχουν τη διασύνδεση των διατάξεων ΠΡ στις ΑΥΔ για αμφότερες την ΚΔ και την ΟΔ. Η κατασκευαστική ανοχή και ακρίβεια σχήματος των υποστηριγμάτων «V», καθώς και οι ανοχές τοποθέτησης τους (σε σχέση μεταξύ τους) (για κάθε ΑΥΔ) είναι πρωταρχικής σημασίας. Ο άξονας που σχηματίζουν τα υποστηρίγματα «V», έχει ανοχή ακριβείας που ορίζεται από έναν κύλινδρο με διάμετρο μικρότερη από 10 μm. Η διαμήκης τοποθέτηση των Υποστηριγμάτων «V» έχουν μεγαλύτερη ανοχή τοποθέτησης που αγγίζει τα 500 μm. Τα υποστηρίγματα «V» εδράζονται πακτωμένα και ακλόνητα στις δοκούς, με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται χρονικά και σε ακρίβεια η τελική συναρμολόγηση των διατάξεων ΠΡ. Οι ζναλλακτικές διαμορφώσεις ΑΥΔ, συμπεριλαμβανουν στο σχεδιασμό τους μη-ολοκληρωμένα υποστηρίγματα «V» έχοντας μεγαλύτερη ευελιξία διαμήκους τοποθέτησης. Διατηρούν όμως παράλληλα τις ίδιες προδιαγραφές ακρίβειας αναφορικά με τη μικρομετρική συναρμολόγηση τους. Κάθε ΛΑ είναι εξοπλισμένο με δύο κάθετους και έναν οριζόντιο γραμμικούς κινητήρα, επιτρέποντας κίνηση με τρεις (3) βαθμούς ελευθερίας. Με την προαναφερθείσα διαμόρφωση μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη ευθυγράμμιση και επανατοποθέτηση της ΑΥΔ. Στα ΛΑ εδράζονται και

οι αισθητήρες ευθυγράμμισης που μετρούν και υπολογίζουν τη θέση του άξονα της δέσμης. Για να επιτευχθεί η ακριβής συναρμολόγηση μεταξύ των ΑΥΔ και των ΛΑ, τα άκρα των δοκών απαιτούν κατασκευαστική κατεργασία με ανοχές επιπεδότητας κάτω από 10 μm . Όλες οι επιφάνειες αναφοράς της δοκού τοποθετούνται σε σχέση μεταξύ τους εντός ακρίβειας 50 μm .

Το υλικό κατασκευής της δοκού ήταν μία οδηγός επιλογής της μελέτης της. Μετά από ενδελεχή έρευνα, διάφορα δομικά υλικά όπως το αλουμίνιο και ο ανοξείδωτος χάλυβας εξαιρέθηκαν επειδή δεν πληρούν όλες τις καταλυτικές τεχνικές προδιαγραφές. Εναλλακτικά υλικά, όπως οι ίνες άνθρακα και οι αφροί μετάλλων, απέδειξαν ότι το απαιτούμενο μήκος της ΑΥΔ σε συνδυασμό με τους περιορισμούς στην στατική κάθετη (κυρίως) παραμόρφωσή της, δεν θα μπορούσαν να επιτευχθούν. Ως αποτέλεσμα, το καρβίδιο του πυριτίου (SiC), επιλέχθηκε ως θεμελιώδες υλικό για την κατασκευή προτύπων ΑΥΔ. Επιπλέον, το προσφάτως ανεπτυγμένο χυτό υλικό Erument επιλέχθηκε ως εναλλακτική λύση. Και τα δύο υλικά πληρούν όλες τις καταλυτικές τεχνικές απαιτήσεις, παρά τις διαφορετικές διαδικασίες κατασκευής. Για να βελτιωθεί η σταθερότητα της θεμελιώδους διαμόρφωσης και μετά από μελέτη κατασκευής όπως αυτή παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας διατριβής, αποφασίστηκε να τα Υποστηρίγματα «V» να έχουν το ίδιο δομικό υλικό και να είναι ενσωματωμένα στην ΑΥΔ. Για την εναλλακτική διαμόρφωση, εξετάστηκε κατασκευή των Y-V από ανοξείδωτο χάλυβα και η μετέπειτα πάκτωσή τους επί της ΑΥΔ. Για τις πρότυπες ΑΥΔ, οι τεχνικές κατασκευής και στρατηγικές που χρησιμοποιούνται ακολουθούν το αντίστοιχο δομικό υλικό. Οι θεμελιώδεις ΑΥΔ παρήχθησαν από δύο διαφορετικούς προμηθευτές (Α και Β). Οι υπολογισμένες ιδιοσυχνότητές τους ήταν περίπου 70 Hz και 50 Hz αντίστοιχα και οι μάζες τους επίσης ανέρχονταν στα 100 kg και 70 kg αντίστοιχα. Οι εναλλακτικές ΑΥΔ κατασκευάζονται από έναν προμηθευτή (C) με ιδιοσυχνότητες περίπου 90 Hz και με μάζα 130 kg έκαστη.

Για την παραγωγή ΑΥΔ από SiC , το πρώτο κατασκευαστικό βήμα είναι η σύντηξη των κόκκων SiC προς σχηματισμό των μονολιθικών τμημάτων. Τα υποστηρίγματα «V» παράγονται παράλληλα. Το επόμενο βήμα είναι η μικρομετρική κατεργασία των επιφανειών αναφοράς που απαιτούνται για την τελική συναρμολόγηση. Τα επιμέρους μονολιθικά τμήματα, καθώς και τα Y-V συγκολλούνται ή κολλούνται μεταξύ τους. Τέλος, η ακριβής μηχανική κατεργασία των επιφανειών αναφοράς λαμβάνει χώρα. Για το διάλυμα χυτού Erument, το πρώτο βήμα είναι η κατασκευή του καλούπιού, το οποίο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα για μεγαλύτερη ακρίβεια σχήματος της ΑΥΔ. Τα ένθετα συναρμολόγησης (τρύπες με σπείρωμα, σιδηροτροχιές κλπ.) εισάγεται μέσα στο καλούπι και συγκρατούνται με εσωτερικές άγκυρες έτσι ώστε να είναι ενσωματωμένα στην ΑΥΔ μετά την έγχυση και στερεοποίησή της. Η εποξική ρυτίνη Erument 145/B αναμιγνύεται με τα πρόσθετα χημικά, αλλά και πέτρες σκλήρυνσης, χύνεται και αναδεύεται στο καλούπι μέχρι στερεοποίησης σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση. Μετά τη στερεοποίηση, η δοκός εξάγεται από τη μήτρα και οι εξωτερικές της επιφάνειες γυαλίζονται. Το τελικό βήμα είναι η μικρομετρική μηχανική κατεργασία των επιφανειών αναφοράς, οι οποίες θα είναι σε επαφή με τα άλλα υποστηρικτικά τμήματα του συστήματος. Τα Y-V πακτώνονται με τη βοήθεια των ενθέτων σπειρωμάτων και κιγκλιδωμάτων από ανοξείδωτο χάλυβα. Τα ΛΑ βιδώνονται απευθείας στις άκρες της ΑΥΔ μέσω σπειρωμάτων με ειδικών ένθετα.

Όλα τα πρότυπα υποστηρικτικά συστήματα ελέγχονται κατά τη διάρκεια των σταδίων κατασκευής τους και μετά την παράδοσή τους (πριν την εγκατάστασή τους) για να επαληθευθεί η πιστότητά τους στις τεχνικές προδιαγραφές. Οι ΑΥΔ από SiC με

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

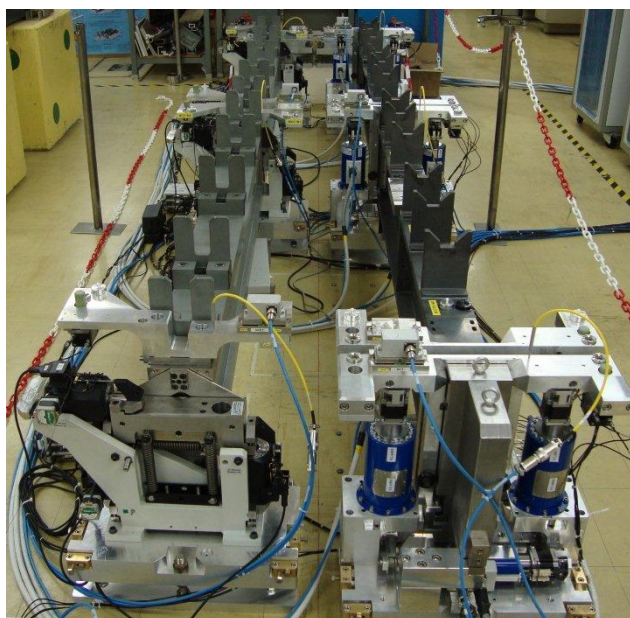
ενσωματωμένα Y-V μετρήθηκαν στα εργοστάσια κατασκευής τους με οπτικά μέσα (laser tracker $\pm 10 \mu\text{m}$ με ακρίβεια μέτρησης 1σ) και επιβεβαιώθηκαν με τη Μηχανή Μέτρησης Συντεταγμένων ακριβείας (CMM με $\pm 6 \mu\text{m}$ με ακρίβεια στα 3σ) στο CERN μετά την παράδοση τους. Ο Πίνακας IX-1 δείχνει τις υψηλότερες τιμές των μετρήσεων. Η επιπεδότητα αντιστοιχεί στις επιφάνειες αναφοράς που έρχονται σε επαφή κατά της συναρμολόγησης των Y-V.

Κατασκευαστής	Εκκενρότητα των Y-V	Επιπεδότητα επιφανειών αναφοράς
A	$\pm 8 \mu\text{m}$ (*)	$10 \mu\text{m}$ (*)
B	$\pm 6 \mu\text{m}$ (*)	-
C	(μη ενσωματωμένα Y-V)	$10 \mu\text{m}$ (+)

*: CMM, +: laser tracker

Πίνακας IX-15: Μετρήσεις πρότυπου υποστηρικτικού συστήματος

Το πειραματικό πρόγραμμα περιλαμβάνει επίσης την επικύρωση της αντοχής του υλικού κάτω από ακτινοβολία. Οι πρώτες πιλοτικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν τον Φεβρουάριο του 2011 με στόχο τη διερεύνηση της ιδιότητας ενεργοποίησης. Χρησιμοποιήθηκε ο επιταχυντής Tandem στις εγκαταστάσεις του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών "Δημόκριτος" για ακτινοβολίες σε δείγματα δομικών υλικών με δέσμες νετρονίων, με εύρος ενέργειας από 4 MeV έως και $11,2 \text{ MeV}$. Σύμφωνα με τις συγκριτικές προσομοιώσεις αναφορικά με την ισοδύναμη δόση στη σήραγγα του ΣΓΕΣΔ, τα πειράματα ακτινοβολήσης αντανακλούν περίπου το 60% της ροής νετρονίων του ΣΓΕΣΔ.



Σχήμα IX-10: Πρότυπο υποστηρικτικό σύστημα εγκατεστημένο στο εργαστήριο

Οι μηχανικές δοκιμές των ακτινοβολημένων δειγμάτων και των δειγμάτων αναφοράς διεξήχθησαν τον Ιούνιο του 2011 στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Τα βήματα που ακολουθούν την κατασκευή των υποστηρικτικών συστημάτων αφορούν τη μικρομετρική τους συναρμολόγηση και την ακριβή τοποθέτηση των διατάξεων ΠΡ στα Υ-V.

Τα πρότυπα υποστηρικτικά συστήματα για τις δέσμες της ΕΜΔΔ, ΚΔ και ΟΔ, αναπτύχθηκαν αποκλειστικά. Τα πρότυπα που παραδόθηκαν στο CERN από τις κατασκευάστριες εταιρίες το χρονικό διάστημα 2009-2013, πληρούν όλες τις προκαθορισμένες παραμέτρους, όπως αυτές περιγράφονται στα Κεφάλαια 2 και 3 της παρούσας διατριβής (αναφορικά με τις επιφάνειες αναφοράς και την ανάλογη μηχανική συμπεριφορά τους). Τα πειράματα με ακτινοβολίες απέδειξαν ότι οι μετρούμενες ιδιότητες ενεργοποίησης είναι σε συμφωνία με τις αναμενόμενες τιμές προσομοίωσης.

Παράλληλα, στο Κεφάλαιο 6 αναλύθηκε η συγκριτική μελέτη των δεδομένων αναφορικά με τις μηχανικές δοκιμές των ακτινοβολημένων δειγμάτων και των δειγμάτων αναφοράς. Τα σημαντικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι δεν συμβαίνουν κρίσιμες αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες των δομικών υλικών λόγω της ακτινολίας.

Παράρτημα X

Αναλυτικές αναφορές

μοντελοποίησης και

αποτελεσμάτων Πεπερασμένων

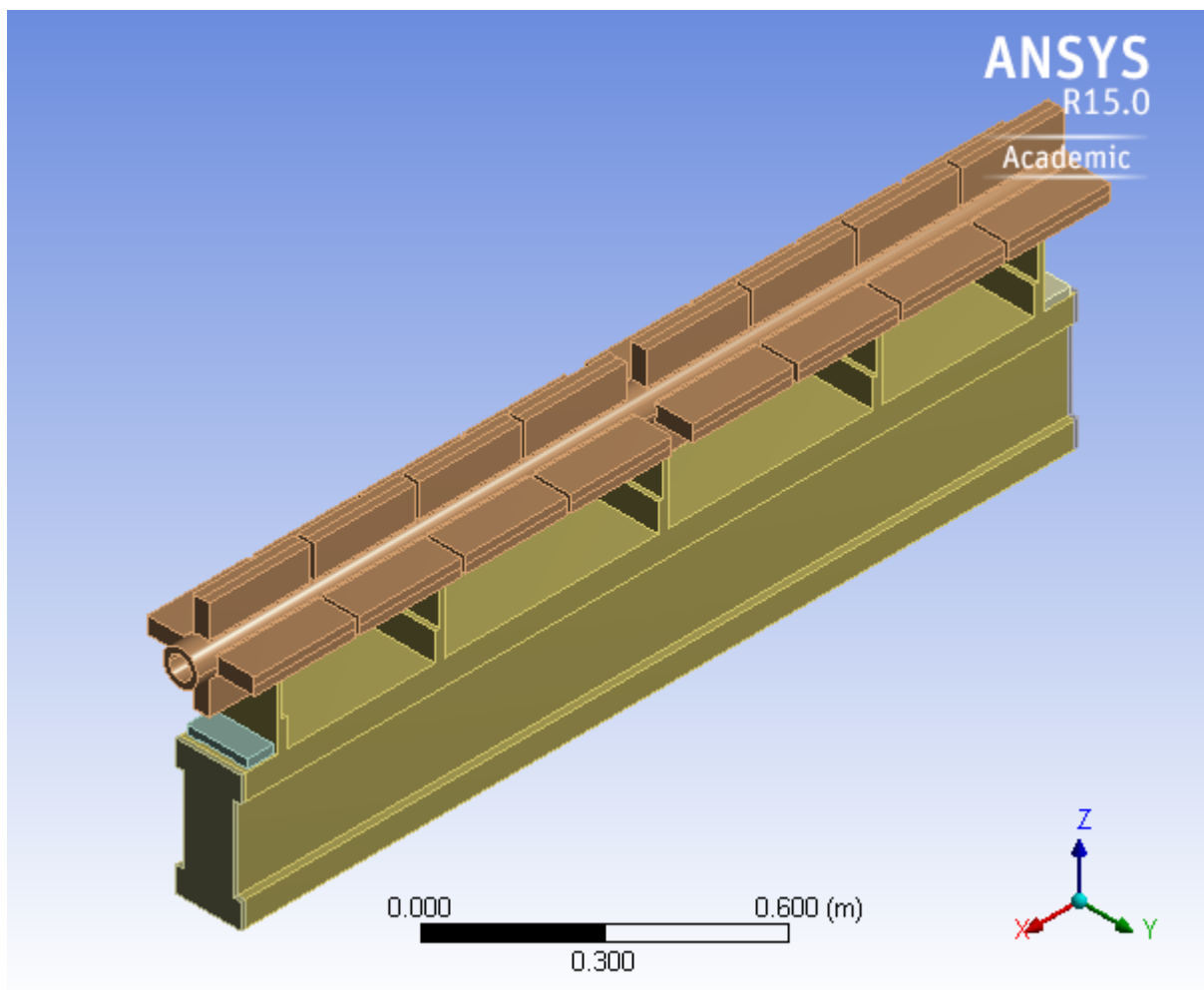
Στοιχείων με τον κώδικα ANSYS

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ SIC



First Saved	Monday, June 11, 2012
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.3 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427993_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [SiC 3 \(test\)](#)

7.4 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.5 MODEL (C4)

7.5.1 Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	194.91 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Tempor	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ary Director y	
Analysi s Type	3-D
Decom pose Disjoint Geomet ry	No
Enclosu re and Symme try Proces sing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427993_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	SiC 3 (test)
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	194.91 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-7.9962e-018 m
Centroid Z	-3.9535e-007 m
Moment of Inertia Ip1	2.5747 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	63.569 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	62.034 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.5.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.5.3 Mesh

TABLE 5
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.6 STATIC STRUCTURAL (C5)

TABLE 6
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	0. m/s ² (ramped)
Z Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Standard Earth Gravity

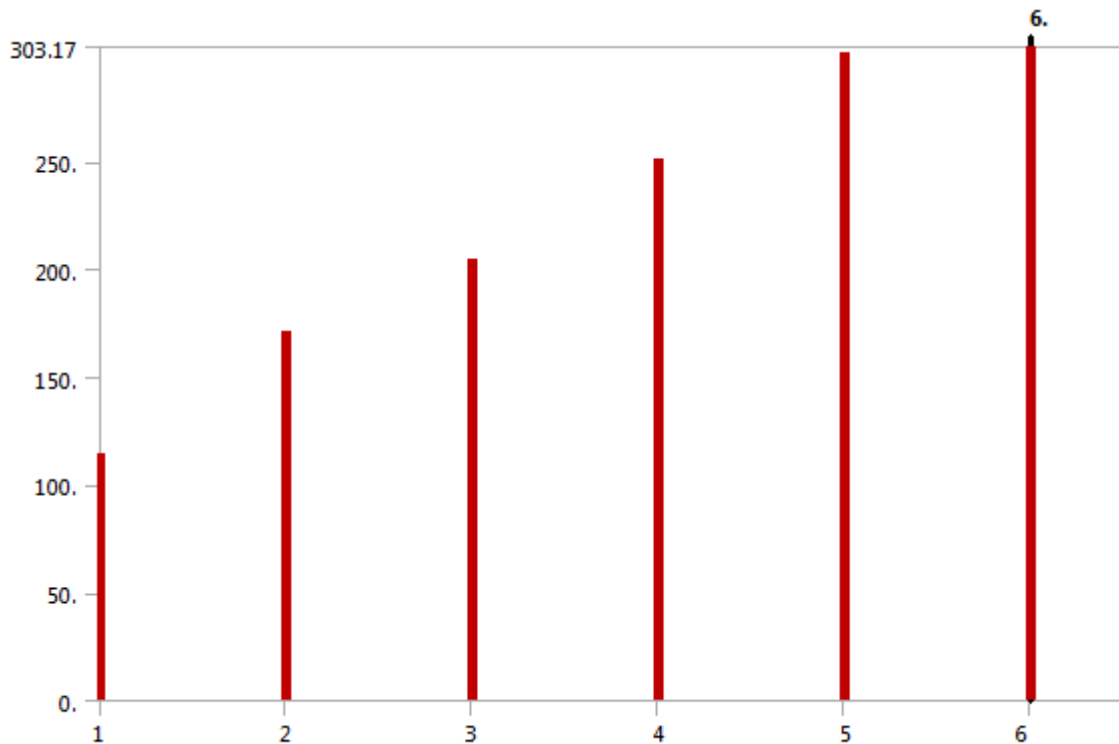


TABLE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>
State	Fully Defined						
Scope							

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face		
Definition			
Type	Displacement	Fixed Support	Force
Define By	Components		Vector
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	Free		
Y Component	Free		
Z Component	0. m (ramped)		
Suppressed	No		
Magnitude		1891. N (ramped)	3635. N (ramped)
Direction		Defined	

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

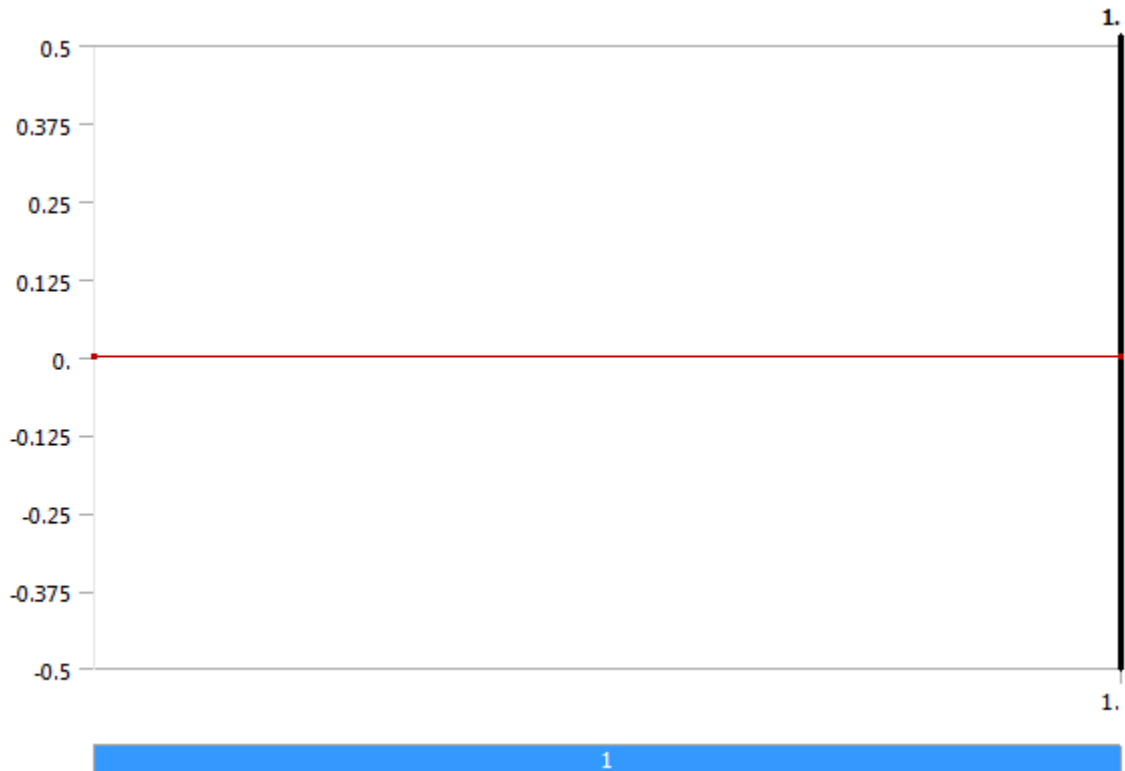


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force

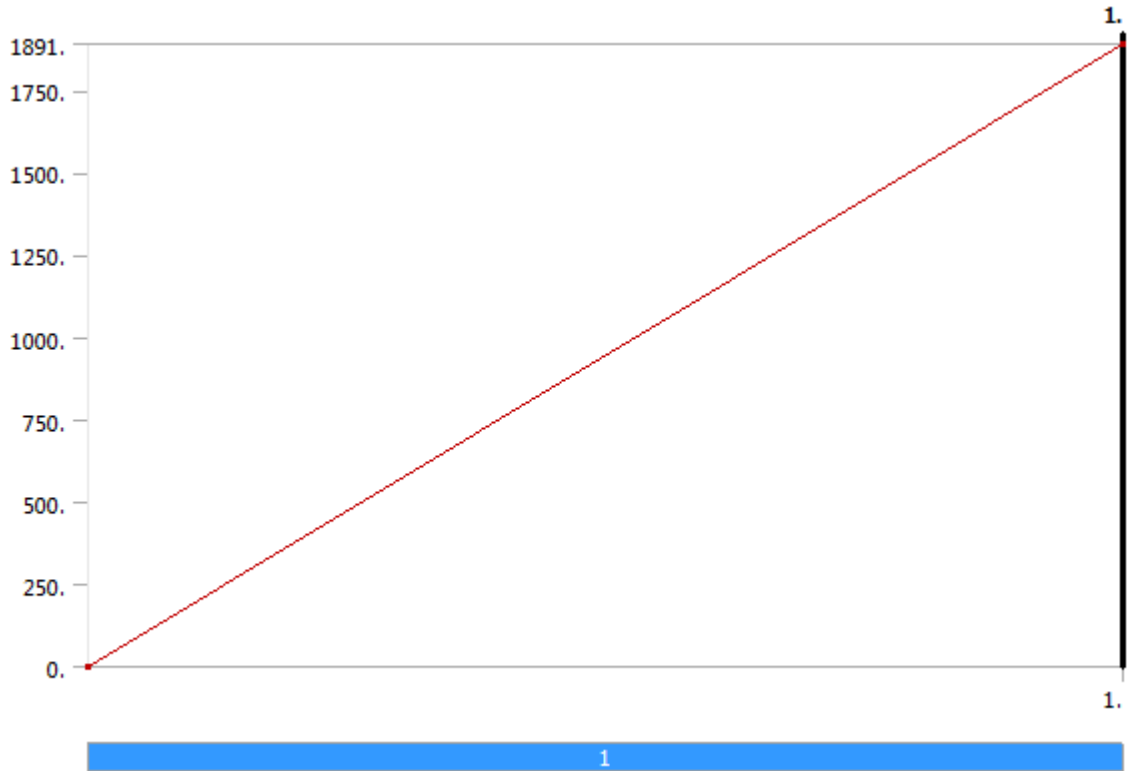


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 2

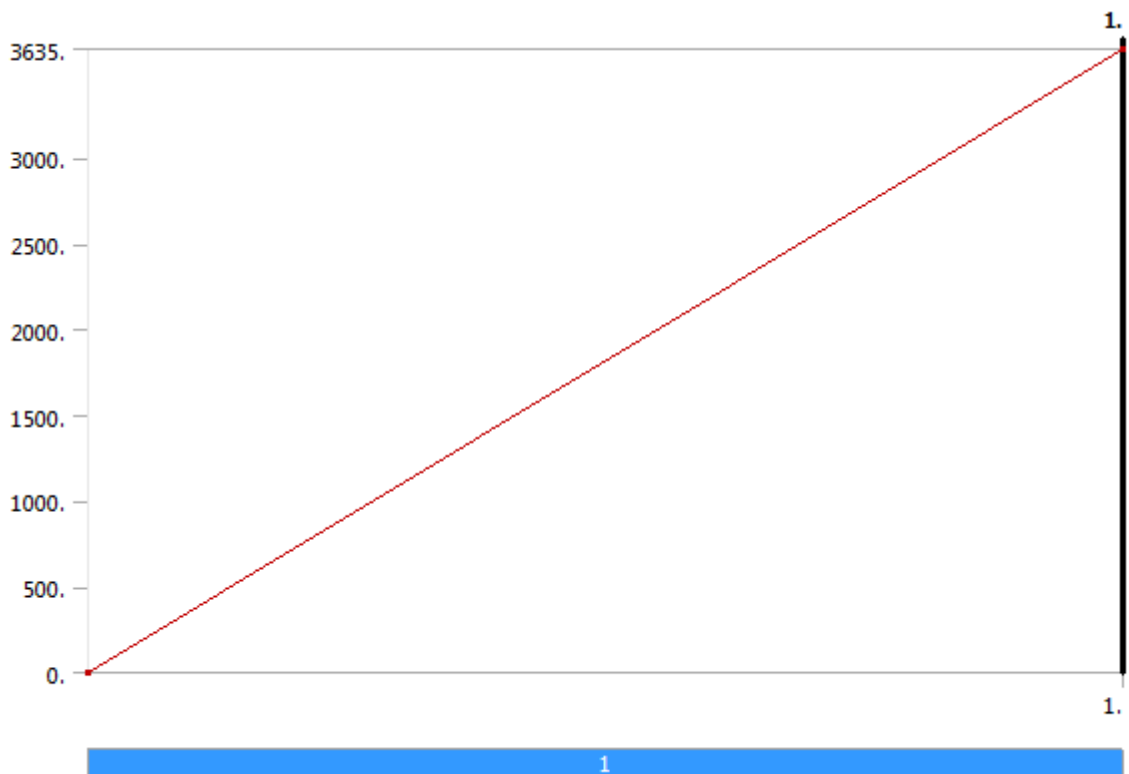


FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 3

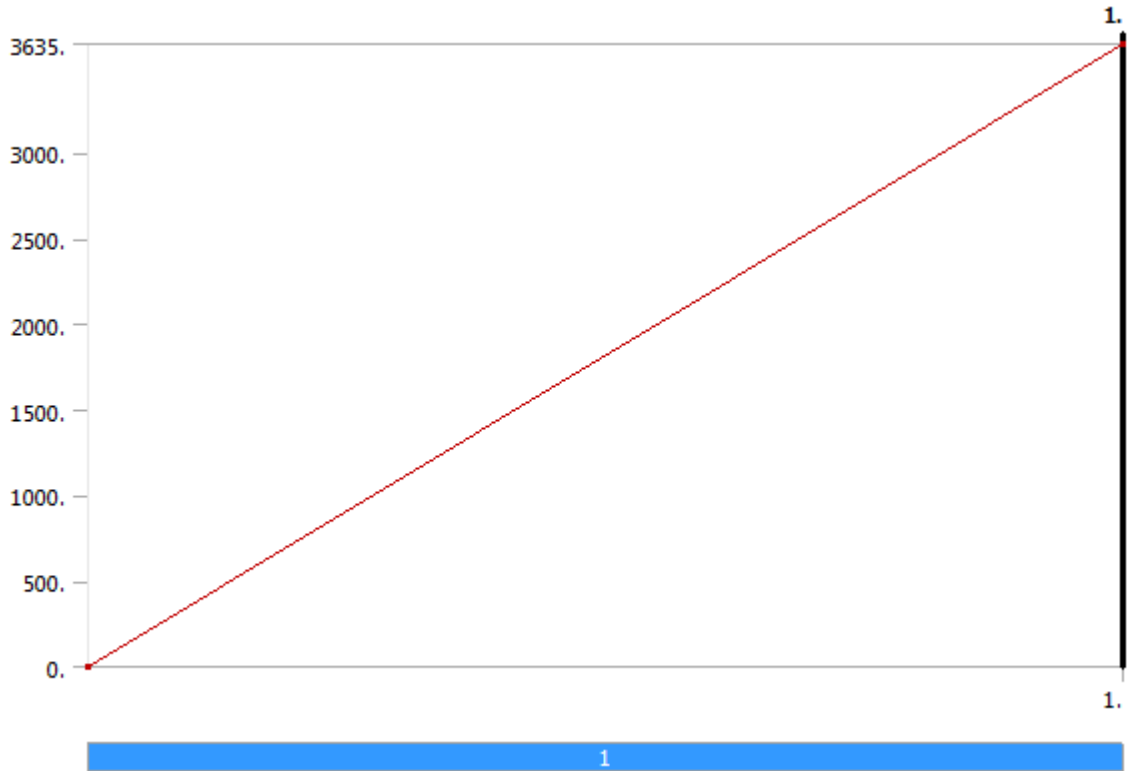


FIGURE 6
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 4

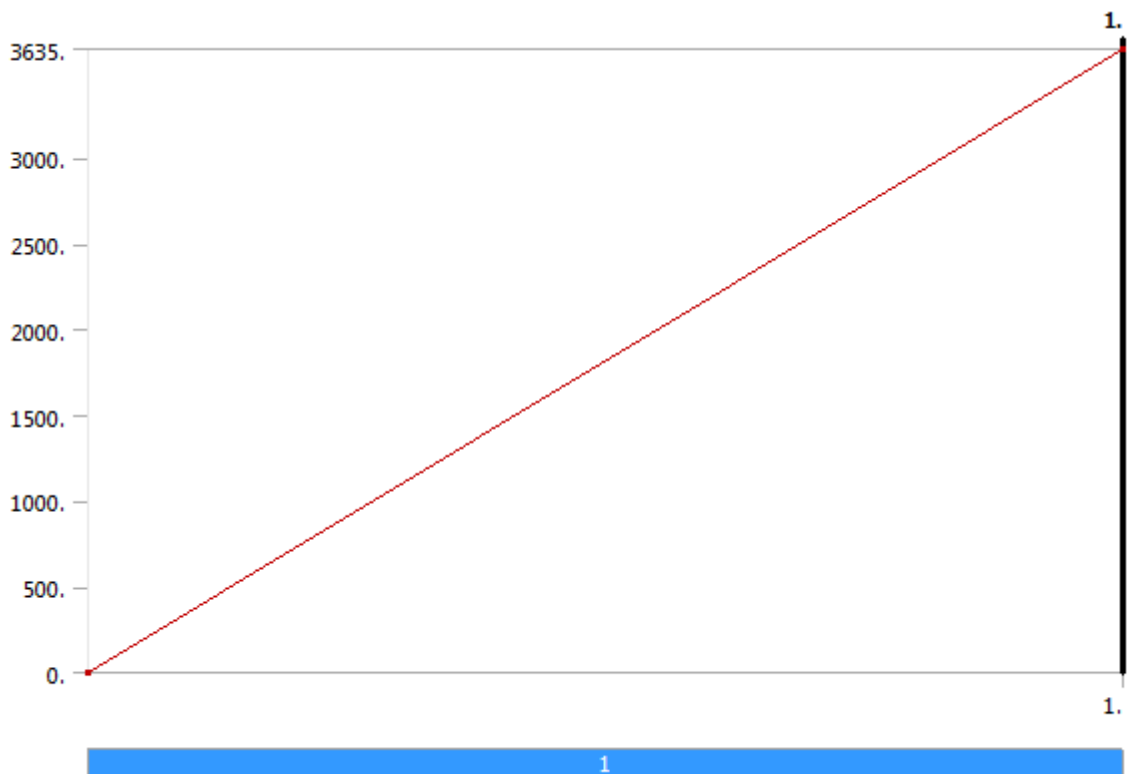
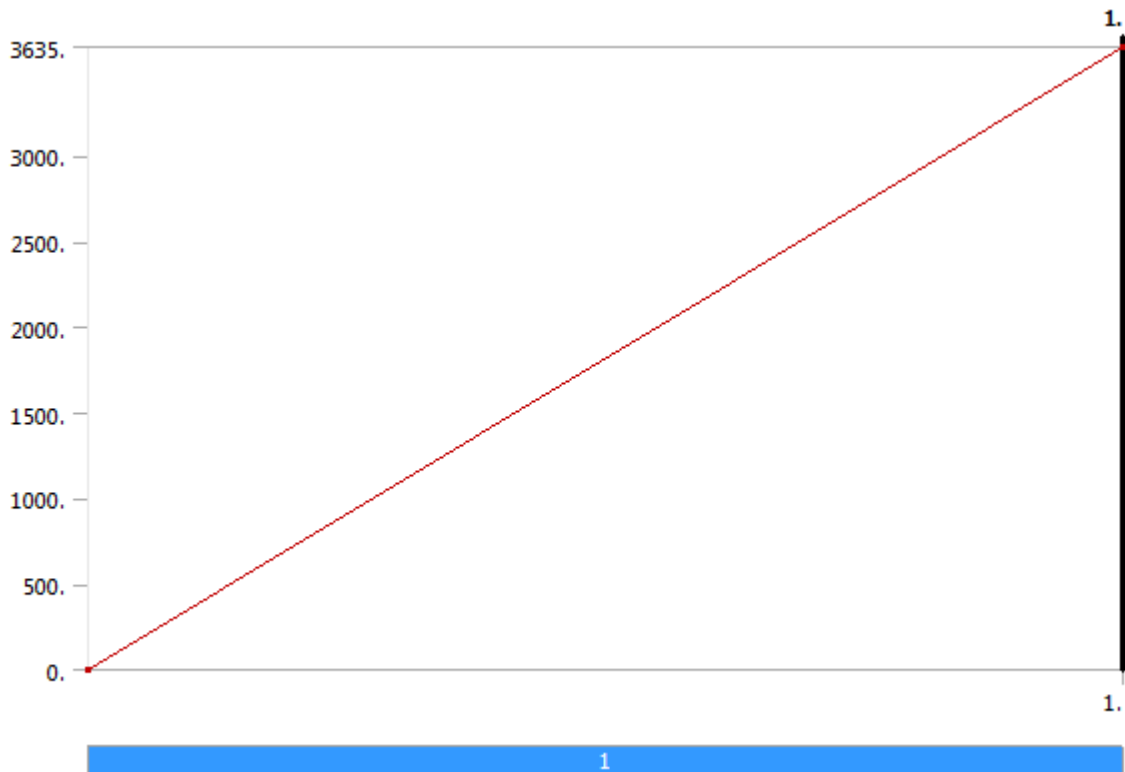


FIGURE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 5



7.6.1 Solution (C6)

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Orientation		X Axis		
Coordinate System		Global Coordinate System		
Results				
Minimum	0. m	-2.1951e-007 m	4.7046e-009 m/m	1975.9 Pa
Maximum	8.7525e-006 m	3.9014e-006 m	2.0811e-005 m/m	6.1498e+006 Pa
Minimum Value Over Time				
Minimum	0. m	-2.1951e-007 m	4.7046e-009 m/m	1975.9 Pa
Maximum	0. m	-2.1951e-007 m	4.7046e-009 m/m	1975.9 Pa
Maximum Value Over Time				
Minimum	8.7525e-006 m	3.9014e-006 m	2.0811e-005 m/m	6.1498e+006 Pa
Maximum	8.7525e-006 m	3.9014e-006 m	2.0811e-005 m/m	6.1498e+006 Pa
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			
Integration Point Results				
Display Option	Averaged			
Average Across Bodies	No			

7.7 MATERIAL DATA

7.7.1 SiC 3 (test)

TABLE 13
SiC 3 (test) > Constants

Density	3210 kg m ⁻³
---------	-------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

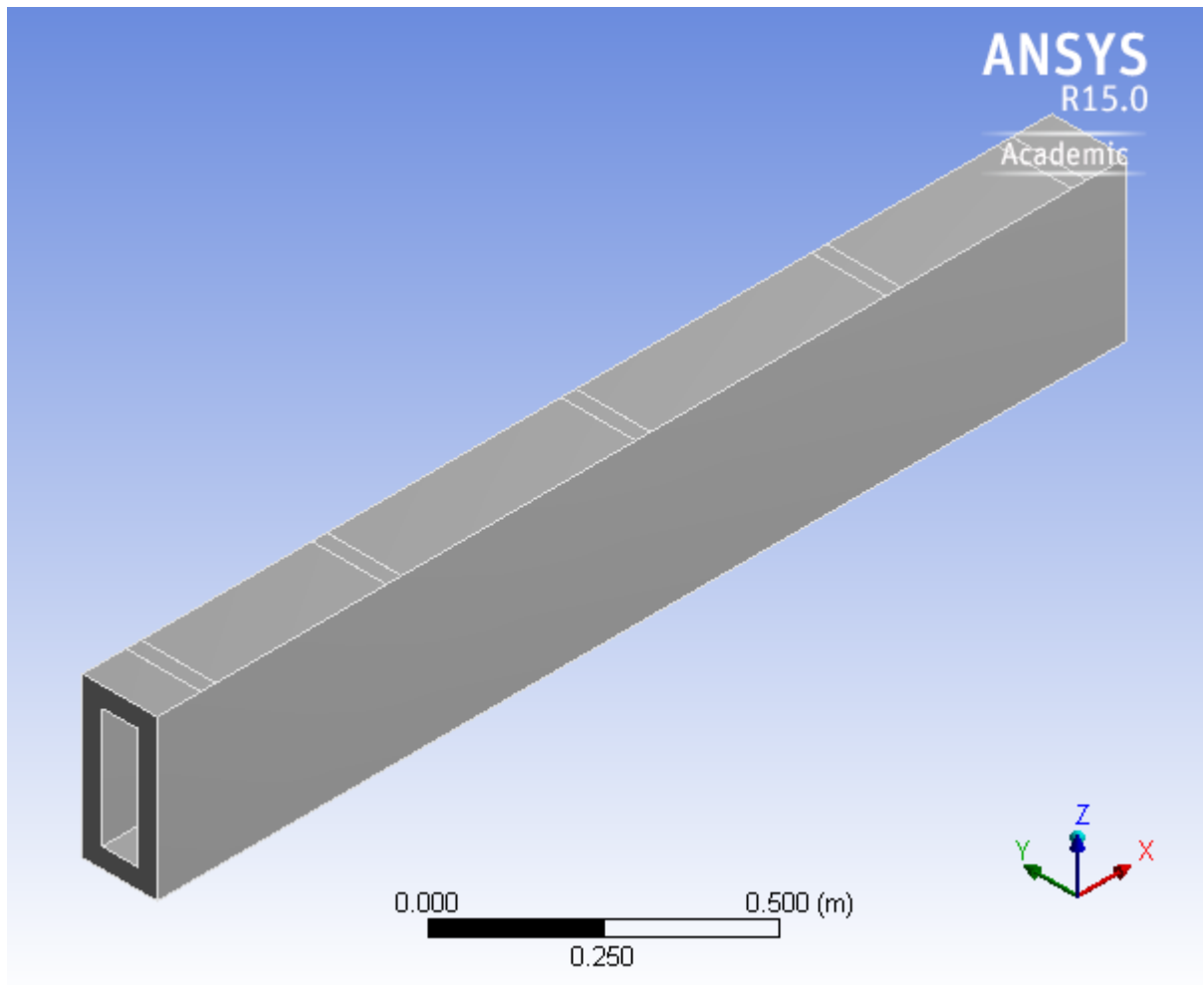
TABLE 14
SiC 3 (test) > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.2e+011	0.16	2.0588e+011	1.8103e+011

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ EPUMENT



First Saved	Monday, June 11, 2012
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.8 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427993_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Epument](#)

7.9 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.10 MODEL (C4)

7.10.1 Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	0.14573 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Tempor	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ary Director y	
Analysi s Type	3-D
Decom pose Disjoint Geomet ry	No
Enclosu re and Symme try Proces sing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427993_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Epument
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	0.14573 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-7.9962e-018 m
Centroid Z	-3.9535e-007 m
Moment of Inertia Ip1	1.925e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	4.7529e-002 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	4.638e-002 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.10.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.10.3 Mesh

TABLE 5
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.11 STATIC STRUCTURAL (C5)

TABLE 6
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	0. m/s ² (ramped)
Z Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Standard Earth Gravity

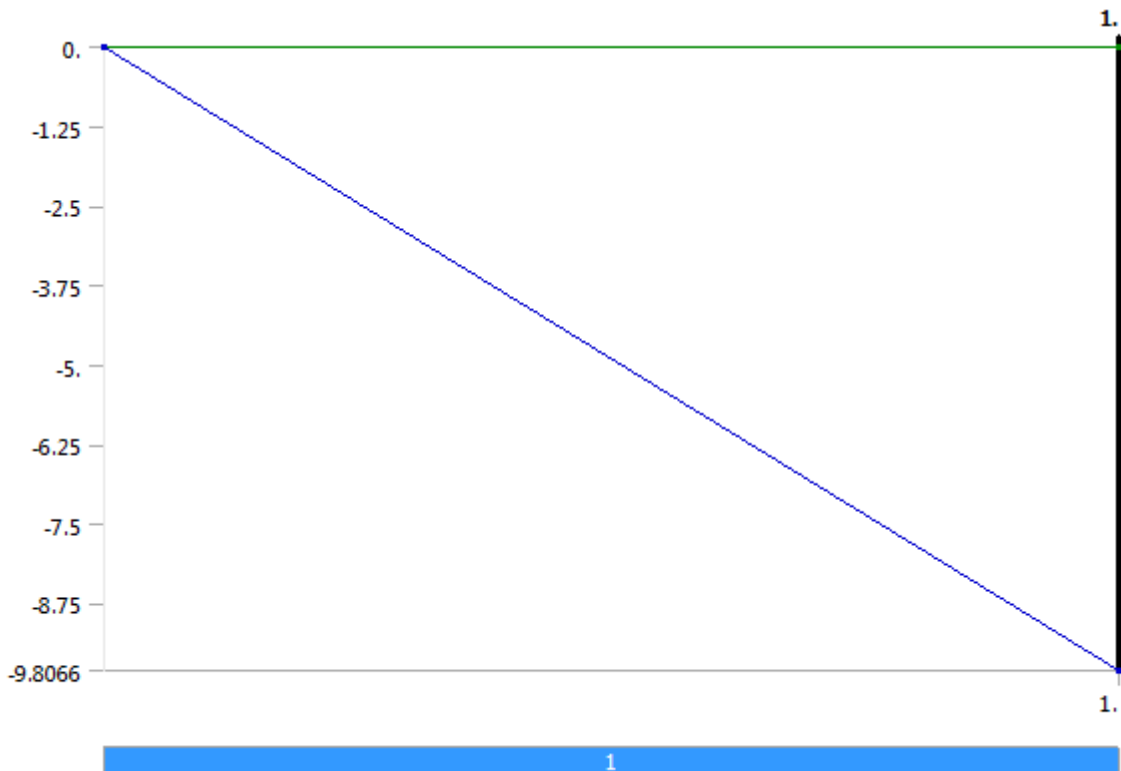


TABLE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>
State	Fully Defined						
Scope							

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face		
Definition			
Type	Displacement	Fixed Support	Force
Define By	Components		Vector
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	Free		
Y Component	Free		
Z Component	0. m (ramped)		
Suppressed	No		
Magnitude		1891. N (ramped)	3635. N (ramped)
Direction		Defined	

