



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών & Αυτομάτου Ελέγχου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**Σχεδιασμός και Ενσωμάτωση Μηχανισμών
Μεταφοράς και Ανύψωσης Εξοπλισμού Ψύξης
στα πλαίσια της αναβάθμισης του Πειράματος
ATLAS στο CERN**

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:

Ελευθέριος Αντωνόπουλος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Βασίλειος Σπιτάς, Καθηγητής ΕΜΠ



National Technical University of Athens
School of Mechanical Engineering
Mechanical Design & Automatic Control Sector

DIPLOMA THESIS:

**Design and Integration of Moving and Lifting
Machinery for Cooling Equipment in the
framework of the CERN ATLAS
Experiment upgrade**

ATHENS, SEPTEMBER 2023

AUTHOR:

Eleftherios Antonopoulos

SUPERVISOR:

Vasileios Spitas, NTUA Professor

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνω τις σπουδές μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ευχαριστώ όλους τους διδάσκοντες της σχολής για τις γνώσεις που μου πρόσφεραν αυτά τα πέντε χρόνια και, ιδιαίτερα, τον Καθηγητή Βασίλειο Σπιτά για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του.

Η εργασία αυτή δεν θα ήταν εφικτή αν δεν είχα πραγματοποιήσει μία ετήσια μαθητεία στο CERN στα πλαίσια του προγράμματος [“Technical Student Programme”](#). Ευχαριστώ, λοιπόν, τον προϊστάμενό μου, Raphael, που με εμπιστεύτηκε για την εκπόνηση ενός τόσο ενδιαφέροντος έργου που θα συμβάλει στην αναβάθμιση του πειράματος ATLAS. Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει και σε όλους τους συναδέλφους μου, και κυρίως στον Jamie, για την διαρκή συνδρομή και ανατροφοδότηση που μου πρόσφεραν κατά την διάρκεια της μαθητείας μου.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου, Εύα και Στέφανο, που ήταν δίπλα μου από την αρχή του έργου αυτού και με ενθάρρυναν με κάθε τρόπο.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντωνόπουλος Ελευθέριος

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	8
Περίληψη	10
Abstract.....	11
1 Εισαγωγή	12
1.1 Το CERN	12
1.2 Ο ανιχνευτής ATLAS.....	14
1.3 Αναβάθμιση εσωτερικού ανιχνευτή και ανάγκη ψύξης με CO ₂	15
1.4 Οριοθέτηση χώρου εργασίας: USA15 Cooling & Ventilation room.....	17
1.5 Διάρθρωση της εργασίας	19
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση και πρακτικές στην βιομηχανία	20
2.1 Σχετικά με μεθόδους ολίσθησης ή κύλισης βαρέων αντικειμένων	20
2.1.1 Ολίσθηση βαρέων αντικειμένων.....	20
2.1.2 Κύλιση βαρέων αντικειμένων.....	23
2.2 Γερανοί και ανύψωση φορτίων υπό περιορισμό χώρου	24
2.2.1 Γενικά περί γερανών.....	24
2.2.2 Γερανογέφυρες διπλού φορέα.....	25
2.2.3 Κινητές γερανογέφυρες τύπου διπλού πυλώνα.....	26
2.2.4 Λύσεις σε προβλήματα περιορισμένου χώρου	27
2.3 Σχετικά με τη χρήση ψευδοδαπέδων	28
2.3.1 Γενικά περί ψευδοδαπέδων	28
2.3.2 Εφαρμογές στη βιομηχανία.....	29
3 Ενοιολογικός σχεδιασμός μηχανισμού μεταφοράς συσσωρευτών	32
3.1 Εναλλακτικές λύσεις	32
3.2 Λύσεις που προκρίθηκαν (shortlisted solutions)	37
3.3 Πειραματική διαδικασία για τελική επιλογή λύσης.....	38
3.3.1 Προετοιμασία πειράματος	38
3.3.2 Εξαγωγή πειράματος	41
3.3.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων για επιλογή τελικής λύσης.....	44
4 Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων μηχανισμού μεταφοράς συσσωρευτών	45
4.1 Ενσωμάτωση διεπαφής PTFE στο πλαίσιο του συσσωρευτή.....	45
4.2 Μεταλλική κατασκευή ολίσθησης και στήριξης συσσωρευτών	46
4.2.1 Γενική διάταξη	46
4.2.2 Υλικό και απαιτήσεις αντοχής.....	47
4.2.3 Προστασία κατασκευής.....	47
4.2.4 Λειτουργικές και διαστασιολογικές απαιτήσεις.....	47
4.3 Διεπαφές έλξης συσσωρευτή	53

5	Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων κινητού γερανού	54
5.1	Αδυναμία εξυπηρέτησης εφεδρικής μονάδας από υπερυψωμένο γερανό	54
5.2	Η εφεδρική μονάδα ψύξης.....	56
5.3	Διαστασιολογικές απαιτήσεις για την ενσωμάτωση του κινητού γερανού στον περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο	57
6	Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων υπερυψωμένου γερανού	62
6.1	Πρόταση για ενσωμάτωση υπερυψωμένου γερανού.....	62
6.2	Οι μονάδες ψύξης 2PACL – 2H και 1H.....	62
6.3	Διαστασιολογικές απαιτήσεις για την ενσωμάτωση του υπερυψωμένου γερανού στον περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο	63
7	Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων για το νέο ψευδοδάπεδο	66
7.1	Ανάγκη τροποποίησης τωρινού ψευδοδαπέδου	66
7.2	Γενική διάταξη νέου ψευδοδαπέδου	67
7.3	Υλικό και απαιτήσεις αντοχής	68
7.4	Προστασία κατασκευής.....	69
7.5	Λειτουργικές και διαστασιολογικές απαιτήσεις	70
	7.5.1 Δοκοί σε ύψος 870 mm από το έδαφος του δωματίου	70
	7.5.2 Πόδια στήριξης	70
	7.5.3 Συνδέσεις.....	71
	7.5.4 Λεπτομέρειες μεταλλικών καλυμμάτων.....	73
	7.5.5 Δοκοί οδήγησης κινητού γερανού	74
8	Βοηθητικοί μηχανισμοί μεταφοράς και ανύψωσης	75
8.1	Διαδικασία εγκατάστασης των σιδηροτροχιών του υπερυψωμένου γερανού	76
	8.1.1 Ηλεκτρικό στάκερ: Διαδρομή εντός δωματίου ψύξης και εξαερισμού	76
	8.1.2 Πειραματική διαδικασία.....	78
8.2	Διαδικασία εγκατάστασης του πρώτου συσσωρευτή.....	80
	8.2.1 Κινητός τηλεσκοπικός γερανός: Διαδρομή στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού	80
	8.2.2 Πειραματική διαδικασία.....	81
	8.2.3 Κάλυμμα της μονάδας ψύξης για την διέλευση του τηλεσκοπικού γερανού	82
9	Κατάστρωση εκθέσεων τεχνικών προδιαγραφών για εξεύρεση προσφορών από κατασκευαστές	83
10	Συμπεράσματα και επόμενα βήματα	84
	Κατάλογος αναφορών	86
	Κατάλογος βιβλιογραφίας	87
	Κατάλογος εικόνων	88
	Κατάλογος πινάκων	93
	Συνομεύσεις – αρτικόλεξα	94
	Παραρτήματα & Συνοδευτικά αρχεία	95

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό και την ενσωμάτωση μιας σειράς από μηχανισμούς μεταφοράς και ανύψωσης του νέου εξοπλισμού ψύξης που πρόκειται να εγκατασταθεί στα πλαίσια της αναβάθμισης του πειράματος ATLAS στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Πυρηνικής Έρευνας (CERN) της Ελβετίας. Οι μηχανισμοί που αναλύονται αντικατοπτρίζουν την εργασία που εκτέλεσε ο συγγραφέας στα πλαίσια της ετήσιας μαθητείας – πρακτικής του στον οργανισμό ως φοιτητής της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Συγκεκριμένα, δίνεται έμφαση στον εννοιολογικό σχεδιασμό τεσσάρων συστημάτων και η ενσωμάτωση τους στους χώρους του πειράματος ATLAS. Τα συστήματα αυτά δρουν υποστηρικτικά στο νέο σύστημα ψύξης του εσωτερικού ανιχνευτή του πειράματος ATLAS που αποτελείται από έξι συσσωρευτές και επτά μονάδες ψύξης. Τα τέσσερα συστήματα αυτά είναι: ένας μηχανισμός ολίσθησης των συσσωρευτών, ένας κινητός γερανός για την συναρμολόγηση και την συντήρηση της μίας από τις επτά μονάδες ψύξης, ένας υπερυψωμένος γερανός για την συναρμολόγηση και την συντήρηση των έξι από τις επτά μονάδες ψύξης και μια μεταλλική κατασκευή ψευδοδαπέδου που εκτείνεται γύρω από αυτούς τους συσσωρευτές και τις μονάδες ψύξης.

Σε στενή συνεργασία με τους σχεδιαστές του νέου συστήματος ψύξης και άλλα αρμόδια τμήματα που αναφέρονται στις αντίστοιχες παραγράφους, ο συγγραφέας σχεδίασε – σε εννοιολογικό τουλάχιστον επίπεδο – τις γενικές διατάξεις των νέων αυτών συστημάτων κάνοντας χρήση λογισμικού σχεδιασμού βοηθούμενο από υπολογιστή (CAD). Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού αυτού δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ενσωμάτωση των μηχανισμών στο περιβάλλον όπου θα εγκατασταθούν καθώς και στον καθορισμό των σχεδιαστικών/λειτουργικών απαιτήσεων τους. Η αντοχή των μηχανισμών αυτών ελέγχθηκε όπου κρίθηκε απαραίτητο κάνοντας χρήση είτε αναλυτικών τύπων είτε λογισμικού ανάλυσης τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FEM). Σε περιπτώσεις αμφιβολίας ή αδυναμίας επιλογής μεταξύ εναλλακτικών λύσεων, έγινε διεξαγωγή πειραμάτων τα οποία αναλύονται στην έκταση της εργασίας.

Όλα τα παραπάνω έχουν συγκεντρωθεί στο κύριο τμήμα της παρούσας εργασίας ή έχουν επισυναφθεί με τη μορφή παραρτημάτων. Για όλους τους μηχανισμούς καταστρώθηκαν εκθέσεις τεχνικών προδιαγραφών που μεταβιβάστηκαν στα αρμόδια τμήματα για τον τελικό σχεδιασμό ή/και την εξεύρεση προσφορών από εξωτερικούς κατασκευαστές. Η εγκατάσταση τους θα γίνει σε μία σειρά «περιόδων διακοπής λειτουργίας» του πειράματος εντός των επόμενων χρόνων όπως εξηγείται στην τελευταία ενότητα της παρούσας εργασίας. Σε συνδυασμό με τις ευρύτερες εργασίες αναβάθμισης τόσο του πειράματος ATLAS όσο και του συνόλου των εγκαταστάσεων του CERN, η επιστημονική κοινότητα της σωματιδιακής φυσικής επιδιώκει να δώσει απαντήσεις σε μερικά από τα πιο θεμελιώδη ερωτήματα σχετικά με την ύλη και το σύμπαν εν γένει.

Abstract

This diploma thesis concerns the design and integration of a series of transport and lifting machinery for the new cooling equipment that will be installed in the framework of the ATLAS Experiment upgrade at the European Organization for Nuclear Research (CERN) in Switzerland. The mechanisms presented reflect the work carried out by the author as part of his one-year studentship – internship in the organization as a student at the School of Mechanical Engineering at the National Technical University of Athens.

Specifically, emphasis is placed on the conceptual design of four mechanical systems and on their integration in the ATLAS Experiment environment. These systems act alongside the new cooling system of the inner detector of the ATLAS Experiment, which consists of six accumulators and seven cooling plants. These four systems are: an accumulator sliding mechanism, a mobile crane for the assembly and maintenance of one of the seven cooling plants, an overhead crane for the assembly and maintenance of six of the seven cooling plants and a metallic false floor structure which extends around these accumulators and cooling plants.

Alongside the designers of the new cooling system and colleagues from other relevant departments mentioned in the corresponding chapters, the author designed – at least at a conceptual level – the general layouts of this new machinery using computer aided design (CAD) software. During the design, emphasis was placed on the integration of the mechanisms in the environment where they will be installed as well as on the definition of their design/functional requirements. The structural integrity of these mechanisms was verified, where necessary, using either analytical formulas or finite element method (FEM) analysis software. In cases of doubt or inability to choose between alternative solutions, experiments were carried out and they are documented throughout this thesis.

The above have been gathered in the main part of this thesis or have been attached in the form of appendices. Technical specification reports were created for all four mechanisms and passed on to the relevant departments for their final detailed design and/or solicitation of bids from external manufacturers. Their installation will take place during a series of “technical shutdown periods” of the experiment over the next few years as explained in the last chapter of this paper. In conjunction with the wider work of upgrading other parts of the ATLAS experiment and the CERN facilities in general, particle physics scientists seek to answer some of the most fundamental questions about matter and the universe altogether.

1 Εισαγωγή

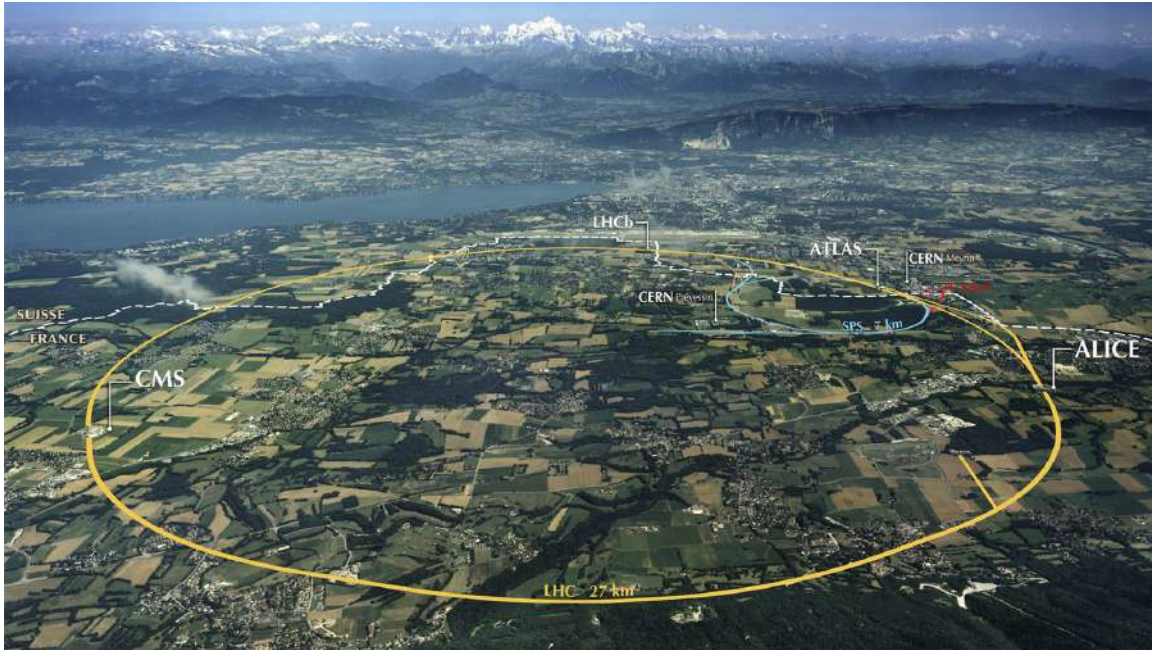
1.1 Το CERN

Το CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire [γαλλικά]) είναι το μεγαλύτερο σε έκταση πειραματικό κέντρο πυρηνικών ερευνών στον κόσμο. Βρίσκεται δυτικά της Γενεύης, στα σύνορα της Ελβετίας και της Γαλλίας, με τις εγκαταστάσεις του να εκτείνονται και στα δύο κράτη. Ιδρύθηκε το 1954 από 12 ευρωπαϊκές χώρες – μεταξύ τους και η Ελλάδα – ενώ σήμερα (2023) αριθμεί 23 κράτη-μέλη. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στατιστικά [1], το μόνιμο προσωπικό του CERN ξεπερνά τα 2600 άτομα ενώ ταυτόχρονα συνεργάζεται με πάνω από 13000 επιστήμονες (στην συντριπτική τους πλειοψηφία φυσικοί και μηχανικοί) από πανεπιστημιακά ιδρύματα 70 και πλέον χωρών.

Στα 69 χρόνια λειτουργίας του το CERN έχει υπάρξει ο χώρος από τον οποίο έχει αναδυθεί μια σειρά επιστημονικών επιτευγμάτων με εφαρμογές σε πλήθος τεχνολογικών χώρων, μεταξύ των οποίων η (βιο)ιατρική και η επιστήμη των υπολογιστών (computer science). Παρ' όλα αυτά, το βασικό πεδίο της μελέτης που διεξάγεται στο CERN είναι η πυρηνική φυσική, και δη η σωματιδιακή φυσική, δηλαδή η επιστήμη που ασχολείται με τα στοιχειώδη σωματίδια – που σύμφωνα με την επιστημονική κοινότητα αποτελούν τη δομική λίθο που απαρτίζει την ύλη. Μελετώντας τη συμπεριφορά των σωματιδίων αυτών, οι επιστήμονες του CERN και γενικότερα ο κλάδος της «Φυσικής Υψηλών Ενεργειών» επιδιώκει να δώσει απαντήσεις σε μερικά από τα πιο θεμελιώδη ερωτήματα του σύμπαντος, όπως «Τι είναι η ύλη και από που προέρχεται;» και «Πώς συγκρατείται αυτή η ύλη ώστε να σχηματιστεί ο κόσμος που μας περιβάλλει και η ίδια την ανθρώπινη ζωή;».

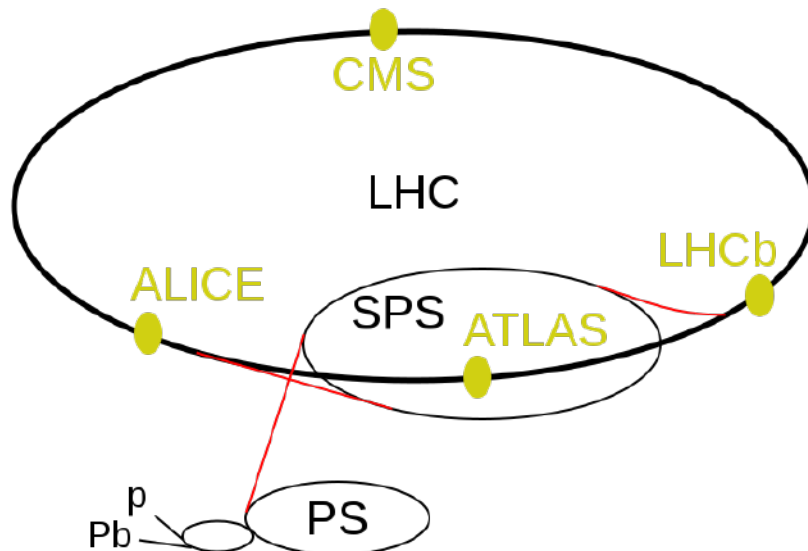
Οι διάφορες θεωρίες περί σωματιδιακής φυσικής που έχουν αναπτυχθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες δεν ανήκουν στο πεδίο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας – όμως κρίθηκε απαραίτητη η σύντομη αυτή εισαγωγή, ώστε να γίνει κατανοητή η σημασία της έρευνας που διεξάγεται στο CERN. Ο αναγνώστης παραπέμπεται στην βιβλιογραφία που βρίσκεται στις τελευταίες σελίδες της παρούσας διπλωματικής σε περίπτωση που αναζητά περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το θεωρητικό υπόβαθρο της σωματιδιακής φυσικής.

Επί του πρακτέου, για την απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων η Φυσική Υψηλών Ενεργειών διαθέτει στη φαρέτρα της πλήθος εξοπλισμού/μηχανημάτων, των οποίων ο σχεδιασμός, η συναρμολόγηση, η συντήρηση κ.α. δεν θα ήταν δυνατός χωρίς την συμβολή των μηχανικών που εργάζονται στο CERN ή/και στα συνεργαζόμενα επιστημονικά ιδρύματα. Στο ανώτερο επίπεδο του εξοπλισμού αυτού βρίσκεται ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων ή, συντομότερα, LHC (Large Hadron Collider). Πρόκειται για μία υπόγεια (-100m) μηχανική διάταξη σε σχήμα δακτυλίου συνολικού μήκους 27 χιλιομέτρων που εκτείνεται τόσο στην Ελβετία όσο και στην Γαλλία (Εικόνα 1). Όπως δηλώνει και το όνομα του, ο επιταχυντής αυτός χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση των στοιχειωδών σωματιδίων που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Η επιτάχυνση τους – που φτάνει οριακά την ταχύτητα του φωτός – επιτυγχάνεται με τη χρήση ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων: Τα ηλεκτρικά πεδία επιταχύνουν τη δέσμη σωματιδίων ενώ τα μαγνητικά πεδία στρίβουν (με διπολικούς ηλεκτρομαγνήτες) και εστιάζουν τη δέσμη (με τετραπολικούς μαγνήτες). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο LHC είναι ο τελευταίος κατά σειρά επιταχυντής που χρησιμοποιείται, αφού πρώτα τα στοιχειώδη σωματίδια επιταχύνονται από μικρότερους σε μήκος επιταχυντές που είναι συνδεδεμένοι με τον LHC [2].



Εικόνα 1: Πανοραμική άποψη του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) του CERN. Πηγή: <https://www.symmetrymagazine.org/article/march-2015/the-lhc-does-a-dry-run>

Στο εσωτερικό του LHC υπάρχουν δύο σωλήνες κενού όπου οι δέσμες σωματιδίων ταξιδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις έως ότου συγκρουστούν σε κάποιο από τα τέσσερα σημεία διασταύρωσης κατά μήκος του δακτυλίου. Στα σημεία αυτά είναι τοποθετημένοι και οι τέσσερις ανιχνευτές – πειράματα που διαθέτει το CERN: Το πείραμα ATLAS, το πείραμα ALICE, το πείραμα CMS και το πείραμα LHCb (Εικόνα 2).

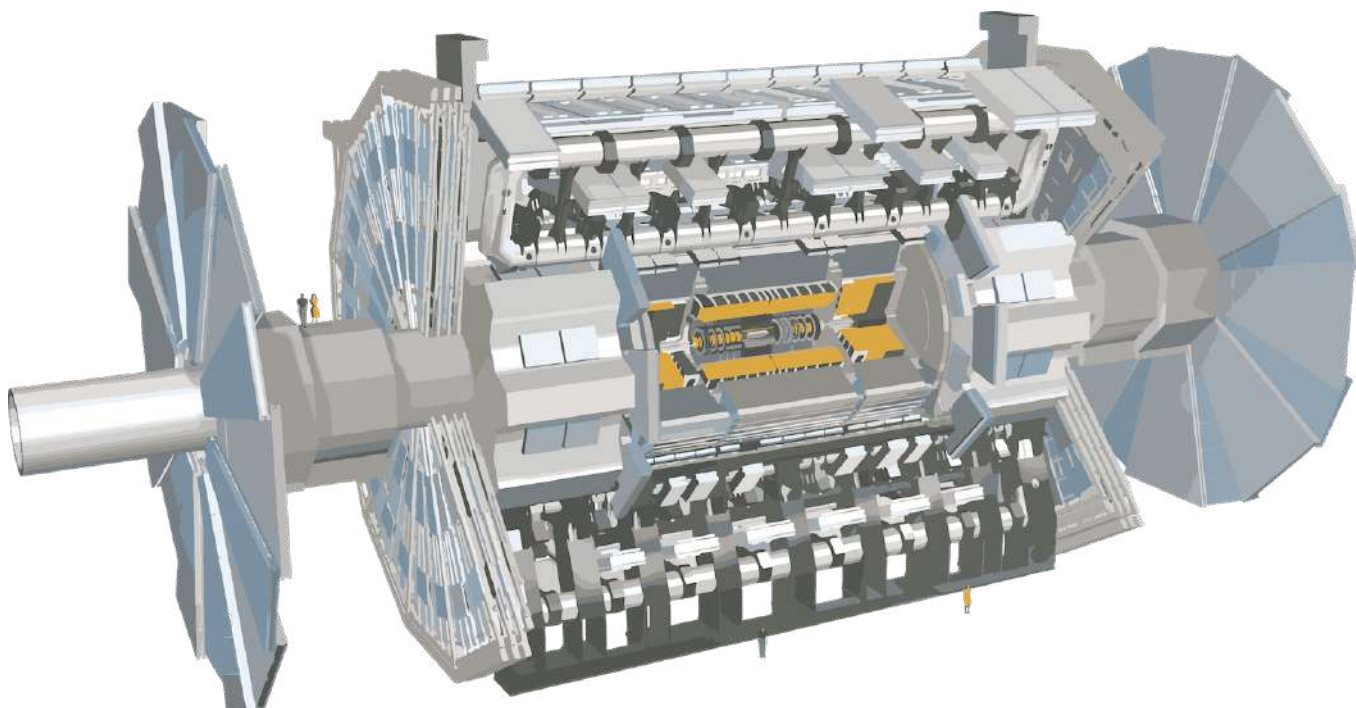


Εικόνα 2: Το σύμπλεγμα επιταχυντών και ανιχνευτών του CERN. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider

1.2 Ο ανιχνευτής ATLAS

Γενικά, ο ρόλος των ανιχνευτών είναι η καταγραφή και η ανάλυση της σύγκρουσης των δύο, αντίθετα κινούμενων, δεσμών σωματιδίων. Η συνολική ενέργεια των συγκρουόμενων σωματιδίων στον LHC φτάνει τα 14 TeV και οι συνθήκες σύγκρουσης αναπαράγουν παρόμοιες καταστάσεις με αυτές που ακολούθησαν δευτερόλεπτα μετά την Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang).

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση της γενικής δομής του ATLAS, ενός από τους ανιχνευτές που υπάρχουν στο CERN. Πρόκειται για ένα περίπλοκο μηχανολογικό κατασκεύασμα κυλινδρικού σχήματος (Εικόνα 3) με διάμετρο 25 μέτρα, μήκος 40 μέτρα και βάρος περί τους 7000 τόνους, βρισκόμενο σε βάθος 100 μέτρων από το έδαφος [3].

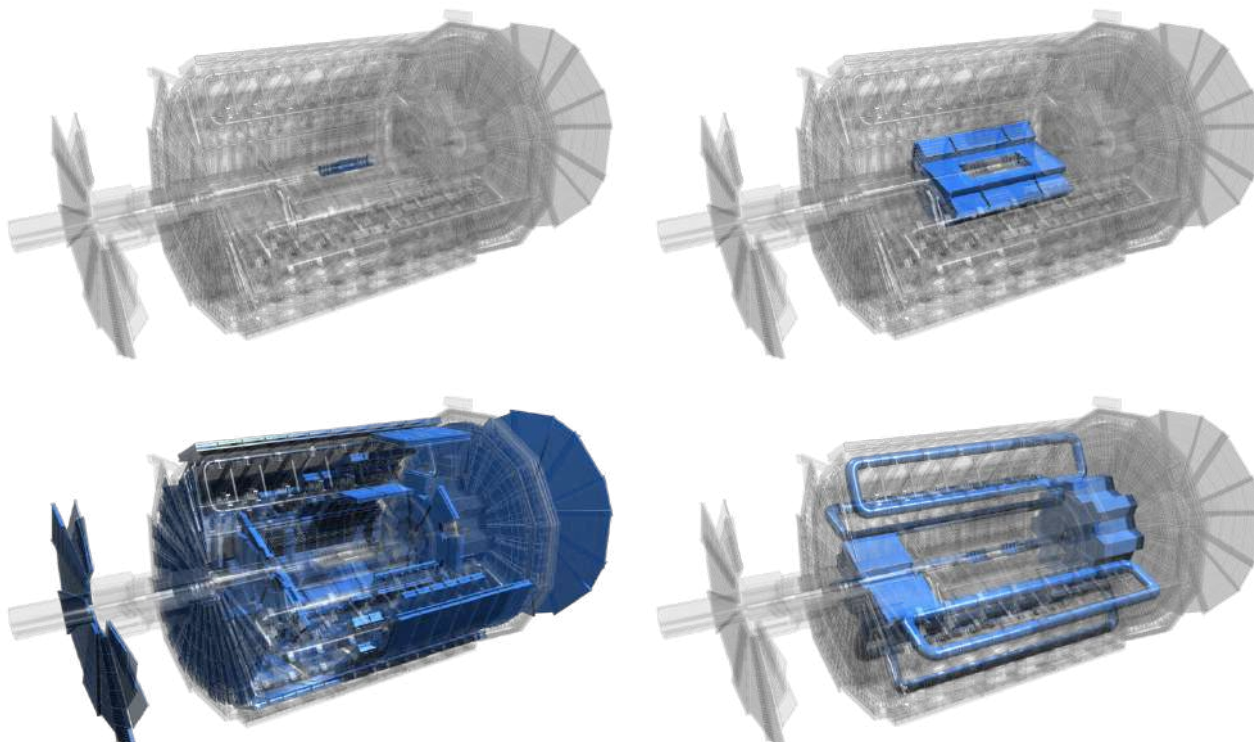


Εικόνα 3: Τρισδιάστατο μοντέλο ολόκληρου ανιχνευτή ATLAS. Πηγή: <https://cds.cern.ch/record/1095924>

Αποτελείται από τα εξής 4 επιμέρους τμήματα που φαίνονται και στην Εικόνα 4:

1. **Εσωτερικός ανιχνευτής (Inner detector):** Βρίσκεται στο κέντρο του ανιχνευτή και απαρτίζεται από 3 υποσυστήματα ανίχνευσης που – χάρη στο μαγνητικό πεδίο 2T που επικρατεί – καμπυλώνουν τις τροχιές των συγκρουόμενων σωματιδίων υπολογίζοντας την ορμή και το φορτίο τους [4].
2. **Θερμιδόμετρα (Calorimeters):** Σε αντίθεση με τον εσωτερικό ανιχνευτή, τα θερμιδόμετρα αποτελούνται από στρώματα ενός «απορροφητικού» και υψηλής πυκνότητας υλικού που σταματά τα συγκρουόμενα σωματίδια. Η καταγραφόμενη τροχιά των σωματιδίων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φέρουσας ενέργειάς τους [5].
3. **Φασματόμετρο μιονίων (Muon spectrometer):** Τα μόνια είναι ένα είδος σωματιδίων τα οποία έχουν την ικανότητα να διαπερνούν τα θερμιδόμετρα χωρίς να χάνουν την ενέργειά τους. Συνεπώς, για την μέτρηση της ορμής τους χρησιμοποιείται ειδική διάταξη στα άκρα του ATLAS που ονομάζεται φασματόμετρο μιονίων [6].

4. **Σύστημα μαγνητών (Magnet system):** Πρόκειται για υπεραγωγίμους τοροειδείς και σωληνοειδείς μαγνήτες που κάμπτουν την τροχιά των σωματιδίων. Ψύχονται στους 4.5K (-268°C) προκειμένου να παρέχουν τα απαραίτητα ισχυρά μαγνητικά πεδία [7].



Εικόνα 4: Τα τέσσερα βασικά υποσυστήματα του ανιχνευτή ATLAS: Εσωτερικός ανιχνευτής, θερμιδόμετρα, φασματόμετρο μιονίων και σύστημα μαγνητών (από πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά). Πηγή: <https://cds.cern.ch/record/2777214>

1.3 Αναβάθμιση εσωτερικού ανιχνευτή και ανάγκη ψύξης με CO₂

Η επόμενη μεγάλη αναβάθμιση του LHC ονομάζεται «Φάση Υψηλής Φωτεινότητας του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων» (στα αγγλικά “High-luminosity phase of the LHC” ή “HL-LHC” χάριν συντομίας). Γενικά, η «φωτεινότητα» L ορίζεται ως ο λόγος του ρυθμού γεγονότων N που καταγράφονται από τον ανιχνευτή προς την ενεργό διατομή σ :

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

Με την ολοκλήρωση των εργασιών αναβάθμισης, που σήμερα [2023] χρονολογείται για το 2029, ο LHC θα μπορεί επιτύχει μέγιστη στιγμιαία φωτεινότητα ίση με $7.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, η οποία αντιστοιχεί σε μία τάξη μεγέθους περισσότερα δεδομένα από ότι σήμερα. Το νούμερο αυτό μεταφράζεται σε περίπου 200 ανελαστικές συγκρούσεις πρωτονίου-πρωτονίου ανά διασταύρωση δέσμης [8]. Στα πλαίσια της αναβάθμισης αυτής έχει προβλεφθεί η αλλαγή του τωρινού εσωτερικού ανιχνευτή του πειράματος ATLAS με έναν νέο ανιχνευτή φτιαγμένο εξ ολοκλήρου από πυρίτιο (στα αγγλικά “all-silicon Inner Tracker” ή “ITk” για συντομία).

Η τεχνολογία του ITk είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα αλλά δεν ανήκει στα πλαίσια μελέτης της διπλωματικής εργασίας αυτής. Παρ’ όλα αυτά, ο αναγνώστης παραπέμπεται στην βιβλιογραφία που

δίνεται στο τέλος της εργασίας σε περίπτωση που επιθυμεί να μάθει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον νέο αυτόν εσωτερικό ανιχνευτή. Αυτό όμως που είναι εξαιρετικά σημαντικό για την παρούσα εργασία είναι ότι το τεράστιο πλήθος ηλεκτρονικών του νέου ανιχνευτή αντιστοιχεί σε θερμικό φορτίο 249 kW και άρα η χρήση ενός συστήματος ψύξης είναι απαραίτητη. Για λόγους σύγκρισης, αναφέρεται ότι ο τωρινός εσωτερικός ανιχνευτής χρησιμοποιεί σύστημα ψύξης με οκταφθοροπροπάνιο (C_3F_8) ισχύος 60 kW [9].

Για τον ITk επιλέχθηκε η ψύξη με διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Συγκεκριμένα, η επιλογή αυτή επιτρέπει σημαντική εξοικονόμηση χώρου στο εσωτερικό του ανιχνευτή διότι το CO_2 μπορεί να ρέει αποδοτικά σε σωλήνες μικρότερης διαμέτρου από τα συμβατικά ψυκτικά μέσα [10].

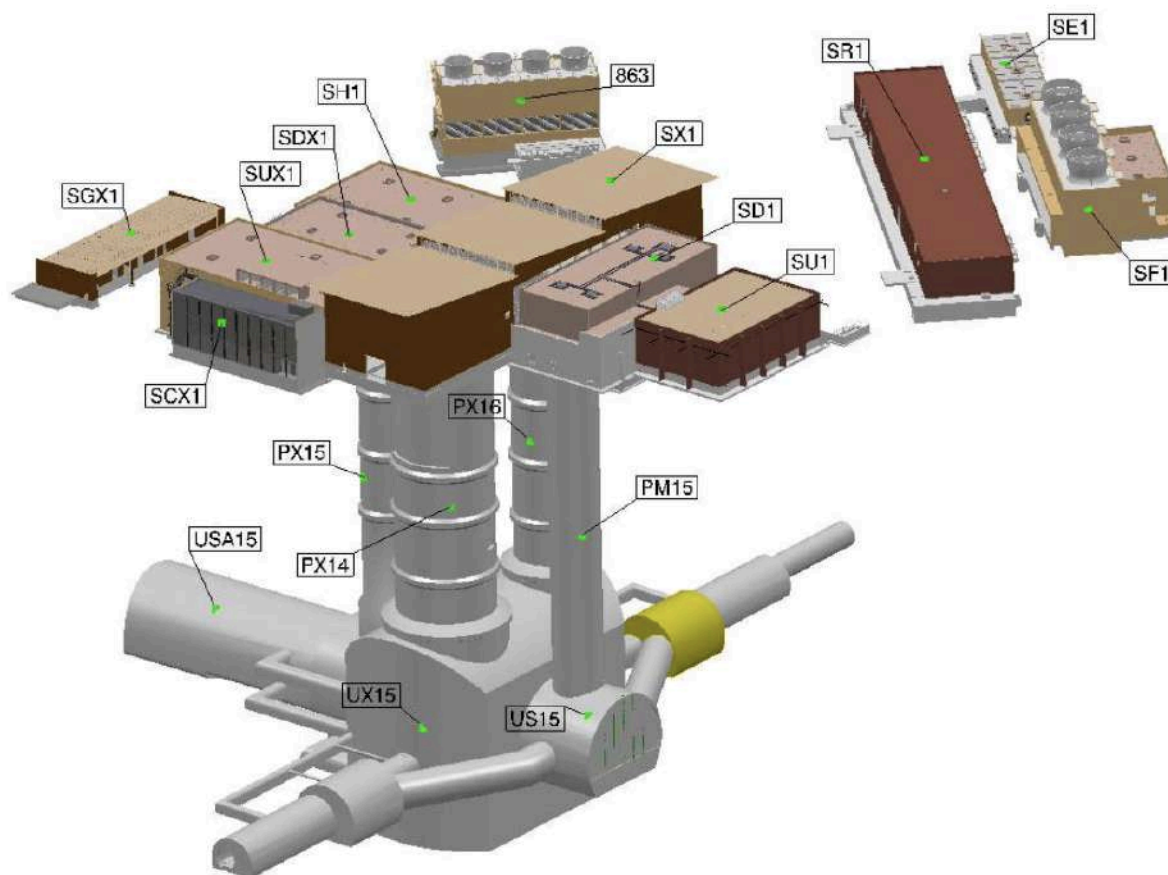
Το σύστημα ψύξης είναι βασισμένο στην έννοια του “Ελεγχόμενου βρόχου με διφασικό συσσωρευτή» (στα αγγλικά “2-Phase Accumulator Controller Loop ή, συντομότερα, “2PACL”). Πρόκειται για μια εξαιρετικά διαδεδομένη λογική ψύξης στο χώρο της σωματιδιακής φυσικής, αφού όλο το ενεργό υλικό (active hardware) του ψυκτικού συστήματος βρίσκεται μακριά από τον ανιχνευτή σε προσβάσιμες περιοχές ενώ το υλικό στον εσωτερικό ανιχνευτή είναι ελάχιστο και αποτελείται κυρίως από τους μικροσωλήνες που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Οι λεπτομέρειες του τρόπου λειτουργίας του συστήματος ψύξης βρόχου 2PACL δεν αποτελούν πεδίο μελέτης της παρούσας εργασίας. Αυτό που θα μας απασχολήσει, όμως, είναι δύο από τα στοιχεία του:

- **Οι συσσωρευτές (accumulators):** Το δοχείο τους περιέχει ένα μείγμα υγρού/αέριου του οποίου η πίεση ελέγχεται με θέρμανση ή ψύξη. Με τον έλεγχο της πίεσης του δοχείου μπορεί να ελεγχθεί με τη σειρά της και η θερμοκρασία του εσωτερικού ανιχνευτή ITk, ακόμα και αν αυτός βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση (κεφ. 1.4).
- **Οι μονάδες ψύξης (cooling plants):** Πρόκειται για πολύπλοκες διατάξεις και κάθε μία από αυτές συνδέεται με έναν συσσωρευτή. Τα σημαντικότερα υποσυστήματα τους είναι οι αντλίες και τα συστήματα οδήγησής τους. Στην έκταση της εργασίας γίνεται αναλυτικότερη επεξήγηση της δομής τους.

1.4 Οριοθέτηση χώρου εργασίας: USA15 Cooling & Ventilation room

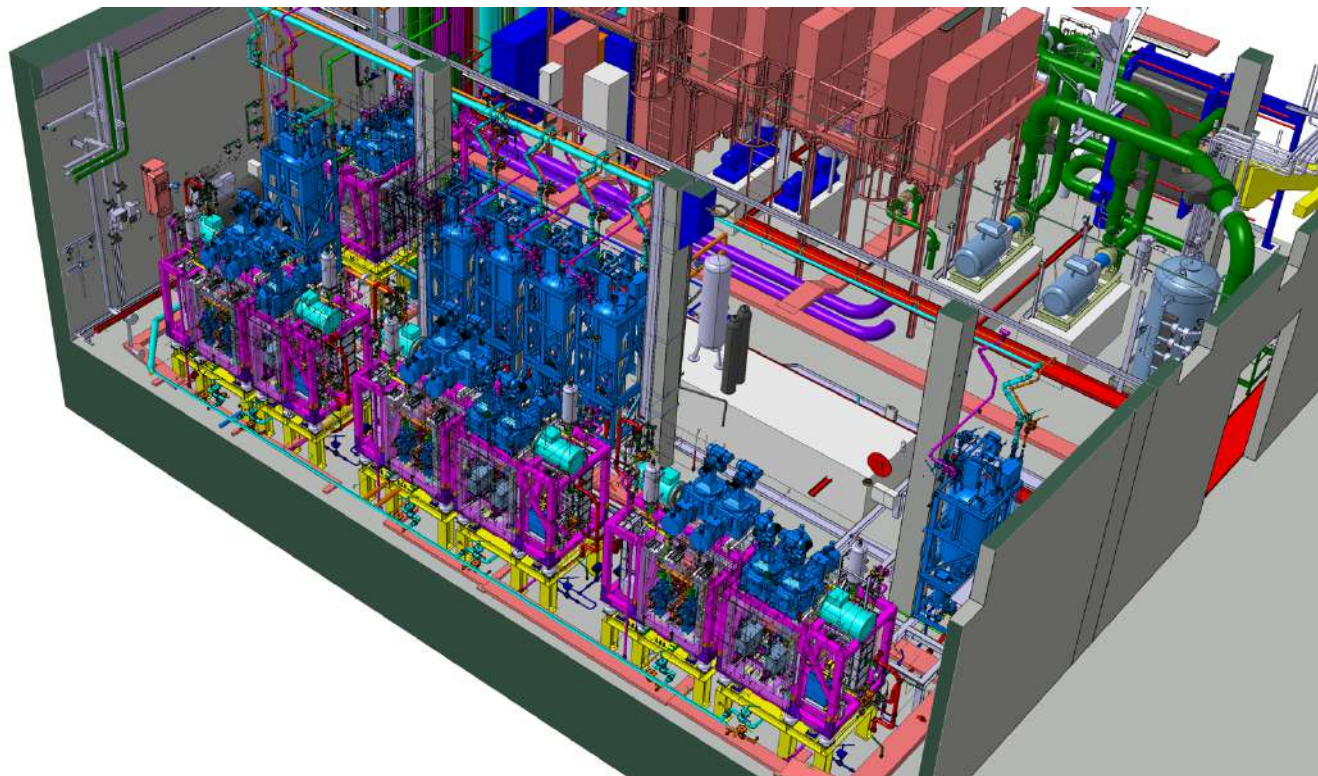
Μέχρι στιγμής έχει γίνει αναφορά μόνο στον ανιχνευτή ATLAS. Στην πραγματικότητα, οι εγκαταστάσεις του πειράματος ATLAS εκτείνονται σε πολλά κτίρια, τόσο στην επιφάνεια της γης όσο και υπογείως στα 100 μέτρα. Ο ανιχνευτής βρίσκεται στο «δωμάτιο» UX15 και όπως φαίνεται στην Εικόνα 5 συνδέεται με το κτίριο SX1 (στην επιφάνεια του εδάφους) μέσω των PX14 και PX16, δύο «πηγαδιών» (shafts) διαμέτρου 18 m και 12.6 m αντίστοιχα. Μέσω αυτών γίνεται και το κατέβασμα των εξαρτημάτων που αποτελούν τον ανιχνευτή ATLAS. Ενδεικτικά αναφέρεται και το κτίριο SCX1 το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια της γης και στεγάζει το κέντρο ελέγχου (control room) του πειράματος.



Εικόνα 5: Σύμπλεγμα κτιριακών εγκαταστάσεων του πειράματος ATLAS στο CERN. Πηγή: <https://cds.cern.ch/record/1129811?ln=en>

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στο «σπήλαιο λειτουργιών» (στα αγγλικά service cavern) που έχει την ονομασία USA15. Πρόκειται για έναν τούνελ που έχει διανοιχθεί ακριβώς δίπλα από το χώρο όπου στεγάζεται ο ανιχνευτής. Έχει δύο ορόφους και περιλαμβάνει πλήθος βοηθητικού εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την λειτουργία του ανιχνευτή. Στο βάθος του 1^{ου} ορόφου βρίσκεται το **δωμάτιο ψύξης και αερισμού** (στα αγγλικά “Cooling and Ventilation Room ή για συντομία CV room) που φαίνεται στην Εικόνα 6. Μεταξύ άλλων, στο δωμάτιο αυτό βρίσκεται σήμερα [2023] ο τωρινός εξοπλισμός ψύξης του εσωτερικού ανιχνευτή του πειράματος ATLAS. Το σύστημα ψύξης αυτό πρόκειται να αντικατασταθεί πλήρως από το σύστημα ψύξης 2PACL που περιγράφεται στην παράγραφο 1.3. Μεταξύ άλλων, προβλέπεται η εγκατάσταση 6 συσσωρευτών

και 7 μονάδων ψύξης. Για λόγους που έχουν να κάνουν με την τήρηση του χρονοδιαγράμματος της αναβάθμισης αυτής, το πείραμα ATLAS προσανατολίζεται στο να εκτελέσει μία φάση «πρώιμης εγκατάστασης» (“Early installation phase” στα αγγλικά), η οποία θα περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός συσσωρευτή και μίας μονάδας ψύξης.



Εικόνα 6: Γενική εικόνα του δωματίου ψύξης και κλιματισμού (USA15 Cooling & Ventilation Room).
Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, πρόκειται για έναν χώρο όπου θα στεγάζονται οι συσσωρευτές (μπλε χρώμα), οι μονάδες ψύξης (πλαίσιο με ροζ χρώμα), οι σωληνώσεις που μεταφέρουν το ψυκτικό υγρό-αέριο και διάφορες άλλες βοηθητικές διατάξεις. Κατά την έκταση την εργασίας γίνεται αναλυτικότερη παρουσίαση του εξοπλισμού αυτού στον βαθμό που κρίνεται απαραίτητο ώστε να γίνουν κατανοητές οι διάφορες αποφάσεις που πάρθηκαν.

Γενικά, πάντως, σκοπός της εργασίας είναι ο καθορισμός των **σχεδιαστικών απαιτήσεων των μηχανισμών μεταφοράς και ανύψωσης των συσσωρευτών και των μονάδων ψύξης** (κυρίως για την φάση της πρώιμης εγκατάστασης). Μεγάλη βάση δίνεται στην **ενσωμάτωση (integration) των μηχανισμών αυτών στον περιορισμένο χώρο** του δωματίου ψύξης και εξαερισμού με τέτοιον τρόπο ώστε **να μην υπάρχουν συγκρούσεις (clashes) με τον περιβάλλοντα εξοπλισμό**.

1.5 Διάρθρωση της εργασίας

Στην **Ενότητα 1** έγινε μία εισαγωγή στο πείραμα ATLAS του CERN και οριοθετήθηκε ο χώρος εργασίας που απασχόλησε τον συγγραφέα της παρούσας εργασίας (Δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού).

Στην **Ενότητα 2** γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση και παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα από τη βιομηχανία σχετικά με τα **τρία κυρίως συστήματα** που πραγματεύεται η παρούσα εργασία:

A. Μηχανισμός μεταφοράς συσσωρευτών

Στην **Ενότητα 3** παρουσιάζεται ο εννοιολογικός σχεδιασμός του μηχανισμού και η διαδικασία επιλογής της τελικής λύσης μέσα από μια πειραματική διαδικασία μεταξύ των δύο επικρατέστερων εναλλακτικών λύσεων. Ακολουθεί η **Ενότητα 4**, όπου καθορίζονται οι σχεδιαστικές απαιτήσεις του μηχανισμού για την επιτυχή ενσωμάτωσή του στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού.

B. Γερανοί για τη συναρμολόγηση και συντήρηση των μονάδων ψύξης

Στις **Ενότητες 5 και 6** καθορίζονται οι σχεδιαστικές - διαστασιολογικές απαιτήσεις ενός κινητού γερανού και ενός υπερυψωμένου γερανού αντίστοιχα που θα χρησιμοποιηθούν για την συναρμολόγηση και τις εργασίες συντήρησης των νέων μονάδων ψύξης που θα εγκατασταθούν στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού.

Γ. Ψευδοδάπεδο που εκτείνεται γύρω από το νέο εξοπλισμό του δωματίου ψύξης και εξαερισμού

Η **Ενότητα 7** ξεκινάει με τον εννοιολογικό σχεδιασμό της νέας κατασκευής ψευδοδαπέδου που θα εγκατασταθεί στο χώρο εργασίας. Η ενότητα αυτή ολοκληρώνεται με ορισμένες σχεδιαστικές (λειτουργικές & διαστασιολογικές) απαιτήσεις με βάση τις οποίες θα πρέπει να κατασκευαστεί το παραπάνω ψευδοδάπεδο ώστε να ενσωματωθεί επιτυχώς στο χώρο χωρίς συγκρούσεις με τον περιβάλλοντα εξοπλισμό.

Η **Ενότητα 8** αναφέρεται σε ορισμένο εξοπλισμό που δοκιμάστηκε από τον συγγραφέα στα πλαίσια της πρακτικής του εργασίας και δρα συμπληρωματικά με τους παραπάνω μηχανισμούς.

Στην **Ενότητα 9** παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε από τον συγγραφέα για την κατάστρωση εκθέσεων τεχνικών προδιαγραφών για τα τρία συστήματα A, B και Γ. Οι εκθέσεις αυτές διαβιβάστηκαν στα αρμόδια τμήματα για την εξεύρεση προσφορών από κατασκευαστές.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την **Ενότητα 10** που περιλαμβάνει ορισμένα συμπεράσματα καθώς και τα επόμενα βήματα που θα ακολουθήσουν μετά την πρακτική εργασία του συγγραφέα.

Στο τέλος έχουν επισυναφθεί ορισμένα παραρτήματα που δρουν συμπληρωματικά με το κυρίως κείμενο της εργασίας.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση και πρακτικές στην βιομηχανία

Όπως εξηγήθηκε στην παράγραφο 1.1, η παρούσα εργασία πραγματεύεται την εγκατάσταση τριών συστημάτων:

- Του συστήματος ολίσθησης ή κύλισης των συσσωρευτών που πρόκειται να εγκατασταθούν;
- Των δυο γερανών που θα χρησιμοποιούνται για τις εργασίες συντήρησης των μονάδων ψύξης;
- Της μεταλλικής κατασκευής στήριξης του ψευδοδαπέδου γύρω από τα δύο προαναφερθέντα συστήματα.

Στις τρεις υποενότητες που ακολουθούν γίνεται μια ανασκόπηση σχετικής βιβλιογραφίας και πρακτικών που εφαρμόζονται στην βιομηχανία σε αντίστοιχα προβλήματα.

2.1 Σχετικά με μεθόδους ολίσθησης ή κύλισης βαρέων αντικειμένων

Μερικές φορές λόγοι περιορισμού χώρου καθιστούν ανεπιθύμητη έως και αδύνατη την ανύψωση ενός βαριού αντικειμένου προς μεταφορά. Αντ' αυτών προτιμάται η ολίσθηση ή η κύλιση (με κάποιο είδος τροχών) του εν λόγω αντικειμένου έως την τελική του θέση.

2.1.1 Ολίσθηση βαρέων αντικειμένων

Η δύναμη που απαιτείται για την ολίσθηση ενός αντικειμένου καθορίζει τον μηχανισμό που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την μεταφορά του. Αν αυτή είναι σχετικά μικρή, η ολίσθηση μπορεί να γίνει ακόμα και με τα χέρια ενώ όσο αυξάνει είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου ειδικού εργαλείου. Η απαιτούμενη δύναμη είναι στην ουσία τέτοια ώστε να υπερνικάει την δύναμη τριβής (είτε στατικής για το ξεκίνημα της κίνησης είτε ολίσθησης για την μετατόπιση του αντικειμένου). Η δύναμη αυτή εξαρτάται, με άλλα λόγια, τόσο από το βάρος του αντικειμένου όσο και από τον συντελεστή τριβής μεταξύ αυτού και της επιφάνειας ως προς την οποία κινείται.

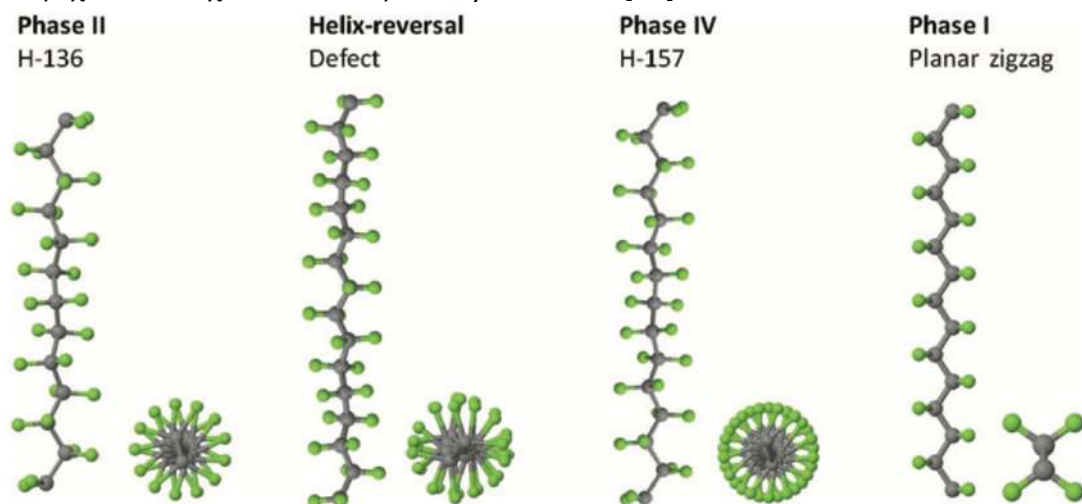
Ο πρώτος παράγοντας είναι προκαθορισμένος ή, στην ιδανική περίπτωση, ο σχεδιασμός του προς μεταφορά αντικειμένου έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν λιγότερη ποσότητα υλικού διατηρώντας ταυτόχρονα τις λειτουργικές απαιτήσεις του. Συνεπώς, η μείωση της απαιτούμενης δύναμης ολίσθησης θα πρέπει να γίνει με ελαχιστοποίηση του συντελεστή τριβής μεταξύ των δύο επιφανειών. Αυτό μπορεί να γίνει με έμμεσο τρόπο, κάνοντας χρήση κάποιου λιπαντικού μεταξύ των δύο επιφανειών, ή με άμεσο τρόπο, δημιουργώντας μια διεπαφή (interface) κατασκευασμένη από κάποιο υλικό που παρουσιάζει ευνοϊκά τριβολογικά χαρακτηριστικά και τοποθετείται α) είτε στο προς μετακίνηση αντικείμενο, β) είτε στην επιφάνεια ολίσθησης, γ) είτε και στα δύο.

Εξαιρετικά σημαντική είναι η διαπίστωση ότι ο συντελεστής τριβής δεν υφίσταται για ένα υλικό μόνο, αλλά αντιθέτως ορίζεται **για ζεύγος υλικών** που εφάπτονται. Ο Πίνακας 1 δίνει ορισμένες ενδεικτικές τιμές συντελεστών τριβής μεταξύ διαφόρων υλικών και επιφανειακών συνθηκών. Για κάποια ζεύγη υλικών δίνεται τόσο ο συντελεστής στατικής τριβής όσο και ο συντελεστής τριβής ολίσθησης.

Υλικό 1	Υλικό 2	Επιφανειακές συνθήκες	Συντελεστής τριβής	
			Στατικός	Ολίσθησης
Αλουμίνιο	Αλουμίνιο	Καθαρή και στεγνή	1.05 - 1.35	1.4
Αλουμίνιο	Αλουμίνιο	Με λιπαντικό	0.3	
Χάλυβας	Χάλυβας	Καθαρή και στεγνή	0.5 - 0.8	0.42
Χάλυβας	Χάλυβας	Με λιπαντικό	0.16	
Αλουμίνιο	Χάλυβας	Καθαρή και στεγνή	0.61	0.47
Ορείχαλκος	Χάλυβας	Καθαρή και στεγνή	0.51	0.44
Πάγος	Πάγος	Καθαρή στους 0°C	0.1	0.02
Πάγος	Χάλυβας	Καθαρή στους 0°C	0.03	
Πλεξιγκλάς	Χάλυβας	Καθαρή και στεγνή	0.4 - 0.5	
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο	Χάλυβας	Καθαρή και στεγνή	0.05 - 0.2	
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο	Πολυτετραφθοροαιθυλένιο	Καθαρή και στεγνή	0.04	0.04

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές συντελεστών τριβής μεταξύ διαφόρων υλικών και επιφανειακών συνθηκών. Πηγή: https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE), γνωστό ευρέως με την εμπορική ονομασία “Teflon”, που όπως φαίνεται από τον πίνακα παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλό συντελεστή τριβής πλην όμως και μεγάλο ρυθμό φθοράς. Η αλυσίδα του PTFE καταλαμβάνει ελικοειδή διαμόρφωση στο χώρο έως περίπου τους 150 °C. Συγκεκριμένα, τα άτομα φθορίου διατάσσονται ελικοειδώς περιμετρικά της αλυσίδας και αυτή μοιάζει με μια άκαμπτη, κυλινδρική ράβδο με λεία επιφάνεια από άτομα φθορίου (Εικόνα 7). Ο χαμηλός συντελεστής τριβής και η υψηλή φθορά του PTFE συνδέονται στενά με την ιδιαίτερη δομή αυτή, όπως έχει αποδειχθεί από τους Pooley και Tabor [11].



Εικόνα 7: Μοριακές δομές αλυσίδων PTFE σε διαφορετικές πολυμορφικές φάσεις, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται από 19 σε 330°C. Πηγή: Wang, Chen & Duscher, Gerd & Paddison, Stephen. (2013). *Electron energy loss spectroscopy of polytetrafluoroethylene: Experiment and first principles calculations. Microscopy (Oxford, England). 63. 10.1093/jmicro/dft046*

Όταν το PTFE τρίβεται σε μια μεταλλική επιφάνεια (π.χ. χάλυβας, όπως η περίπτωση που θα παρουσιαστεί στην παρούσα εργασία), λόγω των έντονων μηχανικών καταπονήσεων και των θερμικών δονήσεων που σχετίζονται με τη θέρμανση εκ τριβής, η μοριακή αλυσίδα του PTFE σπάει

σπάζοντας τους δεσμούς -C-C- και/ή -C-F-. Τα θραύσματα αυτά ονομάζονται ενεργές ρίζες και τα ιόντα φθορίου (F-) αντιδρούν και συνδέονται χημικά με τα μεταλλικά στοιχεία της αντίθετης επιφάνειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ισχυρή πρόσφυση του υλικού στην μεταλλική επιφάνεια. Ειδικά στα πρώτα εκατοστά της ολίσθησης, ο συντελεστής τριβής παρουσιάζει διακύμανση, ενώ στη συνέχεια το φαινόμενο υποχωρεί και ο συντελεστής τριβής σταθεροποιείται [12] Έχει επίσης αποδειχθεί ότι ο συντελεστής τριβής του PTFE μειώνεται με την αύξηση της επιφανειακής πίεσης [13].

Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει την βιομηχανία στο να υιοθετήσει λύσεις που χρησιμοποιούν το Teflon για την ολίσθηση βαρέως εξοπλισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα έδρανα ολίσθησης με επικάλυψη PTFE, που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που καλούνται να αντιμετωπίσουν ποικίλα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία και εσωτερική κίνηση. Επίσης, πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση του ως ενδιάμεσο υλικό μεταξύ των πυλώνων και του άνω μέρους των γεφυρών, καθώς το άνω μέρος θα πρέπει να μπορεί να δεχτεί μετατοπίσεις λόγω των μεταβαλλόμενων φορτίων που του επιβάλλονται [14]. Αλλά και για μικρότερα φορτία, μπορεί κανείς να βρει πλήθος εξαρτημάτων ολίσθησης φτιαγμένα από PTFE, όπως αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8: Οι εφαρμογές του Teflon για την ολίσθηση μεγάλου εύρους αντικειμένων: α) Εξάρτημα ολίσθησης επίπλων και β) Bearding pads για ελεύθερη μετακίνηση άνω μέρους γέφυρας. Πηγές: <https://www.plasticmetall.com/ggug2000-heavy-duty-nylon-tilt-glide-with-ptfe-surface.html> και <https://www.saturnprefab.co.in/products/bridge-bearing/>

2.1.2 Κύλιση βαρέων αντικειμένων

Σε αντίθεση με την ολίσθηση, η κύλιση βαρέων αντικειμένων χρησιμοποιεί τροχούς για την μετακίνηση φορτίων. Χάρη στους τροχούς, η απαιτούμενη δύναμη είναι αρκετά μικρότερη και πολλές φορές επιτρέπει τη μετακίνηση του φορτίου «χειροκίνητα», χωρίς τη χρήση κάποιου εργαλείου (π.χ. παλάγκο). Παρουσιάζει βέβαια και ορισμένα μειονεκτήματα, με σημαντικότερο ότι οι τροχοί μπορεί να κινηθούν ανεξέλεγκτα αν η προς κύλιση επιφάνεια έχει κάποια μικρή κλίση ή εάν δοθεί κάποια μεγάλη αρχική ταχύτητα στο προς κίνηση αντικείμενο. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση φρένων-κλειδώματος των τροχών (wheel locks), τα οποία απαιτούν περισσότερο χώρο.

Στην παράγραφο 3.1 γίνεται παρουσίαση μερικών από τον πιο συνηθισμένων μηχανισμών κύλισης με τροχούς που αποτέλεσαν εναλλακτικές λύσεις για τον σχεδιαζόμενο μηχανισμό. Ένας από αυτούς, είναι οι «Μονάδες μεταφοράς με σφαίρα» (στα αγγλικά “Ball transfer units”), που χρησιμοποιούνται ευρέως στην βιομηχανία. Χαρακτηριστική είναι η χρήση τους για την μεταφορά εμπορευμάτων στα αεροδρόμια (Εικόνα 9). Παρ’ όλο που στην συγκεκριμένη εφαρμογή οι σφαίρες είναι προσανατολισμένες προς τα άνω, εξίσου αποτελεσματική είναι και η τοποθέτησή τους στο πλαίσιο του προς μετακίνηση αντικειμένου με την σφαίρα να είναι προσανατολισμένη προς τα κάτω. Μία τέτοια εφαρμογή εξετάζεται και στην παρούσα εργασία.

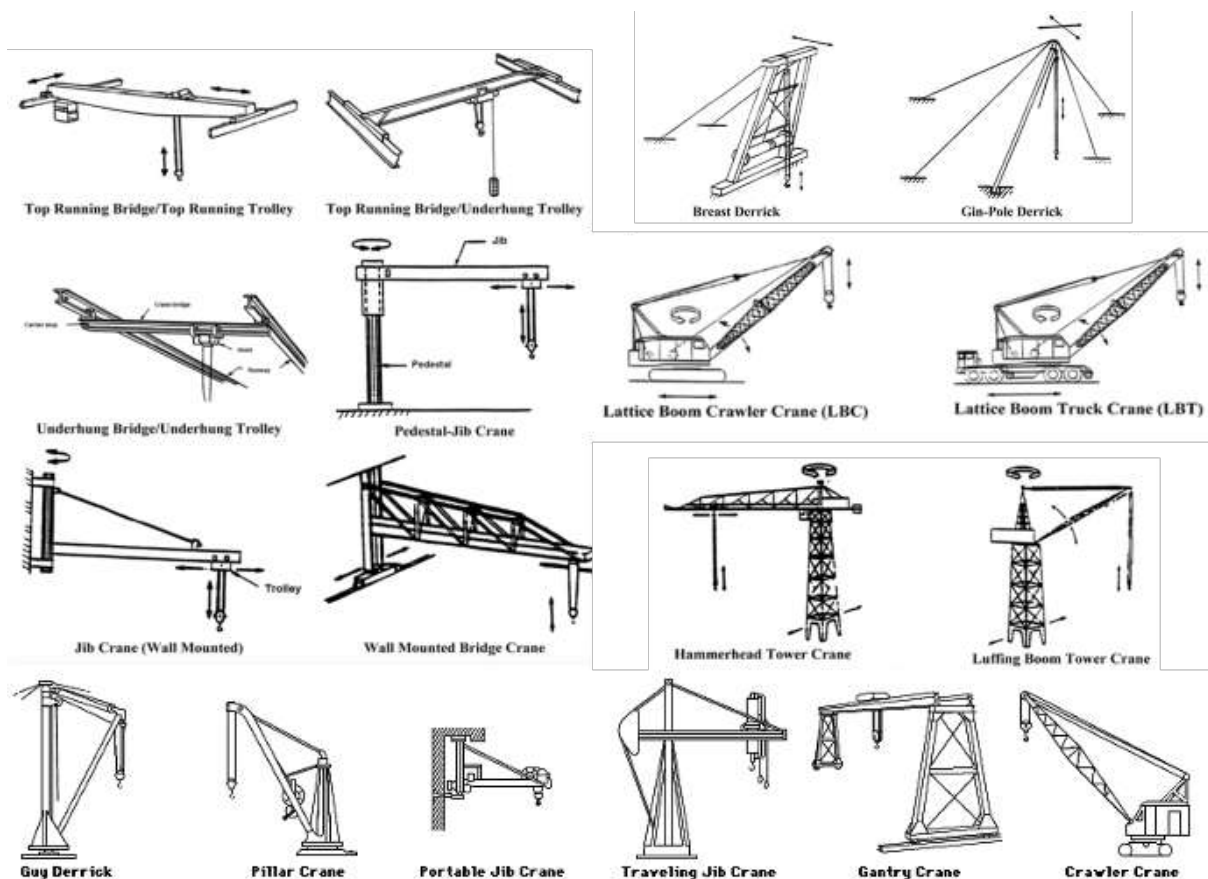


Εικόνα 9: Χρήση μονάδων μεταφοράς με σφαίρα (ball transfer units) για την μεταφορά εμπορευμάτων στα αεροδρόμια. Πηγή: <https://www.lutco.com/ball-transfer-units-when-and-where-they-perform-best/>

2.2 Γερανοί και ανύψωση φορτίων υπό περιορισμό χώρου

2.2.1 Γενικά περί γερανών

Οι γερανοί αποτελούν τις πιο διαδεδομένες και ποικιλόμορφες μηχανές ανύψωσης φορτίων και χρησιμοποιούνται ευρέως για το χειρισμό υλικών σε εργοτάξια, εργοστάσια, αποθήκες, ναυπηγεία κ.α. Διαφέρουν ως προς τη διαμόρφωση, την δυναμικότητα, τη λειτουργία (αυτόματη/χειροκίνητη) και το κόστος τους. Για την επιλογή του κατάλληλου είδους γερανού θα πρέπει να συυπολογιστεί πλήθος παραγόντων όπως το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί, οι διαστασιολογικοί περιορισμοί του, η συχνότητα χρήσης του, η επιθυμητή ασφάλεια, οι περιορισμοί κόστους και η ευελιξία λειτουργιών του (versatility of operations). Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή ενός κατάλληλου γερανού αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την αποτελεσματικότητα και την κερδοφορία ενός έργου. Αντίθετα, μια λανθασμένη επιλογή είναι πιθανό να οδηγήσει σε επιπτώσεις στον κύκλο ζωής (life cycle) ενός έργου, όπως καθυστερήσεις και σπατάλη οικονομικών πόρων [15]. Σε ένα μεγάλο έργο είναι πιθανή η χρήση πολλαπλών γερανών οι οποίοι μπορεί να εκτελούν είτε αυτόνομες διαδικασίες ή να λειτουργούν συνεργατικά. Για παράδειγμα, στην περίπτωση κατασκευής ενός κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιούνται μικροί υδραυλικοί γερανοί για την εκφόρτωση υλικών από φορτηγά και να τα οδηγούν σε κατάλληλο σημείο ώστε να χρησιμοποιηθούν από μεγάλους γεραμούς ανέγερσης. Η ποικιλομορφία των γερανών που συναντώνται στην βιομηχανία φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 10.

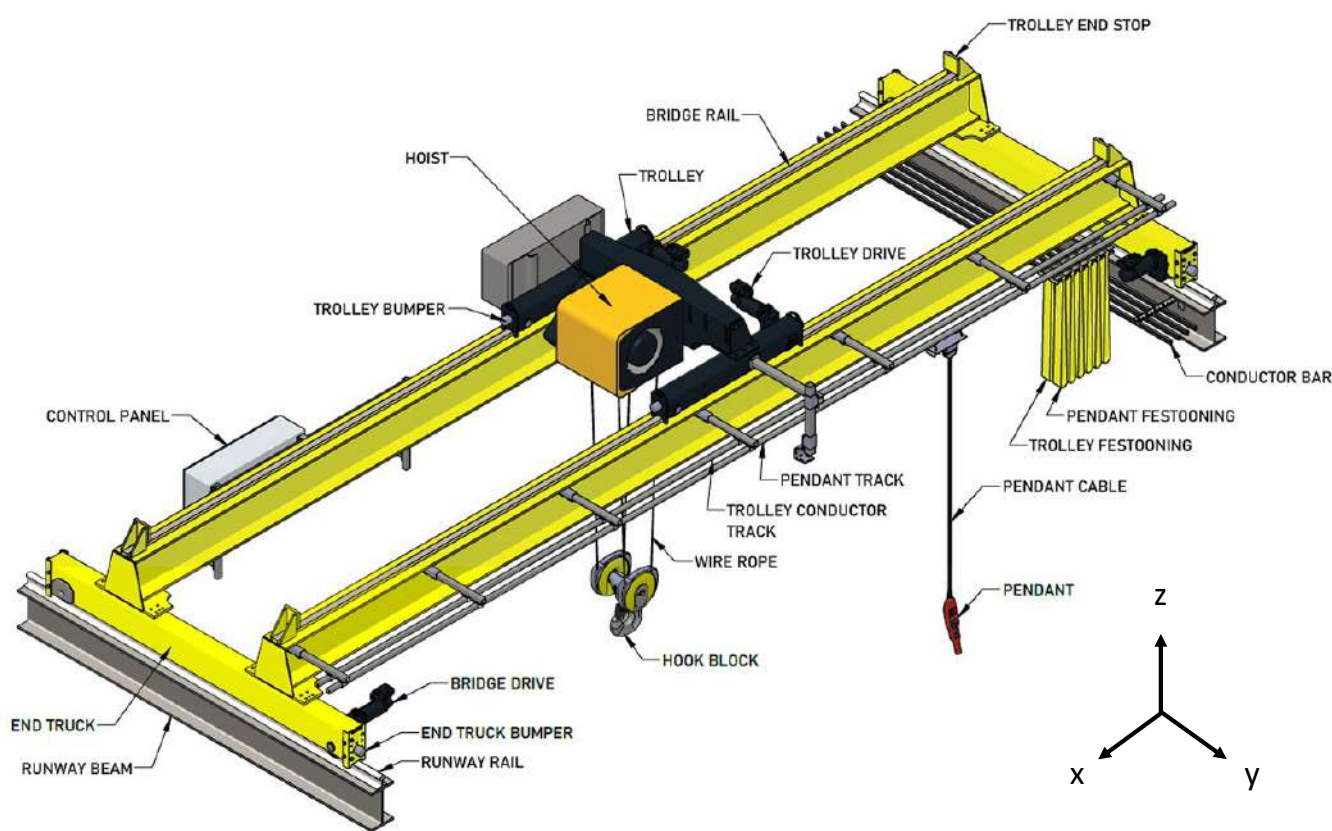


Εικόνα 10: Σκίτσα ποικίλων ειδών γερανών που συναντώνται στη βιομηχανία. Πηγή: <https://apps.leg.wa.gov/WAC/default.aspx?cite=296-155-56405>

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής ο συγγραφέας χρειάστηκε και καθορίσει τις λειτουργικές και διαστασιολογικές απαιτήσεις για δύο είδη γερανών: μιας κινητής γερανογέφυρας τύπου διπλού πυλώνα (Ενότητα 5) και μιας γερανογέφυρας διπλού φορέα (Ενότητα 6).

2.2.2 Γερανογέφυρες διπλού φορέα

Οι γερανογέφυρες διπλού φορέα αποτελούν μια υποκατηγορία των γερανών τύπου γερανογέφυρας. Μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ως προς την ανυψωτική ικανότητα και το άνοιγμά τους. Η κατανόηση της λειτουργίας μιας γερανογέφυρας μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή αν παρατηρηθούν τα επιμέρους της κομμάτια. Για τον σκοπό αυτό θα γίνει χρήση του σχήματος και του συστήματος συντεταγμένων που φαίνεται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Τυπική διάταξη γερανογέφυρας (overhead crane) διπλού φορέα. Πηγή: <https://www.tsoverheadcrane.com/overhead-bridge-cranes>

Οι υπερυψωμένοι αυτοί γερανοί επιτρέπουν την μεταφορά του φορτίου σε και στις τρεις διευθύνσεις:

- Διεύθυνση x: Μετατόπιση κύριου φορείου της γερανογέφυρας (trolley) πάνω στις δοκούς κυλίσεως ή γεφυροδοκούς (bridge rails);
- Διεύθυνση y: Μετατόπιση γερανογέφυρας πάνω στις δύο σιδηροτροχιές (runway beams) στις οποίες στηρίζεται ο κύριος φορέας;
- Διεύθυνση z: Ανύψωση φορτίου με χρήση βαρουλκοφορείου (hoist).

Χαρακτηριστικά όπως η διαδρομή της, το ελεύθερο ύψος της, η ταχύτητα ανύψωσης, η ταχύτητα μεταφοράς του φορείου και η ταχύτητα μεταφοράς ολόκληρης της γερανογέφυρας ποικίλουν

ανάλογα με τις ανάγκες χρήσης και τον κατασκευαστή της. Σε κάποιες εκδοχές της μπορεί να υπάρχει και δεύτερο βοηθητικό βαρούλκο μικρότερης ανυψωτικής ικανότητας αλλά μεγαλύτερης ταχύτητας ανύψωσης. Οι εταιρίες που εξειδικεύονται στην κατασκευή τέτοιων γερανογεφυρών παρέχουν συνήθως στον αγοραστή και τον απαραίτητο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που είναι απαραίτητος για την αυτόματη λειτουργία της γερανογέφυρας [16].

2.2.3 Κινητές γερανογέφυρες τύπου διπλού πυλώνα

Οι κινητές γερανογέφυρες τύπου διπλού πυλώνα (mobile gantry crane) παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τις γερανογέφυρες που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Μια τυπική τέτοια γερανογέφυρα φαίνεται στην Εικόνα 12. Η βασική διαφορά του είδους αυτού με το προηγούμενο είναι ότι η κίνηση στην διεύθυνση γ επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιου τροχήλατου συστήματος (στην περίπτωση της εικόνας γίνεται με απλές ρόδες) αντί για σιδηροτροχιές (runway beams). Χρησιμοποιούνται, συνήθως, για την ανύψωση μικρότερων φορτίων, σε περιπτώσεις που απαιτείται η χρήση σε διάφορα σημεία ενός εργοταξίου ή σε περιπτώσεις περιορισμένου χώρου.



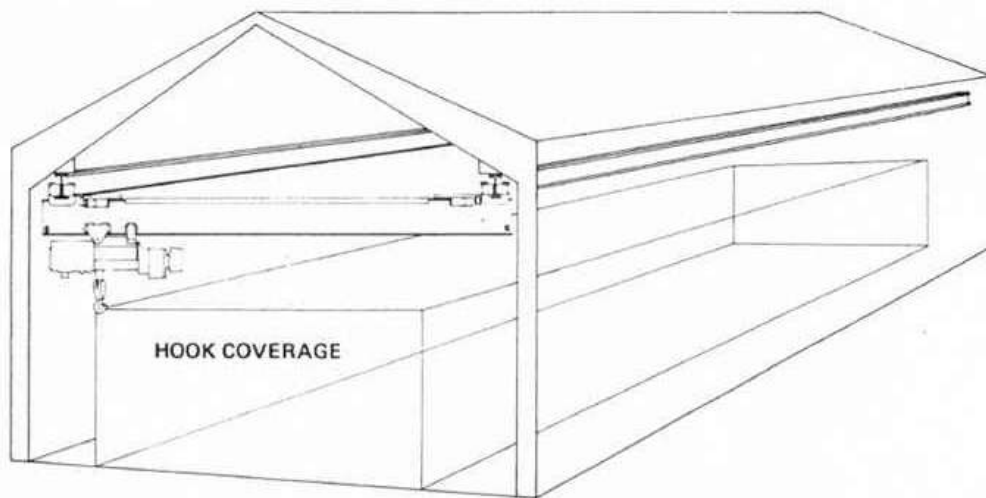
Εικόνα 12: Τυπικό παράδειγμα κινητής γερανογέφυρας τύπου διπλού πυλώνα (mobile gantry crane) της εταιρείας Morris Material Handling. Πηγή:

<https://www.morris.co.za/product/lightweight-mobile-gantry/>

Σε αντίθεση με τις γερανογέφυρες διπλού φορέα των οποίων η κίνηση γίνεται με ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και στις 3 διευθύνσεις, στις κινητές γερανογέφυρες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί χειροκίνητος (manual) χειρισμός για την μετακίνηση τόσο στην διεύθυνση γ (ρόδες) όσο και στην διεύθυνση x (χειροκίνητο βαρουλκοφορείο - hoist).

2.2.4 Λύσεις σε προβλήματα περιορισμένου χώρου

Μερικές φορές οι περιορισμοί ύψους του περιβάλλοντος στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί μια γερανογέφυρα (π.χ. ταβάνι εργοταξίου) σε συνδυασμό με την ανάγκη για μεταφορά φορτίων μεγάλων διαστάσεων οδηγεί σε αδυναμία χρήσης συμβατικού εξοπλισμού ανύψωσης. Συγκεκριμένα, το μέγεθος του προς μεταφορά φορτίου καθορίζει την **απαιτούμενη** «εμβέλεια γάντζου» του γερανού (crane's hook coverage) – βλ. Εικόνα 13. Κατά αντίστοιχο τρόπο, ο τελικός σχεδιασμός του γερανού και των διαφόρων υποεξαρτημάτων του καθορίζουν την **επιτεύξιμη** «εμβέλεια γάντζου» του γερανού, η οποία θα πρέπει να καλύπτει κατ' ελάχιστον την απαιτούμενη εμβέλεια. Η απαιτούμενη εμβέλεια θα πρέπει να καθοριστεί με ακρίβεια από τον μελετητή ώστε είναι δυνατή η μεταφορά και ανύψωση των διάφορων φορτίων.



Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση καθορισμού εμβέλειας γάντζου γερανού. Πηγή: <https://www.cranesdq.com/crane-hook-coverage-maximize-crane-efficiency.html>

Στην περίπτωση, μάλιστα, που η απαιτούμενη εμβέλεια είναι αρκετά «απαιτητική» στον άξονα z (άξονας ανύψωσης φορτίων), θα πρέπει να αναζητηθεί μία **λύση με χαμηλό ύψος κεφαλής (low headroom solution)**. Ως low headroom χαρακτηρίζονται τα βαρουλκοφορεία (hoists) που παρουσιάζουν μικρή διάσταση ύψους σε σχέση με ένα τυπικό βαρουλκοφορείο. Τέτοιες λύσεις είναι ευρέως διαθέσιμες στο εμπόριο και συνήθως παρουσιάζουν ιδιαίτερη γεωμετρία, όπως φαίνεται στο παράδειγμα του ultra-low headroom βαρουλκοφορείου της εταιρείας Yale Lifting Equipment σε σύγκριση με το τυπικό βαρουλκοφορείο της εταιρείας Hadeb που απεικονίζονται στην Εικόνα 14. Συνήθως αυτές οι λύσεις μπορεί να είναι αρκετά συμπαγείς στον άξονα z, όμως «εκτείνονται» προς κάποια άλλη διάσταση όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να γίνουν οι κατάλληλοι συμβιβασμοί ώστε να επιλεγεί μία τελική λύση που θα ικανοποιεί την απαιτούμενη εμβέλεια γάντζου σε όλες τις διευθύνσεις. Μία τέτοια περίπτωση συναντήθηκε από τον συγγραφέα της παρούσας εργασίας και αναλύεται στην Ενότητα 5.



Εικόνα 14: Παράδειγμα σύγκρισης ενός τυπικού κινητού βαρουλκοφορείου (travel hoist) της εταιρείας HadeF (αριστερά) και ενός βαρουλκοφορείου με χαμηλό ύψος κεφαλής (low headroom) της εταιρείας Yale Lifting Equipment (δεξιά). Πηγές: <https://www.inmartek.com/Manual-Chain-Hoists-with-trolley/1932/spur-gear-hoist-with-push-travel-trolley/> και <https://www.liftingequipmentstore.com/product/yalelift-360-yllhp-g-ultra-low-headroom-trolley-integral-chain-hoist>

2.3 Σχετικά με τη χρήση ψευδοδαπέδων

2.3.1 Γενικά περί ψευδοδαπέδων

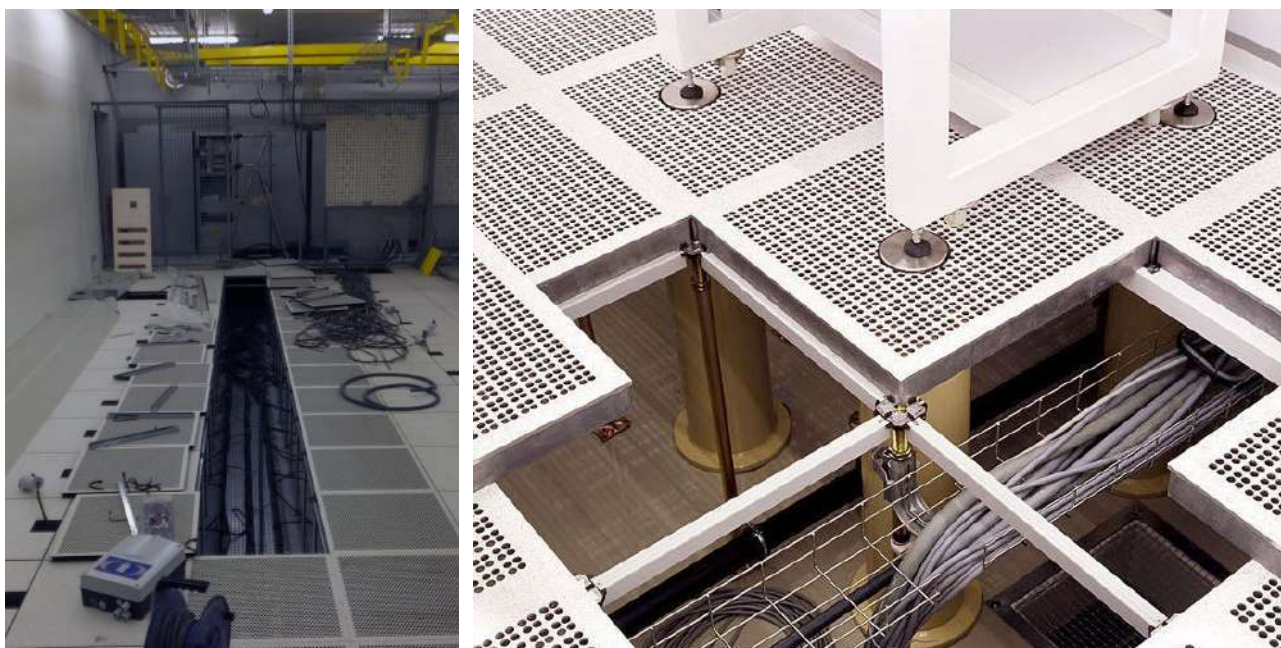
Η αποτελεσματική αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου είναι πρωταρχικής σημασίας σε πλήθος μηχανολογικών διατάξεων. Τα ψευδοδάπεδα (false floors) – γνωστά και ως υπερυψωμένα δάπεδα πρόσβασης (raised access floors) – μπορούν να αποτελέσουν μια ευέλικτη λύση και να συμβάλλουν στην αποτελεσματική αυτή διαχείριση του διαθέσιμου χώρου. Ως ψευδοδάπεδο ή υπερυψωμένο δάπεδο ορίζεται μία κατασκευή που στηρίζεται στο φέρον δομικό στοιχείο ενός κτηρίου (κύριο δάπεδο) και έχει μία απόσταση από κύριο αυτό δάπεδο. Πρόκειται για αρθρωτά συστήματα που αποτελούνται από δοκούς στήριξης (συνήθως ξύλινοι ή μεταλλικοί) και καλύμματα – πάνελ (covers). Δημιουργείται, έτσι, μία κοιλότητα που μπορεί να στεγάσει πλήθος εξοπλισμού, όπως ηλεκτρικές καλωδιώσεις, καλώδια δεδομένων και σωληνώσεις ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση ατόμων και μηχανημάτων πάνω σε αυτό. Μια τέτοια περίπτωση συναντήθηκε από τον συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής και αναλύεται στην ενότητα 7.

2.3.2 Εφαρμογές στη βιομηχανία

Βιομηχανικές εγκαταστάσεις

Τα ψευδοδάπεδα συναντώνται συχνά σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, εργοστάσια και γραμμές συναρμολόγησης. Όπως αναφέρθηκε ήδη, η σημαντικότερη λειτουργία τους είναι να δημιουργούν έναν χώρο όπου στεγάζεται ο βοηθητικός εξοπλισμός (καλωδιώσεις, γραμμές πεπιεσμένου αέρα κ.α.). Έτσι, ο εξοπλισμός αυτός «αποκρύπτεται» κατά την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης και ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος ζημιών. Ταυτόχρονα, τα αφαιρούμενα καλύμματα προσφέρουν άμεση πρόσβαση σε αυτόν όταν απαιτείται κάποια διαδικασία επιθεώρησης ή συντήρησής του. Γίνεται αντιληπτή, βέβαια, η ανάγκη να καθοριστεί η διάταξη του ψευδοδαπέδου με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει επαρκή χώρο στον βοηθητικό αυτό εξοπλισμό, να απλοποιούνται οι διαδικασίες συντήρησης του και να αποφεύγονται συγκρούσεις με τα πόδια στήριξης. Όλα αυτά απασχόλησαν τον συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής, όπως αναλύεται στην Ενότητα 7.

Τα ψευδοδάπεδα βιομηχανικών εγκαταστάσεων παρουσιάζουν ποικίλη **φέρουσα ικανότητα φορτίου** (Load-Bearing Capacity) ανάλογα με το βάρος του εξοπλισμού που καλούνται να υποστηρίξουν. Οι ιδιαίτερα βαριές διατάξεις μπορεί να απαιτούν ειδική βάση στήριξης που είτε είναι μέρος του ίδιου του ψευδοδαπέδου είτε φτιάχνεται γύρω από αυτό (ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 15). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι τα αρθρωτά αυτά ψευδοδάπεδα μπορούν εύκολα να αναδιαμορφώνονται και να προσαρμόζονται στις αλλαγές που μπορεί να χρειαστεί να γίνουν σε μία γραμμή παραγωγής. Κατά αυτόν τον τρόπο, μειώνεται ο χρόνος διακοπής λειτουργίας της γραμμής κατά την αναβάθμισή της (π.χ. με νέο εξοπλισμό) και επιτυγχάνεται μία κατά το δυνατόν απρόσκοπτη μετάβαση.

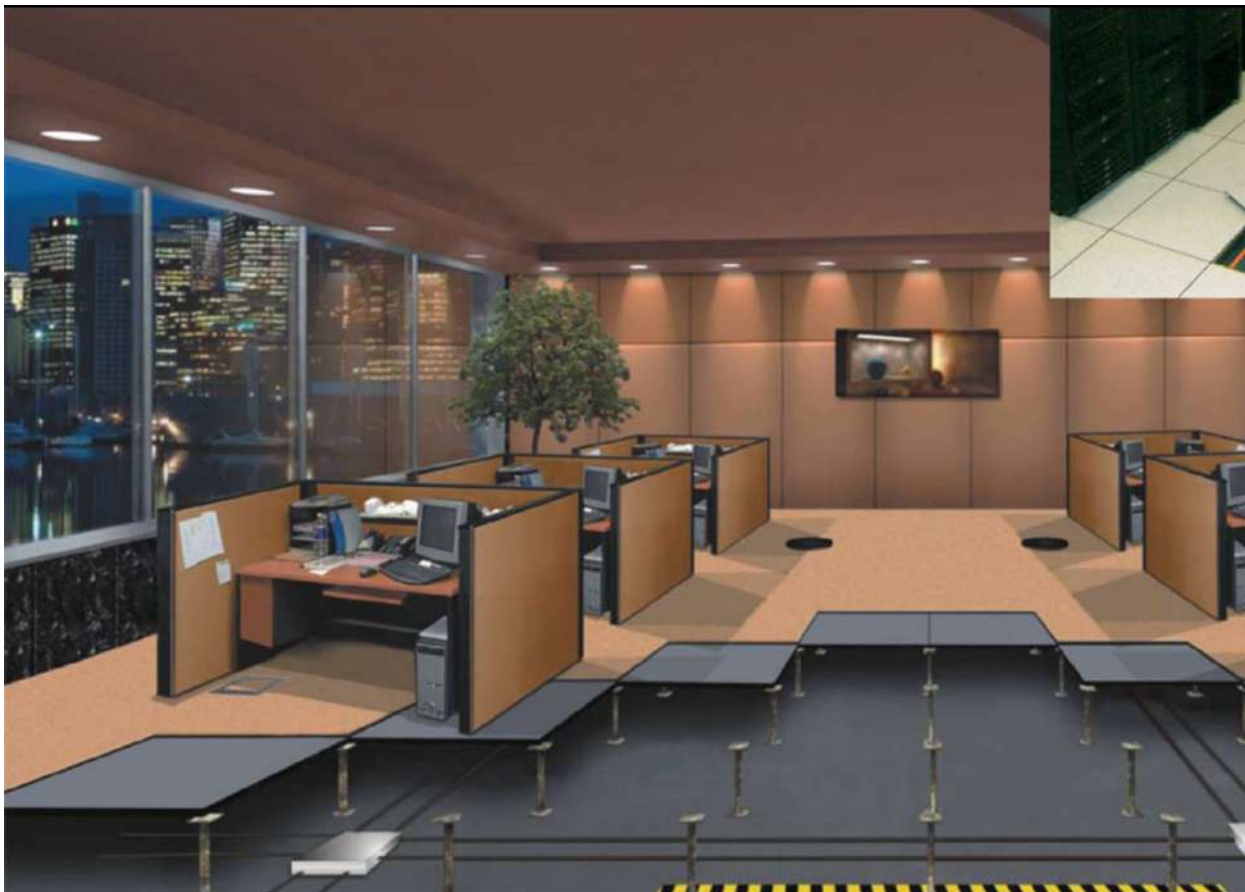


Εικόνα 15: Παραδείγματα εφαρμογών ψευδοδαπέδων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στα δεξιά διακρίνεται η ειδική βάση στήριξης του βαρέως εξοπλισμού με λευκό χρώμα. Πηγές:

gr.pinterest.com/pin/182255116162285269/ και gr.pinterest.com/pin/539657967821660514/

Γραφεία επιχειρήσεων

Τα ψευδοδάπεδα χρησιμοποιούνται ευρέως σε γραφεία επιχειρήσεων για την βελτίωση της λειτουργικότητας, της αισθητικής και της ευελιξίας τους. Αναλυτικότερα, οι χώροι γραφείων μίας επιχείρησης υφίστανται συχνές αλλαγές στη διάταξή τους για να ικανοποιήσουν τις εξελισσόμενες οργανωτικές ανάγκες της επιχείρησης (π.χ. αλλαγές στον αριθμό των εργαζομένων). Τα υπερυψωμένα δάπεδα μπορούν να φιλοξενήσουν τους εργαζόμενους και τις θέσεις εργασίας τους σε οποιαδήποτε διάταξη κριθεί από την επιχείρηση ενώ ταυτόχρονα στεγάζουν στο εσωτερικό τους όλον αυτόν τον εξοπλισμό που θα οδηγούσε σε ακαταστασία του χώρου εργασίας (συστήματα τηλεπικοινωνιών, καλωδιώσεις υπολογιστών κ.α.). Επίσης, είναι δυνατόν να στεγάζουν μέρος του εξοπλισμού θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (στα αγγλικά Heating, Ventilation, Cooling and Air Conditioning ή HVAC). Πρόκειται για συστήματα «Διανομής αέρα κάτω από το δάπεδο» (στα αγγλικά Underfloor Air Distribution ή UFAD) τα οποία βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και παρέχουν καλύτερη θερμική άνεση από τα τυπικά συστήματα ψύξης αφού η πηγή του αέρα βρίσκεται πιο κοντά στους εργαζόμενους. Κατά αντίστοιχο τρόπο, κρύβουν αντιαισθητικούς αεραγωγούς και καλώδια που θα ήταν είτε ορατά στο πάτωμα είτε θα κρέμονταν από την οροφή. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η διατήρηση ενός καθαρού και οπτικά ελκυστικού χώρου εργασίας ο οποίος όμως διατηρεί την λειτουργικότητά του.



Εικόνα 16: Παράδειγμα σχεδίου υπερυψωμένου δαπέδου υψηλής αισθητικής σε γραφείο επιχείρησης. Πηγή: <https://amtac.com/raised-access-floor/>

Κέντρα δεδομένων

Τα κέντρα δεδομένων φιλοξενούν μεγάλες ποσότητες εξοπλισμού υπολογιστών, διακομιστών και υποδομής δικτύων. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι απαιτούν εκτεταμένη υποδομή καλωδιώσεων για την μετάδοση δεδομένων. Η υποδομή αυτή θα ήταν χαώδης αν δεν ήταν καλά οργανωμένη και δρομολογημένη (routed) στο εσωτερικό ενός συστήματος ψευδοδαπέδου. Τα πάνελ που καλύπτουν τον εξοπλισμό αυτόν αφαιρούνται εύκολα δίνοντας την απαραίτητη πρόσβαση για διαδικασίες συντήρησης και επέκτασης του δικτύου. Διασφαλίζουν, με άλλα λόγια, τη μακροπρόθεσμη ευελιξία και προσαρμοστικότητα του κέντρου δεδομένων.

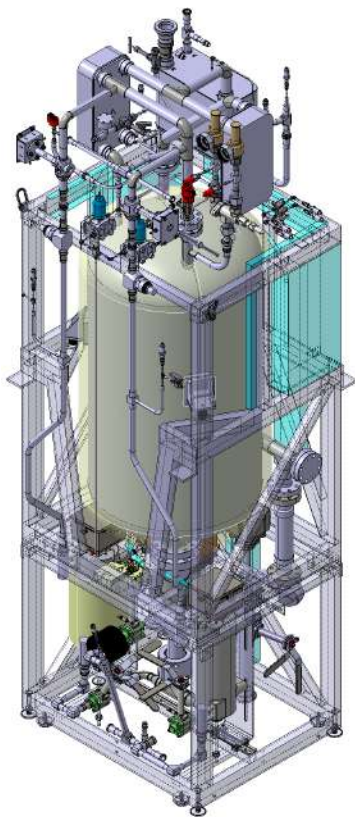
Ταυτόχρονα, η ύπαρξη πολλών και ευαίσθητων ηλεκτρονικών καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη ενός συστήματος αποτελεσματικής ψύξης για τη διατήρηση των βέλτιστων θερμοκρασιών λειτουργίας τους. Τα ψευδοδάπεδα προσφέρουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης συστημάτων διαχείρισης ροής αέρα κάνοντας χρήση των τεχνολογιών UFAD που αναφέρθηκαν προηγουμένως και διάτρητων καλυμμάτων (βλέπε Εικόνα 17). Τα καλύμματα αυτά, μάλιστα, είναι πολλές φορές πυρίμαχα και μειώνουν την ταχύτητα εξάπλωσης φλογών και καπνών σε περίπτωση ατυχήματος.



Εικόνα 17: Παράδειγμα χρήσης υπερυψωμένου ψευδοδαπέδου σε κέντρο δεδομένων. Πηγή: <https://www.bergvik.com/products/floor/iso-floor-for-data-centres/>

3 Εννοιολογικός σχεδιασμός μηχανισμού μεταφοράς συσσωρευτών

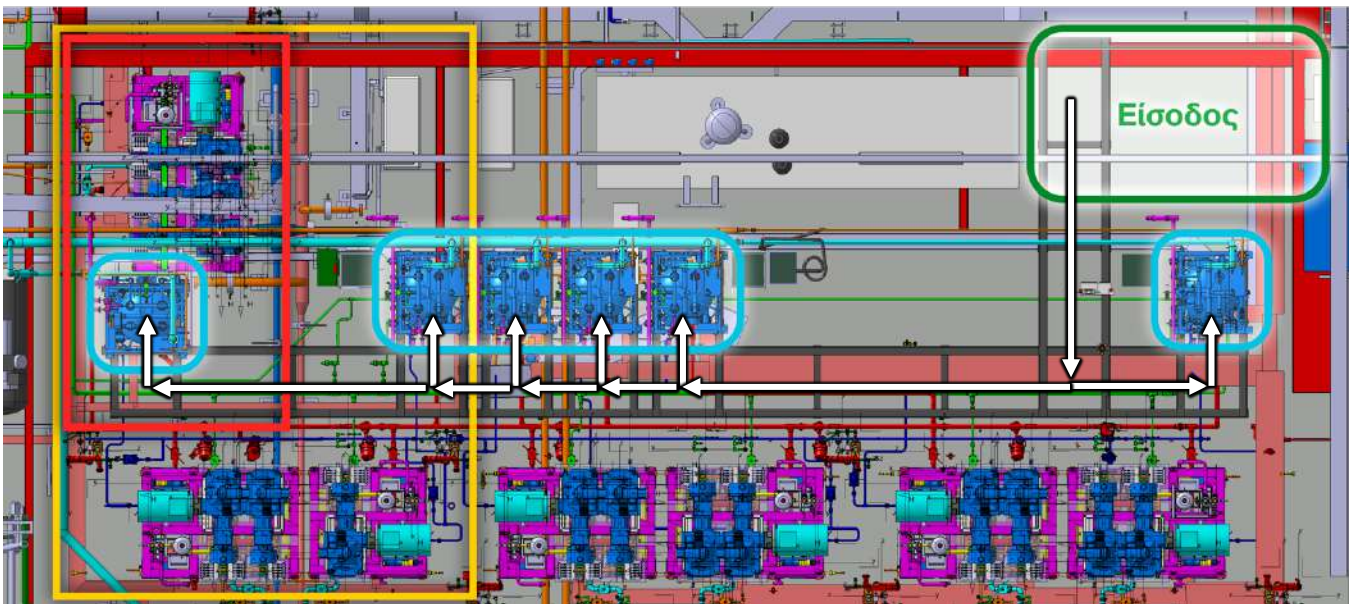
Ο συσσωρευτής που φαίνεται στην Εικόνα 18 έχει ύψος περίπου 3 μέτρα και βάρος περίπου 1.5 τόνο. Η πόρτα του δωματίου ψύξης και εξαερισμού δεν είναι αρκετά ψηλή ώστε να επιτρέπει την είσοδο ολόκληρου του συσσωρευτή. Συνεπώς, ο τελευταίος έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να χωριστεί σε τρία αρθρωτά (modular) κομμάτια που επιτρέπουν την είσοδό του στο δωμάτιο. Έπειτα, θα συναρμολογηθεί εντός του δωματίου και θα πρέπει να μετακινηθεί στην τελική του θέση. Όπως εξηγήθηκε στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας, περιορισμοί ύψους του δωματίου καθιστούν αδύνατη την μετακίνησή του με τον γερανό που πρόκειται να τοποθετηθεί στο χώρο αυτό. Συνεπώς, απαιτείται ο σχεδιασμός μίας μεταλλικής κατασκευής που θα εκτείνεται από το χώρο κοντά στην είσοδο του δωματίου έως την τελική θέση του κάθε συσσωρευτή.



Εικόνα 18: Τρισδιάστατο μοντέλο του συσσωρευτή που πρέπει να μετακινηθεί (αριστερά) αφού εισέλθει σε τρία κομμάτια στο δωμάτιο ψύξης μέσω της πόρτας (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN και φωτογραφία συγγραφέα.

3.1 Εναλλακτικές λύσεις

Στην Εικόνα 19 φαίνεται η κάτοψη του δωματίου ψύξης. Το πράσινο πλαίσιο ορίζει το χώρο κοντά στην πόρτα του δωματίου ενώ τα γαλάζια πλαίσια ορίζουν τις τελικές θέσεις που έχουν προβλεφθεί για τους συσσωρευτές. Μια πρώτη διάταξη της μεταλλικής κατασκευής ολίσθησης των συσσωρευτών φαίνεται στην ίδια εικόνα, όπου γίνεται εμφανής και η ανάγκη κίνησης των συσσωρευτών σε δύο διευθύνσεις.



Εικόνα 19: Κάτοψη δωματίου ψύξης όπου διακρίνεται η μεταλλική κατασκευή πάνω στην οποία μετακινούνται οι συσσωρευτές μέχρι την τελική τους θέση. Δύο σενάρια πρώιμης εγκατάστασης:
 α) Κόκκινο χρώμα: 1 συσσωρευτής + 1 μονάδα ψύξης και β) Κίτρινο χρώμα: 2 συσσωρευτές + 3 μονάδες ψύξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN

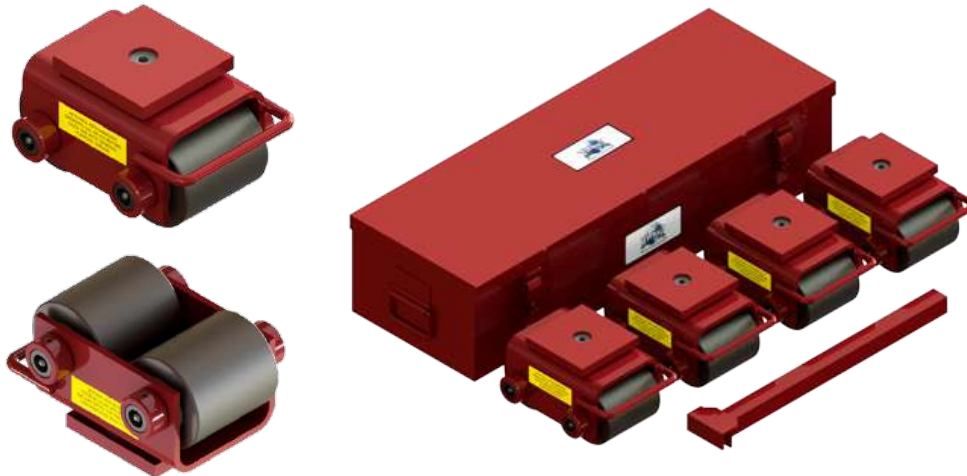
Ξεκινώντας από την ανάγκη αυτή για **κίνηση σε δύο διευθύνσεις** καθώς και την ανάγκη εύρεσης μιας λύσης που **δεν αυξάνει πολύ τις διαστάσεις του συσσωρευτή**, μπορεί να ξεκινήσει η διερεύνηση πιθανών εναλλακτικών λύσεων για το πως θα γίνεται η μεταφορά.

Εναλλακτική 1: Απ’ ευθείας ολίσθηση συσσωρευτή πάνω στη μεταλλική κατασκευή.

Η συγκεκριμένη πρόταση οδηγεί στη μέγιστη εξοικονόμηση χώρου, αφού δεν απαιτείται η ύπαρξη κάποιας διεπαφής μεταξύ του συσσωρευτή και της μεταλλικής κατασκευής. Παρ’ όλα αυτά, ο συντελεστής τριβής μεταξύ του μεταλλικού πλαισίου του συσσωρευτή και της χαλύβδινης επιφάνειας θα ήταν μεγάλος ενώ ταυτόχρονα δεν ενδείκνυται η κόπωση του πλαισίου του συσσωρευτή που περιέχει πλήθος κρίσιμων εξαρτημάτων για την σωστή λειτουργία του συστήματος ψύξης. Συνεπώς, η εναλλακτική αυτή απορρίφθηκε.

Εναλλακτική 2: Αγορά συστήματος μετακίνησης βαρέων αντικειμένων με τροχούς.

Στην αγορά υπάρχει πλήθος έτοιμων τροχήλατων μηχανισμών που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά αντικειμένων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου μηχανισμού φαίνεται στην Εικόνα 20, όπου διακρίνεται το κιτ εξοπλισμού που αποτελείται από 4 μηχανισμούς μεταφοράς και μία μπάρα σχήματος T για την στροφή των μηχανισμών στην επιθυμητή διεύθυνση κίνησης. Χάρη στην τελευταία, ικανοποιείται η ανάγκη για κίνηση των συσσωρευτών και στις δύο επιθυμητές κατευθύνσεις. Οι 4 αυτές βάσεις θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στις 4 γωνίες του πλαισίου του συσσωρευτή και όταν αυτός έφτανε στην τελική του θέση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και ως πόδια στήριξης (resting feet), αφού είναι ιδιαίτερα στιβαρές. Παρ’ όλα αυτά, η συγκεκριμένη λύση απαιτεί – τυπικά – περισσότερο χώρο από αυτές που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια. Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι στην αγορά υπάρχουν και πιο μικροί (compact) τέτοιοι μηχανισμοί αλλά το κόστος τους είναι μάλλον απαγορευτικό, ειδικά στην παρούσα περίπτωση όπου απαιτούνται έξι σετ εξαρτημάτων (ένα για κάθε συσσωρευτή).



Εικόνα 20: Παράδειγμα τροχήλατου μηχανισμού μεταφοράς βαρέων αντικειμένων από το εμπόριο.
 Πηγή: <https://www.hevihaul.com/machinery-skates/compact-swivel-skates/cs-12k-kit/>

Εναλλακτική 3: Χρήση πανκατευθυντικών τροχών (omnidirectional wheels).

Όπως δηλώνει και το όνομα τους, οι πανκατευθυντικοί τροχοί μπορούν να κινηθούν προς πάσα κατεύθυνση. Η γεωμετρία τους (βλ. Εικόνα 21) είναι σαφώς πολυπλοκότερη από ότι ενός συνηθισμένου τροχού με δυνατότητα περιστροφής και σε αντίθεση με τον τελευταίο, μπορούν να τοποθετηθούν περιμετρικά του προς μεταφορά αντικειμένου και άρα δεν θα αύξαναν το συνολικό ύψος του συσσωρευτή. Οι εφαρμογές τους σε περιπτώσεις μεταφοράς αντικειμένων αντίστοιχου βάρους με τον συσσωρευτή (περίπου 1500 κιλά) είναι σπάνιες, χωρίς όμως να αποκλείονται. Ωστόσο, σε τέτοια βάρη το μέγεθος τους είναι παρόμοιο με αυτό της εναλλακτικής 2.



Εικόνα 21: Τυπική μορφή πανκατευθυντικού τροχού (omnidirectional wheel) και παράδειγμα εφαρμογής του στο χώρο της ρομποτικής. Πηγή: <https://www.casterbot.com/p/4-inch-heavy-duty-mecanum-wheel-100mm-industrial-wheels/> και <https://automaticaddison.com/force-vector-diagrams-for-an-omni-directional-mobile-robot/>

Εναλλακτική 4: Χρήση μονάδας μεταφοράς με σφαίρα (ball transfer unit)

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 2.1.2 και αποτέλεσε μία από τις πρώτες λύσεις που απασχόλησαν τον συγγραφέα. Παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να προσαρμοστεί στο πλαίσιο του συσσωρευτή και η μόνη αύξηση στο ύψος να είναι αυτή του άνω μέρους της σφαίρας (βλ. Εικόνα 9) ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την κίνηση προς όλες τις κατευθύνσεις. Επίσης, είναι οικονομικότερος από ότι οι εναλλακτικές 2 και 3. Ωστόσο, παρουσιάζει κάποιες αβεβαιότητες ως προς το πόσο ικανοποιητικά θα μπορούσε να συνεργαστεί με την μεταλλική κατασκευή πάνω στην οποία θα πρέπει να κυλίσει. Συγκεκριμένα, τέτοιες κατασκευές αποτελούνται – τυπικά – από δοκούς σχήματος Η με διασταυρώσεις σε διάφορα σημεία – όπως φαίνεται και στην Εικόνα 31. Λόγω κατασκευαστικών ατελειών που αναπόφευκτα συνοδεύουν τέτοιες δοκούς, είναι σχεδόν βέβαιο ότι σε κάποιες από αυτές τις διασταυρώσεις θα υπάρχουν μικρά κενά ή/και ανωμαλίες στο ύψος. Τέτοιες ανωμαλίες μπορούν να εξομαλυνθούν σε ένα βαθμό με τη χρήση ηλεκτρικού τροχού αλλά όχι απόλυτα. Συνεπώς, υπάρχει αβεβαιότητα στο κατά πόσο εύκολα θα μπορούν οι μονάδες μεταφοράς με σφαίρα να υπερνικήσουν αυτά τα κενά και τις υψομετρικές διαφορές στις διασταυρώσεις. Ακόμα όμως και αν η σφαίρα του μηχανισμού έχει την κατάλληλη διάμετρο ώστε να περάσει πάνω από μία τέτοια ανωμαλία υπάρχει ο κίνδυνος ότι μετά από αυτό το μεταβατικό φαινόμενο (που απαιτεί κάποια δύναμη από το ή τα άτομα που μετακινούν τον συσσωρευτή), ο συσσωρευτής μπορεί να αποκτήσει κάποια σημαντική ταχύτητα και να κινηθεί ανεξέλεγκτα.

Εναλλακτική 5: Κατασκευή διεπαφής από πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE)

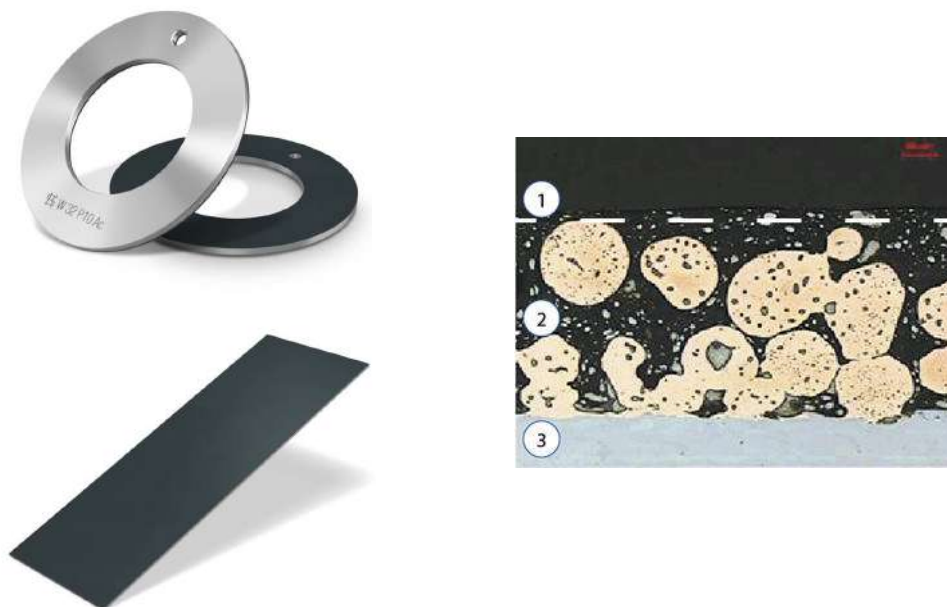
Όπως εξηγήθηκε και στην παράγραφο 2.1.1, το PTFE παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλό συντελεστή τριβής και χρησιμοποιείται για την ολίσθηση βαρέων αντικειμένων. Ταυτόχρονα, είναι οικονομικό και μπορεί να αγοραστεί σε μορφή κυλινδρικής μπάρας και έπειτα να διαμορφωθεί εύκολα σε μία εργαλειομηχανή. Για παράδειγμα, θα μπορούσε τορνευτεί ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή ακτίνα καμπυλότητας, ώστε να μπορεί να προσπεράσει τις διάφορες μικροανωμαλίες (κενά ή/και υψομετρικές διαφορές) που αναπόφευκτα θα παρουσιαστούν στην μεταλλική κατασκευή πάνω στην οποία θα ολισθαίνει ο συσσωρευτής. Η λύση αυτή όχι μόνο επιτρέπει την κίνηση στις δύο απαιτούμενες κατευθύνσεις αλλά και δεν αυξάνει πολύ τις διαστάσεις του συσσωρευτή (θα πρέπει προφανώς η διεπαφή που θα σχεδιαστεί να χρησιμοποιεί όσο λιγότερο υλικό γίνεται). Βέβαια, η λύση αυτή θα απαιτήσει τη χρήση κάποιου μηχανισμού για την ολίσθηση του συσσωρευτή – σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες τροχήλατες λύσεις που μπορούν να κινηθούν απευθείας από τον άνθρωπο χωρίς ιδιαίτερη σωματική δύναμη.

Εναλλακτική 6: Χρήση εμπορικού προϊόντος Permaglide® σε μορφή ροδέλας (washer) ή ορθογωνικής λωρίδας (strip)

Το Permaglide® αποτελεί την εμπορική ονομασία που χρησιμοποιεί η εταιρεία KS Gleitlager για να αναφερθεί σε μία γκάμα προϊόντων της που είναι φτιαγμένα από υλικό που παρουσιάζει εξαιρετικά τριβολογικά χαρακτηριστικά. Αντίστοιχα προϊόντα παράγουν και άλλες εταιρίες, όπως η Trelleborg, απλά στην παρούσα εργασία εξετάστηκε το Permaglide® γιατί χρησιμοποιείται και σε άλλες εφαρμογές στο CERN. Για την χρήση του σε εφαρμογές ολίσθησης μπορεί να έχει είτε τη μορφή ροδέλας είτε τη μορφή λωρίδας (Εικόνα 22). Στην ίδια εικόνα φαίνεται σε τομή το εσωτερικό του υλικού, που αποτελείται από 3 επίπεδα: 1) μήτρα PTFE, 2) μείγμα Κασσίτερου-μόλυβδου-χαλκού του οποίου τα κενά γεμίζονται με PTFE και 3) μεταλλική επίστρωση.

Όπως και η προηγούμενη εναλλακτική, αυτή η λύση θα απαιτούσε μία μικρών διαστάσεων διεπαφή που στερεώνεται στο πλαίσιο του συσσωρευτή και επιτρέπει την κίνηση και στις δύο απαιτούμενες

κατευθύνσεις. Το πρόβλημα όμως με αυτό το υλικό είναι ότι – σε αντίθεση με την μπάρα PTFE – δεν μπορεί να διαμορφωθεί εύκολα ώστε να αποκτήσει, για παράδειγμα, μια ακτίνα καμπυλότητας. Μία λύση θα ήταν το να ζητηθεί ειδική παραγγελία από τον κατασκευαστή στην επιθυμητή διαμόρφωση, κάτι που όμως θα αύξανε αρκετά το κόστος. Ομοίως με την εναλλακτική 5, δεν αρκεί η σωματική δύναμη του ανθρώπου για την ολίσθηση και θα απαιτηθεί κάποιος μηχανισμός ολίσθησης (π.χ. παλάγκο).



Εικόνα 22: Το εμπορικό προϊόν Permaglide σε μορφή ροδέλας και λωρίδας (αριστερά) και το εσωτερικό του (δεξιά). Πηγή: <https://www.permaglide.com/en/>

3.2 Λύσεις που προκρίθηκαν (shortlisted solutions)

Στο σημείο αυτό κρίθηκε σκόπιμη η βαθμολόγηση των έξι παραπάνω εναλλακτικών με βάση κάποια κριτήρια ώστε να αποφασιστεί με ποιες λύσεις θα προχωρούσε η έρευνα. Σε κάθε περίπτωση, η τελική λύση θα έπρεπε να ελεγχθεί και πειραματικά πριν παρθεί η τελική απόφαση. Ωστόσο, η διαδικασία της βαθμολόγησης βοήθησε στην πρόκριση κάποιων λύσεων ως πιο επιθυμητές.

- Κριτήριο 1: Όγκος (μεγάλη βαθμολογία σημαίνει μικρός όγκος);
- Κριτήριο 2: Ευκολία κίνησης σε 2 κατευθύνσεις;
- Κριτήριο 3: Ασφάλεια έναντι επιταχύνσεων – ανεξέλεγκτης κίνησης;
- Κριτήριο 4: Ευκολία μετακίνησης με σωματική δύναμη (σε αντιδιαστολή με χρήση ανυψωτικού μοχλού – παλάγκο – lever hoist);
- Κριτήριο 5: Ευκολία προσπέρασης μικροανωμαλιών (κενών ή / και υψομετρικών διαφορών) στις διασταυρώσεις της μεταλλικής κατασκευής ολίσθησης των συσσωρευτών;
- Κριτήριο 6: Κόστος;

Στον Πίνακα 2 φαίνεται η βαθμολόγηση της κάθε εναλλακτικής θεωρώντας ισοδύναμα τα παραπάνω κριτήρια (ίδιο βάρος) και κλίμακα βαθμολογίας 1-2-κενό-4-5 (βαθμολόγηση με ποινή – πέναλτι).

Εναλλακτική/Κριτήριο	1	2	3	4	5	6	Σύνολο (/5)	Κατάταξη
1. Απευθείας ολίσθηση	Απορρίφθηκε σε αρχικό στάδιο							
2. Τροχήλατο κιτ μετακίνησης	1	4	1	4	2	1	2.6	5
3. Πανκατευθυντικοί τροχοί	2	5	1	5	2	2	3.4	4
4. Μονάδα μεταφοράς με σφαίρα	4	5	1	5	1	4	4	3
5. Διεπαφή PTFE	4	5	5	1	4	5	4.8	1
6. Διεπαφή Permaglide®	5	5	5	1	2	5	4.6	2

Πίνακας 2: Βαθμολόγηση εναλλακτικών λύσεων για το σύστημα μετακίνησης συσσωρευτών

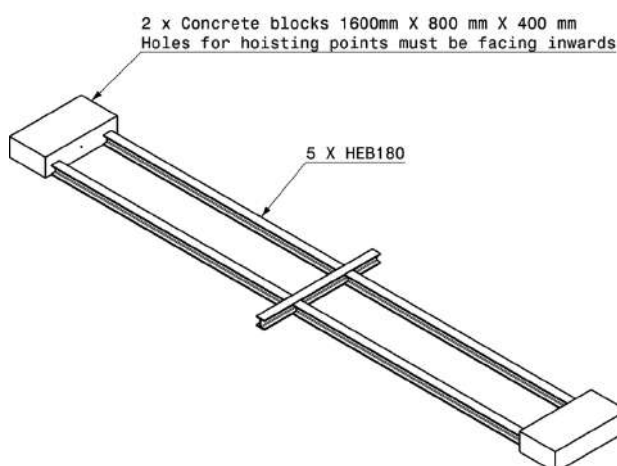
Η παραπάνω βαθμολόγηση οδήγησε σε αποτελέσματα υπέρ των λύσεων ολίσθησης (5 και 6) έναντι των λύσεων τροχήλατης. Ωστόσο, η τελική επιλογή θα έπρεπε να συνοδευτεί από αντίστοιχο πείραμα επαλήθευσης. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, αποφασίστηκε να δοκιμαστούν πειραματικά οι εναλλακτικές 5 και 6. Αν καμία από αυτές δεν ήταν επιτυχής, θα δοκιμαζόταν και η εναλλακτική 4. Η πειραματική διαδικασία αυτή και τα αποτελέσματα της παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

3.3 Πειραματική διαδικασία για τελική επιλογή λύσης

3.3.1 Προετοιμασία πειράματος

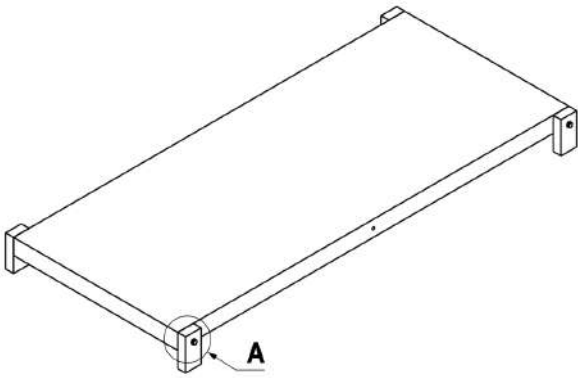
Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας ήταν η δοκιμή των δύο προτεινόμενων λύσεων σε παρεμφερείς συνθήκες με αυτές της πραγματικής διαδικασίας μεταφοράς των συσσωρευτών στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Πρώτο βήμα ήταν η δημιουργία μιας ιδιοκατασκευής που θα προσομοίαζε την μεταλλική κατασκευή στήριξης των συσσωρευτών. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιήθηκαν κάποια χαλύβδινα προφίλ μορφής H (HEB steel sections) σε κατάλληλη διάταξη ώστε να υπάρχει διασταύρωσή τους (Εικόνα 23). Στις δύο πλευρές της διάταξης τοποθετήθηκαν και δύο μπλοκ τσιμέντου με διεπαφές (οπές ειδικής μορφής) για τον εξοπλισμό ολίσθησης που θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, όπως αναμένεται σε τέτοιες κατασκευές, τα προφίλ δεν ήταν απολύτως επίπεδα στην διασταύρωσή τους λόγω κατασκευαστικών ατελειών. Συγκεκριμένα, υπήρχε μικρή υψομετρική διαφορά η οποία εξομαλύνθηκε σε έναν βαθμό με τη χρήση γωνιακού τροχού. Η μη πλήρης εξομάλυνση της ήταν κατά ένα τρόπο απαραίτητη, ώστε να ελεγχθεί η συμπεριφορά των δύο προτεινόμενων λύσεων σε μία τέτοια δυσμενή συνθήκη.



Εικόνα 23: Πειραματική διάταξη για την ολίσθηση 1.5 τόνου (βάρους συσσωρευτή) με τις εναλλακτικές λύσεις που προτιμήθηκαν. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

Όσον αφορά τον συσσωρευτή, στο στάδιο αυτό θεωρήθηκε σημαντικότερο να προσομοιαστεί απλώς το βάρος του. Για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιήθηκαν 4 χαλύβδινες πλάκες οι οποίες υπήρχαν ήδη στο CERN από προηγούμενο πείραμα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 24, η κάτω πλάκα εξοπλίστηκε στις άκρες της με 4 ορθογώνια μπλοκ χάλυβα που αποτρέπουν την πλάγια κίνηση της. Τα προαναφερθέντα συνδέονται με την πλάκα με τη χρήση ενός κοχλία. Με την χαλάρωση του κοχλία είναι δυνατή η στρέψη των μπλοκ κατά 90 μοίρες, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο κατά το στάδιο μετάβασης της πλάκας στην διασταύρωση των προφίλ HEB. Στην κάτω πλευρά της κατώτερης πλάκας έγιναν 4 οπές όπου θα μπορούσαν να τοποθετηθούν οι διεπαφές με τις δύο εναλλακτικές λύσεις προς δοκιμή. Τέλος, έγιναν και δύο οπές πλευρικά της κατώτατης πλάκας για την σύνδεση του εξοπλισμού ολίσθησης (θα παρουσιαστεί στη συνέχεια).



Εικόνα 24: Χαλύβδινες πλάκες συνολικού βάρους 1500 κιλών για την προσομοίωση του βάρους του συσσωρευτή. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

Επόμενο βήμα ήταν η κατασκευή των διεπαφών ολίσθησης από Teflon και Permaglide®. Οι συγκεκριμένες διεπαφές κατασκευάστηκαν σε ένα από τα εργαστήρια του CERN και φαίνονται στην Εικόνα 25. Αποτελούνται από τρία μέρη:

1. Το υλικό ολίσθησης (στην πρώτη περίπτωση PTFE κυλινδρικής μορφής με ακτίνα καμπυλότητας και στην δεύτερη περίπτωση Permaglide® σε μορφή ροδέλας);
2. Ένα πλαίσιο στήριξης κυλινδρικής μορφής με εσοχή-ποκέτα στις διαστάσεις του εκάστοτε υλικού ολίσθησης;
3. Το μηχανισμό συναρμολόγησης. Στην περίπτωση του PTFE είναι ένας κοχλίας που ενώνει τα (1) και (2) με την κατώτερη χαλύβδινη πλάκα και στην περίπτωση του Permaglide είναι ένα κομμάτι ταινίας διπλής όψεως που ενώνει το (1) με το (2) και ένας κοχλίας που ενώνει τα δύο αυτά μέρη με την κατώτερη χαλύβδινη πλάκα.



Εικόνα 25: Οι διεπαφές από PTFE (αριστερά) και Permaglide® (δεξιά) για τον έλεγχο των δύο εναλλακτικών λύσεων. Πηγή: Φωτογραφίες του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

Πέραν των προηγούμενων, για την επιτυχή εξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας χρειάστηκε και μια σειρά επιπλέον βοηθητικού εξοπλισμού που φαίνεται στην Εικόνα 26:

- Ένα παλάγκο με μοχλό (lever hoist) με ικανότητα εφαρμογής δύναμης που αντιστοιχεί σε 1.5 τόνο;
- Δυναμόμετρο για την μέτρηση της απαιτούμενης δύναμης ολίσθησης ώστε να υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής;
- Υφασμάτινοι ιμάντες μεταφοράς φορτίου σε περίπτωση που το μήκος της αλυσίδας του παλάγκο δεν επαρκεί;
- Ναυτικά κλειδιά για την ένωση της αλυσίδας του παλάγκο και των ιμάντων με τις χαλύβδινες πλάκες και τα τσιμεντένια μπλοκ αντίστοιχα;
- Φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα και σφιγκτήρες για την ασφάλιση τους στην άνω πλευρά των προφίλ Η;
- Κλειδιά συναρμολόγησης (γαλλικά και εξαγωνικά).



Εικόνα 26: Εξοπλισμός για την διεξαγωγή του πειράματος ολίσθησης: 1. Παλάγκο ενάμιση τόνου, 2. Υφασμάτινοι ιμάντες φορτίου δύο τόνων, 3. Διεπαφές Permaglide®, 4. Εξοπλισμός συναρμολόγησης (γαλλικά και εξαγωνικά κλειδιά), 5. Δυναμόμετρο, 6. Φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα, 7. Σφιγκτήρες τύπου F, 8. Ναυτικά κλειδιά. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN

3.3.2 Εξαγωγή πειράματος

Μετά την εγκατάσταση της πειραματικής διάταξης που περιεγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο αποφασίστηκε η εξαγωγή του πειράματος ελέγχοντας 3 «σενάρια»:

Σενάριο 1^ο: Ολίσθηση διεπαφής PTFE απευθείας στην μεταλλική επιφάνεια των προφίλ ΗΕΒ

Οι τέσσερις πλάκες συνολικού βάρους 1470 κιλών ανυψώθηκαν με τη χρήση γερανού και στην κάτω πλευρά της κατώτερης από αυτές τοποθετήθηκαν οι διεπαφές με το PTFE. Έπειτα, οι 4 πλάκες τοποθετήθηκαν στα προφίλ ΗΕΒ και ενώθηκαν με το δυναμόμετρο και τον εξοπλισμό ολίσθησης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη υποενότητα.

Η ολίσθηση των 4 πλακών ξεκίνησε επιτυχώς και ταυτόχρονα το δυναμόμετρο κατέγραφε την απαιτούμενη δύναμη. Παρατηρήθηκε ότι η δύναμη αυτή παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ανάλογα με το τρόπο χειρισμού του παλάγκο. Συγκεκριμένα, η χαμηλότερη δύναμη παρουσιάζεται όταν ο μοχλός του περιστρέφεται ήρεμα και σταθερά – χωρίς τραντάγματα και διακοπτόμενη περιστροφή. Συνεπώς, οι τιμές που θα δοθούν στην συνέχεια αντιστοιχούν σε τέτοιου είδους ομαλή περιστροφή του μοχλού. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι οι τιμές αυτές αντλήθηκαν από την **μέγιστη καταγραφόμενη** δύναμη του δυναμόμετρου. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.1.1, υπάρχει διάκριση μεταξύ του στατικού συντελεστή τριβής (κατά το ξεκίνημα της κίνησης) και του συντελεστή τριβής ολίσθησης (κατά την ομαλή κίνηση του προς μεταφορά αντικειμένου). Για την επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων, όμως, αποφασίστηκε η χρήση της μέγιστης καταγραφόμενης δύναμης ως μέτρο σύγκρισης τους, ανεξαρτήτως του αν αυτή αντιστοιχεί στο σε φαινόμενα στατικής τριβής ή τριβής ολίσθησης.

Με βάση αυτές τις παραδοχές – διευκρινήσεις, η μέγιστη δύναμη που καταγράφηκε κατά την κίνηση στο ομαλό μήκος των προφίλ Η ήταν **190 κιλά** (εδώ σημειώνεται ότι επιλέχθηκε η παρουσίαση των μετρήσεων σε κιλά και όχι σε Newtons ώστε να είναι πιο κατανοητή η αναλογία προς το συνολικό βάρος των 1470 κιλών των πλακών).

Εξίσου σημαντική ήταν και η μέτρηση της δύναμης για την υπερνίκηση της διασταύρωσης των προφίλ Η, η οποία μετρήθηκε ίση με **212 κιλά**. Η αύξηση αυτή ήταν αναμενόμενη αφού, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στη διασταύρωση των προφίλ υπήρχε μικρή υψομετρική διαφορά λόγω διαστασιολογικών ατελειών. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκε μια μικρή περιστροφή γύρω από τον άξονα ενός διεπαφών PTFE έως ότου αυτή «μπλοκαριστεί» από τους πλευρικούς οδηγούς της κατώτατης πλάκας. Σε περίπτωση που δεν υπήρχαν οι οδηγοί δεν θα ήταν εφικτή η προσπέραση της υψομετρικής διαφοράς της διασταύρωσης και αντ' αυτής όλο το φορτίο θα κινούνταν πλευρικά μέχρι να πέσει από τα προφίλ Η. Ανάλογα φαινόμενα παρατηρήθηκαν και στα επόμενα σενάρια και καθιστούν σαφή την ανάγκη ύπαρξης συστήματος καθοδήγησης του συσσωρευτή κατά τον τελικό σχεδιασμό.

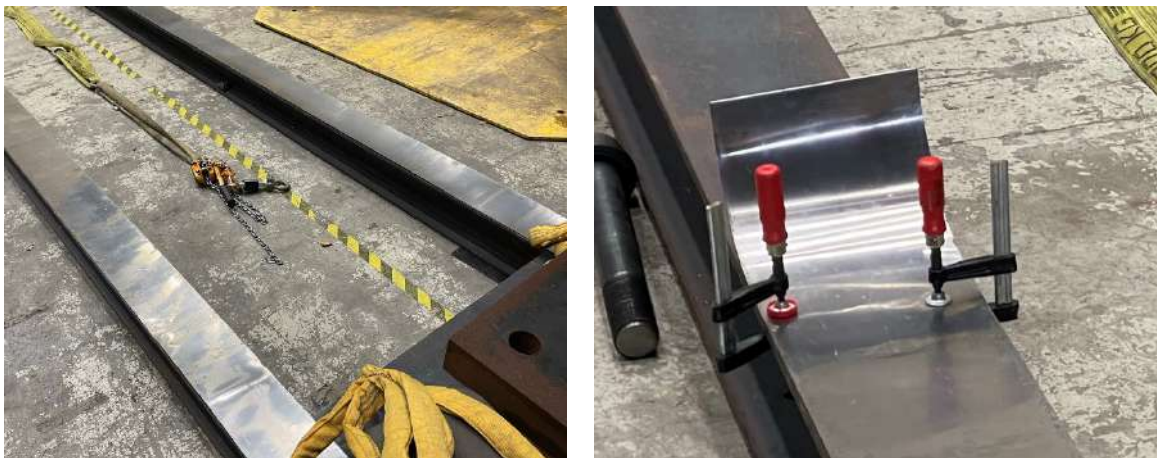
Με την επιτυχή ολοκλήρωση του πρώτου σεναρίου, το επόμενο βήμα ήταν να ανυψωθούν οι πλάκες για να τοποθετηθεί το φύλλο χάλυβα για το δεύτερο σενάριο. Η ανύψωση των πλακών ήταν μια καλή ευκαιρία για να ελεγχθεί ο βαθμός στον οποίο είχε φθαρεί η διεπαφή PTFE μετά την ολίσθηση στην τραχιά επιφάνεια των προφίλ Η (δεν είχαν καθαριστεί επίτηδες ώστε να ελεγχθεί η δυσμενέστερη συνθήκη). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 27, η φθορά/λέρωμα ήταν ελάχιστη και σημαντικό μέρος της αφαιρέθηκε έπειτα από ελαφρύ τρίψιμο του υλικού με ένα υγρό πανί.



Εικόνα 27: Μικρή φθορά των διεπαφών PTFE: Μικρογρατζουνιές και λέρωμα πριν και μετά το τρίψιμο με νωπό πανί. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

Σενάριο 2^ο: Ολίσθηση διεπαφής PTFE πάνω σε φύλλο ανοξείδωτου χάλυβα

Για την μείωση του συντελεστή τριβής προτάθηκε η δοκιμή επικάλυψης των προφίλ Η με λεπτό φύλλο ανοξείδωτου χάλυβα που παρουσιάζει πολύ λεία επιφάνεια. Δύο μακριές λωρίδες αυτού του φύλλου τοποθετήθηκαν στις δοκούς HEB και ασφαλίστηκαν σε αυτά με την χρήση σφιγκτήρων (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Τοποθέτηση φύλλου ανοξείδωτου χάλυβα κατά μήκος των δοκών HEB (αριστερά) και στήριξή του με σφιγκτήρες. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

Η προσθήκη του φύλλου αυτού είχε ως αποτέλεσμα μια σημαντική μείωση στη μέγιστη απαιτούμενη δύναμη ολίσθησης κατά την κίνηση στο ομαλό μήκος των δοκών (**122 kg**). Κατά την υπερνίκηση της υψομετρικής διαφοράς στη διασταύρωση των προφίλ Η, η μέγιστη δύναμη που μετρήθηκε ήταν **198 kg** (μια μικρή βελτίωση από τα 212 kg που μετρήσαμε στο πρώτο σενάριο).

Σενάριο 3^ο: Ολίσθηση διεπαφής Permaglide® πάνω σε φύλλο ανοξείδωτου χάλυβα

Κρίνοντας από την σημαντική αύξηση της απαιτούμενης δύναμης για την προσπέραση της διασταύρωσης ακόμα όταν χρησιμοποιήθηκε PTFE με σημαντική ακτίνα καμπυλότητας, υπήρχε αμφιβολία ότι οι ροδέλες Permaglide® θα μπορούσαν να ξεπεράσουν μια αντίστοιχη υψομετρική διαφορά. Ωστόσο, δοκιμάστηκε και αυτό το σενάριο για λόγους πληρότητας. Για να μην καταστραφούν πρώιμα οι διεπαφές αποφασίστηκε να εστιάσουμε πρώτα στη δοκιμή τους στην λεία επιφάνεια του φύλλου ανοξείδωτου χάλυβα. Όπως ήταν αναμενόμενο, η απόδοση του Permaglide ήταν η καλύτερη όσον αφορά την ολίσθηση στο λείο μέρος των δοκών, με την υψηλότερη καταγραφόμενη δύναμη από το δυναμόμετρο να είναι μόλις **90 kg**.

Ωστόσο, κατά την προσπάθεια προσπέρασης της διασταύρωσης των προφίλ, οι πλάκες άρχισαν να περιστρέφονται ξανά όπως περιεγράφηκε και στο σενάριο 1, μόνο που αυτήν τη φορά οι πλευρικοί οδηγοί δεν ήταν αρκετοί για την επιτυχή διάβαση πάνω από την μικρή υψομετρική διαφορά. Αντ' αυτής, μετρήθηκαν δυνάμεις ακόμη και άνω των **350 κιλών** και στο σημείο αυτό αποφασίστηκε να διακοπεί το πείραμα και να ελεγχθεί η κατάσταση των διεπαφών. Έτσι, οι πλάκες ανυψώθηκαν με τον γερανό για να ανακτηθούν οι ροδέλες Permaglide®. Διαπιστώθηκε ότι οι υψηλές διατμητικές δυνάμεις που ασκήθηκαν από το παλάγκο στο φύλλο χάλυβα είχαν προκαλέσει το σχίσιμο του που με τη σειρά του οδήγησε σε εκτεταμένη φθορά στην επιφάνεια των ροδελών Permaglide®



Εικόνα 29: Τα αποτελέσματα του τρίτου σεναρίου του πειράματος ολίσθησης κατά την διασταύρωση των προφίλ ΗΕΒ: Σχισμένο φύλλο ανοξείδωτου χάλυβα (αριστερά) και εκτεταμένη φθορά στις ροδέλες Permaglide® (δεξιά). Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

3.3.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων για επιλογή τελικής λύσης

Με τα τρία αυτά σενάρια το πείραμα ολοκληρώθηκε και, εφόσον τα δύο πρώτα είχαν εξαιρετικά ενθαρρυντικά αποτελέσματα, αποφασίστηκε ότι η τελική λύση θα ήταν μία λύση ολίσθησης και όχι τροχηλάτησης. Συνεπώς, κρίθηκε άσκοπη η εξέταση των μη προκριθέντων εναλλακτικών της παραγράφου 3.1. Πίνακας 3 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων που εξετάστηκαν.

Κριτήριο / Σενάριο	PTFE – Προφίλ Η	PTFE – Φύλλο χάλυβα	Permaglide® – Φύλλο χάλυβα
Επιτυχής ολίσθηση σε λεία επιφάνεια	Ναι	Ναι	Ναι
Συντελεστής τριβής σε λεία επιφάνεια	0.129	0.083	0.061
Επιτυχής ολίσθηση σε διασταύρωση	Ναι	Ναι	Όχι
Συντελεστής τριβής σε διασταύρωση	0.144	0.135	-

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πειράματος για την επιλογή της τελικής λύσης ολίσθησης των συσσωρευτών στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού.

Το σενάριο με τις ροδέλες Permaglide® απορρίφθηκε δεδομένου ότι δεν ικανοποίησε την ανάγκη προσπέρασης της διασταύρωσης των προφίλ. Παρά τα ενθαρρυντικά της αποτελέσματα στο λείο μέρος των δοκών, η συγκεκριμένη λύση θα μπορούσε να εφαρμοστεί επιτυχώς μόνο εάν οι διασταυρώσεις του τελικού μηχανισμού λειανθούν με εξαιρετικά αυστηρές ανοχές, προκειμένου να επιτευχθεί τέλεια ευθυγράμμιση των δοκών στο σημείο αυτό. Κάτι τέτοιο θα αύξανε το κόστος και θα απαιτούσε αρκετό χρόνο – μιας και λόγω της γεωμετρίας του μηχανισμού που θα κατασκευαστεί αναμένονται πολλά σημεία ένωσης των δοκών.

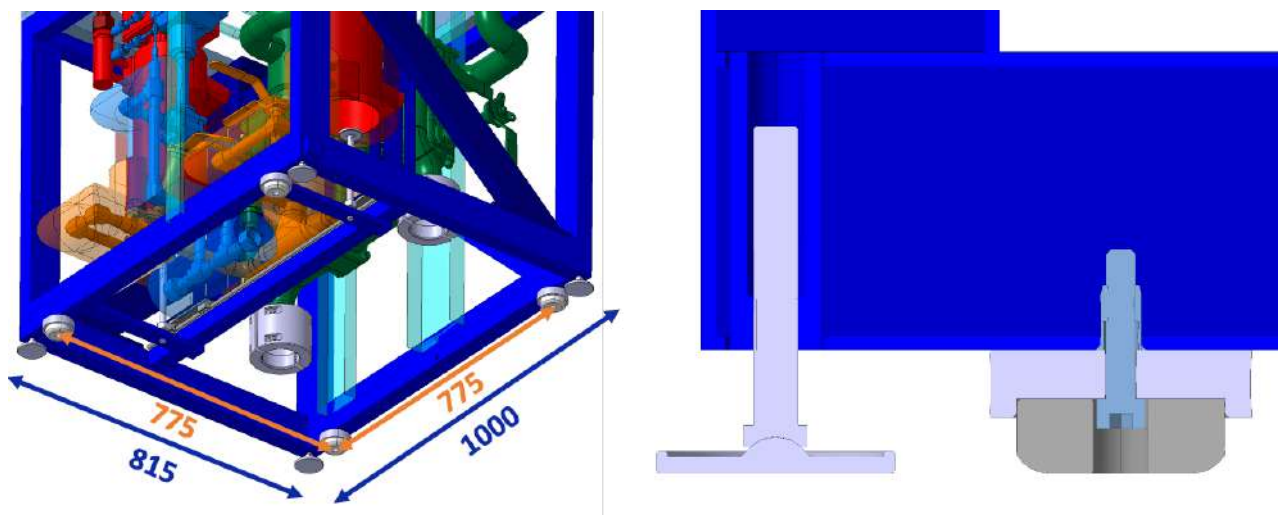
Όσον αφορά τα δύο πρώτα σενάρια, είναι σαφές ότι η ύπαρξη φύλλου χάλυβα προσφέρει χαμηλότερο συντελεστή τριβής ειδικά όταν πρόκειται για ολίσθηση του ενάμιση τόνου πάνω στη λεία επιφάνεια της δοκού. Ωστόσο, όταν πρόκειται για την υπέρβαση των διασταυρώσεων, η διαφορά μεταξύ των δύο συντελεστών τριβής μετρήθηκε μόλις στο 1% - τιμή που θα μπορούσε κάλλιστα να αντιστοιχεί σε στατιστική αβεβαιότητα. Επιπλέον, η προσθήκη του χαλύβδινου φύλλου σε κάθε δοκό και η στερέωσή του με ταινία διπλής όψης ή κάποιου άλλου μηχανισμού θα είναι αρκετά χρονοβόρα. Δεδομένου ότι το πείραμα ήταν επιτυχές ακόμη και χωρίς αυτό και μάλιστα χωρίς σημαντική διαφορά στην απαιτούμενη δύναμη, αποφασίστηκε πως θα ήταν καλύτερο να ακολουθηθεί το πρώτο σενάριο και για τον πραγματικό σχεδιασμό του συρόμενου μηχανισμού των 6 συσσωρευτών που θα εγκατασταθούν στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού.

4 Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων μηχανισμού μεταφοράς συσσωρευτών

4.1 Ενσωμάτωση διεπαφής PTFE στο πλαίσιο του συσσωρευτή

Επόμενο βήμα είναι η ενσωμάτωση στο μεταλλικό πλαίσιο του συσσωρευτή της λύσης που επιλέχθηκε με βάση τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.3. Συγκεκριμένα, το μεταλλικό πλαίσιο του συσσωρευτή που φαίνεται στην Εικόνα 30 έχει (σε κάτοψη) εξωτερικές διαστάσεις 1000 mm X 815 mm. Ωστόσο, για λόγους που θα γίνουν σαφείς στην παράγραφο 4.2.1, ζητήθηκε από τους σχεδιαστές του συσσωρευτή να εξοπλίσουν το πλαίσιό του με 4 διαμπερείς οπές των οποίων οι άξονες σχηματίζουν τετράγωνο πλευράς 775 mm. Οι οπές αυτές εξοπλίζονται με πριτσίνια σπειρώματος που συγκρατούν τις διεπαφές PTFE.

Για λόγους πληρότητας αναφέρεται ότι οι 4 γωνίες του πλαισίου του συσσωρευτή εξοπλίστηκαν με πόδια στήριξης. Συγκεκριμένα, ο συσσωρευτής θα ολισθαίνει πάνω σε μία μεταλλική κατασκευή μέσω των διεπαφών PTFE και όταν φτάνει στην τελική του θέση το βάρος του θα μοιράζεται στα 4 αυτά πόδια (όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα). Έτσι, το τεφλόν θα καταπονείται μόνο κατά την διάρκεια της κίνησης του συσσωρευτή και εξαλείφεται ο κίνδυνος εναπόθεσης σημαντικής ποσότητάς του πάνω στην μεταλλική κατασκευή κατά τις διαρκείς περιόδους ακινησίας του συσσωρευτή. Σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν δύσκολη η αρχική κίνηση του συσσωρευτή σε περίπτωση ανάγκης (π.χ. απομάκρυνση σε περίπτωση βλάβης μετά από κάποια χρόνια λειτουργίας).



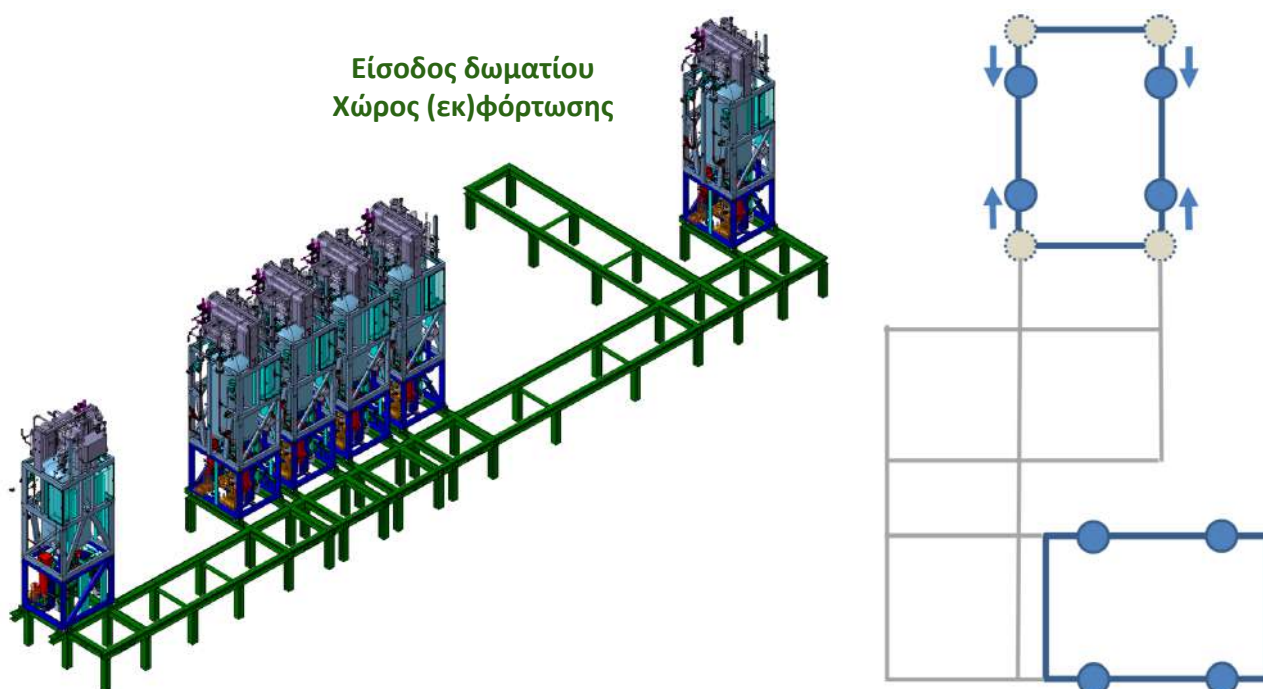
Εικόνα 30: Ενσωμάτωση διεπαφής PTFE στο πλαίσιο του συσσωρευτή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

4.2 Μεταλλική κατασκευή ολίσθησης και στήριξης συσσωρευτών

4.2.1 Γενική διάταξη

Η γενική διάταξη του δωματίου ψύξης και εξαερισμού έχει ήδη παρουσιαστεί στην Εικόνα 6 και στην Εικόνα 19. Αν από τρισδιάστατα συναρμολογημένα μοντέλα των εικόνων αυτών αφαιρέσουμε τον περιβάλλοντα εξοπλισμό και κρατήσουμε μόνο τους συσσωρευτές και την μεταλλική κατασκευή στήριξής τους προκύπτει το μοντέλο που φαίνεται στην Εικόνα 31α. Οι τελικές θέσεις των συσσωρευτών που φαίνονται στην εικόνα αυτή ήταν ήδη καθορισμένες (με βάση τους γεωμετρικούς περιορισμούς του δωματίου ψύξης και εξαερισμού) από συναδέλφους του συγγραφέα της παρούσας διπλωματικής και αποτέλεσαν την αφετηρία του προτεινόμενου σχεδιασμού που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.

Η μεταλλική κατασκευή ξεκινάει κοντά στην είσοδο του δωματίου και διακλαδώνεται σε δύο διευθύνσεις προς την τελική θέση του κάθε ενός από τους 6 συσσωρευτές. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ο συσσωρευτής στα αριστερά της επόμενης εικόνας (έστω συσσωρευτής #1) είναι στραμμένος κατά 90° σε σχέση με τους υπόλοιπους 5. Η ιδιαίτερη αυτή του τοποθέτηση σε συνδυασμό με το γεγονός πως επιθυμούμε την κίνηση των συσσωρευτών σε δύο διευθύνσεις οδήγησε στην απόφαση να τοποθετηθούν οι διεπιφάνειες ολίσθησης PTFE σε τετραγωνικό μοτίβο και όχι στις 4 γωνίες του πλαισίου του συσσωρευτή (αναφέρθηκε και στην προηγούμενη υποενότητα). Η ανάγκη της ειδικής αυτής τοποθέτησης για την συμβατότητα της ολίσθησης και στις 2 διευθύνσεις φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 31β.



Εικόνα 31: α) Μοντέλο γενικής διάταξης συσσωρευτών και μεταλλικής κατασκευής στήριξής του και β) Σχηματική εξήγηση ανάγκης τοποθέτησης διεπιφανειών PTFE σε τετραγωνικό μοτίβο αντί για ορθογωνικό. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

4.2.2 Υλικό και απαιτήσεις αντοχής

Σημείωση: Οι απαιτήσεις που ακολουθούν διαβιβάστηκαν στην εταιρεία που ανέλαβε τον τελικό σχεδιασμό και παραγωγή της μεταλλικής κατασκευής, όπως εξηγείται στην Ενότητα 9.

Η μεταλλική κατασκευή θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει τους συσσωρευτές βάρους 1500 κιλών. Κατά την ολίσθηση τους θα πρέπει να θεωρηθούν ως κινητό φορτίο (mobile load), όπως αυτό ορίζεται στον κώδικα μεταλλικών κατασκευών Eurocode 3 και άρα οι όποιοι υπολογισμοί να γίνουν με συντελεστή προσαύξησης φορτίου ίσο με 1.5. Από τον συγγραφέα προτείνεται η χρήση κοινών δοκών διατομής HEB100 (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά) και υλικού S235JR. Για την μεταξύ τους σύνδεση προτείνονται κοχλίες ISO 4017 – 8.8 M10 (μαζί με τα αντίστοιχα περικόχλια ISO 4032 και ροδέλες ISO 7089) με κατάλληλο μήκος σπειρώματος. Η ασφάλεια της κατασκευής θα πρέπει να ακολουθεί τις προδιαγραφές του κώδικα Eurocode 3 και τους ισχύοντες κανόνες ασφαλείας του CERN για τις μεταλλικές κατασκευές.

Πέραν αυτών, ο συγγραφέας εκτέλεσε μια ανάλυση αντοχής της κατασκευής κάνοντας χρήση ενός απλοποιημένου τρισδιάστατου μοντέλου ώστε να αποκτήσει μια ιδέα για τα φορτία και τα βέλη κάμψης που προκύπτουν με βάση την γενική διαστασιολόγηση που επιλέχθηκε. Αυτή η ανάλυση αντοχής έχει επισυναφθεί στο Παράρτημα B1.

4.2.3 Προστασία κατασκευής

Όλα τα μέρη της μεταλλικής κατασκευής θα πρέπει να προστατεύονται από τουλάχιστον 60μm θερμής επίστρωσης ψευδαργύρου (hot zinc coating).

4.2.4 Λειτουργικές και διαστασιολογικές απαιτήσεις

Σημείωση: Οι ακόλουθες λειτουργικές και διαστασιολογικές απαιτήσεις συνοδεύονται από επεξηγηματικές εικόνες που προέρχονται από το τρισδιάστατο μοντέλο της μεταλλικής κατασκευής που δημιουργήθηκε από τον συγγραφέα της παρούσας εργασίας. Το μοντέλο αυτό διαβιβάστηκε και στην εταιρεία που ανέλαβε τον τελικό σχεδιασμό και παραγωγή της μεταλλικής κατασκευής, όπως εξηγείται στην Ενότητα 9.

Δοκοί ολίσθησης συσσωρευτών

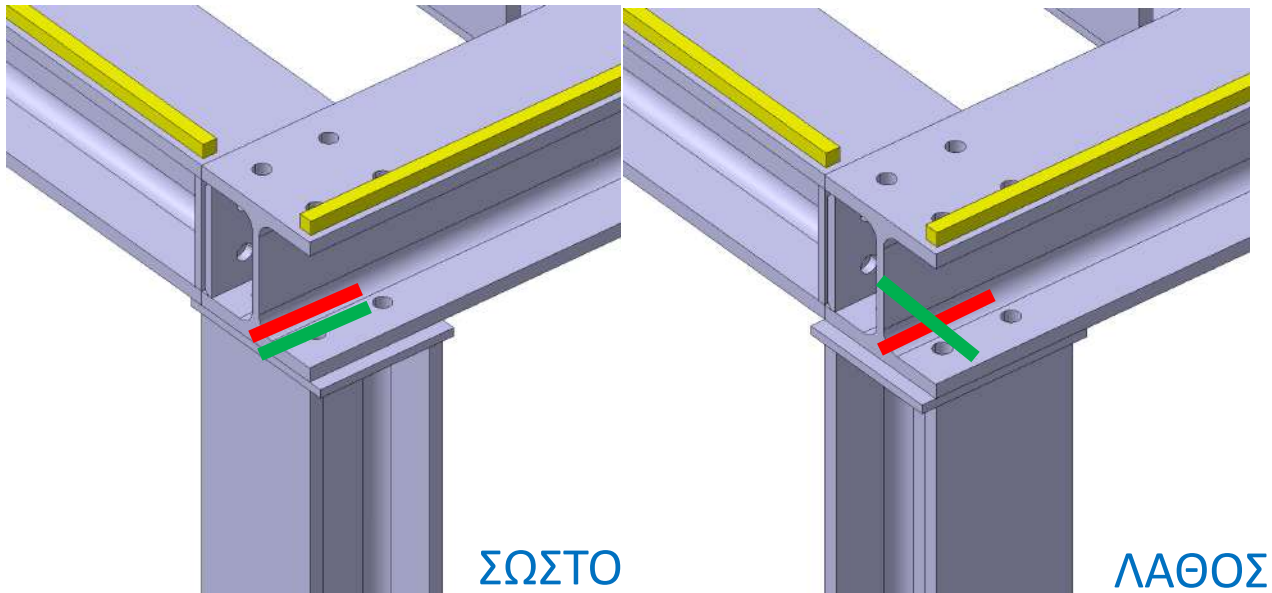
Οι συσσωρευτές ολισθαίνουν πάνω σε δοκούς διατομής HEB100 (στις τελικές θέσεις η μία από τις 4 πλευρές τους στηρίζεται σε δοκό διατομής UPN100 – βλ. τρισδιάστατο μοντέλο). Κάθε μία από τις δοκούς αυτές αποτελείται από την ίδια την δοκό, πλάκες σύνδεσης (connection plates) με άλλες δοκούς καθώς και διάφορα άλλα βοηθητικά εξαρτήματα που θα παρουσιαστούν αργότερα.

Οι διαστάσεις των μελών αυτών πρέπει να τηρηθούν προκειμένου να ενσωματωθεί επιτυχώς η κατασκευή στο περιβάλλοντα χώρο. Οι θέσεις των διάφορων οπών σε αυτά τα μέλη πρέπει επίσης να τηρούνται αυστηρά καθώς αποτελούν διεπαφές σύνδεσης με εξαρτήματα που θα παρουσιαστούν αργότερα.

Τα μέλη αυτά πρέπει να εγγυόνται τη μετατόπιση και την ολίσθηση του συσσωρευτή σε ολόκληρη τη διαδρομή του (Εικόνα 31). Συνεπώς, η παραγωγή τους και η εγκατάστασή τους στο δωμάτιο ψύξης και αερισμού θα πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να διασφαλίζεται η ευθυγράμμιση του προφίλ στη διεπαφή για να επιτρέπεται η ομαλή μετάβαση στις διασταυρώσεις δοκών (μικρές ατέλειες μπορούν να υπερνικηθούν από την ακτίνα καμπυλότητας της διεπαφής PTFE όπως έχει ήδη εξηγηθεί).

Πόδια στήριξης στο έδαφος

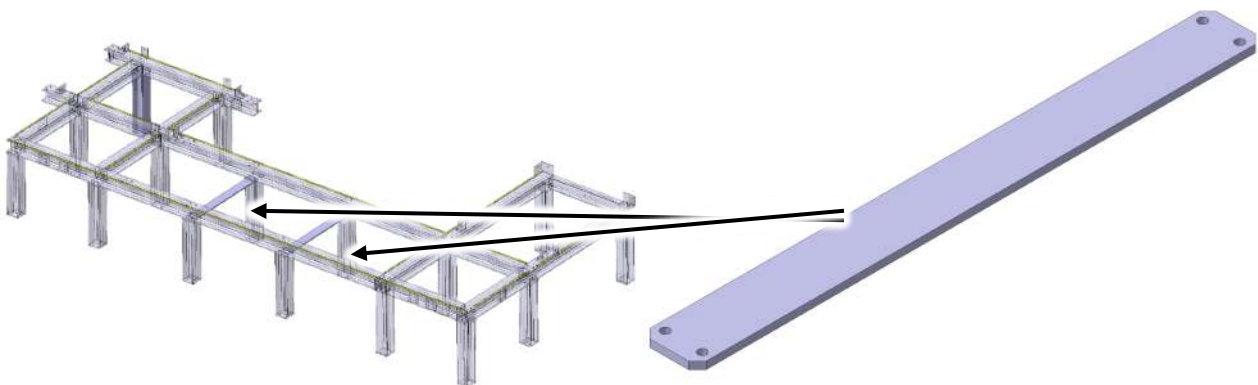
Η κατασκευή στηρίζεται στο έδαφος με τη χρήση ποδιών στήριξης που αποτελούνται από δοκούς διατομής HEB100, μία πλάκα σύνδεσης με τις δοκούς που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και μία πλάκα σύνδεσης με το έδαφος. Τονίζεται ότι κατά την σύνδεσή τους, οι κάθετες λάμες των δοκών (beam webs) θα πρέπει να τοποθετούνται παράλληλα και όχι κάθετα (βλ. Εικόνα 32) ώστε να αποφεύγεται υψηλή συγκέντρωση τάσεων στο σημείο συνάντησής τους.



