



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μελέτη των πειραματικών διατάξεων του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών, ΕΜΠ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λάμπρος Β. Αυδής

Χρήστος Γ. Λαχανάς

Επιβλέπων: Ιωάννης Βάγιας

Αθήνα, Μάρτιος 2013

ΕΜΚ ΔΕ 2013/49

Αυδής Λ. Β. Λαχανάς Χ. Γ. (2013).
Μελέτη των πειραματικών διατάξεων του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών, ΕΜΠ
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2013/49
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Avdis L. V. Lachanas C. G. (2013).
Study of experimental frames of the Institute of Steel Structures, NTUA
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2013/49
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract.....	7
Ευχαριστίες.....	8
1 Εισαγωγή.....	9
1.1 Η έρευνα στην επιστήμη του Πολιτικού Μηχανικού.....	9
1.2 Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ.....	9
1.2.1 Γενικά.....	9
1.2.2 Ερευνητικό Έργο.....	10
1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	10
2 Παρουσίαση Πειραματικών Διατάξεων.....	11
2.1 Εισαγωγή.....	11
2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων.....	11
2.2.1 Πειραματική Διάταξη 1.....	11
2.2.2 Πειραματική Διάταξη 2.....	15
2.2.3 Οπές επί των Πειραματικών Διατάξεων.....	17
2.3 Υλικά κατασκευής.....	18
2.3.1 Δομικός χάλυβας.....	18
2.3.2 Κοχλίες.....	18
2.4 Συμπεράσματα.....	19
3 Προσομοίωση των Πειραματικών Διατάξεων.....	21
3.1 Εισαγωγή.....	21
3.2 Προσομοίωση Πειραματικής Διάταξης 1.....	21
3.2.1 Υπολογισμός μειωτικών συντελεστών.....	22
3.2.2 Προσομοίωση διατομών Πειραματικής Διάταξης 1.....	23
3.2.3 Στήσιμο Μοντέλου προσομοίωσης Πειραματικής Διάταξης 1.....	25
3.3 Προσομοίωση Πειραματικής Διάταξης 2.....	28
3.3.1 Υπολογισμός μειωτικών συντελεστών.....	29
3.3.2 Προσομοίωση διατομών Πειραματικής Διάταξης 2.....	30
3.3.3 Στήσιμο μοντέλου προσομοίωσης Πειραματικής Διάταξης 2.....	30
3.4 Συμπεράσματα.....	32
4 Μελέτη κόμβων των Πειραματικών Διατάξεων και προσομοίωση αυτών.....	33
4.1 Εισαγωγή.....	33
4.2 Διατάξεις EC-3/1.8.....	33
4.2.1 Γενικά.....	33
4.2.2 Ταξινόμηση κόμβων με βάση την δυσκαμψία τους.....	34
4.2.3 Ελαστική ανάλυση φορέα.....	35
4.2.4 Μέθοδος συστατικών μερών.....	35
4.3 Προσομοίωση κόμβων Πειραματικής Διάταξης 1.....	39
4.3.1 Σύνδεση Δοκού σύζευξης - Υποστυλώματος.....	39
4.3.2 Σύνδεση Κιβωτοειδούς δοκού - Υποστυλώματος.....	49
4.3.3 Σύνδεση Κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας - Υποστυλώματος.....	50
4.3.4 Σύνδεση Οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας - Δοκών.....	50
4.3.5 Έδραση επί του δαπέδου του εργαστηρίου.....	50
4.4 Προσομοίωση κόμβων Πειραματικής Διάταξης 2.....	51
4.4.1 Κάτω Σύνδεση Δοκού - Υποστυλώματος.....	51
4.4.2 Άνω Σύνδεση Δοκού - Υποστυλώματος.....	57
4.4.3 Συνέχεια μέλους βάση.....	58
4.4.4 Συνέχεια μέλους Υποστυλώματος- Αλλαγή κλίσης.....	59

4.4.5	Άνω-Κάτω Διασύνδεσμος Δοκών.....	59
4.4.6	Σύνδεση Αξονικά καταπονούμενων μελών	59
4.4.7	Έδραση επί του δαπέδου του εργαστηρίου.....	60
5	Δοκιμαστικές Φορτίσεις επί των Πειραματικών Διατάξεων.....	61
5.1	Εισαγωγή.....	61
5.2	Γενικές παρατηρήσεις επί των φορτίσεων στο ΕΜΚ.....	61
5.2.1	Εργαλεία για την διενέργεια των φορτίσεων	61
5.2.2	Όρια φορτίσεων.	62
5.3	Φορτίσεις Πειραματικής Διάταξης 1	62
5.3.1	Γενικές Παρατηρήσεις	62
5.3.2	Φόρτιση δοκών σύζευξης	62
5.3.3	Φόρτιση Υποστυλωμάτων	64
5.3.4	Φόρτιση Προβόλου εδραζόμενου επί στύλου.....	66
5.4	Φορτίσεις Πειραματικής Διάταξης 2	68
5.4.1	Γενικές Παρατηρήσεις.....	68
5.4.2	Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης (πλαίσιο χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη)	68
5.4.3	Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης(πλαίσιο με αξονικά καταπονούμενα μέλη).....	71
5.4.4	Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος (πλαίσιο χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη) ..	73
5.4.5	Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος (πλαίσιο με αξονικά καταπονούμενα μέλη)	75
5.4.6	Φόρτιση άνω - κάτω δοκών	77
5.4.7	Φόρτιση πακτωμένου προβόλου εδραζόμενου επί κεκλιμένου τμήματος υποστυλώματος.....	78
6	Μελέτη Χωρικών Πλαισίων.....	81
6.1	Εισαγωγή.....	81
6.2	Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας.....	81
6.2.1	Γενικά	81
6.2.2	Διαδικασία Ανέγερσης Χωρικών Πλαισίων	82
6.3	Προσομοίωση Πειραματικής Διαδικασίας.....	83
6.3.1	Διάταξη Χωρικών Πλαισίων στο πρόγραμμα.....	83
6.3.2	Επιλογή Διατομών	84
6.3.3	Προσομοίωση Κόμβων.....	85
6.3.4	Pushover Analysis Χωρικών Πλαισίων (Στατική μη γραμμική ανάλυση).....	85
6.4	Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος.....	88
6.4.1	Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος χάλυβα S235	88
6.4.2	Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων ενός ανοίγματος S235	90
6.4.3	Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος χάλυβα S355	90
6.4.4	Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων ενός ανοίγματος S355	92
6.5	Συνδυαστικά Διαγράμματα P - δ για Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος.....	93
6.5.1	Συνολικά Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ	93
6.5.2	Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ Α ορόφου	94
6.5.3	Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ Β ορόφου.....	95
6.6	Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων.....	96
6.6.1	Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων χάλυβα S235.....	96
6.6.2	Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων δύο ανοιγμάτων S235	98
6.6.3	Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων χάλυβα S355.....	98
6.6.4	Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων δύο ανοιγμάτων S355	100
6.7	Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ για Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων.....	100
6.7.1	Συνολικά Συνδυαστικά Διαγράμματα.....	100
6.7.2	Συνδυαστικά Διαγράμματα Α ορόφου.....	101
6.7.3	Συνδυαστικά Διαγράμματα Β ορόφου.....	102
6.8	Συμπεριφορά διάταξης έδρασης.	103
6.9	Ακραίες περίπτωση Πλαισίων– Βελτιστοποίηση Συμπεριφοράς Πειραματικής Διάταξης 1 ^η	105

7 Συμπεράσματα	109
Βιβλιογραφία	111
Παράρτημα Α. Σχέδια Πειραματικής Διάταξης 1.....	112
Παράρτημα Β. Σχέδια Πειραματικής Διάταξης 2.....	114

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2013/49

**Μελέτη των πειραματικών διατάξεων του Εργαστηρίου Μεταλλικών
Κατασκευών, ΕΜΠ**

Αυδής Α. Β. Λαχανάς Χ. Γ.
(Επιβλέπων: Βάγιας Ι.)

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των δύο Πειραματικών Διατάξεων οι οποίες βρίσκονται στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών της σχολής πολιτικών μηχανικών Ε.Μ.Π. και χρησιμοποιούνται ως πλαίσια αντίδρασης για την διενέργεια φόρτισης διαφόρων πειραματικών δοκιμίων. Η ανάγκη για ακριβή προσδιορισμό της συμπεριφοράς τους κατά την διάρκεια των διάφορων δοκιμαστικών φορτίσεων, η οποία επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια των πειραμάτων, οδήγησε στην πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή του χώρου δοκιμών του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π όπου συντελείται σημαντικό ερευνητικό έργο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση των δύο Πειραματικών Διατάξεων και παρατίθενται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των μελών αυτών. Επίσης παρουσιάζονται κάποιες παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά την διενέργεια των επιτόπου μετρήσεων.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά στην προσομοίωση των μελών των δύο Πειραματικών Διατάξεων στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος Scia Engineer της εταιρίας Nemetschek στην φοιτητική του έκδοση 12.0.183. Τα μέλη των Πειραματικών Διατάξεων προσομοιώθηκαν με γραμμικά στοιχεία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο ολοκληρώνεται η παραπάνω προσομοίωση με την μελέτη των κόμβων των δύο Πειραματικών Διατάξεων. Για την μελέτη αυτή έγιναν τόσο αναλυτικοί υπολογισμοί, σύμφωνα με τις αντίστοιχες διατάξεις του EC-3, όσο και υπολογισμοί με χρήση του προγράμματος Robot Structural Analysis Professional 2011 της εταιρίας Autodesk. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό προτείνεται η ενίσχυση συγκεκριμένου κόμβου δοκού – υποστρώματος από άποψη στροφικής δυσκαμψίας.

Το πέμπτο κεφάλαιο έγκειται στην μελέτη της απόκρισης των δύο Πειραματικών Διατάξεων από άποψη παραμορφώσεων υπό διάφορες δοκιμαστικές φορτίσεις.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται προσομοίωση της οριζόντιας φόρτισης Χωρικών Πλαισίων που πρόκειται να αποτελέσουν μελλοντική ερευνητική δραστηριότητα του εργαστηρίου. Πραγματοποιείται pushover ανάλυση των δοκιμίων των Χωρικών Πλαισίων έως τον σχηματισμό μηχανισμού κατάρρευσης. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η συμπεριφορά της Πειραματικής διάταξης υπό την συγκεκριμένη φόρτιση καθώς και βελτιστοποίηση αυτής για ακραία περίπτωση φόρτισης.

Τέλος το έβδομο κεφάλαιο αφορά σε συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν κατά την μελέτη των δύο Πειραματικών Διατάξεων, καθώς επίσης και σε κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENSFACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURESDIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2013/49**Study of experimental frames of the Institute of Steel Structures, NTUA**

Avdis L.V. Lachanas C.G. (supervised by Vayas I.)

Abstract

The purpose of this Diploma Thesis is the study of two Experimental Frames which are in the faculty of Civil Engineering Metal Construction Laboratory of NTUA. These Frames are used as reaction frames for the loading of several experimental specimens.

The accurate definition of their behaviour during several experimental loadings, which directly affect the precision of the experiments led to the realization of this dissertation.

Chapter one comprises a brief description of the NTUA Institute of Steel Structures installations where significant scientific research takes place.

In Chapter two there is a detailed presentation of the two Experimental Frames. What is more the measuring that was carried out for the specification of their geometrical characteristics, is cited. Apart from that, some observations that resulted from the measuring on the spot are presented.

Chapter three is concerned with the simulation of the Experimental Frames in the Scia Engineer's graphic environment. This is the students' edition 12.0.183 programme and belongs to Nemetschek company. The members of the Experimental Frames were simulated to linear elements.

In Chapter four the simulation mentioned above is brought to a completion with the study of the two Experimental Frames' joints. The calculations for this study were so detailed, according to EC-3 equivalent parts, as the calculations with Autodesk's Robot Structural Analysis Professional 2011 programme. Besides Chapter four suggests the strengthening of one particular joint beam-column in relation to rotational stiffness

Chapter five deals with how these two experimental frames respond to deformation under several experimental loadings

Furthermore, in Chapter six simulation of the Space Frames' horizontal loading takes place and this constitutes the laboratory's future research subject. More specifically there is pushover analysis of the Space Frames up to the collapse mechanism. Also, in this chapter, the Experimental Frame's behaviour under specific loading is examined as well as the Experimental Frame's improvement in case of extreme loading.

Finally, chapter seven consists of conclusions which arose during the two Experimental Frames' study and some proposals for further scientific research.

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Διευθυντή του τομέα και επιβλέποντα Καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ Ιωάννη Βάγια, για την συνεχή υποστήριξη του κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας και τις πολύτιμες συμβουλές του για την διεκπεραίωση αυτής.

Επίσης θα θέλαμε να απευθύνουμε θερμές ευχαριστίες στο προσωπικό του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών και ιδιαίτερα στον Δρ. Ξενοφώντα Λιγνό για τον χρόνο που μας αφιέρωσε και τις παρατηρήσεις του που μας βοήθησαν στον να εξοικειωθούμε με την Χρήση των δύο Πειραματικών Διατάξεων και τον τρόπο εκτέλεσης των πειραματικών φορτίσεων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται στους δύο συναδέλφους και φίλους μας υποψήφιους διδάκτορες του τομέα Δομοστατικής, Κωσταντίνο Αδαμάκο και Αντρέα Καμπίτση για την πολύτιμη βοήθεια τους και τις πολύ εποικοδομητικές συζητήσεις μας.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε στις οικογένειές μας που στάθηκαν δίπλα μας σε όλη την διάρκεια των σπουδών μας στηρίζοντας μας τόσο ψυχολογικά όσο και υλικά όλα αυτά τα χρόνια.

Αυδής Λάμπρος – Λαχανάς Χρήστος

Αθήνα, Μάρτιος 2013

1 Εισαγωγή

1.1 Η έρευνα στην επιστήμη του Πολιτικού Μηχανικού

Αδιαμφισβήτητα η ερευνητική διαδικασία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι όλων των επιστημών. Εξαίρεση σε αυτό δεν θα μπορούσε να αποτελέσει η επιστήμη του Πολιτικού Μηχανικού, μια επιστήμη στην οποία η θεωρία και η πράξη είναι άρρηκτα συνδεδεμένες.

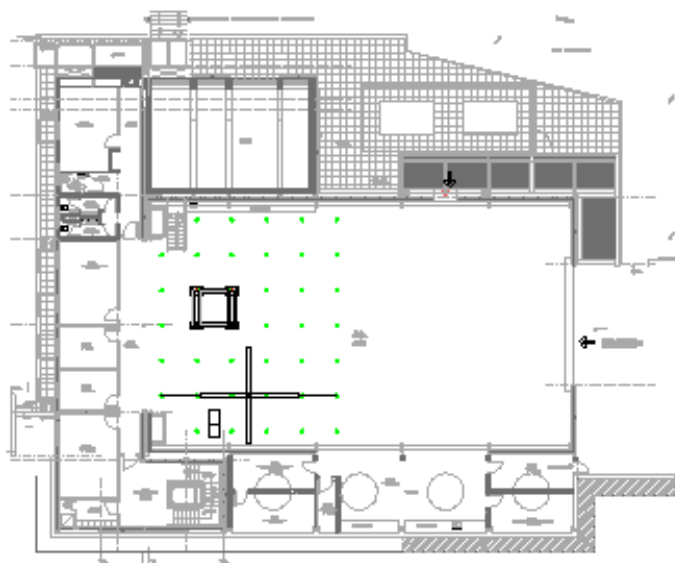
Στον κλάδο του Πολιτικού Μηχανικού παρατηρείται πολύ έντονη ερευνητική δραστηριότητα αποτέλεσμα της οποίας είναι η εξέλιξη της επιστήμης (καινοτόμα υλικά κατασκευής, ακριβέστεροι μέθοδοι ανάλυσης κ.ο.κ) η οποία με την σειρά της συμβάλλει καταλυτικά στην ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου.

1.2 Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ

1.2.1 Γενικά

Το εργαστήριο της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ ιδρύθηκε το 1965 με το Β.Δ. 321. Επίσημως εντάχθηκε στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ το 1983, με το Φ.Ε.Κ 80/Β/1.3.1983.

Από το 2003 στεγάζεται σε δικό του κτίριο συνολικής επιφάνειας 2.120 m² στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Ο χώρος δοκιμών Σχήμα 1.1 έχει επιφάνεια 640 m². Τα γραφεία του προσωπικού και οι βοηθητικοί χώροι καταλαμβάνουν 650 m². Το κτίριο διαθέτει αμφιθέατρο 61 θέσεων, επιφάνειας 95 m², καθώς και PC Lab επιφάνειας 100 m². Τέλος, οι αποθήκες, ο χώρος αγκυρώσεως και οι λοιποί βοηθητικοί χώροι καταλαμβάνουν επιφάνεια 375 m².



Σχήμα 1.1: Κάτοψη χώρου δοκιμών Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ

1.2.2 Ερευνητικό Έργο

Τα μέλη του εργαστηρίου αναπτύσσουν έντονη ερευνητική δραστηριότητα εκτελώντας καθημερινά πληθώρα πειραμάτων καθιστώντας έτσι το Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ πρότυπο ερευνητικό κέντρο.

Τα πειράματα αυτά πραγματοποιούνται κατά κύριο λόγο με τη βοήθεια δύο πειραματικών διατάξεων Σχήμα 1.2 οι οποίες χρησιμοποιούνται ως πλαίσια αντίδρασης.

1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτός ο καταλυτικός ρόλος των δυο πειραματικών διατάξεων Σχήμα 1.2 στην ερευνητική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στο εργαστήριο. Η ανάγκη για ακριβή προσδιορισμό της συμπεριφοράς τους κατά την διάρκεια των διάφορων δοκιμαστικών φορτίσεων, η οποία επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια των πειραμάτων, ώθησε στην ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι αρχικώς η προσομοίωση των πειραματικών διατάξεων με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Στην συνέχεια σκοπός είναι η καταγραφή της συμπεριφοράς των μελών των διατάξεων στις διάφορες δοκιμαστικές φορτίσεις και τέλος η διαστασιολόγηση και η προσομοίωση φόρτισης δοκιμίων Χωρικών Πλαισίων τα οποία επρόκειτο να αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας του εργαστηρίου στο μέλλον.



Σχήμα 1.2: Πειραματική Διάταξη 1 (αριστερά στο σχήμα), Πειραματική Διάταξη 2(δεξιά στο σχήμα)
Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ

2 Παρουσίαση Πειραματικών Διατάξεων

2.1 Εισαγωγή

Σε πρώτη φάση θεωρήθηκε σκόπιμη η αναλυτική καταγραφή των υλικών κατασκευής καθώς και η ακριβής μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δύο πειραματικών διατάξεων.

Στην κατεύθυνση αυτή πραγματοποιήθηκαν επιτόπου μετρήσεις στο εργαστήριο, με χρήση εξειδικευμένων οργάνων. Όσον αφορά τα υλικά, τα στοιχεία τους ελήφθησαν από τα έντυπα της μελέτης που έχουν παραχωρηθεί στο εργαστήριο από τον κατασκευαστή.

Με βάση τα παραπάνω στο παρόν κεφάλαιο αρχικώς γίνεται αναφορά στα υλικά κατασκευής των δύο διατάξεων, έπειτα παρουσιάζονται τα στοιχεία των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Τέλος παρουσιάζονται κάποιες παρατηρήσεις επί των μοντέλων οι οποίες προέκυψαν κατά την επί τόπου παρατήρηση αυτών.

2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

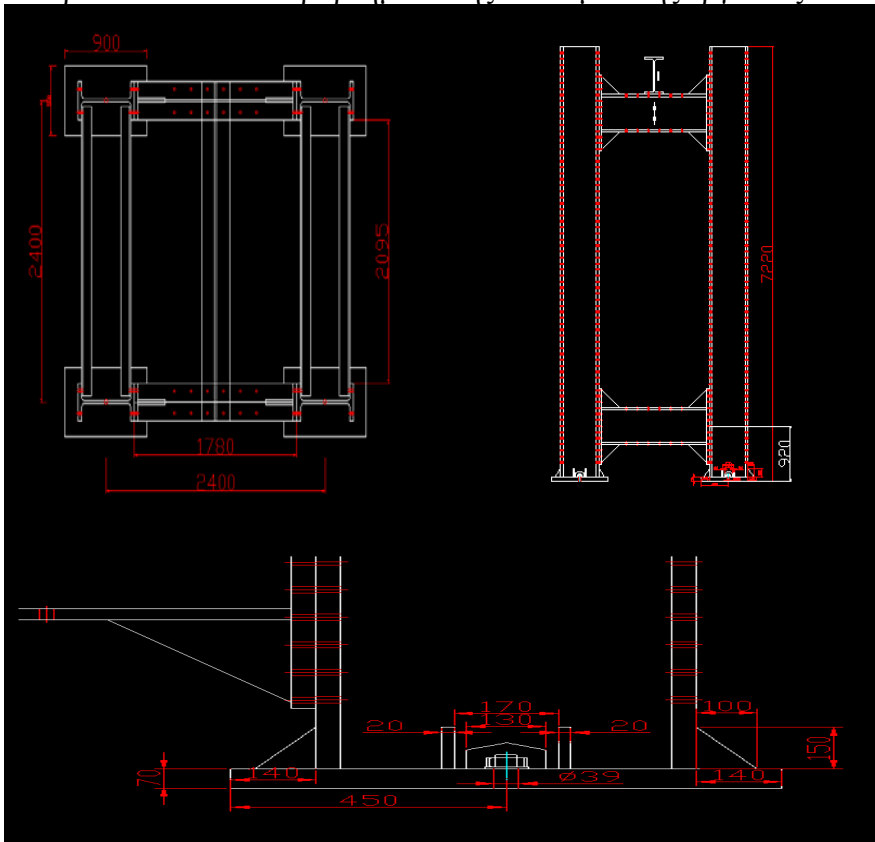
2.2.1 Πειραματική Διάταξη 1

Η συγκεκριμένη Πειραματική Διάταξη όπως φαίνεται, στο Σχήμα 2.1, αποτελείται από 4 όμοια υποστυλώματα εδραζόμενα στο θεωρητικώς άκαμπτο ισχυρό δάπεδο του εργαστηρίου του εργαστηρίου με κοχλίες M36 Πίνακας 2.12, 2 κατηγορίες δοκών σύζευξης, μια διατομής τύπου ΗΕΜ και μια διατομής κιβωτίου, 2 εσωτερικούς δοκούς διατομής διπλού ταν καθώς και από οριζόντιους (κατηγορίας L 150x150x17) και κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας (κατηγορίας L 150x150x18).



Σχήμα 2.1: Πειραματική Διάταξη 1

Αρχικώς μετρήθηκαν με την χρήση μετροταινίας τα βασικά μήκη των στοιχείων της Πειραματικής Διάταξης 1 όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.2. Λεπτομερή σχέδια της Πειραματικής Διάταξης 1 παρατίθενται στο Παράρτημα Α της διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 2.2: Βασικά μήκη στοιχείων Πειραματικής Διάταξης 1 (διαστάσεις σε mm)

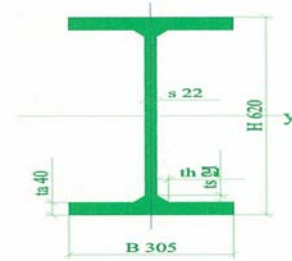
Όσον αφορά τα μήκη των συνδέσμων δυσκαμψίας, υπολογίστηκαν σε $l = 1.186\text{m}$ για τους οριζόντιους συνδέσμους και σε $l = 2,729\text{m}$ για τους κατακόρυφους, Πίνακας 2.7 και 2.8. Το εν λόγω μήκος αναφέρεται στην απόσταση του κέντρου βάρους των κοχλιώσεων στα δύο άκρα του εκάστοτε συνδέσμου. Να σημειωθεί ότι τα μήκη αυτά αφορούν την απόσταση που στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της Πειραματικής Διάταξης. Επίσης οι άνω και κάτω εσωτερικοί δοκοί έχουν μήκη $l = 2,4\text{m}$ και $l = 5,025\text{m}$ αντίστοιχα και γεωμετρικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στους Πίνακες 2.5 και 2.6.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν ακριβείς μετρήσεις με την βοήθεια παχυμέτρου προκειμένου να προσδιορισθούν τα πάχη των στοιχείων, καθώς και καταγραφή των διαστάσεων των λοιπών στοιχείων που συνθέτουν την πειραματική διάταξη.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων για κάθε στοιχείο φαίνονται στους πίνακες και τα σχήματα που ακολουθούν:

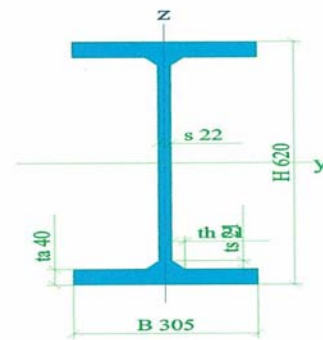
Πίνακας 2.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής υποστρωμάτων Πειραματικής Διάταξης 1

H(mm)	620	t_f (mm)	40,47
	619		40,51
	621		40,48
	620		40,47
average	620	average	40,48
t_w (mm)	22		
		t_f (mm)	40
b(mm)	305	$\alpha=0,7mint$ (mm)	21



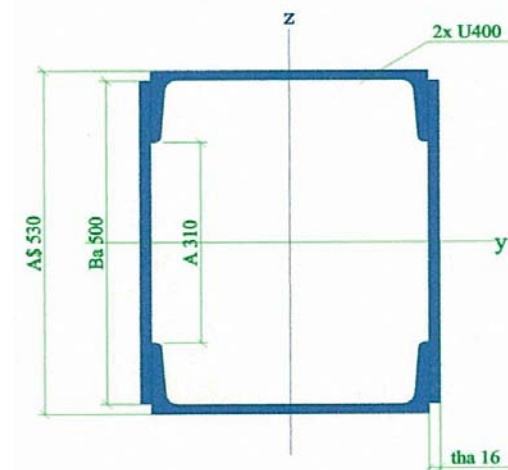
Πίνακας 2.2: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής δοκών Πειραματικής Διάταξης 1

H(mm)	620	t_f (mm)	40,47
	619		40,51
	621		40,48
	620		40,47
average	620	average	40,48
t_w (mm)	22		
		t_f (mm)	40
b(mm)	305	$\alpha=0,7mint$ (mm)	21



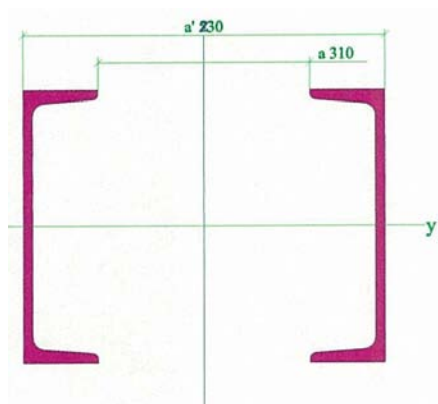
Πίνακας 2.3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κιβωτοειδούς (κλειστή διατομή) Πειραματικής Διάταξης 1

H(mm)	400	Ελάσματα	
		(BxH) (mm)	500x300
t_f (mm)	16,40		
	15,70	t(mm)	15,7
	15,60		15,5
average	16	average	15,73
		average	15,73
b(mm)	110	t(mm)	16



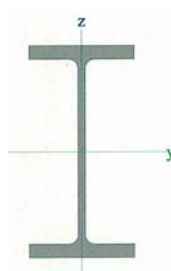
Πίνακας 2.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κιβωτοειδούς (ανοιχτή διατομή) Πειραματικής Διάταξης 1

H(mm)	400
t _f (mm)	16,40
	15,70
	15,60
average	16
t(mm)	110



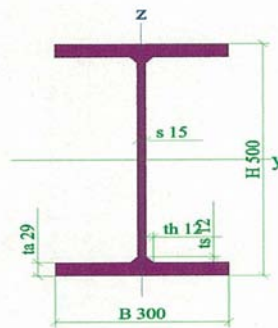
Πίνακας 2.5: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά άνω εσωτερικής δοκού Πειραματικής Διάταξης 1

H(mm)	620
t _w (mm)	21
t _f (mm)	40
b(mm)	305



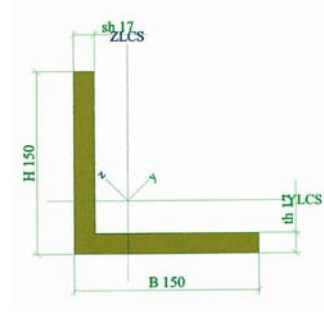
Πίνακας 2.6: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάτω εσωτερικής δοκού Πειραματικής Διάταξης 1

H(mm)	500	t _f (mm)	28,4
	501		28,8
	499		28,7
	500		28,3
average	500		29
t _w (mm)	15	average	28,64
		t _f (mm)	29
b(mm)	300	α=0,7mint (mm)	12



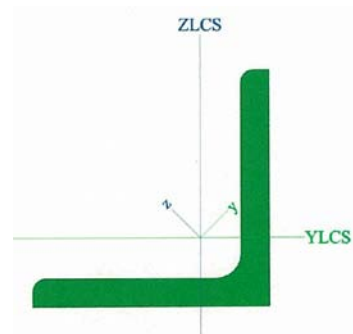
Πίνακας 2.7: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας Πειραματικής Διάταξης 1

HXB(mm)	150X150
t(mm)	16.7
	16.7
	16.8
average	16.72
	17



Πίνακας 2.8: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας Πειραματικής Διάταξης 1

HXB(mm)	150X150
t(mm)	17.7
	17.7
	17.8
average	17.72
	18



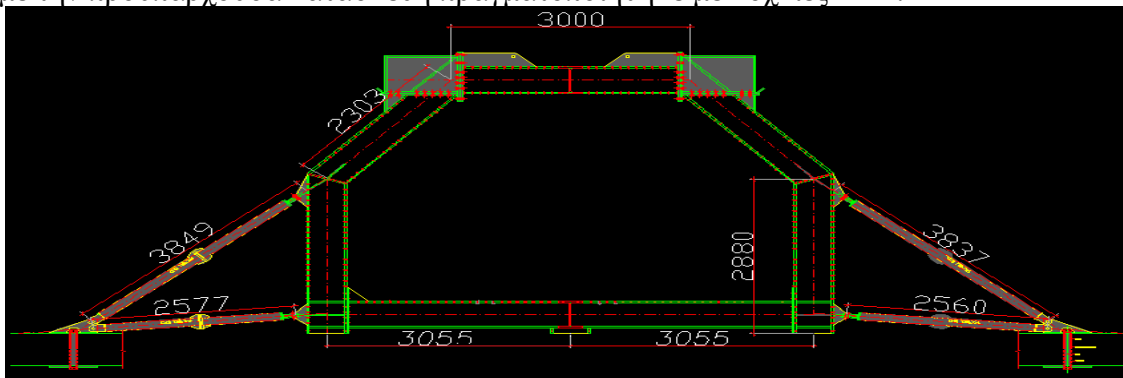
2.2.2 Πειραματική Διάταξη 2

Η συγκεκριμένη Πειραματική Διάταξη όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3 αποτελείται από 2 όμοια πλαίσια διατομής τύπου ΗΕΒ τα οποία διασταυρώνονται στο κέντρο τους και έχουν τοποθετηθεί ελεύθερα πάνω στο ισχυρό δάπεδο του εργαστηρίου. Στο ένα εκ των δύο πλαισίων έχουν τοποθετηθεί εκ των υστέρων αξονικά καταπονούμενα μέλη προκειμένου να ενισχυθεί η οριζόντια δυσκαμψία και να εκτελούνται πειράματα με οριζόντια φορτία χωρίς πρόβλημα. Τα μέλη αυτά βοηθούν στο να επιτευχθεί η σύνδεση της όλης διάταξης με το ισχυρό δάπεδο του εργαστηρίου με χρήση σύνδεσης πείρου Σχήμα 2.5 και κοχλίες M60 Πίνακας 2.12.

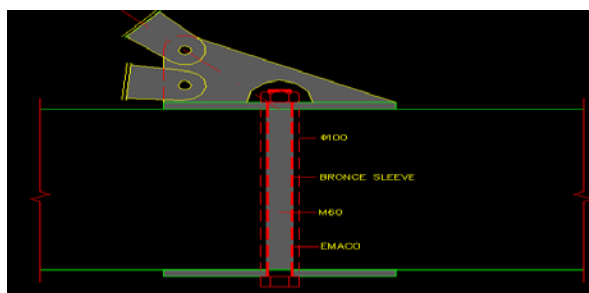


Σχήμα 2.3: Πειραματική Διάταξη 2

Ομοίως με την Πειραματική διάταξη 1 αρχικώς μετρήθηκαν με την χρήση μετροταινίας τα βασικά μήκη των στοιχείων της Πειραματικής Διάταξης 2 όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.4. Ακόμη άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι στην Πειραματική Διάταξη 2 τα τμήματα που απεικονίζονται με γκρι χρώμα τόσο στο Σχήμα 2.6 όσο και στο Παράρτημα Β (αναλυτικά σχέδια) αποτελούν τμήματα τα οποία προστέθηκαν στο πλαίσιο έπειτα από την αρχική του κατασκευή. Αυτό έγινε για την ενίσχυση της πειραματικής διάταξης. Οι συνδέσεις των μελών αυτών με την προϋπάρχουσα κατασκευή πραγματοποιήθηκε με κοιλίες Μ24.



Σχήμα 2.4: Βασικά μήκη στοιχείων Πειραματικής Διάταξης 2 (διαστάσεις σε mm)



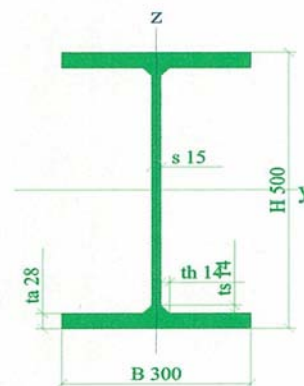
Σχήμα 2.5: Λεπτομέρεια σύνδεσης αξονικά καταπονούμενων μελών Πειραματικής Διάταξης 2 με ισχυρό δάπεδο.

Στην συνέχεια κατ’ αναλογία με τη Πειραματική Διάταξη 1 πραγματοποιήθηκαν ακριβείς μετρήσεις με την βοήθεια παχυμέτρου προκειμένου να προσδιορισθούν τα πάχη των στοιχείων, καθώς και καταγραφή των διαστάσεων των λοιπών στοιχείων που συνθέτουν την πειραματική διάταξη.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων για κάθε στοιχείο φαίνονται στους πίνακες και τα σχήματα που ακολουθούν:

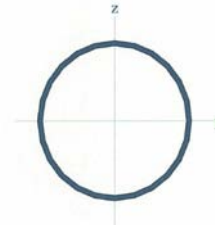
Πίνακας 2.9: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κύριας διατομής Πειραματικής Διάταξης 2

H(mm)	500	t_f (mm)	28,47
	501		28,51
	499		28,48
	500		28,47
average	500	average	28,48
t_w (mm)	15		
		t_f (mm)	28
b(mm)	305	$\alpha=0,7$ mint (mm)	14



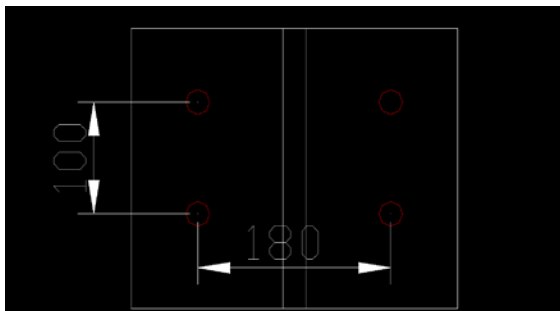
Πίνακας 2.10: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά αξονικά καταπονούμενων μελών Πειραματικής Διάταξης 2

d(mm)	140
t(mm)	5

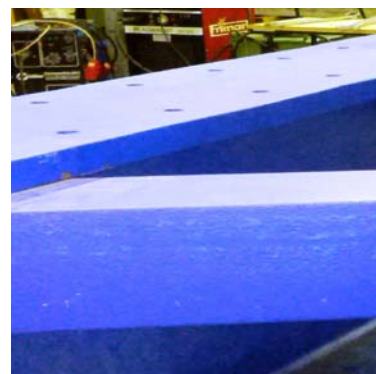
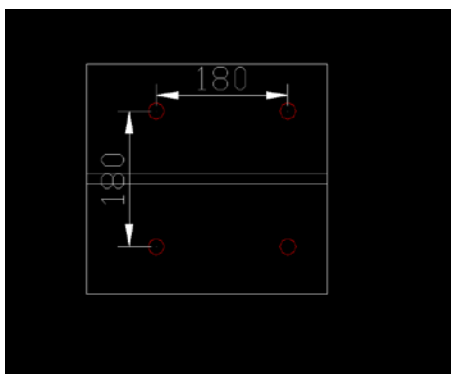


2.2.3 Οπές επί των Πειραματικών Διατάξεων

Δεδομένου ότι και στις δύο πειραματικές διατάξεις εκτελείται πληθώρα πειραμάτων, οι δοκοί και τα υποστυλώματα αυτών χρησιμοποιούνται ως οδηγοί τοποθέτησης της πρέσας φορτίσεως. Για τον λόγο αυτό η διατομή των πελμάτων τους δεν είναι ενιαία αλλά υπάρχουν οπές. Οι αποστάσεις των οπών αυτών είναι δύο κατηγοριών. Σχήμα 2.1 Σχήμα 2.2



Σχήμα 2.6: Αποστάσεις (mm) οπών Πειραματικής Διάταξης 2, υποστυλωμάτων Πειραματικής Διάταξης 1



Σχήμα 2.7: Αποστάσεις (mm) οπών δοκών Πειραματικής Διάταξης 1

2.3 Υλικά κατασκευής

2.3.1 Δομικός χάλυβας

Ο δομικός χάλυβας είναι κράμα με βασικό συστατικό τον σίδηρο (Fe) και διάφορα άλλα μεταλλικά και μη στοιχεία σε μικρή αναλογία όπως Άνθρακας, Μαγγάνιο, Πυρίτιο, Νικέλιο, Χαλκός, Χρώμιο, Μολυβδαίνιο, Βαδάνιο, Ζιρκόνιο, Θείο, Φωσφόρος. Ορισμένα από αυτά είναι ανεπιθύμητα επειδή επηρεάζουν δυσμενώς κάποια χαρακτηριστικά του χάλυβα.

Η ποσοστιαία συμμετοχή των στοιχείων αυτών προσδιορίζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του χάλυβα. Μικρή μεταβολή της αναλογίας αυτής οδηγεί στη δημιουργία άλλου είδους χάλυβα. Έτσι αναφορικά με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, αυτή ποικίλει από 0,15% μέχρι 1,7%. Οι συνήθεις δομικοί χάλυβες έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,15% και 0,29%.

Όσον αφορά τις δύο Πειραματικές Διατάξεις, ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε κατά την κατασκευή τους είναι κατηγορίας S355 Πίνακας 2.11.

Πίνακας 2.11: Χάλυβας κατασκευής πειραματικών διατάξεων.

Χάλυβας	S355
f_y (MPa)	355
f_u (MPa)	510

2.3.2 Κοχλίες

Η σύνδεση των μελών των δύο πειραματικών διατάξεων πραγματοποιείται με χρήση κοχλιών κατηγορίας A.

Η κυρίως χρησιμοποιούμενη διάμετρος κοχλιών είναι M20 Πίνακας 2.12. Χρήση κοχλιών διαφορετικής διαμέτρου έχουμε στην έδραση της Πειραματικής Διάταξης 1 όπου χρησιμοποιούνται κοχλίες M36 και στην έδραση των αξονικά καταπονόμενων μελών της Πειραματικής Διάταξης 2 στο ισχυρό δάπεδο όπου χρησιμοποιούνται κοχλίες M60 Πίνακας 2.12. Τέλος χρησιμοποιούνται κοχλίες M24 και M30 στην Πειραματική Διάταξη 2 για την σύνδεση μελών που προστέθηκαν μετέπειτα για την ενίσχυση της Διάταξης.

Πίνακας 2.12: Χρησιμοποιούμενες κατηγορίες κοχλιών (ποιότητας 8.8)

Κοχλίες	M20	M24	M30	M36	M60
d(mm)	20	24	30	36	60
α (mm)	2	2	3	3	3
d_o (mm)=d+ α	22	26	33	39	63
Διατομή κορμού A(mm ²)	314	452	707	1017	2826
Ενεργός διατομή A _s (mm ²)	245	353	561	817	2360
Διατομή πυρήνα (mm ²)	225	324	519	759	2220

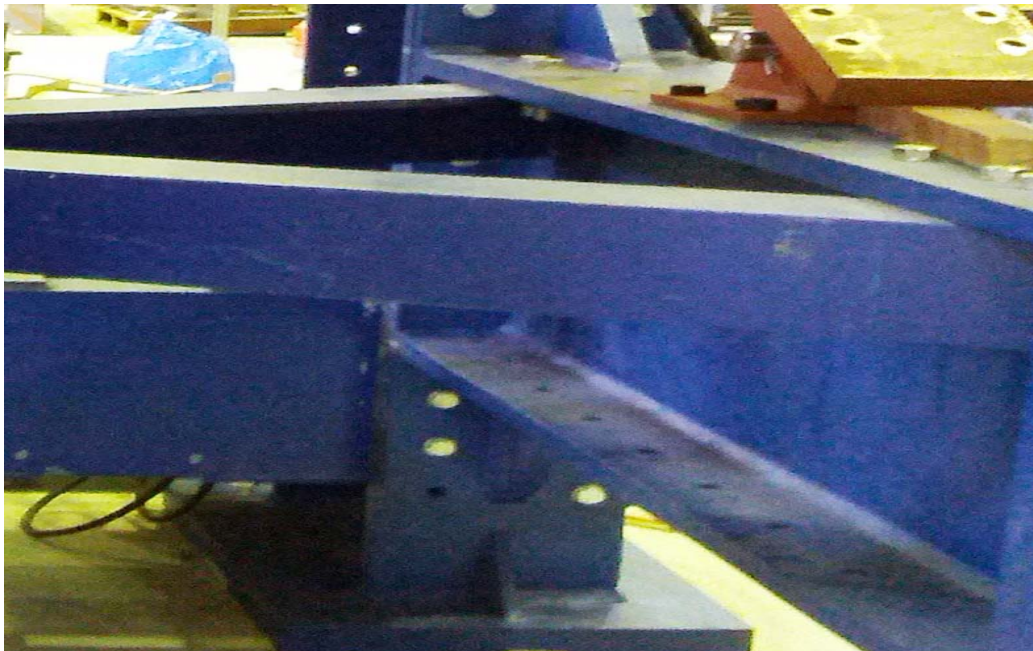
2.4 Συμπεράσματα

Καταληκτικά στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθούν κάποιες σημαντικές παρατηρήσεις μας.

Καταρχήν όσον αφορά τις μετρήσεις μας, κατά την εκτέλεση τους τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάποιων στοιχείων ήταν αδύνατο να μετρηθούν. Πιο συγκεκριμένα στις Πειραματικές Διατάξεις ήταν αδύνατη η προσέγγιση και κατ' επέκταση η μέτρηση των γεωμετρικών στοιχείων των διατομών εκείνων που είναι τοποθετημένες σε υψηλά υψόμετρα. Επίσης στην Πειραματική Διάταξη 2 ήταν αδύνατη η μέτρηση του πάχους t_w (κορμού) της κύριας διατομής, καθώς και του πάχους της διατομής των αξονικά καταπονούμενων μελών. Τέλος δεν έγινε επακριβής προσδιορισμός των συγκολλήσεων στα στοιχεία των Πειραματικών Διατάξεων, π.χ κορμού- πέλματος των διατομών διπλής συμμετρίας.

Για την αντιμετώπιση των πιο πάνω συμβουλευτήκαμε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή για την άνω εσωτερική δοκό, το πάχος κορμού της κύριας διατομής της Πειραματικής Διάταξης 2, το πάχος των αξονικά καταπονούμενων μελών καθώς και για τα γεωμετρικά στοιχεία των λοιπών μελών. Όσον αφορά τις συγκολλήσεις συμβουλευτήκαμε τον κ.Λιγνό, ο οποίος με την σειρά του συμβουλευόμενος το εγχειρίδιο του κατασκευαστή μας υπέδειξε το πάχος $a = 0,7t_{min}$ ως πάχος συγκολλήσεων.

Τέλος άξια αναφοράς είναι μια κατασκευαστική ατέλεια που παρατηρήθηκε κατά την διάρκεια των μετρήσεων στην Πειραματική Διάταξη 1. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.8 στην σύνδεση δοκού υποστυλώματος στις κάτω δοκούς σύζευξης παρουσιάζεται ανομοιογένεια μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής σειράς κοχλιών. Συγκεκριμένα στην εσωτερική σειρά οι κοχλίες είναι κατά δύο λιγότεροι μιας και η τοποθέτησή τους ήταν αδύνατη λόγω της ύπαρξης στην ίδια στάθμη της κιβωτοειδούς διατομής. Αυτό δεν συμβαίνει στις άνω δοκούς σύζευξης.



Σχήμα 2.8: Κατασκευαστική ατέλεια Πειραματικής Διάταξης 1

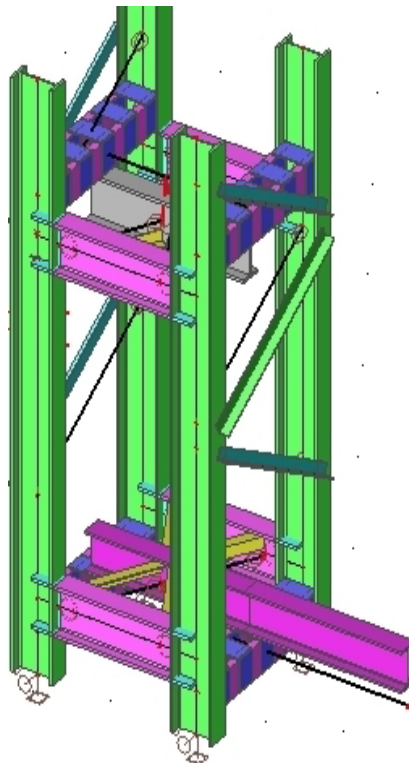
3 Προσομοίωση των Πειραματικών Διατάξεων

3.1 Εισαγωγή

Έχοντας ολοκληρώσει τις επί τόπου μετρήσεις των στοιχείων των δύο πειραματικών διατάξεων ακολουθεί η προσομοίωση τους με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το στατικό πρόγραμμα *Scia Engineer* της εταιρίας *Nemetschek* στην φοιτητική του έκδοση και συγκεκριμένα η έκδοση 12.0.183.

