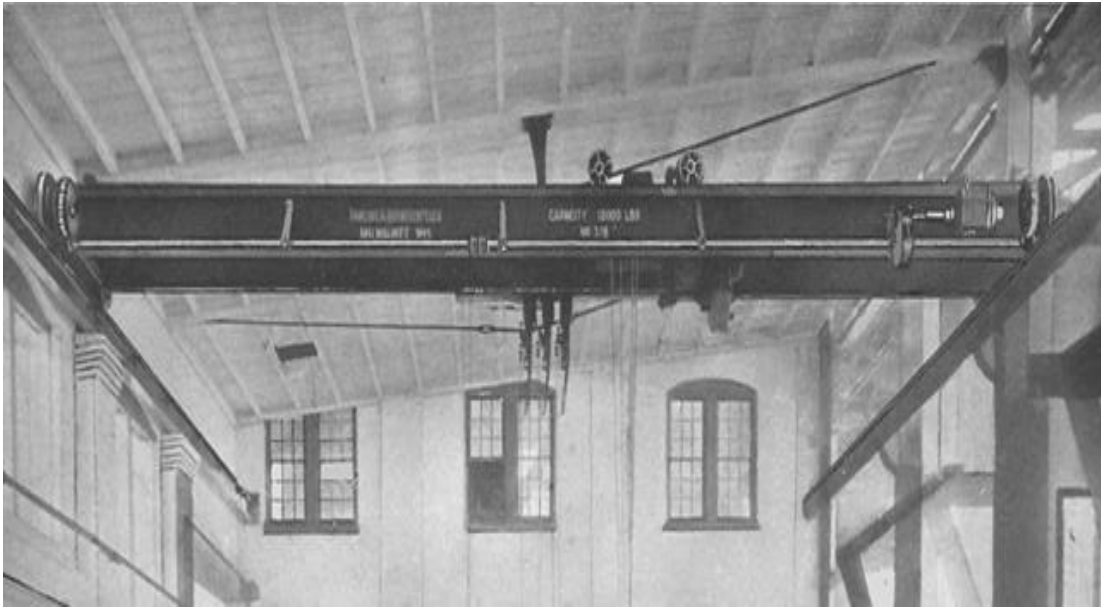


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ
ΑΝΥΨΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ 10 ΤΝ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΒΙΔΑΛΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το τεύχος αυτό αποτελεί την πτυχιακή εργασία , η οποία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδος και το περιεχόμενο της αναφέρει την μεθοδολογία υπολογισμού μιας γερανογέφυρας ωφέλιμου φορτίου 10 τόνων, μια μελέτη που ανήκει στον τομέα των μεταλλικών κατασκευών.

Η γερανογέφυρα είναι μια πολύ σημαντική κατασκευή για τους τομείς της βιομηχανίας, του εμπορίου και των μεταφορών, αφού επιτρέπει την ανύψωση και την μεταφορά κάθε είδους φορτίου με εύκολο, γρήγορο και ασφαλή τρόπο.

Οι υπολογισμοί μας αρχίζουν με τον στατικό έλεγχο της γερανοδοκού της γερανογέφυρας και συνεχίζουν με ιδιαίτερο βάρος στη μελέτη αντοχής της δοκού κυλίσεως, ώστε να εξασφαλιστεί ότι η κατασκευή είναι ασφαλής και αντέχει τα φορτία.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς όλους εκείνους που με βοήθησαν και με στήριξαν μέχρι την ολοκλήρωση της παρούσας, φίλους και συγγενείς από την Πάτρα μέχρι την Κρήτη. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρίες «ΒΕΜΕΚΕΠ ΑΕ» και «ΛΙΑΡΟΜΑΤΗΣ ΑΕ» που με δέχτηκαν στο χώρο των εγκαταστάσεων τους. Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να πω επίσης και στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε μέχρι το τέλος της υλοποίησης της εργασίας.

Βιδάλη Αγγελική
Φεβρουάριος 2015

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδάστριά: Η κάτωθι υπογεγραμμένη σπουδάστρια έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο που έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Η σπουδάστρια
Βιδάλη Αγγελική

.....
(υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία με θέμα «Μελέτη και Σχεδιασμός Γερανογέφυρας Ωφέλιμου φορτίου 10 τόνων», γίνεται αναφορά στις μεταλλικές κατασκευές επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στη μελέτη μιας γερανογέφυρας που θα χρησιμοποιηθεί εσωτερικά σε κτήριο από σκυρόδεμα. Σκοπός της εργασίας είναι μέσα από αυτή την μελέτη να λάβουμε γνώσεις σχετικά με τα μέταλλα και τη χρησιμότητα τους στις μεταλλικές κατασκευές, να μπορέσουμε να μπούμε στο κατάλληλο πνεύμα διαστασιολόγησης και σχεδιασμού μιας μεταλλικής κατασκευής, και με τη χρήση της κατάλληλης μεθοδολογίας και των αντίστοιχων κανονισμών να κρίνουμε αν οι επιλογές που έχουμε κάνει για την κατασκευή μας είναι επαρκείς από άποψη ασφαλείας και εργονομίας.

Στις παρακάτω σελίδες ξεκινάμε με μια βιβλιογραφική αναφορά στις κατασκευές και τα υλικά που τις αποτελούν, ειδικεύουμε στο βασικό υλικό των μεταλλικών κατασκευών που είναι ο χάλυβας αναλύοντας τα βασικά χαρακτηριστικά του, τις ιδιότητες του, τις κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται και τα βασικά προϊόντα από χάλυβα.

Έπειτα αναφερόμαστε στα ανυψωτικά μηχανήματα κάνοντας μια μικρή ιστορική αναδρομή για το βασικότερο από τα ανυψωτικά μηχανήματα, τον γερανό. Αφού ολοκληρώσουμε το κεφάλαιο με τα είδη των ανυψωτικών μηχανημάτων συνεχίζουμε με την αναφορά στις γερανογέφυρες που αποτελούν μια βασική κατηγορία των ανυψωτικών μηχανημάτων. Στο σημείο αυτό αναλύουμε τα μέλη που απαρτίζουν μια γερανογέφυρα καθώς και τα είδη της που βρίσκουν ευρεία χρήση για διαφορετικές εφαρμογές.

Η εργασία μας ολοκληρώνεται με τα κεφάλαια των υπολογισμών αντοχής της γερανογέφυρας και των μελών της, κάνοντας ελέγχους για την αντοχή της δοκού κυλίσεως.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	1
1.2 ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΑΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	3
1.3 ΦΟΡΤΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	4
1.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	5
2 ΜΕΤΑΛΛΑ	8
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	8
2.1.1 Για την ιστορία	8
2.2 ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	9
2.3 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ.....	11
2.3.1 Κατάταξη χαλύβων.....	11
2.4 Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	13
2.5 ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	16
2.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	17
2.7 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΩΝ	19
2.7.1 Θερμικές κατεργασίες	20
2.7.2 Μηχανικές κατεργασίες.....	20
2.8 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΧΑΛΥΒΩΝ.....	21
2.9 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ.....	21
2.9.1 Τυποποίηση κατά DIN	22
2.9.2 Τυποποίηση AISI-SAE	23
2.10 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ.....	23
2.10.1 Δομικά στοιχεία από χάλυβα.....	24
2.11 ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΧΑΛΥΒΑ....	25
3 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΩΝ	26
3.1 ΕΙΔΗ ΑΝΥΨΩΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΩΝ.....	26
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΡΑΝΟΥ	29
4 ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ	30
4.1 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ	30
4.1.1 Δοκός κυλίσεως γερανογέφυρας.....	32
4.1.2 Σιδηροτροχιές γερανογέφυρας	34
4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΩΝ	36

5 ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΠΟΥ ΘΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΕΙ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	38
5.1 ΑΡΧΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ	40
5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ	42
5.2.1 Δοκός κυλίσεως του βιομηχανικού κτιρίου	43
5.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ HE 500 B	43
5.3.1 Κατηγορίες διατομών	44
5.4 ΤΡΟΧΙΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ	47
5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ	48
5.5.1 Δυναμικοί προσαυξητικοί συντελεστές	49
5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	52
5.6.1 Εκκεντρότητα κατακόρυφων φορτίων στην τροχιά.....	53
5.6.2 Ελάχιστες τιμές (γερανογέφυρα αφόρτιστη.....	54
5.6.3 Μέγιστες τιμές (γερανογέφυρα πλήρως φορτισμένη).....	57
5.7 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ	62
5.7.1 Οριζόντια φορτία από επιβράδυνση – επιτάχυνση	63
5.7.2 Οριζόντια φορτία από παράγωγη κίνηση (λοξή ως προς τις τροχιές)	69
5.8 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	75
6 ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	76
6.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	83
6.1.1 Έλεγχος κορμού σε διάτμηση	83
6.1.2 Έλεγχος άνω πέλματος σε διάτμηση.....	84
6.1.3 Συνδυασμένη διάτμηση από κάμψη και από στρέψη	85
6.1.4 Έλεγχος σε λοξή κάμψη και αξονική δύναμη.....	85
6.1.5 Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό	87
6.1.6 Έλεγχος ραφών συγκόλλησης κορμού – πέλματος.....	89
6.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	93
6.2.1 Παραμόρφωση υπό τα κατακόρυφα φορτία	94
6.2.2 Παραμόρφωση υπο τα οριζόντια φορτία	95
6.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ	96
6.3.1 Έλεγχος επάρκειας της διατομής έναντι κόπωσης.....	98
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	104
Βιβλιογραφία.....	105

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία αφορά την μελέτη μιας μεταλλικής κατασκευής που χρησιμοποιείται ευρύτατα στην βιομηχανία και στο εμπόριο, γι' αυτό το λόγο σημαντικό ήταν να ξεκινήσουμε με μια αναφορά στις κατασκευές, όπου μιλάμε για τα είδη των κατασκευών διαχωρίζοντας τις σε κατηγορίες όπως είναι οι δομικές, οι μηχανολογικές κατασκευές, οι ξύλινες, οι μεταλλικές κατασκευές κλπ, με τις μεταλλικές κατασκευές να έχουν καταλάβει το μεγαλύτερο ποσοστό, καθώς υπερτερούν σε πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες

Για να έχει την δυνατότητα μια μεταλλική κατασκευή να είναι αποδοτική, ασφαλής και εργονομική πρέπει να ανήκει στα πλαίσια του σχεδιασμού και μελέτης μιας μεταλλικής κατασκευής και να ακολουθεί τις οδηγίες και τα όρια που θέτουν οι αντίστοιχοι κανονισμοί και μέθοδοι όπως η μέθοδος των επιτρεπόμενων τάσεων, η μέθοδος της οριακής κατάστασης και οι Ευρωκώδικες.

Όμως για να μπορεί η κάθε κατασκευή που σχεδιάζουμε να έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα θα πρέπει να γνωρίζουμε όλα τα κατασκευαστικά υλικά που μας προσφέρονται (μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή κ.α) και ιδιαίτερα εκείνο που θα επιλέξουμε. Τα μέταλλα και ειδικά ο χάλυβας έχουν την μεγαλύτερη χρήση στις κατασκευές, δεν θα μπορούσε λοιπόν να παραληφθεί η αναφορά στον χάλυβα, στα είδη του, στις ιδιότητες του, στα χαρακτηριστικά του, στον τρόπο παραγωγής του, στις κατεργασίες και στα προϊόντα από χάλυβα και στις τυποποιήσεις του.

Αφού λοιπόν έχουμε γνωρίσει το βασικό υλικό της κατασκευής μας πρέπει να έρθουμε πιο κοντά στο αντικείμενο της μελέτης μας, μιλώντας για τα μηχανήματα ανύψωσης και μεταφοράς φορτίων. Οι ανυψωτικές μηχανές είναι από τις πιο πολύπλευρες και ενδιαφέρουσες κατασκευές, ένας λόγος που τις κάνει τόσο ενδιαφέρουσες είναι ο συνδυασμός πολλές φορές μεταλλικών μερών με ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Μεγάλο ενδιαφέρον έχει επίσης και η κατάταξη τους αφού χωρίζονται σε ανυψωτικές μηχανές, πολύσπαστα, ανυψούμενες πλατφόρμες, γερανούς και γερανογέφυρες

Για να καταλάβουμε την λειτουργία ενός γερανού και την σημαντικότητα του αρκεί μόνο να τρέξουμε για λίγο στο παρελθόν και να δούμε τους πρώτους γερανούς που κατασκευάστηκαν από Έλληνες και Ρωμαίους και σε ποιες περιπτώσεις τους χρησιμοποίησαν. Η μεγάλη εξέλιξη των γερανών επήλθε μετά το ξέσπασμα της Βιομηχανικής Επανάστασης, όπου η ανάγκη για ανύψωση και μεταφορά φορτίων ήταν μεγάλη.

Αυτή η ανάγκη ώθησε τους μηχανικούς να κατασκευάσουν μια μηχανή που θα μπορούσε να έχει μεγάλη ανυψωτική ικανότητα, να υψώνει και να μεταφέρει με μεγάλη ταχύτητα και χωρίς ιδιαίτερο κόπο φορτία που μέχρι τότε τους δυσκόλευαν. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή των γερανογεφυρών. Μια τυπική γερανογέφυρα μπορεί να μετακινεί το φορτίο στον οριζόντιο άξονα σε δυο διαφορετικές κατευθύνσεις (κατά τον άξονα ΟΥ και

κατά τον άξονα OX) , άλλα και κατακόρυφα (ως προς τον άξονα OZ). Αποτελείται από τον φορέα της γερανογέφυρας, τους δυο πλάγιοφορείς, τις σιδηροτροχιές, τις δοκούς κύλισεως και το βαρουλκοφορείο. Οι γερανογέφυρες κατά κύριο λόγο είναι βιομηχανοποιημένα προϊόντα και αποτελούνται από βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά.(ανυψωτική ικανότητα, άνοιγμα, διαδρομή κτλ) . Στην εργασία μας αναφέρονται και βασικοί τύποι γερανογεφυρών όπως μονού, διπλού φορέα, αναρτώμενη ή επικαθήμενη κτλ.

Στη συνέχεια καταλήγουμε στα τελευταία κεφάλαια όπου γίνονται υπολογισμοί των φορτίων και των κατασκευαστικών μερών, ακολουθώντας τους Ευρωκώδικες 1 και 3. Για να είμαστε σίγουροι ότι δεν θα προκύψει καμιά αστοχία ακολουθούμε κατά βήμα όλους τους ελέγχους που μας προτείνονται, για τα μέρη της κατασκευής, δοκό κύλισης, σιδηροτροχιά και για κάθε δυνατή περίπτωση όπως με ή χωρίς πλήρες φορτίο, κατά την επιβράδυνση ή την επιτάχυνση, σε κατάσταση αστοχίας και σε κατάσταση λειτουργικότητας, καθώς και σε κόπωση αφού μας ενδιαφέρει η κατασκευή μας να έχει διάρκεια στο χρόνο.

1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Κατασκευή με την ευρύτερη έννοια της λέξης εννοούμε την πραγματοποίηση ενός προϊόντος που εκπληρώνει κατά τον καλύτερο τρόπο στον χρόνο που τρέχει, τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί.

Κατά την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους είναι εύκολο να παρατηρήσουμε την ανάγκη του για την δημιουργία διαφόρων κατασκευών που θα τον βοηθούσαν να επιβιώσει και να βελτιώσει τον τρόπο ζωής του. Σταδιακά λοιπόν, από την εποχή του χαλκού όπου έχουν βρεθεί τα πρώτα σκεύη και όπλα, μέχρι και σήμερα που μπορούμε να ζούμε σε πολυτελείς ουρανοξύστες και να ταξιδεύουμε σε άλλους πλανήτες, ο άνθρωπος δεν σταμάτησε και δεν θα σταματήσει να κατασκευάζει. Άλλωστε η φύση δίνει στον άνθρωπο όλα εκείνα τα στοιχεία και υλικά, φυσικά ή χημικά, για να μπορέσει να το επιτύχει αυτό.

Όλα γύρω μας είναι κατασκευές, τα κτίρια, τα αυτοκίνητα, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, τα έπιπλα και άλλα πολλά, είναι κατασκευές που έχουν ακολουθήσει μια συγκεκριμένη διαδικασία και με τα οποία έχουν ασχοληθεί αρκετοί τεχνικοί και επιστήμονες διαφόρων κλάδων, μέχρι να φτάσουνε στο τελικό αποτέλεσμα.

Έτσι λοιπόν έχουμε διαφόρων ειδών κατασκευές όπως, οι δομικές κατασκευές, οι μηχανολογικές, οι ηλεκτρολογικές, οι αεροναυπηγικές, οι ξύλινες κατασκευές, οι μεταλλικές κατασκευές, σύμμικτες κατασκευές κ.ο.κ

Στατιστικά το μεγαλύτερο κομμάτι των κατασκευών αποτελείται από μεταλλικές κατασκευές όλων των ειδών (σκεύη, οχήματα, γέφυρες, αεροπλάνα, εργαλεία..)

Για να μπορούμε όμως να συγκρίνουμε και να κάνουμε πάντα την σωστή επιλογή στο είδος της κατασκευής θα πρέπει να γνωρίζουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους.

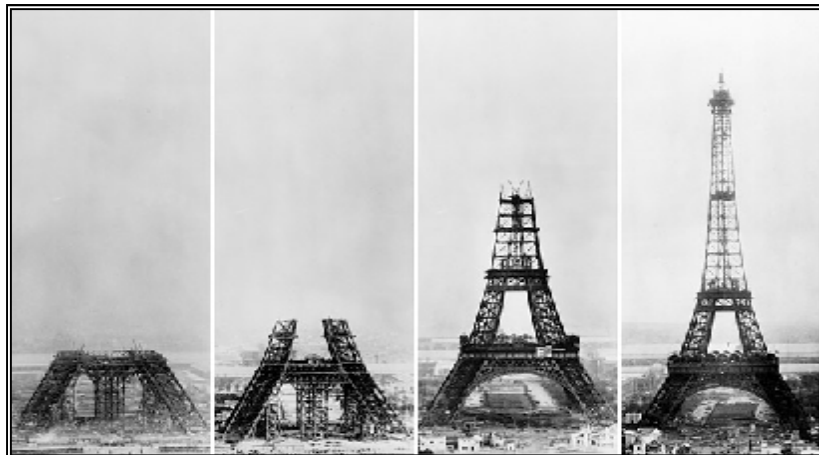
Έτσι λοιπόν τα κυριότερα **πλεονεκτήματα** των μεταλλικών κατασκευών σε σχέση με τα άλλα είδη είναι :

- ✓ Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή και δυσκαμψία ως προς το βάρος τους.
- ✓ Υπάρχει δυνατότητα μείωσης του ιδίου βάρους της κατασκευής.
- ✓ Είναι δυνατή η ζεύξη μεγάλων μεταλλικών ανοιγμάτων.
- ✓ Έχουν υψηλή ολκιμότητα, άρα και καλή αντισεισμική συμπεριφορά.

- ✓ Μεγαλύτερη ταχύτητα ανέγερσης, επομένως και μικρότερος χρόνος παράδοσης.
- ✓ Δυνατότητα διαμόρφωσης οποιασδήποτε επιθυμητής διατομής.
- ✓ Τυποποίηση παραγωγής, (τα περισσότερα προϊόντα είναι βιομηχανικής παραγωγής με προδιαγραφές), με αποτέλεσμα καλύτερο έλεγχο ποιότητας.
- ✓ Μεγάλο εύρος διαφόρων διατομών που διατίθενται στο εμπόριο.
- ✓ Απαιτούν μικρότερη και οικονομικότερη θεμελίωση.
- ✓ Μπορεί να γίνει επαναχρησιμοποίηση του υλικού καθώς είναι ανακυκλώσιμο.
- ✓ Η επέκταση και η τροποποίηση υφιστάμενων κατασκευών καθίσταται δυνατή, καθώς πολλές φορές τα μέρη συνδέονται και εκτός εργοταξίου
- ✓ Η συντήρηση, ο εντοπισμός και η αποκατάσταση των βλαβών γίνεται ευκολότερα.
- ✓ Είναι λύση φιλικότερη ως προς το περιβάλλον, αφού παράγει λιγότερα απορρίμματα και απόβλητα.

Τα **μειονεκτήματα** που παρουσιάζουν οι μεταλλικές κατασκευές είναι :

- ✓ Σε αρκετές περιπτώσεις έχουμε υψηλό κόστος πρώτης ύλης.
- ✓ Υπάρχει άμεση ανάγκη για πυροπροστασία.
- ✓ Καθίσταται άμεση ανάγκη για προστασία από την διάβρωση.
- ✓ Τίθεται απαραίτητη η συχνή συντήρηση.
- ✓ Απαιτούν ειδικό υπολογισμό των συνδέσεων.



Εικόνα 1.1: Πύργος του Αιφελ, Παρίσι

Πολλές φορές οι διάφορες κατασκευές εκτός από τους πρακτικούς λόγους εξυπηρετούν καλλιτεχνικούς και αισθητικούς λόγους. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο Πύργος του Αιφελ, Εικ. 1.1. Κατασκευάστηκε από χιλιάδες τόνους μεταλλικών υλικών καθώς και διάφορων

άλλων υλικών, όμως ο λόγος για τον οποίο κατασκευάστηκε ήταν περισσότερο για να εντυπωσιάσει!

1.2 ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η σωστή μελέτη μιας μεταλλικής κατασκευής πολλές φορές απαιτεί από τον μελετητή εξειδικευμένη γνώση και εμπειρία, τόσο όσον αφορά την σύλληψη της ιδέας και τη διαμόρφωση της, αλλά και όσον αφορά τις κατάλληλες μεθόδους που θα εφαρμοστούν για τον υπολογισμό της στατικής αντοχής της. Η μελέτη μιας μεταλλικής κατασκευής, με τη χρήση της κοινής λογικής, θα πρέπει να αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

1) Αρχική Σχεδίαση (μη λεπτομερής)

Η σχεδίαση αυτή, μας δίνει μια πρώτη εικόνα του μεγέθους της κατασκευής και των γενικών διαστάσεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις λειτουργίας της. Στο βήμα αυτό κάνουμε επιλογή του είδους και του φέροντος οργανισμού για την ανάληψη των φορτίων της κατασκευής, καθώς και αποφασίζουμε για τον τρόπο έδρασης της.

2) Προσδιορισμός των Φορτίων

Με τη χρήση των αντίστοιχων κανονισμών, κάνουμε μια αρχική εκτίμηση των διατομών που θα χρησιμοποιηθούν και υπολογίζουμε το ίδιο βάρος της κατασκευής μας. Προσδιορίζουμε τα μόνιμα ή κινητά φορτία και τα διακρίνουμε σε κύρια και πρόσθετα.

3) Επιλογή Υλικών και Μέσων Σύνδεσης

Αφού έχει γίνει ο υπολογισμός των φορτίων πρέπει να επιλέξουμε και το κατάλληλο υλικό κατασκευής του φέροντος οργανισμού. Έπειτα γίνεται επιλογή των μέσων σύνδεσης (ήλους, κοχλίες, συγκολλήσεις κτλ) ανάλογα των απαιτήσεων της κατασκευής (λυόμενη ή μη).

4) Στατικός Υπολογισμός

Σε αυτό το βήμα γίνεται υπολογισμός των αναπτυσσόμενων τάσεων των μερών της κατασκευής και των μέσων σύνδεσης αυτών. Ο καθορισμός των επιτρεπόμενων τάσεων ή των οριακών καταστάσεων αντοχής των υλικών της κατασκευής και των συντελεστών ασφαλείας. Πάντα βάσει των κανονισμών που είναι σε ισχύ. Στο τέλος συγκρίνουμε τις αναπτυσσόμενες τάσεις με τις επιτρεπόμενες και διορθώνουμε τις διαστάσεις όπου είναι απαραίτητο.

5) Λοιποί Έλεγχοι Αντοχής

Κάνουμε έλεγχο αντοχής των δυναμικών φορτίσεων όπου υπάρχουν, ανάλογα με το είδος και τη χρήση της κατασκευής. Δυναμικές φορτίσεις μπορεί

να είναι οι ταλαντώσεις από τον άνεμο, κρουστικές φορτίσεις κινούμενων μηχανών κτλ. Επίσης αν είναι απαραίτητο για την κατασκευή ελέγχουμε και τις αντοχές σε σεισμικές φορτίσεις.

6) Τελική Σχεδίαση

Εδώ κάνουμε την λεπτομερή σχεδίαση των όψεων, των τομών και τοποθετούμε τις τελικές διαστάσεις. Επίσης σχεδιάζουμε με λεπτομέρεια και όλα τα υπόλοιπα μέρη και τις συνδέσεις της κατασκευής (συνδέσεις κόμβων, υποστυλώματα, εδράσεις, ραφές συγκολλήσεων..)

7) Μελέτη Συναρμολόγησης

Η μελέτη συναρμολόγησης δεν είναι πάντα απαραίτητη. Γίνεται όταν ζητηθεί, ανάλογα με τον τύπο της κατασκευής, για να καθορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η συναρμολόγηση της. Δηλαδή ποια τμήματα θα μεταφερθούν έτοιμα από το εργοστάσιο και ποια θα κατασκευαστούν επί τόπου στο εργοτάξιο. Προσδιορίζουμε επίσης αν είναι αναγκαία η χρήση γερανών ή η τοποθέτηση προσωρινών κριωμάτων (σκαλωσιές).

8) Προμέτρηση Υλικών

Στην προμέτρηση των υλικών χρησιμοποιούμε συνήθως έναν πίνακα ο οποίος αναφέρει την περιγραφή κάθε χρησιμοποιημένου υλικού, τις διαστάσεις του, την ποιότητα και τις αναγκαίες ποσότητες. Η προμέτρηση είναι αναγκαία για την προμήθεια των απαιτούμενων υλικών για την κατασκευή, ανεξάρτητα από το μέγεθος του έργου.

Στις μέρες μας για τον σχεδιασμό των μεταλλικών κατασκευών χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι σχεδιασμού.

- Μέθοδος των **επιτρεπόμενων τάσεων**
- Μέθοδος **οριακής κατάστασης (LRFD)**
- Μέθοδος **Ευρωκωδίκων**

Στην μελέτη μας επιλέγουμε την μέθοδο των Ευρωκωδίκων (γίνεται χρήση του Ευρωκώδικα 1 και Ευρωκώδικα 3) οι οποίοι βασίζονται στις Ευρωπαϊκές συστάσεις για τα σιδηρά έργα (ERSC) και περιέχουν τις περισσότερο σύγχρονες προδιαγραφές για τις μεταλλικές κατασκευές. Η μέθοδος αυτή είναι παραπλήσια με την μέθοδο των Οριακών Καταστάσεων (LRFD)

1.3 ΦΟΡΤΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Τα φορτία που δρουν σε μια μεταλλική κατασκευή χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα **μόνιμα** και τα **κινητά**.

Μόνιμα είναι τα φορτία που δεν μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της κατασκευής (π.χ. ίδιο βάρος). Ενώ **κινητά** λέγονται αυτά που μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της, είτε ως προς τη *θέση ενεργείας* τους είτε ως προς την *ένταση* τους (π.χ. άτομα, άνεμος, κινούμενες μηχανές)

Τα μόνιμα ή κινητά φορτία που ασκούνται κατά κύριο λόγο με καθορισμένη διάρκεια και ένταση λέγονται **κύρια**. Αυτά που δρουν συνήθως με πιθανολογική διάρκεια και ένταση ονομάζονται **πρόσθετα φορτία**.

Μια οποιουδήποτε είδους κατασκευή για να μπορεί να εξυπηρετήσει τους λόγους και τις ανάγκες για τις οποίες δημιουργήθηκε και για να μπορεί να γίνει αποδεκτή από την κοινωνία στο σύνολο της, θα πρέπει να πληρεί κάποιους βασικούς κανόνες.

Μερικοί από τους βασικότερους κανόνες κατασκευής αναφέρονται παρακάτω :

- Λειτουργικότητα της κατασκευής
- Ασφαλής κατά τη λειτουργία και τη χρήση αυτής
- Οικονομία κατά την κατασκευή της
- Σωστή εκλογή υλικού
- Εύκολη και γρήγορη συναρμολόγηση – αποσυναρμολόγηση αυτής
- Εύκολος χειρισμός
- Εύκολη συντήρηση, όταν και όπου χρειάζεται

Για τον κάθε υπεύθυνο μηχανικό που έχει αναλάβει την διεκπεραίωση της μελέτης και την περάτωση της κατασκευής, κατασκευαστική επιτυχία θα είναι αν μπορέσει να τηρήσει όλους τους παραπάνω κανόνες στον ελάχιστο χρόνο με το ελάχιστο κόστος.

1.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα υλικά αποτελούν μέρος της βάσης όλων των τεχνολογικών εξελίξεων. Όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες και το επίπεδο ζωής επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την πρόοδο στην επιστήμη των υλικών.

Η γνώση της σχέσης μεταξύ της δομής και των ιδιοτήτων των υλικών κατέστησε τους επιστήμονες ικανούς να επιλέγουν τα καταλληλότερα υλικά για κάθε εφαρμογή και να αναπτύσσουν τις βέλτιστες μεθόδους κατεργασίας τους.

Τα κατασκευαστικά υλικά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες : **τα μέταλλα, τα κεραμικά και τα πολυμερή**. Επίσης υπάρχουν και άλλες τρεις

κατηγορίες που αποτελούνται από : *τα σύνθετα υλικά, τα ηλεκτρονικά – ημιαγώγιμα υλικά και τα βιολικά.*

- **Μέταλλα**

Τα μέταλλα αποτελούνται από ένα ή περισσότερα μεταλλικά στοιχεία και μπορούν να περιέχουν και μερικά μη μεταλλικά υλικά όπως άνθρακας, άζωτο, οξυγόνο κ.α. Έχουν κρυσταλλική δομή(τα άτομα τους δηλαδή, διατάσσονται με κανονικό, επαναλαμβανόμενο και συμμετρικό τρόπο στον χώρο). Τα μέταλλα είναι *καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος, της θερμότητας* και είναι *αδιαφανή* στο ορατό φως. Όσον αφορά τις μηχανικές τους ιδιότητες, έχουν *μεγάλη αντοχή, μεγάλη συνεκτικότητα, πλαστικότητα και δυνατότητα μορφοποίησης*, γεγονός που τα κάνει να έχουν ευρεία χρήση στις κατασκευές.

- **Κεραμικά**

Τα κεραμικά υλικά είναι κυρίως ενώσεις μεταξύ μεταλλικών και μη μεταλλικών στοιχείων.. Τα οποία είναι συνήθως οξειδία, νιτρίδια και καρβίδια. Τα κεραμικά μπορεί να είναι *άμορφα, μερικώς κρυσταλλικά ή κρυσταλλικά* ως προς τη δομή τους. Είναι *ηλεκτρικά και θερμικά μη αγωγιμα*, έχουν *αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη σκληρότητα, μικρή δυσθραυστότητα* και χρησιμοποιούνται περισσότερο ως μονωτές. Τα πλεονεκτήματα τους σε σχέση με τα μέταλλα είναι ότι έχουν *μικρότερο βάρος, υψηλή θερμική αντοχή και αντοχή σε φθορά και σε τριβή.*

- **Πολυμερή**

Τα πολυμερή είναι οργανικές ενώσεις που βασίζονται κυρίως στον άνθρακα, το υδρογόνο και σε άλλα μη μεταλλικά στοιχεία. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα *πλαστικά και τα ελαστικά*. Τα πολυμερή έχουν πολύ *μεγάλες δομές, χαμηλή πυκνότητα* και είναι εξαιρετικά *εύκαμπτα*. Έχουν *χαμηλές θερμοκρασίες τήξης και αποσύνθεσης* και είναι *κακοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος*.

- **Σύνθετα Υλικά**

Τα σύνθετα υλικά είναι *μίγμα δύο ή περισσότερων υλικών*. Ένα σύνθετο υλικό κατασκευάζεται με σκοπό να εμφανίζει ένα συνδυασμό των καλύτερων χαρακτηριστικών των υλικών από τα οποία αποτελείται. Τα περισσότερα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ένα επιλεγμένο πληρωτικό ή ενισχυτικό μέσο που είναι διεσπαρμένο σε ένα άλλο υλικό (μήτρα), συνήθως πολυμερές. Τα συνθετικά υλικά είναι διαφόρων τύπων, οι επικρατέστεροι είναι αυτοί στους οποίους το πληρωτικό υλικό είναι σε *ίνες* και εκείνοι στους οποίους είναι *σωματίδια* (εγκλείσματα).

- **Ηλεκτρονικά – Ημιαγώγιμα υλικά**

Τα υλικά αυτής της κατηγορίας όπως το *πυρίτιο*, το *γερμάνιο* και *διάφορες χημικές ενώσεις* είναι σημαντικά στη βιομηχανία των υπολογιστών και στον τομέα της ηλεκτρονικής και τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Τα ημιαγώγιμα υλικά έχουν *ηλεκτρικές ιδιότητες* ενδιάμεσες μεταξύ των αγωγών του ηλεκτρικού ρεύματος και των μονωτών. Οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες μπορούν να ελεγχθούν με ακρίβεια έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα όπως, *δίοδοι*, *τρανζίστορ*, *ολοκληρωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα*.

- **Βιοϋλικά**

Όλα τα παραπάνω υλικά, μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή, συνθετικά υλικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοϋλικά. Τα βιοϋλικά χρησιμοποιούνται σε συστατικά τα οποία *εμφυτεύονται στον ανθρώπινο οργανισμό* προς αντικατάσταση ενός προσβεβλημένου ή κατεστραμένου ανθρώπινου τμήματος. Τα υλικά αυτά δεν πρέπει να παράγουν τοξικές ουσίες και πρέπει να είναι συμβατά με τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος. (δεν πρέπει να δημιουργούν δυσμενείς βιολογικές αντιδράσεις).

Για να μπορούμε να κάνουμε τη σωστή επιλογή υλικού για την κατασκευή μας, θα πρέπει να γνωρίζουμε κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως :

- Οριακές τιμές αντοχής, αφού λάβουμε υπόψη μας το είδος του φορτίου και την απαιτούμενη ασφάλεια.
- Το μέτρο ελαστικότητας και ολίσθησης του, που μας υποδεικνύουν την ακαμψία της μορφής του.
- Την πλαστικότητα και το μέτρο διαστολής του
- Την επιφανειακή του κατάσταση
- Την σκληρότητα και την δυνατότητα βαφής
- Την ευαισθησία του στις εγχοπές
- Την συμπεριφορά του σε ταλαντώσεις και στις αποσβέσεις αυτών
- Την δυσθραυστότητα του
- Την δυνατότητα κατεργασίας του
- Την αντίσταση του στη διάβρωση
- Την πυκνότητα του και
- Την χρηματική αξία του υλικού

Από τα παραπάνω γνωρίσματα, δίνουμε πάντα βαρύτητα και συγκρίνουμε εκείνα που μας ενδιαφέρουν για τις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας και εφαρμογής της κατασκευής μας.

2 ΜΕΤΑΛΛΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα μέταλλα είναι χημικά στοιχεία που εμφανίζουν ορισμένες κοινές ιδιότητες, όπως είναι η κρυσταλλική δομή, η λάμψη, η υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, η δυνατότητα σχηματισμού ελασμάτων (ελατά) και συρμάτων (όλκιμα). Τα περισσότερα από αυτά, έχουν μεγάλη πυκνότητα, είναι σκληρά και ανθεκτικά.

Τα πιο χαρακτηριστικά μέταλλα είναι , *ο σίδηρος, ο χαλκός, το αργίλιο* (αλουμίνιο), *το νάτριο, το ασβέστιο, ο ψευδάργυρος, το μαγνήσιο, το τιτάνιο, το ουράνιο κ.α.* Με εξαίρεση τον υδράργυρο, όλα τα άλλα μέταλλα σε θερμοκρασία δωματίου (20°C) είναι στερεά και έχουν επίσης το χαρακτηριστικό αργυρόλευκο χρώμα, εκτός από τον χαλκό (ερυθρό) και τον χρυσό (κίτρινο).

2.1.1 Για την ιστορία

Τα μέταλλα ήταν από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν από τον πρωτόγονο άνθρωπο για την κατασκευή εργαλείων και όπλων. Με αποτέλεσμα η χρήση των μετάλλων να υπήρξε καθοριστική για την ανάπτυξη της σημερινής κοινωνίας και βοήθησε σημαντικά στην κάλυψη βασικών αναγκών που προέκυπταν.

Σταδιακά και με μικρά βήματα, περίπου πριν από 5000 χρόνια π.Χ. άρχισαν να εμφανίζονται οι πρώτες κατασκευές από μέταλλο, οι οποίες εξυπηρετούσαν διάφορες ανάγκες. Συναντάμε τα μέταλλα λοιπόν, σε οικιακές ανάγκες (μαγειρικά σκεύη κλπ), στην οικονομία (μεταλλικά νομίσματα), στον πολεμικό εξοπλισμό (ξίφη, ασπίδες κτλ) αλλά και σε κατασκευές που βοήθησαν πολύ τις θετικές επιστήμες (υπολογιστής Αντικυθήρων).

