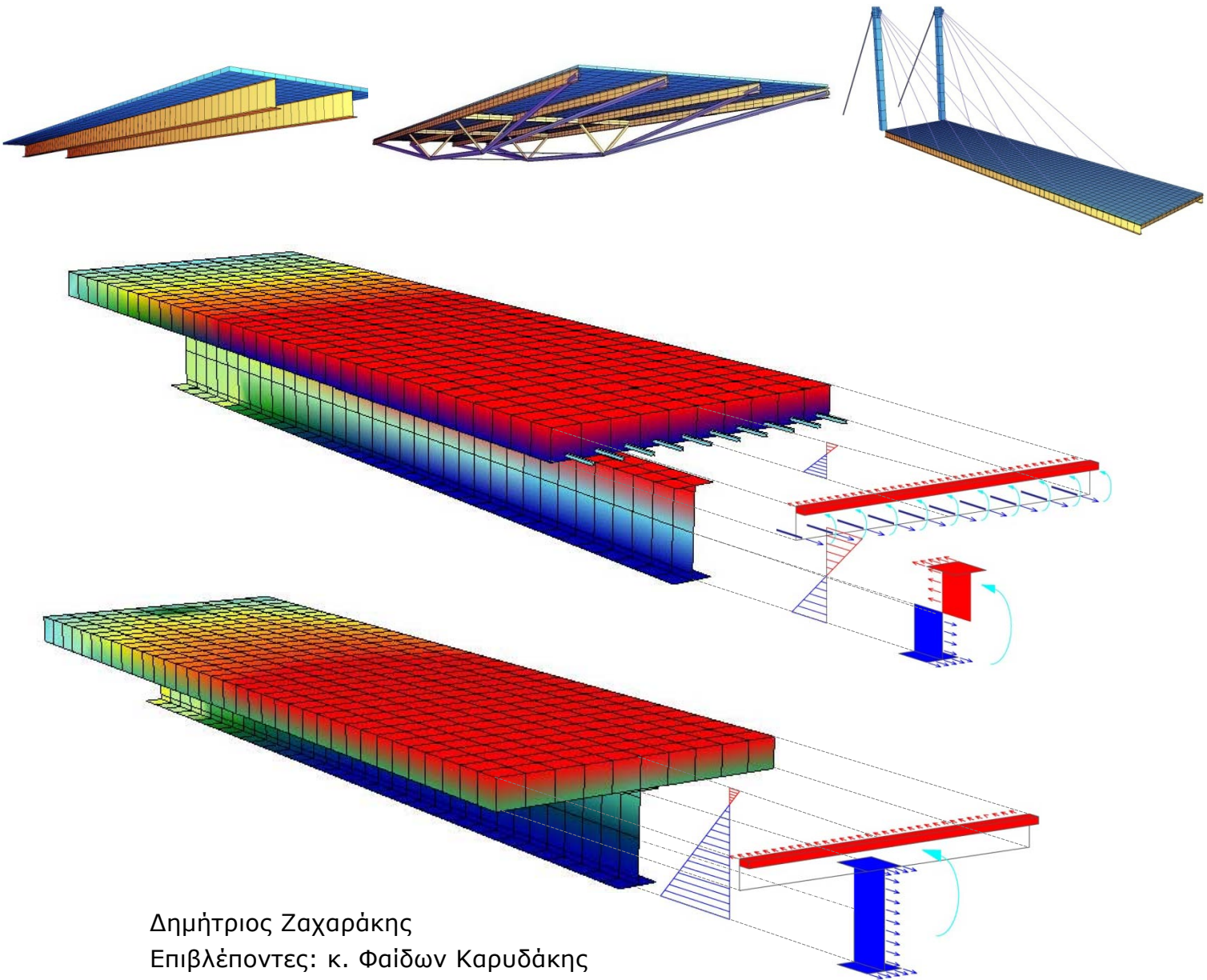




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**Τομέας Δομοστατικής**  
**Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών**

Διπλωματική εργασία

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΩΝ**  
**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΩΝ**



Δημήτριος Ζαχαράκης  
Επιβλέποντες: κ. Φαίδων Καρυδάκης  
κ. Γεώργιος Ιωαννίδης, Καθ. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2010