Τα στοιχεία στο πρόγραμμα αυτό προσομοιώθηκαν ως *beam elements* και οι κόμβοι ως στροφικά ελατήρια. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού ήταν γραμμικές ελαστικές, σύμφωνες με τον EC-3, καθώς η διαρροή κάποιου μέλους των πειραματικών διατάξεων κατά την διάρκεια φορτίσεων είναι ανεπιθύμητη. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσομοίωση των μελών των δύο πειραματικών διατάξεων στο γραφικό περιβάλλον του χρησιμοποιηθέντος στατικού προγράμματος. Η προσομοίωση των κόμβων και της έδρασης των δύο διατάξεων δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου αλλά παρουσιάζεται εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.

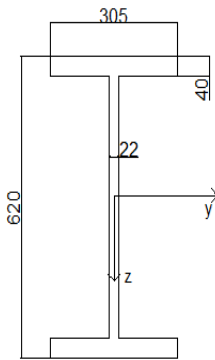
3.2 Προσομοίωση Πειραματικής Διάταξης 1



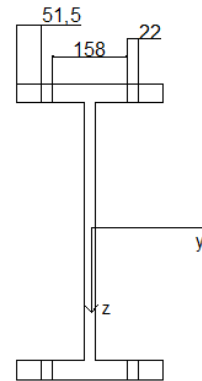
Σχήμα 3.1: Προσομοίωση Πειραματικής Διάταξης 1

3.2.1 Υπολογισμός μειωτικών συντελεστών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο η ύπαρξη οπών για την τοποθέτηση της πρέσας και την διεξαγωγή των πειραματικών φορτίσεων καθιστά την διατομή των υποστυλωμάτων και δοκών σύζευξης απομειωμένη. Δεδομένου ότι η ακριβής προσομοίωση των οπών στο πρόγραμμα ήταν ανέφικτη, πράγμα το οποίο επιβεβαιώθηκε έπειτα από επικοινωνία με υπεύθυνο παραγωγής του προγράμματος, λάβαμε υπόψη την απομείωση αυτή με χρήση μειωτικών συντελεστών. Η απομείωση αυτή αφορούσε τόσο το εμβαδό της διατομής όσο και την ροπή αδράνειας αυτής ως προς τον ασθενή και ισχυρό άξονα της. Ο υπολογισμός των μειωτικών συντελεστών παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχήμα 3.2: Πλήρης Διατομή



Σχήμα 3.3: Απομειωμένη Διατομή

Για την Πλήρης Διατομή ισχύουν τα κάτωθι:

$$A = 2 \cdot 4 \cdot 30,5 + 2,2 \cdot 54 = 362,8 \text{ cm}^2$$

$$I_y = I_{yw} + 2 \cdot I_{yf}$$

$$I_{yw} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{2,2 \cdot 54^3}{12} = 28868,4 \text{ cm}^4$$

Για τον υπολογισμό του I_{yf} θα κάνουμε χρήση του θεωρήματος Steiner:

$$I_{yf} = I_{yfl} + F \cdot d^2$$

$$I_{yf} = \frac{30,5 \cdot 4^3}{12} + 30,5 \cdot 4 \cdot 29^2 = 102764,67 \text{ cm}^4$$

$$\text{Άρα } I_y = 28868,4 + 2 \cdot 102764,67 = 234397,74 \text{ cm}^4$$

$$I_z = I_{zw} + 2 \cdot I_{zf}$$

$$I_{zw} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{54 \cdot 2,2^3}{12} = 47,916 \text{ cm}^4$$

$$I_{zf} = I_{zfl} + F \cdot d^2 = \frac{4 \cdot 30,5^3}{12} + 0 = 9457,54 \text{ cm}^4$$

$$\text{Άρα } I_z = 18963 \text{ cm}^4$$

Όμοια για την απομειωμένη Διατομή :

$$A = 2 \cdot 5,15 \cdot 4 + 2 \cdot 15,8 \cdot 4 + 2 \cdot 5,15 \cdot 4 + 54 \cdot 2,2 = 327,6 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 4 \cdot \frac{5,15 \cdot 4^3}{12} + 4 \cdot 5,15 \cdot 4 \cdot 29^2 + 2 \cdot \frac{15,8 \cdot 4^3}{12} + 2 \cdot 15,8 \cdot 4 \cdot 29^2 + \frac{2,2 \cdot 54^3}{12} = 204633,99 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 4 \cdot \frac{4 \cdot 5,15^3}{12} + 4 \cdot 5,15 \cdot 4 \cdot 12,675^2 + 2 \cdot \frac{4 \cdot 15,8^3}{12} + \frac{54 \cdot 2,2^3}{12} = 16097,596 \text{ cm}^4$$

Οι μειωτικοί συντελεστές που προκύπτουν είναι :

$$\frac{A}{A} = \frac{327,6}{362,8} = 0,903$$

$$\frac{I_y}{I_y} = \frac{204634}{234397,74} = 0,873$$

$$\frac{I_z}{I_z} = \frac{16097,6}{18963} = 0,849$$

3.2.2 Προσομοίωση διατομών Πειραματικής Διάταξης 1

Λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις αλλά και τους μειωτικούς συντελεστές ακολούθησε η εισαγωγή των διατομών των μελών της Πειραματικής Διάταξης 1 στο πρόγραμμα. Σε όλες τις διατομές η κατηγορία χάλυβα είναι S355. Εξαιρέση αποτελούν τα άκαμπτα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την πιο ακριβή προσομοίωση του μοντέλου στα οποία ορίστηκε ως υλικό χάλυβας με πολύ μεγάλο μέτρο ελαστικότητας. Στα σχήματα 3.4, 3.5 και 3.6 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τελικές διατομές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της διάταξης στο λογισμικό.

Όνομα	Υπωστούλωμα	
Τύπος	I gh	
Λεπτομερές	620; 305; 40; 22; 21; 21	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	συγκολλητό	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b
FEM επίλυση	x	

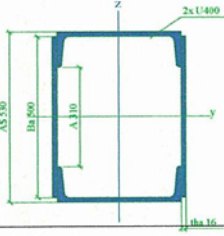
A [m ²]	3,3557e-02	
A y, z [m ²]	3,7162e-02	3,7162e-02
I y, z [m ⁴]	2,0996e-03	1,6126e-04
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁴]	0,0000e+00	1,9764e-05
Wel y, z [m ³]	6,7728e-03	1,0574e-03
Wpl y, z [m ³]	8,9118e-03	1,9417e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	153	310
α [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	2,3668e+00	

Όνομα	Δοκός	
Τύπος	I gh	
Λεπτομερές	620; 305; 40; 22; 21; 21	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	συγκολλητό	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b
FEM επίλυση	x	

A [m ²]	3,3557e-02	
A y, z [m ²]	3,7162e-02	3,7162e-02
I y, z [m ⁴]	2,1405e-03	1,6525e-04
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁴]	0,0000e+00	1,9764e-05
Wel y, z [m ³]	6,9047e-03	1,0836e-03
Wpl y, z [m ³]	8,9118e-03	1,9417e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	153	310
α [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	2,3668e+00	

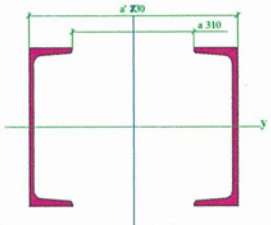
Σχήμα 3.4: Διατομές Προσομοίωσης Πειραματικής διάταξης 1

Όνομα	Κιβωτοειδής κλειστή	
Τύπος	2U+2PI κιβώπιο	
Λεπτομερές	U400; 500; 16; 310; 530	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	συγκολλητό	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b




A [m ²]	3,4299e-02	
A y, z [m ²]	1,0696e-02	2,3416e-02
I y, z [m ⁴]	1,3924e-03	1,0993e-03
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁴]	4,4864e-05	1,6708e-03
Wel y, z [m ³]	5,2544e-03	5,0893e-03
Wpl y, z [m ³]	6,3680e-03	5,7990e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	200	250
α [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	4,4194e+00	

Όνομα	Κιβωτοειδής ανοιχτή	
Τύπος	2Uc	
Λεπτομερές	U400; 310; 530	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	συγκολλητό	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b



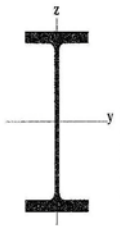
A [m ²]	1,8299e-02	
A y, z [m ²]	3,2234e-03	9,9963e-03
I y, z [m ⁴]	4,0673e-04	1,0591e-03
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁴]	4,9216e-07	1,6089e-06
Wel y, z [m ³]	2,0337e-03	3,9966e-03
Wpl y, z [m ³]	2,4710e-03	4,3680e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	265	200
α [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	2,3554e+00	

Όνομα	Κάτω εσωτερική δόκος	
Τύπος	I gh	
Λεπτομερές	500; 300; 29; 15; 12; 12	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	συγκολλητό	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b
FEM επίλυση	*	



A [m ²]	2,4318e-02	
A y, z [m ²]	2,4318e-02	2,4318e-02
I y, z [m ⁴]	1,0877e-03	1,3066e-04
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁴]	0,0000e+00	7,9803e-06
Wel y, z [m ³]	4,3509e-03	8,7110e-04
Wpl y, z [m ³]	4,8928e-03	1,3332e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	150	250
α [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	2,1419e+00	

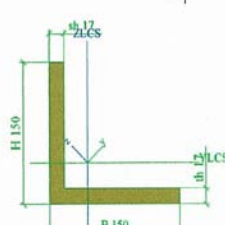
Όνομα	Άνω εσωτερική δόκος	
Τύπος	HEM600	
Περιγραφή πηγής	Profil Arbed / Structural shapes / Edition October 1995	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	ψυχρής έλασης	
Λυγισμός y-y, z-z	a	b



A [m ²]	3,6370e-02	
A y, z [m ²]	2,0632e-02	1,1678e-02
I y, z [m ⁴]	2,3800e-03	1,9000e-04
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁴]	1,6070e-05	1,5640e-05
Wel y, z [m ³]	7,6600e-03	1,2440e-03
Wpl y, z [m ³]	8,7800e-03	1,9320e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	153	310
α [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	2,3709e+00	

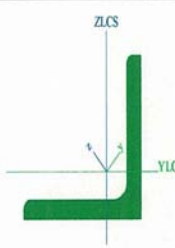
Σχήμα 3.5: Διατομές Προσομοίωσης Πειραματικής διάταξης 1

Όνομα	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας	
Τύπος	L g	
Λεπτομερές	150; 150; 17; 17	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	συγκολλητό	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b
FEM επίλυση	x	



A [m ²]	4,8110e-03	
A y, z [m ²]	4,8110e-03	4,8110e-03
I y, z [m ⁴]	1,6112e-05	4,1583e-06
I YLCS, ZLCS [m ⁴]	1,0135e-05	1,0135e-05
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁶]	0,0000e+00	8,0486e-07
Wei y, z [m ³]	1,5191e-04	6,7212e-05
Wpl y, z [m ³]	2,4097e-04	1,2179e-04
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	44	44
α [deg]	45,00	
IYZLCS [m ⁴]	-5,9771e-06	
AL [m ² /m]	6,0000e-01	

Όνομα	Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας	
Τύπος	L150x150x18	
Περιγραφή πηγής	Arcelor / Structural shapes / CD Edition 01-2004	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	εξηλασμένη εν θερμώ	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b



A [m ²]	5,1000e-03	
A y, z [m ²]	2,1284e-03	2,1386e-03
I y, z [m ⁴]	4,3495e-06	1,6645e-05
I YLCS, ZLCS [m ⁴]	1,0500e-05	1,0500e-05
Iw [m ⁶], Αυτό [m ⁶]	0,0000e+00	5,4821e-07
Wei y, z [m ³]	7,0457e-05	1,5693e-04
Wpl y, z [m ³]	1,2840e-04	2,5075e-04
d y, z [mm]	0	-50
c YLCS, ZLCS [mm]	106	44
α [deg]	45,00	
IYZLCS [m ⁴]	6,1477e-06	
AL [m ² /m]	5,8620e-01	

Σχήμα 3.6: Διατομές Προσομοίωσης Πειραματικής διάταξης 1

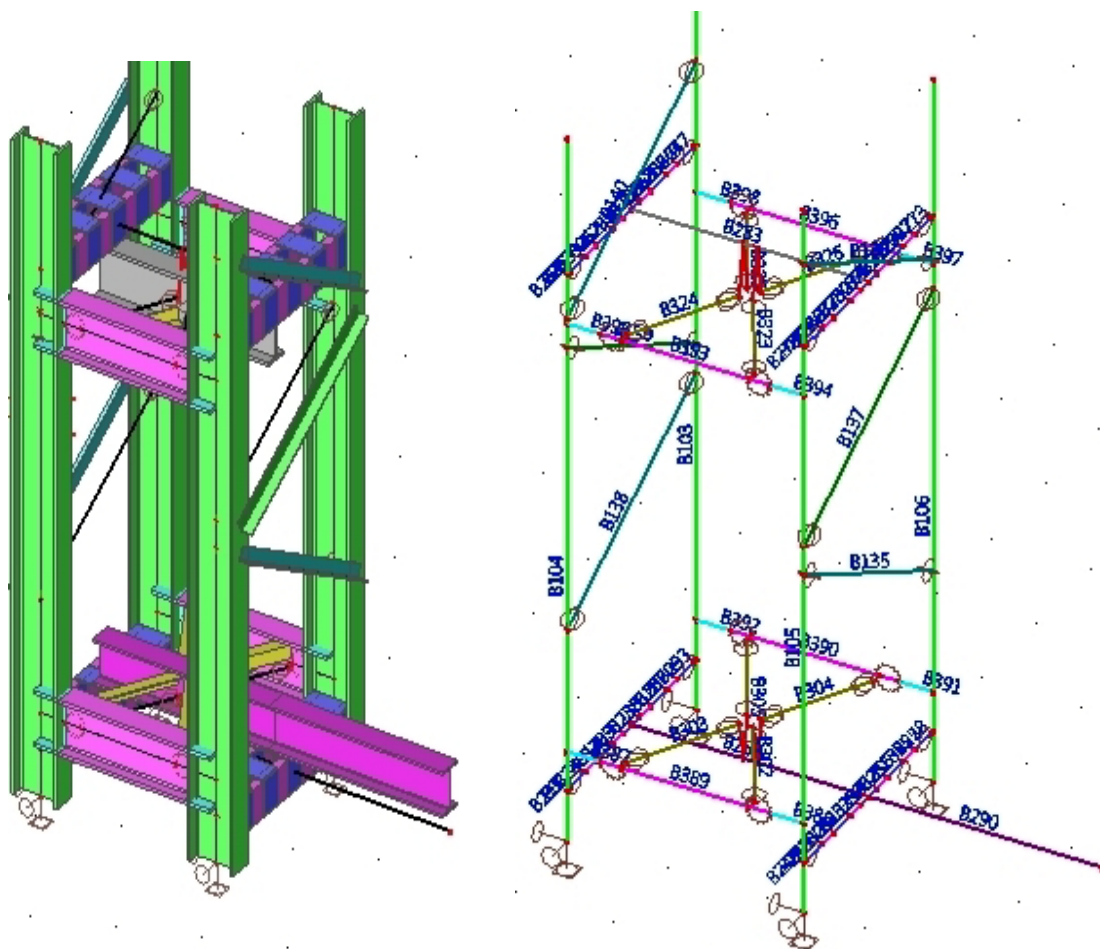
3.2.3 Στήσιμο Μοντέλου προσομοίωσης Πειραματικής Διάταξης 1

Η Πειραματική Διάταξη 1 προσομοιώθηκε στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος σε *3d modeling* με χρήση γραμμικών στοιχείων Σχήμα 3.6.

Τα υποστυλώματα όπως και η άνω εσωτερική δοκός προσομοιώθηκαν με στοιχεία μήκους ίσου με το πραγματικό τους μήκος. Στους κατακόρυφους και τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας τα στοιχεία προσομοιώθηκαν με το μήκος που αναφέρεται στην παράγραφο 2.2.1. Η κάτω εσωτερική δοκός προσομοιώθηκε με δύο τμήματα διαφορετικού μήκους προκειμένου να εξασφαλιστεί ο σωστός τρόπος έδρασης της επί της διάταξης. Επίσης οι δοκοί σύζευξης προσομοιώθηκαν στο πραγματικό τους μήκος και η σύνδεση τους με το υποστυλώμα έγινε με την χρήση άκαμπτων στοιχείων μηδενικού βάρους. Τέλος οι δοκοί κιβωτοειδούς διατομής

δεδομένου ότι δεν μπορούσαν να απεικονιστούν ως μια διατομή (τμηματικά ανοιχτή και κλειστή διατομή) προσομοιώθηκαν με εναλλαγή κλειστής και ανοιχτής διατομής 2U όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.

Για την όσο το δυνατόν πιο πιστή απεικόνιση του μοντέλου εισήχθησαν εκκεντρότητες στα στοιχεία που κρίθηκε αναγκαίο πχ. Σύνδεση κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας στα υποστυλώματα. Τα παραπάνω συνοψίζονται στο Σχήμα 3.6 καθώς και στους Πίνακες 3.1 και 3.2.



Σχήμα 3.6: Μοντέλο ανάλυσης Πειραματικής Διάταξης 1

Πίνακας 3.1: Στοιχεία μοντέλου προσομοίωσης Πειραματικής Διάταξης 1



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 1
-ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
-ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
-01107099 - 01107105

9. Μέλος 1D

Όνομα	Διατομή	Μήκος [m]	Σχήμα	Αρχ. κόμβος	Κόμβος τέλους	Τύπος	FEM τύπος	Στρώση
B103	Υψωστόλωμα - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	7,220	Γραμμή	N167	N168	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B104	Υψωστόλωμα - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	7,220	Γραμμή	N169	N170	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B105	Υψωστόλωμα - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	7,220	Γραμμή	N171	N172	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B106	Υψωστόλωμα - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	7,220	Γραμμή	N173	N174	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B135	Κατακορυφοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας - L150x150x18	2,729	Γραμμή	N210	N211	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B136	Κατακορυφοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας - L150x150x18	2,729	Γραμμή	N212	N213	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B137	Κατακορυφοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας - L150x150x18	2,729	Γραμμή	N214	N215	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B138	Κατακορυφοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας - L150x150x18	2,729	Γραμμή	N216	N217	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B139	Κατακορυφοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας - L150x150x18	2,729	Γραμμή	N218	N219	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B140	Κατακορυφοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας - L150x150x18	2,729	Γραμμή	N220	N221	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B233	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N345	N346	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B237	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N349	N350	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B238	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N351	N352	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B239	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N353	N354	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B240	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N355	N356	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B235	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N348	N359	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B248	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N369	N361	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B249	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N361	N360	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B250	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N362	N369	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B251	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N370	N362	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B252	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N371	N363	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B253	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N364	N370	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B254	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N363	N364	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B255	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N372	N365	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B256	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N365	N371	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B257	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N366	N372	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B258	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N373	N366	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B247	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N374	N375	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B259	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N377	N378	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B260	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N379	N380	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B261	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N384	N377	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B262	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N378	N379	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B263	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N380	N376	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B264	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N376	N385	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B265	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N381	N382	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B266	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N383	N384	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B267	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N375	N381	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B268	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N382	N383	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B270	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N387	N388	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B271	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N389	N387	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B272	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N388	N390	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B273	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N386	N389	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B274	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N391	N395	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B275	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N390	N391	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B276	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N392	N394	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B277	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N398	N392	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B278	Κιβωτοειδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτιο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N394	N393	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B279	βοηθητικό - Κύκλος (1)	0,050	Γραμμή	N393	N399	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B280	Κιβωτοειδής ανοιχτή - 2Uc (U400; 310; 530)	0,200	Γραμμή	N395	N398	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1

Φοιτητική έκδοση *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*

Πίνακας 3.2: Στοιχεία μοντέλου προσομοίωσης Πειραματικής Διάταξης 1

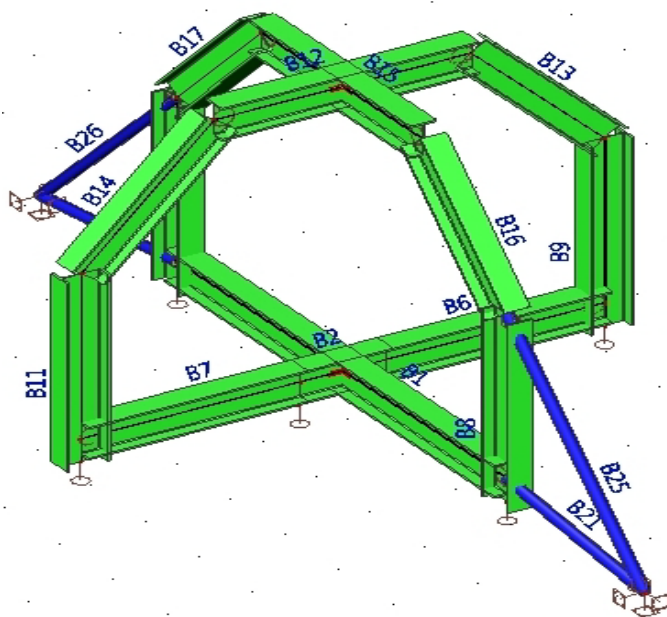


Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 1
-ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
-ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
-01107099 - 01107105

Όνομα	Διατομή	Μήκος [m]	Σχήμα	Αρχ. κόμβος	Κόμβος τέλους	Τύπος	FEM τύπος	Στρώση
B283	Άνω εσωτερική δοκός - HEM600	2,400	Γραμμή	N405	N406	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B289	Κάτω εσωτερική δοκός - I gh (500; 300; 29; 15; 12; 12)	2,400	Γραμμή	N432	N414	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B290	Κάτω εσωτερική δοκός - I gh (500; 300; 29; 15; 12; 12)	2,375	Γραμμή	N414	N415	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B302	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N442	N443	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B303	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N444	N445	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B304	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N446	N447	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B305	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N448	N449	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B309	Κρίβλωσιδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N346	N349	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B310	Κρίβλωσιδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N350	N351	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B311	Κρίβλωσιδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N352	N353	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B312	Κρίβλωσιδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N354	N355	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B313	Κρίβλωσιδής κλειστή - 2U+2PI κιβώτο (U400; 500; 16; 310; 530)	0,300	Γραμμή	N356	N348	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B323	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N494	N495	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B324	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N496	N497	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B325	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N498	N499	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B326	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δισκαμμίας - L g (150; 150; 17; 17)	1,186	Γραμμή	N500	N501	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B387	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N185	N540	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B388	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N541	N186	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B389	Δοκός - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	1,700	Γραμμή	N540	N541	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B390	Δοκός - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	1,700	Γραμμή	N1	N542	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B391	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N542	N183	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B392	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N327	N1	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B393	Δοκός - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	1,700	Γραμμή	N543	N544	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B394	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N544	N195	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B395	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N192	N543	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B396	Δοκός - I gh (620; 305; 40; 22; 21; 21)	1,700	Γραμμή	N545	N546	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B397	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N546	N194	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B398	Ακαμπτο στοιχείο - HEM600	0,350	Γραμμή	N193	N545	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1

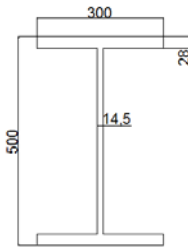
3.3 Προσομοίωση Πειραματικής Διάταξης 2



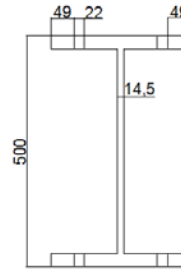
Σχήμα 3.7: Προσομοίωση Πειραματικής Διάταξης 2

3.3.1 Υπολογισμός μειωτικών συντελεστών

Όμοια με την Πειραματική Διάταξη 1 έτσι και εδώ η αδυναμία ακριβούς προσομοίωσης των οπών της κύριας διατομής στο πρόγραμμα, μας οδήγησε στην χρήση μειωτικών συντελεστών. Ο υπολογισμός τους φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 3.8: Πλήρης Διατομή



Σχήμα 3.9: Απομειωμένη Διατομή

Για την Πλήρη Διατομή ισχύουν τα κάτωθι:

$$A = 2 \cdot 30 \cdot 2,8 + 44,4 \cdot 1,45 = 232,38 \text{ cm}^2$$

Ισχύει ότι $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ επομένως :

$$I_y = 2 \cdot I_{yf} + I_{yw}$$

$$I_{yf} = \frac{30 \cdot 2,8^3}{12} + 30 \cdot 2,8 \cdot 23,6^2 = 46839,52 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{1,45 \cdot 44,4^3}{12} = 10576,346 \text{ cm}^4$$

$$\text{Άρα } I_y = 104255,39 \text{ cm}^4$$

$$\text{Όμοια } I_z = 2 \cdot I_{zf} + I_{zw}$$

$$I_{zf} = \frac{2,8 \cdot 30^3}{12} = 6300 \text{ cm}^4$$

$$I_{zw} = \frac{44,4 \cdot 1,45^3}{12} = 11,28 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 12611,28 \text{ cm}^4$$

Όμοια για την απομειωμένη Διατομή :

$$\bar{A} = A - 4 \cdot 2,2 \cdot 2,8 = 207,74 \text{ cm}^2$$

Ισχύει ότι $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ επομένως :

$$I_y = I_y - 4 \cdot I_{yk}$$

$$I_{yk} = \frac{2,2 \cdot 2,2^3}{12} + 2,2 \cdot 2,8 \cdot 23,6^2 = 3434,89 \text{ cm}^4$$

$$\text{Άρα } I_y = 104255,39 - 4 \cdot 3434,89 = 90515,83 \text{ cm}^4$$

$$\text{Όμοια } I_z = I_z - 4 \cdot I_{zk}$$

$$I_{zk} = \frac{2,8 \cdot 2,2^3}{12} + 2,2 \cdot 2,8 \cdot 9^2 = 501,44 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 12611,28 - 4 \cdot 501,44 = 10605,5 \text{ cm}^4$$

Οι μειωτικοί συντελεστές που προκύπτουν είναι :

$$\frac{A}{A} = \frac{207,74}{232,38} = 0,89$$

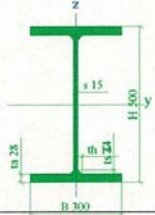
$$\frac{I_y}{I_y} = \frac{90515,83}{104255,39} = 0,87$$

$$\frac{I_z}{I_z} = \frac{10605,5}{12611,28} = 0,84$$

3.3.2 Προσομοίωση διατομών Πειραματικής Διάταξης 2

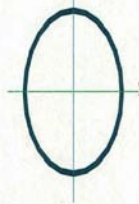
Λαμβάνοντας υπόψιν τις μετρήσεις αλλά και τους μειωτικούς συντελεστές ακολούθησε η εισαγωγή των διατομών των μελών της Πειραματικής Διάταξης 2 στο πρόγραμμα, όμοια με την Πειραματική Διάταξη 1. Σε όλες τις διατομές η κατηγορία χάλυβα είναι S355. Στο Σχήμα 3.10 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τελικές διατομές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της διάταξης στο λογισμικό.

Όνομα	Κύρια διατομή	
Τύπος	I gh	
Λεπτομερές	500; 300; 28; 15; 14; 14	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	συγκολλητό	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b
FEM επίλυση	x	



A [m²]	2,1031e-02	
A y, z [m²]	2,3630e-02	2,3630e-02
I y, z [m⁴]	9,2313e-04	1,0599e-04
Iw [m⁶], Αυτό [m⁴]	0,0000e+00	7,2946e-06
Wei y, z [m³]	3,6925e-03	7,0657e-04
Wpl y, z [m³]	4,7646e-03	1,2880e-03
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	150	250
α [deg]	0,00	
AL [m²/m]	2,1382e+00	

Όνομα	Αξονικά καταπονούμενα μέλη	
Τύπος	CHS139.7/5.0	
Περιγραφή πηγής	British Standard / BS 5950 part 1 : 1990 & EN 10210-2	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	εξηλασμένη εν θερμώ	
Λυγισμός y-y, z-z	a	a



A [m²]	2,1200e-03	
A y, z [m²]	1,3496e-03	1,3496e-03
I y, z [m⁴]	4,8100e-06	4,8100e-06
Iw [m⁶], Αυτό [m⁴]	0,0000e+00	9,5976e-06
Wei y, z [m³]	6,8800e-05	6,8800e-05
Wpl y, z [m³]	8,9331e-05	8,9331e-05
d y, z [mm]	0	0
c YLCS, ZLCS [mm]	0	0
α [deg]	0,00	
AL [m²/m]	4,3886e-01	

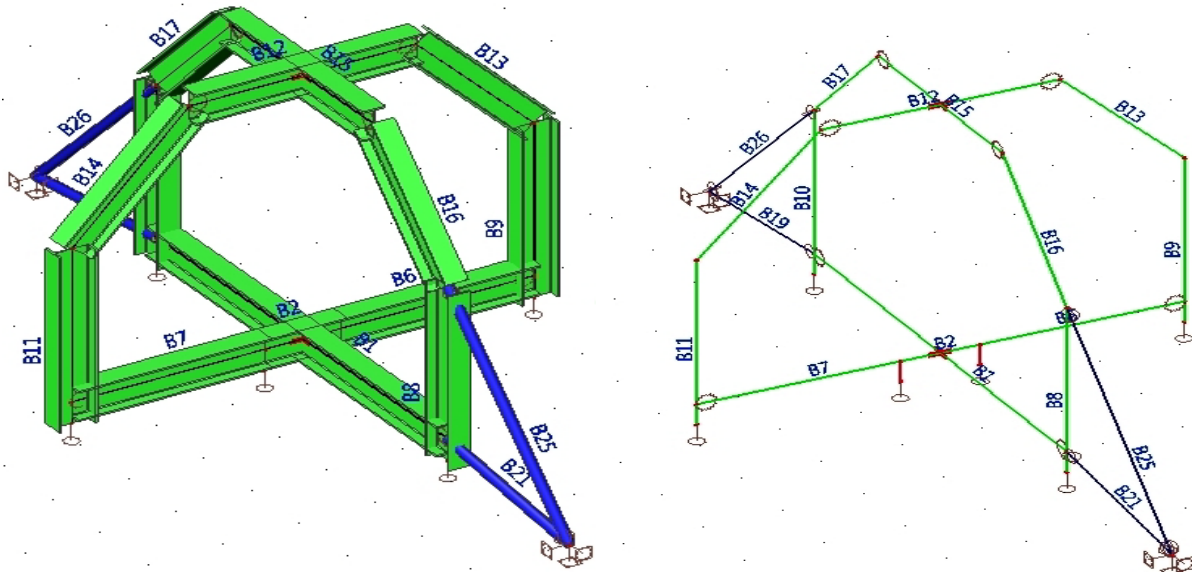
Σχήμα 3.10: Διατομές μοντελοποίησης Πειραματικής διάταξης 2

3.3.3 Στήσιμο μοντέλου προσομοίωσης Πειραματικής Διάταξης 2

Η Πειραματική Διάταξη 2 προσομοιώθηκε στο γραφικό περιβάλλον του προγράμματος *scia* σε *3d modeling* με γραμμικά στοιχεία ομοίως με την Πειραματική Διάταξη 1 Σχήμα 3.11.

Οι δοκοί και τα υποστυλώματα του πλαισίου προσομοιώθηκαν με στοιχεία μήκους όπως ορίζονται από το Σχήμα 2.4 και διατομή την κύρια διατομή που φαίνεται στο σχήμα 3.10. Ίδια λογική ακολούθηθηκε στα αξονικά καταπονούμενα μέλη.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στο Σχήμα 3.11 καθώς και στον Πίνακα 3.3.



Σχήμα 3.11: Μοντέλο ανάλυσης Πειραματικής Διάταξης 2

Πίνακας 3.3: Στοιχεία μοντέλου προσομοίωσης Πειραματικής Διάταξης 2



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 2
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
- 01107099 - 01107105

3. Μέλος 1D

Όνομα	Διατομή	Μήκος [m]	Σχήμα	Αρχ. κόμβος	Κόμβος τέλους	Τύπος	FEM τύπος	Στρώση
B1	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	6,110	Γραμμή	N1	N2	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B2	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	1,000	Γραμμή	N3	N4	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B6	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,555	Γραμμή	N4	N9	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B7	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,555	Γραμμή	N3	N10	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B8	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,880	Γραμμή	N11	N12	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B9	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,880	Γραμμή	N7	N13	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B10	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,880	Γραμμή	N14	N15	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B11	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,880	Γραμμή	N16	N17	στήλος (100)	τυπικό	Στρώση1
B12	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	3,000	Γραμμή	N18	N19	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B13	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,403	Γραμμή	N19	N13	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1
B14	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,403	Γραμμή	N17	N18	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1
B15	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	3,000	Γραμμή	N20	N21	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B16	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,403	Γραμμή	N12	N20	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1
B17	Κύρια διατομή - I gh (500; 300; 28; 15; 14; 14)	2,403	Γραμμή	N21	N15	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1
B19	Αξονικά καταπονούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	2,560	Γραμμή	N2	N24	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1
B21	Αξονικά καταπονούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	2,577	Γραμμή	N1	N26	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1
B25	Αξονικά καταπονούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	3,849	Γραμμή	N26	N12	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1
B26	Αξονικά καταπονούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	3,837	Γραμμή	N24	N15	γενικά (0)	τυπικό	Στρώση1

4. Στήριξεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Σύστημα	Τύπος	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
Στήριξη 2	N24	GCS	Τυπικό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό
Στήριξη 8	N14	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 3	N11	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 6	N16	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 4	N23	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 5	N22	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο

3.4 Συμπεράσματα

Άξια αναφοράς παρατήρηση που προκύπτει από την προσομοίωση των δύο Πειραματικών Διατάξεων είναι η μη απεικόνιση των συστατικών μελών (μετωπική πλάκα, κοχλίες, ενίσχυση 2^{ης} πειραματικής διάταξης κτλ) των συνδέσεων. Αυτό έγκειται σε αδυναμία του χρησιμοποιηθέντος προγράμματος ανάλυσης και για τον λόγο αυτό τα παραπάνω ελήφθησαν υπόψιν κατά την χρήση λογισμικού προσομοίωση συνδέσεων.

4 Μελέτη κόμβων των Πειραματικών Διατάξεων και προσομοίωση αυτών

4.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το στήσιμο των μοντέλων στο στατικό πρόγραμμα ολοκληρώνεται με την προσομοίωση των συνδέσεων των κόμβων των δύο Πειραματικών Διατάξεων. Η προσομοίωση αυτή έγκειται τόσο στην έδραση των δύο Πειραματικών Διατάξεων στο χώρο πειραματικών δοκιμών του εργαστηρίου όσο και στην σύνδεση των μελών μεταξύ τους. Δεδομένου ότι οι αναλύσεις στα μοντέλα που πρόκειται να γίνουν θα είναι γραμμικές ελαστικές, στην προσομοίωση των κόμβων μας ενδιέφερε η δυσκαμψία αυτών. Από τις εν λόγω συνδέσεις, οι συνδέσεις ροπής προσομοιώθηκαν με στροφικά ελατήρια τα οποία υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις αντίστοιχες διατάξεις του EC-3 ενώ οι υπόλοιπες ορίστηκαν στα μοντέλα ως απλές συνδέσεις (άρθρωση, κύλιση).

Ο υπολογισμός των στροφικών ελατηρίων, όπου ήταν αναγκαίο, καθώς και της αντοχής M_{jrd} των κόμβων πραγματοποιήθηκε τόσο με αναλυτικούς υπολογισμούς στο χέρι όσο και με χρήση του προγράμματος αναλυτικού υπολογισμού μεταλλικών συνδέσεων Robot Structural Analysis Professional 2011 της εταιρείας Autodesk.

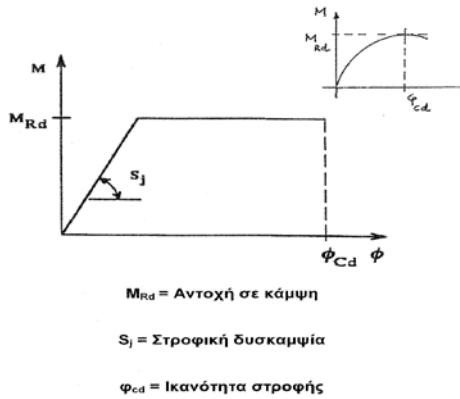
Στις επόμενες σελίδες του κεφαλαίου γίνεται αρχικώς αναφορά στις διατάξεις του EC-3 σχετικά με τους κόμβους μεταλλικών κατασκευών (κατάταξη - προσομοίωση αυτών για ελαστική ανάλυση). Εν συνεχεία για τις Πειραματικές Διατάξεις, γίνεται εκτενής παρουσίαση της διαδικασίας Προσομοίωσης των συνδέσεων των μελών τους καθώς και κάποιων προτάσεων βελτιστοποίησης από άποψη δυσκαμψίας συγκεκριμένου κόμβου.

4.2 Διατάξεις EC-3/1.8

4.2.1 Γενικά

Χαρακτηριστικά μεγέθη ενός κόμβου είναι η αντοχή και η δυσκαμψία του. Η μεν πρώτη οριοθετεί το μέγεθος των δρώντων εντατικών μεγεθών που μπορεί να αναλάβει ο εκάστοτε κόμβος, η δε δεύτερη αφορά στον τρόπο κατανομής των εντατικών μεγεθών.

Για παράδειγμα σε έναν κόμβο Δοκού – Υποστυλώματος, η ενδοτικότητα επηρεάζει την κατανομή των εντατικών μεγεθών και τα ισοδύναμα μήκη λυγισμού των υποστυλωμάτων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στην ανάλυση προσομοιώνοντας τους κόμβους με στροφικά ελατήρια, των οποίων οι σταθερές αποδίδουν την καμπύλη ροπής - στροφής κάθε συγκεκριμένου κόμβου.

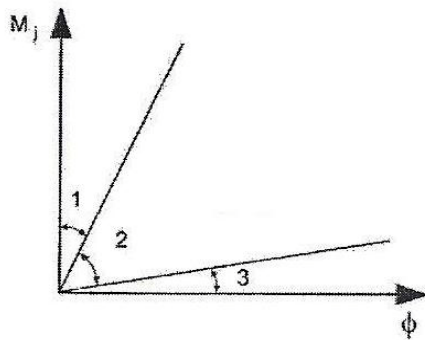


Σχήμα 4.1: Χαρακτηριστικές ιδιότητες καμπύλης ροπής - στροφής.

4.2.2 Ταξινόμηση κόμβων με βάση την δυσκαμψία τους

Ένας κόμβος μπορεί να ταξινομηθεί ως άκαμπτος, ονομαστικά αρθρωτός ή ημιάκαμπος σύμφωνα με την στροφική του δυσκαμψία $S_{j,ini}$ με τα όρια που δίνονται στο Σχήμα 4.2

Οι κόμβοι που ταξινομούνται ως άκαμπτοι, μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν επαρκή στροφική δυσκαμψία ώστε να δικαιολογούν ανάλυση με παραδοχή πλήρους συνέχειας. Αντίστοιχα ένας ονομαστικά αρθρωτός κόμβος πρέπει να είναι σε θέση να μεταφέρει τα εντατικά μεγέθη χωρίς να αναπτύσσει σημαντικές ροπές καθώς και να μπορεί να εκδηλώσει τις στροφές που προκύπτουν από τα φορτία σχεδιασμού. Τέλος οι ημιάκαμπτοι κόμβοι πρέπει να είναι σε θέση να μεταφέρουν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού.



Περιοχή 1: άκαμπτοι, αν $S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b$
όπου

$k_b = 8$ σε πλαίσια στα οποία το σύστημα δυσκαμψίας μειώνει τις οριζόντιες μετακινήσεις τουλάχιστον κατά 80 %

$k_b = 25$ σε όλα τα άλλα πλαίσια, με την προϋπόθεση ότι σε κάθε όροφο ισχύει $K_b/K_c \geq 0,1$

Περιοχή 2: ημι-άκαμπτοι

Όλοι οι κόμβοι της περιοχής 2 πρέπει να ταξινομούνται ως ημι-άκαμπτοι. Οι κόμβοι της περιοχής 1 ή 3 μπορούν και αυτοί προαιρετικά να θεωρηθούν ημι-άκαμπτοι.

Περιοχή 3: ονομαστικά αρθρωτοί, αν $S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b / L_b$

Σε πλαίσια όπου $K_b/K_c < 0,1$ οι κόμβοι πρέπει να ταξινομούνται ως ημι-άκαμπτοι.

Υπόμνημα:

K_b είναι η μέση τιμή του I_b/L_b για όλες τις δοκούς στην άνω στάθμη ενός ορόφου

K_c είναι η μέση τιμή του I_c/L_c για όλα τα υποστυλώματα του ορόφου

I_b είναι η ροπή αδράνειας δοκού

I_c είναι η ροπή αδράνειας υποστυλώματος

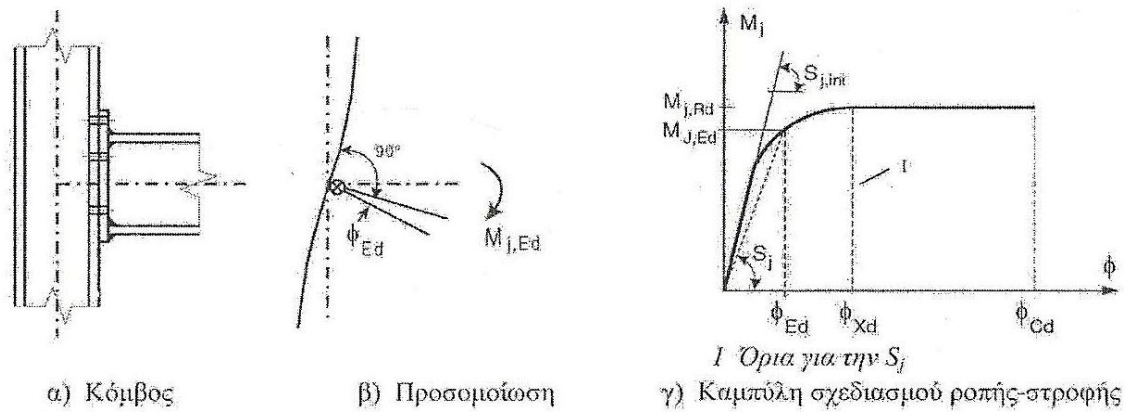
L_b είναι το άνοιγμα δοκού (μεταξύ των αξόνων των υποστυλωμάτων)

L_c είναι το ύψος ορόφου ενός υποστυλώματος

Σχήμα 4.2: Ταξινόμηση κόμβων με βάση την Δυσκαμψία

4.2.3 Ελαστική ανάλυση φορέα

Για τον προσδιορισμό της στρωφικής δυσκαμψίας κόμβου δοκού - υποστύλωματος χρησιμοποιείται το πρότυπο που φαίνεται στο Σχήμα 4.3



Σχήμα 4.3: Στρωφική δυσκαμψία που πρέπει να χρησιμοποιείται στην ελαστική ανάλυση φορέα σε κόμβο δοκού - υποστύλωματος.

Αν η $M_{j,Ed}$ δεν ξεπερνά τα $2/3M_{j,Rd}$ τότε στην ανάλυση λαμβάνεται η αρχική στρωφική δυσκαμψία $S_{j,ini}$. Αν την ξεπερνά τότε η στρωφική δυσκαμψία λαμβάνεται ως $S_{j,ini} / \mu$ όπου $\mu = (1,5M_{j,Ed} \div M_{j,Rd})^\psi$ (4.1) μειωτικός συντελεστής. Το ψ είναι συντελεστής οι τιμές του οποίου προκύπτουν από τον Πίνακα 4.1. ανάλογα με τον τύπο της σύνδεσης.

Πίνακας 4.1: Τιμές του συντελεστή ψ .

Τύπος σύνδεσης	ψ
Συγκολλητή	2,7
Κοχλιωτή με μετωπική πλάκα	2,7
Κοχλιωτή με γωνιακά πέλματος	3,1
Πλάκα έδρασης	2,7

4.2.4 Μέθοδος συστατικών μερών

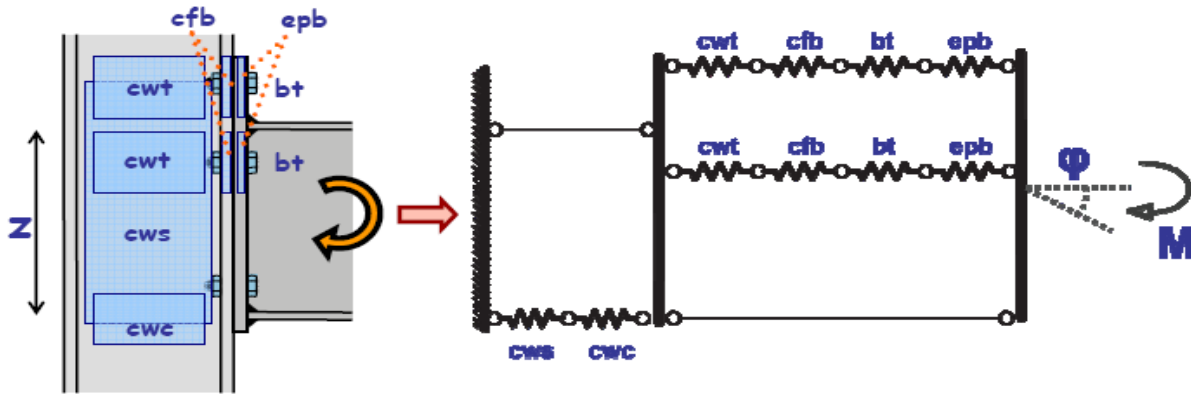
Στις δύο Πειραματικές Διατάξεις, οι συνδέσεις ροπής, πραγματοποιούνται μέσω κοχλιών και μετωπικής πλάκας. Όλες οι συνδέσεις υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις διατάξεις του EC-3 (μηχανικά προσομοιώματα, μέθοδος συστατικών μερών) με βάση τις οποίες είναι προγραμματισμένο το χρησιμοποιηθέν πρόγραμμα Robot Structural Analysis.

