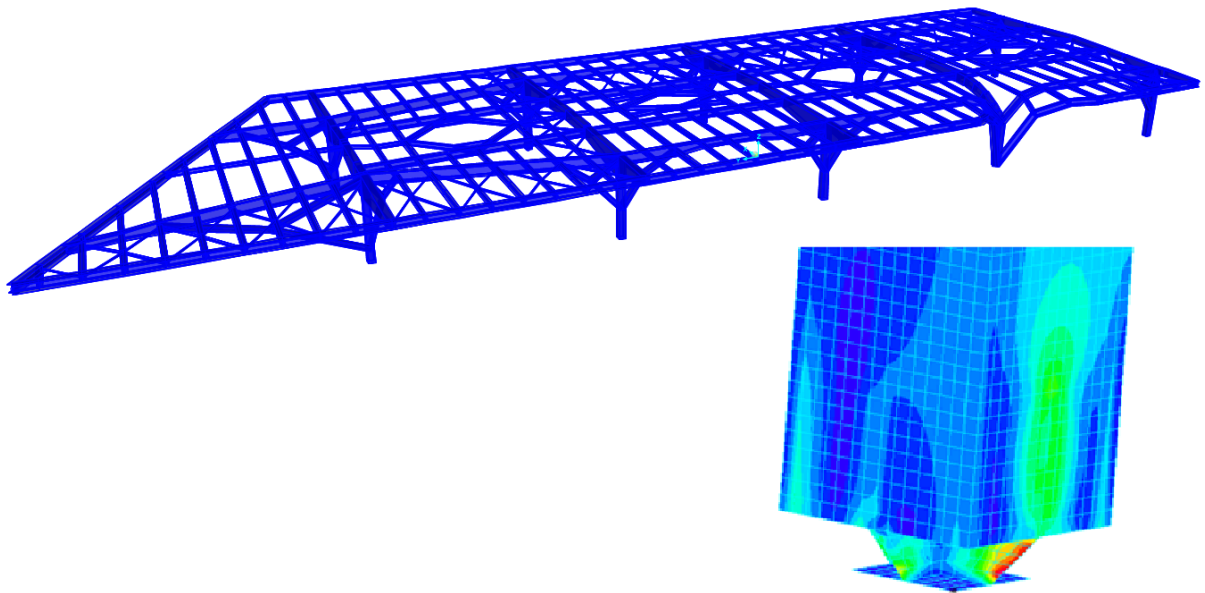




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΣΤΕΓΑΣΤΡΟΥ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ



Μεταπτυχιακή Εργασία  
Γεώργιος Ευθυμιάδης

ΕΜΚ ΜΕ 2016/04

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

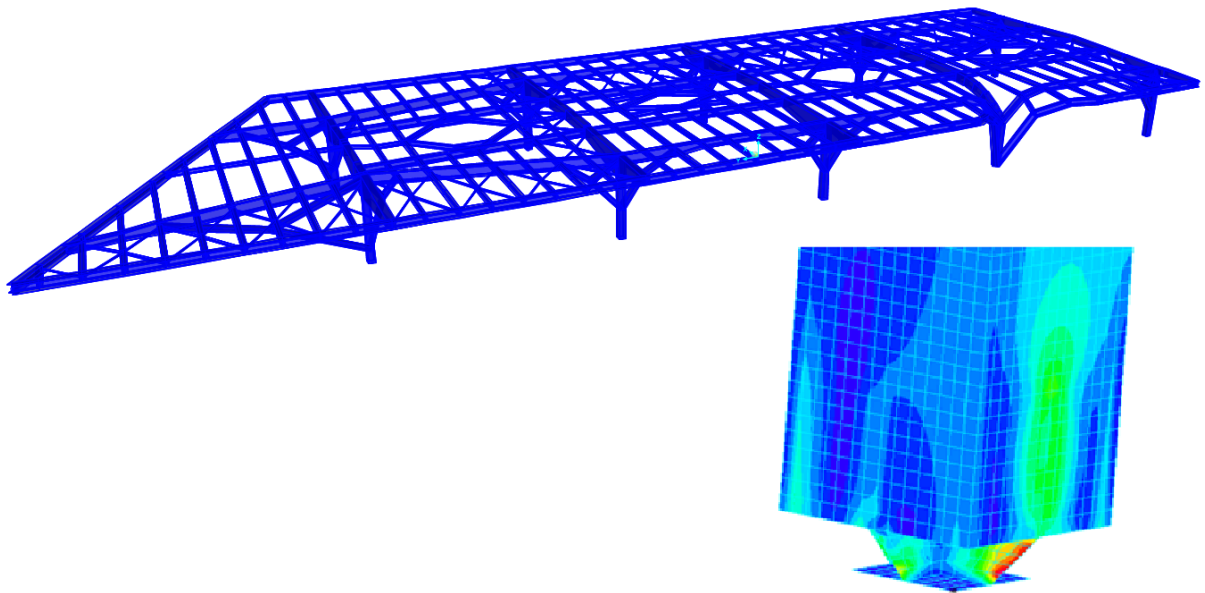
Αθήνα, Ιούνιος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΣΤΕΓΑΣΤΡΟΥ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ



Μεταπτυχιακή Εργασία  
Γεώργιος Ευθυμιάδης

ΕΜΚ ΜΕ 2016/04

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2016



Copyright © Γεώργιος Ευθυμιάδης, 2016

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 του συγγραφέα. 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 τον συγγραφέα.

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

Copyright © Georgios Efthymiadis, 2016

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).

Γεώργιος Ευθυμιάδης (2016)  
Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού και Ανάλυση μη Συμβατικών Συνδέσεων Στεγάστρου Σιδηροδρομικού  
Σταθμού  
Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2016/04  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Georgios Efthymiadis (2016)  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΜΕ 2016/04  
Design Optimization and Non-Conventional Connection Analysis of a Railway Station Roof  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω με θέρμη όσους με βοήθησαν στην εκπόνηση της εργασίας μου. Τόσο αυτούς που με βοήθησαν για την επίλυση αποριών και προβλημάτων που προέκυψαν κατά την συγγραφή της εργασίας, όσο και αυτούς που με στήριξαν με οποιοδήποτε άλλο τρόπο.

Ιδιαίτερος όμως θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας κ. Χ. Γαντέ, όχι μόνο για την καθοδήγηση και την βοήθειά του, αλλά κυρίως για το χρόνο που διέθεσε και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.







ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΜΕ 2016/04

## **Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού και Ανάλυση μη Συμβατικών Συνδέσεων Στεγάστρου Σιδηροδρομικού Σταθμού**

**Γεώργιος Ευθυμιάδης**

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η παρουσίαση υπάρχοντος στεγάστρου σιδηροδρομικού σταθμού, η πρόταση αλλαγών στον τρόπο δόμησης που θα οδηγούσαν στην βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς της κατασκευής και τέλος, η – κατά το δυνατόν λεπτομερέστατη – ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λεπτομερειών της κατασκευής, όπως παραδείγματος χάριν οι συνδέσεις των μελών της.

Από τη φύση της η κατασκευή, ως στέγαστρο σιδηροδρομικού σταθμού, είναι αρκετά επιμήκης. Έτσι, όπως θα αναλυθεί εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια οι διαστάσεις της σε όρους κάτοψης είναι 208m στην διαμήκη έννοια της κατασκευής και μόλις 34m εγκάρσια.

Η προσομοίωση και η ανάλυση, τόσο της πραγματικής κατασκευής όσο και των προτάσεων βελτιστοποίησης, σχετικά με τον συνολικό φορέα έγιναν σε περιβάλλον του λογισμικού SAP2000v16 της εταιρείας Computers and Structures. Η ανάλυση των λεπτομερειών, όπως των συνδέσεων, έγινε με χρήση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων και συγκεκριμένα σε περιβάλλον του λογισμικού ADINA\_AUI\_9.0.

Όσον αφορά στις φορτίσεις που ελήφθησαν υπόψη, κατά την ανάλυση των διαφόρων προσομοιωμάτων, σημειώνεται ότι είναι όμοιες με τις φορτίσεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αρχική μελέτη κατασκευής του δομήματος. Αυτό συνέβη προκειμένου τα όποια αποτελέσματα προκύπτουν από το προσομοίωμα της πραγματικής κατάστασης να είναι ευθεία συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα της αρχικής μελέτης. Βεβαίως, το σύνολο των φορτίσεων ήταν σύμφωνο με τα αντίστοιχα εδάφια των Ευρωκωδίκων και συγκεκριμένα των EN1991 και 1998. Ιδιαίτερη μνεία για τον τρόπο υπολογισμού των φορτίσεων αλλά και για την συμφωνία τους με τους επιμέρους κανονισμούς γίνεται στα οικεία κεφάλαια.

Αναφορικά με το σχεδιασμό της κατασκευής, δηλαδή τόσο για τον έλεγχο του σχεδιασμού της πραγματικής κατάστασης, όσο και για το σχεδιασμό των προτάσεων βελτιστοποίησης, χρησιμοποιήθηκε το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο. Συνεπώς, το σύνολο του σχεδιασμού έγινε με βάσει τις προβλέψεις του Ευρωκώδικα 3 (EN1993).

Το παρόν πόνημα αποτελείται από έξι επί μέρους κεφάλαια, τα οποία πραγματεύονται:

Κεφάλαιο 1, υπό τον τίτλο «Εισαγωγή - Περιγραφή του Φορέα». Γίνεται η παρουσίαση του φορέα, τόσο από αρχιτεκτονική όσο και από στατική άποψη. Ιδιαίτερα ότι αφορά την στατική άποψη, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των μελών που απαρτίζουν το φορέα αλλά και του τρόπου έδρασής του.

Κεφάλαιο 2, υπό τον τίτλο «Φορτίσεις». Γίνεται αναλυτική περιγραφή και υπολογισμός των διαφόρων φορτίσεων που επιβάλλονται στα προσομοιώματα. Όπως αναφέρθηκε, οι φορτίσεις που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι αυτές που εκτιμήθηκαν κατά τη φάση της αρχικής μελέτης κατασκευής. Επιπλέον, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και οι συνδυασμοί των φορτίσεων που καταστρώθηκαν κατά την ανάλυση των προσομοιωμάτων.

Κεφάλαιο 3, υπό τον τίτλο «Αρχικό Προσομοίωμα». Περιλαμβάνεται το σύνολο των στοιχείων που αντιστοιχούν στην ανάλυση της πραγματικής κατάστασης. Έτσι, παρουσιάζονται οι διατομές των διαφόρων στοιχείων (πρόκειται για τις διατομές που πραγματικά έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή του στεγάστρου) και αποτελέσματα που έχουν να κάνουν με τη λειτουργικότητα και την αντοχή του δομήματος. Τέλος, γίνεται αναφορά σε χαρακτηριστικά που αφορούν την ιδιομορφική ανάλυση της κατασκευής.

Κεφάλαιο 4, υπό τον τίτλο «Τροποποιημένο Προσομοίωμα». Περιλαμβάνονται τα αντίστοιχα στοιχεία με το προηγούμενο κεφάλαιο, που όμως αφορούν προτάσεις βελτιστοποίησης και όχι την πραγματική κατασκευή.

Κεφάλαιο 5, υπό τον τίτλο «Συγκριτική Παρουσίαση Προσομοιωμάτων». Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των διαφόρων προσομοιωμάτων σε παράθεση και γίνεται σχολιασμός της συμπεριφοράς της κατασκευής.

Κεφάλαιο 6, υπό τον τίτλο «Συμβατικές Συνδέσεις». Γίνεται αναλυτική επίλυση σημαντικού μέρους των συνδέσεων, όπως αυτές είναι κατασκευασμένες στο πραγματικό δόμημα και με εντατικά μεγέθη που έχουν προκύψει από την ανάλυση του αρχικού προσομοιώματος. Οι συνδέσεις αντιμετωπίζονται ως συνήθεις – οπότε και αναλύονται με βάση τα οριζόμενα στον Ευρωκώδικα 3 (Μέρη 1-1, 1-5 και 1-8).

Κεφάλαιο 7, υπό τον τίτλο «Μη Συμβατικές Συνδέσεις». Γίνεται αναλυτική επίλυση σημαντικού μέρους των συνδέσεων, όπως αυτές είναι κατασκευασμένες στο πραγματικό δόμημα και με εντατικά μεγέθη που έχουν προκύψει από την ανάλυση του αρχικού προσομοιώματος. Οι συνδέσεις αντιμετωπίζονται ως μη συνήθεις – οπότε για την ανάλυσή τους χρησιμοποιείται η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με τις βιβλιογραφικές αναφορές και ένα Παράρτημα που συμπληρώνει μόνο την ηλεκτρονική έκδοσή της.



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

DIPLOMA THESIS  
EMK ME 2016/04

## **Design Optimization and Non-Conventional Connection Analysis of a Railway Station Roof**

**Georgios Efthymiadis**

Supervisor: Professor Charis Gantes

### **ABSTRACT**

Purpose of this diploma thesis is the presentation of an existing railway station steel roof, some proposed modifications aiming at the structure's optimization and finally, a very detailed analysis of some construction details, such as for example the connections of its members.

A railway station roof is by nature a quite elongated construction. Thus, as it is more fully discussed in the following sections, the dimensions - in plan view - are 208m in the longitudinal direction of the construction and only 34m in the transverse direction.

The simulation and analysis of the actual structure but also of the optimization proposals were conducted by software SAP2000v16 of Computers and Structures S.A. The details, such as the connections, were modeled using the ADINA\_AUI\_9.0 finite element software.

Regarding the loads taken into account when analyzing the various models, it is noted that they are identical to the loads used in the original design of the structure. This ensured that any results obtained from the simulation of the real situation are directly comparable to the initial study. Of course, all loads were consistent with the corresponding paragraphs of Eurocodes EN1991 and 1998. Particular reference of the loads' calculations and their compliance with the various regulations is presented in the relevant chapters.

Regarding the design of the structure, i.e. both the design of the actual construction, and the design of the optimization proposals, the existing regulatory framework was used. Therefore, the whole design was based on the provisions of Eurocode 3 (EN1993).

This essay consists of six chapters, where in addition to this introduction, the following is discussed:

Chapter 1, entitled "Introduction - Description of the Structure". It includes the presentation of the construction, both architecturally and from a structural viewpoint. Particularly regarding the latter, it consists of the detailed presentation of members of the construction and its foundation details.

Chapter 2, entitled "Loads". An analytical description and calculation of the various loads applied on models is presented. As mentioned, the loads described in this chapter are those employed during the phase of the actual structure's design. Moreover, in this chapter, the combinations of loads which were taken into account are presented.

Chapter 3, entitled "Initial Model". It includes all the data corresponding to the analysis of the actual construction. So, the profiles of the various elements are presented (these are the sections that have actually been used in the construction of the roof) and also the results regarding the strength and serviceability of the structure. Finally, reference is made to the features concerning the modal analysis of the structure.

Chapter 4, entitled "Modified Model". It includes relevant data as the ones presented in the previous chapter, but as a result of the optimization suggestions and not the actual construction.

Chapter 5, entitled "Comparative Presentation of the Models". It presents the results of the two analytical models, side by side, commenting on the behavior of the construction.

Chapter 6, entitled "Conventional Connections". It concerns the analytical solution of the significant part of the connections as those appear in the actual construction subjected to the action effects that have emerged from the analysis of the initial model. Connections are treated as usual and analyzed in accordance to Eurocode 3 (Parts 1-1, 1-5 and 1-8).

Chapter 7, entitled "Non-Conventional Connections". It concerns the numerical solution of several connections as they appear in the actual construction also subjected to the action effects that have emerged from the analysis of the initial model. Connections are treated as not conventional and are analyzed with the Finite Elements Method.

Finally, this thesis ends with the bibliographic references and the Annex which is only included in the electronic version.

## Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ .....	1
1.1	Αρχιτεκτονική Παρουσίαση .....	1
1.2	Παρουσίαση Στοιχείων του Φορέα.....	3
1.2.1	Κύρια Στοιχεία .....	3
1.2.2	Δευτερεύοντα Στοιχεία .....	11
2	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ .....	17
2.1	Μόνιμα Φορτία .....	17
2.2	Κινητά Φορτία .....	18
2.3	Φορτίο Ανέμου .....	19
2.4	Διακύμανση Θερμοκρασίας .....	20
2.5	Φορτίο Σεισμού .....	21
2.6	Συνδυασμοί Φορτίσεων .....	22
3	ΑΡΧΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ .....	27
3.1	Διατομές των Στοιχείων.....	27
3.2	Λειτουργικότητα .....	29
3.2.1	Περιοχή προβόλου .....	29
3.2.2	Λοιπές χαρακτηριστικές θέσεις .....	30
3.3	Αντοχή .....	34
3.3.1	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	34
3.3.2	Αναλυτικά παραδείγματα .....	35
3.4	Ιδιομορφική Ανάλυση.....	40
4	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ.....	43
4.1	Διαφορές αρχικού και τροποποιημένου προσομοιώματος.....	44
4.2	Διατομές των Στοιχείων.....	45
4.3	Λειτουργικότητα .....	46
4.3.1	Περιοχή προβόλου .....	47
4.3.2	Λοιπές χαρακτηριστικές θέσεις .....	48
4.4	Αντοχή .....	49
4.4.1	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	49
4.4.2	Αναλυτικά παραδείγματα .....	50
4.5	Σχολιασμός Τελικών Διατομών .....	54
4.6	Ιδιομορφική Ανάλυση.....	56
4.7	Τροποποιημένη Αρχιτεκτονική.....	57

5	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ .....	59
5.1	Διατομές των Στοιχείων .....	59
5.2	Λειτουργικότητα.....	61
5.3	Αντοχή.....	62
5.4	Ιδιομορφική Ανάλυση .....	63
6	ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ.....	65
6.1	Συνδέσεις Τέμνουσας Μέσω Απ' Ευθείας Συγκόλλησης.....	65
6.1.1	Έλεγχος σύνδεσης τέμνουσας διατομής UC305x305x118 .....	67
6.1.2	Έλεγχος σύνδεσης τέμνουσας διατομής UC356x368x153 .....	68
6.1.3	Έλεγχος σύνδεσης τέμνουσας διατομής UC356x406x235 .....	69
6.2	Σύνδεση Τέμνουσας Μέσω Ελάσματος .....	70
6.3	Αποκαταστάσεις Συνέχειας .....	73
6.3.1	Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC305x305x118.....	75
6.3.2	Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC356x358x153.....	78
6.3.3	Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC356x368x202.....	81
6.3.4	Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC356x405x235.....	84
7	ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ .....	87
7.1	Συγκολλητός Κόμβος Διαμήκους Πλαισίου .....	88
7.1.1	Γεωμετρία περιοχής προσομοίωσης και φορτίσεις.....	88
7.1.2	Φορτίσεις .....	89
7.1.3	Ανάλυση και αποτελέσματα .....	89
7.2	Συγκολλητός Κόμβος Εγκαρσίου και Διαμήκους Πλαισίου .....	91
7.2.1	Γεωμετρία περιοχής προσομοίωσης.....	92
7.2.2	Φορτίσεις .....	93
7.2.3	Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS_W-23 .....	93
7.2.4	Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS_W-24 .....	94
7.3	Έδραση Υποστυλώματος.....	94
7.3.1	Γεωμετρία περιοχής προσομοίωσης.....	95
7.3.2	Φορτίσεις .....	95
7.3.3	Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS_W-19 .....	95
7.3.4	Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS_W-17 .....	96
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	97

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

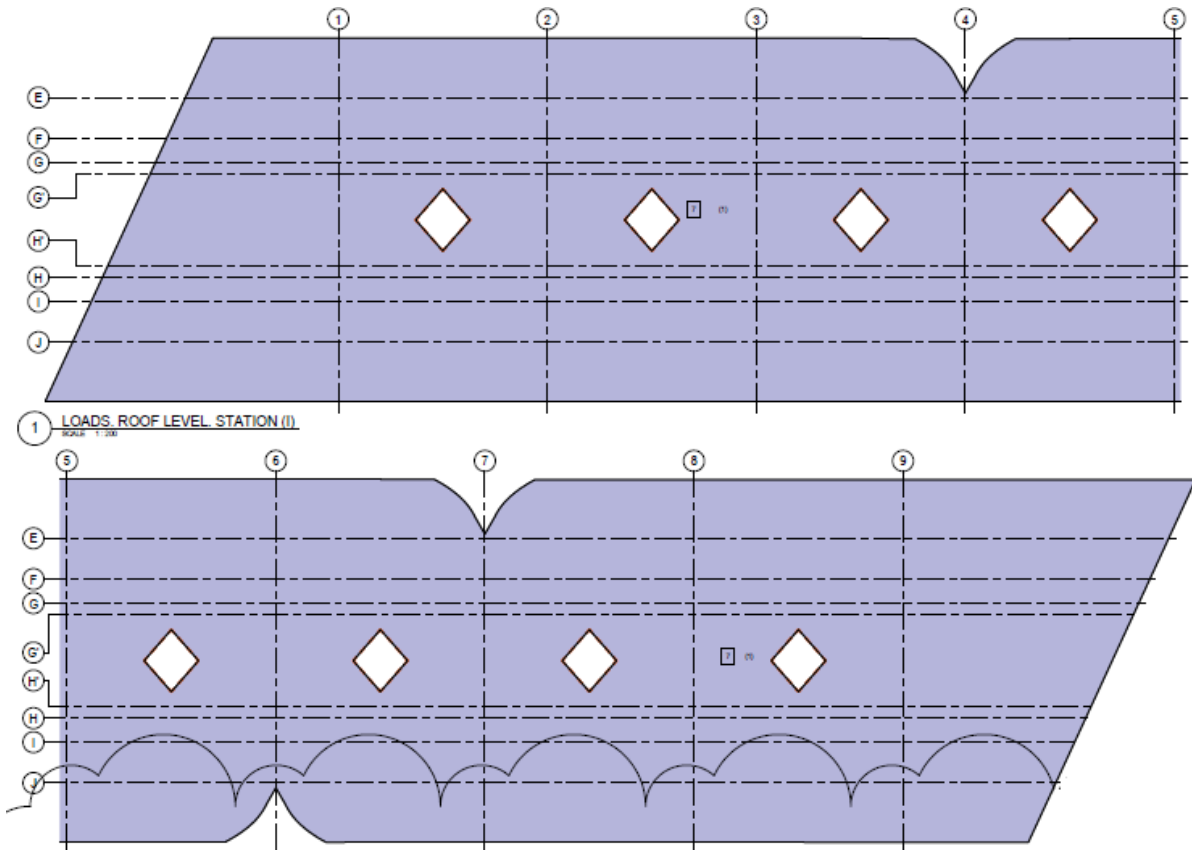
Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι να γίνει η απαιτούμενη παρουσίαση της μορφής του δομήματος με το οποίο ασχολείται η συγκεκριμένη εργασία. Στις ενότητες που ακολουθούν, γίνεται εκτενής αναφορά στο σύνολο εκείνων των στοιχείων που απαρτίζουν την κατασκευή. Αρχικά, δίνονται στοιχεία που αφορούν αποκλειστικά την αρχιτεκτονική του στεγάστρου, ώστε να υπάρχει η απαιτούμενη εξοικείωση με τη μορφή του. Εν συνεχεία, η παρουσίαση επικεντρώνεται στα επιμέρους εκείνα στοιχεία που αποτελούν τον φορέα που πρόκειται να αναλυθεί. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να αναγνωριστεί και γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του φορέα, ο τρόπος δηλαδή με τον οποίο αναμένεται να αντιδράσει στις επιβαλλόμενες φορτίσεις.

## 1.1 Αρχιτεκτονική Παρουσίαση

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, το στέγαστρο του σιδηροδρομικού σταθμού είναι ένα επίμηκες κτίσμα που το πλάτος του είναι μόλις 34m, ενώ το μήκος του (μαζί τα τμήματα που λειτουργούν ως πρόβολοι) φθάνει τα 208m. Λόγω της ιδιαίτερα επιμήκους μορφής του, για τις ανάγκες της περιγραφής ορίζεται ως διαμήκης έννοια της κατασκευής η διεύθυνση που είναι παράλληλη προς την μακρύτερη πλευρά.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 1-1, η κάτοψη του στεγάστρου έχει σχήμα πλάγιου παραλληλόγραμμου, έχει συνολικά οκτώ ανοίγματα στην οροφή του σε τακτές θέσεις, ενώ με μια διαφορά στην διαμόρφωση της επιστέγασης παρουσιάζει άξονα συμμετρίας στο μέσον της διαμήκους έννοιας. Αν και δεν αποτελεί αρχιτεκτονικό στοιχείο, αναφέρεται πως στον άξονα συμμετρίας αναπτύσσεται αρμός διαστολής. Αυτό επί της ουσίας καθιστά – από στατικής απόψεως – τη μία κτιριακή υποδομή, δύο όμοιους φορείς, διακριτούς όμως ως προς τη στατική τους λειτουργία.

Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό της κατασκευής, έχει επιλεγεί στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας να αναλυθεί μόνο το ήμισυ του δομήματος. Συγκεκριμένα, αυτό που αναλύεται αφορά το πρώτο μισό της κατασκευής, δηλαδή, όπως φαίνεται στην εικόνα 1-1, την περιοχή που ορίζεται από τους άξονες (1) έως (5). Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις θέσεις αλλά και τα χαρακτηριστικά των αξόνων δίνονται σε επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου.

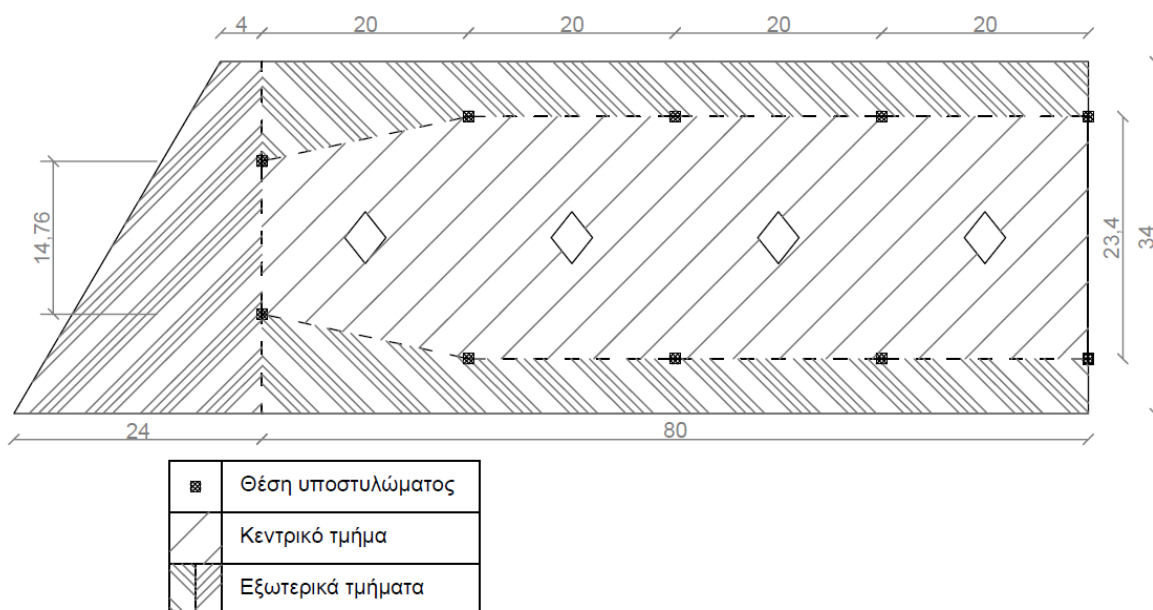


Εικόνα 1-1: Αρχιτεκτονική κάτοψη της στέγης του στεγάστρου

Η τελική διαμόρφωση της επιστέγασης είναι τέτοια ώστε να δημιουργούνται συνεχείς εναλλαγές καμπυλοτήτων, τόσο κατά τη διαμήκη όσο και κατά την εγκάρσια έννοια, αποτυπώνοντας έτσι το αρχιτεκτονικό σχέδιο επιλογής του μελετητή. Παρά ταύτα, η ανάπτυξη των διαφόρων στοιχείων της του φορέα γίνεται σχεδόν εντός ενός και μόνο οριζοντίου επιπέδου, καθώς η διαμόρφωση των κλίσεων και τελικών υψομέτρων της επιστέγασης γίνεται με ειδικά τεμάχια συνδεδεμένα επί του φορέα. Συνεπώς, περαιτέρω ανάλυση της μορφής της στέγης δεν θα είχε κάποιο νόημα στην παρούσα εργασία. Μοναδική εξαίρεση σε αυτό έχει ο υπολογισμός της δράσης των ανεμοπιέσεων, καθώς η μορφή της στέγης είναι αυτή η οποία καθορίζει – εκτός των υπολοίπων – τις τιμές των δράσεων επί των στοιχείων.

Όσον αφορά την έδραση του στεγάστρου, αυτή επιτυγχάνεται μέσω κοινών ορθογωνικών υποστυλωμάτων. Τα υποστυλώματα αναπτύσσονται σε δύο σειρές, κατά τη διαμήκη έννοια, και είναι συνολικά δέκα (πέντε σε κάθε σειρά). Το πρώτο ζεύγος (από τη μεριά του προβόλου) είναι τοποθετημένο σε αξονική απόσταση 14.76m, ενώ όλα τα υπόλοιπα σε απόσταση 23.4m. Όλα τα ζεύγη είναι διατεταγμένα συμμετρικά περί τον διαμήκη άξονα της κατασκευής και απέχουν μεταξύ τους 20m.





Εικόνα 1-2: Διακριτά τμήματα του στεγάστρου

Έτσι, αντιμετωπίζοντας την κατασκευή ως σύνολο, υπάρχει ένα κεντρικό τμήμα, που ορίζεται μεταξύ των υποστυλωμάτων, και τρία εξωτερικά (σε επαφή μεταξύ τους) τα οποία, τόσο από αρχιτεκτονικής όσο και από στατικής άποψης, θεωρούνται πρόβολοι. Το κεντρικό τμήμα έχει μήκος όσο η απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων ζευγών υποστυλωμάτων δηλαδή 80m και πλάτος 23.4m – στο μεγαλύτερο τμήμα του – και 14.76m – στο ένα άκρο του. Τα δύο από τα εξωτερικά τμήματα – που βρίσκονται εξωτερικά της κάθε σειράς υποστυλωμάτων έχουν μήκος επίσης 80m και πλάτος 5.3m (στο άκρο τους γίνεται 9.62m), ενώ το τρίτο (ο κυρίως πρόβολος) έχει τη μορφή τραπεζίου με βάσεις μήκους 24m και 4m, ενώ το ύψος (του τραπεζίου) είναι ίσο με το πλάτος της κατασκευής, δηλαδή 34m. Όλα τα παραπάνω εμφανίζονται στην εικόνα 1-2.

## 1.2 Παρουσίαση Στοιχείων του Φορέα

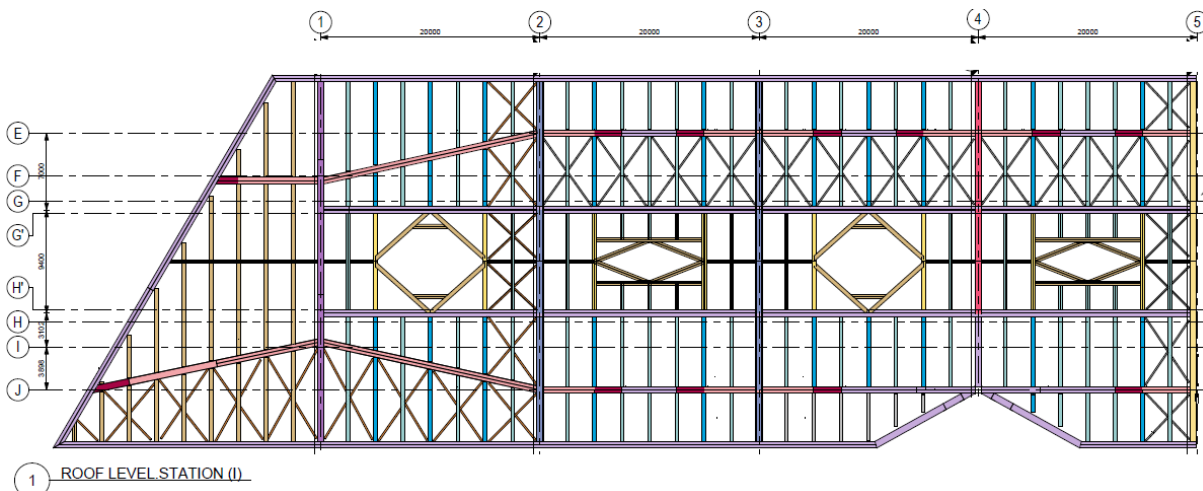
### 1.2.1 Κύρια Στοιχεία

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν εκείνα τα στοιχεία που απαρτίζουν τον φορέα του στεγάστρου του σταθμού τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως κύρια. Συνεπώς θα παρουσιαστούν εκείνα τα στοιχεία και οι διατάξεις που καλούνται να αναλάβουν την συνολική καταπόνηση της κατασκευής αλλά είναι και αυτά τα οποία καθορίζουν εν πολλοίς την συνολική συμπεριφορά.

Σε ένα δόμημα όπως αυτό ενός μεταλλικού στεγάστρου σιδηροδρομικού σταθμού που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα και αναλύοντας τα σχέδια κατασκευής του, συμπεραίνει ότι κύρια στοιχεία δεν είναι άλλα από τις διατάξεις που αναλαμβάνουν τις οριζόντιες δυνάμεις και τις ροπές στα κατακόρυφα στοιχεία, καθώς επίσης και ο τρόπος έδρασής τους. Συγκεκριμένα, σε αυτό το δόμημα η ανάληψη των οριζόντιων δυνάμεων και των ροπών γίνεται – και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις από πλαίσια ροπής.

Επί του συνόλου της κατασκευής – υπενθυμίζεται ότι για την παρούσα ανάλυση έχει επιλεγεί να αναλυθεί το ήμισυ της κατασκευής, καθώς αυτή αποτελείται από δύο πανομοιότυπα τμήματα που χωρίζονται από αρμό διαστολής- υπάρχουν δύο κύρια διαμήκη πλαίσια και πέντε εγκάρσια. Όπως έχει φανεί και στην αρχιτεκτονική παρουσίαση, ο φορέας δεν κατασκευάζεται από απλή παράθεση όμοιων πλαισίων. Αντίθετα:

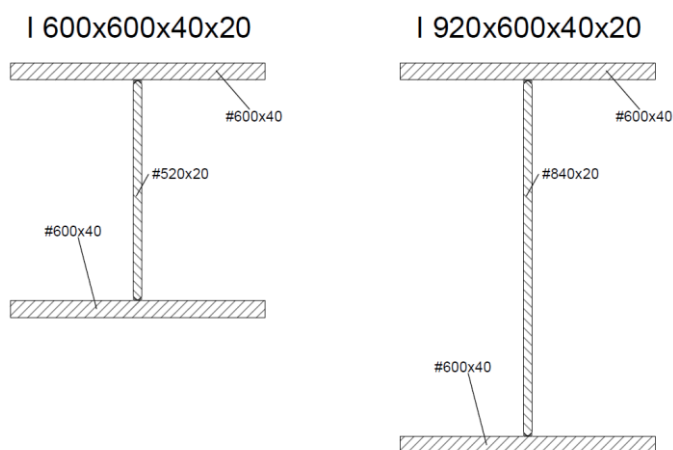
- Τα δύο διαμήκη πλαίσια είναι διακριτά, καθώς με το διαφορετικό μήκος του τελευταίου τμήματος του (που βρίσκεται εν πρόβω) διαμορφώνεται η τραπεζοειδής κάτοψη του δομήματος. Επιπλέον, στη θέση του ενός υποστυλώματος διαφοροποιείται η σύνδεση με το εγκάρσιο υποστύλωμα – καθώς επίσης και οι διαγώνιοι σύνδεσμοί του – λόγω της διαφορετικής μορφής της στέγης. Εφεξής, τα δύο διαμήκη πλαίσια ή οι αντίστοιχοι άξονες θα διακρίνονται από αύξοντα αριθμό σε λατινική μορφή, (i) και (ii), με το πρώτο να αντιστοιχεί στο βραχύτερο σε μήκος πλαίσιο.
- Τα πέντε εγκάρσια πλαίσια αναπτύσσονται σε τέσσερις διακριτούς τύπους. Η ανάλυση των διαφορών τους θα παρουσιαστεί εν συνεχεία. Εφεξής, τα εγκάρσια πλαίσια ή οι αντίστοιχοι άξονες θα διακρίνονται από αύξοντα αριθμό, (1) έως (5), με το πρώτο να αντιστοιχεί στο πλαίσιο που βρίσκεται πληρέστερα στον διαμορφωθέντα πρόβωλο του σταθμού.



Εικόνα 1-3: Κάτοψη οροφής φορέα προς ανάλυση

### 1. Διαμήκη πλαίσια

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί η διάταξη και ο τρόπος κατασκευής των διαμήκων πλαισίων. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 1-3, καθένα από τα δύο διαμήκη πλαίσια δεν είναι αναπτύσσονται εντός ενός επιπέδου. Αντίθετα, ο νοητός διαμήκης άξονάς τους – σε κάτοψη – προβάλλεται ως μία τεθλασμένη γραμμή, διαφορετική για κάθε πλαίσιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δύο πλαίσια να μην έχουν σταθερή απόσταση κατά την έννοια του μήκους της κατασκευής. Στο μεγαλύτερο τμήμα της κατασκευής στα φαντώματα που δημιουργούνται μεταξύ των αξόνων (2) έως (5) τα διαμήκη πλαίσια είναι παράλληλα και βρίσκονται σε αξονική απόσταση ίση με 23.4m. Μεταξύ των αξόνων (1) και (2) και τα δύο πλαίσια συγκλίνουν προς το κέντρο της κατασκευής, φθάνοντας να απέχουν στον άξονα (1) 14.76m. Πέραν του άξονα (1) το μεν πλαίσιο (i) παραμένει παράλληλο προς την νοητή διαμήκη έννοια της κατασκευής, ενώ το πλαίσιο (ii) αποκλίνει. Με αυτό τον τρόπο η απόσταση μεταξύ των δύο πλαισίων είναι μεταβλητή.



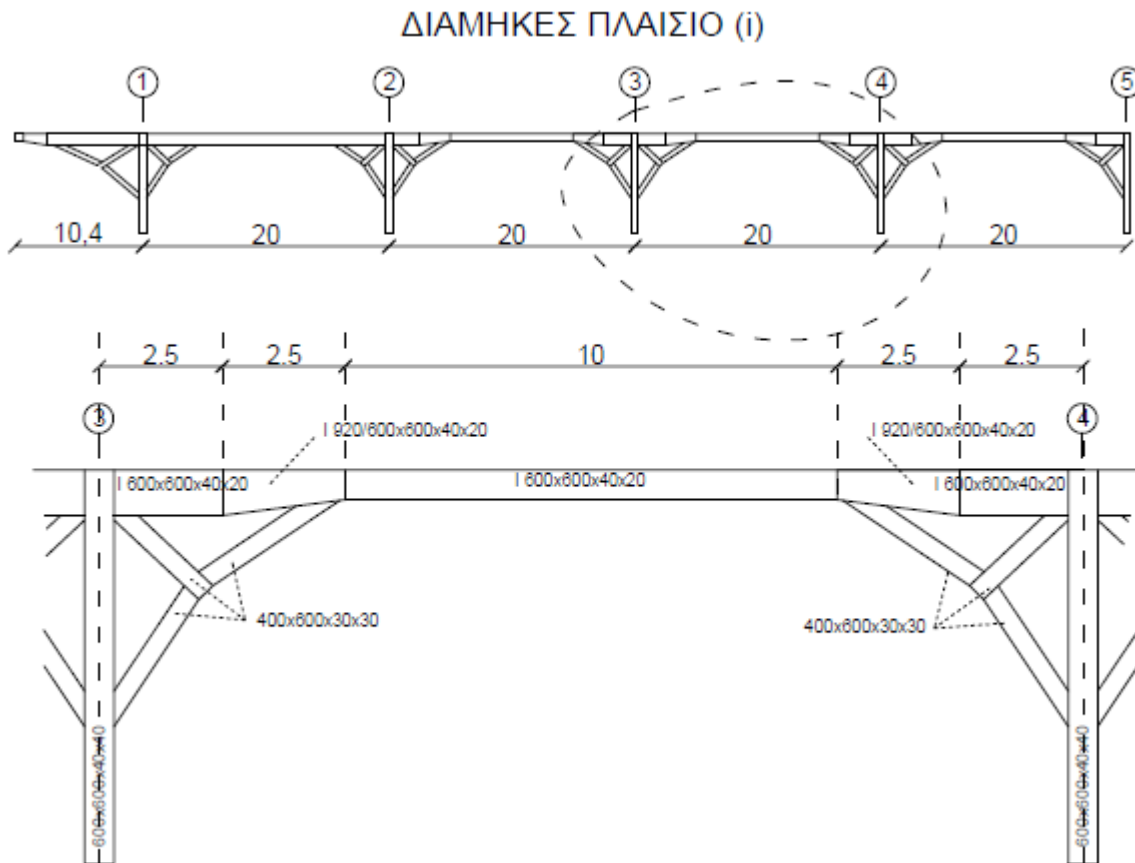
Εικόνα 1-4: Μορφή συγκολλητών διατομών I600x600x40x20 και I920x600x40x20

Όπως είναι λογικό, κατά την παρουσίαση των πλαισίων, στα σχέδια που ακολουθούν αποτυπώνεται η προβολή των δύο πλαισίων επί κατακόρυφης επιφάνειας που είναι παράλληλη προς τη νοητή διαμήκη έννοια της κατασκευής.

