



**Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΣΥΜΜΙΚΤΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ**



**Σπουδάστρια: Πλατόνοβα Ιουλία**

**Εποπτεύων Καθηγητής: Δρ. Μπάρος Δημήτριος**

**Πάτρα, 2017**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέπων καθηγητή κ. Δημήτριο Μπάρο, γιατί μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα , για την επιστημονική βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε. Τον ευχαριστώ θερμά για τις εξαιρετικά ωφέλιμες κριτικές παρατηρήσεις του στην ανάλυση του θέματος αυτού, για την υπομονή του και για την υποστήριξή του.

Ακόμη ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και τις καθηγήτριες που με δίδαξαν στα μαθήματα της Σχολής, αφού μου έδωσαν τα κατάλληλα κίνητρα και τις απαραίτητες γνώσεις για να φθάσω σε αυτό το στάδιο παρουσίασης της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της Επιτροπής, οι οποίοι ευγενικά δέχθηκαν να αξιολογήσουν την παρούσα πτυχιακή εργασία.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η προσομοίωση, ανάλυση και διαστασιολόγηση μιας μεταλλικής πεζογέφυρας. Η επιλογή του σχεδιασμού της γέφυρας έγινε μέσω μελέτης 4 διαφορετικών στατικών προσομοιώσεων και τελικώς, βρέθηκε η βέλτιστη λύση εξ' αυτών. Η μελέτη έγινε με χρήση του προγράμματος SAP2000.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία για τον χάλυβα, πως γίνεται η ταξινόμησή του καθώς και η παραγωγή του. Ακόμη βλέπουμε τις συμβατικές διατομές του, τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα του. Τέλος παρουσιάζεται ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στον ορισμό της «γέφυρας», πως διακρίνεται και ποια είναι τα δομικά της μέλη. Επίσης υπάρχουν φωτογραφίες από κάποιες εντυπωσιακές γέφυρες με μεταλλικά στοιχεία ανά τον κόσμο. Ακόμη αναφέρεται στον Ευρωκώδικα 3 και τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι δυνατότητες που παρέχει το πρόγραμμα SAP2000. Γίνεται η περιγραφή της κατασκευής και μπορούμε να δούμε τα βήματα που απαιτούνται για τη διαμόρφωση του μοντέλου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και οι τέσσερις προσομοιώσεις με τα αποτελέσματά τους.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται σύντομα συμπεράσματα για τον χάλυβα, το πρόγραμμα SAP2000 και για την κρίση του μηχανικού.

### **Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδάστριας:**

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

Η σπουδάστρια:

Ιουλία Πλατόνοβα

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

1.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	6
1.2	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	6
1.3	ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	8
1.4	Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	13
1.5	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	14
1.6	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	14

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

2.1	ΓΕΝΙΚΑ – ΟΡΙΣΜΟΙ.....	15
2.2	ΣΥΝΟΤΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑΣ.....	15
2.2.1	ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΛΗ ΓΕΦΥΡΩΝ.....	15
2.3	ΕΝΤΥΠΩΣΙΑΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΝ ΦΟΡΕΑ....	16
2.4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3.....	20

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ

3.1	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SAP2000.....	21
3.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	21
3.3	ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	22
3.3.1	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ.....	22
3.3.2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΟΜΕΣ.....	25
3.3.3	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΤΟΥΣ.....	28

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

4.1	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 1.....	30
4.2	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 2.....	34
4.3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 3.....	38

4.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 4.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΝΤΟΜΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	48

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

## Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο χάλυβας, γνωστό με την ευρεία ονομασία ατσάλι, είναι κράμα σιδήρου– άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% καθαρό βάρος άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.

Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό ακολουθώντας σε κατάταξη μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Απόδειξη γι' αυτό αποτελούν οι πολλαπλές χρήσεις του καλύπτοντας ένα μεγάλο φάσμα δραστηριοτήτων που ξεκίνα από την ναυπηγική και την αρχιτεκτονική και καταλήγει στην παρασκευή χειρουργικών εργαλείων. Στον κλάδο των κατασκευών, ο οποίος είναι και αυτός που μας ενδιαφέρει, χρησιμοποιείται συνηθέστερα ο μαλακός χάλυβας, του οποίου η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι πολύ μικρή (δεν ξεπερνά το 0,3 % κ.β.)

Το ατσάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις βαριές βιομηχανίες. Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Μια από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν το 1957 ήταν και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα.

### 1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.

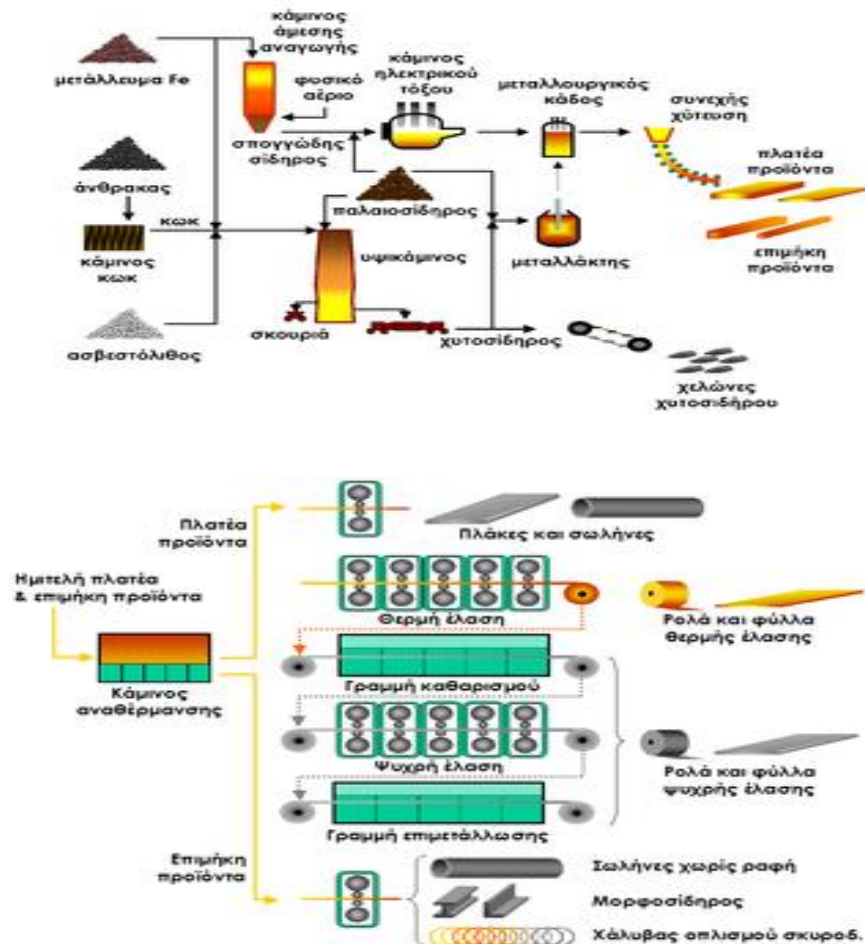
Ο χάλυβας ταξινομείται σε 3 κατηγορίες ανάλογα:

- (α) με τη χημική τους σύσταση και διακρίνεται σε κοινούς ή ανθρακούχους και σε κραματωμένους χάλυβες.
- (β) Ανάλογα με τον προορισμό τους και διακρίνεται σε χάλυβες διαμόρφωσης και χυτοχάλυβες.
- (γ) Ανάλογα με τη χρήση τους και διακρίνονται σε χάλυβες κατασκευών, εργαλειοχάλυβες, ανοξείδωτους χάλυβες, πυρίμαχους χάλυβες και χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους (Σχήμα 1.1) [9]:

1. με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.

2. με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου, και
3. με την ανάτξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.



Σχήμα 1.1 Διαδικασίες παραγωγής χάλυβα [9]

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες καθιερωμένες μεθόδους και το 31,7% από την ανάτξη παλαιοσιδήρων και σπογγώδους σιδήρου σε κλίβανους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (2,9% για το 2005) προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε κάμινο ανοικτής εστίας ή άλλες μεθόδους.

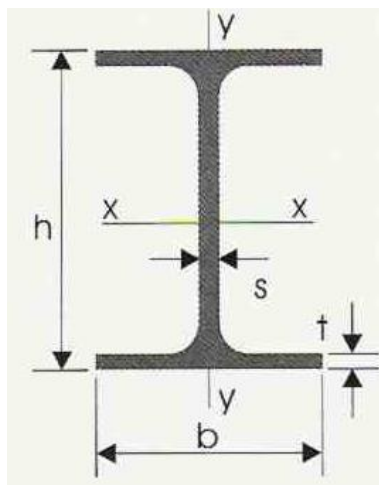
Στην Ελλάδα, όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου ένα εκατ. τόνοι ετησίως) προέρχεται από την ανάτξη παλαιοσιδήρου και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μετόβεργας.

### 1.3 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

#### (α) Δοκοί IPE IPN HEA HEB UPN

Οι δοκοί IPE, IPN, HEA, HEB και UPN είναι πρότυπες χαλύβδινες διατομές θερμής έλασης. Χρησιμοποιούνται ως στοιχεία φέροντος οργανισμού σε μεταλλικές κατασκευές είτε αυτές αφορούν κτίρια είτε συμπληρωματικές κατασκευές αυτών (στέγαστρα, βεράντες, πατάρια κλπ)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται και γεωμετρικά χαρακτηριστικά (βάρους, διαστάσεις  $h, b, s, t$ , διατομή) καθώς και οι ροπές αντίστασης (ελαστική, πλαστική), από την ελάχιστη δοκό IPE80 έως την μέγιστη δοκό IPE600.



Σχήμα 1.2 Προφίλ πρότυπης διατομής IPE [9].

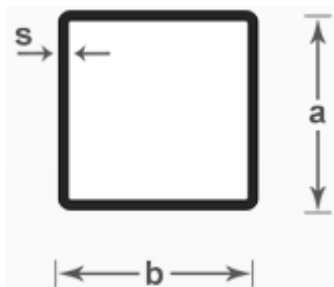


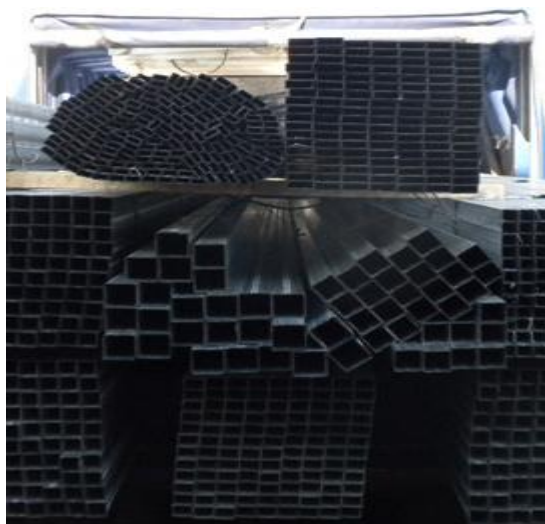
**Πίνακας 1.1** Διαστάσεις και χαρακτηριστικά πρότυπων διατομών ΙΡΕ.

ΙΡΕ	ΒΑΡΟΣ WEIGHT G kg/m	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ - DIMENSIONS mm				Δ'ΑΤΟΜΗ SECTION F cm <sup>2</sup>	ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ MOMENT OF RESISTANCE cm <sup>3</sup>	
		h	b	s	t		W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>
80	6,00	80	46	3,8	5,2	7,64	20,0	3,69
100	8,10	100	55	4,1	5,7	10,30	34,2	5,79
120	10,40	120	64	4,4	6,3	13,20	53,0	8,65
140	12,90	140	73	4,7	6,9	16,40	77,3	12,30
160	15,80	160	82	5,0	7,4	20,10	109,0	16,70
180	18,80	180	91	5,3	8,0	23,90	146,0	22,20
200	22,40	200	100	5,6	8,5	28,50	194,0	28,50
220	26,20	220	110	5,9	9,2	33,40	252,0	37,30
240	30,70	240	120	6,2	9,8	39,10	324,0	47,30
270	36,10	270	135	6,6	10,2	45,90	429,0	62,20
300	42,20	300	150	7,1	10,7	53,80	557,0	80,50
330	49,10	330	160	7,5	11,5	62,60	713,0	98,50
360	57,10	360	170	8,0	12,7	72,70	904,0	123,00
400	66,33	400	180	8,6	13,5	84,50	1160,0	146,00
450	77,60	450	190	9,4	14,6	98,90	1500,0	176,00
500	90,70	500	200	10,2	16,2	116,00	1930,0	214,00
550	106,00	550	210	11,1	17,2	134,00	2440,0	254,00
600	122,00	600	220	12,0	19,0	156,00	3070,0	308,00

**(β) Στραντζαριστά.**

Τα **στραντζαριστά**, τετράγωνα και ορθογώνια, έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών στον χώρο των κατασκευών, όπως: κατασκευή υπόστεγων, στεγάστρων, parking, σχάρες οροφής και σκέπαστρων, υποστυλώσεις, πατάρια μαγαζιών και αποθηκών, σκελετοί επενδύσεων προσόψεων κτηρίων, σκελετοί βάσεων επενδύσεων ψευδοροφών, τεγίδες οροφής, βάσεις κεραμοσκεπών, πόρτες σταθερές οικιών και παράθυρα, κάγκελα κατοικιών, ψευτόκασες, περιφράξεις και πόρτες περιφράξεων, κιγκλιδώματα διαχωρισμού χώρων, σχάρες και πάνελ προστασίας, συστήματα αποθήκευσης, γεωργικές καλλιέργειες, κλπ





Σχήμα 1.3 Προφίλ στραντζαριστής συμπαγούς διατομής [9].

Πίνακας 1.2 Διαστάσεις και χαρακτηριστικά στραντζαριστών διατομών [9].

ΣΤΡΑΝΤΖΑΡΙΣΤΑ ΑΠΛΟΥ ΤΥΠΟΥ (DCP, ΨΥΧΡΗΣ ΕΛΑΣΗΣ)										
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ		ΠΑΧΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΒΑΡΟΣ		ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ		ΠΑΧΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΒΑΡΟΣ
a (mm)	b (mm)	s (mm)	L (m)	(kg/m)		a (mm)	b (mm)	s (mm)	L (m)	(kg/m)
14	14	1.1	5.0	0,484		40	20	1.1	5.0	1,036
17	17	1.1	5.0	0,587		38	38	1.1	5.0	1,312
20	14	1.1	5.0	0,587		40	30	1.1	5.0	1,209
20	20	1.1	5.0	0,691		50	20	1.1	5.0	1,209
30	15	1.1	5.0	0,777		50	30	1.1	5.0	1,382
25	25	1.1	5.0	0,863		60	20	1.1	5.0	1,382
30	20	1.1	5.0	0,863		80	20	1.1	5.0	1,727
30	30	1.1	5.0	1,036		100	20	1.1	5.0	2,072

**(γ) Σωλήνες Κατασκευών.**

Οι σωλήνες κατασκευών διατίθενται σε μια μεγάλη ποικιλία διαστάσεων και παχών σε βέργες των 6μ. Οι σωλήνες μπορεί να είναι γαλβανισμένες ή απλές μαύρες.

Οι σωλήνες κατασκευών παράγονται από στραντζαρισμένα ελάσματα και φέρουν μια ραφή ενώ χρησιμοποιούνται για περιφράξεις, κληματαριές, στέγαστρα καθώς και όποια άλλη κατασκευή απαιτείται.

**Πίνακας 1.3** Ενδεικτικές διαστάσεις σωλήνων εμπορίου. [9]

ΜΑΥΡΕΣ			ΓΑΛΒΑΝΙΖΕ		
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ mm	ΠΑΧΟΣ mm	ΙΝΤΣΕΣ inch	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ mm	ΠΑΧΟΣ mm	ΙΝΤΣΕΣ inch
Ø 21	2	1/2	Ø 21	1.8	1/2
Ø 26	2	3/4	Ø 26	1.8	3/4
Ø 33	2	1	Ø 33	1.8	1
Ø 42	2	1 1/4	Ø 42	1.8	1 1/4
Ø 48	2	1 1/2	Ø 48	1.8	1 1/2
Ø 60	2	2	Ø 60	1.8	2
Ø 76	2.5	2 1/4	Ø 76	2.5	2 1/4
Ø 88	2.5	2 3/4			
Ø 102	3	3			



**Σχήμα 1.4** Χαλύβδινοι σωλήνες εμπορίου [9]

**(δ) Κοιλοδοκοί.**

Κοίλοι δοκοί τετράγωνοι και ορθογώνιοι διαμορφωμένοι εν ψυχρώ από έλασμα θερμής έλασης.

Οι κοιλοδοκοί διατίθενται γαλβανισμένοι και μαύροι. Είναι κλειστές διατομές απο έλασμα μεγαλύτερο των 2mm και φέρουν μια ραφή κατα μήκος.

Οι χρήσεις των κοιλοδοκών είναι πολλές. Χρησιμοποιούνται για περιφράξεις κάγκελα υποστρώσεις στεγάστρων βεραντών, κατασκευές, κλίμακες, ειδικών στηρίξεων, παταριών και άλλα.

Οι κοιλοδοκοί πωλούνται σε ράβδους με μήκος 6 μέτρων.



**Σχήμα 1.6** Τυπικές διατομές κοιλοδοκών [9]

**(ε) Σίδηρος μασίφ - Μορφοσίδηρος**

Είναι στο σύνολό τους προϊόντα θερμής έλασης κατηγορίας St 37-2 σύμφωνα με το Γερμανικό πρότυπο DIN 17100 ή σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 10025 κατηγορίας S235JR ή Fe360B.

Τα μασίφ μορφοσίδηρα διατίθενται σε βέργες των 6 μέτρων και κάποιες λάμες σε 4 μέτρα.

