



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Σχεδιασμός βιομηχανικού κτιρίου με γερανογέφυρες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΧΡΙΣΤΙΝΑΣ Γ. ΚΟΥΤΣΟΥΠΙΔΟΥ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ιωαννίδης
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
Χάλυβας	
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	
1.2 ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	
1.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟ	
1.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΜΙΝΟ	
1.2.3 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΠΟΧΥΣΗ	
1.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
1.3.1 ΕΛΑΣΗ	
1.3.2 ΔΙΕΛΑΣΗ	
1.3.3 ΟΛΚΗ	
1.3.4 ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΗ	
1.4 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
Βιομηχανικά Μεταλλικά κτίρια	
2.1 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	
2.2 ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ	
2.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	26
Γερανογέφυρες	
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ (ΓΕΡΑΝΟΣ)	
3.2 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ	
3.3 ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	
3.3.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
3.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	38
Δοκός Κυλίσεως	
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	
4.2 ΔΟΚΟΣ ΚΥΛΙΣΕΩΣ ΤΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	
4.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΗΕΒ 500	
4.4 ΤΡΟΧΙΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ	
4.4.1 ΧΑΛΥΒΕΣ ΤΡΟΧΙΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ	
4.5 ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ	
4.5.1 ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ	
4.5.2 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ	

- 4.5.2.1 ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΗ ΤΡΟΧΙΑ
- 4.5.2.2 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ (ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ ΑΦΟΡΤΙΣΤΗ)
- 4.5.2.3 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ (ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ ΠΛΗΡΩΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΗ)
- 4.5.3 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ
 - 4.5.3.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ-ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ
 - 4.5.3.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙΝΗΣΗΣ
(ΛΟΞΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΤΡΟΧΙΕΣ)
- 4.6 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
- 4.7 ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ
 - 4.7.1 ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
 - 4.7.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
 - 4.7.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ
 - 4.7.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

77

Φορτίσεις Βιομηχανικού κτιρίου

- 5.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΡΑΣΕΩΝ
- 5.2 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ
- 5.3 ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ
 - 5.3.1 ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ ΣΕ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ
 - 5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΧΙΟΝΙΟΥ
 - 5.3.2.1 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΧΙΟΝΙΟΥ
 - 5.3.2.2 ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΧΙΟΝΙΟΥ
- 5.4 ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ
 - 5.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ
 - 5.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ
- 5.5 ΦΟΡΤΙΑ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ
- 5.6 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
- 5.7 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ
- 5.8 ΟΜΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ
 - 5.8.1 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
 - 5.8.2 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ
 - 5.8.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ
 - 5.8.2.2 ΣΥΧΝΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

116

Στατική Ανάλυση με πρόγραμμα Η/Υ (ETABS)

- 6.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ Η/Υ
- 6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
 - 6.2.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
 - 6.2.2 ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ
 - 6.2.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ
 - 6.2.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η στατική ανάλυση και διαστασιολόγηση ενός φέροντα οργανισμού από χάλυβα με τη χρήση προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Πρόκειται για μια κατασκευή που προορίζεται για βιομηχανική χρήση και στο εσωτερικό της προβλέπεται η λειτουργία δυο γερανογεφυρών (ανυψωτικής ικανότητας 16t η καθεμία). Η λειτουργία των γερανογεφυρών έχει ως αποτέλεσμα τη δυναμική φόρτιση της κατασκευής, η οποία αντιμετωπίζεται με χρήση δυναμικών συντελεστών επί των δράσεων που προκαλεί η γερανογέφυρα (εξετάζονται οι δυναμικοί συντελεστές για ομάδες φορτίων 1 και 5 – ευρωκώδικας 1/μέρος 5).

Οι διατομές των μελών που είχαν επιλεγεί ήταν επαρκείς από άποψη στατικότητας, αλλά όχι από άποψη λειτουργικότητας αφού παρουσίαζαν μεγαλύτερες από τα αποδεκτά όρια οριζόντιες αποκλίσεις εξαιτίας της κίνησης των γερανογεφυρών. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την επιλογή μεγαλύτερων διατομών στα υποστυλώματα των πλαισίων σε σχέση με αυτές που είχαν επιλεγεί αρχικά.

Το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο στατικής επάρκειας και λειτουργικότητας της κατασκευής είναι το Etabs Nonlinear Version 9.6.0 (extended 3-D analysis of building systems). Επειδή αυτό το πρόγραμμα δεν επιτρέπει την εισαγωγή κινητών φορτίων για προσομοίωση της κίνησης της γερανογέφυρας, ο φορέας μελετήθηκε με δυσμενείς φορτίσεις (στην εργασία παρουσιάζεται μόνο η μελέτη της δυσμενέστερης για το φορέα θέση των γερανογεφυρών).

INTRODUCTION

The aim of this thesis is the structural design and the dimensioning of a steel structure by using a computer program. The structure will be used as an industrial building and is going to support two crane bridges (16t. lifting capacity each). The motion of the crane bridges causes dynamic loading of the structure, which is resolved by using dynamic factors (this thesis presents load combinations using the dynamic factors of group 1 and 5 –eurocode 1/part 5).

The frame sections which had been chosen are sufficient for ULS analysis but insufficient for SLS analysis. This happens because the motion of the crane bridges causes larger horizontal displacements to some columns than the permitted limits. Therefore, replacing the chosen sections with larger ones reduce the displacements.

The structural steel design accomplished by using a computer program named Etabs Nonlinear Version 9.6.0 (extended 3-D analysis of building systems). This specific software does not support dynamic forces in order to simulate crane bridges' movement, so the structure calculations are based on the most critical loading of the structure.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τα ηφαίστεια διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην ιστορική εξέλιξη του ανθρώπου, διδάσκοντας ένα μεγάλο μάθημα: τη χρήση της μεταλλουργίας που ήταν πρωταρχικής σημασίας για την επιβολή του ανθρώπου τόσο απέναντι στη φύση όσο και απέναντι στους ομοίους του. Οι άνθρωποι άρχισαν να συνθέτουν τις γνώσεις οικοδόμησης πολιτισμού στα «χυτήρια των ηφαιστειών». Ήταν εκεί που πρωτοείδαν το χώμα να λιώνει και όταν το πέρασμα της λάβας λάβαινε τέλος, να αφήνει πίσω του κράματα μετάλλων.



ΕΙΚΟΝΑ 1. 1

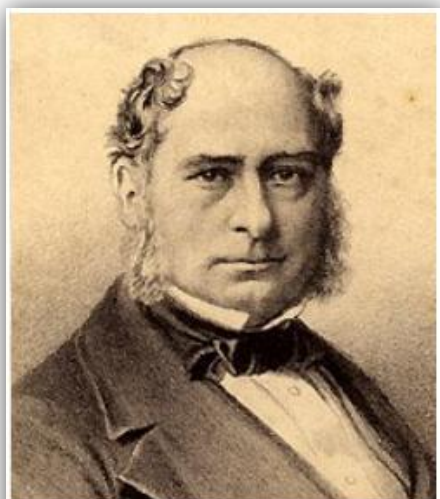
Κάπως έτσι γεννήθηκε η μεταλλοτεχνία στη γη των Χαλύβων, λίγο πριν από τα παράλια του Πόντου. Εκεί φτιάχτηκαν τα πρώτα σπαθιά, εκεί οι άνθρωποι άρχισαν να βλέπουν τη δυνατότητα να ορίζουν τη γη, να πάψουν να ακολουθούν τα θηράματα ως νομάδες.

Η ιστορία του χάλυβα ξεκινά γύρω στο 1000 π.χ., όταν οι μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συστηματικά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου. Την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, πολλοί μεσογειακοί λαοί, αλλά και οι Ινδοί, οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες γνώριζαν την τέχνη της παραγωγής σπογγώδους σιδήρου και χάλυβα, καθώς και την τέχνη της σκλήρυνσης του χάλυβα με θέρμανση και απότομη ψύξη («βαφή»). Περίφημα ήταν τα σφυρήλατα χαλύβδινα δαμασκηνά σπαθιά, που κατασκευάζονταν κατά τον Μεσαίωνα στη Συρία, αλλά και σε τόπους πιο μακρινούς όπως στην Ιαπωνία.



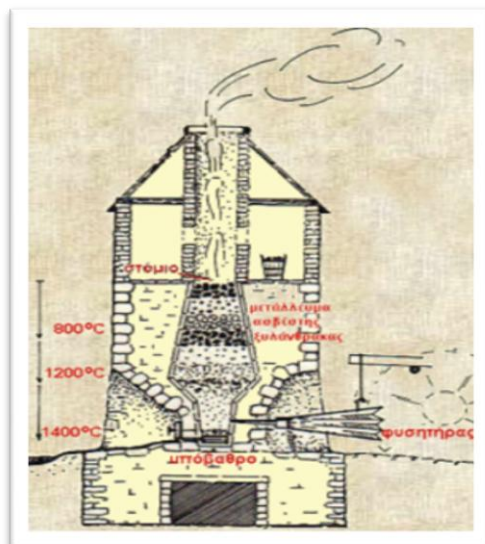
ΕΙΚΟΝΑ 1. 2

Κατά το 19^ο αιώνα μετατρέπονταν το σιδηρομετάλλευμα μέσω μιας διεργασίας δύο βαθμίδων σε ενδιάμεσο προϊόν για την τροφοδοσία των χυτηρίων. Ο σίδηρος που παραγόταν κατά την πρώτη βαθμίδα από την κάμινο τήξεως περιείχε μεγάλη ποσότητα άνθρακα, κυρίως από την καύσιμη ύλη (γαιάνθρακας, κωκ) που απαιτείται για την τήξη του μεταλλεύματος. Το παραγόμενο προϊόν (χυτοσίδηρος) είναι σκληρό αλλά εύθραυστο. Έτσι, πρέπει να απομακρυνθεί ο άνθρακας ώστε να απομείνει καθαρός και μαλακός σίδηρος, πράγμα που επιτυγχανόταν με την καύση του άνθρακα με παροχή οξυγόνου και ισχυρή θέρμανση. Στη συνέχεια, στη δεύτερη βαθμίδα επεξεργασίας, πρέπει να προστεθεί συγκεκριμένη ποσότητα άνθρακα, ώστε να διαθέτει ο παραγόμενος χυτοχάλυβας την επιθυμητή σκληρότητα. Αυτή η διαδικασία ήταν πολύπλοκη και πολυδάπανη και γι' αυτό το κόστος των χαλύβδινων προϊόντων ήταν υψηλό. Το 1746 ο Benjamin Huntsman (Χάντσμαν, 1704-1766) είχε αναπτύξει στο Sheffield μέθοδο παραγωγής χυτοχάλυβα, στην οποία χρησιμοποιείτο ένα μίγμα σκόνης άνθρακα. Έτσι έγιναν τα χαλυβουργεία του Sheffield πρωτοπόρα στην παραγωγή φθηνού χάλυβα υψηλής μηχανικής αντοχής. Μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα διαδόθηκε όμως αυτή η μέθοδος σε όλη την Ευρώπη και Αμερική, κυρίως μέσω βιομηχανικής κατασκοπείας, κι έτσι όλοι οι κατασκευαστές ατμομηχανών, οχημάτων, σιδηροτροχιών και εργαλειομηχανών είχαν στη διάθεσή τους χυτοχάλυβα υψηλής ποιότητας. Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα καθιερώθηκαν οι πρώτοι τύποι χάλυβα και οι μέθοδοι ελέγχου της αντοχής τους. Αυτές οι τυποποιήσεις προκάλεσαν και σημαντικές αντιπαραθέσεις μεταξύ χαλυβουργών, κυρίως Γερμανών και Αμερικάνων, όπως συμβαίνει κατά κανόνα με όλες τις τυποποιήσεις βιομηχανικών προϊόντων. Κύριο πρόβλημα κατά την τυποποίηση του χάλυβα ήταν να αντιμετωπιστεί με χαμηλό κόστος ο αυξανόμενος αριθμός αστοχιών του υλικού, όπως εκρήξεις λεβήτων, θραύσεις αξόνων και σιδηροτροχιών κ.ά. Ο Βρετανός μηχανολόγος και μεταλλουργός



Bessemer (1813-1898)

EIKONA 1. 4

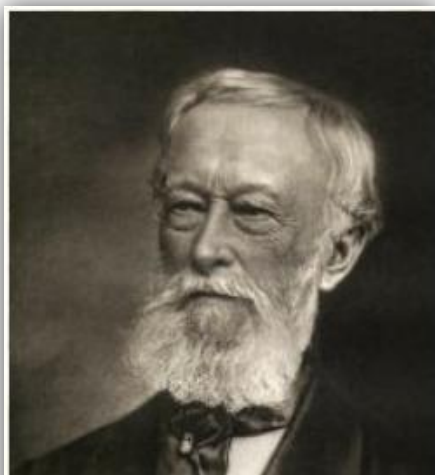


EIKONA 1. 3

Henry Bessemer (Μπέσεμερ, 1813-1898) αναζητούσε μια λιγότερο δαπανηρή μέθοδο για την απομάκρυνση του άνθρακα από το χυτοσίδηρο και την βρήκε το έτος 1855, με τη διοχέτευση αέρα ή και οξυγόνου μέσα από τον ρευστό σίδηρο. Αυτός ο συνδυασμός αέρα και άνθρακα του σιδήρου, οδηγούσε σε αύξηση της θερμοκρασίας και όχι σε μείωση, όπως θα πίστευε κάποιος ανυποψίαστος. Το οξυγόνο του αέρα δεσμεύει τον άνθρακα του σιδήρου και δημιουργεί μονοξείδιο (CO), το οποίο καίγεται και διατηρεί υψηλά τη θερμοκρασία. Με έλεγχο του χρώματος του λιωμένου σιδήρου μπορούσε ο εργοδηγός να ελέγξει, τότε είχε ολοκληρωθεί η

καύση του άνθρακα, ώστε να διακόψει τη διεργασία. Έτσι, δεν χρειαζόταν να αφαιρεθεί ολοκληρωτικά ο άνθρακας και να προστεθεί στη συνέχεια η απαιτούμενη ποσότητά του με μια χρονοβόρα διαδικασία, ώστε να καταλήξει ο μεταλλουργός στην επιθυμητή ποιότητα χυτοχάλυβα: η αφαίρεση έφτανε μέχρι εκείνου του σημείου ώστε να παραμένει στο λιωμένο υλικό η επιθυμητή ποσότητα άνθρακα. Οι δύο διαδικασίες είχαν ενοποιηθεί σε μία. Καταρχάς πρέπει να σημειωθεί ότι η εμφύσηση αέρα σε λιωμένο σίδηρο δεν είναι μια απλή διαδικασία, όσο εύκολα και αν περιγράφεται. Απαιτούνται ισχυρές δυνάμεις και υλικά με ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό το σκοπό κατασκευάζονταν στο εξής ειδικές ατμομηχανές. Πέρα από αυτό, ενώ τα πειράματα στο εργαστήριο έδιναν πολύ καλά αποτελέσματα, η εφαρμογή της μεθόδου Μπέσεμερ σε πραγματικές συνθήκες κατέληξε σε ακατάλληλο προϊόν. Το μυστικό ήταν ότι ο Μπέσεμερ είχε χρησιμοποιήσει στα πειράματά του σουηδικό σιδηρομετάλλευμα, ενώ στην παραγωγή ήταν διαθέσιμο μόνο βρετανικό μέταλλευμα, το οποίο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε φωσφόρο που επηρέαζε αρνητικά το αποτέλεσμα. Η λύση σ' αυτό το πρόβλημα δόθηκε από τους εξαδέλφους μεταλλουργούς S. G. Thomas και P. C. Gilchrist, οι οποίοι υπέδειξαν να επενδυθούν τα δοχεία τήξης του σιδήρου με ασβεστολιθικό τοίχωμα. Αυτό οδήγησε σε άριστα αποτελέσματα και γρήγορα άρχισαν να κατασκευάζονται υψικάμινι Bessemer σε όλες τις χαλυβουργίες.

Ο Jacob Mayer (Μάγιερ, 1813-1875) παρήγαγε χυτοχάλυβα από το 1842 και μετά από οκτώ περίπου χρόνια προσέφερε τα προϊόντα του στις βιομηχανίες της μηχανολογίας σε διάφορες μορφές (ράβδους, σιδηροτροχιές κ.ά.) με χρήση κατάλληλων καλουπιών. Ο Alfred Krupp (Κρουπ, 1812-1887) στο Essen παρήγαγε



Krupp (1812-1887)

EIKONA 1. 5

επίσης όμοια προϊόντα αλλά μετά από εξέλαση (μηχανική επεξεργασία). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησε ο Κρουπ από το 1860 μία ειδική μονάδα εξελάσεως χυτοχάλυβα. Η εύρυθμη παραγωγή σ' αυτές τις μονάδες παραγωγής προϊόντων χυτοσιδήρου απαιτούσε, μέσα σε περιβάλλον πολύ υψηλής θερμοκρασίας και εκκωφαντικών θορύβων, μεγάλη πειθαρχία και ετοιμότητα του εργατικού δυναμικού, ώστε η χύτευση και εξέλαση των προϊόντων να πραγματοποιείται σε περίπου σταθερές θερμοκρασίες και να μην επηρεάζεται η ποιότητα. Η εμπορική επιτυχία αυτών των βιομηχανιών ήταν συνέπεια του βαθμού αποδοχής των μέτρων πειθαρχίας από το προσωπικό, για το οποίο είχε προβλεφτεί κατάλληλη εκπαίδευση.

Ο Robert F. Mushet (Μάσσετ, 1811-1891) ήταν από τους σημαντικότερους μεταλλουργούς της

Βρετανίας, όπως και ο πατέρας του εξ άλλου και συνέβαλλε σημαντικά στην ανάπτυξη της μεθόδου Bessemer. Επίσης ανακάλυψε με συνεχείς δοκιμές διάφορα πρόσθετα υλικά, τα οποία σε μικροποσότητες βελτίωναν τα χαρακτηριστικά του χυτοχάλυβα.

Τέτοια κράματα χάλυβα περιείχαν τιτάνιο, βολφράμιο, μαγγάνιο, χρώμιο κ.ά., με αποτέλεσμα να πετυχαίνονται κατά περίπτωση μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, οξείδωση, εφελκυσμό κλπ. Από αυτά τα πρόσθετα σημαντικότερο ρόλο έπαιξε το μαγγάνιο (Mn), το οποίο δέσμευε υπόλοιπα οξυγόνου και έτσι δεν δημιουργούνταν φυσαλίδες στο χυτοχάλυβα.

Επίσης σημαντικό ρόλο στις μελέτες και τα πειράματα για την παραγωγή και επεξεργασία του χυτοχάλυβα έπαιξε η διαδικασία σκλήρυνσης (βαφή), η οποία γινόταν, άλλοτε με σταδιακή ψύξη στον αέρα, άλλοτε με εμβάπτιση σε νερό ή λάδι και άλλοτε με ενδιάμεσες θερμικές επεξεργασίες (χαλάρωση κ.ά.). Το έτος 1883 πειραματίστηκε ο Βρετανός μεταλλουργός Robert A. Hadfield (Χάτφιλντ, 1858-1940) με μεγάλες προσμίξεις μαγγανίου στο χυτοχάλυβα, μέχρι 12%. Όταν στη συνέχεια θέρμαινε το κράμα στους 1000 °C έπαινε αυτό να είναι εύθραυστο, αλλά με ψύξη σε ειδικό λουτρό βαφής, γινόταν ιδιαίτερα σκληρό. Έτσι κατάφερε ο Χάτφιλντ να κατασκευάσει με το κράμα του σιδηροδρομικές τροχιές, οι οποίες είχαν διάρκεια ζωής άνω των 20 ετών, ενώ οι μέχρι τότε χρησιμοποιούμενες δεν έφταναν τον ένα χρόνο. Με τον χάλυβα Hadfield άρχισε η εποχή των κραμάτων με διάφορες προσμίξεις και συνδυασμούς. [1]

1.2 ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ

Ο χάλυβας (κοινός ατσάλι) είναι κράμα σιδήρου – άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Ο καθαρός σίδηρος είναι εύπλαστο, μαλακό, μικρής αντοχής μέταλλο και επομένως ακατάλληλος προς χρήση ως δομικό υλικό. Οι δύο βασικές κατηγορίες δομικών χαλύβων που χρησιμοποιούνται στα έργα πολιτικού μηχανικού είναι οι μη κραματωμένοι χάλυβες π.χ. οι κοινοί χάλυβες, χάλυβες υψηλής αντοχής, καθώς και οι κραματωμένοι χάλυβες π.χ. αντιδιαβρωτικοί χάλυβες (weathering steel), ανοξείδωτοι χάλυβες (stainless steel). Με τον όρο κραματωμένος χάλυβας ορίζεται κάθε χάλυβας του οποίου η περιεκτικότητα και το βάρος σε κραματικά στοιχεία (π.χ. νικέλιο, χρώμιο, πυρίτιο, κ.α.) είναι μεγαλύτερο από 5% προκειμένου να επιτευχθεί βελτίωση ορισμένων χαρακτηριστικών όπως η αντοχή σε διάβρωση, σε χαμηλές θερμοκρασίες, κ.α. Ο χάλυβας παράγεται σήμερα με τρεις βασικές μεθόδους:

1. Με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
2. Με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (αγγλ., Direct reduced iron\ ή DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.



Μεταλλάκτης Bessemer από παλιό χαλυβουργείο στο Σέφφιλντ της Αγγλίας.

EIKONA 1. 6

3. Με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF). [2]

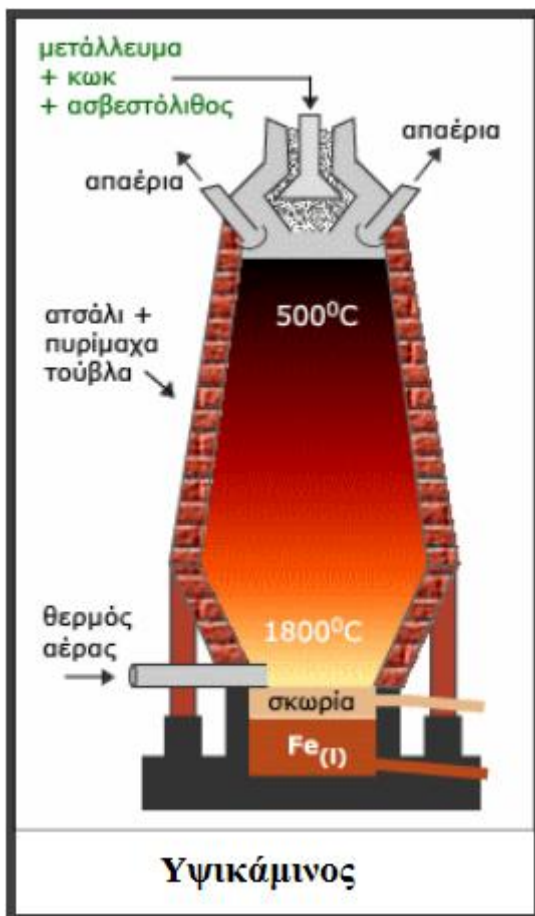
1.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟ

Η παραγωγή ακατέργαστου σιδήρου γίνεται στις υψικάμινους με χρήση σιδηρομεταλλευμάτων, συλλιπασμάτων, καυσίμων και αέρα. Τα κυριότερα σιδηρομεταλλεύματα είναι τα εξής :

- Μαγνητίτες Fe_3O_4
- Αιματίτες Fe_2O_3
- Λειμωνίτες $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$
- Σιδηρίτες $FeCO_3$

Συνήθως γίνεται προετοιμασία των σιδηρομεταλλευμάτων πριν την εισαγωγή τους στην υψικάμινο. Η προετοιμασία περιλαμβάνει ψήσιμο του μεταλλεύματος σε φούρνους με προσαρμογή αέρα για καύση διαφόρων προσμίξεων (C,S ή H) από την οποία δημιουργούνται τα αέρια CO_2 , SO_2 ή H_2O . Το αποτέλεσμα του ψησίματος είναι να μειώνεται το βάρος του μεταλλεύματος κατά 30%. Κατόπιν απομακρύνονται οι διάφορες προσμίξεις (ακαθαρσίες) με υγρά ή ξηρά μέθοδο. Κατά την πρώτη, οι προσμίξεις επιπλέουν ως ελαφρότερες ενώ κατά τη δεύτερη διαχωρίζονται με μαγνήτες. Τέλος το μέταλλευμα θράβεται και σβολωποιείται ώστε να είναι έτοιμο για την υψικάμινο.

Η χρήση των συλλιπασμάτων γίνεται για να μετατραπούν οι προσμίξεις του



ΕΙΚΟΝΑ 1. 7

μεταλλεύματος και της τέφρας των καυσίμων σε μια ευκολοτηκόμενη σκωρία. Συνήθως χρησιμοποιούνται λιπάσματα αντίθετης οξύτητας από αυτής των προσμίξεων, δηλαδή όξινα (πυριτικές άμμοι) ή βασικά (άσβεστος). Για καύσιμο χρησιμοποιείται το κωκ, το οποίο παράγεται από συμπίεση καθαρού άνθρακα.

Η υψικάμινος τροφοδοτείται από το αεροστεγώς κλεισμένο στόμιο με μέταλλευμα, κωκ και συλλίπασμα, ενώ από τα περιμετρικά διατεταγμένα στόμια (6 έως 8 τον αριθμό) εμφυσείται προθερμασμένος στους $110^\circ C$ αέρας. Η λειτουργία της βασίζεται στην αντίστροφη ροή, κατά την οποία τα κατερχόμενα στερεά θερμαίνονται και ανάγονται από τα ανερχόμενα αέρια καύσης. Χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα μες στην υψικάμινο κυκλικά μέχρι το μισό ύψος της και σταματούν λόγω έλλειψης υψηλής θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα ο C του φλεγόμενου κωκ καίγεται σε CO_2 , το οποίο αντιδρά

αμέσως με το κωκ σχηματίζοντας CO. Ανεβαίνοντας το CO τραβά οξυγόνο από τα οξειδία του σιδήρου (έμμεση αναγωγή) και μετατρέπεται σε CO₂ και η διαδικασία των αντιδράσεων επαναλαμβάνεται. Επιπλέον πραγματοποιείται και η άμεση αναγωγή των οξειδίων του Fe από το πυρακτωμένο κωκ στο κάτω μέρος της υψικαμίνου στο οποίο αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες. Κάτω από τα στόμια του αέρα συλλέγεται το τηγμένο υλικό, ο τηγμένος σίδηρος και η σκωρία. Κάθε 2 ώρες περίπου ανοίγεται το στόμιο της οπής της κατώτερης στάθμης από την οποία συλλέγεται ο υγρός σίδηρος σε θερμοκρασίες περί τους 1400° C, τοποθετούμενος σε βαγονέτα. Ο σίδηρος αυτός ονομάζεται ακατέργαστος και περιέχει περί το 4,7% C, 0,4% Si, 0,5% Mn, 0,04% S και 0,1% P. Η αποθείωση απαιτεί δράσεις χαμηλές σε οξυγόνο και επιτυγχάνεται με ψεκασμό CaCO₃ προς σχηματισμό CaS ή μαγνησιούχων προσμίξεων προς σχηματισμό MgS και CaS.

Η μείωση της περιεκτικότητας του ακατέργαστου σιδήρου σε C και άλλες προσμίξεις γίνεται με καύση (οξείδωση) από την οποία παράγεται ο χάλυβας. Η οξείδωση γίνεται με διάφορες μεθόδους, σημαντικότερες από τις οποίες είναι οι μέθοδοι ανάδευσης, Bessemer, Thomas, Siemens-Martins και οξυγόνου ή LD. [3]



ΕΙΚΟΝΑ 1. 8

1.2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΜΙΝΟ

Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται το σκραπ, το οποίο τήκεται με τη βοήθεια της ενέργειας ηλεκτρικού τόξου που δημιουργείται μεταξύ ηλεκτροδίων γραφίτη και του μετάλλου. Η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτροκαμίνων είναι τύπου Herould, όπου χρησιμοποιούνται 3 ηλεκτρόδια. Η οροφή και τα ηλεκτρόδια είναι μετακινούμενα για φόρτωση του σκράπ βάρους 100 έως 200 t. Κατόπιν εφαρμόζεται

εναλλασσόμενο ρεύμα 300-700 V για να δημιουργηθεί το ηλεκτρικό τόξο. Η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή λόγω της μη ύπαρξης καυσαερίων (3500° C). Η θερμοκρασία ρυθμίζεται από την τάση, την ένταση του ρεύματος και το μήκος του τόξου, ενώ η συνολική διαδικασία διαρκεί περίπου 100 λεπτά.

Μετά την τήξη του σκράπ δημιουργείται μια πρώτη οξειδωτική σκωρία που καίει τα P και Si και ανάγει τον C στο επιθυμητό ποσοστό. Μετά την απομάκρυνση της σκωρίας αυτής, δημιουργείται μια δεύτερη βασική σκωρία που μειώνει την περιεκτικότητα σε S και O₂. Η επιθυμητή σύνθεση ρυθμίζεται με προσθήκη κραματικών στοιχείων.

Ένας άλλος τύπος ηλεκτροκάμινου είναι η επαγωγική κατά την οποία η θερμοκρασία αναπτύσσεται μέσω επαγωγικών ρευμάτων από πηνίο που περιτυλίγεται γύρω από την κάμινο. Το μέγεθος της καμίνου κυμαίνεται, ώστε κάθε καμίνευση να δίνει 0,05-10 t χάλυβα. Οι μέσω των ηλεκτροκαμινών παραγόμενοι χάλυβες ονομάζονται ηλεκτροχάλυβες και είναι ιδιαίτερης υψηλής ποιότητας. Το ποσοστό τους έχει φτάσει στο 30% της συνολικής παραγωγής χάλυβα, χωρίς να αυξάνει λόγω της δυσκολίας εύρεσης σκραπ καλής ποιότητας. [4]

1.2.3 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΠΟΧΥΣΗ

Οι επιθυμητές ιδιότητες χάλυβα μπορούν να επιτευχθούν μόνο με υψηλό βαθμό ακρίβειας στα ποσοστά των προσμίξεων και των κραματικών στοιχείων. Υπάρχουν όμως όρια στις μεταλλουργικές επεξεργασίες του τηγμένου μετάλλου που γίνονται στους μεταλλάκτες και τις ηλεκτρικές καμίνους. Η περιεκτικότητα σε N₂ και P μπορεί να μειωθεί στο ελάχιστο, το ίδιο όμως δεν συμβαίνει για πολύ μικρές περιεκτικότητες σε C, S₂, O₂ και N₂, μικρότερες από 0,2%.

Η καύση των προσμίξεων απαιτεί την προσθήκη O₂, έτσι το δημιουργούμενο FeO καταναλίσκεται κατά την καύση των προσμίξεων, αλλά πάντα μένει ένα υπόλοιπο στο τήγμα. Το παραμένον O₂ είναι τόσο ώστε το γινόμενο C x O = σταθερό. Με αποτέλεσμα ένας χάλυβας με μικρό ποσοστό άνθρακα και κατά συνέπεια μεγάλο ποσοστό σε οξυγόνο να διατρέχει το κίνδυνο θραύσης κατά την ερυθροπύρωση. Ένας τέτοιος χάλυβας πρέπει να αποξειδωθεί. Η αποξείδωση γίνεται με προσθήκη στοιχείων που δεσμεύουν το O₂. Τα πλέον δημοφιλή αποξειδωτικά είναι το Si και το Al. (C, Mn, Si, Al, Ti με σειρά αύξουσας ικανότητας αποξείδωσης).

Η δευτερογενής επεξεργασία μπορεί να γίνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι περιλαμβάνουν ψεκασμό με αργό (Ar) και ανάδευση του τήγματος, προσθήκη στοιχείων δέσμευσης του O₂, τοποθέτηση σε δοχείο κενού για απαγωγή του H₂. Λόγω της ήρεμης συμπεριφοράς τους κατά την απόχυση, οι αποξειδωθέντες χάλυβες ονομάζονται κατευνασμένοι, ενώ οι μη αποξειδωθέντες ακατεύναστοι χάλυβες. Η διαδικασία της δευτερογενούς επεξεργασίας έχει ως στόχο:

- τον εξευγενισμό και την αποξείδωση
- την απομάκρυνση των προϊόντων οξείδωσης
- την απονίτρωση σε πολύ μικρά ποσοστά
- την ομογενοποίηση της σύνθεσης του χάλυβα
- τη ρύθμιση της θερμοκρασίας απόχυσης
- την μείωση του H₂ σε πολύ μικρά ποσοστά με εν κενώ επεξεργασία

Η στερεοποίηση του χάλυβα λαμβάνει χώρα κατά την απόχυση. Η απόχυση μπορεί να είναι είτε διακεκομμένη σε κάδους, είτε συνεχής. Η πρώτη γίνεται σε μεμονωμένους χυτοσιδήρους κάδους, η δεύτερη σε χάλκινους υδρόψυκτους τύπους. Κατά την απόχυση, η θερμότητα του τήγματος απάγεται από τη ψυχρή επιφάνεια του τύπου, έτσι ώστε να σχηματίζονται και να αυξάνονται οι μεταλλικοί κρύσταλλοι. Δεδομένου ότι η διαλυτότητα πολλών στοιχείων πολλών στοιχείων στο χάλυβα μειώνεται κατά την ψύξη, υπάρχει κίνδυνος αποδέσμευσης τους από το μέταλλο. Ο κίνδυνος είναι ιδιαίτερα αυξημένος στα στοιχεία S, P, O₂ και H₂. Για το λόγο αυτό η περιεκτικότητα σε αυτά τα στοιχεία μειώνεται κατά τη μεταλλουργική επεξεργασία. Το S δεσμεύεται από το Mn του χάλυβα δίνοντας MnS, το οποίο σχηματίζει φακούς κατά τη στερεοποίηση του χάλυβα που επιμηκύνονται κατά την εξέλαση, οπότε η αντοχή του χάλυβα κάθετα στη διεύθυνση εξέλασης μειώνεται δραματικά. [4]

1.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι μηχανικές διεργασίες έλαση, διέλαση, ολκή και επιμετάλλωση χρησιμοποιούνται για παραγωγή πλατέων ή επιμηκών προϊόντων μικρής διατομής, συνήθως σε βιομηχανική κλίμακα.

1.3.1 ΕΛΑΣΗ

Έλαση (αγγλ. rolling) είναι η τεχνική της επίπεδης ή κυλινδρικής μορφοποίησης του μετάλλου ή του κράματος. Κατά την έλαση (rolling), το τεμάχιο υπό τη μορφή ράβδου ή πλάκας υφίσταται πλαστική παραμόρφωση διερχόμενο μέσα από το άνοιγμα μεταξύ δύο αντίθετα περιστρεφόμενων ραούλων (τυμπάνων). Αποτέλεσμα της έλασης είναι η παραγωγή αντίστοιχου προϊόντος με μικρότερη διατομή και μεγαλύτερο μήκος. Έτσι παράγονται μεταλλικά φύλλα, μορφοσίδηρος (σιδηροτροχιές και δοκοί διαφόρων διατομών), ράβδοι οπλισμού σκυροδέματος (μπετόβερρες), κ.λπ. Η έλαση γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες (εν θερμώ) ή σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (εν ψυχρώ). Σαν κατεργασία η έλαση αναπτύχθηκε περί τα τέλη του 16^{ου} αιώνα. Διακρίνεται σε:

- Έλαση μπιγέτας, όπου σημειώνεται μεταβολή και στο πλάτος του παραγόμενου προϊόντος, γνωστό και ως πλευρική διόγκωση (spreading)
- Έλαση πλάκας, κατά την οποία δεν παρατηρείται μεταβολή στο πλάτος του παραγόμενου προϊόντος.

Η έλαση εκτελείται σε διάφορες φάσεις (πάσα. Το πρωτογενές υλικό είναι πλίνθωμα (ingot), προϊόν χύτευσης, ενώ τα προϊόντα των επόμενων φάσεων διακρίνονται σε επιμήκη (ράβδοι, μπιγέτες, μορφοδοκοί) και σε πλατιά προϊόντα (πλάκες, ελάσματα, ταινίες). Ανάλογα με τη φάση της έλασης και τη μορφή του προϊόντος, ακολουθείται η εξής τυποποίηση:

1. Ημι-κατεργασμένα προϊόντα (semi-finished products)
 - Μπιγέτα πρώτης έλασης (bloom) – τετραγωνικής διατομής με εμβαδόν $A \geq 15 \times 15 \text{ cm}^2$
 - Περαιτέρω μείωση του πάχους μπορεί να οδηγήσει σε:

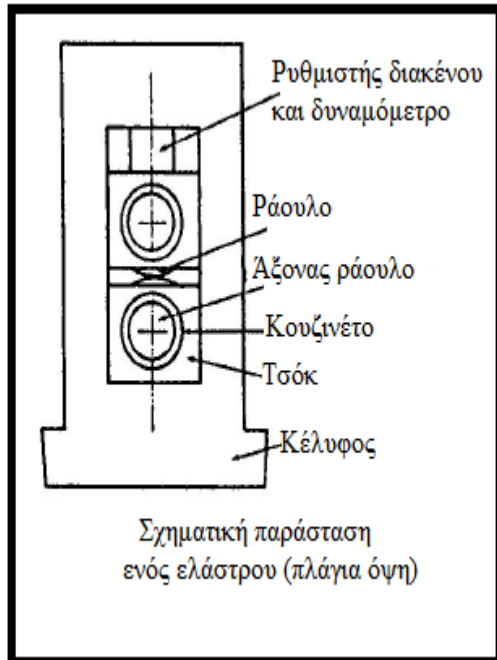
- Μπιγέτα (billet) τετραγωνικής διατομής με μικρότερο εμβαδόν ($A \geq 4 \times 4 \text{ cm}^2$)
- Πλάκα (slab) ορθογωνικής διατομής με εμβαδόν $A \geq 100 \text{ cm}^2$ και πλάτος τουλάχιστον διπλάσιο του πάχους της.

2. Τελικά προϊόντα (finished products)

Περαιτέρω διαμόρφωση των ημικατεργασμένων προϊόντων οδηγεί σε:

- Επιμήκη προϊόντα μορφής που προέρχονται από την έλαση μπιγетών (μορφοδοκοί, ήλοι με σπείρωμα, δακτύλιοι κλπ.) με ειδικές μεθόδους έλασης.
- Πλατιά προϊόντα που προέρχονται από την έλαση πλακών και διακρίνονται ανάλογα με το πάχος και το πλάτος του σε:
 - Ελάσματα (plates) με πάχος $\geq 6 \text{ mm}$
 - Λεπτά ελάσματα (sheets) με πάχος $< 6 \text{ mm}$ και πλάτος $\geq 600 \text{ mm}$
 - Λεπτές λωρίδες (strips) με πάχος $< 6 \text{ mm}$ και πλάτος $< 600 \text{ mm}$.

Η εργαλειομηχανή της έλασης ονομάζεται έλαστρο (mill). Αποτελείται από τα ράουλα (rolls), οι άξονες των οποίων στρέφονται μέσα σε κουζινέτα (bearings), ενώ όλα μαζί είναι εγκατεστημένα σε ειδικό κέλυφος (housing). Τα άκρα των αξόνων είναι κατάλληλα διαμορφωμένα ώστε να συνδέονται μέσω σταυροειδών συνδέσμων με το αξονικό σύστημα της εγκατάστασης, το οποίο με τη σειρά του μεταδίδει κίνηση στα ράουλα (ανεξάρτητη για κάθε ράουλο) παραλαμβάνοντας ισχύ από σύστημα ηλεκτροκινητήρα/μειωτήρα. Τα ράουλα είναι χαλύβδινα κυλινδρικά τύμπανα με ομοιόμορφη διατομή (Σχ. 5α) ή έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα (ράουλα μορφής), ώστε να αποδίδουν το αντίστοιχο γεωμετρικό σχήμα στο τελικό προϊόν. Τα ράουλα που επιτελούν την πλαστική παραμόρφωση τοποθετούνται με οριζόντιους άξονες το ένα πάνω στο άλλο, ενώ κατακόρυφα ράουλα χρησιμοποιούνται βοηθητικά για



Σχηματική παράσταση ενός ελάστρου (πλάγια όψη)

ΕΙΚΟΝΑ 1. 9

τον έλεγχο του πλάτους του τελικού προϊόντος.

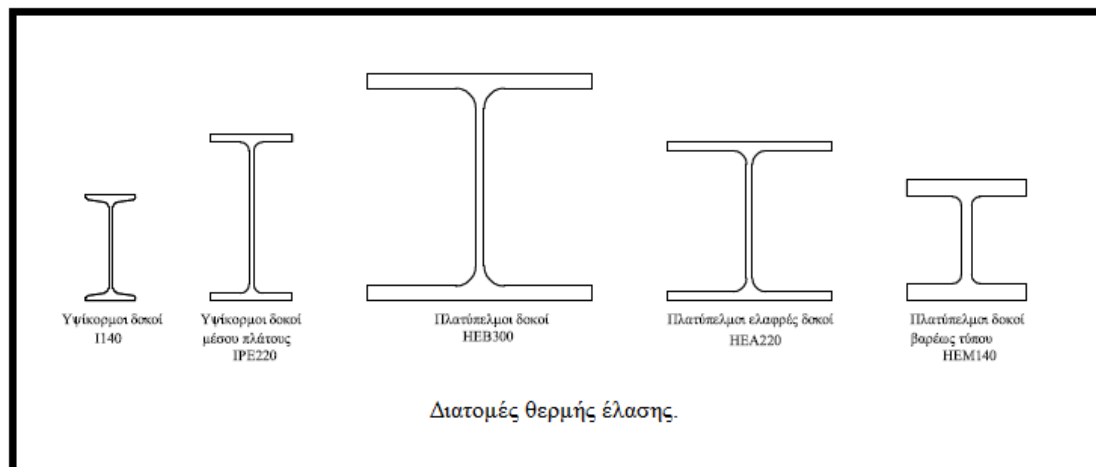
Τα έλαστρα, ανάλογα με την εργασία που έχουν να επιτελέσουν και τα φορτία που δέχονται κατασκευάζονται σε ανάλογες διατάξεις. Οι διάφορες μορφές ελάστρων είναι οι ακόλουθες:

- Έλαστρο δύο ραούλων (2-high mill): Πρόκειται για την απλούστερη κατασκευή ελάστρου.
- Έλαστρο δύο ραούλων με αναστρεφόμενη κίνηση (2-high reversing mill): Εξασφαλίζει περαιτέρω μείωση του πάχους με αναστροφή της περιστροφής των ραούλων, αποφεύγοντας έτσι την μεταφορά του τεμαχίου σε άλλη θέση (εξοικονόμηση χρόνου κατεργασίας).

- Έλαστρο τριών ραούλων (3-high mill): Στρέφονται τα άνω και κάτω ράουλα ενώ των μεσαίο στρέφεται μέσω της αναπτυσσόμενης τριβής. Πρόκειται για εναλλακτική λύση της προηγούμενης μορφής.
- Έλαστρο τεσσάρων ραούλων (4-high mill): Τα ενεργά ράουλα είναι μικρότερης διαμέτρου και στηρίζονται σε δύο ράουλα αντιστήριξης μεγαλύτερης διαμέτρου για

να αποφευχθεί ο κίνδυνος κάμψης τους από τα φορτία έλασης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και μεγαλύτερη μείωση πάχους ανά πάσο.

• Έλαστρο τύπου cluster (cluster mill), στο οποίο κάθε ενεργό ράουλο στηρίζεται από δύο ράουλα αντιστήριξης και κάθε ράουλο αντιστήριξης από δύο άλλα μεγαλύτερης διαμέτρου. Παραλλαγή του τύπου αυτού είναι το έλαστρο Sendzimir. Τα έλαστρα αυτά χρησιμοποιούνται για την κατεργασία πολύ λεπτών ελασμάτων (foils). [5]



ΕΙΚΟΝΑ 1. 9

1.3.2 ΔΙΕΛΑΣΗ

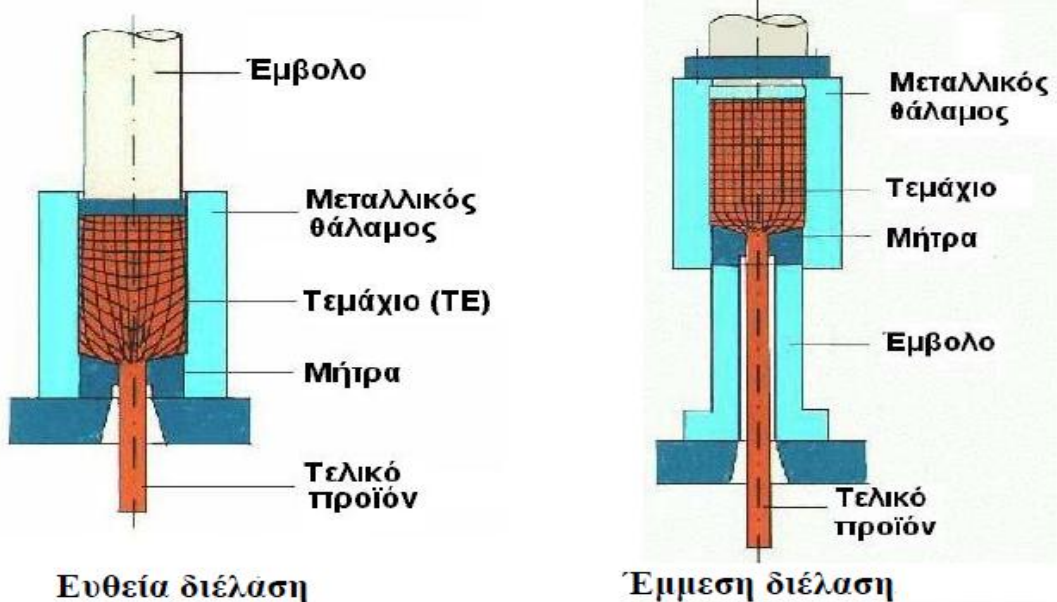
Διέλαση (αγγλ., extrusion) είναι η τεχνική μορφοποίησης κατά την οποία το τεμάχιο συμπιέζεται μέσω ενός εμβόλου μέσα σε μεταλλικό θάλαμο, στο άλλο άκρο του οποίου ευρίσκεται κατάλληλα διαμορφωμένη μήτρα, και αναγκάζεται να εξέλθει από το άνοιγμα της μήτρας αποδίδοντας προϊόν με μικρότερη διατομή και μεγαλύτερο μήκος. Κατά συνέπεια, το εργαλείο διέλασης περιλαμβάνει : το μεταλλικό θάλαμο, τη μήτρα, το έμβολο και το συμπληρωματικό εξοπλισμό (δακτυλίους συγκράτησης κλπ.). Η διέλαση χρησιμοποιείται πολύ στην παραγωγή μορφοράβδων (προφίλ) αλουμινίου, χαλκοσωλήνων, κ.λπ. Με διέλαση χρησιμοποιώντας ως λιπαντικό τηγμένο γυαλί, παράγονται και χαλύβδινοι σωλήνες χωρίς ραφή (συσκευή Mannesmann). Η διέλαση είναι γνωστή από τον 18^ο αιώνα και εκτελείται είτε ως θερμή είτε ως ψυχρή κατεργασία. Η χρησιμοποιούμενη εργαλειομηχανή (EM) για την εκτέλεση της διέλασης είναι πρέσα, συνήθως υδραυλική και οριζόντια για τη θερμή διέλαση και κατακόρυφη για τη ψυχρή διέλαση. Οι ταχύτητες εμβόλου φθάνουν μέχρι 0.5 m/s. Οι μικρότερες ταχύτητες προτιμούνται για την κατεργασία μαλακών υλικών (Al, Mg, Cu), ενώ οι μεγαλύτερες τιμές για τα σκληρότερα υλικά (χάλυβες, πυρίμαχα κράματα).

Ανάλογα με τη διαδικασία εκτέλεσης της διέλασης, διακρίνονται τα ακόλουθα είδη:

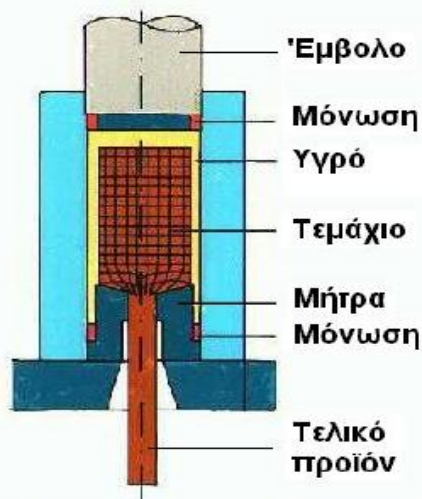
1. Άμεση διέλαση (Direct extrusion)

- Είναι η κλασσική περίπτωση διέλασης.
- Η ροή του υλικού έχει την κατεύθυνση της κίνησης του εμβόλου.
- Το τεμάχιο «γλιστρά» στα τοιχώματα του μεταλλικού θαλάμου κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, αναπτύσσοντας ισχυρές δυνάμεις τριβής.