Στην συνέχεια της υποενότητας, από τις εν λόγω διατάξεις, παρουσιάζονται μόνο εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν στον αναλυτικό υπολογισμό της $S_{j,ini}$ (στο χέρι) της σύνδεσης δοκού σύζευξης - υποστύλωματος της Πειραματικής Διάταξης 1.

Στην μέθοδο των συστατικών μερών, η συνολική συμπεριφορά του κόμβου προκύπτει από την συνδυασμένη συνεισφορά των επιμέρους τμημάτων και την μεταξύ τους αλληλεπίδραση, η

οποία αναπαράγεται με ένα μηχανικό προσομοίωμα. Τα επιμέρους αυτά τμήματα έχει καθιερωθεί να ονομάζονται συστατικά μέρη το κόμβου (components). Κάθε ένα από τα συστατικά μέρη χαρακτηρίζεται από έναν ελαστικό συντελεστή δυσκαμψίας k_i .

Σε περίπτωση κόμβου με μετωπική πλάκα και μια σειρά εφελκυσμένων κοχλιών στο προεξέχον τμήμα αυτής το μηχανικό προσομοίωμα φαίνεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Προσομοίωμα Ευρωκώδικα 3 για υπολογισμό Δυσκαμψίας κόμβου δοκού - υποστυλώματος

Στην σύνδεση του σχήματος 4.4 (μη ενισχυμένος κορμός υποστυλώματος) συμμετέχουν τα ακόλουθα συστατικά μέρη με τους αντίστοιχους συντελεστές δυσκαμψίας K_i :

Κορμός υποστυλώματος σε διάτμηση (cws)

$$k_{cws} = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z}, \quad (4.2)$$

Όπου z : είναι ο μοχλοβραχίονας

β : είναι η παράμετρος μετασχηματισμού

Κορμός υποστυλώματος σε θλίψη (cwc)

$$k_{cwc} = \frac{0,7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}, \quad (4.3)$$

$b_{eff,c,wc}$ είναι το ενεργό πλάτος

Κορμός υποστυλώματος σε εφελκυσμό (cwt)

$$k_{cwt,i} = \frac{0,7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c}, \quad (4.4)$$

$b_{eff,t,wc}$: είναι το ενεργό πλάτος του κορμού του υποστυλώματος σε εφελκυσμό. Για έναν κόμβο με μία σειρά κοχλιών σε εφελκυσμό πρέπει να λαμβάνεται ίσο με το μικρότερο από τα ενεργά μήκη l_{eff} (μεμονομένη ή ως μέλος ομάδας σειρών κοχλιών).

Πέλμα υποστυλώματος σε κάμψη (*cfb*)

$$k_{cfb,i} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_{fc}^3}{m^3}, \quad (4.5)$$

l_{eff} : το μικρότερο από τα ενεργά μήκη (μεμονωμένη ή ως μέλος ομάδας σειρών κοχλιών)

Μετωπική πλάκα σε κάμψη (*epb*)

$$k_{epb} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_p^3}{m^3}, \quad (4.6)$$

l_{eff} : το μικρότερο από τα ενεργά μήκη (μεμονωμένη ή ως μέλος ομάδας σειρών κοχλιών)

Κοχλίες σε εφελκυσμό (*bt*)

$$k_{bt,i} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b}, \quad (4.7)$$

L_b : το παραμορφώσιμο μήκος του κοχλία το οποίο λαμβάνεται ίσο με το μήκος συγκράτησης (συνολικό πάχος μετάλλου και δακτυλίων), συν το μισό του αθροίσματος του πάχους της κεφαλής κοχλία και του πάχους του περικοχλίου.

Τα δύο πρώτα συστατικά μέρη αντιστοιχούν στα θλιβόμενα μετακινησιακά ελατήρια του μηχανικού προσομοιώματος ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα εμφανίζονται σε κάθε εφελκυσμένη σειρά κοχλιών. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4 το κέντρο θλίψης ορίζεται στο μέσο του θλιβόμενου πέλματος της δοκού.

Αν και θα ήταν θεμιτό στην περίπτωση συνδέσεων με περισσότερες σειρές κοχλιών στο προεξέχον τμήμα της μετωπικής πλάκας το προσομοίωμα να μπορούσε να επεκταθεί με την προσθήκη αντίστοιχων σειρών ελατηρίων περίπτωση αυτή δεν αντιμετωπίζεται στον EC-3. Αντίθετα μεταξύ των πελμάτων της δοκού μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μια σειρές κοχλιών.

Στα ανώτερα συστατικά μέρη δεν περιλαμβάνονται τμήματα της δοκού διότι στην περιοχή του κόμβου η παραμορφωσιμότητα της περιοχής της δοκού μπορεί να προσομοιωθεί με την καμπτική συμπεριφορά του μέλους της στην καθολική ανάλυση της κατασκευής. Ως αποτέλεσμα θεωρείται ότι δεν αποτελεί μέλος της παραμορφωσιμότητας του κόμβου.

Στο σχήμα 4.5 φαίνεται η διαδικασία με την οποία γίνεται ο υπολογισμός της δυσκαμψίας σύμφωνα με το συγκεκριμένο προσομοίωμα.

Στο πρώτο βήμα της διαδικασίας οι δύο εφελκυσμένες σειρές ελατηρίων και η θλιβόμενη σειρά αντικαθίστανται με ένα ελατήριο η κάθε μια ισοδύναμης δυσκαμψίας k_{eq} :

$$k_{eq} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_i}}, \quad (4.8)$$

Όπου k_i είναι η δυσκαμψία του μεμονωμένου ελατηρίου i στην σειρά των ελατηρίων.

Στην συνέχεια τα ελατήρια των εφελκόμενων σειρών κοχλιών αντικαθίστανται από ένα ισοδύναμο ελατήριο δυσκαμψίας $k_{eq,t}$

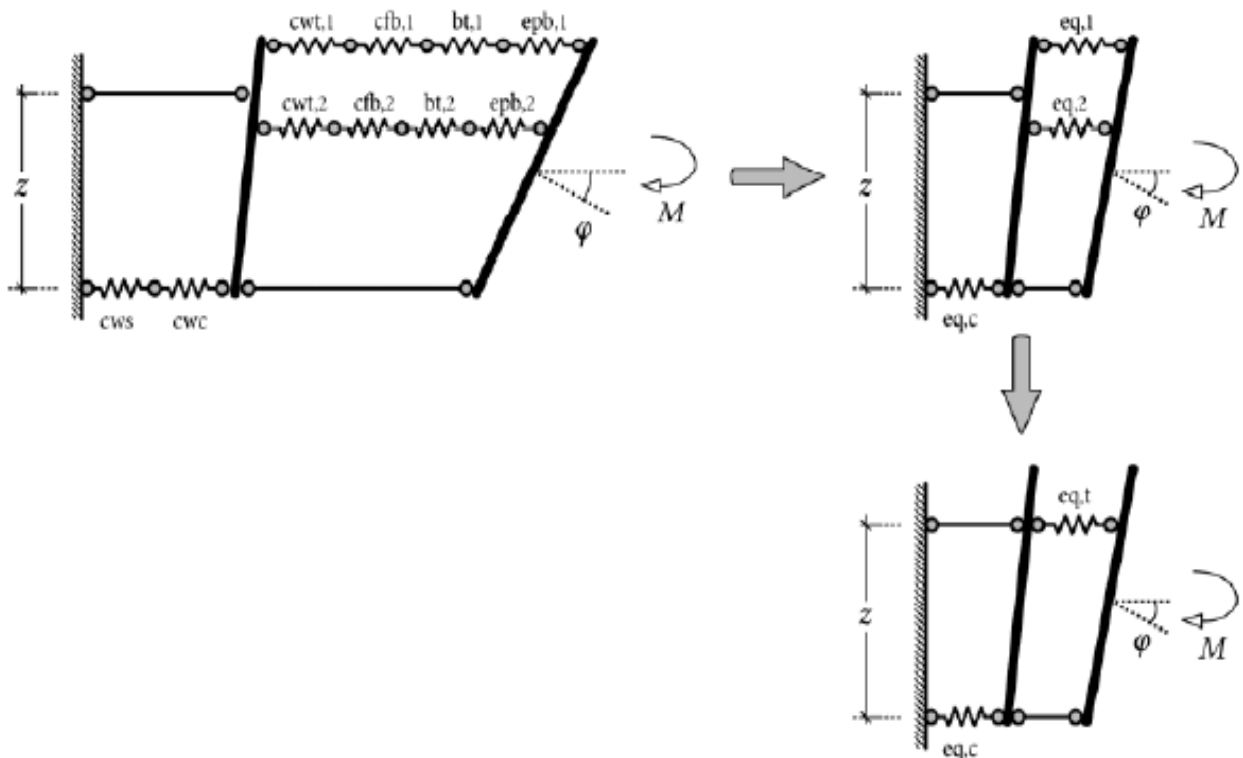
$$k_{eq,t} = \frac{\sum_i k_{eq,i} \cdot z_i}{z}, \tag{4.9}$$

$$z_{eq} = \frac{\sum_{ri} k_{eff,r} \cdot z_i^2}{\sum_r k_{eff,r} \cdot z_i}, \tag{4.10}$$

Z_i : είναι η απόσταση της εφελκόμενης σειράς i από το κέντρο θλίψης και z η απόσταση του τελικού εφελκυστικού ελατηρίου από το κέντρο θλίψης που είναι και ο μοχλοβραχίονας των εφελκυστικών δυνάμεων στον κόμβο. Ο ισοδύναμος μοχλοβραχίονας υπολογίζεται από την εξίσωση (4.10)

Έτσι το αρχικό προσομοίωμα καταλήγει στην απλοποιημένη μορφή του Σχήματος 4.5 με δύο μόνο ελατήρια, ένα εφελκόμενο και ένα θλιβόμενο. Η δυσκαμψία του συστήματος αυτού η οποία ουσιαστικά αποτελεί και την αρχική δυσκαμψία του κόμβου $S_{j,ini}$ προσδιορίζεται από την σχέση:

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\frac{1}{k_{eq,c}} + \frac{1}{k_{eq,t}}}, \tag{4.11}$$



Σχήμα 4.5: Διαδικασία υπολογισμού αρχικής δυσκαμψίας σύμφωνα με τον EC-3

4.3 Προσομοίωση κόμβων Πειραματικής Διάταξης 1

4.3.1 Σύνδεση Δοκού σύζευξης - Υποστυλώματος

Η εν λόγω σύνδεση που φαίνεται στα Σχήμα 4.6 , 4.8 , 4.9 και 4.10 είναι μια κοχλιωτή σύνδεση με μετωπική πλάκα. Αποτελείται από 11 σειρές κοχλιών καθεμιά από τις οποίες έχει δύο κοχλίες M20 ποιότητας 8.8. Η δοκός συγκολλείται με την μετωπική πλάκα με πάχος συγκόλλησης $a=14,7\text{mm}$ στον κορμό και $a=28,28\text{mm}$ στα πέλματα. Επίσης στα άνω και κάτω πέλματα υπάρχουν συγκολλητές τριγωνικές ενισχύσεις πάχους $t=41\text{ mm}$ για την ενίσχυση του κόμβου. Από τον υπολογισμό της δυσκαμψίας της σύνδεσης τόσο με τους υπολογισμούς στο χέρι όσο και με το λογισμικό υπολογίστηκε η αρχική δυσκαμψία του κόμβου. Στο τελικό μοντέλο στο στατικό πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε η δυσκαμψία $S_{j,ini} = 235000\text{kNm}$ που αποτελεί μια ενδιάμεση τιμή. Η τιμή αυτή δεν αποτελεί την μέση τιμή των αποτελεσμάτων των δύο προσεγγίσεων καθώς τελικώς θεωρήθηκε ως πιο αξιόπιστος υπολογισμός αυτός με το λογισμικό Robot μιας και στο χέρι έγινε αρκετές απλοποιητικές παραδοχές (δεν λήφθηκαν υπόψη οι δύο συγκολλητές τριγωνικές ενισχύσεις κ.α.)



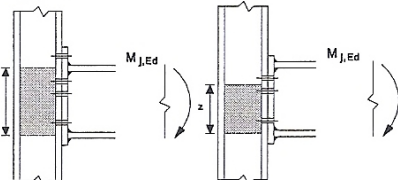
Σχήμα 4.6: Σύνδεση Δοκού σύζευξης - Υποστυλώματος

4.3.1.1 Αναλυτικός Υπολογισμός

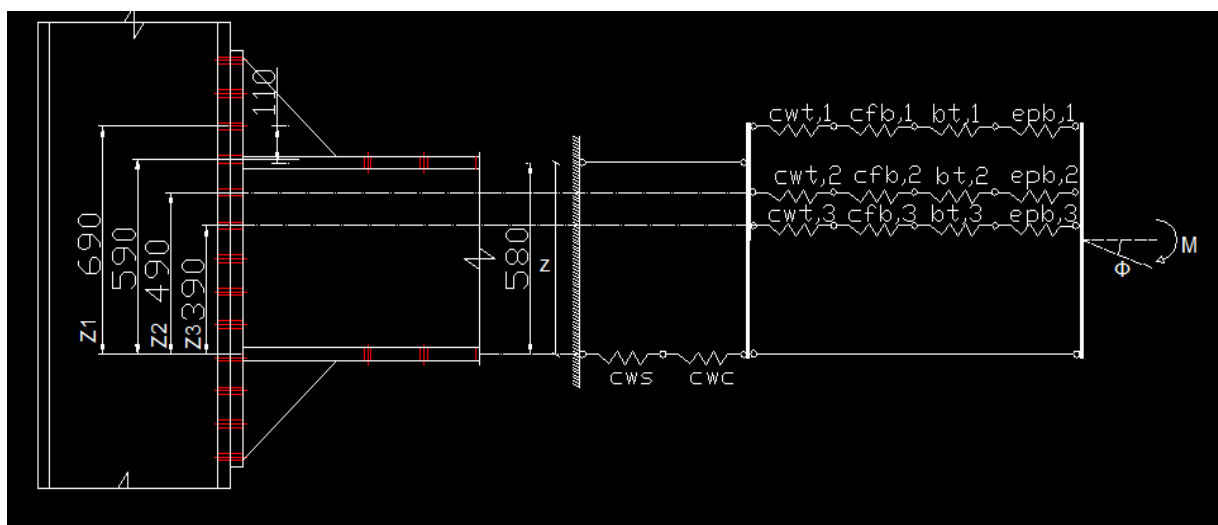
Ο αναλυτικός υπολογισμός έγινε σύμφωνα με τις διατάξεις του EC-3 που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο. Το μηχανικό προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Στα Σχήματα 4.9 και 4.10 παρουσιάζονται οι αποστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το υποστύλωμα και την μετωπική πλάκα αντίστοιχα στους παρακάτω υπολογισμούς. Οι πίνακες για τα ενεργά μήκη καθώς και για τις παραμετρούς α, β που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στην μετωπική πλάκα όσο και στο υποστύλωμα ελήφθησαν από το βιβλίο 'Ειδικά θέματα ανάλυσης μεταλλικών κατασκευών' του κ. Ιωαννίδη.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.8 αμελήθηκαν οι δύο επιπλέον σειρές κοχλιών στο προεξέχον τμήμα της μετωπικής πλάκας ενώ στο τμήμα της μετωπικής πλάκας μεταξύ των δύο πελμάτων της δοκού ελήφθησαν δύο σειρές εφελκόμενων κοχλιών. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται για τον συγκεκριμένο τρόπο σύνδεσης η θέση του κέντρου θλίψης και πως γίνεται η κατανομή των δυνάμεων.

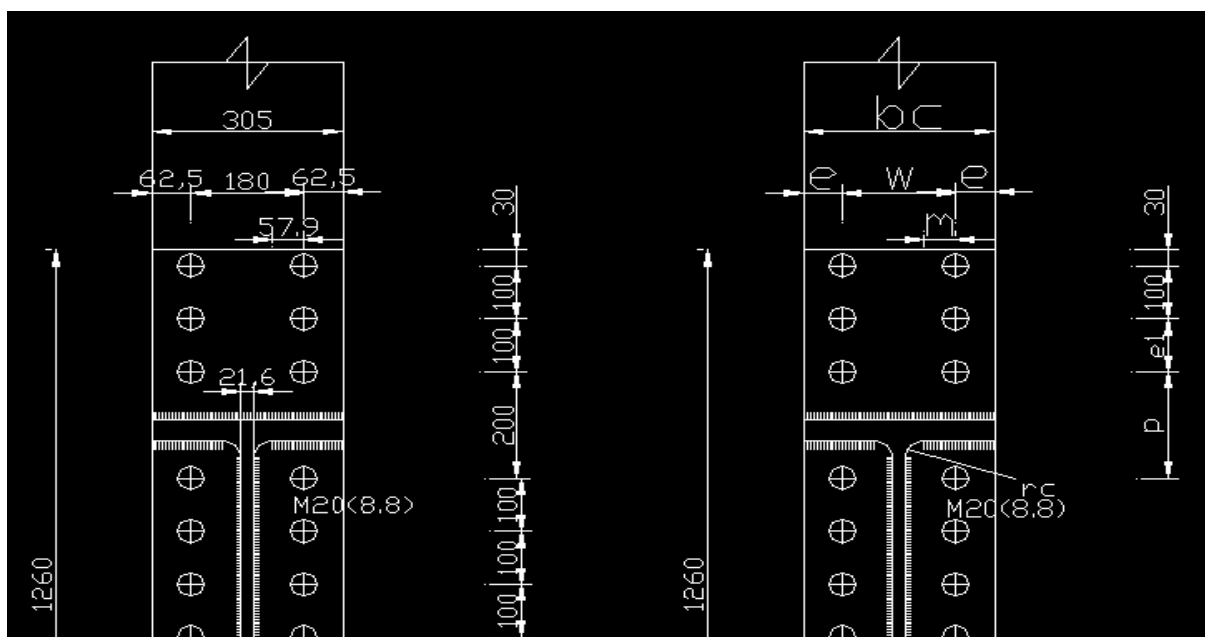
Στην συνέχεια παρατίθενται ο αναλυτικός υπολογισμός όπου αρχικώς για κάθε συστατικό μέρος υπολογίζεται ο αντίστοιχος συντελεστής δυσκαμψίας. Έπειτα οι εφελκόμενες σειρές καθώς και για η θλιβόμενη σειρά αντικαθίστανται από μετακινησιακά ελατήρια k_{eq} και τέλος υπολογίζεται η αρχική στρωφική δυσκαμψία του κόμβου $S_{j,ini}$.

<p>ε) Άλλη κοχλιωτή σύνδεση με μετωπική πλάκα και με δύο ή περισσότερες εφελκόμενες σειρές κοχλιών</p> 	<p>Στο μέσο του πάχους του θλιβόμενου πέλατος</p>	<p>Μία προσεγγιστική τιμή μπορεί να προκύψει θεωρώντας την απόσταση από το κέντρο θλίψης μέχρι το σημείο στο μέσο των δύο πιο απομακρυσμένων εφελκόμενων σειρών κοχλιών</p>	<p>Μια πιο ακριβής τιμή μπορεί να προσδιοριστεί θεωρώντας το μοχλοβραχίονα z ίσο με z_{eq}, το οποίο προκύπτει χρησιμοποιώντας τη μέθοδο που δίνεται στην 6.3.3.1.</p>
--	---	---	--

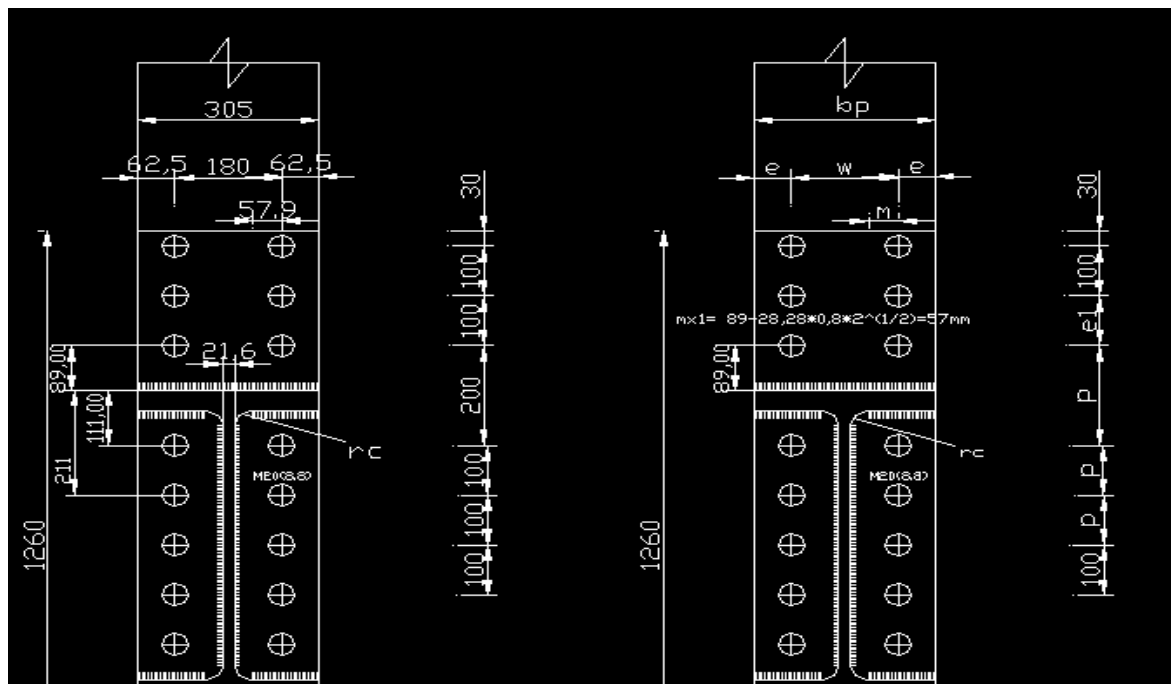
Σχήμα 4.7: Κέντρο θλίψης, μοχλοβραχίονας z και κατανομή δυνάμεων για την εν λόγω σύνδεση



Σχήμα 4.8: Μηχανικό προσομοίωμα για αναλυτικό υπολογισμό



Σχήμα 4.9: Αποστάσεις για το Υποστύλωμα



Σχήμα 4.10: Αποστάσεις για τη μετωπική πλάκα

Αναλυτικός Υπολογισμός:

Κορμός υποστυλώματος σε εφελκυσμό

Ενεργά Μήκη

Πρώτη σειρά (ως μεμονωμένη)

Κυκλικές μορφές

$$l_{eff,cp} = \min\{2\pi m, \pi m + 2e_1\} = \min\{6.28 \cdot 57.9, 3.14 \cdot 57.9 + 2 \cdot 100\} = \min\{363.6, 381.81\} = 363.6 \text{ mm}$$

Μη κυκλικές μορφές

$$l_{eff,nc} = \min\{4m + 1.25e, 2m + 0.625e + e_1\} = \min\{4 \cdot 57.9 + 1.25 \cdot 62.5, 2 \cdot 57.9 + 0.625 \cdot 62.5 + 100\} \Rightarrow$$

$$l_{eff,nc} = \min\{309.72, 254.86\} = 254.86 \text{ mm}$$

Δεύτερη σειρά και Τρίτη σειρά (ως μεμονωμένη)

Κυκλικές μορφές

$$l_{eff,cp} = 2\pi m = 6.28 \cdot 57.9 = 363.61 \text{ mm}$$

Μη κυκλικές μορφές

$$l_{eff,nc} = 4m + 1.25e = 4 \cdot 57.9 + 1.25 \cdot 62.5 = 309.72 \text{ mm}$$

Κοιλίες ως ομάδα

Ακραία σειρά

$$p = 200 \text{ mm},$$

Δεύτερη σειρά

$$p = \frac{200}{2} + \frac{100}{2} = 150 \text{ mm}$$

Τρίτη σειρά

$$p = \frac{100}{2} + \frac{100}{2} = 100mm$$

Ενεργά μήκη

Ακραία σειρά

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = \min\{\pi m + p, 2e_1 + p\} = \min\{3.14 \cdot 57.9 + 200, 2 \cdot 100 + 200\} = \min\{381.81, 400\} = 381.81mm$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = \min\{2m + 0.625e + 0.5p, e_1 + 0.5p\} = \min\{2 \cdot 57.9 + 0.625 \cdot 62.5 + 0.5 \cdot 200, 100 + 0.5 \cdot 200\} \Rightarrow$$

$$I_{eff,nc} = \min\{254.86, 200\} = 200mm$$

Δεύτερη σειρά

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = 2p = 300mm$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = p = 150mm$$

Τρίτη σειρά

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = 2p = 200mm$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = p = 100mm$$

Πρώτη σειρά

$$b_{eff,t,wc} = \min\{363.61, 254.86, 381.81, 200\} = 200mm$$

Δεύτερη σειρά

$$b_{eff,t,wc} = \min\{363.61, 309.72, 300, 150\} = 150mm$$

Τρίτη σειρά

$$b_{eff,t,wc} = \min\{363.61, 309.72, 200, 100\} = 100mm$$

Πρώτη σειρά

$$k_{cwt,1} = \frac{0,7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c} = \frac{0,7 \cdot 200 \cdot 21}{486} = 6.05mm$$

Δεύτερη σειρά

$$k_{cwt,2} = \frac{0,7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c} = \frac{0,7 \cdot 150 \cdot 21}{486} = 4.54mm$$

Τρίτη σειρά

$$k_{cwt,3} = \frac{0,7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c} = \frac{0,7 \cdot 100 \cdot 21}{486} = 3.02mm$$

Πέλμα υποστυλώματος σε κάμψη

Τα ενεργά μήκη όμοια με το προηγούμενο

Πρώτη σειρά

$$K_{c/b,1} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_{fc}^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 200 \cdot 40,48^3}{57,9^3} = 61,51 mm$$

Δεύτερη σειρά

$$K_{c/b,2} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_{fc}^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 150 \cdot 40,48^3}{57,9^3} = 46,13 mm$$

Τρίτη σειρά

$$K_{c/b,3} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_{fc}^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 100 \cdot 40,48^3}{57,9^3} = 30,76 mm$$

Μετωπική πλάκα σε κάμψη

Ενεργά μήκη

Πρώτη σειρά (ως μεμονωμένη) ακραία σειρά

$$m_x = 100 - \frac{22}{2} = 89 mm$$

$$m_x = 89 - 28,28 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{2} = 57 mm$$

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = \min\{2\pi m_x, \pi m_x + w, \pi m_x + 2e\} = \min\{6,28 \cdot 57, 3,14 \cdot 57 + 180, 3,14 \cdot 57 + 62,5\} \Rightarrow$$

$$I_{eff,cp} = \min\{357,96, 358,98, 241,48\} = 241,48$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = \min\{4m_x + 1,25e_x, e + 2m_x, +0,625e_x, 0,5b_p, 0,5w + 2m_x + 0,625e_x\} \Rightarrow$$

$$I_{eff,nc} = \min\{4 \cdot 57 + 1,25 \cdot 100, 62,5 + 2 \cdot 57, +0,625 \cdot 100, 0,5 \cdot 305, 0,5 \cdot 180 + 2 \cdot 57 + 0,625 \cdot 100\} \Rightarrow$$

$$I_{eff,nc} = \min\{353, 239, 152,5, 266,5\} = 152,5 mm$$

Δεύτερη σειρά ως μεμονωμένη (κάτω από το εφελκυσμένο πέλμα)

$$m = \frac{w - t_{wb}}{2} - 0,8a_{wb}\sqrt{2} = \frac{180 - 21}{2} - 0,8 \cdot 14,7 \cdot \sqrt{2} = 62,87 mm$$

$$m_2 = 111 - 40 - 0,8 \cdot 28,28\sqrt{2} = 39 mm$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{62,87}{62,87 + 62,5} = 0,501$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{39}{39 + 62,5} = 0,384$$

Από τα παραπάνω λ_1 και λ_2 προκύπτει ότι $\alpha = 6,3$

$$n = \min\{e_{min}, 1,25m_x\} = \min\{62,5, 1,25 \cdot 62,87\} = \min\{62,5, 78,59\} = 62,5 mm$$

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = 2\pi m = 6,28 \cdot 62,87 = 394,82 mm$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = \alpha m = 6,3 \cdot 62,87 = 396,08 mm$$

Τρίτη σειρά ως μεμονωμένη (κάτω από το εφελκυσμένο πέλμα)

$$m = \frac{w - t_{wb}}{2} - 0,8a_{wb}\sqrt{2} = \frac{180 - 21}{2} - 0,8 \cdot 14,7 \cdot \sqrt{2} = 62,87 mm$$

$$m_2 = 211 - 40 - 0,8 \cdot 28,28\sqrt{2} = 139 mm$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{62.87}{62.87 + 62.5} = 0.501$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{139}{139 + 62.5} = 0.689$$

Από τα παραπάνω λ_1 και λ_2 προκύπτει ότι $\alpha=5,4$

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = 2\pi m = 6.28 \cdot 62.87 = 394.82 mm$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = am = 5.4 \cdot 62.87 = 339.5 mm$$

Ομάδα κοχλίων.

Μόνο η δεύτερη και τρίτη εφελκυσμένη σειρά θεωρούνται ομάδα για την μετωπική πλάκα και αυτό γιατί η εφελκυσμένη σειρά που βρίσκεται στο προεξέχον τμήμα της μετωπικής πλάκας προσομοιώνεται ως διαφορετικό βραχύ ταυ. Ως αποτέλεσμα η πρώτη και η δεύτερη σειρά κοχλίων δεν θεωρούνται ομάδα.

$$p = 100 mm$$

Δεύτερη σειρά (πρώτη σειρά κάτω από το εφελκυσμένο πέλιμα)

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = \pi m + p = 3.14 \cdot 62.87 + 100 = 297.47 mm$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = 0.5p + am - (2m + 0.625e) = 0.5 \cdot 100 + 6.3 \cdot 62.87 - (2 \cdot 62.87 + 0.625 \cdot 62.5) = 281.28 mm$$

Τρίτη σειρά (άλλη εσωτερική σειρά)

Κυκλικές μορφές

$$I_{eff,cp} = 2p = 200 mm$$

Μη κυκλικές μορφές

$$I_{eff,nc} = p = 100 mm$$

Άρα

Πρώτη σειρά

$$I_{eff} = \min(241.48, 152.5) = 152.5 mm$$

Δεύτερη σειρά

$$I_{eff} = \min(394.82, 396.08, 297.47, 281.28) = 281.28 mm$$

Τρίτη σειρά

$$I_{eff} = \min(394.82, 339.5, 200, 100) = 100 mm$$

Άρα

$$k_{epb,1} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_p^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 152.5 \cdot 40.4^3}{57^3} = 48.87 mm$$

$$k_{epb,2} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_p^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 281.28 \cdot 40.4^3}{62.87^3} = 67.17 mm$$

$$k_{epb,2} = \frac{0,9 \cdot I_{eff} \cdot t_p^3}{m^3} = \frac{0,9 \cdot 100 \cdot 40.4^3}{62.87^3} = 23.88 mm$$

Κοχλίες σε εφελκυσμό (για θλιπτικές δυνάμεις το ελατήριο του κοχλίου θεωρείται ανενεργό)

Για κοχλίες M20 $A_s = 2.45 cm^2$

$$k_{bt,i} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b},$$

$$\text{Ισχύει ότι } K_b = \frac{A_s}{t_{tot}}, \quad (4.12)$$

t_{tot} : Συνολικό μήκος ελασμάτων που συνδέονται \equiv Μήκος κοχλίας

$$t_{tot} = 40,48 + 40,4 = 80,88 \text{ mm}$$

Σε κάθε σειρά δέχομαι ότι:

$$k_{bt,i} = \frac{1,6 \cdot A_s}{t_{tot}} = \frac{1,6 \cdot 2,45 \text{ cm}^2}{8,09 \text{ cm}} = 0,484 \text{ cm} = 4,84 \text{ mm}$$

Στην συνέχεια όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο με βάση την Σχέση 4.8 σε κάθε εφελκόμενη σειρά ισχύει:

$$k_{eq,1} = \frac{1}{\frac{1}{k_{cwt,1}} + \frac{1}{k_{cfb,1}} + \frac{1}{k_{epb,1}} + \frac{1}{k_{bt,1}}} = \frac{1}{\frac{1}{6,05 \text{ mm}} + \frac{1}{61,51 \text{ mm}} + \frac{1}{48,87 \text{ mm}} + \frac{1}{4,84 \text{ mm}}} = 2,45 \text{ mm}$$

$$k_{eq,2} = \frac{1}{\frac{1}{k_{cwt,2}} + \frac{1}{k_{cfb,2}} + \frac{1}{k_{epb,2}} + \frac{1}{k_{bt,2}}} = \frac{1}{\frac{1}{4,54 \text{ mm}} + \frac{1}{46,13 \text{ mm}} + \frac{1}{67,17 \text{ mm}} + \frac{1}{4,84 \text{ mm}}} = 2,16 \text{ mm}$$

$$k_{eq,1} = \frac{1}{\frac{1}{k_{cwt,1}} + \frac{1}{k_{cfb,1}} + \frac{1}{k_{epb,1}} + \frac{1}{k_{bt,1}}} = \frac{1}{\frac{1}{3,02 \text{ mm}} + \frac{1}{30,76 \text{ mm}} + \frac{1}{23,88 \text{ mm}} + \frac{1}{4,84 \text{ mm}}} = 1,63 \text{ mm}$$

Και ο μοχλοβραχίονας κάθε εφελκόμενης σειράς από το κέντρο θλίψης που είναι το κέντρο του κάτω πέλματος της δοκού όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.8 είναι:

$$z_1 = \left(h - \frac{t_f}{2} \right) - 10 + 100 = \left(620 - \frac{40}{2} \right) - 10 + 100 = 690 \text{ mm}$$

$$z_2 = z_1 - 200 = 490 \text{ mm}$$

$$z_3 = z_2 - 100 = 390 \text{ mm}$$

Κορμός υποστυλώματος σε διάτμηση

Από πίνακα προτύπων για HEM 600 έχω $A_{vc} = 149,7 \text{ cm}^2$

$\beta=1$ (παράμετρος μετασχηματισμού για τον συγκεκριμένο τύπο σύνδεσης)

$$z_{αρχ.} = \left(h - \frac{t_f}{2} \right) - 10 = \left(620 - \frac{40}{2} \right) - 10 = 590 \text{ mm}, \text{ (προσεγγιστική παραδοχή Σχήμα 4.7)}$$

Άρα

$$k_{cws} = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z} = \frac{0,38 \cdot 149,7 \text{ cm}^2}{1 \cdot 59 \text{ cm}} = 0,964 \text{ cm} = 9,68 \text{ mm}$$

Κορμός υποστυλώματος σε θλίψη

$$k_{cws} = \frac{0,7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{d_c},$$

$$d_c = 486mm$$

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{fc} + s) = 40.48 + 2\sqrt{2} \cdot 28.28 + 5 \cdot (40.48 + 27) + 40.4 = 498.27mm$$

$$k_{cws} = \frac{0,7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{d_c} = \frac{0,7 \cdot 498.27 \cdot 21.6}{486} = 15.51mm$$

Συνολικά

$$k_{eq,t} = \frac{\sum_i k_{eq,i} \cdot Z_i}{Z} = \frac{2.45 \cdot 690 + 2.16 \cdot 490 + 1.63 \cdot 390}{590} = 5.74mm$$

$$k_{eq,c} = \frac{1}{\frac{1}{k_{cws}} + \frac{1}{k_{cwc}}} = \frac{1}{\frac{1}{9.68} + \frac{1}{15.51}} = 5.96mm$$

$$S_{j,ini} = \frac{EZ^2}{\frac{1}{k_{eq,c}} + \frac{1}{k_{eq,t}}} = \frac{21000 \frac{kN}{cm^2} \cdot 59^2 cm}{\frac{1}{0.596cm} + \frac{1}{0.574cm}} = 21374482.48kNcm = 213745kNm$$

Στην συνέχεια με βάση την Σχέση 4.10 υπολογίζοντας ισοδύναμο μοχλοβραχίονα και επαναλαμβάνοντας την πιο πάνω διαδικασία γίνεται επανυπολογισμός της αρχικής στρωφικής δυσκαμψίας.

$$Z_{eq} = \frac{\sum_{ri} k_{eff,r} \cdot Z_i^2}{\sum_r k_{eff,r} \cdot Z_i} = \frac{2.45 \cdot 690^2 + 2.16 \cdot 490^2 + 1.63 \cdot 390^2}{2.45 \cdot 690 + 2.16 \cdot 490 + 1.63 \cdot 390} = 571mm$$

$$k_{eq,t} = \frac{\sum_i k_{eq,i} \cdot Z_i}{Z_{eq}} = \frac{2.45 \cdot 690 + 2.16 \cdot 490 + 1.63 \cdot 390}{571} = 5.93mm$$

$$k_{cws} = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot Z_{eq}} = \frac{0.38 \cdot 149.7cm^2}{1 \cdot 57.1cm} = 0.996cm = 9.96mm$$

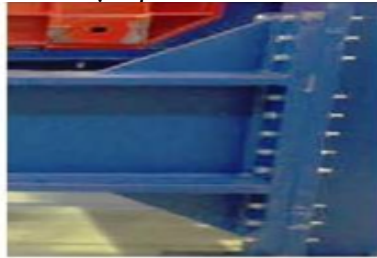
$$k_{eq,c} = \frac{1}{\frac{1}{k_{cws}} + \frac{1}{k_{cwc}}} = \frac{1}{\frac{1}{9.96} + \frac{1}{15.51}} = 6.06mm$$

$$S_{j,ini} = \frac{EZ^2}{\frac{1}{k_{eq,c}} + \frac{1}{k_{eq,t}}} = \frac{21000 \frac{kN}{cm^2} \cdot 57.1^2 cm}{\frac{1}{0.61cm} + \frac{1}{0.593cm}} = 20587822kNcm = 205878kNm$$

4.3.1.2 Υπολογισμός με χρήση Λογισμικού Robot

Εδώ παρουσιάζονται η αντοχή και η δυσκαμψία της σύνδεσης όπως αυτή υπολογίστηκε με χρήση του λογισμικού Robot. Από το συνολικό τεύχος που προέκυψε από την ανάλυση με το λογισμικό, εδώ παρατίθενται μόνο τα αποτελέσματα που αφορούν στην αντοχή, την δυσκαμψία καθώς και την κατάταξη του κόμβου σύμφωνα EC-3.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος κόμβος κατατάσσεται ως ημιάκαμπος (semi-rigid). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διατομή της δοκού είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με το μήκος της που είναι πολύ μικρό.



GENERAL

Connection no.: 1
Connection name: Πειραματική διάταξη 1 σύνδεση δοκού υποστυλώματος

LOADS

Ultimate limit state

Case: Manual calculations.
 $M_{b1,Ed} = 50,00$ [kN*m] Bending moment in the right beam

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING $M_{1,Rd}$

$M_{1,Rd} = \varepsilon \eta F_{t,Rd}$
 $M_{1,Rd} = 763,59$ [kN*m] Connection resistance for bending [6.2]
 $M_{b1,Ed} / M_{1,Rd} \leq 1,0$ 0,07 < 1,00 **verified** (0,07)

$k_{eq} = 1 / (\varepsilon^5 (1 / k_{ij}))$ [6.3.3.1.(2)]

$Z_{eq} = \varepsilon_i k_{eq} h^2 / \varepsilon_i k_{eq} h$
 $Z_{eq} = 624$ [mm] Equivalent force arm [6.3.3.1.(3)]

$k_{eq} = \varepsilon_i k_{eq} h / Z_{eq}$
 $k_{eq} = 9$ [mm] Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement [6.3.3.1.(1)]

$S_{i,R1} = E Z_{eq}^2 / \varepsilon_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq})$ [6.3.1.(4)]

$S_{i,R1} = 241089,25$ [kN*m] Initial rotational stiffness [6.3.1.(4)]

$\mu = 1,00$ Stiffness coefficient of a connection [6.3.1.(6)]

$S_i = S_{i,R1} / \mu$ [6.3.1.(4)]

$S_i = 241089,25$ [kN*m] Final rotational stiffness [6.3.1.(4)]

Connection classification due to stiffness.

$S_{i,R3} = 2346544,94$ [kN*m] Stiffness of a rigid connection [5.2.2.5]

$S_{i,R2} = 146659,06$ [kN*m] Stiffness of a pinned connection [5.2.2.5]

$S_{i,R2} \leq S_{i,R1} < S_{i,R3}$ SEMI-RIGID

Weakest component:

BOLT RUPTURE

Connection conforms to the code

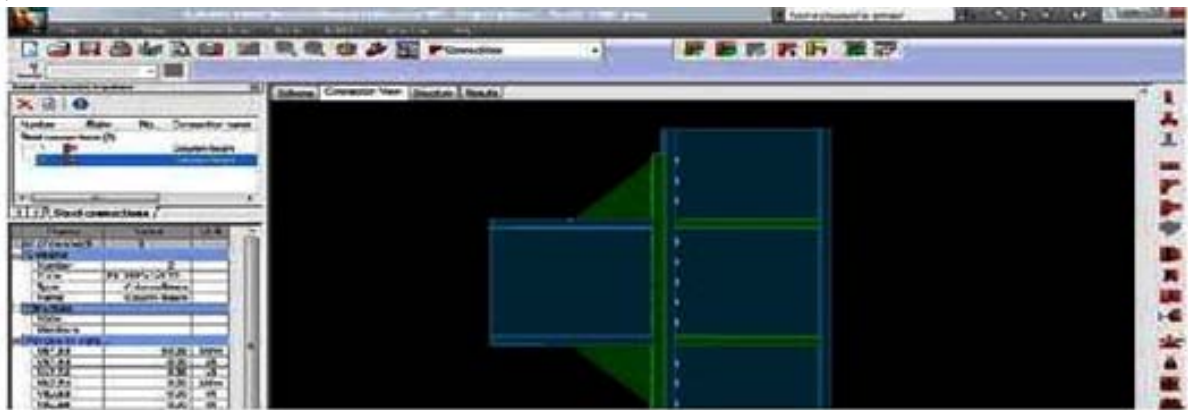
Ratio 0,07

4.3.1.3 Προτάσεις Ενίσχυσης Σύνδεσης

Στην συνέχεια έπειτα από συζήτηση με το προσωπικό του εργαστηρίου καθώς και με τον επιβλέποντα καθηγητή αποφασίστηκε από κοινού να γίνουν κάποιες προτάσεις ενίσχυσης του κόμβου κυρίως από άποψη δυσκαμψίας. Από τις διάφορες προτάσεις ενίσχυσης που δοκιμάστηκαν στο λογισμικό Robot καταλήξαμε στις δύο ακόλουθες που είχαν το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από άποψη δυσκαμψίας. Η πρώτη αφορά στην τοποθέτηση 2 οριζόντιων ενισχύσεων (stiffener) στο κορμό του υποστυλώματος, στο ύψος των δυο πελμάτων της δοκού και με πάχος ίσο με το πάχος του πέλματος των δοκών. Η δεύτερη αφορά στην τοποθέτηση 2 διαγώνιων ενισχύσεων (stiffener) στο κορμό του υποστυλώματος, με πάχος ίσο με το πάχος των πελμάτων της δοκού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της μη σταθερής θέσης των δοκών καθ' ύψος των υποστρωμάτων καθώς αυτές μετακινούνται για την εκτέλεση των εκάστοτε πειραματικών φορτίσεων η υλοποίηση των συγκεκριμένων προτάσεων ενίσχυσης είναι δυσχερής στην εφαρμογή τους.

Ως μια πρόταση εφαρμογής όσον αφορά τον πρώτο τρόπο ενίσχυσης από τους δύο που εξετάστηκαν, είναι η καθ' ύψος επί των υποστρωμάτων τοποθέτηση των οριζόντιων ενισχύσεων σε όλες τις πιθανές θέσεις τοποθέτησης της δοκού. Ακολουθούν τα αποτελέσματα της επίλυσης των προτάσεων με το πρόγραμμα Robot:



GENERAL

Connection no.: 2
 Connection name: Πειραματική διάταξη 1, σύνδεση δοκού υποστρώματος πρώτη πρόταση ενίσχυσης.

Column stiffener

Upper

$h_{su} = 540$ [mm] Stiffener height
 $b_{su} = 142$ [mm] Stiffener width
 $t_{su} = 40$ [mm] Stiffener thickness
 Material: S355
 $f_{ysu} = 355,00$ [MPa] Resistance

Lower

$h_{sd} = 540$ [mm] Stiffener height
 $b_{sd} = 142$ [mm] Stiffener width
 $t_{sd} = 40$ [mm] Stiffener thickness
 Material: S355
 $f_{ysd} = 355,00$ [MPa] Resistance

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING $M_{1,Rd}$

$M_{1,Rd} = \epsilon h F_{t,Rd}$
 $M_{1,Rd} = 763,59$ [kN*m] Connection resistance for bending [6.2]

$k_{enj} = 1 / (\epsilon_j^2 (1 / k_{ij}))$ [6.3.3.1.(2)]

$Z_{eq} = \epsilon_i k_{enj} h_i^2 / \epsilon_i k_{enj} h_i$
 $Z_{eq} = 616$ [mm] Equivalent force arm [6.3.3.1.(3)]

$k_{eq} = \epsilon_i k_{enj} h_i / z_{eq}$
 $k_{eq} = 11$ [mm] Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement [6.3.3.1.(1)]

$S_{1,Rd} = E z_{eq}^2 / \epsilon_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_m)$ [6.3.1.(4)]

$S_{1,Rd} = 851899,19$ [kN*m] Initial rotational stiffness [6.3.1.(4)]

$\mu = 1,00$ Stiffness coefficient of a connection [6.3.1.(6)]

$S_i = S_{1,Rd} / \mu$ [6.3.1.(4)]

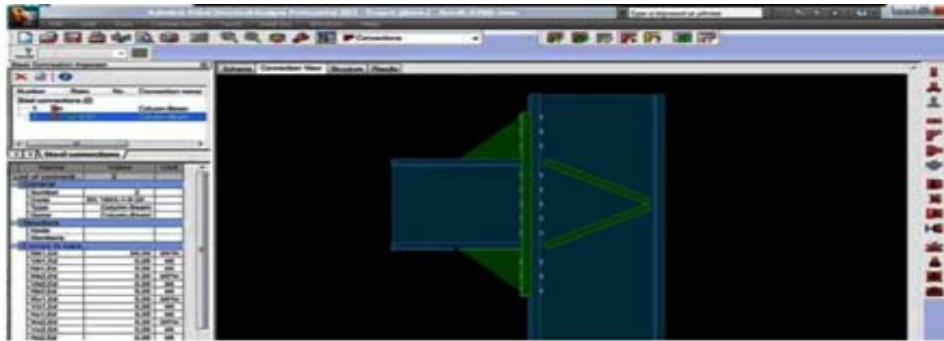
$S_i = 851899,19$ [kN*m] Final rotational stiffness [6.3.1.(4)]

Connection classification due to stiffness.