Κατηγοριοποιούνται βάσει της γεωμετρίας τους σε:

- Λάμες
- Γωνίες
- Στρογγυλά
- Τετράγωνα
- Ταυ

Έχουν πληθώρα εφαρμογών κάποιες απο τις οποίες είναι:

- Κάγκελα κικλιδώματα
- Σιδεριές παραδοσιακές ή μοντέρνες παραθύρων για την προστασία απο κλοπές
- Υλικά περίφραξης οικοπέδων
- Ως μικροϋλικά κατασκευών (πλήρωσης)
- Μικροέπιπλα



**Σχήμα 1.7** Προϊόντα μορφοσιδήρου [9]

#### 1.4 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ.

Για την μεταλλική πεζογέφυρα της παρούσας πτυχιακής εργασίας ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε είναι:

- Χάλυβας S235 με τιμές σχεδιασμού:

Μέτρο ελαστικότητας:  $E=210000 \text{ MPa}$

Λόγος Poisson:  $\nu=0.3$

Ειδικό βάρος:  $\gamma=78.6 \text{ kN/ m}^2$

Όριο διαρροής:  $f_y=235000 \text{ kN/ m}^2$

Εφελκυστική αντοχή:  $f_u=360000 \text{ kN/ m}^2$

- Χάλυβας S275 με τιμές σχεδιασμού:

Μέτρο ελαστικότητας:  $E=210 \ 000 \text{ MPa}$

Λόγος Poisson:  $\nu=0.3$

Ειδικό βάρος:  $\gamma=78.6 \text{ kN/ m}^2$

Όριο διαρροής:  $f_y=275000 \text{ kN/ m}^2$

Εφελκυστική αντοχή:  $f_u=430000 \text{ kN/ m}^2$

Επίσης οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι IPE, κοίλες ορθογωνικές και κυκλικές.

## 1.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.

Ο χάλυβας πλεονεκτεί σε μια σειρά από διάφορους παράγοντες σε σχέση με άλλα δομικά υλικά, όπως το μπετόν και το ξύλο. Μερικά από αυτά είναι:

α) Έχει σχετικά μεγάλη περιοχή πλαστικής παραμόρφωσης στο διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης, αυτό σημαίνει ότι ο χάλυβας είναι αρκετά ελαστικός, ώστε να αντέξει φορτίσεις πέραν του ορίου διαρροής του μέχρι της τελική του αστοχία.

β) Αποτελεί το πλέον οικολογικό υλικό, μιας και είναι κατά 100% ανακυκλώσιμο. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι το 40% της παραγωγής χάλυβα στη Γαλλία προκύπτει από την ανακύκλωση, εξοικονομώντας έτσι περίπου το 60% της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή του από πρώτες ύλες.

γ) Σε σύγκριση με το μπετόν είναι εξ αρχής σε πλήρη ικανότητα φόρτισης και δε χρειάζεται χρόνο για να «δέσει».

δ) Συγκριτικά με το ξύλο δεν παραμορφώνεται, δεν στρεβλώνει και είναι εμφανώς πιο ανθεκτικό στις μεταβολές της θερμοκρασίας και γενικά σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.

ε) Διαθέτει εξαιρετικές και κυρίως σταθερές μηχανικές ιδιότητες, καθώς επίσης και τον υψηλότερο λόγο αντοχής προς ειδικό βάρος, κάτι που εξασφαλίζει το σχεδιασμό ελαφρύτερων κατασκευών.

στ) Τα χαρακτηριστικά του είναι αμετάβλητα στο χρόνο και εφόσον παρέχεται η κατάλληλη συντήρηση εξασφαλίζεται απεριόριστη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

ζ) Το σχετικά μικρό βάρος των χαλύβδινων κατασκευών συνεπάγεται μικρότερες αδρανειακές σεισμικές δυνάμεις. Σε συνδυασμό δε με την ικανότητα ανάπτυξης σημαντικών πλαστικών παραμορφώσεων και απορρόφησης εξ αυτού προ της αστοχίας σημαντικής ενέργειας, καθίσταται ο χάλυβας ιδανικό υλικό για αντισεισμικές κατασκευές.

## 1.6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

α) Ευαισθησία σε υψηλές θερμοκρασίες ( οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε περίπτωση πυρκαγιάς , προκαλούν έντονη απομείωση αντοχής του χάλυβα) και ανάγκη λήψης μέτρων πυροπροστασίας.

β) Ευαισθησία σε φαινόμενα αστάθειας, η οποία οδηγεί σε αναγκαία αύξηση του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί σε θλιβόμενα στοιχεία, για την αποτροπή του φαινομένου του λυγισμού.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:**

### **ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ**

#### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΟΡΙΣΜΟΙ

Γέφυρα είναι μια κατασκευή που έχει σκοπό τη συνέχεια μιας γραμμής επικοινωνίας, όπως μιας οδού (οδική γέφυρα), ενός σιδηροδρόμου, μιας ροής πεζών ή ενός αγωγού, πάνω από ένα εμπόδιο. Τα συνήθη εμπόδια που γεφυρώνονται είναι ποτάμια ή γενικότερα υδάτινες επιφάνειες, άλλοι συγκοινωνιακοί άξονες, τεχνητές υδάτινες ροές, εδαφικές ταπεινώσεις κ.τ.λ.

Από τα πανάρχαια χρόνια, η αποκατάσταση της συνέχειας μιας οδού πάνω από μια υδάτινη ροή αποτελούσε σημαντικό πρόβλημα. Έτσι, ο άνθρωπος αναγκάστηκε να κατασκευάσει γέφυρες από τους προϊστορικούς ακόμα χρόνους.

#### 2.2 ΣΥΝΟΤΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑΣ

Γενικά οι γέφυρες διακρίνονται:

- 1) Ανάλογα με τη χρήση ή τον τύπο του φορέα σε οδικές, σιδηροδρομικές, πεζών, πεζών και ποδηλάτων, υδατογέφυρες
- 2) Ανάλογα με το υλικό κατασκευής σε ξύλινες (οι αρχαιότερες), λίθινες (αψιδωτές ή τοξωτές), σχοινένιες, μεταλλικές, τσιμεντένιες ή και μικτές.
- 3) Ανάλογα με τον τρόπο έδρασής τους, που είναι και η σημαντικότερη κατάταξή των, σε κινητές και σε σταθερές.
  - α) Οι κινητές διακρίνονται επιμέρους σε "αναρτώμενες", "περιστροφικές" και "πτυσσόμενες". Στις κινητές γέφυρες υπάγονται και οι "πλωτές".
  - β) Οι σταθερές διακρίνονται επιμέρους:
    - i) Εκ της γωνίας αυτών κατά διεύθυνση προς τη κοίτη ή εκείνης του εμποδίου σε: "ορθές" ή "ορθογώνιες" και σε "λοξές".
    - ii) Εκ της κατασκευής έδρασης παραλλήλων δοκών, γνωστές ως "δοκογέφυρες" και τέλος
    - iii) Οι "κρεμαστές" που εδράζονται και ταυτόχρονα αναρτώνται σε πυλώνες.

##### 2.2.1 Δομικά μέλη γεφυρών.

*(α) Κατάστρωμα.*

Αποτελεί το δομικό στοιχείο, που δέχεται τα οριζόντια και κατακόρυφα φορτία της γέφυρας και τα μεταβιβάζει στον κυρίως φορέα ή στις κύριες δοκούς.

Αποτελείται από διαδοκίδες, οι οποίες είναι δοκοί τοποθετημένες εγκάρσια ως προς τον διαμήκη άξονα της γέφυρας, δηλαδή κάθετα στις κύριες δοκούς και μηκίδες, οι οποίες είναι τοποθετημένες παράλληλα προς τον διαμήκη άξονα της γέφυρας και τις κύριες δοκούς

#### **(β) Κύριες Δοκοί / Κύριοι φορείς**

Αποτελούν το κύριο σύστημα παραλαβής των φορτίων και αναλαμβάνουν τη μεταφορά τους με ασφάλεια στα βάθρα. Υπάρχουν πολλά συστήματα κυρίως φορέων ή δοκών όπως δικτυωτές, ολόσωμες, τοξωτές, καλωδιωτές, κρεμαστές κ.α

#### **(γ) Εφέδρανα**

Σκοπό έχουν να μεταφέρουν τις δυνάμεις της ανωδομής στην υποδομή. Τοποθετούνται στις ενώσεις των κύριων δοκών με τα βάθρα και εξασφαλίζουν τοπικές και διαφορικές μετακινήσεις ή παραμορφώσεις του καταστρώματος σε σχέση με τα βάθρα.

Διακρίνονται σε σταθερά και κινητά ανάλογα με το αν επιτρέπουν οριζόντιες μετακινήσεις της ανωδομής ενώ σε κάθε περίπτωση επιτρέπουν την περιστροφή γύρω από το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο.

#### **(δ) Βάθρα**

Αποτελούν τα σημεία στήριξης της γέφυρας και παραλαμβάνουν, μέσω των εφεδράνων, όλες τις δράσεις της ανωδομής. Τα μεταλλικά βάθρα είναι συνήθως δικτυωτά και αποτελούνται από τους κατακόρυφους στύλους, οι οποίοι μεταφέρουν στη θεμελίωση τα κατακόρυφα φορτία του καταστρώματος και μπορεί να έχουν και ενδιάμεσες διαδοκίδες για περιορισμό του μήκους λυγισμού τους, λόγω μεγάλων θλιπτικών δυνάμεων, τους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας, οι οποίοι παραλαμβάνουν τα οριζόντια φορτία του καταστρώματος, τις κεφαλοδοκούς, οι οποίες διαστασιολογούνται κυρίως με βάση τις αξονικές θλιπτικές δυνάμεις του σεισμού που καταπονούν τα βάθρα.

### **2.3 ΕΝΤΥΠΩΣΙΑΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΝ ΦΟΡΕΑ**

#### **1. Γέφυρα Γκόλντεν Γκέιτ**

Ίσως δε υπάρχει άλλη γέφυρα τόσο γνωστή όσο αυτή του Σαν Φρανσίσκο. Η γέφυρα Γκόλντεν Γκέιτ άνοιξε το 1937 και τότε ήταν η μεγαλύτερη γέφυρα στον κόσμο με μήκος 2,7 χιλιόμετρα. Κράτησε αυτό τον τίτλο ως τη δεκαετία του 1960. (Σχήμα 2.1)

#### **2. Γέφυρα Ακάσι Καικίό**

Η γέφυρα έχει τρία ανοίγματα. Το κεντρικό άνοιγμα είναι 1.991 μέτρα και τα άλλα δύο τμήματα είναι 960 μ. έκαστο. Τα καλώδια από χάλυβα αποτελούνται από 300.000 χιλιόμετρα σύρματος. Κάθε καλώδιο έχει διάμετρο 112 εκατοστά και περιέχει 36.830 επιμέρους καλώδια. (Σχήμα 2.2)





**Σχήμα 2.1** Η γέφυρα Γκόλντεν Γκέιτ [9]



**Σχήμα 2.2** Γέφυρα Ακάσι Καικιό [9]

### 3. Γέφυρα του Σύδνεϋ

Η γέφυρα αυτή διαθέτει 6 εκατομμύρια καρφιά που τοποθετήθηκαν χειρονακτικά. Έχει το παρατσούκλι «Coathanger» (κρεμάστρα) λόγω του σχήματός της. (Σχήμα 2.3)

### 4. Γέφυρα του Πύργου (Tower Bridge)

Tower Bridge, η Γέφυρα του Πύργου, είναι μια από της πιο αναγνωρίσιμες γέφυρες στον κόσμο. Η πασίγνωστη κρεμαστή, κινητή γέφυρα που αποτελεί ένα από τα πιο

χαρακτηριστικά σύμβολα του Λονδίνου. Χρειάστηκαν πάνω από 11.000 τόνους χάλυβα για την κατασκευή του πλαισίου. (Σχήμα 2.4)



**Σχήμα 2.3** Η γέφυρα του Σύδνεϋ [9]



**Σχήμα 2.4** Η γέφυρα Tower Bridge [9]

## 5. Γέφυρα Helix

Έχει σχήμα DNA και βρίσκεται στην Σιγκαπούρη. Πρόκειται για γέφυρα πεζών και είναι άκρως εντυπωσιακή. (Σχήμα 2.5)





**Σχήμα 2.5** Η γέφυρα Helix [9]

#### 6. Capilano Cliffwalk

Βρίσκεται στο Βόρειο Βανκούβερ της Βρετανικής Κολούμπια, έχει μήκος 213 μέτρα και κρέμεται 70 μέτρα πάνω από το φαράγγι. (Σχήμα 2.6)



**Σχήμα 2.6** Η γέφυρα Capilano Cliffwalk [9]

## 2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3

Κάθε κατασκευή σχεδιάζεται ακολουθώντας τους αντίστοιχους κανονισμούς. Τα μεταλλικά στοιχεία μιας γέφυρας, όπως και κάθε φορέα που κατασκευάζεται από δομικό χάλυβα, θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 3.

Ο EN 1993, γνωστός ως ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, είναι μέρος μίας σειράς Ευρωπαϊκών Προτύπων, γνωστοί ως Ευρωκώδικες, που ορίζει τις τεχνικές προδιαγραφές που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό κτιρίων και έργων αρμοδιότητας πολιτικού μηχανικού από χάλυβα. Ασχολείται με τις αρχές και τις απαιτήσεις για ασφάλεια και λειτουργικότητα των κατασκευών, τις βασικές αρχές του σχεδιασμού και των ελέγχων επάρκειάς τους που περιλαμβάνονται στο Πρότυπο EN 1990 : Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών.

Ο EN 1993 ασχολείται μόνο με απαιτήσεις για αντοχή, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και πυρασφάλεια των κατασκευών από χάλυβα.

Άλλες απαιτήσεις, που αφορούν π.χ. θερμικές ή ηχητικές μονώσεις δεν καλύπτονται.

Ο Ευρωκώδικας 3, απαρτίζεται γενικώς από τα ακόλουθα μέρη:

1. Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
2. Μέρος 1-2: Γενικοί κανόνες - Σχεδιασμός φορέων σε πυρκαγιά
3. Μέρος 1-3: Γενικοί κανόνες - Συμπληρωματικοί κανόνες για μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης
4. Μέρος 1-4: Γενικοί κανόνες - Συμπληρωματικοί κανόνες για ανοξείδωτους χάλυβες
5. Μέρος 1-5 Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα
6. Μέρος 1-6: Αντοχή και ευστάθεια κελυφωτών κατασκευών
7. Μέρος 1-7: Κατασκευές από επίπεδα ελάσματα υπό εγκάρσια φόρτιση
8. Μέρος 1-8: Σχεδιασμός κόμβων
9. Μέρος 1-9: Κόπωση
10. Μέρος 1-10: Αντοχή σε ψαθυρή θραύση και ιδιότητες κατά την έννοια του πάχους
11. Μέρος 1-11: Σχεδιασμός κατασκευών με εφελκυσόμενα στοιχεία
12. Μέρος 2: Γέφυρες από χάλυβα
13. Μέρος 3-1: Πύργοι, ιστοί και καπνοδόχοι - Πύργοι και ιστοί
14. Μέρος 3-2: Πύργοι, ιστοί και καπνοδόχοι - Καπνοδόχοι
15. Μέρος 4-1: Σιλό
16. Μέρος 4-2: Δεξαμενές
17. Μέρος 4-3: Αγωγοί
18. Μέρος 5: Πάσσαλοι
19. Μέρος 6: Κατασκευές στήριξης γερανογεφυρών
20. Εξωτερικοί σύνδεσμοι

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:**

### **ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑΣ**

#### **3.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SAP2000.**

Το πρόγραμμα SAP2000 είναι διεθνώς αναγνωρισμένο ως το πλέον εξελιγμένο διαθέσιμο λογισμικό στην τεχνολογία της τρισδιάστατης ανάλυσης - διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων. Διαθέτει ένα εύκολο γραφικό περιβάλλον, προσφέροντας συγχρόνως τις πιο εξελιγμένες υπολογιστικές τεχνικές με πανίσχυρες δυνατότητες δημιουργίας προσομοιωμάτων. Το SAP2000 είναι εφοδιασμένο με όλους τους Ευρωπαϊκούς, Διεθνείς και Αμερικάνικους κανονισμούς ενώ οι δυνατότητες προσομοίωσης, ανάλυσης, φορτίσεων, διαστασιολόγησης και μη γραμμικής πλαστικής ανάλυσης (Pushover) αποτελούν σημείο αναφοράς για τους επαγγελματίες του χώρου.

Παρέχει εξαιρετικές δυνατότητες για τη προσομοίωση μεγάλης γκάμας δομημάτων, συμπεριλαμβανομένων γεφυρών, φραγμάτων, δεξαμενών και κτιρίων. Το γραφικό περιβάλλον που βασίζεται στα Windows, δίνει τη δυνατότητα ταχύτερης παραγωγής προσομοιωμάτων με τη χρήση προτύπων (templates). Η δημιουργία και η τροποποίηση των προσομοιωμάτων, η εκτέλεση της ανάλυσης, η ανάγνωση των αποτελεσμάτων, και η βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης είναι όλα αλληλένδετα στο ίδιο περιβάλλον χρήσης.

Οι δυνατότητες στατικών φορτίσεων επιτρέπουν την εφαρμογή φορτίων βαρύτητας, πίεσης (ομοιόμορφα κατανεμημένων φορτίων), θερμοκρασιακών φορτίων και φορτίων από προέκταση, ενώ επιπλέον μπορούμε να έχουμε επικόμβιες φορτίσεις με προκαθορισμένες δυνάμεις ή μετακινήσεις στους κόμβους. Οι δυναμικές φορτίσεις μπορεί να είναι της μορφής φασματικής απόκρισης πολλαπλής βάσεως ή πολλαπλά χρονικά μεταβαλλόμενων φορτίων και διεγέρσεις βάσης.

#### **3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Ο φορέας που αναλύεται στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ένα μεταλλικό χωροδικτύωμα αποτελούμενα από δύο κυρίως ζευκτά γεωμετρίας τα οποία ενώνονται με εγκάρσια μεταλλικά στοιχεία (διαδοκίδες καταστρώματος και τεγίδες στέγης).

Το κατάστρωμα αποτελείται από σύμμικτη πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 0,30m και αντοχή C20/25(που σημαίνει ότι μπορούμε με ικανή ασφάλεια να θεωρήσουμε ότι θα μπορεί να παραλάβει πιέσεις της τάξης 20 MPa χωρίς να καταστραφεί, στις 28 ημέρες μετά τη σκυροδέτησή του και για να πιστοποιήσουμε την πραγματική αντοχή του, κατά τη διάρκεια κάθε σκυροδέτησης λαμβάνονται ειδικά δοκίμια τα όποια φυλάσσονται σε μέρος με κατάλληλες συνθήκες και σπάζονται με ειδική πρέσα 28 ημέρες μετά τη σκυροδέτηση, η αντοχή των κυβικών δοκιμίων θα πρέπει να είναι της τάξης των 25MPa).