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

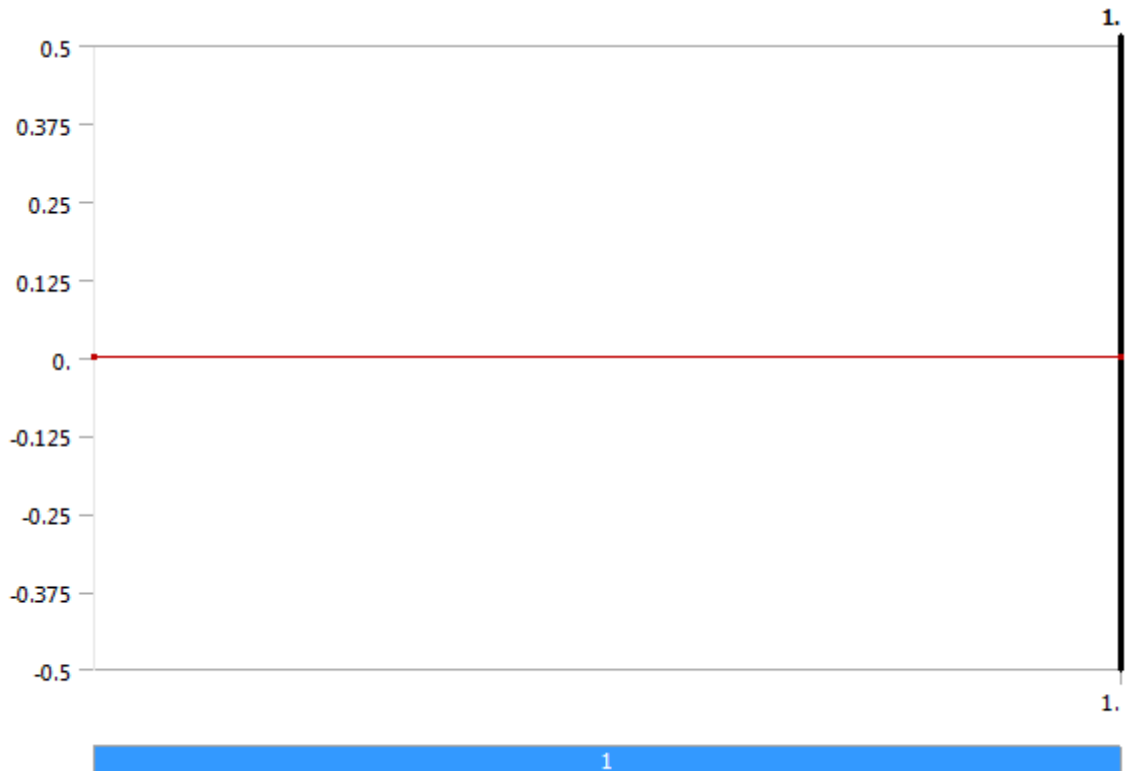


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force

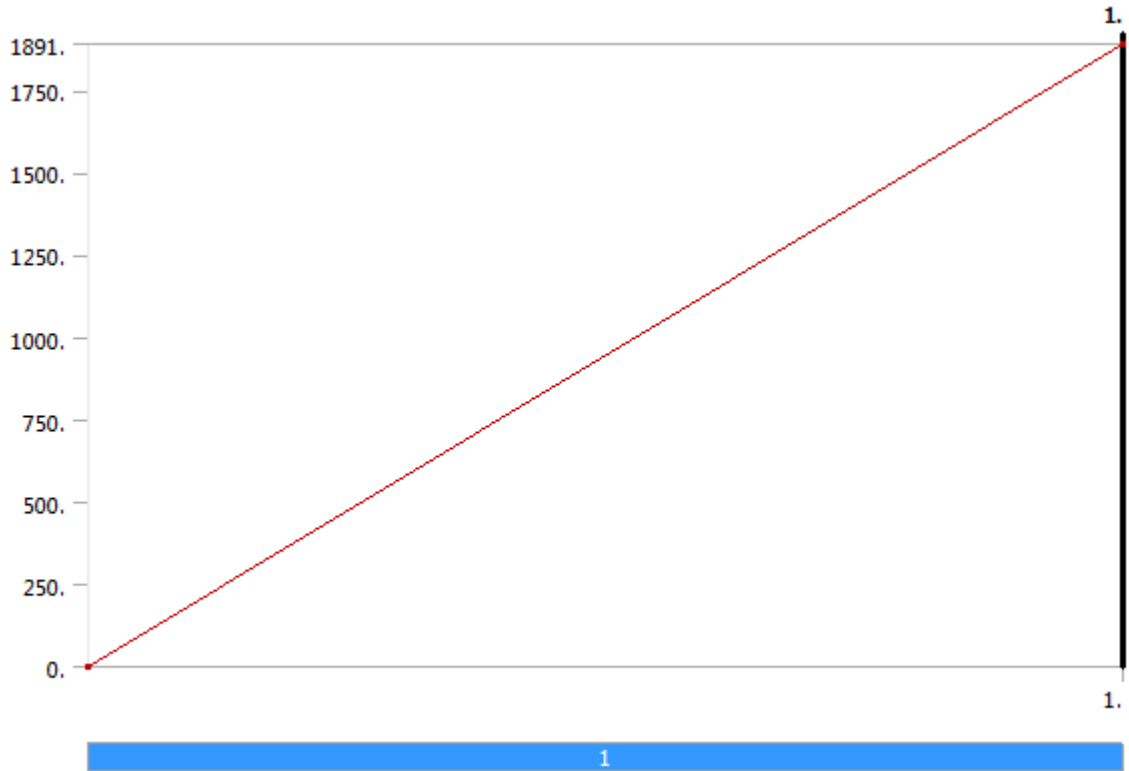


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 2

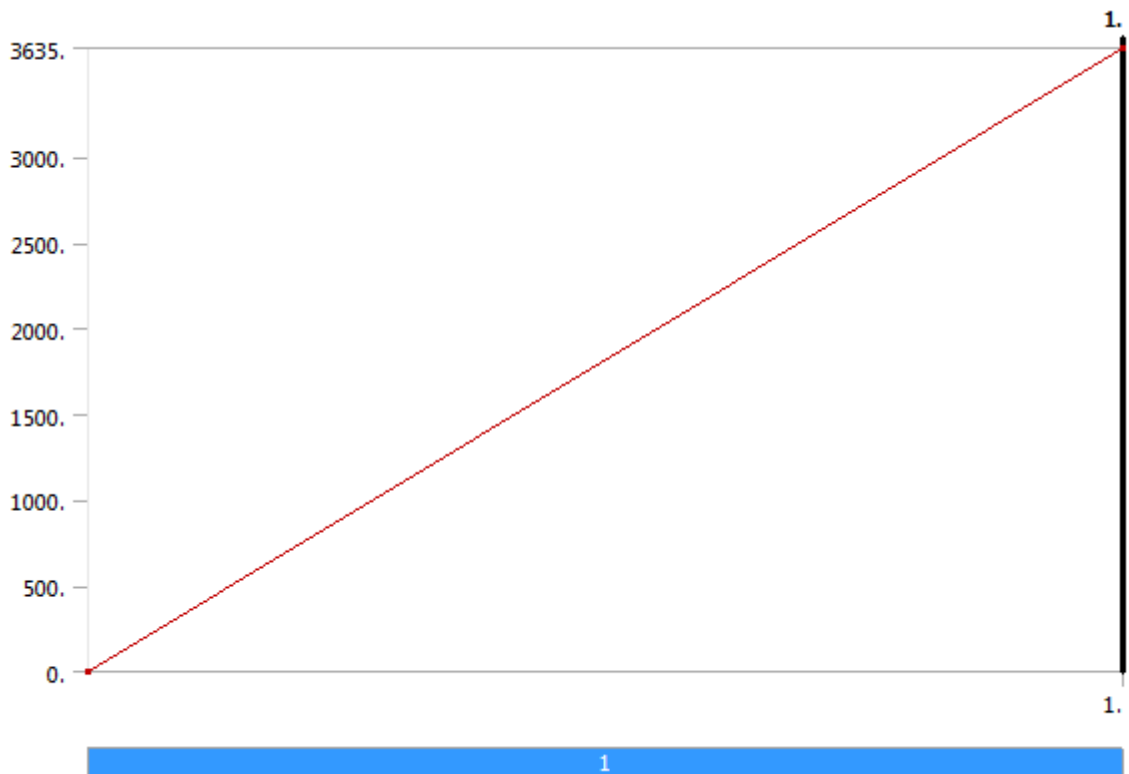


FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 3

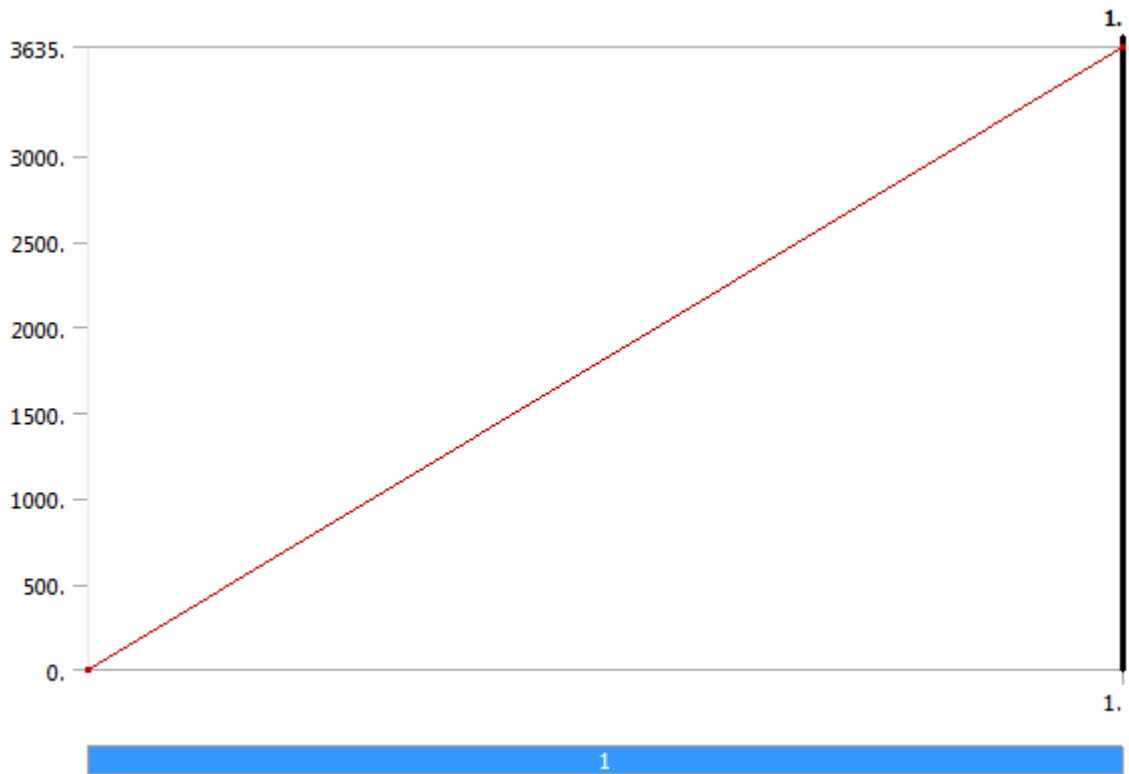


FIGURE 6
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 4

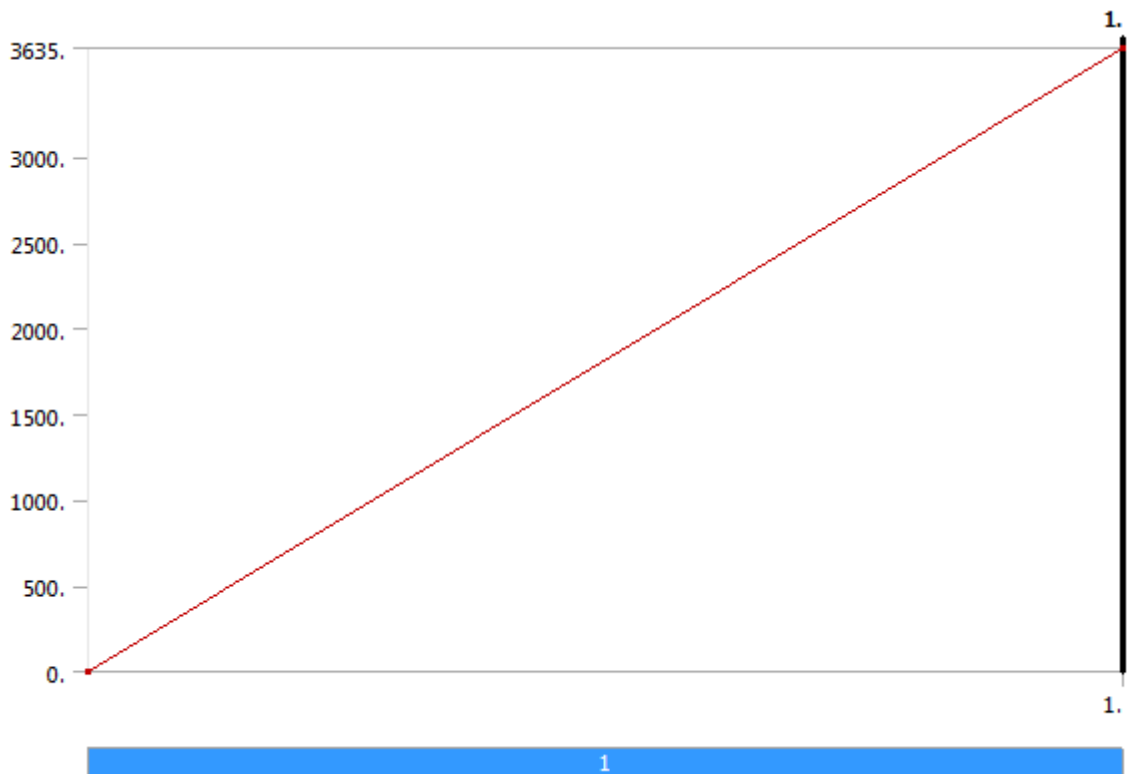
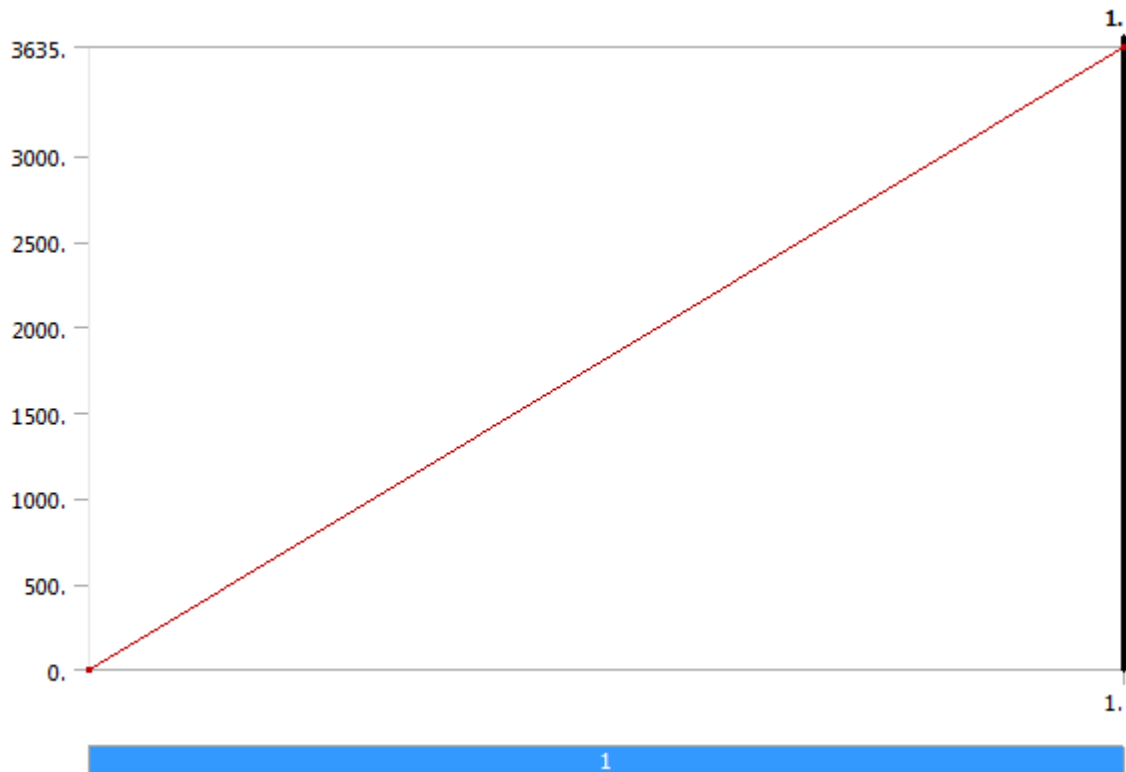


FIGURE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 5



7.11.1 Solution (C6)

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Orientation		X Axis		
Coordinate System		Global Coordinate System		
Results				
Minimum	0. m	-1.5702e-006 m	5.7539e-008 m/m	2589.2 Pa
Maximum	7.2737e-005 m	3.2548e-005 m	1.559e-004 m/m	4.966e+006 Pa
Minimum Value Over Time				
Minimum	0. m	-1.5702e-006 m	5.7539e-008 m/m	2589.2 Pa
Maximum	0. m	-1.5702e-006 m	5.7539e-008 m/m	2589.2 Pa
Maximum Value Over Time				
Minimum	7.2737e-005 m	3.2548e-005 m	1.559e-004 m/m	4.966e+006 Pa
Maximum	7.2737e-005 m	3.2548e-005 m	1.559e-004 m/m	4.966e+006 Pa
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			
Integration Point Results				
Display Option	Averaged			
Average Across Bodies	No			

7.12 MATERIAL DATA

7.12.1 Epument

TABLE 13
Epument > Constants

Density	2.4 kg m ⁻³
---------	------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

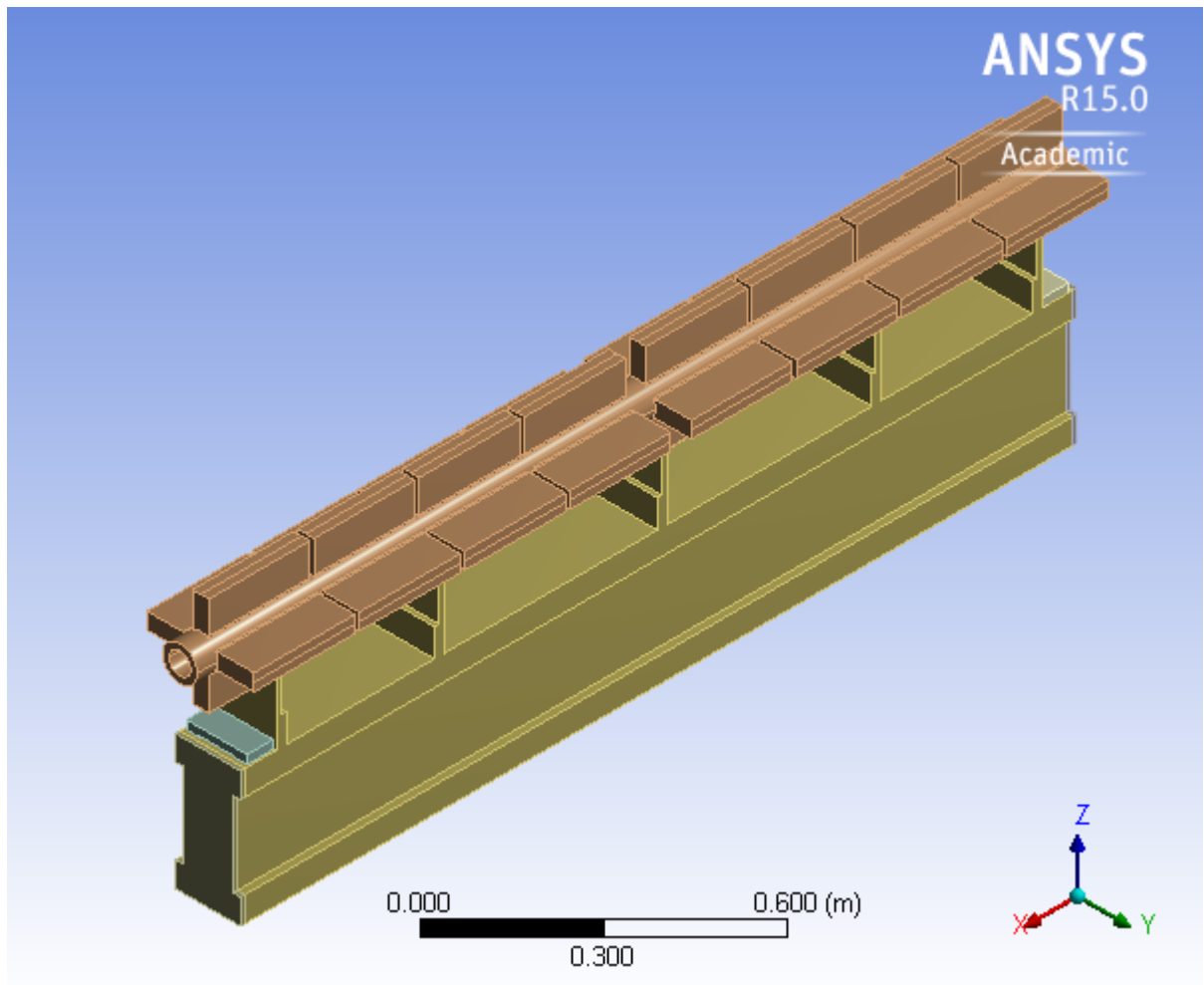
TABLE 14
Element > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.5e+010	0.3	3.75e+010	1.7308e+010

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ STAINLESS STEEL



First Saved	Monday, June 11, 2012
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.13 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427993_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Stainless Steel](#)

7.14 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.15 MODEL (C4)

7.15.1 Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	470.58 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Tempor	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ary Director y	
Analysi s Type	3-D
Decom pose Disjoint Geomet ry	No
Enclosu re and Symme try Proces sing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427993_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Stainless Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	470.58 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-7.9962e-018 m
Centroid Z	-3.9535e-007 m
Moment of Inertia Ip1	6.2161 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	153.48 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	149.77 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.15.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.15.3 Mesh

TABLE 5
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.16 STATIC STRUCTURAL (C5)

TABLE 6
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	0. m/s ² (ramped)
Z Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Standard Earth Gravity

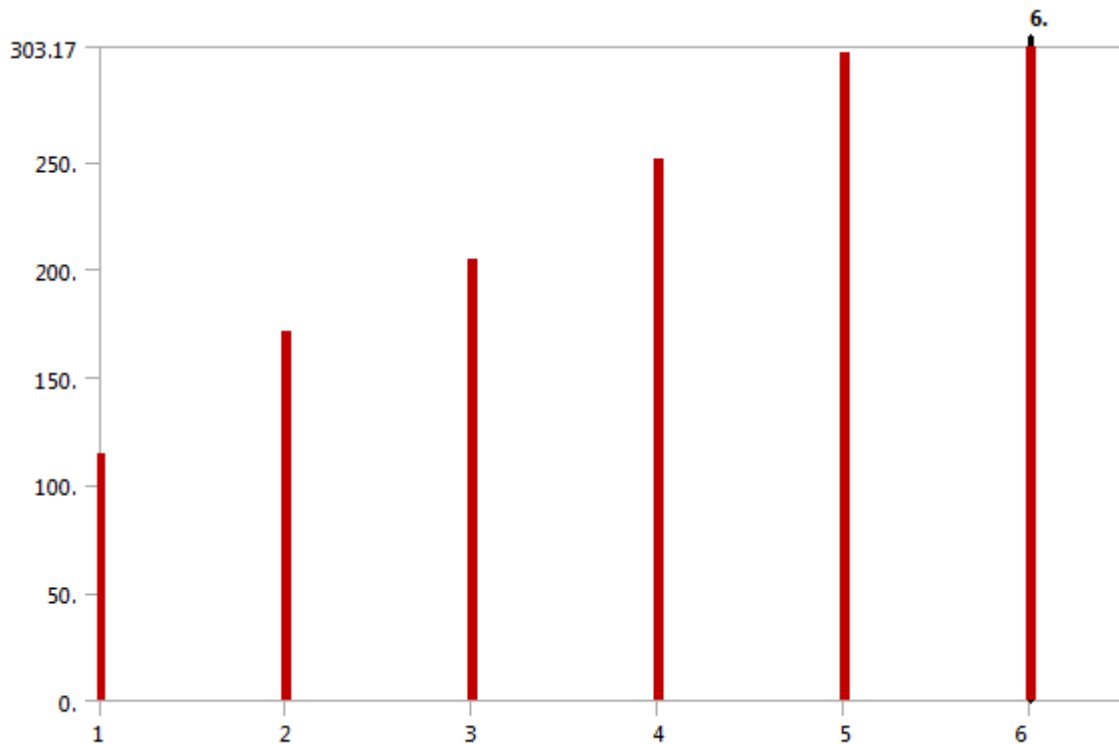


TABLE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>
State	Fully Defined						
Scope							

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face		
Definition			
Type	Displacement	Fixed Support	Force
Define By	Components		Vector
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	Free		
Y Component	Free		
Z Component	0. m (ramped)		
Suppressed	No		
Magnitude		1891. N (ramped)	3635. N (ramped)
Direction		Defined	

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

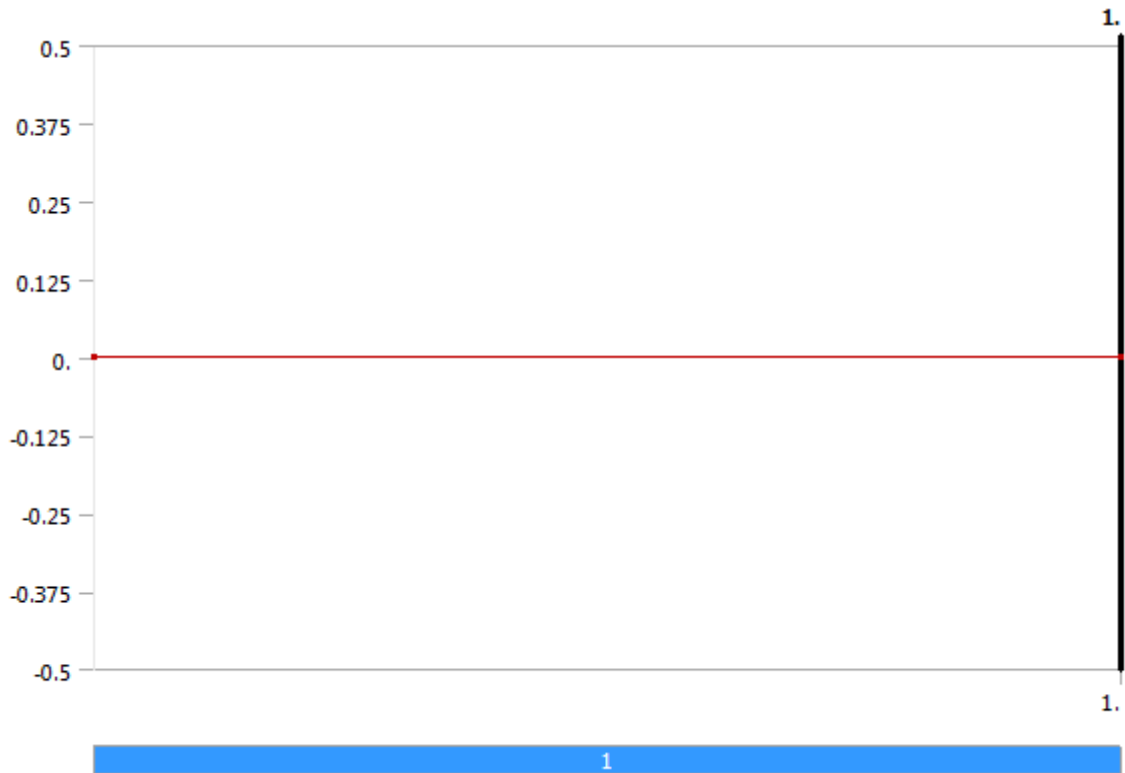


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force

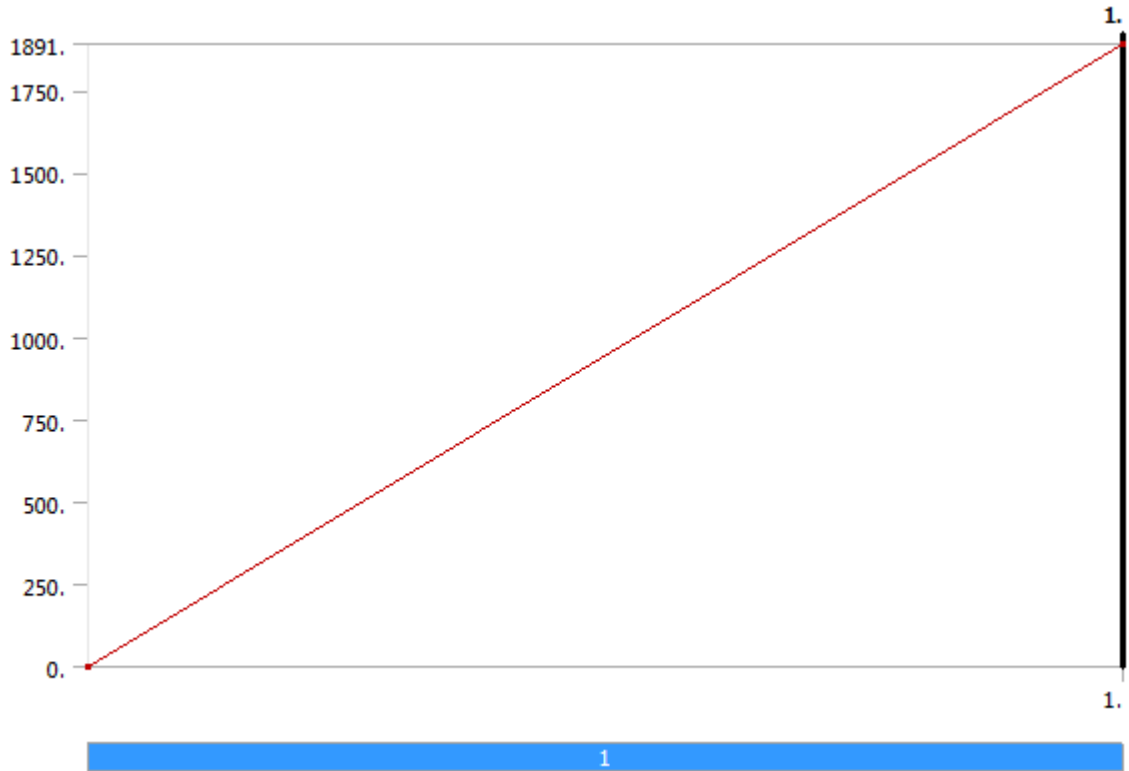


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 2

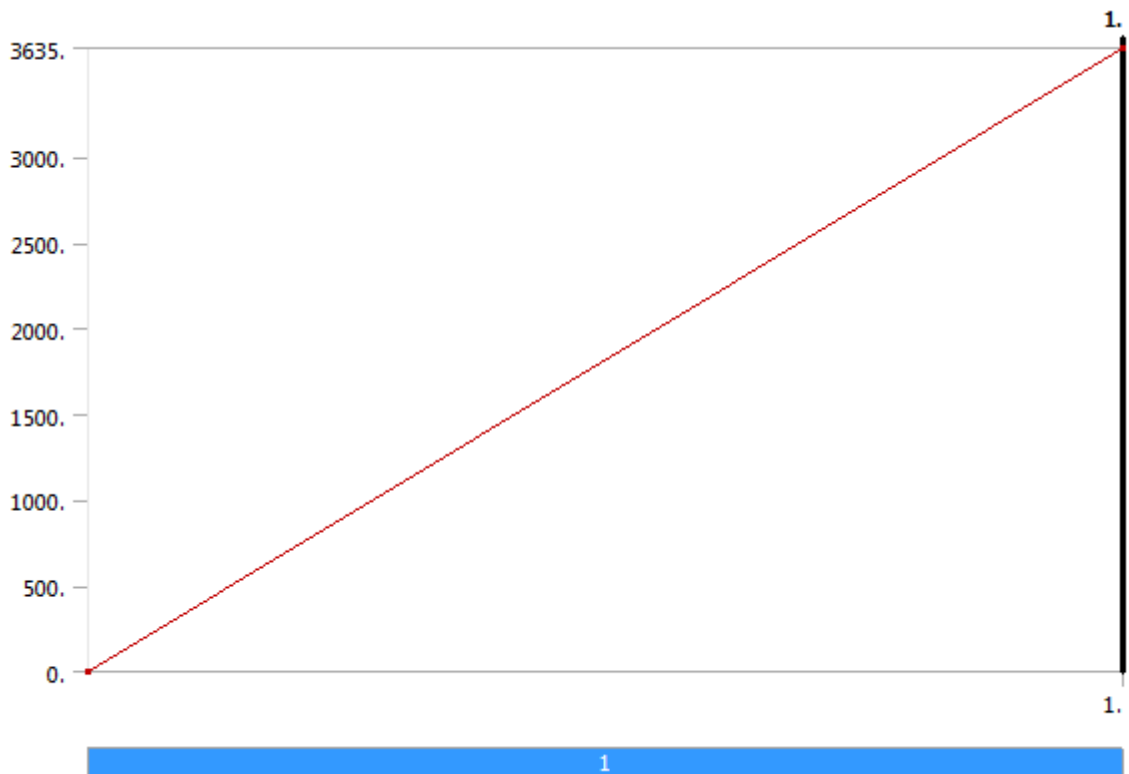


FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 3

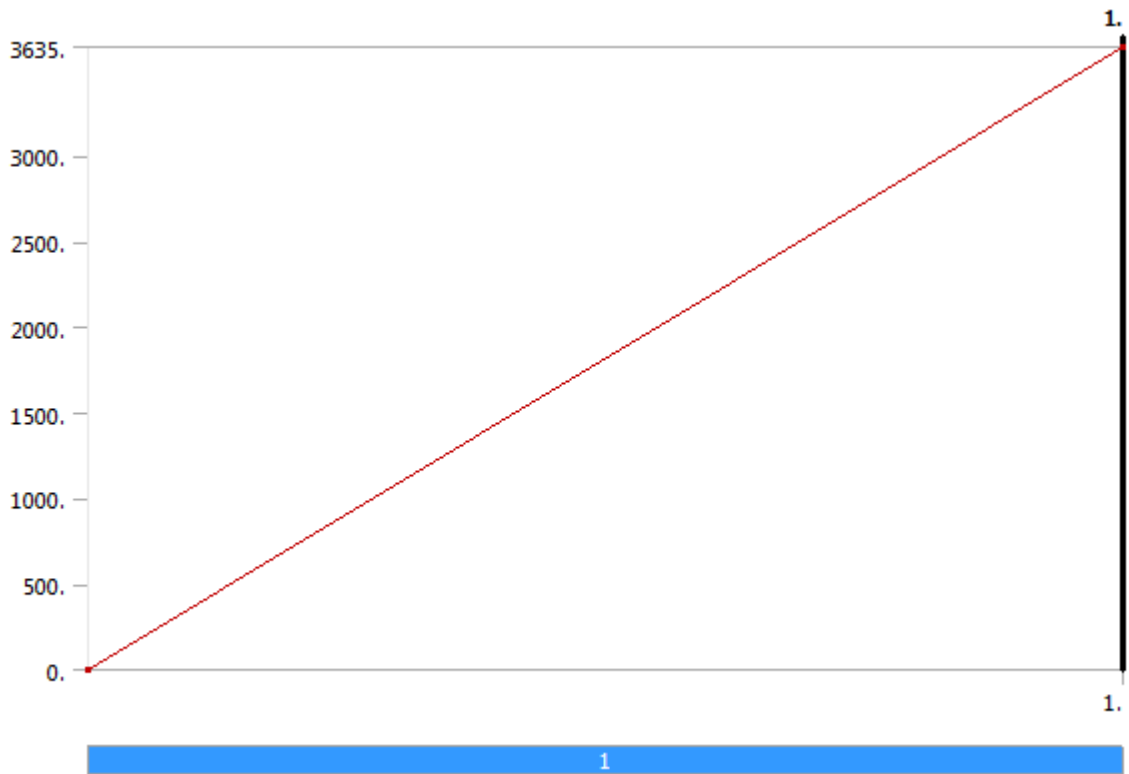


FIGURE 6
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 4

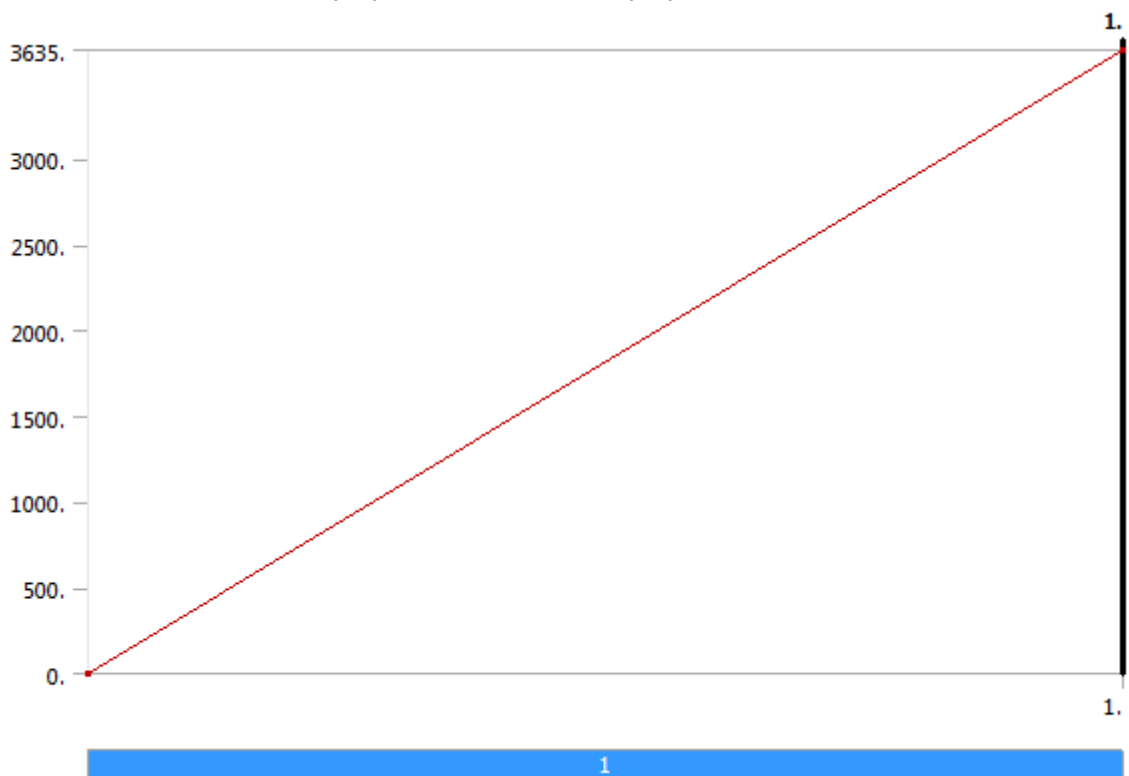
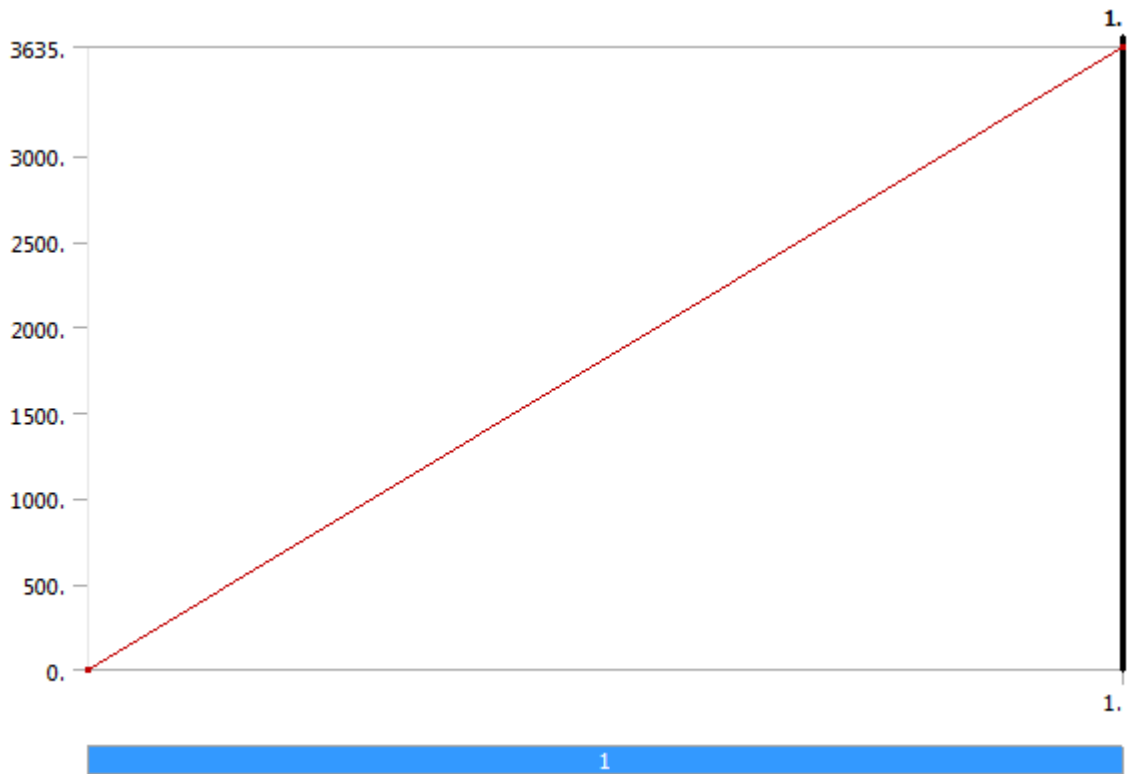


FIGURE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 5



7.16.1 Solution (C6)

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Orientation		X Axis		
Coordinate System		Global Coordinate System		
Results				
Minimum	0. m	-4.7651e-007 m	1.5065e-008 m/m	2907.6 Pa
Maximum	2.2167e-005 m	9.9408e-006 m	4.6368e-005 m/m	6.3173e+006 Pa
Minimum Value Over Time				
Minimum	0. m	-4.7651e-007 m	1.5065e-008 m/m	2907.6 Pa
Maximum	0. m	-4.7651e-007 m	1.5065e-008 m/m	2907.6 Pa
Maximum Value Over Time				
Minimum	2.2167e-005 m	9.9408e-006 m	4.6368e-005 m/m	6.3173e+006 Pa
Maximum	2.2167e-005 m	9.9408e-006 m	4.6368e-005 m/m	6.3173e+006 Pa
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			
Integration Point Results				
Display Option	Averaged			
Average Across Bodies	No			

7.17 MATERIAL DATA

7.17.1 Stainless Steel

TABLE 13
Stainless Steel > Constants

Density	7750 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	480 J kg ⁻¹ C ⁻¹

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Thermal Conductivity	15.1 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-007 ohm m

TABLE 14
Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 15
Stainless Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 16
Stainless Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 17
Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.86e+008

TABLE 18
Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 19
Stainless Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.93e+011	0.31	1.693e+011	7.3664e+010

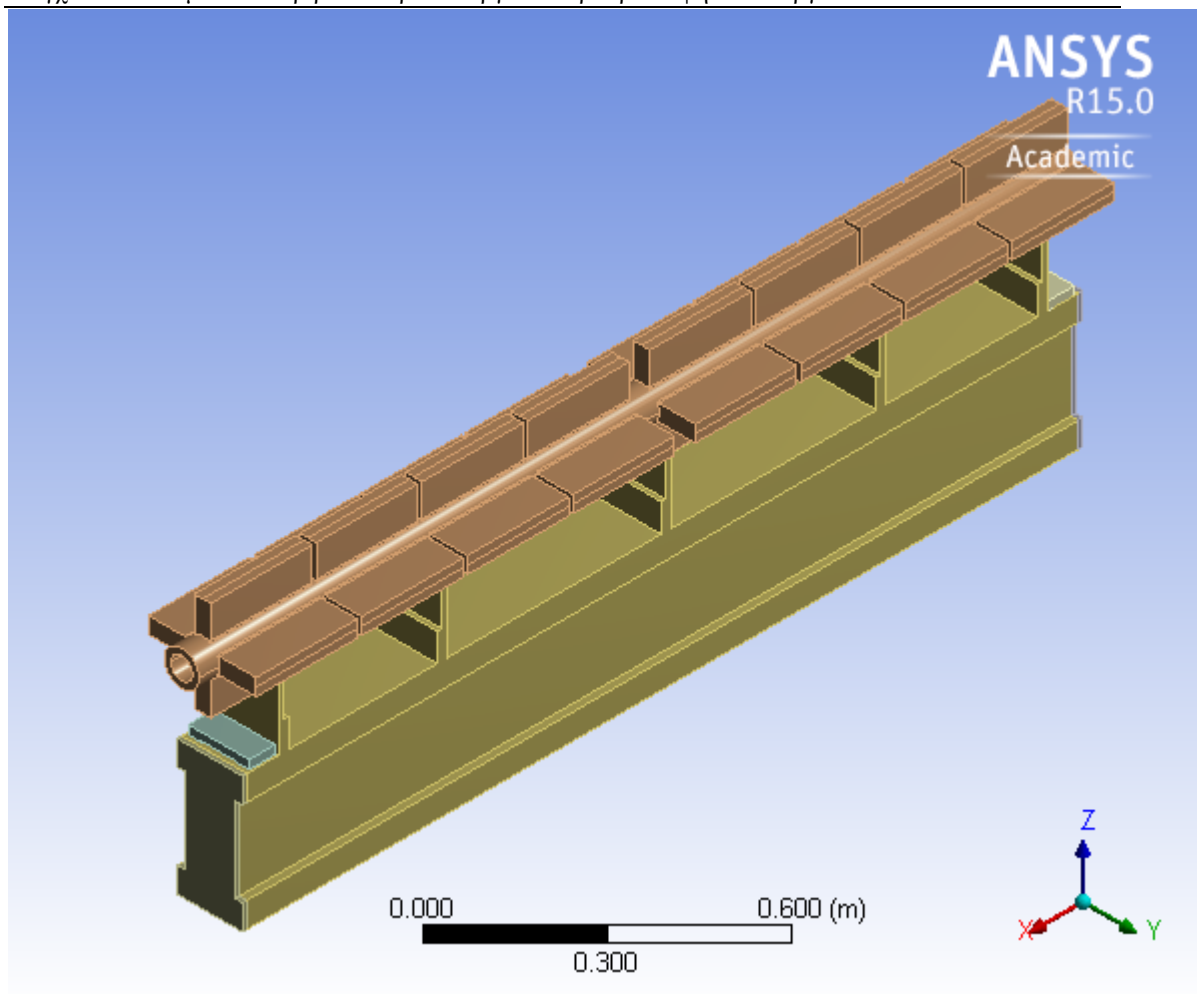
TABLE 20
Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ SIC



