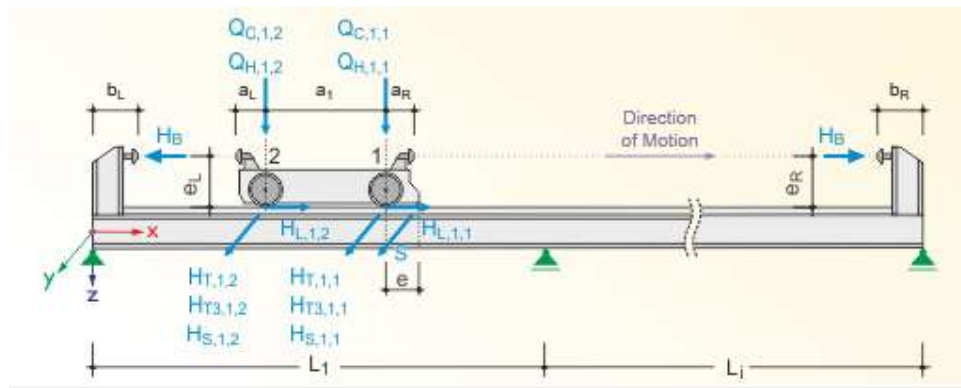




ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΡΑΝΟΔΟΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΝΕΑ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3-ΜΕΡΟΣ 6



Διπλωματική Εργασία
Ρουγγέρη Ευφημία

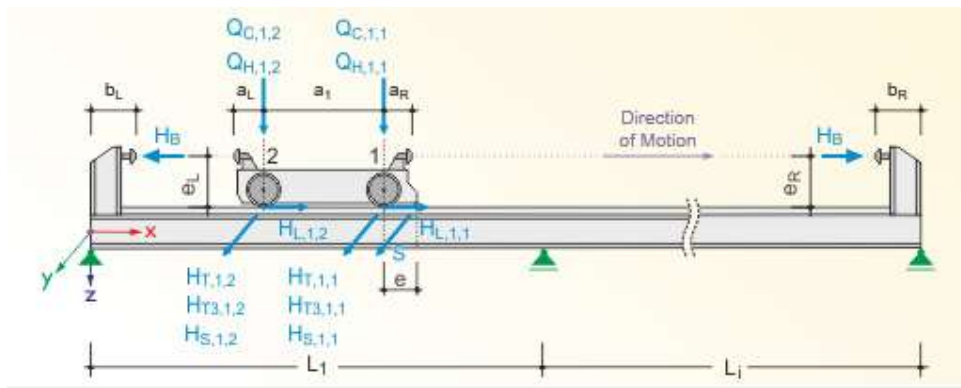
EMK ME 2023 4

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Ιούνιος 2023



ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΡΑΝΟΔΟΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΝΕΑ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3-ΜΕΡΟΣ 6



Διπλωματική Εργασία
Ρουγγέρη Ευφημία

EMK ME 2023 4

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Ιούνιος 2023

Copyright © Ρουγγέρη Ευφημία, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Roungeri Effimia, 2023
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Ρουγγέρη Ευφημία (2023)

Βέλτιστος σχεδιασμός γερανοδοκών με τη νέα έκδοση του ευρωκώδικα 3-μέρος 6
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2023 4
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Roungeri Effimia (2023)

DiplomaThesis ΕΜΚ ΜΕ 2023 4
Optimum design of crane girders with the new version of the eurocode 3-part 6
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Χ. Γαντέ που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Τον ευχαριστώ επίσης για την καθοδήγηση και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΜΕ 2023

**Βέλτιστος σχεδιαμός γερανοδοκών με τη νέα έκδοση του ευρωκώδικα 3-
μέρος 6**

Ρουγγέρη Ευφημία

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δοκοί επί των οποίων κυλίνουν οι γερανογέφυρες (γερανοδοκοί) αποτελούν ιδιαίτερα σιδηρά δομικά στοιχεία. Είναι στοιχεία σύνθετης καταπόνησης όπου τα μέγιστα φορτία υπολογισμού πραγματοποιούνται στο μέγιστο και μάλιστα πολύ συχνά, με αποτέλεσμα να είναι ευαίσθητα έναντι κόπωσης. Έχουν και πολλαπλές απαιτήσεις λειτουργικότητας καθώς από τις παραμορφώσεις τους κρίνεται η σωστή λειτουργία της γερανογέφυρας. Αρχικός στόχος είναι η παρουσίαση των απαιτούμενων ελέγχων των γερανοδοκών σύμφωνα με τη νέα έκδοση του ευρωκώδικα 3-μέρος 6 (prEN 1993-6:2021) καθώς και η επισήμανση των διαφορών του με τον ισχύοντα κανονισμό. Παράλληλα άλλο ένα κίνητρο της εργασίας είναι ο σχεδιασμός γερανοδοκών με το μικρότερο δυνατό βάρος και συνεπώς και με τη μικρότερη οικονομική επιβάρυνση. Να σημειωθεί ότι οι αντιδράσεις των γερανοδοκών καθορίζουν τη διαστασιολόγηση των πλαισίων του κτιρίου (π.χ. υποστυλωμάτων) που τις στηρίζουν. Για το σκοπό αυτό αρχικά διερευνήθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας που καθορίζουν τα φορτία που μεταφέρουν στις γερανοδοκούς. Στη συνέχεια διερευνήθηκαν οι παράμετροι εκείνοι που επηρεάζουν τον κάθε έλεγχο της γερανοδοκού, έτσι ώστε αν δεν επαρκεί κάποιος έλεγχος (π.χ. κόπωσης) ο μελετητής να γνωρίζει ποιο χαρακτηριστικό της διατομής να μεταβάλλει (π.χ. πάχος κορμού). Τέλος γίνεται μια γενική διερεύνηση με σκοπό να απαντηθούν ερωτήματα όπως: ποιοί είναι οι κρίσιμότεροι έλεγχοι των γερανοδοκών, τί είδους διατομές προτιμάμε (ΙΡΕ, ΗΕΑ, ΗΕΒ, συγκολλητές), η διαστασιολόγηση των γερανοδοκών κρίνεται από τα κατακόρυφα φορτία που δέχεται από τη γερανογέφυρα ή και από τα οριζόντια;



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES



DIPLOMA THESIS
EMK ME 2023 4

Optimum design of crane girders with the new version of the eurocode 3 – part 6

Roungeri Effimia

Supervisor: Professor Charis Gantes

ABSTRACT

The beams on which the crane girders roll (runway beams) are special iron structural elements. They are complex stress elements where the maximum loads are applied very often, making them sensitive to fatigue. They also have multiple serviceability requirements because their deformations determine the proper operation of the crane girders. First aim is to present the required inspections of runway beams according to the new version of eurocode 3 – part 6 (prEN 1993-6:2021) as well as to highlight its differences with the current standard. At the same time, another motivation of the present thesis is the design of the runway beams with the lowest possible weight and thus budget. It should be noted that the actions of the runway beams determine the dimensions of the columns that support them. The geometric characteristics of the crane girders were investigated in order to reduce the loads of the runway beams. Then the parameters which affect each inspection of the runway beams were investigated, so that if one of them is not sufficient (e.g. fatigue), the designer can change the proper characteristic of the cross section (e.g web thickness). Finally a general investigation is carried out in order to answer questions such as: which are the most critical inspections of the runway beams, what kind of cross section do we prefer (IPE, HEA, HEB, welded), the cross section properties are defined particularly by the vertical loads or also by the horizontal ones?

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1	Κίνητρο και στόχοι	15
1.2	Περιγραφή της διπλωματικής εργασίας	16
2	ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΕΣ	17
2.1	Γενικά	17
2.2	Γερανοδοκοί	19
2.2.1	Κανονισμοί	19
2.2.2	Γενικά	19
2.2.3	Τροχιές κύλισης γερανογεφυρών	20
3	ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΕΣ	21
3.1	Κατακόρυφα φορτία από τις γερανογέφυρες	21
3.1.1	Γενικά	21
3.1.2	Παραμετρική μελέτη ως προς το άνοιγμα της γερανογέφυρας	23
3.2	Οριζόντια φορτία από τις γερανογέφυρες	25
3.2.1	Οριζόντια φορτία οφειλόμενα στην επιτάχυνση και επιβράδυνση τη γερανογέφυρας κατά την εκκίνηση και την τροχοπέδησή της	25
3.2.2	Οριζόντια φορτία οφειλόμενα στην λοξή ως προς τις τροχιές της κίνηση της γερανογέφυρας	29
3.3	Δράσεις σχεδιασμού	33
4	ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	36
4.1	Οριακή κατάσταση αστοχίας (Ο.Κ.Α.)	36
4.2	Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.)	38
4.2.1	Γενικά	38
4.2.2	Διερεύνηση	40
5	ΤΟΠΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΔΟΚΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ	46
5.1	Εισαγωγή	46
5.2	Τοπικές ορθές τάσεις	47
5.2.1	Γενικά	47
5.2.2	Παραμετρική μελέτη ως προς τον τρόπο σύνδεσης σιδηροτροχιάς με δοκό	49
5.2.3	Παραμετρική μελέτη ως προς τα υπόλοιπα μεγέθη της διατομής	50
5.3	Τοπικές διατμητικές τάσεις	54
5.4	Τοπικές καμπτικές τάσεις	55
5.4.1	Γενικά	55
5.4.2	Παραμετρική μελέτη ως προς τον τρόπο σύνδεσης σιδηροτροχιάς με δοκό	56

5.4.3	Παραμετρική μελέτη ως προς τα υπόλοιπα μεγέθη της διατομής	57
6	Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ.....	61
6.1	Εισαγωγή.....	61
6.2	Πρώτυπη φόρτιση κόπωσης.....	62
6.2.1	Γενικά	62
6.2.2	Παραμετρική μελέτη κόπωσης ως προς τον συντελεστή R_i	63
6.3	Σχέση ελέγχου της επάρκειας έναντι κοπώσεως.....	64
6.3.1	Γενικά	64
6.3.2	Κατηγορίες λεπτομερειών γερανοδοκών	65
6.3.3	Παραμετρική μελέτη ως προς τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της διατομής.....	67
7	ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	71
7.1	Εισαγωγή.....	71
7.2	Διερεύνηση υπό κατακόρυφα φορτία.....	72
7.2.1	Ελατή διατομή.....	72
7.2.2	Συγκολλητή διατομή	75
7.3	Διερεύνηση υπό κατακόρυφα και οριζόντια φορτία	79
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	81
8.1	Περίληψη.....	81
8.2	Συμπεράσματα	81
8.2.1	Μείωση φορτίων γερανογέφυρας.....	81
8.2.2	Παραμορφώσεις γερανοδοκού	82
8.2.3	Τοπική ένταση γερανοδοκού.....	82
8.2.4	Έλεγχος κόπωσης γερανοδοκού	82
8.2.5	Διερεύνηση	83
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΙΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ Κ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ... 87	
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ CRANEWAY..... 89	

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κίνητρο και στόχοι

Πολλές φορές η μετακίνηση προϊόντων στο εσωτερικό των κτιρίων γίνεται από μια ή περισσότερες γερανογέφυρες. Οι δοκοί επί των οποίων κυλίνουν οι γερανογέφυρες (γερανοδοκοί) αποτελούν σιδηρά δομικά στοιχεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Είναι στοιχεία σύνθετης καταπόνησης όπου τα μέγιστα φορτία υπολογισμού πραγματοποιούνται στο μέγιστο και μάλιστα πολύ συχνά, με αποτέλεσμα να είναι ευαίσθητα έναντι κόπωσης. Έχουν και πολλαπλές απαιτήσεις λειτουργικότητας καθώς από τις παραμορφώσεις τους κρίνεται η σωστή λειτουργία της γερανογέφυρας και η μετακίνηση των προϊόντων.

Αρχικός στόχος είναι η παρουσίαση των απαιτούμενων ελέγχων των γερανοδοκών σύμφωνα με τη νέα έκδοση του ευρωκώδικα 3-μέρος 6 (prEN 1993-6:2021) καθώς και η επισήμανση των διαφορών του με τον ισχύοντα κανονισμό (EN 1993-6:2007). Οι διαφορές επισημαίνονται μέσα σε ένα κόκκινο πλαίσιο.

Άλλο ένα κίνητρο της εργασίας είναι ο σχεδιασμός γερανοδοκών με το μικρότερο δυνατό βάρος και συνεπώς και με τη μικρότερη οικονομική επιβάρυνση. Να σημειωθεί ότι οι αντιδράσεις των γερανοδοκών καθορίζουν τη διαστασιολόγηση των πλαισίων του κτιρίου (π.χ. υποστυλωμάτων) που τις στηρίζουν. Στόχος είναι η διερεύνηση των χαρακτηριστικών της γερανογέφυρας που καθορίζουν τα φορτία που μεταφέρουν στις γερανοδοκούς και εκείνων των παραμέτρων που επηρεάζουν τον κάθε έλεγχο της γερανοδοκού. Έτσι αν κάποιος έλεγχος δεν επαρκεί (π.χ. κόπωσης) ο μελετητής να γνωρίζει ποιο χαρακτηριστικό της διατομής να μεταβάλει (π.χ. πάχος κορμού).

Τελικός σκοπός είναι να απαντηθούν ερωτήματα όπως: ποιοί είναι οι κρίσιμότεροι έλεγχοι των γερανοδοκών, τί είδους διατομές προτιμάμε (ΙΡΕ, ΗΕΑ, ΗΕΒ, συγκολλητές), η διαστασιολόγηση των γερανοδοκών κρίνεται από τα κατακόρυφα φορτία που δέχεται από τη γερανογέφυρα ή και από τα οριζόντια;

1.2 Περιγραφή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι διαρθρωμένη σε 8 κεφάλαια.

Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας. Σε αυτό παρουσιάζονται το κίνητρο εκπόνησής της και οι στόχοι της.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι γερανογέφυρες. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη γερανογέφυρας καθώς και τα είδη γερανογεφυρών που υπάρχουν. Στόχος είναι ο μελετητής της γερανοδοκού να γνωρίζει τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας καθώς αυτά καθορίζουν όχι μόνο τη μόρφωση και τις διαστάσεις του κτιρίου που στεγάζει τη γερανογέφυρα αλλά όπως θα παρουσιαστεί και στα επόμενα κεφάλαια καθορίζουν και τα φορτία της γερανοδοκού. Γίνεται επίσης μια εισαγωγή στις γερανοδοκούς και αναφέρονται οι ισχύοντες κανονισμοί.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός των φορτίων της γερανοδοκού από τη γερανογέφυρα σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο κατασκευαστής της γερανογέφυρας δίνει πίνακες με τις αντιδράσεις των τροχών της γερανογέφυρας και δεν χρειάζεται ο υπολογισμός τους από τον μελετητή. Ωστόσο η κατανόηση των φορτίων βοηθάει τον μελετητή καθώς τις περισσότερες φορές ο συμβολισμός των δυνάμεων των πινάκων δεν είναι ίδιος με αυτόν του ευρωκώδικα με αποτέλεσμα να επικρατεί σύγχυση. Επίσης παρουσιάζονται παραμετρικές αναλύσεις με σκοπό να μελετηθεί ποιά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας επηρεάζουν την τιμή των φορτίων της γερανοδοκού.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι έλεγχοι σε οριακή κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας σύμφωνα με τη νέα έκδοση του ευρωκώδικα prEN 1993-6:2021. Στόχος είναι εκτός από την παρουσίαση του νέου ευρωκώδικα και την επισήμανση των διαφορών του με τον ισχύοντα κανονισμό, να μελετηθούν εκείνες οι παράμετροι που είναι κρίσιμες για τον κάθε έλεγχο ξεχωριστά. Για τον λόγο αυτό ακολουθούν παραμετρικές αναλύσεις.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι έλεγχοι λόγω της τοπικής έντασης της γερανοδοκού από τους τροχούς της. Στόχος είναι εκτός από την παρουσίαση του νέου ευρωκώδικα και την επισήμανση των διαφορών του με τον ισχύοντα κανονισμό, να μελετηθούν εκείνες οι παράμετροι που είναι κρίσιμες για τον συγκεκριμένο έλεγχο. Για τον λόγο αυτό ακολουθούν παραμετρικές αναλύσεις.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται οι έλεγχοι της κόπωσης. Στόχος είναι εκτός από την παρουσίαση του νέου ευρωκώδικα και την επισήμανση των διαφορών του με τον ισχύοντα κανονισμό, να μελετηθούν εκείνες οι παράμετροι που είναι κρίσιμες για τον συγκεκριμένο έλεγχο. Για τον λόγο αυτό ακολουθούν παραμετρικές αναλύσεις.

Αφού έχουν παρουσιαστεί οι κάθε έλεγχοι ξεχωριστά και οι παράμετροι που τους επηρεάζουν, στο Κεφάλαιο 7 γίνεται μια γενική διερεύνηση με σκοπό να μελετηθεί η συμπεριφορά της γερανοδοκού υπό κατακόρυφα και οριζόντια φορτία.

Στο Κεφάλαιο 8 αναλύονται όλα τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από την εργασία αυτή.

Τέλος, αναγράφεται η σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας.

Στο Παράρτημα Α για λόγους πληρότητας περιγράφεται σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 ο υπολογισμός της κινητήριας δύναμης Κ της γερανογέφυρας.

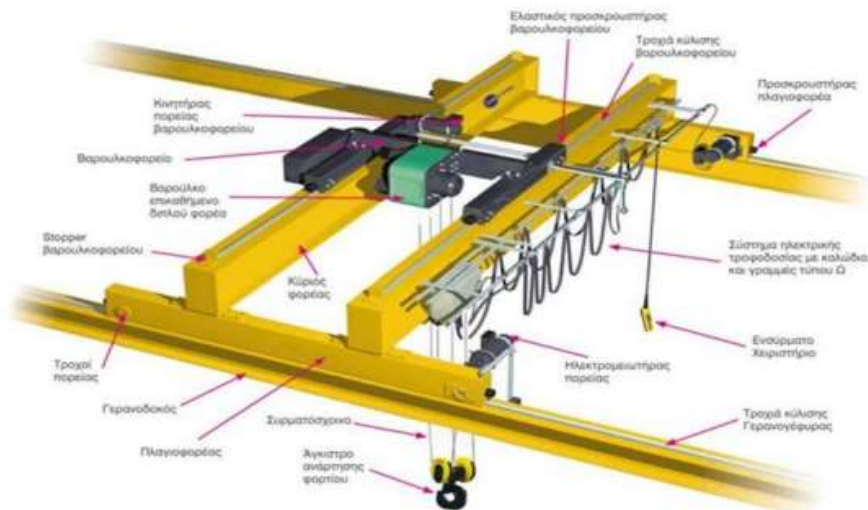
Στο Παράρτημα Β για λόγους πληρότητας γίνεται μια παρουσίαση του προσομοιώματος ανάλυσης (craneway) που χρησιμοποιήθηκε για τις παραμετρικές αναλύσεις και τα διαγράμματα της εργασίας.

2 ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΕΣ

2.1 Γενικά

Σε πολλούς βιομηχανικούς και αποθηκευτικούς χώρους, όπως σε ναυπηγεία, υπόστεγα συντήρησης αεροσκαφών, εργοτάξια οικοδομικών κατασκευών, χαλυβουργεία, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας κ.α. η μετακίνηση των προϊόντων στο εσωτερικό τους γίνεται από μία ή περισσότερες γερανογέφυρες. Η γερανογέφυρα αποτελεί βιομηχανικό προϊόν και κατά κανόνα δεν αποτελεί αντικείμενο της μελέτης του στατικού μηχανικού. Γενικά έχει τυποποιημένες διαστάσεις και πάχη ελασμάτων αναλόγως προς το άνοιγμα και τη φέρουσα ικανότητά της (ωφέλιμο φορτίο).

Στο Σχήμα 2-1 φαίνεται μια τυπική διάταξη γερανογέφυρας (γερανογέφυρα διπλού φορέως) που αποτελείται από δύο παράλληλους φορείς, κιβωτοειδούς διατομής οι οποίοι καταλήγουν στα φορεία. Διακρίνονται πλην των δύο κυρίων φορέων, το βαρούλκο, τα συρματόσχοινα, το άγκιστρο ανάρτησης, το χειριστήριο, τα τερματικά στοιχεία των τροχιών (προσκρουστήρας πλαγιοφορέα ή buffers), οι τροχοί, οι κινητήρες για την κίνηση των τροχών και του βαρούλκου και οι δύο γερανοδοκοί, διατομής διπλού ταυ επί των οποίων κυλιέται η γερανογέφυρα την οποία και υποστηρίζουν.



Σχήμα 2-1: Τυπική διάταξη γερανογέφυρας.

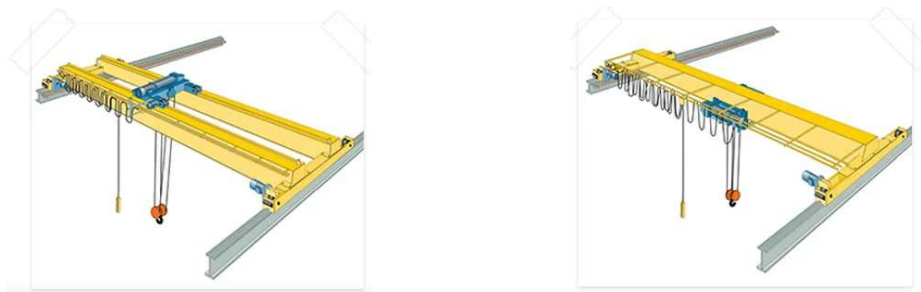
Κάθε φορείο έχει συνήθως δύο τροχούς ή σε περιπτώσεις γερανογεφυρών με μεγάλη ανυψωτική ικανότητα (π.χ. 100 τόνους) τέσσερις. Η συνθηθέστερη ανάρτηση του φορτίου γίνεται μέσω αγκίστρου. Αναλόγως όμως και του είδους των μετακινούμενων στοιχείων, μπορεί να χρησιμοποιούνται και άλλα μέσα όπως αρπάγες για τη μετακίνηση όγκων μαρμάρου, κάδοι για τη μεταφορά αδρανών υλικών ή μαγνήτες για τη μετακίνηση επιπέδων ελασμάτων (λαμαρίνων) σε ναυπηγεία ή χαλυβουργεία.

Κάθε κατασκευαστής δίνει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας. Ενδιαφέρουν ιδιαίτερα η ελάχιστη απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα κυλίσεως, η υψομετρική διαφορά μεταξύ ανώτερης στάθμης αγκίστρου και ανώτερου σημείου τροχιάς καθώς επίσης και η ελάχιστη απαιτούμενη καθαρή απόσταση μεταξύ ανώτερου σημείου τροχιάς και οροφής του κτιρίου. Είναι φανερό ότι για δεδομένο ύψος αγκίστρου, ανυψωτική ικανότητα και άνοιγμα γερανογέφυρας, μπορεί να προσδιοριστεί το ελάχιστο απαιτούμενο καθαρό ύψος του κτιρίου αλλά και η στάθμη έδρασης των γερανοδοκών όταν έχει προσδιοριστεί η διατομή τους.

Ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες (σε ανυψούμενο φορτίο και άνοιγμα κτιρίου) υπάρχουν δύο είδη γερανογέφυρας:

- γερανογέφυρα διπλού φορέα (double girder bridge crane)
- γερανογέφυρα μονού φορέα (single girder bridge crane)

Οι γερανογέφυρες μονού φορέα προβλέπονται για χρήση σε μικρά σχετικά ανοίγματα και για μικρές απαιτήσεις ανυψούμενου φορτίου ενώ οι γερανογέφυρες διπλού φορέα προορίζονται για περιπτώσεις μεγαλύτερου ανοίγματος και όπου υπάρχει ανάγκη για μεταφορά βαρύτερου φορτίου.

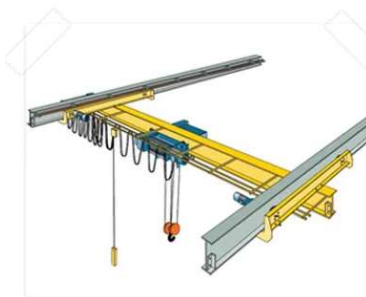


(α)

(β)

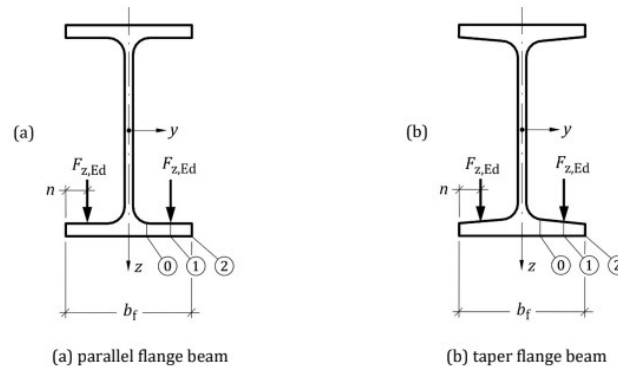
Σχήμα 2-2: Γερανογέφυρα (α) διπλού και (β) μονού φορέα.

Εκτός της συνθηθέστερης περίπτωσης γερανογεφυρών που επικάθονται στις γερανοδοκούς (Σχήμα 2-2) υπάρχουν και περιπτώσεις γερανογεφυρών που αναρτώνται από αυτές (underslung cranes) οι οποίες κυλίνουν στο κάτω πέλμα τους (Σχήμα 2-3). Είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να λειτουργούν σε κτίρια όπου το διάκενο μεταξύ της κορυφής των υποστυλωμάτων και της οροφής του κτιρίου είναι χαμηλό καταλαμβάνοντας έτσι μικρότερο χώρο.



Σχήμα 2-3: Γερανογέφυρα που κυλίνεται στο κάτω πέλμα των γερανοδοκών (underslung crane).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ένταση και η αντοχή της γερανοδοκού εξαρτάται από το αν η γερανογέφυρα επικάθεται ή αναρτάται από αυτήν. Για αυτό ο μελετητής της γερανοδοκού πρέπει να γνωρίζει αν η γερανογέφυρα κυλιέται στο κάτω πέλμα της γερανοδοκού. Στην περίπτωση αυτή, οι κανονισμοί παρέχουν αναλυτικά στοιχεία για την ένταση και την αντοχή του κάτω πέλματος. Σχηματικά η θέση εφαρμογής των φορτίων στο κάτω πέλμα φαίνεται στο Σχήμα 2-4.



Σχήμα 2-4: Θέση προσδιορισμού των τάσεων που οφείλονται σε φορτία τροχού.

2.2 Γερανοδοκοί

2.2.1 Κανονισμοί

Πριν την εφαρμογή των ευρωκωδίκων για τον έλεγχο των γερανοδοκών καθώς και για τον υπολογισμό των δράσεων προκαλούμενων από τις γερανογέφυρες χρησιμοποιούνται το Γερμανικό Κανονιστικό Πλαίσιο.

Μετά την εφαρμογή των ευρωκωδίκων χρησιμοποιείται ο ευρωκώδικας 1-μέρος 3 για τον υπολογισμό των δράσεων (Actions included by cranes and other machinery) και ο ευρωκώδικας 3-μέρος 6 για τον έλεγχο και τη διαστασιολόγηση των κατασκευών που στηρίζουν τις γερανογέφυρες (Crane supporting structures).

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη νέα έκδοση του ευρωκώδικα 3-μέρος 6 (Crane supporting structures) – (prEN 1993-6:2021).

2.2.2 Γενικά

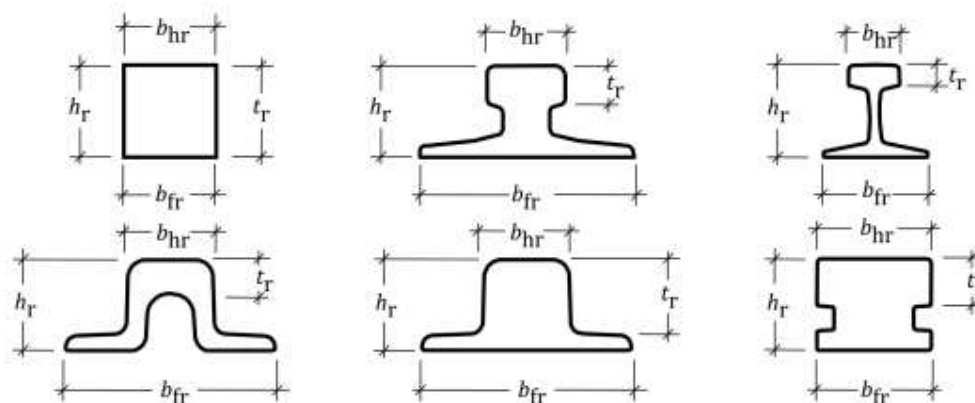
Οι γερανοδοκοί επί των οποίων κυλιούνται οι γερανογέφυρες αποτελούν κατασκευές ιδιαίζουσας σημασίας στα σιδηρά δομικά έργα. Συγκεκριμένα έχουν πολλές απαιτήσεις λειτουργικότητας και υπόκεινται σε συνεχείς ακραίες εναλλαγές των τάσεων με αποτέλεσμα να είναι ευαίσθητες σε φαινόμενα κόπωσης, από τα οποία πολύ συχνά πάσχουν. Επίσης είναι από τις λίγες κατασκευές που τα μέγιστα φορτία υπολογισμού πραγματοποιούνται στο ακέραιο και μάλιστα πολύ συχνά, ανάλογα με τη χρήση των γερανογεφυρών που εξυπηρετούν.

Οι γερανοδοκοί είναι στοιχεία σύνθετης καταπόνησης. Καταπονούνται σε κάμψη τόσο ως προς τον κύριο όσο και ως προς το δευτερεύοντα άξονα αδράνειας, διάτμηση, αξονικές δυνάμεις και στρέψη. Κατά τον έλεγχο της γερανοδοκού πέρα από αυτή τη γενική καταπόνηση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η τοπική ένταση που αναπτύσσεται στις θέσεις των συγκεντρωμένων φορτίων των τροχών.

Σύμφωνα με τον prEN 1993-6:2021 η διάρκεια ζωής σχεδιασμού της γερανοδοκού πρέπει να καθορίζεται και να συμφωνείται με τον πελάτη. Συνιστάται διάρκεια ζωής σχεδιασμού 25 έτη, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά στο Εθνικό Προσάρτημα.

2.2.3 Τροχιές κύλισης γερανογεφυρών

Οι τροχοί των γερανογεφυρών κυλίνουν επί τροχιάς η οποία εδράζεται στις γερανοδοκούς. Οι τροχιές μπορεί να είναι ορθογωνικές συμπαγείς ράβδοι (καρυδάκια) για περιπτώσεις μικρής ανυψωτικής ικανότητας ή ράβδοι με συνήθεις διατομές τροχιών (Σχήμα 2-5) για μεγαλύτερα φορτία.



Σχήμα 2-5: Εναλλακτικές διατομές τροχιών.

Σύμφωνα με τον prEN 1993-6:2021 η απομείωση πάχους λόγω φθοράς της τροχιάς κατά 25% γίνεται επί του πάχους αναφοράς t_r που φαίνεται στο παρπάνω σχήμα. Στον έλεγχο της κόπωσης λαμβάνεται υπόψη το ήμισυ της φθοράς αυτής.

Οι τροχιές μπορεί να συγκολλώνται επί των δοκών κύλισης με συνεχείς ή διακεκομμένες ραφές ή και να συνδέονται με αυτές μέσω εφαρμοσμένων ή προεντεταμένων κοχλιών. Σε αυτές τις περιπτώσεις θεωρείται ότι η τροχιά είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη με τη γερανοδοκό και επιτρέπεται να θεωρηθεί στους υπολογισμούς ότι αποτελεί μέρος της διατομής της. Τα συνδεδετικά μέσα τότε πρέπει να αντέχουν τις κατά μήκος διατμητικές δυνάμεις λόγω της κάμψης της δοκού σε συνδυασμό με τις πλευρικές ωθήσεις λόγω των οριζόντιων δράσεων της γερανογέφυρας.

Διαφορετικά οι τροχιές μπορούν απλά να στερεώνονται στις γερανοδοκούς με ειδικά σταθεροποιητικά μέσα. Στην περίπτωση αυτή τα στηρίγματα αρκεί να μπορούν να μεταφέρουν μόνο τις πλευρικές ωθήσεις της γερανογέφυρας ενώ η τροχιά δεν επιτρέπεται να θεωρηθεί ως μέρος της διατομής της δοκού.

3 ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΕΣ

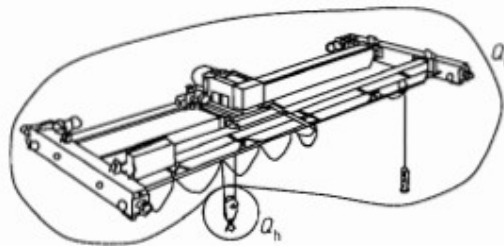
3.1 Κατακόρυφα φορτία από τις γερανογέφυρες

3.1.1 Γενικά

Τα κατακόρυφα φορτία επί των γερανοδοκών οφείλονται στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας (Q_c) και στο αναρτώμενο φορτίο (Q_h).