Η βασική χρήση όμως των μετάλλων ξεκίνησε στην πιο σύγχρονη κοινωνία, όπου ο άνθρωπος είχε αποκτήσει την απαραίτητη γνώση για την εξόρυξη, παραγωγή, επεξεργασία και χρήση των μετάλλων. Ασχολήθηκε πολύ με την μελέτη αυτών, τα χώρισε σε κατηγορίες, τα ονόμασε, ανακάλυψε τις εκάστοτε ιδιότητες τους και τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με τα άλλα υλικά που χρησιμοποιούσε ως τότε.

Στα τέλη του 17^{ου} αιώνα ο σίδηρος και τα προϊόντα του βρήκαν πολλές εφαρμογές και σε συνδυασμό με τις διάφορες επιστήμες βοήθησαν στην εξέλιξη της τεχνολογίας.

Κατά συνέπεια, βρίσκουμε τον σίδηρο και τα διάφορα κράματα του (π.χ χάλυβα) σαν κύριο κατασκευαστικό υλικό στις πρώτες μηχανές εσωτερικής καύσης, στις πρώτες μεταλλικές κατασκευές που βοήθησαν την κοινωνία (π.χ. γέφυρες, υδραγωγεία), αλλά και στο εμπόριο με την κατασκευή αποθηκευτικών χώρων (π.χ. μεταλλικά σιλό, αποθήκες)

Η συνεχής ανάγκη για την χρήση του σιδήρου και των υπολοίπων μετάλλων δημιούργησε ένα ειδικό επιστημονικό κλάδο, τον κλάδο της μεταλλουργίας, που ασχολήθηκε αποκλειστικά με την δομή, δημιουργία, επεξεργασία των μετάλλων και την βελτίωση των ιδιοτήτων τους για την δημιουργία νέων προϊόντων. Φτιαγμένα με περισσότερα πλεονεκτήματα ως προς τον τρόπο παραγωγής τους, στην χρήση τους, φιλικότερα προς το περιβάλλον και ανθεκτικότερα.

Σήμερα οι περισσότερες συσκευές και κατασκευές είναι κατασκευασμένες είτε εξ ολοκλήρου από κάποιο συγκεκριμένο μέταλλο είτε από τον συνδυασμό διαφορετικών μετάλλων.

Στις μέρες μας η παραγωγή των μετάλλων παρ' όλο που είναι αρκετά μεγάλη παγκοσμίως, δεν αρκεί για να καλύψει όλες τις απαιτήσεις της βιομηχανίας. Γι αυτό και η ανακύκλωση των μετάλλων είναι απαραίτητη

2.2 ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Τα βασικότερα μέταλλα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σήμερα στις κατασκευές είναι , **ο σίδηρος** , **το αλουμίνιο** και **ο χαλκός**.

Η χρήση του **αλουμινίου** στις μεταλλικές κατασκευές τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί ιδιαίτερα. Στις ελαφριές μεταλλικές κατασκευές το αλουμίνιο έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα άλλα μέταλλα καθώς είναι ελαφρύτερο και δεν οξειδώνεται. Χρησιμοποιείται σε πολλά είδη κατασκευών, όπως μεταλλικά έπιπλα, κουφώματα, επικαλύψεις προσόψεων κτιρίων αλλά και υπό μορφή σπουδαίων κραμάτων συναντάται πολύ συχνά στην βιομηχανία των αεροπλάνων.

Ο χαλκός και τα μεγάλης αντοχής ευκατέργαστα κράματα του έχουν συντελέσει σε σημαντικό βαθμό στις κατασκευές. Αυτό οφείλεται στην υψηλή αντοχή σε διάβρωση και στην άριστη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα του. Από τον χαλκό κατασκευάζονται αγωγοί μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, σύρματα, σωλήνες, μαγειρικά σκεύη κτλ. Όμως η μεγαλύτερη χρήση του γίνεται στις κατασκευές ηλεκτρικών μηχανών (25% της παγκόσμιας παραγωγής), στην

πολεμική βιομηχανία και στην οικοδομή (8%), στη βιομηχανία αυτοκινήτων (7%) και αλλού.

Ο σίδηρος και τα κράματα του είναι από τα μέταλλα που παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από οποιοδήποτε άλλο τύπο μετάλλου. Το 90% κατά βάρος των μεταλλικών υλικών που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως είναι σιδηρούχα κράματα, τα οποία αποτελούν μια τεράστια οικογένεια βιομηχανικών υλικών με μεγάλη ποικιλία μικροδομών και ιδιοτήτων. Η διαδεδομένη χρήση τους είναι συνέπεια των παρακάτω τριών λόγων: α) οι ενώσεις που περιέχουν σίδηρο βρίσκονται σε άφθονη ποσότητα εντός του φλοιού της γης, β) ο μεταλλικός σίδηρος και τα χαλύβδινα κράματα μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας μια σχετικά οικονομική εξαγωγή από το ορυκτό, εύκολο καθαρισμό, κραματοποίηση και με διάφορες τεχνικές επεξεργασίας, γ) τα σιδηρούχα κράματα είναι πολλαπλών χρήσεων, με την έννοια ότι είναι δυνατό να προσαρμοστούν ώστε να έχουν ένα μεγάλο εύρος μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων. Η πλειονότητα των κατασκευαστικών σχεδίων που απαιτούν αντοχή σε φορτία ή μετάδοση ισχύος περιλαμβάνουν σιδηρούχα μέταλλα. Το κύριο μειονέκτημα αρκετών σιδηρούχων κραμάτων είναι η ευαισθησία τους στη διάβρωση.

Το καθαρό αλουμίνιο (Al) ή αργίλιο, έχει ατομικό βάρος 26,98 ειδικό βάρος $2,67 \text{ gr/cm}^3$ και ατομικό αριθμό 13. Είναι ελατό, όλκιμο και τήκεται στους $660 \text{ }^\circ\text{C}$ και έχει σημείο ζέσεως στους $1800 \text{ }^\circ\text{C}$, είναι επίσης καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος και δεν αλλοιώνεται όταν έρθει σε επαφή με τον ξηρό αέρα.

Ο καθαρός χαλκός (Cu) έχει ατομικό βάρος 63,57 ειδικό βάρος $8,96 \text{ gr/cm}^3$ και ατομικό αριθμό 29. Χαρακτηρίζεται από ελατότητα, όλκιμότητα και καλή αγωγιμότητα στον ηλεκτρισμό και την θερμότητα, τήκεται στους $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ και ζέει στους $2310 \text{ }^\circ\text{C}$. Δεν αλλοιώνεται στον ξηρό αέρα.

Ο καθαρός σίδηρος (Fe) έχει ατομικό βάρος 55,85 ειδικό βάρος $7,85 \text{ gr/cm}^3$ και ατομικό αριθμό 26. Είναι ελατός, όλκιμος, καλός αγωγός του ηλεκτρισμού και της θερμότητας, μπορεί να μαγνητιστεί μέχρι την θερμοκρασία των $750 \text{ }^\circ\text{C}$. Η θερμοκρασία τήξεως του είναι στους $1539 \text{ }^\circ\text{C}$.

Τα τεχνικά μεταλλικά υλικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, **τα σιδηρούχα** και τα **μη σιδηρούχα**.

Τα σιδηρούχα μεταλλικά υλικά περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο τους **χάλυβες** και τους **χυτοσιδήρους**, ενώ τα **μη σιδηρούχα** μεταλλικά υλικά περιλαμβάνουν κυρίως τα **κράματα χαλκού**, **αλουμινίου**, **τιτανίου**, **μαγγανίου**, **μολύβδου**, κτλ.

Τα κράματα του σιδήρου κατατάσσονται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα (C), στον χάλυβα με

περιεκτικότητα σε άνθρακα από **0,03 – 1,2 %** (θεωρητικά < 2%) και στον χυτοσίδηρο που περιέχει από **2 – 4,5 %** άνθρακα.

Η μεταλλουργία ακολουθεί τα εξής στάδια για την εξαγωγή του σιδήρου από τα σιδηρομεταλλεύματα του :

- Παραγωγή ακατέργαστου σιδήρου
- Παραγωγή χυτοσιδήρου
- Παραγωγή χάλυβα

2.3 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ

Ο χάλυβας (κοινώς γνωστός και ως ατσάλι) είναι ένα **κράμα σιδήρου – άνθρακα** με περιεκτικότητα λιγότερη από 2,06% κ.β. σε άνθρακα, λιγότερη από 1,0% σε μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου.

Το ατσάλι είναι από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά με αποτέλεσμα οι χαλυβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) να ανήκουν στις λεγόμενες «βαριές βιομηχανίες».

Με την ονομασία «χάλυβας», ονομάζουμε όλα τα **είδη κραμάτων του σιδήρου**, με εξαίρεση το μαντέμι. Το στοιχείο που επικρατεί στα κράματα αυτά είναι ο άνθρακας.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις στην χρήση του χάλυβα, μπορούν να μεταβληθούν ορισμένες ιδιότητες κατά την παραγωγή του, είτε μέσω της χημικής του σύνθεσης, της μεταβολής της κρυσταλλικής του κατάστασης, της θερμικής επεξεργασίας του κλπ

2.3.1 Κατάταξη χαλύβων

Ανάλογα με την χημική τους σύσταση οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Κοινοί ή Ανθρακούχοι Χάλυβες.** Είναι οι χάλυβες που περιέχουν έως 1,0% Mn και ελάχιστα ποσοστά προσμίξεων θείου (S) και φωσφόρου (P) (συνήθως έως 0,05%). Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για **μαλακούς χάλυβες** (μικρής περιεκτικότητας σε άνθρακα), οι οποίοι παρουσιάζουν αυξημένη συγκολλησιμότητα.

- **Κραματωμένοι Χάλυβες.** Οι κραματωμένοι χάλυβες χωρίζονται και αυτοί σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε διάφορες προσμίξεις:

- **ελαφρά κραματωμένοι.** Περιέχουν προσμίξεις άλλων μετάλλων έως 2%. Τέτοιοι είναι οι δομικοί ή κατασκευαστικοί χάλυβες.

- **μέτρια κραματωμένοι.** Είναι εκείνοι που περιέχουν από 2% - 10% προσμίξεων.

- **ισχυρά κραματωμένοι.** Είναι οι χάλυβες που η περιεκτικότητά τους σε προσμίξεις είναι πάνω από 10%. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, οι ταχυχάλυβες και οι χάλυβες Μαρτενγήρανσης (Martensing), με μεγάλα ποσοστά βολφραμίου (W), βαναδίου (V), μολυβδαινίου (Mo), χρωμίου (Cr), νικελίου (Ni), κοβαλτίου (Co).

Όσον αφορά τον προορισμό τους, οι χάλυβες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

· **Χάλυβες Διαμορφώσεως.** Αυτοί οι χάλυβες δέχονται περαιτέρω μηχανική κατεργασία, όπως έλαση, διέλαση, κτλ

· **Χυτοχάλυβες.** Παράγονται απευθείας με χύτευση σε ειδικά καλούπια (χελώνες).

Ανάλογα την χρήση τους οι χάλυβες κατηγοριοποιούνται ως εξής:

· **Χάλυβες Κατασκευών.** Είναι χάλυβες που περιέχουν μικρά ποσοστά προσμίξεων (συνήθως Mn, Cr) και χρησιμοποιούνται σε πληθώρα κατασκευών, όπως π.χ. συμπαγείς άξονες, διωστήρες εμβόλων, βαλβίδες, ελατήρια, κτλ.

· **Ανοξείδωτοι Χάλυβες.** Ονομάζονται οι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε Cr (>13%) που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε αντοχή και διάβρωση, όπως π.χ στη χημική βιομηχανία. Οι κατασκευές από ανοξείδωτο χάλυβα είναι συνήθως σωλήνες, πτερωτές, δοχεία, εναλλάκτες θερμότητας, αντιδραστήρες και οτιδήποτε έρχεται σε επαφή με διαβρωτικό υγρό, καθώς επίσης και σε ιατρικά εργαλεία (χειρουργικά νυστέρια) και είδη οικιακής χρήσεως (είδη κουζίνας).

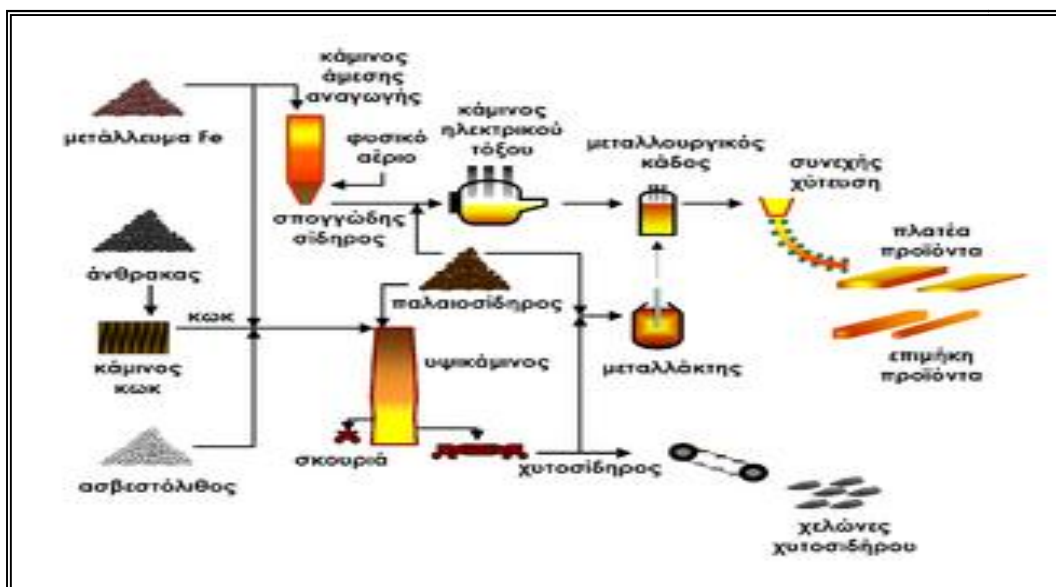
· **Χάλυβες Εργαλείων ή Εργαλειοχάλυβες.** Οι χάλυβες αυτής της κατηγορίας περιέχουν συνήθως υψηλά ποσοστά κραματικών στοιχείων (W, Mo, Cr, V) τα οποία βοηθούν την αύξηση της σκληρότητας και της αντίστασης σε φθορά και τριβή. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής (κοπτικά τόρνου, φρέζας, πλάνης, κλπ) ή διαμόρφωσης (μήτρες, έμβολα, καλούπια χύτευσης και διαμόρφωσης).

· **Χάλυβες Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών.** Αυτοί οι χάλυβες χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές, όπως είναι η κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών, ηλεκτρικών γεννητριών, μόνιμων μαγνητών, κλπ.

2.4 Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Η παραγωγή του χάλυβα ακολουθεί τις τρεις παρακάτω βασικές μεθόδους:

1. Παραγωγή με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μετατροπέα με εμφύσηση οξυγόνου.
2. Παραγωγή με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλαδή αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε κάμινο (κλίβανο) για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου, και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο ηλεκτρικού τόξου· και τέλος
3. Παραγωγή με την **ανάτηξη** παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο ηλεκτρικού τόξου.



Σχηματικό διάγραμμα 2.1 : παραγωγή χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες μεθόδους και το 31,7% από την ανάτηξη παλαιών σιδήρων (σκράπ) και σπογγώδους σιδήρου σε κλίβανους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε κάμινο ανοικτής εστίας ή άλλες μεθόδους.

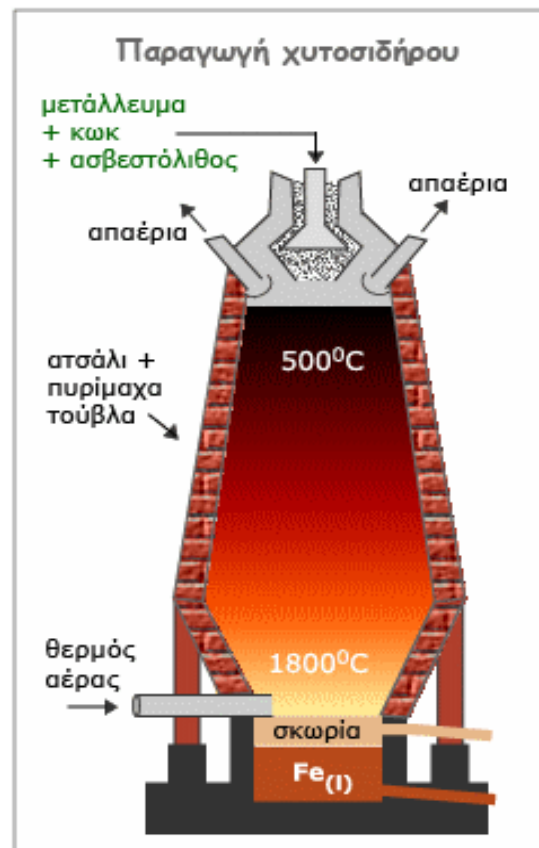
Στην Ελλάδα, όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου 2,5 εκατ. τόνοι ετησίως) προέρχεται από την ανάτηξη παλαιού σιδήρου και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μετόβεργας και δομικών χαλύβων.

Ο χάλυβας λαμβάνεται από τον κοινό χυτοσίδηρο (χαλυβοποίηση του χυτοσιδήρου), με τις ακόλουθες μεθόδους αναλυτικά :

- Μέθοδος Bessemer
- Μέθοδος Siemens – Martin
- Μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου

Οι τρεις αυτές μέθοδοι παραγωγής αναλύονται παρακάτω.

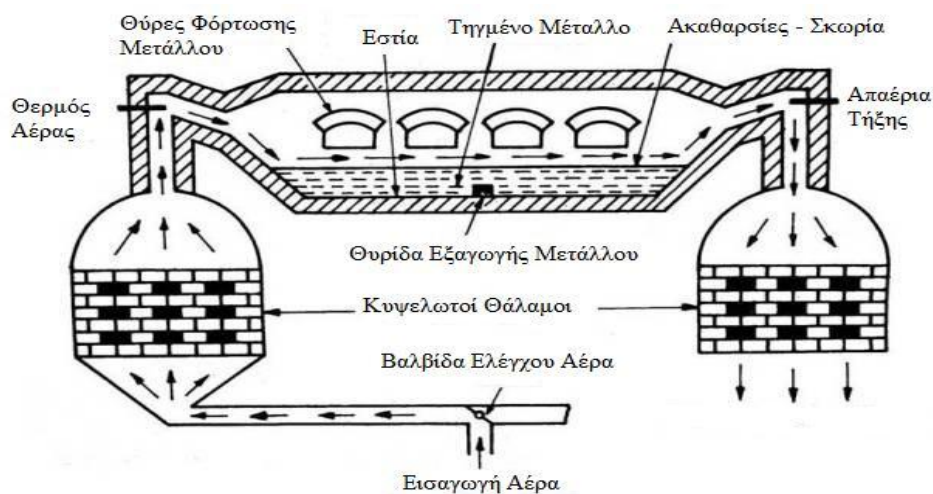
• **Μέθοδος Bessemer:** Η μέθοδος αυτή πήρε το όνομα της από τον Βρετανό μηχανολόγο μεταλλουργό Henry Bessemer, την οποία τελειοποίησε το 1855. Σκοπός του ήταν να εφεύρει μια μέθοδο που θα απαιτούσε λιγότερο κόστος για την απομάκρυνση του άνθρακα από τον χυτοσίδηρο. Στην μέθοδο αυτή, ο χυτοσίδηρος τοποθετείται σε έναν ειδικό μετατροπέα, στον πυθμένα του οποίου εμφυσείται ζεστός αέρας (ή και καθαρό οξυγόνο) μέσω κατάλληλων ακροφυσίων. Η ροή του αέρα αυτού έχει ως αποτέλεσμα την οξείδωση (πυράκτωση) των διαφόρων ακαθαρσιών του τηγμένου χυτοσιδήρου. Επομένως γίνεται η λήψη ενός χυτοσιδήρου σχεδόν χωρίς υπολείμματα άνθρακα. Έτσι έχουμε την δυνατότητα να προσθέσουμε την ποσότητα του άνθρακα που επιθυμούμε, ανάλογα με τις κείμενες απαιτήσεις. Σημαντικό ρόλο για την ποιότητα του χυτοσιδήρου που θα παραχθεί παίζει η επένδυση του μετατροπέα. Η πυρίμαχη επένδυση αυτή μπορεί να είναι όξινη ή βασική (μέθοδος Thoman). Αν η περιεκτικότητα του χυτοσιδήρου είναι χαμηλή σε φώσφορο τότε έχουμε όξινη επένδυση (συνήθως αποτελείται από άργιλο και διοξείδιο του πυριτίου), ενώ σε αντίθετη περίπτωση έχουμε βασική επένδυση.



Εικ. 2.1 : Παραγωγή χυτοσιδήρου με τη μέθοδο Bessemer

• **Μέθοδος Siemens – Martin:** Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και μέθοδος ανοιχτής εστίασης. Εφαρμόστηκε έπειτα από την μέθοδο Bessemer. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί αβαθείς καμίνους με μεγάλη επιφάνεια αντίδρασης της επένδυσης. Και σε αυτή τη μέθοδο η επένδυση μπορεί να είναι όξινη ή βασική.

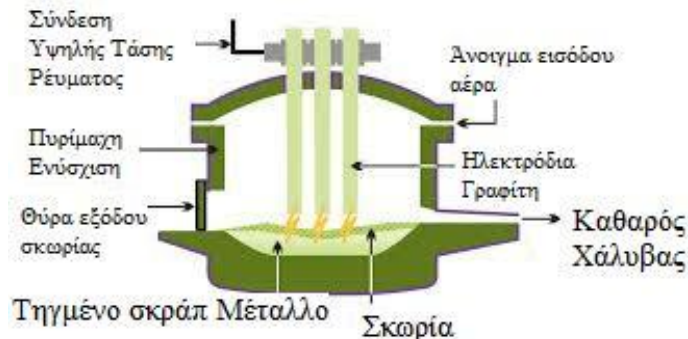
Μέσα στην κάμινο η θερμοκρασία κυμαίνεται στους 1500- 1700 °C. Η υψηλή θερμοκρασίας της καμίνου και η μεγάλη επιφάνεια της επένδυσης της, μας επιτρέπουν να προγραμματίσουμε την επίδραση των οξειδωτικών αντιδράσεων. Με αυτή τη μέθοδο μπορεί να γίνει δυνατή η παραγωγή του χάλυβα με πολλούς διαφορετικούς τρόπους , που εξαρτώνται από την τροφοδοσία της καμίνου. Ένας τέτοιος τρόπος είναι η παραγωγή ράβδου κοινού χυτοσιδήρου και μεταλλευμάτων (όπου ο καθαρός χυτοσίδηρος αντιστοιχεί περίπου στο 75%), επίσης υπάρχει και η μέθοδος κοινού χυτοσιδήρου και απορριμμάτων σφυρήλατου σιδήρου και χάλυβα (με περιεκτικότητα χυτοσιδήρου περίπου στο 25%). Με την μέθοδο Siemens – Martin μπορούμε να παράγουμε οποιαδήποτε ποιότητα χάλυβα και η σύνθεση των κραμάτων του μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια.



Εικ. 2.2 : Διάταξη παραγωγής χυτοσιδήρου με την μέθοδο Siemens – Martin

· **Μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου:** Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να παραχθούν χάλυβες εξαιρετικής ποιότητας και ειδικών εφαρμογών, λεγόμενοι ηλεκτροχάλυβες. Χρησιμοποιείται επίσης και για την βελτίωση των χαλύβων που έχουν παραχθεί με τις δυο προηγούμενες μεθόδους. Ως πρώτη ύλη για το τελικό προϊόν χρησιμοποιείται το σκραπ μετάλλευμα. Η θερμότητα που απαιτείται για την τήξη του παράγεται με την βοήθεια της ενέργειας του ηλεκτρικού τόξου που σχηματίζεται μεταξύ ηλεκτροδίων άνθρακα (γραφίτη) και του τηκόμενου μετάλλου. Οι περισσότεροι ηλεκτροκάμινοι έχουν 3 ηλεκτρόδια και παράγουν ηλεκτρικό τόξο με εναλλασσόμενο ρεύμα 300-700 V. Λόγω της μη ύπαρξης καυσαερίων (θερμικές απώλειες) η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει και τους 3500 ° C . Μια άλλη τεχνική της μεθόδου αυτής είναι η επαγωγική, όπου η θερμοκρασία αναπτύσσεται λόγω των επαγωγικών ρευμάτων που παράγονται από το πηνίο που είναι περιτυλιγμένο γύρω από την υψικάμινο. Σπάνιες είναι οι περιπτώσεις όπου για την παραγωγή θερμότητας γίνεται καύση

κωκ, μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων. Στην περίπτωση αυτή η ποσότητα του κωκ εξαρτάται από τη απαίτηση για την αντίδραση της αναγωγής του μετάλλου. Το ποσοστό των χαλύβων που παράγονται με αυτές τις μεθόδους φτάνει το 30% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα.



Εικ. 2.3 : Διάταξη παραγωγής χάλυβα με την μέθοδο ηλεκτρικής καμίνου

2.5 ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Εκτός από τη χημική σύσταση, που καθορίζει βασικά τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, που επηρεάζουν, σε μικρότερο βαθμό τις ιδιότητες του υλικού. Τέτοιοι παράγοντες είναι μεταξύ των άλλων:

- Η διαδικασία επεξεργασίας σε θερμή ή ψυχρή κατάσταση,
- Τα ύψη των χρησιμοποιούμενων θερμοκρασιών,
- Η ταχύτητα απόψυξης,
- Το ιστορικό φορτίσεων και αποφορτίσεων του μετάλλου

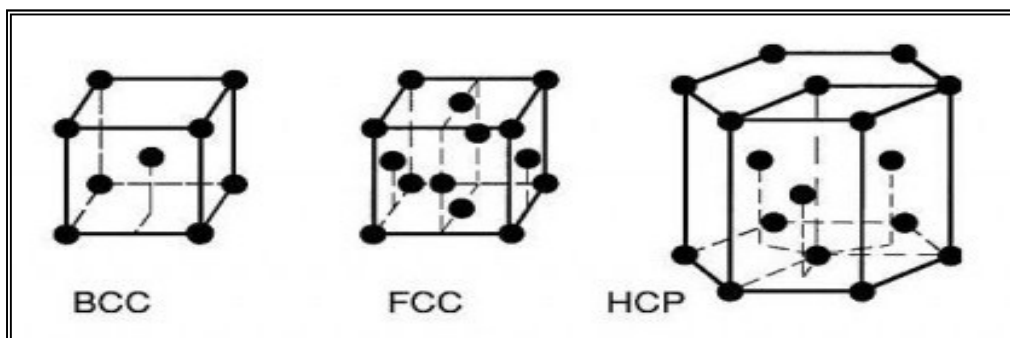
Μερικές βασικές μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα, όπως π.χ. η διαρροή και η θραύση, επηρεάζονται από την ατομική δομή του υλικού, δηλαδή από τη διάταξη, που έχουν τα άτομα, μέσα στους κρυστάλλους. Κάθε κρύσταλλος αποτελείται από έναν ορισμένο αριθμό ατόμων, που διατάσσονται μ' ένα συγκεκριμένο τρόπο. Έτσι το σύνολο της μάζας του υλικού αποτελεί μία απλή επανάληψη του βασικού πλέγματος στον χώρο. Η ακριβής μορφή του πλέγματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία του.

Μέχρι τη θερμοκρασία των 910 °C περίπου και για κανονική ατμοσφαιρική πίεση το πλέγμα έχει κυβική μορφή. Ο χάλυβας αυτός ονομάζεται «α – σίδηρος». Σε θερμοκρασία 910 °C το πλέγμα αποκτά νέα μορφή, κυβική πάλι, αλλά με περισσότερα άτομα άνθρακα σε κάθε κρύσταλλο. Στην κατάσταση αυτή ο χάλυβας ονομάζεται «γ – σίδηρος».

Στους 1390 °C περίπου ο « γ – σίδηρος» μετασχηματίζεται και πάλι σε « α – σίδηρο» αποκτώντας την αρχική κρυσταλλική του δομή. Κατά τον μετασχηματισμό αυτό ελευθερώνονται τα άτομα του άνθρακα που περισσεύουν. Αποτέλεσμα αυτού είναι η απότομη διόγκωση του υλικού.

Πρακτικά όλοι οι κρύσταλλοι δεν είναι απόλυτα όμοιοι μεταξύ τους, αλλά εμφανίζουν ορισμένες ατέλειες στη δομή τους εξαιτίας κάποιας «αταξίας» των ατόμων στο εσωτερικό των κρυστάλλων καθώς και διαφορετικές οριακές συνθήκες εξ αιτίας διαφορετικών προσανατολισμών. Οι παραμορφώσεις αυτές των κρυστάλλων οφείλονται στις αμοιβαίες έλξεις μεταξύ των γειτονικών ατόμων κι οδηγούν σε αύξηση των αρχικών τάσεων και στην εμφάνιση παραμορφώσεων στα όρια των κρυσταλλικών δομών.

Από αυτά γίνεται φανερό ότι στην πραγματικότητα ο χάλυβας δεν είναι ομογενές υλικό. Προκειμένου να επιτευχθεί μία ευκολότερη μαθηματική περιγραφή και μελέτη των ιδιοτήτων του χάλυβα παίρνεται ως βάση μία αντίστοιχη μέση συμπεριφορά του υλικού κάτω από συνθήκες ομοιογένειας κι ισορροπίας σε συγκεκριμένο σημείο του πλέγματος. Έτσι ο χάλυβας μπορεί να χαρακτηριστεί τελικά ως ημιομογενές μέσο.



Εικόνα 2.4 : Τα τρία είδη της κρυσταλλικής δομής, α) κυβικό χωροκεντρωμένο (BCC), β) κυβικό εδροκεντρωμένο (FCC), γ) εξαγωνικό μέγιστης πυκνότητας (HCP) (πηγή: *“Επιστήμη & Τεχνολογία των Υλικών”*, William D.Callister JR.)

2.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων οι οποίες μας ενδιαφέρουν είναι:

- Το όριο διαρροής και όριο θραύσης
- Η μορφή του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων
- Η ολκιμότητα του
- Η αντοχή του σε κόπωση

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων οπλισμού σε μία μελέτη βασίζεται σε κατηγορία χάλυβα που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή χαρακτηριστικής αντοχής f_{yk} . Η αντοχή αυτή συνδέεται με το όριο διαρροής και το όριο θραύσης. Σχεδόν πάντα, η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα προσδιορίζεται με τις δοκιμές ελέγχου ποιότητας και είναι πιστοποιημένη.

Οι τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών, που περιγράφουν τις μηχανικές ιδιότητες του δομικού χάλυβα, προκύπτουν με τη βοήθεια πειραμάτων. Η δοκιμή σε εφελκυσμό κάτω από στατική φόρτιση αποτελεί το βασικότερο πείραμα.

Ο χάλυβας είναι κράμα που αποτελείται βασικά από δύο χημικά στοιχεία:

- Τον μεταλλικό σίδηρο (Fe)
- Τον μη μεταλλικό άνθρακα (C)

Στη σύσταση αυτού του κράματος είναι πιθανόν να περιέχονται κι άλλα στοιχεία σε πολύ μικρότερη αναλογία, όπως φώσφορο (P), πυρίτιο (Si), θείο (S), χαλκό (Cu), μαγνήσιο (Mg), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), χρώμιο (Cr) κλπ. Η ακριβής χημική σύσταση του χάλυβα ελέγχεται σε δύο στάδια κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής:

Το πρώτο στάδιο, είναι λίγο πριν από την εξέλαση, όσο το υλικό δηλαδή είναι ακόμα μια άμορφη μάζα.

Το δεύτερο στάδιο είναι μετά την εξέλαση και απόψυξη του, οπότε το υλικό έχει πάρει πλέον την τελική του μορφή κι είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί.

Ο σκοπός των προσμίξεων αυτών είναι η παραγωγή των χαλυβοκραμάτων, τα οποία είναι μια βελτιωμένη μορφή του χάλυβα, η οποία εξαρτάται από τις απαιτήσεις που έχουμε.

Παρακάτω αναφέρονται τα κύρια στοιχεία που προσθέτονται συνήθως για να βελτιωθεί ο χάλυβας και τα οφέλη που επιτυγχάνουμε.

C: ο άνθρακας αυξάνει τα μεγέθη αντοχής R_m (αντοχή σε εφελκυσμό), R_e (όριο διαρροής), R_p (όριο διαστολής), την σκληρότητα και την ευαισθησία σε εγκοπές. Ενώ ελαττώνει την πλαστικότητα, την διαστολή θραύσης A , καθώς και την ευχέρεια για σωστό απόβλητο, σφυρηλάτηση και συγκολλητικότητα. Η δημιουργία σκουριάς είναι ανεξάρτητη από την περιεκτικότητα του σε άνθρακα.

Cr : το χρώμιο αυξάνει την αντοχή του περίπου κατά 80 N/mm^2 ανά 1% Cr, την σκληρότητα και την αντοχή του σε φθορά, με σχηματισμό καρβιδίων χρωμίου, ενώ η πλαστικότητα του είναι καλή και βελτιώνει την ικανότητα σκλήρυνσης.

Mn : το μαγγάνιο αυξάνει την αντοχή του κατά 100 N/mm^2 ανά 1% Mn και αντοχή σε φθορά. Βελτιώνει επίσης την σκλήρυνση σε βάθος. Οι περλιτικοί χάλυβες μαγγανίου εμφανίζουν όμως ευαισθησία στην υπερθέρμανση και έχουν την τάση θραύσης κατά την επαναφορά τους.

Ni : το νικέλιο μπορεί να αυξήσει την αντοχή του χάλυβα κατά 40 N/mm^2 ανά 1% Ni περίπου, επίσης βελτιώνει την επιμήκυνση και την βαφή σε βάθος. Γενικά χρησιμοποιείται στους χάλυβες ενανθράκωσης, επιβελτίωσης και εργαλείων. Σε συνδυασμό με το χρώμιο είναι από τις σπουδαιότερες προσθήκες για χάλυβες που αντιστέκονται σε σκουριά και επίδραση οξέων.

Mo : το μολυβδαίνιο έχει τη δυνατότητα να ελαττώνει την ευθραυστότητα κατά την επαναφορά και να βελτιώνει την επιβελτίωση σε βάθος. Ως αποτέλεσμα αυτού, το μολυβδαίνιο μπορεί να αντικαταστήσει το χρώμιο στους επιβελτιωμένους χάλυβες και το βολφράμιο στους χάλυβες εργαλείων.

W : το βολφράμιο δημιουργεί υψηλή σκληρότητα και μεγάλη πλαστικότητα στον χάλυβα. Είναι κύριο συστατικό σε ταχυχάλυβες και χάλυβες που δουλεύουν σε υψηλές θερμοκρασίες.

Si : το πυρίτιο δυσκολεύει τις διαμορφώσεις εν ψυχρώ και βελτιώνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα, την αντίσταση στη διάβρωση καθώς και την σκληρότητα σε βάθος στους επιβελτιωμένους χάλυβες.

V : το βανάδιο είναι το στοιχείο εκείνο που επενεργεί αντιοξειδωτικά, υποβοηθάει τη δημιουργία καρβιδίων, ελαττώνει την ευαισθησία σε υπερθέρμανση και βελτιώνει την αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία, επίσης αυξάνει την σκληρότητα των ταχυχαλύβων και των χαλύβων εργαλείων.

Co : το κοβάλτιο προσδίδει βελτιωμένη συμπεριφορά στην επαναφορά και ελαττώνει την ευαισθησία των χαλύβων στην υπερθέρμανση. Κατά κανόνα χρησιμοποιείται στους ταχυχάλυβες.

2.7 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΑΛΥΒΩΝ

Πολλές φορές για την βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων οι χάλυβες περνάνε από θερμικές και μηχανικές κατεργασίες. Οι κατεργασίες αυτές κατατάσσονται παρακάτω ως εξής:

2.7.1 Θερμικές Κατεργασίες

- **Βαφή:** Η βαφή γίνεται για την αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής, μειώνοντας όμως την πλαστικότητα και την δυσθραυστότητα. Στην βαφή θερμαίνουμε τον χάλυβα σε υψηλή θερμοκρασία και έπειτα τον ψύχουμε απότομα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή της κρυσταλλικής δομής του χάλυβα και του μεγέθους των κόκκων.
- **Επαναφορά:** Η επαναφορά μετά την βαφή γίνεται όταν η σκληρότητα του χάλυβα έχει αυξηθεί παραπάνω από το επιθυμητό. Άρα επιτυγχάνουμε την αποσκλήρυνση του.
- **Επιμετάλλωση :** Η επιμετάλλωση γίνεται για την προστασία των επιφανειών του χάλυβα. Συνήθως γίνεται στις επιφάνειες επικασσιτέρωση, επιψευδαργύρωση κλπ.
- **Τοπική βαφή :** Η τοπική βαφή ακολουθεί την ίδια διαδικασία με την βαφή, απλά γίνεται για την σκλήρυνση σε συγκεκριμένα άκρα, σημεία επαφής κλπ.
- **Τοπικός εμπλουτισμός :** Γίνεται συνήθως με στοιχεία άνθρακα (C) και αζώτου (N) για να βελτιωθούν τοπικά κάποιες ιδιότητες του χάλυβα.

