



**ΤΕΙ Κρήτης**  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης  
Τμήμα Μηχανολογίας

Πτυχιακή εργασία:  
Σχεδιομελέτη γερανογέφυρας για το εργαστήριο  
CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής



Μαύρος Αθανάσιος 4301  
Επιβλέποντες: Βιδάκης Νεκτάριος, Πετούσης Μάρκος

Ηράκλειο, 2015

# 1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	2
2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
3	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....	4
3.1	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΕΣ .....	4
3.2	ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	6
3.2.1	ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ (ΒΑΡΟΥΛΚΟ) .....	6
3.2.2	ΦΟΡΕΙΟ ΤΟΥ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ (ΒΑΡΟΥΛΚΟΦΟΡΕΙΟ) .....	12
3.2.3	ΚΥΡΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	15
3.2.4	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΦΟΡΕΑ (ΠΛΑΓΙΟΦΟΡΕΑΣ) .....	16
3.2.5	ΤΡΟΧΟΙ ΠΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΟΧΙΑ ΚΥΛΙΣΗΣ .....	19
3.2.6	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΚΥΛΙΣΗΣ .....	21
3.2.7	ΔΟΚΟΙ ΚΥΛΙΣΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ (ΓΕΡΑΝΟΔΟΚΟΙ) .....	24
3.3	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΤΥΠΟΙ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	30
4	ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	33
4.1	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ .....	33
4.2	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ .....	34
5	ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	35
5.1	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΤΥΠΟΥ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	35
5.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ .....	37
5.3	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ .....	38
5.3.1	ΚΟΛΩΝΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	38
5.3.2	ΔΟΚΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΩΝ ΤΡΟΧΙΩΝ ΚΥΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	39
5.3.3	ΤΡΟΧΙΑ ΚΥΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	42
5.3.4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΟΙΠΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	43
5.3.5	ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ .....	48
5.4	ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ .....	55
5.5	ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	81
5.6	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ .....	85
6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ (ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ) .....	89
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	93

## 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι να μελετηθεί και να σχεδιαστεί ένα σύστημα γερανογέφυρας, το οποίο θα τοποθετηθεί στο εργαστήριο CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής του ΤΕΙ Ηρακλείου, σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προδιαγραφές του χώρου, ώστε να διευκολυνθούν οι εργασίες που γίνονται σε αυτόν.

Οι γερανογέφυρες, αποτελούν το βασικότερο κομμάτι των ανυψωτικών συστημάτων και είναι σύνθετα ανυψωτικά μηχανήματα, που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση φορτίων σε ένα χώρο. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι μπορούν να σχεδιαστούν και να τροποποιηθούν, ώστε να εξυπηρετήσουν και τους πιο απαιτητικούς χώρους.

Το πρώτο και βασικό βήμα για να σχεδιαστεί και να μελετηθεί ένα τέτοιο ανυψωτικό σύστημα είναι να γίνει μία επισκόπηση του χώρου που πρόκειται να εγκατασταθεί καθώς και των αναγκών που καλείται να καλύψει. Έτσι θα επιλεγεί ο καταλληλότερος, από τους διαθέσιμους τύπους γερανογέφυρας, που θα εναρμονιστεί όσο το δυνατόν καλύτερα με τον χώρο αλλά και με τις εργασίες που γίνονται σε αυτόν.

Στο συγκεκριμένο χώρο αυτό που περιπλέκει την επιλογή του κατάλληλου τύπου και περιορίζει τις διαθέσιμες επιλογές είναι η ύπαρξη ψευδοροφής, χαμηλού ύψους, αλλά και η ανομοιομορφία και το μεγάλο ύψος της πραγματικής οροφής του εργαστηρίου. Ο περιορισμός αυτός βέβαια δεν θα υπήρχε, αν δεν εξεταζόταν καθόλου το συνολικό κόστος της κατασκευής και της εγκατάστασης ενός συστήματος γερανογέφυρας, αλλά και το κόστος παραποίησης του χώρου προκειμένου να μπορέσει να εφαρμοστεί, που θα μπορούσε να ξεπεράσει ακόμα και το κόστος της ίδιας της γερανογέφυρας.

Μετά τη μελέτη του χώρου και την επιλογή του κατάλληλου τύπου γερανογέφυρας πρέπει να προσδιοριστούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά ώστε να γίνει ο σχεδιασμός και η μελέτη του συστήματος. Τα βασικά αυτά χαρακτηριστικά που με βάση αυτών επιλέγονται και οι διαστάσεις των διάφορων εξαρτημάτων που απαρτίζουν μια γερανογέφυρα είναι:

- **Άνοιγμα γερανογέφυρας:** ορίζεται ως η οριζόντια αξονική απόσταση μεταξύ των τροχιών κύλισης στις οποίες κινείται η γερανογέφυρα.
- **Διαδρομή γερανογέφυρας:** είναι η διανυόμενη απόσταση στις τροχιές κύλισης.
- **Ανυψωτική ικανότητα:** ορίζεται ως το μέγιστο φορτίο που θα κληθεί να ανυψώσει η γερανογέφυρα.
- **Ύψος ανυψώσεως αγκίστρου:** είναι η απαιτούμενη απόσταση από το δάπεδο έως το άνω μέρος του άγκιστρου.

Με τον ορισμό αυτών των χαρακτηριστικών, αλλά και των διατάξεων που επιβάλλονται από τους σχετικούς φορείς και τους κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων, μπορεί να προχωρήσει ο σχεδιασμός και η επιλογή των μηχανικών εξαρτημάτων της γερανογέφυρας.

Το τελευταίο βήμα, αφού σχεδιαστεί και μελετηθεί το σύστημα, είναι η κοστολόγηση της κατασκευής. Το τελικό κόστος μιας γερανογέφυρας εξαρτάται αρχικά από το υλικό που θα είναι τα διάφορα εξαρτήματα στήριξης της κατασκευής. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι ο τρόπος μετάδοσης της κίνησης στο σύστημα, αν δηλαδή η κίνηση του ανυψωτικού μηχανισμού κατά μήκος και κατά πλάτος του χώρου, θα γίνεται χειροκίνητα ή με κάποιο άλλο τρόπο.

Τέλος, στο τελικό κόστος πρέπει να συμπεριληφθεί και το κόστος εγκατάστασης της γερανογέφυρας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και τις διάφορες παραποιήσεις που μπορεί να χρειαστεί να γίνουν στον χώρο εφαρμογής του συστήματος. Το κόστος εγκατάστασης διαμορφώνεται ανάλογα με τον τύπο γερανογέφυρας και μπορεί να είναι μέχρι και μηδενικό.

### 3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

#### 3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΕΣ

Ο άνθρωπος από πολύ νωρίς σχεδίασε και κατασκεύασε διάφορα ανυψωτικά συστήματα που τον διευκόλυναν στην ανύψωση και τη μεταφορά βαρέων και μεγάλων φορτίων. Σχεδόν όλα τα συστήματα αυτά βασίζονται στην «ιδέα» του γερανού που παρουσιάστηκε τον 6<sup>ο</sup> αιώνα στην Αρχαία Ελλάδα, και χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή αρχαίων ναών αλλά και άλλων κτιρίων. Εκείνη την εποχή, η ανύψωση φορτίων από τους γεραμούς γινόταν με τη βοήθεια ζώων ή ανθρώπων.



**Εικόνα 3.1.1:** Γερανογέφυρα ατμοκίνητη γερμανικής μελέτης και κατασκευής, του 1875

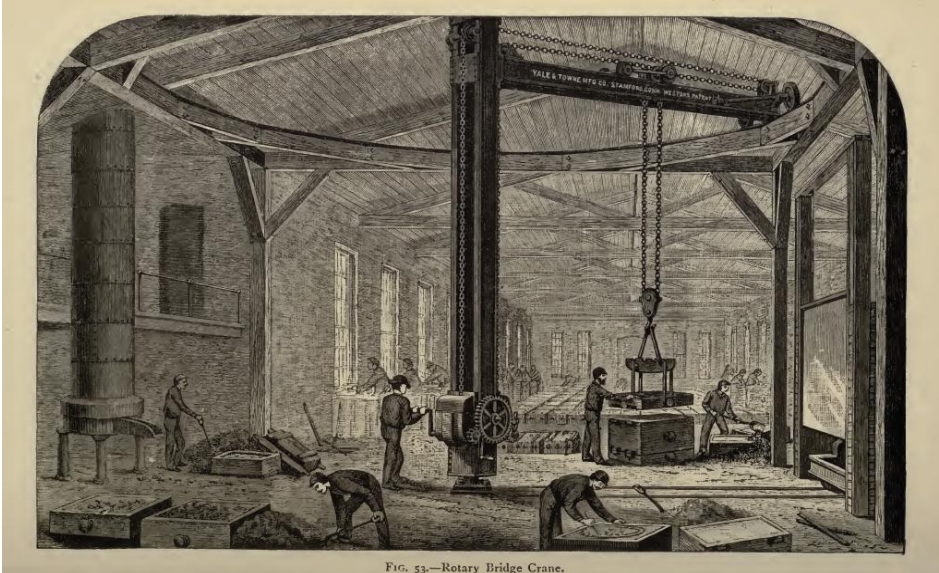
Οι γερανογέφυρες αποτελούν μια σημαντική εξέλιξη του γερανού, και σήμερα είναι ένα από τα καλύτερα συστήματα ανύψωσης και μεταφοράς φορτίων που συναντάμε σχεδόν σε όλους τους χώρους που χρησιμοποιούνται τέτοια συστήματα, όπως είναι οι βιομηχανίες, τα εργοτάξια, οι αποθήκες κ.α.. Οι πρώτες γερανογέφυρες λειτουργούν με ατμό ενώ η χρήση τους παγιώνεται μετά τη βιομηχανική επανάσταση και σε συνδυασμό με την «είσοδο» του ηλεκτρισμού στη ζωή του ανθρώπου.

Οι γερανογέφυρες, με λίγα λόγια, είναι ένα σύνθετο ανυψωτικό μηχανήμα που χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση φορτίων σε έναν χώρο σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου, όπου στις δύο απέναντι πλευρές (π.χ. τοίχους) αυτού του χώρου είναι στερεωμένες ψηλά ράγες πάνω στις οποίες μπορούν να κινηθούν μία ή δύο δοκοί. Από τις δοκούς κρέμεται ένας γερανός που μπορεί να μετακινηθεί κατά μήκος αυτών και έτσι το σύστημα μπορεί να κινηθεί οριζοντίως και καθέτως στο σύνολο του χώρου για να μετακινήσει φορτία μέσα σε αυτόν.

Η πρώτη μαζική παραγωγή γερανογεφυρών ξεκίνησε το 1840, από μια γερμανική εταιρία, που ονομαζόταν **Demag Cranes & Components Corp**, η οποία ήδη από το 1830 κατασκεύαζε παρόμοια ανυψωτικά συστήματα, και η λειτουργία τους ήταν αρχικά με ατμό.

Το 1854 ο Sampson Moore, στο Λίβερπουλ της Αγγλίας, θέλοντας να επιτύχει την ανύψωση μεγαλύτερων και βαρύτερων φορτίων, προσθέτει έναν ηλεκτρικό κινητήρα στο σύστημα μεταφοράς και ανύψωσης της γερανογέφυρας (βαρούλκο). Έτσι το 1876 κατασκευάζονται, στην Αγγλία, οι πρώτες ηλεκτρικές γερανογέφυρες, και εμπνευστής τους ήταν και πάλι ο Sampson Moore, ενώ η χρήση τους ήταν κυρίως για τη μεταφορά όπλων. Τα περισσότερα συστήματα μεταφοράς και ανύψωσης φορτίων, τα οποία χρησιμοποιούνται εξελιγμένα ακόμα και σήμερα, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν σε περιόδους πολέμου, και εξυπηρετούσαν τις ανάγκες του στρατού.

Οι γερανογέφυρες λόγω της απλότητας της κατασκευής τους αλλά και της ευκολίας να προσαρμοστούν σε οποιοσδήποτε συνθήκες εργασίας και σε οποιοδήποτε χώρο, (όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1.2 παρακάτω, όπου απεικονίζεται μια πολύ ιδιαίτερη κατασκευή περιστρεφόμενης γερανογέφυρας) δεν άργησαν να χρησιμοποιηθούν και για εκτός στρατού δραστηριότητες, και έτσι το 1861, στην Αγγλία παρουσιάζονται οι πρώτες ατμοκίνητες γερανογέφυρες, ιδιωτικής χρήσης, σε εργοστάσιο που κατασκεύαζε τρένα.

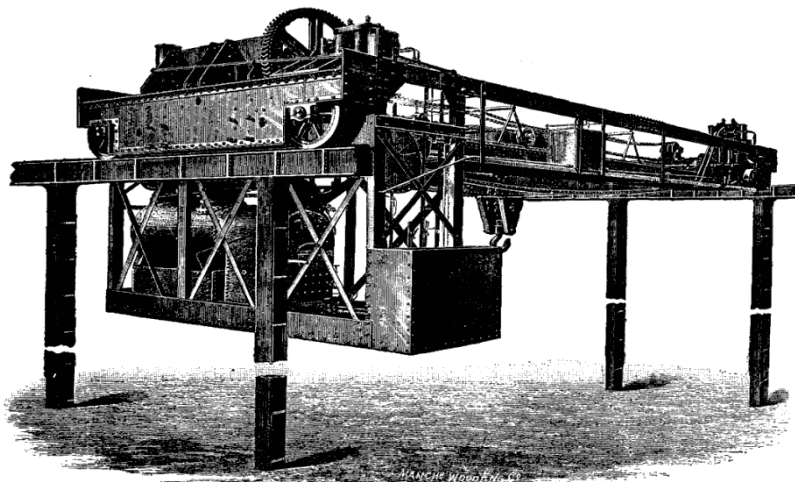


**Εικόνα 3.1.2:** Χειροκίνητη περιστρεφόμενη γερανογέφυρα σε χυτήριο του 1880

Παρόλο που από το 1876 είχαν κατασκευαστεί οι πρώτες ηλεκτρικές γερανογέφυρες, μόλις το 1887 ξεκινάει στη Γερμανία η βιομηχανική παραγωγή ηλεκτρικών εξαρτημάτων, που διευκόλυναν την χρήση συστημάτων γερανογέφυρας αλλά και τους έδινε τη δυνατότητα ανύψωσης και μεταφοράς βαρύτερων φορτίων.

Πρόκειται για εξαρτήματα που προορίζονταν κυρίως για τη μετατροπή της κίνησης ήδη εγκατεστημένων συστημάτων γερανογέφυρας, από ατμοκίνητη ή χειροκίνητη, σε ηλεκτροκίνητη, και αυτό γίνεται διότι ήταν πιο οικονομική η μετατροπή ενός τέτοιου συστήματος, από το να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί εξ' ολοκλήρου ένα νέο σύστημα γερανογέφυρας.

Με τη σταδιακή εξέλιξη όμως όλων των εξαρτημάτων που απαρτίζουν ένα σύστημα γερανογέφυρας, όπως τα υλικά κατασκευής, των συστημάτων πέδησης, των μέσων ανύψωσης κ.α., το 1910 ξεκινάει, και πάλι στη Γερμανία, η πρώτη μαζική παραγωγή καθαρά ηλεκτρικών γερανογεφυρών, οι οποίες πλησιάζουν αρκετά στους σημερινούς τύπους γερανογέφυρας.

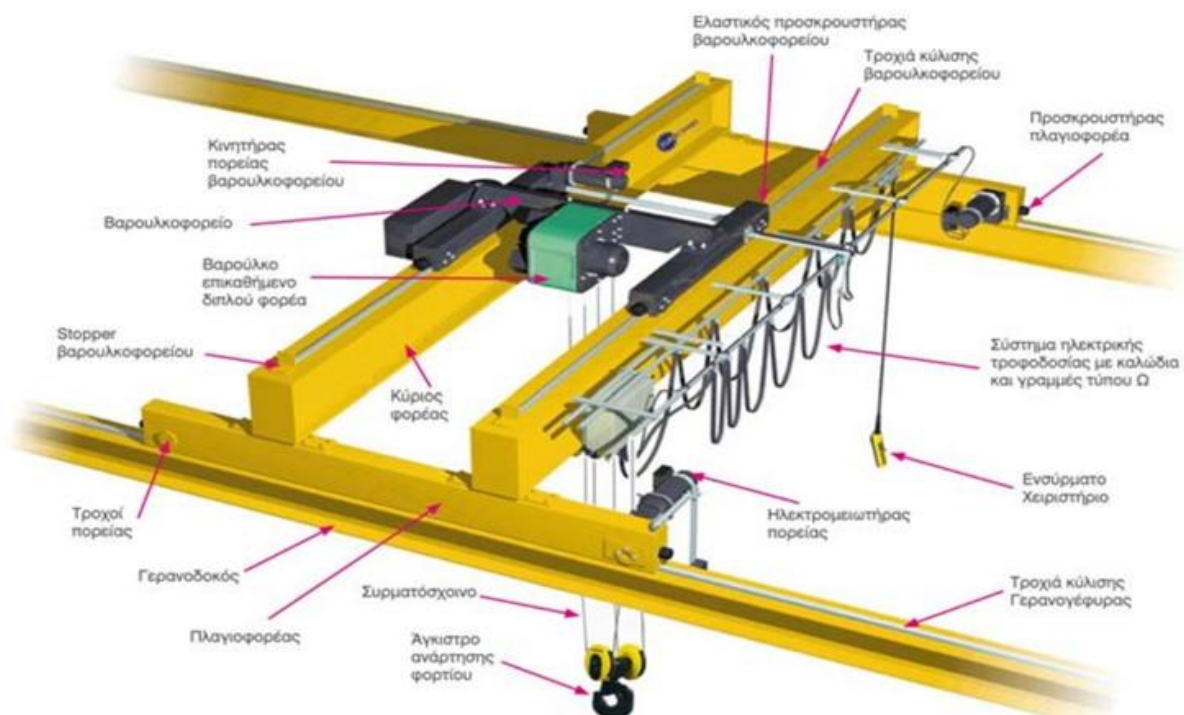


**Εικόνα 3.1.3:** Ατμοκίνητη γερανογέφυρα με αυτόνομη στήριξη του 1890

### 3.2 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω μια γερανογέφυρα αποτελείται από πολλά και σύνθετα μέλη. Παρακάτω θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τα βασικά και απαραίτητα μέλη μιας γερανογέφυρας. Θα αναπτυχθούν οι λόγοι ύπαρξης τους και πως αυτά κατασκευάζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις και ανάγκες που καλείται να καλύψει.

Για να ικανοποιηθούν οι ειδικές ανάγκες διακίνησης μεγάλων φορτίων και οι απαιτήσεις εργοστασίων μεγάλου μεγέθους, οι γερανογέφυρες διατίθενται σε απλή ή διπλή δοκό προφίλ ή κιβωτοειδούς (box) διατομής. Οι γερανογέφυρες διατίθενται με κύριο φορέα επικαθήμενου ή αναρτημένου τύπου για διάφορα ύψη και κατασκευές κτιρίων. Η κατηγορία φόρτισης, οι ταχύτητες, οι μέθοδοι ελέγχου καθώς και μια ευρεία σειρά πρόσθετου εξοπλισμού, χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση της γερανογέφυρας σύμφωνα με τις λειτουργικές και χωροταξικές απαιτήσεις. Οι γερανογέφυρες επιτρέπουν τη μέγιστη προσέγγιση αγκίστρου στα άκρα του γερανού με αποτέλεσμα να απαιτείται ελάχιστος χώρος εγκατάστασης.



**Εικόνα 3.2.1:** Ενδεικτική δομή επικαθήμενης γερανογέφυρας διπλής κατανομής με επικαθήμενο φορείο βαρούλκου

#### 3.2.1 ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ (ΒΑΡΟΥΛΚΟ)

Το πιο βασικό και απαραίτητο εξάρτημα μιας γερανογέφυρας είναι το **βαρούλκο**. Τα βαρούλκα συνιστούν μηχανισμούς ανύψωσης και μεταφοράς φορτίων τα οποία περιλαμβάνουν τροχαλίες και συρματόσχοινα. Στα βαρούλκα έχουμε διανομή του φορτίου σε περισσότερους κλάδους συρματόσχοινου και η σύνδεση του συρματόσχοινου με το άγκιστρο δεν γίνεται άμεσα αλλά μέσω συστήματος ανάρτησης.

Η αντίστοιχη διάταξη ανάρτησης ως μέσο παραλαβής φορτίου στους γεραμούς λέγεται «μπασδέκα». Οι διατάξεις βαρούλκου έχουν μεγαλύτερο μήκος τυμπάνου και μικρότερη διάμετρο συρματόσχοινου. Τα οφέλη αυτού του σχεδιασμού είναι ότι έχουμε μικρότερη διάμετρο τυμπάνου, μικρότερο μοχλοβραχίονα βάρους μεγαλύτερο αριθμό στροφών του τυμπάνου και τέλος μικρότερη σχέση μετάδοσης του μηχανισμού.

Στα βαρούλκα συναντώνται διάφορες διατάξεις ανάρτησης φορτίου. Μπορεί να έχουμε ανάρτηση είτε από ένα κλάδο, είτε από δύο κλάδους, είτε απευθείας οδήγηση του συρματόσχοινο προς το βάρος. Τα φορτία που αναρτώνται από έναν κλάδο, εκτός της κατακόρυφης μετατόπισης μαζί με το άγκιστρο και το συρματόσχοινο, υπόκεινται και σε μια οριζόντια μετατόπιση. Αυτό έχει ως συνέπεια τα φορτία στα βαρούλκα μονού κλάδου να μην μπορούν να ανυψωθούν και/ή να καταβιβαστούν ακριβώς κατακόρυφα.

Μια άλλη διάταξη ανάρτησης φορτίου είναι αυτή που περιλαμβάνει μια ελεύθερη τροχαλία με δύο κλάδους. Οι παραπάνω δύο διατάξεις συχνά χρησιμοποιούνται για μικρά σχετικά φορτία μέχρι 3 τόνους. Η ανάρτηση μονού κλάδου που επιτρέπει την οριζόντια μετατόπιση χρησιμοποιείται και σε στρεφόμενους γερανούς. Όταν το συρματόσχοινο οδηγείται απευθείας στο βάρος τότε στο τύμπανο γίνεται τύλιξη δύο κλάδων του συρματόσχοινο. Η διπλή αυτή τύλιξη αναστέλλει την οριζόντια μετατόπιση του φορτίου και χρησιμοποιείται συχνά σε μηχανισμούς ανύψωσης κυλιόμενων φορείων.

Τα βαρούλκα είναι μηχανισμοί χειροκίνητοι ή ηλεκτροκίνητοι. Μια ειδική περίπτωση βαρούλκου με ευρεία εφαρμογή είναι το βαρούλκο τριβής, ενώ σε ειδικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται και βαρούλκα μικρής δυναμικότητας που ενεργοποιούνται με πεπλεγμένο αέρα.

### Χειροκίνητοι ανυψωτικοί μηχανισμοί (βαρούλκα)

Τα χειροκίνητα βαρούλκα είναι διατάξεις σταθεροποιημένες σε μια θέση με χειροστρόφαλο, σύστημα οδοντωτών και τύμπανο, στο οποίο το συρματόσχοινο τυλίγεται σε πολλές στρώσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως μέσο έλξης και λιγότερο ως μέσο ανύψωσης. Περιλαμβάνουν εκτός από το τύμπανο και το συρματόσχοινο, ένα χειροστρόφαλο, ένα σύστημα τριών οδοντωτών τροχών για τη μετάδοση των κινήσεων και τη ρύθμιση της ταχύτητας και έναν τροχό αναστολής.



**Εικόνα 3.2.1.1:** Χειροκίνητοι μηχανισμοί ανύψωσης με μοχλό (κρικοπαλάγκο) και με αλυσίδα (παλάγκο)

Τα χειροκίνητα βαρούλκα ανύψωσης όμως, είναι μία εξαιρετική επιλογή για οποιοδήποτε περιβάλλον όπου ο ηλεκτρισμός δεν είναι πρακτική λύση ή δεν είναι διαθέσιμος. Χωρίς ηλεκτρονικά στοιχεία, αποτελούν επίσης μία οικονομική λύση όταν δεν γίνεται ανύψωση φορτίων σε μόνιμη βάση, όπως για παράδειγμα σε μια γραμμή παραγωγής. Με εύρος ανυψωτικής ικανότητας από  $\frac{1}{4}$  τόνου έως 20 τόνους, τα χειροκίνητα βαρούλκα σίγουρα καλύπτουν τις ανυψωτικές ανάγκες μεγάλου μέρους του πεδίου εφαρμογής τέτοιων συστημάτων.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.2.1.1, στα χειροκίνητα βαρούλκα υπάρχουν δύο διαθέσιμοι τύποι. Στον ένα τύπο (αριστερά) η κίνηση της αλυσίδα και κατ' επέκταση η ανύψωση του άγκιστρου γίνεται με μοχλό και είναι γνωστό ως **κρικοπαλάγκο**, ενώ στον άλλο τύπο γίνεται με το τράβηγμα της αλυσίδας και ονομάζεται παλάγκο ή τραβηχτικό παλάγκο.

## Χειροκίνητος ανυψωτικός μηχανισμός με μοχλό (κρικοπαλάγκο)



- 1. Κορμός μηχανισμού:** Ο κορμός του μηχανισμού είναι στην ουσία μία θήκη μέσα στην οποία βρίσκονται τα γρανάζια και οι τροχοί της αλυσίδας. Εκεί υπάρχει και λιπαντικό υγρό ώστε η λειτουργία του να είναι πιο αποδοτική, αλλά και να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τα εξαρτήματα που κινούνται.
- 2. Έδρανα:** Τα έδρανα που βρίσκονται στην εσωτερική πλευρά κάθε θήκης του μηχανισμού έχουν υποστεί ειδική επεξεργασία ώστε να έχει καλύτερη μηχανική απόδοση ο μηχανισμός αλλά και για μείωση της δύναμης της κίνησης του μοχλού.
- 3. Αλυσίδα ανύψωσης:** Η αλυσίδα ανύψωσης είναι το μέσο ανύψωσης του μηχανισμού.
- 4. Στοπ αλυσίδας:** Βρίσκεται στο ένα άκρο της αλυσίδας και χρειάζεται για να μην φύγει η αλυσίδα από το σύστημα κατά το κατέβασμα του φορτίου.
- 5. Οδηγός αλυσίδας:** Διασφαλίζει τη σταθερή πορεία της αλυσίδας ώστε να μην μετακινείται κατά την κίνηση της, και προστατεύει την τροχαλία από υγρά και βρωμιές.
- 6. Τροχός μοχλού:** Μέσω του μοχλού περιστρέφεται ο τροχός δίνοντας έτσι κίνηση στα γρανάζια και κατ' επέκταση και στην αλυσίδα.
- 7. Μηχανισμός φρένου:** Συγκρατεί την θέση της αλυσίδα όταν σταματάει η εφαρμογή δύναμης στο μοχλό.
- 8. Διπλό στοπ τροχού καστανιάς:** Υπάρχουν δύο στοπ στον τροχό του μοχλού ώστε αν δεν λειτουργήσει το ένα να συνεχίσει το σύστημα να λειτουργεί με ασφάλεια.
- 9. Άγκιστρο στήριξης και ανύψωσης:** Το πάνω άγκιστρο χρειάζεται για τη στήριξη του μηχανισμού ενώ το κάτω άγκιστρο για τη στήριξη του φορτίου ανύψωσης. Και τα δύο έχουν δυνατότητα περιστροφής αν αυτό χρειάζεται.

**Εικόνα 3.2.1.2:** Χειροκίνητος ανυψωτικός μηχανισμός με μέσο κίνησης της αλυσίδας το μοχλό (κρικοπαλάγκο σε τομή)





### Χειροκίνητος ανυψωτικός μηχανισμός με αλυσίδα (παλάγκο)

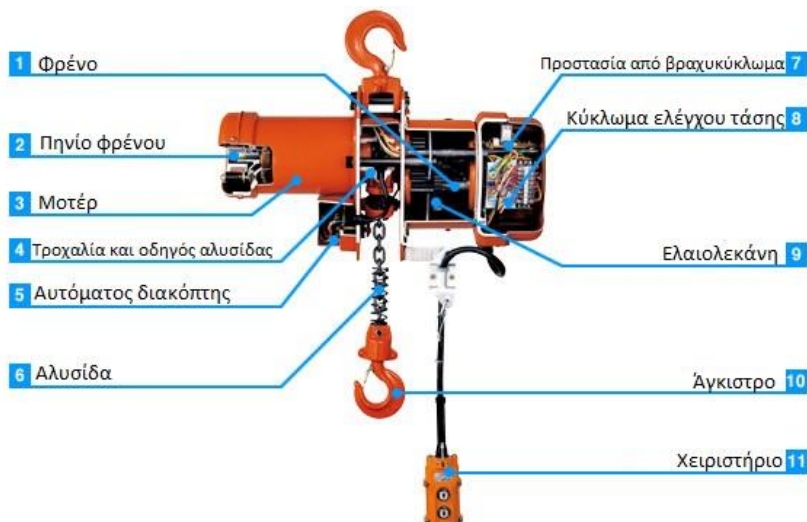
Στο παλάγκο η κίνηση, άρα και η ανύψωση των φορτίων, γίνεται με το τράβηγμα της αλυσίδας. Η δομή του δεν διαφέρει πολύ από το κρικοπαλάγκο, ενώ η βασική τους διαφορά όπως είναι προφανές είναι το μέσο μετάδοσης της κίνησης.

1. Κορμός μηχανισμού
2. Προστασία τροχού και φρένων
3. Φρένο μηχανισμού
4. Διπλό στοπ τροχού
5. Οδηγός αλυσίδας
6. Έδρανα
7. Στοπ αλυσίδας
8. Αλυσίδα ανύψωσης
9. Άγκιστρο στήριξης και ανύψωσης

**Εικόνα 3.2.1.4:** Χειροκίνητος ανυψωτικός μηχανισμός που η ανύψωση γίνεται με το τράβηγμα της αλυσίδας (παλάγκο)

### Ηλεκτρικοί ανυψωτικοί μηχανισμοί

Η έννοια του ηλεκτρικού βαρούλκου είναι συνυφασμένη με έναν ολοκληρωμένο ανυψωτικό μηχανισμό. Έχουν ευρεία χρήση και η πιο συνηθισμένη εφαρμογή τους είναι στις γερανογέφυρες. Είναι ιδιαίτερα σύνθετες διατάξεις σε σχέση με τα χειροκίνητα βαρούλκα και περιλαμβάνουν ως βασικά στοιχεία τον κινητήρα το τύμπανο με το συρματόσχοινο, τη διάταξη μειωτήρα και τον οριακό διακόπτη.



**Εικόνα 3.2.1.4:** Ενδεικτική δομή ηλεκτρικού ανυψωτικού μηχανισμού με μέσο ανύψωσης αλυσίδα

Συνήθως ο κινητήρας έχει ολισθαίνοντα δρομέα και κωνική πέδη. Η μετατροπή των στροφών γίνεται με μια διάταξη τριών επικυκλικών οδοντώσεων προσαρμοσμένη μέσα στο τύμπανο του βαρούλκου. Το σύνολο του μηχανισμού περικλείεται από προστατευτικό κέλυφος κατασκευασμένο από χαλύβδινο έλασμα. Ο οριακός διακόπτης<sup>(5)</sup> επιτρέπει στο βαρούλκο να ελέγχει το ύψος ανύψωσης. Ο έλεγχος αυτός επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της ακρίβειας στροφής του τυμπάνου. Μια άλλη λειτουργικά απαραίτητη διάταξη ελέγχου είναι αυτή που προστατεύει το βαρούλκο έναντι υπερφόρτισης.

Όλες οι διατάξεις ελέγχου είναι τοποθετημένες μέσα σε ένα κιβώτιο τοποθετημένο σε εκείνη την πλευρά του συνολικού μηχανισμού βαρούλκου, στην οποία υπάρχει η καλύτερη δυνατή πρόσβαση. Ένας κατάλληλος σύνδεσμος προσαρμόζει τον κινητήρα στον άξονα των επικυκλικών οδοντώσεων και συνιστά το σημείο διαχωρισμού δύο διακριτών διατάξεων.

Η πρώτη είναι η κινούσα διάταξη που περιλαμβάνει τον κινητήρα και την κωνική πέδη και η δεύτερη είναι το κινούμενο μέρος του μηχανισμού που περιλαμβάνει το τύμπανο, το συρματόσχοινο ή την αλυσίδα, τις επικυκλικές οδοντώσεις και τις διατάξεις ελέγχου. Ο σύνδεσμος αυτός επιτρέπει την τοποθέτηση και την αφαίρεση του κινητήρα.

Ένας τύπος ηλεκτρικού βαρούλκου που χρησιμοποιείται για ανυψώσεις μικρών φορτίων είναι αυτός που χρησιμοποιεί αλυσίδες αντί για συρματόσχοινο. Οι αλυσίδες έχουν μικρές ακτίνες περιέλιξης σε σχέση με τα συρματόσχοινα. Αυτό συνεπάγεται μικρότερες ροπές για τα ίδια φορτία.

Η κινούσα διάταξη είναι ίδια με αυτήν των βαρούλκων που φέρουν συρματόσχοινο καθώς περιλαμβάνει έναν κινητήρα μικρής ισχύος με ολισθαίνοντα δρομέα και την κωνική πέδη. Το κινούμενο μέρος περιλαμβάνει έναν αλυσοτροχό αντί για τύμπανο συρματόσχοινου και διάταξη μειωτήρα που αποτελείται από παράλληλες οδοντώσεις. Ο φορέας του φορτίου είναι μια αλυσίδα που συχνά τοποθετείται σε κιβώτιο προσαρμοσμένο στο μηχανισμό.

Τα ηλεκτρικά βαρούλκα είναι αυτόνομοι λειτουργικά μηχανισμοί που μπορεί να είναι είτε σταθερά προσαρμοσμένοι σε μια θέση, είτε κυλιόμενοι πάνω σε έναν οριζόντιο μεταλλικό φορέα. Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική γραμμή τροφοδοσίας του κινητήρα δεν μπορεί να είναι σταθερά προσαρμοσμένη σε συγκεκριμένη όδευση.

Για το λόγο αυτό η τροφοδοσία του βαρούλκου γίνεται μέσω συρόμενου καλωδίου. Τα κυλιόμενα βαρούλκα μπορεί να κινούνται πάνω σε φορεία μια ή δύο τροχιών. Τα φορεία μιας τροχιάς προσαρμόζονται συνήθως στην κάτω πλευρά οριζόντιων δοκών τύπου IP. Τα συστήματα με φορεία δύο τροχιών προσομοιάζουν με διατάξεις γερανογεφυρών και σχεδιάζονται με τυποποιημένο εύρος κίνησης του φορείου.



**Εικόνα 3.2.1.5:** Ηλεκτρικός μηχανισμός ανύψωσης που είναι ενσωματωμένο σε δικό του ηλεκτροκίνητο φορείο

Τα ηλεκτρικά βαρούλκα συνιστούν μηχανισμούς με ευρύτατο εμπορικό ενδιαφέρον και συμμορφώνονται προς διεθνείς προδιαγραφές και τυποποιήσεις. Βασικά χαρακτηριστικά επιλογής ενός ηλεκτρικού βαρούλκου είναι εκτός από την ανυψωτική ικανότητα η ταχύτητα ανύψωσης του φορτίου, αλλά και οι μεταφορικές ταχύτητες των φορείων.

Μια άλλη λειτουργική παράμετρος είναι το είδος της φόρτισης. Οι φορτίσεις διακρίνονται ως ελαφρές, μεσαίες και μεγάλες και η διάκριση αυτή εντάσσει το κάθε βαρούλκο σε συγκεκριμένη κατηγορία με βάση τις διεθνείς τυποποιήσεις.

Όπως αναφέρθηκε τα ηλεκτρικά βαρούλκα βρίσκουν ευρύτατη εφαρμογή στις γερανογέφυρες. Τα βαρούλκα γερανογεφυρών κατασκευάζονται συνήθως σύμφωνα με τους κανονισμούς FEM και ακολουθούν συγκεκριμένες αυστηρές προδιαγραφές και κατασκευαστικούς κανόνες.

Πρέπει να λειτουργούν συνήθως με δύο ταχύτητες ανύψωσης και δύο ταχύτητες μεταφοράς κατά μήκος του φορείου, ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή και ασφαλής μεταφορά και των σχετικά εύθραυστων αντικειμένων.

Πρέπει να φέρουν δισκόφρενο ασφαλείας ανεξάρτητο του μοτέρ, που δεν θα χρειάζεται ρύθμιση. Όταν τα φερμουίτ θα έχουν φθαρεί μια ενδεικτική λυχνία πρέπει να ειδοποιεί για επικείμενη συντήρηση. Ωστόσο είναι επιθυμητό να έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου ένα εκατομμύριο κύκλους λειτουργίας).

Ο οδηγός του συρματόσχοιου που είναι από τα ευπαθή σημεία του ανυψωτικού συστήματος πρέπει να έχει πλαστική επένδυση ώστε να διασφαλίζει την ομαλή μεταφορική κίνηση, να μειώνει τη φθορά κι έτσι να επιτυγχάνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Συνήθως είναι διαιρούμενος και έχει αντικρουστικό σχεδιασμό.

Το σημείο τοποθέτησης του βαρούλκου θα είναι κατά το δυνατόν ψηλότερα ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή διαδρομή ανύψωσης. Τα συρματόσχοινα πρέπει να έχουν δομή διπλής παραλληλίας και η διάμετρος του συρματόσχοιου συνίσταται να είναι μεγαλύτερη από 12 χιλιοστά.

### **Ειδικόί τύποι βαρούλκων**

Ειδικόί τύποι βαρούλκων μηχανισμών χρησιμοποιούνται είτε σε εφαρμογές έλξης βαρέων κατασκευών, είτε σε μηχανισμούς ανύψωσης σε διαβαθμισμένες περιοχές. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τα βαρούλκα τριβής που χρησιμοποιούνται κυρίως για ρυμουλκήσεις και μανουβραρίσματα πλοίων και βαγονιών τραίνων.

Στα βαρούλκα αυτά ο επιθυμητός υποπολλαπλασιασμός της δύναμης έλξης (σε σχέση με το βάρος του ελκόμενου σώματος) επιτυγχάνεται με τις πολλαπλές στρώσεις του εύκαμπτου φορέα του φορτίου (συρματόσχοινο ή κάβος) πάνω σε ένα κάθετο τύμπανο.

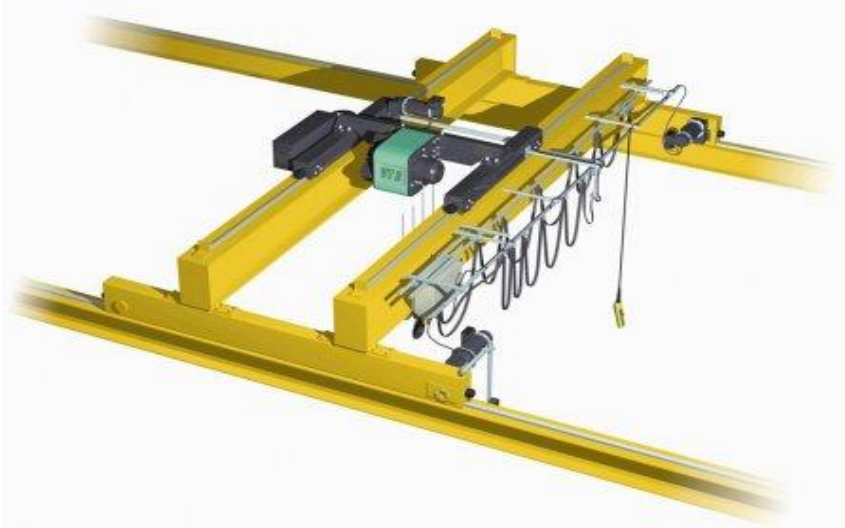
Η αρχή λειτουργίας του είναι αυτή της τροχαλίας τριβής. Για την καλή λειτουργία τους είναι αναγκαίο η γωνία κλίσης της κεφαλής του βαρούλκου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής μεταξύ κάβου και κεφαλής, ώστε ο κάβος να ολισθαίνει πάντα προς τη μικρότερη διάμετρο.

Οι ανυψωτικοί μηχανισμοί που οφείλουν να εγκατασταθούν σε διαβαθμισμένο από άποψη κινδύνου εκρήξεων περιβάλλον μπορούν να χρησιμοποιούν για την ενεργοποίησή τους είτε κατάλληλους αντiekρηκτικούς κινητήρες, είτε συστήματα πετπιεσμένου αέρα.

Τα βαρούλκα που κινούνται με πετπιεσμένο αέρα έχουν μεγάλη λειτουργική ακρίβεια αλλά μικρή δυναμικότητα. Κατασκευάζονται κατά κανόνα με αλυσίδα είναι πολύ θορυβώδη και έχουν αυξημένο λειτουργικό κόστος.

### 3.2.2 ΦΟΡΕΙΟ ΤΟΥ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ (ΒΑΡΟΥΛΚΟΦΟΡΕΙΟ)

Το βαρούλκο τοποθετείται πάνω σε ένα φορείο, που ονομάζεται και **βαρουλκοφορείο**. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο γερανό να κινείται κατά το πλάτος του χώρου. Επίσης το φορείο αυτό μπορεί να στηρίζεται είτε σε ένα είτε σε δύο φορείς. Αυτό εξαρτάται από τις ανάγκες του κάθε χώρου και από το βάρος και το μέγεθος των φορτίων που πρόκειται να ανυψώσει.



**Εικόνα 3.2.2.1:** Γερανογέφυρα διπλής κατανομής με επικαθήμενο ηλεκτροκίνητο φορείο βαρούλκου

Το φορείο του βαρούλκου μπορεί να κινείται είτε στο πάνω μέρος του φορέα, είτε στο κάτω. Αυτό εξαρτάται και πάλι από τις ανάγκες και τις προδιαγραφές του εκάστοτε χώρου. Όταν το φορείο κινείται στο πάνω μέρος του φορέα ονομάζεται **επικαθήμενο** και κινείται πάντα σε δύο φορείς και διαχωρίζονται σε **κύριος** και **βοηθητικός** φορέας. Αυτός ο τύπος βαρουλκοφορείου χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλους χώρους με φορτία μεγάλου βάρους και μεγέθους. Στην περίπτωση που το φορείο κινείται στο κάτω μέρος του φορέα ονομάζεται **αναρτώμενο βαρουλκοφορείο**. Τα αναρτώμενα φορεία βαρούλκου κινούνται, εκτός από σπάνιες περιπτώσεις, σε έναν φορέα.



**Εικόνα 3.2.2.2:** Γερανογέφυρα απλής κατανομής με ηλεκτροκίνητο αναρτώμενο φορείο βαρούλκου

Όπως και τα βαρούλκα, έτσι και τα βαρουλκοφορεία μπορούν να είναι είτε χειροκίνητα είτε ηλεκτροκίνητα. Τα χειροκίνητα φορεία διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες και εξαρτάται από τον τρόπο που δίνεται η κίνηση σε αυτά. Έτσι χρίζονται σε **αλυσοκίνητα** και σε **συρτά**. Ενώ τα ηλεκτροκίνητα φορεία μπορούν να αποτελούν ένα ενιαίο μηχανισμό μαζί με το βαρούλκο. Τέλος το φορείο ενός βαρούλκου μπορεί να δίνει και τη δυνατότητα περιστροφής του γερανού, εάν αυτό είναι μέσα στις ανάγκες του χώρου.

### Χειροκίνητα φορεία βαρούλκου

Τόσο τα αλυσοκίνητα όσο και τα συρτά φορεία αποτελούν παρά πολύ απλοί μηχανισμοί, άρα και πολύ οικονομικοί. Έτσι στο αλυσοκίνητο φορείο, με το τράβηγμα της αλυσίδας αρχίζει να περιστρέφεται μια τροχαλία, όπου μέσω ενός άξονα περιστρέφει ένα γρανάζι. Το γρανάζι αυτό κατά την περιστροφή του, δίνει κίνηση στους δύο τροχούς του φορείου και έτσι επιτυγχάνεται η κίνηση του βαρούλκου κατά πλάτος του χώρου.



**Εικόνα 3.2.2.3:** Αναρτώμενο χειροκίνητο φορείο βαρούλκου που κινείται με το τράβηγμα αλυσίδας

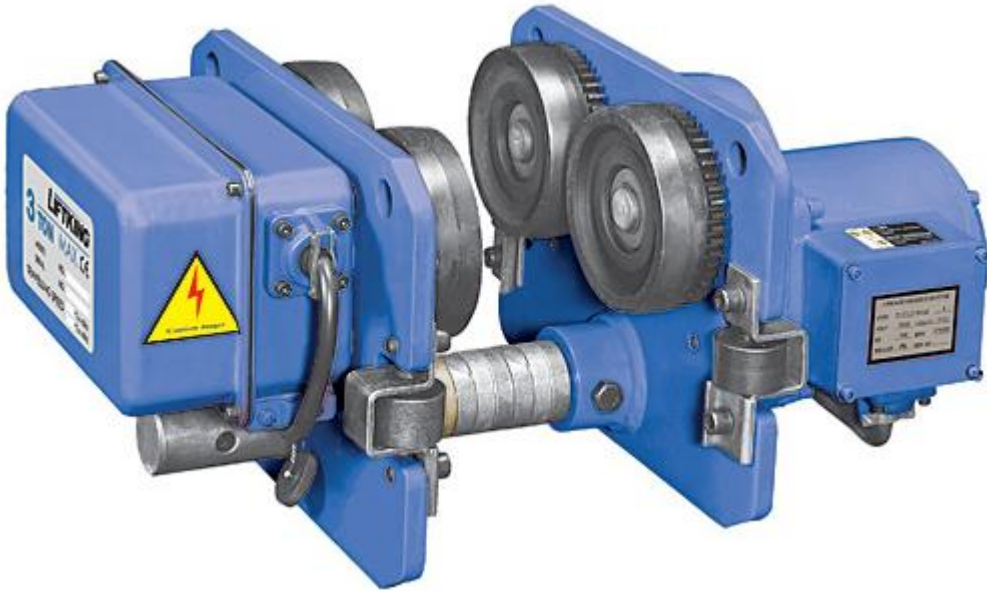
Τα συρτά φορεία είναι ακόμα πιο απλά, αφού η κίνηση σε αυτά δίνεται με την ώθηση. Το άνοιγμα των φορείων αυτών μπορεί να είναι ρυθμιζόμενο και έτσι να προσαρμόζεται στο πλάτος του κάθε φορέα στον οποίο κινείται. Ακόμα μπορεί να διαθέτουν έναν κοχλία σύσφιξης ώστε να παραμένει σταθερό κατά την ανύψωση του φορτίου, και έτσι να αποφευχθεί ο κίνδυνος τραυματισμού ή ζημιάς.



**Εικόνα 3.2.2.4:** Αναρτώμενο χειροκίνητο φορείο βαρούλκου που κινείται με την ώθηση του φορτίου ανύψωσης

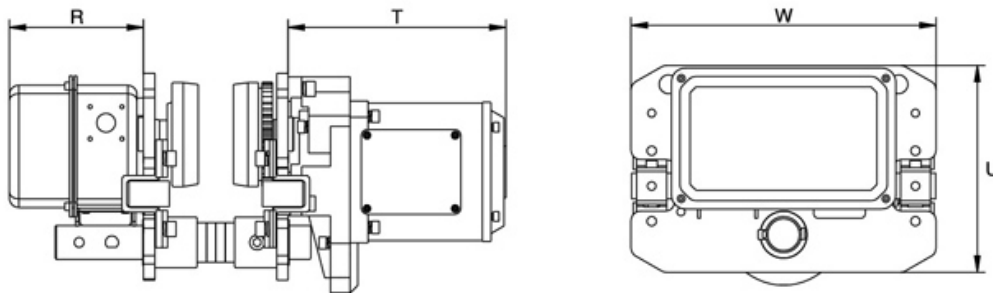
## Ηλεκτρικά φορεία βαρούλκου

Τα ηλεκτρικά φορεία βαρούλκου όπως αναφέρεται και στα προηγούμενα μπορεί να είναι ένα ενιαίο σύστημα με τον ανυψωτικό μηχανισμό. Έτσι υπάρχουν λιγότερα εκτεθειμένα καλώδια στο σύστημα της γερανογέφυρας, αλλά και ο χειρισμός τόσο του φορείου όσο και του βαρούλκου γίνεται από κοινό χειριστήριο.



**Εικόνα 3.2.2.5:** Αναρτώμενο φορείο βαρούλκου που κινείται με ηλεκτρικό κινητήρα

Στην περίπτωση όμως που το φορείο είναι ανεξάρτητο τότε ο τρόπος λειτουργίας του αλλά και η δομή του είναι σχεδόν όμοια με του αλυσοκίνητου. Η διαφορά είναι ότι τώρα η περιστροφή του γραναζιού που δίνει κίνηση στους τροχούς γίνεται με μοτέρ. Το μοτέρ δίνει τη δυνατότητα δύο ταχυτήτων κίνησης του φορείου, ανάλογα με το φορτίο ανύψωσης. Και εδώ ο χειρισμός φορείου και βαρούλκου μπορεί να γίνεται από κοινό χειριστήριο, αλλά θα πρέπει να γίνουν παραπονήσεις στο σύστημα, εκτός αν και οι δύο μηχανισμοί είναι της ίδιας εταιρίας.



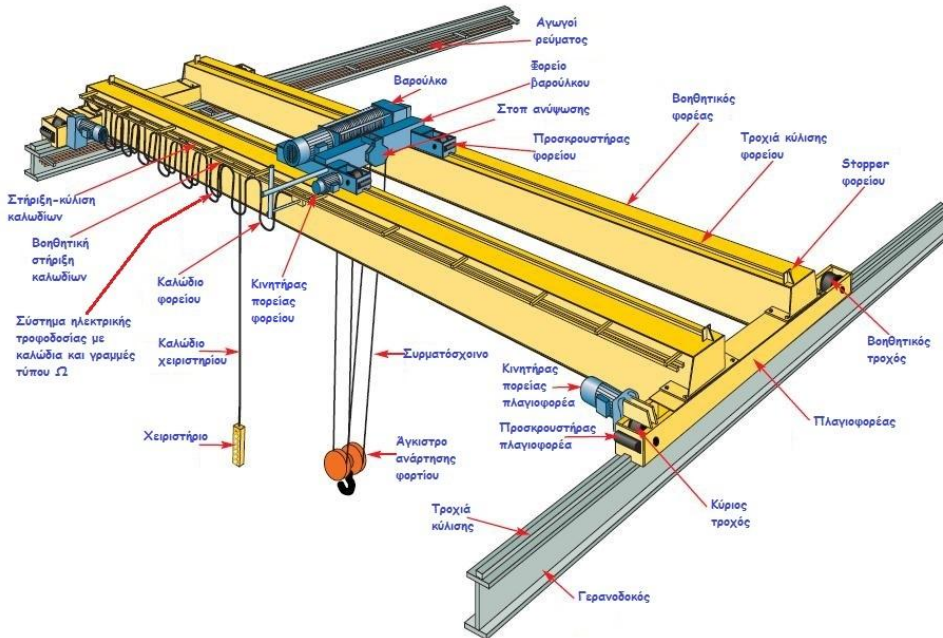
### Description

Model	Capacity(t)	Unit (mm)				Speed(m/min)	Motor(kw)	Minimum Radius of Turn	I-Beam (mm)
		W	U	R	T				
ET-0.5	0.5	315	212	142	231	21 or 11	0.4	0.8	52-153
ET-01	1	315	212	142	231		0.4	0.8	52-153
ET-02	2	325	220	142	231		0.4	0.9	82-178
ET-03	3	340	250	142	231		0.75	1.0	100-178
ET-05	5	400	291	142	231		0.75	1.5	100-178
ET-7.5	7.5	400	291	142	231		0.75	1.8	100-178
ET-10	10	500	371	142	231		0.75	2.0	150-200

**Εικόνα 3.2.2.6:** Δισδιάστατες όψεις ηλεκτρικού βαρουλκοφορείου, και πίνακας με βασικές διαστάσεις ανάλογα με το φορτίο ανύψωσης της εταιρίας LiftKing

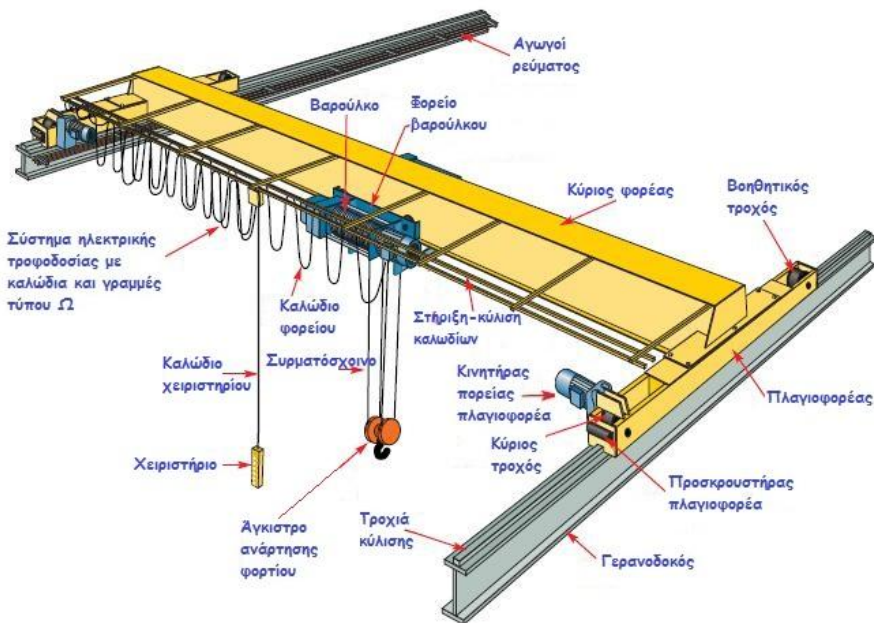
### 3.2.3 ΚΥΡΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Ο κύριος φορέας της γερανογέφυρας, αναλόγως του προς ανύψωση φορτίου και του ανοίγματος της είναι δυνατόν να είναι απλής ή διπλής κατατομής όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως. Ο φορέας απλής κατατομής χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση του βαρούλκου, το οποίο θα αναρτάται από το κάτω πέλμα του, ενώ ο φορέας διπλής κατατομής χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση βαρούλκου επικαθήμενου τύπου.



**Εικόνα 3.2.3.1:** Δομή επικαθήμενης γερανογέφυρας διπλής κατατομής και με επικαθήμενο φορείο βαρούλκου

Όταν έχουμε διπλής κατατομής φορέα τότε εκτός από τον κύριο φορέα έχουμε και μία βοηθητική δοκό τοποθετημένη παράλληλα στην κύρια για την υποστήριξη της πλατφόρμας, δηλαδή του βαρουλκοφορείου, της καμπίνας χειριστή, του κέντρου ελέγχου κ.τ.λ. για να μειώσει τις δυνάμεις στρέψης οι οποίες θα ενεργούσαν στον κύριο φορέα.