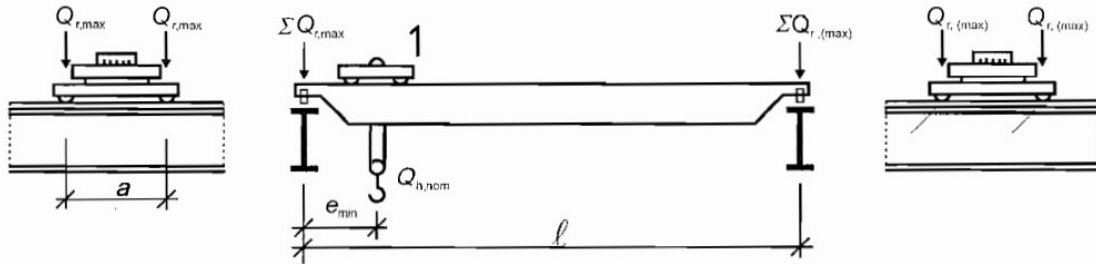
Σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 στο ίδιο βάρος της γερανογέφυρας (Q_c) περιλαμβάνεται το ίδιο βάρος από όλα τα σταθερά και κινητά εξαρτήματα της γερανογέφυρας συμπεριλαμβανομένου του μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της. Ωστόσο δεν συμπεριλαμβάνεται το ίδιο βάρος του άγκιστρου ανάρτησης (ή των αρπάγων) και τμήμα από τα αιωρούμενα σχοινιά (ή αλυσίδες) της γερανογέφυρας (Σχήμα 3-1).

Στο αναρτώμενο φορτίο (Q_h) περιλαμβάνεται, εκτός από το ανυψούμενο φορτίο, το ίδιο βάρος του άγκιστρου ανάρτησης (ή των αρπάγων) και τμήμα από τα αιωρούμενα σχοινιά (ή αλυσίδες) της γερανογέφυρας (Σχήμα 3-1).

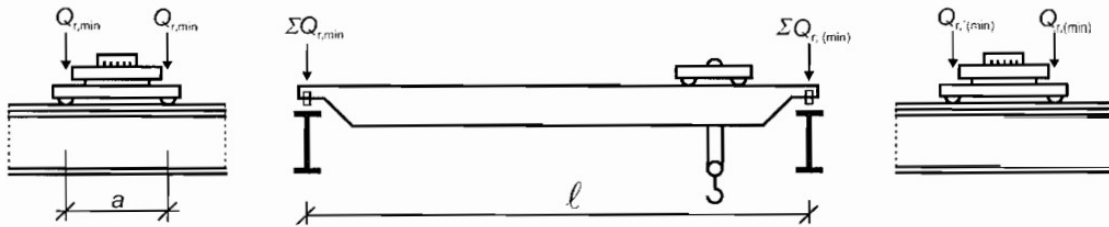


Σχήμα 3-1: Ερμηνεία του ίδιου βάρους της γερανογέφυρας και του αναρτώμενου φορτίου.

Επειδή το βαρουλκοφορείο και το αναρτώμενο φορτίο μπορούν να κινηθούν μεταξύ δύο ακραίων θέσεων (αριστερά και δεξιά), είναι φανερό ότι για τη διαστασιολόγηση της δοκού κυλίσεως αλλά και του κτιρίου πρέπει να ληφθεί υπόψη η θέση που προκαλεί επ' αυτών τις δυσμενέστερες δράσεις. Όταν σε περιπτώσεις ανάρτησης του ονομαστικού ωφέλιμου φορτίου προκαλούνται επί της μιας τροχιάς οι μέγιστες δράσεις, επί της απέναντι τροχιάς προκαλούνται οι ελάχιστες (Σχήμα 3-2). Το συνολικό φορτίο κάθε φορείου θεωρείται ότι επιμερίζεται εξ' ίσου στους δύο τροχούς.



a) Load arrangement of the loaded crane to obtain the maximum loading on the runway beam



b) Load arrangement of the unloaded crane to obtain the minimum loading on the runway beam

Σχήμα 3-2: Θέση βαρουλκοφορείου και αναρτώμενου φορείου που προκαλεί τις (a) δυσμενέστερες και (b) ευμενέστερες δράσεις στην αριστερή γερανοδοκό.

Ο κατασκευαστής της γερανογέφυρας δίνει πίνακες με τις μέγιστες και ελάχιστες αντιδράσεις ανά τροχό, για κάθε ένα από τα φορτία (Q_c, Q_h), για τις δύο ακραίες θέσεις του αναρτημένου φορτίου (Πίνακας 3-1).

Πίνακας 3-1: Αντιδράσεις γερανογέφυρας επί των τροχών της.

Vertical wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)				
Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Self weight of the crane (tp1), $F_{c,j}$	-31.9 kN	-39.2 kN	-23.8 kN	-31.8 kN
Self weight of the crane bridge (tp2), $F_{c,j}$	-23.9 kN	-31.9 kN	-31.8 kN	-39.1 kN
Weight of the hoist load (tp1), $F_{h,j}$	-111 kN	-123 kN	-6.41 kN	-6.73 kN
Weight of the hoist load (tp2), $F_{h,j}$	-6.30 kN	-6.64 kN	-1.11 kN	-1.24 kN
Dynamic test load (tp1), $F_{t,j}$	-122 kN	-136 kN	-7.04 kN	-7.40 kN
Dynamic test load (tp2), $F_{t,j}$	-6.93 kN	-7.30 kN	-1.22 kN	-1.36 kN

(tp1 = Trolley position closest to Rail 1, tp2 = Trolley position closest to Rail 2)

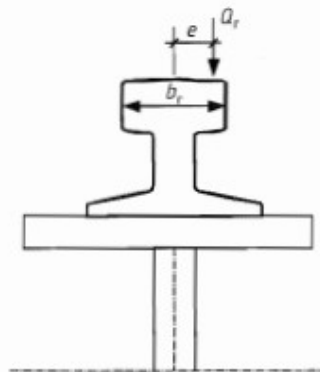
Horizontal wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)				
Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{a,j}$	-5.13 kN	5.13 kN	-1.16 kN	1.16 kN
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{a,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{a,j}$	1.16 kN	-1.16 kN	5.13 kN	-5.13 kN
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{a,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Skewing of the crane (tp1), (Rail 1 guiding), $F_{s,1,j}, S_{g,2}=30.4$ kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 1 guiding), $F_{s,1,j}, S_{g,2}=30.4$ kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Skewing of the crane (tp1), (Rail 2 guiding), $F_{s,1,j}, S_{g,2}=30.4$ kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 2 guiding), $F_{s,1,j}, S_{g,2}=30.4$ kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Acceleration of trolley(s), $F_{t,j}$	-0.772 kN	-0.891 kN	-0.802 kN	-0.861 kN
In-service wind (tp1), $F_{w,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
In-service wind (tp2), $F_{w,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
Storm wind, $F_{w,j}$	Longitudinal force on storm lock 1 = 0 kN		Longitudinal force on storm lock 2 = 0 kN	
Crane collision to buffers (tp1), $F_{b,j}$	Buffer force on Rail 1 = 43.5 kN		Buffer force on Rail 2 = 34.0 kN	
Crane collision to buffers (tp2), $F_{b,j}$	Buffer force on Rail 1 = 34.2 kN		Buffer force on Rail 2 = 43.3 kN	

($F_{c,j}$ = Transverse force of Wheel j on Rail i, $F_{h,j}$ = Longitudinal force on Rail i, $F_{t,j}$ = Vertical force of Wheel j on Rail i, $S_{g,1}$ = Guiding force on Rail 1, $S_{g,2}$ = Guiding force on Rail 2)

Η επιβολή των κατακόρυφων φορτίων επί των δοκών κυλίσεως γίνεται κατά δυναμικό τρόπο. Ο δυναμικός χαρακτήρας των φορτίων λαμβάνεται υπόψη μέσω της εφαρμογής επί των στατικώς προσδιοριζόμενων δράσεων δυναμικών προσαυξητικών συντελεστών.

Προσοχή πρέπει να δίνεται στο αν οι πίνακες με τις μέγιστες και ελάχιστες αντιδράσεις που δίνουν οι κατασκευαστές περιέχουν τους δυναμικούς συντελεστές. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι αντιδράσεις αυτές δεν περιέχουν τους δυναμικούς συντελεστές.

Επειδή η τροχιά σταθμίζεται και ευθυγραμμίζεται μετά την ανέγερση του κτιρίου και την τοποθέτηση των δοκών κυλίσεως, είναι δυνατόν το κατακόρυφο φορτίο να ασκείται έκκεντρα ως προς τη δοκό κυλίσεως. Η εκκεντρότητα αυτή e_y (Σχήμα 3-3) λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς καθώς προκαλεί επιπλέον στρεπτική καταπόνηση της γερανοδοκού. Σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 μία ενδεικτική τιμή αυτής της εκκεντρότητας είναι το $\frac{1}{4}$ του πλάτους b_r της τροχιάς.



Σχήμα 3-3: Έκκεντρη δράση φορτίου τροχού ως προς τη δοκό κύλισης.

3.1.2 Παραμετρική μελέτη ως προς το άνοιγμα της γερανογέφυρας

Κάθε κατασκευαστής δίνει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας την οποία κατασκευάζει σε συνάρτηση με το άνοιγμα και την ανυψωτική της ικανότητα. Ενδιαφέρουν ιδιαίτερα το άνοιγμα της γερανογέφυρας και η ελάχιστη απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα κυλίσεως (απόσταση e_{min} , Σχήμα 3-2) καθώς αυτά επηρεάζουν την τιμή των κατακόρυφων φορτίων της γερανοδοκού.

Δημιουργήθηκαν 3 διαφορετικά μοντέλα. Τα φορτία της γερανογέφυρας θα διατηρούνται σταθερά αλλάζοντας κάθε φορά το μήκος του ανοίγματος της γερανογέφυρας.

Πίνακας 3-2: Φορτία γερανογέφυρας χωρίς τους δυναμικούς συντελεστές.

Φορτία γερανογέφυρας	
Ανυψωτική ικανότητα (G_H)	50.0 kN
Συγκεντρωμένο φορτίο από το βαρουλκοφορείο (G_C)	7.0 kN
Φορτίο γερανογέφυρας, εκτός του φορείου (Q_C)	1.8 kN/m

Φορτίο που αντιστοιχεί στην περισσότερο φορτιζόμενη γερανοδοκό:

$$\Sigma Q_{r,max} = 0.5 \cdot q_c \cdot L + \left[(G_H + G_C) \cdot \frac{L - e_{min}}{L} \right] \quad (3-1)$$

Στη συνέχεια η τιμή των φορτίων του Πίνακα 3-2 διορθώνεται λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω δυναμικούς συντελεστές:

$$\varphi_1 \cdot q_c = 1.10 \cdot 1.8 \text{ kN/m} = 1.98 \text{ kN/m}$$

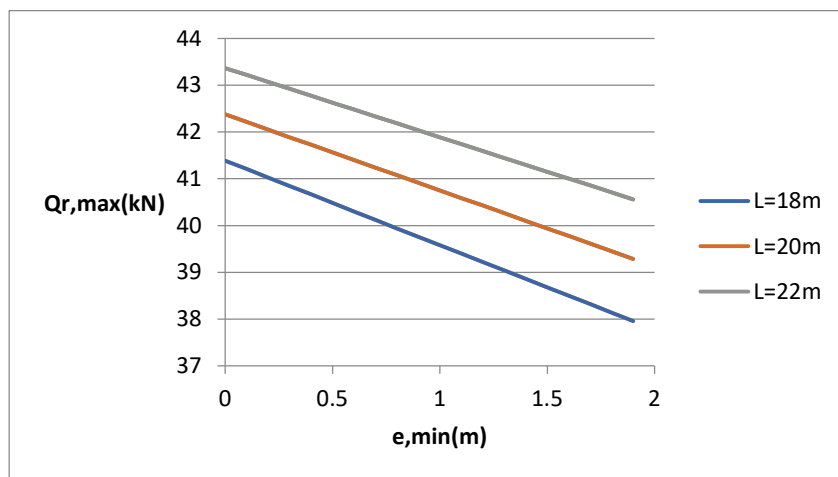
$$\varphi_1 \cdot G_c = 1.10 \cdot 7.0 \text{ kN} = 7.70 \text{ kN}$$

$$\varphi_2 \cdot G_H = 1.145 \cdot 50.0 \text{ kN} = 57.25 \text{ kN}$$

Θεωρείται ότι στη γερανοδοκό κυλίνουν δύο τροχοί στους οποίους το κατακόρυφο φορτίο επιμερίζεται εξ' ίσου. Έτσι το φορτίο που αντιστοιχεί στον περισσότερο φορτιζόμενο τροχό είναι ίσο με:

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{2} \quad (3-2)$$

Ακολουθεί το συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων. Στον κατακόρυφο άξονα καταγράφεται το μέγιστο κατακόρυφο φορτίο ενός τροχού της γερανογέφυρας ($Q_{r,max}$) και στον οριζόντιο άξονα η ελάχιστη απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα της εξεταζόμενης γερανοδοκού (e_{min}).



Διάγραμμα 3-2: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $Q_{r,max} - e_{min}$ ενός τροχού ως προς το μήκος του ανοίγματος της γερανογέφυρας.

Όσο μεγαλύτερη είναι η ελάχιστη απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα κυλίσεως τόσο μικρότερο είναι το κατακόρυφο φορτίο ενός τροχού της γερανογέφυρας και συνεπώς το συνολικό κατακόρυφο φορτίο της γερανοδοκού. Επίσης φαίνεται ότι μεγαλύτερο άνοιγμα γερανογέφυρας προκαλεί μεγαλύτερα κατακόρυφα φορτία στις γερανοδοκούς.

Συνεπώς για την επίτευξη όσων το δυνατόν μικρότερων κατακόρυφων φορτίων στις γερανοδοκούς θα πρέπει να επιδιώκεται το μικρότερο δυνατό μήκος ανοίγματος της γερανογέφυρας και η μεγαλύτερη δυνατή απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα της δοκού κυλίσεως. Φυσικά αυτά τα χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας εξαρτώνται από άλλους παράγοντες όπως είναι η γεωμετρία του κτιρίου που στεγάζει τη γερανογέφυρα καθώς και άλλες λειτουργικές απαιτήσεις για τη μετακίνηση των προϊόντων στο χώρο.

3.2 Οριζόντια φορτία από τις γερανογέφυρες

Τα κύρια οριζόντια φορτία που ασκούνται κατά μήκος και εγκάρσια της γερανοδοκού από τη λειτουργία της γερανογέφυρας είναι δύο ειδών μη επαλληλιζόμενα μεταξύ τους.

α) οφειλόμενα στην επιτάχυνση και επιβράδυνση τη γερανογέφυρας κατά την εκκίνηση και την τροχοπέδησή της.

β) οφειλόμενα στη λοξή ως προς τις τροχιές της κίνηση της γερανογέφυρας.

Όπως φαίνεται και στην Παράγραφο 3.3 όπου περιγράφονται αναλυτικά οι συνδυασμοί των φορτίων είναι φανερό ότι τα οριζόντια φορτία ασκούνται συγχρόνως με τα κατακόρυφα. Και επί των οριζόντιων φορτίων εφαρμόζονται δυναμικοί προσαυξητικοί συντελεστές.

Ο κατασκευαστής της γερανογέφυρας δίνει πίνακες με τις οριζόντιες δυνάμεις ανά τροχό, για τις δύο ακραίες θέσεις του αναρτημένου φορτίου (Πίνακας 3-3).

Πίνακας 3-3: Οριζόντια φορτία γερανογέφυρας επί των τροχών της.

Vertical wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)				
Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Self weight of the crane (tp1), $F_{v,j}$	-31.9 kN	-39.2 kN	-23.8 kN	-31.8 kN
Self weight of the crane (tp2), $F_{v,j}$	-23.9 kN	-31.9 kN	-31.8 kN	-39.1 kN
Weight of the hoist load (tp1), $F_{v,j}$	-11.1 kN	-123 kN	-6.41 kN	-6.73 kN
Weight of the hoist load (tp2), $F_{v,j}$	-6.30 kN	-6.64 kN	-1.1 kN	-1.24 kN
Dynamic test load (tp1), $F_{v,j}$	-1.22 kN	-1.36 kN	-7.04 kN	-7.40 kN
Dynamic test load (tp2), $F_{v,j}$	-6.93 kN	-7.30 kN	-1.22 kN	-1.36 kN

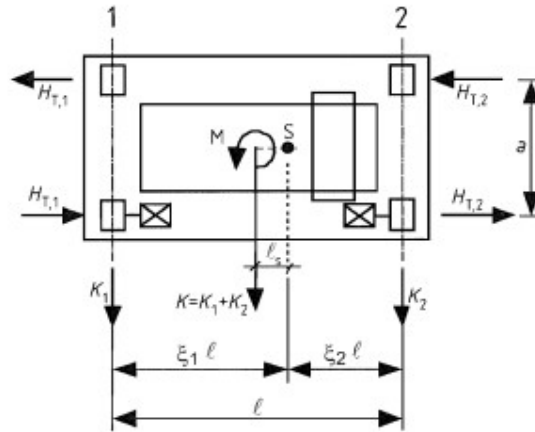
(tp1 = Trolley position closest to Rail 1, tp2 = Trolley position closest to Rail 2)

Horizontal wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)				
Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{h,j}$	-5.13 kN	5.13 kN	-1.16 kN	1.16 kN
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{h,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{h,j}$	1.16 kN	-1.16 kN	5.13 kN	-5.13 kN
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{h,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Skewing of the crane (tp1), (Rail 1 guiding), $F_{h,j}$, $S_{g,j}$ =30.4 kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 1 guiding), $F_{h,j}$, $S_{g,j}$ =30.4 kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Skewing of the crane (tp1), (Rail 2 guiding), $F_{h,j}$, $S_{g,j}$ =30.4 kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 2 guiding), $F_{h,j}$, $S_{g,j}$ =30.4 kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Acceleration of trolley(s), $F_{h,j}$	-0.772 kN	-0.891 kN	-0.802 kN	-0.861 kN
Inservice wind (tp1), $F_{h,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
Inservice wind (tp2), $F_{h,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
Storm wind, $F_{h,j}$	Longitudinal force on storm lock 1 = 0 kN		Longitudinal force on storm lock 2 = 0 kN	
Crane collision to buffers (tp1), $F_{h,j}$	Buffer force on Rail 1 = 43.5 kN		Buffer force on Rail 2 = 34.0 kN	
Crane collision to buffers (tp2), $F_{h,j}$	Buffer force on Rail 1 = 34.2 kN		Buffer force on Rail 2 = 43.3 kN	

($F_{h,j}$ = Transverse force of Wheel j on Rail i, $F_{v,j}$ = Longitudinal force on Rail i, $F_{v,j}$ = Vertical force of Wheel j on Rail i, $S_{g,j}$ = Guiding force on Rail 1, $S_{g,j}$ = Guiding force on Rail 2)

3.2.1 Οριζόντια φορτία οφειλόμενα στην επιτάχυνση και επιβράδυνση τη γερανογέφυρας κατά την εκκίνηση και την τροχοπέδησή της.

Σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 κατά την εκκίνηση της γερανογέφυρας η κινητήρια δύναμη K (Σχήμα 3-4) ασκείται στον άξονα της κίνησης. Το κέντρο βάρους S όμως του κινούμενου συστήματος (γερανογέφυρα και αναρτημένο φορτίο) βρίσκεται κατά κανόνα, εκτός του άξονα αυτού, σε απόσταση l_s και εξ' αυτού του λόγου δημιουργείται στρεπτική ροπή $M=K \cdot l_s$. Ο αναλυτικός προσδιορισμός της κινητήριας δύναμης K περιγράφεται στο Παράρτημα Α. Η μέγιστη εκκεντρότητα l_s μπορεί να προσδιοριστεί θεωρώντας την ακραία θέση ανάρτησης στην οποία αντιστοιχούν οι μέγιστες και ελάχιστες αντιδράσεις επί των δοκών και την αντίστοιχη θέση του κέντρου βάρους του συστήματος S (αποστάσεις $\xi_1 \cdot l$, $\xi_2 \cdot l$, Σχήμα 3-4).



Key

- 1 Rail $i = 1$
2 Rail $i = 2$

Σχήμα 3-4: Ερμηνεία των οριζόντιων δυνάμεων H_T .

$$\xi_1 = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{\Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r,(max)}} \quad (3-3a)$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 \quad (3-3\beta)$$

$$l_s = (\xi_1 - 0.5) \cdot l \quad (3-3\gamma)$$

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{\alpha} \quad (3-3\delta)$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{\alpha} \quad (3-3\epsilon)$$

όπου:

a είναι η απόσταση μεταξύ των δύο τροχών επί μιας τροχιάς.

φ_5 είναι δυναμικός συντελεστής.

Για τη θέση του αναρτώμενου φορτίου που φαίνεται στην Σχήμα 3-4, οι τροχοί της τροχιάς 2 φορτίζονται περισσότερο από τους τροχούς της τροχιάς 1. Οι δυνάμεις $H_{T,2}$ είναι μεγαλύτερες των δυνάμεων $H_{T,1}$. Επίσης σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην Παράγραφο 3.1.1 οι τροχοί της τροχιάς 2 δέχονται ταυτόχρονα και τις μεγαλύτερες κατακόρυφες δυνάμεις από τη γερανογέφυρα (επειδή το βαρουλκοφορείο βρίσκεται πιο κοντά στην τροχιά 2).

Επομένως ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαν να μειωθούν οι οριζόντιες δυνάμεις $H_{T,2}$.

Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν 3 διαφορετικά μοντέλα. Τα φορτία της γερανοδοκού θα διατηρούνται σταθερά αλλάζοντας κάθε φορά το μήκος του ανοίγματος της γερανογέφυρας.

Πίνακας 3-4: Φορτία γερανογέφυρας χωρίς τους δυναμικούς συντελεστές .

Φορτία γερανογέφυρας	
<i>Ανυψωτική ικανότητα (G_H)</i>	50.0 kN
<i>Συγκεντρωμένο φορτίο από το βαρουλκοφορείο (G_c)</i>	7.0 kN
<i>Φορτίο γερανογέφυρας, εκτός του φορείου (q_c)</i>	1.8 kN/m

Φορτίο που αντιστοιχεί στην περισσότερο φορτιζόμενη δοκό κύλισης

$$\xi_1 = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{\Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r,(max)}} = \frac{0.5 \cdot q_c \cdot l + [(G_c + G_H) \cdot (\frac{l - e_{min}}{l})]}{q_c \cdot l + (G_c + G_H)} \quad (3-4a)$$

$$M = K \cdot (\xi_1 - 0.5) \cdot l \quad (3-4b)$$

$$K = K_1 + K_2 = \mu \cdot \Sigma Q_{r,min} = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,min} = \mu \cdot m_w \cdot (0.5 \cdot q_c \cdot l) + G_c \cdot \frac{e_{min}}{l} \quad (3-4\gamma)$$

όπου:

$$\mu = 0.2$$

$$m_w = 2$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} \quad (3-4\delta)$$

όπου:

$$a = 3.15 \text{ m}$$

Στη συνέχεια η τιμή των φορτίων του Πίνακα 3-4 διορθώνεται λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω δυναμικούς συντελεστές:

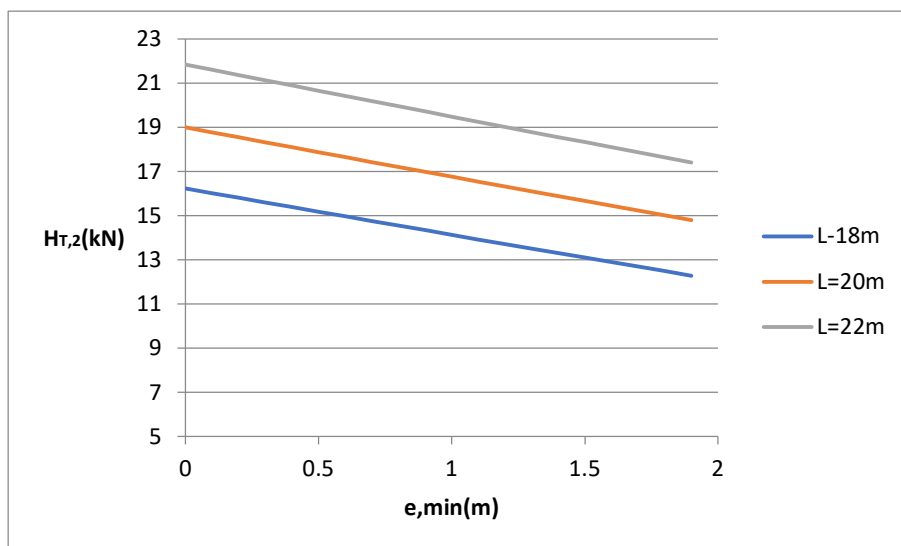
$$\varphi_1 \cdot q_c = 1.10 \cdot 1.8 \text{ kN/m} = 1.98 \text{ kN/m}$$

$$\varphi_1 \cdot G_c = 1.10 \cdot 7.0 \text{ kN} = 7.70 \text{ kN}$$

$$\varphi_2 \cdot G_H = 1.145 \cdot 50.0 \text{ kN} = 57.25 \text{ kN}$$

$$\varphi_5 = 1.50$$

Ακολουθεί το συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων. Στον κατακόρυφο άξονα καταγράφεται το μέγιστο εγκάρσιο οριζόντιο φορτίο ενός τροχού της γερανογέφυρας ($H_{T,2}$) και στον οριζόντιο άξονα η ελάχιστη απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα της εξεταζόμενης γερανοδοκού (e_{min}).



Διάγραμμα 3-2: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $H_{T,2} - e_{min}$ ως προς το μήκος του ανοίγματος της γερανογέφυρας.

Πάλι, όπως και για τα κατακόρυφα φορτία $Q_{r,max}$, προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ελάχιστη απόσταση του ακτίστρου από τον άξονα κυλίσεως τόσο μικρότερο είναι το οριζόντιο φορτίο των τροχών $H_{T,2}$. Επίσης από το Διάγραμμα 3-2 φαίνεται ότι μεγαλύτερο άνοιγμα γερανογέφυρας προκαλεί μεγαλύτερα οριζόντια φορτία $H_{T,2}$ στις γερανοδοκούς.

Επομένως επιδιώκοντας το μικρότερο δυνατό μήκος ανοίγματος της γερανογέφυρας και τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση του ακτίστρου από τον άξονα της δοκού κυλίσεως πετυχαίνεται η μείωση τόσο των κατακόρυφων $Q_{r,max}$ όσο και των οριζόντιων $H_{T,2}$ φορτίων που ασκούνται συγχρόνως στην δυσμενέστερη για τη διαστασιολόγηση δοκό κύλισης.

Ακόμα συγκρίνοντας τα Διαγράμματα 3-1 με 3-2, για τη θέση του αναρτώμενου φορτίου που φαίνεται στην Σχήμα 3-4, κάθε ένας από τους τροχούς της κρίσιμης τροχιάς 2 δέχεται σημαντικά μικρότερο οριζόντιο φορτίο $H_{T,2}$ σε σχέση με το κατακόρυφο $Q_{r,max}$.

Φυσικά το οριζόντιο φορτίο $H_{T,2}$ μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας και την απόσταση a μεταξύ των δύο τροχών επί της τροχιάς.

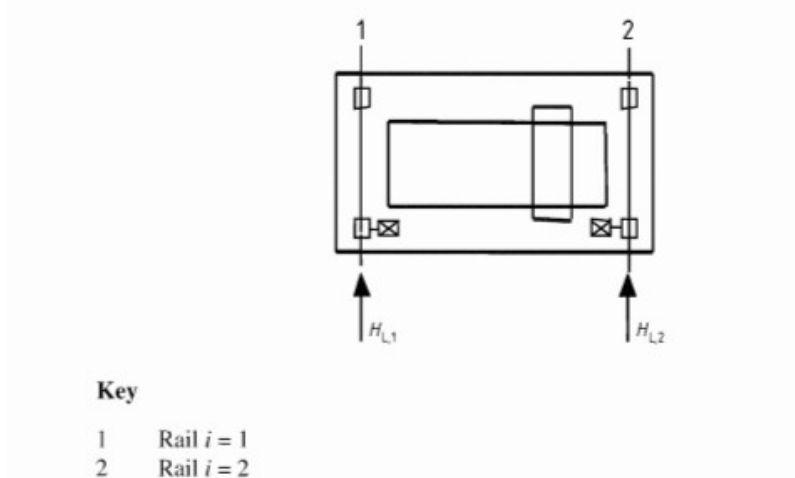
Συγχρόνως η κινητήρια δύναμη K κατανέμεται σε δύο κατά μήκος οριζόντιες δυνάμεις H_L (Σχήμα 3-5).

$$H_{L,1} = H_{L,2} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r} \quad (3-5)$$

όπου:

n_r είναι ο αριθμός των δοκών κύλισης.

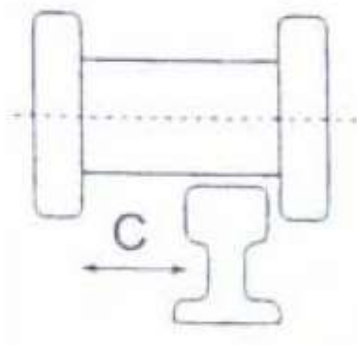
φ_5 είναι δυναμικός συντελεστής.



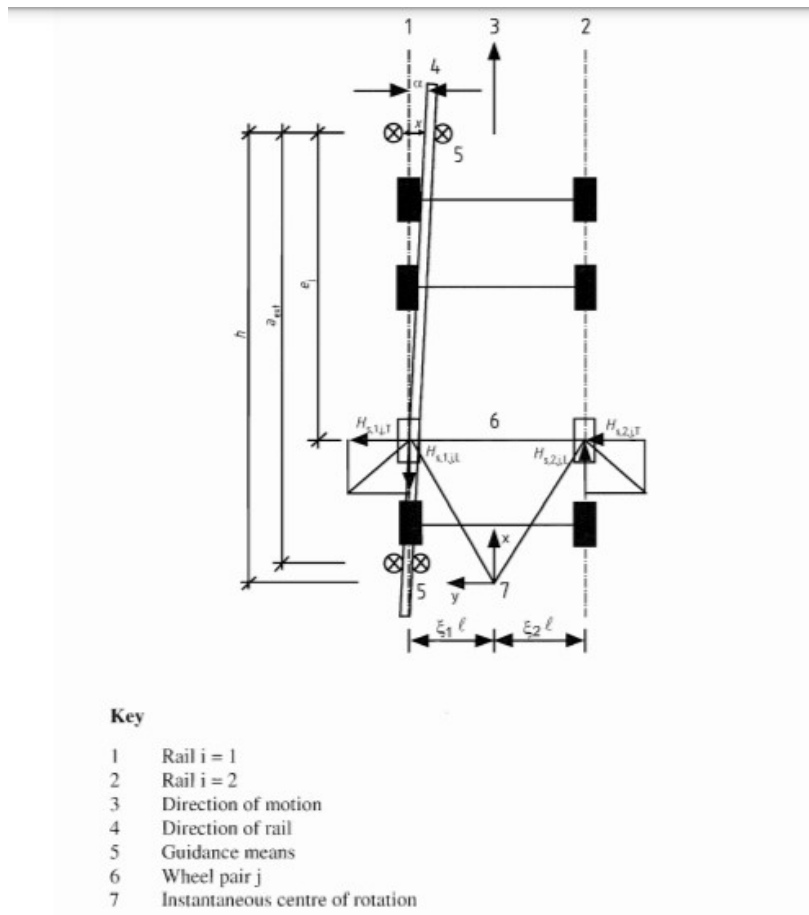
Σχήμα 3-5: Ερμηνεία των οριζόντιων δυνάμεων H_L .

3.2.2 Οριζόντια φορτία οφειλόμενα στην λοξή ως προς τις τροχιές της κίνησης της γερανογέφυρας.

Λόγω ανοχής c που πρέπει να υπάρχει μεταξύ τροχού και τροχιάς (Σχήμα 3-6) η γερανογέφυρα είναι δυνατόν να εγγράφεται κατά λοξό ως προς τις τροχιές της τρέφο και επομένως ο στιγμιαίος άξονας κίνησης επί της τροχιάς να σχηματίζει με αυτήν μικρή γωνία (γωνία α) (Σχήμα 3-7). Σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 η γωνία αυτή δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει τα 0.015 rad ($\alpha \leq 0.015 \text{ rad}$).



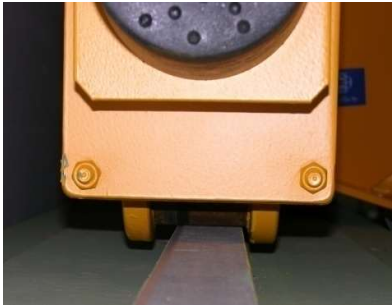
Σχήμα 3-6: Ανοχή μεταξύ τροχών και τροχιάς.