2.7.2 Μηχανικές Κατεργασίες

- **Θερμή έλαση :** Πραγματοποιείται στους 1000 °C, όπου γίνεται η διέλευση των ελασμάτων του χάλυβα από ειδικά έλαστρα ώστε να πάρουν το επιθυμητό σχήμα.
- **Ψυχρή έλαση :** Πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με την διέλευση των ελασμάτων από τα ειδικά έλαστρα ώστε να πάρουν το σχήμα που επιθυμούμε.
- **Σφυρηλασία :** Η σφυρηλασία είναι μια κατεργασία που δημιουργείται συνήθως εν θερμώ, για βαριά αντικείμενα, π.χ. άξονες, έλικες πλοίων.
- **Συμπίεση :** Η συμπίεση είναι μια κατεργασία που πραγματοποιείται εν ψυχρώ, έχει ευρύτατη χρήση και χρησιμοποιούνται πρέσες με καλούπια (μήτρες)
- **Θερμή ολκή :** Με την θερμή ολκή γίνεται η θερμή παραγωγή λεπτών συρμάτων $d \leq 5 \text{ mm}$ με εφελκυσμό μέσω οπών.

· **Ψυχρή ολκή** : Γίνεται η ψυχρή παραγωγή λεπτών συρμάτων $d \leq 5$ mm με εφελκυσμό μέσω οπών.

2.8 ΤΡΟΠΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΧΑΛΥΒΩΝ

Τα σιδηρούχα κράματα, όπως και ο χάλυβας, όταν έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα οξειδώνονται. Όταν στο περιβάλλον υπάρχει υγρασία και αναθυμιάσεις από θείο, ιώδιο και φώσφορο, τότε η οξείδωση είναι πιο έντονη.

Η προστασία των σιδηρών κατασκευών από την οξείδωση μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

1. Με επιμετάλλωση
2. Με βαφή από χημικά χρώματα
3. Με επικάλυψη ασφαλικών υλικών
4. Με προσμίξεις Ni, Cr (ανοξειδωτοι χάλυβες)
5. Με βαφή ανοδικής προστασίας (ηλεκτρομαγνητική βαφή)
6. Με επάλειψη τσιμέντου

2.9 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ

Γενικά

Για μεγαλύτερη ευκολία και ταχύτητα οι χάλυβες έχουν πάρει ειδικές ονομασίες και χαρακτηρισμούς. Υπάρχουν δυο βασικές τυποποιήσεις που προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά τους. Η τυποποίηση κατά DIN (Γερμανικοί κανονισμοί) και η τυποποίηση κατά AISI – SAE (Αμερικάνικοι κανονισμοί).

2.9.1 Τυποποίηση κατά DIN

Με βάση την συγκεκριμένη τυποποίηση η ονομασία κάθε κοινού ανθρακούχου χάλυβα ξεκινά με το πρόθεμα St (από την Γερμανική λέξη Stahl που σημαίνει χάλυβας) και ακολουθεί ένα αριθμητικό στοιχείο, το οποίο δηλώνει την αντοχή του σε εφελκυσμό, μετρούμενη σε kp/mm^2 . Ένας ανθρακούχος χάλυβας λοιπόν με αντοχή 500 N/mm^2 (δηλαδή 50 kp/mm^2), συμβολίζεται με βάση τον κανονισμό ως εξής St 50.

Τις περισσότερες φορές ο αριθμός που δηλώνει την αντοχή, ακολουθείται και από έναν μονοψήφιο αριθμό που αφορά την ποιότητα του (1 = συνήθεις απαιτήσεις, 2 = μεγαλύτερες απαιτήσεις, 3 = ειδικές απαιτήσεις)

Στις περιπτώσεις που έχουμε ανθρακούχο χάλυβα καλύτερης ποιότητας, ο συμβολισμός ξεκινάει με την χημική ονομασία του άνθρακα (C) και ακολουθεί η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί τοις 100. Για παράδειγμα ο χάλυβας C 60 είναι ανθρακούχος χάλυβας με $60/100 = 0,6 \%$ κατά βάρος άνθρακα (κ.β.). Όταν έχουμε υπερκάθαρους χάλυβες (τα ποσοστά σε P και S είναι μηδαμινά) μεταξύ του C και της περιεκτικότητας του παρεμβάλλεται και το γράμμα K.

Όταν οι χάλυβες έχουν υποστεί κάποια θερμική κατεργασία, τότε χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα γράμματα του λατινικού αλφαβήτου που δηλώνουν : E = ενανθράκωση, G = ανόπτηση, N = εξομάλυνση και V = επιβελτίωση.

Στους κραματωμένους χάλυβες προηγείται η περιεκτικότητα του άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί τοις 100 και έπειτα ο χημικός συμβολισμός για τα στοιχεία προσθήκης με τις περιεκτικότητες πολλαπλασιασμένες με κάποιο αριθμό.

Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	x 4
Al, Cu, Mo, Ti, V	x 10
P, S, N, C	x 100

Για παράδειγμα ο χάλυβας 20 Cr 4 έχει την εξής χημική σύσταση:

Περιεκτικότητα σε άνθρακα $20/100 \%$, δηλαδή $0,2\%$ κ.β. , και η περιεκτικότητα του σε Cr είναι $4/4 = 1,0\%$ κ.β.

Ενώ ο χάλυβας 15 Cr Mo 86 η χημική του σύσταση αποτελείται από : $15/100 = 0,15 \%$ κ.β. C, $8/4 = 2\%$ κ.β. Cr και $6/10 = 0,6 \%$ κ.β. Mo.

Όταν τα ποσοστά των προσμίξεων ξεπερνούν το 5% τότε μπροστά από την ονομασία του χάλυβα μπαίνει το γράμμα X, ακολουθεί η περιεκτικότητα του άνθρακα επί τοις 100, τα στοιχεία προσθήκης και οι περιεκτικότητές τους

πολλαπλασιασμένες με τη μονάδα. Δηλαδή, ο χάλυβας X 40 Cr Mo 124 περιέχει 0,40% C, 12% Cr και 4% Mo.

2.9.2 Τυποποίηση κατά AISI – SAE

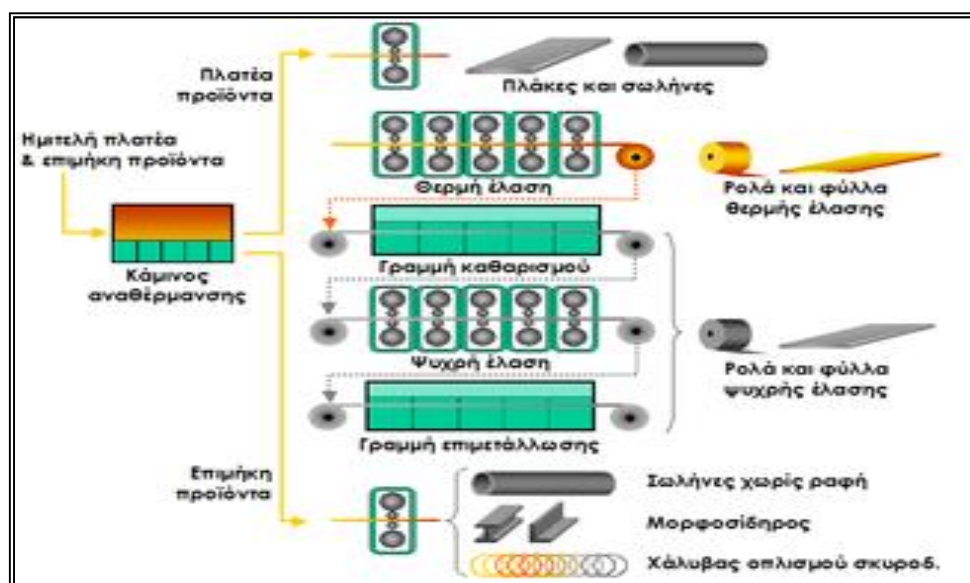
Κατά τα Αμερικάνικα πρότυπα, η ονοματολογία των ανθρακούχων και κραματωμένων χαλύβων περιλαμβάνει τέσσερα ψηφία XΨΖΩ. Τα δύο πρώτα ψηφία προσδιορίζουν το κύριο ή τα κύρια στοιχεία προσθήκης (με τη βοήθεια πινάκων) και τα ποσοστά τους στο χάλυβα. Τα δύο τελευταία ψηφία δείχνουν την περιεκτικότητα σε άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί 100. Το πρώτο ψηφίο των ανθρακούχων χαλύβων με μικρά ποσοστά προσμίξεων είναι 1.

Για παράδειγμα :

Ο χάλυβας AISI – 1045 είναι ανθρακούχος περιεκτικότητας 0,45% C.

Ο χάλυβας AISI – 3430 είναι νικελιοχρωμιούχος με 3% Ni, 0,8% Cr και 0,30% C.

2.10 ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ



Σχηματικό διάγραμμα Παραγωγή τελικών προϊόντων χάλυβα.

Οι χαλυβουργίες παράγουν ημιτελή και τελικά προϊόντα από χάλυβα. Τα πιο συχνά ημιτελή προϊόντα χάλυβα που συναντάμε είναι οι δοκοί τετραγωνικής διατομής με μήκος ακμής περίπου 10 εκατοστών (μπιγιέτες) ή κυκλικής διατομής (κυλινδρικές μπιγιέτες ή κορμοί) με διάμετρο περίπου 25 εκατοστών και μήκος μερικών μέτρων, και τέλος τα πλατιά πρίσματα (πλάκες ή σλάπ) με διατομή συνήθως 10 x 100 εκατοστά και το μήκος τους φτάνει τα μερικά μέτρα.

Τα ημιτελή προϊόντα παράγονται με συνεχή χύτευση σε μήτρες κατασκευασμένες από χαλκό, οι οποίες ψύχονται με νερό. Έπειτα τα προϊόντα αναθερμαίνονται και υποβάλλονται σε έλαση, διέλαση, ολκή κ.λπ για να πάρουν την τελική τους μορφή, ως πλατεά ή επιμήκη προϊόντα. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να παραχθούν με ψυχρή και θερμή έλαση.

Οι θερμοκρασίες στις οποίες πραγματοποιείται η θερμή έλαση, ξεπερνούν τους 925 °C, επομένως επιτυγχάνεται και ανακρυστάλλωση στους παραμορφωμένους κόκκους του μετάλλου. Στην ψυχρή έλαση δίνεται η δυνατότητα παραγωγής προϊόντων που ανταποκρίνονται στις τελικές διαστάσεις που επιθυμούμε.

Τα πλατεά προϊόντα χωρίζονται σε πλάκες ή χονδρές κατασκευαστικές λαμαρίνες, με πάχος που κυμαίνεται από 1 έως 20 εκατοστά και χρησιμοποιούνται για εφαρμογές στην ναυπηγική, στην οικοδομή κ.α. Επίσης τα συναντάμε σε λεπτές λαμαρίνες τυλιγμένες σε ρολά ή σε επίπεδα φύλλα, με πάχος από 0,1 έως 1 εκατοστά, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, στην βιομηχανία οικιακών σκευών, στην οικοδομή κτλ, και τα οποία μπορεί να είναι επιψευδαργυρωμένα (γαλβανισμένα), επικασσιτερωμένα και επιχρωματισμένα.

Ο χάλυβας εκτός από επιμήκη και πλατεά προϊόντα μπορεί να διατεθεί και στην μορφή χυτής χελώνας (χυτοχάλυβες)

2.10.1 Δομικά στοιχεία από χάλυβα:

Τα μεταλλικά δομικά στοιχεία χωρίζονται ανάλογα με τη διατομή τους σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Απλής βιομηχανοποιημένης διατομής (που είναι η συνήθης περίπτωση).

- Διατομής ειδικά κατασκευασμένης (σε σπάνιες περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των βιομηχανοποιημένων διατομών δεν επαρκούν).



Εικ. 2.5 : Βιομηχανοποιημένη διατομή διπλού «Τ»

Σύνθετες διατομές (αποτελούνται από περισσότερες από μία απλές βιομηχανικές διατομές οι οποίες είτε συνδέονται απευθείας η μία στην άλλη είτε συνδέονται με μεταλλικά ελάσματα).

2.11 ΈΛΕΓΧΟΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΧΑΛΥΒΑ

Οι μηχανικές ιδιότητες (εκτός κάμψεων και αναδιπλώσεων) μετρούνται στις μηχανές εφελκυσμού, που είναι συνήθως εφελκυστικής ικανότητας 20 T και 30 T. Χρησιμοποιούν επιμηκυνσιόμετρα μεγάλης ακρίβειας για τον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοτήτων των χαλύβων σε φορτία μέχρι θραύσεως του. Πριν από τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων, οι χάλυβες ελέγχονται για τη μάζα (το βάρος) μερικές η οποία πρέπει να συμφωνεί με την προδιαγεγραμμένη για αντίστοιχη ονομαστική διατομή Παρακάτω παρατίθεται ως παράδειγμα ο πίνακας 2.1 με μερικές μηχανικές ιδιότητες διαφόρων ειδών χάλυβα.

Πίν 2.1 : Μηχανικές Ιδιότητες Χάλυβα

(πηγή: *Τεχνική Μηχανική-Αντοχή των Υλικών, Δρ. Π.Α. Βουθούνης*)

ΕΙΔΟΣ ΧΑΛΥΒΑ	Ελαστικές σταθερές			Τάση διαρροής f_y		Τάση θράυσης f_t			
	Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	Μέτρο Διάτμησης G (GPa)	Λόγος Poisson μ	Εφελκυσμός (MPa)	Θλίψη (MPa)	Εφελκυσμός (MPa)	Θλίψη (MPa)	Διάτμηση (MPa)	Ολικότητα (επιμήκυνση θραύσης) (%)
Δομικός	200	83	-	250	145	400	-	-	23
Υψηλής αντοχής (StIII)	200	83	-	345	210	480	-	-	21
Υψηλής αντοχής (StIV)	200	83	-	690	380	825	-	-	18
Ανοξειδωτος									
Ψυχρά κατεργασμένος	190	72	-	520	-	860	-	700	12
Θερμικά κατεργασμένος	190	72	-	275	152	620	-	-	50

Μερικές από τις κύριες μηχανικές ιδιότητες αναφέρονται παρακάτω:

- Τάση διαρροής, (f_y)
- Τάση θραύσεως, (f_t)
- Λόγος τάσης θραύσεως προς τάση διαρροής (f_t / f_y)

- Ανηγμένη επιμήκυνση ϵ
- Συνολική επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο %

3 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

Για να επιτύχουμε εύκολα την ανύψωση, το κατέβασμα, την μεταφορά, την φόρτωση και την εκφόρτωση οχημάτων μεταφοράς, αλλά και την διακίνηση υλικών και αγαθών σε μικρές αποστάσεις και χρόνο, χρησιμοποιούμε ευρέως τις ανυψωτικές μηχανές - μηχανήματα.

Ως φορτίο ονομάζουμε κάθε ανυψούμενο ή διακινούμενο αγαθό, η μάζα του οποίου μετριέται σε Kg (κιλά) ή t (τόνους).

Οι ανυψωτικές μηχανές είναι από τις πιο πολύπλευρες και ενδιαφέρουσες κατασκευές, με τις οποίες μπορεί να ασχοληθεί ένας κατασκευαστής μηχανικός. Η κατασκευή τους σχετίζεται με τον σκοπό της χρήσης τους και με το μέγεθος του φορτίου που καλούνται να ανυψώσουν ή να διακινήσουν. Συνήθως είναι ένας συνδυασμός μεταλλικών κατασκευών και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

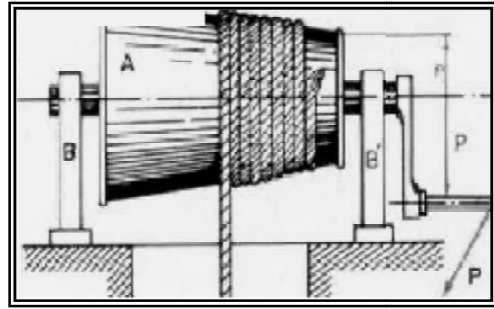
3.1 ΕΙΔΗ ΑΝΥΨΩΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Τα ανυψωτικά μηχανήματα διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα τα βασικά τους γνωρίσματα, όπως το είδος της κίνησης τους, τη μεταφερόμενη δύναμη (ανυψωτική ικανότητα) και το σύστημα πέδησης που χρησιμοποιούν.

Τα ανυψωτικά μηχανήματα χωρίζονται γενικά στις παρακάτω τέσσερις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα την εφαρμογή τους:

1. Ανυψωτικές Συσκευές (βαρούλκα). Τα βαρούλκα γενικά χρησιμοποιούνται περισσότερο για την ανύψωση βαρών κατακόρυφα. Μπορεί να είναι σταθερά ή φορητά επάνω σε γερανούς ή γερανογέφυρες. Υπάρχουν διάφορα είδη βαρούλκων, τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

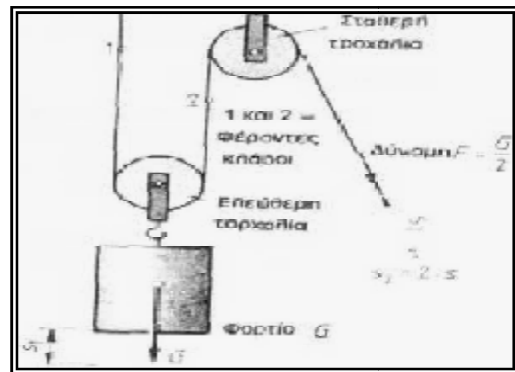
- Βαρούλκα με οδοντωτό κανόνα
- Βαρούλκα με κοχλία
- Βαρούλκα τυμπάνου
- Υδραυλικοί γρύλλοι



Εικ. 3.1: Απλό βαρούλκο με τύμπανο

2. Πολύσπαστα. Τα πολύσπαστα είναι απλές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση σχετικά μικρών φορτίων και χωρίζονται σε:

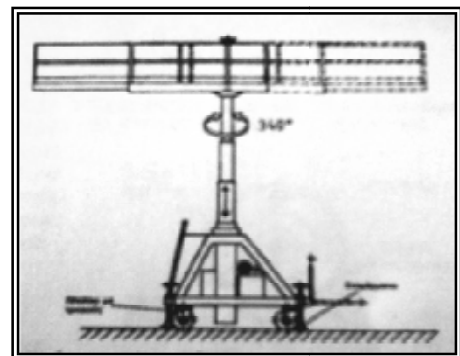
- Πολύσπαστα με ατέρμονα – κορώννα
- Πολύσπαστα με οδοντωτούς τροχούς
- Ηλεκτροκίνητα πολύσπαστα



Εικ. 3.2 : Πολύσπαστο με τροχαλίες

3. Ανυψούμενες Πλατφόρμες. Οι ανυψωτικές πλατφόρμες χρησιμοποιούνται ως επι το πλείστον για εργασίες συντήρησης ή συναρμολόγησης ή επισκευών. Σαν σκοπό έχουν να αντικαταστήσουν τα μόνιμα ικρίωματα (σκαλωσιές). Τις ανυψούμενες πλατφόρμες τις συναντάμε στις παρακάτω κατηγορίες:

- Κινητές υδραυλικές πλατφόρμες
- Πλατφόρμες τύπου ψαλίδας
- Πλατφόρμες τηλεσκοπικές και
- Πλατφόρμες σε στρεφόμενο πρόβολο

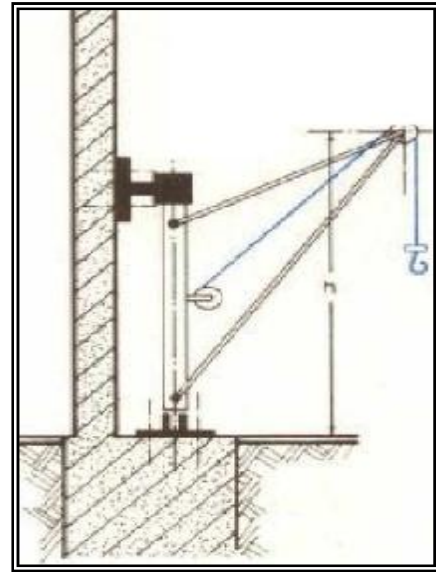


Εικ. 3.3 : Ανυψούμενη Πλατφόρμα

4. Γερανοί. Οι γερανοί είναι ανυψωτικές μηχανές που έχουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Κοινό στοιχείο όλων των γερανών είναι ότι το φορτίο

κρέμεται σε έναν ειδικό φορέα. Η γενική δομή τους αποτελείται από μια δοκό και το ράμφος από όπου γίνεται η συγκράτηση του φορτίου. Ανάλογα τον τύπο του γερανού μπορούμε να έχουμε κινήσεις κατά μήκος, κατά ύψος και κατά γωνία περιστροφής του φορτίου. Οι γερανοί διακρίνονται σε:

- Πυργοειδείς περιστρεφόμενους γεραμούς
- Γεραμούς τοίχου σταθερού και μεταβλητού ανοίγματος
- Περιστρεφόμενους γεραμούς με σταθερό στύλο
- Αναρριχόμενους γεραμούς
- Γεραμούς με πρόβολο
- Γεραμούς σε οχήματα
- Γεραμούς με περιστρεφόμενη πλάκα
- Κινητούς γεραμούς
- Γεραμούς ειδικής χρήσης: στους οποίους ανήκουν οι δομικοί γεραμοί με πύργο, οι γεραμοί των ναυπηγείων και οι πλωτοί γεραμοί.
- γερανογέφυρες



Εικ. 3.4 : Επι τοίχειος γεραμός

Ο κατασκευαστής οποιουδήποτε ανυψωτικού μηχανήματος θα πρέπει να φροντίζει ώστε η κατασκευή του να έχει ασφαλή λειτουργία, μεγάλη διάρκεια ζωής, άνετη εύκολη και γρήγορη συντήρηση και λίπανση, εύκολη αντικατάσταση των φθαρμένων εξαρτημάτων, εργονομία, κλπ.

Επίσης δεν θα πρέπει να έχουν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας κατά την λειτουργία τους, υψηλό κόστος συντήρησης και επισκευών. Θα πρέπει το κόστος αγοράς να μην είναι αρκετά υψηλό, η συναρμολόγηση να γίνεται εύκολα είτε στο εργοστάσιο είτε στον τόπο εφαρμογής, η μεταφορά τους και η συσκευασία τους να είναι εύκολη και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν να είναι ανθεκτικά και ελαφριά κατά περίπτωση.

Γι αυτούς τους λόγους τα περισσότερα ανυψωτικά μηχανήματα είναι τυποποιημένα ώστε να καλύπτουν τις απαιτούμενες ανάγκες και να παρέχονται γρήγορα και οικονομικά στην αγορά.

3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΕΡΑΝΟΥ

Κάθε ανυψωτικό μηχάνημα, όπως και η γερανογέφυρα, έχει ως πρόγονο του τον γερανό. Η ιστορία θέλει οι πρώτοι γερανοί που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον 4^ο αιώνα να είναι εφεύρεση των αρχαίων Ελλήνων (πιθανότατα του Αρχιμήδη). Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τους ήταν κυρίως το ξύλο και τα σχοινιά για την ανύψωση των φορτίων ήταν από φυτικές ίνες.

Η μηχανολογική τους διάταξη ήταν πολύ απλή σε σχέση με τους σημερινούς γερανούς και ως ενεργειακή πηγή είχαν την μυϊκή δύναμη των ανδρών ή των υποζυγίων (συνήθως γαϊδούρια). Ένας τυπικός αρχαίος γερανός αποτελούνταν από δυο όρθια ξύλα ενωμένα στην κορυφή τους με κάποιο είδος συνδέσμου, σχηματίζοντας τρίγωνο. Στη βάση τους τα ξύλα αυτά δημιουργούσαν ένα κενό διάστημα μεταξύ τους και για να μείνουν σταθερά τα συγκρατούσαν με ρυθμιζόμενα σχοινιά. Στην κορυφή όπου είναι ενωμένα τα ξύλα, έχουν τοποθετηθεί δυο τροχαλίες στις οποίες είναι κρεμασμένη μια τρίτη. Στο πίσω μέρος της κατασκευής υπήρχε ένα βαρούλκο μέσω του οποίου προέρχονταν η ανυψωτική δύναμη.



Εικ. 3.5 : Αρχαίος γερανός κατά το κτίσιμο του Παρθενώνα

Οι γερανοί αυτοί χρησιμοποιούνταν σχεδόν κατά αποκλειστικότητα για την κάθετη ανύψωση φορτίων. Η μετακίνηση των φορτίων αυτών σε οριζόντια απόσταση ήταν πολύ δύσκολη και γινόταν μόνο για μικρές αποστάσεις. Τέτοιου είδους γεραμούς εκτός από την αρχαία Ελλάδα συναντάμε και στην αρχαία Ρώμη, όπου χάρη σε αυτήν την εφεύρεση μπόρεσαν να ανεγερθούν όλα αυτά τα ιστορικά κτίρια.

Από την αρχαιότητα ως τον Μεσαίωνα δεν συναντάμε μεγάλες αλλαγές και διαφοροποιήσεις στην κατασκευή, λειτουργία και χρήση των γερανών.

Κατά τον Μεσαίωνα όμως και με την ανάπτυξη του εμπορίου και της ναυτιλίας έχουμε την ανάγκη για την κατασκευή των πρώτων λιμενικών γερανών. Φτιαγμένοι για να εξυπηρετούν την κατασκευή των караβιών αλλά και την φόρτωση και εκφόρτωση αυτών. Κάποιοι από τους γερανούς αυτούς για να αποκτήσουν μεγαλύτερη αντοχή και σταθερότητα χτίστηκαν σε πέτρινους πύργους.

Μια άλλη σημαντική περίοδος για την εξέλιξη των γερανών ήταν αυτή της «Βιομηχανικής Επανάστασης», όπου άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους άλλου είδους υλικά, κυρίως χυτοσίδηρος και χάλυβας. Η Βιομηχανική Επανάσταση επηρέασε και τον τρόπο παραγωγής της ανυψωτικής δύναμης αφού η σωματική δύναμη των ανδρών και των υποζυγίων αντικαταστάθηκε από τις πρώτες ατμομηχανές, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Στις μέρες μας οι γερανοί έχουν αλλάξει πολύ ως προς την κατασκευή τους (σε υλικά, διάταξη κτλ), ως προς την παραγωγή της ανυψωτικής δύναμης (χρησιμοποιούνται μηχανές εσωτερικής καύσης ή ηλεκτρικοί κινητήρες), ως προς την χρήση τους (συναντάμε πάρα πολλά είδη για κάθε περίπτωση) και βέβαια μέσω των υδραυλικών συστημάτων καταφέρνουμε μεγαλύτερη δυνατότητα ανύψωσης σε μικρότερο χρόνο και με μικρότερο κόστος.

4 ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ

Οι γερανογέφυρες ανήκουν στην μεγάλη κατηγορία των ανυψωτικών μηχανημάτων, τους γερανούς. Έχουν εφαρμογή σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Παρέχουν μεγάλη ανυψωτική ικανότητα και μπορούν να μεταφέρουν και να ανυψώσουν φορτία με μεγάλη ταχύτητα. Αυτός είναι και ένας λόγος για τον οποίο θεωρούνται ως ανυψωτικές μηχανές με μεγάλο βαθμό απόδοσης.

4.1 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Η τυπική διάταξη μιας γερανογέφυρας αποτελείται από τις δυο σιδηροτροχιές πάνω στις οποίες στηρίζεται η κύρια δοκός (κύριος φορέας), από τον κύριο φορέα και από το φορείο που φέρει το βαρούλκο (βαρουλκοφορείο) και το άγκιστρο ανύψωσης.

Οι κινήσεις που μπορεί να κάνει μια γερανογέφυρα είναι οι παρακάτω:

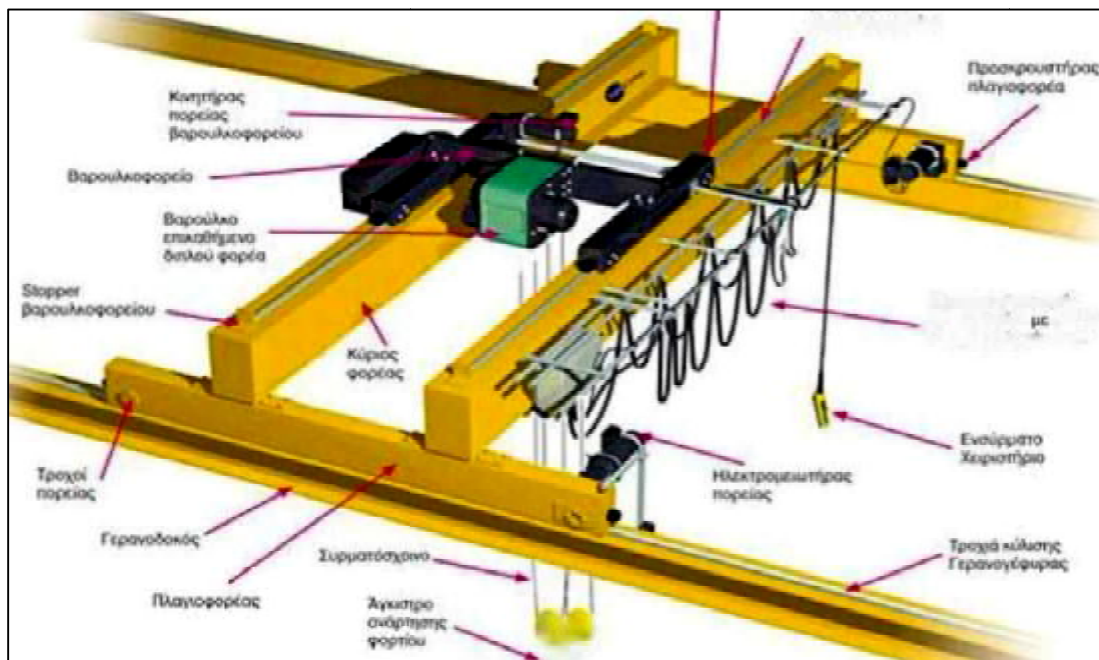
Κατακόρυφη κίνηση, ως προς τον άξονα OZ, όπου έχουμε την ανύψωση του φορτίου.

Οριζόντια κίνηση, ως προς τον άξονα OY, όπου έχουμε την μετατόπιση της γερανογέφυρας πάνω στις σιδηροτροχιές. Και την

Οριζόντια κίνηση, ως προς τον άξονα OX, όπου έχουμε την μετατόπιση του φορείου της γερανογέφυρας πάνω στη δοκό κυλίσεως.

Μια γερανογέφυρα στην απλή της μορφή αποτελείται από:

- Τον φορέα της γερανογέφυρας, που είναι η οριζόντια δοκός η οποία περιλαμβάνει τους πλαγιοφορείς.
- Τους δυο πλαγιοφορείς οι οποίοι φέρουν τους τροχούς που συνδέουν τον φορέα με την σιδηροτροχιά.
- Τις σιδηροτροχιές για κάθε πλαγιοφορέα, οι οποίες έχουν τυποποιημένο σχήμα και διαστάσεις, με τις οποίες συνεργάζονται οι τροχοί ώστε να κινείται η γερανογέφυρα.
- Τις δοκούς κυλίσεως (γερανοδοκούς)
- Το βαρουλκοφορείο, που φέρει τον μηχανισμό για την ανύψωση του φορτίου



Εικόνα 4.1 :Μηχανολογική διάταξη γερανογέφυρας

Οι γερανογέφυρες χαρακτηρίζονται από κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι :

- Η ανυψωτική ικανότητα της γερανογέφυρας. Δηλαδή το μέγιστο φορτίο που θα κληθεί να ανυψώσει.

- Το άνοιγμα της. Η απόσταση που μεσολαβεί ανάμεσα στις τροχιές κυλίσεως.
- Η διαδρομή της γερανογέφυρας. Η διανυόμενη απόσταση, κατά τον άξονα ΟΥ, στις σιδηροτροχιές.
- Το ελεύθερο ύψος κάτω από το άγκιστρο συγκράτησης. Η απόσταση δηλαδή από το κατώτερο σημείο που μπορεί να φτάσει το άγκιστρο, ως την υψηλότερη θέση.
- Την ταχύτητα ανύψωσης (m/min). Η ταχύτητα που επιλέγουμε να έχει το βαρούλκο για την ανύψωση του φορτίου. Εξαρτάται από το είδος του φορτίου και τις συνθήκες εργασίας.
- Την ταχύτητα μεταφοράς του φορείου (m/min). Είναι η ταχύτητα που έχει το φορείο όταν κινείται κατά μήκος της γερανογέφυρας.
- Την ταχύτητα μεταφοράς της γερανογέφυρας (m/min). Η ταχύτητα με την οποία η γερανογέφυρα κινείται πάνω στις δοκούς κυλίσεως.

Επιπρόσθετοι όροι που συνδέονται με την κατασκευή και χρήση γερανογεφυρών :

- **Βοηθητικά φορτία γερανογεφυρών.** Είναι όλα τα δυναμικά φορτία, εκτός από τα βασικά σχεδιασμένα φορτία, στα οποία το κτίριο αντιστέκεται. Ουσιαστικά είναι τα φορτία που επιβάλλονται από τα συστήματα γερανών, το χειρισμό των υλικών και τις επιρροές των φορτίων.
- **Βοηθητική δοκός γερανογεφυρών.** Είναι η δοκός που βρίσκεται τοποθετημένη παράλληλα στην κύρια δοκό για την υποστήριξη της πλατφόρμας, της βάσης των μηχανών, της καμπίνας του χειριστή, του κέντρου ελέγχου κλπ, αλλά και για να μειωθούν οι δυνάμεις στρέψης οι οποίες θα ενεργούσαν στην κύρια δοκό.
- **Βοηθητικό βαρούλκο.** Αποτελεί μια δεύτερη βοηθητική μονάδα ανύψωσης με σκοπό να χειριστεί ελαφρύτερα φορτία με μια υψηλότερη ταχύτητα από το κύριο σύστημα.

4.1.1 Δοκός κυλίσεως γερανογέφυρας

Όπως αναφέραμε και παραπάνω η δοκός κυλίσεως αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη της γερανογέφυρας. Γι' αυτό το λόγο για την εγκατάσταση

και τη σωστή λειτουργία μιας γερανογέφυρας, η μελέτη της δοκού κυλίσεως αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η δοκός κυλίσεως παραλαμβάνει τα φορτία που μεταφέρονται από την γερανογέφυρα (κατακόρυφα και οριζόντια).

Τα κατακόρυφα φορτία που ασκούνται στην δοκό κυλίσεως προέρχονται από τον ανυψούμενο φορτίο, το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας και από το βάρος του βαρουλκοφορείου. Τα κατακόρυφα φορτία επειδή μπορούν να αλλάξουν θέση και βάρος επιβάλλονται με δυναμικό τρόπο στις δοκούς κυλίσεως.

Στα κατακόρυφα φορτία αυτά πρέπει να συμπεριλάβουμε και την εκκεντρότητα τους κατά την παραλαβή τους. Καθώς η τροχιά σταθμίζεται και ευθυγραμμίζεται αφού τοποθετηθούν οι δοκοί κυλίσεως, με μεγάλη πιθανότητα το φορτίο ασκείται έκκεντρα ως προς τον άξονα των δοκών κυλίσεως.

Ταυτόχρονα με τα κατακόρυφα φορτία ασκούνται και τα οριζόντια φορτία, τα οποία προκαλούνται από την κίνηση της γερανογέφυρας (επιτάχυνση ή επιβράδυνση), από την λοξή κίνηση της γερανογέφυρας ως προς τις τροχιές (συνήθως οφείλεται στους οδηγούς καθοδήγησης) και τέλος μπορούμε να έχουμε οριζόντιες φορτίσεις λόγω της κίνησης του φορείου της γερανογέφυρας (επιβράδυνση ή επιτάχυνση)

Η διάταξη της δοκού κυλίσεως έχει ως εξής: η δοκός κυλίσεως είναι τοποθετημένη πάνω στην γερανοδοκό όπου συγκρατείται με στιβαρό τρόπο. Πάνω στην δοκό κύλισης εδράζεται η τροχιά, στην οποία κυλίνουν οι τροχοί της γερανογέφυρας, όπως φαίνεται στην Εικ. 4.2

Τις περισσότερες φορές οι δοκοί κυλίσεως είναι κατασκευασμένοι ως αμφιέριστα στοιχεία, είτε ανάμεσα σε δύο κύριους φορείς που είναι διαδοχικά παραταγμένοι είτε ως συνεχόμενοι δοκοί σε δυο ίσα ανοίγματα.