$S_{1,Rd} = 2346544,94$ [kN*m] Stiffness of a rigid connection [5.2.2.5]

$S_{1,Rd} = 146659,06$ [kN*m] Stiffness of a pinned connection [5.2.2.5]

$S_{1,Rd} \leq S_{1,Rd} < S_{1,Rd}$ SEMI-RIGID



GENERAL

Connection no.: 3
 Connection name: Πειραματική διάταξη 1, σύνδεση δοκού υποστύλωματος, δευτερή πρόταση ενίσχυσης.

Diagonal stiffener

Type: Double
 $v_d = 142$ [mm] Width of diagonal stiffener
 $a = 40$ [mm] Thickness of diagonal stiffener
 Material: S355
 $f_{yd} = 355,00$ [MPa] Resistance

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING $M_{j,Rd}$

$M_{j,Rd} = \varepsilon h_1 F_{t,Rd}$
 $M_{j,Rd} = 763,59$ [kN*m] Connection resistance for bending [6.2]
 $M_{ed,Rd} / M_{j,Rd} \leq 1,0$ 0,07 < 1,00 **verified** (0,07)
 $i_{eq,j} = 1 / (\varepsilon_2^2 (1 / k_{eq}))$ [6.3.3.1.(2)]
 $i_{eq} = \varepsilon_j k_{eq,j} h_j^2 / \varepsilon_j k_{eq,j} h_j$
 $i_{eq} = 627$ [mm] Equivalent force arm [6.3.3.1.(3)]
 $i_{eq} = \varepsilon_j k_{eq,j} h_j / z_{eq}$
 $i_{eq} = 9$ [mm] Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement [6.3.3.1.(1)]
 $S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \varepsilon_j (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq})$ [6.3.1.(4)]
 $S_{j,ini} = 703641,18$ [kN*m] Initial rotational stiffness [6.3.1.(4)]
 $\mu = 1,00$ Stiffness coefficient of a connection [6.3.1.(6)]
 $S_j = S_{j,ini} / \mu$ [6.3.1.(4)]
 $S_j = 703641,18$ [kN*m] Final rotational stiffness [6.3.1.(4)]

Connection classification due to stiffness.

$S_{j,rig} = 2346544,94$ [kN*m] Stiffness of a rigid connection [5.2.2.5]
 $S_{j,pin} = 146659,06$ [kN*m] Stiffness of a pinned connection [5.2.2.5]
 $S_{j,pin} \leq S_{j,ini} < S_{j,rig}$ SEMI-RIGID

Weakest component:

BOLT RUPTURE

Connection conforms to the code Ratio 0,07

4.3.2 Σύνδεση Κιβωτοειδούς δοκού - υποστύλωματος

Οι κιβωτοειδής δοκοί συνδέονται στο κάθε άκρο τους με τα δύο πέλματα του υποστύλωματος με χρήση κοχλιών όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11. Οι συνδέσεις αυτές προσομοιώθηκαν ως αρθρώσεις (ελεύθερη στροφή).



Σχήμα 4.11: Σύνδεση Κιβωτοειδούς διατομής

4.3.3 Σύνδεση Κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας - Υποστυλώματος

Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας συνδέονται στα πέλματα των υποστυλωμάτων με δύο κοχλίες M20 ποιότητας 8.8 όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12. Οι συνδέσεις αυτές προσομοιώθηκαν ως αρθρώσεις.



Σχήμα 4.12: Σύνδεση κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας

4.3.4 Σύνδεση Οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας - Δοκών

Τόσο οι Άνω, Σχήμα 4.13, όσο και οι Κάτω, Σχήμα 4.14, οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας συνδέονται στα πέλματα των δοκών με κοχλίες M20 ποιότητας 8.8 και βοηθητικά ελάσματα. Η βασική διαφορά στον τρόπο σύνδεσης των Άνω σε σχέση με τους κάτω συνδέσμους δυσκαμψίας, είναι ότι οι μεν άνω συνδέονται στο κάτω πέλμα της Άνω εσωτερικής δοκού, οι δε κάτω συνδέονται στα Άνω πέλματα των δοκών. (Κάτω εσωτερικής – δοκών σύζευξης). Η σύνδεση των Άνω και κάτω συνδέσμων δυσκαμψίας προσομοιώθηκε με άρθρωση.



Σχήμα 4.13: Σύνδεση Άνω οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας



Σχήμα 4.14: Σύνδεση Κάτω οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας

4.3.5 Έδραση επί του δαπέδου του εργαστηρίου

Η έδραση των υποστυλωμάτων επί του δαπέδου του εργαστηρίου Σχήμα 4.15 πραγματοποιείται με χρήση κοχλίων διαμέτρου M36 ποιότητας 8.8, πλάκας έδρασης και ελασμάτων που συγκολλούνται στο πόδα του υποστυλώματος (αναλυτικές διαστάσεις αυτών στο Παράρτημα Α). Η προσομοίωση της σύνδεσης έγινε με συνδέσεις που η ελευθερία μετακίνησης – στροφής στις τρεις διευθύνσεις φαίνεται στον Πίνακα 4.2.



Σχήμα 4.14: Έδραση επί του δαπέδου του εργαστηρίου

Πίνακας 4.2: Τρόπος προσομοίωσης έδρασης Υποστυλωμάτων

10. Στηρίξεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Σύστημα	Τύπος	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
<i>*Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*</i>									
Στήριξη 2	N169	GCS	Τυπικό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό
Στήριξη 1	N171	GCS	Τυπικό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό
Στήριξη 4	N167	GCS	Τυπικό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό
Στήριξη 3	N173	GCS	Τυπικό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό

4.4 Προσομοίωση κόμβων Πειραματικής Διάταξης 2

4.4.1 Κάτω Σύνδεση Δοκού - Υποστυλώματος

Η συγκεκριμένη σύνδεση όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα πραγματοποιείται με κοχλίες M20 ποιότητας 8.8. Η προσομοίωση του κόμβου αυτού στο μοντέλο της Πειραματικής Διάταξης έγινε με στροφικό ελατήριο η δυσκαμψία του οποίου είναι αυτή που προκύπτει από τους υπολογισμούς με το λογισμικό Robot που παρατίθενται π



GENERAL

Connection no.: 4
 Connection name: Πειραματική Διάταξη 2, κάτω σύνδεση δοκού-υποσ

COLUMN

Section: HEB 500
 α = -90,0 [Deg] Inclination angle
 h_c = 500 [mm] Height of column section
 b_c = 300 [mm] Width of column section
 t_{wc} = 15 [mm] Thickness of the web of column section
 t_{fc} = 28 [mm] Thickness of the flange of column section
 r_c = 27 [mm] Radius of column section fillet
 A_c = 23863,80 [mm²] Cross-sectional area of a column
 I_{yc} = 1071760000,00 [mm⁴] Moment of inertia of the column section
 Material: S355
 f_{yc} = 355,00 [MPa] Resistance

BEAM

Section: HEB 500
 α = 0,0 [Deg] Inclination angle
 h_b = 500 [mm] Height of beam section
 b_b = 300 [mm] Width of beam section
 t_{wb} = 15 [mm] Thickness of the web of beam section
 t_{fb} = 28 [mm] Thickness of the flange of beam section
 r_b = 27 [mm] Radius of beam section fillet
 r_{ob} = 27 [mm] Radius of beam section fillet
 A_b = 23863,80 [mm²] Cross-sectional area of a beam
 I_{yb} = 1071760000,00 [mm⁴] Moment of inertia of the beam section
 Material: S355

$f_{yb} = 355,00$ [MPa] Resistance

BOLTS

$d = 20$ [mm] Bolt diameter
 Class = 8.8 Bolt class
 $F_{tRd} = 141,12$ [kN] Tensile resistance of a bolt
 $n_h = 2$ Number of bolt columns
 $n_v = 7$ Number of bolt rows
 $h_1 = 100$ [mm] Distance between first bolt and upper edge of front plate
 Horizontal spacing $e_1 = 180$ [mm]
 Vertical spacing $p_1 = 100;150;100;100;100;150$ [mm]

PLATE

$h_p = 858$ [mm] Plate height
 $b_p = 300$ [mm] Plate width
 $t_p = 26$ [mm] Plate thickness
 Material: S355
 $f_{yp} = 355,00$ [MPa] Resistance

UPPER STIFFENER

$h_u = 258$ [mm] Stiffener height
 $t_{wu} = 26$ [mm] Thickness of vertical stiffener
 $l_u = 258$ [mm] Length of vertical stiffener
 Material: Def
 $f_{yu} = 235,00$ [MPa] Resistance

COLUMN STIFFENER

Upper

$h_{su} = 444$ [mm] Stiffener height
 $b_{su} = 143$ [mm] Stiffener width
 $t_{hu} = 28$ [mm] Stiffener thickness
 Material: Def
 $f_{ysu} = 235,00$ [MPa] Resistance

Lower

$h_{sd} = 444$ [mm] Stiffener height
 $b_{sd} = 143$ [mm] Stiffener width
 $t_{hd} = 28$ [mm] Stiffener thickness
 Material: Def
 $f_{ysu} = 235,00$ [MPa] Resistance

FILLET WELDS

$a_w = 20$ [mm] Web weld
 $a_f = 19$ [mm] Flange weld
 $a_s = 10$ [mm] Stiffener weld

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1,00$ Partial safety factor [2.2]
 $\gamma_{M1} = 1,00$ Partial safety factor [2.2]
 $\gamma_{M2} = 1,25$ Partial safety factor [2.2]
 $\gamma_{M3} = 1,25$ Partial safety factor [2.2]

LOADS

Ultimate limit state

Case: Manual calculations.

$M_{b1,Ed} = 50,00$ [kN*m] Bending moment in the right beam

RESULTS

BEAM RESISTANCES

BENDING - PLASTIC MOMENT (WITHOUT BRACKETS)

$W_{plb} = 4814790,00$ [mm³] Plastic section modulus

EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$
 $M_{b,pl,Rd} = 1709,25$ [kN*m] Plastic resistance of the section for bending (without stiffeners) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
BENDING ON THE CONTACT SURFACE WITH PLATE OR CONNECTED ELEMENT
 $W_{pl} = 4814790,00$ [mm³] Plastic section modulus EN1993-1-1:[6.2.5]
 $M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$
 $M_{cb,Rd} = 1709,25$ [kN*m] Design resistance of the section for bending EN1993-1-1:[6.2.5]
FLANGE AND WEB - COMPRESSION
 $M_{cb,Rd} = 1709,25$ [kN*m] Design resistance of the section for bending EN1993-1-1:[6.2.5]
 $h_f = 472$ [mm] Distance between the centroids of flanges [6.2.6.7.(1)]
 $F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$
 $F_{c,fb,Rd} = 3621,29$ [kN] Resistance of the compressed flange and web [6.2.6.7.(1)]

COLUMN RESISTANCES

WEB PANEL - SHEAR

$M_{b1,Ed} = 50,00$ [kN*m] Bending moment (right beam) [5.3.(3)]
 $M_{b2,Ed} = 0,00$ [kN*m] Bending moment (left beam) [5.3.(3)]
 $V_{c1,Ed} = 0,00$ [kN] Shear force (lower column) [5.3.(3)]
 $V_{c2,Ed} = 0,00$ [kN] Shear force (upper column) [5.3.(3)]
 $z = 594$ [mm] Lever arm [6.2.5]
 $V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$
 $V_{wp,Ed} = 84,18$ [kN] Shear force acting on the web panel [5.3.(3)]
 $A_{vs} = 8981,80$ [mm²] Shear area of the column web EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
 $A_{vc} = 8981,80$ [mm²] Shear area EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
 $d_s = 472$ [mm] Distance between the centroids of stiffeners [6.2.6.1.(4)]
 $M_{pl,fc,Rd} = 20,87$ [kN*m] Plastic resistance of the column flange for bending [6.2.6.1.(4)]
 $M_{pl,stu,Rd} = 13,82$ [kN*m] Plastic resistance of the upper transverse stiffener for bending [6.2.6.1.(4)]
 $M_{pl,sti,Rd} = 13,82$ [kN*m] Plastic resistance of the lower transverse stiffener for bending [6.2.6.1.(4)]
 $V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} * f_{wc}) / (\Phi 3 \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd}) / d_s)$
 $V_{wp,Rd} = 1803,81$ [kN] Resistance of the column web panel for shear [6.2.6.1]
 $V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$ 0,05 < 1,00 **verified** (0,05)

WEB - TRANSVERSE COMPRESSION - LEVEL OF THE BEAM BOTTOM FLANGE

Bearing:

$t_{wc} = 15$ [mm] Effective thickness of the column web [6.2.6.2.(6)]
 $b_{eff,c,wc} = 409$ [mm] Effective width of the web for compression [6.2.6.2.(1)]
 $A_{vc} = 8981,80$ [mm²] Shear area EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
 $\omega = 0,80$ Reduction factor for interaction with shear [6.2.6.2.(1)]
 $k_{wc} = 1,00$ Reduction factor conditioned by compressive stresses [6.2.6.2.(2)]
 $A_s = 7994,00$ [mm²] Area of the web stiffener EN1993-1-1:[6.2.4]
 $F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$
 $F_{c,wc,Rd1} = 3559,88$ [kN] Column web resistance [6.2.6.2.(1)]

Buckling:

$d_{wc} = 390$ [mm] Height of compressed web [6.2.6.2.(1)]
 $\lambda_p = 1,06$ Plate slenderness of an element [6.2.6.2.(1)]
 $\rho = 0,77$ Reduction factor for element buckling [6.2.6.2.(1)]
 $\lambda_s = 4,39$ Stiffener slenderness EN1993-1-1:[6.3.1.2]
 $\chi_s = 1,00$ Buckling coefficient of the stiffener EN1993-1-1:[6.3.1.2]

$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$
 $F_{c,wc,Rd2} = 3169,99$ [kN] Column web resistance [6.2.6.2.(1)]

Final resistance:

$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$
 $F_{c,wc,Rd} = 3169,99$ [kN] Column web resistance [6.2.6.2.(1)]

EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - COLUMN FLANGE

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	61	-	60	-	100	384	260	260	260	292	150	150	150
2	61	-	60	-	150	384	386	384	386	342	301	301	301
3	61	-	60	-	100	384	378	378	378	292	268	268	268
4	61	-	60	-	100	384	320	320	320	200	100	100	100
5	61	-	60	-	100	384	320	320	320	200	100	100	100
6	61	-	60	-	100	384	355	355	355	292	245	245	245
7	61	-	60	-	111	384	465	384	465	303	361	303	361

EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - FRONT PLATE

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
----	---	----------------	---	----------------	---	---------------------	---------------------	--------------------	--------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------	----------------------

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	54	-	60	-	100	342	292	292	292	271	196	196	196
2	54	-	60	-	100	342	351	342	351	271	254	254	254
3	60	-	60	-	100	378	372	372	372	289	265	265	265
4	60	-	60	-	100	378	315	315	315	200	100	100	100
5	60	-	60	-	100	378	315	315	315	200	100	100	100
6	60	-	60	-	100	378	315	315	315	289	208	208	208
7	60	21	60	58	111	129	137	129	137	-	-	-	-

- m – Bolt distance from the web
- m_x – Bolt distance from the beam flange
- e – Bolt distance from the outer edge
- e_x – Bolt distance from the horizontal outer edge
- p – Distance between bolts
- l_{eff,cp} – Effective length for a single bolt in the circular failure mode
- l_{eff,nc} – Effective length for a single bolt in the non-circular failure mode
- l_{eff,1} – Effective length for a single bolt for mode 1
- l_{eff,2} – Effective length for a single bolt for mode 2
- l_{eff,cp,g} – Effective length for a group of bolts in the circular failure mode
- l_{eff,nc,g} – Effective length for a group of bolts in the non-circular failure mode
- l_{eff,1,g} – Effective length for a group of bolts for mode 1
- l_{eff,2,g} – Effective length for a group of bolts for mode 2

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING

- F_{t,Rd} = 141,12 [kN] Bolt resistance for tension [Table 3.4]
- B_{p,Rd} = 576,34 [kN] Punching shear resistance of a bolt [Table 3.4]
- F_{t,fc,Rd} – column flange resistance due to bending
- F_{t,wc,Rd} – column web resistance due to tension
- F_{t,ep,Rd} – resistance of the front plate due to bending
- F_{t,wb,Rd} – resistance of the web in tension
- F_{t,fc,Rd} = Min (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd}) [6.2.6.4] , [Tab.6.2]
- F_{t,wc,Rd} = ω b_{eff,wc} t_{wc} f_{yc} / γ_{M0} [6.2.6.3.(1)]
- F_{t,ep,Rd} = Min (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd}) [6.2.6.5] , [Tab.6.2]
- F_{t,wb,Rd} = b_{eff,twb} t_{wb} f_{yb} / γ_{M0} [6.2.6.8.(1)]

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 1

F _{t1,Rd,comp} - Formula	F _{t1,Rd,comp}	Component
F _{t1,Rd} = Min (F _{t1,Rd,comp})	282,24	Bolt row resistance
F _{t,fc,Rd(1)} = 282,24	282,24	Column flange - tension
F _{t,wc,Rd(1)} = 1206,47	1206,47	Column web - tension
F _{t,ep,Rd(1)} = 282,24	282,24	Front plate - tension
B _{p,Rd} = 1152,69	1152,69	Bolts due to shear punching
V _{wp,Rd} /β = 1803,81	1803,81	Web panel - shear
F _{c,wc,Rd} = 3169,99	3169,99	Column web - compression
F _{c,fb,Rd} = 3621,29	3621,29	Beam flange - compression

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 2

F _{t2,Rd,comp} - Formula	F _{t2,Rd,comp}	Component
F _{t2,Rd} = Min (F _{t2,Rd,comp})	282,24	Bolt row resistance
F _{t,fc,Rd(2)} = 282,24	282,24	Column flange - tension
F _{t,wc,Rd(2)} = 1614,75	1614,75	Column web - tension
F _{t,ep,Rd(2)} = 282,24	282,24	Front plate - tension
B _{p,Rd} = 1152,69	1152,69	Bolts due to shear punching
V _{wp,Rd} /β - ε ₁ ⁻¹ F _{tj,Rd} = 1803,81 - 282,24	1521,57	Web panel - shear
F _{c,wc,Rd} - ε ₁ ⁻¹ F _{tj,Rd} = 3169,99 - 282,24	2887,75	Column web - compression
F _{c,fb,Rd} - ε ₁ ⁻¹ F _{tj,Rd} = 3621,29 - 282,24	3339,05	Beam flange - compression
F _{t,fc,Rd(2+1)} - ε ₁ ⁻¹ F _{tj,Rd} = 564,48 - 282,24	282,24	Column flange - tension - group
F _{t,wc,Rd(2+1)} - ε ₁ ⁻¹ F _{tj,Rd} = 1786,88 - 282,24	1504,64	Column web - tension - group
F _{t,ep,Rd(2+1)} - ε ₁ ⁻¹ F _{tj,Rd} = 564,48 - 282,24	282,24	Front plate - tension - group
F _{t,wb,Rd(2+1)} - ε ₁ ⁻¹ F _{tj,Rd} = 2319,72 - 282,24	2037,48	Beam web - tension - group

Additional reduction of the bolt row resistance

- F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h₂/h₁
- F_{t2,Rd} = 238,41 [kN] Reduced bolt row resistance [6.2.7.2.(9)]

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 3

F_{3,Rd,comp} - Formula	F_{3,Rd,comp}	Component
$F_{3,Rd} = \text{Min} (F_{3,Rd,comp})$	282,24	Bolt row resistance
$F_{tfc,Rd(3)} = 282,24$	282,24	Column flange - tension
$F_{twc,Rd(3)} = 1597,40$	1597,40	Column web - tension
$F_{tep,Rd(3)} = 282,24$	282,24	Front plate - tension
$F_{twb,Rd(3)} = 1916,20$	1916,20	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1152,69$	1152,69	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \varepsilon_1^2 F_{ti,Rd} = 1803,81 - 520,65$	1283,16	Web panel - shear
$F_{cwc,Rd} - \varepsilon_1^2 F_{tj,Rd} = 3169,99 - 520,65$	2649,34	Column web - compression
$F_{cfb,Rd} - \varepsilon_1^2 F_{tj,Rd} = 3621,29 - 520,65$	3100,64	Beam flange - compression

Additional reduction of the bolt row resistance

$$F_{3,Rd} = F_{ti,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{3,Rd} = 172,67 \quad [\text{kN}] \quad \text{Reduced bolt row resistance} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 4

F_{4,Rd,comp} - Formula	F_{4,Rd,comp}	Component
$F_{4,Rd} = \text{Min} (F_{4,Rd,comp})$	282,24	Bolt row resistance
$F_{tfc,Rd(4)} = 282,24$	282,24	Column flange - tension
$F_{twc,Rd(4)} = 1417,98$	1417,98	Column web - tension
$F_{tep,Rd(4)} = 282,24$	282,24	Front plate - tension
$F_{twb,Rd(4)} = 1623,99$	1623,99	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1152,69$	1152,69	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \varepsilon_1^3 F_{ti,Rd} = 1803,81 - 693,33$	1110,48	Web panel - shear
$F_{cwc,Rd} - \varepsilon_1^3 F_{tj,Rd} = 3169,99 - 693,33$	2476,66	Column web - compression
$F_{cfb,Rd} - \varepsilon_1^3 F_{tj,Rd} = 3621,29 - 693,33$	2927,96	Beam flange - compression
$F_{tfc,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 564,48 - 172,67$	391,81	Column flange - tension - group
$F_{twc,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 1569,15 - 172,67$	1396,48	Column web - tension - group
$F_{tfc,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 564,48 - 172,67$	391,81	Column flange - tension - group
$F_{twc,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 1569,15 - 172,67$	1396,48	Column web - tension - group
$F_{tfc,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 564,48 - 172,67$	391,81	Column flange - tension - group
$F_{twc,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 1569,15 - 172,67$	1396,48	Column web - tension - group
$F_{tep,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 564,48 - 172,67$	391,81	Front plate - tension - group
$F_{twb,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 1876,33 - 172,67$	1703,66	Beam web - tension - group
$F_{tep,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 564,48 - 172,67$	391,81	Front plate - tension - group
$F_{twb,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 1876,33 - 172,67$	1703,66	Beam web - tension - group
$F_{tep,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 564,48 - 172,67$	391,81	Front plate - tension - group
$F_{twb,Rd(4+3)} - \varepsilon_3^3 F_{tj,Rd} = 1876,33 - 172,67$	1703,66	Beam web - tension - group

Additional reduction of the bolt row resistance

$$F_{4,Rd} = F_{ti,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{4,Rd} = 128,85 \quad [\text{kN}] \quad \text{Reduced bolt row resistance} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 5

F_{5,Rd,comp} - Formula	F_{5,Rd,comp}	Component
$F_{5,Rd} = \text{Min} (F_{5,Rd,comp})$	282,24	Bolt row resistance
$F_{tfc,Rd(5)} = 282,24$	282,24	Column flange - tension
$F_{twc,Rd(5)} = 1417,98$	1417,98	Column web - tension
$F_{tep,Rd(5)} = 282,24$	282,24	Front plate - tension
$F_{twb,Rd(5)} = 1623,99$	1623,99	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 1152,69$	1152,69	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \varepsilon_1^4 F_{ti,Rd} = 1803,81 - 822,18$	981,64	Web panel - shear
$F_{cwc,Rd} - \varepsilon_1^4 F_{tj,Rd} = 3169,99 - 822,18$	2347,81	Column web - compression
$F_{cfb,Rd} - \varepsilon_1^4 F_{tj,Rd} = 3621,29 - 822,18$	2799,12	Beam flange - compression
$F_{tfc,Rd(5+4)} - \varepsilon_4^4 F_{tj,Rd} = 509,29 - 128,85$	380,44	Column flange - tension - group
$F_{twc,Rd(5+4)} - \varepsilon_4^4 F_{tj,Rd} = 966,11 - 128,85$	837,27	Column web - tension - group
$F_{tfc,Rd(5+4+3)} - \varepsilon_4^3 F_{tj,Rd} = 846,72 - 301,52$	545,20	Column flange - tension - group
$F_{twc,Rd(5+4+3)} - \varepsilon_4^3 F_{tj,Rd} = 1825,81 - 301,52$	1524,29	Column web - tension - group
$F_{tfc,Rd(5+4+3)} - \varepsilon_4^3 F_{tj,Rd} = 846,72 - 301,52$	545,20	Column flange - tension - group
$F_{twc,Rd(5+4+3)} - \varepsilon_4^3 F_{tj,Rd} = 1825,81 - 301,52$	1524,29	Column web - tension - group
$F_{tep,Rd(5+4)} - \varepsilon_4^4 F_{tj,Rd} = 481,73 - 128,85$	352,88	Front plate - tension - group
$F_{twb,Rd(5+4)} - \varepsilon_4^4 F_{tj,Rd} = 1029,50 - 128,85$	900,65	Beam web - tension - group

$A_w =$	47729,00 [mm ²]	Area of all welds	[4.5.3.2(2)]
$\tau_{II} =$	0,00 [MPa]	Tangent stress	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,90	Correlation coefficient	[4.5.3.2(7)]
$\Phi[\sigma_{Lmax}^2 + 3*(\tau_{Lmax})^2] \leq f_{td}/(\beta_w*\gamma_{M2})$	11,40 < 435,56	verified	(0,03)
$\Phi[\sigma_L^2 + 3*(\tau_L^2 + \tau_{II}^2)] \leq f_{td}/(\beta_w*\gamma_{M2})$	11,40 < 435,56	verified	(0,03)
$\sigma_L \leq 0.9*f_{td}/\gamma_{M2}$	5,70 < 352,80	verified	(0,02)

CONNECTION STIFFNESS

$k_1 = \infty$	Stiffness coefficient of the column web panel subjected to shear	[6.3.2.(1)]
$k_2 = \infty$	Stiffness coefficient of the compressed column web	[6.3.2.(1)]
$k_3 = \infty$	Stiffness coefficient of the column web subjected to tension	[6.3.2.(1)]
$t_{wash} =$	4 [mm] Washer thickness	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	14 [mm] Bolt head height	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	20 [mm] Bolt nut height	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	79 [mm] Bolt length	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	5 [mm] Stiffness coefficient of bolts	[6.3.2.(1)]

STIFFNESSES OF BOLT ROWS

Nr	h _j	k ₃	k ₄	k ₅	k _{eff,i}	k _{eff,i} h _i	k _{eff,i} h _i ²
					Sum	3909,78	1857567,46
1	644	3	13	19	2	1035,21	666674,95
2	544	7	26	25	2	1279,74	696177,43
3	394	6	23	19	2	857,14	337713,66
4	294	2	9	7	1	329,56	96891,06
5	194	2	9	7	1	217,47	42188,35
6	94	6	21	15	2	190,66	17922,01

$$k_{eff,j} = 1 / (e_3^3 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$z_{eq} = e_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$z_{eq} = 475 \text{ [mm] Equivalent force arm}$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / z_{eq} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$k_{eq} = 8 \text{ [mm] Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement}$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / e_j (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 390089,17 \text{ [kN*m] Initial rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \text{ Stiffness coefficient of a connection} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 390089,17 \text{ [kN*m] Final rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

Connection classification due to stiffness.

$$S_{j,rig} = 589380,29 \text{ [kN*m] Stiffness of a rigid connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 36836,27 \text{ [kN*m] Stiffness of a pinned connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} \leq S_{j,ini} < S_{j,rig} \text{ SEMI-RIGID}$$

WEAKEST COMPONENT:

BOLT RUPTURE

4.4.2 Άνω Σύνδεση Δοκού - Υποστυλώματος

Η σύνδεση αυτή αποτελεί προϊόν ενίσχυσης της αρχικής Πειραματικής Διάταξης 2. Υλοποιείται με χρήση κοχλιών M24 ποιότητας 8.8, ελασμάτων ενίσχυσης και μετωπικής πλάκας. Αναλυτικές διαστάσεις των ελασμάτων και των αποστάσεων των κοχλιών παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

Η προσομοίωση του κόμβου αυτού στο μοντέλο της Πειραματικής Διάταξης έγινε με στροφικό ελατήριο η δυσκαμψία του οποίου είναι αυτή που προκύπτει από τους υπολογισμούς με το Robot που παρατίθενται παρακάτω.(συνοπτική παρουσίαση)

Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η πολυπλοκότητα της συγκεκριμένης σύνδεσης είχε ως αποτέλεσμα τη μη δυνατότητα ακριβής προσομοίωσης αυτής με το χρησιμοποιηθέν λογισμικό. Με την χρήση του λογισμικού επιχειρήθηκε η κατά το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση της μοντελοποίησης της και κατ' επέκταση του υπολογισμού της αντοχής και της δυσκαμψίας της.



GENERAL

Connection no.: 5
 Connection name: Πειραματική Διάταξη 2, άνω σύνδεση δοκού υποστυλώματος

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING $M_{i,Rd}$

$M_{i,Rd} = \varepsilon h_i F_{t,Rd}$			
$M_{i,Rd} = 1031,65$ [kN*m]	Connection resistance for bending		[6.2]
$M_{b1,Rd} / M_{i,Rd} \leq 1,0$	0,05 < 1,00	verified	(0,05)
$k_{eq} = 1 / (\varepsilon \sum (1 / k_{ij}))$			[6.3.3.1.(2)]
$Z_{eq} = \varepsilon_i k_{eq} h_i^2 / \varepsilon_i k_{eq} h_i$			
$Z_{eq} = 633$ [mm]	Equivalent force arm		[6.3.3.1.(3)]
$k_{eq} = \varepsilon_i k_{eq} h_i / Z_{eq}$			
$k_{eq} = 9$ [mm]	Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement		[6.3.3.1.(1)]
$S_{i,Rd} = E Z_{eq}^2 / \varepsilon (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_m)$			[6.3.1.(4)]
$S_{i,Rd} = 732445,08$ [kN*m]	Initial rotational stiffness		[6.3.1.(4)]
$\mu = 1,00$	Stiffness coefficient of a connection		[6.3.1.(6)]
$S_i = S_{i,Rd} / \mu$			[6.3.1.(4)]
$S_i = 732445,08$ [kN*m]	Final rotational stiffness		[6.3.1.(4)]
Connection classification due to stiffness.			
$S_{i,Rd} = 600185,60$ [kN*m]	Stiffness of a rigid connection		[5.2.2.5]
$S_{i,Rn} = 37511,60$ [kN*m]	Stiffness of a pinned connection		[5.2.2.5]
$S_{i,Rd} \geq S_{i,Rn}$	RIGID		

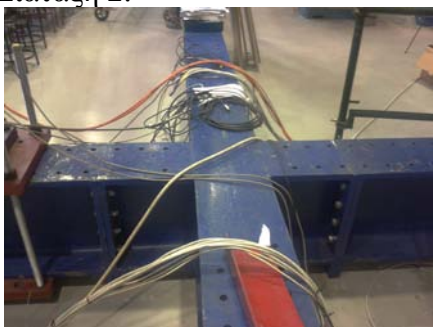
WEAKEST COMPONENT:

FRONT PLATE - TENSION

Connection conforms to the code Ratio 0,05

4.4.3 Συνέχεια μέλους βάση

Όσον αφορά στην συγκεκριμένη σύνδεση είναι σύνδεση δοκού-δοκού και πραγματοποιείται με δύο μονοπροέχουσες μετωπικές πλάκες συνδεόμενες με κοχλίες M20 ποιότητας 8.8 καθώς και με συγκολλήσεις στα πέλματα. Ο συγκεκριμένος κόμβος έπειτα από συνεννόηση με τον υπεύθυνο του εργαστηρίου στο μοντέλο του στατικού προγράμματος ελήφθη ως συνέχεια υλικού (ενιαίο μέλος δοκού βάσης). Αξίζει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη σύνδεση αφορά μόνο στο ένα από τα δύο διασταυρωνόμενα Πλαίσια που απαρτίζουν την Πειραματική Διάταξη 2.



Σχήμα 4.15: Συνέχεια μέλους βάσης Πειραματικής Διάταξη 2.

4.4.4 Συνέχεια μέλους Υποστυλώματος- Αλλαγή κλίσης

Αναφορά στο συγκεκριμένο κόμβο της Πειραματικής Διάταξης 2 γίνεται για το γεγονός ότι έχει προστεθεί ενίσχυση στον κορμό του υποστυλώματος με συγκολλητά ελάσματα πάχους $t = 30\text{mm}$



Σχήμα 4.16: Συνέχεια μέλους Υποστυλώματος Πειραματικής Διάταξης 2.

4.4.5 Άνω-Κάτω Διασύνδεσμος Δοκών

Η διασταύρωση των δύο πλαισίων τόσο στην βάση όσο και στην κορυφή πραγματοποιήθηκε με σταθερούς διασύνδεσμους στο στατικό πρόγραμμα.



Σχήμα 4.16: Άνω-Κάτω Διασύνδεσμος Δοκών

4.4.6 Σύνδεση Αξονικά καταπονούμενων μελών

Όμοια με την σύνδεση Άνω Σύνδεση Δοκού- Υποστυλώματος τα μέλη αυτά αποτελούν προϊόν ενίσχυσης της αρχικής Πειραματικής Διάταξης 2. Η σύνδεση αυτών με το ένα εκ των δύο διασταυρωνόμενων πλαισίων στο οποίο και έχουν τοποθετηθεί γίνεται με κοχλίες M24 ποιότητας 8.8 και με μετωπική πλάκα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η καθαρά αξονική καταπόνηση τους τοποθετήθηκαν συνδέσεις τύπου Πείρου στα δύο τους άκρα. Λεπτομέρεια Σύνδεσης στο Παράρτημα Β. Στο στατικό πρόγραμμα η σύνδεση των μελών αυτών στα δύο άκρα τους προσομοιώθηκε ως αρθρωτή.



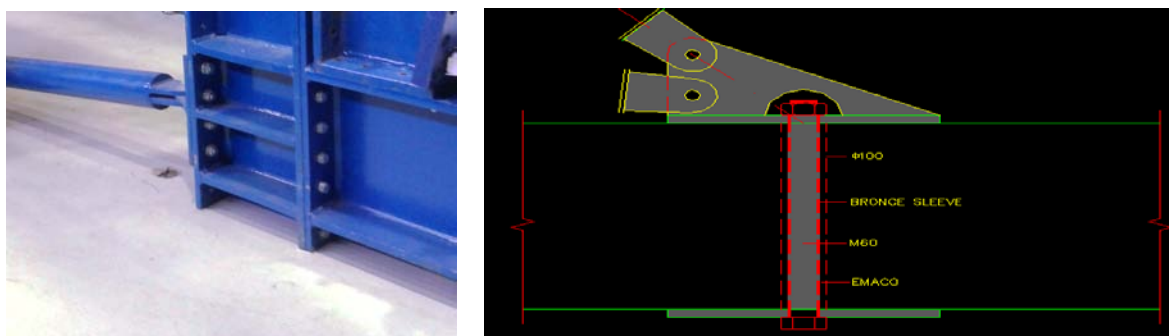
Σχήμα 4.17: Σύνδεση αξονικά καταπονούμενων μελών

4.4.7 Έδραση επί του δαπέδου του εργαστηρίου

Η έδραση της συγκεκριμένης Πειραματικής Διάταξης αφορά τόσο στην έδραση των Πλαισίων όσο και στην έδραση των αξονικά καταπονούμενων μελών επί του ισχυρού δαπέδου του εργαστηρίου.

Όσον αφορά τα δύο διασταυρωνόμενα πλαίσια Πίνακας 4.3 (Στήριξη 3 έως 8) είναι ελεύθερα εδραζόμενα. Τα αξονικά καταπονούμενα μέλη Πίνακας 4.3 (Στήριξη 1-2) εδράζονται επί του εδάφους με την διάταξη που φαίνεται στο πιο κάτω Σχήμα 4.17

Η προσομοίωση της σύνδεσης έγινε με συνδέσεις που η ελευθερία μετακίνησης – στροφής στις τρεις διευθύνσεις φαίνεται στον Πίνακα 4.3.



Σχήμα 4.17: Έδραση Μελών Πειραματικής Διάταξης 2

Πίνακας 4.3: Τρόπος προσομοίωσης έδρασης Πειραματικής Διάταξης 2

4. Στηρίξεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Σύστημα	Τύπος	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
<small>*Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*</small>									
Στήριξη 2	N24	GCS	Τυπικό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό	Στερεό
Στήριξη 8	N14	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 3	N11	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 6	N16	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 4	N23	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο
Στήριξη 5	N22	GCS	Τυπικό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Στερεό	Ελεύθερο	Ελεύθερο	Ελεύθερο

5 Δοκιμαστικές Φορτίσεις επί των Πειραματικών Διατάξεων

5.1 Εισαγωγή

Την τελική προσομοίωση των δύο Πειραματικών Διατάξεων ακολούθησε μια σειρά από δοκιμαστικές φορτίσεις. Οι φορτίσεις αυτές έγιναν προσπαθώντας να προσομοιωθούν κάποιες πραγματικές περιπτώσεις φόρτισης και μελετήθηκε η συμπεριφορά των δύο Πειραματικών Διατάξεων κατά την διάρκεια αυτών.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου, αρχικώς γίνεται σύντομη αναφορά στα χρησιμοποιούμενα εργαλεία φόρτισης, (πρέσα φόρτισεως), στα επιτρεπτά όρια φορτίσεων(αντοχή ισχυρού δαπέδου) και έπειτα ενδεικτικά παρουσιάζονται κάποιες δοκιμαστικές φορτίσεις τόσο επί της Πειραματικής Διάταξης 1 όσο και της 2.

5.2 Γενικές παρατηρήσεις επί των φορτίσεων στο ΕΜΚ

5.2.1 Εργαλεία για την διενέργεια των φορτίσεων.

Στον εξοπλισμό του ΕΜΚ συμπεριλαμβάνεται μια μεγάλη γκάμα εργαλείων, μετρικών οργάνων, οργάνων οπτικής καταγραφής κ.ο.κ. Αναλυτικός κατάλογος με όλα τα εργαλεία που διαθέτει το ΕΜΚ βρίσκεται στην επίσημη ιστοσελίδα του ΕΜΚ.

Ίσως το βασικότερο εργαλείο για την διενέργεια των φορτίσεων είναι η πρέσα φόρτισης Σχήμα 5.1. Η πρέσα φέρεται κατά μήκος των δοκών και των υποστρωμάτων των δύο Πειραματικών Διατάξεων και τοποθετείται στις οπές που υπάρχουν στα πέλματα αυτών. Πολλές φορές για την διαδικασία των φορτίσεων πέρα της πρέσας τοποθετούνται και πρόσθετα μέλη (βοηθητικοί δοκοί).



Σχήμα 5.1: Πρέσα Φόρτισης

Με τον υπάρχον εξοπλισμό του ΕΜΚ μπορούν να προσομοιωθούν φορτίσεις μέχρι και τα 650 kN. Ωστόσο το ΕΜΚ προτίθενται στο εγγύς μέλλον να αναβαθμίσει τον εξοπλισμό του με την προσθήκη μιας νέας πρέσας δυνατότητας φόρτισης έως και τα 2500kN. Οι φορτίσεις με την νέα πρέσα αφορούν την Πειραματική Διάταξη 1 και για τον λόγο αυτό στην επόμενη ενότητα εξετάζεται η συμπεριφορά της Πειραματικής Διάταξης 1 για φόρτιση μέχρι και τα 2500 kN.

Η προσθήκη της πρέσας αυτής ήταν ένας επιπλέον λόγος ανάθεσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

5.2.2 Όρια φορτίσεων.

Στο ΕΜΚ όσον αφορά τα όρια των φορτίσεων πέρα από τις πρέσες, που αναφέρονται πιο πάνω, αφορούν τόσο τις Πειραματικές Διατάξεις όσο και στο ισχυρό δάπεδο του εργαστηρίου στο οποίο αυτές εδράζονται.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τις Πειραματικές Διατάξεις, όπως έχει ήδη αναφερθεί, πρέπει να αποφεύγεται η διαρροή κάποιου μέλους κατά την διάρκεια των φορτίσεων.

Σε ότι έχει σχέση με το έδαφος έδρασης (ισχυρό δάπεδο) του εργαστηρίου, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, η φέρουσα ικανότητα αυτού ανέρχεται στα ± 500 kN.

5.3 Φορτίσεις Πειραματικής Διάταξης 1

5.3.1 Γενικές Παρατηρήσεις

Οι φορτίσεις που έγιναν αφορούν την προσομοίωση πειραματικών φορτίσεων που δύνανται να εφαρμοστούν στην πράξη. Σε κάθε φόρτιση ακολουθήθηκε επαναληπτική διαδικασία με γραμμικώς αυξανόμενο συγκεντρωμένο φορτίο (προσομοίωση πρέσας) με σταθερό βήμα 50 kN σε κάθε επανάληψη. Δεδομένου του γεγονότος ότι δεν παρέχονταν ακριβή πειραματικά δοκίμια προκειμένου να προσομοιωθούν πλήρως στο στατικό πρόγραμμα, η φόρτιση έγινε με χρήση συγκεντρωμένων φορτίων που αποτελούν τις αντιδράσεις του εκάστοτε πειράματος επί του Πλαισίου Αντίδρασης (Πειραματική Διάταξη 1).

Σε κάθε βήμα φόρτισης καταγράφηκε η μετακίνηση των αντίστοιχων μελών της Πειραματικής Διάταξης 1 στα οποία γίνεται η φόρτιση.

Στην Πειραματική Διάταξη 1 λόγω της μελλοντικής χρήσης νέας πρέσα που αναφέρθηκε πιο πάνω οι φορτίσεις, στο στατικό πρόγραμμα, ελέγχθηκε εάν δύνανται να φτάσουν μέχρι και τα 2500kN χωρίς την διαρροή κάποιου μέλους.

Επίσης σε κάθε φόρτιση ελέγχθηκε εάν οι αντιδράσεις στο ισχυρό δάπεδο υπερβαίνουν τα 500kN.

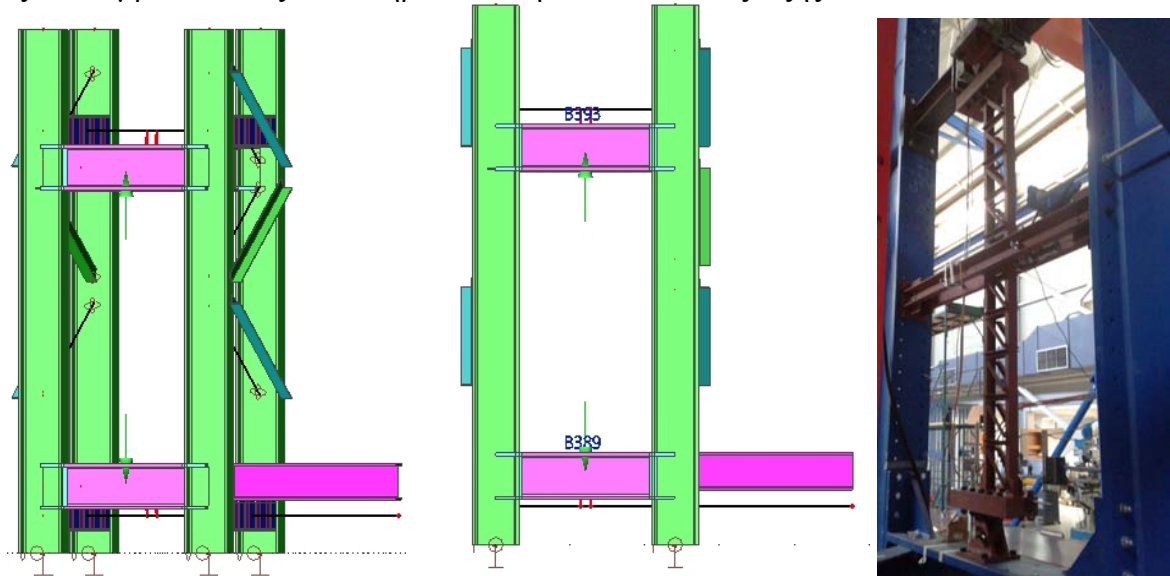
Ακόμη σε κάθε φόρτιση, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.2.3 της παρούσας εργασίας, ελέγχεται εάν η ροπή που ασκείται στους κόμβους που έχουν προσομοιωθεί με στροφικά ελατήρια υπερβαίνει τα 2/3 της αντοχής του κόμβου. Σε περίπτωση υπέρβασης γίνεται διόρθωση της δυσκαμψίας του στροφικού ελατηρίου σύμφωνα με τον πίνακα 4.1 της παρούσας εργασίας.

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες ενδεικτικές φορτίσεις επί της Πειραματικής Διάταξης 1.