Σχήμα 3-7: Λοξή κίνηση της γερανογέφυρας ως προς τις τροχιές της.

Οι τροχοί, γενικά, προς αποφυγή της ταχύτερης φθοράς τους, είναι εφοδιασμένοι με στοιχεία, ονομαζόμενα μέσα καθοδήγησης τα οποία αποβλέπουν στο να ευθυγραμμίσουν τους τροχούς με την τροχιά. Τα μέσα καθοδήγησης είναι συνήθως ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν) με κατακόρυφο άξονα ή απλά ελάσματα (Σχήμα 3-8). Μπορεί να προηγούνται ή να έπονται του τροχού ή να βρίσκονται στη θέση του άξονά του. Μέσα καθοδήγησης μπορεί να διαθέτουν το ένα ή και τα δύο ζεύγη τροχών (για τη συνήθη περίπτωση δύο ζευγών τροχών).

Από τους τροχούς, ένα ζεύγος συνήθως (προπορευόμενο ή επιπορευόμενο) είναι το κινητήριο. Καθένας από τους δύο κινητήριους τροχούς έχει κατά κανόνα αυτοτελή (ανεξάρτητο) κινητήρα, μπορεί όμως σπανιότερα οι δύο κινητήριοι τροχοί να έχουν κοινό άξονα και κινητήρα (συζευγμένοι τροχοί). Επίσης κάθε άξονας μπορεί να είναι σταθερά συνδεδεμένος επί ενός τροχού του ή να έχει δυνατότητα μικρής κίνησης (κάθετα επί το επίπεδο του τροχού) για την απόσβεση των προσκρούσεων. (Πίνακας 3-6).



(α)



(β)

Σχήμα 3-8: Μέσα καθοδήγησης – (α) απλά ελάσματα, (β) ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν) με κατακόρυφο άξονα.

Λόγω αυτή της λοξής ως προς τις τροχιές κίνησης της γερανογέφυρας, η γερανογέφυρα στρέφεται περί το στιγμιαίο πόλο στροφής και αναπτύσσονται οριζόντιες δυνάμεις επί των γερανοδοκών. Οι δυνάμεις αυτές αποτελούνται από την οδηγούσα δύναμη S , που ασκείται στη θέση που βρίσκονται τα μέσα καθοδήγησης και από δύο (οριζόντιες) δυνάμεις σε κάθε τροχό (κατά μήκος $H_{s,L}$ και εγκάρσια $H_{s,T}$).

Οι δυνάμεις αυτές υπολογίζονται μέσω των συντελεστών f και $\lambda_{s,i,j}$ (i είναι ο αριθμός της τροχιάς, 1 ή 2, και j είναι το ζεύγος των αντίστοιχων τροχών, L η κατά μήκος και T η εγκάρσια) και υπολογίζονται όπως φαίνεται παρακάτω.

$$S = f \cdot \lambda_{s,j} \cdot \Sigma Q_r \quad (3-6a)$$

$$H_{s1,j,L} = f \cdot \lambda_{s,1,j,L} \cdot \Sigma Q_r \quad (3-6β)$$

$$H_{s2,j,L} = f \cdot \lambda_{s,2,j,L} \cdot \Sigma Q_r \quad (3-6γ)$$

$$H_{s1,j,T} = f \cdot \lambda_{s,1,j,T} \cdot \Sigma Q_r \quad (3-6δ)$$

$$H_{s2,j,T} = f \cdot \lambda_{s,2,j,T} \cdot \Sigma Q_r \quad (3-6ε)$$

όπου:

$$f = 0.3 \cdot (1 - \exp(-250 \cdot \alpha)) \leq 0.3 \quad (3-6στ)$$

με α η γωνία λοξότητας (skewing angle). Η γωνία αυτή εξαρτάται από το διάκενο μεταξύ των μέσων καθοδήγησης και της τροχιάς, το είδος των μέσων καθοδήγησης και άλλους παράγοντες. Εάν για τα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ακριβέστερα δεδομένα η γωνία λοξότητας μπορεί, επί το δυσμενέστερο, να λαμβάνεται ίση προς 0.015 rad με συνέπεια να προκύπτει $f=0.30$.

Οι τιμές των συντελεστών λ_s εξαρτώνται από την απόσταση h μεταξύ των μέσων καθοδήγησης και του στιγμιαίου κέντρου στροφής (Σχήμα 3-7), από την απόσταση e_j ζεύγους από τα μέσα καθοδήγησης, από το εάν οι αντίστοιχοι (απέναντι) τροχοί κάθε τροχιάς είναι μεταξύ τους ανεξάρτητοι (σύστημα I) ή συνδεδεμένοι με κοινό άξονα (σύστημα C) και από το εάν ο άξονας αυτός είναι σταθερά συνδεδεμένος και στους δύο τροχούς (σύστημα FF) ή σταθερά με τον ένα με δυνατότητα σχετικής πλευρικής μετακίνησης ως προς το άλλο (σύστημα FM). Οι τιμές των συντελεστών λ_s προσδιορίζονται με τη βοήθεια των Πινάκων 3-5 και 3-6.

Πίνακας 3-5: Προσδιορισμός των τιμών $\lambda_{s,j}$.

System	$\lambda_{s,j}$	$\lambda_{s,1,j,L}$	$\lambda_{s,1,j,T}$	$\lambda_{s,2,j,L}$	$\lambda_{s,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
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	$\xi_2 \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	0

Where:
 n is the number of wheel pairs;
 ξ_1 is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 1;
 ξ_2 is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 2;
 l is the span of the appliance;
 e_j is the distance of the wheel pair j from the relevant guidance means;
 h is the distance between the instantaneous centre of rotation and the relevant guidance means.

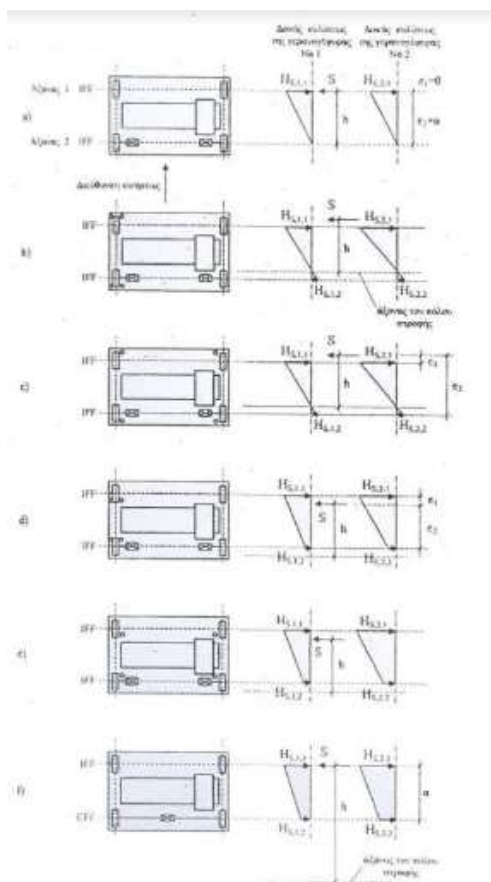
Πίνακας 3-6: Προσδιορισμός της απόστασης h .

Fixing of wheels according to lateral movements	Combination of wheel pairs		h
	coupled (c)	independent (i)	
Fixed/Fixed FF			$\frac{m \xi_1 \xi_2 l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Fixed/Movable FM			$\frac{m \xi_1 l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

Where:
 h is the distance between the instantaneous centre of rotation and the relevant guidance means;
 m is the number of pairs of coupled wheels ($m = 0$ for independent wheel pairs);
 ξ_1 is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 1;
 ξ_2 is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 2;
 l is the span of the appliance;
 e_j is the distance of the wheel pair j from the relevant guidance means.

Να σημειωθεί ότι οι τιμές των ξ_1 και ξ_2 λαμβάνονται για την ακραία δυνατή θέση του αναρτημένου φορτίου (προκειμένου να υπολογιστούν οι μέγιστες τιμές H_S).

Στο Σχήμα 3-9 φαίνονται για διάφορες περιπτώσεις η θέση του στιγμιαίου κέντρου στροφής (απόσταση h από προπορευόμενα μέσα καθοδήγησης) και οι πλευρικές δυνάμεις που ασκούνται επί των τροχιών από τα μέσα καθοδήγησης.



Σχήμα 3-9: Δυνάμεις καθοδήγησης S και οριζόντιες δυνάμεις H_S για διάφορες θέσεις των μέσων καθοδήγησης και διάφορα συστήματα τροχών.

3.3 Δράσεις σχεδιασμού

Κατακόρυφες και οριζόντιες δυνάμεις συνδυάζονται κατά τρόπο όπως φαίνεται στον Πίνακα 3-7. Σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 προβλέπεται η θεώρηση δέκα διαφορετικών συνδυασμών κατακόρυφων, οριζόντιων και λοιπών φορτίων. Τα φορτία κάθε στήλης, με τους αντίστοιχους μεγεθυντικούς δυναμικούς συντελεστές ψ , θεωρούνται ως μια ενιαία δράση. Όπως φαίνεται τα οριζόντια φορτία H_T και H_S δεν επαλληλίζονται μεταξύ τους. Ο άνεμος δεν λαμβάνεται υπόψη για γερανογέφυρες που λειτουργούν στο εσωτερικό των κτιρίων.

Οι επι μέρους συντελεστές ασφαλείας γ λαμβάνονται ίσοι προς 1,35 τόσο για τις μόνιμες δράσεις από τη γερανογέφυρα (ίδιο βάρος της) όσο και για τις μεταβλητές δράσεις (ανυψούμενο φορτίο). Ειδικά στους τυχηματικούς συνδυασμούς λαμβάνεται ίσος προς 1,00. Είναι φανερό ότι όταν η παρουσία της

γερανογέφυρας είναι ευμενής για κάποια δομικά στοιχεία, η κατάσταση αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με $\gamma=0$.

Πίνακας 3-7: Συνδυασμοί φορτίων, με τους αντίστοιχους δυναμικούς συντελεστές, θεωρούμενοι ως μια ενιαία χαρακτηριστική δράση.

	Symbol	Section	Groups of loads										
			Ultimate Limit State							Test load	Accidental		
			1	2	3	4	5	6	7				
1	Self-weight of crane	Q_c	2.6	φ_1	φ_1	1	φ_2	φ_2	φ_2	1	φ_1	1	1
2	Hoist load	Q_h	2.6	φ_2	φ_3	-	φ_4	φ_2	φ_2	η^{13}	-	1	1
3	Acceleration of crane bridge	H_L, H_T	2.7	φ_3	φ_3	φ_3	φ_3	-	-	-	φ_3	-	-
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	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-
8	Buffer force	H_B	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-
9	Tilting force	H_{TA}	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

NOTE: For out of service wind, see Annex A.

¹ η is the proportion of the hoist load that remains when the payload is removed, but is not included in the self-weight of the crane.

Πίνακας 3-8: Συνιστώμενες τιμές του EN 1991-3:2006 για τους συντελεστές γ .

Action	Symbol	Situation	
		P/T	A
Permanent crane actions			
- unfavourable	$\gamma_{G\sup}$	1,35	1,00
- favourable	$\gamma_{G\inf}$	1,00	1,00
Variable crane actions			
- unfavourable	$\gamma_{Q\sup}$	1,35	1,00
- favourable	$\gamma_{Q\inf}$		
crane present		1,00	1,00
crane not present		0,00	0,00
Other variable actions	γ_Q		
- unfavourable		1,50	1,00
- favourable		0,00	0,00
Accidental actions	γ_A		1,00

P - Persistent situation T - Transient situation A - Accidental situation

Ο κανονισμός δίνει λεπτομέρειες για τον προσδιορισμό των δυναμικών συντελεστών φ κάθε επιμέρους περίπτωσης.

Πίνακας 3-9: Συνιστώμενες τιμές του EN 1991-3:2006 για τους δυναμικούς συντελεστές φ .

Values of dynamic factors	
φ_1	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ The two values 1,1 and 0,9 reflect the upper and lower values of the vibrational pulses.
φ_2	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h$ v_h - steady hoisting speed in m/s $\varphi_{2,min}$ and β_2 see Table 2.5
φ_3	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m}(1 + \beta_3)$ where Δm released or dropped part of the hoisting mass m total hoisting mass $\beta_3 = 0,5$ for cranes equipped with grabs or similar slow-release devices $\beta_3 = 1,0$ For cranes equipped with magnets or similar rapid-release devices
φ_4	$\varphi_4 = 1,0$ provided that the tolerances for rail tracks as specified in EN 1993-6 are observed.
NOTE: If the tolerances for rail tracks as specified in EN 1993-6 are not observed, the dynamic factor φ_4 can be determined with the model provided by EN 13001-2.	

4 ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

4.1 Οριακή κατάσταση αστοχίας (Ο.Κ.Α.)

Οι γερανοδοκοί είναι μέλη που υποβάλλονται σε σύνθετη καταπόνηση. Οι έλεγχοι στην οριακή κατάσταση αστοχίας μπορεί να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- έλεγχος επάρκειας διατομής (λαμβάνοντας υπόψη και την τοπική ένταση)
- έλεγχος μέλους (έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού)
- έλεγχος ραφής συγκόλλησης κορμού – πέλματος επί εξωραφών (λαμβάνοντας υπόψη και την τοπική ένταση)

Κατά τον έλεγχο της επάρκειας της διατομής της γερανοδοκού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες εντατικές καταστάσεις με τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη:

- κάμψη τόσο ως προς τον κύριο άξονα αδράνειας λόγω των κατακόρυφων φορτίων, όσο και ως προς το δευτερεύοντα άξονα λόγω των πλευρικών ωθήσεων που ασκεί η γερανογέφυρα
- διάτμηση λόγω των τεμνουσών δυνάμεων που συνδέονται με την πιο πάνω καμπτική καταπόνηση
- αξονικές δυνάμεις λόγω των κατά μήκος οριζόντιων δυνάμεων
- στρέψη οφειλόμενη στην εκκεντρότητα μόνο των πλευρικών οριζόντιων δυνάμεων ως προς το κέντρο διάτμησης της διατομής (η στρέψη λόγω της εκκεντρότητας e_y των κατακόρυφων δυνάμεων μπορεί να αμεληθεί για τον έλεγχο επάρκειας της διατομής, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά στο Εθνικό Προσάρτημα).

Για τον έλεγχο επάρκειας των γερανοδοκών επιτρέπεται να γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- τα κατακόρυφα φορτία παραλαμβάνονται από τη γερανοδοκό
- τα οριζόντια φορτία παραλαμβάνονται από το άνω πέλμα της δοκού
- οι στρεπτικές ροπές παραλαμβάνονται από ζεύγη δυνάμεων που δρουν οριζόντια στο πάνω και στο κάτω πέλμα της γερανοδοκού.

Στην περίπτωση μέλους με ανοιχτή διατομή, όπως I, οι επιδράσεις της στρέψης κατά St. Venant επιτρέπεται να αγνοηθούν.

Σύμφωνα με τον ελαστικό έλεγχο αρκεί να επαληθευτεί σε κάθε σημείο της διατομής ότι ισχύει:

$$\max_{\sigma_x} \leq f_{y,d} \tag{4-1\alpha}$$

$$\max_{\sigma_z} \leq f_{y,d} \tag{4-1\beta}$$

$$\max_{\tau} \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_{y,d} \tag{4-1\gamma}$$

$$\max_{\sigma_{eqv}} \leq f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} \tag{4-1\delta}$$

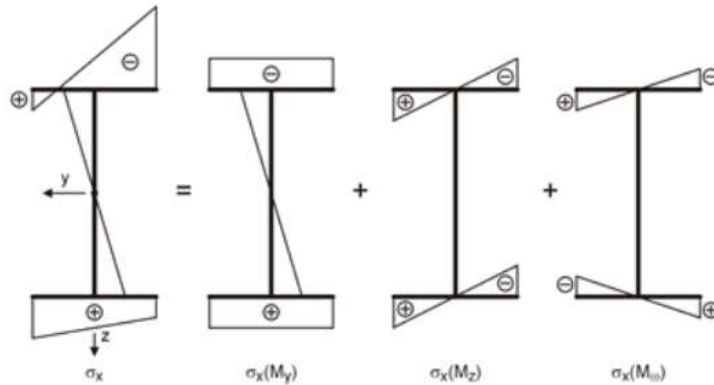
όπου:

$$\max_{\sigma_{eqv}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau^2} \tag{4-1\epsilon}$$

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι στο ανώτερο σημείο του κορμού πρέπει στον έλεγχο τάσεων να λαμβάνονται υπόψη και οι τάσεις λόγω της τοπικής έντασης από τα κατακόρυφα φορτία των τροχών (Κεφάλαιο 5). Συνεπώς για το ανώτερο σημείο του κορμού ισχύει:

$$\max_{\sigma_{eqv}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_z + 3\tau^2} \tag{4-1\sigma}$$

Δυσμενέστερο σημείο της διατομής αποτελεί το άκρο του άνω πέλματος. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4-1 η ορθή τάση σ_x προκύπτει λόγω της διαξονικής κάμψης και στρέψης



Σχήμα 4-1: Ορθές τάσεις σ_x στη διατομή της γερανοδοκού.

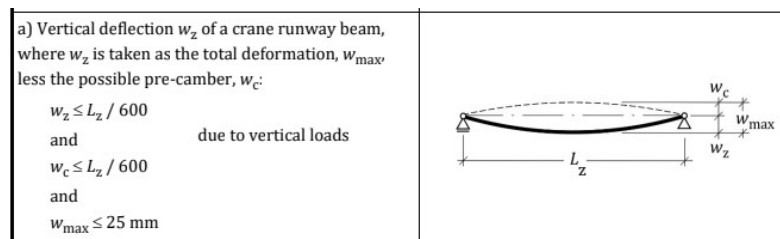
4.2 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.)

4.2.1 Γενικά

Πέρα των ελέγχων των οριακών καταστάσεων αστοχίας, βασική είναι και η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, η οποία πολλές φορές ειδικά στην περίπτωση των γερανοδοκών καθορίζει την επιλογή της διατομής της γερανοδοκού. Οι έλεγχοι λειτουργικότητας της γερανοδοκού αφορούν τόσο τον έλεγχο των παραμορφώσεων της, όσο και τον έλεγχο της λυγηρότητας των επίπεδων ελασμάτων (κορμός και πέλμα) από τα οποία έχει κατασκευαστεί, καθώς και τον έλεγχο των τάσεων ώστε υπό τα φορτία λειτουργίας να μην αναπτύσσονται πλαστικές παραμορφώσεις.

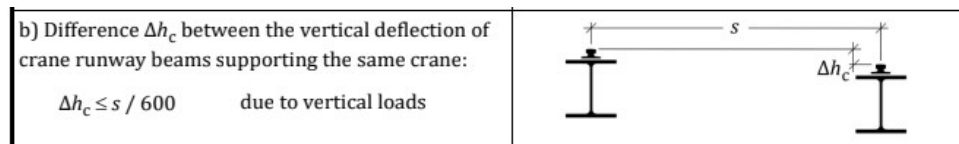
Σύμφωνα με τον prEN 1993-6:2021 για τον έλεγχο των παραμορφώσεων της γερανοδοκού πρέπει να γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- το μέγεθος των κατακόρυφων παραμορφώσεων των γερανοδοκών πρέπει να περιορίζεται ώστε κατά τη λειτουργία της γερανογέφυρας να αποφεύγονται τόσο οι υπερβολικές ταλαντώσεις της δοκού όσο και η υπερβολική κλίση της τροχιάς. Το μέγιστο βέλος πρέπει να είναι μικρότερο από το 1/600 του ανοίγματος της γερανοδοκού και απολύτως των 25mm.



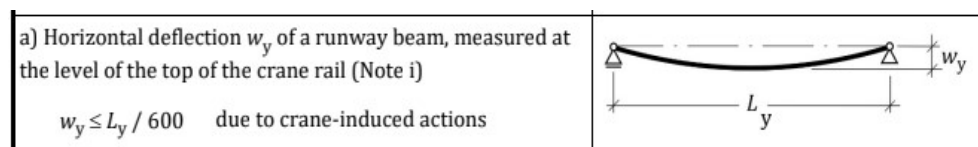
Σχήμα 4-2: Συνιστώμενες τιμές του prEN 1993-6:2021 για την κατακόρυφη μετατόπιση της γερανοδοκού.

- οι διαφορικές κατακόρυφες παραμορφώσεις των απέναντι γερανοδοκών πρέπει να περιορίζονται με σκοπό να αποφεύγεται η υπερβολική κλίση της γερανογέφυρας. Η διαφορική αυτή παραμόρφωση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/600 της αξονικής απόστασης των δύο απέναντι δοκών.



Σχήμα 4-3: Συνιστώμενες τιμές του prEN 1993-6:2021 για τις διαφορικές κατακόρυφες παραμορφώσεις απέναντι γερανοδοκών.

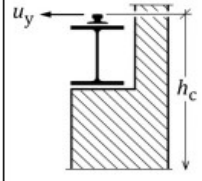
- οι οριζόντιες παραμορφώσεις των γερανοδοκών πρέπει να περιορίζονται ώστε να αμβλύνονται οι επιπτώσεις από τη λοξή κίνηση της γερανογέφυρας. Η μέγιστη οριζόντια παραμόρφωση πρέπει να είναι μικρότερη από το 1/600 του ανοίγματος της δοκού.



Σχήμα 4-4: Συνιστώμενες τιμές του prEN 1993-6:2021 για τις οριζόντιες παραμορφώσεις των γερανοδοκών.

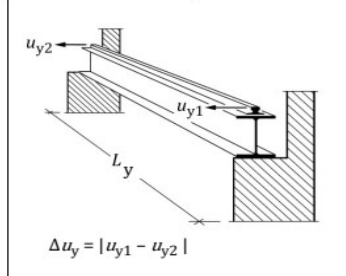
Πέρα των ελέγχων των παραμορφώσεων της γερανοδοκού, ο prEN 1993-6:2021 αναφέρει τους ελέγχους που πρέπει να γίνονται για το κτίριο εντός του οποίου λειτουργεί η γερανογέφυρα:

- η οριζόντια μετακίνηση ενός πλαισίου (ή ενός υποστυλώματος) στη στάθμη στήριξης της γερανογέφυρας λόγω των πλευρικών φορτίων της γερανογέφυρας πρέπει να περιορίζεται. Έτσι επιτυγχάνεται ο περιορισμός των ταλαντώσεων του πλαισίου κατά την ανύψωση και απελευθέρωση του φορτίου. Όταν η γερανογέφυρα ανήκει στην κατηγορία HC 4, ως όριο θεωρείται το 1/400 της στάθμης του ανώτερου σημείου της τροχιάς. Για τις περιπτώσεις όπου η γερανογέφυρα ανήκει σε διαφορετική κατηγορία (πχ HC 1 ή 2 ή 3) ο prEN 1993-6:2021 αναφέρει τα αντίστοιχα όρια.

<p>b) Lateral displacement u_y of a crane runway supporting structure (such as frame or column) at crane support level, depending on the stiffness class (HC)</p> <table border="1" style="border: 2px solid red;"> <tr> <td>$u_y \leq h_C / 250$</td> <td>for HC 1</td> </tr> <tr> <td>$u_y \leq h_C / 300$</td> <td>for HC 2</td> </tr> <tr> <td>$u_y \leq h_C / 350$</td> <td>for HC 3</td> </tr> <tr> <td>$u_y \leq h_C / 400$</td> <td>for HC 4</td> </tr> </table> <p>due to lateral crane-induced forces</p>	$u_y \leq h_C / 250$	for HC 1	$u_y \leq h_C / 300$	for HC 2	$u_y \leq h_C / 350$	for HC 3	$u_y \leq h_C / 400$	for HC 4		<p>h_C is the member height of crane runway supporting structure from the floor level to the level at which the crane is supported (on a rail or on a flange)</p>
$u_y \leq h_C / 250$	for HC 1									
$u_y \leq h_C / 300$	for HC 2									
$u_y \leq h_C / 350$	for HC 3									
$u_y \leq h_C / 400$	for HC 4									

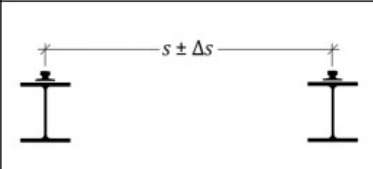
Σχήμα 4-5: Συνιστώμενες τιμές του prEN 1993-6:2021 για την οριζόντια μετακίνηση του πλαισίου.

- οι διαφορετικές πλευρικές παραμορφώσεις των γειτονικών υποστυλωμάτων λόγω των πλευρικών δυνάμεων της γερανογέφυρας πρέπει να περιορίζονται ώστε να αποφεύγονται απότομες αλλαγές στην ευθύτητα των τροχιών. Διαφορετικά, μπορεί να προκληθούν αυξημένες οριζόντιες δράσεις από τη λοξή κίνηση της γερανογέφυρας. Ως όριο αυτής της διαφορετικής πλευρικής παραμόρφωσης θεωρείται το 1/600 της απόστασης μεταξύ των γειτονικών υποστυλωμάτων. Προσοχή πέπει να δίνεται στην περίπτωση όπου η γερανοδοκός εκτός από τις πλευρικές δυνάμεις της γερανογέφυρας, δέχεται και την δύναμη του ανέμου. Για την περίπτωση αυτή ο κανονισμός δίνει τα αντίστοιχα όρια.

<p>Difference Δu_y between the horizontal displacements of adjacent crane runway supporting structures (such as frames or columns):</p> <p>c) for indoor crane runways:</p> <p>$\Delta u_y \leq L_y / 600$ due to lateral crane-induced forces</p> <p>d) for outdoor crane runways:</p> <p>$\Delta u_y \leq L_y / 600$ due to group of loads comprising lateral crane-induced forces and in-service wind load acc. to EN 1991-3</p> <p>$\Delta u_y \leq L_y / 400$ due to the out-of-service wind load</p>	 <p>$\Delta u_y = u_{y1} - u_{y2}$</p>
--	---

Σχήμα 4-6: Συνιστώμενες τιμές του prEN 1993-6:2021 για τις διαφορετικές παραμορφώσεις γειτονικών υποστυλωμάτων.

- Η μεταβολή της απόστασης Δs μεταξύ των κέντρων των τροχιών (περιλαμβανομένης της επιρροής των θερμικών συστολοδιαστολών) πρέπει να περιορίζεται ώστε να μην προκληθεί φθορά στους όνυχες των τροχών, στα στηρίγματα των τροχιών και εκτροχιασμός της ίδιας της γερανογέφυρας. Ως όριο αυτής της μεταβολής της απόστασης θεωρείται τα 100mm.

<p>e) Change of spacing Δs between the centres of crane rails caused by deformation of runway supporting structure</p> <p>$\Delta s \leq 10 \text{ mm}$ see Note iii</p> <p>due to frequent combination of vertical crane-induced forces (see Note ii) and non-crane-induced actions including the effects of thermal changes</p>	 <p>$s \pm \Delta s$</p>
---	---

Σχήμα 4-7: Συνιστώμενες τιμές του prEN 1993-6:2021 για τη μεταβολή της απόστασης Δs .

Εκτός από τον έλεγχο των παραμορφώσεων είναι σημαντικό να ελέγχεται και η λυγηρότητα των επίπεδων ελασμάτων από τα οποία έχει κατασκευαστεί η γερανοδοκός.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τον κορμό της γερανοδοκού θα πρέπει να αποφεύγεται ο στιγμιαίος ελαστικός λυγισμός ή " τρεμούλιασμα ", ο οποίος μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία από κόπωση. Εάν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, ο έλεγχος αυτός μπορεί να αμεληθεί όταν ο λόγος b/t_w διατηρείται μικρότερος του 120 (b το ύψος και t_w το πάχος του κορμού).

Σχετικά με το κάτω πέλμα της γερανοδοκού θα πρέπει να αποφεύγεται η πλευρική ταλάντωσή του. Για το λόγο αυτό η λυγηρότητά του περιορίζεται διατηρώντας σχετικά μικρό το λόγο $L/i_{f,z}$ (L η απόσταση μεταξύ των πλευρικών εξασφαλίσεων του κάτω πέλματος και $i_{f,z}$ η ακτίνα αδράνειας του κάτω πέλματος, ως προς τον κατακόρυφο άξονα). Ως όριο του παραπάνω λόγου θεωρείται το 250.

Τέλος με σκοπό υπό τα φορτία λειτουργίας να αποφεύγονται τοπικές πλαστικές παραμορφώσεις θα πρέπει να επιδιώκεται αναστρεψιμότητα των τάσεων της γερανοδοκού. Η αντίστοιχη ισοδύναμη τάση στη δυσμενέστερη θέση δεν πρέπει να υπερβαίνει την τάση διαρροής του υλικού.

4.2.2 Διερεύνηση

Με αφορμή ότι οι γερανοδοκοί έχουν πολλαπλές απαιτήσεις λειτουργικότητας και ότι οι παραμορφώσεις τους δυσχεραίνουν την κίνηση και τη λειτουργία της γερανογέφυρας, πραγματοποιήθηκε μια διερεύνηση σχετικά με τις παραμορφώσεις (κατακόρυφες και οριζόντιες) των γερανοδοκών.

Για το σκοπό αυτό αρχικά εξετάστηκαν δύο αμφιέριστες γερανοδοκοί ίδιας διατομής (HEB 450) οι οποίες δέχονται κατακόρυφα και οριζόντια φορτία από την ίδια γερανογέφυρα όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-1. Υποτίθεται ότι σε κάθε τροχιά κυλίνουν δύο τροχοί που απέχουν μεταξύ τους 4m.

Οι δύο αυτές γερανοδοκοί διαφέρουν μόνο στο μήκος του ανοίγματός τους. Συγκεκριμένα ισχύει ότι:

1^ο μοντέλο: Αμφιέριστη γερανοδοκός μήκους 7m ($L= 7m$).

$$a=4m < 0,65L=0,65 \cdot 7m =4,55m$$

όπου a είναι η απόσταση μεταξύ των δύο τροχών της γερανογέφυρας.

2^ο μοντέλο: Αμφιέριστη γερανοδοκός μήκους 5m ($L= 5m$).

$$a=4m > 0,65L=0,65 \cdot 5m =3,25m$$

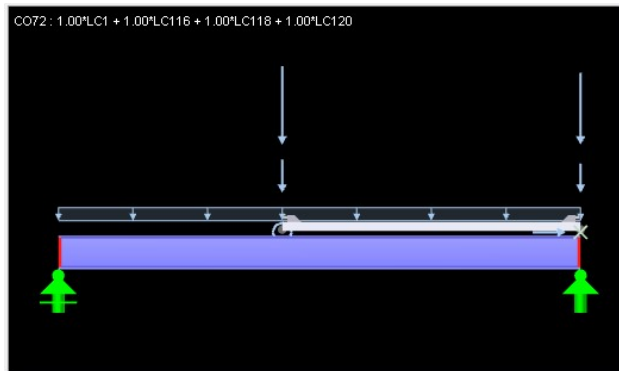
όπου a είναι η απόσταση μεταξύ των δύο τροχών της γερανογέφυρας.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα των ελέγχων των παραμορφώσεων (κατακόρυφων και οριζόντιων) της γερανοδοκού όπως προέκυψαν από τις επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος craneway.

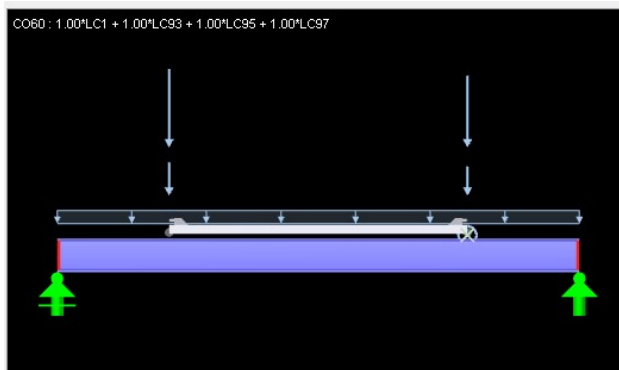
1^ο μοντέλο: Αμφιέριστη γερανοδοκός μήκους 7m ($L= 7m$):

A	B	C	D	E	F	G	H
Direction	Member No.	Location x [m]	Govern. CO	Displacement			
				u [mm]	L/u	limit L/u	
Horizontal	1	3.000	CO72	3.7	1908.890	> 600.000	
Vertical	1	3.500	CO60	8.7	801.348	> 600.000	

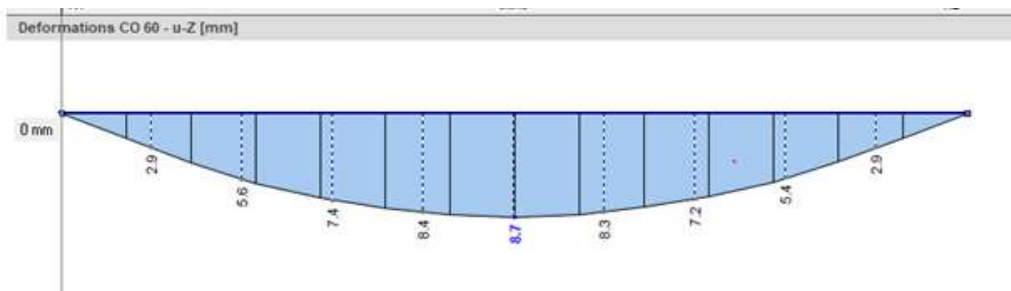
Σχήμα 4-8: Έλεγχος παραμορφώσεων με τη χρήση του προγράμματος craneway.