**Εικόνα 3.2.3.2:** Δομή επικαθήμενης γερανογέφυρας απλής κατατομής και με αναρτώμενο φορείο βαρούλκου

### 3.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΦΟΡΕΑ (ΠΛΑΓΙΟΦΟΡΕΑΣ)

Συνεχίζοντας, ο φορέας πάνω στον οποίο τοποθετείται το βαρουλκοφορείο στηρίζεται πάνω σε δύο άλλους φορείς που ονομάζονται **πλαγιοφορείς**. Οι πλαγιοφορείς φέρουν τροχούς οι οποίοι κυλούν πάνω στις σιδηροτροχιές κύλισης και έτσι δίνεται η δυνατότητα στο μηχανισμό να κινείται κατά μήκος του χώρου.

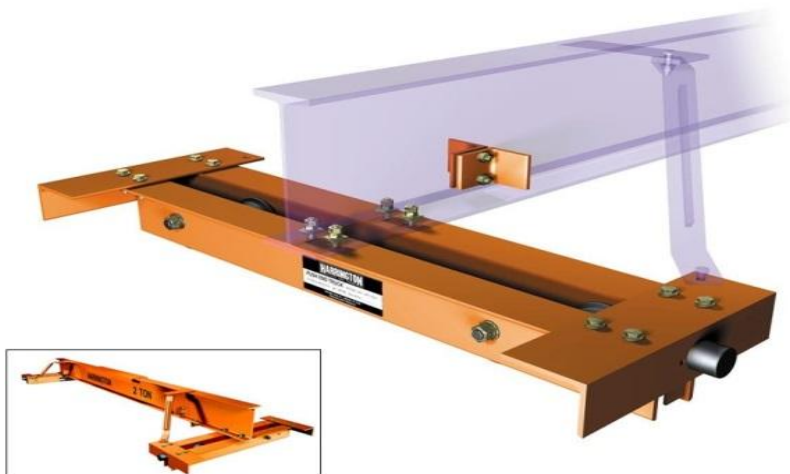
Οι κατηγορίες που θα μπορούσαν να διαχωριστούν οι πλαγιοφορείς είναι ίδιες με αυτές των φορέων του βαρούλκου, και σχετίζονται είτε με τον τρόπο μετάδοσης της κίνησης, είτε από τον τρόπο τοποθέτησής τους στις τροχιές κύλισης. Έτσι ο πρώτος και βασικός διαχωρισμός είναι αν οι πλαγιοφορείς θα είναι **αναρτώμενου** ή **επικαθήμενου** τύπου.

Ο αναρτώμενος τύπος, όπως εύκολα γίνεται κατανοητό και από τα προηγούμενα, είναι όταν οι πλαγιοφορείς κινούνται στο κάτω μέρος της **γερανοδοκού** ή αλλιώς **δοκού κυλίσεως**. Συνήθως αν το φορείο του βαρούλκου είναι αναρτώμενο τότε το ίδιο είναι και οι πλαγιοφορείς, και αυτό γιατί έτσι το σύστημα είναι πιο λειτουργικό και προσφέρει καλύτερη κάλυψη κατά το πλάτος του χώρου.



**Εικόνα 3.2.4.1:** Σύστημα κίνησης του κύριου φορέα που κινείται στο κάτω μέρος της γερανοδοκού (πλαγιοφορέας)

Οι επικαθήμενοι πλαγιοφορείς κινούνται στο πάνω μέρος της δοκού κυλίσεως, και χρησιμοποιούνται κυρίως για διπλής κατανομής γερανογέφυρες, άρα για συστήματα που προορίζονται για την ανύψωση φορτίων μεγάλου βάρους και μεγέθους. Στην περίπτωση όμως που για κάποιο λόγο οι πλαγιοφορείς είναι επικαθήμενοι, αλλά η γερανογέφυρα είναι απλής κατανομής, τότε το φορείο του βαρούλκου είναι σχεδόν πάντα αναρτώμενο, και αυτό γιατί αν το βαρουλκοφορείο κινείται στο πάνω πέλμα ενός μόνο φορέα αυξάνονται οι δυνάμεις στρέψης ως προς αυτόν, και επίσης υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος εκτροχιασμού του βαρουλκοφορείου.



**Εικόνα 3.2.4.2:** Σύστημα κίνησης του κύριου φορέα που κινείται στο πάνω μέρος της γερανοδοκού (πλαγιοφορέας)



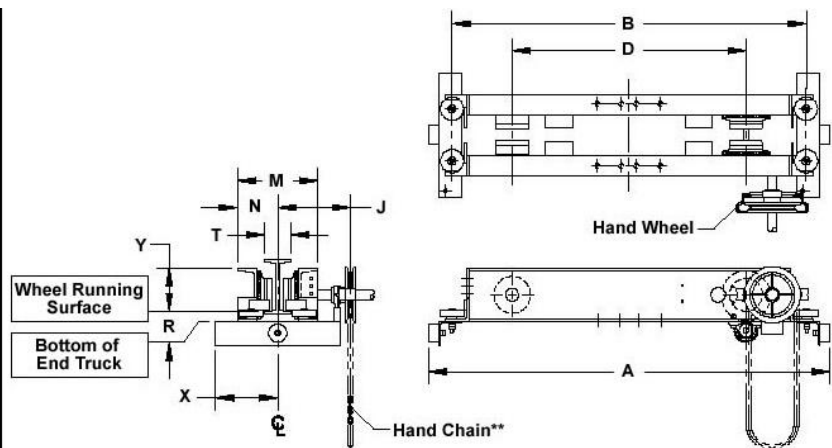
Επίσης, μια βασική διαφορά στους δύο αυτούς τύπους όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.2.4.3, είναι ότι στον επικαθήμενο τύπο ο κάθε πλαγιοφορέας διαθέτει δύο τροχούς, ενώ ο αναρτώμενος τέσσερις. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι στον επικαθήμενο τύπο, η γερανοδοκός στο πάνω μέρος της φέρει μια τροχιά κύλισης πάνω στην οποία κινείται ο πλαγιοφορέας, ενώ στον επικαθήμενο αυτή η τροχιά δεν χρειάζεται, καθώς κινείται στο κάτω πέλμα της δοκού και ο μη εκτροχιασμός του διασφαλίζεται από την ύπαρξη δύο επιπλέον τροχών.



**Εικόνα 3.2.4.3:** Επικαθήμενος (αριστερά) και αναρτώμενος (δεξιά) ηλεκτροκίνητος πλαγιοφορέας

Οι πλαγιοφορείς επίσης διαχωρίζονται, όπως αναφέρθηκε, και από τον τρόπο μετάδοσης της κίνησης. Έτσι, οι φορείς του κύριου φορέα μπορεί να είναι αλυσοκίνητοι, συρτοί και ηλεκτροκίνητοι.

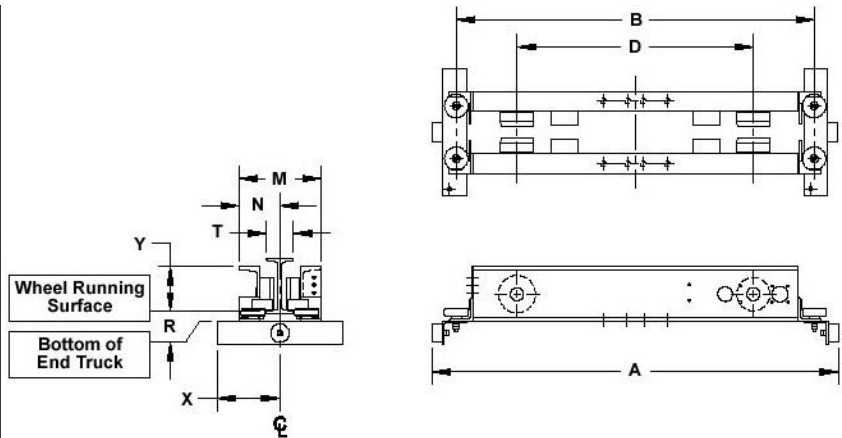
Οι **αλυσοκίνητοι πλαγιοφορείς** παρουσιάζουν το μικρότερο πεδίο εφαρμογής, και χρησιμοποιούνται σε χώρους που δεν είναι εύκολη η χρήση ηλεκτρισμού, αλλά και με φορτία που δεν θα γινόταν με ασφάλεια η μεταφορά τους με ένα σύστημα με ώθηση που έχει μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης. Οι δύο πλαγιοφορείς συνδέονται με έναν άξονα ο οποίος φέρει μία τροχαλία η οποία με το τράβηγμα της αλυσίδας αρχίζει να περιστρέφεται. Μαζί της περιστρέφεται και ο άξονας που συνδέει τους δύο φορείς, και περιστρέφει με τη σειρά του, ένα γρανάζι σε καθένα από τους φορείς και κατ' αυτόν τον τρόπο κινούνται οι τροχοί.



**Εικόνα 3.2.4.4:** Πλαγιοφορέας που τοποθετείται στο κάτω πέλμα της γερανοδοκού και κινείται με το τράβηγμα αλυσίδας

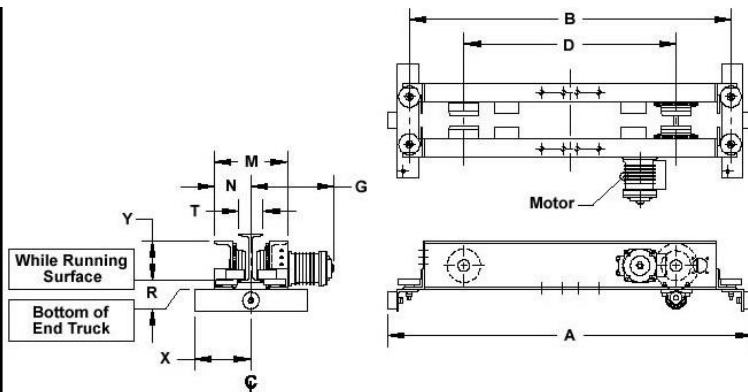
Μπορούν να επιτύχουν τη μεταφορά φορτίων ίδιου βάρους και μεγέθους με οποιοδήποτε άλλο τύπο, και η χρήση τους συνιστάται σε χώρους με μεγάλη υγρασία που θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στα ηλεκτρικά εξαρτήματα, ενώ η μετατροπή τους σε ηλεκτροκίνητα είναι πολύ απλή, καθώς το μόνο που πρέπει να γίνει είναι να αφαιρεθεί ο άξονας και να τοποθετηθεί ένα μοτέρ στα δύο γρανάζια που περιστρέφονταν από τον άξονα. Οι διαστάσεις τους εξαρτώνται από το βάρος των φορτίων ανύψωσης.

Οι **συρτοί πλαγιοφορείς** κινούνται με την ώθηση του προς ανύψωση φορτίου. Έχουν ευρεία χρήση σε μικρούς χώρους, με μικρούς βάρους και μεγάλους φορτία και σε χώρους που δεν χρειάζεται συχνή χρήση ενός συστήματος γερανογέφυρας. Είναι η πιο οικονομική επιλογή, με βραχυπρόθεσμη απαίτηση, αλλά και ελάχιστο κόστος, συντήρησης.



**Εικόνα 3.2.4.5:** Πλαγιοφορέας που τοποθετείται στο κάτω πέλμα της γερανοδοκού και κινείται με την ώθηση

Τέλος οι **ηλεκτροκίνητοι πλαγιοφορείς** αποτελούν σίγουρα μια πολύ καλή λύση καθώς προσφέρει μεγάλη ευκολία στην χρήση της γερανογέφυρας. Ο κάθε πλαγιοφορέας φέρει ένα μοτέρ που περιστρέφει ένα γρανάζι και δίνει κίνηση στο ένα ζευγάρι τροχών. Η κίνηση πραγματοποιείται με μεγαλύτερη ασφάλεια και σταθερότητα, αφού δεν εξαρτάται από ανθρώπινο παράγοντα. Επίσης και οι τρεις τύποι, φέρουν προσκρουστήρες στα πλαϊνά τους, ώστε να αποφεύγεται να προσκρούουν τα μεταλλικά εξαρτήματα μεταξύ τους, και έτσι να υπάρξει πρόωρη και μεγαλύτερη φθορά σε αυτά.



**Εικόνα 3.2.4.6:** Πλαγιοφορέας ηλεκτροκίνητος που τοποθετείται στο κάτω πέλμα της γερανοδοκού

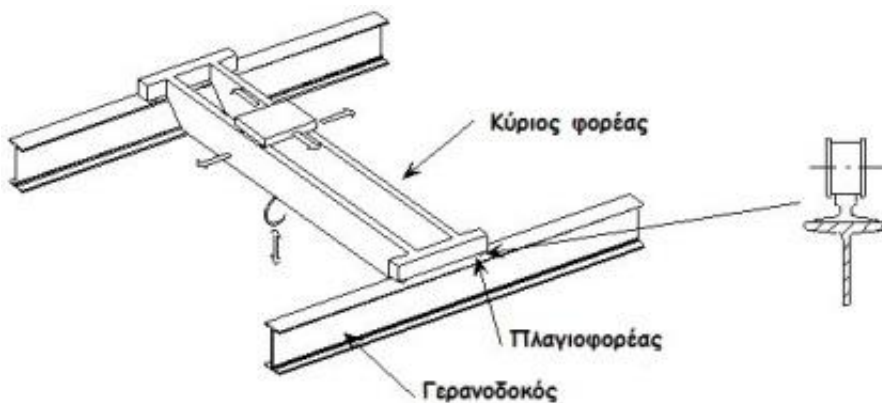
Είναι αποδεκτή στους πλαγιοφορείς δύο συστημάτων τροχών/ηλεκτρομειωτήρων:

- Στοιχείο τροχού(modular), τύπου box (βιομηχανοποιημένο προϊόν), δηλαδή περίβλημα από χαλυβδοέλασμα κατάλληλα ενισχυμένο με ενσωματωμένα τα έδρανα στήριξης του τροχού κύλισης. Στην περίπτωση αυτή ο τροχός συνδέεται με πολύσφηνο άξονα με τον ηλεκτρομειωτήρα μετάδοσης της κίνησης, ο οποίος στηρίζεται στο μεταλλικό περίβλημα του τροχού με αντιστρεπτικές ράβδους ή με φλάντζες σύνδεσης. Το στοιχείο τροχού κοχλιούται στην κύρια δοκό του πλαγιοφορέα.
- Τροχός με εξωτερική οδοντωτή στεφάνη στρεφόμενη από οδοντωτό τροχό που τοποθετείται στον άξονα εξόδου του ηλεκτρομειωτήρα. Στην περίπτωση αυτή τα έδρανα στήριξης του τροχού τοποθετούνται στο κύριο σώμα του πλαγιοφορέα και επομένως θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ακριβής ευθυγράμμιση των υποδοχέων των μεμβρανών μεταξύ των δύο παρειών του πλαγιοφορέα.

### 3.2.5 ΤΡΟΧΟΙ ΠΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΡΟΧΙΑ ΚΥΛΙΣΗΣ

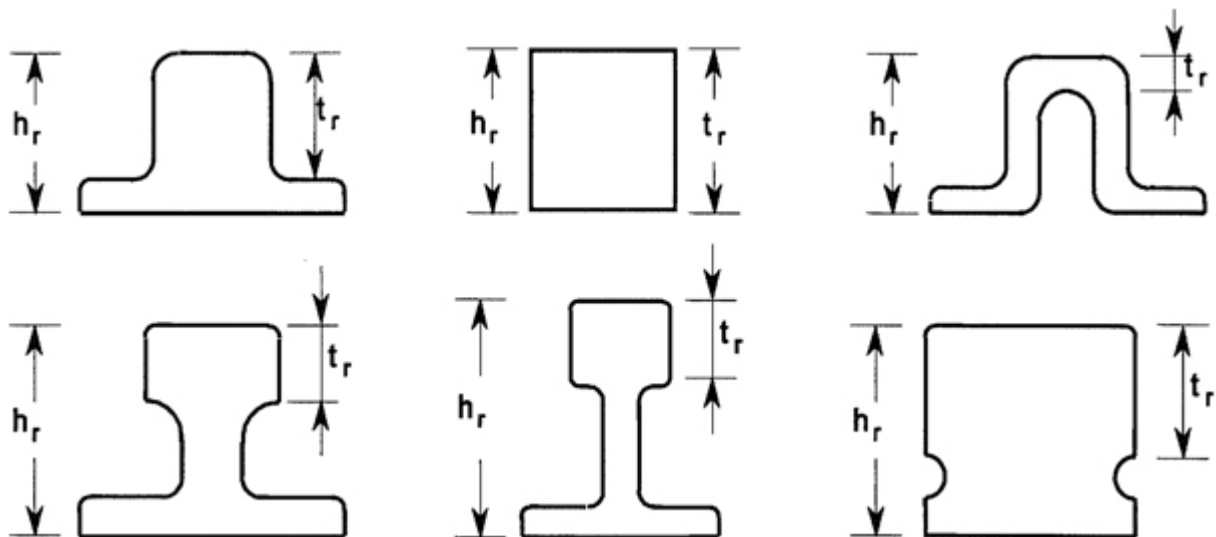
Επίσης, όπως ήδη έχει αναφερθεί, όλες οι γερανογέφυρες διαθέτουν **τροχούς πορείας και μια τροχιά κύλισης αυτών**. Η παρουσία των τροχών αυτών είναι απαραίτητη ώστε η γερανογέφυρα να κινείται κάθετα σε ολόκληρο τον χώρο, και έτσι να καλύπτει τις ανάγκες μεταφοράς μεγάλων φορτίων σε οποιοδήποτε σημείο μιας εγκατάστασης.

Η μορφή της τροχιάς κύλισης εξαρτάται από τη δομή της γερανογέφυρας, από τον τύπο των γερανοδοκών και από τον τύπο των πλαγιοφορέων του κύριου φορέα. Η πρώτη και πιο συνηθισμένη περίπτωση, αποτελείται από μία δοκό τύπου I, πάνω στην οποία συνήθως τοποθετείται μία ράβδος στην οποία κινούνται οι πλαγιοφορείς. Η ράβδος αυτή αποτελεί και την τροχιά κύλισης του συστήματος, ενώ κάθε πλαγιοφορέας φέρει από δύο τροχούς που τοποθετούνται σε αυτήν όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2.5.1.



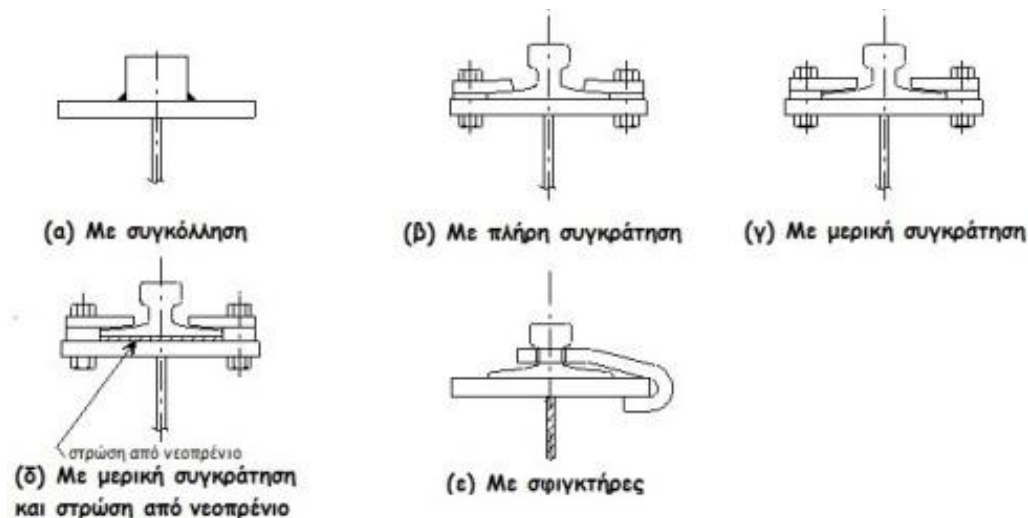
**Εικόνα 3.2.5.1:** Γερανογέφυρα που κινείται στο πάνω πέλμα των γερανοδοκών και σύστημα κύλισης με τροχιά, σε τομή

Συνδυάζοντας και τα προηγούμενα, όταν οι πλαγιοφορείς κινούνται στο πάνω πέλμα της δοκού τύπου I, τότε το σύστημα γερανογέφυρας χαρακτηρίζεται ως **επικαθήμενου τύπου**. Η τροχιά κύλισης αυτού του τύπου έχει μια συγκεκριμένη διαδικασία διαστασιολόγησης που αναλύεται στο κεφάλαιο 3.2.6, ενώ το σχήμα της μπορεί να είναι ένα από αυτά που φαίνονται στην εικόνα 3.2.5.2, όπως καθορίζονται από των Ευρωκώδικα -Μέρος 3.



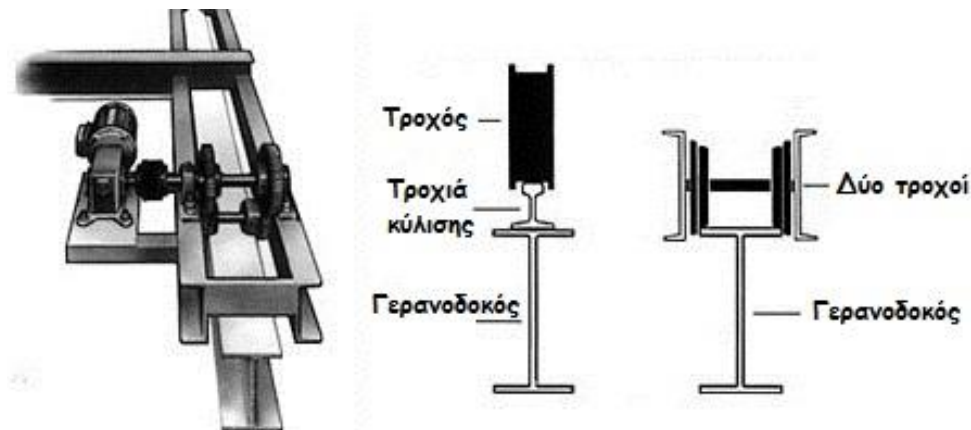
**Εικόνα 3.2.5.2:** Μορφές της τροχιάς κύλισης της γερανογέφυρας όπως ορίζονται από τον Ευρωκώδικα

Πέρα όμως από τη διαστασιολόγηση της τροχιάς κύλισης εξετάζεται και ο τρόπος στήριξης της στο πάνω μέρος της γερανοδοκού. Οι πιο συνηθισμένοι είναι οι έξι τρόποι που απεικονίζονται στα σχήματα της εικόνας 3.2.5.3.



**Εικόνα 3.2.5.3:** Τρόποι στήριξης της τροχιάς κύλισης της γερανογέφυρας πάνω στις γερανοδοκούς

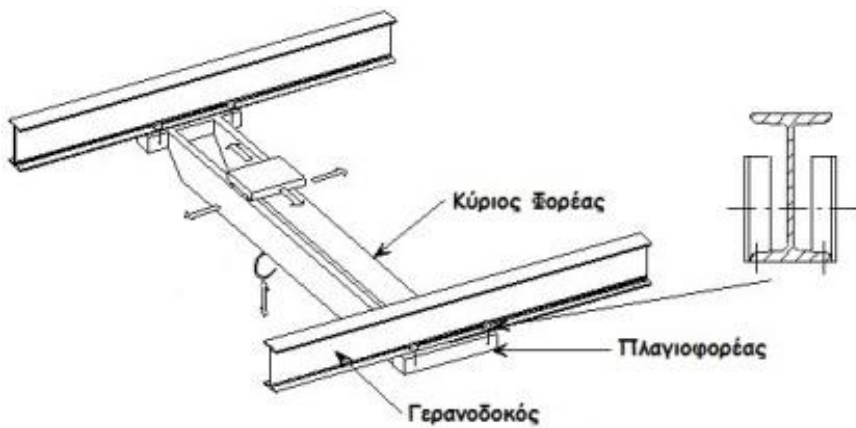
Μια περίπτωση επικαθήμενου τύπου γερανογέφυρας, που χρησιμοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική, είναι να μην υπάρχει τροχιά κύλισης και οι τροχοί του πλαγιοφορέα να κινούνται απευθείας στο πάνω μέρος της γερανοδοκού. Ο κάθε πλαγιοφορέας σε αυτή την περίπτωση φέρει από τέσσερις τροχούς, δύο στην αρχή και δύο στο τέλος. Έτσι, η μελέτη και η εγκατάσταση ενός τέτοιου τύπου γερανογέφυρας απλοποιείται, καθώς δεν υπάρχει ξεχωριστή τροχιά κύλισης που χρειάζεται επιπλέον διεργασίες, τόσο για τη διαστασιολόγηση της αλλά και για τον τρόπο τοποθέτησης και στήριξης της στο πάνω πέλμα της γερανοδοκού.



**Εικόνα 3.2.5.4:** Συστήματα κύλισης γερανογέφυρας στο πάνω πέλμα της γερανοδοκού, με και χωρίς τροχιά

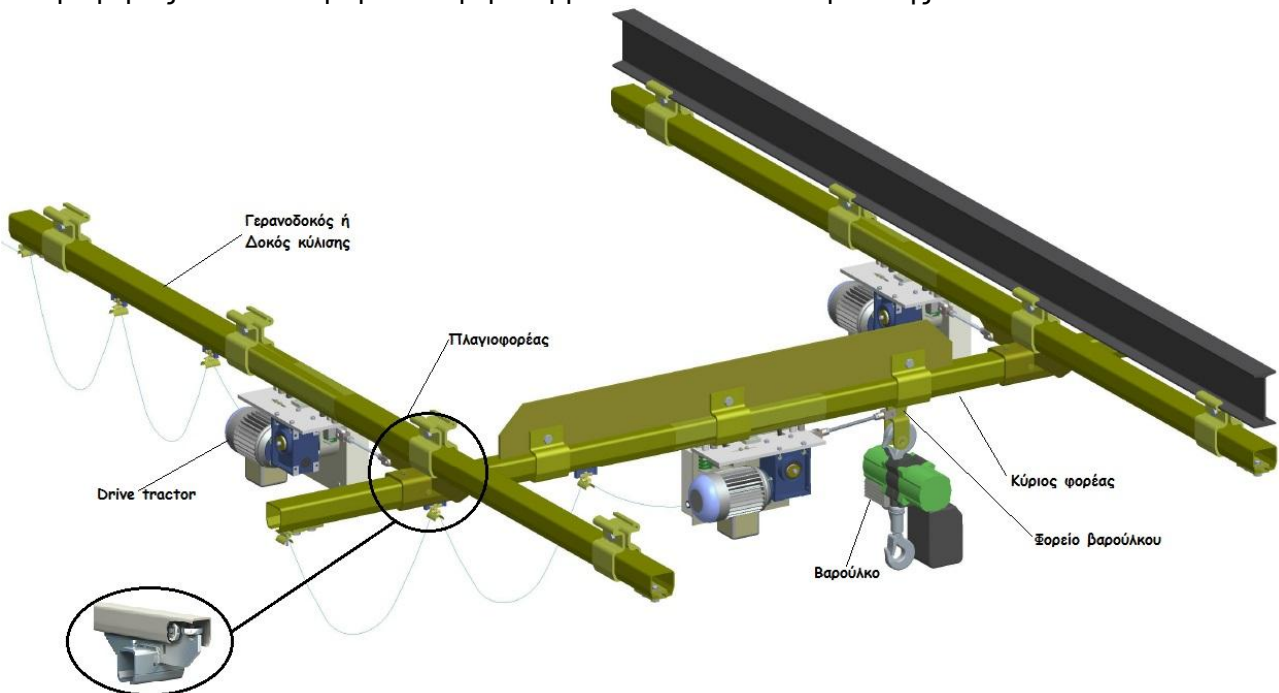
Στα αγγλικά, αυτά τα δύο συστήματα επικαθήμενης κύλισης διαχωρίζονται με τις εξής έννοιες: **toprunning**, όταν οι τροχοί κυλίνουν σε ράβδο που τοποθετείται στην πάνω μεριά της γερανοδοκού και **toprunner**, όταν κυλίνουν απευθείας στο πάνω πέλμα της γερανοδοκού.

Όταν δεν υπάρχει τροχιά κύλισης και η γερανογέφυρα κινείται κατευθείαν πάνω στη γερανοδοκό, τότε η κίνηση αυτή μπορεί να γίνεται και στο κάτω πέλμα της δοκού. Όμως τώρα οι πλαγιοφορείς στις ουσία «κρεμιούνται» από τη γερανοδοκό, οπότε το ίδιο και ο κύριος φορέας. Αυτού του τύπου οι γερανογέφυρες ονομάζονται **αναρτώμενες** και έχουν ιδιαίτερη εφαρμογή σε χώρους με χαμηλό ύψος οροφής, αλλά και με ανυψωτικές απαιτήσεις που δεν ξεπερνούν συνήθως τους 10 τόνους. Η αγγλική τους ονομασία είναι **underrunning** ή **underhung bridge cranes**.



**Εικόνα 3.2.5.5:** Γερανογέφυρα που κινείται στο κάτω πέλμα της γερανοδοκού και σύστημα κύλισης αυτής, σε τομή

Στις αναρτώμενες γερανογέφυρες είναι διαθέσιμος και ένας ακόμη τύπος κύλισης, όχι και τόσο διαδεδομένος στην Ελλάδα, που διαφέρει κατά πολύ από τους συνηθισμένους, κυρίως ως προς τη δομή του. Η δοκός κύλισης της γερανογέφυρας αλλά και ο κύριος φορέας, είναι τετράγωνες κοιλοδοκοί και στο κάτω μέρος τους έχουν άνοιγμα (εικόνα 3.2.5.6). Μέσα σε αυτές τοποθετούνται ο πλαγιοφορέας και το φορείο του βαρούλκου αντίστοιχα, όπου και πραγματοποιούν την κίνηση τους. Αυτού του τύπου οι γερανογέφυρες είναι απλές και οικονομικές κατασκευές με εύκολη διαδικασία εγκατάστασης και χρησιμοποιούνται σε χώρους με ανυψωτικές απαιτήσεις συνήθως μέχρι 5 τόνους. Είναι συστήματα που προορίζονται να λειτουργούν κυρίως χειροκίνητα, με ώθηση, παρόλα αυτά με έναν μηχανισμό που ονομάζεται drive tractor μπορούν να μετατραπούν εύκολα σε ηλεκτροκίνητα. Στα αγγλικά είναι γνωστά ως **“enclosed”** που σημαίνει «κλεισμένο», επειδή τόσο οι πλαγιοφορείς όσο και το βαρουλκοφορείο βρίσκονται στο εσωτερικό της δοκού.



**Εικόνα 3.2.5.6:** Γερανογέφυρα με τετράγωνους κοιλοδοκούς που οι πλαγιοφορείς και το βαρουλκοφορείο κινούνται στο εσωτερικό τους

### 3.2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΚΥΛΙΣΗΣ

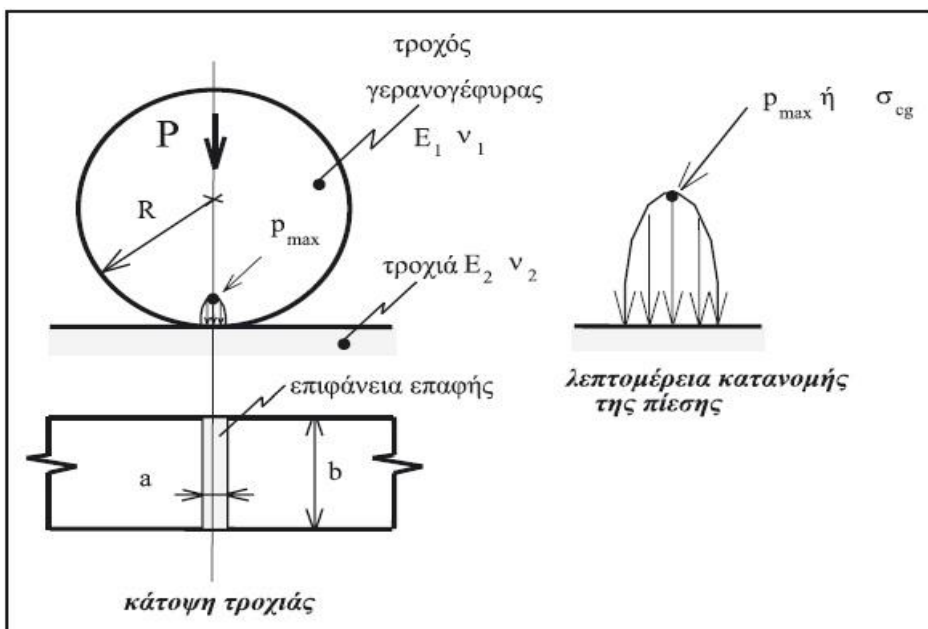
Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία διαστασιολόγησης της σιδηροτροχιάς πάνω στην οποία κυλά η γερανογέφυρα. Οι προδιαγραφές αυτές καθορίζονται από τον Ευρωκώδικα 3 και πρόκειται στην ουσία για τον προσδιορισμό της ικανότητας της σιδηροτροχιάς έναντι της κατακόρυφης φόρτισης ανά τροχό με βάση την πίεση επαφής Hertz, που προκαλείται στην επιφάνεια επαφής σιδηροτροχιάς και τροχού.

Πιο αναλυτικά, στην επιφάνεια επαφής τροχιάς και τροχού μιας γερανογέφυρας (Σχήμα 3.2.6.1) δημιουργούνται πιέσεις κάθετες στην επιφάνεια επαφής. Οι θεωρητικές σχέσεις προσδιορισμού αυτών των πιέσεων προτάθηκαν πολύ παλαιότερα από τον Hertz, για τη γενική περίπτωση καμπύλων επιφανειών.

Με βάση την υπόθεση ότι «εάν δύο σώματα με καμπύλη επιφάνεια ασκούν πίεση το ένα στο άλλο τότε η επιφάνεια επαφής τους είναι ελλειπτική» ο Hertz κατέληξε στην ακριβή λύση όταν ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες:

- Οι διαστάσεις της επιφάνειας πίεσης είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις διαστάσεις των δύο στερεών (περιλαμβανομένης και της ακτίνας καμπυλότητας).
- Στις υπό πίεση επιφάνειες αναπτύσσονται μόνο θλιπτικές και όχι διατμητικές τάσεις.

Στην ειδική περίπτωση ενός κυλίνδρου (επιφάνεια κύλισης του τροχού) και μιας επίπεδης πλάκας (επιφάνεια της κεφαλής της τροχιάς) η επιφάνεια επαφής για μηδενικό φορτίο  $P=0$  είναι μια ευθεία γραμμή. Για μη μηδενικό φορτίο  $P$  η επιφάνεια επαφής είναι ένα ορθογώνιο με πλάτος  $a$  και μήκος  $b$  ( $b$  είναι το πλάτος του τροχού και  $a < b$ ). Η πίεση στην επιφάνεια επαφής κατανέμεται κατά πλάτος με μορφή έλλειψης.



**Εικόνα 3.2.6.1:** Πίεση επαφής του Hertz (κύλινδρος σε επίπεδη επιφάνεια)

Η εξίσωση προσδιορισμού της μέγιστης τάσης επαφής  $P_{max}$  ή της τάσης  $\sigma_{cg}$  (η τελευταία σε μονάδες kN και cm μόνο είναι :

$$P_{max} = \frac{4P}{(\pi \cdot a \cdot b)} \text{ και } \sigma_{cg} = 0,564 * \sqrt{\frac{P}{(R \cdot b \cdot w)}} \text{ όπου } w = \frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2}$$

$$\text{ή ακόμα } \frac{\sigma_{cg}^2}{0,636} = \frac{P}{(D \cdot b \cdot w)}$$

- $P_{max} = \sigma_{cg}$  μέγιστη πίεση επαφής του Hertz, σε  $kN/cm^2$
- $E_1, E_2$  μέτρο ελαστικότητας του Young των δύο υλικών ( $kN/cm^2$ )
- $E = 210000MPa$  μέτρο ελαστικότητας του Young του χάλυβα
- $\nu_1, \nu_2$  συντελεστές Poisson των δύο υλικών
- $R$  ακτίνα του τροχού, σε cm
- $D$  διάμετρος του τροχού, σε cm
- $P$  φορτίο ανά τροχό σε kN
- $a, b$  διαστάσεις του ορθογωνίου επαφής, σε cm

Στην περίπτωση υλικών με ίδια μηχανικά χαρακτηριστικά έχουμε  $E = E_1 = E_2$  και  $\nu = \nu_1 = \nu_2$

Στην περίπτωση του χάλυβα  $\nu=0,3$ , οπότε  $w = \frac{1,82}{E}$  και η έκφραση της  $\sigma_{cg}$  γίνεται:

$$\sigma_{cg} = \frac{0,564}{\sqrt{2*(1-\nu^2)}} * \sqrt{\frac{P*E}{(R*b)}} = \frac{0,564}{\sqrt{1,82}} * \sqrt{2} * \sqrt{\frac{P*E}{(D*b)}} \text{ ή } \sigma_{cg} = 0,59 * \sqrt{\frac{P*E}{(D*b)}}$$

$$\text{ή ακόμα } \frac{\sigma_{cg}^2}{(0.35*E)} = \frac{P}{(D*b)} = k$$

Ο συντελεστής  $k$  ονομάζεται εμπειρικός συντελεστής ή επίσης “διαμετρική πίεση”. Μπορούμε επίσης να υπολογίσουμε την σχέση προσδιορισμού του πλάτους  $a/2$  του ορθογωνίου επαφής:

$$a/2 = 1,52 * \sqrt{\frac{P * D}{(b * E)}} = 0,0105 * \sqrt{\frac{P * D}{b}}$$

Μετά από μια γενική ανάλυση, θα δούμε τη μέθοδο υπολογισμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3. Ο στόχος είναι να περιορισθεί το φορτίο στην επιφάνεια επαφής μεταξύ τροχιάς και τροχού. Ελέγχουμε λοιπόν εάν το φορτίο υπολογισμού που εφαρμόζεται ανά τροχό  $F_{wd}$  είναι μικρότερο του φορτίου που είναι ικανή να αναλάβει η τροχιά  $F_{wcd}$ . Το τελευταίο είναι συνάρτηση των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τόσο της τροχιάς όσο και του τροχού όπως επίσης εξαρτάται από την συχνότητα και ένταση χρήση της γερανογέφυρας.

Το κριτήριο ελέγχου είναι:

$$F_{wd} \leq F_{wcd} \text{ όπου } F_{wd} = F_{wkmin} + \frac{2*F_{wkmax}}{3}$$

- $F_{wkmin}$  το ελάχιστο χαρακτηριστικό φορτίο για γερανογέφυρα με πλήρες φορτίο χωρίς επιμέρους συντελεστή ασφαλείας και χωρίς δυναμικό συντελεστή προσαύξησης.
- $F_{wkmax}$  Το μέγιστο χαρακτηριστικό φορτίο για γερανογέφυρα σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, χωρίς επιμέρους συντελεστή ασφαλείας και χωρίς δυναμικό συντελεστή προσαύξησης.

$$\bullet F_{wcd} = \beta_r * b_{reff} * d_{cw} * \left(\frac{20000}{n_{ew}^{(2/3)}}\right) \text{ ή αλλιώς } \frac{F_{wcd}}{(b_{reff}*d_{ew})} = \beta_r \left(\frac{20000}{n_{cw}^{(2/3)}}\right) \text{ όπου,}$$

- $F_{wcd}$  φορτίο αντοχής, σε N
- $\beta_r$  αδιάστατος συντελεστής τροχιάς
- για  $f_{ur} \geq 500\text{MPa} \rightarrow \beta_r = \frac{6*(f_{ur}+200)}{750}$
- για  $f_{yr} \leq 460\text{MPa} \rightarrow \beta_r = 6 * \left(\frac{f_{yr}}{460}\right)^2$
- $f_{yr}$  όριο διαροής του χάλυβα της τροχιάς  $500 < f_{yr} < 1200\text{MPa}$
- $f_{ur}$  αντοχή σε εφελκυσμό του χάλυβα της τροχιάς σε Mpa
- $b_{reff}$  ωφέλιμο πλάτος της κεφαλής της τροχιάς σε mm
- για τροχιά με επίπεδη κεφαλή  $b_{reff} = b_r - 2r_r$
- για τροχιά με καμπύλη κεφαλή  $b_{reff} = b_r - 4/3 * r_r$
- $b_r$  πλάτος της κεφαλής της τροχιάς σε mm
- $r_r$  ακτίνα εξωτερικής καμπυλότητας της κεφαλής της τροχιάς, mm
- $d_{cw}$  διάμετρος του τροχού, σε mm
- $n_{cw}$  αριθμός κύκλων φόρτισης του τροχού  $n_{cw} = \frac{L_r}{L_c} * C * n_w$  και  $8 * 10^5 \leq n_{cw} \leq 38 * 10^5$
- $L_r$  διάρκεια ζωής υπολογισμού της τροχιάς, έτη
- $L_c$  διάρκεια ζωής υπολογισμού της γερανογέφυρας, έτη
- **C** αριθμός κύκλων φόρτισης της γερανογέφυρας

Ο Ευρωκώδικας 3 και συγκεκριμένα στο μέρος 6 δίνει τις τιμές του C σε συνάρτηση με την χρήση και την κατηγορία της γερανογέφυρας.

Συχνότητα χρήσης της γερανογέφυρας	Κατηγορία χρήσης γερανογέφυρας	Μέγιστος αριθμός κύκλων φόρτισης της γερανογέφυρας C
Μικρή συχνότητα χρήσης	U <sub>0</sub>	1,60 x 10 <sup>4</sup>
	U <sub>1</sub>	3,15 x 10 <sup>4</sup>
	U <sub>2</sub>	6,30 x 10 <sup>4</sup>
	U <sub>3</sub>	1,25 x 10 <sup>5</sup>
Αρκετά συχνή χρήση	U <sub>4</sub>	2,50 x 10 <sup>5</sup>
Συχνή χρήση	U <sub>5</sub>	5,00 x 10 <sup>5</sup>
Πολύ συχνή χρήση	U <sub>6</sub>	1,00 x 10 <sup>6</sup>
Συνεχής ή σχεδόν συνεχής χρήση	U <sub>7</sub>	2,00 x 10 <sup>6</sup>
	U <sub>8</sub>	4,00 x 10 <sup>6</sup>
	U <sub>9</sub>	8,00 x 10 <sup>6</sup>

**Σχήμα 3.2.6.2:** Πίνακας Ευρωκώδικα 3 με τις τιμές του C σε συνάρτηση με την χρήση και την κατηγορία της γερανογέφυρας

### 3.2.7 ΔΟΚΟΙ ΚΥΛΙΣΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ (ΓΕΡΑΝΟΔΟΚΟΙ)

Όλα αυτά λοιπόν τα βασικά δομικά και λειτουργικά μέλη που απαρτίζουν μια γερανογέφυρα, τοποθετούνται σε δύο δοκούς στήριξης που ονομάζονται και **γερανοδοκοί**. Οι γερανοδοκοί φέρουν κατά μήκος τους τις τροχιές κύλισης στις οποίες κυλίνουν οι τροχοί των πλαγιοφορέων, που είναι απαραίτητες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την κίνηση της γερανογέφυρας κατά μήκος του χώρου.

Οι δοκοί κύλισης, όπως ονομάζονται διαφορετικά, αποτελούν ιδιαίτερα δομικά στοιχεία λόγω των αυξημένων απαιτήσεων λειτουργικότητας τις οποίες έχουν αλλά και της ευαισθησίας τους σε φαινόμενα κόπωσης.

**Οι δοκοί κυλίσεως καταπονούνται:**

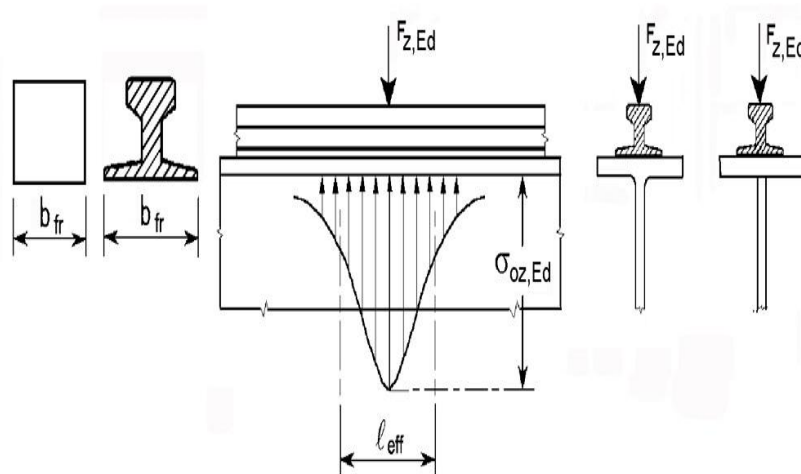
- σε κάμψη τόσο ως προς τον κύριο άξονα αδρανείας λόγω των κατακόρυφων φορτίων, όσο και ως προς το δευτερεύοντα άξονα λόγω των πλευρικών ωθήσεων που ασκεί η γερανογέφυρα,
- σε διάτμηση λόγω των τεμνουσών δυνάμεων που συνδέονται με την πιο πάνω καμπτική καταπόνηση,
- σε αξονικές δυνάμεις λόγω των κατά μήκος συνιστωσών των οριζοντίων δυνάμεων (που οφείλονται τόσο στην επιτάχυνση ή την επιβράδυνση της γερανογέφυρας κατά την εκκίνηση ή τροχοπέδησή της όσο και στη λοξή της κίνηση ως προς τις τροχιές),
- σε στρέψη δεδομένου ότι οι μεν πλευρικές ωθήσεις ασκούνται στο ανώτερο σημείο της τροχιάς, οι δε κατακόρυφες δυνάμεις θεωρείται ότι ασκούνται έκκεντρα ως προς τη δοκό κυλίσεως προκειμένου να ληφθούν υπόψη εκκεντρότητες που προκύπτουν λόγω της ευθυγράμμισης της τροχιάς. Η εκκεντρότητα λαμβάνεται ίση προς το ¼ του πλάτους της τροχιάς.

Πέρα από την πιο πάνω γενική καταπόνηση της δοκού κατά τον έλεγχο της πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τοπική ένταση που αναπτύσσεται στις θέσεις των συγκεντρωμένων φορτίων των τροχών.



Για τον έλεγχο επάρκειας της δοκού κυλίσεως επιτρέπεται να γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- τα κατακόρυφα φορτία παραλαμβάνονται από τη δοκό κυλίσεως,
- τα οριζόντια φορτία παραλαμβάνονται από το άνω πέλμα της δοκού,
- οι στρεπτικές ροπές αναλύονται σε ένα ζεύγος δυνάμεων που δρα οριζόντια στο πάνω και το κάτω πέλμα της δοκού.



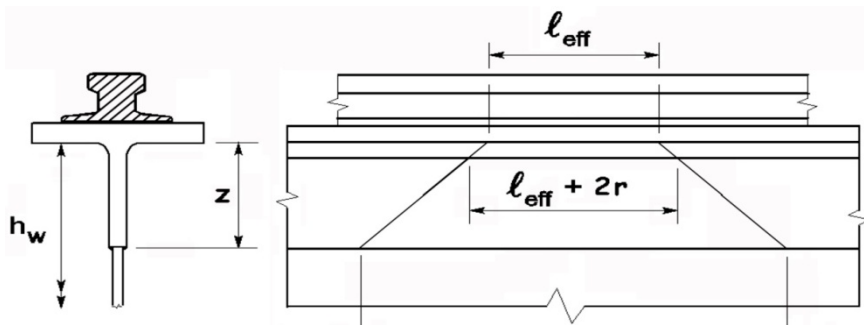
**Σχήμα 3.2.7.1:** Κατανομή ορθών τάσεων στη δοκό και στην τροχιά κύλισης της γερανογέφυρας

Η τοπική ένταση που αναπτύσσεται κάτω από τα συγκεντρωμένα φορτία των τροχών επηρεάζει την επάρκεια του κορμού και της συγκολλήσεως κορμού – πέλματος εφ’ όσον η δοκός έχει διαμορφωθεί από σύνθετη διατομή.

**Ειδικότερα κάτω από θέση τροχού αναπτύσσονται:**

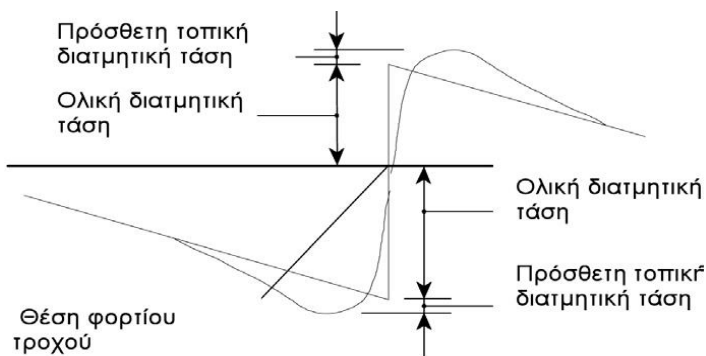
1. ορθές τάσεις κάθετες επί τον άξονα της δοκού των οποίων η κατανομή φαίνεται στο Σχήμα 3.2.7.1. Για την απλοποίηση των υπολογισμών επιτρέπεται να υποτεθεί ότι η κατανομή των τάσεων αυτών είναι ομοιόμορφη εκτεινόμενη σε ένα μήκος  $l_{eff}$ . Το μέγεθος του  $l_{eff}$  εξαρτάται από τη δυσκαμψία της τροχιάς  $I_r$  (ροπή αδρανείας ως προς τον κεντροβαρικό της άξονα), τη δυσκαμψία του άνω πέλματος της δοκού  $I_{f,eff}$  (ροπή αδρανείας τμήματος του άνω πέλματος ως προς το δικό του οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα), το πάχος  $t_w$  του κορμού και τον τρόπο στήριξης της τροχιάς επί του άνω πέλματος (δύσκαμπτη ή απλή σύνδεση,  $I_{rf}$  ροπή αδρανείας της διατομής τροχιάς και άνω πέλματος θεωρούμενης ως ενιαίας), όπως φαίνεται και στον πίνακα.

Περίπτωση	Περιγραφή	Ενεργό φορτιζόμενο μήκος $l_{eff}$
α)	Τροχιά δύσκαμπτα συνδεμένη στο πλέγμα	$l_{eff} = 3,25 * (I_r/t_w)^{(1/3)}$
β)	Τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεμένη στο πλέγμα	$l_{eff} = 3.25 * [(I_r + I_{f,eff})/t_w]^{(1/3)}$
γ)	Τροχιά τοποθετημένη επάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα πάχους τουλάχιστον 6mm.	$l_{eff} = 4.25 * [(I_r + I_{f,eff})/t_w]^{(1/3)}$



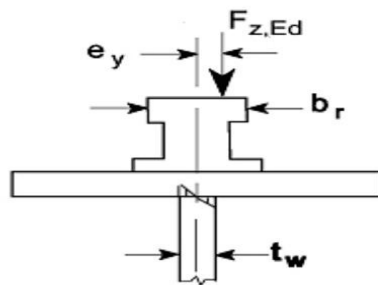
**Σχήμα 3.2.7.2:** Ενεργό φορτιζόμενο μήκος κορμού  $l_{eff}$

2. πρόσθετες τοπικές διατμητικές τάσεις λόγω της παραπάνω κατανομής της ορθής τάσης (Σχήμα 3.2.7.3) που λαμβάνεται ίση με ποσοστό 20% αυτής,



**Σχήμα 3.2.7.3:** Πρόσθετες τοπικές και ολικές διατμητικές τάσεις λόγω φορτίου τροχού

3. τοπικές καμπτικές τάσεις στον κορμό λόγω της εκκεντρότητας των φορτίων τροχού (Σχ. 3.2.7.4) και της προκύπτουσας στρεπτικής ροπής  $T_{ed}$ .



**Σχήμα 3.2.7.4:** Τοπικές καμπτικές τάσεις στον κορμό

Η τάση εκ κάμψης σε ένα εγκάρσιως νευρωμένο κορμό λόγω της στρεπτικής ροπής μπορεί να προσδιορίζεται από:

$$\sigma_{T.Ed} = \frac{6 * T_{Ed}}{at_w^2} * \eta \tanh(\eta)$$

$$\text{με } \eta = \left[ \frac{(0,75at_w^3)}{I_t} * \sinh^2 \frac{(\pi h_w/a)}{(\sinh(2\pi h_w/a) - 2\pi h_w/a)} \right]^{0,5}$$

όπου,

- $a$  είναι η απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων νευρώσεων του κορμού
- $h_w$  είναι το συνολικό ύψος του κορμού, το καθαρό μεταξύ των δύο πελμάτων
- $I_t$  είναι η σταθερά στρέψεως του πέλματος (περιλαμβανομένης της τροχιάς εάν είναι δύσκαμπτα σταθεροποιημένη)

Οι παραπάνω τοπικές τάσεις πρέπει να συνδυάζονται με τις ορθές και διατμητικές τάσεις από τη γενική ένταση και να αξιολογείται η ισοδύναμη τάση von Mises.

Με βάση και τα προηγούμενα, καταγράφονται στη συνέχεια οι έλεγχοι που πρέπει να γίνονται σε κάθε δοκό κυλίσεως με σύντομα σχόλια για τον καθένα. Διακρίνονται σε έλεγχοι στην οριακή κατάσταση αστοχίας, έλεγχο σε κόπωση, ελέγχους στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και ειδικούς ελέγχους.

### **Έλεγχοι στην οριακή κατάσταση αστοχίας**

1. έλεγχος διατομής σε διπλή κάμψη και αξονική δύναμη υπό τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία λαμβανομένης συγχρόνως υπόψη της στρεπτικής ροπής που τα φορτία αυτά προκαλούν.
2. έλεγχος μέλους έναντι στρεμπτοκαμπτικού λυγισμού.
3. έλεγχος τοπικής έντασης του κορμού με βάση τη γενική και την τοπική ένταση.

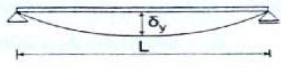
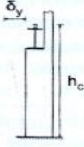
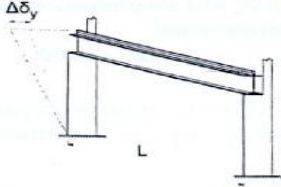
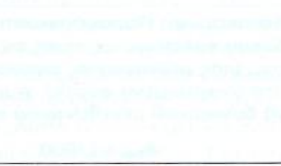
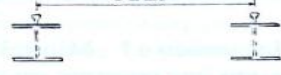
### **Έλεγχος σε κόπωση**

Ο έλεγχος σε κόπωση γίνεται στη θέση της ένωσης κορμού και πέλματος. Ανάλογα με την υπάρχουσα διαμόρφωση η αντίστοιχη λεπτομέρεια κατατάσσεται (στον Ευρωκώδικα 1 – Μέρος 3) σε κατηγορία κόπωσης. Λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο και τη χρήση της γερανογέφυρας, στο Παράρτημα Β του παραπάνω EC1/3 γίνεται κατάταξη της σε μία από δέκα κατηγορίες (S0, S1,..., S9) ανάλογα με το βαθμό έκθεσής της σε φαινόμενα κόπωσης (S0 η ευμενέστερη κατηγορία). Η πληροφορία για την κατηγορία στην οποία η γερανογέφυρα κατατάσσεται μπορεί να δίνεται και από τον προμηθευτή της. Με βάση την κατάταξη αυτή δίνονται στοιχεία για τον προσδιορισμό ενός ιδεατού φορτίου κόπωσης το οποίο επαναλαμβανόμενο 2x10<sup>6</sup> φορές θεωρείται ότι έχει ισοδύναμο, από πλευράς κόπωσης, αποτέλεσμα με την πραγματική ιστορία φόρτισης.