Εικόνα 32: Οι κάθετες λάμες των συνδεόμενων δοκών (beam webs) θα πρέπει να είναι μεταξύ τους παράλληλες (αριστερά) και όχι κάθετες (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Αντηρίδες στήριξης (supporting struts)

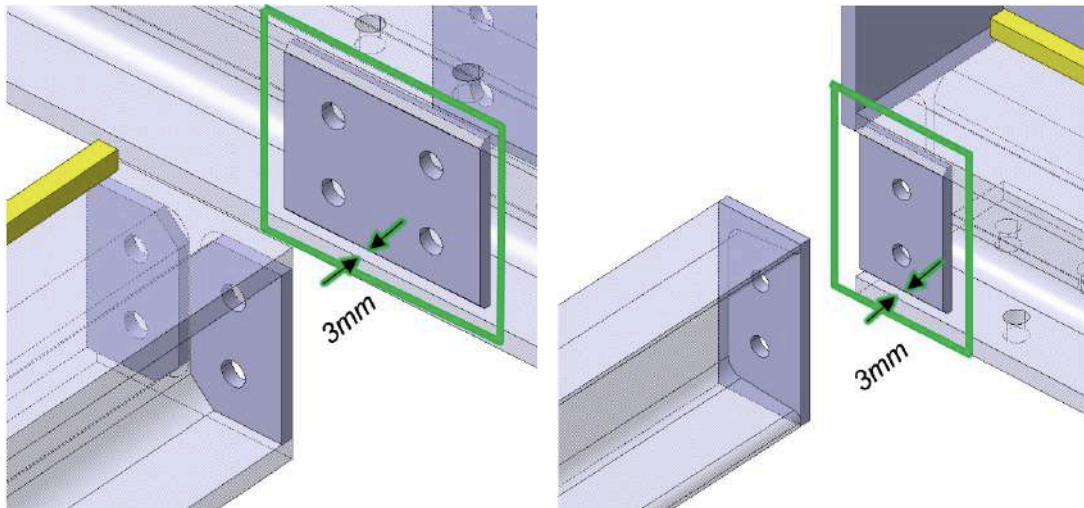
Η κατασκευή θα πρέπει να εξοπλιστεί με αντηρίδες στήριξης (supporting struts) σε σημεία όπου υπάρχουν ιδιαίτερα μακριοί δοκοί (>1.5 μέτρο) – για παράδειγμα βλέπε Εικόνα 33. Αυτά τα στηρίγματα προσφέρουν προστασία ενάντια στο διαχωρισμό/άνοιγμα των προαναφερθέντων μακρών δοκών όταν ο συσσωρευτής ολισθαίνει πάνω τους.



Εικόνα 33: Παράδειγμα χρήσης αντηρίδας στήριξης (supporting strut) που προστατεύει ενάντια στο διαχωρισμό/άνοιγμα των μακρών δοκών HEB100. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Συνδέσεις μεταξύ δοκών ολίσθησης συσσωρευτών

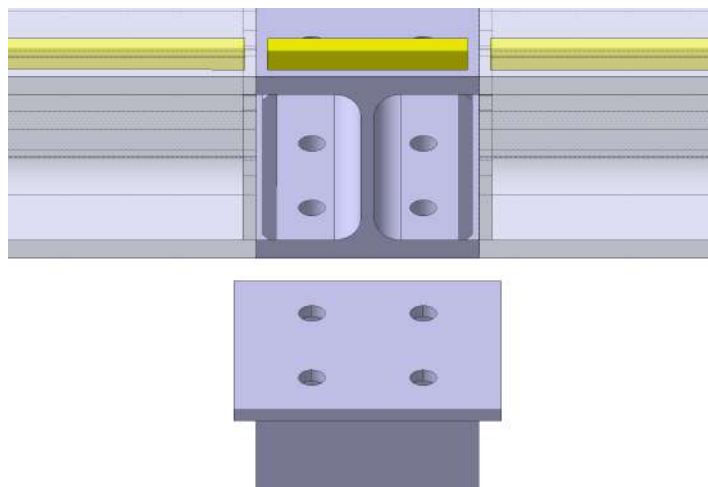
Οι δοκοί πάνω στις οποίες θα ολισθαίνουν οι συσσωρευτές προτείνεται να εξοπλιστούν με συγκολλητές πλάκες σύνδεσης στο εσωτερικό των προφίλ ΗΕΒ100 και UPN100, όπως φαίνεται στην Εικόνα 34. Η σύνδεση επιτυγχάνεται με το σετ κοχλιών που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.2.2. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να μην προεξέχει υλικό συγκόλλησης από τις εξωτερικές όψεις των πλακών αυτών ώστε να ελαχιστοποιηθούν τυχόν ανωμαλίες/μικροκενά στις διασταυρώσεις των δοκών που θα δυσχεραίνουν την επιτυχή μετάβαση του συσσωρευτή κατά την ολίσθησή του. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η συγκόλληση των πλακών έχοντας μια μικρή εσοχή της τάξης των 3 mm, όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα με πράσινο χρώμα.



Εικόνα 34: Οι προτεινόμενες συγκολλητές πλάκες σύνδεσης των δοκών ολίσθησης των συσσωρευτών. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Συνδέσεις μεταξύ δοκών ολίσθησης συσσωρευτών και ποδιών στήριξης

Όλα τα πόδια στήριξης συνδέονται με τις δοκούς ολίσθησης με την χρήση μίας ορθογώνιας πλάκας που είναι συγκολλημένη σε αυτά όπως φαίνεται στην Εικόνα 35. Προτείνεται η πλάκα αυτή να έχει ένα χείλος της τάξης των 10 mm σε κάθε πλευρά της ώστε οι διατμητικές δυνάμεις που θα προκαλεί το φορτίο/βάρος του συσσωρευτή να περνάνε μέσα από αυτές στα πόδια στήριξης και τελικά στο πάτωμα του δωματίου (αντί να καταπονούν τους κοχλίες σύνδεσης).

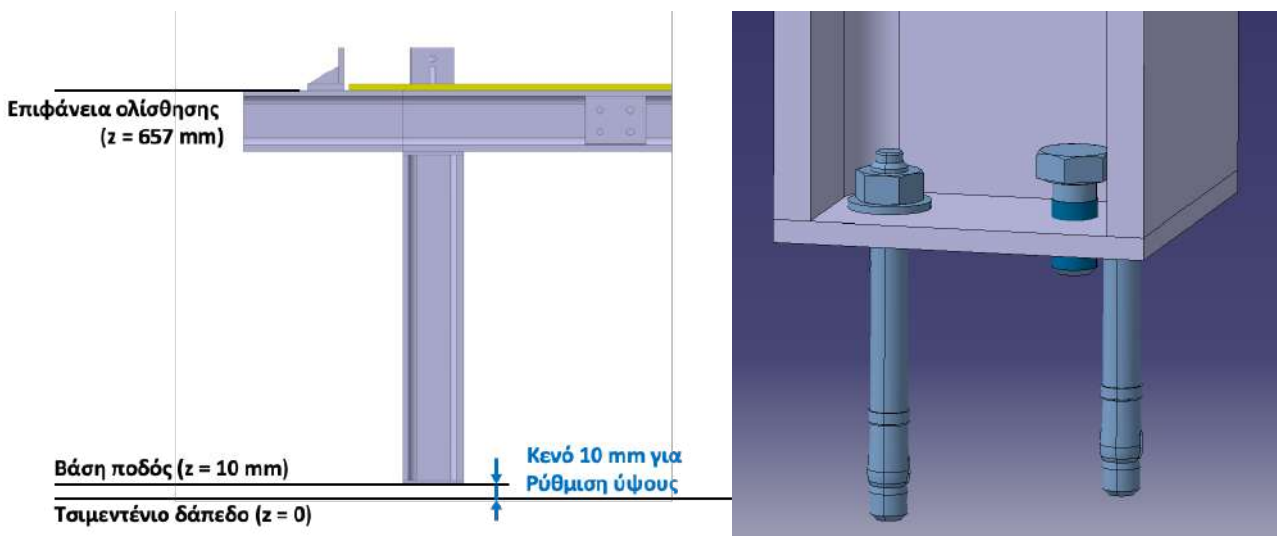


Εικόνα 35: Οι προτεινόμενες συγκολλητές πλάκες σύνδεσης των δοκών ολίσθησης των συσσωρευτών με τα πόδια στήριξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Συνδέσεις μεταξύ δοκών ολίσθησης συσσωρευτών και εδάφους

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο σημαντικότερος παράγοντας για την επιτυχή ολίσθηση του συσσωρευτή στα σημεία διασταύρωσης των δοκών είναι η ύπαρξη υψομετρικών διαφορών σε αυτές, πηγή των οποίων είναι οι διαστασιολογικές ατέλειες των δοκών (μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τρόχισή τους) και **κυρίως οι ανωμαλίες επιπεδότητας του τσιμεντένιου δαπέδου** του δωματίου ψύξης και εξαερισμού.

Συνεπώς, η μεταλλική κατασκευή θα πρέπει να εξοπλιστεί με έναν μηχανισμό ρύθμισης του τελικού ύψους των επιμέρους τμημάτων του συναρμολογημένου συνόλου. Συγκεκριμένα, προτείνεται η ύπαρξη κενού της τάξης των 10 mm μεταξύ της βάσης των ποδιών στήριξης και του τσιμεντένιου δαπέδου. Στη βάση αυτή προσαρτάται συγκολλητή πλάκα με 2 οπές 12 mm και δύο σπειρωτές οπές M12 στις οποίες αντιστοιχούν 2 μπουλόνια σκυροδέματος (anchor bolts) για την στήριξη της κατασκευής και 2 M12 κοχλίες ρύθμισης ύψους (βλ. Εικόνα 36). Αφού επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος με ρύθμιση των κοχλιών ύψους ακολουθεί τοπική εναπόθεση υγρού τσιμέντου για την τελική στερέωση της κατασκευής.

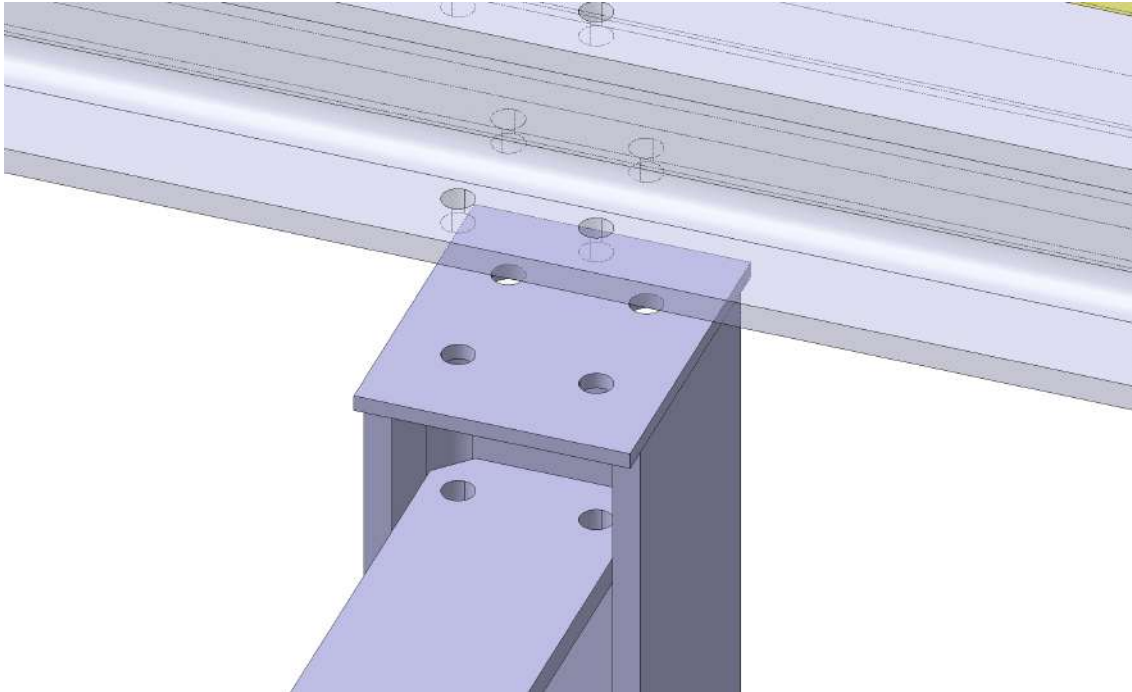


Εικόνα 36: Πλάγια όψη όπου διακρίνεται το τελικό επιθυμητό ύψος της μεταλλικής κατασκευής με ένα επιπλέον κενό 10 mm για τον μηχανισμό ρύθμισης ύψους που φαίνεται στη δεξιά πλευρά.

Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Συνδέσεις μεταξύ δοκών ολίσθησης συσσωρευτών, ποδιών στήριξης και αντηρίδων στήριξης

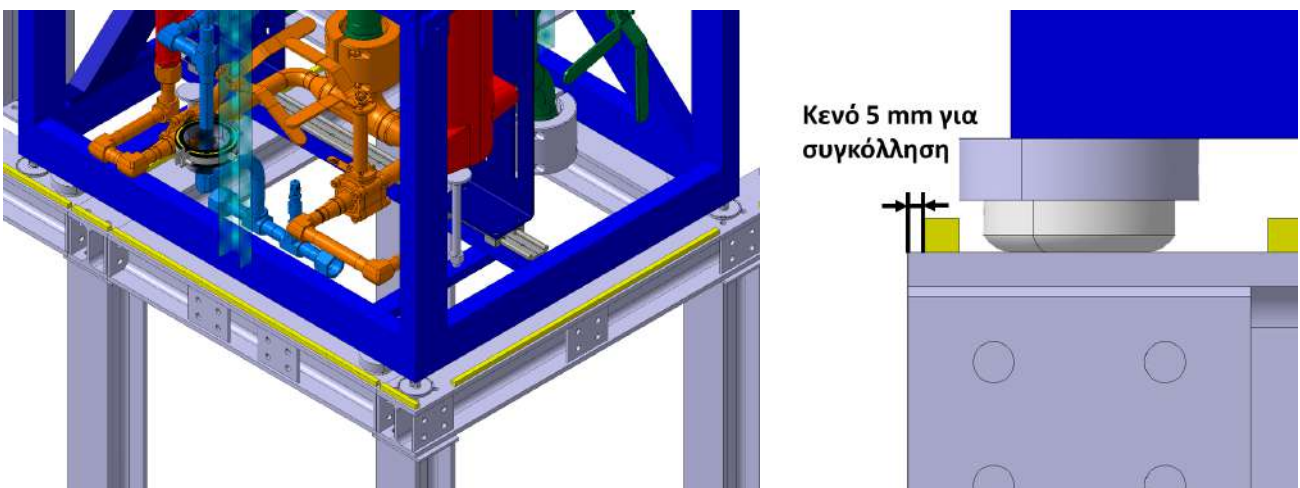
Οι αντηρίδες στήριξης είναι τοποθετημένες κάτω από της πλάκες σύνδεσης που βρίσκονται μεταξύ των ποδιών στήριξης και των δοκών ολίσθησης των συσσωρευτών. Η σύνδεση τους γίνεται με το ίδιο σετ βιδών μόνο που τώρα απαιτείται ελαφρώς μακρύτερο μήκος σώματος κοχλίας (body length). Οι αντηρίδες αυτές είναι εξοπλισμένες με δύο οπές όπως φαίνεται στην Εικόνα 37.



Εικόνα 37: Σύνδεση των αντηρίδων στήριξης με την υπόλοιπη μεταλλική κατασκευή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Εξάρτημα καθοδήγησης συσσωρευτή (guiding element)

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος καθοδήγησης (guiding element) του συσσωρευτή που θα εμποδίζει την πλάγια κίνηση του με κίνδυνο να ανατραπεί προκαλώντας σημαντικότερες ζημιές τόσο για τον ίδιο τον συσσωρευτή όσο και για τον περιβάλλοντα εξοπλισμό. Η οδήγηση αυτή επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση χαλύβδινων ράβδων με πλευρική διάσταση 10 mm και μήκος που εξαρτάται από τη διάταξη των δοκών ολίσθησης του συσσωρευτή (βλ. Εικόνα 38). Σημειώνεται η ύπαρξη κενού 5 mm πλευρικά του καθοδηγητικού στοιχείου για την συγκόλλησή του στις δοκούς.

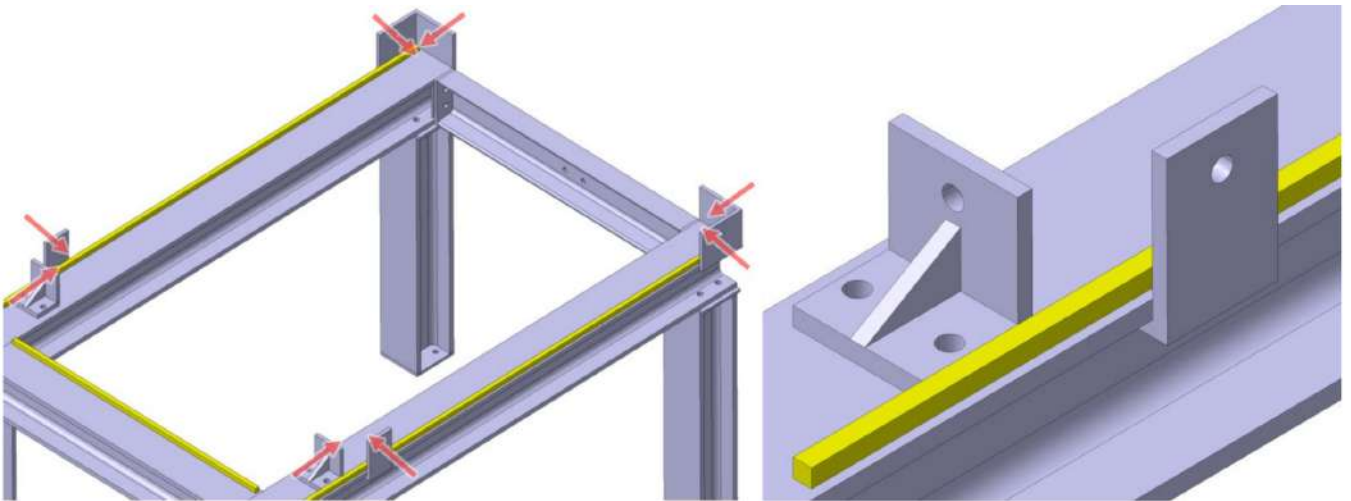


Εικόνα 38: Το στοιχείο καθοδήγησης που εμποδίζει την πλάγια κίνηση του συσσωρευτή (αριστερά) και το διάκενο για την συγκόλλησή του (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Μηχανισμός ρύθμισης τελικής θέσης συσσωρευτή

Η ολίσθηση των συσσωρευτών μπορεί να τους οδηγήσει σε μία θέση αρκετά κοντά στην επιθυμητή (π.χ. με εύρος μερικών χιλιοστών). Ωστόσο, απαιτείται δυνατότητα ακριβής ρύθμισης της θέσης τους ώστε να μπορούν να συνδεθούν με τα περιβάλλουσες σωληνώσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προτεινόμενο μηχανισμό που φαίνεται στην Εικόνα 39 και αποτελείται από μεταλλικές πλάκες σχήματος L διαφόρων μεγεθών εξοπλισμένες με μία οπή M12 λεπτού σπειρώματος (thin pitch) για την τοποθέτηση του αντίστοιχου κοχλιά που θα χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει με ακρίβεια την τελική θέση του συσσωρευτή προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα κάποιοι από αυτούς τους μηχανισμούς είναι συγκολλητοί στις πλευρές των δοκών ολίσθησης ενώ κάποιοι άλλοι συγκρατούνται με τη χρήση του σετ κοχλιών που έχει ήδη αναφερθεί (στις συγκεκριμένες θέσεις είναι απαραίτητη η δυνατότητα αφαίρεσής τους ώστε να μπορεί να ολισθήσει ο συσσωρευτής στην τελική του θέση).

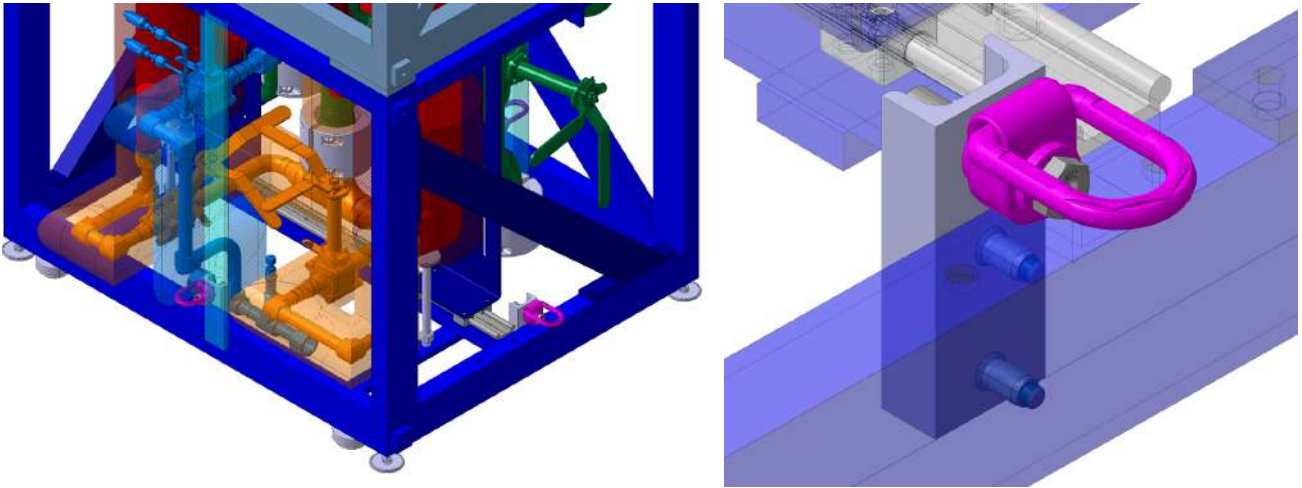


Εικόνα 39: Οι μηχανισμοί ρύθμισης της τελικής θέσης του συσσωρευτή προς κάθε κατεύθυνση (αριστερά) και η στερέωσή τους στις δοκούς ολίσθησης είτε με κοχλίες είτε με συγκόλληση (δεξιά).

Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

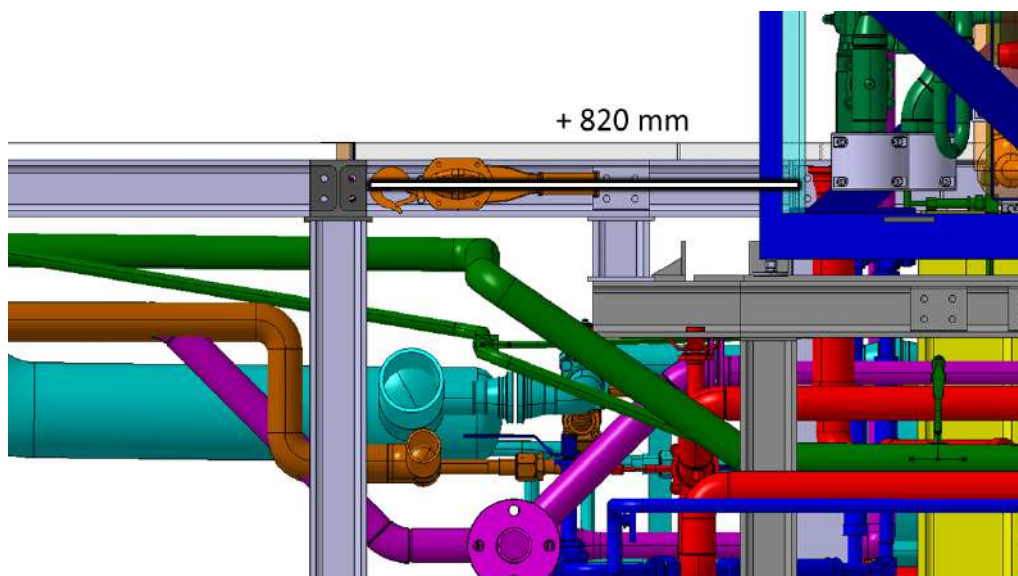
4.3 Διεπαφές έλξης συσσωρευτή

Η δύναμη έλξης για την ολίσθηση του συσσωρευτή θα επιτυγχάνεται – όπως και στο πείραμα της υποενότητας 3.3 – με τη χρήση ενός χειροκίνητου παλάγκο. Το παλάγκο αυτό προσαρτάται από την μία άκρη του στη μεταλλική κατασκευή του ψευδοδαπέδου της ενότητας 7 και από την άλλη άκρη του στις τέσσερις πλευρές του πλαισίου του συσσωρευτή μέσω των διεπαφών σύνδεσης που φαίνονται στην Εικόνα 40. Η μέγιστη τιμή της απαιτούμενης δύναμης που θα πρέπει να δέχονται οι διεπαφές αυτές για την ολίσθηση των συσσωρευτών είναι περίπου 200 κιλά (όπως έδειξε το πείραμα της υποενότητας 3.3)



Εικόνα 40: Οι διεπαφές σύνδεσης του παλάγκο για την έλξη των συσσωρευτών.

Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε καθώς επιτρέπει την προσάρτηση του παλάγκο στο ύψος του ψευδοδαπέδου και δεν δημιουργεί συγκρούσεις με το πλήθος των σωληνώσεων που θα υπάρχουν κάτω από αυτό (βλ. Εικόνα 41). Ωστόσο, η θέση αυτή απέχει 820 mm από το πάτωμα και δημιουργεί σημαντική ροπή στο σημείο σύνδεσης του ψευδοδαπέδου με το πάτωμα. Για να ελεγχθεί η αντοχή της κατασκευής έναντι αυτών των εξωτερικών δυνάμεων, ο συγγραφέας εκτέλεσε την ανάλυση αντοχής που επισυνάπτεται στο Παράρτημα Β2.

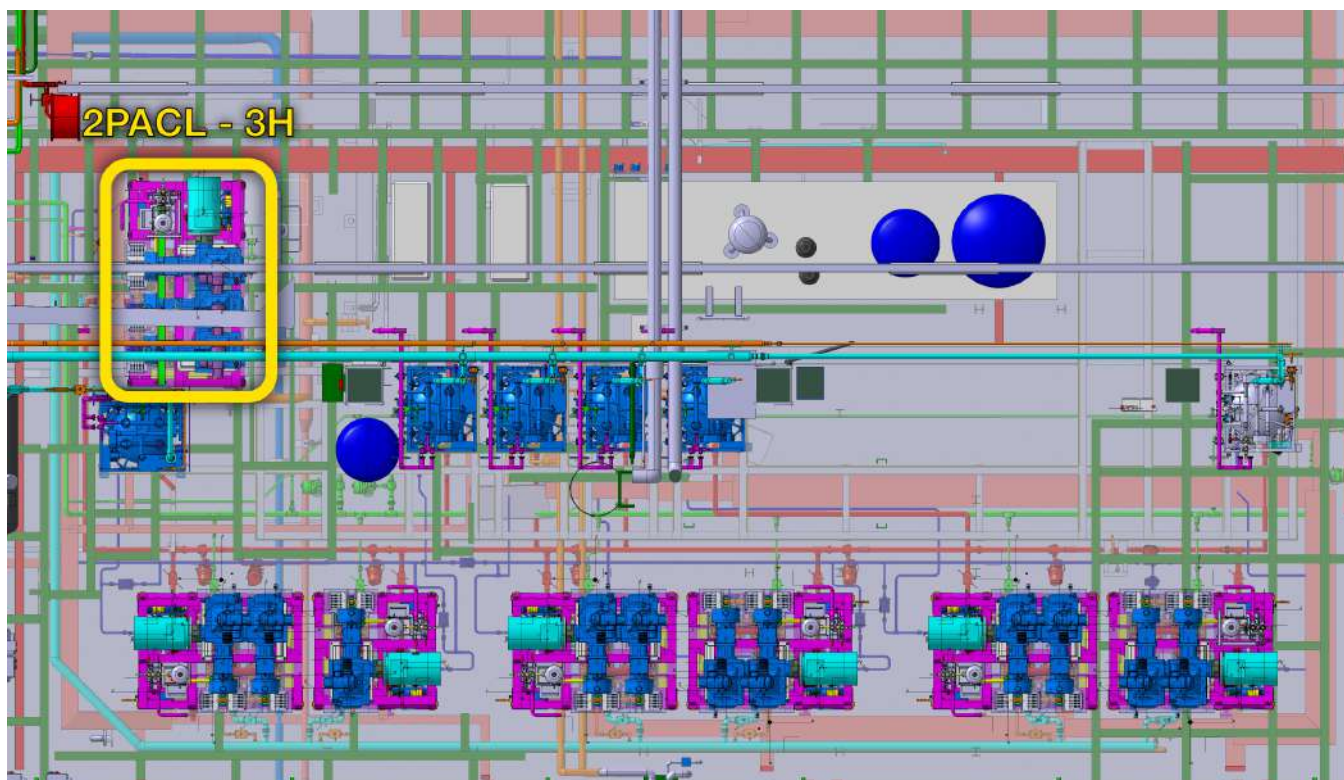


Εικόνα 41: Σημείο προσάρτησης του παλάγκο στο ψευδοδάπεδο για την έλξη των συσσωρευτών.

5 Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων κινητού γερανού

5.1 Αδυναμία εξυπηρέτησης εφεδρικής μονάδας από υπερυψωμένο γερανό

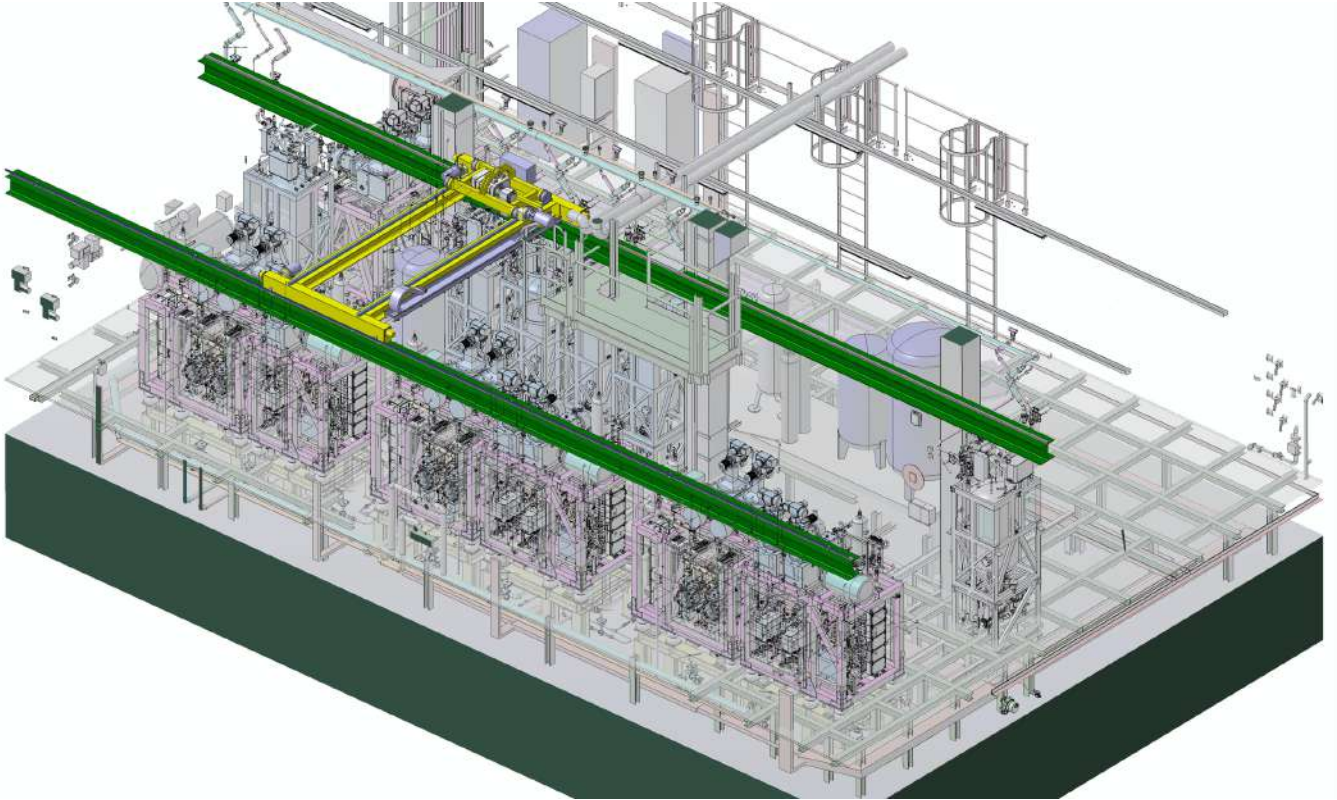
Όπως αναφέρθηκε στην Εισαγωγή της παρούσας εργασίας, το νέο σύστημα ψύξης που πρόκειται να εγκατασταθεί στο υπό μελέτη δωμάτιο αποτελείται – μεταξύ άλλων – από επτά μονάδες ψύξης που θα διαταχθούν στο χώρο όπως φαίνεται στην Εικόνα 42. Στην ίδια εικόνα φαίνεται και η θέση της μονάδας ψύξης με όνομα 2PACL-3H (2PACL από το όνομα του συστήματος ψύξης όπως εξηγήθηκε στην εισαγωγή και 3H από το αγγλικό “3 Heads” επειδή η συγκεκριμένη μονάδα έχει τρεις κεφαλές αντλιών). Η μονάδα αυτή αναφέρεται συχνά και ως “Spare Plant” καθώς λειτουργεί εφεδρικά στο σύστημα όταν οι υπόλοιπες έξι δεν επαρκούν. Ο τρέχων προγραμματισμός [2023] προβλέπει ότι η εφεδρική μονάδα ψύξης θα πρέπει να εγκατασταθεί κατά τη φάση της πρώιμης εγκατάστασης του συστήματος ψύξης [2024-2025].



Εικόνα 42: Κάτοψη δωματίου ψύξης και εξαερισμού όπου διακρίνονται οι θέσεις των επτά μονάδων ψύξης που πρόκειται να εγκατασταθούν. Στο κίτρινο πλαίσιο φαίνεται η μονάδα 2PACL-3H που θα αποτελέσει μέρος της πρώιμης εγκατάστασης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Γενικά, για όλες τις μονάδες ψύξης έχει προβλεφθεί μια σειρά εργασιών για την συναρμολόγηση και τη συντήρησή τους (κάποιες σε ετήσια βάση, κάποιες σε πενταετή βάση και κάποιες όποτε παρουσιαστεί πρόβλημα / έκτακτη ανάγκη). Για τις παραπάνω εργασίες είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου συστήματος γερανού για την μετακίνηση του εκάστοτε εξοπλισμού. Για όλες τις μονάδες πέραν της εφεδρικής θα χρησιμοποιηθεί η διάταξη υπερυψωμένου γερανού (overhead crane) – Εικόνα 43 – η οποία έχει σχεδιαστεί προς το παρόν [2023] μόνο εννοιολογικά και οι λειτουργικές και σχεδιαστικές απαιτήσεις της παρουσιάζονται στην ενότητα 6. Ωστόσο, η διάταξη αυτή δεν θα

εξυπηρετεί την εφεδρική μονάδα λόγω περιορισμών χώρου και εν γένει της πολύπλοκης γεωμετρίας του δωματίου ψύξης και εξαερισμού. Συνεπώς, θα πρέπει να σχεδιαστεί ένας ειδικός κινητός γερανός για την εξυπηρέτησή της, του οποίου οι προδιαγραφές και οι διαστασιολογικές απαιτήσεις διερευνώνται στις παραγράφους που ακολουθούν.

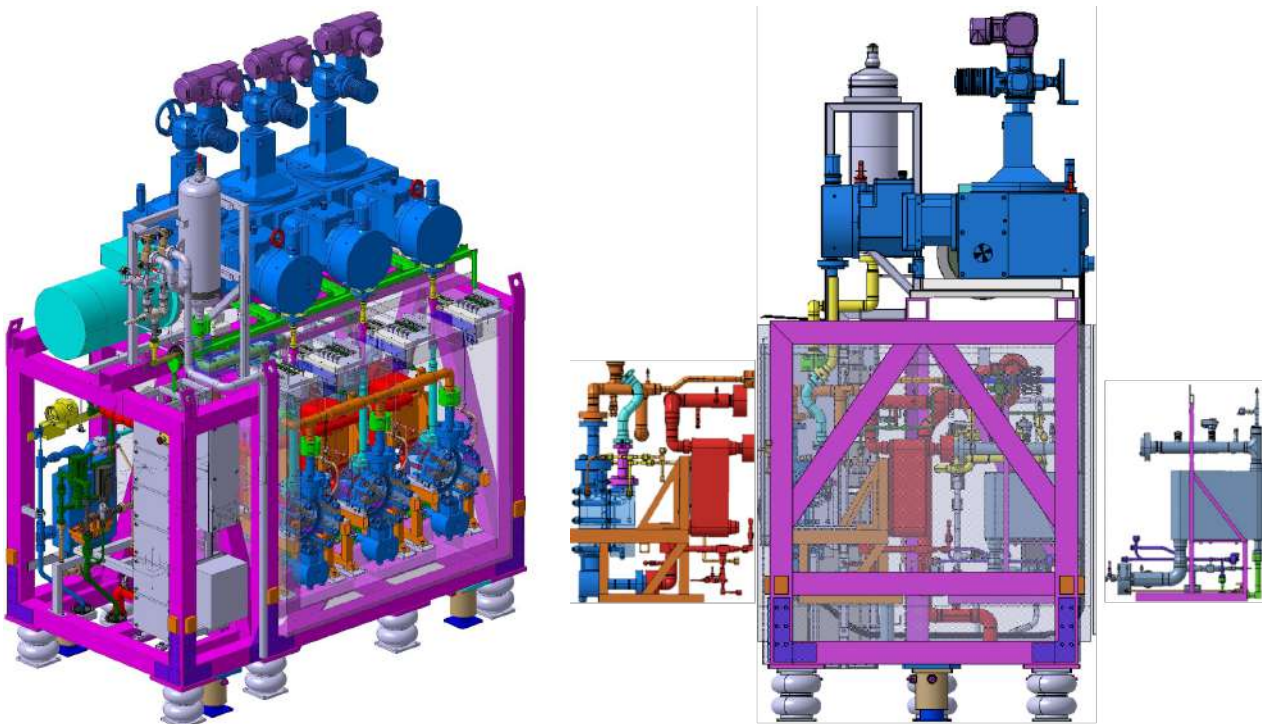


Εικόνα 43: Ο γερανός που πρόκειται να εγκατασταθεί στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού για τις εργασίες συναρμολόγησης και συντήρησης των έξι από των επτά μονάδων ψύξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

5.2 Η εφεδρική μονάδα ψύξης

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί η γενική δομή της εφεδρικής μονάδας ψύξης. Τονίζεται ότι ο σχεδιασμός της δεν είναι ακόμη [2023] ο τελικός, αφού πρόκειται να εγκατασταθεί στο δωμάτιο ψύξης κατά την προβλεπόμενη διακοπή λειτουργίας 2024-2025 του πειράματος ATLAS (2024-2025 Year End Technical Stop ή, συντομότερα, YETS). Ωστόσο, τόσο η βάση στήριξής της όσο και ο κινητός γερανός που αποτελεί το θέμα της παρούσας ενότητας έχουν προβλεφθεί να εγκατασταθούν κατά την διακοπή λειτουργίας του έτους 2023-2024. Για αυτόν τον λόγο, στον καθορισμό των διαστασιολογικών απαιτήσεων που θα ακολουθήσουν έχουν συμπεριληφθεί και κάποια περιθώρια (dimensional margins) που θα αντισταθμίσουν τις όποιες μικρές αλλαγές στον σχεδιασμό της τελικής γεωμετρίας της εφεδρικής μονάδας ψύξης.

Η εφεδρική μονάδα ψύξης (Εικόνα 44) έχει ύψος 3080 mm, πλάτος 1450 mm, βάθος 2410 mm και βάρος 5545 kg. Στο πάνω μέρος της φαίνονται οι 3 μονάδες οδήγησης της αντλίας (pump drive units) που είναι συνδεδεμένες με τον κινητήρα της αντλίας (γαλάζιο χρώμα). Στο πάνω μέρος διακρίνεται επίσης και ο αποσβεστήρας παλμών της αντλίας (damper) με γκρι χρώμα. Εντός του πλαισίου της μονάδας (ροζ χρώμα) βρίσκονται τα περισσότερα εξαρτήματα και σωληνώσεις της. Ο χώρος αυτός ονομάζεται στα αγγλικά coldbox και είναι στην ουσία ένα μονωτικό κουτί (insulating box) που καλύπτεται από πόρτες που αφαιρούνται όταν υπάρχει κάποια ανάγκη συντήρησης. Όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα, το εσωτερικό του κουτιού αποτελείται δύο «μισά» που ολισθαίνουν (sliding halves) προς τις δύο πλευρές της μονάδας ψύξης. Τέλος, κάτω από το ροζ πλαίσιο διακρίνεται πλήθος αντικραδασμικών βάσεων στήριξης (anti-vibration feet).

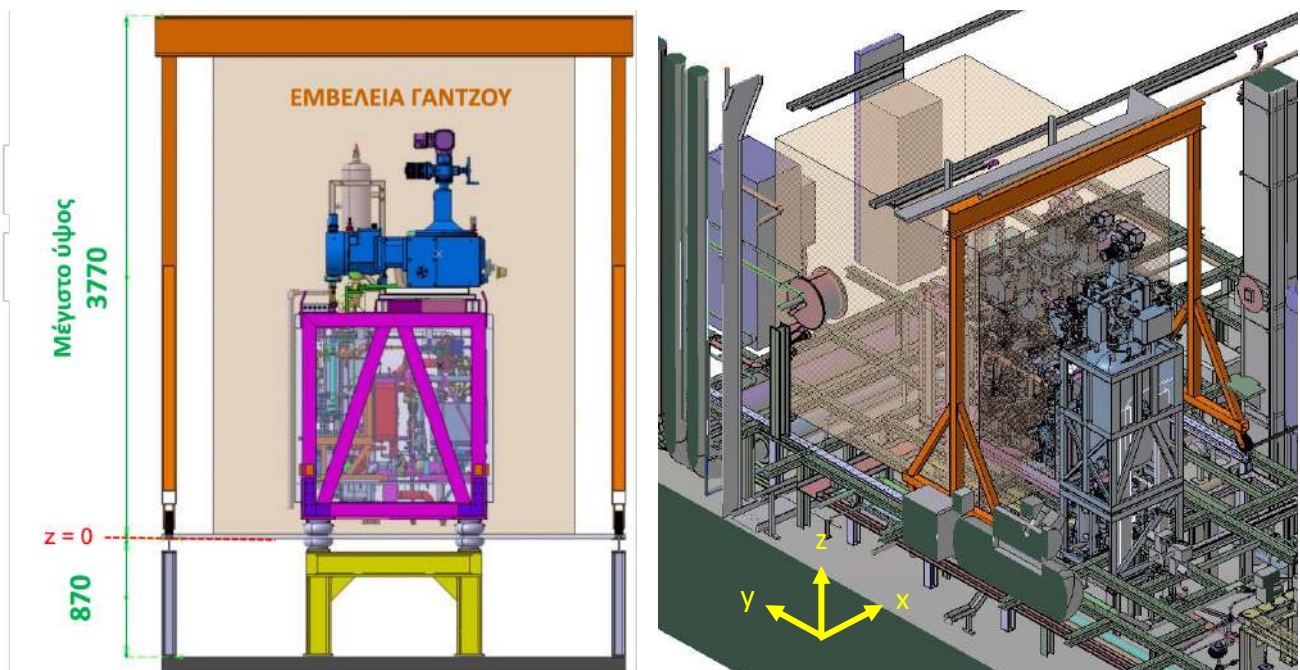


Εικόνα 44: Η εφεδρική μονάδα ψύξης με τα επιμέρους της υποσυστήματα. Στα αριστερά διακρίνονται τα δύο ολισθαίνοντα «μισά» της (sliding halves). Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

5.3 Διαστασιολογικές απαιτήσεις για την ενσωμάτωση του κινητού γερανού στον περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο

Οι εργασίες συντήρησης της μονάδας ψύξης προβλέπουν ετήσια συντήρηση για τις κεφαλές της αντλίας και πενταετή συντήρηση στο σύστημα κίνησης και τον κινητήρα. Πέραν αυτών, ο γερανός που θα σχεδιαστεί θα πρέπει να μπορεί να μεταφέρει τα δύο ολισθαίνοντα μισά σε περίπτωση που χρειαστεί καθώς και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συναρμολόγηση της μονάδας σε δύο κομμάτια: αρχικά του πλαισίου με τα δύο ολισθαίνοντα μισά και έπειτα του συστήματος κίνησης μαζί με τον κινητήρα. Η τελευταία ανάγκη προϋποθέτει την χρήση κινητού γερανού ονομαστικής ικανότητας **3.2 τόνων**.

Στα πλαίσια της ενότητας αυτής μας απασχολεί μόνο ο καθορισμός των απαιτήσεων του γερανού και οι διαστασιολογικοί περιορισμοί που επιβάλλει ο περιβάλλοντας χώρος. Για τους σκοπούς αυτούς επαρκεί η χρήση ενός απλοποιημένου – εννοιολογικού σχεδίου (conceptual design) του γερανού σαν αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 45.



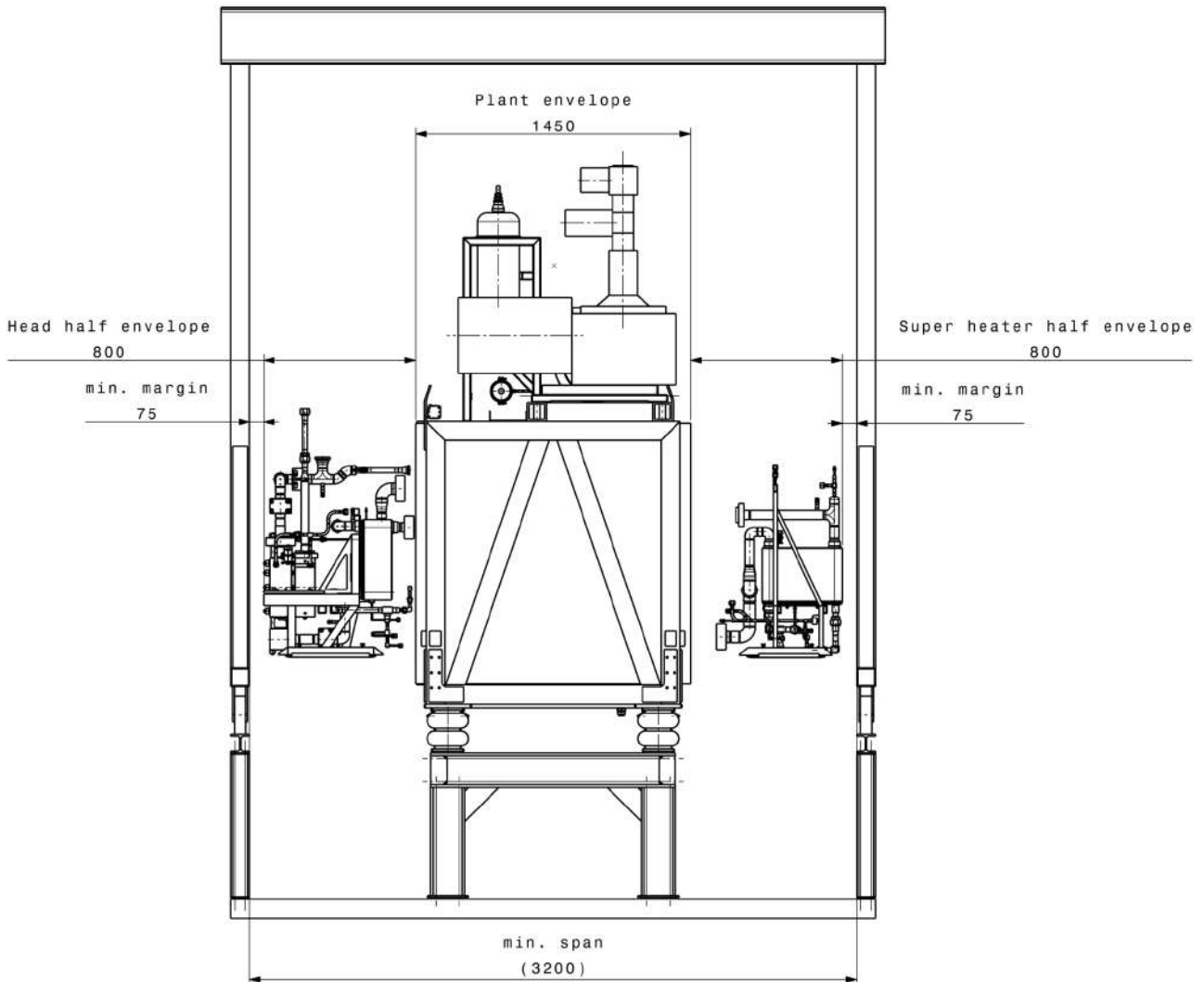
Εικόνα 45: Εννοιολογικός σχεδιασμός γερανού για την συντήρηση της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL του δωματίου ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Ύψος γερανού

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 45, ο κινητός γερανός θα πρέπει κινείται πάνω σε μια μεταλλική κατασκευή που βρίσκεται σε ύψος 870 mm από το δάπεδο του δωματίου. Συγκεκριμένα, η κατασκευή αυτή αποτελεί μέρος της ευρύτερης κατασκευής ψευδοδαπέδου του δωματίου που αναλύεται στην ενότητα 7, κάτω από το οποίο θα υπάρχει ένα πολύπλοκο δίκτυο σωληνώσεων, καλωδίων και άλλου βοηθητικού εξοπλισμού. Συνεπώς, ως επίπεδο μηδενικού υψομέτρου θεωρείται αυτό των 870 mm από το πάτωμα. Ωστόσο, περιορισμοί υπάρχουν και στο άνω μέρος του δωματίου, αφού όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα ο γερανός θα πρέπει να μην συγκρούεται με τα φώτα που είναι εγκατεστημένα στο δωμάτιο. Τελικά, το μέγιστο επιτρεπτό ύψος του γερανού προκύπτει ίσο με **3770 mm**.

Εσωτερική διάσταση γερανού (crane's span)

Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, η εφεδρική μονάδα ψύξης αποτελείται από δύο ολισθαίνοντα μισά των οποίων ο τελικός σχεδιασμός δεν έχει ακόμη καθοριστεί. Ωστόσο, το μέγιστο πλάτος τους δεν θα ξεπερνάει τα 800 mm έκαστο. Αν στην τιμή αυτή προστεθεί το πλάτος των 1450 mm της μονάδας καθώς και 75 mm ανοχής σε κάθε πλευρά προκύπτει ότι το εσωτερικό του γερανού θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον **3200 mm**. Οι παραπάνω τιμές φαίνονται και στην Εικόνα 46.



Εικόνα 46: Καθορισμός απαιτούμενης εσωτερικής διάστασης κινητού γερανού εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

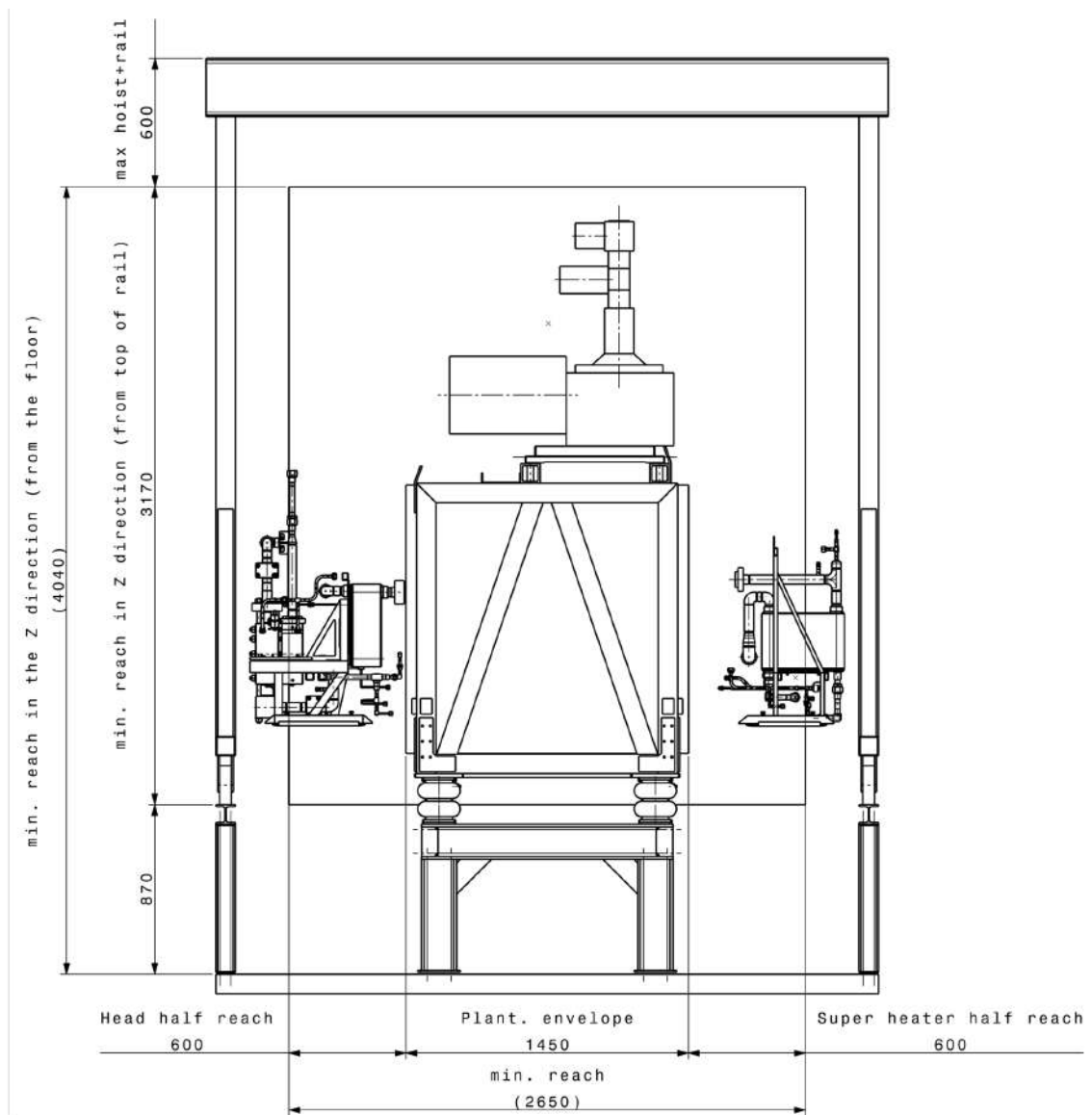
Εμβέλεια γάντζου γερανού (crane's hook coverage ή hook's reach)

Ο γάντζος του γερανού θα πρέπει να φτάνει σε κατάλληλη απόσταση στη διεύθυνση x (βλ. Εικόνα 45 για σύστημα συντεταγμένων) ώστε να προσεγγίζει κατ' ελάχιστον το κέντρο βάρους των δύο συρόμενων μισών της εφεδρικής μονάδας ψύξης. Για τον σκοπό αυτό χρειάζεται κάλυψη τουλάχιστον 600 mm αριστερά και δεξιά της μονάδας ψύξης, ορίζοντας την συνολική εμβέλεια του γάντζου στα **2650 mm**.

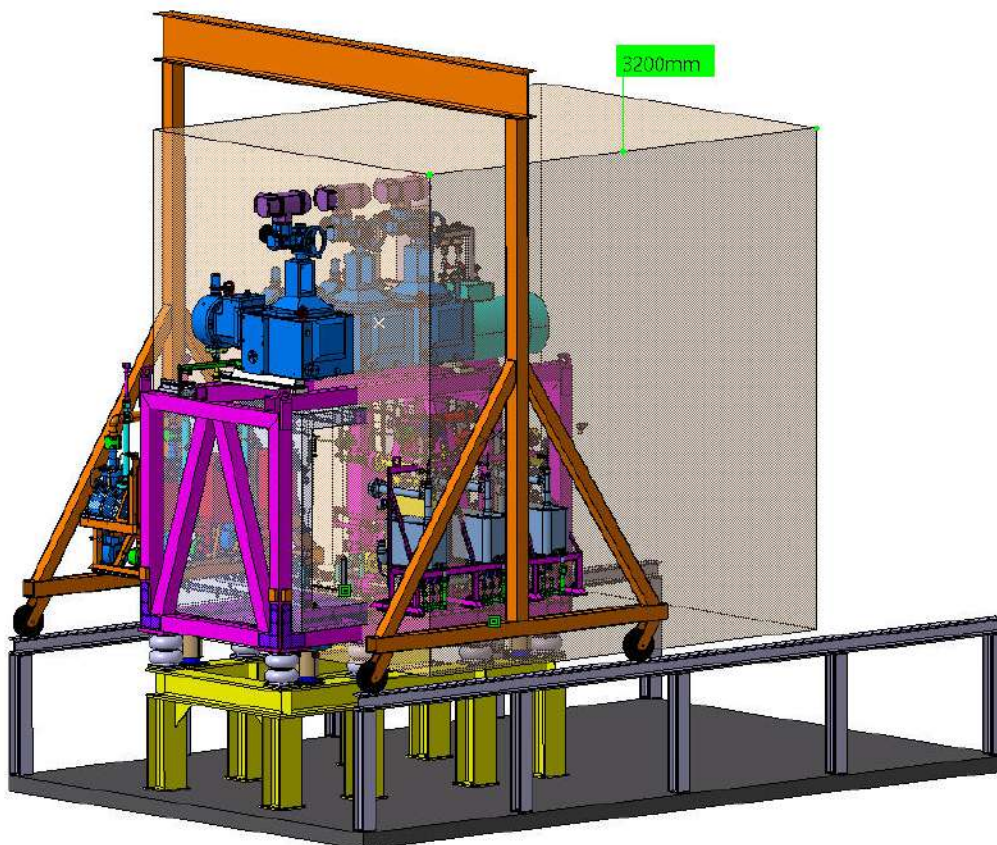
Στην διεύθυνση z, πρέπει να υπάρχει αρκετός χώρος πάνω από την μονάδα ψύξης για:

- α) μια μικρών διαστάσεων (compact) συσκευή ανύψωσης που θα εδράζεται στην άνω δοκό του γερανού και θα επιτρέπει την ανύψωση του εκάστοτε φορτίου;
- β) μία διεπαφή δοκού ανύψωσης (lifting beam ή rallonnier) για την περίπτωση ανύψωσης της μονάδας κίνησης των αντλιών;
- γ) ένα περιθώριο ασφαλείας για την ανύψωση της μονάδας κίνησης των αντλιών πριν τη μεταφορά της με τον κινητό γερανό.

Λαμβάνοντας υπόψη το ύψος της μονάδας ψύξης, 175 mm για το (β) και 50 mm για το (γ), προκύπτει ότι η ελάχιστη εμβέλεια του γάντζου θα πρέπει να είναι ίση με **3170 mm**, αφήνοντας **600 mm** για το (α) και την άνω δοκό του γερανού. Στη διεύθυνση γ, και πάλι κάνοντας χρήση των κέντρων βάρους των προς μετακίνηση εξαρτημάτων προκύπτει ότι απαιτείται εμβέλεια **3200 mm**. Τα προαναφερθέντα φαίνονται σχηματικά στην Εικόνα 47 και στην Εικόνα 48.



Εικόνα 47: Καθορισμός απαιτούμενης εμβέλειας για τον γάντζο του κινητού γερανού της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL (διευθύνσεις x και z). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.



Εικόνα 48: Καθορισμός απαιτούμενης εμβέλειας για τον γάντζο του κινητού γερανού της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL (διεύθυνση z). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Διεπαφή με μεταλλική κατασκευή ψευδοδαπέδου

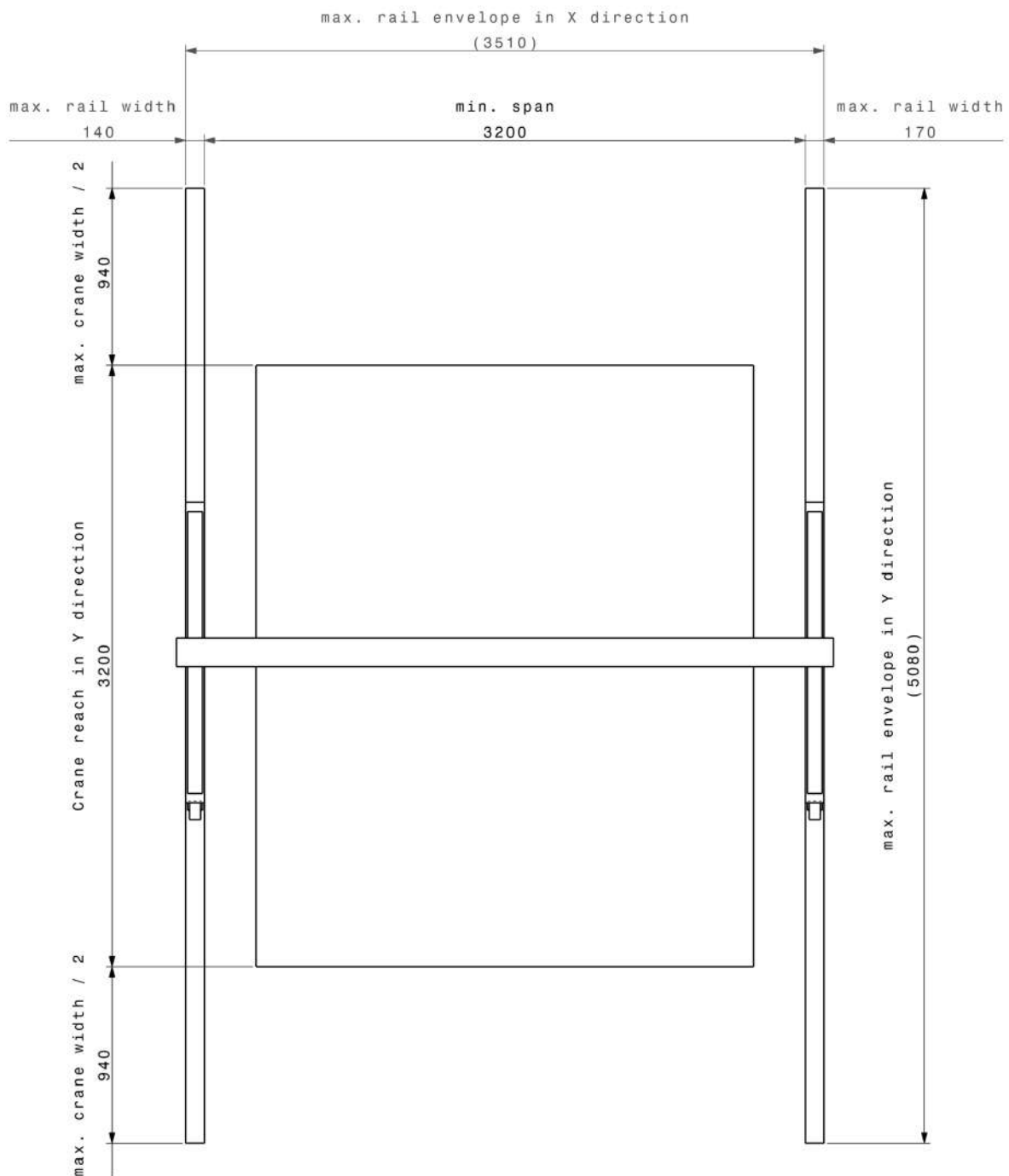
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο κινητός γερανός θα πρέπει να κινείται κατά την διεύθυνση γ με τις ρόδες του να κυλούν στην μεταλλική κατασκευή στήριξης του περιβάλλοντος ψευδοδαπέδου η οποία βρίσκεται σε ύψος 870 mm από το πάτωμα του δωματίου. Για την οδήγηση κατά την διεύθυνση γ προτείνεται η χρήση τροχών με εγκοπή σχήματος U ή V τουλάχιστον στη μία από τις δύο δοκούς κύλισης του γερανού. Στην περίπτωση που οι τροχοί με εγκοπή χρησιμοποιηθούν στην μία πλευρά μόνο, τότε στην άλλη πλευρά προτείνεται η χρήση μιας πλάκας επίσης ύψους 30 mm (όσο και το πλέγμα του ψευδοδαπέδου ώστε να μην υπάρχουν κενά). Περιμετρικά του οδηγού θα τοποθετηθούν κομμάτια πλέγματος ψευδοδαπέδου στις απαραίτητες διαστάσεις. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την μεταλλική κατασκευή του ψευδοδαπέδου αυτού δίνονται στην ενότητα 7.

Μέγιστες διαστάσεις δοκών κύλισης γερανού στη κατεύθυνση x

Στη κατεύθυνση x υπάρχουν περιορισμοί εξαιτίας εξοπλισμού που βρίσκεται ήδη στο δωμάτιο ψύξης και δεν μπορεί να μετακινηθεί. Συγκεκριμένα, η εσωτερική διάσταση του γερανού έχει ήδη αναφερθεί πως πρέπει να είναι κατ'ελάχιστον 3200 μέτρα. Αριστερά αυτής (όπως φαίνεται στην Εικόνα 45), ο μέγιστος χώρος που επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί από τις δοκούς κύλισης είναι **140 mm**, ενώ στα δεξιά αυτής (ίδια εικόνα) επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν το πολύ **170 mm**. Τα προαναφερθέντα φαίνονται σχηματικά στην Εικόνα 49.

Μέγιστες διαστάσεις δοκών κύλισης γερανού στη κατεύθυνση γ και βάθος γερανού.

Στη διεύθυνση γ επίσης υπάρχουν περιορισμοί λόγω του περιβάλλοντος εξοπλισμού. Για να αποφευχθούν συγκρούσεις με αυτόν, το μήκος των δοκών δεν πρέπει να υπερβεί τα **5080 mm**. Ταυτόχρονα, το μήκος της κάθε δοκού θα πρέπει να είναι ίσο με την απαιτούμενη εμβέλεια του γάντζου στην διεύθυνση γ συν το βάθος του γερανού (βλ. Εικόνα 49). Δεδομένου ότι η απαιτούμενη εμβέλεια αυτή είναι 3200 mm (έχει αναφερθεί προηγουμένως) προκύπτει ότι μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος του γερανού είναι **1880 mm**.

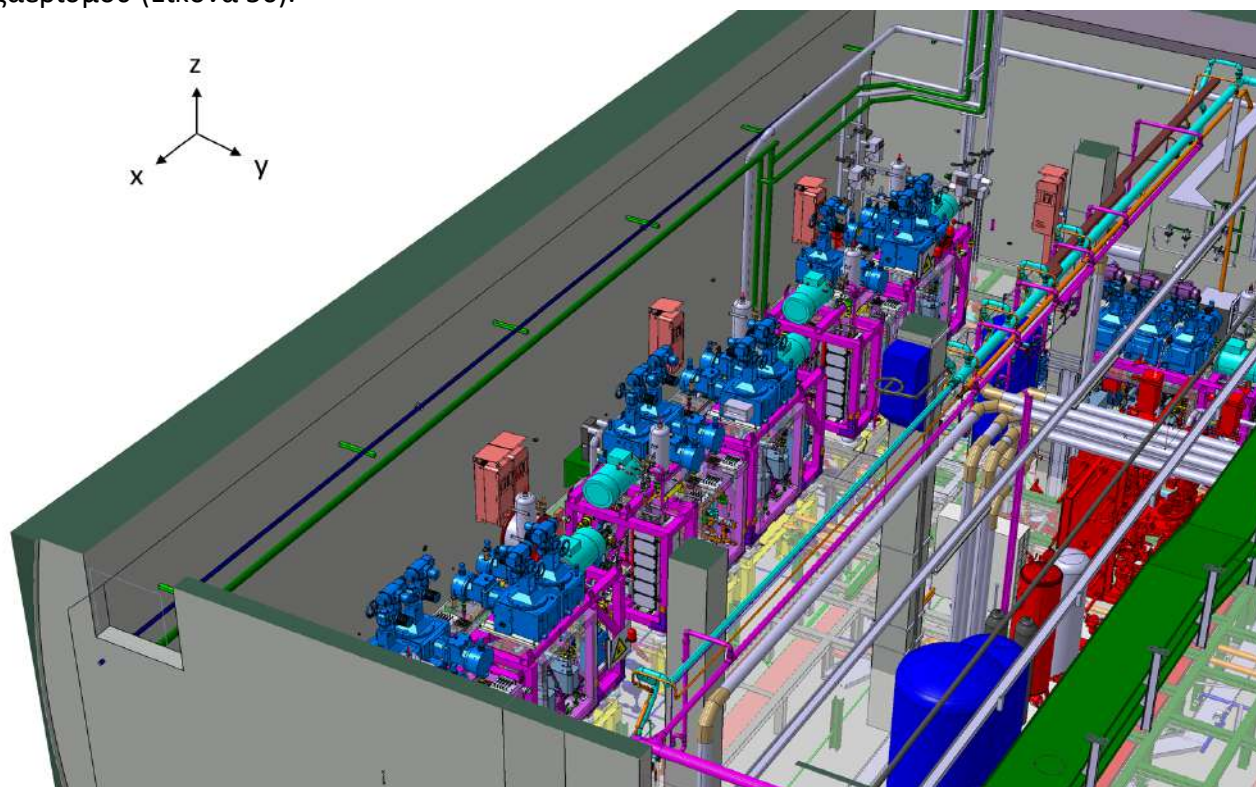


Εικόνα 49: Καθορισμός μέγιστων διαστάσεων δοκών κύλισης του κινητού γερανού της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL (διευθύνσεις x και γ). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

6 Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων υπερυψωμένου γερανού

6.1 Πρόταση για ενσωμάτωση υπερυψωμένου γερανού

Υπενθυμίζεται ότι στην ενότητα 5 παρουσιάστηκε η πρόταση ενσωμάτωσης ενός κινητού γερανού που θα χρησιμοποιείται για τις διαδικασίες συναρμολόγησης και συντήρησης της εφεδρικής μονάδας ψύξης (2PACL – 3H Cooling Plant). Για τις υπόλοιπες 6 μονάδες ψύξης, προτείνεται η χρήση ενός υπερυψωμένου γερανού, σαν αυτούς που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 2.2. Συγκεκριμένα, προτείνεται η στήριξη των δοκών οδήγησης (railway beams) τού γερανού στον τοίχο (y^-) και στις κολώνες (y^+) και η έκταση τους κατά την διεύθυνση x έως τους τοίχους του δωματίου ψύξης και εξαερισμού (Εικόνα 50).

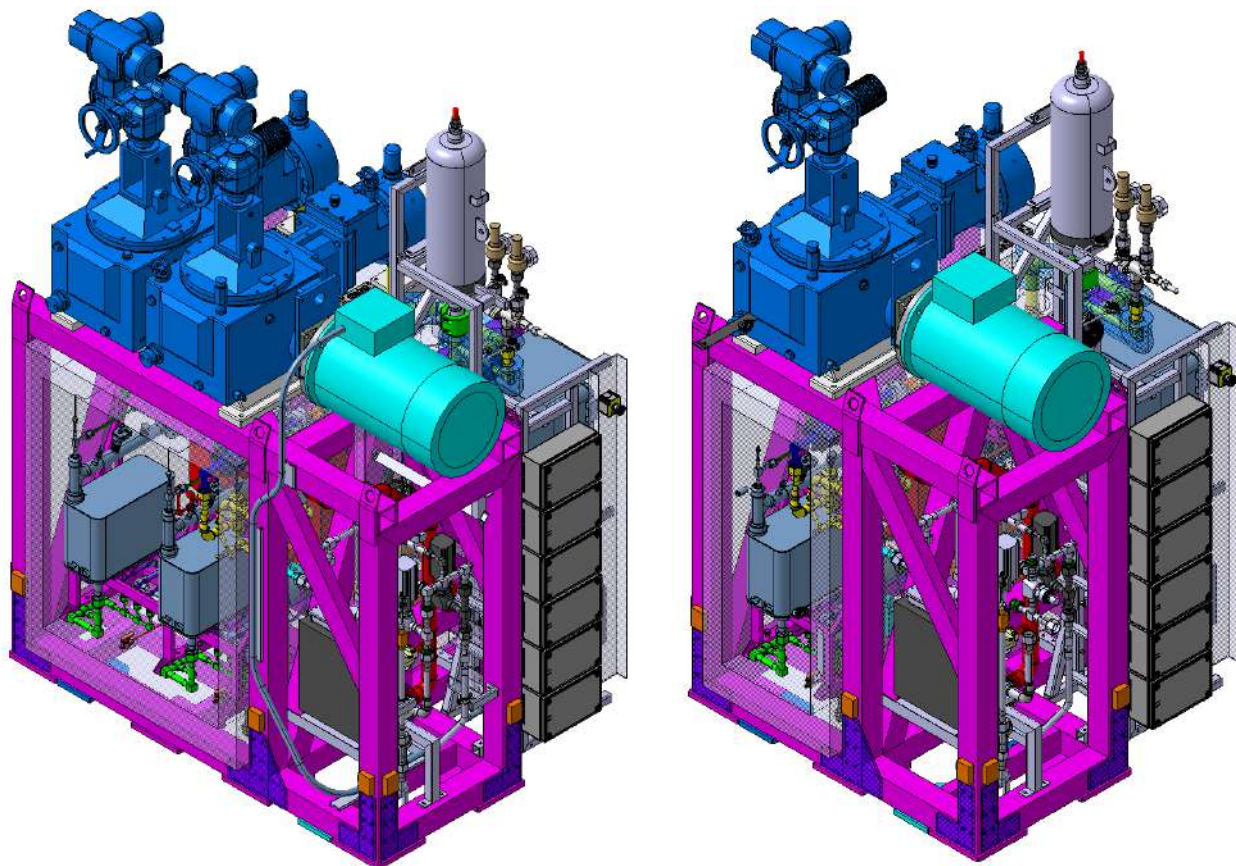


Εικόνα 50: Πανοραμική άποψη του χώρου όπου προτείνεται η εγκατάσταση διάταξης υπερυψωμένου γερανού για την κάλυψη των αναγκών συναρμολόγησης και συντήρησης των μονάδων ψύξης 2PACL – 2H και 1H. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

6.2 Οι μονάδες ψύξης 2PACL – 2H και 1H

Η περιγραφή της γενικής δομής της μονάδας ψύξης 2PACL – 3H έγινε στην παράγραφο 5.2. Η ίδια δομή ακολουθείται και στις περιπτώσεις των μονάδων ψύξης 2PACL – 2H και 1H μόνο που, όπως δηλώνει και το όνομά τους, διαθέτουν 2 και 1 μονάδες οδήγησης (rump drive units) αντίστοιχα. Διαθέτουν και αυτές δύο «μισά» που ολισθαίνουν (sliding halves) προς τις δύο πλευρές του μονωτικού κουτιού (insulating box) που τα περιέχει. Είναι σαφώς ελαφρύτερες από την μονάδα 3H, με συνολικό βάρος περί τα 4380 και 3020 κιλά αντίστοιχα. Τονίζεται ότι, όπως και στην ενότητα 5, στον καθορισμό των διαστασιολογικών απαιτήσεων που θα ακολουθήσουν έχουν συμπεριληφθεί και κάποια περιθώρια (dimensional margins) που θα αντισταθμίσουν τις όποιες μικρές αλλαγές στον

σχεδιασμό της τελικής γεωμετρίας των μονάδων ψύξης. Τέλος, αναφέρεται ότι το δωμάτιο ψύξης θα εξοπλιστεί με 5 μονάδες 2H και 1 μονάδα 1H (βλ. διάταξη στην Εικόνα 50).



Εικόνα 51: Οι μονάδες ψύξης 2PACL – 2H (αριστερά) και 1H (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

6.3 Διαστασιολογικές απαιτήσεις για την ενσωμάτωση του υπερυψωμένου γερανού στον περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο

Σχετικά με τις διαδικασίες συναρμολόγησης και την συντήρησης των μονάδων ψύξης, αυτές είναι οι ίδιες με αυτές που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 5.3. Συνεπώς, για τον καθορισμό των λειτουργικών απαιτήσεων του γερανού και την αναπαράσταση των διαστασιολογικών περιορισμών που επιβάλλει ο περιβάλλοντας θα χρησιμοποιηθεί και πάλι ένα απλοποιημένο μοντέλο υπερυψωμένου γερανού. Στην συνέχεια αναφέρονται όλες οι προδιαγραφές που θα πρέπει να τηρούνται (αναπαράσταση στην Εικόνα 52 και στην Εικόνα 53)

Ανυψωτική ικανότητα (nominal capacity)

Απαιτείται ανυψωτική ικανότητα **3.2 τόνων**, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά ολόκληρης της μονάδας ψύξης 2H (σενάριο μέγιστης φόρτισης γερανού), αφού προηγηθεί απομάκρυνση της μονάδας οδήγησης των δύο αντλιών (rump drive unit).

Περίβλημα (envelope)

Στη διεύθυνση x , οι δοκοί οδήγησης του γερανού (crane railways) θα πρέπει να εκτείνονται σε όλο το μήκος του δωματίου ψύξης και εξαερισμού, δηλαδή **17 m**.

Στη διεύθυνση y , η απόσταση μεταξύ του τοίχου και των κολόνων του δωματίου είναι 4850 mm. Λόγω του περιβάλλοντος εξοπλισμού, θα πρέπει να υπάρχει ένα ελάχιστο κενό 300 mm στην πλευρά του τοίχου (y -) και 25 mm στην πλευρά των κολόνων. Συνεπώς, το μέγιστο επιτρεπτό περίβλημα στην κατεύθυνση y είναι **4525 mm**.