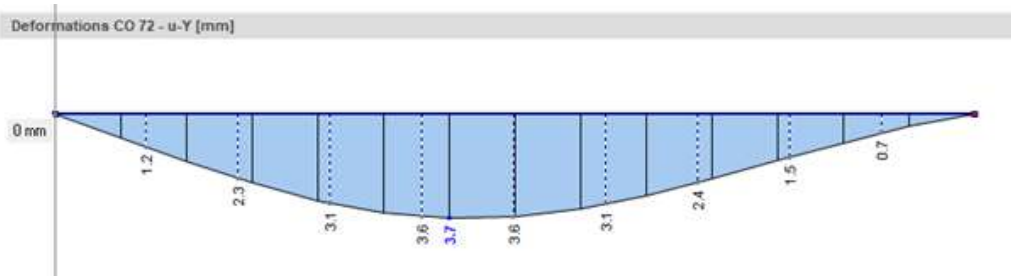
Σχήμα 4-9: Θέση φορτίων που προκαλεί μέγιστο οριζόντιο βέλος γερανοδοκού.



Σχήμα 4-10: Θέση φορτίων που προκαλεί μέγιστο κατακόρυφο βέλος γερανοδοκού.



(α)



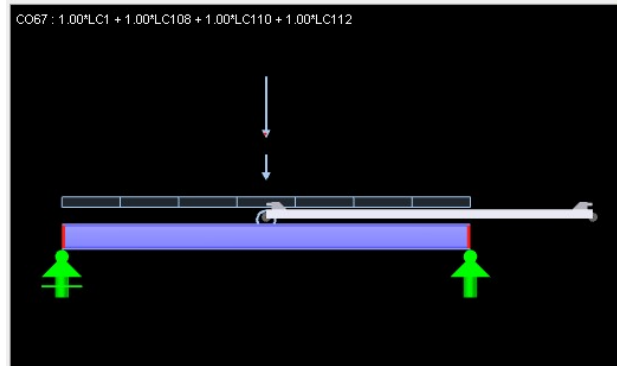
(β)

Σχήμα 4-11: Κατακόρυφα (α) και οριζόντια (β) βέλη αμφιέριστης γερανοδοκού(HEB 450) υπό τον δυσμενέστερο συνδυασμό και θέση φορτίων.

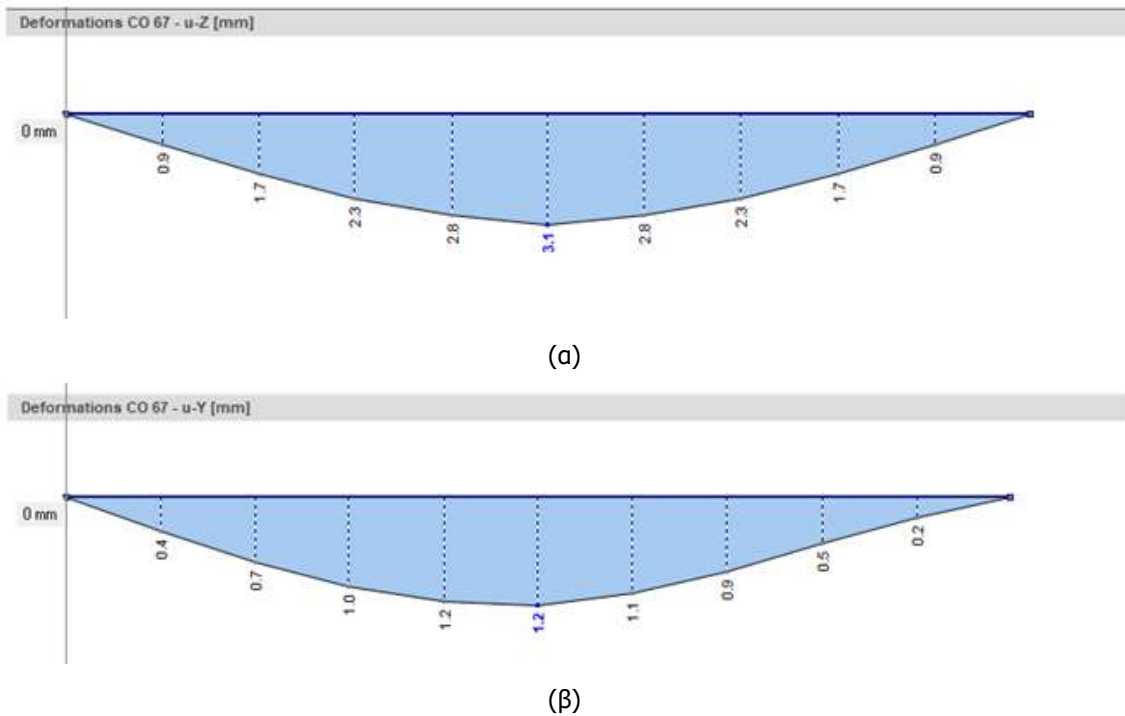
2^ο μοντέλο: Αμφιέριστη γερανοδοκός μήκους 5m (L= 5m):

A	B	C	D	E	F	G	H
Direction	Member No.	Location x [m]	Govern. CO	Displacement			
				u [mm]	L/u	limit L/u	
Horizontal	1	2.500	CO67	1.2	4034.171	> 600.000	
Vertical	1	2.500	CO67	3.1	1629.542	> 600.000	

Σχήμα 4-12: Έλεγχος παραμορφώσεων με τη χρήση του προγράμματος craneway.

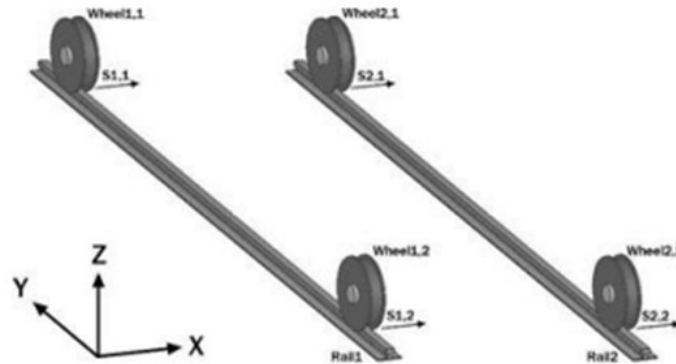


Σχήμα 4-13: Θέση φορτίων που προκαλεί μέγιστο οριζόντιο και κατακόρυφο βέλος γερανοδοκού.



Σχήμα 4-14: Κατακόρυφα (α) και οριζόντια (β) βέλη αμφιέριστης γερανοδοκού(HEB 450) υπό τον δυσμενέστερο συνδυασμό και θέση φορτίων.

Πίνακας 4-1: Φορτία γερανογέφυρας επί των τροχών της.



Vertical wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)				
Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Self weight of the crane (tp1), $F_{z,j}$	-31.9 kN	-39.2 kN	-23.8 kN	-31.8 kN
Self weight of the crane (tp2), $F_{z,j}$	-23.9 kN	-31.9 kN	-31.8 kN	-39.1 kN
Weight of the hoist load (tp1), $F_{z,j}$	-111 kN	-123 kN	-6.41 kN	-6.73 kN
Weight of the hoist load (tp2), $F_{z,j}$	-6.30 kN	-6.64 kN	-11 kN	-12.4 kN
Dynamic test load (tp1), $F_{z,j}$	-122 kN	-136 kN	-7.04 kN	-7.40 kN
Dynamic test load (tp2), $F_{z,j}$	-6.93 kN	-7.90 kN	-122 kN	-136 kN

(tp1 = Trolley position closest to Rail 1, tp2 = Trolley position closest to Rail 2)

Horizontal wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)				
Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{x,j}$	-5.13 kN	5.13 kN	-1.16 kN	1.16 kN
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{y,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{x,j}$	1.16 kN	-1.16 kN	5.13 kN	-5.13 kN
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{y,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Skewing of the crane (tp1), (Rail 1 guiding), $F_{x,j}, S_{y,j}=30.4$ kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 1 guiding), $F_{x,j}, S_{y,j}=30.4$ kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Skewing of the crane (tp1), (Rail 2 guiding), $F_{x,j}, S_{y,j}=30.4$ kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 2 guiding), $F_{x,j}, S_{y,j}=30.4$ kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Acceleration of trolley(s), $F_{x,j}$	-0.772 kN	-0.891 kN	-0.802 kN	-0.861 kN
Inservice wind (tp1), $F_{x,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
Inservice wind (tp2), $F_{x,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
Storm wind, $F_{x,j}$	Longitudinal force on storm lock 1 = 0 kN		Longitudinal force on storm lock 2 = 0 kN	
Crane collision to buffers (tp1), $F_{x,j}$	Buffer force on Rail 1 = 43.5 kN		Buffer force on Rail 2 = 34.0 kN	
Crane collision to buffers (tp2), $F_{x,j}$	Buffer force on Rail 1 = 34.2 kN		Buffer force on Rail 2 = 43.3 kN	

($F_{x,j}$ = Transverse force of Wheel j on Rail i, $F_{y,j}$ = Longitudinal force on Rail i, $F_{z,j}$ = Vertical force of Wheel j on Rail i, $S_{y,j}$ = Guiding force on Rail 1, $S_{x,j}$ = Guiding force on Rail 2)

Παρατηρούμε ότι υπό την προϋπόθεση ότι $a < 0,65L$ (1^ο μοντέλο) το μέγιστο κατακόρυφο βέλος προκύπτει για συμμετρική θέση των δύο φορτίων ως προς το μέσο της αμφιέριστης δοκού (Σχήμα 4-10). Αντίθετα όταν $a > 0,65L$ (2^ο μοντέλο) το μέγιστο κατακόρυφο βέλος προκύπτει όταν η μία από τις δύο τροχούς ασκηθεί στο μέσο του ανοίγματος της αμφιέριστης δοκού (Σχήμα 4-13).

Το μέγιστο οριζόντιο βέλος προκαλείται και στις δύο περιπτώσεις όταν η μία από τις δύο τροχούς ασκηθεί στο μέσο του ανοίγματος της αμφιέριστης δοκού (Σχήμα 4-9,13).

Παρακάτω ακολουθεί αναλυτικά για λόγους πληρότητας ο υπολογισμός των παραμορφώσεων (κατακόρυφων και οριζόντιων) της αμφιέριστης γερανοδοκού με άνοιγμα 7m (1^ο μοντέλο).

Στον Πίνακα 4-1 δίνονται οι μέγιστες και ελάχιστες αντιδράσεις ανά τροχό, για κάθε ένα από τα φορτία (Q_c, Q_h), για τις δύο ακραίες θέσεις του αναρτημένου φορτίου. Θεωρούμε ότι το βαρούλκο με το ανυψούμενο φορτίο βρίσκονται πιο κοντά στην τροχιά 1. Στον Πίνακα 4-2 καταγράφονται τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων.

Πίνακας 4-2: Φορτία γερανογέφυρας για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων.

	Περιγραφή	Συμβολισμός	Συνολικά (kN)
Κατακόρυφα φορτία	Ίδιο βάρος γερανογέφυρας	$Q_c = 39,20$ kN	$123,00 + 39,20 = 162,20$
	Ανυψούμενο φορτίο	$Q_h = 123,00$ kN	
Οριζόντια φορτία	Λόγω λοξής κίνησης γερανογέφυρας	$S = 30,40$ kN	$30,40 - 24,60 = 5,80$
		$H_S = -24,60$ kN	

Σχετικά με τον υπολογισμό των φορτίων να σημειωθεί ότι όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3 τα οριζόντια φορτία οφείλονται στην επιτάχυνση και επιβράδυνση τη γερανογέφυρας κατά την εκκίνηση και την τροχοπέδησή της και στη λοξή ως προς τις τροχιές της κίνηση της γερανογέφυρας και είναι μη επαλληλιζόμενα μεταξύ τους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα εγκάρσια οριζόντια φορτία λόγω της επιτάχυνσης και επιβράδυνσης της γερανογέφυρας είναι:

$$H_T = 5,13 \text{ kN} < 5,80 \text{ kN}$$

Επομένως δυσμενέστερος συνδυασμός αυτός με τα οριζόντια φορτία λόγω λοξής κίνησης της γερανογέφυρας.

Τα φορτία αυτά λαμβάνονται υπόψη με επι μέρους συντελεστές ασφαλείας $\gamma=1,00$.

- Υπολογισμός κατακόρυφης παραμόρφωσης υπό κατακόρυφα φορτία

(α) Παραμόρφωση λόγω των συγκεντρωμένων φορτίων

$$\begin{aligned} u_{1z} &= \frac{F_z \cdot c}{24 \cdot E \cdot I_y} \cdot (3l^2 - 4c^2) \\ &= \frac{162,2 \cdot 150}{24 \cdot 21000 \cdot 79890} \cdot (3 \cdot 700^2 - 4 \cdot 150^2) = 8,30 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4-2)$$

όπου c είναι η απόσταση κάθε φορτίου από το αντίστοιχο άκρο της δοκού. Υπενθυμίζεται ότι σε αυτή την περίπτωση η θέση των δύο φορτίων (τροχών) είναι συμμετρική ως προς το μέσο της δοκού.

(β) Παραμόρφωση λόγω του ίδιου βάρους της δοκού κυλίσεως

$$u_{2z} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 1,96 \cdot 700^4}{384 \cdot 21000 \cdot 79890 \cdot 100} = 0,36 \text{ mm} \quad (4-3)$$

Συνολική κατακόρυφη παραμόρφωση:

$$u = u_{1z} + u_{2z} = 8,30 \text{ mm} + 0,36 \text{ mm} = 8,66 \text{ mm}$$

η οποία είναι αποδεκτή επειδή η παραμόρφωση είναι μικρότερη από 25mm και $L/600=1,16\text{mm}$.

- Υπολογισμός οριζόντιας παραμόρφωσης υπό οριζόντια φορτία

Όπως για την περίπτωση ελέγχων στην οριακή κατάσταση αστοχίας, ισχύει η παραδοχή ότι το οριζόντιο φορτίο θα παραληφθεί από το άνω πέλμα της γερανοδοκού.

Ροπή αδράνειας άνω πέλματος (HEB 450)

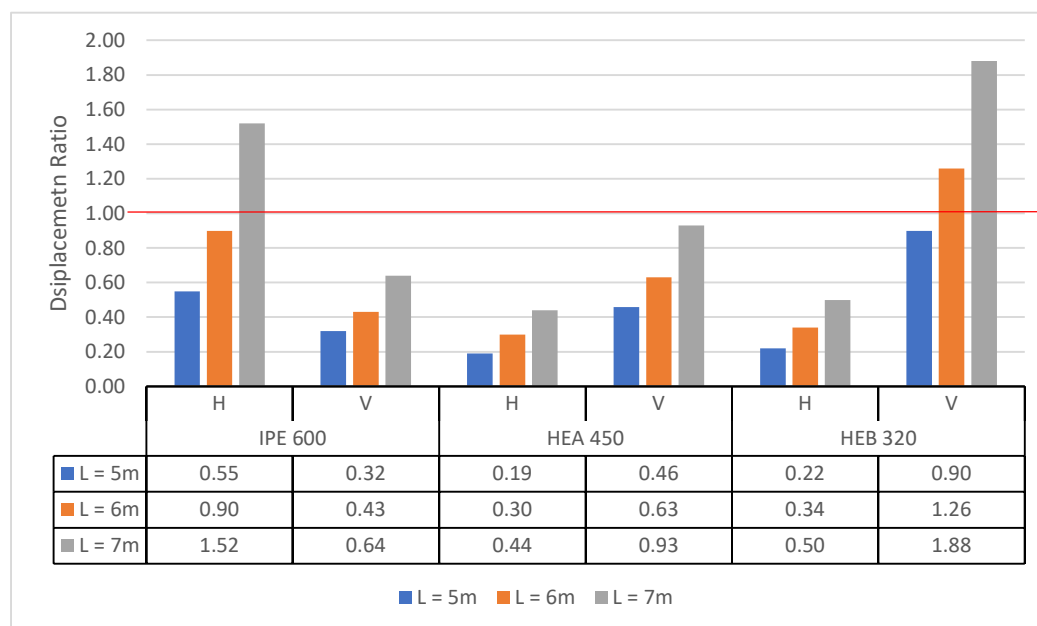
$$I_z = \frac{2,6 \cdot 30^3}{12} = 5850 \text{ cm}^4 \quad (4-4)$$

$$u_y = \frac{F_x \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_z} = \frac{5,80 \cdot 700^3}{48 \cdot 21000 \cdot 5850} = 3,33 \text{ mm} \quad (4-5)$$

που είναι αποδεκτή γιατί η παραμόρφωση είναι μικρότερη από $L/600=1,16\text{mm}$.

Στη συνέχεια με σκοπό τη διερεύνηση της συμπεριφοράς συνήθων διατομών των γερανοδοκών δημιουργήθηκαν για κάθε περίπτωση ξεχωριστά 3 διαφορετικά μοντέλα.

Για παράδειγμα για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς της διατομής HEB δημιουργήθηκαν 3 διαφορετικά μοντέλα, στα οποία τα φορτία και η διατομή της γερανοδοκού παραμένει σταθερή αλλάζοντα κάθε φορά μόνο το μήκος της αμφιέριστης δοκού. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα. Στον κατακόρυφο άξονα καταγράφεται ο λόγος ανεπάρκειας των παραμορφώσεων (κατακόρυφων ή οριζόντιων) για κάθε περίπτωση.



Διάγραμμα 4-1: Συγκριτικό διάγραμμα λόγου ανεπάρκειας παραμορφώσεων για διαφορετικό μήκος ή είδος διατομής.

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι όσο πιο υψίκορμη είναι η διατομή κρισιμότερες προκύπτουν οι οριζόντιες παραμορφώσεις. Μάλιστα για μεγαλύτερα μήκη της δοκού ο έλεγχος των οριζόντιων παραμορφώσεων φαίνεται να επηρεάζει την επιλογή της διατομής της γερανοδοκού.

Αντίθετα, όσο πιο πλατύπελμη είναι η διατομή κρισιμότερες προκύπτουν οι κατακόρυφες παραμορφώσεις. Μάλιστα για μεγαλύτερα μήκη της δοκού ο έλεγχος των κατακόρυφων παραμορφώσεων φαίνεται να επηρεάζει την επιλογή της διατομής της γερανοδοκού.

5 ΤΟΠΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΔΟΚΩΝ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

5.1 Εισαγωγή

Πέρα από τη γενική καταπόνηση, ο σχεδιασμός των δοκών κυλίσεως επηρεάζεται έντονα από την τοπική ένταση που αναπτύσσεται κάτω από τα συγκεντρωμένα φορτία των τροχών.

Οι τοπική ένταση που αναπτύσσεται λόγω των κατακόρυφων φορτίων των τροχών επηρεάζει την επάρκεια του κορμού και της συγκολλησεως κορμού-πέλματος εφόσον η δοκός έχει διαμορφωθεί από σύνθετη διατομή (μέσω συγκόλλησης επίπεδων ελασμάτων). Συγκεκριμένα στον κορμό κάτω από τη θέση του τροχού αναπτύσσονται:

1. Τοπικές ορθές τάσεις.
2. Τοπικές διατμητικές τάσεις.
3. Τοπικές καμπτικές τάσεις.

Σύμφωνα με τον prEN 1993-6:2021 οι τοπικές τάσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και στον έλεγχο των οριακών καταστάσεων όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5-1: Τοπικές τάσεις και έλεγχος οριακών καταστάσεων.

Limit states	Consideration on local stresses due to crane load introduction		
	Local compressive stresses $\sigma_{oz,Ed}$	Local shear stresses $\tau_{oxz,Ed}$	Local bending stresses $\sigma_{T,Ed}$
Ultimate (excluding fatigue), see 8	yes	no	no
Serviceability (stress checks), see 9.4	yes	no	no
Fatigue design situation, see 11	yes	yes	yes , but only for high and very high fatigue exposure

5.2 Τοπικές ορθές τάσεις

5.2.1 Γενικά

Κάτω από ένα κατακόρυφο φορτίο του τροχού αναπτύσσονται στον κορμό, στο ύψος του άνω πέλματος, ορθές τάσεις $\sigma_{oz,Ed}$ των οποίων η κατανομή φαίνεται στο Σχήμα 5-2. Σύμφωνα με τον prEN 1993-6:2021 επιτρέπεται να υποθεθεί ότι η κατανομή των τάσεων αυτών είναι ομοιόμορφη εκτεινόμενη σε ένα μήκος ℓ_{eff} .

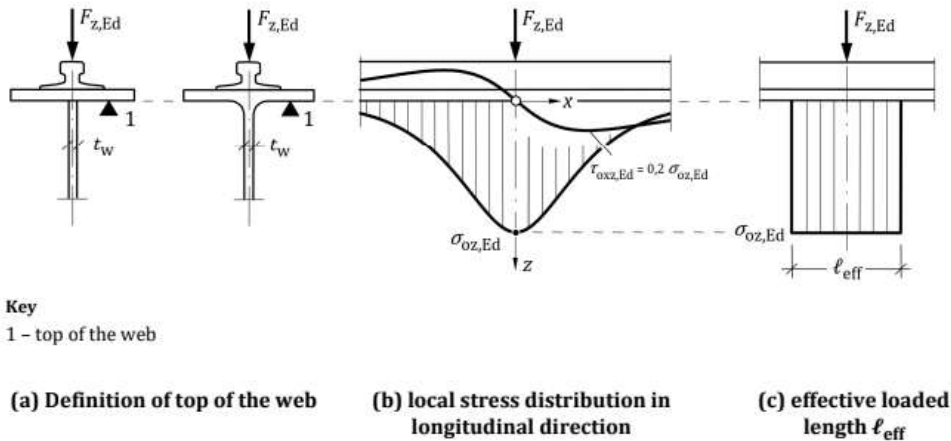
$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{\ell_{eff} \cdot t_w} \quad (5-1)$$

όπου:

$F_{z,Ed}$ είναι το κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού του τροχού

ℓ_{eff} είναι το ενεργό φορτιζόμενο μήκος

t_w είναι το πάχος του κορμού



Σχήμα 5-2: Τοπικές ορθές τάσεις στον κορμό της γερανοδοκού.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι παραπάνω τάσεις είναι αποτέλεσμα ενός μόνο κατακόρυφου φορτίου του τροχού. Σε περίπτωση που η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών τροχών είναι μικρότερη από το μήκος ℓ_{eff} , τότε οι τάσεις από τους δύο τροχούς θα πρέπει να επαλληλίζονται.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2 η τιμή του ενεργού φορτιζόμενου μήκους ℓ_{eff} εξαρτάται από τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς επί του άνω πέλματος της γερανοδοκού και ανάλογα με την περίπτωση επηρεάζεται από:

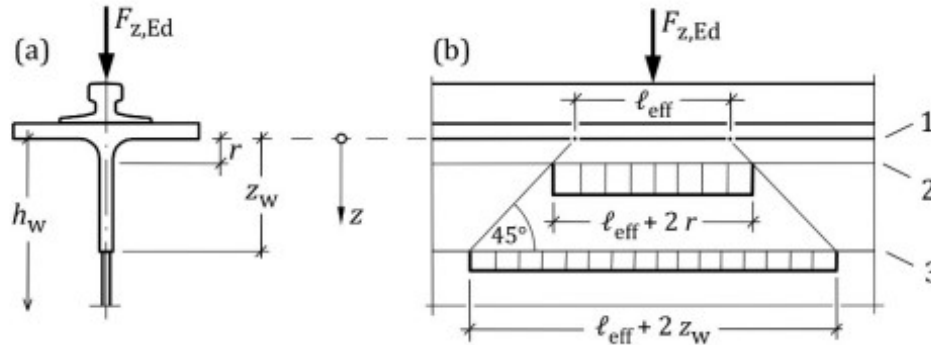
1. Το πάχος του κορμού t_w .
2. Τη ροπή αδράνειας της σιδηροτροχιάς ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα I_r .
3. Τη ροπή αδράνειας του άνω πέλματος ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα $I_{f,eff}$ θεωρώντας πλάτος $b_{f,eff} = b_{fr} + h_r + t_f \leq b_f$, για τα οποία γίνεται αναφορά στο κεφάλαιο 2.
4. Τη ροπή αδράνειας της διατομής της τροχιάς και του άνω πέλματος I_{rf} θεωρούμενης ως ενιαίας ως προς τον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα I_{rf} , θεωρώντας πλάτος πέλματος $b_{f,eff} = b_{fr} + h_r + t_f \leq b_f$.

Πίνακας 5-2: Ενεργό φορτιζόμενο μήκος κορμού l_{eff} .

Περι- πτωση	Περιγραφή	Ενεργό φορτιζόμενο μήκος l_{eff}
(α)	Τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα	$l_{eff} = 3,25 [I_{rf} / t_w]^{1/3}$
(β)	Τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα	$l_{eff} = 3,25 [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{1/3}$
(γ)	Τροχιά τοποθετημένη επάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα πάχους τουλάχιστον 6mm.	$l_{eff} = 4,25 [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{1/3}$

Στους υπολογισμούς θα πρέπει λόγω φθοράς να λαμβάνεται υπόψη η απομείωση του πάχους της τροχιάς t_r κατά 25%, στην οποία γίνεται αναφορά στο κεφάλαιο 2.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2 οι τοπικές ορθές τάσεις $\sigma_{oz,Ed}$ καθ' ύψος του κορμού μπορούν να υπολογιστούν υποθέτοντας πως αυτές κατανέμονται υπό γωνία 45°.



Σχήμα 5-2: Τοπική ορθή τάση $\sigma_{oz,Ed}$ καθ' ύψος του κορμού.

Να σημειωθεί ότι δυσμενέστερο σημείο είναι το ανώτερο σημείο του κορμού στην έναρξη της ακτίνας συναρμογής κορμού – πέλματος για τις ελατές διατομές ή της ραφής συγκόλλησης για τις συγκολλητές διατομές. Παρακάτω φαίνεται ο υπολογισμός των τοπικών ορθών τάσεων για συγκολλητή και ελατή διατομή αντίστοιχα.

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} \quad (5-2a)$$

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{(l_{eff} + 2 \cdot r) \cdot t_w} \quad (5-2\beta)$$

Τέλος θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι υπό το κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού των τροχών ισχύει:

$$\max \sigma_{oz,Ed} \leq f_{y,d} \quad (5-3)$$

Ανεξάρτητα του παραπάνω τοπικού ελέγχου, οι τοπικές τάσεις $\sigma_{oz,Ed}$ πρέπει στον έλεγχο της Ο.Κ.Α. να συνδυάζονται με τις τάσεις (ορθές και διατμητικές) από τη γενική ένταση και να αξιολογείται η ισοδύναμη τάση von Mises όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\max \sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_z + 3 \cdot \tau^2} \leq f_{y,d} \quad (5-4a)$$

Δεδομένου ότι η $\sigma_{oz,Ed}$ υπάρχει στο ανώτερο σημείο του κορμού και δεν έχει ουσιαστική επίδραση στα υπόλοιπα σημεία καθ' ύψος του κορμού, ο ακόλουθος απλοποιημένος τύπος χρησιμοποιείται για τα υπόλοιπα σημεία της διατομής:

$$\max \sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma_{\chi}^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq f_{y,d} \quad (5-4\beta)$$

5.2.2 Παραμετρική μελέτη ως προς τον τρόπο σύνδεσης σιδηροτροχιάς με δοκό

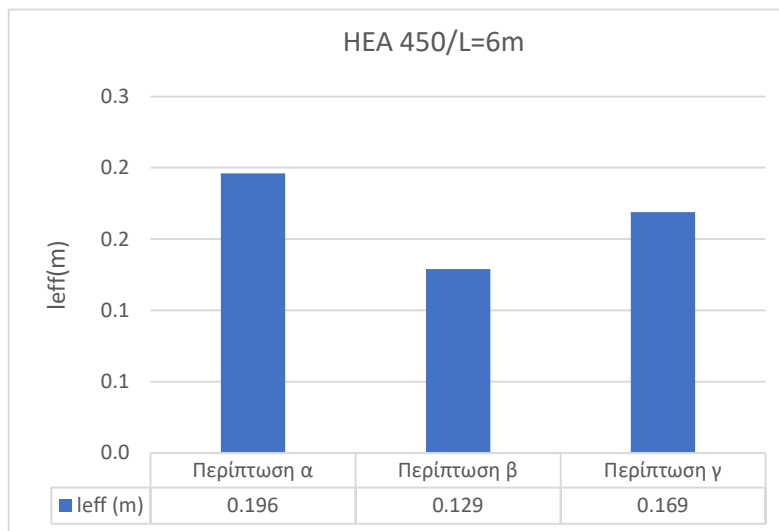
Έχει αναφερθεί ότι ο τρόπος σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με το άνω πέλμα της δοκού επιδρά στην τιμή του μήκους l_{eff} και συνεπώς στην τοπική ορθή τάση $\sigma_{oz,Ed}$. Έτσι θα ακολουθήσει μια παραμετρική μελέτη ως προς τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με το άνω πέλμα της δοκού.

Δημιουργήθηκαν 3 διαφορετικά μοντέλα. Το μήκος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανοδοκού και της σιδηροτροχιάς θα διατηρούνται σταθερά αλλάζοντας κάθε φορά τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με τη δοκό όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

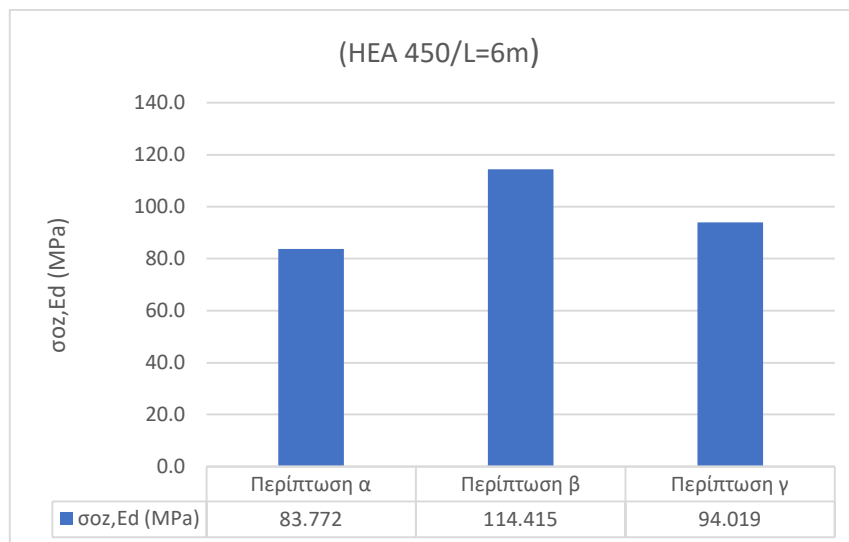
Πίνακας 5-3: Τρόποι σύνδεσης σιδηροτροχιάς - πέλματος.

<i>Περίπτωση</i>	<i>Περιγραφή</i>
<i>α</i>	<i>Τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα</i>
<i>β</i>	<i>Τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα</i>
<i>γ</i>	<i>Τροχιά τοποθετημένη πάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα πάχους τουλάχιστον 6mm</i>

Επιλέχθηκε δοκός μήκους 6m και διατομής HEA 450, με σιδηροτροχιά ορθογωνικής διατομής 80x60(mm) . Ακολουθούν τα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα:



Διάγραμμα 5-3: Συγκριτικό διάγραμμα ενεργού φορτιζόμενου μήκους l_{eff} για διαφορετικό τρόπο σύνδεσης σιδηροτροχιάς – δοκού (HEA 450/L=6m).



Διάγραμμα 5-2: Συγκριτικό διάγραμμα τοπικής ορθής τάσης $\sigma_{oz,Ed}$ για διαφορετικό τρόπο σύνδεσης σιδηροτροχιάς-δοκού (HEA 450/L=6m).

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι οι ελάχιστες τοπικές ορθές τάσεις εξασφαλίζονται όταν η σιδηροτροχιά είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη με το άνω πέλμα της δοκού.

5.2.3 Παραμετρική μελέτη ως προς τα υπόλοιπα μεγέθη της διατομής

Έκτος από τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με τη δοκό, το πάχος του κορμού t_w , το πάχος του πέλματος t_f , το ύψος της σιδηροτροχιάς h_r καθώς και το πλάτος έδρασης της σιδηροτροχιάς πάνω στη δοκό b_{fr} είναι οι υπόλοιποι παράγοντες που επιδρούν στην τιμή του μήκους I_{eff} και συνεπώς στην τοπική ορθή τάση $\sigma_{oz,Ed}$. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια παραμετρική μελέτη με τελικό σκοπό να εντοπιστεί εκείνη η παράμετρος με τη μεγαλύτερη επιρροή στην τοπική ορθή τάση $\sigma_{oz,Ed}$.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε μια διατομή με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

<i>Διαστάσεις διατομής (mm)</i>	
t_w	<i>8</i>
t_f	<i>19</i>
h_r	<i>60</i>
b_{fr}	<i>80</i>
<i>ορθογωνική σιδηροτροχιά</i>	<i>80x60</i>

Για τη διατομή αυτή προκύπτουν τα εξής γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά:

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f = 80 + 45 + 19 = 144\text{mm} \quad (5-5a)$$

Έχει ληφθεί υπόψη η απομείωση του πάχους της τροχιάς $h_r = t_f$ κατά 25%.