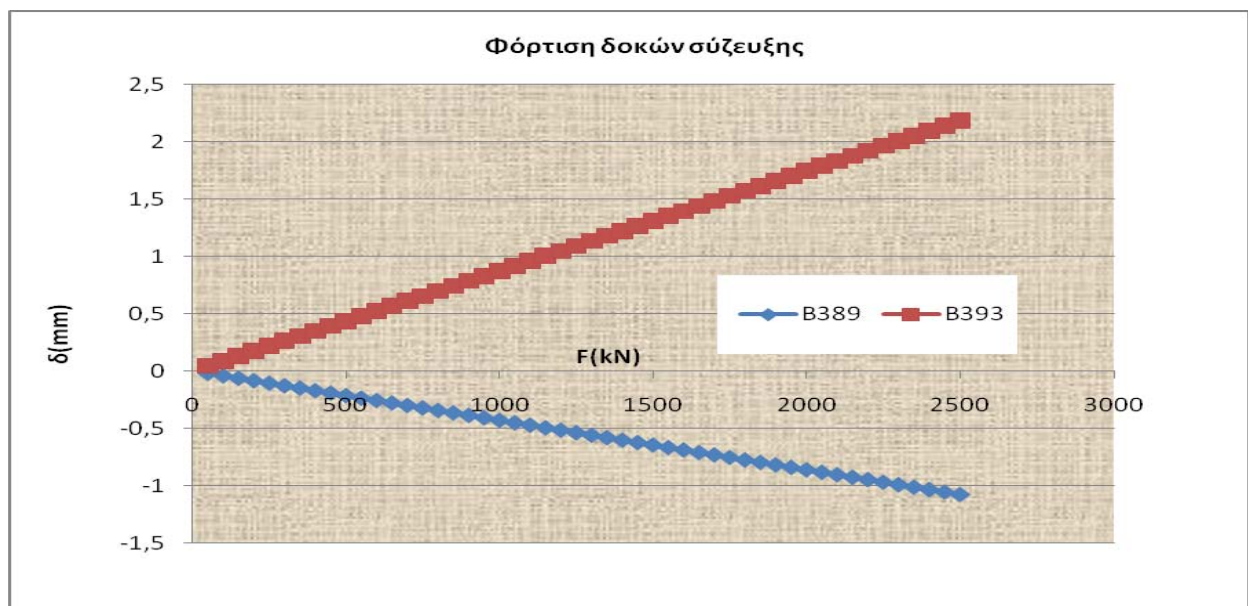
5.3.2 Φόρτιση δοκών σύζευξης

Η φόρτιση αυτή αφορά στην θλιπτική φόρτιση δοκμίων τα οποία τοποθετούνται μεταξύ της Άνω και Κάτω δοκού σύζευξης. Σχήμα 5.2. Στην προσομοίωση της συγκεκριμένης φόρτισης στο στατικό πρόγραμμα ασκήθηκε συγκεντρωμένο φορτίο στο κέντρο της Άνω και Κάτω δοκού σύζευξης όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Στην συνέχεια στο Σχήμα 5.3

φαίνεται η μετακίνηση του κέντρου των Άνω και Κάτω δοκών σύζευξης κατά την επαναληπτική διαδικασία φόρτισης κατά την διεύθυνση της Φόρτισης. Ακολούθως στον Πίνακα 5.1 φαίνεται ο έλεγχος για το αν η ροπή στο κόμβο δοκού σύζευξης - υποστυλώματος ξεπερνά τα $2/3$ της ροπής αντοχής του κόμβου $M_{j,rd} = 763,59 \text{ kNm} \leftrightarrow 2/3 M_{j,rd} = 509,06 \text{ kNm}$. Τέλος παρατίθενται αυτούσιες από το τεύχος του στατικού προγράμματος οι αντιδράσεις στις στηρίξεις του ισχυρού δαπέδου καθώς και ο ελαστικός έλεγχος χάλυβα (δυσμενέστερα μέλη στην φόρτιση). Όσον αφορά τις αντιδράσεις παρατηρούμε ότι η οριζόντια αντίδραση ξεπερνά την φέρουσα ικανότητα των 500 kN του κατασκευαστή για δύναμη μεγαλύτερη των 2343,5 kN. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη φόρτιση η μετακίνηση της Άνω δοκού σύζευξης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με της Κάτω. Αυτό οφείλεται στις αξονικές παραμορφώσεις των υποστυλωμάτων στο μήκος μεταξύ των δοκών σύζευξης οι οποίες αναλαμβάνονται εξ' ολοκλήρου από την Άνω δοκό σύζευξης.



Σχήμα 5.2: Φόρτιση δοκών σύζευξης.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα F-δ δοκών σύζευξης.

Πίνακας 5.1: Έλεγχος ροπής στον κόμβο δοκού - υποστυλώματος

Max (M)	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3)M_{j,Rd}$
κόμβος		
Κάτω	394,25	O.K
Πάνω	502,00	O.K



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 1
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Ρ στο κέντρο των δοκών
0107099-0107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος	Σύστημα	F [kN]	x [m]	Συντ Προέλ	Επταν. (n)
	Φορτιστική κατάσταση	Δνση	Τύπος			
F1	B389 LC2	GCS Z	-2500,00 Δύναμη	0,850	Από Από την αρχή	1
F2	B393 LC2	GCS Z	2500,00 Δύναμη	0,850	Από Από την αρχή	1

2. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Όχι
Επιλογή : Όλα
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

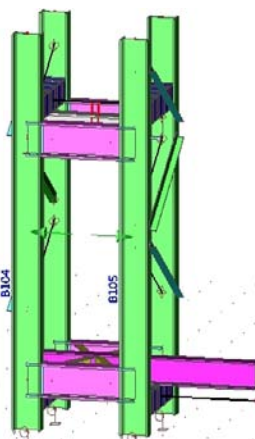
Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Στήριξη 2/N169	LC2	533,18	-2,20	3,33	0,00	0,00	0,04
Στήριξη 1/N171	LC2	-533,39	-3,91	-3,33	0,00	0,00	-0,03
Στήριξη 4/N167	LC2	-4,36	2,00	-3,33	0,00	0,00	0,01
Στήριξη 3/N173	LC2	4,57	4,12	3,33	0,00	0,00	-0,01

3. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B104, B105, B389, B393
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B104	Υποστήλωμα - I gh	S 355	0,920	0,27	0,27	0,21
LC2	B105	Υποστήλωμα - I gh	S 355	0,920	0,27	0,27	0,00
LC2	B389	Δοκός - I gh	S 355	0,850	0,62	0,62	0,47
LC2	B393	Δοκός - I gh	S 355	0,850	0,61	0,61	0,00

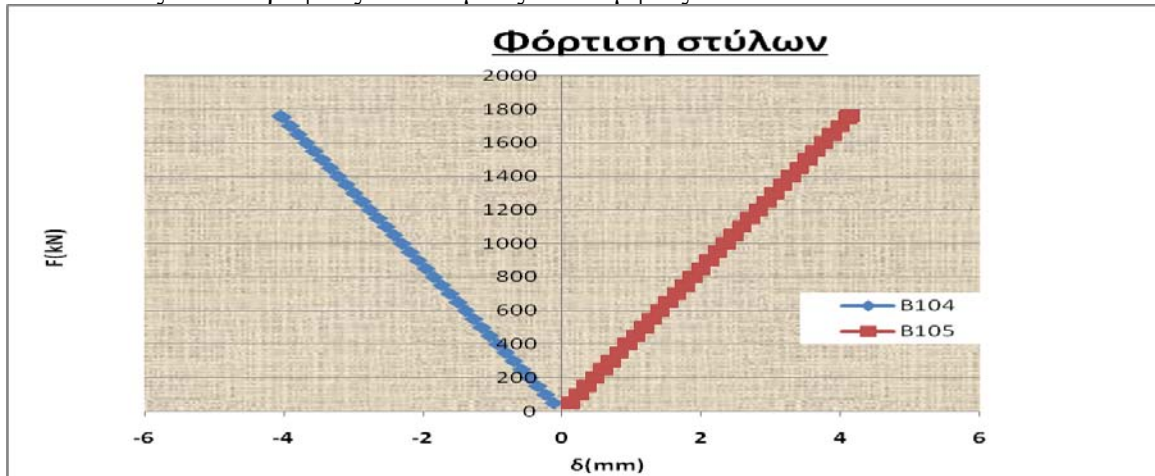
5.3.3 Φόρτιση Υποστυλωμάτων



Σχήμα 5.4: Φόρτιση Υποστυλωμάτων

Η φόρτιση αυτή όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 5.4 αφορά στην θλιπτική φόρτιση δοκιμών μεταξύ των δύο στύλων. Στην φόρτιση αυτή η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι ίδια με την προηγούμενη με την διαφορά όμως ότι εδώ δεν φτάσαμε στα 2500kN καθώς η διατομή του στύλου διαρρέει για $F= 1760 \text{ kN}$ στη στάθμη της κάτω δοκού σύζευξης. Το διάγραμμα F- δ για την φόρτιση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5.5, ο έλεγχος ροπών στον πίνακα 5.2 και όμοια με πριν παρατίθεται και ο αντίστοιχος έλεγχος του προγράμματος. Τέλος εδώ με δύναμη μεγαλύτερη των 1245,13 kN ξεπερνάμε το όριο των 500kN του ισχυρού δαπέδου.

Όπως και στην προηγούμενη έτσι και εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι η καταγεγραμμένη μετακίνηση στην στάθμη φόρτισης ήταν διαφορετική για τα δύο υποστυλώματα. Αυτό οφείλεται στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας.



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα F-δ στύλων.



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 1
ΠΟΛΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙ ΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ φόρτιση στύλων
- 01107099 - 01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος	Σύστημα	F [kN]	x [m]	Συντ	Επταν. (n)
	Φορτιστική κατάσταση	Δνση	Τύπος		Προέλ	
F1	B105	GCS	1760,00	3,610	Απόλ	1
F2	LC2	X	Δύναμη	3,610	Από την αρχή	1
	B104	GCS	-1760,00		Απόλ	
	LC2	X	Δύναμη		Από την αρχή	

2. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B104, B105
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B104	Υποστυλώμα - I gh	S 355	3,610	0,98	0,58	0,98
LC2	B104	Υποστυλώμα - I gh	S 355	3,610	0,98	0,58	0,98
LC2	B104	Υποστυλώμα - I gh	S 355	3,610	0,98	0,53	0,98
LC2	B105	Υποστυλώμα - I gh	S 355	0,920	1,00	0,36	1,00
LC2	B105	Υποστυλώμα - I gh	S 355	3,610	1,00	0,58	1,00
LC2	B105	Υποστυλώμα - I gh	S 355	0,920	1,00	0,36	1,00

3. Αντιδράσεις

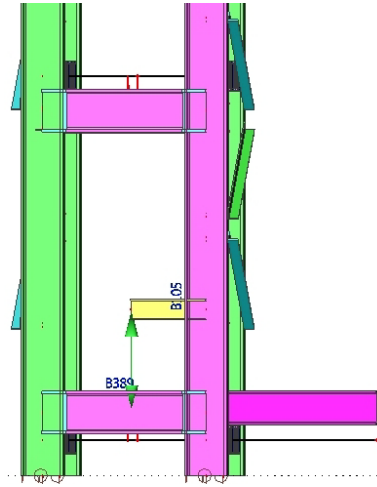
Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Όχι
Επιλογή : Όλα
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Στήριξη 1/N169	LC2	-706,70	3,35	-5,71	0,00	0,00	0,03
Στήριξη 2/N171	LC2	706,75	2,84	5,71	0,00	0,00	-0,04
Στήριξη 3/N167	LC2	6,01	-3,31	5,71	0,00	0,00	0,01
Στήριξη 4/N173	LC2	-6,07	-2,88	-5,71	0,00	0,00	-0,02

Πίνακας 5.2: Έλεγχος ροπής στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος

Max (M) κόμβος	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3) M_{j,Rd}$
	367,17	O.K

5.3.4 Φόρτιση Προβόλου εδραζόμενου επί στύλου



Σχήμα 5.5: Φόρτιση Προβόλου εδραζόμενου επί στύλου

Η φόρτιση αυτή όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 5.5 αφορά στην φόρτιση ενός βοηθητικού μέλους τοποθετημένου ως πρόβολος επί του στύλου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι ίδια με την προηγούμενη με την διαφορά όμως ότι εδώ ο έλεγχος ροπών δεν ικανοποιείται. Έτσι για κάθε ασκούμενη δύναμη μεγαλύτερη των 1000kN υπολογίστηκε αρχικά ο μειωτικός συντελεστής μ και στην συνέχεια η νέα στροφική δυσκαμψία του κόμβου $S_{j,ini}/\mu$. Το διάγραμμα F- δ για την φόρτιση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 5.6 (με κόκκινο και μοβ χρώμα σημειώνεται η περιοχή που έχω μεγαλύτερη δύναμη των 1000kN), ο έλεγχος ροπών στον πίνακα 5.3 και όμοια με πριν παρατίθεται και ο αντίστοιχος έλεγχος του προγράμματος.

$$M_{j,Rd} = 763.59 \text{ kNm} \quad (2/3)M_{j,Rd} = 509.06 \text{ kNm}$$

Έχω σύνδεση με μετωπική πλάκα άρα από Πίνακα 4.1 $\psi=2,7$

Για φορτίο 1000kN

$$M_{Ed} = 531.88 \text{ kNm}$$

$$\mu = (1,5M_{j,Ed} \div M_{j,Rd})^{\psi} = 1.119$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu = 210009 \text{ kNm}$$

Για φορτίο 1050 kN

$$M_{Ed} = 531.88 \text{ kNm}$$

$$\mu = (1,5M_{j,Ed} \div M_{j,Rd})^{\psi} = 1.28$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu = 183594 \text{ kNm}$$

Για φορτίο 1100 kN

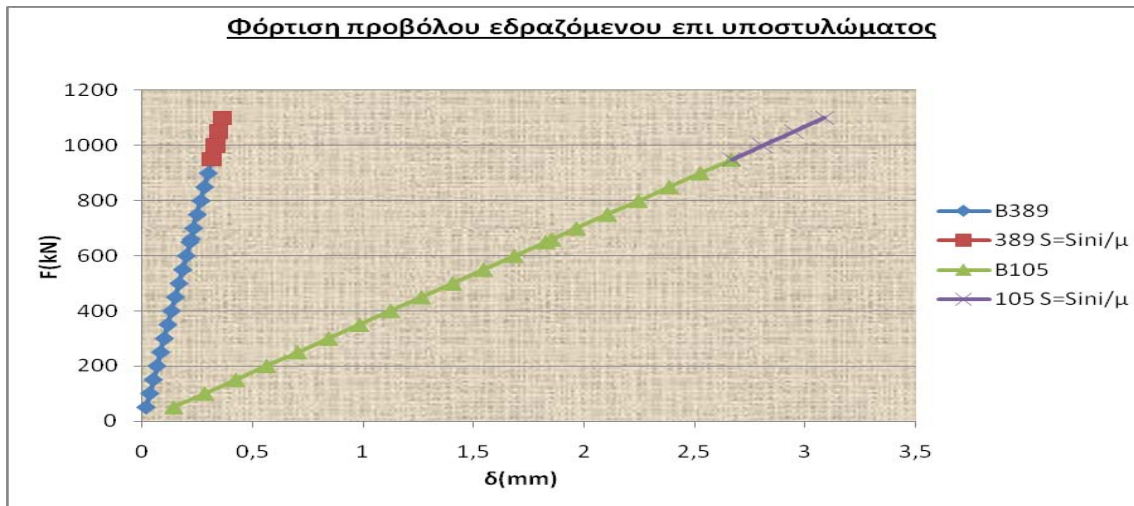
$$M_{Ed} = 585.19 \text{ kNm}$$

$$\mu = (1,5M_{j,Ed} \div M_{j,Rd})^{\psi} = 1.45$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu = 162069 \text{ kNm}$$

Πίνακας 5.3: Έλεγχος ροπής στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος

Max (M) κόμβος	[M](kNm) 510	ΕΛΕΓΧΟΣ
		[M] < (2/3)M _{j,Rd} NO



Σχήμα 5.6: Διάγραμμα F-δ φόρτισης δοκού επί στύλου.



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 1
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Φόρτιση προβόλου επί στύλου
- 01107099 - 01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα	Δνση	Τύπος	Τιμή - F [kN]
Φοιτητική έκδοση *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*						
F1	N550	LC2	GCS	Z	Δύναμη	1100,00

2. Σημειακές δυνάμεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα	Δνση	Τύπος	Τιμή - F [kN]
Φοιτητική έκδοση *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*						
F1	N550	LC2	GCS	Z	Δύναμη	1100,00

3. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Όχι
Επιλογή : Όλα
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Φοιτητική έκδοση *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*							
Στήριξη 2/N169	LC2	115,00	-6,21	55,76	0,00	0,00	-0,49
Στήριξη 1/N171	LC2	-120,55	-1,33	-55,76	0,00	0,00	-0,48
Στήριξη 4/N167	LC2	3,42	-0,22	-55,76	0,00	0,00	-0,57
Στήριξη 3/N173	LC2	2,12	7,75	55,76	0,00	0,00	-0,57

4. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B104, B105, B389, B393
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
Φοιτητική έκδοση *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*							
LC2	B104	Υποστυλώμα - I gh	S 355	0,920	0,13	0,06	0,13
LC2	B105	Δοκός - I gh	S 355	2,420	0,54	0,24	0,54
LC2	B389	Δοκός - I gh	S 355	1,500	0,41	0,41	0,19
LC2	B393	Δοκός - I gh	S 355	0,000	0,10	0,10	0,00

Οι μετακινήσεις που φαίνονται στο Σχήμα 5.6 αφορούν, για την δοκό σύζευξης την μετακίνηση αυτής στην διεύθυνση του φορτίου και για το υποστυλώμα την μετακίνηση αυτού στην διεύθυνση του προβόλου.

5.4 Φορτίσεις Πειραματικής Διάταξης 2

5.4.1 Γενικές Παρατηρήσεις

Οι φορτίσεις που έγιναν αφορούν την προσομοίωση πειραματικών φορτίσεων που δύνανται να εφαρμοστούν στην πράξη. Η φόρτιση έγινε με γραμμικώς αυξανόμενο φορτίο με σταθερό βήμα 50 kN σε κάθε επανάληψη όμοια με τις αντίστοιχες της Πειραματικής Διάταξης 1. Μοναδική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι εδώ η επαναληπτική διαδικασία φόρτισης έφτασε μέχρι τα 650 kN που είναι η φορτιστική ικανότητα του υπάρχοντος εξοπλισμού. Δεδομένου του γεγονότος ότι δεν ήταν δυνατή η μοντελοποίηση στο στατικό πρόγραμμα επακριβώς της διάταξης των πειραματικών δοκιμίων, η φόρτιση έγινε με χρήση συγκεντρωμένων φορτίων που αποτελούν τις αντιδράσεις του εκάστοτε πειράματος επί του πλαισίου αντίδρασης (Πειραματική Διάταξη 2) και βοηθητικών μελών.

Σε κάθε βήμα φόρτισης καταγράφηκε η μετακίνηση των αντίστοιχων μελών της Πειραματικής Διάταξης 2 στα οποία γίνεται η φόρτιση.

Επίσης σε κάθε φόρτιση ελέγχθηκε εάν οι αντιδράσεις στο ισχυρό δάπεδο υπερβαίνουν τα 500kN.

Ακόμη σε κάθε φόρτιση, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.2.3 της παρούσας εργασίας, ελέγχεται εάν η ροπή που ασκείται στους κόμβους που έχουν προσομοιωθεί με στροφικά ελατήρια υπερβαίνει τα 2/3 της αντοχής του κόμβου. Σε περίπτωση υπέρβασης γίνεται διόρθωση της δυσκαμψίας του στροφικού ελατηρίου σύμφωνα με τον πίνακα 4.1 της παρούσας εργασίας.

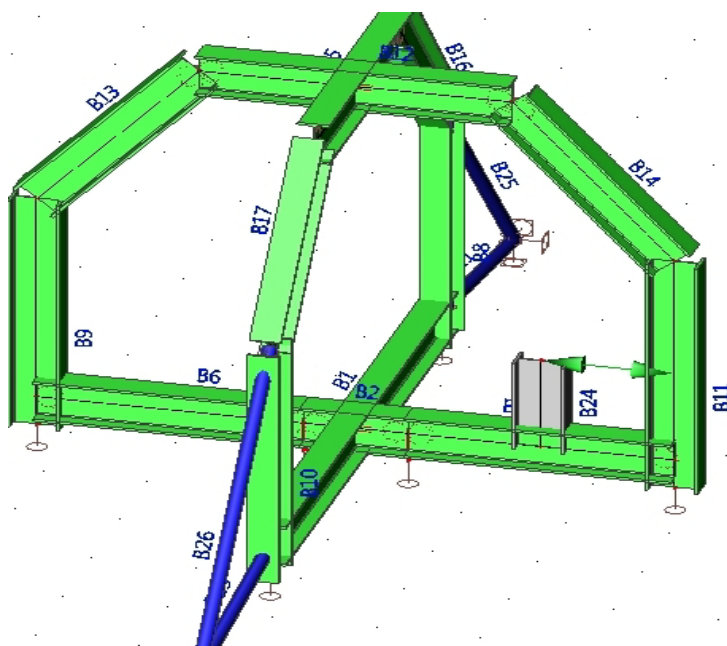
Όσον αφορά τους κόμβους της Πειραματικής Διάταξης 2, η αντοχή τους έχει υπολογιστεί σύμφωνα με την παράγραφο 4.4 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα έχει υπολογιστεί:

Κάτω σύνδεση δοκού - υποστυλώματος	Ανω σύνδεση δοκού - υποστυλώματος
$M_{j,Rd} = 437.74 kNm$	$M_{j,Rd} = 1031.65 kNm$
$(2/3)M_{j,Rd} = 291.83 kNm$	$(2/3)M_{j,Rd} = 687.77 kNm$

Παρακάτω παρατίθενται κάποιες ενδεικτικές φορτίσεις επί της Πειραματικής Διάταξης 2.

5.4.2 Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης (πλαίσιο χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη)

Η φόρτιση αυτή όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.7 αφορά στην φόρτιση ενός βοηθητικού μέλους τοποθετημένου ως πακτομένος πρόβολος επί της δοκού βάσης του πλαισίου χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι ανάλογη με αυτή της Πειραματικής Διάταξης 1. Το βοηθητικό στοιχείο που τοποθετήθηκε για την προσομοίωση του προβόλου είχε ύψος 1,09 m και τοποθετήθηκε στο μέσο της δοκού Β7. Κατά την φόρτιση καταγράφηκε η κατακόρυφη και αξονική μετακίνηση της δοκού Β7 (u_z , u_x στον πίνακα 5.4), καθώς και η μετακίνηση u του μέλους Β11 στη διεύθυνση του συγκεντρωμένου φορτίου. Το διάγραμμα F-δ για την φόρτιση αυτή αφορά την μετακίνηση u_z του μέλους Β7 και u του μέλους Β11 και φαίνεται στο Σχήμα 5.8. Ο έλεγχος ροπών Πίνακας 5.5 και το αντίστοιχο με πριν τεύχος του προγράμματος που αφορά στα γενικά στοιχεία της φόρτισης (σημείο φορτίσεως), στον έλεγχο χάλυβα και στις αντιδράσεις στην στήριξη των αξονικά καταπονούμενων μελών επί του ισχυρού δαπέδου παρατίθενται επίσης πιο κάτω.



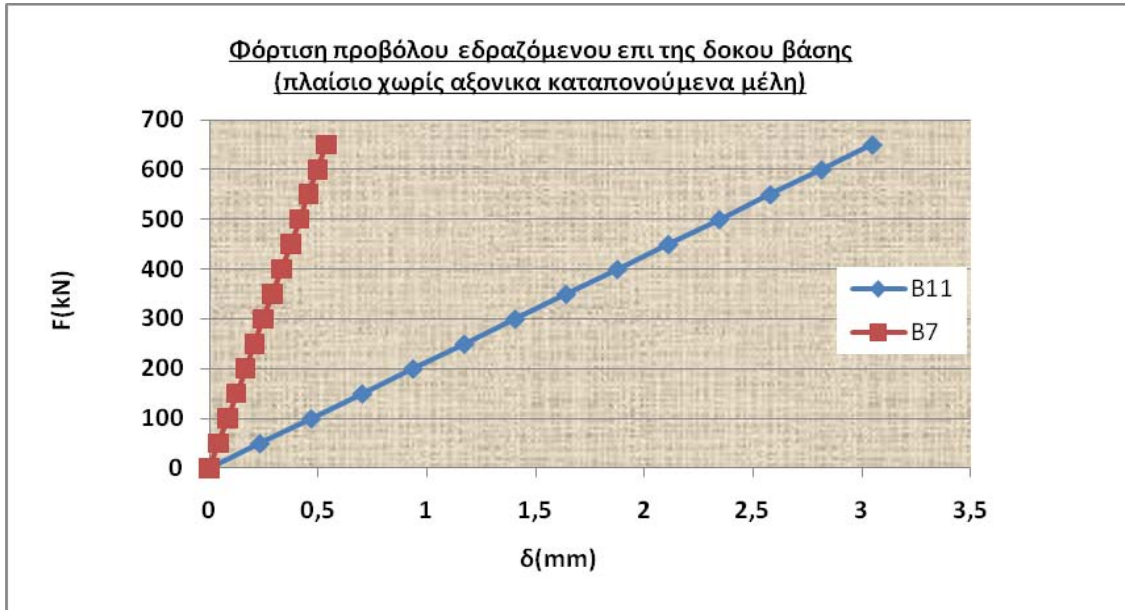
Σχήμα 5.7: Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης (πλαίσιο χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη)

Πίνακας 5.4: Μετακινήσεις Μελών

Μέλος	B11	Μέλος	B7	Μέλος	B7
Φορτίο(kN)	u(mm)	Φορτίο(kN)	uz(mm)	Φορτίο(kN)	ux(mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,234	50	0,041	50	0,026
100	0,469	100	0,083	100	0,052
150	0,703	150	0,124	150	0,077
200	0,937	200	0,166	200	0,103
250	1,172	250	0,207	250	0,129
300	1,405	300	0,249	300	0,155
350	1,640	350	0,290	350	0,180
400	1,874	400	0,332	400	0,206
450	2,109	450	0,373	450	0,232
500	2,343	500	0,414	500	0,258
550	2,577	550	0,455	550	0,283
600	2,812	600	0,497	600	0,209
650	3,046	650	0,538	650	0,335

Πίνακας 5.5: Έλεγχος ροπής στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος

Max (M) κόμβος	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3)M_{i,Rd}$
Κάτω	289,95	O.K
Πάνω	116,23	O.K



Σχήμα 5.8: : Διάγραμμα F- δ φόρτισης προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης (χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη)



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 2
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 2η δοκιμαστική φόρτιση
- 01107099- 01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα	Δνση	Τύπος	Τιμή - F [kN]
F1	N31	LC2	GCS	X	Δύναμη	650,00

2. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα Δνση	F [kN] Τύπος	x	Συντ Προέλ	Επταν. (n)
F1	B11 LC2	GCS X	-650,00 Δύναμη	0,500	Σχετ Από την αρχή	1

3. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B7, B11
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B7	Κύρια διατομή - I gh	S 355	1,277	0,44	0,44	0,00
LC2	B11	Κύρια διατομή - I gh	S 355	0,350	0,48	0,48	0,00

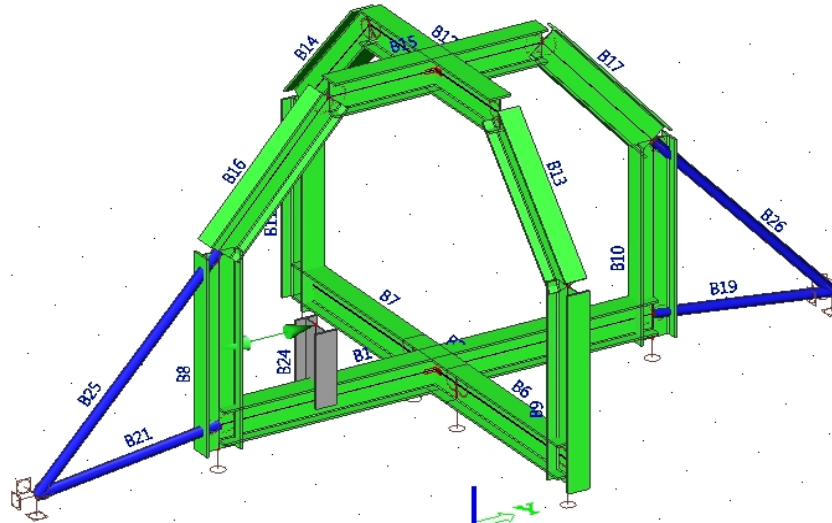
4. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Κόμβος
Επιλογή : Στήριξη 1, Στήριξη 2
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Στήριξη 1/N26	LC2	0,00	14,95	15,15	0,00	0,43	0,15
Στήριξη 2/N24	LC2	0,00	-14,95	15,24	0,00	0,44	-0,15

5.4.3 Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης(πλαίσιο με αξονικά καταπονούμενα μέλη)

Πρόκειται ουσιαστικά για την ίδια φόρτιση με την προηγούμενη με μόνη διαφορά ότι τώρα ο πακτωμένος πρόβολος τοποθετείται στην δοκό έδρασης του ενισχυμένου Πλαισίου. Όμοια με πριν ακολουθούν τα Σχήματα 5.9 και 5.10 , οι Πίνακες 5.6, 5.7 και το αντίστοιχο τεύχος.



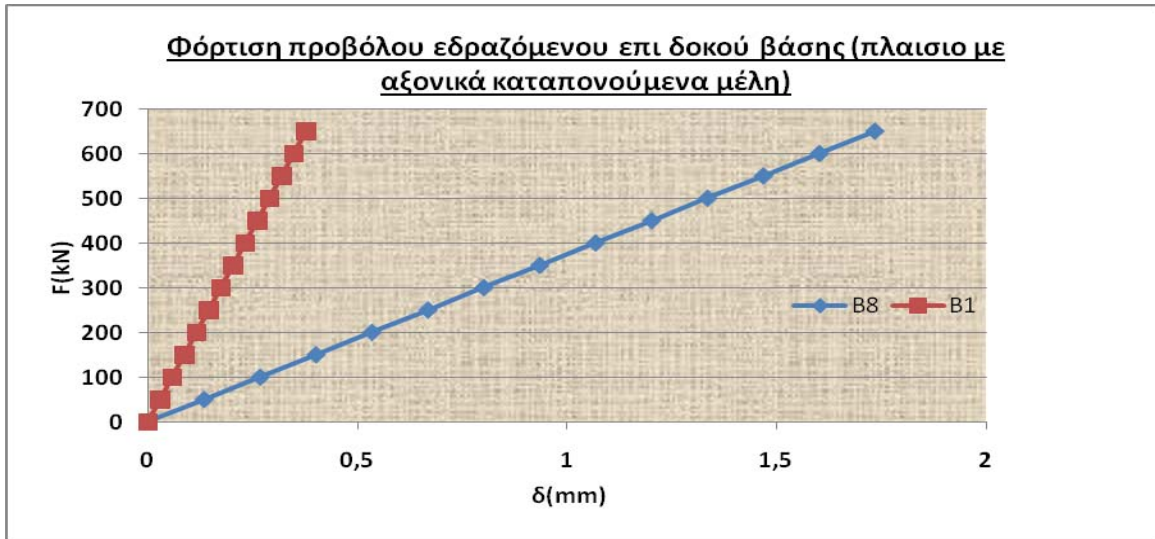
Σχήμα 5.9: Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης (πλαίσιο με αξονικά καταπονούμενα μέλη)

Πίνακας 5.6: Μετακινήσεις Μελών

Μέλος	B8	B1	B1
Φορτίο(Kn)	uz(mm)	uz(mm)	ux(mm)
0	0	0	
50	0,133	0,029	0,044
100	0,267	0,058	0,09
150	0,400	0,087	0,136
200	0,534	0,116	0,182
250	0,667	0,145	0,228
300	0,801	0,174	0,274
350	0,934	0,203	0,32
400	1,068	0,232	0,366
450	1,201	0,261	0,412
500	1,335	0,290	0,458
550	1,468	0,319	0,504
600	1,602	0,348	0,55
650	1,734	0,377	0,596

Πίνακας 5.7: Έλεγχος ροπής στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος

Max (M) κόμβος	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3)M_{i,Rd}$
Κάτω	198,42	O.K
Πάνω	61,70	O.K



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα F-δ φόρτισης προβόλου εδραζόμενου επί δοκού βάσης (με αξονικά καταπονούμενα μέλη)



μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 2
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1η δοκιμαστική φόρτιση
- 01107099- 01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα	Δνση	Τύπος	Τιμή - F [kN]
F1	N31	LC2	GCS	Y	Δύναμη	650,00

2. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα Δνση	F [kN] Τύπος	x	Συντ Προέλ	Επαν. (n)
F1	B8 LC2	GCS Y	-650,00 Δύναμη	0,500	Σχετ Από την αρχή	1

3. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Κόμβος
Επιλογή : Στήριξη 2, Στήριξη 1
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Στήριξη 2/N24	LC2	0,00	-36,97	-40,28	0,00	0,00	0,00
Στήριξη 1/N26	LC2	0,00	36,97	114,00	0,00	0,00	0,00

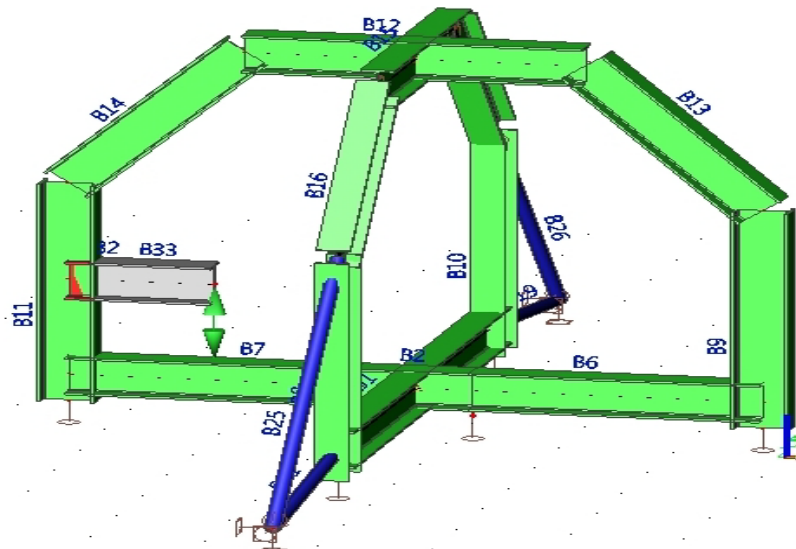
4. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B1, B8
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B1	Κύρια διατομή - I gh	S 355	1,375	0,41	0,41	0,00
LC2	B8	Κύρια διατομή - I gh	S 355	1,440	0,26	0,26	0,00

5.4.4 Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος (πλαίσιο χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη)

Πρόκειται ουσιαστικά για την ίδια φόρτιση με τις 2 προηγούμενες με μόνη διαφορά ότι τώρα ο πακτωμένος πρόβολος τοποθετείται επί του Υποστυλώματος Β11. Το μήκος του προβόλου είναι 1,53m και τοποθετήθηκε στο μέσο του Υποστυλώματος Β11. Κατά την φόρτιση καταγράφηκε η κατακόρυφη στην διεύθυνση του προβόλου και η αξονική μετακίνηση της δοκού Β11 (u_z , u_x στον πίνακα 5.8), καθώς και η κάθετη στη διεύθυνση του συγκεντρωμένου φορτίου μετακίνηση u του μέλους Β7. Το διάγραμμα F- δ για την φόρτιση αυτή αφορά την μετακίνηση u_z του μέλους Β11 και u του μέλους Β7 και φαίνεται στο Σχήμα 5.12 Όμοια με πριν ακολουθούν τα Σχήματα 5.11 και 5.12 , οι Πίνακες 5.8, 5.9 και το αντίστοιχο τεύχος.



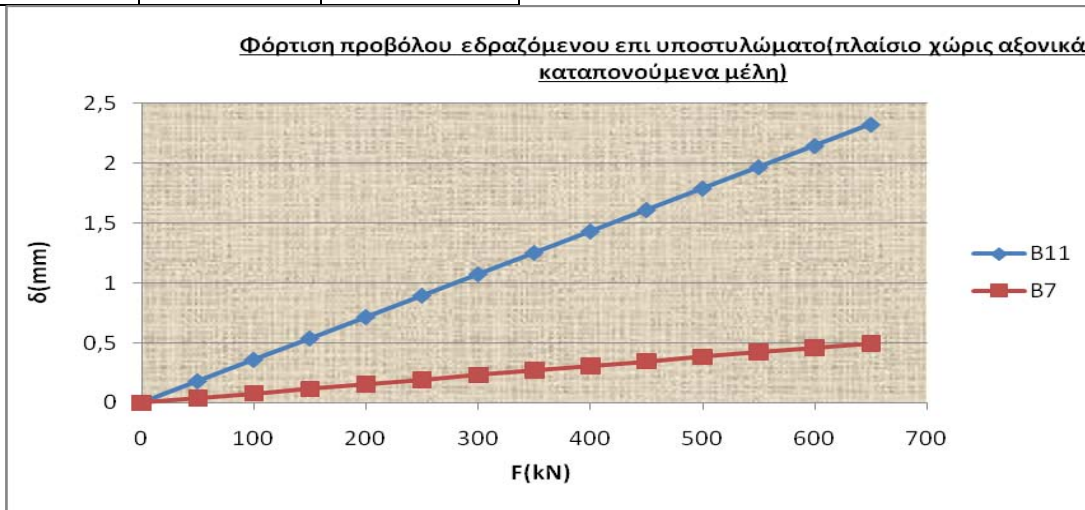
Σχήμα 5.11: Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος (πλαίσιο χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη)

Πίνακας 5.8: Μετακινήσεις Μελών

Μέλος	B11	Μέλος	B7	Μέλος	B11
Φορτίο(Kn)	u_z (mm)	Φορτίο(Kn)	u (mm)	Φορτίο(Kn)	u_x (mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,179	50	0,038	50	0,015
100	0,358	100	0,077	100	0,03
150	0,537	150	0,115	150	0,045
200	0,716	200	0,154	200	0,06
250	0,895	250	0,192	250	0,075
300	1,074	300	0,231	300	0,09
350	1,253	350	0,269	350	0,105
400	1,432	400	0,308	400	0,12
450	1,611	450	0,346	450	0,135
500	1,79	500	0,384	500	0,15
550	1,969	550	0,421	550	0,165
600	2,146	600	0,460	600	0,18
650	2,324	650	0,497	650	0,197

Πίνακας 5.9: Έλεγχος ροπής στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος

Max(M) κόμβος	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3)M_{i,Rd}$
Κάτω	288.8	O.K
Πάνω	138,40	O.K



Σχήμα 5.12: Διάγραμμα F-δ φόρτισης προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος (χωρίς αξονικά καταπονούμενα μέλη)



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 2
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 4η δοκιμαστική φόρτιση
- 01107099 - 01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα	Δνση	Τύπος	Τιμή - F [kN]
F1	N30	LC2	GCS	Z	Δύναμη	650,00

2. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος	Σύστημα	F [kN]	x	Συντ Προελ	Επαν. (n)
F1	B7 LC2	GCS Z	-650,00 Δύναμη	0,500	Σχετ Από την αρχή	1

3. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Κόμβος
Επιλογή : Στήριξη 1, Στήριξη 2
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Στήριξη 1/N26	LC2	0,00	11,29	11,54	0,00	0,48	0,17
Στήριξη 2/N24	LC2	0,00	-11,29	-11,60	0,00	0,50	-0,17

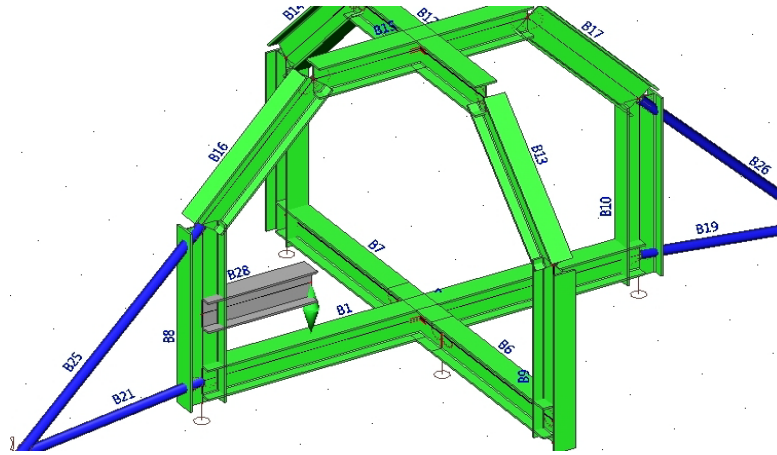
4. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B7, B11
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B7	Κύρια διατομή - I gh	S 355	2,555	0,37	0,37	0,25
LC2	B11	Κύρια διατομή - I gh	S 355	1,615	0,42	0,42	0,00

5.4.5 Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος (πλαίσιο με αξονικά καταπονόμενα μέλη)

Πρόκειται ουσιαστικά για την ίδια φόρτιση με την προηγούμενη με μόνη διαφορά ότι τώρα ο πακτωμένος πρόβολος τοποθετείται στο Υποστυλώμα του ενισχυμένου Πλαισίου. Όμοια με πριν ακολουθούν τα Σχήματα 5.13 και 5.14, οι Πίνακες 5.10, 5.11 και το αντίστοιχο τεύχος.



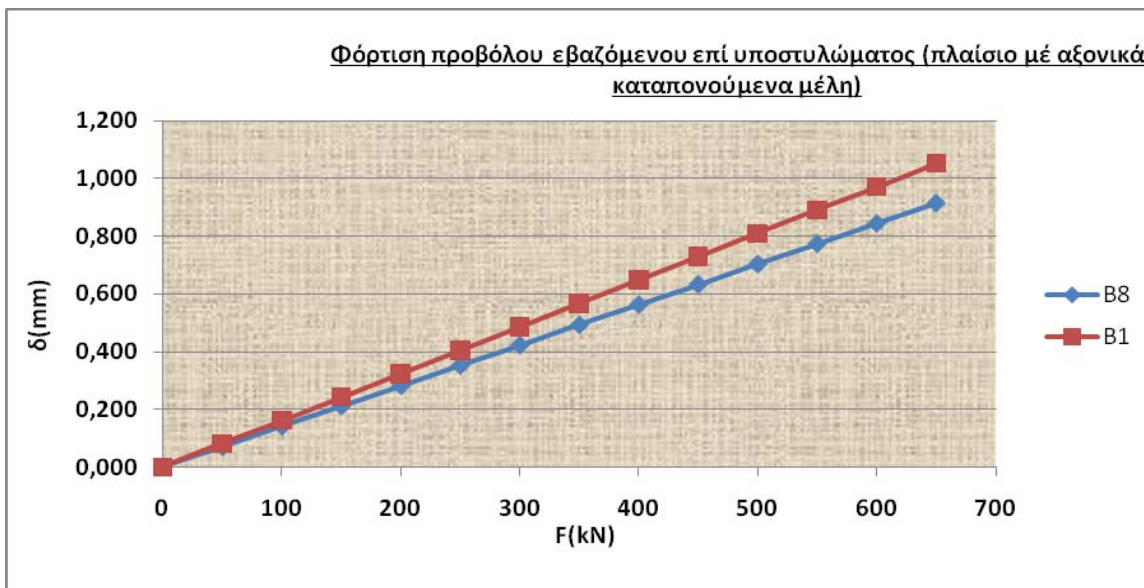
Σχήμα 5.13: Φόρτιση προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος (πλαίσιο με αξονικά καταπονόμενα μέλη)

Πίνακας 5.10: Μετακινήσεις Μελών

Μέλος	B8	Μέλος	B1	Μέλος	B8
Φορτίο(Kn)	uz(mm)	Φορτίο(Kn)	u(mm)	Φορτίο(kN)	ux(mm)
0	0,000	0	0,000	0	0,000
50	0,070	50	0,081	50	0,018
100	0,141	100	0,162	100	0,035
150	0,211	150	0,243	150	0,053
200	0,282	200	0,324	200	0,070
250	0,352	250	0,405	250	0,088
300	0,422	300	0,486	300	0,105
350	0,493	350	0,567	350	0,123
400	0,563	400	0,648	400	0,140
450	0,634	450	0,729	450	0,158
500	0,704	500	0,810	500	0,175
550	0,774	550	0,891	550	0,193
600	0,845	600	0,972	600	0,210
650	0,915	650	1,053	650	0,228

Πίνακας 5.11: Έλεγχος ροπής στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος

Max(M) κόμβος	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3)M_{i,Rd}$
Κάτω	275,85	O.K
Πάνω	92,82	O.K



Σχήμα 5.14: Διάγραμμα F-δ φόρτισης προβόλου εδραζόμενου επί υποστυλώματος(με αξονικά καταπονούμενα μέλη)



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 2
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 3η δοκιμαστική φόρτιση
- 01107099 - 01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα	Δνση	Τύπος	Τιμή - F [kN]
F1	N36	LC2	GCS	Z	Δύναμη	650,00

2. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος	Σύστημα	F [kN]	x [m]	Συντ Προέλ	Επταν. (n)
F1	B1 LC2	GCS Z	-650,00 Δύναμη	1,528	Απόλ Από την αρχή	1

3. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Κόμβος
Επιλογή : Στήριξη 2, Στήριξη 1
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Στήριξη 2/N24	LC2	0,00	-17,27	-60,63	0,00	0,00	0,00
Στήριξη 1/N26	LC2	0,00	17,27	126,43	0,00	0,00	0,00

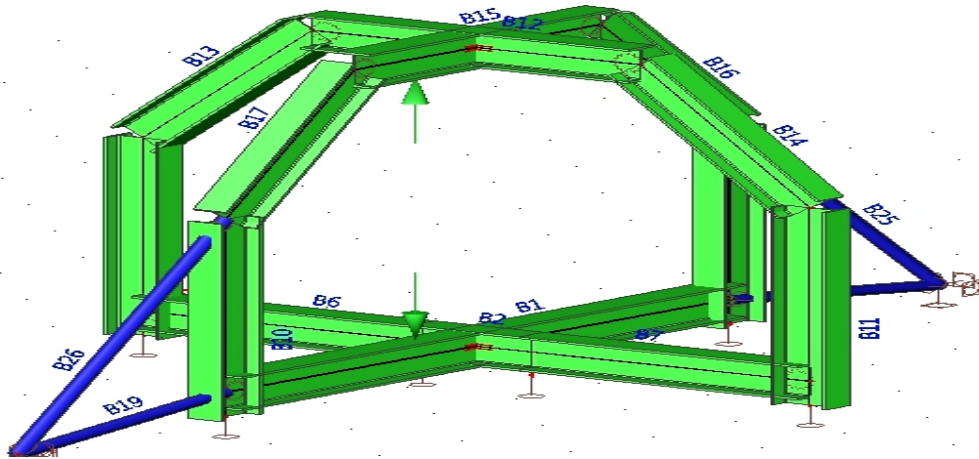
4. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B7, B8, B25
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B7	Κύρια διατομή - I gh	S 355	0,000	0,01	0,01	0,00
LC2	B8	Κύρια διατομή - I gh	S 355	1,440	0,50	0,50	0,00
LC2	B25	Αξονικά καταπονούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	S 355	0,000	0,40	0,25	0,40

5.4.6 Φόρτιση άνω - κάτω δοκών

Η συγκεκριμένη φόρτιση όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.15 αφορά στην θλιπτική φόρτιση δοκιμίων εσωτερικά της Πειραματικής Διάταξης 2. Κατά την προσομοίωση της φόρτισης έγινε καταγραφή των μετακινήσεων στην διεύθυνση της φόρτισης της άνω και κάτω δοκού της Πειραματικής Διάταξης 2. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη φόρτιση η μετακίνηση της Άνω δοκού είναι κατά πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με της Κάτω. Αυτό οφείλεται στις αξονικές παραμορφώσεις των υποστυλωμάτων στο μήκος μεταξύ των άνω και κάτω δοκών.