Στην εικόνα 1-5 παρουσιάζεται με αναλυτικότερο τρόπο η διάταξη του πλαισίου (i). Το συνολικό μήκος του πλαισίου είναι 90.4m, από τα οποία τα 80m διαμορφώνονται από 4 ανοίγματα των 20m, ενώ τα υπόλοιπα 10.4m βρίσκονται εν προβόλω. Το σύνολο των υποστυλωμάτων κατασκευάζονται από συγκολλητή κιβωτιοειδή διατομή 600x600x40x40, πλην του υποστυλώματος του άξονα (5) που είναι από αντίστοιχη διαστάσεων 500x600x50x50.

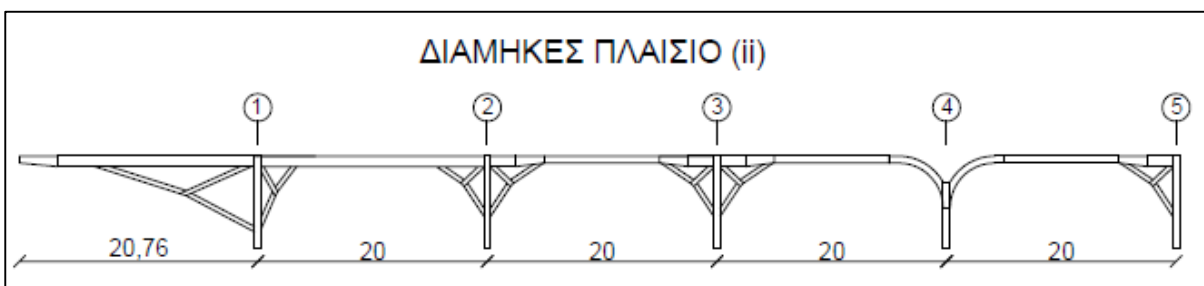
Το οριζόντιο τμήμα μεταξύ των υποστυλωμάτων είναι κατά κανόνα κατασκευασμένο από συγκολλητή διατομή μορφής I, μεταβλητού ύψους. Τα ζυγώματα μεταξύ των αξόνων (2) έως (5) είναι πανομοιότυπα και παρουσιάζονται αναλυτικά στην λεπτομέρεια της εικόνας 1-4. Έτσι, αποτελούνται από ένα κεντρικό τμήμα μήκους 10m διατομής I600x600x40x20, από δύο ακραία τμήματα μήκους 2.2m διατομής I920x600x40x20 και από δύο μεταβατικά μεταξύ των δύο διατομών μέλη διατομής μεταβλητού ύψους I920/600x600x40x20. Μεταξύ των αξόνων (1) και (2) η διατομή του ζυγώματος είναι σταθερή (I920x600x40x20). Τέλος, στην περιοχή του προβόλου, το οριζόντιο τμήμα αποτελείται από ένα μέλος μήκους 7.2m, διατομής I920x600x40x20 και ακολουθεί ένα μεταβατικό τμήμα μεταβλητής διατομής I920/600x600x40x20 και μήκους 2.9m.

Η σύνδεση των ζυγωμάτων επί των υποστυλωμάτων έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί ως πλήρης σύνδεση ικανή να μεταφέρει τόσο δυνάμεις όσο και ροπές. Έτσι, εάν τα πλαίσια αποτελούνταν αποκλειστικά από τα υποστυλώματα και τα ζυγώματα θα είχαν αρκετούς βαθμούς ελευθερίας δεσμευμένους ώστε να χαρακτηριστούν στατικά επαρκή. Παρά ταύτα, επειδή οι αναπτυσσόμενες ροπές κάμψης στη θέση συμβολής των υποστυλωμάτων με τα ζυγώματα αναμένεται να είναι αρκετά μεγάλες, επιλέχθηκε η ενίσχυση στις θέσεις αυτές με τις διατάξεις που φαίνονται στην εικόνα 1-2. Οι διατάξεις αυτές αποτελούνται από μέλη συγκολλητής κιβωτιοειδούς διατομής 400x600x30x30 και ενισχύουν τη φέρουσα ικανότητα αλλά και τη συμπεριφορά του πλαισίου. Σχετικά με τον τρόπο έδρασης των υποστυλωμάτων θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά σε επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 1-5: Ενδεικτική κατά μήκος τομή διαμήκους πλαισίου (i)

Στην εικόνα 1-6 παρουσιάζεται με αναλυτικό τρόπο το διαμήκες πλαίσιο (ii), συνολικού μήκους 100.76m. Όπως και στο πλαίσιο (i) τα 80m αφορούν σε 4 ανοίγματα μεταξύ των υποστυλωμάτων των 20m έκαστο και τα υπόλοιπα 20.76m βρίσκονται εν προβόλω. Τα υποστυλώματα είναι ίδια με τα αντίστοιχα του πλαισίου (i), δηλαδή διατομής 600x600x40x40 για τους άξονες (1) έως (4) και 500x600x50x50 για τον άξονα (5).



Εικόνα 1-6: Ενδεικτική κατά μήκος τομή διαμήκους πλαισίου (ii)

Όπως φαίνεται και από την εικόνα 1-6, ο τρόπος ανάπτυξης του διαμήκους πλαισίου (ii) είναι αντίστοιχος με αυτόν του πλαισίου (i). Οι βασικές διαφορές είναι δύο. Αρχικά, το μήκος του τμήματος που βρίσκεται εν προβόλω είναι σημαντικά μεγαλύτερο και συγκεκριμένα 20.76m, καθώς επίσης είναι διαφορετική και η μορφή των ενισχυτικών διατάξεων (λόγω του μεγαλύτερου μήκους). Η δεύτερη διαφοροποίηση αφορά στον τρόπο που μορφώνεται το ζύγωμα εκατέρωθεν του άξονα 4. Σε αυτή τη

θέση το κεντρικό τμήμα του ζυγώματος διατομής I600x600x40x20, αντί να μεταβάλλεται σε I920x600x40x20, διατηρεί την αρχική διατομή καμπυλώνοντας τον άξονα διαμορφώνοντας καμπυλόγραμμη γεννήτρια της οροφής.

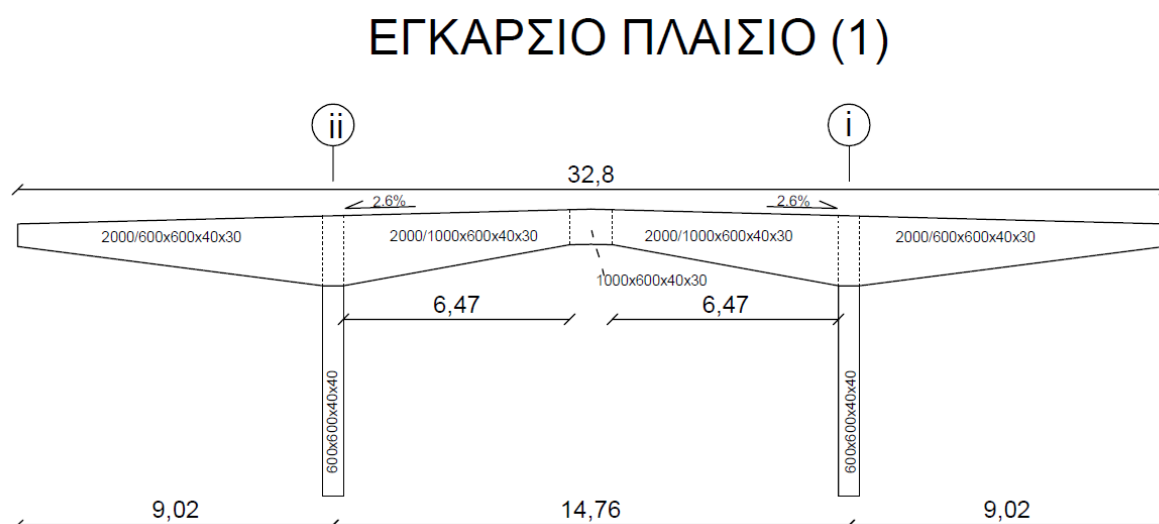
Σε όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, το διαμήκες πλαίσιο (ii) είναι πανομοιότυπο με το πλαίσιο (i).

## 2. Εγκάρσια πλαίσια

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί η διάταξη και ο τρόπος κατασκευής των εγκάρσιων πλαισίων. Στην εικόνα 1-3 παρουσιάζεται η θέση των πέντε εγκάρσιων πλαισίων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα πέντε πλαίσια διακρίνονται σε τέσσερις τύπους. Έτσι, τα πλαίσια (2) και (3) είναι όμοια, ενώ κάθε ένα από τα υπόλοιπα έχει διακριτή μορφή.

Ως κοινό γνώρισμα των πλαισίων μπορεί να αναφερθεί ότι έχουν το ίδιο συνολικό μήκος (32.8m), ενώ μεταβάλλεται η θέση των υποστυλωμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διαφοροποιείται το μήκος του κεντρικού τμήματος (ανάμεσα στα υποστυλώματα) και των τμημάτων που βρίσκονται εν προβόλω.

Στην εικόνα 1-7 παρουσιάζεται η μορφή του πλαισίου (1). Πρόκειται για το πλαίσιο που βρίσκεται πληρέστερα στο άκρο της κατασκευής.

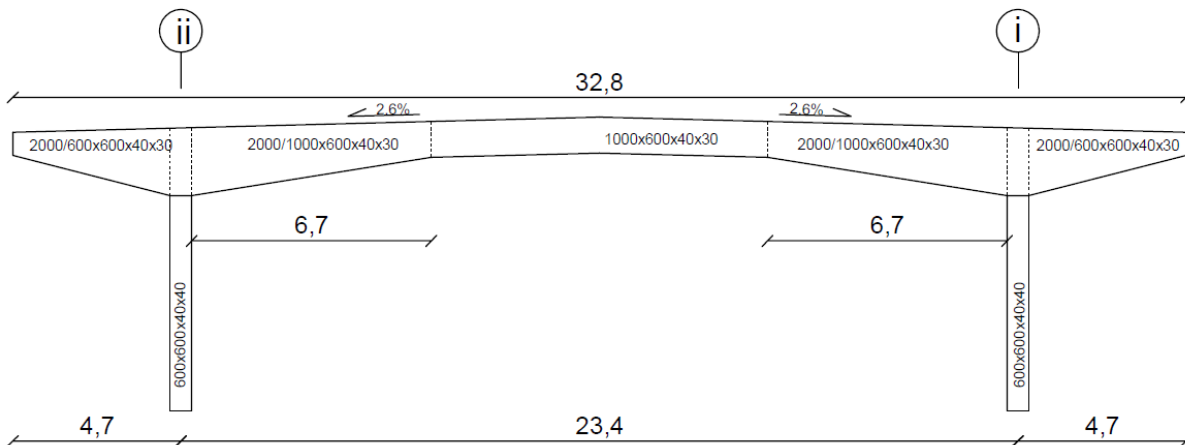


Εικόνα 1-7: Ενδεικτική όψη εγκάρσιου πλαισίου (1)

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα το πλαίσιο (1) εδράζεται επί υποστυλωμάτων συγκολλητής κιβωτιοειδούς διατομής 600x600x40x40, τοποθετημένα σε αξονική απόσταση 14.76m. Το ζύγωμα αποτελείται από επίσης συγκολλητή κιβωτιοειδή διατομή μεταβλητού ύψους VARx600x40x30. Εκατέρωθεν των υποστυλωμάτων το ύψος του ζυγώματος είναι 2m. Εξωτερικά των υποστυλωμάτων το ύψος του ζυγώματος μειώνεται μέχρι του ύψους των 600mm, ενώ εσωτερικά μέχρι του ύψους των 1000mm αφήνοντας ένα τμήμα μήκους 1.22m σταθερού ύψους στο κέντρο.

Στην εικόνα 1-8 παρουσιάζεται η μορφή των πλαισίων (2) και (3).

## ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (2) ΚΑΙ (3)

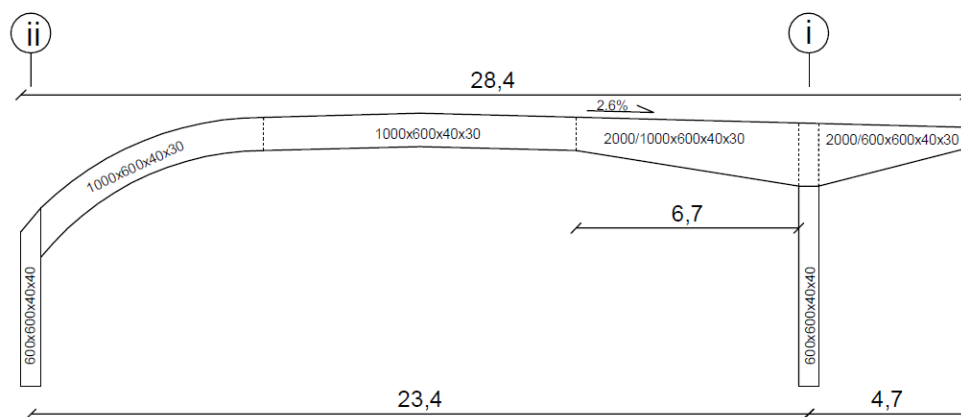


Εικόνα 1-8: Ενδεικτική όψη εγκάρσιων πλαισίων (2) και (3)

Σε αυτή τη μορφή πλαισίου τα υποστυλώματα – ίδιας διατομής με την προηγούμενη μορφή – βρίσκονται σε μεγαλύτερη αξονική απόσταση μεταξύ τους – 23.4m, ενώ το κεντρικό τμήμα σταθερού ύψους έχει μήκος 9.4m.

Στην εικόνα 1-9 παρουσιάζεται η μορφή του πλαισίου (4). Αυτή είναι η μοναδική μορφή εγκάρσιου πλαισίου που περιλαμβάνει καμπυλόγραμμα τμήματα.

## ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (4)

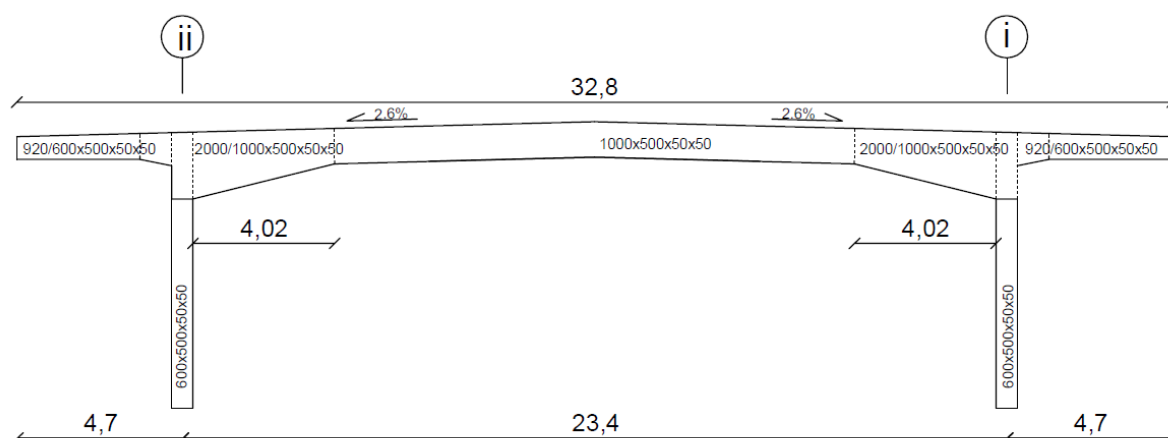


Εικόνα 1-9: Ενδεικτική όψη εγκάρσιου πλαισίου (4)

Το πλαίσιο (4) κατά το ήμισυ είναι όμοιο με τα πλαίσια (2) και (3), ενώ το υπόλοιπο μισό διαμορφώνεται με καμπύλα τμήματα. Έτσι το κεντρικό τμήμα που αποτελείται από σταθερή διατομή 1000x600x40x30, δεν μεταβάλλεται αυξάνοντας το ύψος της αλλά καμπυλώνει με μια ακτίνα περίπου 9.5m έως φθάσει στην συμβολή με το υποστυλώμα. Με αυτόν τον τρόπο διαμόρφωσης το υποστυλώμα που αντιστοιχεί στον άξονα (ii) είναι κατά πολύ βραχύτερο από τα υπόλοιπα, ενώ δεν υπάρχει εξωτερικό τμήμα εν προβάλλω.

Στην εικόνα 1-10 παρουσιάζεται η μορφή του πλαισίου (5). Πρόκειται για το ακραίο πλαίσιο του τμήματος του στεγάστρου που αναλύεται στην παρούσα εργασία.

## ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (5)



Εικόνα 1-10: Ενδεικτική όψη εγκάρσιου πλαισίου (5)

Η βασική διαφορά του τελευταίου πλαισίου σε σχέση με τα προηγούμενα είναι η διαφορετική διατομή των υποστυλωμάτων. Αυτά κατασκευάζονται από συγκολλητή κιβωτιοειδή διατομή 600x500x50x50, με την μικρή διάσταση να τοποθετείται κατά την διαμήκη έννοια του στεγαστρου. Το κεντρικό τμήμα σταθερής διατομής ύψους 1000mm, είναι μεγαλύτερο από τα προηγούμενα πλαίσια και έχει μήκος 14.76mm. Τέλος, τα εν προβόλω εξωτερικά των υποστυλωμάτων τμήματά του είναι μεταβλητής διατομής, που ως μέγιστο ύψος φθάνουν τα 920mm και όχι τα 2000mm.

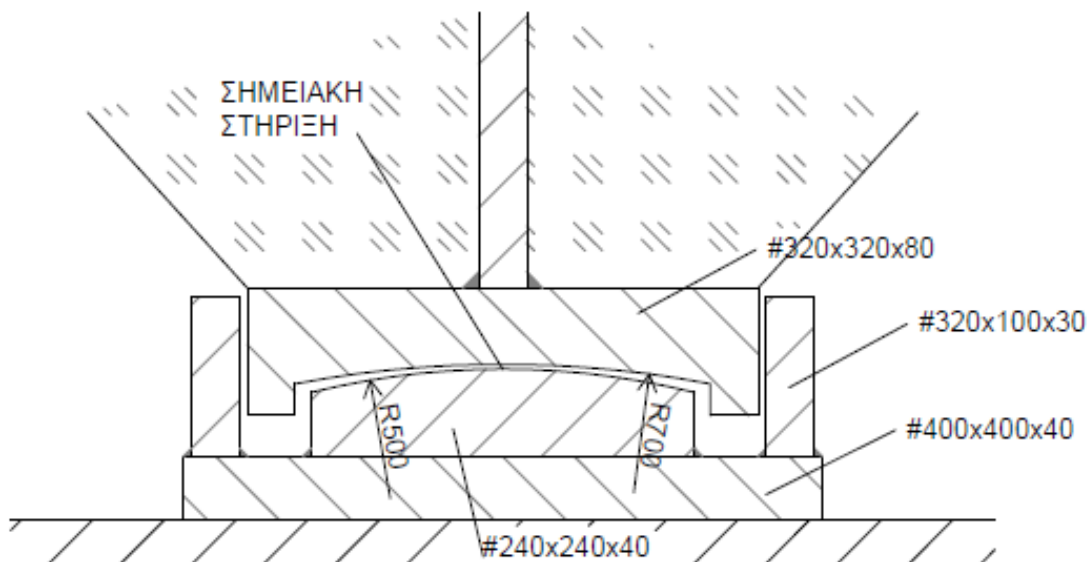
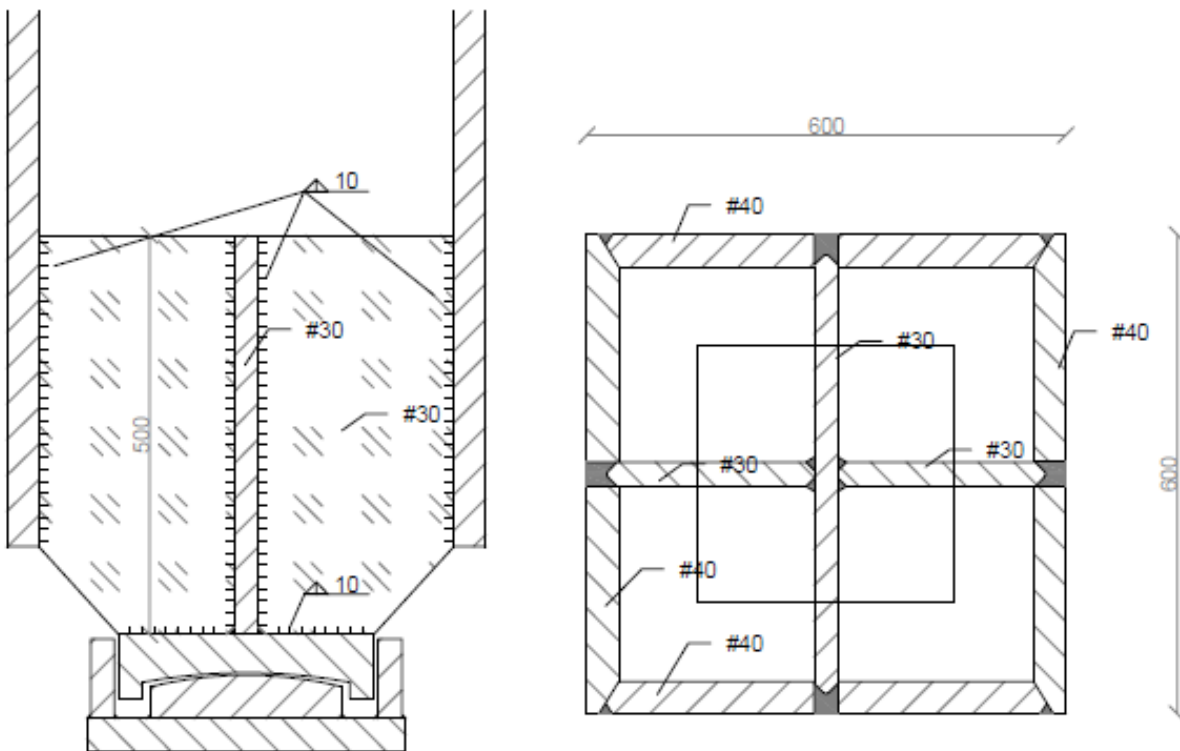
### 3. Έδραση υποστυλωμάτων

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει ιδιαίτερη μνεία σχετικά με τον τρόπο έδρασης των υποστυλωμάτων. Το σύνολο των στοιχείων, εικόνων και λεπτομερειών που θα παρουσιαστούν αφορούν την έδραση των υποστυλωμάτων των πλαισίων (1) έως (4), δηλαδή όσα είναι διατομής 600x600x40x40. Παρόλα αυτά, αντίστοιχα ισχύουν και για τα υποστυλώματα του πλαισίου (5).

Αυτό που θα πρέπει αρχικά να αναφερθεί είναι οι συνθήκες στήριξης που έχει επιλέξει ο μελετητής να θεωρήσει για τα υποστυλώματα. Έτσι, η θεώρηση που έχει συμπεριληφθεί στο προσομοίωμα είναι ότι τα υποστυλώματα εδράζονται επί πλήρους άρθρωσης, δηλαδή μπορούν να φέρουν το σύνολο των δυνάμεων που καταπονούν το άκρο του υποστυλώματος (διατμητικές και αξονικές δυνάμεις), χωρίς όμως να έχουν την ικανότητα να παραλάβουν κάποιου είδους ροπή. Αντίθετα επιτρέπουν στο υποστυλώμα να στραφεί ελεύθερα περί τους δύο οριζόντιους άξονες.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οποιαδήποτε κατασκευή οφείλει να έχει δομηθεί κατά τέτοιο τρόπο, αλλά και οι λεπτομέρειες κυρίως των συνδέσεων της, ώστε να ανταποκρίνεται η συμπεριφορά της στις παραδοχές που έχουν γίνει από τον μελετητή κατά την φάση του στατικού προσομοιώματος. Κάτω από αυτό το πρίσμα, είναι πολύ σημαντικό ο τρόπος έδρασης του υποστυλώματος να είναι κατάλληλος, ώστε να επιτυγχάνονται – στην πράξη – οι συνθήκες μιας πλήρους άρθρωσης. Σε αντίθετη περίπτωση, αν παραδειγματος χάριν, η έδραση θα μπορούσε να αναλάβει και ροπές – ακόμα και μικρές σε μέγεθος – η ανάπτυξη των διαφόρων εντατικών μεγεθών στο σύνολο των σημείων των πλαισίων θα ήταν διαφορετική, καθιστώντας έτσι μη αντιπροσωπευτική την στατική ανάλυση που προηγήθηκε και καθόρισε την διαστασιολόγηση των μελών. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ενδεικτικά ο τρόπος κατασκευής της διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για να συμπεριφερθεί ως πλήρης άρθρωση.

## ΕΔΡΑΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ



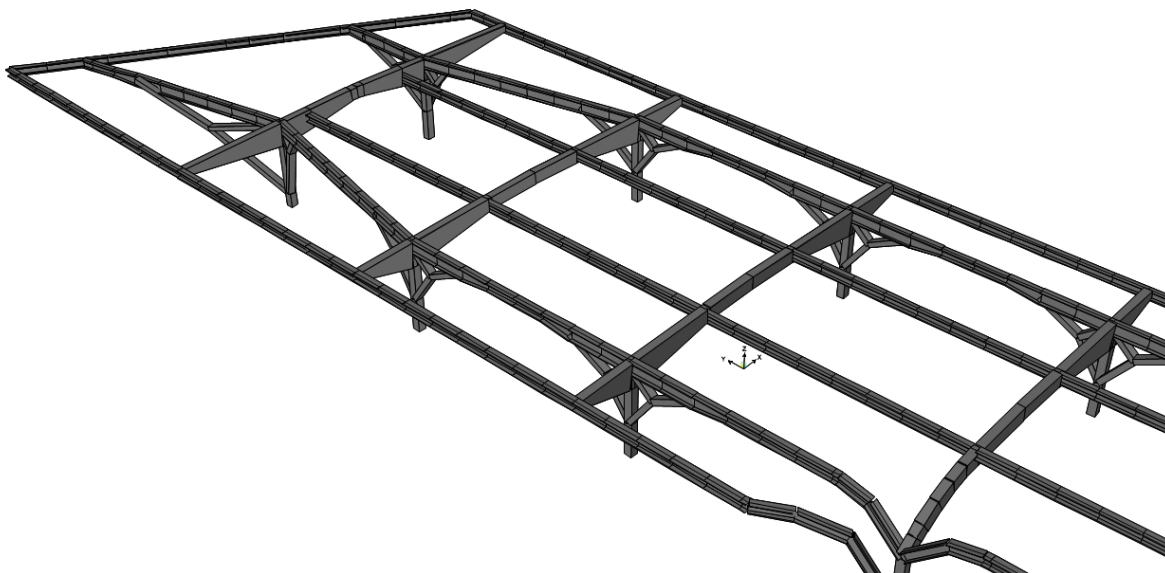
Εικόνα 1-11: Τομή, κάτοψη και λεπτομέρεια έδρασης υποστυλώματος

Στην εικόνα 1-11 παρουσιάζεται αναλυτικά η έδραση του υποστυλώματος. Κυρίαρχο γνώρισμα της λεπτομέρειας της έδρασης είναι η δημιουργία σημειακής στήριξης. Αυτό γίνεται με την απλή επαφή δύο επιφανειών που έχουν μορφωθεί ως τμήματα επιφάνειας σφαίρας διαφορετικής καμπυλότητας. Έτσι, το σταθερό τμήμα – επί του οποίου γίνεται η έδραση – έχει δημιουργηθεί από μία μεταλλική πλάκα



ένα τετραγωνικής κάτοψης 240x240 ελάχιστου πάχους 40mm, η πάνω παρειά της οποίας είναι τμήμα σφαίρας καμπυλότητας 500mm. Αντίθετως, η κάτω παρειά της μεταλλικής πλάκας στην οποία καταλήγει το υποστύλωμα διαμορφώνεται με ομόρροπη καμπύλη καμπυλότητας 700mm. Οι δύο επιφάνειες λόγω γεωμετρικών περιορισμών δεν δύναται παρά να ακουμπούν σε ένα μόνο σημείο με αποτέλεσμα το υποστύλωμα να μπορεί να περιστρέφεται περί οποιονδήποτε οριζόντιο άξονα μεταφέροντας παράλληλα τις κατακόρυφες δυνάμεις. Τέλος, με ειδικές διατάξεις τόσο στην πλάκα στην οποία καταλήγει το υποστύλωμα όσο και στην πλάκα έδρασης, απαγορεύεται η σχετική οριζόντια μετακίνηση των δύο τεμαχίων. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η συμπεριφορά της έδρασης του υποστυλώματος ως πλήρης άρθρωση.

Μοναδική σημείωση που θα πρέπει να γίνει είναι ότι η παρούσα διάταξη έδρασης του υποστυλώματος δεν μπορεί να φέρει παρά μόνο κατακόρυφα φορτία που έχουν την ίδια κατεύθυνση με τα βαρυτικά φορτία. Έτσι αρνητικές τιμές κατακόρυφης αντίδρασης, αν και στο προσομοίωμα είναι ανεκτές η πραγματική κατασκευή δεν δύναται να τα φέρει. Έτσι κατά την ανάλυση θα πρέπει ο μελετητής να αποκλείσει το ενδεχόμενο ανάπτυξης αρνητικών κατακόρυφων αντιδράσεων.



Εικόνα 1-12: Άποψη προσομοιώματος που περιλαμβάνει μόνο τα κύρια στοιχεία και την περιμετρική δοκό

### 1.2.2 Δευτερεύοντα Στοιχεία

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα υπόλοιπα στοιχεία που αποτελούν το δόμημα. Πρόκειται για τα στοιχεία εκείνα, τα οποία μετά τα κύρια, δίνουν στον φορέα τη μορφή που θα πρέπει να έχει, αλλά και συμπληρώνουν, από στατικής απόψεως, τη συμπεριφορά. Επιπλέον, σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα στοιχεία, μέσω των οποίων εισάγονται οι εξωτερικές φορτίσεις στο προσομοίωμα.

#### 1. Περιμετρική δοκός

Περιμετρικά του συνόλου της κατασκευής κατασκευάζεται περιμετρική δοκός. Ο ρόλος της δοκού αφενός να οριοθετήσει τη στέγαση του σταθμού, αφετέρου να προσφέρει στήριξη και στο δεύτερο άκρο των δευτερεύουσων εγκάρσιων δοκών. Επιπλέον, βοηθά στην εν γένει συμπεριφορά του στεγάστρου, προσφέροντας μη δυνατότητα διαφορικών μετατοπίσεων μεταξύ των δευτερεύουσων δοκών αλλά και αυξάνοντας την ακαμψία του προβόλου.

Στο σύνολο του μήκους της, η περιμετρική δοκός διατηρεί σταθερή διατομή. Πρόκειται για συγκολλητή διατομή μορφής I 600x600x40x20. Η μορφή της διατομής παρουσιάζεται στην εικόνα 1-4.

Όσον αφορά στον τρόπο σύνδεσης, καθώς η περιμετρική δοκός είναι πλήρως δεσμευμένη με τα εγκάρσια αλλά και τα διαμήκη πλαίσια, εκτιμάται ότι δεν υπάρχει κάποιος βαθμός ελευθερίας μη δεσμευμένος.

## 2. Δευτερεύουσες διαμήκεις δοκοί

Κατά την έννοια του μήκους της κατασκευής και 4.7m εκατέρωθεν του νοητού άξονα αναπτύσσονται δύο τους δευτερεύουσες δοκοί. Οι δοκοί αυτοί είναι ευθύγραμμες και παράλληλες μεταξύ τους, αντίθετα από τα κύρια διαμήκη πλαίσια. Συνδέονται επί των εγκαρσίων πλαισίων και δεν εκτείνονται στο σύνολο του μήκους της κατασκευής, αλλά μόνο μεταξύ των εγκαρσίων πλαισίων. Δηλαδή δεν υπάρχουν στην περιοχή του προβόλου.

Οι δευτερεύουσες διαμήκεις δοκοί είναι σταθερής καθ' όλο το μήκος τους, διατομής I600x600x40x20 και συνδέονται επί των εγκαρσίων πλαισίων με συνδέσεις ροπήs.

## 3. Δευτερεύουσες εγκάρσιες δοκοί

Τα στοιχεία της κατασκευής τα οποία θα θεωρηθεί ότι φέρουν την πλειονότητα των εξωτερικών φορτίσεων είναι οι δευτερεύουσες εγκάρσιες δοκοί. Αυτές αναλαμβάνουν το ρόλο της τεγίδωσης στο στέγαστρο του σταθμού και είναι κατασκευασμένες από ελατές πρότυπες διατομές της σειράς UC των Βρετανικών Προτύπων.

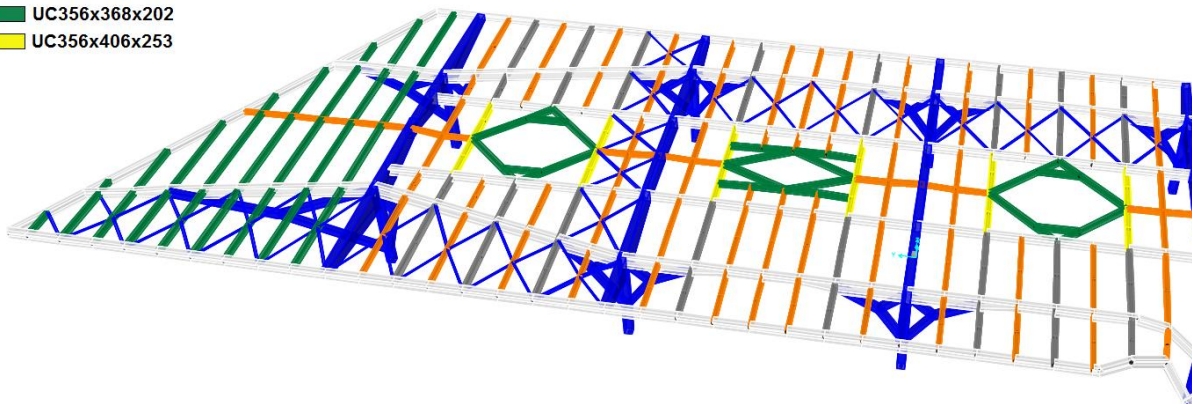
Οι διατομές που χρησιμοποιούνται είναι:

- UC305x305x118
- UC356x368x153
- UC356x368x202
- UC356x406x235

Επιγραμματικά θα αναφερθεί ότι η διατομή UC356x368x202 χρησιμοποιείται στην περιοχή του προβόλου και των ανοιγμάτων οροφής, η διατομή UC356x406x235 για την δημιουργία των ενισχυμένων ζωνών περί των ανοιγμάτων της οροφής, όπως αυτά παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο. Τέλος, οι δύο πρώτες διατομές χρησιμοποιούνται στις υπόλοιπες θέσεις.

Όσον αφορά στην σύνδεση τους με τα υπόλοιπα στοιχεία της κατασκευής, μορφώνουν συνδέσεις ροπήs με τα διαμήκη πλαίσια, ενώ όλα οι υπόλοιπες συνδέσεις τέμνουσας. Εξαιρέση στον παραπάνω κανόνα αποτελούν τα στοιχεία διατομής UC356x368x202 που μορφώνουν συνδέσεις ροπήs και στη συμβολή τους με την περιμετρική δοκό.

- UC305x305x118
- UC356x368x153
- UC356x368x202
- UC356x406x235

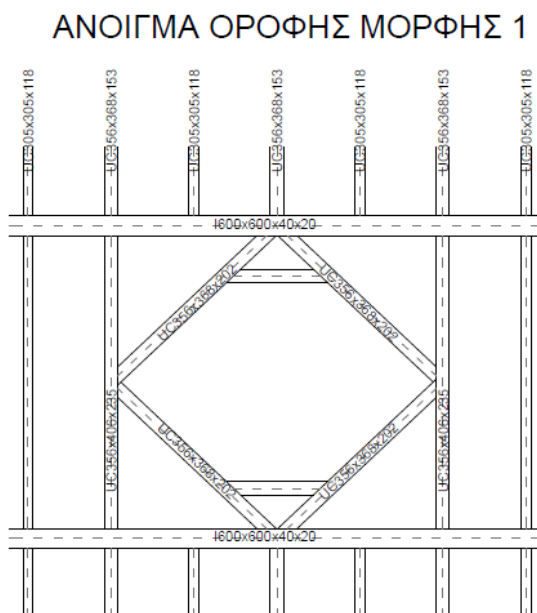


Εικόνα 1-13: Χρωματική απεικόνιση διαφορετικών δοκών επιστέγασης

Στην εικόνα 1-13 παρουσιάζεται εκ νέου το αρχικό προσομοίωμα, με κάθε μία διατομή να εμφανίζεται με διαφορετικό χρώμα. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται αντιληπτός και οπτικά ο τρόπος εναλλαγής των δοκών στις διάφορες θέσεις.

#### 4. Ανοίγματα οροφής

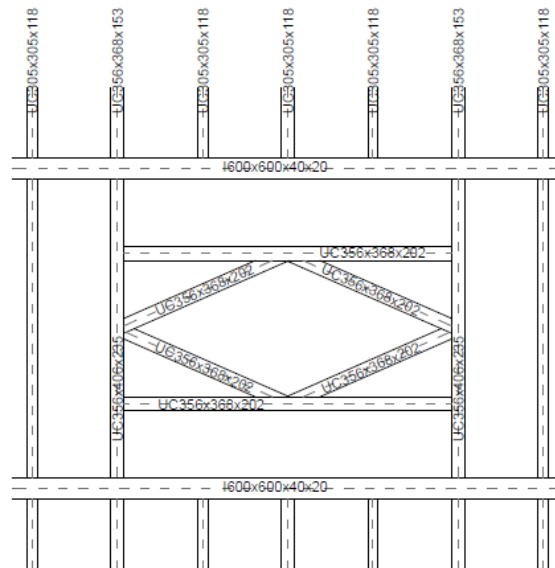
Μεταξύ κάθε διαδοχικών εγκάρσιων πλαισίων στο κέντρο της επιστέγασης μορφώνεται ένα άνοιγμα οροφής. Τα ανοίγματα είναι δύο μορφών. Η πρώτη μορφή που αναπτύσσεται μεταξύ των πλαισίων (1)-(2) και (3)-(4) είναι μεγαλύτερο και τα όριά του είναι έως τις δευτερεύουσες διαμήκεις δοκούς, οι οποίες αποτελούν τις δύο από τις τέσσερις πλευρές του. Οι άλλες δύο είναι δευτερεύουσες εγκάρσιες δοκοί διατομής UC356x406x235 και η τελική διαμόρφωση γίνεται με δοκούς διατομής UC356x368x202. Στην εικόνα 1-14 παρουσιάζεται η πρώτη μορφή ανοίγματος οροφής.



Εικόνα 1-14: Άνοιγμα οροφής μορφής 1

Η δεύτερη μορφή αναπτύσσεται μεταξύ των εγκάρσιων πλαισίων (2)-(3) και (4)-(5). Πρόκειται για σημαντικά μικρότερο άνοιγμα από την προηγούμενη μορφή. Στην εικόνα 1-15 γίνεται η παρουσίασή της.