Για τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα ή τοποθετημένη πάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα:

$$I_r = \frac{b_{fr} \cdot h_r^3}{12} = \frac{8 \cdot 4,5^3}{12} = 60,75\text{cm}^4 \quad (5-5\beta)$$

$$I_{r,eff} = \frac{b_{eff} \cdot t_f^3}{12} = \frac{14,4 \cdot 1,9^3}{12} = 8,23\text{cm}^4 \quad (5-5\gamma)$$

Για τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα:

$$A_r = h_r \cdot b_{fr} = 4,5 \cdot 8 = 36 \text{ cm}^2 \quad (5-5\delta)$$

$$c_{z,r} = t_f + \frac{h_r}{2} = 19 + \frac{45}{2} = 41,50 \text{ mm} \quad (5-5\epsilon)$$

$$A_f = b_{eff} \cdot t_f = 14,4 \cdot 1,9 = 27,36 \text{ cm}^2 \quad (5-5\sigma\tau)$$

$$c_{z,f} = \frac{t_f}{2} = \frac{19}{2} = 9,50 \text{ mm} \quad (5-5\zeta)$$

$$A_{rf} = A_r + A_f = 36 + 27,36 = 63,36 \text{ cm}^2 \quad (5-5\eta)$$

$$c_{z,rf} = \frac{(A_r \cdot c_{z,r}) + (A_f \cdot c_{z,f})}{A_r + A_f} = \frac{(3600 \cdot 41,50) + (2737 \cdot 9,50)}{3600 + 2736} = 27,68 \text{ mm} \quad (5-5\theta)$$

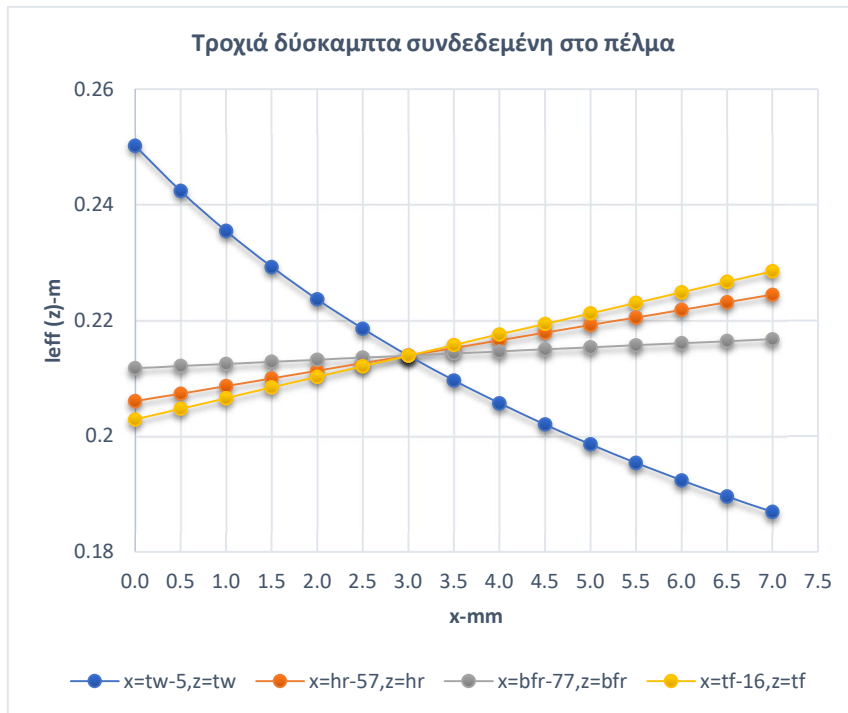
$$I_{rf} = I_{f,eff} + [A_f \cdot (c_{z,rf} - c_{z,f})^2] + I_r + [A_r \cdot (c_{z,rf} - c_{z,r})^2] = 228,166 \text{ cm}^4 \quad (5-5\iota)$$

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν 4 διαφορετικές παραμετρικές αναλύσεις για κάθε τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με τη δοκό.

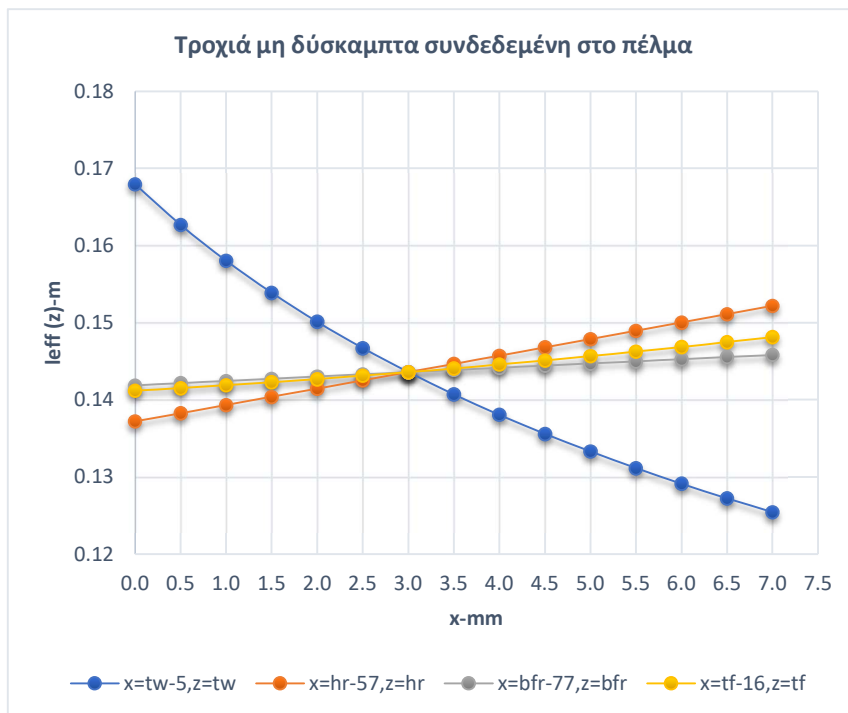
1. Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του κορμού t_w .
2. Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του πέλματος t_f .
3. Παραμετρική μελέτη ως προς το ύψος της σιδηροτροχιάς h_r .
4. Παραμετρική μελέτη ως προς το το πλάτος έδρασης της σιδηροτροχιάς πάνω στη δοκό b_{fr} .

Η κάθε ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βήμα 0.5mm.

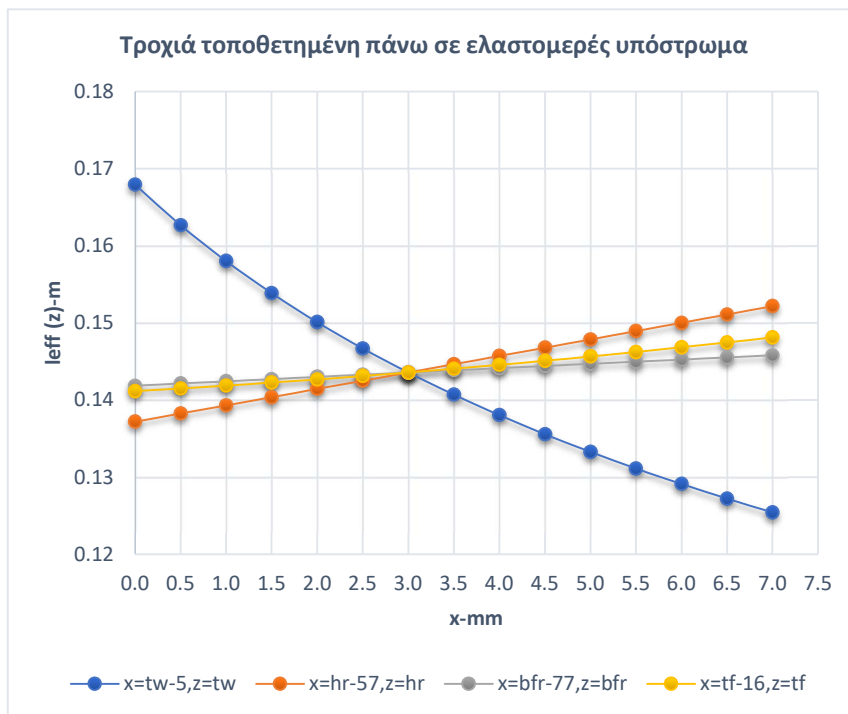
Ακολουθεί το συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων της κάθε ανάλυσης.



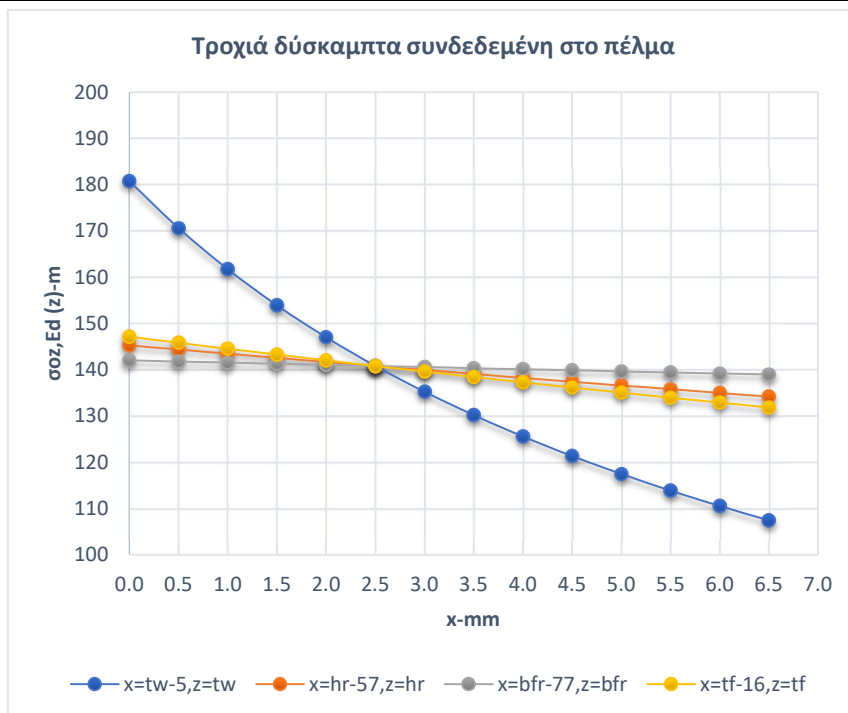
Διάγραμμα 5-3: Συγκεντρωτικό διάγραμμα I_{eff} ως προς τις παραμέτρους t_w , t_f , h_r , b_{fr} για τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στη δοκό.



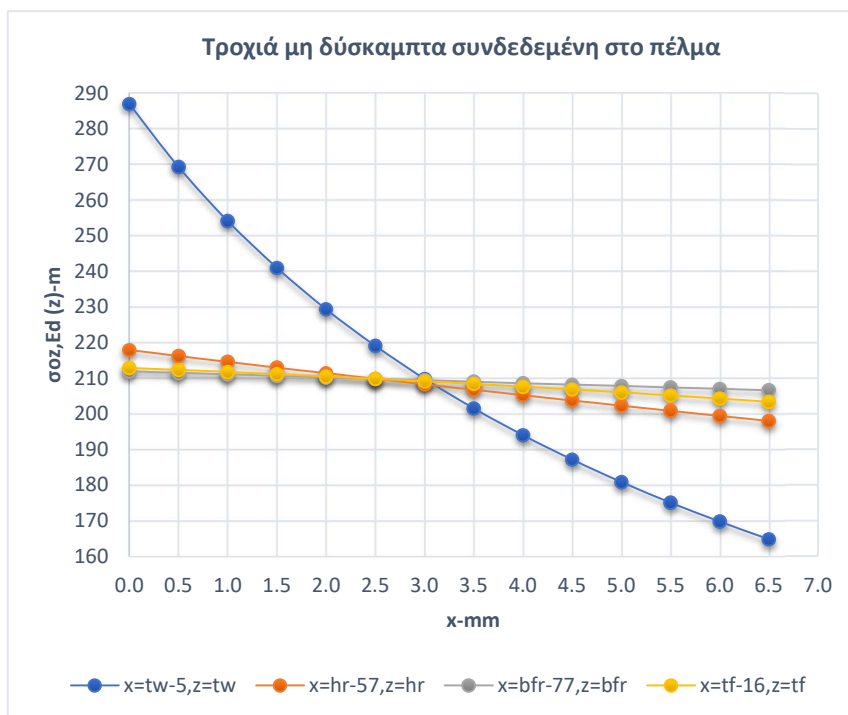
Διάγραμμα 5-4: Συγκεντρωτικό διάγραμμα l_{eff} ως προς τις παραμέτρους t_w , t_f , h_r , b_{fr} για τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στη δοκό.



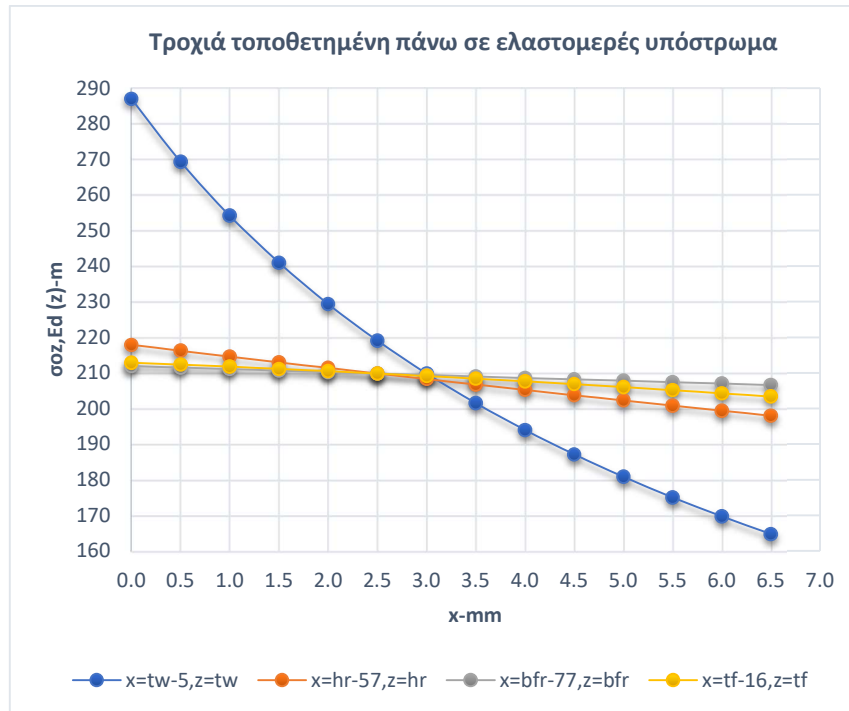
Διάγραμμα 5-5: Συγκεντρωτικό διάγραμμα l_{eff} ως προς τις παραμέτρους t_w , t_f , h_r , b_{fr} για τροχιά τοποθετημένη πάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα.



Διάγραμμα 5-6: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $\sigma_{oz,Ed}$ ως προς τις παραμέτρους t_w , t_r , h_r , b_{fr} για τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στη δοκό.



Διάγραμμα 5-7: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $\sigma_{oz,Ed}$ ως προς τις παραμέτρους t_w , t_r , h_r , b_{fr} για τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στη δοκό.



Διάγραμμα 5-8: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $\sigma_{oz,Ed}$ ως προς τις παραμέτρους t_w , t_r , h_r , b_{fr} για τροχιά τοποθετημένη πάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα.

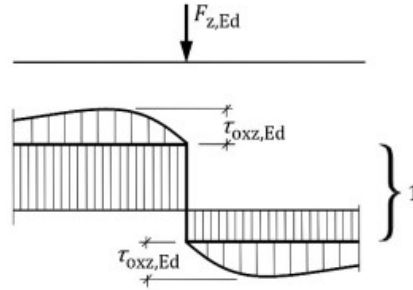
Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι ανεξάρτητα από τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροδοκού με το άνω πέλμα μεγαλύτερη επιρροή στην τοπική ορθή τάση $\sigma_{oz,Ed}$ έχει το πάχος του κορμού t_w . Συνεπώς ο βέλτιστος τρόπος για τη μείωση των τοπικών ορθών τάσεων είναι η αύξηση του πάχους του κορμού.

5.3 Τοπικές διατμητικές τάσεις

Λόγω της παραπάνω κατανομής της ορθής τάσης $\sigma_{oz,Ed}$ στον κορμό της δοκού αναπτύσσονται πρόσθετες τοπικές διατμητικές τάσεις που λαμβάνονται ίσες με ποσοστό 20% αυτής και η κατανομή τους φαίνεται στο Σχήμα 5.3.

Οι τοπικές διατμητικές τάσεις πρέπει να συνδυάζονται με τις διατμητικές τάσεις από τη γενική ένταση και τελικά να ελέγχεται ότι ισχύει:

$$\max(\tau_{xz,Ed} + \tau_{oxz,Ed}) \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_{y,d} \quad (5-6)$$



Key

1 - Distribution of global shear stress $\tau_{xz,Ed}$ at the considered web level around the wheel load position

Σχήμα 5-3: Πρόσθετες τοπικές και ολικές διατμητικές τάσεις λόγω του φορτίου του τροχού.

5.4 Τοπικές καμπτικές τάσεις

5.4.1 Γενικά

Λόγω της εκκεντρότητας των κατακόρυφων φορτίων του τροχού, στην οποία γίνεται αναφορά στο κεφάλαιο 3 και της προκύπτουσας στρεπτικής ροπής T_{Ed} αναπτύσσονται στον κορμό τοπικές καμπτικές τάσεις (Σχήμα 5.4). Σύμφωνα με τον prEN 1993-6:2021 στις περισσότερες περιπτώσεις επιτρέπεται να αμεληθεί η εκκεντρότητα των οριζόντιων δυνάμεων του τροχού. Η τάση εκ κάμψεως σε ένα εγκαρσίως νευρωμένο κορμό λόγω της στρεπτικής ροπής μπορεί να προσδιορίζεται από:

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot n \cdot \tanh(n) \tag{5-7a}$$

όπου:

$$\left[n = \frac{0,75 \cdot \alpha \cdot t_w^3}{I_T} \cdot \frac{\sinh^2(\pi h_w / \alpha)}{\sinh(2\pi h_w / \alpha) - 2\pi h_w / \alpha} \right]^{0.5} \tag{5-7β}$$

όπου:

α είναι η απόσταση μεταξύ των εγκάρσιων νευρώσεων του κορμού

h_w είναι το συνολικό ύψος του κορμού, το καθαρό μεταξύ των πελμάτων

I_T είναι η σταθερά στρέψεως του πέλματος κατά St.Venant (περιλαμβανομένης της τροχιάς εάν είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη)

όπου για ορθογωνικές διατομές ισχύει:

$$I_T = \beta \cdot a \cdot b^3 \tag{5-7γ}$$

όπου:

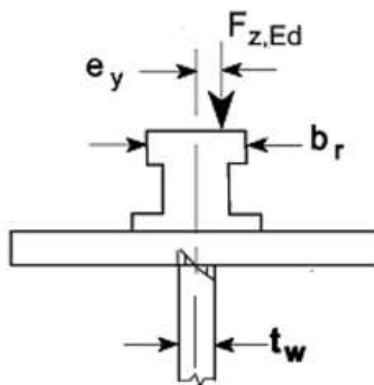
a είναι το μήκος της μικρής πλευράς της διατομής

b είναι το μήκος της μεγάλης πλευράς της διατομής

β συντελεστής που καθορίζεται από τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 5-3: Τιμή συντελεστή β.

a/b	β
1.0	0.141
1.5	0.196
2.0	0.229
2.5	0.249
3.0	0.263
4.0	0.281
5.0	0.291
6.0	0.299
10.0	0.312
∞	0.333



Σχήμα 5-4: Τοπικές καμπτικές τάσεις στον κορμό.

Τέλος θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι υπό το εκκεντρο κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού των τροχών ισχύει:

$$\max \sigma_{T,Ed} \leq f_{y,d} \quad (5-8)$$

5.4.2 Παραμετρική μελέτη ως προς τον τρόπο σύνδεσης σιδηροτροχιάς με δοκό

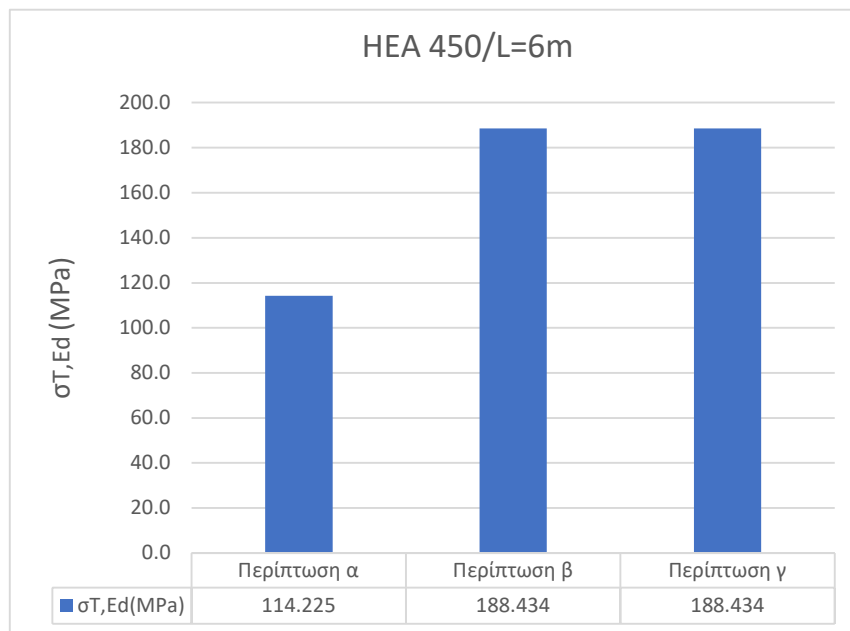
Ο τρόπος σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με το άνω πέλμα της δοκού επιδρά στην τιμή της σταθεράς στρέψεως του πέλματος I_t και συνεπώς στην τοπική καμπτική τάση $\sigma_{T,Ed}$. Έτσι θα ακολουθήσει μια παραμετρική μελέτη ως προς τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με το άνω πέλμα της δοκού.

Δημιουργήθηκαν 3 διαφορετικά μοντέλα. Το μήκος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δοκού και της σιδηροτροχιάς θα διατηρούνται σταθερά αλλάζοντας κάθε φορά τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με τη δοκό όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-4: Τρόποι σύνδεσης σιδηροτροχιάς - πέλματος.

Περίπτωση	Περιγραφή
α	Τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα
β	Τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα
γ	Τροχιά τοποθετημένη πάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα πάχους τουλάχιστον 6mm

Επιλέχθηκε δοκός μήκους 6m και διατομής HEA 450, με σιδηροτροχιά ορθογωνικής διατομής 80x60(mm) . Ακολουθεί το παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα:



Διάγραμμα 5-9: Συγκριτικό διάγραμμα τοπικής καμπτικής τάσης $\sigma_{T,Ed}$ για διαφορετικό τρόπο σύνδεσης σιδηροτροχιάς – δοκού (HEA 450/L=6m).

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι οι ελάχιστες τοπικές καμπτικές τάσεις εξασφαλίζονται όταν η σιδηροτροχιά είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη με το άνω πέλμα της δοκού. Στην περίπτωση αυτή η σιδηροτροχιά συνεργάζεται με τη δοκό κυλίσεως ως ενιαία διατομή με αποτέλεσμα να υπολογίζεται η σταθερά στρέψεως της διατομής της σιδηροτροχιάς και του άνω πέλματος I_T θεωρούμενης ως ενιαίας διατομής. Αντίθετα στις περιπτώσεις όπου η τροχιά δεν είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα ή είναι τοποθετημένη πάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα, υπολογίζεται η σταθερά στρέψεως I_T του πέλματος με αποτέλεσμα μικρότερη σταθερά στρέψεως I_T και μεγαλύτερες καμπτικές τάσεις $\sigma_{T,Ed}$.

5.4.3 Παραμετρική μελέτη ως προς τα υπόλοιπα μεγέθη της διατομής

Έκτος από τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με τη δοκό, το πάχος του κορμού t_w , το ύψος του κορμού h_w , το πάχος t_f και το πλάτος b_f του πέλματος καθώς και το πάχος h_f και το πλάτος b_f της σιδηροτροχιάς είναι οι υπόλοιποι παράγοντες που επιδρούν στην τιμή της τοπικής καμπτικής τάσης $\sigma_{T,Ed}$. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια παραμετρική μελέτη με τελικό σκοπό να εντοπιστεί εκείνη η παράμετρος με τη μεγαλύτερη επιρροή στην τοπική καμπτική τάση $\sigma_{T,Ed}$.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε μια διατομή με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

<i>Διαστάσεις διατομής (mm)</i>	
t_w	8
h_w	400
t_f	19
b_f	300
h_r	60
b_{fr}	80
α	6000
<i>ορθογωνική σιδηροτροχιά</i>	<i>80x60</i>

Για τη διατομή αυτή προκύπτουν τα εξής γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά:

Έχει ληφθεί υπόψη η απομείωση του πάχους της τροχιάς $h_r = t_r$ κατά 25%.

Για τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα ή τοποθετημένη πάνω σε ελαστομερές υπόστρωμα:

$$I_T = \frac{b_f \cdot t_f^3}{3} = \frac{30 \cdot 1,9^3}{3} = 68,59 \text{ cm}^4 \quad (5-8\alpha)$$

Για τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα:

$$I_{T,f} = \frac{b_f \cdot t_f^3}{3} = \frac{30 \cdot 1,9^3}{3} = 68,59 \text{ cm}^4 \quad (5-8\beta)$$

$$I_{T,r} = 0,214 \cdot b_{fr} \cdot h_r^3 = 0,214 \cdot 8 \cdot 4,5^3 = 156,006 \text{ cm}^4 \quad (5-8\gamma)$$

γιατί για $a/b = 8/4,5 = 1,77$, προκύπτει μετά από γραμμική παρεμβολή σύμφωνα με τον Πίνακα 1-3, $\beta = 0,214$

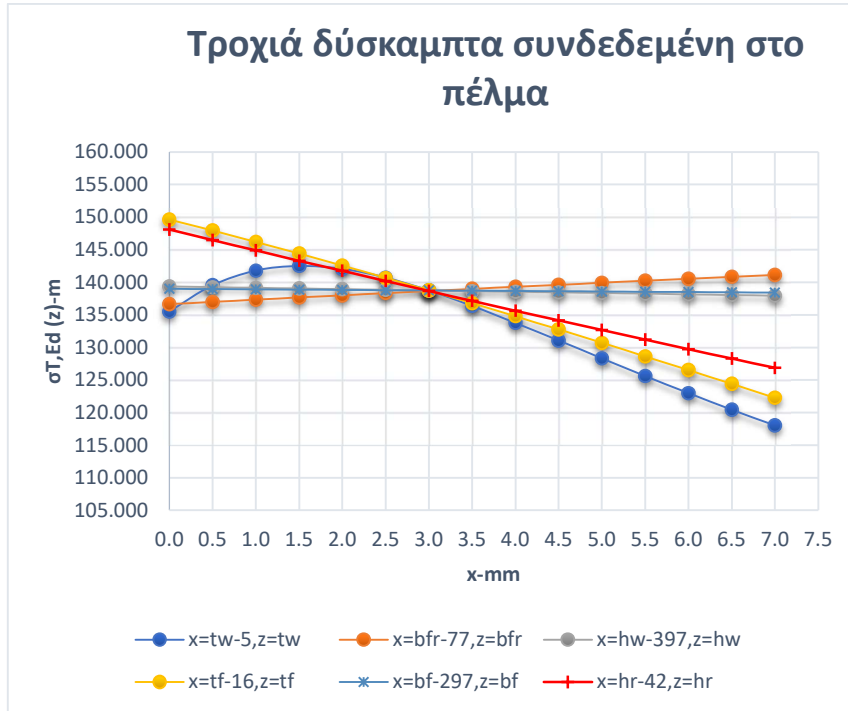
$$I_{T,r,f} = \frac{b_f \cdot t_f^3}{3} + 0,214 \cdot b_{fr} \cdot h_r^3 = 224,596 \text{ cm}^4 \quad (5-8\delta)$$

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν 6 διαφορετικές παραμετρικές αναλύσεις για κάθε τρόπο σύνδεσης της σιδηροτροχιάς με τη δοκό.

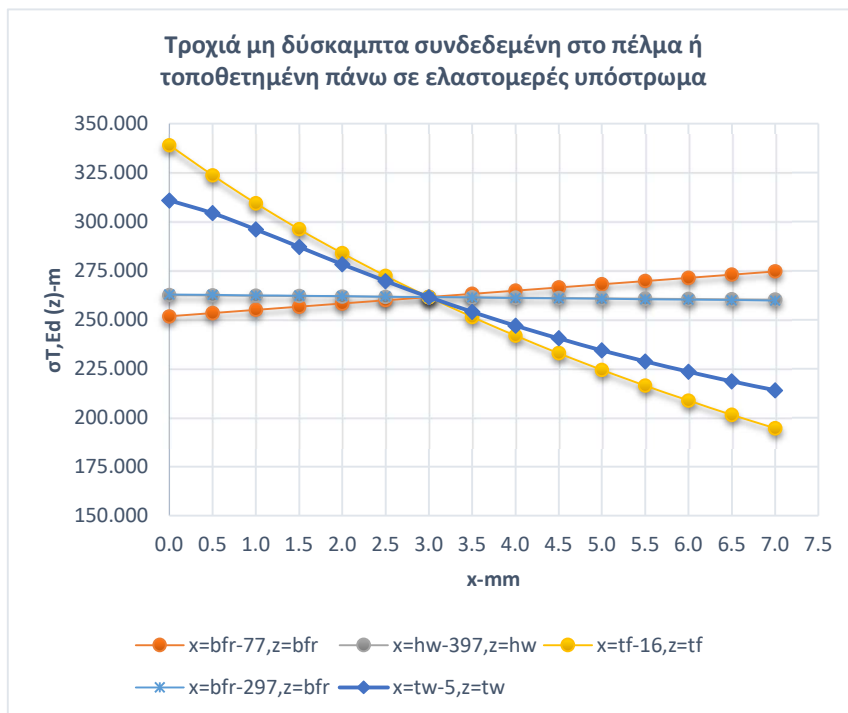
1. Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του κορμού t_w .
2. Παραμετρική μελέτη ως προς το ύψος του κορμού h_w .
3. Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του πέλματος t_f .
4. Παραμετρική μελέτη ως προς το πλάτος του πέλματος b_f .
5. Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος της σιδηροτροχιάς h_r .
6. Παραμετρική μελέτη ως προς το πλάτος της σιδηροτροχιάς b_{fr} .

Η κάθε ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βήμα 0.5mm.

Ακολουθεί το συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων της κάθε ανάλυσης.



Διάγραμμα 5-10: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $\sigma_{T,Ed}$ ως προς τις παραμέτρους $t_w, t_f, h_r, b_{fr}, b_f, h_w$, α για τροχιά δύσκαμπτα συνδεδεμένη στη δοκό.



Διάγραμμα 5-11: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $\sigma_{T,Ed}$ ως προς τις παραμέτρους $t_w, t_f, b_{fr}, b_f, h_w$, α για τροχιά μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη στη δοκό.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι για όλους τους πιθανούς τρόπους σύνδεσης σιδηροδοκού με πέλμα μεγαλύτερη επιρροή στην τοπική καμπτική τάση $\sigma_{T,Ed}$ έχει το πάχος του κορμού t_w και τα μεγέθη που επηρεάζουν περισσότερο τη σταθερά στρέψης I_T του πέλματος. Έτσι στην περίπτωση α όπου η σιδηροτροχιά είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα μεγαλύτερη επιρροή έχουν το πλάτος του πέλματος t_f και το ύψος της σιδηροτροχιάς h_r , ενώ στις περιπτώσεις β και γ μόνο το πλάτος του πέλματος t_f .

Ταυτόχρονα όπως και στο Διάγραμμα 5-9 επιβεβαιώνεται πάλι η σημαντική μείωση των τάσεων για την περίπτωση δύσκαμπτης σύνδεσης σιδηροτροχιάς – πέλματος.

6 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

6.1 Εισαγωγή

Λόγω επαναληπτικών φορτίσεων σε βάθος χρόνου οι δοκοί κυλίσεως γερανογεφυρών αποτελούν από τις κατασκευές που είναι πιο ευαίσθητες σε κόπωση. Υπενθυμίζεται ότι η κόπωση εμφανίζεται ιδιαίτερα σε περιοχές συγκέντρωσης τάσεων όπως περιοχές συγκολλήσεων και απότομης αλλαγής της διατομής.