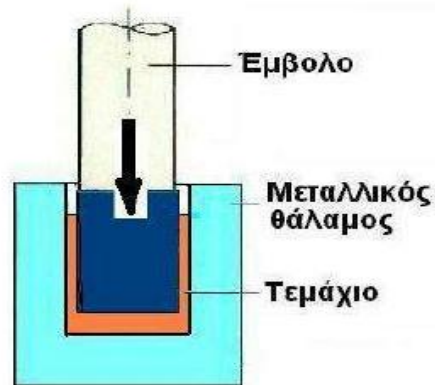
2. Έμμεση διέλαση (Indirect extrusion)
 - Στο μέτωπο του εμβόλου έχει ενσωματωθεί η μήτρα.
 - Με την κίνηση του εμβόλου η μήτρα κινείται ως προς το τεμάχιο, ενώ το τελευταίο παραμένει ακίνητο μέσα στο θάλαμο. Το τελικό προϊόν εξέρχεται από κεντρική οπή στον άξονα του εμβόλου.
 - Η ροή του υλικού έχει αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της κίνησης του εμβόλου.
 - Οι τριβές στη διεπιφάνεια τεμαχίου/θαλάμου είναι αμελητέες.
3. Υδροστατική διέλαση (Hydrostatic extrusion)
 - Ο μεταλλικός θάλαμος πληρούται με υγρό, το οποίο συμπιέζεται από το έμβολο. Η αναπτυσσόμενη υδραυλική πίεση μεταφέρεται ομοιόμορφα στη μπιγέτα, η οποία και διελάσσεται.
 - Δεν υπάρχει καθόλου τριβή του τεμαχίου με τα τοιχώματα του θαλάμου.
 - Προσοχή πρέπει να δίνεται στη στεγανότητα της εγκατάστασης.
4. Κρουστική διέλαση (Impact extrusion)
 - Πρόκειται για μια μορφή έμμεσης διέλαση και εκτελείται με μεγάλη ταχύτητα εμβόλου.
 - Ο θάλαμος έχει αντικατασταθεί από αβαθή κοιλότητα και το υλικό αναγκάζεται να περιρρέει το περίγραμμα του εμβόλου.
 - Εφαρμόζεται σε σχετικά μαλακά υλικά (Pb, Zn, Al, Cu) για την παραγωγή μικρού μήκους κυathίων. [6]



ΕΙΚΟΝΑ 1. 10



Υδροστατική διέλαση



Κρουστική διέλαση

ΕΙΚΟΝΑ 1. 11

1.3.3 ΟΛΚΗ

Ολκή (αγγλ., drawing) είναι η τεχνική μορφοποίησης μετάλλου ή κράματος με ελκυσμό (τράβηγμα). Το μέταλλο ή το κράμα είναι αναγκασμένο να περάσει μέσα από μια μήτρα (οπή) μικρής διαμέτρου και έτσι μειώνεται πολύ το πάχος του. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται πολύ στη συρματοποιία (παραγωγή συρμάτων). [7]

1.3.4 ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΗ

Επιμετάλλωση είναι η επικάλυψη της επιφάνειας ενός μεταλλικού αντικειμένου με κάποιο άλλο μέταλλο για περισσότερη αντοχή στη διάβρωση ή και για λόγους αισθητικούς. Η πιο διαδεδομένη τεχνική επιμετάλλωσης είναι ο γαλβανισμός, δηλ. η επικάλυψη του χάλυβα με ψευδάργυρο, για την αποφυγή της ταχείας διάβρωσης του υποκείμενου χάλυβα. Ο γαλβανισμός μπορεί να γίνει με εμβάπτιση του χάλυβα σε λουτρό τηγμένου ψευδαργύρου (θερμός γαλβανισμός) ή με ηλεκτρόλυση σε υδατικό διάλυμα ψευδαργύρου (ηλεκτρογαλβανισμός). Ο θερμός γαλβανισμός σε τήγμα ψευδαργύρου δίνει πιο παχύ στρώμα επικάλυψης και καλύτερη προστασία από τη διάβρωση.

Μια άλλη παλιά τεχνική επιμετάλλωσης είναι και το γάνωμα, δηλ. η επικάλυψη της εσωτερικής επιφάνειας χάλκινων σκευών με κασσίτερο (καλάι) για λόγους αισθητικής και υγιεινής. Άλλες τεχνικές επιμετάλλωσης είναι η επινικέλωση, η επιχρωμίωση, η επαργύρωση, η επιχρυσωση κ.λπ. Συχνά το ίδιο αντικείμενο επιμεταλλώνεται με από περισσότερα από ένα μέταλλα έτσι ώστε τα στρώματα της επιμετάλλωσης να έχουν μεγαλύτερη αντοχή. Π.χ. ο χαλκός πρώτα επινικελώνεται ηλεκτρολυτικά, επειδή το νικέλιο κολλάει καλύτερα στο χαλκό, και κατόπιν επιχρωμιώνεται (πάλι ηλεκτρολυτικά) επειδή το χρώμιο δίνει πιο λεία επιφάνεια από το νικέλιο. [7]

1.4 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ

Η χαλυβουργία είχε ενεργό ρόλο στην ανακύκλωση για περισσότερο από 150 έτη, επειδή είναι και οικονομικά συμφερότερο να κάνει έτσι. Είναι φτηνότερο να ανακυκλώσει το χάλυβα και να το χειριστεί μέσω της διαδικασίας παραγωγής για να διαμορφώσει το «νέο» χάλυβα παρά να εξορύξει στο ορυχείο μέταλλευμα σιδήρου. Ο χάλυβας δεν χάνει οποιοσδήποτε από τις έμφυτες σωματικές ιδιότητές του κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανακύκλωσης, και έχει μειώσει δραστικά την ενέργεια και τις υλικές απαιτήσεις από τον καθαρισμό του. Η ενέργεια που σώζεται με την ανακύκλωση μειώνει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας της βιομηχανίας κατά περίπου 75%. Η ανακύκλωση ενός τόνου του χάλυβα σώζει 1.100 χιλιόγραμμα μέταλλευμα σιδήρου, 630 χιλιόγραμμα άνθρακα, και 55 χιλιόγραμμα ασβεστόλιθος. Τα τελευταία χρόνια, περίπου τρία τέταρτα του χάλυβα που παράγεται ετησίως έχουν ανακυκλωθεί. Εντούτοις, οι αριθμοί είναι πολύ υψηλότεροι για ορισμένους τύπους προϊόντων. Παραδείγματος χάριν, το 2004 και το 2005, 97.5% των ακτίνων δομικού χάλυβα και τα πιάτα ανακυκλώθηκαν. Άλλα στοιχεία κατασκευής χάλυβα όπως οι φραγμοί ενίσχυσης ανακυκλώνονται σε ένα ποσοστό περίπου 65%. Πράγματι, ο δομικός χάλυβας περιέχει χαρακτηριστικά την περίπου 95% ανακυκλωμένη περιεκτικότητα σε χάλυβα, ενώ ο ελαφρύτερος μετρητής, οριζόντια κυλημένος χάλυβας περιέχει το περίπου 30% επαναχρησιμοποιημένο υλικό.

Το μεγαλύτερο μέρος του ανακυκλωμένου χάλυβα λιώνει ηλεκτρικά, με χρησιμοποίηση φούρνων ηλεκτρικών τόξων (για την παραγωγή του low-carbon χάλυβα) ή φούρνων επαγωγής (για την παραγωγή μερικών ιδιαίτερα-αναμιγμένων σιδηρούχων προϊόντων). [8]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] *Ιστορία της Τεχνολογίας: Ατμοκίνηση, Βιομηχανική επανάσταση*. (n.d.). Retrieved from <http://sfrang.com/historia/selida518.htm>.
- [2] *Από τη Βικιπαίδεια, την ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια*. (n.d.). Retrieved from <http://el.wikipedia.org/wiki/Χάλυβας>.
- [3] «*Οξειδοαναγωγή, Θεωρία και Εφαρμογές*». (n.d.). Retrieved from <http://users.sch.gr/marbagana/index.html>.
- [4] Ιωάννης Κ. Βάγιας *Σιδηρές κατασκευές, Ανάλυση και διαστασιολόγηση του ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ*.
- [5] *Uth*. (n.d.). Retrieved from http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/06-Rolling.pdf.
- [6] *Uth*. (n.d.). Retrieved from http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/07-extrusion.pdf.
- [7] *Από τη Βικιπαίδεια, την ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια*. (n.d.). Retrieved from [http://el.wikipedia.org/wiki/Μεταλλοτεχνία_\(μηχανικές_διεργασίες\)](http://el.wikipedia.org/wiki/Μεταλλοτεχνία_(μηχανικές_διεργασίες)).
- [8] *Worldlingo*. (n.d.). Retrieved from http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/Steel#Modern_production_methods (ανακύκλωση).

2.ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

2.1 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Τη τελευταία δεκαετία ο δομικός χάλυβας έχει κυριαρχήσει στο χώρο των κατασκευών. Τα πρώτα κτίρια που κατασκευάστηκαν από δομικό χάλυβα ήταν κτίρια με βιομηχανική χρήση (βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στέγαστρα, αποθήκες). Η κατασκευή ενός κτιρίου από χάλυβα μας δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας κτιρίων με μεγάλα ανοίγματα, χωρίς να υπάρχει ανάγκη από ενδιάμεσες κολώνες. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί περισσότερος εκμεταλλεύσιμος χώρος, ο οποίος εξυπηρετεί κάθε είδους βιομηχανική δραστηριότητα. Επίσης ένα μεταλλικό κτίριο μπορεί να επεκταθεί ανά πάσα στιγμή γρήγορα και απλά ακόμη και να αποσυναρμολογηθεί και να μεταφερθεί. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τρόπου κατασκευής σε συνδυασμό με την ποιότητα κατασκευής ώθησαν τους μελετητές και τους κατασκευαστές να εισαγάγουν τον δομικό χάλυβα και σε κτίρια άλλων χρήσεων (πολυώροφα κτίρια, γέφυρες, σήραγγες, ιστοί τηλεπικοινωνιών, σιλό, υπόγειοι αγωγοί, σταθμοί διοδίων, βιομηχανικά ράφια, κατοικίες)

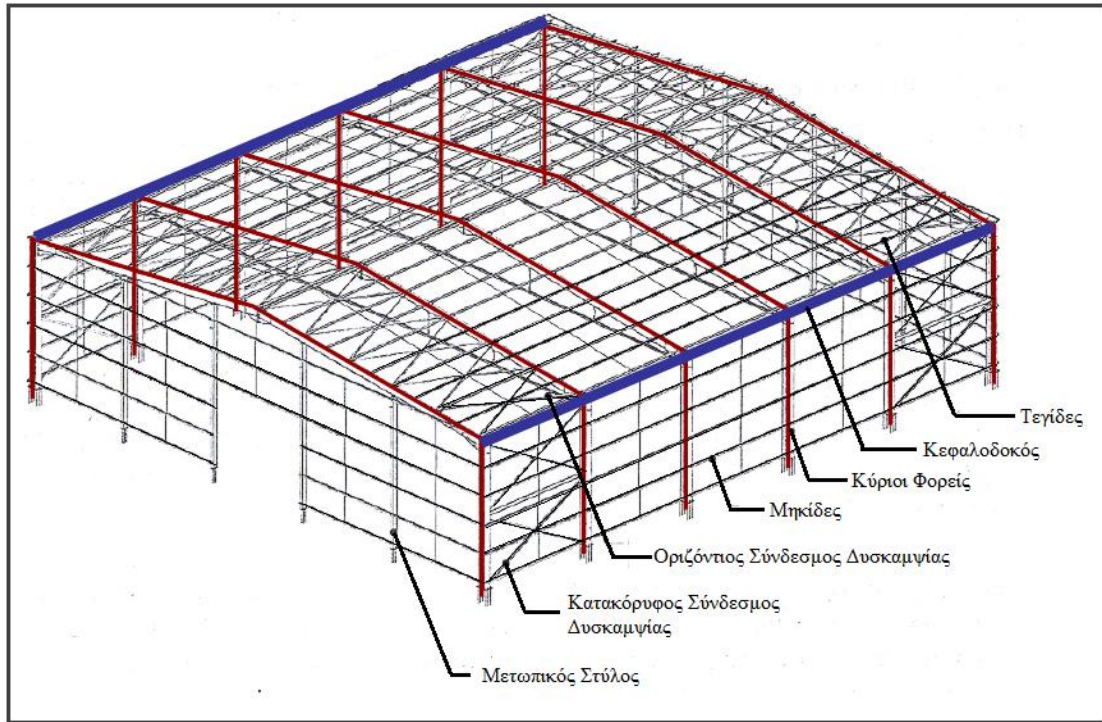
Πλεονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών :

- Μεγάλη αντοχή και δυσκαμψία ως προς το βάρος
- Μείωση των ιδίων βαρών της κατασκευής
- Δυνατότητα ζεύξης μεγάλων ανοιγμάτων
- Απαίτηση μικρότερης και οικονομικότερης θεμελίωσης
- Ολκιμότητα – καλή αντισεισμική συμπεριφορά
- Ταχύτητα ανέγερσης άρα μικρότερος χρόνος παράδοσης.
- Τυποποίηση παραγωγής (τα μέλη του φέροντα οργανισμού είναι προϊόντα βιομηχανικής παραγωγής) –ποιοτικός έλεγχος – εργασία εκτός εργοταξίου
- Δυνατότητα μόρφωσης επιθυμητών διατομών
- Μεγάλο πλήθος διατομών που διατίθενται στην αγορά
- Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του υλικού καθώς είναι ανακυκλώσιμο.
- Δυνατότητα επέκτασης και τροποποίησης υφιστάμενων κατασκευών. Ενδείκνυται για την κατασκευή πολυώροφων κτιρίων χωρίς τη χρήση μεγάλων διατομών και ευνοεί την καθ' ύψος επέκταση, λόγω μικρότερου βάρους.
- Εύκολος εντοπισμός και αποκατάσταση βλαβών
- Φιλικότερη προς το περιβάλλον λύση καθώς δημιουργεί λιγότερα απορρίμματα και απόβλητα.

Μειονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών :

- Κόστος πρώτης ύλης
- Ανάγκη πυροπροστασίας
- Ανάγκη προστασίας από τη διάβρωση
- Ανάγκη συντήρησης
- Ειδικός υπολογισμός συνδέσεων

Απλοποιητικά ο φέροντας οργανισμός ενός βιομηχανικού μεταλλικού κτιρίου ή ενός μεταλλικού υπόστεγου μπορεί να αποτελείται από τους κύριους φορείς, τις κεφαλοδοκούς, τις τεγίδες, τις μηκίδες πλευρικών και μετωπικών όψεων, τους μετωπικούς στύλους, τους οριζόντιους και κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας, τους ελκυστήρες τεγίδων και τους ελκυστήρες μηκίδων πλευρικών όψεων. [1],[3]



ΕΙΚΟΝΑ 2. 1

2.2 ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ [2]



ΕΙΚΟΝΑ 2. 2



EIKONA 2. 3



EIKONA 2. 4



EIKONA 2. 5



EIKONA 2. 6



EIKONA 2. 7



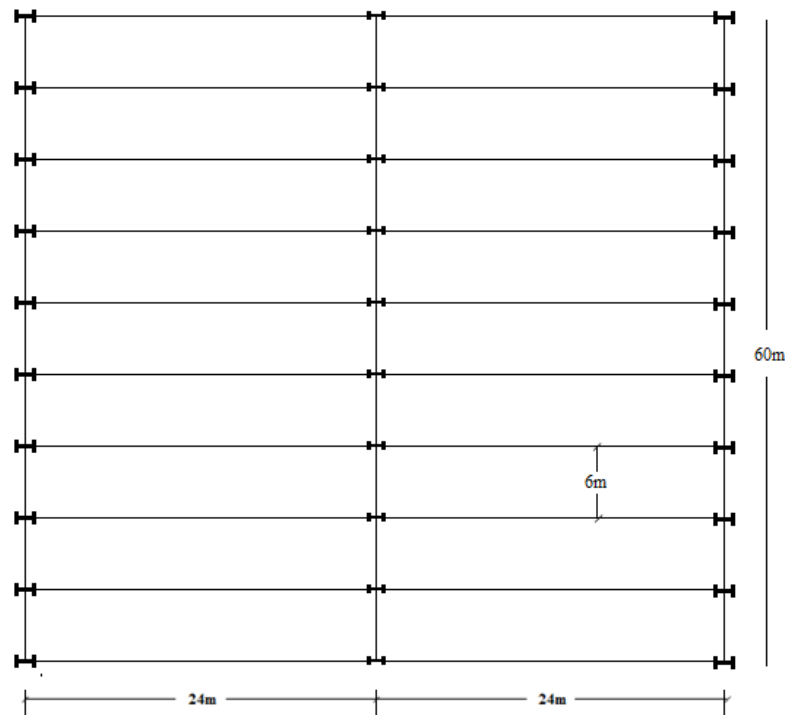
EIKONA 2. 8

2.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

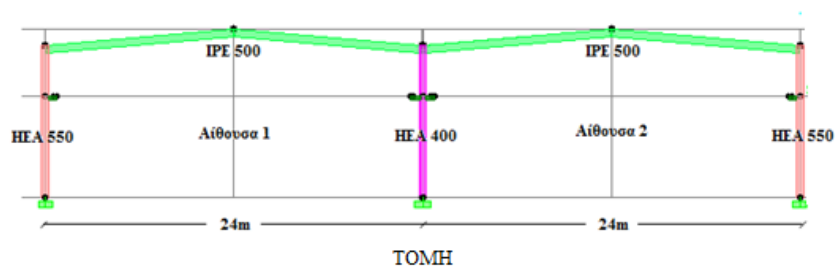
Στην εργασία αυτή μελετάται στατικά μεταλλική κατασκευή που προορίζεται για βιομηχανική χρήση. Συνεπώς, ένας φορέας από χάλυβα θα δώσει τη δυνατότητα δημιουργίας χώρων μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς να παρεμβάλλονται υποστυλώματα, το οποίο ενδείκνυται για τη βιομηχανική διαδικασία.

Η κατασκευή πρέπει να στεγάσει μια επιφάνεια $48\text{m} \times 60\text{m}$, δημιουργώντας δύο αίθουσες μέσα στις οποίες θα λειτουργεί από μια γερανογέφυρα για την εύκολη μεταφορά φορτίων από τη μια άκρη της αίθουσας στην άλλη. Ο σκελετός της κατασκευής συνθέτεται από δέκα πανομοιότυπα διπλά πλαίσια, ανοίγματος 24m το καθένα και διατεταγμένα σε απόσταση 6m το ένα από το άλλο.

Με μια αρχική εκτίμηση τέθηκαν διατομές για τα ακραία υποστυλώματα HEA 550, για τα μεσαία HEA 400 και για τα δικλινή ζυγώματα IPE 500. Για τη δοκό κύλισης τέθηκε ενδεικτικά HEB 500, γιατί οι ελατές πλατύπελμες διατομές μεσαίου μεγέθους προτιμώνται για στήριξη γερανογέφυρας. [3] Οι δοκοί κύλισης αρθρώνονται επί βραχέως προβόλου ανά 6m .



ΚΑΤΟΨΗ
ΕΙΚΟΝΑ 2. 9



ΕΙΚΟΝΑ 2. 10

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]Σιδηρές Κατασκευές 1 – Σημειώσεις διαλέξεων

[2]Google images.

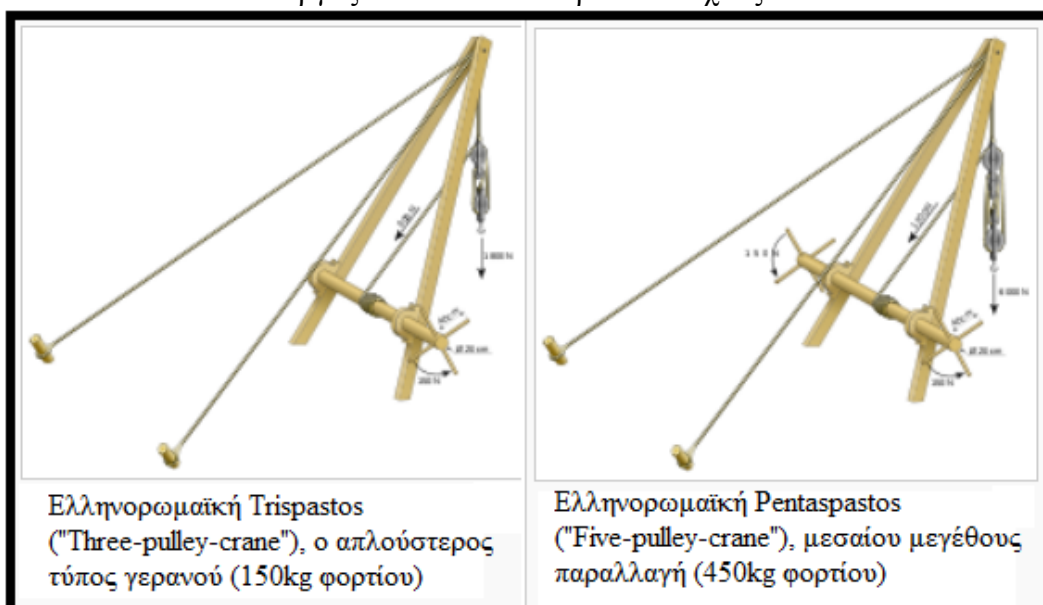
[3] Ι.Βάγιας, Ι.Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης *Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα*.
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.

3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ (ΓΕΡΑΝΟΣ)

Η γερανογέφυρα είναι μια εξέλιξη του γερανού, ο οποίος είναι από τις πρώτες μηχανολογικές εφευρέσεις του ανθρώπου που ευνόησαν την κατασκευή οικοδομημάτων. Η γερανογέφυρα είναι ένας σύγχρονος «γερανός» που χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικά κτίρια και αποθήκες με σκοπό να διευκολύνει στη μεταφορά βαρέων πραγμάτων, τεμαχίων κλπ. από το ένα σημείου του χώρου στο άλλο.

Οι πρώτοι οικοδομικοί γερανοί εφευρέθηκαν από τους αρχαίους Έλληνες και τροφοδοτούνταν ενεργειακά από τους άνδρες ή από τα υποζύγια, όπως είναι τα γαϊδούρια. Οι γερανοί χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ψηλών κτιρίων. Στο Μεσαίωνα οι γερανοί λιμένων εισήχθησαν για να εξυπηρετήσουν στη φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων καθώς και στην κατασκευή τους. Μερικοί γερανοί χτίστηκαν σε πέτρινους πύργους για μεγαλύτερη αντοχή και σταθερότητα. Οι πρώτοι γερανοί είχαν κατασκευαστεί από ξύλο, αλλά με τον ερχομό της βιομηχανικής επανάστασης δημιουργήθηκαν γερανοί από χυτοσίδηρο και χάλυβα. Για πολλούς αιώνες, η δύναμη της κίνησης των μηχανών παρέχεται από την σωματική άσκηση των ανθρώπων ή των ζώων, αν και οι ανελκυστήρες σε νερόμυλους και ανεμόμυλους θα μπορούσε να καθοδηγείται από τις χρησιμοποιούμενες φυσικές δυνάμεις.

Σε αντίθεση με τις σύγχρονες γερανογέφυρες, οι γερανοί του μεσαίωνα μοιάζουν πολύ με τους αντίστοιχους γερανούς της Αρχαίας Ελλάδας και Ρώμης, αφού ήταν κυρίως ικανοί για κάθετη ανύψωση, και δεν χρησιμοποιούνταν για τη μετακίνηση φορτίων σε πολύ μεγάλη απόσταση οριζοντίως. Ως εκ τούτου, η ανυψωτική διαδικασία οργανώθηκε στο χώρο εργασίας με τελείως διαφορετικό τρόπο από ό, τι σήμερα. Στον κατασκευαστικό τομέα, ο γερανός σήκωνε τον ογκόλιθους, είτε από το κάτω μέρος κατευθείαν στη θέση του ή από μια θέση απέναντι από το κέντρο του τοίχου από όπου θα μπορούσε να παραδώσει το μπλοκ για δύο ομάδες που εργάζονται σε κάθε άκρο του τείχους.



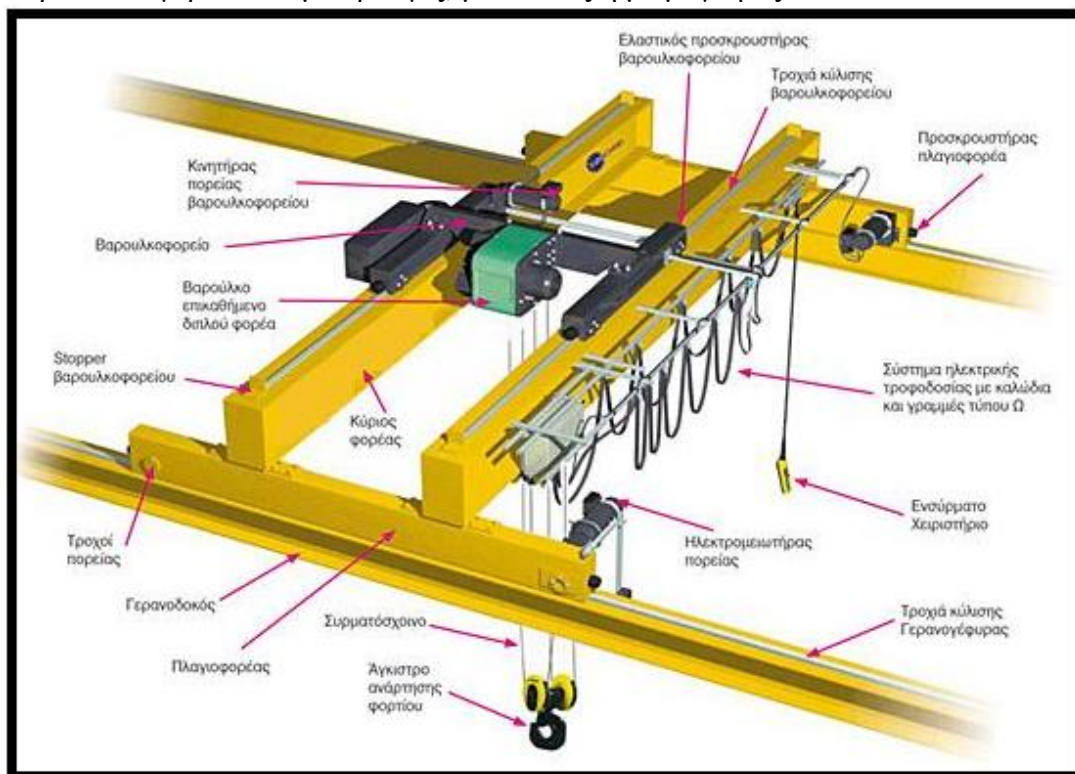
ΣΧΗΜΑ 3.1

Η πρώτη «μηχανική» δύναμη παρέχεται από ατμομηχανές, οι οποίες εισάγονται το 18ο ή 19ο αιώνα και παραμένουν σε χρήση μέχρι και τον 20ο αιώνα. Οι σύγχρονοι γερανοί συνήθως χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσεως ή ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα υδραυλικά συστήματα προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη δυνατότητα ανύψωσης από ό, τι ήταν δυνατόν στο παρελθόν. Γερανοί υπάρχουν σε μια τεράστια ποικιλία μορφών, καθεμία εξ' αυτών προσαρμοσμένη σε μια συγκεκριμένη χρήση. Τα μεγέθη κυμαίνονται από τους μικρούς γερανούς, που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό εργαστηρίων, μέχρι τους μεγαλύτερους και ψηλότερους (πυργογερανούς), που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή υψηλών κτιρίων. [1]

3.2 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Η γερανογέφυρα αποτελεί ένα βιομηχανικό προϊόν με τυποποιημένες διαστάσεις και πάχη ελασμάτων σε σχέση με το άνοιγμα της (δηλαδή, την οριζόντια αξονική απόσταση των τροχιών κύλισης στις οποίες κινείται η γερανογέφυρα) και τη φέρουσα ικανότητα της, ενώ διατίθεται ως σύνολο με το μηχανολογικό της εξοπλισμό. Μια τυπική διάταξη γερανογέφυρας παρουσιάζεται στο σχήμα 2.

Συνοπτικά μια γερανογέφυρα αποτελείται από δύο παράλληλους κύριους φορείς οι οποίοι απολήγουν στους πλαγιοφορείς. Οι τελευταίοι διαθέτουν από δύο τροχούς πορείας (ή τέσσερις τροχούς για μεγάλη ανυψωτική ικανότητα), οι οποίοι επιτρέπουν την κίνηση της γερανογέφυρας επί τροχιών που εδράζονται στις δοκούς κυλίσεως. Επί των κύριων φορέων υπάρχει το βαρουλκοφορείο, το οποίο αποτελείται από το φορείο και το βαρούλκο. Το βαρούλκο είναι αυτό που εκτελεί τις εργασίες ανύψωσης περιλαμβάνοντας το άγκιστρο. Το άγκιστρο είναι η συνηθέστερη μορφή ανάρτησης, ανάλογα όμως με το είδος των μετακινούμενων στοιχείων, το φορτίο μπορεί να συγκρατείται με αρπάγες, με κάδους ή με μαγνήτες. [2]



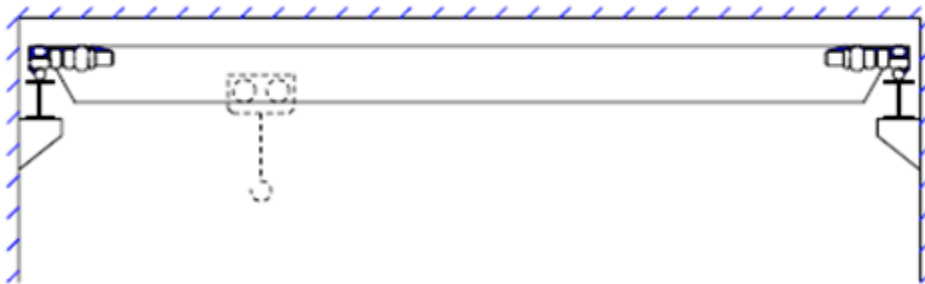
ΣΧΗΜΑ 3.2

Η ύπαρξη γερανογέφυρας στα βιομηχανικά κτίρια και στους αποθηκευτικούς χώρους κρίνεται πολύ χρήσιμη μιας και διευκολύνει σε σημαντικό βαθμό τη μετακίνηση έτοιμων προϊόντων στο εσωτερικό τους.

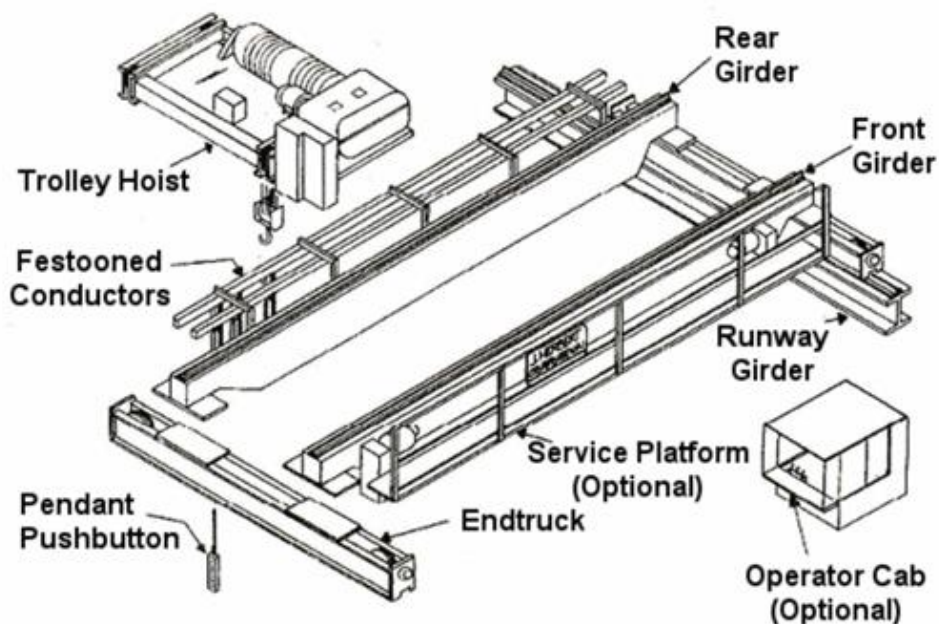
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΟΡΟΙ :

- Αναρτώμενη γερανογέφυρα: Είδος γερανογέφυρας που μετακινείται στο κάτω μέρος του πέλατος της γερανοδοκού το οποίο συνήθως στηρίζεται από την οροφή.
- Ανυψωτική ικανότητα: Το μέγιστο φορτίο που θα κληθεί να ανυψώσει η γερανογέφυρα.
- Βαρούλκο: Το βαρούλκο συγκρατείται πάνω στο φορείο και εκτελεί τις εργασίες ανύψωσης περιλαμβάνοντας άγκιστρο ή εξαρτήματα ανύψωσης. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι βαρούλκων: συρματόσχοινου, αλυσίδας και μιάντα εκπληρώνοντας το καθένα με την σειρά του διαφορετικές απαιτήσεις
- Βοηθητικά φορτία γερανογεφυρών: Όλα τα συγκεκριμένα δυναμικά φορτία εκτός από τα βασικά σχεδιασμένα φορτία στα οποία το κτίριο ασφαλώς αντιστέκεται. Πρακτικά είναι φορτία που επιβάλλονται από τα συστήματα γερανών, το χειρισμό υλικών και τις επιρροές των φορτίων
- Βαρουλκοφορείο: Η μονάδα αποτελείται από το φορείο και το βαρούλκο. Σε περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη συνύπαρξη δύο βαρούλκων σε μία γερανογέφυρα τότε μπορεί να τοποθετηθούν στο ίδιο ή σε διαφορετικά φορεία
- Βοηθητική δοκός γερανών: δοκός τοποθετημένη παράλληλα στην κύρια δοκό για την υποστήριξη της πλατφόρμας, της βάσης μηχανών, της καμπίνας χειριστή, του κέντρου ελέγχου, κ.λπ. για να μειώσει τις δυνάμεις στρέψης οι οποίες θα ενεργούσαν στην κύρια δοκό γερανών
- Βοηθητικό βαρούλκο: Μία συμπληρωματική μονάδα ανύψωσης με σκοπό συνήθως να χειριστεί τα ελαφρύτερα φορτία με μία υψηλότερη ταχύτητα από το κύριο σύστημα.
- Διαδρομή γερανογέφυρας: Η διανυόμενη απόσταση στις τροχιές κύλισης.
- Διπλού φορέα γερανογέφυρα: Η γερανογέφυρα αποτελείται από δύο πλαγιοφορείς, από δύο φορείς γερανογέφυρας και το φορείο του βαρούλκου. Το φορείο μετακινείται στην πάνω πλευρά των φορέων της γερανογέφυρας.
- Επαγωγικό φρένο: Μία μέθοδος ελέγχου του κινητήρα μέσω της επαγωγής.
- Επικαθήμενη γερανογέφυρα: Η γερανογέφυρα κινείται στο επάνω μέρος των σιδηροτροχιών κύλισης που εδράζονται στις γερανοδοκούς οι οποίες υποστηρίζονται από τις βασικές κολώνες του κτιρίου είτε από ξεχωριστές σχεδιασμένες για αυτό τον σκοπό.
- Μονού φορέα γερανογέφυρα: Η γερανογέφυρα αποτελείται από δύο πλαγιοφορείς, μονό φορέα γερανογέφυρας και το φορείο του βαρούλκου.
- Νεκρά φορτία γερανογεφυρών: Τα φορτία σε μία δομή που παραμένουν σε μία σταθερή θέση σχετικά με τη δομή. Σε μία γερανογέφυρα τέτοια φορτία περιλαμβάνουν τις δοκούς, τους διαδρόμους επίσκεψης, τις μονάδες κίνησης, κ.λπ.

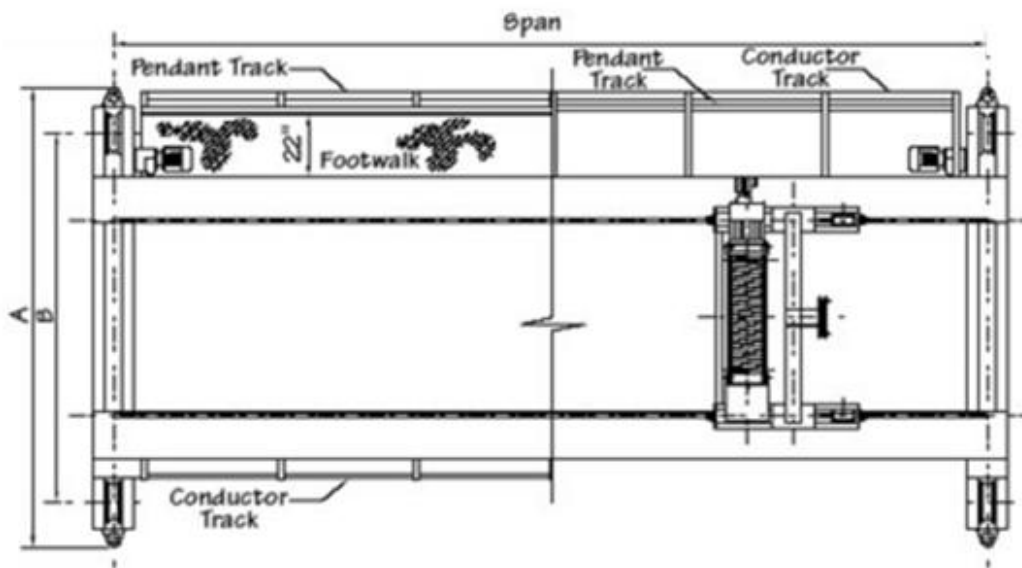
- Πλαγιοφορείς: Τοποθετημένοι εκατέρωθεν σε κάθε πλευρά ανοίγματος περιέχουν τους τροχούς οι οποίοι κυλίνουν πάνω στις σιδηροτροχιές κύλισης και μετακινούν την γερανογέφυρα κατά μήκος.
- Ταχύτητες γερανογέφυρας (φορείου και βαρούλκου): βαθμός στον οποίο η γερανογέφυρα ή το φορείο μετακινούνται ή το βαρούλκο ανυψώνει συνήθως σε μονάδα μέτρησης m/min.
- Τύμπανο: Το κυλινδρικό μέλος γύρω από το οποίο τα συρματόσχοινα τυλίγονται για την ανύψωση και το χαμήλωμα του φορτίου.
- Ύψος ανυψώσεως αγκίστρου: Η απαιτούμενη απόσταση από το δάπεδο έως το άνω μέρος του άγκιστρου.
- Φρένο: Μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την καθυστέρηση ή την παύση της κίνησης με τα μέσα τριβής ή δύναμης.
- Φορείο: Το φορείο μεταφέρει το βαρούλκο κατά μήκος της γερανογέφυρας καλύπτοντας το πλάτος του χώρου.
- Φορέας γερανογέφυρας: Η οριζόντια δοκός η οποία περιλαμβάνει τους πλαγιοφορείς και το φορείο του βαρούλκου.



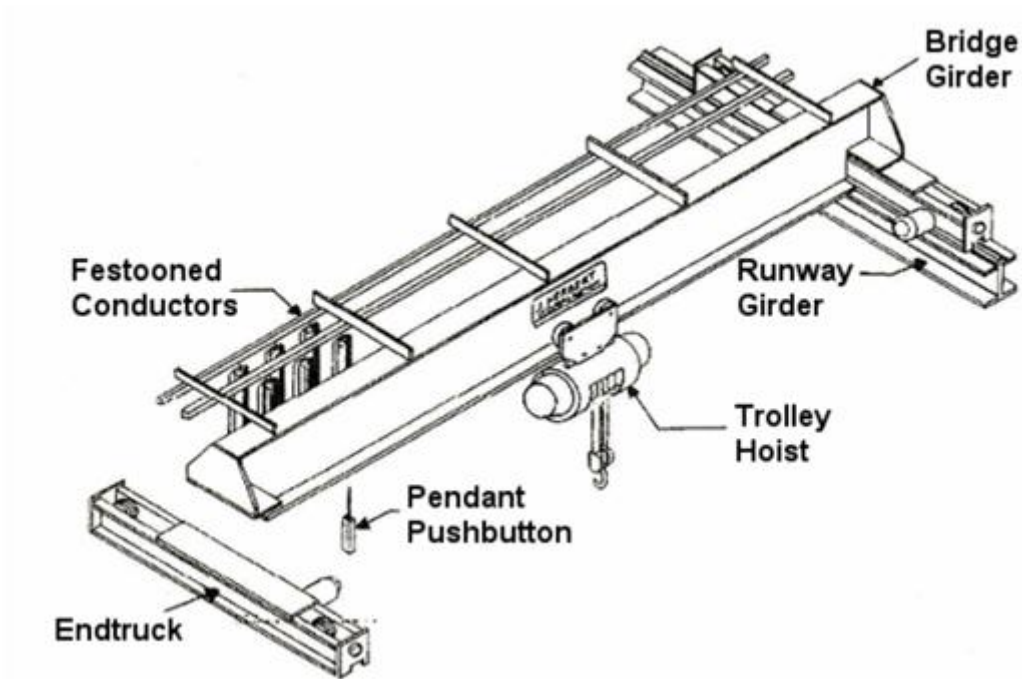
ΣΧΗΜΑ 3.3



ΣΧΗΜΑ 3.4



ΣXHMA 3.5



ΣXHMA 3.6

3.3 ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

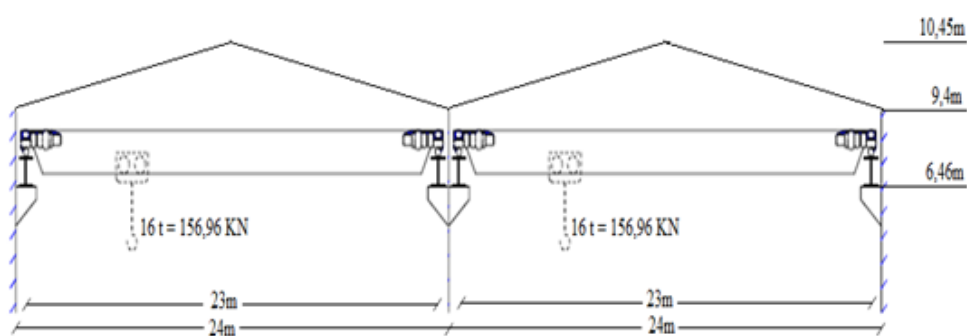
3.3.1 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η μεταλλική κατασκευή της εργασίας θα φέρει δύο ίδιες γερανογέφυρες (μία σε κάθε άνοιγμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7), ανυψωτικής ικανότητας 16t η καθεμιά και μήκους 23m.

Από πίνακα 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 16t και ανοίγματος $S \approx 23\text{m}$:

- η απόσταση ακραίας θέσης αγκίστρου ανάρτησης από τον άξονα της δοκού κύλισης είναι 900 mm
- η απόσταση μεταξύ των δύο τροχών σε κάθε πλευρά είναι 3,5 m
- οι κινητήριοι τροχοί έχουν ανεξάρτητη κίνηση ο ένας από τον άλλο και οι άξονες όλων των τροχών είναι σταθερά συνδεδεμένοι επ' αυτών (σύστημα IFF)
- οι τροχοί κυλίνουν επί τροχιάς από συμπαγή ορθογωνική διατομή 50 x 30 mm
- η ταχύτητα ανύψωσης του αναρτημένου φορτίου είναι 8m/min.
- για γερανογέφυρες εργαστηρίου (workshop cranes) η κατηγορία ανύψωσης είναι HC2 και η κατηγορία κόπωσης S3 (Annex B, Eurocode 1 – Πίνακας 3.1)

Η γερανογέφυρα από το ίδιο το βάρος της καθώς και από τη λειτουργία της μεταφέρει κατακόρυφα και οριζόντια φορτία στις δοκούς κύλισης, τα οποία εν συνεχεία μεταφέρονται στο έδαφος μέσω των υποστυλωμάτων αλλά και άλλων στοιχείων του φέροντος οργανισμού. [2]



ΣΧΗΜΑ 3.7

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Γερανογεφυρών											
H	S	g	a ₁	a ₂	e ₁	L	d ₁	t	x	b	
m	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
12,5 t	4	14	-150	900	900	2500	3150	400	1400	1385	200
	20	14	-150	900	900	3150	3800	400	1400	1385	200
	25	14	-150	1000	900	4000	4650	400	2240	1385	200
	30	14	-250	1100	900	4560	5350	500	2800	1485	250
	6	14	50	900	900	2500	3150	400	1400	1500	200
	20	14	50	900	900	3150	3800	400	1400	1500	200
	25	14	50	1000	900	4000	4650	400	2240	1500	200
	30	14	-50	1100	900	4560	5350	500	2800	1600	250
16,0 t	6	11	50	900	900	2500	3150	400	1400	1470	200
	25	25	-50	1000	900	4000	4790	500	2240	1600	250
	30	25	-50	1100	900	4560	5350	500	2800	1600	250
20,0 t	6	25	-50	1000	900	4000	4790	500	2240	1600	250
	30	25	-50	1100	900	4560	5350	500	2800	1600	250

ΠΙΝΑΚΑ 3. 1

Στο πίνακα 3.1 που είναι απόσπασμα από το πίνακα 7.1 (του βιβλίου Σχεδιασμός Δομικών έργων από Χάλυβα των Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης) φαίνονται ενδεικτικά για διάφορες τιμές του ανυψούμενου φορτίου (σε t) και για διάφορα ανοίγματα S (σε m) της γερανογέφυρας τα γεωμετρικά στοιχεία που παρέχει ένας κατασκευαστής γερανογεφυρών. Όπου a είναι η ακραία θέση του αγκίστρου, L το μήκος του φορείου, e η απόσταση των τροχών, g υψομετρική διαφορά μεταξύ ανώτερης στάθμης αγκίστρου και ανώτερης στάθμης τροχιάς, x το ελάχιστο απαιτούμενο καθαρό ύψος της άνω στάθμης της τροχιάς και b η ελάχιστη απαιτούμενη καθαρή διάσταση πλευρικά.