Ως αμφιέριστο στοιχείο η δοκός κυλίσεως βοηθάει την ανέγερση της γερανογέφυρας και η τοποθέτηση της προσφέρει καλύτερη σταθερότητα σε κάθε νέο πλαίσιο που θα τοποθετηθεί.

Στην περίπτωση της συνεχούς δοκού έχουμε μείωση των παραμορφώσεων που είναι κρίσιμες κατά την διαστασιολόγηση τους. Η δυσμενέστερη περίπτωση παρατηρείται όταν τα φορτία από τους τροχούς της γερανογέφυρας είναι στο ένα άνοιγμα ενώ το άλλο παραλαμβάνει μόνο το φορτίο του ίδιου βάρους της.

Όσον αφορά τη μορφή των δοκών κυλίσεως έχουμε δύο είδη διατομών, τις ελατές και τις συγκολλητές.

Για τις ελατές διατομές έχουμε τις πλατύπελμες δοκούς κυλίσεως τύπου HEA, HEB και HEM, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή και δυσκαμψία, που είναι απαραίτητες για την παραλαβή των πλευρικών φορτίων στον ασθενή άξονα της διατομής. Τέτοιου είδους διατομές χρησιμοποιούνται περισσότερο όταν έχουμε γερανογέφυρες μικρής ανυψωτικής ικανότητας, όπου έχουμε εξασφαλίσει την επάρκεια με μεσαίου μεγέθους πλατύπελμων διατομών. (συνήθως μέχρι την διατομή HEB 500). Σε περιπτώσεις που θέλουμε να

ενισχύσουμε την δυσκαμψία της διατομής στον ασθενή άξονα, τότε τοποθετούμε μια πρόσθετη ενισχυτική διατομή.



Εικόνα 4.2 : Δοκός κύλισης με την τροχιά της τοποθετημένη πάνω σε γερανοδοκό

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συγκολλητές διατομές. Το πλεονέκτημα των διατομών αυτών είναι το μικρότερο βάρος τους. Όμως το κόστος τους είναι υψηλότερο και απαιτούν μεγαλύτερη επιμέλεια κατά την κατασκευή τους. Ειδικά στα σημεία συγκόλλησης του κορμού με το άνω πέλμα όπου πραγματοποιούνται συνήθως εσωτερικές ραφές. Το σημαντικότερο είναι ότι οι συγκολλητές διατομές μας δίνουν την δυνατότητα να τις προσαρμόσουμε στις εκάστοτε απαιτήσεις.

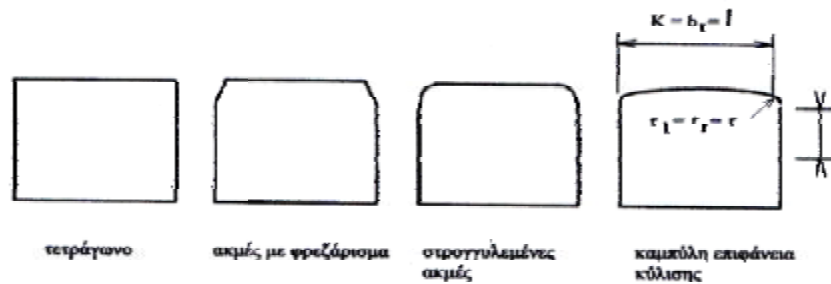
Πράγμα που σημαίνει ότι το άνω με το κάτω πέλμα μπορούν να έχουν διαφοροποιήσεις. Όπως για παράδειγμα το άνω πέλμα να είναι παχύτερο και πλατύτερο σε σχέση με το κάτω, ώστε να έχουμε καλύτερη παραλαβή των δυνάμεων που ασκούνται τοπικά.

4.1.2 Σιδηροτροχιές Γερανογέφυρας

Για να μπορεί η γερανογέφυρα να κινηθεί κατά μήκος των δοκών κυλίσεως χρησιμοποιεί ειδικούς τροχούς οι οποίοι κυλίσουν πάνω στις τροχιές.

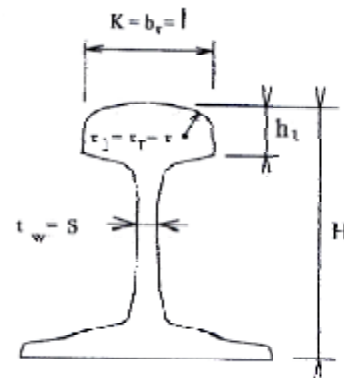
Υπάρχουν τρία βασικά είδη τροχιών κυλίσεως ανάλογα με το ωφέλιμο φορτίο της γερανογέφυρας. Έτσι για γερανογέφυρες μικρής ανυψωτικής ικανότητας (<20 t) χρησιμοποιούμε συμπαγείς ορθογωνικές ράβδους (καρυδάκια) που μπορεί να έχουν καμπυλωμένες ή φρεζαρισμένες ακμές, Εικ. 4.3 . Αυτό δεν σημαίνει βέβαια ότι δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε και ράβδους με συνήθεις διατομές τροχιών μεγαλύτερων φορτίων. Οι τροχιές αυτές

παράγονται σε διάφορες ποιότητες χάλυβα με χαμηλότερη εκείνη που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 3 Μέρος – 6.



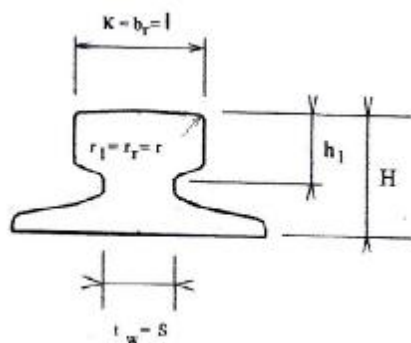
Εικ.4.3 : Διάφορες σιδηροτροχιές συμπαγούς ορθογωνικής διατομής

Η επόμενη κατηγορία είναι εκείνη των διατομών τροχιών κύλισης για γερανογέφυρες μεσαίου τύπου, οι λεγόμενες τροχιές Vignole (ή DIN 5901) Εικόνα 4.4. Οι τροχιές vignole βρίσκονται σε δύο ποιότητες στο εμπόριο : στις ελαφρές τροχιές με χάλυβα αντοχής σε εφελκυσμό $F_{ur} = 540\text{MPa}$ και σε βαριές τροχιές με χάλυβα αντοχής σε εφελκυσμό $F_{ur} = 670\text{MPa}$. Οι τροχιές αυτές δεν σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για γερανογέφυρες, όμως χρησιμοποιούνται ευρέως και σε αυτές τις περιπτώσεις. Οι τροχιές αυτές κατασκευάζονται από ποιότητα χάλυβα που ικανοποιεί τον τομέα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3 Μέρος – 6 με όριο διαρροής χάλυβα $500 < F_{yr} < 1200\text{MPa}$.



Εικ.4.4 : Διατομή σιδηροτροχιάς Vignole

Τέλος έχουμε την κατηγορία σιδηροτροχιών για γερανογέφυρες βαρέως τύπου, που ονομάζονται Rodange (ή τύπου DIN 536) Εικόνα 4.5, οι οποίες όπως και οι vignole έχουν τυποποιημένη μορφή και διαστάσεις. Κι εδώ οι ποιότητες χάλυβα ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 3 Μέρος – 6, με όριο διαρροής κυμαινόμενο από $500 < F_{yr} < 1200\text{MPa}$. Κατά πλειοψηφία οι ποιότητες χάλυβα είναι 60, 70, 80 ενώ όταν θέλουμε περιορισμό της φθοράς επιλέγουμε ποιότητα χάλυβα 90. Στις περιπτώσεις που θέλουμε να αυξήσουμε το όριο διαρροής επιλέγουμε χάλυβες με προσμίξεις Βαναδίου (V).



Εικ. 4.5: Διατομή τροχιάς Rodange

Οι τροχιές συνδέονται με τρεις τρόπους πάνω στη δοκό κυλίσεως, είτε συγκολλητές πάνω σε αυτές με διακεκομμένες ραφές (συνήθης τρόπος), είτε μέσω εφαρμοσμένων ή προεντεταμένων κοχλιών, είτε στερεώνονται πάνω στις δοκούς κυλίσεως με ειδικά σταθεροποιητικά μέσα.

Για τις περιπτώσεις των ραφών και των κοχλιών μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η τροχιά είναι συσσωματωμένη με την δοκό κυλίσεως, αρκεί τα μέσα σύνδεσης (ραφές) να μπορούν να μεταφέρουν τις δυνάμεις στην διεπιφάνεια που σχηματίζεται μεταξύ τροχιάς και δοκού (δυνάμεις ολίσθησης)

Στην περίπτωση των απλών συνδετικών μέσων στερέωσης όμως, η τροχιά και το μέσο υπολογίζονται ξεχωριστά, ώστε να επαρκούν στην πλευρική ώθηση που ασκεί ο κάθε μεμονωμένος τροχός. Συνήθως ανάμεσα στην τροχιά και στην δοκό κυλίσεως παρεμβάλλουμε ένα ελαστομερές φύλλο μικρού πάχους για την απορρόφηση των κραδασμών και την αποφυγή διμεταλλικών τάσεων.

4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΩΝ

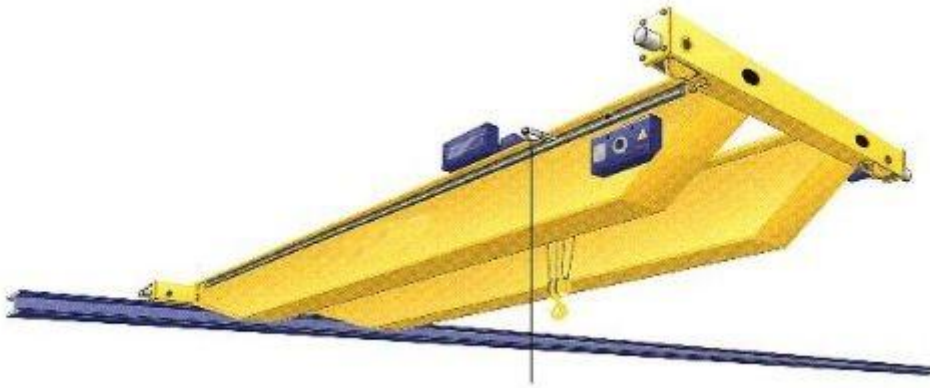
Τα είδη των γερανογεφυρών που συναντάμε στις εφαρμογές είναι :

- **Αναρτώμενη γερανογέφυρα.** Είναι η γερανογέφυρα που κινείται στο κάτω μέρος της γερανοδοκού, το οποίο στηρίζεται συνήθως από την οροφή του κτιρίου.

- **Επικαθήμενη γερανογέφυρα.** Ονομάζεται όταν κινείται στο επάνω μέρος των σιδηροτροχιών κύλισης που εδράζονται στις γερανοδοκούς, οι οποίες υποστηρίζονται από τις βασικές κολώνες του κτιρίου είτε από ξεχωριστές ειδικά σχεδιασμένες γι' αυτό τον σκοπό.

- **Μονού φορέα γερανογέφυρα.** Όταν η διάταξη της αποτελείται από μόνο μια κύρια δοκό.

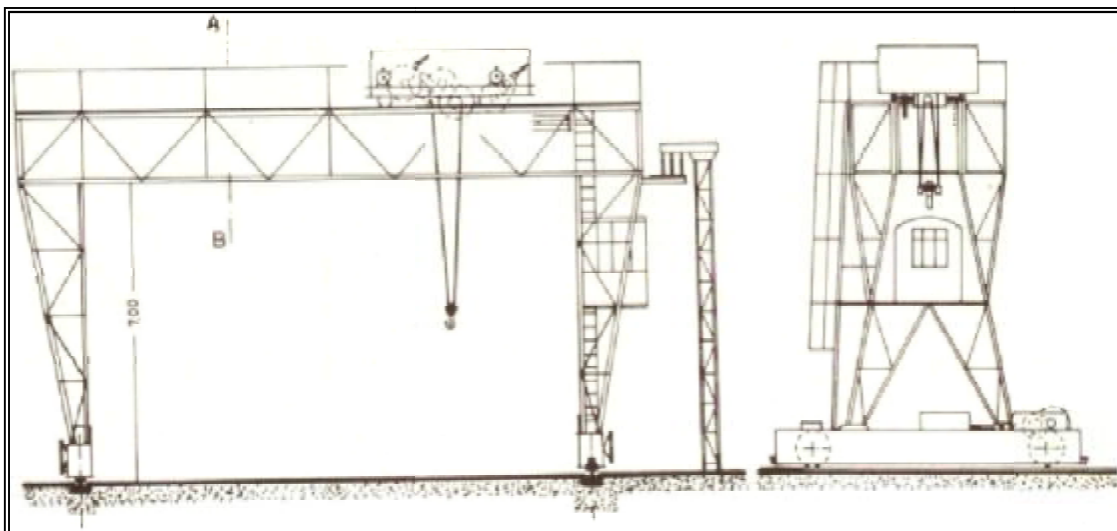
- **Διπλού φορέα γερανογέφυρα.** Όταν η διάταξη της αποτελείται από δύο δοκούς, η μία κύρια και η άλλη βοηθητική.



Εικόνα 4.2 : Γερανογέφυρα διπλού φορέα, επικαθήμενη

- **Γερανογέφυρα με δικτυωτό φορέα.** Είναι η γερανογέφυρα εκείνη όπου ο κύριος φορέας της δεν είναι μιας καθορισμένης διατομής αλλά αποτελείται από δικτυώματα.

- **Γερανογέφυρα κυλιόμενου πλαισίου.** Οι γερανογέφυρες αυτές χρησιμοποιούνται περισσότερο για εφαρμογές υψηλής ανυψωτικής ικανότητας σε υπαίθριους χώρους. Έχουν την μορφή πλαισίου που κινείται με τις σιδηροτροχιές τοποθετημένες στο έδαφος.



Εικόνα 4.2 : Γερανογέφυρα κυλιόμενου πλαισίου

Και ανάλογα τη θέση στήριξης του βαρουλκοφορείου έχουμε γερανογέφυρες με το βαρουλκοφορείο **επικεφαλής ή αναρτώμενο.**

5 ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΠΟΥ ΘΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΕΙ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Στο συγκεκριμένο κτίριο χρειάζεται να τοποθετηθεί μια γερανογέφυρα μονού φορέα τύπου Box ανοίγματος $S = 20$ m και ανυψωτικής ικανότητας 10 t η οποία θα είναι τυποποιημένη.

Από τον Πίνακα 5.1 τυποποιημένων διαστάσεων (πίνακας 7.1 - Σχεδιασμός Δομικών Έργων Από Χάλυβα, Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης) λαμβάνουμε με προσέγγιση τα ακόλουθα γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τις συγκεκριμένες γερανογέφυρες ανυψωτικής ικανότητας 10 tons και ανοίγματος $S = 20$ m :



Σχήμα 5.1 : Γερανογέφυρα τοποθετημένη σε κτίριο από σκυρόδεμα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά για να ξεκινήσουμε τους υπολογισμούς μας.

- Η κατηγορία ανύψωσης που ανήκει η γερανογέφυρα είναι HC2, για γερανογέφυρες εργαστηρίου (workshop cranes), και η κατηγορία κόπωσης είναι S3. (Eurocode 1, Annex B, Πίνακας 3.1).
- Ακραία θέση αγκίστρου ανάρτησης από τον άξονα της δοκού κύλισης για άνοιγμα 20 m , $a_1 = 900$ mm.
- Στην γερανογέφυρα θα τοποθετηθούν σε κάθε πλευρά δύο τροχοί με την μεταξύ τους απόσταση να είναι $e_1 = 3150$ mm.
- Οι κινητήριοι τροχοί έχουν ανεξάρτητη κίνηση ο ένας από τον άλλο και οι άξονες όλων των τροχών είναι σταθερά συνδεδεμένοι επ' αυτών. (Σύστημα IFF).
- Η ταχύτητα ανύψωσης του φορτίου είναι 8m/min

Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί, ο οποίος είναι απόσπασμα του πίνακα 7.1 (Σχεδιασμός Δομικών έργων από Χάλυβα των Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης) φαίνονται ενδεικτικά για διάφορες τιμές του ανυψούμενου φορτίου (σε tons) και για διάφορα ανοίγματα S (σε m) της γερανογέφυρας τα γεωμετρικά στοιχεία που παρέχει ένας κατασκευαστής γερανογεφυρών.

Πίνακας 5.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γερανογεφυρών

	H m	S m	g m	a m	a m	q m	L m	d m	t m	x m	b m
θ	3	16	+100	750	750	2500	3150	400	1400	1165	200
		20	+100	900	750	3150	3800	400	1400	1165	200
		25	+100	1100	750	4000	4650	400	2240	1165	200
		30	+100	1100	750	4560	5210	400	2800	1165	200
	2	16	+450	750	750	2500	3150	400	1400	1355	200
		20	+450	900	750	3150	3800	400	1400	1355	200
		25	+450	1100	750	4000	4650	400	2240	1355	200
		30	+450	1100	750	4560	5210	400	2800	1355	200
ρ	4	16	+200	750	750	2500	3150	400	1400	1225	200
		20	+200	900	750	3150	3800	400	1400	1225	200
		25	+200	1100	750	4000	4650	400	2240	1225	200
		30	+200	1100	750	4560	5210	400	2800	1225	200
	2	16	+450	750	750	2500	3150	400	1400	1355	200
		20	+450	900	750	3150	3800	400	1400	1355	200
		25	+450	1100	750	4000	4650	400	2240	1355	200
		30	+450	1100	750	4560	5210	400	2800	1355	200
ξ	4	14	-150	900	900	2500	3150	400	1400	1385	200
		20	-150	900	900	3150	3800	400	1400	1385	200
		25	-150	1000	900	4000	4650	400	2240	1385	200
		30	-250	1100	900	4560	5350	500	2800	1485	250
	6	14	+50	900	900	2500	3150	400	1400	1500	200
		20	+50	900	900	3150	3800	400	1400	1500	200
		25	+50	1000	900	4000	4650	400	2240	1500	200
		30	-50	1100	900	4560	5350	500	2800	1600	250

Όπου:

Η το ελάχιστο επιτρεπτό ύψος του κτιρίου που θα φέρει την γερανογέφυρα

S το άνοιγμα της γερανογέφυρας
α είναι η ακραία θέση του αγκίστρου,
L είναι το μήκος του φορείου,
e είναι η απόσταση των τροχών,
g είναι υψομετρική διαφορά μεταξύ ανώτερης στάθμης αγκίστρου και
ανώτερης στάθμης τροχιάς,
x είναι το ελάχιστο απαιτούμενο καθαρό ύψος της άνω στάθμης της
τροχιάς και
b είναι η ελάχιστη απαιτούμενη καθαρή διάσταση πλευρικά.

Βασικό λειτουργικό δεδομένο για την κατασκευή που μελετάμε είναι η ανώτερη στάθμη του αγκίστρου, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος των προϊόντων που διακινούνται και από τα αρχιτεκτονικά δεδομένα του κτιρίου. Από την στάθμη αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε και το εσωτερικά απαιτούμενο καθαρό ύψος του κτιρίου και επομένως το συνολικό του ύψος.

5.1 ΑΡΧΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ



Εικόνα 5.1 :Γερανογέφυρα δυναμικότητας 10 τόνων τοποθετημένη σε βιομηχανικό κτίριο

Λόγω του ίδιου βάρους της κατασκευής καθώς και λόγω της λειτουργίας της τα φορτία που μεταφέρει στις δοκούς κυλίσεως είναι κατακόρυφα και

οριζόντια, τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται στο έδαφος μέσω των υποστυλωμάτων και άλλων στοιχείων του φέροντος οργανισμού.

Η γερανογέφυρα που καλούμαστε να μελετήσουμε έχει ανυψωτική ικανότητα 10 tones και άνοιγμα 20 m.

Σημαντικό για την συνέχεια των υπολογισμών μας και για να καταλήξουμε σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά της, είναι ο υπολογισμός του ίδιου βάρους της.

Έτσι λοιπόν γνωρίζουμε για το ωφέλιμο φορτίο ότι :

$$1 \text{ ton} = 9,81 \text{ kN}$$

$$10 \text{ tons} = 10 * 9,81 \text{ kN} = 98,1 \text{ kN}$$

Οι ολικές αντιδράσεις που ασκούνται στις τροχιές είναι αποτέλεσμα των παρακάτω φορτίων:

- του ίδιου βάρους της γερανογέφυρας: Q_c
- του βάρους του βαρουλκοφορείου: $G_c = 10 \text{ kN}$
- του ανυψούμενου φορτίου: $Q_{r, \text{nom}} = 98,1 \text{ kN}$

Οι ολικές αντιδράσεις επί των τροχιών είναι τυποποιημένες και λαμβάνονται από τον παρακάτω Πίνακα 5.2 .

Πίνακας 5.2 : Τυποποιημένες μέγιστες και ελάχιστες αντιδράσεις γερανογέφυρας επί των τροχιών της, σε Kp/τροχό

(Μέρος Πιν. 7.3 Σχεδιασμός Δομικών έργων από Χάλυβα των Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης)

ΦΟΡΤΙΟ	Άνοιγμα	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆
ϑ	max	4150	4650	4850	5200	5400	5750
	min	1350	1850	2000	2400	2550	2900
ϑ	max	4900	5350	5600	5900	6150	6450
	min	1500	1900	2150	2400	2650	2900
ϑ	max	6300	6550	6800	7100	7500	7800
	min	1800	2000	2250	2550	2900	3200
ϑ	max	7450	7650	7950	8350	8650	8950
	min	2000	2150	2400	2750	3050	3350
ϑ	max	8650	9000	9300	9700	10100	10550
	min	2150	2450	2700	3000	3400	3850
ϑ	max	11000	11300	11700	12150	12600	13000
	min	2550	2750	3100	3500	3900	4250
ϑ	max	13150	13550	14100	14400	15250	15550
	min	2850	3200	3650	3900	4650	4950
ϑ	max	16000	16550	16950			
	min	3500	3900	4150			

Επομένως για την περίπτωση μας έχουμε :

max = 7,45 tons / ανά τροχό ,

min = 2 tons / ανά τροχό

Άρα το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας θα υπολογιστεί ως εξής :

$$Q_{\text{ολικό}} = \text{αρ. τροχών} \times (\text{max} + \text{min})$$

Όπως είπαμε επιλέξαμε δύο τροχούς από κάθε πλευρά, προσθέτουμε την μέγιστη και ελάχιστη αντίδραση γιατί θέλουμε να πετύχουμε καλύτερη στατικότητα κα κίνηση σε πλήρη φόρτιση. Επομένως έχουμε :

$$Q_{\text{ολικό}} = 2 \times (7,45 + 2) = 18,9 \text{ tones} = 185,41 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{ολικό}} = Q_c + G_c + Q_{r,\text{nom}}$$

$$Q_c = Q_{\text{ολικό}} - (G_c + Q_{r,\text{nom}})$$

$$Q_c = 185,41 - (10 + 98,1) = \mathbf{77,31 \text{ kN}}$$

5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

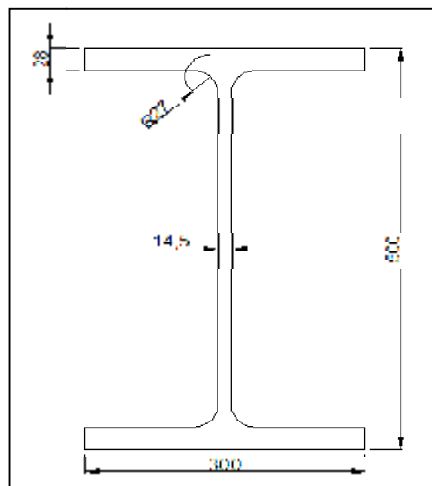
Εκτός από το μέρος της γερανογέφυρας που πρέπει να επιλέξουμε , μεγάλη σημασία έχει και η στατική μελέτη της δοκού κύλισης, καθώς τα φορτία της γερανογέφυρας δημιουργούν στη δοκό εσωτερικές δυνάμεις και ροπές, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω :

- Κάμψη και στους δύο άξονες που οφείλονται σε κατακόρυφες και πλευρικές δράσεις.
- Αξονική θλίψη ή αξονικός εφελκυσμός που οφείλεται στις κατά μήκος οριζόντιες δράσεις.
- Στρέψη που οφείλεται στην εκκεντρότητα των πλευρικών δράσεων που ενεργούν οριζόντια ως προς το κέντρο διάτμησης της δοκού.
- Τέμνουσες δυνάμεις, οριζόντιες και κατακόρυφες που οφείλονται στις κατακόρυφες και πλευρικά οριζόντιες δράσεις.

Στους υπολογισμούς μας πρέπει να λάβουμε υπόψη και τοπικές επιρροές που οφείλονται στα φορτία των τροχών, αφού πάνω στη δοκό κύλισης εδράζεται η σιδηροτροχιά πάνω στην οποία κυλίνουν οι τροχοί της γερανογέφυρας.

5.2.1 ΔΟΚΟΣ ΚΥΛΙΣΕΩΣ ΤΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Όπως έχουμε αναφέρει, έχει ζητηθεί να τοποθετήσουμε σε βιομηχανικό κτίριο μια γερανογέφυρα ανυψωτικής ικανότητας 10t. Για την σωστή και ασφαλή λειτουργία της είναι απαραίτητο να γίνει η σωστή επιλογή της δοκού κυλίσεως.



Σχήμα 5.2 : Τομή πλατύπελμης ελατής διατομής HE 500 B

Επειδή η γερανογέφυρα μας είναι μικρής ανυψωτικής ικανότητας, και όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι καλύτερα να προτιμήσουμε μια πλατύπελμη ελατή διατομή μεσαίου μεγέθους για την παραλαβή των πλευρικών φορτίσεων (έως HE 500 B).

Γι' αυτό το λόγο θα επιλέξουμε στην κατασκευή μας να χρησιμοποιηθεί η δοκός κυλίσεως με διατομή HE 500 B , η στατική επάρκεια της οποίας θα εξεταστεί παρακάτω.

5.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ HE 500 B

Για να έχει επιτυχή αποτελέσματα ο σχεδιασμός μιας κατασκευής (κύριος φορέας, στοιχεία που αποτελούν την κατασκευή κτλ), πρέπει πρώτα να επιλέξουμε την κατάλληλη μέθοδο ανάλυσης και ελέγχου της. Η μέθοδος ανάλυσης αφορά κυρίως τα εντατικά και παραμορφώσιμα μεγέθη, ενώ στην μέθοδο ελέγχου φροντίζουμε για τον σωστό τρόπο υπολογισμού της αντοχής των διατομών τις οποίες έχουμε επιλέξει και θα χρησιμοποιήσουμε.

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η ποιότητα χάλυβα που θα χρησιμοποιηθεί για όλα τα μέρη της κατασκευής μας θα είναι, η S275. Για την

διατομή της δοκού κυλίσεως HE 500 B γνωρίζουμε τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις εξής μηχανικές ιδιότητες:

Πίνακας 5.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά διατομής HE 500 B

ΔΙΑΤΟΜΗ HE B	
Ίδιο βάρος	$G=87 \text{ kg/m} = 1,83 \text{ KN/m}$
Ύψος	$h=500 \text{ mm}$
Πλάτος πέλματος	$b=300 \text{ mm}$
Πάχος κορμού	$t_w=14,5 \text{ mm}$
Πάχος πέλματος	$t_f=28 \text{ mm}$
Καμυλότητα	$r=27 \text{ mm}$
Εμβαδόν διατομής	$A=238,60 \text{ cm}^2$
Ύψος κορμού	$h_c=444 \text{ mm}$
Ύψος κορμού χωρίς καμυλότητα	$d=390 \text{ mm}$
Ροπή αδράνειας y	$I_y=107200 \text{ cm}^4$
Ελαστική ροπή αντιστάσεως y	$W_y=4287 \text{ cm}^3$
Πλαστική ροπή αντιστάσεως y	$W_{py}=4815 \text{ cm}^3$
Ροπή αδράνειας z	$I_z=12620 \text{ cm}^4$
Ελαστική ροπή αντιστάσεως z	$W_z=841,6 \text{ cm}^3$
Πλαστική ροπή αντιστάσεως z	$W_{pz}=1292 \text{ cm}^3$
Σταθερά στρέψης	$I_t=538,4 \text{ cm}^4$
Σταθερά στρέβλωσης	$I_w=7018 \times 10^{-3} \text{ cm}^6$

5.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Για να μπορέσουμε να συνεχίσουμε την ανάλυση μας θα πρέπει να κάνουμε τη σωστή επιλογή της διατομής μας. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες διατομών οι οποίες είναι:

- **Διατομές Κατηγορίας 1 :** Είναι οι διατομές εκείνες οι οποίες σχηματίζουν πλαστική άρθρωση με την στροφική ικανότητα που απαιτείται από την πλαστική ανάλυση, χωρίς να εμφανίζουν μείωση στις αντοχές τους (με ροπή αντοχής $M_p = W_p \times F_y$)

- **Διατομές Κατηγορίας 2 :** Είναι οι διατομές που αναπτύσσουν πλαστική ροπή, αλλά λόγω του τοπικού λυγισμού που παρουσιάζουν έχουν περιορισμένη στροφική ικανότητα (με ροπή αντοχής $M_{pl} = W_{pl} \times F_y$)

- **Διατομές Κατηγορίας 3 :** Στις διατομές αυτές με θεωρητική την ελαστική κατανομή τάσεων, παρατηρούμε ότι ενώ η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χαλύβδινου μέλους φθάνει στο όριο διαρροής, η πλαστική ροπή δεν αναπτύσσεται λόγω του τοπικού λυγισμού που εμφανίζεται στο συγκεκριμένο σημείο (με ροπή αντοχής $M_{el} = W_{el} \times F_y$)

- **Διατομές Κατηγορίας 4 :** Οι διατομές αυτές εμφανίζουν τον τοπικό

λυγισμό πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής σε ένα ή περισσότερα σημεία της διατομής αυτής (με ροπή αντοχής $M_o < M_{el}$)

Όπως είναι λογικό οι διατομές που χρησιμοποιούνται περισσότερο ανήκουν στην πρώτη και στην δεύτερη κατηγορία. Αυτό οφείλεται στο ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πλαστική ανάλυση στους υπολογισμούς τους και οι αντοχές τους είναι υψηλότερες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ασφάλεια στην κατασκευή.

Το κριτήριο για να καταταχθεί μια διατομή στις κατηγορίες αυτές, είναι ο λόγος πλάτους προς το πάχος των θλιβόμενων πλακοειδή στοιχείων της (είτε λόγω αξονικής δύναμης είτε λόγω καμπτικής ροπής)

Άρα τα γεωμετρικά στοιχεία της διατομής και το είδος της φόρτισης που επιβάλλεται σε αυτήν θα καθορίσουν την κατηγορία της.


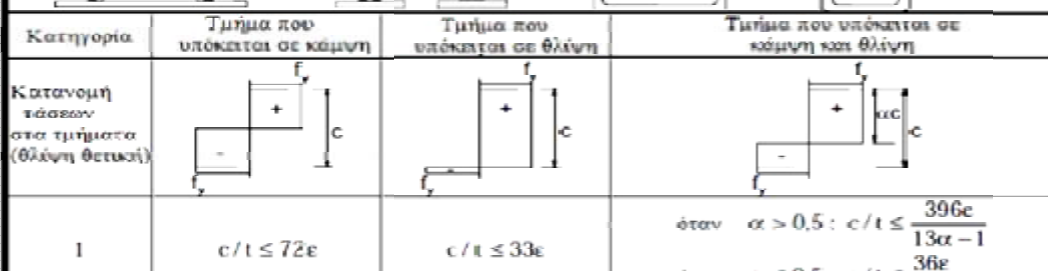
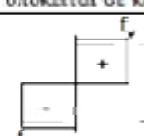

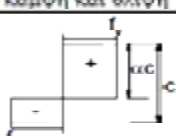
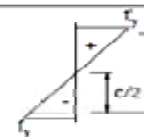
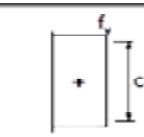
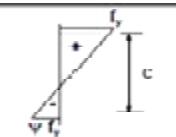
Η διατομή αποτελείται από τα εξής πλακοειδών στοιχεία : τον κορμό και τα πέλματα. Τα οποία με την σειρά τους ανάλογα με ποιον τρόπο έχουν στηριχθεί χωρίζονται σε εσωτερικά στοιχεία και εξωτερικά στοιχεία.

Ø Εσωτερικά στοιχεία ονομάζονται εκείνα που καταλήγουν σε άλλα στοιχεία που είναι εγκάρσια προς τη διατομή, τα οποία μπορεί όμως να είναι αμφιέριστα μεταξύ των γραμμών που έρχονται σε επαφή με τα εγκάρσια στοιχεία.

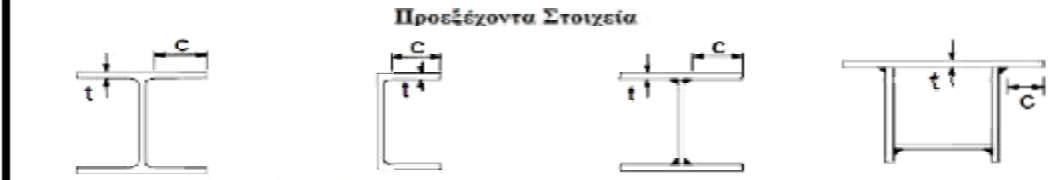
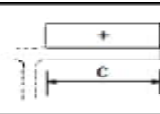
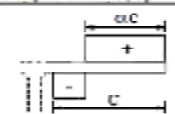
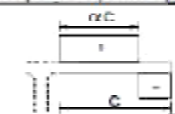
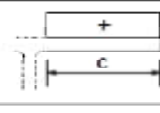
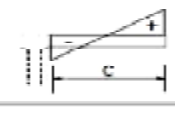
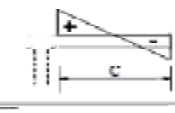
Ø Προεξέχοντα στοιχεία ονομάζονται τα στοιχεία που έχουν την στήριξη τους κατά μήκος της μιας ακμής, ενώ κατά μήκος της άλλης είναι ελεύθερα και πάντα παράλληλα προς την κατεύθυνση που έχει η θλιπτική τάση.

Για τα στοιχεία που ανήκουν στις κατηγορίες 1, 2, και 3 μπορούμε να λάβουμε τα όρια για τα θλιβόμενα μέρη τους από τους παρακάτω πίνακες 5.4 και 5.5:

Πίνακας 5.4 : Όρια εσωτερικών θλιβόμενων τμημάτων διατομών κατηγορίας 1, 2, 3

Εσωτερικά Θλιβόμενα Τμήματα						
				Αξονας Κάμψης		
				Αξονας Κάμψης		
Κατηγορία	Τμήμα που υποκειται σε κάμψη	Τμήμα που υποκειται σε θλίψη	Τμήμα που υποκειται σε κάμψη και θλίψη			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Κατανομή τάσεων στα επιμέλητα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	όταν $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ όταν $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Πίνακας 5.5 : Όρια προεξέχοντων θλιβόμενων στοιχείων κατηγορίας 1,2,3

Προεξέχοντα Στοιχεία						
		Ελατές Διατομές				
		Συγκολλητές Διατομές				
Κατηγορία	Στοιχείο υπό θλίψη	Στοιχείο υπό κάμψη και θλίψη				
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό			
Πλαστική κατανομή τάσεων στο στοιχείο (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Ελαστική κατανομή τάσεων στο στοιχείο (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_s}$				
		For k_s see EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Για να καταλήξουμε σε ποια μέθοδο ανάλυσης θα χρησιμοποιήσουμε

στους υπολογισμούς μας, θα πρέπει να κατατάξουμε την διατομή μας σε κάποια από τις τρεις κατηγορίες που προαναφέραμε. Έτσι λοιπόν :

Για τα εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία εξετάζουμε τα όρια της κατηγορίας 1.

Έλεγχος Κορμού :

Ο κορμός είναι ένα βασικό τμήμα που υπόκειται σε κάμψη, αφού γνωρίζουμε ότι $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$, τότε με βάση τον Πίνακα 5.4 έχουμε $\varepsilon = 0.92$

Όπου με βάση τον Πίνακα 5.4 θα πρέπει να ισχύει $c/t \leq 72\varepsilon$

Για την περίπτωση της διατομής HE 500 B έχουμε τα αντίστοιχα:

$$d / t_w = 390 / 14,5 = 26,9 < 72 \cdot \varepsilon$$

Για τα εξωτερικά θλιβόμενα στοιχεία εξετάζουμε και πάλι την κατηγορία 1.