Για τον έλεγχο σε κόπωση επιπέεται να αμελείται η επιρροή των οριζόντιων δυνάμεων της γερανογέφυρας. Έτσι το εύρος τάσεων από το οποίο εξαρτάται η αντοχή σε κόπωση προκύπτει μόνο από τα κατακόρυφα φορτία της γερανογέφυρας.

Κατά τον προσδιορισμό της διακυμάνσεως των τάσεων λαμβάνονται υπόψη οι τάσεις οι οφειλόμενες, τόσο στη συνολική συμπεριφορά της δοκού κυλίσεως, όσο και σε τοπικά φαινόμενα.

Πίνακας 6-1: Τοπικές τάσεις και έλεγχος κόπωσης.

Limit states	Consideration on local stresses due to crane load introduction		
	Local compressive stresses $\sigma_{oz,Ed}$	Local shear stresses $\tau_{oxz,Ed}$	Local bending stresses $\sigma_{T,Ed}$
Ultimate (excluding fatigue), see 8	yes	no	no
Serviceability (stress checks), see 9.4	yes	no	no
Fatigue design situation, see 11	yes	yes	yes, but only for high and very high fatigue exposure

6.2 Πρώτη φόρτιση κόπωσης

6.2.1 Γενικά

Σύμφωνα με τον prEN1993-6:2021 ο έλεγχος σε κόπωση επιτρέπεται να γίνει υπολογίζοντας ένα ιδεατό φορτίο κόπωσης Q_e το οποίο θεωρείται ότι επαναλαμβάνόμενο 2×10^6 φορές έχει ισοδύναμο, από πλευράς κόπωσης, αποτέλεσμα με την πραγματική ιστορία φόρτισης. Το φορτίο αυτό λαμβάνεται από τη σχέση:

$$Q_e = \varphi_{fat} \cdot \lambda \cdot Q_{r,max} \quad (6-1a)$$

όπου:

$$\varphi_{fat} = \max\left(\frac{1 + \varphi_1}{2}, \frac{1 + \varphi_2}{2}\right) \quad (6-1\beta)$$

$Q_{r,max}$ είναι η μέγιστη αντίδραση του τροχού χωρίς να θεωρηθούν δυναμικοί συντελεστές

λ είναι συντελεστής συνδεόμενος με τη κατηγορία της γερανογέφυρας

Ανάλογα με τον βαθμό έκθεσης σε κόπωση ο prEN 1993-6:2021 κατατάσσει τις γερανογέφυρες σε δώδεκα κατηγορίες ($R_{02}, R_{01}, R_0, R_1, \dots, R_9$). Εν απουσία στοιχείων η κατάταξη αυτή συνδέεται με το είδος της γερανογέφυρας (τύπος, τόπος, χρήση) καθώς και με το ίδιο βάρος της γερανογέφυρας και τη θέση του βαρούλκου. Για κάθε κατηγορία δίδονται τιμές για τον συντελεστή R_i (Πίνακας 6-4).

Πίνακας 6-2: Βαθμοί έκθεσης σε κόπωση της γερανογέφυρας.

Degree of fatigue exposure	Very low	Low	High	Very high
R Class	R_{02}, R_{01}, R_0	R_1, R_2, R_3	R_4, R_5, R_6	R_7, R_8, R_9

Πίνακας 6-3: Κατάταξη γερανογεφυρών σε κατηγορίες.

No.	Type of crane operation	C-Class	Trolley without preferential position				Trolley fixed at end position			
			$\alpha = 0,5$	1	2	4	0,5	1	2	4
1	Hand-operated cranes	C_0	R_1	R_2	R_4	R_4	R_2	R_3	R_4	R_5
2	Assembly cranes and maintenance crane, intermittent operation	C_{01}	R_0	R_1	R_3	R_4	R_1	R_2	R_3	R_4
3	Factory and warehouse cranes, intermittent operation	C_2	R_3	R_4	R_6	R_6	R_4	R_5	R_6	R_7
4	Warehouse cranes, continuous operation	C_5	R_5	R_5	R_6	R_7	R_6	R_6	R_7	R_7
5	Workshop cranes - hook service	C_1	R_2	R_3	R_5	R_5	R_3	R_4	R_5	R_6
6	Paper mill cranes in process operation	C_4	R_4	R_5	R_6	R_7	R_5	R_6	R_7	R_7
7	Cranes in steel production processes	C_5	R_5	R_5	R_6	R_7	R_6	R_6	R_7	R_7

Να σημειωθεί ότι στον Πίνακα 6-3 $\alpha = Q_C / Q_H$.

Πίνακας 6-4: Τιμή του συντελεστή λ για τον υπολογισμό των ισοδύναμων ιδεατών φορτίων κόπωσης.

Class R	R ₀₂	R ₀₁	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉
Normal stresses	0,125	0,157	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
Shear stresses	0,287	0,330	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

Οι κατηγορίες R₀₂ και R₀₁ δεν υπάρχουν στον EN1993-6:2007.

6.2.2 Παραμετρική μελέτη κόπωσης ως προς τον συντελεστή R_i

Επιλέχθηκε να μελετηθεί η επιρροή της κατηγορίας των γερανογεφυρών ως προς τον έλεγχο της κόπωσης. Για το σκοπό αυτό θα ακολουθηθεί μια παραμετρική μελέτη ως προς τον συντελεστή R_i του ιδεατού φορτίου κόπωσης.

Η τιμή του σχετικού με την κόπωση δυναμικού συντελεστή διατηρείται σταθερή και υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\varphi_{fat} = \max\left(\frac{1 + \varphi_1}{2}, \frac{1 + \varphi_2}{2}\right) = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05 \quad (6-2\alpha)$$

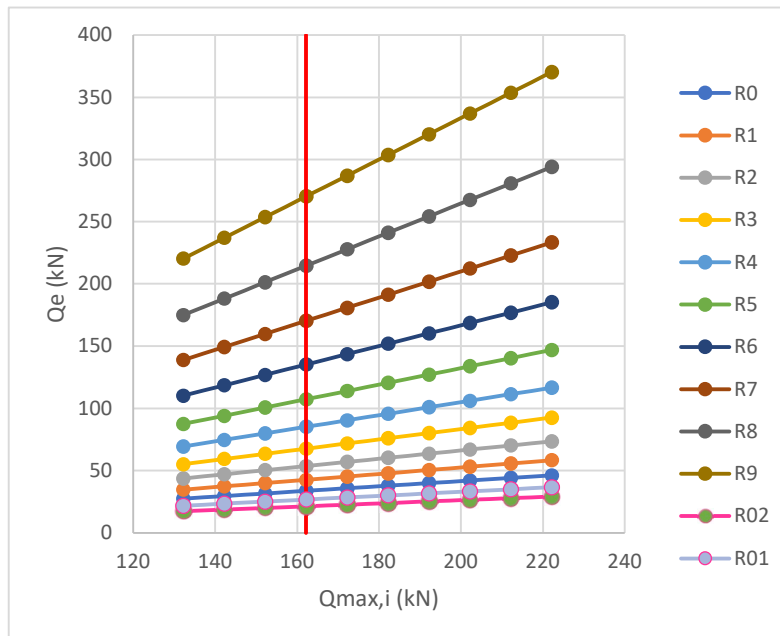
Ο συντελεστής R_i υπολογίζεται κάθε φορά σύμφωνα με τον Πίνακα 6-4 με βάση την κατηγορία στην οποία ανήκει η γερανογέφυρα.

Το φορτίο του τροχού Q_{max,i} λαμβάνεται χωρίς να θεωρηθούν δυναμικοί συντελεστές. Σύμφωνα με τον Πίνακα 3-1 είναι:

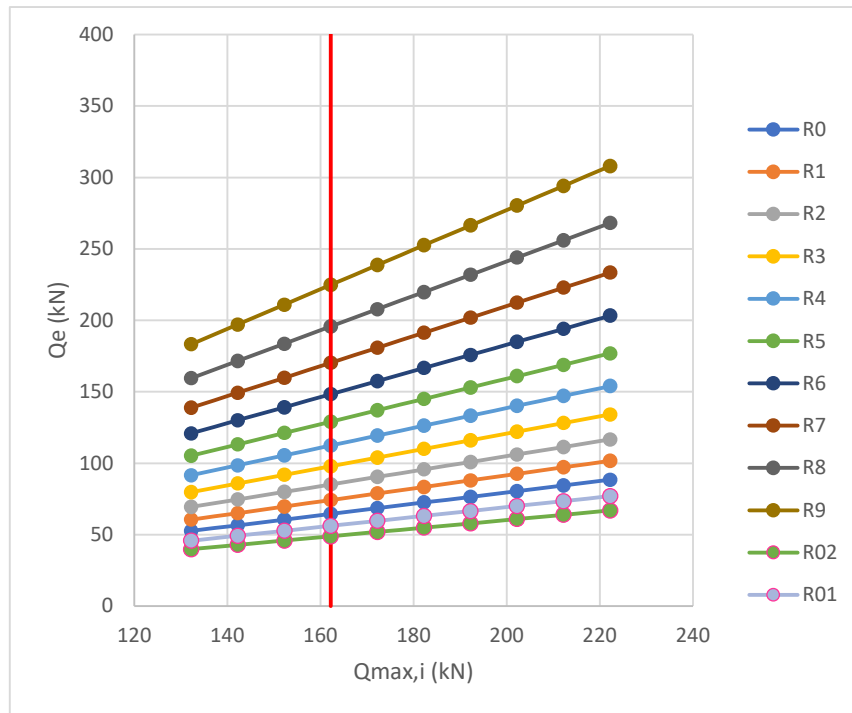
$$Q_{r,max} = 39,20 + 123 = 162,20 \text{ kN} \quad (6-2\beta)$$

Η παραμετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βήμα του φορτίου του τροχού Q_{r,max} ίσο με 10kN.

Ακολουθεί το συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων της κάθε ανάλυσης.



Διάγραμμα 6-1: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $Q_e - Q_{max,i}$ ως προς την κατηγορία της γερανογέφυρας για τις ορθές τάσεις.



Διάγραμμα 6-2: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $Q_e - Q_{max,i}$ ως προς την κατηγορία της γερανογέφυρας για τις διατμητικές τάσεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι ευμενέστερη κατηγορία είναι η R02.

6.3 Σχέση ελέγχου της επάρκειας έναντι κοπώσεως

6.3.1 Γενικά

Ο έλεγχος επάρκειας έναντι κοπώσεως από ορθές τάσεις θα γίνεται με βάση τη σχέση:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad (6-3a)$$

Η $\Delta\sigma_{E2}$ είναι η ισοδύναμη διακύμανση τάσεως, σταθερού εύρους, για $2 \cdot 10^6$ κύκλους φορτίσεων και υπολογίζεται με βάση το παραπάνω ισοδύναμο ιδεατό φορτίο. Επί της ισοδύναμης διακύμανσης τάσεως εφαρμόζεται επιμέρους συντελεστής ασφαλείας $\gamma_{Ff} = 1,00$.

Η διακύμανση τάσεως $\Delta\sigma_c$ είναι η αντοχή έναντι κοπώσεως για $2 \cdot 10^6$ κύκλους φορτίσεων που αφορά συγκεκριμένη κατηγορία λεπτομέρειας και λαμβάνεται από αντίστοιχους πίνακες κόπωσης. Επί της αντοχής αυτής εφαρμόζεται συντελεστής ασφαλείας γ_{Mf} που λαμβάνεται από τον Πίνακα 6-5.

Προκειμένου για τον έλεγχο επάρκειας έναντι κοπώσεως από διατμητικές τάσεις χρησιμοποιείται αντίστοιχη προς την προηγούμενη σχέση:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2} \leq \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}} \quad (6-3\beta)$$

Στην περίπτωση συνδυασμένου εύρους τάσεων $\Delta\sigma_{E2}$ και $\Delta\tau_{E2}$ θα πρέπει να γίνεται ο ακόλουθος έλεγχος:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c/\gamma_{Mf}}\right)^3 \leq 1,00 \quad (6-3\gamma)$$

Πίνακας 6-5: Συνιστώμενοι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για αντοχή σε κόπωση.

Μέθοδος εκτίμησης	Επιπτώσεις αστοχίας	
	Χαμηλές	Υψηλές
Ανοχής βλαβών	1,00	1,15
Ασφαλούς ζωής	1,15	1,35

6.3.2 Κατηγορίες λεπτομερειών γερανοδοκών

Η αντοχή σε κόπωση είναι ένα τοπικό φαινόμενο, εξαρτώμενο από τη διαμόρφωση μιας κατασκευαστικής λεπτομέρειας. Ανάλογα με την υπάρχουσα διαμόρφωση και το είδος του εύρους τάσεων ($\Delta\sigma_x$ ή $\Delta\sigma_z$ ή $\Delta\tau$) η αντίστοιχη λεπτομέρεια κατατάσσεται σε κατηγορία κόπωσης.

Υπενθυμίζεται ότι κατά τον προσδιορισμό της διακυμάνσεως των τάσεων λαμβάνονται υπόψη οι τάσεις οι οφειλόμενες, τόσο στη συνολική συμπεριφορά της δοκού κυλίσεως, όσο και σε τοπικά φαινόμενα. Αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή συναρμογής κορμού πέλματος πρέπει να ληφθεί υπόψη και το οφειλόμενο σε τοπικά φαινόμενα εύρος τάσεων $\Delta\sigma_z$. Για το λόγο αυτό ο prEN 1993-1-9:2023, ανάλογα με την υπάρχουσα διαμόρφωση, διακρίνει διάφορες κατασκευαστικές λεπτομέρειες για εύρος τάσεων $\Delta\sigma_z$ (Πίνακας 6-6).

Πίνακας 6-6: Κατηγορίες λεπτομέρειας για την ένωση άνω πέλματος-κορμού για εύρος τάσεων $\Delta\sigma_z$.

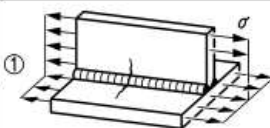

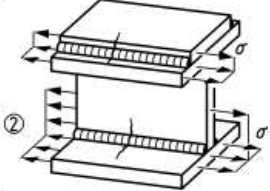

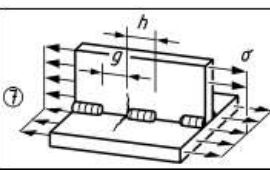

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
160		none	① Flange-to-web connection subject to wheel loads in ribbed sections	$\Delta\sigma$ should be calculated using vertical compressive stress in the web due to wheel loads according to 7.6.2 of EN 1993-6.
100			② Welded flange-to-web connection subject to wheel loads, with continuous full penetration butt welds NOTE Effective full penetration butt joints according to EN 1993-1-8 are considered as partial penetration butt joints for fatigue.	
50			③ Welded flange-to-web connection subject to wheel loads, with continuous partial penetration butt welds and weld sizes $a \leq 0,7 t$	$\Delta\sigma$ should be calculated using vertical compressive stress in welds due to wheel loads according to 7.6.2 of EN 1993-6. For great welds with $a > 0,7 t$, $\Delta\sigma$ should be calculated using stress in the web. NOTE For greater welds, weld toe failure can additionally occur.
50			④ Welded flange-to-web connection subject to wheel loads, with continuous double fillet weld, and weld sizes $a \leq 0,7 t$	

Σημειώνεται ότι η σύνδεση κορμού – πέλματος με αμφίπλευρες εξωραφές κατατάσσεται ως λεπτομέρεια σε **κατηγορία κόπωσης 50** ενώ συνεχείς αμφίπλευρες εσωραφές πλήρους διείσδυσης σε **κατηγορία 100**. Υπενθυμίζεται ότι λεπτομέρεια κατηγορίας κόπωσης π.χ. 100 θεωρείται ότι αντέχει διακύμανση τάσεως 100MPa επαναλαμβανόμενη $2 \cdot 10^6$ φορές. Προκύπτει επομένως ότι ενώ από κατασκευαστικής πλευράς είναι δυσχερέστερο, από πλευράς κόπωσης οι εσωραφές πλεονεκτούν. Το αίτιο της διαφοράς αυτής έγκειται στο ότι στην περίπτωση των εξωραφών τα δύο συνδεόμενα ελάσματα δεν εφάπτονται πλήρως λόγω ατελειών. Έτσι το υφιστάμενο κενό μειώνεται όταν από τις θέσεις αυτές διέλθει ο τροχός και επανέρχεται στην αρχική του διάσταση μετά. Η μεταβολή αυτή όμως επιβαρύνει τη συμπεριφορά σε κόπωση.




Αδιαμφισβήτητα πάντως από πλευράς κόπωσης η καλύτερη διαμόρφωση σύνδεσης άνω πέλματος – κορμού είναι αυτή της ελατής διατομής με κατηγορία λεπτομέρειας 160.

Για τα υπόλοιπα εύρη τάσεων ($\Delta\sigma_x$ ή $\Delta\tau$) οι συνηθέστερες κατηγορίες λεπτομερειών δίδονται στους Πίνακες 1-6 έως 1-7, σύμφωνα με τον prEN 1993-1-9:2023. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στον κανονισμό.

Πίνακας 6-7: Κατηγορίες λεπτομέρειας για συγκολλητές διατομές για εύρος τάσεων $\Delta\sigma_x$.

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
125			① Automatic or fully mechanised butt welds, welded from both sides, without stop-starts	None.
112			as aforementioned, but with stop-starts	
125			② Automatic or fully mechanised fillet welds, without stop-starts	For cover plates two parallel single fillet welds are necessary. Cover plate ends should be checked using ⑥, ⑦ or ⑧ of Tab. 10.6.
112			as aforementioned, but with stop-starts	
80			⑦ Chain or staggered intermittent fillet welds with $g/h \leq 2,5$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the parent metal assuming the weld were continuous.

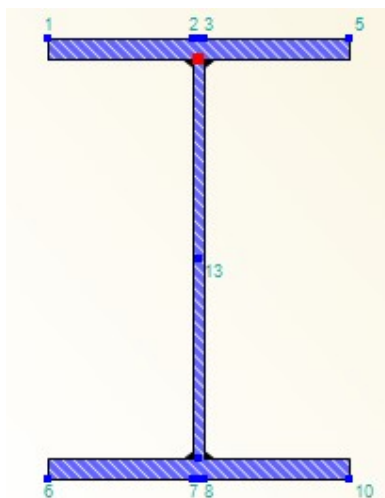
Πίνακας 6-8: Κατηγορίες λεπτομέρειας για συγκολλητές διατομές για εύρος τάσεων $\Delta\tau$.

80 $m_1 = 5$			<p>9 Joints transmitting shear stress, with continuous fillet welds and partial penetration butt welds</p>	<p>For shear loads in flange-to-web connections in sections of any class, Eq. (8.25) of EN 1993-1-1 should be used to calculate $\Delta\tau$. Stress concentrations due to macro-geometric effects should be accounted for.</p>	<p>$\Delta\tau$ should be calculated using shear stress in the weld.</p>
100 $m_1 = 5$			<p>as aforementioned, but with full penetration butt welds</p> <p>NOTE Effective full penetration butt welds according to EN 1993-1-8 are considered as partial penetration butt welds for fatigue.</p>	<p>as aforementioned, but with full penetration butt welds</p>	<p>$\Delta\tau$ should be calculated using shear stress in the parent metal.</p>

6.3.3 Παραμετρική μελέτη ως προς τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της διατομής

Εκτός από την κατασκευαστική λεπτομέρεια η οποία δίνει την αντοχή σε κόπωση και τον συντελεστή R_i ο οποίος επιδρά στο ιδεατό φορτίο κόπωσης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής είναι οι υπόλοιποι παράμετροι που επιδρούν στον έλεγχο της κόπωσης.

Με δεδομένο ότι το ευαίσθητο σημείο της δοκού κυλίσεως έναντι κόπωσης είναι η περιοχή συναρμογής κορμού – πέλματος ιδιαίτερα όταν η σύνδεση αυτή είναι συγκολλητή (κατασκευασμένη δοκός), επιλέχθηκε να βρεθούν οι κρίσιμότεροι παράμετροι της διατομής που επιδρούν στον έλεγχο της κόπωσης εκείνου του σημείου της διατομής (Σχήμα 6-1).



Σχήμα 6-1: Δυσμενέστερο από πλευράς κόπωσης σημείο της διατομής της γερανοδοκού.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε μια συγκολλητή διατομή με τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα, όπου a είναι το πάχος της εξωραφής.

Διαστάσεις συγκολλητής διατομής (mm)	
t_w	12
h_w	400
t_f	20
b_f	300
a	6

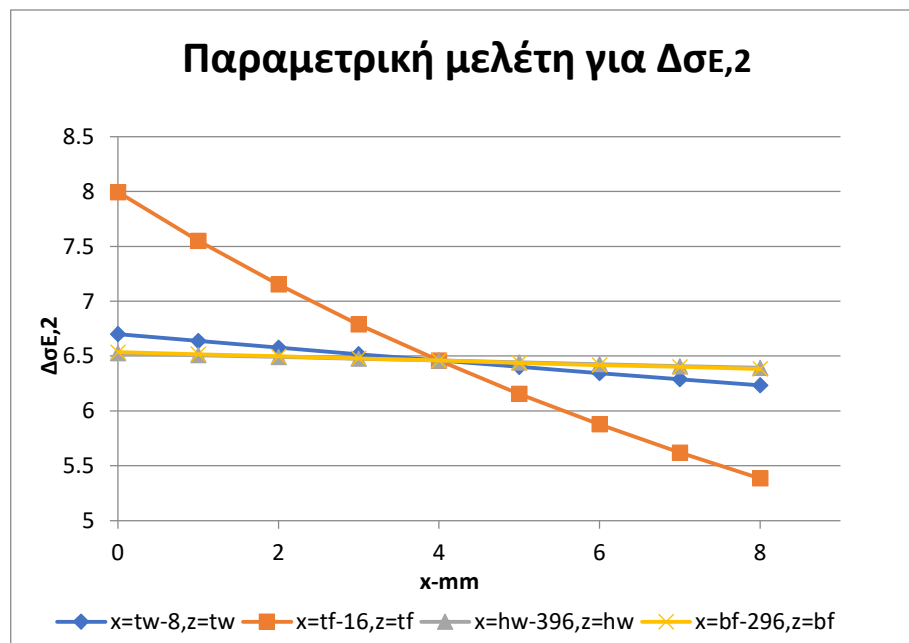
Να σημειωθεί ότι η σιδηροτροχιά θεωρείται πως συνδέεται μη δύσκαμπτα με το άνω πέλμα της γερανοδοκού με συνέπεια να μην λαμβάνεται υπόψη στα γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά της διατομής.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν 4 διαφορετικές παραμετρικές αναλύσεις.

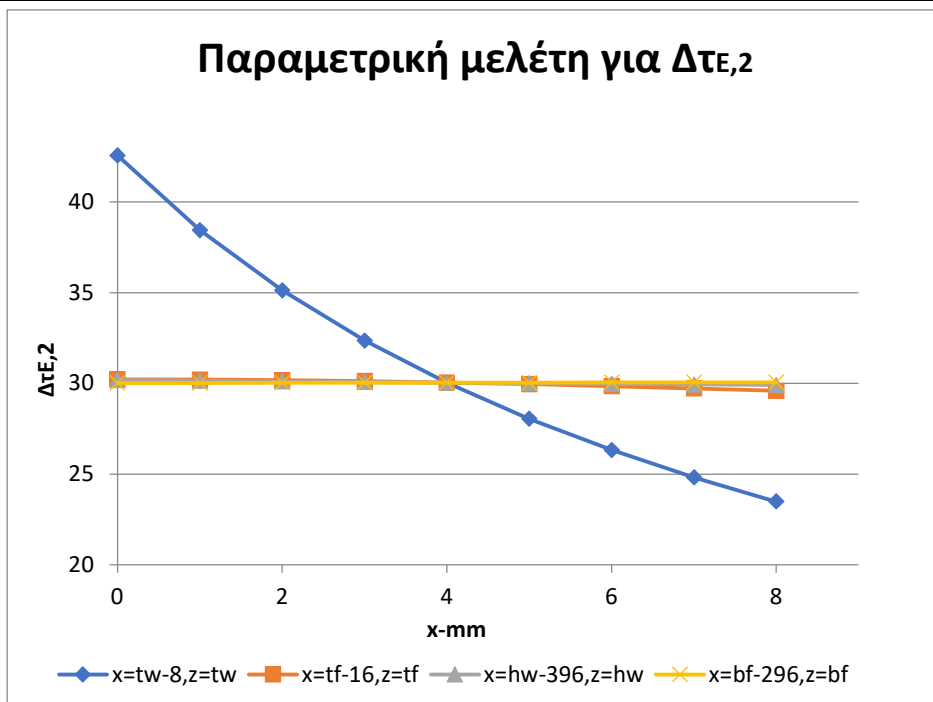
1. Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του κορμού t_w .
2. Παραμετρική μελέτη ως προς το ύψος του κορμού h_w .
3. Παραμετρική μελέτη ως προς το πάχος του πέλματος t_f .
4. Παραμετρική μελέτη ως προς το πλάτος του πέλματος b_f .

Η κάθε ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βήμα 1.0mm.

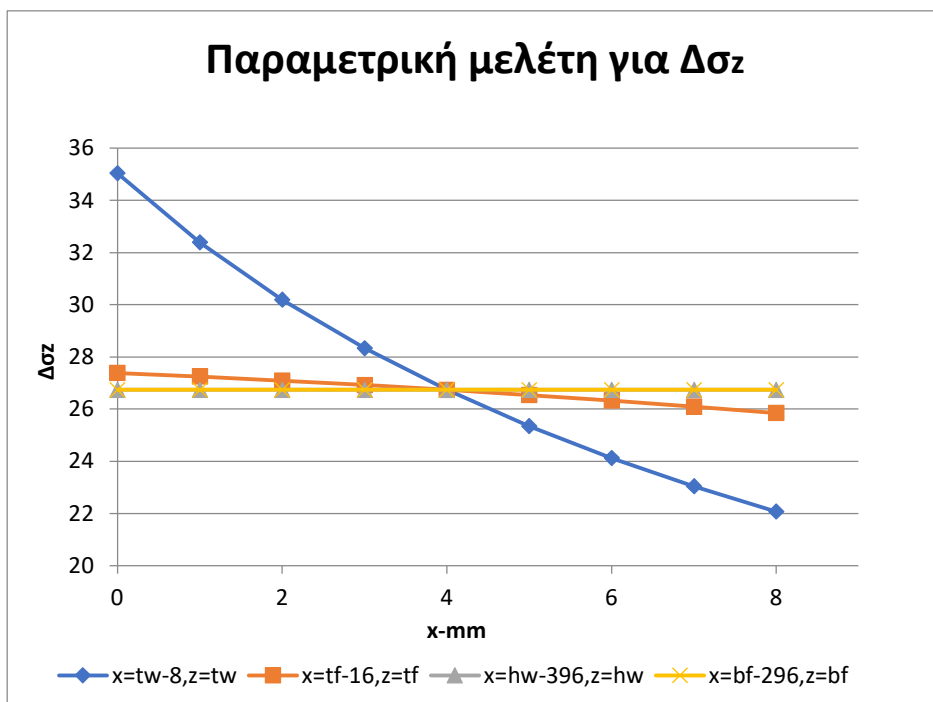
Ακολουθεί το συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων της κάθε ανάλυσης.



Διάγραμμα 6-3: Συγκεντρωτικό διάγραμμα Δσε,2 ως προς τις παραμέτρους t_w , t_f , h_w , b_f της διατομής της γερανοδοκού.



Διάγραμμα 6-4: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $\Delta t_{E,2}$ ως προς τις παραμέτρους t_w , t_f , h_w , b_f της διατομής της γερανοδοκού.



Διάγραμμα 6-5: Συγκεντρωτικό διάγραμμα $\Delta \sigma_z$ ως προς τις παραμέτρους t_w , t_f , h_w , b_f της διατομής της γερανοδοκού.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει το συμπέρασμα ότι για τον έλεγχο της κόπωσης στο δυσμενέστερο σημείο της διατομής (άνω σημείο κορμού) το πάχος του κορμού έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στον υπολογισμό του εύρους τάσεων $\Delta\tau_{E,2}$ και $\Delta\sigma_z$.

Αντίθετα το πάχος του πέλματος επιδρά σε μεγαλύτερο βαθμό στον υπολογισμό του εύρους τάσεων $\Delta\sigma_{E,2}$.

7 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

7.1 Εισαγωγή

Μετά την παρουσίαση των απαιτούμενων ελέγχων της γερανοδοκού και των παραμέτρων που επηρεάζουν τον κάθε έλεγχο ξεχωριστά, επόμενος στόχος είναι η μελέτη της συμπεριφοράς μιας αμφιέριστης γερανοδοκού υπό κατακόρυφα και οριζόντια φορτία.

Επιλέχθηκε να μελετηθεί η περίπτωση μιας αμφιέριστης γερανοδοκού η οποία στηρίζει τη γερανογέφυρα με τα χαρακτηριστικά και φορτία (κατακόρυφα και οριζόντια) που φαίνονται στον Πίνακα 7-1 και 7-2 αντίστοιχα.

Πίνακας 7-1: Χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας.

<i>Χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας</i>	
<i>ανυψωτική ικανότητα (kg)</i>	<i>25 000</i>
<i>μήκος ανοίγματος (m)</i>	<i>18,400</i>
<i>κεντρική απόσταση τροχών (mm)</i>	<i>4 000</i>
<i>διατομή σιδηροτροχιάς (ορθογωνική) (mm)</i>	<i>80x60</i>
<i>τρόπος σύνδεσης σιδηροτροχιάς με δοκό</i>	<i>μη δύσκαμπτα συνδεδεμένη με τη δοκό, άρα δεν αποτελεί μέρος της διατομής</i>
<i>αριθμός τροχών σε κάθε τροχιά της</i>	<i>2</i>

Πίνακας 7-2: Μέγιστες και ελάχιστες αντιδράσεις της γερανογέφυρας επί των τροχών της.

Vertical wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)

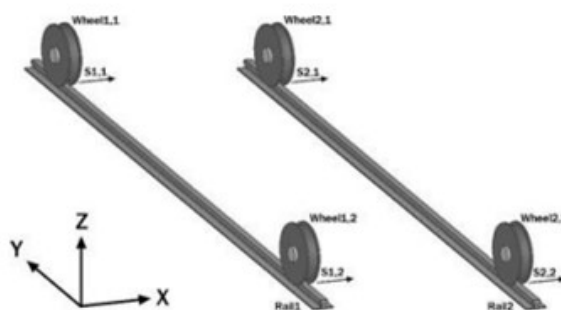
Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Self weight of the crane (tp1), $F_{v,j}$	-31.9 kN	-39.2 kN	-23.8 kN	-31.8 kN
Self weight of the crane (tp2), $F_{v,j}$	-23.9 kN	-31.9 kN	-31.8 kN	-39.1 kN
Weight of the hoist load (tp1), $F_{v,j}$	-111 kN	-123 kN	-6.41 kN	-6.73 kN
Weight of the hoist load (tp2), $F_{v,j}$	-6.30 kN	-6.64 kN	-111 kN	-124 kN
Dynamic test load (tp1), $F_{v,j}$	-122 kN	-136 kN	-7.04 kN	-7.40 kN
Dynamic test load (tp2), $F_{v,j}$	-6.93 kN	-7.30 kN	-122 kN	-136 kN

(tp1 = Trolley position closest to Rail 1, tp2 = Trolley position closest to Rail 2)

Horizontal wheel loads (given wheel loads are without dynamic factors and partial safety factors)

Load action / Component	Wheel1.1	Wheel1.2	Wheel2.1	Wheel2.2
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{h,j}$	-5.13 kN	5.13 kN	-1.16 kN	1.16 kN
Acceleration of the crane bridge (tp1), $F_{h,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{h,j}$	1.16 kN	-1.16 kN	5.13 kN	-5.13 kN
Acceleration of the crane bridge (tp2), $F_{h,j}$	Total longitudinal force on Rail 1 = -2.16 kN		Total longitudinal force on Rail 2 = -2.16 kN	
Skewing of the crane (tp1), (Rail 1 guiding), $F_{s,j}$, $S_{j,z}$ =30.4 kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 1 guiding), $F_{s,j}$, $S_{j,z}$ =30.4 kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Skewing of the crane (tp1), (Rail 2 guiding), $F_{s,j}$, $S_{j,z}$ =30.4 kN	0 kN	-24.6 kN	0 kN	-5.82 kN
Skewing of the crane (tp2), (Rail 2 guiding), $F_{s,j}$, $S_{j,z}$ =30.4 kN	0 kN	-5.82 kN	0 kN	-24.5 kN
Acceleration of trolley(s), $F_{t,j}$	-0.772 kN	-0.891 kN	-0.802 kN	-0.861 kN
In-service wind (tp1), $F_{w,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
In-service wind (tp2), $F_{w,j}$	Total longitudinal wind force on Rail 1 = 0 kN		Total longitudinal wind force on Rail 2 = 0 kN	
Storm wind, $F_{w,j}$	Longitudinal force on storm lock 1 = 0 kN		Longitudinal force on storm lock 2 = 0 kN	
Crane collision to buffers (tp1), $F_{b,j}$	Buffer force on Rail 1 = 43.5 kN		Buffer force on Rail 2 = 34.0 kN	
Crane collision to buffers (tp2), $F_{b,j}$	Buffer force on Rail 1 = 34.2 kN		Buffer force on Rail 2 = 43.3 kN	

($F_{v,j}$ = Transverse force of Wheel j on Rail i, $F_{h,j}$ = Longitudinal force on Rail i, $F_{t,j}$ = Vertical force of Wheel j on Rail i, $S_{j,z}$ = Guiding force on Rail 1, $S_{j,y}$ = Guiding force on Rail 2)



Εικόνα 7-1: Διάταξη τροχών της γερανογέφυρας.