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.18 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427993_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Mesh](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [SiC](#)

7.19 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.20 MODEL (B4)

7.20.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	G:\Workspaces\n\ngazis\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volum e	6.072e-002 m ³
Mass	195.21 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

e	
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427993_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	SiC
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	195.21 kg

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-7.9962e-018 m
Centroid Z	-3.9535e-007 m
Moment of Inertia Ip1	2.5787 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	63.668 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	62.13 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.20.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.20.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	4.9447e-003 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

7.20.4 Mesh

TABLE 7
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.20.5 Named Selections

TABLE 8
Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Object Name	<i>Problematic Geometry</i>
State	Suppressed
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
Definition	
Send to Solver	Yes
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
Statistics	
Type	Manual
Total Selection	No Selection
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

7.21 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes to	6

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Find	
Limit Search to Range	No
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m	
Y Component	0. m	
Z Component	0. m	

7.21.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

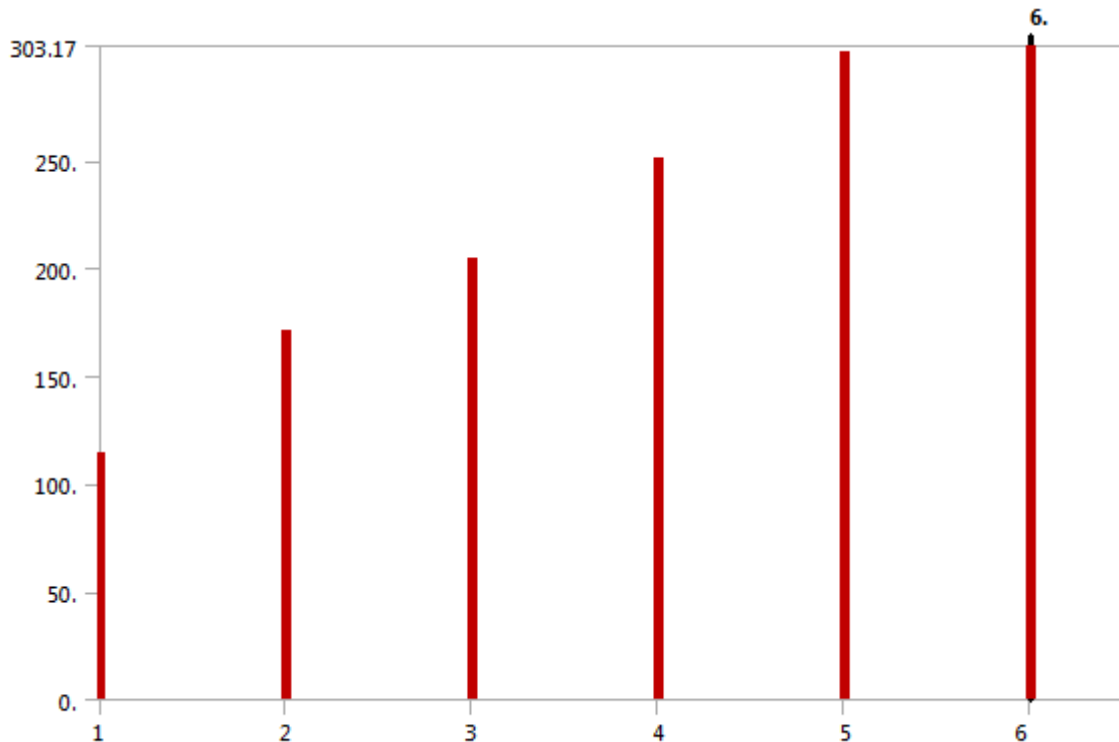


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	368.89

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

2.	723.71
3.	788.64
4.	877.35
5.	1470.1
6.	1525.9

TABLE 15
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Directional Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation	Y Axis		
Coordinate System	Global Coordinate System		
Results			
Minimum	0. m	-5.0379e-004 m	1.0124e+008 Pa
Maximum	0.11727 m	0.11721 m	9.7268e+010 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-5.0379e-004 m	1.0124e+008 Pa
Maximum	0. m	-5.0379e-004 m	1.0124e+008 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	0.11727 m	0.11721 m	9.7268e+010 Pa
Maximum	0.11727 m	0.11721 m	9.7268e+010 Pa
Information			
Frequency	368.89 Hz		
Integration Point Results			

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Display Option		Averaged
Average Across Bodies		No

TABLE 17
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	368.89
2.	723.71
3.	788.64
4.	877.35
5.	1470.1
6.	1525.9

TABLE 18
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	368.89
2.	723.71
3.	788.64
4.	877.35
5.	1470.1
6.	1525.9

TABLE 19
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	368.89
2.	723.71
3.	788.64
4.	877.35
5.	1470.1
6.	1525.9

7.22 MATERIAL DATA

7.22.1 SiC

TABLE 20
SiC > Constants

Density	3215 kg m ⁻³
---------	-------------------------

TABLE 21
SiC > Polynomial EOS

Parameter A1 Pa	Parameter A2 Pa	Parameter A3 Pa	Parameter B0	Parameter B1	Parameter T1 Pa	Parameter T2 Pa
2.2e+011	3.61e+011	0	0	0	2.2e+011	0

TABLE 22
SiC > Bulk Modulus

Bulk Modulus Pa	2.2e+011
-----------------	----------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 23
SiC > Johnson-Holmquist Strength Segmented

Hugoniot Elastic Limit HEL Pa	Intact Strength Constant S1 Pa	Intact Strength Constant P1 Pa	Intact Strength Constant S2 Pa	Intact Strength Constant P2 Pa	Strain Rate Constant C	Maximum Fracture Strength SFMAX Pa	Failed Strength Constant α	Damage Constant EFM AX D1	Damage Constant P3 D2 Pa	Bulking Constant B	Hydrodynamic Tensile Limit T Pa
1.17e+010	7.1e+009	2.5e+009	1.22e+010	1.e+010	9.e-003	1.3e+009	0.4	1.2	9.975e+010	1	-7.5e+008

TABLE 24
SiC > Shear Modulus

Shear Modulus Pa
1.935e+011

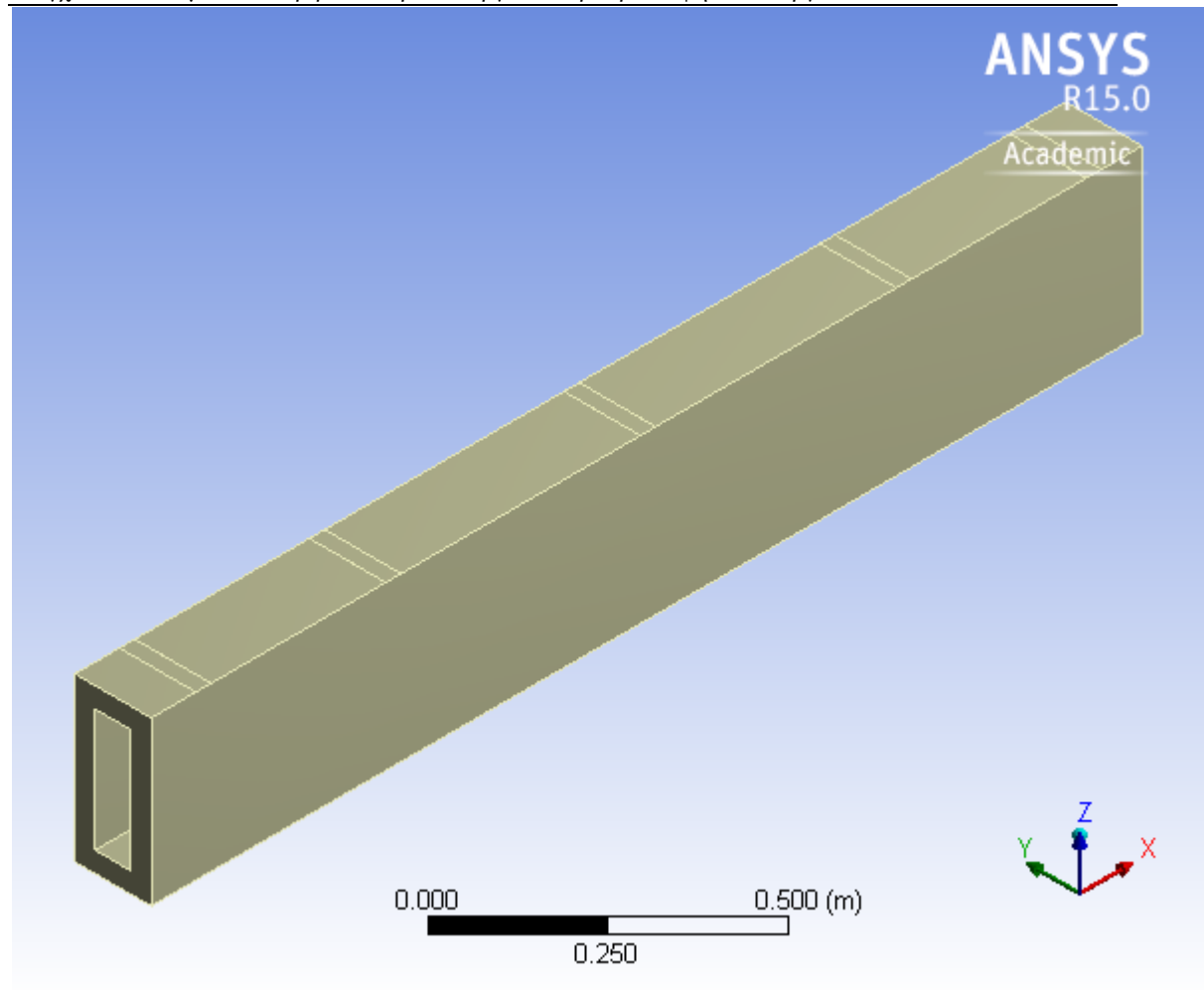
TABLE 25
SiC > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.2e+011	0.16	2.0588e+011	1.8103e+011

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ EPUMENT



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.23 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427993_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Mesh](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Epument](#)

7.24 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.25 MODEL (B4)

7.25.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	G:\Workspaces\n\ngazis\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volum e	6.072e-002 m ³
Mass	0.14573 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

e	
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427993_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Epument
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	0.14573 kg

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-7.9962e-018 m
Centroid Z	-3.9535e-007 m
Moment of Inertia Ip1	1.925e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	4.7529e-002 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	4.638e-002 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.25.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.25.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	4.9447e-003 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

7.25.4 Mesh

TABLE 7
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.25.5 Named Selections

TABLE 8
Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Object Name	<i>Problematic Geometry</i>
State	Suppressed
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
Definition	
Send to Solver	Yes
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
Statistics	
Type	Manual
Total Selection	No Selection
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

7.26 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes to	6

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Find	
Limit Search to Range	No
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m	
Y Component	0. m	
Z Component	0. m	

7.26.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

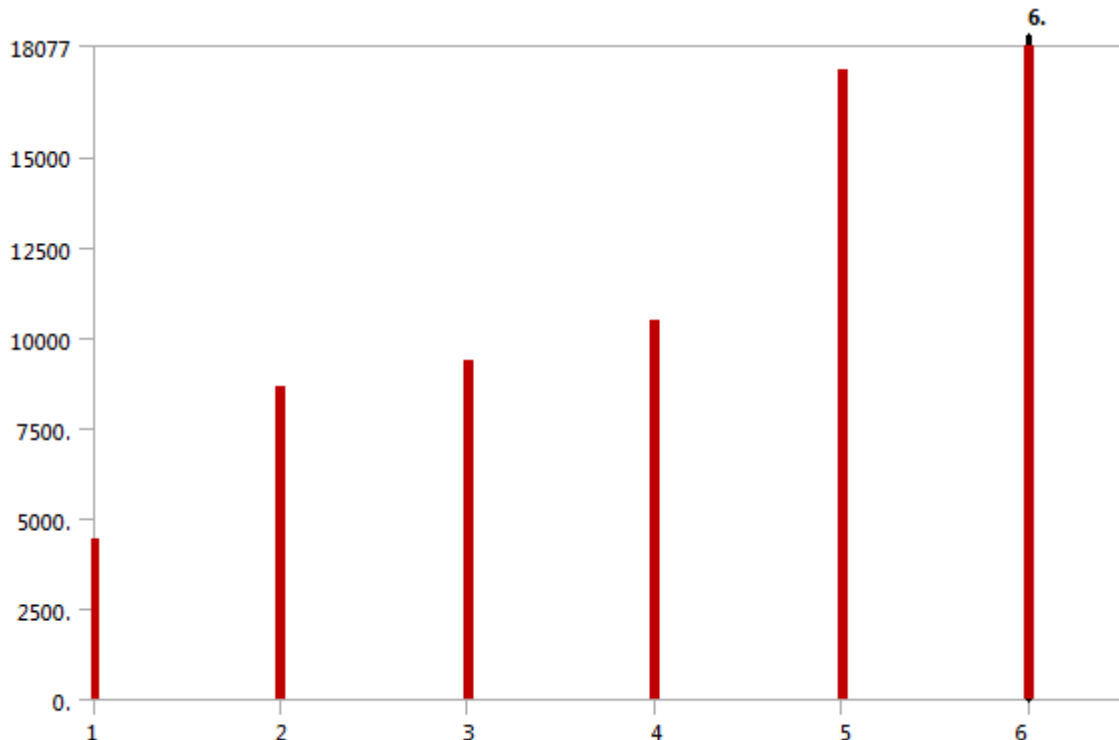


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	4427.9

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

2.	8651.2
3.	9388.1
4.	10456
5.	17431
6.	18077

TABLE 15
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Directional Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation		Y Axis	
Coordinate System		Global Coordinate System	
Results			
Minimum	0. m	-2.667e-002 m	1.7111e+008 Pa
Maximum	4.295 m		3.6898e+011 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-2.667e-002 m	1.7111e+008 Pa
Maximum	0. m	-2.667e-002 m	1.7111e+008 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	4.295 m		3.6898e+011 Pa
Maximum	4.295 m		3.6898e+011 Pa
Information			
Frequency	4427.9 Hz		
Integration Point Results			

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Display Option		Averaged
Average Across Bodies		No

TABLE 17
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	4427.9
2.	8651.2
3.	9388.1
4.	10456
5.	17431
6.	18077

TABLE 18
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	4427.9
2.	8651.2
3.	9388.1
4.	10456
5.	17431
6.	18077

TABLE 19
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	4427.9
2.	8651.2
3.	9388.1
4.	10456
5.	17431
6.	18077

7.27 MATERIAL DATA

7.27.1 Epument

TABLE 20
Epument > Constants

Density	2.4 kg m ⁻³
---------	------------------------

TABLE 21
Epument > Isotropic Elasticity

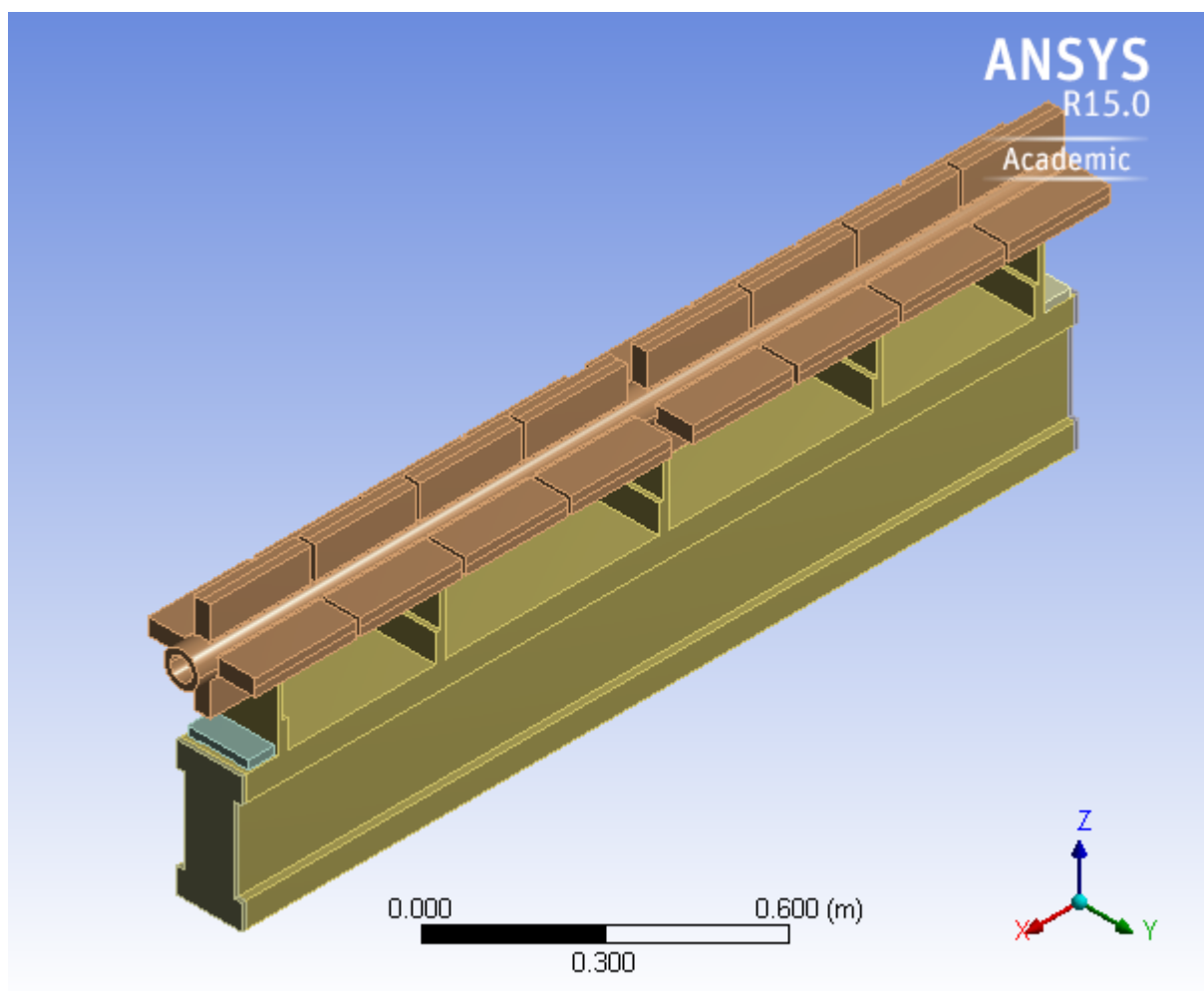
Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.5e+010	0.3	3.75e+010	1.7308e+010

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ STAINLESS STEEL



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.28 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427993_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Mesh](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Stainless Steel](#)

7.29 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.30 MODEL (B4)

7.30.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	G:\Workspaces\n\ngazis\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volum e	6.072e-002 m ³
Mass	470.58 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

e	
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427993_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Stainless Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.15 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	6.072e-002 m ³
Mass	470.58 kg

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-7.9962e-018 m
Centroid Z	-3.9535e-007 m
Moment of Inertia Ip1	6.2161 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	153.48 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	149.77 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.30.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.30.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	4.9447e-003 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

7.30.4 Mesh

TABLE 7
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Statistics	
Nodes	10799
Elements	5531
Mesh Metric	None

7.30.5 Named Selections

TABLE 8
Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Object Name	<i>Problematic Geometry</i>
State	Suppressed
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
Definition	
Send to Solver	Yes
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
Statistics	
Type	Manual
Total Selection	No Selection
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

7.31 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes to	6

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Find	
Limit Search to Range	No
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_baseline_(thck40)_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed		No
Define By		Components
Coordinate System		Global Coordinate System
X Component		0. m
Y Component		0. m
Z Component		0. m

7.31.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

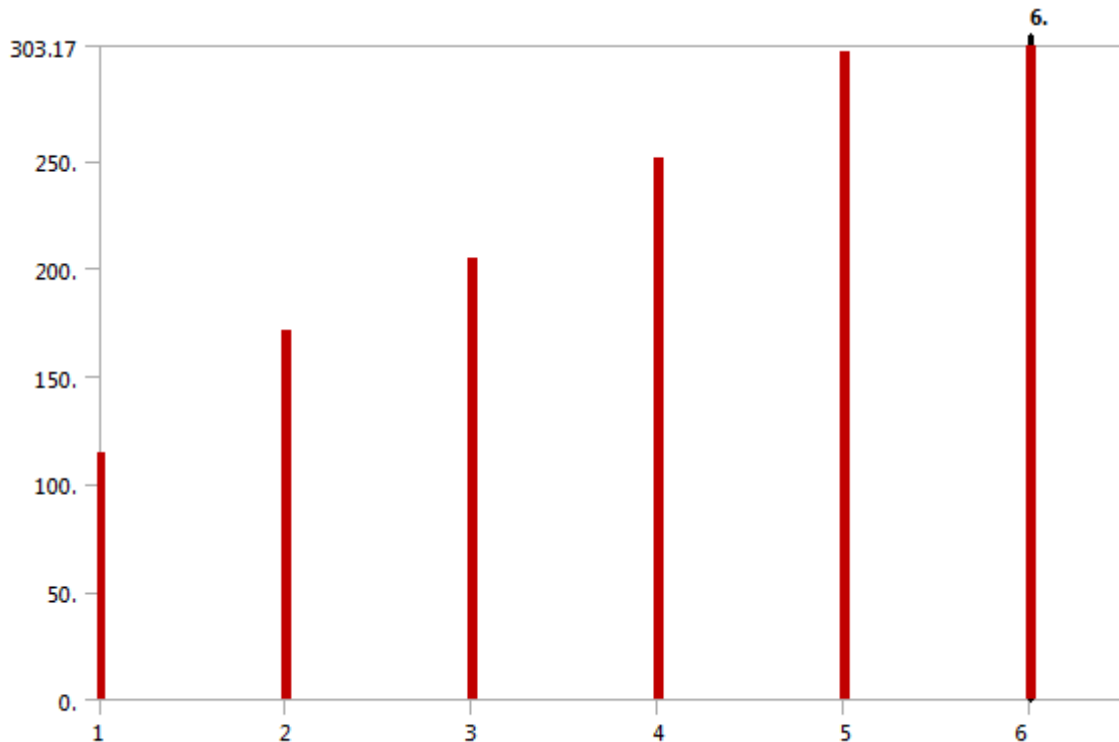


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	161.44

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

2.	315.27
3.	342.13
4.	381.09
5.	634.85
6.	658.42

TABLE 15
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Directional Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation	Y Axis		
Coordinate System	Global Coordinate System		
Results			
Minimum	0. m	-4.8254e-004 m	1.1815e+007 Pa
Maximum	7.5588e-002 m		2.7774e+010 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-4.8254e-004 m	1.1815e+007 Pa
Maximum	0. m	-4.8254e-004 m	1.1815e+007 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	7.5588e-002 m		2.7774e+010 Pa
Maximum	7.5588e-002 m		2.7774e+010 Pa
Information			
Frequency	161.44 Hz		
Integration Point Results			

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Display Option		Averaged
Average Across Bodies		No

TABLE 17
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	161.44
2.	315.27
3.	342.13
4.	381.09
5.	634.85
6.	658.42

TABLE 18
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	161.44
2.	315.27
3.	342.13
4.	381.09
5.	634.85
6.	658.42

TABLE 19
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	161.44
2.	315.27
3.	342.13
4.	381.09
5.	634.85
6.	658.42

7.32 MATERIAL DATA

7.32.1 Stainless Steel

TABLE 20
Stainless Steel > Constants

Density	7750 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	480 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	15.1 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-007 ohm m

TABLE 21
Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa	0
----------------------------------	---

TABLE 22
Stainless Steel > Compressive Yield Strength

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Compressive Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 23
Stainless Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 24
Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.86e+008

TABLE 25
Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 26
Stainless Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.93e+011	0.31	1.693e+011	7.3664e+010

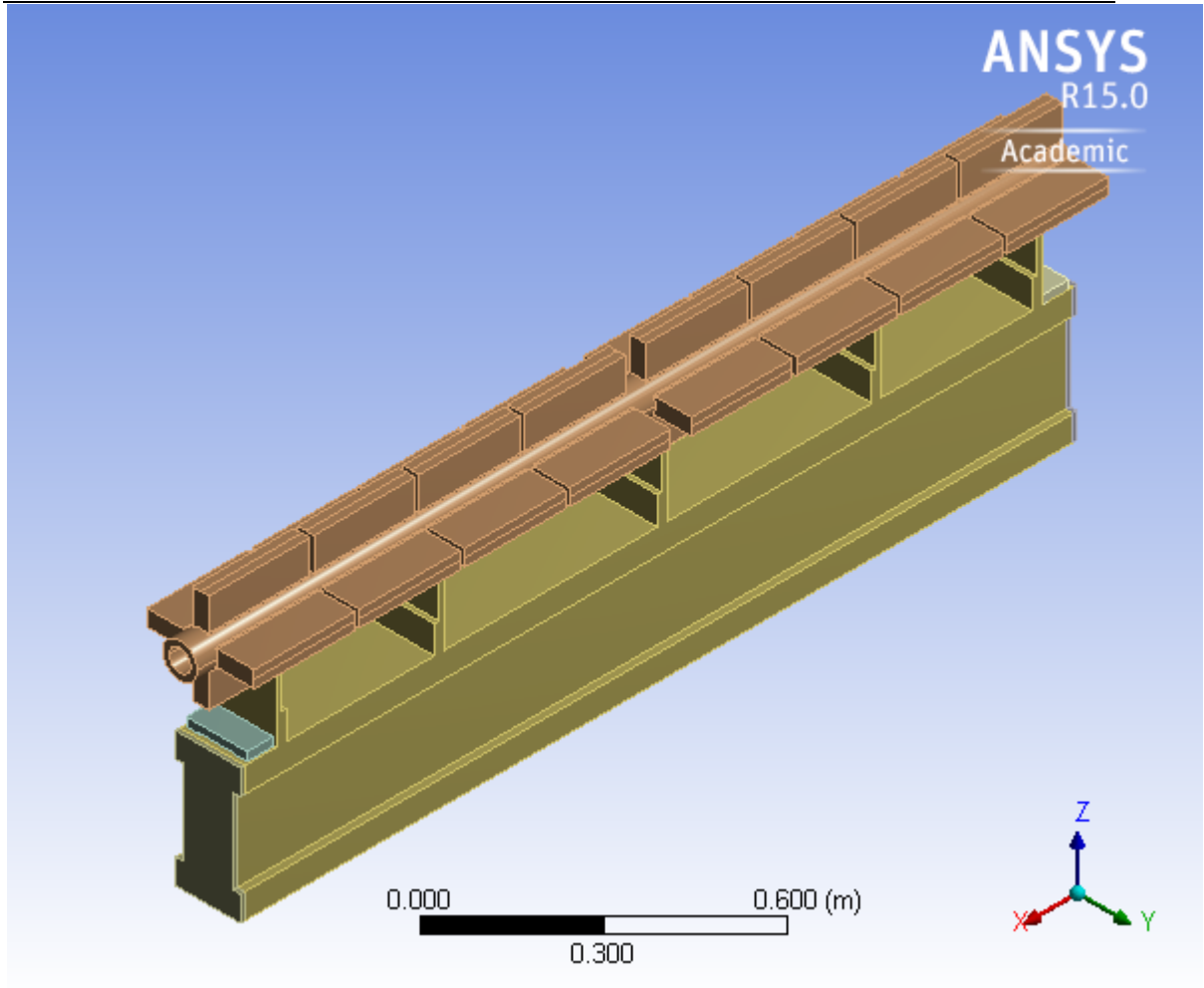
TABLE 27
Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ SIC



First Saved	Monday, June 11, 2012
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.33 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427996_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [SiC](#)

7.34 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.35 MODEL (C4)

7.35.1 Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Volume	0.14535 m ³
Mass	467.31 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Director y	
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427996_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	SiC
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	467.31 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-9.295e-018 m
Centroid Z	-3.1567e-002 m
Moment of Inertia Ip1	6.797 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	151.31 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	150.45 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None

7.35.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.35.3 Mesh

TABLE 5
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None

7.36 STATIC STRUCTURAL (C5)

TABLE 6
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Files After Full Solve	
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit	mks

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

System	
--------	--

TABLE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	0. m/s ² (ramped)
Z Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Standard Earth Gravity

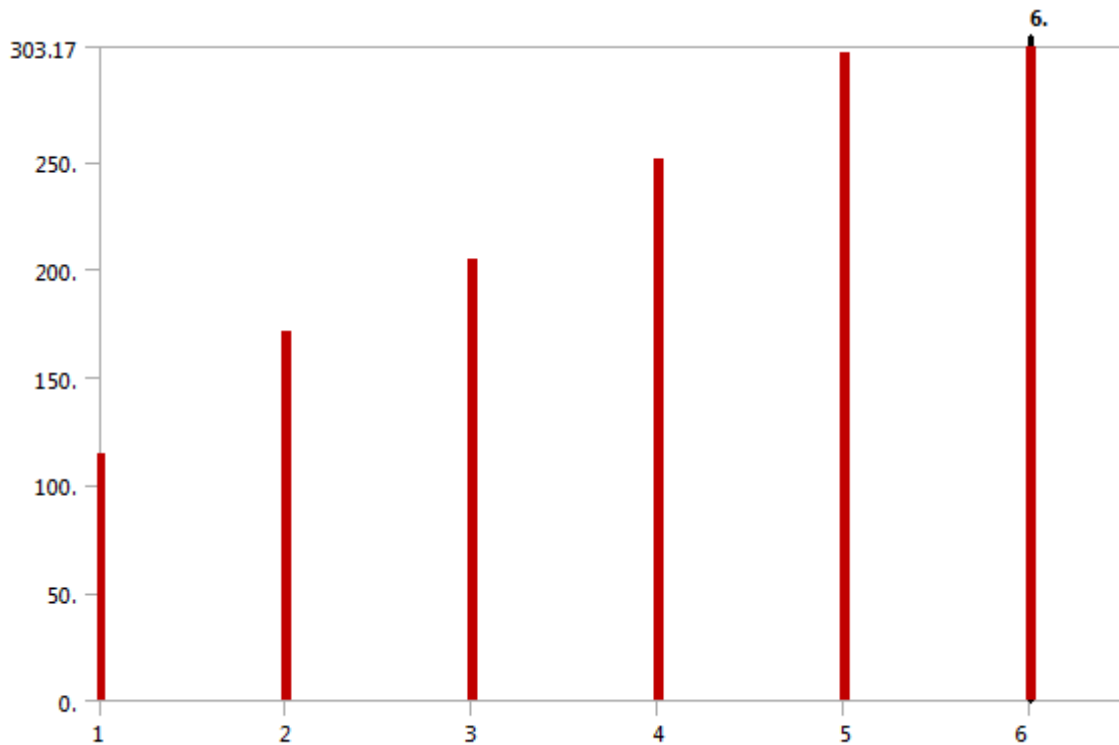


TABLE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Face						
Definition							
Type	Displacement	Fixed	Force				

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

		Support	
Define By	Components		Vector
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	Free		
Y Component	Free		
Z Component	0. m (ramped)		
Suppressed		No	
Magnitude		1891. N (ramped)	3635. N (ramped)
Direction			Defined

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

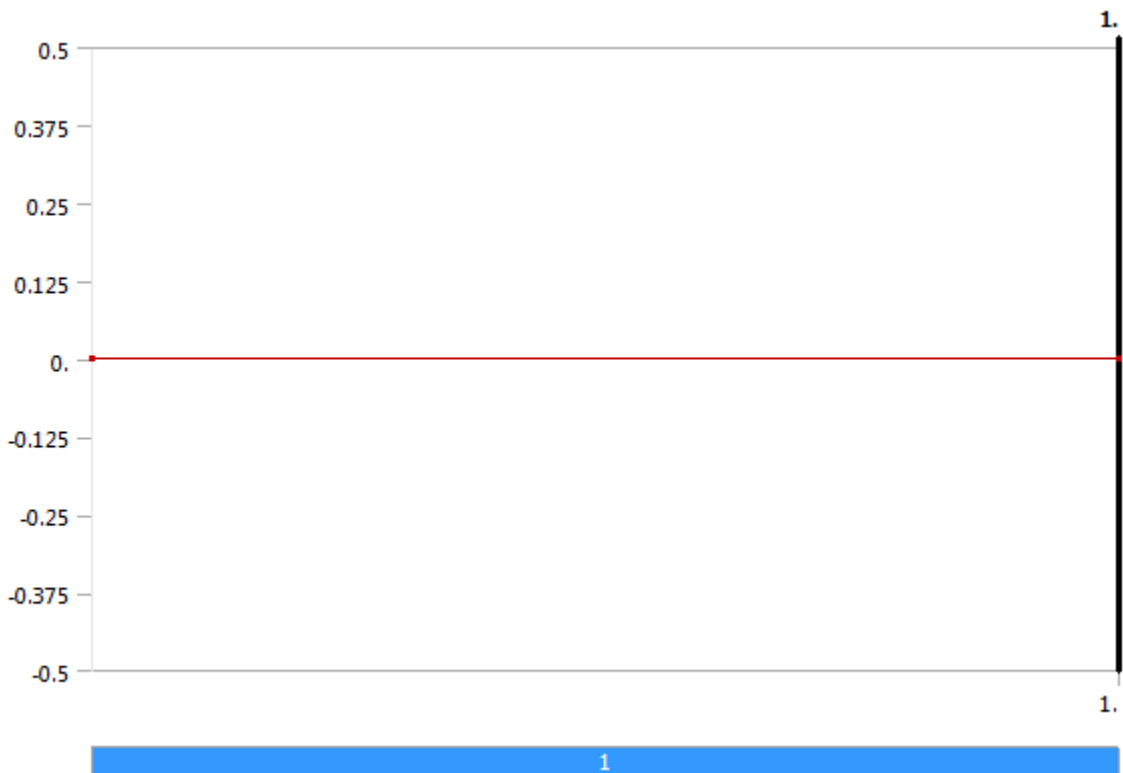


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force

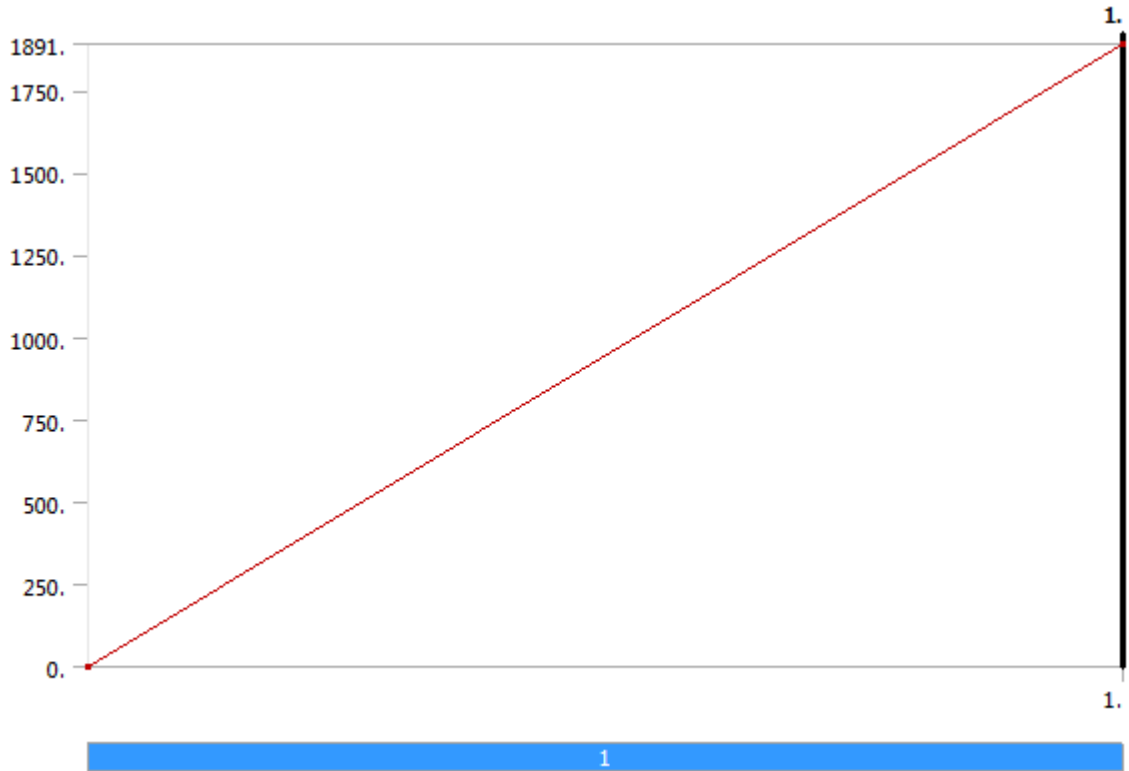


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 2



FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 3

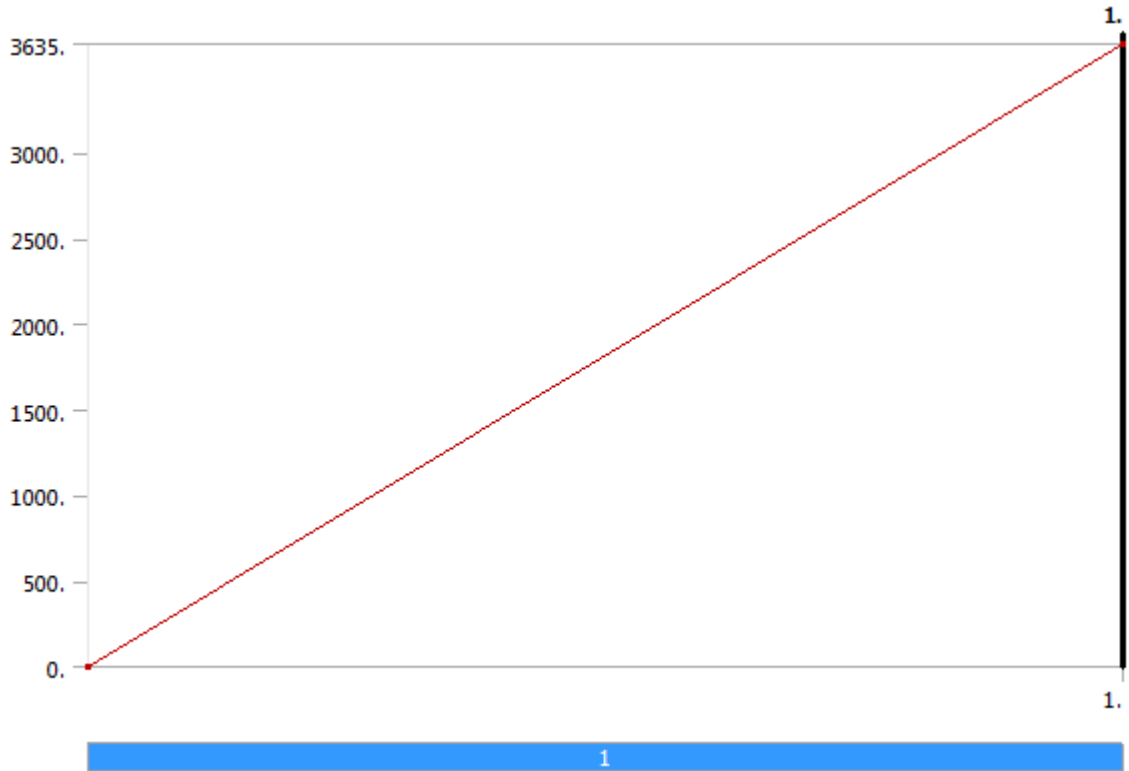


FIGURE 6
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 4

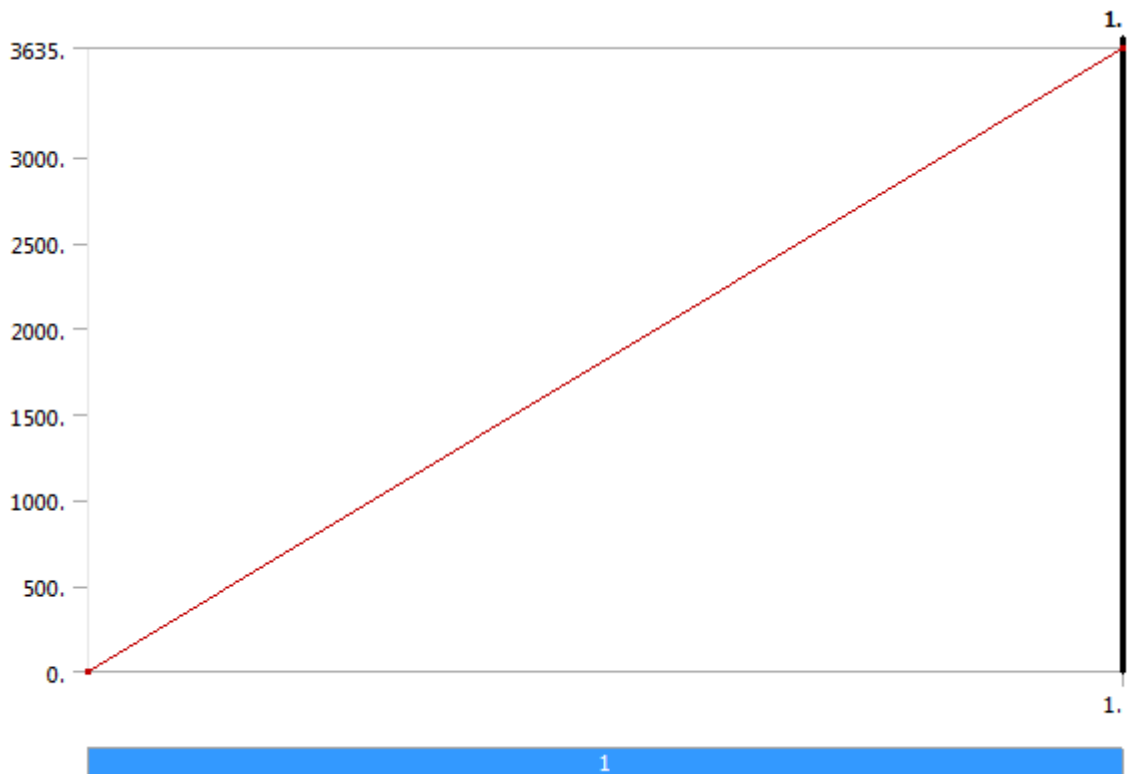
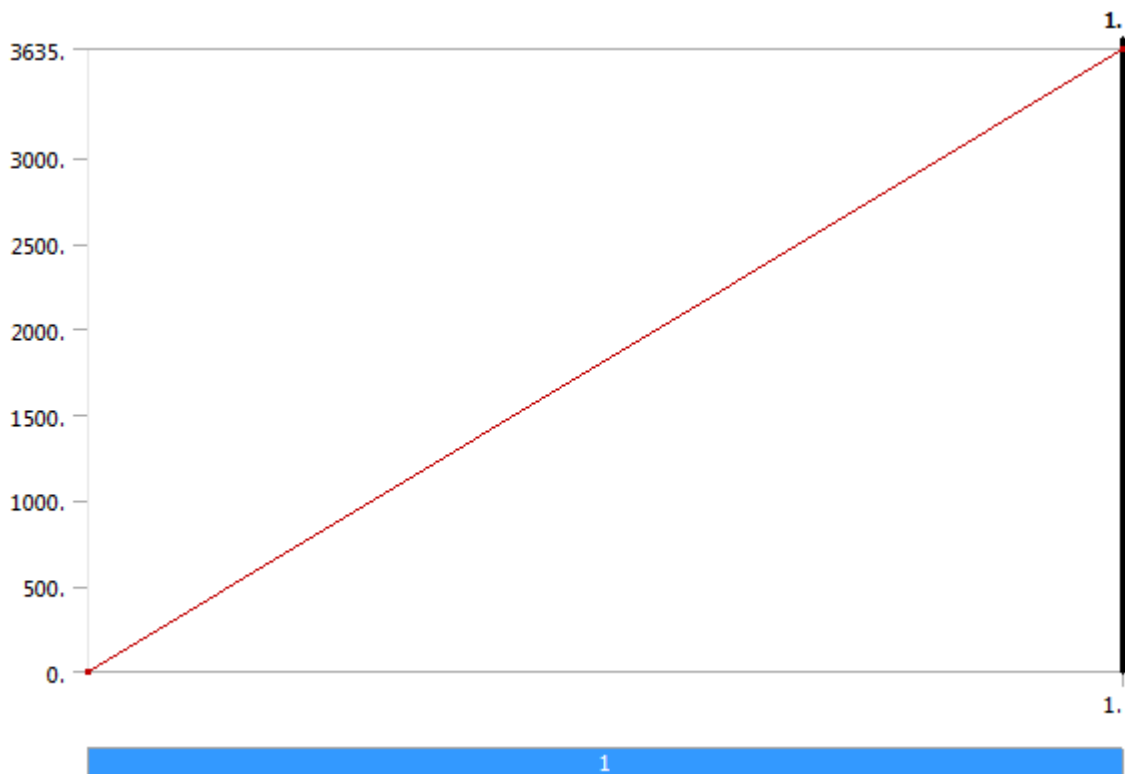