### **Έλεγχος την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**

1. Το μέγεθος των κατακόρυφων παραμορφώσεων των δοκών κυλίσεως πρέπει να περιορίζεται ώστε να αποφεύγονται υπερβολικές ταλαντώσεις τους κατά την ανύψωση του φορτίου και τη λειτουργία της γερανογέφυρας καθώς και υπερβολικές κλίσεις της τροχιάς. Το μέγιστο βέλος πρέπει να είναι μικρότερο από το 1/600 του ανοίγματος και απολύτως των 25 mm,
2. οι διαφορικές κατακόρυφες παραμορφώσεις των απέναντι δοκών κυλίσεως πρέπει να περιορίζονται ώστε να αποφεύγεται υπερβολική κλίση της γερανογέφυρας (όταν το ανυψούμενο φορτίο αναρτηθεί στην ακραία δεξιά ή αριστερά θέση). Ως κανόνας εφαρμογής θεωρείται η παραπάνω διαφορική παραμόρφωση να μην υπερβαίνει το 1/400 της αξονικής απόστασης των δύο δοκών,
3. οι οριζόντιες παραμορφώσεις των δοκών κυλίσεως περιορίζονται ώστε να αμβλύνονται οι επιπτώσεις από τη λοξή κίνηση της γερανογέφυρας. Ως όριο θεωρείται το 1/600 του ανοίγματος,
4. οι πλευρικές παραμορφώσεις των σημείων στήριξης των δοκών κυλίσεως επί των τυπικών κυρίων πλαισίων περιορίζονται ώστε να αποφεύγεται υπερβολικό εύρος ταλαντώσεως των πλαισίων αυτών Ως όριο θεωρείται το 1/400 της στάθμης του ανώτερου σημείου της τροχιάς. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού πολλές φορές τα υποστυλώματα διαμορφώνονται με αυξημένη δυσκαμψία μέχρι τη στάθμη τουλάχιστον των δοκών κυλίσεως (Σχ. 3.2.7.5),



Περιγραφή της αποκλίσεως (παραμόρφωση ή μετατόπιση)	Διάγραμμα
α) Οριζόντια παραμόρφωση $\delta_y$ της δοκού κύλισης της γερανογέφυρας μετρούμενη στην ανώτερη στάθμη της τροχιάς $\delta_y \leq L/600$	
β) Οριζόντια μετατόπιση $\delta_y$ πλαισίου (ή υποστυλώματος) στη στάθμη στηρίξεως της γερανογέφυρας $\delta_y \leq h_c / 400$ όπου ύψος $h_c$ το ύψος της στάθμης στην οποία η γερανογέφυρα στηρίζεται (τροχιά ή πέλημα)	
γ) Διαφορική οριζόντια μετατόπιση $\Delta\delta_y$ προσκειμένων πλαισίων (ή υποστυλωμάτων) που στηρίζουν τις δοκούς κύλισης μιας γερανογέφυρας κινούμενης στο εσωτερικό χώρου $\Delta\delta_y \leq L/600$	
δ) Διαφορική οριζόντια μετατόπιση $\Delta\delta_y$ προσκειμένων πλαισίων (ή υποστυλωμάτων) που στηρίζουν τις δοκούς κύλισης μιας γερανογέφυρας κινούμενης σε εξωτερικό χώρο: – οφειλόμενη σε συνδυασμό πλευρικών δυνάμεων της γερανογέφυρας και φορτίου ανέμου συνυπάρχοντος με τη λειτουργία της γερανογέφυρας: $\Delta\delta_y \leq L/600$ – οφειλόμενη σε φορτίο ανέμου μη συνδυαζόμενο με τη λειτουργία της γερανογέφυρας: $\Delta\delta_y \leq L/400$	
ε) Μεταβολή $\Delta s$ της απόστασης μεταξύ των κέντρων των Τροχιών της γερανογέφυρας, περιλαμβανόμενης της επιρροής της μεταβολής της θερμοκρασίας:	

**Σχήμα 3.2.7.6:** Πίνακας (από τον EC3-Μέρος 6) με τις οριακές τιμές των οριζόντιων παραμορφώσεων

### Ειδικοί έλεγχοι γερανογέφυρας

Όταν η γερανογέφυρα πρόκειται να υποστεί δοκιμασία παραλαβής μετά την τοποθέτησή της, ως φορτία δοκιμασίας ορίζονται: στατικό κατακόρυφο φορτίο, ίσο προς 125% της ονομαστικής ανυψωτικής ικανότητας της γερανογέφυρας, χωρίς προσαύξηση, με δυναμικό συντελεστή και κινούμενο φορτίο, ίσο προς 110% της παραπάνω ικανότητας προσαυξημένο με δυναμικό συντελεστή.

Υπό τα παραπάνω φορτία θεωρούμενα ως φορτία λειτουργίας δεν θα πρέπει να αναπτύσσονται μη αναστρέψιμες παραμορφώσεις (μέγιστη ισοδύναμη τάση ίση το πολύ προς την τάση διαρροής). Τα ίδια φορτία προσαυξημένα με επιμέρους συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_{test}$  θα πρέπει να ικανοποιούν τους περιορισμούς της οριακής κατάστασης αντοχής ( $\gamma_{test}=1,10$ ),

Στα άκρα κάθε τροχιάς τοποθετείται τερματικό στοιχείο (stop) για την ανακοπή, σε περίπτωση κακού χειρισμού, της πορείας της γερανογέφυρας. Στον EC1/3 δίδονται πληροφορίες για τον προσδιορισμό της δύναμης πρόσκρουσης που χρησιμεύει για τον έλεγχο τοπικών στοιχείων.

Συνοψίζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, μπορούμε να καταλάβουμε ότι υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που μελετάμε σε κάθε περίπτωση μιας γερανογέφυρας.

- **Άνοιγμα γερανογέφυρας:** ορίζεται ως η οριζόντια αξονική απόσταση μεταξύ των τροχιών κύλισης στις οποίες κινείται η γερανογέφυρα.
- **Διαδρομή γερανογέφυρας:** είναι η διανυόμενη απόσταση στις τροχιές κύλισης.
- **Ανυψωτική ικανότητα:** ορίζεται ως το μέγιστο φορτίο που θα κληθεί να ανυψώσει η γερανογέφυρα.
- **Ύψος ανυψώσεως άγκιστρου:** είναι η απαιτούμενη απόσταση από το δάπεδο έως το άνω μέρος του άγκιστρου.
- **Μέγιστο βέλος κάμψης:** ορίζεται ως το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης του κυρίως φορέα συσχετιζόμενο με το άνοιγμα του υπό πλήρη φορτίο.
- **Ταχύτητες γερανογέφυρας φορείου και βαρούλκου:** Ο βαθμός στον οποίο η γερανογέφυρα ή το φορείο μετακινούνται ή το βαρούλκο ανυψώνει συνήθως σε μονάδα μέτρησης m/min.

Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να αλλάξουν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις ανάγκες που πρόκειται να καλυφθούν, καθιστώντας έτσι τις γερανογέφυρες το πιο αποτελεσματικό και λειτουργικό σύστημα ανύψωσης στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις αλλά και γενικότερα όπου αλλού χρειάζονται τέτοιου τύπου ανυψωτικών συστημάτων.

### 3.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΤΥΠΟΙ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Ξεκάθαρος διαχωρισμός τύπων γερανογέφυρας δεν μπορεί να γίνει διότι όπως έχει ήδη αναφερθεί οι γερανογέφυρες είναι συστήματα που εύκολα τροποποιούνται ώστε να εξυπηρετήσουν και τους πιο απαιτητικούς και δύσκολους χώρους. Παρόλα αυτά, κυρίως για την εξυπηρέτηση του εμπορίου και την εύκολη κατανόηση των πελατών, έχουν γίνει κάποιοι διαχωρισμοί με μοντέλα γερανογεφυρών που είναι πιο διαδεδομένα και χρησιμοποιούνται συνήθως σε διάφορες εγκαταστάσεις. Ανάλογα λοιπόν από τα χαρακτηριστικά που έχει μια γερανογέφυρα γίνεται ένας διαχωρισμός σε διάφορους τύπους.

Ένας πρώτος διαχωρισμός είναι, αν η γερανογέφυρα κινείται στο πάνω ή στο κάτω μέρος των γερανοδοκών:

**Επικαθήμενη:** Η γερανογέφυρα κινείται στο επάνω μέρος των σιδηροτροχιών κύλισης που εδράζονται στις γερανοδοκούς οι οποίες υποστηρίζονται από τις βασικές κολώνες του κτιρίου είτε από ξεχωριστές σχεδιασμένες για αυτό τον σκοπό.



**Εικόνα3.3.1:** Επικαθήμενη γερανογέφυρα διπλής κατανομής με επικαθήμενο φορέιο βαρούλκου

**Αναρτώμενη:** Η γερανογέφυρα μετακινείται στο κάτω μέρος του πέλματος γερανοδοκού το οποίο συνήθως στηρίζεται από την οροφή.



**Εικόνα 3.3.2:** Αναρτώμενη γερανογέφυρα μονού φορέα με αναρτώμενο φορέιο βαρούλκο

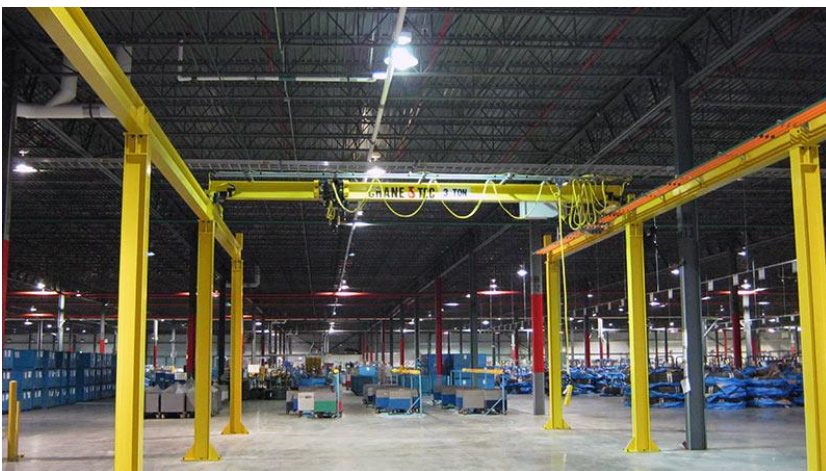
Πέρα από τον παραπάνω διαχωρισμό, κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με τον **τρόπο στήριξης τους**:

Οι **γερανογέφυρες με στήριξη οροφής** είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε περιπτώσεις όπου ο χώρος εργασίας στο δάπεδο είναι περιορισμένος. Εφόσον οι γερανογέφυρες τοποθετούνται απευθείας στην οροφή, δεν χρειάζονται κολώνες στηρίξεως. Έτσι ο εργοστασιακός χώρος είναι ελεύθερος για άλλες λειτουργίες. Ωστόσο απαιτείται μια κατασκευαστικά επαρκής υποδομή οροφής.



**Εικόνα 3.3.3:** Συστήματα γερανογέφυρας απλής κατανομής, με κοινές δοκούς κύλισης και με στήριξη οροφής

Οι **γερανογέφυρες με αυτόνομη στήριξη** προτιμώνται σε εφαρμογές όπου η κατασκευή της οροφής δεν είναι επαρκής για την ανάρτηση μιας εναέριας γερανογέφυρας με στήριξη οροφής. Μπορεί να αποτελείται από τυποποιημένα εξαρτήματα τα οποία μπορούν να αποσυναρμολογηθούν και να μετεγκατασταθούν εάν χρειαστεί. Τελικώς μπορεί να δουλέψει και σαν μία δευτερεύουσα γερανογέφυρα χωρίς να εμποδίζει μια ήδη υπάρχουσα εναέρια γερανογέφυρα βαριάς κατασκευής.



**Εικόνα 3.3.4:** Γερανογέφυρα επικαθήμενη με αυτόνομη στήριξη απλής κατανομής και αναρτώμενο βαρουλκοφορείο

Η τελευταία κατηγορία, σύμφωνα με τον τρόπο στήριξης, είναι οι **αναρριχώμενες γερανογέφυρες**. Το αναρριχώμενο σύστημα γερανογέφυρας είναι σχεδιασμένο ώστε να εφαρμόζει εύκολα σε δοκούς επικλινής οροφής. Χρησιμοποιεί τυποποιημένα εξαρτήματα μαζί με ένα σταθερό σύστημα αλυσοκίνησης σχεδιασμένο ειδικά γι' αυτήν την εφαρμογή. Αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε για την βιομηχανία ξυλείας και άλλων εφαρμογών για τον χειρισμό μεγάλων ανοιγμάτων επικλινών οροφών όπου το κτίριο έχει ανεπαρκές ύψος. Η αναρριχώμενη γερανογέφυρα μπορεί να λειτουργήσει μέσω μιας απλής ασύρματης χειροσυσκευής (μπουτονιέρας ) προσδίδοντας ευκολία στον χειρισμό της.



**Εικόνα 3.3.4:** Αναρριχόμενη γερανογέφυρα που οι δοκοί κύλισης είναι κατά πλάτος, και όχι κατά μήκος, του χώρου

Ένας άλλος διαχωρισμός που γίνεται και μπορεί εύκολα να προκύψει από τα προαναφερθέντα, είναι:

- γερανογέφυρα διπλού φορέα
- γερανογέφυρα μονού φορέα



**Εικόνα 3.3.5:** Γερανογέφυρα διπλού φορέα με επικαθήμενο φορείο βαρούλκου

Η γερανογέφυρα διπλού φορέα αποτελείται από δύο πλαγιοφορείς, από δύο φορείς γερανογέφυρας και το φορείο του βαρούλκου, το οποίο μετακινείται στην πάνω πλευρά των φορέων. Ενώ στη γερανογέφυρα μονού φορέα το βαρούλκο κινείται σε έναν φορέα, και μπορεί να τοποθετηθεί και στην πάνω αλλά και στην κάτω πλευρά του φορέα.



**Εικόνα 3.3.4:** Επικαθήμενη γερανογέφυρα μονού φορέα και με αναρτώμενο βαρουλκοφορείο



## 4 ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

### 4.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Στον χώρο του εργαστηρίου CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής του ΤΕΙ Ηρακλείου, βρίσκονται εργαλειομηχανές και τεχνολογίες που εξυπηρετούν την εκμάθηση των φοιτητών για τον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και που αυτές χρησιμοποιούνται. Επίσης ο χώρος αυτός χρησιμοποιείται από τους φοιτητές ως χώρος μελέτης και κατασκευής, σε συνεργασία με κάποιους διδάσκοντες, νέων τεχνολογιών αλλά και εξαρτημάτων που προσφέρουν στους φοιτητές καλύτερη κατανόηση και εξοικείωση με τέτοια μηχανήματα, αλλά και εμπλουτίζουν τον χώρο με περισσότερες «γνώσεις» για τους επόμενους.



**Εικόνα 4.1.1:** Φωτογραφία από το εργαστήριο CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής

Ο χώρος είναι 252 τετραγωνικά μέτρα και έχει ύψος 3 μέτρα, ενώ υπάρχουν σε αυτόν, όπως έχει αναφερθεί, διάφορες εργαλειομηχανές, ρομποτικά συστήματα, γραφεία – πάγκοι εργασίας, και άλλα συστήματα που εξυπηρετούν τις ανάγκες των μαθημάτων που γίνονται σε αυτόν.

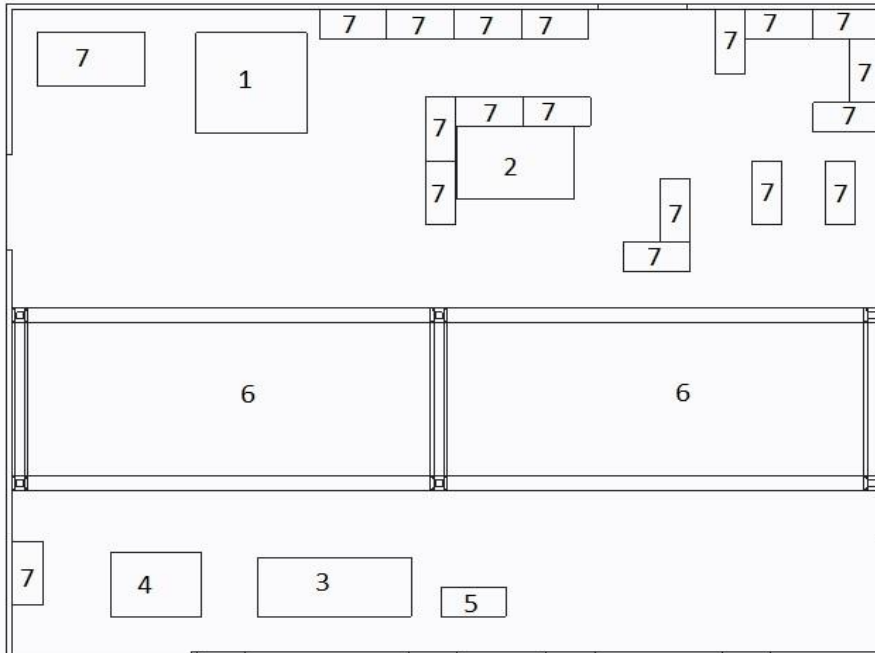
Γενικά για το σχεδιασμό και τη μελέτη της γερανογέφυρας θα συμπεριληφθούν κυρίως οι εξοπλισμοί που υπάρχουν στον χώρο μεγάλου μεγέθους που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία της γερανογέφυρας ή και το αντίθετο, όπως είναι οι διάφορες εργαλειομηχανές, ενώ γραφεία, πάγκοι εργασίας, αλλά και κάποια μικρά μηχανήματα, επειδή είναι εύκολη η μεταφορά τους και αναπροσαρμογή τους στον χώρο δεν θα δοθεί ιδιαίτερη σημασία. Τέλος οι ανάγκες του χώρου που πρόκειται να καλύψει το σύστημα γερανογέφυρας όσο αναφορά τα φορτία ανύψωσης και μεταφοράς δεν είναι μεγάλες καθώς πρόκειται για ένα εργαστήριο ενός εκπαιδευτικού ιδρύματος.



**Εικόνα 4.1.2:** Φωτογραφίες από το εργαστήριο CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής

## 4.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

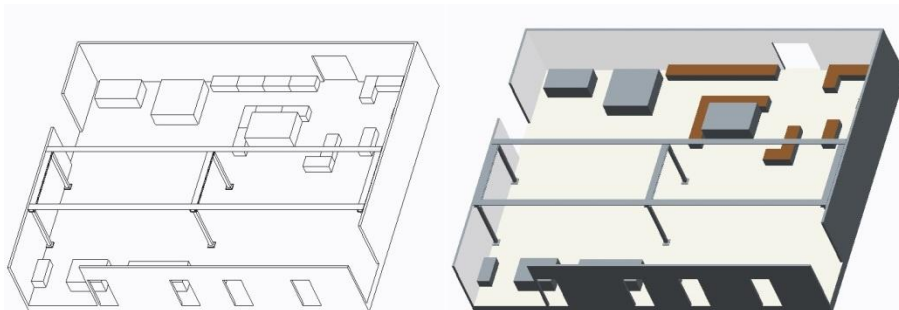
Ο χώρος του εργαστηρίου CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής είναι σε γενικές γραμμές άνετος και διαθέτει αρκετό ελεύθερο χώρο για την εγκατάσταση γερανογέφυρας, οπότε θα είναι εύκολη η αναδιαμόρφωσή του, αφού είναι λίγοι οι εξοπλισμοί που θα πρέπει να μετακινηθούν. Η μόνη του δυσκολία είναι το ύψος και το ότι διαθέτει ψευδοροφή, γεγονός που δεν δίνει τη δυνατότητα εγκατάστασης ενός συστήματος γερανογέφυρας με στήριξη οροφής, που θα ήταν αρκετά πιο λειτουργικό για το χώρο, αλλά και πιο οικονομικό.



**Εικόνα 4.2.1:** Κάτοψη του χώρου του εργαστηρίου CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής του ΤΕΙ Ηρακλείου

Έτσι με την κάτοψη της εικόνας 4.2.1, δίνεται μια ιδέα για το πώς θα διαμορφωθεί ο χώρος μετά την τοποθέτηση γερανογέφυρας σε αυτόν. Στην κάτοψη έχουν αποτυπωθεί όλοι οι εξοπλισμοί του εργαστηρίου με ορθογώνια, καταλαμβάνοντας έτσι τον απαιτούμενο χώρο τόσο του ίδιου του αντικειμένου, όσο και του απαιτούμενου χώρου για τη σωστή λειτουργία και χρήση του.

Στη θέση 1 λοιπόν βρίσκεται η CNC φρέζα που τώρα είναι στο βάθος του εργαστηρίου ( όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1.1) και αποτελεί τη μοναδική μεγάλη αλλαγή στον χώρο. Στη θέση 2 είναι η δεύτερη CNC φρέζα που έχει μετακινηθεί ελάχιστα από την προηγούμενη θέση της. Στις θέσεις 4,3,5, αποτυπώνονται μία NC φρέζα, ένας CNC τόρνος και ένας NC τόρνος αντίστοιχα, ενώ και αυτές οι εργαλειομηχανές έχουν τροποποιηθεί ελάχιστα από τις προηγούμενες θέσεις τους.



**Εικόνα 4.2.2:** Τρισδιάστατη κάτοψη του χώρου του εργαστηρίου CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής

Ο αριθμός 7 συμβολίζει τα γραφεία και τους πάγκους εργασίας, καθώς και μικροεξοπλισμούς του εργαστηρίου που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω δεν δόθηκε ιδιαίτερη σημασία καθώς καταλαμβάνουν μικρό χώρο και είναι εύκολοι στη μεταφορά τους. Τέλος, στον αριθμό 6 απεικονίζεται ο χώρος που θα καταλειφθεί από το σύστημα της γερανογέφυρας, όπου είναι 18 μέτρα σε μήκος, και 4 μέτρα σε πλάτος.

## 5 ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

### 5.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΤΥΠΟΥ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Η επιλογή του τύπου της γερανογέφυρας που θα εγκατασταθεί, βασίζεται στις ανάγκες και τις προδιαγραφές του χώρου. Ο χώρος του εργαστηρίου CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής, όπως έχει αναφερθεί, έχει αρκετό χώρο ώστε να εγκατασταθεί ένα σύστημα γερανογέφυρας. Παρόλα αυτά παρουσιάζει κάποια ελαττώματα που περιορίζουν τις επιλογές από τους υπάρχοντες διαθέσιμους τύπους.

Αρχικά ένα σύστημα γερανογέφυρας με στήριξη στις πλευρές του εργαστηρίου δεν θα μπορούσε να εξυπηρετήσει τον χώρο διότι διαθέτει μηχανήματα μεγάλου ύψους και χαμηλό ύψος οροφής, που θα εμπόδιζαν την σωστή μετακίνηση της στον χώρο.



**Εικόνα 5.1.1:** Σύστημα με δύο γερανογέφυρες διπλής κατανομής με επικαθήμενο φορείο βαρούλκου και με στήριξη στις πλευρές του χώρου

Επίσης τέτοιου τύπου γερανογέφυρες απευθύνονται κυρίως στην ανύψωση μεγάλων φορτίων σε αρκετά μεγάλους χώρους, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά «βαριές» κατασκευές, αλλά και λιγότερο οικονομικές από άλλους διαθέσιμους τύπους.

Ένας ιδανικός τύπος γερανογέφυρας για το συγκεκριμένο χώρο θα ήταν αυτός με στήριξη οροφής, καθώς τόσο η κίνηση της όσο και η εγκατάστασή της, γίνεται στην οροφή του χώρου, με αποτέλεσμα να μένει ελεύθερη όλη η επιφάνεια του δαπέδου, μην καταναλώνοντας καταυτό τον τρόπο «ωφέλιμο» χώρο.



**Εικόνα 5.1.2:** Γερανογέφυρα αναρτώμενη, απλής κατανομής, με αναρτώμενο βαρουλκοφορείο και με στήριξη στην οροφή

Επίσης είναι ελαφριές κατασκευές, και κατ' επέκταση οικονομικές, με ανυψωτική ικανότητα που καλύπτει τις ανάγκες του εργαστηρίου. Όμως αυτός ο τύπος γερανογέφυρας είναι δύσκολο να εγκατασταθεί στον χώρο του εργαστηρίου, καθώς διαθέτει ψευδοροφή που απέχει αρκετά από την οροφή του κτιρίου, με αποτέλεσμα να γίνεται λιγότερο οικονομική σαν λύση από άλλους διαθέσιμους τύπους.

Ο καταλληλότερος τύπος γερανογέφυρας λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, είναι ένα σύστημα γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη. Οι γερανογέφυρες με αυτόνομη στήριξη είναι απλές και οικονομικές κατασκευές που εφαρμόζονται σε χώρους με μικρές ανυψωτικές ανάγκες και με ιδιόμορφα χαρακτηριστικά. Αυτού του τύπου οι γερανογέφυρες είναι μια ιδιαίτερα οικονομική λύση για αρκετούς λόγους.



**Εικόνα 5.1.3:** Γερανογέφυρα με κοιλοδοκούς κύλισης, χειροκίνητη, απλής κατανομής και με αυτόνομη στήριξη

Αρχικά, η εγκατάσταση της, με τη βοήθεια σχετικού εγχειριδίου, μπορεί να γίνει από οποιοδήποτε που έχει κάποιες βασικές γνώσεις σε αυτό τον τομέα, καθιστώντας έτσι, το κόστος εγκατάστασης της, μηδενικό. Πολλές εταιρίες εκτός από το σχετικό εγχειρίδιο εγκατάστασης της γερανογέφυρας, διαθέτουν και οπτικοακουστικό υλικό που διευκολύνει ακόμα περισσότερο την τοποθέτηση της. Επίσης, λόγω των παραπάνω, μπορεί εύκολα να μεταφερθεί σε άλλο σημείο του εργαστηρίου αν αυτό κάποια στιγμή χρειαστεί, ή ακόμα και σε άλλο χώρο του Τεχνολογικού Ιδρύματος Ηρακλείου, που μπορεί να κριθεί πιο αναγκαία η εγκατάσταση και η χρήση της.

Όλα τα εξαρτήματα μιας γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη είναι τυποποιημένα, και προσαρμόζονται ανάλογα με τις ανυψωτικές ανάγκες και τις διαστάσεις που απαιτούνται, γεγονός που τα καθιστά πιο οικονομικά. Οι περισσότερες εταιρίες διαθέτουν οδηγούς που δίνουν τη δυνατότητα, ανάλογα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, να επιλέξει κανείς μόνος του τα διάφορα εξαρτήματα της γερανογέφυρας και στη συνέχεια να συμπληρώσει μια φόρμα, την οποία παραδίδει στην εταιρία και απλά τα παραλαμβάνει, μηδενίζοντας έτσι και το κόστος της μελέτης που θα απαιτούσε οποιοσδήποτε άλλος διαθέσιμος τύπος.

Έτσι ο τύπος γερανογέφυρας που κρίνεται ως ο καταλληλότερος για τον χώρο του εργαστηρίου CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής, τόσο σε οικονομική βάση, αλλά κυρίως σε λειτουργική βάση, είναι μια γερανογέφυρα με αυτόνομη στήριξη. Η γερανογέφυρα θα είναι αναρτώμενη, δηλαδή θα κινείται στο κάτω μέρος της γερανοδοκού, όπως και το βαρουλκοφορείο, και αυτό λόγω του μικρού ύψους του χώρου, και μονού φορέα.

Το μήκος της θα είναι όσο και το μήκος του εργαστηρίου, δηλαδή 18 μέτρα για να καλύπτει κατά μήκος όλες τις ανάγκες του χώρου, και το πλάτος της περίπου 4 μέτρα, και θα τοποθετηθεί στη μέση του χώρου ώστε να έχουμε καλύτερη κάλυψη και των αναγκών κατά πλάτος του εργαστηρίου (εικόνα 4.2.1).

Τέλος, η ανυψωτική της ικανότητα θα είναι 100 κιλά, που καλύπτει τις υπάρχουσες ανάγκες του εργαστηρίου. Παρόλα αυτά ο σχεδιασμός των διάφορων εξαρτημάτων θα γίνει έτσι ώστε εύκολα να μπορεί να αυξηθεί η ανυψωτική ικανότητα της κατασκευής σε περίπτωση που αυτό κριθεί απαραίτητο, με την προσθήκη επιπλέον υποστηρικτικών μέσων.

## 5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να προσδιοριστούν πριν το σχεδιασμό και τη μελέτη της γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη είναι:

- **Συνολικό πλάτος και μήκος κατασκευής:** Το πλαίσιο στήριξης γερανογέφυρας, όπως προέκυψε από τη μελέτη του χώρου, πρέπει να κυμαίνεται περίπου στα 4 μέτρα, ώστε να εξυπηρετεί όσο το δυνατόν καλύτερα κατά πλάτος τον χώρο. Ενώ το μήκος της θα καλύψει ολόκληρο τον χώρο δηλαδή θα είναι 18 μέτρα.
- **Άνοιγμα γερανογέφυρας:** όπου ορίζεται ως η οριζόντια αξονική απόσταση μεταξύ των τροχιών κύλισης στις οποίες κινείται η γερανογέφυρα και θα είναι περίπου 2,6 μέτρα. Αυτό προκύπτει από: (Μήκος τροχιάς κύλισης βαρούλκου) – 2 Χ (Απόσταση του κέντρου της στήριξης της τροχιάς από το τέλος της τροχιάς κύλισης του βαρούλκου)
- **Μήκος κύριου φορέα:** Το μήκος του κύριου φορέα, δηλαδή εκεί όπου στηρίζεται και κινείται το βαρουλκοφορείο, θα είναι 3 μέτρα.
- **Διαδρομή γερανογέφυρας:** δηλαδή η διαδρομή της γερανογέφυρας πάνω στις τροχιές κύλισης, θα είναι 17,5 μέτρα.
- **Ύψος ανυψώσεως άγκιστρου:** όπου ορίζεται η απόσταση του κάτω μέρους του βαρουλκοφορείου από το δάπεδο, θα είναι 2,50 μέτρα.
- **Ανυψωτική ικανότητα:** δηλαδή το μέγιστο φορτίο ανύψωσης θα είναι 100 kg.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά προέκυψαν από τη μελέτη του χώρου σε συνδυασμό με πίνακες τυποποίησης των διάφορων εξαρτημάτων που υπάρχουν στο εμπόριο, και σύμφωνα με διατάξεις του Ευρωκώδικα. Δηλαδή έχοντας τις διαστάσεις του χώρου και χρησιμοποιώντας τις τυποποιήσεις του εμπορίου, προκύπτουν οι διαστάσεις που πρέπει να έχουν τα διάφορα εξαρτήματα που απαρτίζουν τη γερανογέφυρα. Ένας τέτοιος πίνακας φαίνεται στην εικόνα 5.2.1.

TR SERIES - FREE STANDING TRUSSED RUNWAY BRIDGE CRANE SYSTEMS																
				FESTOON DATA				DIMENSIONAL DATA								
BL	RUNWAY LENGTH	BRIDGE & RUNWAY KIT NUMBER	TCH	SUPPORT KIT NUMBER		TROLLEY QTY	FTE	FCL	BRH	HEADER SIZE	HL	OAH	C/C	OAW	COL. SIZE	BASE DETAIL
10'	11.5'	TR-10-11.5-700	10'	S G 2 - 10	10	5	12"	30'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C
			12'	S G 2 - 12	10							14'-6 1/8"				
			14'	S G 2 - 14	10							18'-6 1/8"				
	23'	TR-10-23-700	10'	S G 2 - 10	10	6	12"	43'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C
			12'	S G 2 - 12	10							14'-6 1/8"				
			14'	S G 2 - 14	10							18'-6 1/8"				
	33'	TR-10-33-700	10'	S G 3 - 10	10	8	24"	54'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C
			12'	S G 3 - 12	10							14'-6 1/8"				
14'			S G 3 - 14	10	18'-6 1/8"											
43'	TR-10-43-700	10'	S G 3 - 10	10	10	24"	64'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C	
		12'	S G 3 - 12	10							14'-6 1/8"					
		14'	S G 3 - 14	10							18'-6 1/8"					
53'	TR-10-53-700	10'	S G 4 - 10	10	11	36"	76'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C	
		12'	S G 4 - 12	10							14'-6 1/8"					
		14'	S G 4 - 14	10							18'-6 1/8"					
63'	TR-10-63-700	10'	S G 4 - 10	10	13	36"	87'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C	
		12'	S G 4 - 12	10							14'-6 1/8"					
		14'	S G 4 - 14	10							18'-6 1/8"					
83'	TR-10-83-700	10'	S G 5 - 10	10	16	54"	109'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C	
		12'	S G 5 - 12	10							14'-6 1/8"					
		14'	S G 5 - 14	10							18'-6 1/8"					
103'	TR-10-103-700	10'	S G 6 - 10	10	20	54"	131'	1'-10 1/8"	8"	11'-7"	12'-6 1/8"	10'-9"	11'-7"	5"	C	
		12'	S G 6 - 12	10							14'-6 1/8"					
		14'	S G 6 - 14	10							18'-6 1/8"					

Εικόνα 5.2.1: Πίνακας τυποποιημένων διαστάσεων γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη

Έχοντας λοιπόν έναν τέτοιο πίνακα σε συνδυασμό με το φορτίο ανύψωσης και τις διαστάσεις του χώρου, να επιλεγούν ποιες θα είναι οι διαστάσεις των κολονών στήριξης, των δοκών κυλίσεως, του βαρουλκοφορείου και των υπόλοιπων εξαρτημάτων της γερανογέφυρας.

**Έτσι η γερανογέφυρα που θα σχεδιαστεί θα αποτελείται από:**

- κολώνες στήριξης 127X127 χιλιοστών και ύψους περίπου 2,85 μέτρων,
- 3 δοκούς ΗΕΑ ύψους 203 χιλιοστών και μήκους 3,5 μέτρων, κάτω από τις οποίες θα στηρίζονται οι τροχιές κύλισης,
- 4 τροχιές κύλισης από τις οποίες η κάθε μία θα είναι μήκους 9 μέτρων και διατομής 110X93 χιλιοστών,
- ενώ ίδιας διατομής θα είναι και η τροχιά κύλισης του βαρούλκου με μήκος 3 μέτρα.

### 5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

#### 5.3.1 ΚΟΛΩΝΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Οι κολώνες στήριξης της γερανογέφυρας θα είναι έξι τετράγωνοι κοιλοδοκοί (SHS: Square Hollow Section), που σύμφωνα με τους πίνακες τυποποίησης πρέπει να έχουν διαστάσεις 5X5 ίντσες, για ένα σύστημα γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη με ικανότητα ανύψωσης φορτίων μέχρι ενός τόνου. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτό, όπως αναφέρθηκε, είναι για να υπάρχει η δυνατότητα εύκολα να αυξηθεί η ανυψωτική ικανότητα εάν αυτό χρειαστεί.

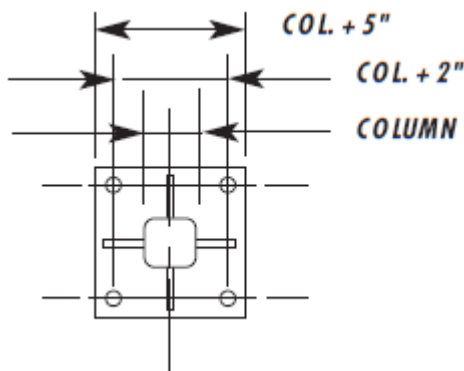
Για όλους τους τύπους δοκών υπάρχουν πίνακες, επικυρωμένοι από την Ευρωπαϊκή Ένωση, που καθορίζουν τις διαστάσεις τους, ανάλογα με τη διατομή τους. Έτσι από τον Πίνακα 5.3.1.1 που αποτελεί τμήμα από το σχετικό πίνακα, προκύπτουν οι υπόλοιπες διαστάσεις που θα χρειαστούν στο σχεδιασμό της κολώνας στήριξης της γερανογέφυρας.

Διατομή a x a (mm)	Πάχος S (mm)	Εξωτ. Ακτίνα r (mm)	Εσωτ. Ακτίνα r2 (mm)	Βάρος G (kg/m)
120x120	4	6	4	14.4
120x120	5	7.5	5	17.8
120x120	6	9	6	21.2
120x120	6.3	9.45	6.3	22.2
120x120	8	12	8	27.6
120x120	10	15	10	33.7
120x120	12	18	12	39.5
120x120	12.5	18.75	12.5	40.9



**Πίνακας 5.3.1.1:** Διαστάσεις τετράγωνων κοιλοδοκών (SHS) όπως ορίζονται από τις σχετικές διατάξεις

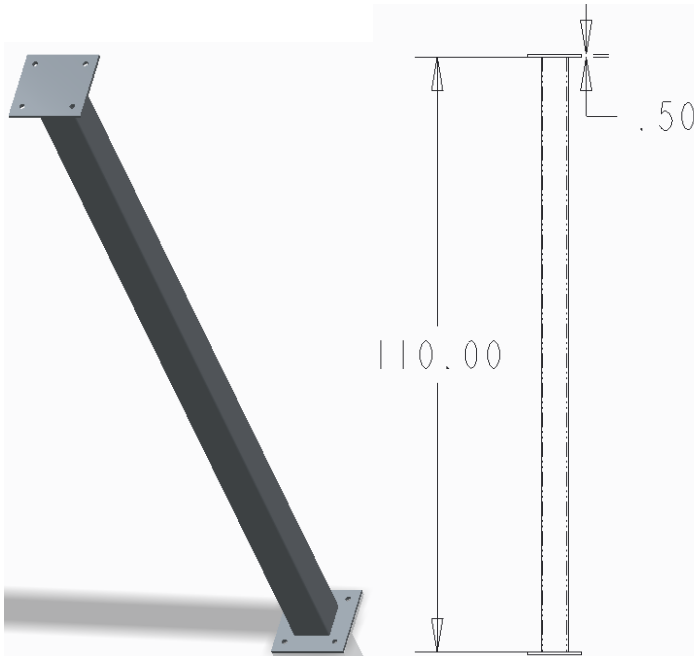
Επίσης πριν το σχεδιασμό της κολώνας πρέπει να καθοριστούν και οι διαστάσεις της έδρας στήριξης της, όπου και αυτή η σχεδιαστική λεπτομέρεια καθορίζεται, τόσο από σχετικές διατάξεις του Ευρωκώδικα, όσο και από κατασκευαστές, που έχουν κάνει τις δικές τους τυποποιήσεις βασισμένες βέβαια στα καθορισμένα πρότυπα. Έτσι, μέσω του παρακάτω σχήματος, που αφορά στις προδιαγραφές που έχουν επιλεγεί μέχρι τώρα για τη γερανογέφυρα, μπορούν να καθοριστούν εύκολα οι διαστάσεις της έδρας της κολώνας στήριξης.



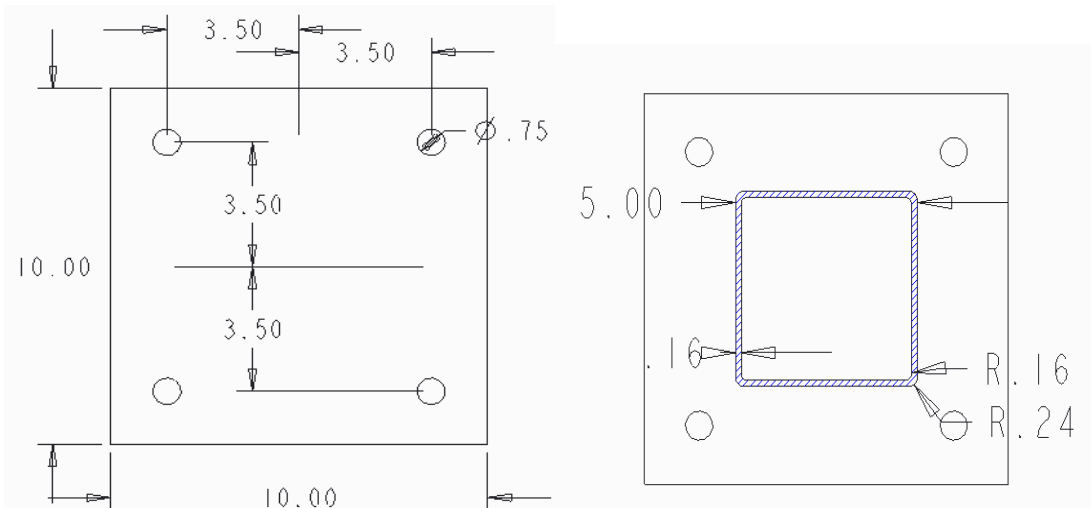
**Σχήμα 5.3.1.2:** Προσδιορισμός των διαστάσεων της έδρας της κολώνας στήριξης του συστήματος γερανογέφυρας

Τέλος, οι οπές στην έδρα της κολώνας πρέπει να έχουν διάμετρο 19 χιλιοστά από όπου θα βιδωθεί η έδρα στο δάπεδο του χώρου. Το συνολικό ύψος της κάθε κολώνας στήριξη της γερανογέφυρας θα είναι περίπου 2.70 μέτρα και συνολικά θα ζυγίζει περίπου 50 κιλά η κάθε μία. Έχοντας όλα αυτά τα στοιχεία μπορεί να σχεδιαστεί η κολώνα στήριξης της γερανογέφυρας.

Για το σχεδιασμό των εξαρτημάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Creo 2.0, ενώ η μονάδα μέτρησης των διαστάσεων που απεικονίζονται στα σχέδια είναι σε ίντσες.



**Σχήμα 5.3.1.3:** Τρισδιάστατο σχέδιο της κολώνας στήριξης του σκελετού της γερανογέφυρας και σχέδιο πλάγιας όψης



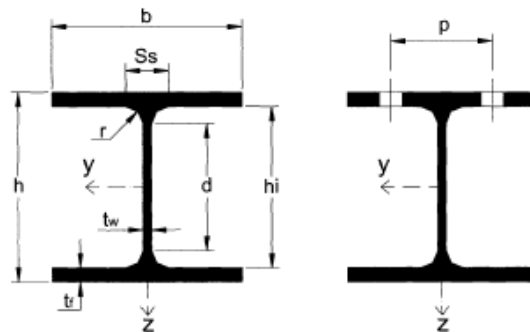
**Σχήμα 5.3.1.4:** Σχέδιο κάτοψης της κολώνας στήριξης του σκελετού της γερανογέφυρας και σχέδιο κάτοψης σε τομή

### 5.3.2 ΔΟΚΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΩΝ ΤΡΟΧΙΩΝ ΚΥΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Η δοκός στήριξης των τροχιών κύλισης της γερανογέφυρας θα είναι διατομής HEA, και από τους πίνακες που δίνουν τις διαστάσεις μιας γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη προκύπτει ότι για το μήκος του εργαστηρίου θα χρειαστούν τρεις τέτοιοι δοκοί. Ακόμα, προσδιορίζουν το ύψος που πρέπει να έχει η δοκός αυτή, ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά που χρειάζονται για το σχεδιασμό προκύπτουν και πάλι από τους σχετικούς πίνακες του Ευρωκώδικα ( Πίνακας 5.3.2.1).

Οι δοκοί αυτοί θα τοποθετηθούν πάνω σε δύο κολώνες στήριξης που έχουν σχεδιαστεί παραπάνω, σχηματίζοντας έτσι ένα πλαίσιο σχήματος Π, και στο κάτω πέλμα της δοκού θα στηριχθούν οι τροχιές κύλισης της γερανογέφυρας. Για τη στήριξη των τροχιών κύλισης θα χρειαστούν, όπως προκύπτει και πάλι από τους σχετικούς πίνακες τυποποίησης τρία τέτοια πλαίσια.

### Σειρά HEA

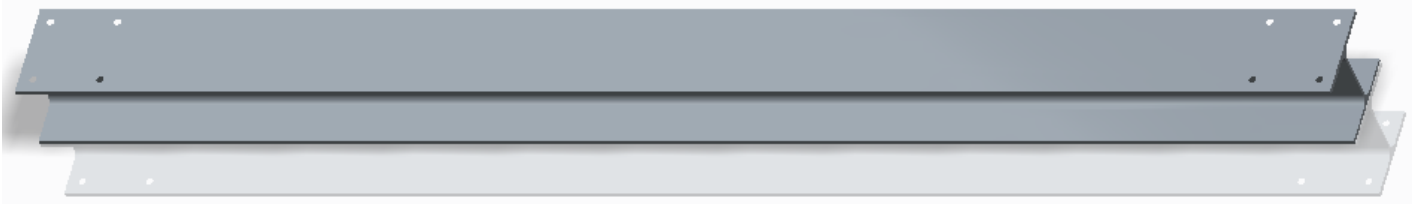


Τύπος Διατομής	G kg/m	h mm	b mm	$t_w$ mm	$t_r$ mm	r mm	A cm <sup>2</sup>	$h_i$ mm	d mm	Ø	$p_{min}$ mm	$p_{max}$ mm	$A_L$ m <sup>2</sup> /m	$A_G$ m <sup>2</sup> /t
HE 100 A	16.7	96	100	5.0	8.0	12	21.24	80	56	M10	54	58	0.561	33.680
HE 120 A	19.9	114	120	5.0	8.0	12	25.34	98	74	M12	58	68	0.677	34.060
HE 140 A	24.7	133	140	5.5	8.5	12	31.42	116	92	M16	64	76	0.794	32.210
HE 160 A	30.4	152	160	6.0	9.0	15	38.77	134	104	M20	78	84	0.906	29.780
HE 180 A	35.5	171	180	6.0	9.5	15	45.25	152	122	M24	86	92	1.024	28.830
HE 200 A	42.3	190	200	6.5	10.0	18	53.83	170	134	M27	98	100	1.136	26.890
HE 220 A	50.5	210	220	7.0	11.0	18	64.34	188	152	M27	98	118	1.255	24.850
HE 240 A	60.3	230	240	7.5	12.0	21	76.84	206	164	M27	104	138	1.369	22.700
HE 260 A	68.2	250	260	7.5	12.5	24	86.82	225	177	M27	110	158	1.484	21.770
HE 280 A	76.4	270	280	8.0	13.0	24	97.26	244	196	M27	112	178	1.603	20.990
HE 300 A	88	290	300	8.5	14.0	27	112.50	262	208	M27	118	198	1.717	19.430
HE 320 A	97.6	310	300	9.0	15.5	27	124.40	279	225	M27	118	198	1.756	17.980
HE 340 A	105.0	330	300	9.5	16.5	27	133.50	297	243	M27	118	198	1.795	17.130
HE 360 A	112	350	300	10.0	17.5	27	142.80	315	261	M27	120	198	1.834	16.360
HE 400 A	125	390	300	11.0	19.0	27	159.00	352	298	M27	120	198	1.912	15.320
HE 450 A	140.0	440	300	11.5	21.0	27	178.00	398	344	M27	122	198	2.011	14.390
HE 500 A	155	490	300	12.0	23.0	27	197.50	444	390	M27	122	198	2.110	13.600
HE 550 A	166	540	300	12.5	24.0	27	211.80	492	438	M27	122	198	2.209	13.290
HE 600 A	178	590	300	13.0	25.0	27	226.50	540	486	M27	122	198	2.308	12.980
HE 650 A	190	640	300	13.5	26.0	27	241.60	588	534	M27	124	198	2.407	12.690
HE 700 A	204	690	300	14.5	27.0	27	260.50	636	582	M27	124	198	2.505	12.250
HE 800 A	224	790	300	15.0	28.0	30	285.80	734	674	M27	130	198	2.698	12.030
HE 900 A	252	890	300	16.0	30.0	30	320.50	830	770	M27	132	198	2.896	11.510
HE 1000 A	272	990	300	16.5	31.0	30	346.80	928	868	M27	132	198	3.095	11.370

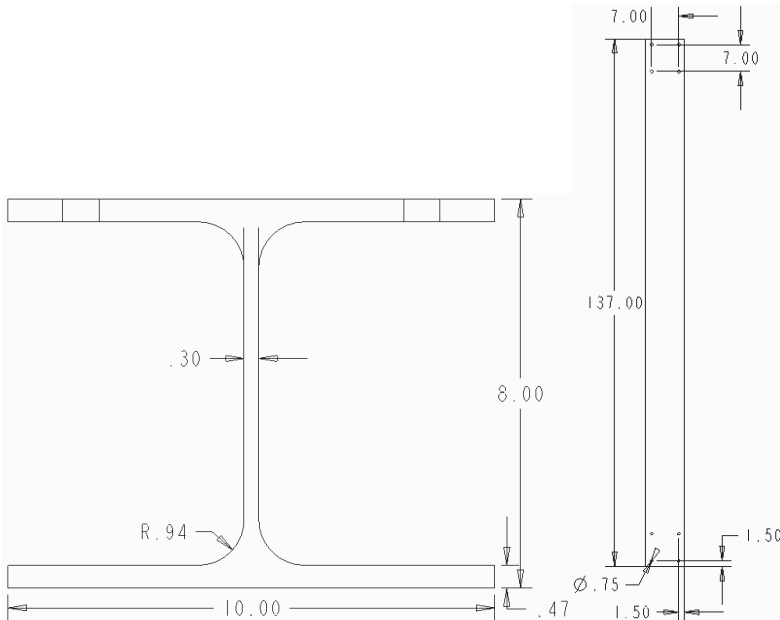
**Πίνακας 5.3.2.1:** Διαστάσεις δοκών HEA όπως ορίζονται στον Ευρωκώδικα

Η δοκός στήριξης των τροχιών κύλισης, θα έχει μήκος 3,5 μέτρα, όσο δηλαδή και το πλάτος ολόκληρης της κατασκευής, ύψος 203 χιλιοστά και θα ζυγίζει περίπου 120 κιλά. Η μονάδα μέτρησης των διαστάσεων που απεικονίζονται στα σχέδια είναι και πάλι σε ίντσες.



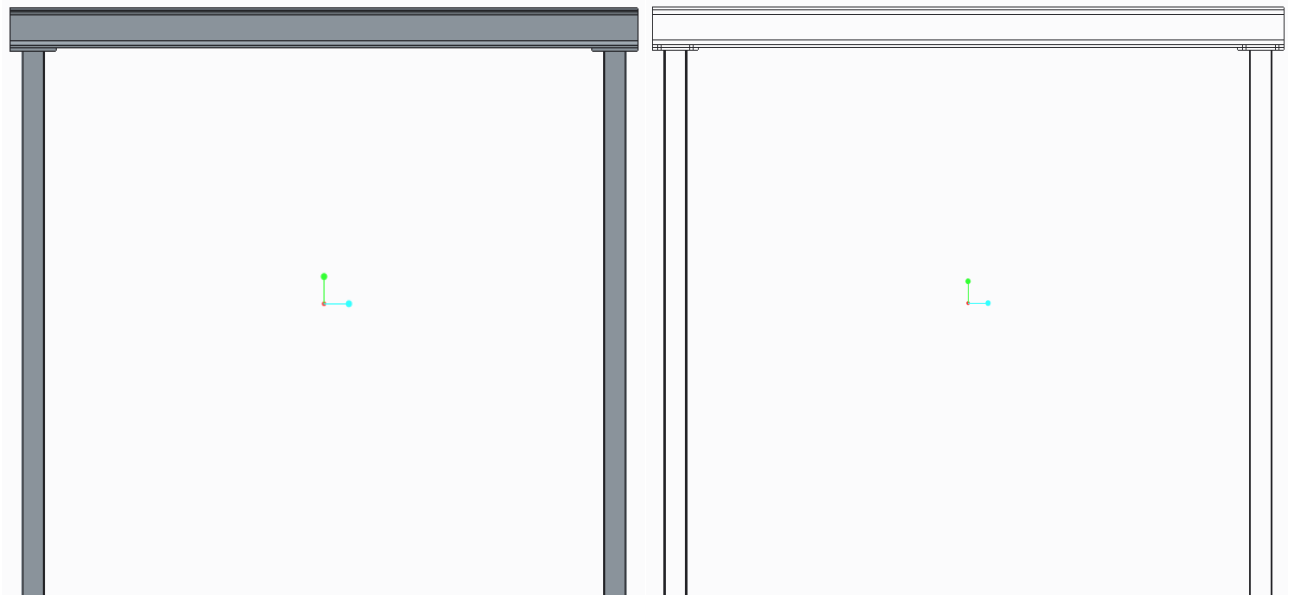


**Εικόνα 5.3.2.2:** Τρισδιάστατο σχέδιο της δοκού στήριξης των τροχιών κύλισης του συστήματος της γερανογέφυρας



**Εικόνα 5.3.2.3:** Σχέδιο της διατομής της δοκού στήριξης των τροχιών κύλισης της γερανογέφυρας, και η πάνω όψη

Στην εικόνα 5.3.2.4 απεικονίζεται το πλαίσιο που σχηματίζουν οι κολώνες στήριξη της κατασκευής με τη δοκό όπου θα στηριχθούν οι τροχιές κύλισης της γερανογέφυρας. Το πλαίσιο έχει ύψος 2,99 μέτρα και πλάτος 3,5 μέτρα.

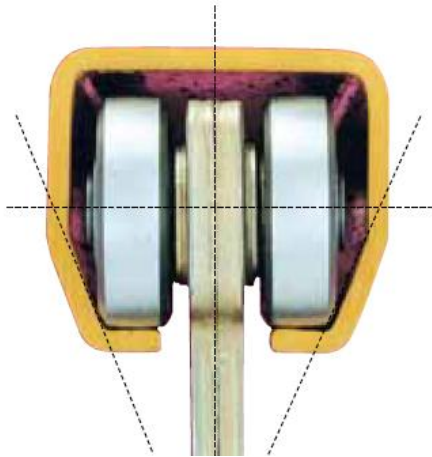


**Εικόνα 5.3.2.4:** Μπροστινή όψη του πλαισίου που σχηματίζουν οι κολώνες στήριξης της γερανογέφυρας, με τη δοκό ΗΑΕ, που θα στηριχθούν οι τροχιές κύλισης του συστήματος

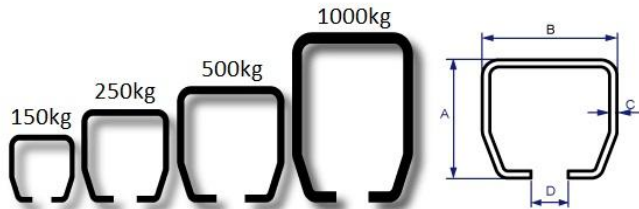
### 5.3.3 ΤΡΟΧΙΑ ΚΥΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Η επιλογή της τροχιάς κύλισης της γερανογέφυρας πρέπει να προσδιοριστεί με ιδιαίτερη προσοχή λόγω του σχετικά μικρού ύψους της οροφής του χώρου. Για το λόγο αυτό έχει επιλεγεί, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 5.1, η γερανογέφυρα να είναι αναρτώμενη, δηλαδή να κινείται στο κάτω μέρος των δοκών κύλισης, αλλά και οι δοκοί κύλισης να τοποθετηθούν στο κάτω μέρος της δοκού στήριξης.