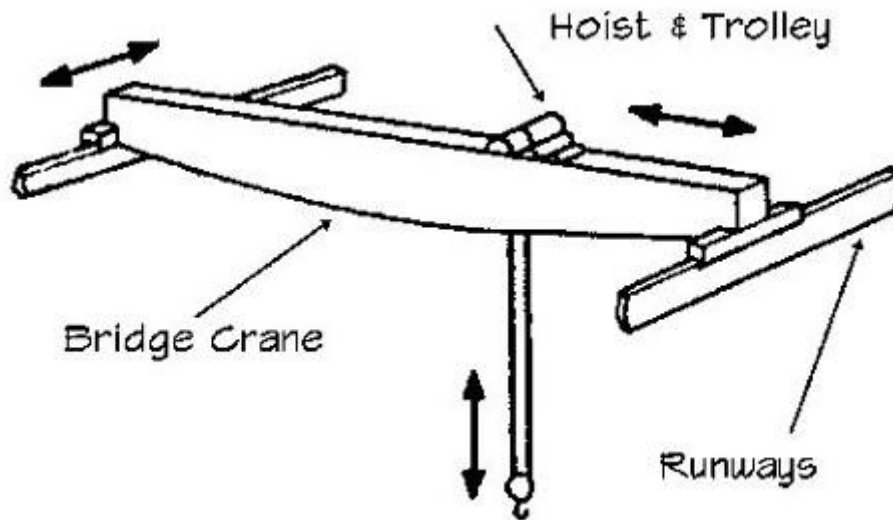
Η ανώτερη στάθμη αγκίστρου είναι βασικό λειτουργικό δεδομένο για τη μελετώμενη κατασκευή, η επιθυμητή δε τιμή της εξαρτάται από το μέγεθος των διακινούμενων προϊόντων και τα αρχιτεκτονικά δεδομένα. Από τη στάθμη αγκίστρου προκύπτει το απαιτούμενο εσωτερικά καθαρό ύψος του κτιρίου και κατ' επέκταση το συνολικό ύψος του. [2]

Annex B (informative)
Guidance for crane classification for fatigue

Item	Type of crane	Hoisting class	S-classes
1	Hand-operated cranes	HC 1	S0, S1
2	Assembly cranes	HC1, HC2	S0, S1
3	Powerhouse cranes	HC1	S1, S2
4	Storage cranes - with intermittent operation	HC2	S4
5	Storage cranes, spreader bar cranes, scrap yard cranes -with continuous operation	HC3, HC4	S6 ,S7
6	Workshop cranes	HC2,HC3	S3,S4
7	Overhead travelling cranes, ram cranes - with grab or magnet operation	HC3, HC4	S6, S7
8	Casting cranes	HC2, HC3	S6, S7
9	Soaking pit cranes	HC3, HC4	S7, S8
10	Stripper cranes, charging cranes	HC4	S8, S9
11	Forging cranes	HC4	S6, S7
12	Transporter bridges, semi-portals cranes, portal cranes with trolley or slewing crane - with hook operation	HC2	S4, S5
13	Transporter bridges, semi-portals cranes, portal cranes with trolley or slewing crane - with grab or magnet operation	HC3, HC4	S6, S7
14	Travelling belt bridge with fixed or sliding belt(s)	HC1	S3, S4
15	Dockyard cranes, slipway cranes, fitting-out cranes - with hook operation	HC2	S3, S4
16	Wharf cranes, slewing, floating cranes, level luffing slewing - with hook operation	HC2	S4, S5
17	Wharf cranes, slewing, floating cranes, level luffing slewing - with grab or magnet operation	HC3, HC4	S6, S7
18	Heavy duty floating cranes, gantry cranes	HC1	S1, S2
19	Shipboard cargo cranes - with hook operation	HC2	S3, S4
20	Shipboard cargo cranes - with grab or magnet operation	HC3, HC4	S4, S5
21	Tower slewing cranes for the construction industry	HC1	S2, S3
22	Erection cranes, derrick cranes - with hook operation	HC1, HC2	S1, S2
23	Rail mounted slewing cranes - with hook operation	HC2	S3, S4
24	Rail mounted slewing cranes - with grab or magnet operation	HC3, HC4	S4, S5
25	Railway cranes authorised on trains	HC2	S4
26	Truck cranes, mobile cranes - with hook operation	HC2	S3, S4
27	Truck cranes, mobile cranes - with grab or magnet operation	HC3, HC4	S4, S5
28	Heavy duty truck cranes, heavy duty mobile cranes	HC1	S1, S2

PIINAKA 3.2

3.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ



ΣΧΗΜΑ 3.8

Η γερανογέφυρα έχει ανυψωτική ικανότητα 16 t και άνοιγμα 23 m :

$$1t = 9,81 \text{ KN} \rightarrow 16 t = 156,96 \text{ KN}$$

Οι ολικές αντιδράσεις επί των τροχιών ως αποτέλεσμα:

- 1) του ιδίου βάρους της γερανογέφυρας Q_c
- 2) του ανυψούμενου φορτίου $Q_{r,nom} = 156,96 \text{ KN}$
- 3) του βάρους του βαρουλκοφορείου $G_c = 10 \text{ KN}$

λαμβάνονται από τον πίνακα 3.3:

$$\max = 11,5 \text{ t. / ανά τροχό} , \min = 2,9 \text{ t. / ανά τροχό}$$

Άρα :

$$Q_{ολικό} = 2 \times (11,5 + 2,9) = 28,8 \text{ t} = 282,5 \text{ KN}$$

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

$$Q_c = 282,5 - (10 + 156,96) = 115,54 \text{ KN}$$

		Μέγιστες και ελάχιστες αντιδράσεις γερανογέφυρας επί των τροχών της						
		6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m
2,0 t	max	1450	1550	1600	1750	1900	2000	2150
	min	450	500	500	600	750	800	950
3,2 t	max	2050	2200	2300	2400	2550	2650	2850
	min	550	550	550	650	750	850	1000

4,0 t	max	2450	2550	2700	2800	3000	3150	3350
	min	600	600	650	650	800	900	1100
5,0 t	max	2900	3100	3250	3400	3550	3750	3950
	min	650	650	700	750	850	1000	1200
6,3 t	max	3550	3750	3900	4100	4250	4450	4700
	min	750	700	750	850	950	1100	1300
8,0 t	max	4600	4850	5050	5250	5450	5700	6050
	min	950	900	950	1000	1150	1300	1650
10,0 t	max	5550	5850	6100	6300	6600	6850	7150
	min	1100	1050	1050	1150	1350	1500	1750
12,5 t	max	6500	6900	7200	7500	7800	8100	8400
	min	1500	1400	1350	1450	1600	1750	1950
16,0 t	max	8350	8800	9200	9700	9900	10350	10600
	min	1850	1600	1600	1800	1900	2050	2250
20,0 t	max	10300	10850	11300	11700	12000	12350	12750
	min	2350	2100	2050	2050	2150	2300	2550
25,0 t	max	11900	12900	13600	14150	14600	15150	15550
	min	3950	3350	3050	2950	2950	3100	3250
		20 m	22 m	24 m	26 m	28 m	30 m	
2,0 t	max	2250	2950	3050	3350	3600	3900	
	min	1050	1700	1850	2100	2400	2300	
3,2 t	max	3100	3600	3900	4150	4300	4600	
	min	1250	1750	2000	2250	2400	2700	
4,0 t	max	3550	4050	4300	4600	4850	5150	
	min	1300	1750	2000	2250	2550	2800	
5,0 t	max	4150	4650	4850	5200	5400	5750	

	min	1350	1850	2000	2400	2550	2900
6,3 t	max	4900	5350	5600	5900	6150	6450
	min	1500	1900	2150	2400	2650	2900
8,0 t	max	6300	6550	6800	7100	7500	7800
	min	1800	2000	2250	2550	2900	3200
10,0 t	max	7450	7650	7950	8350	8650	8950
	min	2000	2150	2400	2750	3050	3350
12,5 t	max	8650	9000	9300	9700	10100	10550
	min	2150	2450	2700	3000	3400	3850
16,0 t	max	11000	11300	11700	12150	12600	13000
	min	2550	2750	3100	3500	3900	4250
20,0 t	max	13150	13550	14100	14400	15250	15550
	min	2850	3200	3650	3900	4650	4950
25,0 t	max	16000	16550	16950			
	min	3500	3900	4150			

ΠΙΝΑΚΑ 3. 3

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Από τη Βικιπαίδεια, την ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια. (n.d.). Retrieved from [http://en.wikipedia.org/wiki/Crane_\(machine\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine)).

[2] Ι.Βάγιας, Ι.Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης *Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα*. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.

[3] Annex B, Eurocode 1.

Google images.

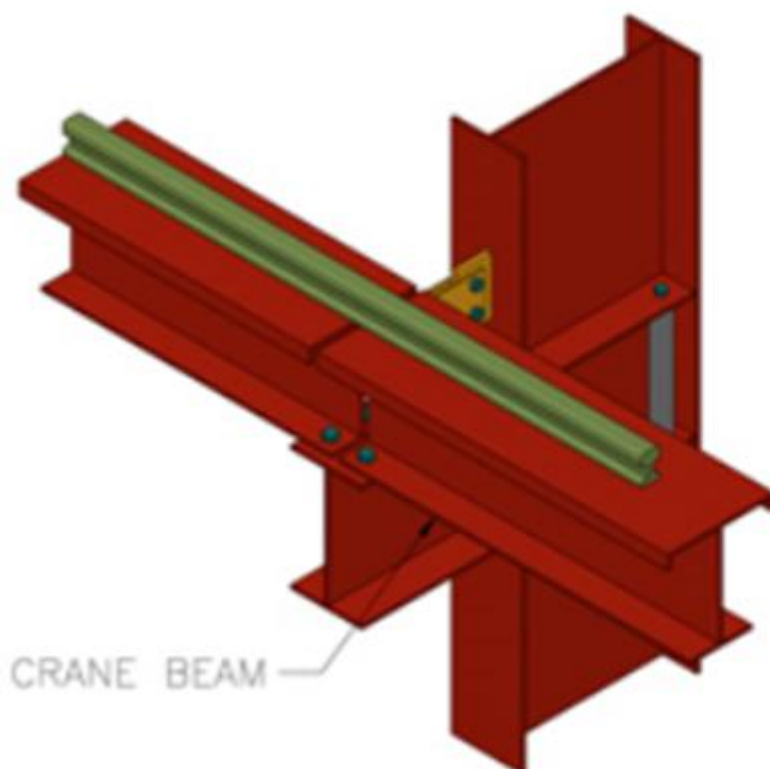
4.ΔΟΚΟΣ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

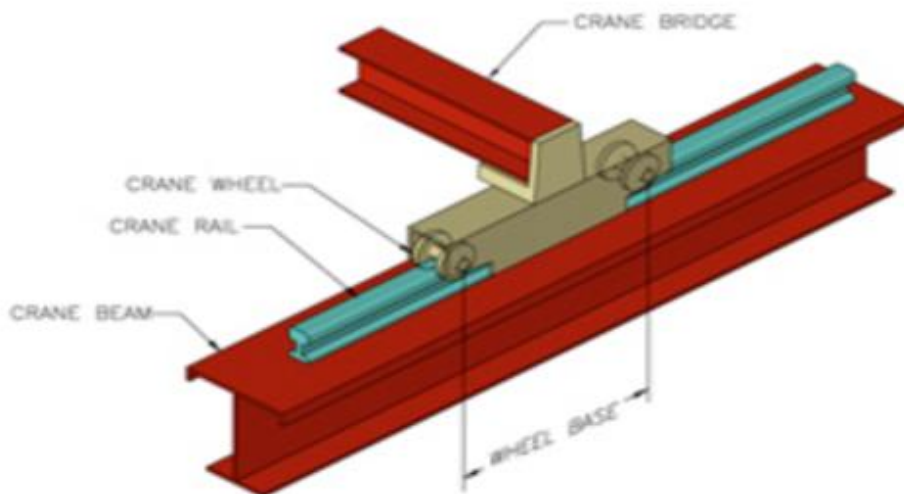
Σε αντίθεση με τις γερανογέφυρες που είναι κατά βάση μηχανολογικό αντικείμενο, οι δοκοί πάνω στις οποίες κυλίνουν οι γερανογέφυρες είναι αντικείμενο της στατικής μελέτης του κτιρίου. Οι ακόλουθες εσωτερικές δυνάμεις και ροπές που οφείλονται στα φορτία της γερανογέφυρας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό των δοκών κύλισης:

- διαξονική κάμψη οφειλόμενη στις κατακόρυφες και τις πλευρικά οριζόντιες δράσεις.
- αξονική θλίψη ή εφελκυσμός οφειλόμενη στις κατά μήκος οριζόντιες δράσεις;
- στρέψη οφειλόμενη στην εκκεντρότητα των πλευρικών οριζόντιων δράσεων ως προς το κέντρο διάτμησης της δοκού.
- κατακόρυφες και οριζόντιες τέμνουσες δυνάμεις οφειλόμενες στις κατακόρυφες και πλευρικά οριζόντιες δράσεις.

Πάνω στη δοκό κύλισης εδράζεται η τροχιά κύλισης επί της οποίας κυλίνουν οι τροχοί της γερανογέφυρας, οι τοπικές επιρροές οι οφειλόμενες στα φορτία τροχών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. [1]



ΕΙΚΟΝΑ 4. 1



ΕΙΚΟΝΑ 4. 2

4.2 ΔΟΚΟΣ ΚΥΛΙΣΕΩΣ ΤΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Οι δοκοί κύλισης κατασκευάζονται συνήθως ως αμφιέριστα στοιχεία, μεταξύ δύο διαδοχικών κύριων φορέων, ή ως συνεχείς δοκοί επί δύο ίσων ανοιγμάτων. Στην πρώτη περίπτωση η δοκός κύλισης διευκολύνει την ανέγερση και η τοποθέτηση της σταθεροποιεί κάθε νεοαναγειρόμενο πλαίσιο. Στη δεύτερη περίπτωση μειώνονται οι παραμορφώσεις, κρίσιμες συνήθως για τη διαστασιολόγηση και τα δυσμενή μεγέθη παραμορφώσεως προκύπτουν όταν και τα δύο φορτία από τους τροχούς της γερανογέφυρας βρίσκονται στο ίδιο άνοιγμα ενώ το άλλο παραμένει αφόρτιστο.

Οι διατομές των δοκών κύλισης είναι ελατές ή συγκολλητές. Οι ελατές διατομές είναι πλατύπελμες HEA, HEB, HEM λόγω της μεγαλύτερης αντοχής και δυσκαμψίας τους περί τον ασθενή άξονα, που απαιτείται για την παραλαβή των πλευρικών φορτίων. Οι ελατές διατομές προτιμώνται για γερανογέφυρες μικρής ανυψωτικής ικανότητας, όταν εξασφαλίζεται η επάρκεια με πλατύπελμες διατομές μεσαίου μεγέθους (ενδεικτικά μέχρι HEB 500). Σε αντίθετη περίπτωση προτιμώνται συγκολλητές διατομές, οι οποίες έχουν μικρότερο βάρος αλλά επί πλέον κόστος και επιμέλεια κατασκευής, ιδιαίτερα στην εκτέλεση των ραφών κορμού-άνω πέλματος, που προτιμούνται εσωραφές. Βέβαια, οι διαστάσεις των συγκολλητών διατομών μπορούν να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις της υπάρχουσας έντασης. Έτσι μπορεί το άνω πέλμα να διαμορφώνεται παχύτερο και πλατύτερο του κάτω πέλματος για την παραλαβή των τοπικών πλευρικών δυνάμεων. Επίσης, η ενίσχυση της δυσκαμψίας ελατής διατομής περί τον ασθενή άξονα γίνεται με πρόσθετη διατομή.

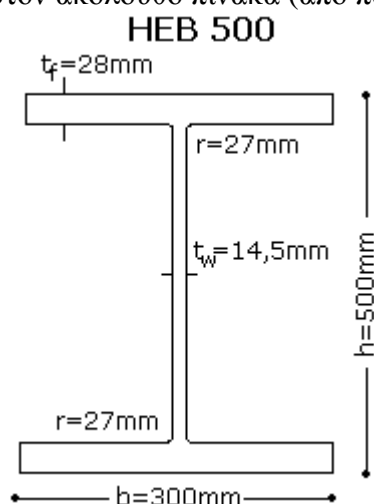
Στη βιομηχανική κατασκευή που εξετάζεται στην παρούσα εργασία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν γερανογέφυρες ανυψωτικής ικανότητας (16t). Για φορτία $\leq 20t$, οι γερανογέφυρες χαρακτηρίζονται ως γερανογέφυρες μικρής ανυψωτικής ικανότητας. Για το λόγο αυτό, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν αν είναι δυνατό πλατύπελμες ελατές διατομές μεσαίου μεγέθους για τη παραλαβή των πλευρικών φορτίων (μέχρι HEB 500).

Συνεπώς, στην παρούσα βιομηχανική κατασκευή επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί δοκός κύλισης διατομής HEB 500, η επάρκεια της οποίας θα εξεταστεί στη συνέχεια.

Επιπλέον, σε περιπτώσεις γερανογεφυρών μικρής ανυψωτικής ικανότητας (έως 20t), οι δοκοί κύλισης μπορεί να εδράζονται σε βραχείς προβόλους από τα υποστυλώματα τυπικού ολόσωμου πλαισίου. [1]

4.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ HEB 500

Ο σχεδιασμός ενός φορέα και των στοιχείων από τα οποία συντίθεται, προϋποθέτει την επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης και ελέγχου. Η επιλογή αφορά αφενός την ανάλυση, μέσω της οποίας προσδιορίζονται τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη, αφετέρου τον τρόπο υπολογισμού της αντοχής των διατομών. Άρα αρχικά, είναι βασικό να πρέπει να προσδιοριστεί η κατηγορία στην οποία ανήκει η διατομή της δοκού κύλισης. Όπως προαναφέρθηκε, πρόκειται για την ελατή διατομή HEB500, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οποίας παραθέτονται στον ακόλουθο πίνακα (από παράρτημα



EIKONA 4. 3

του βιβλίου «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα»). Η ποιότητα του χάλυβα που θα χρησιμοποιηθεί για όλα τα μέλη της κατασκευής είναι S275.

Διατομές κατηγορίας 1: Είναι εκείνες που μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση στροφική ικανότητα χωρίς μείωση της αντοχής τους (με ροπή αντοχής $M_{pl} = W_{pl} \times f_y$).

Διατομές κατηγορίας 2: Είναι εκείνες που μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, αλλά έχουν περιορισμένη στροφική ικανότητα λόγω τοπικού λυγισμού (με ροπή αντοχής $M_{pl} = W_{pl} \times$

f_y).

Διατομές κατηγορίας 3: Είναι εκείνες στις οποίες η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χάλυβδινου μέλους, υποθέτοντας ελαστική κατανομή τάσεων, μπορεί να φθάσει στο όριο διαρροής της, αλλά ο τοπικός λυγισμός εμποδίζει την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής (με ροπή αντοχής $M_{el} = W_{el} \times f_y$).

Διατομές κατηγορίας 4: Είναι εκείνες στις οποίες ο τοπικός λυγισμός θα συμβεί πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής σε ένα ή περισσότερα μέρη της διατομής (με ροπή αντοχής $M_o < M_{el}$).

HEB500	
ίδιο βάρος	$G = 187 \text{ kg/m} = 1,83 \text{ KN/m}$
ύψος	$h = 500 \text{ mm}$
πλάτος πέλματος	$b = 300 \text{ mm}$
πάχος κορμού	$t_w = 14,5 \text{ mm}$
πάχος πέλματος	$t_f = 28 \text{ mm}$
καμπυλότητα	$r = 27 \text{ mm}$
εμβαδόν διατομής	$A = 238,60 \text{ cm}^2$
ύψος κορμού	$h_i = 444 \text{ mm}$
ύψος κορμού χωρίς καμπυλότητα	$d = 390 \text{ mm}$
ροπή αδρανείας y	$I_y = 107200 \text{ cm}^4$
ελαστική ροπή αδρανείας y	$W_{el,y} = 4287 \text{ cm}^3$
πλαστική ροπή αδρανείας y	$W_{pl,y} = 4815 \text{ cm}^3$
ροπή αδρανείας z	$I_z = 12620 \text{ cm}^4$
ελαστική ροπή αδρανείας z	$W_{el,z} = 841,6 \text{ cm}^3$
πλαστική ροπή αδρανείας z	$W_{pl,z} = 1292 \text{ cm}^3$
σταθερά στρέψης	$I_t = 538,4 \text{ cm}^4$
σταθερά στρέβλωσης	$I_w = 7018 \times 10^{-3} \text{ cm}^6$

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 1

Είναι προφανές πως προτιμούνται να χρησιμοποιούνται διατομές της πρώτης ή της δεύτερης κατηγορίας αφού μπορούν να αναλυθούν πλαστικά και να επιτύχουν κατά πολύ υψηλότερες αντοχές και κατ'επέκταση περισσότερη ασφάλεια.

Η κατάταξη μιας συγκεκριμένης διατομής εξαρτάται από το λόγο πλάτους προς πάχος καθενός από τα λόγω αξονικής δύναμης ή καμπτικής ροπής θλιβόμενα πλακοειδή στοιχεία της. Επομένως, η κατηγορία στην οποία ανήκει μια διατομή εξαρτάται τόσο από τη γεωμετρία της, όσο και από το τύπο της φόρτισης που επιβάλλεται σε αυτή. Η διατομή συντίθεται από διάφορα πλακοειδή στοιχεία, όπως ο κορμός και τα πέλματα, τα οποία ανάλογα με τον τρόπο στήριξης τους διακρίνονται στις κατηγορίες: Εσωτερικά στοιχεία και Προεξέχοντα στοιχεία.

- Εσωτερικά στοιχεία ορίζονται εκείνα που απολήγουν σε άλλα εγκάρσια στοιχεία της διατομής ενώ, μπορεί να θεωρούνται αμφιέριστα μεταξύ των γραμμών επαφής τους με τα εγκάρσια στοιχεία.
- Προεξέχοντα στοιχεία ορίζονται εκείνα που στηρίζονται κατά μήκος μιας ακμής και είναι ελεύθερα κατά μήκος της άλλης, παράλληλα προς την κατεύθυνση της θλιπτικής τάσης.

Τα όρια για τα θλιβόμενα στοιχεία κατηγορίας 1,2 και 3 λαμβάνονται από τους πίνακες που ακολουθούν.

Εσωτερικά Θλιβόμενα Τμήματα						
					Αξονας Κάμψης	
					Αξονας Κάμψης	
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται 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 τμήματα (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

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 2

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	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Ελαστική κατανομή τάσεων στο στοιχείο (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ For k_σ 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

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 3

Κατάταξη Διατομής:

Κορμός: $d / t_w = 390 / 14,5 = 26,9 < 72 \epsilon = 66,56$

Πέλμα : $c / t_f = (b/2) / t_f = (300/2) / 28 = 5,4 < 9 \epsilon < 8,32$

όπου, $\epsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0,92$, όπου $f_y = 275 \text{ MPa}$

Επομένως η διατομή κατατάσσεται στην κατηγορία 1 και μπορεί να μελετηθεί με πλαστική ανάλυση. [1]

4.4 ΤΡΟΧΙΕΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

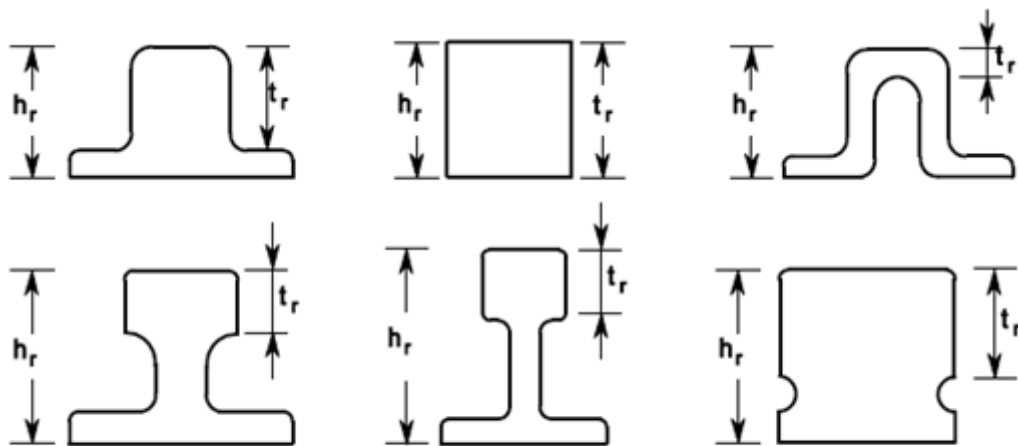
Η γερανογέφυρα εδράζεται και μετακινείται κατά μήκος των δοκών κύλισης χρησιμοποιώντας τροχούς οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να κυλίσουν πάνω σε τροχιές κύλισης. Οι τροχιές μπορεί να είναι ορθογωνικές συμπαγείς ράβδοι (καρυδάκια) για περιπτώσεις μικρής ανυψωτικής ικανότητας ($\leq 20t$) θεωρείται ως γερανογέφυρα μικρής ανυψωτικής ικανότητας ή ράβδοι με συνήθεις διατομές τροχιών για μεγαλύτερα φορτία.

Οι τροχιές μπορεί να συγκολλούνται επί των δοκών κύλισης (συνήθης περίπτωση) με διακεκομμένες ραφές, να συνδέονται με αυτές μέσω εφαρμοσμένων ή προεντεταμένων κοχλιών ή να στερεώνονται απλώς επ' αυτών με ειδικά

σταθεροποιητικά μέσα. Στις πρώτες περιπτώσεις επιτρέπεται να θεωρηθεί ότι η τροχιά αποτελεί μέρος της διατομής της δοκού κυλίσεως υπό την προϋπόθεση ότι τα συνδετικά μέσα μπορούν να μεταφέρουν τις δυνάμεις στη διεπιφάνεια τροχιάς-δοκού (δυνάμεις ολίσθησης). Στην περίπτωση των απλών μέσων στερέωσης, το καθένα υπολογίζεται να επαρκεί για την πλευρική ώθηση που ασκεί ένας μεμονωμένος τροχός, συνήθως δε μεταξύ τροχιάς και δοκού κυλίσεως παρεμβάλλεται ελαστομερές φύλλο μικρού πάχους.

Οι γερανογέφυρες που θα χρησιμοποιηθούν στην βιομηχανική κατασκευή που εξετάζεται εδώ είναι 16t άρα μικρής ανυψωτικής ικανότητας, οπότε κάθε φορείο θα έχει από δύο τροχούς και η διατομή της τροχιάς επιλέγεται να είναι συμπαγής ορθογωνική (50 x 30 mm).

Πολύ σημαντικό για τον υπολογισμό των κατακόρυφων θλιπτικών τάσεων στο κορμό της δοκού κυλίσεως είναι το μέγεθος της φθοράς της τροχιάς κύλισης. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η φθορά, το ονομαστικό ύψος της τροχιάς πρέπει να απομειώνεται όταν υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της διατομής. Η απομείωση αυτή μπορεί γενικά να λαμβάνεται ως το 25 % του ελάχιστου ονομαστικού πάχους t_r κάτω από την φθειρόμενη επιφάνεια, εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά στο σχέδιο συντήρησης (δηλαδή, όπου οι τροχιές υποτίθεται ότι συμβάλλουν στην αντοχή ή τη δυσκαμψία μιας δοκού κυλίσεως κατάλληλες προβλέψεις για τη φθορά τους θα πρέπει να γίνονται κατά τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων της σύνθετης διατομής). Για έλεγχους έναντι κόπωσης το ήμισυ μόνον της μείωσης της προηγούμενης περίπτωσης χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη. [1]

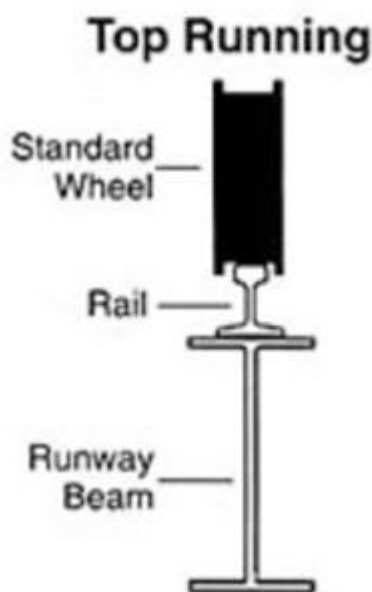


Ελάχιστο πάχος t_r κάτω από την επιφάνειες φθοράς της τροχιάς

EIKONA 4. 4

4.4.1 ΧΑΛΥΒΕΣ ΤΡΟΧΙΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

Τροχιές επί γερανογεφυρών ή επί δοκών κυλίσεως κατασκευασμένες για το σκοπό αυτό πρέπει να διαμορφώνονται από ειδικούς χάλυβες τροχιών με μια προδιαγεγραμμένη ελάχιστη εφελκυστική αντοχή μεταξύ 500 N/mm² και 1200 N/mm².



ΕΙΚΟΝΑ 4. 5

Σημείωση: Το Εθνικό Προσάρτημα πρέπει να δίνει πληροφορίες για κατάλληλες τροχιές και χάλυβες τροχιών, αναλόγως και με τις σχετικές προδιαγραφές προϊόντος (EN πρότυπα προϊόντος, ETAGs ή ETAs).

Τετράγωνες ράβδοι και άλλες διατομές χρησιμοποιούμενες ως τροχιές πρέπει επίσης να είναι από δομικούς χάλυβες.

Τα ειδικά συνδετικά εξαρτήματα για τις τροχιές, περιλαμβανομένων ειδικά κατασκευασμένων στερεωτικών μέσων και ελαστομερών υποστρωμάτων, πρέπει να είναι κατάλληλα για την ειδική χρήση για την οποία προορίζονται σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές προϊόντος.

Σημείωση: Το Εθνικό Προσάρτημα πρέπει να δίνει πληροφορίες για ειδικά συνδετικά εξαρτήματα, όπου δεν υπάρχει σχετική προδιαγραφή προϊόντος (EN πρότυπο προϊόντος, ETAG ή ETA)



ΕΙΚΟΝΑ 4. 6
Τροχιές Κύλισης

4.5 ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

Τα φορτία επί των δοκών κύλισης προέρχονται κατά κύριο λόγο από την ύπαρξη και λειτουργία της γερανογέφυρας. Για το λόγο αυτό διακρίνονται σε κατακόρυφα και οριζόντια. Η επιβολή των φορτίων στη δοκό κύλισης γίνεται με δυναμικό τρόπο. Ο δυναμικός χαρακτήρας των φορτίων λαμβάνεται υπόψη στους διάφορους κανονισμούς μέσω της εφαρμογής επί των στατικώς προσδιοριζόμενων δράσεων δυναμικών προσαυξητικών συντελεστών.

4.5.1 ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Οι δυναμικοί συντελεστές προκύπτουν μέσα από πίνακες του Ευρωκώδικα 1 που παραθέτονται παρακάτω (Eurocode 1 – part 3) [3]

A. Δυναμικός συντελεστής v_1

Ο συντελεστής v_1 εφαρμόζεται μόνο στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας και λαμβάνει υπ' όψη τη δυναμική διέγερση της κατά την ανύψωση του φορτίου από το έδαφος.

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

B. Δυναμικός συντελεστής v_2

Ο συντελεστής v_2 εφαρμόζεται στο ανυψούμενο φορτίο και λαμβάνει υπ' όψη του τη δυναμική επιρροή όταν το φορτίο αυτό μεταφέρεται από το έδαφος στη γερανογέφυρα $v_2 = v_{2,\min} + \beta_2 v_h$

Για γερανογέφυρα κατηγορίας ανύψωσης 2 (HC2) ισχύει ότι

$$\beta_2 = 0,34 \text{ και } v_{2,\min} = 1,10 \rightarrow v_2 = 1,10 + 0,34 \times 8 / 60 = 1,145$$

Γ. Δυναμικός συντελεστής v_3

Δεν υπάρχει δυνατότητα ξαφνικής απελευθέρωσης του συνόλου ή μέρους του αναρτημένου φορτίου άρα $v_3 = 1$. Η δυνατότητα αυτή λαμβάνεται υπ' όψη όταν για την ανάρτηση του φορτίου χρησιμοποιούνται αρπάγες ή μαγνήτες.

Δ. Δυναμικός συντελεστής v_4

Ο συντελεστής v_4 εφαρμόζεται τόσο στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας όσο και στο ανυψούμενο φορτίο, οπότε θεωρώντας ότι οι κατασκευαστικές ανοχές που ορίζονται στον Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 6 ικανοποιούνται $v_4 = 1,0$.

E. Δυναμικός συντελεστής v_5

Ο συντελεστής v_5 λαμβάνει υπ' όψη τη δυναμική επιρροή της δύναμης προώθησης και εφαρμόζεται επί των οριζοντίων δυνάμεων που αναπτύσσονται στις τροχιές κατά την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση της γερανογέφυρας. Υποθέτοντας ότι οι δυνάμεις μεταβάλλονται ομαλά λαμβάνεται $v_5 = 1,5$.

Dynamic factors v_i for vertical loads	
v_1	$0,9 < v_1 < 1,1$ The two values 1,1 and 0,9 reflect the upper and lower values of the vibrational pulses.
v_2	$v_2 = v_{2,min} + \delta_2 v_h$ v_h - steady hoisting speed in [m/s] $v_{2,min}$ and δ_2 see table 2.5
v_3	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta_m}{m} (1 + \beta_3)$ where Δ_m released or dropped part of the load m total hoisting load $\delta_3 = 0,5$ for cranes equipped with grabs or similar slow-release devices $\delta_3 = 1,0$ for cranes equipped with magnets or similar rapid-release devices
v_4	$v_4 = 1,0$ provided that the tolerances for rail tracks as specified in EN 1993-6 are observed.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 4
 Δυναμικοί συντελεστές για κατακόρυφα φορτία

Values of β_2 and $v_{2,min}$		
Hoisting class of appliance	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
NOTE: Cranes are assigned to Hoisting Classes HC1 to HC4 to allow for the dynamic effects of transferring the load from the ground to the crane. The selection depends on the particular type of crane, see recommendation in annex B.		

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 5
 τιμές για β_2 και $v_{2,min}$ ανάλογα με την κατηγορία ανύψωση

Dynamic factor v_5	
$v_5 = 1.0$	for centrifugal forces
1 # v_5 # 1,5	correspond to systems in which forces change smoothly
1,5# v_5 # 2,0	when sudden changes occur
$v_5 = 3.0$	for drives with considerable backlash

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 6
Δυναμικός συντελεστής v_5

4.5.2 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τα κατακόρυφα φορτία επί των τροχών της γερανογέφυρας οφείλονται στα κατακόρυφα βάρη που φέρει η γερανογέφυρα καθώς και στη θέση αυτών ως προς τις τροχιές κύλισης. Στα κατακόρυφα φορτία συμπεριλαμβάνεται το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας, το βάρος του βαρούλκου και το φορτίο ανύψωσης. Επειδή το βαρουλκοφορείο και το φορτίο ανύψωσης μπορούν να κινηθούν μεταξύ δύο ακραίων θέσεων συνεπάγεται ότι στη διαστασιολόγηση της δοκού κύλισης λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη κατάσταση. [1]

Θα γίνει η εύρεση των φορτίων που ασκεί η γερανογέφυρα στη δοκό κύλισης για τις περιπτώσεις αφόρτιστη και φορτισμένη γερανογέφυρα καθώς και για τους συνδυασμούς φορτίων 1,2,3,4,5 όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα 4.7 (Eurocode 1 – part 3 , table 2.2).

	Symbol	Section	Groups of loads										
			ULS							SLS	Accidental		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Selfweight of crane	Q_C	2.6	v_1	v_1	1	v_4	v_4	v_4	1	v_1	1	1
2	Hoist load	Q_H	2.6	v_2	v_3	-	v_4	v_4	v_4	0^1	-	1	1
3	Acceleration of crane bridge	H_L, H_T	2.7	v_5	v_5	v_5	v_5	-	-	-	v_5	-	-
4	Skewing of crane bridge	H_S	2.7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Acceleration or braking of crab or hoist block	H_{T3}	2.7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	In service wind	F_W^*	Annex A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Test load	Q_T	2.10	-	-	-	-	-	-	-	v_5	-	-
8	Buffer force	H_B	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	v_7	-
9	Tilting force	H_{TA}	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

¹⁾ 0 is the part of the hoist load that remains when the payload is removed, but is not included in the selfweight of the crane.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 7
Συνδυασμοί φορτίων

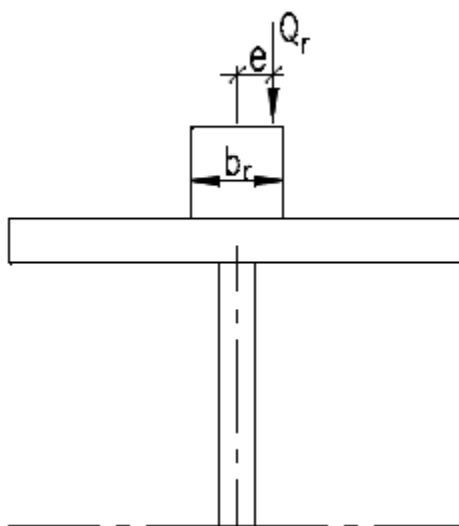
Δυναμικοί Συντελεστές

Δυναμικοί Συντελεστές	Επιδράσεις	Εφαρμόζεται
v_1	Η διέγερση της γερανογέφυρας εξαιτίας της ανύψωσης του φορτίου από το έδαφος.	ίδιο βάρος γερανογέφυρας
v_2	Η δυναμική επίδραση της μεταφοράς του φορτίου από το έδαφος στη γερανογέφυρα	φορτίο ανύψωσης
σ v_3	Η δυναμική επίδραση της ξαφνικής απελευθέρωσης του ωφέλιμου φορτίου αν για παράδειγμα χρησιμοποιούνται αρπάγες ή μαγνήτες.	
v_4	Δυναμική επίδραση που προκαλείται όταν η γερανογέφυρα κινείται πάνω στις τροχιές κύλισης	ίδιο βάρος γερανογέφυρας και φορτίο ανύψωσης
v_5	Δυναμική επίδραση που οφείλεται σε δυνάμεις κίνησης	δυνάμεις κίνησης
v_6	όταν ένα δοκιμαστικό φορτίο κινείται στη κατεύθυνση που χρησιμοποιείται η γερανογέφυρα	δοκιμαστικό φορτίο
v_7	λαμβάνει υπόψη την ελαστική δυναμική επίδραση από πρόσκρουση	φορτία πρόσκρουσης

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 8

4.5.2.1 ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΗ ΤΡΟΧΙΑ

Επειδή η τροχιά σταθμίζεται και ευθυγραμμίζεται μετά την ανέγερση του κτιρίου και την τοποθέτηση των δοκών κύλισης, είναι δυνατόν το κατακόρυφο φορτίο να ασκείται έκκεντρα ως προς τη δοκό κύλισεως. Η εκκεντρότητα αυτή λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς και προσδιορίζεται στους κανονισμούς με μια ενδεικτική τιμή του $\frac{1}{4}$ του πλάτους της τροχιάς b_r . [1]



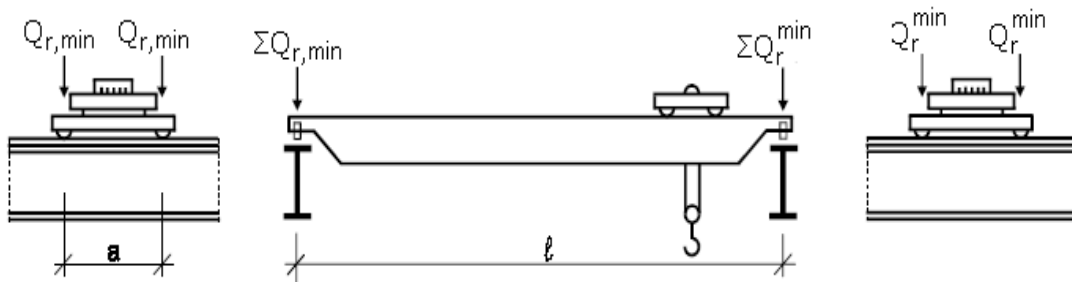
ΕΙΚΟΝΑ 4. 7
ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Πλάτος τροχιάς $b_r = 50 \text{ mm}$

Εκκεντρότητα $e = (1:4) \times b_r = 12,5 \text{ mm} = 1,25 \text{ cm}$

4.5.2.2 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ (ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ ΑΦΟΡΤΙΣΤΗ)

Θεωρούμε το φορείο στην ακραία δυνατή θέση (εγγύτερα ως προς μια τροχιά, minimum απόσταση η ακραία θέση του αγκίστρου 900 mm). Κατακόρυφο φορτίο το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας 115,54 kN και το βάρος του βαρούλκου 10 kN.



ΕΙΚΟΝΑ 4. 8

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

Για το συνδυασμό φορτίων 1,2:

ίδιο βάρος της γερανογέφυρας → $v_1 = 1,10$

Καθαρό φορτίο γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο

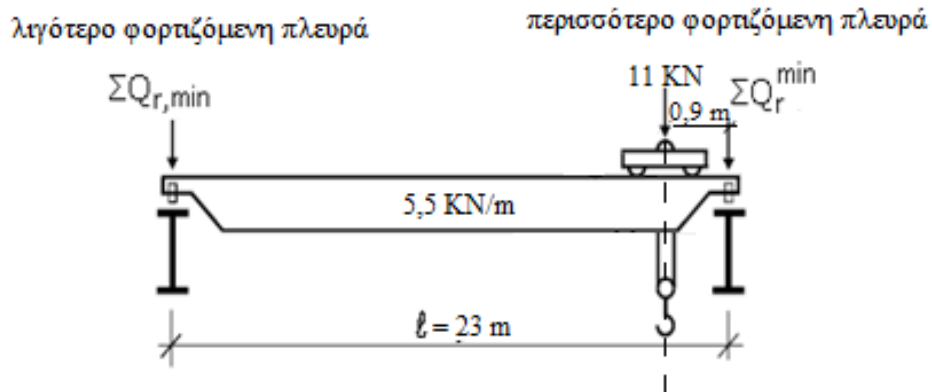
$$q_c = 115,54 : 23 = 5 \text{ KN/m}$$

Δυναμική προσαύξηση

$$v_1 \times q_c = 1,10 \times 5 = 5,5 \text{ KN/m}$$

Συγκεντρωμένο φορτίο από το φορείο

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



ΕΙΚΟΝΑ 4. 9

Το κατανεμημένο της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου στις 2 πλευρές και μένει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο. Άρα:

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

$$\Sigma Q_r^{\min} = (1:2) \times 5,5 \times 23 + 11 \times (22,1:23) = 73,82 \text{ KN}$$

$$\text{Και ανά τροχό} \rightarrow Q_r^{\min} = 36,9 \text{ KN} \approx 37 \text{ KN}$$

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

$$\Sigma Q_{r,\min} = (1:2) \times 5,5 \times 23 + 11 \times (0,9:23) = 63,68 \text{ KN}$$

Και ανά τροχό $\rightarrow Q_{r,\min} = 31,84 \text{ KN} \approx 32 \text{ KN}$

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

Για το συνδυασμό φορτίων 3,4,5:

ίδιο βάρος της γερανογέφυρας $\rightarrow v_4 = 1,0$

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

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

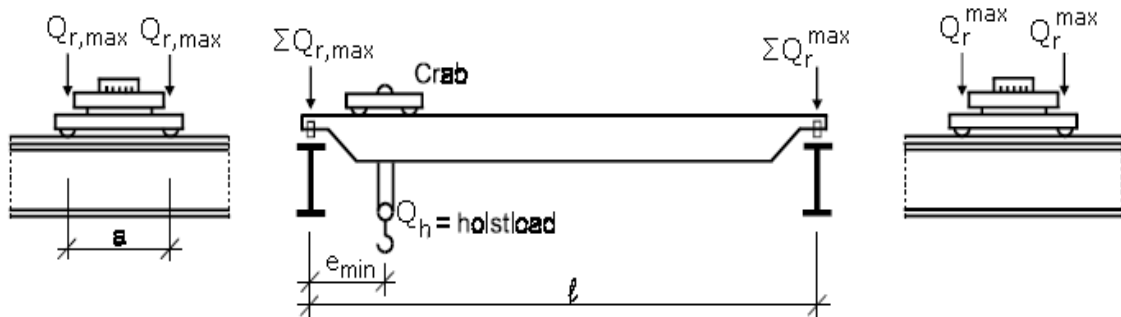
$$Q_r^{\min} = (37:1,10) \times 1,0 = 33,6 \text{ KN}$$

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

$$Q_{r,\min} = (32:1,10) \times 1,0 = 29,1 \text{ KN}$$

4.5.2.3 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ (ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ ΠΛΗΡΩΣ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΗ)

Θεωρούμε το φορείο στην ακραία δυνατή θέση (εγγύτερα ως προς μια τροχιά, minimum απόσταση η ακραία θέση του αγκίστρου 900 mm). Κατακόρυφα φορτία από το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας 115,54 KN, το φορτίο ανύψωσης 16 t. =156,96 KN και το βάρος του βαρούλκου 10 KN.



ΕΙΚΟΝΑ 4. 10

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

Για το συνδυασμό φορτίων 1 :

ίδιο βάρος της γερανογέφυρας $\rightarrow v_1 = 1,10$,

φορτίο ανύψωσης $\rightarrow v_2 = 1,145$

Καθαρό φορτίο γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο

$$q_c = 115,54 : 23 = 5 \text{ KN/m}$$

Δυναμική προσαύξηση

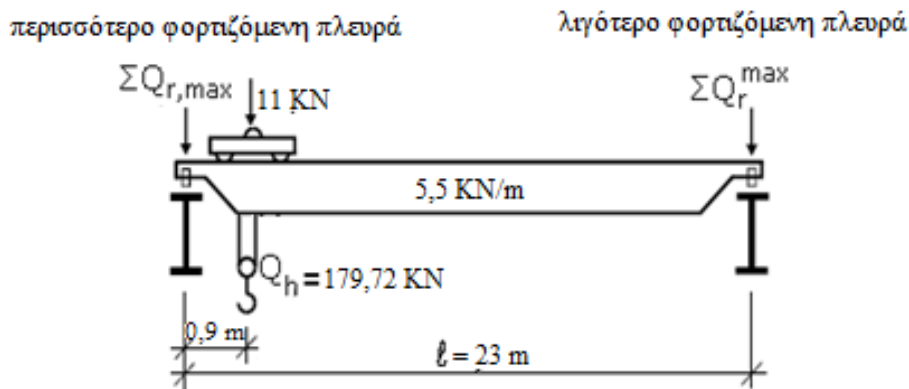
$$v_1 \times q_c = 1,10 \times 5 = 5,5 \text{ KN/m}$$

Συγκεντρωμένο φορτίο από το φορείο

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

Δυναμική προσαύξηση σε φορτίο ανύψωσης

$$Q_h = v_2 \times Q_{r,\text{nom}} = 1,145 \times 156,96 = 179,72 \text{ KN}$$



ΕΙΚΟΝΑ 4. 11

Το κατανεμημένο της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου στις 2 πλευρές και μένει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο και του φορτίου ανύψωσης.

Άρα:

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

$$\Sigma Q_{r,max} = (1:2) \times 5,5 \times 23 + (11+179,72) \times (22,1:23) = 246,5 \text{ KN}$$

$$\text{Και ανά τροχό} \rightarrow Q_{r,max} = 123,25 \text{ KN}$$

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

$$\Sigma Q_r^{max} = (1:2) \times 5,5 \times 23 + (11+179,72) \times (0,9:23) = 70,7 \text{ KN}$$

$$\text{Και ανά τροχό} \rightarrow Q_r^{max} = 35,4 \text{ KN}$$

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

Για το συνδυασμό φορτίων 2:

ίδιο βάρος της γερανογέφυρας $\rightarrow v_1 = 1,10$

φορτίο ανύψωσης $\rightarrow v_3 = 1,0$

Καθαρό φορτίο γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιομορφα διανεμημένο φορτίο

$$q_c = 115,54 : 23 = 5 \text{ KN/m}$$

Δυναμική προσαύξηση

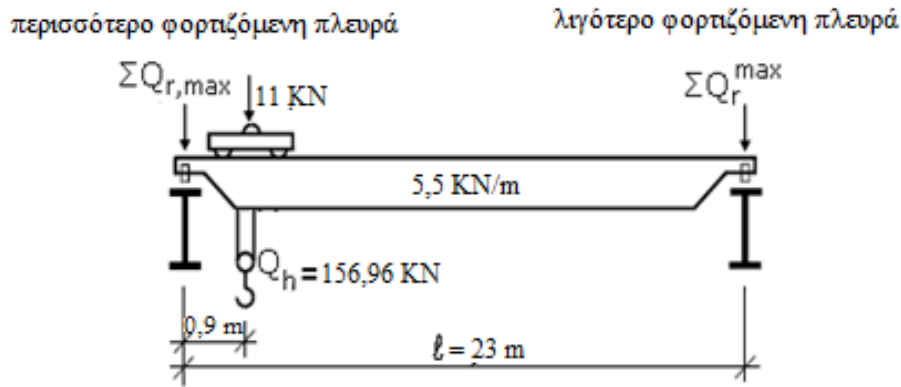
$$v_1 \times q_c = 1,10 \times 5 = 5,5 \text{ KN/m}$$

Συγκεντρωμένο φορτίο από το φορείο

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

Δυναμική προσαύξηση σε φορτίο ανύψωσης

$$Q_h = v_3 \times Q_{r,nom} = 1,0 \times 156,96 = 156,96 \text{ KN}$$



EIKONA 4. 12

Το κατανεμημένο της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου στις 2 πλευρές και μένει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο και του φορτίου ανύψωσης.

Άρα:

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

$$\Sigma Q_{r,max} = (1:2) \times 5,5 \times 23 + (11+156,96) \times (22,1:23) = 224,6 \text{ KN}$$

$$\text{Και ανά τροχό} \rightarrow Q_{r,max} = 112,3 \text{ KN}$$

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κυλίσεως

$$\Sigma Q_r^{max} = (1:2) \times 5,5 \times 23 + (11+156,96) \times (0,9:23) = 69,82 \text{ KN}$$

$$\text{Και ανά τροχό} \rightarrow Q_r^{max} = 34,9 \text{ KN}$$

C. Συνδυασμοί φορτίων 4.5 (Eurocode 1 – part 3 ,Πίνακας 4.7)

Για το συνδυασμό φορτίων 2:

ίδιο βάρος της γερανογέφυρας $\rightarrow v_4 = 1,0$

φορτίο ανύψωσης $\rightarrow v_4 = 1,0$

Καθαρό φορτίο γερανογέφυρας ανηγμένο σε ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο

$$q_c = 115,54 : 23 = 5 \text{ KN/m}$$

Δυναμική προσαύξηση

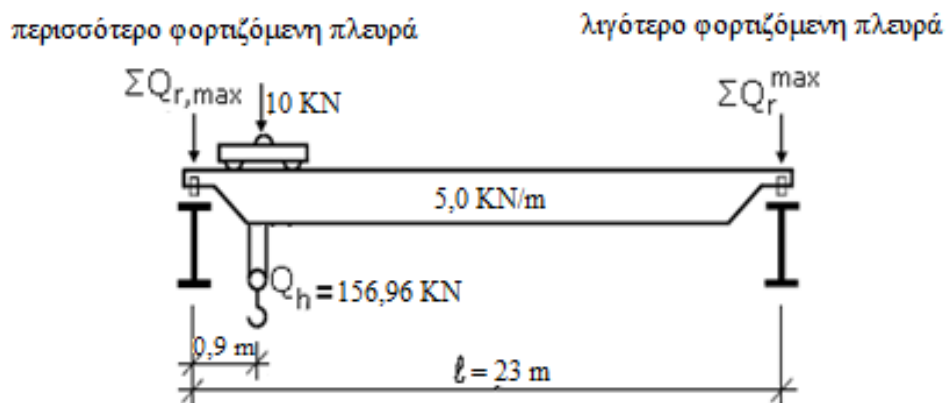
$$v_4 \times q_c = 1,0 \times 5 = 5 \text{ KN/m}$$

Συγκεντρωμένο φορτίο από το φορείο

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

Δυναμική προσαύξηση σε φορτίο ανύψωσης

$$Q_h = v_4 \times Q_{r,nom} = 1,0 \times 156,96 = 156,96 \text{ KN}$$



EIKONA 4. 13

Το κατανεμημένο της γερανογέφυρας μοιράζεται εξίσου στις 2 πλευρές και μένει η επιρροή του συγκεντρωμένου φορτίου από το φορείο και του φορτίου ανύψωσης.