## ΑΝΟΙΓΜΑ ΟΡΟΦΗΣ ΜΟΡΦΗΣ 2



Εικόνα 1-15: Άνοιγμα οροφής μορφής 2

### 5. Οριζόντιοι σύνδεσμοι ακαμψίας

Για την εξασφάλιση της συμπεριφοράς της επιστέγασης, ως ενιαίο τμήμα, αλλά και την ασφαλή μεταφορά των οριζοντίων εντάσεων στους κύρια στοιχεία (πλαίσια) χρησιμοποιούνται οριζόντιοι σύνδεσμοι ακαμψίας. Οι σύνδεσμοι τοποθετούνται σε χιαστί διαμόρφωση μεταξύ των δευτερεύουσων εγκάρσιων δοκών και των εγκάρσιων πλαισίων. Σχηματική απεικόνιση της θέσης στις οποίες τοποθετούνται παρουσιάζεται στην εικόνα 1-3.

Οι σύνδεσμοι που τοποθετούνται μεταξύ των πλαισίων (1) και (2), αλλά και στην περιοχή του προβόλου, είναι γωνιακής ελατής διατομής L152x152x22.2, ενώ στις υπόλοιπες θέσεις L127x127x19. Οι σύνδεσμοι συνδέονται στα άκρα τους με συνδέσεις τέμνουσας, δηλαδή μπορούν να μεταφέρουν δυνάμεις αλλά όχι ροπές. Έτσι, η κύρια καταπόνηση η οποία αναμένεται να αναπτύξουν είναι αξονική, καθιστώντας ως κύριο κριτήριο διαστασιολόγησής τους φαινόμενα λυγισμού.

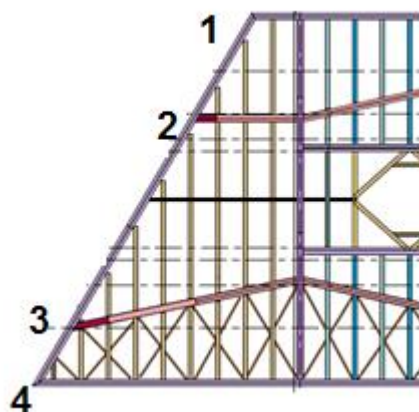
### 6. Πρόβολος

Όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 1.1, αλλά και σχηματικά παρουσιάστηκε στην εικόνα 1-4, στην διαμήκη έννοια του δομήματος υπάρχει ένα τμήμα που εδράζεται στο πλαίσιο (1) και λειτουργεί ως πρόβολος. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, και καθώς το σχήμα σε κάτοψη του προβόλου είναι τραπέζιο, η μικρή διαμήκης διάσταση είναι μόλις 4m και η μεγάλη 24m.

Λόγω των διαστάσεων που αναφέρθηκαν είναι επόμενο να αναπτυχθούν ιδιαίτερα μεγάλες ροπές κάμψης περί τον εγκάρσιο άξονα. Δεδομένου ότι πρόκειται για πρόβολο – συνεπώς υπάρχει πλήρης ελευθερία στο ένα άκρο, οι μεγάλες τιμές ροπών κάμψης μεταφράζονται σε μεγάλες μετακινήσεις στον κατακόρυφο άξονα. Τα στοιχεία εκείνα τα οποία παρέχουν ακαμψία στην ροπή περί τον εγκάρσιο άξονα και συνεπώς αντίσταση την κατακόρυφη μετατόπιση του ελεύθερο άκρου του προβόλου είναι πρωταρχικά τα τμήματα των διαμήκων πλαισίων (i) και (ii) που βρίσκονται εν προβόλω και συμπληρωματικά τα διαμήκη τμήματα της περιμετρικής δοκού.

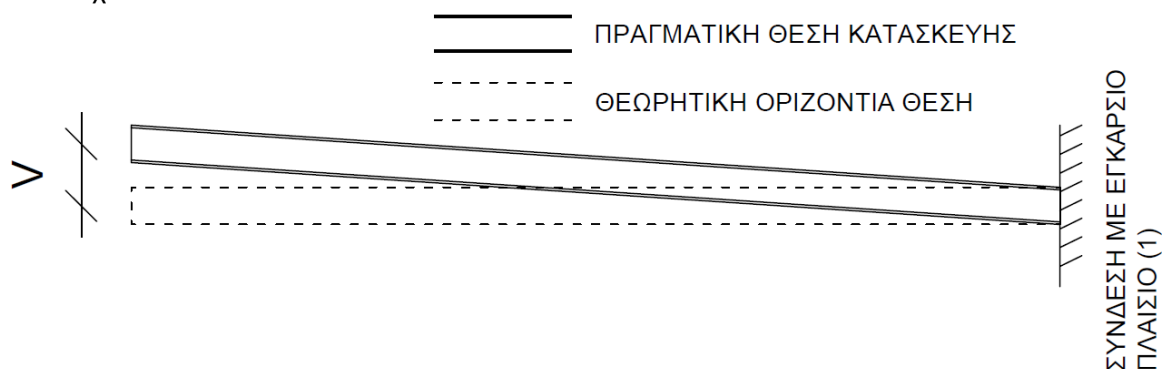
Οι υπόψη μετακινήσεις θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές για τον έλεγχο του δομήματος ως προς τα κριτήρια έναντι λειτουργικότητας. Συγκεκριμένα, λόγω του ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους του προβόλου – το μήκος του φθάνει το μήκος του ανοίγματος μεταξύ δύο διαδοχικών πλαισίων – οι θέσεις αυτές είναι οι πλέον επίφοβες θέσεις στο σύνολο της κατασκευής για ανάπτυξη μετακινήσεων πλέον των επιτρεπτών. Για τον μετριασμό της επιρροής της λειτουργίας του προβόλου, από την αρχική μελέτη

κατασκευής επιλέχθηκε να δοθεί αντιβέλος στα τέσσερα στοιχεία που συμβάλλουν στην ακαμψία του προβόλου και κατ' επέκταση στο σύνολο της επιστέγασης στην περιοχή αυτή. Καθώς όμως τα τέσσερα στοιχεία ακαμψίας δεν έχουν το ίδιο μήκος έχει δοθεί διαφορετική τιμή αντιβέλους σε κάθε ένα από αυτά.



Εικόνα 1-16: Στοιχεία που προσφέρουν ακαμψία στον πρόβολο

Όπως φαίνεται στην εικόνα 1-17, το αντιβέλος δίνεται γραμμικά, δηλαδή τα στοιχεία παραμένουν ευθύγραμμα, αλλά με ειδικό τρόπο σύνδεσης επί του πλαισίου (1) επιτυγχάνεται η απόκλιση του άξονά τους από το οριζόντιο επίπεδο, δίνοντας έτσι την επιθυμητή τιμή αντιβέλους στο άκρο του κάθε στοιχείου.



Εικόνα 1-17: Σχηματική απεικόνιση αντιβέλους

Όπως θα φανεί και από τα αποτελέσματα η επιδίωξη του αντιβέλους στα στοιχεία αυτά είναι να αντισταθμίσουν τις αναπτυσσόμενες – υπό τα μόνιμα φορτία – κατακόρυφες μετατοπίσεις. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές του αντιβέλους  $V$ , που δόθηκαν στα τέσσερα στοιχεία ακαμψίας του προβόλου. Τονίζεται ότι η αρίθμηση των στοιχείων ακαμψίας δίνεται από την εικόνα 1-16.

Πίνακας 1-1: Τιμές αντιβέλους

ΘΕΣΗ	ΑΝΤΙΒΕΛΟΣ (mm)
1	10
2	30
3	110
4	140

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, η τιμή που δίνεται ως αντιβέλος στο άκρο του κάθε στοιχείου είναι ανάλογη του μήκους του. Αυτό είναι απόλυτα λογικό στην προσπάθεια να δοθεί κατά το δυνατό ενιαία κλίση (ως απόρροια του αντιβέλους) στο τμήμα της επιστέγασης που λειτουργεί ως πρόβολος.

## 2 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

### 2.1 Μόνιμα Φορτία

Ως μόνιμα χαρακτηρίζονται εκείνα τα φορτία που δρουν σταθερά επί της κατασκευής καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της και οφείλονται στο βάρος των σταθερών στοιχείων αυτής (δομικά στοιχεία, στοιχεία πληρώσεων, εξοπλισμός κ.α.)

Τα μόνιμα φορτία μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

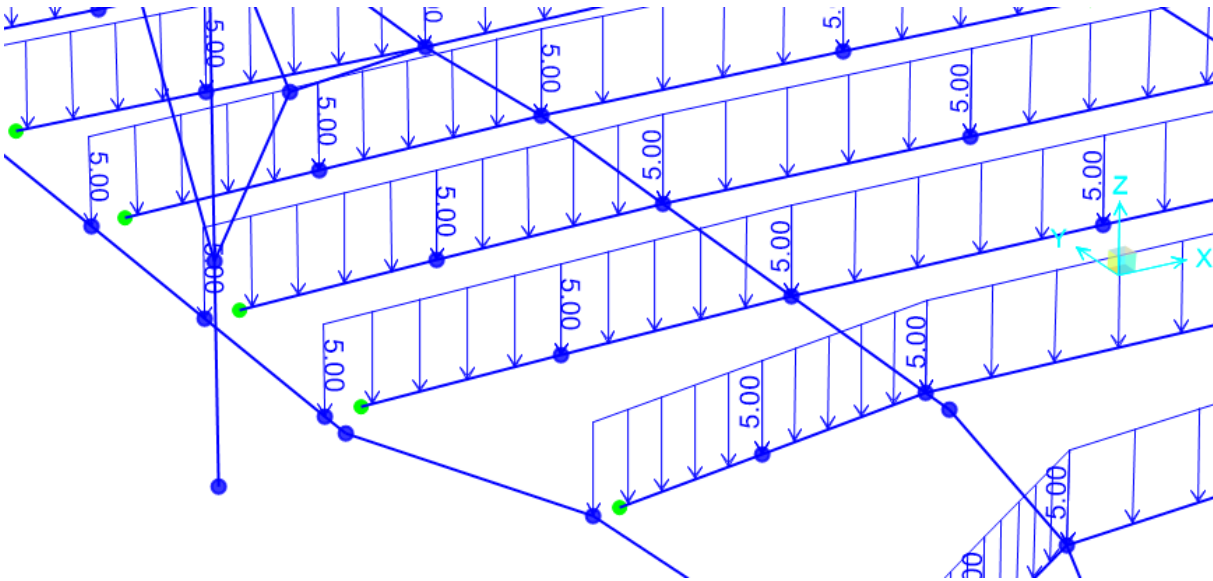
- Στα φορτία που προκαλούνται από το βάρος των δομικών στοιχείων, των στοιχείων δηλαδή που συμμετέχουν στην φέρουσα ικανότητα της κατασκευής. Αυτά τα φορτία δεν εισάγονται στο προσομοίωμα αναλυτικά, αλλά υπολογίζονται από το λογισμικό ανάλυσης βάσει των διαστάσεων των δομικών στοιχείων και των χαρακτηριστικών των υλικών που έχουν εισαχθεί.
- Στα φορτία που προκαλούνται από το βάρος των υπολοίπων σταθερών στοιχείων που απαρτίζουν την κατασκευή και τα οποία, όσον αφορά την προσομοίωση, θα θεωρηθούν ως εξωτερικά επιβαλλόμενα. Για αυτό τον λόγο, εισάγονται αναλυτικά.

Για την δεδομένη κατασκευή έχει θεωρηθεί ότι τα μόνιμα φορτία (πλην του ιδίου βάρους του φέροντος οργανισμού) προέρχονται μόνο από την επιστέγαση του σταθμού και από τον εξοπλισμό που αναρτάται από αυτή. Τα μόνιμα φορτία εκτιμάται ότι ανέρχονται σε  $2\text{kN/m}^2$  κάτοψης της επιστέγασης.

Τόσο τα μόνιμα φορτία όσο και τα φορτία ανέμου θεωρείται ότι δρουν απ' ευθείας (ως γραμμικώς κατανεμημένα φορτία) στο σύνολο των δευτερεύουσων εγκάρσιων δοκών επί των οποίων εδράζεται η επιστέγαση. Το πλάτος επιρροής κάθε δευτερεύουσας εγκάρσιας δοκού (σύμφωνα με τα αρχιτεκτονικά σχέδια της κατασκευής) ανέρχεται σε  $2.5\text{m}$ . Συνεπώς, κάθε δοκός θα καταπονείται από ένα μόνιμο γραμμικά κατανεμημένο φορτίο:

$$DEAD = 2\text{kN/m}^2 \times 2\text{m} = 5\text{kN/m}$$

Στην εικόνα 2-1 παρουσιάζεται ενδεικτικά η υπόψη καταπόνηση των δοκών.



Εικόνα 2-1: Απεικόνιση επιβολής μόνιμων φορτίων στα στοιχεία της κατασκευής

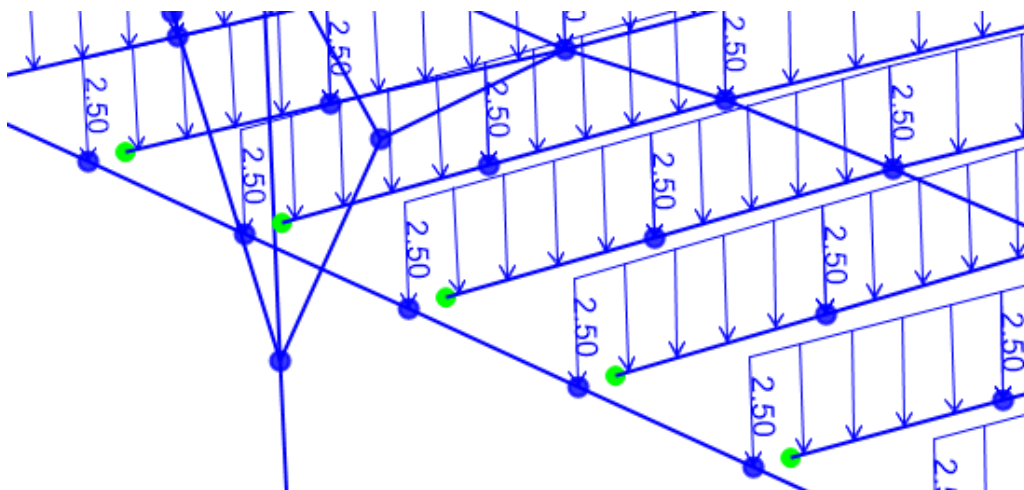
## 2.2 Κινητά Φορτία

Δεδομένου ότι η στέγη του σταθμού είναι «μη προσβάσιμη παρά μόνο για την κανονική συντήρηση και επισκευή», η κατηγορία της επιφάνειάς της είναι Η.

Σύμφωνα με το EN 1991-1-1 το κινητό φορτίο για αυτήν την κατηγορία της στέγης δύναται να ληφθεί μεταξύ 0 και  $1\text{kN/m}^2$  κάτωφης της επιστέγασης. Σε αυτήν την κατασκευή έχει επιλεγεί – ως δυσμενέστερο – κινητό φορτίο  $1\text{kN/m}^2$ . Όπως και τα μόνιμα φορτία έτσι και τα κινητά επιβάλλονται απ' ευθείας επί των δευτερεύουσων εγκάρσιων δοκών, η κάθε μία από τις οποίες έχει πλάτος επιρροής 2.5m.

Έτσι, κάθε δοκός καταπονείται με ένα κινητό κατανομημένο φορτίο:

$$LIVE = 1\text{kN/m}^2 \times 2\text{m} = 2.5\text{kN/m}$$



Εικόνα 2-2: Απεικόνιση επιβολής κινητών φορτίων στα στοιχεία της κατασκευής

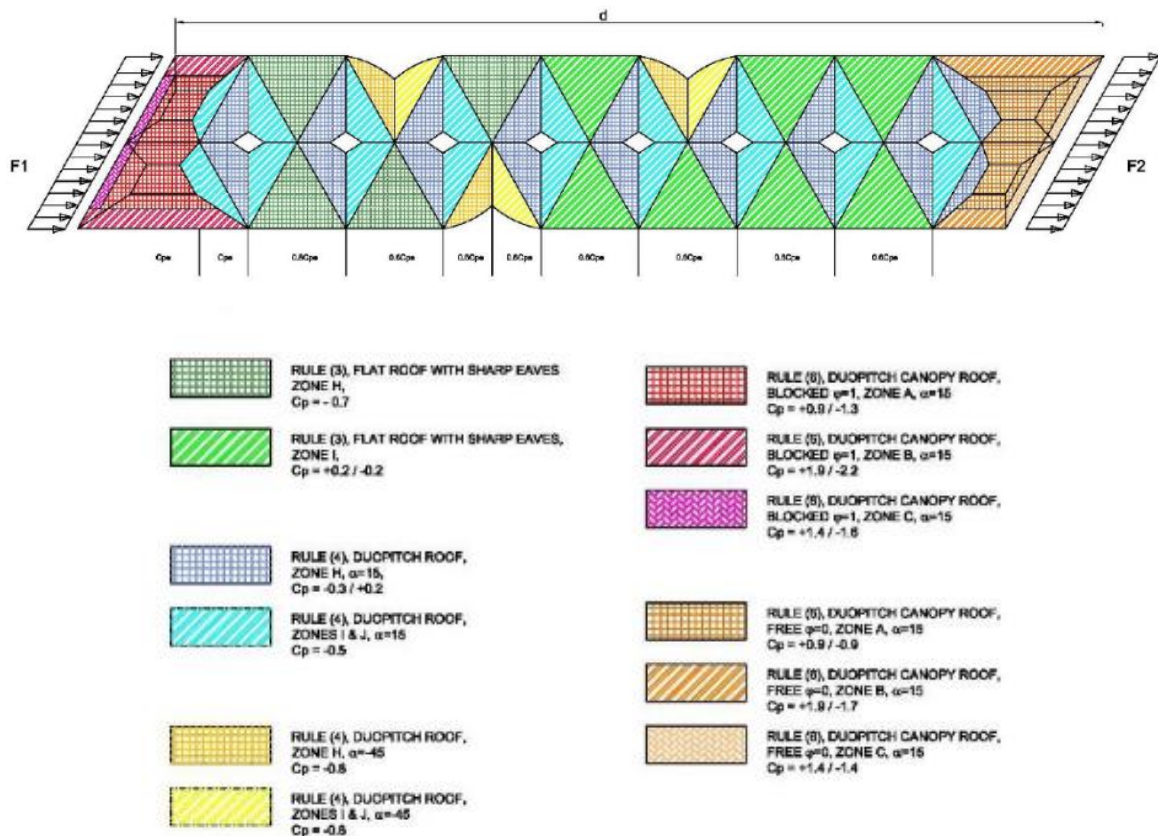


## 2.3 Φορτίο Ανέμου

Ως δράση του ανέμου επί των κατασκευών θεωρείται η πίεση που αναπτύσσεται από την ανάσχεση της ροής του ανέμου. Από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις προκύπτουν δυνάμεις κάθετες προς την προσβαλλόμενη επιφάνεια. Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2 η μορφή της επιστέγασης δεν μπορεί να χαρακτηριστεί συνήθεις, με επανάληψη καμπύλων επιφανειών εναλλασσόμενης κυρτότητας.

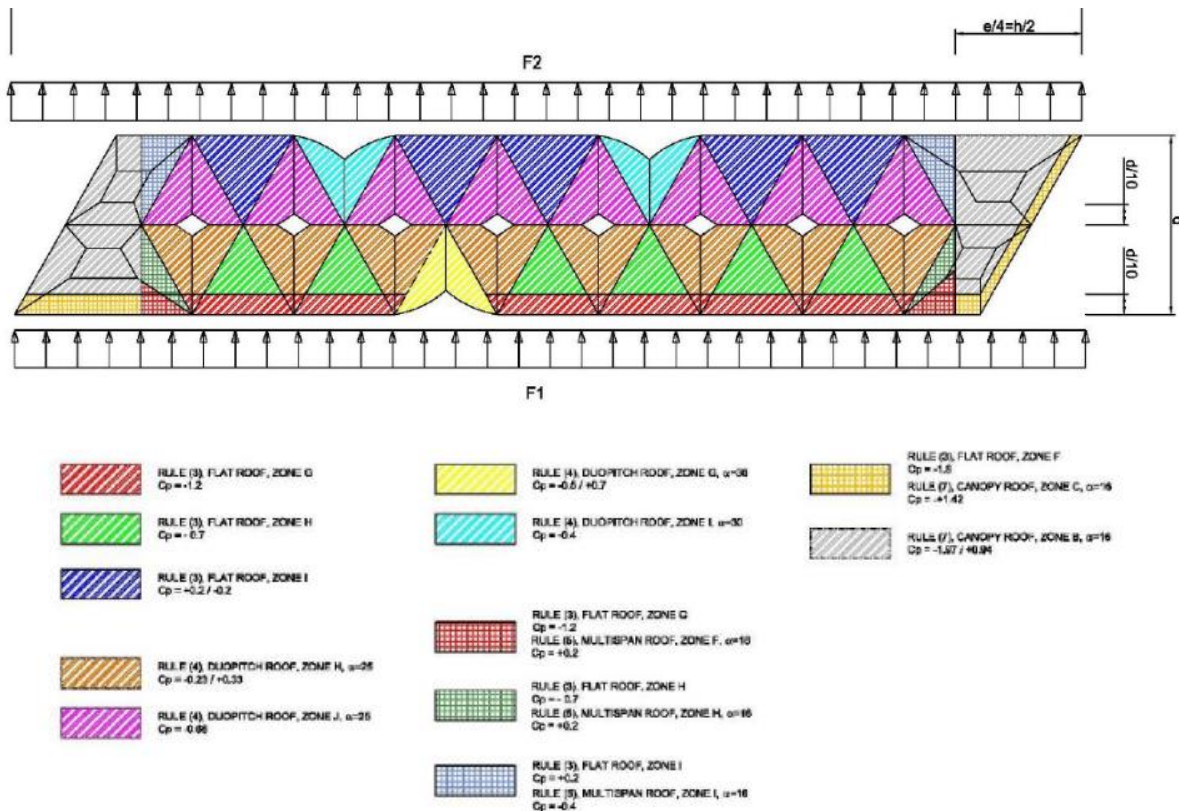
Από την αρχική μελέτη κατασκευής για τον προσδιορισμό των φορτίσεων που προκύπτουν από την ανεμοπίεση, η επιστέγαση θεωρήθηκε ως παράθεση τετράριχτων στεγών, η κλίση των οποίων είναι κατάλληλη ώστε να προσομοιώνει – κατά το δυνατόν – την καμπυλότητα της πραγματικής στέγης. Επιπλέον, όσον αφορά την εφαρμογή πιέσεων σε κατακόρυφες επιφάνειες, θεωρήθηκε ότι αυτές αναπτύσσονται αποκλειστικά στην πλευρική επιφάνεια της επιστέγασης.

Για υπολογισμό των ανεμοπιέσεων έγινε η θεώρηση τεσσάρων διακριτών μεταξύ τους κατευθύνσεων πνοής ανέμου. Αυτές αφορούν τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, για κάθε μία από τις οποίες υπάρχουν δύο κατευθύνσεις. Δεδομένου ότι το σύνολο των φορτίσεων που έχουν εισαχθεί στον φορέα είναι όμοιες με τις προβλέψεις της αρχικής μελέτης κατασκευής με βάση την οποία έχει δομηθεί ο σιδηροδρομικός σταθμός, δεν θα παρατεθεί αναλυτική παρουσίαση του υπολογισμού των αεροδυναμικών συντελεστών.



Εικόνα 2-3: Αεροδυναμικοί συντελεστές στην x διεύθυνση

Στην εικόνα 2-3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμού των αεροδυναμικών συντελεστών για πνοή ανέμου στην x διεύθυνση. Διευκρινίζεται ότι, καθώς παρουσιάζονται οι συντελεστές για το σύνολο της κατασκευής (και τα δύο όμοια τμήματα), από την εικόνα αυτή εξάγονται οι συντελεστές και για τις δύο κατευθύνσεις της x διεύθυνσης. Τα αντίστοιχα στοιχεία για την y διεύθυνση παρουσιάζονται στην εικόνα 2-4.



Εικόνα 2-4: Αεροδυναμικοί συντελεστές στην γ διεύθυνση

Όπως και στο σύνολο των εξωτερικά επιβαλλόμενων φορτίων, έτσι και στην περίπτωση της ανεμοπίεσης, η επιβολή της φόρτισης γίνεται μέσω γραμμικά κατανομημένων φορτίων στα στοιχεία της επιστέγασης και συγκεκριμένα στα δευτερεύοντα εγκάρσια στοιχεία αυτής. Επιπλέον, καθώς υπάρχουν και οριζόντια αναπτυσσόμενες δυνάμεις αυτές διανέμονται στην κατασκευή μέσω της περιμετρικής δοκού.

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και εδώ, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του πλάτους επιρροής. Έτσι, όσον αφορά την καταπόνηση επί οριζοντίων επιφανειών για κάθε δευτερεύον εγκάρσιο στοιχείο πολλαπλασιάστηκε ο αεροδυναμικός συντελεστής (που προκύπτει από τη θέση του στοιχείου) επί του πλάτους επιρροής που είναι 2.5m. Επίσης, σχετικά με την καταπόνηση (σε οριζόντια διεύθυνση) της περιμετρικής δοκού πολλαπλασιάστηκε ο αντίστοιχος αεροδυναμικός συντελεστής με το πάχος της στέγης στο άκρο της επιστέγασης. Αυτή η διάσταση, σύμφωνα με τα σχέδια, είναι 1.1m.

## 2.4 Διακύμανση Θερμοκρασίας

Κάθε μέλος του φορέα έχει θεωρηθεί ότι κατά την διάρκεια ζωής του θα βρεθεί υπό θερμοκρασιακή διαφοροποίηση σε σχέση με τη στιγμή της κατασκευής. Προκειμένου να συνοπλογοιστούν οι πρόσθετες εντάσεις που εισάγονται στα μέλη της κατασκευής από τις θερμοκρασιακές μεταβολές εισήχθησαν στο προσομοίωμα οι αντίστοιχες φορτίσεις. Συγκεκριμένα εκτιμήθηκε ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η θερμοκρασία δύναται να ανέβει κατά 33°C, ενώ του χειμώνα να μειωθεί κατά 13°C.

## 2.5 Φορτίο Σεισμού

Για την προσομοίωση των σεισμικών δράσεων χρησιμοποιήθηκαν τα ισχύοντα από τους οικείους στην περιοχή κατασκευής του σταθμού κανονισμούς. Έτσι, όσον αφορά στη σεισμική δράση, αυτή προσομοιώθηκε με βάση το EN 1998. Τα χαρακτηριστικά του σεισμού που εισήχθησαν στο προσομοίωμα είναι τα ίδια με τα αντίστοιχα της μελέτης κατασκευής του σταθμού, προκειμένου να υπάρχει αντιστοιχία των αποτελεσμάτων. Έτσι τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- Εδαφική επιτάχυνση: 0.07g ( $m/s^2$ )
- Τύπος φάσματος: 1
- Κατηγορία εδάφους: B
- Συντελεστής συμπεριφοράς: 1

Σημειώνεται ότι από την κατασκευή, ο μελετητής δεν απαιτεί καμία ανάπτυξη πλαστικής συμπεριφοράς στην περίπτωση σεισμού και για αυτόν τον λόγο επιλέγει συντελεστή συμπεριφοράς  $\eta$  ίσο με 1. Παρόλα αυτά, και με βάση τα οριζόμενα στην παρ. 6.3.2 (πίνακας 6.2) του EN 1998, ο μελετητής θα μπορούσε να επιλέξει συντελεστή συμπεριφοράς μεγαλύτερο και συγκεκριμένα μέχρι 4 (ο φορέας κατασκευάζεται από πλαίσια παραλαβής ροπών), προσδοκώντας σε πλάσιμη συμπεριφορά. Βέβαια, όπως θα φανεί και στα αποτελέσματα, κανένα μέλος του φορέα δεν διαστασιολογείται με βάση την ανάπτυξη εντατικών μεγεθών λόγω κάποιου σεισμικού συνδυασμού. Συνεπώς, ο όποιος μεγαλύτερος συντελεστής συμπεριφοράς δεν θα προκαλούσε κάποια αλλαγή στην τελική μορφή του φορέα.

### 2004 Eurocode8 Seismic Load Pattern

The screenshot shows a software dialog box titled "2004 Eurocode8 Seismic Load Pattern". It is organized into four main sections:

- Load Direction and Diaphragm Eccentricity:**
  - Radio buttons for "Global X Direction" (selected) and "Global Y Direction".
  - Text input for "Ecc. Ratio (All Diaph.)" with the value "0.05".
  - Text input for "Override Diaph. Eccen." with a button labeled "Override...".
- Time Period:**
  - Radio buttons for "Approximate" (with "Ct (m)" input), "Program Calc" (selected), and "User Defined" (with "T =" input).
- Lateral Load Elevation Range:**
  - Radio buttons for "Program Calculated" (selected) and "User Specified" (with a "Reset Defaults" button).
  - Text inputs for "Max Z" and "Min Z".
- Parameters:**
  - Country: "CEN Default" (dropdown).
  - Ground Acceleration,  $a_g/g$ : "0.0938" (text input).
  - Spectrum Type: "1" (dropdown).
  - Ground Type: "B" (dropdown).
  - Soil Factor, S: "1.2" (text input).
  - Spectrum Period,  $T_b$ : "0.15" (text input).
  - Spectrum Period,  $T_c$ : "0.5" (text input).
  - Spectrum Period,  $T_d$ : "2" (text input).
  - Lower Bound Factor, Beta: "0.2" (text input).
  - Behavior Factor,  $\eta$ : "1" (text input).
  - Correction Factor, Lambda: "1" (text input).

At the bottom right, there are buttons for "OK" and "Cancel".

Εικόνα 2-5: Απεικόνιση καθορισμού σεισμικής δράσης στην X\_διεύθυνση

## 2.6 Συνδυασμοί Φορτίσεων

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι συνδυασμοί των φορτίσεων (όπως αυτοί αναλύονται στις παραπάνω παραγράφους) που ελήφθησαν υπόψη για την ανάλυση της κατασκευής. Τονίζεται ότι οι συνδυασμοί φορτίσεων καταστρώθηκαν και είναι σύμφωνοι με τα EN 1991 και 1998. Επιγραμματικά αναφέρεται ότι οι συνδυασμοί αφορούν σε συνδυασμούς οριακής κατάστασης λειτουργικότητας (που φέρουν το πρόθεμα SLS), σε συνδυασμούς οριακής κατάστασης αστοχίας (που φέρουν το πρόθεμα ULS) και τέλος σε σεισμικούς συνδυασμούς (που φέρουν το πρόθεμα ULA).

Πίνακας 2-1: Συνδυασμοί φορτίσεων που επιβλήθηκαν στο προσομοίωμα της κατασκευής

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	ΜΟΝΙΜΑ	ΚΙΝΗΤΑ	ΑΝΕΜΟΣ				ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΕΙΣΜΟΣ	
			ΧΡΟΣ	ΧΝΕΓ	ΥΡΟΣ	ΥΝΕΓ	SUMMER	WINTER	_X	_Y
SLS_cha-1	1	1	0.6				0.6			
SLS_cha-2	1	1	0.6					0.6		
SLS_cha-3	1	1		0.6			0.6			
SLS_cha-4	1	1		0.6				0.6		
SLS_cha-5	1	1			0.6		0.6			
SLS_cha-6	1	1			0.6			0.6		
SLS_cha-7	1	1				0.6	0.6			
SLS_cha-8	1	1				0.6		0.6		
SLS_cha-9	1	0.7	1				0.6			
SLS_cha-10	1	0.7	1					0.6		
SLS_cha-11	1	0.7		1			0.6			
SLS_cha-12	1	0.7		1				0.6		
SLS_cha-13	1	0.7			1		0.6			
SLS_cha-14	1	0.7			1			0.6		
SLS_cha-15	1	0.7				1	0.6			
SLS_cha-16	1	0.7				1		0.6		
SLS_cha-17	1	0.7	0.6				1			
SLS_cha-18	1	0.7		0.6			1			
SLS_cha-19	1	0.7			0.6		1			
SLS_cha-20	1	0.7				0.6	1			
SLS_cha-21	1	0.7	0.6					1		
SLS_cha-22	1	0.7		0.6				1		
SLS_cha-23	1	0.7			0.6			1		
SLS_cha-24	1	0.7				0.6		1		
ULS_L-1	1.35	1.6								
ULS_L-1a	1	1.6								
ULS_L-2	1.35	1.6	0.96							
ULS_L-2a	1	1.6	0.96							
ULS_L-3	1.35	1.6		0.96						
ULS_L-3a	1	1.6		0.96						
ULS_L-4	1.35	1.6			0.96					
ULS_L-4a	1	1.6			0.96					
ULS_L-5	1.35	1.6				0.96				
ULS_L-5a	1	1.6				0.96				
ULS_L-6	1.35	1.6					0.96			
ULS_L-6a	1	1.6					0.96			
ULS_L-7	1.35	1.6						0.96		
ULS_L-7a	1	1.6						0.96		
ULS_L-8	1.35	1.6	0.96				0.96			

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	ΜΟΝΙΜΑ	ΚΙΝΗΤΑ	ΑΝΕΜΟΣ				ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΕΙΣΜΟΣ	
			ΧΡΟΣ	ΧΝΕΓ	ΥΡΟΣ	ΥΝΕΓ	SUMMER	WINTER	_X	_Y
ULS_L-8a	1	1.6	0.96				0.96			
ULS_L-9	1.35	1.6		0.96			0.96			
ULS_L-9a	1	1.6		0.96			0.96			
ULS_L-10	1.35	1.6			0.96		0.96			
ULS_L-10a	1	1.6			0.96		0.96			
ULS_L-11	1.35	1.6				0.96	0.96			
ULS_L-11a	1	1.6				0.96	0.96			
ULS_L-12	1.35	1.6	0.96					0.96		
ULS_L-12a	1	1.6	0.96					0.96		
ULS_L-13	1.35	1.6		0.96				0.96		
ULS_L-13a	1	1.6		0.96				0.96		
ULS_L-14	1.35	1.6			0.96			0.96		
ULS_L-14a	1	1.6			0.96			0.96		
ULS_L-15	1.35	1.6				0.96		0.96		
ULS_L-15a	1	1.6				0.96		0.96		
ULS_W-1	1.35		1.6							
ULS_W-1a	1		1.6							
ULS_W-2	1.35			1.6						
ULS_W-2a	1			1.6						
ULS_W-3	1.35				1.6					
ULS_W-3a	1				1.6					
ULS_W-4	1.35					1.6				
ULS_W-4a	1					1.6				
ULS_W-5	1.35	1.12	1.6							
ULS_W-5a	1	1.12	1.6							
ULS_W-6	1.35	1.12		1.6						
ULS_W-6a	1	1.12		1.6						
ULS_W-7	1.35	1.12			1.6					
ULS_W-7a	1	1.12			1.6					
ULS_W-8	1.35	1.12				1.6				
ULS_W-8a	1	1.12				1.6				
ULS_W-9	1.35		1.6				0.96			
ULS_W-9a	1		1.6				0.96			
ULS_W-10	1.35			1.6			0.96			
ULS_W-10a	1			1.6			0.96			
ULS_W-11	1.35				1.6		0.96			
ULS_W-11a	1				1.6		0.96			
ULS_W-12	1.35					1.6	0.96			
ULS_W-12a	1					1.6	0.96			
ULS_W-13	1.35		1.6					0.96		
ULS_W-13a	1		1.6					0.96		
ULS_W-14	1.35			1.6				0.96		
ULS_W-14a	1			1.6				0.96		
ULS_W-15	1.35				1.6			0.96		
ULS_W-15a	1				1.6			0.96		
ULS_W-16	1.35					1.6		0.96		
ULS_W-16a	1					1.6		0.96		
ULS_W-17	1.35	1.12	1.6				0.96			
ULS_W-17a	1	1.12	1.6				0.96			

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	ΜΟΝΙΜΑ	ΚΙΝΗΤΑ	ΑΝΕΜΟΣ				ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΕΙΣΜΟΣ	
			XPOS	XNEG	YPOS	YNEG	SUMMER	WINTER	_X	_Y
ULS_W-18	1.35	1.12		1.6			0.96			
ULS_W-18a	1	1.12		1.6			0.96			
ULS_W-19	1.35	1.12			1.6		0.96			
ULS_W-19a	1	1.12			1.6		0.96			
ULS_W-20	1.35	1.12				1.6	0.96			
ULS_W-20a	1	1.12				1.6	0.96			
ULS_W-21	1.35	1.12	1.6					0.96		
ULS_W-21a	1	1.12	1.6					0.96		
ULS_W-22	1.35	1.12		1.6				0.96		
ULS_W-22a	1	1.12		1.6				0.96		
ULS_W-23	1.35	1.12			1.6			0.96		
ULS_W-23a	1	1.12			1.6			0.96		
ULS_W-24	1.35	1.12				1.6		0.96		
ULS_W-24a	1	1.12				1.6		0.96		
ULS_T-1	1.35						1.6			
ULS_T-1a	1						1.6			
ULS_T-2	1.35							1.6		
ULS_T-2a	1							1.6		
ULS_T-3	1.35	1.12					1.6			
ULS_T-3a	1	1.12					1.6			
ULS_T-4	1.35	1.12						1.6		
ULS_T-4a	1	1.12						1.6		
ULS_T-5	1.35		0.96				1.6			
ULS_T-5a	1		0.96				1.6			
ULS_T-6	1.35			0.96			1.6			
ULS_T-6a	1			0.96			1.6			
ULS_T-7	1.35				0.96		1.6			
ULS_T-7a	1				0.96		1.6			
ULS_T-8	1.35					0.96	1.6			
ULS_T-8a	1					0.96	1.6			
ULS_T-9	1.35		0.96					1.6		
ULS_T-9a	1		0.96					1.6		
ULS_T-10	1.35			0.96				1.6		
ULS_T-10a	1			0.96				1.6		
ULS_T-11	1.35				0.96			1.6		
ULS_T-11a	1				0.96			1.6		
ULS_T-12	1.35					0.96		1.6		
ULS_T-12a	1					0.96		1.6		
ULS_T-13	1.35	1.12	0.96				1.6			
ULS_T-13a	1	1.12	0.96				1.6			
ULS_T-14	1.35	1.12		0.96			1.6			
ULS_T-14a	1	1.12		0.96			1.6			
ULS_T-15	1.35	1.12			0.96		1.6			
ULS_T-15a	1	1.12			0.96		1.6			
ULS_T-16	1.35	1.12				0.96	1.6			
ULS_T-16a	1	1.12				0.96	1.6			
ULS_T-17	1.35	1.12	0.96					1.6		
ULS_T-17a	1	1.12	0.96					1.6		
ULS_T-18	1.35	1.12		0.96				1.6		

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ	ΜΟΝΙΜΑ	ΚΙΝΗΤΑ	ΑΝΕΜΟΣ				ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΣΕΙΣΜΟΣ	
			XPOS	XNEG	YPOS	YNEG	SUMMER	WINTER	_X	_Y
ULS_T-18a	1	1.12		0.96				1.6		
ULS_T-19	1.35	1.12			0.96			1.6		
ULS_T-19a	1	1.12			0.96			1.6		
ULS_T-20	1.35	1.12				0.96		1.6		
ULS_T-20a	1	1.12				0.96		1.6		
ULA_X-1	1	0.6							1	0.3
ULA_X-3	1	0.6							1	-0.3
ULA_X-5	1	0.6							-1	0.3
ULA_X-7	1	0.6							-1	-0.3
ULA_Y-1	1	0.6							0.3	1
ULA_Y-3	1	0.6							-0.3	1
ULA_Y-5	1	0.6							0.3	-1
ULA_Y-7	1	0.6							-0.3	-1





## 3 ΑΡΧΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

Στο παρόν κεφάλαιο πρόκειται να παρουσιαστεί το σύνολο των στοιχείων που αφορούν στο αρχικό προσομοίωμα. Υπενθυμίζεται ότι το αρχικό προσομοίωμα έχει καταστρωθεί με τις τελικά επιλεχθείσες διατομές των διαφόρων τμημάτων του φορέα, όπως αυτός έχει κατασκευαστεί. Καθώς οι φορτίσεις που έχουν εισαχθεί είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αρχική μελέτη κατασκευής, η συμπεριφορά του δομήματος, τόσο όσο αφορά την λειτουργικότητα, όσο και την αντοχή, αναμένεται να είναι επαρκής. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση το αρχικό προσομοίωμα.