### **Θα ήθελα να ευχαριστήσω...**

...τον Καθηγητή μου κ. Φαίδων Καρυδάκη, επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, για την άρτια επιστημονική του κατάρτηση που διευκόλυνε την ομαλή διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας. Θέλω επίσης να σταθώ στη γενναία στάση του, όπου παρά το θλιβερό γεγονός που έπληξε την οικογένειά του, εστάθη πιστός στο εκπαιδευτικό του καθήκον και στην επιστήμη του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γ. Ιωαννίδη, τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Χ. Γαντέ και τον Επικ. Καθηγητή κ. Ι. Ραυτογιάννη, του τομέα Δομοστατικής Ε.Μ.Π., για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

## Περιεχόμενα

<b>Πρόλογος</b> .....	4
<b>1 Μόρφωση συμμίκτων πεζογεφυρών</b>	
1.1 Πλάκα καταστώματος.....	5
1.2 Πεζογέφυρα με διαμήκεις σύμμικτες δοκούς.....	5
1.3 Πεζογέφυρα με σύστημα άντωσης.....	6
1.4 Καλωδιωτή πεζογέφυρα.....	9
<b>2 Φορείς ανάλυσης</b>	
2.1 Γενικά.....	13
2.2 Αμφιέριστες πεζογέφυρες.....	13
2.3 Αμφιέριστες πεζογέφυρες με σύστημα άντωσης.....	14
2.4 Αμφιέριστες καλωδιωτές πεζογέφυρες.....	18
<b>3 Βασικές αρχές σχεδιασμού, ποιότητες υλικών, φορτία</b>	
3.1 Γενικά.....	21
3.2 Ποιότητες υλικών.....	21
3.2.1 Χαλυβδοέλασμα τραπεζοειδούς μορφής SYMDECK 73.....	21
3.3 Φορτία.....	22
3.3.1 Στατικά φορτία.....	22
3.3.2 Δυναμικά φορτία.....	22
<b>4 Λογισμικό ανάλυσης και διαστασιολόγησης</b>	
4.1 Λογισμικό υπολογισμού σύμμικτης διατομής δοκού.....	24
4.2 Λογισμικό ανάλυσης φορέων.....	26
4.3 Λογισμικό ανάλυσης και διαστασιολόγησης συμμίκτων πλακών.....	26
<b>5 Ανάλυση και διαστασιολόγηση φορέων</b>	
5.1 Αμφιέριστες πεζογέφυρες.....	27
5.1.1 Αμφιέριστη πεζογέφυρα με 2 δοκούς.....	27
5.1.1.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας...28	
5.1.1.2 Υπολογισμός και επιλογή σύμμικτης διατομής με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ.....	28
5.1.1.3 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία.....	30
5.1.1.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία.....	30
5.1.1.5 Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών.....	32
5.1.1.6 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής....32	

5.1.2	Αμφιέριστη πεζογέφυρα με 3 δοκούς.....	33
5.1.2.1	Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας...	33
5.1.2.2	Υπολογισμός και επιλογή σύμμικτης διατομής με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ.....	34
5.1.2.3	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία.....	36
5.1.2.4	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία.....	36
5.1.2.5	Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών.....	38
5.1.2.6	Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής.....	38
5.1.3	Αμφιέριστη πεζογέφυρα με 4 δοκούς.....	39
5.1.3.1	Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας...	39
5.1.3.2	Υπολογισμός και επιλογή σύμμικτης διατομής με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ.....	40
5.1.3.3	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία.....	42
5.1.3.4	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία.....	42
5.1.3.5	Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών.....	44
5.1.3.6	Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής.....	44
5.2	Αμφιέριστες πεζογέφυρες με σύστημα άντωσης.....	45
5.2.1	Αμφιέριστη πεζογέφυρα με σύστημα άντωσης 2 κύριων ελκυστήρων...	45
5.2.1.1	Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας...	46
5.2.1.2	Επιλογή διατομών.....	46
5.2.1.3	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία.....	47
5.2.1.4	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία.....	48
5.2.1.5	Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών.....	49
5.2.1.6	Έλεγχος συστήματος ανώσεως σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	50
5.2.1.7	Έλεγχος μεσαίων κύριων δοκών σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	51
5.2.1.8	Έλεγχος ακραίων κύριων δοκών σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία .....	54
5.2.1.9	Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής.....	56
5.2.2	Αμφιέριστη πεζογέφυρα με σύστημα άντωσης 3 κύριων ελκυστήρων...	57
5.2.2.1	Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας...	57
5.2.2.2	Επιλογή διατομών.....	57
5.2.2.3	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία.....	58
5.2.2.4	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία.....	58
5.2.2.5	Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών.....	60
5.2.2.6	Έλεγχος συστήματος ανώσεως σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	60
5.2.2.7	Έλεγχος κύριων δοκών σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	61
5.2.2.8	Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής....	61
5.3	Αμφιέριστες καλωδιωτές πεζογέφυρες.....	62
5.3.1	Αμφιέριστη καλωδιωτή πεζογέφυρα με 5 καλώδια ανά παρειά.....	62
5.3.1.1	Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας – διάταξη κύριων δοκών και διαδοκίδων.....	63