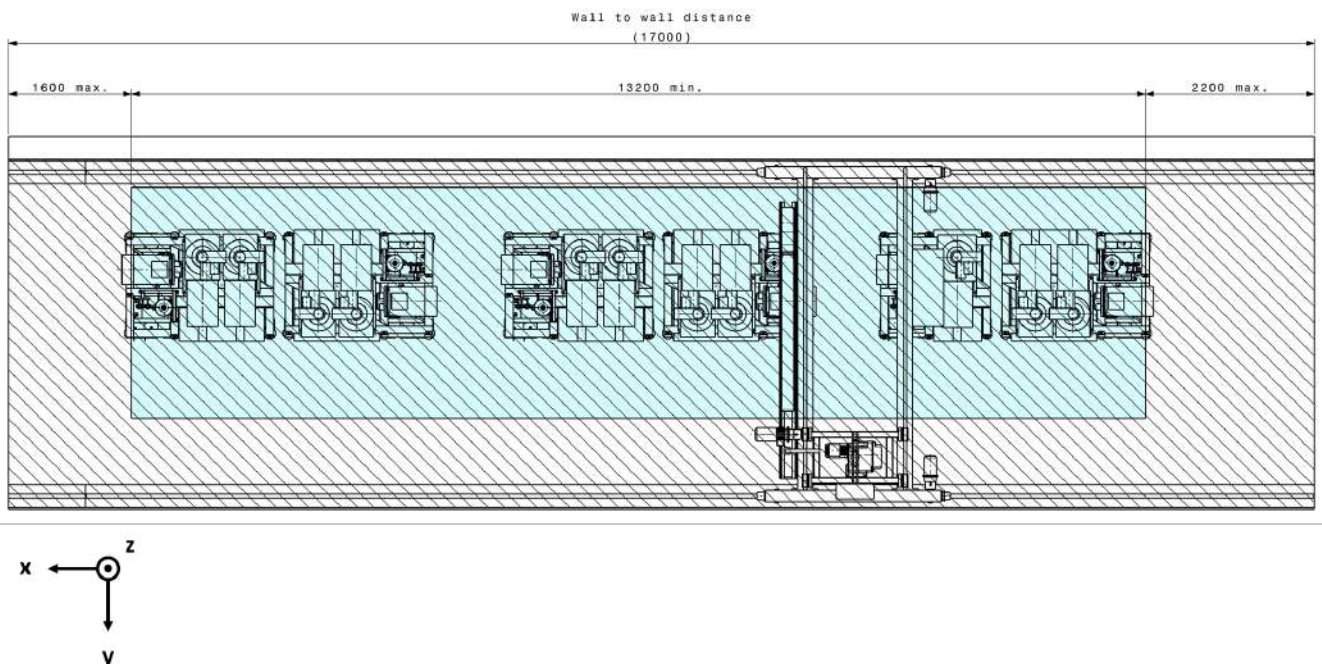
Στη διεύθυνση z , το μέγιστο ύψος στο οποίο επιτρέπεται να φτάνει ο γερανός για την αποφυγή συγκρούσεων (clashes) είναι **5075 mm**. Ωστόσο, λόγω ενός αγωγού εξαερισμού που εκτείνεται στο αριστερά (y -) και άνω (z +) μέρος του δωματίου, η γεωμετρία του τελικού φακέλου δεν είναι απολύτως ορθογωνική. Η συγκεκριμένη περιοχή ορίζεται σαφώς στην Εικόνα 53.

Εμβέλεια γάντζου (hook's reach)

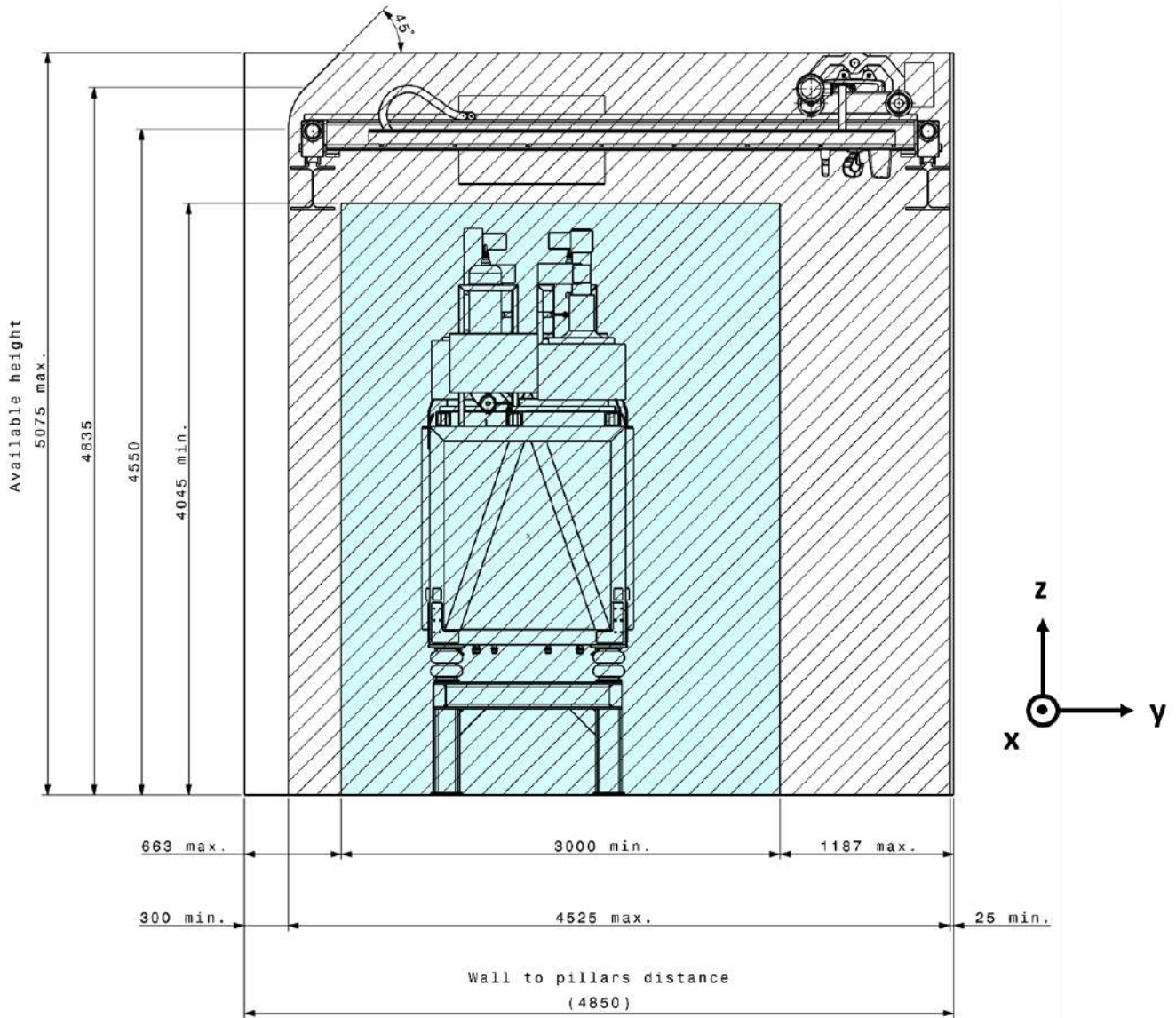
Στη διεύθυνση x , απαιτείται κάλυψη τουλάχιστον **13200 mm**, αφήνοντας ένα κενό το πολύ 1600 mm και 2200 mm από τους τοίχους του δωματίου στις πλευρές $x+$ και $x-$ αντίστοιχα.

Στην διεύθυνση y , απαιτείται κάλυψη τουλάχιστον **3000 mm**, αφήνοντας ένα κενό το πολύ 663 mm και 1187 mm από τον τοίχο του δωματίου (y -) και τις κολόνες (y +) αντίστοιχα.

Στην διεύθυνση z , απαιτείται κάλυψη τουλάχιστον **4045 mm** από το δάπεδο του δωματίου.



Εικόνα 52: Διαστασιολογικοί περιορισμοί για το περίβλημα (envelope) και την εμβέλεια του γάντζου (hook reach) του υπερυψωμένου γερανού στην κατεύθυνση x .



Εικόνα 53: Διαστασιολογικοί περιορισμοί για το περίβλημα (envelope) και την εμβέλεια του γάντζου (hook reach) του υπερυψωμένου γερανού στις κατεύθυνση y και z.

7 Καθορισμός σχεδιαστικών απαιτήσεων για το νέο ψευδοδάπεδο

7.1 Ανάγκη τροποποίησης τωρινού ψευδοδαπέδου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού θα είναι ο χώρος όπου θα εγκατασταθεί μέρος του νέου εξοπλισμού ψύξης στα πλαίσια της αναβάθμισης του πειράματος ATLAS. Μεγάλο μέρος του εξοπλισμού που βρίσκεται σήμερα (2023) σε αυτό το δωμάτιο είτε θα τροποποιηθεί είτε θα απομακρυνθεί πλήρως, αφήνοντας χώρο για τα νέα μηχανήματα (ενδεικτικά αναφέρονται οι έξι συσσωρευτές και οι επτά μονάδες ψύξης που φαίνονται στην Εικόνα 19). Το ίδιο θα συμβεί και στο τωρινό ψευδοδάπεδο το οποίο στεγάζει τις βοηθητικές διατάξεις του τρέχοντος συστήματος ψύξης και όχι μόνο. Το τωρινό ψευδοδάπεδο αποτελείται από την κυρίως μεταλλική κατασκευή στήριξης του και από μεταλλικά καλύμματα δύο διαφορετικών ονομαστικών αντοχών (nominal capacity). Οι αντοχές αυτές είναι 500 και 1500 κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο αντίστοιχα και η διαφορά τους φαίνεται στην Εικόνα 54. Συγκεκριμένα, τα καλύμματα που ξεκινούν από την είσοδο του δωματίου (πάνω αριστερά στην εικόνα) με το πυκνό πλέγμα έχουν ονομαστική αντοχή 1500 kg/m² ενώ τα καλύμματα στον υπόλοιπο χώρο με το πιο αραιό πλέγμα έχουν ονομαστική αντοχή 500 kg/m².

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε από τον συγγραφέα για τον καθορισμό των σχεδιαστικών αναγκών ενός νέου ψευδοδαπέδου το οποίο θα καλύπτει τις ανάγκες του νέου συστήματος ψύξης. Η ανάλυση ξεκινά από την παρουσίαση της γενικής διάταξης της νέας/τροποποιημένης μεταλλικής κατασκευής και στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες σχεδιαστικές απαιτήσεις που προέκυψαν.

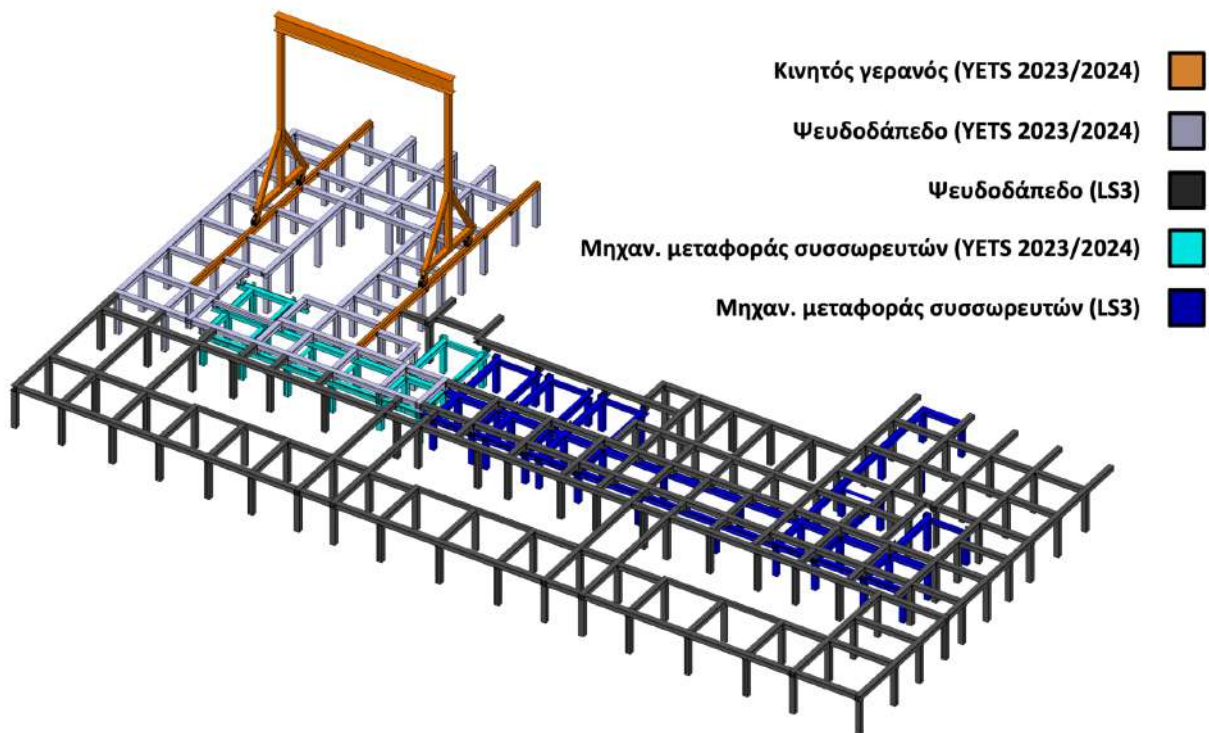


Εικόνα 54: Ευρυγώνια λήψη από το δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού όπου διακρίνεται το τωρινό ψευδοδάπεδο (μεταλλικά καλύμματα – πάνελ). Πηγή: Συγγραφέας

7.2 Γενική διάταξη νέου ψευδοδαπέδου

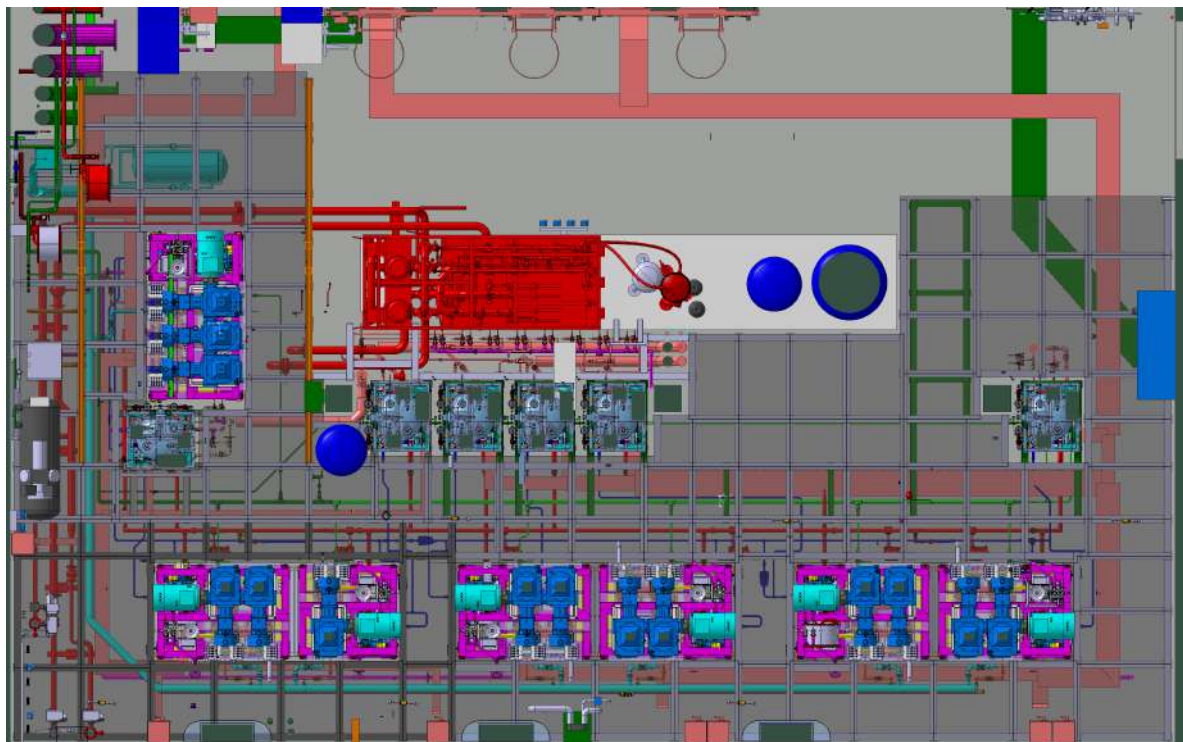
Το νέο ψευδοδάπεδο πρόκειται να εγκατασταθεί σε δύο περιόδους. Έχει ήδη αναφερθεί ότι η πρώτη μονάδα ψύξης και ο πρώτος συσσωρευτής (βλ. Εικόνα 19) θα εγκατασταθούν κατά την προβλεπόμενη διακοπή λειτουργίας 2024/2025 του πειράματος ATLAS (2024/2025 Year End Technical Stop ή, συντομότερα, YETS 2024/2025). Συνεπώς, προβλέπεται η προετοιμασία της περιοχής αυτής του δωματίου ψύξης και εξοπλισμού ήδη από το YETS 2023/2024. Η προετοιμασία αυτή περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, την εγκατάσταση μέρους του ψευδοδαπέδου, μέρους του μηχανισμού μεταφοράς των συσσωρευτών (Ενότητα 4) και του κινητού γερανού (Ενότητα 5).

Το υπόλοιπο μέρος του ψευδοδαπέδου και του μηχανισμού μεταφοράς των συσσωρευτών θα εγκατασταθεί μαζί με τους υπόλοιπους 5 συσσωρευτές και τις 6 μονάδες ψύξης, κατά την εκτεταμένη διακοπή λειτουργίας του πειράματος ATLAS (στα αγγλικά Long Shutdown 3, ή συντομότερα, LS3), που θα διαρκέσει από τα τέλη του 2025 έως τις αρχές του 2029. Ο παραπάνω διαχωρισμός μπορεί να γίνει σαφέστερος με το χρωματικό υπόμνημα που φαίνεται στην Εικόνα 55.



Εικόνα 55: Γενική διάταξη της μεταλλικής κατασκευής του νέου ψευδοδαπέδου και υπόλοιπου εξοπλισμού που έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενες ενότητες. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Ο συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής κατέληξε στην παραπάνω διάταξη λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος εξοπλισμού που βρίσκεται ήδη ή πρόκειται να εγκατασταθεί στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Ακολουθώντας την διάταξη αυτή, το τελικό αποτέλεσμα δεν δημιουργεί συγκρούσεις με τον περιβάλλοντα εξοπλισμό και μπορεί να ενσωματωθεί (integrated) επιτυχώς στο χώρο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 56. Με ημιδιάφανο χρώμα διακρίνεται και η διάταξη των μεταλλικών καλυμμάτων, τα οποία εκτείνονται γύρω από τις μονάδες ψύξης, τους συσσωρευτές και όποιο άλλο εξοπλισμό «εξέχει» από το ψευδοδάπεδο.



Εικόνα 56: Ενσωμάτωση της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου και των καλυμμάτων του στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

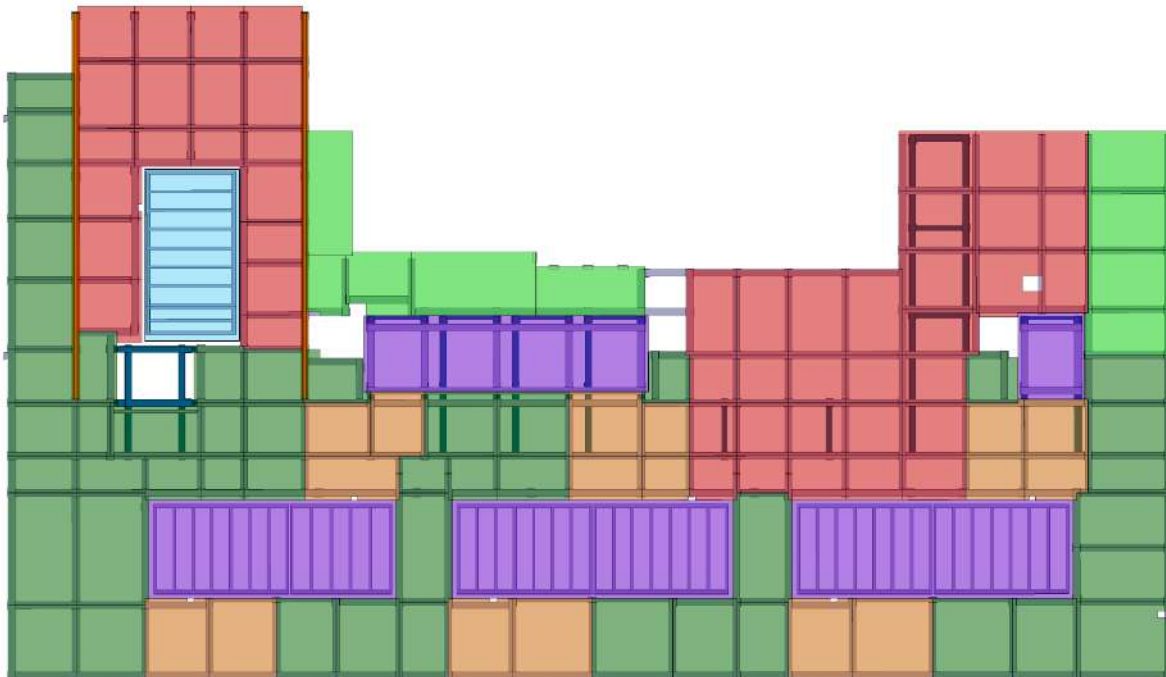
7.3 Υλικό και απαιτήσεις αντοχής

Σημείωση: Οι απαιτήσεις που ακολουθούν διαβιβάστηκαν στην εταιρεία που ανέλαβε τον τελικό σχεδιασμό και παραγωγή της μεταλλικής κατασκευής, όπως εξηγείται στην Ενότητα 9.

Όπως έγινε ήδη αντιληπτό, το ψευδοδάπεδο εκτείνεται σε ένα μεγάλο μέρος του δωματίου και θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει πλήθος φορτίων, από τα άτομα που θα κινούνται πάνω σε αυτό μέχρι τον βαρύτερο εξοπλισμό που θα πρέπει να φτάσει στην τελική του θέση. Ειδικά για το τελευταίο γίνεται ειδική αναφορά στην Ενότητα 8.

Η μεταλλική κατασκευή του ψευδοδαπέδου θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει σε οποιοδήποτε σημείο το βάρος των 1500 κιλών. Ωστόσο, στα ψευδοδάπεδα ο περιοριστικός παράγοντας για την αντοχή τους δεν είναι η μεταλλική κατασκευή αυτή καθαυτή, αλλά τα μεταλλικά καλύμματα που στηρίζονται σε αυτήν. Υπενθυμίζεται ότι στο τρέχον ψευδοδάπεδο το μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από καλύμματα ονομαστικής αντοχής 500 kg/m^2 . Ωστόσο, τα αυξημένα φορτία που πρόκειται να εισαχθούν από τους βοηθητικούς εξοπλισμούς ψύξης και ανύψωσης που παρουσιάζονται στην Ενότητα 8 καθιστούν απαραίτητη την εκτεταμένη χρήση καλυμμάτων αυξημένης ονομαστικής αντοχής 1500 kg/m^2 ή 1000 kg/m^2 . Οι ζώνες που δεν αναμένεται να καταπονηθούν με αυτά τα αυξημένα φορτία μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα υπάρχοντα καλύμματα ονομαστικής ικανότητας 500 kg/m^2 , καθώς είναι ελαφρύτερα και αφαιρούνται ευκολότερα σε περίπτωση ανάγκης συντήρησης του εξοπλισμού που βρίσκεται κάτω από το ψευδοδάπεδο. Ωστόσο, τα φορτία που αναμένεται να ασκηθούν στο ψευδοδάπεδο πολλές φορές θα είναι (σχεδόν) σημειακά και όχι ομοιόμορφα κατανομημένα σε όλη την επιφάνεια του καλύμματος. Για τον καθορισμό, λοιπόν, των απαιτήσεων αντοχής θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και αυτά τα συγκεντρωμένα φορτία. Στην Εικόνα 57 διακρίνονται οι προαναφερόμενες ζώνες

διαφορετικής ονομαστικής αντοχής καθώς και οι συγκεντρωμένες δυνάμεις που αναμένονται σε κάθε κάλυμμα. Οι τιμές αυτές προέκυψαν τόσο από το βάρος του νέου εξοπλισμού ψύξης που θα εγκατασταθεί (συσσωρευτές και μονάδες ψύξης) όσο και από το βάρος των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά του εξοπλισμού αυτού (βλ. Ενότητα 8).



- Ονομαστική αντοχή 0.5 T/m²
 - Ονομαστική αντοχή 0.5 T/m² + Συγκεντρωμένο φορτίο 450 kg*
 - Ονομαστική αντοχή 1.0 T/m² + Συγκεντρωμένο φορτίο 450 kg*
 - Ονομαστική αντοχή 1.5 T/m² + Συγκεντρωμένο φορτίο 1200 kg*
 - **Κάλυμμα μονάδας ψύξης για την εγκατάσταση του 1^{ου} συσσωρευτή (Ενότητα 8.2):**
Ονομαστική αντοχή 0.5 T/m² + Συγκεντρωμένο φορτίο 750 kg*
 - **Καλύμματα μονάδων ψύξης και συσσωρευτών για την εγκατάσταση του υπερυψωμένου γερανού (Ενότητα 8.1):**
Ονομαστική αντοχή 0.5 T/m² + Συγκεντρωμένο φορτίο 450 kg*
- *Το συγκεντρωμένο φορτίο θεωρούμε ότι ασκείται στο κέντρο του καλύμματος σε μια επιφάνεια 30 mm x 80 mm

Εικόνα 57: Οι ονομαστικές ικανότητες των μεταλλικών καλυμμάτων του νέου ψευδοδαπέδου στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Για την μεταλλική κατασκευή του ψευδοδαπέδου προτείνεται η χρήση κοινών δοκών διατομής HEB100 (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά) και υλικού S235JR. Για την μεταξύ τους σύνδεση προτείνονται κοχλίες ISO 4017 – 8.8 M10 (μαζί με τα αντίστοιχα περικόχλια ISO 4032 και ροδέλες ISO 7089) με κατάλληλο μήκος σπειρώματος. Η ασφάλεια της κατασκευής θα πρέπει να ακολουθεί τις προδιαγραφές του κώδικα Eurocode 3 και τους ισχύοντες κανόνες ασφαλείας του CERN για τις μεταλλικές κατασκευές.

7.4 Προστασία κατασκευής

Όλα τα μέρη της μεταλλικής κατασκευής θα πρέπει να προστατεύονται από τουλάχιστον 60μm θερμής επίστρωσης ψευδαργύρου (hot zinc coating).

7.5 Λειτουργικές και διαστασιολογικές απαιτήσεις

Σημείωση: Οι ακόλουθες λειτουργικές και διαστασιολογικές απαιτήσεις συνοδεύονται από επεξηγηματικές εικόνες που προέρχονται από το τρισδιάστατο μοντέλο του ψευδοδαπέδου που δημιουργήθηκε από τον συγγραφέα της παρούσας εργασίας. Το μοντέλο αυτό διαβιβάστηκε και στην εταιρεία που ανέλαβε τον τελικό σχεδιασμό και παραγωγή του ψευδοδαπέδου, όπως εξηγείται στην Ενότητα 9.

7.5.1 Δοκοί σε ύψος 870 mm από το έδαφος του δωματίου

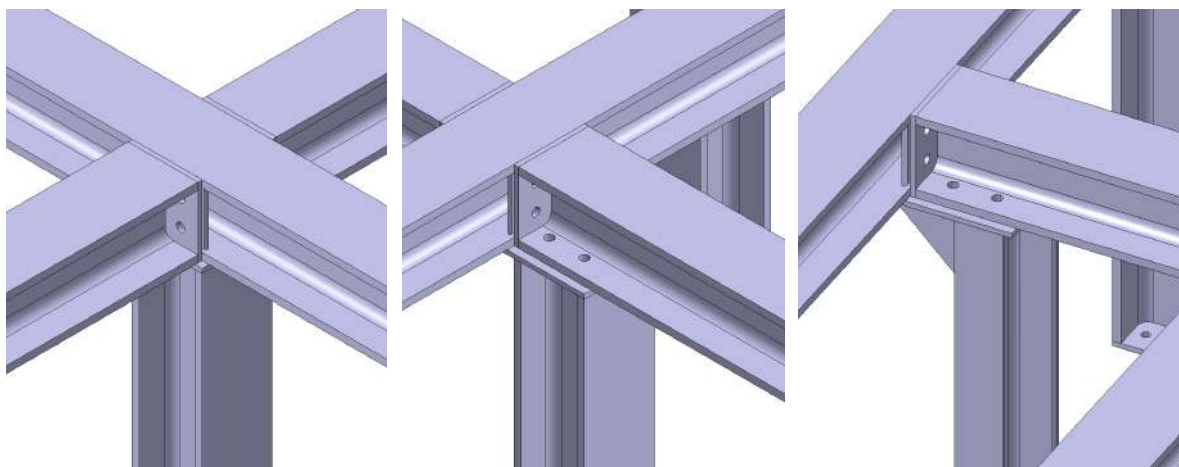
Τα καλύμματα του ψευδοδαπέδου στηρίζονται σε ένα δίκτυο δοκών τύπου HEB100 και UPN100 που σχηματίζουν την διάταξη που φαίνεται στην Εικόνα 56. Κάθε μία από αυτές τις δοκούς αποτελείται από την δοκό αυτή καθαυτή, πλάκες σύνδεσης (connection plates) με άλλες δοκούς και διάφορα άλλα βοηθητικά εξαρτήματα που αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους. Η χωρική διάταξη των δοκών αυτών πρέπει να τηρηθεί αυστηρά για την αποφυγή συγκρούσεων με τον περιβάλλοντα εξοπλισμό.

7.5.2 Πόδια στήριξης

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 55, μέρος της μεταλλικής κατασκευή του ψευδοδαπέδου προσαρμόζεται στον μηχανισμό ολίσθησης των συσσωρευτών ενώ η υπόλοιπη συνδέεται απευθείας στο τσιμεντένιο δάπεδο του δωματίου. Επομένως, μπορούμε να χωρίσουμε τα πόδια στήριξης σε δύο κατηγορίες, στα πόδια «πλήρους μήκους» (full-length feet) που φτάνουν μέχρι το πάτωμα και στα πόδια «μερικού μήκους» (partial-length feet) που φτάνουν μέχρι την επιφάνεια ολίσθησης των συσσωρευτών.

Πόδια πλήρους μήκους

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα πόδια πλήρους μήκους είναι κατασκευασμένα από δοκούς προφίλ HEB και βρίσκονται στις διασταυρώσεις των δοκών. Σε ορισμένα σημεία, όμως, αυτό ήταν αδύνατο καθώς θα οδηγούσε σε συγκρούσεις με περιβάλλοντα εξοπλισμό που δεν δύναται να μετακινηθεί. Ως λύση προτείνεται μικρή απομάκρυνση των ποδιών στήριξης από τις διασταυρώσεις ή/και χρήση κάποιου πιο συμπαγούς προφίλ (όπως UPN120) – οι δύο αυτές περιπτώσεις φαίνονται στην Εικόνα 58.

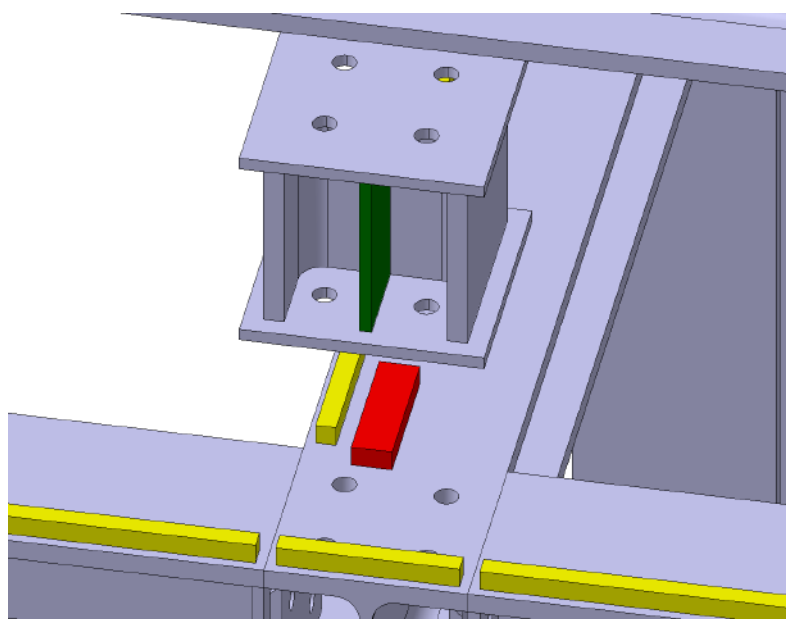


Εικόνα 58: Τα πόδια στήριξης προφίλ HEB100 της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου βρίσκονται (1) στις διασταυρώσεις των δοκών (2) λίγο πιο μακριά ή/και (3) αντικαθίστανται από πιο συμπαγή προφίλ UPN120. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Ακόμα, θα πρέπει να τονιστεί και πάλι η ανάγκη της παράλληλης τοποθέτησης των κάθετων λαμών των δοκών (beam webs) κατά την σύνδεση τους (βλ. Εικόνα 32) ώστε να αποφεύγεται υψηλή συγκέντρωση τάσεων στο σημείο συνάντησής τους.

Πόδια μερικού μήκους

Τα πόδια μερικού μήκους προσαρμόζονται στις δοκούς του μηχανισμού ολίσθησης των συσσωρευτών και ανάλογα με τη θέση τους μπορεί είτε να στηρίζονται απευθείας στην επιφάνεια ολίσθησης είτε στο εξάρτημα καθοδήγησης που αναφέρεται στην παράγραφο 4.2.4. Στη δεύτερη περίπτωση, θα πρέπει να τοποθετηθεί μία σφήνα ύψους 10 mm (όσο δηλαδή και το ύψος του εξαρτήματος καθοδήγησης) μεταξύ του ποδιού μερικού μήκους και της επιφάνειας ολίσθησης των συσσωρευτών. Η τοποθέτηση αυτή θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να ευθυγραμμίζονται οι κάθετες λάμες των δοκών. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, προτείνεται η συγκόλληση επιπλέον κάθετων λαμών στο εσωτερικό των προφίλ HEB100, όπως φαίνεται στην Εικόνα 59.

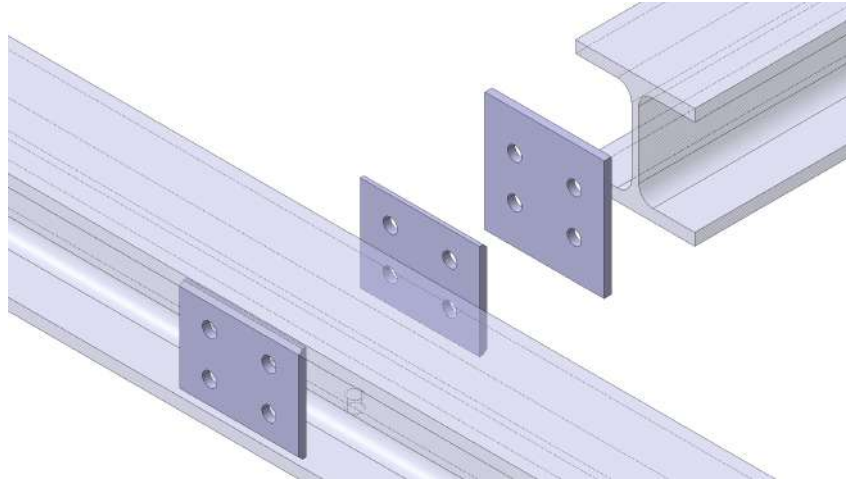


Εικόνα 59: Παράδειγμα ποδιών μερικού μήκους της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου που στηρίζονται στο εξάρτημα καθοδήγησης των συσσωρευτών (κίτρινο). Τα πόδια αυτά είναι εξοπλισμένα με μία σφήνα ύψους 10mm (κόκκινο) και διαθέτουν συγκολλητές κάθετες λάμες στο εσωτερικό τους (πράσινο). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

7.5.3 Συνδέσεις

Συνδέσεις στο ύψος του ψευδοδαπέδου ($z = +870 \text{ mm}$)

Σε αντίθεση με την περίπτωση σύνδεσης των δοκών του μηχανισμού ολίσθησης των συσσωρευτών, εδώ μπορεί να εφαρμοστεί μία απλούστερη λύση που φαίνεται στην Εικόνα 60 (με την ίδια ωστόσο μικρή μετατόπιση των 3 mm που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.2.4). Αξίζει να σημειωθεί ότι το τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής περιλαμβάνει τέτοιες διεπαφές και σε σημεία όπου μοιάζει να μην συνδέονται με κάποια άλλη δοκό. Η ύπαρξη τους, όμως, είναι σκόπιμη αφού θα λειτουργήσουν ως διεπαφές σύνδεσης με το μέρος του τωρινού ψευδοδαπέδου του δωματίου ψύξης και εξαερισμού που δεν θα τροποποιηθεί (π.χ. στον διάδρομο προς την πόρτα του δωματίου – βλ. Εικόνα 54). Ωστόσο, θα πρέπει να συγκολληθούν επί τόπου (on site welding) για να διασφαλιστεί η επιτυχής σύνδεση της νέας κατασκευής με την υπάρχουσα.

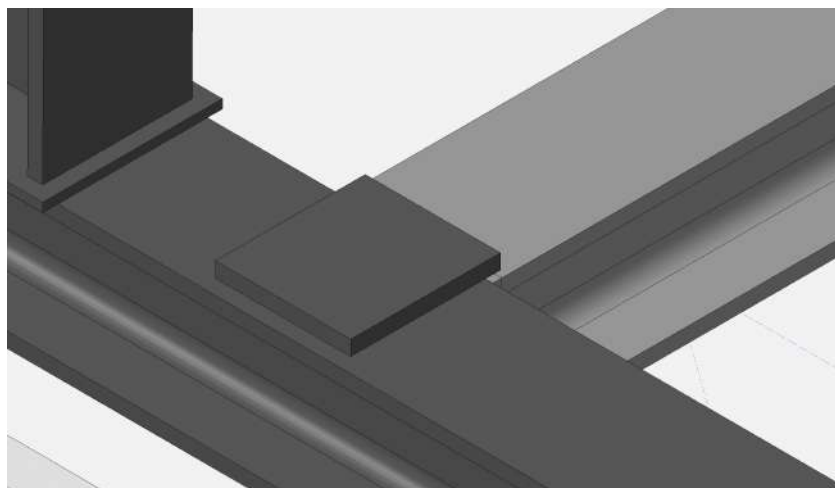


Εικόνα 60: Ο τρόπος σύνδεσης των δοκών στο ύψος του ψευδοδαπέδου ($z = +870 \text{ mm}$). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Συνδέσεις μεταξύ δοκών ύψους $z = 870 \text{ mm}$ και ποδιών στήριξης

Όλα τα πόδια συνδέονται με τις δοκούς της προηγούμενης παραγράφου με τη χρήση κοχλιών κατάλληλου μήκους. Ο αριθμός των κοχλιών σε κάθε σύνδεση εξαρτάται από το προφίλ από το οποίο είναι φτιαγμένο το εκάστοτε πόδι στήριξης. Όλες οι πλάκες σύνδεσης θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με ένα χείλος της τάξης των 10 mm σε κάθε πλευρά τους ώστε οι διατμητικές δυνάμεις που θα προκαλούν τα διάφορα φορτία να περνάνε μέσα από αυτές στα πόδια στήριξης και τελικά στο πάτωμα του δωματίου (αντί να καταπονούν τους κοχλίες σύνδεσης). Αυτό εξηγεί γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις (σαν αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 58 – 3) αυτές οι πλάκες είναι εξοπλισμένες με νεύρα (ribs) μέσω των οποίων μπορούν να περνούν οι δυνάμεις διάτμησης.

Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό γιατί ένας μικρός αριθμός ποδιών είναι τοποθετημένος αρκετά μακριά από τις διασταυρώσεις των δοκών λόγω του περιβάλλοντος εξοπλισμού. Σε τέτοιες περιπτώσεις προτείνεται η συγκόλληση μιας πλάκας διάτμησης (shear force plate) στην κάτω πλευρά του προφίλ HEB100 όπως φαίνεται στην Εικόνα 61



Εικόνα 61: Χρήση πλάκας διάτμησης (shear force plate) στις διασταυρώσεις της μεταλλικής κατασκευής ψευδοδαπέδου όπου δεν υπάρχουν πόδια στήριξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

Συνδέσεις μεταξύ ποδιών στήριξης μερικού μήκους και επιφάνειας ολίσθησης συσσωρευτών

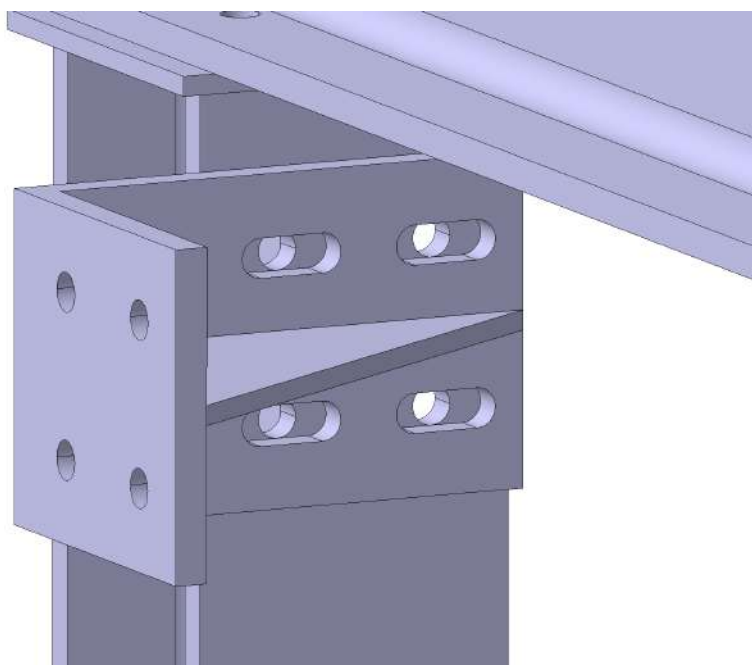
Οι συνδέσεις αυτές γίνονται με τις ίδιες διεπαφές και τους ίδιους κοχλίες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Συνδέσεις μεταξύ ποδιών στήριξης πλήρους μήκους και εδάφους

Για την στήριξη του ψευδοδαπέδου στο τσιμεντένιο δάπεδο εφαρμόζεται η ίδια λύση με αυτήν που εφαρμόστηκε στην περίπτωση του μηχανισμού ολίσθησης των συσσωρευτών (Εικόνα 36).

Συνδέσεις με τον τοίχο του δωματίου

Συνιστάται η προσθήκη δύο υποστηριγμάτων σχήματος L (L-shaped brackets - Εικόνα 62) σε δύο από τα πόδια που βρίσκονται κοντά στον τοίχο του δωματίου στην πλευρά όπου θα εγκατασταθεί ο κινητός γερανός της Ενότητας 5 για να σταθεροποιηθεί περαιτέρω η κατασκευή. Τα υποστηρίγματα αυτά θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με οπές με σχισμές (slotted holes) στην πλευρά του ποδιού στήριξης και με διαμπερείς οπές για κοχλίες M10 στην πλευρά του τοίχου.

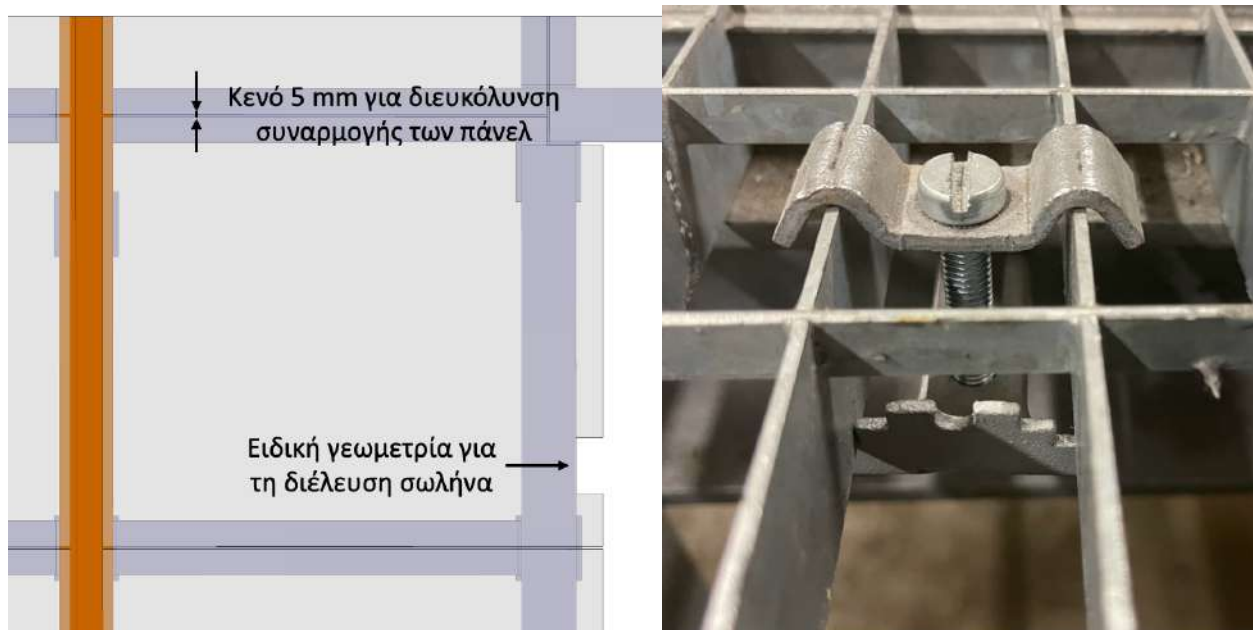


Εικόνα 62: Το προτεινόμενο υποστήριγμα σχήματος L (L-shaped bracket) για την σύνδεση των ποδιών της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου με τον τοίχο του δωματίου ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.

7.5.4 Λεπτομέρειες μεταλλικών καλυμμάτων

Το τρισδιάστατο μοντέλο του ψευδοδαπέδου περιλαμβάνει επίσης την απαιτούμενη διάταξη των μεταλλικών καλυμμάτων της κατασκευής. Τα καλύμματα αυτά έχουν ορθογωνική γεωμετρία και είναι εξοπλισμένα με τις απαραίτητες οπές για την διέλευση π.χ. σωλήνων που πρέπει να φτάσουν σε ύψος μεγαλύτερο από αυτό του ψευδοδαπέδου. Ακόμα, υπάρχει κενό 5 mm μεταξύ των πάνελ αυτών για την διευκόλυνση της τοποθέτησης ή/και της αφαίρεσης τους σε περιπτώσεις όπου απαιτείται πρόσβαση στο εσωτερικό του ψευδοδαπέδου. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω περιπτώσεων φαίνεται και στην Εικόνα 63.

Για λόγους ασφαλείας (αποφυγή ανατροπής τους), όλα τα καλύμματα θα πρέπει να στερεώνονται στη μεταλλική κατασκευή με τη χρήση σφικκτήρων σαν αυτούς της επόμενης εικόνας.



Εικόνα 63: α) Ειδικές διαμορφώσεις καλυμμάτων ψευδοδαπέδου και β) Παράδειγμα σφιγκτήρων στερέωσής τους στην μεταλλική κατασκευή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN και φωτογραφία συγγραφέα.

7.5.5 Δοκοί οδήγησης κινητού γερανού

Ο κινητός γερανός που παρουσιάστηκε στην Ενότητα 5 θα κινείται πάνω στις δύο μακριές δοκούς ΗΕΒ100 που φαίνονται με πορτοκαλί χρώμα στην Εικόνα 55. Για το λόγο αυτό, οι δύο αυτοί δοκοί θα πρέπει να εξοπλιστούν με μια συγκολλητή ορθογώνια ράβδο ύψους 30 mm και πλάτους 40 mm, η οποία θα δρα ως το εξάρτημα καθοδήγησης (guiding element) του κινητού γερανού.

8 Βοηθητικοί μηχανισμοί μεταφοράς και ανύψωσης

Στις ενότητες που προηγήθηκαν παρουσιάστηκαν οι κύριοι μηχανισμοί μεταφοράς και ανύψωσης για τους συσσωρευτές και τις μονάδες ψύξης του νέου συστήματος ψύξης. Ωστόσο, οι μηχανισμοί αυτοί (μηχανισμός ολίσθησης συσσωρευτών και γερανοί συναρμολόγησης και συντήρησης μονάδων ψύξης) δεν αρκούν από μόνοι τους για την επιτυχή μεταφορά του νέου εξοπλισμού από την επιφάνεια (κτήριο SX1 που φαίνεται στην Εικόνα 5) έως την τελική τους θέση στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Ένα από τα «πηγάδια» (shafts) του πειράματος ATLAS θα χρησιμοποιηθεί για την μεταφορά του εξοπλισμού από την επιφάνεια έως τα περίπου -100 μέτρα όπου βρίσκεται το «σπήλαιο λειτουργιών» (στα αγγλικά service cavern) που έχει την ονομασία USA15 και στο βάθος του οποίου βρίσκεται το δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής ο συγγραφέας καθόρισε της διαδικασία μεταφοράς/ανύψωσης από την είσοδο του δωματίου έως την τελική τους θέση για τους εξής μηχανισμούς:

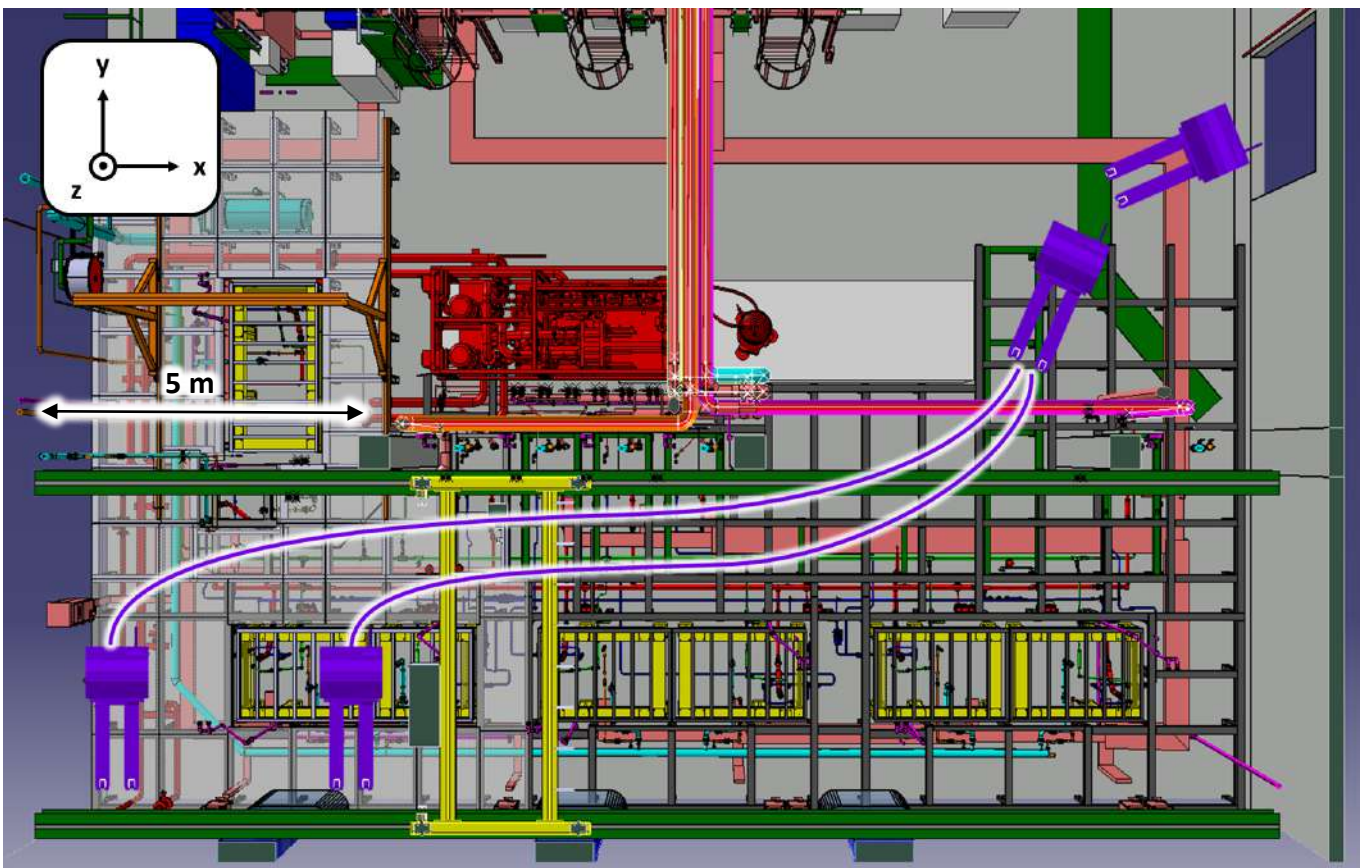
- **Μεταλλική κατασκευή μεταφοράς συσσωρευτών και ψευδοδαπέδου:** Πρόκειται για τα **αρθρωτά** συστήματα που παρουσιάστηκαν στις ενότητες 4 και 7. Συνεπώς, η συναρμολόγηση τους θα γίνει εντός του δωματίου. Τα επιμέρους κομμάτια (δοκοί με διάφορες διεπαφές σύνδεσης κ.α.) μπορούν εύκολα να διέλθουν από την πόρτα του δωματίου - Εικόνα 18).
- **Κινητός γερανός:** Ο γερανός της ενότητας 5 είναι επίσης μικρών διαστάσεων και οι δοκοί που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του (ανεξαρτήτως διατομής τους) μπορούν και αυτοί να διέλθουν μέσω από την πόρτα του δωματίου. Η τελική συναρμολόγηση θα γίνει εντός του δωματίου.
- **Υπερυψωμένος γερανός:** Η διαδικασία εγκατάστασης της γερανογέφυρας της ενότητας 6 είναι πιο απαιτητική από ότι του κινητού γερανού λόγω των μεγαλύτερων διαστάσεων της σε συνδυασμό με την ανάγκη ανύψωσης της σε ύψος μεγαλύτερο των τριών μέτρων. Συγκεκριμένα, το βαρύτερο «εξάρτημα» της γερανογέφυρας αναμένεται να είναι οι δύο σιδηροτροχιές της (runway beams). Για τον λόγο αυτό, ο συγγραφέας εκτέλεσε ένα πείραμα προσομοίωσης της διαδικασίας εγκατάστασης των σιδηροτροχιών αυτών κατά τη διάρκεια της πρακτικής του εργασίας. **Το πείραμα αυτό και τα αποτελέσματά του παρουσιάζονται στην παράγραφο 8.1.** Η εγκατάσταση των υπολοίπων εξαρτημάτων της γερανογέφυρας θα γίνει με έναν γερανό μίας δοκού (monorail) που υπάρχει ήδη στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού και, συνεπώς, ανήκει εκτός του πεδίου μελέτης της παρούσας εργασίας.
- **Συσσωρευτές:** Όπως έχει ήδη εξηγηθεί, οι 6 συσσωρευτές θα οδηγούνται από το χώρο φόρτωσής τους (κοντά στην πόρτα του δωματίου – βλ. Εικόνα 19) έως την τελική τους θέση χάρη στις διεπαφές ολίσθησής τους από Teflon πάνω στην μεταλλική κατασκευή μεταφοράς τους. Η αντίθετη διαδρομή θα ακολουθείται σε περίπτωση ανάγκης απομάκρυνσης τους από το δωμάτιο. Ωστόσο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 55, η εγκατάσταση του πρώτου συσσωρευτή θα γίνει κατά την φάση πρώιμης εγκατάστασης [2023-2024], κατά την οποία δεν θα έχει ακόμα τοποθετηθεί η μεταλλική κατασκευή στο χώρο φόρτωσης. **Συνεπώς, η εγκατάσταση του πρώτου συσσωρευτή θα γίνει κατ' εξαίρεση με τον ειδικό μηχανισμό που παρουσιάζεται στην παράγραφο 8.2.**

8.1 Διαδικασία εγκατάστασης των σιδηροτροχιών του υπερυψωμένου γερανού

8.1.1 Ηλεκτρικό στάκερ: Διαδρομή εντός δωματίου ψύξης και εξαερισμού

Στην Εικόνα 64 φαίνεται το δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού σε κάτοψη. Στο κάτω μισό της εικόνας διακρίνεται με πράσινο και κίτρινο χρώμα ένα προκαταρκτικό μοντέλο του υπερυψωμένου γερανού που πρόκειται να εγκατασταθεί, όπως αυτό σχεδιάστηκε από το [Handling Engineering Group](#) του CERN. Η παράγραφος αυτή ασχολείται με την διαδικασία εγκατάστασης των σιδηροτροχιών του γερανού αυτού (πράσινο χρώμα).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 53, αυτές οι σιδηροτροχιές θα βρίσκονται σε ύψος περίπου 4 μέτρων από το τιμεντένιο δάπεδο (ή σε ύψος περίπου **3.1 μέτρων** από το ψευδοδάπεδο) και θα καλύπτουν όλη την απόσταση μεταξύ των 2 τοίχων του δωματίου (περίπου 17 μέτρα). Οι μακριοί αυτοί δοκοί αποτελούνται συνήθως από επιμέρους τμήματα, όμως στην περίπτωση του δωματίου ψύξης ο μέγιστος αριθμός των τμημάτων αυτών είναι τέσσερα (όπως φαίνεται στην εικόνα η στήριξη της άνω δοκού (y+) μπορεί να γίνει στους δύο τοίχους και στις 3 κολώνες – δημιουργώντας έτσι 4 επιμέρους τμήματα). Το μεγαλύτερο από αυτά τα τμήματα θα βρίσκεται μεταξύ του αριστερού (x-) τοίχου και της πρώτης κολώνας, με μήκος περίπου **5 μέτρα**. Το αρχικό αυτό σχέδιο του γερανού χρησιμοποιεί σιδηροτροχιές προφίλ HEB280. Το βάρος ενός τέτοιου προφίλ είναι περίπου 105 κιλά ανά μέτρο. Συνεπώς, το μακρύτερο τμήμα της σιδηροτροχιάς θα έχει βάρος περίπου **525 κιλών**.



Εικόνα 64: Διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσουν τα ηλεκτρικά στάκερ εντός του δωματίου ψύξης και εξαερισμού για την εγκατάσταση των σιδηροτροχιών του υπερυψωμένου γερανού.

Πηγή: Βάση αποθήκευσης CAD αρχείων του CERN.

Συνεπώς, το πρόβλημα έγκειται στην επιλογή ενός κατάλληλου μηχανισμού για την ανύψωση μιας δοκού βάρους 525 κιλών και μήκος 5 μέτρων σε ύψος 3.1 μέτρων, ο οποίος θα μπορεί να κινηθεί επιτυχώς εντός του περιορισμένου χώρου του δωματίου. Για τον σκοπό αυτόν προτάθηκε η χρήση ενός ζεύγους πανομοιότυπων ηλεκτρικών στάκερ που διέθετε ήδη το CERN. Τα δύο αυτά στάκερ θα ακολουθήσουν την διαδρομή που φαίνεται στην Εικόνα 64 και θα ανυψώσουν την δοκό στο κατάλληλο ύψος. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 53, η απόσταση μεταξύ της δοκού και του τοίχου (γ-) του δωματίου είναι μόλις 30 εκατοστά. Αυτό σημαίνει ότι τα στάκερ καλούνται να ανυψώσουν το φορτίο με την άκρη των ανυψωτικών πιρουνιών τους (lifting forks). Η ανυψωτική ικανότητα του στάκερ εξαρτάται από το συνδυασμό του ύψος ανύψωσης και τη θέση του κέντρου βάρους του φορτίου. Οι τεχνικές προδιαγραφές του συγκεκριμένου μοντέλου (Εικόνα 65) ορίζουν ότι για φορτίο που τοποθετείται στο κέντρο των πιρουνιών, η ανυψωτική ικανότητα είναι μεταξύ των 500 και 1400 κιλών ανάλογα το ύψος ανύψωσης. Ωστόσο, η πληροφορία αυτή δεν μας δίνει σαφή απάντηση για το αν είναι εφικτή η ανύψωση των σιδηροτροχιών, αφού όπως αναφέρθηκε αυτές θα τοποθετηθούν στην άκρη των πιρουνιών.

Ταυτόχρονα, λόγω της ιδιαίτερης γεωμετρίας της σιδηροτροχιάς (μεγάλο μήκος) αποφασίστηκε η χρήση δύο τέτοιων στάκερ τα οποία θα δρούσαν συνεργατικά – ένα σε κάθε άκρη της δοκού. Στο σημείο αυτό κρίθηκε απαραίτητο να οργανωθεί ένα πείραμα προσομοίωσης της διαδικασίας αυτής για ελεγχθεί αν ήταν εφικτή.



Εικόνα 65: Φωτογραφία του ηλεκτρικού στάκερ που χρησιμοποιήθηκε και διάγραμμα της ανυψωτικής του ικανότητας. Πηγή: CERN.

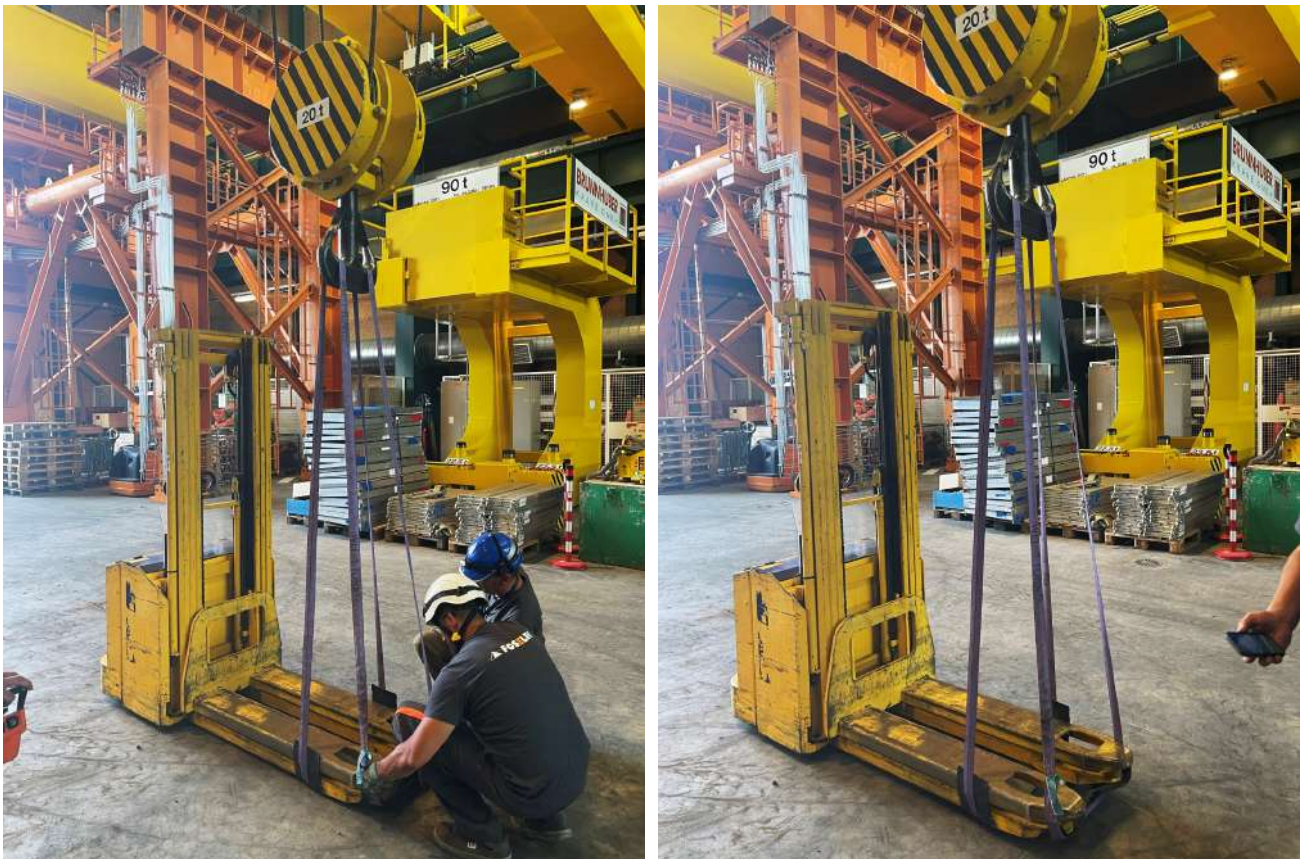
8.1.2 Πειραματική διαδικασία

Η διαδικασία που ακολουθεί έλαβε χώρα στο κτίριο SX1 (Εικόνα 5) που διέθετε τον κατάλληλο εξοπλισμό για την ασφαλή διεξαγωγή του πειράματος.

Μέρος πρώτο: Προσδιορισμός βάρους ανά ρόδα

Τα ηλεκτρικά στάκερ θα κινούνται στο ύψος του ψευδοδαπέδου. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε σημαντικός ο προσδιορισμός της κατανομής του βάρους του στάκερ (1230 κιλά) στις τέσσερις ρόδες του – σημεία επαφής με το ψευδοδάπεδο. Οι μπροστινές ρόδες του στάκερ τυλίχθηκαν με υφασμάτινους μιάντες κατάλληλης αντοχής (1T) οι οποίοι δέθηκαν σε έναν από τους γεραμούς του κτιρίου ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με το κατάλληλο δυναμόμετρο. Έπειτα, το στάκερ ανυψώθηκε ελάχιστα και η ένδειξη του δυναμόμετρου ήταν **300 κιλά** (ή 150 κιλά ανά ρόδα). Συνεπώς, οι πίσω ρόδες φορτίζονται με **930 κιλά** (ή 465 κιλά ανά ρόδα).

Στην περίπτωση που το στάκερ ανυψώνει την δοκό μπορούμε να υποθέσουμε ότι όλο το βάρος της οδηγείται στις μπροστινές ρόδες αφού αυτή τοποθετείται στην άκρη των πιρουινιών. Οι τιμές αυτές λήφθηκαν υπόψη κατά τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ονομαστικής ικανότητας των καλυμμάτων του ψευδοδαπέδου. Στην Εικόνα 66 φαίνονται ορισμένα στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία.



Εικόνα 66: Πειραματική διαδικασία προσδιορισμού κατανομής του βάρους του στάκερ στις 4 ρόδες του ρομπότ. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

Μέρος δεύτερο: Ανύψωση δοκού – σιδηροτροχιάς

Στη δοκιμή υπό φορτίο, χρησιμοποιήθηκε μια δοκός από προφίλ ΗΕΒ280 και μήκος **5.5 μέτρα** (βάρος περίπου **570 κιλά**). Η δοκός αυτή τοποθετήθηκε σε απόσταση 25 εκατοστών από την άκρη των πιρουινιών των στάκερ (ακόμα πιο δυσμενής κατάσταση από αυτήν που θα επικρατήσει στην πραγματικότητα). Έπειτα, οι δύο χειριστές ανύψωσαν επιτυχώς την δοκό σε ύψος πολύ μεγαλύτερο από το απαιτούμενο (περίπου **4 μέτρα**). Εξίσου εύκολη ήταν και η μικρή μετακίνηση των στάκερ προς τα μπροστά/πίσω – κάτι το οποίο αναμένεται να συμβεί και στην πραγματικότητα για την προσέγγιση της τελικής θέσης εγκατάστασης της σιδηροτροχιάς. Στην Εικόνα 67 φαίνονται ορισμένα στιγμιότυπα από την πειραματική διαδικασία.

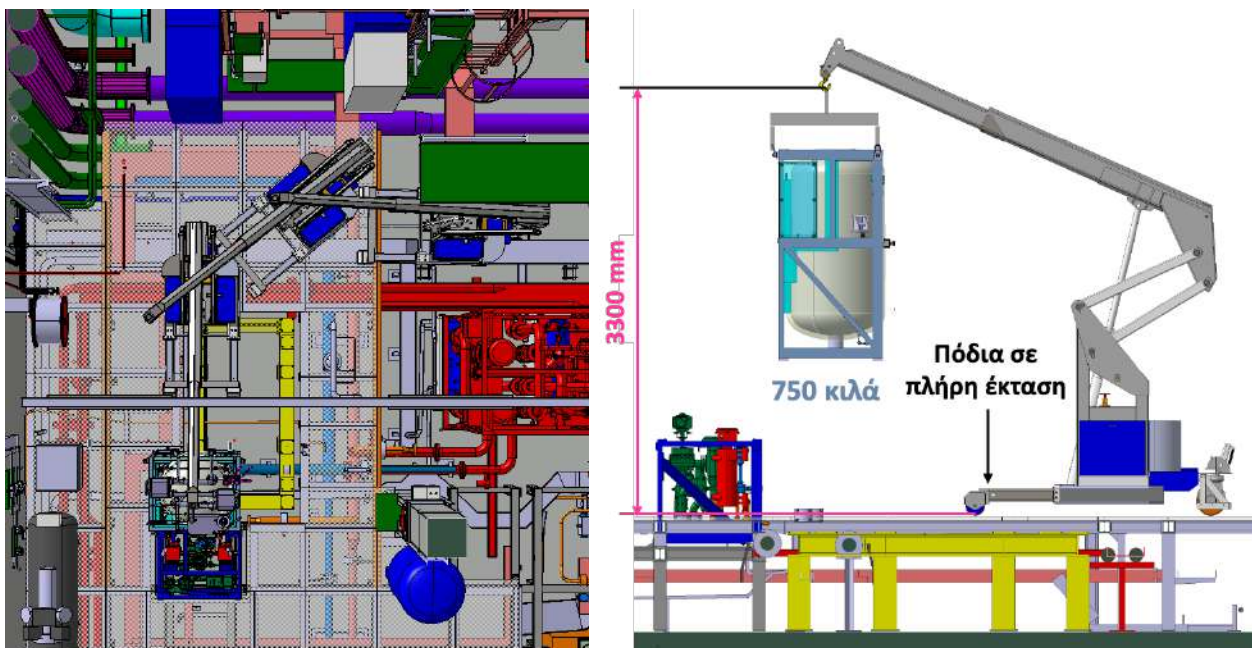


Εικόνα 67: Πειραματική διαδικασία ανύψωσης δοκού υπερυψωμένου γερανού με την ταυτόχρονη χρήση δύο στάκερ. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

8.2 Διαδικασία εγκατάστασης του πρώτου συσσωρευτή

8.2.1 Κινητός τηλεσκοπικός γερανός: Διαδρομή στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού

Όπως αναφέρθηκε ήδη, ο πρώτος συσσωρευτής θα εγκατασταθεί κατά την διακοπή λειτουργίας 2023-2024 (2023-2024 YETS). Τότε, η μεταλλική κατασκευή ολίσθησης των συσσωρευτών δεν θα έχει εγκατασταθεί ακόμη έως το σημείο φόρτωσης κοντά στην πόρτα του δωματίου (βλ. Εικόνα 19). Συνεπώς, θα πρέπει να ακολουθηθεί μια κατ' εξαίρεση διαδικασία εγκατάστασης για τον πρώτο συσσωρευτή. Υπενθυμίζεται ότι οι συσσωρευτές αυτοί θα φτάσουν στο δωμάτιο σε 3 κομμάτια, με το μεσαίο από αυτά να είναι το βαρύτερο (βάρος περίπου 750 κιλά – βλ. Εικόνα 68).



Εικόνα 68: Διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει ο κινητός τηλεσκοπικός γερανός εντός του δωματίου ψύξης και εξαερισμού για την εγκατάσταση του πρώτου συσσωρευτή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης CAD αρχείων του CERN.

Για τον σκοπό αυτό προτείνεται η χρήση του κινητού τηλεσκοπικού γερανού που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Μελέτες ενσωμάτωσης στο τρισδιάστατο μοντέλο του δωματίου έδειξαν ότι για να εγκατασταθεί επιτυχώς το μεσαίο κομμάτι του συσσωρευτή, ο γάντζος του τηλεσκοπικού γερανού θα πρέπει να φτάσει σε ύψος 3.3 μέτρων. Ο γερανός είναι εξοπλισμένος με αυτόματο σύστημα που διακόπτει την περεταίρω αύξηση του ύψους του γάντζου (δηλαδή την περεταίρω αύξηση του μήκους του τηλεσκοπικού του μηχανισμού) σε περίπτωση που το φορτίο αγγίζει μια κρίσιμη τιμή κοντά στην ροπή ανατροπής του γερανού.

Το μέγιστο αυτό φορτίο εξαρτάται από το βάρος του προς μετακίνηση αντικειμένου, την απόσταση του από το κέντρο βάρους του γερανού καθώς και την έκταση των ποδιών του γερανού (βλ. δεξιά στην Εικόνα 68 – τα πόδια είναι σε πλήρη έκταση). Συνεπώς, αποφασίστηκε να διεξαχθεί ένα πείραμα προσομοίωσης της διαδικασίας εγκατάστασης του συσσωρευτή με τις παραπάνω μεταβλητές (προσαυξημένες με τους κατάλληλους συντελεστές ασφαλείας).

8.2.2 Πειραματική διαδικασία

Η διαδικασία που ακολουθεί έλαβε χώρα στο κτίριο SX1 (Εικόνα 5) που διέθετε τον κατάλληλο εξοπλισμό για την ασφαλή διεξαγωγή του πειράματος.

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε ένα χαλύβδινο μπλοκ βάρους 1000 κιλών. Με αυτό το βάρος, ο γάντζος του γερανού έφτασε επιτυχώς το απαιτούμενο ύψος των 3.3 μέτρων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 69. Θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά τη διάρκεια της ανύψωσης τα μπροστινά πόδια του γερανού βρισκόταν σε πλήρη έκταση (ευνοϊκή συνθήκη για το μέγιστο βάρος ανατροπής του γερανού). Ο γερανός θα χρησιμοποιηθεί στην ίδια «διαμόρφωση» και στην πραγματική διαδικασία εγκατάστασης του πρώτου συσσωρευτή, αλλά το μέγιστο βάρος δεν θα ξεπεράσει τα 750 κιλά.



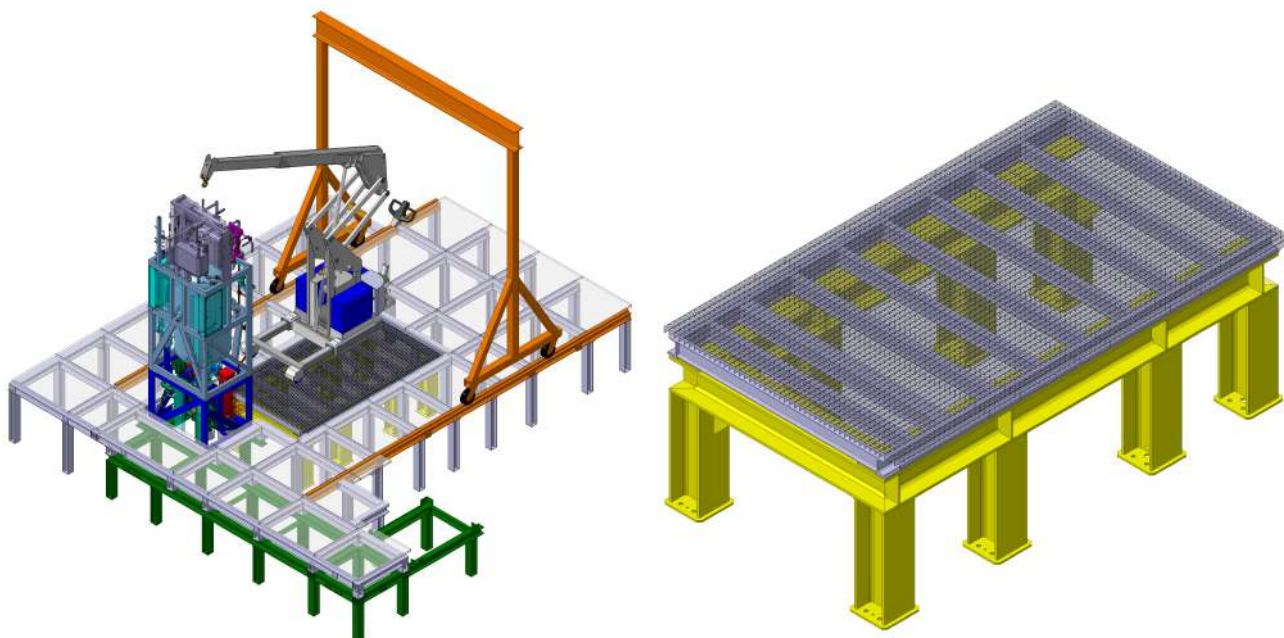
Εικόνα 69: Πειραματική διαδικασία ανύψωσης χαλύβδινου μπλοκ ενός τόνου με τον κινητό τηλεσκοπικό γερανό. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.

Για τους ίδιους λόγους με το πείραμα της προηγούμενης υποενότητας, κρίθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός της κατανομής του βάρους του φορτωμένου γερανού (1200 + 1000 κιλά) στις τρεις ρόδες του – σημεία επαφής με το ψευδοδάπεδο. Οι μπροστινές ρόδες του γερανού τυλίχθηκαν με υφασμάτινους μάντες κατάλληλης αντοχής (2T) οι οποίοι δέθηκαν σε έναν από τους γερανούς του κτιρίου ο οποίος ήταν εξοπλισμένος με το κατάλληλο δυναμόμετρο. Έπειτα, ο φορτωμένος γερανός ανυψώθηκε ελάχιστα και η ένδειξη του δυναμόμετρου ήταν **1900 κιλά** (ή 950 κιλά ανά ρόδα). Συνεπώς, η πίσω ρόδα φορτίζεται με **300 κιλά**.

8.2.3 Κάλυμμα της μονάδας ψύξης για την διέλευση του τηλεσκοπικού γερανού

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 68, ο τηλεσκοπικός γερανός θα πρέπει να περάσει πάνω από τη θέση όπου πρόκειται να εγκατασταθεί η πρώτη μονάδα ψύξης. Κατά την διάρκεια της εγκατάστασης του συσσωρευτή, στη θέση αυτή θα έχει εγκατασταθεί μόνο η βάση στήριξης της μονάδας ψύξης (κίτρινο χρώμα) και ο ενδιάμεσος χώρος θα είναι κενός. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ενός προσωρινού καλύμματος στον χώρο αυτό ώστε να μπορέσει να διέλθει ο τηλεσκοπικός γερανός.

Σχεδιάστηκε, λοιπόν, το κάλυμμα που φαίνεται στην Εικόνα 70 και τοποθετείται πάνω από την βάση στήριξης της μονάδας ψύξης (κίτρινο χρώμα). Το κάλυμμα αυτό αποτελείται από δύο δοκούς προφίλ UPN80 που ενώνονται μεταξύ τους με έναν αριθμό από δοκούς προφίλ IPN80 (όλες οι συνδέσεις είναι συγκολλητές). Πάνω από την μεταλλική αυτή κατασκευή τοποθετούνται πάνελ ψευδοδαπέδου ονομαστικής αντοχής 500 kg/m^2 (στην πραγματικότητα θα επαναχρησιμοποιηθούν κάποια από τα καλύμματα που θα αφαιρεθούν από το τωρινό ψευδοδάπεδο στην περιοχή αυτή).



Εικόνα 70: Προσωρινό κάλυμμα της βάσης της πρώτης μονάδας ψύξης για την διέλευση του τηλεσκοπικού γερανού κατά την εγκατάσταση του πρώτου συσσωρευτή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης CAD αρχείων του CERN.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 8.2.2, το βάρος που οδηγείται σε κάθε μπροστινή ρόδα είναι περίπου 950 κιλά. Συνεπώς, το κάλυμμα θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει επιτυχώς το βάρος αυτό. Στο παράρτημα Γ έχει επισυναφθεί η ανάλυση αντοχής που εκτελέστηκε από τον συγγραφέα σχετικά με:

1. Την αντοχή των δοκών που αποτελούν το κάλυμμα;
2. Την αντοχή των συγκολλήσεων μεταξύ των δοκών αυτών;
3. Την αντοχή των πάνελ ονομαστικής αντοχής 500 kg/m^2 .

9 Κατάστρωση εκθέσεων τεχνικών προδιαγραφών για εξεύρεση προσφορών από κατασκευαστές

Στις ενότητες που προηγήθηκαν παρουσιάστηκε η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον καθορισμό των προδιαγραφών των μηχανισμών μεταφοράς και ανύψωσης του νέου εξοπλισμού ψύξης που θα εγκατασταθεί στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων της γενικής διάταξης των μηχανισμών αυτών και η ενσωμάτωση τους στον χώρο χωρίς συγκρούσεις με τον περιβάλλοντα εξοπλισμό.