Έλεγχος Πέλματος :

Όπου με βάση τον Πίνακα 5.5 θα πρέπει να ισχύει $c/t \leq 9\varepsilon$

Για την περίπτωση της διατομής HEB500 έχουμε τα αντίστοιχα:

$$(b/2) / t_f = (300/2) / 28 = 5,35 < 9 \cdot \varepsilon < 8,28 \text{ όπου,}$$

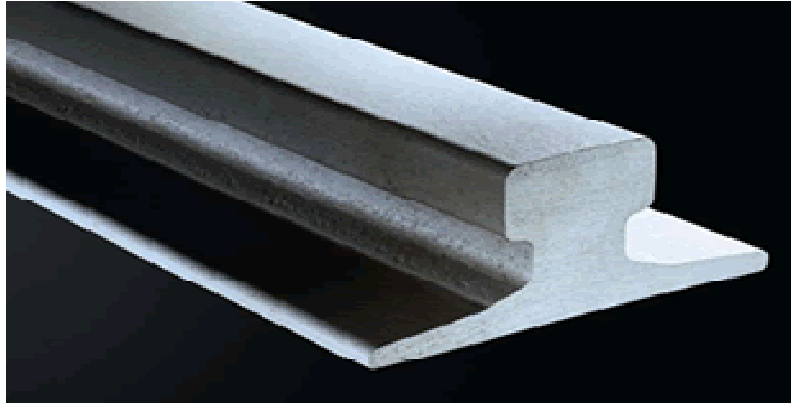
$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_y)} = 0,92$$

όπου $f_y = 275 \text{ MPa}$

Βλέπουμε λοιπόν ότι βρισκόμαστε στα όρια που θέτει η κατηγορία 1 άρα η διατομή μας ανήκει σε αυτήν και μπορεί να μελετηθεί με την μέθοδο της πλαστικής ανάλυσης..

5.4 ΤΡΟΧΙΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

Γνωρίζουμε ότι η γερανογέφυρα είναι ωφέλιμου φορτίου 10 τόνων, κάτι που την χαρακτηρίζει ως μικρής ανυψωτικής ικανότητας. Στην περίπτωση αυτή ο πλαγιοφορέας θα αποτελείται από δύο τροχούς σε κάθε πλευρά και η διατομή της τροχιάς μπορεί να είναι συμπαγής ορθογωνική ή κάποια συνήθης διατομή για μεγαλύτερα φορτία..



Εικόνα 5.2 : τροχιά Rodange

Σημαντικό μέρος των υπολογισμών των θλιπτικών τάσεων στον κορμό της δοκού κυλίσεως είναι ο προσδιορισμός του μεγέθους της φθοράς που θα υποστεί η σιδηροτροχιά.

Η φθορά αυτή έχει ως αποτέλεσμα την απομείωση του ονομαστικού ύψους της τροχιάς μας. Επομένως όταν υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της διατομής της τροχιάς η φθορά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Συνήθως το μέγεθος της φθοράς υπολογίζεται ως το 25% του ελάχιστου ονομαστικού πάχους t_f που υφίσταται κάτω από την επιφάνεια φθοράς. Σε αντίθετη περίπτωση, το μέγεθος της φθοράς μπορεί να ορίζεται από το σχέδιο συντήρησης της τροχιάς (ανάλογα αν οι τροχιές συμβάλλουν στην αντοχή ή την δυσκαμψία της δοκού κυλίσεως θα πρέπει να γίνονται οι κατάλληλες προβλέψεις της φθοράς, ώστε να γίνεται σωστότερα ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων της σύνθετης αυτής διατομής).

Στην περίπτωση που πραγματοποιούμε ελέγχους σε κόπωση, τότε ως φθορά λαμβάνουμε το ήμισυ της πρώτης περίπτωσης.

5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

Κατά την λειτουργία της γερανογέφυρας έχουμε την ύπαρξη φορτίων που ασκούνται στις δοκούς κυλίσεως. Όπως έχουμε αναφέρει, τα φορτία αυτά είναι κατακόρυφα και οριζόντια. Η δράση των φορτίων γίνεται με δυναμικό τρόπο καθώς μπορούν να μεταβάλουν την συχνότητα, το μέγεθος τους κτλ. Για το λόγο αυτό στους υπολογισμούς μας είναι απαραίτητο να συνυπολογίσουμε την δράση των δυναμικών προσαυξητικών συντελεστών.

5.5.1 Δυναμικοί Προσαυξητικοί Συντελεστές

Υπάρχουν οχτώ είδη δυναμικών συντελεστών οι οποίοι βρίσκονται σε τυποποιημένους πίνακες και προσδιορίζονται από τον Ευρωκώδικα 1. Για την κατασκευή της γερανογέφυρας μας θα λάβουμε μόνο τους πέντε πρώτους.

Πίνακας 5.6: Προσαυξητικοί δυναμικοί συντελεστές v_i

Συμβολισμός προσαυξητικών δυναμικών συντελεστών	Επιρροές στην γερανογέφυρα	Έχουν εφαρμογή
v_1	Εξαιτίας της ανύψωσης του φορτίου από το έδαφος παρουσιάζεται δυναμική διέγερση στην γερανογέφυρα	Ίδιο βάρος της γερανογέφυρας
v_2 v_3	Δυναμική επίδραση στην γερανογέφυρα κατά τη διαδικασία μεταφοράς του φορτίου από το έδαφος Σε περίπτωση χρήσης μαγνήτη ή αρπάγης έχουμε δυναμική επιρροή στο σώμα της γερανογέφυρας κατά την απότομη απόθεση του φορτίου που έχει ανυψωθεί	Ανυψούμενο φορτίο
v_4	Δυναμικές επιδράσεις που επηρεάζονται κατά την μετακίνηση της γερανογέφυρας πάνω στις τροχιές κυλίσεως	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας και ανυψούμενο φορτίο
v_5	Δυναμικές επιρροές που οφείλονται στις δυνάμεις προώθησης (επιτάχυνση ή επιβράδυνση γερανογέφυρας)	Οριζόντιες δυνάμεις κίνησης
v_6	Προσομοίωση της λειτουργίας της γερανογέφυρας με δοκιμαστικό φορτίο	Δοκιμαστικό φορτίο
v_7	Αφορά την ελαστική δυναμική επίδραση που λαμβάνει χώρα κατά την πρόσκρουση των τροχών επί των συστημάτων απόσβεσης	Δυνάμεις ασκούμενες στις διατάξεις τέρματος στα άκρα των τροχών (φορτία πρόσκρουσης)
v_8	Αφορά την απόκριση της γερανογέφυρας σε ανεμοριπή	Φορτία ανέμου

1. Δυναμικός συντελεστής v_1

Ο συντελεστής v_1 έχει εφαρμογή μόνο στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας ,

το οποίο επηρεάζεται από την δυναμική διέγερση της κατά την ανύψωση του φορτίου.

$$v_1 = 1 \pm \alpha \quad , \quad \text{όπου} \quad 0 < \alpha < 0,1$$

η επιλογή του προσήμου “+” ή “-” γίνεται ανάλογα την ανώτερη και κατώτερη τιμή της ταλάντωσης. Στους υπολογισμούς μας λαμβάνουμε την δυσμενέστερη περίπτωση, επομένως :

$$v_1 = 1,0 + 0,10 = 1,10$$

2. Δυναμικός συντελεστής v_2

Η εφαρμογή του συντελεστή v_2 γίνεται στο ανυψούμενο φορτίο λόγω της δυναμικής επιρροής που ασκεί στην γερανογέφυρα κατά τη μεταφορά του από το έδαφος.

$$v_2 = v_{2,\min} + b_2 \cdot v_h \quad , \quad \text{όπου} \quad v_h = \text{η ταχύτητα ανύψωσης του φορτίου σε m/s}$$

Για γερανογέφυρα κατηγορίας ανύψωσης 2 (HC2) ισχύει ότι

$$b_2 = 0,34 \text{ και}$$

$$v_{2,\min} = 1,10$$

οπότε

$$v_2 = 1,10 + [0,34 \cdot (8/60)] = 1,145$$

3. Δυναμικός συντελεστής v_3

Ο δυναμικός συντελεστής v_3 χρησιμοποιείται όταν έχουμε αρπάγες ή μαγνήτες , ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την δυναμική επιρροή που ασκεί στη γερανογέφυρα κατά την απόθεση του ανυψούμενου φορτίου. Στην περίπτωση μας επειδή δεν έχουμε αρπάγη ή μαγνήτη ο δυναμικός συντελεστής v_3 λαμβάνεται:

$$v_3 = 1$$

4. Δυναμικός συντελεστής v_4

Αυτός ο δυναμικός συντελεστής έχει εφαρμογή στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας αλλά και στο ανυψούμενο φορτίο και αφορά τις δυναμικές επιρροές που αναπτύσσονται κατά την μετακίνηση της γερανογέφυρας επι των συστημάτων των τροχών ή επί των δοκών κυλίσεως. Αν βρισκόμαστε εντός των ανοχών και των προδιαγραφών που καθορίζονται στο Ευρωκώδικα 1 μέρος 6, τότε έχουμε :

$$v_4 = 1,0$$

5. Δυναμικός συντελεστής v_5

Ο δυναμικός συντελεστής v_5 έχει εφαρμογή στις ασκούμενες οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται στις τροχιές και αφορά την επιρροή που οφείλεται στις δυνάμεις προώθησης κατά την επιτάχυνση και επιβράδυνση της γερανογέφυρας. Αν θεωρήσουμε ότι οι δυνάμεις αυτές έχουν ομαλή μεταβολή τότε ισχύει :

$$v_5 = 1,5.$$

Πίνακας 5.7: Δυναμικοί προσαυξητικοί συντελεστές v για τα κατακόρυφα φορτία

v_1	$v_1 = 1 \pm a$ Όπου $0 < a < 0,1$ Οι τιμές $1 + a$ και $1 - a$ αντιπροσωπεύουν την ανώτερη και την κατώτερη τιμή της ταλάντωσης . $0,9 < v_1 < 1,1$
v_2	$v_2 = v_{2,\min} + \beta_2 * v_h$ v_h είναι η σταθερή ταχύτητα ανύψωσης σε m/s $v_{2,\min}$ και β_2 επιλέγονται από τον πίνακα 2.5 του EC1
v_3	$v_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ Όπου Δm το απελευθερούμενο μέρος του ανυψούμενου φορτίου m το συνολικό ανυψούμενο φορτίο $\beta_3 = 0,5$ για τις γερανογέφυρες που είναι εξοπλισμένες με αρπάγες ή άλλα εξαρτήματα βραδείας απόθεσης του φορτίου $\beta_3 = 1$ για τις γερανογέφυρες με μαγνήτες ή παρόμοια συστήματα ταχείας απόθεσης του φορτίου
v_4	$v_4 = 1,0$ Εάν έχουν τηρηθεί οι ανοχές για τις τροχιές που καθορίζονται στο ENV 1993/6

Πίνακας 5.8: Δυναμικός προσαυξητικός συντελεστής v_5 για τα οριζόντια φορτία

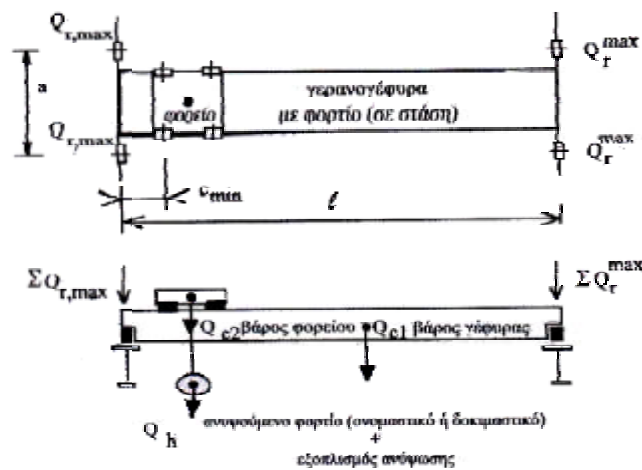
$v_5 = 1,0$	όταν έχουμε φυγόκεντρες δυνάμεις
$1,0 \leq v_5 \leq 1,5$	για τα συστήματα στα οποία οι δυνάμεις μεταβάλλονται ομαλά
$1,5 \leq v_5 \leq 2,0$	όταν υπάρχουν απότομες αλλαγές
$v_5 = 3,0$	στις περιπτώσεις μετακίνησης με σημαντικές νεκρές διαδρομές

Πίνακας 5.9: Τιμές των συντελεστών β_2 και $v_{2,\min}$

Κατηγορία Ανύψωσης	β_2	$v_{2,\min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Τα κατακόρυφα βάρη της γερανογέφυρας και η θέση τους ως προς τις τροχιές κύλισης είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη των κατακόρυφων φορτίων που ασκούνται στους τροχούς της γερανογέφυρας. Όπως έχουμε αναφέρει τέτοια φορτία είναι το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας, το βάρος του φορτίου ανύψωσης και το βάρος του βαρουλκοφορείου. Λόγω της ελευθερίας της κίνησης που έχουν το φορτίο ανύψωσης και το βαρουλκοφορείο, μεταξύ των δύο ακραίων σημείων, λαμβάνουμε στους υπολογισμούς μας την δυσμενέστερη περίπτωση



Σχήμα 5.3 : Κατακόρυφα φορτία της γερανογέφυρας

Παρακάτω θα γίνει ο προσδιορισμός των φορτίων της γερανογέφυρας που ασκούνται πάνω στη δοκό κύλισης. Αυτό θα γίνει για τις τρεις περιπτώσεις όπου, η γερανογέφυρα είναι αφόρτιστη, πλήρως φορτισμένη και για τους συνδυασμούς των φορτίων 1, 2, 3, 4, 5 που φαίνονται στον πίνακα 5.9. Ο Πίνακας βρίσκεται στην οδηγία του Ευρωκώδικα 3 και μας δείχνει ποιόν δυναμικό συντελεστή πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάθε φορά ανάλογα το είδος του φορτίου και την κατάσταση φόρτισης της γερανογέφυρας.

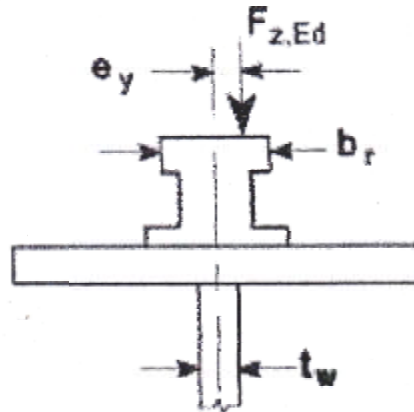
Πίνακας 5.9: Συνδυασμοί φορτίων

	Σύμβολο	Παράγραφος	Ομάδες φορτίων										
			Οριακή κατάσταση αστοχίας							Σ	Τυχηματική		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
1	Ίδιο βάρος της γερανογέφυρας	Q_c	2.7	v_1	v_1	1	v_4	v_4	v_4	1	v_1	1	1
2	Ανυψούμενο φορτίο	Q_H	2.7	v_2	v_3	-	v_4	v_4	v_4	η^*	-	1	1
3	Επιτάχυνση της γερανογέφυρας	H_L, H_T	2.8	v_5	v_5	v_5	v_5	-	-	-	v_5	-	-
4	Παράγωγη κίνηση της γερανογέφυρας	H_S	2.8	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Επιτάχυνση ή τροχοπέδηση του βαρούλκου ή του ανυψωτικού συστήματος		2.8	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Άνεμος κατά την λειτουργία της γερανογέφυρας	F_w	Παράρτ. Α	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Δοκιμαστικό φορτίο	Q_T	2.11	-	-	-	-	-	-	-	v_6	-	-
8	Δυνάμεις πρόσκρουσης στα άκρα	H_B	2.12	-	-	-	-	-	-	-	-	v_7	-
9	Δύναμη πρόσκρουσης του βαρουλκοφορείου σε εμπόδιο	H_{TA}	2.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

η^* είναι το μέρος από το ολικό ανυψούμενο φορτίο το οποίο παραμένει όταν το ωφέλιμο φορτίο απομακρυνθεί, αλλά δεν περιλαμβάνεται στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας

5.6.1 Εκκεντρότητα κατακόρυφων φορτίων στην τροχιά

Η τροχιά είναι από τα στοιχεία εκείνα της κατασκευής μας όπου τοποθετείται, σταθμίζεται και ευθυγραμμίζεται έπειτα από την ολοκλήρωση της ανέγερσης του εκάστοτε κτιρίου και εφόσον έχει τοποθετηθεί και στηριχθεί η δοκός κύλισης. Γι' αυτό το λόγο είναι δυνατό να εμφανίζεται μια έκκεντρη άσκηση του κατακόρυφου φορτίου ως προς τη δοκό κύλισης. Η εκκεντρότητα αυτή είναι μέρος των υπολογισμών μας και καθορίζεται από τους κανονισμούς του Ευρωκώδικα 3, ως κατά μέσο όρο το $\frac{1}{4}$ του πλάτους b_T της τροχιάς μας.



Σχήμα 5.5 : Εκκεντρότητα φόρτισης

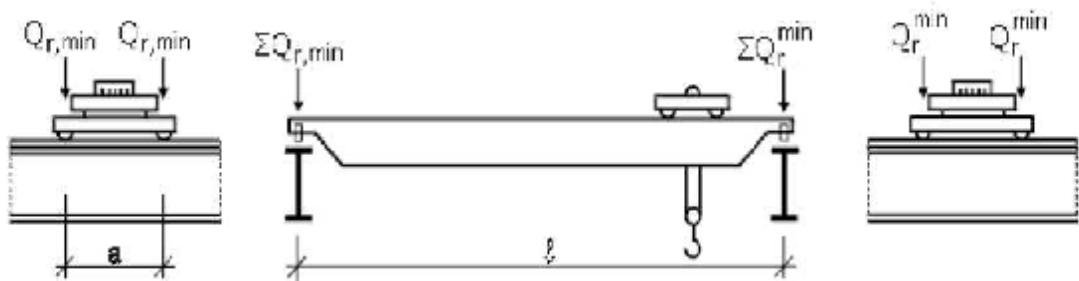
Επομένως η απόσταση που θα ασκείται το κατακόρυφο φορτίο από τον νοητό άξονα συμμετρίας της τροχιάς με την δοκό κυλίσεως, υπολογίζεται ως εξής:

Πλάτος τροχιάς $b_r = 55 \text{ mm}$

Εκκεντρότητα $e = (1/4) \times b_r$
 $e = 13,75 \text{ mm}$

5.6.2 Ελάχιστες τιμές φορτίων (γερανογέφυρα αφόρτιστη)

Για να υπολογίσουμε τις ελάχιστες τιμές των φορτίων όταν η γερανογέφυρα δεν είναι φορτισμένη, θα πρέπει να κάνουμε κάποιες παραδοχές. Θα θεωρήσουμε δηλαδή ότι το βαρουλκοφορείο μας βρίσκεται στην ακραία θέση της γερανογέφυρας (είναι η θέση όπου το φορείο είναι πλησιέστερα στη μια τροχιά, με ελάχιστη απόσταση την ακραία θέση του αγκίστρου από αυτήν $a_1 = 900 \text{ mm}$)



Σχήμα 5.6 : Διάταξη φορτίων στην αφόρτιστη γερανογέφυρα, ώστε να έχουμε την ευμενέστερη φόρτιση στη δοκό κυλίσεως

Τα κατακόρυφα φορτία που ασκούνται τώρα είναι μόνο το ίδιο βάρος της

γερανογέφυρας 77,31 kN και το βάρος του φορείου 10kN.

Σε αυτή την περίπτωση όπου η γερανογέφυρα είναι αφόρτιστη μελετάμε με βάση τους διάφορους συνδυασμούς των φορτίων που μας προτείνει ο Ευρωκώδικας 1

A. Συνδυασμοί φορτίων 1, 2 (Eurocode 1 - part 3, Πίνακας 4.7)

Για το συνδυασμό φορτίων 1, 2 που αφορούν τα ίδια βάρη και την βοήθεια του Πίνακα 4.7 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνουμε :

- Τον συντελεστή για το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας: $v_1 = 1,10$
- Το καθαρό φορτίο της γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο θα είναι :

$$q_c = Q_c / l = 77,31 / 20 = 3,87 \text{ kN/m}$$

- Η δυναμική προσαύξηση του φορτίου αυτού θα είναι :

$$v_1 \times q_c = 1,10 \times 3,87 = 4,26 \text{ kN/m}$$

- Το συγκεντρωμένο φορτίο από το ίδιο βάρος του φορείου θα είναι:

$$v_1 \times G_c = 1,10 \times 10 = 11 \text{ kN}$$

Το κατανεμημένο φορτίο της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου και στις δυο πλευρές επομένως σημαντικό ρόλο παίζει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο.

Άρα:

- Το φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως είναι:

$$\begin{aligned} \sum Q_r^{\text{MIN}} &= (0,5 \cdot v_1 \cdot q_c \cdot l) + (v_1 \cdot G_c \cdot (l - 0,9)/l) \Rightarrow \\ \Rightarrow \sum Q_r^{\text{MIN}} &= 0,5 \cdot 4,26 \cdot 20 + [11 \times (19,1/20)] = 53,105 \text{ kN} \end{aligned}$$

Και ανά τροχό

$$Q_r^{\text{MIN}} = 26,55 \text{ kN} \approx 27 \text{ kN}$$

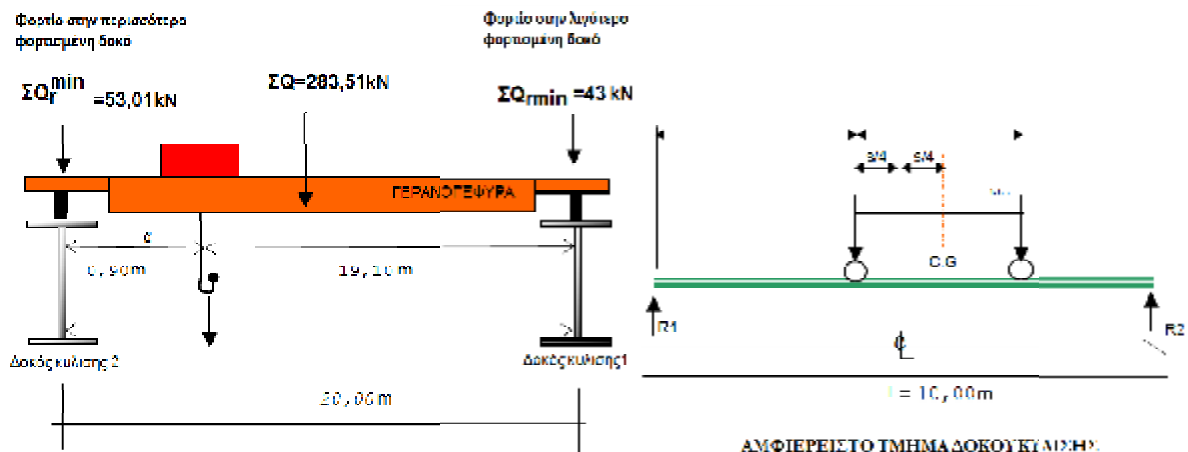
- Το φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως είναι:

$$\Sigma Q_{r,MIN} = (0,5 \cdot v_1 \cdot q_c \cdot l) + (v_1 \cdot G_c \cdot (0,9/l)) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Sigma Q_{r,MIN} = (0,5 \cdot 4,26 \cdot 20) + (11 \cdot (0,9/20)) = 43,1 \text{ kN}$$

Και ανά τροχό

$$Q_{r,MIN} = 21,55 \text{ kN} \approx 22 \text{ kN}$$



Σχήμα 5.7 : Ελάχιστες τιμές φορτίων για γερανογέφυρα αφόρτιστη με το φορείο στην ακραία θέση

Κατά την μελέτη μας λόγω του ότι τα δεδομένα που είχαμε ήταν ελλιπεί, επιλέξαμε η απόσταση των στηρίξεων κατά το μήκος της δοκού κυλίσεως να είναι 10 μέτρα.

B. Συνδυασμοί φορτίων 3, 4, 5 (Eurocode 1 - part 3, Πίνακας 4.7)

Για το συνδυασμό φορτίων 3, 4, 5 παίρνουμε τα εξής δεδομένα :

- Δυναμικός συντελεστής για το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας κατά την κίνηση της πάνω στις τροχιές : $v_4 = 1,0$

Αυτό που μεταβάλλεται κάθε φορά είναι ο δυναμικός συντελεστής του ίδιου βάρους της γερανογέφυρας, οπότε κατά αναλογία με τα προηγούμενα αποτελέσματα προκύπτει:

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως:

$$Q_r^{\min} = (43,1/1,10) \times 1,0 = 39,2 \text{ kN}$$

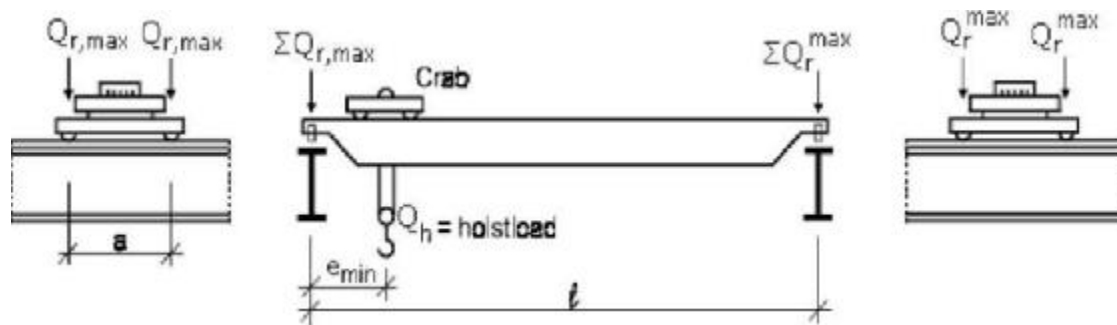
- Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως:

$$Q_{r,\min} = (22/1,10) \times 1,0 = 20 \text{ kN}$$

5.6.3 Μέγιστες τιμές φορτίων (γερανογέφυρα πλήρως φορτισμένη)

Και σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε ότι το φορείο βρίσκεται στην ακραία δυνατή θέση (δηλαδή πλησιέστερα στην μια τροχιά, με ελάχιστη απόσταση την ακραία θέση του αγκίστρου $a_1 = 900 \text{ mm}$).

Τα κατακόρυφα φορτία που ασκούνται τώρα είναι το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας 77,31 kN, το ίδιο βάρος του φορείου 10 kN και το βάρος του φορτίου ανύψωσης που αντιστοιχεί σε 98,1 kN



Σχήμα 5.8: Μέγιστες τιμές φόρτισης όταν το φορείο είναι στην ακραία θέση και η γερανογέφυρα πλήρως φορτισμένη.

Για την πλήρως φορτισμένη γερανογέφυρα ακολουθούμε και πάλι την διαδικασία των συνδυασμών φορτίων όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

A. Συνδυασμός φορτίων 1 (Eurocode 1 - part 3, Πίνακας 4.7)

Για το συνδυασμό φορτίων 1, 2 υπολογίζουμε :

- Δυναμικός συντελεστής για το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας: $v_1 = 1,10$
- Δυναμικός συντελεστής για το φορτίο ανύψωσης: $v_2 = 1,145$
- Το καθαρό φορτίο της γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιόμορφα καταναμημένο φορτίο είναι:

$$q_c = 77,31 / 20 = 3,86 \text{ kN/m}$$

- Η δυναμική προσαύξηση του ίδιου βάρους της γερανογέφυρας θα είναι :

$$v_1 \times q_c = 1,10 \times 3,86 = 4,25 \text{ kN/m}$$

- Το συγκεντρωμένο φορτίο από το φορείο θα είναι:
 $v_1 \times G_c = 1,10 \times 10 = 11 \text{ kN}$
- Η δυναμική προσαύξηση του φορτίου ανύψωσης θα είναι:

$$Q_h = v_2 \times Q_{r,nom} = 1,145 \times 98,1 = 112,3 \text{ kN}$$

Το κατανεμημένο φορτίο της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου και στις δυο πλευρές και μένει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο και του φορτίου ανύψωσης.

Άρα:

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως:
 $\Sigma Q_{r,max} = (0,5 \cdot v_1 \cdot q_c \cdot l) + ((v_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot ((1 - 0,9)/l)) \Rightarrow$
 $\Sigma Q_{r,max} \Rightarrow (0,5 \cdot 4,26 \cdot 20) + ((11 + 112,3) \cdot ((20 - 0,9)/20)) \Rightarrow$
 $\Rightarrow \Sigma Q_{r,max} = 160,35 \text{ kN}$

Και ανά τροχό:

$$Q_{r,max} = 80,18 \text{ kN}$$

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως:

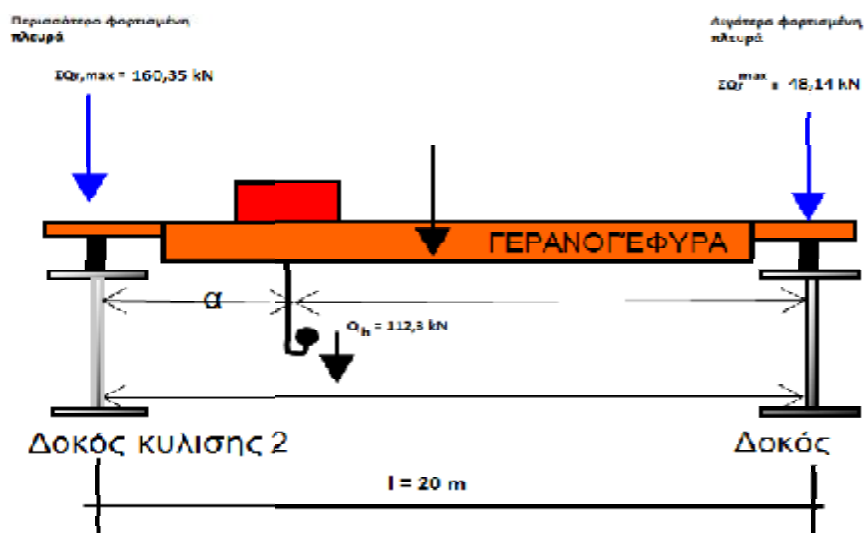
$$\Sigma Q_r^{max} = (0,5 \cdot v_1 \cdot q_c \cdot l) + ((v_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot (0,9/l)) \Rightarrow$$

$$\Sigma Q_r^{max} \Rightarrow (0,5 \cdot 4,26 \cdot 20) + ((11 + 112,3) \cdot \left(\frac{0,9}{20}\right)) \Rightarrow$$

$$\Sigma Q_r^{max} = 48,15 \text{ kN}$$

Και ανά τροχό:

$$Q_r^{max} = 24,1 \text{ kN}$$



Σχήμα 5.9 : Μέγιστες τιμές φορτίων γερανογέφυρας με φορείο στην ακραία δυνατή θέση για συνδυασμό φορτίων 1

B. Συνδυασμός φορτίων 2 (Eurocode 1 - part 3, Πίνακας 4.7)

Για το συνδυασμό των φορτίων της κατηγορίας 2 παίρνουμε :

- Το δυναμικό συντελεστή για το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας: $v_1 = 1,10$
- Το δυναμικό συντελεστή για το φορτίο ανύψωσης : $v_3 = 1,0$
- Το καθαρό φορτίο της γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο θα είναι :

$$q_c = Q_c / l = 77,31 / 20 = 3,87 \text{ kN/m}$$

- Η δυναμική προσαύξηση θα είναι :

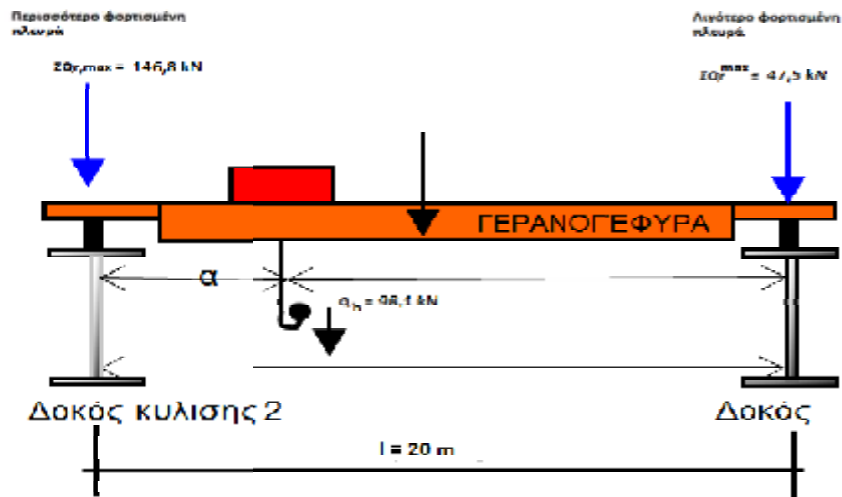
$$v_1 \times q_c = 1,10 \times 3,87 = 4,26 \text{ kN/m}$$

- Το συγκεντρωμένο φορτίο από το φορείο θα είναι:

$$v_1 \times G_c = 1,10 \times 10 = 11 \text{ kN}$$

- Η δυναμική προσαύξηση του φορτίου ανύψωσης θα είναι :

$$Q_h = v_3 \times Q_{r,nom} = 1,0 \times 98,1 = 98,1 \text{ kN}$$



Σχήμα 5.10 : Μέγιστες τιμές φορτίων για γερανογέφυρα: πλήρως φορτισμένη με το φορείο στην ακραία δυνατή θέση για συνδυασμό φορτίων 2.

Το κατανεμημένο φορτίο της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου στις δυο πλευρές και μένει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο και του φορτίου ανύψωσης.

Άρα:

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως:

$$\Sigma Q_{r,max} = (0,5 \cdot v_1 \cdot q_c \cdot l) + ((v_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot (1 - 0,9/l)) \Rightarrow$$

$$\Sigma Q_{r,max} \Rightarrow (0,5 \cdot 4,26 \cdot 20) + \left((11 + 98,1) \cdot \left(\frac{19,1}{20} \right) \right) \Rightarrow$$

$$\Sigma Q_{r,max} = 146,8 \text{ kN}$$

Και ανά τροχό:

$$Q_{r,max} = 73,95 \text{ kN}$$

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως:

$$\Sigma Q_r^{max} = (0,5 \cdot v_1 \cdot q_c \cdot l) + ((v_1 \cdot G_c + Q_h) \cdot (0,9/l)) \Rightarrow$$

$$\Sigma Q_r^{max} \Rightarrow (0,5 \cdot 4,26 \cdot 20) + \left((11 + 98,1) \cdot \left(\frac{0,9}{20} \right) \right) \Rightarrow$$

$$\Sigma Q_r^{max} = 47,5 \text{ kN}$$

Και ανά τροχό:

$$Q_r^{\max} = 23,75 \text{ kN}$$

C. Συνδυασμοί φορτίων 4,5 (Eurocode 1 - part 3, Πίνακας 4.7)

Για το συνδυασμό των φορτίων της κατηγορίας 2 έχουμε :

- Δυναμικός συντελεστής για το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας: $v_4 = 1,0$
- Δυναμικός συντελεστής για το φορτίο ανύψωσης: $v_4 = 1,0$
- Το καθαρό φορτίο της γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο θα είναι :

$$q_c = Q_c / l = 77,31 / 20 = 3,87 \text{ kN/m}$$

- Η δυναμική προσαύξηση θα είναι :

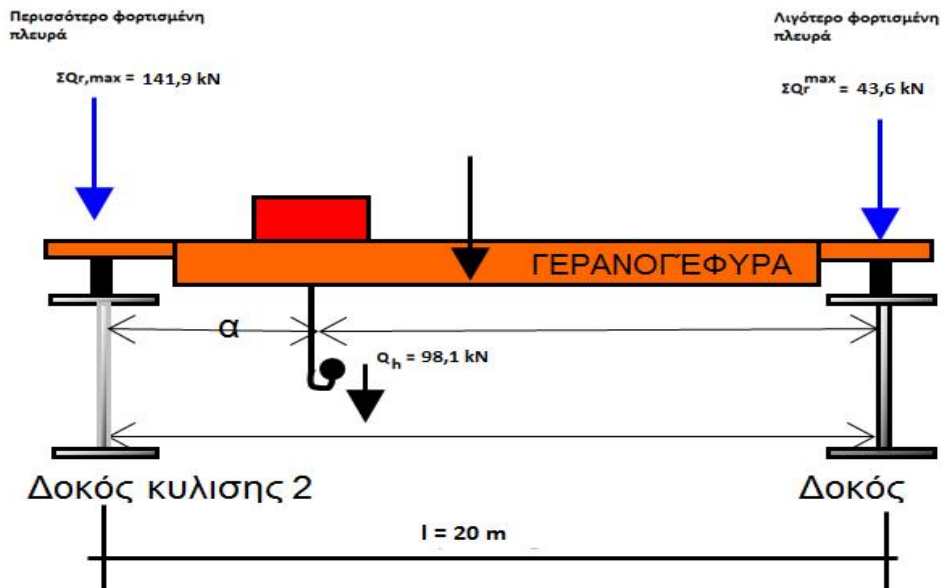
$$v_4 \times q_c = 1,0 \times 3,87 = 3,87 \text{ kN/m}$$

- Το συγκεντρωμένο φορτίο από το φορείο θα είναι :

$$v_4 \times G_c = 1,0 \times 10 = 10 \text{ kN}$$

Η δυναμική προσαύξηση στο φορτίο ανύψωσης θα είναι:

$$Q_h = v_4 \times Q_{r,nom} = 1,0 \times 98,1 = 98,1 \text{ kN}$$



Σχήμα 5.11 : Μέγιστες τιμές φορτίων για γερανογέφυρα: πλήρως φορτισμένη με το φορείο στην ακραία δυνατή θέση για τις κατηγορίες φορτίων 4,5.