5.3.1.2	Επιλογή διατομών.....	63
5.3.1.3	Προένταση καλωδίων.....	64
5.3.1.4	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία.....	66
5.3.1.5	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία.....	67
5.3.1.6	Έλεγχος καλωδίων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	69
5.3.1.7	Έλεγχος κύριων δοκών και διαδοκίδων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	69
5.3.1.8	Έλεγχος πυλώνων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	74
5.3.1.9	Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής.....	75
5.3.2	Αμφιέριστη καλωδιωτή πεζογέφυρα με 2 καλώδια ανά παρειά.....	76
5.3.2.1	Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας – διάταξη κύριων δοκών και διαδοκίδων.....	76
5.3.2.2	Επιλογή διατομών.....	76
5.3.2.3	Προένταση καλωδίων.....	77
5.3.2.4	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία.....	79
5.3.2.5	Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία.....	80
5.3.2.6	Έλεγχος καλωδίων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	82
5.3.2.7	Έλεγχος κύριων δοκών και διαδοκίδων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	82
5.3.2.8	Έλεγχος πυλώνων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία.....	87
5.3.2.9	Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής.....	87
<b>6</b>	<b>Προμέτρηση και προϋπολογισμός, συμπεράσματα</b>	
6.1	Αμφιέριστες πεζογέφυρες.....	88
6.1.1	Προμέτρηση και προϋπολογισμός αμφιέριστων πεζογεφυρών.....	88
6.1.2	Συμπεράσματα ως προς το σχεδιασμό.....	88
6.2	Αμφιέριστες πεζογέφυρες με σύστημα άντωσης.....	89
6.2.1	Προμέτρηση και προϋπολογισμός αμφιέριστων πεζογεφυρών με σύστημα άντωσης.....	89
6.2.2	Συμπεράσματα ως προς το σχεδιασμό.....	89
6.3	Αμφιέριστες καλωδιωτές πεζογέφυρες.....	90
6.3.1	Προμέτρηση και προϋπολογισμός αμφιέριστων πεζογεφυρών καλωδιωτών πεζογεφυρών.....	90
6.3.2	Συμπεράσματα ως προς το σχεδιασμό.....	90
6.4	Σύγκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων πεζογεφυρών.....	91
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>92</b>

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συνεργασία οπλισμένου σκυροδέματος και δομικού χάλυβα, προσφέρει τη δυνατότητα για τη δημιουργία των πλέον οικονομικών και κατασκευαστικά ταχείων λύσεων στις μεταλλικές κατασκευές. Η εφαρμογή της σύμμικτης λειτουργίας στις γέφυρες, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία λεπτότερων φορέων όπου καλύπτουν μεγαλύτερα ανοίγματα από ότι οι αμιγώς μεταλλικές γέφυρες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μία συγκριτική διερεύνηση μεταξύ διαφόρων τύπων σύμμικτων πεζογεφυρών. Η σύγκριση αφορά το σχεδιασμό και το κόστος του κάθε τύπου γέφυρας.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στη μόρφωση σύμμικτων γεφυρών διαφόρων τύπων. Αναφέρονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε τύπου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στους φορείς όπου εξετάστηκαν και στους περιορισμούς όπου τέθηκαν σε κάθε τύπο γέφυρας. Συνοπτικά, εξετάστηκαν αμφιέρειστες πεζογέφυρες με διαμήκεις σύμμικτες δοκούς, με σύστημα άντωσης και καλωδιωτές.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναφέρονται βασικές αρχές σχεδιασμού, υλικά και φορτία όπου χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των φορέων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στο λογισμικό όπου χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση και διαστασιολόγηση των φορέων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η ανάλυση και διαστασιολόγηση των φορέων όπου εξετάστηκαν.