Εικόνα 3-1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αρχικού προσομοιώματος

### 3.1 Διατομές των Στοιχείων

Η πλειοψηφία των χρησιμοποιούμενων διατομών έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2. Για λόγους πληρότητας αλλά συγκεντρωτικής παρουσίασης αυτών, σε αυτήν την ενότητα παρέχεται το σύνολο των πληροφοριών στα στοιχεία των διατομών των μελών που χρησιμοποιήθηκαν για το αρχικό προσομοίωμα. Στον πίνακα 3-1, που γίνεται η παρουσίαση των διατομών, δίνεται και η ονομασία ως στοιχεία του φορέα. Εφεξής, για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιούνται οι ονομασίες που δίνονται στον πίνακα.

Πίνακας 3-1: Διατομές στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στο αρχικό προσομοίωμα

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Παρατηρήσεις
1	Υποσύλωμα πλαισίων (1) έως (4)	600x600x40x40	
2	Υποσύλωμα πλαισίου (5)	600x500x50x50	
3	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Α)	2000/600x600x40x30	Αφορά το τμήμα των εγκάρσιων πλαισίων (1) έως (4) που βρίσκεται εν προβόλω μήκους 4.4m
4	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Β)	2000/1000x600x40x30	Αφορά το τμήμα των εγκάρσιων πλαισίων (1) έως (4) μεταβλητής διατομής που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα μήκους 6.7m
5	Μεταβλητή δοκός διαμήκους πλαισίου	I 920/600x600x40x20	Αφορά το τμήμα των διαμήκων πλαισίων μεταβλητού ύψους διατομής μήκους 2.5m
6	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Α)	733/600x500x50x50	Αφορά το τμήμα του εγκάρσιου πλαισίου (5) που βρίσκεται εν προβόλω μήκους 3.5m (εξωτερικό τμήμα προβόλου)
7	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Β)	2000/600x500x50x50	Αφορά το τμήμα του εγκάρσιου πλαισίου (5) μεταβλητής διατομής που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα μήκους 4.02m
8	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Γ)	920/733x500x50x50	Αφορά το τμήμα του εγκάρσιου πλαισίου (5) που βρίσκεται εν προβόλω μήκους 0.9m (εσωτερικό τμήμα προβόλου)
9	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Α	L152x152x22.2	Αφορά στους συνδέσμους στην περιοχή του προβόλου και μεταξύ των πλαισίων (1) και (2)
10	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β	L127x127x19	Αφορά στους συνδέσμους μεταξύ των πλαισίων (2) έως (5)
11	Τμήμα δοκού πλαισίων (1) έως (4)	1000x600x40x30	Αφορά στο κεντρικό τμήμα σταθερής διατομής στα εγκάρσια πλαίσια
12	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α)	I 920x600x40x20	Αφορά στο τμήμα της δοκού σταθερής διατομής που συνδέεται με τα εγκάρσια πλαίσια μήκους 4.7m
13	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Β)	I 600x600x40x20	Αφορά στο κεντρικό τμήμα της δοκού σταθερής διατομής μήκους 5m
14	Ενισχύσεις διαμήκων πλαισίων	400x600x30x30	
15	Τμήμα δοκού πλαισίου (5)	6000x500x50x50	Αφορά στο κεντρικό τμήμα σταθερής διατομής στο πλαίσιο (5)
16	Διαμήκειες δευτερεύουσες δοκοί	I 600x600x40x20	
17	Περιμετρική δοκός	I 600x600x40x20	
18	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί Α	UC305x305x118	
19	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί Β	UC356x368x153	

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Παρατηρήσεις
20	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί περιοχής προβόλου και δοκοί ανοιγμάτων	UC356x368x202	
21	Βοηθητικές δοκοί	UC305x305x118	
22	Ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί	UC356x406x235	

Με βάση αυτές τις διατομές προκύπτει η συνολική μάζα του φορέα που περιλαμβάνεται στο προσομοίωμα. Η συνολική μάζα, που υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό ανάλυσης, ανέρχεται σε 765tn, που μεταφράζεται σε μέση μάζα ανά μονάδα εμβαδού 239kg/m<sup>2</sup> κάτοψης.

### 3.2 Λειτουργικότητα

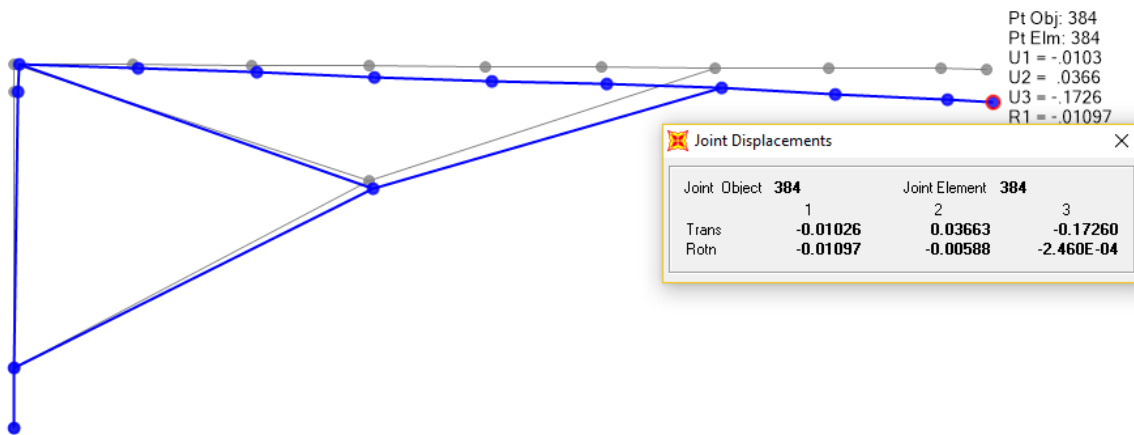
#### 3.2.1 Περιοχή προβόλου

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η περιοχή του προβόλου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς λειτουργικότητας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μετατόπιση στον κατακόρυφο άξονα, του κάθε σημείου άκρου του προβόλου, όπως ορίστηκε στην παράγραφο 6 της ενότητας 2.2.2. Οι μετατοπίσεις δίνονται για φόρτιση που αντιστοιχεί μόνο στα μόνιμα φορτία και για τις φορτίσεις που αντιστοιχούν στις μέγιστες – κατ' απόλυτο τιμή – μετατοπίσεις των άκρων. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η μέγιστη τιμή μετατόπισης που επιτρέπεται να καταγραφεί. Καθώς η μέγιστη αυτή τιμή ορίζεται ως το 1/100 του μήκους του στοιχείου και τα τέσσερα στοιχεία ακαμψίας έχουν διαφορετικό μήκος, η μέγιστη επιτρεπτή τιμή καθορίζεται κατά περίπτωση ανά στοιχείο.

Πίνακας 3-2: Τιμές μετακινήσεων χαρακτηριστικών σημείων του προβόλου που αφορούν την λειτουργικότητα

Σημείο	Αντιβέλος (mm)	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
		Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση*	Μέγιστη ανύψωση*		
1	10	13	16 SLS_cha-13	10 SLS_cha-12	4	40
2	30	18	10 SLS_cha-19	30 SLS_cha-12	9.6	96
3	110	95	72 SLS_cha-13	78 SLS_cha-16	20.4	204
4	140	131	113 SLS_cha-13	99 SLS_cha-16	24	240

\* Οι τιμές αφορούν την απόκλιση από τη θεωρητική οριζόντια θέση του άκρου και όχι από την πραγματική θέση λόγω αντιβέλους.



Εικόνα 3-2: Παραμόρφωση τμήματος του πλαισίου (ii) υπό τον συνδυασμό φορτίσεων ULS\_W-23

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, οι αναπτυσσόμενες – υπό τα μόνιμα φορτία – μετατοπίσεις έχουν παρόμοιες τιμές με τις τιμές του αντιβέλους στην αντίστοιχη θέση. Συνεπώς, μπορεί με ασφάλεια να θεωρηθεί ότι οι δοθείσες τιμές αντιβέλους είναι κατάλληλες προκειμένου να αντισταθμιστεί η επίδραση των μόνιμων φορτίων, υπό την δράση μόνο των οποίων η κατασκευή στην περιοχή του προβόλου έχει τη θεωρητικά επιθυμητή οριζόντια διαμόρφωση.

Στις επόμενες δύο στήλες του πίνακα, παρουσιάζονται οι μέγιστες βυθίσεις και ανυψώσεις που καταγράφονται στις χαρακτηριστικές θέσεις των στοιχείων ακαμψίας του προβόλου. Σημειώνεται ότι οι τιμές που περιλαμβάνονται στον πίνακα αφορούν την μετατόπιση σε σχέση με τη θεωρητική οριζόντια θέση των στοιχείων και όχι σε σχέση με την πραγματική αρχική, όπως αυτή είχε διαμορφωθεί με το αντιβέλος. Σε γενικές γραμμές οι αναπτυχθείσες μετατοπίσεις είναι σημαντικά μικρότερες από τα όρια των κανονισμών. Προκειμένου να μπορεί να γίνει, εν συνεχεία, η σύγκριση με τα τροποποιημένα προσομοιώματα, υπολογίζεται η μέγιστη – σχετική προς όριο – μετατόπιση. Αυτή παρουσιάζεται στο σημείο 4, δηλαδή στο μεγαλύτερο σε μήκος σημείο του προβόλου, στην άκρη της περιμετρικής δοκού και στον συνδυασμό SLS\_cha-13. Ως ποσοστό του επιτρεπόμενου ορίου είναι:

$$\frac{113\text{mm}}{240\text{mm}} = 0.4708 = 47.08\%$$

ενώ σε σχέση με το μήκος του στοιχείου:

$$113\text{mm} \approx \frac{24000\text{mm}}{212} = \frac{L}{212}$$

### 3.2.2 Λοιπές χαρακτηριστικές θέσεις

Καθώς σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση του τρόπου δόμησης υφιστάμενου στεγάστρου σιδηροδρομικού σταθμού και η προσπάθεια βελτιστοποίησης του σχεδιασμού του, δεν θα παρουσιαστεί το σύνολο των ελέγχων που έγιναν στο πλαίσιο της εξασφάλισης της λειτουργικότητας. Αντίθετα, θα δοθούν τα αποτελέσματα σε χαρακτηριστικές θέσεις, οι οποίες – όπως και ο πρόβολος – παρουσίασαν σχετικά μεγάλες κατακόρυφες μετατοπίσεις. Επιπλέον, καθώς η συμπεριφορά των συγκεκριμένων θέσεων θα παρουσιαστεί και στο τροποποιημένο προσομοίωμα, θα αποτελέσει κριτήριο για τον συγκριτικό σχολιασμό της προσπάθειας βελτιστοποίησης.

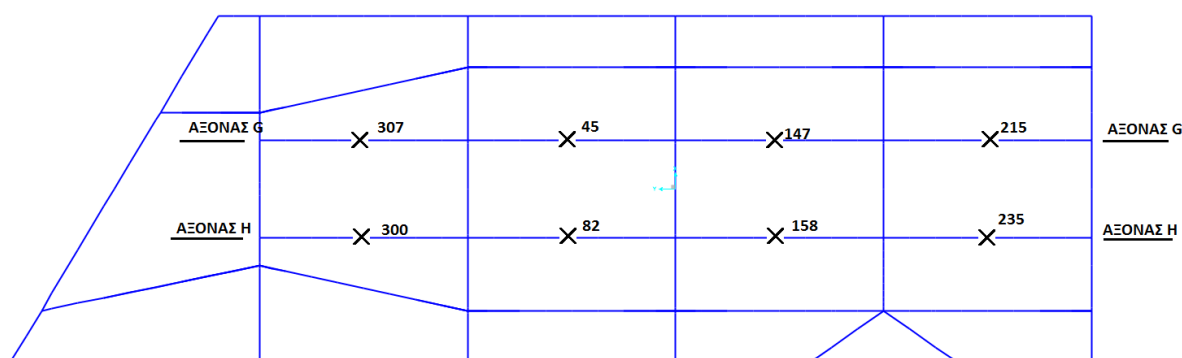
Φυσικά, το σύνολο των απαιτούμενων ελέγχων έχει πραγματοποιηθεί, τόσο σε αυτό όσο και στα υπόλοιπα προσομοιώματα, βάσει των αναλυτικών αποτελεσμάτων, όπως αυτά αποτυπώνονται στο Παράρτημα που περιλαμβάνει τα εξερχόμενα, από το λογισμικό ανάλυσης, αρχεία που συμπληρώνει την ηλεκτρονική έκδοση της παρούσας εργασίας.

Οι μέγιστες τιμές μετατοπίσεων που καταγράφονται στο σύνολο των σημείων τόσο των εγκαρσίων όσο και των διαμήκων πλαισίων παρουσιάζουν ιδιαίτερα μικρές – σε σχέση με τα

καθοριζόμενα όρια – μετατοπίσεις. Αυτή η παρατήρηση, σε γενικές γραμμές, μπορεί εύκολα να δικαιολογηθεί από το γεγονός, ότι το ύψος των διατομών των διαφόρων στοιχείων που απαρτίζουν τα πλαίσια είναι ιδιαίτερα μεγάλο, παρέχοντας έτσι υψηλές τιμές ροπών αδρανείας και συνεπώς ακαμψία έναντι κάμψης περί τον οριζόντιο άξονα. Συνδυάζοντας αυτήν την πληροφορία με το γεγονός μικρής εκμετάλλευσης της αντοχής της διατομής (όπως φαίνεται στην επόμενη ενότητα) του συνόλου σχεδόν των τμημάτων των πλαισίων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ύψος των διατομών των πλαισίων είναι πρωτίστως αρχιτεκτονική απαίτηση.

Αναλύοντας και υπολογίζοντας την μετατοπισιακή συμπεριφορά της κατασκευής προκύπτει ότι ως κρίσιμα στοιχεία μπορούν να χαρακτηριστούν οι δευτερεύουσες διαμήκεις δοκοί και οι ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί. Συγκεκριμένα, η ανάλυση που ακολουθεί αφορά τα μέσα του ανοίγματος κάθε μίας από τις παραπάνω δοκούς.

Στην εικόνα που ακολουθεί εμφανίζονται οι θέσεις για τις οποίες θα παρατεθούν τα απαιτούμενα στοιχεία για τους ελέγχους έναντι λειτουργικότητας, αναφορικά με τις διαμήκεις δευτερεύουσες δοκούς. Διευκρινίζεται ότι η αρίθμηση των σημείων ταυτίζεται με την αρίθμηση των κόμβων στο προσομοίωμα.



Εικόνα 3-3: Θέσεις προς έλεγχο έναντι λειτουργικότητας διαμήκων δευτερεύουσων δοκών

Πίνακας 3-3: Τιμές μετακινήσεων χαρακτηριστικών σημείων των διαμήκων δευτερεύοντων δοκών που αφορούν την λειτουργικότητα

Σημείο	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
	Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση	Ελάχιστη βύθιση		
215	49	66 SLS_cha-4	43 SLS_cha-9	20	100
147	45	61 SLS_cha-4	39 SLS_cha-9	20	100
45	48	65 SLS_cha-4	43 SLS_cha-9	20	100
307	25	38 SLS_cha-12	18 SLS_cha-9	20	100
235	50	70 SLS_cha-2	41 SLS_cha-11	20	100
158	42	58 SLS_cha-2	39 SLS_cha-11	20	100

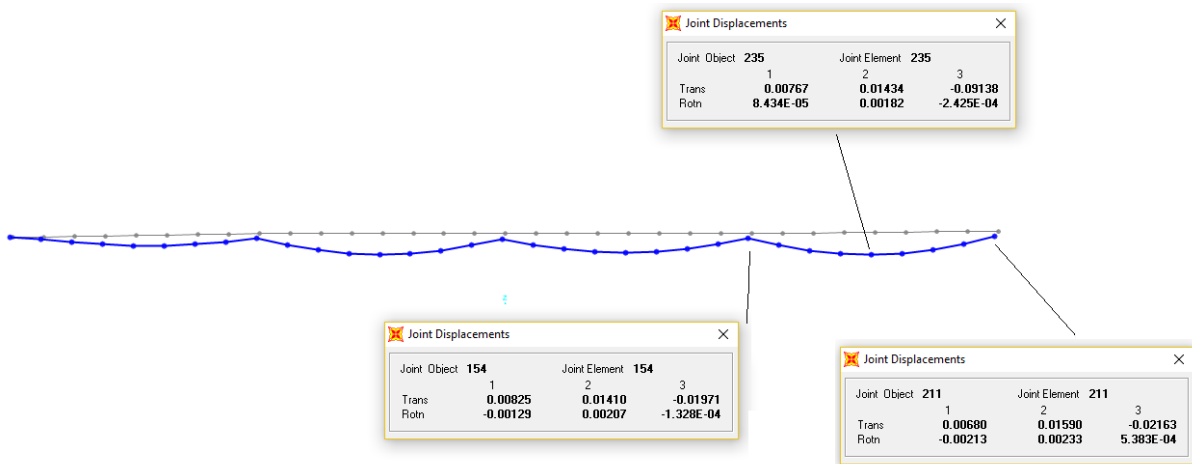
Σημείο	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
	Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση	Ελάχιστη βύθιση		
82	47	64 SLS_cha-2	42 SLS_cha-11	20	100
300	22	32 SLS_cha-16	21 SLS_cha-19	20	100

Η μέγιστη – σχετικά προς το όριο – μετατόπιση, παρουσιάζεται στο σημείο 235 στον συνδυασμό SLS\_cha-2, δηλαδή στον άξονα Η, μεταξύ των πλαισίων (4) και (5). Η μετατόπιση ως προς το όριο είναι:

$$\frac{70mm}{100mm} = 0.7 = 70\%$$

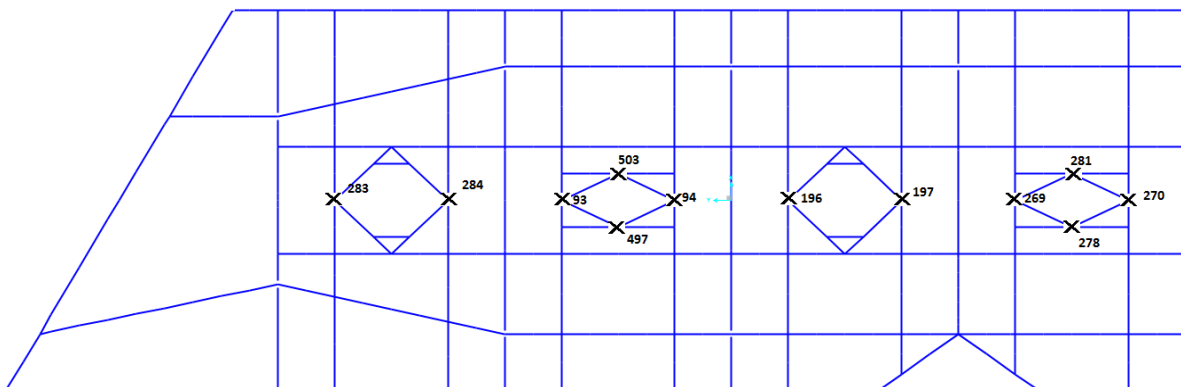
ενώ σε σχέση με το μήκος του στοιχείου:

$$70mm \approx \frac{20000mm}{285} = \frac{L}{285}$$



Εικόνα 3-4: Παραμόρφωση δευτερεύουσας διαμήκου δοκού υπό τον συνδυασμό φορτίσεων SLS\_cha-2

Στην εικόνα που ακολουθεί εμφανίζονται οι θέσεις για τις οποίες θα παρατεθούν τα απαιτούμενα στοιχεία για τους ελέγχους έναντι λειτουργικότητας, αναφορικά με τις ενισχυμένες εγκάρσιες δοκούς. Διευκρινίζεται ότι η αρίθμηση των σημείων ταυτίζεται με την αρίθμηση των κόμβων στο προσομοίωμα.



Εικόνα 3-5: Θέσεις προς έλεγχο έναντι λειτουργικότητας ενισχυμένων δευτερεύουσων δοκών

Όποια ανάλυση έναντι λειτουργικότητας έχει προηγηθεί αφορά σε στοιχεία τα οποία το ένα άκρο τους εδράζονταν επί του κόμβου εγκαρσίων και διαμήκων στοιχείων. Έτσι, με μεγάλη ακρίβεια, θεωρήθηκε ότι το ένα άκρο των στοιχείων παραμένει αμετακίνητο στον κατακόρυφο άξονα, λόγω της μεγάλης αξονικής ακαμψίας των υποστυλωμάτων. Πράγματι, κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα. Συνεπώς, η καταγραφείσα κατακόρυφη μετατόπιση των υπολοίπων θέσεων των στοιχείων αυτών – η οποία είναι απόλυτη - μπορεί να θεωρηθεί με ασφάλεια και ως σχετική με το σταθερό καθ' ύψος σημείο του στοιχείου.

Καθώς κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γενικευτεί στο σύνολο του στοιχείων του φορέα και σίγουρα όχι στις ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκούς. Έτσι, τα όποια αποτελέσματα παρουσιάζονται αφορούν όχι τις απόλυτες τιμές μετατόπισης του κάθε σημείου, αλλά τη σχετική μετατόπιση σε σχέση με τα άκρα της δοκού, που έχουν θεωρηθεί στα διαμήκη πλαίσια, στον αντίστοιχο συνδυασμό φορτίσεων. Επιπλέον, όπως είναι λογικό, το όριο – σε απόλυτα μεγέθη – έχει υπολογιστεί από την απόσταση των διαμήκων πλαισίων κατά περίπτωση.

Πίνακας 3-4: Τιμές μετακινήσεων χαρακτηριστικών σημείων των ενισχυμένων δευτερεύοντων δοκών που αφορούν την λειτουργικότητα

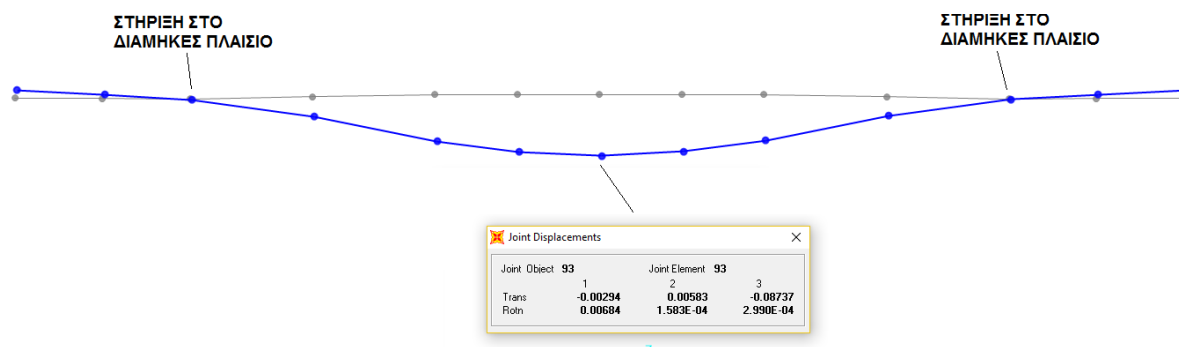
Σημείο	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
	Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση	Ελάχιστη βύθιση		
284	34	48 SLS_cha-8	34 SLS_cha-13	21.2	106
283	29	40 SLS_cha-8	31 SLS_cha-13	17	85
94	61	82 SLS_cha-8	65 SLS_cha-13	23.4	117
93	66	86 SLS_cha-8	68 SLS_cha-13	23.4	117
197	50	69 SLS_cha-8	54 SLS_cha-13	23.4	117
196	57	79 SLS_cha-8	59 SLS_cha-13	23.4	117
270	59	78 SLS_cha-8	70 SLS_cha-11	23.4	117
269	62	84 SLS_cha-8	65 SLS_cha-13	23.4	117

Η μέγιστη – σχετικά προς το όριο – μετατόπιση, παρουσιάζεται στο σημείο 93 στον συνδυασμό SLS\_cha-8, δηλαδή στο άνοιγμα μεταξύ των πλαισίων (2) και (3). Η μετατόπιση ως προς το όριο είναι:

$$\frac{86mm}{117mm} = 0.735 = 73.5\%$$

ενώ σε σχέση με το μήκος του στοιχείου:

$$86mm \approx \frac{23400mm}{272} = \frac{L}{272}$$



Εικόνα 3-6: Δυσμενέστερη παραμόρφωση ενισχυμένης δευτερεύουσας δοκού υπό τον συνδυασμό SLS\_cha-8

### 3.3 Αντοχή

#### 3.3.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Μετά την ολοκλήρωση των απαιτούμενων ελέγχων έναντι της λειτουργικότητας ακολούθησε η ο έλεγχος του συνόλου των στοιχείων του φορέα ως προς την αντοχή τόσο σε επίπεδο διατομής όσο και σε επίπεδο μέλους. Ο έλεγχος αυτός έγινε αυτόματα από την υπορουτίνα "Check of Structure" του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέγιστοι λόγοι εκμετάλλευσης που καταγράφηκαν κατά την ανάλυση ανά κατηγορία διατομής.

Πίνακας 3-5: Μέγιστοι καταγραφέντες λόγοι εκμετάλλευσης ανά κατηγορία διατομής

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης	Συνδυασμός φορτίσεων
1	Υποστώλωμα πλαισίων (1) έως (4)	600x600x40x40	0.993	ULS_W-23
2	Υποστώλωμα πλαισίου (5)	600x500x50x50	0.454	ULS_T-14
3	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Α)	2000/600x600x40x30	0.177	ULS_W-23
4	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Β)	2000/1000x600x40x30	0.251	ULS_W-19
5	Μεταβλητή δοκός διαμήκους πλαισίου	I 920/600x600x40x20	0.440	ULS_W-19
6	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Α)	733/600x500x50x50	0.045	ULS_T-17
7	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Β)	2000/600x500x50x50	0.172	ULS_W-17
8	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Γ)	920/733x500x50x50	0.046	ULS_T-17
9	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Α	L152x152x22.2	1.925	ULS_T-17
10	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β	L127x127x19	1.652	ULS_T-17
11	Τμήμα δοκού πλαισίων (1) έως (4)	1000x600x40x30	0.260	ULS_W-18
12	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α)	I 920x600x40x20	0.752	ULS_W-17
13	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Β)	I 600x600x40x20	0.323	ULS_L-12
14	Ενισχύσεις διαμήκων πλαισίων	400x600x30x30	0.729	ULS_W-17



A/A	Περιγραφή	Διατομή	Μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης	Συνδυασμός φορτίσεων
15	Τμήμα δοκού πλαισίου (5)	1000x500x50x50	0.176	ULS_W-21
16	Διαμήκεις δευτερεύουσες δοκοί	I 600x600x40x20	0.403	ULS_L-12
17	Περιμετρική δοκός	I 600x600x40x20	0.381	ULS_W-23
18	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί A	UC305X305X118	0.838	ULS_L-8
19	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί B	UC356X368X153	0.775	ULS_T-13
20	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί περιοχής προβόλου	UC356X368X202	0.583	ULS_W-19
21	Βοηθητικές δοκοί	UC305X305X118	0.276	ULS_W-19
22	Ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί	UC356X406X235	0.391	ULS_L-11

Με βάση τον πίνακα, μπορούν να εξαχθούν οι εξής παρατηρήσεις:

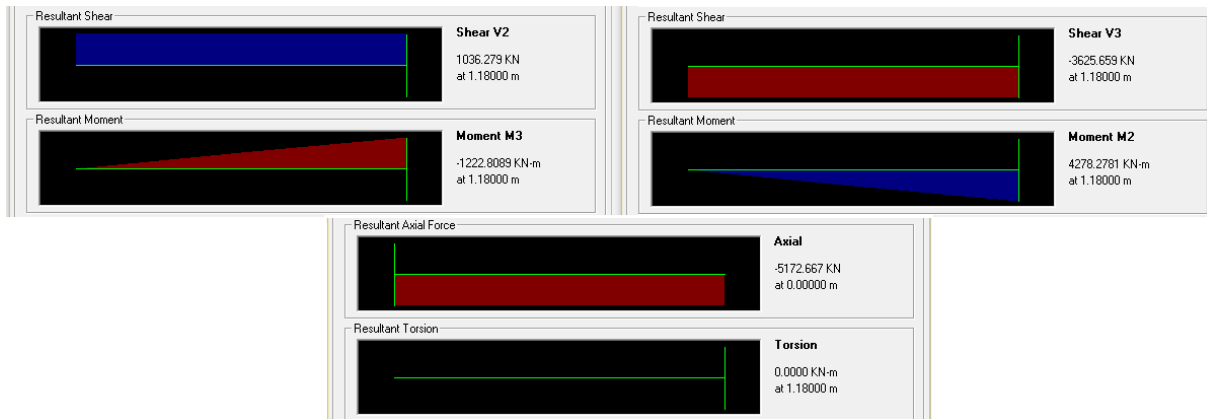
- Όσον αφορά τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας ισοσκελούς γωνιακής διατομής, καταγράφονται λόγοι σημαντικά μεγαλύτεροι της μονάδας και σε σημαντικό αριθμό μελών. Συγκεκριμένα, στους συνδέσμους A υπάρχει υπέρβαση σε επτά από τους συνολικά πενήντα τρεις και στους συνδέσμους B σε τριάντα σε σύνολο εξήντα τριών.
- Η τιμή που παρατηρείται (0.993) στα υποστυλώματα των πλαισίων (1) έως (4) αφορά ένα μόνο μέλος του πλαισίου (1), ενώ οι υπόλοιποι λόγοι δεν ξεπερνούν το 0.7.
- Το σύνολο των μελών του φορέα εμφανίζει τη μέγιστη εκμετάλλευσή του σε συνδυασμό φορτίσεων που αντιστοιχεί στην οριακή κατάσταση αστοχίας σε μη σεισμικό συντελεστή.
- Η πλειονότητα των οριζοντίων τμημάτων των πλαισίων παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλούς λόγους εκμετάλλευσης, απόρροια της αρχιτεκτονικής του δομήματος.

### 3.3.2 Αναλυτικά παραδείγματα

Στις επόμενες ενότητες θα γίνει αναλυτικότερη παρουσίαση των δυσμενέστερων φορτίσεων που αναπτύσσονται σε μερικές από τις διατομές που χρησιμοποιήθηκαν στο προσομοίωμα. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων εντάσεων σε στοιχεία των οποίων οι λόγοι εκμετάλλευσης είναι μεγάλοι και παράλληλα θα παρουσιαστεί αναλυτικά ο έλεγχος των στοιχείων αυτών ως προς την αντοχή.

#### 1. Υποστυλώματα διατομής 600x600x40x40

Όπως φάνηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης που καταγράφεται στα υποστυλώματα διατομής 600x600x40x40 είναι 0.993. Αυτό συμβαίνει σε υποστυλώμα του πλαισίου (1) και συγκεκριμένα σε αυτό που βρίσκεται στην πλευρά που ο πρόβολος γίνεται πιο επιμήκης. Η ακριβής θέση που καταγράφεται ο λόγος αυτός είναι στη συμβολή του υποστυλώματος με τις διαμήκεις ενισχύσεις, σε ύψος δηλαδή 1.18m από τη θέση έδρασης. Η δυσμενέστερη αυτή φόρτιση αντιστοιχεί στον συνδυασμό φορτίσεων ULS\_W-23. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών στο frame 448 μήκους 1.18m. Οι τιμές επί των διαγραμμάτων αφορούν τα εντατικά μεγέθη στο σημείο που θα γίνει ο έλεγχος.



Εικόνα 3-7: Εντατικά μεγέθη στο υποστυλώμα για τον συνδυασμό ULS\_W-23

Τα αδρανειακά χαρακτηριστικά όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό ανάλυσης παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.

Section Name			
600x600x40x40c			
Properties			
Cross-section (axial) area	0.0896	Section modulus about 3 axis	0.0157
Moment of Inertia about 3 axis	4.707E-03	Section modulus about 2 axis	0.0157
Moment of Inertia about 2 axis	4.707E-03	Plastic modulus about 3 axis	0.0188
Product of Inertia about 2-3	0.	Plastic modulus about 2 axis	0.0188
Shear area in 2 direction	0.048	Radius of Gyration about 3 axis	0.2292
Shear area in 3 direction	0.048	Radius of Gyration about 2 axis	0.2292
Torsional constant	7.025E-03	Shear Center Eccentricity (x3)	0.

Εικόνα 3-8: Αδρανειακά χαρακτηριστικά υποστυλώματος διατομής 600x600x40x40

Καθώς η διατομή παρουσιάζει διπλή συμμετρία, τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της έχουν τις ίδιες τιμές και στους δύο άξονες. Αυτό επιτρέπει – τουλάχιστον για τον έλεγχο έναντι διάτμησης – να γίνει ο έλεγχος μόνο στην διεύθυνση που παρουσιάζεται η μέγιστη – κατ' απόλυτο τιμή – διατμητική ένταση. Αυτή λαμβάνει την τιμή 3625.7kN. Η αντοχή της διατομής έναντι διάτμησης θα είναι:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\gamma_{M0} \times \sqrt{3}} = \frac{0.048m^2 \times 355MPa}{1 \times \sqrt{3}} = 9838kN$$

Καθώς η τιμή της μέγιστης διάτμησης δεν υπερβαίνει το ήμισυ της αντοχής δεν απαιτείται μείωση της αντοχής της διατομής έναντι κάμψης, η οποία είναι:

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.0188m^3 \times 355MPa}{1} = 6674kNm$$

Έτσι, ο λόγοι εκμετάλλευσης που προκύπτουν από τις καμπτικές ροπές είναι αντίστοιχα για τις δύο διευθύνσεις:

$$\text{Διεύθυνση 3-3: } ratio_{M_3} = \frac{M_3}{M_{Rd}} = \frac{1222.8kNm}{6674kNm} = 0.183$$

$$\text{Διεύθυνση 2-2: } ratio_{M_2} = \frac{M_2}{M_{Rd}} = \frac{4278.2kNm}{6674kNm} = 0.641$$

Για τον υπολογισμό της επίδρασης του αξονικού φορτίου που επιβάλλεται στο υποστυλώμα θα ακολουθήσει ο έλεγχός τους έναντι φαινομένων λυγισμού. Το τμήμα του υποστυλώματος που εξετάζεται – ως προς τις ακραίες συνθήκες του – μπορεί να θεωρηθεί ότι στηρίζεται επί μίας άρθρωσης και μίας πάκτωσης. Έτσι ο συντελεστής μήκους λυγισμού θα πάρει την τιμή 0.7. Η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος θα είναι:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{k_y \times l}{i} / \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{0.7 \times 1.18m}{0.2292m} / \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 0.033 < 0.2$$

Καθώς η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος είναι μικρότερη του 0.2 δεν παρουσιάζονται φαινόμενα λυγισμού και η αντοχή του υποστυλώματος – ως μέλος – έναντι αξονικής φόρτισης είναι ίση με την αντοχή της διατομής, η οποία είναι:

$$N_{Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0.0896m^2 \times 355MPa}{1} = 31808kN$$

Συνεπώς, ο λόγος εκμετάλλευσης που προκύπτει από την αξονική ένταση είναι:

$$ratio_N = N/N_{Rd} = 5172.7kN/31808kN = 0.163$$

Και ο συνολικός λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = ratio_N + ratio_{M_3} + ratio_{M_2} = 0.163 + 0.641 + 0.183 = 0.987$$

παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.

## 2. Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας A (L152x152x22.2)

Ο μέγιστος λόγος που καταγράφεται σε σύνδεσμο δυσκαμψίας L152x152x22.2 είναι στο frame 317, που παρουσιάζεται με το πορτοκαλί χρώμα στην εικόνα 3-9. Καθώς οι σύνδεσμοι είναι τοποθετημένοι αμφιαρθρωτά και δεν παραλαμβάνουν απ' ευθείας εξωτερικά φορτία δεν μπορούν παρά να αναπτύξουν μόνο αξονική ένταση. Έτσι δεν θα παρουσιαστούν αναλυτικά διαγράμματα εντάσεων για τον σύνδεσμο καθώς το μόνο εντατικό μέγεθος που απαιτείται είναι η αξονική δύναμη, η οποία είναι - 669kN (θλιπτική) στον συνδυασμό ULS\_T-17. Ο έλεγχος που θα ακολουθήσει αφορά μόνο τον έλεγχο έναντι λυγισμού. Τονίζεται ότι οι υπολογισμοί αφορούν τον λυγισμό περί τον ασθενέστερο άξονα, η ακτίνα αδρανείας γύρω από τον οποίο έχει ληφθεί από τους πίνακες των διατομών ως 0.0297m, ενώ η επιφάνεια της διατομής είναι 6277mm<sup>2</sup>. Έτσι, η ανηγμένη λυγηρότητα θα είναι:

$$\bar{\lambda} = \frac{k \times l}{i} / \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{1 \times 5.52m}{0.0297m} / \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 2.43$$

Από τον πίνακα 6.2 της παρ. 6.3.1.2 του Μέρους 1-1 του EN1993, προκύπτει ότι για γωνιακά μέλη χρησιμοποιείται η καμπύλη λυγισμού b, σύμφωνα με την οποία για λυγηρότητα 2.43 ο μειωτικός συντελεστής  $\chi$  είναι 0.15.

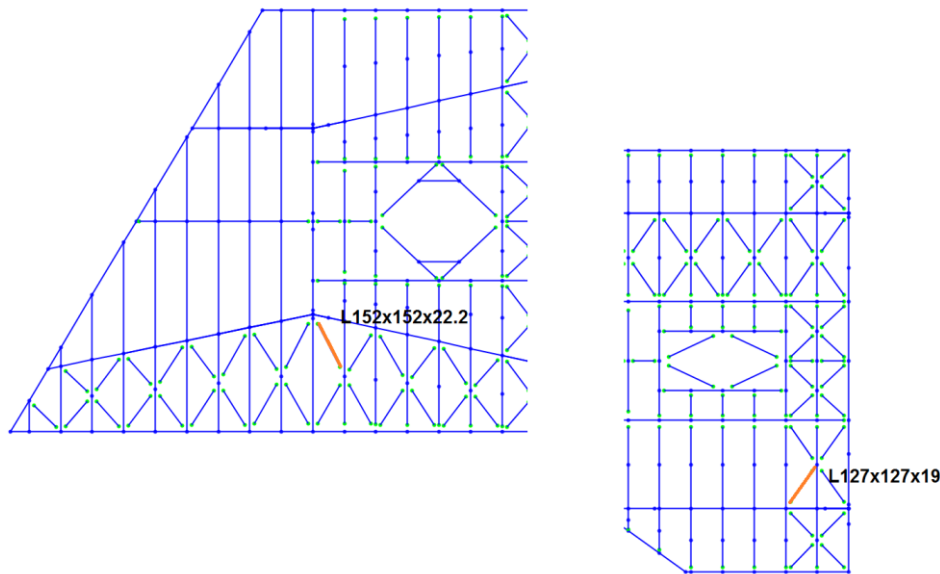
Συνεπώς η αντοχή του μέλους έναντι λυγισμού είναι:

$$N_{Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0.15 \times 6277mm^2 \times 355MPa}{1} = 334.25kN$$

Και ο λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = 669kN/334.25kN = 2.001$$

παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.



Εικόνα 3-9: Θέσεις οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας με τους υψηλότερους λόγους εκμετάλλευσης

### 3. Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β (L127x127x19)

Όπως και στην προηγούμενη ενότητα, θα παρουσιαστεί μόνο ο έλεγχος έναντι λυγισμού καθώς δεν αναπτύσσονται άλλες εντάσεις πλην της αξονικής. Η δυσμενέστερη ένταση παρουσιάζεται στον συνδυασμό ULS\_T-17 και είναι ίση με -399kN. Η ακτίνα αδρανείας περί τον ασθενέστερο άξονα είναι 0.0248m και η επιφάνεια της διατομής 4465mm<sup>2</sup>. Η ανηγμένη λυγηρότητα θα είναι:

$$\bar{\lambda} = \frac{k \times l}{i} \bigg/ \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{1 \times 4.3m}{0.0248m} \bigg/ \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 2.27$$

Από τον πίνακα 6.2 της παρ. 6.3.1.2 του Μέρους 1-1 του EN1993, προκύπτει ότι για γωνιακά μέλη χρησιμοποιείται η καμπύλη λυγισμού b, σύμφωνα με την οποία για λυγηρότητα 2.27 ο μειωτικός συντελεστής  $\chi$  είναι 0.16.