Έτσι μετά από μια επισκόπηση στους διαθέσιμους τύπους κύλισης της γερανογέφυρας, επιλέχθηκε το σύστημα που φαίνεται στην εικόνα 5.3.3.1. Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο κυρίως για φορτία ανύψωσης μικρού βάρους και για σχετικά μικρούς χώρους. Οι διαστάσεις και πάλι ορίζονται από σχετικούς πίνακες.



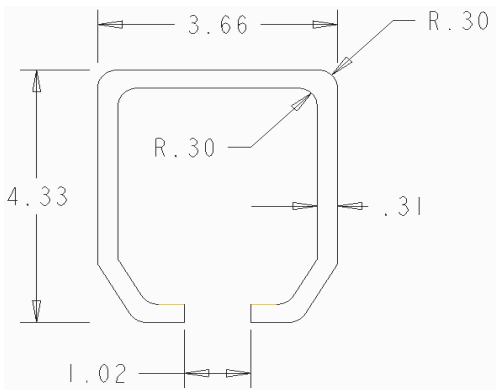
**Εικόνα 5.3.3.1:** Σύστημα κύλισης γερανογέφυρας με τετράγωνη κοιλοδοκό, τύπου V και τους τροχούς του πλαγιοφορέα



Φορτίο Ανύψωσης	A(mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)
150kg	43.5	48.5	3.5	15
250kg	60	65	4.0	18
500kg	75	80	5.0	22
1000kg	110	93	8.0	26

**Πίνακας 5.3.3.2:** Διαστάσεις κοιλοδοκού κύλισης γερανογέφυρας

Στην εικόνα 5.3.3.3 αποτυπώνεται το σχέδιο της διατομής της δοκού κύλισης, ενώ οι διαστάσεις που απεικονίζονται είναι σε ίντσες. Θα χρειαστούν τέσσερις δοκοί κύλισης με μήκος 9 μέτρα η κάθε μία. Παρακάτω υπάρχουν τα συστήματα σύνδεσης τόσο με τη δοκό στήριξης, όσο και μεταξύ τους ώστε να επιτευχθούν τα 18 μέτρα που θα είναι το συνολικό μήκος του συστήματος.



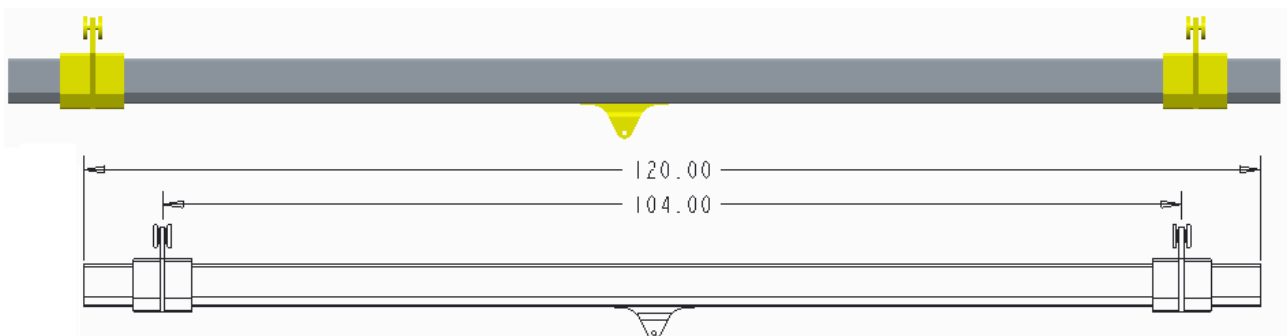
**Εικόνα 5.3.3.3:** Μπροστινή όψη και διαστάσεις σε ίντσες, της δοκού κύλισης της γερανογέφυρας

### 5.3.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΟΙΠΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

#### Δοκός κύλισης του βαρουλκοφορείου

Η δοκός κύλισης του βαρουλκοφορείου, όπως αναφέρεται και στα προηγούμενα, έχει την ίδια διατομή με την τροχιά κύλισης. Διαφορετικά ονομάζεται κύριος φορέας της γερανογέφυρας, αφού σε αυτόν κινείται το βαρουλκοφορείο, και κατ' επέκταση ο ανυψωτικός μηχανισμός του συστήματος, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα της οριζόντιας κίνησης στον χώρο.

Ο κύριος φορέας ενώνεται με τις τροχιές κύλισης μέσω δύο στηρίξεων που φέρουν τροχούς, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα της κάθετης κίνησης του κύριου φορέα στον χώρο. Οι στηρίξεις αυτές ονομάζονται στα αγγλικά endtruck και περιγράφονται παρακάτω.



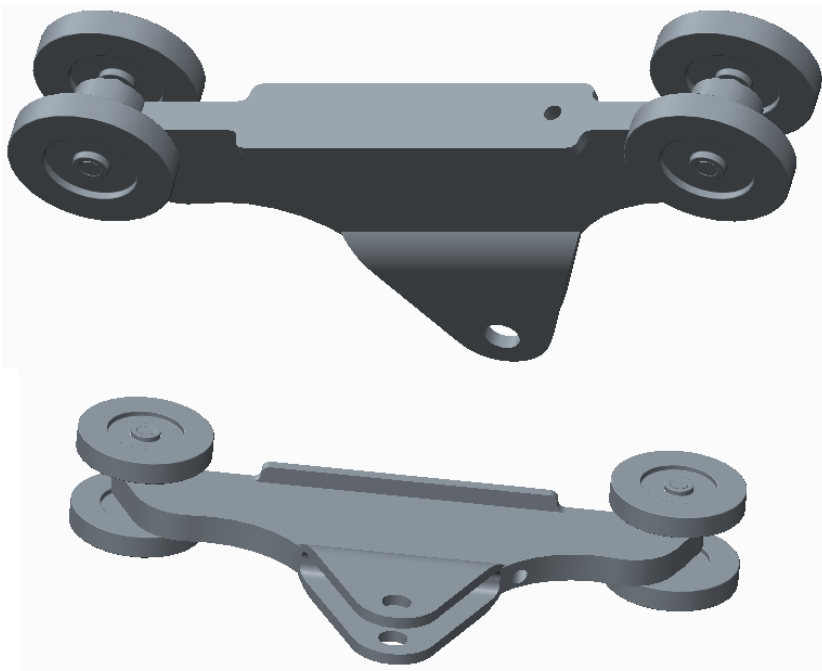
**Εικόνα 5.3.4.1:** Δοκός κύλισης του βαρουλκοφορείου (δηλαδή ο κύριος φορέας της γερανογέφυρας) με τους πλαγιοφορείς και το φορείο του βαρούλκου

Ο κύριος φορέας έχει μήκος 3 μέτρα ενώ οι διαστάσεις της διατομής του είναι ίδιες με της τροχιάς κύλισης.

#### Φορείο του ανυψωτικού μηχανισμού (βαρουλκοφορείο)

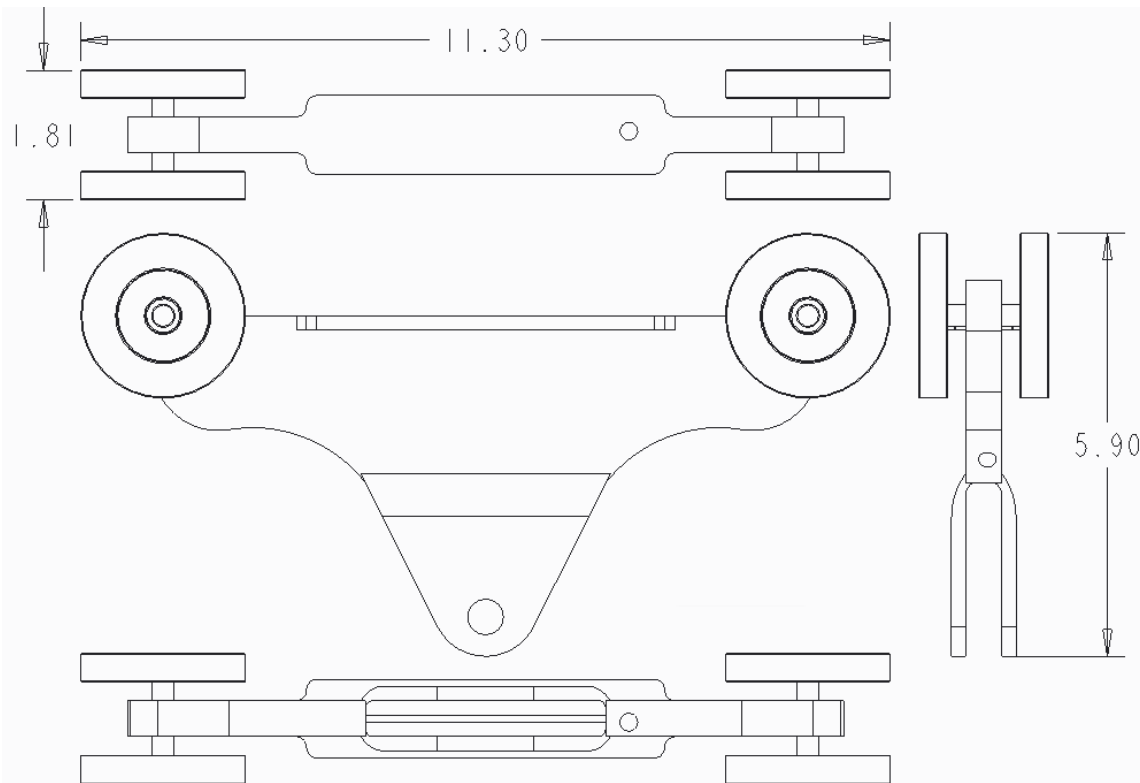
Στο βαρουλκοφορείο στηρίζεται το ανυψωτικό σύστημα της γερανογέφυρας και του δίνει τη δυνατότητα της οριζόντιας κίνησης στον χώρο. Στο συγκεκριμένο τύπο βαρουλκοφορείου, το βαρούλκο ουσιαστικά κρεμιέται, πράγμα που κάνει εύκολη τη συντήρησή του, αλλά και την αντικατάστασή του σε περίπτωση βλάβης. Τα κριτήρια επιλογής του βαρουλκοφορείου είναι οι ανυψωτικές απαιτήσεις και αν θα είναι χειροκίνητο ή μηχανοκίνητο.

Το βαρουλκοφορείο είναι σχεδιασμένο προσεγγιστικά, καθώς είναι προϊόντα βιομηχανικής παραγωγής και επιλέγονται βάση του φορτίου ανύψωσης και του τύπου του βαρούλκου που θα επιλεγεί. Είναι βασισμένο στο βαρουλκοφορείο της εικόνας 5.3.4.4, ενώ στην εικόνα 5.3.4.3 απεικονίζονται οι διάφορες όψεις του σε δύο διαστάσεις, και οι βασικές διαστάσεις του σε ίντσες.



**Εικόνα 5.3.4.2:** Τρισδιάστατο σχέδιο βαρουλκοφορείου για σύστημα κύλισης με τετράγωνη κοιλοδοκό τύπου V

Η έδρα που φέρει το βαρουλκοφορείο στο πάνω μέρος του είναι για ασφάλεια σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο κάποιος τροχός του είτε αποκολληθεί, είτε σπάσει, ώστε να κρατηθεί πάνω στην τροχιά κύλισης και να μην πέσει ελεύθερα στο δάπεδο, προκαλώντας έτσι επιπλέον υλικές ζημιές αλλά και κάποιον πιθανό τραυματισμό. Επίσης στην έδρα αυτή τοποθετείται βάση στήριξης της καλωδίωσης τόσο του ίδιου του βαρουλκοφορείου, όσο και του μηχανισμού ανύψωσης. Τέλος, η ύπαρξη της οπής που διακρίνεται κατά το ύψος του κορμού του βαρουλκοφορείου υπάρχει για να περάσουν τα καλώδια του μηχανισμού ανύψωσης.



**Εικόνα 5.3.4.3:** Δυσδιάστατες όψεις του φορείου του ανυψωτικού μηχανισμού με τις βασικές διαστάσεις σε ίντσες

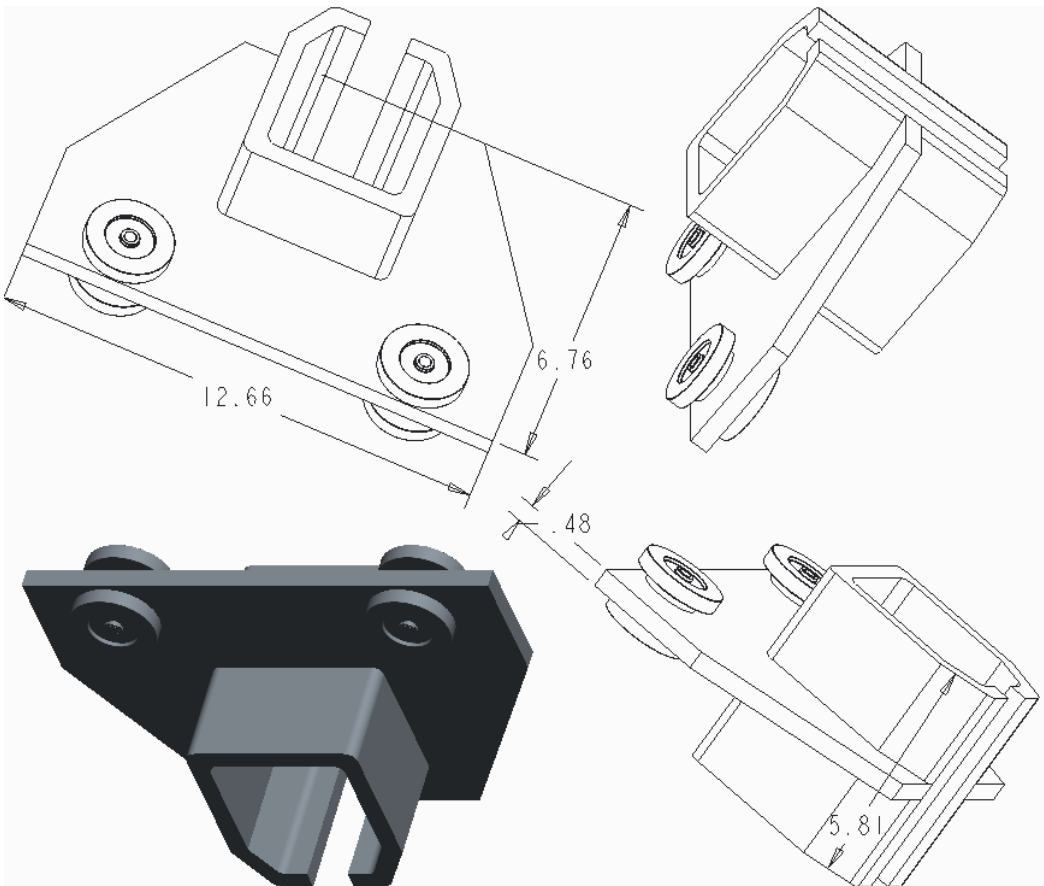


**Εικόνα 5.3.4.4:** Βαρουλκοφορείο για γερανογέφυρες με σύστημα κύλισης τετράγωνης κοιλοδοκού, τύπου V

### **Σύστημα μεταφοράς της δοκού κύλισης του βαρουλκοφορείου (πλαγιοφορείς)**

Το σύστημα μεταφοράς του κύριου φορέα της γερανογέφυρας, δηλαδή της δοκού κύλισης του βαρουλκοφορείου, που η αγγλική του ονομασία είναι endtruck, κινείται στις τροχιές κύλισης της κατασκευής δίνοντας έτσι τη δυνατότητα της κάθετης κίνησης στο βαρούλκο. Αποτελεί το συνδετικό κρίκο ανάμεσα στο πλαίσιο στήριξης και τη γερανογέφυρα.

Όπως και το βαρουλκοφορείο, έτσι κι αυτό είναι βιομηχανοποιημένο προϊόν και ο σχεδιασμός του είναι προσεγγιστικός. Οι βασικές διαστάσεις που απεικονίζονται είναι σε ίντσες.



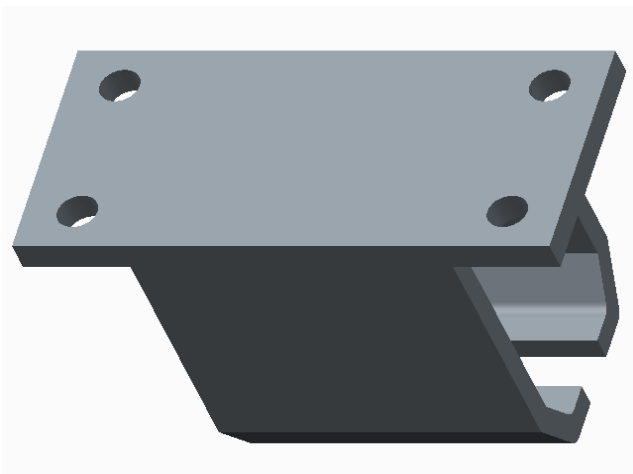
**Εικόνα 5.3.4.5:** Τρισδιάστατα σχέδια του συστήματος μεταφοράς του κύριου φορέα (πλαγιοφορέας)



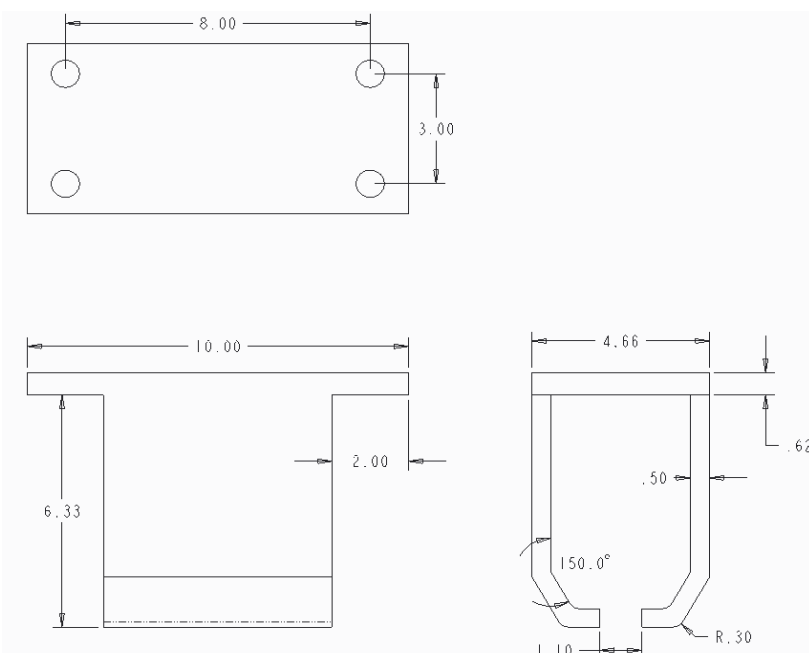
**Εικόνα 5.3.4.6:** Πλαγιοφορέας (end truck) για γερανογέφυρα με σύστημα κύλισης τετράγωνης κοιλοδοκού, τύπου V

### Στήριξη της τροχιάς κύλισης

Η στήριξη των τροχιών κύλισης, συνδέει τις τροχιές κύλισης στα πλαίσια που σχηματίζουν οι κολώνες με τις δοκούς. Η μονάδα μέτρησης στα σχέδια είναι σε ίντσες.



**Εικόνα 5.3.4.7:** Τρισδιάστατο σχέδιο της στήριξης της κοιλοδοκού κύλισης της γερανογέφυρας στις δοκούς HEA του συστήματος



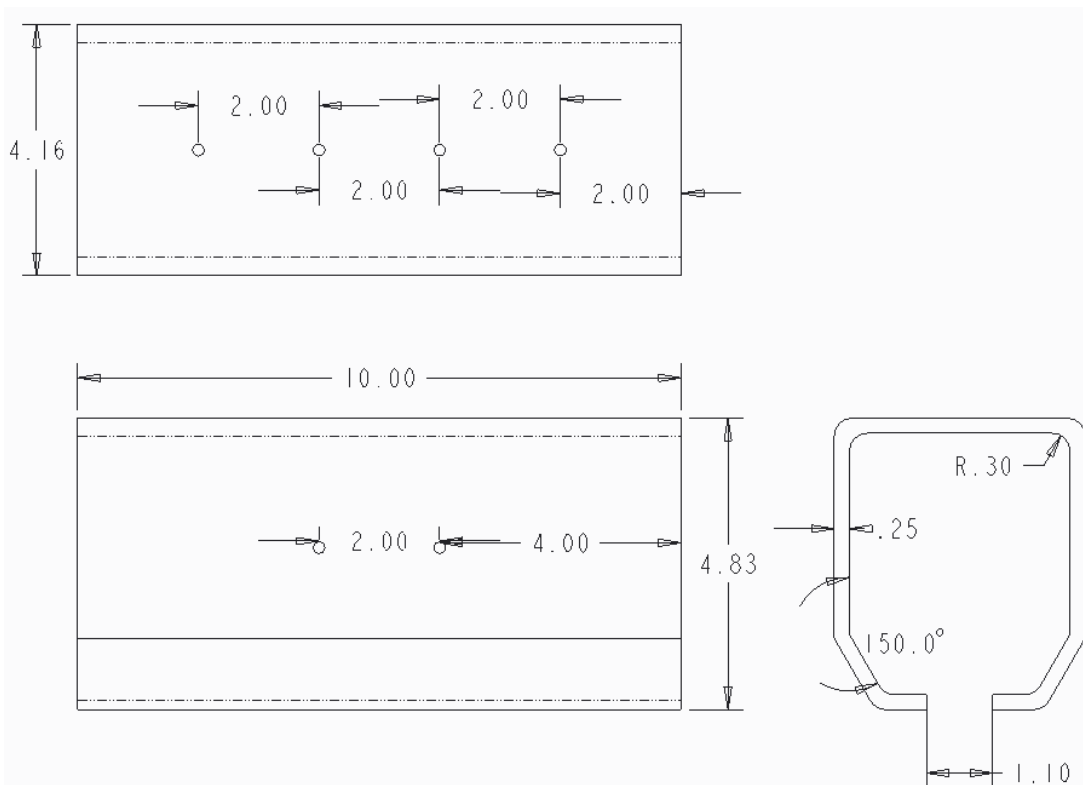
**Εικόνα 5.3.4.8:** Δυσδιάστατα σχέδια και διαστάσεις σε ίντσες της στήριξης της δοκού κύλισης της γερανογέφυρας

### Σύνδεση τροχιών κύλισης

Όπως αναφέρθηκε, το μήκος των δοκών κύλισης είναι 9 μέτρα, οπότε προκειμένου να συνδεθούν μεταξύ τους και να επιτευχθεί το επιθυμητό μήκος, χρησιμοποιούνται εξοπλισμοί όπως είναι αυτός της εικόνας 5.3.4.9. Οι συνδέσεις αυτές πρέπει να είναι σε μικρή απόσταση από κάποιο πλαίσιο στήριξης ώστε να μην υπάρξουν προβλήματα στο σύστημα, και διαθέτουν οπές όπου μπαίνουν βίδες σύσφιξης.



**Εικόνα 5.3.4.9:** Σύνδεση των κοιλοδοκών κύλισης της γερανογέφυρας ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό μήκος της κατασκευής



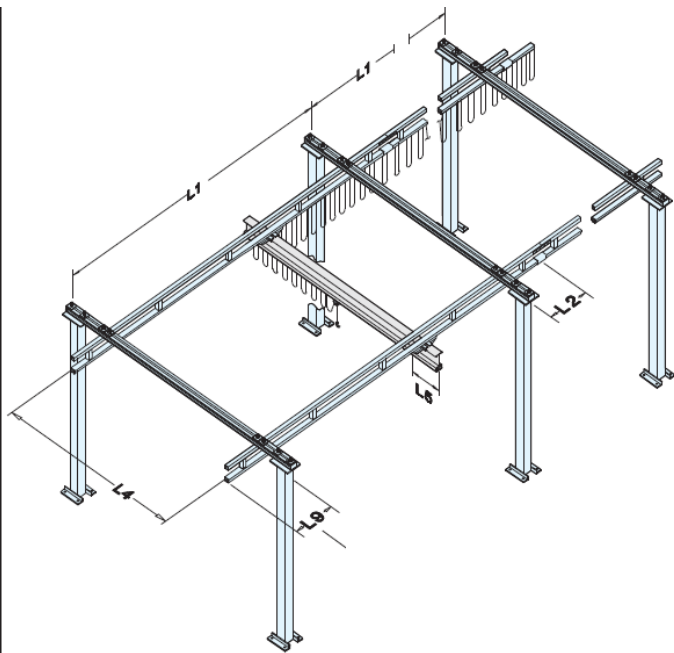
**Εικόνα 5.3.4.10:** Δισδιάστατα σχέδια και διαστάσεις της σύνδεσης των κοιλοδοκών κύλισης

### 5.3.5 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

Μετά το σχεδιασμό των βασικών εξαρτημάτων του συστήματος της γερανογέφυρας, μπορεί να γίνει η συναρμολόγηση τους ώστε να ακολουθήσει η μελέτη της κατασκευής και στη συνέχεια η επιλογή των λοιπών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε μια γερανογέφυρα, όπως είναι το βαρούλκο, τα συστήματα πέδησης κ.α., και να γίνει στη συνέχεια μια προσέγγιση του κόστους της κατασκευής.

Η συναρμολόγηση της κατασκευής θα γίνει με τη βοήθεια τυποποιημένων πινάκων όπως είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα 5.3.5.1. Στον πίνακα αυτό ορίζονται οι μέγιστες αποστάσεις ανάμεσα στα βασικά εξαρτήματα της γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη, ανάλογα με το φορτίο ανύψωσης και το υλικό. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται στον πίνακα είναι λίβρες, πόδια και ίντσες.

CAPACITY	SERIES	WEIGHT PER FOOT	MAX. L1	MAX. L2	MAX. L5	MAX. L9
250#	GLCS	4.88 #	20'	48"	18"	48"
	AL	4.00 #	20'	30"	48"	48"
	GLCSL	8.14 #	25'	48"	18"	48"
500#	GLCS	7.23 #	20'	48"	24"	48"
	AL	4.70 #	20'	30"	48"	48"
	GLCSL	10.94 #	25'	48"	24"	48"
1000#	GLCSLX	11.26 #	30'	48"	24"	48"
	GLCS	12.09 #	20'	48"	24"	48"
	AL	8.30 #	20'	30"	48"	48"
2000#	GLCSL	13.37 #	25'	48"	24"	48"
	GLCSLX	15.31 #	30'	48"	24"	48"
	GLCS	14.59 #	20'	48"	24"	48"
4000#	AL	10.20 #	20'	30"	48"	48"
	GLCSL	20.14 #	25'	48"	24"	48"
	GLCSLX	20.95 #	30'	48"	24"	48"
4000#	GLCS	18.42 #	20'	48"	24"	48"
	GLCSL	23.83 #	25'	48"	24"	48"
	GLCSLX	28.02 #	30'	48"	24"	48"



**Σχήμα 5.3.5.1:** Πίνακας μέγιστων διαστάσεων γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη όπως ορίζονται από τους κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων

Έτσι οι αποστάσεις που ορίστηκαν για τη γερανογέφυρα είναι:

- **Ανοιγμα γερανογέφυρας(L4):** όπου έχει υπολογισθεί ήδη και θα είναι περίπου 2,6 μέτρα
- **Απόσταση πλαισίων στήριξης(L1):** Από τον πίνακα ορίζεται για τις 2000 λίβρες που είναι περίπου 1 τόνος ότι η μέγιστη απόσταση είναι από 20 έως 30 πόδια (6,1-9,14 μέτρα) ανάλογα με τον τύπο και το υλικό του πλαισίου στήριξης. Στην προκειμένη περίπτωση θα επιλεγεί το μέγιστο, διότι το συνολικό μήκος της κατασκευής θα είναι 18 μέτρα, και με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται να χρησιμοποιηθεί και τέταρτο πλαίσιο, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο και χώρο αλλά και χρήμα.

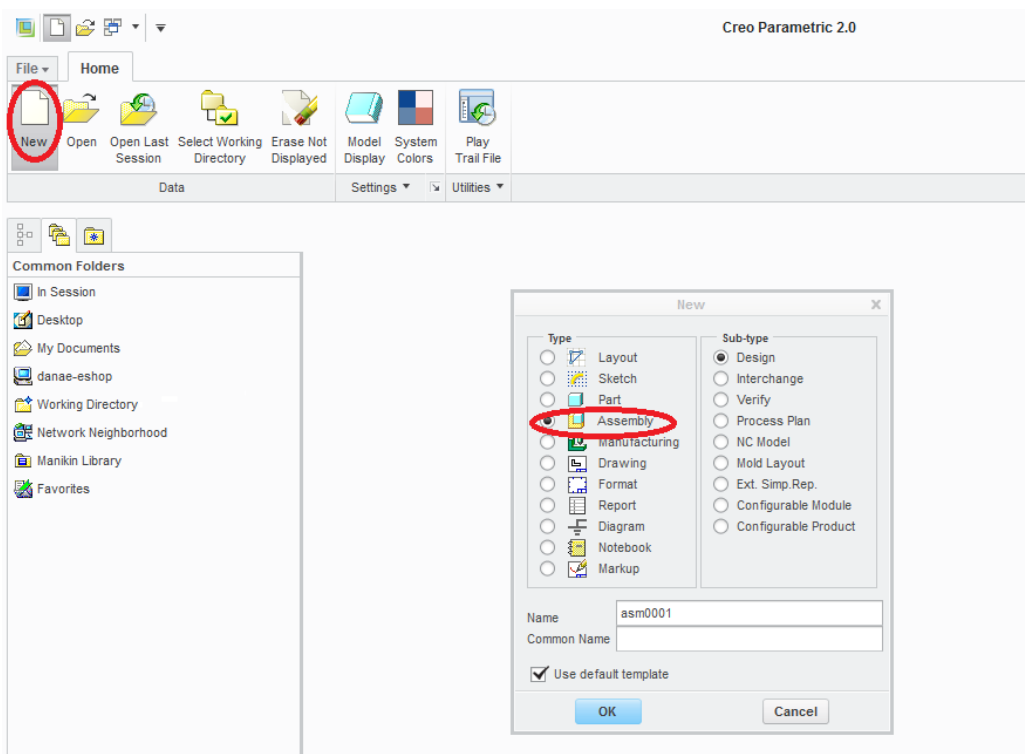
Οι υπόλοιπες αποστάσεις, που ουσιαστικά προκύπτουν κατά την εγκατάσταση της γερανογέφυρας στον χώρο προσέχοντας πάντα να μην ξεπεραστούν τα όρια που ορίζονται από τους κατασκευαστές, απεικονίζονται στα σχέδια παρακάτω.



## Συναρμολόγηση του μοντέλου της γερανογέφυρας με Creo 2.0

Προγράμματα σαν το Creo δίνουν τη δυνατότητα συναρμολόγησης ξεχωριστών τρισδιάστατων σχεδίων, δημιουργώντας έτσι ένα σύνθετο μοντέλο που προσφέρει το πλεονέκτημα μελέτης και ανάλυσης του πριν την πραγματική κατασκευή του. Έτσι σε συστήματα όπως η συγκεκριμένη γερανογέφυρα, μπορούν να πραγματοποιηθούν σχεδόν με απόλυτη ακρίβεια διαστάσεων, χωρίς να υπάρχει είτε υπερδιαστασιολόγηση τους, είτε να υπάρχει ο κίνδυνος να μην μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες που καλούνται να καλύψουν.

Η διαδικασία συναρμολόγησης σε τέτοια προγράμματα ονομάζεται assembly που η ελληνική του μετάφραση είναι συνδεσμολογία. Έτσι εκτελώντας το Creo 2.0 και πατώντας την ένδειξη “New” ανοίγει ένα νέο παράθυρο επιλογής για το τι αρχείο πρόκειται να δημιουργηθεί. Διαλέγοντας την επιλογή “Assembly” και πατώντας “OK” το πρόγραμμα ανοίγει ένα μενού με διάφορες επιλογές και δυνατότητες σχετικές με τη συνδεσμολογία τρισδιάστατων σχεδίων.



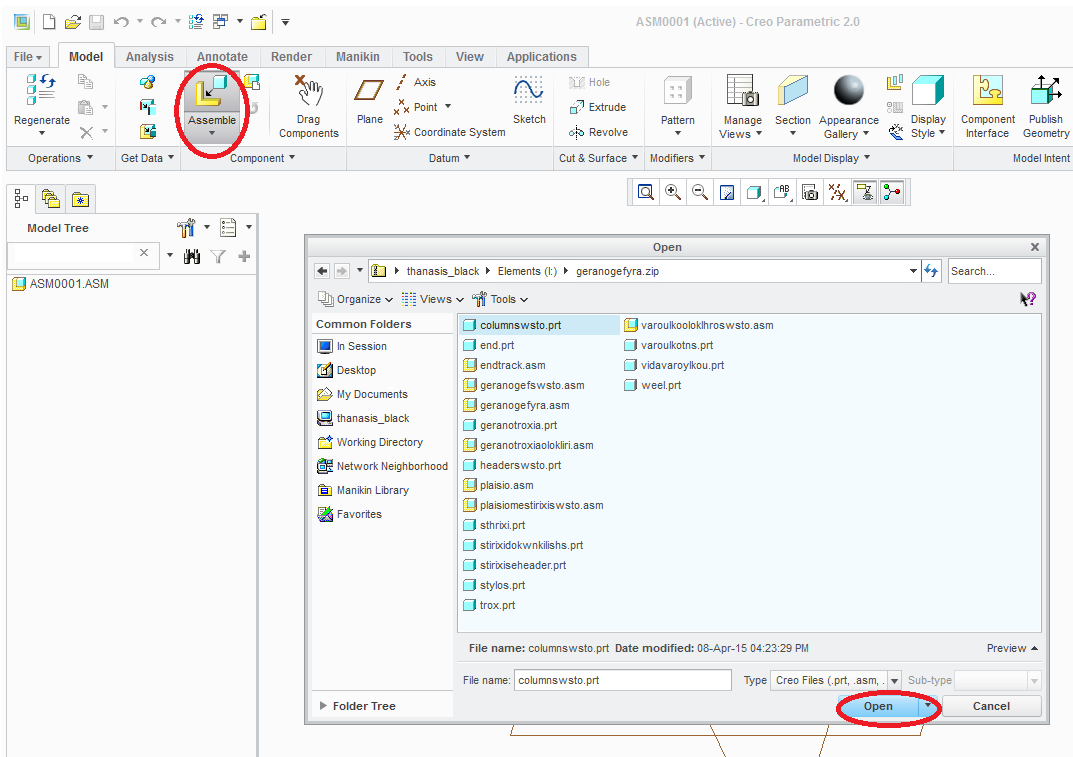
**Εικόνα 5.3.5.2:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 κατά την έναρξη του

Ένα assembly μπορεί να αποτελείται, εκτός από μια σειρά από τρισδιάστατα στοιχεία, και από άλλα επιμέρους assemblies, πράγμα που απλοποιεί τη διαδικασία και δεν την περιπλέκει έχοντας μια λίστα από πολλά μέρη που μπορεί να μπερδέψουν και να οδηγήσουν σε επιπλέον κόπο. Έτσι, το μοντέλο της γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη θα αποτελείται από δύο βασικά assemblies:

- Το σκελετό της, που απαρτίζεται από τις κολώνες στήριξης, τους headers, τις στηρίξεις των δοκών κύλισης, και τις δοκούς.
- Τη γερανοτροχιά, που απαρτίζεται από τη δοκό κύλισης του βαρουλκοφορείου, το φορείο του βαρούλκου, και τους πλαγιοφορείς.

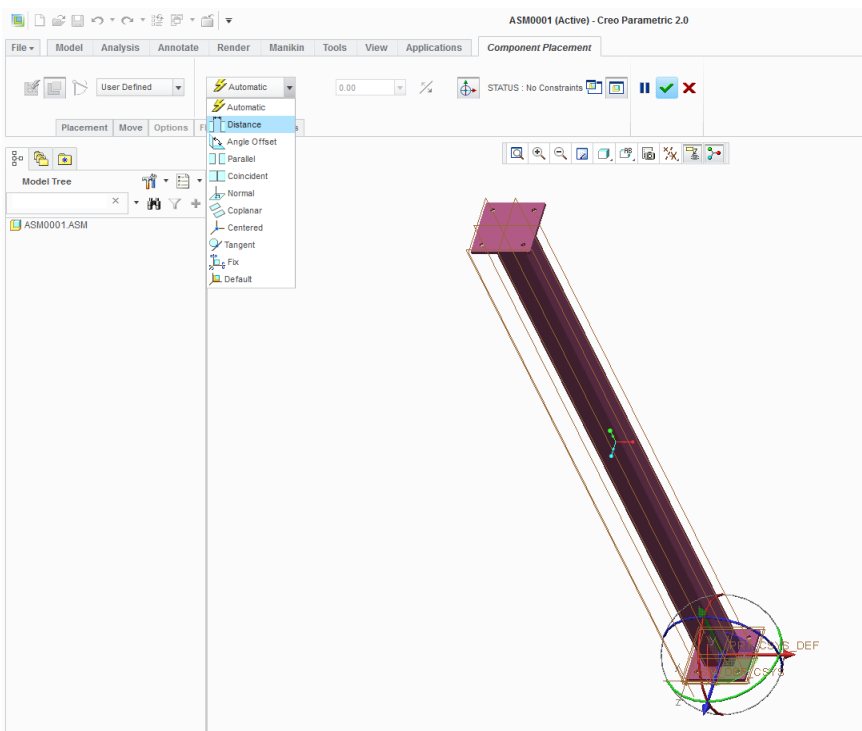
Η συνδεσμολογία λοιπόν, θα ξεκινήσει με το σκελετό της γερανογέφυρας. Για το σκελετό χρειάζονται τρία πλαίσια στήριξης και τέσσερις τροχιές κύλισης. Οπότε για να απλοποιηθεί η διαδικασία το πρώτο assembly που θα δημιουργηθεί είναι το πλαίσιο, γιατί έτσι θα πρέπει να τοποθετηθούν στο τελικό μοντέλο τρία εξαρτήματα, αντί δεκαπέντε που θα ήταν αν τοποθετούνταν ανά μονάδα οι έξι κολώνες στήριξης, οι τρεις headers και οι 6 στηρίξεις των τροχιών κύλισης.

Έτσι, στο «περιβάλλον» δημιουργίας assembly του προγράμματος, πατώντας το εικονίδιο “**Assemble**” ανοίγει η λίστα με τα διαθέσιμα σχέδια που έχουν δημιουργηθεί. Επιλέγεται το πρώτο κομμάτι που χρειάζεται για τη συνδεσμολογία και στη συνέχεια το κουμπί “**Open**”.



**Εικόνα 5.3.5.3:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0, κατά τη διαδικασία σύνδεσης του μοντέλου (Assembly)

Αφού άνοιξε το κομμάτι που χρειαζόταν τώρα το πάνω μενού έχει αλλάξει και έχει διάφορες επιλογές σχετικές με τη συνδεσμολογία του μοντέλου. Στο πρώτο μέρος ενός assembly, εφ’ όσον το σύστημα των αξόνων είναι το επιθυμητό, επιλέγεται απλά η ένδειξη “**Default**”, που σημαίνει ότι το στοιχείο κρατάει την θέση του στο σύστημα αξόνων, ίδια με αυτή που είχε όταν σχεδιάστηκε.



**Εικόνα 5.3.5.3:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0, κατά τη διαδικασία σύνδεσης της κολώνας με το header (Assembly)

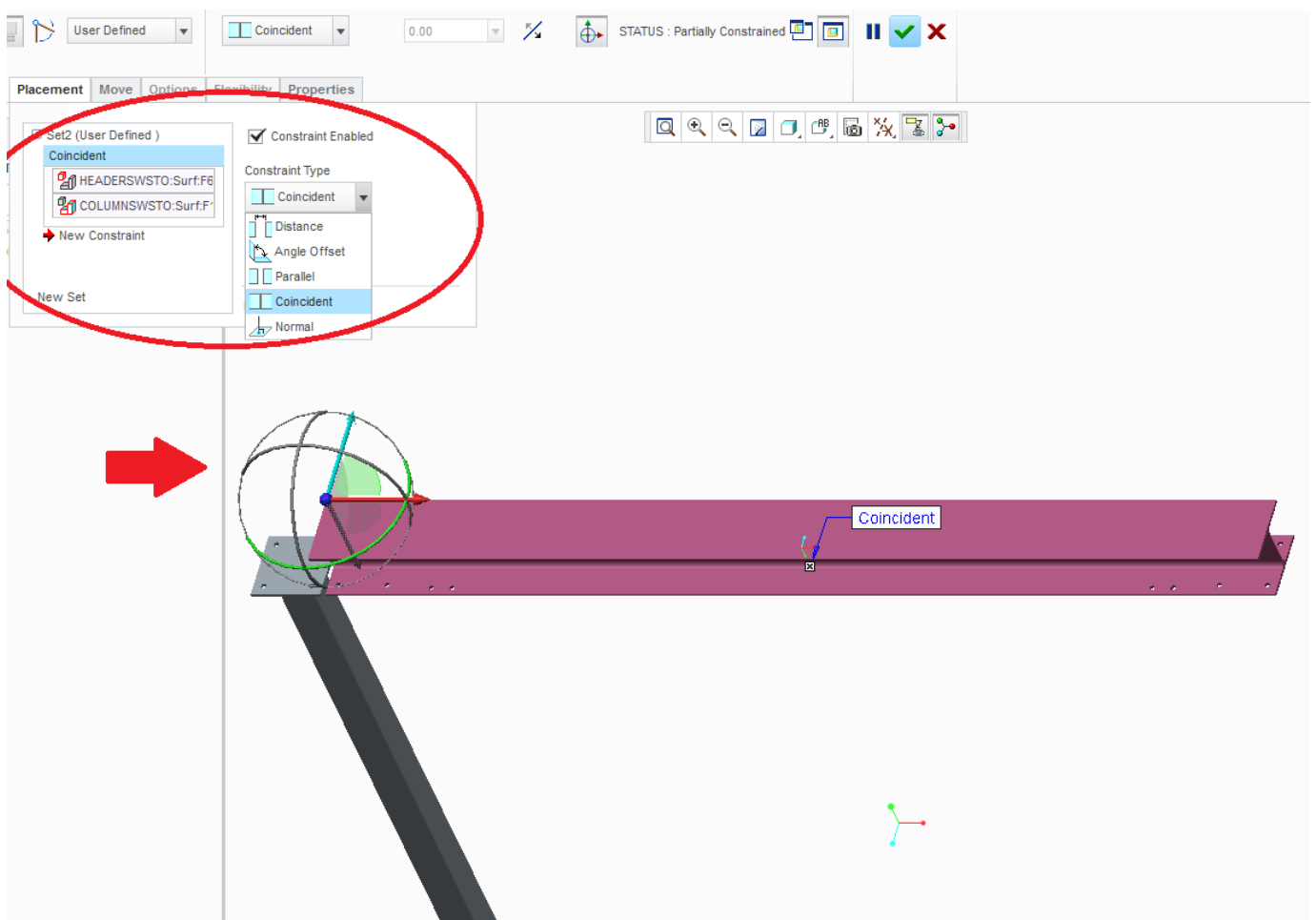
Για να επιτευχθεί ένα σωστό assembly που να μπορεί το πρόγραμμα να μελετήσει, πρέπει να περιοριστούν και οι τρεις βαθμοί ελευθερίας του κάθε κομματιού, δηλαδή να μην μπορεί να κινηθεί ούτε στον άξονα X ούτε στον άξονα Y ούτε στον άξονα Z, ή πιο απλά ούτε πάνω-κάτω, ούτε αριστερά-δεξιά αλλά ούτε γύρω από τον άξονα του. Αν όμως χρειάζεται κάποιο εξάρτημα να κινείται το Creo 2.0 δίνει τη δυνατότητα επιλογής διάφορων μηχανισμών που το επιτρέπει.

Συνεχίζοντας με την ίδια διαδικασία προστίθεται και το επόμενο κομμάτι που χρειάζεται, δηλαδή ο header. Τώρα πρέπει να οριστούν τουλάχιστον τρία σημεία σύνδεσης ώστε να δεσμευτούν και οι τρεις βαθμοί ελευθερίας.

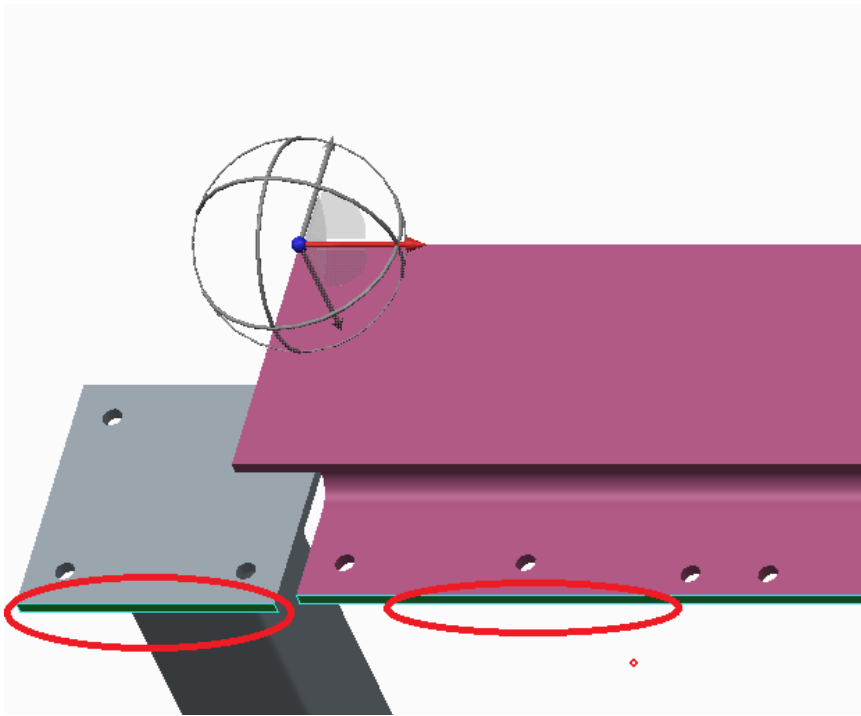
Πατώντας με τον κέρσορα του ποντικιού πάνω σε μία επιφάνεια πάνω στο ελεύθερο κομμάτι και σε μια στο σταθερό, το πρόγραμμα αναγνωρίζει ότι επιθυμείται να υπάρξει σύνδεση ανάμεσα τους και εμφανίζει επιλογές με το είδος σύνδεσης που χρειάζεται να γίνει.

Δηλαδή βλέποντας την εικόνα 5.3.5.4, έχουν επιλεγεί η κάτω επιφάνεια του header και η πάνω επιφάνεια στην άνω βάση της κολώνας. Επιλέχθηκε η σχέση σύνδεσης, στο παράθυρο επιλογών που βρίσκεται στον κύκλο, “Coincident” δηλαδή ότι οι δύο αυτές επιφάνειες είναι συμπίπτουσες.

Τώρα παρατηρείται ότι στο σύστημα αξόνων που δείχνει το βέλος, ότι το κομμάτι πλέον δεν μπορεί να περιστραφεί γύρω από των άξονα του. Οπότε ήδη ένα βαθμός ελευθερίας εξαλείφθηκε. Στην συνέχεια επιλέγοντας τις επιφάνειες που φαίνονται στην εικόνα 5.3.5.5 και επιλέγοντας και πάλι “Coincident”, το κομμάτι πλέον δεν μπορεί να κινηθεί ούτε κατά τον άξονα Z.

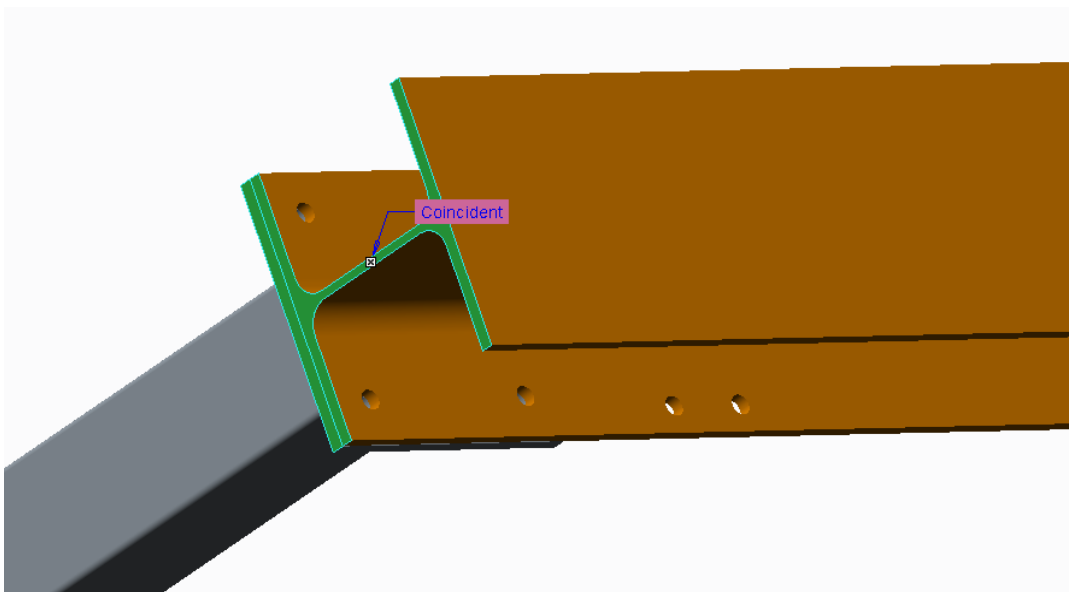


**Εικόνα 5.3.5.4:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0, κατά τη διαδικασία σύνδεσης της κολώνας στήριξης και της δοκού HEA κάτω από την οποία θα σπρηχθούν οι τροχιές κύλισης (Assembly)



**Εικόνα 5.3.5.5:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0, κατά τη διαδικασία σύνδεσης της κολώνας στήριξης και της δοκού HEA κάτω από την οποία θα στηριχθούν οι τροχιές κύλισης (Assembly)

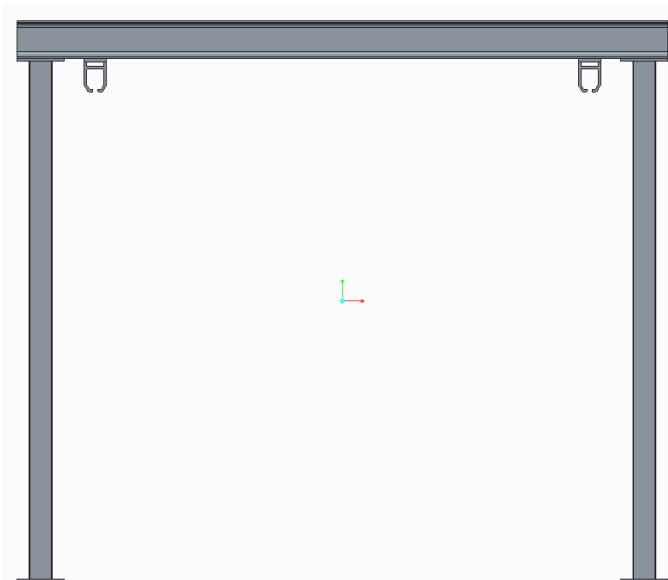
Τέλος επιλέγοντας τις επιφάνειες που φαίνονται στην εικόνα 5.3.5.6, που αποτελεί και το τρίτο σημείο σύνδεσης, το ελεύθερο κομμάτι από ροζ γίνεται πορτοκαλί, ενώ το βέλος με τις επιτρεπόμενες κινήσεις του εξαφανίστηκε. Αυτό σημαίνει ότι το κομμάτι είναι πλέον πλήρως ορισμένο και μπορεί να συνεχίσει η διαδικασία.



**Εικόνα 5.3.5.6:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0, κατά τη διαδικασία σύνδεσης της κολώνας στήριξης και της δοκού HEA κάτω από την οποία θα στηριχθούν οι τροχιές κύλισης (Assembly)

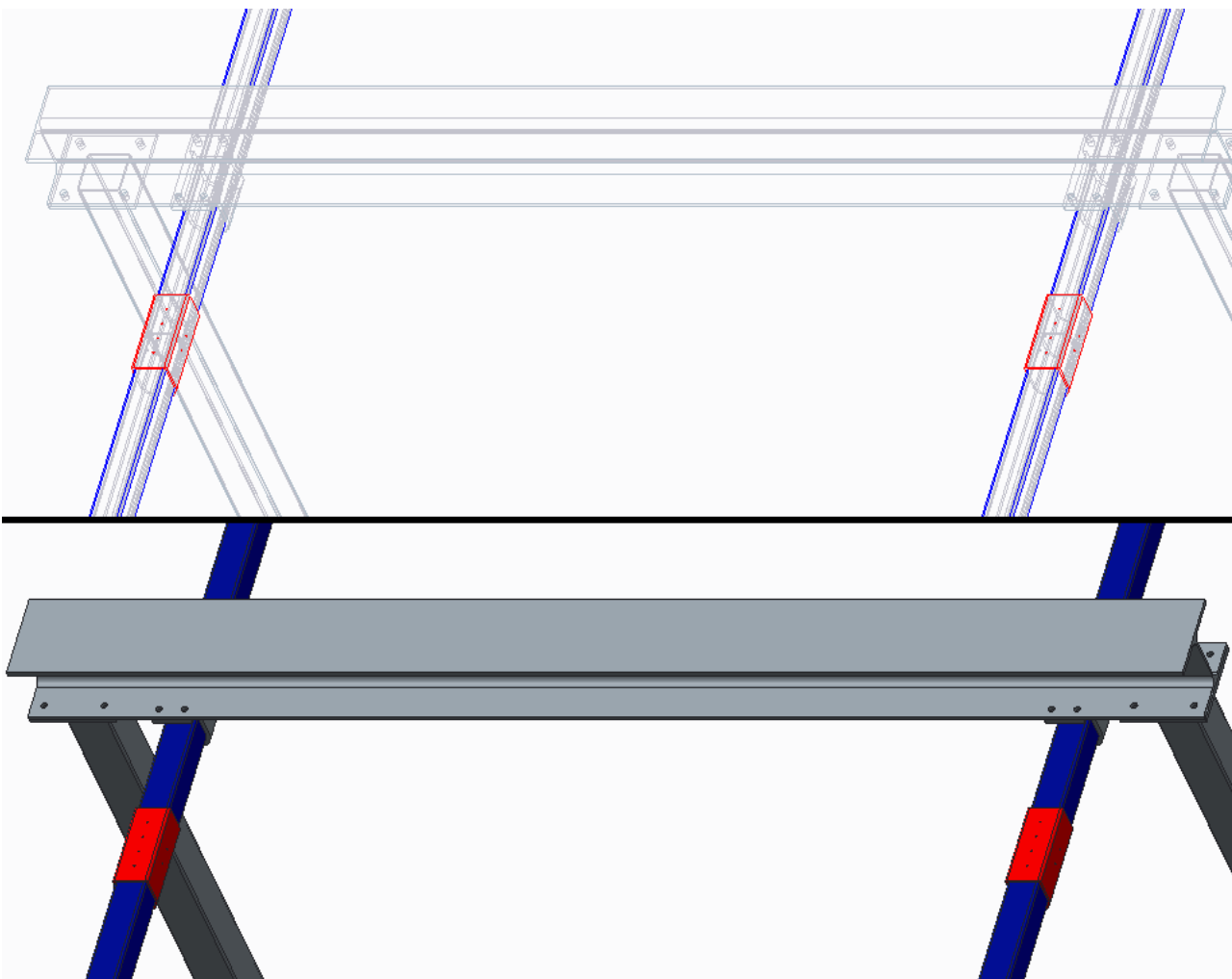
Στη συγκεκριμένη περίπτωση το κομμάτι αυτό θα μπορούσε να οριστεί πλήρως, αντί για τις επιφάνειες, επιλέγοντας τις οπές που φέρουν τόσο η άνω βάση της κολώνας όσο και ο header, και να οριστούν και πάλι ως **“Coincident”**.