FIGURE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 5



7.36.1 Solution (C6)

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Orientation		X Axis		
Coordinate System		Global Coordinate System		
Results				
Minimum	0. m	-5.3258e-007 m	1.6874e-009 m/m	708.71 Pa
Maximum	4.6352e-006 m	2.0046e-006 m	8.0348e-006 m/m	2.4575e+006 Pa
Minimum Value Over Time				
Minimum	0. m	-5.3258e-007 m	1.6874e-009 m/m	708.71 Pa
Maximum	0. m	-5.3258e-007 m	1.6874e-009 m/m	708.71 Pa
Maximum Value Over Time				
Minimum	4.6352e-006 m	2.0046e-006 m	8.0348e-006 m/m	2.4575e+006 Pa
Maximum	4.6352e-006 m	2.0046e-006 m	8.0348e-006 m/m	2.4575e+006 Pa
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			
Integration Point Results				
Display Option	Averaged			
Average Across Bodies	No			

7.37 MATERIAL DATA

7.37.1 SiC

TABLE 13
SiC > Constants

Density	3215 kg m ⁻³
---------	-------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 14
SiC > Polynomial EOS

Parameter A1 Pa	Parameter A2 Pa	Parameter A3 Pa	Parameter B0	Parameter B1	Parameter T1 Pa	Parameter T2 Pa
2.2e+011	3.61e+011	0	0	0	2.2e+011	0

TABLE 15
SiC > Bulk Modulus

Bulk Modulus Pa
2.2e+011

TABLE 16
SiC > Johnson-Holmquist Strength Segmented

Hugoniot Elastic Limit HEL Pa	Intact Strength Constant S1 Pa	Intact Strength Constant P1 Pa	Intact Strength Constant S2 Pa	Intact Strength Constant P2 Pa	Strain Rate Constant C	Maximum Fracture Strength SFMAX Pa	Failed Strength Constant α	Damage Constant EFM AX D1	Damage Constant P3 D2 Pa	Bulking Constant B	Hydrodynamic Tensile Limit T Pa
1.17e+010	7.1e+009	2.5e+009	1.22e+010	1.e+010	9.e-003	1.3e+009	0.4	1.2	9.975e+010	1	-7.5e+008

TABLE 17
SiC > Shear Modulus

Shear Modulus Pa
1.935e+011

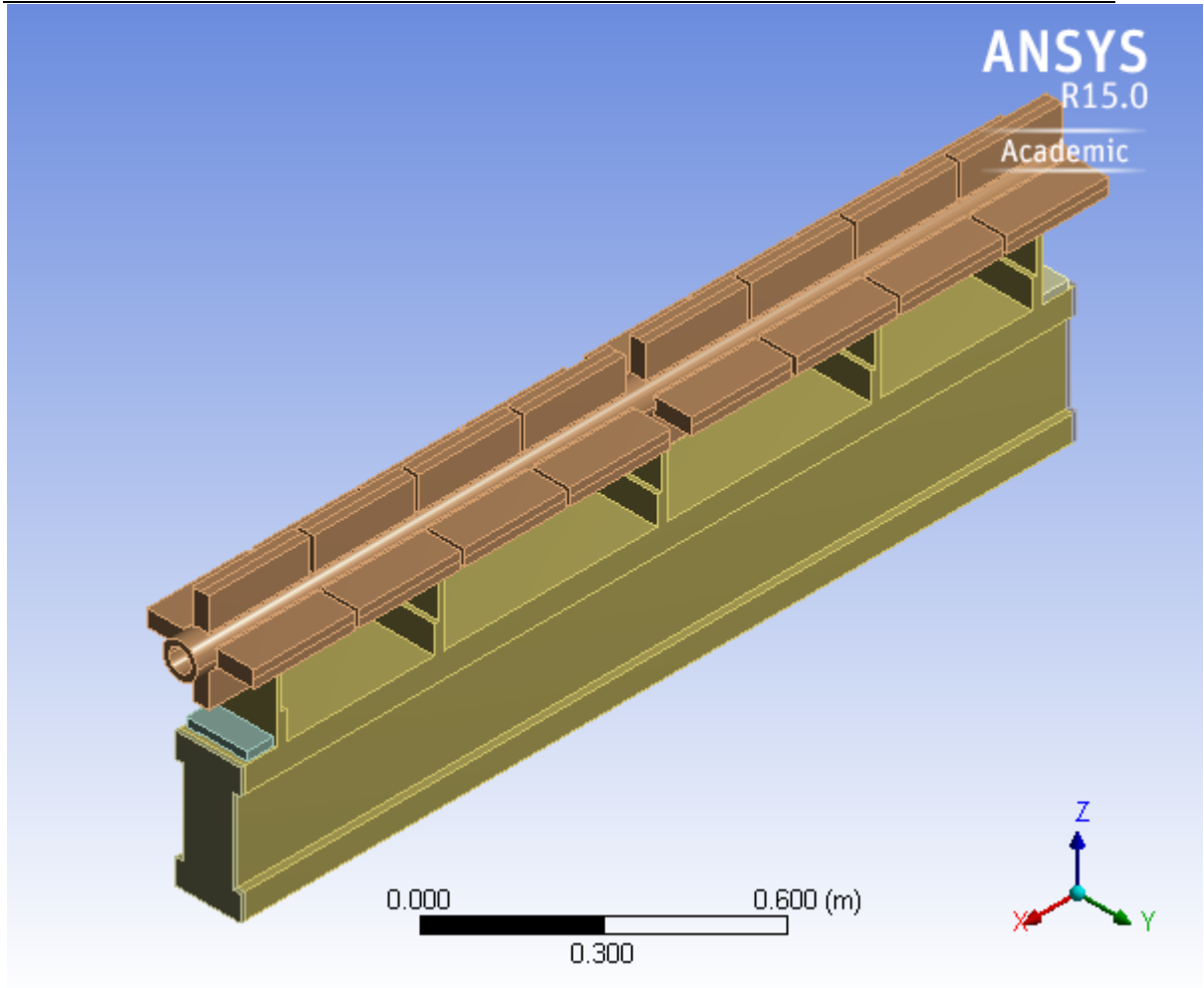
TABLE 18
SiC > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.2e+011	0.16	2.0588e+011	1.8103e+011

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ EPUMENT



First Saved	Monday, June 11, 2012
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.38 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427996_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Epument](#)

7.39 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.40 MODEL (C4)

7.40.1 Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Volume	0.14535 m ³
Mass	0.34884 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Director y	
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427996_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Epument
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	0.34884 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-9.295e-018 m
Centroid Z	-3.1567e-002 m
Moment of Inertia Ip1	5.0739e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	0.11295 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	0.11231 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None

7.40.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.40.3 Mesh

TABLE 5
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None

7.41 STATIC STRUCTURAL (C5)

TABLE 6
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Files After Full Solve	
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit	mks

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

System	
--------	--

TABLE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	0. m/s ² (ramped)
Z Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Standard Earth Gravity

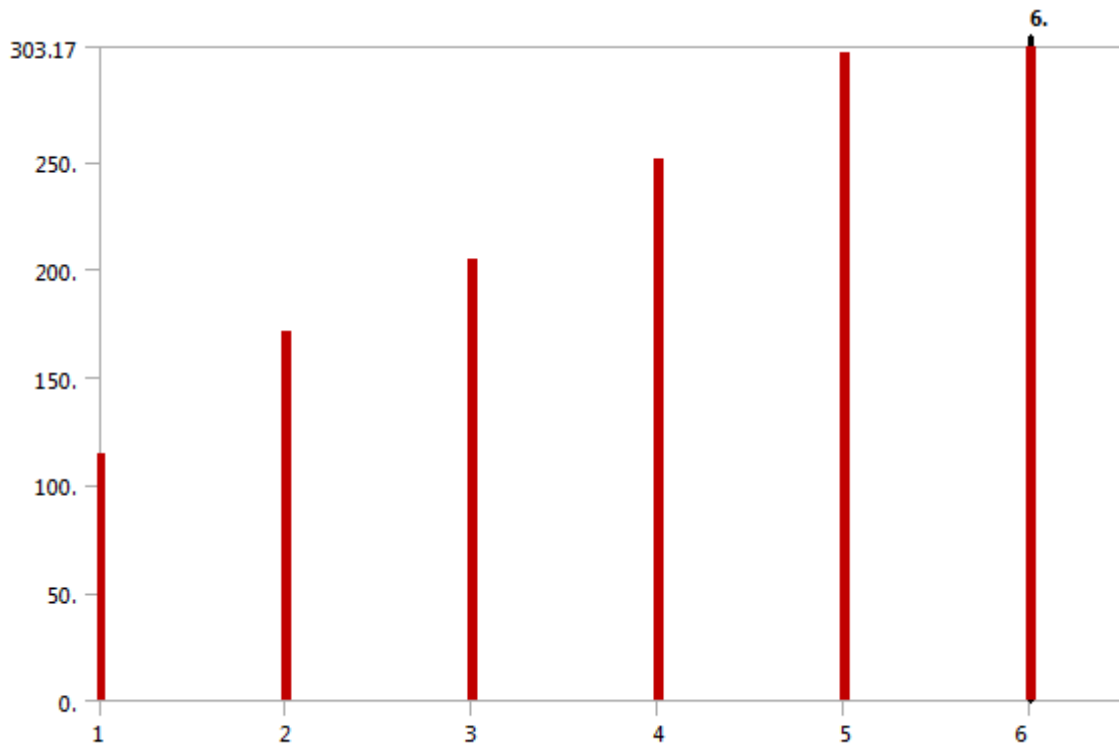


TABLE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Face						
Definition							
Type	Displacement	Fixed	Force				

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

		Support	
Define By	Components		Vector
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	Free		
Y Component	Free		
Z Component	0. m (ramped)		
Suppressed		No	
Magnitude		1891. N (ramped)	3635. N (ramped)
Direction			Defined

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

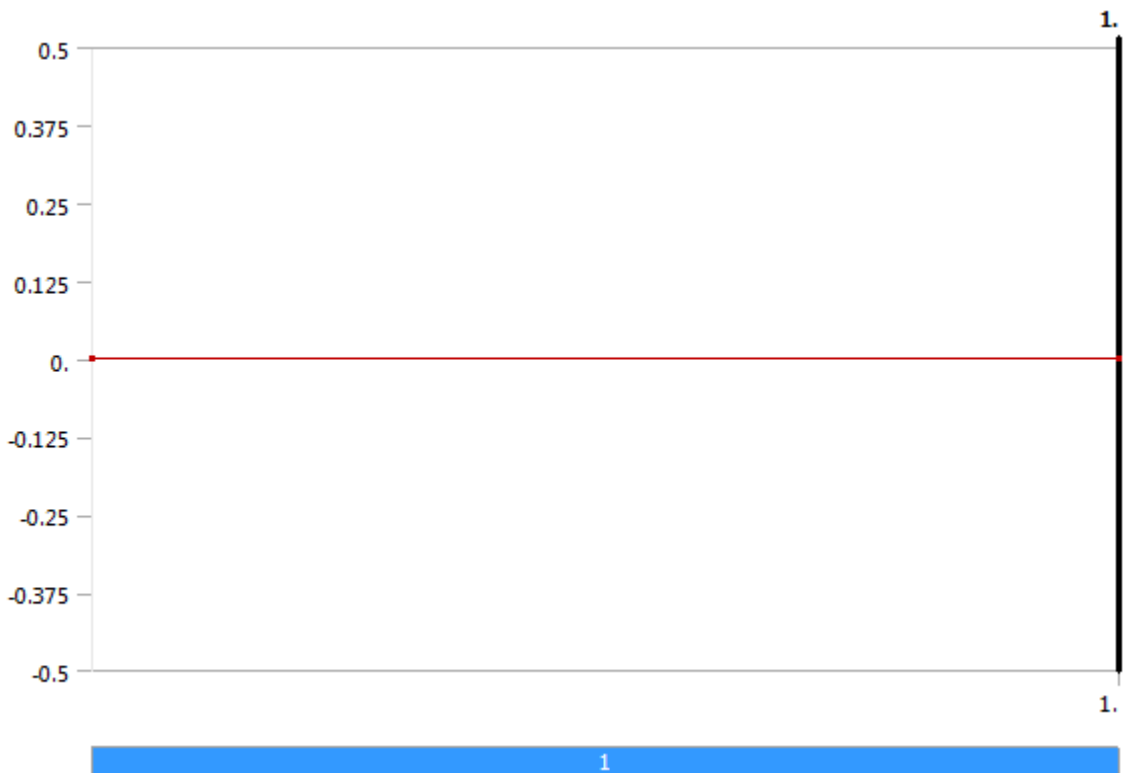


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force

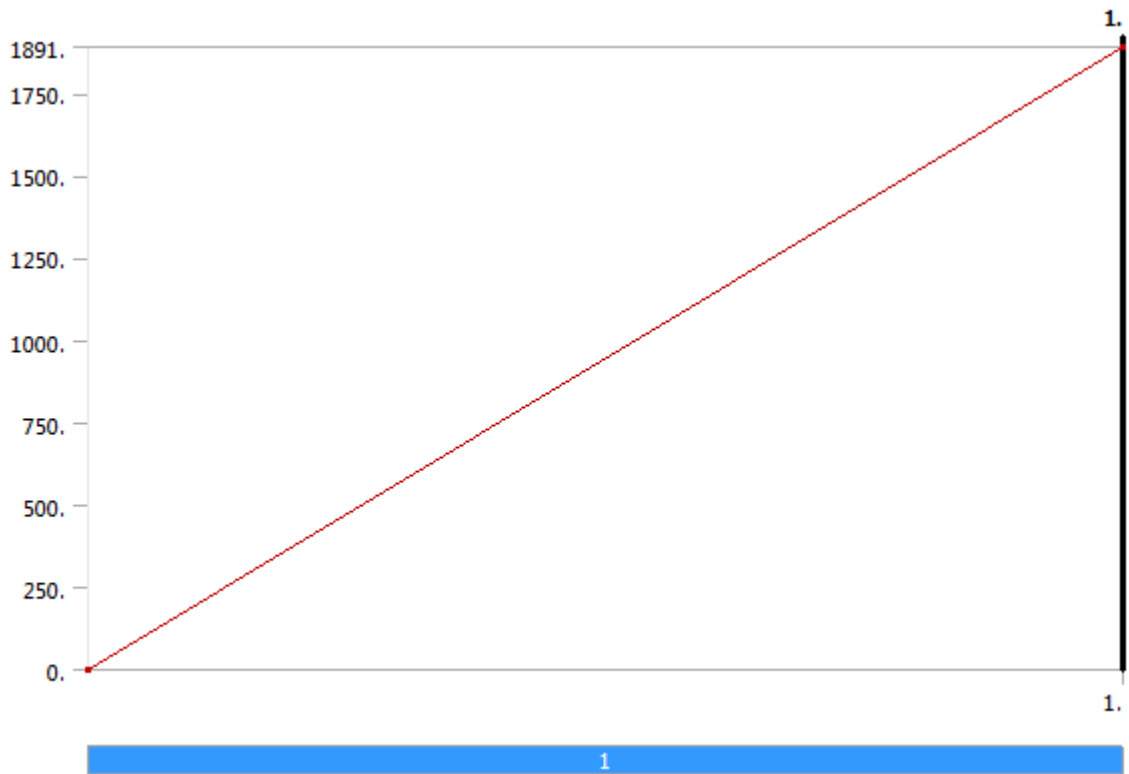


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 2

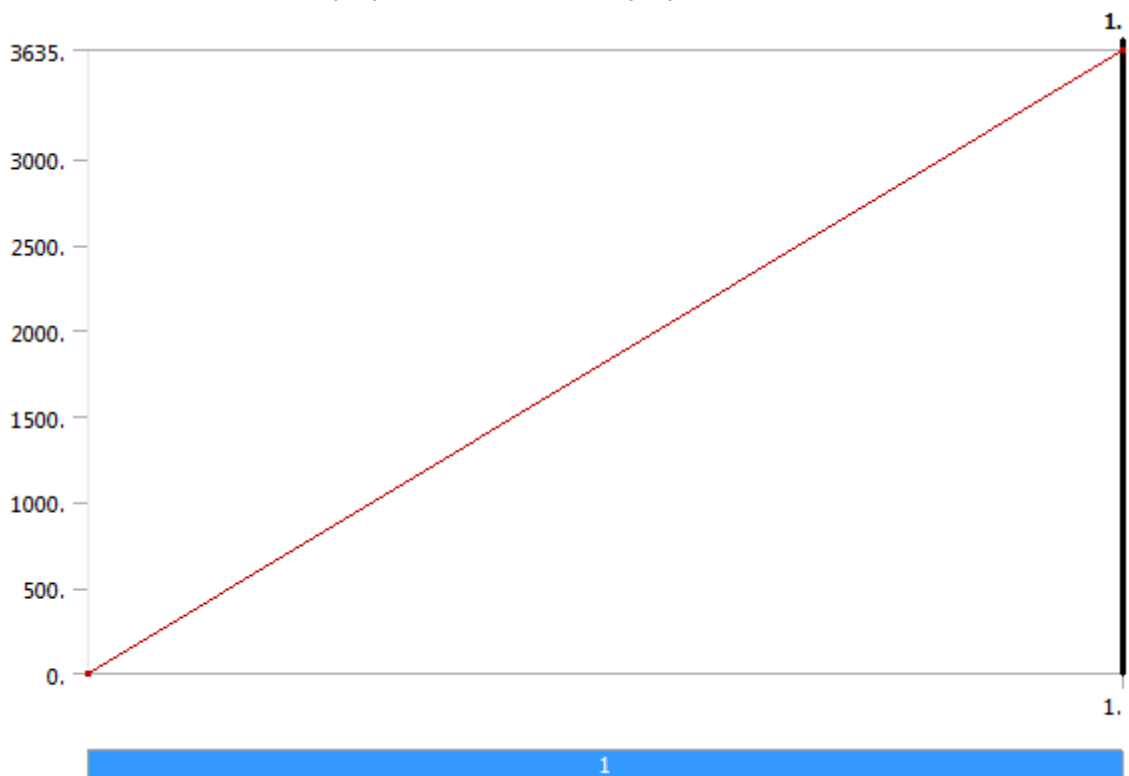


FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 3

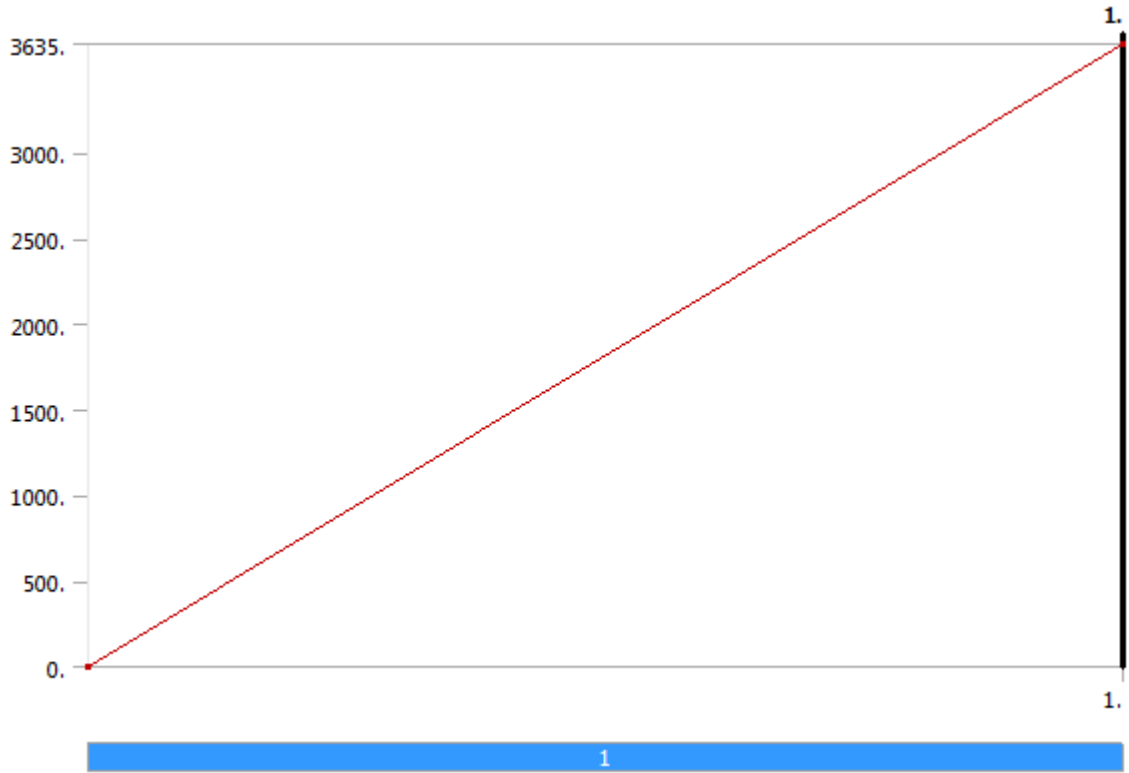


FIGURE 6
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 4

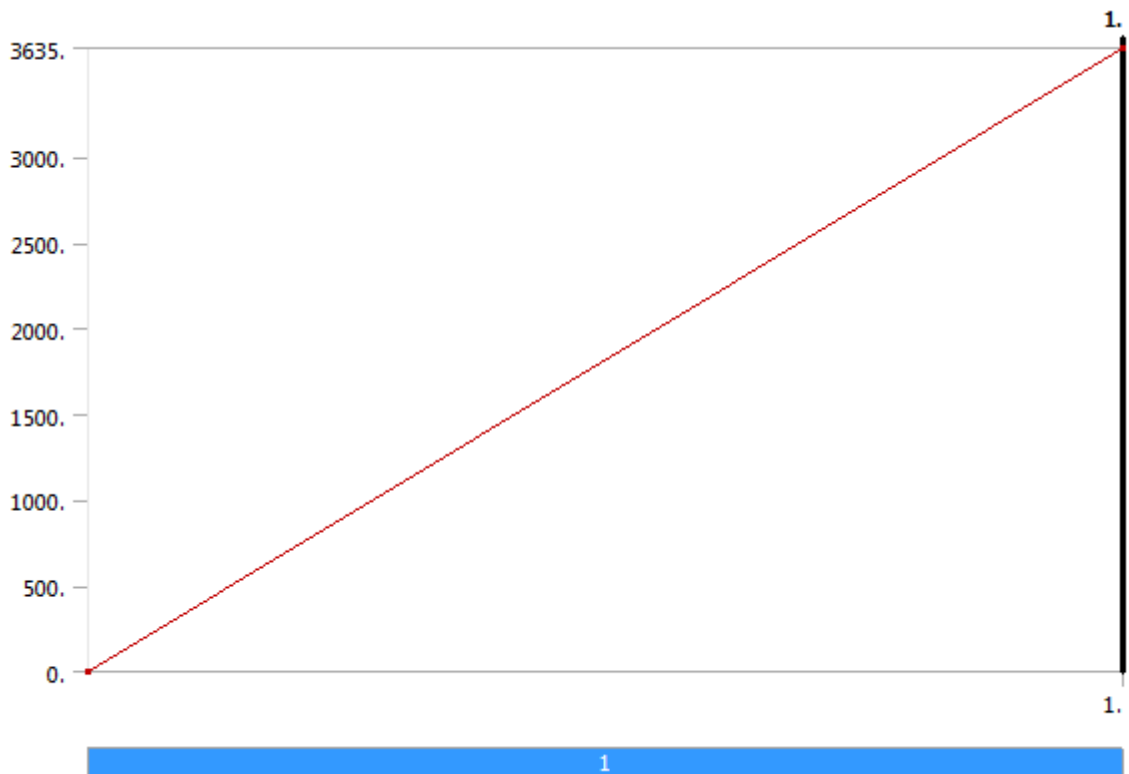
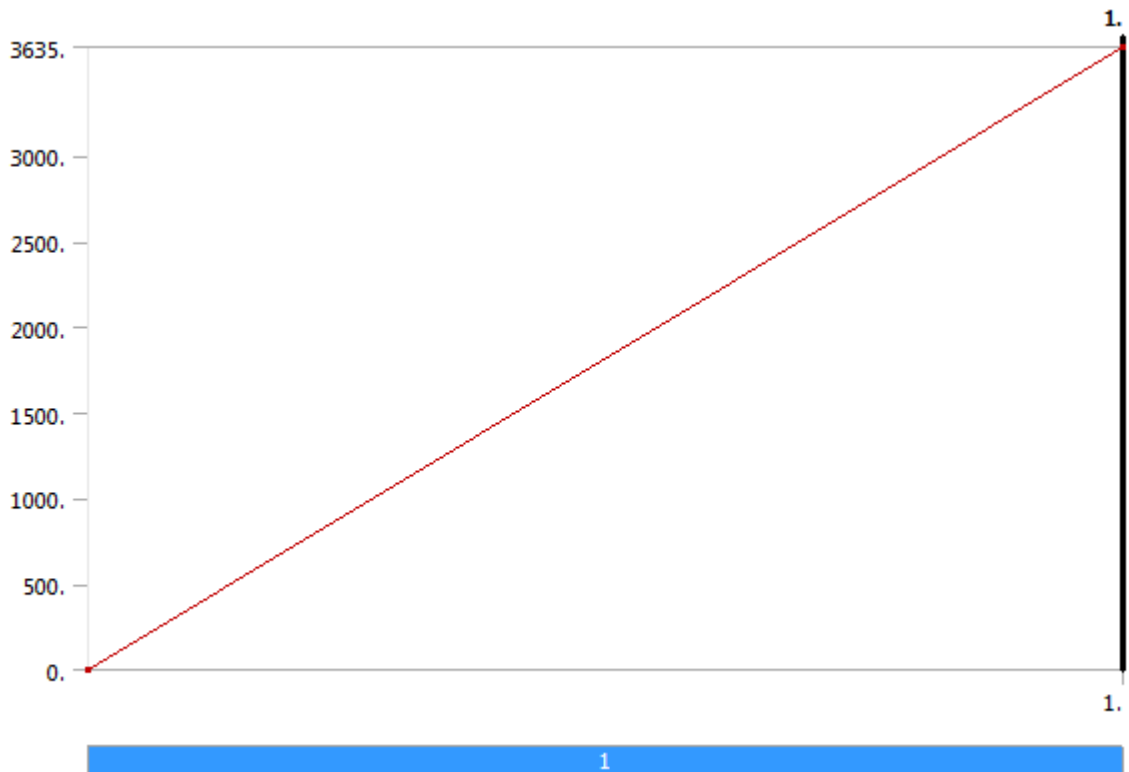


FIGURE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 5



7.41.1 Solution (C6)

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Orientation		X Axis		
Coordinate System		Global Coordinate System		
Results				
Minimum	0. m	-3.436e-006 m	2.2538e-008 m/m	1014.2 Pa
Maximum	3.2982e-005 m	1.4107e-005 m	4.8235e-005 m/m	1.5478e+006 Pa
Minimum Value Over Time				
Minimum	0. m	-3.436e-006 m	2.2538e-008 m/m	1014.2 Pa
Maximum	0. m	-3.436e-006 m	2.2538e-008 m/m	1014.2 Pa
Maximum Value Over Time				
Minimum	3.2982e-005 m	1.4107e-005 m	4.8235e-005 m/m	1.5478e+006 Pa
Maximum	3.2982e-005 m	1.4107e-005 m	4.8235e-005 m/m	1.5478e+006 Pa
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			
Integration Point Results				
Display Option	Averaged			
Average Across Bodies	No			

7.42 MATERIAL DATA

7.42.1 Epument

TABLE 13
Epument > Constants

Density	2.4 kg m ⁻³
---------	------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

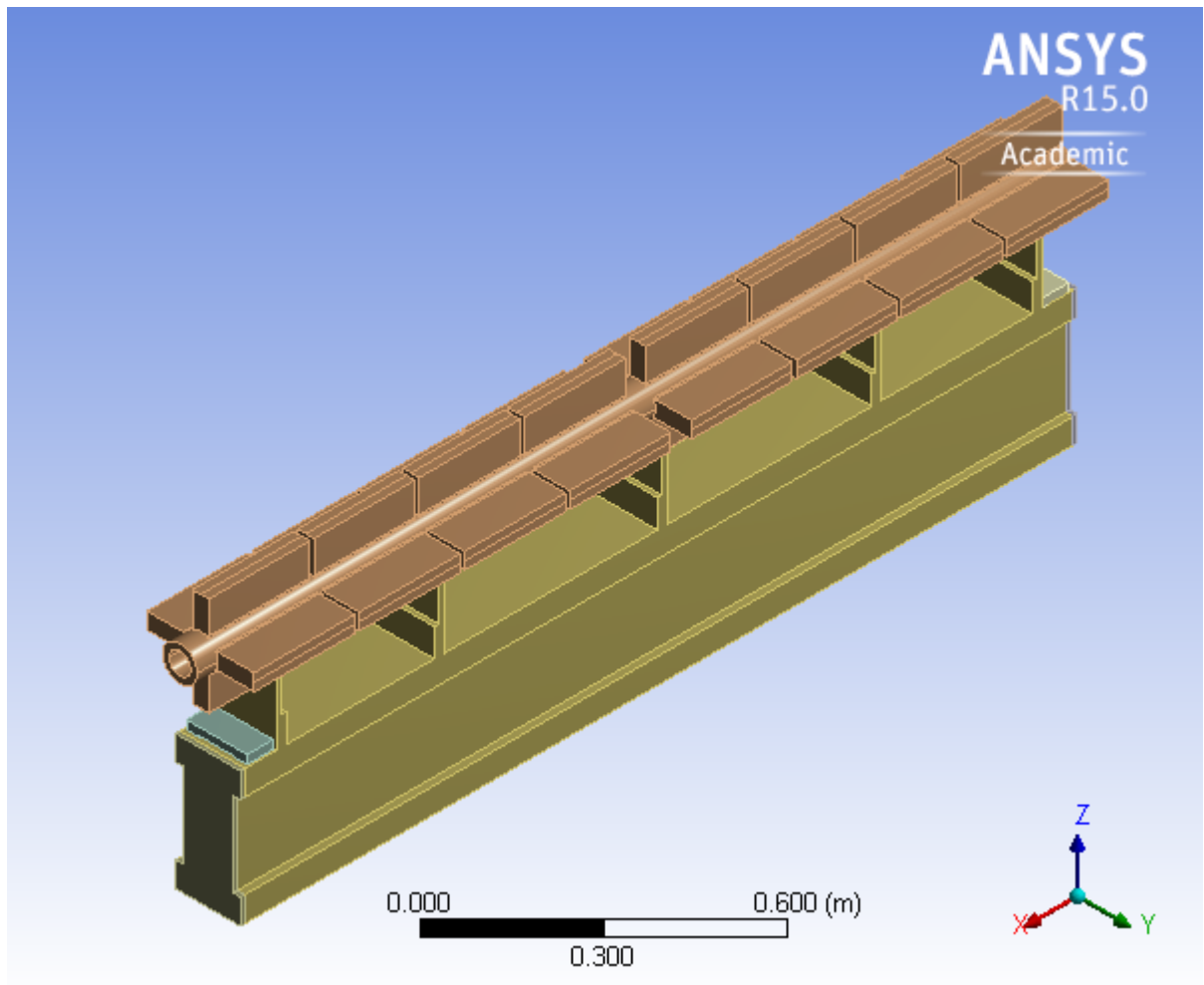
TABLE 14
Element > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.5e+010	0.3	3.75e+010	1.7308e+010

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ STAINLESS STEEL



First Saved	Monday, June 11, 2012
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.43 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427996_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Stainless Steel](#)

7.44 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.45 MODEL (C4)

7.45.1 Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Volume	0.14535 m ³
Mass	1126.5 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Director y	
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427996_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Stainless Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	1126.5 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-9.295e-018 m
Centroid Z	-3.1567e-002 m
Moment of Inertia Ip1	16.385 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	364.75 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	362.67 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None

7.45.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.45.3 Mesh

TABLE 5
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10626
Elements	5837
Mesh Metric	None

7.46 STATIC STRUCTURAL (C5)

TABLE 6
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Files After Full Solve	
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit	mks

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

System

TABLE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	0. m/s ² (ramped)
Z Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Standard Earth Gravity

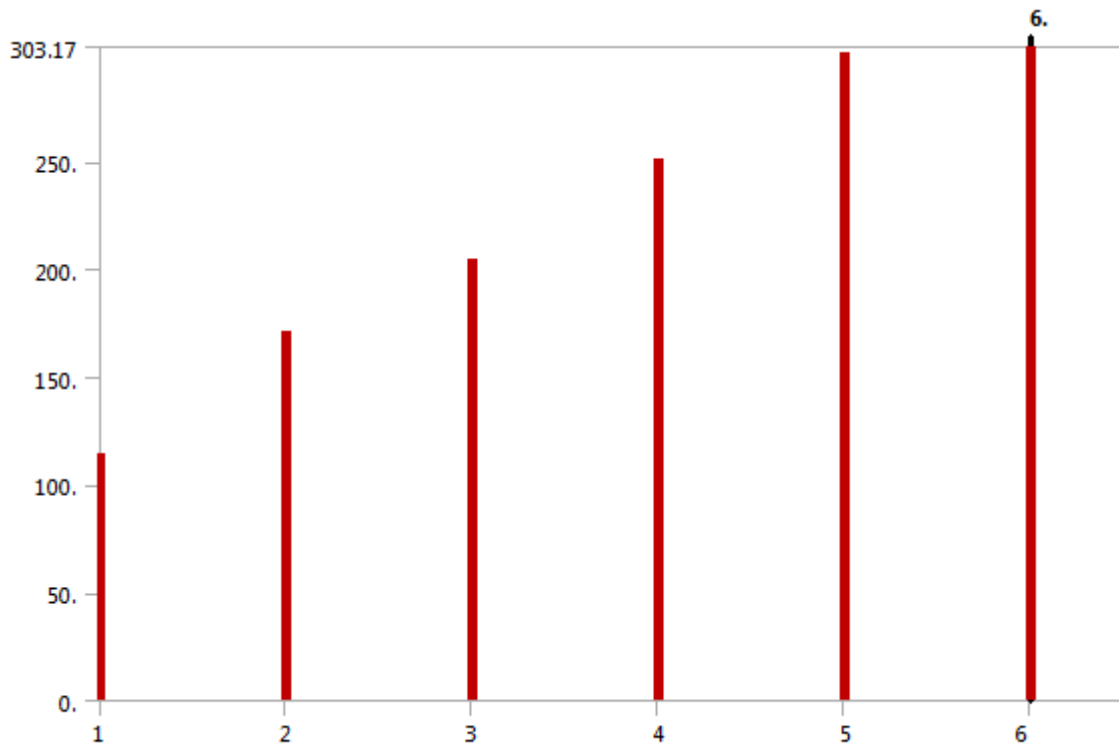


TABLE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	<i>Displacement</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Face						
Definition							
Type	Displacement	Fixed	Force				

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

		Support	
Define By	Components		Vector
Coordinate System	Global Coordinate System		
X Component	Free		
Y Component	Free		
Z Component	0. m (ramped)		
Suppressed		No	
Magnitude		1891. N (ramped)	3635. N (ramped)
Direction			Defined

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

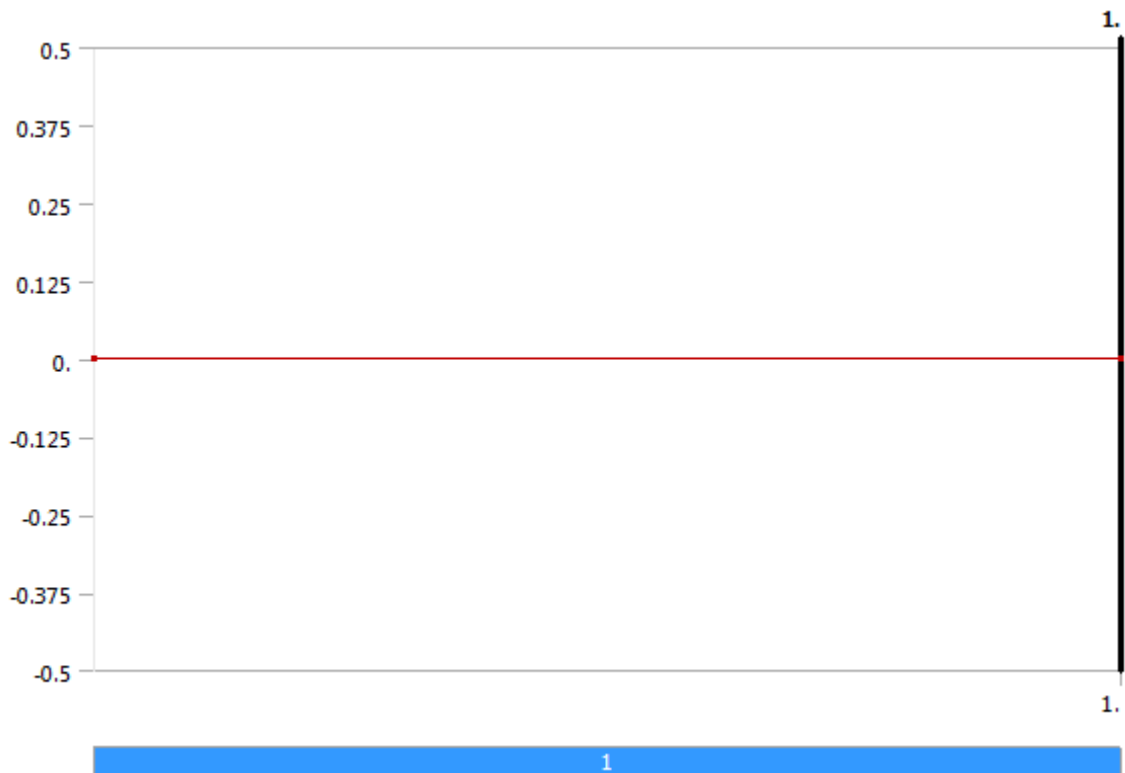


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force

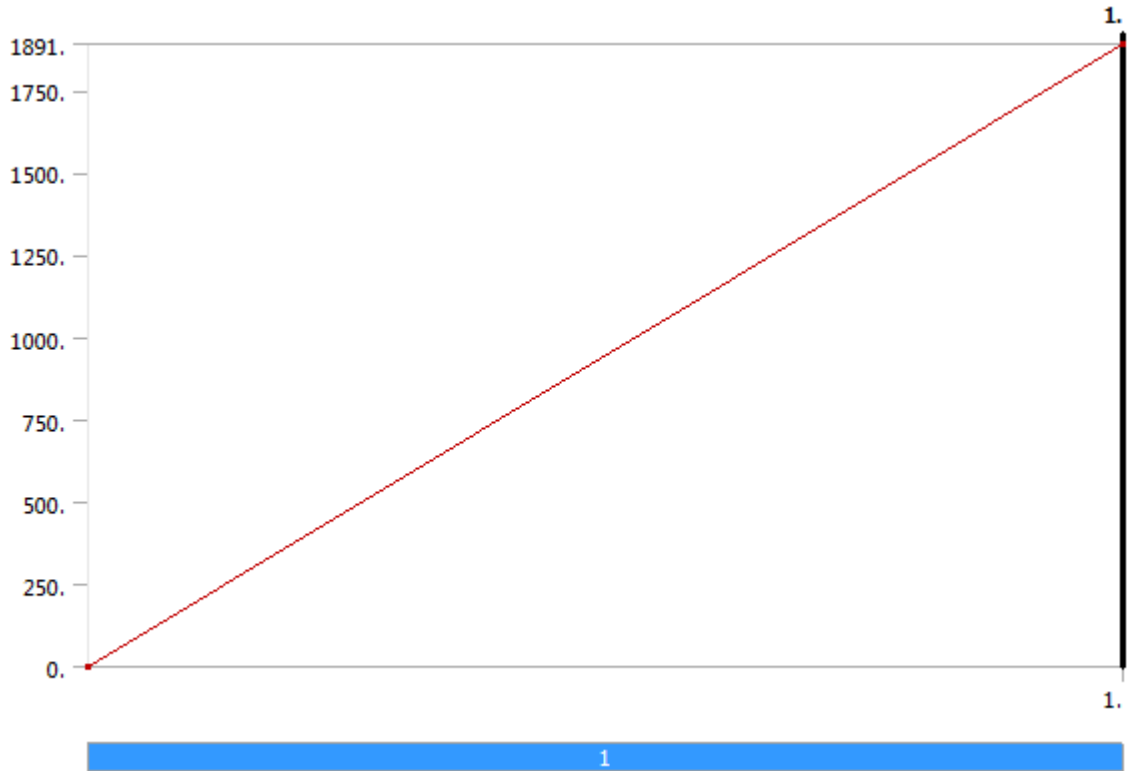


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 2

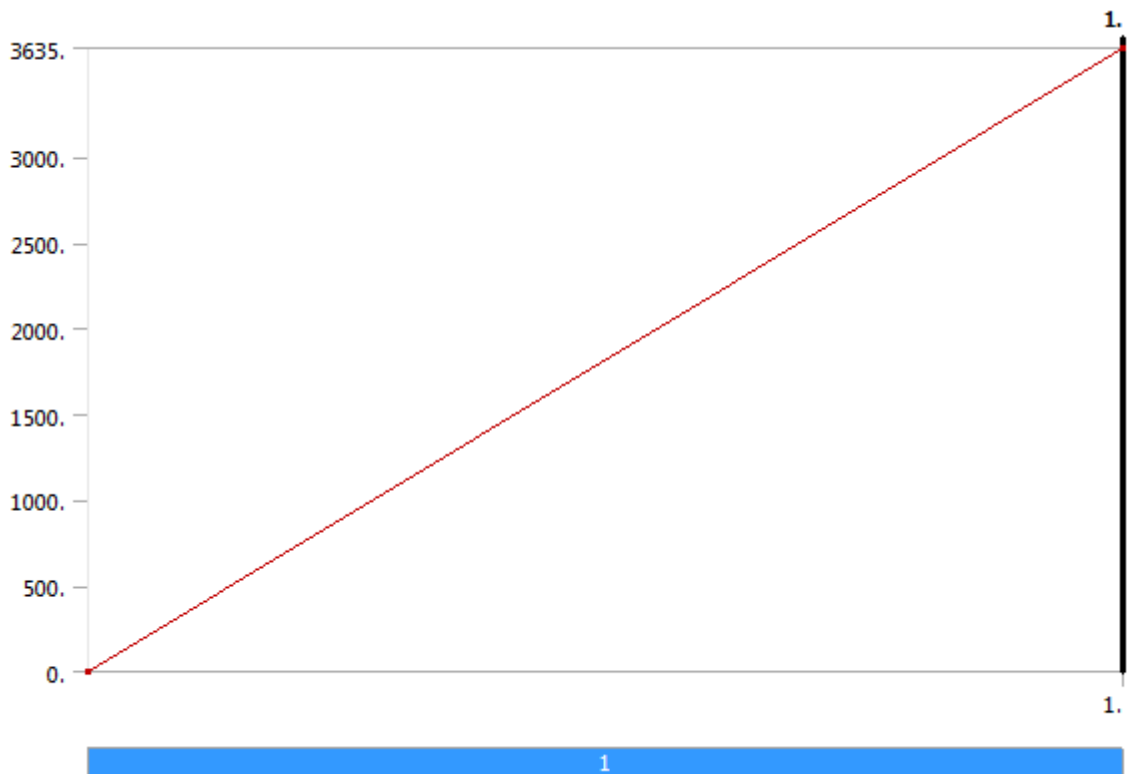


FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 3

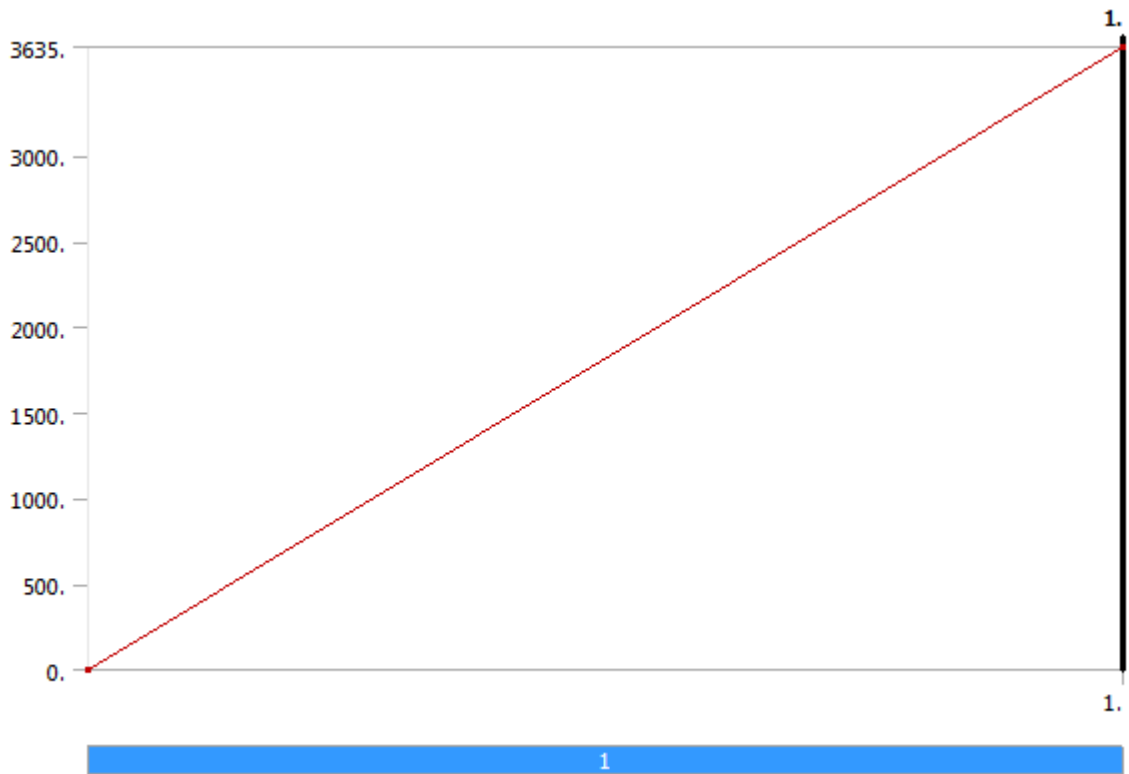


FIGURE 6
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 4

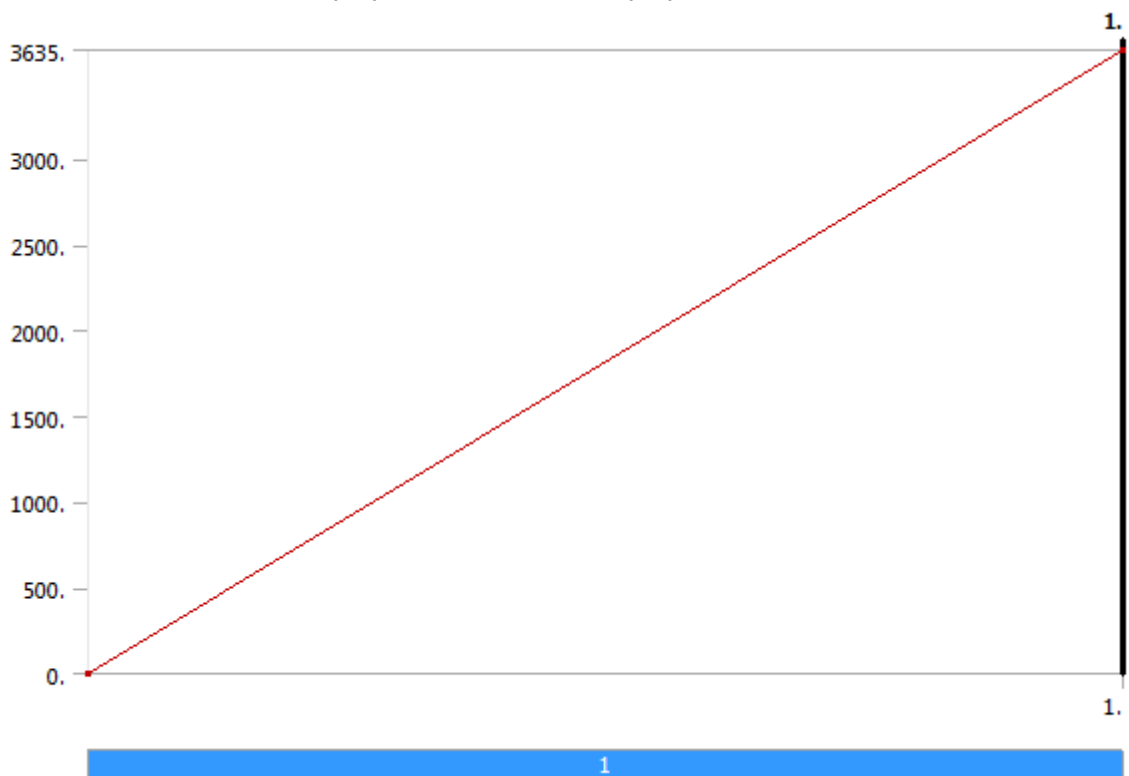
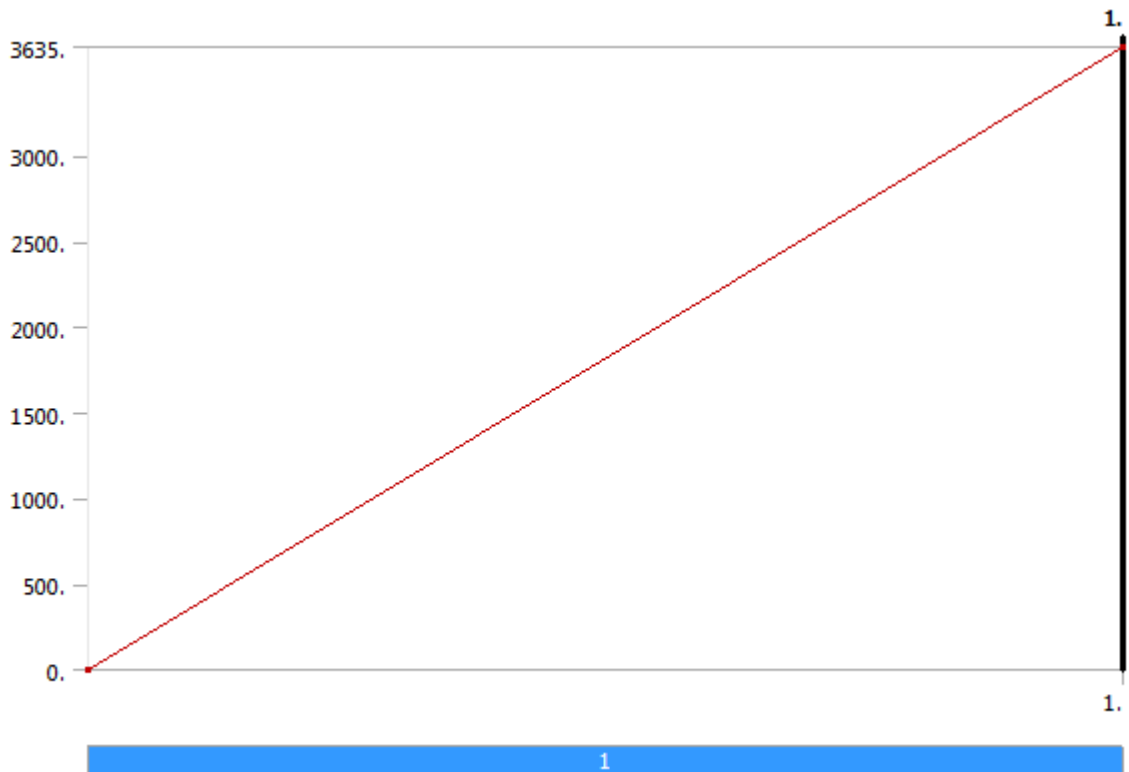