Άρα:

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη περισσότερο φορτιζόμενη δοκό κύλισης

$$\Sigma Q_{r,\max} = (1:2) \times 5,0 \times 23 + (10+156,96) \times (22,1:23) = 217,93 \text{ KN}$$

Και ανά τροχό $\rightarrow Q_{r,\max} = 108,96 \text{ KN}$

➤ Φορτίο που αντιστοιχεί στη λιγότερο φορτιζόμενη δοκό κύλισης

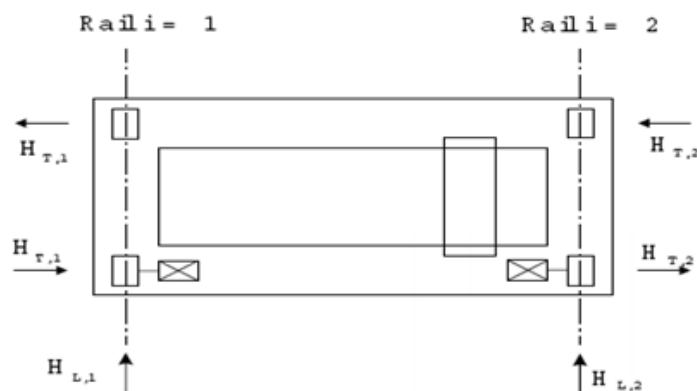
$$\Sigma Q_r^{\max} = (1:2) \times 5,0 \times 23 + (10+156,96) \times (0,9:23) = 64 \text{ KN}$$

Και ανά τροχό $\rightarrow Q_r^{\max} = 32 \text{ KN}$

4.5.3 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τα οριζόντια φορτία που προέρχονται από τη λειτουργία της γερανογέφυρας είναι τα εξής:

- οριζόντια φορτία οφειλόμενα στην επιτάχυνση ή στην επιβράδυνση της γερανογέφυρας κατά την κίνηση της πάνω στη δοκό κύλισης.
- οριζόντια φορτία οφειλόμενα στην επιτάχυνση ή στην επιβράδυνση του βαρούλκου κατά την κίνηση του πάνω στη γερανογέφυρα.
- οριζόντια φορτία οφειλόμενα στη λοξή κίνηση της γερανογέφυρας ως προς τις τροχιές κύλισης.
- δυνάμεις αποκρουστήρα κατά την κίνηση της γερανογέφυρας.
- δυνάμεις αποκρουστήρα κατά την κίνηση του βαρούλκου. [2]



ΕΙΚΟΝΑ 4. 14

4.5.3.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ-ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ

Αυτά τα φορτία προκαλούνται από την επιτάχυνση και την επιβράδυνση της γερανογέφυρας ως αποτέλεσμα της κινητήριας δύναμης στην διεπιφάνεια μεταξύ τροχών και τροχιά κύλισης. Όταν η γερανογέφυρα επιταχύνεται ή επιβραδύνεται, η κινητήρια δύναμη K ασκείται στον άξονα κίνησης, ενώ κατά κανόνα το κέντρο βάρους S του κινούμενου συστήματος (γερανογέφυρα και αναρτημένο φορτίο) απέχει του άξονα αυτού. Η προκύπτουσα ροπή εξισορροπείται από ζεύγη εγκάρσιων δυνάμεων H_T που αναπτύσσονται μεταξύ τροχών και τροχιών. Συγχρόνως ασκούνται και κατά

μήκος δυνάμεις H_L . Οι εγκάρσιες δυνάμεις $H_{T,i}$ εξαρτώνται από τη θέση του αναρτώμενου φορτίου, για παράδειγμα αν το αναρτώμενο φορτίο είναι πιο κοντά προς μια τροχιά τότε οι εγκάρσιες δυνάμεις σε εκείνη την τροχιά είναι μεγαλύτερες, ενώ οι κατά μήκος δυνάμεις $H_{L,i}$ είναι ίσες μεταξύ τους. [1],[2]

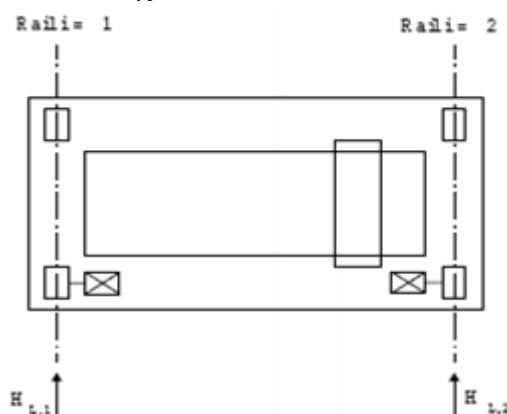
A. Κατά μήκος δυνάμεις $H_{L,i}$

$$H_{L,i} = v_5 \times K \times (1 : n_r) ,$$

όπου $v_5 \rightarrow$ δυναμικός συντελεστής

$K \rightarrow$ κινητήρια δύναμη

$n_r \rightarrow$ αριθμός δοκών κύλισης = 2



ΕΙΚΟΝΑ 4. 15

Οριζόντιες κατά μήκος δυνάμεις $H_{L,i}$

1) υπολογισμός κινητήριας δύναμης από τον τύπο :

$$K = \mu \times \Sigma Q_{r,\min}^* = \mu \times m_w \times Q_{r,\min} = 0,20 \times 2 \times 29,1 = 11,64 \text{ KN}$$

όπου, μ συντελεστής τριβής τροχού – τροχιάς

- $\mu = 0,20$ χάλυβας – χάλυβας
- $\mu = 0,50$ χάλυβας – καουτσούκ

$m_w = 2$ ένας κινητήριος τροχός με ανεξάρτητη κίνηση σε κάθε τροχιά

2) τιμή του δυναμικού συντελεστή v_5 :

$$v_5 = 1,50$$

3) υπολογισμός οριζόντιων κατά μήκος δυνάμεων:

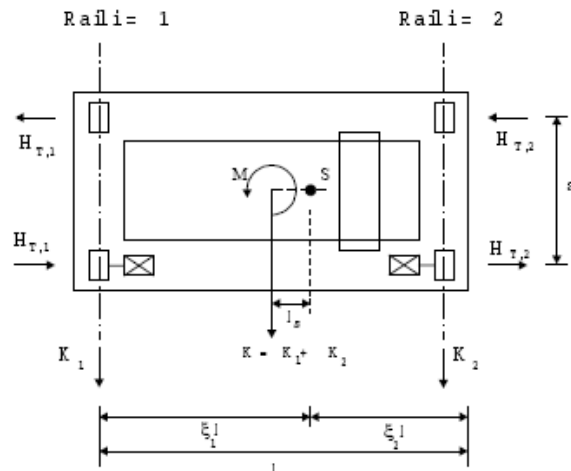
$$H_{L,1} = H_{L,2} = v_5 \times K \times (1 : n_r) = 1,50 \times 11,64 \times (1 : 2) = 8,73 \text{ KN}$$

B. Εγκάρσιες δυνάμεις $H_{T,i}$

όπου, $\xi_1 \rightarrow$ συντελεστής της απόστασης ξ_1 του κέντρου βάρους S του συστήματος από την τροχιά 1

$v_5 \rightarrow$ δυναμικός συντελεστής

$M \rightarrow$ ροπή στροφής από την κινητήρια δύναμη = $K \times l_s$



ΕΙΚΟΝΑ 4. 16

Οριζόντιες εγκάρσιες δυνάμεις $H_{T,i}$

1) υπολογισμός του συντελεστή της απόστασης ξ_{1l} του κέντρου βάρους S του συστήματος από την τροχιά 1 και 2:

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{\sum Q_{r,\max}}{(\sum Q_{r,\max} + \sum Q_r^{\max})}$$

$$\xi_1 = 217,93 : (217,93 + 64) = 0,773$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,773 = 0,227$$

2) τιμή του δυναμικού συντελεστή v_5 :

$$v_5 = 1,50$$

3) υπολογισμός ροπής στροφής από την κινητήρια δύναμη από τον τύπο:

$$M = K \times l_s$$

$$\text{όπου, } l_s = (\xi_1 - 0,5) \times l = (0,773 - 0,5) \times 23 = 6,28 \text{ m}$$

$$M = K \times l_s = 11,64 \times 6,28 = 73,1 \text{ KNm}$$

4) υπολογισμός εγκάρσιων δυνάμεων $H_{T,i}$:

Οριζόντιες εγκάρσιες δυνάμεις στη λιγότερο φορτιζόμενη τροχιά 1:

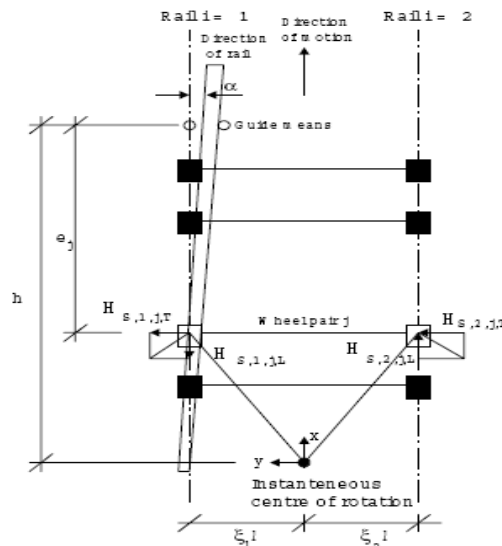
$$H_{T,1} = v_5 \times \xi_2 \times (M : a) = 1,50 \times 0,227 \times (73,1 : 3,5) = 7,1 \text{ KN}$$

Οριζόντιες εγκάρσιες δυνάμεις στη περισσότερο φορτιζόμενη τροχιά 2:

$$H_{T,2} = v_5 \times \xi_1 \times (M : a) = 1,50 \times 0,773 \times (73,1 : 3,5) = 24,2 \text{ KN}$$

4.5.3.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙΝΗΣΗ (ΛΟΞΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΤΡΟΧΙΕΣ)

Οι δυνάμεις αυτές προκύπτουν από την οδηγούσα δύναμη S που ασκείται στη θέση που βρίσκονται τα μέσα καθοδήγησης και από δύο οριζόντιες δυνάμεις σε κάθε τροχό (κατά μήκος και εγκάρσια), όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Ως μέσα καθοδήγησης χρησιμοποιούνται συνήθως ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν) ή επίπεδα ελάσματα. [2]



ΕΙΚΟΝΑ 4. 17
Εγκάρσιες δυνάμεις $H_{s,i,j,k}$

Η οδηγούσα δύναμη S και οι εγκάρσιες δυνάμεις $H_{s,i,j,k}$ που οφείλονται στη λοξή κίνηση της γερανογέφυρας λαμβάνεται από τους κάτωθι τύπους :

$$S = f \times \lambda_s \times \Sigma Q_{r,max}$$

$$H_{s,1,1,T} = f \times \lambda_{s,1,1,T} \times \Sigma Q_{r,max}$$

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

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

$$H_{s,2,2,T} = f \times \lambda_{s,2,2,T} \times \Sigma Q_{r,max}$$

όπου, f : μη-θετικός παράγων

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

i : είναι ο αριθμός της τροχιάς κύλισης (1,2)

j : η διεύθυνση (L→ κατά μήκος, T→ εγκάρσια)

1) τιμή του μη θετικού παράγοντα f από το τύπο :

$$f = 0,3 [1 - \exp(-250a)] = 0,3 [1 - \exp(-250 \times 0,015)] = 0,293 \leq 0,3$$

όπου, a : γωνία λοξότητας (skewing angle), η οποία εξαρτάται από

το διάκενο μεταξύ των μέσων καθοδήγησης και της

τροχιάς, το είδος των μέσων καθοδήγησης και άλλους

παράγοντες. Εάν δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία, η γωνία

λοξότητας λαμβάνεται επί το δυσμενέστερο ίση με $0,015 \text{ rad}$

2) υπολογισμός της αποστάσεως h για σύστημα IFF από πίνακα 4.9 (Ευρωκώδικας 1, μέρος) :

	Combination of wheel pairs		h
	coupled (c)	independent (i)	
Fixed/Fixed FF			$\frac{m\xi_1\xi_2\ell^2 + \Sigma e_j^2}{\Sigma e_j}$
Fixed/Movable FM			$\frac{m\xi_1\ell^2 + \Sigma e_j^2}{\Sigma e_j}$

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 9

$$h = (m \xi_1 \xi_2 \ell^2 + \Sigma e_i^2) / \Sigma e_i = \Sigma e_i^2 / \Sigma e_i = 3,5^2 / 3,5 = 3,5 \text{ m}$$

όπου, $e_1 = 0$ γιατί χρησιμοποιούνται τροχοί εφοδιασμένοι με επίπεδα ελάσματα καθοδήγησης και άρα η απόσταση του προηγούμενου ζεύγος τροχών από τα μέσα καθοδήγησης είναι μηδενική.

$$e_2 = a = 3,5 \text{ m}$$

$m = 0$, δεν υπάρχουν ζεύγη συνεζευγμένων τροχών

3) προσδιορισμός των συντελεστών $\lambda_{s,i,j,k}$ για σύστημα IFF από πίνακα 4.10 (Ευρωκώδικας 1, μέρος) :

System	δ_{S_j}	$\delta_{S_{1,j,L}}$	$\delta_{S_{1,j,T}}$	$\delta_{S_{2,j,L}}$	$\delta_{S_{2,j,T}}$
CFF	$1 - \frac{\Sigma e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
CFM	$\xi_2 \left(1 - \frac{\Sigma e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 10

$$\lambda_s = 1 - [\Sigma e_i / (nh)] = 1 - [3,5 / (2 \times 3,5)] = 0,5$$

$$\lambda_{s,1,L} = \lambda_{s,2,L} = 0$$

Για το πρώτο ζεύγος (προηγούμενο) τροχών :

$$\lambda_{s,1,1,T} = (\xi_2 / n) [1 - (e_1 / h)] = (0,227 / 2) \times (1 - 0) = 0,1135 \text{ (άξονας 1)}$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = (\xi_1 / n) [1 - (e_1 / h)] = (0,773 / 2) \times (1 - 0) = 0,3865 \text{ (άξονας 2)}$$

Για το δεύτερο ζεύγος τροχών :

$$\lambda_{s,2,2,T} = (\xi_2 / n) [1 - (e_2 / h)] = 0$$

$$\lambda_{s,1,2,T} = (\xi_1 / n) [1 - (e_2 / h)] = 0$$

4) υπολογισμός οδηγούσας δύναμης S :

$$S = f \times \lambda_s \times \Sigma Q_{r,\max} = 0,293 \times 0,5 \times 217,93 = 31,93 \text{ KN}$$

5) υπολογισμός εγκάρσιων δυνάμεων $H_{S,i,j,k}$:

$$H_{S,1,1,T} = f \times \lambda_{s,1,1,T} \times \Sigma Q_{r,\max} = 0,293 \times 0,1135 \times 217,93 = 7,25 \text{ KN}$$

$$H_{S,2,1,T} = f \times \lambda_{s,2,1,T} \times \Sigma Q_{r,\max} = 0,293 \times 0,3865 \times 217,93 = 24,68 \text{ KN}$$

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

Οπότε στη θέση του προπορευόμενου ζεύγους τροχών έχουμε,

επί τροχιάς 1 : $H_{S,1,T} = H_{S,1,1,T} - S = 7,25 - 31,93 = - 24,68 \text{ KN}$

και επί τροχιάς 2 : $H_{S,2,T} = H_{S,2,1,T} = 24,68 \text{ KN}$

Οι παραπάνω δυνάμεις H_S θα ενταχθούν μόνο στο συνδυασμό φορτίων 5.

4.6 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στον πίνακα 4.11 συνοψίζονται τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία, έχοντας ως πρότυπο τον Πίνακα 2.2 του Ευρωκώδικα 1 (table 2.2 – Eurocode 1 part 5), για όλους τους συνδυασμούς φορτίων. Τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία υπολογίστηκαν ως φορτία λειτουργίας με $\gamma=1$, συνεπώς για τη μετατροπή τους σε φορτία σχεδιασμού πολλαπλασιάζονται με $\gamma=1,35$. Ο πρώτος αριθμός αντιστοιχεί σε φορτίο λειτουργίας ($\gamma=1$), ενώ ο δεύτερος σε φορτίο σχεδιασμού ($\gamma=1,35$).

			1	2	3	4	5
Κατακόρυφα Φορτία	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας	Q_r^{\min}	37 50	37 50	33,6 45,4	33,6 45,4	33,6 45,4
		$Q_{r,\min}$	32 43,2	32 43,2	29,1 39,3	29,1 39,3	29,1 39,3
	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας και ανυψούμενο φορτίο	$Q_{r,\max}$	123,25 166,4	112,3 151,6	-	108,96 147,1	108,96 147,1
		Q_r^{\max}	35,4 47,8	34,9 47,1	-	32 43,2	32 43,2
Οριζόντια Φορτία	Επιτάχυνση, Επιβράδυνση της γερανογέφυρας	H_{L1}	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	-
		H_{L2}	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	-
		H_{T1}	7,1 9,6	7,1 9,6	7,1 9,6	7,1 9,6	-
		H_{T2}	24,2 32,67	24,2 32,67	24,2 32,67	24,2 32,67	-
	Παράγωγη κίνηση της γερανογέφυρας	$H_{S,1,T}$	-	-	-	-	24,68 33,3
		$H_{S,2,T}$	-	-	-	-	24,68 33,3

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 11

4.7 ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΟΚΟΥ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

4.7.1 ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Με βάση την γραμμή επιρροής της καμπτικής ροπής σε τυχαία θέση αμφιέρειστης δοκού ανοίγματος l αποδεικνύεται ότι η ροπή αυτή, λόγω συγκεντρωμένων φορτίων P που επέχουν μεταξύ τους απόσταση a , γίνεται μέγιστη όταν το πρώτο φορτίο

βρίσκεται σε απόσταση $b = \frac{2 \times l - a}{4}$ από το άκρο της δοκού, υπό την προϋπόθεση ότι

ισχύει $a < 0,586 \times l$ και η μέγιστη τιμή αυτής της καμπτικής ροπής είναι

$\max M = \frac{P}{2 \times l} \times (2 \times l - a)^2$. Σε περίπτωση που ισχύει $a > 0,586 \times l$ τότε η μέγιστη

ροπή προκύπτει όταν ένα από τα δύο φορτία βρίσκεται στο μέσον του ανοίγματος (οπότε το άλλο βρίσκεται εκτός της δοκού) και τότε η μέγιστη καμπτική ροπή παίρνει

την τιμή $\max M = \frac{P \times l}{4}$ [2]

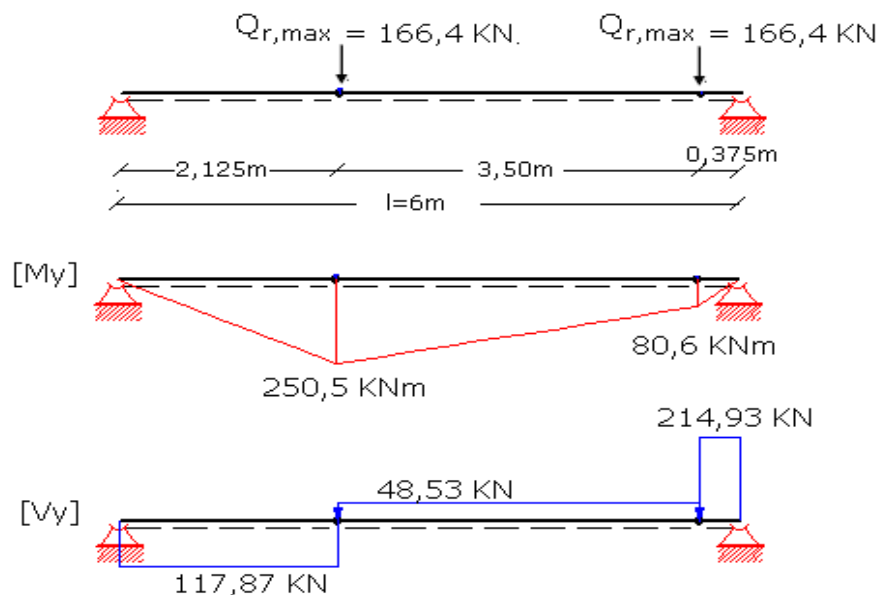
1) Συνδυασμός 1: μέγιστη ροπή περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας λόγω των κινητών φορτίων

$a = 3,5 \text{ m} < 0,586 \times l = 0,586 \times 6 = 3,516 \text{ m}$, άρα:

$\max M_y = \frac{Q_{r,\max}}{8 \times l} \times (2 \times l - a)^2 = \frac{166,4}{8 \times 6} \times (2 \times 6 - 3,5)^2 = 250,5 \text{ KNm}$, για θέση του

πρώτου φορτίου απέχονσα από το άκρο της δοκού απόσταση:

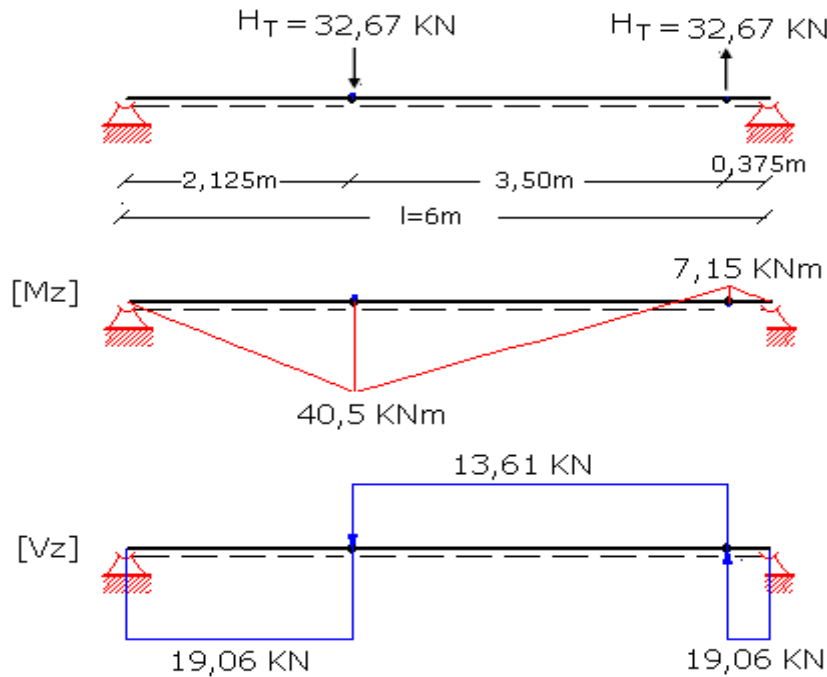
$x = \frac{2 \times l - a}{4} = \frac{2 \times 6 - 3,5}{4} = 2,125 \text{ m}$, όπως φαίνεται στο σχήμα – Εικόνα 4.19



ΕΙΚΟΝΑ 4. 18

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

Ταυτόχρονα αναπτύσσονται καμπτικές ροπές περί τον ασθενή άξονα αδρανείας, άξονα των z, λόγω των οριζόντιων δυνάμεων H_T . Οι οριζόντιες δυνάμεις H_T θεωρήθηκε ότι ασκούνται στο ανώτερο σημείο της τροχιάς. Η φόρτιση και τα αντίστοιχα διαγράμματα καμπτικών ροπών και τεμνουσών δυνάμεων φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα - Εικόνα 4.20



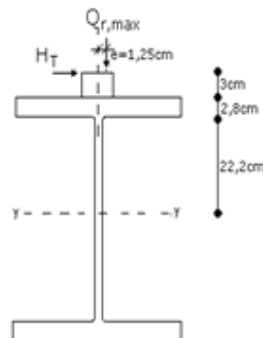
ΕΙΚΟΝΑ 4. 19
Καμπτικές ροπές και τέμνουσες δυνάμεις λόγω των εγκάρσιων φορτίων H_T

Η έκκεντρη δράση των κατακόρυφων και οριζοντίων φορτίων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.21, μαζί με τα προηγούμενα εντατικά μεγέθη προκαλούν στρεπτικές ροπές M_t . Η συγκεντρωμένη αυτή στρεπτική ροπή, στη θέση του συγκεντρωμένου φορτίου υπολογίζεται ως εξής:

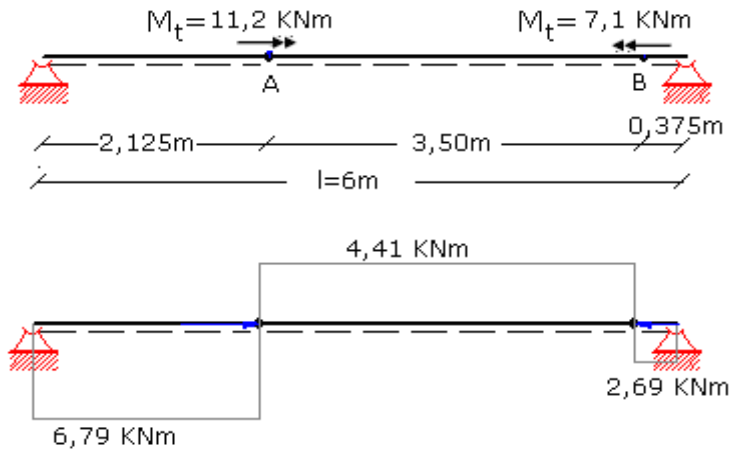
$$M_{ta} = 166,4 \times 1,25 + 32,67 \times (25 + 3) = 1122,76 \text{ KNcm} = 11,2 \text{ KNm}$$

$$M_{tb} = 166,4 \times 1,25 - 32,67 \times (25 + 3) = -706,76 \text{ KNcm} = -7,1 \text{ KNm}$$

Στην εικόνα 4.22 φαίνεται το διάγραμμα στρεπτικών ροπών.



ΕΙΚΟΝΑ 4. 20

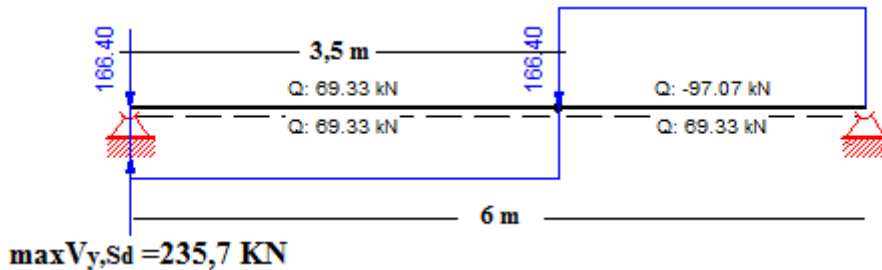


ΕΙΚΟΝΑ 4. 21
Διάγραμμα στρεπτικών ροπών

2) Συνδυασμός 1: μέγιστη τέμνουσα δύναμη

Μέγιστη τέμνουσα δύναμη προκύπτει στο άκρο της δοκού κυλίσεως όταν το ένα από τα δύο κινητά συγκεντρωμένα κατακόρυφα φορτία βρίσκεται στο άκρο αυτό.

$$\max V_{y,Sd} = Q_{r,max} \times \left(1 + \frac{\alpha}{l}\right) = 166,4 \times \left(1 + \frac{6-3,5}{6}\right) = 235,7 \text{ kN}$$



ΕΙΚΟΝΑ 4. 22

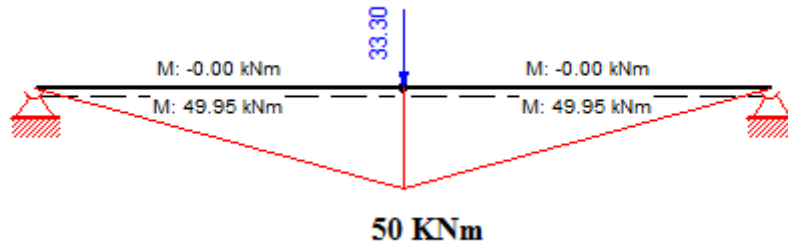
3) Συνδυασμός 5: μέγιστη ροπή περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας κατά αναλογία με το συνδυασμό 1 για μέγιστη ροπή περί τον ισχυρό άξονα προκύπτει:

$$\max M_{y,5} = \max M_{y,1} \times \frac{Q_{r,max,5}}{Q_{r,max,1}} = 250,5 \times \frac{147,1}{166,4} = 221 \text{ kNm}$$

Αντίστοιχη ροπή περί τον ασθενή άξονα αδρανείας είναι:

$$M_z = \frac{33,3 \times 2,125 \times (6 - 2,125)}{6} = 45,7 \text{ kNm}$$

4) Συνδυασμός 5: μέγιστη ροπή περί τον ασθενή άξονα αδρανείας



ΕΙΚΟΝΑ 4. 23

Συγκεντρωμένο κινητό φορτίο στο μέσο του ανοίγματος:

$$\max M_z = \frac{1}{4} \times 33,3 \times 6 = 50 \text{ kNm}$$

Αντίστοιχη ροπή περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας:

$$M_y = \frac{1}{4} \times 147,1 \times 6 + \frac{1}{4} \times 147,1 \times (6 - 2 \times 3,5) = 184 \text{ kNm}$$

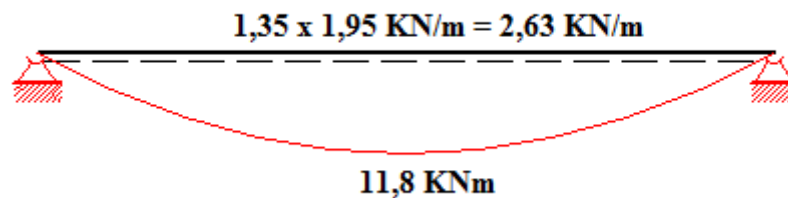
5) εντατικά μεγέθη σχεδιασμού λόγω του ίδιου βάρους της δοκού κυλίσεως

Ίδιο βάρος δοκού κυλίσεως περιλαμβανομένης της τροχιάς είναι:

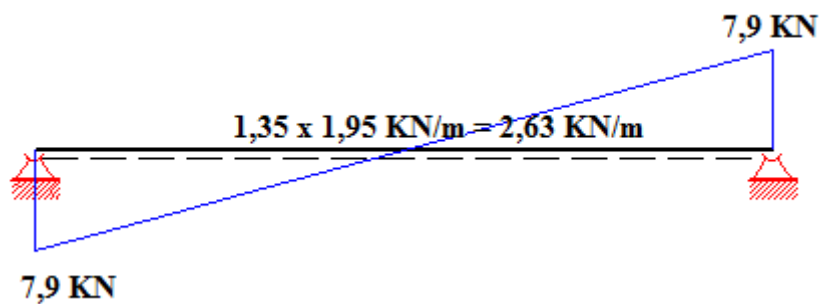
$$1,83 \text{ kN/m} + 0,12 \text{ kN/m} = 1,95 \text{ kN/m}$$

$$M_{g,Sd} = \frac{1}{8} \times 1,95 \times 6^2 \times 1,35 = 11,8 \text{ kNm}$$

$$V_{g,Sd} = \frac{1}{2} \times 1,95 \times 6 \times 1,35 = 7,9 \text{ kN}$$



ΕΙΚΟΝΑ 4. 24



ΕΙΚΟΝΑ 4. 25

6) επιρροές δευτέρας τάξεως – αρχικές ατέλειες

Η επιρροή των παραμορφώσεων στην ένταση δεν λαμβάνεται υπόψη λόγω του μικρού μεγέθους των αξονικών δυνάμεων. Δεν απαιτείται να ληφθούν υπόψη αρχικές ατέλειες στη δοκό κύλισης.

4.7.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

1) έλεγχος κορμού σε διάτμηση

Επιφάνεια διάτμησης : $A_v = h_i \times t_w = 44,4 \times 1,45 = 64,38 \text{ cm}^2$

Αντοχή σε διάτμηση : $V_{y,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_M} = \frac{64,38 \times 27,5}{\sqrt{3} \times 1,10} = 929 \text{ KN}$

Έλεγχος $\rightarrow V_{y,Sd} = 235,7 + 7,9 = 243,6 \text{ KN} < V_{y,Rd} = 929 \text{ KN}$

Επιπλέον, επειδή $d/t_w = 39/1,45 = 26,9 < 72 \varepsilon/n = 66,56$, όπου $n=1$ (συντηρητικά μπορεί να λαμβάνεται $n=1,0$), δεν απαιτείται έλεγχος κορμού σε κύρτωση.

2) έλεγχος άνω πέλματος σε διάτμηση

Θωρείται ότι τα τα οριζόντια φορτία παραλαμβάνονται μόνο από τη λεπίδα του άνω πέλματος της δοκού. Η δυσμενέστερη τέμνουσα V_z προκαλείται από το φορτίο H_s όταν αυτό ασκείται στο άκρο της δοκού κυλίσεως.

$V_{z,Sd} = 33,3 \text{ KN}$

$V_{z,Rd} = \frac{A_f \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_M} = \frac{30 \times 2,8 \times 27,5}{\sqrt{3} \times 1,10} = 1212 \text{ KN} > V_{z,Sd} = 33,3 \text{ KN}$

3) συνδυασμένη διάτμηση από κάμψη και στρέψη

Ο έλεγχος γίνεται στη θέση των κινητών φορτίων στην οποία προκαλούνται οι μέγιστες ορθές τάσεις από κάμψη (η τέμνουσα δύναμη στη συγκεκριμένη διατομή, η οφειλόμενη στο ίδιο βάρος της δοκού κυλίσεως αμελείται).

Τέμνουσα δύναμη : $V_{Sd} = 117,87 \text{ KN}$ (εικόνα 4.19)

Στρεπτική ροπή : $M_{t,Sd} = 6,79 \text{ KNm}$ (εικόνα 4.22)

Θεωρείται επί το δυσμενέστερο, ότι ολόκληρη η στρεπτική ροπή παραλαμβάνεται μέσω ομοιόμορφης στρέψης Saint-Venant

$\tau_{V,Ed} = \frac{M_{t,Sd} \times t_w}{I_t} = \frac{679 \times 1,45}{538,4} = 1,83 \text{ KN/cm}^2$

$$\beta_v = \frac{V_{Sd}/A_v}{\frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_M}} + \left[\frac{\tau_{v,Ed}}{1,25 \times \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}} \right]^2 = \frac{117,87/64,38}{\frac{27,5/\sqrt{3}}{1,10}} + \left[\frac{1,83}{1,25 \times \frac{27,5/\sqrt{3}}{1,10}} \right]^2 = 0,13 < 0,50$$

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

4) έλεγχος σε λοξή κάμψη και αξονική δύναμη

Λόγω του μικρού μεγέθους αξονικής δύναμης δεν γίνεται έλεγχος έναντι καμπτικού λυγισμού. Τα οριζόντια, κατά μήκος και εγκάρσια, φορτία θεωρείται ότι παραλαμβάνονται μόνο από τη λεπίδα του άνω πέλματος.

Οι στρεπτικές ροπές αναλύονται σε ζεύγη δύο δυνάμεων που ενεργούν οριζόντια στις στάθμες του άνω και κάτω πέλματος της δοκού. Πρόκειται για δυσμενή παραδοχή, δεδομένου ότι υποτίθεται παραλαβή από τη δοκό των στρεπτικών ροπών εξ' ολοκλήρου μέσω στρεβλώσεως των διατομών της.

$$H_\alpha = \frac{M_{t,A}}{z} = \frac{11,2}{0,5 - 2 \times \frac{0,028}{2}} = \frac{11,2}{0,472} = 23,73 \text{ KN}$$

$$H_\beta = \frac{M_{t,B}}{z} = \frac{-7,1}{0,5 - 2 \times \frac{0,028}{2}} = \frac{-7,1}{0,472} = -15 \text{ KN}$$

Ο έλεγχος θα γίνει με βάση τη σχέση:

$$\frac{N_{Sd}}{A \times f_y} + \frac{M_{\phi,y,Sd}}{W_{pl} \times f_y} + \frac{M_{\phi,z,Sd}}{a_T \times W_{el,z} \times f_y} + \frac{\sigma_{\phi,w,Ed}}{a_T \times f_y} \leq 1 \quad (*), \text{ αμελούμενης της επιρροής}$$

των φαινομένων β τάξης.

$$N_{Sd} = H_L = 11,8 \text{ KN}$$

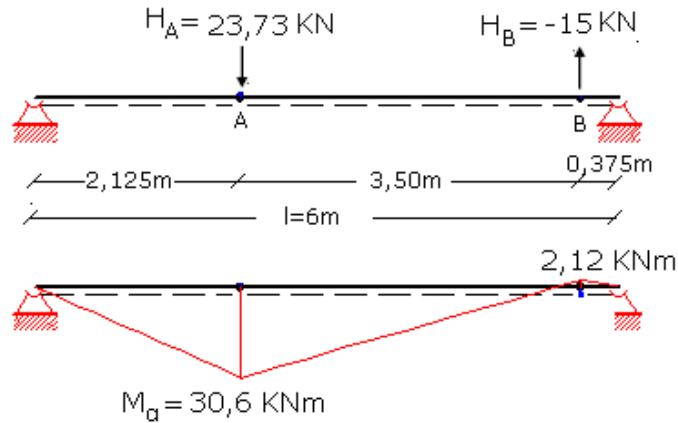
$$M_{y,Sd} = M_{y,max} + M_{g,Sd} = 250,5 + 11,8 = 262,3 \text{ KN}$$

$$M_{z,Sd} = 40,5 \text{ KNm}$$

$$A_f = 30 \times 2,8 = 84 \text{ cm}^2 \text{ (εμβαδόν διατομής άνω πέλματος)}$$

$$a_T = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{1292}{841,6} = 1,54, \text{ λαμβάνεται } a_T = 1,25$$

Καμπτική ροπή άνω πέλματος στη διατομή Α (εικόνα 4.27) λόγω συγκεντρωμένων δυνάμεων H_α, H_β : $M_\alpha = 30,6 \text{ KNm}$



ΕΙΚΟΝΑ 4. 26
Καμπτική ροπή λόγω συγκεντρωμένων δυνάμεων H_α, H_β

Ελαστική ροπή αντιστάσεως άνω πέλματος: $w_{e,\pi} = \frac{1}{6} \times 2,8 \times 30^2 = 420 \text{ cm}^3$

Ορθή τάση από στρέβλωση : $\sigma_{w,Ed} = \frac{3060 \text{ KNcm}}{420 \text{ cm}^3} = 7,3 \text{ KN/cm}^2$,

οπότε από σχέση (*) θα προκύψει :

$$\frac{11,8 \times 1,10}{84 \times 27,5} + \frac{26230 \times 1,10}{4815 \times 27,5} + \frac{4050 \times 1,10}{1,25 \times 841,6 \times 27,5} + \frac{7,3 \times 1,10}{1,25 \times 27,5} = 0,61 < 1$$

5) έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Η δοκός κυλίσεως θεωρείται πλευρικά εξασφαλισμένη στις θέσεις των στηρίξεων της (θέσεις κύριων φορέων της κατασκευής), δηλαδή ανά αποστάσεις $c = l = 6 \text{ m}$.

Από τη διατομή της δοκού κυλίσεως θεωρείται το τμήμα της g που αποτελείται από το θλιβόμενο (άνω) πέγμα και το $\frac{1}{5}$ του κορμού. Εξετάζεται αρχικά εάν η δοκός μπορεί να θεωρηθεί ως πλήρως προστατευμένη:

$$A_{f,g} = 30 \times 2,8 + \frac{1}{5} \times 44,4 \times 1,45 = 96,9 \text{ cm}^2$$

$$i_{z,g} = \left(\frac{I_{z,g}}{A_{f,g}} \right)^{0,5} = \left(\frac{6300}{96,9} \right)^{0,5} = 8,1 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \left(\frac{E}{f_y} \right)^{0,5} = \pi \times \left(\frac{21000}{27,5} \right)^{0,5} = 86,8$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{4815 \times 27,5}{1,10} = 120375 \text{ KNcm} = 1203,75 \text{ KNm}$$

$$c = 600 \text{ cm} < 0,4 \times i_{z,g} \times \lambda_1 \times \left(\frac{M_{pl,y,Rd}}{M_{Sd}} \right)^{0,5} = 0,4 \times 8,1 \times 86,8 \times \left(\frac{1203,75}{262,3} \right)^{0,5} = 602,5 \text{ cm}$$

Άρα, η δοκός μπορεί να θεωρηθεί ως πλήρως πλευρικά προστατευμένη.

$$\lambda = \frac{l}{i_{z,g}} = \frac{600}{8,1} = 74,1$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{74,1}{86,8} = 0,85$$

$\chi = 0,67$ (καμπύλη λυγισμού c)

$$N_{f,Sd} = \frac{262,3}{0,472} = 556 \text{ KN}$$

Άρα η δοκός επαρκεί έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού επειδή :

$$N_{f,Sd} = 556 \leq \frac{\chi \times A_{f,g} \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,67 \times 96,9 \times 27,5}{1,10} = 1623 \text{ KN}$$

6) έλεγχος ραφών συγκόλλησης κορμού - πέλματος

- Διατμητικές τάσεις από κάμψη

Μέγιστη δρώσα τέμνουσα: $V_{y,Sd} = 243,6 \text{ KN}$

$$\text{Δύναμη ολίσθησης: } T = \frac{V_{y,Sd} \times S}{I_y} = \frac{243,6 \times 1982,4}{107200} = 4,5 \text{ KN/cm}$$

Όπου, $S = 30 \times 2,8 \times 23,6 = 1982,4 \text{ cm}^3$

Διατμητική τάση λόγω ολίσθησης (κατά τη διεύθυνση της συγκόλλησης):

$$\tau_w = \frac{T}{t_w} = \frac{4,5}{1,45} = 3,10 \text{ KN/cm}^2$$

- Ορθές τάσεις λόγω συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού (κάθετες επί τον άξονα της συγκόλλησης)

Πλάτος της τροχιάς, στην έδραση της επί της δοκού κυλίσεως: $b_{fr} = 5 \text{ cm}$

Φθορά της τροχιάς (κατά το ύψος της): $\Delta t_r = 0,25 \times 3 = 0,75 \text{ cm}$

Απόσταση του ανώτερου σημείου της τροχιάς από το ανώτερο σημείο του κορμού: $d_r = 3 - 0,75 + 2,8 = 5,05 \text{ cm}$

Ενεργό πλάτος πέλματος: $b_{eff} = b_{fr} + d_r = 5 + 5,05 = 10,05 \text{ cm} < b = 30 \text{ cm}$

Ροπή αδρανείας του ενεργού πλάτους του πέλματος ως προς τον οριζόντιο

$$\text{κεντροβαρικό άξονα: } I_{f,eff} = \frac{b_{eff} \times t_f^3}{12} = \frac{10,05 \times 2,8^3}{12} = 18,4 \text{ cm}^4$$

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

$$I_r = \frac{b_{fr} \times t_f^3}{12} = \frac{5 \times 2,25^3}{12} = 4,75 \text{ cm}^4$$

Η τροχιά δεν θεωρείται σταθερά συνδεδεμένη επί του πέλματος άρα:

$$I_{rf} = I_r + I_{f,eff} = 4,75 + 18,4 = 23,15 \text{ cm}^4$$

$$\text{Ενεργό μήκος της ραφής: } I_{\text{eff}} = 3,25 \times \left[\frac{I_{\text{rf}}}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,25 \times \left[\frac{23,15}{1,45} \right]^{\frac{1}{3}} = 8,2 \text{ cm}$$

Ορθή τάση λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού:

$$\sigma_w = \frac{Q_{r,\text{max}}}{t_w \times I_{\text{eff}}} = \frac{166,4}{1,45 \times 8,2} = 13,99 \approx 14 \text{ KN/cm}^2$$

- Ορθές τάσεις οφειλόμενες στη στροφή του άνω πέλματος (κάθετες επί τον άξονα των συγκολλήσεων)

Στρεπτική ροπή:

$$M_{t,\text{Sd}} = Q_{r,\text{max}} \times 1,25 + H_T \times (3 + 2,8) = 166,4 \times 1,25 + 32,67 \times (3 + 2,8) = 397,5 \text{ KNcm}$$

Θεωρούμε ότι οι νευρώσεις στον κορμό τοποθετούνται μόνο στις θέσεις των στηρίξεων, άρα $a = 600 \text{ cm}$. Επίσης $d = h_i = 44,4 \text{ cm}$,

$$\frac{\pi d}{a} = \frac{\pi \times 44,4}{600} = 0,2325, \quad \sinh\left(\frac{\pi d}{a}\right) = 0,235, \quad \sinh\left(\frac{2\pi d}{a}\right) = 0,482, \quad \text{οπότε:}$$

$$n = \left[\frac{0,75 \times a \times t_w^3}{I_t} \times \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi d}{a}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi d}{a}\right) - \frac{2\pi d}{a}} \right]^{0,5} = \left[\frac{0,75 \times 600 \times 1,45^3}{219,52} \times \frac{0,235^2}{0,482 - 0,465} \right]^{0,5} = 4,5$$

όπου, $I_t = \frac{1}{3} \times 30 \times 2,8^3 = 219,52 \text{ cm}^4$, Άρα:

$$\sigma_{w,\text{Ed}} = \frac{6 \times M_{t,\text{Sd}}}{a \times t_w^2} \times n \times \tanh(n) = \frac{6 \times 397,5}{600 \times 1,45^2} \times 4,5 \times \tanh(4,5) = 8,5 \text{ KN/cm}^2$$

- Συνισταμένη τάση – έλεγχος επάρκειας

Συνισταμένη τάση:

$$\sigma_{\text{Sd}} = \left[(\sigma_w + \sigma_{w,\text{Ed}})^2 + \tau_w^2 \right]^{0,5} = \left[(14 + 8,5)^2 + 3,10^2 \right]^{0,5} = 22,7 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Αντοχή της συγκολλήσεως: } f_{v,\text{wd}} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}} = \frac{43}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 24,8 \text{ KN/cm}^2$$

Άρα η συγκόλληση είναι επαρκής γιατί:

$$\sigma_{\text{Sd}} = 22,7 \text{ KN/cm}^2 < f_{v,\text{wd}} = 24,8 \text{ KN/cm}^2$$

4.7.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι ακόλουθες παραμορφώσεις και μετακινήσεις, πρέπει να περιορίζονται:

- η κατακόρυφη παραμόρφωση της δοκού κυλίσεως, ώστε να αποφεύγονται υπερβολικές ταλαντώσεις προκαλούμενες κατά την ανύψωση φορτίου, τη μετακίνηση ή τη λειτουργία της γερανογέφυρας.
- η κατακόρυφη παραμόρφωση της δοκού κυλίσεως, ώστε να αποφεύγεται υπερβολική κλίση της διαδρομής.
- η διαφορική κατακόρυφη παραμόρφωση ενός ζεύγους δοκών κυλίσεως, ώστε να αποφεύγεται υπερβολική κλίση της γερανογέφυρας.
- η οριζόντια παραμόρφωση των δοκών κυλίσεως, ώστε να απομειώνεται η λοξότητα της διαδρομής της γερανογέφυρας.
- η πλευρική μετακίνηση των υποστυλωμάτων ή των πλαισίων που υποστηρίζουν τη δοκό κυλίσεως, στη στάθμη έδρασης της, ώστε να αποφεύγεται το μεγάλο εύρος των δονήσεων του πλαισίου.
- η διαφορική πλευρική μετακίνηση προσκειμένων υποστυλωμάτων ή πλαισίων, ώστε να αποφεύγονται απότομες αλλαγές στην ευθυγράμμιση των τροχιών και να προκαλείται εκ τούτου αυξημένη λοξότητα της διαδρομής και πιθανή παραμόρφωση της γερανογέφυρας.
- οι πλευρικές κινήσεις που μεταβάλλουν την απόσταση του ζεύγους των δοκών κυλίσεως, ώστε να αποφεύγονται ζημιές στα πέλαμα των τροχών, στα σταθεροποιητικά μέσα των τροχιών ή στις γερανογέφυρες.

Μόνιμα και κινητά φορτία λαμβάνονται με επιμέρους συντελεστές ασφαλείας $\gamma=1,0$.

Τα κινητά φορτία από τη γερανογέφυρα εισάγονται στο συνδυασμό φορτίων περιλαμβανομένου του δυναμικού μεγεθυντικού συντελεστή. [1]

1) Παραμόρφωση υπό τα κατακόρυφα φορτία

- παραμόρφωση λόγω των συγκεντρωμένων κινητών φορτίων

➤ αν $a < 0,65 \times l$:

το βέλος κάμψεως γίνεται μέγιστο για συμμετρική θέση των δύο φορτίων ως προς το μέσο της δοκού. Εάν c η απόσταση κάθε φορτίου από το αντίστοιχο άκρο της δοκού

$$\text{τότε: } f = \frac{P \times c}{24 \times E \times I} \times (3 \times l^2 - 4 \times c^2)$$

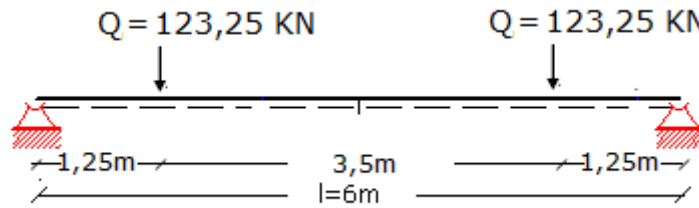
➤ αν $a > 0,65 \times l$:

το βέλος γίνεται μέγιστο όταν το ένα από τα δύο φορτία ασκηθεί στο μέσον του ανοίγματος.