Τα εγκάρσια μεταλλικά στοιχεία αποτελούνται από χάλυβα S235 ή S275 (εξετάζονται και οι δύο περιπτώσεις).

Οι διατομές που χρησιμοποιούνται είναι οι ΙΡΕ, κοίλες κυκλικές και τετραγωνικές (αξιολογήθηκαν τρεις περιπτώσεις).

Το ζητούμενο είναι να βρεθεί η καλύτερη δυνατή λύση με συνδυασμό των παραπάνω διατομών και εγκάρσιων μεταλλικών στοιχείων ώστε να μην αστοχεί κανένα από τα μέλη του φορέα και η βύθιση να μην ξεπερνά την μέγιστη επιτρεπόμενη.



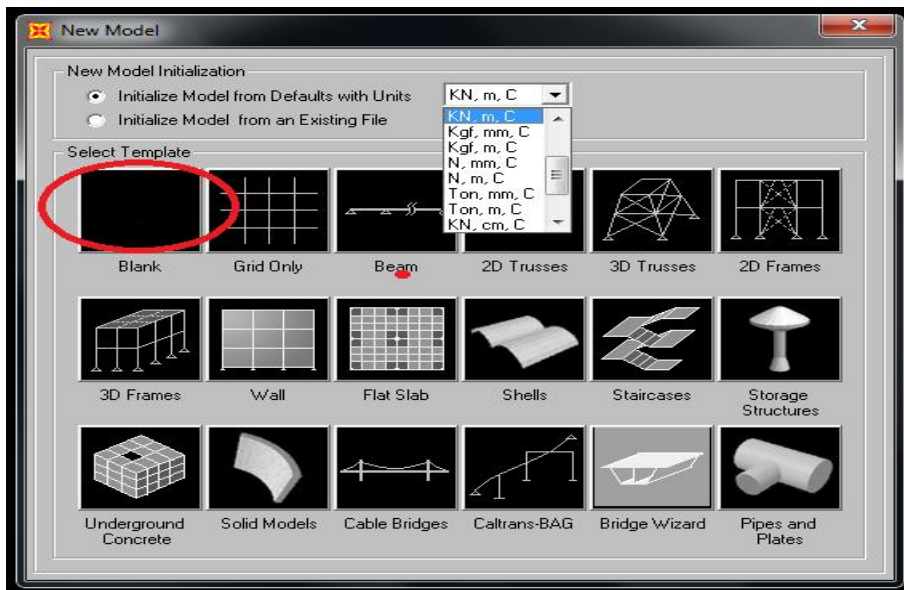
**Σχήμα 3.1** Άποψη της μεταλλικής πεζογέφυρας που αναλύεται.

### 3.3 ΒΗΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

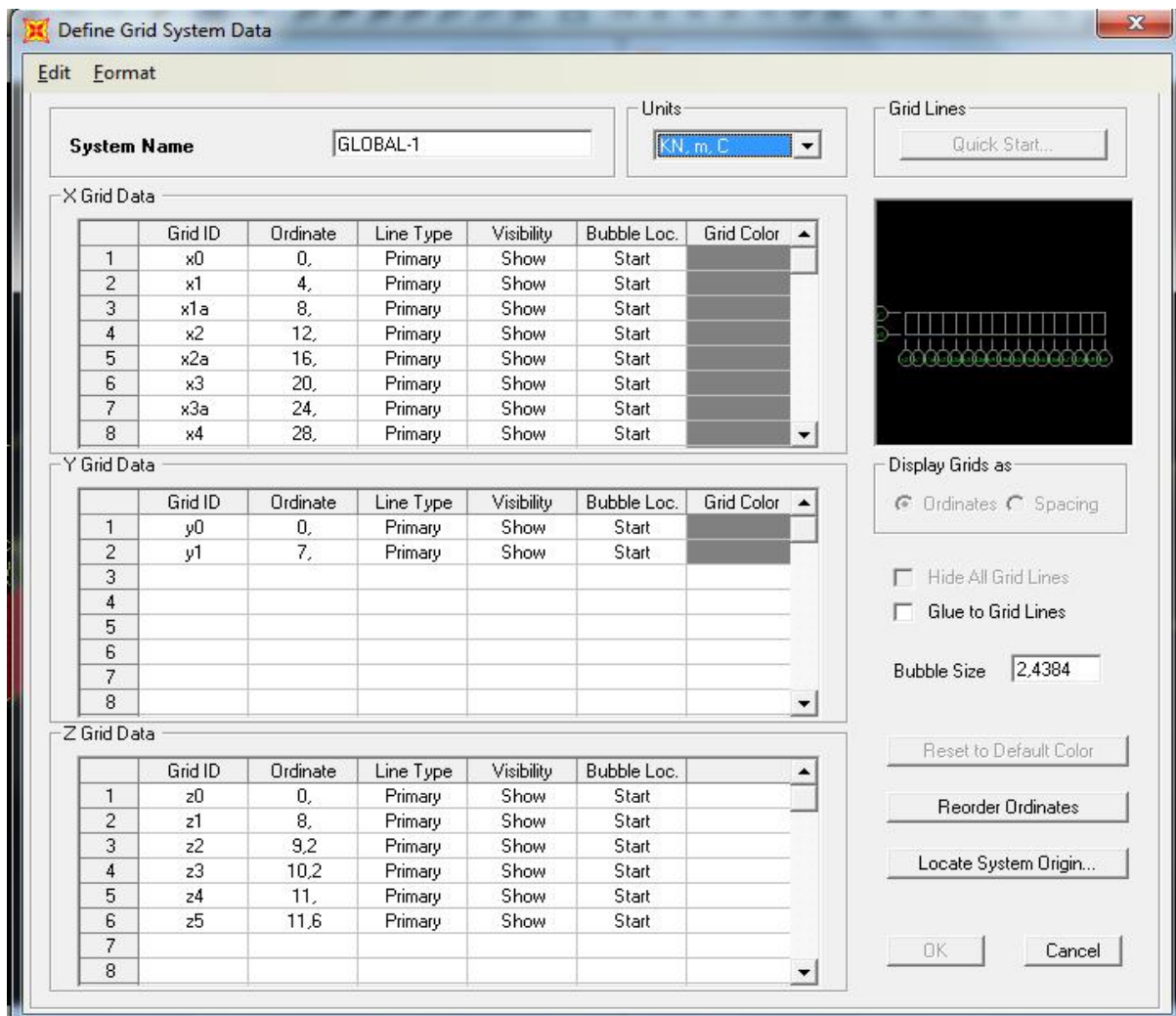
#### 3.3.1 Γεωμετρία του φορέα.

Αρχικά στο πρόγραμμα καθορίζονται οι μονάδες και δίνονται οι βασικές γραμμές κανάβου που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μοντέλου (Σχήμα 3.2 και 3.3). Τα μέλη (διαγώνια) ακολουθούν έναν σταθερό κানাβο με βήμα 8,0m. Το συνολικό μήκος του φορέα προκύπτει 64,0m.



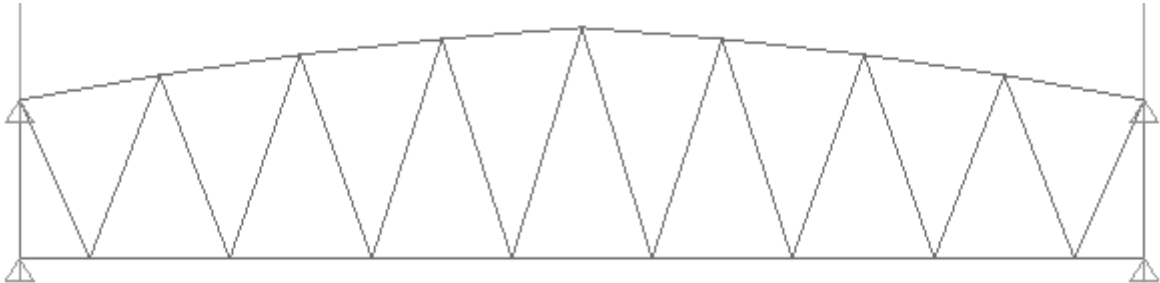


Σχήμα 3.2 Καθορισμός μονάδων στο πρόγραμμα SAP 2000.

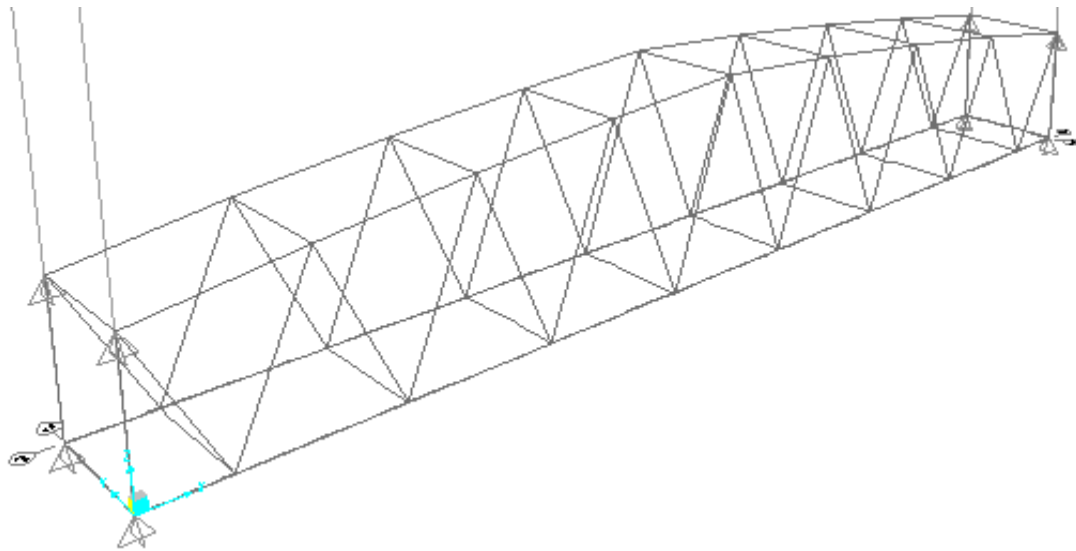


Σχήμα 3.3 Σχεδιασμός και αποστάσεις βοηθητικού κανάβου.

Ο φορέας σχηματίζεται ενώνοντας τις γραμμές κανάβου με γραμμικά μέλη. Αρχικά μορφώνεται το ένα πλευρικό δικτύωμα (Σχήμα 3.4) το οποίο αντιγράφεται για να δημιουργήσει το δίδυμό του. Ακολούθως προστίθενται τα συνδετικά, εγκάρσια προς τη διεύθυνση της γέφυρας, μέλη και προκύπτει ο τρισδιάστατος φορέας (Σχήμα 3.5).



**Σχήμα 3.4** Άποψη του πλευρικού δικτύωματος μετά την εισαγωγή του στο πρόγραμμα.



**Σχήμα 3.5** Γενική άποψη του τρισδιάστατου φορέα.

Η στήριξη του φορέα θεωρήθηκε αρθρωτού τύπου στους ακραίους κόμβους (Σχήμα 3.6).





**Σχήμα 3.6** Καθορισμός των στηρίξεων του φορέα στο πρόγραμμα SAP 2000.

### 3.3.2 Υλικά και διατομές.

Για τα υλικά θεωρήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 με χαρακτηριστικά όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.7. Δεν έγινε σχεδιασμός των πλακών του καταστρώματος οπότε δεν απαιτήθηκε η εισαγωγή της αντοχής του σκυροδέματος στο πρόγραμμα.

Για τις δύο κατηγορίες χάλυβα που χρησιμοποιήθηκαν έγινε εισαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων ώστε να μπορεί να γίνει ο έλεγχος των μελών κατά το σχεδιασμό (Σχήματα 3.8 και 3.9)

**Material Property Data**

General Data

Material Name and Display Color: C20 ■

Material Type: Other

Material Notes:

---

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25.

Mass per Unit Volume: 2.5493

Units: KN, m, C

---

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 29000000

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 12083333

Switch To Advanced Property Display

Σχήμα 3.7 Δεδομένα για το σκυρόδεμα.

**Material Property Data**

General Data

Material Name and Display Color: S275 ■

Material Type: Steel

Material Notes:

---

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 78.

Mass per Unit Volume: 7.9538

Units: KN, m, C

---

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.100E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 80769231

---

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 275000.

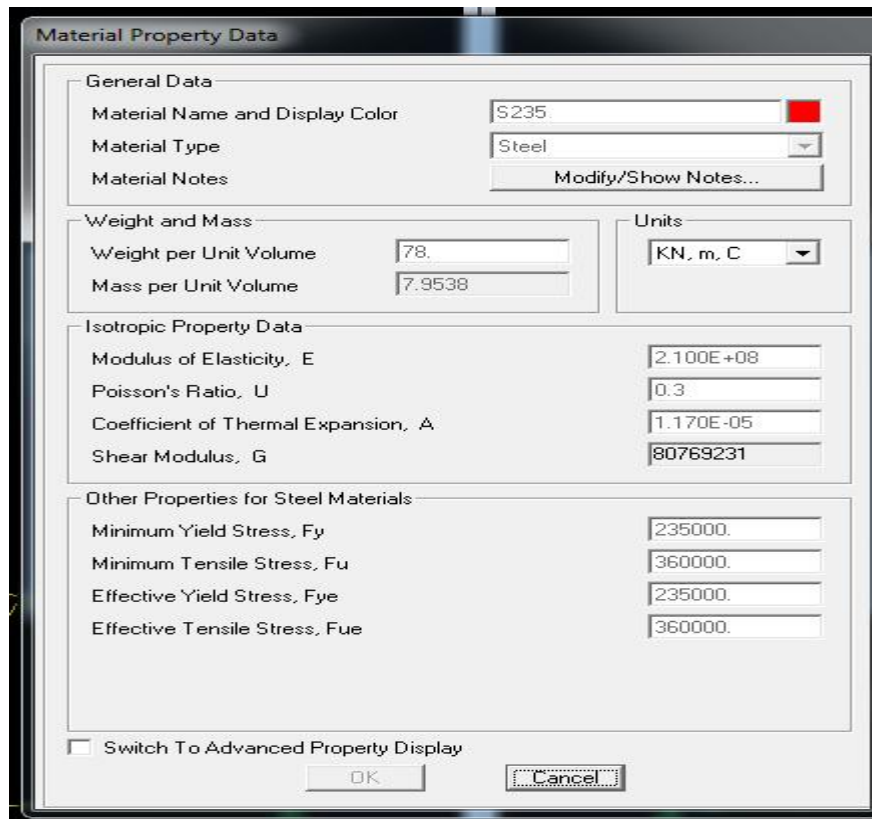
Minimum Tensile Stress, Fu: 430000.

Effective Yield Stress, Fye: 275000.

Effective Tensile Stress, Fue: 430000.

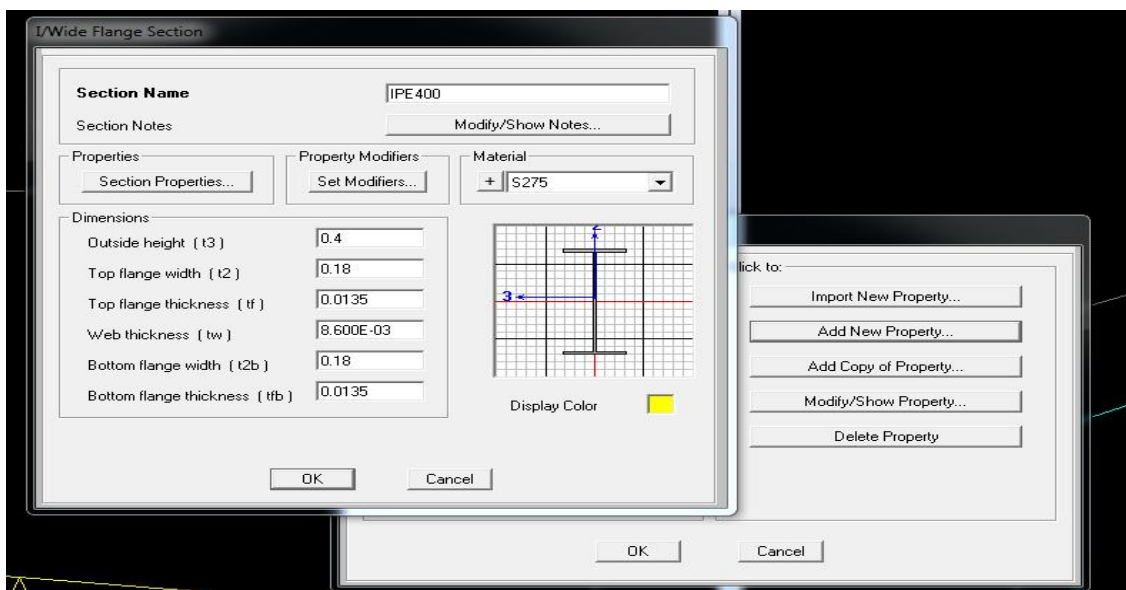
Switch To Advanced Property Display

Σχήμα 3.8 Δεδομένα για το χάλυβα S235.