Συνεπώς η αντοχή του μέλους έναντι λυγισμού είναι:

$$N_{Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0.16 \times 4465mm^2 \times 355MPa}{1} = 253.6kN$$

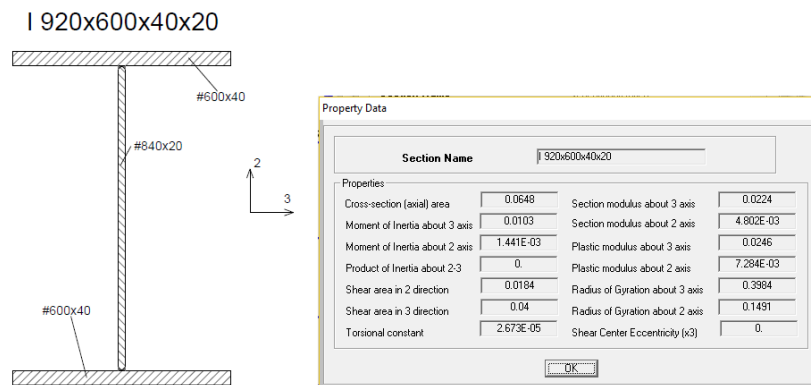
Και ο λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = \frac{399}{253.6} = 1.576$$

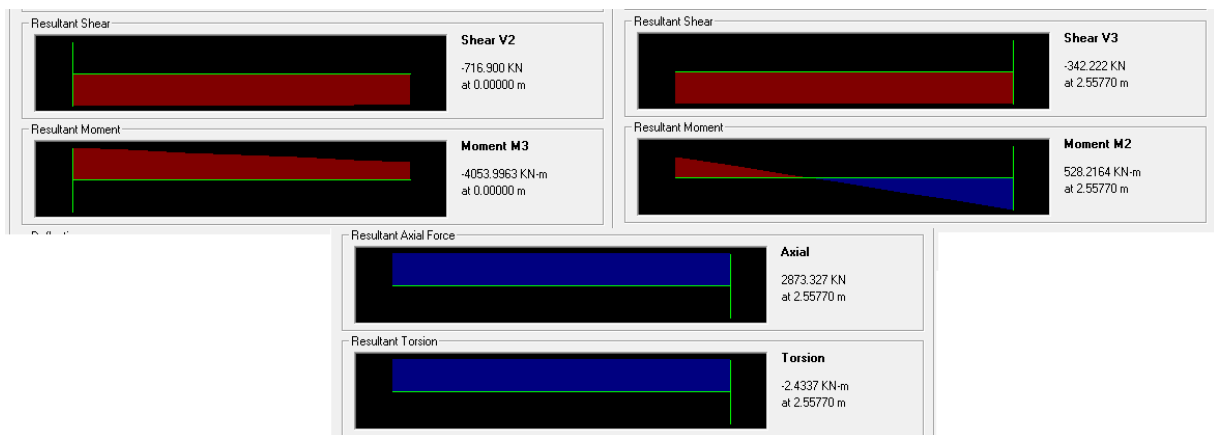
παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.

### 4. Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α – I920x600x40x20)

Ο μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης που καταγράφεται για τα μέλη που αντιστοιχούν στη δοκό του θέματος, όπως προκύπτει από τον πίνακα 3-5 είναι 0.752 και παρουσιάζεται στον συνδυασμό ULS\_W-17 και στο frame 566, που αντιστοιχεί σε τμήμα του διαμήκους πλαισίου (ii) μεταξύ των πλαισίων (1) και (2), μήκους 2.55m. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται αφενός τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της διατομής, όπως υπολογίζονται από το λογισμικό ανάλυσης και τα εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο δυσμενέστερο συνδυασμό φορτίσεων.



Εικόνα 3-10: Αδρανειακά χαρακτηριστικά διατομής I920x600x40x20



Εικόνα 3-11: Εντατικά μεγέθη στη δοκό I920x600x40x20 για τον συνδυασμό ULS\_W-17

Αρχικά, θα γίνει έλεγχος έναντι διάτμησης. Η αντοχή έναντι διάτμησης στους άξονες 2 και 3 αντίστοιχα υπολογίζεται ως:

$$V_{2,Rd} = \frac{A_{2,v} \times f_y}{\gamma_{M0} \times \sqrt{3}} = \frac{0.0184m^2 \times 355MPa}{1 \times \sqrt{3}} = 3771kN$$

$$V_{3,Rd} = \frac{A_{3,v} \times f_y}{\gamma_{M0} \times \sqrt{3}} = \frac{0.04m^2 \times 355MPa}{1 \times \sqrt{3}} = 8198kN$$

και οι αντίστοιχοι λόγοι εκμετάλλευσης:

$$ratio_{V_2} = V_2/V_{2,Rd} = 716.9kN/3771kN = 0.190 < 0.5$$

$$ratio_{V_3} = V_3/V_{3,Rd} = 342.2kN/8198kN = 0.042 < 0.5$$

Συνεπώς, καθώς οι λόγοι εκμετάλλευσης έναντι της διατμησης είναι μικρότεροι του 0.5, δεν απαιτείται μείωση της καμπτικής αντοχής της διατομής, η οποία για τις δύο διευθύνσεις παίρνει τις τιμές:

$$M_{2,Rd} = \frac{W_{2,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.00728m^2 \times 355MPa}{1} = 2584.4kNm$$

$$M_{3,Rd} = \frac{W_{3,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.0246m^2 \times 355MPa}{1} = 8733kNm$$

και οι αντίστοιχοι λόγοι εκμετάλλευσης:

$$ratio_{M_2} = M_2/M_{2,Rd} = 528.2kNm/2584.4kNm = 0.204$$

$$ratio_{M_3} = M_3 / M_{3,Rd} = 4054kNm / 8733kN = 0.464$$

Για τον υπολογισμό της επίδρασης του αξονικού φορτίου που επιβάλλεται στη δοκό θα ακολουθήσει ο έλεγχος τους έναντι φαινομένων λυγισμού. Το τμήμα της δοκού που εξετάζεται – ως προς τις ακραίες συνθήκες της – μπορεί να θεωρηθεί ότι στηρίζεται επί δύο πακτώσεων. Έτσι ο συντελεστής μήκους λυγισμού θα πάρει την τιμή 0.5. Η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος θα είναι:

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{k_2 \times l}{i_2} / \pi \times \sqrt{\frac{E}{J_y}} = \frac{0.5 \times 2.55m}{0.1491m} / \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 0.11 < 0.2$$

Καθώς η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος είναι μικρότερη του 0.2 δεν παρουσιάζονται φαινόμενα λυγισμού και η αντοχή του υποστυλώματος – ως μέλος – έναντι αξονικής φόρτισης είναι ίση με την αντοχή της διατομής, η οποία είναι:

$$N_{Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0.0648m^2 \times 355MPa}{1} = 23004kN$$

Συνεπώς, ο λόγος εκμετάλλευσης που προκύπτει από την αξονική ένταση είναι:

$$ratio_N = N / N_{Rd} = 2873kN / 23004kN = 0.125$$

Και ο συνολικός λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = ratio_N + ratio_{M_3} + ratio_{M_2} = 0.125 + 0.204 + 0.464 = 0.793$$

παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.

### 3.4 Ιδιομορφική Ανάλυση

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορέα του κτιρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας από τους ακόλουθους δύο τύπους γραμμικής ελαστικής ανάλυσης:

- η «μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης» (δεν απαιτείται ιδιομορφική ανάλυση, αλλά στηρίζεται σε προσεγγιστική θεώρηση μόνον της θεμελιώδους ιδιομορφικής ταλάντωσης)
- η «ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης» (πλήρης ιδιομορφική ανάλυση του συστήματος, υπολογισμός μέγιστης σεισμικής απόκρισης για κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης και τέλος ιδιομορφική επαλληλία μέγιστων ιδιομορφικών αποκρίσεων).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της «ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης», η οποία παρέχεται από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (SAP2000v16). Συγκεκριμένα, ζητήθηκε από το πρόγραμμα να υπολογίσει και να λάβει υπόψη στην ανάλυση τις πρώτες πενήντα ιδιομορφές του φορέα. Η συνθήκη που θέτει η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι οι ιδιομορφές που χρησιμοποιούνται να είναι τόσες ώστε κατ' ελάχιστον να επιτυγχάνεται συμμετοχή μάζας κατ' ελάχιστον 90%. Το ποσοστό συμμετοχής μάζας αναφέρεται στην διεύθυνση της ιδιομορφής. Έτσι, προσπάθεια για να θεωρείται η ανάλυση επαρκής είναι να επιτυγχάνεται το ελάχιστο ποσοστό συμμετοχής μάζας για τις μεταφορικές κινήσεις στους x και y άξονες (οριζόντιοι άξονες) και για την περιστροφική κίνηση περί τον z άξονα (κατακόρυφος άξονας). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι είκοσι πρώτες (από τις πενήντα που συνολικά υπολογίστηκαν) ιδιομορφές του συστήματος.

Πίνακας 3-6: Είκοσι πρώτες ιδιομορφές του αρχικού προσομοιώματος

Ιδιομορφή		Διεύθυνση Ux		Διεύθυνση Uy		Διεύθυνση Rz	
A/A	Περίοδος (sec)	Συμμ. μάζ, %	Αθρ. συμμ. μάζ, %	Συμμ. μάζ, %	Αθρ. συμμ. μάζ, %	Συμμ. μάζ, %	Αθρ. συμμ. μάζ, %
1	0.914727	<b>0.76378</b>	0.76378	0.00526	0.00526	0.12237	0.12237
2	0.834868	0.05968	0.82346	0.03999	0.04525	<b>0.78601</b>	<b>0.90838</b>
3	0.770499	0.12833	<b>0.95179</b>	<b>0.2356</b>	0.28085	0.03656	0.94494
4	0.590058	0.00253	0.95432	0.25231	0.53316	0.00269	0.94762
5	0.586182	0.00096	0.95529	0.00129	0.53445	0.00043	0.94806
6	0.574855	0.00032	0.9556	0.04067	0.57512	0.00059	0.94865
7	0.516264	0.00018	0.95578	0.00091	0.57603	0.001	0.94965
8	0.463562	0.00066	0.95644	0.01875	0.59477	0.0021	0.95175
9	0.454638	0.00025	0.95669	0.00011	0.59488	0.00025	0.95199
10	0.428933	0.00264	0.95933	0.25041	0.84529	0.00192	0.95391
11	0.407223	0.01196	0.9713	0.01728	0.86257	0.0073	0.96121
12	0.401446	0.00374	0.97504	0.00729	0.86986	0.00126	0.96247
13	0.395617	0	0.97504	0.02454	0.8944	0.00569	0.96816
14	0.369642	0	0.97508	0.00791	<b>0.90231</b>	0.00158	0.96974
15	0.349594	0.00288	0.97796	0.00662	0.90892	0.001	0.97073
16	0.343147	0.00016	0.97812	0.02696	0.93588	0.00031	0.97105
17	0.309193	0.00019	0.97831	0.00436	0.94024	0.0002	0.97125
18	0.302634	0.00011	0.97843	0.00016	0.94039	0	0.97125
19	0.295479	0	0.97844	0.00011	0.94051	0	0.97125
20	0.287988	0	0.97847	0.00498	0.94549	0.00016	0.97141

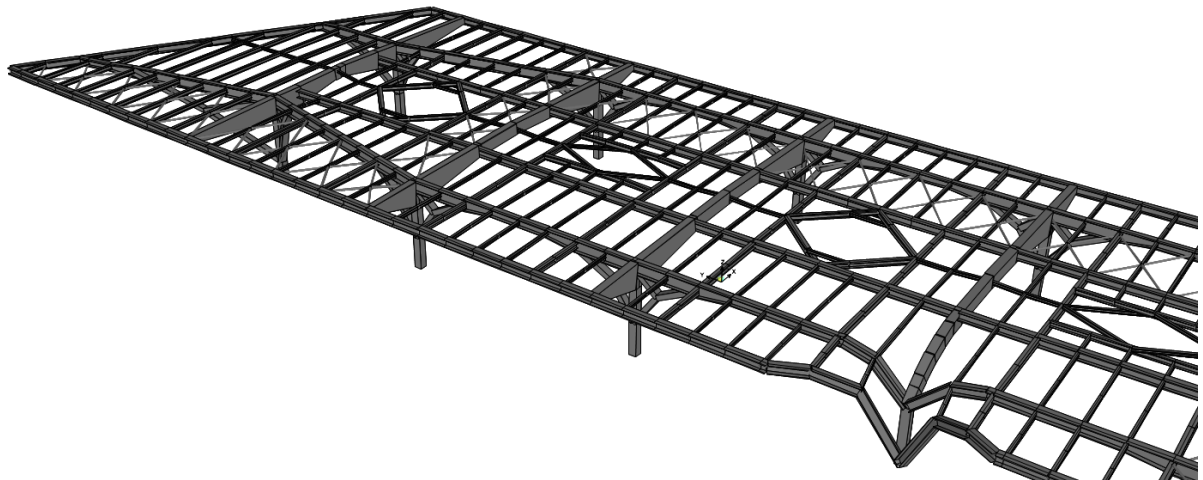
Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, η απαίτηση για αθροιστική συμμετοχή μάζας πλέον του 90%, επιτυγχάνεται με πολύ λιγότερες ιδιομορφές από τις πενήντα που έχουν υπολογιστεί από λογισμικό, αλλά τις είκοσι που παρατίθενται. Συγκεκριμένα, στην μεταφορική x διεύθυνση, η απαίτηση επιτυγχάνεται στην 3<sup>η</sup> ιδιομορφή με κυρίαρχη ιδιομορφή την 1<sup>η</sup> στα 0.91sec. Στην μεταφορική διεύθυνση y, η απαίτηση επιτυγχάνεται στην 14<sup>η</sup> ιδιομορφή με κυρίαρχη την 3<sup>η</sup> στα 0.77sec. Τέλος, στην περιστροφική διεύθυνση z, η απαίτηση επιτυγχάνεται στην 2<sup>η</sup> ιδιομορφή με κυρίαρχη την 2<sup>η</sup> στα 0.83sec.





## 4 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης που έγινε στο προσομοίωμα μετά από μια σειρά τροποποιήσεων. Οι τροποποιήσεις αυτές έχουν ως στόχο την βελτιστοποίηση της χρησιμοποίησης των διαφόρων μελών που αποτελούν το δόμημα, δηλαδή την προσπάθεια εξάντλησης – σε μεγάλο βαθμό – της αντοχής των μελών, εντός των ορίων που καθορίζονται από τη λειτουργικότητα και άλλους περιορισμούς.



Εικόνα 4-1: Τρισδιάστατη απεικόνιση τροποποιημένου προσομοιώματος

Βασικό κριτήριο για τις τροποποιήσεις που θα παρουσιαστούν στην επόμενη ενότητα είναι η διατήρηση της αρχιτεκτονικής της κατασκευής. Η έννοια της αρχιτεκτονικής της κατασκευής περιλαμβάνει πληθώρα στοιχείων. Αρχικά, είναι τα προφανή στοιχεία που αποτελούν το γενικό περίγραμμα της κατασκευής, όπως οι συνολικές διαστάσεις του φορέα, οι θέσεις των υποστυλωμάτων. Επιπλέον, στην έννοια της αρχιτεκτονικής εντάσσονται και στοιχεία που αφορούν τη μορφή των διαφόρων διατομών αλλά και ακόμη τις εξωτερικές διαστάσεις των διατομών. Έτσι, εάν ένα στοιχείο στο αρχικό προσομοίωμα ήταν ελατής διατομής της σειράς των Βρετανικών Προτύπων UC, και στο τροποποιημένο προσομοίωμα χρησιμοποιήθηκε κάποια διατομή της ίδιας σειράς. Εξαιρεση αποτελεί η περίπτωση των οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας. Επιπλέον, στο σύνολο των συγκολλητών διατομών διατηρήθηκαν οι εξωτερικές (ως διαστάσεις που καθορίζουν την αρχιτεκτονική) διαστάσεις σταθερές. Παραδείγματος χάριν, ένα υποστύλωμα συγκολλητούς κιβωτιοειδούς διατομής 600x600x40x40 του αρχικού προσομοιώματος μπορεί να μετατραπεί σε συγκολλητή κιβωτιοειδή διατομή 600x600x25x25.

#### 4.1 Διαφορές αρχικού και τροποποιημένου προσομοιώματος

Με βάση τα παραπάνω θα γίνει επιγραμματική αναφορά στις βασικές μεταβολές που επιβλήθηκαν στο αρχικό προσομοίωμα.

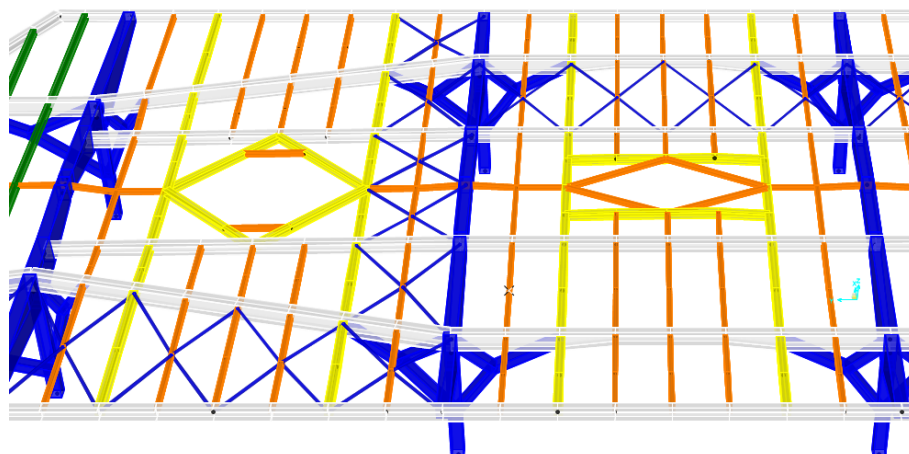
Αρχικά, επιζητώντας την επίλυση του προβλήματος της υπέρβασης της αντοχής των οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας, στο τροποποιημένο προσομοίωμα έχουν χρησιμοποιηθεί κλειστές διατομές της σειράς CHS. Αυτό κρίθηκε επιβεβλημένο, καθώς οι γωνιακές διατομές, λόγω μικρής τιμής ακτίνας αδρανείας περί τον ασθενή του άξονα, δίνουν μεγάλες τιμές λυγηρότητας με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων λυγισμού – και συνεπώς αστοχίας – σε μικρές τιμές αξονικής έντασης. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται ιδιαίτερα έντονο σε αυτού του τύπου την κατασκευή, όπου υπάρχουν οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας μήκους πλέον των 5.5m.

Παρατηρώντας τα αναλυτικά αποτελέσματα των λόγων εκμετάλλευσης των υποστυλωμάτων των πλαισίων (1) έως (4), εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι λόγοι λαμβάνουν μεγάλες τιμές για το πλαίσιο (1), ενώ στα υπόλοιπα πλαίσια είναι σημαντικά μικρότεροι. Αποζητώντας την βέλτιστη χρήση των διατομών, όπως αναλύθηκε παραπάνω, επιλέχθηκε το πλαίσιο (1) να έχει υποστυλώματα διαφορετικής διατομής από τα πλαίσια (2) έως (4). Φυσικά, καθώς δεν είναι δυνατό να γίνει αλλαγή στις εξωτερικές διαστάσεις, οι διαφοροποιήσεις των υποστυλωμάτων αφορούν μόνο στα πάχη των ελασμάτων από τα οποία κατασκευάζονται.

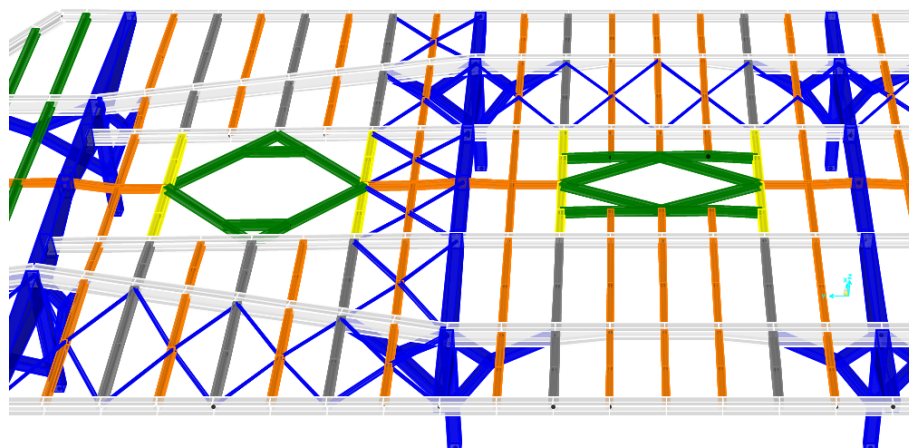
Τέλος, διαφοροποιήσεις επήλθαν και στον τρόπο εναλλαγής των διαφόρων διατομών των εγκαρσίων δευτερευουσών δοκών. Οι διαφοροποιήσεις αυτές είναι:

- Στο αρχικό προσομοίωμα οι εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί είναι δύο τύπων που τοποθετούνται εναλλάξ στην επιστέγαση. Στο τροποποιημένο προσομοίωμα υπάρχει μόνο ένας τύπος.
- Οι ενισχυμένες εγκάρσιες δοκοί στο αρχικό προσομοίωμα έχουν μήκος 9.4m, καθώς τοποθετούνται μεταξύ των δευτερευουσών διαμήκων δοκών. Στο τροποποιημένο προσομοίωμα έχουν μήκος 34m, καθώς τοποθετούνται καθ' όλη την έννοια του πλάτους της κατασκευής.
- Οι δοκοί που μορφώνουν τα ανοίγματα της οροφής στο αρχικό προσομοίωμα είναι ίδιας διατομής με τις δοκούς του προβόλου, ενώ στο τροποποιημένο με τις ενισχυμένες δοκούς. Οι δοκοί που μορφώνουν τα ανοίγματα της οροφής στο αρχικό προσομοίωμα είναι ίδιας διατομής με τις δοκούς του προβόλου, ενώ στο τροποποιημένο με τις ενισχυμένες δοκούς.

Σχηματική απεικόνιση των παραπάνω διαφοροποιήσεων γίνεται στις εικόνες 4-2 και 4-3. Σημειώνεται ότι, ανά εικόνα, τα μέλη ίδιου χρώματος κατασκευάζονται από την ίδια διατομή.



Εικόνα 4-2: Χρωματική απεικόνιση διαφορετικών δοκών επιστέγασης στο τροποποιημένο προσομοίωμα



Εικόνα 4-3: Χρωματική απεικόνιση διαφορετικών δοκών επιστέγασης στο αρχικό προσομοίωμα

## 4.2 Διατομές των Στοιχείων

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω στο παρόν κεφάλαιο προέκυψαν οι νέες διατομές από τις οποίες αποτελούνται τα μέλη του τροποποιημένου προσομοιώματος. Οι διατομές αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 4-1. Σημειώνεται πως για ότι αφορά θέματα ονοματολογίας και συμβολισμών ισχύουν όσα έχουν καθοριστεί στο κεφάλαιο 3.

Πίνακας 4-1: Διατομές στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στο τροποποιημένο προσομοίωμα

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Παρατηρήσεις
1	Υποστυλώμα πλαισίων (2) έως (4)	600x600x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
1a	Υποστυλώματα πλαισίου (1)	600x600x50x50	Αυξήθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
2	Υποστυλώμα πλαισίου (5)	600x500x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Παρατηρήσεις
3	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Α)	2000/600x600x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
4	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Β)	2000/1000x600x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
5	Μεταβλητή δοκός διαμήκους πλαισίου	I 920/600x600x40x20	Δεν μεταβλήθηκε
6	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Α)	733/600x500x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
7	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Β)	2000/600x500x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
8	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Γ)	920/733x500x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
9	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Α	CHS140x8	Τροποποιήθηκε η μορφή της διατομής
10	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β	CHS110x8	Τροποποιήθηκε η μορφή της διατομής
11	Τμήμα δοκού πλαισίων (1) έως (4)	1000x600x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
12	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α)	I 920x600x40x20	Δεν μεταβλήθηκε
13	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Β)	I 600x600x40x20	Δεν μεταβλήθηκε
14	Ενισχύσεις διαμήκων πλαισίων	400x600x30x30	Δεν μεταβλήθηκε
15	Τμήμα δοκού πλαισίου (5)	600x500x25x25	Μειώθηκαν τα πάχη των ελασμάτων
16	Διαμήκειες δευτερεύουσες δοκοί	I 600x600x40x20	Δεν μεταβλήθηκε
17	Περιμετρική δοκός	I 600x600x40x20	Δεν μεταβλήθηκε
18	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί	UC203x203x86	
19	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί περιοχής προβόλου	UC305x305x118	
20	Βοηθητικές δοκοί	UC203x203x71	
21	Ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί και δοκοί ανοιγμάτων	UC356x368x129	

Με βάση αυτές τις διατομές προκύπτει η συνολική μάζα του φορέα που περιλαμβάνεται στο προσομοίωμα. Η συνολική μάζα, που υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό ανάλυσης, ανέρχεται σε 635tn, που μεταφράζεται σε μέση μάζα ανά μονάδα εμβαδού 199kg/m<sup>2</sup> κάτοψης.

### 4.3 Λειτουργικότητα

Τα αποτελέσματα που άπτονται θεμάτων λειτουργικότητας και θα παρουσιαστούν σε αυτήν την ενότητα αφορούν τα σημεία και τις περιοχές που αναφέρθηκαν στο αρχικό προσομοίωμα. Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός πως και στα δύο προσομοιώματα οι περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από άποψη λειτουργικότητας είναι οι ίδιες, αφετέρου στην επιδίωξη σύγκρισης των αποτελεσμάτων.

#### 4.3.1 Περιοχή προβόλου

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η περιοχή του προβόλου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς λειτουργικότητας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μετατόπιση στον κατακόρυφο άξονα, του κάθε σημείου άκρου του προβόλου, όπως ορίστηκε στην παράγραφο 6 της ενότητας 2.2.2. Οι μετατοπίσεις δίνονται για φόρτιση που αντιστοιχεί μόνο στα μόνιμα φορτία και για τις φορτίσεις που αντιστοιχούν στις μέγιστες – κατ' απόλυτο τιμή – μετατοπίσεις των άκρων. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η μέγιστη τιμή μετατόπισης που επιτρέπεται να καταγραφεί. Καθώς η μέγιστη αυτή τιμή ορίζεται ως το 1/100 του μήκους του στοιχείου και τα τέσσερα στοιχεία ακαμψίας έχουν διαφορετικό μήκος, η μέγιστη επιτρεπτή τιμή καθορίζεται κατά περίπτωση ανά στοιχείο.

Πίνακας 4-2: Τιμές μετακινήσεων χαρακτηριστικών σημείων του προβόλου που αφορούν την λειτουργικότητα

Σημείο	Αντιβέλος (mm)	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
		Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση*	Μέγιστη ανύψωση*		
1	10	15	18 SLS_cha-13	5 SLS_cha-12	4	40
2	30	18	11 SLS_cha-19	29 SLS_cha-12	9.6	96
3	110	95	78 SLS_cha-13	83 SLS_cha-16	20.4	204
4	140	132	124 SLS_cha-13	106 SLS_cha-16	24	240

\* Οι τιμές αφορούν την απόκλιση από τη θεωρητική οριζόντια θέση του άκρου και όχι από την πραγματική θέση λόγω αντιβέλους.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, οι αναπτυσσόμενες – υπό τα μόνιμα φορτία – μετατοπίσεις έχουν παρόμοιες τιμές με τις τιμές του αντιβέλους στην αντίστοιχη θέση, κάτι που είχε παρατηρηθεί και στο αρχικό προσομοίωμα. Συνεπώς, μπορεί με ασφάλεια να θεωρηθεί ότι οι δοθείσες τιμές αντιβέλους είναι κατάλληλες προκειμένου να αντισταθμιστεί η επίδραση των μόνιμων φορτίων, υπό την δράση μόνο των οποίων η κατασκευή στην περιοχή του προβόλου έχει τη θεωρητικά επιθυμητή οριζόντια διαμόρφωση.

Στις επόμενες δύο στήλες του πίνακα, παρουσιάζονται οι μέγιστες βυθίσεις και ανυψώσεις που καταγράφονται στις χαρακτηριστικές θέσεις των στοιχείων ακαμψίας του προβόλου. Υπενθυμίζεται ότι οι τιμές που περιλαμβάνονται στον πίνακα αφορούν την μετατόπιση σε σχέση με τη θεωρητική οριζόντια θέση των στοιχείων και όχι σε σχέση με την πραγματική αρχική, όπως αυτή είχε διαμορφωθεί με το αντιβέλος. Σε γενικές γραμμές οι αναπτυχθείσες μετατοπίσεις είναι σημαντικά μικρότερες από τα όρια των κανονισμών. Προκειμένου να μπορεί να γίνει, εν συνεχεία, η σύγκριση με το αρχικό προσομοίωμα, υπολογίζεται η μέγιστη – σχετική προς όριο – μετατόπιση. Αυτή παρουσιάζεται στο σημείο 4, δηλαδή στο μεγαλύτερο σε μήκος σημείο του προβόλου, στην άκρη της περιμετρικής δοκού και στον συνδυασμό SLS\_cha-13. Ως ποσοστό του επιτρεπόμενου ορίου είναι:

$$\frac{124mm}{240mm} = 0.5166 = 51.66\%$$

ενώ σε σχέση με το μήκος του στοιχείου:

$$124mm \approx \frac{24000mm}{194} = \frac{L}{194}$$

### 4.3.2 Λοιπές χαρακτηριστικές θέσεις

Όπως αναφέρθηκε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αφορά σε περιοχές που παρουσιάστηκαν και στο αρχικό προσομοίωμα. Έτσι, αρχικά θα παρουσιαστούν οι μετακινήσεις που αντιστοιχούν στο μέσο του μήκους κάθε δευτερεύουσας διαμήκου δοκού. Η ονοματολογία των κόμβων παρουσιάζεται στην εικόνα 3-3. Οι τιμές των μετακινήσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 4-3.

Πίνακας 4-3: Τιμές μετακινήσεων χαρακτηριστικών σημείων των διαμήκων δευτερεύοντων δοκών που αφορούν την λειτουργικότητα

Σημείο	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
	Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση	Ελάχιστη βύθιση		
215	47	70 SLS_cha-4	44 SLS_cha-9	20	100
147	45	63 SLS_cha-4	40 SLS_cha-9	20	100
45	47	66 SLS_cha-4	43 SLS_cha-9	20	100
307	30	44 SLS_cha-12	24 SLS_cha-9	20	100
235	49	71 SLS_cha-2	42 SLS_cha-11	20	100
158	43	61 SLS_cha-2	38 SLS_cha-11	20	100
82	47	55 SLS_cha-2	36 SLS_cha-11	20	100
300	23	28 SLS_cha-8	19 SLS_cha-13	20	100

Η μέγιστη – σχετικά προς το όριο – μετατόπιση, παρουσιάζεται στο σημείο 235 στον συνδυασμό SLS\_cha-2, δηλαδή στον άξονα Η, μεταξύ των πλαισίων (4) και (5). Η μετατόπιση ως προς το όριο είναι:

$$\frac{71mm}{100mm} = 0.71 = 71\%$$

ενώ σε σχέση με το μήκος του στοιχείου:

$$71mm \approx \frac{20000mm}{282} = \frac{L}{282}$$

Αντιστοίχως στον πίνακα 4-4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετακινήσεων που αφορούν τις ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκούς.

Πίνακας 4-4: Τιμές μετακινήσεων χαρακτηριστικών σημείων των ενισχυμένων δευτερευόντων δοκών που αφορούν την λειτουργικότητα

Σημείο	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
	Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση	Ελάχιστη βύθιση		
284	49	69 SLS_cha-8	51 SLS_cha-13	21.2	106
283	42	59 SLS_cha-8	44 SLS_cha-13	17	85

Σημείο	Μετατοπίσεις (mm)			Μήκος στοιχείου (m)	Όριο (mm)
	Υπό μόνιμα φορτία	Μέγιστη βύθιση	Ελάχιστη βύθιση		
94	76	105 SLS_cha-8	82 SLS_cha-13	23.4	117
93	78	110 SLS_cha-8	82 SLS_cha-13	23.4	117
197	64	89 SLS_cha-8	69 SLS_cha-13	23.4	117
196	69	97 SLS_cha-8	67 SLS_cha-13	23.4	117
270	75	101 SLS_cha-8	86 SLS_cha-11	23.4	117
269	76	106 SLS_cha-8	80 SLS_cha-13	23.4	117

Η μέγιστη – σχετικά προς το όριο – μετατόπιση, παρουσιάζεται στο σημείο 93 στον συνδυασμό SLS\_cha-8, δηλαδή στο άνοιγμα μεταξύ των πλαισίων (2) και (3). Η μετατόπιση ως προς το όριο είναι:

$$\frac{110mm}{117mm} = 0.9402 = 94.02\%$$

ενώ σε σχέση με το μήκος του στοιχείου:

$$110mm \approx \frac{23400mm}{213} = \frac{L}{213}$$

#### 4.4 Αντοχή

##### 4.4.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Μετά την ολοκλήρωση των απαιτούμενων ελέγχων έναντι της λειτουργικότητας ακολούθησε η ο έλεγχος του συνόλου των στοιχείων του φορέα ως προς την αντοχή τόσο σε επίπεδο διατομής όσο και σε επίπεδο μέλους. Ο έλεγχος αυτός έγινε αυτόματα από την υπορουτίνα "Check of Structure" του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέγιστοι λόγοι εκμετάλλευσης που καταγράφηκαν κατά την ανάλυση ανά κατηγορία διατομής.

Πίνακας 4-5: Μέγιστοι καταγραφέντες λόγοι εκμετάλλευσης ανά κατηγορία διατομής

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης	Συνδυασμός φορτίσεων
1	Υποστύλωμα πλαισίων (2) έως (4)	600x600x25x25	0.980	ULS_W-19
1α	Υποστυλώματα πλαισίου (1)	600x600x50x50	0.951	ULS_W-23
2	Υποστύλωμα πλαισίου (5)	600x500x25x25	0.725	ULS_T-16
3	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Α)	2000/600x600x25x25	0.306	ULS_W-23
4	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Β)	2000/1000x600x25x25	0.394	ULS_W-23
5	Μεταβλητή δοκός διαμήκους πλαισίου	I 920/600x600x40x20	0.442	ULS_W-19
6	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Α)	733/600x500x25x25	0.087	ULS_T-14

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης	Συνδυασμός φορτίσεων
7	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Β)	2000/600x500x25x25	0.297	ULS_W-17
8	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Γ)	920/733x500x25x25	0.085	ULS_T-14
9	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Α	CHS140x8	0.954	ULS_T-17
10	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β	CHS110x8	0.916	ULS_T-18
11	Τμήμα δοκού πλαισίων (1) έως (4)	1000x600x25x25	0.356	ULS_W-18
12	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α)	I 920x600x40x20	0.707	ULS_W-17
13	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Β)	I 600x600x40x20	0.354	ULS_T-19
14	Ενισχύσεις διαμήκων πλαισίων	400x600x30x30	0.648	ULS_W-17
15	Τμήμα δοκού πλαισίου (5)	600x500x25x25	0.293	ULS_W-17
16	Διαμήκεις δευτερεύουσες δοκοί	I 600x600x40x20	0.412	ULS_L-13
17	Περιμετρική δοκός	I 600x600x40x20	0.404	ULS_W-23
18	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί	UC203x203x86	0.840	ULS_T-16
19	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί περιοχής προβόλου	UC305x305x118	0.852	ULS_W-17
20	Βοηθητικές δοκοί	UC203x203x71	0.400	ULS_W-23
21	Ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί και δοκοί ανοιγμάτων	UC356x368x129	0.880	ULS_T-13

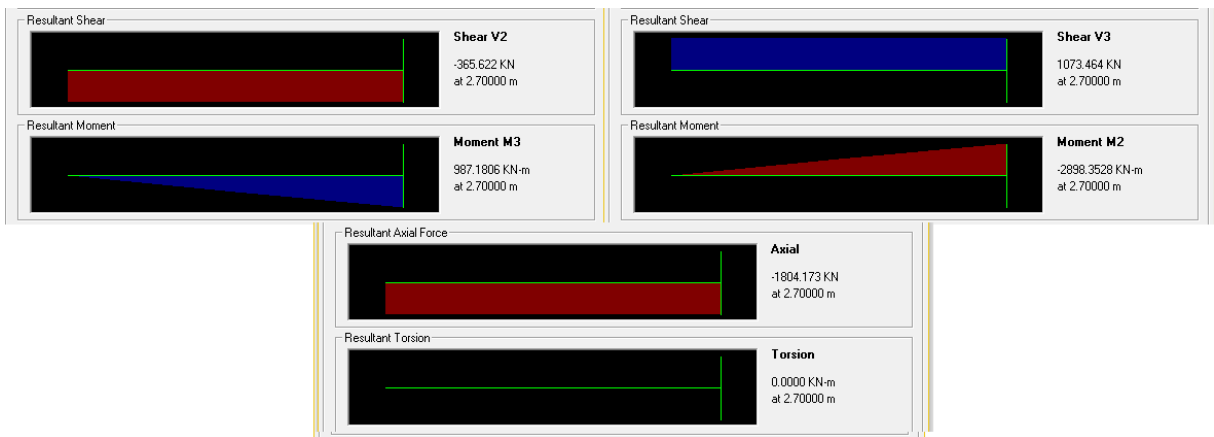
#### 4.4.2 Αναλυτικά παραδείγματα

Στις επόμενες ενότητες θα γίνει αναλυτικότερη παρουσίαση των δυσμενέστερων φορτίσεων που αναπτύσσονται σε μερικές από τις διατομές που χρησιμοποιήθηκαν στο προσομοίωμα. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων εντάσεων σε στοιχεία αντίστοιχα αυτών που παρουσιάστηκαν στο αρχικό προσομοίωμα.

##### 1. Υποστυλώματα διατομής 600x600x25x25

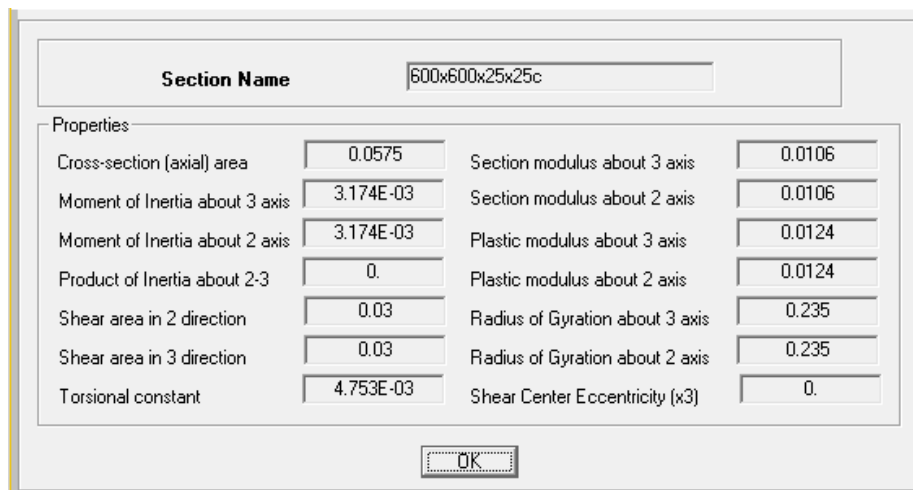
Όπως φάνηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης που καταγράφεται στα υποστυλώματα διατομής 600x600x25x25 είναι 0.980. Αυτό συμβαίνει σε υποστυλώμα του πλαισίου (2). Η ακριβής θέση που καταγράφεται ο λόγος αυτός είναι στη συμβολή του υποστυλώματος με τις διαμήκεις ενισχύσεις, σε ύψος δηλαδή 2.70m από τη θέση έδρασης. Η δυσμενέστερη αυτή φόρτιση αντιστοιχεί στον συνδυασμό φορτίσεων ULS\_W-19. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων εντατικών μεγεθών στο frame 161 μήκους 2.70m. Οι τιμές επί των διαγραμμάτων αφορούν τα εντατικά μεγέθη στο σημείο που θα γίνει ο έλεγχος.