Εφόσον, $a = 3,5 \text{ m} < 0,65 \times l = 0,65 \times 6 = 3,9 \text{ m}$, άρα:

$$\delta_{1z} = \frac{Q_{r,\max} \times c}{24 \times E \times I_y} \times (3 \times l^2 - 4 \times c^2) \Rightarrow \delta_{1z} = \frac{123,25 \times 125}{24 \times 21000 \times 107200} \times (3 \times 600^2 - 4 \times 125^2) = 0,29 \text{ cm}$$

$$\delta_{0z} = \frac{Q_{r,\max} \times c}{24 \times E \times I_y} \times (3 \times l^2 - 4 \times c^2) \Rightarrow \delta_{0z} = \frac{108,96 \times 125}{24 \times 21000 \times 107200} \times (3 \times 600^2 - 4 \times 125^2) = 0,25 \text{ cm}$$



ΕΙΚΟΝΑ 4. 27

- παραμόρφωση λόγω του ίδιου βάρους της δοκού κυλίσεως

Από 7.1.1(ε) το ίδιο βάρος της δοκού κύλισης είναι $\rightarrow 1,95\text{KN/m}$, άρα :

$$\delta_{2z} = \frac{5}{384} \times \frac{1,95 \times 600^4}{21000 \times 107200 \times 100} = 0,015\text{cm}$$

- συνολική παραμόρφωση – αποδεκτά όρια

$\delta_z = \delta_{1z} + \delta_{2z} = 0,29 + 0,015 = 0,305\text{ cm}$, η οποία είναι αποδεκτή επειδή είναι μικρότερη από $25\text{ mm} = 2,5\text{ cm}$ και από $\frac{1}{600} = \frac{600}{600} = 1,0\text{ cm}$

$\delta_{\text{pay}} = \delta_{0z} + \delta_{2z} = 0,25 + 0,015 = 0,265\text{ cm}$ η οποία είναι αποδεκτή επειδή είναι μικρότερη από $\frac{1}{500} = \frac{600}{500} = 1,2\text{ cm}$

2) Παραμόρφωση υπό τα οριζόντια φορτία

Δυσμενέστερη περίπτωση προκαλείται όταν το φορτίο $H_s = 24,68\text{ KN}$ ασκηθεί στο μέσο του ανοίγματος. Θα υποθεθεί ότι το φορτίο θα παραληφθεί από το άνω πέλμα της δοκού κυλίσεως.

$$\text{Ροπή αδρανείας πέλματος : } I_z = \frac{2,8 \times 30^3}{12} = 6300\text{cm}^4$$

$$\delta_y = \frac{H_s \times l^3}{48 \times E \times I_z} = \frac{24,68 \times 600^3}{48 \times 21000 \times 6300} = 0,84\text{ cm}$$

που είναι αποδεκτό επειδή είναι μικρότερο από $\frac{1}{600} = \frac{600}{600} = 1,0\text{ cm}$

3) Δυνατότητα ταλάντωσης του κάτω πέλματος

Ροπή αδρανείας του κάτω πέλματος ως προς τον ασθενή άξονα αδρανείας της

$$\text{διατομής : } I_z = \frac{1}{12} \times 2,8 \times 30^3 = 6300\text{cm}^4$$

$$\text{Αντίστοιχη ακτίνα αδρανείας : } i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_f}} = \sqrt{\frac{6300}{2,8 \times 30}} = 8,7\text{ cm}$$

Λυγηρότητα κάτω πέλματος : $\frac{L}{i_z} = \frac{600}{8,7} = 69 < 250$, άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ταλάντωσης του κάτω πέλματος.

4.7.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

Ο έλεγχος σε κόπωση γίνεται με βάση τα ιδεατά φορτία, τα οποία επαναλαμβανόμενα σε 2×10^6 κύκλους, θεωρείται ότι φέρουν ισοδύναμο, από πλευράς κοπώσεως, αποτέλεσμα με την πραγματική ιστορία φορτίσεως της δοκού κυλίσεως. (Eurocode 1 και 3). Η γερανογέφυρα ανήκει στην κατηγορία κόπωσης S3 (Annex B, Eurocode 1).

Κατά τον προσδιορισμό της διακυμάνσεως των τάσεων λαμβάνονται υπόψη τάσεις οφειλόμενες τόσο στη συνολική συμπεριφορά της δοκού κυλίσεως, όσο και σε τοπικά φαινόμενα όπως οι αναπτυσσόμενες κάτω από τα συγκεντρωμένα φορτία των τροχών και οι αναπτυσσόμενες λόγω της στροφής του άνω πέλματος της δοκού, ως συνέπεια της έκκεντρης επιβολής των κατακόρυφων φορτίων. Οι τάσεις που προκαλούνται από τα οριζόντια φορτία δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τον έλεγχο σε κόπωση, δεδομένου ότι έχει θεωρηθεί η παραλαβή τους αποκλειστικά από τη λεπίδα του άνω πέλματος της δοκού κυλίσεως, χωρίς έτσι να επηρεάζεται η συγκόλληση κορμού-άνω πέλματος. [2]

1) Ιδεατά ισοδύναμα φορτία κοπώσεως

Τα ισοδύναμα ιδεατά φορτία κοπώσεως θα προσδιοριστούν από τη σχέση:

$Q_{e,i} = \lambda_i \times \varphi_{fat} \times Q_{r,max,i}$, όπου ο συντελεστής λ_i για την κατηγορία κοπώσεως της γερανογέφυρας S3 παίρνει τις τιμές :

- $\lambda_i = 0,397$, για ορθές τάσεις
- $\lambda_i = 0,575$, για διατμητικές τάσεις

Το φορτίο του τροχού λαμβάνεται $Q_{r,max,i} = 108,96$ KN (πίνακας 4.11, συνδυασμός 4 και 5) χωρίς τους δυναμικούς συντελεστές.

Ο σχετικός με την κόπωση δυναμικός συντελεστής έχει τιμή:

$$\varphi_{fat} = \frac{1 + \nu_2}{2} = \frac{1 + 1,145}{2} = 1,0725$$

Τα ισοδύναμα ιδεατά φορτία κοπώσεως είναι:

1. για ορθές τάσεις $\rightarrow Q_{e,i} = 0,397 \times 1,0725 \times 108,96 = 46,4$ KN

2. για διατμητικές τάσεις $\rightarrow Q_{e,i} = 0,575 \times 1,0725 \times 108,96 = 67,2$ KN

2) Έλεγχος επάρκειας διατομής έναντι κοπώσεως

Ο έλεγχος επάρκειας έναντι κοπώσεως από ορθές τάσεις θα γίνει σύμφωνα με τη

σχέση : $\gamma_{FF} \times \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}$

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

γ_{FF} → συντελεστής ασφαλείας που εφαρμόζεται επί της ισοδύναμου διακυμάνσεως και είναι ίσος με 1,0.

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

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

Για την κατάταξη των λεπτομερειών σε κατηγορίες χρησιμοποιούνται οι πίνακες 4.12 και 4.13 (Eurocode 3-part 6, table 9.1 and table 9.2)

Q_{ml}	N_{Obs}							
	$0,25 \times 10^6$	$0,50 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$	$1,25 \times 10^6$	$1,50 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$	$2,00 \times 10^6$
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

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 12
Συντελεστής λ_2

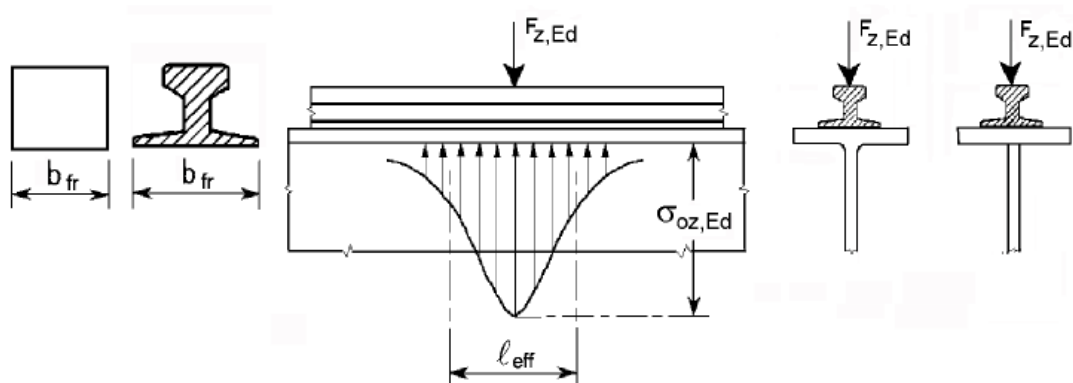
Design life in years	50	60	70	80	90	100	120
Factor λ_3	0,871	0,903	0,931	0,956	0,979	1,00	1,037

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 13
Συντελεστής λ_3

- Ορθές τάσεις

➤ Από το συγκεντρωμένο φορτίο του τροχού θα υπολογιστεί το ενεργό μήκος του κορμού l_{eff} θεωρώντας ως φθορά της τροχιάς το μισό αυτής που είχε θεωρηθεί στον έλεγχο αντοχής συγκόλλησης, δηλαδή:

$$\Delta t_r = \left(\frac{0,25}{2} \right) \times 3 = 0,125 \times 3 = 0,375 \text{ cm}$$



Ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff}

ΕΙΚΟΝΑ 4. 28

Απόσταση ανώτερου σημείου της τροχιάς από το ανώτερο σημείο του κορμού:

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

Σύμφωνα με το πίνακα 4.14 (Eurocode 3-part 6) :

$$\text{Ενεργό πλάτος πέλματος} : b_{\text{eff}} = b_{\text{fr}} + d_r = 5 + 5,425 = 10,425 \text{ cm} < b = 30 \text{ cm}$$

Ροπή αδρανείας του ενεργού πλάτους του πέλματος ως προς τον οριζόντιο

$$\text{κεντροβαρικό του άξονα: } I_{f,\text{eff}} = \frac{b_{\text{eff}} \times t_f^3}{12} = \frac{10,425 \times 2,8^3}{12} = 19,1 \text{ cm}^4$$

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

$$I_r = \frac{b_{\text{fr}} \times t_f^3}{12} = \frac{5 \times 2,625^3}{12} = 7,54 \text{ cm}^4 \quad (t_r = 5,425 - 2,8 = 2,625 \text{ cm})$$

Η τροχιά δεν θεωρείται σταθερά συνδεδεμένη επί του πέλματος άρα:

$$I_{\text{rf}} = I_r + I_{f,\text{eff}} = 7,54 + 19,1 = 26,64 \text{ cm}^4$$

$$\text{Ενεργό μήκος της ραφής} : l_{\text{eff}} = 3,25 \times \left[\frac{I_{\text{rf}}}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,25 \times \left[\frac{26,64}{1,45} \right]^{\frac{1}{3}} = 8,6 \text{ cm}$$

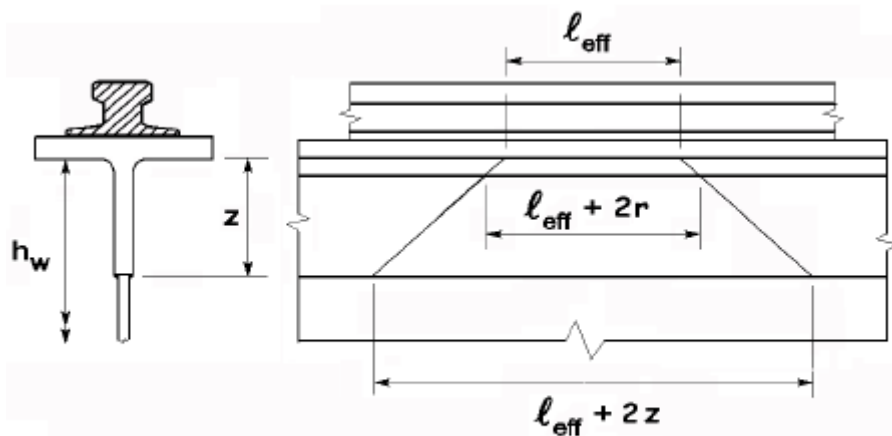
Ορθή τάση λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου του τροχού:

$$\sigma_1 = \frac{Q_{e,i(\text{ορθές τάσεις})}}{t_w \times l_{\text{eff}}} = \frac{46,4}{1,45 \times 8,6} = 3,72 \text{ KN/cm}^2$$

Ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff}

Περι- πτωση	Περιγραφή	Ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff}
(α)	Τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα	$l_{\text{eff}} = 3,25 [I_{\text{rf}} / t_w]^{\frac{1}{3}}$
(β)	Τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα	$l_{\text{eff}} = 3,25 [(I_r + I_{f,\text{eff}}) / t_w]^{\frac{1}{3}}$
(γ)	Τροχιά τοποθετημένη επάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα πάχους τουλάχιστον 6mm.	$l_{\text{eff}} = 4,25 [(I_r + I_{f,\text{eff}}) / t_w]^{\frac{1}{3}}$
	$I_{f,\text{eff}}$ είναι η ροπή αδρανείας ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό του άξονα τμήματος του πέλματος ενεργού πλάτους b_{eff} I_r είναι η ροπή αδρανείας ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα της, της τροχιάς I_{rf} 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} t_w είναι το πάχος του κορμού.	
	$b_{\text{eff}} = b_{\text{fr}} + h_r + t_f$ αλλά $b_{\text{eff}} \leq b$ όπου: b είναι το ολικό πλάτος του άνω πέλματος; b_{fr} είναι το πλάτος έδρασης της τροχιάς, βλέπε σχήμα 5.2; h_r είναι το ύψος της τροχιάς, βλέπε σχήμα 5.1; t_f είναι το πάχος του πέλματος.	
	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_{rf} και h_r .	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. 14



Διανομή κατά 45° από το ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff}

EIKONA 4. 29

- λόγω στροφής του άνω πέλματος (οφειλόμενης στην έκκεντρη δράση του κατακόρυφου φορτίου)

$$T_{Sd} = F_{zd} \times e_y = 46,4 \times 1,25 = 58 \text{ KNcm}$$

[Αναλογικά προς τη τάση $\sigma_{w,Ed}$ που υπολογίστηκε στο 4.7.2 (6) Ορθές τάσεις οφειλόμενες στη στροφή του άνω πέλματος (κάθετες επί τον άξονα των συγκολλήσεων)]

$$\sigma_2 = \sigma_{w,Ed} \times \left(\frac{T_{Sd}}{M_{t,Sd}} \right) = 8,5 \times \left(\frac{58}{397,5} \right) = 1,24 \text{ KN/cm}^2$$

- έλεγχος σε κόπωση λόγω ορθών τάσεων

Η σύνδεση με εσωραφές πλήρους διεισδύσεως κατατάσσεται στην κατηγορία 71.

Άρα $\Delta\sigma_c = 7,1 \text{ KN/cm}^2$

Διακύμανση ορθής τάσεως: $\Delta\sigma_{E2} = \sigma_1 + \sigma_2 = 3,72 + 1,24 = 4,96 \text{ KN/cm}^2$

Η συγκόλληση επαρκεί επειδή :

$$\gamma_{FF} \times \Delta\sigma_{E2} = 1,0 \times 4,96 = 4,96 < \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{7,1}{1,25} = 5,68 \text{ KN/cm}^2$$

- Διατμητικές τάσεις

- ολισθήσεως

Μέγιστη τέμνουσα δύναμη αντιστοιχούσα στο ιδεατό ισοδύναμο φορτίο κοπώσεως:

$$V = Q_{e,i}(\text{διατμητικές τάσεις}) \times \left(1 + \frac{a}{l} \right) = 67,2 \times \left(1 + \frac{6-3,5}{6} \right) = 95,2 \text{ KN}$$

$$\text{Διατμητικές τάσεις από κάμψη: } \tau_1 = \frac{V \times S}{b \times I_y} = \frac{95,2 \times (30 \times 2,8 \times 23,6)}{1,45 \times 107200} = 1,21 \text{ KN/cm}^2$$

- πρόσθετες διατμητικές τάσεις λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου τροχού:
 $\tau_2 = 0,2 \times \sigma_1 = 0,2 \times 3,72 = 0,744 \text{ KN/cm}^2$

- έλεγχος σε κόπωση λόγω διατμητικών τάσεων

Διακύμανση τάσεως: $\Delta\tau_{E2} = 1,21 + 2 \times 0,744 = 2,70 \text{ KN/cm}^2$

Κατηγορία λεπτομέρειας 100 (συγκόλληση με το χέρι)

Η συγκόλληση επαρκεί επειδή: $\gamma_{Ff} \times \Delta\tau_{E2} = 1,0 \times 2,70 = 2,70 < \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} = \frac{10}{1,25} = 8 \text{ KN/cm}^2$

Αλληλεπίδραση ορθών και διατμητικών τάσεων:

$$\left[\frac{\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[\frac{\gamma_{Ff} \times \Delta\tau_{E2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \right]^5 \leq 1$$

$$\left[\frac{1,0 \times 4,92}{7,1 / 1,25} \right]^3 + \left[\frac{1,0 \times 2,70}{10 / 1,25} \right]^5 = 0,65 \leq 1$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ι.Βάγιας, Ι.Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης *Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα*. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- [2] Ι.Βάγιας, Ι.Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης *Σιδηρές κατασκευές- τόμος 2(παραδείγματα εφαρμογής- ευρωκώδικα 3)*. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- [3] Eurocode 1.
- [4] Eurocode 3.

5.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

Ο φορέας πρέπει να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε με κατάλληλο βαθμό αξιοπιστίας να αντιμετωπίζει όλες τις δράσεις (φορτία) και τις επιδράσεις από το περιβάλλον, οι οποίες είναι πιθανό να εμφανιστούν κατά την εκτέλεση και τη διάρκεια ζωής του.

Οι δράσεις κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Άμεσες (direct) : συγκεντρωμένα ή ομοιόμορφα κατανεμημένα γραμμικά και επιφανειακά φορτία
- Έμμεσες (indirect) : επιβαλλόμενη παραμόρφωση λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής, υποχώρησης στηρίξεων ή επιβαλλόμενη επιτάχυνση λόγω σεισμού.

Επιπλέον ανάλογα με τις διακυμάνσεις τους στο χρόνο κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μόνιμες Δράσεις (G): ίδιο βάρος φορέα, σταθερός εξοπλισμός (πχ. Ίδιο βάρος γερανογέφυρας), επιστρώσεις κλπ.
- Μεταβλητές Δράσεις (Q): επιβαλλόμενα φορτία σε πατώματα (ωφέλιμα φορτία), πιέσεις ανέμου (W), φορτία χιονιού (S), φορτία από γερανογέφυρες (C) κλπ.
- Τυχηματικές Δράσεις (A): εκρήξεις, πρόσκρουση οχήματος, πυρκαγιά κλπ.

Ακόμα ανάλογα προς τη θέση τους ταξινομούνται σε:

- Καθορισμένες (fixed): πχ. ίδιο βάρος
- Ελεύθερες (free): πχ. κινητά επιβαλλόμενα φορτία γερανογεφυρών

Στις μόνιμες δράσεις κατατάσσονται όλες οι δράσεις, οι οποίες αναμένεται να επενεργήσουν κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου αναφοράς και για την οποία η διαφοροποίηση του μεγέθους τους στο χρόνο είναι αμελητέα (ονομάζονται αλλιώς «νεκρά φορτία»), περιλαμβάνονται δε στην κατηγορία αυτή όλα τα κατακόρυφα φορτία που δρουν καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής της κατασκευής. Στις μεταβλητές δράσεις εντάσσονται τα κατακόρυφα φορτία που προκύπτουν από τη χρήση της κατασκευής και προέρχονται από την παρουσία ανθρώπων, επίπλων, κινητών εξοπλισμών, οχημάτων, αποθηκευμένων αγαθών κλπ. , αφού τα φορτία αυτά από τη φύση τους δεν έχουν ούτε ακριβή θέση , ούτε μέγεθος στο πέρασμα του χρόνου. Στη κατασκευή της παρούσης εργασίας ως μόνιμες δράσεις λαμβάνεται ο φέρον οργανισμός της κατασκευής (δηλαδή δοκοί κύλισης, υποστυλώματα, βραχύς πρόβολος, δοκοί υποστέγου) καθώς και το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας, ενώ στις μεταβλητές δράσεις λαμβάνονται το ωφέλιμο φορτίο του υποστέγου (0,75 KN/m² για βατές στέγες) το οποίο θα θεωρηθεί 0 KN/m² αφού το υπόστεγο είναι μη βατό, το φορτίο από τις γερανογέφυρες, το φορτίο του χιονιού και του ανέμου.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί ο συνδυασμός των μεταβλητών δράσεων καθώς αυτές πρέπει να τοποθετούνται κατά τον πλέον δυσμενή τρόπο στο φορέα, ώστε να καλύπτονται όλες οι ενδεχόμενες φορτικές καταστάσεις (δυσμενείς φορτίσεις) και να προσδιορίζεται η δυσμενέστερη επιρροή τους. Παρ' όλα αυτά, επειδή η πιθανότητα ταυτόχρονης φόρτισης όλου του φορέα με τις επιβαλλόμενες δράσεις είναι σχετικά μικρή, οι κανονισμοί προβλέπουν κάποια ποσοστά απομείωσης τους σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Η μείωση αυτή εφαρμόζεται ειδικά σε υποστυλώματα

πολυρόφων κτιρίων, αυξανόμενη με τον αριθμό των ορόφων που υποστηρίζονται από ένα υποστύλωμα. Τυπικές μειώσεις κυμαίνονται από 10% έως 30% και εφαρμόζονται μόνο στις επιβαλλόμενες δράσεις. Δεν επιτρέπονται μειώσεις στις μόνιμες δράσεις ή σε συγκεκριμένους τύπους επιβαλλόμενων δράσεων, όπως στην περίπτωση αποθηκευτικών χώρων, φορτίων γερανών, φορτίων λόγω μηχανημάτων. Οι επιβαλλόμενες δράσεις επενεργούν ως οιονεί στατικές δράσεις, εφ' όσον όμως αναμένονται επιδράσεις συντονισμού ή εισαγωγής σημαντικής επιτάχυνσης φορέα, στο προσομοίωμα φόρτισης πρέπει να προβλέπεται δυναμική αντιμετώπιση.

Σε καταστάσεις σχεδιασμού, όπου τα επιβαλλόμενα φορτία δρουν ταυτόχρονα με άλλες μεταβλητές δράσεις, τότε το σύνολο των επιβαλλόμενων φορτίων που λαμβάνονται υπόψη στη συγκεκριμένη περίπτωση φόρτισης θα θεωρείται ως μια ενιαία δράση. Σε στέγες τα επιβαλλόμενα φορτία δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα με φορτία χιονιού ή ανέμου, αλλά έτσι κι αλλιώς η στέγη της κατασκευής που εξετάζεται είναι μη βατή και αγνοήθηκε το ωφέλιμο φορτίο της. [1]

5.2 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Προκειμένου να ελεγχθεί η επάρκεια της κατασκευής στις οριακές καταστάσεις αστοχίας (ULS) και λειτουργικότητας (SLS), χρησιμοποιούνται συνδυασμοί των δράσεων που προαναφέρθηκαν, οι οποίοι καλύπτουν όλες τις καταστάσεις σχεδιασμού που περιέχουν δράσεις που μπορεί να εκδηλώνονται ταυτόχρονα μόνο.

Οι επιμέρους συντελεστές «γ» ονομάζονται συντελεστές ασφαλείας και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθούν υπόψη πιθανές δυσμενείς αποκλίσεις ή πιθανή μη ακριβής προσομοίωση των δράσεων καθώς και αβεβαιότητες στο προσδιορισμό των αποτελεσμάτων. Ο συντελεστής ασφαλείας για μόνιμα φορτία με δυσμενή επιρροή είναι 1,35 ενώ για ευμενή επιρροή 1,00. Ο συντελεστής ασφαλείας για μεταβλητά φορτία με δυσμενή επιρροή είναι 1,50 ενώ για ευμενή επιρροή 0. Σε περίπτωση τυχηματικών καταστάσεων συνήθως $\gamma = 1,0$.

Οι συντελεστές συνδυασμού «ψ» των μεταβλητών δράσεων, χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μειωμένη πιθανότητα για ταυτόχρονη συνύπαρξη των πλέων δυσμενών τιμών των διάφορων ανεξάρτητων μεταβλητών δράσεων (πίνακας 5.1).

Ακολουθώς δίδονται οι συνδυασμοί των φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας.

Οριακές καταστάσεις αστοχίας

Βασικοί συνδυασμοί

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Τυχηματικοί συνδυασμοί

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + A_d + \psi_{1,1} (\text{ή } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Σεισμικοί συνδυασμοί

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Χαρακτηριστικοί συνδυασμοί

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Συχνοί συνδυασμοί

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Ημιμόνιμοι συνδυασμοί

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Δράσεις	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Ωφέλιμα Φορτία Κτιρίων			
Κατηγορία Α : κατοικίες	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία Β : γραφεία	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C : σχολεία, θέατρα κλπ	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D : καταστήματα	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E : χώροι αποθήκευσης	1	0,9	0,8
Φορτία κυκλοφορίας οχημάτων σε κτίρια			
Κατηγορία F : βάρος οχήματος ≤ 30 KN	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G : 30 KN < βάρος οχήματος ≤ 160 KN	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H : οροφές	0	0	0
Φορτία χιονιού σε κτίρια			
Για υψόμετρο $1000\text{m} < H < 1500\text{m}$	0,7	0,5	0,2
Για υψόμετρο $H \leq 1000\text{m}$	0,5	0,2	0
Φορτία ανέμου σε κτίρια			
Θερμοκρασία σε κτίρια (εκτός πυρκαγιάς)	0,6	0,5	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 1

5.3 ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ

Τα φορτία του χιονιού θεωρούνται ως στατικά και κατατάσσονται στις μεταβλητές καθορισμένες δράσεις. Σε ειδικές καταστάσεις, η δράση του χιονιού μπορεί να θεωρηθεί ως τυχηματική δράση, όταν πρόκειται για χιονόπτωση μικρής διάρκειας αλλά σημαντικής έντασης με μικρή πιθανότητα εμφάνισης κατά την ωφέλιμη διάρκεια της κατασκευής. Ανάλογα με τη μορφή της στέγης, τα θερμικά της χαρακτηριστικά, την τραχύτητα της επιφάνειας, το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κάτω από την στέγη, την απόσταση των γειτονικών κτιρίων, τον περιβάλλοντα χώρο και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, το χιόνι μπορεί να συσσωρευθεί επί της στέγης κατά διάφορους τρόπους. Ιδιαίτερη σημασία έχει το κατά πόσο εκτεθειμένη είναι η οροφή στον άνεμο, οι μεταβολές της θερμοκρασίας καθώς και η πιθανότητα κατακρήμνισης ή βροχόπτωσης.

Ως «χαρακτηριστικό» φορτίο χιονιού επί του εδάφους ονομάζεται το φορτίο χιονιού στο έδαφος με ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 2%, το οποίο προέκυψε μη λαμβάνοντας τα «εξαιρετικά» φορτία χιονιού. Τα «εξαιρετικά» φορτία χιονιού είναι τα φορτία του στρώματος του χιονιού επί του εδάφους, που είναι αποτέλεσμα μιας χιονοπτώσεως με εξαιρετικά σπάνια πιθανότητα εμφάνισης.

Επίσης ανάλογα με τη κατανομή του χιονιού πάνω στις στέγες, τα φορτία χιονιού κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Παρασυρμένο φορτίο χιονιού επί στέγης. Η διάταξη του φορτίου που περιγράφει την κατανομή φορτίου χιονιού επί στέγης που είναι αποτέλεσμα της μετατόπισης του χιονιού από μια θέση σε άλλη θέση της στέγης.

- Μη παρασυρμένο φορτίο χιονιού επί στέγης. διάταξη του φορτίου που περιγράφει το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χιονιού επί στέγης το οποίο επηρεάζεται μόνο από το σχήμα της στέγης, πριν συμβεί οποιαδήποτε αναδιάταξη του χιονιού λόγω άλλων κλιματολογικών δράσεων.
- Εξαιρετική παράσυρση-συσσώρευση χιονιού επί στέγης. Η διάταξη του φορτίου που περιγράφει το φορτίο του στρώματος χιονιού επί της στέγης το οποίο είναι αποτέλεσμα ενός εξαιρετικά σπάνιου τρόπου απόθεσης ή μετατόπισης του.

Η δράση του χιονιού θεωρείται ότι εξασκείται στις στέγες (οριζόντιες ή μη) των διαφόρων τεχνικών έργων. Ως δράση λαμβάνεται το φορτίο που οφείλεται στο ίδιο βάρος του χιονιού το οποίο έχει συσσωρευθεί είτε από ελεύθερη πτώση είτε έχει παρασυρθεί (είτε φυσικά λόγω της κλίσεως της στέγης και του ανέμου είτε τεχνητά). Η δράση του χιονιού θεωρείται στατική, μεταβλητή στο χρόνο και σταθερή στο χώρο. [2]

Το φορτίο του χιονιού στη στέγη προκύπτει από το χαρακτηριστικό φορτίο του χιονιού στο έδαφος s_k (σε KPa), το οποίο θεωρείται ότι ενεργεί κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της στέγης, ενώ τροποποιείται από μια σειρά συντελεστών οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους:

- Τη διαφοροποίηση του φορτίου από το έδαφος στη στέγη (συντελεστής σχήματος μ).
- Την έκθεση της στέγης στα καιρικά φαινόμενα (συντελεστής έκθεσης C_e).
 $C_e = 1,0$, έκθεση σε κανονικές συνθήκες
 $C_e = 0,8$, έκθεση σε ισχυρούς ανέμους
 $C_e = 1,2$, προστατευμένες κατασκευές από κτίρια και δένδρα
- Την επίδραση της θερμοκρασίας στη συσσώρευση του χιονιού στη στέγη (θερμικός συντελεστής $C_t = 1$ συνήθως, αλλά επιτρέπονται και μικρότερες τιμές προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επιρροή της απώλειας θερμότητας μέσω της στέγης).
- $S_{Ad} = C_{esl} \times s_k$, φορτίο χιονιού επί του εδάφους για εξαιρετικά φορτία χιονιού ($C_{esl} = 2,0$)

Ο τύπος λοιπόν διαμορφώνεται ως εξής:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k \quad (\text{για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές})$$

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_{Ad} \quad (\text{για τυχηματικές καταστάσεις})$$

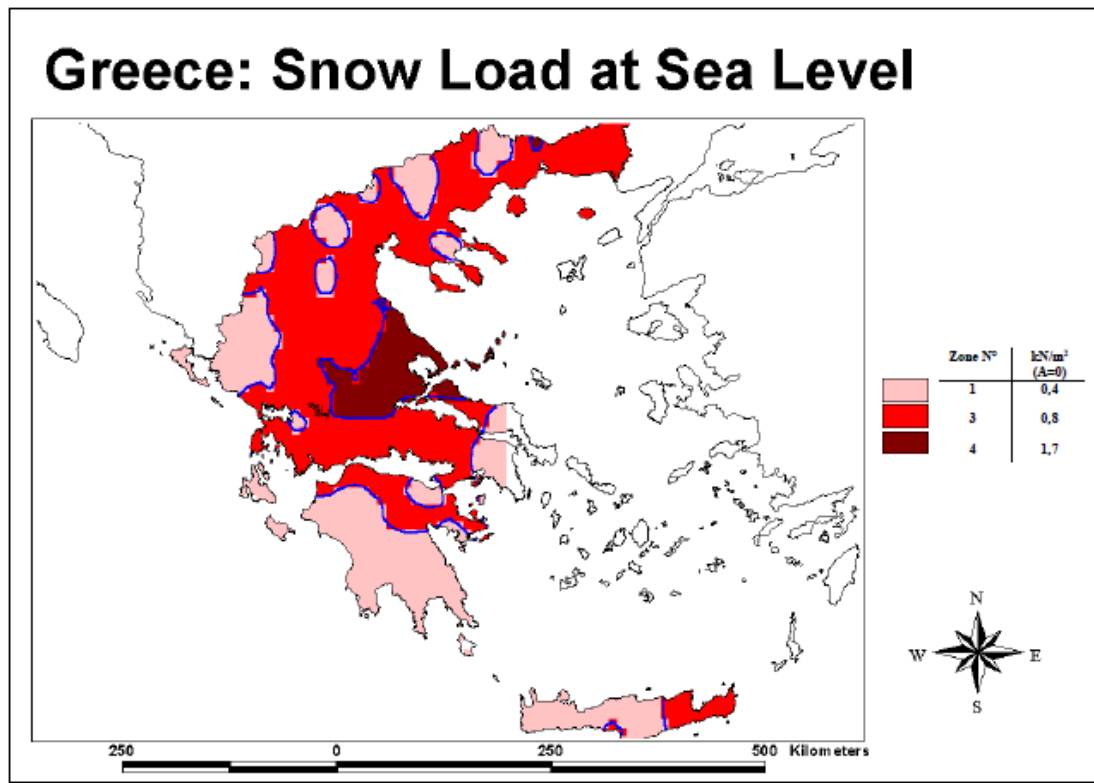
Επειδή το χαρακτηριστικό φορτίο του χιονιού στο έδαφος εξαρτάται, με παραβολικό τρόπο, από το υψόμετρο της περιοχής, δίνεται η σχέση μεταβολής συναρτήσεως του υψομέτρου. Η σχέση που προέκυψε για την Ελλάδα είναι :

$$s_k = 0,420 \times Z - 0,030 \left[1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right]$$

Η μεταβλητή Z σχετίζεται με τη ζώνη στην οποία ανήκει η υπό εξέταση περιοχή και A είναι το υψόμετρο της συγκεκριμένης τοποθεσίας. Η σχέση αυτή όμως απλοποιήθηκε και προέκυψε η ακόλουθη :

$$s_k = s_{k,0} \times \left(1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right)$$

Όπου $s_{k,0}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή φορτίου του χιονιού στη στάθμη της θάλασσας, δηλαδή για $A = 0$



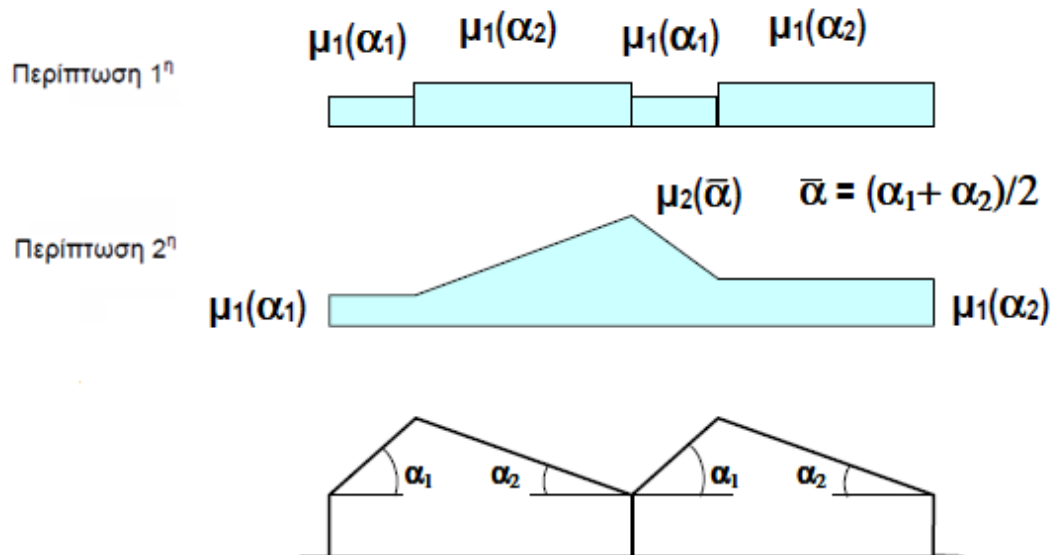
ΕΙΚΟΝΑ 5. 1

Ζώνες	Νομοί	$s_{k,0}$ (KN/m ²)
Ζώνη I	Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και όλα τα νησιά πλην Σποράδων και Εύβοιας	0,4
Ζώνη II	Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια	1,7
Ζώνη III	Υπόλοιπη Χώρα	0,8

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 2

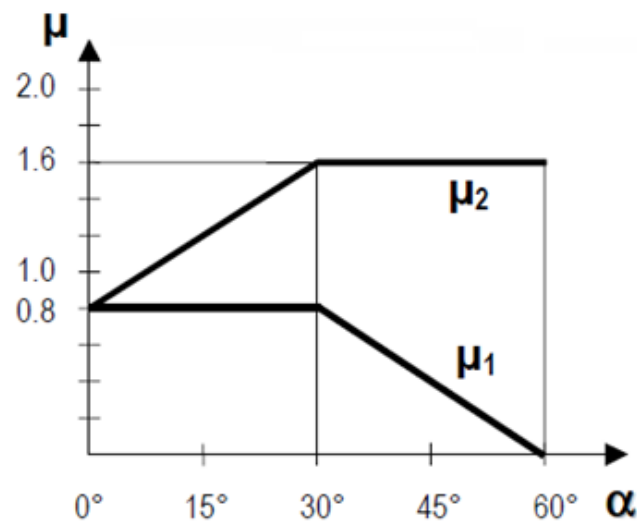
5.3.1 ΦΟΡΤΙΑ ΧΙΟΝΙΟΥ ΣΕ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ

Στη παρούσα εργασία ενδιαφέρει η τιμή και η κατανομή του φορτίου χιονιού πάνω σε κεκλιμένες επαναλαμβανόμενες στέγες. Συνεπώς, για περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων στεγών θα λαμβάνεται υπόψη η πλέον δυσμενής περίπτωση μεταξύ αυτών της εικόνας 5.2



Συντελεστές μορφής για επαναλαμβανόμενες στέγες

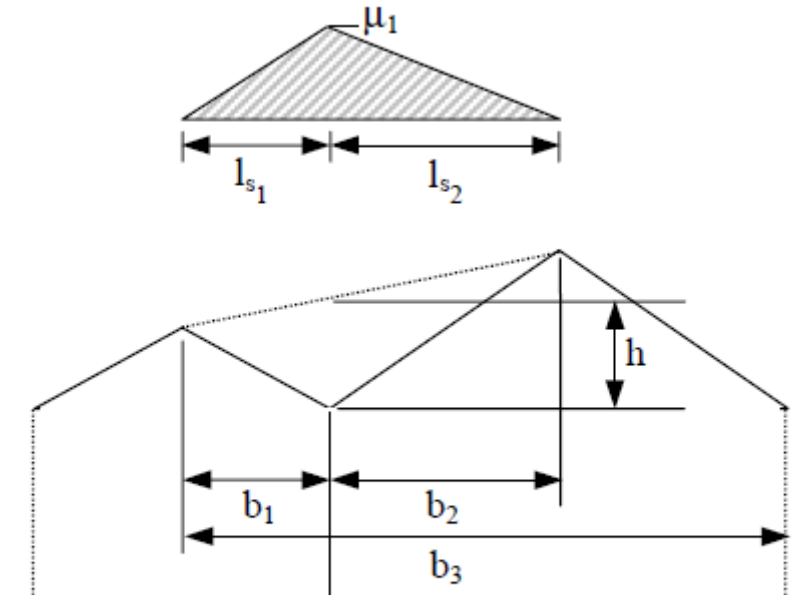
ΕΙΚΟΝΑ 5. 2



Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για κεκλιμένες στέγες

ΕΙΚΟΝΑ 5. 3

Για «εξαιρετικές» συγκεντρώσεις χιονιού σε επαναλαμβανόμενες στέγες θεωρείται ότι το χιόνι συγκεντρώνεται μεταξύ των κορυφιάδων.



Συντελεστής μορφής σε επαναλαμβανόμενες στέγες για περιπτώσεις "εξαιρετικής" συγκέντρωσης χιονιού

ΕΙΚΟΝΑ 5. 4

Τα μήκη συγκέντρωσης l_s είναι :

$$l_{s1} = b_1, l_{s2} = b_2$$

$$\mu_1 = \min \{ 2h/s_k, 2b_3/(l_{s1}+l_{s2}), 5 \}$$

Μέση πυκνότητα χιονιού	
Είδος χιονιού	Πυκνότητα (kN/m ³)
Φρέσκο	1,0
Συμπιεσμένο (μερικές ώρες ή ημέρες μετά τη χιονόπτωση)	2,0
Παλιό (μερικές βδομάδες ή μήνες μετά τη χιονόπτωση)	2,5 - 3,5
Βρεγμένο	4,0

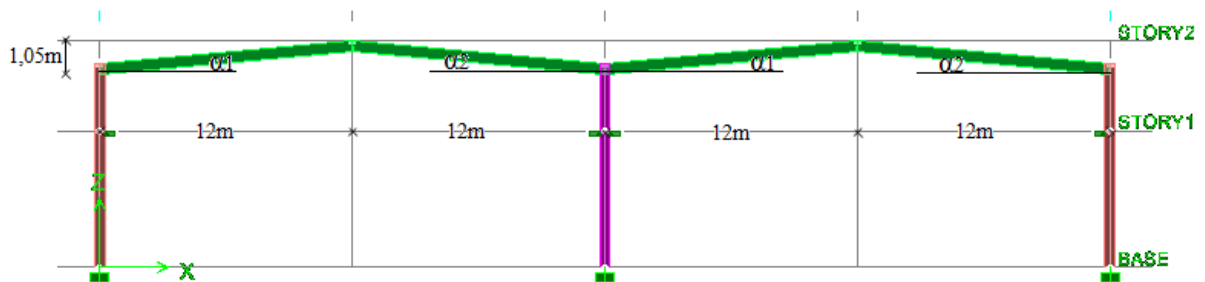
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 3

5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟ ΧΙΟΝΙΟΥ

5.3.2.1 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΧΙΟΝΙΟΥ

Το βιομηχανικό κτίριο βρίσκεται στην περιοχή της Αττικής σε υψόμετρο $A=200$ μέτρα πάνω από τη θάλασσα. Η περιοχή της Αττικής ανήκει στη Ζώνη ΙΙΙ με χαρακτηριστική τιμή φορτίου του χιονιού στη στάθμη της θάλασσας $s_{k,0} = 0,8 \text{ KN/m}^2$. Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού επί του εδάφους θα είναι :

$$s_k = s_{k,0} \times \left[1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right] = 0,8 \times \left[1 + \left(\frac{200}{917} \right)^2 \right] = 0,838 \text{ KN/m}^2$$



EIKONA 5. 5

$$\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = \arctan(1,05/12) = 5^\circ$$

$$\alpha_0 = (\alpha_1 + \alpha_2)/2 = (5^\circ + 5^\circ)/2 = 5^\circ$$

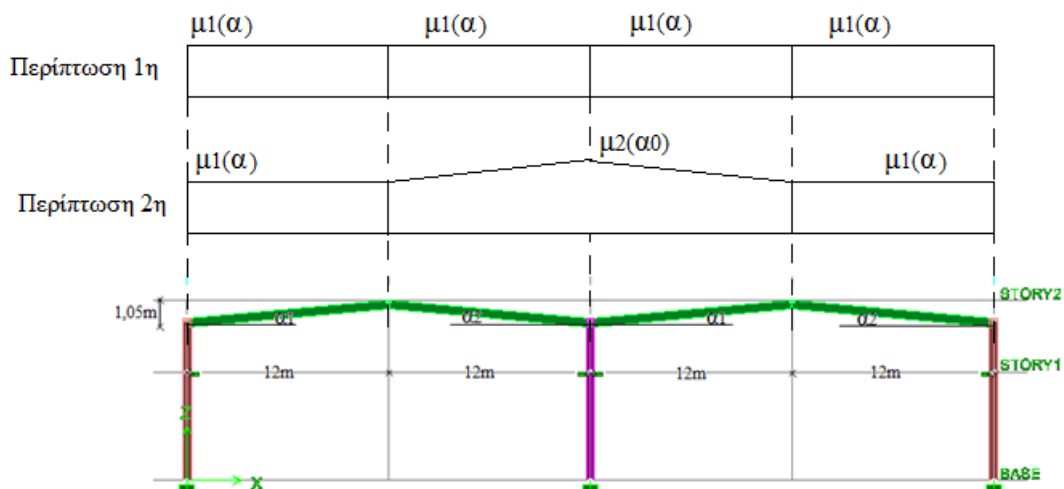
Από το διάγραμμα της εικόνας 5.3 προκύπτει ότι για $\alpha=5^\circ$ ο συντελεστής μορφής παίρνει την τιμή $\mu_1 = 0,8$ και από όμοια τρίγωνα $\mu_2 = 0,8 + 5 \times (1,6 - 0,8)/30 = 0,8 + 0,13 = 0,93$.

Θεωρείται συντελεστής έκθεσης $C_e = 1,0$ για έκθεση σε κανονικές συνθήκες και συνθήκης θερμικός συντελεστής $C_t = 1,0$.

Άρα τα φορτία χιονιού στη στέγη του βιομηχανικού κτιρίου θα λάβουν την τιμή:

$$s_{1,\alpha} = \mu_{1,\alpha} \times C_e \times C_t \times s_k = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,838 = 0,67 \text{ KN/m}^2$$

$$s_{2,\alpha_0} = \mu_2 \times C_e \times C_t \times s_k = 0,93 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,838 = 0,78 \text{ KN/m}^2$$

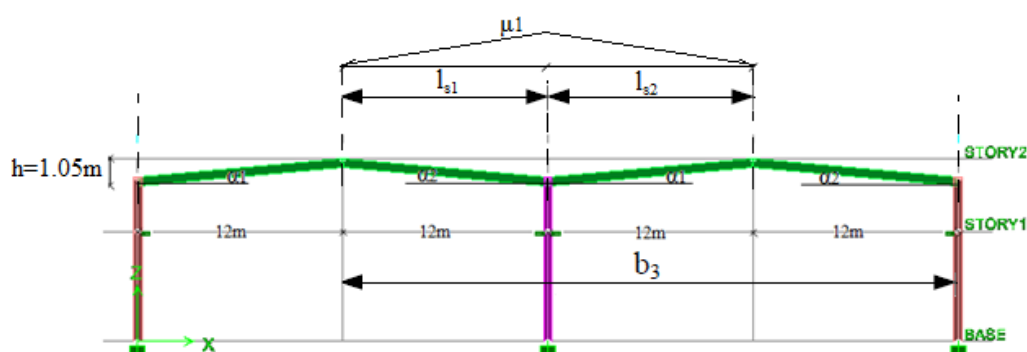


EIKONA 5. 6

Οι περιπτώσεις φόρτισης φαίνονται στην εικόνα 5.6 και είναι εμφανές ότι δυσμενέστερη κατανομή φόρτισης είναι η 2^η περίπτωση με φορτία $s_{1,\alpha} = 0,67 \text{ KN/m}^2$ στα άκρα και $s_{2,\alpha 0} = 0,78 \text{ KN/m}^2$ στο μέσο.

5.3.2.2 ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΧΙΟΝΙΟΥ

Σε περιπτώσεις «εξαιρετικών» συγκεντρώσεων χιονιού, η κρίσιμη κατανομή είναι να μαζεύεται το χιόνι στις εσοχές μεταξύ των κορφιάδων, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.7.



ΕΙΚΟΝΑ 5. 7

Όπως και πριν τα δεδομένα δεν αλλάζουν οπότε είναι ίδια η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου του χιονιού επί του εδάφους:

$$s_k = s_{k,0} \times \left[1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right] = 0,8 \times \left[1 + \left(\frac{200}{917} \right)^2 \right] = 0,838 \text{ KN/m}^2$$

Συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού, όπου $\alpha = 5^\circ$ και $h = 1,05 \text{ m}$ θα είναι :

$$\mu_1 = \min \left\{ \frac{2 \times h}{s_k}, \frac{2 \times b_3}{l_{s1} + l_{s2}}, 5 \right\} = \min \left\{ \frac{2 \times 1,05}{0,838}, \frac{2 \times 36}{12 + 12}, 5 \right\} = \min \{ 2,51, 3,5 \} = 2,51$$

Επίσης ομοίως θεωρείται συντελεστής έκθεσης $C_e = 1,0$ για έκθεση σε κανονικές συνθήκες και συνήθης θερμικός συντελεστής $C_t = 1,0$. Άρα:

$$s_1 = \mu_1 \times C_e \times C_t \times s_k = 2,51 \times 1 \times 1 \times 0,838 = 2,1 \text{ KN/m}^2$$

Η μορφή της φόρτισης φαίνεται στην εικόνα 5.7 και είναι δυσμενέστερη από τις προηγούμενες.

5.4 ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΕΜΟΥ

Οι δράσεις λόγω ανέμου στις κατασκευές από χάλυβα, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο και αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις τη βασική φόρτιση, ανεξάρτητα από το τύπο τους (μονώροφα, πολυώροφα κλπ.). Το μέγεθος των δράσεων αυτών μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία, το ύψος της κατασκευής, το είδος του περιβάλλοντα χώρου κλπ.

Οι δυνάμεις του ανέμου είναι χρονικά μεταβαλλόμενες και μπορεί να προκαλέσουν ταλαντώσεις, για πολλές όμως κατασκευές (πχ. δύσκαμπτες) η δυναμική αυτή

επίδραση είναι μικρή, οπότε τα φορτία του ανέμου μπορεί να θεωρούνται στατικά. Συνεπώς, οι δράσεις του ανέμου κατατάσσονται στις μεταβλητές καθορισμένες δράσεις, ενώ θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ταυτόχρονη επιρροή και των άλλων δράσεων της κατασκευής, που είναι δυνατό να επιφέρουν αλλαγές στην επιφάνεια αναφοράς ή σε κάποιους συντελεστές, καθώς επίσης και αλλαγές κατά τη φάση κατασκευής, που θα μπορούσαν να αλλάξουν την εξωτερική και εσωτερική πίεση ή τα δυναμικά χαρακτηριστικά. Οι κατασκευές που είναι ευαίσθητες σε δυναμικές καταπονήσεις πρέπει να σχεδιάζονται για φορτία κόπωσης.