Με τον ίδιο τρόπο τοποθετείται και η δεύτερη κολώνα στήριξης και έτσι ολοκληρώνεται το πλαίσιο στήριξης. Στη συνέχεια τοποθετούνται και οι στηρίξεις των δοκών κυλίσεων, όπου για να έχουν την θέση που πρέπει θα πρέπει ως σημεία σύνδεσης να επιλεγούν οι οπές που φέρουν στο πάνω μέρος τους οι στηρίξεις και οι οπές του header.



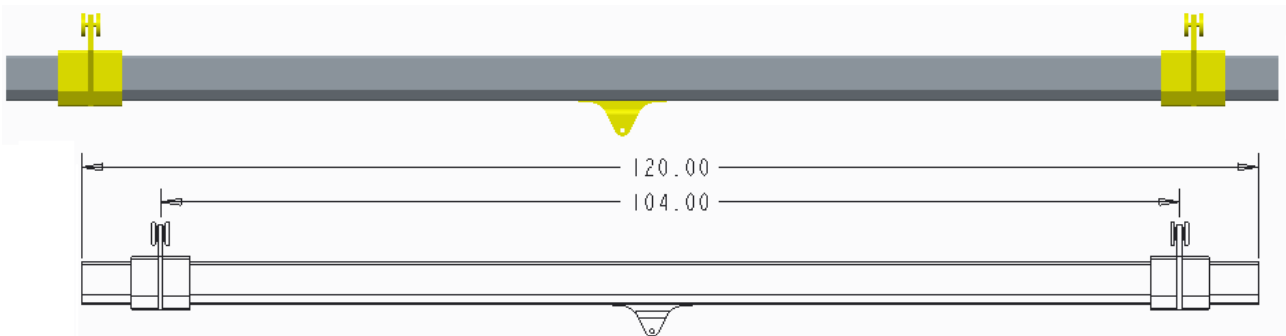
**Εικόνα 5.3.5.7:** Πλαίσιο με τις στηρίξεις των δοκών κύλισης της γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη (πρόσοψη)

Στη συνέχεια μπορεί να γίνει η συνδεσμολογία του σκελετού της γερανογέφυρας. Αυτό το assembly αποτελείται, όπως αναφέρθηκε από τρία πλαίσια στήριξης, τέσσερις δοκούς κύλισης και δύο συνδέσεις αυτών.



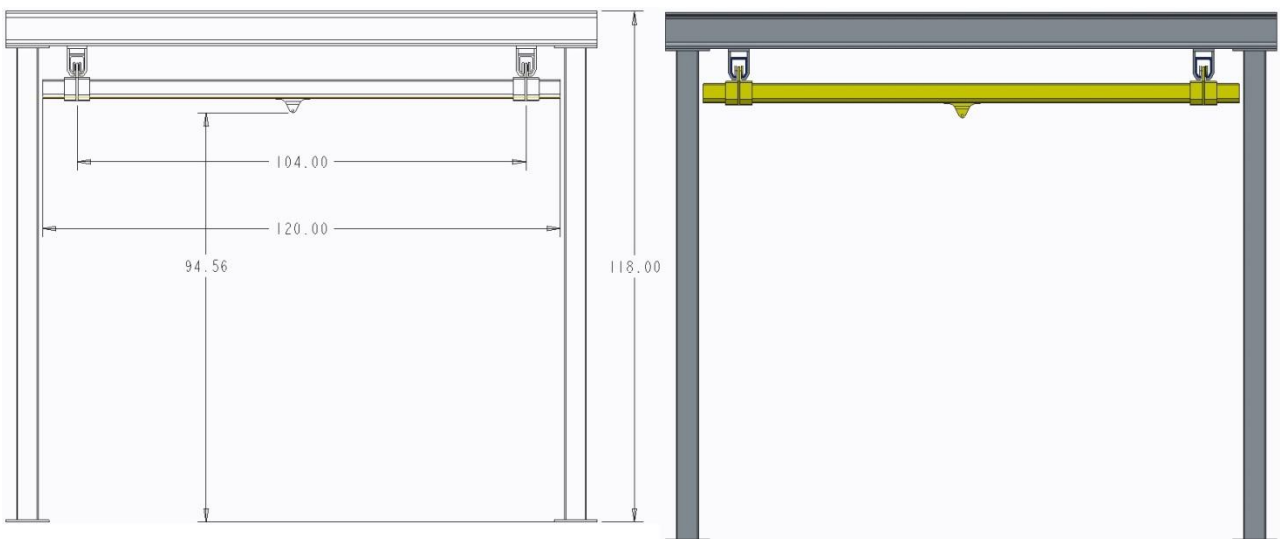
**Εικόνα 5.3.5.8:** Σύνδεση (με το κόκκινο χρώμα) των κοιλοδοκών κύλισης της γερανογέφυρας ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό μήκος της κατασκευής

Τέλος, πριν το τελικό assembly της κατασκευής, θα γίνει η συνδεσμολογία του κύριου φορέα του συστήματος που αποτελείται από μία δοκό κύλισης, το βαρουλκοφορείο και τους πλαγιοφορείς. Τόσο το φορείο του βαρούλκου όσο και οι πλαγιοφορείς, αποτελούν και αυτά δύο assemblies, που αποτελούνται από το βασικό κορμό τους, τέσσερις τροχούς και δύο άξονες αυτών.

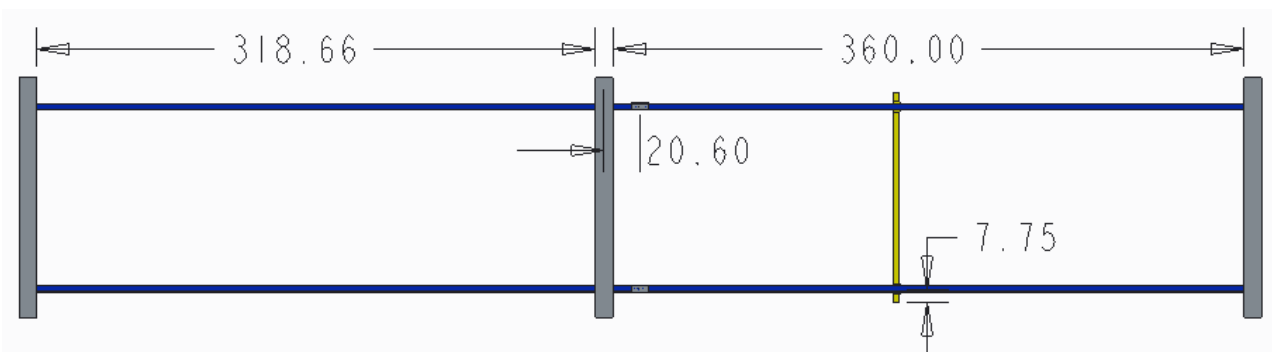


**Εικόνα 5.3.5.9:** Γερανοτροχιά με το φορείο του βαρούλκου και τους πλαγιοφορείς δηλαδή ο κύριος φορέας του συστήματος

Αφού ολοκληρωθούν όλα τα επιμέρους assemblies μπορεί να προχωρήσει η συνδεσμολογία του τελικού μοντέλου στο οποίο θα γίνει και η διαδικασία της μελέτης και ανάλυσης του συστήματος. Στις εικόνες 5.3.5.10 και 11 είναι το τελικό assembly της γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη όπου και απεικονίζονται οι βασικές διαστάσεις σε ίντσες.



**Εικόνα 5.3.5.10:** Μπροστινή όψη γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη και οι βασικές διαστάσεις σε ίντσες



**Εικόνα 5.3.5.11:** Πάνω όψη γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη και οι βασικές διαστάσεις σε ίντσες

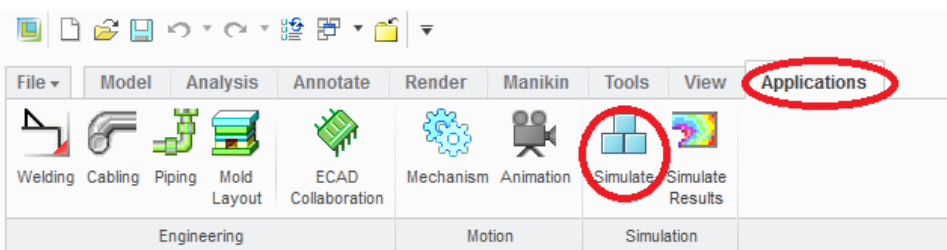
## 5.4 ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

Η μελέτη του συστήματος της γερανογέφυρας θα πραγματοποιηθεί μέσω του προγράμματος Creo 2.0, και θα περιλαμβάνει τη στατική ανάλυση του σκελετού της γερανογέφυρας ώστε να ελεγχθεί αν η μεταλλική κατασκευή που σχεδιάστηκε, μπορεί να ανταπεξέλθει στις ανάγκες και στις απαιτήσεις που πρόκειται να εξυπηρετήσει.

Κατά τη διαδικασία της μελέτης θα εξεταστούν δύο υλικά τα οποία είναι διαθέσιμα και πιο διαδεδομένα στην αγορά για τέτοιες κατασκευές. Το πρώτο υλικό είναι ο χάλυβας, ενώ για απλές κατασκευές με μικρά φορτία ανύψωσης χρησιμοποιείται και το αλουμίνιο. Ο λόγος που θα μελετηθούν και τα δύο αυτά υλικά είναι επειδή το αλουμίνιο καθιστά ολόκληρη την κατασκευή πιο «ελαφριά», γεγονός που διευκολύνει την εγκατάσταση της αλλά και τη μεταφορά της.

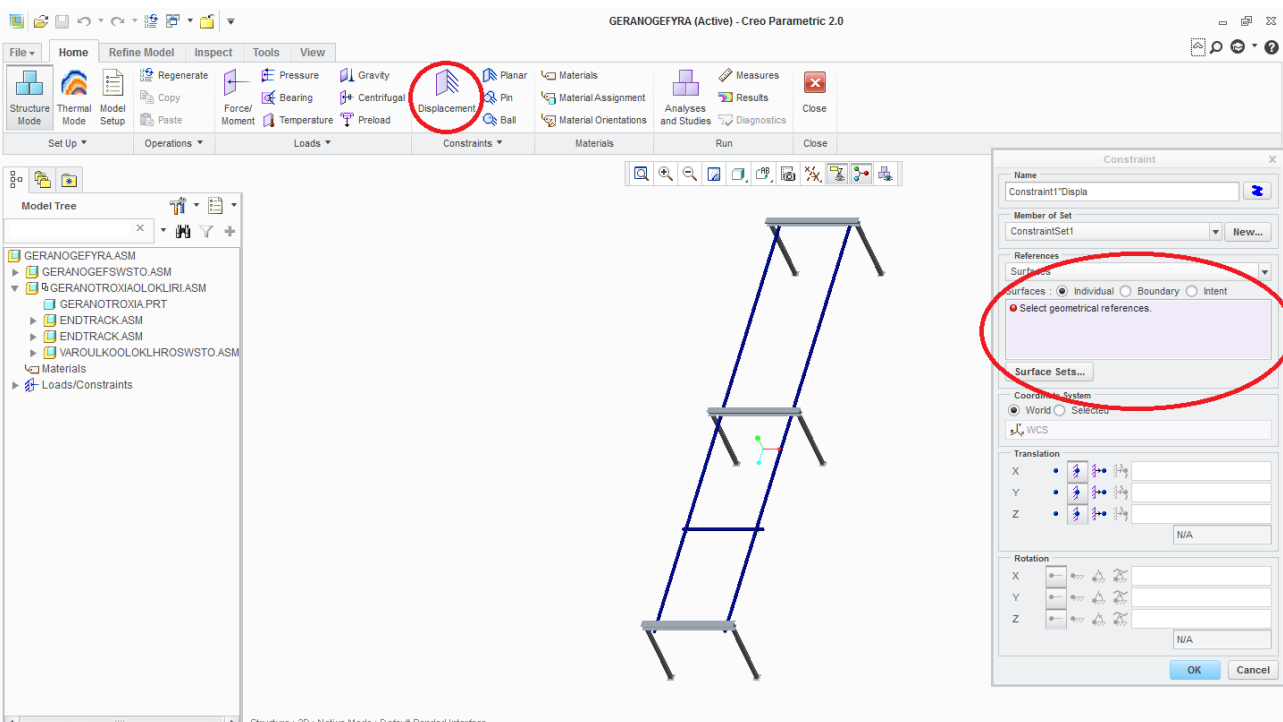
### Διαδικασία μελέτης στο Creo 2.0

Για να γίνει η μελέτη της κατασκευής επιλέγεται στην πάνω μπάρα του προγράμματος το κουμπί “**Applications**” και στην ακριβώς από κάτω εμφανίζονται εννέα νέα εικονίδια επιλογών που δίνουν τη δυνατότητα διαφορετικών τρόπων μελέτης και ανάλυσης μιας κατασκευής. Για την παρούσα μελέτη, όπου χρειάζεται η στατική ανάλυση του συστήματος, επιλέγεται το εικονίδιο “**Simulate**”.



**Εικόνα 5.4.1:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0, με το μενού των διαθέσιμων επιλογών για μελέτη και ανάλυση

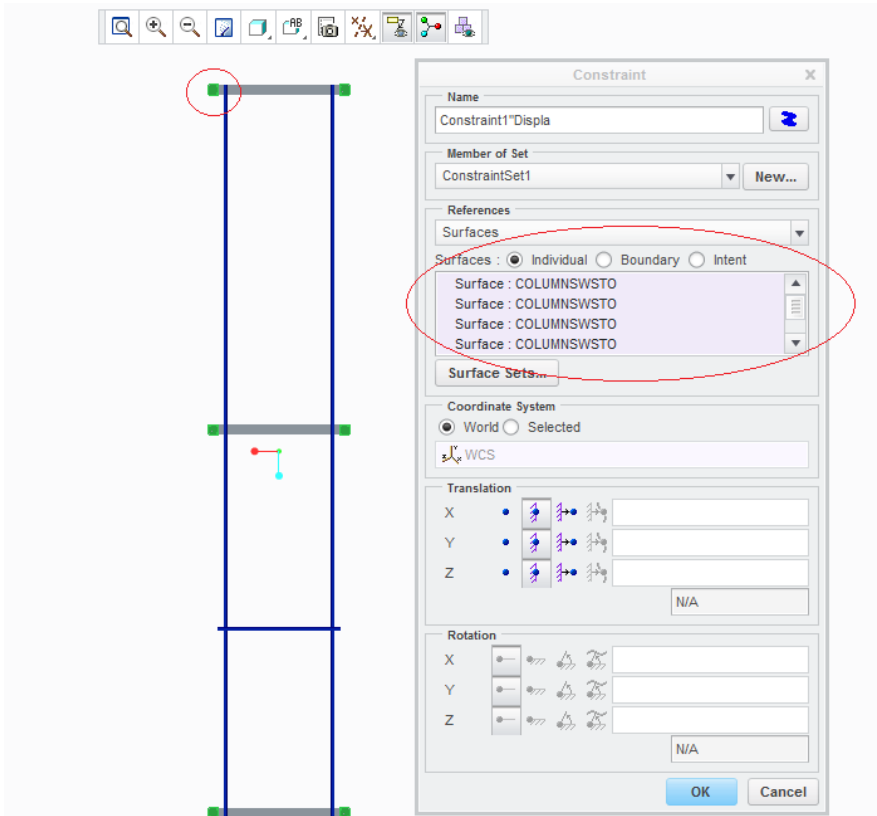
Το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει, πριν την έναρξη της μελέτης, είναι να οριστούν τα σημεία από τα οποία στηρίζεται η κατασκευή που πρόκειται να μελετηθεί. Από την πάνω μπάρα επιλογών που εμφανίστηκε μετά την επιλογή “**Simulate**”, πατώντας το εικονίδιο “**Displacement**” ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου με το πρόγραμμα. Σε αυτό το παράθυρο δίνεται η δυνατότητα να οριστούν τα σημεία που η κατασκευή μένει σταθερή.



**Εικόνα 5.4.2:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 κατά τον ορισμό των στηρίξεων του μοντέλου της γερανογέφυρας

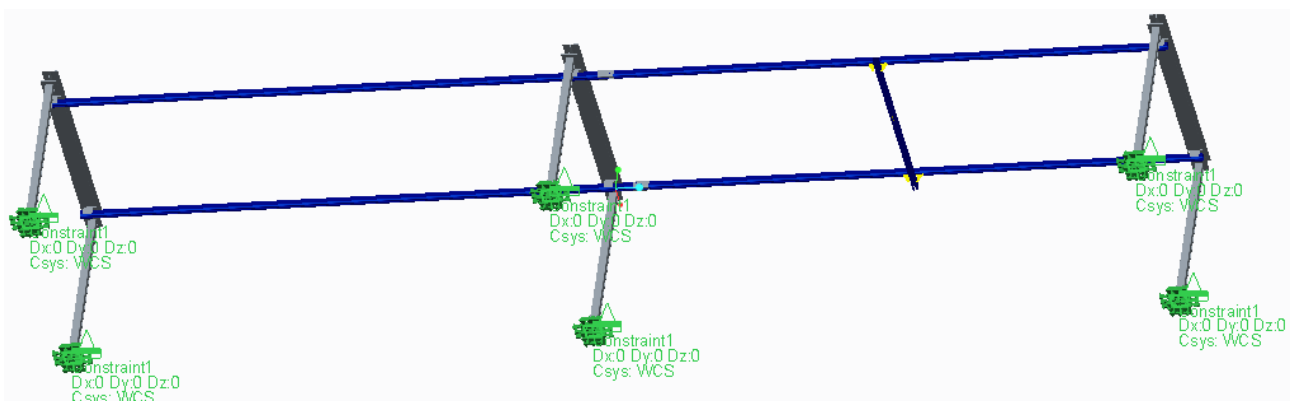
Το νέο παράθυρο του προγράμματος που άνοιξε ζητάει να επιλεγούν σημεία ή επιφάνειες που χρειάζεται να οριστούν ως σταθερά σημεία αναφοράς. Τα σημεία συγκράτησης της συγκεκριμένης κατασκευής είναι οι βάσεις των έξι κολωνών στήριξης.

Έτσι έχοντας πατημένο το Ctrl και πατώντας το αριστερό πλήκτρο στο ποντίκι επιλέγεται η κάτω επιφάνεια της βάσης κάθε κολώνας. Κάθε επιφάνεια που επιλέγεται αλλάζει το χρώμα της σε πράσινο, ενώ στο παράθυρο διαλόγου, εμφανίζεται μια λίστα με τις επιφάνειες και τα σημεία που έχουν επιλεγεί καθώς και το όνομα από το κομμάτι του οποίου ανήκει.



**Εικόνα 5.4.3:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 κατά τον ορισμό των στηρίξεων του μοντέλου της γερανογέφυρας

Αφού επιλεγούν όλες οι επιφάνειες που χρειάζεται, και εφόσον ήδη είναι επιλεγμένο να θεωρηθούν ως σταθερά σημεία αναφοράς της κατασκευής επιλέγεται το κουμπί “OK” στο κάτω μέρος του παραθύρου. Πατώντας το, το παράθυρο διαλόγου κλείνει και στη βάση κάθε κολώνας εμφανίζονται σύμβολα που δείχνουν ότι οι συγκεκριμένες επιφάνειες είναι σταθερές, ή όπως θα μπορούσε να ειπωθεί διαφορετικά, πακτωμένες.



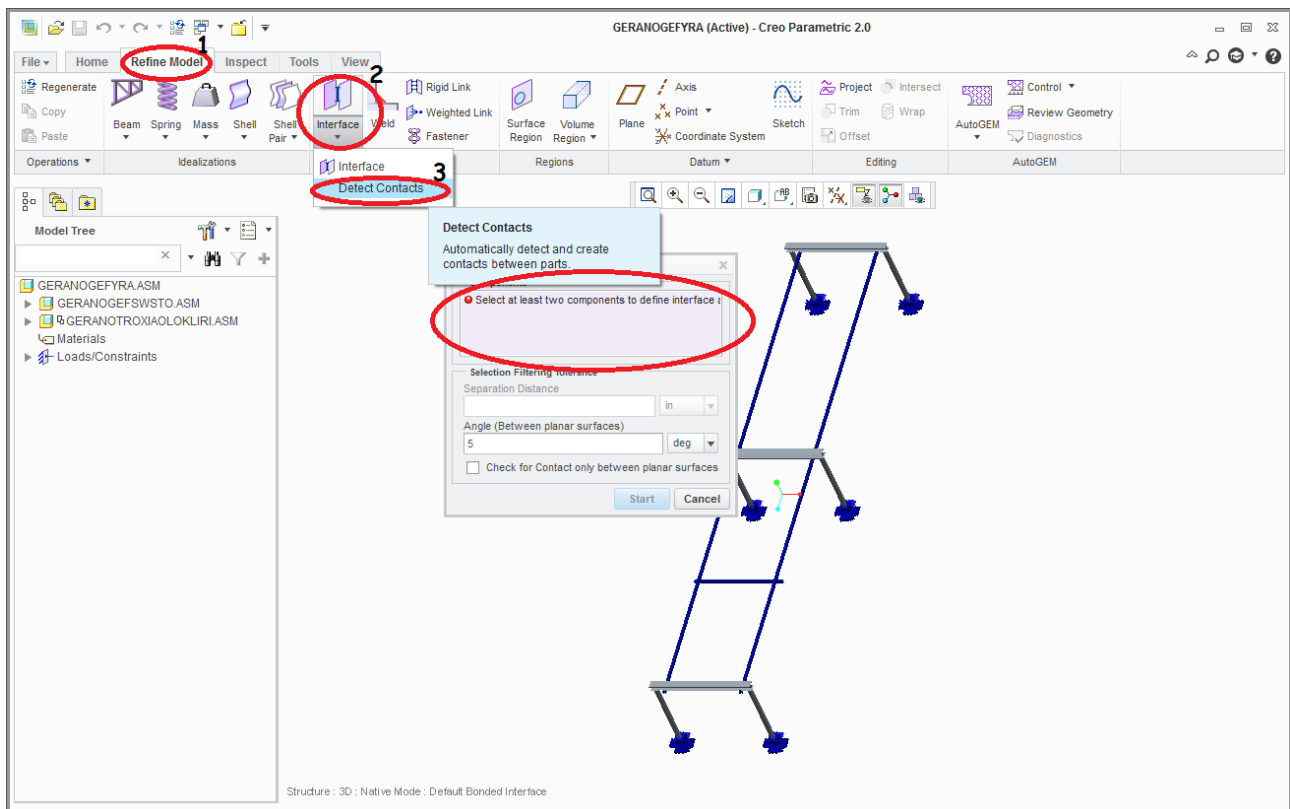
**Εικόνα 5.4.4:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 μετά τον ορισμό των στηρίξεων του μοντέλου της γερανογέφυρας



Στη συνέχεια πρέπει να δοθούν στο πρόγραμμα τα στοιχεία των διάφορων κομματιών που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και άρα αλληλεπιδρούν το ένα στο άλλο. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε να επιλέγονται κάθε φορά δύο επιφάνειες και να επιλέγεται τι είδους επαφή υπάρχει, είτε να επιλέγονται ανά κομμάτι και μετά το πρόγραμμα να εντοπίζει που και τι είδους επαφής υπάρχει.

Χρησιμοποιώντας το δεύτερο τρόπο, που καθιστά τη διαδικασία πιο σύντομη, επιλέγεται στην πάνω βασική μπάρα του προγράμματος το κουμπί **“Refine Model”**, στη συνέχεια το βέλος που υπάρχει κάτω από το εικονίδιο **“Interface”**,οπότε και ανοίγουν δύο νέα κουμπιά και επιλέγεται το **“Detect Contacts”**.

Πατώντας την επιλογή αυτή ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου με το πρόγραμμα. Αυτή τη φορά δεν ζητάει να του δοθούν σημεία ή επιφάνειες, αλλά κομμάτια της κατασκευής. Έχοντας πατημένο στο πληκτρολόγιο το Ctrl, επιλέγονται είτε από το σχέδιο είτε από τη λίστα που υπάρχει αριστερά με τα μέρη της κατασκευής, τα εξαρτήματα που χρειάζεται για τη μελέτη να εντοπίσει το πρόγραμμα ότι υπάρχει επαφή ανάμεσα τους. Επίσης ζητάει τουλάχιστον δύο εξαρτήματα ώστε να προχωρήσει στον εντοπισμό των σημείων επαφής.

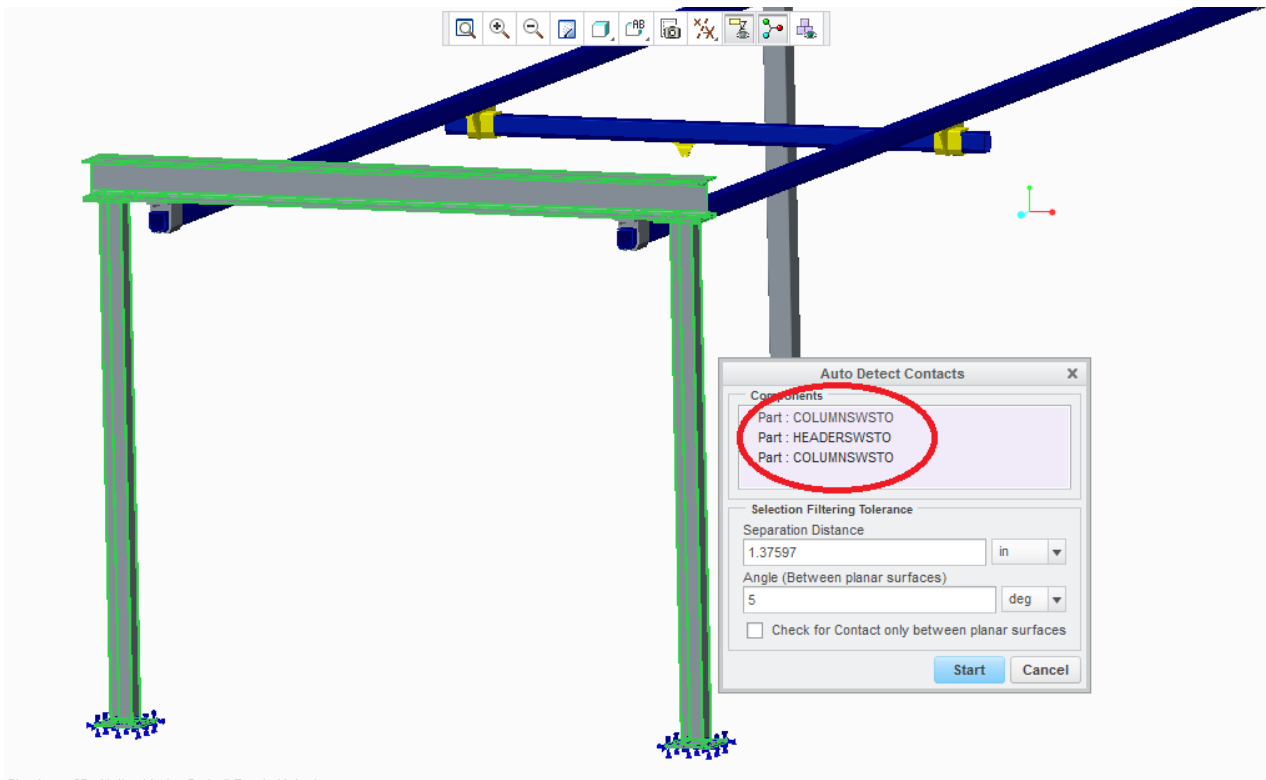


**Εικόνα 5.4.5:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 κατά τον ορισμό των συνδέσεων μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου της γερανογέφυρας

Το συγκεκριμένο assembly αποτελείται από δύο επιμέρους assemblies. Το ένα είναι ο σκελετός της γερανογέφυρας που αποτελείται από τις κολώνες, τις δοκούς κύλισης και τις δοκούς στήριξης αυτών, ενώ το άλλο από τη γερανотροχιά, το φορείο του βαρούλκου και τους πλαγιοφορείς. Έτσι, τα δύο πρώτα μέρη που θα μπορούσαν να επιλεγούν για να εντοπιστούν τα σημεία επαφής είναι αυτά τα δύο assemblies.

Ακόμα θα μπορούσαν να επιλεγούν ξεχωριστά όλα τα εξαρτήματα που απαρτίζουν τη γερανογέφυρα και μετά να ξεκινήσει η διαδικασία εντοπισμού των σημείων επαφής. Σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία όμως θα διαρκέσει παραπάνω, καθώς είναι και πιθανόν να δημιουργήσει σχέσεις επαφής εξαρτημάτων που δεν επηρεάζει το ένα το άλλο, και με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα να οδηγηθεί και σε αποτελέσματα που θα απέχουν κατά πολύ από την πραγματικότητα.

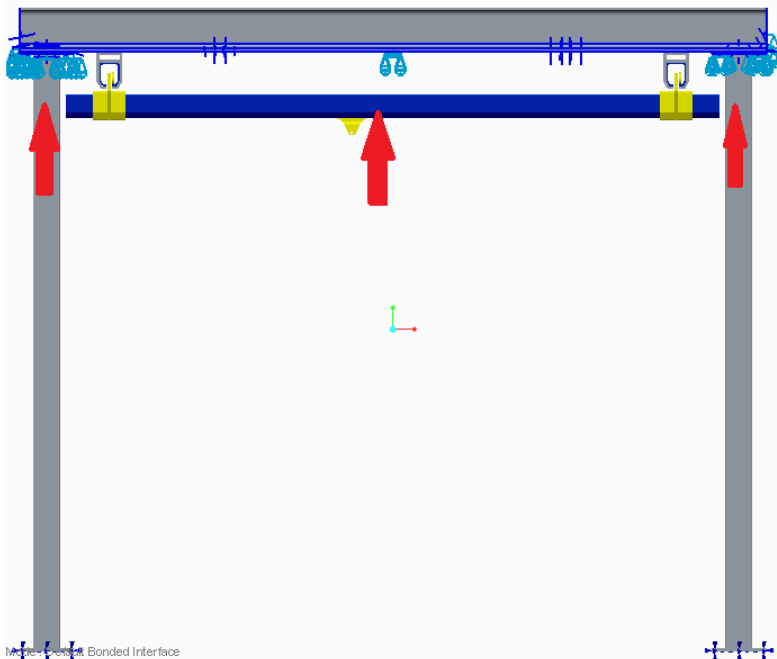
Έτσι ο καλύτερος και πιο ασφαλής τρόπος για να γίνει αυτή η διαδικασία είναι να επιλέγονται κάθε φορά εξαρτήματα που έχουν επιφάνειες που εφάπτονται. Έτσι για παράδειγμα, θα μπορούσαν να επιλεγούν οι δύο κολώνες στήριξης με τη δοκό που τοποθετείται πάνω σε αυτές όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.6.



Structure : 3D : Native Mode : Default Bonded Interface

**Εικόνα 5.4.6:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 κατά τον ορισμό των συνδέσεων μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου της γερανογέφυρας

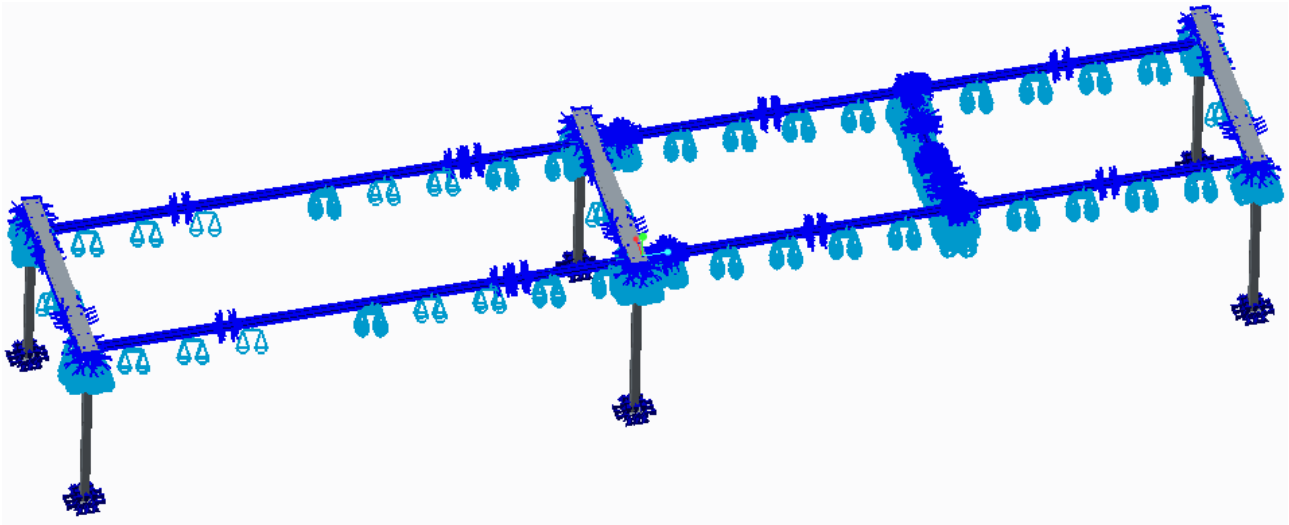
Αφού επιλεγούν και τα τρία αυτά μέρη τότε πατώντας το κουμπί **“Start”** το πρόγραμμα θα ξεκινήσει την αναζήτηση των σχέσεων επαφής και αλληλεπίδρασης των τριών αυτών εξαρτημάτων και όταν ολοκληρωθεί θα εμφανιστούν σύμβολα και γραμμές που θα τις επισημαίνουν (εικόνα 5.4.7).



Model : Default Bonded Interface

**Εικόνα 5.4.7:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 κατά τον ορισμό των συνδέσεων μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου της γερανογέφυρας

Αφού λοιπόν επαναληφθεί αυτή η διαδικασία για όλα τα εξαρτήματα που έρχονται σε επαφή, το πρόγραμμα θα έχει εντοπίσει και υπολογίσει όλα τα σημεία επαφής. Τότε το τρισδιάστατο σχέδιο θα έχει τη μορφή της εικόνας 5.4.8



**Εικόνα 5.4.8:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με το μοντέλο μετά τον ορισμό των συνδέσεων μεταξύ των στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα της γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη

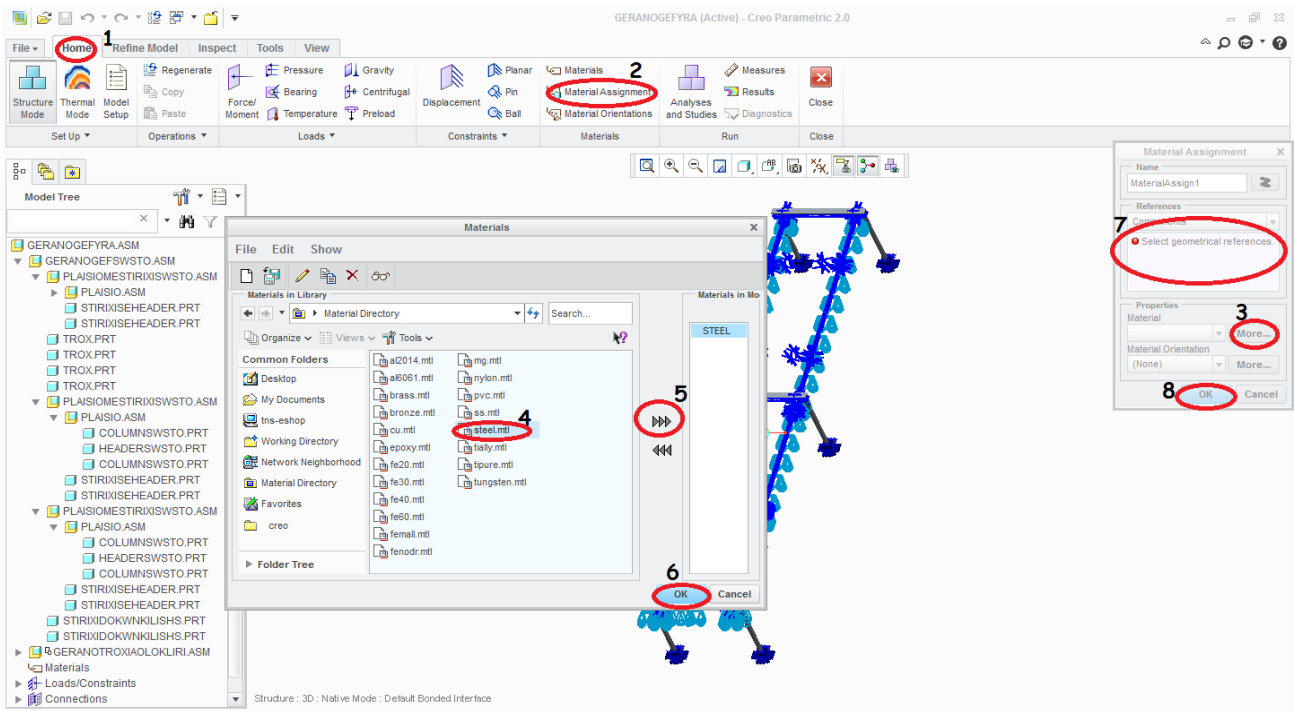
Συνεχίζοντας, πριν την εκτέλεση της ανάλυσης, πρέπει να γίνει η γεωμετρική μοντελοποίηση του στοιχείου που πρόκειται να μελετηθεί. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται **“mesh”** και μπορεί να παραληφθεί, αφού έτσι κι αλλιώς, στην περίπτωση που δεν έχει γίνει, εκτελείται αυτόματα, αφού αποτελεί ένα από τα βήματα της ανάλυσης που πραγματοποιεί το πρόγραμμα.

Παρόλα αυτά είναι καλύτερο να γίνεται πριν την ανάλυση, γιατί με αυτό τον τρόπο προειδοποιεί για τυχόν προβλήματα που θα αντιμετωπιστούν κατά την εκτέλεση της ανάλυσης, ενώ αν παραλειφθεί το πρόγραμμα θα τρέξει κανονικά όλα τα βήματα της ανάλυσης και στο τέλος απλά θα επιστρέψει μια λίστα από σφάλματα αντί για αποτελέσματα. Όλο αυτό λοιπόν μπορεί να αποφευχθεί εκτελώντας πρώτα τη διαδικασία του **“mesh”** ή **“Auto Gem”**.

Για να εκτελεστεί η διαδικασία του **“Auto Gem”** πρέπει πρώτα να οριστεί το υλικό της κατασκευής αλλά και το φορτίο που θα εφαρμοστεί σε αυτήν. Το υλικό ορίζεται από το μενού **“Home”** που βρίσκεται στην πάνω μπάρα του προγράμματος. Στη συνέχεια πατώντας το εικονίδιο **“Material Assignment”** ανοίγει και πάλι ένα νέο παράθυρο διαλόγου. Εκεί το πρόγραμμα ζητάει να οριστούν το υλικό αλλά και τα εξαρτήματα που χρειάζεται να έχουν τα χαρακτηριστικά του υλικού αυτού. Επιλέγοντας από τη λίστα αριστερά με τα μέρη που απαρτίζουν το τρισδιάστατο σχέδιο, το όνομα του assembly επιλέγονται αυτόματα όλα τα κομμάτια που το απαρτίζουν.

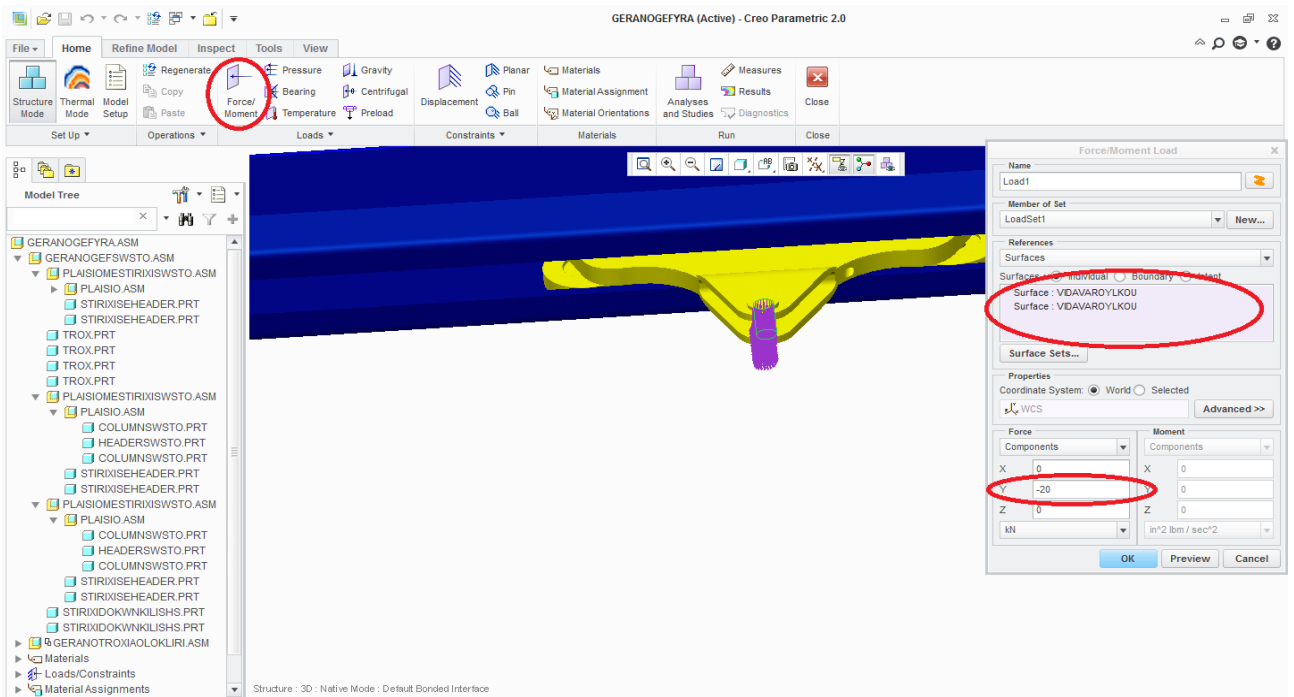
Αφού επιλέγουν τα μέρη που πρόκειται να οριστεί το υλικό, τότε πατώντας το βελάκι που βρίσκεται στο πεδίο **“Material”** θα ανοίξει μια λίστα με τα διαθέσιμα υλικά, η οποία όμως είναι άδεια εφόσον δεν έχει ξανά οριστεί κάποιο υλικό. Έτσι επιλέγοντας την επιλογή **“More”** ανοίγει ένα ακόμα παράθυρο διαλόγου με τα διαθέσιμα υλικά που υπάρχουν στο πρόγραμμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση σαν υλικό της κατασκευής ορίζεται ο χάλυβας, οπότε επιλέγεται από τη λίστα **“Steel”**.

Αφού επιλεγεί το υλικό πατώντας τα βελάκια που υπάρχουν στη μέση του παράθυρου διαλόγου, το υλικό προστίθεται σε μια λίστα στα δεξιά που βρίσκονται τα υλικά που έχουν οριστεί διαθέσιμα για αυτή την κατασκευή. Πατώντας στη συνέχεια το κουμπί **“Ok”** το δεύτερο παράθυρο διαλόγου κλείνει, ενώ στο πρώτο στο κουτί επιλογής του υλικού γράφει **“Steel”**. Πατώντας τώρα **“Ok”** και στο πρώτο παράθυρο διαλόγου, κλείνει κι αυτό και έχει οριστεί επιτυχώς το υλικό της κατασκευής. Όλα αυτά γίνονται πιο εύκολα κατανοητά με την εικόνα 5.4.9 παρακάτω.



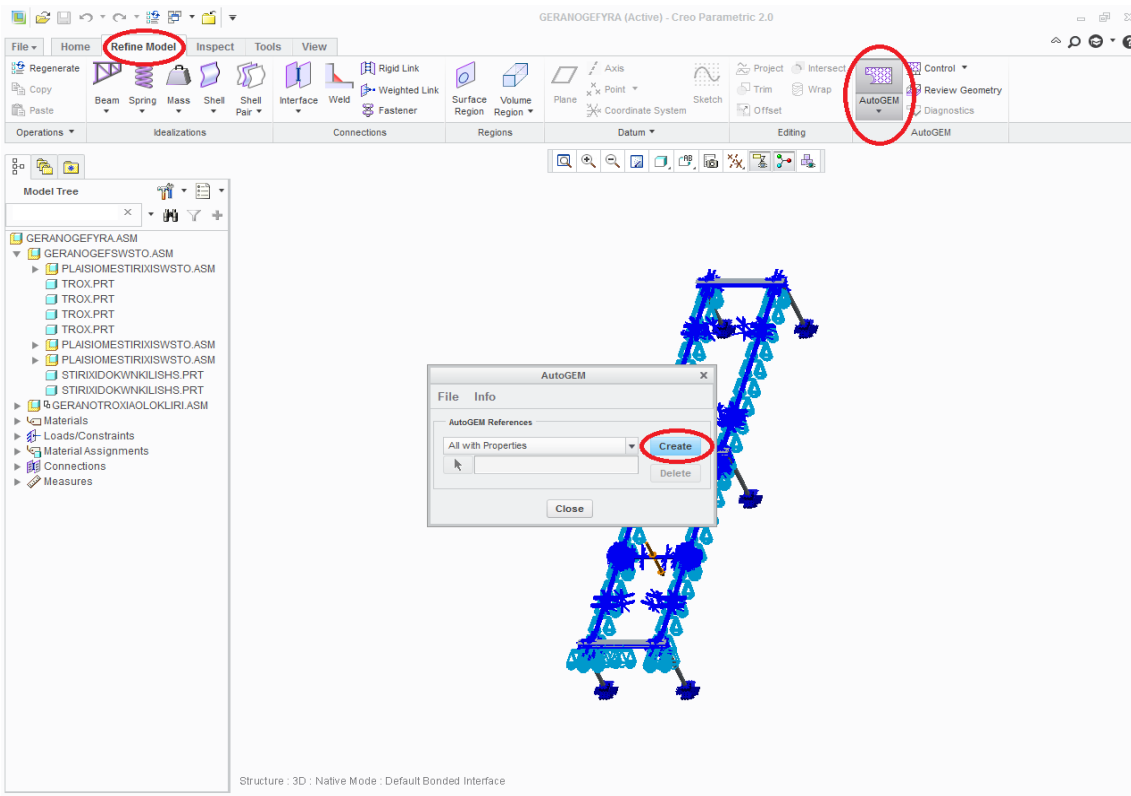
**Εικόνα 5.4.9:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με τη διαδικασία ορισμού του υλικού του μοντέλου της γερανογέφυρας

Το φορτίο που θα εφαρμοστεί κατά την ανάλυση της κατασκευής είναι περίπου 100 kg, όπου είναι και το φορτίου ανύψωσης για το οποίο έχει σχεδιαστεί η γερανογέφυρα. Για να εφαρμοστεί το φορτίο, στο μενού “Home” πατώντας το εικονίδιο “Force/Moment” ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου που ζητάει να του δοθούν οι επιφάνειες ή τα σημεία εφαρμογής της δύναμης και το μέγεθος και η κατεύθυνση της. Οπότε επιλέγεται η επιφάνεια της βίδας του φορείου του βαρούλκου, ενώ το φορτίο θα εφαρμοστεί στον άξονα Y και επειδή η φορά πρέπει να είναι προς τα κάτω θα γραφτεί με το πρόσημο μείον.



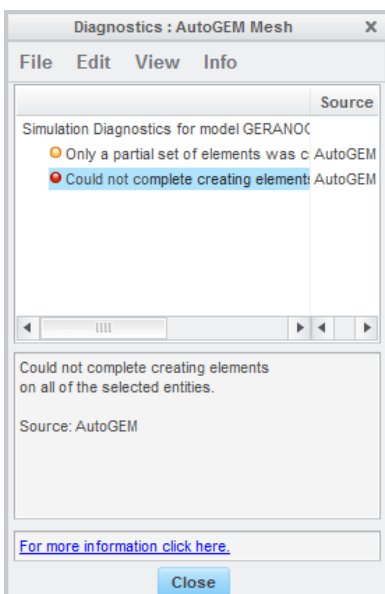
**Εικόνα 5.4.10:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με τη διαδικασία ορισμού του φορτίου που θα εφαρμοστεί κατά την ανάλυση και μελέτη της κατασκευής

Αφού ορίστηκαν όλα, τώρα μπορεί να γίνει το “Auto Gem” του στοιχείου. Στο μενού “Refine Model” πατώντας την επιλογή “Auto Gem” ανοίγει ένα νέο παράθυρο. Εκεί δίνονται διάφορες επιλογές για τη διαδικασία αυτήν. Θα διατηρηθεί η προεπιλεγμένη, που λαμβάνει υπόψη όλα τα κομμάτια και τις ιδιότητές τους.



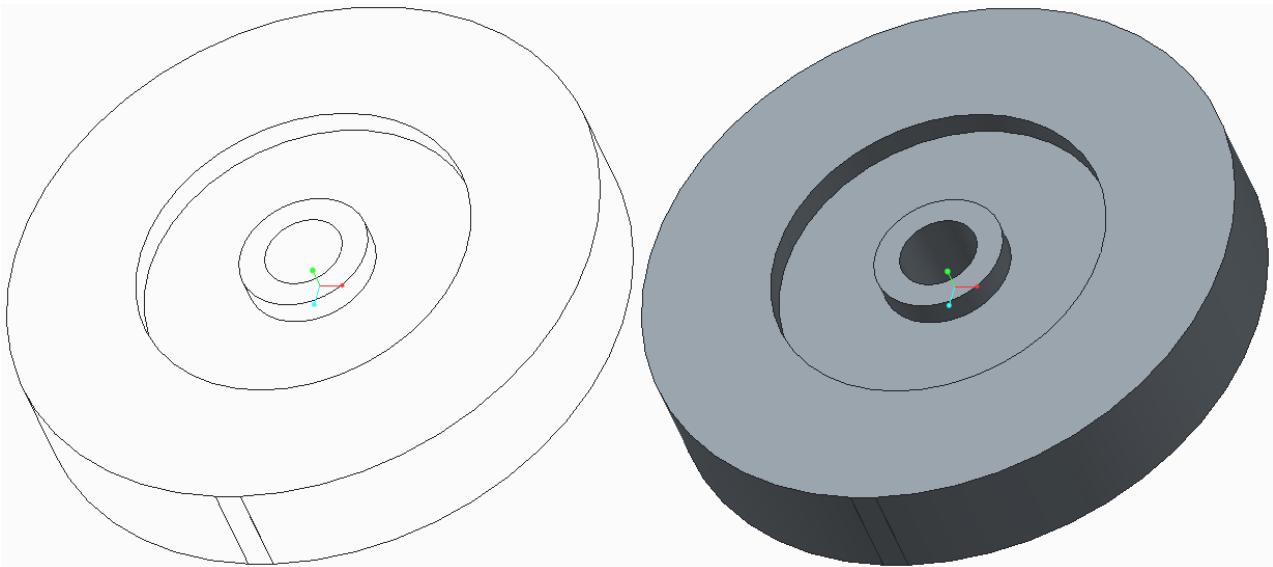
**Εικόνα 5.4.11:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με τη διαδικασία δημιουργίας mesh του μοντέλου γερανογέφυρας

Στο σημείο αυτό η διαδικασία δεν μπόρεσε να ολοκληρωθεί, επιστρέφοντας το μήνυμα ότι δεν μπορεί να δημιουργήσει mesh σε όλα τα μέρη αυτού του μοντέλου. Αυτό οφείλεται στο ότι το πρόγραμμα δεν μπορεί να αναγνωρίσει την επαφή ανάμεσα σε κοίλες και επίπεδες επιφάνειες. Δηλαδή το πρόβλημα εστιάζεται στους τροχούς των πλαγιοφορέων και του βαρουλκοφορείου. Οπότε πρέπει να αναζητηθεί μια άλλη λύση προκειμένου να εκτελεστεί και να ολοκληρωθεί σωστά η ανάλυση του συγκεκριμένου μοντέλου.