7.2 Διερεύνηση υπό κατακόρυφα φορτία

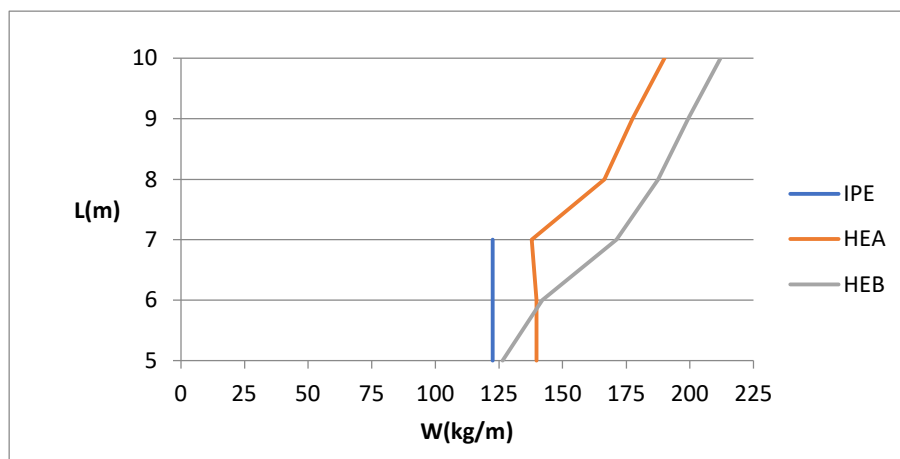
Με σκοπό να διερευνηθεί η επιρροή των οριζόντιων φορτίων της γερανογέφυρας στη διαστασιολόγηση της γερανοδοκού, μελετήθηκε πρώτα η περίπτωση όπου στη γερανοδοκό ασκούνται μέσω των τροχών μόνο τα κατακόρυφα φορτία της γερανογέφυρας.

7.2.1 Ελατή διατομή

Αρχικός σκοπός ήταν να βρεθεί η βέλτιστη ελατή διατομή για κάθε πιθανό αμφίεριστο μήκος της γερανοδοκού, η οποία δέχεται μόνο κατακόρυφα φορτία σύμφωνα με τον Πίνακα 7-2.

Ως βέλτιστη ελατή διατομή θεωρήθηκε κάθε φορά αυτή που επαρκεί όλους τους ελέγχους με το μικρότερο δυνατό ίδιο βάρος.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται παρακάτω:



Διάγραμμα 7-1: Συγκεντρωτικό διάγραμμα L-W.

Πίνακας 7-3: Λόγοι ανεπάρκειας βέλτιστων ελατών διατομών (IPE) υπό κατακόρυφα φορτία.

		IPE									
Έλεγχος Διατομής	Μήκος Διατομής	Οριακή Κατάσταση Αστοχίας				Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας		Τοπική Ένταση			Έλεγχος Αστάθειας
		σ_x	σ_z	τ	σ_{eq}	H.D	V.D	$\sigma_{oz,ED}$	$\tau_{oxz,ED}$	$\sigma_{T,ED}$	C.L.F
	L = 5m	0.499	0.492	0.338	0.499	0.084	0.312	0.492	0.425	0.901	5.916
IPE 600											
	L = 6m	0.638	0.492	0.372	0.638	0.170	0.440	0.492	0.464	0.899	3.536
IPE 600											
	L = 7m	0.820	0.492	0.397	0.820	0.310	0.640	0.492	0.492	0.898	2.308
IPE 600											
	L = 8m										
	L = 9m										
	L = 10m										

Πίνακας 7-4: Λόγοι ανεπάρκειας βέλτιστων ελατών διατομών (HEA) υπό κατακόρυφα φορτία.

		HEA									
Έλεγχος Διατομής	Μήκος Διατομής	Οριακή Κατάσταση Αστοχίας				Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας		Τοπική Ένταση			Έλεγχος Αστάθειας
		σ_x	σ_z	τ	σ_{eq}	H.D	V.D	$\sigma_{oz,ED}$	$\tau_{oxz,ED}$	$\sigma_{T,ED}$	C.L.F
	L = 5m	0.487	0.487	0.467	0.559	0.036	0.456	0.487	0.339	0.803	11.781
HEA 450											
	L = 6m	0.597	0.487	0.515	0.597	0.060	0.630	0.487	0.365	0.802	7.050
HEA 450											
	L = 7m	0.716	0.487	0.549	0.716	0.100	0.930	0.487	0.383	0.801	4.604
HEA 450											
	L = 8m	0.635	0.448	0.435	0.635	0.120	0.795	0.448	0.356	0.566	4.116
HEA 550											
	L = 9m	0.689	0.432	0.398	0.689	0.180	0.866	0.432	0.352	0.498	3.066
HEA 600											
	L = 10m	0.779	0.417	0.366	0.779	0.310	0.910	0.417	0.347	0.442	2.375
HEA 650											

Πίνακας 7-5: Λόγοι ανεπάρκειας βέλτιστων ελατών διατομών (HEB) υπό κατακόρυφα φορτία.

		HEB									
Έλεγχος Διατομής	Μήκος Διατομής	Οριακή Κατάσταση Αστοχίας				Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας		Τοπική Ένταση			Έλεγχος Αστάθειας
		σ_x	σ_z	τ	σ_{eq}	H.D	V.D	$\sigma_{oz,ED}$	$\tau_{oxz,ED}$	$\sigma_{T,ED}$	C.L.F
	L = 5m	0.726	0.488	0.645	0.726	0.048	0.900	0.488	0.343	0.992	8.592
HEB 320											
	L = 6m	0.714	0.453	0.583	0.714	0.070	0.910	0.453	0.340	0.779	6.370
HEB 360											
	L = 7m	0.576	0.405	0.447	0.576	0.068	0.746	0.405	0.257	0.527	6.031
HEB 450											
	L = 8m	0.605	0.388	0.409	0.605	0.097	0.825	0.388	0.307	0.439	4.652
HEB 500											
	L = 9m	0.648	0.375	0.374	0.648	0.146	0.900	0.375	0.305	0.389	3.507
HEB 550											
	L = 10m	0.688	0.362	0.343	0.689	0.198	0.930	0.362	0.302	0.347	2.723
HEB 600											

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι όταν χρησιμοποιείται διατομή ΙΡΕ κρισιμότερος έλεγχος υπό κατακόρυφα φορτία είναι αυτός της τοπικής έντασης λόγω των φορτίων των τροχών. Συγκεκριμένα πρόκειται για τον έλεγχο των τοπικών καμπτικών τάσεων στην κορυφή του κορμού, ο οποίος περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.

Από την άλλη μεριά όσο πιο πλατύπελμη γίνεται η διατομή και σε συνδυασμό με μεγαλύτερα μήκη ανοίγματος, ο έλεγχος των κατακόρυφων παραμορφώσεων καθορίζει την επιλογή διατομής της γερανοδοκού υπό κατακόρυφα φορτία.

Στον παρακάτω πίνακα καταγράφεται για κάθε μήκος η επιλογή της βέλτιστης ελατής διατομής.

Πίνακας 7-6: Βέλτιστη ελατή διατομή για κάθε μήκος αμφιέριστης γερανοδοκού.

L(m)	ΙΡΕ			HEA			HEB		
	W(kg/m)	Iy(cm ⁴)	Iz(cm ⁴)	W(kg/m)	Iy(cm ⁴)	Iz(cm ⁴)	W(kg/m)	Iy(cm ⁴)	Iz(cm ⁴)
5	122	92 080	3 390	139.7	63 720	9 470	126.4	30 820	9 240
6	122	92 080	3 390	139.7	63 720	9 470	142.1	43 190	10 140
7	122	92 080	3 390	139.7	63 720	9 470	171.1	79 890	11 720
8	—	—	—	166.4	111 900	10 820	187.6	107 200	12 620
9	—	—	—	177.4	141 200	11 270	199.4	136 700	13 080
10	—	—	—	190	175 200	11 720	212	171 000	13 530
	μικρότερο βάρος								
	μέγιστο Iy								
	μέγιστο Iz								

Από τον Πίνακα 7-6 συμπεραίνουμε ότι για κάθε πιθανό μήκος της γερανοδοκού, η βέλτιστη ελατή διατομή προκύπτει αυτή με τη μεγαλύτερη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα της διατομής (Iy).

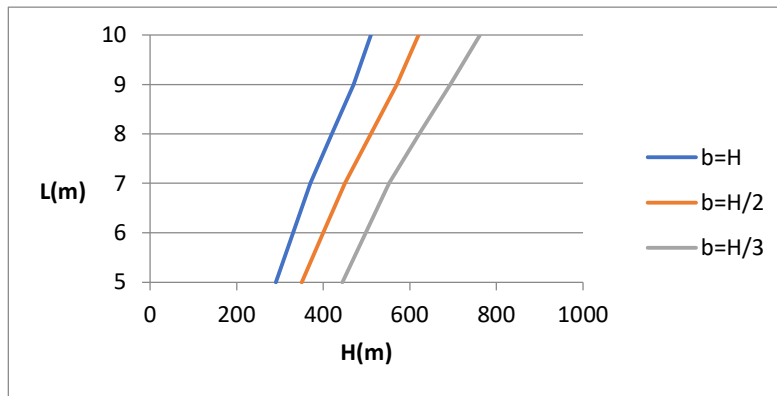
7.2.2 Συγκολλητή διατομή

Με αφορμή το γεγονός ότι για κάθε πιθανό μήκος γερανοδοκού, η βέλτιστη ελατή διατομή υπό κατακόρυφα φορτία προκύπτει αυτή με τη μεγαλύτερη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα της διατομής (Iy), επιλέχθηκε στη συνέχεια να εκτιμηθεί για κάθε πιθανό μήκος της γερανοδοκού ο βέλτιστος λόγος πλάτους προς ύψος της διατομής (b/H).

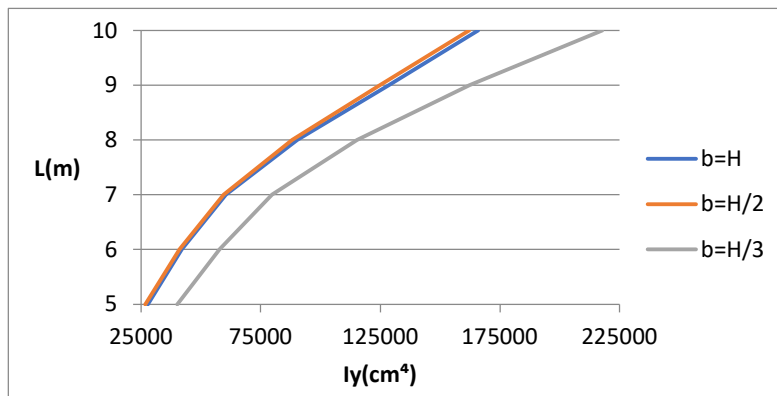
Για το σκοπό αυτό θα ακολουθήσει μια παραμετρική μελέτη ως προς τον λόγο πλάτους προς ύψος της διατομής.

Συγκεκριμένα επιλέχθηκε μια συγκολλητή διατομή με πάχος κορμού ίσο με 13mm και πάχος πελμάτων 26mm. Τα συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανοδοκού διατηρούνται σταθερά αλλάζοντας κάθε φορά τον λόγο πλάτους προς ύψος της διατομής. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε πρώτο στάδιο δεν συμπεριλαμβάνεται ο έλεγχος της κόπωσης της διατομής.

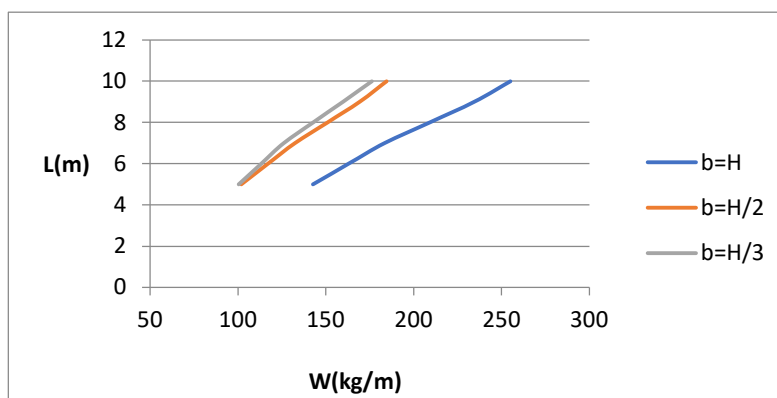
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 7-2: Συγκεντρωτικό διάγραμμα L-H.



Διάγραμμα 7-3: Συγκεντρωτικό διάγραμμα L- I_y .



Διάγραμμα 7-4: Συγκεντρωτικό διάγραμμα L- W .

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 7-2,3,4 προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Για κάθε μήκος γερανοδοκού η βέλτιστη διατομή προκύπτει με διαφορά αυτή με $b=H/3$.

2. Είναι προτιμότερο η γερανοδοδός να αποτελείται από μια υψίκορμη διατομή. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε τη βέλτιστη και οικονομικότερη διατομή με τη μεγαλύτερη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα της διατομής (I_y).

Επόμενος στόχος είναι, με δεδομένο ότι $b=H/3$, να μελετηθεί η επιρροή του πάχους του κορμού της γερανοδοκού.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε να μελετηθεί η περίπτωση όπου το μήκος του ανοίγματος της γερανοδοκού είναι ίσο με 8m ($L=8m$). Ως βέλτιστη ελατή διατομή θεωρήθηκε κάθε φορά αυτή που επαρκεί όλους τους ελέγχους με το μικρότερο δυνατό ίδιο βάρος.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραμετρικές αναλύσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7-5: Βέλτιστο πάχος κορμού συγκολλητής διατομής (εξαιρουμένου του ελέγχου της κόπωσης).

ts(mm)	tg(mm)	H(mm)	$I_y(\text{cm}^4)$	W(kg/m)
6	26	-	-	-
7	26	633	112600	118.1
8	26	630	112500	122
9	26	630	114100	126.6
10	26	627	114000	130.5
11	26	627	115 600	135
12	26	624	115 500	138,8
13	26	621	115 300	142,6
14	26	618	115 100	146,3
15	26	615	114 800	150
βέλτιστη διατομή				

όπου:

ts είναι το πάχος του κορμού

tg =26mm είναι το πάχος των πελμάτων της γερανοδοκού (θεωρήθηκε σταθερό).

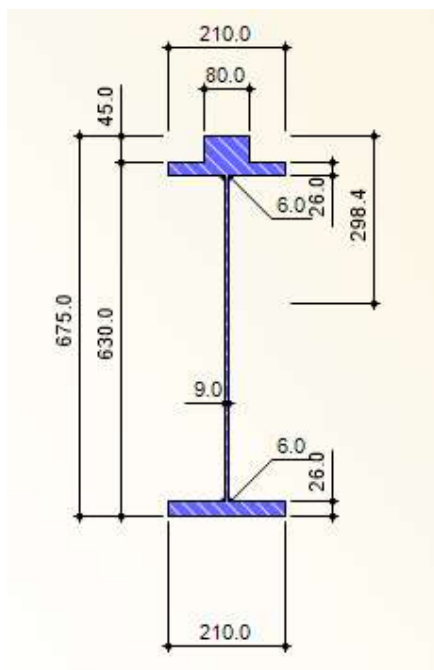
$b=H/3$ είναι το πλάτος των πελμάτων

H είναι το ύψος της διατομής

Σχετικά με τον έλεγχο κόπωσης, εξετάστηκαν ξανά οι διατομές του Πίνακα 7-5. Διαπιστώθηκε ότι οι διατομές με μικρό πάχος κορμού (δηλαδή $t_s \leq 9\text{mm}$) αστοχούσαν λόγω κόπωσης. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7-2 για την περίπτωση όπου το πάχος του κορμού είναι 9mm (Σχήμα 7-3) κρισιμότερες είναι οι ορθές τάσεις $\Delta\sigma_z$ στο σημείο σύνδεσης του κορμού με το άνω πέλμα.

Design $\Delta \tau_{xz}$	$\eta_{\Delta \tau_{xz}}$	0.433	≤ 1
Design $\Delta \sigma_{E2(x)}$	$\eta_{\Delta \sigma_{E2(x)}}$	0.041	≤ 1
Design $\Delta \sigma_{E2(z)_{max}}$	$\eta_{\Delta \sigma_{E2(z)_{max}}}$	1.017	> 1

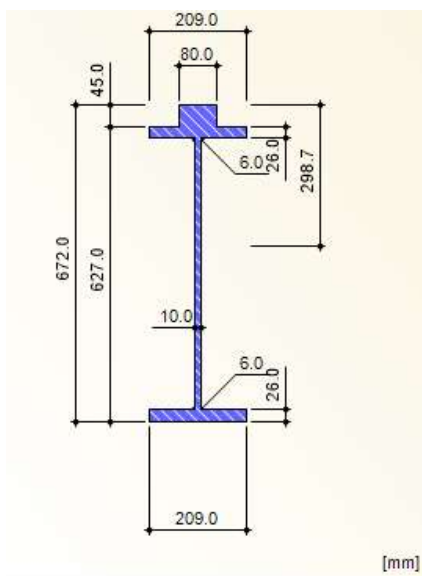
Εικόνα 7-2: Έλεγχος κόπωσης.



Εικόνα 7-3: Γεωμετρία διατομής που αστοχεί σε κόπωση.

- Η μεταβολή του πάχους του κορμού επηρεάζει περισσότερο το βάρος της γερανοδοκού και πολύ λιγότερο τη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα (I_y).
- Δεν είναι απαραίτητο μια διατομή με μεγάλο πάχος κορμού. Η βέλτιστη και οικονομικότερη διατομή μπορεί να επιτευχθεί με μικρό πάχος και το κατάλληλο ύψος κορμού. Προσοχή βέβαια γιατί η υπερβολή στη μείωση του πάχους του κορμού είναι καθοριστική για τον έλεγχο της κόπωσης.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι λαμβάνοντας υπόψη όλους τους ελέγχους, η βέλτιστη διατομή προκύπτει αυτή με πάχος κορμού ίσο με 10mm.



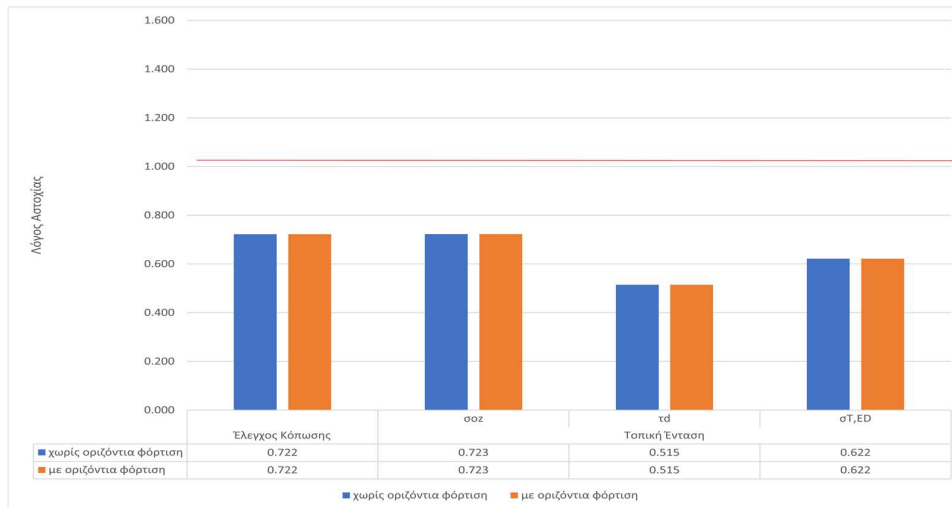
H(mm)	b=H/3(mm)	tkορμ.(mm)	tπελμ.(mm)	Iy(cm ⁴)	W(kg/m)
627	209	10	26	114000	130,5

- Συγκρίνοντας τη συγκολλητή διατομή και τις αντίστοιχες βέλτιστες ελατές διατομές που προκύπτουν για ίδιο μήκος ανοίγματος 8m, διαπιστώνεται ότι χρησιμοποιώντας συγκολλητή διατομή μπορούμε να πετύχουμε οικονομικότερη διατομή με σημαντικά μικρότερο βάρος ($130,5 < 166,4$ kg/m).
- Ακόμα πετυχαίνουμε μεγαλύτερη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα της διατομής.
- Επομένως καλύτερη η χρήση συγκολλητής από ελατής διατομής.

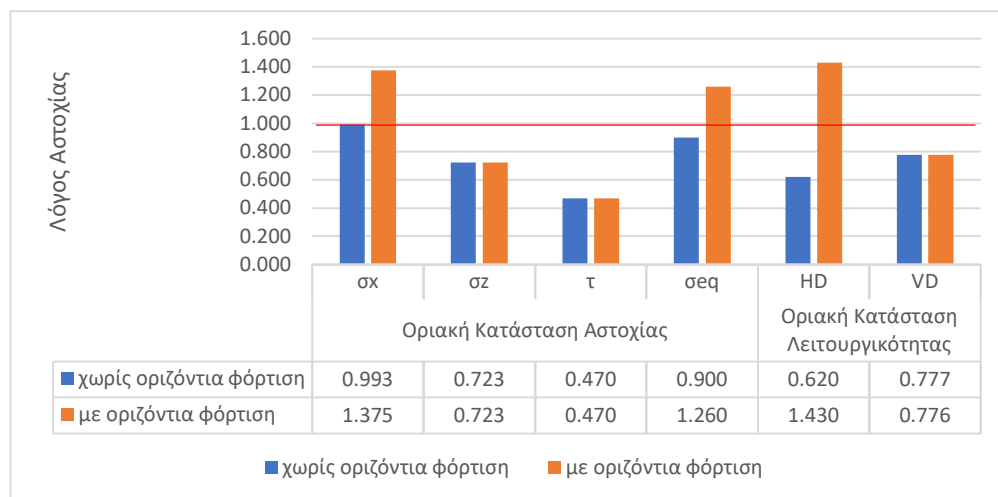
7.3 Διερεύνηση υπό κατακόρυφα και οριζόντια φορτία

Η διατομή που επιλέχθηκε παραπάνω επιλέχθηκε με βάση μόνο τα κατακόρυφα φορτία. Επόμενος στόχος είναι να διερευνηθεί αν τα οριζόντια φορτία είναι κρίσιμα και επηρεάζουν την επιλογή διατομής της γερανοδοκού.

Για το σκοπό αυτό εξετάστηκε αν η παρακάτω βέλτιστη διατομή, που σύμφωνα με την παράγραφο 7.2.2 ικανοποιεί όλους τους ελέγχους υπό κατακόρυφα φορτία, αντέχει το σύνολο των φορτίων από τη γερανογέφυρα (κατακόρυφα και οριζόντια φορτία). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στα παρακάτω συγκριτικά διαγράμματα.



Διάγραμμα 7-5: Συγκριτικό διάγραμμα ελέγχων κόπωσης και τοπικής έντασης για οριζόντια φορτία.



Διάγραμμα 7-6: Συγκρητικό διάγραμμα ελέγχων κόπωσης και τοπικής έντασης για οριζόντια φορτία.

Συμπεραίνουμε ότι οι έλεγχοι της κόπωσης και της τοπικής έντασης δεν επηρεάζονται καθόλου από τα οριζόντια φορτία της γερανογέφυρας. Επίσης δεν μεταβάλλονται οι κατακόρυφες παραμορφώσεις καθώς και οι διατμητικές τάσεις στον κορμό της γερανοδοκού.

Αντιθέτως μεταβάλλονται οι οριζόντιες παραμορφώσεις και οι ορθές τάσεις στον άνω πέλμα της γερανοδοκού.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Περίληψη

Οι δοκοί επί των οποίων κυλιούνται οι γερανογέφυρες (γερανοδοκοί) αποτελούν ιδιαίτερα σιδηρά δομικά στοιχεία. Είναι στοιχεία σύνθετης καταπόνησης όπου τα μέγιστα φορτία υπολογισμού πραγματοποιούνται στο μέγιστο και μάλιστα πολύ συχνά, με αποτέλεσμα να είναι ευαίσθητα έναντι κόπωσης. Έχουν και πολλαπλές απαιτήσεις λειτουργικότητας καθώς από τις παραμορφώσεις τους κρίνεται η σωστή λειτουργία της γερανογέφυρας. Αρχικός στόχος είναι η παρουσίαση των απαιτούμενων ελέγχων των γερανοδοκών σύμφωνα με τη νέα έκδοση του ευρωκώδικα 3-μέρος 6 (prEN 1993-6:2021) καθώς και η επισήμανση των διαφορών του με τον ισχύοντα κανονισμό. Παράλληλα άλλο ένα κίνητρο της εργασίας είναι ο σχεδιασμός γερανοδοκών με το μικρότερο δυνατό βάρος και συνεπώς και με τη μικρότερη οικονομική επιβάρυνση. Να σημειωθεί ότι οι αντιδράσεις των γερανοδοκών καθορίζουν τη διαστασιολόγηση των πλαισίων του κτιρίου (π.χ. υποστυλωμάτων) που τις στηρίζουν. Για το σκοπό αυτό αρχικά διερευνήθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας που καθορίζουν τα φορτία που μεταφέρουν στις γερανοδοκούς. Στη συνέχεια διερευνήθηκαν οι παράμετροι εκείνοι που επηρεάζουν τον κάθε έλεγχο της γερανοδοκού, έτσι ώστε αν δεν επαρκεί κάποιος έλεγχος (π.χ. κόπωσης) ο μελετητής να γνωρίζει ποιο χαρακτηριστικό της διατομής να μεταβάλλει (π.χ. πάχος κορμού). Τέλος γίνεται μια γενική διερεύνηση με σκοπό να απαντηθούν ερωτήματα όπως: ποιοί είναι οι κρίσιμότεροι έλεγχοι των γερανοδοκών, τί είδους διατομές προτιμάμε (ΙΡΕ, ΗΕΑ, ΗΕΒ, συγκολλητές), η διαστασιολόγηση των γερανοδοκών κρίνεται από τα κατακόρυφα φορτία που δέχεται από τη γερανογέφυρα ή και από τα οριζόντια;

8.2 Συμπεράσματα

Μερικά από τα συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας συνοψίζονται παρακάτω:

8.2.1 Μείωση φορτίων γερανογέφυρας

για την επίτευξη όσων το δυνατών μικρότερων κατακόρυφων φορτίων στις γερανοδοκούς θα πρέπει να επιδιώκεται το μικρότερο δυνατό μήκος ανοίγματος της γερανογέφυρας και η μεγαλύτερη δυνατή απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα της δοκού κλίσεως. Φυσικά αυτά τα χαρακτηριστικά της γερανογέφυρας εξαρτώνται από άλλους παράγοντες όπως είναι η γεωμετρία του κτιρίου που στεγάζει

τη γερανογέφυρα καθώς και άλλες λειτουργικές απαιτήσεις για τη μετακίνηση των προϊόντων στο χώρο.

- επιδιώκοντας το μικρότερο δυνατό μήκος ανοίγματος της γερανογέφυρας και τη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση του αγκίστρου από τον άξονα της δοκού κυλίσεως πετυχαίνεται η μείωση τόσο των κατακόρυφων $Q_{r,max}$ όσο και των οριζόντιων $H_{T,2}$ φορτίων που ασκούνται συγχρόνως στην δυσμενέστερη για τη διαστασιολόγηση δοκό κύλισης (το οριζόντιο φορτίο $H_{T,2}$ μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας και την απόσταση a μεταξύ των δύο τροχών επί της τροχιάς).
- κάθε ένας από τους τροχούς της κρίσιμης τροχιάς δέχεται σημαντικά μικρότερο οριζόντιο φορτίο $H_{T,2}$ σε σχέση με το κατακόρυφο $Q_{r,max}$.

8.2.2 Παραμορφώσεις γερανοδοκού

- όταν $a < 0,65L$ (a είναι η απόσταση μεταξύ των δύο τροχών της γερανογέφυρας) το μέγιστο κατακόρυφο βέλος προκύπτει για συμμετρική θέση των δύο φορτίων ως προς το μέσο της αμφιέριστης δοκού. Αντίθετα όταν $a > 0,65L$ το μέγιστο κατακόρυφο βέλος προκύπτει όταν η μία από τις δύο τροχούς ασκηθεί στο μέσο του ανοίγματος της αμφιέριστης δοκού.
- το μέγιστο οριζόντιο βέλος προκαλείται πάντα όταν η μία από τις δύο τροχούς ασκηθεί στο μέσο του ανοίγματος της αμφιέριστης δοκού.
- όσο πιο υψίκορμη είναι η διατομή κρίσιμότερες προκύπτουν οι οριζόντιες παραμορφώσεις. Μάλιστα για μεγαλύτερα μήκη της δοκού ο έλεγχος των οριζόντιων παραμορφώσεων φαίνεται να επηρεάζει την επιλογή της διατομής της γερανοδοκού.
- όσο πιο πλατύπελμη είναι η διατομή κρίσιμότερες προκύπτουν οι κατακόρυφες παραμορφώσεις. Μάλιστα για μεγαλύτερα μήκη της δοκού ο έλεγχος των κατακόρυφων παραμορφώσεων φαίνεται να επηρεάζει την επιλογή της διατομής της γερανοδοκού.

8.2.3 Τοπική ένταση γερανοδοκού

- οι ελάχιστες τοπικές ορθές τάσεις $\sigma_{\sigma z,Ed}$ στο πάνω μέρος του κορμού εξασφαλίζονται όταν η σιδηροτροχιά είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη με το άνω πέλμα της δοκού.
- ανεξάρτητα από τον τρόπο σύνδεσης της σιδηροδοκού με το άνω πέλμα μεγαλύτερη επιρροή στην τοπική ορθή τάση $\sigma_{\sigma z,Ed}$ έχει το πάχος του κορμού t_w . Συνεπώς ο βέλτιστος τρόπος για τη μείωση των τοπικών ορθών τάσεων $\sigma_{\sigma z,Ed}$ είναι η αύξηση του πάχους του κορμού.
- οι ελάχιστες τοπικές καμπτικές τάσεις $\sigma_{T,Ed}$ εξασφαλίζονται όταν η σιδηροτροχιά είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη με το άνω πέλμα της δοκού.
- για όλους τους πιθανούς τρόπους σύνδεσης σιδηροδοκού με άνω πέλμα μεγαλύτερη επιρροή στην τοπική καμπτική τάση $\sigma_{T,Ed}$ έχει το πάχος του κορμού t_w και τα μεγέθη που επηρεάζουν περισσότερο τη σταθερά στρέψης I_T του πέλματος. Έτσι στην περίπτωση όπου η σιδηροτροχιά είναι δύσκαμπτα συνδεδεμένη στο πέλμα μεγαλύτερη επιρροή έχουν το πλάτος του πέλματος t_f και το ύψος της σιδηροτροχιάς h_r , ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις, όπου η σιδηροτροχιά δεν θεωρείται μέρος της διατομής της γερανοδοκού, μόνο το πλάτος του πέλματος t_f .

8.2.4 Έλεγχος κόπωσης γερανοδοκού

- ανάλογα με τον βαθμό έκθεσης σε κόπωση ο prEN 1993-6:2021 κατατάσσει τις γερανογέφυρες σε δώδεκα κατηγορίες (R_{02} , R_{01} , R_0 , R_1, \dots , R_9). Ευμενέστερη κατηγορία ως προς τον έλεγχο της κόπωσης αποτελεί η κατηγορία R_{02} .

ενώ από κατασκευαστικής πλευράς είναι δυσχερέστερο, από πλευράς κόπωσης οι εσωραφές πλεονεκτούν από τις εξωραφές. Το αίτιο της διαφοράς αυτής έγκειται στο ότι στην περίπτωση των εξωραφών τα δύο συνδεδεμένα ελάσματα δεν εφάπτονται πλήρως λόγω ατελειών. Έτσι το υφιστάμενο κενό μειώνεται όταν από τις θέσεις αυτές διέλθει ο τροχός και επανέρχεται στην αρχική του διάσταση μετά. Η μεταβολή αυτή όμως επιβαρύνει τη συμπεριφορά σε κόπωση.