Η πλέον σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό των δράσεων του ανέμου είναι η ταχύτητα του ανέμου. Η βάση σχεδιασμού είναι η μέγιστη ταχύτητα (ριπή) που προβλέπεται για τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού της κατασκευής. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος ταχύτητας και της ασκούμενης πίεσης του ανέμου είναι η γεωγραφική θέση της κατασκευής, η φυσική της θέση, η τοπογραφία της περιοχής, οι διαστάσεις της κατασκευής, η μέση ταχύτητα του ανέμου, το σχήμα της κατασκευής, η κλίση της στέγης και η διεύθυνση του ανέμου. [2]

5.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

- Εξωτερική πίεση

Η πίεση του ανέμου που δρα κάθετα στις εξωτερικές επιφάνειες μιας κατασκευής προκύπτει από τη σχέση :

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

όπου, $q_p(z_e)$: πίεση ταχύτητας αιχμής στο ύψος αναφοράς για εξωτερική πίεση z_e .
 c_{pe} : συντελεστής εξωτερικής πίεσης

- Εσωτερική πίεση

Η πίεση του ανέμου που δρα κάθετα στις εσωτερικές επιφάνειες μιας κατασκευής προκύπτει από τη σχέση :

$$w_i = q_p(z_i) \times c_{pi}$$

όπου, $q_p(z_i)$: πίεση ταχύτητας αιχμής στο ύψος αναφοράς για εσωτερική πίεση z_i .
 c_{pi} : συντελεστής εσωτερικής πίεσης

- Πίεση ταχύτητας αιχμής

Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος z , η οποία περιλαμβάνει μέσες και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας προκύπτει από τη σχέση:

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = c_e(z) \times q_b$$

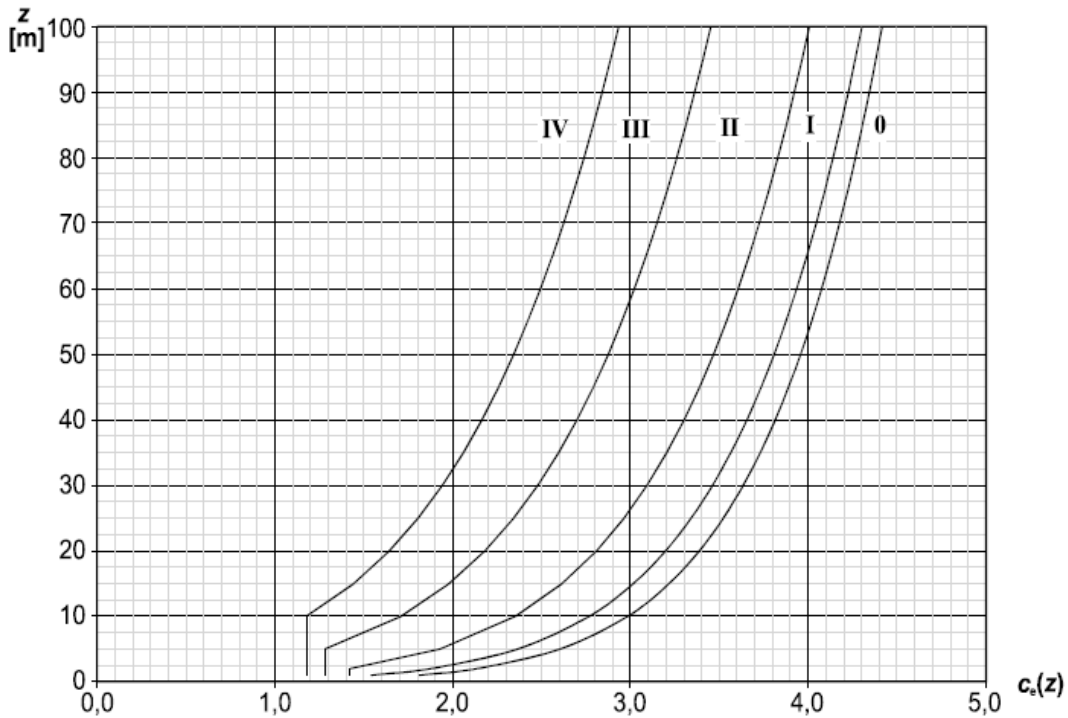
όπου, ρ : 1,25 Kg/m³ η πυκνότητα του αέρα, που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται στην περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας.

$I_v(z)$: ένταση του στροβιλισμού σε ύψος z

$c_e(z)$: ο συντελεστής έκθεσης $c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$

q_b : βασική πίεση $q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2$

Για επίπεδο έδαφος όπου $c_0(z)=1$ ο συντελεστής έκθεσης $c_e(z)$ δίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα της εικόνας



Διάγραμμα συντελεστή έκθεσης $c_e(z)$ για $c_0=1,0$ και $k_l=1,0$

EIKONA 5. 8

- Βασική ταχύτητα ανέμου

Η βασική ταχύτητα ανέμου, που ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος κατηγορίας II, προκύπτει από τη σχέση:

$$V_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0}$$

όπου, c_{dir} : συντελεστής διεύθυνσης (=1,0).

c_{season} : συντελεστής εποχής (=1,0).

$v_{b,0}$: θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, η οποία είναι χαρακτηριστική μέση ταχύτητα του ανέμου για 10 λεπτά ανεξάρτητα από τη διεύθυνση του και την εποχή του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος, σε ανοικτή περιοχή με χαμηλή βλάστηση και με μεμονωμένα εμπόδια σε αποστάσεις τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων (έδαφος κατηγορίας II). Σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα, η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου $v_{b,0}$ για την Ελλάδα ορίζεται σε 33 m/s για τα νησιά και παράλια μέχρι 10 km από την ακτή και σε 27 m/s για την υπόλοιπη χώρα.

- Μέση ταχύτητα του ανέμου

Η μέση ταχύτητα του ανέμου, σε ύψος z πάνω από το έδαφος εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση, ενώ προκύπτει από τη σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) + c_0(z) \times v_b$$

όπου, $c_r(z)$: συντελεστής τραχύτητας.

$c_0(z)$: συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (προτεινόμενη τιμή 1,0).

- Ένταση στροβιλισμού

Η ένταση του στροβιλισμού $I_v(z)$ σε ύψος z προκύπτει από τις σχέσεις:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{για, } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{για, } z < z_{\min}$$

όπου, k_I : συντελεστής στροβιλισμού (=1,0).

5.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Θα προσδιορισθούν οι τελικές πιέσεις που ασκούνται στους τοίχους και στην στέγη του βιομηχανικού κτιρίου από τη δράση του ανέμου. Το κτίριο βρίσκεται σε επίπεδη περιοχή με αμελητέα βλάστηση για αυτό κατατάσσεται στη κατηγορία I σύμφωνα με το πίνακα 5.4 (ευρωκώδικας 1), συνεπώς λαμβάνεται μήκος τραχύτητας του εδάφους $z_0=0,01\text{m}$ και ελάχιστο ύψος από το έδαφος $z_{\min}=1\text{m}$. Όλο το κτίριο είναι κλειστό με εξαίρεση το άνοιγμα της πόρτας στο μπροστινό του τμήμα. Η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας της περιοχής είναι $v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$.

Ο δυναμικός συντελεστής λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα $c_s c_d = 1,0$ γιατί το συνολικό ύψος του κτιρίου είναι μικρότερο από 15 m ($h = 10,7 \text{ m} \leq 15 \text{ m}$).

Το ύψος αναφοράς του κτιρίου $z_e = h = 10,7 \text{ m}$ ισούται με το συνολικό ύψος του κτιρίου γιατί το τελευταίο είναι μικρότερο και από τις δύο οριζόντιες πλευρές του κτιρίου.

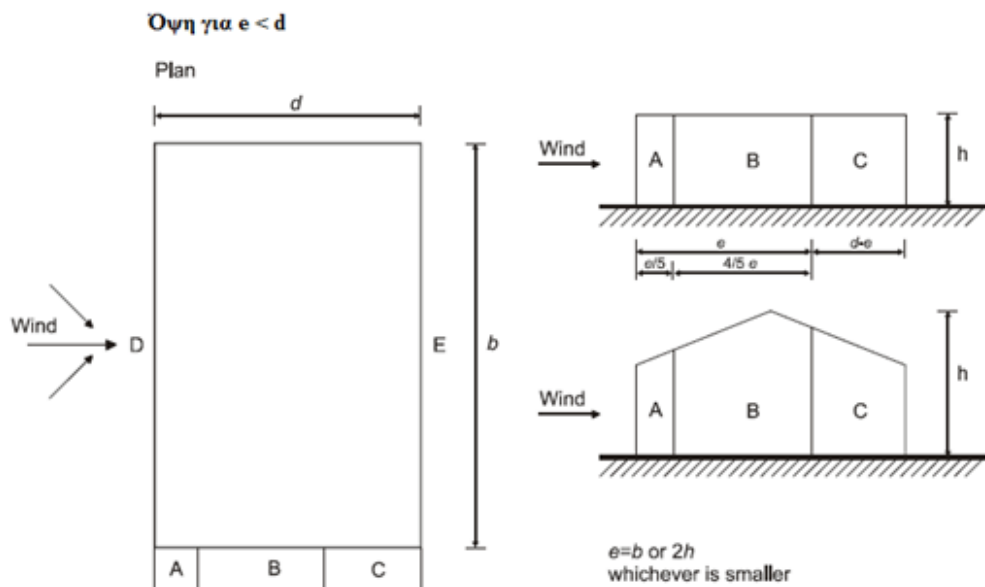
Θα υπολογιστούν οι συντελεστές ανεμοπίεσης σε ένα πλαίσιο και θα προσαρμοστούν κατάλληλα για τα δύο επαναλαμβανόμενα πλαίσια.

Κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι

Κατηγορία εδάφους	z_0 m	z_{\min} m
0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή ανοικτής θάλασσας	0,003	1
I Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια.	0,01	1
II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων.	0,05	2
III Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση).	0,3	5
IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια και το μέσο ύψος τους ξεπερνά τα 15m.	1,0	10

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 4

Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή των συντελεστών εξωτερικής πίεσης στους κατακόρυφους τοίχους για $e < d$, ενώ στο πίνακα 5.5 δίνονται οι τιμές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης σε σχέση με το h/d .



Συμβολισμοί για κατακόρυφους τοίχους

ΕΙΚΟΝΑ 5. 9

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους ορθογωνικών κτιρίων

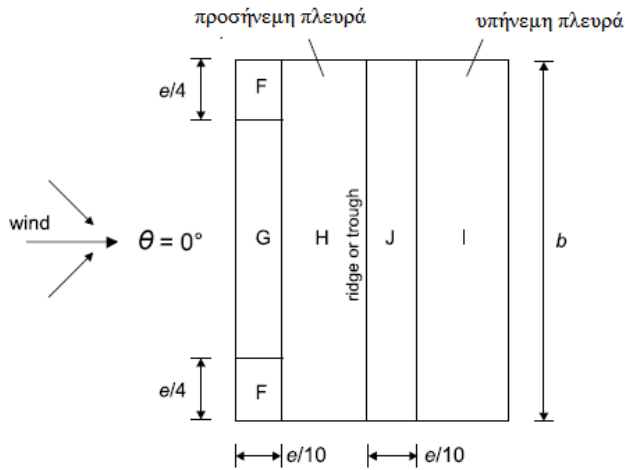
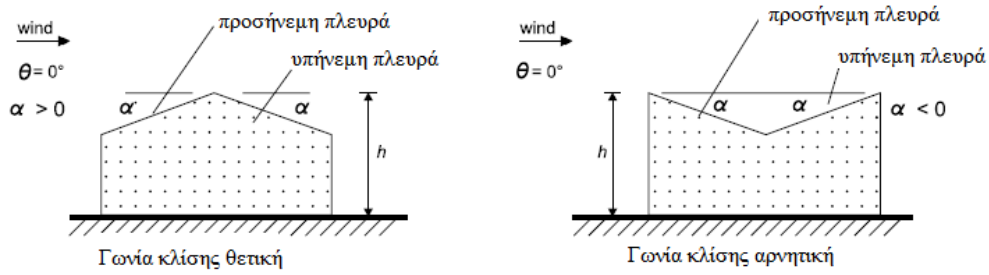
Ζώνη	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
h/d										
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

NOTE 1 For intermediate values of h/d , linear interpolation should be used.

NOTE 2 The values of Table 7.1 also apply to walls of buildings with inclined roofs, such as duopitch and monopitch roofs.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 5

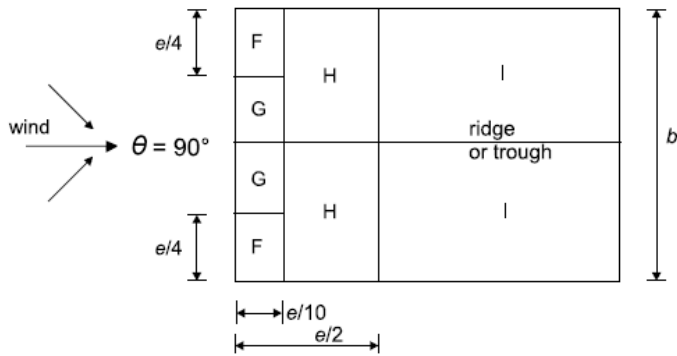
Οι κατανομές των συντελεστών εξωτερικής πίεσης για τις δικλινείς στέγες παρουσιάζεται στην εικόνα 5.10 , ενώ οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κάθε γωνία κλίσης της στέγης δίνονται στους πίνακες 5.6 και 5.7 για άνεμο $\Theta=0^\circ$ και $\Theta=90^\circ$ αντίστοιχα.



Διεύθυνση ανέμου $\theta = 0^\circ$

$e = b$ or $2h$
 όποιο είναι μικρότερο

b : διάσταση εγκάρσια στον
 άνεμο



Διεύθυνση ανέμου $\theta = 90^\circ$

ΕΙΚΟΝΑ 5. 10

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δίκλινεις στέγες

Γωνία κλίσης α	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\Theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

NOTE 1 At $\Theta = 0^\circ$ the pressure changes rapidly between positive and negative values on the windward face around a pitch angle of $\alpha = -5^\circ$ to $+45^\circ$, so both positive and negative values are given. For those roofs, four cases should be considered where the largest or smallest values of all areas F, G and H are combined with the largest or smallest values in areas I and J. No mixing of positive and negative values is allowed on the same face.

NOTE 2 Linear interpolation for intermediate pitch angles of the same sign may be used between values of the same sign. (Do not interpolate between $\alpha = +5^\circ$ and $\alpha = -5^\circ$, but use the data for flat roofs in 7.2.3). The values equal to 0,0 are given for interpolation purposes

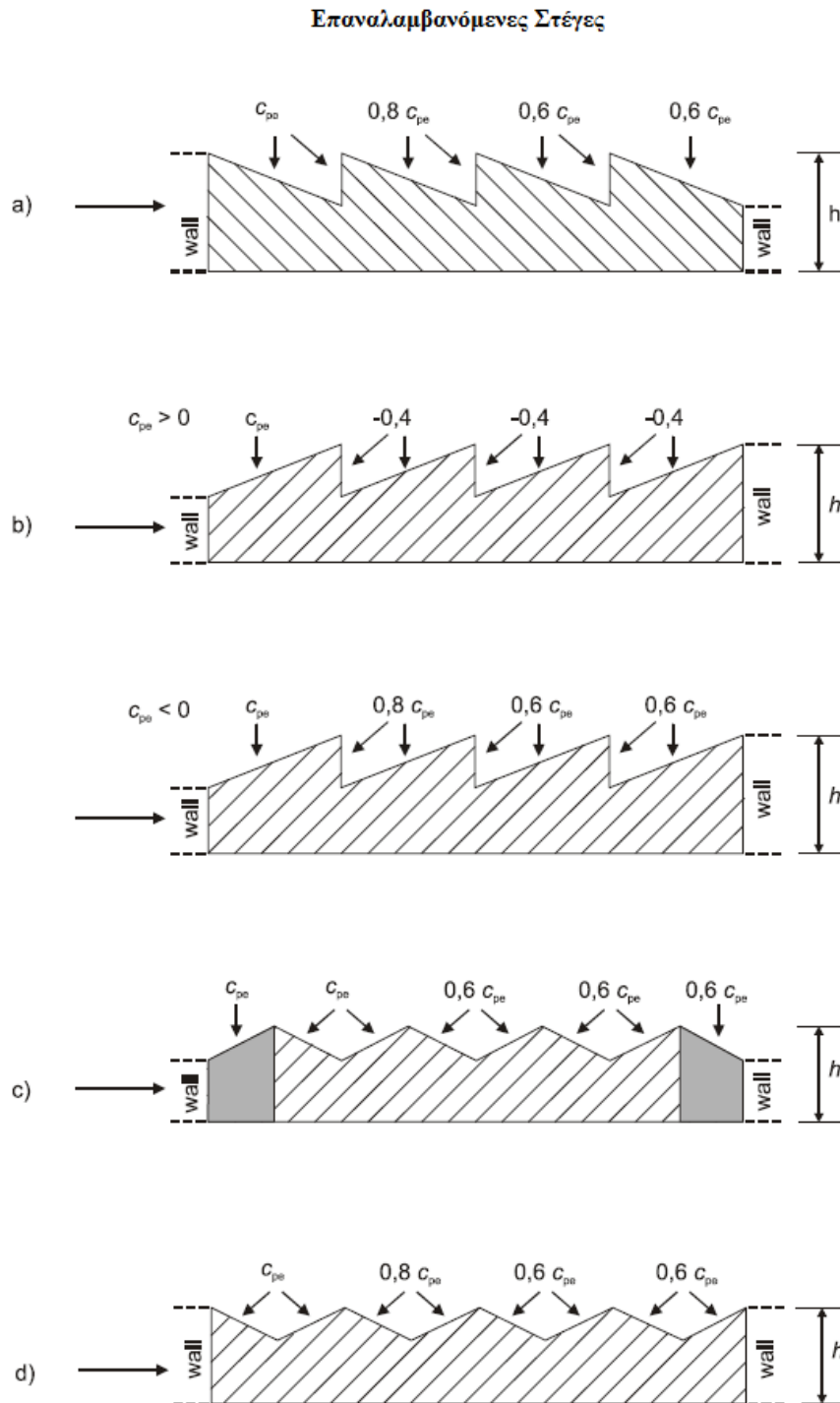
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 6

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δίκλινεις στέγες

Γωνία κλίσης α	Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\Theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 7

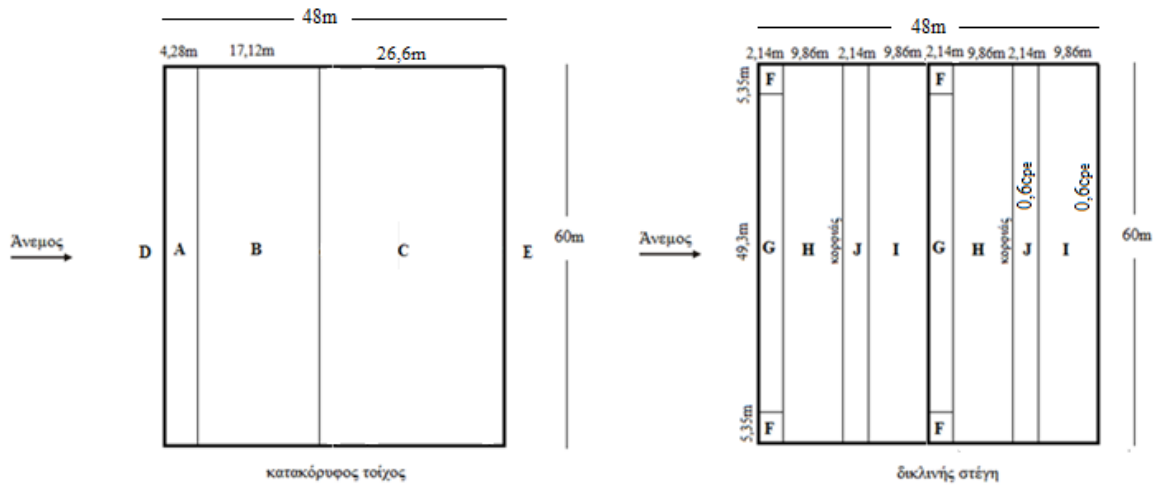
Για επαναλαμβανόμενες στέγες θα εξάγονται τροποποιητικοί συντελεστές πίεσεων για διευθύνσεις ανέμου 0° και 180° σε κάθε άνοιγμα όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 5.11.



EIKONA 5. 11

1. Διεύθυνση ανέμου $\Theta=0^\circ$

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για $\Theta=0^\circ$: $b=60\text{m}$, $d=48\text{m}$, $h=10,7\text{m}$



ΕΙΚΟΝΑ 5. 12

$$e = \min(b, 2h) = \min(60, 2 \times 10,7) = \min(60, 21,4) = 21,4\text{m} < d=48\text{m}.$$

Άρα για $e < d$ λαμβάνεται η κατανομή των συντελεστών εσωτερικής πίεσης όπως στην εικόνα 5.9

$$\text{τμήμα A : } e/5 = 4,28 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα B : } 4e/5 = 17,12 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα C : } d-e = 48-21,4 = 26,6 \text{ m}$$

$h/d = 0,22$ άρα από πίνακα 5.5 προκύπτουν με γραμμική παρεμβολή οι ακόλουθοι συντελεστές εξωτερικής πίεσης:

$$\text{A : } c_{pe,10}=-1,2 \text{ και } c_{pe,1}=-1,4$$

$$\text{B : } c_{pe,10}=-0,8 \text{ και } c_{pe,1}=-1,1$$

$$\text{C : } c_{pe,10}=-0,5 \text{ και } c_{pe,1}=-0,5$$

$$\text{D : } c_{pe,10}= 0,7 \text{ και } c_{pe,1}= 1,0$$

$$\text{E : } c_{pe,10}= 0,3 \text{ και } c_{pe,1}= 0,3$$

Λαμβάνεται η κατανομή των συντελεστών εξωτερικής πίεσης όπως φαίνεται στην εικόνα 5.10

$$\text{τμήμα F : } e/10 = 2,14 \text{ m και } e/4 = 5,35 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα G : } b-e/2 = 49,3 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα H : } (d-e/5)/2 = (24-4,28)/2 = 9,86 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα I : } (d-e/5)/2 = (24-4,28)/2 = 9,86 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα J : } e/10 = 2,14 \text{ m}$$

για γωνία κλίσης της στέγης θετική με τιμή $\alpha = \arctan(1,05/12) = 5^\circ$, ενώ οι

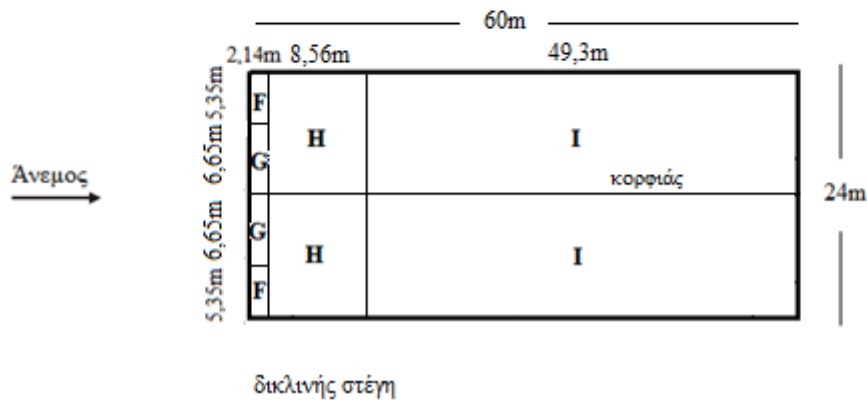
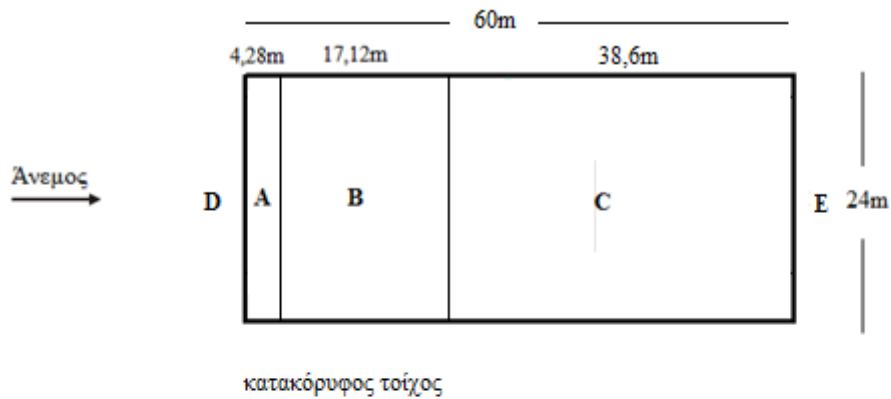
εξωτερικοί συντελεστές πιέσεις για δικλινείς επαναλαμβανόμενες στέγες τύπου c (εικόνα 5.11) για $\Theta=0^\circ$ λαμβάνονται από το πίνακα 5.6. Στη μορφή c το πρώτο c_{pe} είναι το c_{pe} της μονοκλινούς στέγης, ενώ το δεύτερο και όλα τα υπόλοιπα είναι c_{pe} δικλινούς στέγης.

$$\text{F : } c_{pe,10}=-1,7 \text{ και } c_{pe,1}=-2,5$$

- G: $c_{pe,10}=-1,2$ και $c_{pe,1}=-2,0$
H : $c_{pe,10}=-0,6$ και $c_{pe,1}=-1,2$
I : $c_{pe,10}=-0,6$ και $c_{pe,1}=-0,6$ { $0,6 \times c_{pe,10}=-0,36$ και $0,6 \times c_{pe,1}=-0,36$ }
J : $c_{pe,10}=-0,6$ και $c_{pe,1}=-0,6$ { $0,6 \times c_{pe,10}=-0,36$ και $0,6 \times c_{pe,1}=-0,36$ }

2. Διεύθυνση ανέμου $\Theta=90^\circ$

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για $\Theta=90^\circ$: $b=24m$, $d=60m$, $h=10,7m$



ΕΙΚΟΝΑ 5. 13

$$e = \min(b, 2h) = \min(24, 2 \times 10,7) = \min(24, 21,4) = 21,4m < d=60m.$$

Άρα για $e < d$ λαμβάνεται η κατανομή των συντελεστών εσωτερικής πίεσης όπως στην εικόνα 5.9

$$\text{τμήμα A : } e/5 = 4,28 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα B : } 4e/5 = 17,12 \text{ m}$$

$$\text{τμήμα C : } d-e = 60-21,4 = 38,6 \text{ m}$$

$h/d = 0,178 \leq 0,25$ άρα από πίνακα 5.5 προκύπτουν οι ακόλουθοι συντελεστές:

$$\text{A : } c_{pe,10}=-1,2 \text{ και } c_{pe,1}=-1,4$$

$$\text{B : } c_{pe,10}=-0,8 \text{ και } c_{pe,1}=-1,1$$

$$\text{C : } c_{pe,10}=-0,5 \text{ και } c_{pe,1}=-0,5$$

$$\text{D : } c_{pe,10}=0,7 \text{ και } c_{pe,1}=1,0$$

$$\text{E : } c_{pe,10}=-0,3 \text{ και } c_{pe,1}=-0,3$$

Λαμβάνεται η κατανομή των συντελεστών εξωτερικής πίεσης όπως φαίνεται στην εικόνα 5.10

τμήμα F : $e/10 = 2,14$ m και $e/4 = 5,35$ m

τμήμα G : $e/10 = 2,14$ m ($(b-e/2)/2 = 6,65$ m

τμήμα H : $e/2 - e/10 = 10,7 - 2,14 = 8,56$ m

τμήμα I $d - e/2 = 49,3$ m

για γωνία κλίσης της στέγης θετική με τιμή $\alpha = \arctan(1,05/12) = 5^\circ$, ενώ οι εξωτερικοί συντελεστές πιέσεις για δικλινείς στέγες για $\Theta = 90^\circ$ λαμβάνονται από το πίνακα 5.7. Στη μορφή c το πρώτο c_{pe} είναι το c_{pe} της μονοκλινούς στέγης, ενώ το δεύτερο και όλα τα υπόλοιπα είναι c_{pe} δικλινούς στέγης.

F : $c_{pe,10} = -1,6$ και $c_{pe,1} = -2,2$

G : $c_{pe,10} = -1,3$ και $c_{pe,1} = -2,0$

H : $c_{pe,10} = -0,7$ και $c_{pe,1} = -1,2$

I : $c_{pe,10} = -0,6$ και $c_{pe,1} = -0,6$

3. Συντελεστής εσωτερικής πίεσης

Θεωρώντας ότι το κτίριο λόγω της χρήσης του έχει μόνο μια πόρτα για είσοδο και εξόδου εξοπλισμού και προσωπικού, πρακτικά έχει αμελητέα ανοίγματα μπροστά στη συνολική του επιφάνεια. Επειδή δεν θεωρείται επαρκής η εκτίμηση του μ το c_{pi} λαμβάνεται ως το πλέον δυσμενές, έστω $c_{pi} = -0,3$.

4. Πίεση ταχύτητας αιχμής

Η βασική ταχύτητα είναι:

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1 \times 1 \times 27 = 27 \text{ m/sec}$$

Η βασική ταχύτητα ανέμου σε ύψος z πάνω από το έδαφος είναι:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b$$

Από τον πίνακα 5.4 για έδαφος κατηγορίας I έχει ληφθεί $z_0 = 0,01$ m και ελάχιστο ύψος από το έδαφος $z_{min} = 1$ m.

Επειδή $z_{min} = 1 \text{ m} < z_e = 10,7 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$

Ο συντελεστής τραχύτητας $c_r(z_e)$ δίνεται από τη σχέση: $c_r(z_e) = k_r \times \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right)$,

$$\text{όπου, } k_r = 0,19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{0,01}{0,05}\right)^{0,07} = 0,17.$$

$$\text{Άρα } c_r(z_e) = k_r \times \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right) = 0,17 \times \ln\left(\frac{10,7}{0,01}\right) = 1,19$$

Επίσης $c_0(z_e) = 1$,

$$\text{επομένως } v_m(z_e) = c_r(z_e) \times c_0(z_e) \times v_b = 1,19 \times 1 \times 27 = 32,1 \text{ m/sec}$$

Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος z_e είναι : $q_p(z_e) = [1 + 7 \times I_v(z_e)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z_e)$

$$\text{όπου } I_v(z_e) = \frac{k_I}{c_0(z_e) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \times \ln\left(\frac{10,7}{0,01}\right)} = 0,143$$

Άρα $q_p(z_e) = [1 + 7 \times I_v(z_e)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z_e) =$
 $= [1 + 7 \times 0,143] \times \frac{1}{2} \times 0,00125 \times 32,1^2 = 1,29 \text{ KN/m}^2$

5. Τελικές πιέσεις

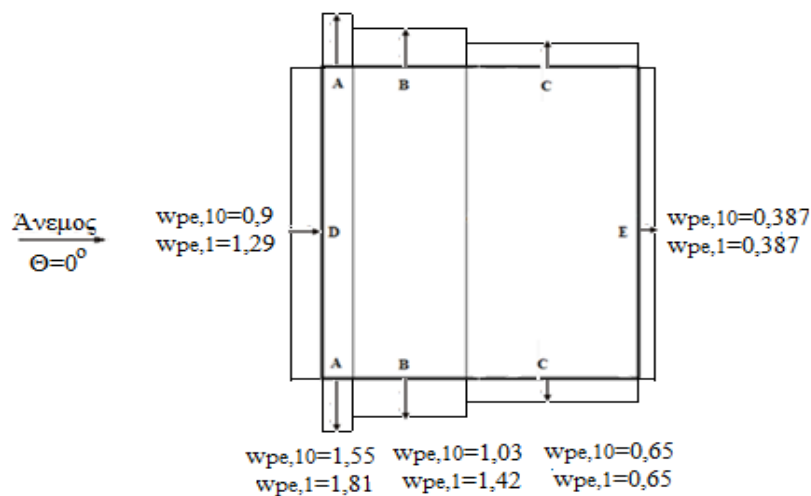
Η εξωτερική πίεση δίνεται από τη σχέση :

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe} = 1,29 \times c_{pe}$$

Η εσωτερική πίεση δίνεται από τη σχέση :

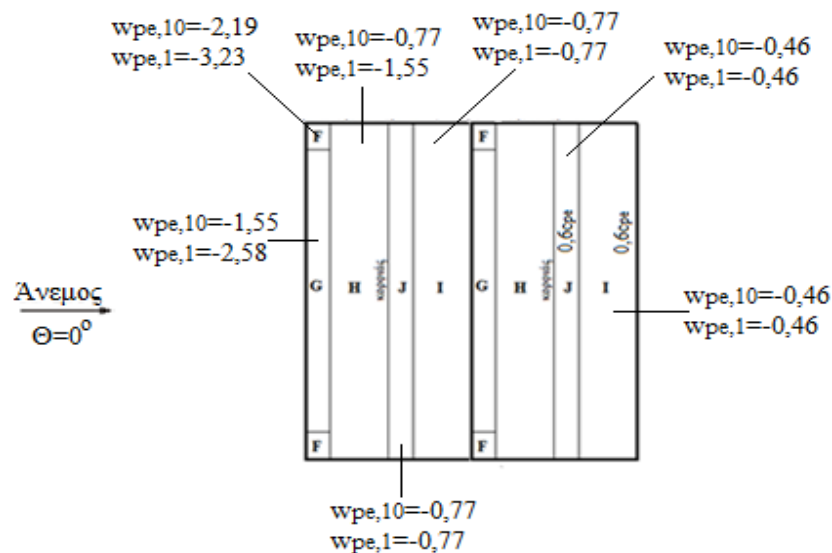
$$w_i = q_p(z_i) \times c_{pi} = 1,29 \times c_{pi} = 1,29 \times (-0,3) = -0,387 \text{ KN/m}^2$$

Από το άθροισμα των w_e και w_i ανά επιφάνεια, προκύπτει η τελική πίεση σε κάθε τμήμα του κτιρίου, όπως παρουσιάζεται στις εικόνες 5.18 έως 5.21.



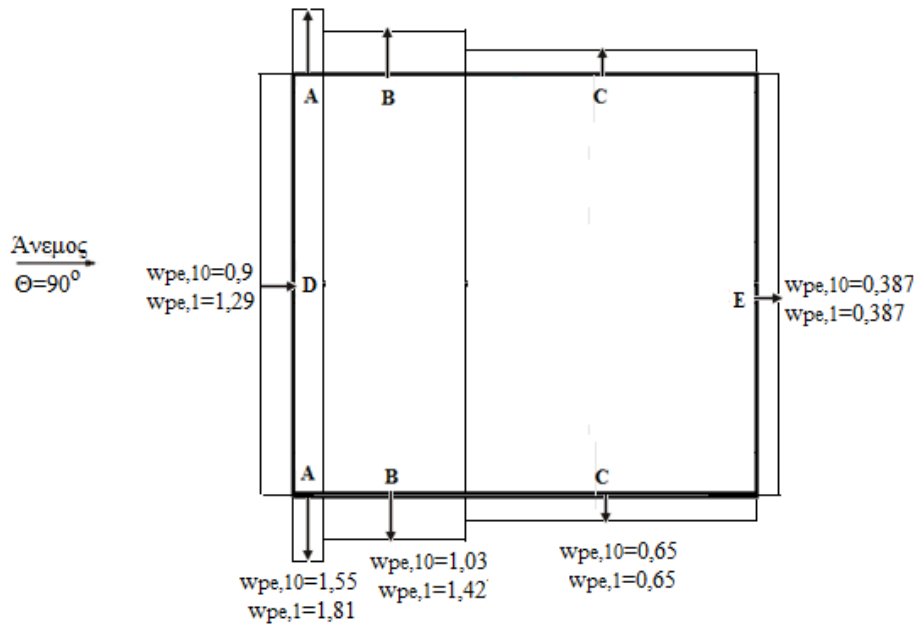
κατακόρυφος τοίχος

ΕΙΚΟΝΑ 5. 14



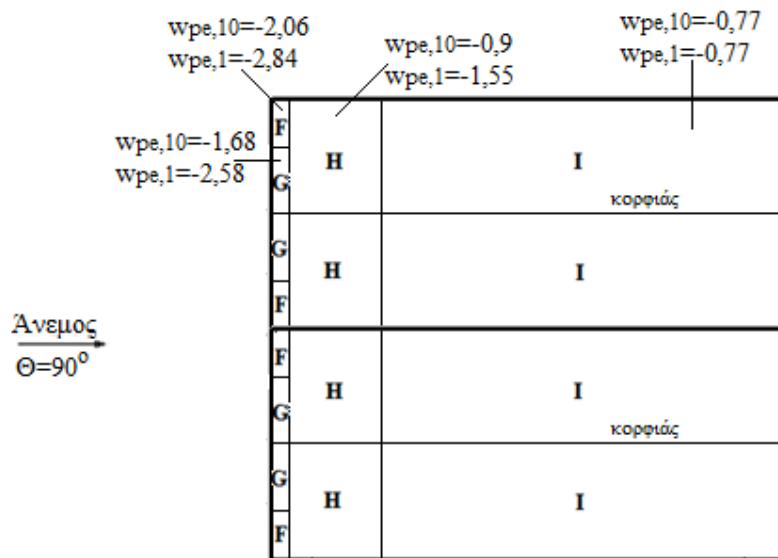
δικλινής επαναλαμβανόμενη στέγη

ΕΙΚΟΝΑ 5. 15



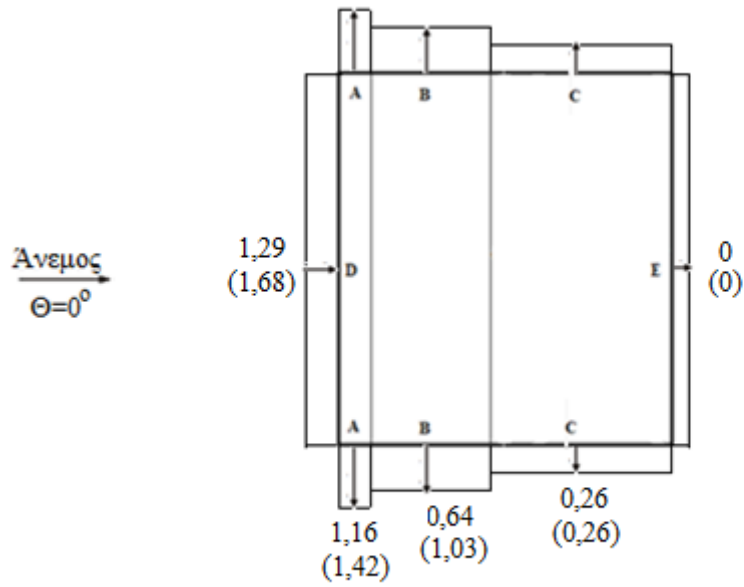
κατακόρυφος τοίχος

ΕΙΚΟΝΑ 5. 16



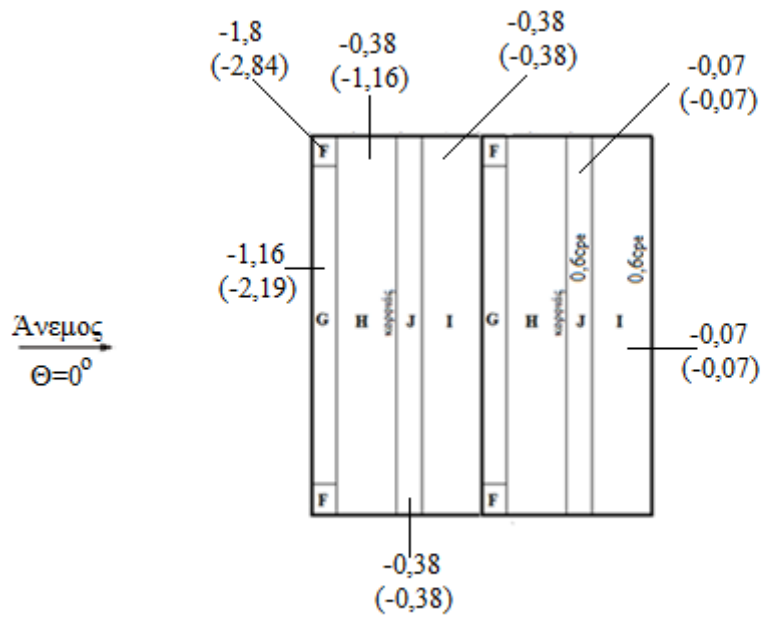
δικλινής επαναλαμβανόμενη στέγη

ΕΙΚΟΝΑ 5. 17



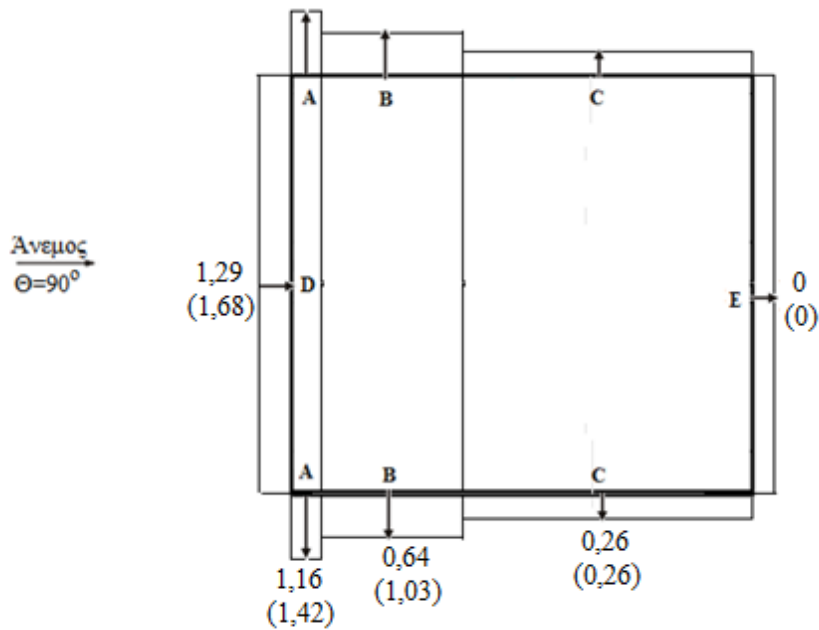
κατακόρυφος τοίχος

ΕΙΚΟΝΑ 5. 18



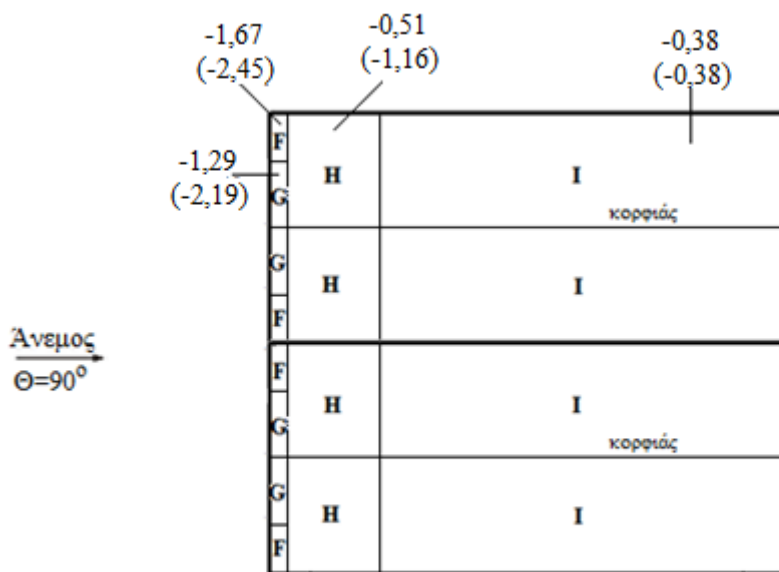
δικλινής επαναλαμβανόμενη στέγη

ΕΙΚΟΝΑ 5. 19



κατακόρυφος τοίχος

ΕΙΚΟΝΑ 5. 20



δικλινής επαναλαμβανόμενη στέγη

ΕΙΚΟΝΑ 5. 21

5.5 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια εξαιρετικά σεισμογενή περιοχή και ως εκ τούτου οι σεισμικές δράσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των κατασκευών. Ως σεισμικές δράσεις σχεδιασμού θεωρούνται οι ταλαντώσεις του κτιρίου λόγω του σεισμού, οι οποίες ονομάζονται και σεισμικές δράσεις ή σεισμικές δονήσεις. Οι

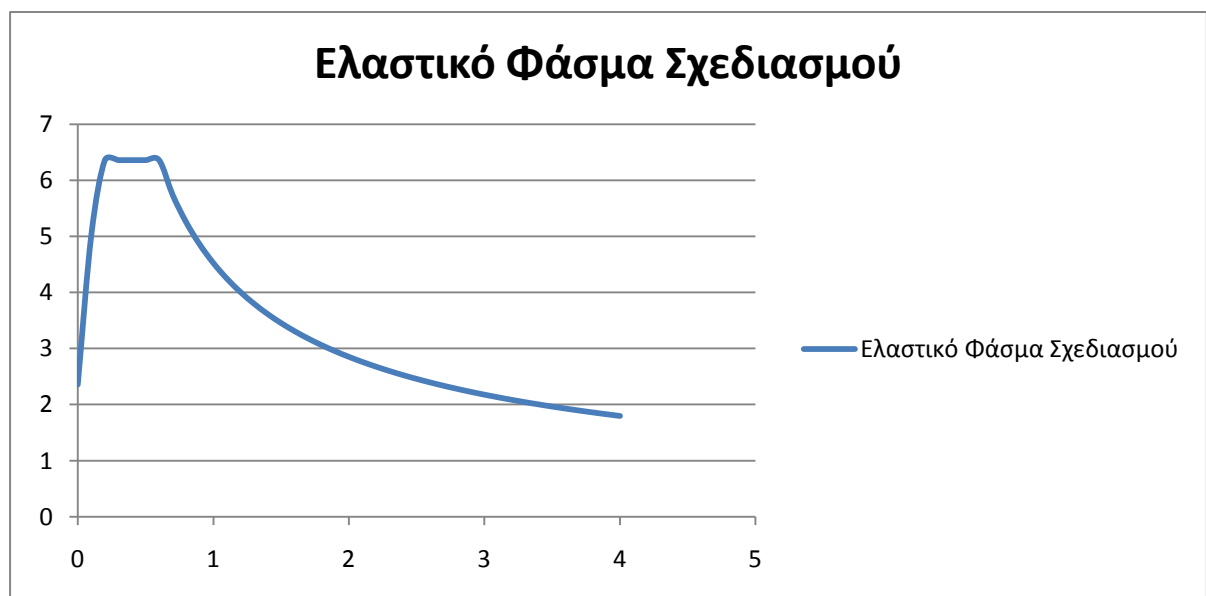
σεισμικές δράσεις κατατάσσονται στις τυχηματικές και δεν συνδυάζονται με άλλες τυχηματικές δράσεις, όπως επίσης δεν συνδυάζονται με δράσεις λόγω ανέμου.

Η ένταση των εδαφικών σεισμικών διεγέρσεων καθορίζεται από τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού A , ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας της χώρας στην οποία βρίσκεται το έργο. Η Ελλάδα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας. Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους A , η οποία σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια. [1]

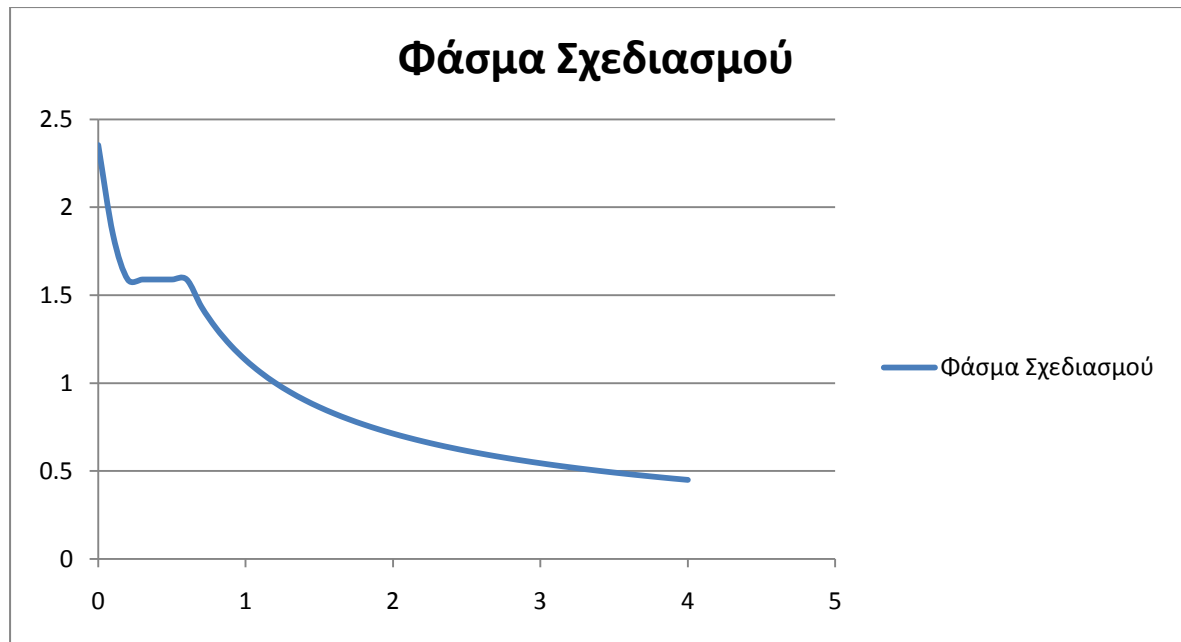
Οι σεισμικές διεγέρσεις σχεδιασμού ορίζονται στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους ως δυο οριζόντιες (κάθετες μεταξύ τους) και μια κατακόρυφη συνιστώσα, στατικά ανεξάρτητες μεταξύ τους, καθορίζονται δε με τη βοήθεια των φασμάτων απόκρισης (σε όρους επιτάχυνσης) ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή.