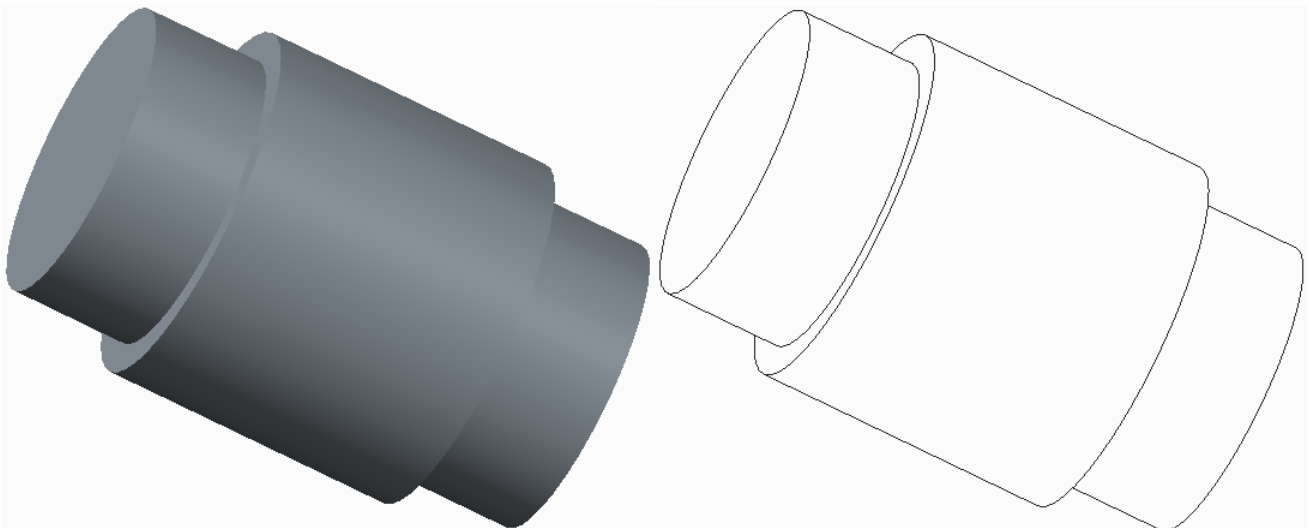
**Εικόνα 5.4.12:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με μήνυμα σφάλματος κατά τη διαδικασία του Auto Gem

Ο τρόπος που επιλέχθηκε για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, ήταν να σχεδιαστεί μια μικρή επίπεδη βάση στους τροχούς του συστήματος. Η λύση αυτή θα διαφοροποιήσει ελάχιστα τα αποτελέσματα της μελέτης αφού μπορεί να θεωρηθεί ότι το σημείο επαφής μιας κοίλης επιφάνειας με μία επίπεδη, αποτελεί μια πολύ μικρή επίπεδη επιφάνεια στην περιφέρεια του τροχού. Αυτή η βάση έχει πάχος μόλις 0,025 χιλιοστά και μήκος 2,5 χιλιοστά.



**Εικόνα 5.4.13:** Τροχός κύλισης γερανογέφυρας με μικρή επίπεδη βάση για τις ανάγκες της ανάλυσης

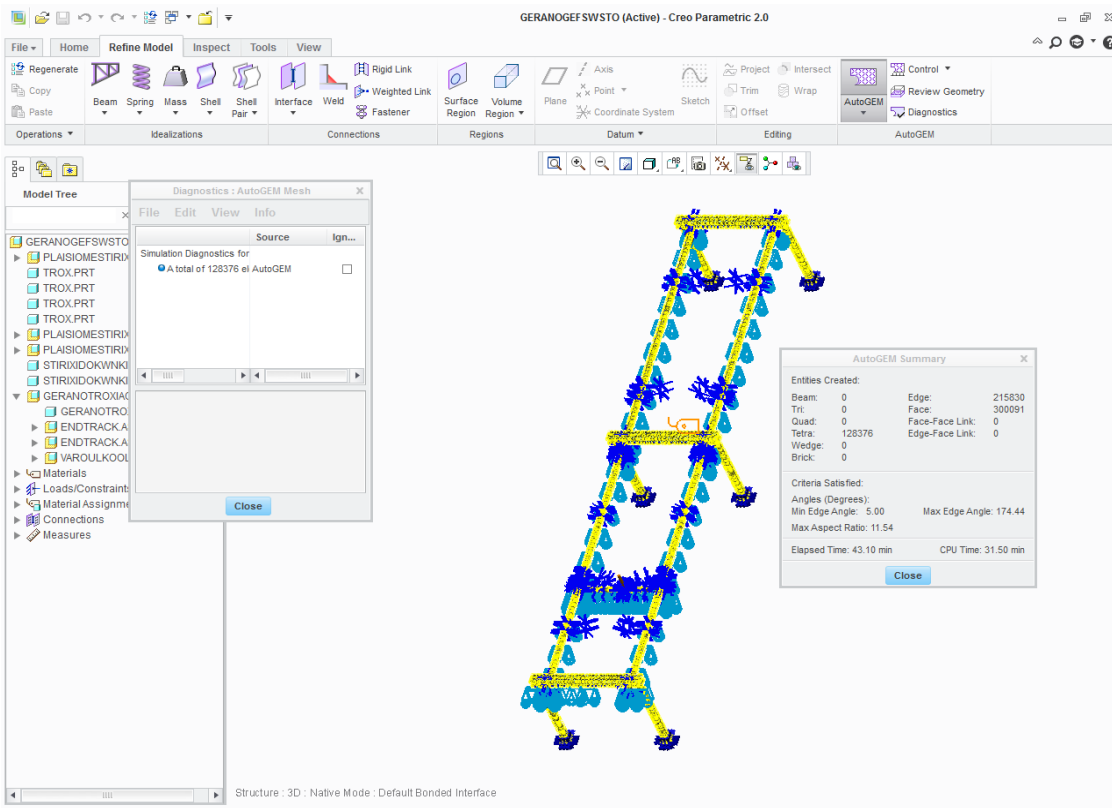
Άλλος ένα παράγοντας που εμπόδισε στο να ολοκληρωθεί η διαδικασία της δημιουργίας mesh του μοντέλου είναι η βίδα του βαρουλκοφορείου που χρειάζεται για να κρεμιέται ο ανυψωτικός μηχανισμός, διότι η επιφάνεια που εφαρμόστηκε η δύναμη καλυπτόταν σε κάποια σημεία από άλλες επιφάνειες. Οπότε αυξήθηκε το πάχος της βίδας σε μήκος αντίστοιχο με το άνοιγμα του φορείου του βαρούλκου όπου θα εφαρμοστεί και η δύναμη.



**Εικόνα 5.4.14:** Βίδα του φορείου του βαρούλκου με διαφορετικό πάχος στη μέση για την εφαρμογή του φορτίου κατά την ανάλυση

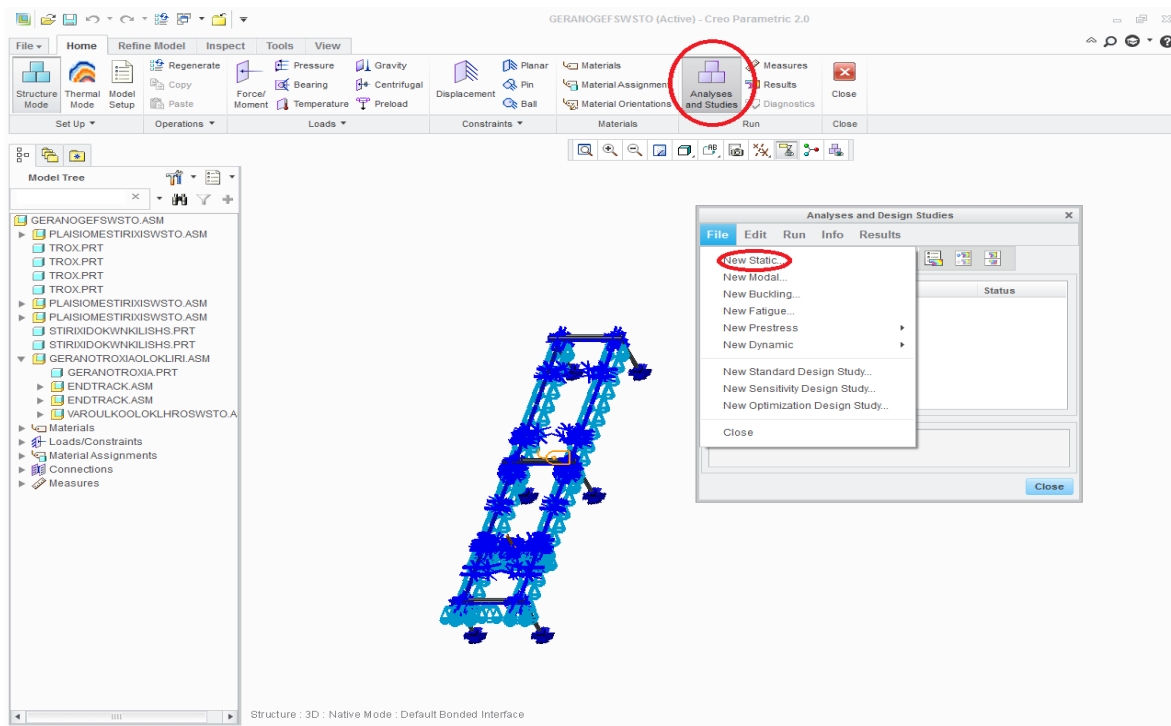
Μετά από αυτές τις αλλαγές μπορεί να ξανά γίνουν όλες οι διαδικασίες που χρειάζονται πριν εκτελεστεί η ανάλυση του μοντέλου.

Η θέση στην οποία είναι η γερανοτροχιά κατά την ανάλυση του συστήματος, είναι η θέση κατά την οποία η κατασκευή θεωρείται πιο “ευαίσθητη”, καθώς περιλαμβάνεται και η σύνδεση των τροχιών κύλισης μεταξύ τους, και δεν υπάρχει κάποιο πλαίσιο στήριξης όπως στην άλλη μεριά της κατασκευής όπου οι τροχιές κύλισης στηρίζονται εξολοκλήρου σε αυτά.

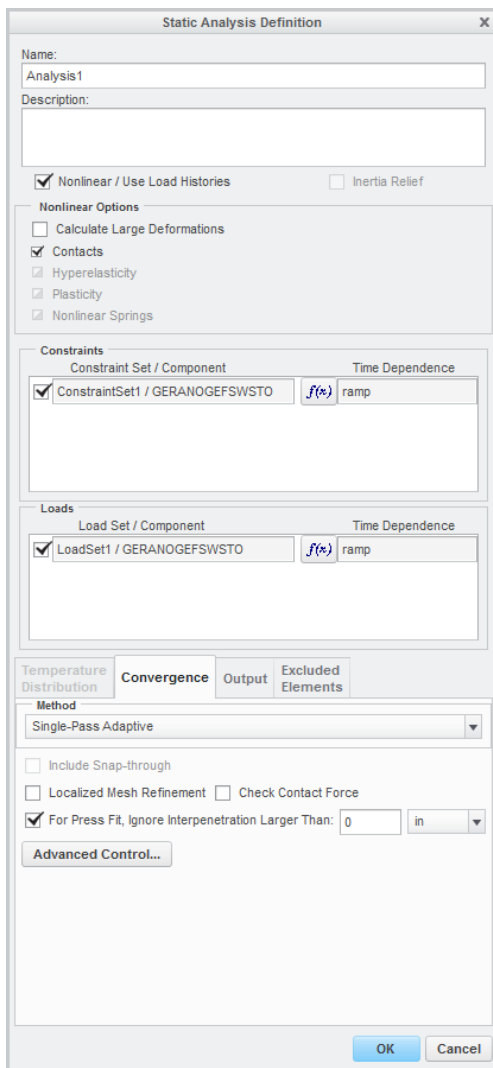


**Εικόνα 5.4.15:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 μετά την ολοκλήρωση του Auto Gem του μοντέλου γερανογέφυρας

Μετά τις αλλαγές που έγιναν το πρόγραμμα ολοκλήρωσε με επιτυχία τη διαδικασία του Auto Gem χωρίς να παρουσιαστεί κάποιο σφάλμα, οπότε τώρα μπορεί να εκτελεστεί η στατική ανάλυση του μοντέλου. Στο μενού της επιλογής “Home” υπάρχει το εικονίδιο “Analyses and Studies” όπου επιλέγοντας του ανοίγει ένα νέο παράθυρο επιλογών. Στο παράθυρο αυτό πατώντας το “File” ανοίγει μία λίστα με τις διαθέσιμες αναλύσεις του προγράμματος. Επιλέγεται το “New Static” ώστε να γίνει η στατική ανάλυση της κατασκευής.

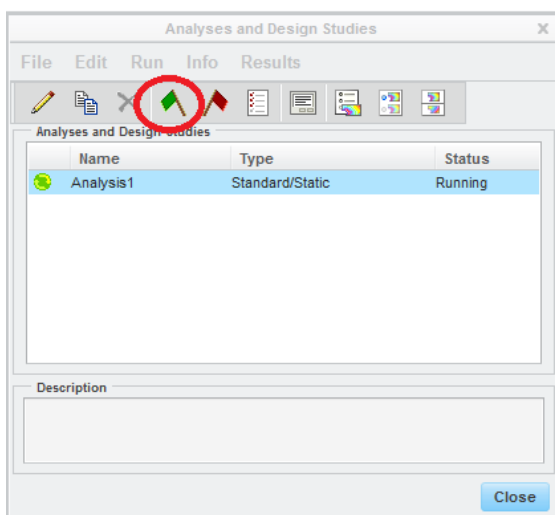


**Εικόνα 5.4.16:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με τη διαδικασία για την έναρξη στατικής ανάλυσης του μοντέλου



**Εικόνα 5.4.17:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με παράθυρο επιλογών για την εκτέλεση της στατικής ανάλυσης

Επιλέγοντας το ανοίγει το παράθυρο της εικόνα 5.4.17, όπου δίνει τη δυνατότητα διάφορων επιλογών σχετικά με την ανάλυση. Εκεί μπορεί να οριστεί το όνομα της μελέτης, τις στηρίξεις που χρειάζεται να συμπεριληφθούν όπως και τα φορτία που θα εφαρμοστούν. Δίνεται και η δυνατότητα πιο σύνθετων επιλογών για πιο εξειδικευμένες αναλύσεις και αποτελέσματα. Πατώντας το “OK” το πρόγραμμα είναι έτοιμο να ξεκινήσει την ανάλυση.



**Εικόνα 5.4.18:** Εικόνα από το πρόγραμμα Creo 2.0 με παράθυρο επιλογών κατά την πορεία εκτέλεσης της ανάλυσης αλλά και επιλογών μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης



Σε τέτοιες κατασκευές συνήθως οι γερανοδοκοί και η γερανοτροχιά καθώς και οι κολώνες στήριξης όπως και ο header είναι διαθέσιμα σε δύο υλικά, από χάλυβα και από αλουμίνιο. Οι πλαγιοφορείς και το φορείο του βαρούλκου το υλικό τους είναι κυρίως το αλουμίνιο, ενώ οι στηρίξεις και οι συνδέσεις των δοκών κύλισης έχουν υλικό τον χάλυβα, και αυτό γιατί έτσι ορίζεται από τους κατασκευαστές για αυτά τα εξαρτήματα, σε τέτοια φορτία ανύψωσης. Έτσι έγιναν αρχικά, δύο αναλύσεις όπου στην πρώτη τα πλαίσια στήριξης, οι γερανοδοκοί και ο κύριος φορέας, είναι από χάλυβα, και στη δεύτερη από αλουμίνιο.

Με αυτό τον τρόπο και συνδυάζοντας και οικονομικά κριτήρια θα επιλεγούν από τι υλικό θα είναι το καθένα από αυτά στην τελική κατασκευή, ώστε να μην προκύψει ούτε μια «βαριά», ούτε μια δαπανηρή λύση, διαδικασία που αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια. Για αυτό το λόγω πραγματοποιήθηκε και μια τρίτη ανάλυση όπου οι δοκοί κύλισης και η γερανοτροχιά είναι από αλουμίνιο όπως και οι headers, ενώ οι κολώνες στήριξης από χάλυβα, και τα υπόλοιπα εξαρτήματα σύνδεσης (στήριξη και σύνδεση δοκών) και κίνησης (βαρουλκοφορείο και πλαγιοφορείς) με χάλυβα και αλουμίνιο αντίστοιχα. **Συνοπτικά λοιπόν, πραγματοποιήθηκαν οι εξής αναλύσεις:**

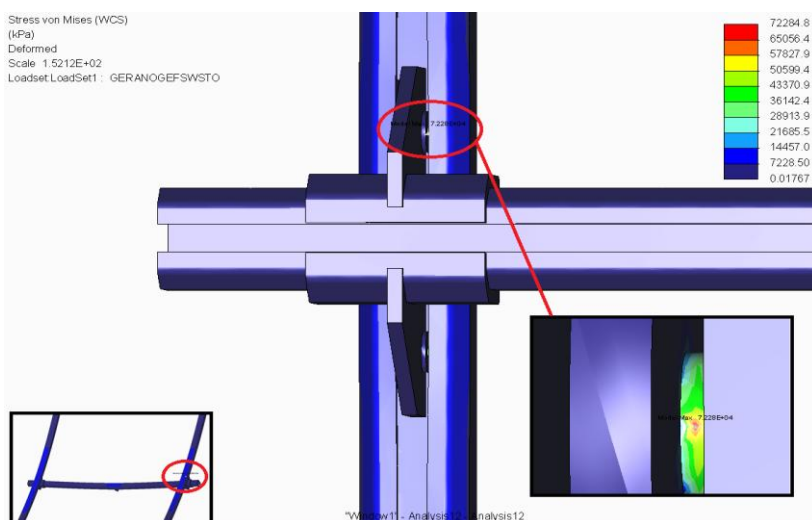
- **Ανάλυση με δοκούς κύλισης και γερανοτροχιά από χάλυβα, κολώνες και header από χάλυβα**
- **Ανάλυση με δοκούς κύλισης και γερανοτροχιά από αλουμίνιο, κολώνες και header από αλουμίνιο**
- **Ανάλυση με δοκούς κύλισης και γερανοτροχιά από αλουμίνιο, κολώνες από χάλυβα και header από αλουμίνιο**

**Και στις τρεις περιπτώσεις όπως αναφέρθηκε, οι στηρίξεις και συνδέσεις των γερανοδοκών είναι από χάλυβα, ενώ το βαρουλκοφορείο και οι πλαγιοφορείς από αλουμίνιο.**

Ο κύριος φορέας τοποθετήθηκε στη μέση των δύο πλαισίων στήριξης, μεταξύ των οποίων υπάρχουν οι συνδέσεις των δοκών κύλισης, αφού όπως είναι λογικό στο σημείο αυτό το σύστημα είναι πιο ευάλωτο, αφού στο άλλο μέρος της κατασκευής οι δοκοί κύλισης στηρίζονται σε δύο πλαίσια στήριξης, που βρίσκονται σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, αλλά και οι γερανοδοκοί αποτελούν ένα σώμα, και δεν συνδέονται με κάποιο τρόπο. Το φορείο του βαρούλκου τοποθετήθηκε αρχικά στο κέντρο της γερανοτροχιάς, και στη συνέχεια στην άκρη, ώστε να φανεί από την ανάλυση σε ποια από τις δύο θέσεις καταπονείται περισσότερο το μοντέλο.

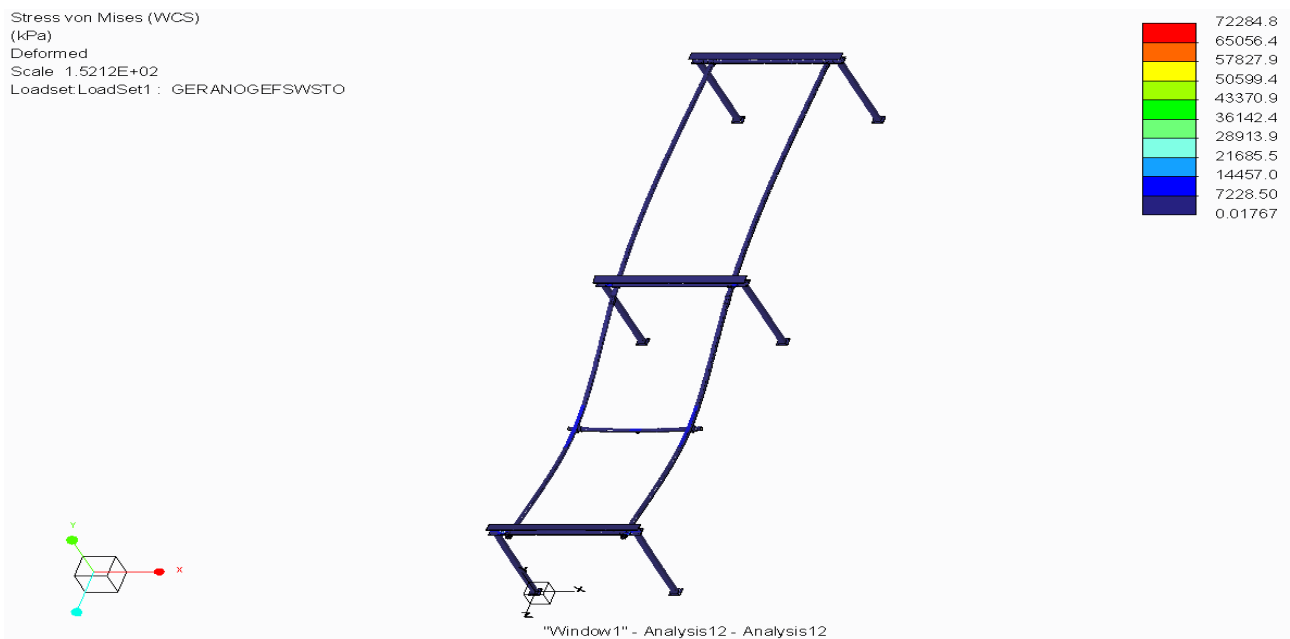
### **Αποτελέσματα ανάλυσης με πλαίσια στήριξης, γερανοδοκούς και γερανοτροχιά από χάλυβα:**

Σε αυτά τα αποτελέσματα, οι δοκοί κύλισης, η γερανοτροχιά και τα πλαίσια στήριξης έχουν οριστεί με υλικό τον χάλυβα, όπως και οι στηρίξεις και οι συνδέσεις των γερανοδοκών, ενώ το φορείο του βαρούλκου και οι πλαγιοφορείς από αλουμίνιο, αφού όπως προαναφέρθηκε αυτό αποτελεί το υλικό που ορίζουν οι κατασκευαστές για τέτοια φορτία ανύψωσης.



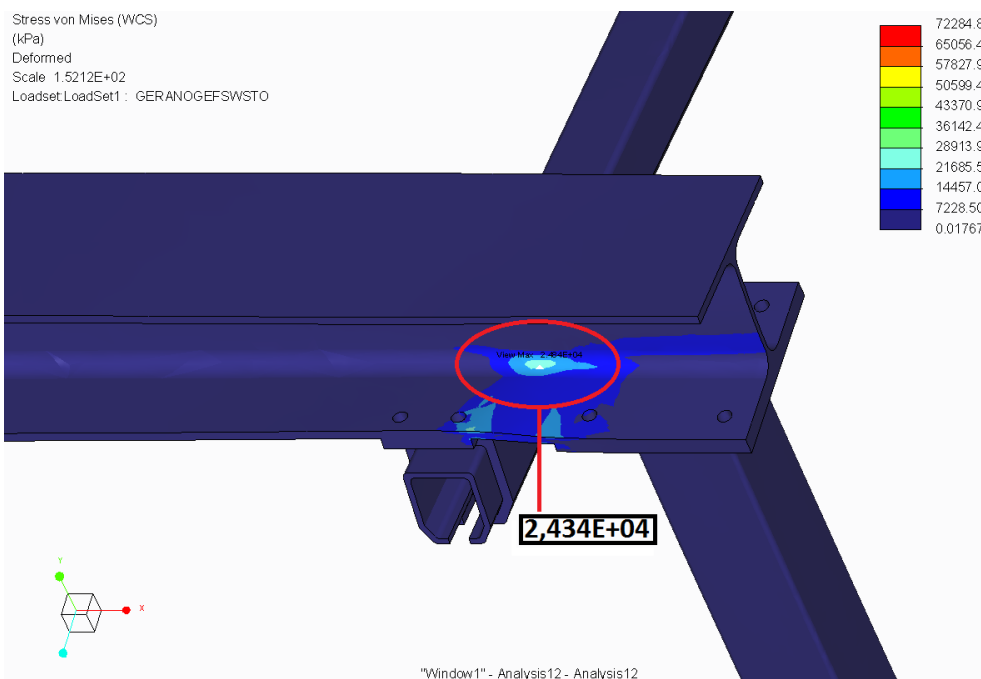
**Εικόνα 5.4.19:** Η μέγιστη τιμή τάσης και το σημείο που προκύπτει με φορτίο 100kg, με το βαρουλκοφορείο στη μέση της γερανοτροχιάς και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

Στην εικόνα 5.4.20 απεικονίζεται η κατανομή των πιέσεων που ασκούνται στην κατασκευή, ενώ η μονάδα μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι σε KPa. Οι δοκοί κύλισης της γερανογέφυρας όπου βρίσκεται ο κύριος φορέας παρουσιάζουν μια παραμόρφωση προς τα κάτω, ενώ οι δοκοί κύλισης που δεν εφαρμόζεται φορτίο τείνουν να σχηματίσουν μια καμπύλη προς τα πάνω.

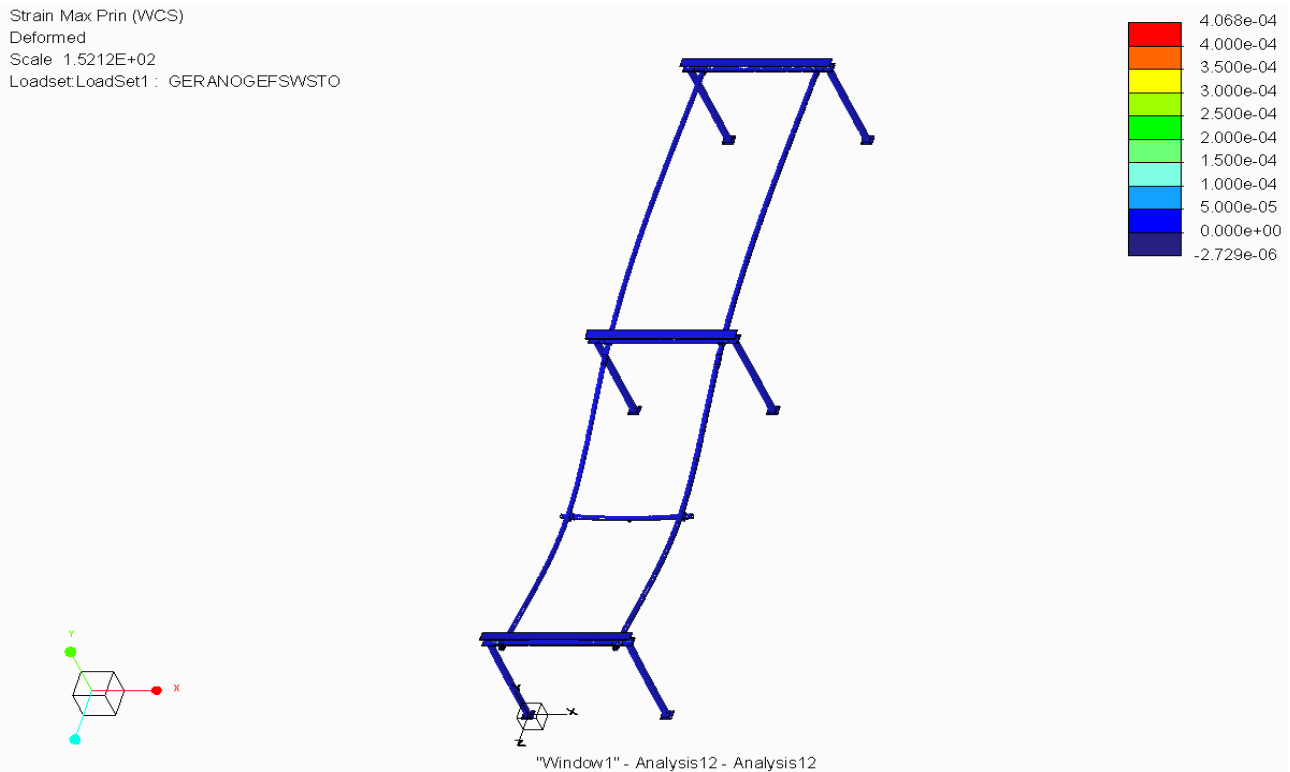


**Εικόνα 5.4.20:** Αναπτυσσόμενες τάσεις στο μοντέλο κατά την εφαρμογή του φορτίου 100kg, με το βαρουλκοφορείο στη μέση του κύριου φορέα, με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

Το όριο διαρροής του χάλυβα, δηλαδή η κρίσιμη τιμή εφαρμοζόμενης τάσης, πέρα από την οποία μέρος της παραμόρφωσης παύει να είναι ελαστική και γίνεται πλαστική, δηλαδή μόνιμη, είναι 215-240 N/mm<sup>2</sup>, που ισούται με 215-240 MPa. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης η μέγιστη πίεση που παρουσιάζεται στην κατασκευή, όταν το βαρουλκοφορείο βρίσκεται στη μέση της γερανοτροχιάς και αυτή στη μέση των δυο πλαισίων στήριξης, είναι 72,28 MPa και εμφανίζεται στο σημείο όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.19.

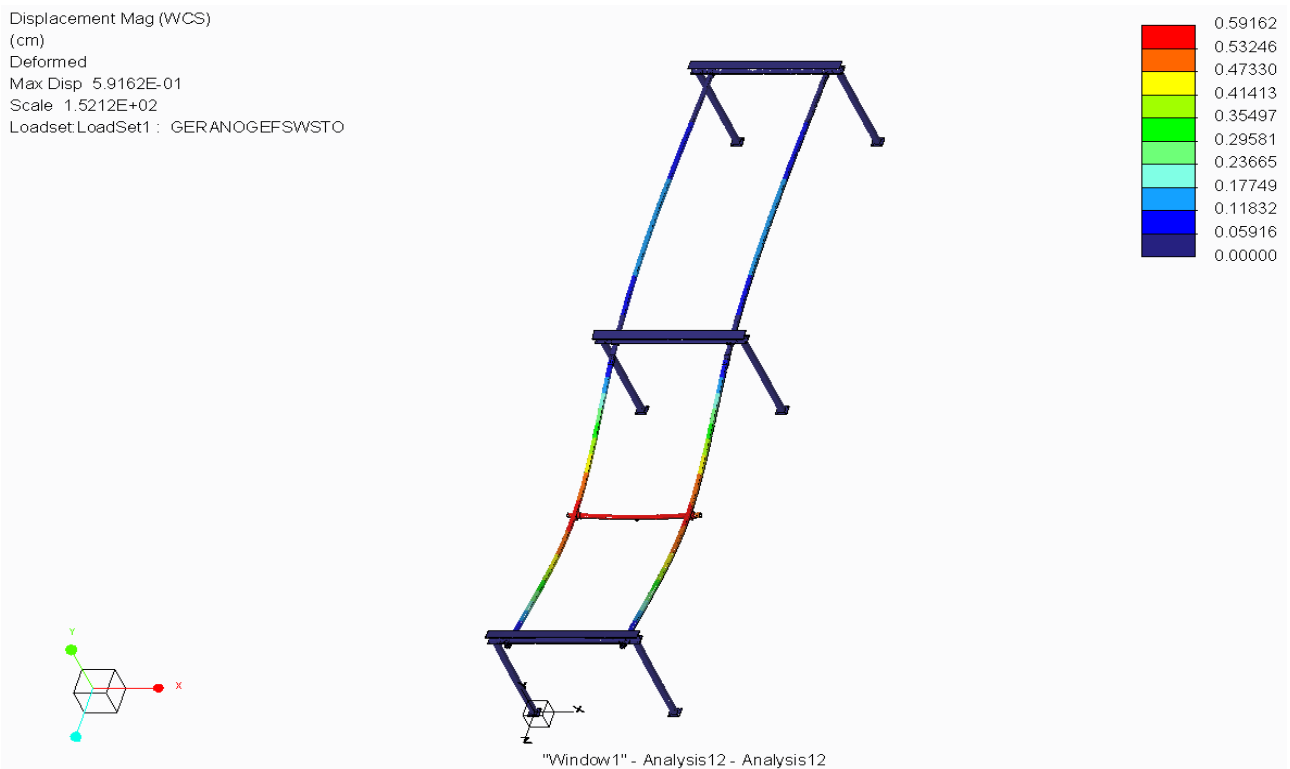


**Εικόνα 5.4.21:** Η μέγιστη τιμή τάσης και το σημείο που προκύπτει στη μεταλλική κατασκευή στήριξης με φορτίο 100kg, με το βαρουλκοφορείο στο κέντρο της γερανοτροχιάς και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

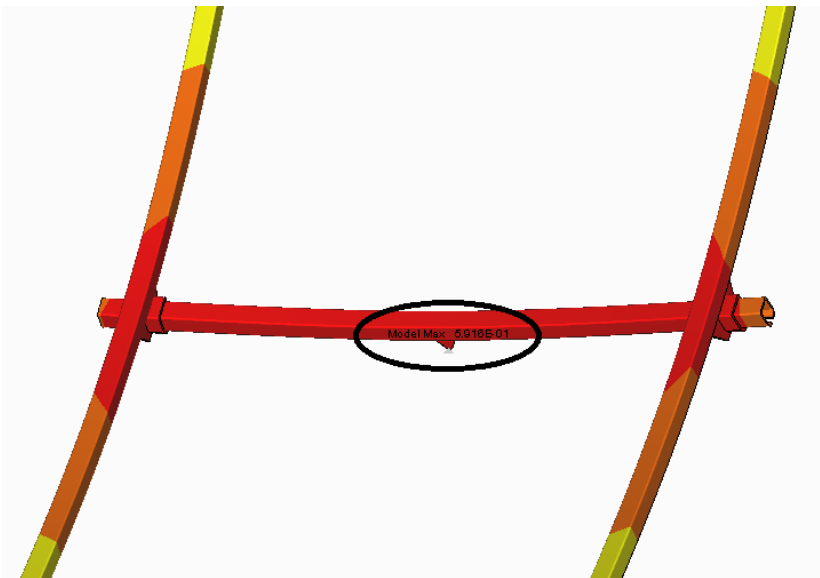


**Εικόνα 5.4.22:** Παραμορφώσεις, δηλαδή η μεταβολή στο σχήμα του κάθε εξαρτήματος, με το βαρουλκοφορείο στη μέση του κύριου φορέα, με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

Οπότε εφαρμόζοντας 1 kN που είναι λίγο παραπάνω από 100 kg το σύστημα γερανογέφυρας που σχεδιάστηκε ανταπεξέρχεται με άνεση. Στη συνέχεια είναι οι μετατοπίσεις της κατασκευής. Η μέγιστη μετατόπιση, όπως είναι αναμενόμενο, παρουσιάζεται στη γερανοτροχιά και στις τροχιές κύλισης. Η μονάδα μέτρησης των αποτελεσμάτων είναι σε cm.



**Εικόνα 5.4.23:** Μετατοπίσεις που προκύπτουν στο μοντέλο κατά την εφαρμογή του φορτίου 100kg και το βαρουλκοφορείο στη μέση του κύριου φορέα και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα



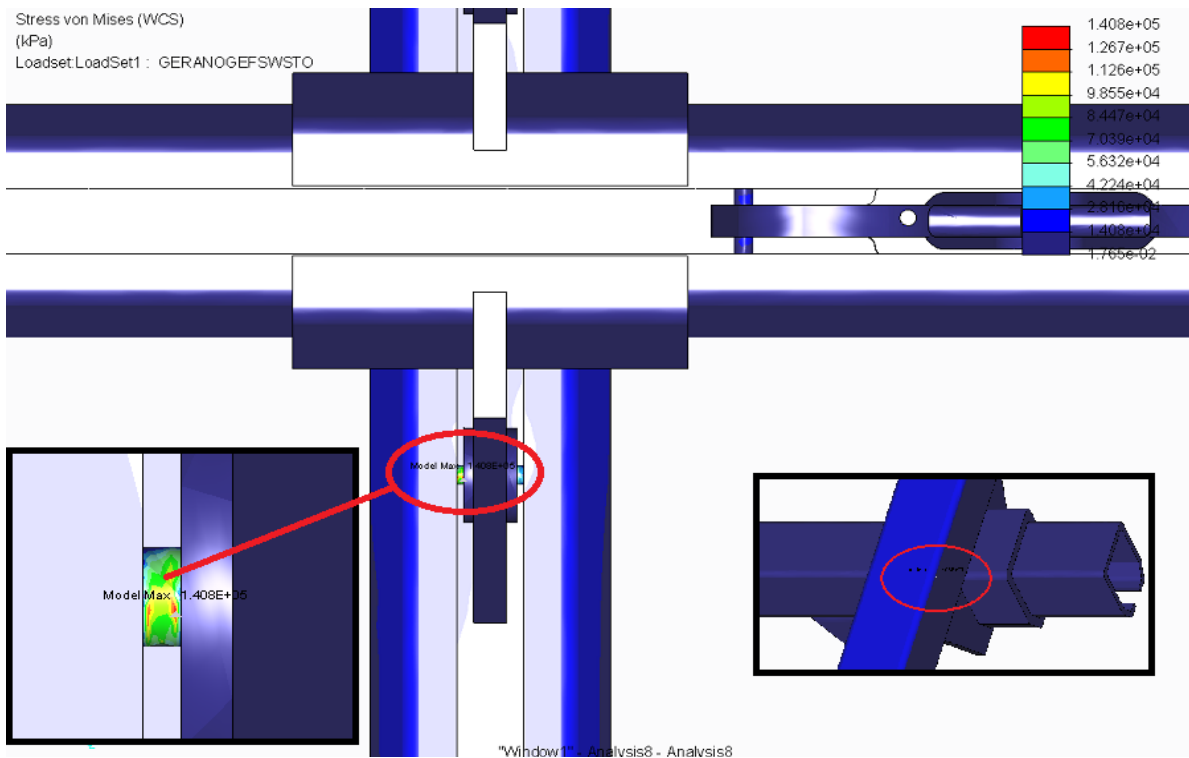
**Εικόνα 5.4.24:** Μέγιστη τιμή μετατόπισης που προκύπτει στο μοντέλο γερανογέφυρας, με το φορείο του βαρούλκου στο κέντρο του κύριου φορέα, με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

Στη συνέχεια τοποθετήθηκε το βαρουλκοφορείο στην ελάχιστη απόσταση που επιτρέπεται να έχει από το άκρο της γερανοτροχιάς, δηλαδή περίπου 0,2 m. Αυτό προκύπτει από το άνοιγμα της γερανογέφυρας που όπως υπολογίστηκε παραπάνω είναι 2,6 m, άρα η κάθε άκρη του βαρουλκοφορείου μπορεί να πλησιάζει σε κάθε άκρη της γερανοτροχιάς σε απόσταση που να μην είναι μικρότερη του 0,2 m. Τα υλικά των εξαρτημάτων παραμένουν ως έχουν.

Παρατηρείται ότι σε αυτή τη θέση του βαρουλκοφορείου οι πιέσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή είναι μεγαλύτερες, από όταν το φορείο του βαρούλκου ήταν στη μέση της γερανοτροχιάς και αυτό λόγω των ροπών που αναπτύσσονται. Η μέγιστη τιμή είναι στα 140,8MPa, όπου και πάλι δεν ξεπερνάει το όριο διαρροής του χάλυβα, και προκύπτει στο ίδιο σημείο όπως και στα προηγούμενα. Οπότε η κατασκευή της γερανογέφυρας μπορεί να ανταπεξέλθει σε φορτία ανύψωσης που κυμαίνονται μέχρι τα 100kg.

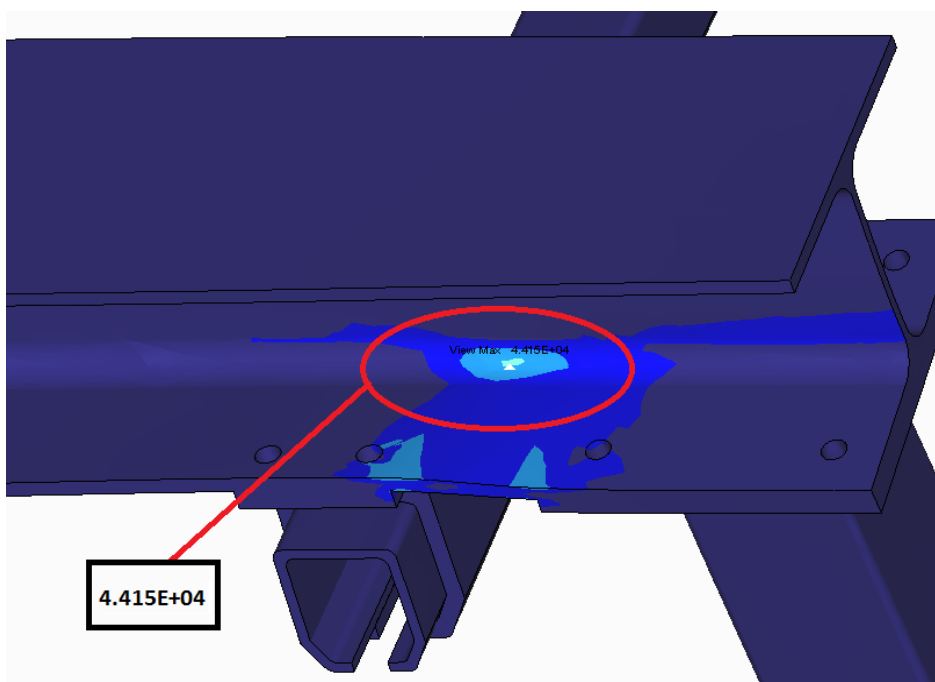


**Εικόνα 5.4.25:** Αναπτυσσόμενες τάσεις με το φορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς στην κατασκευή με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

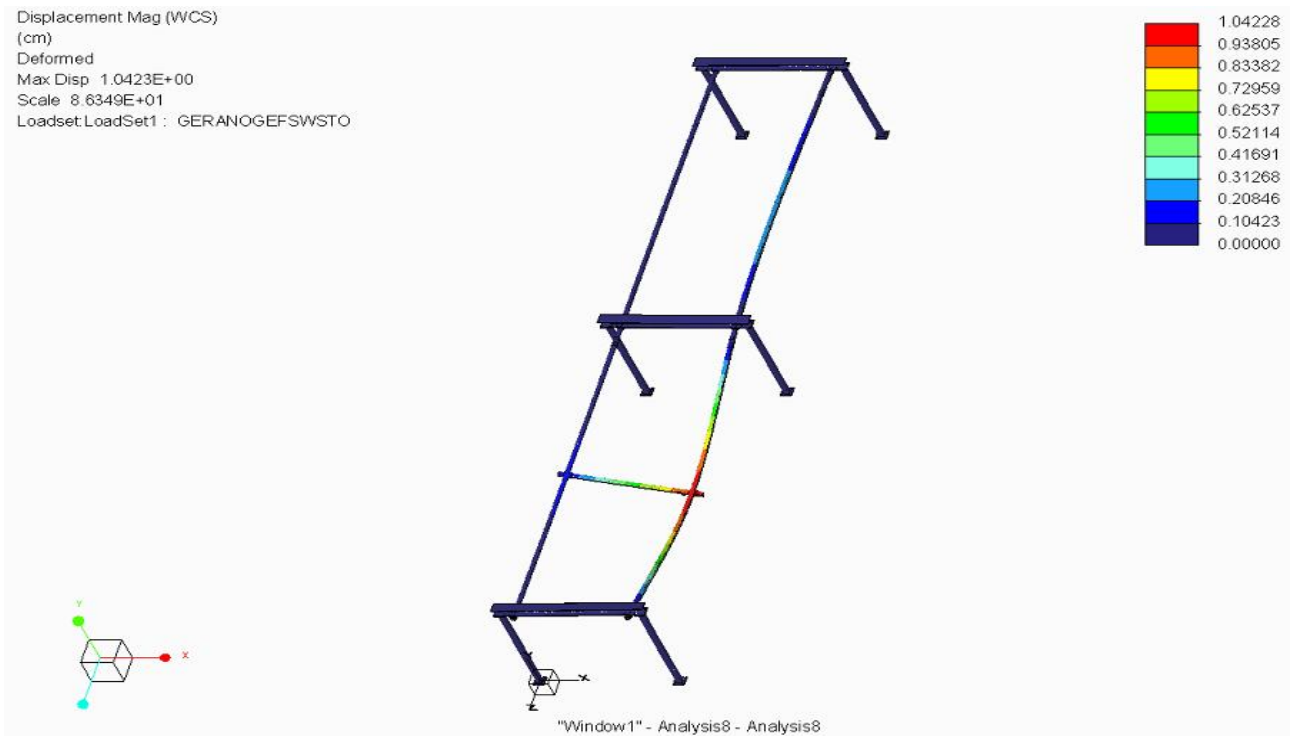


**Εικόνα 5.4.26:** Η μέγιστη τιμή τάσης και το σημείο που προκύπτει με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς, με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

Στην εικόνα 5.4.26 φαίνεται το σημείο όπου αναπτύσσεται η μέγιστη τάση, και αυτό είναι ο άξονας των τροχών του πλαγιοφορέα από τη μεριά της γερανοτροχιάς όπου έχει τοποθετηθεί το βαρουλκοφορείο και είναι το ίδιο και με την προηγούμενη ανάλυση. Ο πλαγιοφορέας είναι προϊόν του εμπορίου, οπότε αν χρειάζεται να μειωθεί η τάση αυτή πρέπει να αναζητηθεί ένας τύπος πλαγιοφορέα, για μεγαλύτερα φορτία ανύψωσης. Στη μεταλλική κατασκευή στήριξης η μέγιστη τιμή προκύπτει στο σημείο της δοκού που στηρίζονται οι γερανοδοκοί όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.27. Η τιμή είναι σε KPa.

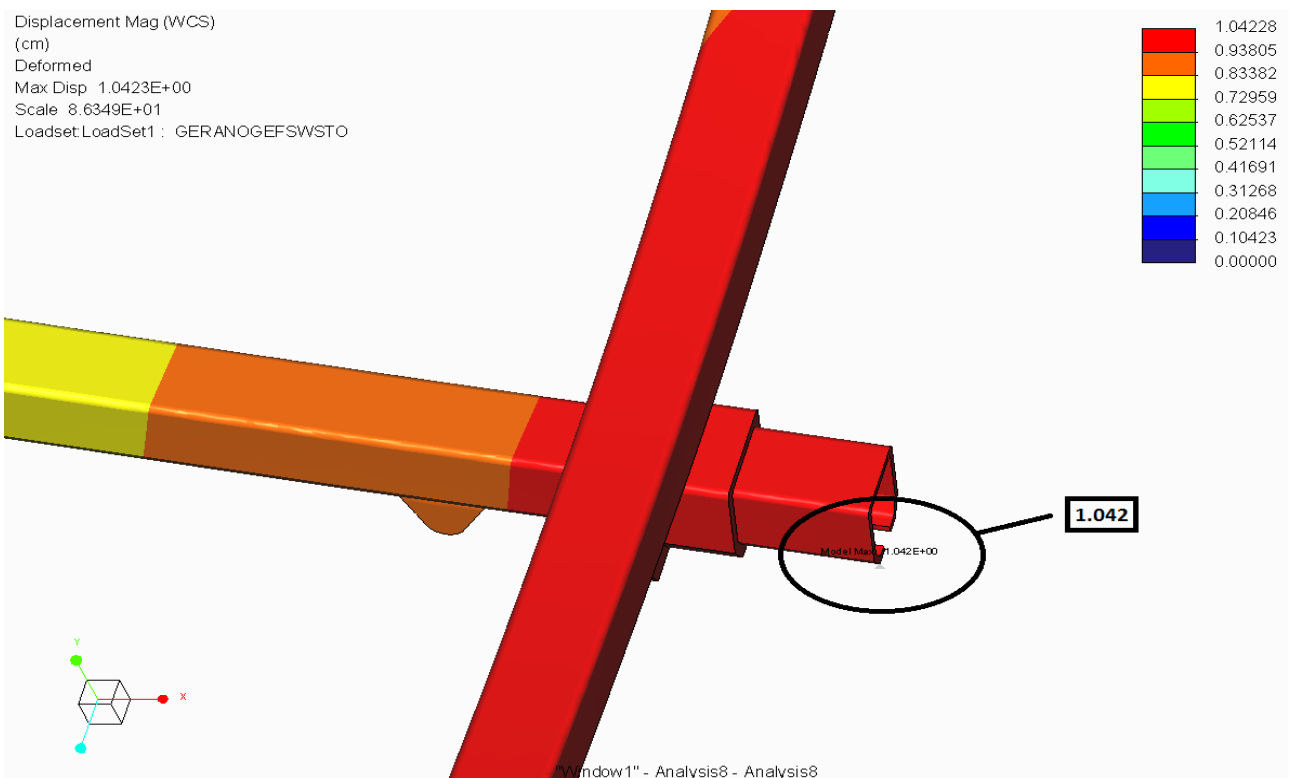


**Εικόνα 5.4.27:** Η μέγιστη τιμή τάσης και το σημείο που προκύπτει στη μεταλλική κατασκευή στήριξης με φορτίο 100kg, με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

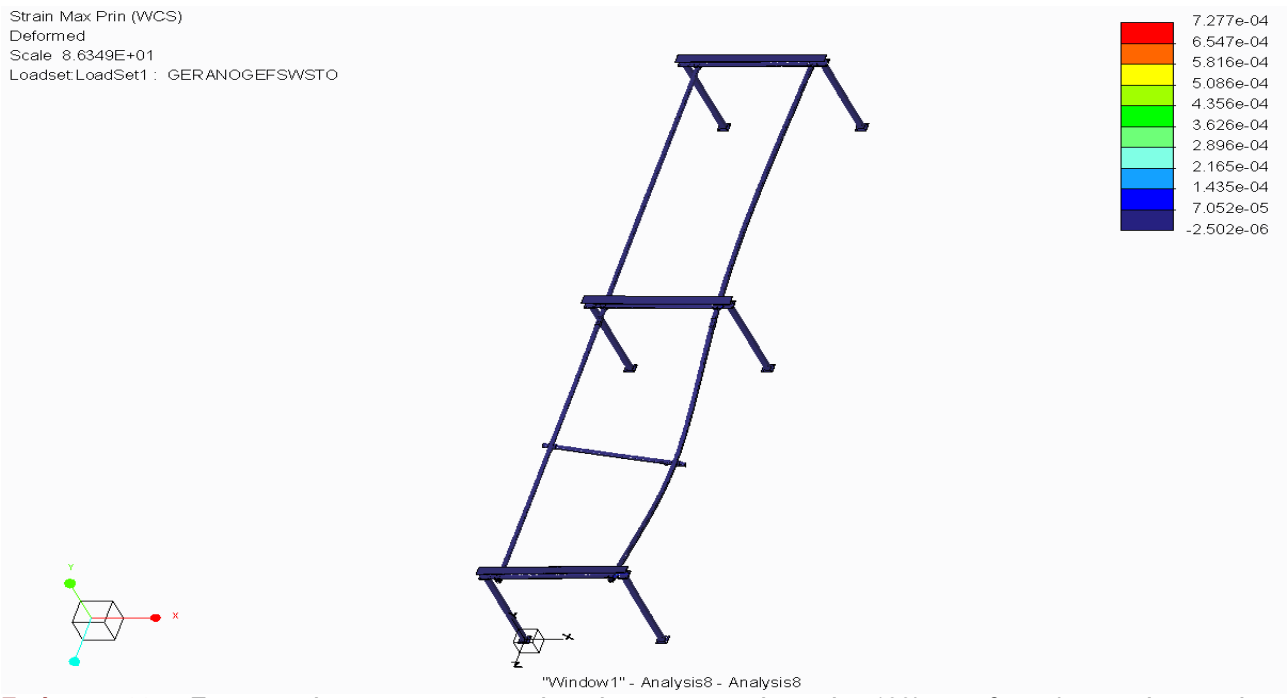


**Εικόνα 5.4.28:** Μετατοπίσεις που προκύπτουν στο μοντέλο γερανογέφυρας με το φορείο του βαρούλκου στο άκρο του κύριου φορέα, με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

Στην εικόνα 5.4.28 απεικονίζονται οι μετατοπίσεις που παρουσιάζονται στο μοντέλο, με τις μέγιστες να εμφανίζονται τώρα στη μία δοκό κύλισης όπου στηρίζεται ο κύριος φορέας, αλλά και στον ίδιο τον κύριο φορέα κυρίως στην πλευρά που βρίσκεται το βαρουλκοφορείο. Τέλος, το σημείο που αναπτύσσεται η μέγιστη τιμή μετατόπισης είναι στην άκρη του κύριου φορέα, δηλαδή της δοκού κύλισης του βαρουλκοφορείου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.4.29, αλλά και στον πλαγιοφορέα, σε τμήμα του βαρουλκοφορείου, και στη δοκό κύλισης όπου βρίσκεται ο πλαγιοφορέας.



**Εικόνα 5.4.29:** Μέγιστη τιμή μετατόπισης που προκύπτει στο μοντέλο γερανογέφυρας, με το φορείο του βαρούλκου στο άκρο του κύριου φορέα, με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

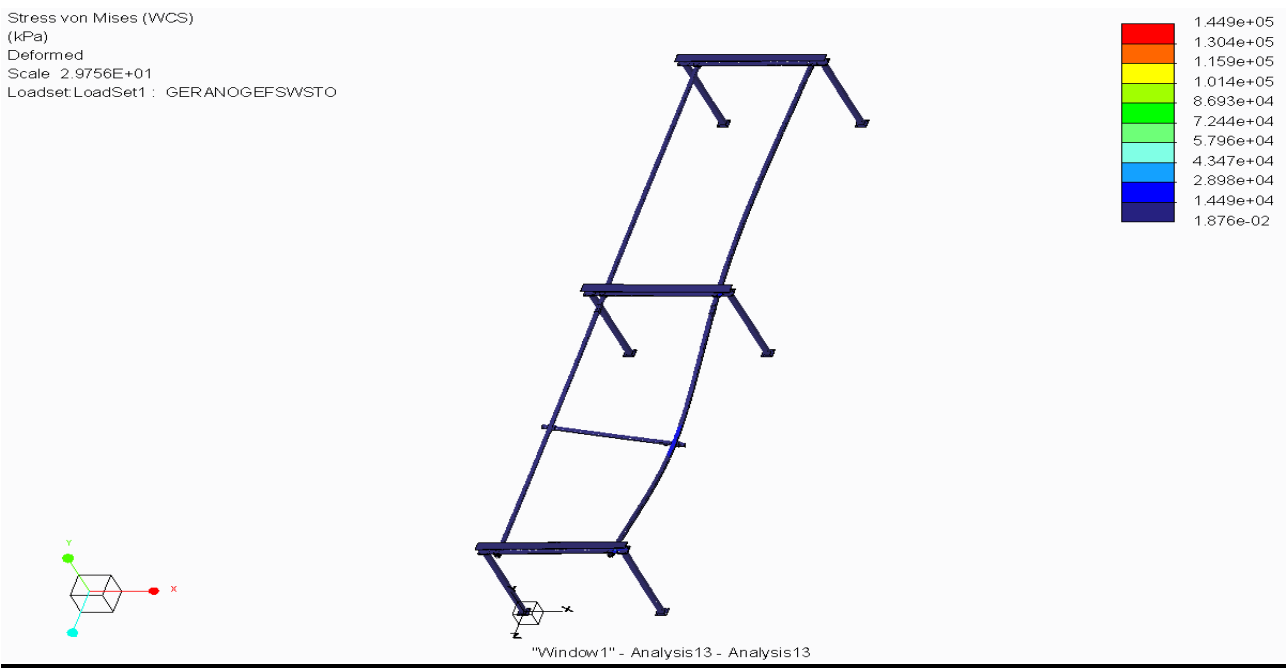


**Εικόνα 5.4.30:** Παραμορφώσεις στην κατασκευή κατά την εφαρμογή φορτίου 100kg, το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, τον χάλυβα

### Αποτελέσματα ανάλυσης με πλαίσια στήριξης και γερανοδοκούς από αλουμίνιο:

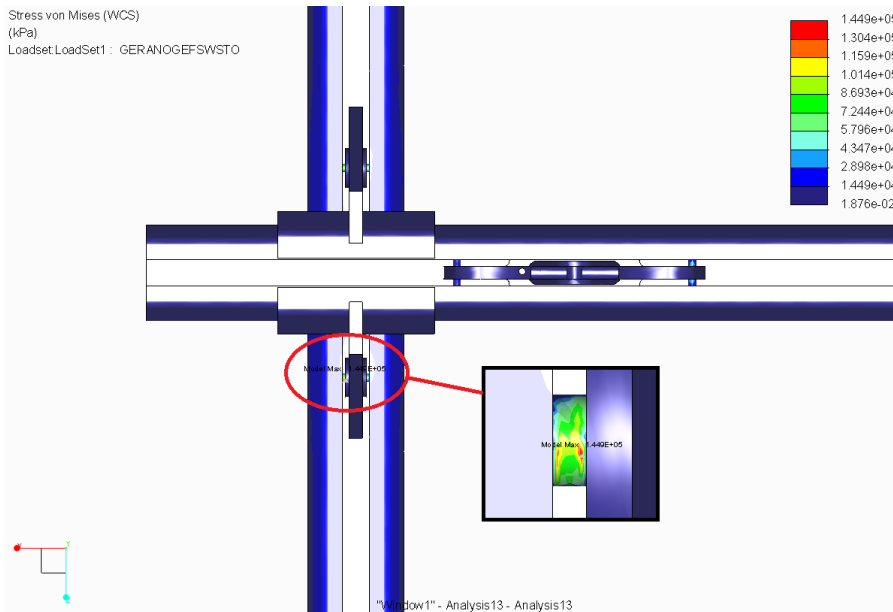
Στα αποτελέσματα, με υλικό για τις γερανοδοκούς, τις κολώνες και τους header το αλουμίνιο, που βρίσκονται παρακάτω, το φορείο του βαρούλκου βρίσκεται στην άκρη της γερανοτροχιάς αφού όπως προκύπτει από τα παραπάνω, σε αυτή τη θέση η κατασκευή είναι πιο ευάλωτη, ενώ ο κύριος φορέας παραμένει στην ίδια θέση. Τα υλικά για τα υπόλοιπα εξαρτήματα παραμένουν ως είχαν και στις προηγούμενες αναλύσεις.