Στο έκτο κεφάλαιο, γίνεται προμέτρηση και προϋπολογισμός του κάθε φορέα. Επίσης γίνεται σχολιασμός και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

## **Κεφάλαιο 1**

### **ΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΩΝ**

#### **1.1 Πλάκα καταστρώματος στις σύμμικτες γέφυρες**

Η πλάκα του καταστρώματος μορφώνεται ως σύμμικτη πλάκα. Κατά τη φάση κατασκευής, διαστρώνεται το σκυρόδεμα σε χαλυβδόφυλλο όπου λειτουργεί ως παραμένων ξυλότυπος, χωρίς να αναπτύσσεται σύμμικτη λειτουργία. Ύστερα από την πήξη του σκυροδέματος και με τη βοήθεια διατμητικών συνδέσμων εξασφαλίζεται η σύμμικτη λειτουργία. Η αντοχή της σύμμικτης πλάκας κατά τη φάση λειτουργίας, μπορεί πολλές φορές να καθορίσει το πλήθος των δοκών όπου θα εδράζεται. Η διάταξη του χαλυβδόφυλλου γίνεται καταλλήλως, ανάλογα της διάταξης των σιδηρών δοκών, καθώς η σύμμικτη πλάκα χαρακτηρίζεται από ορθότροπη λειτουργία. Τα χαλυβδόφυλλα όπου χρησιμοποιούνται είναι γαλβανισμένα προφίλ τραπεζοειδούς σχήματος με ενισχύσεις για την αποφυγή τοπικού λυγισμού.

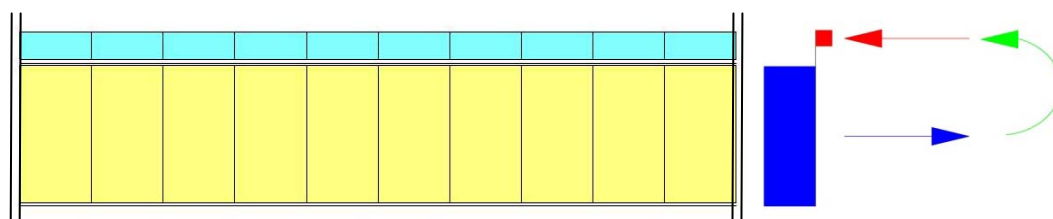
Άλλες δυνατότητες μόρφωσης της πλάκας του καταστρώματος, μπορεί να είναι είτε έγχυτο σκυρόδεμα σκυροδετημένο επί ξυλοτύπων, είτε πλήρεις πρόπλακες με εγκάρσια προένταση ή προκατασκευασμένες πρόπλακες σε συνδυασμό με επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα.

#### **1.2 Πεζογέφυρα με διαμήκεις σύμμικτες δοκούς**

Πρόκειται για την πλέον απλή λύση, κατά την οποία η πλάκα του καταστρώματος συνεργάζεται μέσω διατμητικών συνδέσμων με παράλληλα διατεταγμένες δοκούς. Η εγκάρσια κατανομή των φορτίων γίνεται μέσω της πλάκας του καταστρώματος για κύριες δοκούς ανά 3-4m, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις χρησιμοποιούνται διαδοκίδες ή εγκάρσια προένταση. Ο αριθμός των δοκών καθώς και η διατομή τους είναι αντικείμενα προς διερεύνηση. Σε γενικές γραμμές η πυκνότερη διάταξη δίνει μικρότερες διατομές σιδηρών δοκών, αλλά συνολικά χρησιμοποιείται περισσότερη ποσότητα χάλυβα. Σε αραιές διατάξεις υπάρχει το πρόβλημα της απαραίτητης υποστήριξης του χαλυβδόφυλλου κατά τη φάση κατασκευής. Επίσης χαρακτηριστική είναι η ευκολία στατικού υπολογισμού του φορέα, αντιμετωπιζόμενου ως επαλληλία σύμμικτων δοκών με δεδομένο συνεργαζόμενο πλάτος.