Τα τρισδιάστατα μοντέλα που παράχθηκαν υπαγορεύουν μια σειρά σχεδιαστικών και λειτουργικών προδιαγραφών για τα επιμέρους συστήματα οι οποίες καταγράφηκαν μεθοδικά σε μια σειρά «**Εκθέσεων Τεχνικών Προδιαγραφών**». Οι εκθέσεις αυτές μεταβιβάστηκαν στα αρμόδια τμήματα που θα αναλάβουν τον τελικό σχεδιασμό του κάθε υποσυστήματος ή/και την εξεύρεση προσφορών από εξωτερικούς κατασκευαστές. Συγκεκριμένα, καταστρώθηκαν τρεις εκθέσεις τεχνικών προδιαγραφών (Πίνακας 4), οι οποίες έχουν επισυναφθεί και στα παραρτήματα Δ, Ε και ΣΤ της παρούσας εργασίας.

Υποσύστημα	Ενότητες	Αρμόδιο τμήμα	Παράρτημα
Μηχανισμός μεταφοράς συσσωρευτών & ψευδοδάπεδο (πρώτο στάδιο ¹)	3, 4, 7	Site and Civil Engineering Department Site Asset Management Group	Δ
Κινητός γερανός συναρμολόγησης & συντήρησης μονάδας ψύξης 3H	5	Engineering Department Handling Engineering Group	Ε
Υπερυψωμένος γερανός συναρμολόγησης & συντήρησης μονάδων ψύξης 2H και 1H	6	Engineering Department Handling Engineering Group	ΣΤ

Πίνακας 4: Εκθέσεις τεχνικών προδιαγραφών για τα τρία κύρια υποσυστήματα της παρούσας εργασίας που μεταβιβάστηκαν στα αρμόδια τμήματα για τον τελικό τους σχεδιασμό.

Τα αρμόδια τμήματα έκριναν ως εφικτή την κατασκευή των ζητούμενων υποσυστημάτων τηρώντας τους περιορισμούς που τέθηκαν. Ο συγγραφέας (και γενικότερα το τμήμα στο οποίο άνηκε κατά την εργασία του στο CERN) ήταν υπεύθυνος για την παρακολούθηση του τελικού τους σχεδιασμού και την διασφάλιση της επιτυχούς ενσωμάτωσης τους στον χώρο του δωματίου ψύξης και εξαερισμού.

¹ Όπως εξηγήθηκε στην υποενότητα 7.2, το νέο ψευδοδάπεδο θα εγκατασταθεί σε δύο στάδια. Η έκθεση τεχνικών προδιαγραφών αφορά μόνο το πρώτο στάδιο της εγκατάστασης. Το δεύτερο στάδιο θα γίνει αρκετά αργότερα (βλ. Ενότητα 10) και καλύπτει μια περιοχή που πιθανόν να υποστεί αλλαγές μέχρι τότε. Συνεπώς, μελλοντικά θα πρέπει να δημιουργεί μία ξεχωριστή Έκθεση Τεχνικών Προδιαγραφών για το στάδιο αυτό.

10 Συμπεράσματα και επόμενα βήματα

Οι μηχανισμοί που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες θα αποτελέσουν μέρος μίας ευρύτερης αναδιοργάνωσης των χώρων του πειράματος ATLAS στο CERN στα πλαίσια της επικείμενης αναβάθμισής του. Η αναβάθμιση αυτή θα γίνει σε μια σειρά σταδίων κατά τη διάρκεια των διακοπών λειτουργίας του πειράματος (βλ. Εισαγωγή παρούσας εργασίας). Συγκεκριμένα, για τον εξοπλισμό που απασχόλησε τον συγγραφέα, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι ακόλουθοι περίοδοι:

- **YETS 2023/2024:** Year-End Technical Stop 2023/2024 ή Ετήσια Διακοπή Λειτουργίας 2023/2024 Με διάρκεια περίπου 4 μηνών (30 Οκτωβρίου 2023 – 6 Μαρτίου 2024)
- **YETS 2024/2025:** Year-End Technical Stop 2024/2025 ή Ετήσια Διακοπή Λειτουργίας 2024/2025 Με διάρκεια περίπου 4 μηνών (Οκτώβριος 2024 – Μάρτιος 2025)
- **LS3:** Long Shutdown 3 ή Εκτεταμένη Διακοπή Λειτουργίας 3 Με διάρκεια περίπου 3 χρόνια (Τέλη 2025 – Αρχές 2029)

Οι εργασίες που θα γίνουν κατά τις σύντομες διακοπές λειτουργίας των περιόδων 2023/2024 και 2024/2025 έχουν ως σκοπό την αποφόρτιση του φόρτου εργασίας της εκτεταμένης διακοπής λειτουργίας LS3 όπου και θα πρέπει να ολοκληρωθεί η εγκατάσταση και η δοκιμή έναρξης λειτουργίας (commissioning test) του νέου συστήματος ψύξης με τους 6 συσσωρευτές και τις 7 μονάδες ψύξης. Για τον λόγο αυτό, οι σύντομες αυτές διακοπές λειτουργίας αναφέρονται και ως «φάση πρώιμης εγκατάστασης» (early installation phase) του νέου συστήματος ψύξης. Το μεγαλύτερο μέρος των μηχανισμών που απασχόλησαν τον συγγραφέα στα πλαίσια της εργασίας του στο CERN πρόκειται να εγκατασταθούν κατά την φάση αυτή. Αναλυτικότερα:

Συστήματα – μηχανισμοί που θα εγκατασταθούν κατά το YETS 2023/2024:

- Βάση στήριξης εφεδρικής μονάδας ψύξης (Εικόνα 70 – κίτρινο πλαίσιο)
- Προσωρινό κάλυμμα της εφεδρικής μονάδας ψύξης (Ενότητα 8.2)
- Πρώτο μέρος ψευδοδαπέδου και μηχανισμού ολίσθησης συσσωρευτών (Ενότητες 3, 4 και 7)
- Κινητός γερανός γύρω από την πρώτη μονάδα ψύξης (Ενότητα 5)

Συστήματα – μηχανισμοί που θα εγκατασταθούν κατά το YETS 2023/2024:

- Πρώτος συσσωρευτής και εφεδρική μονάδα ψύξης (Εικόνα 42)
- Σωληνώσεις και ηλεκτρονικά των δύο προαναφερθέντων (Εκτός πεδίου μελέτης της εργασίας)

Συστήματα – μηχανισμοί που θα εγκατασταθούν κατά το LS3:

- Δεύτερο μέρος ψευδοδαπέδου και μηχανισμού ολίσθησης συσσωρευτών (Ενότητες 3, 4 και 7)
- Υπερυψωμένος γερανός (Ενότητα 6)
- Υπόλοιποι συσσωρευτές και μονάδες ψύξης (Εικόνα 42)
- Σωληνώσεις και ηλεκτρονικά των δύο προαναφερθέντων (Εκτός πεδίου μελέτης της εργασίας)

Τη στιγμή που ο συγγραφέας ολοκλήρωσε την εργασία του στο CERN, τα τρισδιάστατα μοντέλα γενικών διατάξεων και οι εκθέσεις προδιαγραφών (βλ. Ενότητα 9) για όλα τα συστήματα που πρόκειται να εγκατασταθούν κατά το YETS 2023/2024 είχαν μεταβιβαστεί στα αρμόδια τμήματα για τον τελικό σχεδιασμό ή/και την εξεύρεση προσφορών από εξωτερικούς κατασκευαστές. Η διάταξη τους, λοιπόν, είναι η τελική και αυτή που θα εγκατασταθεί στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Αντιθέτως, τα συστήματα που πρόκειται να εγκατασταθούν κατά το LS3 (και κυρίως το δεύτερο τμήμα του ψευδοδαπέδου της Ενότητας 7) πιθανόν να χρειαστούν μικρές αλλαγές για την επιτυχή

ενσωμάτωση τους. Αυτό συμβαίνει καθώς ο περιβάλλοντας εξοπλισμός (π.χ. σωληνώσεις) είναι ακόμα υπό σχεδιασμό. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι σχεδιαστικές και λειτουργικές απαιτήσεις που αναπτύχθηκαν στις αντίστοιχες ενότητες θα παραμείνουν αμετάβλητες.

CERN	Πείραμα ATLAS	Φάση	Περίοδος	Μηχανισμοί – Συστήματα προς εγκατάσταση
Φάση Υψηλής Φωτεινότητας του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων High-Luminosity Phase of the Large Hadron Collider	Νέο σύστημα ψύξης για τον νέο εσωτερικό ανιχνευτή	Φάση πρώιμης εγκατάστασης	YETS 2023 – 2024	Βάση στήριξης και κάλυμμα εφεδρικής μονάδας ψύξης Πρώτο μέρος ψευδοδαπέδου γύρω από μονάδα ψύξης Πρώτο μέρος μηχανισμού ολίσθησης συσσωρευτών Κινητός γερανός εφεδρικής μονάδας ψύξης
			YETS 2024 – 2025	Πρώτος συσσωρευτής Εφεδρική μονάδα ψύξης Σωληνώσεις και ηλεκτρονικά
		Τελική εγκατάσταση	LS3 2025 – 2029	Δεύτερο μέρος ψευδοδαπέδου γύρω από μονάδες ψύξης Δεύτερο μέρος μηχανισμού ολίσθησης συσσωρευτών Υπερψωμένος γερανός υπόλοιπων μονάδων ψύξης Υπόλοιπες μονάδες ψύξης Υπόλοιποι συσσωρευτές Σωληνώσεις και ηλεκτρονικά
	Υπόλοιπες αναβαθμίσεις πειράματος ATLAS	Εκτός πεδίου μελέτης της παρούσας εργασίας		

Πίνακας 5: Συγκεντρωτική παρουσίαση όλων των συστημάτων που αναλύθηκαν.

Μετά την εγκατάσταση του νέου συστήματος ψύξης κατά το LS3, παράλληλα με την ολοκλήρωση όλων των υπολοίπων εργασιών αναβάθμισης (βλ. Εισαγωγή παρούσας εργασίας και πηγή #3 καταλόγου βιβλιογραφίας), το πείραμα ATLAS θα διαθέτει πλέον έναν καινούργιο εσωτερικό ανιχνευτή φτιαγμένο εξ ολοκλήρου από πυρίτιο. Ο νέος ανιχνευτής θα μπορεί να ανταπεξέλθει στις ιδιαίτερα απαιτητικές συνθήκες λήψης δεδομένων που επιβάλλει η «Φάση Υψηλής Φωτεινότητας του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων» (στα αγγλικά “High-Luminosity Phase of the LHC” ή “HL-LHC”). Οι συνθήκες αυτές μεταφράζονται σε περίπου 200 ανελαστικές συγκρούσεις πρωτονίου-πρωτονίου ανά διασταύρωση δέσμης (περίπου 5 φορές περισσότερα δεδομένα από ότι σήμερα). Μελετώντας όλα αυτά τα δεδομένα, οι επιστήμονες του CERN και γενικότερα ο κλάδος της «Φυσικής Υψηλών Ενεργειών» θα φτάσει ένα βήμα πιο κοντά στην απάντηση μερικών από των πιο θεμελιωδών ερωτημάτων αναφορικά με το σύμπαν και της ύλης που μας περιβάλλει.

Κατάλογος αναφορών

- [1] HR Department, “CERN Personnel Statistics,” 2022.
- [2] Δ. Π. Αντωνόπουλος, “Η Οδύσσεια των σωματιδίων,” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2012.
- [3] The ATLAS Collaboration, “ATLAS Detector Overview,” 2021.
- [4] The ATLAS Collaboration, “ATLAS Inner Detector.”
- [5] The ATLAS Collaboration, “ATLAS Calorimeter.”
<https://atlas.cern/Discover/Detector/Calorimeter>
- [6] The ATLAS Collaboration, “ATLAS Muon Spectrometer.”
<https://atlas.cern/Discover/Detector/Muon-Spectrometer>
- [7] The ATLAS Collaboration, “ATLAS Magnet System.”
- [8] The ATLAS Collaboration, “Technical Design Report for the ATLAS Inner Tracker Strip Detector,” Geneva, 2017.
- [9] P. Barroca, “Modelling of CO2 cooling of the ATLAS ITk Pixel Detector,” Université Grenoble Alpes, 2019.
- [10] A. Nomerotski et al., “Evaporative CO2 cooling using microchannels etched in silicon for the future LHCb vertex detector,” *JINST*, vol. 8, no. P04004, 2013.
- [11] C. M. Pooley and D. Tabor, “No Title,” *Proc R Soc Lond A Math Phys Sci*, vol. 329, p. 251, 1972.
- [12] G. Jintang, Z. Jiazhen, and D. Hongxin, “G. Jintang, Z. Jiazhen and D. Hongxin,” *J. Solid. Lub*, vol. 1, no. 1, p. 22, 1981.
- [13] S. Biswas and K. Vijayan, “No Title,” *J. Mater. Sci.*, vol. 23, p. 1877, 1988.
- [14] A. Johnston, “The use of PTFE slide bearings on construction sites,” *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 28, no. 2, pp. 60–66, 1976.
- [15] C. Gray and J. Little, “A systematic approach to the selection of an appropriate crane for a construction site,” *Construction Management and Economics*, vol. 3, no. 2, pp. 121–144, 1985.
- [16] Α. Βιδάλλη, “Μελέτη γερανογέφυρας ανυψωτικής ικανότητας 10 tn,” *Πτυχιακή εργασία - Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας - Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών*, 2015.

Κατάλογος βιβλιογραφίας

Στο σημείο αυτό παρατίθενται ενδιαφέρουσες πηγές αναφορικά με θέματα που αναφέρονται επιδερμικά στην εισαγωγή (Ενότητα 1) της παρούσας εργασίας, σε περίπτωση που ο αναγνώστης αναζητά περισσότερες πληροφορίες σχετικά με αυτά. Δεν αφορούν άμεσα το περιεχόμενο της εργασίας αλλά άπτονται του γενικότερου πλαισίου αυτής:

1. Σχετικά με τη **Φυσική Υψηλών Ενεργειών ή Σωματιδιακή Φυσική** (High Energy Physics ή Particle Physics) που αποτελεί το κύριο μέρος της έρευνας που διεξάγεται στο CERN:
 - Σελίδα στη Βικιπαίδεια: https://en.wikipedia.org/wiki/Particle_physics
 - Παρουσίαση με τίτλο «Εισαγωγή στην Σωματιδιακή Φυσική» του ομότιμου καθηγητή Φλωράτου Εμμανουήλ (Τμήμα Φυσικής – ΕΚΠΑ) που παρουσιάστηκε στο CERN στις 9 Νοεμβρίου 2015:
https://indico.cern.ch/event/447008/contributions/1953687/attachments/1184942/1717323/ParticlePhysicsFOR_TEACHERS.pdf
 - Σύντομη εισαγωγή του Ινστιτούτου Φυσικής (IOP) στο «Καθιερωμένο Πρότυπο» (“Standard Model”), που περιγράφει τα δομικά συστατικά της ύλης και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις:
<https://www.iop.org/explore-physics/big-ideas-physics/standard-model#graf>
2. Σχετικά με την αναβάθμιση του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων στο CERN και την φάση «Υψηλής Φωτεινότητας» (HL-LHC) - Burkhard Schmidt 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 706 022002
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/706/2/022002/pdf>
3. Έκθεση τεχνικού σχεδιασμού σχετικά με τον νέο εσωτερικό ανιχνευτή (ITk) που πρόκειται να εγκατασταθεί στο πείραμα ATLAS: <https://cds.cern.ch/record/2257755?ln=en>
Σημείωση: Στην ενότητα 19 της παραπάνω έκθεσης γίνεται η περιγραφή του νέου συστήματος ψύξης με CO₂.

Κατάλογος εικόνων

- Εικόνα 1: Πανοραμική άποψη του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων (LHC) του CERN. Πηγή: <https://www.symmetrymagazine.org/article/march-2015/the-lhc-does-a-dry-run> 13
- Εικόνα 2: Το σύμπλεγμα επιταχυντών και ανιχνευτών του CERN. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider 13
- Εικόνα 3: Τρισδιάστατο μοντέλο ολόκληρου ανιχνευτή ATLAS. Πηγή: <https://cds.cern.ch/record/1095924> 14
- Εικόνα 4: Τα τέσσερα βασικά υποσυστήματα του ανιχνευτή ATLAS: Εσωτερικός ανιχνευτής, θερμιδόμετρα, φασματομέτρο μιονίων και σύστημα μαγνητών (από πάνω αριστερά προς κάτω δεξιά). Πηγή: <https://cds.cern.ch/record/2777214> 15
- Εικόνα 5: Σύμπλεγμα κτιριακών εγκαταστάσεων του πειράματος ATLAS στο CERN. Πηγή: <https://cds.cern.ch/record/1129811?ln=en> 17
- Εικόνα 6: Γενική εικόνα του δωματίου ψύξης και κλιματισμού (USA15 Cooling & Ventilation Room). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. 18
- Εικόνα 7: Μοριακές δομές αλυσίδων PTFE σε διαφορετικές πολυμορφικές φάσεις, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται από 19 σε 330°C. Πηγή: Wang, Chen & Duscher, Gerd & Paddison, Stephen. (2013). Electron energy loss spectroscopy of polytetrafluoroethylene: Experiment and first principles calculations. *Microscopy* (Oxford, England). 63. 10.1093/jmicro/dft046 21
- Εικόνα 8: Οι εφαρμογές του Teflon για την ολίσθηση μεγάλου εύρους αντικειμένων: α) Εξάρτημα ολίσθησης επίπλων και β) Bearding pads για ελεύθερη μετακίνηση άνω μέρους γέφυρας. Πηγές: <https://www.plasticmetall.com/ggug2000-heavy-duty-nylon-tilt-glide-with-ptfe-surface.html> και <https://www.saturnprefab.co.in/products/bridge-bearing/> 22
- Εικόνα 9: Χρήση μονάδων μεταφοράς με σφαίρα (ball transfer units) για την μεταφορά εμπορευμάτων στα αεροδρόμια. Πηγή: <https://www.lutco.com/ball-transfer-units-when-and-where-they-perform-best/> 23
- Εικόνα 10: Σκίτσα ποικίλων ειδών γερανών που συναντώνται στη βιομηχανία. Πηγή: <https://apps.leg.wa.gov/WAC/default.aspx?cite=296-155-56405> 24
- Εικόνα 11: Τυπική διάταξη γερανογέφυρας (overhead crane) διπλού φορέα. Πηγή: <https://www.tsoverheadcrane.com/overhead-bridge-cranes> 25
- Εικόνα 12: Τυπικό παράδειγμα κινητής γερανογέφυρας τύπου διπλού πυλώνα (mobile gantry crane) της εταιρείας Morris Material Handling. Πηγή: <https://www.morris.co.za/product/lightweight-mobile-gantry/> 26
- Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση καθορισμού εμβέλειας γάντζου γερανού. Πηγή: <https://www.cranesdq.com/crane-hook-coverage-maximize-crane-efficiency.html> 27
- Εικόνα 14: Παράδειγμα σύγκρισης ενός τυπικού κινητού βαρουλκοφορείου (travel hoist) της εταιρείας Hadeff (αριστερά) και ενός βαρουλκοφορείου με χαμηλό ύψος κεφαλής (low headroom) της εταιρείας Yale Lifting Equipment (δεξιά). Πηγές: <https://www.inmartek.com/Manual-Chain-Hoists-with-trolley/1932/spur-gear-hoist-with-push-travel-trolley/> και <https://www.liftingequipmentstore.com/product/yalelift-360-yllhp-g-ultra-low-headroom-trolley-integral-chain-hoist> 28

- Εικόνα 15: Παραδείγματα εφαρμογών ψευδοδαπέδων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στα δεξιά διακρίνεται η ειδική βάση στήριξης του βαρέως εξοπλισμού με λευκό χρώμα. Πηγές: gr.pinterest.com/pin/182255116162285269/ και gr.pinterest.com/pin/539657967821660514/.... 29
- Εικόνα 16: Παράδειγμα σχεδίου υπερυψωμένου δαπέδου υψηλής αισθητικής σε γραφείο επιχείρησης. Πηγή: <https://aamtac.com/raised-access-floor/> 30
- Εικόνα 17: Παράδειγμα χρήσης υπερυψωμένου ψευδοδαπέδου σε κέντρο δεδομένων. Πηγή: <https://www.bergvik.com/products/floor/iso-floor-for-data-centres/> 31
- Εικόνα 18: Τρισδιάστατο μοντέλο του συσσωρευτή που πρέπει να μετακινηθεί (αριστερά) αφού εισέλθει σε τρία κομμάτια στο δωμάτιο ψύξης μέσω της πόρτας (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN και φωτογραφία συγγραφέα..... 32
- Εικόνα 19: Κάτοψη δωματίου ψύξης όπου διακρίνεται η μεταλλική κατασκευή πάνω στην οποία μετακινούνται οι συσσωρευτές μέχρι την τελική τους θέση. Δύο σενάρια πρώιμης εγκατάστασης: α) Κόκκινο χρώμα: 1 συσσωρευτής + 1 μονάδα ψύξης και β) Κίτρινο χρώμα: 2 συσσωρευτές + 3 μονάδες ψύξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN 33
- Εικόνα 20: Παράδειγμα τροχήλατου μηχανισμού μεταφοράς βαρέων αντικειμένων από το εμπόριο. Πηγή: <https://www.hevihaul.com/machinery-skates/compact-swivel-skates/cs-12k-kit/> 34
- Εικόνα 21: Τυπική μορφή πανκατευθυντικού τροχού (omnidirectional wheel) και παράδειγμα εφαρμογής του στο χώρο της ρομποτικής. Πηγή: <https://www.casterbot.com/p/4-inch-heavy-duty-mecanum-wheel-100mm-industrial-wheels/> και <https://automaticaddison.com/force-vector-diagrams-for-an-omni-directional-mobile-robot/> 34
- Εικόνα 22: Το εμπορικό προϊόν Permaglide σε μορφή ροδέλας και λωρίδας (αριστερά) και το εσωτερικό του (δεξιά). Πηγή: <https://www.permaglide.com/en/> 36
- Εικόνα 23: Πειραματική διάταξη για την ολίσθηση 1.5 τόνου (βάρος συσσωρευτή) με τις εναλλακτικές λύσεις που προτιμήθηκαν. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN. 38
- Εικόνα 24: Χαλύβδινες πλάκες συνολικού βάρους 1500 κιλών για την προσομοίωση του βάρους του συσσωρευτή. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN. 39
- Εικόνα 25: Οι διεπαφές από PTFE (αριστερά) και Permaglide® (δεξιά) για τον έλεγχο των δύο εναλλακτικών λύσεων. Πηγή: Φωτογραφίες του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN. 39
- Εικόνα 26: Εξοπλισμός για την διεξαγωγή του πειράματος ολίσθησης: 1. Παλάγκο ενάμιση τόνου, 2. Υφασμάτινοι ιμάντες φορτίου δύο τόνων, 3. Διεπαφές Permaglide®, 4. Εξοπλισμός συναρμολόγησης (γαλλικά και εξαγωνικά κλειδιά), 5. Δυναμόμετρο, 6. Φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα, 7. Σφιγκτήρες τύπου F, 8. Ναυτικά κλειδιά. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN 40
- Εικόνα 27: Μικρή φθορά των διεπαφών PTFE: Μικρογρατζουνιές και λέρωμα πριν και μετά το τρίψιμο με νωπό πανί. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN. 42
- Εικόνα 28: Τοποθέτηση φύλλου ανοξείδωτου χάλυβα κατά μήκος των δοκών HEB (αριστερά) και στήριξή του με σφιγκτήρες. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN. 42
- Εικόνα 29: Τα αποτελέσματα του τρίτου σεναρίου του πειράματος ολίσθησης κατά την διασταύρωση των προφίλ HEB: Σχισμένο φύλλο ανοξείδωτου χάλυβα (αριστερά) και εκτεταμένη

φθορά στις ροδέλες Permaglide® (δεξιά). Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.	43
Εικόνα 30: Ενσωμάτωση διεπαφής PTFE στο πλαίσιο του συσσωρευτή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	45
Εικόνα 31: α) Μοντέλο γενικής διάταξης συσσωρευτών και μεταλλικής κατασκευής στήριξής του και β) Σχηματική εξήγηση ανάγκης τοποθέτησης διεπιφανειών PTFE σε τετραγωνικό μοτίβο αντί για ορθογωνικό. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.....	46
Εικόνα 32: Οι κάθετες λάμες των συνδεόμενων δοκών (beam webs) θα πρέπει να είναι μεταξύ τους παράλληλες (αριστερά) και όχι κάθετες (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	48
Εικόνα 33: Παράδειγμα χρήσης αντηρίδας στήριξης (supporting strut) που προστατεύει ενάντια στο διαχωρισμό/άνοιγμα των μακρών δοκών HEB100. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	48
Εικόνα 34: Οι προτεινόμενες συγκολλητές πλάκες σύνδεσης των δοκών ολίσθησης των συσσωρευτών. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	49
Εικόνα 35: Οι προτεινόμενες συγκολλητές πλάκες σύνδεσης των δοκών ολίσθησης των συσσωρευτών με τα πόδια στήριξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.....	49
Εικόνα 36: Πλάγια όψη όπου διακρίνεται το τελικό επιθυμητό ύψος της μεταλλικής κατασκευής με ένα επιπλέον κενό 10 mm για τον μηχανισμό ρύθμισης ύψους που φαίνεται στη δεξιά πλευρά. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	50
Εικόνα 37: Σύνδεση των αντηρίδων στήριξης με την υπόλοιπη μεταλλική κατασκευή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	51
Εικόνα 38: Το στοιχείο καθοδήγησης που εμποδίζει την πλάγια κίνηση του συσσωρευτή (αριστερά) και το διάκενο για την συγκόλλησή του (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	51
Εικόνα 39: Οι μηχανισμοί ρύθμισης της τελικής θέσης του συσσωρευτή προς κάθε κατεύθυνση (αριστερά) και η στερέωσή τους στις δοκούς ολίσθησης είτε με κοχλίες είτε με συγκόλληση (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	52
Εικόνα 40: Οι διεπαφές σύνδεσης του παλάγκο για την έλξη των συσσωρευτών.	53
Εικόνα 41: Σημείο προσάρτησης του παλάγκο στο ψευδοδάπεδο για την έλξη των συσσωρευτών.	53
Εικόνα 42: Κάτοψη δωματίου ψύξης και εξαερισμού όπου διακρίνονται οι θέσεις των επτά μονάδων ψύξης που πρόκειται να εγκατασταθούν. Στο κίτρινο πλαίσιο φαίνεται η μονάδα 2PACL-3H που θα αποτελέσει μέρος της πρώιμης εγκατάστασης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	54
Εικόνα 43: Ο γερανός που πρόκειται να εγκατασταθεί στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού για τις εργασίες συναρμολόγησης και συντήρησης των έξι από των επτά μονάδων ψύξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	55

- Εικόνα 44: Η εφεδρική μονάδα ψύξης με τα επιμέρους της υποσυστήματα. Στα αριστερά διακρίνονται τα δύο ολισθαίνοντα «μισά» της (sliding halves). Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN..... 56
- Εικόνα 45: Εννοιολογικός σχεδιασμός γερανού για την συντήρηση της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL του δωματίου ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. . 57
- Εικόνα 46: Καθορισμός απαιτούμενης εσωτερικής διάστασης κινητού γερανού εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN..... 58
- Εικόνα 47: Καθορισμός απαιτούμενης εμβέλειας για τον γάντζο του κινητού γερανού της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL (διευθύνσεις x και z). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN... 59
- Εικόνα 48: Καθορισμός απαιτούμενης εμβέλειας για τον γάντζο του κινητού γερανού της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL (διεύθυνση z). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN..... 60
- Εικόνα 49: Καθορισμός μέγιστων διαστάσεων δοκών κύλισης του κινητού γερανού της εφεδρικής μονάδας ψύξης 2PACL (διευθύνσεις x και y). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. . 61
- Εικόνα 50: Πανοραμική άποψη του χώρου όπου προτείνεται η εγκατάσταση διάταξης υπερυψωμένου γερανού για την κάλυψη των αναγκών συναρμολόγησης και συντήρησης των μονάδων ψύξης 2PACL – 2H και 1H. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. 62
- Εικόνα 51: Οι μονάδες ψύξης 2PACL – 2H (αριστερά) και 1H (δεξιά). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. 63
- Εικόνα 52: Διαστασιολογικοί περιορισμοί για το περίβλημα (envelope) και την εμβέλεια του γάντζου (hook reach) του υπερυψωμένου γερανού στην κατεύθυνση x. 64
- Εικόνα 53: Διαστασιολογικοί περιορισμοί για το περίβλημα (envelope) και την εμβέλεια του γάντζου (hook reach) του υπερυψωμένου γερανού στις κατεύθυνση y και z. 65
- Εικόνα 54: Ευρυγώνια λήψη από το δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού όπου διακρίνεται το τωρινό ψευδοδάπεδο (μεταλλικά καλύμματα – πάνελ). Πηγή: Συγγραφέας 66
- Εικόνα 55: Γενική διάταξη της μεταλλικής κατασκευής του νέου ψευδοδαπέδου και υπόλοιπου εξοπλισμού που έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενες ενότητες. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN..... 67
- Εικόνα 56: Ενσωμάτωση της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου και των καλυμμάτων του στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN..... 68
- Εικόνα 57: Οι ονομαστικές ικανότητες των μεταλλικών καλυμμάτων του νέου ψευδοδαπέδου στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. 69
- Εικόνα 58: Τα πόδια στήριξης προφίλ HEB100 της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου βρίσκονται (1) στις διασταυρώσεις των δοκών (2) λίγο πιο μακριά ή/και (3) αντικαθίστανται από πιο συμπαγή προφίλ UPN120. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. 70
- Εικόνα 59: Παράδειγμα ποδιών μερικού μήκους της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου που στηρίζονται στο εξάρτημα καθοδήγησης των συσσωρευτών (κίτρινο). Τα πόδια αυτά είναι εξοπλισμένα με μία σφήνα ύψους 10mm (κόκκινο) και διαθέτουν συγκολλητές κάθετες λάμες στο εσωτερικό τους (πράσινο). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. 71
- Εικόνα 60: Ο τρόπος σύνδεσης των δοκών στο ύψος του ψευδοδαπέδου (z = +870 mm). Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN. 72

Εικόνα 61: Χρήση πλάκας διάτμησης (shear force plate) στις διασταυρώσεις της μεταλλικής κατασκευής ψευδοδαπέδου όπου δεν υπάρχουν πόδια στήριξης. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	72
Εικόνα 62: Το προτεινόμενο υποστήριγμα σχήματος L (L-shaped bracket) για την σύνδεση των ποδιών της μεταλλικής κατασκευής του ψευδοδαπέδου με τον τοίχο του δωματίου ψύξης και εξαερισμού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN.	73
Εικόνα 63: α) Ειδικές διαμορφώσεις καλυμμάτων ψευδοδαπέδου και β) Παράδειγμα σφικκτήρων στερέωσής τους στην μεταλλική κατασκευή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης αρχείων CAD του CERN και φωτογραφία συγγραφέα.	74
Εικόνα 64: Διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσουν τα ηλεκτρικά στάκερ εντός του δωματίου ψύξης και εξαερισμού για την εγκατάσταση των σιδηροτροχιών του υπερυψωμένου γερανού. Πηγή: Βάση αποθήκευσης CAD αρχείων του CERN.	76
Εικόνα 65: Φωτογραφία του ηλεκτρικού στάκερ που χρησιμοποιήθηκε και διάγραμμα της ανυψωτικής του ικανότητας. Πηγή: CERN.	77
Εικόνα 66: Πειραματική διαδικασία προσδιορισμού κατανομής του βάρους του στάκερ στις 4 ρόδες του ρομπότ. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.	78
Εικόνα 67: Πειραματική διαδικασία ανύψωσης δοκού υπερυψωμένου γερανού με την ταυτόχρονη χρήση δύο στάκερ. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.	79
Εικόνα 68: Διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει ο κινητός τηλεσκοπικός γερανός εντός του δωματίου ψύξης και εξαερισμού για την εγκατάσταση του πρώτου συσσωρευτή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης CAD αρχείων του CERN.	80
Εικόνα 69: Πειραματική διαδικασία ανύψωσης χαλύβδινου μπλοκ ενός τόνου με τον κινητό τηλεσκοπικό γερανό. Πηγή: Φωτογραφία του συγγραφέα κατά την πρακτική του στο CERN.	81
Εικόνα 70: Προσωρινό κάλυμμα της βάσης της πρώτης μονάδας ψύξης για την διέλευση του τηλεσκοπικού γερανού κατά την εγκατάσταση του πρώτου συσσωρευτή. Πηγή: Βάση αποθήκευσης CAD αρχείων του CERN.	82

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές συντελεστών τριβής μεταξύ διαφόρων υλικών και επιφανειακών συνθηκών. Πηγή: https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html	21
Πίνακας 2: Βαθμολόγηση εναλλακτικών λύσεων για το σύστημα μετακίνησης συσσωρευτών.....	37
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πειράματος για την επιλογή της τελικής λύσης ολίσθησης των συσσωρευτών στο δωμάτιο ψύξης και εξαερισμού.	44
Πίνακας 4: Εκθέσεις τεχνικών προδιαγραφών για τα τρία κύρια υποσυστήματα της παρούσας εργασίας που μεταβιβάστηκαν στα αρμόδια τμήματα για τον τελικό τους σχεδιασμό.	83
Πίνακας 5: Συγκεντρωτική παρουσίαση όλων των συστημάτων που αναλύθηκαν.	85

Συνομεύσεις – αρτικόλεξα

Στα ελληνικά:

ΦΥΕ – Φυσική Υψηλών Ενεργειών

Στα αγγλικά:

2PACL – 2 Phase Accumulator Control Loop

ALICE – A Large Ion Collider Experiment

ATLAS – A Toroidal LHC Apparatus

CMS – Compact Muon Solenoid

HL-LHC – High Luminosity Large Hadron Collider

ITk – Inner Tracker

LHC – Large Hadron Collider

LHC-b – Large Hadron Collider beauty

USA15 CV Room (Cooling & Ventilation Room) – Ο χώρος που πρόκειται να εγκατασταθεί ο νέος εξοπλισμός ψύξης στον οποίο γίνεται αναφορά στην έκταση της παρούσας εργασίας

Στα γαλλικά:

CERN – Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

Παραρτήματα & Συνοδευτικά αρχεία

Παράρτημα Α

Στο παράρτημα αυτό δίνονται τα κατασκευαστικά σχέδια των διεπαφών που πρόκειται να προσαρτηθούν στους συσσωρευτές. Συγκεκριμένα, τα σχέδια ATFIUSAC0031, ATFIUSAC0033 και ATFIUSAC0032 αναφέρονται στην διεπαφή από τεφλόν ενώ τα σχέδια ATFIUSAC0030 και ATFIUSAC0029 αναφέρονται στην διεπαφή έλξης (pulling interface) που προσαρτάται στις τέσσερις πλευρές του πλαισίου του συσσωρευτή **(Ενότητα 4)**.

Παράρτημα Β

Το παράρτημα αυτό αναφέρεται στην ανάλυση αντοχής της μεταλλικής κατασκευής ολίσθησης των συσσωρευτών. Η ανάλυση αποτελείται από δύο έγγραφα. Στο έγγραφο του παραρτήματος Β1 εξετάζεται η αντοχή της συνολικής μεταλλικής κατασκευής ενώ στο έγγραφο του παραρτήματος Β2 εξετάζεται η επίδραση των εξωτερικών ελκτικών δυνάμεων (pulling forces) στην μεταλλική κατασκευή **(Ενότητα 4)**.

Παράρτημα Γ

Το παράρτημα αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση αντοχής του προσωρινού καλύμματος της βάσης της πρώτης μονάδας ψύξης **(Ενότητα 8.2)**.

Παράρτημα Δ

Έκθεση τεχνικών προδιαγραφών για τον μηχανισμό μεταφοράς συσσωρευτών και το ψευδοδάπεδο που θα εκτείνεται γύρω από τον νέο εξοπλισμό ψύξης **(Ενότητες 4 και 7)**.

Παράρτημα Ε

Έκθεση τεχνικών προδιαγραφών για τον κινητό γερανό συναρμολόγησης & συντήρησης της εφεδρικής μονάδας ψύξης **(Ενότητα 5)**.

Παράρτημα ΣΤ

Έκθεση τεχνικών προδιαγραφών για τον υπερυψωμένο γερανό συναρμολόγησης & συντήρησης των υπολοίπων μονάδων ψύξης **(Ενότητα 6)**.

Αρχεία λογισμικού ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων (Finite element analysis software)

Για το άνοιγμα τους απαιτείται το λογισμικό ANSYS Workbench έκδοσης 2020 R2 (20.2) ή νεότερης.

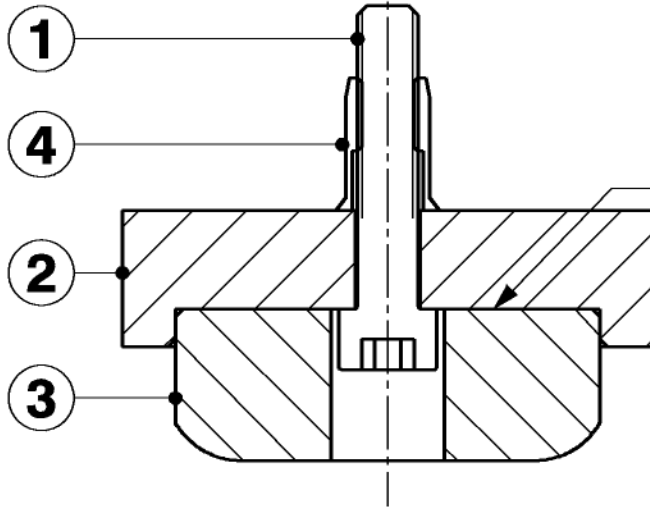
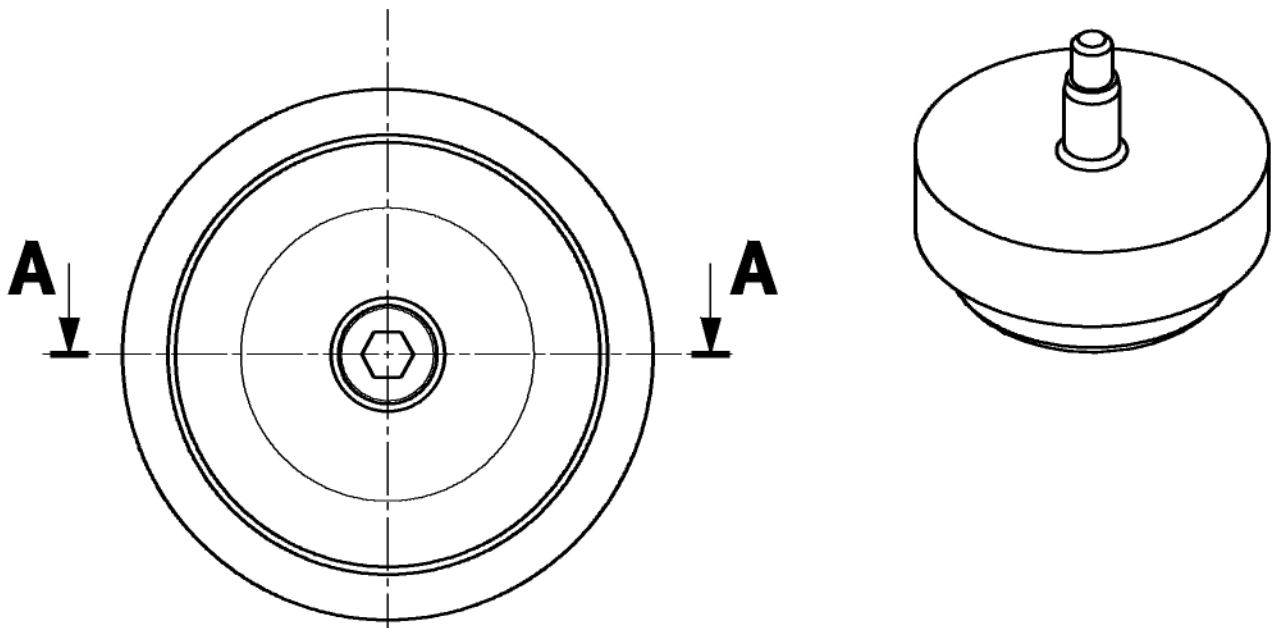
- Calculation note – Accumulator sliding rail: Αντιστοιχεί στο Παράρτημα Β;
- Calculation note – Temporary cover for cooling plant: Αντιστοιχεί στο Παράρτημα Γ.

Αρχεία λογισμικού σχεδιασμού βοηθούμενου από υπολογιστή (Computer aided design software)

Πρόκειται για συναρμολογημένα σύνολα που δημιουργήθηκαν με το λογισμικό CATIA V5 και μετατράπηκαν σε μορφή .stp ώστε να μπορούν να προβληθούν με τη χρήση οποιουδήποτε σχεδιαστικού προγράμματος.

- Accumulator PTFE Pad: Αντιστοιχεί στο σχέδιο ATFIUSAC0031 του Παραρτήματος Α;
- Accumulator Pulling Interface: Αντιστοιχεί στο σχέδιο ATFIUSAC0030 του Παραρτήματος Α;
- False Floor and Accumulator Sliding Rail: Αντιστοιχεί στην συνολική κατασκευή που αναλύθηκε στις Ενότητες 3, 4 και 7.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



A-A

Fix with double sided tape

BILL OF MATERIALS

POS	QUANT	DESIGNATION	REFERENCE	MATERIAL	EDH SCEM
01	1	HEX SKT HD CAP SCREW_M8X40 VIS CHC_M8X40	ISO 4762_M8x40-12.9-A0U	Steel 12.9	
			Zingue Zn coated		
02	1	PTFE Housing		Steel EN S235JR (1.0037)	
			ST1638149		
03	1	PTFE Pad		TEFLON ® (PTFE)	
			ST1638171		
04	1	Tubtara Blind rivet nut M8 UF045, stainless steel	TUBTARA : SS316 M8 UFO 45		
			ST1662581		

MASS 566 g

WHERE USED LHCXDCP20458

[Last checked at 2023-08-02 10:55]

DESIGNATION

C02 USA15 - Accumulator PTFE Pad Assembly

DESIGNED E. ANTONOPOULOS

FORMAT

A4

CHECKED

RELEASED

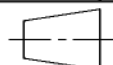
APPROVED

SCALE

1:1

DESIGNED

2023-08-02



EQUIPMENT CODE ATFIUSAC INFRASTRUCTURE USA15 CV ROOM



REFERENCES

Doc No: ST1638180_02

INDEX

LABEL

NOT VALID FOR EXECUTION

QAC

-

SHEET

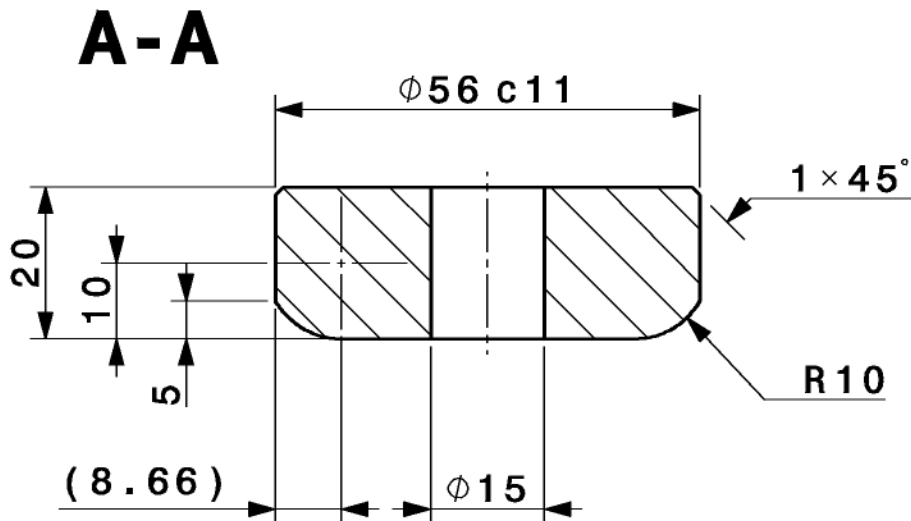
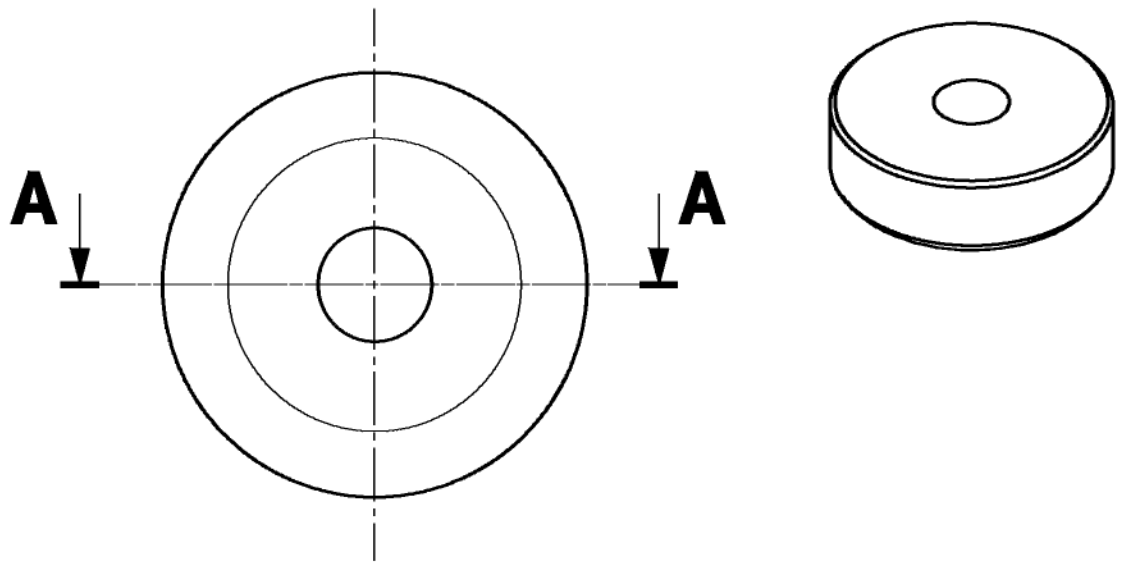
1/1

ORGANIZATION EUROPEENNE POUR
 LA RECHERCHE NUCLEAIRE
 EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
 GENEVE

Ce dessin ne peut être utilisé à des fins commerciales sans autorisation écrite.
 This drawing may not be used for commercial purposes without written authorization.

DRAFT FOR DISCUSSION
 NOT VALID FOR EXECUTION

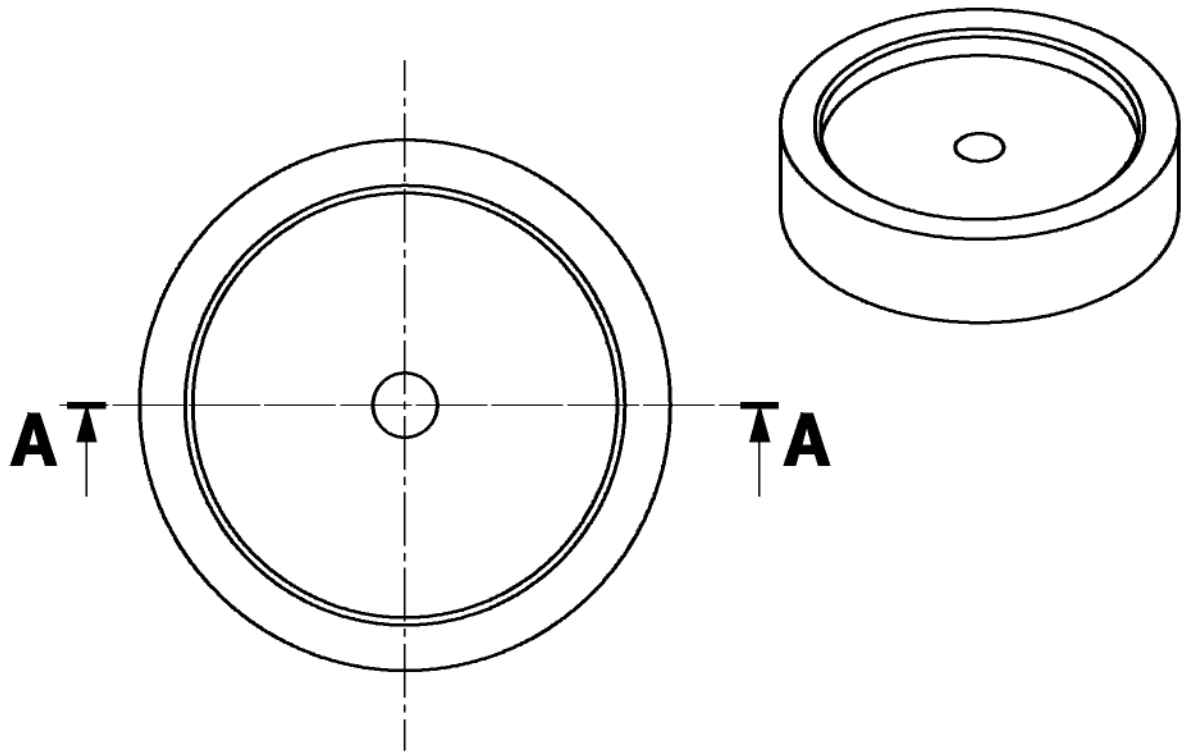
ATFIUSAC0031



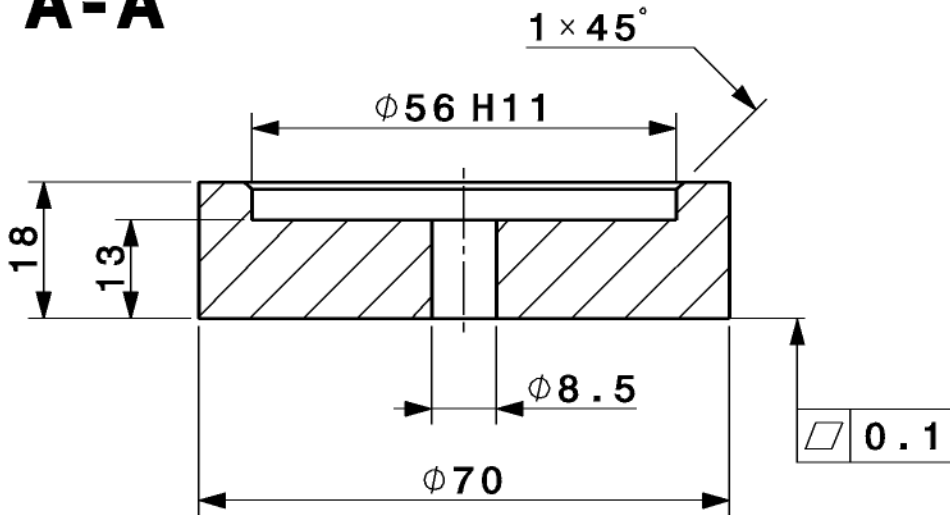
MATERIAL	INITIAL STATE	FINAL STATE
TEFLON ® (PTFE)		
ISO GPS STANDARDS		
ISO 2768-mK	✓ Ra 6.3	ISO 13715
Unless otherwise mentioned, applicable ISO GPS standards are those prior to 2010-08-01 regardless of the drawing date		
MASS 95.9 g	WHERE USED ATFIUSAC0031	[last checked at 2023-08-02 11:05]
DESIGNATION	DESIGNED E. ANTONOPOULOS	FORMAT A4
PTFE Pad	CHECKED	SCALE 1:1
	RELEASED	
	APPROVED	
EQUIPMENT CODE ATFIUSAC INFRASTRUCTURE USA15 CV ROOM	DESIGNED 2023-08-02	
REFERENCES Doc No: ST1638171_02	INDEX	LABEL
ATFIUSAC0033		NOT VALID FOR EXECUTION
		QAC -
		SHEET 1/1

DRAFT FOR DISCUSSION
NOT VALID FOR EXECUTION

ORGANIZATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE
 EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
 GENEVE
 Ce dessin ne peut être utilisé à des fins commerciales sans autorisation écrite.
 This drawing may not be used for commercial purposes without written authorization.



A-A



ISO GPS STANDARDS

ISO 2768-mK

✓ Ra 6.3

ISO 13715

Unless otherwise mentioned, applicable ISO GPS standards are those prior to 2010-08-01 regardless of the drawing date

MASS 441 g

WHERE USED ATFIUSAC0031 [last checked at 2023-08-02 10:57]

DESIGNATION

PTFE Housing

DESIGNED E. ANTONOPOULOS

FORMAT

CHECKED

A4

RELEASED

SCALE

APPROVED

1:1

DESIGNED

2023-08-02



EQUIPMENT CODE ATFIUSAC INFRASTRUCTURE USA15 CV ROOM



REFERENCES

Doc No: ST1638149_02

INDEX

LABEL

NOT VALID FOR EXECUTION

QAC

-

SHEET

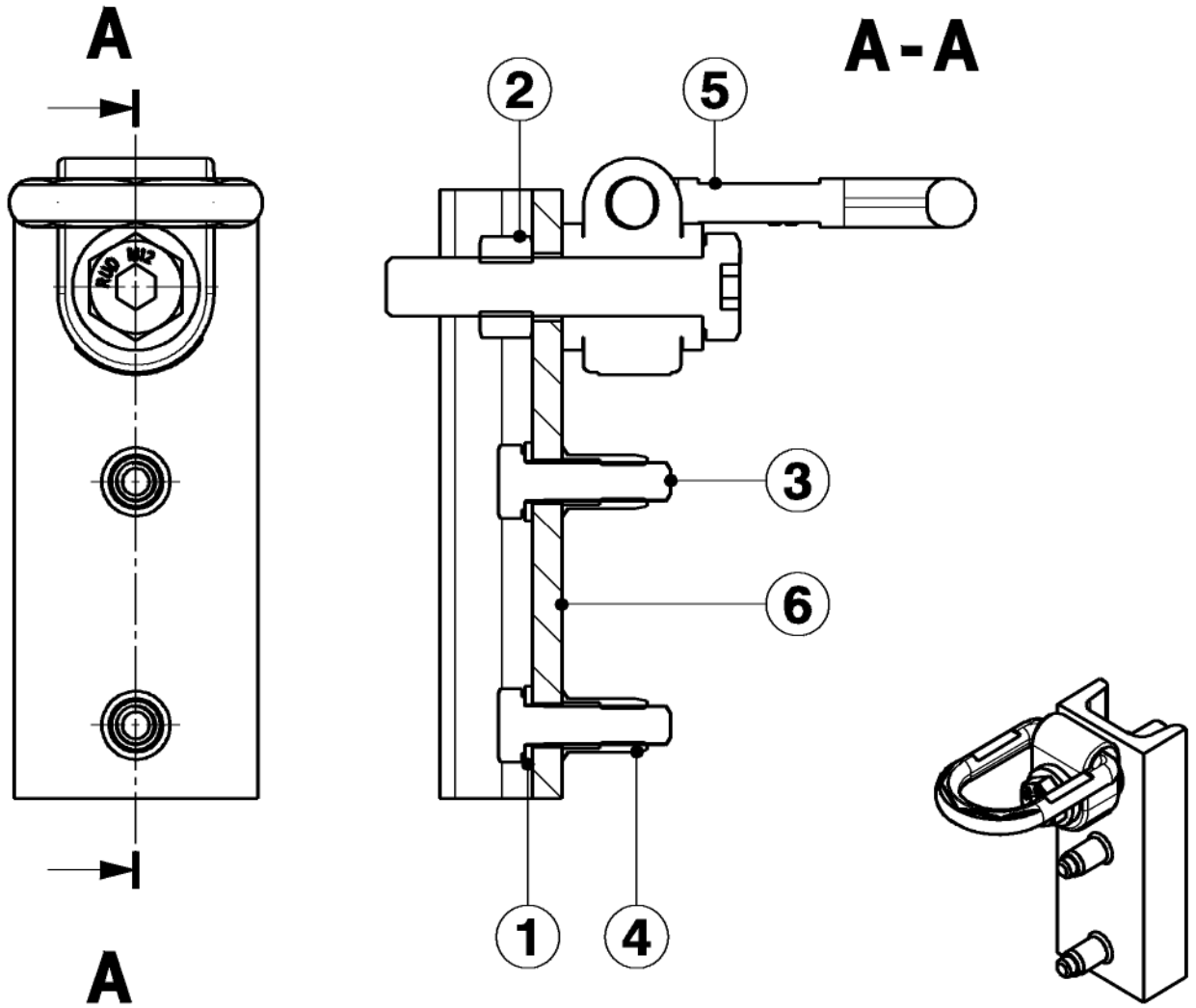
1/1

ORGANIZATION EUROPEENNE POUR
LA RECHERCHE NUCLEAIRE
EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
GENEVE

Ge dessin ne peut être utilisé à des fins commerciales sans autorisation écrite.
This drawing may not be used for commercial purposes without written authorization.

DRAFT FOR DISCUSSION
NOT VALID FOR EXECUTION

ATFIUSAC0032



BILL OF MATERIALS

POS	QUANT	DESIGNATION	REFERENCE	MATERIAL	EDH SCEN
01	2	NORMAL PL WASHER 8X16 RONDELLE PLATE NORMALE 8X16	ISO 7089_8x16-A4	St. Steel A4	47.78.15.008.8
02	1	HEX NUT STYLE1 GRADE A M12 ECROU H STYLE1 GRADE A M12	ISO 4032_M12-8-A0U Zingue Zn coated	Steel 8 Acier 8	47.41.65.120.7
03	2	HEX HD SCREW GRADE A M8X30 VIS H GRADE A M8X30	ISO 4017_M8x30-8.8-A0U Zingue Zn coated	Steel 8.8	
04	2	Tubtara Blind rivet nut M8 UF045, stainless steel	TUBTARA : SS316 M8 UFO 45 ST1662581		
05	1	Rotating Lifting Eye M12	Emile Maurin : 18-1160-12-36 ST1754228		
06	1	UPN50x25	ATFIUSAC0029 ST1755018	Steel EN S235JR (1.0087)	44.47.31.052.1

MASS 975 g WHERE USED Not Applicable [Last checked at 2023-08-02 10:51]

DESIGNATION Pulling interface for Accumulator frame	DESIGNED E. ANTONOPOULOS	FORMAT A4
<p style="text-align: center;">DRAFT FOR DISCUSSION NOT VALID FOR EXECUTION</p>	CHECKED	SCALE 2:3
	RELEASED	
	APPROVED	
EQUIPMENT CODE ATFIUSAC INFRASTRUCTURE USA15 CV ROOM	DESIGNED 2023-08-02	

REFERENCES Doc No: ST1755331_02	INDEX	LABEL NOT VALID FOR EXECUTION	QAC -	SHEET 1/1
------------------------------------	-------	----------------------------------	----------	--------------

ORGANIZATION EUROPEENNE POUR
 LA RECHERCHE NUCLEAIRE
 EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
 GENEVE

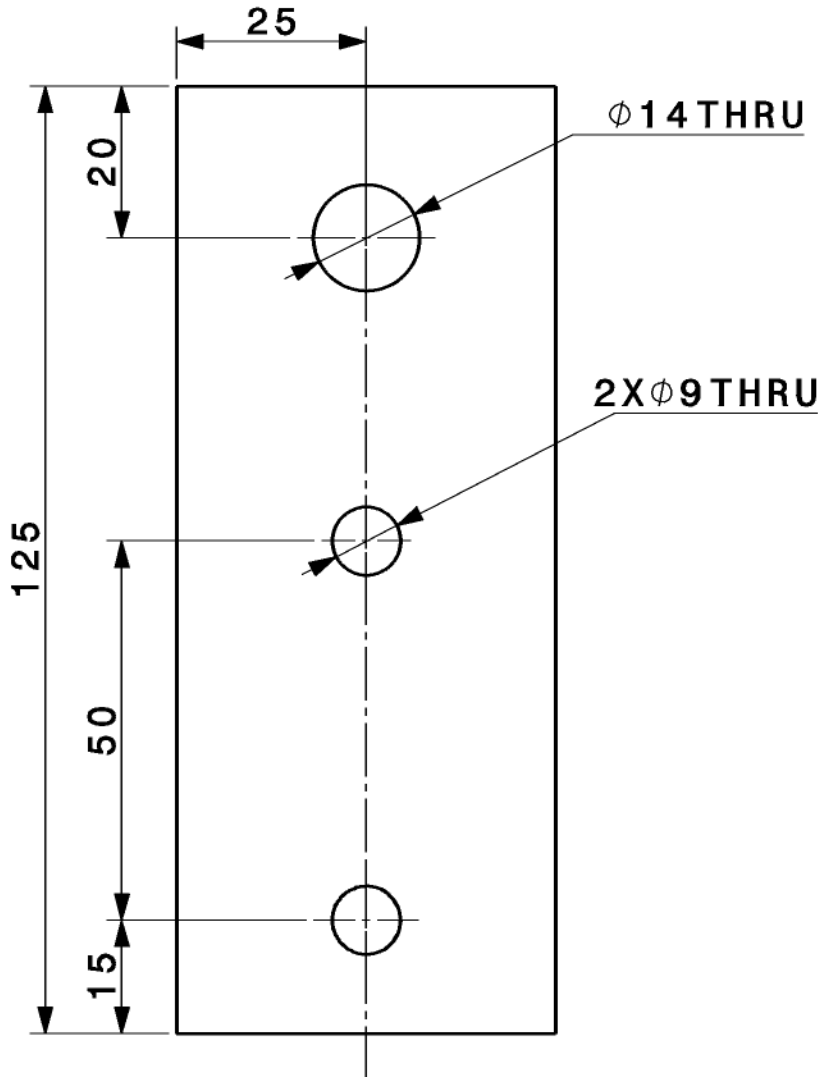
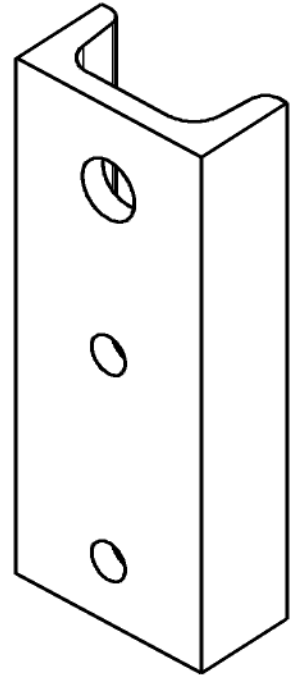
Ce dessin ne peut être utilisé à des fins commerciales sans autorisation écrite.
 This drawing may not be used for commercial purposes without written authorization.



ATFIUSAC0030



UPN50X25



MATERIAL	INITIAL STATE	FINAL STATE
Steel EN S235JR (1.0037)		
ISO GPS STANDARDS		
ISO 2768-mK	✓ Ra 6.3	ISO 13715
Unless otherwise mentioned, applicable ISO GPS standards are those prior to 2010-08-01 regardless of the drawing date		
MASS 542 g	WHERE USED ATFIUSAC0030	[last checked at 2023-08-02 10:56]
DESIGNATION UPN50x25	DESIGNED	E. ANTONOPOULOS
	CHECKED	
	RELEASED	
	APPROVED	
DESIGNED 2023-08-02		
EQUIPMENT CODE ATFIUSAC INFRASTRUCTURE USA15 CV ROOM	REFERENCES Doc No: ST1755018_02	INDEX
	ATFIUSAC0029	LABEL
NOT VALID FOR EXECUTION		QAC
		SHEET
		1/1

DRAFT FOR DISCUSSION
NOT VALID FOR EXECUTION

ORGANIZATION EUROPEENNE POUR
 LA RECHERCHE NUCLEAIRE
 EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH
 GENEVE

Ce dessin ne peut être utilisé à des fins commerciales sans autorisation écrite.
 This drawing may not be used for commercial purposes without written authorization.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β1



Calculation note of the beam structure to be used for sliding the accumulators in USA15-CV room for run 4.

EDMS Document No:

Institute Document No.

Created: 07.12.2022

Page: 1 of 27

Modified:

Rev. No.: 0

Calculation note of the beam structure to be used for sliding the accumulators in USA15-CV room for run 4.

Abstract:

In the framework of the integration of the CO₂ system for run 4, the USA 15-CV room will be equipped with new cooling material. Amongst them, 6 CO₂ accumulators (with a weight of about 1.5T and a height of about 3m) will need to be installed. Due to height constraints, it is impossible to reach their final position with a crane. Therefore, it has been decided to design a mechanism to slide the aforementioned accumulators safely to their final positions. More specifically, the frame of the accumulators will be equipped with Teflon pads. Those Teflon pads will act as an interface between the accumulator's frame and a beam structure capable of withstanding the 1.5 T weight.

This specification includes a calculation note of the aforementioned beam structure, emphasizing on some of the most important aspects that should be taken into consideration when analyzing beam structures, such as the maximum deflection, the maximum stress, the durability of the connections between the beams and the risk of buckling of part of the structure.

Prepared by:

E. Antonopoulos EP-ADO-PO

Checked by:

Approved by:

Distribution List

Table of Contents

Table of Contents	2
Table of Figures	3
Table of tables.....	4
1. Objectives of calculation note	5
2. Software used for the calculation note	5
3. References.....	5
4. Geometry of the studied structure	6
5. Finite element model.....	9
5.1 Meshing	9
5.2 Material	9
5.3 Physical properties of the beams	9
5.4 Loads	10
5.5 Boundary conditions	12
6. Analysis	12
7. Results	13
7.1. Stressing beam structure in maximum deflection & stress conditions	13
7.2. Stressing beam structure in buckling conditions.....	16
8. Code verification.....	19
8.1. Static verification.....	19
8.2. Stability verification.....	22
8.3. Bolt verification	24
9. Conclusion	27

Table of Figures

Figure 1: Beam structure as modelled in CATIA V5. Orange polygon shows the part of the structure included in the analysis.6

Figure 2: a) Parts of the beam structure included in the analysis and b) Examples of suppressed parts...7

Figure 3: Unneeded bolt holes in the analysis model a) before and b) after being removed in ANSYS SpaceClaim.....7

Figure 4: Beam elements a) before and b) after closing the gaps that resulted from their automatic detection.8

Figure 5: Imprinting two points in the middle of the longest beams where the accumulator’s weight force will be acting.8

Figure 6: The global axis referenced throughout the report next to the model8

Figure 7: a) Meshing of the model and b) Detail of end release connection needed for free rotation about the Y axis shown.....9

Figure 8: Simulating the worst case scenario by either a) Adding two eccentric forces or b) Adding a combination of a centric force and a torsional moment. The two representations give similar results.....11

Figure 9: Simulating the worst case scenario in terms of buckling risk for the support plates.11

Figure 10: Fixed support boundary conditions applied on the 20 feet of the beam structure.....12

Figure 11: First analysis scenario: Deformation a) X axis, b) Y axis, c) Z axis and d) Total14

Figure 12: First analysis scenario: Forces in members of the structure a) Axial force, b) Shear force, c) Torsional moment and d) Total bending moment14

Figure 13: First analysis scenario: Stresses in members of the structure a) Normal stress, b) Shear stress, c) Maximum bending stress and d) Equivalent (von-Mises) stress15

Figure 14: Second analysis scenario: Deformation a) X axis, b) Y axis, c) Z axis and d) Total17

Figure 15: Second analysis scenario: Forces in members of the structure a) Axial force, b) Shear force, c) Torsional moment and d) Total bending moment17

Figure 16: Second analysis scenario: Stresses in members of the structure a) Normal stress, b) Shear stress, c) Maximum bending stress and d) Equivalent (von-Mises) stress18

Figure 17: Buckling modes: a) Compression buckling of support plate and b) Lateral torsional buckling of long HEB beams.....22

Figure 18: Explanatory sketches of bolted connection according to Eurocode 3 symbols.....24

Table of tables

Table 1: Physical properties of the section used for the beam structure.10

Table 2: The reaction forces of the first analysis scenario. The total reaction force is equal to the ULS force applied.....13

Table 3: Summarized results of the 1st analysis scenario.....15

Table 4: The reaction forces of the second analysis scenario. The total reaction force is equal to the ULS force applied16

Table 5: Summarized results of the 2nd analysis scenario.....18

Table 6: Physical properties of HEB 100 beams according to Eurocode 3 symbols.20

Table 7: Material properties of S235JRG2 structural steel used for the HEB 100 beams according to Eurocode 3 symbols.20

Table 8: M10 Class 8.8 Bolted connection - Physical properties24

Table 9: Minimum and maximum spacing, end and edge distances according to EN 1993-1-8.....25

1. Objectives of calculation note

The objective of this calculation note is to verify the structural integrity of the beam structure that was proposed. In particular, we are interested in verifying the adequacy of the HEB100 section that we chose to be the main component of the beam structure and making sure that the distance between the supports (feet) of the structure does not result in non-permissible deflection. In addition, we want to test the adequacy of the connections chosen and to make sure that there is no risk of buckling of part of the structure.

In essence, this report will allow us to have a clear view of the maximum values of the critical dimensions of the beam structure. Using those values, we can in later stages lock the design of the structure and proceed with the appropriate detailed drawings.

2. Software used for the calculation note

The following calculation was performed using the **Ansys Workbench 2020 R2** (20.2) platform and specifically:

- **Ansys SpaceClaim** to prepare – simplify as needed the detailed beam structure which was originally designed in CATIA V5 and imported into SpaceClaim as a step file.
- **Ansys Mechanical** to perform the static-structural and the buckling analysis of the beam structure.

3. References

- The original document of the detailed beam structure can be found in SmarTeam under the following ST number: ---¹. This 3D CAD model was inserted into ANSYS SpaceClaim as a step file.
- The simplified version of the beam structure is directly attached to the analysis file since it was created in ANSYS SpaceClaim.
- EDMS document “---²” explains the experiment through which it was decided to use Teflon pads as an interface between the accumulators and the beam structure.
- Construction code Eurocode 3 was used for the verification of the structure.

¹ Σημείωση παραρτήματος: Πρόκειται για την μεταλλική κατασκευή ολίσθησης των συσσωρευτών. Μπορεί να αναζητηθεί στα *step files* που παραδόθηκαν μαζί με την διπλωματική εργασία.

² Σημείωση παραρτήματος: Πρόκειται για την πειραματική διαδικασία που αναλύθηκε στην Ενότητα 3 της εργασίας.

4. Geometry of the studied structure

Figure 1 shows the full beam structure model as it was designed in CATIA V5. Analysing the whole model in ANSYS was deemed to be unneeded since:

- a) Many subparts of the beam structure (such as the final resting beams of the 6 accumulators) are identical and including all of them in the analysis would add unneeded computational cost.
- b) We only need to test the parts of the structure that are subject to the highest stresses and deformations. These are, of course, the longest beams of the structure which can be seen inside the orange polygon of figure 1.

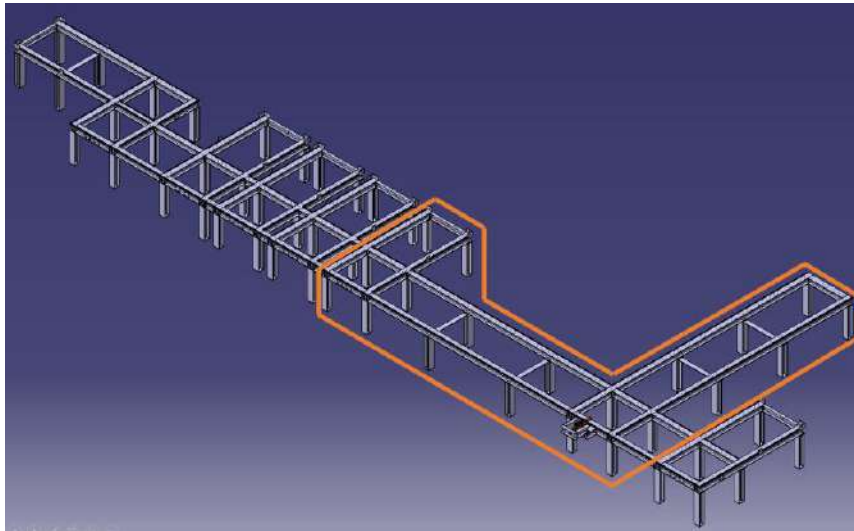


Figure 1: Beam structure as modelled in CATIA V5. Orange polygon shows the part of the structure included in the analysis.

The aforementioned part of the beam structure was saved as a step file and added into the Ansys Workbench. However, it was decided to only model the beams and exclude from the analysis the following parts:

- I. **The welded joints and the bolts** used to connect the beams since their integrity can be later verified by looking at the analysis results, and more specifically the shear forces and moments at the beams connections.
- II. **The guiding system** which consists of a small square profile welded on the edges of the beams since it does not influence the maximum deflection of the beams nor the forces taken by the beam connections.
- III. **The final positioning plates and bolts** since this analysis focuses on the most stressful (for the beams) phase of the sliding, which as explained is at the midpoint of the long beams, where there are no final positioning plates.

The parts included in the analysis can be seen in figure 2a and some examples of the aforementioned unneeded parts can be seen in figure 2b. The unneeded parts can simply be suppressed in ANSYS SpaceClaim in order to be excluded from the analysis.

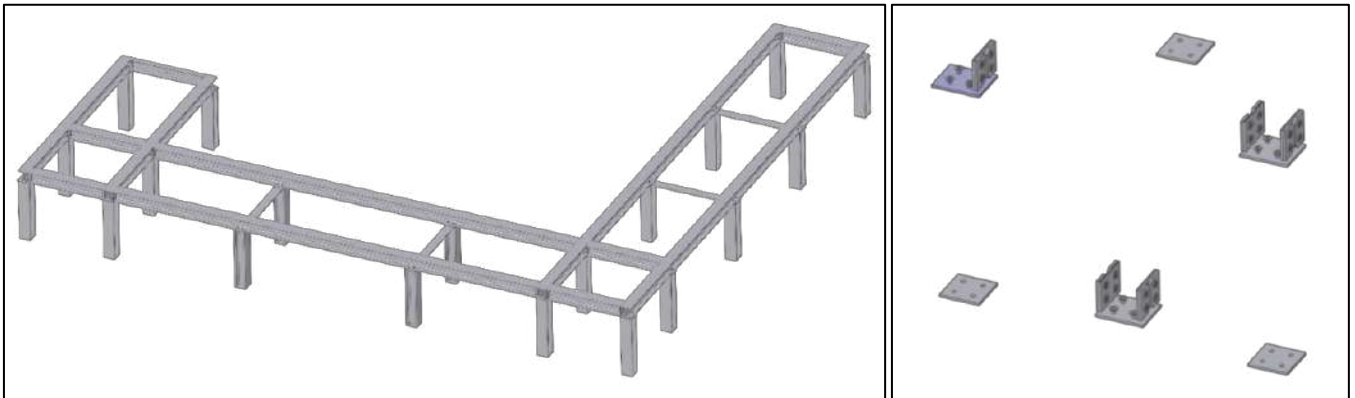


Figure 2: a) Parts of the beam structure included in the analysis and b) Examples of suppressed parts.

Looking more carefully at the geometry of figure 2a we see that near the beam connections the beams have holes in order for the bolts to pass through (figure 3a). These holes do not need to be included in this analysis and we can therefore select them quickly using Ansys' "Power selector" tool and then remove them from the model (figure 3b).

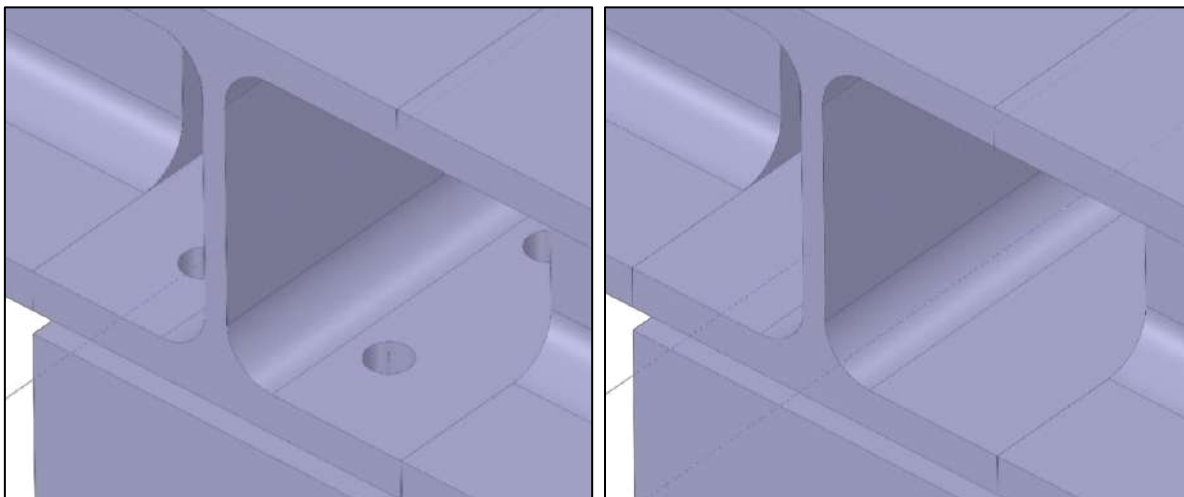


Figure 3: Unneeded bolt holes in the analysis model a) before and b) after being removed in ANSYS SpaceClaim.

At this point the model is left only with the components that will be used for the analysis. Since this is a beam structure, it was decided to simulate it using beam elements. In order to define the beam sections used in the model, we use SpaceClaim's automatic beam profile extraction, which automatically detects the geometric characteristics of the beams used (those can be found in chapter 5.3).

However, as shown in figure 4a, the automatic detection of the beams results in gaps near their connections because we chose to omit the welded connecting plates to simplify the geometry. Those gaps can be resolved by using SpaceClaim's "extend" option followed by manually fine tuning any connections that did not perfectly align with each other. The final result of the interconnected beam elements can be seen in figure 4b. All those beams can be moved in the same component while also choosing the option "share topology". This way the mesh which will be created will bind the beams together using nodes. This eliminates the need for contacts and MPCs, thus making a very effective analysis.

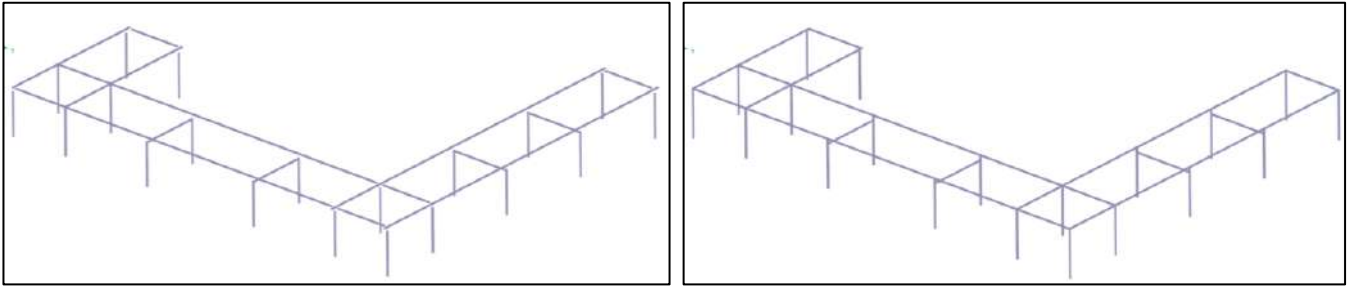


Figure 4: Beam elements a) before and b) after closing the gaps that resulted from their automatic detection.