Στην εικόνα 5.4.31 απεικονίζονται οι πιέσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή κατά την εφαρμογή φορτίου 100kg, ενώ στην εικόνα 5.4.33 οι μετατοπίσεις και στην 5.4.34 οι παραμορφώσεις.



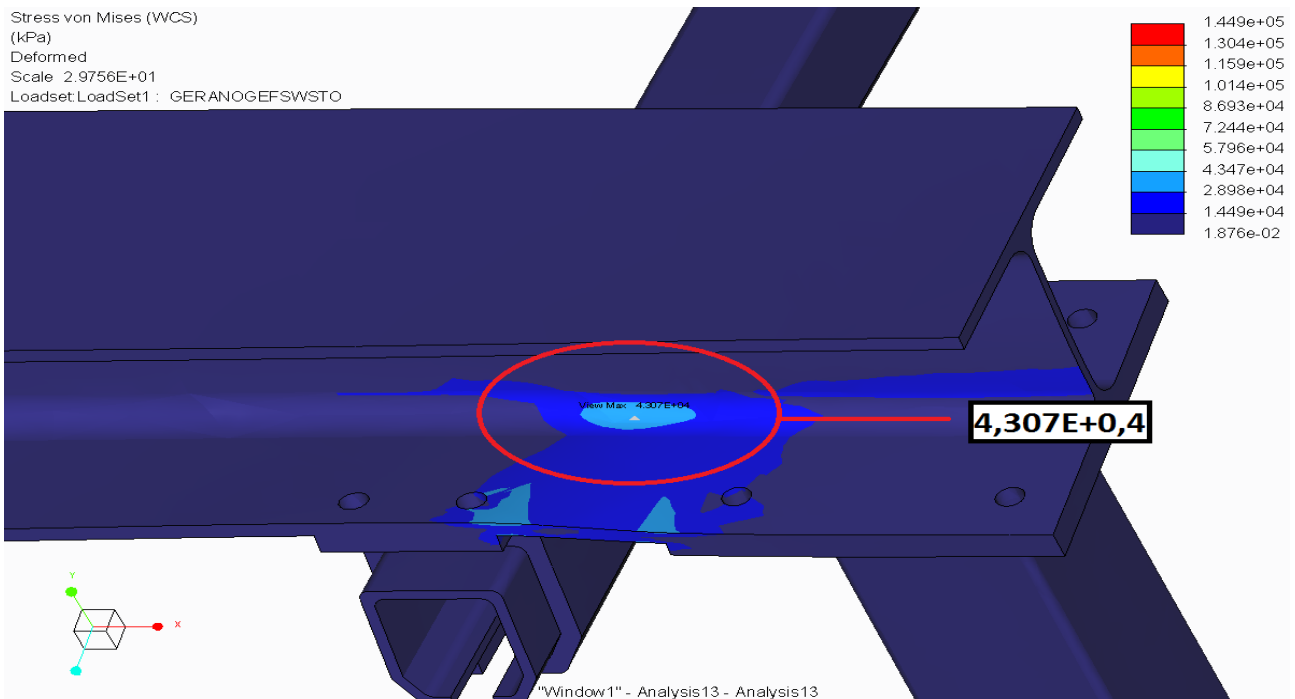
**Εικόνα 5.4.31:** Τάσεις που αναπτύσσονται με το φορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς, με φορτίο 100kg και υλικό των πλαισίων στήριξης και των γερανοδοκών, το αλουμίνιο

Το όριο διαρροής του αλουμινίου κυμαίνεται από 100 μέχρι 290 N/mm<sup>2</sup>, δηλαδή 100-290 MPa. Η διακύμανση αυτή εξαρτάται από τις κατεργασίες που μπορεί να έχει υποστεί το υλικό προκειμένου να βελτιστοποιηθούν τα διάφορα χαρακτηριστικά του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχει χρησιμοποιηθεί al 6061 T6, που είναι διαθέσιμο για τέτοιες διατομές και κατασκευές με όριο διαρροής 290MPa, και αυτό γιατί γενικά το αλουμίνιο έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα από το χάλυβα, αλλά έχει μικρότερο όριο θραύσης. Ο συγκεκριμένος τύπος αλουμινίου έχει όριο θραύσης 340 MPa.



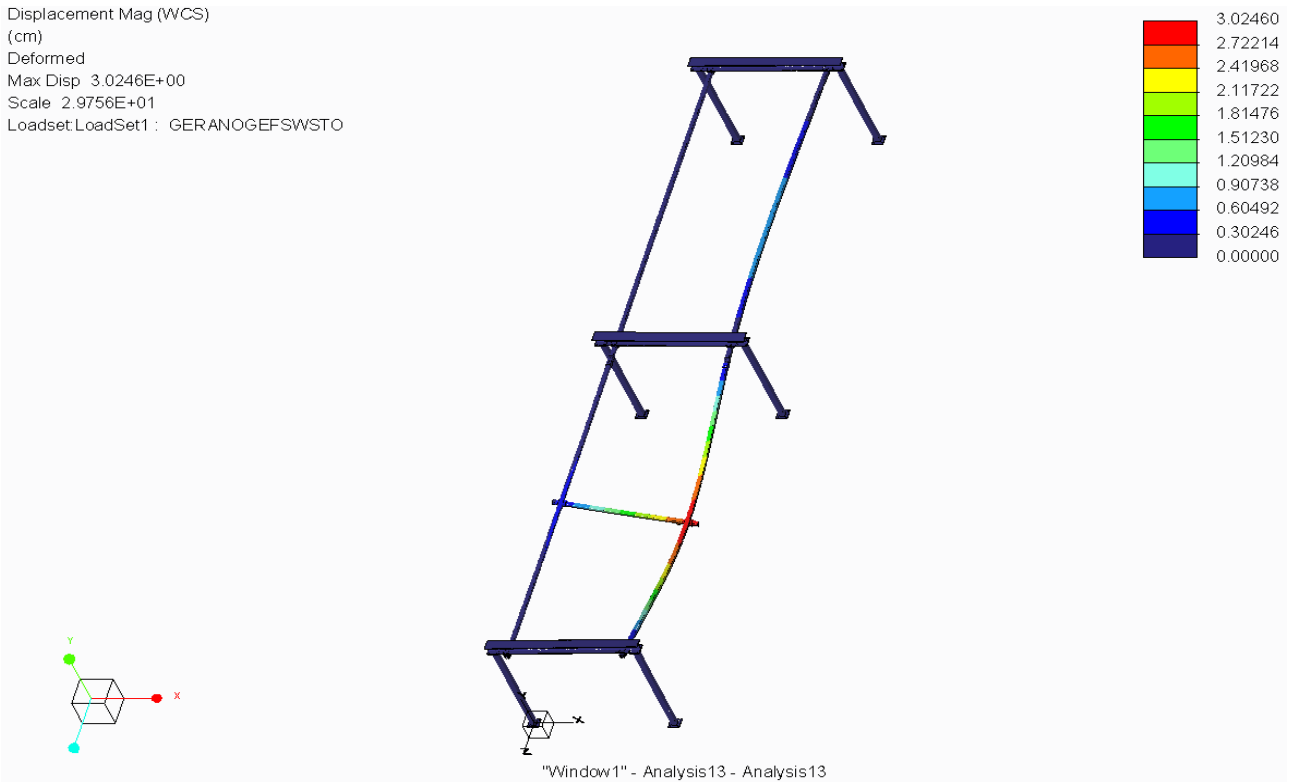
**Εικόνα 5.4.32:** Το σημείο που προκύπτει η μέγιστη τιμή τάσης με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς, με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, το αλουμίνιο

Οι μέγιστες πιέσεις εδώ είναι 144,9 MPa, και εμφανίζονται και πάλι στο ίδιο σημείο όπως με το χάλυβα(εικόνα 5.4.32). Οπότε η ανύψωση ενός φορτίου 100 kg μπορεί να ανυψωθεί από το συγκεκριμένο σύστημα γερανογέφυρας, και με υλικό των δοκών κύλισης και των πλαισίων στήριξης το αλουμίνιο.



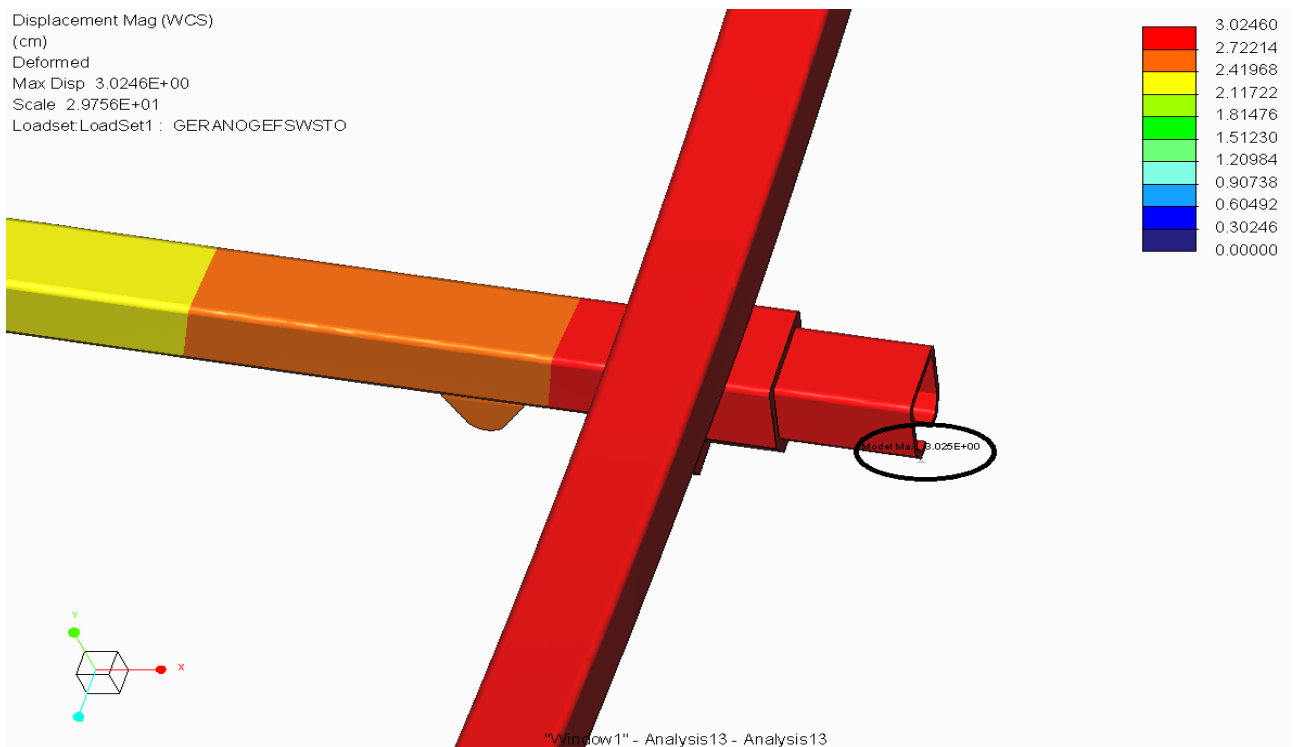
**Εικόνα 5.4.33:** Η μέγιστη τιμή τάσης και το σημείο που προκύπτει στη μεταλλική κατασκευή στήριξης με φορτίο 100kg, με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, το αλουμίνιο





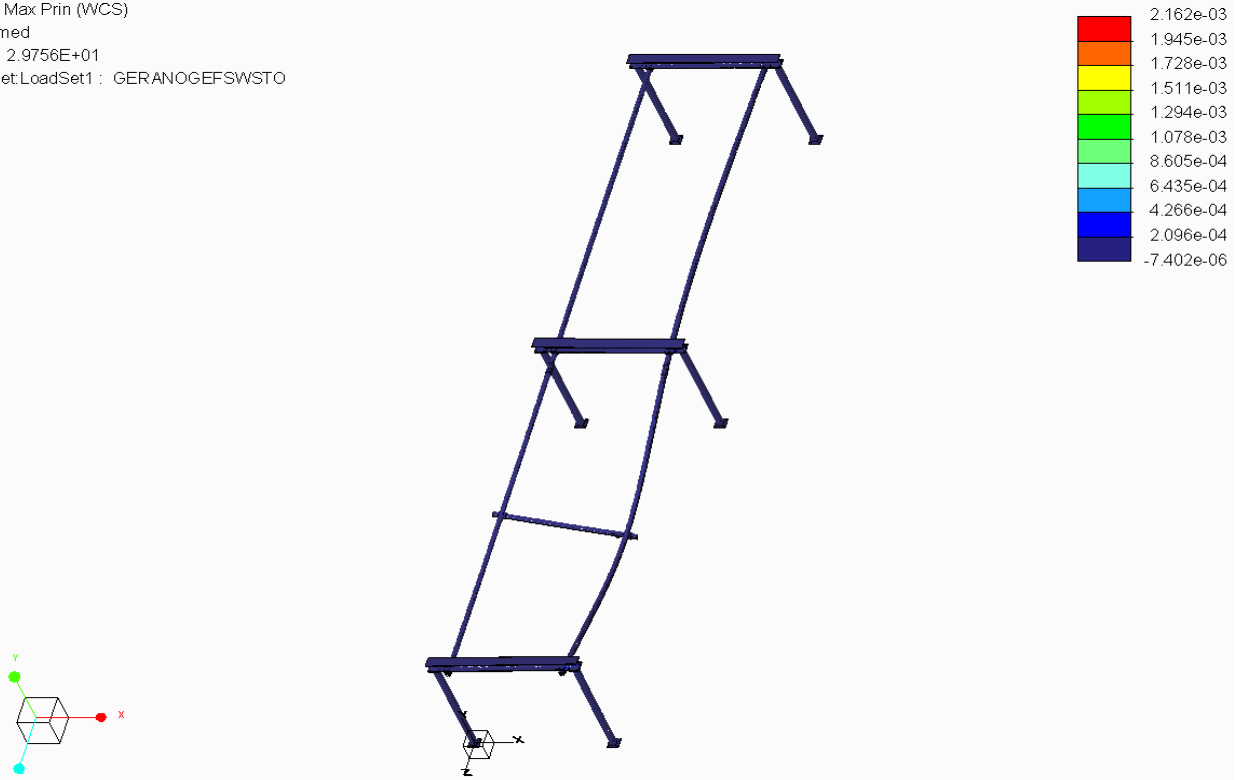
**Εικόνα 5.4.34:** Μετατοπίσεις που προκύπτουν στην κατασκευή με το φορτίο στην άκρη της γερανοτροχιάς, με φορτίο 100kg και υλικό των πλαισίων στήριξης και των γερανοδοκών, το αλουμίνιο

Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.35 η μέγιστη μετατόπιση αναπτύσσεται και σε αυτή την περίπτωση στην άκρη της γερανοτροχιάς. Επίσης εδώ προκύπτουν οι μεγαλύτερες μετατοπίσεις και από τις τρεις αναλύσεις, και αυτό επειδή το αλουμίνιο, όπως αναφέρεται και παραπάνω, παρουσιάζει μεγαλύτερη ελαστικότητα από ότι ο χάλυβας. Το ίδιο και με τις παραμορφώσεις που απεικονίζονται στην εικόνα 5.4.36.



**Εικόνα 5.4.35:** Μέγιστη τιμή μετατόπισης που προκύπτει στο μοντέλο γερανογέφυρας, με το φορτίο του βαρούλκου στο άκρο του κύριου φορέα, με φορτίο 100kg και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των δοκών κύλισης, το αλουμίνιο

Strain Max Prin (WCS)  
 Deformed  
 Scale 2.9756E+01  
 Loadset:LoadSet1 : GERANOGEFSWSTO



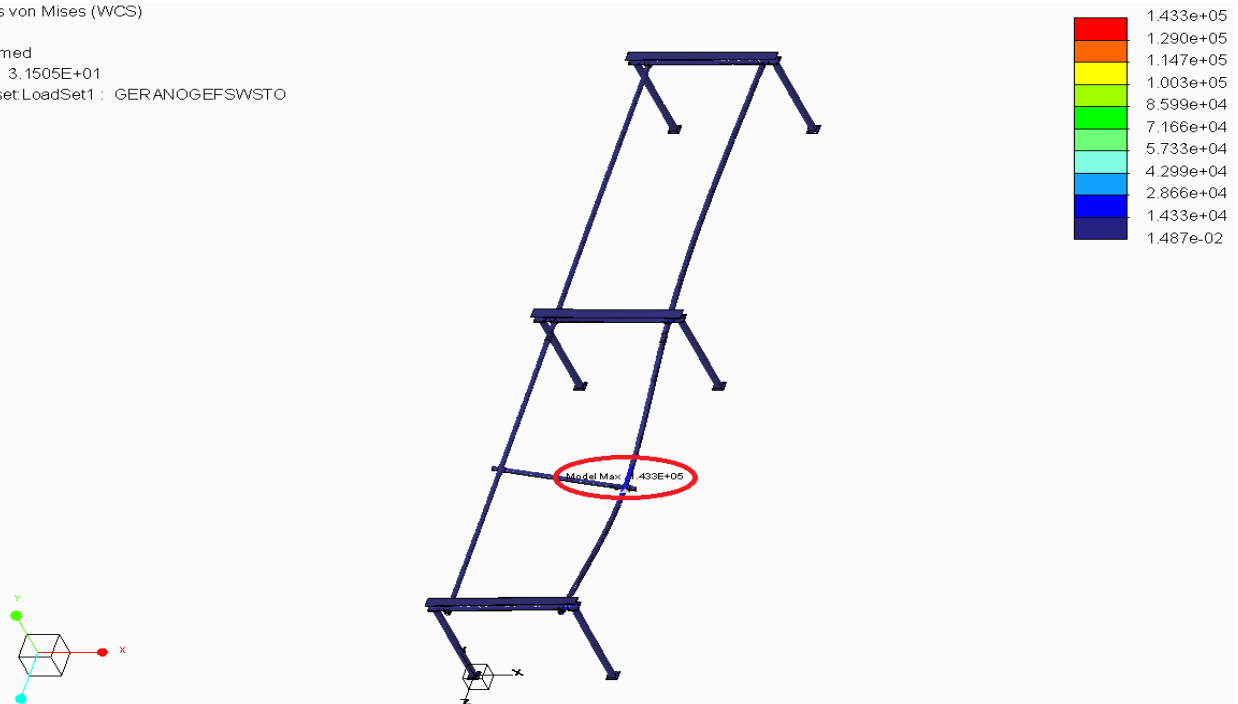
"Window1" - Analysis13 - Analysis13

**Εικόνα 5.4.36:** Παραμορφώσεις στην κατασκευή κατά την εφαρμογή φορτίου 100kg, με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανотροχιάς και με υλικό των πλαισίων στήριξης και των γερανοδοκών, το αλουμίνιο

**Αποτελέσματα με κολώνες χάλυβα, header και γερανοδοκούς αλουμινίου**

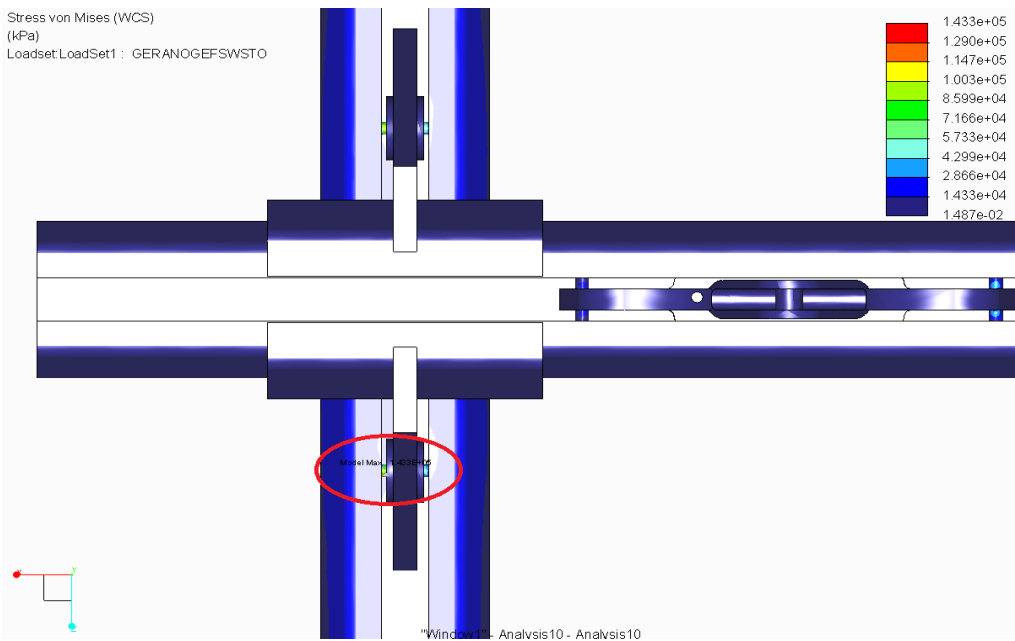
Σε αυτή την περίπτωση οι κολώνες στήριξης είναι από χάλυβα, οι header από αλουμίνιο, όπως και οι γερανοδοκοί. Το υλικό που έχει οριστεί για τα υπόλοιπα εξαρτήματα παραμένει και πάλι το ίδιο με τις προηγούμενες αναλύσεις.

Stress von Mises (WCS)  
 (kPa)  
 Deformed  
 Scale 3.1505E+01  
 Loadset:LoadSet1 : GERANOGEFSWSTO



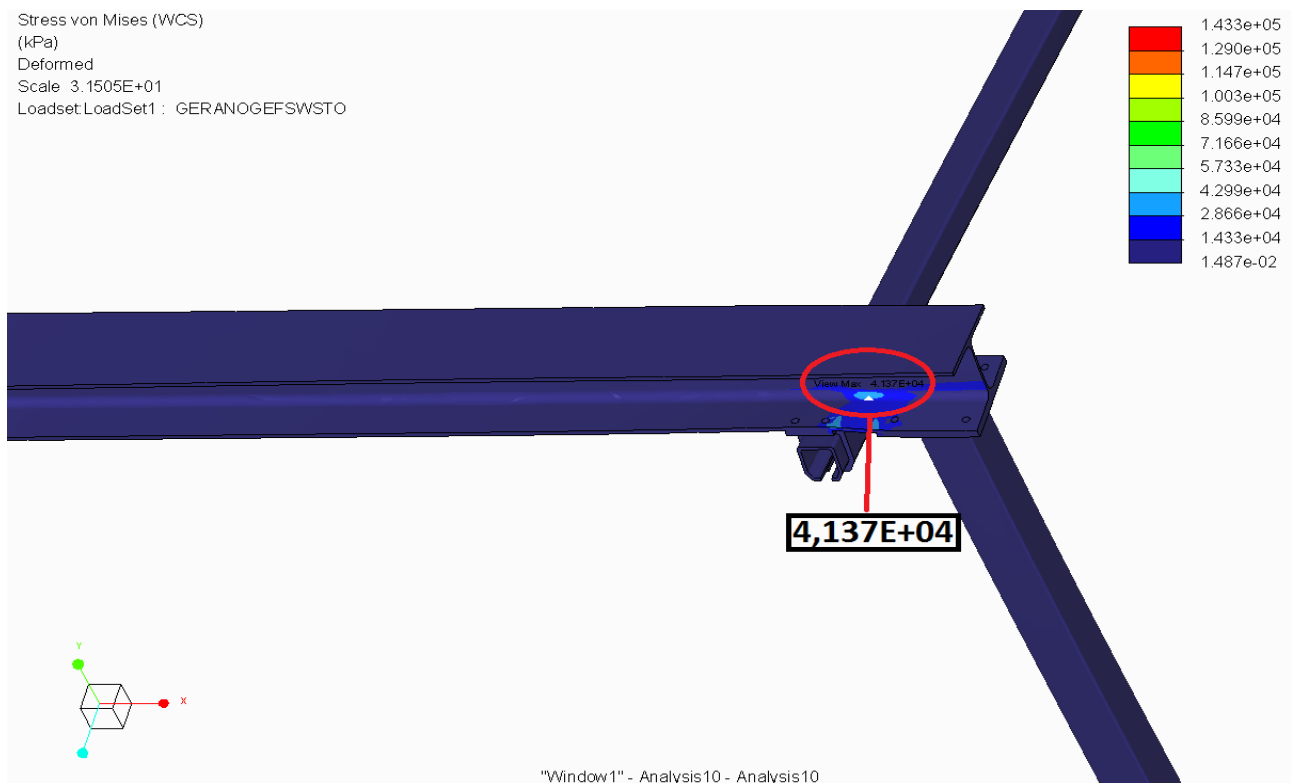
"Window1" - Analysis10 - Analysis10

**Εικόνα 5.4.37:** Τάσεις που αναπτύσσονται με το φορείο στην άκρη της γερανотροχιάς στην κατασκευή, με φορτίο 100kg και με κολώνες χάλυβα, header και γερανοδοκούς αλουμινίου

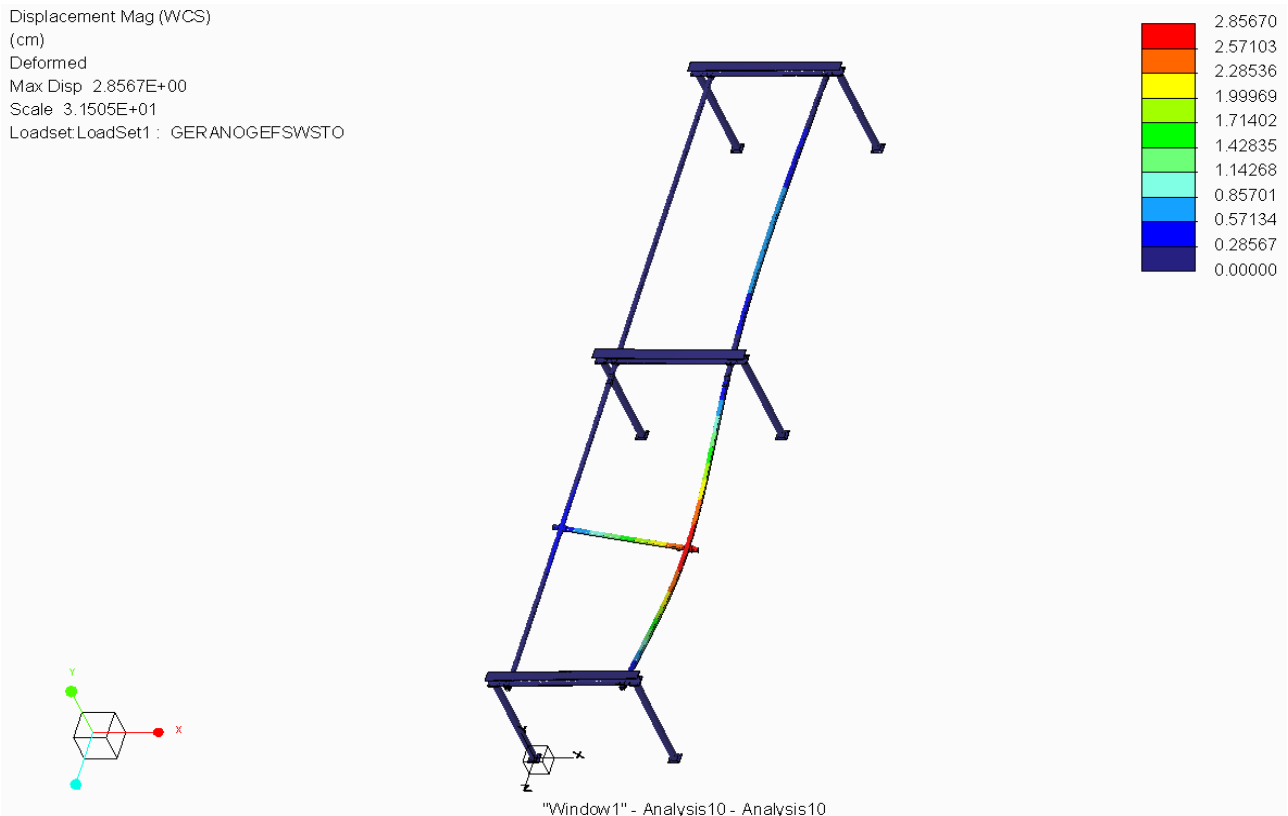


**Εικόνα 5.4.38:** Το σημείο που προκύπτει η μέγιστη τάση, με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς, με φορτίο 100kg και με κολώνες χάλυβα, header και γερανοδοκούς αλουμινίου

Εδώ η μέγιστη τιμή της τάσης είναι 143,3MPa και εμφανίζεται και πάλι στο ίδιο σημείο. Παρατηρείται ότι και στις τρεις περιπτώσεις οι τάσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή είναι σχεδόν ίδιες. Αυτό δικαιολογείται, αφού η τάση δεν επηρεάζεται από το υλικό, αφού ορίζεται ως η δύναμη που ασκείται ανά μονάδα επιφάνειας, και η μικρή μεταβολή που υπάρχει στα αποτελέσματα, έχει να κάνει με μικρές σχεδιαστικές λεπτομέρειες που προκαλούν αυτή τη διακύμανση. Το μέγεθος που αλλάζει από τη μεταβολή των υλικών είναι η μετατόπιση, με τις μέγιστες να προκύπτουν όταν στην κατασκευή τα περισσότερα εξαρτήματα είναι με υλικό το αλουμίνιο (περίπτωση δεύτερη), αφού όπως προαναφέρθηκε έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα από τον χάλυβα.

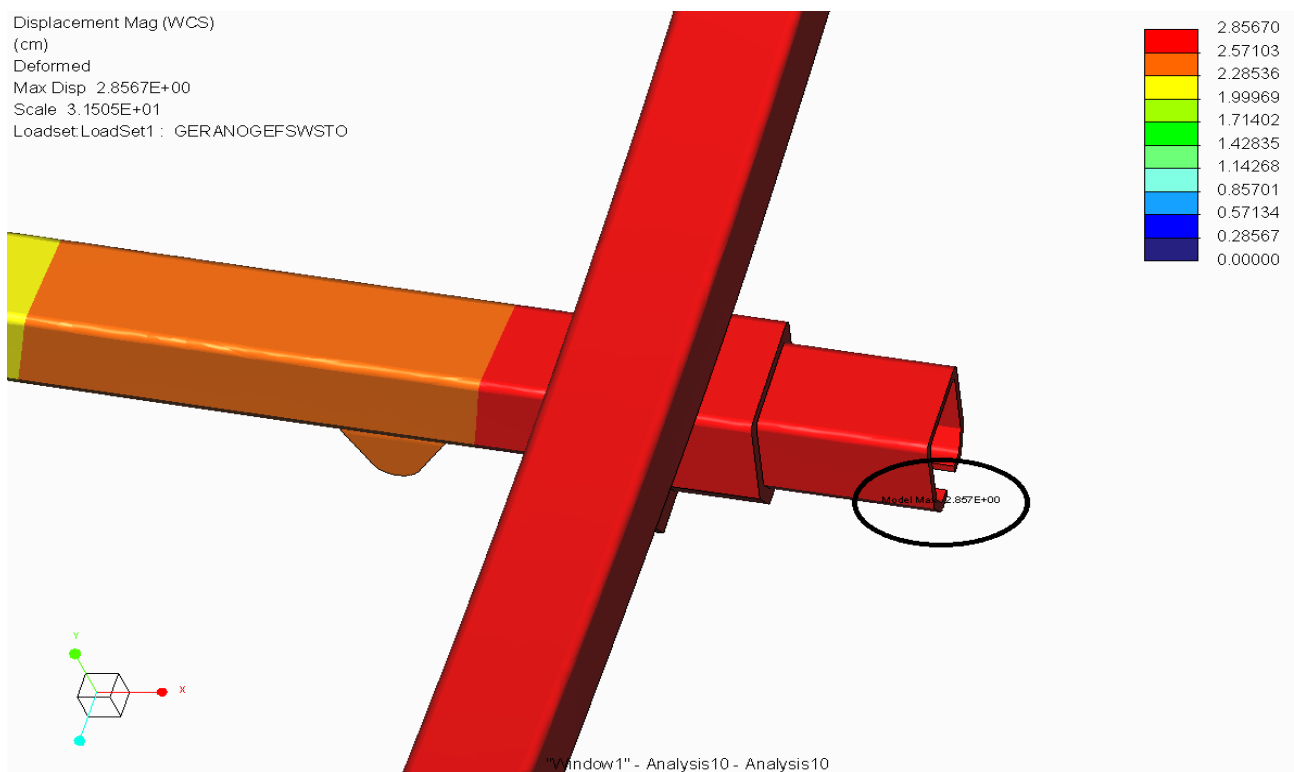


**Εικόνα 5.4.39:** Η μέγιστη τιμή τάσης και το σημείο που προκύπτει στη μεταλλική κατασκευή στήριξης με φορτίο 100kg, με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς και με κολώνες χάλυβα, header και γερανοδοκούς αλουμινίου

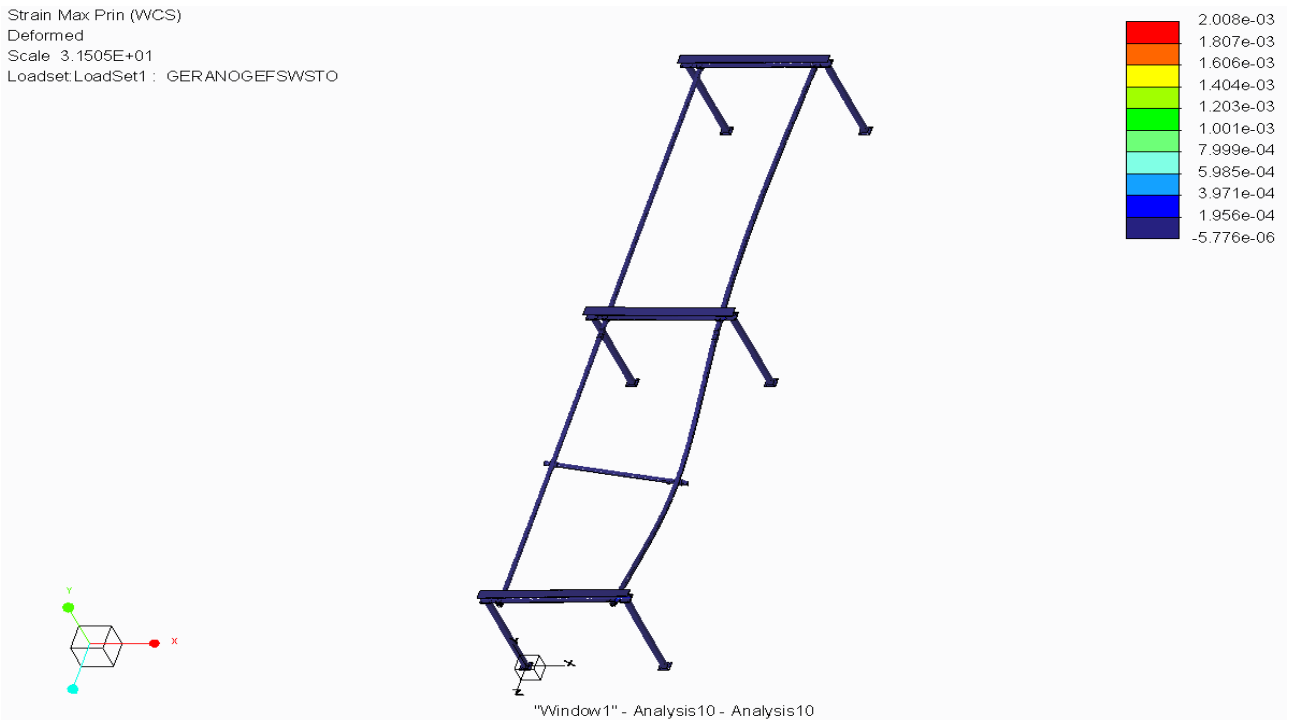


**Εικόνα 5.4.40:** Μετατοπίσεις που προκύπτουν στην κατασκευή με το φορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς με φορτίο 100kg και με κολώνες χάλυβα, header και γερανοδοκούς αλουμινίου

Στην εικόνα 5.4.40 είναι οι μετατοπίσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή κατά την εφαρμογή του φορτίου 500kg, ενώ στην εικόνα 5.4.41 το σημείο όπου προκύπτει η μέγιστη τιμή. Και σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη τιμή μετατόπισης εμφανίζεται στην άκρη του κύριου φορέα.



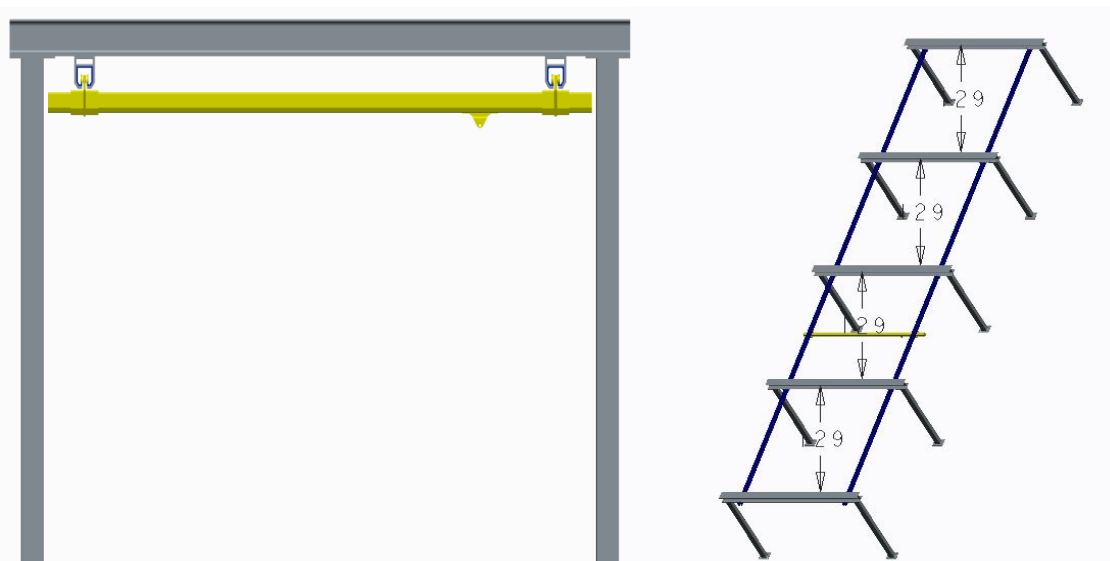
**Εικόνα 5.4.41:** Σημείο μέγιστης μετατόπισης που προκύπτει στο μοντέλο γερανογέφυρας, με το φορείο του βαρούλκου στο άκρο του κύριου φορέα, με φορτίο 100kg και με κολώνες χάλυβα, header και γερανοδοκούς αλουμινίου



**Εικόνα 5.4.42:** Παραμορφώσεις της κατασκευής, με το βαρουλκοφορείο στο άκρο του κύριου φορέα, με φορτίο 100kg και με κολώνες χάλυβα, header και γερανοδοκούς αλουμινίου

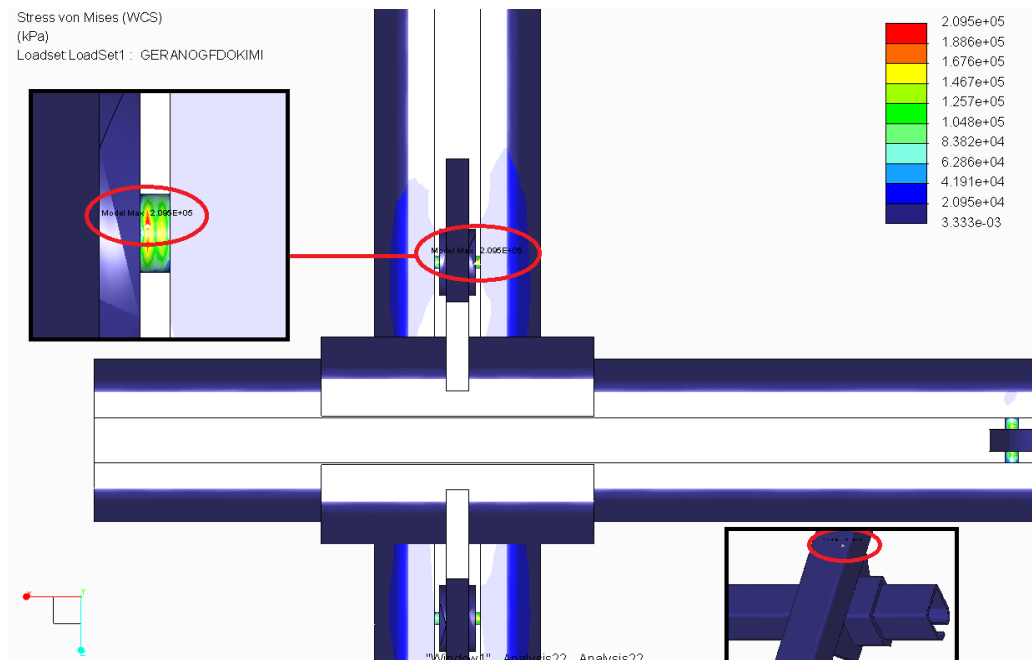
Από τα παραπάνω αποτελέσματα, τόσο με το χάλυβα όσο και με το αλουμίνιο, παρατηρείται ότι η κατασκευή μπορεί να ανταπεξέλθει στο βάρος των φορτίων για το οποίο σχεδιάστηκε. Οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα δύο υλικά, και η επιλογή, ποιο από τα δύο θα είναι το υλικό κάθε εξαρτήματος θα γίνει όπως προαναφέρθηκε με οικονομικά κριτήρια και με γνώμονα να μην προκύψει μια βαριά κατασκευή και γίνεται στα επόμενα κεφάλαια.

Επίσης παρατηρείται ότι γενικά τα σημεία που εμφανίζονται οι μέγιστες τάσεις βρίσκονται στον πλαγιοφορέα, ενώ ο σκελετός στήριξης φαίνεται να ανταπεξέρχεται άνετα στην ανύψωση φορτίων βάρους 100kg. Έτσι, επειδή τα 100 kg αποτελούν γενικά ένα ελαφρύ φορτίο, εάν κριθεί κάποια στιγμή ότι το φορτίο ανύψωσης δεν καλύπτει τις ανάγκες του εργαστηρίου, ένας τρόπος που θα μπορούσε να αυξηθεί η ανυψωτική ικανότητα του συστήματος είναι να αντικατασταθούν οι πλαγιοφορείς και το βαρουλκοφορείο, με άλλου ανίστοιχου τύπου, που να είναι σχεδιασμένα για μεγαλύτερου βάρους φορτία ανύψωσης.



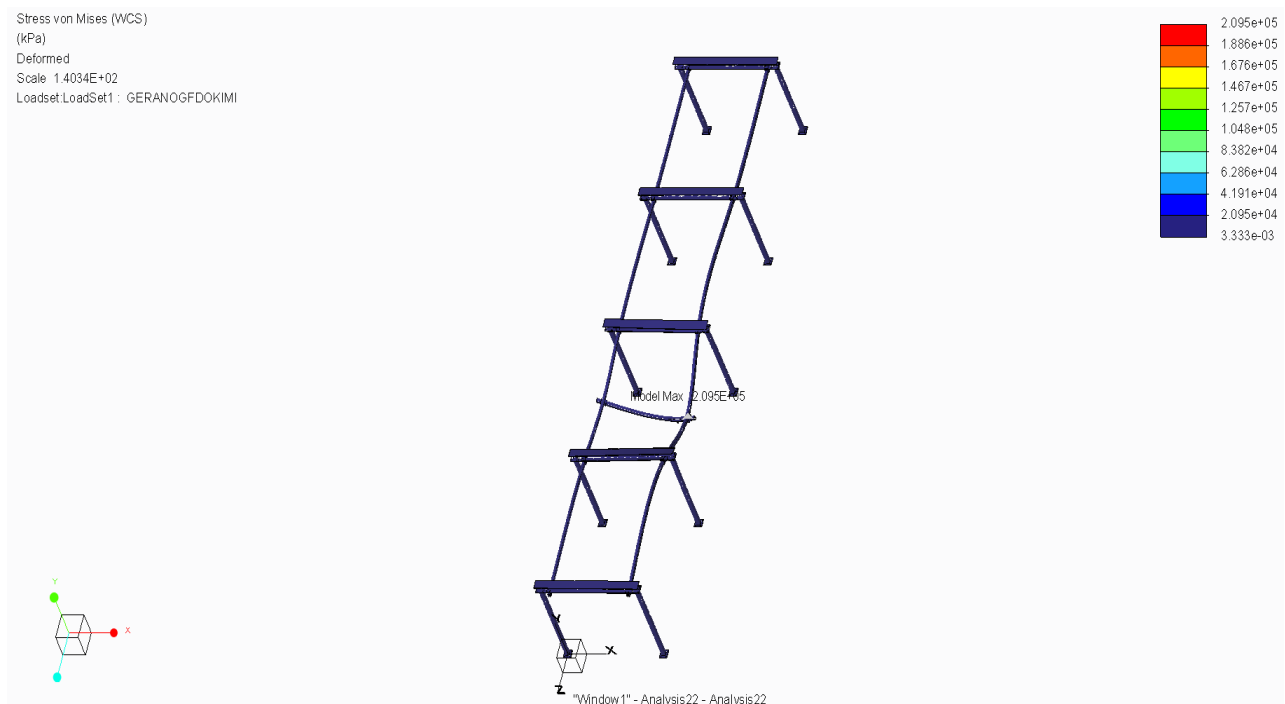
**Εικόνα 5.4.43:** Γερανογέφυρα με ανυψωτική ικανότητα 500kg και με πέντε πλαίσια στήριξης (ίντσες)

Κατά την ανάλυση αυτή την φορά χρησιμοποιήθηκαν και τα δύο υλικά που είναι διαθέσιμα. Έτσι για τις κολώνες στήριξης και τις στηρίξεις των δοκών κύλισης, το υλικό είναι ο χάλυβας, ενώ για τις ίδιες τις δοκούς κύλισης, τους header και τη γερανοτροχιά, το αλουμίνιο. Η επιλογή, που αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο, έγινε έτσι ώστε να μην προκύψει μια βαριά και δαπανηρή κατασκευή, για την ανύψωση του συγκεκριμένου φορτίου.



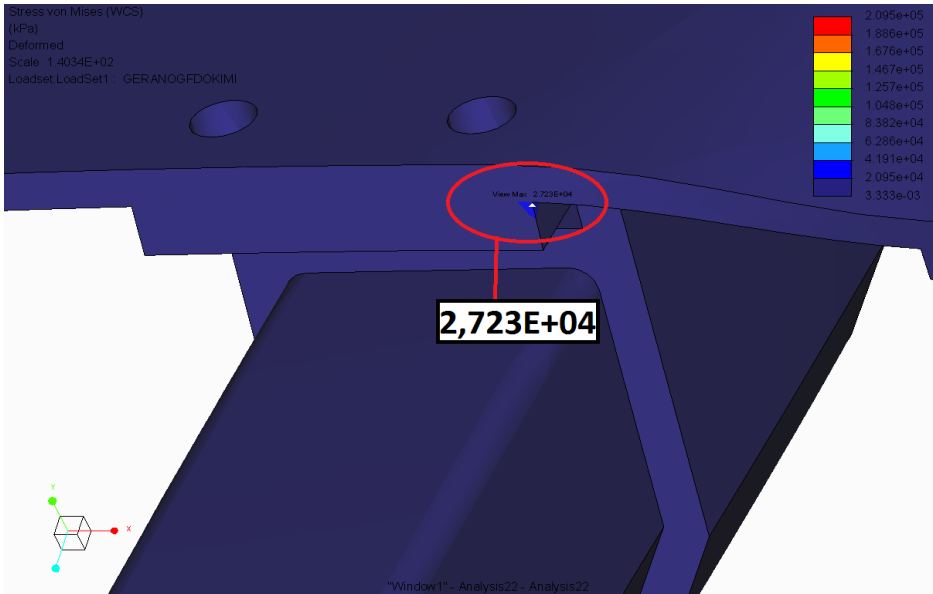
**Εικόνα 5.4.44:** Το σημείο που προκύπτει η μέγιστη τάση με το βαρούλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς, με φορτίο 500kg

Κατά την ανάλυση του συστήματος της γερανογέφυρας με ανυψωτική ικανότητα 500 kg, το φορείο του βαρούλκου βρίσκεται και πάλι στην άκρη του κύριου φορέα, αφού όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σε εκείνη την θέση καταπονείται περισσότερο το σύστημα. Ο κύριος φορέας βρίσκεται σε απόσταση ίση από το πλαίσιο στήριξης όπου ενώνονται οι δοκοί κύλισης, και το προηγούμενο από αυτό πλαίσιο στήριξης.



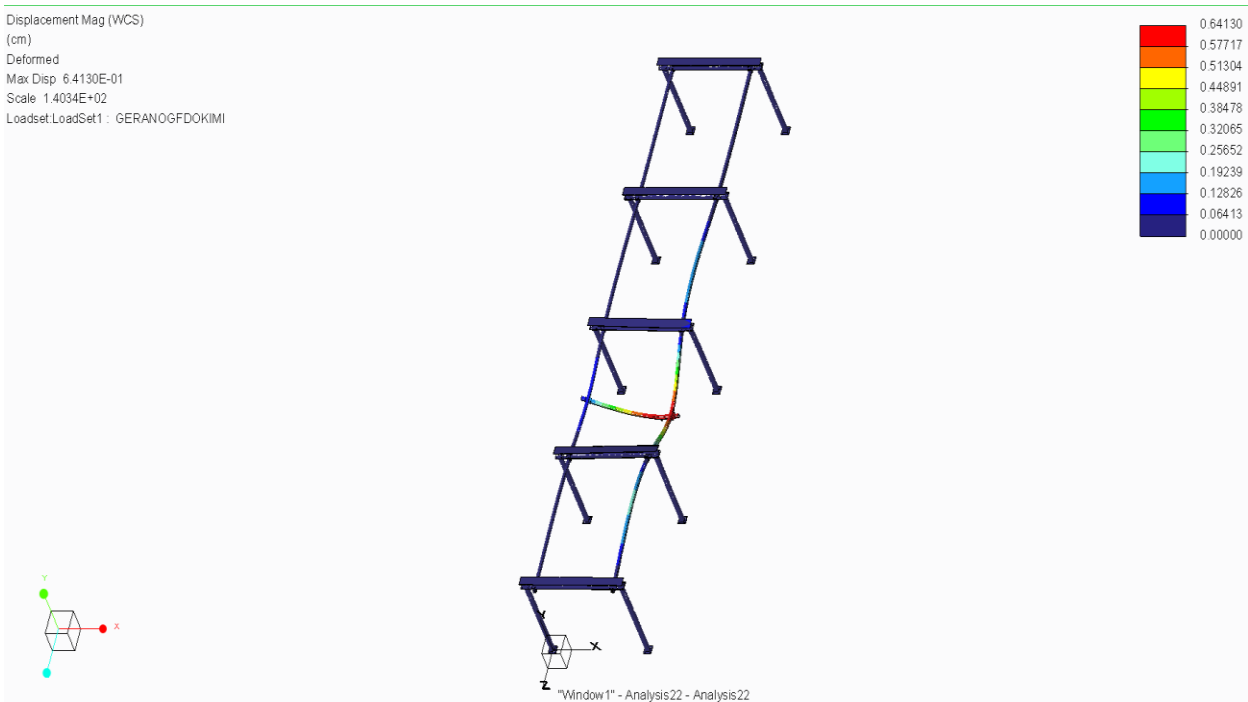
**Εικόνα 5.4.45** Τάσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή κατά την εφαρμογή φορτίου 500kg και το φορείο του βαρούλκου στην άκρη

Βάση των αποτελεσμάτων οι μέγιστες πιέσεις προκύπτουν και πάλι στον άξονα των τροχών του πλαγιοφορέα, όπου βρίσκεται το φορείο του βαρούλκου, όπως φαίνεται και στις εικόνες 5.4.44 και 5.4.45 με τον κόκκινο κύκλο. Η τιμή τους είναι 209,5 MPa που δεν ξεπερνάει τα όρια διαρροής ούτε του χάλυβα αλλά ούτε του αλουμινίου που έχει επιλεγθεί. Όπως διευκρινιστικέ και στα προηγούμενα, το όριο αυτό προκύπτει ανάλογα με τις κατεργασίες επεξεργασίας που έχει υποστεί ένα υλικό, ώστε να διαμορφωθούν τα διάφορα χαρακτηριστικά του, ανάλογα με το που αυτό θα χρησιμοποιηθεί.