Το βιομηχανικό κτίριο θα μελετηθεί με τη φασματική σεισμική μέθοδο, έτσι όπως δίνεται από τον ΕΑΚ. Το κτίριο βρίσκεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II, η οποία χαρακτηρίζεται από σεισμική επιτάχυνση εδάφους $A = 0,24g$. Η κατηγορία σπουδαιότητας για βιομηχανικά κτίρια είναι $\gamma_1 = 1$, η ποιότητα του εδάφους ανήκει στη κατηγορία B που αντιστοιχεί σε περιόδους $T_1 = 0,15\text{sec}$ και $T_2 = 0,60\text{sec}$. Συντελεστή συμπεριφοράς για κτίρια από χάλυβα κατά X (πλαισιακή λειτουργία) λάβαμε $q = 4$, ενώ συντελεστής συμπεριφοράς κατά Y λάβαμε $\min\{3 \text{ (διαγώνιοι σύνδεσμοι)}, 1,50 \text{ (διαγώνιοι σύνδεσμοι τύπου L)}\} = 1,50$, ενώ το ποσοστό απόσβεσης για μεταλλική κατασκευή με κοχλιώσεις είναι $\zeta = 4\%$ ($n = 1,08$).

Περίοδοι	Εξίσωση
$0 \leq T \leq T_1$	$\Phi_d(T) = \gamma_1 \times A \times \left[1 + \frac{T}{T_1} \times \left(\frac{n \times \theta \times \beta_o}{q} - 1 \right) \right]$
$T_1 \leq T \leq T_2$	$\Phi_d(T) = \gamma_1 \times A \times \frac{n \times \theta \times \beta_o}{q}$
$T_2 \leq T$	$\Phi_d(T) = \gamma_1 \times A \times \frac{n \times \theta \times \beta_o}{q} \times \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3}$



ΕΙΚΟΝΑ 5. 22



ΕΙΚΟΝΑ 5. 23

5.6 ΦΟΡΤΙΑ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Τα φορτία της γερανογέφυρας υπολογίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο αναλυτικά. Συνοψίζοντας παραθέτουμε παρακάτω ο πίνακας με τα φορτία από την ύπαρξη της γερανογέφυρας και τη λειτουργία της στο βιομηχανικό κτίριο.

			1	2	3	4	5
Κατακόρυφα Φορτία	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας	Q_r^{\min}	37 50	37 50	33,6 45,4	33,6 45,4	33,6 45,4
		$Q_{r,\min}$	32 43,2	32 43,2	29,1 39,3	29,1 39,3	29,1 39,3
	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας και ανυψούμενο φορτίο	$Q_{r,\max}$	123,25 166,4	112,3 151,6	-	108,96 147,1	108,96 147,1
		Q_r^{\max}	35,4 47,8	34,9 47,1	-	32 43,2	32 43,2
Οριζόντια Φορτία	Επιτάχυνση, Επιβράδυνση της γερανογέφυρας	H_{L1}	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	-
		H_{L2}	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	8,73 11,8	-
		H_{T1}	7,1 9,6	7,1 9,6	7,1 9,6	7,1 9,6	-
		H_{T2}	24,2 32,67	24,2 32,67	24,2 32,67	24,2 32,67	-
	Παράγωγη κίνηση της γερανογέφυρας	$H_{S,1,T}$	-	-	-	-	24,68 33,3
		$H_{S,2,T}$	-	-	-	-	24,68 33,3

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 8

5.7 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ

Ο δυναμικός χαρακτήρας των δράσεων λαμβάνεται από τους δυναμικούς προσαυξητικούς συντελεστές που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνδυασμοί των φορτίων με τους κατάλληλους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές θεωρούμενοι ως μια ενιαία χαρακτηριστική δράση. [3]

Ομάδες φορτίων												
			Οριακή κατάσταση αστοχίας							Δοκιμαστική	Τυχηματική	
			1	2	3	4	5	6	7		8	9
1	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας	Q_c	v_1	v_1	1	v_4	v_4	v_4	1	v_1	1	1
2	Ανυψούμενο φορτίο	Q_h	v_2	v_3	-	v_4	v_4	v_4		-	1	1
3	Επιτάχυνση της γερανογέφυρας	H_L, H_t	v_5	v_5	v_5	v_5	-	-	-	v_5	-	-
4	Λοξή κίνηση της γερανογέφυρας	H_s	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Επιτάχυνση ή επιβράδυνση του ανυψωτικού συστήματος		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Άνεμος	F_w	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Δοκιμαστικό φορτίο	Q_T	-	-	-	-	-	-	-	v_6	-	-
8	Πρόσκρουση στο stop	H_B	-	-	-	-	-	-	-	-	v_7	-
9	Πρόσκρουση βαρούλκου σε εμπόδιο	H_{TA}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. 9

5.8 ΟΜΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Τα φορτία των συνδυασμών λαμβάνονται από τον πίνακα 5.4, όπου έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και εμπεριέχουν τους απαραίτητους δυναμικούς συντελεστές που αναφέρονται σε κάθε ομάδα φορτίων. Δεν εμπεριέχονται, όμως, στα φορτία οι συντελεστές ασφάλειας. Παρακάτω εμφανίζονται οι συμβολισμοί για τα φορτία που λαμβάνουν χώρα στις φορτίσεις που θα ακολουθήσουν:

G→Μόνιμα

Q→Ωφέλιμα στέγης (0,75 KN/m² αλλά επειδή μη βαθύ στέγη τα αγνοούμε)

S→Χιόνι

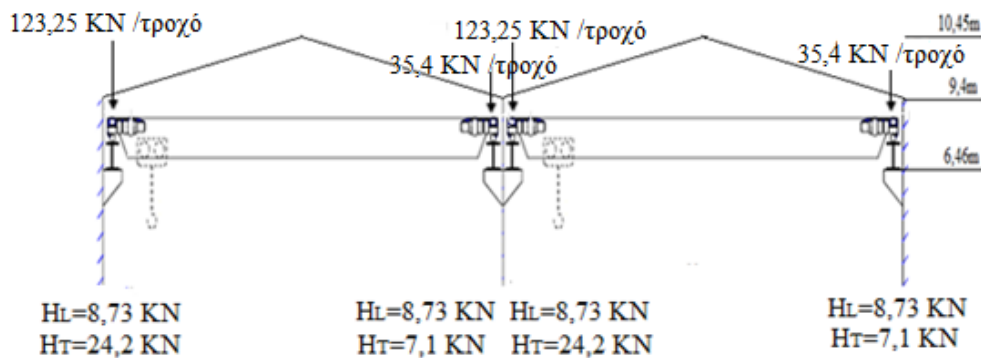
$W \rightarrow$ Άνεμος
 $C \rightarrow$ Γερανογέφυρα
 $H_L \rightarrow$ Οριζόντια διαμήκη φορτία της γερανογέφυρας
 $H_T \rightarrow$ Οριζόντια εγκάρσια φορτία της γερανογέφυρας
 $H_s \rightarrow$ Οριζόντια φορτία από παράγωγη κίνηση της γερανογέφυρας
 $E \rightarrow$ Σεισμός

5.8.1 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Θα εξεταστούν ενδεικτικά οι ομάδες φορτίων 1 και 5 (πίνακας 5.9).

➤ Ομάδα Φορτίων 1

Group 1
Position 1



Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

G1P1Comb1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,W} W_x$$

G1P1Comb2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,W} W_y$$

G1P1Comb3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,W} W_x$$

G1P1Comb4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,W} W_y$$

G1P1Comb5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,35 G + 1,50 W_x + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

G1P1Comb6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,35 G + 1,50 W_y + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

Για καταστάσεις Σεισμού:

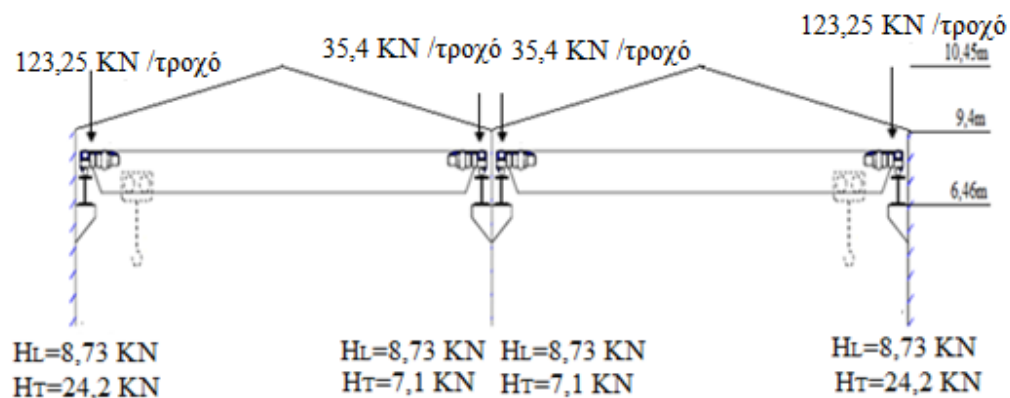
G1P1E1

$$1,0 G + E_{U1} + \psi_{2,C} [C + H_L + H_T] + \psi_{2,S} S$$

G1P1E2

$$1,0 G + E_{U2} + \psi_{2,C} [C + H_L + H_T] + \psi_{2,S} S$$

Group 1
Position 2



Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

G1P2Comb1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G1P2Comb2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G1P2Comb3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G1P2Comb4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G1P2Comb5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,35 G + 1,50 W_x + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

G1P2Comb6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,35 G + 1,50 W_y + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

Για καταστάσεις Σεισμού:

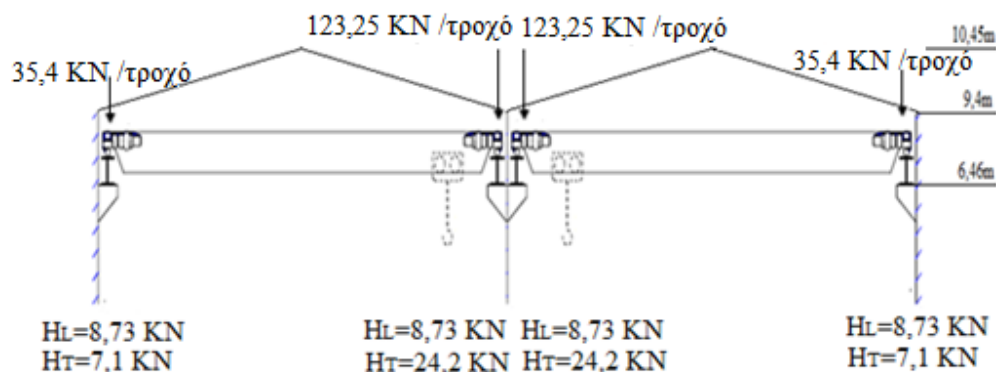
G1P2E1

$$1,0 G + E_{U1} + \psi_{2,C} [C + H_L + H_T] + \psi_{2,S} S$$

G1P2E2

$1,0 G + E_{U2} + \psi_{2,C} [C + H_L + H_T] + \psi_{2,S} S$

Group 1
Position 3



Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

G1P3Comb1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$1,35 G + 1,35 [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_x$

G1P3Comb2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$1,35 G + 1,35 [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_y$

G1P3Comb3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,w} W_x$

G1P3Comb4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,w} W_y$

G1P3Comb5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$1,35 G + 1,50 W_x + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S$

G1P3Comb6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$1,35 G + 1,50 W_y + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_L + H_T] + 1,50 \psi_{0,S} S$

Για καταστάσεις Σεισμού:

G1P3E1

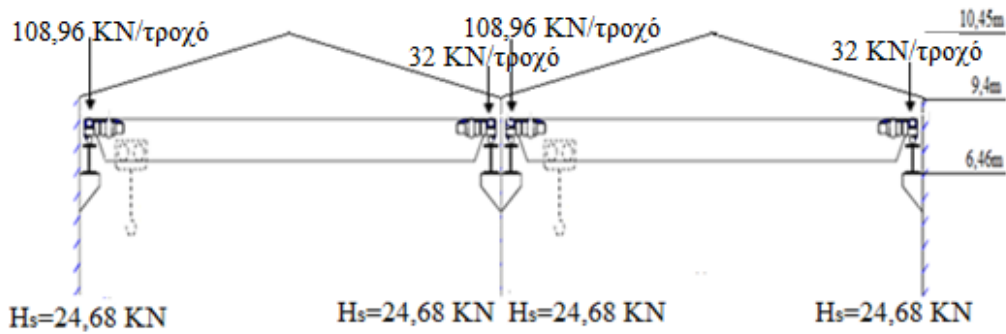
$1,0 G + E_{U1} + \psi_{2,C} [C + H_L + H_T] + \psi_{2,S} S$

G1P3E2

$1,0 G + E_{U2} + \psi_{2,C} [C + H_L + H_T] + \psi_{2,S} S$

➤ Ομάδα Φορτίων 5

Group 5
Position 1



Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

G5P1Comb1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G5P1Comb2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G5P1Comb3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G5P1Comb4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G5P1Comb5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,35 G + 1,50 W_x + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

G5P1Comb6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,35 G + 1,50 W_y + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

Για καταστάσεις Σεισμού:

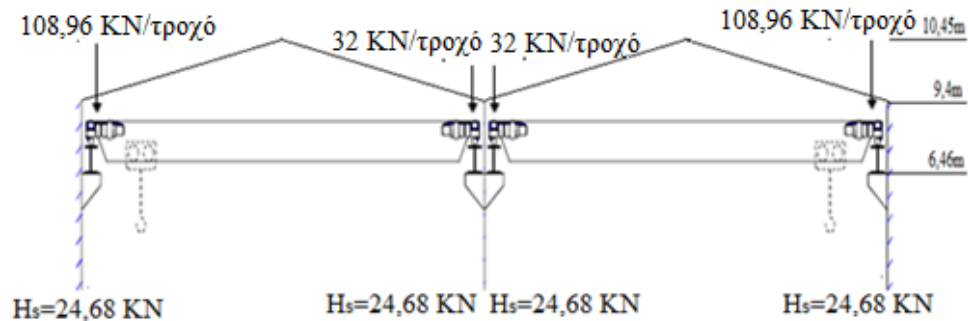
G5P1E1

$$1,0 G + E_{U1} + \psi_{2,C} [C + H_s] + \psi_{2,S} S$$

G5P1E2

$$1,0 G + E_{U2} + \psi_{2,C} [C + H_s] + \psi_{2,S} S$$

Group 5
Position 2



Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

G5P2Comb1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G5P2Comb2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G5P2Comb3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G5P2Comb4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G5P2Comb5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,35 G + 1,50 W_x + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

G5P2Comb6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,35 G + 1,50 W_y + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

Για καταστάσεις Σεισμού:

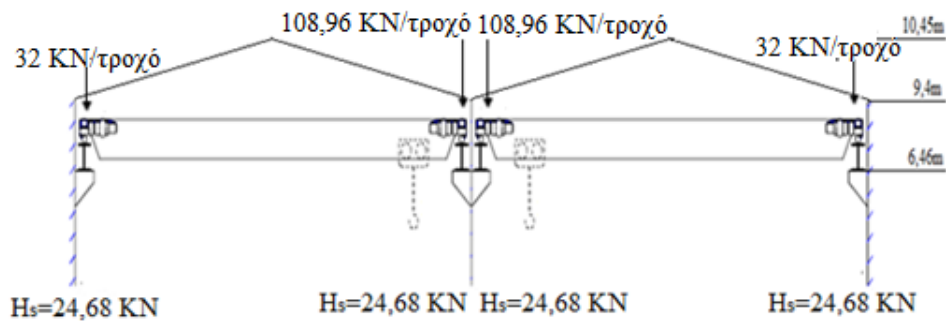
G5P2E1

$$1,0 G + E_{U1} + \psi_{2,C} [C + H_s] + \psi_{2,S} S$$

G5P2E2

$$1,0 G + E_{U2} + \psi_{2,C} [C + H_s] + \psi_{2,S} S$$

Group 5
Position 3



Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

G5P3Comb1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G5P3Comb2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,35 G + 1,35 [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G5P3Comb3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,w} W_x$$

G5P3Comb4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,35 G + 1,50 S + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,w} W_y$$

G5P3Comb5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,35 G + 1,50 W_x + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

G5P3Comb6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,35 G + 1,50 W_y + 1,35 \psi_{0,C} [C + H_s] + 1,50 \psi_{0,S} S$$

Για καταστάσεις Σεισμού:

G5P3E1

$$1,0 G + E_{U1} + \psi_{2,C} [C + H_s] + \psi_{2,S} S$$

G5P3E2

$$1,0 G + E_{U2} + \psi_{2,C} [C + H_s] + \psi_{2,S} S$$

5.8.2 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

5.8.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ

➤ Ομάδα Φορτίων 1

G1P1C1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_x$$

G1P1C2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_y$$

G1P1C3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_x$$

G1P1C4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_y$$

G1P1C5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + 1,0 W_x + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

G1P1C6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + 1,0 W_y + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

G1P2C1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_x$$

G1P2C2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_y$$

G1P2C3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_x$$

G1P2C4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_y$$

G1P2C5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + 1,0 W_x + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

G1P2C6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + 1,0 W_y + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

G1P3C1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_x$$

G1P3C2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C
 $1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_y$

G1P3C3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S
 $1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_x$

G1P3C4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S
 $1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_y$

G1P3C5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x
 $1,0 G + 1,0 W_x + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$

G1P3C6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y
 $1,0 G + 1,0 W_y + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$

➤ Ομάδα Φορτίων 5

G5P1C1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C
 $1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_x$

G5P1C2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C
 $1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_y$

G5P1C3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S
 $1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_x$

G5P1C4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S
 $1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_y$

G5P1C5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x
 $1,0 G + 1,0 W_x + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$

G5P1C6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y
 $1,0 G + 1,0 W_y + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$

G5P2C1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C
 $1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_x$

G5P2C2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C
 $1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_y$

G5P2C3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S
 $1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_x$

G5P2C4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_y$$

G5P2C5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + 1,0 W_x + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

G5P2C6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + 1,0 W_y + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

G5P3C1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_x$$

G5P3C2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + 1,0 C + \psi_{0,S} S + \psi_{0,w} W_y$$

G5P3C3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_x$$

G5P3C4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + 1,0 S + \psi_{0,C} C + \psi_{0,w} W_y$$

G5P3C5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + 1,0 W_x + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

G5P3C6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + 1,0 W_y + \psi_{0,C} C + \psi_{0,S} S$$

5.8.2.2 ΣΥΧΝΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ

➤ Ομάδα Φορτίων 1

G1P1S1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_x$$

G1P1S2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_y$$

G1P1S3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_x$$

G1P1S4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_y$$

G1P1S5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_x + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G1P1S6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_y + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G1P2S1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_x$$

G1P2S2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_y$$

G1P2S3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_x$$

G1P2S4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_y$$

G1P2S5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_x + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G1P2S6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_y + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G1P3S1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_x$$

G1P3S2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_y$$

G1P3S3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_x$$

G1P3S4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_y$$

G1P3S5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_x + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G1P3S6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_y + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

➤ Ομάδα Φορτίων 5

G5P1S1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_x$$

G5P1S2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_y$$

G5P1S3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_x$$

G5P1S4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_y$$

G5P1S5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_x + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G5P1S6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_y + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G5P2S1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_x$$

G5P2S2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_y$$

G5P2S3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_x$$

G5P2S4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_y$$

G5P2S5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_x + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G5P2S6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_y + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G5P3S1

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_x$$

G5P3S2

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση C

$$1,0 G + \psi_{1,C} C + \psi_{2,S} S + \psi_{2,w} W_y$$

G5P3S3

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_x$$

G5P3S4

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση S

$$1,0 G + \psi_{1,S} S + \psi_{2,C} C + \psi_{2,w} W_y$$

G5P3S5

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_x

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_x + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

G5P3S6

Επικρατέστερη μεταβλητή δράση W_y

$$1,0 G + \psi_{1,w} W_y + \psi_{2,C} C + \psi_{2,S} S$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ι.Βάγιας, Ι.Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης *Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα*. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- [2] Ι.Βάγιας, Ι.Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης *Σιδηρές κατασκευές- τόμος 2(παραδείγματα εφαρμογής- ευρωκώδικα 3)*. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- [3] Eurocode 1.
- [4] Eurocode 3.

6.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ Η/Υ

Η στατική μελέτη του κτιρίου θα γίνει με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη χρήση του προγράμματος στατικής ανάλυσης και διαστασιολόγησης Etabs Nonlinear Version 9.6.0. Το πρόγραμμα ETABS επιτρέπει την ανάλυση και τη διαστασιολόγηση κτιριακών δομημάτων με μόρφωση συστήματος δοκών, πλακών, υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων, συνδέσμων ακαμψίας από στάθμη σε στάθμη, με χρήση μελών από διάφορα υλικά όπως χάλυβας, σύμμεικτες διατομές, διατομές από οπλισμένο σκυρόδεμα ή από οποιοδήποτε άλλο υλικό. Το πρόγραμμα αυτό λαμβάνει υπόψη τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των μαθηματικών προσομοιωμάτων ενός κτιρίου, επιτρέποντας την γραφική εισαγωγή με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο κατασκευάζονται τα κτίρια (πάτωμα – πάτωμα, όροφο – όροφο). Το ETABS είναι ένα δημοφιλές πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης κτιριακών έργων ενώ έχει βραβευτεί με το “Top Seismic Product of the 20th Century” το 2006 και με το “Honor Award in Engineering Software” το 2002.

Ακολουθούν εικόνες από το μοντέλο του κτιρίου στο πρόγραμμα ETABS.

Τα μέλη που συγκροτούν το φορέα είναι:

Ακραία υποστυλώματα διατομής HEA 550

Μεσαία υποστυλώματα διατομής HEA 400

Δικλινής στέγη διατομής IPE 500

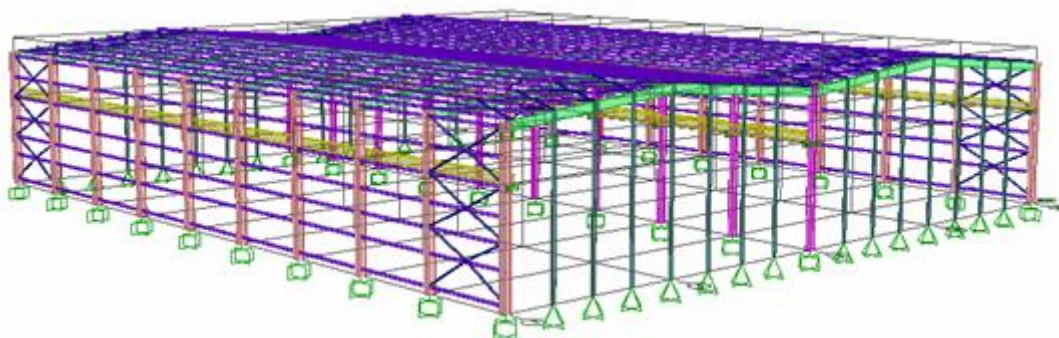
Δοκός κύλισης διατομής HEB 500

Μετωπικά υποστυλώματα διατομής IPE 200

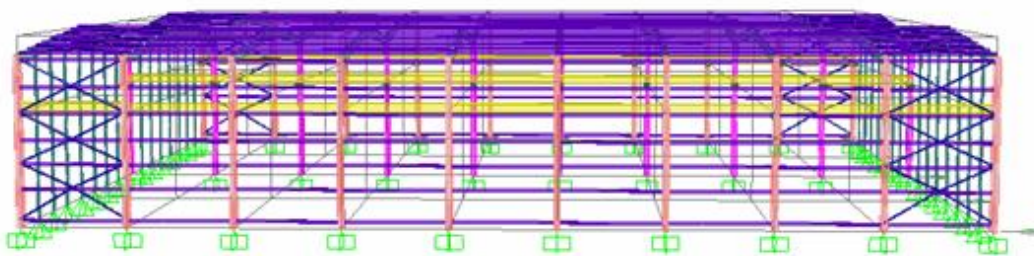
Μηκίδες– Τεγίδες διατομής IPE 140

Οριζόντιοι – κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας διατομής L70×8

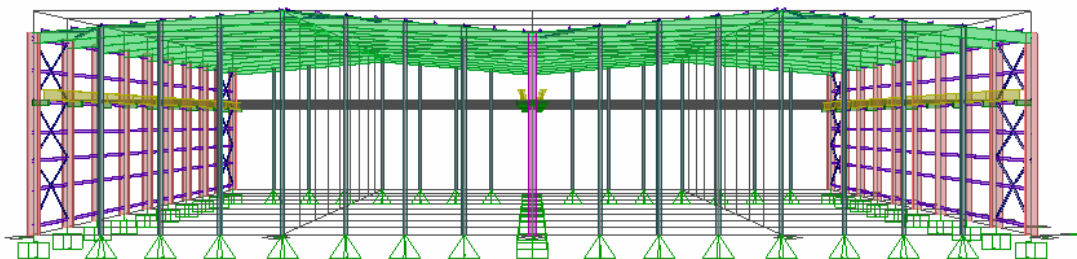
Πρόβολος διατομής ορθογωνικής



ΕΙΚΟΝΑ 6. 1



ΕΙΚΟΝΑ 6. 2



ΕΙΚΟΝΑ 6. 3

6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η ανάλυση της κατασκευής έγινε θέτοντας τις γερανογέφυρες στη δυσμενέστερη τους θέση για την ευστάθεια του κτιρίου καθότι το πρόγραμμα Etabs δεν «εισάγει» κινούμενα φορτία και επιπρόσθετα το πλήθος των υπολογισμών θα αυξάνονταν κατά πολύ άμα παίρναμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς θέσεων των γερανογεφυρών. Δυσμενέστερη θέση των γερανογεφυρών για την κατασκευή είναι σε μεσαίο πλαίσιο κινούμενες ταυτοχρόνως προς την ίδια κατεύθυνση.

Ο απαιτούμενος αριθμός ιδιομορφών που πρέπει να ληφθούν υπόψη πρέπει να ^{είναι} τέτοιος ώστε $\sum_i M_{eff,i} \geq 90\% M_{ολ.}$. Οι ιδιομορφές με ιδιοπερίοδο $T \geq 0,2sec$ λαμβάνονται πάντοτε υπόψη. Από τα αποτελέσματα του προγράμματος φαίνεται πως απαιτούνται 27 ιδιομορφές.

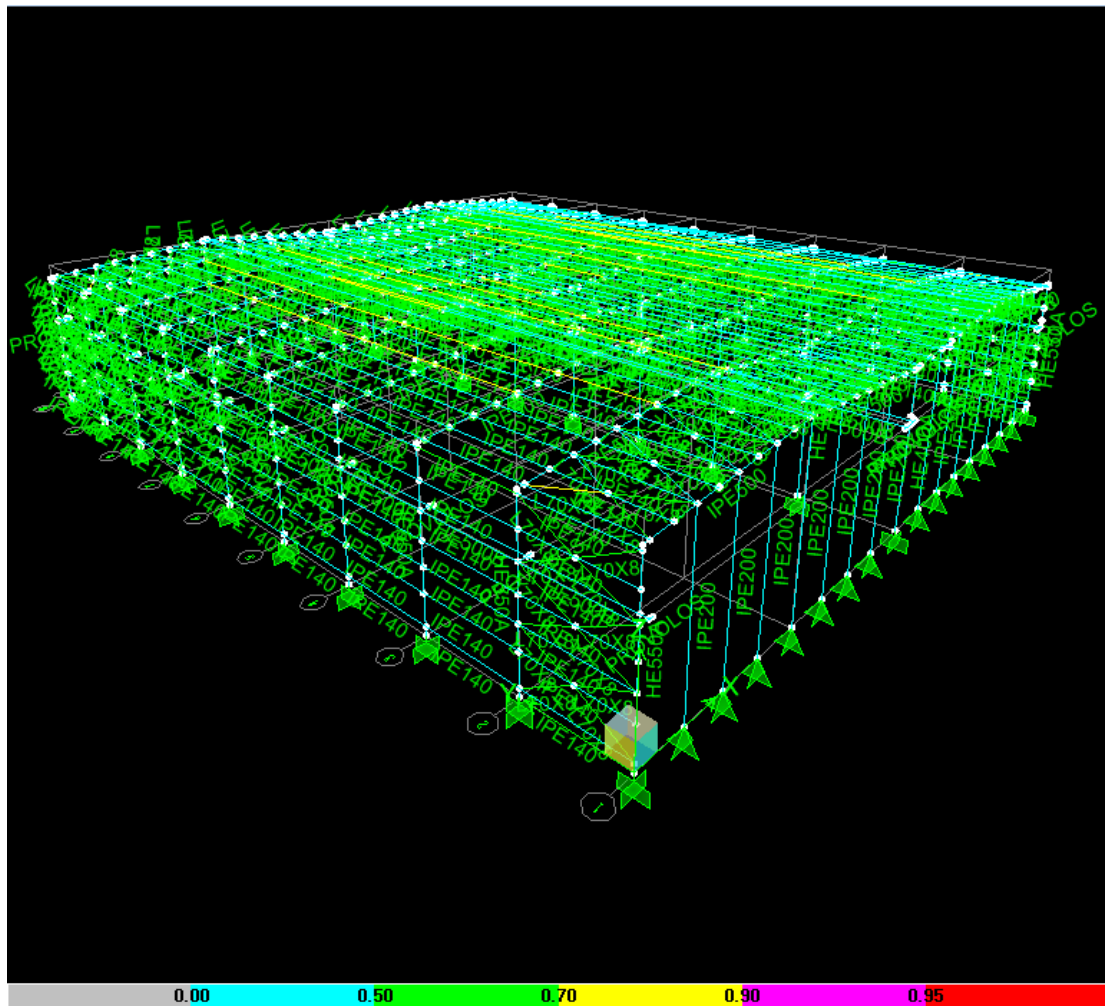
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.431841	0	77.7	0	0	77.66	0	86.2	0	0	86.2	0	0
2	0.40675	3.3	0	0	3.3	77.66	0	0	2.6	0.2	86.2	2.55	0.216
3	0.335942	0	0	0	3.3	77.66	0	0	0	5	86.2	2.55	5.17
4	0.33594	4.5	0	0	7.82	77.66	0	0	4	0	86.2	6.53	5.173
5	0.334624	0	0	0	7.82	77.66	0	0	0	0	86.2	6.53	5.173
6	0.334624	0	0	0	7.82	77.66	0	0	0	0	86.2	6.53	5.173
7	0.33456	0	0	0	7.82	77.66	0	0	0	0	86.2	6.53	5.179
8	0.33456	0	0	0	7.82	77.66	0	0	0.1	0	86.2	6.6	5.179
9	0.33281	0	0	0	7.82	77.66	0	0	0	0	86.2	6.6	5.179
10	0.33281	0	0	0	7.82	77.66	0	0	0	0	86.2	6.6	5.179
11	0.331446	0	0	0	7.83	77.66	0	0	0	0.3	86.2	6.6	5.449
12	0.331445	0.2	0	0	8.07	77.66	0	0	0.1	0	86.2	6.7	5.449
13	0.331274	0	0	0	8.07	77.66	0	0	0	0	86.2	6.7	5.449
14	0.331274	0	0	0	8.07	77.66	0	0	0	0	86.2	6.7	5.449
15	0.310217	20	0	0	27.6	77.66	0	0	20	1.7	86.2	26.5	7.158
16	0.306826	20	0	0	48	77.66	0	0	21	5.9	86.2	47.6	13.04
17	0.306571	8.6	0	0	56.6	77.66	0	0	8.9	4.3	86.2	56.4	17.37
18	0.306345	0	0	0	56.6	77.66	0	0	0	0.4	86.2	56.4	17.77
19	0.296322	8.2	0	0	64.8	77.66	0	0	8.9	0.1	86.2	65.4	17.91
20	0.292089	0	0	0	64.8	77.66	0	0	0	32	86.2	65.4	49.86
21	0.292038	30	0	0	95.2	77.66	0	0	33	0	86.2	98.8	49.87

22	0.259157	0.1	0	0	95.3	77.66	0	0	0.1	6.8	86.2	98.9	56.69
23	0.246207	0	3.58	0	95.3	81.24	0	1.93	0	0	88.1	98.9	56.69
24	0.218559	0	0	0	95.3	81.24	0	0	0	21	88.1	98.9	77.65
25	0.205065	0	0.3	0	95.3	81.542	0	1.5	0	0	89.6	98.9	77.65
26	0.170788	0	0	0	95.3	81.542	0	0	0.4	2.9	89.6	99.2	80.56
27	0.12944	0	17.4	0	95.3	98.89	0	8.6	0	0	98.2	99.2	80.56

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. 1

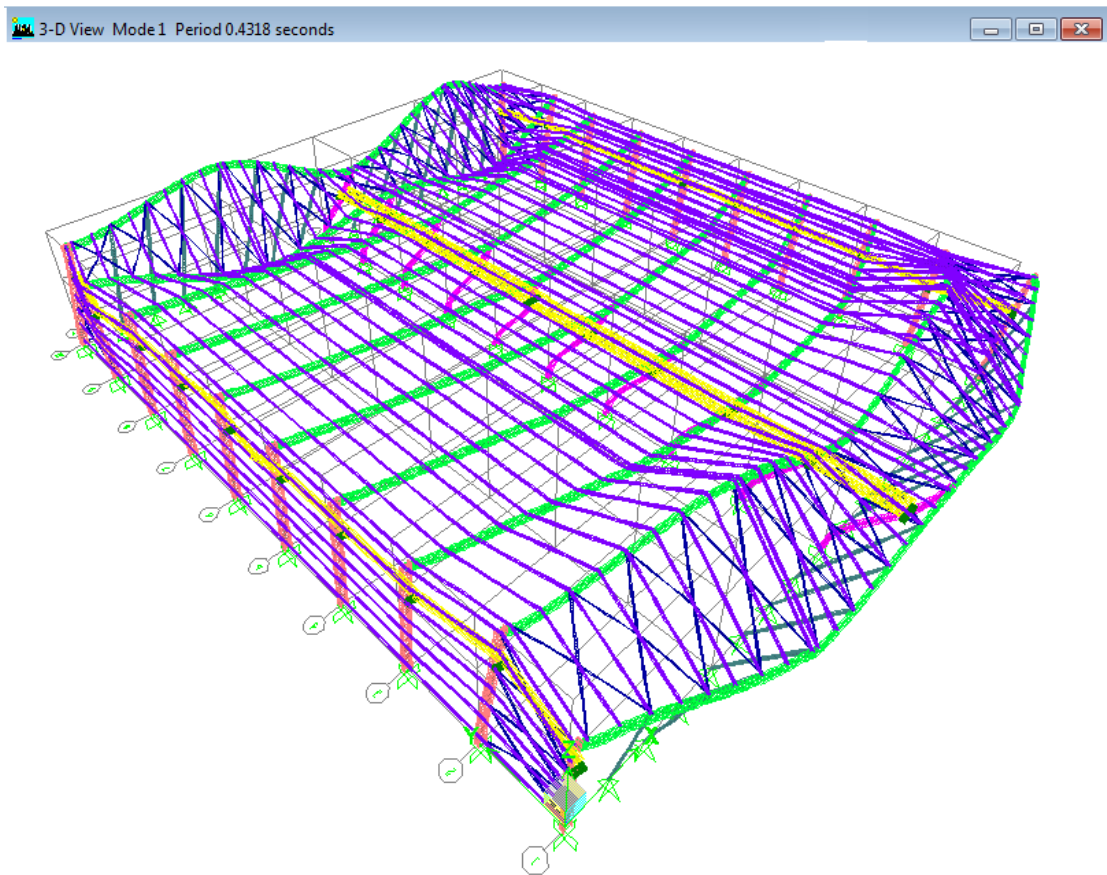
6.2.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Μετά την εισαγωγή στο πρόγραμμα στατικής ανάλυσης όλων των συνδυασμών φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας προέκυψε το ακόλουθο αποτέλεσμα της εικόνας, που παρουσιάζει με χρωματική κλίμακα το μέγιστο συντελεστή εκμετάλλευσης κάθε μέλους της κατασκευής από όλες τις φορτίσεις που εισήχθησαν. Από 0 έως το πολύ 0,9 παρουσιάζουν τα μέλη της κατασκευής που σημαίνει πως πληροί τις απαιτήσεις σε στατικότητα.

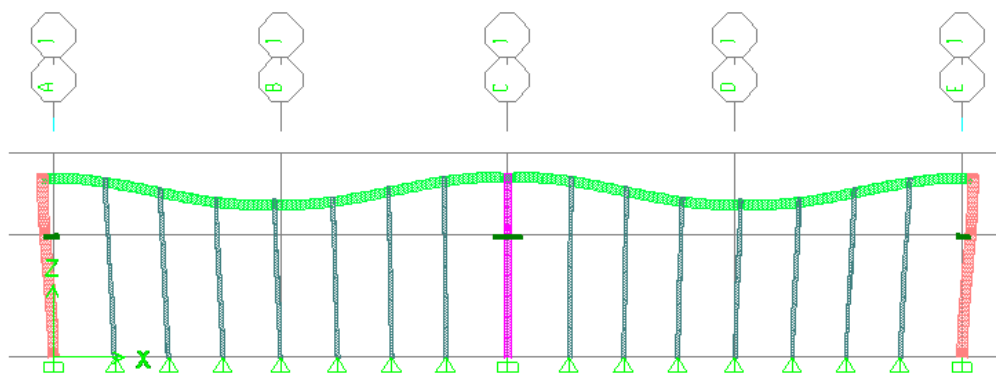


ΕΙΚΟΝΑ 6. 4

Η πρώτη ιδιομορφή έχει περίοδο $T=0.4318\text{sec}$ και η μορφή της παρουσιάζεται στις εικόνες που ακολουθούν (3D και τομή πρώτου πλαισίου).

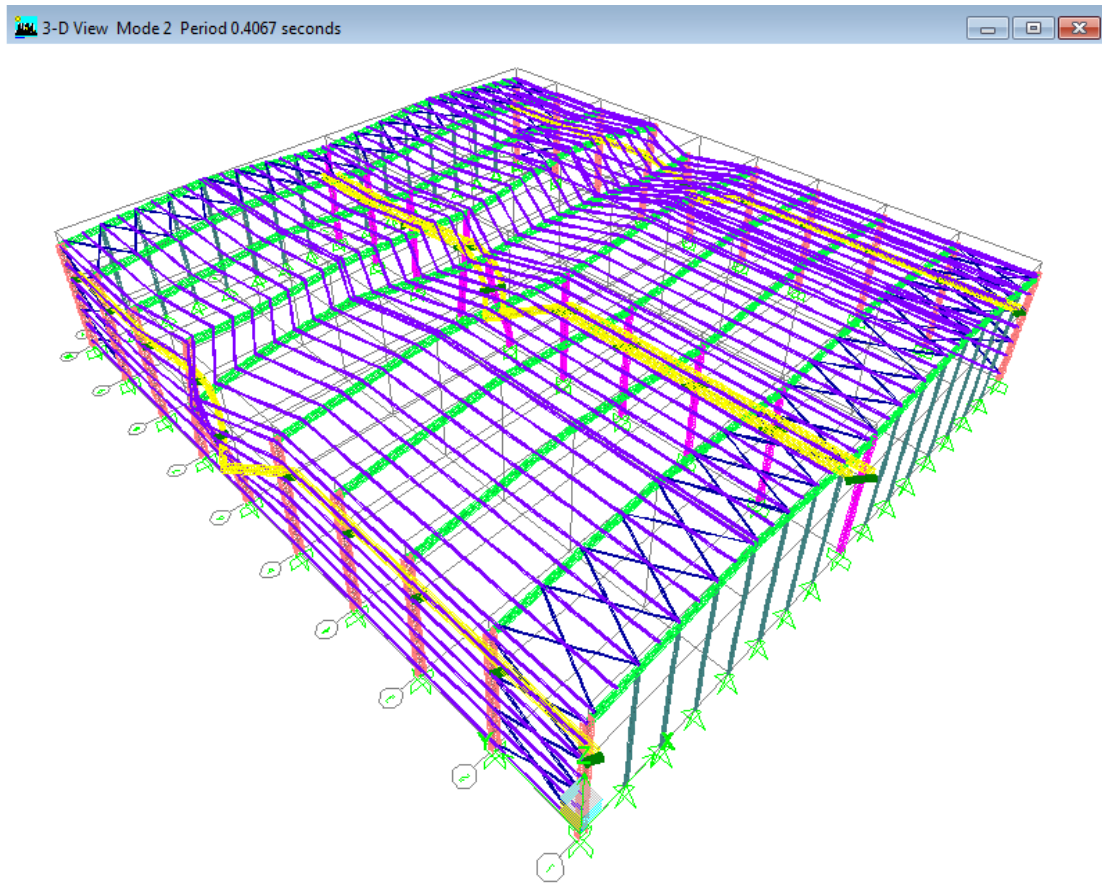


ΕΙΚΟΝΑ 6. 5

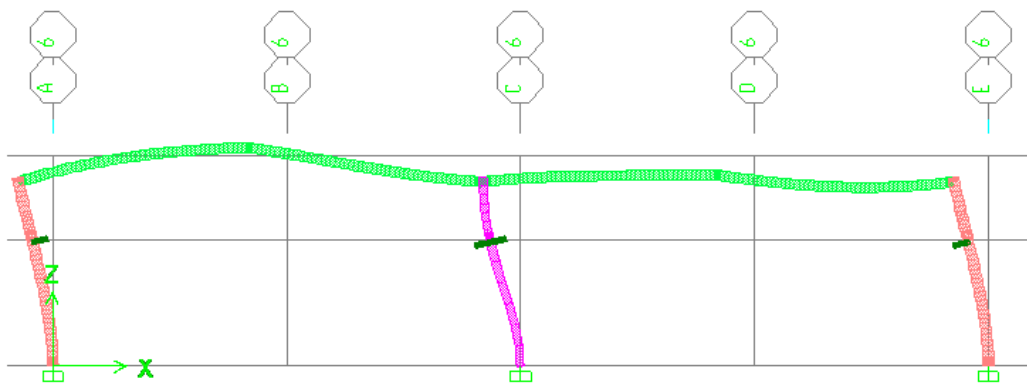


ΕΙΚΟΝΑ 6. 6

Η δεύτερη ιδιομορφή έχει περίοδο $T=0.4067\text{sec}$ και η μορφή της παρουσιάζεται στις εικόνες που ακολουθούν (3D και τομή έκτου πλαισίου).



ΕΙΚΟΝΑ 6. 7



ΕΙΚΟΝΑ 6. 8

6.2.2 ΙΚΑΝΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ

Κατακόρυφα φορτία που συνδυάζονται με το σεισμό:

$$1,0 G + \psi_{2,C} [C + H_s] + \psi_{2,S} S$$

Από το πρόγραμμα Etabs για τους σεισμικούς συνδυασμούς προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας για αξονικές δυνάμεις στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας:

Combos	N _{ed} (KN)
G1P1E2	15.96
G1P2E2	15.62
G1P3E2	14.7
G5P1E2	17.47
G5P2E2	17.16
G5P3E2	15.16

Θα πρέπει να ισχύει :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} \leq 1,50 \quad \text{όπου} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{l^2} \quad \text{είναι το ιδεατό κρίσιμο φορτίο Euler της διαγωνίου.}$$

Επομένως για τη διατομή της διαγωνίου θα πρέπει να ισχύει :

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{\pi^2 \times E \times I}} \times l \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{A}{I}} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1}{\pi \times i} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \leq 1,50$$

$$i \geq \frac{1}{1,5 \times \pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \Rightarrow i \geq \frac{330 \text{ cm}}{1,5 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{27,5 \text{ KN/m}^2}{21000 \text{ KN/m}^2}} \Rightarrow i \geq 2,54 \text{ cm}$$

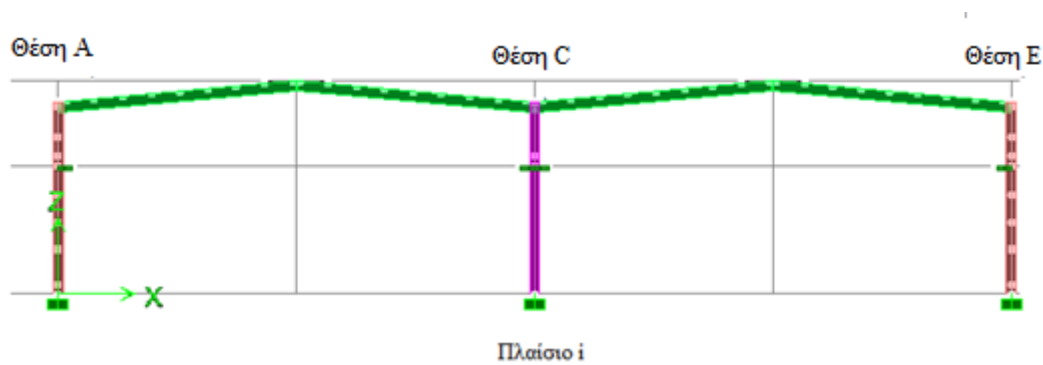
Η διατομή που χρησιμοποιείται είναι L70x8 με $i = 10,7 \text{ cm}^2$, $i_y = 2,11 \text{ cm}$, $I_y = 47,5 \text{ cm}^4$

Αντοχή διαρροής της διατομής της διαγωνίου:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10,7 \text{ cm}^2 \times 27,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 294,25 \text{ KN} \geq N_{Ed} \quad [1]$$

6.2.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

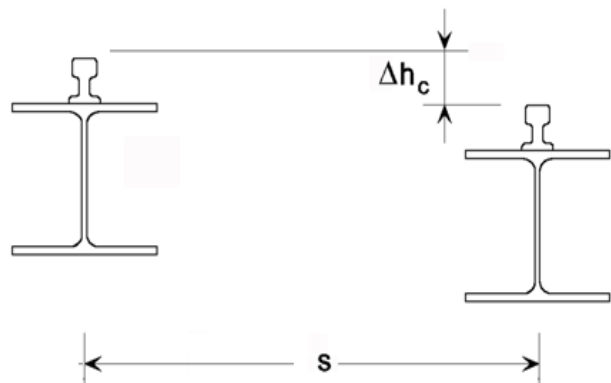
Θεωρώντας την γερανογέφυρα να διέρχεται στιγμιαία από μεσαίο φάτνωμα της κατασκευής (5° με 6° πλαίσιο, ως δυσμενής θέση φόρτισης) παρουσιάζονται οι ακόλουθες δυσμενέστερες παραμορφώσεις από τέσσερα πλαίσια (4°, 5°, 6° και 7°), όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα στατικής ανάλυσης για τους χαρακτηριστικούς και συχνούς συνδυασμούς φόρτισης σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.