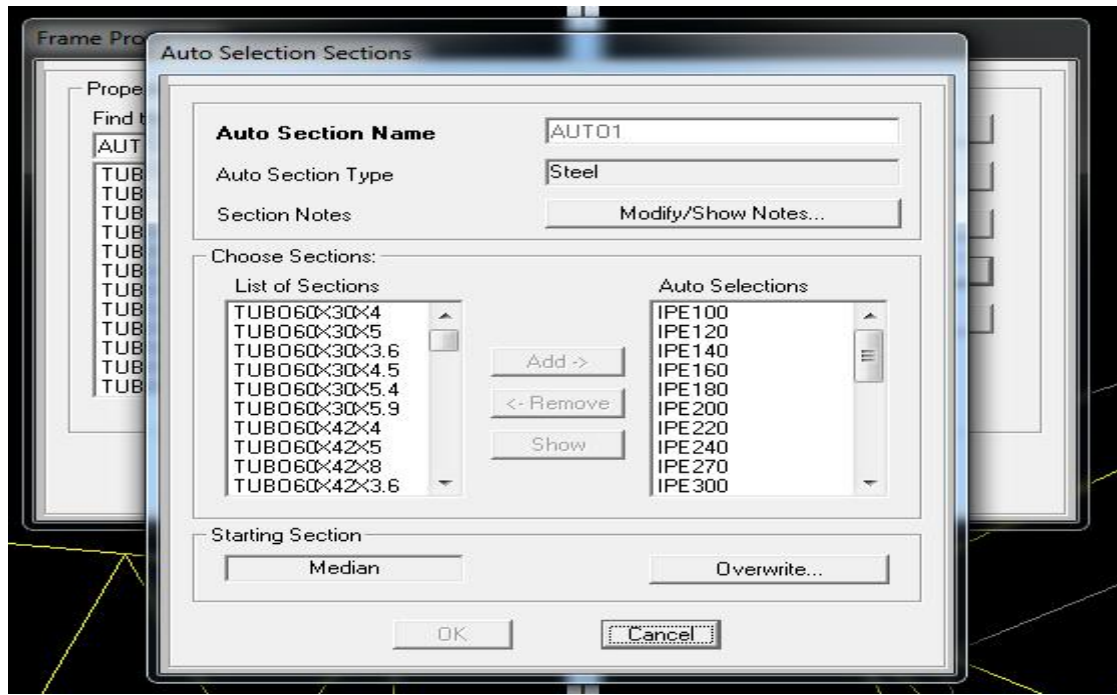


Σχήμα 3.9 Δεδομένα για το χάλυβα S275.

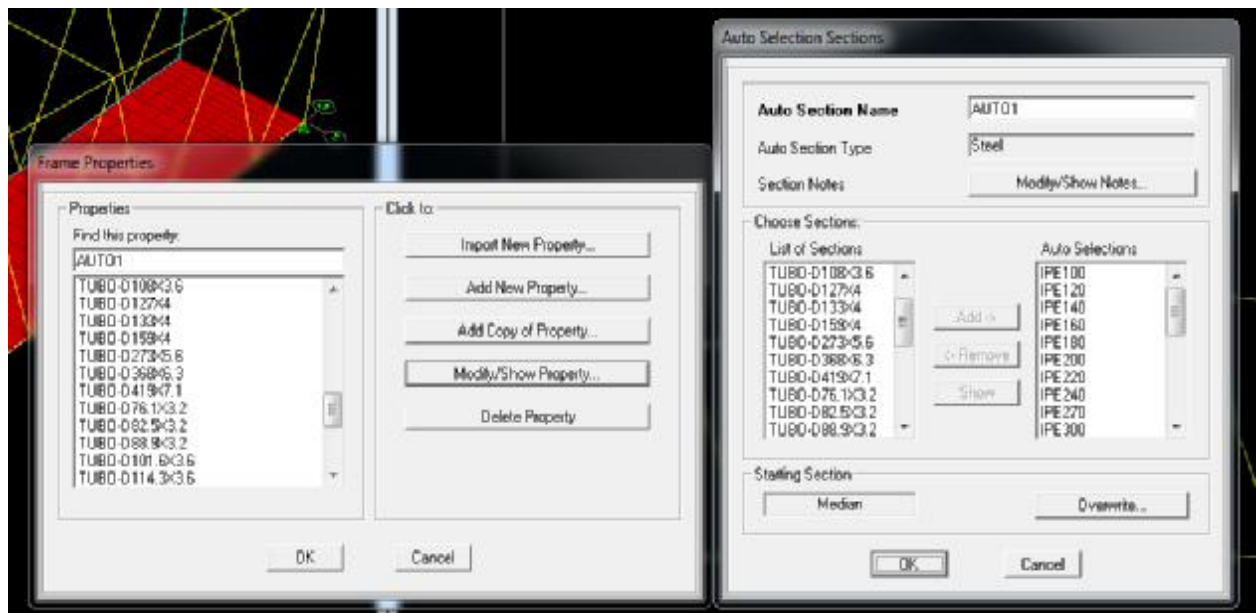
Οι διατομές θα επιλέγονται αυτόματα από το πρόγραμμα κατά το σχεδιασμό. Εισάγονται κατά την προσομοίωση από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος οι πρότυπες διατομές που θα ληφθούν υπόψη κατά τον έλεγχο των μελών (Σχήματα 3.10 έως 3.12)



Σχήμα 3.10 Δεδομένα για τις διατομές IPE.



Σχήμα 3.11 Δεδομένα για τις κοίλες ορθογωνικές διατομές.

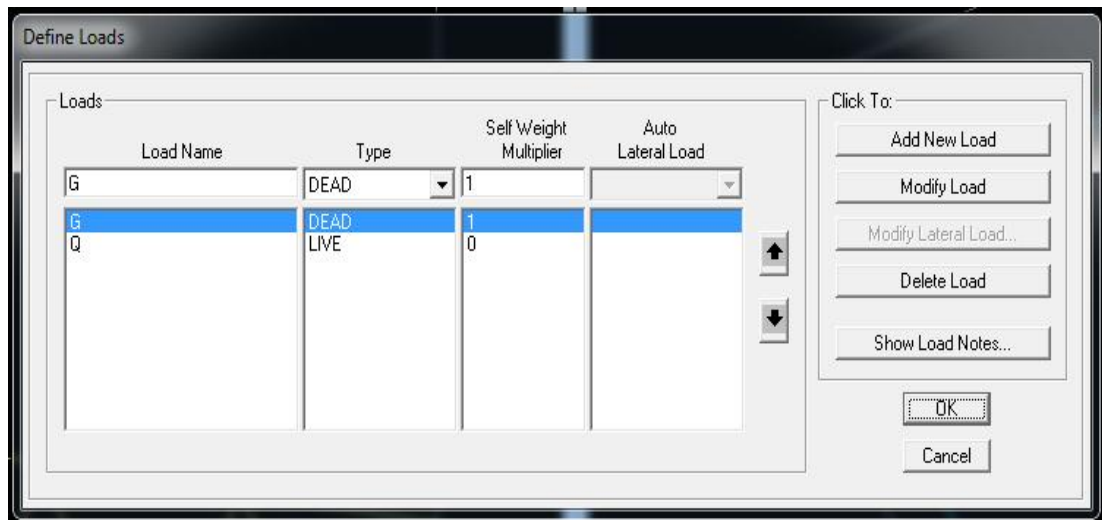


Σχήμα 3.12 Δεδομένα για τις κοίλες κυκλικές διατομές.

### 3.3.3 Φορτίσεις και συνδυασμοί τους.

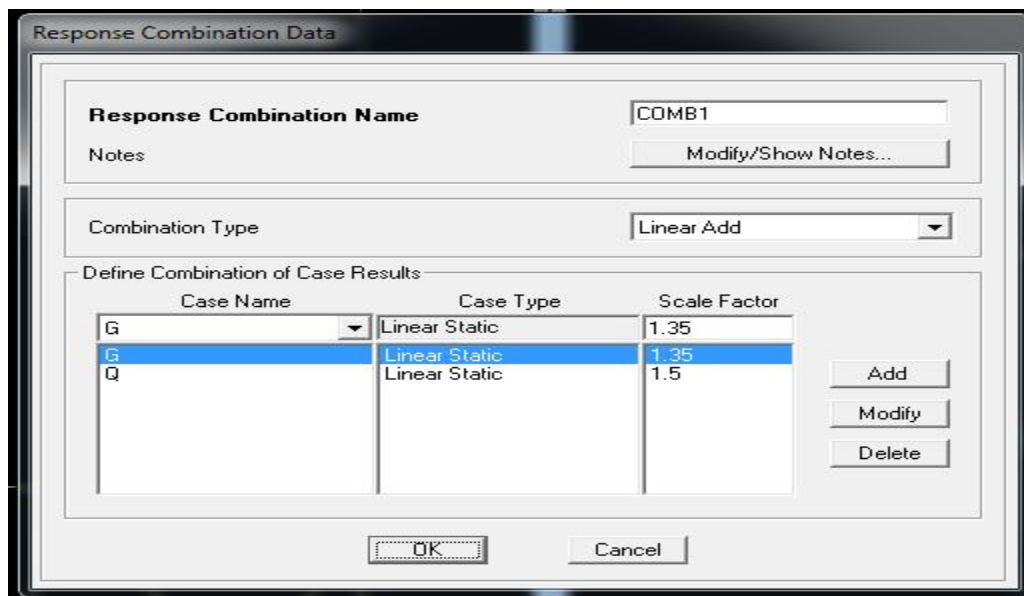
Για την ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα θεωρήθηκαν τα μόνιμα G και κινητά φορτία Q (Σχήμα 3.13). Δεν έγινε ανάλυση για σεισμική ή άλλες δυναμικές φορτίσεις. Στα μόνιμα φορτία περιλαμβάνονται τα ίδια βάρη των μελών και τις πλάκας του σκυροδέματος

καθώς και επιπλέον βάρη λόγω επιστρώσεων. Τα κινητά φορτία περιλαμβάνουν το βάρος των χρηστών (πεζών) που θεωρήθηκε  $5\text{kN/m}^2$ .



**Σχήμα 3.13** Καθορισμός των περιπτώσεων φόρτισης για τις οποίες επιλύεται ο φορέας.

Ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε συνδυάζοντας τα ανωτέρω φορτία κατά τα γνωστά με δυσμένεια, δηλαδή για το συνδυασμό  $1,35G+1,50Q$  (Σχήμα 3.14).



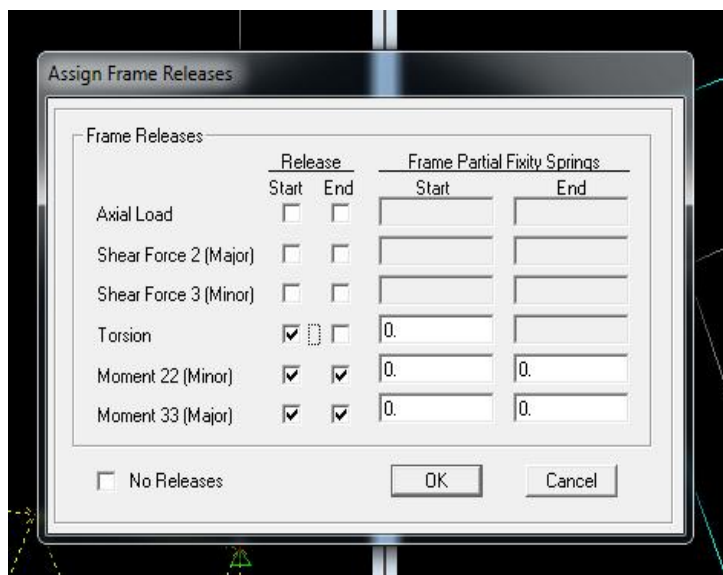
**Σχήμα 3.14** Καθορισμός του συνδυασμού φόρτισης για το σχεδιασμό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

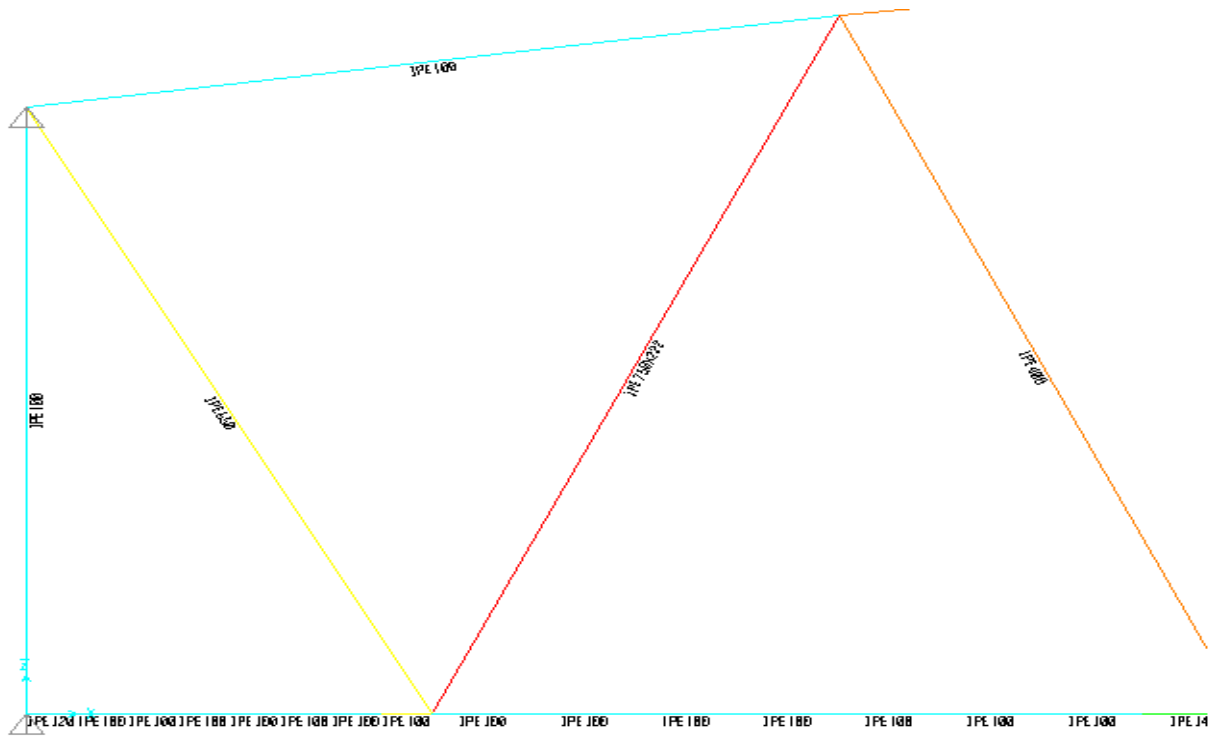
#### 4.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 1.

Για το πρώτο προσομοίωμα που αναλύθηκε και σχεδιάστηκε θεωρήθηκε ότι οι διατομές του φορέα είναι κατηγορίας IPE και ο δομικός χάλυβας κατηγορίας S275. Όλα τα μέλη του φορέα θεωρήθηκαν δικτυωτά εκτός από αυτά του πρώτου πλαισίου. Η λειτουργία ράβδου εξασφαλίστηκε με την εισαγωγή κατάλληλων ελευθεριών στους κόμβους (Σχήμα 4.1).