Το κατανεμημένο φορτία της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου και στις δύο πλευρές και μένει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο και του φορτίου ανύψωσης.

Άρα:

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτισμένη δοκό κυλίσεως

$$\sum Q_{r,\max} = (0,5 \cdot v_4 \cdot q_c \cdot l) + ((v_4 \cdot G_c + Q_h) \cdot (1 - 0,9/l)) \Rightarrow$$

$$\sum Q_{r,\max} \Rightarrow (0,5 \cdot 3,87 \cdot 20) + \left((11 + 98,1) \cdot \left(\frac{19,1}{20} \right) \right)$$

$$\Rightarrow \sum Q_{r,\max} = 141,9 \text{ kN}$$

Και ανά τροχό:

$$Q_{r,\max} = 70,97 \text{ kN}$$

- Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως:

$$\sum Q_r^{\max} = (0,5 \cdot v_4 \cdot q_c \cdot l) + ((v_4 \cdot G_c + Q_h) \cdot (0,9/l)) \Rightarrow$$

$$\sum Q_r^{\max} \Rightarrow (0,5 \cdot 3,87 \cdot 20) + \left((11 + 98,1) \cdot \left(\frac{0,9}{20} \right) \right) \Rightarrow$$

$$\sum Q_r^{\max} = 43,6 \text{ kN}$$

Και ανά τροχό:

$$Q_r^{\max} = 21,8 \text{ kN}$$

5.7 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

Κατά την κανονική λειτουργία της γερανογέφυρας δημιουργούνται οριζόντιες φορτίσεις στις γερανοδοκούς της. Ανάλογα με την προέλευση τους οι φορτίσεις αυτές διακρίνονται σε :

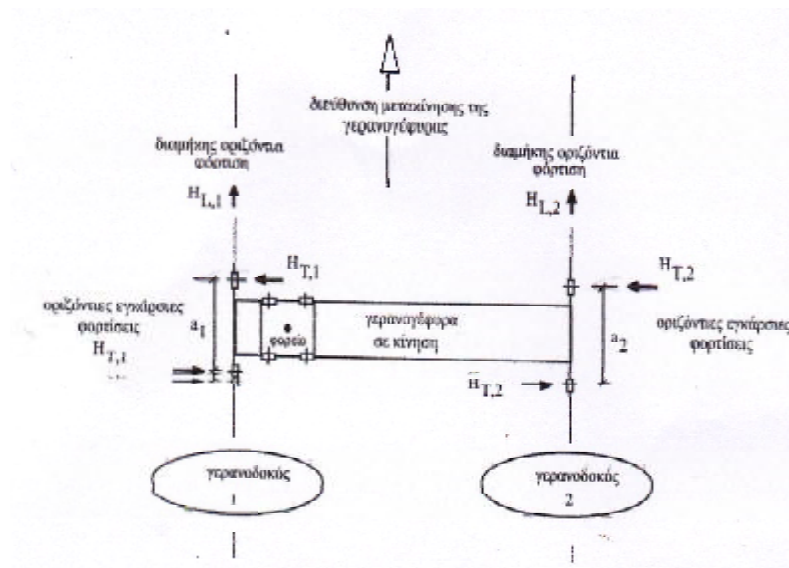
- § Οριζόντιες φορτίσεις στις δοκούς κυλίσεως, που οφείλονται στην επιτάχυνση ή την επιβράδυνση της γερανογέφυρας.
- § Οριζόντια φορτία αναπτυσσόμενα λόγω της λοξής κίνησης της

γερανογέφυρας (πλαγιοδρόμηση) ως προς τις τροχιές κύλισης.

- § Οριζόντιες φορτίσεις που ασκούνται στις γερανοδοκούς λόγω της επιτάχυνσης ή της επιβράδυνσης του βαρουλκοφορείου της γερανογέφυρας.

Στις περιπτώσεις που η κατασκευή μας περιλαμβάνει αποκρουστήρες γερανογέφυρας και βαρουλκοφορείου, τότε θα ασκούνται :

- § Οριζόντιες δυνάμεις αναπτυσσόμενες από τον αποκρουστήρα κατά την κίνηση του βαρουλκοφορείου.
- § Οριζόντιες δυνάμεις αναπτυσσόμενες από τον αποκρουστήρα κατά την κίνηση της γερανογέφυρας.



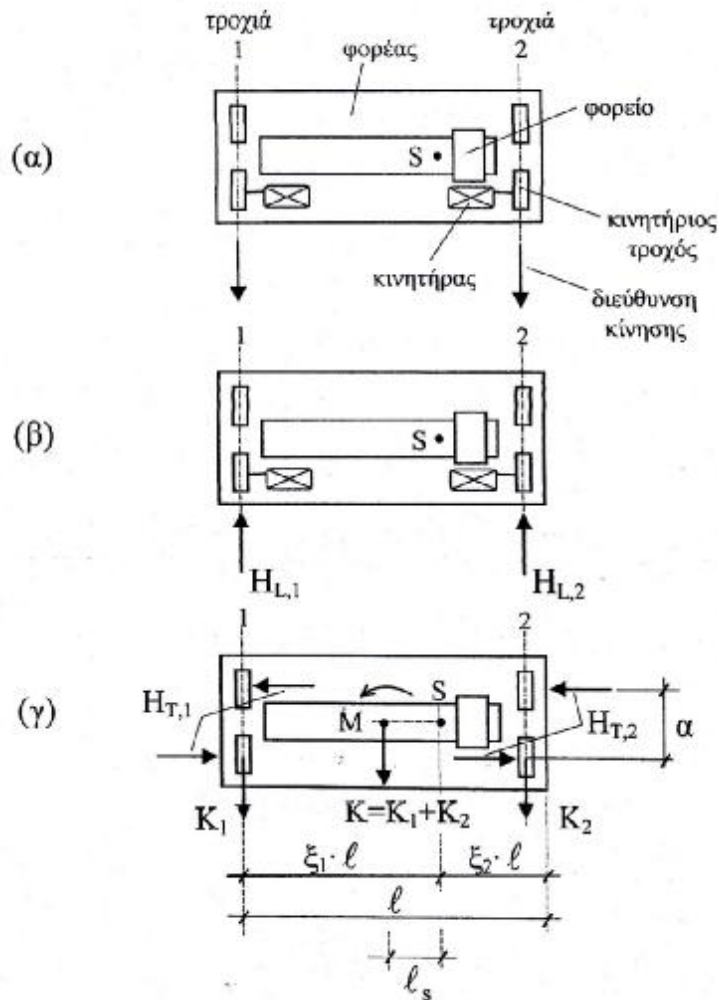
Σχήμα 5.11 : Οριζόντια φορτία που καταπονούν την γερανογέφυρα κατά τη λειτουργία της

5.7.1 Οριζόντια φορτία από επιβράδυνση – επιτάχυνση

Όταν η γερανογέφυρα κινείται, επιταχύνει ή επιβραδύνει, η κινητήρια δύναμη που ασκείται στην διεπιφάνεια μεταξύ της τροχιάς κύλισης και των τροχών είναι η αιτία για την εμφάνιση των φορτίων αυτών. Η κινητήρια αυτή δύναμη "Κ" εφαρμόζεται στον νοητό άξονα της γερανογέφυρας, σε αντίθεση με το κέντρο βάρους "S" των κινούμενων μερών (ως ένα σύστημα γερανογέφυρα και φορτίο ανύψωσης) που απέχει από τον άξονα αυτόν. Η ροπή που προκύπτει εξουδετερώνεται από τα ζεύγη των εγκάρσιων δυνάμεων " H_T " που δημιουργούνται μεταξύ των τροχιών και των τροχών. Την ίδια στιγμή παρατηρούμε ότι ασκούνται και οι κατά μήκος δυνάμεις " H_L ".

Η θέση του φορτίου ανύψωσης είναι αυτή που καθορίζει τις εγκάρσιες δυνάμεις “ $H_{T,i}$ ”, αν δηλαδή το φορτίο ανύψωσης βρίσκεται πιο κοντά στην μια τροχιά τότε οι εγκάρσιες δυνάμεις της τροχιάς αυτής είναι μεγαλύτερες, σε αντίθεση με τις κατά μήκος δυνάμεις “ $H_{L,i}$ ” οι οποίες θα είναι μεταξύ τους ίσες .

Για να γίνει ο συνολικός υπολογισμός των οριζόντιων φορτίων θα πρέπει να υπολογιστούν ξεχωριστά οι κατά μήκος δυνάμεις “ $H_{L,i}$ ” και οι εγκάρσιες δυνάμεις “ $H_{T,i}$ ” .



Σχήμα 5.12 : Πλευρικές και κατά μήκος δυνάμεις επι των δοκών κυλίσεως λόγω της επιταχυνόμενης ή επιβραδυνόμενης κίνησης της γερανογέφυρας

Αρχικά λοιπόν έχουμε :

1. Υπολογισμός Κατά μήκος δυνάμεων “ $H_{L,i}$ ”

Ο υπολογισμός των δυνάμεων αυτών γίνεται με την παρακάτω εξίσωση :

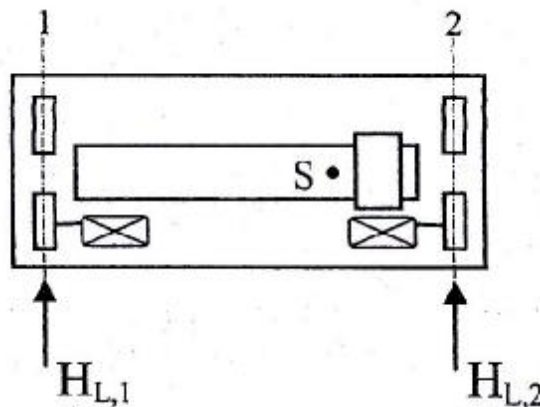
$$H_{L,i} = v_5 \cdot K \cdot \left(\frac{1}{n_r} \right) \quad (5.1)$$

όπου :

v_5 είναι δυναμικός συντελεστής, ίσος με 1,50

K είναι η συνολική κινητήρια δύναμη, δηλαδή η συνισταμένη των δυνάμεων προώθησης K_i σε κάθε γερανοδοκό,

n_r είναι ο αριθμός δοκών κύλισης ίσος με 2.



Σχήμα 5.13 : Οριζόντιες κατά μήκος δυνάμεις $H_{L,i}$

- Υπολογισμός κινητήριας δύναμης K :

Η κινητήρια δύναμη δίδεται από την παρακάτω σχέση :

$$K = \sum K_i = \mu \cdot \sum Q_{r,\min}^* = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,\min}^* \quad (5.2)$$

Όπου :

μ είναι ο συντελεστής τριβής των τροχών στις σιδηροτροχιές ο οποίος εξαρτάται από το είδος των επιφανειών.

Συγκεκριμένα ισούται με:

- $\mu = 0,20$ για τριβή από χάλυβα σε χάλυβα.
- $\mu = 0,50$ για τριβή από χάλυβα σε καουτσούκ.

$\sum Q_{r,\min}^*$ είναι συνάρτηση του τρόπου προώθησης,

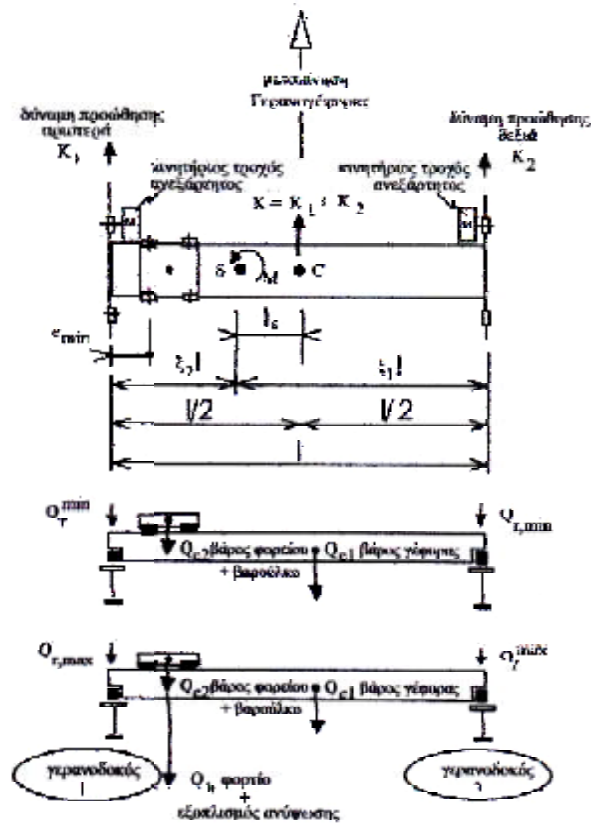
m_w είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων τροχών.

Για έναν κινητήριο τροχό με ανεξάρτητη κίνηση σε κάθε τροχιά ο συντελεστής m_w είναι ίσος με 2.

Άρα

$$K = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,\min}^*$$

$$= 0,2 \cdot 2 \cdot 22 = 8,8 \text{ kN}$$



Σχήμα 5.14 : Μετακίνηση γερανογέφυρας. Προώθηση μέσω δύο ανεξάρτητων τροχών ($m_w = 2$)

Επομένως ο υπολογισμός των οριζόντιων κατά μήκος δυνάμεων γίνεται ως εξής:

$$H_{L,1} = H_{L,2} = v_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r}$$

οπότε

$$H_{L,1} = H_{L,2} = 1,50 \cdot 8,8 \cdot \frac{1}{2} = 6,6 \text{ kN}$$

2. Υπολογισμός Εγκάρσιων Δυνάμεων "H_{T,i}"

Για τον υπολογισμό των εγκάρσιων δυνάμεων χρησιμοποιούμε τις εξισώσεις :

$$H_{T,1} = v_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} \quad (5.3)$$

και

$$H_{T,2} = v_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} \quad (5.4)$$

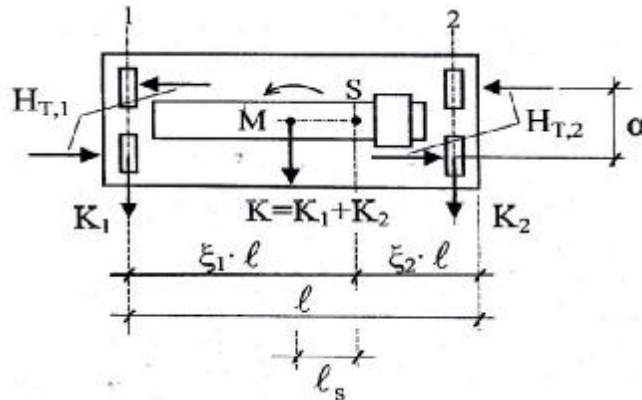
Όπου :

ξ_1 είναι ο συντελεστής της απόστασης $\xi_1 l$ του κέντρου βάρους S του συστήματος από την τροχιά 1,

v_5 είναι ο δυναμικός συντελεστής,

M είναι η ροπή στροφής από την κινητήρια δύναμη και δίνεται από την εξίσωση:

$$M = K \cdot I_s \quad (5.5)$$



Σχήμα 5.15 : Οριζόντιες εγκάρσιες δυνάμεις H_{T,i}

Αρχικά υπολογίζουμε τον συντελεστή της απόστασης $\xi_1 l$ του κέντρου βάρους S του συστήματος από την τροχιά 1 και 2:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_{r,\max} + \sum Q_r^{\max}} \\ &= \frac{160,35}{160,35 + 48,15} = \mathbf{0,769} \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned}\xi_2 &= 1 - \xi_1 \text{ εξίσωση} \\ &= 1 - 0,769 = 0,231\end{aligned}\tag{5.7}$$

Η τιμή του δυναμικού συντελεστή v_5 είναι 1,50

Ο υπολογισμός της ροπής στροφής από την κινητήρια δύναμη γίνεται όπως προαναφέραμε από την εξίσωση: $M = K \cdot l_s$

Για την απόσταση l_s γνωρίζουμε ότι :

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot l = (0,769 - 0,5) \cdot 20 = 5,38 \text{ m}\tag{5.8}$$

Επομένως ,

$$M = K \cdot l_s = 8,8 \cdot 5,38 = 47,35 \text{ kNm}$$

- Υπολογισμός εγκάρσιων δυνάμεων $H_{T,i}$:

Έτσι καταλήγουμε τελικά, για τις οριζόντιες εγκάρσιες δυνάμεις, στη λιγότερο φορτισμένη τροχιά 1 και έχουμε:

$$\begin{aligned}H_{T,1} &= v_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} \\ &= 1,5 \cdot 0,231 \cdot \frac{47,35}{3,15} = 5,21 \text{ kN}\end{aligned}$$

Για τις οριζόντιες εγκάρσιες δυνάμεις στη περισσότερο φορτισμένη τροχιά 2:

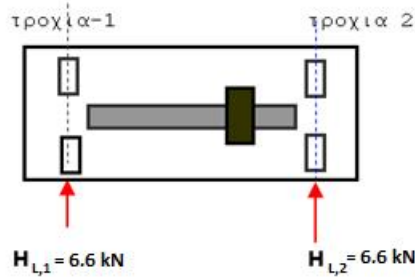
$$\begin{aligned}H_{T,2} &= v_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} \\ &= 1,5 \cdot 0,769 \cdot \frac{47,35}{3,15} = 17,34 \text{ kN}\end{aligned}$$

όπου :

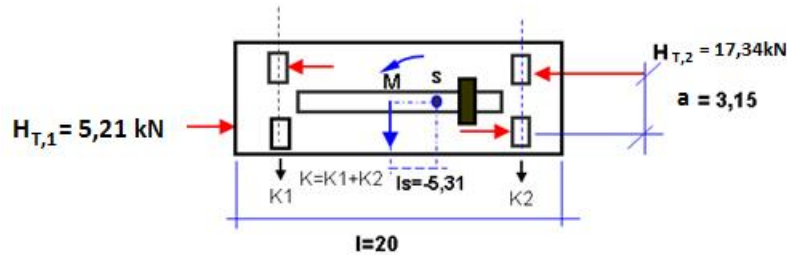
a είναι η απόσταση μεταξύ των κυλινδρικών οδηγών ή των φλατζωτών τροχών της γερανογέφυρας (βλέπε σχήμα 5.15).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι οριζόντιες καθώς και οι οριζόντιες εγκάρσιες δυνάμεις της γερανογέφυρας που μελετάμε.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ



ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

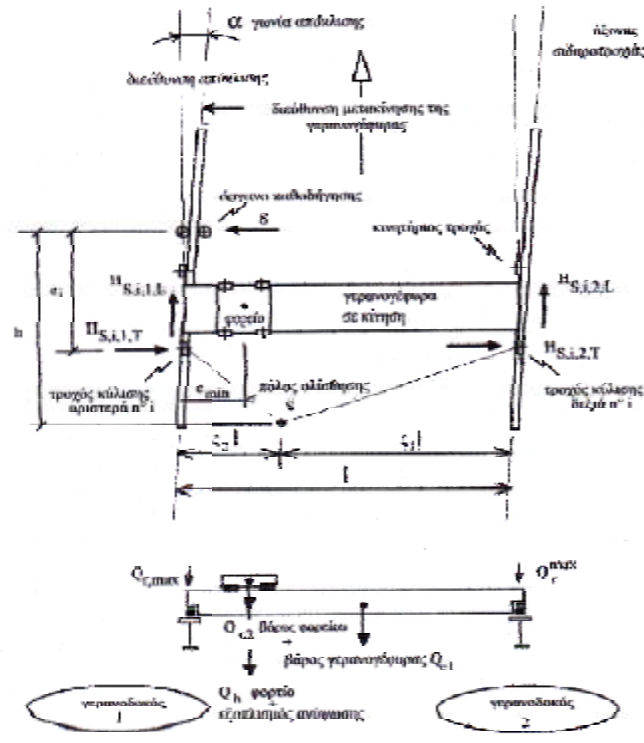


Σχήμα 5.16 : Σχηματική αναπαράσταση των οριζόντιων κατά μήκος και των οριζόντιων εγκάρσιων δυνάμεων που ασκούνται στην γερανογέφυρα που μελετάμε.

5.7.2 Οριζόντια φορτία από παράγωγη κίνηση (λοξή ως προς τις τροχιές)

Κατά την κίνηση της γερανογέφυρας είναι πιθανόν να παρουσιαστεί ένα είδος παράγωγης κίνησης, το οποίο οφείλεται στην ανοχή του τροχού με την τροχιά αλλά και στην ελάχιστη απόκλιση που μπορεί να έχει σε διάφορα σημεία ο στιγμιαίος άξονας κίνησης επί την τροχιά σε σχέση με τον άξονα της δοκού κυλίσεως. Η πλαγιοδρόμηση αυτή είναι η αιτία για την δημιουργία των οριζόντιων δυνάμεων H_s (skewing forces) επί των δοκών κυλίσεως. Η γερανογέφυρα τείνει να στραφεί στιγμιαία προς τον πόλο περιστροφής της και ταυτόχρονα ασκεί κατά μήκος της τροχιάς πλευρικές οριζόντιες δυνάμεις. Η οδηγούσα αυτή δύναμη S ορίζεται ως η πλευρική ώθηση που ασκούν τα μέσα καθοδήγησης σε κάθε τροχό.

Τέτοια μέσα μπορούν να είναι διάφορα επίπεδα ελάσματα και οι ένσφαιροι τριβείς (ρουλμάν) τα μέσα καθοδήγησης μπορεί να βρίσκονται συνδεδεμένα στον τροχό ή να βρίσκονται στην θέση του άξονα του. Μπορεί να προηγούνται του τροχού ή να έπονται αυτού.



Σχήμα 5.17 : Εγκάρσιες δυνάμεις $H_{s,i,j,k}$ λόγω της λοξής κίνησης της γερανογέφυρας

Η οδηγούσα δύναμη S και οι εγκάρσιες δυνάμεις H_s λαμβάνονται από τις παρακάτω σχέσεις

$$S = f \cdot \lambda_s \cdot \sum Q_{r,max} \tag{5.9}$$

$$H_{s,1,1,T} = f \cdot \lambda_{s,1,1,T} \cdot \sum Q_{r,max} \tag{5.10}$$

$$H_{s,2,1,T} = f \cdot \lambda_{s,2,1,T} \cdot \sum Q_{r,max}$$

$$H_{s,1,2,T} = f \cdot \lambda_{s,1,2,T} \cdot \sum Q_{r,max}$$

$$H_{s,2,2,T} = f \cdot \lambda_{s,2,2,T} \cdot \sum Q_{r,max}$$

Όπου :

f είναι ένας μη θετικός παράγοντας,

$\lambda_{s,i,j,k}$ είναι ο συντελεστής δύναμης,

i είναι ο αριθμός της τροχιάς κύλισης και παίρνει την τιμή 1 ή 2,

j είναι η διεύθυνση της τροχιάς, όπου με L συμβολίζεται η κατά μήκος διεύθυνση και με T η εγκάρσια.

- Μη Θετικός Παράγοντας f

Ο συντελεστής f δίδεται από την Ευρωπαϊκή οδηγία και εξαρτάται από την γωνία απόκλισης (ή λοξότητα) α και είναι μικρότερος ή ίσος με το 0,3. Η τιμή

του υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$f = 0,3 \cdot [1 - \exp(-250 \cdot \alpha)] \leq 0,3 \quad (5.11)$$

- Γωνία απόκλισης ή λοξότητα α

Η επιρροή της λοξής κίνησης της γερανογέφυρας εκφράζεται μέσω της γωνίας απόκλισης α . Η τιμή της γωνίας αυτής μπορεί να είναι ίση ή μικρότερη με 0,015 rad. Η επιλογή της τιμής της εξαρτάται από τα όργανα καθοδήγησης και την σιδηροτροχιά. Η γωνία απόκλισης α υπολογίζεται ως εξής :

$$\alpha = \alpha_f + \alpha_v + \alpha_o \leq 0,015 \text{ rad}$$

όπου :

$$\alpha_f = \frac{0,75 x}{a} \quad \text{με : } x \text{ να συμβολίζει την πλάγια ολίσθηση}$$

a την απόσταση των δυο τροχών και
 $0,75 x \geq 5 \text{ mm}$ όταν έχω ένα όργανο καθοδήγησης
 $0,75 x \geq 10 \text{ mm}$ όταν έχω φλαντζωτούς τροχούς

$$\alpha_v = \frac{y}{a} \quad \text{με : } y \text{ συμβολίζεται η φθορά της σιδηροτροχιάς}$$

$y \geq 0,03 x b_f$ όταν έχω ένα όργανο καθοδήγησης
 $y \geq 0,10 x b_f$ όταν έχω φλαντζωτούς τροχούς

$$\alpha_o = 0,001$$

όταν τα δεδομένα μας δεν επαρκούν για τον υπολογισμό της γωνίας απόκλισης τότε επιλέγουμε να είναι ίση με 0,015 rad ώστε να περιλάβουμε όλες τις δυσμενείς περιπτώσεις.

Οπότε,

$$f = 0,3 \cdot [1 - \exp(-250 \cdot \alpha)] \leq 0,3$$
$$f = 0,3 \cdot [1 - \exp(-250 \cdot 0,015)] \leq 0,3 \rightarrow 0,293 \leq 0,3$$

- Απόσταση h

Ως απόσταση h ονομάζουμε την απόσταση μεταξύ του πόλου ολίσθησης S και του οργάνου καθοδήγησης που έχουμε. Καθορίζεται από τον τρόπο που έχουν συνδεθεί οι τροχοί καθοδήγησης του ζεύγους και από την θέση του πόλου περιστροφής S .

Ο υπολογισμός της αποστάσεως h για το σύστημα IFF παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.10, (Ευρωκώδικας 1, 3^ο μέρος):

Πίνακας 5.10 : Καθορισμός της απόστασης h , βάση του Ευρωκώδικα 1, 3^ο μέρος.

	Συνδυασμός ζευγών τροχών		h
	συνεζευγμένοι (e)	ανεξάρτητοι (i)	
Σταθερά/Σταθερά FF	 CFF	 IFF	$\frac{m\xi_1\xi_2\ell^2 + \sum e_i^2}{\sum e_i}$
Σταθερά/Κινητά FM	 CFM	 IFM	$\frac{m\xi_1\ell^2 + \sum e_i^2}{\sum e_i}$
<p>h είναι η απόσταση μεταξύ του στιγμιαίου πόλου στροφής και των μέσων καθοδήγησης m είναι ο αριθμός των συνεζευγμένων ζευγών τροχών ($m = 0$ για ανεξάρτητα ζεύγη τροχών) ξ_1 είναι η απόσταση του στιγμιαίου πόλου στροφής από την τροχιά 1 ξ_2 είναι η απόσταση του στιγμιαίου πόλου στροφής από την τροχιά 2 ℓ είναι το άνοιγμα της γερανογέφυρας e_i είναι η απόσταση του ζεύγους τροχών i από τα μέσα καθοδήγησης</p>			

Τα συστήματα των τροχών έχουν κατηγοριοποιηθεί με τον παρακάτω τρόπο:

- Σύστημα I : Όταν οι απέναντι τροχοί της κάθε τροχιάς είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.
- Σύστημα C : Όταν οι τροχοί είναι συνδεδεμένοι με έναν κοινό άξονα.
- Σύστημα FF : Όταν οι τροχοί έχουν κοινό άξονα σύνδεσης (πραγματικό ή ιδεατό), ο οποίος έχει συνδεθεί σταθερά και στους δύο τροχούς.
- Σύστημα FM : Όταν ο κοινός άξονας σύνδεσης των τροχών είναι σταθερά συνδεδεμένος με τον ένα τροχό αλλά δίνοντας και δυνατότητα μικρής πλευρικής μετακίνησης και ως προς τον άλλο τροχό.

Στην περίπτωση μας έχουμε το σύστημα IFF επομένως η απόσταση h θα είναι :

$$\mathbf{h} = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \ell^2 + \sum e_i^2}{\sum e_i} = \frac{\sum e_i^2}{\sum e_i} \quad (5.12)$$

όπου :

$$\mathbf{e}_i = \mathbf{e}_1 = \mathbf{0}$$

για το πρώτο ζεύγος τροχών, γιατί χρησιμοποιούνται τροχοί εφοδιασμένοι με επίπεδα ελάσματα καθοδήγησης και άρα η απόσταση του προηγούμενου ζεύγους τροχών από τα μέσα καθοδήγησης είναι μηδενική,

$\mathbf{e}_2 = \mathbf{a} = 3,15 \text{ m}$, αφορά το δεύτερο ζεύγος τροχών
 $\mathbf{m} = \mathbf{0}$, διότι δεν υπάρχουν ζεύγη συνεζευγμένων τροχών.

Άρα

$$h = \frac{3,15^2}{3,15} = 3,15\text{m}$$

Συντελεστής λ_s

Οι τιμές του συντελεστή λ_s , i, j, k είναι εξαρτημένες από τον τρόπο που έχουν συνδυαστεί τα ζεύγη τροχών n^o_i και των σιδηροτροχιών n^o_j , δηλαδή από την απόσταση h που υπάρχει ανάμεσα στα μέσα καθοδήγησης και του κέντρου στροφής της στιγμής εκείνης. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι σχέσεις για τον προσδιορισμό της τιμής τους για σύστημα IFF.

Όπου,

i δείκτης που αφορά τον αριθμό των ζευγών των τροχών κύλισης

j δείκτης που αναφέρει τον αριθμό της σιδηροτροχιάς

k δείκτης που δείχνει την φορά της οριζόντιας φόρτισης (L = για διαμήκης φορτία και T = για εγκάρσια φορτία)

Πίνακας 5.11: Ορισμός των συντελεστών $\lambda_{s,i,j,k}$, βάση του Ευρωκώδικα 1, 3^ο μέρος

Σύστημα	λ_s	$\lambda_{s,1L}$	$\lambda_{s,1T}$	$\lambda_{s,2L}$	$\lambda_{s,2T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_i}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_i}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_i}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_i}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_i}{h}\right)$
CFM	$\xi_1 \left(1 - \frac{\sum e_i}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_i}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_i}{h}\right)$	0	0

- n είναι ο αριθμός των των ζευγών τοχών
- ξ_1 είναι η απόσταση του στιγμιαίου πόλου στροφής από την τροχιά 1
- ξ_2 είναι η απόσταση του στιγμιαίου πόλου στροφής από την τροχιά 2
- ℓ είναι το άνοιγμα της γερανογέφυρας
- e_i είναι η απόσταση του ζεύγους τροχών από τα μέσα καθοδήγησης
- h είναι η απόσταση μεταξύ του στιγμιαίου πόλου στροφής και των μέσων καθοδήγησης

Για τον υπολογισμό του συντελεστή λ_s που εφαρμόζεται σε σύστημα IFF λαμβάνουμε από τον πίνακα τις παρακάτω σχέσεις που αφορούν τον καθαρό συντελεστή λ_s και τις σχέσεις για τον υπολογισμό του ανάλογα το ζεύγος τροχών (πρώτο ή δεύτερο)

$$\lambda_s = 1 - \frac{\sum e_i}{n \cdot h} = 1 - \frac{3,15}{2 \cdot 3,15} \Rightarrow \lambda_s = 0,5 \quad (5.13)$$

$\lambda_{s,1,1,T} = \lambda_{s,2,L} = 0$ λόγω της κατεύθυνσης των δυνάμεων αυτών

Για το πρώτο ζεύγος (προηγούμενο) τροχών:

$$\lambda_{s,1,1,T} = \left(\frac{\xi_2}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{e_2}{h}\right)\right] = \left(\frac{0,231}{2}\right) \cdot (1 - 0) = 0,1155 \text{ (άξονας 1)}$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = \left(\frac{\xi_1}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{e_1}{h}\right)\right] = \left(\frac{0,769}{2}\right) \cdot (1 - 0) = 0,3845 \text{ (άξονας 2)}$$

Για το δεύτερο ζεύγος τροχών:

$$\lambda_{s,2,2,T} = \left(\frac{\xi_2}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{e_2}{h}\right)\right] = \left(\frac{0,231}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{3,15}{3,15}\right) = 0 \text{ (άξονας 1)}$$

$$\lambda_{s,1,2,T} = \left(\frac{\xi_1}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{e_2}{h}\right)\right] = \left(\frac{0,769}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{3,15}{3,15}\right) = 0 \text{ (άξονας 2)}$$

Επομένως η τιμή της οδηγούσας δύναμης S θα είναι:

$$S = f \cdot \lambda_s \cdot \sum Q_{r,max} = 0,293 \cdot 0,5 \cdot 160,35 = 23,49 \text{ kN} \quad (5.14)$$

Υπολογισμός εγκάρσιων δυνάμεων $H_{s,i,j,k}$:

$$H_{s,1,1,T} = f \cdot \lambda_{s,1,1,T} \cdot \sum Q_{r,max} \quad (5.15)$$

$$= 0,293 \cdot 0,1155 \cdot 160,35 = 5,43 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,1,T} = f \cdot \lambda_{s,2,1,T} \cdot \sum Q_{r,max} = 0,293 \cdot 0,3845 \cdot 160,35 = 18,06 \text{ kN}$$

$$H_{s,1,2,T} = H_{s,2,2,T} = 0$$

Άρα στη θέση του προπορευόμενου ζεύγους τροχών έχουμε:

· επί τροχιάς 1 :

$$H_{s,1,T} = H_{s,1,1,T} - S = 5,43 - 23,49 = -18,06 \text{ kN και}$$

· επί τροχιάς 2 :

$$H_{s,1,2,T} = H_{s,2,1,T} = 18,06 \text{ kN}$$

Οι παραπάνω δυνάμεις H_s χρησιμοποιούνται μόνο κατά τον συνδυασμό φορτίων 5.

Πολλές φορές οι οριζόντιες υπολογισθείσες δυνάμεις H_L , H_T , H_S μπορεί να δίνονται απευθείας από τον κατασκευαστή της γερανογέφυρας. Σε αυτή την περίπτωση οι δεδομένες τιμές θεωρούνται ως χαρακτηριστικές τιμές και μπορούν να εισαχθούν κατευθείαν στους υπολογισμούς μας.

5.8 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το επόμενο βήμα είναι να τοποθετήσουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας που αφορούν τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία, σε έναν πίνακα. Ο πίνακας αυτός σχεδιάζεται με βάση την οδηγία του Πίνακα 2.2 του Ευρωκώδικα 1.

Θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι τα φορτία κατακόρυφα και οριζόντια, έχουν υπολογιστεί ως φορτία λειτουργίας (πολλαπλασιαζόμενα δηλαδή με συντελεστή $\gamma=1$)

Για να μετατρέψουμε τα φορτία σχεδιασμού σε φορτία λειτουργίας με τη βοήθεια του Πίνακα 5.12 θα επιλέξουμε τον κατάλληλο συντελεστή γ με τον οποίο θα τα πολλαπλασιάσουμε.

Πίνακας 5.12 : Συνιστώμενες τιμές για τον συντελεστή γ

Δράση	Σύμβολο	Κατάσταση	
		P/T	A
Μόνιμες δράσεις γερανογέφυρας			
- δυσμενείς	$\gamma_{G\ sup}$	1.35	1.00
- ευνοϊκές	$\gamma_{G\ inf}$	1.00	1.00
Μεταβλητές δράσεις γερανογέφυρας			
- δυσμενείς	$\gamma_{Q\ sup}$	1.35	1.00
- ευνοϊκές	$\gamma_{Q\ inf}$		
Παρούσα γερανογέφυρα		1.00	1.00
Απούσα γερανογέφυρα		0.00	0.00
Άλλες μεταβλητές δράσεις	γ_Q		
- δυσμενείς		1.50	1.00
- ευνοϊκές		0.00	0.00
Τυχηματικές δράσεις	γ_A		1.00

P = μόνιμη κατάσταση T = παροδική κατάσταση A = τυχηματική κατάσταση

Έχοντας λοιπόν ως δεδομένο τις δυσμενέστερες δράσεις της γερανογέφυρας σε μόνιμη και παροδική κατάσταση ο συντελεστής ασφαλείας γ που θα επιλέξουμε είναι ίσος με 1,35

Στον Πίνακα 5.13 αναγράφονται όλα τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία σχεδιασμού και λειτουργίας της γερανογέφυρας. Για την σύνταξη του

πίνακα χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο ο αντίστοιχος πίνακας 2.2 του Ευρωκώδικα 1 – μέρος 5 – για όλους τους συνδυασμούς φορτίων. Τόσο τα κατακόρυφα όσο και τα οριζόντια φορτία υπολογίστηκαν ως φορτία λειτουργίας με $\gamma = 1$ οπότε για την μετατροπή τους σε φορτία σχεδιασμού τα πολλαπλασιάζουμε με $\gamma = 1,35$. Οπότε ο αριθμός 1 αντιστοιχεί στο φορτίο λειτουργίας και ο αριθμός 1,35 στο φορτίο σχεδιασμού.