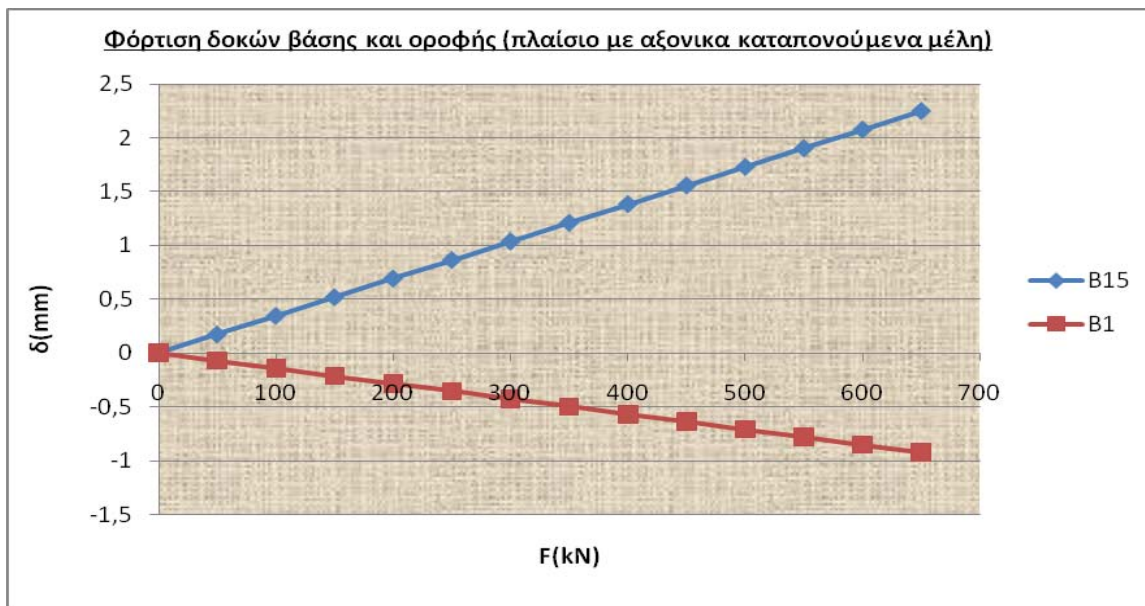
Σχήμα 5.15: Φόρτιση άνω - κάτω δοκών

Πίνακας 5.12: Μετακινήσεις Μελών

Μέλος	B15	Μέλος	B1
Φορτίο(Kn)	u(mm)	Φορτίο(Kn)	u(mm)
0	0	0	0
50	0,173	50	-0,071
100	0,346	100	-0,142
150	0,519	150	-0,213
200	0,692	200	-0,284
250	0,865	250	-0,355
300	1,037	300	-0,425
350	1,210	350	-0,496
400	1,383	400	-0,567
450	1,556	450	-0,638
500	1,729	500	-0,709
550	1,902	550	-0,780
600	2,075	600	-0,851
650	2,248	650	-0,921

Πίνακας 5.13: Έλεγχος ροπής στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος

Max(M) κόμβος	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3)M_{i,Rd}$
Κάτω	69,53	O.K
Πάνω	90,93	O.K



Σχήμα 5.16: Διάγραμμα F-δ φόρτισης άνω – κάτω δοκών



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 2
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 8η δοκιμαστική φόρτιση
01107099-01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος	Σύστημα	F [kN]	x	Συντ	Επταν. (n)
	Φορτιστική κατάσταση	Δνση	Τύπος		Προελ	
F1	B15 LC2	GCS Z	650,00 Δύναμη	0,750	Σχετ Από την αρχή	1
F2	B1 LC2	GCS Z	-650,00 Δύναμη	3,805	Απόλ Από την αρχή	1

2. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Κόμβος
Επιλογή : Στήριξη 1, Στήριξη 2
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Στήριξη 1/N26	LC2	0,00	-57,68	-62,95	0,00	0,00	0,00
Στήριξη 2/N24	LC2	0,00	57,68	-56,04	0,00	0,00	0,00

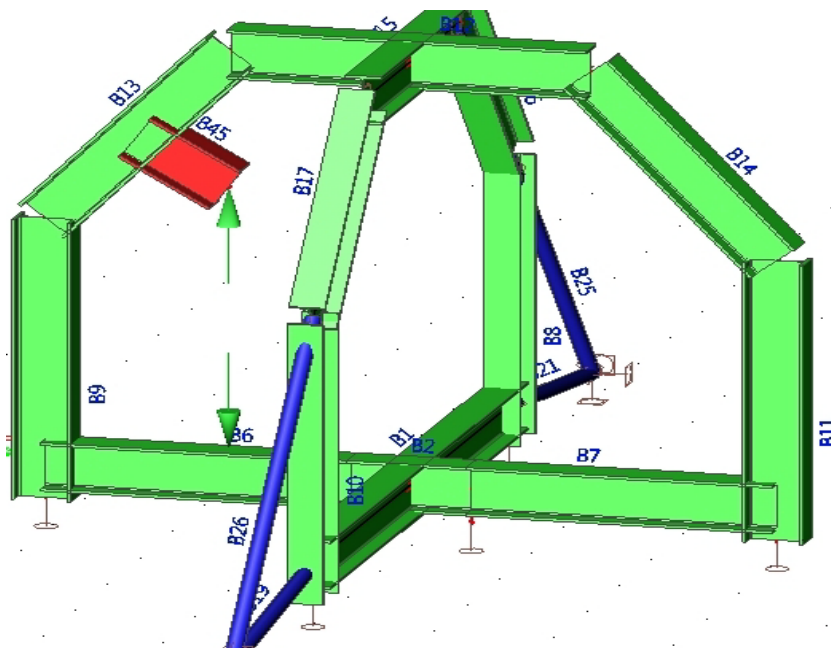
3. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B1, B2, B15
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B1	Κύρια διατομή - I gh	S 355	3,805	0,19	0,19	0,19
LC2	B2	Κύρια διατομή - I gh	S 355	0,500	0,27	0,27	0,09
LC2	B15	Κύρια διατομή - I gh	S 355	2,250	0,28	0,28	0,00

5.4.7 Φόρτιση πακτωμένου προβόλου εδραζόμενου επί κεκλιμένου τμήματος υποστυλώματος.

Στην περίπτωση αυτή έγινε προσομοίωση φόρτισης προβόλου μήκους 0.9 m εδραζόμενου στο μέσο του κεκλιμένου Υποστυλώματος B13. Κατά την φόρτιση καταγράφηκε η κάθετη στη διεύθυνση του συγκεντρωμένου φορτίου μετακίνηση u του μέλους B6. Το διάγραμμα F-δ για την φόρτιση αυτή αφορά την μετακίνηση u του μέλους B13 και u του μέλους B6 φαίνεται στο Σχήμα 5.18 Όμοια με πριν ακολουθούν τα Σχήματα 5.17 και 5.18 , οι Πίνακες 5.14, 5.15 και το αντίστοιχο τεύχος.



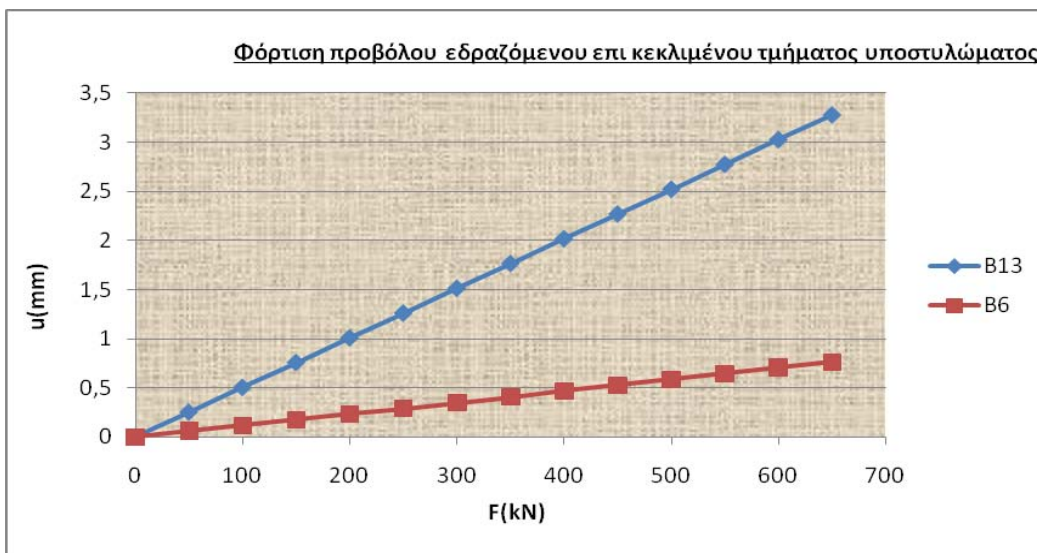
Σχήμα 5.17: Φόρτιση πακτωμένου προβόλου εδραζόμενου επί κεκλιμένου τμήματος υποστυλώματος.

Πίνακας 5.14: Μετακινήσεις Μελών

Μέλος	B13	Μέλος	B6	Μέλος	B13
Φορτίο(Kη)	u(mm)	Φορτίο(Kη)	u(mm)	Φορτίο(Kη)	ux(mm)
0	0	0	0	0	0
50	0,252	50	0,059	50	0,006
100	0,504	100	0,117	100	0,012
150	0,756	150	0,175	150	0,018
200	1,008	200	0,233	200	0,024
250	1,260	250	0,291	250	0,030
300	1,512	300	0,349	300	0,036
350	1,764	350	0,407	350	0,042
400	2,016	400	0,469	400	0,047
450	2,267	450	0,527	450	0,054
500	2,519	500	0,586	500	0,060
550	2,772	550	0,644	550	0,066
600	3,024	600	0,704	600	0,072
650	3,275	650	0,762	650	0,076

Πίνακας 5.15: Έλεγχος ροπής στον κόμβο δοκού-υποστυλώματος

Max(M)	[M](kNm)	ΕΛΕΓΧΟΣ
		$[M] < (2/3)M_{i,Rd}$
κόμβος		
Κάτω	110,28	O.K
Πάνω	268,71	O.K



Σχήμα 5.18: Διάγραμμα F-δ φόρτισης προβόλου εδραζόμενου επί κεκλιμένου υποστυλώματος

Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

-ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 2
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 14η δοκιμαστική φόρτιση
01107099-01107105

1. Σημειακές δυνάμεις σε κόμβο

Όνομα	Κόμβος	Φορτιστική κατάσταση	Σύστημα	Δνση	Τύπος	Τιμή - F [kN]
Φορτιστική έδραση *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση*						
F2	N34	LC2	GCS	Z	Δύναμη	650,00

2. Σημειακές δυνάμεις σε δοκό

Όνομα	Μέλος	Σύστημα	F [kN]	x	Συντ	Επαν. (n)
Φορτιστική κατάσταση		Δνση	Τύπος		Προέλ	
Φορτιστική έδραση *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση*						
F1	B6 LC2	GCS Z	-650,00 Δύναμη	0,401	Σχετ Από την αρχή	1

3. Αντιδράσεις

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Κόμβος
Επιλογή : Στήριξη 1, Στήριξη 2
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Στήριξη	Περίπτωση	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Φορτιστική έδραση *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση*							
Στήριξη 1/N26	LC2	0,00	-25,70	-25,94	0,00	-0,33	-0,13
Στήριξη 2/N24	LC2	0,00	25,70	-26,08	0,00	-0,34	0,13

4. Έλεγχος χάλυβα

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B6, B12, B13, B19, B21, B25, B26
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
Φορτιστική έδραση *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση* *Φορτιστική έδραση*							
LC2	B6	Κύρια δοκός - I gh	S 355	0,000	0,38	0,38	0,21
LC2	B12	Κύρια δοκός - I gh	S 355	3,000	0,24	0,24	0,00
LC2	B13	Κύρια δοκός - I gh	S 355	1,201	0,40	0,40	0,40
LC2	B19	Αξονικά καταποντούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	S 355	0,000	0,01	0,01	0,00
LC2	B21	Αξονικά καταποντούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	S 355	0,000	0,01	0,01	0,00
LC2	B25	Αξονικά καταποντούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	S 355	0,000	0,05	0,05	0,00
LC2	B26	Αξονικά καταποντούμενα μέλη - CHS139.7/5.0	S 355	0,000	0,05	0,05	0,00

6 Μελέτη Χωρικών Πλαισίων

6.1 Εισαγωγή

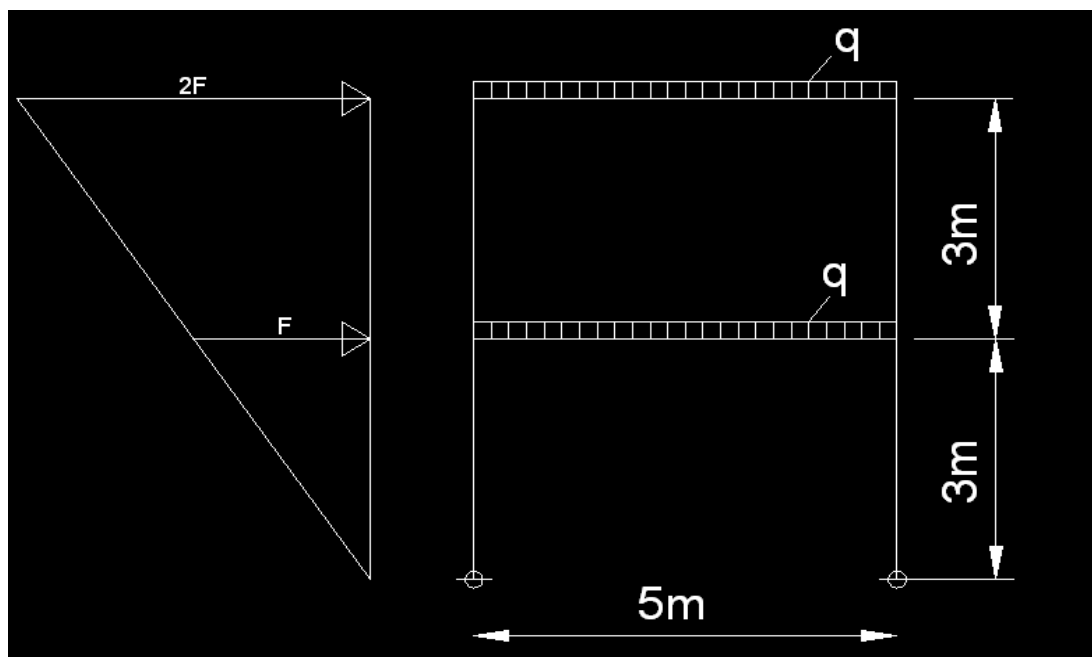
Έπειτα από τις δοκιμαστικές φορτίσεις επί των Πειραματικών Διατάξεων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, στο παρόν κεφάλαιο της Διπλωματικής εργασίας γίνεται εκτενής παρουσίαση Πειραματικής φόρτισης δοκιμίων Χωρικών Πλαισίων. Οι διατάξεις που θα παρουσιαστούν πρόκειται να αποτελέσουν μέρος ερευνητικού προγράμματος που θα λάβει χώρα στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών ΕΜΠ.

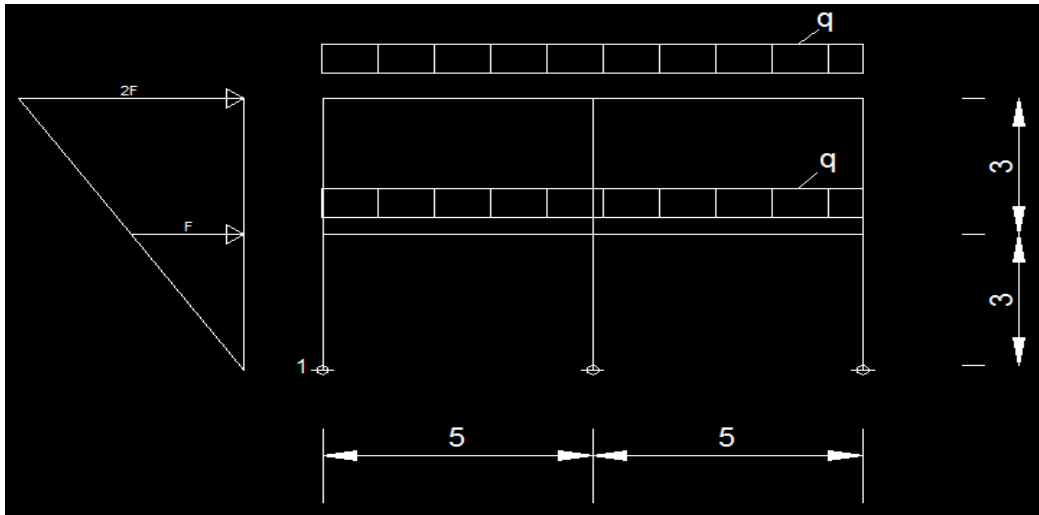
Στις επόμενες σελίδες αρχικώς γίνεται αναλυτική περιγραφή της Πειραματικής διαδικασίας ως προς τον τρόπο εκτέλεσης αυτής. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος προσομοίωσης των διατάξεων στο στατικό πρόγραμμα από την ανάλυση του οποίου προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τόσο τα Πειραματικά δοκίμια όσο και την συμπεριφορά των Πειραματικών Διατάξεων.

6.2 Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

6.2.1 Γενικά

Το προαναφερθέν πειραματικό πρόγραμμα έγκειται στην οριζόντια φόρτιση Διώροφων Χωρικών Πλαισίων ενός και δύο ανοιγμάτων Σχήμα 6.1 έως την κατάρρευση αυτών. Οι διατομές των δοκών και υποστυλωμάτων είναι πρότυπες διατομές διπλού ταυ. Στη φόρτιση αυτών πέρα των οριζόντιων φορτίσεων υπάρχουν και κατακόρυφα κατανεμημένα φορτία επί των δοκών κάθε ορόφου.





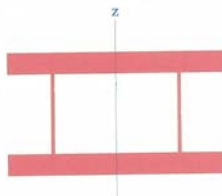
Σχήμα 6.1: Χωρικά Πλαίσια ενός και δύο ανοιγμάτων.

6.2.2 Διαδικασία Ανέγερσης Χωρικών Πλαισίων

Προκειμένου να αποφασιστεί η διαδικασία ανέγερσης των χωρικών Πλαισίων καθώς και η διαδικασία φόρτισης αυτών, έγινε συνεννόηση με τον επιβλέποντα καθηγητή και τον υπεύθυνο του εργαστηρίου.

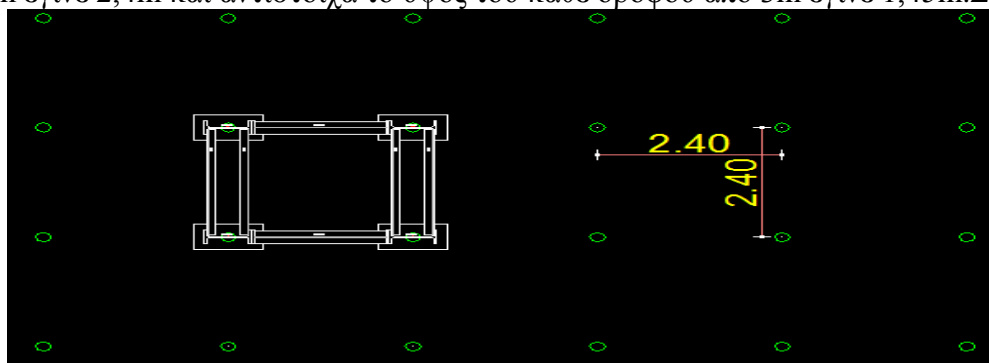
Η διάταξη η οποία αποφασίστηκε για την εκτέλεση του πειράματος περιλαμβάνει τα εξής :

Αρχικώς αποφασίστηκε ως Πλαίσιο Αντίδρασης για την διενέργεια των δοκιμών να χρησιμοποιηθεί η Πειραματική Διάταξη 1. Τα Πλαίσια θα προσομοιωθούν με δοκίμια υπό κλίμακα και θα εδράζονται πάνω σε μια διάταξη Σχήμα 6.2 η οποία θα εξασφαλίζει την σύνδεση των Χωρικών Πλαισίων με το Πλαίσιο Αντίδρασης και το ισχυρό δάπεδο του εργαστηρίου.



Σχήμα 6.2: Διατομή διάταξης έδρασης Χωρικών Πλαισίων

Στην κάτοψη που φαίνεται στο Σχήμα 6.3 παρατηρούμε ότι στην επιφάνεια του ισχυρού είναι κατανεμημένες οπές σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους ίση με 2,4m. Η διάταξη αυτή των οπών καθόρισε την κλίμακα των δοκιμών σύμφωνα με την οποία το μήκος του ανοίγματος των 5m έγινε 2,4m και αντίστοιχα το ύψος του κάθε ορόφου από 3m έγινε 1,45m. Σχήμα 6.4.

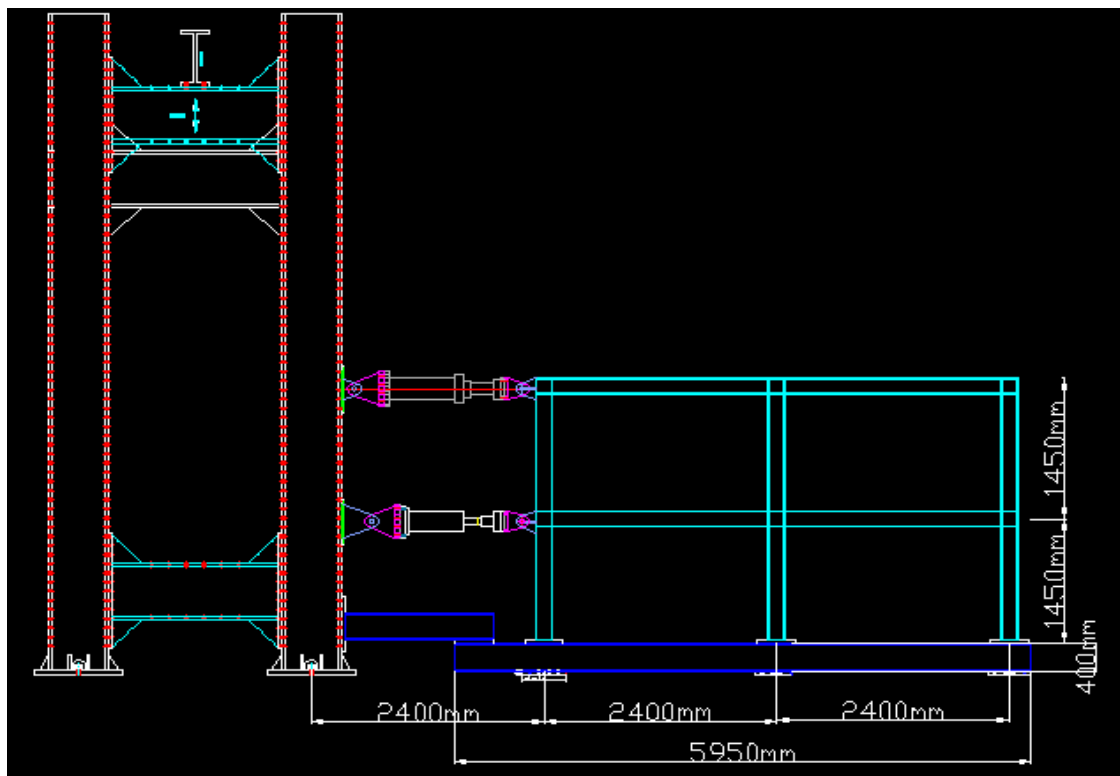


Σχήμα 6.3: Διάταξη οπών στο ισχυρό δάπεδο του εργαστηρίου.

Όσον αφορά στην επιλογή των διατομών δοκών - υποστρωμάτων, γίνεται παρακάτω ακριβής αιτιολόγηση της επιλογής.

Αξίζει να επισημανθεί ότι η ακριβής διαμόρφωση των συνδέσεων στους κόμβους των Χωρικών Πλαισίων και στην σύνδεση της διάταξης έδρασης με την Πειραματική Διάταξη 1 δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρα μόνον η προσομοίωση αυτών στο στατικό πρόγραμμα σύμφωνα με την καθοδήγηση των υπευθύνων.

Το ίδιο ισχύει και για την πλευρική εξασφάλιση αυτών για την οποία χρειάζεται να ληφθεί μέριμνα κατά την εκτέλεση της πειραματικής φόρτισης. Μια πρόταση για την πλευρική εξασφάλιση των πλαισίων, θα ήταν να τοποθετηθεί ενός διώροφου πλαισίου εξασφάλισης σε διεύθυνση κάθετη με αυτή των Χωρικών Πλαισίων.

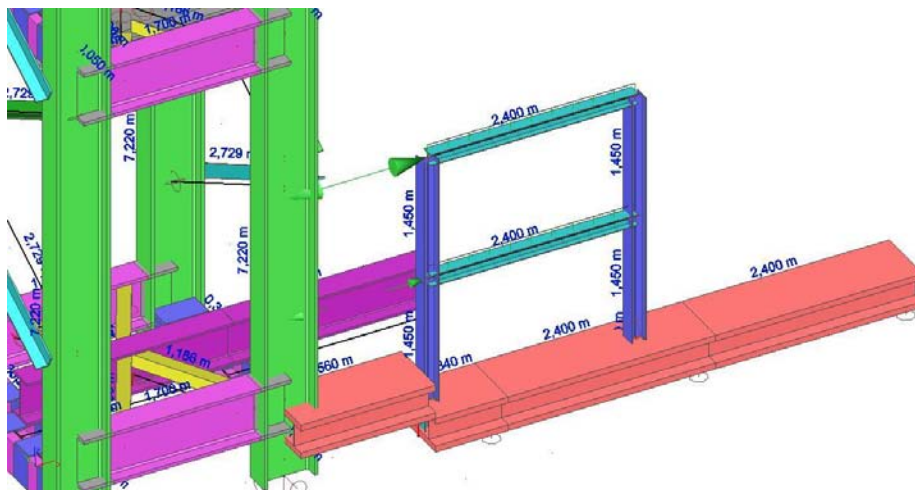


Σχήμα 6.4: Τελική διάταξη Ανέγερσης-Φόρτισης Χωρικών Πλαισίων

6.3 Προσομοίωση Πειραματικής Διαδικασίας

6.3.1 Διάταξη Χωρικών Πλαισίων στο πρόγραμμα

Επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση της πιο πάνω Πειραματικής διαδικασίας με χρήση του στατικού προγράμματος Scia. Κατά την προσομοίωση έγιναν κάποιες αλλαγές στην διάταξη του Πειράματος. Πιο συγκεκριμένα έπειτα από παρατήρηση των υπευθύνων του εργαστηρίου τα δοκίμια των Χωρικών Πλαισίων μετακινήθηκαν πιο κοντά στην Πειραματική Διάταξη προκειμένου να διευκολυνθεί η τοποθέτηση των πρεσών φόρτισης για την υλοποίηση του πειράματος Σχήμα 6.5



Σχήμα 6.5: Προσομοίωση Φόρτισης Χωρικών Πλαισίων

6.3.2 Επιλογή Διατομών

Όσον αφορά την διάταξη έδρασης των Χωρικών Πλαισίων χρησιμοποιήθηκε η διατομή που προτάθηκε από τους υπευθύνους, τα γεωμετρικά στοιχεία της οποίας φαίνονται στο σχήμα 6.6

Όνομα	reaction floor	
Τύπος	Κιβώτιο fl	
Λεπτομερές	720; 70; 262; 11; 409	
Στοιχείο υλικού	S 355	
Κατεργασία	εξηλασμένη εν θερμώ	
Λυγισμός y-y, z-z	b	b

A [m ²]	1,0656e-01	
A _{y, z} [m ²]	5,8800e-02	7,3040e-03
I _{y, z} [m ⁴]	2,8518e-03	4,6088e-03
I _w [m ⁶], Αυτό [m ⁴]	2,6777e-05	1,0748e-03
W _{el y, z} [m ³]	1,4188e-02	1,2802e-02
W _{pl y, z} [m ³]	1,7110e-02	1,9354e-02
d _{y, z} [mm]	0	0
c _{YLCS, ZLCS} [mm]	360	-131
α [deg]	0,00	
AL [m ² /m]	4,2520e+00	

Όνομα	Διατομή	Μήκος [m]	Σχήμα	Αρχ. κόμβος	Κόμβος τέλους	Τύπος	FEM τύπος	Στρώση
<small>*Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση* *Φοιτητική έκδοση*</small>								
B342	reaction floor - Κιβώτιο fl (720; 70; 262; 11; 409)	1,560	Γραμμή	N517	N518	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B345	reaction floor - Κιβώτιο fl (720; 70; 262; 11; 409)	0,840	Γραμμή	N531	N519	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B346	reaction floor - Κιβώτιο fl (720; 70; 262; 11; 409)	2,400	Γραμμή	N519	N520	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1
B347	reaction floor - Κιβώτιο fl (720; 70; 262; 11; 409)	2,400	Γραμμή	N520	N521	δοκός (80)	τυπικό	Στρώση1

Σχήμα 6.6: Γεωμετρικά Στοιχεία διάταξης έδρασης

Όσον αφορά τις δοκούς και τα υποστυλώματα των Χωρικών Πλαισίων, η επιλογή τους έγινε με κύριο γνώμονα οι διατομές αυτών να είναι Κατηγορίας 1.

Ως διατομές κατηγορίας 1 στον EC-3 ορίζονται οι διατομές με αντοχή σε ροπή μεγαλύτερη της Πλαστικής ροπής και στροφική ικανότητα επαρκή, ώστε να συμπεριφερθούν ως πλαστικές αρθρώσεις σε περίπτωση πλαστικής ανακατανομής της έντασης. Ελέγχθηκαν δοκίμια Χωρικών Πλαισίων δύο κατηγοριών χάλυβα. S235 και S355. Έπειτα από συνεννόηση με τους

υπευθύνους, για τις παραπάνω ποιότητες χάλυβα, επιλέχθηκαν οι διατομές κατηγορίας 1 δοκού - υποστυλώματος που φαίνονται στους Πίνακες 6.1 και 6.2.

Πίνακας 6.1 : Διατομές Χωρικών Πλαισίων για ποιότητα χάλυβα S235

Όροφος	1	2
Δοκοί	HEA140	HEA140
Στόλοι	HEA180	HEA180

Πίνακας 6.2 : Διατομές Χωρικών Πλαισίων για ποιότητα χάλυβα S355

Όροφος	1	2
Δοκοί	HEA120	HEA120
Στόλοι	HEB180	HEB180

6.3.3 Προσομοίωση Κόμβων

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσης Διπλωματικής εργασίας ο σχεδιασμός και η μελέτη των κόμβων δοκού - υποστυλώματος στα Χωρικά Πλαίσια. Το ίδιο ισχύει για την σύνδεση των χωρικών πλαισίων με την διάταξη εδράσεως, της σύνδεση αυτής με το ισχυρό δάπεδο του Ε.Μ.Κ καθώς και με την Πειραματική Διάταξη 1. Οι συνδέσεις αυτές στην προσομοίωση μας ελήφθησαν ως εξής:

Η σύνδεση δοκών - υποστυλωμάτων ως άκαμπτη σύνδεση πλήρους αντοχής, οι κόμβοι έδρασης των Χωρικών Πλαισίων ως αρθρώσεις, τα σημεία έδρασης επί του ισχυρού δαπέδου ως κυλίσεις και η διάταξη έδρασης πακτωμένη επί της Πειραματικής Διάταξης 1.

Σημείωση: Σύμφωνα με τον EC-3 για τις συνδέσεις δοκού - υποστυλώματος Ημιάκαμπτες συνδέσεις και συνδέσεις μερικής αντοχής δεν συνιστώνται στην μόνωση αντισεισμικών κατασκευών και αυτό γιατί ο κόμβος κατά την ανακυκλιζόμενη δυναμική καταπόνηση πρέπει να διατηρεί την δυσκαμψία, την αντοχή και την ικανότητα του απορρόφησης ενέργειας.

6.3.4 Pushover Analysis Χωρικών Πλαισίων (Στατική μη γραμμική ανάλυση)

Στα δοκίμια των Χωρικών Πλαισίων του Πειράματος πραγματοποιήθηκε ανάλυση pushover. Δεδομένης της μη δυνατότητας της φοιτητικής έκδοσης του στατικού προγράμματος για την απευθείας διενέργεια μη-γραμμικής ανάλυσης, έγινε επικουρική χρήση λογιστικών φύλλων *office excel*.

Τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε ήταν τα εξής:

Αρχικώς και για τα δύο ποιότητες χάλυβα υπολογίστηκε η πλαστική ροπή αντοχής $M_{pl,rd}$ των δοκών και των υποστυλωμάτων Εξίσωση (6.1):

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.1)$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

S235

Δοκός HEA140 $W_{pl,y} = 173.5 \text{ cm}^3$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{173.5 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1} = 4077.25 \text{ kNcm} = 40.77 \text{ kNm} \quad (6.2)$$

Υποστύλωμα HEA 180 $W_{pl,y} = 324.9 \text{ cm}^3$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{324.9 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1} = 7635.15 \text{ kNcm} = 76.35 \text{ kNm} \quad (6.3)$$

S355

Δοκός HEA 120 $W_{pl,y} = 119.5 \text{ cm}^3$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{119.5 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \text{ kN/cm}^2}{1} = 4242.25 \text{ kNcm} = 42.42 \text{ kNm} \quad (6.4)$$

Υποστύλωμα HEB 180 $W_{pl,y} = 481.4 \text{ cm}^3$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{481.4 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \text{ kN/cm}^2}{1} = 17089.7 \text{ kNcm} = 170.89 \text{ kNm} \quad (6.5)$$

Στην συνέχεια, για κατακόρυφο κατανεμημένο φορτίο 10 kN/m, υπολογίστηκαν σε κάθε όροφο οι ροπές στις κρίσιμες διατομές των δοκών και των υποστυλωμάτων. Η συγκεκριμένη αποτελεί την ‘Φόρτιση 0’ της διαδικασίας pushover analysis.

Στο επόμενο βήμα της διαδικασίας για τριγωνική φόρτιση όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.7 υπολογίστηκε η ροπή στις κρίσιμες διατομές για την φόρτιση αυτή. Έπειτα υπολογίστηκε για κάθε κρίσιμη διατομή ο φορτικός συντελεστής λ εξίσωση (6.6)

$$\lambda_{\Delta\Pi} = \frac{(M_{Rd} - M_0)}{M} \quad (6.6)$$

Όπου M_{rd} : η πλαστική ροπή αντοχής, M_0 η ροπή της συγκεκριμένης διατομής στο προηγούμενο βήμα και M η ροπή που προέκυψε από την ανάλυση με τριγωνικό φορτίο.

Από τους φορτικούς συντελεστές ο ελάχιστος $\min \lambda$ αποτελεί τον φορτικό συντελεστή του συγκεκριμένου βήματος. Η κρίσιμη διατομή στην οποία αντιστοιχεί το $\min \lambda$ αποτελεί την πρώτη πλαστική άρθρωση. Στο τέλος του βήματος η ροπή κάθε κρίσιμης διατομής καταγράφεται στο excel ως:

$$M_{\beta\eta\mu} = M_0 + \min \lambda \cdot M \quad (6.7)$$

Σε κάθε επόμενο βήμα πριν την ανάλυση με το τριγωνικό φορτίο, τοποθετείται άρθρωση στην διατομή που έχει πλαστικοποιηθεί στο προηγούμενο βήμα. Η πιο πάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο έως ότου προκύψει κάποιος μηχανισμός κατάρρευσης.

Σε κάθε βήμα καταγράφεται η δύναμη P_i και η μετακίνηση u_i σε κάθε όροφο καθώς και η συνολική τέμνουσα βάσης V_{oi} σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις :

$$\Delta P_i = \min \lambda \cdot F_i \quad (6.8)$$

όπου $F_i = 50$ kN για τον πρώτο όροφο και 100 kN για τον δεύτερο.

$$P_{i\beta\eta\mu} = P_0 + \Delta P_i \quad (6.9)$$

όπου P_0 η δύναμη στον αντίστοιχο όροφο από το προηγούμενο βήμα.

$$V_{oi} = \sum (P_1 + P_2) \quad (6.10)$$

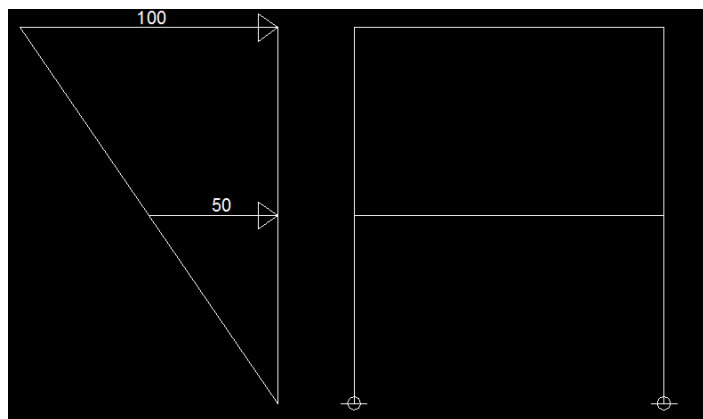
όπου P_1 P_2 τα φορτία στον πρώτο και δεύτερο όροφο αντίστοιχα.

$$\Delta u_i = \min \lambda \cdot u_i \quad (6.11)$$

όπου u_i η μετακίνηση σε κάθε όροφο από την τριγωνική φόρτιση (50-100kN)

$$u_{i\beta\eta\mu} = u_0 + \Delta u_i \quad (6.12)$$

όπου u_0 η μετακίνηση στον αντίστοιχο όροφο από το προηγούμενο βήμα.

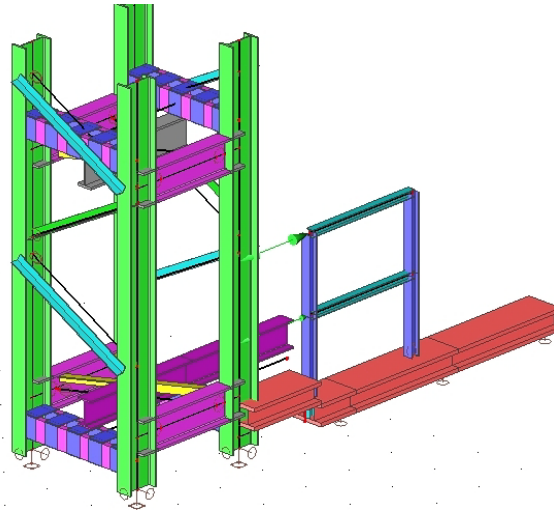


Σχήμα 6.7: Τριγωνική Φόρτιση

Σε κάθε βήμα εκτός από την μετακίνηση των Χωρικών Πλαισίων (ορόφου, κορυφής κ.ο.κ) μετρήθηκε και η μετακίνηση της Πειραματικής Διάταξης 1 στις στάθμες των δύο ορόφων για τα φορτία κάθε βήματος. Αυτό έγινε για να υπολογιστεί το *σφάλμα* στις μετρήσεις των Χωρικών Πλαισίων κάθε βήματος και εν τέλει να ελεγχθεί εάν δύναται να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη φόρτιση επί της Πειραματικής Διάταξης 1 χωρίς κάποια περαιτέρω ενίσχυση.

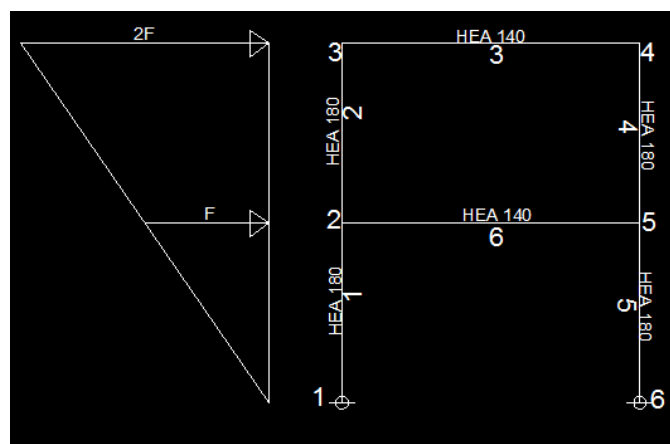
6.4 Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η εκτέλεση της πιο πάνω διαδικασίας όσον αφορά τα δοκίμια Χωρικών Πλαισίων ενός ανοίγματος. Η προσομοίωση της φόρτισης φαίνεται στο Σχήμα 6.8. Στα επόμενα υποκεφάλαια για Χωρικά Πλαίσια των δύο χρησιμοποιηθέντων ποιοτήτων χάλυβα παρουσιάζεται αρχικώς η διάταξη και η διαδικασία της φόρτισης και στην συνέχεια η σειρά με την οποία έγινε η πλαστικοποίηση των κρίσιμων διατομών έως τον σχηματισμό μηχανισμού κατάρρευσης. Έπειτα παρουσιάζεται για κάθε ένα πλαίσιο ο ικανοτικός έλεγχος σύμφωνα με τις διατάξεις του ΕΑΚ2000 για τα μεταλλικά Πλαίσια. Τέλος παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα των μετακινήσεων P - δ Δοκιμίων - Πειραματικής Διάταξης 1 (στην διεύθυνση της φόρτισης) τόσο για την στάθμη κάθε ορόφου όσο και για την κορυφή $V_{oi-δ_{top}}$.



Σχήμα 6.8 :Προσομοίωμα φόρτισης Χωρικών Πλαισίων ενός ανοίγματος

6.4.1 Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος χάλυβα S235



Σχήμα 6.9: Χωρικό Πλαίσιο ενός ανοίγματος S235

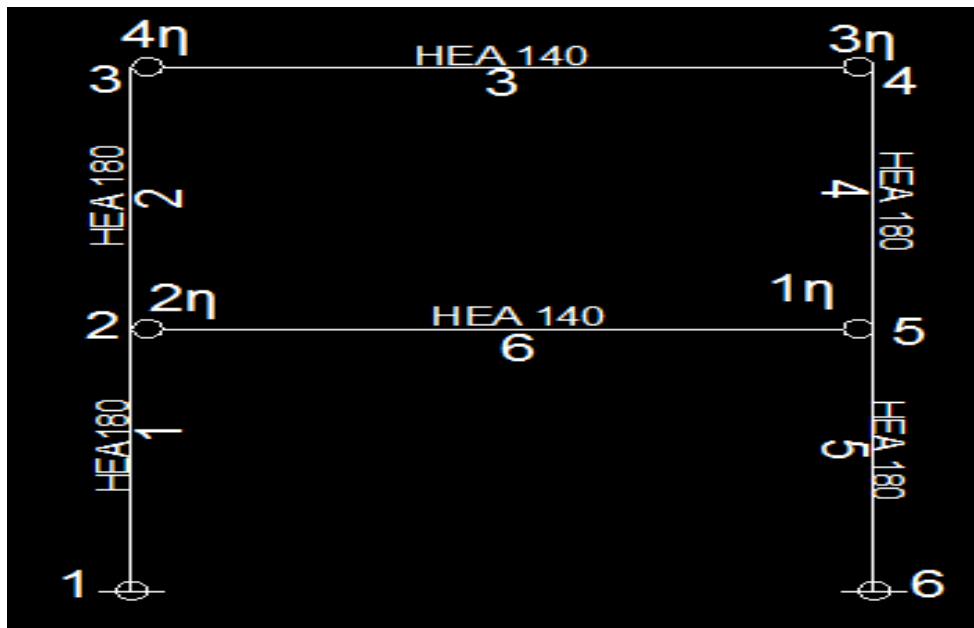
Στα πλαίσια ενός ανοίγματος ο μηχανισμός κατάρρευσης που φαίνεται στο Σχήμα 6.9 αποτελεί πλάγιο μηχανισμό κατάρρευσης. Η κατάρρευση αυτή όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.9 προήλθε μετά τον σχηματισμό τεσσάρων πλαστικών αρθρώσεων.