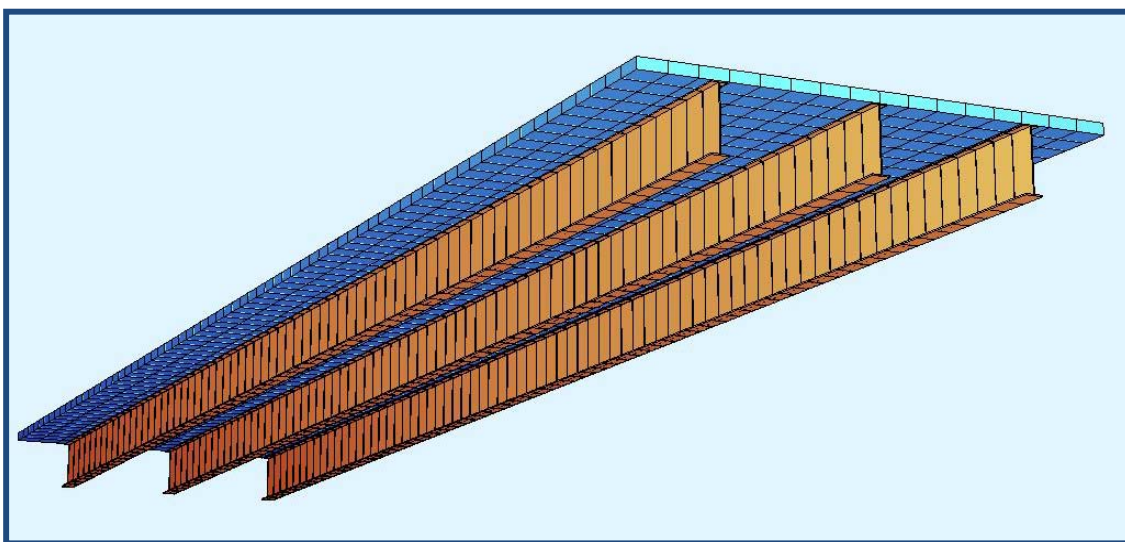
Σε περιπτώσεις καμπύλων φορέων σε κάτοψη, χρησιμοποιούνται συνήθως μικροκιβώτια όπου προσφέρουν μεγάλη δυστρεψία.

Η στατική λειτουργία της σύμμικτης δοκού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Η εξωτερική ροπή επιδιώκεται να αναλαμβάνεται σε πλαστική ισορροπία από τον εφελκυσμό της σιδηράς δοκού και τη θλίψη της σύμμικτης πλάκας.

Κατασκευαστικά είναι η πιο εύκολη και φθηνή λύση και ως προς τον χρόνο ανέγερσης αλλά και ως προς τις απαιτούμενες συνδέσεις, όπου περιορίζονται στην αποκατάσταση συνέχειας των σιδηρών δοκών.



*Πεζογέφυρα με διαμήκης σύμμικτες δοκούς*

### 1.3 Πεζογέφυρα με σύστημα άντωσης

Αποτελεί μία αρκετά ενδιαφέρουσα λύση, κατά την οποία μορφώνεται ένα είδος δικτυώματος υπό του καταστρώματος, όπου αποτελεί το σύστημα άντωσης.

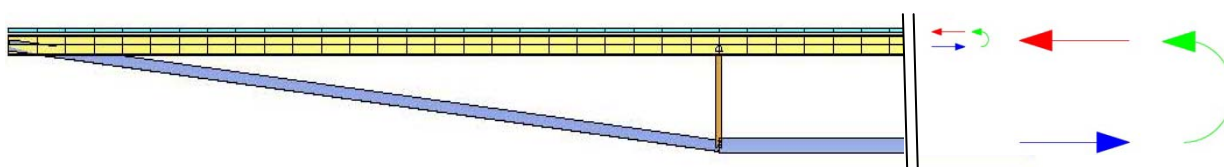
Το σύστημα άντωσης αποτελείται από τα εφελκυόμενα μέλη όπου μπορεί να είναι είτε κοιλοδοκοί πρότυπων διατομών, είτε καλώδια και από ορθοστάτες όπου συνδέονται με τις σύμμικτες δοκούς. Οι διατομές των ορθοστατών είναι κοιλοδοκοί πρότυπων διατομών. Οι διαμήκεις κύριες δοκοί έχουν πολύ μικρότερη διατομή από την από αυτή που θα απαιτούταν χωρίς το σύστημα άντωσης. Για την ομαλή διανομή των συγκεντρωμένων δυνάμεων των ορθοστατών στο κατάστρωμα,