Πίνακας 5.13 : Συνολικά Φορτία Σχεδιασμού - Λειτουργίας

				1	2	3	4	5
Κατακόρυφα φορτία [kN]	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας	Q_r^{\min}	Σχεδ.	26,5	26,5	39,2	39,2	39,2
			Λειτ.	35,7	35,7	52,9	52,9	52,9
		$Q_{r,\min}$	Σχεδ.	21,5	21,5	19,5	19,5	19,5
			Λειτ.	29,0	29,0	26,3	26,3	26,3
	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας και φορτίου ανύψωσης	$Q_{r,\max}$	Σχεδ.	80,2	73,9	-	70,9	70,9
			Λειτ.	108,3	99,8	-	95,7	95,7
		Q_r^{\max}	Σχεδ.	23,7	23,7	-	21,8	21,8
			Λειτ.	32,0	32,0	-	29,4	29,4
Οριζόντια φορτία [kN]	Επιτάχυνση και επιβράδυνση της γερανογέφυρας	$H_{L,1}$	Σχεδ.	6,6	6,6	6,6	6,6	-
			Λειτ.	8,9	8,9	8,9	8,9	-
		$H_{L,2}$	Σχεδ.	6,6	6,6	6,6	6,6	-
			Λειτ.	8,9	8,9	8,9	8,9	-
		$H_{T,1}$	Σχεδ.	5,2	5,2	5,2	5,2	-
			Λειτ.	7,0	7,0	7,0	7,0	-
	$H_{T,2}$	Σχεδ.	17,3	17,3	17,3	17,3	-	
		Λειτ.	23,3	23,3	23,3	23,3	-	
	Παράγωγη κίνηση της γερανογέφυρας	$H_{s,1,T}$	Σχεδ.	-	-	-	-	18,0
			Λειτ.	-	-	-	-	24,4
		$H_{s,2,T}$	Σχεδ.	-	-	-	-	18,0
			Λειτ.	-	-	-	-	24,4

6 ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Από την γραμμή επιρροής της καμπτικής ροπής παρατηρούμε ότι σε τυχαία θέση μιας αμφιέριστης δοκού με άνοιγμα l , η καμπτική ροπή εξαιτίας κάποιων συγκεντρωμένων φορτίων P , που υπάρχει ανάμεσα τους απόσταση a , παίρνει την μέγιστη τιμή της όταν η απόσταση από το άκρο της δοκού είναι

$b = \frac{2 \cdot l - \alpha}{4}$, αρκεί να ισχύει ότι $\alpha < 0,586 \times l$. Η τιμή της μέγιστης καμπτικής ροπής τότε θα είναι :

$$M_{\max} = \frac{P}{2 \cdot l} (2 \cdot l - \alpha)^2 \quad (6.1)$$

Αν όμως ισχύει $\alpha > 0,586 \times l$ τότε η καμπτική ροπή γίνεται μέγιστη όταν το ένα από τα δυο φορτία είναι στο μέσον του ανοίγματος (άρα το άλλο φορτίο θα είναι εκτός δοκού) και η τιμή της καμπτικής ροπής υπολογίζεται ως εξής :

$$M_{\max} = \frac{P \cdot l}{4}$$

Για τον συνδυασμό 1 των φορτίων έχουμε τους παρακάτω υπολογισμούς:

1) Υπολογισμός μέγιστης καμπτικής ροπής ως προς τον ισχυρό άξονα αδρανείας λόγω της ανάπτυξης των κινητών φορτίων για τον συνδυασμό φορτίων 1 :

Γνωρίζουμε ότι

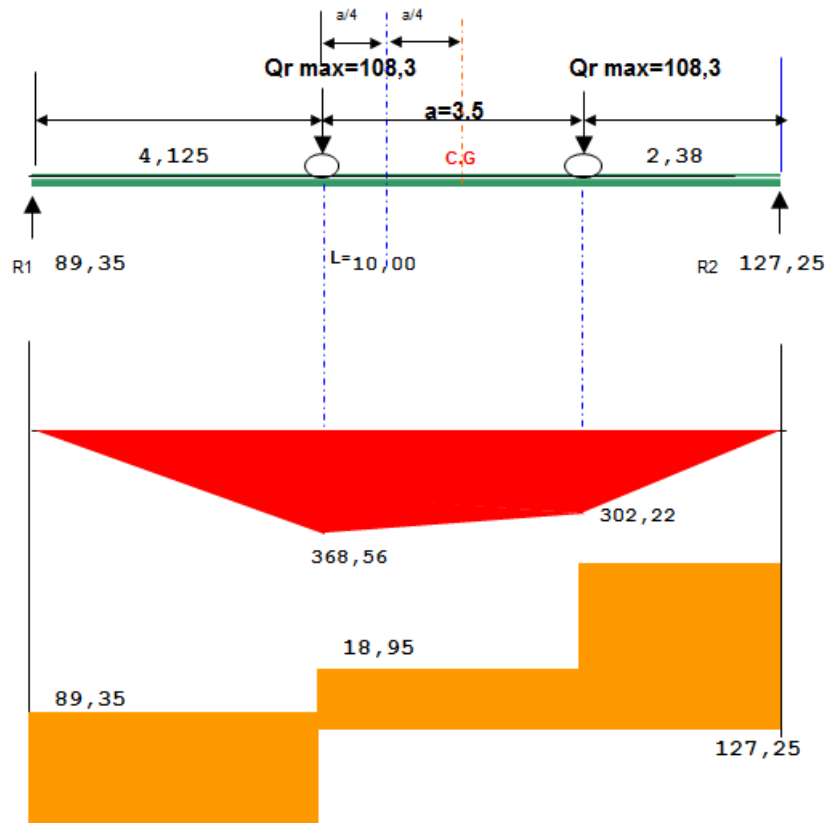
$$\alpha = 3,5 \text{ m}$$
$$0,586 \times l = 0,586 \times 10 = 5,86 \text{ m} > \alpha$$

Άρα,

$$M_{\max,y} = \frac{Q_{r,\max}}{8 \cdot l} \cdot (2 \cdot l - \alpha)^2 = \frac{108,3}{8 \cdot 10} \cdot (2 \cdot 10 - 3,5)^2 = 368,56 \text{ kNm},$$

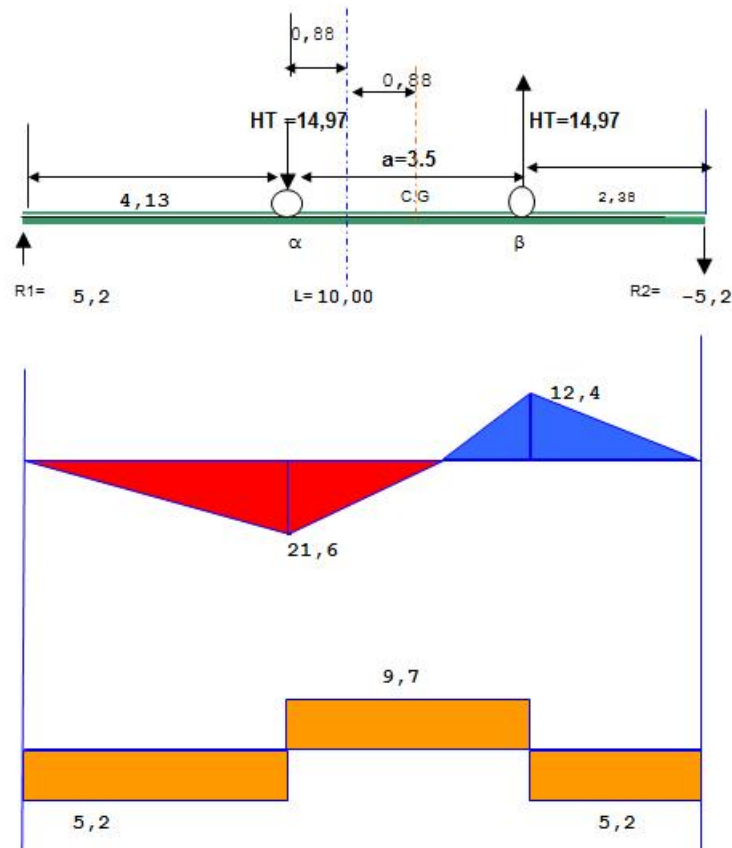
η θέση του πρώτου φορτίου θα απέχει από το άκρο της δοκού απόσταση ίση με :

$$x = \frac{2 \cdot l - \alpha}{4} = \frac{2 \cdot 10 - 3,5}{4} = 4,13 \text{ m}, \text{ όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1}$$



Σχ. 6.1: Θέση κινητών φορτίων για την οποία προκαλείται μέγιστη καμπτική ροπή περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας.

Την ίδια στιγμή στον άξονα αδρανείας, άξονας Z , αναπτύσσονται καμπτικές ροπές εξαιτίας των οριζοντίων δυνάμεων H_T . Θεωρούμε επίσης ότι οι οριζόντιες δυνάμεις είναι ασκούμενες στο ανώτερο σημείο της τροχιάς. Η φόρτιση και τα αντίστοιχα διαγράμματα των καμπτικών ροπών και των τεμνουσών δυνάμεων φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 6.2)



Σχ. 6.2: Καμπτικές ροπές και τέμνουσες δυνάμεις λόγω των εγκάρσιων φορτίων H_T .

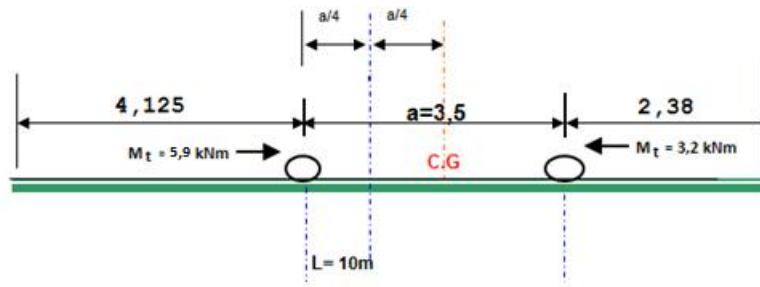
Η έκκεντρη δράση των κατακόρυφων και οριζοντίων φορτίων σχ. 6.4, μαζί με όλα τα προηγούμενα εντατικά μεγέθη που υπολογίσαμε προκαλούν σημαντικές στρεπτικές ροπές M_t (σχ.6.3). Οι τροχοί που χρησιμοποιούμε είναι τύπου A55, με ύψος τροχού ίσο με $5,6$ cm. Η συγκεντρωμένη στρεπτική ροπή που προκύπτει στη θέση που βρίσκεται το φορτίο μπορεί να υπολογιστεί ως εξής :

$$M_{ta} = (108,3 \cdot 1,25) + [14,97 \cdot (25 + 5,6)] \text{ εξίσωση}$$

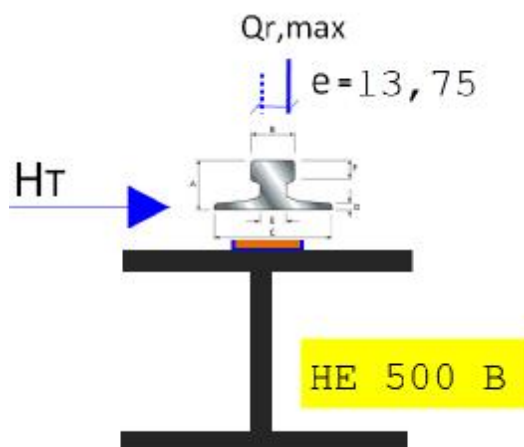
$$= 593,46 \text{ kNcm} = 5,9 \text{ kNm}$$

$$M_{tb} = (108,3 \cdot 1,25) - [14,97 \cdot (25 + 5,6)]$$

$$= -322,71 \text{ kNcm} = -3,2 \text{ kNm}$$



Σχήμα 6.3 : Διάγραμμα στρεπτικών ροπών στη σιδηροτροχιά για τροχούς τύπου A55.



Σχήμα 6.4 : Έκκεντρη δράση κατακόρυφων και οριζοντίων δυνάμεων και τροχών A55.

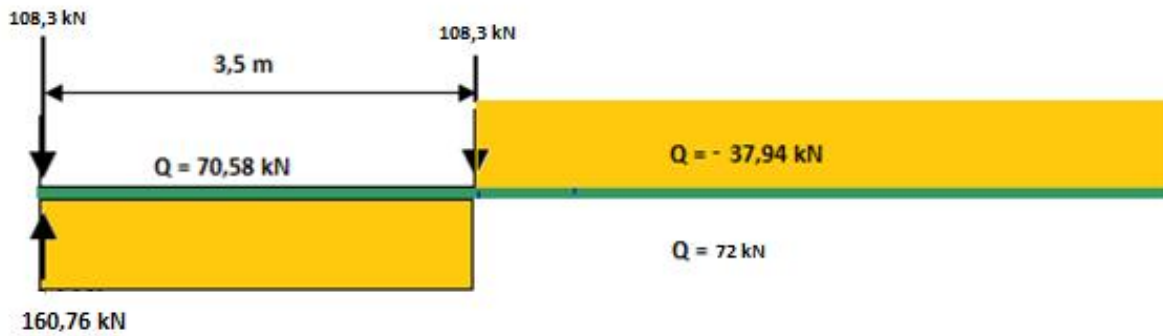
2) Υπολογισμός μέγιστης τέμνουσας δύναμης για τον συνδυασμό φορτίων 1

Η τέμνουσα δύναμη παίρνει την μέγιστη τιμή της στο άκρο της δοκού κυλίσεως, όταν το ένα από τα δύο κινητά συγκεντρωμένα κατακόρυφα φορτία ασκείται σε εκείνο το άκρο (σχ. 6.5). Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούμε την παρακάτω εξίσωση :

$$\max V_{y,Sd} = Q_{r,max} \cdot \left(1 + \frac{l-a}{l}\right) \quad (6.2)$$

οπότε,

$$\max V_{y,Sd} = Q_{r,max} \cdot \left(1 + \frac{l-a}{l}\right) = 108,3 \cdot \left(1 + \frac{10-3,5}{10}\right) = 178,69 \text{ kN}$$



Σχήμα 6.5 : Διάγραμμα μέγιστης τέμνουσας δύναμης

3) Υπολογισμός μέγιστης ροπής περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας.

Ο υπολογισμός της γίνεται για τον συνδυασμό φορτίων 5 κατά αναλογία με το συνδυασμό 1 για μέγιστη ροπή περί τον ισχυρό άξονα.

Η τιμή της προκύπτει ως εξής :

$$\max M_{y,5} = \max M_{y,1} \cdot \frac{Q_{r,\max,5}}{Q_{r,\max,1}}$$

επομένως,

$$\max M_{y,5} = 369,24 \cdot \frac{95,8}{108,3} = 326,62 \text{ kNm}$$

Η αντίστοιχη τώρα ροπή περί τον ασθενή άξονα αδρανείας είναι:

$$M_z = 24,4 \cdot 4,13 \cdot \frac{10-4,13}{10} = 59,15 \text{ kNm} \quad (6.3)$$

4) υπολογισμός μέγιστης ροπής περί τον ασθενή άξονα αδρανείας για μέγιστη ροπή περί τον ασθενή άξονα

Επειδή η ροπή στα άκρα της δοκού είναι μηδέν η μέγιστη ροπή σε αυτή την περίπτωση θα υπολογιστεί όπως φαίνεται παρακάτω.

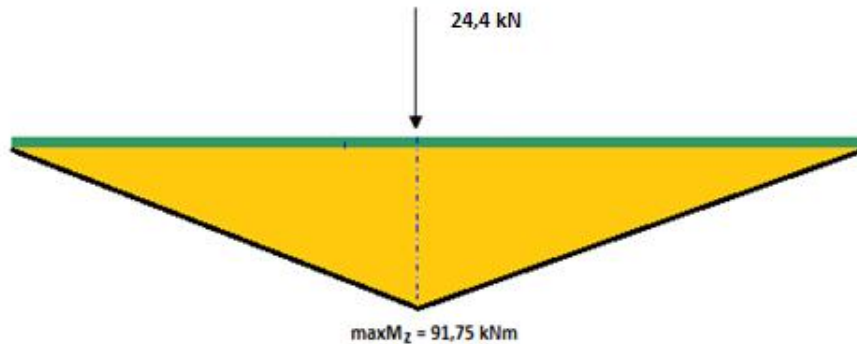
$$M_z = \frac{P \cdot l}{4}$$

$$\max M_z = \frac{1}{4} 24,4 \cdot 10 = 61 \text{ kNm}$$

Αντίστοιχη ροπή περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας θα είναι :

$$M_y = \left(\frac{1}{4} \cdot 95,8 \cdot 10\right) + \left[\frac{1}{4} \cdot 95,8 \cdot (10 - 2 \cdot 3,5)\right] = 311,35 \text{ kNm}$$

Όπου το $95,8 = Q_{r,max,5}$ (βλ. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα με Παραδείγματα Εφαρμογής, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2003)



Σχήμα 6.7: Διάγραμμα μέγιστης ροπής περί τον ασθενή άξονα αδρανείας.

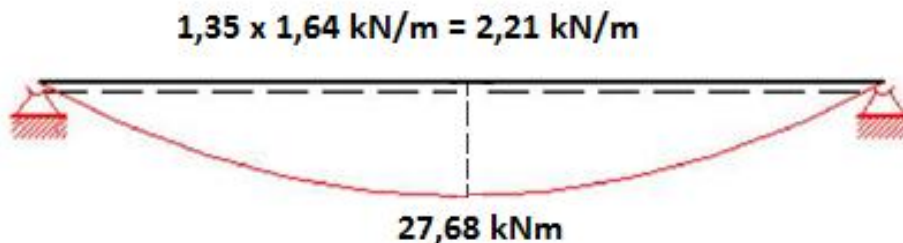
5) Υπολογισμός αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών σχεδιασμού λόγω του ίδιου βάρους της δοκού κυλίσεως:

Από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της δοκού κυλίσεως γνωρίζουμε ότι το ίδιο βάρος της μαζί με την σιδηροτροχιά της είναι $1,64 \text{ KN/m}$.

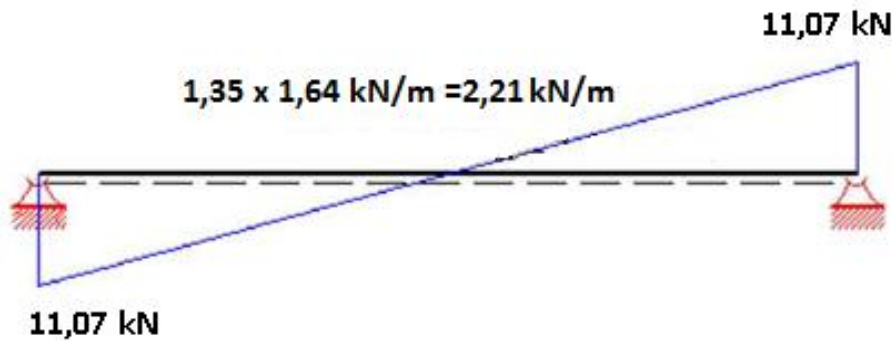
1. Άρα η μέγιστη ροπή και η τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσεται από το ίδιο βάρος τους, όπως φαίνεται και στο σχ. 6.8 και σχ. 6.9, θα είναι :(βλ.Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα με Παραδείγματα Εφαρμογής, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2003)

$$M_{g,sd} = \frac{1,35 \cdot q \cdot l^2}{8} = \frac{1,35 \cdot 1,64 \cdot 10^2}{8} = 27,68 \text{ kNm}$$

$$V_{g,sd} = \frac{1,35 \cdot q \cdot l}{2} = \frac{1,35 \cdot 1,64 \cdot 10}{2} = 11,07 \text{ kNm}$$



Σχήμα 6.8 : Διάγραμμα μέγιστης ροπής από το ίδιο το βάρος της δοκού κυλίσεως



Σχήμα 6.9 : Διάγραμμα μέγιστης τέμνουσας δύναμης από το ίδιο βάρος της δοκού κυλίσεως

- 6) Υπολογισμός αναπτυσσόμενων επιρροών δευτέρας τάξεως από αρχικές ατέλειες

Η επιρροή των παραμορφώσεων όσον αφορά την ένταση τους δεν είναι υποχρεωτικό να ληφθούν υπόψη λόγω των μικρών τιμών των αξονικών δυνάμεων. Το ίδιο ισχύει και για τις αρχικές ατέλειες στη δοκό κυλίσεως.

6.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να ελέγξουμε σταδιακά το κάθε μέλος της κατασκευής μας για αστοχία. Κάτι που φαίνεται αναλυτικά στα παρακάτω υποκεφάλαια.

6.1.1 Έλεγχος κορμού σε διάτμηση

Πολύ σημαντικό για την ασφαλή λειτουργία της κατασκευής μας είναι να ελέγξουμε την δοκό κύλισης στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Αρχικά θα ξεκινήσουμε κάνοντας έλεγχο του κορμού της, ώστε να είμαστε σίγουροι ότι μπορεί να αντέξει τα διατμητικά φορτία.

Η αντοχή σε διάτμηση έχει να κάνει με το είδος και την διατομή που έχουμε επιλέξει και η τιμή της δίνεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$V_{y,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} \quad (6.4)$$

Όπου : A_v = η επιφάνεια διάτμησης και υπολογίζεται ως εξής (Πίν. 5.3):

$$A_v = h_i \cdot t_w = 44,4\text{cm} \cdot 1,45\text{cm} = 64,38\text{ cm}^2$$

F_y = η αντοχή του χάλυβα S275, δηλαδή 275MPa (27,5 KN/cm²)

γ_M = ο μερικός συντ. αστοχίας, ίσος με 1,10

επομένως η αστοχία σε διάτμηση θα είναι :

$$V_{y,Rd} = \frac{64,38 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 929\text{ kN}$$

Αν τώρα ισχύει $V_{v,sd} = \max V_{v,sd} + V_{g,sd} < V_{y,Rd}$ τότε ο κορμός της διατομής αντέχει στην αναπτυσσόμενη διάτμηση.

$$V_{y,sd} = 179,1 + 11,07 = 190,17\text{ kN} < V_{y,Rd} \text{ , όπως και ισχύει.}$$

Επίσης επειδή $d/t_w = 39/1,45 = 26,9 < 72 \cdot \epsilon/n = 66,24$

(για $n = 1$), δεν είναι απαραίτητο να γίνει έλεγχος του κορμού σε κύρτωση.

6.1.2 Έλεγχος άνω πέλματος σε διάτμηση

Θεωρούμε ότι το μόνο σημείο που παραλαμβάνει τα οριζόντια φορτία είναι η λεπίδα του άνω πέλματος της δοκού, έτσι λοιπόν η δυσμενέστερη τέμνουσα δύναμη V_z που ασκείται , προέρχεται από το φορτίο H_s , όταν αυτό το φορτίο ασκείται βέβαια στην άκρη της δοκού κυλίσεως.

Η αντοχή του άνω πέλματος σε διάτμηση υπολογίζεται ως εξής :

$$V_{z,Rd} = \frac{A_f f_f}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{30 \cdot 2,8 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 1212\text{ kN}$$

Όπου : A_f = η επιφάνεια διάτμησης , 30 x 2,8

$$f_f = f_y = 27,5\text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_M = 1,10$$

Η δυσμενέστερη τιμή για τέμνουσα δύναμη V_z παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.13 και είναι :

$$V_{z,sd} = 24,4\text{ kN}$$

Αφού ισχύει $V_{z,sd} = 24,4\text{ kN} < V_{z,Rd}$, ο έλεγχος είναι σωστός.

6.1.3 Συνδυασμένη διάτμηση από κάμψη και από στρέψη

Όπως έχουμε αναφέρει η δοκός κυλίσεως καταπονείται από καμπτική και στρεπτική ροπή, επομένως θα πρέπει να κάνουμε έλεγχο για την αντοχή της στην διατμητική τάση που προέρχεται από τον συνδυασμό αυτών των δυο. Συγκεκριμένα ο έλεγχος πραγματοποιείται στη θέση των κινητών φορτίων όπου προκαλούνται οι μέγιστες ορθές τάσεις, οι οποίες προέρχονται από την κάμψη. (θεωρούμε αμελητέα την τέμνουσα δύναμη που ασκείται στην διατομή, η οποία προέρχεται από το ίδιο το βάρος της δοκού κυλίσεως)

Έτσι λοιπόν από τα διαγράμματα έχουμε :

Τέμνουσα δύναμη : $V_{sd} = 89,53 \text{ kN}$

Στρεπτική ροπή : $M_{t,sd} = 6,79 \text{ kNm}$,

Η διατμητική τάση λόγω στρέψης (θεωρείται ως προς το δυσμενέστερο, δηλαδή ότι ολόκληρη η στρεπτική ροπή παραλαμβάνεται μέσω της ομοιόμορφης στρέψης Saint – Venant).

$$\tau_{V,Ed} = \frac{M_{t,sd} \cdot t_w}{I_t} = \frac{6,79 \cdot 1,45}{538,4} \Rightarrow \tau_{V,Ed} = \mathbf{1,83} \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta_V = \frac{V_{sd}/A_v}{\frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_M}} + \left[\frac{\tau_{V,Ed}}{\frac{1,25 \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_M}} \right]^2 = \frac{89,53/64,38}{\frac{27,5/\sqrt{3}}{1,1}} + \left[\frac{1,83}{\frac{1,25 \cdot (27,5/\sqrt{3})}{1,1}} \right]^2 \Rightarrow \beta_V = \mathbf{0,107} < \mathbf{0,5}$$

Επομένως δεν απαιτείται απομείωση των αντοχών σε κάμψη λόγω των διατμητικών τάσεων.

6.1.4 Έλεγχος σε λοξή κάμψη και αξονική δύναμη

Επειδή η τιμή της αξονικής δύναμης είναι πολύ μικρή, δεν χρειάζεται να κάνουμε έλεγχο σε καμπτικό λυγισμό. Δεχόμαστε ότι τα οριζόντια, κατά μήκος και εγκάρσια φορτία, παραλαμβάνονται αποκλειστικά από τη λεπίδα του άνω πέλματος.

Τις στρεπτικές δυνάμεις τις αναλύουμε σε ζεύγη δυο δυνάμεων τα οποία ενεργούν οριζόντια στις στάθμες του άνω και κάτω πέλματος της δοκού. Την λαμβάνουμε ως μια δυσμενή παραδοχή, αφού θεωρητικά έχουμε παραλαβή των

στρεπτικών ροπών εξ ολοκλήρου από την δοκό, μέσω των στρεβλώσεων που δέχονται οι διατομές της.

Τα ζεύγη αυτά είναι :

$$H_{\alpha} = \frac{M_{t,A}}{z} = \frac{6,1}{0,5 - \left(2 \cdot \frac{0,028}{2}\right)} \Rightarrow H_{\alpha} = \mathbf{12,92 \text{ kN}} \quad (6.5)$$

$$H_{\beta} = \frac{M_{t,B}}{z} = \frac{-3,2}{0,5 - \left(2 \cdot \frac{0,028}{2}\right)} \Rightarrow H_{\beta} = \mathbf{-6,78 \text{ kN}}$$

$$\text{Όπου, } z = \mathbf{0,5 - \left(2 \cdot \frac{0,028}{2}\right)}$$

Για να κάνουμε τον έλεγχο πρέπει πρώτα να θεωρήσουμε ότι η δοκός δεν χρειάζεται πλευρική προστασία, ότι δηλαδή $M_{z,Sd} = 0$. Η σχέση με την οποία γίνεται αυτός ο έλεγχος είναι :

$$\frac{N_{Sd}}{\frac{A \cdot f_y}{\gamma_M}} + \frac{M_{\varphi,y,Sd}}{\frac{W_{pl,y}}{\gamma_{MI}} \cdot f_y} + \frac{M_{\varphi,z,Sd}}{\frac{a_T \cdot W_{el,z}}{\gamma_{MI}} \cdot f_y} + \frac{M_{\varphi,z,Sd}}{\frac{a_T \cdot f_y}{\gamma_{MI}}} + \frac{\sigma_{\varphi,w,Ed}}{\frac{a_T \cdot f_y}{\gamma_{MI}}} \leq \mathbf{1}, \quad (6.6)$$

αμελούμε την επιρροή των φαινομένων β' τάξης και έχουμε :

$$N_{Sd} = H_L = 6,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,Sd} = M_{y,max} + M_{g,Sd} = 369,24 + 27,68 = 396,92 \text{ kN}$$

$$M_{z,Sd} = 21,5 \text{ kN}$$

$$A = (30 \cdot 2,8) \text{ cm}^2 = 84 \text{ cm}^2, \text{ (εμβαδόν της διατομής του άνω πέλματος)}$$

$$\alpha_T = \frac{M_{pl,z}}{M_{el,z}} = \frac{1292}{841,6} = \mathbf{1,54}$$

Υπολογίζουμε και την ορθή τάση από στρέβλωση

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{M_f}{M_{el,f}} \quad (6.7)$$

Όπου :

$$V_f = \frac{M_{t,Ed}}{h - t_f} = \frac{6,79}{0,5 - 0,028} \Rightarrow V_f = \mathbf{14,39 \text{ kN}}$$

$$M_f = \frac{V_f \cdot l}{4} \Rightarrow M_f = 35,98 \text{ kN} \quad (6.8)$$

$$I_f = \frac{t_w \cdot b^3}{12} \Rightarrow I_f = \frac{1,45 \cdot 30^3}{12} \Rightarrow I_f = 3262,5 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,f} = \frac{2 \cdot I_f}{b} \Rightarrow W_{el,f} = \frac{2 \cdot 3262,5}{30} \Rightarrow W_{el,f} = 217,5 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,f} = \frac{2 \cdot I_f}{b}$$

Συνεπώς

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{3598}{217,5} \Rightarrow \sigma_{w,Ed} = 16,54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_y} + \frac{M_{\varphi,y,Sd}}{W_{pl,y} \cdot f_y} + \frac{M_{\varphi,z,Sd}}{a_T \cdot W_{el,z} \cdot f_y} + \frac{\sigma_{\varphi,w,Ed}}{a_T \cdot f_y} \leq 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{6,6}{84 \cdot 27,5} + \frac{396,92}{4815 \cdot 27,5} + \frac{21,5}{1,54 \cdot 217,5 \cdot 27,5} + \frac{16,54}{1,54 \cdot 27,5} \leq 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,74 < 1$$

6.1.5 Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Θεωρούμε ότι η δοκός κυλίσεως είναι πλευρικά εξασφαλισμένη στις θέσεις των στηρίξεων της (στις θέσεις των κύριων φορέων της κατασκευής μας), δηλαδή ανά καθορισμένη απόσταση $c = l = 10 \text{ m}$.

Από την συγκεκριμένη διατομή της δοκού κυλίσεως θεωρούμε εξασφαλισμένο το τμήμα της g , το οποίο αποτελείται από το θλιβόμενο (άνω) πέλμα και το $1/5$ του κορμού της.

Επομένως εξετάζουμε αρχικά εάν η δοκός θα θεωρηθεί ως πλήρως προστατευμένη ή όχι. Έτσι έχουμε :

Για να είναι η δοκός πλήρως πλευρικά προστατευμένη θα πρέπει να ισχύει η παρακάτω ανισότητα :

$$c > 0,4 \cdot i_{z,g} \cdot \lambda_1 \cdot \left(\frac{M_{pl,y,Rd}}{M_{Sd}} \right)^{0,5}$$

Αρχικά υπολογίζουμε την ροπή αδράνειας του πέλματος

$$I_{z,g} = \frac{t_w \cdot b^3}{12} \Rightarrow I_f = \frac{2,8 \cdot 30^3}{12} \Rightarrow I_f = 6300 \text{ cm}^4$$

και την διατομή της δοκού συμπεριλαμβανομένου το 1/5 του κορμού

$$A_{f,g} = t_f \cdot b + \frac{1}{5} \cdot h_i \cdot t_w = 30 \cdot 2,8 + \frac{1}{5} \cdot 44,4 \cdot 1,45 \Rightarrow A_{f,g} = 96,9 \text{ cm}^2$$

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε και τους υπόλοιπους συντελεστές της ανίσωσης, εργαζόμαστε ως εξής:

$$i_{z,g} = \left(\frac{I_{z,g}}{A_{f,g}} \right)^{0,5} = \left(\frac{6300}{96,9} \right)^{0,5} \Rightarrow i_{z,g} = 8,06 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \left(\frac{E}{f_y} \right)^{0,5} = \left(\frac{21000}{27,5} \right)^{0,5} \Rightarrow \lambda_1 = 86,77$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{4815 \cdot 27,5}{1,1} \Rightarrow M_{pl,y,Rd} = 120375 \text{ kNcm} = 1203,75 \text{ kNm}$$

Αφού έχουν υπολογιστεί όλοι οι συντελεστές της ανίσωσης καταλήγουμε στο ότι

$$c = 1000 \text{ cm} > 0,4 \cdot i_{z,g} \cdot \lambda_1 \cdot \left(\frac{M_{pl,y,Rd}}{M_{Sd}} \right)^{0,5} = 0,4 \cdot 8,06 \cdot 86,77 \cdot \left(\frac{1203,75}{396,92} \right)^{0,5} = 602,5 \text{ cm},$$

ισχύει δηλαδή η ανίσωση επομένως η δοκός μας μπορεί να θεωρηθεί ως πλήρως πλευρικά προστατευμένη.

Για να υπολογίσουμε την αντοχή σε λυγισμό ενός μέλους που συμπιέζεται εργαζόμαστε ως εξής:

$$N_{f,Sd} \leq \frac{x \cdot A_{f,g} \cdot f_f}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{f,Sd} = \frac{M_{y,Sd}}{z} = \frac{396,62}{0,472} = 840,3 \text{ kN}$$

όπου x είναι ο συντελεστής μείωσης για το συγκεκριμένο τρόπο λυγισμού, ο οποίος μπορεί να ληφθεί και από την καμπύλη λυγισμού.

$$x = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$$

όπου Φ είναι ο συντελεστής ατελειών και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,23 \cdot (1,43 - 0,2) + 1,43^2] = 1,66\end{aligned}\quad (6.9)$$

$$\lambda = \frac{1}{i_{z,g}} = \frac{1000}{8,06} \Rightarrow \lambda = 124,1$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{124,1}{86,77} \Rightarrow \bar{\lambda} = 1,43$$

Άρα,

$$x = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1 \Rightarrow x = 0,4 \leq 1$$

και

$$N_{f,sd} = 840,3 \leq \frac{x \cdot A_{f,g} \cdot f_f}{\gamma_{M1}} = \frac{0,4 \cdot 96,9 \cdot 27,5}{1,1} = 966 \text{ kN}$$

Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η δοκός θεωρείται επαρκής από άποψη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

6.1.6 Έλεγχος ραφών συγκόλλησης κορμού – πέλματος

1. Υπολογισμός διατμητικών τάσεων από κάμψη

Εδώ αρχικά πρέπει να υπολογίσουμε τις διατμητικές τάσεις από κάμψη που ασκούνται πάνω στο σημείο ένωσης κορμού και πέλματος.

Η μέγιστη τέμνουσα δύναμη εδώ, που ασκείται είναι η $V_{y,sd} = 190,17 \text{ kN}$

Λόγω της συγκόλλησης παρουσιάζεται και μια διατμητική τάση οφειλόμενη στην ολίσθηση (η οποία είναι κατά την διεύθυνση της συγκόλλησης) και υπολογίζεται :

$$\tau_w = \frac{T}{t_w} \text{ KN/cm}^2 \quad (6.10)$$

Όπου, $T =$ η δύναμη ολίσθησης

$$T = \frac{V_{y,sd} \cdot S}{I_y} ,$$

Η επιφάνεια στην περιοχή της ραφής είναι:

$$S = (30 \cdot 2,8 \cdot 23,6) \text{ cm}^3 = 1982,4 \text{ cm}^3$$

Άρα η τάση ολίσθησης θα είναι :

$$\tau_w = \frac{T}{t_w} = \frac{3,52}{1,45} = \mathbf{2,43 \text{ kN/cm}^2}$$

2. Ορθές τάσεις λόγω συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού (αφορά τις τάσεις που είναι κάθετες προς τον άξονα της συγκόλλησης)

Από το συγκεντρωμένο φορτίο που ασκεί ο κάθε τροχός θα υπολογίσουμε το ενεργό μήκος του κορμού λαμβάνοντας ως φθορά τροχιάς το μισό εκείνης που είχε ληφθεί στον έλεγχο αντοχής στην συγκόλληση.