Πίνακας 6.3: Τελικό βήμα ανάλυσης Pushover

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΚΟΜΒΟΣ	Μαρχ.(kNm)	Μρ(kNm)	Μαναλ.(kNm)	λ	ΔΜ(kNm)	Μβημ.(kNm)	
1	1	0	-	0	-	-	0	
	2	47,16	76,35	79,04	0,369	1,77	48,93	
2	2	6,39	76,35	79,04	0,885	1,77	8,16	
	3	32,63	76,35	362,5	0,121	8,14	40,77	
3	3	32,63	40,77	362,5	0,022	8,14	40,77	4η π.α
	4	0	-40,77	0	-	0	0	3η π.α
4	4	40,77	76,35	0	-	0	40,77	
	5	5,04	76,35	138,46	0,515	3,11	8,15	
5	5	45,81	76,35	138,46	0,221	3,11	48,92	
	6	0	-	0	-	0	0	
6	2	0	40,77	0	-	0	0	2η π.α
	5	0	-40,77	0	-	0	0	1η π.α

4ο βήμα	φόρτιση
P2(kN)	100,00
P1(kN)	50,00
U2(mm)	555,73
U1(mm)	298,98

minλ	0,022		
ΔP2βημ.(kN)	2,24	P2βημ.(kN)	44,99
ΔP1βημ.(kN)	1,12	P1βημ.(kN)	22,49
ΔU2βημ.(mm)	12,47	U2βημ.(mm)	55,37
ΔU1βημ.(mm)	6,71	U1βημ.(mm)	32,93



Σχήμα 6.10: Πορεία Πλαστικοποίησης των κρίσιμων διατομών

6.4.2 Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων ενός ανοίγματος S235

Για να εξασφαλιστεί η ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή και επαρκής πλαστιμότητα στροφής στις θέσεις πλαστικών αρθρώσεων πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- $(V_o + V_M) / V_{pd} \leq 0,5$
- $N_s / N_{pd} \leq 0,15$

Η δοκός HEA 140 είναι κατηγορίας 1 με $A_{vz} = 10,12 \text{ cm}^2$ επομένως η πλαστική αντοχή σε τέμνουσα είναι : $V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3}} f_y = 137,3 \text{ kN}$

$V_M = \frac{2sMp}{l}$ όπου για $l = 2,4 \text{ m}$ παίρνουμε $V_M = 33,975 \text{ kN}$ (πλαστικοποιημένα και τα δύο άκρα της δοκού $M=Mp$)

Από την επίλυση με κατακόρυφο φορτίο ίσο με 10 kN/m σε κάθε δοκό βρίσκω $V_o = 12 \text{ KN}$

$(V_o + V_M) / V_{pd} = (12 + 33,975) / 137,3 = 0,33 < 0,5$ (ικανοποιείται η 1^η από τις παραπάνω συνθήκες)

$N_{pd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{Mo}} = 738,37 \text{ KN}$ Άρα $0,15 N_{pd} = 110,75 \text{ KN} > N_{pd}$ σεισμικών (ικανοποιείται η 2^η από τις παραπάνω συνθήκες)

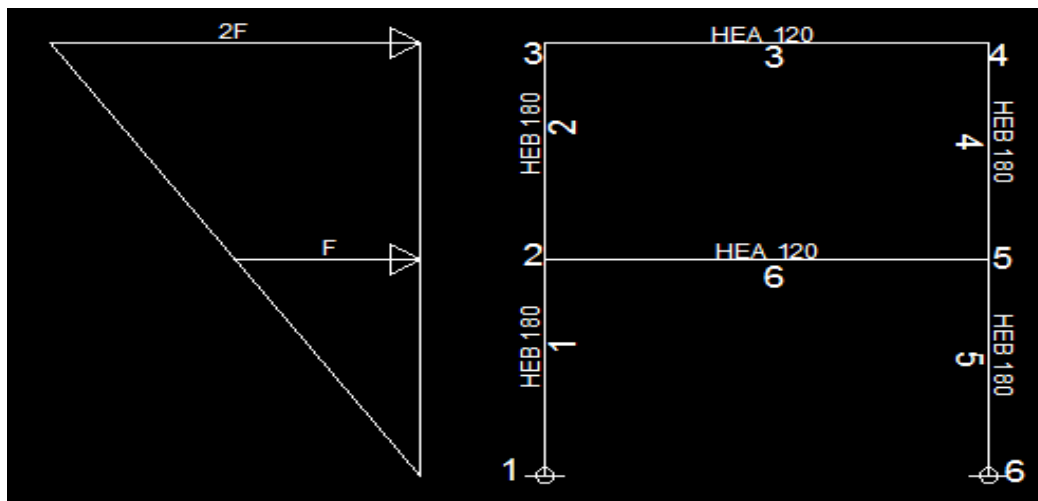
Το υποστύλωμα είναι HEA180 με $A_{vz} = 14,77 \text{ cm}^2$ επομένως η πλαστική αντοχή σε τέμνουσα είναι : $V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3}} f_y = 196,33 \text{ kN}$

Πρέπει $V_{max} < 0,5 V_{pl,Rd}$ Εδώ $V_{max} = 33,75 < 98,165$ (ικανοποιείται)

Ο πιο πάνω έλεγχος επιβεβαιώνει τα πειραματικά αποτελέσματα καθώς όπως είδαμε και από την ανάλυση pushover οι πλαστικές αρθρώσεις εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών στους κόμβους που είναι και η βασική απαίτηση του ικανοτικού σχεδιασμού.

6.4.3 Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος χάλυβα S355

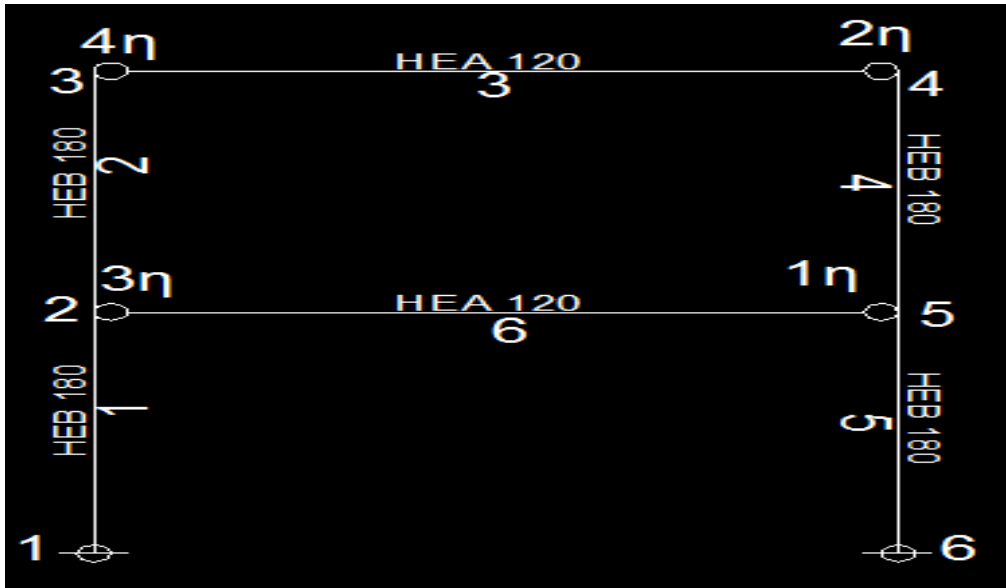
Ακολουθείται όμοια διαδικασία με αυτή των δοκιμών Χωρικών Πλαισίων S235.



Σχήμα 6.11: Χωρικό Πλαίσιο ενός ανοίγματος S355

Πίνακας 6.4: Τελικό βήμα ανάλυσης Pushover

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΚΟΜΒΟΣ	Μαρχ.(kNm)	Μρ(kNm)	Μαναλ.(kNm)	λ	ΔΜ(kNm)	Μβημ.(kNm)	
1	1	0	-	0	-	-	0	
	2	49,52	170,9	82,27	1,475	1,40	50,91	
2	2	7,10	170,9	82,27	1,991	1,40	8,50	
	3	36,26	170,9	362,5	0,371	6,16	42,42	
3	3	36,26	42,42	362,5	0,017	6,16	42,42	4η π.α
	4	0	-42,42	0	-	0	0	2η π.α
4	4	42,42	170,9	0	-	0	42,42	
	5	6,18	76,35	135,23	0,519	2,30	8,47	
5	5	48,60	170,9	135,23	0,904	2,30	50,89	
	6	0	-	0	-	0	0	
6	2	0	42,42	0	-	0	42,42	3η π.α
	5	0	-42,42	0	-	0	0	1η π.α
4ο βήμα	φόρτιση			minλ	0,017			
P2(kN)	100,00			ΔΡ2βημ.(kN)	1,70	P2βημ.(kN)	46,81	
P1(kN)	50,00			ΔΡ1βημ.(kN)	0,85	P1βημ.(kN)	23,40	
U2(mm)	776,74			ΔU2βημ.(mm)	13,19	U2βημ.(mm)	72,71	
U1(mm)	402,43			ΔU1βημ.(mm)	6,84	U1βημ.(mm)	39,07	



Σχήμα 6.12: Πορεία Πλαστικοποίησης των κρίσιμων διατομών

6.4.4 Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων ενός ανοίγματος S355

Όμοια με τα Πλαίσια S235 :

- $(V_o + V_M) / V_{pd} \leq 0,5$
- $N_s / N_{pd} \leq 0,15$

Η δοκός HEA 120 είναι κατηγορίας 1 με $A_{vz} = 8,46 \text{ cm}^2$ επομένως η πλαστική αντοχή σε τέμνουσα είναι ίση με $V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3} \gamma_{Mo}} f_y = 173,395 \text{ kN}$

$$V_M = \frac{2 \cdot M_p}{l} \text{ όπου για } l = 2,4 \text{ m παίρνουμε } V_M = 35,35 \text{ kN}$$

Από την επίλυση με κατακόρυφο φορτίο ίσο με 10 kN/m σε κάθε δοκό βρίσκω $V_o = 12 \text{ kN}$

$(V_o + V_M) / V_{pd} = (12 + 35,35) / 173,395 = 0,33 < 0,5$ (ικανοποιείται η 1^η από τις παραπάνω συνθήκες)

$N_{pd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{Mo}} = 738,37 \text{ kN}$ Άρα $0,15 N_{pd} = 110,75 \text{ kN} > N_{pd}$ σεισμικών (ικανοποιείται η 2^η από τις παραπάνω συνθήκες)

Το υποστύλωμα είναι HEB180 με $A_{vz} = 20,24 \text{ cm}^2$ επομένως η πλαστική αντοχή σε τέμνουσα είναι ίση με $V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3} \gamma_{Mo}} f_y = 414 \text{ kN} \gg V_{max} = 33,75$

Πρέπει $V_{max} < 0,5 V_{pl,Rd}$ (ικανοποιείται)

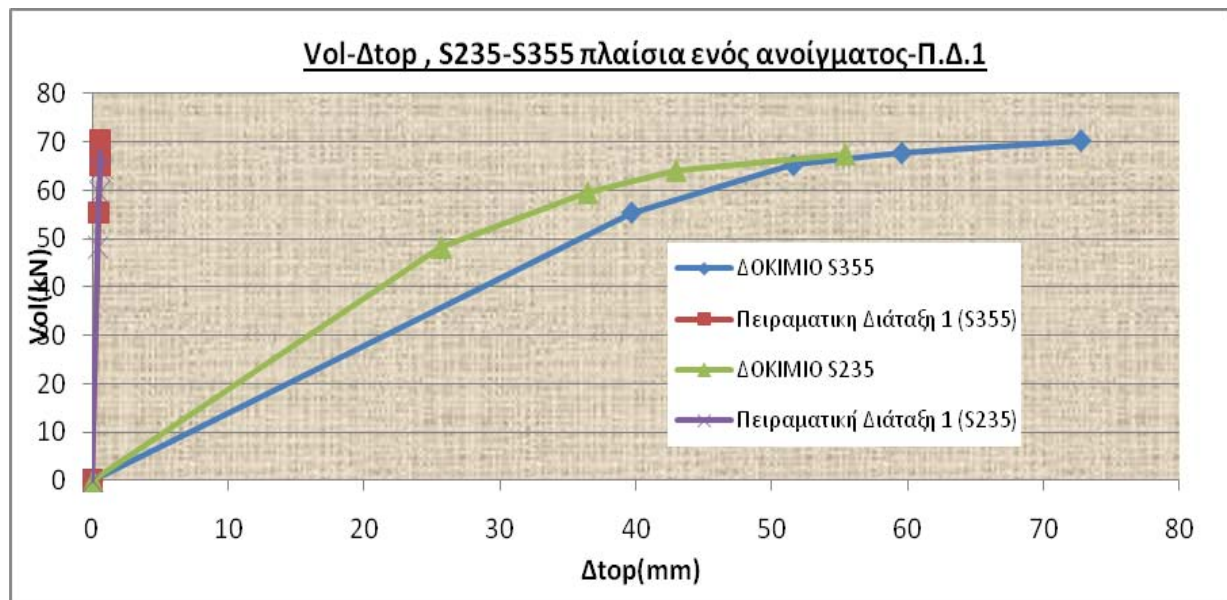
6.5 Συνδυαστικά Διαγράμματα P - δ για Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος

Όσον αφορά στο σφάλμα στους παρακάτω πίνακες και παρουσιάζεται %
ΣΦΑΛΜΑ= (ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ Π.Δ.1/ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ Χ.Π)

6.5.1 Συνολικά Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ

Πίνακας 6.5: Τέμνουσα βάσης - Μετακίνηση οροφής ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

s235	Vol (Kn)	Δtop(mm)	Δtop(mm) Π.Δ.1	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	48,22	25,63	0,406	1	1,58
2	59,54	36,39	0,501	2	1,38
3	64,12	42,89	0,539	3	1,26
4	67,48	55,37	0,57	4	1,03
S355	Vol (Kn)	Δtop(mm)	Δtop(mm) Π.Δ.1	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0	0	0		0
1	55,39	39,64	0,466	1	1,18
2	65,21	51,54	0,548	2	1,06
3	67,66	59,51	0,569	3	0,96
4	70,21	72,71	0,590	4	0,81

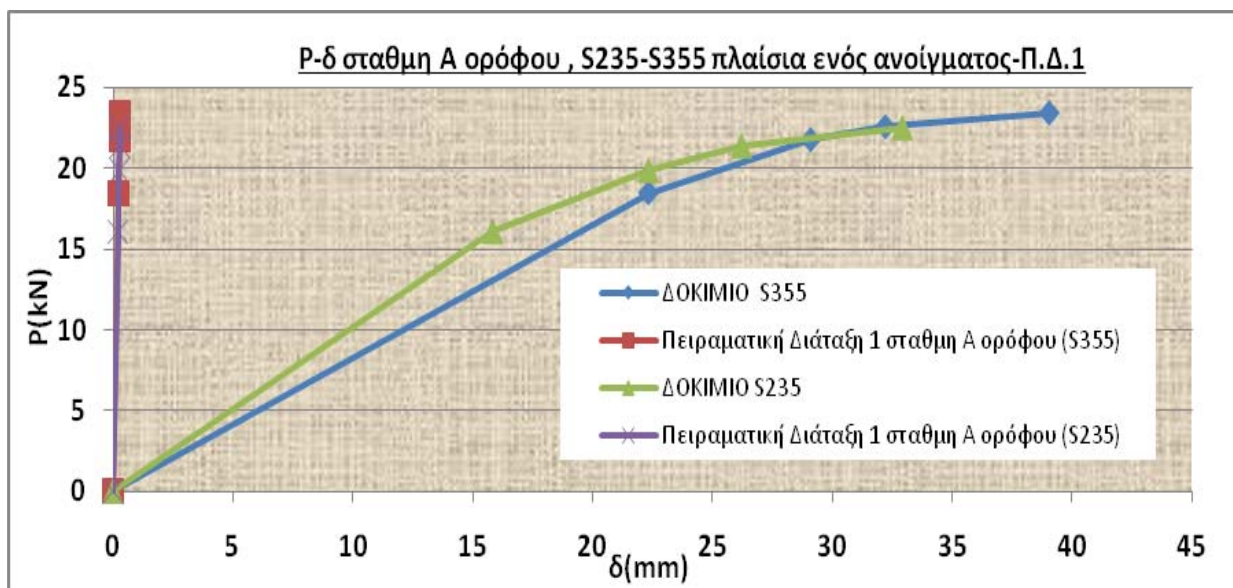


Σχήμα 6.13: Τέμνουσα βάσης - Μετακίνηση οροφής ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

6.5.2 Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ Α ορόφου

Πίνακας 6.6: Δύναμη - Μετακίνηση Α ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

s235	P(Kn)	δ(mm)	δ(mm) Π.Δ.1	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	16,08	15,84	0,202	1	1,28
2	19,85	22,34	0,25	2	1,12
3	21,37	26,22	0,269	3	1,03
4	22,50	32,93	0,283	4	0,86
S355	P(Kn)	δ(mm)	δ(mm) Π.Δ.1	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0	0	0		0
1	18,46	22,35	0,232	1	1,04
2	21,74	29,12	0,274	2	0,94
3	22,55	32,24	0,284	3	0,88
4	23,40	39,07	0,295	4	0,76

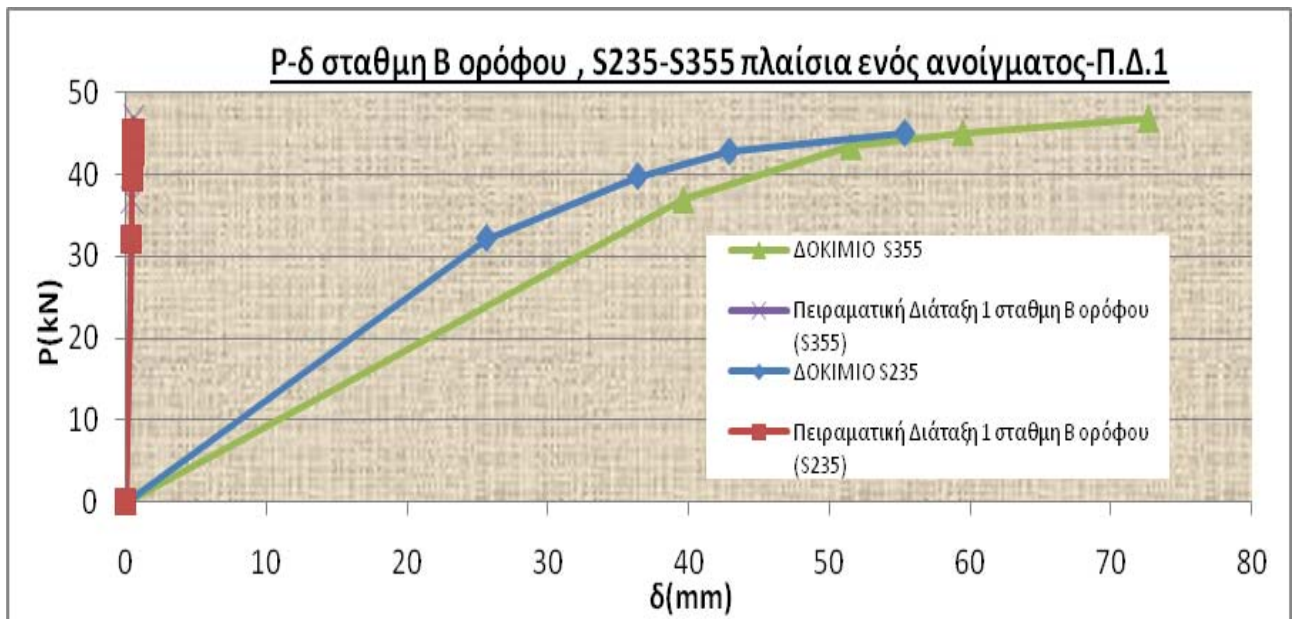


Σχήμα 6.14: Δύναμη - Μετακίνηση Α ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

6.5.3 Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ Β ορόφου

Πίνακας 6.7: Δύναμη - Μετακίνηση Β ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

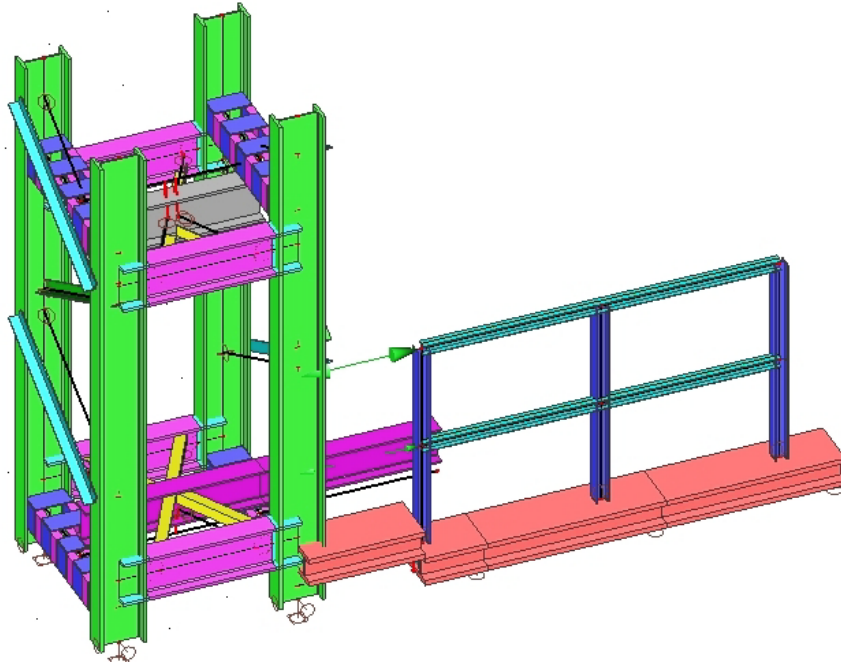
s235	P(Kn)	δ(mm)	δ(mm) Π.Δ.1	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	32,15	25,63	0,406	1	1,58
2	39,70	36,39	0,501	2	1,38
3	42,74	42,89	0,539	3	1,26
4	44,99	55,37	0,568	4	1,03
S355	P(Kn)	δ(mm)	δ(mm) Π.Δ.1	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0	0	0		0
1	36,92	39,64	0,466	1	1,18
2	43,47	51,54	0,548	2	1,06
3	45,11	59,51	0,569	3	0,96
4	46,81	72,71	0,59	4	0,81



Σχήμα 6.15: Δύναμη - Μετακίνηση Β ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

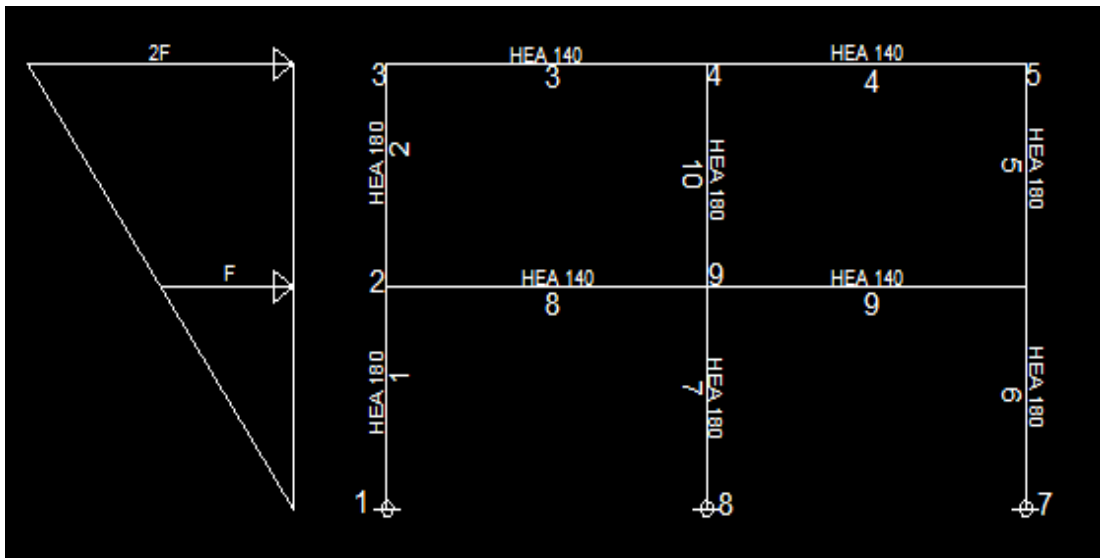
6.6 Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων

Ότι ακριβώς παρουσιάστηκε παραπάνω για τα Χωρικά Πλαίσια ενός ανοίγματος ακολουθεί εδώ για τα Πλαίσια δύο ανοιγμάτων.



Σχήμα 6.16 :Προσομοίωμα φόρτισης Χωρικών Πλαισίων δύο ανοιγμάτων

6.6.1 Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων χάλυβα S235



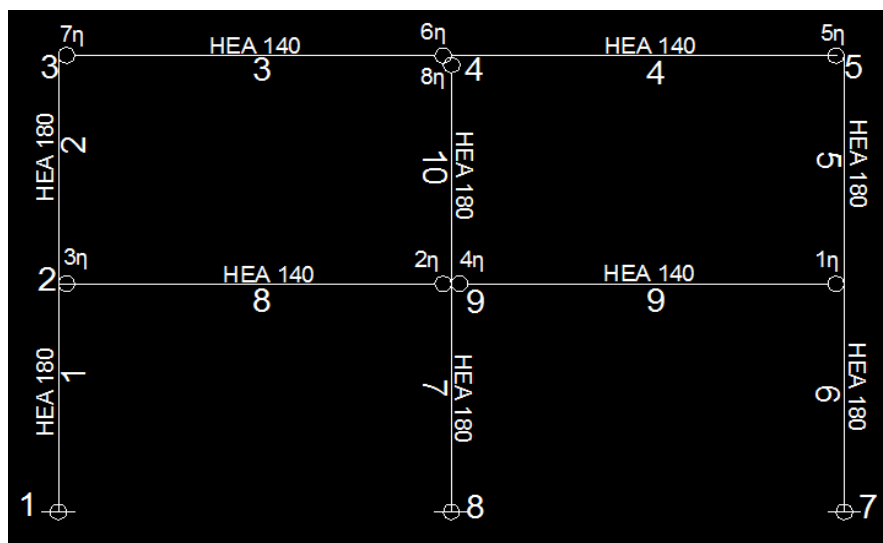
Σχήμα 6.17: Χωρικό Πλαίσιο δύο ανοιγμάτων S235

Πίνακας 6.8: Τελικό βήμα ανάλυσης Pushover

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΚΟΜΒΟΣ	Μαρχ.(kNm)	Μρ(kNm)	Μαναλ.(kNm)	λ	ΔΜ(kNm)	Μβημ.(kNm)	
1	1	0	-	0	-	0	0	
	2	59,03500541	76,35	93,03	0,186	0,37212	59,41	
2	2	18,25440705	76,35	93,03	0,624	0,37212	18,63	
	3	40,78277368	76,35	0	-	0	40,78	
3	3	0	40,77	0	-	0	0,00	7η π.α.
	4	0	-40,77	0	-	0	0,00	6η π.α.
4	4	34,04131365	40,77	362,5	0,019	1,45	35,49	
	5	0	-40,77	0	-	0	0,00	5η π.α.
5	5	40,77633513	76,35	0	-	0	40,78	
	6	18,21441913	76,35	92,95	0,625	0,3718	18,59	
6	6	58,97444271	76,35	92,95	0,187	0,3718	59,35	
	7	0	-	0	-	0	0,00	
7	8	0	-	0	-	0	0,00	
	9	73,65327947	76,35	31,52	0,086	0,12608	73,78	
8	2	0	40,77	0	-	0	0,00	3η π.α.
	9	0	-40,77	0	-	0	0,00	2η π.α.
9	9	0	40,77	0	-	0	0,00	4η π.α.
	6	0	-40,77	0	-	0	0,00	1η π.α.
10	4	74,80169456	76,35	362,5	0,004	1,45	76,35	8η π.α.
	9	-7,887081187	76,35	31,52	2,672	0,12608	-7,76	

8ο βήμα	φόρτιση
P2(kN)	100,00
P1(kN)	50,00
U2(mm)	537,46
U1(mm)	282,34

minλ	0,004		
ΔP2βημ.(kN)	0,43	P2βημ.(kN)	88,54
ΔP1βημ.(kN)	0,21	P1βημ.(kN)	44,27
ΔU2βημ.(mm)	2,30	U2βημ.(mm)	61,94
ΔU1βημ.(mm)	1,21	U1βημ.(mm)	37,82



Σχήμα 6.18: Πορεία Πλαστικοποίησης των κρίσιμων διατομών

6.6.2 Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων δύο ανοιγμάτων S235

- $(V_o + V_M) / V_{pd} \leq 0,5$
- $N_s / N_{pd} \leq 0,15$

Η δοκός HEA 140 είναι κατηγορίας 1 με $V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} f_y = 137,3 \text{ kN}$

$V_M = \frac{2 \cdot M_p}{l}$ όπου για $l = 2,4 \text{ m}$ παίρνουμε $V_M = 33,975 \text{ kN}$

Από την επίλυση με κατακόρυφο φορτίο ίσο με 10 kN/m σε κάθε δοκό βρίσκω $V_o = 12 \text{ kN}$

$(V_o + V_M) / V_{pd} = (12 + 33,975) / 137,3 = 0,33 < 0,5$ (ικανοποιείται η 1)

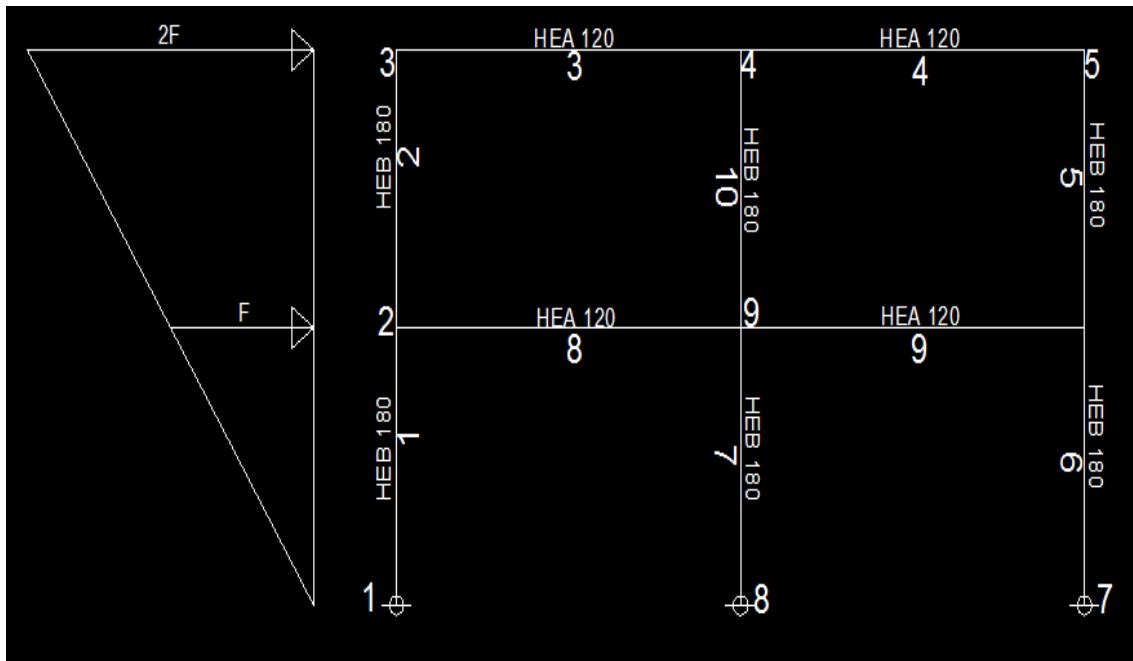
$N_{pd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{M0}} = 738,37 \text{ kN}$ Άρα $0,15 N_{pd} = 110,75 \text{ kN} > N_{pd}$ σεισμικών (ικανοποιείται η 2)

Το υποστύλωμα είναι HEA180 με $V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} f_y = 196,33 \text{ kN}$

Πρέπει $V_{max} < 0,5 V_{pd}$ Εδώ $V_{max} = 121 > 98,165$ (**ΔΕΝ** ικανοποιείται)

Παρατηρούμε ότι εδώ ο ικανοτικός έλεγχος δεν ικανοποιείται, καθώς στον κόμβο δοκού - υποστυλώματος (κόμβος 4) η πλαστικοποίηση της διατομής του υποστυλώματος (μέλος 10) προηγείται αυτής της δοκού (μέλος 4). Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με χρήση είτε ισχυρότερου υποστυλώματος είτε ασθενέστερης δοκού.

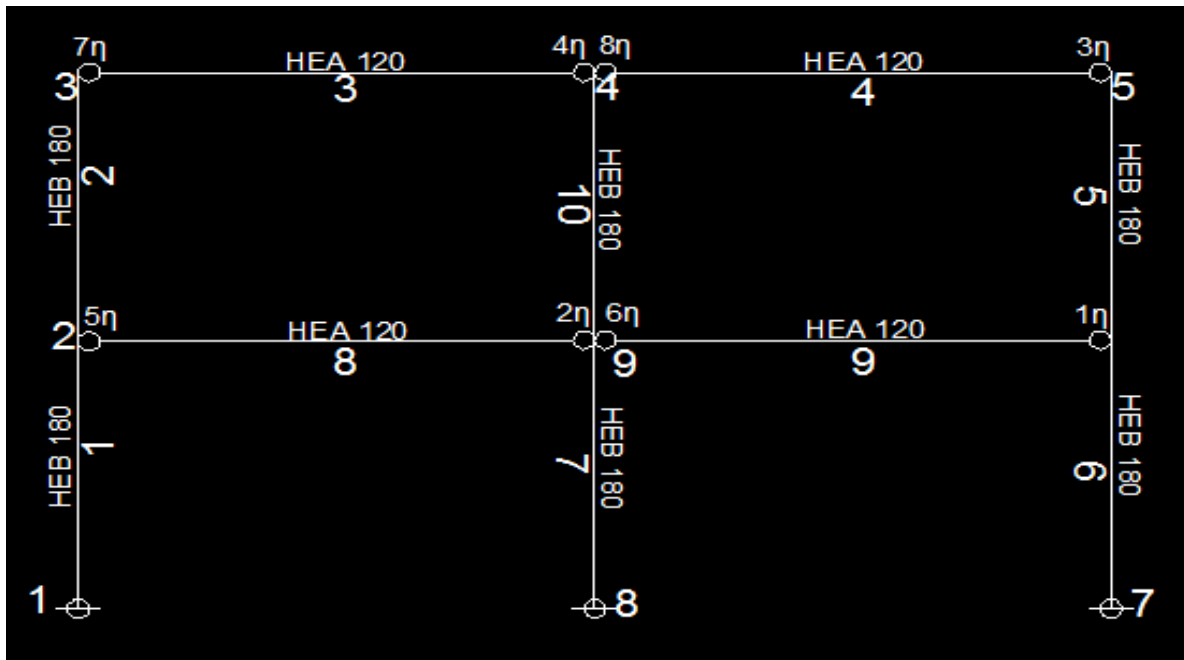
6.6.3 Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων χάλυβα S355



Σχήμα 6.19: Χωρικό Πλαίσιο δύο ανοιγμάτων S355

Πίνακας 6.9: Τελικό βήμα ανάλυσης Pushover

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΚΟΜΒΟΣ	Μαρχ.(kNm)	Μρ(kNm)	Μαναλ.(kNm)	λ	ΔΜ(kNm)	Μβημ.(kNm)	
1	1	0	170,9	0	-	0	0	
	2	62,76	170,9	91,44	1,183	0,84	63,59	
2	2	19,29	170,9	91,44	1,658	0,84	20,12	
	3	42,44	170,9	0	-	0,00	42,44	
3	3	42,42	42,42	0	-	0	0	7η π.α
	4	0	0	0	-	0	0	4η π.α
4	4	39,12	42,42	362,5	0,009	3,32	42,42	8η π.α
	5	0	-42,42	0	-	0	0	3η π.α
5	5	42,42	170,9	0	-	0	42,42	
	6	18,73	170,9	91,34	1,666	0,84	19,57	
6	6	62,15	170,9	91,34	1,191	0,84	62,99	
	7	0,00	170,9	0	-	0	0	
7	8	0	170,9	0	-	0	0	
	9	77,30	170,9	34,73	2,695	0,32	76,35	
8	2	0	42,42	0	-	0	0	5η π.α
	9	0	0	0	-	0	0	2η π.α
9	9	0	42,42	0	-	0	0	6η π.α
	6	0	0	0	-	0	0	1η π.α
10	4	81,55	170,9	362,5	0,246	3,32	84,87	
	9	-7,42	170,9	34,73	5,134	0,32	-7,10	
8ο βήμα	φόρτιση			minλ	0,009			
P2(kN)	100,00			ΔΡ2βημ.(kN)	0,91	P2βημ.(kN)	93,83	
P1(kN)	50,00			ΔΡ1βημ.(kN)	0,45	P1βημ.(kN)	46,92	
U2(mm)	765,27			ΔU2βημ.(mm)	6,96	U2βημ.(mm)	81,04	
U1(mm)	391,51			ΔU1βημ.(mm)	3,56	U1βημ.(mm)	46,76	



Σχήμα 6.20 : Πορεία Πλαστικοποίησης των κρίσιμων διατομών

6.6.4 Έλεγχος Ικανοτικού Χωρικών Πλαισίων δύο ανοιγμάτων S355

- $(V_o + V_M) / V_{pd} \leq 0,5$
- $N_s / N_{pd} \leq 0,15$

Η δοκός HEA 120 είναι κατηγορίας 1 με $A_{vz} = 8,46 \text{ cm}^2$ επομένως η πλαστική αντοχή σε τέμνουσα είναι ίση με $V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3}} \gamma M_0 f_y = 173,395 \text{ kN}$

$$V_M = \frac{2 \cdot M_p}{l} \text{ όπου για } l = 2,4 \text{ m παίρνουμε } V_M = 35,35 \text{ kN}$$

Από την επίλυση με κατακόρυφο φορτίο ίσο με 10 kN/m σε κάθε δοκό βρίσκω $V_o = 12 \text{ kN}$
 $(V_o + V_M) / V_{pl,Rd} = (12 + 35,35) / 173,395 = 0,33 < 0,5$ (ικανοποιείται η 1^η από τις παραπάνω συνθήκες)

$$N_{pd} = \frac{A_s f_y}{\gamma M_0} = 738,37 \text{ kN} \text{ Άρα } 0,15 N_{pd} = 110,75 \text{ kN} > N_{pd} \text{ σεισμικών (ικανοποιείται η 2)}$$

$$\text{Το υποστύλωμα είναι HEB180 με } V_{pd} = \frac{A_{vz}}{\sqrt{3}} \gamma M_0 f_y = 414 \text{ kN}$$

Πρέπει $V_{max} < 0,5 V_{pl,Rd}$ Εδώ $V_{max} = 121 < 207$ (ικανοποιείται)

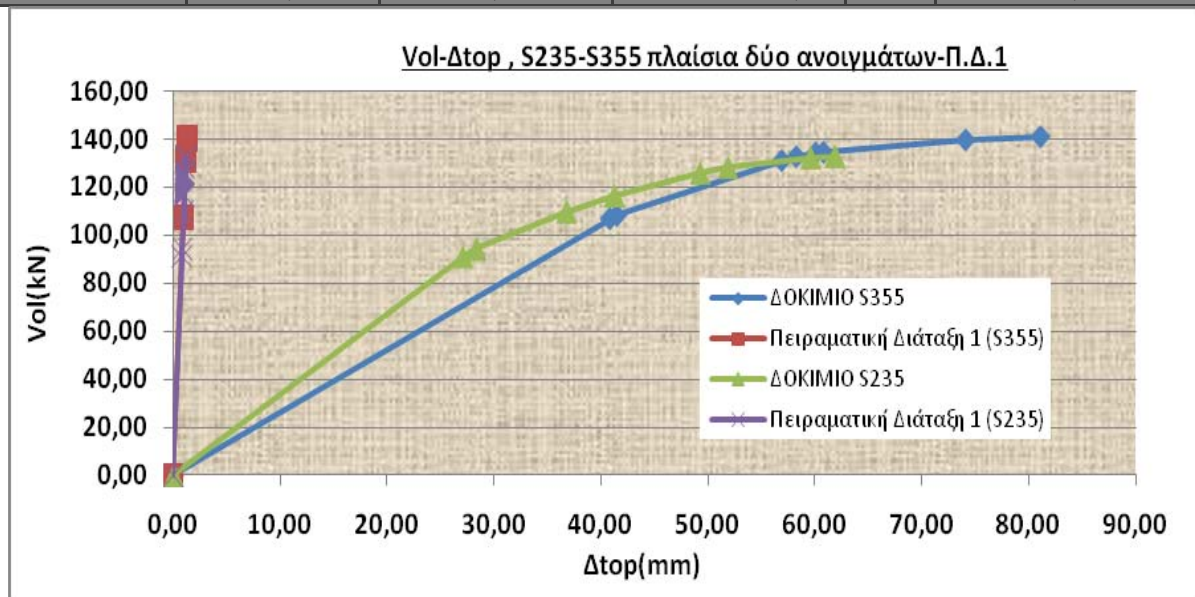
Ο πιο πάνω έλεγχος επιβεβαιώνει τα πειραματικά αποτελέσματα καθώς όπως είδαμε και από την ανάλυση pushover οι πλαστικές αρθρώσεις εμφανίζονται στα στοιχεία δοκών στους κόμβους που είναι και η βασική απαίτηση του ικανοτικού σχεδιασμού.