τοποθετούνται εγκάρσιες σύμμικτες διαδοκίδες. Λόγω της ύπαρξης ορθοστατών, κάθε κύρια δοκός του καταστρώματος αποτελεί μία συνεχή δοκό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται αρνητικές ροπές στις κύριες δοκούς στις θέσεις των ορθοστατών και έτσι να μην υπάρχει εκμετάλλευση της σύμμικτης λειτουργίας των κυρίων δοκών με την πλάκα του καταστρώματος. Επίσης οι διαδοκίδες δεσμεύουν τις κύριες δοκούς έναντι εκτροπής του κάτω πέλματος λόγω αρνητικών ροπών, οπότε δεν απαιτείται έλεγχος σε πλευρικό λυγισμό.

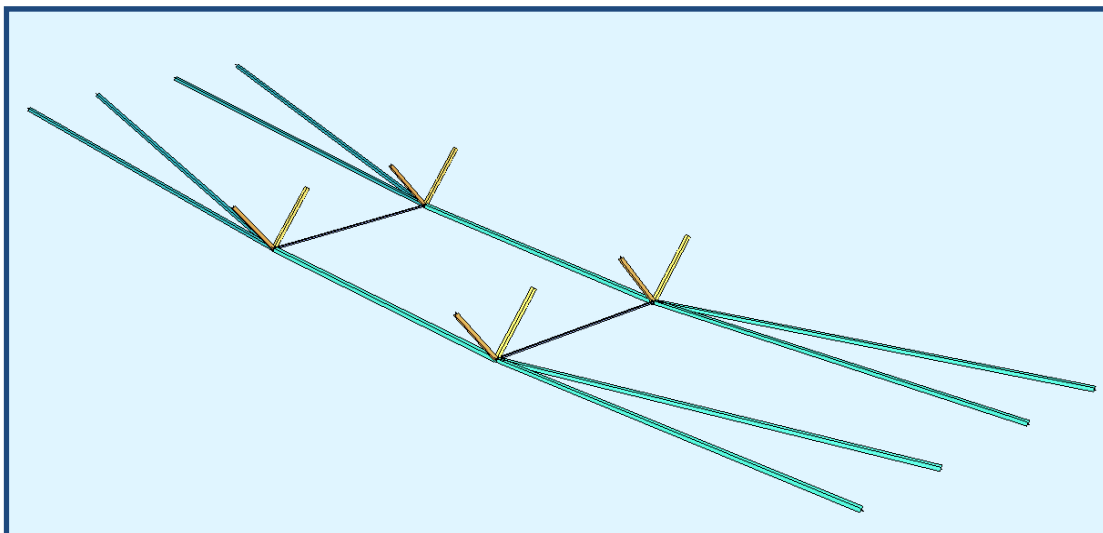
Η εξωτερική ροπή αναλαμβάνεται σαν ζεύγος δυνάμεων, αποτελούμενο από την θλίψη των σύμμικτων δοκών του καταστρώματος και τον εφελκυσμό των ελκυστήρων του συστήματος άντωσης, καθώς και από την κάμψη των κύριων συμμίκτων δοκών.

Η στατική λειτουργία του συστήματος αντώσεως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