Εικόνα 4-4: Εντατικά μεγέθη στο υποστυλώμα για τον συνδυασμό ULS\_W-19

Τα αδρανειακά χαρακτηριστικά όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό ανάλυσης παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4-5: Αδρανειακά χαρακτηριστικά υποστυλώματος διατομής 600x600x25x25

Καθώς η διατομή παρουσιάζει διπλή συμμετρία, τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της έχουν τις ίδιες τιμές και στους δύο άξονες. Αυτό επιτρέπει – τουλάχιστον για τον έλεγχο έναντι διάτμησης – να γίνει ο έλεγχος μόνο στην διεύθυνση που παρουσιάζεται η μέγιστη – κατ’ απόλυτο τιμή – διατμητική ένταση. Αυτή λαμβάνει την τιμή 1073.5kN. Η αντοχή της διατομής έναντι διάτμησης θα είναι:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\gamma_{M0} \times \sqrt{3}} = \frac{0.03m^2 \times 355MPa}{1 \times \sqrt{3}} = 6149kN$$

Καθώς η τιμή της μέγιστης διάτμησης δεν υπερβαίνει το ήμισυ της αντοχής δεν απαιτείται μείωση της αντοχής της διατομής έναντι κάμψης, η οποία είναι:

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.0124m^3 \times 355MPa}{1} = 4402kNm$$

Έτσι, ο λόγοι εκμετάλλευσης που προκύπτουν από τις καμπτικές ροπές είναι αντίστοιχα για τις δύο διευθύνσεις:

$$\text{Διεύθυνση 3-3: } ratio_{M_3} = \frac{M_3}{M_{Rd}} = \frac{987.2kNm}{4402kNm} = 0.224$$

$$\text{Διεύθυνση 2-2: } ratio_{M_2} = M_2 / M_{Rd} = 2898.4kNm / 4402kNm = 0.658$$

Για τον υπολογισμό της επίδρασης του αξονικού φορτίου που επιβάλλεται στο υποστυλώμα θα ακολουθήσει ο έλεγχος τους έναντι φαινομένων λυγισμού. Το τμήμα του υποστυλώματος που εξετάζεται – ως προς τις ακραίες συνθήκες του – μπορεί να θεωρηθεί ότι στηρίζεται επί μίας άρθρωσης και μίας πάκτωσης. Έτσι ο συντελεστής μήκους λυγισμού θα πάρει την τιμή 0.7. Η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος θα είναι:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{k_y \times l}{i} / \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{0.7 \times 2.70m}{0.235m} / \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 0.105 < 0.2$$

Καθώς η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος είναι μικρότερη του 0.2 δεν παρουσιάζονται φαινόμενα λυγισμού και η αντοχή του υποστυλώματος – ως μέλος – έναντι αξονικής φόρτισης είναι ίση με την αντοχή της διατομής, η οποία είναι:

$$N_{Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0.0575m^2 \times 355MPa}{1} = 20413kN$$

Συνεπώς, ο λόγος εκμετάλλευσης που προκύπτει από την αξονική ένταση είναι:

$$ratio_N = N / N_{Rd} = 1804.2kN / 20413kN = 0.088$$

Και ο συνολικός λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = ratio_N + ratio_{M_3} + ratio_{M_2} = 0.088 + 0.224 + 0.658 = 0.970$$

παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.

## 2. Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας A (CHS140x8)

Ο μέγιστος λόγος που καταγράφεται σε σύνδεσμο δυσκαμψίας CHS140x8 είναι στο frame 317, που παρουσιάζεται με το πορτοκαλί χρώμα στην εικόνα 3-9. Καθώς οι σύνδεσμοι είναι τοποθετημένοι αμφιαρθρωτά και δεν παραλαμβάνουν απ' ευθείας εξωτερικά φορτία δεν μπορούν παρά να αναπτύξουν μόνο αξονική ένταση. Έτσι δεν θα παρουσιαστούν αναλυτικά διαγράμματα εντάσεων για τον σύνδεσμο καθώς το μόνο εντατικό μέγεθος που απαιτείται είναι η αξονική δύναμη, η οποία είναι -380kN (θλιπτική) στον συνδυασμό ULS\_T-17. Ο έλεγχος που θα ακολουθήσει αφορά μόνο τον έλεγχο έναντι λυγισμού. Τονίζεται ότι οι υπολογισμοί αφορούν τον λυγισμό περί τον ασθενέστερο άξονα, που καθώς η διατομή είναι κυκλική ταυτίζεται με τον οποιοδήποτε άξονα, η ακτίνα αδρανείας γύρω από τον οποίο έχει ληφθεί από τους πίνακες των διατομών ως 0.0468m, ενώ η επιφάνεια της διατομής είναι 3318mm<sup>2</sup>. Έτσι, η ανηγμένη λυγηρότητα θα είναι:

$$\bar{\lambda} = \frac{k \times l}{i} / \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{1 \times 5.52m}{0.0468m} / \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 1.54$$

Από τον πίνακα 6.2 της παρ. 6.3.1.2 του Μέρους 1-1 του EN1993, προκύπτει ότι για κλειστές κυκλικές διατομές θερμής έλασης χρησιμοποιείται η καμπύλη λυγισμού a, σύμφωνα με την οποία για λυγηρότητα 1.54 ο μειωτικός συντελεστής  $\chi$  είναι 0.36.

Συνεπώς η αντοχή του μέλους έναντι λυγισμού είναι:

$$N_{Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0.35 \times 3318mm^2 \times 355MPa}{1} = 412.26kN$$

Και ο λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = 380kN / 412.26kN = 0.921$$

παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.

### 3. Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας B (CHS110x8)

Όπως και στην προηγούμενη ενότητα, θα παρουσιαστεί μόνο ο έλεγχος έναντι λυγισμού καθώς δεν αναπτύσσονται άλλες εντάσεις πλην της αξονικής. Η δυσμενέστερη ένταση παρουσιάζεται στον συνδυασμό ULS\_T-18 στο frame 578 και είναι ίση με -281.5kN. Η ακτίνα αδρανείας περί τον ασθενέστερο άξονα είναι 0.0362m και η επιφάνεια της διατομής 2564mm<sup>2</sup>. Η ανηγμένη λυγηρότητα θα είναι:

$$\bar{\lambda} = \frac{k \times l}{i} / \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{1 \times 4.3m}{0.0362m} / \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 1.55$$

Από τον πίνακα 6.2 της παρ. 6.3.1.2 του Μέρους 1-1 του EN1993, προκύπτει ότι για κλειστές κυκλικές διατομές θερμής έλασης χρησιμοποιείται η καμπύλη λυγισμού a, σύμφωνα με την οποία για λυγηρότητα 1.55 ο μειωτικός συντελεστής  $\chi$  είναι 0.35.

Συνεπώς η αντοχή του μέλους έναντι λυγισμού είναι:

$$N_{Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{0.35 \times 2564mm^2 \times 355MPa}{1} = 318.6kN$$

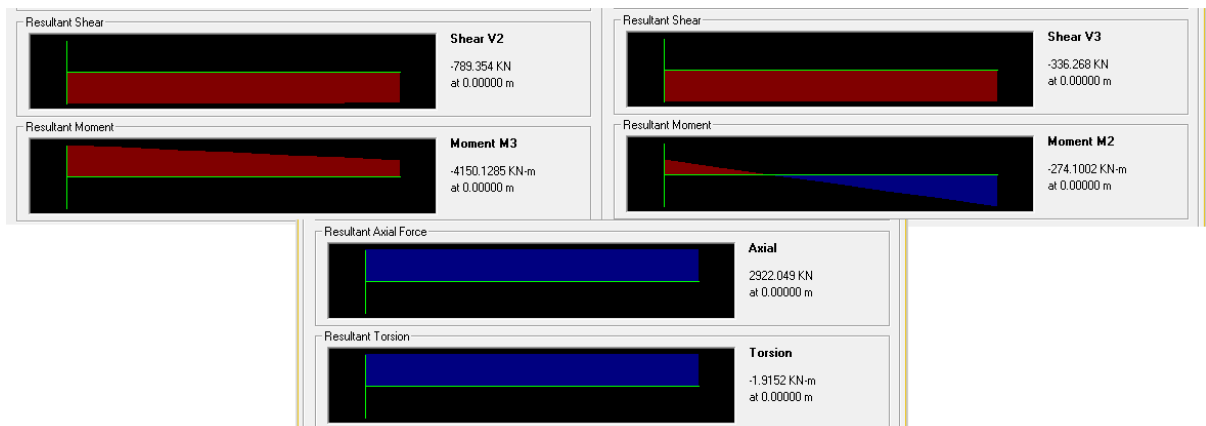
Και ο λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = 281.5 / 318.6 = 0.884$$

παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.

### 4. Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα A – I920x600x40x20)

Ο μέγιστος λόγος εκμετάλλευσης που καταγράφεται για τα μέλη που αντιστοιχούν στη δοκό του θέματος, όπως προκύπτει από τον πίνακα 4-5 είναι 0.707 και παρουσιάζεται στον συνδυασμό ULS\_W-17 και στο frame 566, που αντιστοιχεί σε τμήμα του διαμήκους πλαισίου (ii) μεταξύ των πλαισίων (1) και (2), μήκους 2.55m. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο δυσμενέστερο συνδυασμό φορτίσεων, ενώ τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της διατομής εμφανίζονται στην εικόνα 3-10 του προηγούμενου κεφαλαίου.



Εικόνα 4-6: Εντατικά μεγέθη στη δοκό I920x600x40x20 για τον συνδυασμό ULS\_W-17

Αρχικά, θα γίνει έλεγχος έναντι διάτμησης. Η αντοχή έναντι διάτμησης στους άξονες 2 και 3 αντίστοιχα υπολογίζεται ως:

$$V_{2,Rd} = \frac{A_{2,v} \times f_y}{\gamma_{Mo} \times \sqrt{3}} = \frac{0.0184m^2 \times 355MPa}{1 \times \sqrt{3}} = 3771kN$$

$$V_{3,Rd} = \frac{A_{3,v} \times f_y}{\gamma_{M0} \times \sqrt{3}} = \frac{0.04m^2 \times 355MPa}{1 \times \sqrt{3}} = 8198kN$$

και οι αντίστοιχοι λόγοι εκμετάλλευσης:

$$ratio_{V_2} = \frac{V_2}{V_{2,Rd}} = \frac{789.4kN}{3771kN} = 0.209 < 0.5$$

$$ratio_{V_3} = \frac{V_3}{V_{3,Rd}} = \frac{336.3kN}{8198kN} = 0.041 < 0.5$$

Συνεπώς, καθώς οι λόγοι εκμετάλλευσης έναντι της διάτμησης είναι μικρότεροι του 0.5, δεν απαιτείται μείωση της καμπτικής αντοχής της διατομής, η οποία για τις δύο διευθύνσεις παίρνει τις τιμές:

$$M_{2,Rd} = \frac{W_{2,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.00728m^2 \times 355MPa}{1} = 2584.4kNm$$

$$M_{3,Rd} = \frac{W_{3,pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.0246m^2 \times 355MPa}{1} = 8733kNm$$

και οι αντίστοιχοι λόγοι εκμετάλλευσης:

$$ratio_{M_2} = \frac{M_2}{M_{2,Rd}} = \frac{274.1kNm}{2584.4kNm} = 0.106$$

$$ratio_{M_3} = \frac{M_3}{M_{3,Rd}} = \frac{4150.1kNm}{8733kNm} = 0.475$$

Για τον υπολογισμό της επίδρασης του αξονικού φορτίου που επιβάλλεται στη δοκό θα ακολουθήσει ο έλεγχος τους έναντι φαινομένων λυγισμού. Το τμήμα της δοκού που εξετάζεται – ως προς τις ακραίες συνθήκες της – μπορεί να θεωρηθεί ότι στηρίζεται επί δύο πακτώσεων. Έτσι ο συντελεστής μήκους λυγισμού θα πάρει την τιμή 0.5. Η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος θα είναι:

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{k_2 \times l}{i_2} \Bigg/ \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{0.5 \times 2.55m}{0.1491m} \Bigg/ \pi \times \sqrt{\frac{210000MPa}{355MPa}} = 0.11 < 0.2$$

Καθώς η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος είναι μικρότερη του 0.2 δεν παρουσιάζονται φαινόμενα λυγισμού και η αντοχή του υποστυλώματος – ως μέλος – έναντι αξονικής φόρτισης είναι ίση με την αντοχή της διατομής, η οποία είναι:

$$N_{Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.0648m^2 \times 355MPa}{1} = 23004kN$$

Συνεπώς, ο λόγος εκμετάλλευσης που προκύπτει από την αξονική ένταση είναι:

$$ratio_N = \frac{N}{N_{Rd}} = \frac{2922kN}{23004kN} = 0.127$$

Και ο συνολικός λόγος εκμετάλλευσης:

$$ratio = ratio_N + ratio_{M_3} + ratio_{M_2} = 0.127 + 0.106 + 0.475 = 0.708$$

παραπλήσιος της τιμής που δίνεται από το λογισμικό ανάλυσης.

#### 4.5 Σχολιασμός Τελικών Διατομών

Σε αντίθεση με το αρχικό προσομοίωμα, στο τροποποιημένο η τελική επιλογή των διαφόρων διατομών έγινε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Τα κριτήρια τα οποία οδήγησαν στις τελικές επιλογές είναι κριτήρια που εδράζονται επί κανονισμών αντοχής, λειτουργικότητας αλλά της κατηγορίας της διατομής. Ιδιαίτερα, για την κατηγορία της διατομής τονίζεται ότι επιλέχθηκε το σύνολο των διατομών να είναι κατηγορίας 1, 2 ή 3, προκειμένου να χρησιμοποιούνται τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της πλήρους διατομής. Έτσι στον επόμενο πίνακα γίνεται αναφορά στον κριτήριο το οποίο – κατά περίπτωση – οδήγησε στην διαστασιολόγηση της εκάστοτε διατομής.

Πίνακας 4-6: Κριτήρια διαστασιολόγησης διατομών

A/A	Περιγραφή	Διατομή	Κριτήριο διαστασιολόγησης
1	Υποστώλιωμα πλαισίων (2) έως (4)	600x600x25x25	Αντοχή μέλους
1a	Υποστωλώματα πλαισίου (1)	600x600x50x50	Αντοχή μέλους
2	Υποστώλιωμα πλαισίου (5)	600x500x25x25	Αντοχή μέλους
3	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Α)	2000/600x600x25x25	Κατηγορία ακραίων διατομών
4	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Β)	2000/1000x600x25x25	Κατηγορία ακραίων διατομών
5	Μεταβλητή δοκός διαμήκους πλαισίου	I 920/600x600x40x20	Λειτουργικότητα ακραίων διατομών
6	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Α)	733/600x500x25x25	Κατηγορία ακραίων διατομών
7	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Β)	2000/600x500x25x25	Κατηγορία ακραίων διατομών
8	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Γ)	920/733x500x25x25	Κατηγορία ακραίων διατομών
9	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Α	CHS140x8	Αντοχή μέλους
10	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β	CHS110x8	Αντοχή μέλους
11	Τμήμα δοκού πλαισίων (1) έως (4)	1000x600x25x25	Κατηγορία διατομής
12	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α)	I 920x600x40x20	Λειτουργικότητα
13	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Β)	I 600x600x40x20	Λειτουργικότητα
14	Ενισχύσεις διαμήκων πλαισίων	400x600x30x30	Λειτουργικότητα
15	Τμήμα δοκού πλαισίου (5)	600x500x25x25	Κατηγορία διατομής
16	Διαμήκειες δευτερεύουσες δοκοί	I 600x600x40x20	Λειτουργικότητα
17	Περιμετρική δοκός	I 600x600x40x20	Λειτουργικότητα
18	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί	UC203x203x86	Αντοχή μέλους
19	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί περιοχής προβόλου	UC305x305x118	Αντοχή μέλους
20	Βοηθητικές δοκοί	UC203x203x71	
21	Ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί και δοκοί ανοιγμάτων	UC356x368x129	Λειτουργικότητα και αντοχή μέλους

Από τον παραπάνω πίνακα εξάγονται συμπεράσματα ως προς τα κριτήρια διαστασιολόγησης. Αρχικά, μπορεί να ειπωθεί ότι τα τρία βασικά κριτήρια (αντοχή, λειτουργικότητα και κατηγοριοποίηση διατομής) παρουσιάζονται εξίσου στον πίνακα. Επιπλέον, παρατηρείται μία ομαδοποίηση μεταξύ των διατομών. Οι διατομές που αντιστοιχούν στα υποστωλώματα και στις πάσης φύσεως εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκούς διαστασιολογούνται με βάση την αντοχή των μελών, οι συγκολλητές διατομές μορφής I (που αντιστοιχούν κατά κύριο λόγο στα διαμήκη στοιχεία – πλαίσια και δοκούς) με βάση τη λειτουργικότητα και οι κιβωτιοειδείς διατομές των οριζόντιων στοιχείων των εγκαρσίων πλαισίων με βάση την κατηγορία των διατομών.

#### 4.6 Ιδιομορφική Ανάλυση

Όπως στο αρχικό μοντέλο, έτσι και στο τροποποιημένο θα παρατεθούν τα στοιχεία των είκοσι πρώτων ιδιομορφών, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το λογισμικό ανάλυσης. Υπενθυμίζεται ότι για την ανάλυση έχουν ληφθεί υπόψη πενήντα ιδιομορφές συνολικά και έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος ιδιομορφικής ανάλυσης φάσματος απόκρισης. Έτσι, για τον έλεγχο της επάρκειας της μεθόδου παρατίθενται τα παρακάτω στοιχεία.

Πίνακας 4-7: Είκοσι πρώτες ιδιομορφές του τροποποιημένου προσομοιώματος

Ιδιομορφή		Διεύθυνση Ux		Διεύθυνση Uy		Διεύθυνση Rz	
A/A	Περίοδος (sec)	Συμμ. μάζ. %	Αθρ. συμμ. μάζ. %	Συμμ. μάζ. %	Αθρ. συμμ. μάζ. %	Συμμ. μάζ. %	Αθρ. συμμ. μάζ. %
1	0.982514	<b>0.81612</b>	0.81612	0.0085	0.0085	0.06754	0.06754
2	0.894472	0.06386	0.87998	0.0005	0.009	<b>0.86735</b>	<b>0.93488</b>
3	0.803235	0.07348	<b>0.95346</b>	<b>0.27534</b>	0.28434	0.00245	0.93734
4	0.619867	0.00092	0.95438	0.00036	0.28471	0.00026	0.93759
5	0.612345	0.00204	0.95642	0.11119	0.3959	0.00226	0.93985
6	0.603972	0.00081	0.95723	0.21309	0.60899	0.00316	0.94301
7	0.533261	0	0.95727	0.00064	0.60963	0	0.94305
8	0.513528	0.00074	0.95801	0.00122	0.61085	0.00672	0.94978
9	0.484865	0.00011	0.95812	0.00295	0.6138	0	0.94978
10	0.456213	0.00159	0.95971	0.18363	0.79743	0.0041	0.95388
11	0.42429	0.0022	0.96191	0.07158	0.86902	0.00047	0.95435
12	0.421198	0.00129	0.96319	0.03161	<b>0.90062</b>	0.00022	0.95456
13	0.414179	0.00868	0.97187	0.00359	0.90421	0.00956	0.96412
14	0.407232	0.00132	0.9732	0.0016	0.90581	0.00099	0.96512
15	0.405242	0.00025	0.97344	0.00046	0.90626	0.00069	0.96581
16	0.401673	0	0.97347	0.00036	0.90662	0	0.96583
17	0.391844	0	0.9735	0	0.90663	0	0.96583
18	0.388351	0.00011	0.97361	0.00051	0.90713	0	0.96585
19	0.388095	0.00018	0.97379	0.00769	0.91482	0.00017	0.96601
20	0.383101	0	0.97379	0.00191	0.91672	0	0.9661

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, η απαίτηση για αθροιστική συμμετοχή μάζας πλέον του 90%, επιτυγχάνεται με πολύ λιγότερες ιδιομορφές από τις πενήντα που έχουν υπολογιστεί από λογισμικό, αλλά τις είκοσι που παρατίθενται. Συγκεκριμένα, στην μεταφορική x διεύθυνση, η απαίτηση επιτυγχάνεται στην 3<sup>η</sup> ιδιομορφή με κυρίαρχη ιδιομορφή την 1<sup>η</sup> στα 0.98sec. Στην μεταφορική διεύθυνση y, η απαίτηση επιτυγχάνεται στην 12<sup>η</sup> ιδιομορφή με κυρίαρχη την 3<sup>η</sup> στα 0.80sec. Τέλος, στην περιστροφική διεύθυνση z, η απαίτηση επιτυγχάνεται στην 2<sup>η</sup> ιδιομορφή με κυρίαρχη την 2<sup>η</sup> στα 0.89sec.

#### 4.7 Τροποποιημένη Αρχιτεκτονική

Όπως έγινε αντιληπτό από τα αναγραφόμενα στην παρ. 4.5 πλήθος διατομών δεν διαστασιολογούνται με βάση την αντοχή ή την λειτουργικότητα των μελών αλλά λόγω της κατηγορίας της διατομής. Όπως αναφέρθηκε προωύτερα, τα μέλη των οποίων οι διατομές διαστασιολογούνται με βάση την κατηγορία της διατομής είναι, ως επί το πλείστον κλειστές κιβωτιοειδείς διατομές που αποτελούν τα οριζόντια τμήματα των εγκαρσίων πλαισίων. Την ίδια στιγμή οι λόγοι εκμετάλλευσης των μελών αυτών παρέμειναν και στο βελτιστοποιημένο και τροποποιημένο προσομοίωμα σε χαμηλές τιμές και πιο συγκεκριμένα, ως επί το πλείστον, μικρότερες του 0.3.

Όπως αναλύθηκε σε προγενέστερη ενότητα, ένα από τα κριτήρια για τον σχεδιασμό του τροποποιημένου προσομοιώματος ήταν η διατήρηση της αρχιτεκτονικής ακόμα και στην έννοια των εξωτερικών διαστάσεων των χρησιμοποιούμενων διατομών. Έτσι, ως προσπάθεια επιπλέον βελτιστοποίησης της κατασκευής, διερευνήθηκε η δυνατότητα μεταβολής κάποιων χαρακτηριστικών της αρχιτεκτονικής αναζητώντας μεγαλύτερη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων των μελών της κατασκευής.

Σε αυτό το πλαίσιο, κατέστη σαφές ότι η όποια προσπάθεια για μετατροπή σε αυτή τη κατεύθυνση θα πρέπει να αφορά τα μέλη των οποίων η διαστασιολόγησή τους ορίζεται, όχι από την εξάντληση της αντοχής τους ή της προσφερόμενης λειτουργικότητας, αλλά από την αρχιτεκτονική τους και κατά συνέπεια από την κατηγορία της διατομής τους. Έτσι επιλέχθηκε η μείωση του μέγιστου ύψους των διαφόρων διατομών κιβωτιοειδούς διατομής που αποτελούν τα οριζόντια στοιχεία των πλαισίων. Η επιδίωξη της μείωσης αυτής ήταν να μετατραπεί το κριτήριο διαστασιολόγησης των μελών αυτών και πλέον ως κυρίαρχο ρόλο να παίζει η αντοχή ή η λειτουργικότητα. Τονίζεται ότι ταυτόχρονα με τη μείωση του ύψους της διατομής υπήρχε η δυνατότητα να μειωθεί και το πάχος των ελασμάτων της διατομής.

Με βάση τα ανωτέρω, δημιουργήθηκε ένα νέο τροποποιημένο προσομοίωμα, το οποίο ως μοναδική διαφορά από το προηγούμενο είχε το μειωμένο ύψος και πάχος ελασμάτων των διατομών που αποτελούσαν τα εγκάρσια πλαίσια. Με διαδοχικές μειώσεις του ύψους και του πάχους επετεύχθη βελτιστοποίηση στην κατασκευή όταν χρησιμοποιήθηκαν διατομές 1200x600x20x20 αντί για 2000x600x25x25 στα πλαίσια (1) έως (4) και 1200x500x20x20 αντί για 2000x500x20x20.

Με χρήση αυτών των διατομών το νέο τροποποιημένο προσομοίωμα επετύγχανε να εξαντλείται πρώτα η αντοχή των μελών (και σε κάποιες περιπτώσεις η προσφερόμενη λειτουργικότητα) και όχι να επιτάσσεται η διαστασιολόγηση από την κατηγορία της διατομής.

Ο λόγος για τον οποίο επιδιώκεται η βελτιστοποίηση ενός φορέα δεν μπορεί να είναι παρά η οικονομία της κατασκευής. Υπό τον όρο οικονομία της κατασκευής, εκτός από τον προφανή ορισμό σχετικά με το χρηματικό κόστος, θα πρέπει κανείς να περιλάβει και άλλες έννοιες όπως είναι η ταχύτητα της κατασκευής, οι χρησιμοποιούμενοι σε σχέση με τους διατιθέμενους πόρους κ.α. Όλες αυτές οι έννοιες σε μία μεταλλική κατασκευή μπορούν να ποσοτικοποιηθούν μέσω του συνολικού βάρους που έχει η κατασκευή. Έτσι, όπως υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό ανάλυσης, το συνολικό βάρος του νέου τροποποιημένου προσομοιώματος, ανέρχεται σε 618tn, μόλις 17tn λιγότερους από το τροποποιημένο προσομοίωμα.

Συνεπώς, επιλέχθηκε, στο πλαίσιο της εργασίας να μη γίνει αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων, καθώς οι διαφορές από το τροποποιημένο προσομοίωμα δεν θα δικαιολογούσαν κάτι τέτοιο. Φυσικά, τα αποτελέσματα του προσομοιώματος που αντιστοιχεί στην τροποποιημένη αρχιτεκτονική συνοδεύουν την ηλεκτρονική έκδοση της μεταπτυχιακής εργασίας.





## 5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η προσπάθεια να συγκριθούν τα δύο προσομοιώματα για τα οποία έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσής τους στα κεφάλαια 3 και 4 αντιστοίχως. Την συγκριτική παράθεση των αποτελεσμάτων την συνοδεύουν σχόλια τα οποία προκύπτουν από αυτά, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων.

### 5.1 Διατομές των Στοιχείων

Στον πίνακα που ακολουθεί, χωρίς να δίνονται επιπλέον στοιχεία, παρουσιάζεται η διατομή του κάθε μέλους της κατασκευής στα δύο προσομοιώματα. Σκοπός του πίνακα είναι η απ' ευθείας σύγκριση των πραγματικά χρησιμοποιούμενων διατομών με αυτές που προέκυψαν κατά την προσπάθεια βελτιστοποίησης.

Πίνακας 5-1: Συγκριτική παρουσίαση των διατομών των δύο προσομοιωμάτων

Α/Α	Περιγραφή	Διατομή Προσομοιώματος	
		Αρχικού	Τροποποιημένου
1	Υποστώλωμα πλαισίων (2) έως (4)	600x600x40x40	600x600x25x25
1a	Υποστυλώματα πλαισίου (1)		600x600x50x50
2	Υποστώλωμα πλαισίου (5)	600x500x50x50	600x500x25x25
3	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Α)	2000/600x600x40x30	2000/600x600x25x25
4	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Β)	2000/1000x600x40x30	2000/1000x600x25x25
5	Μεταβλητή δοκός διαμήκους πλαισίου	I 920/600x600x40x20	I 920/600x600x40x20
6	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Α)	733/600x500x50x50	733/600x500x25x25

Α/Α	Περιγραφή	Διατομή Προσομοιώματος	
		Αρχικού	Τροποποιημένου
7	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Β)	2000/600x500x50x50	2000/600x500x25x25
8	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Γ)	920/733x500x50x50	920/733x500x25x25
9	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Α	L152x152x22.2	CHS140x8
10	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β	L127x127x19	CHS110x8
11	Τμήμα δοκού πλαισίων (1) έως (4)	1000x600x40x30	1000x600x25x25
12	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α)	I 920x600x40x20	I 920x600x40x20
13	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Β)	I 600x600x40x20	I 600x600x40x20
14	Ενισχύσεις διαμήκων πλαισίων	400x600x30x30	400x600x30x30
15	Τμήμα δοκού πλαισίου (5)	6000x500x50x50	600x500x25x25
16	Διαμήκειες δευτερεύουσες δοκοί	I 600x600x40x20	I 600x600x40x20
17	Περιμετρική δοκός	I 600x600x40x20	I 600x600x40x20
18	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί Α	UC305x305x118	UC203x203x86
19	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί Β	UC356x368x153	
20	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί περιοχής προβόλου και δοκοί ανοιγμάτων	UC356x368x202	UC305x305x118
21	Δοκοί ανοιγμάτων		UC356x368x129
22	Ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί	UC356x406x235	
23	Βοηθητικές δοκοί	UC305x305x118	UC203x203x71

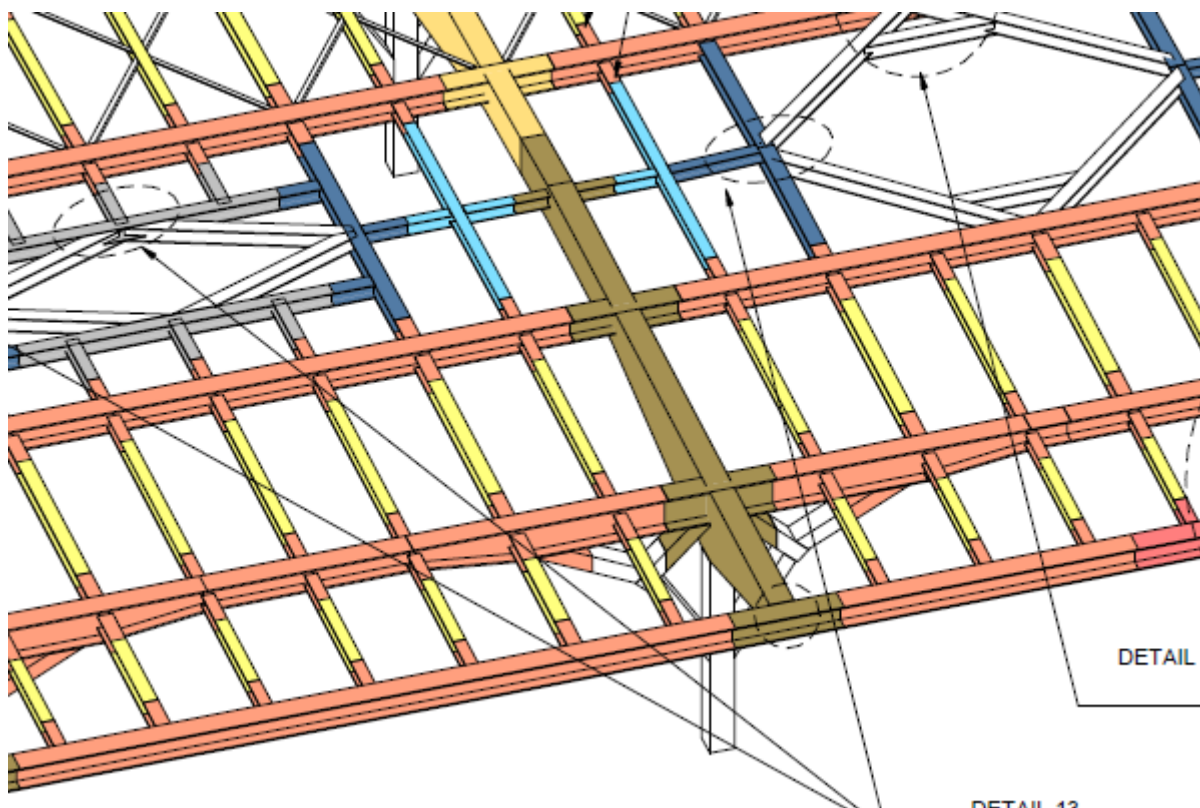
Στο παραπάνω πίνακα, τα κελιά που έχουν έγχρωμο φόντο αντιστοιχούν στα στοιχεία της κατασκευής στα οποία δεν τροποποιήθηκε η διατομή τους. Όπως είναι σαφές με μία απλή παρατήρηση του πίνακα, η συντριπτική πλειοψηφία των διατομών έχει αλλάξει.

Αν εξαιρεθεί η περίπτωση των υποστυλωμάτων του πλαισίου (1), το σύνολο των διατομών τροποποιήθηκε προς κάποια διατομή μειωμένου εμβαδού επιφάνειας και συνεπώς μειωμένων αδρανειακών χαρακτηριστικών. Έτσι, εφόσον πρόκειται για συγκολλητές διατομές αυτό έγινε με μείωση του πάχους των ελασμάτων από τα οποία κατασκευάζονται, διατηρώντας τις εξωτερικές διαστάσεις σταθερές και προκειμένου για ελατές με αλλαγή διατομής της ίδιας σειράς.

Μοναδική περίπτωση αλλαγής και της μορφής της διατομής αποτελεί η περίπτωση των οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας, οι οποίοι από ελατές διατομές γωνιακών ισοσκελών μετεβλήθησαν σε κλειστές διατομής κυκλικής διατομής (CHS).

Η συνολική μάζα της κατασκευής μειώθηκε από 765tn του αρχικού προσομοιώματος σε 635tn στο τροποποιημένο, ενώ σε επίπεδο μάζας ανά μονάδα κάτοψης της κατασκευής από 239kg/m<sup>2</sup> σε 199kg/m<sup>2</sup>. Η μείωση αυτή δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σημαντική καθώς αντιστοιχεί σε 130tn ή 17% σε σχέση με την αρχική μάζα.

Το όφελος το οποίο προκύπτει από ένα τόσο σημαντικό ποσοστό είναι πολλαπλό. Καταρχήν υπάρχει το προφανές όφελος της μειωμένης αξίας του υλικού που χρησιμοποιείται. Παρόλα αυτά θα πρέπει να συνυπολογιστεί το όφελος που προκύπτει και από την μείωση του κόστους των μεταφορικών, την ταχύτερη ανέγερση της κατασκευής αλλά και, ενδεχομένως, την ανάγκη για χρήση εξοπλισμού μικρότερης δυνατότητας (φορτηγά μεταφοράς, γερανοί κατά την ανέγερση κ.α.). Ενδεικτικά, έχει υπολογιστεί η μάζα ενός τμήματος του πλαισίου (2) ή (3) το οποίο τοποθετείται στην κατασκευή. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, στα σχέδια της μελέτης κατασκευής προβλέπεται η ενιαία τοποθέτηση τμήματος που αντιστοιχεί στο ήμισυ του οριζώντιου τμήματος του πλαισίου (παρουσιάζεται με το καφέ χρώμα). Η μάζα του τμήματος αυτού, με τα χαρακτηριστικά των διατομών του αρχικού προσομοιώματος είναι περίπου 17.7tn, ενώ με του τροποποιημένου 13.7tn, για το οποίο ενδεχομένως να απαιτούνταν μικρότερης ανυψωτικής ικανότητας γερανός.



Εικόνα 5-1: Χρωματική διάκριση ενιαίων κατά την ανέγερση τμημάτων της κατασκευής

## 5.2 Λειτουργικότητα

Όσον αφορά την λειτουργικότητα θα παρατεθεί απλώς ένας συγκριτικός πίνακας για τρία σημεία της κατασκευής. Τα σημεία αυτά είναι το δυσμενέστερο σημείο του προβόλου (σημείο 4 εικόνας 1-16), το δυσμενέστερο σημείο των διαμήκων δευτερεύουσων δοκών (σημείο 235 εικόνας 3-3) και στο δυσμενέστερο σημείο των ενισχυμένων δοκών (σημείο 93 εικόνας 3-5).

Πίνακας 5-2: Συγκριτική παρουσίαση λειτουργικότητας χαρακτηριστικών σημείων των δύο προσομοιωμάτων

Σημείο	Αρχικό προσομοίωμα		Τροποποιημένο προσομοίωμα		Όριο	
	Απόλυτη τιμή (mm)	Τιμή προς το μήκος	Απόλυτη τιμή (mm)	Τιμή προς το μήκος	Απόλυτη τιμή (mm)	Τιμή προς το μήκος
Πρόβολος	113	L/212	124	L/194	240	L/100
Διαμήκεις δοκοί	70	L/285	71	L/282	100	L/200
Ενισχυμένες δοκοί	86	L/272	110	L/213	117	L/200

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5-2, μεταξύ των δύο προσομοιωμάτων δεν υπάρχουν διαφορές στα χαρακτηριστικά λειτουργικότητας στην περιοχή του προβόλου και των διαμήκων δευτερεύουσων δοκών. Υπενθυμίζεται ότι τόσο η συμπεριφορά του προβόλου, όσο και οι δευτερεύουσες δοκοί μορφώνονται από συγκολλητές διατομές μορφής I, οι οποίες δεν μετεβλήθησαν μεταξύ των δύο προσομοιωμάτων. Συνεπώς είναι φυσιολογικό να μην αναμένεται μεγάλη διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά λειτουργικότητας.

Αντιθέτως, στις ενισχυμένες δοκούς αυτό δεν ισχύει. Καθώς η διατομή τους μετεβλήθη από UC356x406x235 σε UC356x368x129 (σε διατομή δηλαδή σημαντικά μικρότερης ροπής αδρανείας) αναπτύχθηκαν μεγαλύτερες βυθίσεις στη δοκό. Παρόλα αυτά με βάση τη διαστασιολόγηση που έχει γίνει οι μετατοπίσεις που αναπτύσσονται είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων λειτουργικότητας.

### 5.3 Αντοχή

Στον πίνακα αυτής της ενότητας, που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι μέγιστοι αναπτυσσόμενοι λόγοι εκμετάλλευσης ανά κατηγορία μελών. Η διατομή του κάθε μέλους δεν εμφανίζεται σε αυτόν τον πίνακα καθώς σκοπός του είναι να συγκριθεί η εκμετάλλευση που επιτυγχάνεται σε κάθε προσομοίωμα.

Πίνακας 5-3: Συγκριτική παρουσίαση μέγιστων λόγων εκμετάλλευσης των δύο προσομοιωμάτων

Α/Α	Περιγραφή	Λόγος εκμετάλλευσης προσομοιώματος	
		Αρχικού	Τροποποιημένου
1	Υποστύλωμα πλαισίων (2) έως (4)	0.993	0.980
1α	Υποστυλώματα πλαισίου (1)		0.951
2	Υποστύλωμα πλαισίου (5)	0.454	0.725
3	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Α)	0.177	0.306
4	Μεταβλητή δοκός πλαισίων (1) έως (4) (Τμήμα Β)	0.251	0.394
5	Μεταβλητή δοκός διαμήκους πλαισίου	0.440	0.442
6	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Α)	0.045	0.087
7	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Β)	0.172	0.297
8	Δοκός πλαισίου (5) (Τμήμα Γ)	0.046	0.085

Α/Α	Περιγραφή	Λόγος εκμετάλλευσης προσομοιώματος	
		Αρχικού	Τροποποιημένου
9	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Α	1.965	0.954
10	Οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας Β	1.652	0.916
11	Τμήμα δοκού πλαισίων (1) έως (4)	0.260	0.356
12	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Α)	0.752	0.707
13	Δοκός διαμήκους πλαισίου (Τμήμα Β)	0.323	0.354
14	Ενισχύσεις διαμήκων πλαισίων	0.729	0.648
15	Τμήμα δοκού πλαισίου (5)	0.176	0.293
16	Διαμήκεις δευτερεύουσες δοκοί	0.403	0.412
17	Περιμετρική δοκός	0.381	0.404
18	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί Α	0.838	0.840
19	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί Β	0.775	
20	Εγκάρσιες δευτερεύουσες δοκοί περιοχής προβόλου	0.583	0.852
21	Δοκοί ανοιγμάτων		0.880
22	Ενισχυμένες δευτερεύουσες δοκοί	0.391	0.880
23	Βοηθητικές δοκοί	0.276	0.400

Ως βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα μπορούν να αναφερθούν:

- Το σύνολο των στοιχείων που αποτελούν το τροποποιημένο προσομοίωμα καταγράφουν λόγους εκμετάλλευσης μικρότερους της μονάδας, σε αντίθεση με το αρχικό όπου κάποιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας αστοχούσαν σε κάποιους συνδυασμούς.
- Σε όσα στοιχεία η διατομή παρέμεινε σταθερή, οι καταγραφέντες λόγοι παρέμειναν σε παρόμοιο επίπεδο.
- Σε όσα στοιχεία μεταβλήθηκε διατομή κατέγραψαν λόγους μεγαλύτερους στο τροποποιημένο από το αρχικό προσομοίωμα. Στην περίπτωση δε, που η αντοχή ήταν το κριτήριο διαστασιολόγησης, ο λόγος πλησίαζε την μονάδα.