6.7 Συνδυαστικά Διαγράμματα P-δ για Χωρικά Πλαίσια δύο ανοιγμάτων

6.7.1 Συνολικά Συνδυαστικά Διαγράμματα

Πίνακας 6.10: Τέμνουσα βάσης - Μετακίνηση οροφής ΔΟΚΙΜΙΩΝ δύο ανοιγμάτων - Π.Δ.1

s235	Vol (Kn)	Δtop(mm)	Δtop(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	90,99	27,08	0,84	1	3,10
2	94,23	28,34	0,87	2	3,07
3	109,64	36,79	1,01	3	2,75
4	116,43	41,27	1,07	4	2,60
5	125,87	49,30	1,13	5	2,30
6	128,13	51,91	1,15	6	2,23
7	132,17	59,64	1,19	7	2,00
8	132,81	61,94	1,19	8	1,93
S355	Vol (Kn)	Δtop(mm)	Δtop(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	106,73	40,83	0,99	1	2,42
2	108,05	41,48	1,00	2	2,41
3	130,82	56,93	1,21	3	2,13
4	132,45	58,29	1,22	4	2,09
5	133,91	60,09	1,24	5	2,06
6	134,33	60,83	1,24	6	2,04
7	139,38	74,16	1,29	7	1,74
8	140,75	81,16	1,30	8	1,60

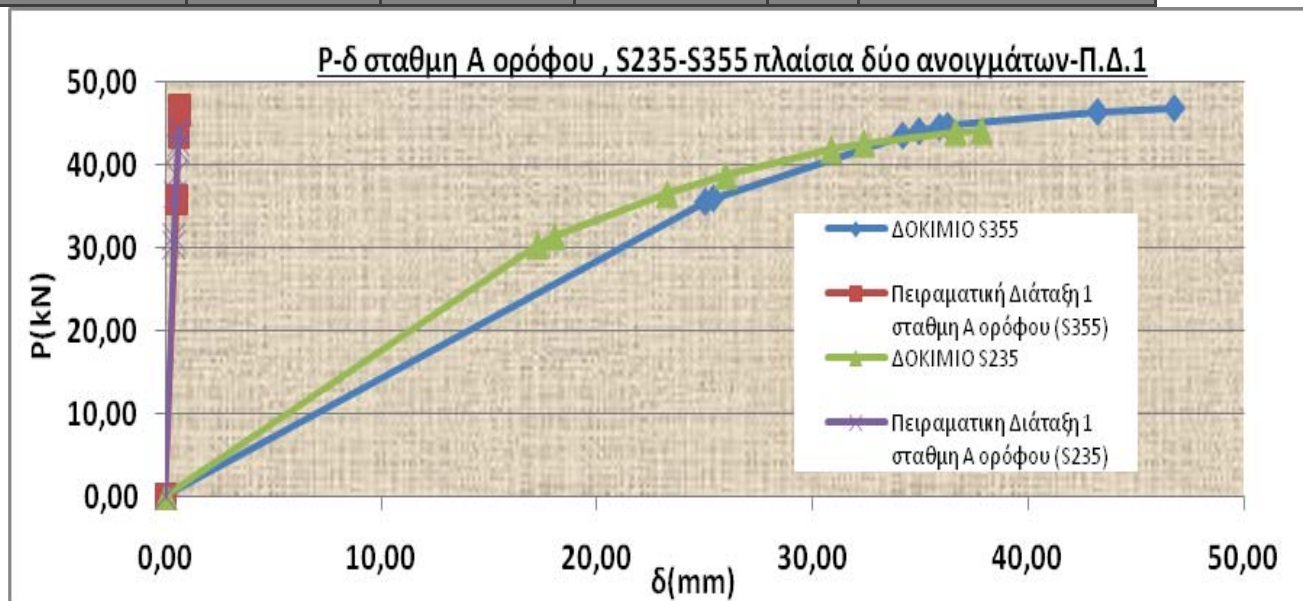


Σχήμα 6.21: Τέμνουσα βάσης - Μετακίνηση οροφής ΔΟΚΙΜΙΩΝ δύο ανοιγμάτων - Π.Δ.1

6.7.2 Συνδυαστικά Διαγράμματα Α ορόφου

Πίνακας 6.11: Δύναμη - Μετακίνηση Α ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ δύο ανοιγμάτων - Π.Δ.1

s235	V1(Kn)	d1(mm)	δ(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	30,33	17,23	0,37	1	2,15
2	31,41	18,02	0,38	2	2,13
3	36,55	23,23	0,45	3	1,92
4	38,81	25,97	0,47	4	1,83
5	41,96	30,85	0,58	5	1,89
6	42,71	32,37	0,59	6	1,83
7	44,06	36,62	0,61	7	1,67
8	44,27	37,82	0,61	8	1,63
S355	V1(Kn)	d1(mm)	δ(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	35,57	25,00	0,49	1	1,98
2	36,02	25,38	0,5	2	1,97
3	43,61	34,16	0,60	3	1,77
4	44,15	34,92	0,61	4	1,75
5	44,64	35,87	0,62	5	1,72
6	44,78	36,24	0,62	6	1,71
7	46,46	43,20	0,64	7	1,49
8	46,92	46,76	0,65	8	1,39

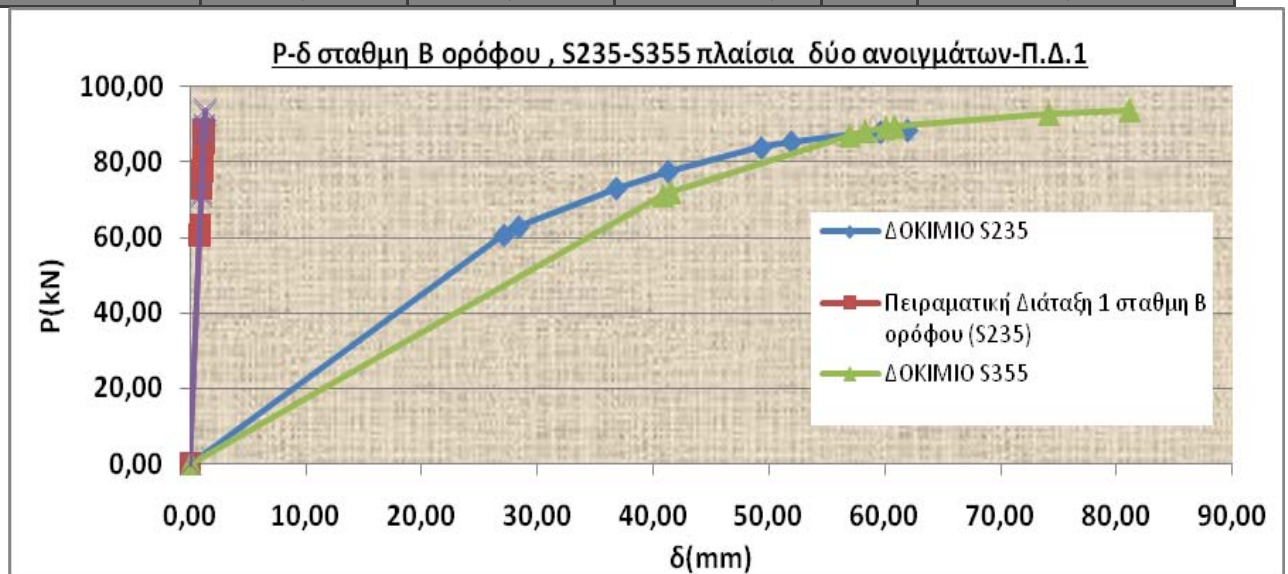


Σχήμα 6.22: Δύναμη - Μετακίνηση Α ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

6.7.3 Συνδυαστικά Διαγράμματα Β ορόφου

Πίνακας 6.12: Δύναμη - Μετακίνηση Β ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ δύο ανοιγμάτων - Π.Δ.1

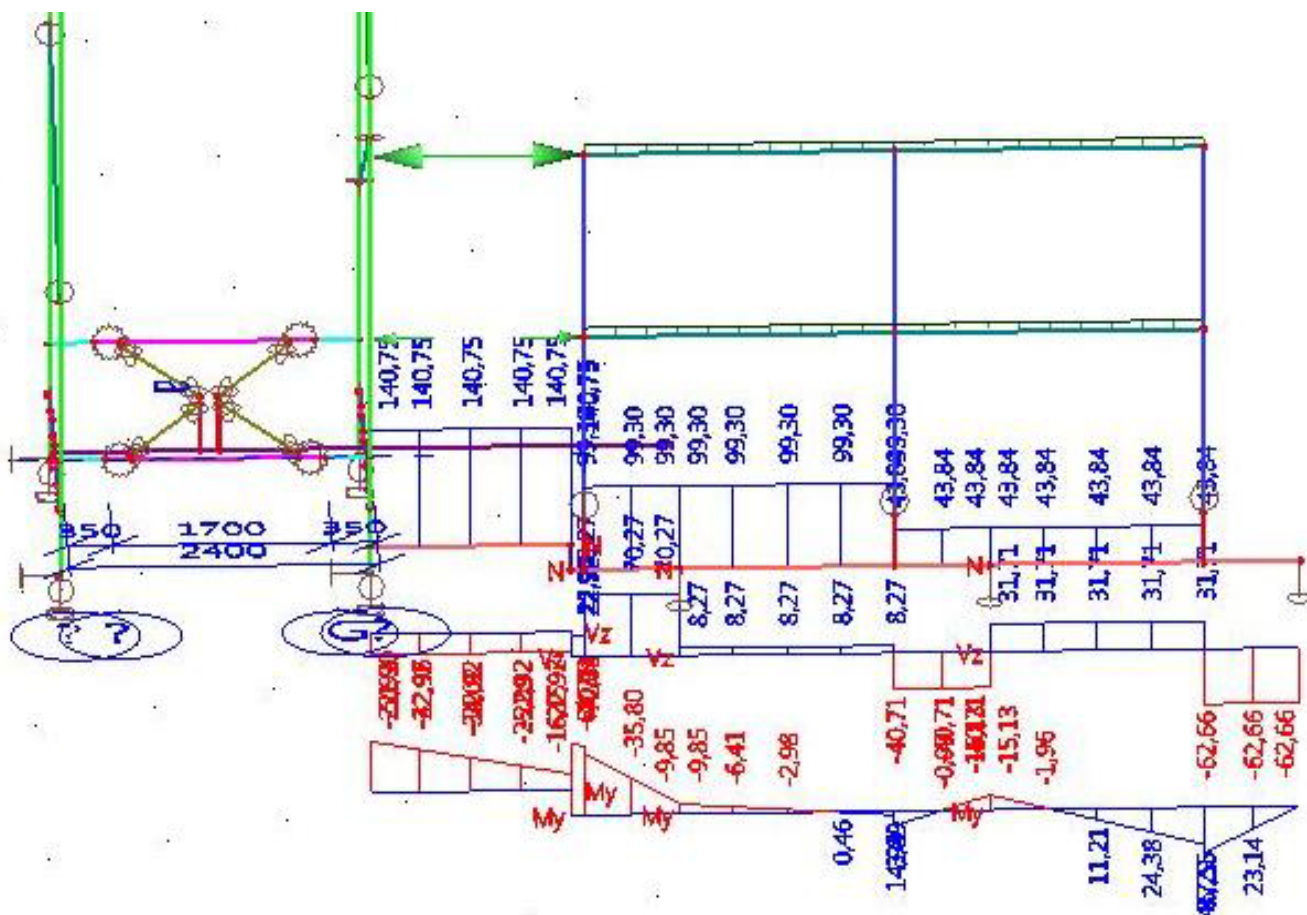
s235	V2(Kn)	d2(mm)	δ(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0		0
1	60,66	27,08	0,84	1	3,10
2	62,82	28,34	0,87	2	3,07
3	73,09	36,79	1,01	3	2,75
4	77,62	41,27	1,07	4	2,60
5	83,91	49,30	1,14	5	2,30
6	85,42	51,91	1,16	6	2,23
7	88,11	59,64	1,19	7	2,00
8	88,54	61,94	1,20	8	1,93
S355	V2(Kn)	d2(mm)	δ(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	0,00	0,00	0,00		0
1	71,15	40,83	0,99	1	2,41
2	72,03	41,48	1,00	2	2,40
3	87,21	56,93	1,21	3	2,12
4	88,30	58,29	1,22	4	2,09
5	89,27	60,09	1,24	5	2,06
6	89,57	60,83	1,24	6	2,04
7	92,94	74,16	1,29	7	1,73
8	93,86	81,16	1,30	8	1,60



Σχήμα 6.23: Δύναμη - Μετακίνηση Β ορόφου ΔΟΚΙΜΙΩΝ ενός ανοίγματος - Π.Δ.1

6.8 Συμπεριφορά διάταξης έδρασης.

Από τις παραπάνω περιπτώσεις Χωρικών Πλαισίων, δυσμενέστερη όσον αφορά την διάταξη έδρασης ήταν η περίπτωση φόρτισης Χωρικού Πλαισίου δύο ανοιγμάτων από χάλυβα S355. Παρακάτω στο Σχήμα 6.24 και στο τεύχος που παρατίθεται από το την ανάλυση του στατικού προγράμματος, φαίνονται τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη καταπόνησης της διάταξης έδρασης καθώς και ο ελαστικός έλεγχος αυτής.



Σχήμα 6.24 : Δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη επί της διατάξεως έδρασης



Μελέτη
Τμήμα
Περιγραφή
Συντάκτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 1
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΥΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ S355
- 01107099 - 01107105

1. Εσωτερικές δυνάμεις σε μέλος reaction floor

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος, Σύστημα : LCS
Επιλογή : B342, B345, B346, B347
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Μέλος	Περίπτωση	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B342	LC2	0,000	140,75	0,00	-22,92	0,00	-16,15	0,00
B342	LC2	1,560	140,75	0,00	-22,92	0,00	-51,90	0,00
B345	LC2	0,101	99,30	0,00	70,27	0,00	-61,76	0,00
B345	LC2	0,000	140,75	0,00	22,92	0,00	-72,33	0,00
B345	LC2	0,840	99,30	0,00	70,27	0,00	-9,85	0,00
B346	LC2	1,661	43,84	0,00	-40,71	0,00	14,94	0,00
B346	LC2	0,000	99,30	0,00	8,27	0,00	-9,85	0,00
B346	LC2	2,400	43,84	0,00	-40,71	0,00	-15,13	0,00
B347	LC2	1,661	0,00	0,00	-62,66	0,00	46,29	0,00
B347	LC2	0,000	43,84	0,00	31,71	0,00	-15,13	0,00

2. Έλεγχος χάλυβα reaction floor

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Μέλος
Επιλογή : B342, B345, B346, B347
Φορτιστικές καταστάσεις : LC2

Περίπτωση	Μέλος	css	mat	dx [m]	έλεγχος μον. [-]	έλεγχος διατ. [-]	έλεγχος ευστ. [-]
LC2	B342	reaction floor - Κιβώτιο fl	S 355	0,000	0,02	0,02	0,00
LC2	B345	reaction floor - Κιβώτιο fl	S 355	0,101	0,05	0,05	0,00
LC2	B346	reaction floor - Κιβώτιο fl	S 355	1,661	0,03	0,03	0,00
LC2	B347	reaction floor - Κιβώτιο fl	S 355	1,661	0,04	0,04	0,00

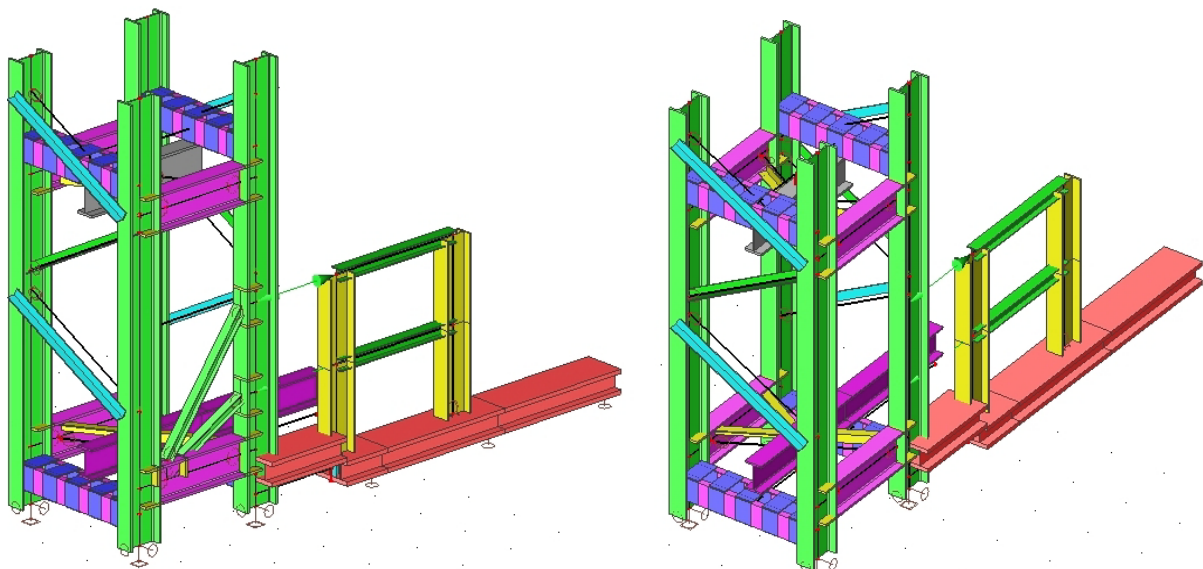
6.9 Ακραίες περίπτωση Πλαισίων– Βελτιστοποίηση Συμπεριφοράς Πειραματικής Διάταξης 1^η

Σε μια απόπειρα περαιτέρω διερεύνησης της συμπεριφοράς της Πειραματικής Διάταξης 1 υπό οριζόντια τριγωνικά φορτία, όμοια με αυτά που παρουσιάζονται παραπάνω, έγινε απόπειρα φόρτισης Χωρικών Πλαισίων με διατομές τέτοιες ώστε κατά την διάρκεια της φόρτισης τα χωρικά πλαίσια να συμπεριφέρονται γραμμικά ελαστικά. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν εδώ δεν αποτελούν μέρος του ερευνητικού προγράμματος. Οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν εδώ φαίνεται στον Πίνακα 6.13

Στην πρώτη περίπτωση η φόρτιση έγινε στην Π.Δ.1 χωρίς κάποια ενίσχυση αυτής ενώ στην δεύτερη προστέθηκαν ως ενίσχυση δύο αντηρίδες διατομής HEA160 και διάταξη όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.25 που ήταν ο αποδοτικότερος τρόπος μείωσης των μετακινήσεων της Π.Δ.1 στην διεύθυνση της φόρτισης από τους διαφόρους που δοκιμάστηκαν.

Πίνακας 6.13: Διατομές ακραίων περιπτώσεων Πλαισίων.

Όροφος	1	2
Δοκοί	HEB200	HEB200
Στύλοι	HEB500	HEB500



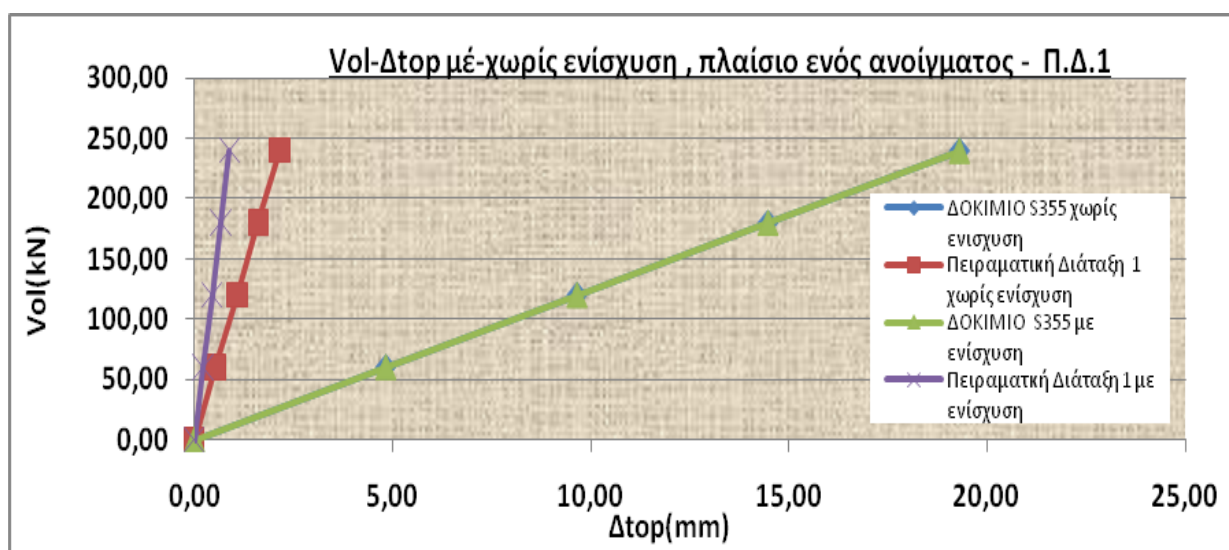
Σχήμα 6.25 : Πειραματική Διάταξη 1 με και χωρίς ενίσχυση

Στα παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες και τα συνδυαστικά διαγράμματα (συνδυαστικά και ανα όροφο) για δοκίμια πλαισίων ενός ανοίγματος που προέκυψαν από τις δοκιμές με και χωρίς ενίσχυση τις Πειραματικής Διάταξης 1.

Ως παρατήρηση εδώ μπορεί να ειπωθεί ότι η προσθήκη ενίσχυσης μειώνει κατά περίπου 50% τις μετακινήσεις της Πειραματικής Διάταξης 1

Πίνακας 6.14 : Συνολικές μετακινήσεις (στάθμη β ορόφου)-τέμνουσα βάσης.

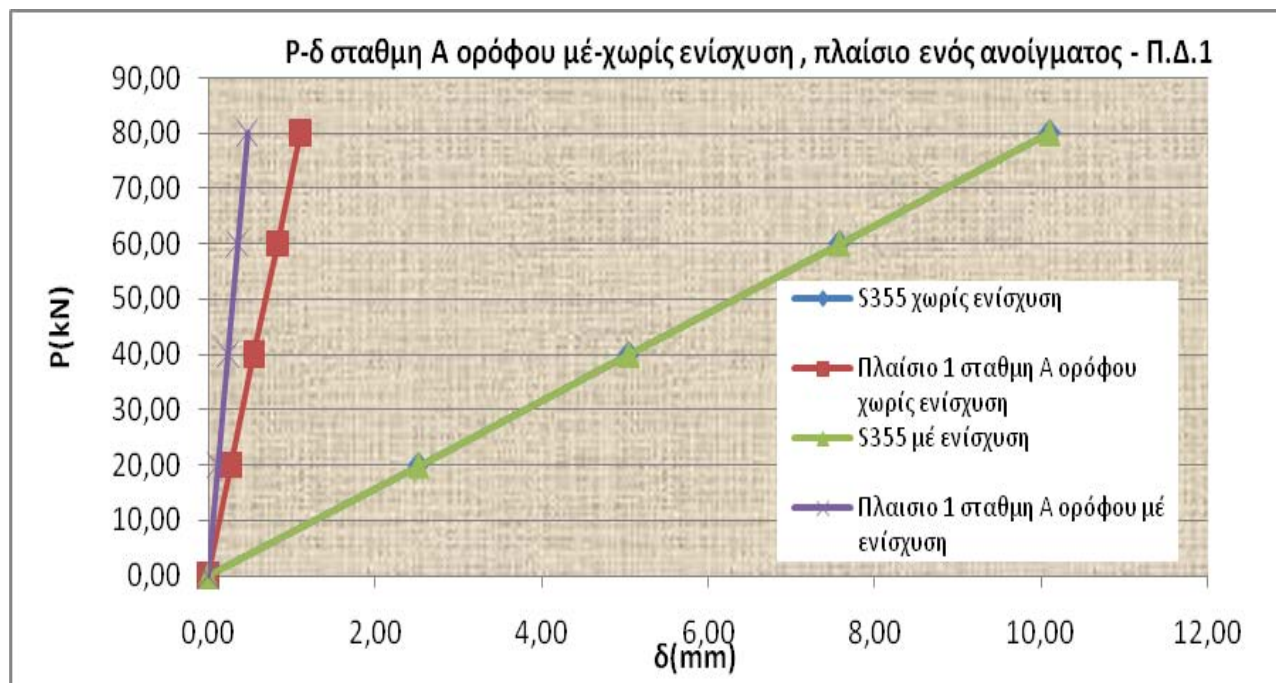
ΧΩΡΙΣ	Vol (Kn)	Δtop(mm)	Δtop(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
ΕΝΙΣΧ.	0,00	0,00	0,00		0
1	60,00	4,83	0,53	1	11,01
2	120,00	9,66	1,07	2	11,11
3	180,00	14,48	1,61	3	11,15
4	240,00	19,31	2,16	4	11,16
ΜΕ	Vol (Kn)	Δtop(mm)	Δtop(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
ΕΝΙΣΧ.	0,00	0,00	0,00		0
1	60,00	4,83	0,219	1	4,53
2	120,00	9,66	0,449	2	4,65
3	180,00	14,48	0,667	3	4,61
4	240,00	19,31	0,891	4	4,61



Σχήμα 6.26: Συνδυαστικό Διάγραμμα Συνολικών μετακινήσεων (στάθμη β ορόφου)-τέμνουσα βάσης.

Πίνακας 6.15: P-δ Α ορόφου

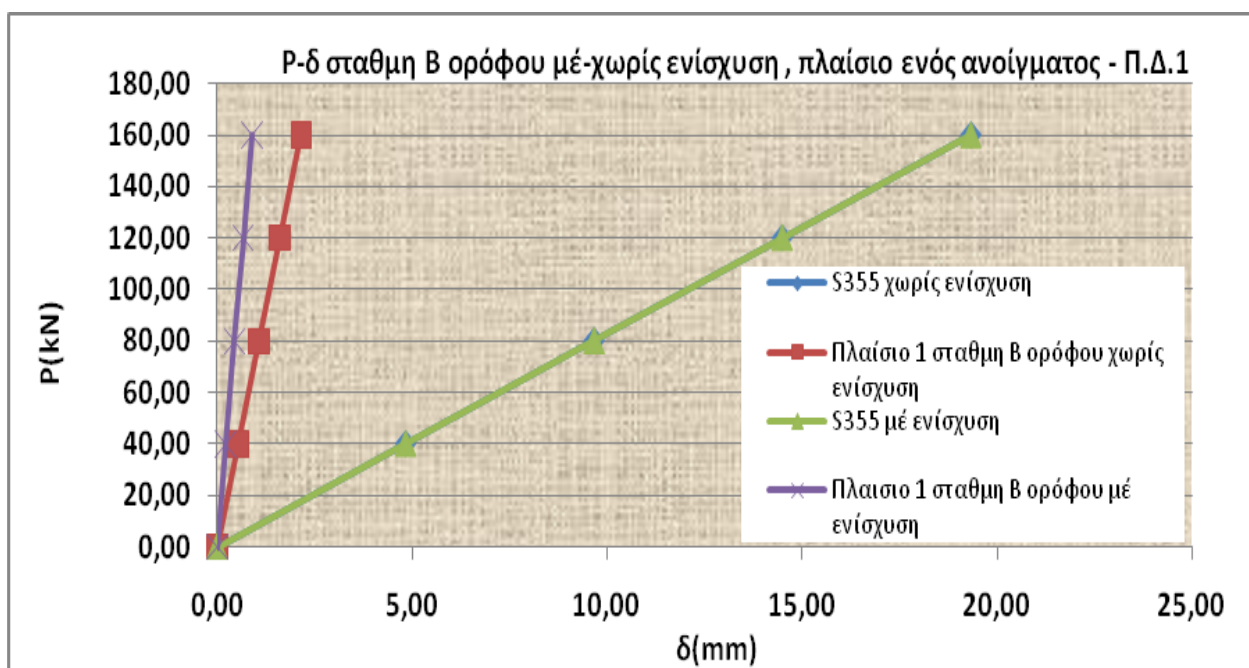
A	ΧΩΡΙΣ	P(kN)	δ(mm)	δ'(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
ΟΡΟΦΟΣ	ΕΝΙΣΧ.	0,00	0,00	0,00		0
	1	20,00	2,53	0,27	1	10,76
	2	40,00	5,05	0,55	2	10,87
	3	60,00	7,58	0,83	3	10,91
	4	80,00	10,10	1,11	4	10,94
A	ΜΕ	P(kN)	δ(mm)	δ'(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	ΕΝΙΣΧ.	0,00	0,00	0,00		0
	1	20,00	2,53	0,11	1	4,47
	2	40,00	5,05	0,23	2	4,55
	3	60,00	7,58	0,35	3	4,59
	4	80,00	10,10	0,47	4	4,60



Σχήμα 6.27: Διάγραμμα P-δ Α ορόφου

Πίνακας 6.16: P-δ Β ορόφου

B	ΧΩΡΙΣ	P(kN)	δ(mm)	δ'(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
ΟΡΟΦΟΣ	ΕΝΙΣΧ.	0,00	0,00	0,00		0
	1	40,00	4,83	0,532	1	11,01
	2	80,00	9,66	1,073	2	11,11
	3	120,00	14,48	1,614	3	11,15
	4	160,00	19,31	2,155	4	11,16
	ΜΕ	P(kN)	δ(mm)	δ'(mm)	ΣΦΑΛΜΑ %	
	ΕΝΙΣΧ.	0,00	0,00	0,00		0
	1	40,00	4,83	0,22	1	4,53
	2	80,00	9,66	0,45	2	4,65
	3	120,00	14,48	0,67	3	4,61
	4	160,00	19,31	0,89	4	4,61



Σχήμα 6.28: Διάγραμμα P-δ Β ορόφου

7 Συμπεράσματα

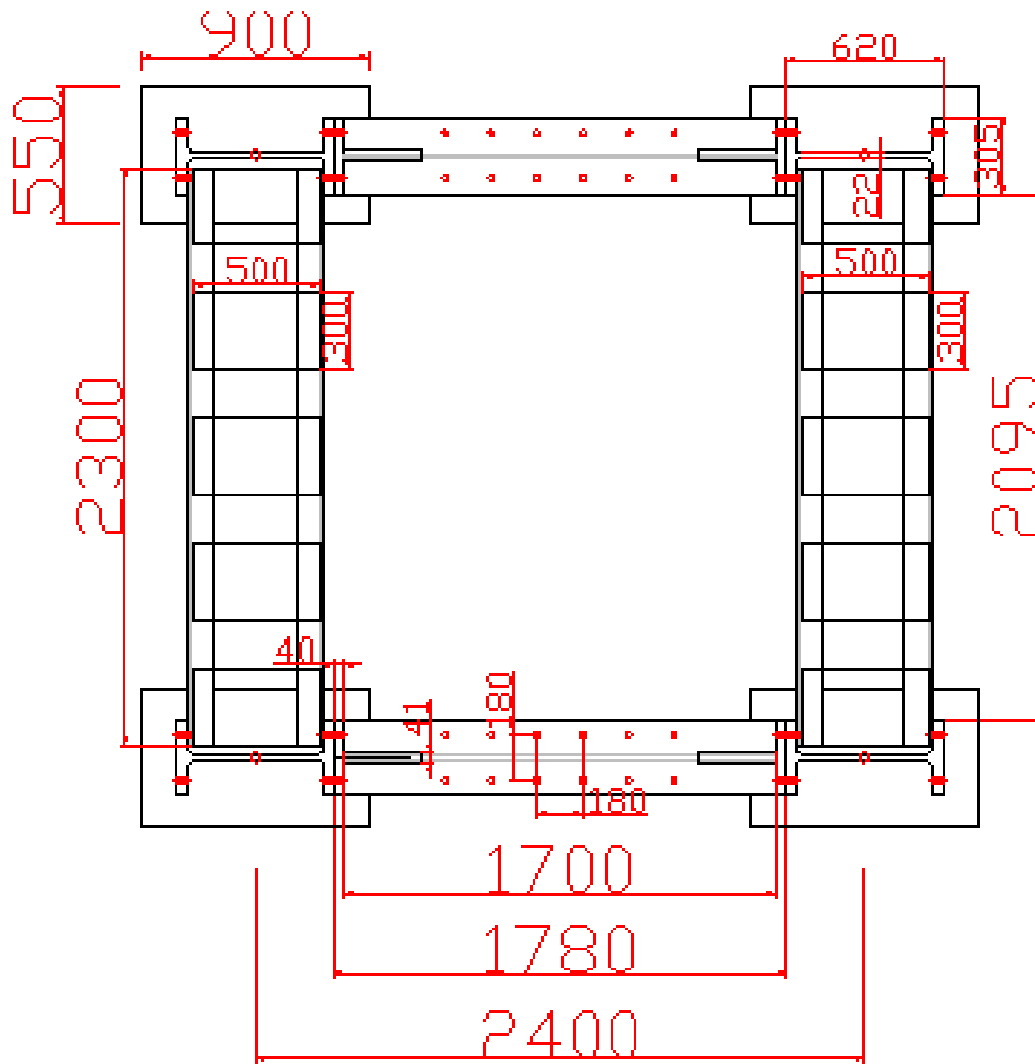
Στο σημείο αυτό με βάση τα όσα είδαμε παραπάνω παρουσιάζονται κάποια συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την μελέτη των δύο Πειραματικών Διατάξεων. Επίσης γίνεται αναφορά σε προτάσεις για μελλοντική έρευνα σχετικές με αντικείμενα τα οποία δεν εξετάστηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία για διάφορους λόγους.

- Συμπεράσματα επί της μελέτης:
 - ✓ Καταρχήν, όσον αφορά την γεωμετρία (μήκη, πάχη) κάποιων διατομών κατά την διάρκεια των επί τόπου μετρήσεων εμφανίστηκαν ανακολουθίες με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή και τα αρχικά σχέδια π.χ. διαφορετικό πάχος κορμού στα υποστυλώματα της Πειραματικής Διάταξης 1.
 - ✓ Δεδομένου ότι κάποια στοιχεία έχουν πολύ μικρό μήκος σε σχέση με την διατομή τους, κατά τον υπολογισμό της κάθετης μετακίνησης στον άξονα αυτών σημαντικό ρόλο παίζουν τα έργα από διατμητικές δυνάμεις.
 - ✓ Η παραπάνω αναλογία επηρεάζει σημαντικά και την δυσκαμψία των κόμβων των δύο Πειραματικών Διατάξεων. Με άλλα λόγια, κόμβοι που αρχικώς θεωρούνταν άκαμπτοι κατά την ανάλυση τους προέκυψε ότι κατατάσσονται ως ημιάκαμπτοι.
 - ✓ Όσον αφορά το ισχυρό δάπεδο του εργαστηρίου, η φέρουσα ικανότητα του $\pm 500\text{kN}$, όπως ορίζεται από τον κατασκευαστή, αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα προς το παρόν στην εκτέλεση πειραματικών φορτίσεων με πρέσα φόρτισης έως και τα 2500kN , όπως φαίνεται και στο Κεφάλαιο 5 της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.
 - ✓ Από την μελέτη των Χωρικών Πλαισίων προκύπτει ότι οι μετακινήσεις της Πειραματικής Διάταξης 1 είναι αρκετά μικρές σε σχέση με αυτές των δοκιμών των Χωρικών Πλαισίων. Επομένως το πείραμα μπορεί να διεξαχθεί χωρίς κάποια περεταίρω ενίσχυση της Πειραματικής Διάταξης 1.
 - ✓ Η διάταξη έδρασης δεν αντιμετώπισε κάποιο πρόβλημα (από άποψη αντοχής) κατά την εκτέλεση της πειραματικής φόρτισης στα δοκίμια των Χωρικών Πλαισίων.
- Προτάσεις Περαιτέρω Έρευνας:
 - ✓ Δεδομένου ότι με τους υπολογισμούς στο χέρι καθώς και με την χρήση του λογισμικού Robot, η ακριβής προσομοίωση κάποιων κόμβων ήταν αδύνατη (π.χ. Άνω σύνδεση δοκού – υποστυλώματος Πειραματικής Διάταξης 2) το συγκεκριμένο θέμα θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης μελλοντικής Διπλωματικής Εργασίας.
 - ✓ Άλλο αντικείμενο προς μελέτη που πηγάζει από την παρούσα Διπλωματική εργασία είναι η αναζήτηση τρόπου ενίσχυσης του ισχυρού δαπέδου του εργαστηρίου από άποψη αντοχής.
 - ✓ Πειραματικός προσδιορισμός της στρωφικής Δυσκαμψίας των Κόμβων δοκού – υποστυλώματος και των αντοχών αυτών με κατασκευή της καμπύλης (M-φ). Προφανώς κάτι τέτοιο δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στις υφιστάμενες Πειραματικές Διατάξεις. Αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε κατάλληλα δοκίμια προσομοίωσης των κόμβων.

Βιβλιογραφία

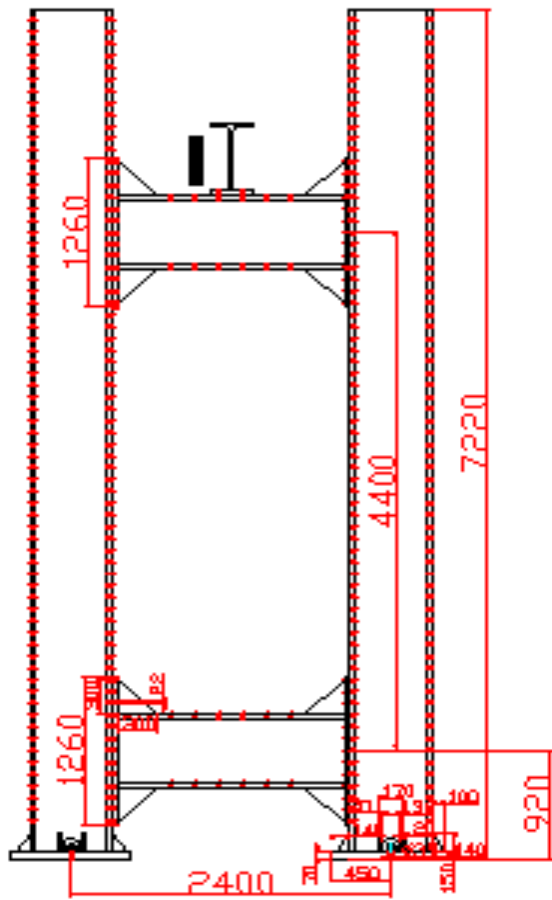
1. Βάγιας Ι.,(2003). «Σιδηρές Κατασκευές, Ανάλυση και διαστασιολόγηση »,Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (1999). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005α). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
4. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., (2005β). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
5. Βαρκαράκη Ι. Κωσταντίνου . (1988). «Επίλυση και σχεδιασμός των γραμμικών φορέων με τη θεωρία πλαστικότητας» Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
6. ΕΑΚ 2000, Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000, ΟΑΣΠ, ΣΠΜΕ, 2001
7. Ιωαννίδης Γ. : Σημειώσεις μαθήματος ‘Ειδικά θέματα ανάλυσης μεταλλικών κατασκευών’
8. Παπαδρακάκης Μ.(2011). «Μαθήματα στατικής V, πλαστική ανάλυση ραβδωτών φορέων , σύγχρονες μέθοδοι.
9. Λεμονής Μ. (2006). “Κόμβοι δοκού – υποστυλώματος σε μεταλλικά πλαίσια.” Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
10. Ιστοσελίδα του Ε.Μ.Κ Ε.Μ.Π : <http://labmetalstructures.civil.ntua.gr/>
11. CEN ,Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings
12. CEN, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–8: Design of joints. European Standard prEN 1993–1–8, final draft, December 2003

Παράρτημα Α. Σχέδια Πειραματικής Διάταξης 1

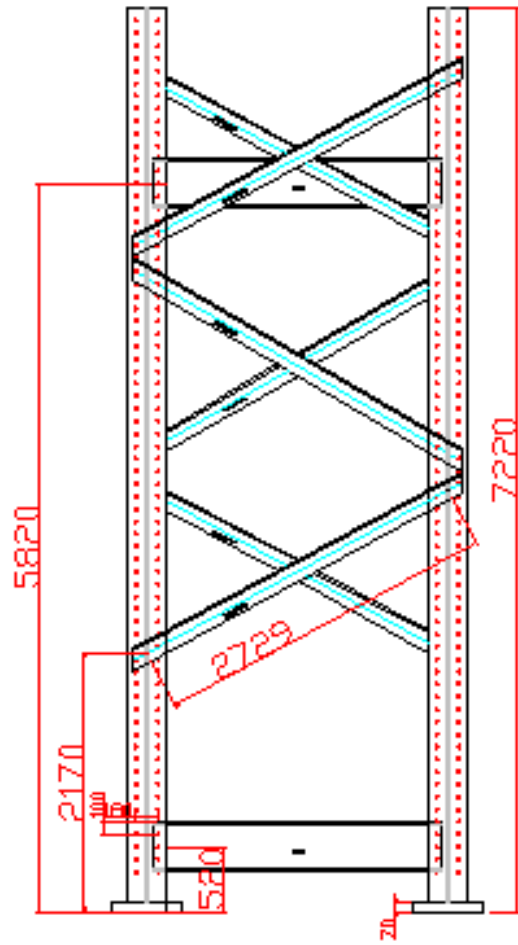


ΚΑΤΟΨΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ 1

Σχήμα Α.1: Κάτοψη Πειραματικής Διάταξης 1



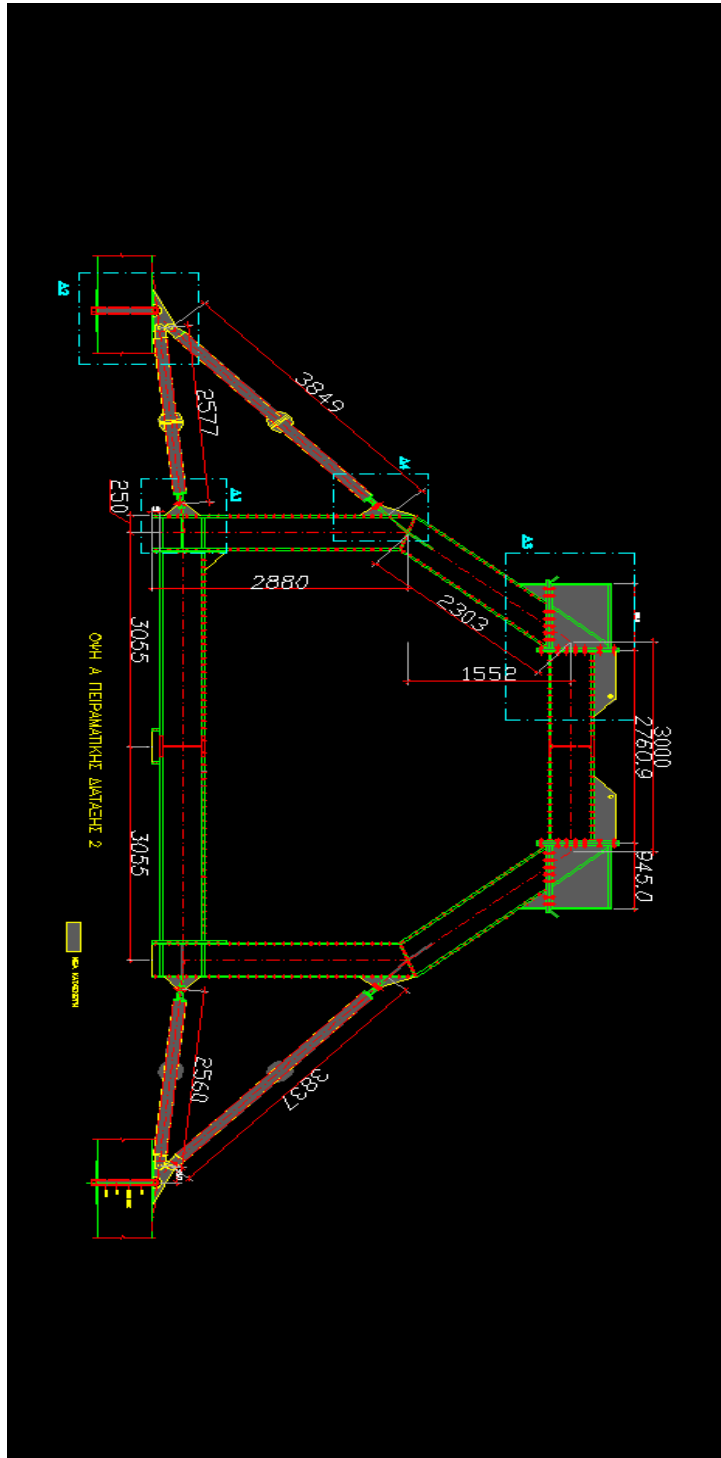
ΟΨΗ Α ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ 1



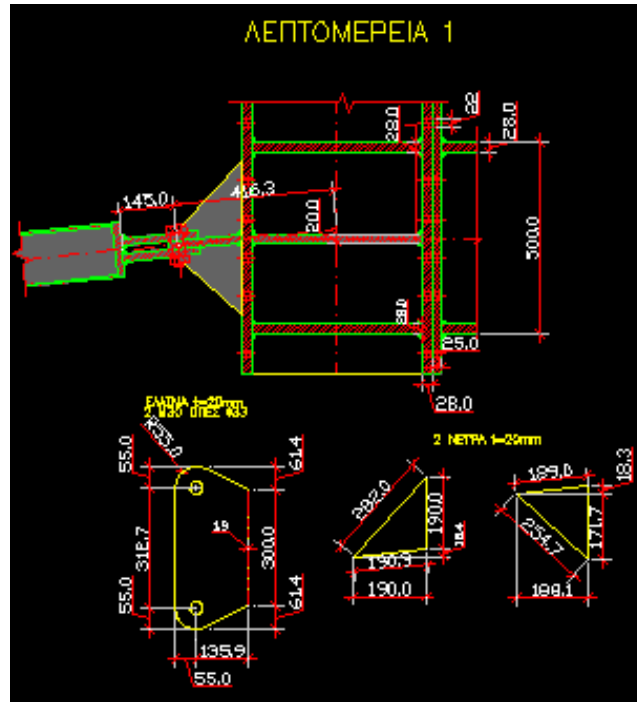
ΟΨΗ Β ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ 1

Σχήμα Α.2: Όψη Α Πειραματικής Διάταξης 1 Σχήμα Α.3: Όψη Β Πειραματικής Διάταξης 1

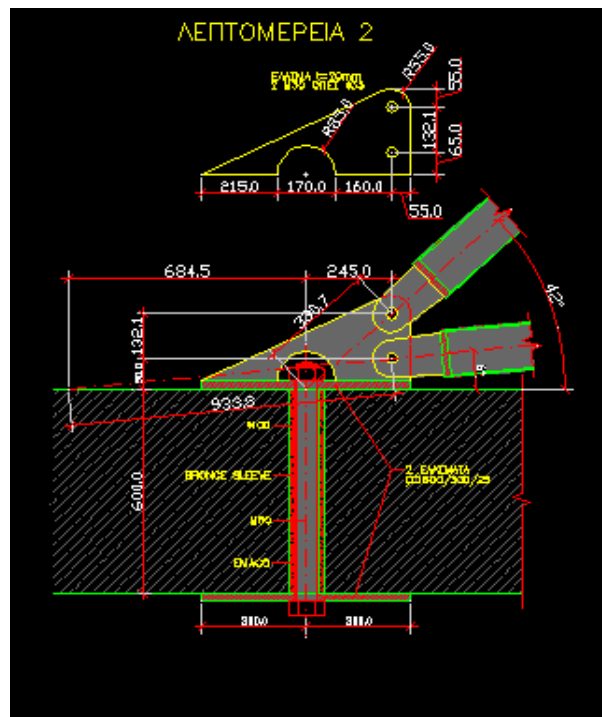
Παράρτημα Β. Σχέδια Πειραματικής Διάταξης 2



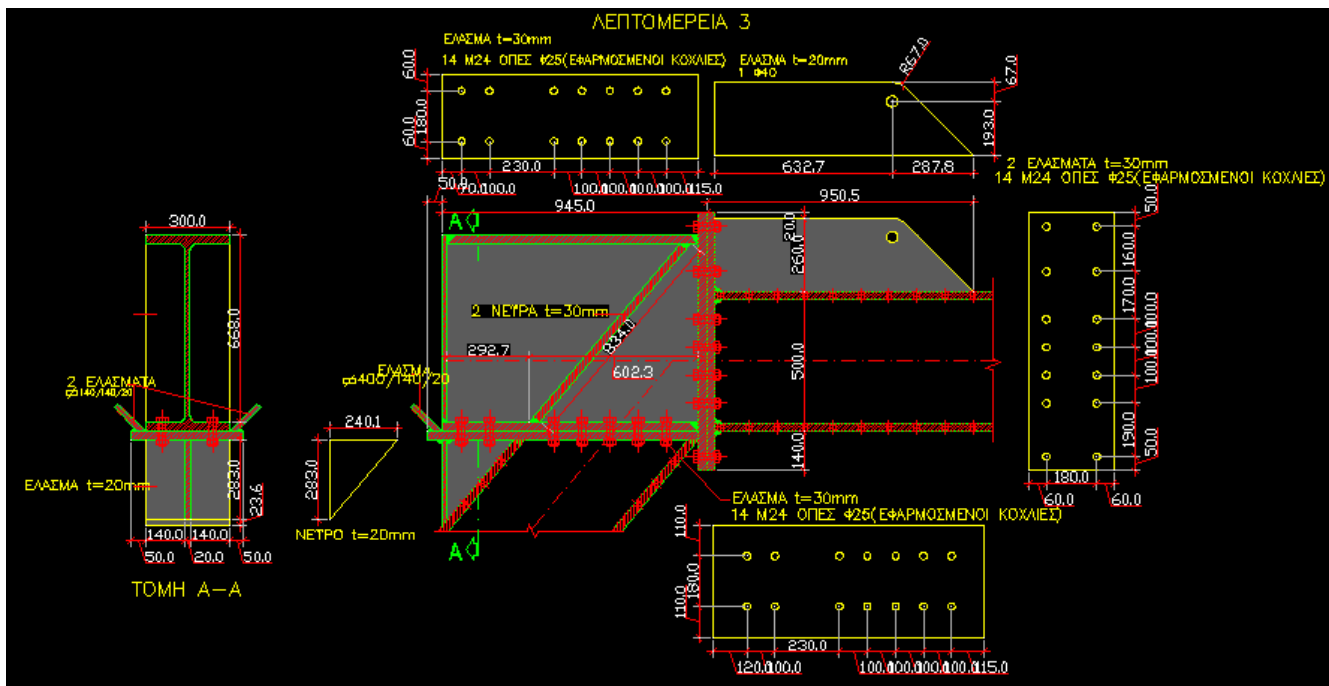
Σχήμα Β.1: Όψη Πειραματικής Διάταξης 2



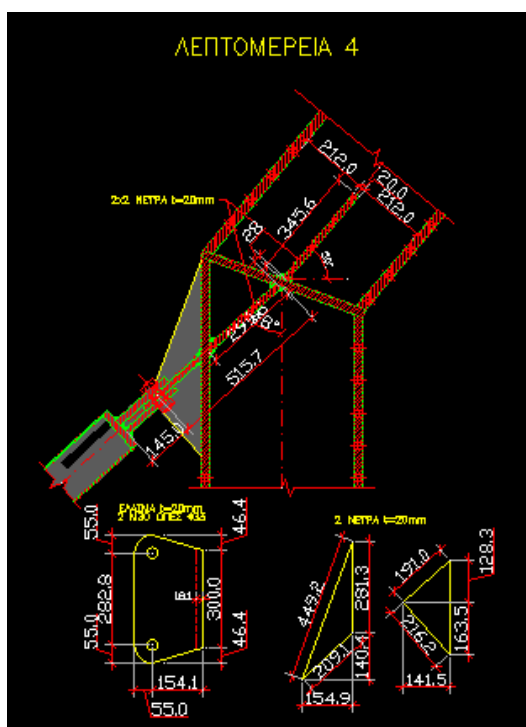
Σχήμα Β.2: Λεπτομέρεια 1 Πειραματικής Διάταξης 2



Σχήμα Β.3: Λεπτομέρεια 2 Πειραματικής Διάταξης 2



Σχήμα Β.4:Λεπτομέρεια 3 Πειραματικής Διάταξης 2



Σχήμα Β.5:Λεπτομέρεια 4 Πειραματικής Διάταξης 2