FIGURE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force 5



7.46.1 Solution (C6)

TABLE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	All Bodies			
Definition				
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time			
Display Time	Last			
Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Orientation		X Axis		
Coordinate System		Global Coordinate System		
Results				
Minimum	0. m	-1.424e-006 m	4.2441e-009 m/m	819.1 Pa
Maximum	1.3408e-005 m	5.7835e-006 m	1.9002e-005 m/m	2.6833e+006 Pa
Minimum Value Over Time				
Minimum	0. m	-1.424e-006 m	4.2441e-009 m/m	819.1 Pa
Maximum	0. m	-1.424e-006 m	4.2441e-009 m/m	819.1 Pa
Maximum Value Over Time				
Minimum	1.3408e-005 m	5.7835e-006 m	1.9002e-005 m/m	2.6833e+006 Pa
Maximum	1.3408e-005 m	5.7835e-006 m	1.9002e-005 m/m	2.6833e+006 Pa
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	1			
Iteration Number	1			
Integration Point Results				
Display Option	Averaged			
Average Across Bodies	No			

7.47 MATERIAL DATA

7.47.1 Stainless Steel

TABLE 13
Stainless Steel > Constants

Density	7750 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	480 J kg ⁻¹ C ⁻¹

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Thermal Conductivity	15.1 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-007 ohm m

TABLE 14
Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 15
Stainless Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 16
Stainless Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 17
Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.86e+008

TABLE 18
Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 19
Stainless Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.93e+011	0.31	1.693e+011	7.3664e+010

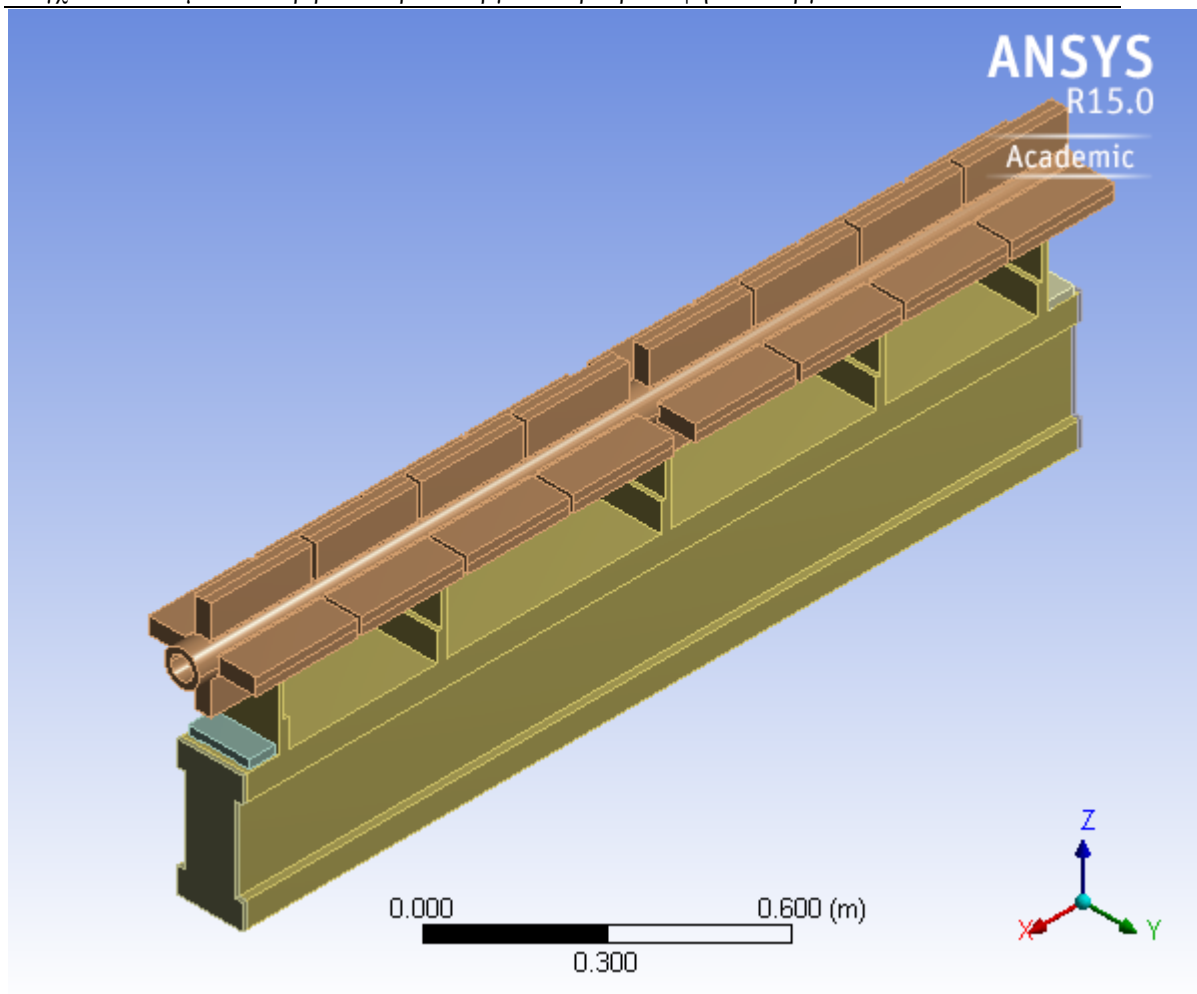
TABLE 20
Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ SIC



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.48 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427996_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Mesh](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [SiC](#)

7.49 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.50 MODEL (B4)

7.50.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	467.31 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	3439
Element s	1729
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Paramet ers	Yes
Paramet er Key	DS
Attribute s	No
Named Selectio ns	No
Material Properti es	No
Advanced Geometry Options	
Use Associat ivity	Yes
Coordin ate System s	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instance s	Yes
Smart CAD Update	No
Compar e Parts On Update	No
Attach File Via Temp	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

File	
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427996_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	SiC
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	467.31 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-9.295e-018 m
Centroid Z	-3.1567e-002 m
Moment of Inertia Ip1	6.797 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	151.31 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	150.45 kg·m ²
Statistics	
Nodes	3439
Elements	1729
Mesh Metric	None

7.50.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.50.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	5.0299e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

7.50.4 Mesh

TABLE 7
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Medium
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	3439
Elements	1729
Mesh Metric	None

7.50.5 Named Selections

TABLE 8
Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Problematic Geometry</i>
State	Suppressed
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
Definition	
Send to Solver	Yes
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
Statistics	
Type	Manual
Total Selection	No Selection
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

7.51 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes to Find	6
Limit Search to Range	No
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYSTEMECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m	
Y Component	0. m	
Z Component	0. m	

7.51.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

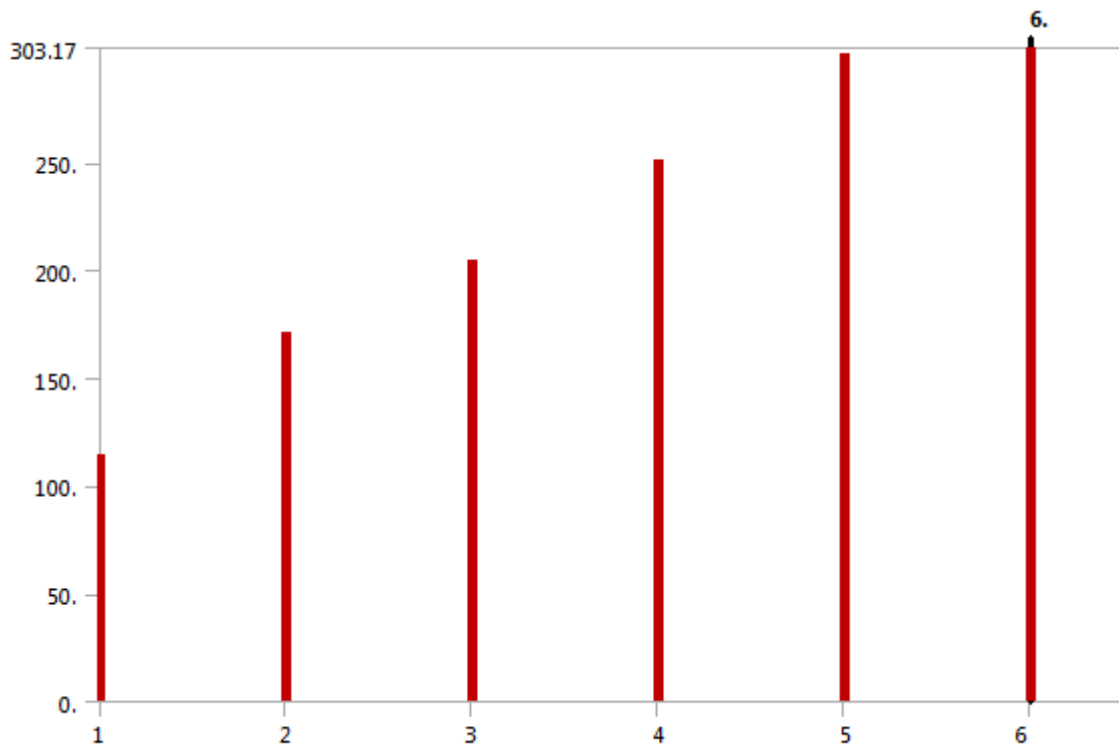


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	660.09
2.	742.9
3.	1425.4
4.	1501.5
5.	1804.5
6.	2520.3

TABLE 15
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
-------------	-----------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Stress
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation		Y Axis	
Coordinate System		Global Coordinate System	
Results			
Minimum	0. m	-1.1981e-003 m	3.3314e+007 Pa
Maximum	6.9541e-002 m	1.1941e-003 m	2.2467e+010 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-1.1981e-003 m	3.3314e+007 Pa
Maximum	0. m	-1.1981e-003 m	3.3314e+007 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	6.9541e-002 m	1.1941e-003 m	2.2467e+010 Pa
Maximum	6.9541e-002 m	1.1941e-003 m	2.2467e+010 Pa
Information			
Frequency	660.09 Hz		
Integration Point Results			
Display Option			Averaged
Average Across Bodies			No

TABLE 17
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	660.09
2.	742.9

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

3.	1425.4
4.	1501.5
5.	1804.5
6.	2520.3

TABLE 18
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	660.09
2.	742.9
3.	1425.4
4.	1501.5
5.	1804.5
6.	2520.3

TABLE 19
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	660.09
2.	742.9
3.	1425.4
4.	1501.5
5.	1804.5
6.	2520.3

7.52 MATERIAL DATA

7.52.1 SiC

TABLE 20
SiC > Constants

Density	3215 kg m ⁻³
---------	-------------------------

TABLE 21
SiC > Polynomial EOS

Parameter A1 Pa	Parameter A2 Pa	Parameter A3 Pa	Parameter B0	Parameter B1	Parameter T1 Pa	Parameter T2 Pa
2.2e+011	3.61e+011	0	0	0	2.2e+011	0

TABLE 22
SiC > Bulk Modulus

Bulk Modulus Pa
2.2e+011

TABLE 23
SiC > Johnson-Holmquist Strength Segmented

Hugoniot Elastic Limit HEL Pa	Intact Strength Constant S1 Pa	Intact Strength Constant P1 Pa	Intact Strength Constant S2 Pa	Intact Strength Constant P2 Pa	Strain Rate Constant C	Maximum Fracture Strength SFMAX Pa	Failed Strength Constant α	Damage Constant EFM AX D1	Damage Constant P3 D2 Pa	Bulking Constant B	Hydrodynamic Tensile Limit T Pa

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

1.17e+010	7.1e+009	2.5e+009	1.22e+010	1.e+010	9.e-003	1.3e+009	0.4	1.2	9.975e+010	1	-7.5e+008
-----------	----------	----------	-----------	---------	---------	----------	-----	-----	------------	---	-----------

TABLE 24
SiC > Shear Modulus

Shear Modulus Pa
1.935e+011

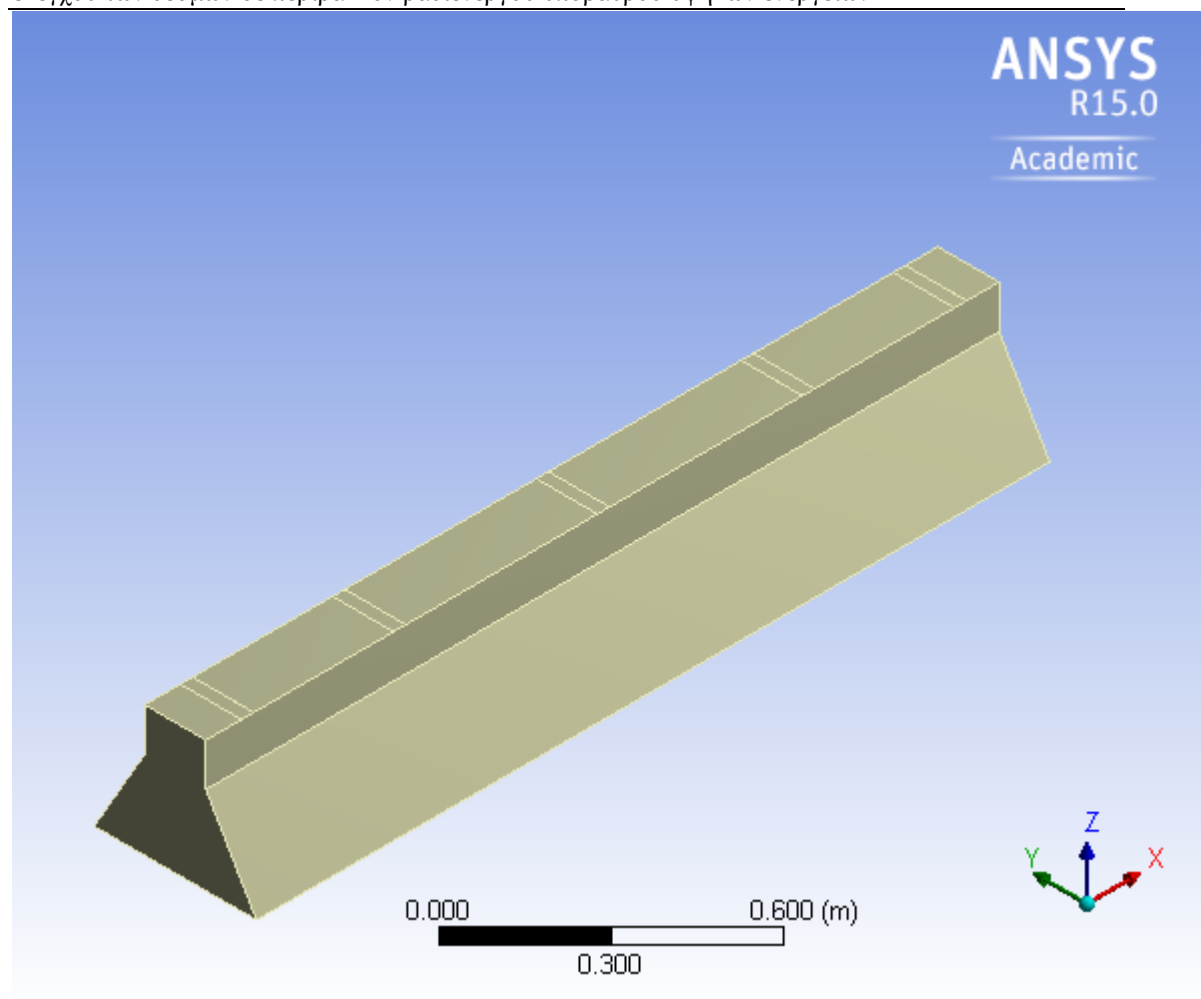
TABLE 25
SiC > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.2e+011	0.16	2.0588e+011	1.8103e+011

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ EPUMENT



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.53 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427996_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Mesh](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Epument](#)

7.54 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.55 MODEL (B4)

7.55.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	0.34884 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	3439
Element s	1729
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Paramet ers	Yes
Paramet er Key	DS
Attribute s	No
Named Selectio ns	No
Material Properti es	No
Advanced Geometry Options	
Use Associat ivity	Yes
Coordin ate System s	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instance s	Yes
Smart CAD Update	No
Compar e Parts On Update	No
Attach File Via Temp	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

File	
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427996_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Epument
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	0.34884 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-9.295e-018 m
Centroid Z	-3.1567e-002 m
Moment of Inertia Ip1	5.0739e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	0.11295 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	0.11231 kg·m ²
Statistics	
Nodes	3439
Elements	1729
Mesh Metric	None

7.55.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.55.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	5.0299e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

7.55.4 Mesh

TABLE 7
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Medium
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	3439
Elements	1729
Mesh Metric	None

7.55.5 Named Selections

TABLE 8
Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Problematic Geometry</i>
State	Suppressed
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
Definition	
Send to Solver	Yes
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
Statistics	
Type	Manual
Total Selection	No Selection
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

7.56 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes to Find	6
Limit Search to Range	No
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYSTEMECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m	
Y Component	0. m	
Z Component	0. m	

7.56.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

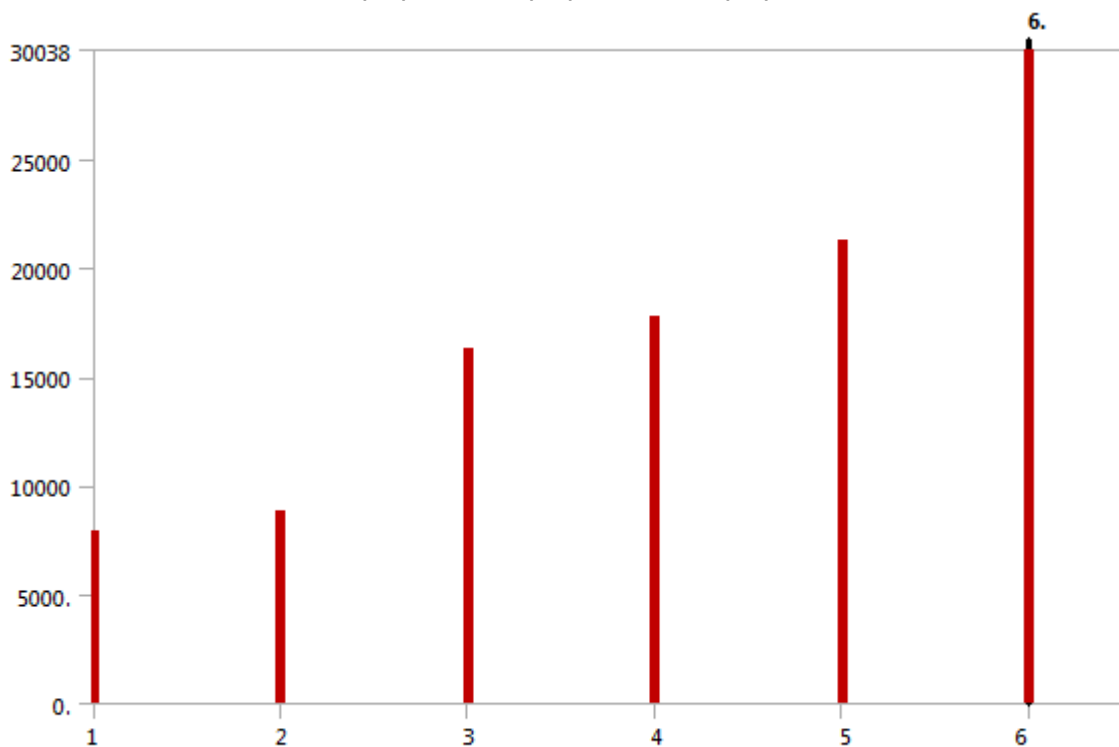


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	7913.9
2.	8812.1
3.	16323
4.	17795
5.	21247
6.	30038

TABLE 15
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
-------------	-----------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Stress
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation	Y Axis		
Coordinate System	Global Coordinate System		
Results			
Minimum	0. m	-6.8182e-002 m	1.7253e+008 Pa
Maximum	2.5701 m	6.8484e-002 m	8.1381e+010 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-6.8182e-002 m	1.7253e+008 Pa
Maximum	0. m	-6.8182e-002 m	1.7253e+008 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	2.5701 m	6.8484e-002 m	8.1381e+010 Pa
Maximum	2.5701 m	6.8484e-002 m	8.1381e+010 Pa
Information			
Frequency	7913.9 Hz		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		

TABLE 17
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	7913.9
2.	8812.1

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

3.	16323
4.	17795
5.	21247
6.	30038

TABLE 18
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	7913.9
2.	8812.1
3.	16323
4.	17795
5.	21247
6.	30038

TABLE 19
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	7913.9
2.	8812.1
3.	16323
4.	17795
5.	21247
6.	30038

7.57 MATERIAL DATA

7.57.1 Epument

TABLE 20
Epument > Constants

Density	2.4 kg m ⁻³
---------	------------------------

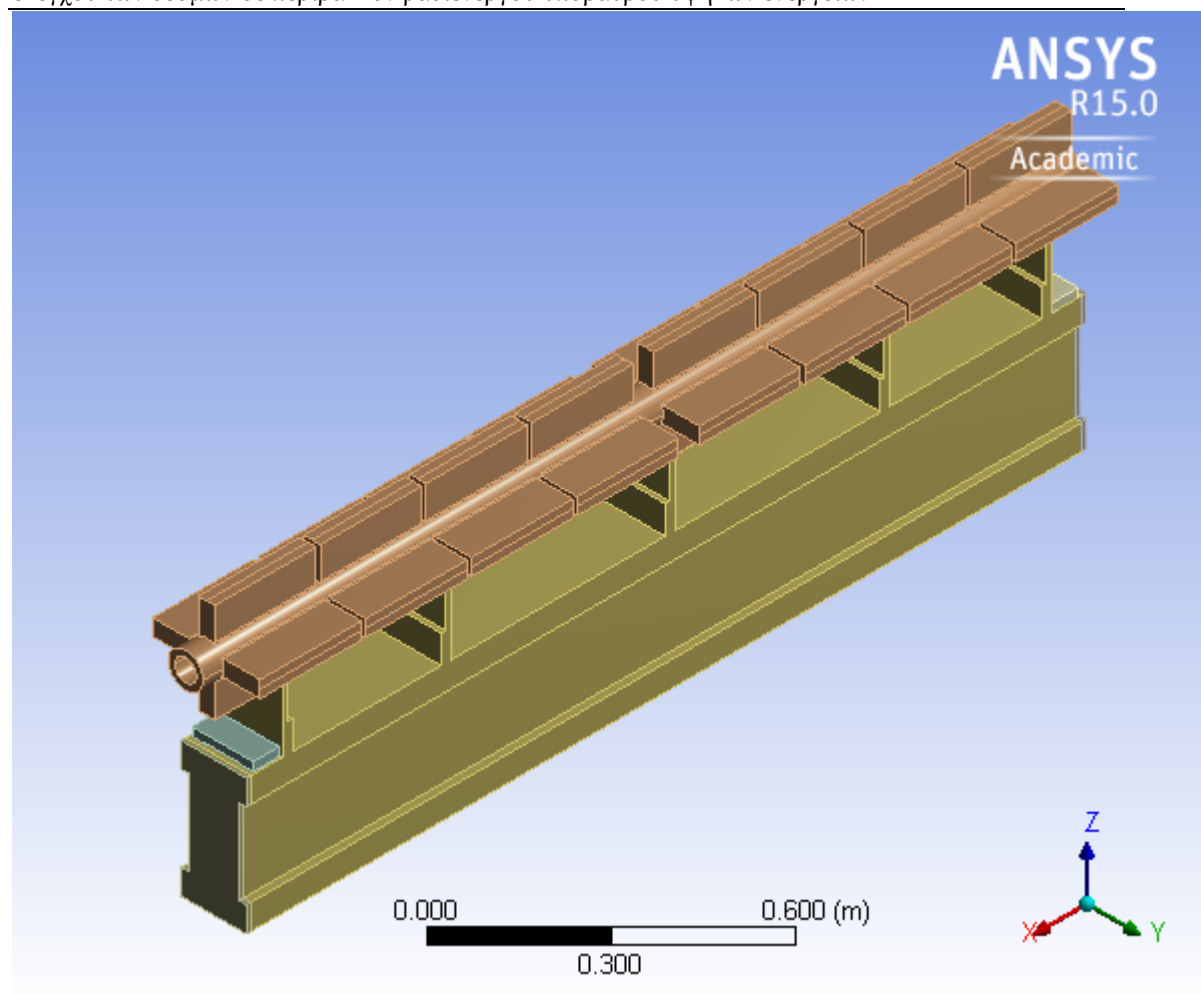
TABLE 21
Epument > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.5e+010	0.3	3.75e+010	1.7308e+010

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ STAINLESS STEEL



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Monday, June 11, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.58 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [ST0427996_01](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Mesh](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Stainless Steel](#)

7.59 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.60 MODEL (B4)

7.60.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	1126.5 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	3439
Element s	1729
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Paramet ers	Yes
Paramet er Key	DS
Attribute s	No
Named Selectio ns	No
Material Properti es	No
Advanced Geometry Options	
Use Associat ivity	Yes
Coordin ate System s	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instance s	Yes
Smart CAD Update	No
Compar e Parts On Update	No
Attach File Via Temp	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

File	
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0427996_01
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Stainless Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	1.946 m
Length Y	0.39826 m
Length Z	0.3202 m
Properties	
Volume	0.14535 m ³
Mass	1126.5 kg
Centroid X	-0.973 m
Centroid Y	-9.295e-018 m
Centroid Z	-3.1567e-002 m
Moment of Inertia Ip1	16.385 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	364.75 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	362.67 kg·m ²
Statistics	
Nodes	3439
Elements	1729
Mesh Metric	None

7.60.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.60.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	5.0299e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

7.60.4 Mesh

TABLE 7
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Medium
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	3439
Elements	1729
Mesh Metric	None

7.60.5 Named Selections

TABLE 8
Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Problematic Geometry</i>
State	Suppressed
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	No Selection
Definition	
Send to Solver	Yes
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
Statistics	
Type	Manual
Total Selection	No Selection
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

7.61 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes to Find	6
Limit Search to Range	No
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20120610_PhD_Ch3_MODAL\20120610_alternative_modal_(v.1.0)_files\dp0\SYSTEMECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m	
Y Component	0. m	
Z Component	0. m	

7.61.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

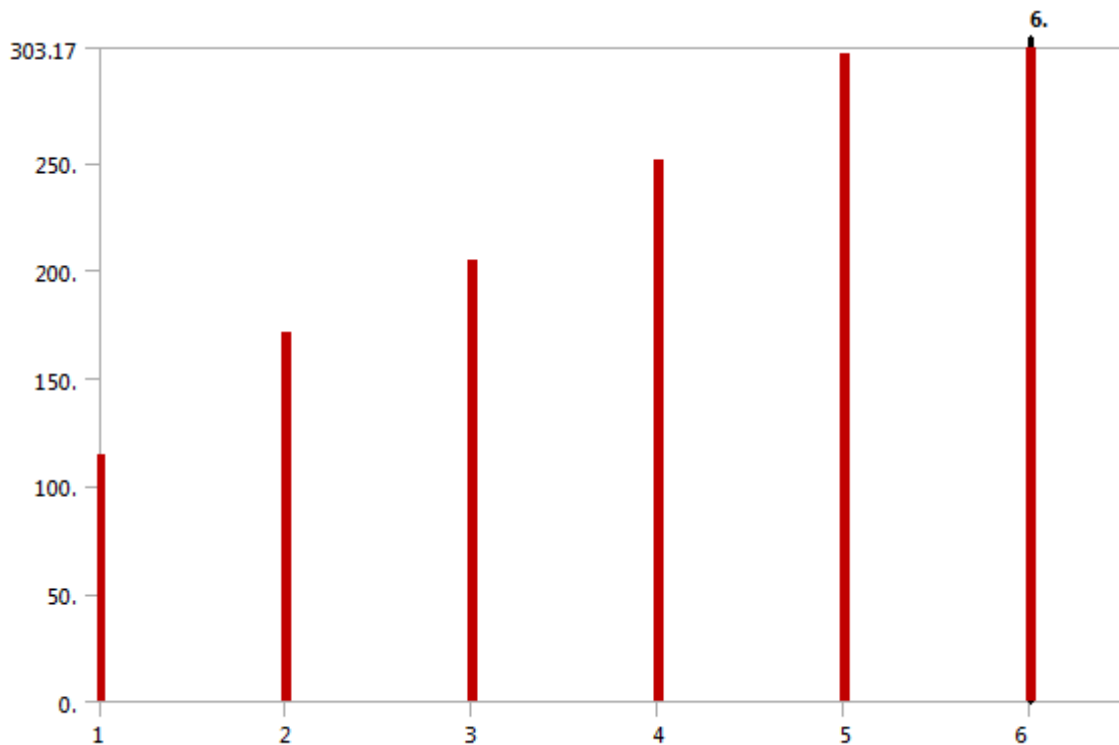


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	288.5
2.	320.98
3.	593.14
4.	648.14
5.	773.48
6.	1094.6

TABLE 15
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
-------------	-----------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Stress
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation		Y Axis	
Coordinate System		Global Coordinate System	
Results			
Minimum	0. m	-1.2318e-003 m	1.3234e+007 Pa
Maximum	4.5261e-002 m	1.238e-003 m	6.1406e+009 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-1.2318e-003 m	1.3234e+007 Pa
Maximum	0. m	-1.2318e-003 m	1.3234e+007 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	4.5261e-002 m	1.238e-003 m	6.1406e+009 Pa
Maximum	4.5261e-002 m	1.238e-003 m	6.1406e+009 Pa
Information			
Frequency	288.5 Hz		
Integration Point Results			
Display Option			Averaged
Average Across Bodies			No

TABLE 17
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	288.5
2.	320.98

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

3.	593.14
4.	648.14
5.	773.48
6.	1094.6

TABLE 18
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	288.5
2.	320.98
3.	593.14
4.	648.14
5.	773.48
6.	1094.6

TABLE 19
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	288.5
2.	320.98
3.	593.14
4.	648.14
5.	773.48
6.	1094.6

7.62 MATERIAL DATA

7.62.1 Stainless Steel

TABLE 20
Stainless Steel > Constants

Density	7750 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	480 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	15.1 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-007 ohm m

TABLE 21
Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa	0
----------------------------------	---

TABLE 22
Stainless Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa	2.07e+008
-------------------------------	-----------

TABLE 23
Stainless Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa	2.07e+008
---------------------------	-----------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 24

Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.86e+008

TABLE 25

Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 26

Stainless Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.93e+011	0.31	1.693e+011	7.3664e+010

TABLE 27

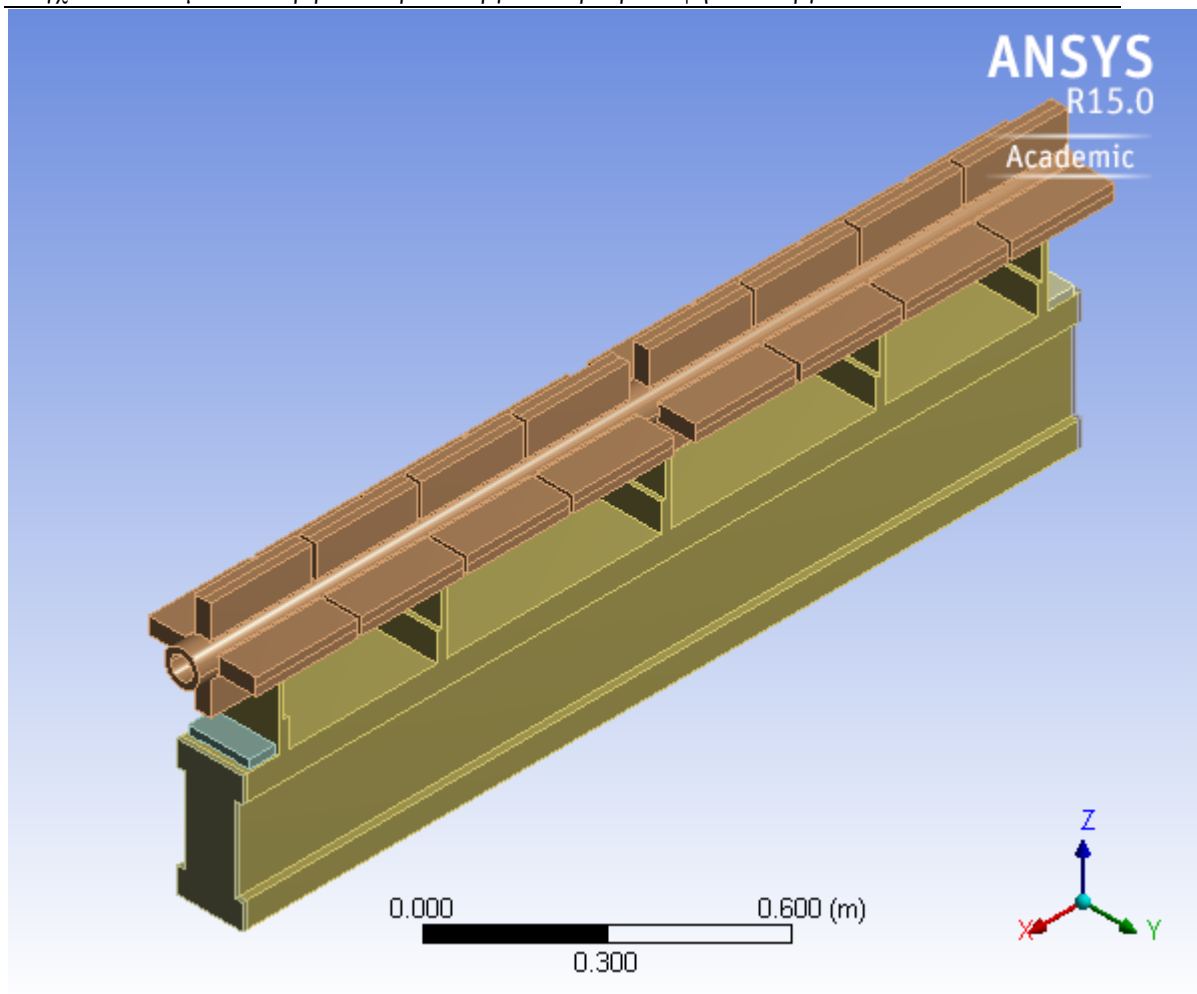
Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ V-SHAPE ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ SIC



First Saved	Thursday, November 26, 2009
Last Saved	Saturday, June 09, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.63 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Solid](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(B5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [SiC](#)

7.64 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.65 MODEL (B4)

7.65.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\2010_2011_Ansys\MB[0]_Couvas_thckn20\20120609_MB[0]_Couvas_thckn20_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.17203 m
Length Y	0.311 m
Length Z	2. m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Properties	
Volume	2.9631e-002 m ³
Mass	95.263 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10381
Elements	5095
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Temp File	
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	SiC
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	0.17203 m
Length Y	0.311 m
Length Z	2. m
Properties	
Volume	2.9631e-002 m ³
Mass	95.263 kg
Centroid X	4.7505e-002 m
Centroid Y	0.16916 m
Centroid Z	-0.99996 m
Moment of Inertia Ip1	32.838 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	32.035 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	1.3466 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10381
Elements	5095
Mesh Metric	None

7.65.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.65.3 Mesh

TABLE 5
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Medium
Minimum Edge Length	1.e-003 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10381
Elements	5095
Mesh Metric	None

7.66 STATIC STRUCTURAL (B5)

TABLE 6
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia	Off

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Relief	
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	Yes
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\2010_2011_Ansys\MB[0]_Couvas_thckn20\20120609_MB[0]_Couvas_thckn20_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

db	
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 8
Model (B4) > Static Structural (B5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Z Component	0. m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Y Direction

FIGURE 1
Model (B4) > Static Structural (B5) > Standard Earth Gravity

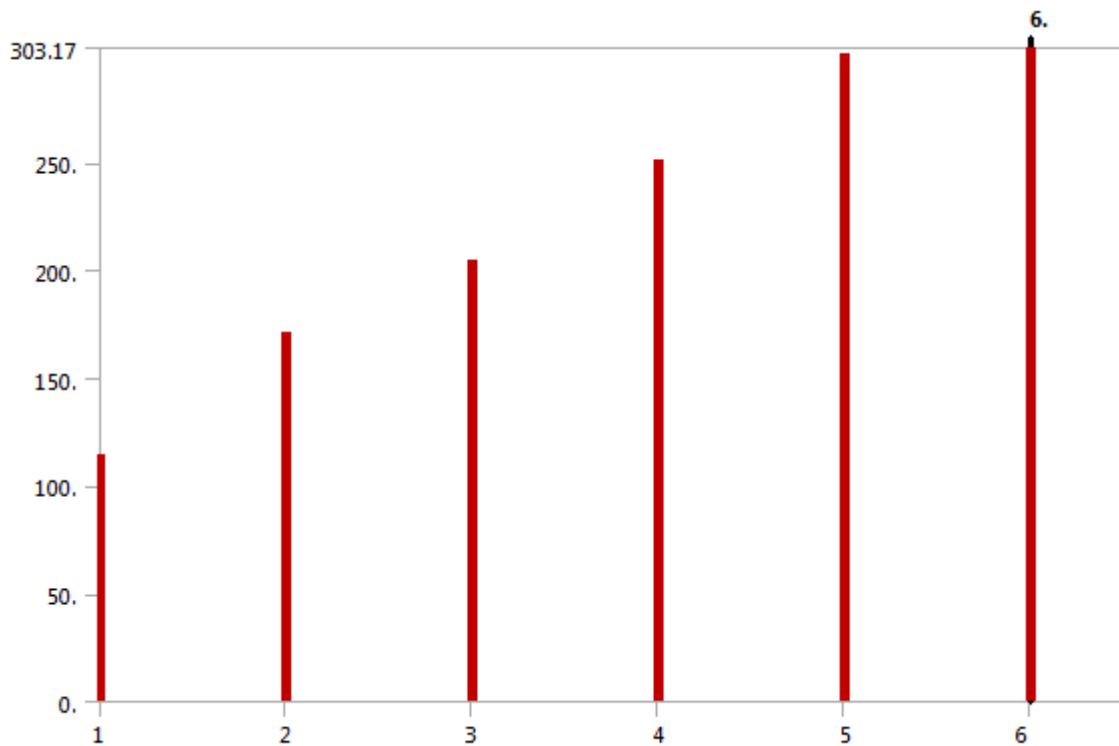


TABLE 9
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Face				1 Edge		
Definition							
Type	Force					Fixed Support	Displacement
Define By	Vector						Components
Magnitude	1890.9 N (ramped)	3634.6 N (ramped)			1890.9 N (ramped)		
Direction	Defined						
Suppressed	No						
Coordinate System						Global Coordinate System	
X Component						0. m (ramped)	
Y Component						0. m (ramped)	
Z Component						Free	