ΕΙΚΟΝΑ 6. 9

Α) Η διαφορά Δh_c μεταξύ των κατακόρυφων παραμορφώσεων των δύο δοκών κύλισης που αντιστοιχούν σε δεδομένη γερανογέφυρα θα πρέπει να είναι :

$$\Delta h_c \leq s / 600 = 24/600 = 0,04\text{m} [2]$$



ΕΙΚΟΝΑ 6. 10

φόρτιση	πλαίσιο 6		πλαίσιο 5		πλαίσιο 4		πλαίσιο 7	
	A-C	C-E	A-C	C-E	A-C	C-E	A-C	C-E
G1P1S1	0.000033	0.000658	0.001089	0.001621	0.000205	0.000212	0.000207	0.000209
G1P1S2	0.000033	0.000658	0.001089	0.001621	0.000205	0.000212	0.000207	0.000209
G1P1S3	0.000239	0.000516	0.000260	0.000945	0.000316	0.000318	0.000316	0.000317
G1P1S4	0.000239	0.000516	0.000260	0.000945	0.000316	0.000318	0.000316	0.000317
G1P1S5	0.000161	0.000813	0.000659	0.001241	0.000085	0.000614	0.000083	0.000614
G1P1S6	0.000189	0.000467	0.000309	0.000896	0.000265	0.000268	0.000267	0.000267
G1P2S1	0.000809	0.000871	0.000731	0.000949	0.000206	0.000210	0.000210	0.000206
G1P2S2	0.000809	0.000871	0.000731	0.000949	0.000206	0.000210	0.000210	0.000206
G1P2S3	0.000584	0.000163	0.000100	0.000646	0.000316	0.000318	0.000318	0.000316
G1P2S4	0.000584	0.000163	0.000100	0.000646	0.000316	0.000318	0.000318	0.000316
G1P2S5	0.000184	0.000134	0.000500	0.000942	0.000084	0.000614	0.000082	0.000612
G1P2S6	0.000534	0.000212	0.000150	0.000597	0.000266	0.000268	0.000268	0.000266

G1P3S1	0.001620	0.000169	0.000474	0.001315	0.000206	0.000210	0.000210	0.000206
G1P3S2	0.001620	0.000169	0.000474	0.001315	0.000206	0.000210	0.000210	0.000206
G1P3S3	0.000944	0.000149	0.000014	0.000809	0.000316	0.000318	0.000318	0.000316
G1P3S4	0.000944	0.000149	0.000014	0.000809	0.000316	0.000318	0.000318	0.000316
G1P3S5	0.000544	0.000445	0.000386	0.001105	0.000084	0.000614	0.000082	0.000612
G1P3S6	0.000894	0.000099	0.000036	0.000759	0.000266	0.000268	0.000268	0.000266
G5P1S1	0.000280	0.000382	0.001204	0.000687	0.000210	0.000205	0.000207	0.000208
G5P1S2	0.000280	0.000382	0.001204	0.000687	0.000210	0.000205	0.000207	0.000208
G5P1S3	0.000349	0.000394	0.000759	0.000081	0.000318	0.000316	0.000316	0.000316
G5P1S4	0.000349	0.000394	0.000759	0.000081	0.000318	0.000316	0.000316	0.000316
G5P1S5	0.000051	0.000690	0.000360	0.000215	0.000082	0.000612	0.000083	0.000610
G5P1S6	0.000299	0.000344	0.000710	0.000131	0.000268	0.000266	0.000267	0.000267
G5P2S1	0.000983	0.000240	0.001495	0.001250	0.000212	0.000205	0.000210	0.000205
G5P2S2	0.000983	0.000240	0.001495	0.001250	0.000212	0.000205	0.000210	0.000205
G5P2S3	0.000661	0.000212	0.000889	0.000331	0.000318	0.000316	0.000318	0.000316
G5P2S4	0.000661	0.000212	0.000889	0.000331	0.000318	0.000316	0.000318	0.000316
G5P2S5	0.000261	0.000052	0.000489	0.000035	0.000082	0.000612	0.000082	0.000612
G5P2S6	0.000611	0.000262	0.000839	0.000381	0.000268	0.000265	0.000268	0.000266
G5P3S1	0.001645	0.000320	0.001768	0.000978	0.000212	0.000205	0.000210	0.000205
G5P3S2	0.001645	0.000320	0.001768	0.000978	0.000212	0.000205	0.000210	0.000205
G5P3S3	0.000956	0.000082	0.001011	0.000210	0.000318	0.000316	0.000318	0.000316
G5P3S4	0.000956	0.000082	0.001011	0.000210	0.000318	0.000316	0.000318	0.000316
G5P3S5	0.000555	0.000379	0.000610	0.000086	0.000082	0.000612	0.000082	0.000612
G5P3S6	0.000905	0.000033	0.000960	0.000260	0.000268	0.000265	0.000268	0.000266
G1P1C1	0.000588	0.002195	0.000974	0.003266	0.000397	0.001699	0.000394	0.001696
G1P1C2	0.000463	0.001158	0.000783	0.002228	0.000653	0.000661	0.000656	0.000658
G1P1C3	0.000316	0.002467	0.001561	0.003538	0.000125	0.001971	0.000121	0.001969
G1P1C4	0.000735	0.001430	0.000511	0.002500	0.000926	0.000933	0.000929	0.000930
G1P1C5	0.001170	0.003006	0.002416	0.004076	0.000979	0.002509	0.000976	0.002506
G1P1C6	0.000581	0.001275	0.000666	0.002346	0.000772	0.000779	0.000774	0.000776
G1P2C1	0.000274	0.000497	0.001435	0.002519	0.000395	0.001698	0.000391	0.001693
G1P2C2	0.001325	0.000542	0.000385	0.001481	0.000655	0.000660	0.000660	0.000655
G1P2C3	0.000547	0.000769	0.001163	0.002791	0.000123	0.001970	0.000118	0.001965
G1P2C4	0.001597	0.000269	0.000113	0.001753	0.000927	0.000932	0.000932	0.000927
G1P2C5	0.000308	0.001307	0.002018	0.003329	0.000977	0.002508	0.000973	0.002503
G1P2C6	0.001442	0.000424	0.000268	0.001599	0.000774	0.000777	0.000777	0.000773
G1P3C1	0.001175	0.001276	0.001150	0.002926	0.000395	0.001698	0.000390	0.001693
G1P3C2	0.002225	0.000238	0.000100	0.001887	0.000655	0.000660	0.000660	0.000655
G1P3C3	0.001447	0.002683	0.000878	0.003198	0.000123	0.001970	0.000118	0.001965
G1P3C4	0.002498	0.000510	0.000173	0.002159	0.000927	0.000932	0.000932	0.000927
G1P3C5	0.000593	0.002086	0.001733	0.003735	0.000978	0.002508	0.000973	0.002503
G1P3C6	0.002344	0.000356	0.000018	0.002005	0.000773	0.000777	0.000777	0.000773
G5P1C1	0.000312	0.001889	0.000714	0.000702	0.000390	0.001693	0.000393	0.001695
G5P1C2	0.000738	0.000851	0.001764	0.000337	0.000660	0.000655	0.000657	0.000658
G5P1C3	0.000040	0.002162	0.000986	0.000974	0.000118	0.001965	0.004600	0.001967

G5P1C4	0.001010	0.001123	0.002036	0.000065	0.000932	0.000927	0.000930	0.000930
G5P1C5	0.000895	0.002699	0.000132	0.001512	0.000973	0.002503	0.000976	0.002506
G5P1C6	0.000856	0.000969	0.001882	0.000218	0.000778	0.000772	0.000775	0.000775
G5P2C1	0.000467	0.000373	0.001038	0.000075	0.000390	0.001692	0.000390	0.001693
G5P2C2	0.001518	0.000665	0.002088	0.000963	0.000661	0.000653	0.000660	0.000655
G5P2C3	0.006103	0.000645	0.001310	0.000347	0.000117	0.001964	0.000118	0.001965
G5P2C4	0.001790	0.000393	0.002360	0.000691	0.000933	0.000926	0.000932	0.000927
G5P2C5	0.000115	0.001184	0.000455	0.000885	0.000971	0.002502	0.000973	0.002503
G5P2C6	0.001636	0.000546	0.002205	0.000844	0.000779	0.000772	0.000777	0.000772
G5P3C1	0.001203	0.001110	0.001340	0.000378	0.000390	0.001692	0.000390	0.001693
G5P3C2	0.002254	0.000071	0.002390	0.000661	0.000661	0.000653	0.000660	0.000655
G5P3C3	0.001475	0.001382	0.001612	0.000650	0.000117	0.001964	0.000118	0.001965
G5P3C4	0.002526	0.000343	0.002663	0.000388	0.000933	0.000926	0.000932	0.000927
G5P3C5	0.000621	0.001919	0.000758	0.001189	0.000971	0.002502	0.000973	0.002503
G5P3C6	0.002372	0.000189	0.002509	0.000542	0.000779	0.000772	0.000777	0.000772

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. 2

Παρατήρηση: όλες οι τιμές είναι μικρότερες από 0.04m.

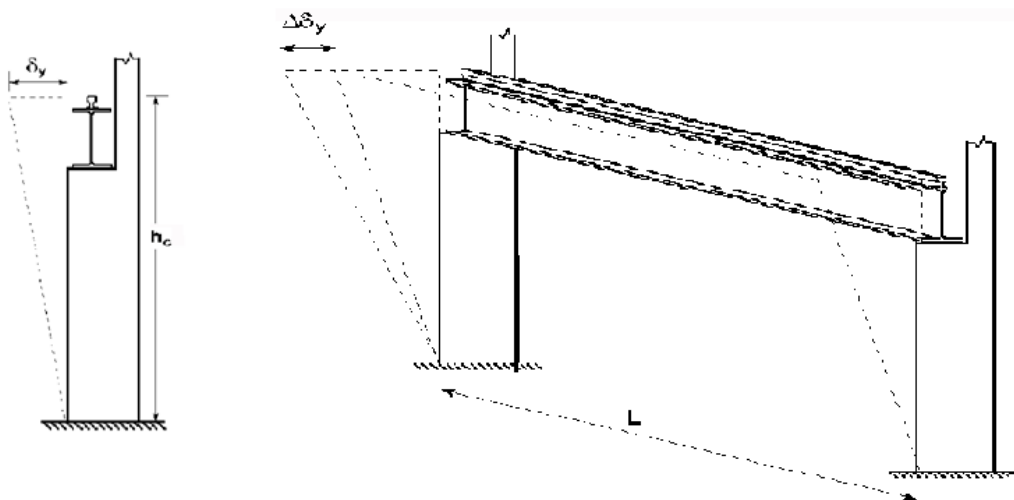
Β) Η οριζόντια μετατόπιση δ_y πλαισίου (ή υποστυλώματος) στη στάθμη στηρίξεως της γερανογέφυρας θα πρέπει να είναι : $\delta_y \leq h_c / 400$

Όπου h_c το ύψος της στάθμης στην οποία η γερανογέφυρα στηρίζεται.

Άρα $\delta_y \leq 6,96 / 400 = 0,0174 \text{ m}$ [2]

Γ) Διαφορική οριζόντια μετατόπιση $\Delta\delta_y$ προσκειμένων πλαισίων (ή υποστυλωμάτων) που στηρίζουν τις δοκούς κλίσεως μιας γερανογέφυρας κινούμενης στο εσωτερικό χώρου θα πρέπει να είναι :

$\Delta\delta_y \leq L / 600 = 6 / 600 = 0.01\text{m}$ [2]



ΕΙΚΟΝΑ 6. 11

Θέση Α

φόρτιση	Α						
	$\delta y(4)$	$\delta y(5)$	$\delta y(6)$	$\delta y(7)$	$\Delta y(4-5)$	$\Delta y(5-6)$	$\Delta y(6-7)$
G1P1S1	0.002191	0.003690	0.003503	0.002199	0.005881	0.007193	0.001304
G1P1S2	0.002191	0.003690	0.003503	0.002199	0.005881	0.007193	0.001304
G1P1S3	0.003427	0.000813	0.004010	0.003430	0.002614	0.003197	0.000580
G1P1S4	0.003427	0.000813	0.004010	0.003430	0.002614	0.003197	0.000580
G1P1S5	0.000955	0.001659	0.001538	0.000959	0.002614	0.003197	0.000579
G1P1S6	0.002880	0.000266	0.003463	0.002883	0.002614	0.003197	0.000580
G1P2S1	0.002194	0.002156	0.006441	0.002206	0.004350	0.008597	0.004235
G1P2S2	0.002194	0.002156	0.006441	0.002206	0.004350	0.008597	0.004235
G1P2S3	0.003428	0.001495	0.005315	0.003433	0.001933	0.003820	0.001882
G1P2S4	0.003428	0.001495	0.005315	0.003433	0.001933	0.003820	0.001882
G1P2S5	0.000957	0.000977	0.002844	0.000962	0.001934	0.003821	0.001882
G1P2S6	0.002882	0.000948	0.004769	0.002887	0.001934	0.003821	0.001882
G1P3S1	0.002194	0.002107	0.006484	0.002207	0.004301	0.008591	0.004277
G1P3S2	0.002194	0.002107	0.006484	0.002207	0.004301	0.008591	0.004277
G1P3S3	0.003428	0.001517	0.005335	0.003434	0.001911	0.003818	0.001901
G1P3S4	0.003428	0.001517	0.005335	0.003434	0.001911	0.003818	0.001901
G1P3S5	0.000957	0.000955	0.002863	0.000962	0.001912	0.003818	0.001901
G1P3S6	0.002881	0.000970	0.004788	0.002887	0.001911	0.003818	0.001901
G5P1S1	0.002207	0.007839	0.004230	0.002200	0.005632	0.003609	0.002030
G5P1S2	0.002207	0.007839	0.004230	0.002200	0.005632	0.003609	0.002030
G5P1S3	0.003434	0.005937	0.004333	0.003431	0.002503	0.001604	0.000902
G5P1S4	0.003434	0.005937	0.004333	0.003431	0.002503	0.001604	0.000902
G5P1S5	0.000962	0.003466	0.001861	0.000954	0.002504	0.001605	0.000907
G5P1S6	0.002887	0.005390	0.003786	0.002726	0.002503	0.001604	0.001060
G5P2S1	0.002210	0.008986	0.007001	0.002207	0.006776	0.001985	0.004794
G5P2S2	0.002210	0.008986	0.007001	0.002207	0.006776	0.001985	0.004794
G5P2S3	0.003435	0.006447	0.005564	0.003434	0.003012	0.000883	0.002130
G5P2S4	0.003435	0.006447	0.005564	0.003434	0.003012	0.000883	0.002130
G5P2S5	0.000964	0.003975	0.003093	0.000962	0.003011	0.000882	0.002131
G5P2S6	0.002889	0.005900	0.005018	0.002887	0.003011	0.000882	0.002131
G5P3S1	0.002210	0.009010	0.007058	0.002207	0.006800	0.001952	0.004851
G5P3S2	0.002210	0.009010	0.007058	0.002207	0.006800	0.001952	0.004851
G5P3S3	0.003435	0.006457	0.005590	0.003434	0.003022	0.000867	0.002156
G5P3S4	0.003435	0.006457	0.005590	0.003434	0.003022	0.000867	0.002156
G5P3S5	0.000964	0.003986	0.003119	0.000962	0.003022	0.000867	0.002157
G5P3S6	0.002889	0.005911	0.005043	0.002887	0.003022	0.000868	0.002156
G1P1C1	0.001543	0.004991	0.000300	0.001552	0.006534	0.005291	0.001252
G1P1C2	0.007318	0.000783	0.008776	0.007326	0.006535	0.007993	0.001450
G1P1C3	0.004620	0.001915	0.006077	0.004628	0.006535	0.007992	0.001449
G1P1C4	0.010394	0.003859	0.011852	0.010403	0.006535	0.007993	0.001449
G1P1C5	0.000939	0.007473	0.000519	0.000930	0.006534	0.007992	0.001449
G1P1C6	0.008685	0.002151	0.010143	0.008694	0.006534	0.007992	0.001449

G1P2C1	0.001547	0.003286	0.006265	0.001560	0.004833	0.009551	0.004705
G1P2C2	0.007322	0.002488	0.012040	0.007335	0.004834	0.009552	0.004705
G1P2C3	0.004623	0.000210	0.009341	0.004637	0.004833	0.009551	0.004704
G1P2C4	0.010398	0.005565	0.015116	0.010411	0.004833	0.009551	0.004705
G1P2C5	0.000935	0.005768	0.003783	0.000922	0.004833	0.009551	0.004705
G1P2C6	0.008689	0.003856	0.013407	0.008702	0.004833	0.009551	0.004705
G1P3C1	0.001547	0.003232	0.006314	0.001561	0.004779	0.009546	0.004753
G1P3C2	0.007321	0.002543	0.012088	0.007335	0.004778	0.009545	0.004753
G1P3C3	0.004623	0.000155	0.009390	0.004637	0.004778	0.009545	0.004753
G1P3C4	0.010397	0.005619	0.015164	0.010411	0.004778	0.009545	0.004753
G1P3C5	0.000935	0.005714	0.003832	0.000921	0.004779	0.009546	0.004753
G1P3C6	0.008689	0.003910	0.013456	0.008703	0.004779	0.009546	0.004753
G5P1C1	0.001561	0.007819	0.003809	0.001554	0.006258	0.004010	0.002255
G5P1C2	0.007336	0.013594	0.009583	0.007328	0.006258	0.004011	0.002255
G5P1C3	0.004638	0.010895	0.006885	0.004630	0.006257	0.004010	0.002255
G5P1C4	0.010412	0.016670	0.012659	0.010405	0.006258	0.004011	0.002254
G5P1C5	0.000921	0.005337	0.001327	0.000928	0.006258	0.004010	0.002255
G5P1C6	0.008704	0.014961	0.010951	0.008696	0.006257	0.004010	0.002255
G5P2C1	0.001565	0.009093	0.006888	0.001561	0.007528	0.002205	0.005327
G5P2C2	0.007339	0.014868	0.012662	0.007336	0.007529	0.002206	0.005326
G5P2C3	0.004641	0.012170	0.009964	0.004638	0.007529	0.002206	0.005326
G5P2C4	0.010415	0.017944	0.015738	0.010412	0.007529	0.002206	0.005326
G5P2C5	0.000917	0.006611	0.004406	0.000920	0.007528	0.002205	0.005326
G5P2C6	0.008707	0.016235	0.014030	0.008704	0.007528	0.002205	0.005326
G5P3C1	0.001565	0.009120	0.006952	0.001561	0.007555	0.002168	0.005391
G5P3C2	0.007339	0.014894	0.012726	0.007336	0.007555	0.002168	0.005390
G5P3C3	0.004641	0.012196	0.010028	0.004638	0.007555	0.002168	0.005390
G5P3C4	0.010415	0.017970	0.015802	0.010412	0.007555	0.002168	0.005390
G5P3C5	0.000917	0.006638	0.004470	0.000920	0.007555	0.002168	0.005390
G5P3C6	0.008707	0.016262	0.014094	0.008707	0.007555	0.002168	0.005387

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. 3

Θέση C

φόρτιση	C						
	$\delta y(4)$	$\delta y(5)$	$\delta y(6)$	$\delta y(7)$	$\Delta y(4-5)$	$\Delta y(5-6)$	$\Delta y(6-7)$
G1P1S1	0.000011	0.007674	0.002434	0.000002	0.007663	0.010108	0.002436
G1P1S2	0.000011	0.007674	0.002434	0.000002	0.007663	0.010108	0.002436
G1P1S3	0.000005	0.003411	0.001082	0.000000	0.003406	0.004493	0.001082
G1P1S4	0.000005	0.003411	0.001082	0.000000	0.003406	0.004493	0.001082
G1P1S5	0.001933	0.005339	0.000846	0.001929	0.003406	0.004493	0.001083
G1P1S6	0.000005	0.003411	0.001082	0.000000	0.003406	0.004493	0.001082
G1P2S1	0.000007	0.005081	0.005081	0.000007	0.005074	0.010162	0.005074
G1P2S2	0.000007	0.005081	0.005081	0.000007	0.005074	0.010162	0.005074
G1P2S3	0.000003	0.002258	0.002258	0.000003	0.002255	0.004516	0.002255
G1P2S4	0.000003	0.002258	0.002258	0.000003	0.002255	0.004516	0.002255

G1P2S5	0.001931	0.004186	0.000330	0.001925	0.002255	0.004516	0.002255
G1P2S6	0.000003	0.002258	0.002258	0.000003	0.002255	0.004516	0.002255
G1P3S1	0.000007	0.007200	0.007200	0.000007	0.007193	0.014400	0.007193
G1P3S2	0.000007	0.007200	0.007200	0.000007	0.007193	0.014400	0.007193
G1P3S3	0.000003	0.003200	0.003200	0.000003	0.003197	0.006400	0.003197
G1P3S4	0.000003	0.003200	0.003200	0.000003	0.003197	0.006400	0.003197
G1P3S5	0.001932	0.005128	0.001272	0.001925	0.003196	0.006400	0.003197
G1P3S6	0.000003	0.003200	0.003200	0.000003	0.003197	0.006400	0.003197
G5P1S1	0.000008	0.008359	0.003689	0.000000	0.008351	0.004670	0.003689
G5P1S2	0.000008	0.008359	0.003689	0.000000	0.008351	0.004670	0.003689
G5P1S3	0.000203	0.003715	0.001640	0.000000	0.003512	0.002075	0.001640
G5P1S4	0.000203	0.003715	0.001640	0.000000	0.003512	0.002075	0.001640
G5P1S5	0.001925	0.001787	0.000289	0.001928	0.003712	0.002076	0.001639
G5P1S6	0.000004	0.003715	0.001640	0.000000	0.003711	0.002075	0.001640
G5P2S1	0.000011	0.009703	0.006936	0.000008	0.009692	0.002767	0.006928
G5P2S2	0.000011	0.009703	0.006936	0.000008	0.009692	0.002767	0.006928
G5P2S3	0.000203	0.004312	0.003808	0.000004	0.004109	0.000504	0.003804
G5P2S4	0.000203	0.004312	0.003808	0.000004	0.004109	0.000504	0.003804
G5P2S5	0.001923	0.002384	0.001154	0.001925	0.004307	0.001230	0.003079
G5P2S6	0.000005	0.004312	0.003083	0.000004	0.004307	0.001229	0.003079
G5P3S1	0.000011	0.009703	0.006936	0.000008	0.009692	0.002767	0.006928
G5P3S2	0.000011	0.009703	0.006936	0.000008	0.009692	0.002767	0.006928
G5P3S3	0.000005	0.004312	0.003083	0.000004	0.004307	0.001229	0.003079
G5P3S4	0.000005	0.004312	0.003083	0.000004	0.004307	0.001229	0.003079
G5P3S5	0.001923	0.002384	0.001154	0.001925	0.004307	0.001230	0.003079
G5P3S6	0.000005	0.004312	0.003083	0.000004	0.004307	0.001229	0.003079
G1P1C1	0.005797	0.014311	0.003080	0.005787	0.008514	<u>0.011231</u>	0.002707
G1P1C2	0.000012	0.008527	0.002704	0.000002	0.008515	<u>0.011231</u>	0.002706
G1P1C3	0.005797	0.014311	0.003080	0.005787	0.008514	<u>0.011231</u>	0.002707
G1P1C4	0.000012	0.008527	0.002704	0.000002	0.008515	<u>0.011231</u>	0.002706
G1P1C5	0.009653	<u>0.018168</u>	0.006937	0.009643	0.008515	<u>0.011231</u>	0.002706
G1P1C6	0.000012	0.008527	0.002704	0.000002	0.008515	<u>0.011231</u>	0.002706
G1P2C1	0.005792	0.011430	0.000139	0.005777	0.005638	<u>0.011291</u>	0.005638
G1P2C2	0.000008	0.005646	0.005646	0.000008	0.005638	<u>0.011292</u>	0.005638
G1P2C3	0.005792	0.011430	0.000139	0.005777	0.005638	<u>0.011291</u>	0.005638
G1P2C4	0.000008	0.005646	0.005646	0.000008	0.005638	<u>0.011292</u>	0.005638
G1P2C5	0.009649	0.015287	0.003995	0.009633	0.005638	<u>0.011292</u>	0.005638
G1P2C6	0.000008	0.005646	0.005646	0.000008	0.005638	<u>0.011292</u>	0.005638
G1P3C1	0.005793	0.013784	0.002215	0.005776	0.007991	<u>0.015999</u>	0.007991
G1P3C2	0.000008	0.007999	0.007999	0.000008	0.007991	<u>0.015998</u>	0.007991
G1P3C3	0.005793	0.013784	0.002215	0.005776	0.007991	<u>0.015999</u>	0.007991
G1P3C4	0.000008	0.000753	0.007999	0.000008	0.000761	0.007246	0.007991
G1P3C5	0.009649	<u>0.017641</u>	0.001642	0.009633	0.007992	<u>0.015999</u>	0.007991
G1P3C6	0.000008	0.007999	0.007999	0.000008	0.007991	<u>0.015998</u>	0.007991
G5P1C1	0.005776	0.003503	0.001686	0.005784	0.009279	0.005189	0.004098

G5P1C2	0.000009	0.009288	0.004099	0.000000	0.009279	0.005189	0.004099
G5P1C3	0.005776	0.003503	0.001686	0.005784	0.009279	0.005189	0.004098
G5P1C4	0.000009	0.009288	0.004099	0.000000	0.009279	0.005189	0.004099
G5P1C5	0.009632	0.000353	0.005542	0.009641	0.009279	0.005189	0.004099
G5P1C6	0.000394	0.009288	0.004099	0.000000	0.008894	0.005189	0.004099
G5P2C1	0.005772	0.004996	0.001922	0.005776	0.010768	0.003074	0.007698
G5P2C2	0.000013	0.010781	0.007707	0.000009	0.010768	0.003074	0.007698
G5P2C3	0.005772	0.004996	0.001922	0.005776	0.010768	0.003074	0.007698
G5P2C4	0.000013	0.010781	0.007707	0.000009	0.010768	0.003074	0.007698
G5P2C5	0.009628	0.001140	0.001934	0.009632	0.010768	0.003074	0.007698
G5P2C6	0.000013	0.010781	0.007707	0.000009	0.010768	0.003074	0.007698
G5P3C1	0.005772	0.004996	0.001922	0.005776	0.010768	0.003074	0.007698
G5P3C2	0.000013	0.010781	0.007707	0.000009	0.010768	0.003074	0.007698
G5P3C3	0.005772	0.004996	0.001922	0.005776	0.010768	0.003074	0.007698
G5P3C4	0.000013	0.010781	0.007707	0.000009	0.010768	0.003074	0.007698
G5P3C5	0.009628	0.001140	0.001934	0.009632	0.010768	0.003074	0.007698
G5P3C6	0.000013	0.010781	0.007707	0.000009	0.010768	0.003074	0.007698

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. 4

Θέση E

φόρτιση	E						
	$\delta y(4)$	$\delta y(5)$	$\delta y(6)$	$\delta y(7)$	$\Delta y(4-5)$	$\Delta y(5-6)$	$\Delta y(6-7)$
G1P1S1	0.002210	0.007577	0.001273	0.002202	0.005367	0.006304	0.000929
G1P1S2	0.002210	0.007577	0.001273	0.002202	0.005367	0.006304	0.000929
G1P1S3	0.003435	0.005821	0.003019	0.003432	0.002386	0.002802	0.000413
G1P1S4	0.003435	0.005821	0.003019	0.003432	0.002386	0.002802	0.000413
G1P1S5	0.004505	0.006439	0.003637	0.004050	0.001934	0.002802	0.000413
G1P1S6	0.002888	0.005274	0.002472	0.002885	0.002386	0.002802	0.000413
G1P2S1	0.002206	0.006489	0.002204	0.002194	0.004283	0.008693	0.004398
G1P2S2	0.002206	0.006489	0.002204	0.002194	0.004283	0.008693	0.004398
G1P2S3	0.003434	0.005337	0.001473	0.003428	0.001903	0.003864	0.001955
G1P2S4	0.003434	0.005337	0.001473	0.003428	0.001903	0.003864	0.001955
G1P2S5	0.004052	0.005956	0.002092	0.004047	0.001904	0.003864	0.001955
G1P2S6	0.002887	0.004790	0.000927	0.002882	0.001903	0.003863	0.001955
G1P3S1	0.002207	0.006494	0.002116	0.002194	0.004287	0.008610	0.004310
G1P3S2	0.002207	0.006494	0.002116	0.002194	0.004287	0.008610	0.004310
G1P3S3	0.003434	0.005339	0.001512	0.003428	0.001905	0.003827	0.001916
G1P3S4	0.003434	0.005339	0.001512	0.003428	0.001905	0.003827	0.001916
G1P3S5	0.004052	0.005958	0.002131	0.004047	0.001906	0.003827	0.001916
G1P3S6	0.002887	0.004792	0.000966	0.002881	0.001905	0.003826	0.001915
G5P1S1	0.002193	0.003474	0.000084	0.002200	0.005667	0.003558	0.002116
G5P1S2	0.002193	0.003474	0.000084	0.002200	0.005667	0.003558	0.002116
G5P1S3	0.003428	0.000909	0.002490	0.003431	0.002519	0.001581	0.000941
G5P1S4	0.003428	0.000909	0.002490	0.003431	0.002519	0.001581	0.000941
G5P1S5	0.004046	0.001527	0.003109	0.004049	0.002519	0.001582	0.000940

G5P1S6	0.002881	0.000362	0.001944	0.002884	0.002519	0.001582	0.000940
G5P2S1	0.002191	0.004645	0.002745	0.002193	0.006836	0.001900	0.004938
G5P2S2	0.002191	0.004645	0.002745	0.002193	0.006836	0.001900	0.004938
G5P2S3	0.003427	0.000389	0.001233	0.003428	0.003038	0.000844	0.002195
G5P2S4	0.003427	0.000389	0.001233	0.003428	0.003038	0.000844	0.002195
G5P2S5	0.004045	0.001007	0.001852	0.004046	0.003038	0.000845	0.002194
G5P2S6	0.002880	0.000158	0.000686	0.002881	0.003038	0.000844	0.002195
G5P3S1	0.002191	0.004621	0.002687	0.002193	0.006812	0.001934	0.004880
G5P3S2	0.002191	0.004621	0.002687	0.002193	0.006812	0.001934	0.004880
G5P3S3	0.003427	0.000399	0.001259	0.003428	0.003028	0.000860	0.002169
G5P3S4	0.003427	0.000399	0.001259	0.003428	0.003028	0.000860	0.002169
G5P3S5	0.004045	0.001018	0.001877	0.004046	0.003027	0.000859	0.002169
G5P3S6	0.002880	0.000148	0.000712	0.002881	0.003028	0.000860	0.002169
G1P1C1	0.010835	0.016798	0.009794	0.010826	0.005963	0.007004	0.001032
G1P1C2	0.007339	0.013302	0.006298	0.007330	0.005963	0.007004	0.001032
G1P1C3	0.013911	0.019875	0.012870	0.013902	0.005964	0.007005	0.001032
G1P1C4	0.010415	0.016379	0.009374	0.010406	0.005964	0.007005	0.001032
G1P1C5	0.014533	0.020497	0.013492	0.014525	0.005964	0.007005	0.001033
G1P1C6	0.008706	0.014670	0.007665	0.008698	0.005964	0.007005	0.001033
G1P2C1	0.010831	0.015589	0.005931	0.010818	0.004758	0.009658	0.004887
G1P2C2	0.007335	0.012093	0.002435	0.007322	0.004758	0.009658	0.004887
G1P2C3	0.013907	0.018665	0.009007	0.013894	0.004758	0.009658	0.004887
G1P2C4	0.010411	0.015169	0.005511	0.010398	0.004758	0.009658	0.004887
G1P2C5	0.014529	0.019288	0.009629	0.014516	0.004759	0.009659	0.004887
G1P2C6	0.008703	0.013461	0.003802	0.008689	0.004758	0.009659	0.004887
G1P3C1	0.010831	0.015595	0.006028	0.010817	0.004764	0.009567	0.004789
G1P3C2	0.007335	0.012099	0.002532	0.007321	0.004764	0.009567	0.004789
G1P3C3	0.013908	0.018671	0.009105	0.013893	0.004763	0.009566	0.004788
G1P3C4	0.010412	0.015175	0.005608	0.010397	0.004763	0.009567	0.004789
G1P3C5	0.014530	0.019293	0.009727	0.014516	0.004763	0.009566	0.004789
G1P3C6	0.008703	0.013466	0.003900	0.008689	0.004763	0.009566	0.004789
G5P1C1	0.010817	0.004519	0.008473	0.010824	0.006298	0.003954	0.002351
G5P1C2	0.007320	0.001023	0.004976	0.007328	0.006297	0.003953	0.002352
G5P1C3	0.013893	0.007595	0.011549	0.013900	0.006298	0.003954	0.002351
G5P1C4	0.010397	0.004099	0.008053	0.010404	0.006298	0.003954	0.002351
G5P1C5	0.014515	0.008217	0.012171	0.014523	0.006298	0.003954	0.002352
G5P1C6	0.008688	0.002391	0.006344	0.008696	0.006297	0.003953	0.002352
G5P2C1	0.010813	0.003218	0.005330	0.010816	0.007595	0.002112	0.005486
G5P2C2	0.007317	0.000278	0.001833	0.007320	0.007595	0.002111	0.005487
G5P2C3	0.013890	0.006295	0.008406	0.013893	0.007595	0.002111	0.005487
G5P2C4	0.010394	0.002799	0.004910	0.010397	0.007595	0.002111	0.005487
G5P2C5	0.014512	0.006917	0.009028	0.014515	0.007595	0.002111	0.005487
G5P2C6	0.008685	0.001090	0.003201	0.008688	0.007595	0.002111	0.005487
G5P3C1	0.010813	0.003245	0.005394	0.010817	0.007568	0.002149	0.005423
G5P3C2	0.007317	0.000251	0.001897	0.007320	0.007568	0.002148	0.005423

G5P3C3	0.013890	0.006321	0.008470	0.013893	0.007569	0.002149	0.005423
G5P3C4	0.010394	0.002825	0.004974	0.010397	0.007569	0.002149	0.005423
G5P3C5	0.014512	0.006943	0.009092	0.014515	0.007569	0.002149	0.005423
G5P3C6	0.008680	0.001116	0.003265	0.008688	0.007564	0.002149	0.005423

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. 5

Παρατήρηση :

1. Ακραίο υποστύλωμα στη θέση Α ξεπερνά ελάχιστα το ανώτατο όριο της οριζόντιας μετατόπισης με $\max \delta y = 0,0179\text{m} > 0,0174\text{m}$
2. Μεσαίο υποστύλωμα στη θέση C ξεπερνά το ανώτατο όριο της οριζόντιας μετατόπισης με μέγιστη τιμή $\max \delta y = 0,018168\text{ m} > 0,0174\text{m}$ (στη φόρτιση G1P1C5), ενώ για αρκετούς συνδυασμούς φορτίσεων η διαφορική οριζόντια μετατόπιση προσκείμενων στύλων ξεπερνά το 0,01m
3. Ακραίο υποστύλωμα στη θέση E ξεπερνά το ανώτατο όριο της οριζόντιας μετατόπισης με μέγιστη τιμή $\max \delta y = 0,020497\text{m} > 0,0174\text{m}$

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος και την ικανοποίηση των απαιτήσεων της κατασκευής σε λειτουργικότητα αυξάνουμε τη διατομή των ακραίων υποστυλωμάτων του κτιρίου από HEA 550 που τέθηκαν αρχικά σε HEA 600. Παρακάτω παρουσιάζονται πως διαμορφώθηκαν τα αποτελέσματα των προηγούμενων φορτίσεων που δεν πληρούσαν τις απαιτήσεις λειτουργικότητας.

Θέση Α

Α	
	$\delta y(5)$
G5P2C4	0.015914
G5P3C4	0.015945

Θέση C

C			
	$\Delta y (4-5)$		$\Delta y (5-6)$
G5P2C1	0.009824	G1P1S1	0.009283
G5P2C2	0.009824	G1P1S2	0.009283
G5P2C3	0.009824	G1P2S1	0.009116
G5P2C4	0.009824	G1P2S2	0.009116
G5P2C5	0.009824	G1P1C1	0.010314
G5P2C6	0.009824	G1P1C2	0.010314
G5P3C1	0.009824	G1P1C3	0.010314
G5P3C2	0.009824	G1P1C4	0.010314
G5P3C3	0.009824	G1P1C5	0.010314
G5P3C4	0.009824	G1P1C6	0.010314
G5P3C5	0.009824	G1P2C1	0.010129
G5P3C6	0.009824	G1P2C2	0.01013
		G1P2C3	0.010129
		G1P2C4	0.01013
		G1P2C5	0.010129

Θέση E

E	
	$\delta y(5)$
G1P1C3	0.017636
G1P1C5	0.018132
G1P2C3	0.016531
G1P2C5	0.017028
G1P3C3	0.01661
G1P3C5	0.017106

G1P2C6	0.01013
G1P3C1	<u>0.014771</u>
G1P3C2	<u>0.01477</u>
G1P3C3	<u>0.014771</u>
G1P3C5	<u>0.014771</u>
G1P3C6	<u>0.01477</u>

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. 6(A,C,E)

Παρατήρηση:

1. Η οριζόντια μετατόπιση υποστυλώματος στη θέση Α μειώθηκε και δεν ξεπερνά το μέγιστο όριο 0,0174m
2. Η διαφορική οριζόντια μετατόπιση προσκείμενων υποστυλωμάτων στη θέση C μειώθηκε στις περισσότερες περιπτώσεις αλλά παρέμεινε μια μειωμένη μέγιστη παραμόρφωση που ξεπερνά την οριακή: $\max \Delta y = 0,014771m > 0,01m$
3. Η οριζόντια μετατόπιση υποστυλώματος στη θέση E μειώθηκε αλλά συνεχίζει να ξεπερνά την οριακή τιμή με $\Delta y = 0,018132m > 0,0174m$

Παρατηρώντας ότι το πρόβλημα απομένει κυρίως στα μεσαία υποστυλώματα, αυξάνουμε τη διατομή από HEA 400 σε HEA 450. Παρακάτω παρουσιάζονται πως διαμορφώθηκαν τα αποτελέσματα των προηγούμενων φορτίσεων που δεν πληρούσαν τις απαιτήσεις λειτουργικότητας.

Θέση C

C	
	Δy (5-6)
G1P3C1	0.012
G1P3C2	0.012
G1P3C3	0.012
G1P3C5	0.012
G1P3C6	0.012

Θέση E

E	
	δy (5)
G1P1C3	0.016947
G1P1C5	0.017259

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. 7(C,E)

Παρατήρηση:

1. Η διαφορική οριζόντια μετατόπιση προσκείμενων υποστυλωμάτων στη θέση C είναι σχεδόν ίση με την οριακή $0,012 \approx 0,01$
2. Η οριζόντια μετατόπιση υποστυλώματος στη θέση E παρουσιάζει μέγιστη τιμή για τη φόρτιση G1P1C5 με $\Delta y = 0,017259m < 0,0174m$

6.2.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ

Τελικά ο φορέας διαστασιολογήθηκε ως εξής:

Ακραία υποστυλώματα διατομής HEA 600

Μεσαία υποστυλώματα διατομής HEA 450

Δικλινή στέγη διατομής IPE 500

Δοκός κύλισης διατομής HEB 500

Μετωπικά υποστυλώματα διατομής IPE 200

Μηκίδες– Τεγίδες διατομής IPE 140

Οριζόντιοι – κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας διατομής L70×8

Πρόβολος διατομής ορθογωνικής

Η κατασκευή χρησιμοποιεί τα ακόλουθα στοιχεία :

Section	ElementType	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
HE500B	Beam	36	216	396.573
IPE500	Brace	40	481.834	429.366
PROVOLOS	Beam	40	29.4	169.387
IPE140	Beam	450	2700	340.006
L70X8	Brace	176	586.703	48
IPE200	Column	28	287.532	62.951
HE600A	Column	20	193.2	335.419
HE450A	Column	10	96.6	132.09

Story	ElementType	Material	TotalWeight	NumPieces
STORY1	Column	STEEL	530.459	58
STORY1	Beam	STEEL	905.966	526
STORY1	Brace	STEEL	477.365	216
SUM	Column	STEEL	530.459	58
SUM	Beam	STEEL	905.966	526
SUM	Brace	STEEL	477.365	216
TOTAL	All	All	1913.791	800

Άρα,

$$w = \frac{1913,791}{48 \times 60} = 0,66 \text{ KN/m}^2$$

HE600A

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK Units: KN-m (Summary for Combo and Station)

Level: STORY1 Element: C57-1 Station Loc: 0.000 Section ID: HE600A

Element Type: Braced Frame Classification: Class 1

Units: KN-m

Material Partial Factors of Safety $\gamma_{M0}=1.00$ $\gamma_{M1}=1.00$

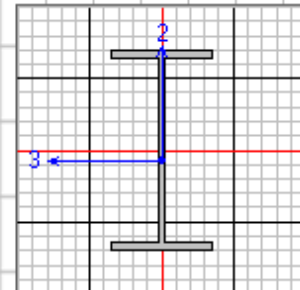
L=9.660

A=0.023 I22=1.127E-04 I33=0.001 Wp122=0.001 Wp133=0.005

We122=7.513E-04 We133=0.005 i22=0.071 i33=0.250

E=199947978.80 fy=344737.894

RLLF=1.000



P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0.059 = 0.008 + 0.052 + 0.000

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

	P	M33	M22	U2	U3
Combo DSTLS5	-55.592	-95.652	-0.012	-18.476	-0.005

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)

	Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial	55.592	7411.858	7791.076	7538.403	7411.858

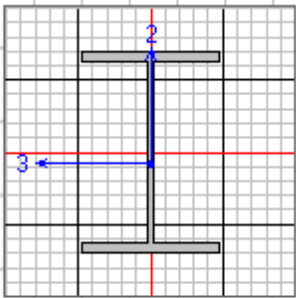
	M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd
Major Bending	95.652	1844.348	1844.348	1844.348
Minor Bending	0.012	398.517	398.517	

	K	L	k	klt	C1
Major Bending	1.000	0.669	1.000	1.000	2.688
Minor Bending	1.000	0.185	1.000		

SHEAR DESIGN

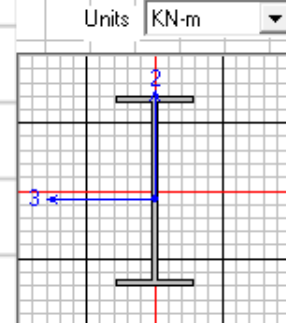
	U.Sd	U.Rd	Ratio
Major Shear	18.476	1526.595	0.012
Minor Shear	0.005	2487.931	2.059E-06

HE450A

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK		Units: KN-m (Summary for Combo and Station)			
Level:	STORY1	Element:	C59-1	Station Loc:	0.000
Section ID:	HE450A				
Element Type:	Braced Frame		Classification:	Class 1	
Material Partial Factors of Safety $\gamma_{M0}=1.00$ $\gamma_{M1}=1.00$					
L=9.660					
A=	0.018	I ₂₂ =	9.465E-05	I ₃₃ =	6.372E-04
W _{p122} =	9.660E-04	W _{p133} =	0.003		
W _{e122} =	6.310E-04	W _{e133} =	0.003	i ₂₂ =	0.073
				i ₃₃ =	0.189
E=	199947978.80	f _y =	344737.894		
RLLF=	1.000				
					
P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0.085 = 0.049 + 0.036 + 0.000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS					
		P	M33	M22	U2
Combo	DSTLSS	-79.219	33.560	0.002	6.795
					4.714E-04
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)					
	Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial	79.219	1622.300	6136.335	5760.518	1622.300
	M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd	
Major Bending	33.560	1108.677	1108.677	917.858	
Minor Bending	0.002	333.017	333.017		
	K	L	k	k1t	C1
Major Bending	1.000	0.669	1.000	0.985	2.700
Minor Bending	1.000	1.000	1.000		
SHEAR DESIGN					
	V.Sd	V.Rd	Ratio		
Major Shear	6.795	1007.115	0.007		
Minor Shear	4.714E-04	2089.862	0.000		

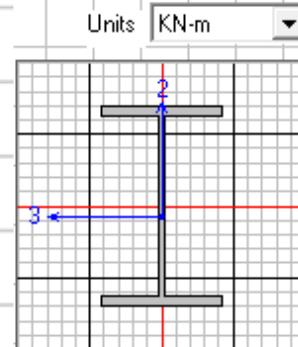
IPE500

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK		Units: KN-m (Summary for Combo and Station)				
Level: STORY1 Element: D270 Station Loc: 0.402 Section ID: IPE500						
Element Type: Braced Frame Classification: Class 1		Units: KN-m				
Material Partial Factors of Safety $\gamma_{m0}=1.00$ $\gamma_{m1}=1.00$						
L=12.046						
A=0.012 I22=2.142E-05 I33=4.820E-04 Wp122=3.360E-04 Wp133=0.002						
We122=2.142E-04 We133=0.002 i22=0.043 i33=0.204						
E=199947978.80 fy=344737.894						
RLLF=1.000						
P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is $0.180 = 0.006 + 0.129 + 0.044$						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
		P	M33	M22	U2	U3
Combo	DSTLS6	-22.749	-95.485	5.095	-24.909	-12.830
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)						
		Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial		22.749	3625.799	3998.960	3987.702	3625.799
		M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd	
Major Bending		95.485	756.355	756.355	738.368	
Minor Bending		5.095	115.832	115.832		
		K	L	k	klt	C1
Major Bending		1.000	0.273	1.000	1.000	1.632
Minor Bending		1.000	0.121	1.000		
SHEAR DESIGN						
		V.Sd	V.Rd	Ratio		
Major Shear		24.909	1015.076	0.025		
Minor Shear		12.830	1061.517	0.011		



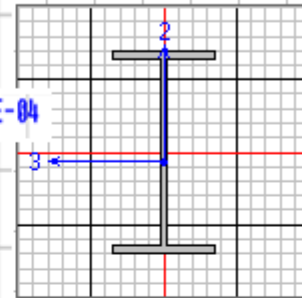
HE500B

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK		Units: KN-m (Summary for Combo and Station)				
Level: STORY1 Element: B1867 Station Loc: 3.000 Section ID: HE500B						
Element Type: Braced Frame Classification: Class 1						
Material Partial Factors of Safety $\gamma_{M0}=1.00$ $\gamma_{M1}=1.00$						
L=6.000						
A=0.024 I22=1.262E-04 I33=0.001 Wp122=0.001 Wp133=0.005						
We122=8.413E-04 We133=0.004 i22=0.073 i33=0.212						
E=199947978.80 fy=344737.894						
RLLF=1.000						
P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0.009 = 0.000 + 0.009 + 0.000						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
		P	M33	M22	U2	U3
Combo	DSTLS2	-0.069	11.154	0.000	0.000	0.000
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)						
		Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial		0.069	4452.641	8239.236	7904.653	4452.641
		M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd	
Major Bending		11.154	1659.913	1659.913	1283.337	
Minor Bending		0.000	445.401	445.401		
		K	L	k	klt	C1
Major Bending		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Minor Bending		1.000	1.000	1.000		
SHEAR DESIGN						
		U.Sd	U.Rd	Ratio		
Major Shear		0.000	1443.000	0.000		
Minor Shear		0.000	2786.483	0.000		

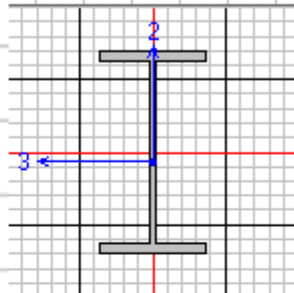


IPE200

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK		Units: KN-m (Summary for Combo and Station)				
Level: STORY1		Element: C134		Station Loc: 10.710		Section ID: IPE200
Element Type: Braced Frame		Classification: Class 1				
Material Partial Factors of Safety		GammaM0=1.00		GammaM1=1.00		
L=10.710		Units: KN-m				
A=0.003		I22=1.420E-06		I33=1.943E-05		Wp122=4.460E-05
Wp133=2.210E-04		We122=2.840E-05		We133=1.943E-04		i22=0.022
E=199947978.80		fy=344737.894				
RLLF=1.000						
P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is		0.003 = 0.003 + 0.000 + 0.000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Combo	DSTLS2	P	M33	M22	U2	U3
		3.165	0.000	0.000	0.000	0.000
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)						
Axial	Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd	
	3.165	23.197	982.503	289.804	23.197	
	M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd		
Major Bending	0.000	76.187	76.187	10.698		
Minor Bending	0.000	15.375	15.375			
	K	L	k	klt	C1	
Major Bending	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
Minor Bending	1.000	1.000	1.000			
SHEAR DESIGN						
	U.Sd	U.Rd	Ratio			
Major Shear	0.000	222.919	0.000			
Minor Shear	0.000	281.966	0.000			

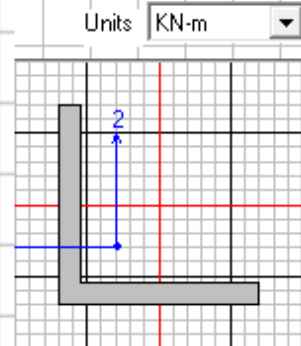


IPE140

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK		Units: KN-m (Summary for Combo and Station)				
Level: STORY1 Element: B1675 Station Loc: 3.000 Section ID: IPE140						
Element Type: Braced Frame Classification: Class 1						
Material Partial Factors of Safety $\gamma_{M0}=1.00$ $\gamma_{M1}=1.00$		<div style="text-align: right;">Units: <input type="text" value="KN-m"/></div> 				
L=6.000						
A=0.002 I22=0.000 I33=5.410E-06 Wp122=1.920E-05 Wp133=8.830E-05						
We122=1.230E-05 We133=7.729E-05 i22=0.017 i33=0.057						
E=199947978.80 fy=344737.894						
RLLF=1.000						
P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0.148 = 0.028 + 0.121 + 0.000						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
		P	M33	M22	U2	U3
Combo	DSTLS2	-0.633	0.765	0.000	0.000	0.000
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)						
		Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial		0.633	22.984	565.370	241.663	22.984
		M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd	
Major Bending		0.765	30.440	30.440	6.226	
Minor Bending		0.000	6.619	6.619		
		K	L	k	klt	C1
Major Bending		1.000	1.000	1.000	0.982	1.000
Minor Bending		1.000	1.000	1.000		
SHEAR DESIGN						
		V.Sd	V.Rd	Ratio		
Major Shear		0.000	130.965	0.000		
Minor Shear		0.000	167.089	0.000		

L70x8

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK		Units: KN-m (Summary for Combo and Station)				
Level: STORY1 Element: D447 Station Loc: 1.685 Section ID: L70X8						
Element Type: Braced Frame Classification: Class 3		Units: KN-m				
Material Partial Factors of Safety $\gamma_{M0}=1.00$ $\gamma_{M1}=1.00$						
L=3.370						
A=0.001 I22=0.000 I33=0.000 Wp122=1.760E-05 Wp133=1.760E-05						
We122=9.521E-06 We133=9.521E-06 i22=0.021 i33=0.021						
E=199947978.80 fy=344737.894						
RLLF=1.000						
P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0.574 = 0.542 + 0.032 + 0.000						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
	P	M33	M22	U2	U3	
Combo DSTLS6	-15.526	0.103	0.000	0.000	0.000	
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)						
	Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd	
Axial	15.526	28.629	367.146	65.671	28.629	
	M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd		
Major Bending	0.103	3.282	3.282	3.282		
Minor Bending	0.000	3.282	3.282			
	K	L	k	k1t	C1	
Major Bending	1.000	1.000	1.000	0.782	1.000	
Minor Bending	1.000	1.000	1.000			
SHEAR DESIGN						
	U.Sd	U.Rd	Ratio			
Major Shear	0.000	111.459	0.000			
Minor Shear	0.000	111.459	0.000			



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σημειώσεις «Σιδηρές Κατασκευές 2»
- [2] Eurocode 3.