The final step of the pre-processing is to add two points in the model, each one being in the middle of the longest beam, where we expect to have the highest stress and deflection of the beam. Those two points will be later used to define where the accumulator's weight force will be acting in the worst-case scenario. We use SpaceClaim's "Imprints" tool to imprint those points on the beams (figure 5).

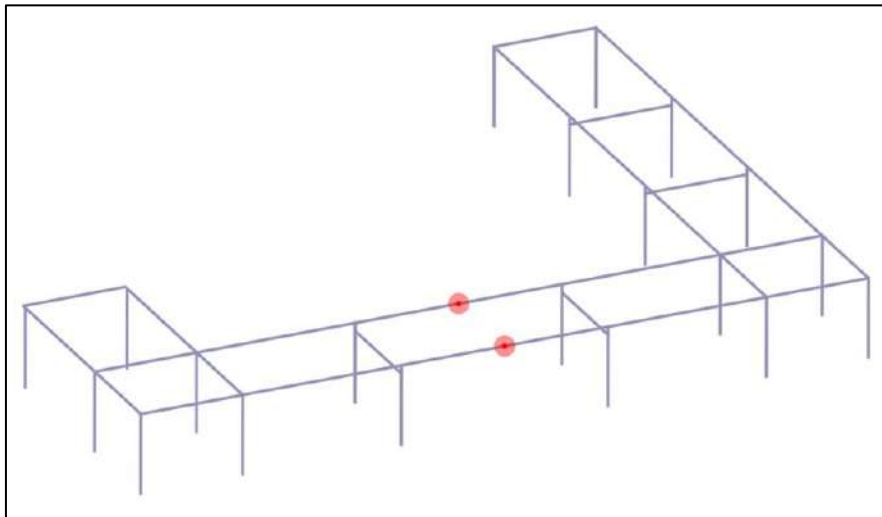


Figure 5: Imprinting two points in the middle of the longest beams where the accumulator's weight force will be acting.

A final step of describing the model's geometry is to establish the global axis system in relation to which all the results of the following chapters will be described. The reference coordinate system that will be used can be seen in figure 6.

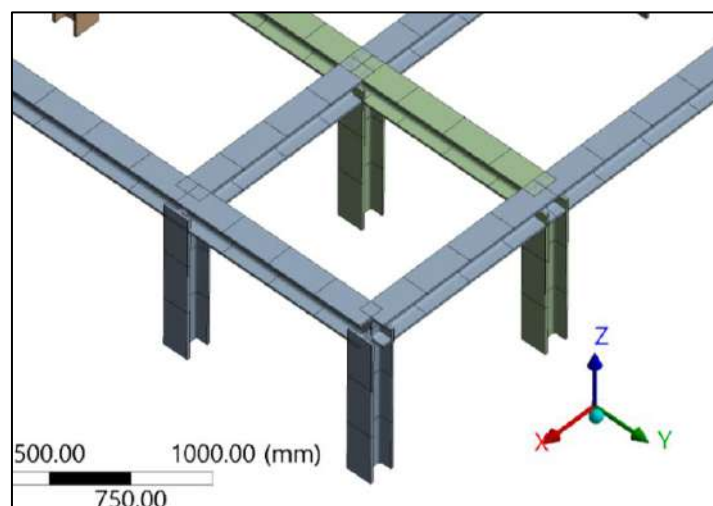


Figure 6: The global axis referenced throughout the report next to the model

5. Finite element model

5.1 Meshing

In general, representing beams as line bodies is a very efficient method of simulating when it comes to solving time required. We can use Ansys Mechanical's automatic meshing and get the mesh shown in figure 7a, which results in a model consisting of only 420 nodes and 214 elements, leading to an almost instant solving time. At this point it is also important to create any end release connections needed to accurately represent the model connections. We can safely assume that all connections between HEB beams are capable of transferring forces and moments to each other since they are strongly connected using sets of 4 bolts. However, this is not the case for the connections between the support plates and the HEB Beams, where only 2 bolts are used. In order to simulate that, we should add end releases at the points of connection of those support plates and more specifically an end release that allows for free rotation around the Y axis, as shown in figure 7b. Similarly, end release connections are applied to the rest of the supporting plates.

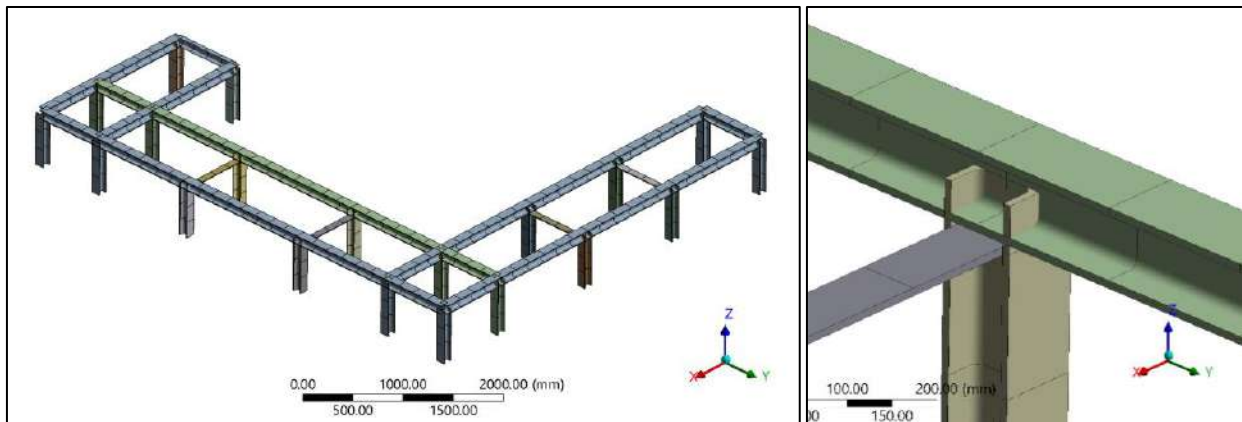


Figure 7: a) Meshing of the model and b) Detail of end release connection needed for free rotation about the Y axis shown.

5.2 Material

We use structural steel for all components. Specifically, the type of structural steel the beams are made of is defined in the EDH³ website as S235JRG2 (RSt 37.2). The default structural steel found in the Ansys Library closely resembles S235JRG2 and it can be safely used for this simulation.

5.3 Physical properties of the beams

The model consists of 3 different types of beam cross sections with varying lengths:

- HEB100 for most of the beam structure
- UPN100 for the outermost beam at the final position of the accumulators
- Rectangular plate for the support plates along the longest HEB 100 beams

The physical properties of the aforementioned sections can be seen in Table 1.

³ Σημείωση παραρτήματος: Πρόκειται για την ιστοσελίδα παραγγελιών προϊόντων (στην περίπτωση μας μεταλλικών δοκών) που χρησιμοποιείται στο CERN.

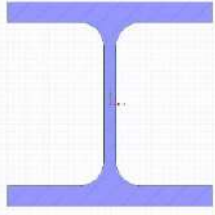


				Units
Area	2603.61	1345.38	760	[mm ²]
Centroid X	0	9.49	0	[mm]
Centroid Y	0	0	0	[mm]
I _{xx}	4495716.73	2053542.18	6333.33	[mm ⁴]
I _{yy}	1672735.07	291484.84	365813.33	[mm ⁴]
Shear Center X	0	38.09	0	[mm]
Shear Center Y	0	0	0	[mm]
Torsional Constant	95421.59	28917.43	23749.36	[mm ⁴]
Warping Constant	3231304401.14	410758298.6	2689659.81	[mm ⁶]

Table 1: Physical properties of the section used for the beam structure.

5.4 Loads

At this point we have to consider what external forces we are going to exert on the beam structure. It is recommended to test the worst case scenario, which is the combination of:

- The entire 1.5 T of the accumulator's weight being exerted on two of the four teflon pads (e.g. when we start pulling the accumulator) and
- The accumulator being in the middle of the longest HEB100 beams.

It is clear that the combination of the aforementioned scenarios corresponds to two forces of 750 kg each acting on the two points we imprinted on the long beams, as explained in chapter 4. However, we also want to test the durability of the support plates and, in particular, their durability when it comes to compression and buckling. Such compressive forces would not show up in our analysis if the 750 kg forces act directly in the middle of the HEB 100 beams. Therefore, they need to be eccentric, eg 10 mm off to the sides, as shown in figure 8a.

One other way of representing an eccentric force when it comes to line body analysis is by introducing:

- A 750 kg force acting exactly in the center of the HEB 100 beam and
- A 750*10 kg mm moment acting in the same point and having a direction as shown in figure 8b.

However, according to Eurocode 3 we should consider a safety factor of 1.5 when it comes to dealing with live loads / imposed loads (such as the case of the accumulator's weight). Therefore the ULS forces and moments we impose are 1125 kg of force and 11250 kg mm of moment.

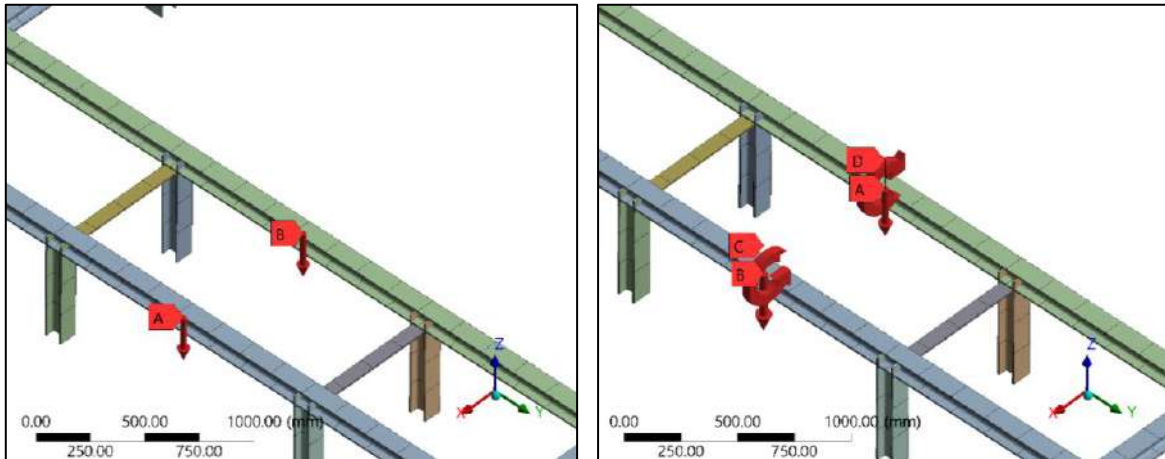


Figure 8: Simulating the worst case scenario by either a) Adding two eccentric forces or b) Adding a combination of a centric force and a torsional moment. The two representations give similar results.

In our simulation we tested both those representations and the results they gave were almost identical. However, it was decided to continue with the second way of representation as it is more common for problems that are modelled with line bodies.

The aforementioned scenario corresponds to the highest stress and deflection the HEB beams will experience. However, as explained earlier we also want to make sure that the support plates will not be in danger of buckling. The most stressful scenario in terms of buckling probability is when the eccentric forces act directly over a support plate as shown in figure 9.

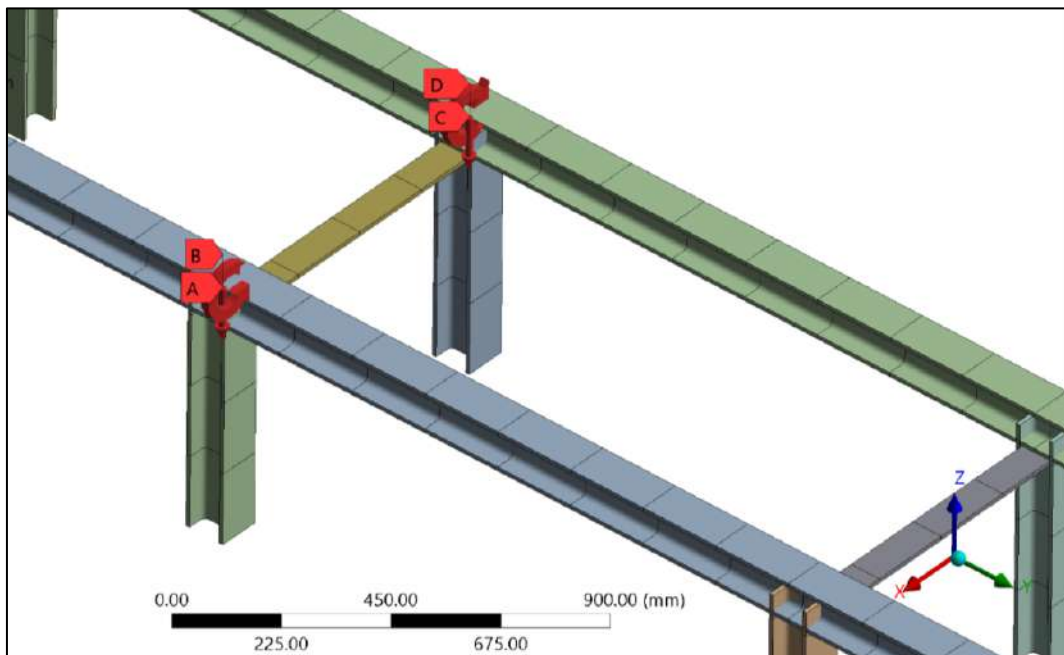


Figure 9: Simulating the worst case scenario in terms of buckling risk for the support plates.

5.5 Boundary conditions

Boundary conditions are needed to be applied to constrain the system. The bottom vertex of a foot of the frame is selected and a fixed boundary condition is applied to it. Using ANSYS Mechanical's "Object Generator" feature, the same fixed supports can be applied to all other feet as shown in figure 10.

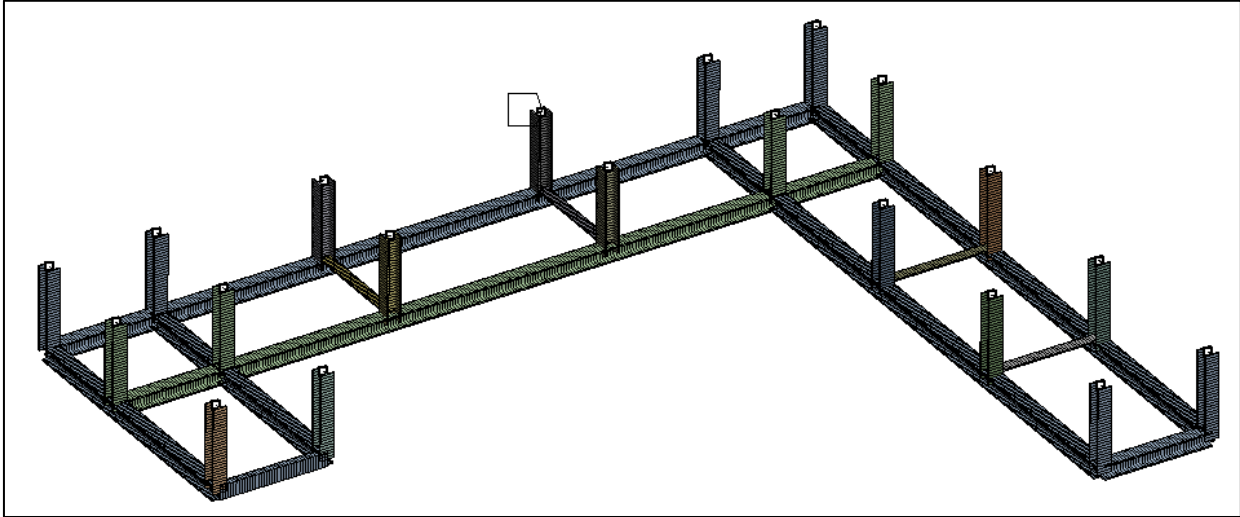


Figure 10: Fixed support boundary conditions applied on the 20 feet of the beam structure.

The reaction forces on those fixed supports will be later discussed in the results chapter in order to verify the analysis code and to ensure that the bolts used to fix the frame to the ground can take on the stresses caused by the accumulator's weight.

6. Analysis

As explained in chapter 5, two types of analysis will be done. The first one focuses on the effect the accumulator's weight has on the HEB100 beam deflections and stresses while the second one focuses on the sufficiency of the support plates when it comes to compressive stresses and buckling. Results of both those analysis are presented in the next chapter.

7. Results

7.1. Stressing beam structure in maximum deflection & stress conditions

We start by looking at the results of the first scenario, where we consider the accumulator's weight force to be acting upon the middle of the longest HEB beam, as explained in chapter 5.4. One way of checking the validity of our analysis is take a look at the reaction forces at the boundary conditions of our model, i.e. the 20 feet of our model as explained in chapter 5.5. The reaction forces on each foot have been summarized in table 2. As shown, the total force is equal to the ULS force.

Probe: Reactions	X Magnitude	Y Magnitude	Z Magnitude	Total	Units
Force Reaction 01	-1.4409	-2.2562	-2.3151	3.5392	N
Force Reaction 02	-1.3639	244.22	-912.83	944.94	N
Force Reaction 03	1.6512	243.42	-917.87	949.6	N
Force Reaction 04	-1.4742	3.087	-3.843	5.145	N
Force Reaction 05	1.4092	-0.51626	0.7965	1.6991	N
Force Reaction 06	-4.46E-02	-1.4178	158.67	158.68	N
Force Reaction 07	-0.39371	-1.8099	159.97	159.99	N
Force Reaction 08	1.91E-02	2.2276	0.65161	2.321	N
Force Reaction 09	0.78439	-0.13102	7.13E-02	0.79844	N
Force Reaction 10	-0.42382	-0.50231	-0.12827	0.66962	N
Force Reaction 11	-0.27	-0.13092	2.55E-02	0.30115	N
Force Reaction 12	-1.0532	4.7342	159.46	159.54	N
Force Reaction 13	-1.2262	3.473	160.96	161.01	N
Force Reaction 14	-0.47699	-1.5973	-8.28E-02	1.669	N
Force Reaction 15	0.3781	-238.72	-907.52	938.39	N
Force Reaction 16	3.1663	-240.78	-916.68	947.78	N
Force Reaction 17	-147.5	2486.3	6345.2	6816.5	N
Force Reaction 18	148.27	2489.1	6365.1	6836.1	N
Force Reaction 19	-148.83	-2495.9	6415.2	6885.2	N
Force Reaction 20	148.81	-2492.8	6395.2	6865.4	N
Combined Forces	0	0	22500	22500	N

Table 2: The reaction forces of the first analysis scenario. The total reaction force is equal to the ULS force applied.

The following figures summarize:

- The displacement in every direction & the total displacement (figure 11 and table 3)
- The forces in the beams of the structure (figure 12 and table 4)
- The stresses in the beams of the structure (figure 12 and table 5)

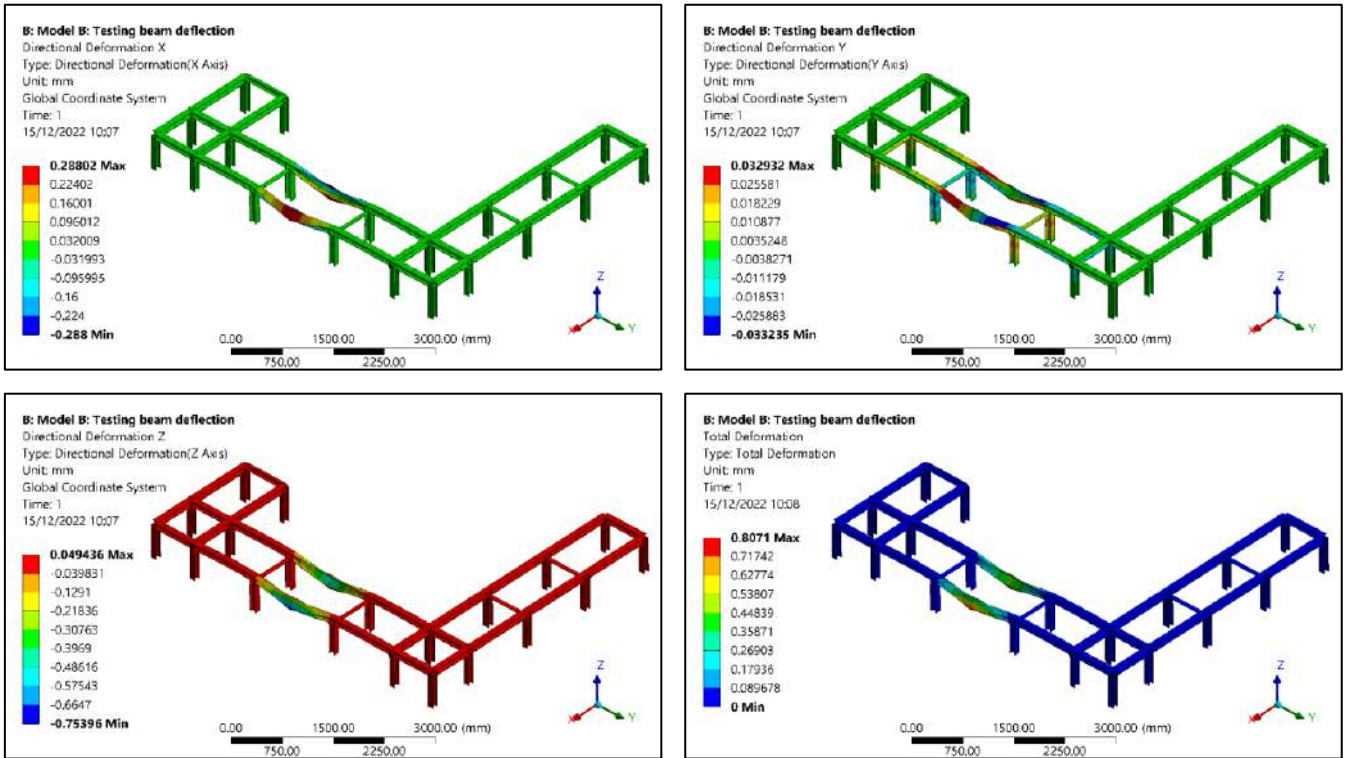


Figure 11: First analysis scenario: Deformation a) X axis, b) Y axis, c) Z axis and d) Total

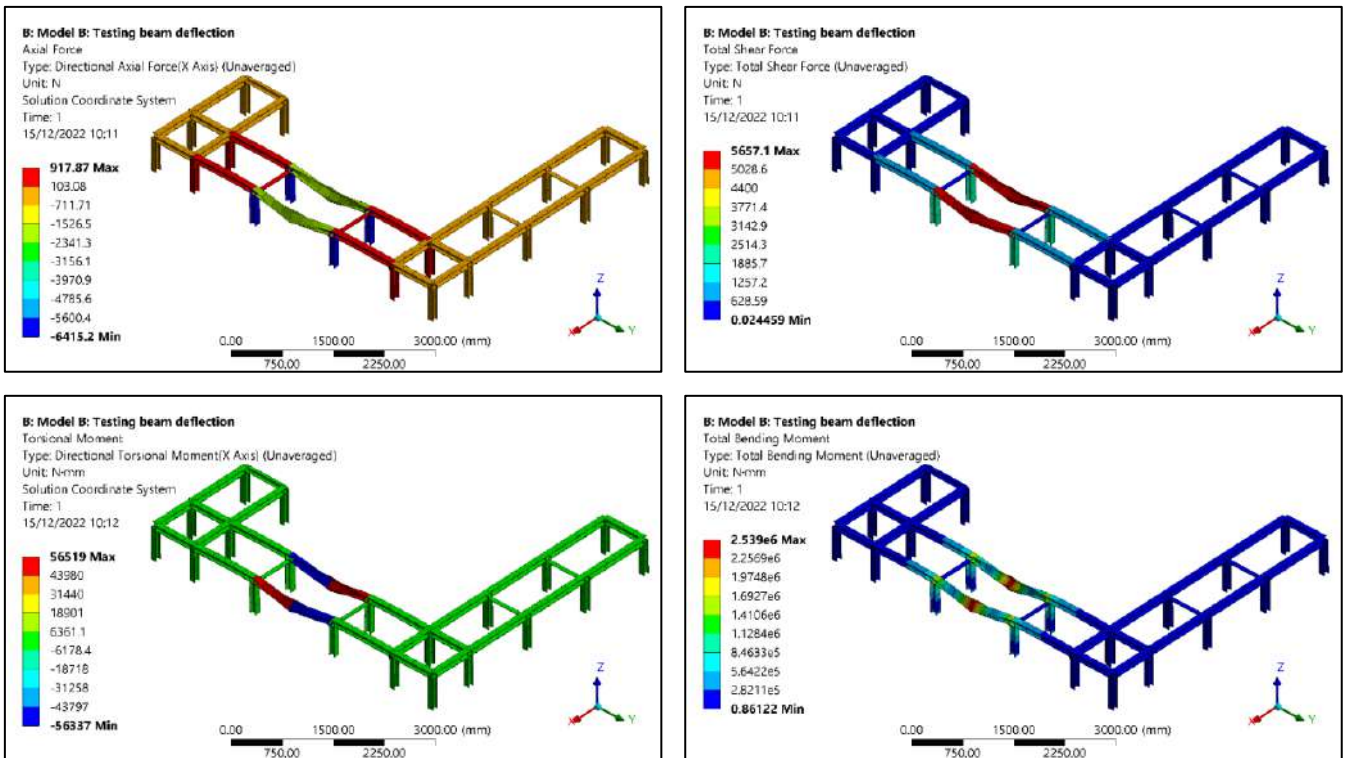


Figure 12: First analysis scenario: Forces in members of the structure a) Axial force, b) Shear force, c) Torsional moment and d) Total bending moment

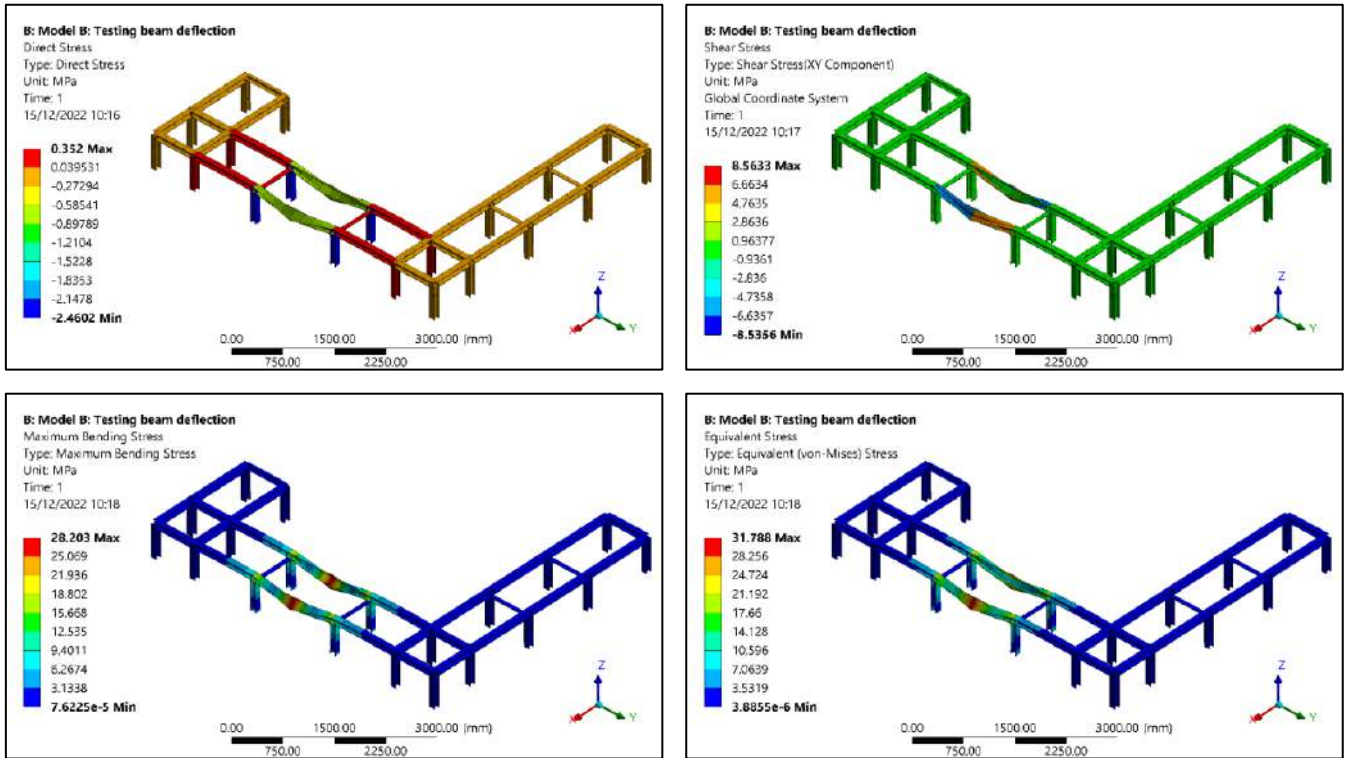


Figure 13: First analysis scenario: Stresses in members of the structure a) Normal stress, b) Shear stress, c) Maximum bending stress and d) Equivalent (von-Mises) stress

The results of figures 11, 12 and 13 have been summarized in table 3.

	min	max	Units	Absolute maximum location
Total Deformation	0	0.8071	mm	Center of the long beams
Directional Deformation X	-0.2880	0.2880	mm	Center of the long beams
Directional Deformation Y	-0.0332	0.0329	mm	At ¼ of the long beam (figure 11b)
Directional Deformation Z	-0.7540	0.0494	mm	Center of the long beams
Axial Force	-6415.2	917.87	N	Feet (compression)
Total Shear Force	0.0245	5657.1	N	Long beams
Torsional Moment	-56337	56519	N·mm	Long beams
Total Bending Moment	0.8612	2.54E+06	N·mm	Center of the long beams
Normal Stress	-2.4602	0.3520	MPa	Feet (compression)
Shear Stress	-8.5356	8.5633	MPa	Center of the long beams
Maximum Bending Stress	0	28.203	MPa	Center of the long beams
Equivalent Stress	0	31.788	MPa	Center of the long beams

Table 3: Summarized results of the 1st analysis scenario

7.2. Stressing beam structure in buckling conditions

We continue by looking at the results of the second scenario, where we consider the accumulator's weight force to be acting on top of feet in order to test for any buckling phenomena as explained in chapter 5.4. One first check we can do in order to check the validity of our analysis is take a look at the reaction forces at the boundary conditions of our model, i.e. the 20 feet of our model as explained in chapter 5.5. The reaction forces on each foot have been summarized in table 4. As shown, the total force is equal to the ULS force applied on the beams.

Probe: Reactions	X Magnitude	Y Magnitude	Z Magnitude	Total	Units
Force Reaction 01	0.28542	0.35594	0.35058	0.57538	N
Force Reaction 02	-2.29E-02	1.8425	-10.256	10.42	N
Force Reaction 03	9.41E-02	1.9984	-10.35	10.542	N
Force Reaction 04	-2.83E-02	1.99E-02	-4.49E-02	5.66E-02	N
Force Reaction 05	6.09E-03	1.05E-02	9.62E-03	1.55E-02	N
Force Reaction 06	-1.58E-02	-0.75357	2.1938	2.3197	N
Force Reaction 07	-3.79E-02	-0.63136	2.1661	2.2565	N
Force Reaction 08	-1.02E-02	6.32E-02	9.36E-03	6.47E-02	N
Force Reaction 09	1.13E-03	-2.19E-03	-2.02E-03	3.19E-03	N
Force Reaction 10	-1.65E-02	-1.86E-03	-1.67E-03	1.67E-02	N
Force Reaction 11	-1.19E-02	-2.35E-03	-1.85E-03	1.23E-02	N
Force Reaction 12	3.11E-02	-6.9457	-24.245	25.221	N
Force Reaction 13	0.18184	-6.7957	-24.444	25.372	N
Force Reaction 14	-3.89E-02	0.13229	-3.22E-02	0.14159	N
Force Reaction 15	-0.42686	23.037	71.277	74.909	N
Force Reaction 16	0.17308	23.259	72.304	75.953	N
Force Reaction 17	-294.95	10.377	11173	11177	N
Force Reaction 18	294.73	10.578	11173	11177	N
Force Reaction 19	-1.7823	-28.385	37.773	47.283	N
Force Reaction 20	1.8408	-28.156	37.783	47.157	N
Combined Forces	0	0	22500	22500	N

Table 4: The reaction forces of the second analysis scenario. The total reaction force is equal to the ULS force applied

The following figures summarize:

- The displacement in every direction & the total displacement (figure 14)
- The forces in the beams of the structure (figure 15)
- The stresses in the beams of the structure (figure 16)

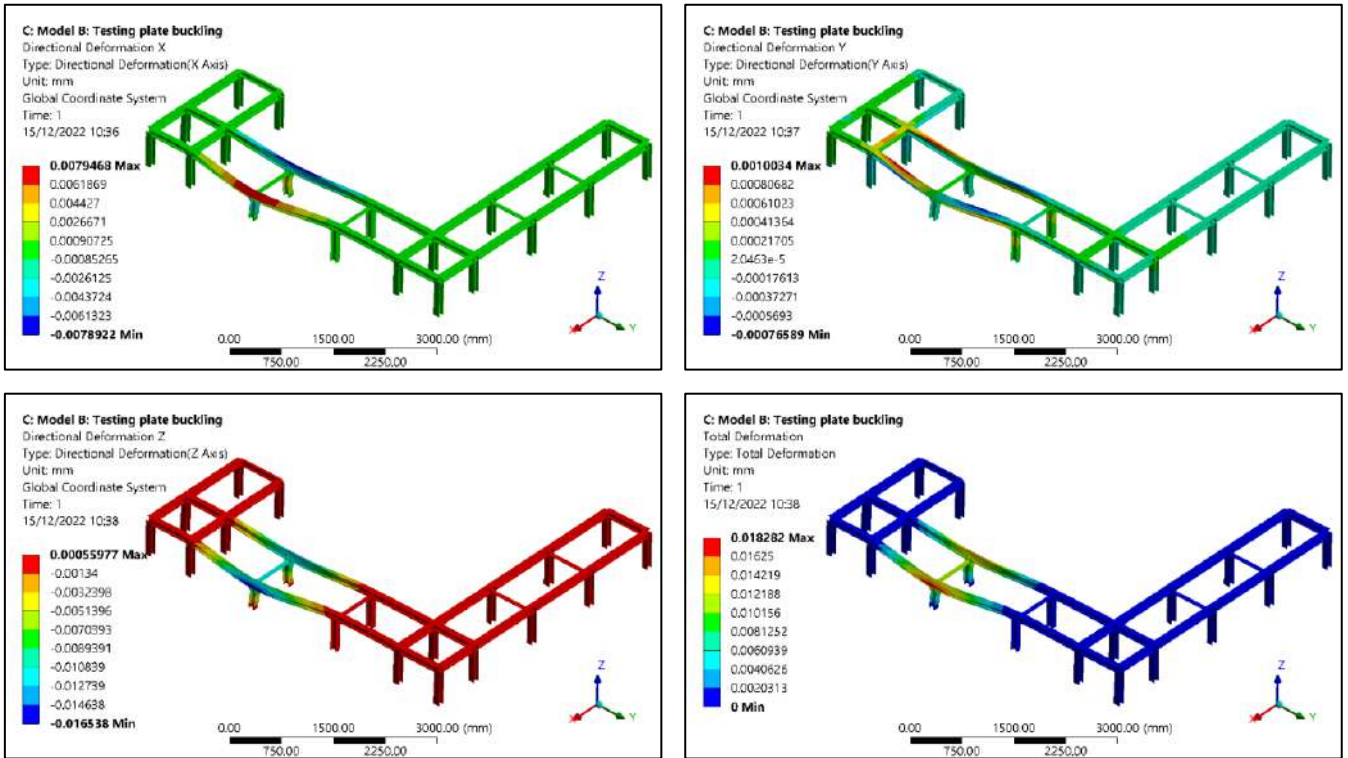


Figure 14: Second analysis scenario: Deformation a) X axis, b) Y axis, c) Z axis and d) Total

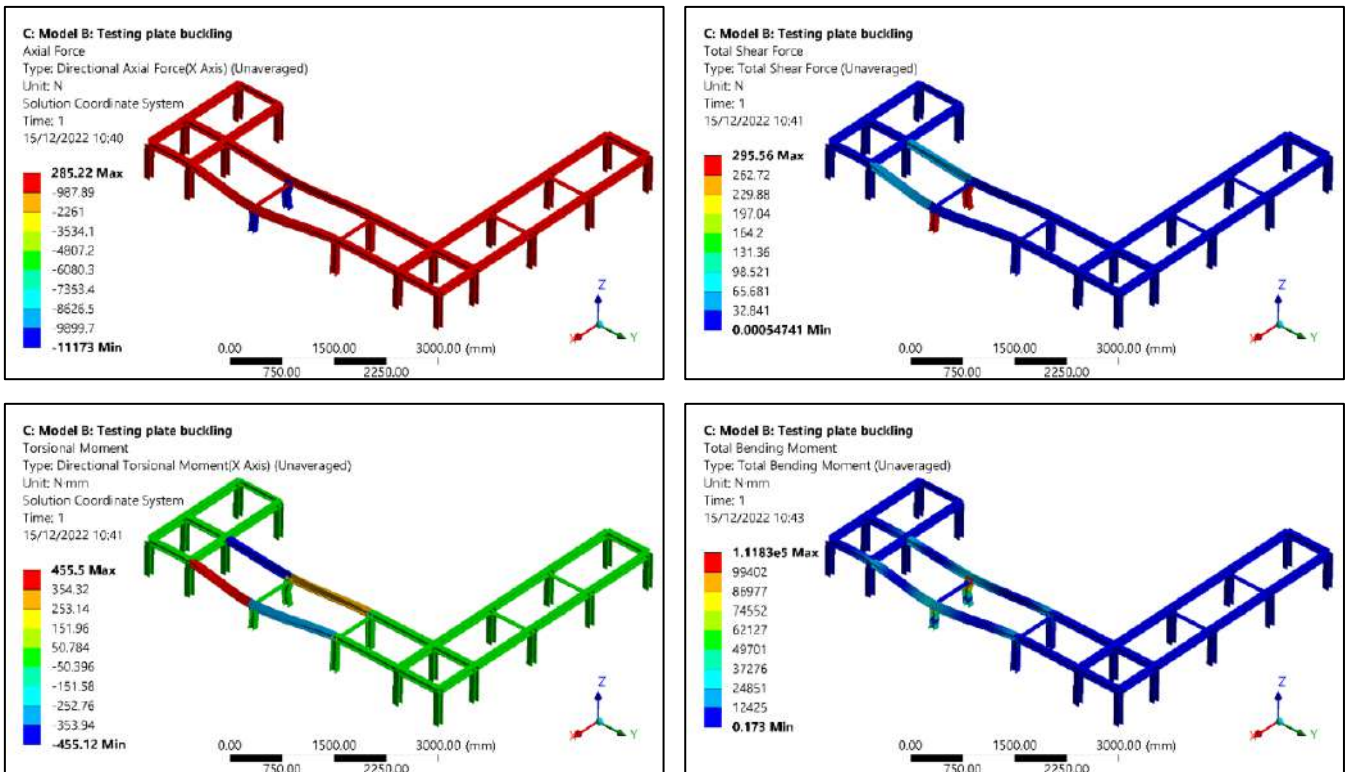


Figure 15: Second analysis scenario: Forces in members of the structure a) Axial force, b) Shear force, c) Torsional moment and d) Total bending moment

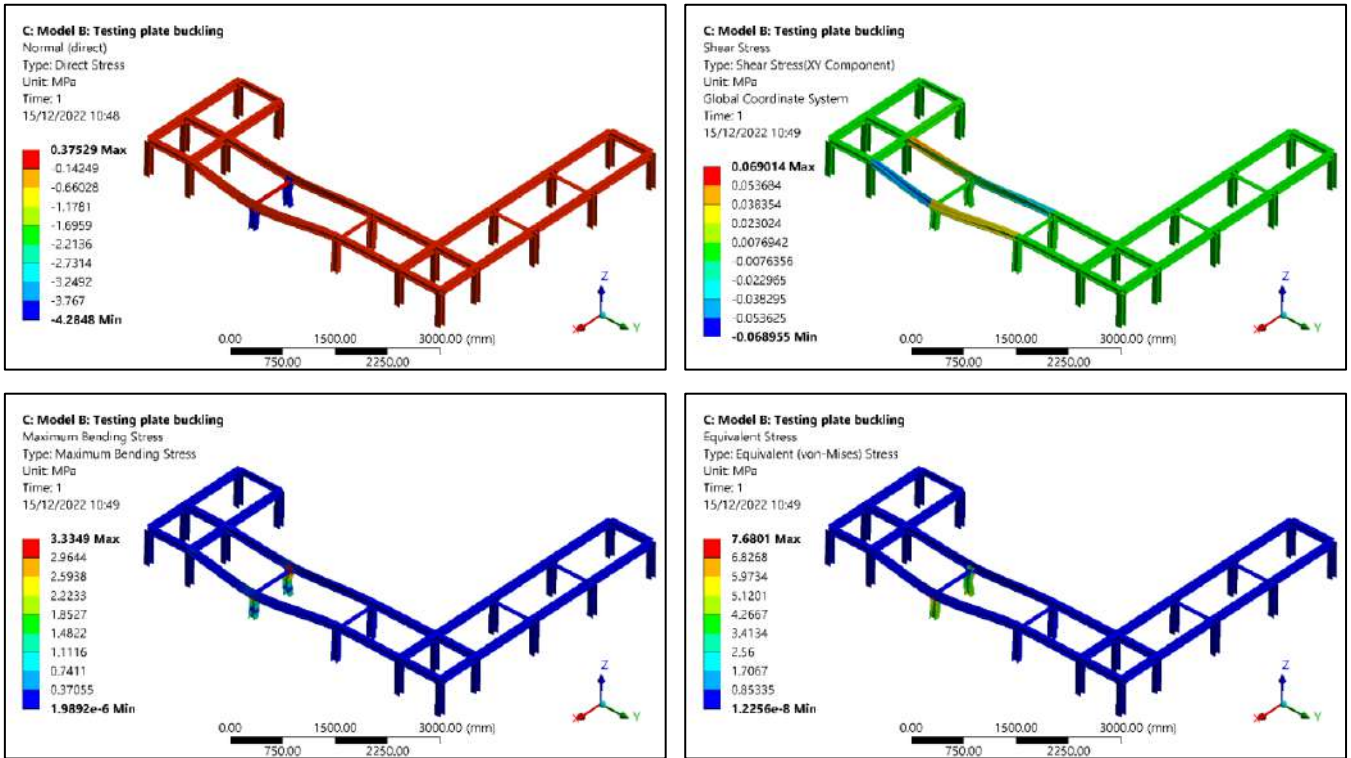


Figure 16: Second analysis scenario: Stresses in members of the structure a) Normal stress, b) Shear stress, c) Maximum bending stress and d) Equivalent (von-Mises) stress

The results of figures 14, 15 and 16 have been summarized in table 5.

	min	max	Units	Absolute maximum Location
Total Deformation	0	0.018	mm	Connection point with feet
Directional Deformation X	-0.008	0.008	mm	Connection point with feet
Directional Deformation Y	-0.001	0.001	mm	At 1/8 of the long beam (figure 14b)
Directional Deformation Z	-0.017	0.001	mm	Connection point with feet
Axial Force	-11173	285.22	N	Feet (compression)
Total Shear Force	0	295.56	N	Feet
Torsional Moment	-455	455	N·mm	Long beams
Total Bending Moment	0	111830	N·mm	Connection point with feet
Normal Stress	-4.285	0.375	MPa	Feet (compression)
Shear Stress	0	0	MPa	Negligible
Maximum Bending Stress	0	3.335	MPa	Connection point with feet
Equivalent Stress	0	7.680	MPa	Connection point with feet

Table 5: Summarized results of the 2nd analysis scenario

8. Code verification

8.1. Static verification

In this chapter we present the static verification of the HEB100 beams used. This verification is done according to Eurocode 3 (EN 1993-1-1)

HEB100 Properties

Description	Symbol	Value	Units
Geometry			
Height	h	100	mm
Width	b	100	mm
Web thickness	t_w	6	mm
Flange thickness	t_f	10	mm
Connection radius	r	12	mm
Inner depth	h_i	80	mm
Web depth	h_w	80	mm
Straight portion of web	d	56	mm
Area	A	2600	mm ²
Shear area (web axis)	A_{vz}	551	mm ²
Shear area (flange axis)	A_{vy}	1613	mm ²
Bending			
Y-axis moment of inertia	I_y	450	cm ⁴
Z-axis moment of inertia	I_z	167	cm ⁴
Polar moment of inertia	I_p	617	cm ⁴
Y axis radius of gyration	i_y	41.6	mm
Z-axis radius of gyration	i_z	25.3	mm
Polar radius of gyration	i_p	48.7	mm
Y-axis statical moment of area	$\max S_y$	52.1	cm ³
Z-axis statical moment of area	$\max S_z$	12.56	cm ³
Y-axis elastic section modulus	W_y	89.9	cm ³
Z-axis elastic section modulus	W_z	33.5	cm ³
Torsion			
Torsional constant	I_t	9.29	cm ⁴
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	338.05	cm ⁴
Section modulus for torsion	W_t	9.29	cm ³
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	$\max \omega$	22.50	cm ²
Warping constant with respect to shear center	I_ω	3375.00	cm ⁶
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	23.4	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	150.00	cm ⁴
Warping statical moment with respect to shear center	$\max S_\omega$	56.25	cm ⁴

Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	3.500	--
c/t ratio of web	c/t_w	9.330	--
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	104.24	cm ³
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	51.42	cm ³
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	225.00	cm ⁴
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.159	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.535	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	20.00	cm ²
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	5.40	cm ²
Plastic limiting normal force	N_{pl}	612.019	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	271.355	kN
Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	73.266	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	24.50	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	12.09	kNm
Plastic limiting torsional moment	T_{pl}	8.15	kNm
Other			
Weight	G	20.4	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.567	m ² /m
Volume	V	2600.00	cm ³ /m
Section factor	A_m/V	218.077	1/m
Web area	A_w	4.80	cm ²
Partial safety factor γ_{M0}	γ_{M0}	1.1	-
Partial safety factor γ_{M1}	γ_{M1}	1.1	-
Partial safety factor γ_{M2}	γ_{M2}	1.25	-

Table 6: Physical properties of HEB 100 beams according to Eurocode 3 symbols.

Material Properties (S235JRG2)

Description	Symbol	Value	Units
Yield strength	f_y	235	MPa
Ultimate tensile strength	f_u	410	MPa
Modulus of Elasticity	E	210	GPa
Poisson's ratio	ν	0.3	-
Shear modulus	G	81	GPa

Table 7: Material properties of S235JRG2 structural steel used for the HEB 100 beams according to Eurocode 3 symbols.

Tension (6.2.3 in EN 1993-1-1:2005) and Compression (6.2.4 in EN 1993-1-1:2005)

Looking at the results of our simulations, we obtain that $N_{Ed} = 11173 \text{ N}$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl}} = 1.7\% = 0.017 \leq 1$$

Bending (6.2.5 in EN 1993-1-1:2005)

Looking at the results of chapter 7, we obtain that $M_{Ed,y} = 2.539 \text{ kN m}$ and $M_{Ed,z} = 0.094 \text{ kN m}$

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,y}} + \frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,z}} = \frac{2.539}{24.50} + \frac{0.094}{12.09} = 11.2\% = 0.112 \leq 1$$

Shear (6.2.6 in EN 1993-1-1:2005)

Looking at the results of chapter 7, we obtain that $V_{Ed,y} = \text{negligible}$ and $V_{Ed,z} = 5657.1 \text{ N}$

$$\frac{V_{Ed,z}}{V_{pl,z}} = 2.1\% = 0.021 \leq 1$$

Torsion (6.2.7 in EN 1993-1-1:2005)

Looking at the results of chapter 7, we obtain that $T_{Ed} = 56.519 \text{ N m}$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{pl}} = 0.7\% = 0.007 \leq 1$$

Bending and shear (6.2.8 in EN 1993-1-1:2005)

The maximum shear force is less than half the plastic shear resistance so its effect on the moment resistance can be neglected according to 6.2.8 in EN 1993-1-1:2005

$$\begin{aligned} \frac{V_{Ed,z}}{V_{pl,z}} < 0.5 \rightarrow \rho_z = 1 & \quad \frac{V_{Ed,y}}{V_{pl,y}} < 0.5 \rightarrow \rho_y = 1 \\ M_{V,z} = \rho_z M_{pl,z} = M_{pl,z} & \quad M_{V,y} = \rho_y M_{pl,y} = M_{pl,y} \end{aligned}$$

Bending and axial force (6.2.9 in EN 1993-1-1:2005)

As a conservative approximation for all cross-sections, a linear summarization of the utilization ratios for each resistance may be used:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl}} + \frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,y}} + \frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,z}} = 12.9\% = 0.129 \leq 1$$

Bending, axial and shear force (6.2.10 in EN 1993-1-1:2005)

As a conservative approximation for all cross-sections, a linear summarization of the utilization ratios for each resistance may be used:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl}} + \frac{M_{Ed,y}}{M_{pl,y}} + \frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,z}} + \frac{V_{Ed,z}}{V_{pl,z}} + \frac{V_{Ed,y}}{V_{pl,y}} = 15.1\% = 0.15 \leq 1$$

8.2. Stability verification

The second scenario (as explained in chapter 5) was done in order to test if there is danger of buckling at the support plates. However, as the results show, there is no compression at those plates. Therefore, what is left is to verify the buckling resistance of the HEB beams acting as the feet of the structure. Due to their small length in relation to the beam's width and height it can be safely assumed that they pose no risk when it comes to compression buckling. In order to verify this, we can do a simple eigenvalue buckling analysis in Ansys which uses the results of the Static-Structural simulation as input. Indeed, as shown in figure 17a, the first mode of buckling occurs when we have a load multiplier of -73. The negative value means that if the force acting on the support plates was 73 times bigger and compressive (hence the negative value) then the plates would buckle.

The second mode of buckling is shown in figure 17b and it corresponds to the torsional lateral buckling of the long beams. In this case, the load multiplier is equal to 286 and we can therefore assume no risk of lateral torsional buckling. The aforementioned verifications can also be done according to Eurocode 3, as follows.

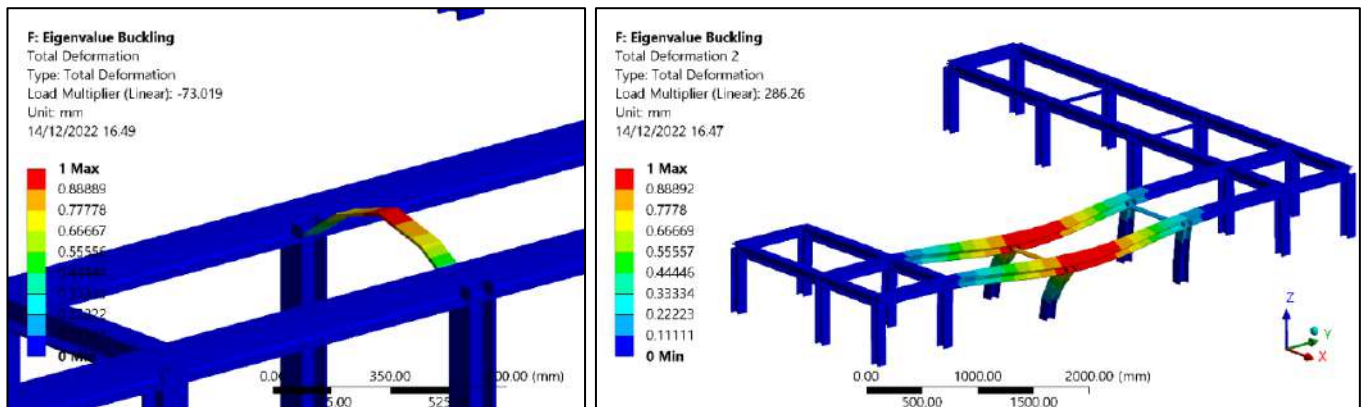


Figure 17: Buckling modes: a) Compression buckling of support plate and b) Lateral torsional buckling of long HEB beams.

Uniform members in compression (6.3.1 in EN 1993-1-1:2005)

As explain earlier there is no risk of compression buckling, since the support plates are only taking tensile forces.

Uniform members in bending (6.3.2 in EN 1993-1-1:2005)

We first need to calculate the design buckling resistance moment M_b as follows:

$$M_b = \chi_{LT} W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$W_{pl,y}$, f_y and γ_{M1} can be found in 8.1 and the reduction factor for lateral-torsional buckling χ_{LT} can be calculated as follows:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{AT} + \sqrt{\Phi_{AT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

Where:

$$\Phi_{AT} = 0.5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0.674$$

$\alpha_{LT} = 0.49$ is an imperfection factor

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = 0.467 \text{ is the appropriate non - dimensional slenderness}$$

$$M_{cr} = 1.27 \frac{\pi}{L} \sqrt{E I_z G I_t} = 97 \text{ kNm} \text{ is the elastic critical moment for lateral - torsional buckling}$$

Which gives us:

$$\chi_{LT} = 0.862 \quad \text{and} \quad M_b = 19.1 \text{ kNm}$$

We can now verify that:

$$\frac{M_{Ed}}{M_b} = 0.3\% = 0.003 \leq 1$$

Note: If we multiply the above percentage (0.3%) times the load multiplier of figure 7b (286) we get 85%, which is close to buckling. This is evidence of the analysis' accuracy.

Uniform members in bending and axial compression (6.3.3 in EN 1993-1-1:2005)

We can directly verify the structure against bending and axial buckling since there is no major axial compression and the structure has already been verified against bending buckling.

8.3. Bolt verification

The calculation formulas used in this chapter follow the symbols defined in EN 1993-1-3 (Table 8)

Description	Symbol	Value	Units
Geometry			
Gross cross-sectional area	A	78.5	mm ²
Tensile stress area	A _s	58.0	mm ²
Net cross-sectional area of connected part	A _{net}	5600	mm ²
Reduction factor for long joints	β _{Lf}	-	-
Nominal diameter of fastener	d	10	mm
Nominal diameter of hole	d _o	11	mm
Washer diameter	d _w	20	mm
Mean diameter of bolt/nut head	d _m	16.75	mm
End distance from the centre of the fastener to end of the connected part	e ₁	22	mm
Edge distance from the centre of the fastener to the edge of the connected part	e ₂	25	mm
Ultimate tensile strength of the fastener material	f _{ub}	800	MPa
Yield strength of the fastener material	f _{yb}	640	MPa
# of sheets that are fixed to the supporting member by the same screw or pin	n	1	-
# of mechanical fasteners in one connection	n _f	4	-
Spacing of fasteners in the direction of load transfer	p ₁	36	mm
Spacing of fasteners in the direction perpendicular to the load transfer	p ₂	50	mm
Thickness of the thinner connected part or sheet	t	6	mm
Thickness of the plate under the bolt or the nut	t _p	12	mm

Table 8: M10 Class 8.8 Bolted connection - Physical properties

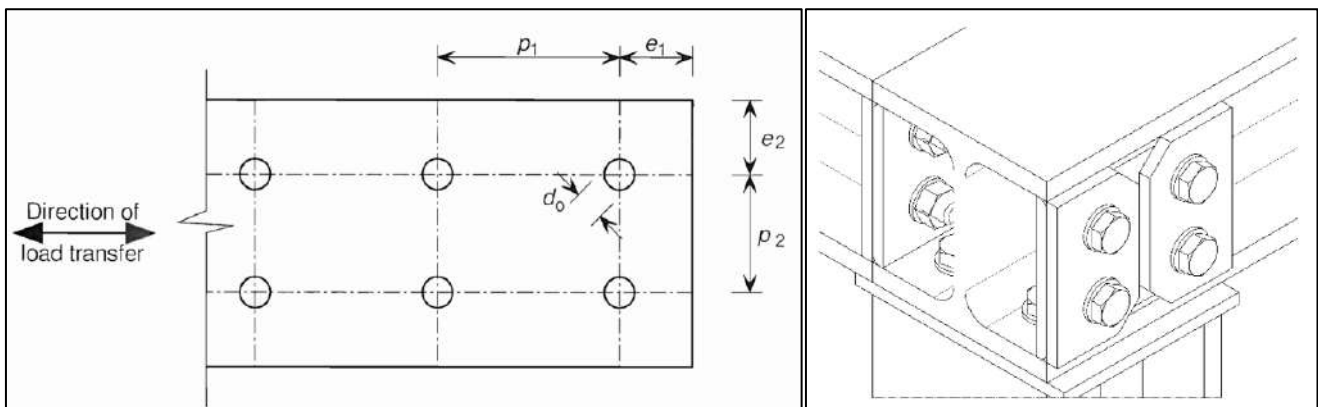


Figure 18: Explanatory sketches of bolted connection according to Eurocode 3 symbols.

Since we have determined all the above physical properties of the bolted connections, we can continue by verifying the positioning validity according to table 3.3 of EN 1993-1-8 (table 9)

Distances and spacings, see Figure 3.1	Minimum	Maximum ^{1) 2) 3)}		
		Structures made from steels conforming to EN 10025 except steels conforming to EN 10025-5		Structures made from steels conforming to EN 10025-5
		Steel exposed to the weather or other corrosive influences	Steel not exposed to the weather or other corrosive influences	Steel used unprotected
End distance e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		The larger of $8t$ or 125 mm
Edge distance e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		The larger of $8t$ or 125 mm
Distance e_3 in slotted holes	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Distance e_4 in slotted holes	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Spacing p_1	$2,2d_0$	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t_{\min}$ or 175 mm
Spacing $p_{1,0}$		The smaller of $14t$ or 200 mm		
Spacing $p_{1,i}$		The smaller of $28t$ or 400 mm		
Spacing p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t_{\min}$ or 175 mm

1) Maximum values for spacings, edge and end distances are unlimited, except in the following cases:

- for compression members in order to avoid local buckling and to prevent corrosion in $\overline{AC_2}$ exposed members (the limiting values are given in the table) and; $\overline{AC_2}$
- for exposed tension members $\overline{AC_2}$ to prevent corrosion (the limiting values are given in the table). $\overline{AC_2}$

2) The local buckling resistance of the plate in compression between the fasteners should be calculated according to EN 1993-1-1 using $0,6 p_1$ as buckling length. Local buckling between the fasteners need not to be checked if p_1/t is smaller than 9ϵ . The edge distance should not exceed the local buckling requirements for an outstand element in the compression members, see EN 1993-1-1. The end distance is not affected by this requirement.

3) t is the thickness of the thinner outer connected part.

4) The dimensional limits for slotted holes are given in 1.2.7 Reference Standards: Group 7.

5) For staggered rows of fasteners a minimum line spacing of $p_2 = 1,2d_0$ may be used, provided that the minimum distance, L , between any two fasteners is greater or equal than $2,4d_0$, see Figure 3.1b).

Table 9: Minimum and maximum spacing, end and edge distances according to EN 1993-1-8

The material used (S235JRG2) conforms to EN10025-2 so we use the column in the red box of table 9. We see that e_1 , e_2 , p_1 and p_2 meet the aforementioned standards. We can now continue with the calculation of the design resistance of the fasteners. As shown in figure 18b, the feet are equipped with welded plates on their top side which are taking the shear force of the connection. In addition, there are no concerns over

phenomena such as slip and fatigue stressing of the bolts. Therefore, we can proceed with the verification according to “Category D: non – preloaded” type of connection, as specified in 3.4.2 of EN 1993-1-8.

Tension resistance:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 800 \cdot 58}{1.25} = 33.41 \text{ kN}$$

Where $k_2 = 0.9$

Punching shear resistance:

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} = 62.13 \text{ kN}$$

Design tensile force per bolt for the ULS:

$$F_{t,Ed} = \frac{F_t|_{max}}{n_f} = \frac{11.13}{4} = 2.78 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = 2.78 \text{ kN} \leq 33.41 \text{ kN} = F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Ed} = 2.78 \text{ kN} \leq 62.13 \text{ kN} = B_{p,Rd}$$

Therefore, the bolted connection is sufficient.

ATLAS Project Document No:	Page: Page 27 of 27
---	Rev. No.: 0

9. Conclusion

According to the results of the above chapters:

- a. The HEB 100 section profiles chosen can withstand the external loads and pose no risk against buckling phenomena. This is evident not only from the low value of the maximum von Mises stress (31 MPa) but also from the verification done according to Eurocode 3.
- b. The maximum feet distance of around $L = 1.5$ m is sufficient since it meets both the standards of Eurocode 3 and the general requirement of the maximum global deflection δ :

$$\delta_{max} = 0.81 \text{ mm} < 1.50 \text{ mm} = \frac{L}{1000} = \delta_{allowed}$$

- c. The M10 Class 8.8 bolts of various lengths chosen can withstand the external loads.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β2



Calculation Note:
External Pulling Forces on Accumulator Sliding Rail

<i>EDMS Document No:</i>	<i>Institute Document No.</i>	<i>Created: 25.07.2023</i>	<i>Page: 1 of 10</i>
---	---	<i>Modified: 03.08.2023</i>	<i>Rev. No.: 1</i>

Calculation Note:
External Pulling Forces on Accumulator Sliding Rail

Abstract:

In the frame work of the integration of the CO₂ system for the ATLAS ITk upgrade, the USA15-CV room will be equipped with new cooling material. Amongst them, 6 CO₂ accumulators (with a weight of about 1.5T and a height of about 3m) will need to be installed. Due to constrains imposed by both their height and the tight environment in which they will be installed, it is not possible for them to reach their final position with a crane. Instead, they will be equipped with Teflon pads and a chain block will be used to slide them along a steel structure (---)¹ which starts near the entrance of the CV room and reaches up to their 6 final locations.

An experiment carried out by ATLAS TC showed that the maximum pulling force required for the sliding of the accumulators will be around 200 kg. This calculation note verifies the resistance of the aforementioned metallic structure against those pulling forces.

<i>Prepared by:</i> E. Antonopoulos EP-ADO-PO	<i>Checked by:</i> ---	<i>Approved by:</i> ---
---	---------------------------	----------------------------

Distribution List

¹ Σημείωση παραρτήματος: Πρόκειται για την μεταλλική κατασκευή του προηγούμενου παραρτήματος.

<i>Date</i>	<i>Version</i>	<i>Author</i>	<i>Reasons of the modification</i>
25/07/2023	1	E. Antonopoulos	Initial version
03/08/2023	2	E. Antonopoulos	Addition of chapter 4, which refers to the design resistance of the false floor level beams when the pulling force is exerted in their centre.

Table of Contents

Table of Contents	3
Table of Figures	3
1. Introduction	4
2. Design resistance of bolts	5
2.1 Design tensile resistance	6
2.2 Screw thread resistance	6
3. Design resistance of concrete	6
4. Design resistance of false floor level beams	7
4.1 FEM Simulation	7
4.2 Analytical calculation	8
5. Structure deformation	9
6. Conclusion	10

Table of Figures

Figure 1: The layout of the installation of the first accumulator using the mobile crane (left) and the temporary cover of the 2PACL spare plant (right).	4
Figure 2: The pulling force travels through the feet set and causes a compressive force in the height-adjusting screw and a tensile force in the anchor bolt.	5
Figure 3: Sideways pulling force acting on the contact area of an M12 nut located in the centre of a false floor level beam.	7
Figure 4: Equivalent (von-Mises) stresses on the false floor level beam at the location of the pulling interface.	7
Figure 5: Total deformation on of the false floor level beam at the location of the pulling interface.	8
Figure 6: Total deformation of the structure. Top: Deformation caused by the effect of both the weight of the accumulator and the external pulling forces. Bottom: Deformation caused only by the effect of the external pulling forces (over 5 times less).	9

1. Introduction

For the installation of the accumulators (or in the event of their removal), part of the false floor structure needs to be removed in order to free up the space above the accumulator sliding rails as shown in Figure 1. The same figure shows the final location of the 6 accumulators as well as the 14 “places” where a pulling interface needs to be installed.

Those pulling interfaces will consist of a swivelling lifting eye attaching to a 0.5 T capacity chain block. The other end of the chain block will be attached to the pulling interfaces located on the accumulator frame (possibly with the addition of lifting slings in places where the chain block’s chain is not long enough).

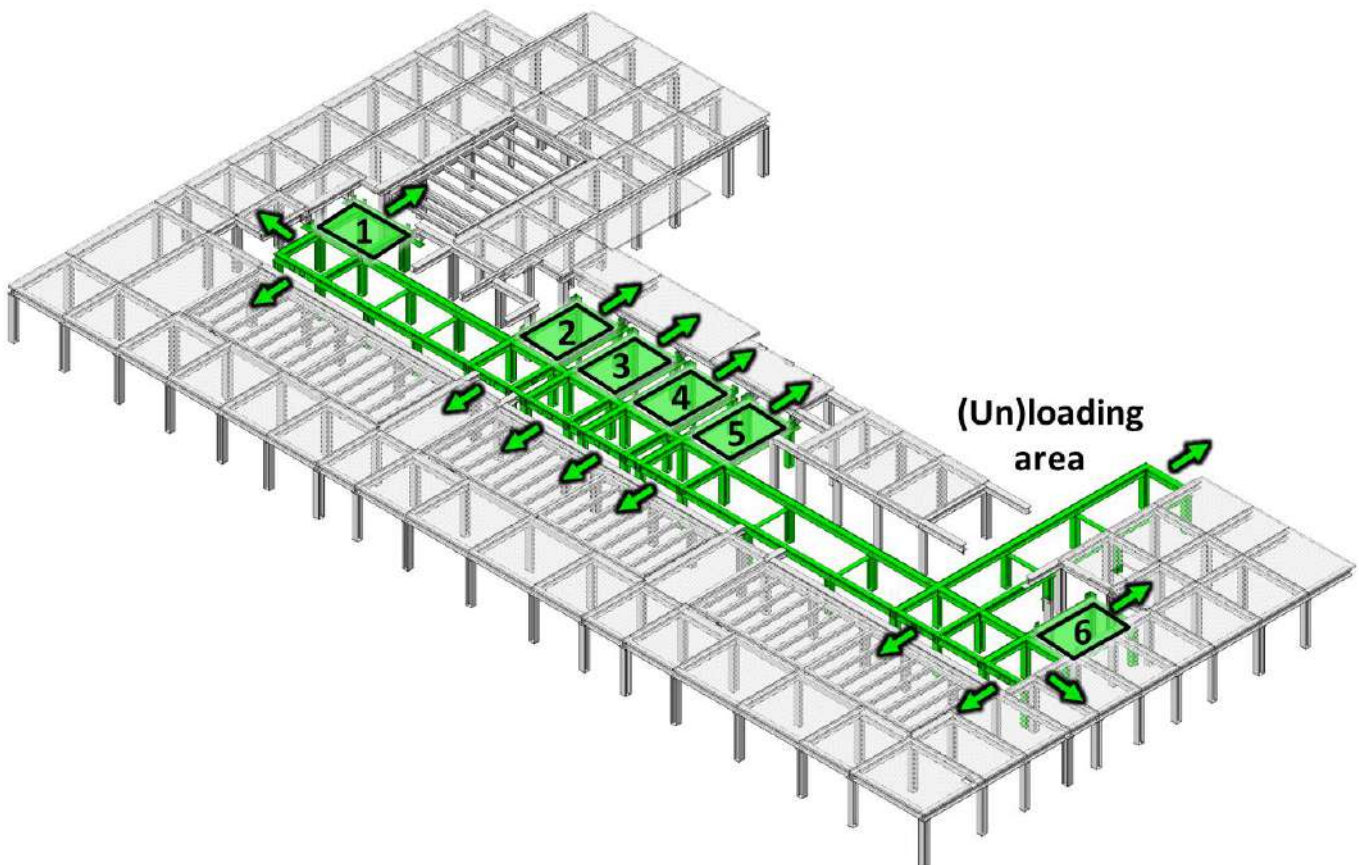


Figure 1: The layout of the installation of the first accumulator using the mobile crane (left) and the temporary cover of the 2PACL spare plant (right).

The aforementioned pulling interfaces will be fixed into place using the surrounding false floor structure (see Figure 2). Therefore, the accumulator rail will be subjected to external nominal pulling forces of around 200 kg (300 kg in ULS when a load amplification factor of 1.5 is applied since this is a mobile load). The following chapters verify the design resistance of the structure against those external forces.

2. Design resistance of bolts

The sufficiency of the bolts will be verified assuming the worst-case scenario, which corresponds to the whole pulling force travelling through one set of feet to the concrete ground. This will not be the case in reality as there are multiple feet and depending on the location of the accumulator (at least 3 sets of feet), the pulling force will be transmitted to the various surrounding feet in different proportions. Therefore, the assumption of having only one set of feet taking the pulling force is conservative.

As mentioned, the ULS pulling force is around 3000N (or 300kg). This force is parallel to the ground and at the height of the chain block, as shown in Figure 2. We assume this force to be equally distributed in each foot of the feet set since the pulling interface is located in the middle of the accumulator's frame. This force travels through the foot creating a torque in the connection between the height-adjusting screw and the anchor bolt (it is essentially a lever arm mechanism). Using the symbols of Figure 2 we can obtain the following value for the tensile and the compressive force experienced by the anchor bolt and the height-adjusting screw accordingly:

ULS pulling force on each foot: $F_1 = 1500 \text{ N}$

Chain block height: $d_1 = 820 \text{ mm}$

Distance between height-adjusting screw and anchor bolt: $d_2 = 50 \text{ mm}$

Resulting tensile/compressive force: $F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \rightarrow F_2 = 24.6 \text{ kN}$

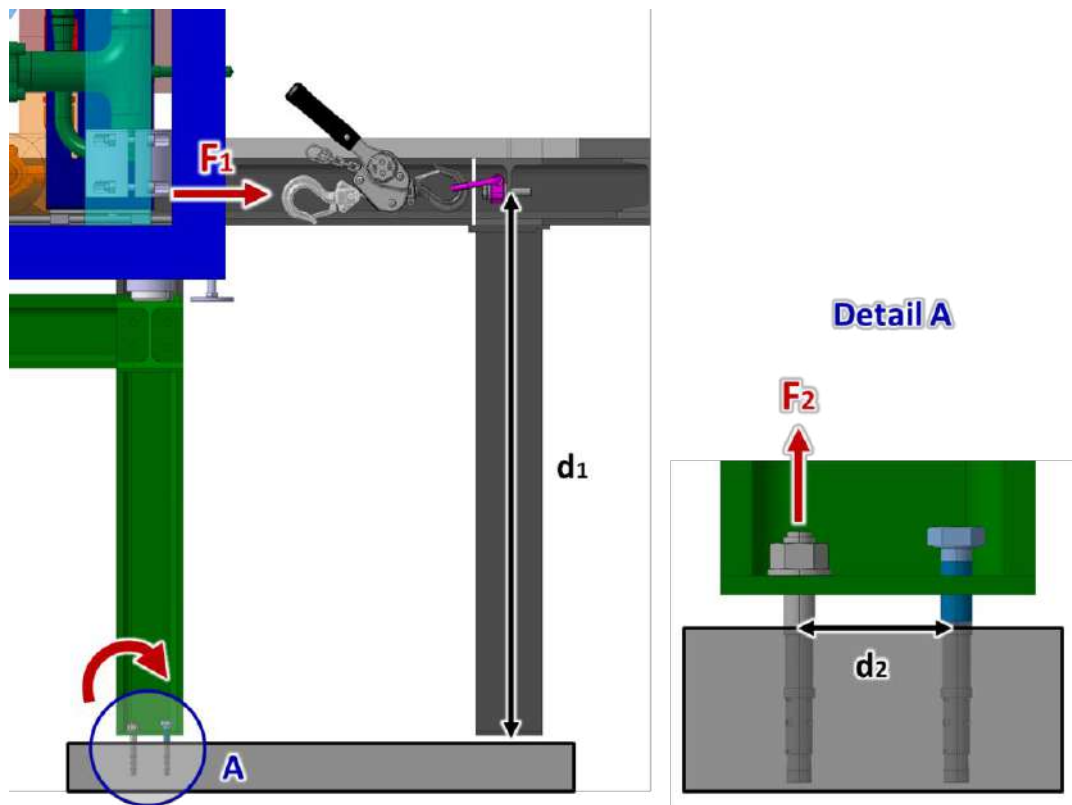


Figure 2: The pulling force travels through the feet set and causes a compressive force in the height-adjusting screw and a tensile force in the anchor bolt.

2.1 Design tensile resistance

Using the calculated force value we can verify the design tensile resistance of the height-adjusting bolt:

Design tensile force: $F_{t,Ed} = F_2 = 24.6 \text{ kN}$

Correction factor according to Table 3.4 of Eurocode 3 [EN 1993-1-8:2005]: $k_2 = 0.9$

Ultimate tensile strength for 8.8 class bolt: $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

Tensile stress section of an M12 bolt: $A_s = 84.3 \text{ mm}^2$

Partial safety factor: $\gamma_{M2} = 1.25$

Tension resistance: $F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 48.4 \text{ kN}$

Across flats dimension of the bolt head of an M12 bolt: $d_m = 17.7 \text{ mm}$

Thickness of the plate under the bolt or the nut: $t_p = 6 \text{ mm}$

Punching shear resistance: $B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 128 \text{ kN}$

Eurocode 3 states that the following two checks have to be made in order to verify the design tensile resistance of a bolt:

Check 1: $F_{t,Ed} = 24.6 \text{ kN} \leq 48.4 \text{ kN} = F_{t,Rd}$

Check 2: $F_{t,Ed} = 24.6 \text{ kN} \leq 128 \text{ kN} = B_{p,Rd}$

2.2 Screw thread resistance

The following screw thread resistance check is conservative because it assumes that only the first 3 threads take the load:

Yield strength of the weakest part joined (S235JRG2): $f_{yS235} = 235 \text{ MPa}$

Pitch of M12 bolt: $p = 1.75 \text{ mm}$

Screw thread resistance: $F_C = \frac{2}{3} \cdot f_{yS235} \cdot d \cdot (3 \cdot p) = 31.0 \text{ kN}$

Check: $F_{t,Ed} = 24.6 \text{ kN} \leq 31.0 \text{ kN} = F_C$

3. Design resistance of concrete

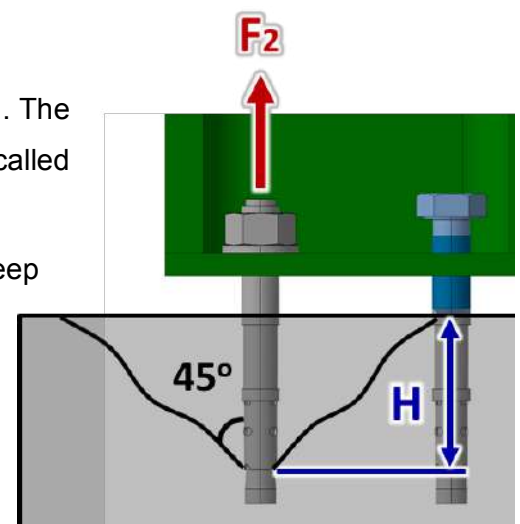
Concrete typically cracks at a 45° angle in a cone shaped section. The force required to pull up this cone shaped section of concrete is called “pull-out force” and can be calculated as follows:

Surface area of the 45° angle cone for a (conservative) $H = 5 \text{ cm}$ deep anchor bolt: $A = 1.4142 \cdot \pi \cdot H^2 = 11100 \text{ mm}^2$

Shear strength of concrete (conservative): $\tau_c = 6 \text{ MPa}$

Pull-out force: $F_{pull-out} = \tau_c \cdot A = 66.7 \text{ kN}$

Check: $F_{t,Ed} = 24.6 \text{ kN} \leq 66.7 \text{ kN} = F_{pull-out}$



4. Design resistance of false floor level beams

4.1 FEM Simulation

As shown in Figure 2, the chain block attaches on a rotating lifting eye which is held in the centre of the false floor level beams using a standard M12 nut. Therefore, the beam is subjected to a sideways force of 3000N acting on the area of contact of the M12 nut (Figure 3).

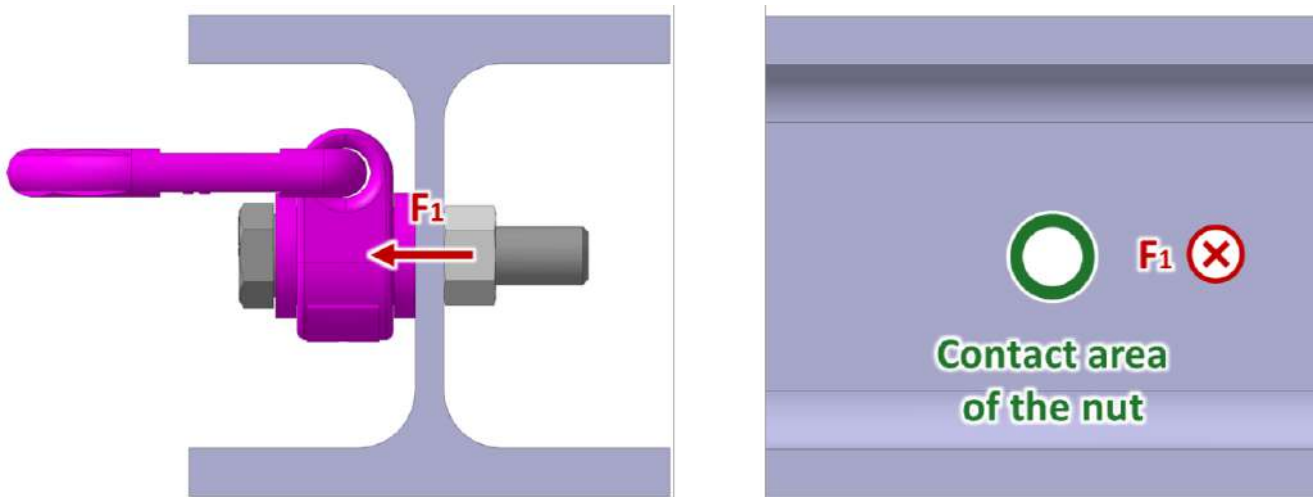


Figure 3: Sideways pulling force acting on the contact area of an M12 nut located in the centre of a false floor level beam.

The above can be modeled in ANSYS using the 3D model of a long HEB100 beam (e.g. 1.5 meters) with an M12 clearance hole in its center. Using ANSYS Spaceclaim, we can create a surface on the outside of this hole with an outer diameter of $D = 19 \text{ mm}$ (M12 nut size contact area).

We import the model in ANSYS Mechanical and create a mesh that is coarse on most of the beam and fine near the M12 clearance hole. We use fixed supports on either side of the beam and apply a sideways force of 3000N on the contact area of the M12 nut. This results in equivalent (von-Mises) stresses which are way below the yield strength, as shown in Figure 4.