FIGURE 2
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force

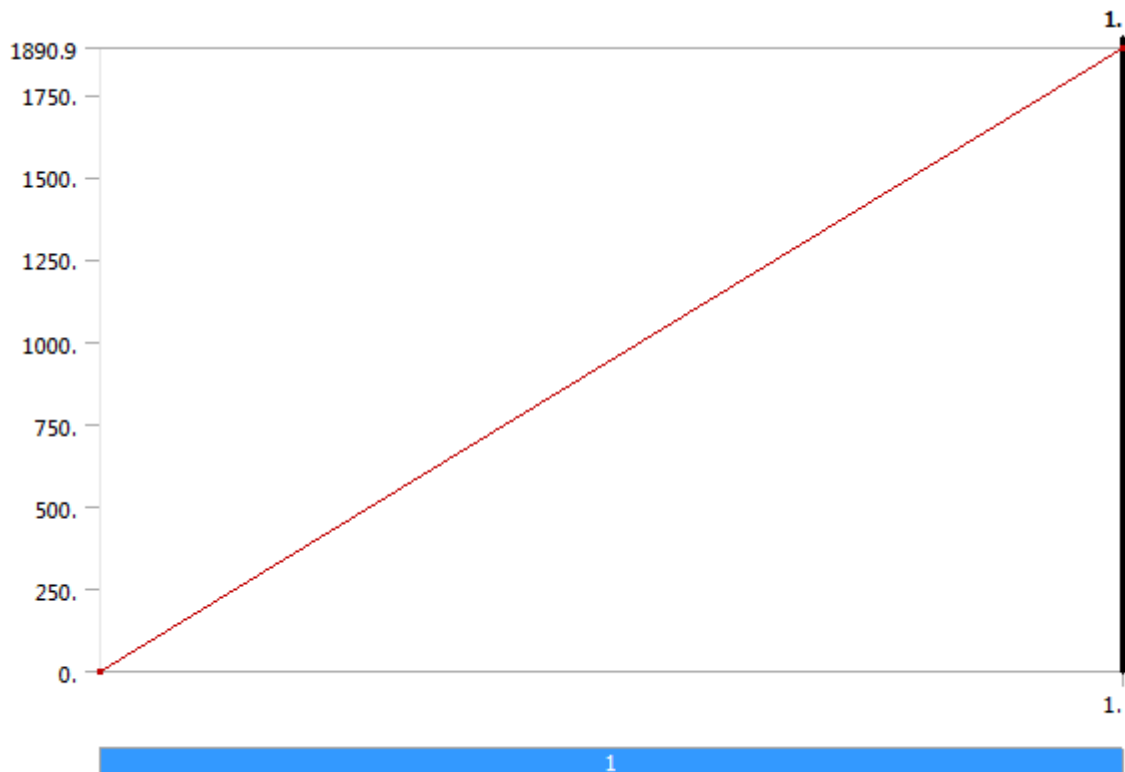


FIGURE 3
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 2

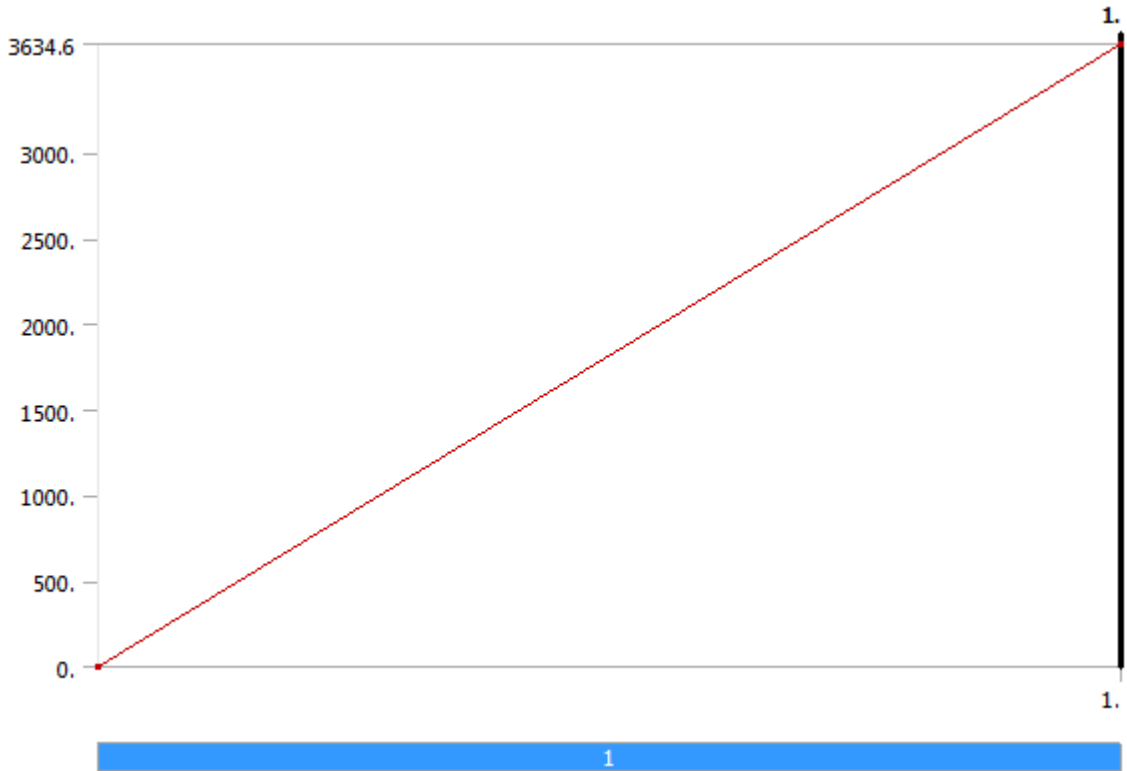


FIGURE 4
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 3

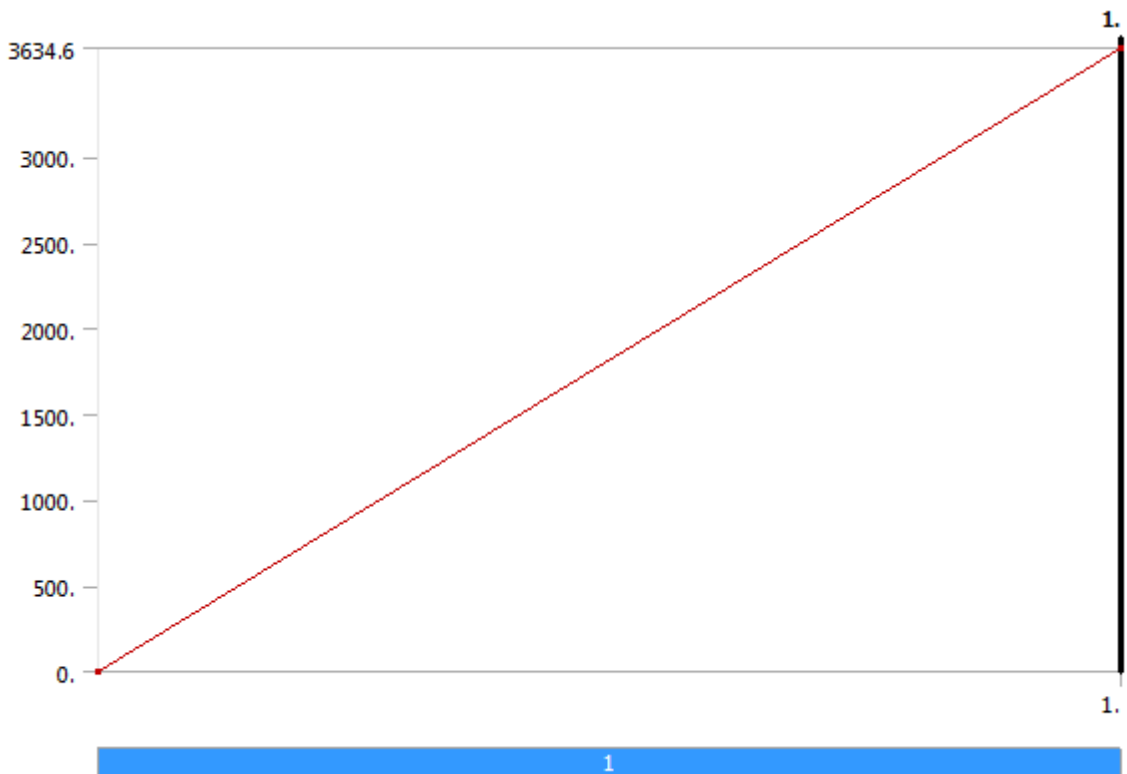


FIGURE 5
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 4

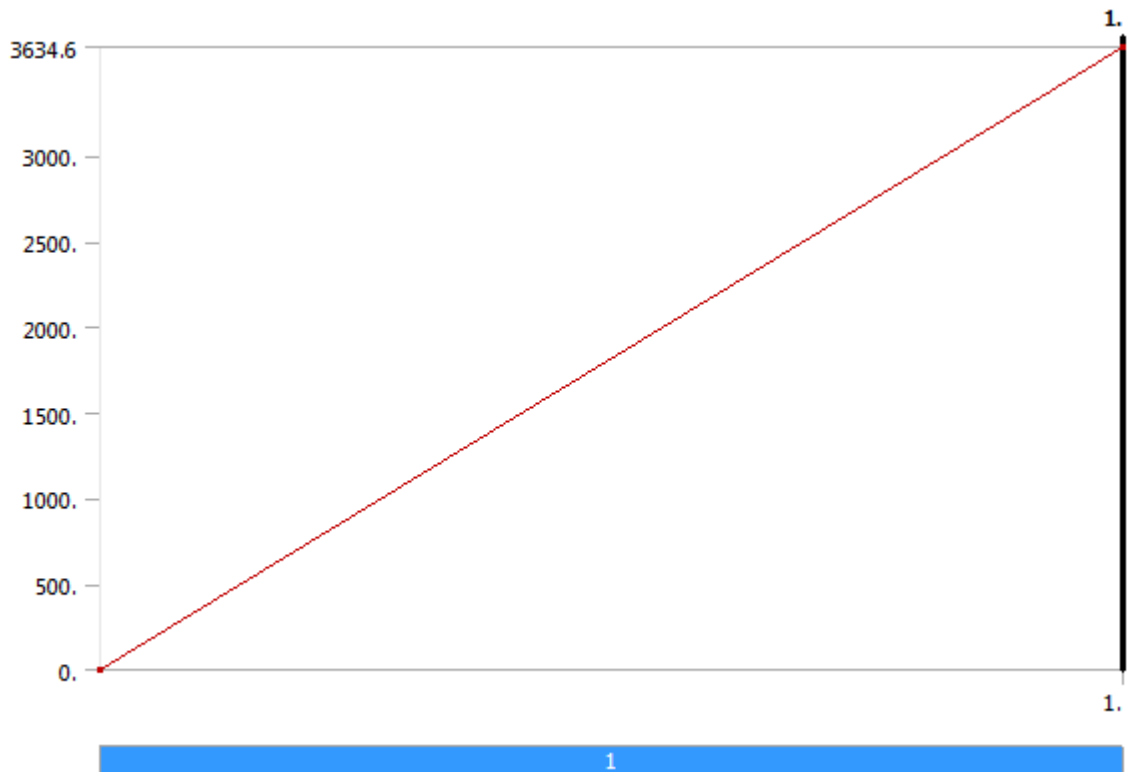


FIGURE 6
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 5

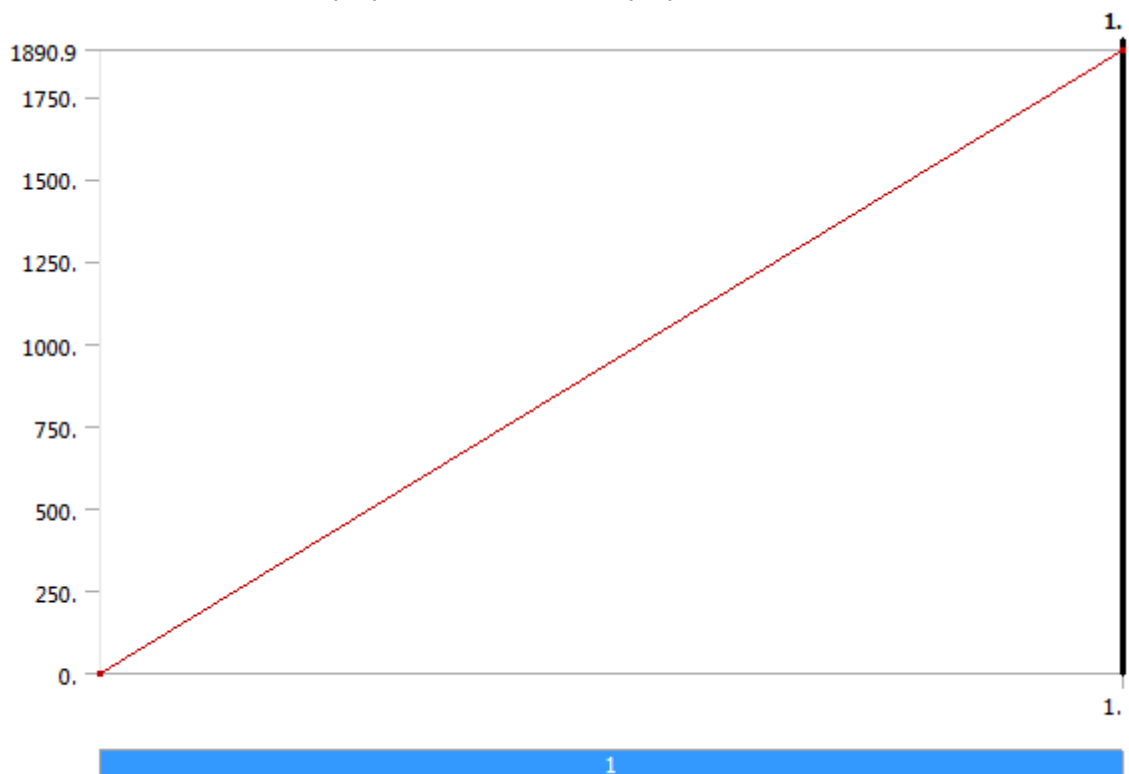
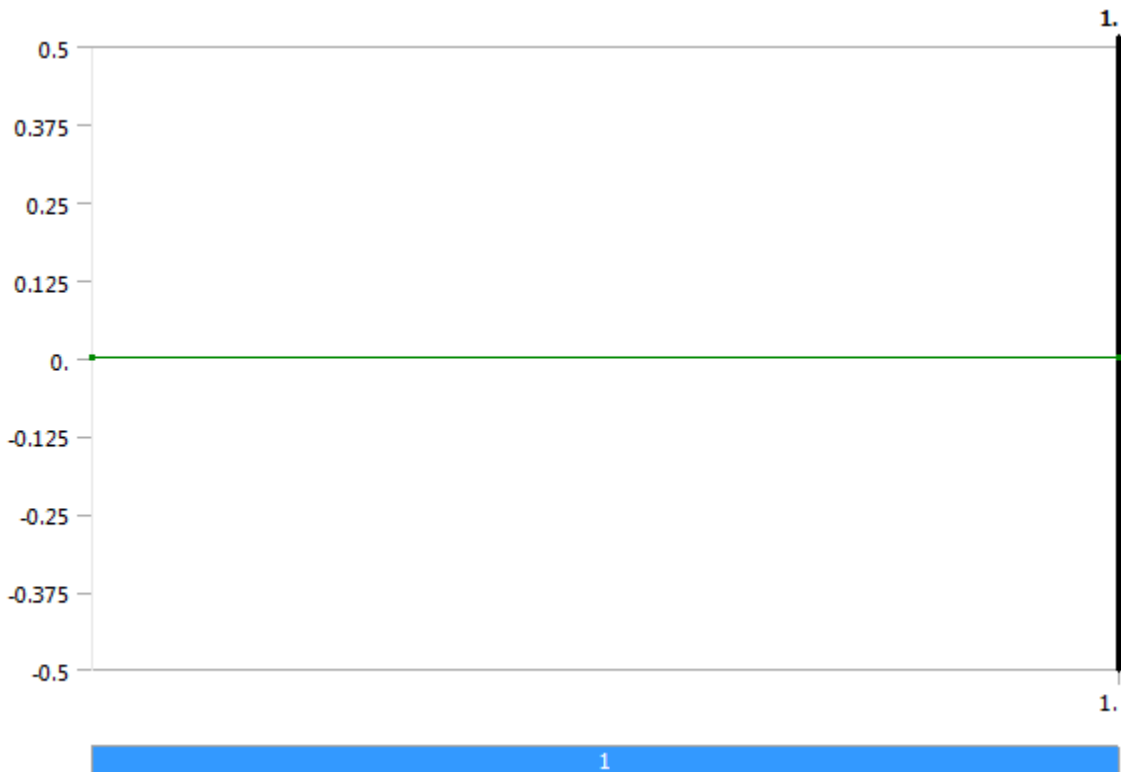


FIGURE 7
Model (B4) > Static Structural (B5) > Displacement



7.66.1 Solution (B6)

TABLE 10
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	0. m	7.6925e-008 m/m	32309 Pa
Maximum	3.1763e-005 m	1.0755e-004 m/m	4.5173e+007 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	7.6925e-008 m/m	32309 Pa
Maximum	0. m	7.6925e-008 m/m	32309 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	3.1763e-005 m	1.0755e-004 m/m	4.5173e+007 Pa
Maximum	3.1763e-005 m	1.0755e-004 m/m	4.5173e+007 Pa
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		

7.67 MATERIAL DATA

7.67.1 SiC

TABLE 13
SiC > Constants

Density	3215 kg m ⁻³
---------	-------------------------

TABLE 14
SiC > Polynomial EOS

Parameter A1 Pa	Parameter A2 Pa	Parameter A3 Pa	Parameter B0	Parameter B1	Parameter T1 Pa	Parameter T2 Pa
2.2e+011	3.61e+011	0	0	0	2.2e+011	0

TABLE 15
SiC > Bulk Modulus

Bulk Modulus Pa	2.2e+011
-----------------	----------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 16
SiC > Johnson-Holmquist Strength Segmented

Hugoniot Elastic Limit HEL Pa	Intact Strength Constant S1 Pa	Intact Strength Constant P1 Pa	Intact Strength Constant S2 Pa	Intact Strength Constant P2 Pa	Strain Rate Constant C	Maximum Fracture Strength SFMAX Pa	Failed Strength Constant α	Damage Constant EFM AX D1	Damage Constant P3 D2 Pa	Bulking Constant B	Hydrodynamic Tensile Limit T Pa
1.17e+010	7.1e+009	2.5e+009	1.22e+010	1.e+010	9.e-003	1.3e+009	0.4	1.2	9.975e+010	1	-7.5e+008

TABLE 17
SiC > Shear Modulus

Shear Modulus Pa
1.935e+011

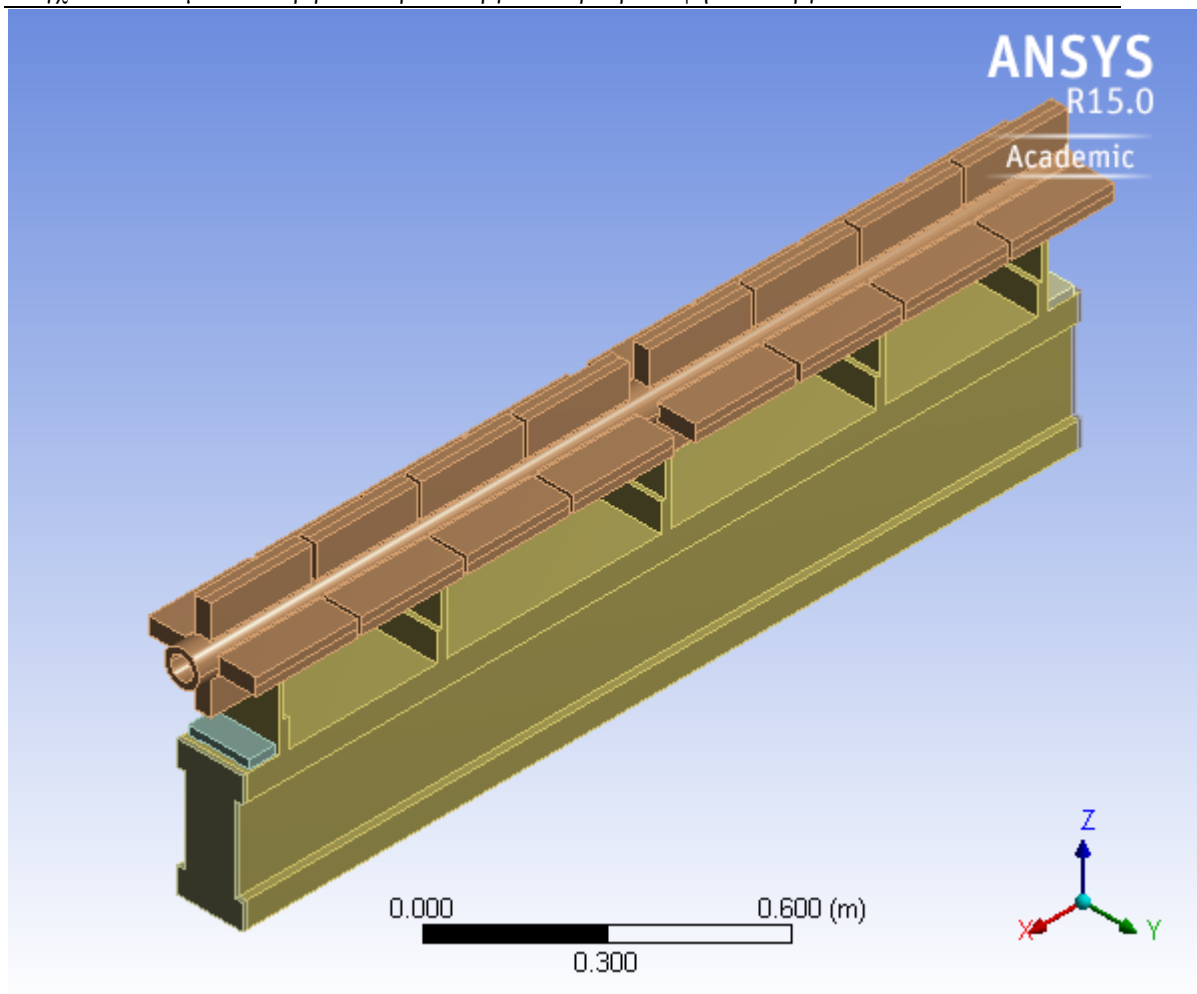
TABLE 18
SiC > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.2e+011	0.16	2.0588e+011	1.8103e+011

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ V-SHAPE ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ STRUCTURAL STEEL



First Saved	Thursday, November 26, 2009
Last Saved	Saturday, June 09, 2012
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.68 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Solid](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(B5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

7.69 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.70 MODEL (B4)

7.70.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\2010_2011_Ansys\MB[0]_Couvas_thckn20\20120609_MB[0]_Couvas_thckn20_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.17203 m
Length Y	0.311 m
Length Z	2. m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Properties	
Volume	2.9631e-002 m ³
Mass	232.6 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	10381
Elements	5095
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via	Yes

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Temp File	
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Solid</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	0.17203 m
Length Y	0.311 m
Length Z	2. m
Properties	
Volume	2.9631e-002 m ³
Mass	232.6 kg
Centroid X	4.7505e-002 m
Centroid Y	0.16916 m
Centroid Z	-0.99996 m
Moment of Inertia Ip1	80.179 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	78.22 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	3.2879 kg·m ²
Statistics	
Nodes	10381
Elements	5095
Mesh Metric	None

7.70.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.70.3 Mesh

TABLE 5
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Medium
Minimum Edge Length	1.e-003 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	10381
Elements	5095
Mesh Metric	None

7.71 STATIC STRUCTURAL (B5)

TABLE 6
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia	Off

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Relief	
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	Yes
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\2010_2011_Ansys\MB[0]_Couvas_thckn20\20120609_MB[0]_Couvas_thckn20_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

db	
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 8
Model (B4) > Static Structural (B5) > Accelerations

Object Name	<i>Standard Earth Gravity</i>
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m/s ² (ramped)
Y Component	-9.8066 m/s ² (ramped)
Z Component	0. m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Y Direction

FIGURE 1
Model (B4) > Static Structural (B5) > Standard Earth Gravity

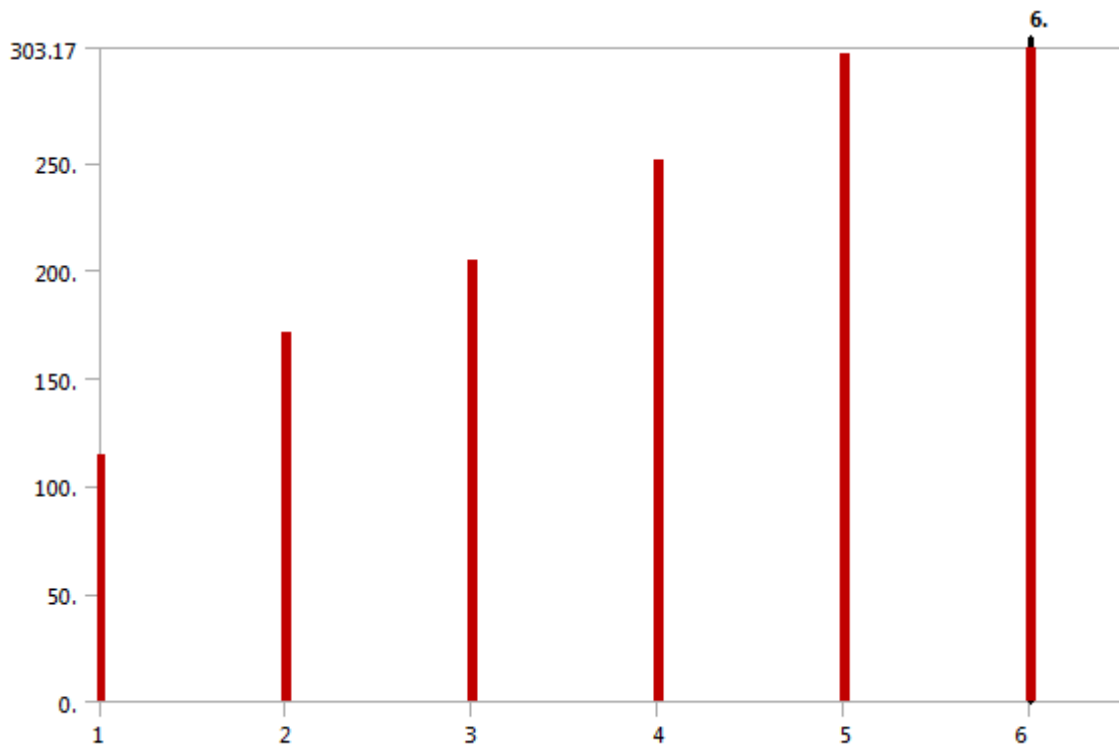


TABLE 9
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>	<i>Force 4</i>	<i>Force 5</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Face				1 Edge		
Definition							
Type	Force					Fixed Support	Displacement
Define By	Vector						Components
Magnitude	1890.9 N (ramped)	3634.6 N (ramped)			1890.9 N (ramped)		
Direction	Defined						
Suppressed	No						
Coordinate System						Global Coordinate System	
X Component						0. m (ramped)	
Y Component						0. m (ramped)	
Z Component						Free	

FIGURE 2
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force

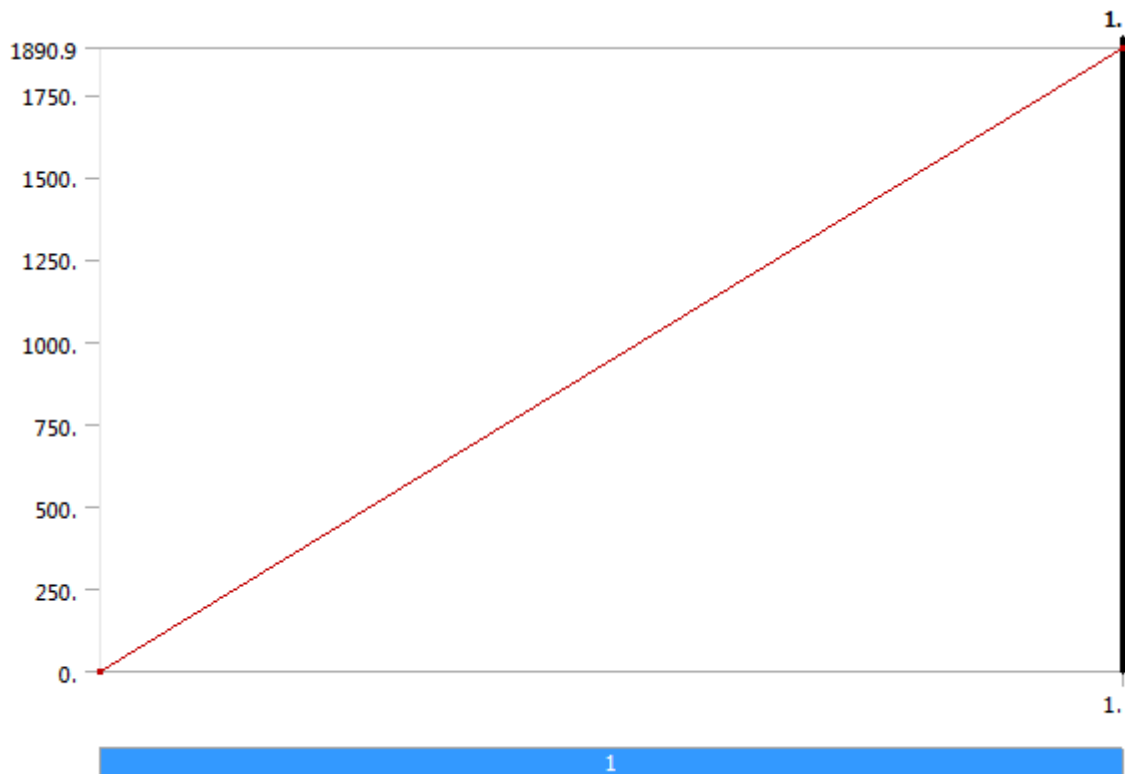


FIGURE 3
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 2

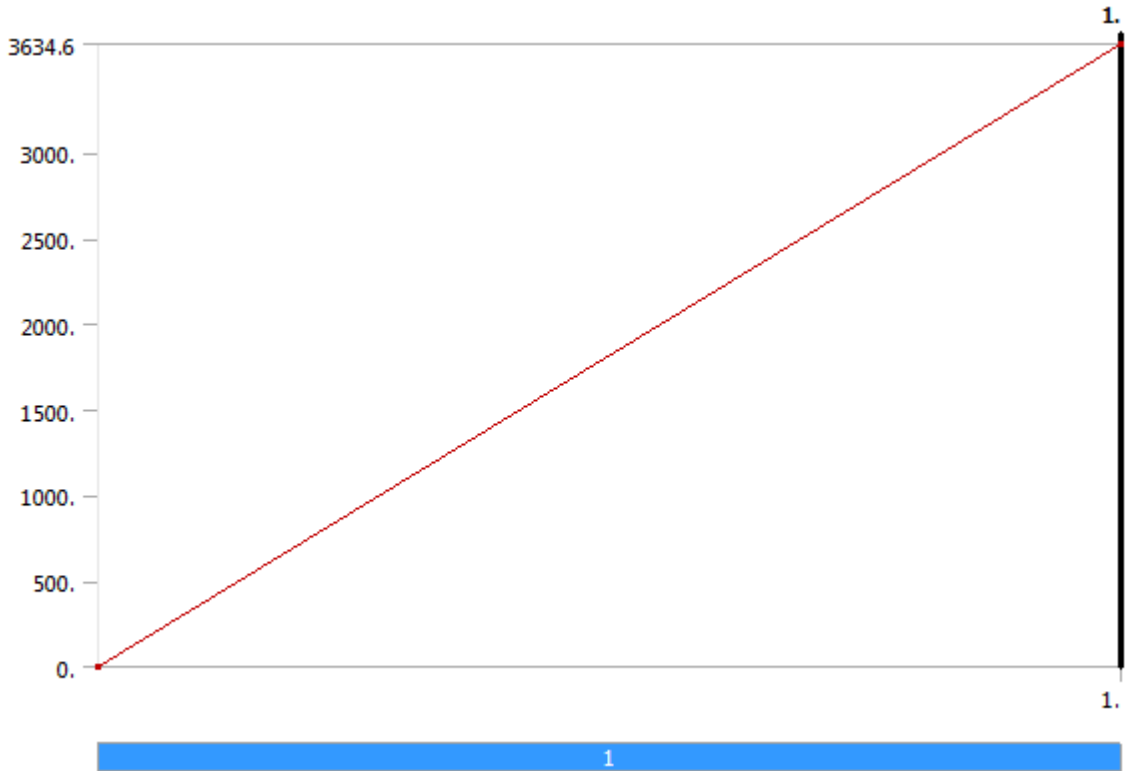


FIGURE 4
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 3

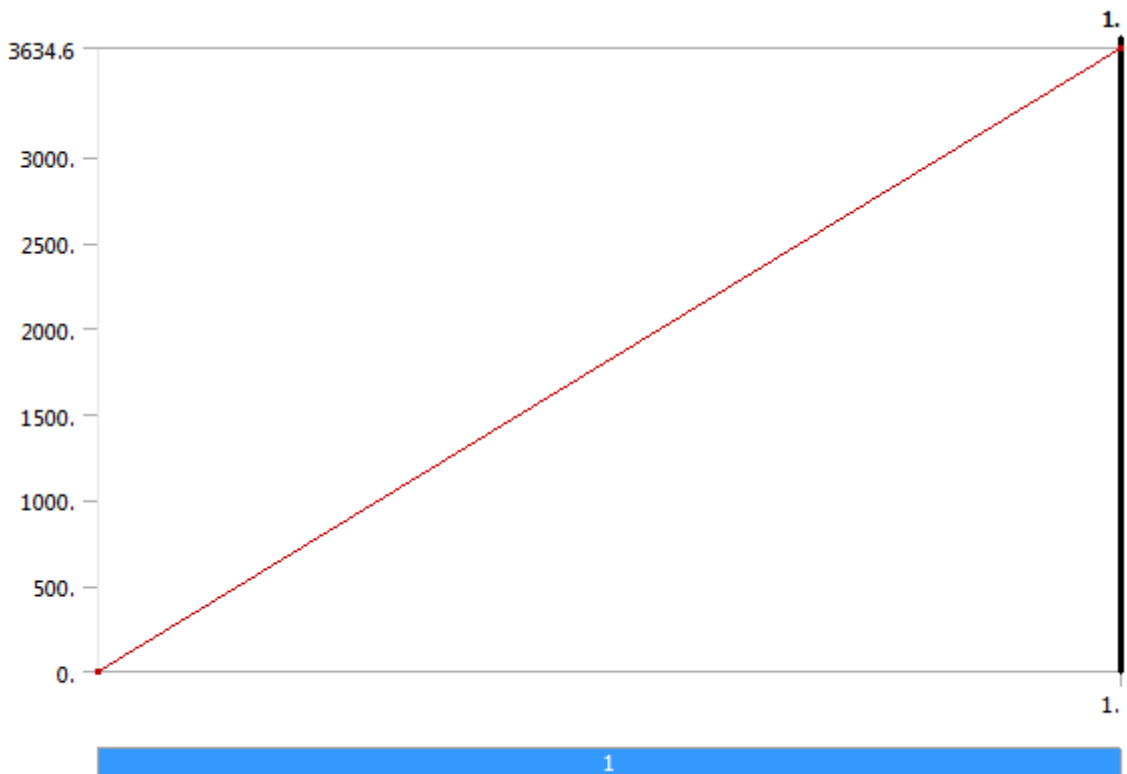


FIGURE 5
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 4

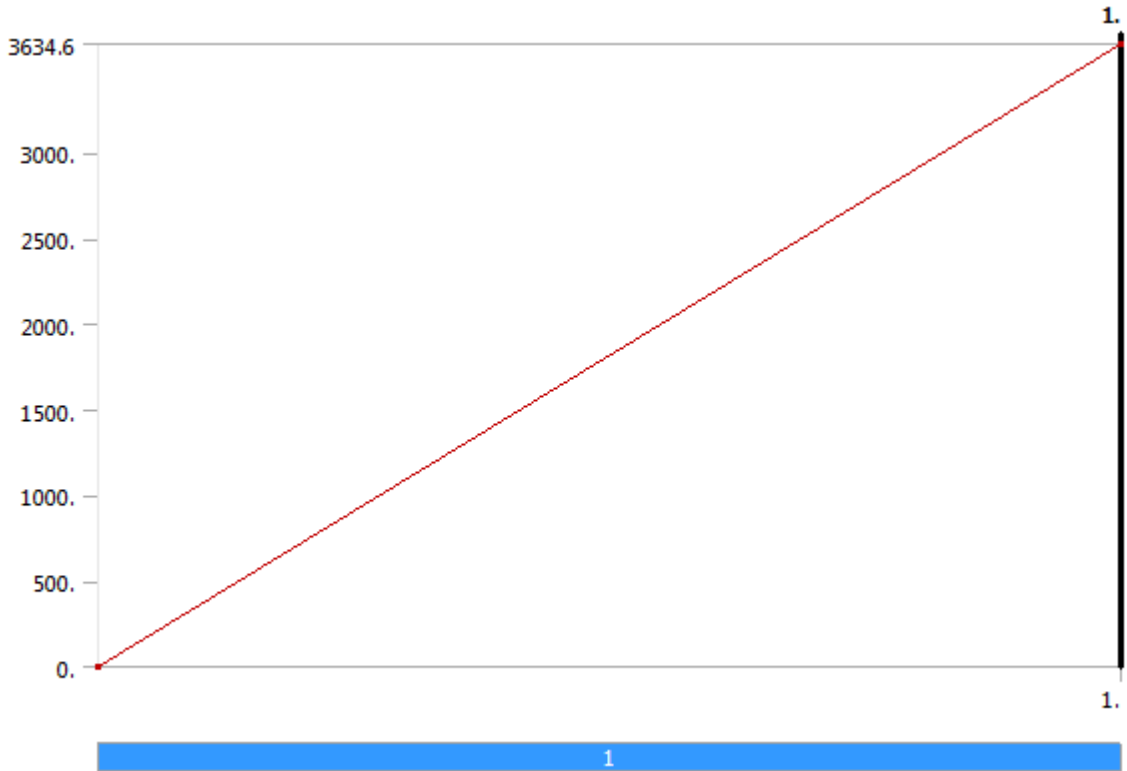


FIGURE 6
Model (B4) > Static Structural (B5) > Force 5

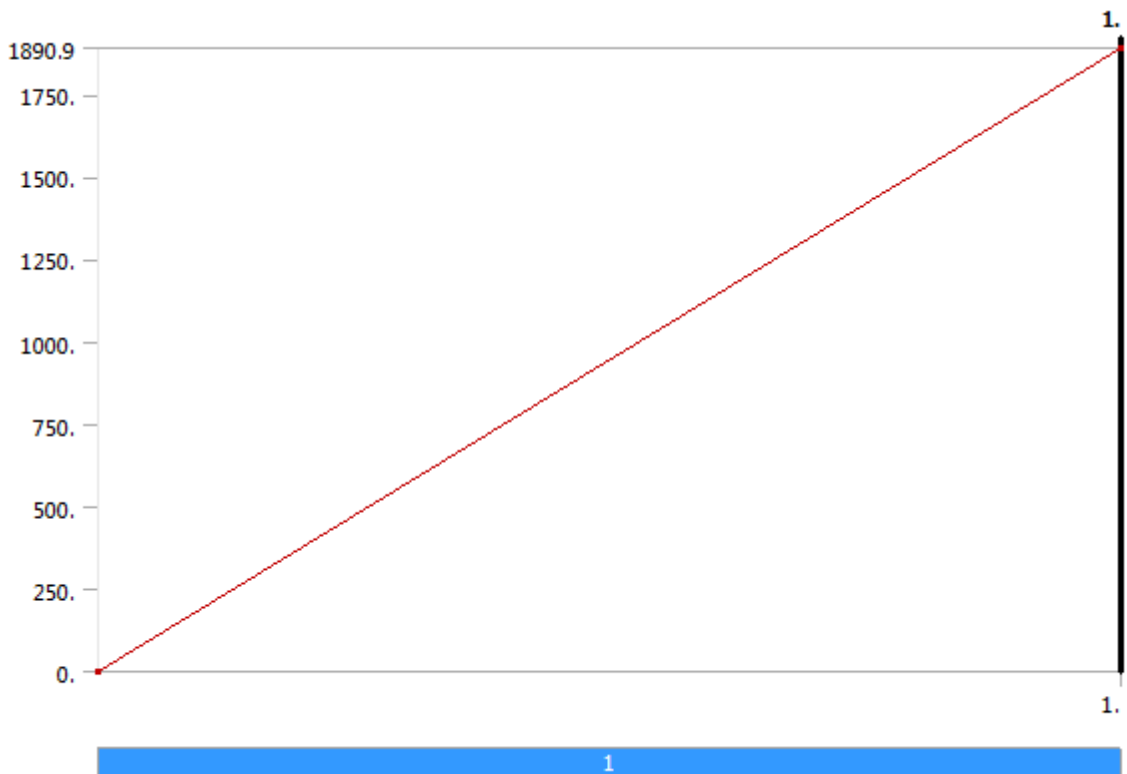
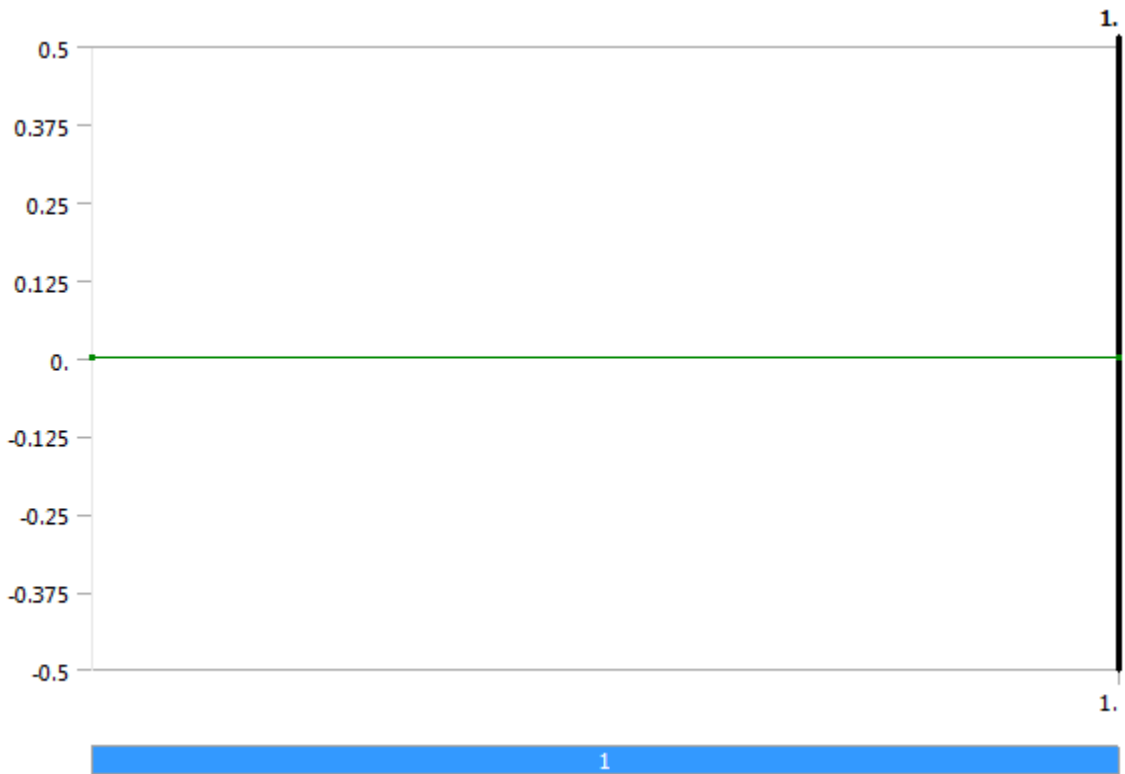


FIGURE 7
Model (B4) > Static Structural (B5) > Displacement



7.71.1 Solution (B6)

TABLE 10
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 11
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 12
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	0. m	1.499e-007 m/m	29980 Pa
Maximum	7.2164e-005 m	2.4103e-004 m/m	4.8206e+007 Pa
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	1.499e-007 m/m	29980 Pa
Maximum	0. m	1.499e-007 m/m	29980 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	7.2164e-005 m	2.4103e-004 m/m	4.8206e+007 Pa
Maximum	7.2164e-005 m	2.4103e-004 m/m	4.8206e+007 Pa
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		

7.72 MATERIAL DATA

7.72.1 Structural Steel

TABLE 13
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 14
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa	0
----------------------------------	---