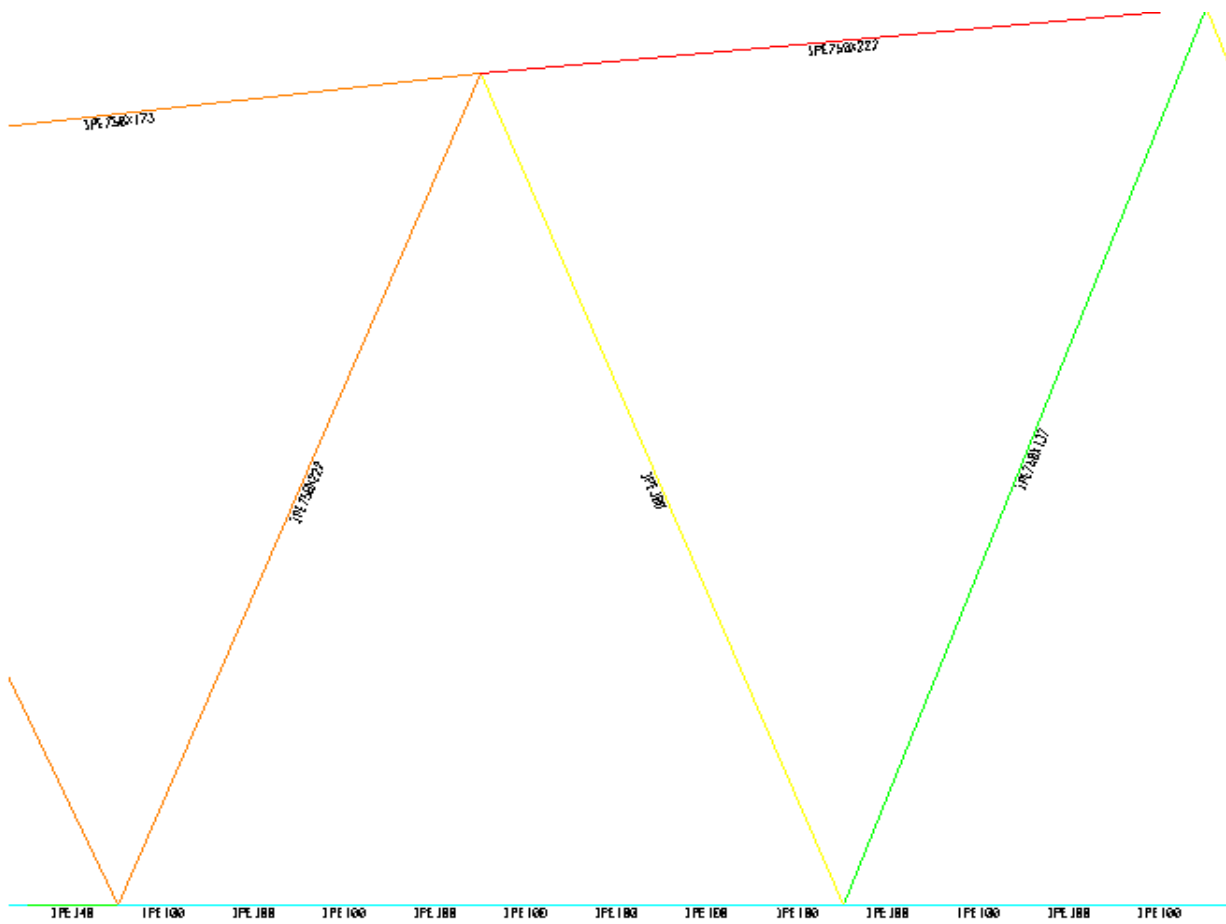


**Σχήμα 4.1** Εισαγωγή ελευθεριών στους κόμβους για την εξασφάλιση της λειτουργίας ράβδου.

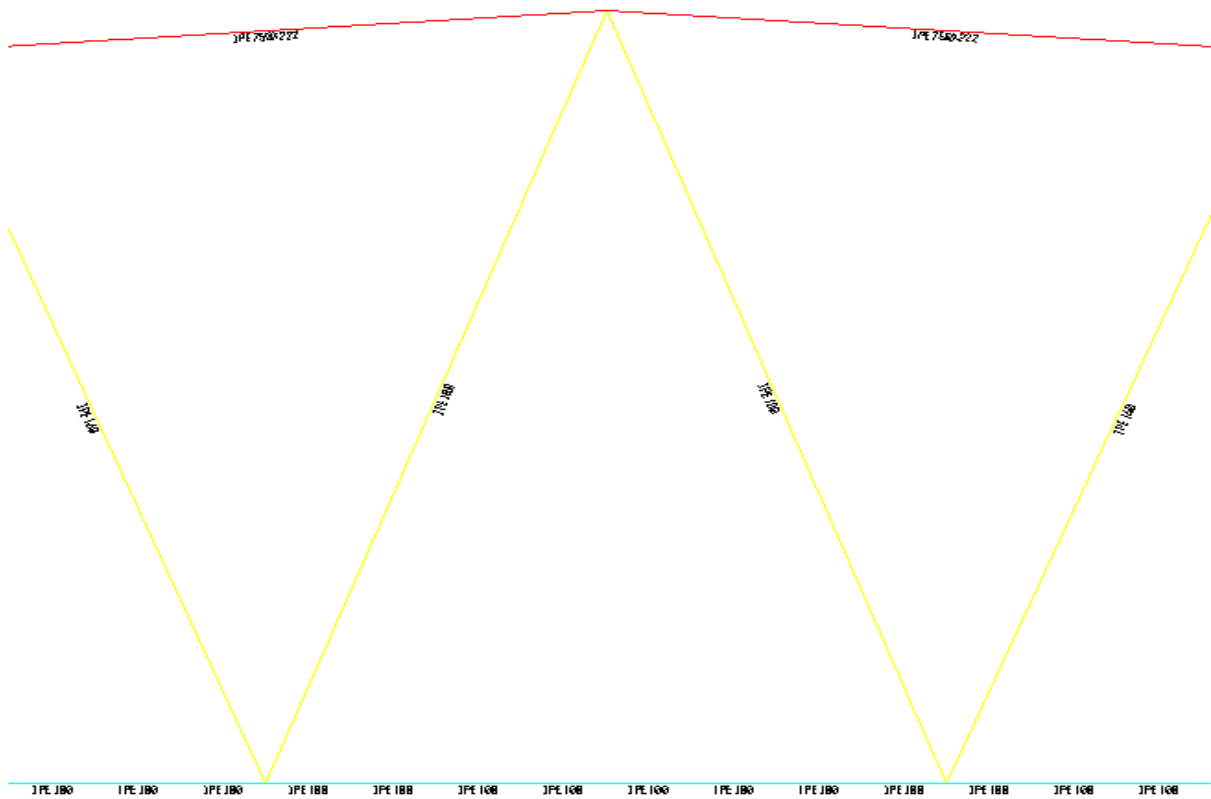
Μετά την ανάλυση και διαστασιολόγηση της κατασκευής εμφανίζονται οι διατομές που επέλεξε το πρόγραμμα για τα μέλη, αφού εκτέλεσε τους απαιτούμενους από τον Ευρωκώδικα 3 ελέγχους (μέλη δικτυώματος ελέγχονται σε εφελκυσμό και θλίψη). Τα αποτελέσματα ανά τμήμα ενός εκ των δικτυωμάτων φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν.



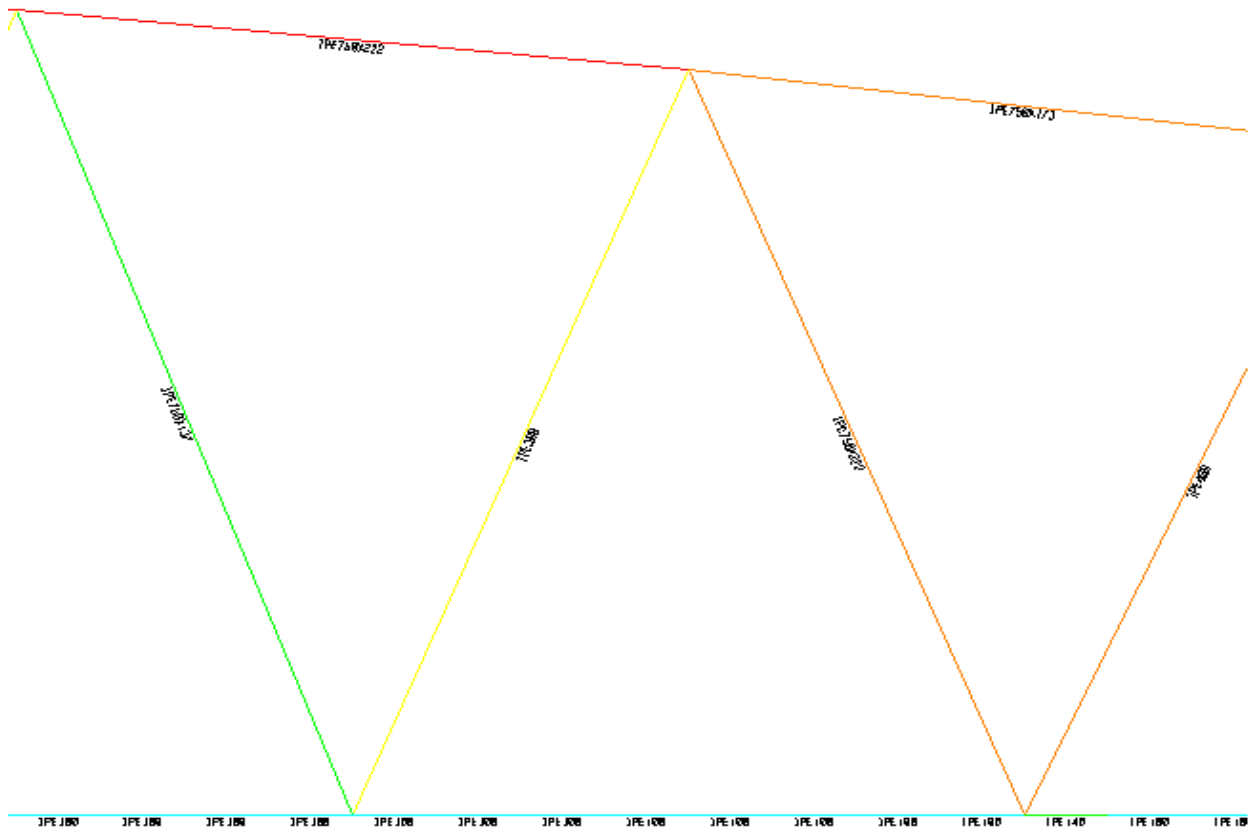
Σχήμα 4.2 Διατομές της λύσης 1 (IPE) στο πρώτο τμήμα του φορέα



Σχήμα 4.3 Διατομές της λύσης 1 (IPE) στο δεύτερο τμήμα του φορέα

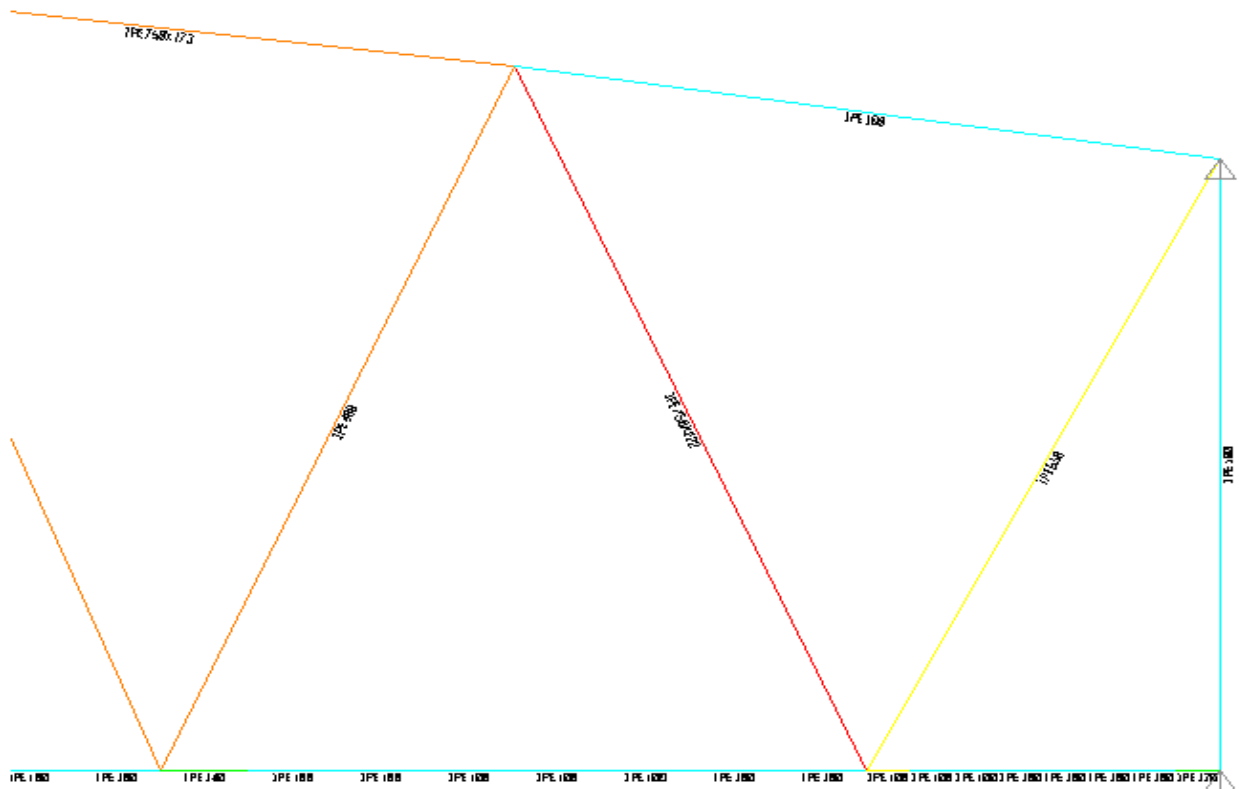


Σχήμα 4.4 Διατομές της λύσης 1 (IPE) στο τρίτο τμήμα του φορέα



Σχήμα 4.5 Διατομές της λύσης 1 (IPE) στο τέταρτο τμήμα του φορέα



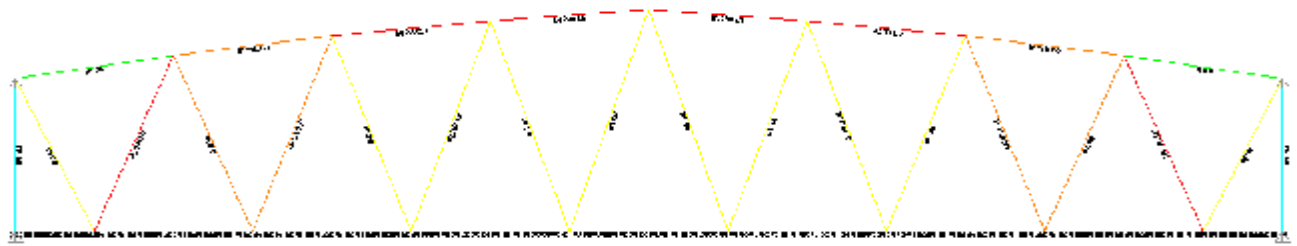


**Σχήμα 4.6** Διατομές της λύσης 1 (IPE) στο πέμπτο τμήμα του φορέα

Από το σχεδιασμό προκύπτουν και οι λόγοι ανεπάρκειας των μελών (Σχήμα 4.7). Στο σχήμα αυτό:

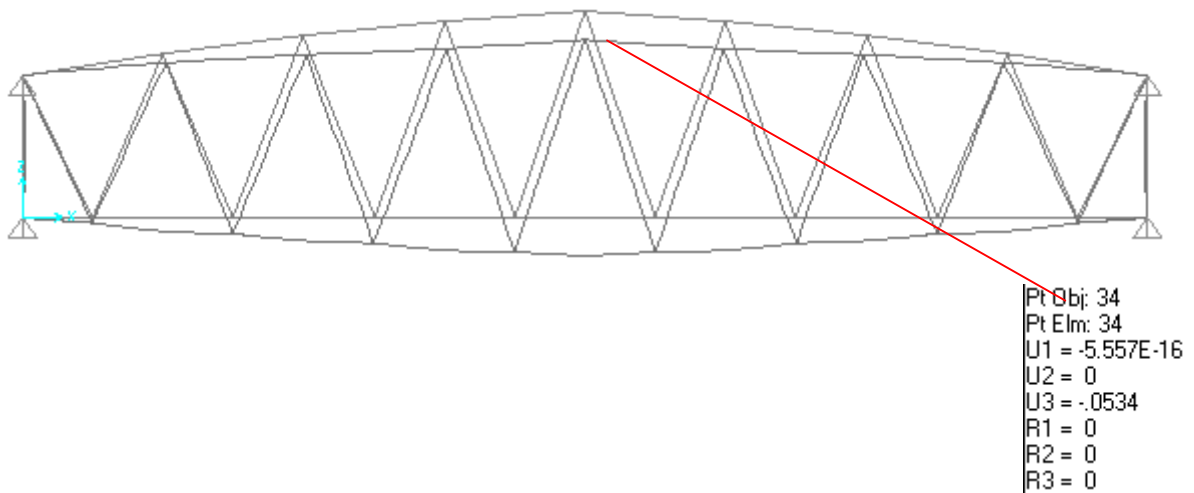
- Στα μέλη με μπλε χρώμα η τιμή είναι:  
0.264
- Στα μέλη με πράσινο χρώμα η τιμή είναι:  
0.618
- Στα μέλη με κίτρινο χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 0.701 έως 0.873
- Στα μέλη με πορτοκαλί χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 0.907 έως 0.929
- Παρατηρούμε πως όπου υπάρχει κόκκινο χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 1.039 έως 1.392

Αφού ο δείκτης ξεπερνάει τη μονάδα τα μέλη αυτά αναμένεται να αστοχήσουν. Οπότε η πρώτη λύση κρίνεται ανεπαρκής.



**Σχήμα 4.7** Λόγοι ανεπάρκειας για τη λύσης 1.

Με βάση τις διατομές που επιλέχθηκαν η βύθιση του φορέα στο μέσον προέκυψε 5,34 cm (Σχήμα 4.8).



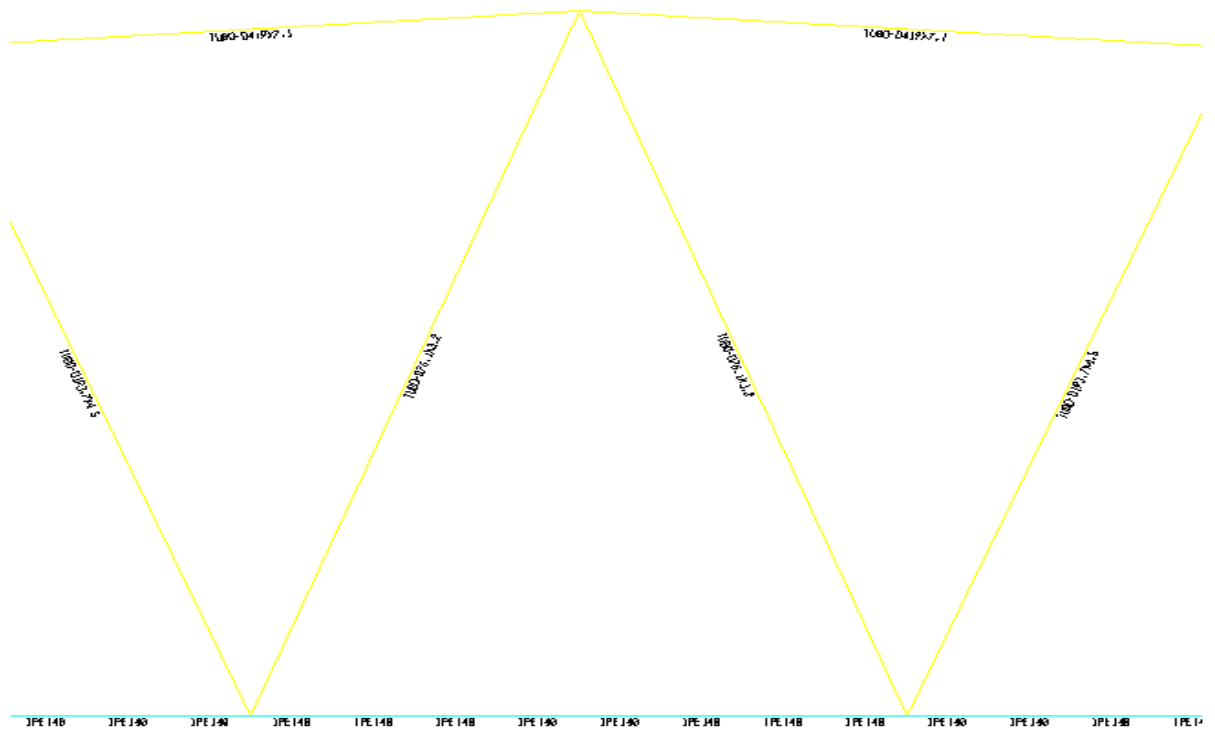
**Σχήμα 4.8** Παραμόρφωση και βύθιση του φορέα για τη λύση 1.