#### 5.4 Ιδιομορφική Ανάλυση

Προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκριση της συμπεριφοράς των δύο προσομοιωμάτων έναντι της συμπεριφοράς τους σε ταλάντωση, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας στον οποίο περιλαμβάνονται κατά παράθεση τα κυριότερα στοιχεία που προκύψαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση στα κεφάλαια 3 και 4.

Συγκεκριμένα, στον πίνακα περιλαμβάνεται ο αύξων αριθμός της κυρίαρχης ιδιομορφής κατά κατεύθυνση καθώς και η αντίστοιχη περίοδος, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ των προσομοιωμάτων. Υπενθυμίζεται ότι οι διευθύνσεις για τις οποίες θα γίνει αναφορά είναι οι οριζόντιες μεταφορικές που στα παρόντα προσομοιώματα είναι οι  $U_x$  και  $U_y$ , καθώς και η περιστροφική περί τον κατακόρυφο άξονα  $R_z$ .

Πίνακας 5-4: Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ιδιομορφικής ανάλυσης

Κυρίαρχη ιδιομορφή Ux				Κυρίαρχη ιδιομορφή Uy				Κυρίαρχη ιδιομορφή Rz			
Α/Α ιδιομορφής		Περίοδος (sec)		Α/Α ιδιομορφής		Περίοδος (sec)		Α/Α ιδιομορφής		Περίοδος (sec)	
Αρχ.	Τροπ.	Αρχ.	Τροπ.	Αρχ.	Τροπ.	Αρχ.	Τροπ.	Αρχ.	Τροπ.	Αρχ.	Τροπ.
1	1	0.91	0.98	3	3	0.77	0.80	2	2	0.83	0.89

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα επιβεβαιώνουν την πρόβλεψη για παρόμοια συμπεριφορά των δύο προσομοιωμάτων. Αρχικά, γίνεται η παρατήρηση ότι, ανά διεύθυνση, και στα δύο προσομοιώματα είναι η ίδια η κυρίαρχη ιδιομορφή. Επιπλέον, παρατηρείται ότι σε κάθε διεύθυνση η κυρίαρχη ιδιομορφή απαντάται σε ελαφρώς μεγαλύτερη περίοδο στο τροποποιημένο σε σχέση με το αρχικό προσομοίωμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς στο τροποποιημένο προσομοίωμα αναζητείται η βελτιστοποίηση της κατασκευής μέσω της εξάντλησης της ικανότητας των μελών σε όρους αντοχής ή λειτουργικότητας, η κατασκευή γίνεται πιο εύκαμπτη καταγράφονται μεγαλύτερες τιμές στις ιδιοπερίόδους.

## 6 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο έλεγχος διαφόρων τύπων συνδέσεων, όπως αυτές έχουν περιγραφεί στα σχέδια της αρχικής μελέτης κατασκευής. Ο έλεγχος θα γίνει με βάση τις προβλέψεις των διατάξεων του Ευρωκώδικα 3 (EN1993) και συγκεκριμένα του Μέρους 1-8 (Σχεδιασμός Κόμβων). Επιγραμματικά, αναφέρεται ότι οι έλεγχοι των συνδέσεων αφορούν σε:

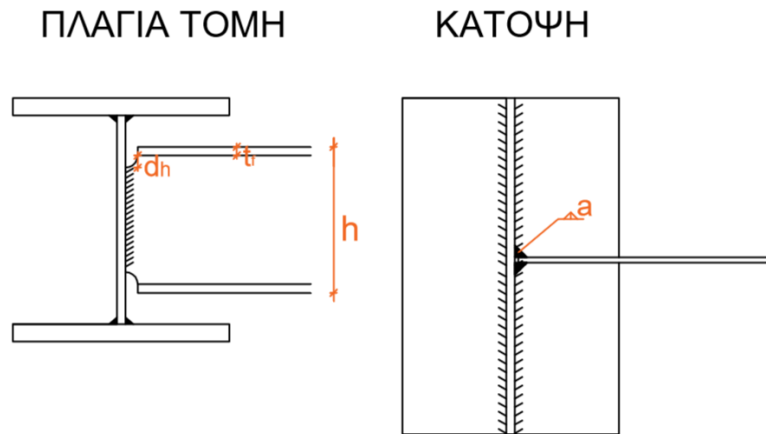
- Συνδέσεις τέμνουσας μέσω απ' ευθείας συγκόλλησης
- Συνδέσεις τέμνουσας μέσω ελάσματος
- Συνδέσεις ροπής
- Αποκατάστασις συνέχειας

### 6.1 Συνδέσεις Τέμνουσας Μέσω Απ' Ευθείας Συγκόλλησης

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου των συνδέσεων της επιστέγασης που έχουν θεωρηθεί ως συνδέσεις που αναλαμβάνουν μόνο διάτμηση (δηλαδή συνδέσεις τέμνουσας).

Το σύνολο των συνδέσεων αυτής της μορφής αφορούν σε συνδέσεις ελατών διατομών της σειράς UC, κατάλληλα διαμορφωμένες στην περιοχή της σύνδεσης, επί συγκολλητής διατομής μορφής Ι. Η διαμόρφωση της ελατής διατομής γίνεται κατά τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση μέσω της συγκόλλησης, με δύο εξωραφές, του κορμού της ελατής διατομής στον κορμό της συγκολλητής.

Η γενική μορφή των συνδέσεων αυτής της μορφής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 6-1: Ενδεικτική όψη και κάτοψη απλής σύνδεσης τένουσας

Όπως φαίνεται και στο σχήμα,  $h$  είναι το ύψος της ελατής διατομής,  $t_f$  είναι το πάχος του πέλματός της,  $d_h$  το τμήμα από το ύψος του κορμού που αποκόπτεται για την δημιουργία της περιοχής σύνδεσης και  $a$  το πάχος της εξωραφής.

Για κάθε τύπο ελατής διατομής που χρησιμοποιείται στην κατασκευή της επιστέγασης παράχθηκε ένα φύλλο αναφοράς, σε περιβάλλον λογισμικού Excel, στο οποίο παρουσιάζεται η επάρκεια ή μη της σύνδεσης.

Οι έλεγχοι έχουν γίνει θεωρώντας ως εντατικά μεγέθη τα μέγιστα αναπτυσσόμενα – ανά τύπο διατομής – στις θέσεις αρθρωτής σύνδεσης.

Στην περίπτωση της υπέρβασης της τιμής σχεδιασμού έναντι της τιμής αντοχής στο φύλλο αναφοράς, αναγράφεται η ένδειξη «ΜΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ».



## 6.1.1 Έλεγχος σύνδεσης τέμνουσας διατομής UC305x305x118

ΑΠΛΗ ΣΥΓΚΟΛΜΗΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΟΡΦΗΣ Ι ή Η ΜΕ ΡΑΦΕΣ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ		
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	<b>UC305x305x118</b>
	<u>Εντακτικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	<b>64.15 kN</b>
	<u>Κορμός</u>	
	Ύψος δοκού	<b>314.5 mm</b>
	Πάχος πέλματος (tf)	<b>18.7 mm</b>
	Μείωση ύψους κορμού (dh)	<b>30 mm</b>
	Ποιότητα χάλυβα	<b>S355</b>
	Πάχος ραφής	<b>7 mm</b>
	Ενεργό μήκος ραφής	<b>203.1</b>
Συντελεστής συσχέτισης (βw)	<b>0.9</b>	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Αντοχή σε διάτμηση</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	<b>744 kN</b>
	Λόγος αντοχής σε διάτμηση	<b>0.086</b>

## 6.1.2 Έλεγχος σύνδεσης τένουσας διατομής UC356x368x153

<b>ΑΠΛΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΟΡΦΗΣ Ι ή Η ΜΕ ΡΑΦΕΣ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ</b>		
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	<b>UC356x368x153</b>
	<u>Ενταπικά μεγέθη</u>	
	Τένουσα δύναμη	<b>63.71 kN</b>
	<u>Κορμός</u>	
	Ύψος δοκού	<b>362 mm</b>
	Πάχος πέλματος (tf)	<b>20.7 mm</b>
	Μείωση ύψους κορμού (dh)	<b>30 mm</b>
	Ποιότητα χάλυβα	<b>S355</b>
	Πάχος ραφής	<b>7 mm</b>
	Ενεργό μήκος ραφής	<b>246.6</b>
Συντελεστής συσχέτισης (βw)	<b>0.9</b>	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Αντοχή σε διάτμηση</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	<b>904 kN</b>
	Λόγος αντοχής σε διάτμηση	<b>0.07</b>

## 6.1.3 Έλεγχος σύνδεσης τένουσας διατομής UC356x406x235

ΑΠΛΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΟΡΦΗΣ Ι ή Η ΜΕ ΡΑΦΕΣ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ		
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	<b>UC356x406x235</b>
	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τένουσα δύναμη	<b>196.52 kN</b>
	<u>Κορμός</u>	
	Ύψος δοκού	<b>381 mm</b>
	Πάχος πέλματος (tf)	<b>30.2 mm</b>
	Μείωση ύψους κορμού (dh)	<b>40 mm</b>
	Ποιότητα χάλυβα	<b>S355</b>
	Πάχος ραφής	<b>7 mm</b>
	Ενεργό μήκος ραφής	<b>226.6</b>
Συντελεστής συσχέτισης (βw)	<b>0.9</b>	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Αντοχή σε διάτμηση</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	<b>830 kN</b>
	Λόγος αντοχής σε διάτμηση	<b>0.237</b>

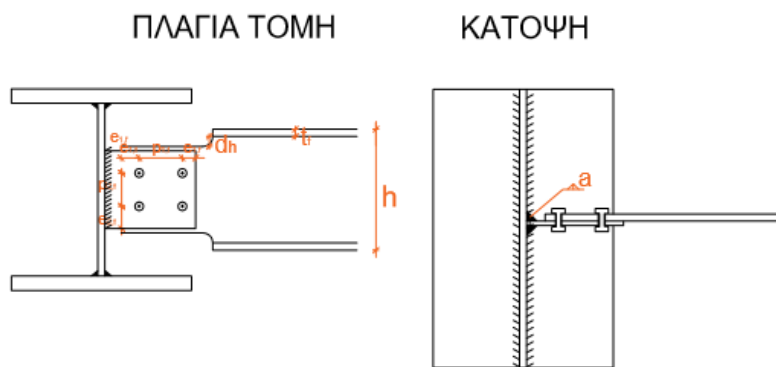
Όπως προκύπτει από τις παραπάνω αναφορές, το σύνολο των αρθρωτών συνδέσεων με απ' ευθείας συγκόλληση του κορμού της ελατής διατομής επί του κορμού της συγκολλητής είναι επαρκείς, με λόγους εκμετάλλευσης που δεν υπερβαίνουν το 0.25.

## 6.2 Σύνδεση Τέμνουσας Μέσω Ελάσματος

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου των συνδέσεων της επιστέγασης που έχουν θεωρηθεί ως συνδέσεις που αναλαμβάνουν μόνο διάτμηση (δηλαδή συνδέσεις τέμνουσας).

Το σύνολο των συνδέσεων αυτής της μορφής αφορούν σε συνδέσεις ελατής διατομής UC356x368x202, κατάλληλα διαμορφωμένης στην περιοχή της σύνδεσης, επί συγκολλητής διατομής μορφής I. Η διαμόρφωση της ελατής διατομής γίνεται κατά τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση μέσω ενός ελάσματος το οποίο κοχλιώνεται επί του κορμού της ελατής διατομής και συγκολλάται με δύο εξωραφές επί του κορμού της ελατής διατομής στον κορμό της συγκολλητής.

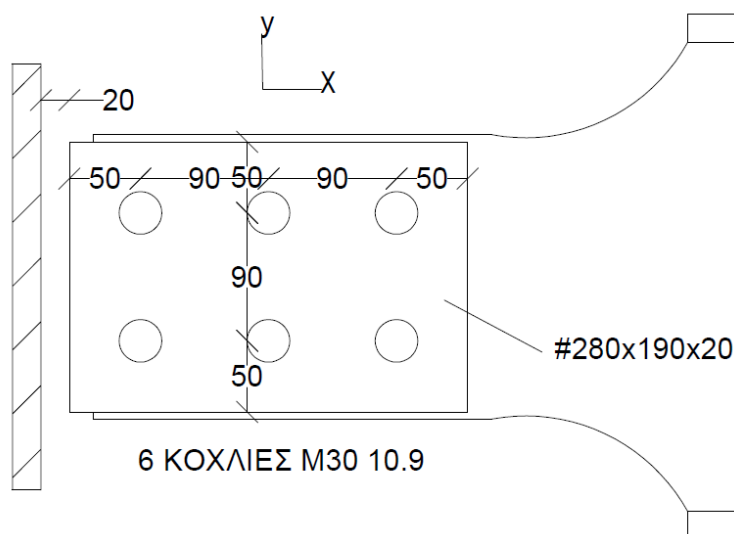
Η γενική μορφή των συνδέσεων αυτής της μορφής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 6-2: Ενδεικτική όψη και κάτοψη σύνδεσης τέμνουσας μέσω ελάσματος

Σύμφωνα με την ανάλυση του αρχικού προσομοιώματος, η δυσμενέστερη (μέγιστη κατ' απόλυτο τιμή διάτμηση) καταπόνηση της σύνδεσης παρουσιάζεται στον συνδυασμό ULS\_W-9, κατά τον οποίο αναπτύσσεται διατμητική δύναμη 93kN και αξονική 167kN.

Η μορφή και οι διαστάσεις του ελάσματος σύνδεσης εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6-3: Ακριβείς διαστάσεις και διάταξη σύνδεσης

Αρχικά, θα γίνει έλεγχος της συγκόλλησης του ελάσματος με τον κορμό της κύριας δοκού. Η συγκόλληση αυτή επιτυγχάνεται με δύο ραφές πραγματικού μήκους όσο το ύψος του ελάσματος, δηλαδή 190mm. Το ενεργό μήκος κάθε ραφής είναι:

$$l_{\varepsilon\nu} = l - 2 \times \alpha = 190\text{mm} - 2 \times 7\text{mm} = 176\text{mm}$$

Έτσι, η συνολική επιφάνεια της συγκόλλησης είναι:

$$A_{\text{συγκ}} = 2 \times l_{\varepsilon\nu} \times \alpha = 2 \times 176\text{mm} \times 7\text{mm} = 2464\text{mm}^2$$

Η τάση που θα αναπτυχθεί από τη δράση της αξονικής έντασης είναι:

$$\sigma_H = \frac{P}{A} = \frac{167\text{kN}}{2464\text{mm}^2} = 67.8\text{MPa}$$

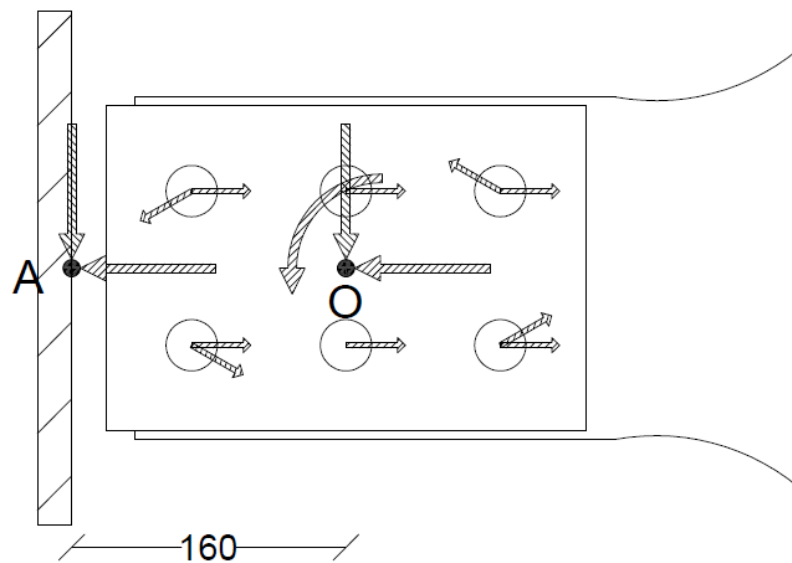
Ενώ η αντίστοιχη από τη δράση της διατμητικής έντασης:

$$\sigma_V = \frac{V}{A} = \frac{93\text{kN}}{2464\text{mm}^2} = 37.7\text{MPa}$$

Η δε συνισταμένη τους:

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_H)^2 + 3 \times (\sigma_V)^2} = \sqrt{(67.8)^2 + 3 \times (37.7)^2} = 77.6\text{MPa}$$

η οποία είναι μικρότερη της επιτρεπόμενης τάσης.



Εικόνα 6-4: Κατανομή των δυνάμεων στους κοχλίες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην θέση σύνδεσης του ελάσματος με τον κορμό της κύριας δοκού, καθώς έχει θεωρηθεί ότι πρόκειται για αρθρωτή σύνδεση, αναπτύσσονται διάτμηση και αξονική καταπόνηση. Η διατμητική ένταση καθώς μεταφέρεται στο κέντρο βάρους του ελάσματος για να μεταβιβαστούν μέσω των κοχλίων στην δοκό παράγει ροπή. Έτσι το κέντρο βάρους του ελάσματος εκτός από αξονική ένταση 167kN και διατμητική 93kN, καταπονείται και από ροπή ίση με:

$$M_{Ed} = 0.16\text{m} \times V = 0.16\text{m} \times 93\text{kN} = 14.88\text{kNm}$$

Εν συνεχεία θα γίνει ο έλεγχος έναντι διάτμησης των κοχλίων. Η ροπή αδρανείας που προκύπτει από τη διάταξη των κοχλίων υπολογίζεται ως εξής:

$$I_P = 6 \times \left(\frac{p_1}{2}\right)^2 + 4 \times p_1^2 = 6 \times \left(\frac{90}{2}\right)^2 + 4 \times 90^2 = 44500\text{mm}^2 = 0.0445\text{m}^2$$

Έτσι κάθε κοχλίας, στον άξονα  $x$  θα καταπονείται από το  $1/6$  της αξονικής έντασης και από κάποια συνιστώσα της έντασης που αναπτύσσεται λόγω της ροπής. Σε δύο από τους τέσσερις ακραίους κοχλίες οι δύο αυτές δυνάμεις έχουν την ίδια φορά και η συνολική ένταση στην  $x$  διεύθυνση θα είναι:

$$H_{Ed,x} = \frac{P}{6} + \frac{M_{Ed} \times \frac{p_2}{2}}{I_p} = \frac{167kN}{6} + \frac{14.88kNm \times \frac{0.09m}{2}}{0.0445m^2} = 27.83kN + 15.05kN = 42.88kN$$

Αντιστοίχως, κάθε κοχλίας, στον άξονα  $y$ , θα καταπονείται από το  $1/6$  της διατμητικής έντασης και από κάποια συνιστώσα της έντασης που αναπτύσσεται λόγω ροπής. Σε δύο από τους τέσσερις ακραίους κοχλίες, οι δύο αυτές δυνάμεις έχουν την ίδια φορά και η συνολική ένταση στην  $y$  διεύθυνση θα είναι:

$$H_{Ed,y} = \frac{V}{6} + \frac{M_{Ed} \times p_1}{I_p} = \frac{93kN}{6} + \frac{14.88kNm \times 0.09m}{0.0445m^2} = 15.5kN + 30.09kN = 45.59kN$$

Σε έναν από τους τέσσερις γωνιακούς κοχλίες συμβαίνει να συνδυάζεται η μέγιστη δύναμη και στους δύο άξονες. Η συνισταμένη τους είναι η μέγιστη αναπτυσσόμενη δύναμη διάτμησης κοχλίου και είναι αυτή με την οποία θα γίνουν οι περαιτέρω έλεγχοι. Η δύναμη αυτή υπολογίζεται:

$$H_{Ed} = \sqrt{H_{Ed,x}^2 + H_{Ed,y}^2} = \sqrt{(42.88kN)^2 + (45.59kN)^2} = 62.59kN$$

Για τον έλεγχο αντοχής έναντι διάτμησης θα χρησιμοποιηθεί η σχέση που δίνεται στον πίνακα 3.4 της παραγράφου 3.6.1 του μέρους 1-5 του EN1993.

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v \times f_{ub} \times (\pi \times d^2)/4}{1.25} = \frac{0.6 \times 1000MPa \times (\pi \times (27mm)^2)/4}{1.25} = 274.68kN$$

η οποία είναι μεγαλύτερη της δράσης  $H_{Ed}$ .

Για τον έλεγχο αντοχής έναντι σύνθλιψης άντυγας θα χρησιμοποιηθεί η σχέση που δίνεται στον πίνακα 3.4 της παραγράφου 3.6.1 του μέρους 1-5 του EN1993.

$$F_{v,Rd} = \frac{k_1 \times a_b \times f_u \times d \times t}{1.25} = \frac{2.5 \times 0.556 \times 510MPa \times 27mm \times 16.7mm}{1.25} = 255.71kN$$

η οποία επίσης είναι μεγαλύτερης της δράσης.

Σημειώνεται ότι οι συντελεστές  $k_1$  και  $a_b$  υπολογίστηκαν ως εξής:

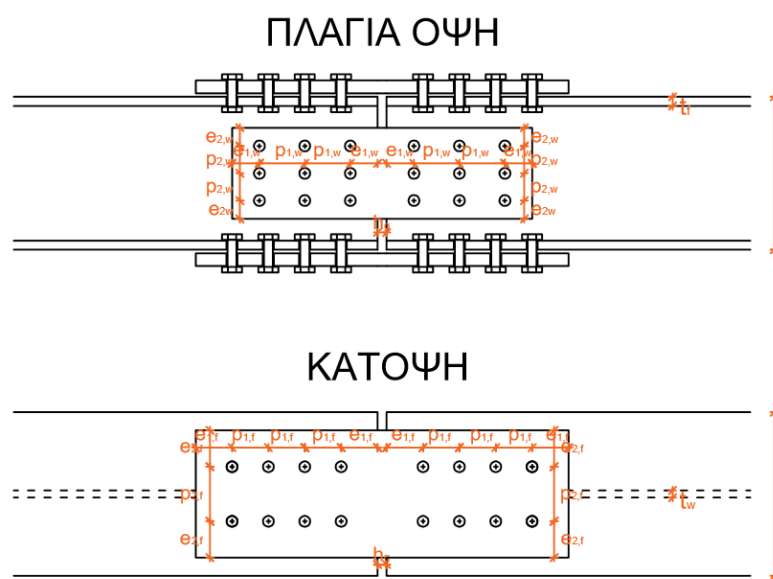
$$k_1 = \min \left\{ 2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right\} = \min \left\{ 2.8 \frac{50}{30} - 1.7; 2.5 \right\} = \min \{ 2.97; 2.5 \} = 2.5$$

$$a_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{50}{3 \times 30}; \frac{1000}{510}; 1 \right\} = \min \{ 0.556; 1.96; 1 \} = 0.556$$

### 6.3 Αποκαταστάσεις Συνέχειας

Στη παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελέγχου των διατάξεων αποκατάστασης συνέχειας, όπως περιγράφονται από τα σχέδια κατασκευής του σιδηροδρομικού σταθμού, αναφορικά με τις πρότυπες ελατές διατομές της σειράς UC, που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της επιστέγασης.

Ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν οι συγκεκριμένες αποκαταστάσεις είναι ο ίδιος σε όλες τις ξεχωριστές διατομές. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η διάταξη που εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα. Βασικά στοιχεία της διάταξης είναι η αποκατάσταση της συνέχειας του κορμού με δύο μεταλλικά ελάσματα (εκατέρωθεν του κορμού) και η σύνδεση των πελμάτων με ένα έλασμα (έκαστο πέλαμα) μέσω κοχλίων αναπτυσσόμενων σε ορθογωνικό κάρναβο.



Εικόνα 6-5: Ενδεικτική όψη και κάτοψη αποκατάστασης συνέχειας δοκού μορφής I

Για κάθε τύπο ελατής διατομής που χρησιμοποιείται στην κατασκευή της επιστέγασης παράχθηκε ένα φύλλο αναφοράς, σε περιβάλλον λογισμικού Excel, στο οποίο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της δοκού και του τρόπου αποκατάστασης της συνέχειας, καθώς και η επάρκεια τους έναντι του συνόλου των απαιτούμενων ελέγχων.

Οι έλεγχοι έναντι επάρκειας της αποκατάστασης της συνέχειας έχουν γίνει για τρεις συνδυασμούς εντατικών μεγεθών (ως εντατικά μεγέθη εισάγονται μόνο η κάμψη περί τον ισχυρό άξονα της διατομής και η διάτμηση που αναλαμβάνεται από τον κορμό της διατομής).

Στον πρώτο έχουν χρησιμοποιηθεί τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη, όπως αυτά έχουν καταγραφεί από την ανάλυση του αρχικού γραμμικού προσομοιώματος και αντιστοιχούν στην κατ' απόλυτο τιμή μέγιστη καμπτική ροπή.

Στο δεύτερο έχουν χρησιμοποιηθεί τα αναπτυσσόμενα εντατικά μεγέθη, όπως αυτά έχουν καταγραφεί από την ανάλυση του αρχικού γραμμικού προσομοιώματος και αντιστοιχούν στην κατ' απόλυτο τιμή μέγιστη διάτμηση.

Τέλος, στον τρίτο συνδυασμό εντατικών μεγεθών χρησιμοποιήθηκαν ικανοτικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο σύνολο την καμπτικής αντοχής και στο ήμισυ της αντοχής έναντι τέμνουσας της απομειωμένης διατομής (μετά την θεώρηση των οπών των κοχλίων).

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των εντατικών μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της επάρκειας της αποκατάστασης συνέχειας ανά ομάδα διατομής.

Πίνακας 6-1: Τιμές εντατικών μεγεθών ελέγχου επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας

Διατομή	Μέγιστη Κάμψη		Μέγιστη Διάτμηση		Ικανοτικά Μεγέθη	
	Κάμψη (kNm)	Διάτμηση (kN)	Κάμψη (kNm)	Διάτμηση (kN)	Κάμψη (kNm)	Διάτμηση (kN)
UC305x305x118	498	174	497	175	614	267
UC356x368x153	462	120	420	138	959	306
UC356x368x202	564	159	404	280	1286	410
UC356x405x235	548	37	0	196	1522	435

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα κάποιοι συνδυασμοί εντατικών μεγεθών είτε εξ' ορισμού είναι εμφανώς μη κρίσιμοι είτε επαναλαμβάνονται. Παρά ταύτα, στις επόμενες παραγράφους εμφανίζεται το σύνολο των αποτελεσμάτων για την πληρότητα της ανάλυσης.

Στην περίπτωση της υπέρβασης κάποιας τιμής σχεδιασμού έναντι της αντίστοιχης τιμής αντοχής στο φύλλο αναφοράς, αναγράφεται η ένδειξη «ΜΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ».



## 6.3.1 Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC305x305x118

<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>		<b>UC305x305x118</b>
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	174 kN
	Ροπή κάμψης	498 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλιών	2
	Στήλες κοχλιών	2
	Διάμετρος κοχλίων	27
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	60 mm
	Διάσταση e2,w	60 mm
	Διάσταση p1,w	120 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλιών	2
	Στήλες κοχλιών	3
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
Διάσταση e1,w	70 mm	
Διάσταση e2,w	70 mm	
Διάσταση p1,w	90 mm	
Διάσταση p2,w	160 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	20 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.81
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.326
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.39
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.485
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.844
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.684
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας	0.615
	<u>Εφελκυσόμενη λεπίδα</u>	
Αντοχή σε εφελκυσμό	0.81	

Εικόνα 6-6: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC305x305x118 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη καμπτική ροπή)

<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>		<b>UC305x305x118</b>
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	175 kN
	Ροπή κάμψης	497 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	2
	Διάμετρος κοχλίων	27
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	60 mm
	Διάσταση e2,w	60 mm
	Διάσταση p1,w	120 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
Διάσταση e1,w	70 mm	
Διάσταση e2,w	70 mm	
Διάσταση p1,w	90 mm	
Διάσταση p2,w	160 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	20 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.808
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.328
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.391
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.486
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.846
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.683
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.614
	<u>Εφελκυσόμενη λεπίδα</u>	
	Αντοχή σε εφελκυσμό	0.809

Εικόνα 6-7: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC305x305x118 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη διατμητική δύναμη)

		UC305x305x118
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	
	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	267 kN
	Ροπή κάμψης	614 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	2
	Διάμετρος κοχλίων	27
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	60 mm
	Διάσταση e2,w	60 mm
	Διάσταση p1,w	120 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	70 mm
	Διάσταση e2,w	70 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	160 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
Πάχος πλάκας	20 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.999
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.5
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.541
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.656
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	<b>1.178 ΜΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.844
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.759
	<u>Εφελκυσόμενη λεπίδα</u>	
	Αντοχή σε εφελκυσμό	0.999

Εικόνα 6-8: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC305x305x118 (υπό ικανοτικά εντατικά μεγέθη)

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω αναφορές (εικόνες 6.6 έως 6.8) η σχεδιασθείσα αποκατάσταση συνέχειας για διατομή UC305x305x118 επαρκεί για τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο γραμμικό προσομοίωμα. Παρόλα αυτά, για τα εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο 100% της καμπτικής αντοχής και στο 50% της αντοχής σε τέμνουσα, η αποκατάσταση της συνέχειας αστοχεί έναντι σύνθλιψης άντυνας στον κορμό της διατομής για έλεγχο στον κατακόρυφο άξονα.

## 6.3.2 Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC356x358x153

		UC356x368x153
ΔΕΔΟΜΕΝΑ	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	
	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	120 kN
	Ροπή κάμψης	462 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	3
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	24
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	90 mm
	Διάσταση p1,w	100 mm
	Διάσταση p2,w	180 mm
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	20 mm	
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.481
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.196
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.206
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.292
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.361
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.403
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.443
	<u>Εφελκυσμένη λεπίδα</u>	
	Αντοχή σε εφελκυσμό	0.507

Εικόνα 6-9: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x368x153 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη καμπτική ροπή)

		UC356x368x153
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	
	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	120 kN
	Ροπή κάμψης	462 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλιών	3
	Στήλες κοχλιών	3
	Διάμετρος κοχλιών	24
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλιών	2
	Στήλες κοχλιών	4
	Διάμετρος κοχλιών	30
Ποιότητα κοχλίων	10.9	
Διάσταση e1,w	50 mm	
Διάσταση e2,w	90 mm	
Διάσταση p1,w	100 mm	
Διάσταση p2,w	180 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	20 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.481
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.196
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.206
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.292
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.361
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.403
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας	0.443
	<u>Εφελκόμενη λεπίδα</u>	
Αντοχή σε εφελκυσμό	0.507	

Εικόνα 6-10: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x368x153 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη διατμητική δύναμη)

		<b>UC356x368x153</b>
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	
	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	306 kN
	Ροπή κάμψης	959 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	3
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	24
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	90 mm
	Διάσταση p1,w	100 mm
	Διάσταση p2,w	180 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	20 mm
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.999
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.5
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.464
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.645
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.821
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.837
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.919
	<u>Εφελκυσόμενη λεπίδα</u>	
Αντοχή σε εφελκυσμό	1.053 <b>ΜΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ</b>	

Εικόνα 6-11: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x368x153  
(υπό ικανοτικά εντατικά μεγέθη)

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω αναφορές (εικόνες 6.9 έως 6.11) η σχεδιασθείσα αποκατάσταση συνέχειας για διατομή UC356x368x153 επαρκεί για τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο γραμμικό προσομοίωμα. Παρόλα αυτά, για τα εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο 100% της καμπτικής αντοχής και στο 50% της αντοχής σε τέμνουσα, η αποκατάσταση της συνέχειας αστοχεί έναντι του ελέγχου σε εφελκυσμό της ελάσματος σύνδεσης των εφελκυσόμενων πελμάτων.

## 6.3.3 Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC356x368x202

<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>		UC356x368x202
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	159 kN
	Ροπή κάμψης	564 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλιών	3
	Στήλες κοχλιών	3
	Διάμετρος κοχλίων	24
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλιών	2
	Στήλες κοχλιών	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	90 mm
	Διάσταση p1,w	100 mm
Διάσταση p2,w	180 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	30 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.438
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.194
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοιλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.199
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.199
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.267
	<u>Κοιλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.484
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας	0.393
	<u>Εφελκυσμένη λεπίδα</u>	
	Αντοχή σε εφελκυσμό	0.405

Εικόνα 6-12: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x368x202 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη καμπτική ροπή)

<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>		<b>UC356x368x202</b>
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	280 kN
	Ροπή κάμψης	404 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	3
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	24
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	<b>S355</b>
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
Διάσταση e1,w	50 mm	
Διάσταση e2,w	90 mm	
Διάσταση p1,w	100 mm	
Διάσταση p2,w	180 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	<b>S355</b>	
Πάχος πλάκας	30 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.314
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.341
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.247
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.227
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.347
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.346
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.282
	<u>Εμφελκούμενη λεπίδα</u>	
Αντοχή σε εφελκυσμό	0.29	

Εικόνα 6-13: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x368x202 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη διατμητική δύναμη)



		UC356x368x202
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	
	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	410 kN
	Ροπή κάμψης	1286 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	3
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	24
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	15 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
Ποιότητα κοχλίων	10.9	
Διάσταση e1,w	50 mm	
Διάσταση e2,w	90 mm	
Διάσταση p1,w	100 mm	
Διάσταση p2,w	180 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	30 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	1
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.5
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.483
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.478
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.654
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	1.103
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.897
	<u>Εφελκούμενη λεπίδα</u>	
Αντοχή σε εφελκυσμό	0.924	

Εικόνα 6-14: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x368x202 (υπό ικανοτικά εντατικά μεγέθη)

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω αναφορές (εικόνες 6.12 έως 6.14) η σχεδιασθείσα αποκατάσταση συνέχειας για διατομή UC356x368x202 επαρκεί για τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο γραμμικό προσομοίωμα. Παρόλα αυτά, για τα εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο 100% της καμπτικής αντοχής και στο 50% της αντοχής σε τέμνουσα, η αποκατάσταση της συνέχειας αστοχεί έναντι του ελέγχου σε διάτμηση των κοχλίων του κορμού.

## 6.3.4 Έλεγχος αποκατάστασης συνέχειας της διατομής UC356x405x235

		UC356x406x235
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	
	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	37 kN
	Ροπή κάμψης	548 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	3
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	27
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	20 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	70 mm
	Διάσταση e2,w	100 mm
Διάσταση p1,w	90 mm	
Διάσταση p2,w	180 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	30 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0.36
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.043
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.11
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.145
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.159
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.457
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.256
	<u>Εφελκυσόμενη λεπίδα</u>	
	Αντοχή σε εφελκυσμό	0.358

Εικόνα 6-15: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x406x235 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη καμπτική ροπή)

<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>		<b>UC356x406x235</b>
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Εντατικά μεγέθη</u>	
	Τέμνουσα δύναμη	196 kN
	Ροπή κάμψης	0 kN
	<u>Κορμός</u>	
	Σειρές κοχλίων	3
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	27
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	20 mm
	<u>Πέλματα</u>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
Διάσταση e1,w	70 mm	
Διάσταση e2,w	100 mm	
Διάσταση p1,w	90 mm	
Διάσταση p2,w	180 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	30 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	0
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.225
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.099
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.092
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.169
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0
	<u>Εφελκυσμένη λεπίδα</u>	
	Αντοχή σε εφελκυσμό	0

Εικόνα 6-16: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x406x235 (υπό εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στη μέγιστη διατμητική δύναμη)

		UC356x406x235
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<u>Διατομή για την οποία γίνεται ο έλεγχος</u>	
	<b>Εντατικά μεγέθη</b>	
	Τέμνουσα δύναμη	435 kN
	Ροπή κάμψης	1522 kN
	<b>Κορμός</b>	
	Σειρές κοχλίων	3
	Στήλες κοχλίων	3
	Διάμετρος κοχλίων	27
	Ποιότητα κοχλίων	10.9
	Διάσταση e1,w	50 mm
	Διάσταση e2,w	50 mm
	Διάσταση p1,w	90 mm
	Διάσταση p2,w	90 mm
	Διάκενο hg	5 mm
	Ποιότητα χάλυβα	S355
	Πάχος πλάκας	20 mm
	<b>Πέλματα</b>	
	Σειρές κοχλίων	2
	Στήλες κοχλίων	4
	Διάμετρος κοχλίων	30
Ποιότητα κοχλίων	10.9	
Διάσταση e1,w	70 mm	
Διάσταση e2,w	100 mm	
Διάσταση p1,w	90 mm	
Διάσταση p2,w	180 mm	
Διάκενο hg	5 mm	
Ποιότητα χάλυβα	S355	
Πάχος πλάκας	30 mm	
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<u>Απομειωμένη διατομή</u>	
	Λόγος έναντι κάμψης	1
	Λόγος έναντι διάτμησης	0.5
	Λόγος έναντι απομειωμένης κάμψης λόγω διάτμησης	<b>ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ</b>
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	0.47
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον οριζόντιο άξονα	0.557
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας κατά τον κατακόρυφο άξονα	0.729
	<u>Κοχλίες κορμού</u>	
	Αντοχή σε διάτμηση	1.268
	Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας	0.711
	<u>Εφελκυσόμενη λεπίδα</u>	
Αντοχή σε εφελκυσμό	0.995	

Εικόνα 6-17: Αναφορά επάρκειας αποκατάστασης συνέχειας διατομής UC356x406x235 (υπό ικανοτικά εντατικά μεγέθη)

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω αναφορές (εικόνες 6.15 έως 6.17) η σχεδιασθείσα αποκατάσταση συνέχειας για διατομή UC356x406x235 επαρκεί για τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο γραμμικό προσομοίωμα. Παρόλα αυτά, για τα εντατικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο 100% της καμπτικής αντοχής και στο 50% της αντοχής σε τέμνουσα, η αποκατάσταση της συνέχειας αστοχεί έναντι του ελέγχου σε διάτμηση των κοχλίων του κορμού.

## 7 ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Στο παρόν τμήμα της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελέγχου, όσων συνδέσεων ελέγχθηκαν με χρήση λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων. Το περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε είναι το ADINA\_AUI\_9.0, στο οποίο εισήχθησαν τόσο η γεωμετρία όσο και οι ιδιότητες των στοιχείων που αποτελούν την κάθε σύνδεση.

Το τμήμα της συνολικής κατασκευής, το οποίο επιλέγεται κάθε φορά για την προσομοίωση είναι ο κόμβος, ο οποίος παριστά την σύνδεση, καθώς επίσης και όλα τα στοιχεία (frames) που συντρέχουν σε αυτό τον κόμβο. Το κάθε στοιχείο που συντρέχει στον κόμβο, προσομοιώνεται μέχρι έναν εξωτερικό κόμβο σε ικανό μήκος για την ανάπτυξη των εντατικών μεγεθών.

Για την ανάπτυξη των εντατικών μεγεθών στα οποία ελέγχεται η κάθε σύνδεση ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

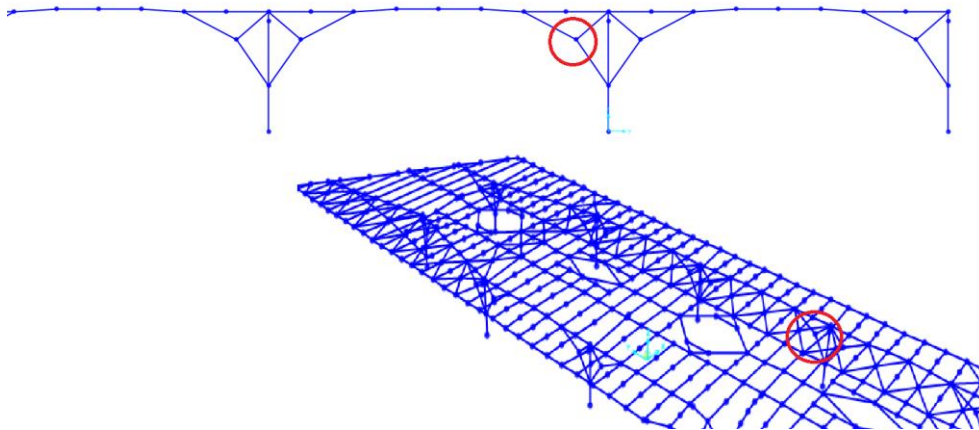
- Πλήρης δέσμευση του ενός εξωτερικού κόμβου της περιοχής προσομοίωσης.
- Επιλογή του συνδυασμού στον οποίο παρουσιάζονται τα δυσμενέστερα για την σύνδεση εντατικά μεγέθη, όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση του γραμμικού προσομοιώματος.
- Φόρτιση των υπολοίπων εξωτερικών κόμβων (ως ελεύθερα άκρα) του προσομοιώματος της σύνδεσης με φορτία ίδια με τις εσωτερικές δυνάμεις και ροπές που καταπονούν τα σημεία αυτά σύμφωνα με το γραμμικό προσομοίωμα στον επιλεγθέντα συνδυασμό φορτίσεων.