TABLE 15

Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 16

Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 17

Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 18

Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 19

Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 20

Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 21

Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 22

Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

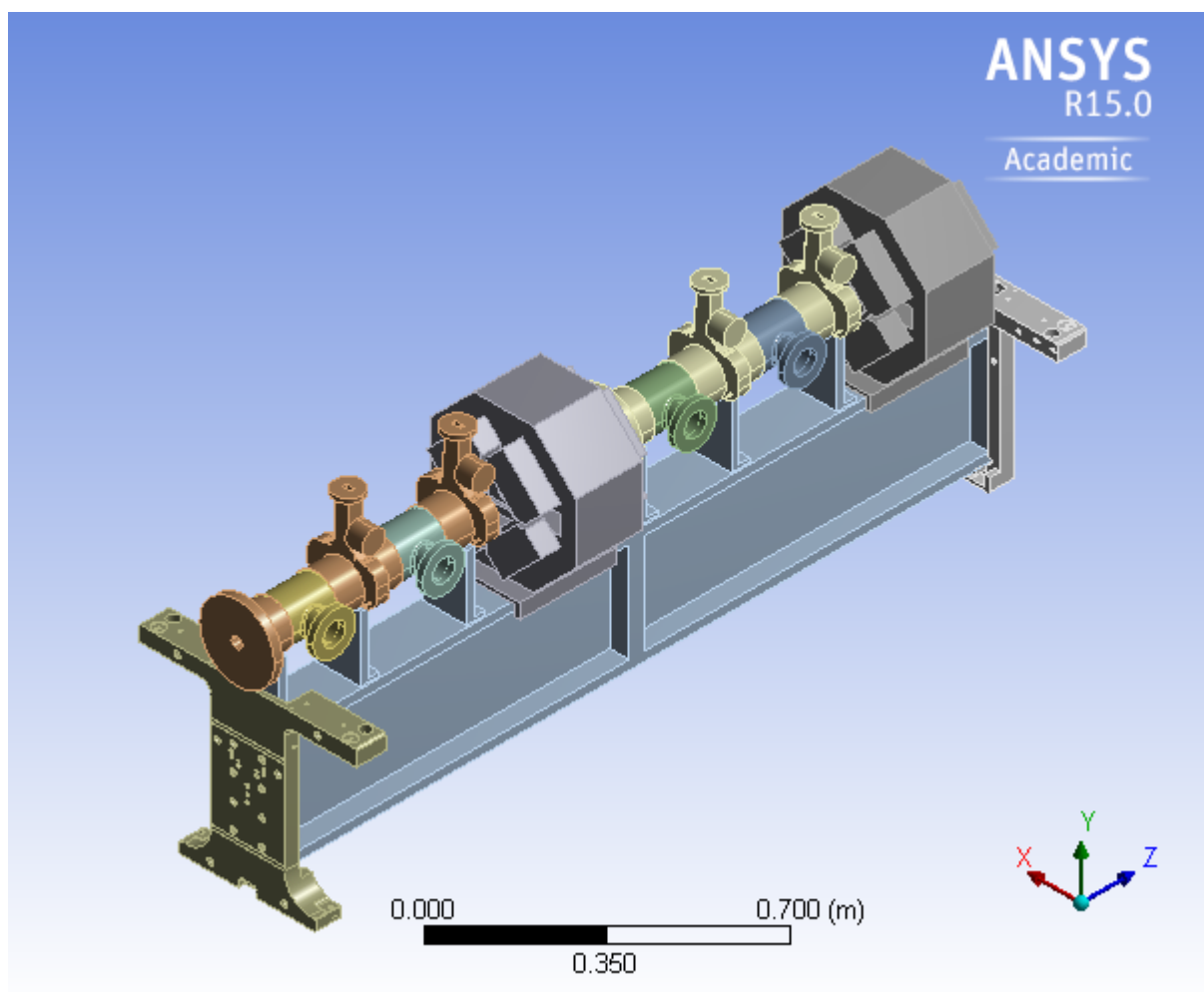
Relative Permeability
10000

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΔΗΓΟΥ ΔΕΣΜΗΣ (ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α - BOOSTEC SIC)



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Friday, November 11, 2011
Product Version	13.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



7.73 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Copper Alloy 2](#)
 - [Stainless Steel 2](#)
 - [Aluminum Alloy 2](#)
 - [SiC 2](#)

7.74 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.75 MODEL (B4)

7.75.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20111111_Modal\20111111_DB_T0_(v3)_(alter)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.59 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Y	0.81356 m
Length Z	2.0043 m
Properties	
Volume	0.10606 m ³
Mass	647.2 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	11
Active Bodies	11
Nodes	138336
Elements	77773
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporarily Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis	3-D

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Type	
Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	201103 23_PET S_V.3_[A- Part_V. 1]	ST0 3126 20_0 1	2011032 3_PETS _V.3_[C - Tank_FI ange_V. 1]	2011032 3_PETS _V.3_[C - Tank_FI ange_V. 1]	201103 23_PET S_V.3_[A- Part_V. 1]	2011032 3_PETS _V.3_[C - Tank_FI ange_V. 1]	2011032 3_PETS _V.3_[C - Tank_FI ange_V. 1]	ST0 3126 10_0 1	ST0 3055 15_0 1	ST0 3055 89_0 1	V- su p
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Material											
Assignment	Copper Alloy 2	Stainless Steel 2	Aluminum Alloy 2	Copper Alloy 2	Aluminum Alloy 2	Stainless Steel 2	Aluminum Alloy 2	Si C 2			
Nonlinear	Yes										

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

inear Effects											
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0.202 m	0.39 m	0.16786 m		0.202 m	0.16786 m		0.39 m	0.59 m		0.13 m
Length Y	0.31451 m	0.431 m	0.1143 m		0.31451 m	0.1143 m		0.431 m	0.4835 m	0.4535 m	0.495 m
Length Z	0.63413 m	0.287 m	0.12102 m		0.63413 m	0.12102 m		0.287 m	7.9e-002 m		1.946 m
Properties											
Volume	7.2301e-003 m ³	2.6093e-002 m ³	2.2397e-004 m ³		7.2301e-003 m ³	2.2397e-004 m ³		2.6093e-002 m ³	4.4425e-003 m ³	3.6062e-003 m ³	3.0467e-002 m ³
Mass	60.01 kg	202.22 kg	0.62039 kg		60.01 kg	0.62039 kg		202.22 kg	12.306 kg	9.9891 kg	97.951 kg
Centroid X	-0.88697 m	-0.88044 m	-0.94786 m		-0.88697 m	-0.94786 m		-0.89044 m	-0.88504 m	-0.88595 m	-0.88854 m
Centroid Y	0.38315 m	0.3612 m	0.37003 m		0.38315 m	0.37003 m		0.3612 m	2.6318e-002 m	8.1185e-002 m	1.8299e-002 m
Centroid Z	-1.6444 m	-1.163 m	-1.5028 m	-1.7988 m	-2.6217 m	-2.4801 m	-2.7761 m	-2.123 m	-2.8737 m	-0.95048 m	-1.9296 m
Moment of Inertia Ip1	2.3849 kg·m ²	3.2391 kg·m ²	1.4221e-003 kg·m ²		2.3847 kg·m ²	1.4221e-003 kg·m ²		3.2391 kg·m ²	0.41444 kg·m ²	0.25343 kg·m ²	33.72 kg·m ²

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Moment of Inertia Ip2	2.3094 kg·m ²	2.8569 kg·m ²	2.532e-003 kg·m ²	2.3092 kg·m ²	2.532e-003 kg·m ²	2.8569 kg·m ²	0.19928 kg·m ²	0.17087 kg·m ²	32.19 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	0.22524 kg·m ²	4.1255 kg·m ²	2.6164e-003 kg·m ²	0.22522 kg·m ²	2.6164e-003 kg·m ²	4.1255 kg·m ²	0.60329 kg·m ²	0.41623 kg·m ²	1.6652 kg·m ²	
Statistics										
Nodes	19744	9290	2741	19673	2727	2735	9506	32169	26619	10391
Elements	11571	5140	1328	11505	1318	1322	5301	18653	15283	5024
Mesh Metric	None									

7.75.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.75.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Object Name	Contacts
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	5.6054e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 7
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10
State	Fully Defined									
Scope										
Scoping Method	Geometry Selection									
Contact	4 Faces	11 Faces	4 Faces			11 Faces	4 Faces	7 Faces		
Target	8 Faces	10 Faces	2 Faces	8 Faces		10 Faces	2 Faces	5 Faces	4 Faces	
Contact Bodies	20110323_PETS_V.3_[A-Part_V.1]		ST0312_620_01	20110323_PETS_V.3_[A-Part_V.1]		ST0312_610_01	ST0305_515_01	ST0305_589_01		
Target Bodies	20110323_PETS_V.3_[C-Tank_Flange_V.1]		V-sup		20110323_PETS_V.3_[C-Tank_Flange_V.1]		V-sup			
Definition										
Type	Bonded									
Scope Mode	Automatic									
Behavior	Symmetric									
Trim Contact	Program Controlled									
Trim Tolerance	5.6054e-003 m									

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

nce	
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Pure Penalty
Detection Method	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Never
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None

7.75.4 Mesh

TABLE 8
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.4e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	138336
Elements	77773
Mesh Metric	None

7.76 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes to Find	6
Limit	No

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Search to Range	
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20111111_Modal\20111111_DB_T0_(v3)_(alter)_files\dp0\SYSTEMECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By		Components
Coordinate System		Global Coordinate System
X Component		0. m
Y Component		0. m
Z Component		0. m

7.76.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

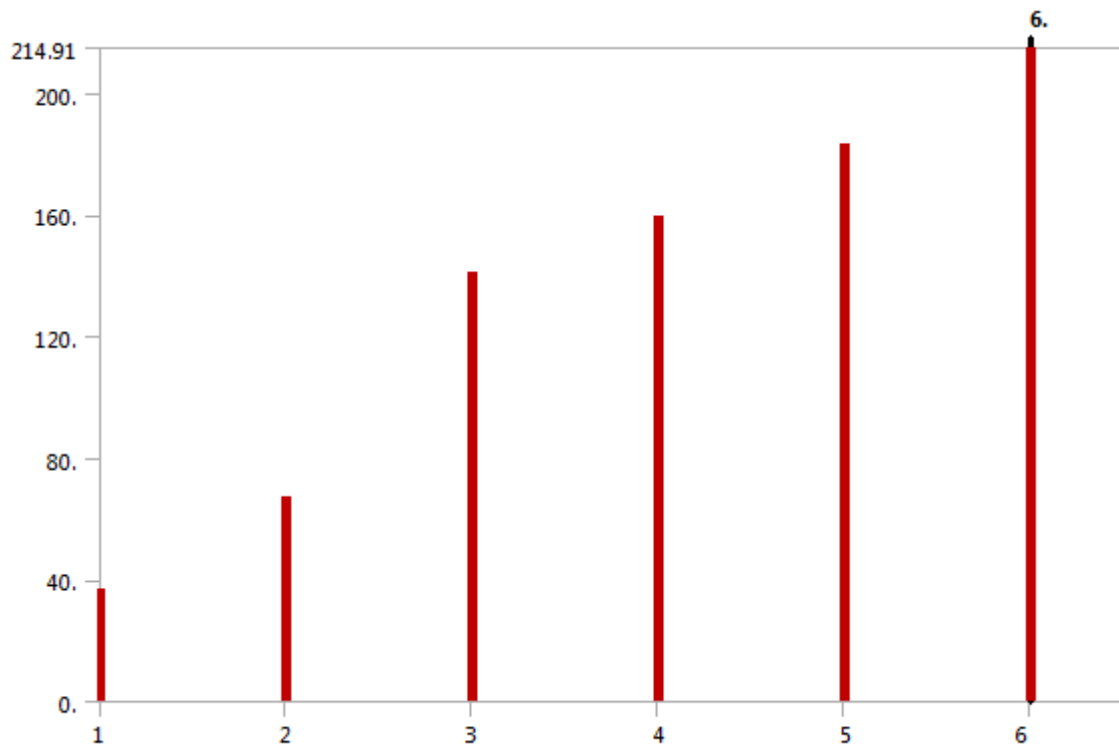


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	36.737
2.	67.261
3.	141.21
4.	159.68
5.	182.94
6.	214.91

TABLE 15
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
-------------	-----------------------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent Stress
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation	X Axis		
Coordinate System	Global Coordinate System		
Results			
Minimum	0. m	-7.1008e-006 m	198.96 Pa
Maximum	2.4407e-003 m	2.4232e-003 m	2.7882e+008 Pa
Minimum Occurs On	ST0305515_01		ST0305589_01
Maximum Occurs On	ST0312610_01		V-sup
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-7.1008e-006 m	198.96 Pa
Maximum	0. m	-7.1008e-006 m	198.96 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	2.4407e-003 m	2.4232e-003 m	2.7882e+008 Pa
Maximum	2.4407e-003 m	2.4232e-003 m	2.7882e+008 Pa
Information			
Frequency	36.737 Hz		
Integration Point Results			
Display Option			Averaged
Average Across Bodies			No

TABLE 17
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
------	----------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

1.	36.737
2.	67.261
3.	141.21
4.	159.68
5.	182.94
6.	214.91

TABLE 18
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	36.737
2.	67.261
3.	141.21
4.	159.68
5.	182.94
6.	214.91

TABLE 19
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	36.737
2.	67.261
3.	141.21
4.	159.68
5.	182.94
6.	214.91

7.77 MATERIAL DATA

7.77.1 Copper Alloy 2

TABLE 20
Copper Alloy 2 > Constants

Density	8300 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.8e-005 C ⁻¹
Specific Heat	385 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	401 W m ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 21
Copper Alloy 2 > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 22
Copper Alloy 2 > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 23
Copper Alloy 2 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 24

Copper Alloy 2 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.3e+008

TABLE 25

Copper Alloy 2 > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 26

Copper Alloy 2 > Isotropic Resistivity

Resistivity ohm m	Temperature C
1.548e-008	0
1.694e-008	20
2.277e-008	100

TABLE 27

Copper Alloy 2 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.1e+011	0.34	1.1458e+011	4.1045e+010

TABLE 28

Copper Alloy 2 > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

7.77.2 Stainless Steel 2

TABLE 29

Stainless Steel 2 > Constants

Density	7750 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	480 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	15.1 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-007 ohm m

TABLE 30

Stainless Steel 2 > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 31

Stainless Steel 2 > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 32

Stainless Steel 2 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 33

Stainless Steel 2 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.86e+008

TABLE 34
Stainless Steel 2 > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 35
Stainless Steel 2 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.93e+011	0.31	1.693e+011	7.3664e+010

TABLE 36
Stainless Steel 2 > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

7.77.3 Aluminum Alloy 2

TABLE 37
Aluminum Alloy 2 > Constants

Density	2770 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	2.3e-005 C ⁻¹
Specific Heat	875 J kg ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 38
Aluminum Alloy 2 > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 39
Aluminum Alloy 2 > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 40
Aluminum Alloy 2 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 41
Aluminum Alloy 2 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
3.1e+008

TABLE 42
Aluminum Alloy 2 > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 43
Aluminum Alloy 2 > Isotropic Thermal Conductivity

Thermal Conductivity W m ⁻¹ C ⁻¹	Temperature C
--	---------------

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

114	-100
144	0
165	100
175	200

TABLE 44
Aluminum Alloy 2 > Alternating Stress R-Ratio

Alternating Stress Pa	Cycles	R-Ratio
2.758e+008	1700	-1
2.413e+008	5000	-1
2.068e+008	34000	-1
1.724e+008	1.4e+005	-1
1.379e+008	8.e+005	-1
1.172e+008	2.4e+006	-1
8.963e+007	5.5e+007	-1
8.274e+007	1.e+008	-1
1.706e+008	50000	-0.5
1.396e+008	3.5e+005	-0.5
1.086e+008	3.7e+006	-0.5
8.791e+007	1.4e+007	-0.5
7.757e+007	5.e+007	-0.5
7.239e+007	1.e+008	-0.5
1.448e+008	50000	0
1.207e+008	1.9e+005	0
1.034e+008	1.3e+006	0
9.308e+007	4.4e+006	0
8.618e+007	1.2e+007	0
7.239e+007	1.e+008	0
7.412e+007	3.e+005	0.5
7.067e+007	1.5e+006	0.5
6.636e+007	1.2e+007	0.5
6.205e+007	1.e+008	0.5

TABLE 45
Aluminum Alloy 2 > Isotropic Resistivity

Resistivity ohm m	Temperature C
2.43e-008	0
2.67e-008	20
3.63e-008	100

TABLE 46
Aluminum Alloy 2 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	7.1e+010	0.33	6.9608e+010	2.6692e+010

TABLE 47
Aluminum Alloy 2 > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

7.77.4 SiC 2

TABLE 48
SiC 2 > Constants

Density	3215 kg m ⁻³
---------	-------------------------

TABLE 49
SiC 2 > Polynomial EOS

Parameter A1 Pa	Parameter A2 Pa	Parameter A3 Pa	Parameter B0	Parameter B1	Parameter T1 Pa	Parameter T2 Pa
2.2e+011	3.61e+011	0	0	0	2.2e+011	0

TABLE 50
SiC 2 > Bulk Modulus

Bulk Modulus Pa	2.2e+011
-----------------	----------

TABLE 51
SiC 2 > Johnson-Holmquist Strength Segmented

Hugoniot Elastic Limit HEL Pa	Intact Strength Constant S1 Pa	Intact Strength Constant P1 Pa	Intact Strength Constant S2 Pa	Intact Strength Constant P2 Pa	Strain Rate Constant C	Maximum Fracture Strength SFMAX Pa	Failed Strength Constant α	Damage Constant EFM AX D1	Damage Constant P3 D2 Pa	Bulking Constant B	Hydrodynamic Tensile Limit T Pa
1.17e+010	7.1e+009	2.5e+009	1.22e+010	1.e+010	9.e-003	1.3e+009	0.4	1.2	9.975e+010	1	-7.5e+008

TABLE 52
SiC 2 > Shear Modulus

Shear Modulus Pa	1.935e+011
------------------	------------

TABLE 53
SiC 2 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.2e+011	0.18	2.1875e+011	1.7797e+011

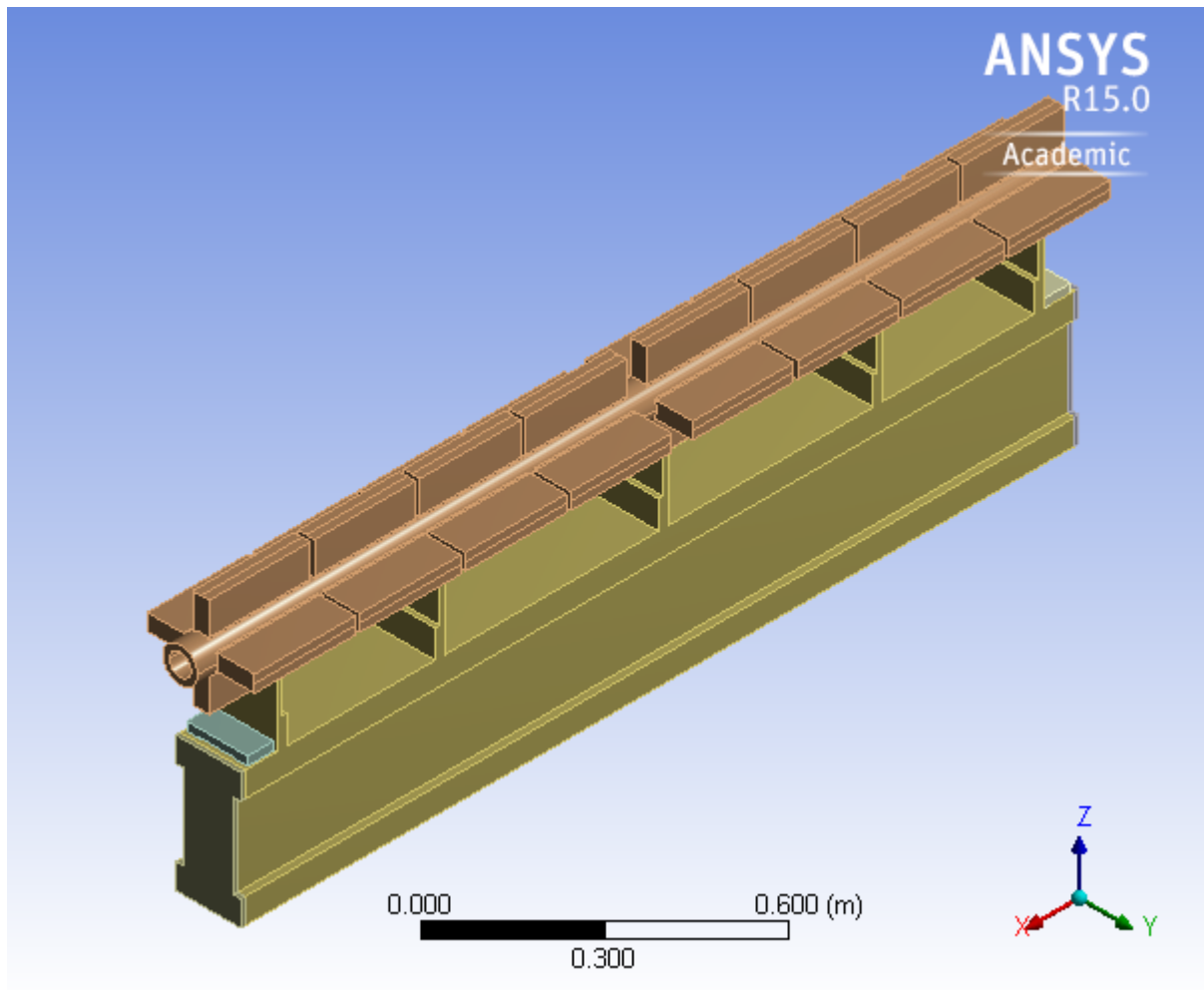
ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΥΡΙΑΣ ΔΕΣΜΗΣ (ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β – MICRO-CONTROLE SIC)



First Saved	Monday, November 07, 2011
Last Saved	Friday, November 11, 2011
Product Version	13.0 Release
Save Project Before Solution	No

Save Project After Solution

No



7.78 CONTENTS

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Modal \(B5\)](#)
 - [Pre-Stress \(None\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Stainless Steel 2](#)
 - [Copper Alloy 2](#)
 - [SiC 2](#)

7.79 UNITS

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

7.80 MODEL (B4)

7.80.1 Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\ANSYS_analyses\20111111_Modal\20111111_MB_T0_(v1)_(alter)_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	2.022 m
Length Y	0.247 m

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Length Z	0.63535 m
Properties	
Volume	5.6367e-002 m ³
Mass	333.9 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	6
Active Bodies	6
Nodes	92903
Elements	49349
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\nikolaosgazis\AppData\Roaming\Ansys\v150
Analysis Type	3-D

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Decompose Disjoint Geometry	No
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	ST0300784_01	ST0327004_01	ST0300784_01	W86826B0-3	Playni Plaka	Playni Plaka
State	Meshed					
Graphics Properties						
Visible	Yes					
Transparency	1					
Definition						
Suppressed	No					
Stiffness Behavior	Flexible					
Coordinate System	Default Coordinate System					
Reference Temperature	By Environment					
Material						
Assignment	Stainless Steel 2	Copper Alloy 2	Stainless Steel 2	SiC 2	Stainless Steel 2	
Nonlinear Effects	Yes					
Thermal Strain Effects	Yes					
Bounding Box						
Length X	6.e-002 m	2.022 m	6.e-002 m	1.915 m	1.e-002 m	
Length Y	0.14 m	0.247 m	0.14 m	0.15 m		
Length Z	2.e-002 m	0.2287 m	2.e-002 m	0.49802 m	0.311 m	
Properties						
Volume	1.584e-004 m ³	2.903e-002 m ³	1.584e-004 m ³	2.622e-002 m ³	4.002e-004 m ³	
Mass	1.2276 kg	240.95 kg	1.2276 kg	84.297 kg	3.1015 kg	3.1016 kg
Centroid X	4.e-002 m	0.96016 m	1.875 m	0.95735 m	-5.e-003 m	1.92 m
Centroid Y	0.185 m	0.18 m				
Centroid Z	-2.8422e-002 m	0.17103 m	-2.8422e-002 m	-0.178 m	-0.19447 m	
Moment of Inertia Ip1	2.1239e-003 kg·m ²	1.3616 kg·m ²	2.1239e-003 kg·m ²	1.1986 kg·m ²	3.2006e-002 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip2	4.0526e-004 kg·m ²	81.46 kg·m ²	4.0526e-004 kg·m ²	27.446 kg·m ²	2.7538e-002 kg·m ²	
Moment of Inertia Ip3	2.4552e-003 kg·m ²	81.611 kg·m ²	2.4552e-003 kg·m ²	26.542 kg·m ²	4.52e-003 kg·m ²	
Statistics						

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Nodes	250	40884	250	50759	380
Elements	30	22664	30	26543	41
Mesh Metric	None				

7.80.2 Coordinate Systems

TABLE 4
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

7.80.3 Connections

TABLE 5
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	5.3346e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

TABLE 7
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Contact	4 Faces	37 Faces	4 Faces	1 Face	
Target	2 Faces	30 Faces	2 Faces	1 Face	
Contact Bodies	ST0300784_01	ST0327004_01	ST0300784_01	W86826B0-3	
Target Bodies	W86826B0-3			Playni Plaka	
Definition					
Type	Bonded				
Scope Mode	Automatic				
Behavior	Symmetric				
Trim Contact	Program Controlled				
Trim Tolerance	5.3346e-003 m				
Suppressed	No				
Advanced					
Formulation	Pure Penalty				
Detection Method	Program Controlled				
Normal Stiffness	Program Controlled				
Update Stiffness	Never				
Pinball Region	Program Controlled				
Geometric Modification					
Contact Geometry Correction	None				

7.80.4 Mesh

TABLE 8
Model (B4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	2.e-003 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	92903
Elements	49349
Mesh Metric	None

7.81 MODAL (B5)

TABLE 9
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Modal (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Modal
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (B4) > Modal (B5) > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None

TABLE 11
Model (B4) > Modal (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Options	
Max Modes	6

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

to Find	
Limit Search to Range	No
Solver Controls	
Damped	No
Solver Type	Iterative
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	No
Nodal Forces	No
Calculate Reactions	No
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneous	No
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\ANSYS_analyses\20111111_Modal\20111111_MB_T0_(v1)_(alter)_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 12
Model (B4) > Modal (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	3 Faces	
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0. m	
Y Component	0. m	

Z Component	0. m
-------------	------

7.81.1 Solution (B6)

TABLE 13
Model (B4) > Modal (B5) > Solution

Object Name	Solution (B6)
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

The following bar chart indicates the frequency at each calculated mode.

FIGURE 1
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

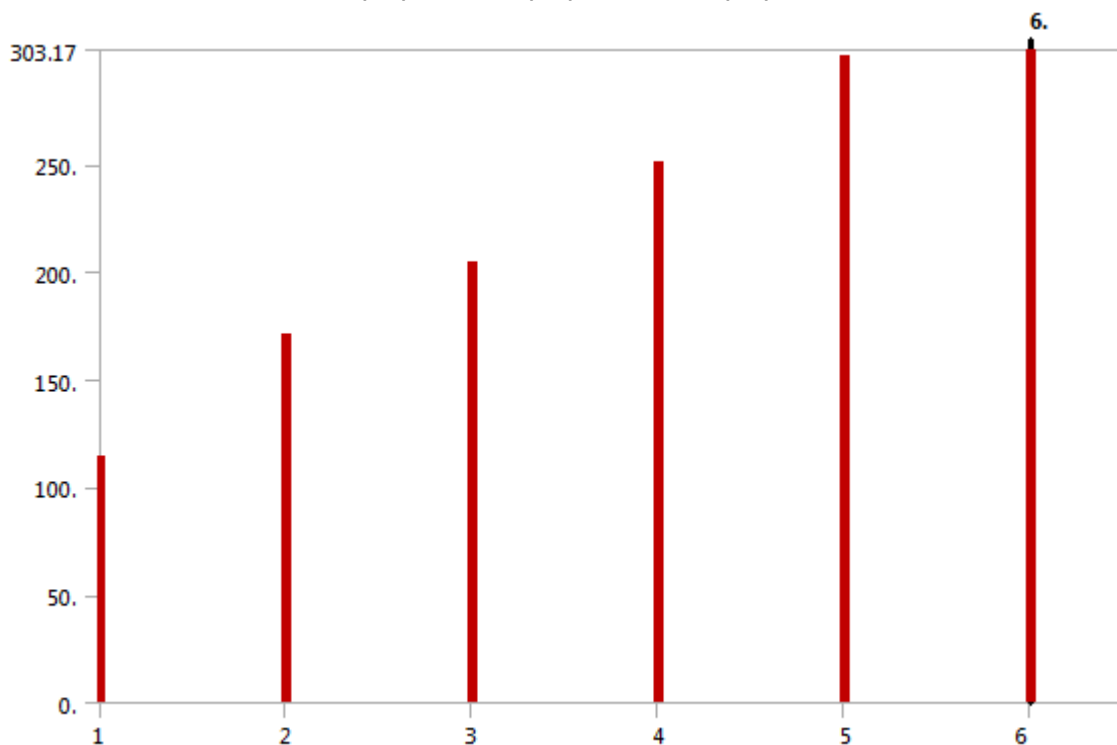


TABLE 14
Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6)

Mode	Frequency [Hz]
1.	114.43
2.	170.96
3.	204.14
4.	250.71
5.	300.59
6.	303.17

TABLE 15

Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16

Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Directional Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Directional Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Mode	1.		
Identifier			
Suppressed	No		
Orientation	Y Axis		
Coordinate System	Global Coordinate System		
Results			
Minimum	0. m	-2.8145e-004 m	30466 Pa
Maximum	3.48e-003 m	3.4785e-003 m	2.1908e+009 Pa
Minimum Occurs On	Playni Plaka	ST0327004_01	
Maximum Occurs On	ST0327004_01		W86826B0-3
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. m	-2.8145e-004 m	30466 Pa
Maximum	0. m	-2.8145e-004 m	30466 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	3.48e-003 m	3.4785e-003 m	2.1908e+009 Pa
Maximum	3.48e-003 m	3.4785e-003 m	2.1908e+009 Pa
Information			
Frequency	114.43 Hz		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		

TABLE 17

Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	114.43
2.	170.96
3.	204.14
4.	250.71
5.	300.59
6.	303.17

TABLE 18

Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Directional Deformation

Mode	Frequency [Hz]
1.	114.43
2.	170.96
3.	204.14
4.	250.71
5.	300.59
6.	303.17

TABLE 19

Model (B4) > Modal (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Mode	Frequency [Hz]
1.	114.43
2.	170.96
3.	204.14
4.	250.71
5.	300.59
6.	303.17

7.82 MATERIAL DATA

7.82.1 Stainless Steel 2

TABLE 20

Stainless Steel 2 > Constants

Density	7750 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	480 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	15.1 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-007 ohm m

TABLE 21

Stainless Steel 2 > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa	0
----------------------------------	---

TABLE 22

Stainless Steel 2 > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa	2.07e+008
-------------------------------	-----------

TABLE 23

Stainless Steel 2 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.07e+008

TABLE 24

Stainless Steel 2 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.86e+008

TABLE 25

Stainless Steel 2 > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 26

Stainless Steel 2 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.93e+011	0.31	1.693e+011	7.3664e+010

TABLE 27

Stainless Steel 2 > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

7.82.2 Copper Alloy 2

TABLE 28

Copper Alloy 2 > Constants

Density	8300 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.8e-005 C ⁻¹
Specific Heat	385 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	401 W m ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 29

Copper Alloy 2 > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 30

Copper Alloy 2 > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 31

Copper Alloy 2 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.8e+008

TABLE 32

Copper Alloy 2 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.3e+008

TABLE 33

Copper Alloy 2 > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 34

Copper Alloy 2 > Isotropic Resistivity

Resistivity ohm m	Temperature C
1.548e-008	0
1.694e-008	20
2.277e-008	100

TABLE 35

Copper Alloy 2 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	1.1e+011	0.34	1.1458e+011	4.1045e+010

TABLE 36

Copper Alloy 2 > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

7.82.3 SiC 2

TABLE 37

SiC 2 > Constants

Density	3215 kg m ⁻³
---------	-------------------------

TABLE 38

SiC 2 > Polynomial EOS

Parameter A1 Pa	Parameter A2 Pa	Parameter A3 Pa	Parameter B0	Parameter B1	Parameter T1 Pa	Parameter T2 Pa
2.2e+011	3.61e+011	0	0	0	2.2e+011	0

TABLE 39

SiC 2 > Bulk Modulus

Bulk Modulus Pa
2.2e+011

TABLE 40

SiC 2 > Johnson-Holmquist Strength Segmented

Hugoniot Elastic Limit HEL Pa	Intact Strength Constant S1 Pa	Intact Strength Constant P1 Pa	Intact Strength Constant S2 Pa	Intact Strength Constant P2 Pa	Strain Rate Constant C	Maximum Fracture Strength SFMAX Pa	Failed Strength Constant α	Damage Constant EFM AX D1	Damage Constant P3 D2 Pa	Bulking Constant B	Hydrodynamic Tensile Limit T Pa
1.17e+010	7.1e+009	2.5e+009	1.22e+010	1.e+010	9.e-003	1.3e+009	0.4	1.2	9.975e+010	1	-7.5e+008

TABLE 41

SiC 2 > Shear Modulus

Shear Modulus Pa

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

1.935e+011

TABLE 42
SiC 2 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	4.2e+011	0.18	2.1875e+011	1.7797e+011

Παράρτημα XI

Εκτεταμένη Περίληψη της Διδακτορικής Διατριβής στα Αγγλικά

INTRODUCTION TO CERN – THE EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

CERN, the European Organization for Nuclear Research, is an intergovernmental particle physics research organization with 20 Member States¹⁴. It was founded on 1955 by 12 countries, with Greece being one of them (Figure 1-1).

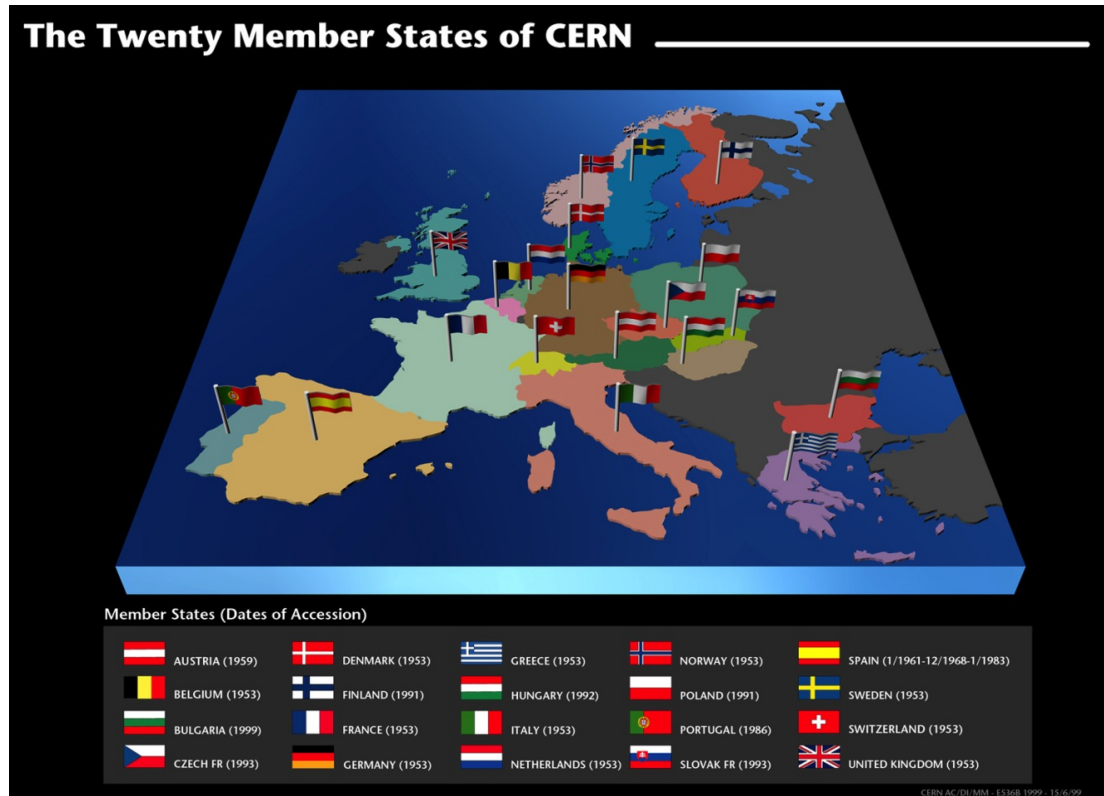


Figure X-4: Map of Europe with the 20 member states of CERN

Its seat is in Geneva but its premises are located on both sides of the French-Swiss border (<http://cern.ch/fp-procurement/map.html>).

CERN's mission is to enable international collaboration in the field of high-energy particle physics research and to this end it designs, builds and operates particle accelerators and the associated experimental areas. The necessary state-of-the-art technology is developed in several scientific fields such as particle accelerator and detector engineering, material science, electronics, informatics etc. At present, more than 10 000 scientific users from research institutes all over the world are using CERN's installations for their experiments.

The accelerator complex at CERN is a succession of machines, built during its 50 years of successful operation, with increasingly higher energies. Each machine injects the beam into the next one, which takes over to bring the beam to an even higher

¹⁴ The CERN Member States are currently Austria, Belgium, Bulgaria, the Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Israel*, Italy, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania**, the Slovak Republic, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

* Associate Member State in the pre-stage to Membership

** Candidate for accession

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών

energy, and so on. The flagship of this complex is the Large Hadron Collider (LHC) as presented in Figure 1-2:

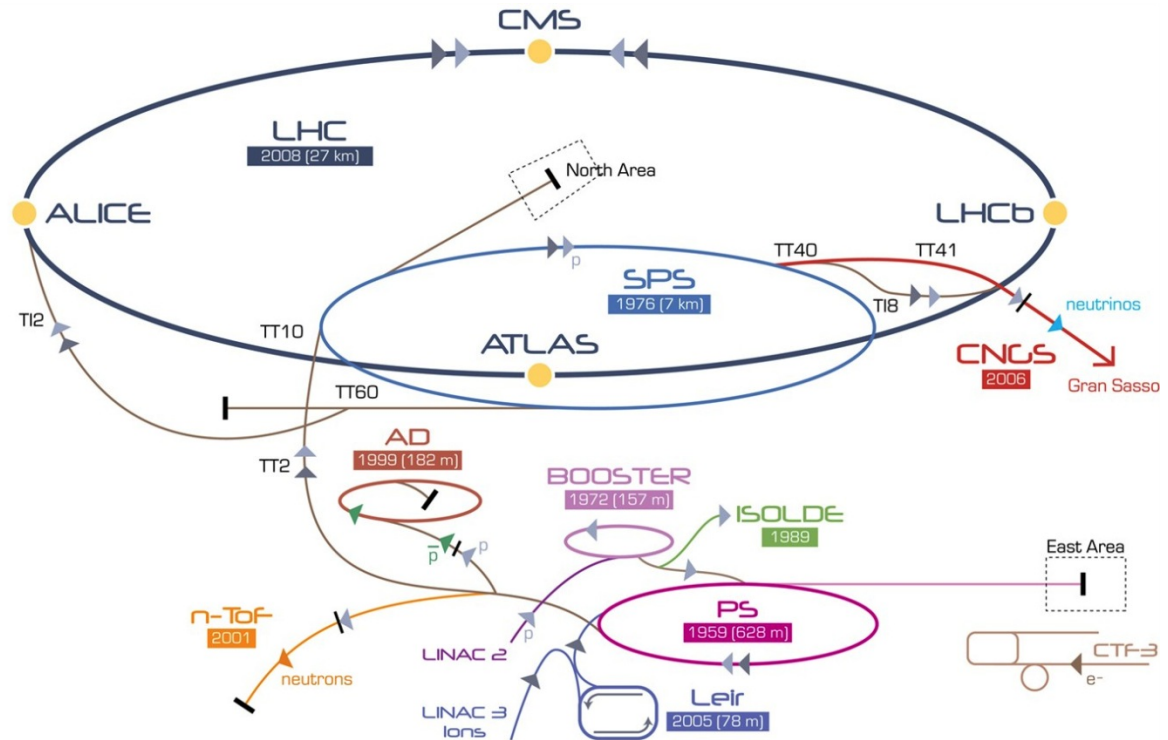


Figure X-5: The accelerator complex of CERN

THE RESEARCH PROGRAM OF CERN

After the acceleration of the particle beams to the desired energies, the beams are focused and made to collide with each other or with fixed targets. Detectors observe and record the results of these beam collisions at the Interaction Points (IP).

Such collisions are part of the experiments conducted at CERN, which collaborate and study phenomena of the modern particle physics. An indicative example of the collaboration of the experiments is the trajectory followed by the LHC particle beam, throughout the accelerator complex of CERN. The proton beam is generated out of hydrogen nucleus in the LINAC accelerator which passes it in the BOOSTER synchrotron. Afterwards, the particle beam is injected in the PS and then to SPS accelerators, sequentially. Finally, it is injected into LHC. In LHC, it will gain its maximum energy and collide in one of the IP of LHC where one of the detectors (ATLAS, CMS, ALICE or LHC-b) is situated. Each of the LHC detectors studies several areas of physics. On the other hand, and according to the overall schedule and experimental priority, the generated particle beam could be alternatively injected in one of the non-LHC experiments (AD, ISOLDE, etc.).

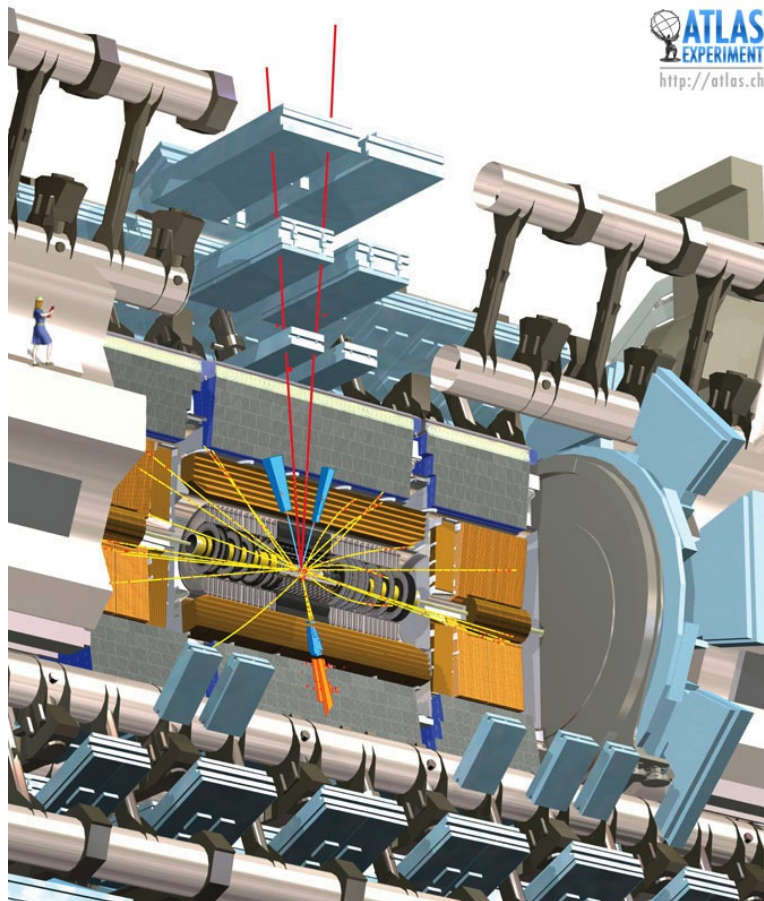


Figure X-6: A Higgs Boson Event: A Higgs boson plus a jet in the opposite direction where the Higgs boson decays to two Z bosons and one Z boson decaying to e^+e^- and the other to $\mu^+\mu^-$

In parallel to the existing experiments, scientists at CERN are pursuing advanced accelerator research and development for a machine to exploit the LHC's discoveries at the high-energy frontier. The international collaboration of the Compact Linear Collider (CLIC study) is working on a concept for a machine to collide electrons and positrons (anti-electrons) head on at energies up to several TeV. This energy range is similar to the LHC's, but by using electrons and their antiparticles rather than protons, physicists will gain a different perspective on the underlying physics.

In order to reach multi-TeV energies, high gradients are paramount and the CLIC novel Two-Beam acceleration concept, as proposed in 1986, provides a unique opportunity to reach multi-TeV energies with an e^+e^- machine. The studies of this concept continued through the 1990s but got an increased focus and importance by a CERN Council initiative in 2004 to increase the efforts towards producing a Conceptual Design Report (CDR) on the timescale of 2010 in order to match the expected start of and first physics results from the LHC.

The CLIC study is hosted by CERN and the CLIC test facilities at CERN have been and remain the central part of the project. However, many other test facilities around the world conduct experiments and study the key parameters for such a machine. Since 2008 the focus has been on addressing a set of key feasibility issues for a multi-TeV machine.

CLIC STUDY OVERVIEW AND KEY ISSUES

The CLIC study (Figure 1-4) is focused on the design of an $e^- e^+$ linear collider at colliding beam energy of 3 TeV with a luminosity of $2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. In parallel, an equally interesting design is developed at a deduced lower energy, set to 500 GeV with the same luminosity. The required luminosity can be reached with powerful beams (14 MW each) colliding with extremely small dimensions and high beam stability. The accelerated particle beams have dimensions of 45 nm in the horizontal plane and 1 nm in the vertical plane at the IP. These small dimensions can only be obtained with extremely small emittances.

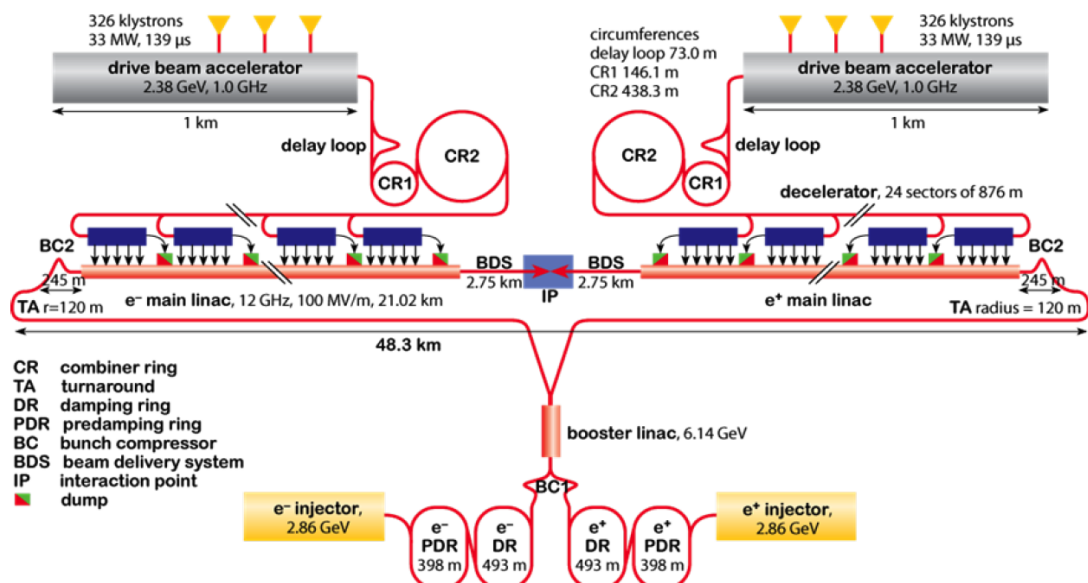


Figure X-7: The CLIC layout at 3 TeV

The CLIC layout derives from specific features inherent to linear colliders that strongly influence the design:

- The two linacs accelerate the electron and positron beams in a single pass. As a consequence, high acceleration fields are required in order to keep the length of the collider to within reasonable limits.
- After acceleration, the two beams collide only once. In a circular machine the counter-rotating beams collide with a high repetition frequency (tenths of kHz range). The repetition frequency of a linear collider by contrast is typically 5 – 100 Hz.