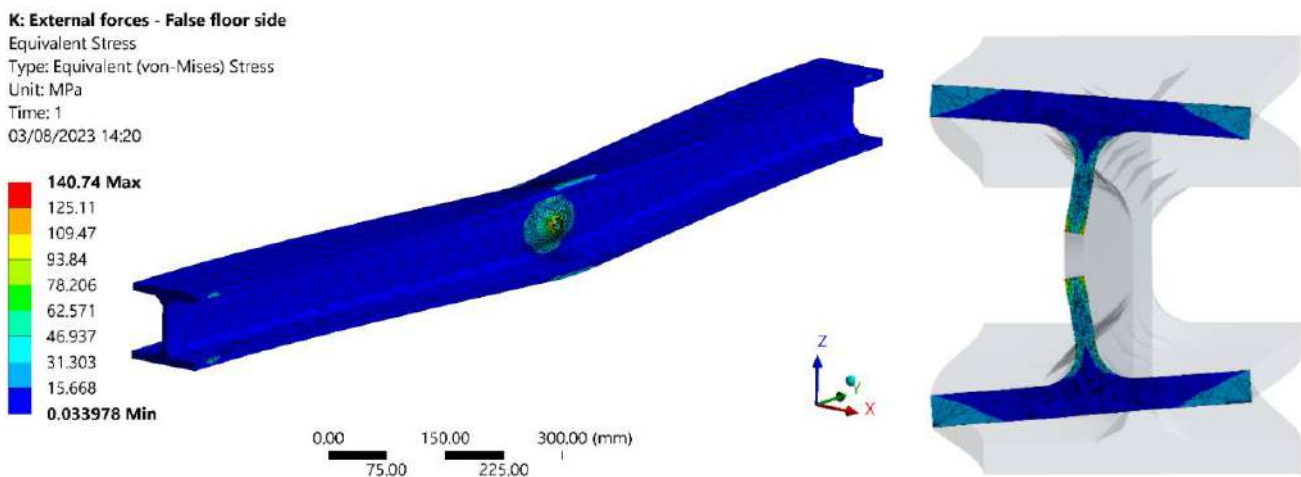


Figure 4: Equivalent (von-Mises) stresses on the false floor level beam at the location of the pulling interface.

Similarly, the maximum total deformation is within the allowable limits (less than 1/500 of the length of the beam), as shown in Figure 5.

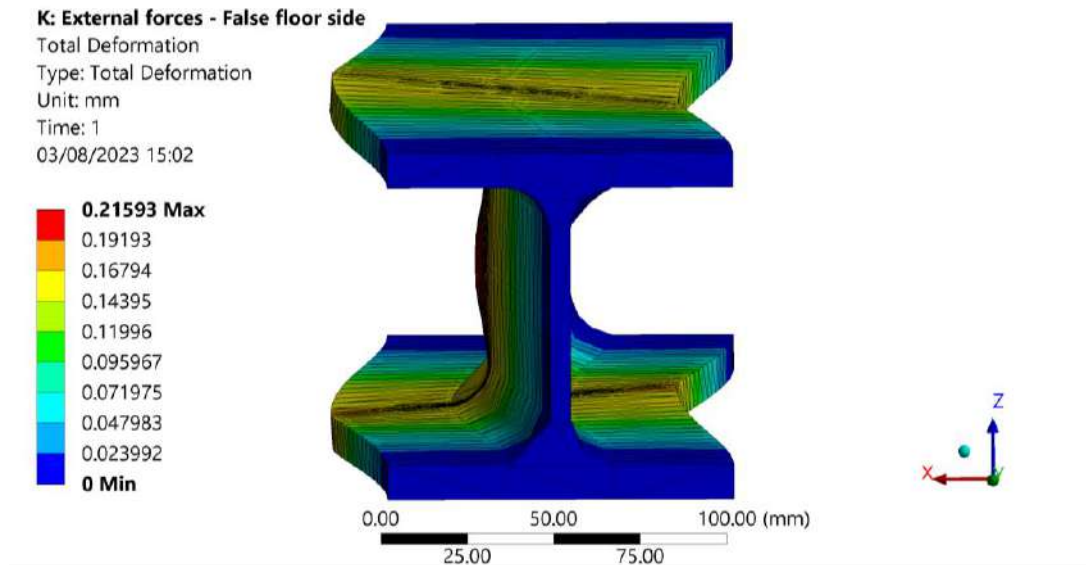


Figure 5: Total deformation on of the false floor level beam at the location of the pulling interface.

4.2 Analytical calculation

To verify those results analytically, we can use the case of a simply supported rectangular flat plate with a concentrated load at its centre, as shown on the right (this is a conservative assumption since having a simply supported plate results in the highest stresses in its centre). In our case, we consider this plate to be the web of the HEB100 beam:

$b = 80 \text{ mm}$ (HEB100 – thickness of beams flanges)

$a > 4 b$

$2e = 19 \text{ mm}$ (M12 nut)

$t = 6 \text{ mm}$

$P = 3000 \text{ N}$ (or 300 kg)

$\nu = 0.3$ (Poisson's ratio)

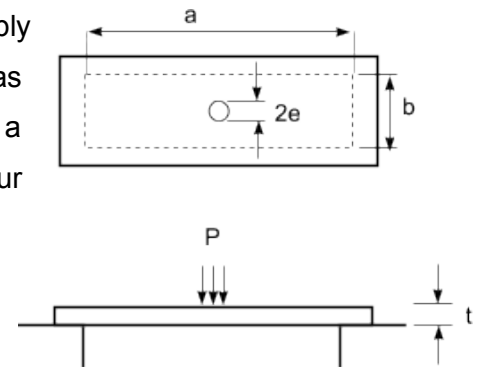
$E = 210 \text{ GPa}$ (Young's modulus)

$k_1 = 0.185$ and $k_2 = 1.0$ (Factors depending on $a \div b$ ratio)

$$y_{max} = k_1 \frac{P \cdot b^2}{E \cdot t^3} = 0.08 \text{ mm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot t^2} \left[(1 + \nu) \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot b}{\pi \cdot e} \right) + k_2 \right] = 127 \text{ MPa}$$

Once again, the maximum stress is way below the yield strength and the maximum total deformation is within the allowable limits.



5. Structure deformation

The following results are part of a more detailed FEM analysis performed on the accumulator sliding rail structure. More information on how the FEM model was set up (beam element meshing, boundary conditions, loading, detailed results, verification etc) can be found in the original document².

The structure's deformation is within the allowable limits (less than 1/500 of the distance between two neighbouring beams). However, most of this deformation is caused by the accumulator's weight itself and not the pulling forces as shown in Figure 6.

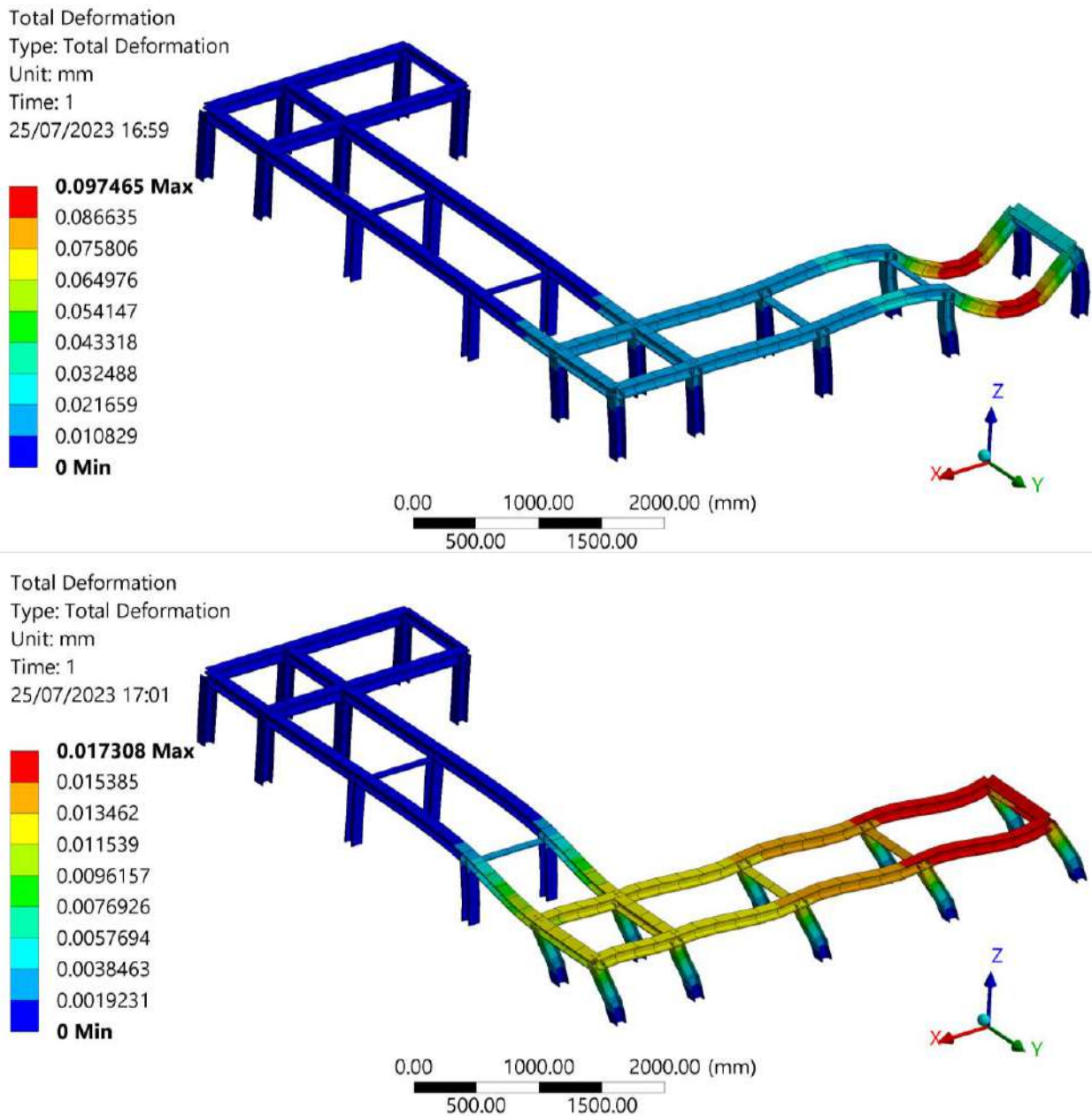


Figure 6: Total deformation of the structure. Top: Deformation caused by the effect of both the weight of the accumulator and the external pulling forces. Bottom: Deformation caused only by the effect of the external pulling forces (over 5 times less).

² Σημείωση παραρτήματος: Αναφέρεται στην μεταλλική κατασκευή του προηγούμενου παραρτήματος

6. Conclusion

- According to chapter 2, the design resistance of the height adjusting screws and the anchor bolts used is sufficient.
- According to chapter 3, the tensile force experienced by the anchor bolts and transmitted to the concrete is well below its pull-out force.
- According to chapters 4 and 5, the maximum global deflection is not problematic neither mechanically nor for the intended operation of the structure.

Therefore, the accumulator sliding structure can safely withstand the external forces of up to 200 kg caused by the friction reaction of the accumulator pulling thanks to the chain block mechanism.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ



Calculation note of the 2PACL spare plant cover to be installed in USA15 CV room.

<i>EDMS Document No:</i>	<i>Institute Document No.</i>	<i>Created: 13.07.2023</i>	<i>Page: 1 of 12</i>
---	---	<i>Modified:</i>	<i>Rev. No.: 0</i>

Calculation note of the 2PACL spare plant cover to be installed in USA15 CV room.

Abstract:

In the frame work of the integration of the CO₂ system for the ATLAS ITk upgrade, the USA 15-CV room will be equipped with new cooling material. Amongst them, 6 CO₂ accumulators (with a weight of about 1.5T and a height of about 3m) will need to be installed. The first one of those is going to be installed during the “Early Installation Phase” during the 2024-2025 YETS using the lifting machine described in chapter 1 (also referred to as “Mobilev”).

This mobilev will need to travel over the false floor of the USA15 CV room and over the spare 3H 2PACL cooling plant’s chassis. For this reason, ATLAS TC has designed a temporary cover that will sit on top of the chassis to support the weight of the mobilev as well as the weight of the accumulator parts being transported. This specification includes a calculation note of the aforementioned cover.

<i>Prepared by:</i> E. Antonopoulos EP-ADO-PO	<i>Checked by:</i> ---	<i>Approved by:</i> ---
---	---------------------------	----------------------------

Distribution List

Table of Contents

Table of Contents	2
Table of Figures	3
1. Introduction	4
2. Design of the 2PACL cover	5
3. Design resistance of beams	5
4. Design resistance of the fillet welds	6
5. Software used for the calculation note	7
6. Geometry of the studied model	7
7. Finite element model	8
7.1 Material.....	8
7.2 Connections	8
7.3 Meshing.....	8
7.4 Loading.....	9
7.5 Boundary conditions	9
8. Analysis / Solution	10
9. Results	10
10. Conclusion	12

Table of Figures

Figure 1: The layout of the installation of the first accumulator using the mobilev crane (left) and the temporary cover of the 2PACL spare plant (right).....4

Figure 2: The 3D model of the 3H Plant temporary cover.5

Figure 3: Beam structure as modelled in CATIA V5. Orange polygon shows the part of the structure included in the analysis.7

Figure 4: Meshing of the geometry used in the FEM simulation.....8

Figure 5: Loading of the grating cover in the worst-case scenario, where the load of the front wheel is exerted in the centre of it.9

Figure 6: The boundary conditions applied to the model.....9

Figure 7: Equivalent (von-Mises) stress results of the FEM analysis. 10

Figure 8: Equivalent (von-Mises) stress results in the centre of the grating in the XZ plane..... 10

Figure 9: Equivalent (von-Mises) stress results in the centre of the grating in the YZ plane..... 11

Figure 10: Total deformation results over the whole structure..... 11

1. Introduction

During the 2023-2024 YETS, the USA15 CV room will be equipped with the false floor structure (grey), the 2PACL support frame (yellow) and the mobile crane (orange) shown in Figure 1.

During the 2024-2025 YETS, the first accumulator will be installed using the mobilev, shown in the same Figure, in three parts (the accumulator is modular and consists of three pieces shown with dark blue, light blue and purple colour). The heaviest of those is the middle piece and has a mass of around 750 kg (nominal load).

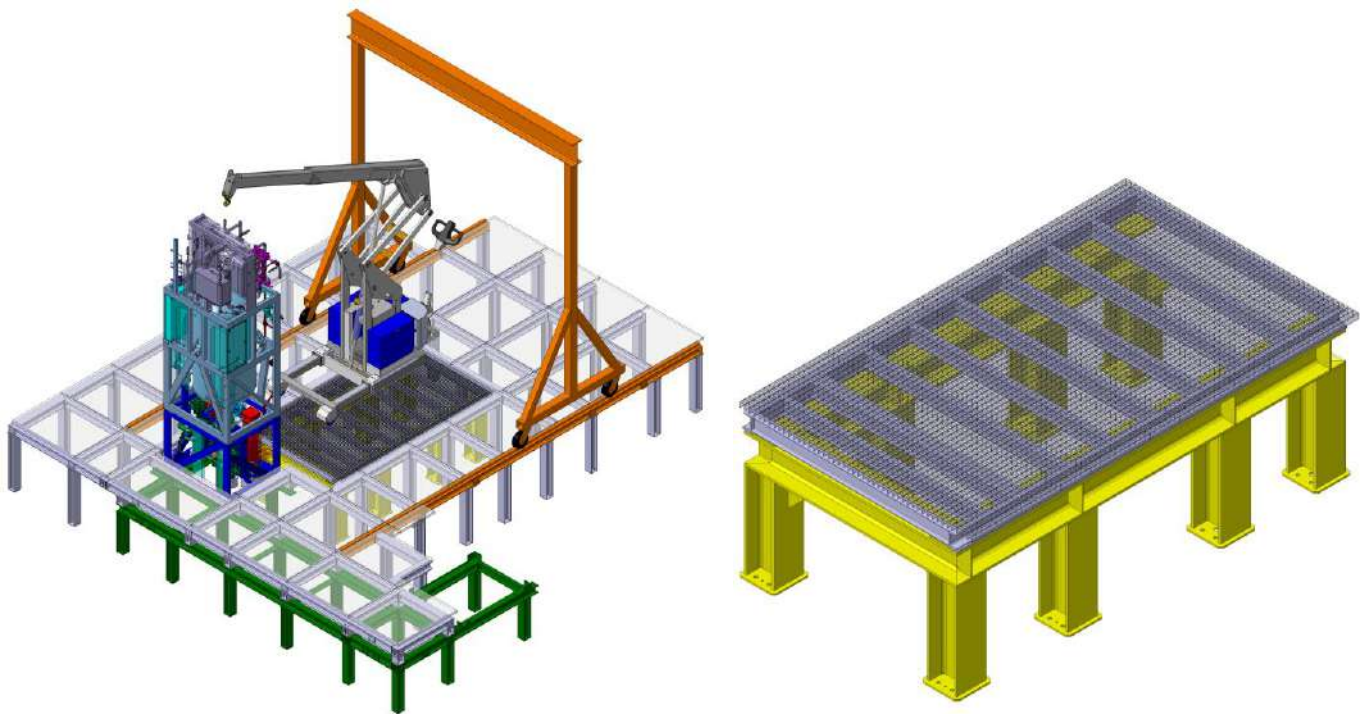


Figure 1: The layout of the installation of the first accumulator using the mobilev crane (left) and the temporary cover of the 2PACL spare plant (right).

The purpose of this document is to verify the structural integrity of the 2PACL cover against the loads it will be subjected to. Tests performed by ATLAS TC (with a load amplification factor of 1.5 since this is a mobile load) showed that the highest load occurs on the front wheels of the mobilev and it is about 1100 kg per wheel (ULS force).

2. Design of the 2PACL cover

The spare plant's cover consists of two main pieces which follow a similar design approach. Specifically, those pieces consist of two S235JRG2 UPN80 beams (shown with green colour in Figure 2) which are connected to each other using a number of S235JRG2 IPN80 beams (shown with blue colour in Figure 2). The detailed design of this structure can be found using the following CDD numbers

- **ATFIUSAC0027:** 3H Plant Temporary Cover
 - o **ATFIUSAC0025:** 2H Plant Temporary Cover (shown with light green and light blue colours in Figure 2)
 - o **ATFIUSAC0026:** Extra piece for 3H Plant Temporary Cover (shown with dark green and dark blue colours in Figure 2)

The temporary cover is placed on top of the 2PACL's chassis and is covered using 500 kg/m² capacity grating covers that are already used in the USA15 CV room. For extra support and load distribution, the whole structure is covered with a 5mm thick steel plate.

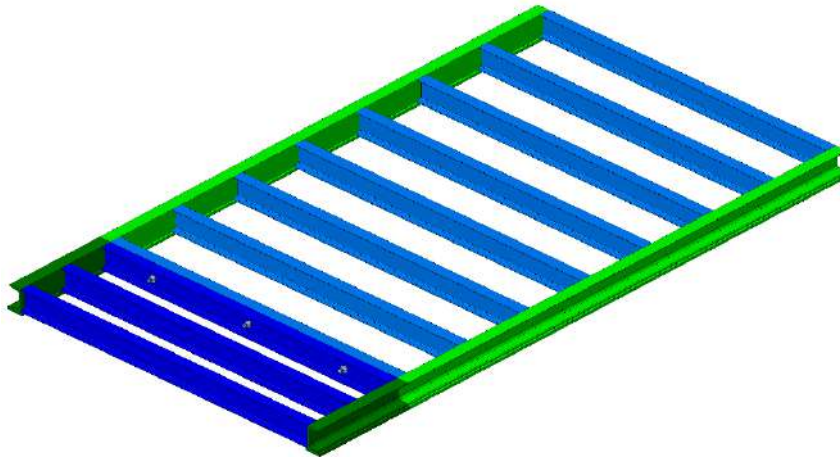


Figure 2: The 3D model of the 3H Plant temporary cover.

3. Design resistance of beams

As mentioned above, the cross beams of the cover are made of IPN80 section profiles with S235JRG2 material. Their structural integrity can be easily verified analytically by taking into account the worst-case scenario, which corresponds to having a beam **simply supported on both ends** with a single load at the centre (the 1100 kg mentioned earlier):

Load: $F_{ULS} = 1100 \cdot 9.8 = 10780 \text{ N}$

Length: $L = 1.2 \text{ m}$

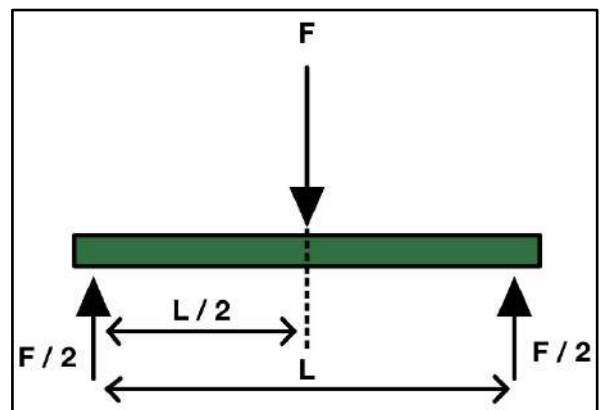
Moment of Inertia: $I = 77.8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$

Section modulus: $Z = 19.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Modulus of elasticity: $E = 210 \cdot 10^9 \text{ MPa}$

Maximum stress: $\sigma_{max} = \frac{FL}{4Z} = 165 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}$

Maximum deflection: $\delta_{max} = \frac{FL^3}{48EI} \approx 2.38 \text{ mm} < \frac{L}{500}$



4. Design resistance of the fillet welds

The ends of the IPN80 cross-beams are welded to the UPN80 beams using all-around fillet welds (see documents mentioned in Chapter 2). The structural integrity of those welds can be easily verified analytically by taking into account the worst case scenarios, which correspond to having:

a) The load acting in the middle of a beam fixed at both ends

Beam moment at ends: $M = \frac{FL}{8} = 1617 \text{ Nm}$

Shear at ends: $V = \frac{F}{2} = 5390 \text{ N}$

Maximum bending stress: $\sigma_{\max|a} = \frac{FL}{8Z} = 83.92 \text{ MPa}$

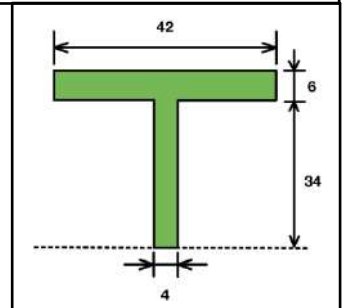
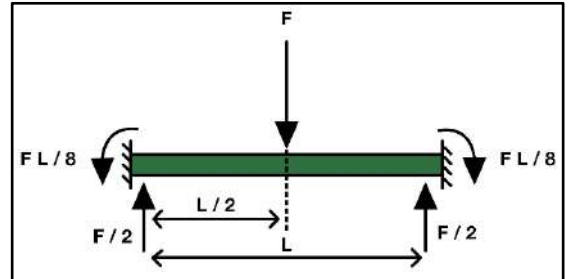
Maximum shear stress: Occurs midway across the web of the IPN80 profile. To determine its value, we need to

calculate the first moment of inertia in the aforementioned location as follows:

$$Q = \int_0^{40} y dA = (42 \cdot 6 \cdot 37 + 34 \cdot 4 \cdot 17) \cdot 10^{-9} = 11636 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

Using the web thickness $t_w = 4 \text{ mm}$ we can now calculate the maximum shear

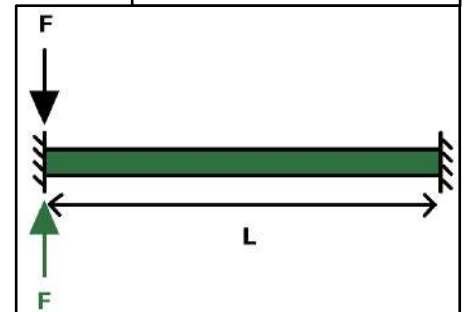
stress as follows: $\tau_{\max|a} = \frac{VQ}{It_w} = 20.15 \text{ MPa}$



b) The load acting on one end of the beam (at the weld location)

In this case there is no beam moment at the end of the beam. Instead, there is only a shear force equal to: $V = F = 10780 \text{ N}$

Maximum shear stress: $\tau_{\max|b} = \frac{VQ}{It_w} = 40.31 \text{ MPa}$



Using the above results, we can verify the welds according to *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints*. The calculations follow the symbols used in chapter “4.5.3 Design Resistance of fillet welds” of the above code. Letters “a” and “b” refer to the two different scenarios.

Normal stress due to bending moment:

$$\sigma_{\perp|a} = 83.92 \text{ MPa} \quad \& \quad \sigma_{\perp|b} = 0$$

Shear stress perpendicular to the axis of the weld:

$$\tau_{\perp|a} = 20.15 \text{ MPa} \quad \& \quad \tau_{\perp|b} = 40.31 \text{ MPa}$$

Shear stress parallel to the axis of the weld:

$$\tau_{\parallel|a} = 0 \quad \& \quad \tau_{\parallel|b} = 0$$

The nominal UTS of the weaker part joined is $f_u = 340 \text{ MPa}$

The appropriate correlation factor according to Table 4.1 of Eurocode 3 is $\beta_w = 0.8$

The partial safety factor for weld joints is $\gamma_{M2} = 1.25$

Eurocode 3 states that the following two checks have to be made in order to verify the design resistance of a fillet weld:

$$\text{Scenario A – Check 1: } \sqrt{\sigma_{\perp|a}^2 + 3(\tau_{\perp|a}^2 + \tau_{\parallel|a}^2)} = 90.89 \text{ MPa} \leq 340 \text{ MPa} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\text{Scenario A – Check 2: } \sigma_{\perp|a} = 83.92 \text{ MPa} \leq 306 \text{ MPa} = \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{Scenario B – Check 1: } \sqrt{\sigma_{\perp|b}^2 + 3(\tau_{\perp|b}^2 + \tau_{\parallel|b}^2)} = 69.82 \text{ MPa} \leq 340 \text{ MPa} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\text{Scenario B – Check 2: } \sigma_{\perp|b} = 69.82 \text{ MPa} \leq 306 \text{ MPa} = \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

Since the use of the aforementioned beams and their corresponding welds are sufficient, the next step is to verify that their number (i.e. their pitch) as well as the 500 kg/m² capacity grating are also sufficient. For that, a FEM simulation was performed and its results are presented in the following chapters.

5. Software used for the calculation note

The following calculation was performed using the **Ansys Workbench 2020 R2** (20.2) platform and specifically:

- **Ansys SpaceClaim** to prepare the geometry of the 500 kg/m² capacity grating which was originally designed in CATIA V5 and imported into SpaceClaim as a step file.
- **Ansys Mechanical** to perform the static-structural analysis of the aforementioned geometry.

6. Geometry of the studied model

As mentioned earlier, the temporary cover consists of two UPN80 beams which are connected using a number of IPN80 cross-beams. In the case of the 3H 2PACL, the (inner) pitch between those cross-beams is 232 mm. Since the structural integrity of the cross-beams has already been verified (Chapter 3), this calculation focuses only on the geometry of the 500 kg/m² capacity grating and the 5 mm thick steel plate that will be placed on top to distribute the load of the front wheel of the Mobilev (Figure 3).

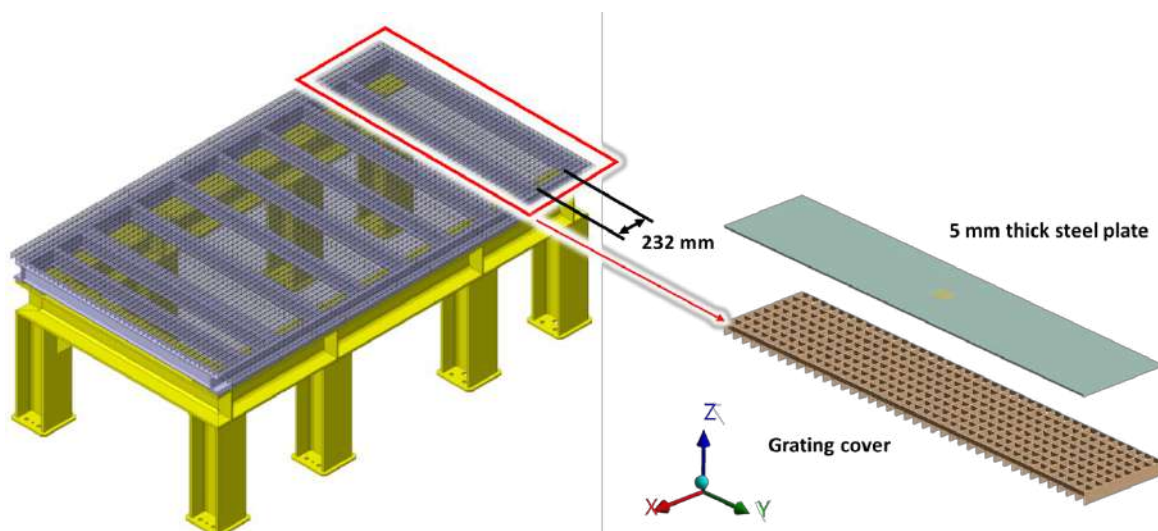


Figure 3: Beam structure as modelled in CATIA V5. Orange polygon shows the part of the structure included in the analysis.

7. Finite element model

7.1 Material

Structural steel is used for both components (grating cover and 5 mm thick steel plate). The default structural steel found in the Ansys Library closely resembles S235JRG2 and it can be safely used for this simulation.

7.2 Connections

The connection between the grating cover and the 5 mm thick steel plate is modelled as a “**Frictional Contact Pair**” with a coefficient of friction of 0.5.

7.3 Meshing

The grating cover’s mesh is generated using the “Body Fitted Cartesian” method with an element size of 12 mm. It is a method that can be used when the geometry features of the model align well with the coordinate system (see Figure 3) and results in a regular/clean mesh with a reduced number of geometry inaccuracies. All for the above allow for fast solving times. More information regarding this method can be found following [this link](#). The 5mm steel plate’s mesh consists of hexahedron elements with 20 x 20 x 5 mm dimensions. The next figures show various views of the aforementioned meshes.

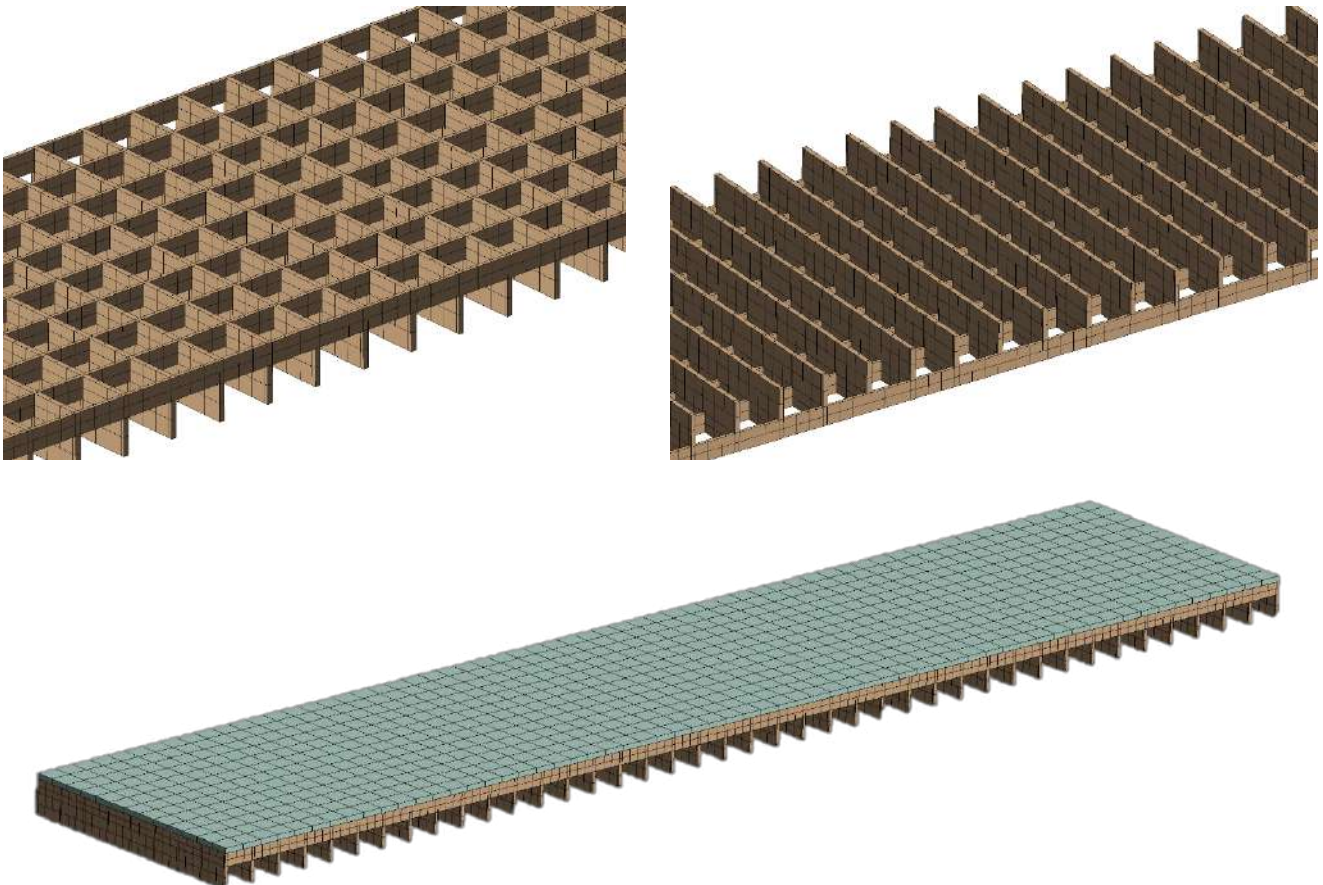


Figure 4: Meshing of the geometry used in the FEM simulation.

7.4 Loading

As mentioned in Chapter 1, tests performed by ATLAS TC (with a load amplification factor of 1.5) showed that the highest load occurs on the front wheels of the mobilev and has a value of around 1100 kg per wheel (ULS force). In the worst case scenario, this force is exerted in the centre of the grating cover (centre in X and Y direction). The front wheel of the mobilev has a width of around 140 mm. Therefore, it has been decided to model the force as an evenly-distributed pressure over an area of 140 x 20 mm in the centre of the 5mm thick steel plate that is covering the grating (see Figure 5).

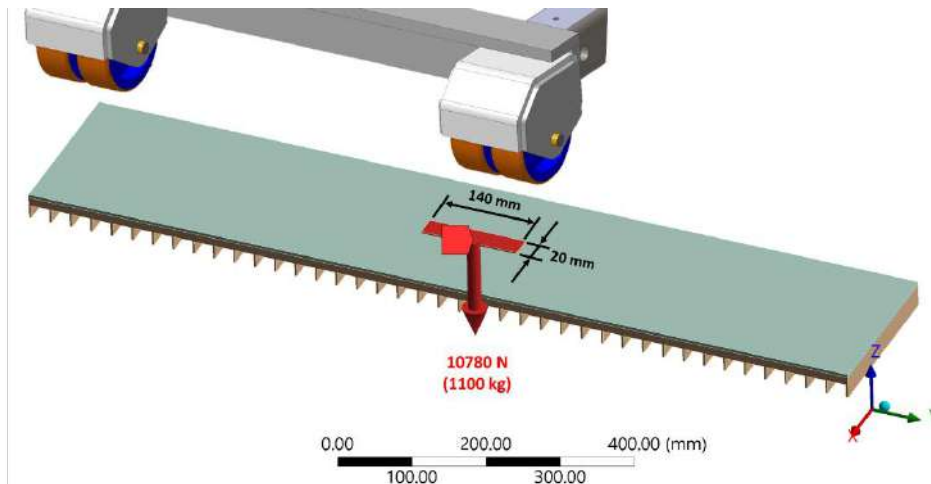


Figure 5: Loading of the grating cover in the worst-case scenario, where the load of the front wheel is exerted in the centre of it.

7.5 Boundary conditions

Boundary conditions should now be applied in order to constrain the system. In order to create an isostatic problem, we can apply a remote displacement of $Y=0$ on two edges of the geometry, a remote displacement of $X=0$ on two edges of the geometry and lastly a remote displacement of $Z=0$ on the sides of the geometry as shown in Figure 6.

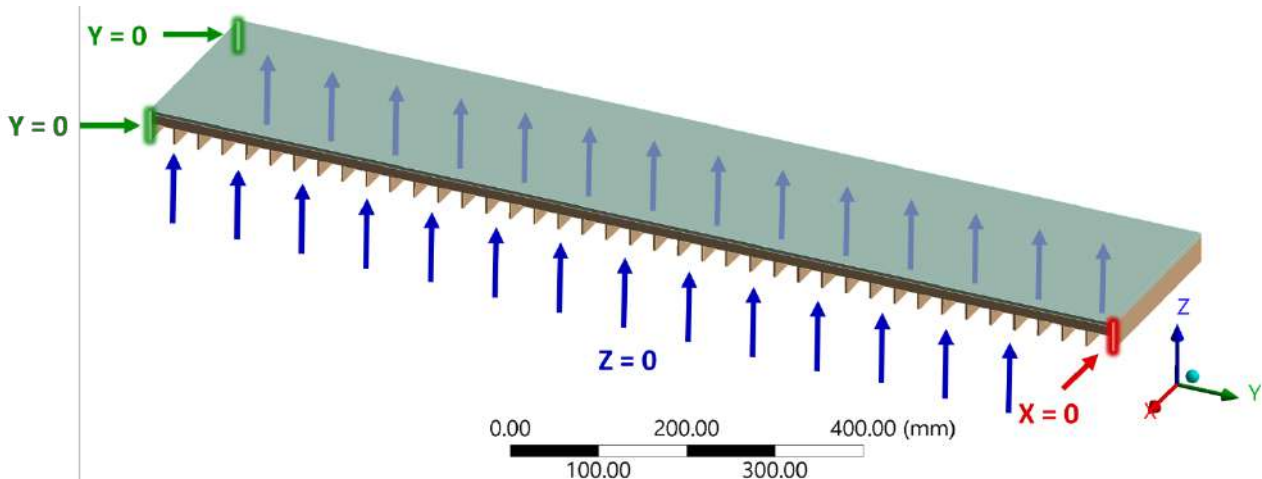


Figure 6: The boundary conditions applied to the model.

8. Analysis / Solution

We can now run a static-structural analysis using the above model. The simulation consists of around 19000 elements and 80000 nodes. The solver output shows that the “Sparse Matrix Direct” symmetric solver was used. The solution converges in around 2 minutes and 15 seconds (almost instant in case we use a bonded contact instead of a frictional contact).

9. Results

The maximum stress is around 231 MPa (Equivalent von-Mises Stress), which is below the allowable yield stress of 235 MPa. As shown in Figure 7, the maximum stress is located at one of the contact points between the grating cover and the 5 mm thick steel plate.

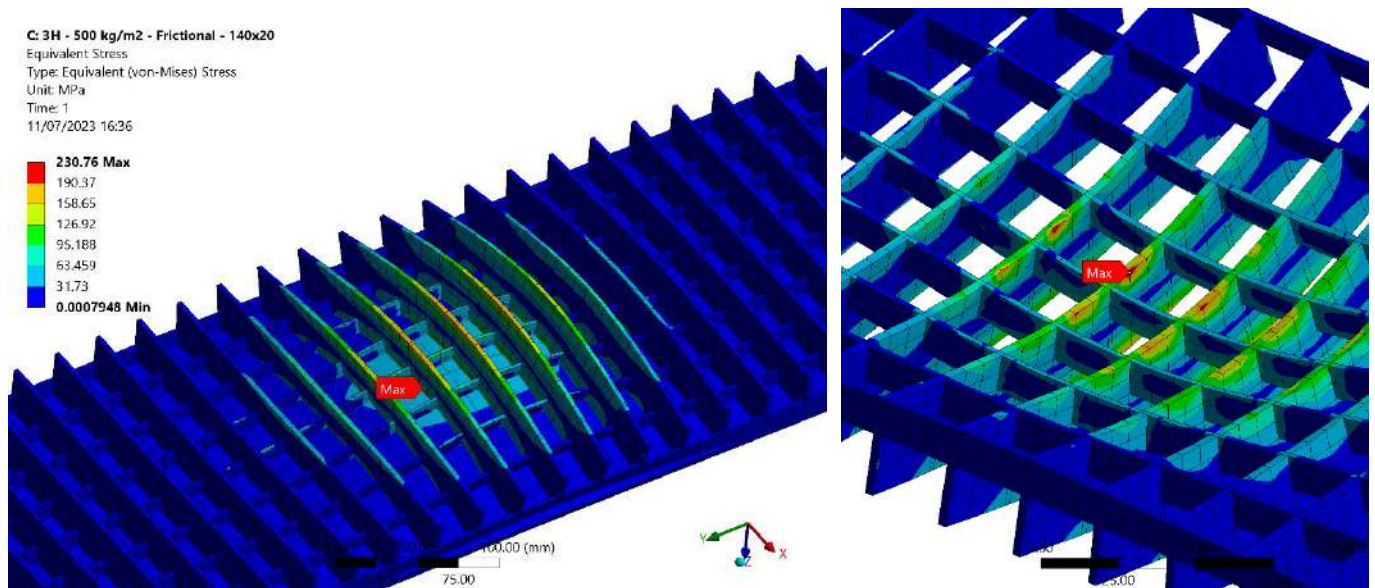


Figure 7: Equivalent (von-Mises) stress results of the FEM analysis.

The supplementary Figures 8 and 9 help us better understand the stress distribution over the structure, focusing on the cross sections in the centre of the grating in planes XZ and YZ. It is important to note the high concentration of stresses in the areas of contact between the two components of the structure.

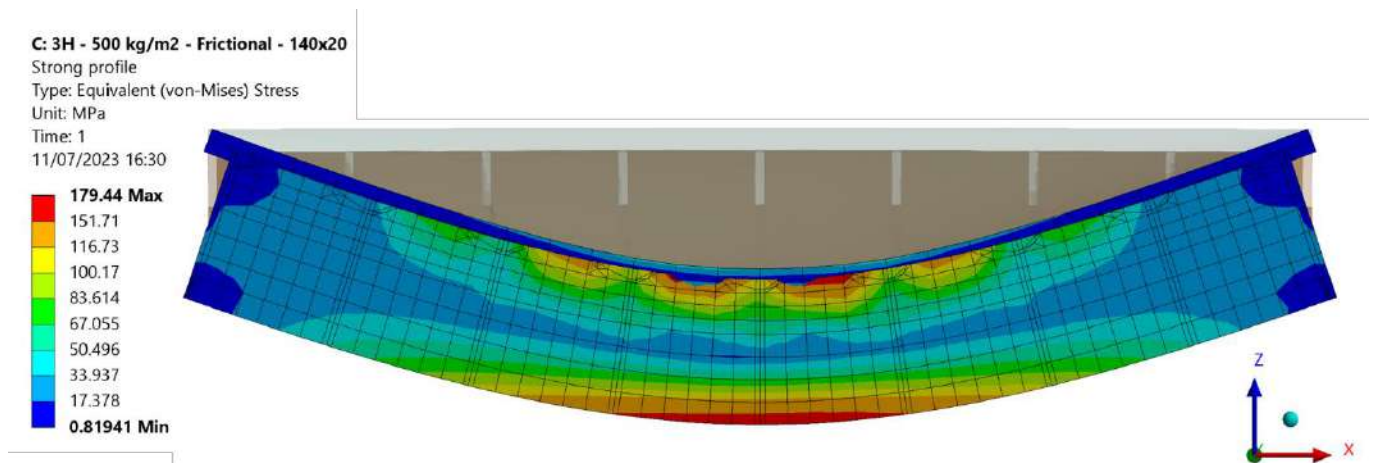


Figure 8: Equivalent (von-Mises) stress results in the centre of the grating in the XZ plane.

C: 3H - 500 kg/m² - Frictional - 140x20
 Weak profile
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 11/07/2023 16:27

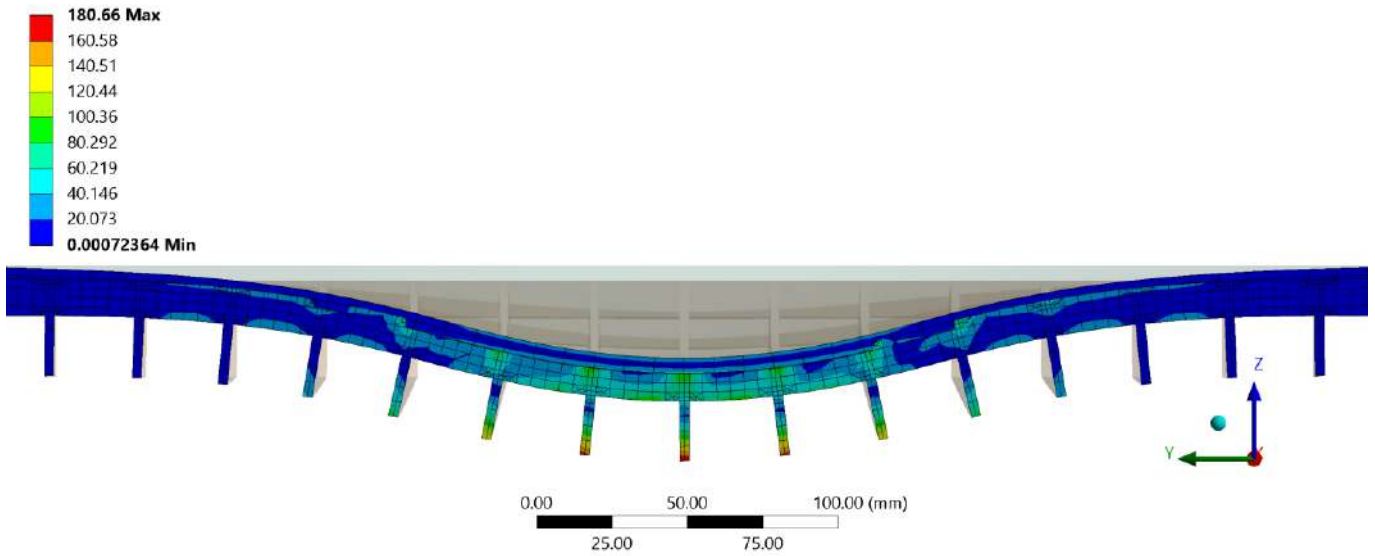


Figure 9: Equivalent (von-Mises) stress results in the centre of the grating in the YZ plane.

Lastly, the maximum total deformation of the structure is around 0.34 mm and it is located on the bottom side of the grating cover in its centre (Figure 10). To put that number into perspective, the shortest side of the grating is 232 mm, which is over 500 times the total deformation of the structure.

C: 3H - 500 kg/m² - Frictional - 140x20
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 11/07/2023 16:41

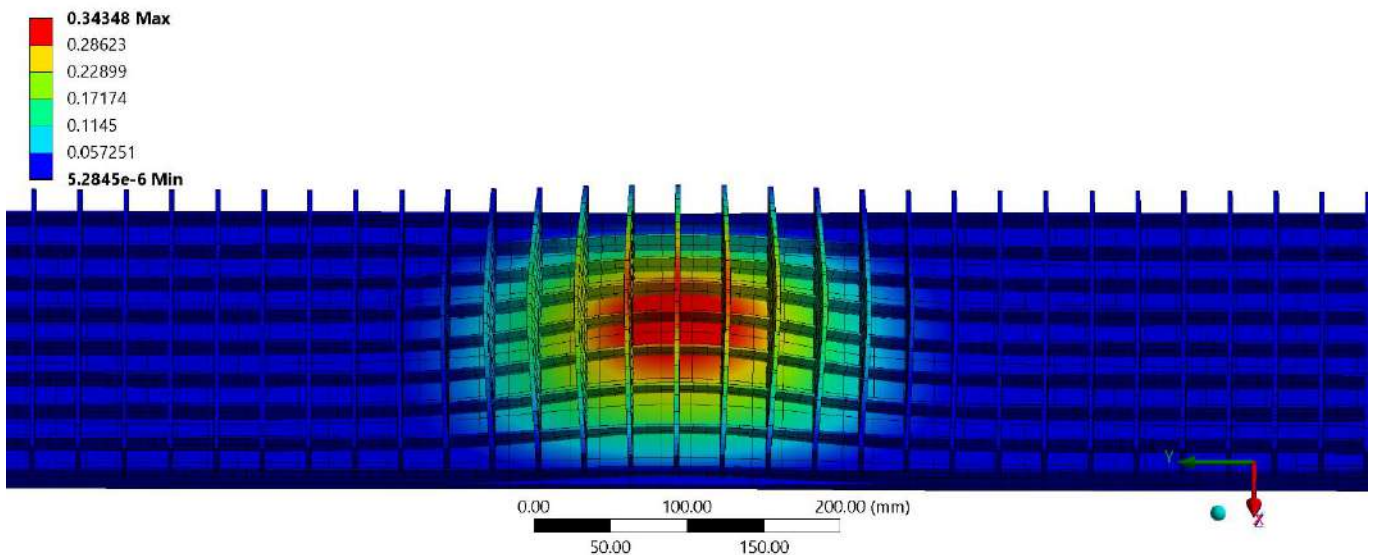


Figure 10: Total deformation results over the whole structure.

<i>ATLAS Project Document No:</i>	<i>Page: Page 12 of 12</i>
---	<i>Rev. No.: 0</i>

10. Conclusion

- According to chapter 3, the design resistance of the beams of the structure is sufficient.
- According to chapter 4, the design resistance of the welded connections is sufficient.
- According to chapter 9, both the maximum global stress and the maximum global deflection are not problematic neither mechanically nor for the intended operation of the structure.

Therefore, the temporary 3H – 2PACL cover is safe to use for its required functional action of supporting the loaded mobilev during the installation of the first accumulator during the 2024/2025 YETS.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ



Technical Specification for the supply of a False Floor Structure and an Accumulator Sliding Rail in the ATLAS USA15 CV Room

<i>EDMS Document No:</i>	<i>Institute Document No.</i>	<i>Created: 15.05.2023</i>	<i>Page: 1 of 19</i>
---	---	<i>Modified: 27.07.2023</i>	<i>Rev. No.: 1</i>

Technical Specification for the supply of a False Floor Structure and an Accumulator Sliding Rail in the ATLAS USA15 CV Room

Abstract:

In the frame work of the integration of the CO₂ cooling system during LS3, the USA 15-CV room will be equipped with new cooling equipment. A great deal of this equipment will be installed underneath a false floor located at a height of Z=+900 mm from the concrete floor of the room. The current false floor and its support structure installed in the CV room have been designed according to the existing cooling equipment and, therefore, it needs to be replaced in order to fit the needs of the geometry of the new CO₂ cooling system.

Amongst this new equipment, x6 CO₂ accumulators will be placed in the CV room. However, due to height constraints and the impossibility to reach their final position with a crane, a structure on which they will slide will also need to be procured and installed. This structure will be part of the new false floor structure mentioned above.

This technical specification concerns the supply of the part of the aforementioned false floor structure and accumulator sliding rail that shall be installed during the 2023/2024 YETS. The remaining part will be procured in 2025 and installed early 2026 (LS3).

<i>Prepared by:</i>	<i>Checked by:</i>	<i>Approved by:</i>
E. Antonopoulos EP-ADO-PO ---	---	---

Distribution List

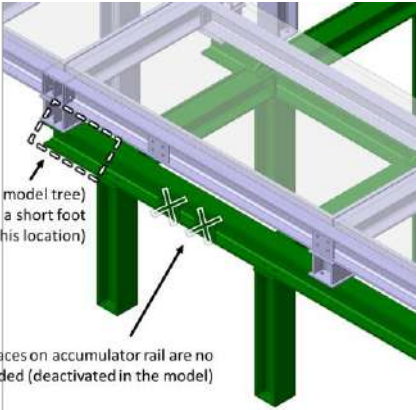
Date	Version	Author	Reasons of the modification
15/05/2023	1	E. Antonopoulos	Initial version
27/07/2023	2	E. Antonopoulos	<p>Change in screw size and anchor bolt size (from M10 to M12) connecting to structure to the ground (4.4.4.3 and 5.4.3.4). Those changes are also reflected in the 3D models of chapter 6.</p> <p>Changes in the loading of the accumulator rails (chapter 4.1) and the false floor structure (chapter 5.1), which now include both horizontal and vertical forces.</p> <p>Small changes in the 3D models of chapter 6:</p>  <p>Extension of "Horizontal C" beam (see CATIA model tree) It attaches to the false floor structure with a short foot (there used to be a long foot in this location)</p> <p>Pulling interfaces on accumulator rail are no longer needed (deactivated in the model)</p>

Table of Contents

- Table of Contents3**
- Table of Figures.....4**
- 1. Introduction5**
 - 1.1. Introduction to the environment.....5
 - 1.2 Introduction to the project5
- 2. Scope of the supply7**
- 3. Design8**
- 4. Technical requirements of the Accumulator Sliding Rail8**
 - 4.1 Loading.....8
 - 4.2 Material.....8
 - 4.3 Protection8
 - 4.4 Design of the structure.....8
 - 4.4.1 Beams acting as a railing system.....9
 - 4.4.2 Feet9
 - 4.4.3 Supporting struts.....9
 - 4.4.4 Connections.....10
 - 4.4.5 Accumulator guiding element.....12
 - 4.4.6 Accumulator final positioning mechanism12
 - 4.4.7 Accumulator pulling interfaces13
- 5. Technical requirements of the False Floor Structure13**
 - 5.1 Loading.....13
 - 5.2 Material.....14
 - 5.3 Protection14
 - 5.4 Design of the structure.....14
 - 5.4.1 Beams at false floor level.....14
 - 5.4.2 Feet15
 - 5.4.3 Connections.....16
 - 5.5 Grating covers18
 - 5.6 Mobile crane rail system19
- 6. Technical material19**

Table of Figures

Figure 1: Top view of the USA15 CV room showing the new equipment that will be installed: Cooling plants (pink) and Accumulators (blue). The red box contains the Early Installation equipment.5

Figure 2: Overview of the false floor structure and the accumulator sliding rail integrated in the USA 15 CV room environment. **Red outline:** Scope of this specification, **Blue outline + Orange outline:** Connection with final installation equipment, **Green outline:** Connection with entrance corridor.....6

Figure 3: Overview of the scope of this specification showing: a) The accumulator sliding rail (green colour) and b) The false floor structure and the corresponding grating covers (grey colour)7

Figure 4: The webs of the connecting members should be parallel to each other (left side) to avoid concentration of stresses at their meeting point (right side).9

Figure 5: The two struts positioned along the long railing beams shown on the left 10

Figure 6: The connection plates proposed design for the 11 HEB railing beams (left) and for the 1 UPN beam (right). 10

Figure 7: The connection plate is welded on the feet and connects them with the railing system..... 11

Figure 8: The desired height of the structure with an additional 10 mm gap to accommodate for the height adjusting mechanism shown on the right. 11

Figure 9: The supporting plates' connection to the feet and the railing system beams. 12

Figure 10: The guiding element used to prevent sideways movement of the accumulator (left) and the welding location (right)..... 12

Figure 11: The L-shaped brackets used for the final positioning of the accumulators in every direction (left) and their fixture on the railing system beams (right)..... 13

Figure 12: Required nominal capacity for the False Floor. 14

Figure 13: The HEB100 full length feet of the false floor structure are either a) Located at the junctions or b) Slightly moved away for the junctions and/or c) Replaced by more compact UPN120 profiles. 15

Figure 14: Example of partial length feet that rests on guiding element (yellow) and is equipped with a shim (red) and reinforcing plates acting as webs (green). 16

Figure 15: The connection between the beams of at the false floor level. 16

Figure 16: Example of a beam junction that is not supported by a foot and is equipped with a welded shear force plate instead. 17

Figure 17: The proposed L-shaped bracket that connects two feet of the false floor structure to the concrete wall of the CV room. 18

Figure 18: Example of a grating cover equipped with two pockets (one for a pipe to pass through and one for assembling reason). The gaps between the surrounding covers is also visible. 19

1. Introduction

1.1. Introduction to the environment

In the frame work of the integration of the CO₂ cooling system during LS3, the USA 15 cooling and ventilation room (USA15-CV) will be equipped with new cooling equipment. Amongst them, seven cooling plants and six accumulators will be installed as shown in Figure 1. In order to reduce the workload during LS3, and to perform some commissioning tests, some of this equipment will be installed prior to LS3, as part of the “Early Installation Phase”.

- **Early Installation phase consists of the installation of:** 1 cooling plant + 1 accumulator (Figure 1 – red box)

The “Early Installation Phase” equipment will be placed in the USA15 CV room during the 2024-2025 YETS.

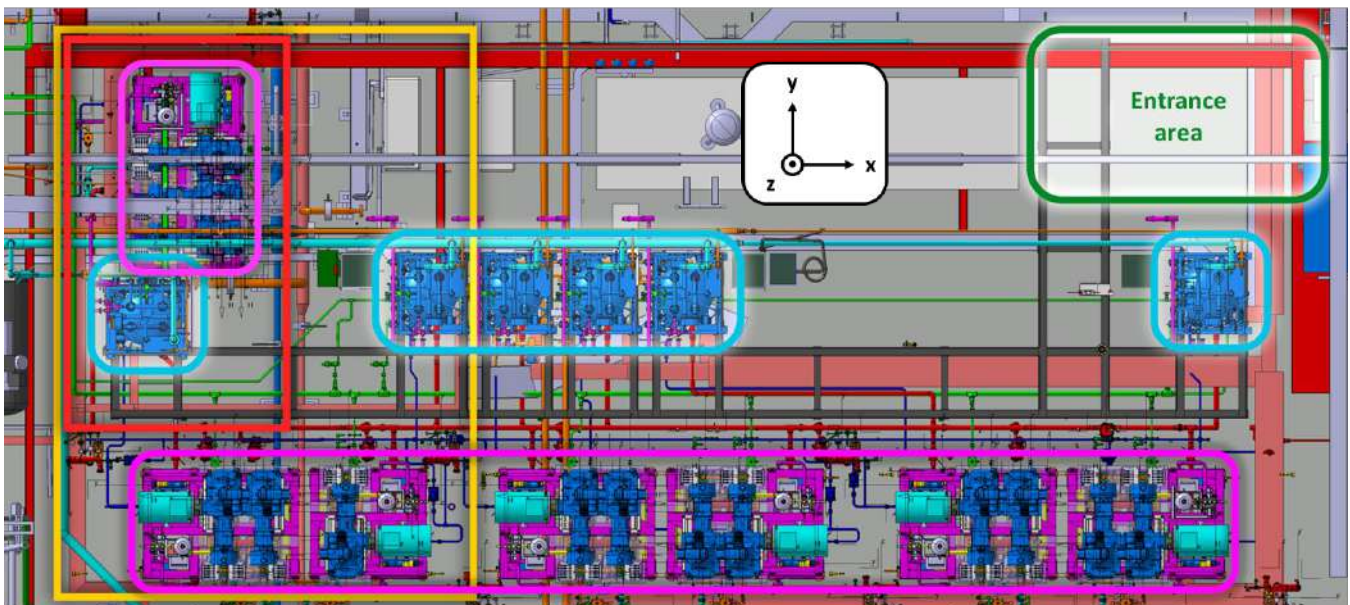


Figure 1: Top view of the USA15 CV room showing the new equipment that will be installed: Cooling plants (pink) and Accumulators (blue). The red box contains the Early Installation equipment.

1.2 Introduction to the project

This specification concerns the supply of two interconnected metallic structures to be installed in the surrounding area of the aforementioned early installation equipment. Firstly, a metallic structure acting both as a sliding rail and as a final positioning frame for the accumulators and secondly, above, a false floor structure which will house various equipment underneath it (mainly piping and cable trays).

The existing equipment in the CV room (evaporative system compressors) imposes restrictions on the coverage area of the false floor to be installed during the 2023-2024 YETS. Therefore, this specification only concerns the accumulator sliding rail and the false floor structure covering the cooling plant of the “Early Installation Scenario”. The above structures can be seen in the red outline of Figure 2. The design of these structures also foresees connections with the existing false floor structure towards the entrance of the CV room (green outline) as well as future extensions of the false floor structure (blue and orange outline).

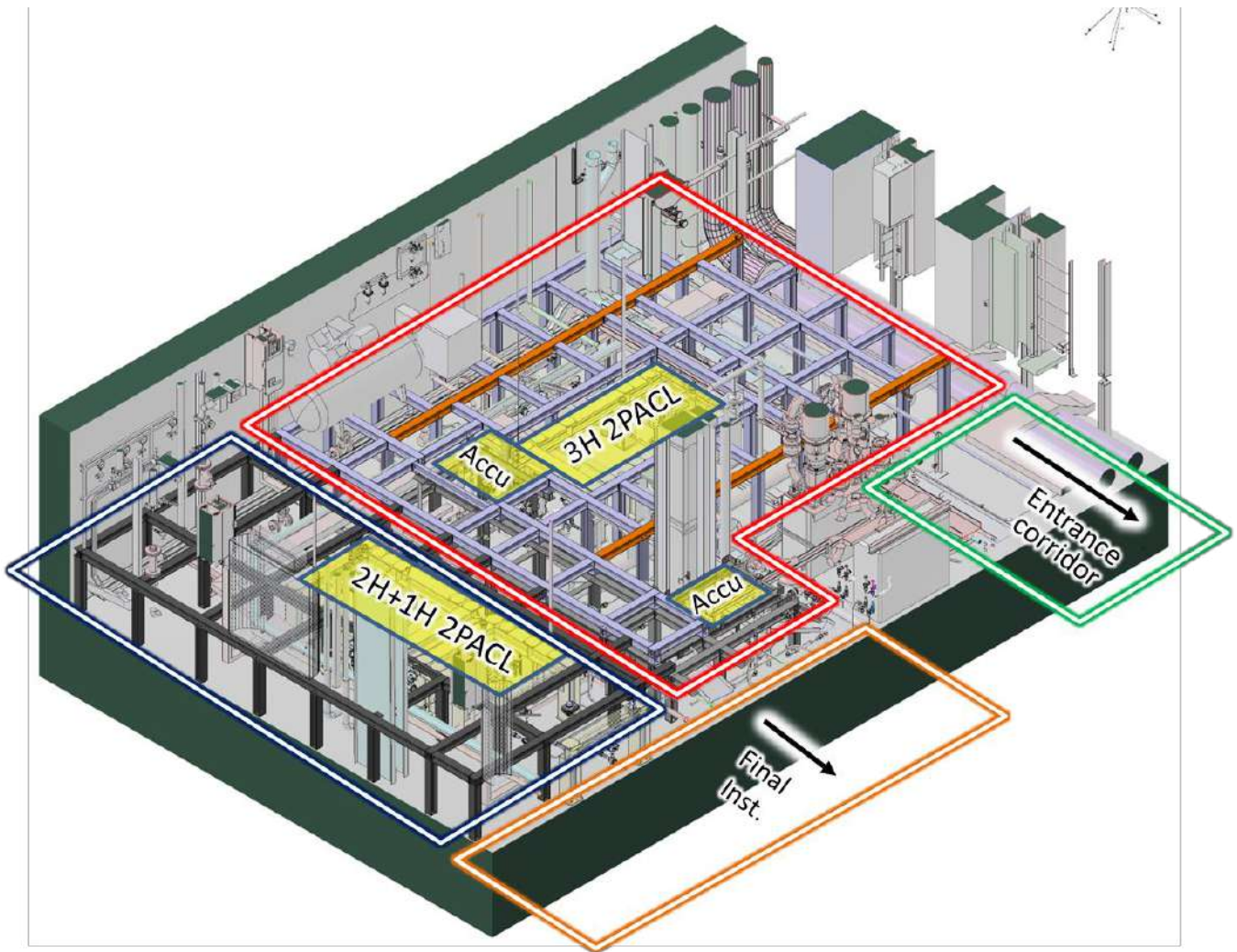


Figure 2: Overview of the false floor structure and the accumulator sliding rail integrated in the USA 15 CV room environment.
Red outline: Scope of this specification, **Blue outline + Orange outline:** Connection with final installation equipment,
Green outline: Connection with entrance corridor

2. Scope of the supply

The scope of this specification is the supply of:

- The **accumulator sliding rail – support structure** (shown in green colour in Figure 3) following the technical requirements listed in **chapter 4**;
- The **false floor structure and the corresponding grating covers** (shown in grey colour in Figure 3) following the technical requirements listed in **chapter 5**;
- The rail system for the mobile crane;
- The 3D model and the manufacturing drawings of the above;
- The above shall follow the CERN safety rules in force for metallic structures;
- The delivery to CERN;
- The removal of the existing false floor structure
- The assembly and installation on CERN site during YETS 2023/2024 (Q1 2024)
- The delivery of the as build drawing and CAD model

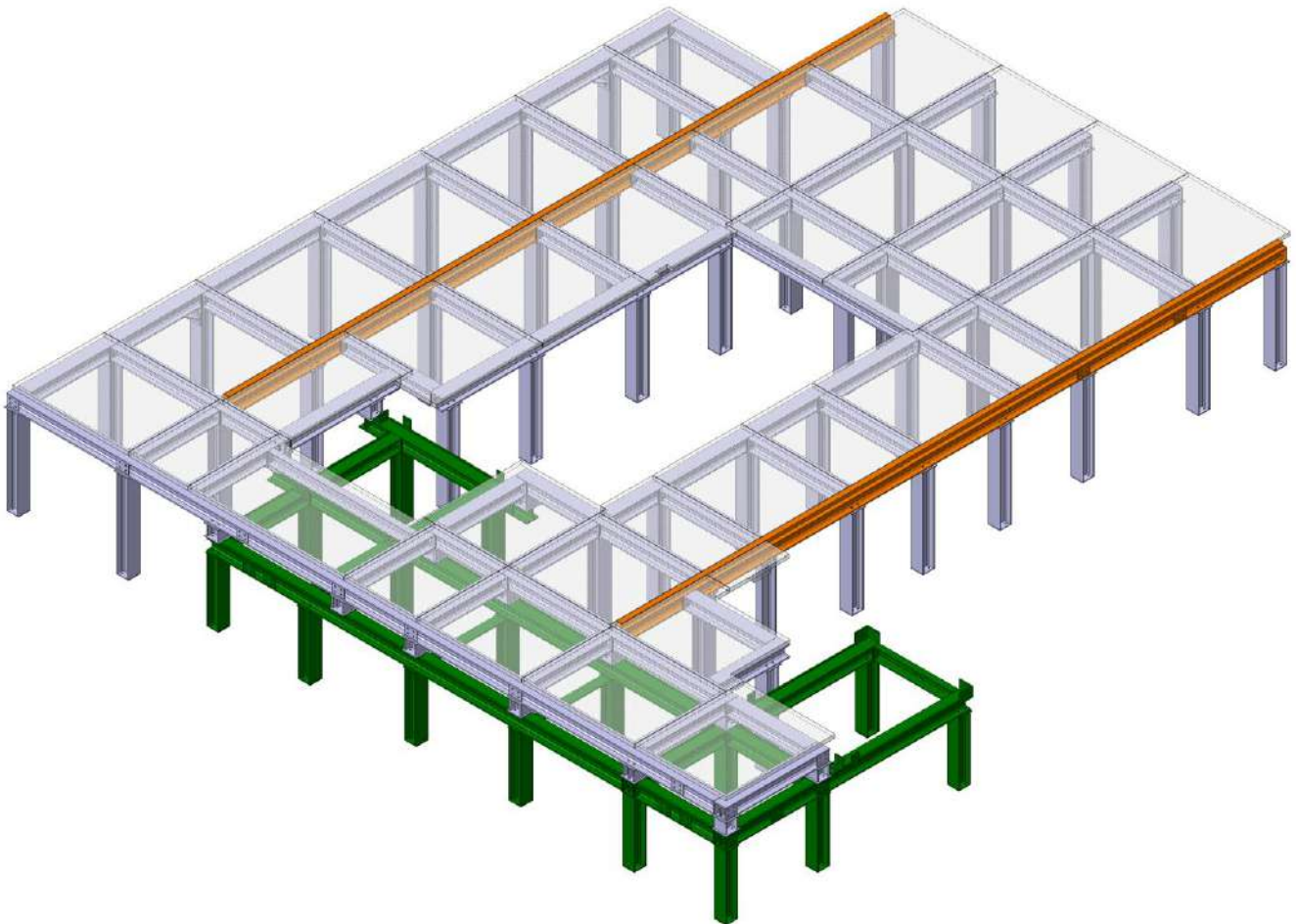


Figure 3: Overview of the scope of this specification showing: a) The accumulator sliding rail (green colour) and b) The false floor structure and the corresponding grating covers (grey colour)

3. Design

As shown in Figure 2, the environment where this equipment will be installed is tight and imposes some constraints on its design. These constraints have been identified in the framework of integration studies and pre-dimensioning that has been performed and they are reflected in the technical requirements listed in chapters 4 and 5. Therefore, the final design of these structures may vary from the one shown in the 3D models provided but the aforementioned technical and dimensional requirements should be respected.

4. Technical requirements of the Accumulator Sliding Rail

4.1 Loading

- **Z direction (Figure 1)**

The final structure shall carry the nominal load of the accumulators up to their final positions (**1.5T each – vertical load**). At the installation and at the de-commissioning of the system the accumulators will slide on the rail system, so this load shall be considered as mobile on the support structure.

The interface between the frame of the accumulator and the rail system is achieved through 4 sliding pads.

- **X and Y directions (Figure 1)**

The accumulator sliding rail shall carry horizontal forces (friction reaction) (either in X or Y direction) of up to **3000 N** at the height of its sliding surface (Z=+657 mm from the concrete floor).

4.2 Material

The material to be used for the construction of the accumulator sliding rail (HEB profiles and various accessories mentioned later) should be (or be an equivalent of) S235JRG2 (RSt 37.2).

Unless otherwise mentioned, screws to be used for the connection of the various members should be ISO 4017 – 8.8 M10 with body length and thread length depending on the connection. They should also be accompanied by one ISO 4032 – 8 M10 nut and two ISO 7089 washers.

4.3 Protection

Due to the presence of water cooling equipment and regular flooding of the area, the whole support structure shall be protected with a minimum of 60µm hot zinc coat.

4.4 Design of the structure

Throughout this chapter, photos and descriptions of various members of the accumulator sliding rail are done according to the initial design proposed by the ATLAS Technical Coordination Office.

4.4.1 Beams acting as a railing system

The structure consists of 12 beams acting as a railing system for the accumulators (11 made of HEB100 profiles and 1 made of UPN100 profile). Each of those consists of the beam itself, connection plates with other members and various other accessories mentioned in chapters 4.4.5 to 4.4.7. The layout (envelope dimensions) of each of those members should be respected in order to successfully slide the accumulators. Additionally, the location of the various holes on those members should also be respected as they are necessary for the connection of future interfaces/accessories.

The railing system shall guarantee the translation and sliding of the accumulator on the whole path. The production and the installation shall be done with care to guaranty a perfect alignment of the profile at the interface to allow smooth transition.

4.4.2 Feet

The structure consists of 16 beam (HEB100 profiles) assemblies acting as the supporting feet of the structure. Each of those consists of the beam itself, a connection plate with the beams of chapter 4.4.1 and a connection plate with the ground. It is important to note that those feet shall be placed in a way that their web is parallel to the web of the railing system beams as shown in Figure 4 in order to avoid high concentration of stresses at the point where the webs meet.

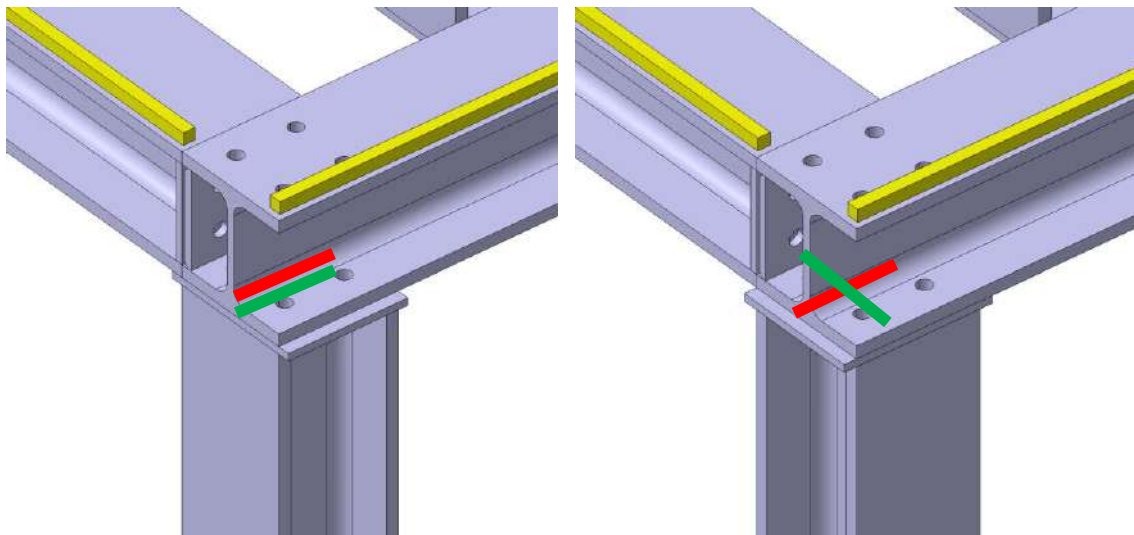


Figure 4: The webs of the connecting members should be parallel to each other (left side) to avoid concentration of stresses at their meeting point (right side).

4.4.3 Supporting struts

The structure also has two struts at places where there are long railing beams as shown in Figure 5. Those struts offer support against separation/opening of the aforementioned long railing beams when the accumulator slides on them.

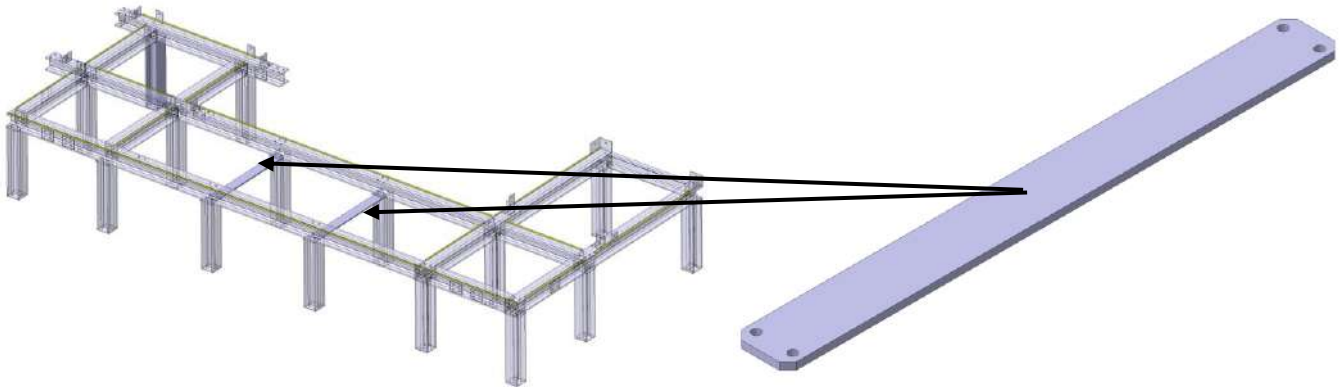


Figure 5: The two struts positioned along the long railing beams shown on the left

4.4.4 Connections

4.4.4.1 Connections between railing system beams

The railing system beams are equipped with welded connection plates located inside the HEB/UPN profiles. For the 11 HEB beams used, the proposed design shown on the left side of Figure 6 is recommended while the proposed design shown on the right side of the same figure is recommended for the 1 UPN profile used. All of them are connected using the set of screws mentioned in chapter 4.2. Additionally, no welds should be protruding on the outside faces of the connection plates in order to minimize gaps / irregularities when connecting the beams to allow smooth sliding of the accumulator. This is why we recommend a small offset (e.g. 3 mm) of the plates shown with green colour in Figure 6.

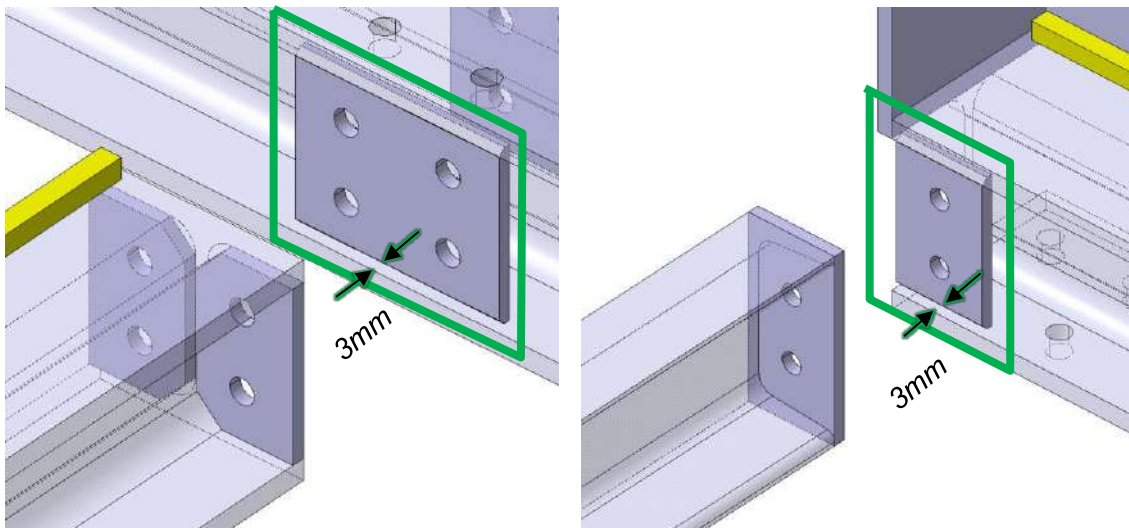


Figure 6: The connection plates proposed design for the 11 HEB railing beams (left) and for the 1 UPN beam (right).

4.4.4.2 Connections between railing system beams and feet

All feet are connected with the railing system beams with a rectangular plate that is welded to the feet as shown in Figure 7. It is important to note that this plate shall have a lip (e.g. 10 mm on each side) through which the shear forces exerted on the side beams can travel (instead of travelling through the body of the connecting bolts).

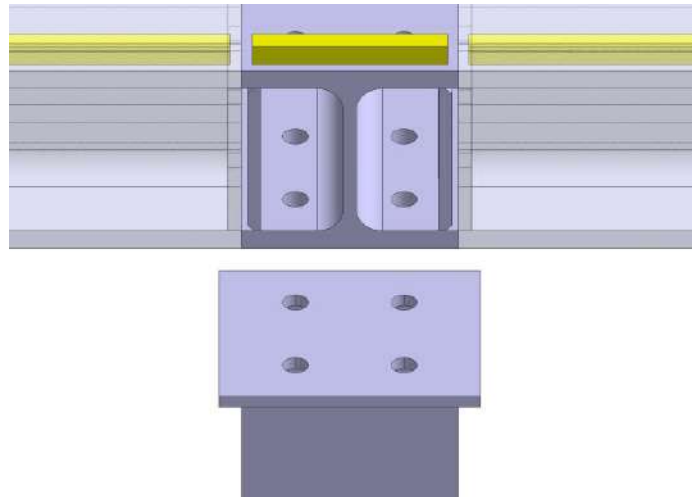


Figure 7: The connection plate is welded on the feet and connects them with the railing system.

4.4.4.3 Connections between feet and ground

As explained in the introduction, the railing system will be used to slide the accumulators into their final position. Therefore, it is important to minimize any gaps and/or height differences at the beam junctions. Such irregularities are caused by the dimensional tolerances of such HEB section profiles and, more importantly, by the irregularities of the concrete floor of the USA15 CV room. Therefore, a height adjusting mechanism should be implemented in order to control the final height of the assembled mechanism. Specifically, as shown in Figure 8, we suggest having a 10 mm gap between the bottom of the feet and the concrete floor. Additionally, a welded plate with 2 X M12 clearance holes and 2 X M12 screw holes can be used to fix the structure to the ground using 2 X M12 anchor bolts and 2 X M12 height adjusting screws. After the desired height is achieved, liquid concrete could be poured locally in order to secure the structure.