Γνωρίζουμε ότι το πλάτος της τροχιάς στην έδραση επί της δοκού κυλίσεως είναι

$$b_{fr} = 5 \text{ cm}$$

οπότε η φθορά της τροχιάς (κατά το ύψος) είναι:

$$\Delta t_r = 0,25 \cdot 5,6 = 1,4 \text{ cm}$$

Η απόσταση του ανώτερου σημείου της τροχιάς από το ανώτερο σημείο του τροχού είναι :

$$d_r = 3 - \Delta t_r + t_f = 3 - 1,4 + 2,8 = 5,8 \text{ cm}$$

επομένως το ενεργό πλάτος του πέλματος θα είναι :

$$b_{eff} = b_{fr} + d_r = 5 + 5,8 = 10,8 \text{ cm} < b = 30 \text{ cm}$$

Η ροπή αδράνειας του ενεργού πλάτους του πέλματος ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα με βάση το μέρος 6 του Ευρωκώδικα 3 και με βάση τα χαρακτηριστικά της δοκού είναι :

$$I_{r,eff} = \frac{b_{eff} \cdot t_f^3}{12} \Rightarrow I_{r,eff} = \frac{10,05 \cdot 2,8^3}{12} \Rightarrow I_{r,eff} = 18,4 \text{ cm}^4$$

Και η ροπή αδράνειας της τροχιάς ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα με βάση το μέρος 6 του Ευρωκώδικα 3 είναι :

$$I_r = \frac{b_{fr} \cdot t_f^3}{12} \Rightarrow I_r = \frac{5 \cdot 2,8^3}{12} \Rightarrow I_r = 9,14 \text{ cm}^4$$

Επειδή η τροχιά μας θεωρείται σταθερά συνδεδεμένη επί του πέλματος, έχουμε:

$$I_{rf} = I_r + I_{f,eff} = 9,14 + 18,4 = 27,52 \text{ cm}^4$$

Έτσι το ενεργό μήκος της ραφής θα είναι :

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \left(\frac{I_{rf}}{t_w} \right)^{1/3}$$

$$\Rightarrow l_{eff} = 3,25 \cdot \left(\frac{27,52}{1,45} \right)^{1/3} \Rightarrow l_{eff} = 8,67 \text{ cm}$$

Και επομένως η ορθή τάση λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού θα είναι :

$$\sigma_w = \frac{Q_{r,max}}{t_w \cdot l_{eff}}$$

$$\Rightarrow \sigma_w = \frac{108,3}{1,45 \cdot 8,67} \Rightarrow \sigma_w = 8,61 \approx 9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

3. Ορθές τάσεις οφειλόμενες στην στροφή του άνω πέλματος (κάθετες επί τον άξονα των συγκολλήσεων)

Ακολουθώντας πάλι τις οδηγίες του μέρους 6 του Ευρωκώδικα 3 υπολογίζουμε την στρεπτική ροπή από την παρακάτω εξίσωση :

$$M_{t,sd} = Q_{r,max} \cdot 1,25 + H_T \cdot (3 + t_f)$$

$$= 108,3 \cdot 1,25 + 23,3 \cdot (3 + 2,8) = 270,51 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

Οι τοπικές ορθές τάσεις στο λαιμό λόγω της εκκεντρότητας των φορτίων του τροχού προσδιορίζονται από την θεωρητική σχέση :

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{6 \cdot M_{t,sd}}{a \cdot t_w^2} \cdot n \cdot \tanh(n) \quad (6.11)$$

Όπου :

α = η απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων νευρώσεων του κορμού της δοκού κυλίσεως,

h_w = το καθαρό ύψος του κορμού μεταξύ των πελμάτων,

I_t = η σταθερά στρέψεως του άνω πέλματος (Πίνακας 5.3)

Αν θεωρήσουμε ότι οι νευρώσεις στον κορμό τοποθετούνται μόνο στις θέσεις στηρίξεων, τότε $\alpha = 1000$ cm.

Επίσης έχουμε $d = h_i = 44,4$ cm, οπότε πάλι με βάση τις οδηγίες από το μέρος 6 του Ευρωκώδικα 3 έχουμε :

$$n = \left[\frac{0,75 \cdot \alpha \cdot t_w^3}{I_t} \cdot \frac{\sin h^2\left(\frac{\pi \cdot d}{\alpha}\right)}{\sin h\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{\alpha}\right) - \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{\alpha}\right)} \right]^{0,5} \Rightarrow \quad (6.12)$$

$$\Rightarrow n = \left[\frac{0,75 \cdot 1000 \cdot 1,45^3}{538,4} \cdot \frac{\sin h^2\left(\frac{\pi \cdot 44,4}{1000}\right)}{\sin h\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 44,4}{1000}\right) - \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 44,4}{1000}\right)} \right]^{0,5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = 2,87$$

Άρα

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{6 \cdot 252,81}{1000 \cdot 1,45^2} \cdot 2,87 \cdot \tanh(2,87) \Rightarrow \sigma_{w,Ed} = 18,195 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

4. Συνιστάμενη τάση – έλεγχος επάρκειας

Η συνιστάμενη τάση υπολογίζεται πάλι από την εξίσωση :

$$\sigma_{Sd} = \left[\left(\sigma_w + \sigma_{w,Ed} \right)^2 + t_w^2 \right]^{0,5} \quad (6.13)$$

$$\Rightarrow \sigma_{Sd} = \left[(9 + 18,195)^2 + 1,45^2 \right]^{0,5} \Rightarrow \sigma_{Sd} = 27,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Ακολουθώντας πάλι το μέρος 6 του Ευρωκώδικα 3 υπολογίζουμε την αντοχή της συγκόλλησης από την εξίσωση που ακολουθεί :

$$f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (6.14)$$

$$\Rightarrow f_{v,wd} = \frac{43}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} \Rightarrow f_{v,wd} = 24,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

όπου

$$\sigma_{Sd} = 21,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Η ανισότητα με βάση τις οδηγίες του Ευρωκώδικα 3 ισχύει, οπότε η συγκόλληση είναι επαρκής.

6.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Για τον έλεγχο της λειτουργικότητας των γερανογεφυρών θα πρέπει με βάση τα στοιχεία που μας δίνουν ο Ευρωκώδικας 1 και ο Ευρωκώδικας 3 να περιορίζονται οι παρακάτω παραμορφώσεις και μετακινήσεις.

1. Πρέπει να περιορίζεται η κατακόρυφη παραμόρφωση της δοκού κυλίσεως, ώστε να αποφευχθούν οι υπερβολικές ταλαντώσεις που προκαλούνται κατά την ανύψωση του φορτίου, τη μετακίνηση ή τη λειτουργία της γερανογέφυρας, καθώς και οι υπερβολικές πιθανές κλίσεις της τροχιάς.

2. Περιορίζουμε την κατακόρυφη παραμόρφωση της δοκού κυλίσεως ώστε να αποφεύγουμε την υπερβολική κλίση της διαδρομής.

3. Λαμβάνουμε υπόψη τις τυχόν διαφορικές κατακόρυφες παραμορφώσεις ενός ζεύγους απέναντι δοκών κυλίσεως ώστε να αποφύγουμε την υπερβολική κλίση της γερανογέφυρας.

4. Προσπαθούμε να μειώσουμε όσο γίνεται το μέγεθος των οριζοντίων παραμορφώσεων των δοκών κύλισης ώστε να αμβλύνονται οι επιπτώσεις από τη λοξότητα της κίνησης της γερανογέφυρας.

5. Σημαντικό είναι επίσης να περιοριστούν οι πλευρικές παραμορφώσεις των στηρίξεων των δοκών κυλίσεως, η πλευρική μετακίνηση δηλαδή των υποστυλωμάτων ή των πλαισίων που υποστηρίζουν την δοκό κυλίσεως στη στάθμη της έδρας της, για να αποφευχθεί το υπερβολικό εύρος ταλαντώσεων και δονήσεων των κύριων πλαισίων του κτιρίου.

6. Περιορίζουμε τις διαφορικές πλευρικές παραμορφώσεις των γειτονικών υποστυλωμάτων και πλαισίων για να αποφύγουμε τις απότομες αλλαγές στην ευθύτητα των τροχιών που μπορεί να δημιουργήσουν αυξημένες δράσεις από την λοξή κίνηση της γερανογέφυρας με αποτέλεσμα την πιθανή παραμόρφωση της.

7. Πολύ σημαντική είναι και η μείωση των πλευρικών παραμορφώσεων των κύριων φορέων που μπορεί να μεταβάλλουν την απόσταση του ζεύγους απέναντι τροχών των δοκών κυλίσεως, για να αποφύγουμε τις ζημιές που μπορεί να προκληθούν στα πέλματα των τροχών, στα σταθεροποιητικά μέσα των τροχιών ή στις γερανογέφυρες ή ακόμα και τον εκτροχιασμό της.

8. Σημαντικός παράγοντας που πρέπει να είναι περιορισμένος είναι

και η λυγηρότητα των επίπεδων ελασμάτων από τα οποία μπορεί να είναι κατασκευασμένη η δοκός κύλισης, ώστε να αποφύγουμε τον ορατό ελαστικό λυγισμό ή «τρεμούλιασμα» του κορμού.

9. Επίσης πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας το μέγεθος των τάσεων, ώστε οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται από τα φορτία λειτουργίας να μην είναι πλαστικές (μη αναστρέψιμες δηλαδή). Όπως τα μόνιμα και κινητά φορτία να λαμβάνονται με επιμέρους συντελεστές ασφαλείας, οι οποίοι καθορίζονται από τον Ευρωκώδικα 3 μέρος 6.

6.2.1 Παραμόρφωση υπό τα κατακόρυφα φορτία

· Παραμόρφωση λόγω των συγκεντρωμένων κινητών φορτίων

Σημαντικός είναι ο έλεγχος των παραμορφώσεων αυτών καθώς από τα φορτία αυτά δημιουργούνται τα βέλη κάμψης, τα οποία είναι αποδεκτά μέχρι έναν βαθμό.

Το μέγιστο βέλος κάμψης f αμφιέριστης δοκού κυλίσεως με άνοιγμα l υπό την δράση δυο συγκεντρωμένων φορτίων P που απέχουν μεταξύ τους απόσταση a , αντιστοιχεί στη συμμετρική διάταξη των φορτίων ως προς το μέσον της δοκού και το αποτέλεσμα δίνεται από την σχέση :

$$f = \frac{P \cdot c}{24 \cdot E \cdot I} \cdot (3 \cdot l^2 - 4 \cdot c^2) \quad (6.15)$$

όπου,

EI = η δυσκαμψία της δοκού κυλίσεως

c = η απόσταση κάθε φορτίου από το αντίστοιχο άκρο της δοκού ($2c + a = l$)
(Πίνακες 5.4, 5.5)

Σε περίπτωση όπου $a < 0,65 l$, τότε το βέλος κάμψης παίρνει την μέγιστη τιμή του, για τη συμμετρική θέση των δύο φορτίων ως προς το μέσο της δοκού.

Εάν τώρα $a > 0,65 l$, τότε το βέλος κάμψης αποκτά την δυσμενέστερη τιμή του όταν το ένα φορτίο βρίσκεται στο μέσο του ανοίγματος.

Εφόσον εμείς έχουμε $a = 3,5 \text{ m} < 0,65 l \Rightarrow 3,5 < 6,5 \text{ m}$

Η παραμόρφωση λόγω των συγκεντρωμένων φορτίων θα είναι :

$$\delta_{1z} = \frac{Q_{r,\max} \cdot c}{24 \cdot E \cdot I_y} \cdot (3 \cdot l^2 - 4 \cdot c^2) \quad (6.16)$$

$$\Rightarrow \delta_{1z} = \frac{80,2 \cdot 125}{24 \cdot 21000 \cdot 107200} \cdot (3 \cdot 1000^2 - 4 \cdot 125^2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \delta_{1z} = \mathbf{0,55 \text{ cm}}$$

- Παραμόρφωση λόγω του ίδιου βάρους της δοκού κυλίσεως

Το ίδιο βάρος της δοκού κυλίσεως έχει υπολογιστεί ίσο με 1,64 KN/ m, άρα :

$$\delta_{2z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_d \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

$$\delta_{2z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,164 \cdot 1000^4}{100 \cdot 21000 \cdot 107200} \Rightarrow \delta_{2z} = \mathbf{0,0095 \text{ cm}}$$

Επομένως η συνολική παραμόρφωση θα είναι :

$$\delta_z = \delta_{1z} + \delta_{2z} = 1,25 + 0,0095 = 1,250095 \text{ cm}$$

η οποία είναι αποδεκτή επειδή είναι μικρότερη από $1/600 = 1000/600 = 1,667$ cm (eurocode 1 part 3).

$$\delta_{\text{pay}} = \delta_{0z} + \delta_{2z} = 1,099 + 0,0012 = 1,1002 \text{ cm}$$

η οποία είναι αποδεκτή επειδή είναι μικρότερη από $1/500 = 1000/500 = 2$ cm.

6.2.2 Παραμόρφωση υπό τα οριζόντια φορτία

Γνωρίζουμε ότι η δυσμενέστερη περίπτωση προκαλείται όταν το φορτίο $H_s = 24,4$ kN ασκηθεί στο μέσο του ανοίγματος. Υποθέτουμε λοιπόν ότι το φορτίο θα το παραλάβει το άνω πέλμα της δοκού κυλίσεως. Για να καταλήξουμε στην τιμή της παραμόρφωσης αυτής, υπολογίζουμε αρχικά την ροπή αδράνειας του πέλματος που δίδεται από την σχέση :

$$I_z = \frac{t_f \cdot b^3}{12}$$

$$\Rightarrow I_z = \frac{2,8 \cdot 30^3}{12} \Rightarrow I_z = \mathbf{6300 \text{ cm}^4}$$

Και η παραμόρφωση θα είναι :

$$\delta_y = \frac{H_s \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_z}$$

$$\Rightarrow \delta_y = \frac{24,4 \cdot 1000^3}{48 \cdot 21000 \cdot 6300} \Rightarrow \delta_y = \mathbf{2,84 \text{ cm}}$$

Η οποία είναι αποδεκτή αφού $\delta_y < 1/600$

- Δυνατότητα ταλάντωσης του κάτω πέλματος

Η ροπή αδρανείας του κάτω πέλματος ως προς τον ασθενή άξονα αδρανείας της διατομής είναι $I_z = 6300 \text{ cm}^4$. Η αντίστοιχη ακτίνα αδρανείας είναι:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_f}} \Rightarrow i_z = \sqrt{\frac{6300}{2,8 \cdot 30}} \Rightarrow i_z = \mathbf{8,7 \text{ cm}}$$

Η Λυγηρότητα του κάτω πέλματος υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{L}{i_z} < \mathbf{250}$$

$$\Rightarrow \frac{1000}{8,7} = \mathbf{114,9} < \mathbf{250}$$

κάτι που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κίνδυνος ταλάντωσης του κάτω πέλματος.

6.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

Πέρα από τους ελέγχους αντοχής και λειτουργικότητας η δοκός κυλίσεως πρέπει να ελέγχεται και έναντι κοπώσεως, λόγω της φύσης των φορτίων που την καταπονούν, με τις επαναλήψεις αυτών να φτάνουν σε πολύ μεγάλο αριθμό.

Ο έλεγχος σε κόπωση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1 και 3 πραγματοποιείται με βάση τα ιδεατά φορτία, τα οποία επαναλαμβάνονται σε $2 \cdot 10^6$ κύκλους. Θεωρούμε επομένως ότι φέρουν ισοδύναμο αποτέλεσμα, από πλευράς κόπωσης με την πραγματική διαδικασία φορτίσεως της δοκού κυλίσεως.

Το σημείο της δοκού όπου παρατηρούμε ευαισθησία στην κόπωση είναι εκείνο όπου έχει γίνει η σύνδεση κορμού – άνω πέλματος, ειδικά όταν η σύνδεση αυτή είναι συγκολλητή.

Έχει αποδειχθεί συγκριτικά ότι η συγκόλληση κορμού – πέλματος μέσω δυο αμφίπλευρων εσωραφών πλήρους διείδυσης διαθέτει μεγαλύτερη αντοχή

σε κόπωση απ'ότι η σύνδεση μέσω αμφίπλευρων εξωραφών. Γι αυτό και συνήθως προτιμάται ο πρώτος τρόπος σύνδεσης.

Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι, στην περίπτωση των εξωραφών τα δυο ελάσματα που συνδέονται (κορμός – άνω πέλμα) λόγω πιθανών ατελειών δεν εφάπτονται πλήρως μεταξύ τους. Το κενό αυτό που δημιουργείται κάποιες φορές, μπορεί να μειωθεί όταν από την θέση αυτή διέρχεται τροχός κατά την κίνηση της γερανογέφυρας, με αποτέλεσμα να επανέρχεται στην αρχική του διάσταση. Η μεταβολή αυτή επιδεινώνει την συμπεριφορά σε κόπωση ενώ στην περίπτωση των εσωραφών δεν συναντάμε αυτή την ατελή επαφή. (Ευρωκώδικας 3, μέρος 6)

Το μέρος 3 του Ευρωκώδικα 1 κατατάσσει τις διάφορες γερανογέφυρες ανάλογα τη χρήση τους, τη λειτουργία τους, τους προβλεπόμενους κύκλους φόρτισης και τη στάθμη των κύκλων αυτών ως προς την μέγιστη ανυψωτική ικανότητα τους, σε δέκα κατηγορίες (S_0, S_1, \dots, S_9) με προϊούσα ευαισθησία στο φαινόμενο της κόπωσης.

Για ευκολία και ταχύτητα στους υπολογισμούς, η κατάταξη αυτή μπορεί να γίνει με προσεγγιστικό τρόπο μέσω Πίνακα, ανάλογα πάντα με τη χρήση και τον τύπο της γερανογέφυρας. Η γερανογέφυρα που χρησιμοποιούμε στη μελέτη μας ανήκει στην κατηγορία S_3 . (Πιν 3, Ευρωκώδικας 1, μέρος 5)

Κατά τον έλεγχο σε κόπωση δεν λαμβάνουμε υπόψη μας τις τάσεις που προκαλούνται από τα οριζόντια φορτία, λόγω του ότι τα φορτία αυτά έχουν θεωρητικά παραληφθεί αποκλειστικά από τη λεπίδα του άνω πέλματος της δοκού κυλίσεως, επομένως δεν επηρεάζεται η συγκόλληση κορμού – πέλματος.

Για να προσδιορίσουμε τις διακυμάνσεις των τάσεων λαμβάνουμε υπόψη μας τις τάσεις οι οποίες οφείλονται τόσο στη συνολική συμπεριφορά της δοκού κυλίσεως όσο και στα τοπικά φαινόμενα και ειδικά αυτές που αναπτύσσονται κάτω από τα συγκεντρωμένα φορτία των τροχών αφ' ενός και αφ' ετέρου αυτές που αναπτύσσονται λόγω της στροφής που κάνει το άνω πέλμα της δοκού, ως συνέπεια πάντα της εκκεντρότητας των κατακόρυφων φορτίων.

• Προσδιορισμός ιδεατών ισοδύναμων φορτίων

Στο σημείο αυτό πρέπει να υπολογίσουμε τα ιδεατά ισοδύναμα φορτία που παρουσιάζονται λόγω κοπώσεως. Ο υπολογισμός τους γίνεται ως εξής :

$$Q_{e,i} = \lambda_i \cdot \varphi_{fat} \cdot Q_{max,i} \quad (6.17)$$

όπου,

$\lambda_i = \alpha$ συντελεστής με βάση τον βαθμό κόπωσης της γερανογέφυρας. (Πιν 3, Ευρωκώδικας 1, μέρος 5)

Στην περίπτωση μας έχουμε βαθμό κόπωσης S_3 και επομένως ο συντελεστής θα πάρει τις παρακάτω τιμές:

$\lambda_i = 0,397$, για ορθές τάσεις,

$\lambda_i = 0,575$, για διατμητικές τάσεις.

Επομένως τα ισοδύναμα ιδεατά φορτία κοπώσεως θα είναι :

Το φορτίο του τροχού λαμβάνεται $Q_{r,max,i} = 70,9$ kN (Πίνακας 5.13) χωρίς τους δυναμικούς συντελεστές.

Ο σχετικός με την κόπωση δυναμικός συντελεστής έχει τιμή:

$$\varphi_{fat} = \frac{1 + v_2}{2} = \frac{1 + 1,145}{2} = 1,0725$$

Όπου,

$v_2 = \alpha$ δυναμικός συντελεστής = 1,145

Τα ισοδύναμα ιδεατά φορτία κοπώσεως είναι:

- Για ορθές τάσεις: $Q_{e,i} = \lambda_i \cdot \varphi_{fat} \cdot Q_{r,max,i} = 0,397 \cdot 1,0725 \cdot 70,9 = 30,19$ kN
- Για διατμητικές τάσεις: $Q_{e,i} = \lambda_i \cdot \varphi_{fat} \cdot Q_{r,max,i} = 0,575 \cdot 1,0725 \cdot 70,9 = 43,72$ kN

6.3.1 Έλεγχος επάρκειας της διατομής έναντι κόπωσης

Ο έλεγχος επάρκειας της διατομής έναντι κοπώσεως από ορθές τάσεις γίνεται με βάση την σχέση που ακολουθεί :

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad (6.18)$$

Όπου:

$\Delta\sigma_{E2}$ είναι η ισοδύναμη διακύμανση τάσεως, σταθερού εύρους, για 2×10^6 κύκλους φορτίσεων, υπολογιζόμενη με βάση τα ιδεατά φορτία,

γ_{Ff} είναι ο συντελεστής ασφαλείας που εφαρμόζεται επί της ισοδύναμου διακυμάνσεως και είναι ίσος με 1,

$\Delta\sigma_c$ είναι η διακύμανση τάσεως, δηλαδή η αντοχή έναντι κοπώσεως, για 2×10^6 κύκλους φορτίσεων που αφορά συγκεκριμένη κατηγορία λεπτομέρειας.

γ_{Mf} είναι ο συντελεστής ασφαλείας που εφαρμόζεται επί της αντοχής κοπώσεως και είναι ίσος με 1,25.

Για την κατάταξη των λεπτομερειών σε κατηγορίες χρησιμοποιούνται οι παρακάτω Πίνακες 6.1 και 6.2 (Eurocode 3-part 6, table 9.1 and table 9.2).

Πίνακας 6.1: Συντελεστής λ_2 , (Eurocode 3-part 6).

Q_{mi}	N_{0ts}							
	$0,25 \times 10^6$	$0,50 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$	$1,25 \times 10^6$	$1,50 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
200	0,362	0,417	0,452	0,479	0,500	0,519	0,535	0,550
300	0,544	0,625	0,678	0,712	0,751	0,779	0,803	0,825
400	0,725	0,833	0,904	0,957	1,001	1,038	1,071	1,100
500	0,907	1,042	1,130	1,197	1,251	1,298	1,338	1,374
600	1,088	1,250	1,356	1,436	1,501	1,557	1,606	1,649

Πίνακας 6.2: Συντελεστής λ_3 , (Eurocode 3-part 6).

Design life in years	50	60	70	80	90	100	120
Factor λ_3	0,871	0,903	0,931	0,956	0,979	1,00	1,037

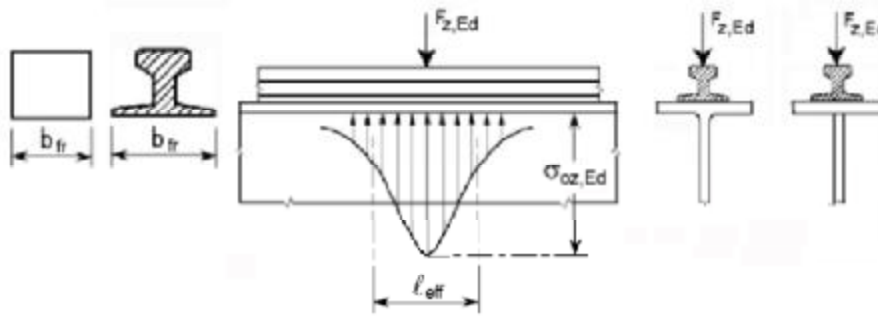
· Ορθές τάσεις

Αρχικά λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού θα πρέπει να υπολογίσουμε το ενεργό μήκος του κορμού l_{eff} , θεωρώντας ότι η φθορά της τροχιάς είναι το ήμισυ εκείνης που είχαμε θεωρήσει στον έλεγχο αντοχής της συγκόλλησης, επομένως το ύψος που θα απομείνει είναι :

$$\Delta t_r = \left(\frac{h}{2}\right) \cdot 3 = \left(\frac{0,25}{2}\right) \cdot 3 = 0,375 \text{ cm}$$

Η απόσταση του ανώτερου σημείου της τροχιάς από το ανώτερο σημείο του κορμού είναι:

$$d_r = 3 - 0,375 + 2,8 = 5,425 \text{ cm}$$



Σχήμα 6.10 : Ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff}

Το ενεργό πλάτος πέλματος θα υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση και με την βοήθεια του Πίνακα 6.3 που ακολουθεί.

$$b_{eff} = b_{fr} + d_r + t_w = 5 + 5,425 + 14,5 = 24,92 \text{ cm} < b = 30 \text{ cm}$$

Πίνακας 6.3: Ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff} , (Eurocode 3-part 6).

Περι- πτωση	Περιγραφή	Ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff}
(α)	Τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα	$l_{eff} = 3,25 [I_{ff} / t_w]^{1/3}$
(β)	Τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα	$l_{eff} = 3,25 [(I_r + I_{l,eff}) / t_w]^{1/3}$
(γ)	Τροχιά τοποθετημένη επάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα πάχους τουλάχιστον 6mm.	$l_{eff} = 4,25 [(I_r + I_{l,eff}) / t_w]^{1/3}$
<p>$I_{l,eff}$ είναι η ροπή αδρανείας ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό του άξονα τμήματος του πέλματος ενεργού πλάτους b_{eff}</p> <p>I_r είναι η ροπή αδρανείας ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα της, της τροχιάς</p> <p>I_{ff} είναι η ροπή αδρανείας, ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα της, της σύνθετης διατομής που περιλαμβάνει την τροχιά και μέρος του πέλματος με ενεργό πλάτος b_{eff}</p> <p>t_w είναι το πάχος του κορμού.</p> <p>$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f$ αλλά $b_{eff} \leq b$</p> <p>όπου: b είναι το ολικό πλάτος του άνω πέλματος;</p> <p>b_{fr} είναι το πλάτος έδρασης της τροχιάς, βλέπε σχήμα 5.2;</p> <p>h_r είναι το ύψος της τροχιάς, βλέπε σχήμα 5.1;</p> <p>t_f είναι το πάχος του πέλματος.</p> <p>Σημείωση: Πρόβλεψη για τη φθορά της τροχιάς, βλέπε 5.6.2(2) και 5.6.2(3) πρέπει να γίνεται κατά τον προσδιορισμό των I_r, I_{ff} και h_r.</p>		

Η Ροπή αδρανείας του ενεργού πλάτους του πέλματος ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό του άξονα είναι:

$$I_{eff} = \frac{b_{eff} \cdot t_f^3}{12} \Rightarrow I_{eff} = \frac{10,425 \cdot 2,8^3}{12} \Rightarrow I_{eff} = 19,1 \text{ cm}^4$$

Ροπή αδρανείας της τροχιάς ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό της άξονα:

$$I_r = \frac{b_{fr} \cdot t_f^3}{12} \Rightarrow I_r = \frac{5 \cdot 2,8^3}{12} \Rightarrow I_r = 9,15 \text{ cm}^4$$

Η τροχιά δεν θεωρείται σταθερά συνδεδεμένη επί του πέλματος, οπότε η ροπή αδράνειας θα είναι:

$$I_{rf} = I_r + I_{eff} = (9,15 + 19,1) \text{ cm}^4 = 28,25 \text{ cm}^4$$

Το ενεργό μήκος της ραφής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_{eff} = 3,25 \cdot \left(\frac{I_{rf}}{t_w}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.19)$$

$$\Rightarrow I_{eff} = 3,25 \cdot \left(\frac{28,25}{1,45}\right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow I_{eff} = 8,75 \text{ cm}^4$$

Οπότε η ορθή τάση λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\sigma_1 = \frac{Q_{e,i}}{t_w \cdot I_{eff}} \quad (6.20)$$

$$\Rightarrow \sigma_1 = \frac{30,19}{1,45 \cdot 8,75} \Rightarrow \sigma_1 = 2,38 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Στην συνέχεια υπολογίζεται η στρεπτική ροπή που οφείλεται στην εκκεντρότητα e_y του φορτίου του τροχού F_{zd} από την εξίσωση:

$$T_{Sd} = F_{zd} \cdot e_y \quad (6.21)$$

$$\Rightarrow T_{Sd} = 30,19 \cdot 1,375 \Rightarrow T_{Sd} = 41,51 \text{ kNcm}$$

Οπότε οι ορθές τάσεις που οφείλονται στην στροφή του άνω πέλματος και οι οποίες είναι κάθετες στον άξονα των συγκολλήσεων υπολογίζονται από την παρακάτω εξίσωση και θα είναι:

$$\sigma_2 = \sigma_{w,Ed} \cdot \frac{T_{Sd}}{M_{t,Sd}} \quad (6.22)$$

$$\Rightarrow \sigma_2 = 12,04 \cdot \frac{41,51}{252,81} \Rightarrow \sigma_2 = 1,98 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Για τον έλεγχο σε κόπωση λόγω ορθών τάσεων θεωρούμε με βάση την Ευρωπαϊκή οδηγία ότι η σύνδεση με εσωραφές πλήρους διεισδύσεως κατατάσσεται στην κατηγορία 71. Οπότε ο συντελεστής $\Delta\sigma_c$ λαμβάνεται ίσος με 7.1 kN/cm^2 .

Η διακύμανση της ορθής τάσης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\Delta\sigma_{E2} = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (6.23)$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_{E2} = (2,38 + 1,98) \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \Delta\sigma_{E2} = 4,36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Οπότε η συγκόλληση επαρκεί αφού επαληθεύεται ότι:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} < \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} \Rightarrow 1 \cdot 4,36 < \frac{7,1}{1,25} \Rightarrow 4,36 < 5,68$$

Τέλος υπολογίζουμε τις διατμητικές τάσεις που χωρίζονται σε διατμητικές τάσεις ολισθήσεως και σε πρόσθετες διατμητικές τάσεις λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού.

Οπότε έχουμε:

Διατμητικές τάσεις ολισθήσεως:

$$V = Q_{e,i} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{l}\right) \quad (6.24)$$

$$= 43,72 \cdot \left(1 + \frac{10 - 3,5}{10}\right) = 72,138 \text{ kN}$$

Οι διατμητικές τάσεις από κάμψη είναι:

$$\tau_1 = \frac{V \cdot S}{t_w \cdot I_y} \quad S = \text{επιφάνεια στην περιοχή της ραφής} \quad (6.25)$$

$$= \frac{72,138 \cdot 1982,4}{1,45 \cdot 107200} = 0,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Οι πρόσθετες διατμητικές τάσεις λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$\begin{aligned}\tau_2 &= 0,2 \cdot \sigma_1 \\ &= 0,2 \cdot 2,38 = 0,476 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\end{aligned}\tag{6.26}$$

Εν συνεχεία γίνεται ο έλεγχος σε κόπωση λόγω διατμητικών τάσεων. Αρχικά υπολογίζουμε την διακύμανση των τάσεων από την εξίσωση:

$$\begin{aligned}\Delta\tau_{E2} &= \tau_1 + 2 \cdot \tau_2 \\ &= 0,92 + 2 \cdot 0,476 = 1,872 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\end{aligned}\tag{6.27}$$

Θεωρούμε κατηγορία λεπτομέρειας 100 αφού θεωρούμε ότι οι συγκολλήσεις θα γίνουν με το χέρι. Οπότε ελέγχουμε την επάρκεια της συγκόλλησης από την εξίσωση:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2} < \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} \Rightarrow 1 \cdot 1,872 < \frac{10}{1,25} \Rightarrow 1,872 < 8 \quad \text{οπότε οι συγκολλήσεις επαρκούν.}$$

Τέλος γίνεται έλεγχος της αλληλεπίδρασης των ορθών και των διατμητικών τάσεων από την εξίσωση:

$$\begin{aligned}&\left[\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \right]^3 + \left[\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2}}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} \right]^5 \leq 1 \\ \Rightarrow &\left[\frac{1 \cdot 4,36}{\frac{7,1}{1,25}} \right]^3 + \left[\frac{1 \cdot 1,872}{\frac{10}{1,25}} \right]^5 \leq 1 \Rightarrow 0,453 + 0,0007 \leq 1 \\ \Rightarrow &0,454 \leq 1\end{aligned}$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την εκπόνηση της μελέτης μας ήταν απαραίτητη η χρήση και η μελέτη του Ευρωκώδικα 1 και 3. Στους οποίους αναφέρονται αναλυτικά τα βήματα που έπρεπε να ακολουθηθούν στους υπολογισμούς μας για να καταλήξουμε αν οι επιλογές που κάναμε όσον αφορά τις τυποποιημένες διαστάσεις για την γερανογέφυρα και τα μέλη της ήταν στατικά επαρκείς. Μέσα από τις οδηγίες αυτές χρησιμοποιήσαμε όλους εκείνους τους απαραίτητους συντελεστές, πίνακες και τις εξισώσεις. Όπως φάνηκε από τους ελέγχους αυτούς τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας είναι στα πλαίσια των κανονισμών, άρα η επιλογή που κάναμε στα υλικά και στις διατομές είναι σωστή. Επομένως μπορούμε να προχωρήσουμε στην κατασκευή και την τοποθέτηση της γερανογέφυρας.

Όπως όμως έχουμε αναφέρει ξανά η γερανογέφυρα και τα μέλη που την αποτελούν είναι βιομηχανοποιημένα προϊόντα, παράγονται δηλαδή με τυποποίηση σε διάφορες διαστάσεις και διατομές, αυτό μας διευκολύνει καθώς μπορούμε εύκολα στο εμπόριο να βρούμε μια γερανογέφυρα που να εξυπηρετεί τις ανάγκες μας. Υπάρχουν πολλές εταιρείες που ασχολούνται με την κατασκευή και την τοποθέτηση γερανογεφυρών, ενδεικτικά αναφέρονται : ABUS, DEMAG, KONECRANES κ.α. Οι εταιρείες αυτές παρέχουν στο αγοραστικό κοινό έναν μεγάλο κατάλογο με τα προϊόντα τους για κάθε είδος ανάγκης και κάθε τύπο γερανογέφυρας. Επίσης παρέχουν και όλο τον απαραίτητο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που είναι απαραίτητος για την λειτουργία μιας γερανογέφυρας, αυτό σημαίνει πως όταν γνωρίζουμε τα απαραίτητα δεδομένα για την περίπτωση μας, με μια καλή έρευνα αγοράς στο εμπόριο μπορούμε εύκολα να καταλήξουμε στο κατάλληλο προϊόν και από θέμα ασφάλειας αλλά και από οικονομοτεχνικούς λόγους.

Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετά εργοστάσια που ασχολούνται με την κατασκευή ειδικών μεταλλικών κατασκευών και διαφόρων ειδών γερανογεφυρών, όπως η εταιρεία "ΛΙΑΡΟΜΑΤΗΣ Α.Ε" στην Πάτρα και η εταιρεία "ΒΕΜΕΚΕΠ Α.Ε" στον Βόλο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

2. Αναστασέλος Γ.. Μεταλλικές Κατασκευές, Εκδόσεις -, Αθήνα 1999
3. Βάγιας Ι., Σιδηρές Κατασκευές Ανάλυση και Διαστασιολόγηση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2011
4. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., Σιδηρές Κατασκευές Παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 1997
5. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., Σιδηρές Κατασκευές Τόμος ΙΙ, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 1999
6. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα με Παραδείγματα Εφαρμογής, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2003
7. Βατάλης Α., Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσ/νίκη 2009
8. Βιβλιοθήκη Μηχανολόγου (σειρά συγγραφέων), ΕΤΕ Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, 1995
9. Εταιρεία Ερευνών Μεταλλικών Έργων (ΕΕΜΕ), Μεταλλικές Κατασκευές Τόμος 4, Εκδοτικός Οργανισμός Γρ. Φούντα
10. Γιαννόπουλος Α., Μεταλλικές Κατασκευές, Εκδόσεις Ίων, 2005
11. Μαλαχίας Γ., Ανυψωτικά Μηχανήματα, Εκδόσεις Ίων , 2001
12. Φρυδάκης Μιχ., Στοιχεία Μηχανών Ι, Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2003
13. Χαρόνης Π., Ανυψωτικά Μηχανήματα, Εκδόσεις Ίων, 1986

Ξένη Βιβλιογραφία

1. William D. Callister, Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004
2. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1

3. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3

Διπλωματικές Εργασίες

1. Μπέτσης Ι., Μελέτη Μονώροφου Βιομηχανικού Κτιρίου με Γερανογέφυρα, ΕΜΠ 2013
2. Κουτσοπίδου Χρ., Σχεδιασμός Βιομηχανικού Κτιρίου με Γερανογέφυρες, ΕΜΠ 2011

Ηλεκτρονικές Σελίδες

www.buildnet.gr

www.konecranes.gr

www.wikipedia.org