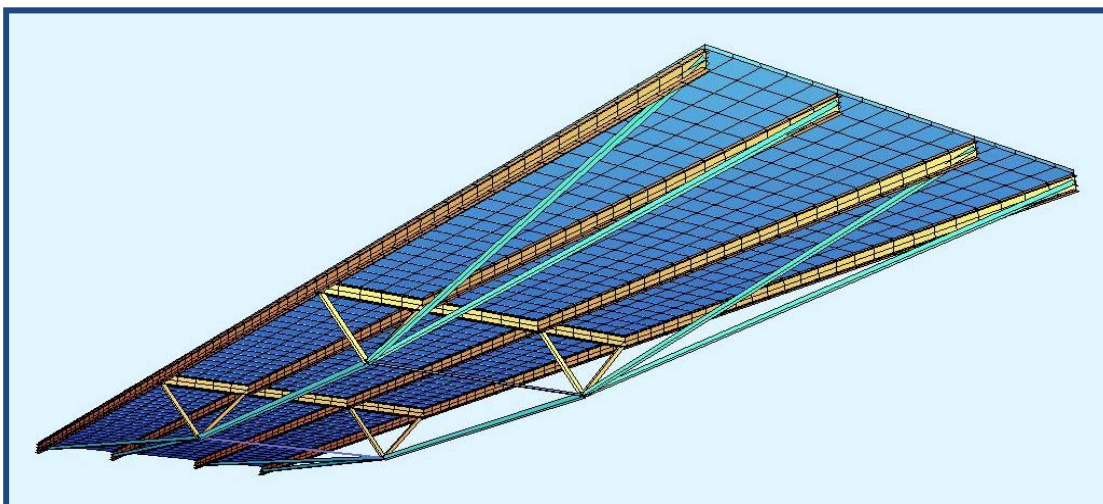


Πλεονεκτεί έναντι της μόρφωσης δικτυώματος ανάντι του καταστρώματος, λόγω της καλύτερης εκμετάλλευσης των μελών, αφού οι ελκυστήρες καταπονούνται σε καθαρό εφελκυσμό και οι σύμμικτες κύριες δοκοί σε κάμψη και αξονική θλίψη, όντας μόνο οι ορθοστάτες υπό θλίψη. Στην αντίθετη περίπτωση, οι σύμμικτες δοκοί καταπονούνται σε κάμψη και αξονικό εφελκυσμό, ενώ τα μέλη του δικτυώματος σε αξονική θλίψη και ως εκ τούτου, σε προβλήματα ευστάθειας.

Κατασκευαστικά δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις, εκτός ίσως των αρκετών συνδέσεων στους κόμβους του συστήματος άντωσης, καθώς και την απαραίτητη προένταση σε περίπτωση χρησιμοποίησης καλωδίων για τα εφελκυσόμενα μέλη.



Σύστημα άντωσης

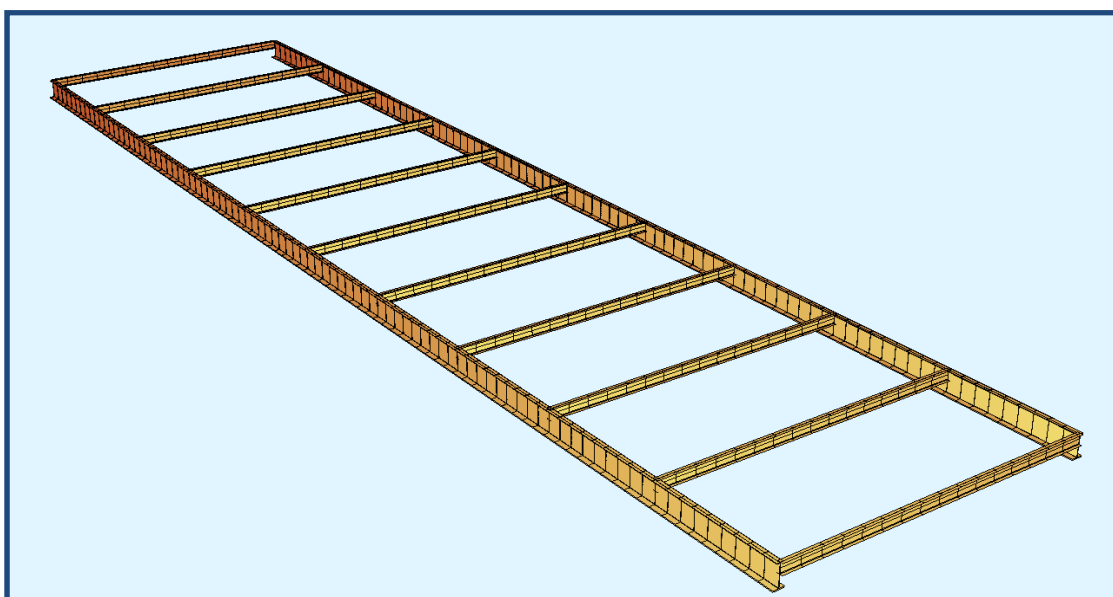


Πεζογέφυρα με σύστημα άντωσης

### 1.4 Καλωδιωτή πεζογέφυρα

Μία καλωδιωτή πεζογέφυρα αποτελεί από τις πλέον ενδιαφέρουσες λύσεις, οικονομικά, στατικά και αισθητικά. Αποτελείται από το σύμμικτο κατάστρωμα, την εσχάρα δοκών όπου αυτό εδράζεται, τους πυλώνες και τα καλώδια ανάρτησης και αγκύρωσης.