## 4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 2.

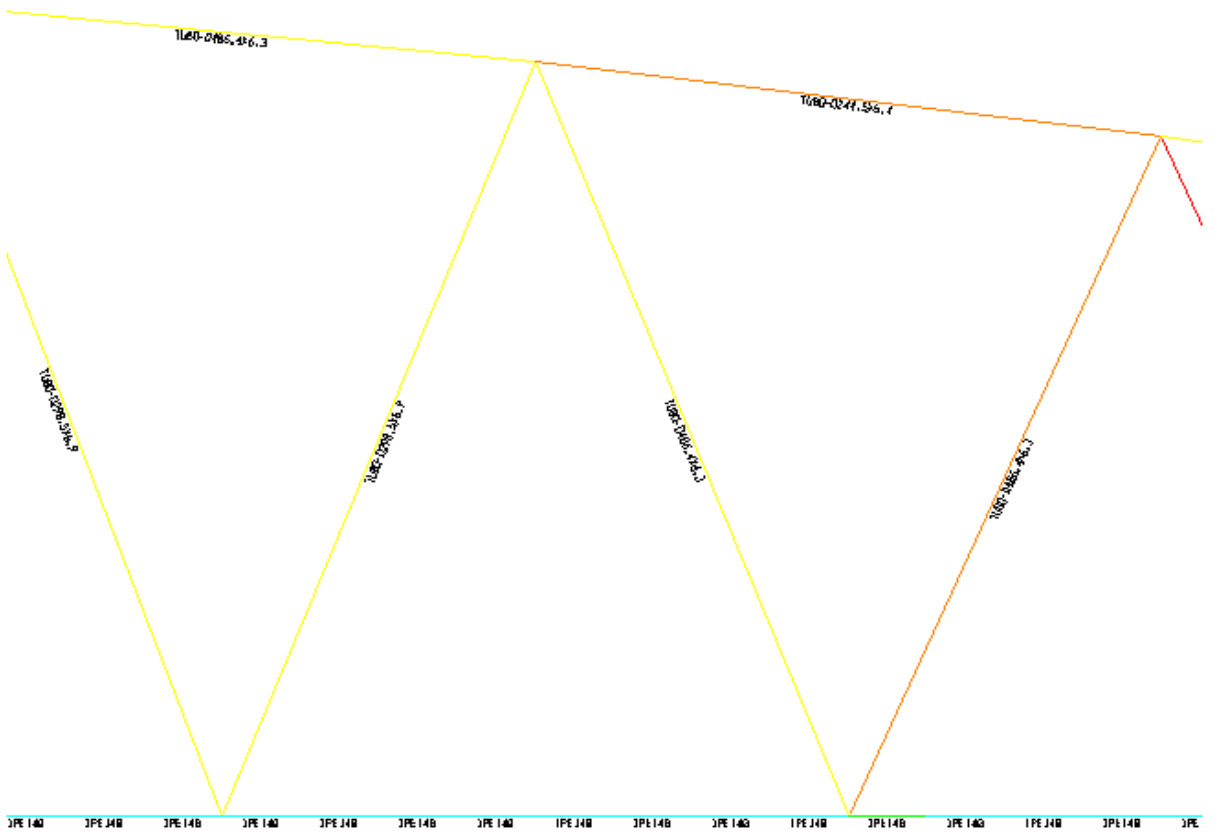
Για το δεύτερο προσομοίωμα που αναλύθηκε και σχεδιάστηκε θεωρήθηκε ότι οι διατομές του φορέα είναι κυκλικές και ο δομικός χάλυβας κατηγορίας S275. Όλα τα μέλη του φορέα θεωρήθηκαν δικτυωτά εκτός από αυτά του πρώτου πλαισίου. Η λειτουργία ράβδου εξασφαλίστηκε με την εισαγωγή κατάλληλων ελευθεριών στους κόμβους (Σχήμα 4.1).

Μετά την ανάλυση και διαστασιολόγηση της κατασκευής εμφανίζονται οι διατομές που επέλεξε το πρόγραμμα για τα μέλη, αφού εκτέλεσε τους απαιτούμενους από τον Ευρωκώδικα 3 ελέγχους (μέλη δικτυώματος ελέγχονται σε εφελκυσμό και θλίψη). Τα αποτελέσματα ανά τμήμα ενός εκ των δικτυωμάτων φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν.

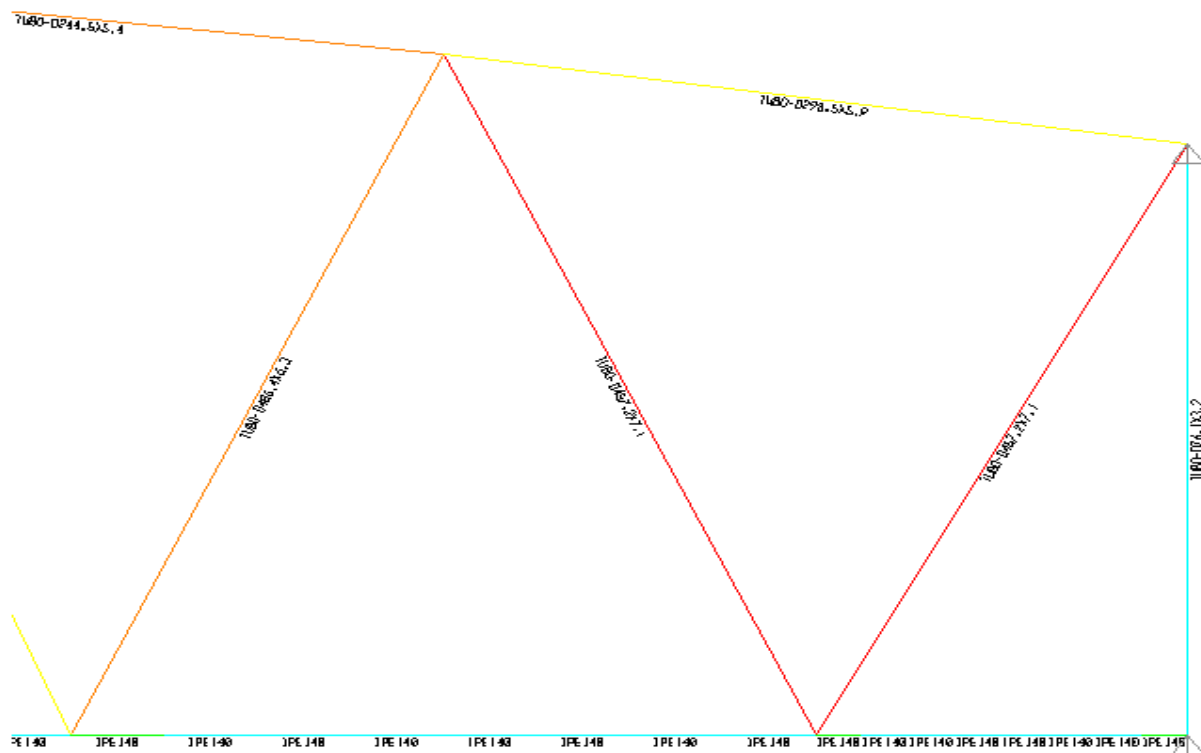




Σχήμα 4.11 Διατομές της λύσης 2 (κυκλική) στο τρίτο τμήμα του φορέα



Σχήμα 4.12 Διατομές της λύσης 2 (κυκλική) στο τέταρτο τμήμα του φορέα

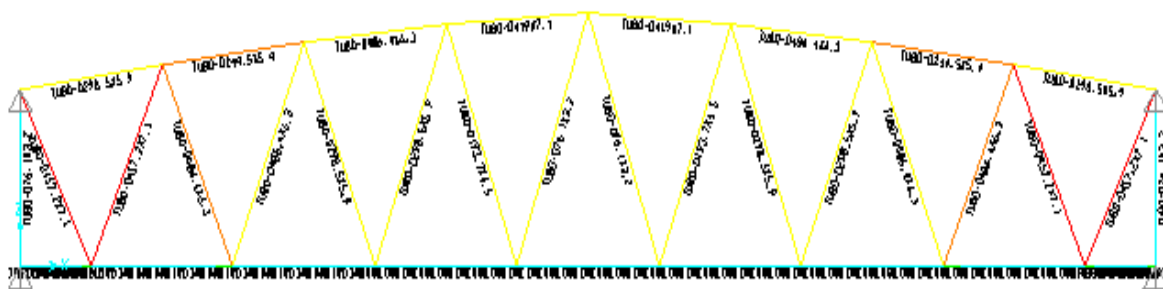


**Σχήμα 4.13** Διατομές της λύσης 2 (κυκλική) στο πέμπτο τμήμα του φορέα

Από το σχεδιασμό προκύπτουν και οι λόγοι ανεπάρκειας των μελών (Σχήμα 4.14). Στο σχήμα αυτό:

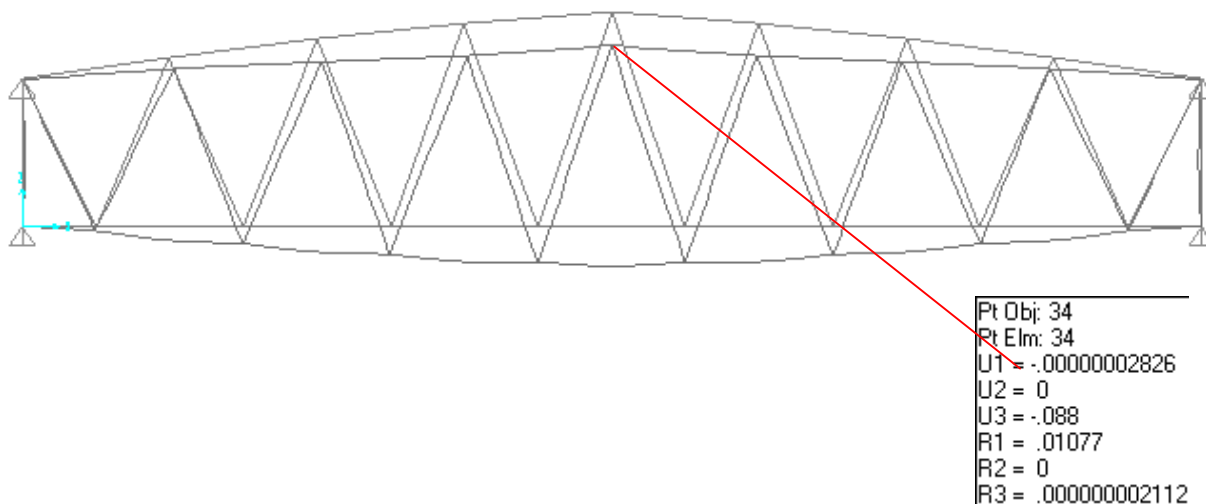
- Στα μέλη με μπλε χρώμα η τιμή είναι:  
0.167
- Στα μέλη με κίτρινο χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 0.747 έως 0.879
- Στα μέλη με πορτοκαλί χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 0.936 έως 0.957
- Παρατηρούμε πως όπου υπάρχει κόκκινο χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 1.036 έως 1.104

Αφού ο δείκτης ξεπερνάει τη μονάδα τα μέλη αυτά αναμένεται να αστοχήσουν. Οπότε και η δεύτερη λύση κρίνεται ανεπαρκής.



Σχήμα 4.14 Λόγοι ανεπάρκειας για τη λύσης 2.

Με βάση τις διατομές που επιλέχθηκαν η βύθιση του φορέα στο μέσον προέκυψε 8,8cm (Σχήμα 4.15).

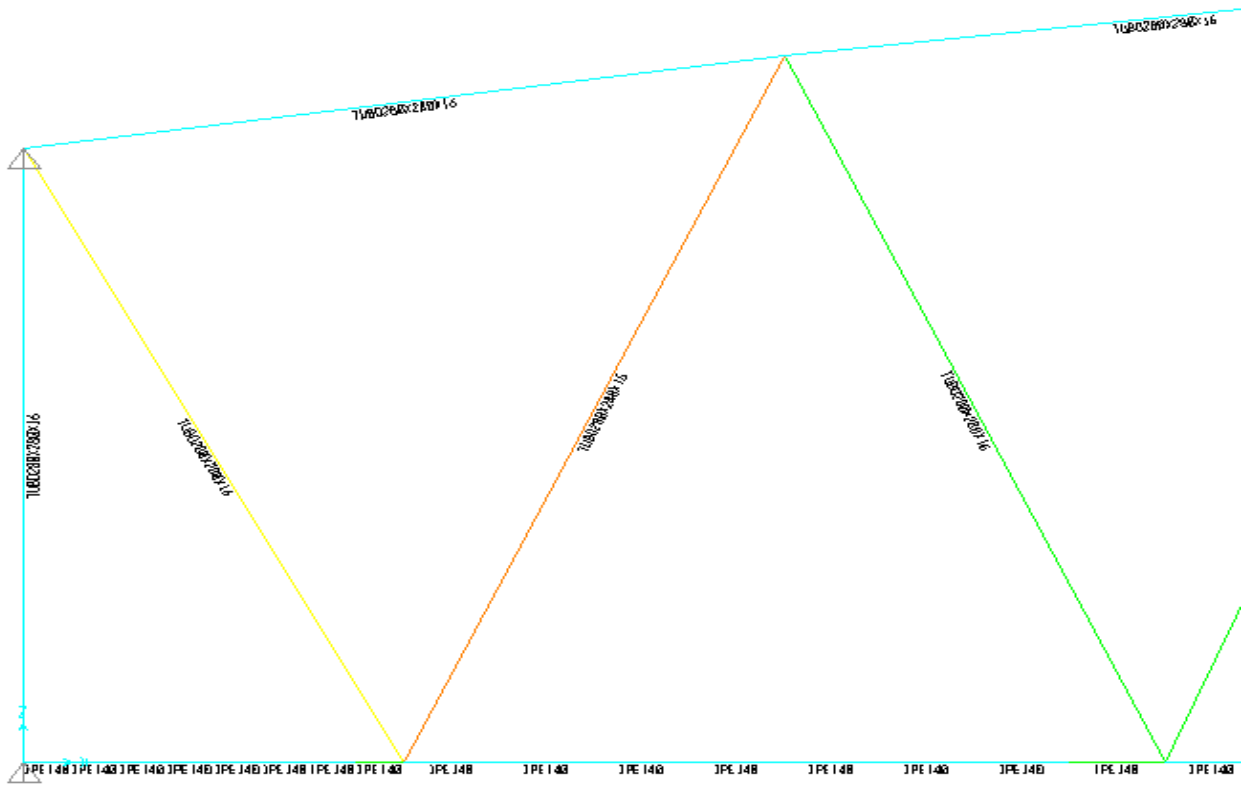


Σχήμα 4.15 Παραμόρφωση και βύθιση του φορέα για τη λύση 2.

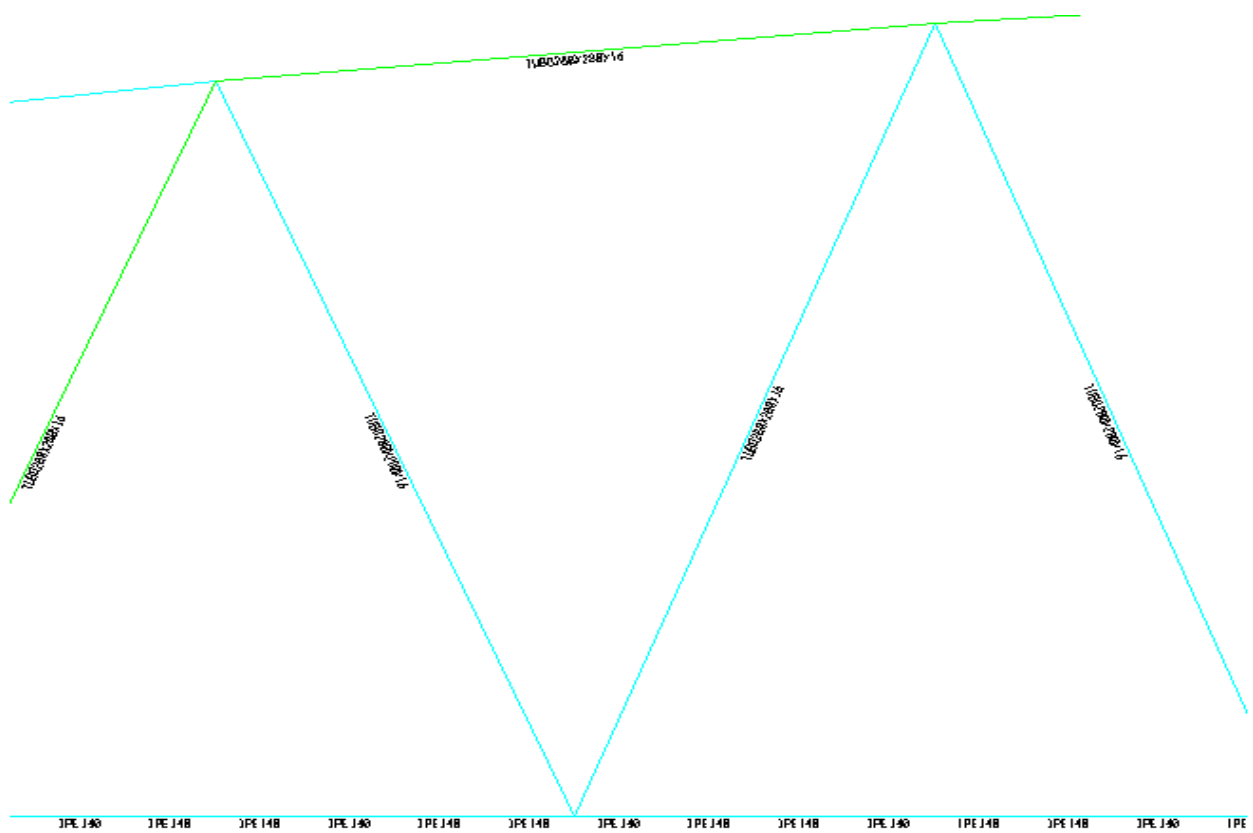
### 4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ 3.

Για το τρίτο προσομοίωμα που αναλύθηκε και σχεδιάστηκε θεωρήθηκε ότι οι διατομές του φορέα είναι τετραγωνικές και ο δομικός χάλυβας κατηγορίας S275. Όλα τα μέλη του φορέα θεωρήθηκαν δικτυωτά εκτός από αυτά του πρώτου πλαισίου. Η λειτουργία ράβδου εξασφαλίστηκε με την εισαγωγή κατάλληλων ελευθεριών στους κόμβους (Σχήμα 4.1).