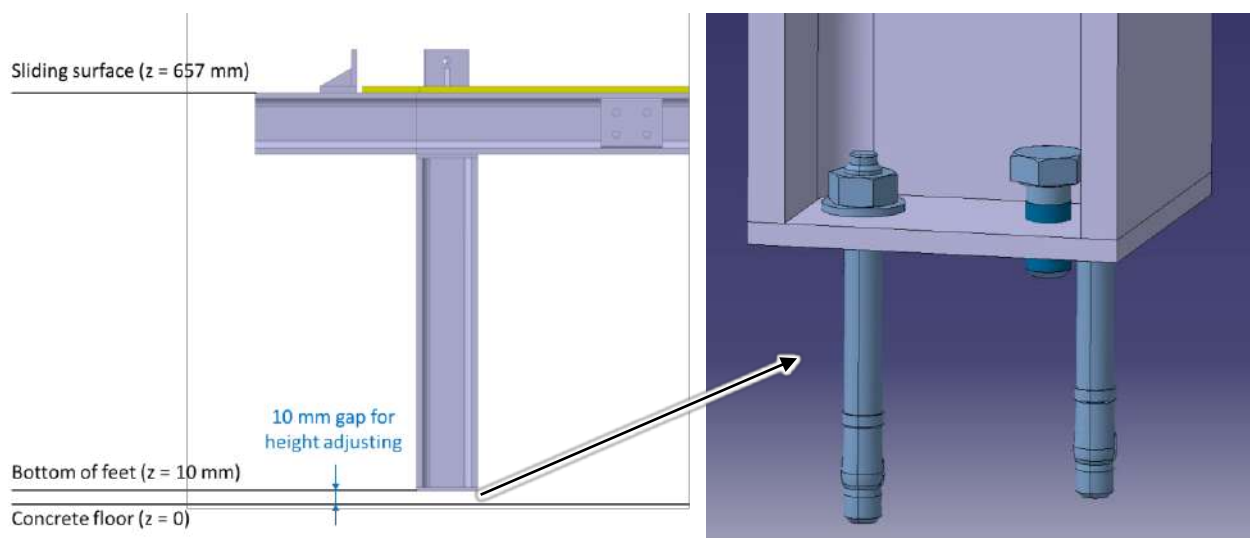


Figure 8: The desired height of the structure with an additional 10 mm gap to accommodate for the height adjusting mechanism shown on the right.

4.4.4.4 Connections between railing system beams, feet and supporting plates

The supporting plates are positioned underneath the connection plates mentioned in chapter 4.4.4.2 and are fixed in place using the set of screws mentioned in chapter 4.2 (see Figure 9).

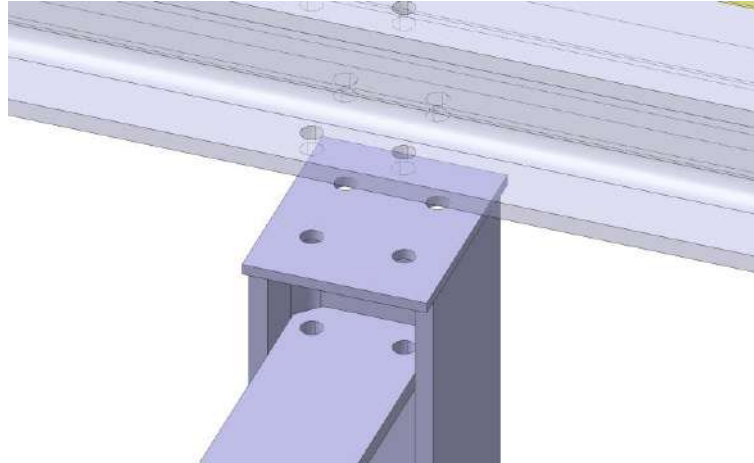


Figure 9: The supporting plates' connection to the feet and the railing system beams.

4.4.5 Accumulator guiding element

As explained, due to their height, the accumulators must be slid into their final position. A guiding element must be introduced that stops the accumulators from undergoing significant sideways movement and instead keeps them on the railing beams. This is achieved by the guiding element shown in Figure 10 which is essentially a steel square bar with a side dimension of 10 mm and varying length which follows the layout of the railing system beams. The model intentionally includes a 5 mm gap on each side of the guiding element where the welds should be made.

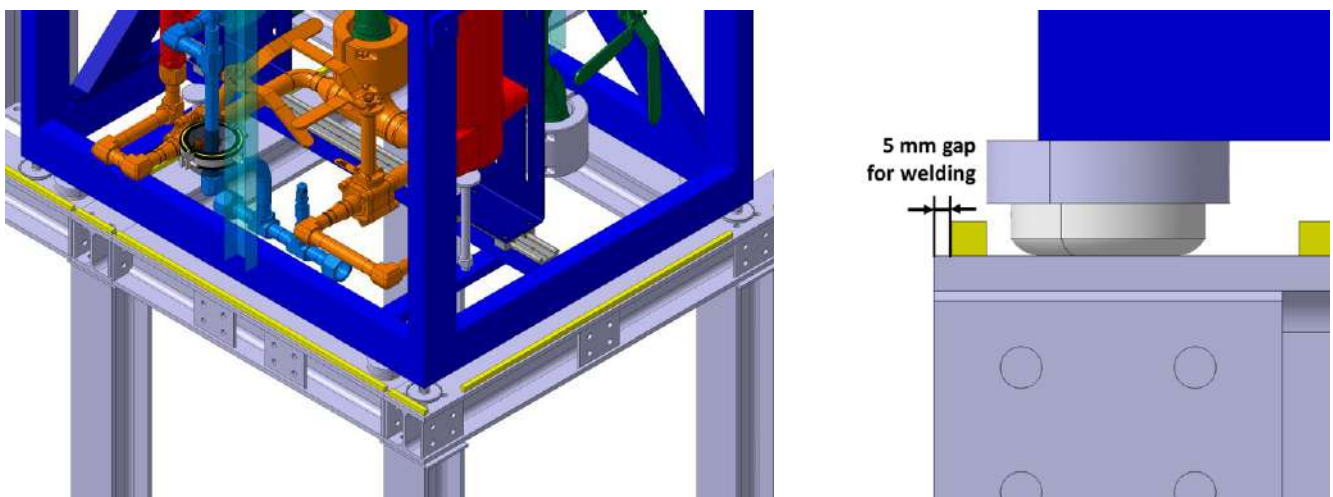


Figure 10: The guiding element used to prevent sideways movement of the accumulator (left) and the welding location (right).

4.4.6 Accumulator final positioning mechanism

The sliding of the accumulators can only bring them to a position close to their desired location. For the fine tuning of their position a mechanism that allows for small position modifications shall be implemented. The mechanism suggested can be seen Figure 11 and consists of L-shaped brackets of varying sizes and an M12 thin pitch screw hole where an M12 thin pitch screw can be placed and used to fine tune the

position of the accumulator in any direction. As shown in the same picture, some of these brackets are welded on the sides of the railing system beams while the ones that needs to be removed when the accumulator is being slid are fixed in place using screws.

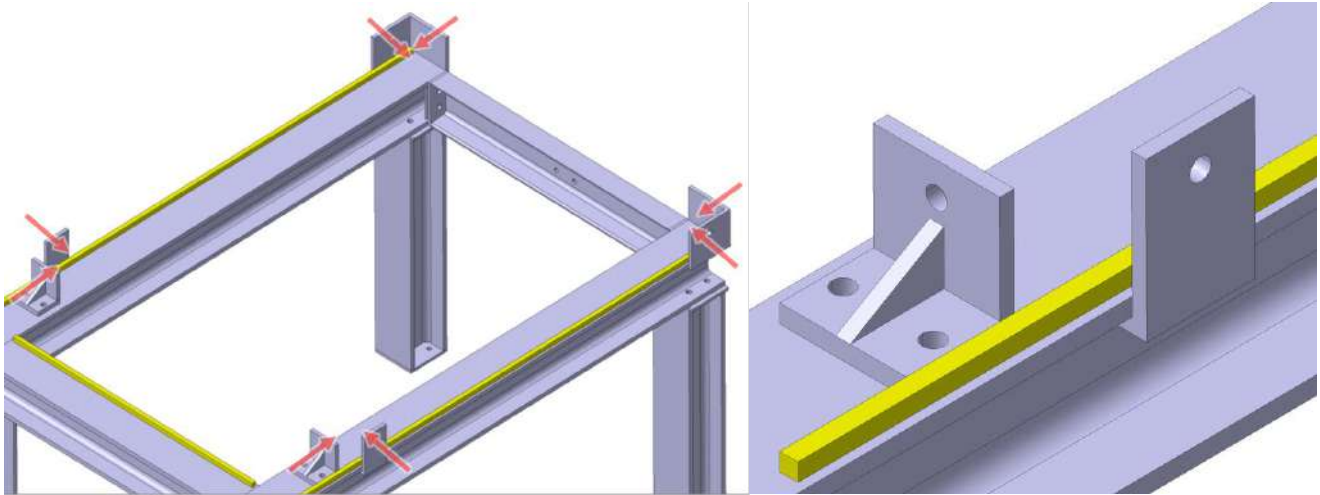


Figure 11: The L-shaped brackets used for the final positioning of the accumulators in every direction (left) and their fixture on the railing system beams (right).

4.4.7 Accumulator pulling interfaces

The overall structure should also be equipped with a number of interfaces where the accumulator pulling mechanism will be connected (this mechanism is outside the scope of this specification). The proposed design for these interfaces is the same as the one mentioned in chapter 4.4.4.1 and their location can be found in the 3D model.

5. Technical requirements of the False Floor Structure

5.1 Loading

• Z direction (Figure 1)

Integration studies have shown that the required load capacity for the false floor gratings can be divided into two zones: one zone with gratings with a nominal capacity of 1.5 T/m² and one zone with gratings with a nominal capacity of 0.5 T/m² (Figure 12).

Additionally,

- the 0.5 T/m² capacity gratings shall carry a punctual load of **450 kg in their centre over an area of 80 mm x 30 mm.**
- the 1.5 T/m² capacity gratings shall carry a punctual load of **1200 kg in their centre over an area of 80 mm x 30 mm.**

• X and Y directions (Figure 1)

The false floor metallic structure shall carry horizontal forces (either in X or Y direction) of up to **3000 N** (pulling force to move the accumulator on the rails) at a height of Z=820mm from the concrete floor (this value corresponds to the height of the accumulator pulling interfaces).

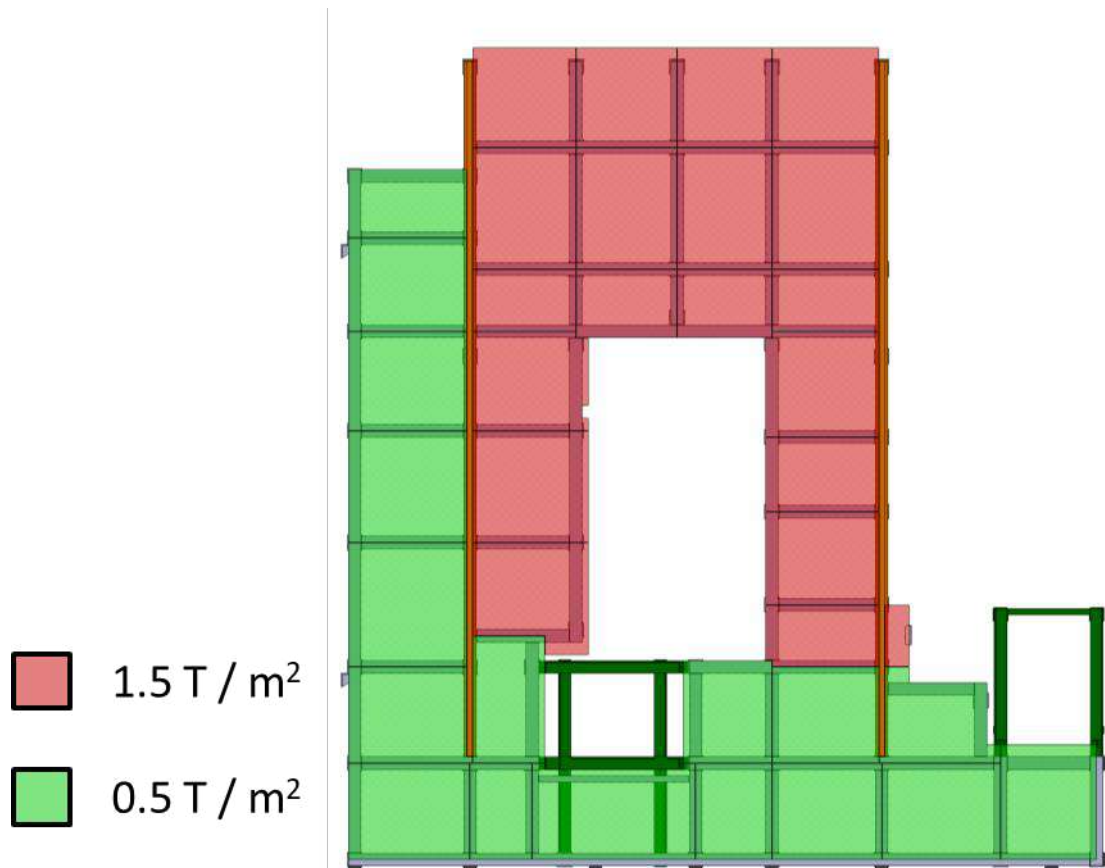


Figure 12: Required nominal capacity for the False Floor.

5.2 Material

The material to be used for the construction of the false floor structure (beams and various accessories mentioned later) should be (or be an equivalent of) S236JRG2 (RSt 37.2).

The grating covers to be used can be chosen by the designer but their thickness of 30 mm and their pattern mentioned in chapter 5.5 must be respected.

5.3 Protection

Due to the presence of water cooling equipment and regular flooding of the area, the whole support structure shall be protected with a minimum of 60µm hot zinc coat.

5.4 Design of the structure

Throughout this chapter, photos and descriptions of various members of the false floor structure are done according to the initial design (ST1690176) proposed by the ATLAS Technical Coordination Office.

5.4.1 Beams at false floor level

The structure consists of HEB100 and UPN100 profiles (with a single possible exception is mentioned in chapter 5.6). Each of those consists of the beam itself, connection plates with other members and various

other accessories mentioned in the following chapters. The dimensional layout of those members should be respected in order to avoid clashes with the surrounding equipment in the CV room.

5.4.2 Feet

Part of the false floor structure attaches directly on the concrete floor while the rest of it sits directly above the accumulator sliding rails and attaches to them. Therefore, the feet of the structure can be divided into full length feet (attaching to the floor) and partial length feet (attaching to the accumulator sliding rail).

5.4.2.1 Full length feet

In most of the cases, the feet that fix the structure to the floor are made of HEB100 profiles and they are located at the junctions of the beams. In a number of cases, however, this would lead to clashes due to the tight restrictions imposed by the surrounding equipment in the CV room. In these locations, the HEB100 feet have been slightly moved away from the junctions and/or a more compact section (UPN120) has been used (see Figure 13). It is also important for the webs of the feet to be aligned with the webs of the beams mentioned in chapter 5.4.1, due to reasons already explained in the case of the accumulator sliding rail (chapter 4.4.2)

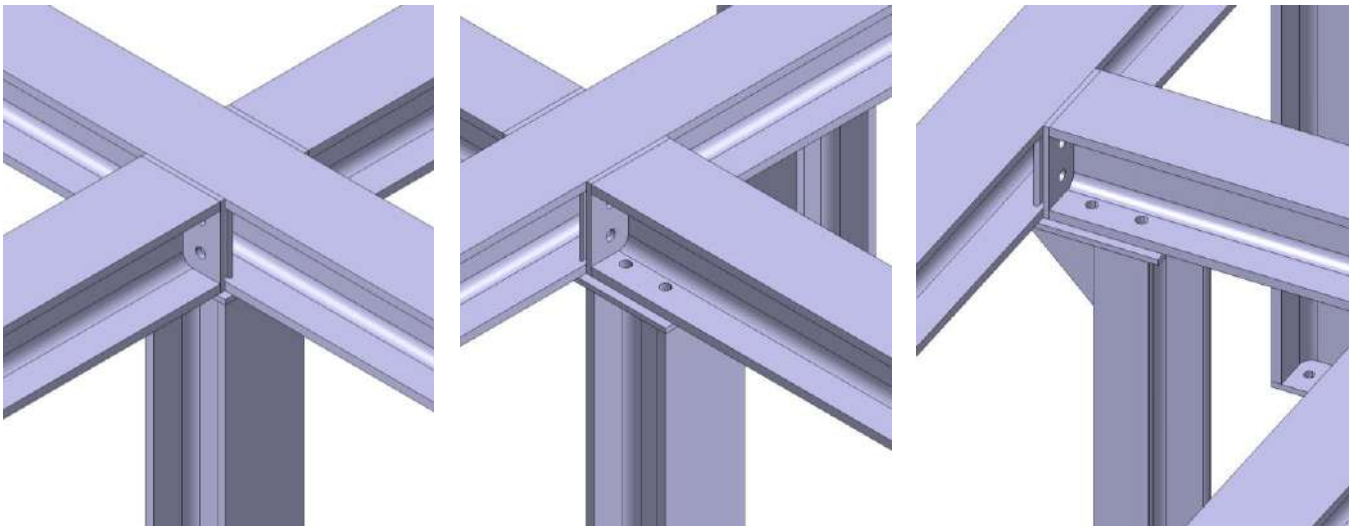


Figure 13: The HEB100 full length feet of the false floor structure are either a) Located at the junctions or b) Slightly moved away for the junctions and/or c) Replaced by more compact UPN120 profiles.

5.4.2.2 Partial length feet

The partial length feet attach to the accumulator railing beams and depending on their location they might rest on the sliding surface itself or on the guiding element mentioned in chapter 4.4.5. In the second case, a shim of 10 mm (same dimension as guiding element) should be positioned in-between the partial length foot and the sliding surface in a way that aligns with the beam webs. Plates acting as webs may also be placed in locations where alignment of webs is not possible. A combination of those cases can be seen in Figure 14.

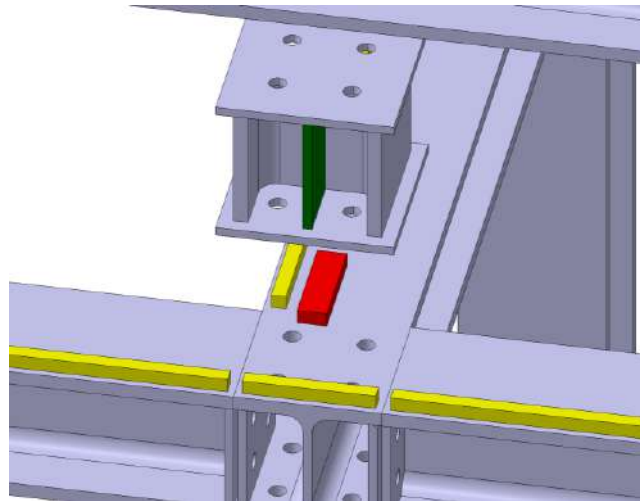


Figure 14: Example of partial length feet that rests on guiding element (yellow) and is equipped with a shim (red) and reinforcing plates acting as webs (green).

5.4.3 Connections

5.4.3.1 Connections between beams at false floor level

Unlike the case of the accumulator railing beam connections, a simpler solution such as the one shown in Figure 15 can be implemented. The small offset mentioned in chapter 4.4.4.1 could also be implemented in this case. It should be noted that the model includes such connection plates in places where they look like they don't attach to any beams. Those plates are placed intentionally as they will serve as connection points with the existing false floor structure. However, they should be welded on site (meaning in the cavern) in order to assure proper fitting with the existing structure.

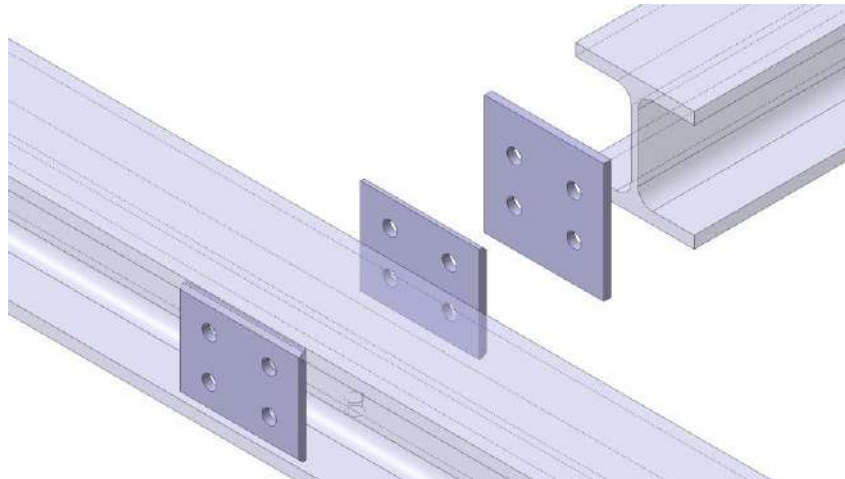


Figure 15: The connection between the beams of at the false floor level.

5.4.3.2 Connections between beams at false floor level and feet

All of the feet are connected to the above beams with the use of screws going through plates of varying sizes depending on the profile section of the foot used. All such plates are equipped with a lip (e.g. 10 mm) for reasons already explained in chapter 4.4.4.2. This explains why in some cases (e.g. Figure 13c) those plates are also equipped with ribs through which the shear forces can travel.

However, this is not always possible since some of the feet are placed too far away from the junctions due to the surrounding equipment of the CV room. In such cases, it is recommended to weld a shear force plate on the bottom side of one of the beams that form the junction as shown in Figure 16 (the beam on which the shear force plate is connected is intentional).

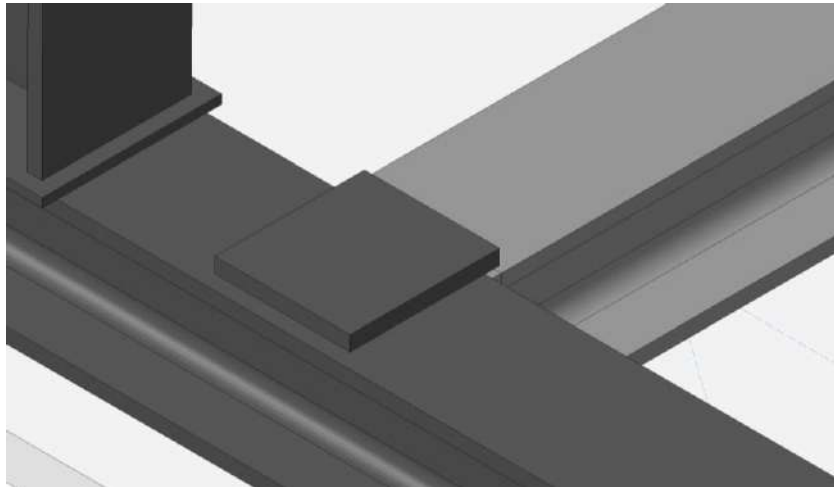


Figure 16: Example of a beam junction that is not supported by a foot and is equipped with a welded shear force plate instead.

5.4.3.3 Connections between partial length feet and accumulator rail

The connection plates between the accumulator rail and the short feet are the same as in chapter 5.4.3.2.

5.4.3.4 Connections between full length feet and ground

For the connections to the ground the same concept as the one mentioned in chapter 4.4.4.3 for the accumulator sliding rail is applied. The 10 mm gap to the ground floor is once again included in the model and the exact same solution (with M12 screws and anchor bolts) is proposed when it comes to the HEB100 feet. In the case of the UPN120 profile the only difference is that 1 (instead of 2) height adjusting screw is suggested in order to accommodate for the more compact UPN profile.

5.4.3.5 Connection to the wall

It is recommended to add two L-shaped brackets on the feet near the CV room wall that attach to the concrete wall in order to further stabilize the structure. As shown in Figure 17, this bracket shall be equipped with a series of slotted holes on the side that attaches to the foot and M10 clearance holes on the side that attaches to the wall.

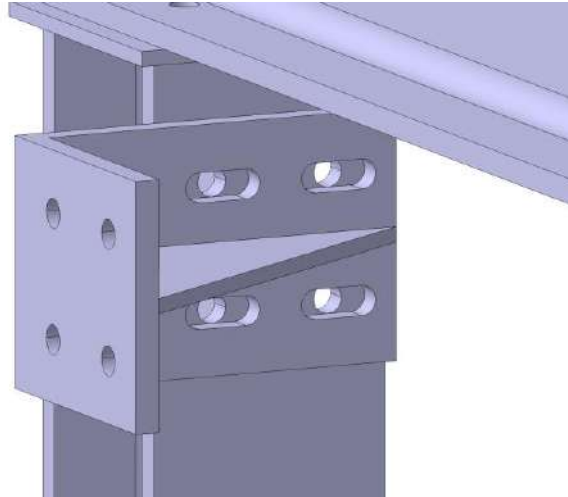


Figure 17: The proposed L-shaped bracket that connects two feet of the false floor structure to the concrete wall of the CV room.

5.4.3.6 Connection to pillar

Similarly, an L shaped bracket should be welded on to the concrete pillar of the CV room in order to avoid flipping over the grating cover “E4” which can be found on the model tree.

5.5 Grating covers

The 3D model also includes the required pattern of the grating covers of the false floor and their layout follows the layout of the beams mentioned in chapter 5.4.1. They are rectangular but some of them are also equipped with carefully positioned pockets (e.g. for pipes to pass through). As the design of the surrounding equipment is still underway, it is expected that more such pockets might need to be cut (this could be done in the field if and when there is such need).

Lastly, the grating covers' dimensions have been chosen in a way that there is a 5 mm gap (there is one exception mentioned in chapter 5.6) between them when assembled in order to ease their installation and/or their partial removal when access underneath them is required. The grating covers to be used can be chosen by the designer but their thickness should be 30 mm. The above cases can be seen in the grating cover in Figure 18.

For safety reasons, all gratings shall be secured in position to the support structure thanks to clamps.

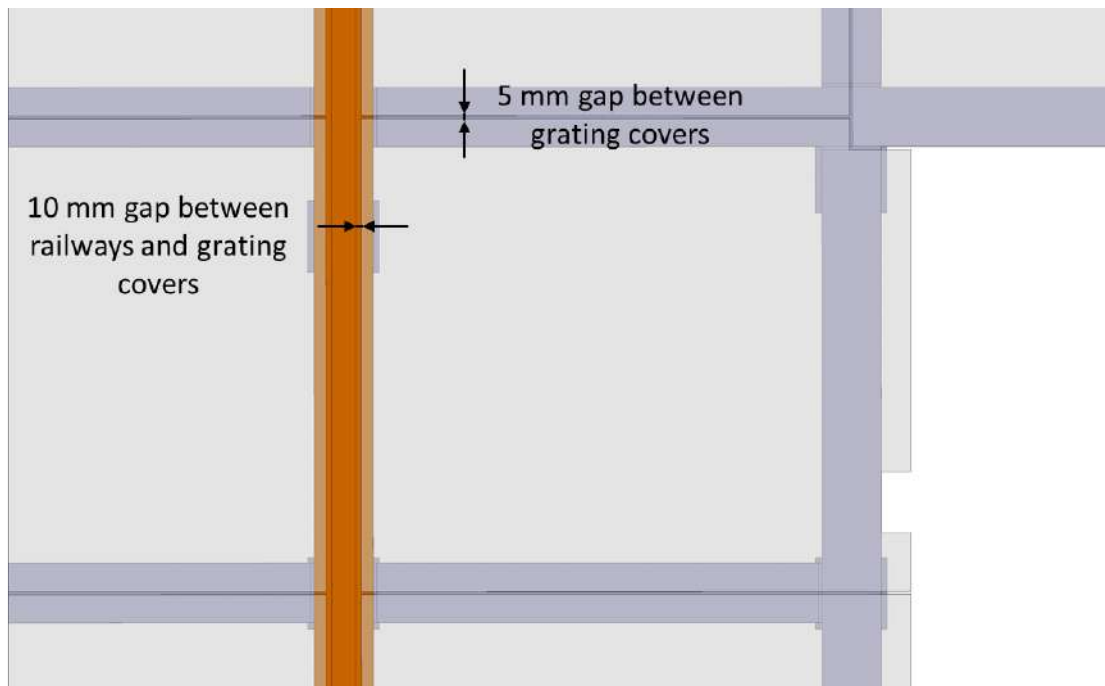


Figure 18: Example of a grating cover equipped with two pockets (one for a pipe to pass through and one for assembling reason). The gaps between the surrounding covers is also visible.

5.6 Mobile crane rail system

The mobile crane to be used for the assembly and maintenance procedures of the 3H cooling plant shall move on the two long orange coloured beams shown in Figure 3. Those beams shall be equipped with a welded steel bar of rectangular shape with a width of 40 mm and a height of 30 mm. The model includes a gap of 10 mm between the aforementioned railway and the grating coverings in order to make room for the welds on the sides of this rectangular guide.

6. Technical material

The complete 3D models referenced throughout this report can be found in the following documents:

- --- – The overall model included the false floor, the accumulator rail and the mobile crane (not added yet) to be installed during the 2023/2024 YETS
- --- – The Accumulator Sliding Rail described in chapter 4
- ---ⁱ – The False Floor Structure described in chapter 5

ⁱ Σημείωση παραρτήματος: Πρόκειται για τα τρισδιάστατα μοντέλα που έχουν παραδοθεί μαζί με την διπλωματική εργασία

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε



Technical Specification for the supply of a mobile crane for the assembly & maintenance procedures of the 2PACL 3H Plant in the ATLAS USA15 Cooling & Ventilation Room.

<i>EDMS Document No:</i> ---	<i>Institute Document No.</i> ---	<i>Created: 21.03.2023</i>	<i>Page: 1 of 13</i>
		<i>Modified: 27/06/2023</i>	<i>Rev. No.: 4</i>

Technical Specification for the supply of a mobile crane for the assembly & maintenance procedures of the 2PACL 3H Plant in the ATLAS USA15 Cooling & Ventilation Room.

Abstract:

In the frame work of the integration of the CO₂ cooling system, the USA 15-CV room will be equipped with new cooling plants. A future overhead crane in the USA 15-CV room will be used for the assembly and maintenance procedures for six out of seven of those plants. However, one plant (the 3H plant as explained in chapter 1) will not be within the reach of the overhead crane. Therefore, the installation of a mobile gantry crane is proposed that will be used exclusively for the assembly & maintenance procedures of the 3H plant.

This technical specification concerns the supply of the aforementioned mobile crane, which should respect the dimensional constraints listed throughout the document.

<i>Prepared by:</i> E. Antonopoulos EP-ADO-PO	<i>Checked by:</i> ---	<i>Approved by:</i> ---
--	---------------------------	----------------------------

Distribution List

<i>Date</i>	<i>Version</i>	<i>Author</i>	<i>Reasons of the modification</i>
21/03/2023	1	E. Antonopoulos	Initial version
23/03/2023	2	E. Antonopoulos	Corrections before approval
24/04/2023	3	E. Antonopoulos	Descoping the rail + information about the feet positions bellow the profile support of the rail
27/06/2023	4	E. Antonopoulos	Change in allowable envelope in Z direction due to the final dimension of the HVAC#2. Change of figure 4 and 6.

Table of Contents

- Table of Contents3**
- Table of Figures.....4**
- 1. Introduction5**
 - 1.1. Introduction to the environment.....5
 - 1.2. Introduction to the 3H plant.....6
- 2. Scope of the supply7**
- 3. Design8**
- 4. Definition of the mobile crane’s characteristics.....9**
 - 4.1 Capacity9
 - 4.2 Height.....9
 - 4.3 Free span9
 - 4.4 Hook coverage – reach.....10
 - 4.4.1 Reach in X direction.....10
 - 4.4.2 Reach in Z direction (need for compact manual travel trolley).....10
 - 4.4.3 Reach in Y direction.....10
 - 4.5 Crane envelope11
- 5. Definition of the railing system characteristics.....12**
 - 5.1 Height and interface with crane wheels.....12
 - 5.2. Railing system’s feet in the Y direction.....13

Table of Figures

Figure 1: The 7 cooling plants to be installed in the USA15 CV room. The 3H spare plant is shown in red outline.	5
Figure 2: The overhead crane to be installed in USA15 CV room, which cannot reach the spare plant. ...	5
Figure 3: Detailed model of the assembled 3H plant.....	6
Figure 4: Mobile crane concept (simplification).....	7
Figure 5: Crane's required free span due to the two sliding halves of the 3H spare plant	9
Figure 6: Crane's required hook coverage in the X and Z direction.....	11
Figure 7: Crane's required hook coverage in the Y direction.....	12
Figure 8: Interface between mobile crane and railing system.	12
Figure 9: Definition of the rails' envelope and the location of the feet.	13

1. Introduction

1.1. Introduction to the environment

The USA15-CV room will be equipped with 7 cooling plants (2PACL Two Phase Accumulator Control Loop) for run 4 (figure 1). One of them, also referred to as “the spare plant” will be part of the “early installation”. The number of pumps of each of those plants varies from 1 to 3. Depending on that number, the plants are often referred to as “1H”, “2H” and “3H Plant” accordingly (H for head).

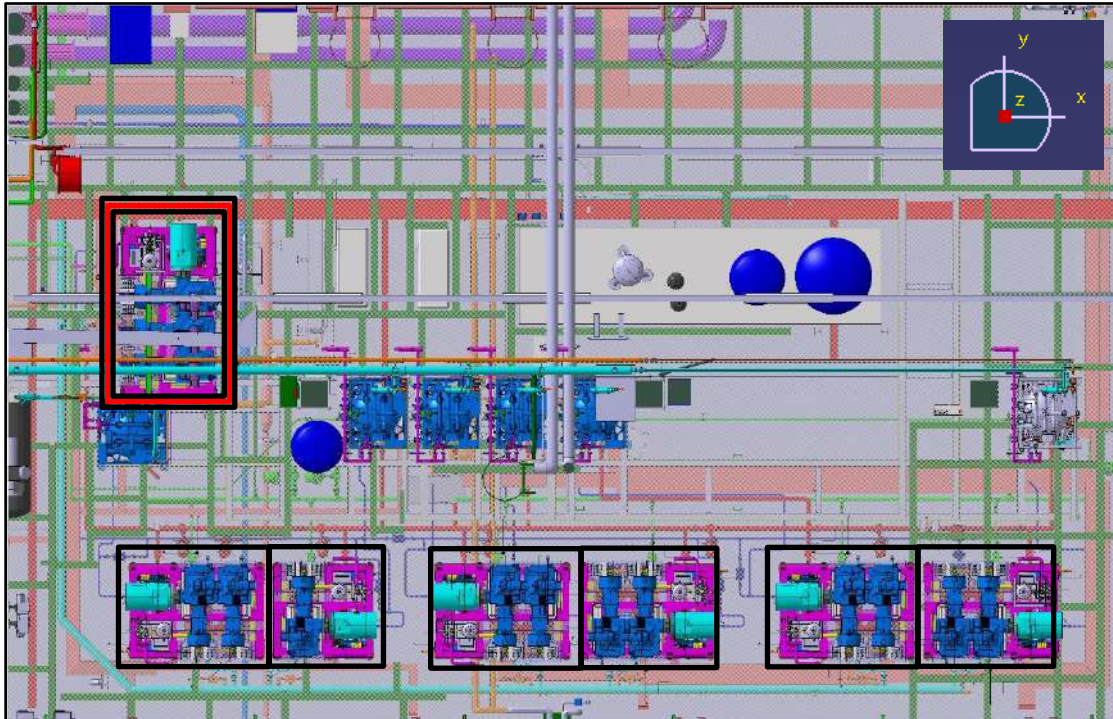


Figure 1: The 7 cooling plants to be installed in the USA15 CV room. The 3H spare plant is shown in red outline.

In contrast to the other six plants, the 3H spare plant (see figure 1 – red outline) will not be within the reach of the overhead crane that will be installed in the CV room (figure 2) during LS3. Therefore, the installation of a mobile gantry crane is proposed which will be used exclusively for the assembly & maintenance of the 3H plant.

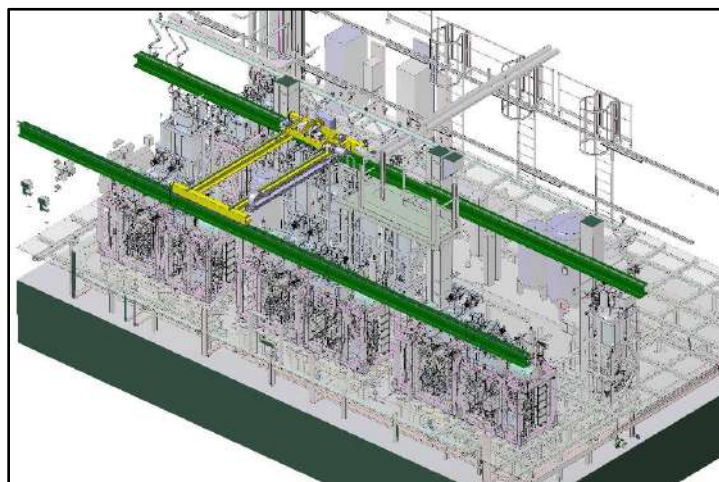


Figure 2: The overhead crane to be installed in USA15 CV room, which cannot reach the spare plant.

The mobile gantry crane shall sit around the spare plant and move along the y direction (see figure 1 for coordinate system). More details on the movement needs of the mobile crane are given in the corresponding chapter.

1.2. Introduction to the 3H plant

The detailed model of the 3H plant is shown in figure 3. Most of the plant's components and piping can be found inside the "Coldbox", which is an insulating box with doors on the sides. Those doors are not shown in figure 3, since they will be removed prior to any maintenance procedures, and therefore do not concern us when it comes to defining the crane's specification. On top of the coldbox there is the 3H pump drive unit, the motor and the damper.

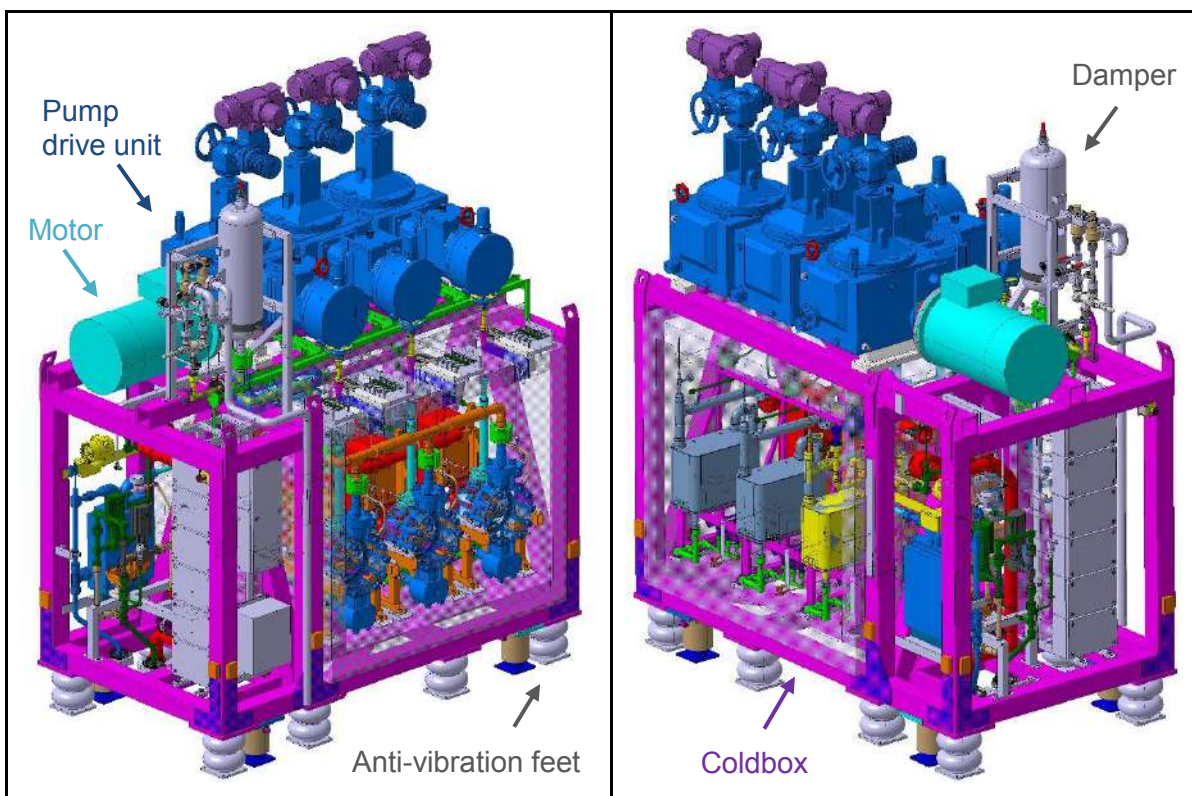


Figure 3: Detailed model of the assembled 3H plant.

In the following chapters, the mass and the centre of gravity (COG) of various components of the spare plant will be used in order to define the crane's needed characteristics. However, as the design of the plant is still ongoing, those values may slightly vary in the final product. This is why a safety margin of 50 - 100 mm has been used when defining specifications such as the required span of the crane and its hook's reach.

2. Scope of the supply

As mentioned in the first chapter, the mobile gantry crane shall be installed around the 3H plant. Figure 4 shows an over-simplified model of a gantry crane in order to demonstrate the concept and introduce some terminology that will be used in the following chapters.

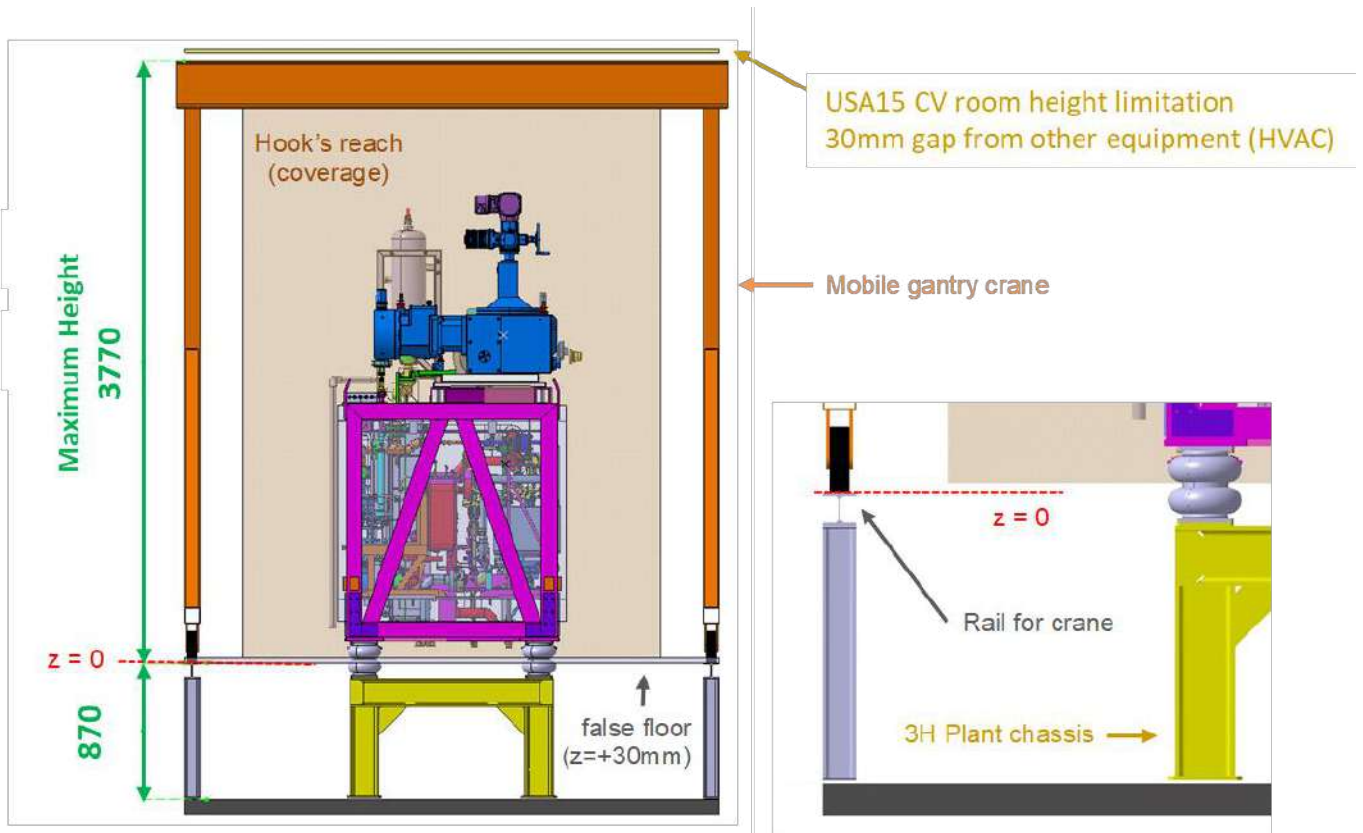


Figure 4: Mobile crane concept (simplification)

The scope of this specification is the supply of:

- One mobile gantry crane accompanied with a compact manual travel trolley
- The 3D model and the manufacturing drawings of the above
- The “CE” declaration of conformity (“CE” marked) and shall follow the CERN safety rules in force for the lifting equipment.
- The user manual and the maintenance manual of the equipment
- The delivery to CERN
- The assembly and installation on CERN site at the end of the YETS 2023/24

<i>ATLAS Project Document No:</i>	<i>Page: Page 8 of 13</i>
---	<i>Rev. No.: 3</i>

3. Design

As shown in figure 1, the environment where this equipment will be installed is tight and imposes some constraints on its design. The desired characteristics of the mobile crane are a result of integration studies and pre-dimensioning which have been performed. Of course, the detailed design of the crane is expected to vary from the oversimplified version shown in figure 4 and it is the responsibility of the manufacturer.

4. Definition of the mobile crane's characteristics

4.1 Capacity

The minimum nominal capacity of the crane (safe working load) should be **3.2 T**.

4.2 Height

The maximum total height of the crane is **3770 mm** (from the bottom of the crane wheels to the upper side of the crane rail). As shown in figure 4 this dimension should be respected because a higher value would create conflict with the surrounding environment.

4.3 Free span

The spare plant's coldbox consists of two sliding halves that can be slid out for maintenance. The half shown on the left side of figure 5 is called the "Head half" as it contains the 3 pump heads. The half shown on the right side is called the "Super heater half". Both of those halves are still under design and their dimensions and/or COGs may slightly vary in the final design. However, their envelope width will not exceed **800 mm**. Adding a safety margin of 75 mm on each side brings the required free span to **3200 mm**, as shown in figure 5.

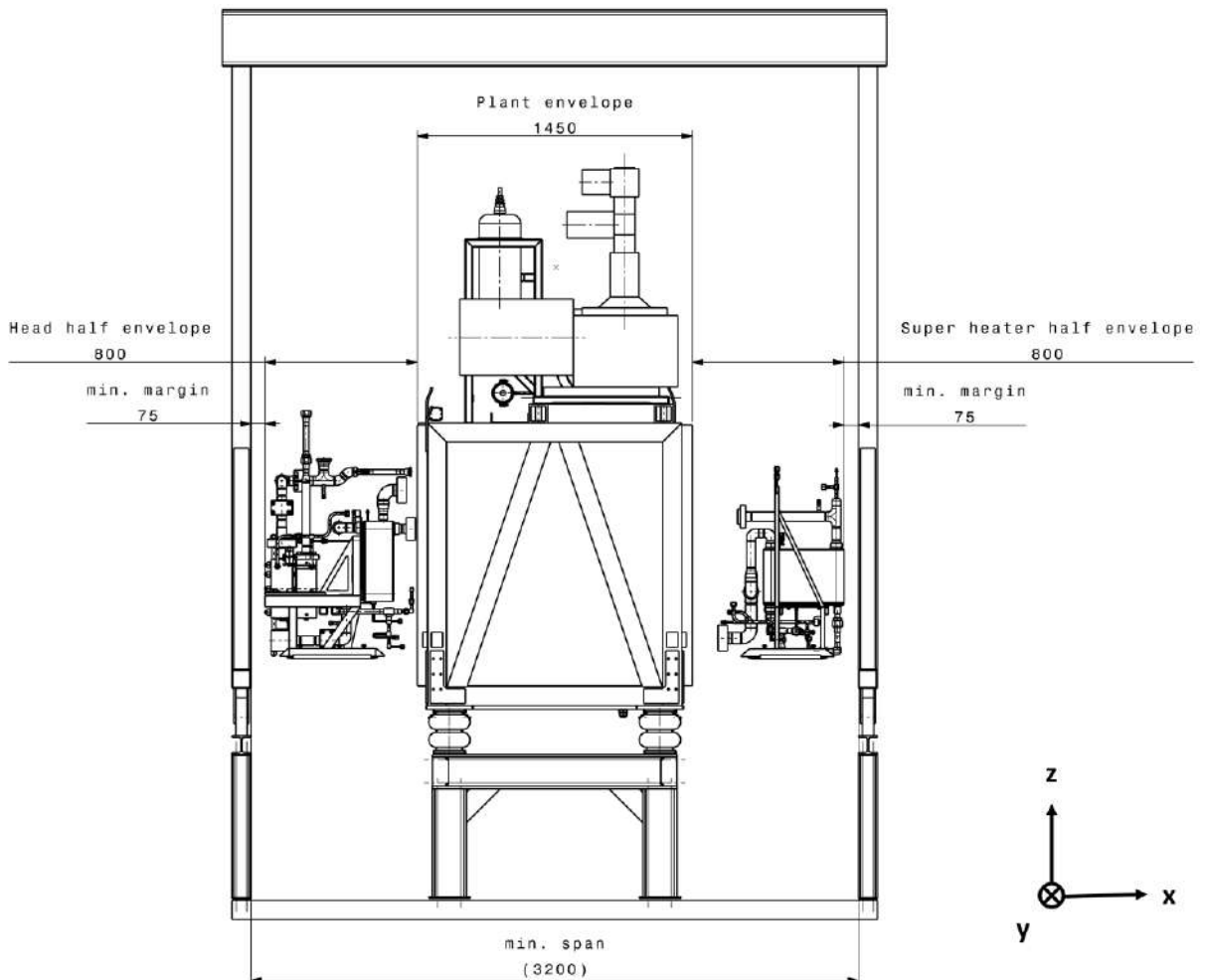


Figure 5: Crane's required free span due to the two sliding halves of the 3H spare plant

4.4 Hook coverage – reach

4.4.1 Reach in X direction

Another tight constraint is the required hook's coverage (also known as the crane's "reach"). The aforementioned dimension can be calculated using the center of gravity of the two sliding halves. As mentioned, the plant is still under design and therefore the COGs will slightly vary. This is why the required reach has been calculated with a **600 mm** hook coverage on each side of the spare plant, bringing the total width of the hook's reach at **2650 mm** as shown in figure 6.

4.4.2 Reach in Z direction (need for compact manual travel trolley)

A constraint regarding the hook's coverage in the z direction must also be introduced. Specifically, there must be enough space above the plant to accommodate for:

- a) a compact manual travel trolley with an integrated chain hoist with a nominal capacity of 3.2T
- b) a lifting beam attaching directly to the hook of the aforementioned travel trolley to lift the pump drive unit and the electrical motor
- c) a 50 mm margin for lifting the pump drive unit before transferring it with the mobile crane

Integration studies done by ATLAS demonstrate that a minimum space of 175 mm is required for (b) and (c), which results in a minimum reach of **3170 mm** for the hook's coverage in the Z direction. As shown in figure 6, this leaves a maximum of 600 mm of space for the accommodation of the crane's railing guide and the travel trolley (a).

It is noted that the above reach of 3170 mm in the Z direction is defined using as reference the top of the railing system, which is where the wheels of the crane will be sliding. As shown in figure 6, the aforementioned is at a distance of **870 mm** from the ground of the CV room (level of the false floor structure) (required height of railing system).

4.4.3 Reach in Y direction

Integration studies have demonstrated that a reach of **3200 mm** is needed in the y direction in order to accommodate for the various maintenance and assembly procedures of the plant (figure 7). This leads to some constraints for the envelope of the railing system needed, which will be discussed in chapter 5.

4.5 Crane envelope

In the Z direction, the maximum allowable height for the crane is **3770 mm** (chapter 4.2)

In the X and Y direction, the allowable envelope for the crane is **3510 mm** and **1880 mm** respectively.

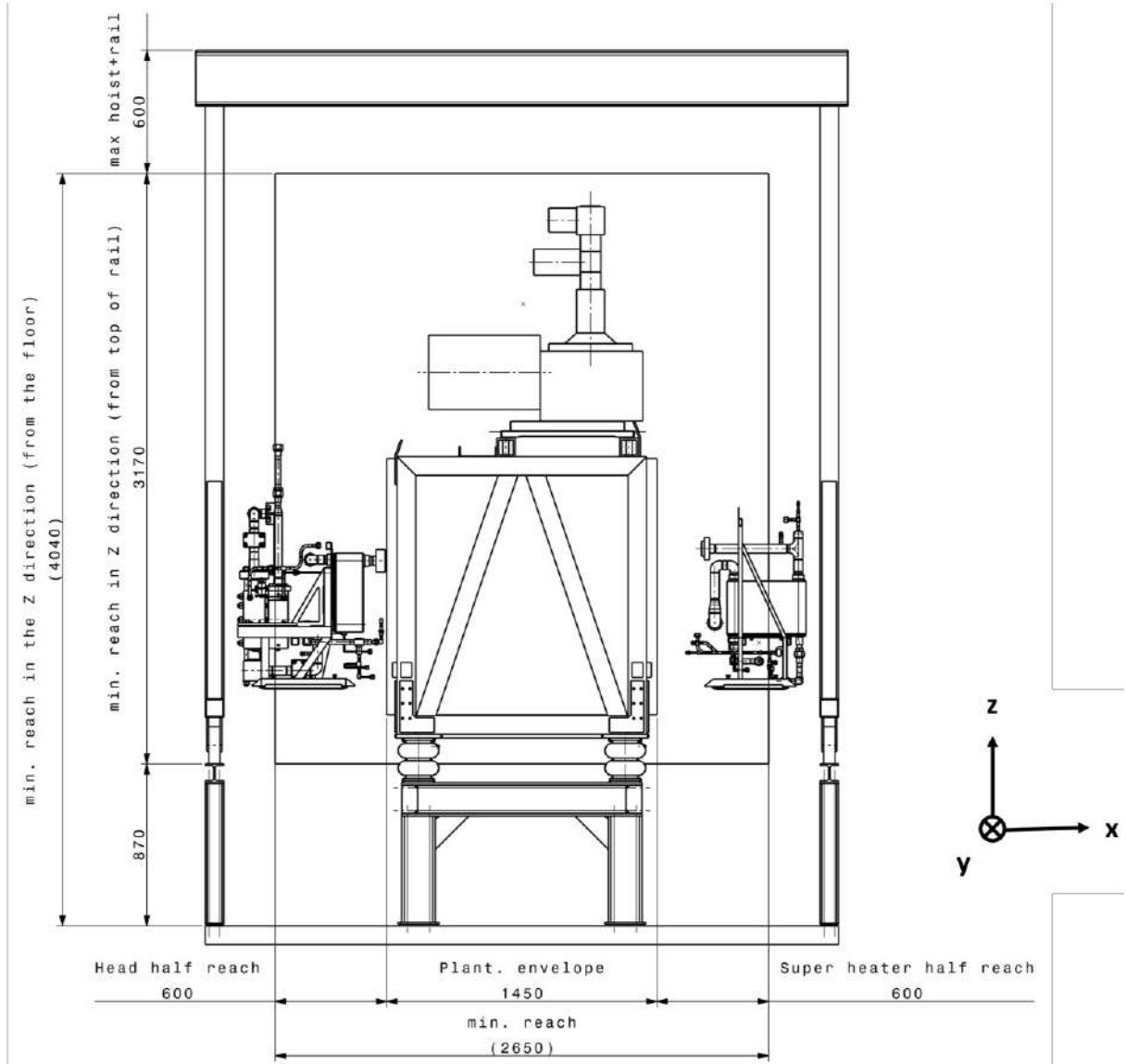


Figure 6: Crane's required hook coverage in the X and Z direction.

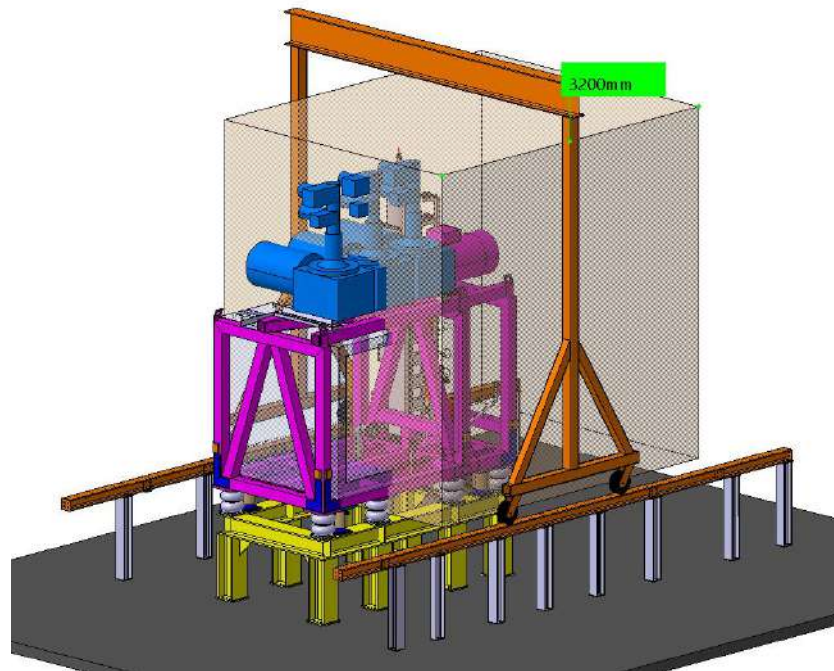


Figure 7: Crane's required hook coverage in the Y direction

5. Definition of the railing system characteristics

5.1 Height and interface with crane wheels

The railing system needs to allow for movement of the crane along the Y direction. It will consist of two HEB100 beams placed at a distance of **3320 mm** (measured from the center of the web – see figure 8). It is proposed to equip at minimum the side (-X) close to the wall of the crane with a set of U-groove wheels rolling on a steel plate with a width of 40 mm and a height of 30 mm. The other side (+X) can be equipped either with the same guiding set of wheels or with a set of flat wheels flush with the surrounding false floor (Figure 8). Both solutions are acceptable as long as sufficient guiding is provided.

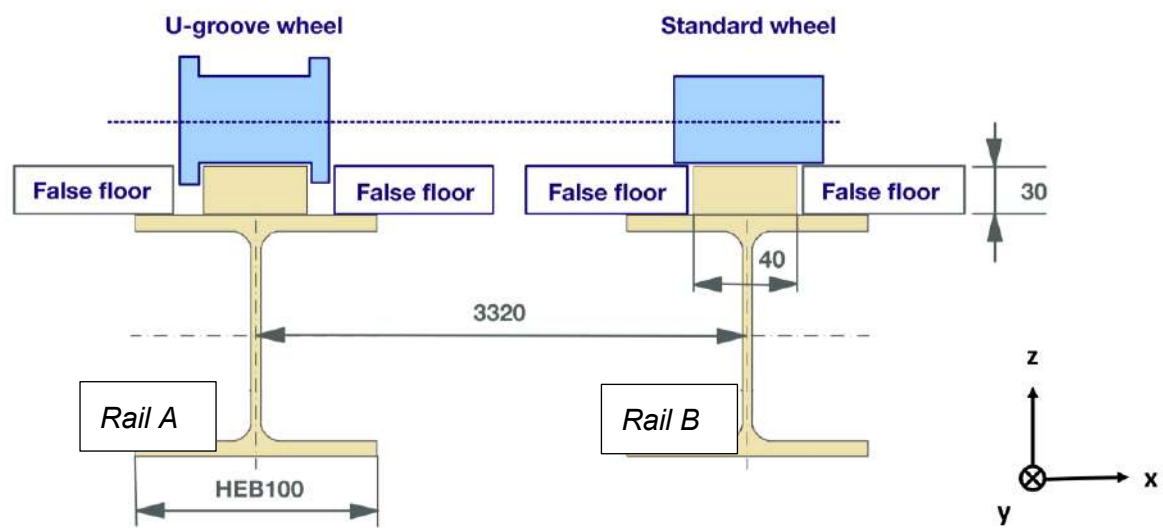


Figure 8: Interface between mobile crane and railing system.

5.2. Railing system's feet in the Y direction

The crane's rails will be part of the false floor structure around the 2PACL and their feet's locations have been chosen in accordance to the surrounding equipment so that there are no clashes. Their envelope in the Y direction and the distances between the feet can be seen in figure 9.

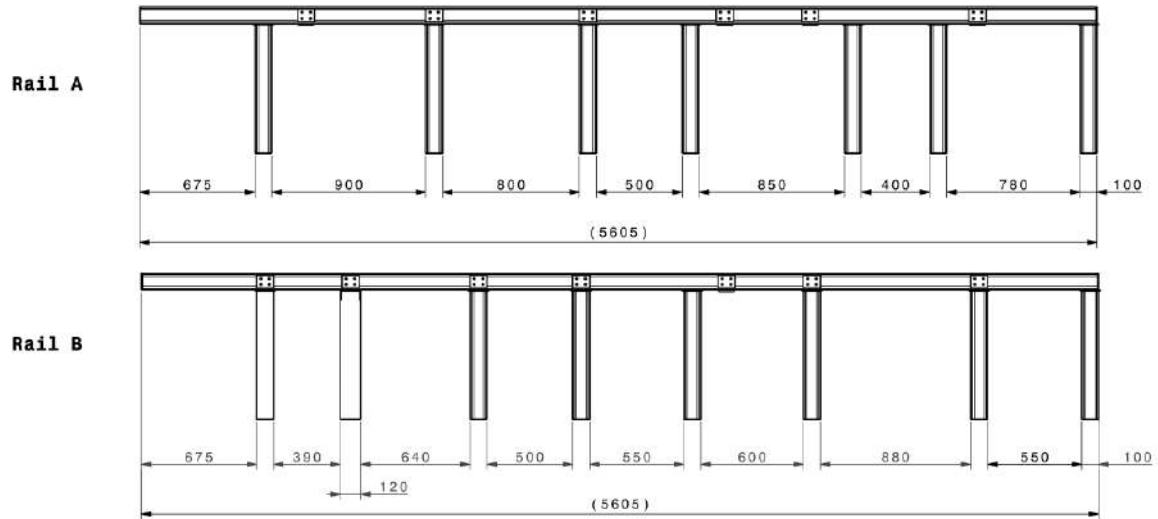


Figure 9: Definition of the rails' envelope and the location of the feet.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ



Technical Specification for the supply of an overhead crane for the assembly & maintenance procedures of the 2PACL Cooling Plants in the ATLAS USA15 CV Room.

<i>EDMS Document No:</i>	<i>Institute Document No.</i>	<i>Created: 24.05.2023</i>	<i>Page: 1 of 7</i>
---	---	<i>Modified:</i>	<i>Rev. No.: 0</i>

Technical Specification for the supply of an overhead crane for the assembly & maintenance procedures of the 2PACL Cooling Plants in the ATLAS USA15 CV Room.

Abstract:

In the frame work of the integration of the CO₂ cooling system, the USA 15 CV room will be equipped with new cooling plants (also called 2PACL plants). An overhead crane shall be installed around them to be used for the assembly and maintenance procedures for six out of seven of those plants. This technical specification concerns the supply of the aforementioned overhead crane, which should respect the dimensional constraints listed throughout the document due to the tight restrictions of the environment in which it will be installed.

<i>Prepared by:</i> E. Antonopoulos EP-ADO-PO	<i>Checked by:</i> ---	<i>Approved by:</i> ---
---	---------------------------	----------------------------

Distribution List

Table of Contents

Table of Contents	2
Table of Figures.....	3
1. Introduction to the environment.....	4
2. Scope of the supply	5
3. Design	5
4. Technical requirements of the overhead crane.....	5
4.1 Capacity	5
4.2 Envelope	5
4.2.1 Envelope in the x direction	5
4.2.2 Envelope in the y direction	5
4.2.3 Envelope in the z direction	5
4.3 Hook coverage – reach.....	6
4.3.1 Reach in x direction	6
4.3.2 Reach in y direction	6
4.3.3 Reach in z direction	6

Table of Figures

Figure 1: The 7 cooling plants to be installed in the USA15 CV room. The plants in the red outline will be within the reach of the overhead crane.....4

Figure 2: Isometric view of the environment. The crane’s railways can extend all the way to the walls (x+ and x-) and be supported on the wall on the one side (y-) and on the pillars on the other side (y+)4

Figure 3: Dimensional constraints for the crane's envelope and hook reach in the x direction.6

Figure 4: Dimensional constraints for the crane's envelope and hook reach in the y and z directions.7

1. Introduction to the environment

The USA15-CV room will be equipped with 7 cooling plants (also called 2PACL plants) for run 4. The number of pumps of each of those plants varies from 1 to 3. Depending on that number, the plants are often referred to as “1H”, “2H” and “3H Plant” accordingly (H for head). The overhead crane described in this specification will be used for the assembly and maintenance procedures of six of those plants – five 2H plants and one 1H plant – as shown in Figure 1.

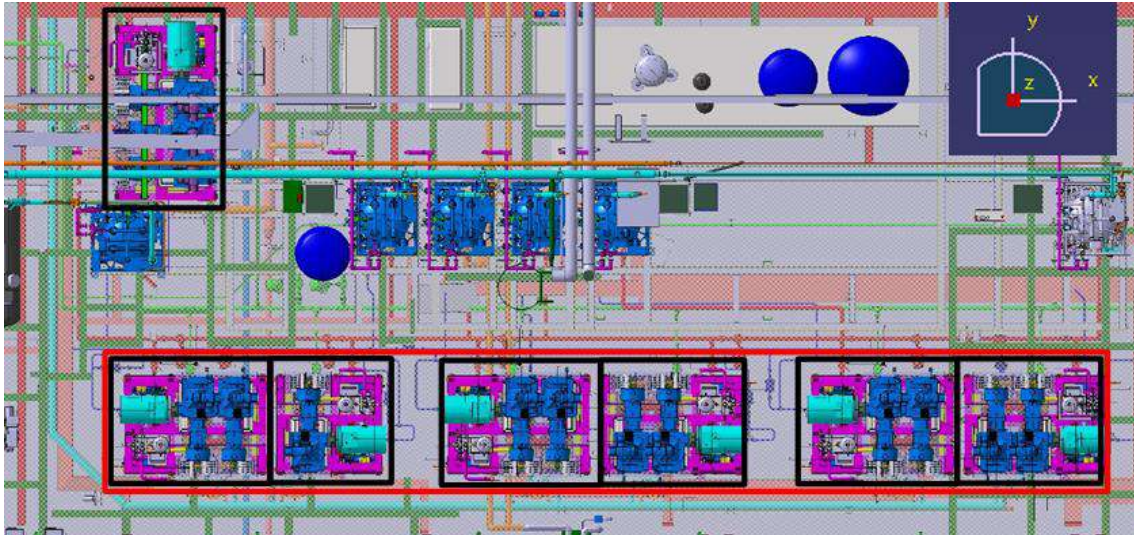


Figure 1: The 7 cooling plants to be installed in the USA15 CV room. The plants in the red outline will be within the reach of the overhead crane.

An isometric view of the environment where the overhead crane will be installed can be seen in Figure 2. It is expected that the crane's railway beams will extend all the way to the walls of the room ($x-$ and $x+$). On the one side ($y-$) they can be supported by the wall and on the other side ($y+$) they can be supported by the pillars. The dimensional constraints are listed in chapter 4.

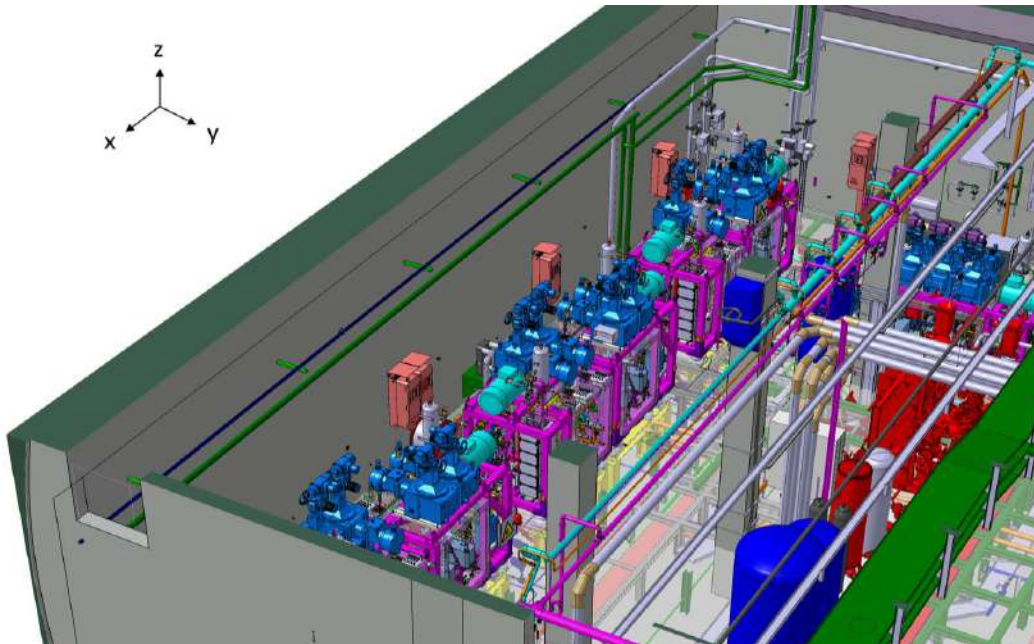


Figure 2: Isometric view of the environment. The crane's railways can extend all the way to the walls ($x-$ and $x+$) and be supported on the wall on the one side ($y-$) and on the pillars on the other side ($y+$)

2. Scope of the supply

The scope of this specification is the supply of:

- One overhead crane (railways, bridge, trolley and any other corresponding accessories) following the technical requirements listed in chapter 4;
- The 3D model and the manufacturing drawings of the above;
- The above shall be delivered with a “CE” declaration of conformity (“CE” marked) and shall follow the CERN safety rules in force for the lifting equipment;
- The user manual and the maintenance manual of the equipment;
- The delivery to CERN;
- The assembly and installation on CERN site during LS3.

3. Design

As shown in figure 1, the environment where this equipment will be installed is tight and imposes some constraints on its design. These constraints have been identified in the framework of integration studies and pre-dimensioning that has been performed and they are reflected in the technical requirements listed in chapter 4. Therefore, the final design is the responsibility of the manufacturer but the aforementioned technical and dimensional requirements should be respected.

4. Technical requirements of the overhead crane

4.1 Capacity

The nominal capacity of the crane (safe working load) should be **3.2 T**.

4.2 Envelope

4.2.1 Envelope in the x direction

As explained in chapter 2, the overhead crane’s railways are expected to extend up to the walls of the CV room. The distance between those walls is **17 m** – which is essentially the envelope of the crane in the x direction (Figure 3).

4.2.2 Envelope in the y direction

The distance between the wall and the pillars of the CV room in the y direction is 4850. Due to surrounding equipment, there should be a minimum gap of 300 mm on the side of the wall (y-) and 25 mm on the side of the beams (y+). Therefore, the envelope in the y direction is **4525 mm** (Figure 4).

4.2.3 Envelope in the z direction

The distance between the concrete floor of the CV room and the maximum allowable height for the crane envelope (due to equipment placed above) is **5075 mm**. However, equipment that is also present on the

side of the wall (y-) should be avoided (air duct in CV room). Therefore, the final envelope is **not rectangular** and its detailed geometry can be seen in Figure 4.

4.3 Hook coverage – reach

Integration studies performed by ATLAS TC regarding the assembly and maintenance needs of the 2PACL plants have shown that the crane's hook reach should respect the following dimensional constraints.

4.3.1 Reach in x direction

The hook of the crane should cover at least **13200 mm** in the x direction leaving a gap of a maximum of 1600 mm and 2200 mm from the walls of the CV room in the x+ and the x- side accordingly (Figure 3)

4.3.2 Reach in y direction

The hook of the crane should cover at least **3000 mm** in the y direction leaving a gap of a maximum of 663 mm and 1187 mm from the wall of the CV room (y-) and the pillars (y+) accordingly (Figure 4)

4.3.3 Reach in z direction

The hook of the crane should cover at least **4045 mm** in the z direction from the concrete floor (Figure 4).

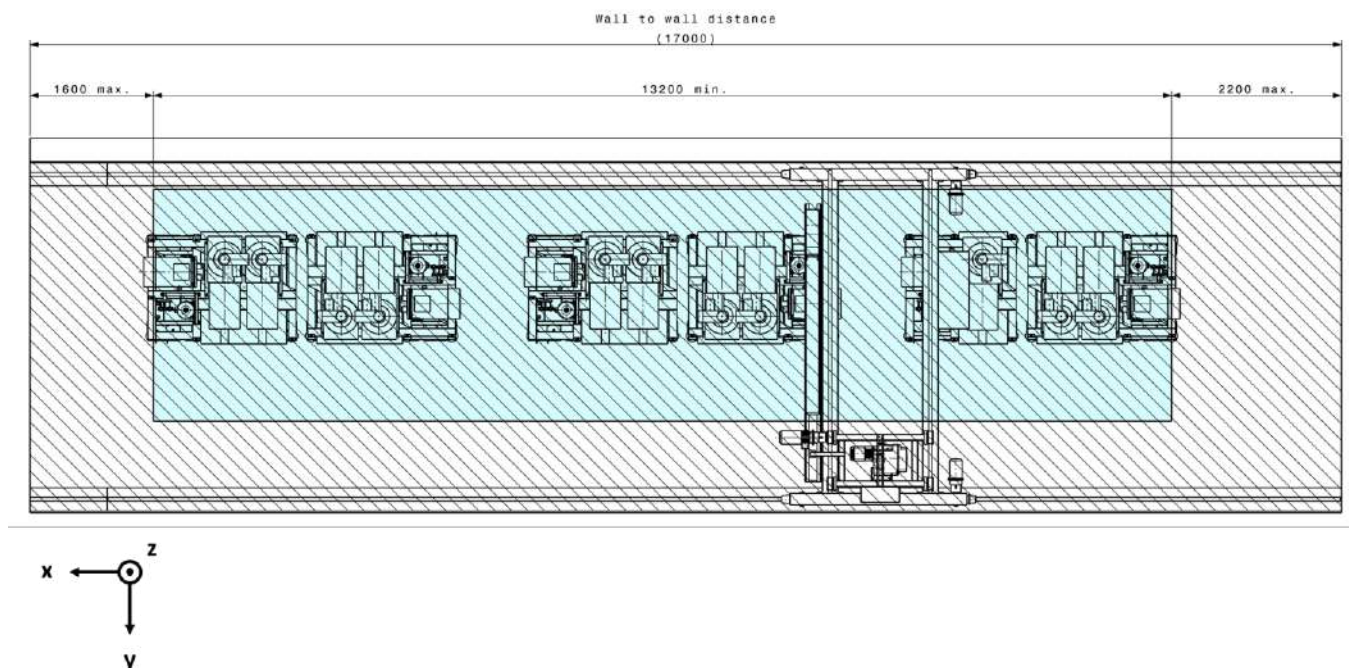


Figure 3: Dimensional constraints for the crane's envelope and hook reach in the x direction.

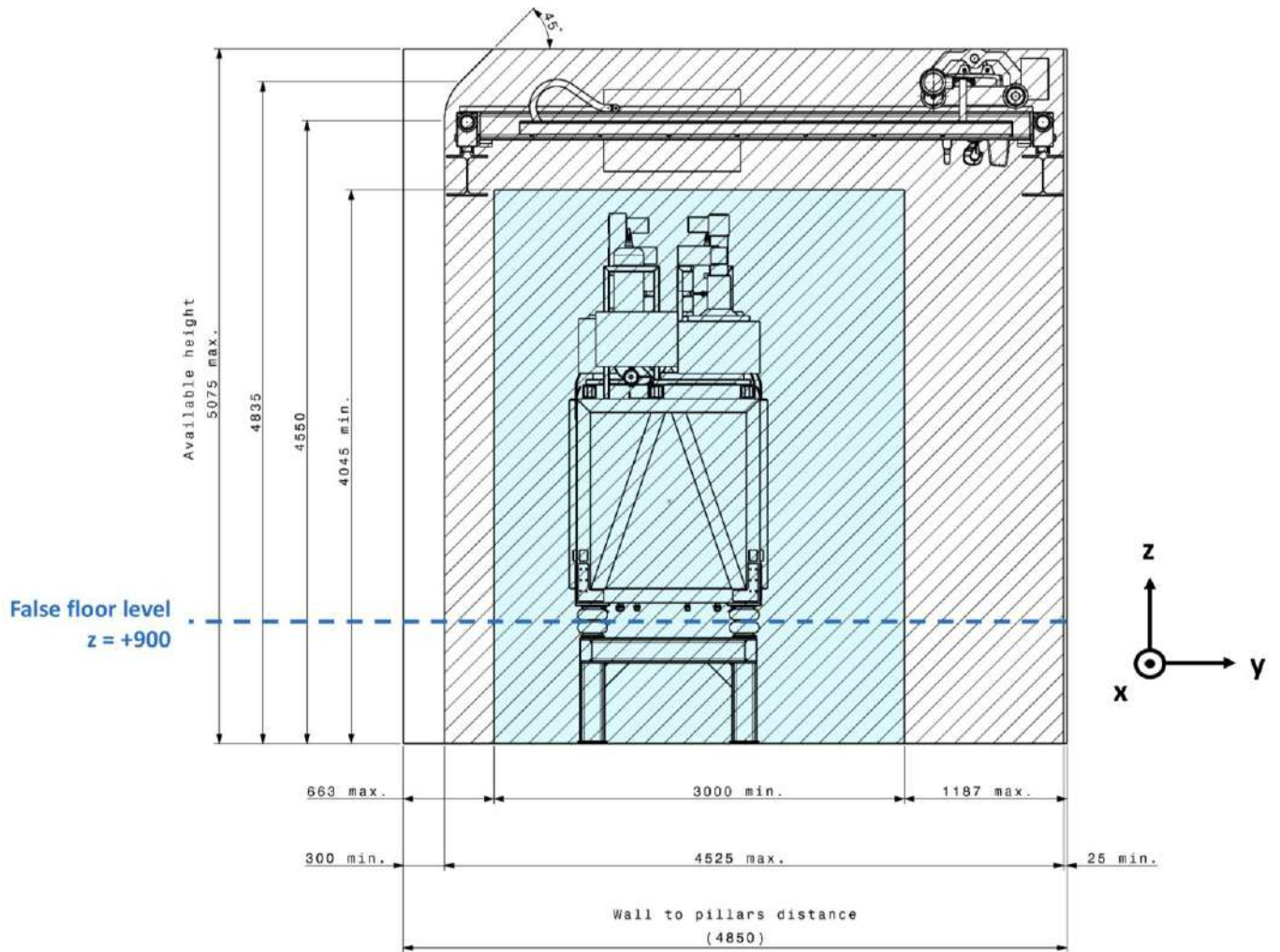


Figure 4: Dimensional constraints for the crane's envelope and hook reach in the y and z directions.