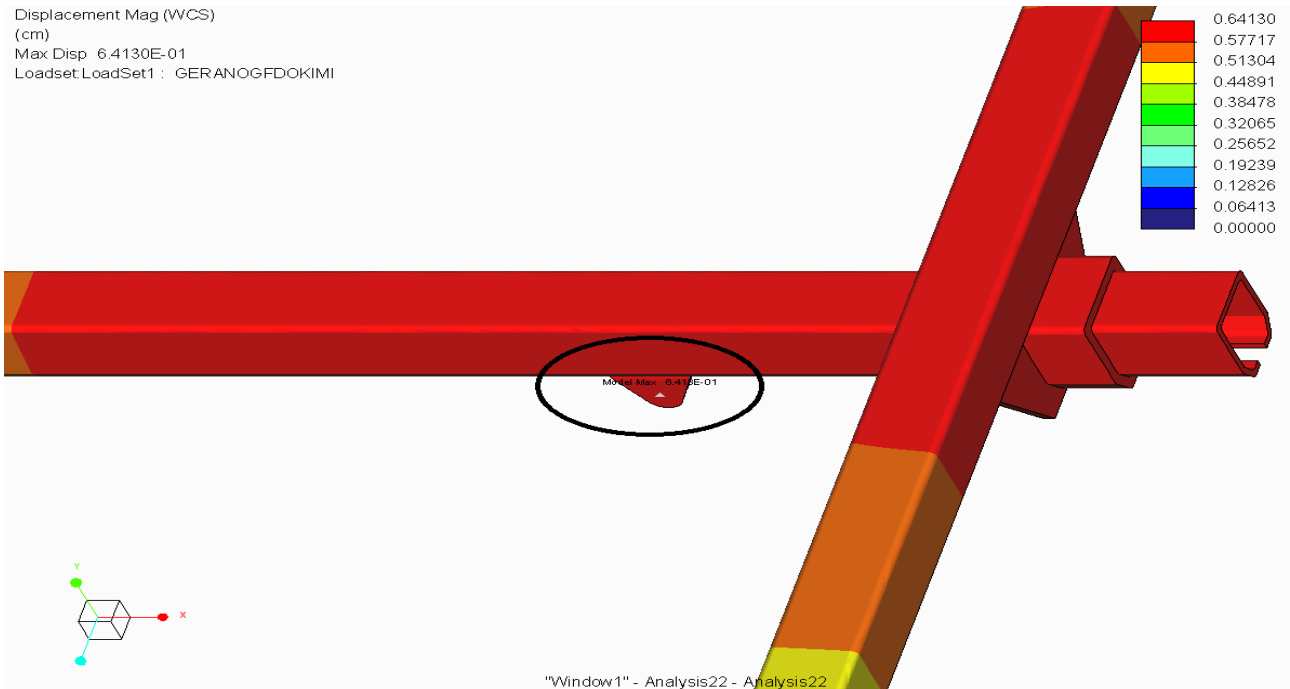
**Εικόνα 5.4.46:** Η μέγιστη τιμή τάσης και το σημείο που προκύπτει στη μεταλλική κατασκευή με πέντε πλαίσια στήριξης και με φορτίο 500kg και με το βαρουλκοφορείο στην άκρη της γερανοτροχιάς

Οι μέγιστες μετατοπίσεις σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται σε μεγαλύτερο μέρος της γερανοτροχιάς από ότι στις προηγούμενες περιπτώσεις, με φορτίο ανύψωσης τα 100kg. Η μέγιστη τιμή προκύπτει τώρα στο φορείο του βαρούλκου όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.4.45, και αυτό οφείλεται στο ότι τόσο το βαρουλκοφορείο όσο και οι πλαγιοφορείς σχεδιάστηκαν για μικρότερου βάρους φορτία.

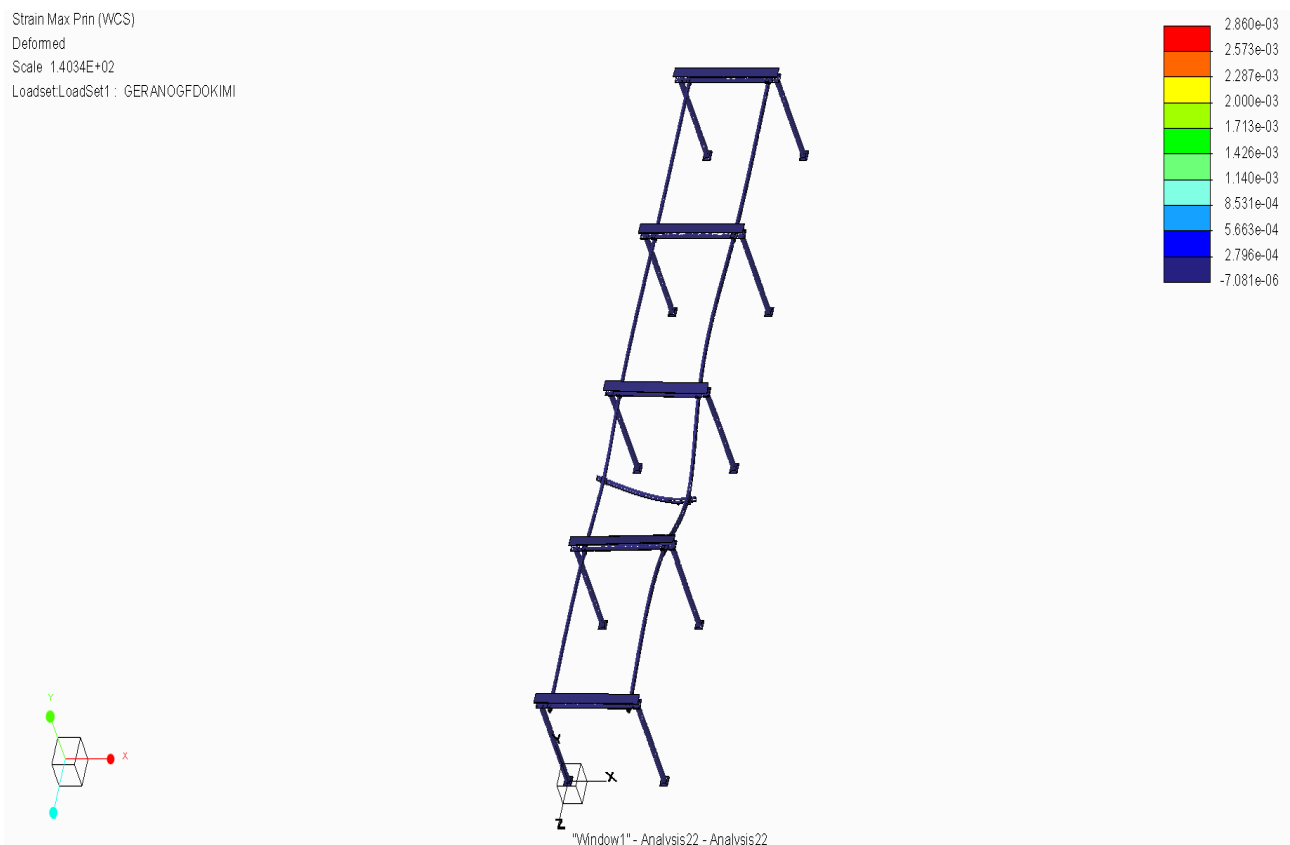


**Εικόνα 5.4.47:** Μετατοπίσεις που προκύπτουν στη γερανογέφυρα από την εφαρμογή φορτίου 500kg και το φορείο του βαρούλκου στην άκρη του κύριου φορέα

Αν λοιπόν εκτός από την επιπλέον στήριξη, αντικατασταθούν και αυτοί οι δύο μηχανισμοί, η κατασκευή θα μπορέσει να ανταπεξέλθει και σε ακόμα μεγαλύτερα φορτία ανύψωσης, και αυτό αποδεικνύεται και από τη μέγιστη τάση που προκύπτει στη μεταλλική κατασκευή με τα πέντε πλαίσια στήριξης (εικόνα 5.4.43) που είναι πολύ μικρή σε σχέση με το όριο διαρροής και των δύο υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.



**Εικόνα 5.4.48:** Μέγιστη τιμή μετατόπισης που προκύπτει στο μοντέλο γερανογέφυρας, με το φορείο του βαρούλκου στο άκρο του κύριου φορέα και με φορτίο 500kg



**Εικόνα 5.4.49:** Παραμορφώσεις της κατασκευής από την εφαρμογή φορτίου 500kg και το φορείο του βαρούλκου στην άκρη του κύριου φορέα



## Συντελεστής ασφαλείας:

Ο συντελεστής ασφαλείας, ο οποίος πρέπει να είναι πάντοτε μεγαλύτερος της μονάδας, ώστε να υποβαθμίσει το όριο διαρροής κατά συγκεκριμένο ποσοστό, ανάλογα με την κάθε περίπτωση και κατά αυτό τον τρόπο να ελαττώνεται η πιθανότητα αστοχίας υλικού σε περίπτωση καταπόνησης που θα ξεπεράσει τη μέγιστη επιτρεπτή λόγω βλάβης, λάθους ή ατυχήματος, είναι:

- Για τα 100kg με χάλυβα: όριο διαρροής (240MPa) / μέγιστη πίεση (143,3MPa) = 1,67
- Για τα 100kg με αλουμίνιο: 290MPa / 143,3MPa = 2
- Για τα 500kg με χάλυβα: 240 MPa / 209,5MPa = 1,15
- Για τα 500kg με αλουμίνιο: 290MPa / 209,5MPa= 1,3

## **5.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ**

### Ανυψωτικός μηχανισμός (βαρούλκο)

Το βαρούλκο, όπως αναφέρεται και παραπάνω, είναι ο ανυψωτικός μηχανισμός και μεταφοράς του συστήματος. Μπορεί να είναι είτε χειροκίνητος είτε ηλεκτροκίνητος, ενώ χρησιμοποιείται ως ανυψωτικό μέσο συρματόσκοινο αλλά και αλυσίδα. Για την επιλογή του βαρούλκου πρέπει να εξεταστούν το βάρος των φορτίων και το ύψος ανύψωσης τους. Τέλος, εξετάζεται ο τρόπος στήριξης του στο βαρουλκοφορείο, αν δηλαδή είναι επικαθήμενο ή αναρτώμενο.

Στο συγκεκριμένο σύστημα γερανογέφυρας χρειάζεται ένα βαρούλκο το οποίο θα “κρεμιέται” από το βαρουλκοφορείο. με ανυψωτική ικανότητα 100 κιλά, ενώ το αν θα είναι χειροκίνητο ή ηλεκτροκίνητο, θα καθοριστεί με οικονομικό κριτήριο κυρίως, καθώς το βασικό πλεονέκτημα των χειροκίνητων βαρούλκων είναι ότι έχουν μικρότερη αξία αγοράς αλλά και μικρότερο κόστος συντήρησης σε περίπτωση ζημιάς.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη όλα τα παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας από τους παρακάτω μηχανισμούς ανύψωσης της εικόνας 5.5.1. Πρόκειται για δύο μηχανισμούς, από την ίδια εταιρία, με βασική διαφορά τους ότι ο ένας είναι χειροκίνητος ενώ ο άλλος ηλεκτροκίνητος.



**Εικόνα 5.5.1:** Χειροκίνητος και ηλεκτροκίνητος ανυψωτικός μηχανισμός με γάντζο κρέμασης του (βαρούλκο)

Ο συγκεκριμένος χειροκίνητος μηχανισμός έχει ανυψωτική ικανότητα 1 τόνο και ύψος ανύψωσης 2,5 μέτρα περίπου. Η δύναμη που πρέπει να εφαρμόσει κάποιος με το χέρι του, για να ανυψώσει ένα φορτίο 3 τόνων είναι 69lbs δηλαδή 31kgπερίπου ή 0,31kN. Ο κορμός του μηχανισμού είναι από αλουμίνιο και το βάρος του είναι 18kg περίπου. Η τιμή του συγκεκριμένου βαρούλκου κυμαίνεται στα 100€.

Ο ηλεκτροκίνητος μηχανισμός ανύψωσης έχει επίσης ανυψωτική ικανότητα 1 τόνος ενώ ύψος ανύψωσης 3 μέτρα. Η ιπποδύναμη του μοτέρ είναι 1HP και λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα. Διαθέτει επίσης ειδικό σύστημα λίπανσης των γραναζιών, δίνοντας έτσι μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο μηχανισμό. Η ταχύτητα ανύψωσης είναι 3 μέτρα το λεπτό και το βάρος του 40kg ενώ η αξία αγοράς του είναι 500€. Και οι δύο μηχανισμοί χρησιμοποιούν ως μέσο ανύψωσης αλυσίδα.

Και τα δύο αυτά συστήματα ανύψωσης μπορούν να χαρακτηριστούν καλής ποιότητας αναλογικά με την τιμή τους, λαμβάνοντας υπόψη όμως καθαρά οικονομικά κριτήρια, οι τιμές των χειροκίνητων βαρούλκων ξεκινάνε από τα 100 ευρώ περίπου, για φορτία ανύψωσης 1 τόνου, ενώ των ηλεκτροκίνητων από 1200 ευρώ περίπου.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω λοιπόν, τα δύο βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να αναλογιστεί κανείς πριν επιλέξει ανάμεσα στους δύο αυτούς μηχανισμούς είναι αν προτιμάει μια οικονομική επιλογή όπως είναι ένα χειροκίνητο βαρούλκο ή ένα μηχανισμό με μεγαλύτερη ευκολία στον χειρισμό, με μεγαλύτερη ταχύτητα και καλύτερη ασφάλεια.

### **Φορείο του ανυψωτικού μηχανισμού (βαρουλκοφορείο)**

Το βαρουλκοφορείο χρειάζεται στο σύστημα για να προσφέρει στο μηχανισμό ανύψωσης τη δυνατότητα της κίνησης κατά πλάτος του χώρου. Στηρίζεται και κινείται στον κύριο φορέα της κατασκευής, σχηματίζοντας έτσι το βασικό κομμάτι ενός συστήματος γερανογέφυρας. Το βαρουλκοφορείο που έχει σχεδιαστεί, όπως αναφέρεται και παραπάνω, είναι σχεδιασμένο προσεγγιστικά καθώς για την επιλογή του πρέπει και πάλι να ανατρέξουμε στους διαθέσιμους καταλόγους της αγοράς.

Στη συγκεκριμένη γερανογέφυρα το βαρουλκοφορείο θα είναι αναρτώμενο, δηλαδή θα κινείται στο κάτω μέρος της γερανοτροχιάς (κύριος φορέας). Όπως το βαρούλκο, έτσι και το φορείο του μπορεί να είναι είτε ηλεκτροκίνητο είτε χειροκίνητο. Ο πιο συνηθισμένος τύπος βαρουλκοφορείου είναι αυτός που φαίνεται στην εικόνα 5.5.2, όπου είναι τρία βαρουλκοφορεία, ένα ηλεκτροκίνητο και δύο χειροκίνητα. Ο συγκεκριμένος τύπος εφαρμόζεται σε τροχιάς κύλισης που είναι σε σχήμα I. Η διαφορά των δύο χειροκίνητων είναι ότι στο ένα η κίνηση δίνεται με αλυσίδα, ενώ στο άλλο με την ώθηση. Η ανυψωτική ικανότητα τους είναι 1 τόνος, ενώ η αξία τους, 450€ για το ηλεκτροκίνητο, 100€ για το χειροκίνητο με την αλυσίδα και 70€ για το χειροκίνητο με την ώθηση.



**Εικόνα 5.5.2:** Ηλεκτροκίνητο και χειροκίνητα, με αλυσίδα και με ώθηση, φορεία βαρούλκου

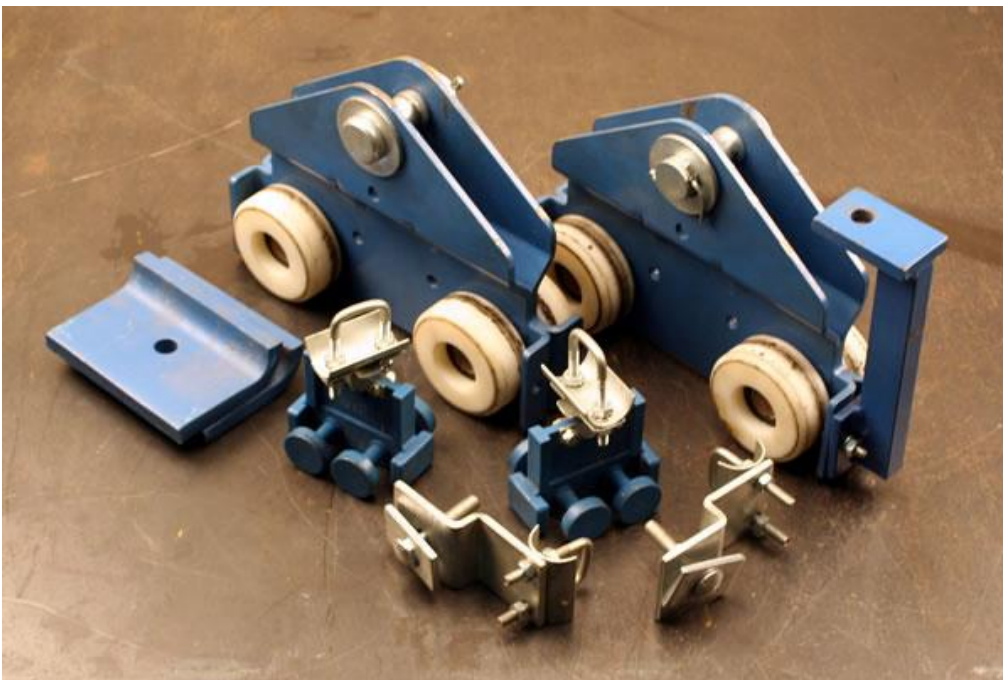
Στον τύπο γερανογέφυρας όμως που έχει σχεδιαστεί, εκτός του ότι συνήθως δεν χρησιμοποιείται το χειροκίνητο βαρουλκοφορείο με την αλυσίδα, αν χρειάζεται να είναι ηλεκτροκίνητο πρέπει να προστεθεί ένα εξάρτημα που ονομάζεται drivetractor.

Αυτός ο μηχανισμός, που χρησιμοποιείται και στην κίνηση του κύριου φορέα, συνδέεται είτε με το βαρουλκοφορείο είτε με το endtruck, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα της ηλεκτρικής κίνησης σε ολόκληρη την κατασκευή, και έτσι με αυτό τον τρόπο μπορεί να μετατραπεί εύκολα μια χειροκίνητη κατασκευή γερανογέφυρας σε ηλεκτροκίνητη. Η τιμή του συγκεκριμένου μηχανισμού κυμαίνεται στα 1000€.



**Εικόνα 5.5.3:** Σύστημα με drive tractor που δίνει ηλεκτρική κίνηση στο βαρουλκοφορείο

Ανεξάρτητα όμως από το μηχανισμό αυτό, τα βαρουλκοφορεία στο συγκεκριμένο σύστημα γερανογέφυρας είναι ιδιαίτερα οικονομικά κυρίως λόγω της απλότητάς τους. Έτσι ένα βαρουλκοφορείο όπως αυτό της εικόνας 5.5.4 κοστολογείται περίπου στα 150€, ανάλογα με τα φορτία ανύψωσης.



**Εικόνα 5.5.4:** Βαρουλκοφορεία για γερανογέφυρες με σύστημα κύλισης κοιλοδοκών, τύπου V

Τέλος, σε αυτά τα συστήματα γερανογέφυρας μπορούν μέσα στις τροχιές κύλισης να εγκατασταθούν πλακέτες μέσω των οποίων μεταδίδεται το ρεύμα στα διάφορα ηλεκτρικά εξαρτήματα, περιορίζοντας έτσι τα εκτεθειμένα καλώδια της κατασκευής.

Ένα τέτοιο σύστημα απεικονίζεται στην φωτογραφία 5.5.5 όπου φαίνεται ένα βαρουλκοφορείο πάνω στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένα εξάρτημα το οποίο έρχεται σε επαφή με την ειδική πλακέτα, ενώ οι άκρες των καλωδίων συνδέονται στο βαρούλκο.



**Εικόνα 5.5.5:** Βαρουλκοφορείο με πλακέτα ρεύματος για γερανογέφυρες με κοιλοδοκούς κύλισης

### **Σύστημα κίνησης του κύριου φορέα (πλαγιοφορέας)**

Οι πλαγιοφορείς (endtruck) κινούνται στις τροχιές κύλισης της κατασκευής και σε αυτά στηρίζεται ο κύριος φορέας της γερανογέφυρας, δίνοντας έτσι στον ανυψωτικό μηχανισμό τη δυνατότητα κίνησης κατά μήκος του χώρου. Τα χαρακτηριστικά τους είναι παρόμοια με τα βαρουλκοφορεία αφού και αυτά μπορούν να είναι είτε χειροκίνητα είτε ηλεκτροκίνητα. Επίσης υπάρχουν βαρουλκοφορεία που μπορούν, με μερικές παραποιήσεις, να χρησιμοποιηθούν και ως endtruck, όπως αυτό της εικόνας 5.5.5.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής κίνησης, όπως διευκρινίζεται και στα παραπάνω, στο συγκεκριμένο τύπο κατασκευής πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας επιπλέον εξοπλισμός (driver tractor) που δίνει την ηλεκτρική κίνηση στο σύστημα.

Πιο διαδεδομένα endtrucks σε παρόμοιες γερανογέφυρες είναι σαν αυτό που απεικονίζεται στην εικόνα 5.5.6. Εκτός από τους τέσσερις βασικούς τροχούς όπου στηρίζεται και κινείται, διαθέτει και άλλους δύο βοηθητικούς στα δύο άκρα του, τοποθετημένους οριζόντια στο πάνω μέρος, που διασφαλίζουν την ευθεία πορεία του, ώστε να αποφευχθεί ο εκτροχιασμός κάποιου από τους τροχούς. Η τιμή τους καθορίζεται και σε αυτά από τα φορτία ανύψωσης, και κοστολογείται περίπου στα 150€.



**Εικόνα 5.5.6:** Σύστημα κίνησης του κύριου φορέα (πλαγιοφορέας), με τετράγωνη κοιλοδοκώ κύλισης

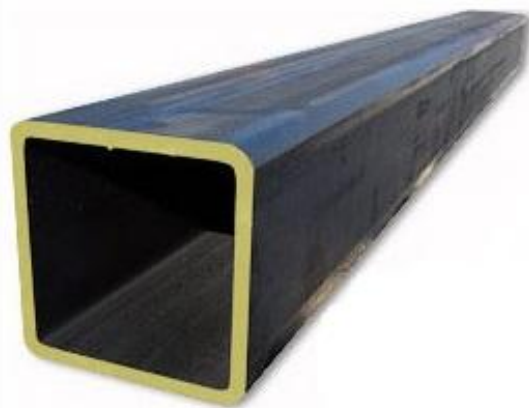
## 5.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Η συγκεκριμένη κατασκευή γερανογέφυρας γενικά αποτελεί μία οικονομική λύση, πράγμα που αποτέλεσε και ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος τύπος. Η εγκατάσταση της μπορεί να έχει μέχρι και μηδενικό κόστος αφού με λίγη σχετική εμπειρία και το κατάλληλο εγχειρίδιο μπορεί ο καθένας να πραγματοποιήσει τη συναρμολόγηση της.

### Κόστος σκελετού γερανογέφυρας:

Το κόστος του σκελετού της γερανογέφυρας θα υπολογιστεί προσεγγιστικά, αφού η αξία μπορεί να αλλάξει από εταιρία σε εταιρία, καθώς η τελική τιμή αυτών των εξαρτημάτων εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής και επεξεργασίας τους. Η κοστολόγηση της συγκεκριμένης κατασκευής θα βασιστεί στον τιμοκατάλογο της ιστοσελίδας [www.metals4u.com](http://www.metals4u.com).

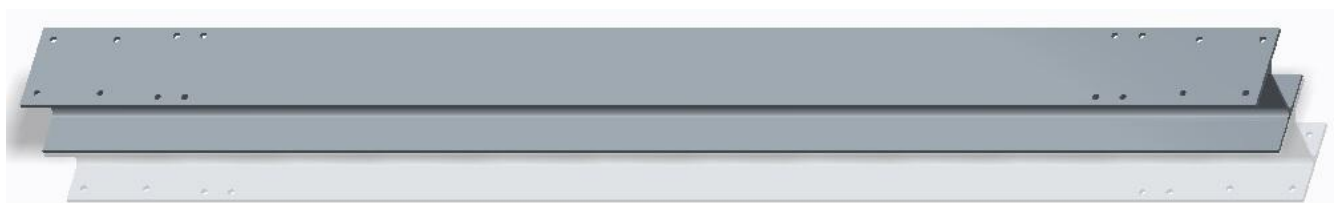
### Κολώνες στήριξης του συστήματος:



**Εικόνα 5.6.1:** Τετράγωνη κοιλοδοκός

Η γερανογέφυρα με αυτόνομη στήριξη που μελετήθηκε αποτελείται από έξι κολώνες στήριξης, που είναι τετράγωνοι κοιλοδοκοί, διατομής 127x127mm και ύψος 2,77m. Η τιμή μίας τέτοιας δοκού από χάλυβα ανέρχεται, σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο της [metals4u](http://metals4u.com), περίπου στα 150€, δηλαδή 900€ και για τις έξι κολώνες στήριξης του συστήματος.

### **Δοκός στήριξης των τροχιών κύλισης της γερανογέφυρας (header)**



**Εικόνα 5.6.2:** Header ( Δοκός στήριξης των δοκών κυλίσεως)

Η δοκός αυτή είναι τύπου HEA, και έχει ύψος 203mm και μήκος 3,5m. Η κατασκευή αποτελείται από τρεις τέτοιες δοκούς κάτω από τις οποίες στηρίζονται οι τροχιές κύλισης της γερανογέφυρας. Η αξία της μίας από χάλυβα είναι 200€, ενώ η συνολική αξία τους 600€.

### **Δοκοί κύλισης του συστήματος:**

Η κάθε μια από τις δοκούς κύλισης έχει μήκος 9m και διατομή 110x93mm και η αξία της κυμαίνεται στα 400€ με υλικό τον χάλυβα. Το συνολικό κόστος είναι 1600€, ενώ αν συμπεριληφθούν και οι έξι στηρίξεις των τροχιών κύλισης στις δοκούς HEA και τα δύο εξαρτήματα σύνδεσης μεταξύ τους που έχουν σχεδιαστεί, ανέρχεται στα 1700-2000€.

Ίδιας διατομής αλλά μικρότερου μήκους είναι και η γερανοτροχιά, δηλαδή η τροχιά κύλισης του

βαρουλκοφορείου. Το μήκος του κύριου φορέα, όπως διαφορετικά ονομάζεται η γερανοτροχιά, είναι 3m και το κόστος του 135€.

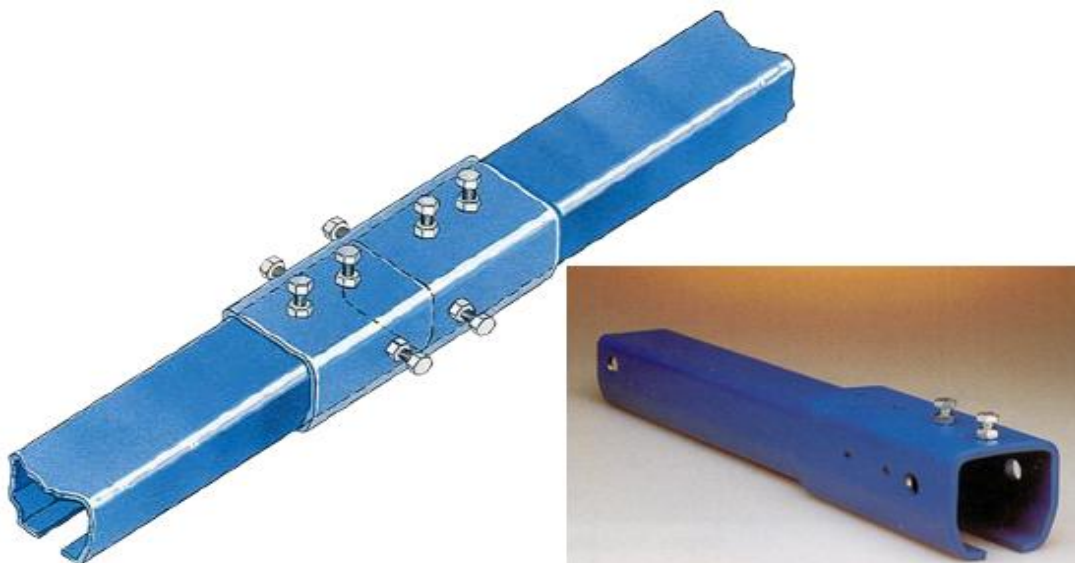
Έτσι το συνολικό κόστος της μεταλλικής κατασκευής ανέρχεται στα 3500€ με υλικό το χάλυβα. Αν όμως η ίδια κατασκευή κοστολογηθεί με υλικό το αλουμίνιο, μπορεί να ξεπεράσει μέχρι και το διπλάσιο κόστος, αφού αυτή τη στιγμή η τιμή του χάλυβα κυμαίνεται στα 0,50€/kg, ενώ το αλουμίνιο στα 2€/kg.



**Εικόνα 5.6.3:** Σύνδεση τετράγωνης κοιλοδοκού κύλισης με τη γερανοτροχιά, μέσω του πλαγιοφορέα (endtruck)

Όμως, καθώς το αλουμίνιο είναι πιο ελαφρύ, είναι και πιο πρακτικό, καθώς θα διευκολυνθεί τόσο η εγκατάσταση της γερανογέφυρας, όσο και η μεταφορά και επανεγκατάσταση της σε άλλο χώρο. Η ιδανική λύση λοιπόν θα ήταν ένας συνδυασμός των δύο υλικών, έτσι ώστε να επιτευχθεί μια ελαφριά και ταυτόχρονα οικονομική κατασκευή.

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τα παραπάνω, τα εξαρτήματα που θα διευκόλυνε, με το να είναι το υλικό τους το αλουμίνιο, την εγκατάσταση της γερανογέφυρας είναι αυτά που έχουν μεγάλο βάρος και μήκος. Ένα από αυτά είναι η δοκός στήριξης των τροχιών κύλισης που το βάρος τους με υλικό τον χάλυβα ξεπερνάει αρκετά τα 100kg, ενώ με υλικό το αλουμίνιο δεν ξεπερνάει τα 70kg. Το συνολικό κόστος των τριών δοκών ΗΕΑ ανέρχεται με υλικό το αλουμίνιο περίπου στα 1700€.



**Εικόνα 5.6.4:** Σύνδεση τετράγωνων κοιλοδοκών κύλισης ώστε να επιτευχθεί η επέκταση του μήκους

Το άλλο εξάρτημα, που κυρίως για το μεγάλο μήκος του, θα δυσκολέψει την εγκατάσταση της γερανογέφυρας, είναι οι τροχιές κύλισης, που το βάρος τους με υλικό το χάλυβα φτάνει τα 170kg περίπου, ενώ με υλικό το αλουμίνιο πέφτει στα 65kg.

Οι κοιλοδοκοί αλουμινίου, όπως περίπου είναι και οι τροχιές κύλισης, είναι πιο οικονομικοί από τις δοκούς ΗΕΑ, δηλαδή η τιμή της μίας ξεπερνάει κατά ελάχιστο μία αντίστοιχη χαλύβδινη δοκό. Το κόστος και των τεσσάρων είναι 2000€, ενώ με τα μέσα στήριξης και σύνδεσης, που θα εξακολουθήσουν να είναι από χάλυβα θα φτάσει τα 2200€. Η αξία του κύριου φορέα με υλικό το αλουμίνιο είναι 167€.

Έτσι η αξία του σκελετού της γερανογέφυρας για την ανύψωση 100 kg, μαζί με τον κύριο φορέα, τους πλαγιοφορείς, τις στηρίξεις και τις συνδέσεις των δοκών κύλισης και το φορείο του βαρούλκου, κοστολογείται στις 5500€. Η γερανογέφυρα αυτή, λόγω των ελαφριών φορτίων ανύψωσης συνιστάται να είναι χειροκίνητη, τόσο η κίνηση όσο και η ανύψωση. Οπότε στην τελική τιμή προστίθεται και η τιμή ενός χειροκίνητου βαρούλκου που στοιχίζει περίπου 200€

α/α	Ονομασία τεμαχίου	Ποσότητα	Υλικό	Τιμή ανά τεμάχιο	Συνολική αξία
1	Κολώνες στήριξης	6	χάλυβας	150€	900€
2	Header	3	αλουμίνιο	566€	1698
3	Δοκοί κύλισης	4	αλουμίνιο	500€	2000€
4	Γερανοτροχιά	1	αλουμίνιο	167€	167€
5	Σύνδεση δοκών κύλισης	2	χάλυβας	50€	100€
6	Στήριξη των τροχιών κύλισης	6	χάλυβας	50€	350
7	Πλαγιοφορέας	2	αλουμίνιο	100€	200€
8	Βαρουλκοφορείο	1	αλουμίνιο	100€	100€
9	Βαρούλκο	1	αλουμίνιο	200€	200€
10	Ελαστικοί προσκρουστήρες	4	πλαστικό και αλουμίνιο	10€	40€
11	Βίδες στήριξης (Φ17x150mm)	24	γαλβανιζέ	0,10€	2,40€
12	Βίδες σύνδεσης (Φ17x50mm)	60	γαλβανιζέ	0,05€	3,00€
13	Παξιμάδια (Φ17mm)	60	γαλβανιζέ	0,04	2,40€
14	Ροδέλες (Φ17)	84	γαλβανιζέ	0,012	1,00€
				Σύνολο:	5763€

**Εικόνα 5.6.5:** Πίνακας τεμαχίων της κατασκευής της γερανογέφυρας για 100kg

Το συνολικό κόστος της κατασκευής για 500 kg ανέρχεται στις 11013€, όπου συμπεριλαμβάνεται ένας ηλεκτροκίνητος ανυψωτικός μηχανισμός και τρεις μηχανισμοί που δίνουν ηλεκτρική κίνηση στο σύστημα. Αν αφαιρεθούν οι παραπάνω μηχανισμοί και λειτουργεί ολόκληρο το σύστημα χειροκίνητα τότε η αξία της κατεβαίνει στις 7947€.

Γενικά τα συστήματα αυτά γερανογέφυρας, έχουν σχεδιαστεί κυρίως για να λειτουργούν χειροκίνητα, ειδικά για μικρά φορτία ανύψωσης. Έτσι ο χειροκίνητος χειρισμός μιας τέτοιας κατασκευής μπορεί να είναι εξίσου λειτουργικός, αλλά με μικρότερη ασφάλεια, καθώς ο χειριστής πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός κατά την ανύψωση και τη μετακίνηση του φορτίου, τη δύναμη ώθησης που θα ασκήσει αλλά και την αντίσταση που πρέπει να εφαρμόσει προκειμένου να σταματήσει στο σημείο που επιθυμεί.

α/α	Ονομασία τεμαχίου	Ποσότητα	Υλικό	Τιμή ανά τεμάχιο	Συνολική αξία
1	Κολώνες στήριξης	10	χάλυβας	150€	1500€
2	Header	5	αλουμίνιο	566€	2830€
3	Δοκοί κύλισης	4	αλουμίνιο	500€	2000€
4	Γερανοτροχιά	1	αλουμίνιο	167€	167€
5	Στήριξη των τροχιών κύλισης	10	χάλυβας	50€	500€
6	Πλαγιοφορέας	2	αλουμίνιο	150€	300€
7	Βαρουλκοφορείο	1	αλουμίνιο	150€	150€
8	Βαρούλκο	1	αλουμίνιο	500€	500€
9	Drive tractor	3	αλουμίνιο	1000€	3000€
10	Ελαστικοί προσκρουστήρες	4	πλαστικό και αλουμίνιο	10€	40€
11	Τρόλεϊ (στηρίξεις) καλωδίων	5	πλαστικό	5,00€	15,00€
12	Βίδες στήριξης (Φ17x150mm)	40	γαλβανιζέ	0,10€	4,00€
13	Βίδες σύνδεσης (Φ17x50mm)	80	γαλβανιζέ	0,05€	4,00€
14	Παξιμάδια (Φ17mm)	80	γαλβανιζέ	0,04	2,40€
15	Ροδέλες (Φ17)	120	γαλβανιζέ	0,012	1,44€
				Σύνολο:	11013€

**Εικόνα 5.6.5:** Πίνακας τεμαχίων της κατασκευής της γερανογέφυρας για 500kg



## 6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ (ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ)

Τα συστήματα και οι τεχνολογίες μεταφοράς και ανύψωσης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανίας, αλλά και σε χώρους όπως εργοτάξια, αποθήκες κ.ά. Ο άνθρωπος από πολύ νωρίς χρειάστηκε και κατασκεύασε τέτοια συστήματα για να διευκολύνει και να επιταχύνει τις εργασίες του. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν εύκολα να σχεδιαστούν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τον εκάστοτε χώρο και τις απαιτήσεις του.

Τα συστήματα γερανογέφυρας αποτελούν το βασικό κομμάτι τέτοιων συστημάτων, καθώς αποτελεί μια από τις πρώτες τεχνολογίες που σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε, και μέχρι και σήμερα είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα ανύψωσης και μεταφοράς, αφού μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα σε κάθε χώρο και να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του. Έτσι κάθε φορά που σχεδιάζεται και μελετάται μία τέτοια κατασκευή μπορούν να βρεθούν πολλές λύσεις και επιλογές, και ανάλογα με τα κριτήρια που εξετάζονται κάθε φορά να εφαρμοστεί κάποια από αυτές.

Έτσι και οι δύο επιλογές γερανογέφυρας που σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν για το εργαστήριο CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής θα μπορούσαν να παραποιηθούν και να προκύψει, μια πολύ ή λίγο, διαφορετική κατασκευή.

Για παράδειγμα μια εξίσου ενδιαφέρουσα επιλογή για το συγκεκριμένο εργαστήριο θα ήταν μια γερανογέφυρα με στήριξη οροφής όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω. Μία τέτοια κατασκευή θα απελευθέρωνε τελείως το δάπεδο αφού θα στηριζόταν εξολοκλήρου στο ταβάνι. Αυτή η λύση θα μπορούσε να εφαρμοστεί, αλλά θα πρέπει να γίνουν πιο ριζικές αλλαγές στον χώρο.

Αρχικά θα έπρεπε να αφαιρεθεί ή παραποιηθεί μέρος της ψευδοροφής ώστε να περάσουν συρματόσχοινα τα οποία θα έφταναν μέχρι την πραγματική οροφή του χώρου και σε αυτά θα στηριζόντουσαν οι τροχιές κύλισης, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.1.



**Εικόνα 6.1:** Αναρτώμενη γερανογέφυρα μονού φορέα, με στήριξη στην οροφή και σύστημα κύλισης με κοιλοδοκούς

Στο σημείο αυτό όμως, εκτός του μεγάλου ύψους της οροφής που θα προκαλούσε ιδιαίτερη δυσκολία στην εγκατάσταση της, η οροφή του κτηρίου δεν είναι επίπεδη, δηλαδή παρουσιάζει διακυμάνσεις σχηματίζοντας έτσι διαδοχικά V στα οποία έχουν τοποθετηθεί παράθυρα, καθώς το εργαστήριο είναι εσωτερικό, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να τοποθετηθούν στους τοίχους. Αυτό σημαίνει ότι θα έπρεπε τα συρματόσχοινα να έχουν διαφορετικό ύψος μεταξύ τους, πράγμα που περιπλέκει τη μελέτη της κατασκευής αλλά και προσφέρει μικρότερη σταθερότητα στο σύστημα από άλλο τύπο γερανογέφυρας, άλλα και μικρότερη ασφάλεια και ευκολία συντήρησης.

Ένας άλλος τρόπος που θα μπορούσε να διευκολύνει την εφαρμογή ενός συστήματος γερανογέφυρας που να μην καταλαμβάνει χώρο του δαπέδου θα ήταν να τοποθετηθούν δοκάρια είτε κατά πλάτος είτε κατά μήκος του εργαστηρίου και σε αυτά να εγκατασταθεί η γερανογέφυρα, δηλαδή τα συρματόσχοινα τα οποία στηρίζουν τις τροχιές κύλισης του συστήματος όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2.



**Εικόνα 6.2:** Αναρτώμενη γερανογέφυρα μονού φορέα, που στηρίζεται με συρματόσχοινα σε βοηθητικά δοκάρια

Στην περίπτωση όμως που τα δοκάρια μπουν κατά μήκος του χώρου, τότε τα ίδια τα δοκάρια αυτά θα μπορούσαν να αποτελέσουν και τις τροχιές κύλισης του συστήματος, όπως στην εικόνα 6.3. Ένα τέτοιο σύστημα θα κάλυπτε μεγαλύτερο πλάτος του εργαστηρίου άρα και καλύτερη κάλυψη των αναγκών του, αλλά λόγω του ύψους των μηχανημάτων που βρίσκονται σε αυτόν θα έπρεπε να αφαιρεθεί ή παραπονηθεί μεγάλο μέρος της ψευδοροφής.

Επίσης λόγω του μήκους του χώρου θα πρέπει και πάλι να υπάρξουν πρόσθετα μέσα στήριξης, όπως συρματόσχοινα κ.ά., που και πάλι περιπλέκουν την εγκατάσταση της αλλά και μια μελλοντική παραπονήση του συστήματος.

Ακόμα, μία τέτοια κατασκευή προορίζεται κυρίως για την ανύψωση μικρότερων φορτίων, όπως της εικόνας 6.3 που έχει ανυψωτική ικανότητα μόλις 300kg, αφού για μεγαλύτερα φορτία αποτελεί μια ιδιαίτερα δαπανηρή λύση.



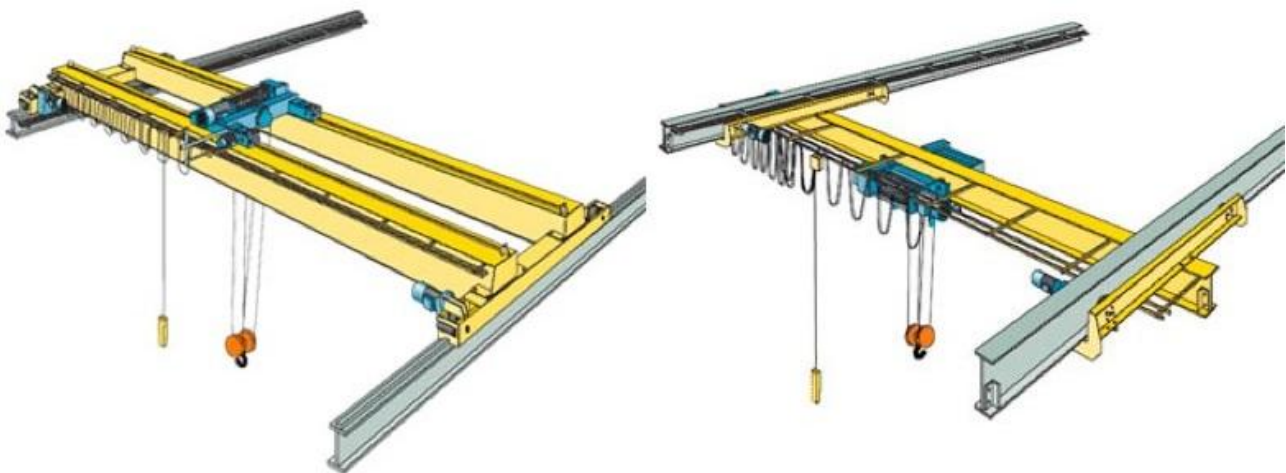
**Εικόνα 6.3:** Αναρτώμενη γερανογέφυρα μονού φορέα, με στήριξη σε τοίχους και επιπλέον υποστήριξη με συρματόσχοινα

Συνοψίζοντας λοιπόν τα παραπάνω, η γερανογέφυρα με στήριξη στην οροφή αποτελεί ίσως την ιδανικότερη λύση για το εργαστήριο του CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής, αν δεν ληφθεί καθόλου υπόψη ο οικονομικός παράγοντας.

Εξετάζοντας όμως και τα οικονομικά κριτήρια, πέρα του ότι αποτελεί η ίδια η κατασκευή μια δαπανηρή επιλογή, πρέπει να συμπεριληφθεί και το κόστος αναδιαμόρφωσης του χώρου, αφού θα χρειαζόντουσαν πιο ριζικές αλλαγές σε αυτόν όπως προκύπτει και αναλύεται στα προηγούμενα, αλλά και το κόστος και τη δυσκολία εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος.

Τέλος η μεταφορά και η εφαρμογή της σε άλλο χώρο θα ήταν σχεδόν αδύνατη, αφού θα έπρεπε να σχεδιαστεί και να μελετηθεί εξολοκλήρου ολόκληρη η γερανογέφυρα, ενώ η παραποίηση της προκειμένου να ταιριάζει στο νέο αυτόν χώρο θα μπορούσε να κοστίσει όσο και μία καινούργια κατασκευή γερανογέφυρας.

Επιπλέον ένα χαρακτηριστικό που θα μπορούσε να έχει επιλεγεί και σχεδιαστεί διαφορετικά είναι το αν η γερανογέφυρα θα ήταν αναρτώμενη ή επικαθήμενη, δηλαδή αν οι πλαγιοφορείς θα έκαναν την κίνηση τους στο πάνω ή στο κάτω μέρος των δοκών κύλισης.



**Εικόνα 6.4:** Επικαθήμενη-διπλού φορέα και αναρτώμενη-μονού φορέα γερανογέφυρα

Σε αυτήν την περίπτωση, εκτός ότι το ύψος του χώρου δεν ενδείκνυται για κάτι τέτοιο, θα προέκυπτε μια πιο “βαριά” ή μια πιο ακριβή κατασκευή. Αυτό γιατί στην περίπτωση που ο κύριος φορέας κινιόταν στο πάνω πέλμα των δοκών κύλισης τότε θα έπρεπε οι δοκοί αυτοί να είναι τύπου HEA, που όπως προκύπτει από την κοστολόγηση της κατασκευής, αν το υλικό τους είναι ο χάλυβας αυξάνεται κατά πολύ το βάρος τους, ενώ αν το υλικό τους είναι το αλουμίνιο αυξάνεται κατά πολύ το κόστος τους.

Ένας ακόμα παράγοντας, μικρότερης σημασίας, που δεν επιλέχθηκε οι πλαγιοφορείς να κάνουν την κίνηση τους στο πάνω μέρος των γερανοδοκών, είναι γιατί θα περιπλεκόταν η διαδικασία σχεδιασμού και μελέτης της κατασκευής αφού θα έπρεπε πάνω στις δοκούς να προστεθεί μία ξεχωριστή τροχιά κύλισης ώστε να διασφαλίζεται η μη εκτροπή των πλαγιοφορέων από την πορεία κίνησης τους. Η επιλογή και η διαστασιολόγηση των τροχιών κύλισης γίνεται με μέθοδο που ορίζεται από τις διάφορες διατάξεις του Ευρωκώδικα και παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 3.2.6.

Αντίθετα στην περίπτωση της αναρτώμενης γερανογέφυρας αυτή η διαδικασία δεν είναι απαραίτητη αφού όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό και από την εικόνα 6.4, δεν υπάρχει τροχιά κύλισης αφού διασφαλίζεται έτσι κι αλλιώς η μη εκτροπή του μηχανισμού από την πορεία του, εκτός αν η κίνηση γίνεται με γρανάζια αντί τροχούς που τότε είναι απαραίτητη μια τροχιά με την οποία θα επιτυγχάνεται η κίνηση της γερανογέφυρας. Επίσης, οι γερανογέφυρες που είναι επικαθήμενες προορίζονται κυρίως για την ανύψωση μεγαλύτερων φορτίων από τις ανάγκες του εργαστηρίου. Το τελευταίο βασικό χαρακτηριστικό το οποίο επηρεάζει τη δομή και τον τύπο μιας γερανογέφυρας είναι το αν θα είναι διπλού ή μονού φορέα, χαρακτηριστικό που συνδέεται άμεσα με το αν το βαρουλκοφορείο θα είναι αναρτώμενο ή επικαθήμενο.

Οι γερανογέφυρες διπλού φορέα χρησιμοποιούνται σε χώρους, όπως είναι τα ναυπηγεία, όπου οι ανυψωτικές απαιτήσεις είναι πολύ μεγάλες. Ονομάζεται διπλού φορέα γιατί το βαρουλκοφορείο με τον ανυψωτικό μηχανισμό πραγματοποιεί την κίνηση του σε δύο φορείς ώστε να ανταπεξέρχεται στις μεγάλες απαιτήσεις φορτίων. Σε αυτά τα συστήματα το βαρουλκοφορείο τοποθετείται, εκτός από σπάνιες περιπτώσεις που δεν το επιτρέπουν άλλοι παράγοντες, στο πάνω μέρος των φορέων, καθώς έτσι δίνεται η δυνατότητα της ανύψωσης φορτίων πολύ μεγάλου βάρους με περισσότερη ασφάλεια.

Οι γερανογέφυρες μονού φορέα έχουν μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής καθώς αποτελούν πιο απλές και οικονομικές κατασκευές, με ανυψωτικές ικανότητες που καλύπτουν μεγάλο φάσμα του πεδίου εφαρμογής τέτοιων συστημάτων. Η κίνηση του βαρουλκοφορείου σε αυτή την περίπτωση γίνεται σε ένα φορέα και συνηθίζεται να είναι αναρτώμενο.

Έτσι εύκολα προκύπτει ότι ένας χώρος όπως είναι το συγκεκριμένο εργαστήριο του ΤΕΙ, μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες του με ένα σύστημα γερανογέφυρας μονού φορέα, αφού οι απαιτήσεις ανύψωσης και μεταφοράς είναι μικρές. Παρόλα αυτά σε μια ενδεχόμενη ανάγκη αύξησης της ανυψωτικής δυνατότητας του συστήματος μια λύση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί θα ήταν η προσθήκη και δεύτερου φορέα, και αλλαγή φυσικά στον αντίστοιχο τύπο βαρουλκοφορείου ώστε να επιτευχθεί κάτι τέτοιο.

Όμως η κατασκευή που σχεδιάστηκε δεν μπορεί να αποτελείται από δύο φορείς, γι' αυτό και κατά τη διαστασιολόγηση και τον σχεδιασμό της, δόθηκε περιθώριο να μπορεί να ανταπεξέλθει και σε μεγαλύτερα φορτία.

Με αυτά λοιπόν τα κριτήρια επιλέχθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά και οι βασικές διαστάσεις των μοντέλων γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη για το εργαστήριο CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής. Για το σχεδιασμό των εξαρτημάτων που αποτελούν το σκελετό της γερανογέφυρας δεν ακολουθήθηκε το συνηθισμένο πρότυπο όπου τόσο η γερανοτροχιά όσο και οι δοκοί κύλισης του συστήματος είναι τύπου I. Αντίθετα επιλέχθηκε να σχεδιαστεί ένα σύστημα τύπου V, όπου ονομάζεται έτσι καθώς οι τροχοί των πλαγιοφορέων και του βαρουλκοφορείου σχηματίζουν το γράμμα V.

Οι τροχιές κύλισης στον τύπο V είναι σαν τετράγωνοι κοιλοδοκοί, μέσα στους οποίους κινούνται οι τροχοί τόσο των πλαγιοφορέων, όσο και του βαρουλκοφορείου, και επειδή βρίσκονται στο εσωτερικό της δοκού, συνηθίζεται να ονομάζονται στα αγγλικά και "enclosed". Το πλεονέκτημα του τύπου αυτού, είναι ότι οι δοκοί κύλισης έχουν μικρότερο ύψος και έτσι έχουν καλύτερη εφαρμογή σε χώρους με χαμηλή οροφή, όπως είναι και το εργαστήριο. Επίσης οι τετράγωνοι κοιλοδοκοί είναι πιο οικονομικοί και με μικρότερο βάρος από τους δοκούς ΗΕΑ.

Όμως τα συστήματα τύπου V έχουν εμφανιστεί και εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν πολλές επιλογές στα διάφορα εξαρτήματα που απαρτίζουν μια γερανογέφυρα. Για παράδειγμα, στα συστήματα τύπου I οι πλαγιοφορείς μπορούν να είναι είτε ηλεκτροκίνητοι είτε χειροκίνητοι, ενώ τα συστήματα τύπου V προορίζονται κυρίως για χειροκίνητη κίνηση με ώθηση. Φυσικά, όπως συμβαίνει με όλους τους τομείς της τεχνολογίας αλλά και της επιστήμης γενικότερα, έτσι και τα συστήματα αυτά εξελίσσονται και βελτιστοποιούνται, ώστε να γίνουν πιο ευέλικτα και να είναι σε θέση να εφαρμοστούν και να λειτουργήσουν σε κάθε χώρο.

Τα συστήματα γερανογέφυρας με αυτόνομη στήριξη, τύπου V σχεδιάστηκαν και προτείνονται ως μια οικονομική λύση για χώρους που δεν είναι εύκολο να εφαρμοστούν άλλα συστήματα γερανογέφυρας, αλλά και για σχετικά μικρού βάρους φορτία ανύψωσης. Η επιλογή τους και η εγκατάστασή τους είναι απλή και τυποποιημένη διαδικασία και αποτελεί σύμφωνα με τα κριτήρια και τους παράγοντες που μελετήθηκαν και εξετάστηκαν σε όλα τα παραπάνω την ιδανική λύση για τον χώρο του εργαστηρίου CNC εργαλειομηχανών και ρομποτικής του ΤΕΙ Ηρακλείου.

## 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (Α΄ ΤΟΜΟΣ) - ΒΑΓΙΑΣ Ι., ΕΡΜΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ Γ.
2. ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (Β΄ ΤΟΜΟΣ)- ΒΑΓΙΑΣ Ι., ΕΡΜΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ Γ.
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ - ΒΑΓΙΑΣ Ι., ΕΡΜΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ Γ.
4. ΑΝΥΨΩΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ – ΧΑΡΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΥΨΩΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ – WALTERKITTL, WOLFGANGSCHONER
6. ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΙΑΣ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ–BUILDNET.GR - ΙΩΑΝΝΙΔΗΣΓΙΩΡΓΟΣ
7. ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΕΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ – ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ & ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ-ΣΑΟΥΡΙΔΗΣ ΧΡ.
8. FREE STANDING WORK STATION BRIDGE CRANES (PDF) - GORBEL
9. CEILING MOUNTED WORK STATION BRIDGE CRANES & MONORAILS – GORBEL
10. [www.fsindustries.com](http://www.fsindustries.com)
11. [www.lkgoodwin.com](http://www.lkgoodwin.com)
12. [www.ergonomicpartners.com](http://www.ergonomicpartners.com)
13. [en.wikipedia.org/wiki/Overhead\\_crane](http://en.wikipedia.org/wiki/Overhead_crane)
14. [www.konecranes.gr](http://www.konecranes.gr)
15. [www.metals4u.com](http://www.metals4u.com)
16. [www.ebay.com](http://www.ebay.com)
17. [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)