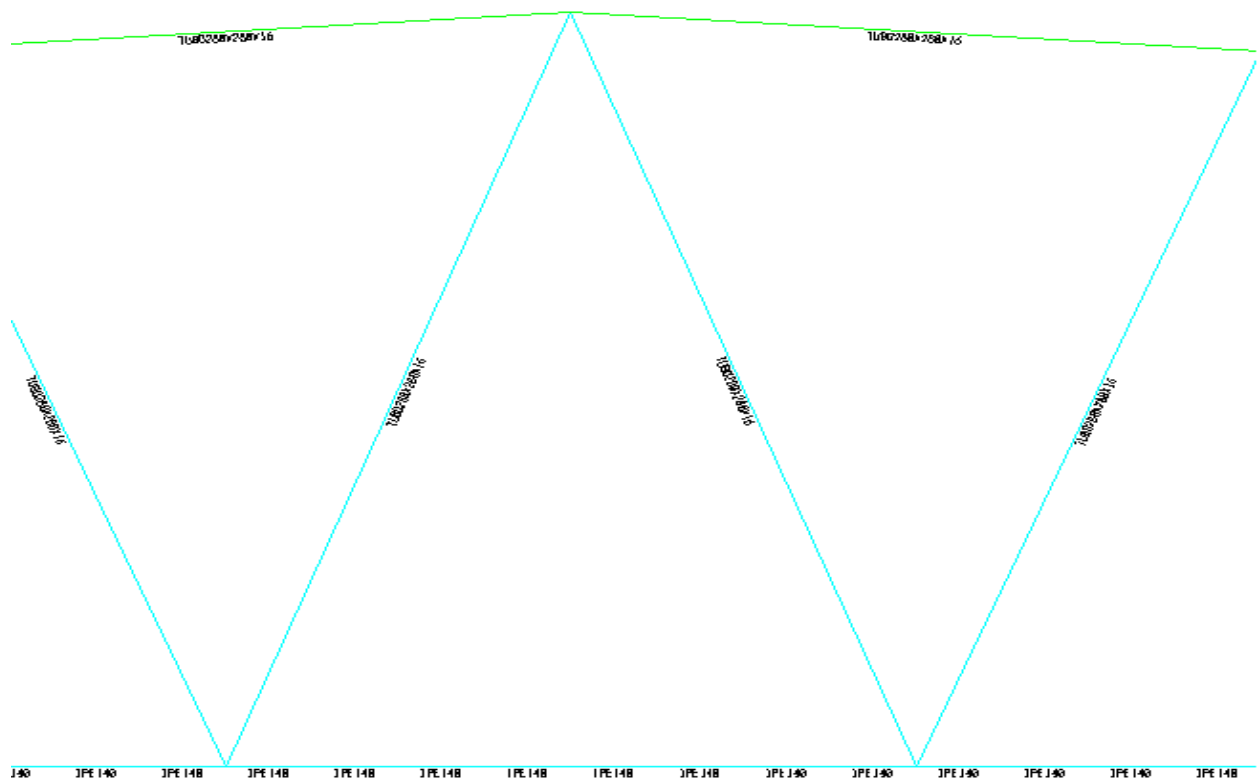
Μετά την ανάλυση και διαστασιολόγηση της κατασκευής εμφανίζονται οι διατομές που επέλεξε το πρόγραμμα για τα μέλη, αφού εκτέλεσε τους απαιτούμενους από τον Ευρωκώδικα 3 ελέγχους (μέλη δικτυώματος ελέγχονται σε εφελκυσμό και θλίψη). Τα αποτελέσματα ανά τμήμα ενός εκ των δικτυωμάτων φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν.



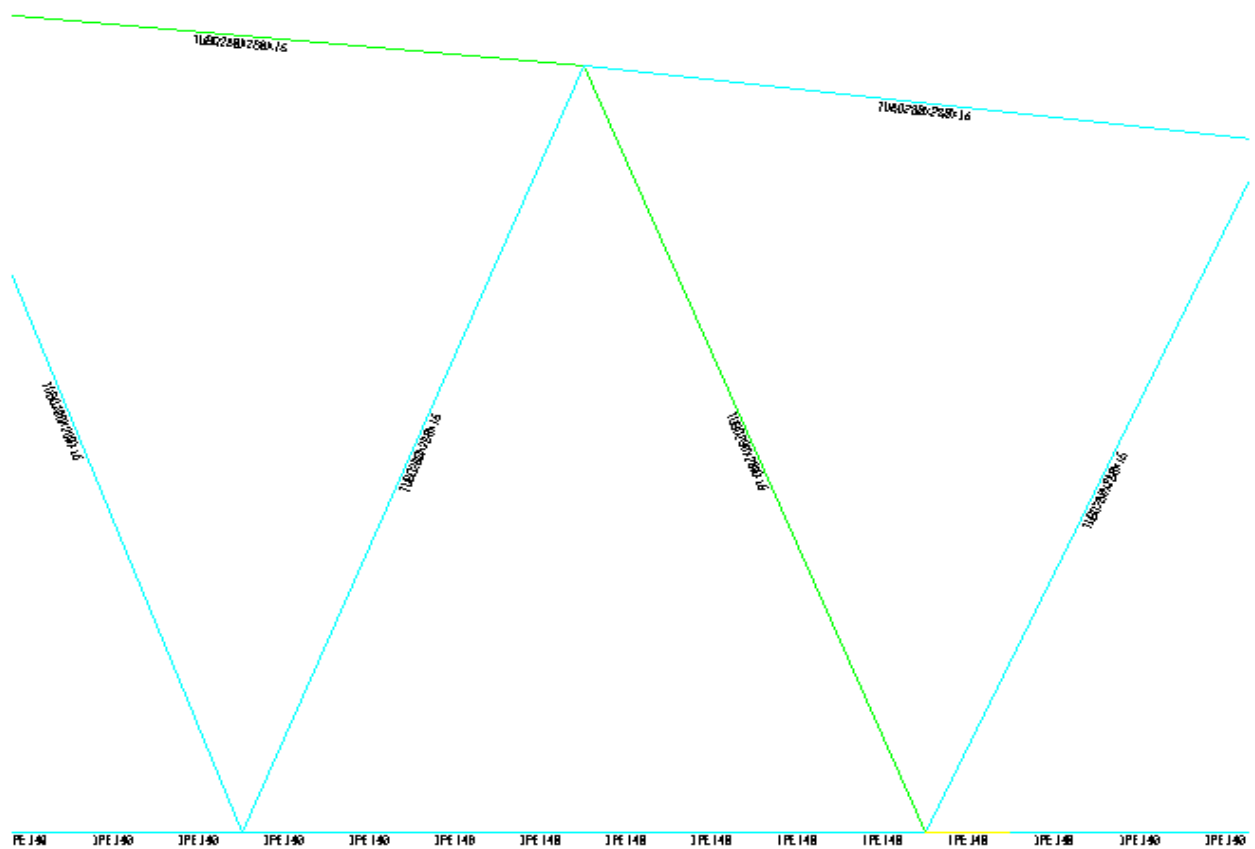
Σχήμα 4.16 Διατομές της λύσης 3 (τετραγωνική) στο πρώτο τμήμα του φορέα



Σχήμα 4.17 Διατομές της λύσης 3 (τετραγωνική) στο δεύτερο τμήμα του φορέα

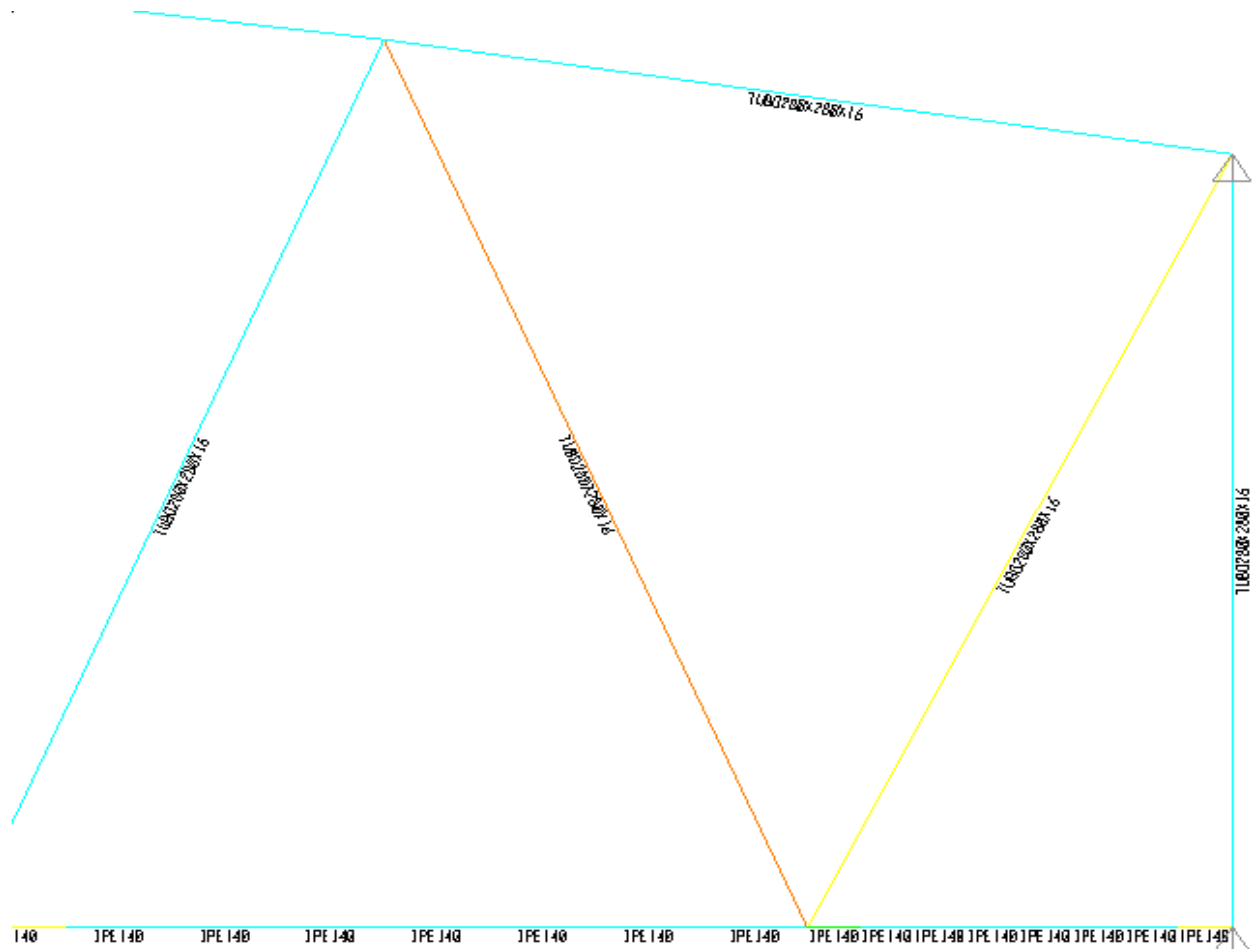


Σχήμα 4.18 Διατομές της λύσης 3 (τετραγωνική) στο τρίτο τμήμα του φορέα



Σχήμα 4.19 Διατομές της λύσης 3 (τετραγωνική) στο τέταρτο τμήμα του φορέα





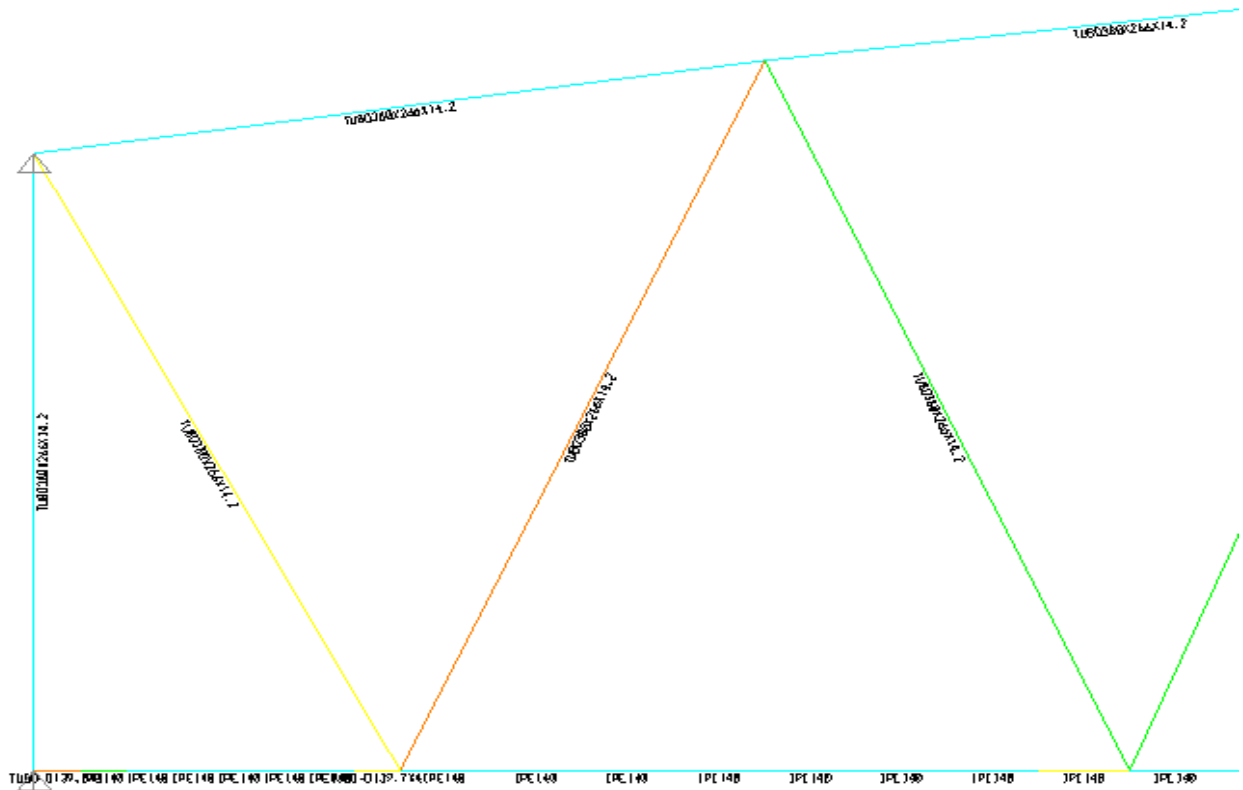
**Σχήμα 4.20** Διατομές της λύσης 3 (τετραγωνική) στο πέμπτο τμήμα του φορέα

Από το σχεδιασμό προκύπτουν και οι λόγοι ανεπάρκειας των μελών (Σχήμα 4.21). Στο σχήμα αυτό:

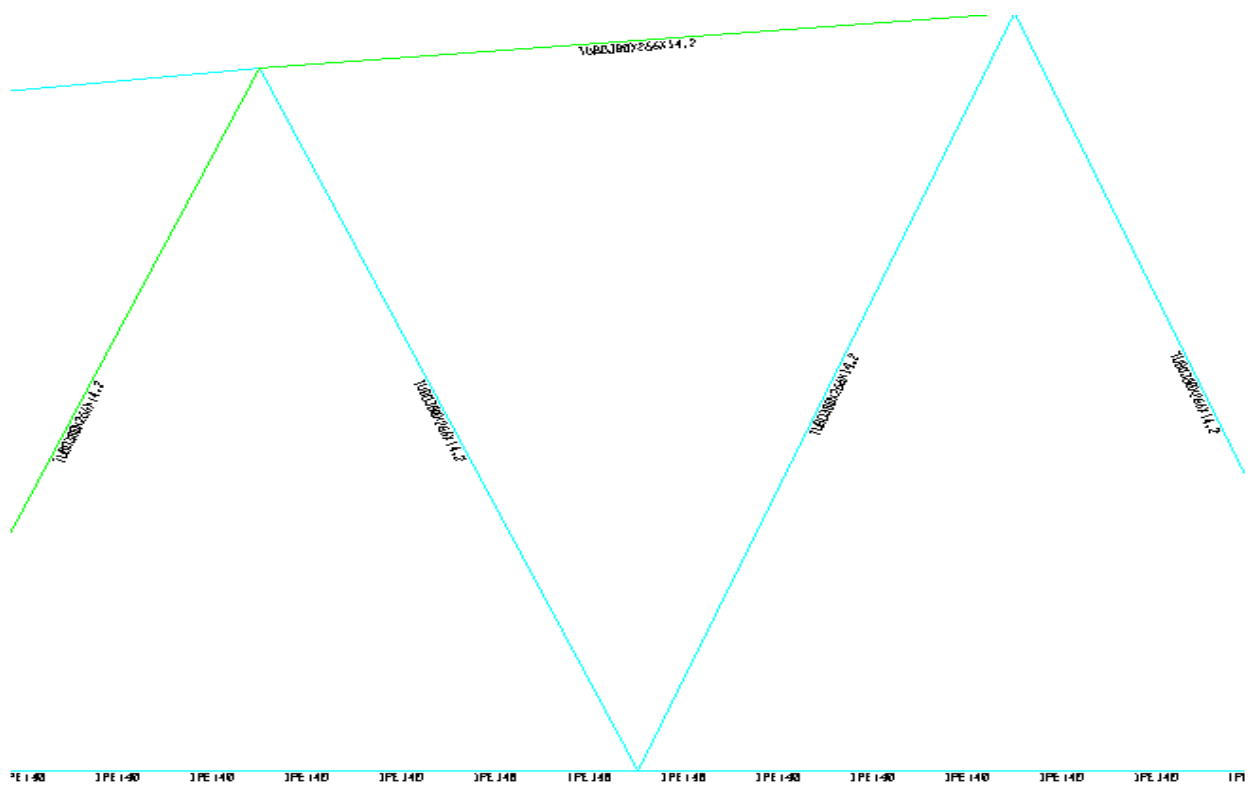
- Στα μέλη με μπλε χρώμα οι τιμές κυμαίνονται :  
από 0.055 έως 0.481
- Στα μέλη με πράσινο χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 0.509 έως 0.619
- Στα μέλη με κίτρινο χρώμα η τιμή είναι:  
0.701
- Στα μέλη με πορτοκαλί χρώμα η τιμή είναι:  
0.910

Αφού ο δείκτης δεν ξεπερνάει τη μονάδα η τρίτη λύση κρίνεται κατάλληλη.