Thus, the challenging design parameters¹⁵ of CLIC are necessary to be met, so as to provide the required luminosity for the particle physics experiments. The CLIC innovative scheme has a number of key issues. A key issue is defined for each case that the parameter specification happens to be above the present state-of-art. Several key issues have been identified for CLIC according to the study of the technical systems of the machine. The main categories for the CLIC key issues are feasibility, performance, cost and powering issues.

¹⁵ Design parameters such as: *accelerating field*, *RF frequency* of the main linac, *RF power source*, *beam parameters*, *linac repetition rate*, *emittance*, etc.

Affordable cost and power consumption, in addition to the beam performance beyond both present energy and luminosity frontiers, impose the development of an innovative Two-Beam acceleration scheme.

THE CLIC TWO-BEAM ACCELERATION SCHEME

The key issues have also led to the choice of a room temperature based system on copper Accelerating Structures¹⁶ (AS). The field that accelerates the particle beam is generated by the AS which are fed with very high radiofrequency power.

In the CLIC Two-Beam acceleration scheme (Figure 1-5) the accelerating power is transported to the AS by a second electron beam, the Drive Beam (DB), which runs parallel to the Main Beam (MB). The DB is generated at the central campus of the CLIC complex. The beam power is extracted from the DB and converted to RF power in dedicated RF components called Power Extraction and Transfer Structures (PETS). Then it is transported to the AS of the MB covering a distance of about 60 cm. One PETS unit provides RF power for two AS (a number which depends on the high-power capability of the PETS). The stagger between the two linacs (MB and DB) is made to give the correct relative RF-to-beam timing. The novel scheme of Two-Beam acceleration has never been built and operated before.

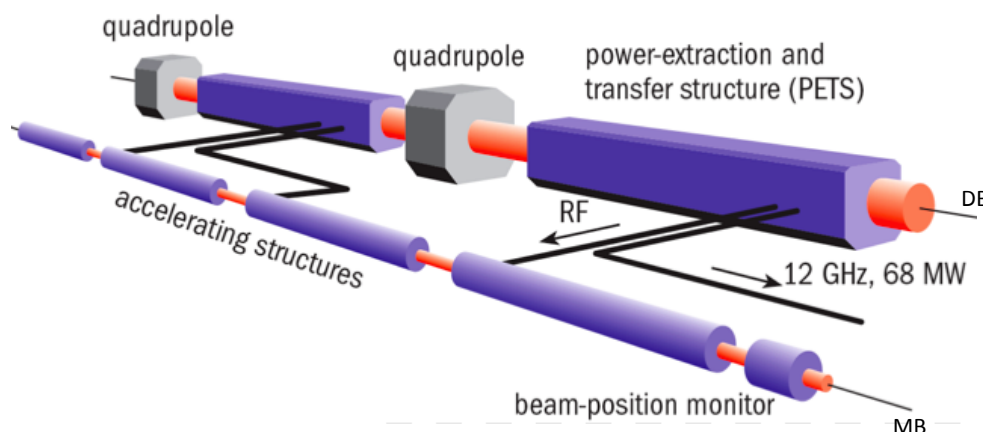


Figure X-8: The CLIC Two-Beam acceleration scheme

CLIC has a single tunnel, which houses the MB, the DB and the transfer lines. The CLIC Two-Beam acceleration scheme offers good power efficiency. The transport power to the place where it is converted to RF is done by an electron beam, which is nearly lossless. The beam would pass through several collider systems (*delay loop, combiner ring, damping ring, beam delivery system, etc.*) before it reaches the IP.

THE CLIC TWO-BEAM MODULES

▪ Description and types of Modules

The CLIC two-beam configuration is formed by “repeated Modules”. The Modules (or Two-Beam Modules) are the smallest repetitive units of the collider (Figure 1-6) assembled in series to form both the main and the drive linac. The Modules include all the main RF components and focusing magnets of the machine.

¹⁶ Normal conducting accelerating cavities

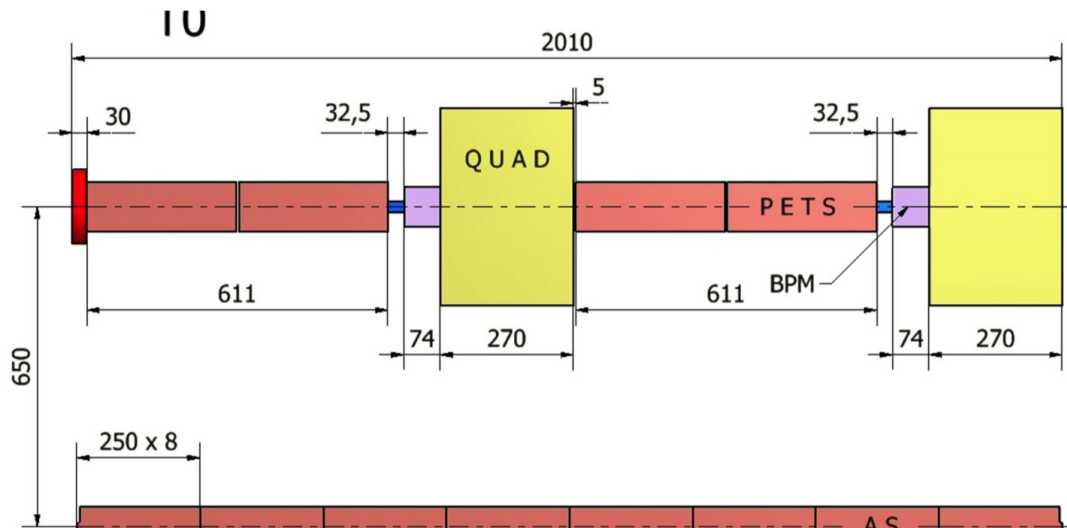


Figure X-9: Schematic layout of CLIC Type-0 Module

Five types of Modules are defined in order to accommodate all needed configurations and the challenging optics (focus) requirements for the particle beam (Figures 1-6 and 1-7). The MB of the Module Type-0 contains only AS whereas the Modules of Type-1 up to Type-4 include also MB-quadrupoles (MBQs) of variable length. The MBQs take the place of two (2), four (4), six (6) or eight (8) AS according to the type of the Module (Figure 1-7).

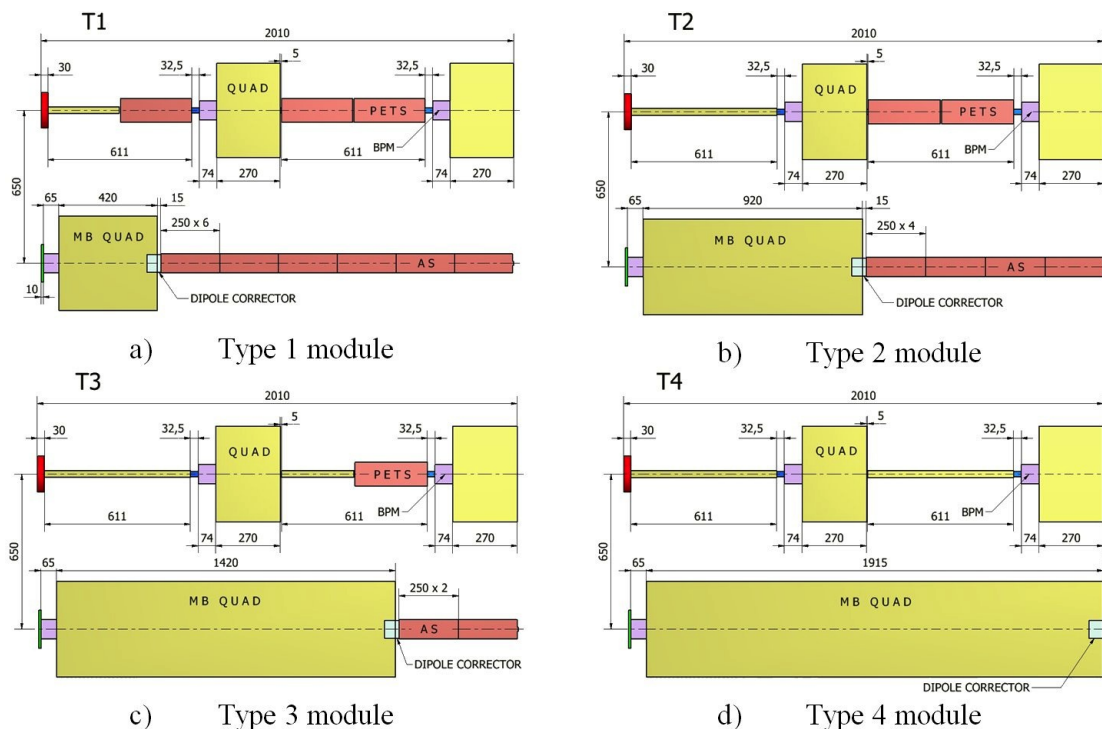


Figure X-10: Schematic layout of CLIC Modules with MBQs

The RF components of the Module are mounted on dedicated alignment girders which are parts of the supporting system. The Module length is presently 2010 mm. Along with several other technical parameters, the mechanical and thermal stability of the overall system dictate it. Magnetic field simulations show that the DB-quadrupoles (DBQs) need to have a length of 270 mm and 1 m of spacing in between them. The remaining space is occupied by the PETS and the Beam Position Monitors (BPMs). The length of 30 mm is reserved for the inter-girder connection. A small number of

special Modules with only MBQs and DBQs are needed at each DB linac sector where each DB is fed in and out.

DESCRIPTION OF THE CLIC SUPPORTING AND POSITIONING SYSTEM

The micro-precision CLIC RF structures will be aligned on a specially developed supporting system. The fundamental supporting components of such a system are the so-called girders. The girder design constraints are mainly dictated by the beam physics and RF requirements. All girders are mechanically interconnected constituting a continuous system called “Snake System” (Figure 2-1). This system allows for the precise alignment on the overall length of the two linacs. Through the “Snake System” the position of the girders is monitored and re-aligned.

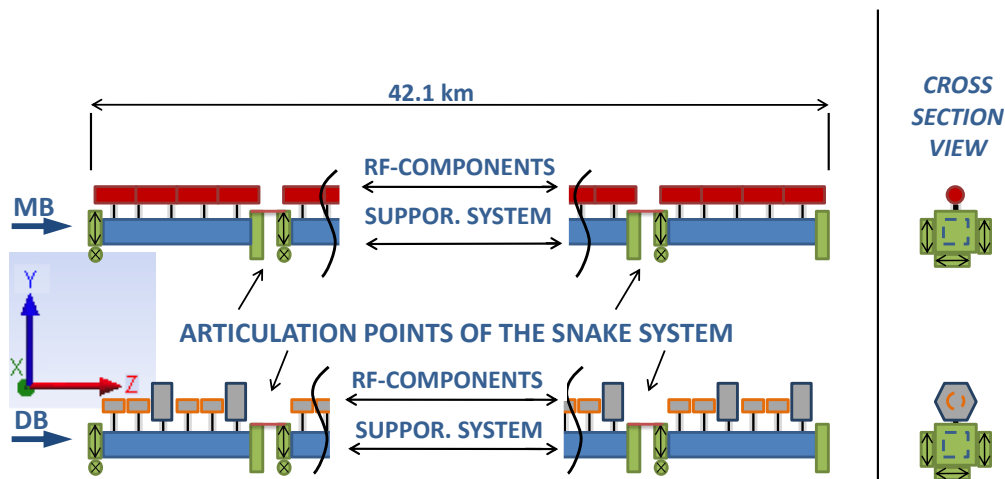


Figure X-11: Supporting system concept: "Snake System"

The RF structures are stabilized and supported on the girders via the so-called V-shaped supports (Figure 2-2). The design of this intermediate component has raised several issues regarding its mechanical behaviour and integration in the Module envelope (space availability, etc.).

Besides their mechanical behaviour, the V-shaped supports demand a firm fixation on the girders. Again, the study and design of such interconnectivity and assembly techniques were challenging. Particularly, along with the design of the V-shaped supports several different technical patterns were studied on a case-by-case basis to achieve the coupling of the V-shaped supports and girders

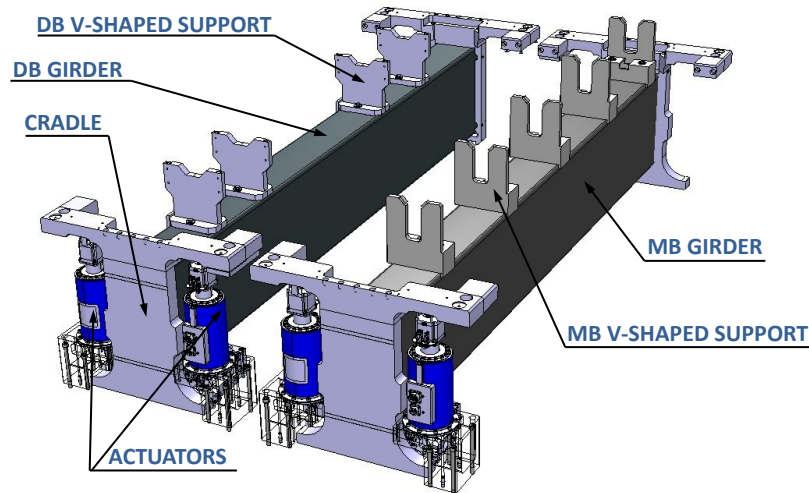


Figure X-12: CLIC Two-Beam Module (Type-0) supporting system

A fundamental issue for proper operation of the Snake System is the stiffness of the girders and the V-shaped supports. It is expected that the girders and the V-shaped supports will have higher stiffness values in comparison with the rest of the components of the Modules. Therefore, the possible deformation of the girder and V-shaped supports has been taken into consideration while calibrating the actuators (Figure 2-2).

The girder itself is supported on its extremities by the so-called cradles, which are mechanically connected to the actuators and alignment sensors. The repositioning of the girders is achieved with the help of these actuators. The system is designed to make possible the corrections in three dimensions at each end of the girder. The actuators are functioning with micrometric steps.

For the RF component alignment, it is necessary to transfer the reference which represents the particle beam axis, to the outside surface of the RF structures. This means that the supporting system shall also include the mechanism for the reference transfer.

DESCRIPTION OF THE STUDY

Starting point for the study and development of the engineering design for the CLIC supporting system were the technical requirements, as analysed in chapter 2. Such stringent requirements provided the first functioning and technical definition of the supporting system which was essentially needed to fit inside the allocated Module space. The austere external envelope, dedicated for each components of the CLIC supporting system, was based on the space optimization of the CLIC tunnel.

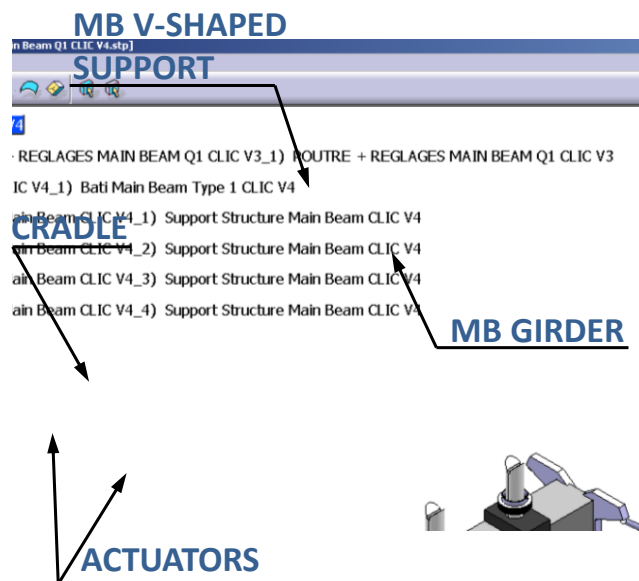


Figure X-13: Typical CLIC Module Type-0 supporting system for the MB (July 2008)

The indicative contour of the supporting system (as illustrated in Figure 3-1) was vaguely coherent with its actual structure and operation. Only few of its functional requirements were partially met. For this reason the corresponding study had to take into consideration as decisive exigencies:

- The mass of the RF components needed to be supported and housed,
- The boundary conditions of the supporting and stabilizing operations,
- The interfaces which could be used for the supporting and housing of the RF components,
- The operational conditions under which the supporting system would couple.

INTRODUCTION TO THE FABRICATION STRATEGY

The fabrication and assembly precision of the CLIC supporting system is on the edge of the available technologies. Consequently, prototypes of the supporting system needed to be fabricated for extensive testing and validation. The chosen solutions for the prototype girders were based on different materials (baseline and alternative) with dedicated configurations. The corresponding fabrication methods were necessary to be in accordance with the technical requirements. The prototype fabrication took place following the chain of the study, from the qualitative approach of the technical requirements to the technical specification and the engineering design phase that followed. The successful contract follow-up according to the production schedule was achieved. The result of this fabrication process was the delivery of the first prototypes. The realization of these prototypes appeared as the most advanced application of the Module supporting systems.

For the prototype and series supporting systems (LAB and CLEX configurations) several Market Surveys, Price Inquiries and Invitations to Tenders were launched based on the cited technical specifications. The companies responded with offers and provided proposals with conceptual solutions for the fabrication methods, the manufacturing materials and the final production design. After the corresponding technical evaluation, comparison analysis and design meetings, the fabrication cases were defined according to the:

- Best compatibility with the technical specification,

- Full compatibility with the space restrictions,
- Design optimization of the individual components,
- Capability of the firm for component quality control and transportability,
- Reliability of the industrial solution in terms of operational performance and maintenance options.

Such fabrication cases are described with the aim to present all details over the selected techniques and the installed supporting systems. The first batch of prototypes was delivered and installed in the LAB for testing and validation, loaded with mock-up (dummy) RF components. The Two-Beam Module Types of 1-0-0-4 was the chosen sequence for this batch. This installed sequence of Module Types was selected based on the frequency of its presence in the future CLIC machine. After the achieved validation of this first batch of prototypes and the feedback optimization on the design, a second phase would follow.

In the second fabrication phase a series production was launched. The CLIC Modules with a sequence of Types 0-0-1 were to be installed in CLEX. In this case, all components of the Modules were real and amongst other tests and operations, for the first time in real-scale CLIC Modules, particle acceleration would be achieved. In both cases of prototypes and series productions, all supporting systems were constituted out of real components. The purpose was that its feasibility check and validation testing needed to be confirmed as the critical prerequisites for proceeding to the challenging achievement of designing a viable concept for the CLIC machine.

The series production included all possible optimization points which derived from the validation of the prototype fabrication. For this reason, the fabrication strategy that was followed in the series production differed with the one for the prototype fabrication. The prototype fabrication cases A and C, analysed in the current chapter, present supporting systems fabricated by the industry in (individual) pieces and then assembled together in CERN. For comparison reasons, the prototype of the fabrication case B was built and delivered to CERN as a complete package of the supporting and positioning system but with a special technique for its final precise alignment tolerances (pre-stressed girders machined under loads).

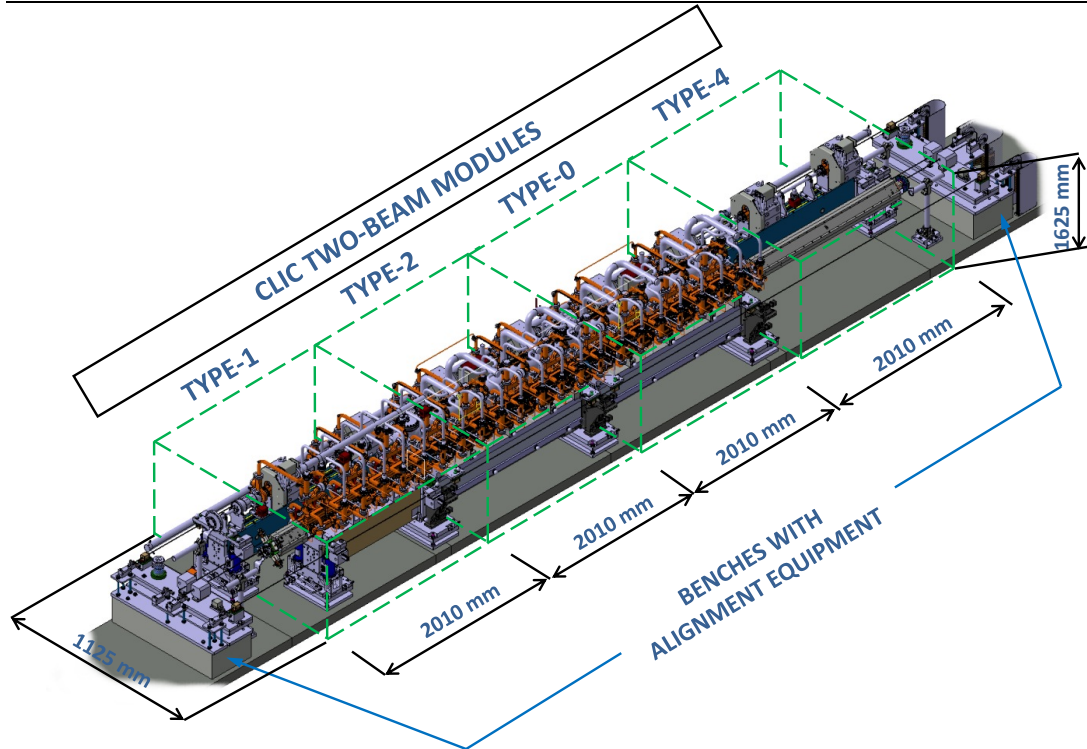


Figure X-14: Modules in the LAB (sequence of Types 1-0-0-4)

On the other hand, for the series production, complete supporting systems were ordered by CERN for CLIC. The engineering effort, total component cost, assembly time and technician manpower needed for the final precise assembly made the solution of purchasing individual parts rather than efficient. Additionally, the complete supporting systems of the series production could be validated with more time-efficient methods, as presented in the corresponding chapter 5.

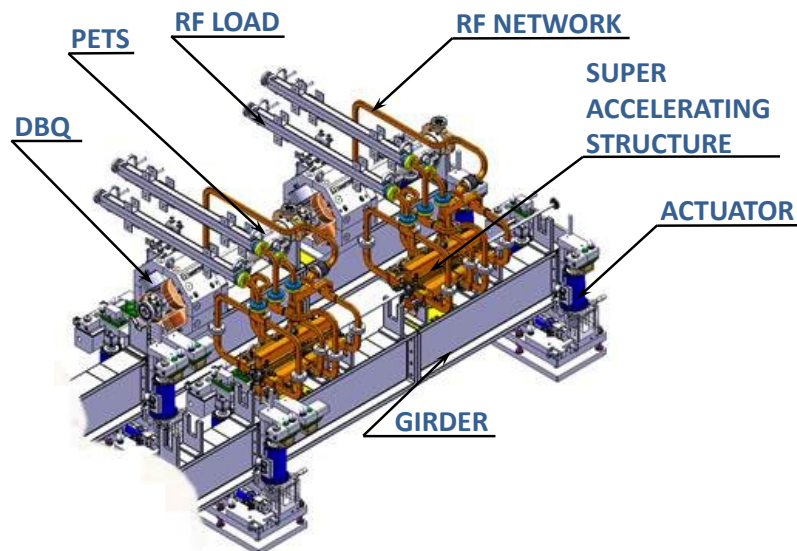


Figure X-15: Indicative Module Type-0 in CLEX

At last, from the perspective of the engineering design, a complete supporting system could be accurately checked for its volume compatibility. Afterwards, the fabrication tolerances and the operation effectiveness could be extensively validated. Several of the intermediate quality controls and validation steps were discovered to be redundant and were suppressed as different validation criteria were applied to this concept.

KEY PARAMETERS FOR THE FABRICATION

Both prototype and series productions needed to address technical key issues related to the realisation of the supporting systems. Such issues were mainly occurring due to the limits of available industrial technology today. The persistent efforts on the engineering study and the fabrication strategy produced as an outcome innovative answers to these key parameters:

- Micrometric fabrication tolerances applied to most of the parts of the supporting systems. Such tolerances were referring to shape accuracy as well as positioning precision,
- Specially adopted strategy for the installation and interchangeability of the components of the supporting system based on the CLIC transportation and handling procedures,
- Dedicated transportation and handling procedures of the Module according to the CLIC installation requirements and space reservation.

▪ Dimensional tolerances and industrial applications

As discussed so far, the successful operation for the future CLIC machine requires a positioning tolerance of micrometric precision for its particle beam axis. The results of the study of its supporting system acknowledged that most of the components built for such an accelerator required shape accuracy of the same (micrometric) order of magnitude. For the existing vast majority of European industrial firms though, applications with such a tolerance are not in their imminent field of expertise. It was essential to begin collaboration with companies able to perform constructions in micromechanics combined with advanced applications in material engineering.

Similar fields of applications could be considered the space engineering, nuclear engineering and military constructions. An investigation took place so as to establish communication with firms of these fields. The fabrication needs of the CLIC Module were referring to European firms, according to the pre-requisites of the CERN rules. As a first step, the firms that had built in the past few small scale prototypes for CLIC tests were contacted and later on several other micromechanics partners were found.

In addition to the required strict manufacturing specifications, the collaborating industrial firm is required to possess the corresponding methods for the component evaluation and overall validation after production. For the most critical parts of the supporting systems, several dimensional control measurements could occur during intermediate manufacturing steps. Precise tooling and highly oriented instrumentation is needed along with the know-how of dedicated quality controls and result evaluation.

The combination of micromechanics production capabilities with the tolerance control and precise assembly is forming the rough profile of the project. The in-depth analysis of the current chapter for the fabrication strategies and methods shall be followed with the relevant evaluation techniques and results (chapter 5).

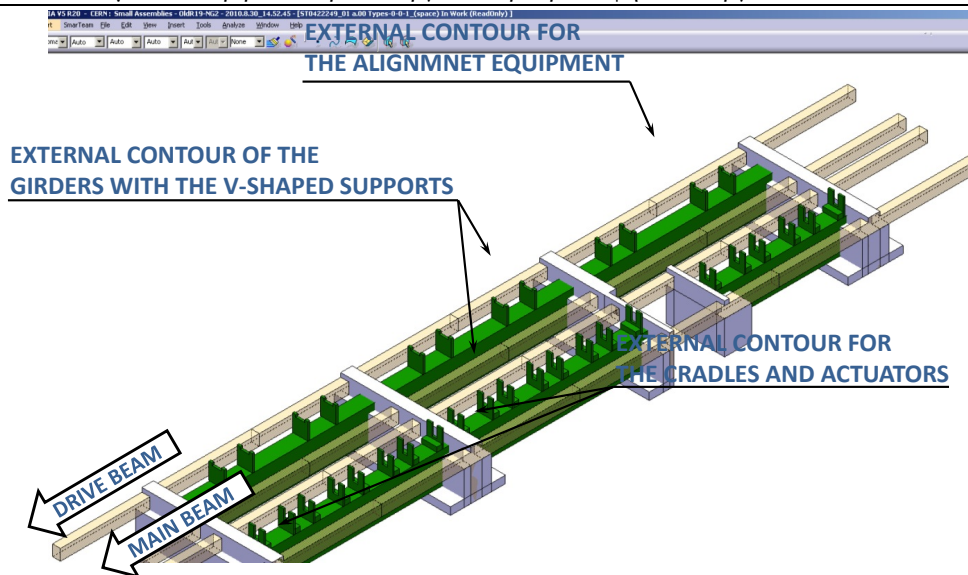


Figure X-16: Rough external volume of the supporting systems, part of the fabrication specifications, provided to the manufacturing firms. The delivered supporting systems for the Modules were tested to have a volume compatibility of 100% with it.

INTRODUCTION TO THE QUALIFICATION MEASUREMENTS

The study continued with qualification measurements for the prototypes and series Module supporting systems. Their functionality could be preliminarily verified via the check and confirmation of their fabrication tolerances. The dimensions of several parts were thought to be relevantly large (with respect to the specified shape accuracy) and their geometrical validation was not considered trivial. A dedicated measuring strategy was established to investigate if all tolerances of the fabrication drawings were applied correctly.

Once the production of each sub-assembly was finished, a first inspection was conducted. At that step, the fabrication firms measured the achieved geometrical tolerances (with the measuring means of their own) and a group of CERN personnel cross-checked the measurements (with CERN measuring equipment) during a dedicated visit at the fabrication factory.

Should the results of this first validation step revealed shape accuracies according to the technical specifications; the supporting systems were delivered to the CERN facilities. Then, a thorough validation was made with the available CERN measuring instrumentation. Finally, once the measured tolerances were confirmed, the supply was positively qualified and installation could begin. In all measuring steps, the supporting systems were validated with dummy loads mounted, which represented the operational conditions.

During the second and final set of validation measurements (at CERN facilities), the fiducialisation process took place in parallel. In that procedure, specially developed instruments (often optical or laser targets) were glued on several points of the supporting system components. Afterwards, the dimensional control provided data for the geometrical tolerances of the parts also with the help of the fiducials. The data were processed and we were able to define accurately the planes, vectors and, finally, surfaces on the measured components. By this means, we could represent and control the position of the components with a micrometric precision.

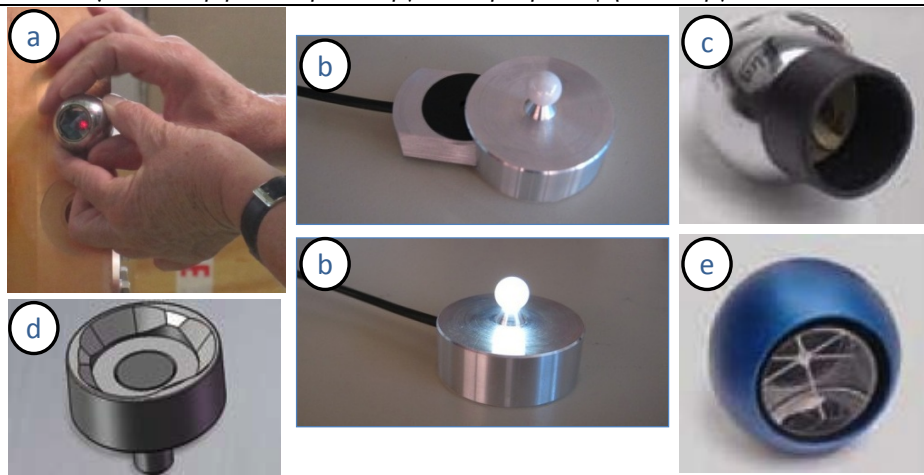


Figure X-17: Different types of fiducials: a) Laser target (fiducial), b) Optical target (fiducial for micro-triangulation), c) Optical prism with its holder (fiducial with its support), d) Holder for spherical prism (fiducial support), e) Spherical prism (fiducial)

After the successful fiducialisation of each part, the precise assembly could start. The assembled subunits of the supporting system are installed on their interfaces to the ground. Consequently the supporting system assembly was completed following the presented methodology (chapter 4). At the end of the installation, the axis of the V-shaped supports was aligned within $10\ \mu\text{m}$ of tolerance with respect to the reference surfaces of the supporting system. Once the described sequence of procedures has been successfully accomplished, the supporting system is ready to house the RF components.

As a following step the RF components, which are also fiducialised, are installed and aligned. The CLIC Module is now assembled. Before starting the operation of the Module and the active alignment (by switching on the actuators), a check for the dynamic behaviour of the installation is conducted. The assembled MB and DB linacs in the LAB are subjected individually to modal measurements. Their eigenfrequencies are identified and monitored.

In the current chapter, all the before mentioned qualification measurements are presented. The aim is to describe the followed qualification strategy to verify all achieved tolerances of the components and the acquired results.

DESCRIPTION OF TESTS

The structural materials of the CLIC supporting system need to satisfy several radiological and mechanical requirements. The radiological properties of the materials may have a significant influence on the safety and environmental impact of the facility. Moreover, potential radio-activation of the materials could result in radiation doses emitted to personnel, which could complicate the handling and maintenance of the CLIC components. In addition, long-term radio-activation could result in products which require special treatment, storage or disposal as radioactive waste at the end of the life of the accelerator facility.

Also, the fatigue of the materials due to the high radiation background could inflict critical issues according to each case. Such issues could be alteration of the material mechanical properties, shortening of the life cycles of the components or even denaturation of the material microstructure.

At last, dynamic loads or residual stresses applied on the materials along with high radiation background could inflict rupture in a macroscopic level. Such events would be catastrophic for the CLIC supporting system and thus it was essential to proceed to combined irradiation and mechanical testing of the materials.

INTRODUCTION TO THE IRRADIATION TESTING

The future CLIC machine is going to operate under severe radiation background (Figure 6-1a) for a long time period. The supporting system is situated in a zone of a high radiation dose (Figure 6-1c), closely beneath the RF components. The radiation background is mainly the results of the function of the RF components i.e. by the particle beam acceleration (AS) and deceleration (PETS). To investigate the behaviour and weathering of the supporting system materials the needed experiments were based on the latest available radiation simulations (CLIC beam losses).

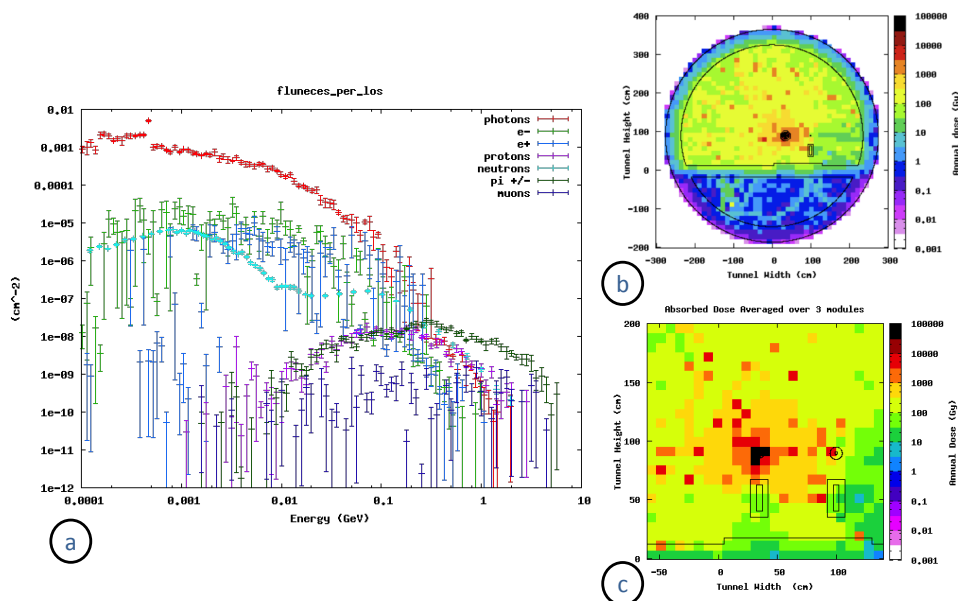


Figure X-18: Screenshots from FLUCA simulation: a) Radiation background in the future CLIC tunnel, b) Distribution of the radiation background in the future CLIC tunnel, c) The detailed distribution of the CLIC radiation background zoomed at the beam area.

Figure 6-1a presents a simulation of the CLIC nominal operation, where photons, electrons, positrons and neutrons are mainly dominant in the low energy range and up to a maximum energy of 1 GeV. The protons, pi-plus, pi-minus and muons are appearing approximately in the medium energy range of 10 MeV with a maximum energy going up to 10 GeV. The radiation background distribution of the CLIC tunnel during its nominal operation is plotted via the coloured code in Figure 6-1b. A special zoom is illustrated in Figure 6-1c, with the energy range of the Two-Beam Module area, where the radiation background is mostly intensive by almost a factor of 10^2 - 10^3 .

INTRODUCTION TO THE MECHANICAL TESTING

The behaviour and corresponding reaction of the materials under external strain-causing factors is controlled via their mechanical properties. The resistance that each material demonstrates towards the imposed loading conditions constitutes the interaction way that pertains the structural behaviour for each component. Therefore, the operational conditions are simulated by the distresses (static or dynamic) of the

testing. The testing analysis and result reproduction in situ provides a characterization of the expected behaviour for each part.

In order to proceed to such a material characterization, as previously described, the strain-stresses curves were experimentally produced. Fundamental sizes of the tested materials are included in these curves such as modulus of elasticity, plastic behaviour, fracture stress, etc.

The testing methodology that was utilized corresponded to brittle material norms, since all tested materials are categorized as ceramics, fine ceramics or composites. The temperature of the testing, matching the operational conditions, was categorized as low temperature:

$$T_{oper} = T_{test} < 10 \times T_{melt}$$

Where the corresponding variables stand for T_{oper} : temperature of operational conditions, T_{test} : temperature of the testing conditions, T_{melt} : temperature of the melting point of the material.

At this point it is worth mentioning that in the brittle fracture of the strength testing we came across with both possibilities of:

- Transgranular brittle fracture,
- Intergranular brittle fracture.
- The reason was that each of the tested materials, likely, produced different cases of fracture, giving us the possibility to compare the results. The micromechanism of the fracture of a material could differ according to the:
 - Testing setup,
 - Loading methodology
 - Size effect¹⁷.

For this reason, the followed experimental methodology was standardized so as to avoid potential incomparable results coming out of the several testing cases.

SUMMARY OF THE STUDY

The current PhD thesis includes the engineering study and fabrication for the supporting system of the CLIC Two-Beam Module. In details, it contains all the necessary information for the design, material and configuration selection, simulation studies, material properties, prototype manufacturing, quality control, experimental validation and result analyses for the Module supporting system.

In *chapter 1*, the European Organization for Nuclear Research (CERN) and the project of the Compact Linear Collider (CLIC) are briefly presented. The aim is to study the overview of the scientific environment, some introductory information and the feasibility issues concerning the CLIC machine as well as its manufacturing and installation. In addition, it is featured that the future particle physics program of CERN, the successor of LHC is planned to proceed via the $e^+ e^-$ collisions.

In *chapter 2*, the Two-Beam Module supporting system is described in detail. Information is provided concerning the technical requirements for the concept of the girder, the V-shaped supports and other supporting features. The alignment and

¹⁷ *Size effect*: The dependence of the measured mechanical properties on the size of the (self-similar) specimens used for the laboratory tests.

positioning systems such as the cradles, the articulation points, the actuators and the alignment sensors are described. The combination of the investigation for the operational condition and the functionality of the parts result in the establishment of their technical specification. Following this way, the supporting system is defined and its different components are technically described.

The *chapter 3* presents the engineering design of the Two-Beam Module supporting system with the corresponding development steps. The weight of the different components is calculated and the boundary conditions from the neighbouring subsystems and the Module specifications are identified. The investigation leads to an intermediate, yet one of the major, goal of the present thesis: the definition of the *baseline* and *alternative* configuration for the supporting system with dedicated material and geometry for each of their components. The extensive study of configurations and the potential improvements on their mechanical performance are considered of prime importance. The simulation studies that follow, confirm the baseline selections and advance the study furthermore, by optimizing several design parameters. The studies on the FEA models conclude to the optimum material and configurations adopted and also provide the alternative solutions for comparison reasons.

In *chapter 4*, the fabrication of the first prototype supporting systems for CLIC with various candidate materials is presented. The different configurations for the supporting systems are defined and divided into manufacturing cases with individual strategies, established for each case. The production is again split into prototypes and series, serving the needs for significant, rapid and efficient progress on the project accordingly. The prototype fabrication is launched, along with the production follow-up and real-scale supporting systems of the CLIC Module are built for the first time. The detailed selection of the numerous industrial procedures that are examined, provided prototypes according to the CLIC CDR specification within the scheduled deadlines. The newly developed supporting systems are realized out of SiC and the innovative Eponent mineral cast material.

In addition, the extended optimization step that is achieved afterwards, finalized with success the engineering design covering all remaining open aspects regarding the operation of the supporting system. The consequent series production is initiated following step-by-step the established baseline fabrication strategy. The results would be the very first supporting systems for the Modules to be installed in CLEX at CERN.

In *chapter 5*, the qualification measurements of the prototype modules are presented. Their experimental measurements and modal tests are discussed and the results agreed with the predefined technical specifications. The dimensional controls, modal measurements and the extended qualification testing proved the validity of both prototype and series productions. At that phase, the reliable baseline design is successfully confirmed. The cost efficiency of the overall production is judged as satisfying. However, optimization on this parameter could be considered for the future, taking into account a possible industrialization of the production.

In *chapter 6*, the extended study of the materials used for the prototype fabrications are presented under the mechanical testing (uniaxial compression testing, three-point bending, etc.) of reference and irradiated specimens. The achieved neutron irradiations approached in a satisfying percentage the simulated radiation background

of the future CLIC operation. The results from the neutron activation analysis are also extracted. An unprecedented testing methodology is developed for the selection of the structural materials for the CLIC supporting system. The candidate materials should meet all the mechanical properties essential for the successful operation of the Module. In addition, material samples should pass through the novel thorough experimental procedure:

- Irradiation under a high energy and fluence neutron beam,
- Mechanical testing before and after the irradiation,
- Quality and microstructure controls before and after the irradiation and the mechanical tests.

The last part of the study is the analysis of the data coming from the post-production experimental testing. The individual material radio-activation properties are studied. Following step are the irradiation sessions that fatigued in micrometric scale the materials of the supporting systems. Finally the mechanical testing that followed, confirmed that the chosen materials for the prototypes and series could withstand both radiation and operation time with a very satisfying safety factor. Moreover, the experimental characterization of the materials by these means proved that the preliminary simulations, basis of the study, are successful and up-to-date since it is instated on a carefully planned engineering approach.

The summary and results are presented in the section 7.2 followed by the relevant conclusions. The parameters and progress of the study is presented in several occasions throughout the last 3 years in internal meetings, international workshops and conferences bringing to the public the on-going results. The good agreement between simulation, prototyping, validation and experimental results are published and commented. In the preceding pages a full presentation of all engineering aspects of the study for the CLIC Two-Beam Module supporting system is thoroughly discussed.

Some additional testing program can be considered in the future, to update the supporting system configuration according to potential updates on the design specifications of the future CLIC machine.

CONCLUSIONS AND OUTLOOK

The overall conclusions of the thesis can be summarized as:

- Advanced supporting systems are needed for supporting, stabilizing, aligning and assist on the repositioning of particle accelerators. For the CLIC Two-Beam Module a study of the overall supporting system took place. The aim of the study is the definition of the corresponding baseline and alternatives for the material and the configuration. A technical specification is issued for the CLIC Two-Beam Module supporting system taking into account the beam physics requirements. The fabrication of prototype Module supporting system is investigated according to the available technologies. FEM simulations and analytical calculations are carried out to identify potential feasibility issues and to size the supporting system components. The first prototype girders were delivered at CERN in November 2010 for extensive testing.

- The aim of this study is the definition and fabrication of the prototype CLIC supporting system with integrated alignment and positioning equipment. Such study proved to be very challenging and the test results, also published in the current PhD thesis, are of prime importance for further development and optimization on the CLIC Two-Beam Modules.
- The prototype supporting systems for the Two-Beam Modules have been specially developed and validated. The delivered prototypes met the strict requirements and dedicated parameters, as they are included in the corresponding technical specifications. The manufacturing strategy took successfully into consideration the micrometric limitations and precise assembly needs. By this way, the mechanical behaviour of the supporting systems reassured its functionality to be coherent with the CLIC specifications.
- The irradiation measurements showed that the measured activation properties of the structural materials are in good agreement with the simulated and expected values. Such a milestone, lead to the consequent possibility for irradiation sessions, at higher total flux. Though, still the planning of such testing is under consideration.
- In parallel, data analysis of mechanical tests of irradiated and reference specimens are achieved. The very first results are indeed very positive by revealing that no significant changes occur to the mechanical properties of the fatigued materials.
- The qualification for the produced supporting systems continues following the lessons learned. Any potential optimization attempt will be focused on the cost reduction and production industrialization.

For the next generation of the CERN accelerator complex, a synoptic statement presents the situation:

Although today the LHC, the CERN flagship for the particle physics experiments, continues to collect data of exciting new physics, the lepton linear collider of tomorrow is being rehearsed. Through tough study and detailed engineering specification, the CLIC machine is being prepared for manufacturing, even during the writing of these lines.

This study is very challenging and the test results are of prime importance towards the realization of a post-LHC era collider.

The opportunity to accomplish the study of the current PhD thesis with the freedom of a new undeveloped yet project is being both very exciting and challenging. Indeed, the fruitful results delivered the first supporting systems for the CLIC Modules, operating nowadays with excellent performance.

There are also some scientific opinions mentioning that the required technology to build CLIC is not yet available and will not be available for CERN in the near future. As always, the answer to words is always given by acts and hard work. For all the team of the CLIC Module Working Group and the scientists and engineers that epicure the construction of the next generation linear collider, CLIC is an innovative and precise instrument of research and observation: For sure, CLIC is more than meets the eye...

Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων και σχεδιοκατασκευή της βασικής μονάδας του Συμπαγούς Γραμμικού Επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών του CLIC του CERN με έμφαση στις συσκευές μέτρησης και ελέγχου των δεσμών σε περιβάλλον ραδιενεργού υποβάθρου υψηλών ενεργειών



Figure X-19: CLIC Two-Beam Module Type-0 (LAB configuration)





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΧΕΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ
ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ
ΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΩΝ ΔΕΣΜΩΝ CLIC ΤΟΥ CERN
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΔΕΣΜΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΥΨΗΛΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ Ε. ΓΑΖΗ

Διπλωματούχου Μηχανολόγου και Αεροναυπηγού Μηχανικού
Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Πατρών

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ιούλιος 2015