Με τη μέθοδο αυτή, όπως είναι αναμενόμενο, αναπτύσσονται τα ίδια εντατικά μεγέθη στην περιοχή της σύνδεσης, καθιστώντας ρεαλιστικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.

Σημειώνεται ότι, εάν στην περιοχή προσομοίωσης δεν επιβάλλονται επιπλέον εξωτερικά φορτία, οι μόνες φορτίσεις που επιβάλλονται στο προσομοίωμα είναι αυτές που προκύπτουν από τις εσωτερικές δυνάμεις και ροπές στις θέσεις των ελεύθερων άκρων.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για δύο περιοχές συνδέσεων.

## 7.1 Συγκολλητός Κόμβος Διαμήκους Πλαισίου

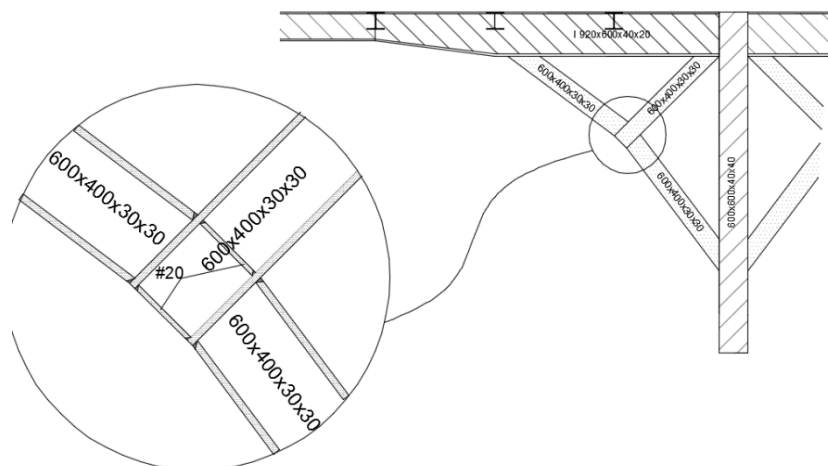


Εικόνα 7-1: Θέση του υπό εξέταση συγκολλητού κόμβου διαμήκους πλαισίου

Πρόκειται για τον κόμβο στον οποίο συντρέχουν τρία στοιχεία κατασκευασμένα από συγκολλητή κιβωτιοειδή διατομή 600x600x30x30. Το σύνολο των στοιχείων που συμμετέχουν στον κόμβο βρίσκονται στο επίπεδο του διαμήκους πλαισίου. Το ένα στοιχείο συνδέεται στον κόμβο του εγκάρσιου με το διαμήκους πλαισίου, το δεύτερο στο υποστύλωμα σε ύψος περίπου 2.7 μέτρα από τη βάση του και το τελευταίο στη δοκό του διαμήκους πλαισίου. πρόκειται για τον κόμβο που βρίσκεται στον άξονα F (διαμήκους πλαισίου), στο εγκάρσιο πλαίσιο 4 (προς το εγκάρσιο πλαίσιο 3).

Το σύνολο των συγκολλήσεων είναι εσωραφές πλήρους διεισδύσεως. Αυτό επιτρέπει την ευκολότερη προσομοίωση της περιοχής καθώς οι απαιτούμενοι έλεγχοι πρέπει να γίνουν με βάση την αντοχή και το πάχος των συνδεόμενων ελασμάτων.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η γεωμετρία ενδεικτικά η γεωμετρία του κόμβου, καθώς και οι λεπτομέρειες κατασκευής του.

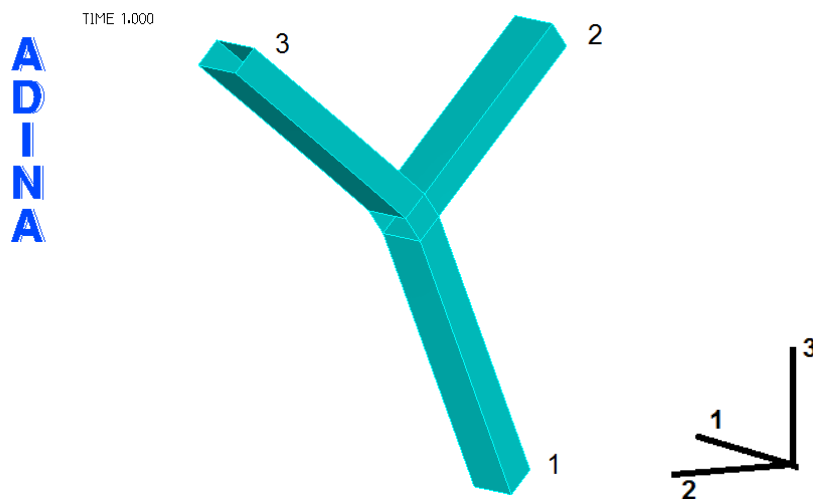


Εικόνα 7-2: Γεωμετρία και σύνδεση περιοχής κόμβου

### 7.1.1 Γεωμετρία περιοχής προσομοίωσης και φορτίσεις

Για την σχεδίαση της σύνδεσης επιλέχθηκε τα στοιχεία που την αποτελούν – διατομής 600x400x30x30 – να έχουν ως εξωτερικούς κόμβους, τα σημεία που τα στοιχεία αυτά συντρέχουν με το υποστύλωμα και την δοκό του διαμήκους πλαισίου.

Ως σημείο ακλόνητης στήριξης επιλέχθηκε να είναι το κατώτερο σημείο της περιοχής – το σημείο συμβολής του στοιχείου με το υποστύλωμα – το σημείο 1. Στα σημεία 2 και 3 εισήχθησαν οι εξωτερικές φορτίσεις.



Εικόνα 7-3: Σχηματική παρουσίαση προσομοιώματος του κόμβου διαμήκους πλαισίου

Για την διακριτοποίηση του φορέα επιλέχθηκε να παραχθεί πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων διάστασης 0.02m.

#### 7.1.2 Φορτίσεις

Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη διάταξη αναλαμβάνει τις καταπονήσεις που δέχεται η κατασκευή στον οριζόντιο διαμήκη άξονα (άξονας  $y$  του προσομοιώματος), οι εξωτερικές φορτίσεις που επιλέχθηκε να εισαχθούν αντιστοιχούν στον συνδυασμό που παράγει τη μέγιστη ροπή στον κόμβο της σύνδεσης.

Έτσι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του γραμμικού προσομοιώματος, τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη στον κόμβο που παρουσιάζεται εμφανίζονται για τον συνδυασμό ULS\_W-17. Στον υπόψη συνδυασμό οι αναπτυσσόμενες εσωτερικές δυνάμεις στα δύο ελεύθερα άκρα του νέου προσομοιώματος εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7-1: Τιμές εντατικών μεγεθών που επιβλήθηκαν στα ελεύθερα άκρα του προσομοιώματος συγκολλητού κόμβου του διαμήκους πλαισίου

Σημείο	$F_1$ (kN)	$F_2$ (kN)	$F_3$ (kN)	$M_1$ (kNm)	$M_2$ (kNm)	$M_3$ (kNm)
2	65	-195	233	64	-378	-155
3	-22	194	44	151	-272	154

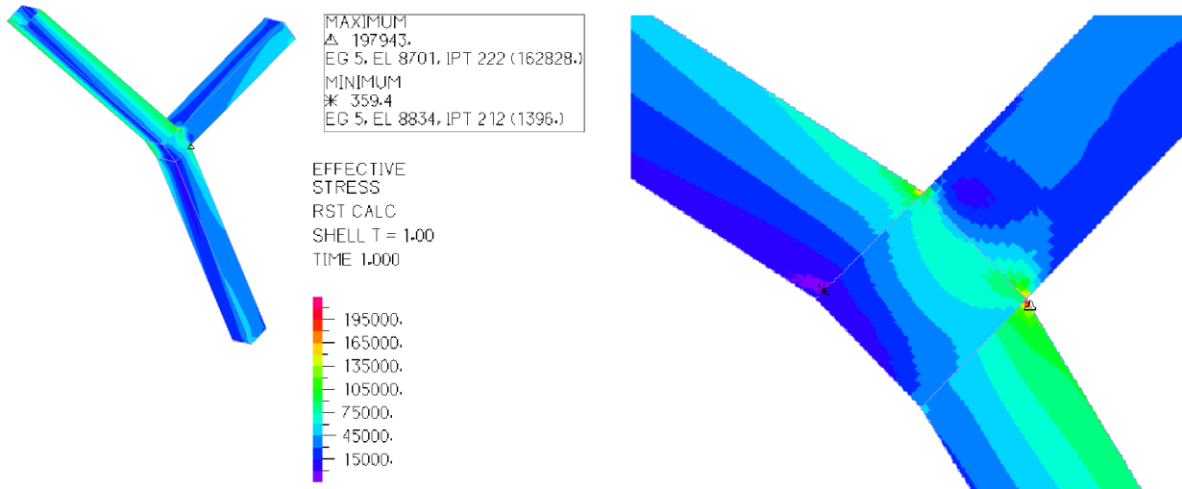
#### 7.1.3 Ανάλυση και αποτελέσματα

Για την επίλυση του προσομοιώματος επιλέχθηκε η τμηματική επιβολή των φορτίσεων, προκειμένου να αποτυπωθεί ορθότερα η όποια μη γραμμική συμπεριφορά της κατασκευής που θα προκύψει από την παραμόρφωση. Παρόλα αυτά, καθώς δεν αναμένεται έντονη μη γραμμικότητα, η επιβολή του φορτίου γίνεται σε δέκα βήματα, οι δε προεπιλογές για τις μετατοπίσεις και τις τάσεις τίθενται ως μικρές (small).

Έτσι, με βάση τα παραπάνω και μετά την ανάλυση προκύπτουν τα παρακάτω.

Ενεργός τάση στο προσομοίωμα

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στο προσομοίωμα ανέρχεται σε 198MPa, εμφανώς μικρότερη των 355MPa (ονομαστική αντοχή υλικού κατασκευής).



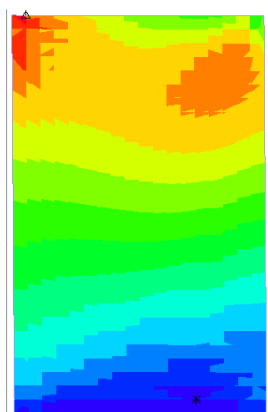
Εικόνα 7-4: Ανάπτυξη τάσεων στο προσομοίωμα

Συγκεκριμένα, η τάση αυτή αναπτύσσεται στη θέση που παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα· έχει δε τοπικό χαρακτήρα. Εκτός αυτού του σημείου οι μέγιστες τάσεις που καταγράφονται ανέρχονται στην τάξη μεγέθους των 150MPa.

Ενεργός τάση στα διαφράγματα

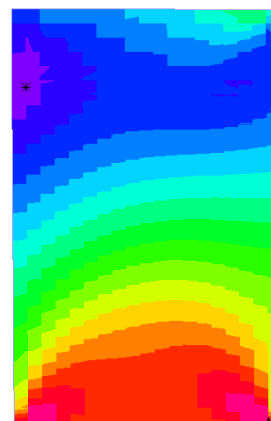
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η κατανομή των τάσεων στα διαφράγματα πάχους 20mm που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κόμβου σύνδεσης. Η ακριβής θέση των διαφραγμάτων φαίνονται στην εικόνα 7.2.

#### ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ



MAXIMUM  
Δ 98743.  
EG 6, EL 522, IPT 122 (93606.)  
MINIMUM  
\* 20316.  
EG 6, EL 117, IPT 112 (20052.)

#### ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ



MAXIMUM  
Δ 107888.  
EG 7, EL 30, IPT 222 (107974.)  
MINIMUM  
\* 2964.  
EG 7, EL 546, IPT 122 (6430.)

Εικόνα 7-5: Ανάπτυξη τάσεων στα διαφράγματα



Όπως προκύπτει και από τις εικόνες, οι μέγιστες αναπτυσσόμενες ενεργές τάσεις στα διαφράγματα είναι 99MPa και 108MPa, στο εσωτερικό και εξωτερικό διάφραγμα αντιστοίχως, εμφανώς μικρότερη της ονομαστικής αντοχής του υλικού.

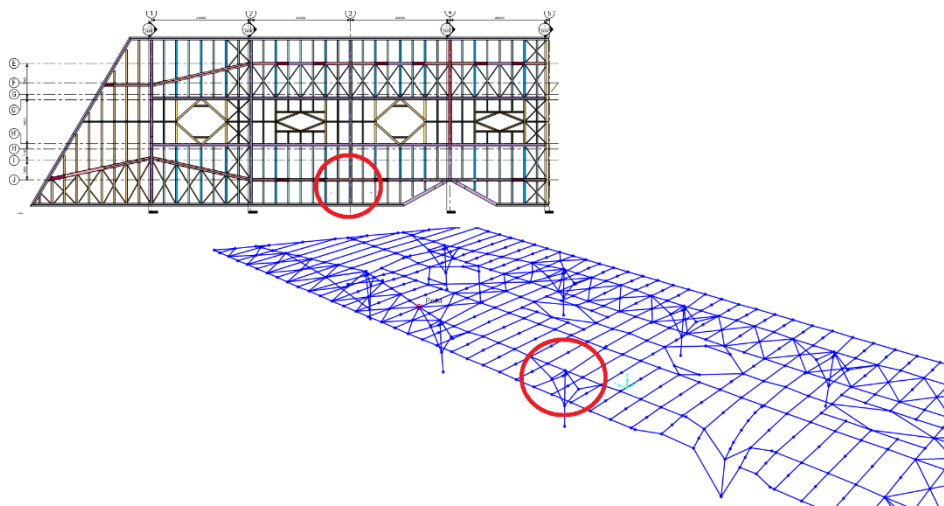
## 7.2 Συγκολλητός Κόμβος Εγκαρσίου και Διαμήκους Πλαισίου

Πρόκειται για τον κόμβο που δημιουργείται στην περιοχή σύνδεσης του εγκάρσιου και του διαμήκους πλαισίου. Είναι ένας συγκολλητός κόμβος στον οποίο συντρέχουν:

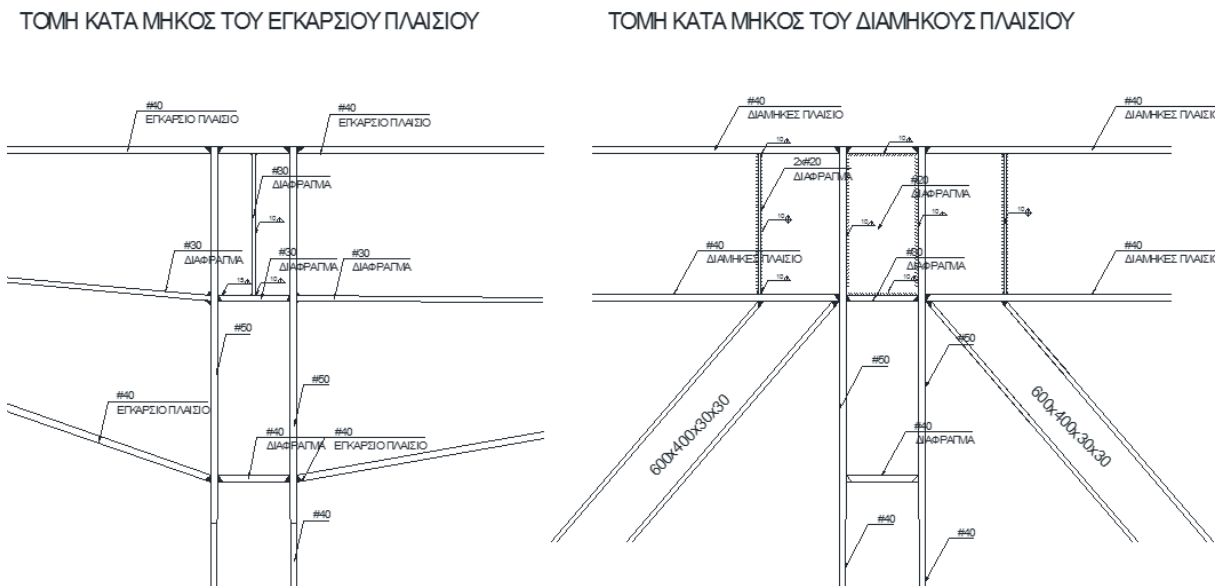
- Υποστύλωμα κιβωτιοειδούς συγκολλητής διατομής 600x600x40x40, το οποίο στην περιοχή της σύνδεσης μεταβάλλεται σε 600x600x50x50.
- Δοκός του εγκάρσιου πλαισίου (προς την εσωτερική πλευρά της κατασκευής) μεταβλητής κιβωτιοειδούς συγκολλητής διατομής 2000/1000x600x40x30, συνολικού μήκους 7m.
- Δοκός του εγκάρσιου πλαισίου (προς την εξωτερική πλευρά της κατασκευής) μεταβλητής κιβωτιοειδούς συγκολλητής διατομής 2000/600x600x40x30, συνολικού μήκους 5m.
- Δοκός του διαμήκους πλαισίου (και στις δύο κατευθύνσεις εκατέρωθεν του κόμβου) συγκολλητής διατομής I 920x600x40x20.
- Στοιχείο κιβωτιοειδούς συγκολλητής διατομής 600x400x30x30 διαμόρφωσης του συστήματος του διαμήκους πλαισίου (εκατέρωθεν του κόμβου).

Συγκεκριμένα, η ανάλυση που ακολουθεί αφορά τον κόμβο μεταξύ του διαμήκους πλαισίου J και του εγκάρσιου πλαισίου 3.

Το σύνολο των συγκολλήσεων είναι εσωραφές πλήρους διεισδύσεως. Αυτό επιτρέπει την ευκολότερη προσομοίωση της περιοχής καθώς οι απαιτούμενοι έλεγχοι πρέπει να γίνουν με βάση την αντοχή και το πάχος των συνδεόμενων ελασμάτων.



Εικόνα 7-6: Θέση του υπό εξέταση συγκολλητού κόμβου εγκάρσιου και διαμήκους πλαισίου

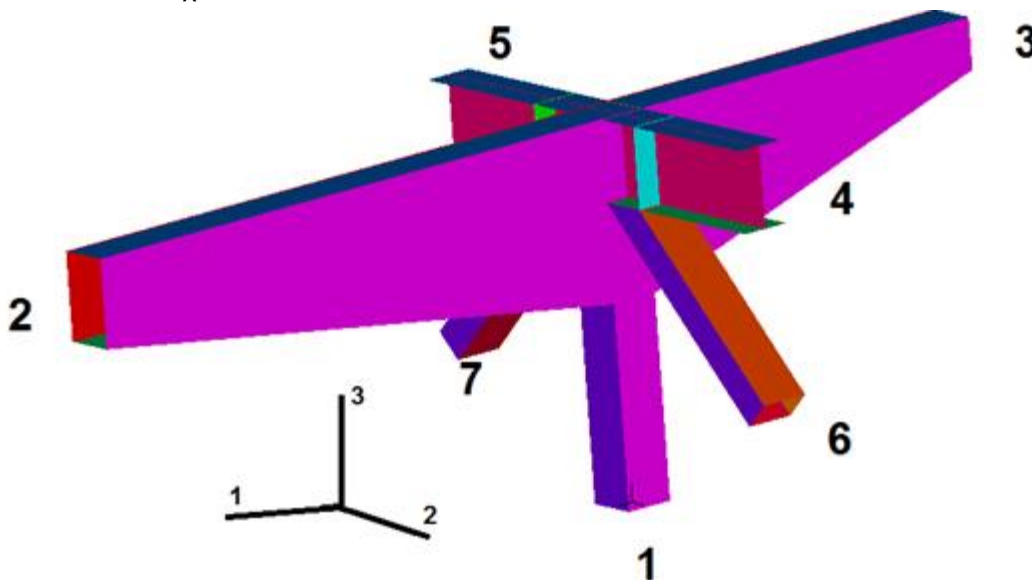


Εικόνα 7-7: Γεωμετρία περιοχής κόμβου

### 7.2.1 Γεωμετρία περιοχής προσομοίωσης

Το μήκος του κάθε στοιχείου που αποτελεί το προσομοίωμα επιλέχθηκε να είναι κατάλληλο, ώστε το στοιχείο να εκτείνεται έως τον επόμενο κόμβο.

Έτσι, παραδείγματος χάριν, το στοιχείο διατομής 2000/600x600x40x30, έχει μήκος 5m, φθάνοντας έως τη συμβολή του με την περιμετρική δοκό, ενώ το στοιχείο διατομής 2000/1000x600x40x30 έχει μήκος 7m, φθάνοντας μέχρι τη συμβολή του με τη δευτερεύουσα διαμήκη δοκό. Η ίδια λογική ακολουθήθηκε και στα υπόλοιπα στοιχεία.



Εικόνα 7-8: Σχηματική παρουσίαση προσομοιώματος του κόμβου εγκαρσίου και διαμήκους πλαισίου

Ως ακλόνητο σημείο στήριξης του προσομοιώματος επιλέχθηκε το σημείο 1, δηλαδή το ακραίο σημείο που αντιστοιχεί στο υποστύλωμα, ενώ τα υπόλοιπα έξι σημεία (2 έως 7) φορτίζονται ως ελεύθερα άκρα.

Για την διακριτοποίηση του φορέα επιλέχθηκε να παραχθεί πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων διάστασης 0.04m.

### 7.2.2 Φορτίσεις

Ο έλεγχος έγινε για τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν για δύο συνδυασμούς φορτίσεων. Ο πρώτος (ULS\_W-23) είναι ο συνδυασμός που παράγει τη μέγιστη (κατ' απόλυτο τιμή) ροπή στον κόμβο σύνδεσης κατά τον x-καθολικό άξονα και ο δεύτερος (ULS\_W-24) ο αντίστοιχος που παράγει τη μέγιστη ροπή στον γ-καθολικό άξονα.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι τιμές των φορτίσεων που εισήχθησαν στα ελεύθερα άκρα του προσομοιώματος.

Πίνακας 7-2: Τιμές εντατικών μεγεθών που επιβλήθηκαν στα ελεύθερα άκρα του προσομοιώματος συγκολλητού κόμβου εγκάρσιου και διαμήκους πλαισίου που αντιστοιχούν στο συνδυασμό ULS\_W-23

Σημείο	F <sub>1</sub> (kN)	F <sub>2</sub> (kN)	F <sub>3</sub> (kN)	M <sub>1</sub> (kNm)	M <sub>2</sub> (kNm)	M <sub>3</sub> (kNm)
2	-267.1	-27.5	-605.5	0	1643.5	165.4
3	-26.5	169	-120.9	394.6	0	376.4
4	-50	290.4	-299.8	215.3	2.3	10.7
5	9.8	1960.6	228.2	716.7	1.3	25.1
6	-16.9	325.2	-382.1	77.9	-155.2	43.7
7	57.9	860	869.7	125.7	-163.9	45.7

Πίνακας 7-3: Τιμές εντατικών μεγεθών που επιβλήθηκαν στα ελεύθερα άκρα του προσομοιώματος συγκολλητού κόμβου εγκάρσιου και διαμήκους πλαισίου που αντιστοιχούν στο συνδυασμό ULS\_W-24

Σημείο	F <sub>1</sub> (kN)	F <sub>2</sub> (kN)	F <sub>3</sub> (kN)	M <sub>1</sub> (kNm)	M <sub>2</sub> (kNm)	M <sub>3</sub> (kNm)
2	-287.4	-26.8	-716.8	-14.3	-2180.4	101.6
3	-19.6	43	-161.4	78.9	0	115.2
4	-31.7	558.5	-109.7	-186.1	2.5	-4.4
5	-6.8	-1015.3	17.6	421.1	2.3	20.2
6	6.9	-274.7	194.1	26.4	168	16
7	33.5	610.4	550.9	35.1	167.7	15.2

\* Με τη διαγώνια διαγραφή αναφέρονται τα εντατικά μεγέθη που ελήφθησαν από το γραμμικό προσομοίωμα αλλά δεν εισήχθησαν στο αντίστοιχο των πεπερασμένων στοιχείων γιατί θεωρήθηκε ότι δεν μεταβάλλουν ουσιαστικά τη συμπεριφορά.

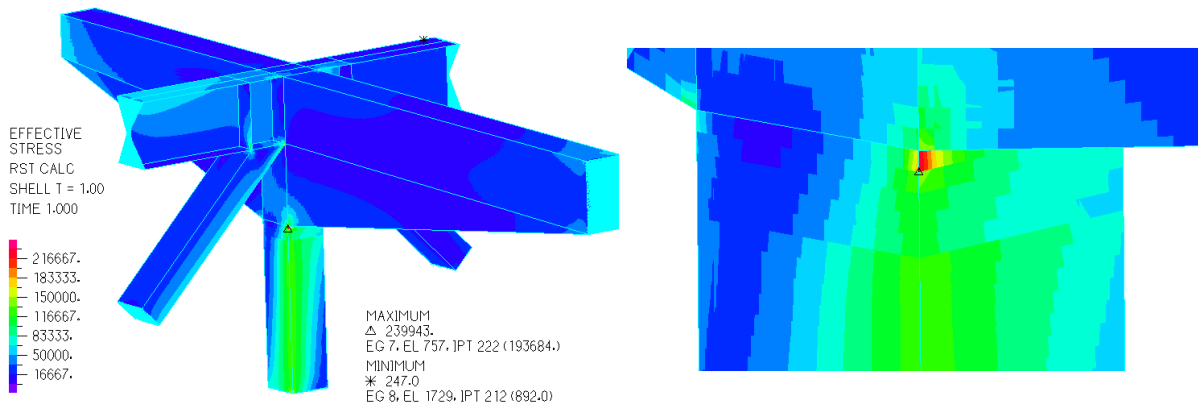
### 7.2.3 Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS\_W-23

Για την επίλυση του προσομοιώματος επιλέχθηκε η τμηματική επιβολή των φορτίσεων, προκειμένου να αποτυπωθεί ορθότερα η όποια μη γραμμική συμπεριφορά της κατασκευής που θα προκύψει από την παραμόρφωση. Παρόλα αυτά, καθώς δεν αναμένεται έντονη μη γραμμικότητα, η επιβολή του φορτίου γίνεται σε δέκα βήματα, οι δε προεπιλογές για τις μετατοπίσεις και τις τάσεις τίθενται ως μικρές (small).

Έτσι, με βάση τα παραπάνω και μετά την ανάλυση προκύπτουν τα παρακάτω.

Ενεργός τάση στο προσομοίωμα

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στο προσομοίωμα ανέρχεται σε 240MPa, μικρότερη των 355MPa (ονομαστική αντοχή υλικού κατασκευής).



Εικόνα 7-9: Ανάπτυξη τάσεων στο προσομοίωμα

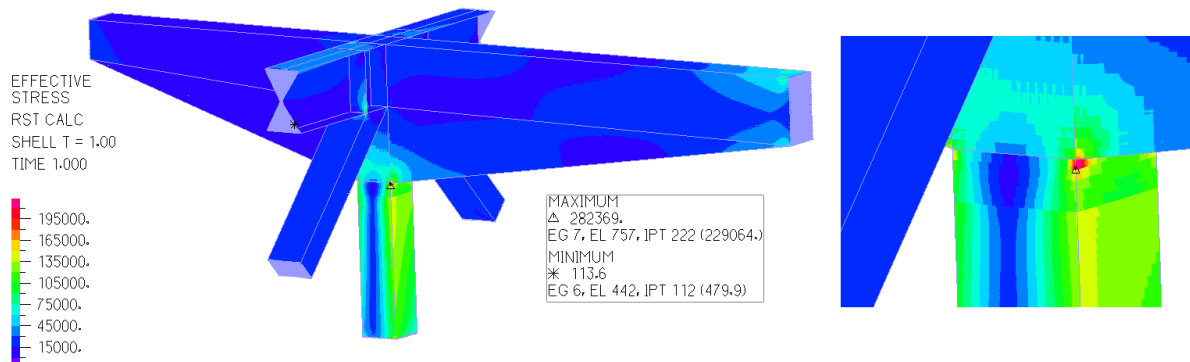
Συγκεκριμένα, η τάση αυτή αναπτύσσεται στη θέση συμβολής του υποστυλώματος με το κάτω πέλμα της δοκού του εγκάρσιου πλαισίου· έχει δε τοπικό χαρακτήρα. Εκτός αυτού του σημείου οι μέγιστες τάσεις που καταγράφονται ανέρχονται στην τάξη μεγέθους των 160MPa.

Επιπλέον, όπως φαίνεται και στη μεγέθυνση της θέσης ανάπτυξης της μέγιστης τάσης, είναι εμφανής η θέση αλλαγής του πάχους των ελασμάτων της διατομής του υποστυλώματος (40mm κάτω και 50mm στο ύψος διαμόρφωσης του κόμβου).

#### 7.2.4 Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS\_W-24

Ενεργός τάση στο προσομοίωμα.

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στο προσομοίωμα ανέρχεται σε 282MPa, μικρότερη των 355MPa (ονομαστική αντοχή υλικού κατασκευής).



Εικόνα 7-10: Ανάπτυξη τάσεων στο προσομοίωμα

Συγκεκριμένα, η τάση αυτή αναπτύσσεται στη θέση συμβολής του υποστυλώματος με το κάτω πέλμα της δοκού του εγκάρσιου πλαισίου· έχει δε τοπικό χαρακτήρα. Εκτός αυτού του σημείου οι μέγιστες τάσεις που καταγράφονται ανέρχονται στην τάξη μεγέθους των 150MPa.

### 7.3 Έδραση Υποστυλώματος

Πρόκειται για τον κόμβο στον οποίο γίνεται η έδραση του κάθε υποστυλώματος. Από στατικής απόψεως η συγκεκριμένη σύνδεση έχει επιλεγεί να συμπεριφέρεται ως πλήρης άρθρωση, δηλαδή και προς τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δύο σφαιρικών επιφανειών σε επαφή που έχουν δημιουργηθεί με διαφορετική ακτίνα καμπυλότητας. Έτσι, η πάνω παρειά του σταθερού σημείου

του υποβάθρου είναι τμήμα σφαίρας, ακτίνας 500m, επί της οποίας εδράζεται με απλή επαφή το κάτω άκρο του υποστυλώματος που είναι διαμορφωμένο ως τμήμα σφαίρας ακτίνας 700m. Με κατάλληλες διατάξεις απαγορεύεται η οριζόντια μετακίνηση του υποστυλώματος σε σχέση με το σταθερό υπόβαθρο. Έτσι εξασφαλίζεται η λειτουργία της πλήρους άρθρωσης κατά την θέση της έδρασης του υποστυλώματος.

Η ανάλυση θα γίνει για δύο περιπτώσεις φορτίσεων. Η πρώτη αφορά στην μέγιστη αξονική που παραλαμβάνεται από το υποστυλώμα και αφορά στην έδραση του ενός υποστυλώματος του εγκάρσιου πλαισίου 1 (432). Η δεύτερη στην μέγιστη διατμητική καταπόνηση που αναπτύσσεται στην περιοχή της έδρασης και αφορά στο ένα υποστυλώμα του εγκάρσιου πλαισίου 2 (103).

### 7.3.1 Γεωμετρία περιοχής προσομοίωσης

Το μήκος του υποστυλώματος, στο οποίο θα γίνει η ανάλυση, είναι ίσο με 2.70m, καθώς σε αυτό το ύψος διαμορφώνεται ο πρώτος κόμβος.

Ως ακλόνητο σημείο στήριξης του προσομοιώματος επιλέχθηκε το σημείο έδρασης του. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε πλήρως δεσμευμένη η κάτω πλάκα έδρασης του υποστυλώματος. Η φόρτιση εισήχθηκε στο ελεύθερο άκρο του υποστυλώματος.

Για την διακριτοποίηση του φορέα επιλέχθηκε να παραχθεί πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων διάστασης 0.04m.

### 7.3.2 Φορτίσεις

Ο έλεγχος έγινε για τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν για δύο συνδυασμούς φορτίσεων. Ο πρώτος (ULS\_W-19) είναι ο συνδυασμός που παράγει τη μέγιστη (κατ' απόλυτο τιμή) διατμητική ένταση στην περιοχή της έδρασης και ο δεύτερος (ULS\_W-17) ο αντίστοιχος που παράγει τη μέγιστη αξονική καταπόνηση.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές των φορτίσεων που εισήχθησαν στο ελεύθερο άκρο του προσομοιώματος.

Πίνακας 7-4: Τιμές εντατικών μεγεθών που επιβλήθηκαν στο ελεύθερο άκρο του προσομοιώματος

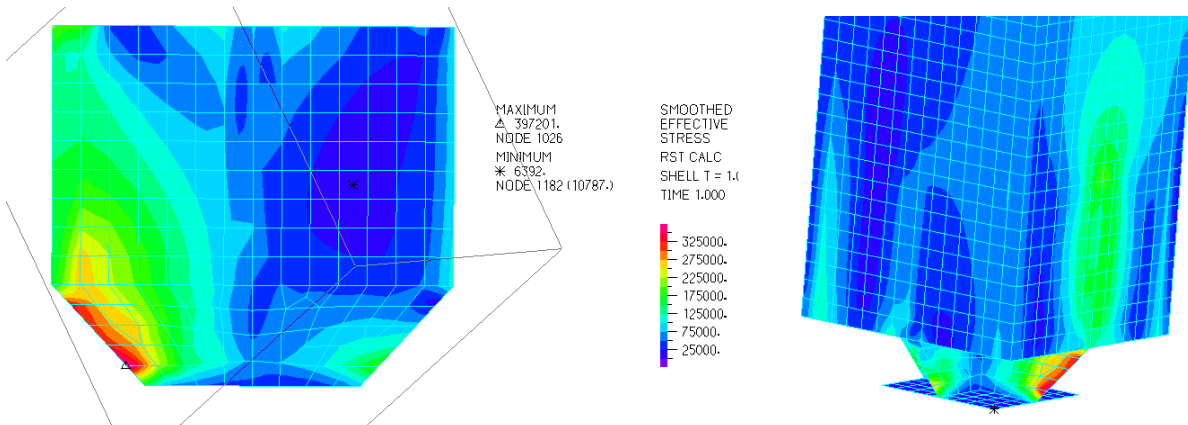
Συνδυασμός	F <sub>1</sub> (kN)	F <sub>2</sub> (kN)	F <sub>3</sub> (kN)	M <sub>1</sub> (kNm)	M <sub>2</sub> (kNm)	M <sub>3</sub> (kNm)
ULS_W-19	-372	1138	-1813	3072	1006	0
ULS_W-17	-105	-286	-2811	-773	283	0

### 7.3.3 Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS\_W-19

Για την επίλυση του προσομοιώματος επιλέχθηκε η τμηματική επιβολή των φορτίσεων, προκειμένου να αποτυπωθεί ορθότερα η όποια μη γραμμική συμπεριφορά της κατασκευής που θα προκύψει από την παραμόρφωση. Παρόλα αυτά, καθώς δεν αναμένεται έντονη μη γραμμικότητα, η επιβολή του φορτίου γίνεται σε δέκα βήματα, οι δε προεπιλογές για τις μετατοπίσεις και τις τάσεις τίθενται ως μικρές (small).

Έτσι, με βάση τα παραπάνω και μετά την ανάλυση προκύπτουν τα παρακάτω.

Ενεργός τάση στο προσομοίωμα.



Εικόνα 7-11: Ανάπτυξη τάσεων στο προσομοίωμα

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στο προσομοίωμα ανέρχεται σε 397MPa, η οποία αν και μεγαλύτερη των 355MPa (ονομαστική αντοχή υλικού κατασκευής) αναπτύσσεται μόνο σε ένα σημείο, ενώ γενικά η τάση δεν ξεπερνά τις τιμές των 300MPa.

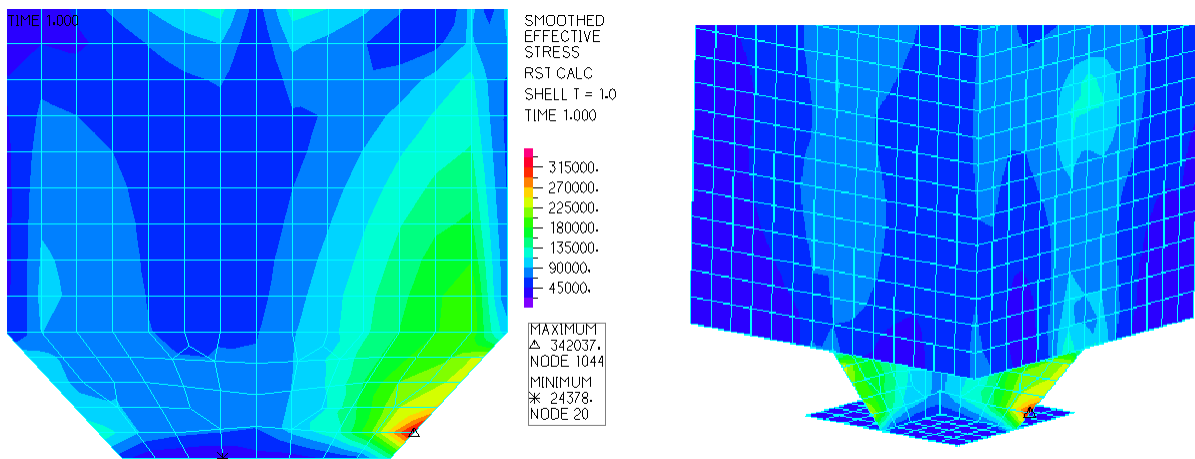
#### 7.3.4 Ανάλυση και αποτελέσματα για τον συνδυασμό ULS\_W-17

Για την επίλυση του προσομοιώματος επιλέχθηκε η τμηματική επιβολή των φορτίσεων, προκειμένου να αποτυπωθεί ορθότερα η όποια μη γραμμική συμπεριφορά της κατασκευής που θα προκύψει από την παραμόρφωση. Παρόλα αυτά, καθώς δεν αναμένεται έντονη μη γραμμικότητα, η επιβολή του φορτίου γίνεται σε δέκα βήματα, οι δε προεπιλογές για τις μετατοπίσεις και τις τάσεις τίθενται ως μικρές (small).

Έτσι, με βάση τα παραπάνω και μετά την ανάλυση προκύπτουν τα παρακάτω.

Ενεργός τάση στο προσομοίωμα.

Η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται στο προσομοίωμα ανέρχεται σε 342MPa, η οποία αν και περίπου ίση των 355MPa (ονομαστική αντοχή υλικού κατασκευής) αναπτύσσεται μόνο σε ένα σημείο, ενώ γενικά η τάση δεν ξεπερνά τις τιμές των 250MPa



Εικόνα 7-12: Ανάπτυξη τάσεων στο προσομοίωμα

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1, ΜΕΡΟΣ 1-1, «Γενικές δράσεις – Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια», 2002.
- [2] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1, ΜΕΡΟΣ 1-4, «Γενικές Δράσεις – Δράσεις ανέμου», 2002.
- [3] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1, ΜΕΡΟΣ 1-5, «Γενικές Δράσεις – Θερμικές δράσεις», 2002.
- [4] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3, ΜΕΡΟΣ 1-1, «Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια», 2005
- [5] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3, ΜΕΡΟΣ 1-8, «Σχεδιασμός κόμβων», 2005
- [6] ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 8, ΜΕΡΟΣ 1, «Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτήρια», 2004
- [7] Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος και Γ. Ιωαννίδης, «Σιδηρές κατασκευές – Παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3 (Τόμος Ι), Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, Ελλάδα, 2003
- [8] Γ. Μιχάλτσος, «Ελαφρές Μεταλλικές Κατασκευές – Θεωρία και εφαρμογές», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, Ελλάδα, 2009
- [9] ΙΕΚΕΜ – ΤΕΕ, «Σημειώσεις για τη χρήση Ευρωκωδίκων EN1990, EN1991», 2011
- [10] Εγχειρίδιο χρήσης λογισμικού SAP2000v16
- [11] Εγχειρίδιο χρήσης λογισμικού ADINA\_AUI\_9.0