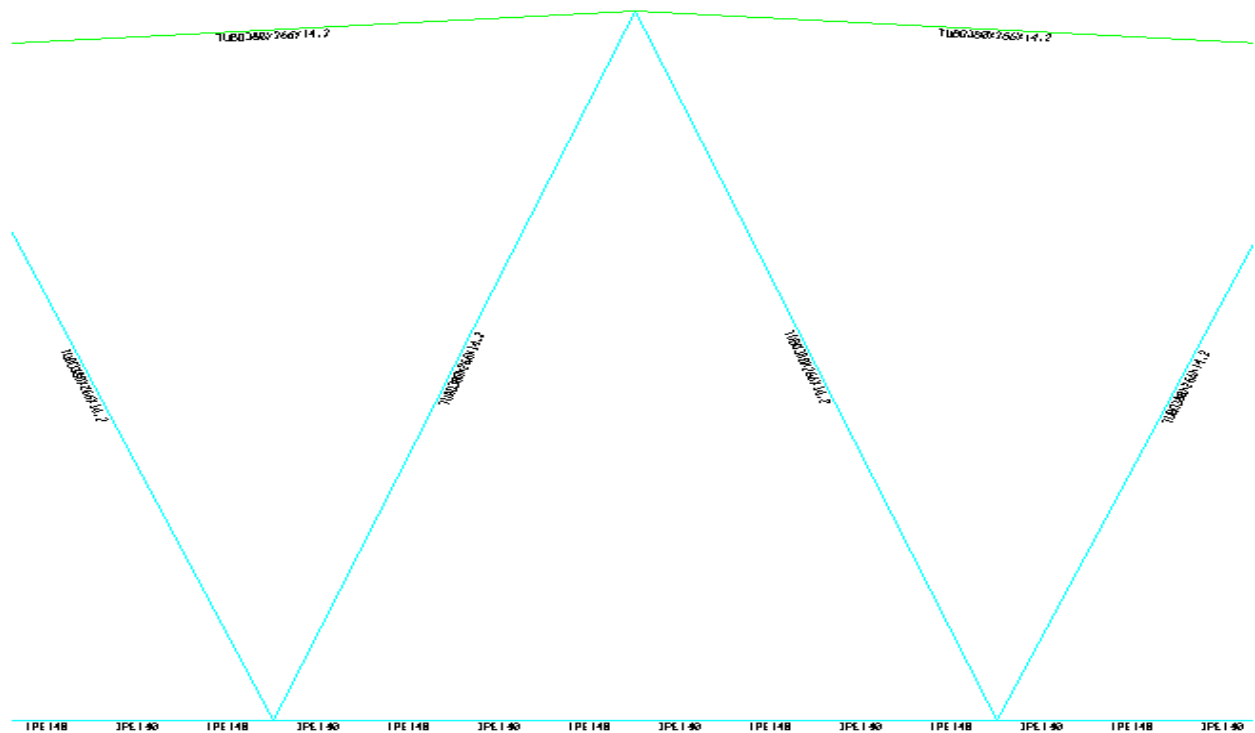




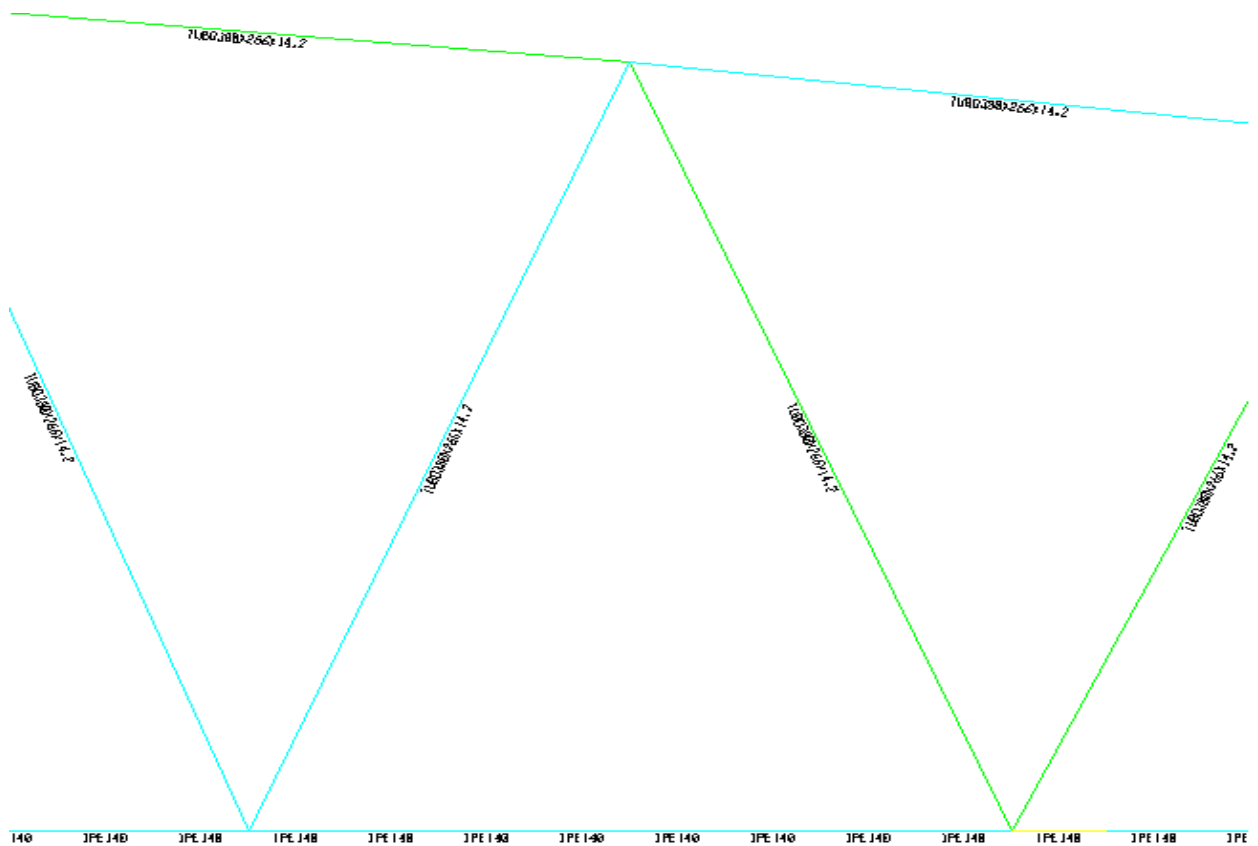
Σχήμα 4.23 Διατομές της λύσης 4 (τετραγωνική) στο πρώτο τμήμα του φορέα



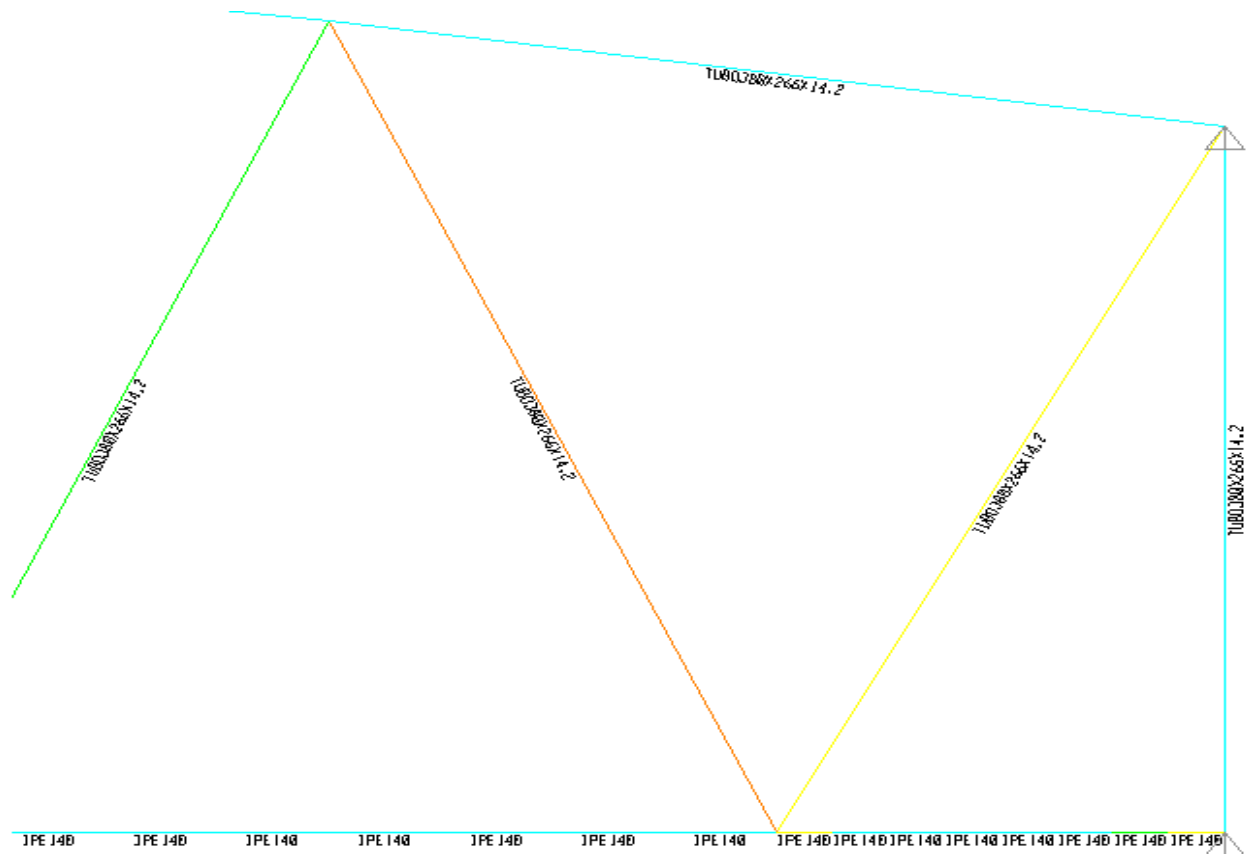
Σχήμα 4.24 Διατομές της λύσης 4 (τετραγωνική) στο δεύτερο τμήμα του φορέα



Σχήμα 4.25 Διατομές της λύσης 4 (τετραγωνική) στο τρίτο τμήμα του φορέα



Σχήμα 4.26 Διατομές της λύσης 4 (τετραγωνική) στο τέταρτο τμήμα του φορέα

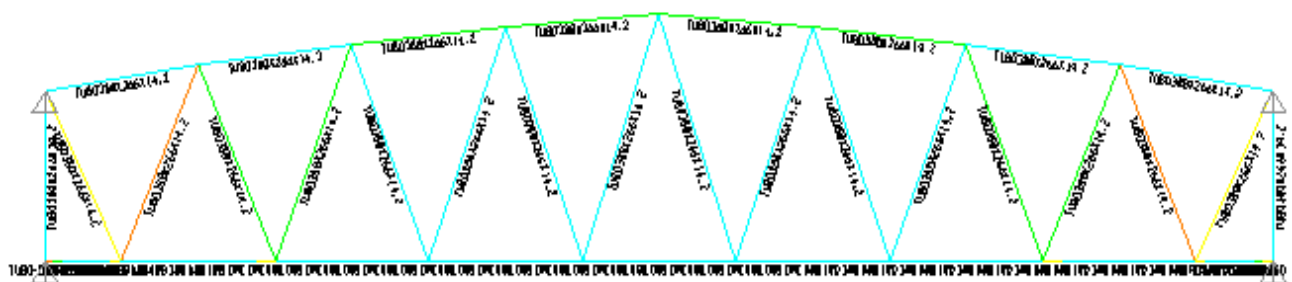


**Σχήμα 4.27** Διατομές της λύσης 4 (τετραγωνική) στο πέμπτο τμήμα του φορέα

Από το σχεδιασμό προκύπτουν και οι λόγοι ανεπάρκειας των μελών (Σχήμα 4.28). Στο σχήμα αυτό

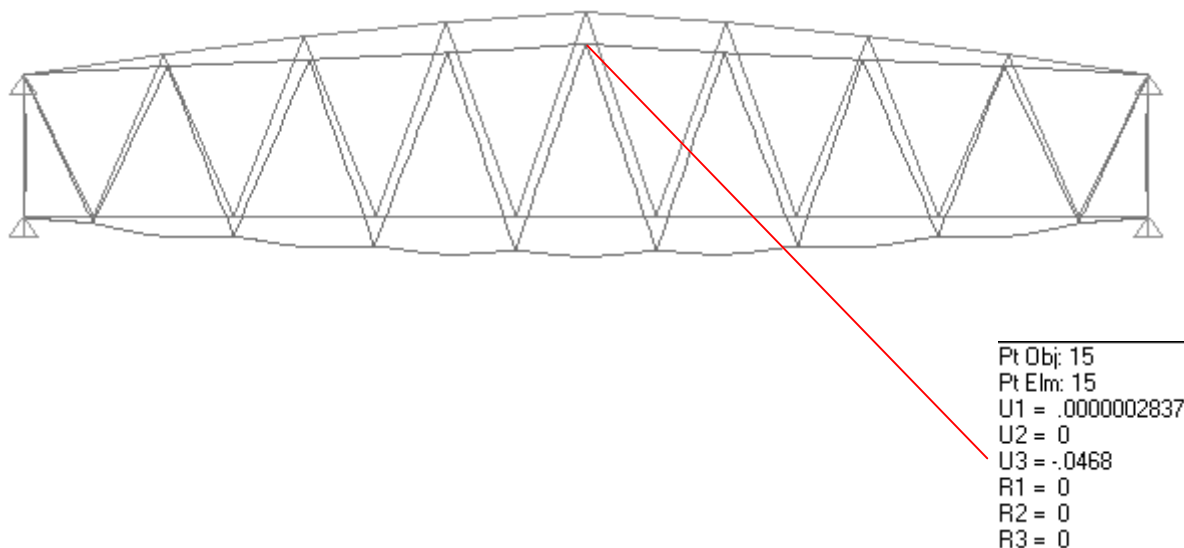
- Στα μέλη με μπλε χρώμα οι τιμές κυμαίνονται :  
από 0.056 έως 0.336
- Στα μέλη με πράσινο χρώμα οι τιμές κυμαίνονται:  
από 0.536 έως 0.657
- Στα μέλη με κίτρινο χρώμα η τιμή είναι:  
0.788
- Στα μέλη με πορτοκαλί χρώμα η τιμή είναι:  
0.943

Αφού ο δείκτης δεν ξεπερνάει τη μονάδα η τέταρτη λύση κρίνεται κατάλληλη.



Σχήμα 4.28 Λόγοι ανεπάρκειας για τη λύσης 4.

Με βάση τις διατομές που επιλέχθηκαν η βύθιση του φορέα στο μέσον προέκυψε 4,68cm (Σχήμα 4.29).



Σχήμα 4.29 Παραμόρφωση και βύθιση του φορέα για τη λύση 4.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΣΥΝΤΟΜΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα πλεονεκτήματα που δίνει ο χάλυβας στις σύνθετες κατασκευές είναι αρκετά σημαντικά αφού παρέχει τη δυνατότητα μεγαλύτερων ενιαίων χώρων πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να περιορίσουμε τις κολώνες σε μια κατασκευή αφού με δοκούς χάλυβα έχουμε τη δυνατότητα να στηρίξουμε περισσότερο φορτίο. Ο χάλυβας επίσης, είναι αρκετά ελαστικός ώστε να μην καταπονείται με τις δονήσεις ενός σεισμού και το βάρος του είναι μικρότερο από του σκυροδέματος. Τέλος, ο σκελετός μιας μεταλλικής κατασκευής, ετοιμάζεται εντός του εργοστασίου οπότε και το κόστος της είναι χαμηλότερο και η ολοκλήρωση του έργου είναι ταχύτερη αφού δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.

Το πρόγραμμα SAP2000 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στατική και δυναμική ανάλυση κατασκευών οποιουδήποτε τύπου, όπως κτίρια, γέφυρες, φράγματα κ.λπ. Η εισαγωγή των δεδομένων, ο καθορισμός των σχετικών παραμέτρων η πραγματοποίηση των αναλύσεων και η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

Το SAP2000 παρέχει εξαιρετικές δυνατότητες για τη προσομοίωση μεγάλης γκάμας δομημάτων, συμπεριλαμβανομένων γεφυρών, φραγμάτων, δεξαμενών και κτιρίων. Το γραφικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα ταχύτατης παραγωγής προσομοιωμάτων. Η δημιουργία και η τροποποίηση αυτών, η εκτέλεση της ανάλυσης, η ανάγνωση των αποτελεσμάτων, και η βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης είναι όλα αλληλένδετα στο ίδιο περιβάλλον χρήσης και γίνονται με ευκολία. Επίσης δίνει τη δυνατότητα δοκιμής πολλών διαφορετικών λύσεων ώστε να βρεθεί η βέλτιστη.

Η ορθή κρίση του μηχανικού είναι απαραίτητη σε όλες τις κατασκευές που αναλαμβάνει. Όπως είδαμε στις τέσσερις προσομοιώσεις που εξετάστηκαν, οι δύο πρώτες οδηγούν σε αδιέξοδο (αστοχίες). Αυτό συμβαίνει λόγω επιλογής λανθασμένων συνδυασμών διατομών και υλικών. Οι δυο τελευταίες προσομοιώσεις όμως οδηγούν σε κατάλληλη λύση καθώς έχουν επιλεγεί οι σωστές διατομές και κανένα από τα μέλη τους δεν αστοχεί.

Τέλος καταλήγουμε ότι η καταλληλότερη λύση είναι η τρίτη (3) γιατί ο λόγος ανεπάρκειας των μελών του είναι ο μικρότερος από όλες τις περιπτώσεις και η βύθιση του φορέα είναι η ελάχιστη.

## Βιβλιογραφία

1. Βάγιας Ι. (2003). « Σιδηρές κατασκευές – Ανάλυση και διαστασιολόγηση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005). « Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (1999). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
4. Βάγιας Ι., Ηλιόπουλος Α. (2006). «Σύμμικτες γέφυρες», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
5. Σημειώσεις Μαθήματος Ανάλυσης Κατασκευών, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, « Παράδειγμα Διακριτοποίησης Και Ανάλυσης Επίπεδου Πλαισίου στο SAP2000».
6. Εντυπωσιακές Γέφυρες Με Μεταλλιά στοιχεία  
<http://www.tilestwra.com/20-pio-entiposiakes-gefires-tou-kosmou/>
7. Ερμόπουλος Ι. (2008). « Σιδηρές και σύμμικτες γέφυρες. Ανάλυση και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1 έως 8, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
8. Μιγάλτσος Γ. (2005). « Προβλήματα δυναμικής των σιδηρών γεφυρών». Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
9. Το φωτογραφικό υλικό είναι αποτέλεσμα διαδικτυακής έρευνας καθώς και υλικό από προσωπικό αρχείο.
10. Ευρωκώδικας 3  
[https://el.wikipedia.org/wiki/EN\\_1993](https://el.wikipedia.org/wiki/EN_1993)
11. SAP2000  
<http://www.gsi-eng.eu/index.asp?mod=articles&id=14>