- αδιαμφισβήτητα πάντως από πλευράς κόπωσης η καλύτερη διαμόρφωση σύνδεσης άνω πέλματος – κορμού είναι αυτή της ελατής διατομής με κατηγορία λεπτομέρειας 160.
- για τον έλεγχο της κόπωσης στο δυσμενέστερο σημείο της διατομής (άνω σημείο κορμού) το πάχος του κορμού έχει τη μεγαλύτερη επιρροή στον υπολογισμό του εύρους τάσεων $\Delta\tau_{ε,2}$ και $\Delta\sigma_z$. Αντίθετα το πάχος του πέλματος επιδρά σε μεγαλύτερο βαθμό στον υπολογισμό του εύρους τάσεων $\Delta\sigma_{ε,2}$.

8.2.5 Διερεύνηση

Υπό κατακόρυφα φορτία:

- όταν χρησιμοποιείται διατομή IPE κρίσιμότερος έλεγχος υπό κατακόρυφα φορτία είναι αυτός της τοπικής έντασης λόγω των φορτίων των τροχών. Συγκεκριμένα πρόκειται για τον έλεγχο των τοπικών καμπτικών τάσεων στην κορυφή του κορμού.
- όσο πιο πλατύπελμη γίνεται η διατομή και σε συνδυασμό με μεγαλύτερα μήκη ανοίγματος, ο έλεγχος των κατακόρυφων παραμορφώσεων καθορίζει την επιλογή διατομής της γερανοδοκού υπό κατακόρυφα φορτία.
- για κάθε πιθανό μήκος της γερανοδοκού, η βέλτιστη ελατή διατομή προκύπτει αυτή με τη μεγαλύτερη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα της διατομής (I_y).
- Ειδικότερα για κάθε μήκος γερανοδοκού η βέλτιστη διατομή προκύπτει με διαφορά αυτή με $b=H/3$.
- ο έλεγχος της κόπωσης είναι κρίσιμος στις συγκολλητές διατομές.
- η μεταβολή του πάχους του κορμού επηρεάζει περισσότερο το βάρος της γερανοδοκού και πολύ λιγότερο τη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα (I_y).
- δεν είναι απαραίτητο μια διατομή με μεγάλο πάχος κορμού. Η βέλτιστη και οικονομικότερη διατομή μπορεί να επιτευχθεί με μικρό πάχος και το κατάλληλο ύψος κορμού. Προσοχή βέβαια γιατί η υπερβολή στη μείωση του πάχους του κορμού είναι καθοριστική για τον έλεγχο της κόπωσης.
- χρησιμοποιώντας συγκολλητή διατομή μπορούμε να πετύχουμε οικονομικότερη διατομή με σημαντικά μικρότερο βάρος (π.χ. 130,5 kg/m < 166,4 kg/m) και μεγαλύτερη ροπή αδράνειας ως προς τον ισχυρό άξονα της διατομής.

Επιρροή οριζόντιων φορτίων:

- οι έλεγχοι της κόπωσης και της τοπικής έντασης δεν επηρεάζονται καθόλου από τα οριζόντια φορτία της γερανογέφυρας. Επίσης δεν μεταβάλλονται οι κατακόρυφες παραμορφώσεις καθώς και οι διατμητικές τάσεις στον κορμό της γερανοδοκού.
- αντιθέτως μεταβάλλονται οι οριζόντιες παραμορφώσεις και οι ορθές τάσεις στον άνω πέλμα της γερανοδοκού.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

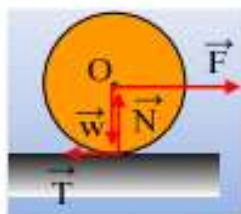
1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2013). «Σχεδιαμός δομικών έργων από χάλυβα με παραδείγματα εφαρμογής». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι. (2003). «Σιδηρές κατασκευές – Ανάλυση και διαστασιολόγηση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. EN 1991-3, Eurocode 1 – Actions on structures – Part 3: Actions induced by cranes and machinery. CEN, 2006.
4. EN 1993-6, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 6: Crane supporting structures. CEN, 2006.
5. EN 1993-1-1, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, 2004.
6. EN 1993-1-9, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-9: Fatigue. CEN, 2004.
7. prEN 1993-6 for decision to be sent to ENQ, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 6: Crane supporting structures. CEN/TC 250/SC 3 **N 3766**, 2023.
8. prEN 1993-1-9 with corrected figures – 2023-01-30, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-9: Fatigue. CEN/TC 250/SC 3 **N 3751**, 2023.
9. <https://www.dlupal.com/en/products/stand-alone-structural-analysis-software/steel-structural-analysis-design-software/craneway>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΙΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ Κ ΤΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ

Σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 η κινητήρια δύναμη K της γερανογέφυρας πρέπει να υπολογίζεται έτσι ώστε να μην προκαλείται ολίσθηση του τροχού.

Με σκοπό λοιπόν ο τροχός να κυλιέται χωρίς να ολισθαίνει η μέγιστη τριβή T που μπορεί να ασκηθεί στον τροχό, η οριακή στατική τριβή έχει μέτρο:

$$T_{op} = \mu \cdot N \quad (A-1)$$



Σχήμα A-1: Δυνάμεις που ασκούνται στον τροχό.

Για να μην ξεπεραστεί η μέγιστη τριβή του τροχού και ο τροχός αρχίσει να ολισθαίνει, πρέπει σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 η κινητήρια δύναμη $K=F$ (Σχήμα A-1) να μην ξεπεράσει την παρακάτω τιμή.

$$K = K_1 + K_2 = \mu \cdot \Sigma Q_{r,min} \quad (A-2)$$

όπου:

μ είναι ο συντελεστής τριβής

Για σύστημα χωρίς κοινό κινητήρα:

(Single wheel drive Σχήμα A-2)

$$\Sigma Q_{r,min} = m_w \cdot Q_{r,min} \quad (\text{A-2a})$$

οπου:

m_w είναι το πλήθος των μεμονομένων κινητήριων τροχών.

Αν σε κάθε τροχιά υπάρχει από ένας κινητήριος τροχός με ανεξάρτητη κίνηση, $m_w=2$.

$Q_{r,min}$ είναι η ελάχιστη αντίδραση τροχού στην αφόρτιστη γερανογέφυρα.

Για σύστημα με έναν κοινό κινητήρα για τις δύο τροχιές:

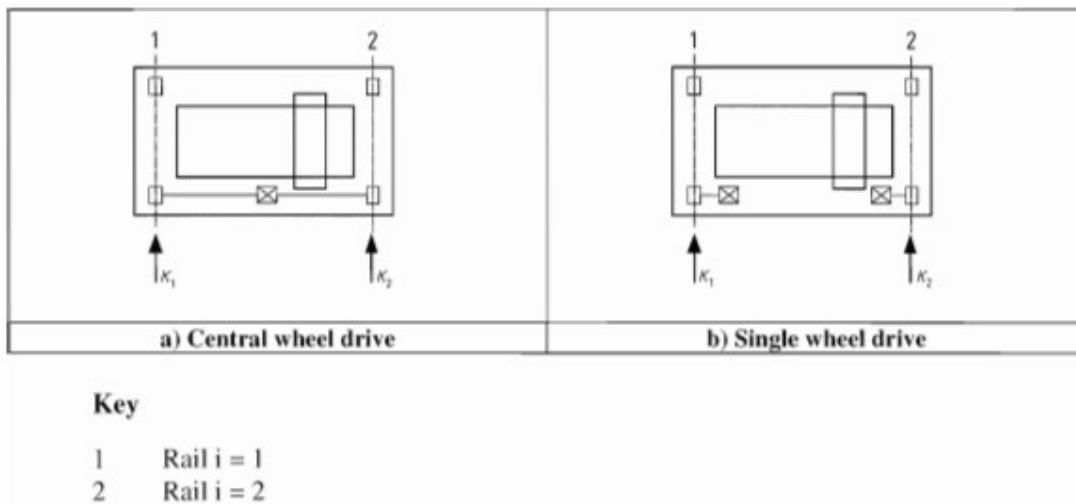
(Central wheel drive Σχήμα A-2)

$$\Sigma Q_{r,min} = Q_{r,min} + Q_{r,(min)} \quad (\text{A-2β})$$

οπου:

$Q_{r,min}$ είναι η ελάχιστη αντίδραση τροχού στην αφόρτιστη γερανογέφυρα (Σχήμα 3.2).

$Q_{r,(min)}$ είναι η αντίστοιχη αντίδραση του απέντυ τροχού στην αφόρτιστη γερανογέφυρα(Σχήμα 3.2).



Σχήμα A-2: Ερμηνεία της κινητήριας δύναμης K.

Σύμφωνα με τον EN 1991-3:2006 οι σύγχρονες γερανογέφυρες διαθέτουν δύο κινητήρες (Single wheel drive). Το γεγονός αυτό σημαίνει μικρότερη κινητήρια δύναμη K σε σχέση με το αν υπήρχε ένας κοινός κινητήρας για τις δύο τροχιές, γιατί $\Sigma Q_{r,min} = m_w \cdot Q_{r,min} = 2 \cdot Q_{r,min} < Q_{r,min} + Q_{r,(min)}$.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ CRANEWAY

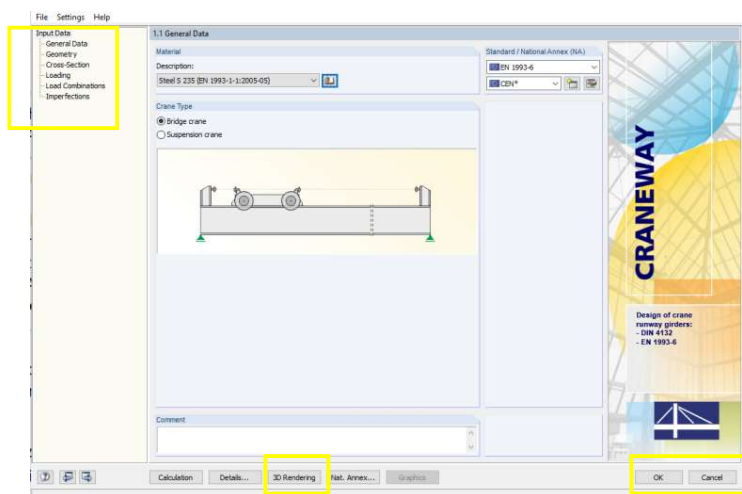
Το πρόγραμμα craneway εμπλουτίζει τη γκάμα προϊόντων της σειράς προγραμμάτων DLUBAL SOFTWARE GMBH στον τομέα της σχεδίασης γερανοδοκών. Είναι γερμανικής προέλευσης και χάρη της αξιοπιστίας και των δυνατοτήτων του είναι δυνατή η εκτέλεση ακόμη και περίπλοκων αναλύσεων σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς EN 1993-6, DIN 4132 και DIN 18800.



Σχήμα Β-1: Σειρά προγραμμάτων DLUBAL SOFTWARE GMBH.

Γενικά στοιχεία (General Data)

Όταν ξεκινήσει το πρόγραμμα εμφανίζεται το παράθυρο craneway (Σχήμα Β-2).

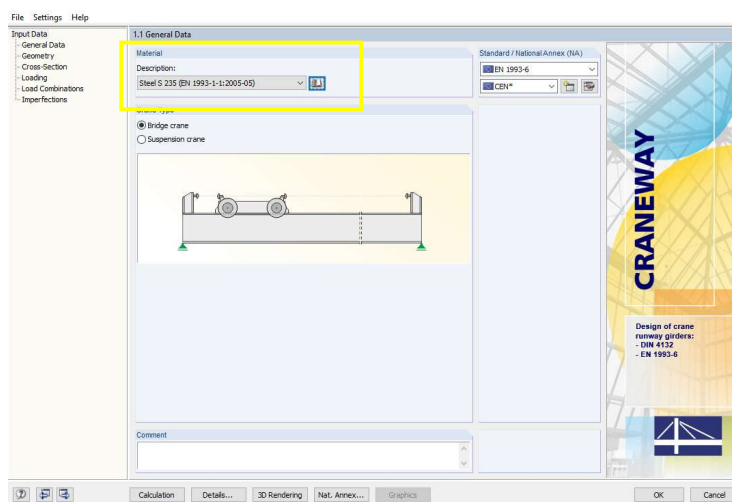


Σχήμα Β-2: Παράθυρο craneway (General Data).

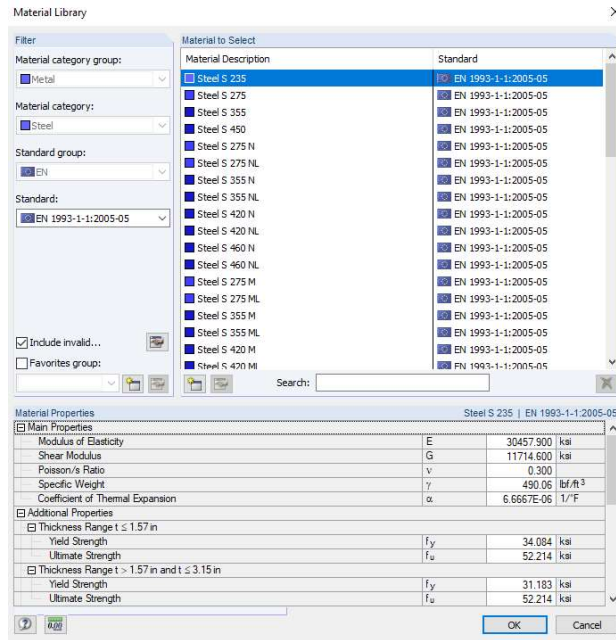
Ένας πλοηγός στα αριστερά διαχειρίζεται τα διαθέσιμα παράθυρα εισόδου και εξόδου. Όλες οι ρυθμίσεις που απαιτούνται για τη σχεδίαση της γερανοδοκού εισάγονται στα έξι παράθυρα εισόδου του προγράμματος. Για την μετάβαση σε ένα συγκεκριμένο παράθυρο craneway κάντε κλικ στην αντίστοιχη καταχώρηση στον πλοηγό. Με το κουμπί [3D Rendering] είναι δυνατή η απεικόνιση των δεδομένων εισόδου ως τρισδιάστατα γραφικά. Για αποθήκευση των δεδομένων και αποτελεσμάτων πριν την έξοδο από το πρόγραμμα κάντε κλικ στο [OK]. Διαφορετικά για έξοδο από το πρόγραμμα χωρίς αποθήκευση κάντε κλικ στο [Cancel] (Σχήμα Β-2).

Εισαγωγή υλικού

Μπορείτε να επιλέξετε ένα από τα υλικά που είναι αποθηκευμένα στο πρόγραμμα (Σχήμα Β-3).



Σχήμα Β-3: Επιλογή υλικού.

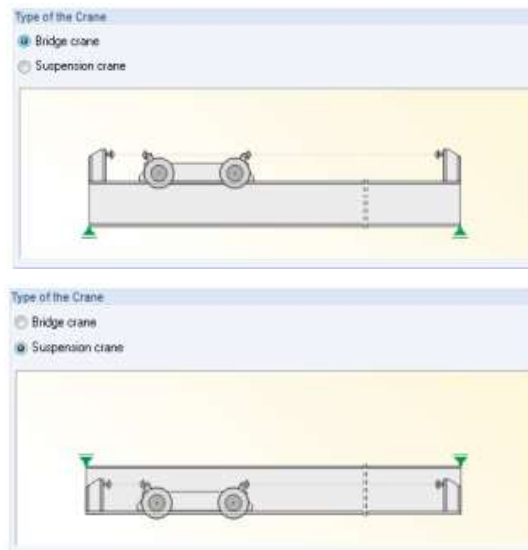


Σχήμα Β-4: Βιβλιοθήκη υλικών.

Το πρόγραμμα περιέχει τις ποιότητες χάλυβα, οι οποίες εξαρτώνται από το επιλεγμένο πρότυπο. Οι ιδιότητες του υλικού περιλαμβάνονται σε μια βιβλιοθήκη (Σχήμα Β-4). Εάν υπολογίζετε σύμφωνα με το DIN 4132, δεν είναι δυνατός ο ορισμός νέας ποιότητας χάλυβα στη βιβλιοθήκη: Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, μπορούν να επιλεγθούν μόνο υλικά με καθορισμένες επιτρεπόμενες τάσεις για τον έλεγχο της κόπωσης. Αντίθετα, σύμφωνα με τον EN 1993-6 μπορείτε να ορίσετε τα δικά σας υλικά.

Επιλογή είδους γερανογέφυρας

Με το craneway είναι δυνατός ο σχεδιασμός γερανογεφυρών που επικάθονται στις γερανοδοκούς καθώς και γερανογεφυρών που αναρτώνται από αυτές (underslung cranes) οι οποίες κυλίνουν στο κάτω πέλμα τους. Για να επιλέξετε τον επιθυμητό τύπο γερανού, χρησιμοποιήστε τα αντίστοιχα λουμπιά επιλογής. Για τη σχεδίαση σύμφωνα με το DIN 4132 διατίθενται μόνο γερανογέφυρες που επικάθονται στις γερανοδοκούς.



Σχήμα Β-5: Επιλογή είδους γερανογέφυρας.

Επιλογή γεωμετρίας γερανοδοκού

Αρχικά πρέπει να οριστεί το συνολικό μήκος της γερανοδοκού (είτε πρόκειται για μια δοκό ενός ανοίγματος ή συνεχής). Σε αυτή την καρτέλα ορίζονται και οι θέσεις και οι βαθμοί ελευθερίας των στηρίξεων της γερανοδοκού. Συγκεκριμένα στην στήλη B (Σχήμα B-6) διαλέγετε το επιθυμητό είδος στήριξης χρησιμοποιώντας το μενού από τη λίστα. Μπορείτε να επιλέξετε από τους παρακάτω τύπους:

- άρθρωση
- κύλιση
- πάκτωση
- πλευρική εξασφάλιση στο πάνω πέλμα της γερανοδοκού
- ορισμός από τον χρήστη

1.2 Geometry

Total girder length:
L: [m]

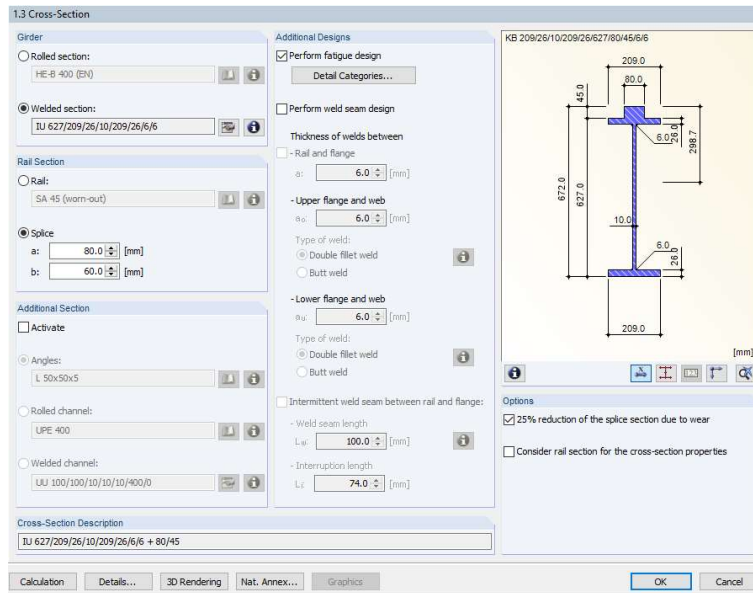
Supports | Spring Constants | Releases | Stiffeners

Support No.	A Location x [m]	B Type of Support	C Displacement in			D Rotation about			I Warping	J Release	K Stiffener	L Support Length a [mm]
			X	Y	Z	X	Y	Z				
1	0.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
2	8.000	Hinged	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
3												
4												
5												
6												
7												

Σχήμα B-6: Επιλογή γεωμετρίας γερανοδοκού.

Επιλογή διατομής γερανοδοκού

Σε αυτό το παράθυρο γίνεται η επιλογή της διατομής της γερανοδοκού (ελατή ή συγκολλητή), των διαστάσεών της, της διατομής της σιδηροτροχιάς καθώς και προσδιορίζονται οι λεπτομέρειες για τους ελέγχους της κόπωσης και των συγκολλήσεων.

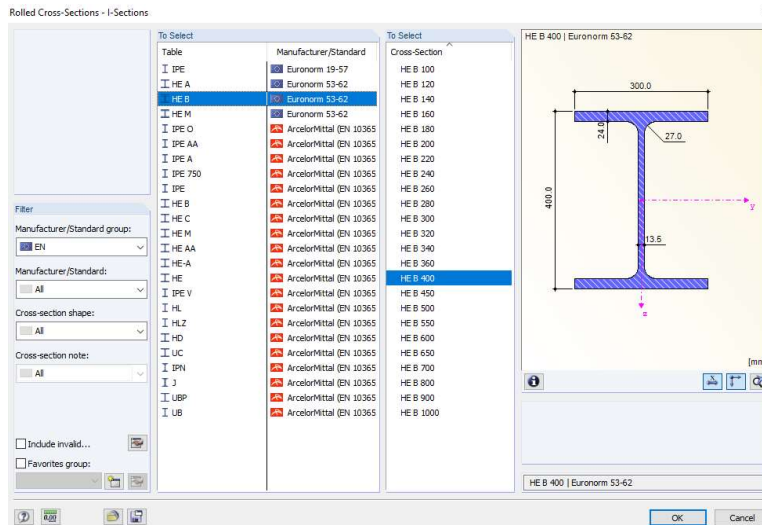


Σχήμα Β-7: Επιλογή διατομής γερανοδοκού.

Μπορείτε να επιλέξετε τους ακόλουθους τύπους διατομής:

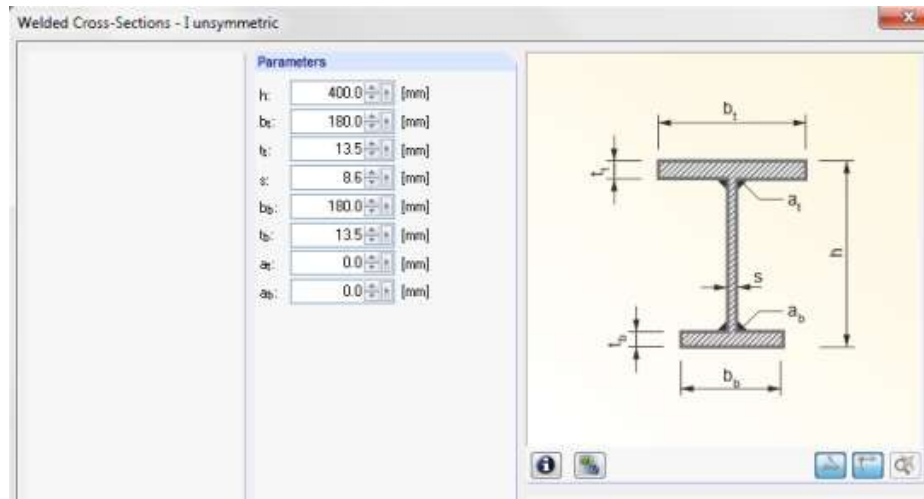
- ελατή διατομή
- συγκολλητή διατομή

Συγκεκριμένα για μία ελατή διατομή μπορείτε να ανοίξετε την αντίστοιχη [Βιβλιοθήκη] κάνοντας κλικ στο κουμπί. Εκεί με βάση τους κανονισμούς μπορείτε να επιλέξετε μια από τις ακόλουθες διατομές: ΙΠΕ, ΗΕΑ, ΗΕΒ, ΗΕΜ κ.λπ. Επιλέγοντας τα πληροφορίες της διατομής μπορείτε να δείτε τις λεπτομερείς πληροφορίες και διαστάσεις της επιλεγθείσας διατομής (Σχήμα Β-8).



Σχήμα Β-8: Επιλογή ελατής διατομής γερανοδοκού.

Εάν επιλέξετε συγκολλητή διατομή μπορείτε να επιλέξετε τις διαστάσεις κάθε επίπεδου ελάσματος της διατομής.

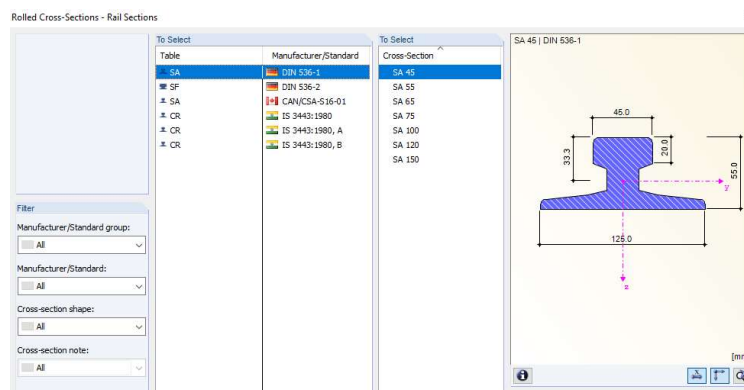


Σχήμα Β-9: Επιλογή συγκολλητής διατομής γερανοδοκού.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς η διατομή της σιδηροτροχιάς μπορεί να είναι είτε ορθογωνικές συμπαγείς ράβδοι (καρυδάκια) ή ράβδοι με συνήθεις διατομές τροχιών.



Σχήμα Β-10: Επιλογή σιδηροτροχιάς γερανοδοκού.



Σχήμα Β-11: Συνήθεις διατομές τροχιών.

Οποιαδήποτε διατομή γερανοδοκού (ελατή ή συγκολλητή) μπορεί να συνδυαστεί με οποιαδήποτε σιδηροτροχιά. Εάν η επιλεγμένη σιδηροτροχιά είναι πολύ μεγάλη για τη γερανοδοκό ή σιδηροτροχιά δεν θα μπορεί να οριστεί.

Δίνεται επίσης η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει αυτός αν η σιδηροτροχιά θα αποτελεί μέρο της διατομής της γερανοδοκού και θα συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς ή όχι. (Σχήμα Β-12).

Options

25% reduction of the rail section due to wear

Consider rail section for the cross-section properties

Σχήμα Β-12: Συνήθεις διατομές τροχιών.

Σχετικά με την κόπωση δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ο ίδιος τις κατηγορίες λεπτομέρειας της διατομής όπως αίνεται παρακάτω.

Edit Detail Categories

Detail Categories on Entire Girder Length

Stress Point No.	Coordinates [mm]		Thickness t [mm]	Existing	Detail Category		
	y	z			for σ_x	for σ_z	for τ_{xz}
1	-150.0	-200.0	24.0	<input checked="" type="checkbox"/>	160		100
2	-33.8	-200.0	24.0	<input checked="" type="checkbox"/>	125		80
3	0.0	-200.0	24.0	<input type="checkbox"/>	160		100
4	33.8	-200.0	24.0	<input checked="" type="checkbox"/>	125		80
5	150.0	-200.0	24.0	<input checked="" type="checkbox"/>	160		100
6	-150.0	200.0	24.0	<input checked="" type="checkbox"/>	160		100
7	-33.8	200.0	24.0	<input type="checkbox"/>	160		100
8	0.0	200.0	24.0	<input type="checkbox"/>	160		100
9	33.8	200.0	24.0	<input type="checkbox"/>	160		100
10	150.0	200.0	24.0	<input checked="" type="checkbox"/>	160		100
11	0.0	-149.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	160	160	100
12	0.0	149.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	160	160	100
13	0.0	0.0	13.5	<input checked="" type="checkbox"/>	160		100

HE B 400

Σχήμα Β-13: Επιλογή κατηγορίας λεπτομέρειας από τον χρήστη.

Εισαγωγή φορτίων γερανογέφυρας

Ο χρήστης μπορεί να ορίσει τον αριθμό των γερανογεφυρών που στηρίζονται στη γερανοδοκό (ο μέγιστος αριθμός είναι 3). Εκτός από τη φόρτιση λόγω λειτουργίας της γερανογέφυρας (κατακόρυφα και οριζόντια φορτία γερανογέφυρας) μπορούν να οριστούν δύο πρόσθετα φορτία: μόνιμο φορτίο g και πλευρικό φορτίο w (άνεμος), για την περίπτωση που η γερανογέφυρα βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο. Το ίδιο βάρος δεν χρειάζεται να οριστεί ως μόνιμο φορτίο καθώς ορίζεται αυτόματα από το λογισμικό με βάση την επιλεγθείσα διατομή.

1.4 Loading

Number of cranes: 1

Girder buffer
 Left: bL: 0.000 [m]
 Right: bR: 0.000 [m]

Additional loads
 Permanent vertical g: 0.00 [kN/m]
 Variable lateral w: 0.00 [kN/m]

Loads at:
 Both girders (W_{max} and W_{min})
 Only girder with W_{max}

Crane No. 1

Crane Parameters
 Crane description:
 S-Class: S0
 Number of crane axles: 2
 Dynamic coefficients ψ ...
 Crane buffers
 Left aL: 0.000 [m]
 Right aR: 0.000 [m]
 Wheel distance n: 20.1 [mm]

Axle distances:

i	a _i [m]
1	4.000
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Crane Loads
 Girder i = 1 (W-max)

Axle j	Vertical Wheel Loads Q _{C,i,j} [kN]	Q _{H,i,j} [kN]	Horizontal Wheel Loads H _{T,i,j} [kN]	H _{S,i,j} [kN]	H _{R3,i,j} [kN]	Long. Loadings H _L [kN]
1	31.90	111.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	39.20	123.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Skew force S: 0.00 [kN]
 Distance e / from axle: 0.000 [m]
 Buffer force H_b: 0.00 [kN]

Σχήμα Β-14: Εισαγωγή φορτίων γερανογέφυρας.

Κάνοντας κλικ στο [Δυναμικοί συντελεστές] ανοίγει ένα πλαίσιο όπου ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την τιμή των δυναμικών συντελεστών φ των φορτίων.

Σχήμα Β-15: Εισαγωγή δυναμικών συντελεστών φ .

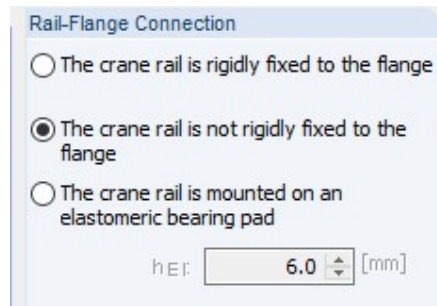
Ο χρήστης ορίζει ακόμα το βήμα μετακίνησης της γερανογέφυρας (δηλαδή των φορτίων) πάνω στη γερανοδοκό. Το προτεινόμενο βήμα από το craneway είναι 50cm. Με βάση αυτό το βήμα και τη γεωμετρία της δοκού προκύπτει ο αριθμός των δημιουργούμενων θέσεων και συνδυασμών των φορτίων που λαμβάνονται υπόψη στη διαστασιολόγηση της γερανοδοκού.

Σχήμα Β-16: Βήμα μετακίνησης των φορτίων πάνω στη γερανοδοκό.

Στο παράθυρο [Details] καθορίζονται από το χρήστη επιπλέον λεπτομέρειες. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο μεθόδους υπολογισμού. Ο λεπτομερής υπολογισμός (Detailed Calculation) αναλύει όλες τις περιπτώσεις φόρτισης σύμφωνα με την ανάλυση 2^{ης} τάξης, ενώ ο γρήγορος υπολογισμός (Fast Calculation) σύμφωνα με τη γραμμική στατική ανάλυση. Από τα αποτελέσματα επιλέγονται οι δυσμενέστερες περιπτώσεις φόρτισης, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για ανάλυση 2^{ης} τάξης.

Σχήμα Β-17: Επιλογή τρόπου υπολογισμού εντατικών μεγεθών.

Το πρόγραμμα craneway δίνει επίσης τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η σύνδεση μεταξύ σιδηροτροχιάς και γερανοδοκού.



Σχήμα Β-18: Επιλογή τρόπου σύνδεσης σιδηροτροχιάς και γερανοδοκού.

Είναι σημαντικό να επισημνθεί ότι στο πρόγραμμα ο έλεγχος του πλευρικού λυγισμού γίνεται μέσω μη γραμμικής ανάλυσης (FE – LTB). Έτσι στο παράθυρο (critical load factor) υπολογίζεται ο κρίσιμος συντελεστής φορτίου (CLF). Πρόκειται για έναν συντελεστή ο οποίος δείχνει τη σταθερότητα του δομικού συστήματος. Ένας κρίσιμος συντελεστής φορτίου, για παράδειγμα 7,969 για τον συνδυασμό φορτίου CO 75 σημαίνει ότι αυτός ο συνδυασμός μπορεί να αυξηθεί κατά 7,969 φορές μέχρι το σύστημα να γίνει ασταθές. Υποτίθεται ελαστική συμπεριφορά του υλικού.

2.10 Critical Load Factors		
A	B	C
CO	Critical Load Factor	Reason for Ending Calculation
CO1	108.671	
CO42	3.993	
CO47	3.665	
CO52	3.543	
CO57	3.509	
CO62	3.463	
CO67	3.369	
CO72	3.295	
CO77	3.324	
CO82	3.532	
CO87	3.635	
CO92	3.971	
CO97	4.631	
CO118	60.393	

Σχήμα Β-19: Critical Load Factor.