Η εσχάρα δοκών του καταστώματος αποτελείται συνήθως από 2 κύριες σύμμικτες δοκούς κατά την διαμήκη έννοια και εγκάρσιες σύμμικτες διαδοκίδες. Οι κύριες δοκοί μπορεί να είναι είτε από πρότυπες διατομές τύπου Η, είτε από συγκολλητές συμμετρικές ή ασύμμετρες. Σε περιπτώσεις όπου οι κύριες δοκοί πρέπει να αναλάβουν και στρεπτικά φορτία, τότε η διατομή τους πρέπει να είναι κάποια κοίλη διατομή, με δυνατότητα παραλαβής και στρέψης, πέραν των άλλων. Οι εγκάρσιες διαδοκίδες χρησιμοποιούνται ουσιαστικά για την έδραση της πλάκας καταστώματος και μεταφέρουν τα φορτία στις κύριες δοκούς, με τις οποίες συνδέονται αρθρωτά, ενώ η διατομή τους είναι κάποια πρότυπη Η. Οι αποστάσεις τους καθορίζονται κυρίως από την αντοχή της σύμμικτης πλάκας όπου εδράζεται σε αυτές. Επιθυμητό αρκετές φορές είναι να διατάσσονται διαδοκίδες στις θέσεις αγκύρωσης των καλωδίων επί των κυρίων δοκών, λόγω έντονη τοπικής καταπόνησης στις περιοχές αυτές από τις αντιδράσεις των καλωδίων. Λόγω των καλωδίων ανάρτησης, κάθε κύρια δοκός του καταστώματος αποτελεί μία συνεχή δοκό με ελαστικές ενδιάμεσες στηρίξεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ορισμένες φορές να εμφανίζονται αρνητικές ροπές στις θέσεις αγκύρωσης των καλωδίων επί των κυρίων δοκών και έτσι να μην υπάρχει εκμετάλλευση της σύμμικτης λειτουργία των κυρίων δοκών με την πλάκα του καταστώματος.



*Εσχάρα δοκών*

Τα καλώδια ανάρτησης και αγκύρωσης είναι το βασικό στοιχείο αυτού του τύπου γεφυρών. Πρόκειται για καλώδια υψηλής αντοχής όπου μεταφέρουν τα φορτία του καταστρώματος στους πυλώνες μέσω αξονικού εφελκυσμού. Ο αριθμός τους και η διατομή τους είναι αποτέλεσμα πολλών παραμέτρων, ενώ μπορεί να υπάρχει συνδυασμός διαφορετικών αριθμών καλωδίων και διατομών όπου να δίνουν μεταξύ τους παραπλήσια αποτελέσματα. Η διάταξη των καλωδίων μπορεί να έχει διάφορες μορφές, όπως ακτινική, άρπας ή συνδυασμό τους. Η ακτινική μορφή έχει σαν πλεονέκτημα την καλύτερη απόδοση των καλωδίων, ενώ η μορφή άρπας έχει σαν πλεονέκτημα την σταδιακή αύξηση της θλιπτικής δύναμης στους πυλώνες, κάτι που οδηγεί σε οικονομικότερες διατομές, λόγω μεγαλύτερης αντοχής έναντι λυγισμού. Επίσης η ακτινική μορφή απαιτεί ένα μόνο καλώδιο αγκύρωσης ανά πυλώνα, ενώ η μορφή άρπας όσα είναι και τα καλώδια ανάρτησης, εκτός και αν χρησιμοποιηθεί μεγάλη διατομή πυλώνα. Μικρός αριθμός καλωδίων οδηγεί σε μεγάλες διατομές αυτών, μεγάλα συγκεντρωμένα φορτία στις κύριες δοκούς και δυσκολίες στη μόρφωση των αγκυρώσεων. Ακόμα, σε περιπτώσεις πεζογεφυρών με μικρά ανοίγματα όπου μπορεί να χρησιμοποιούνται λίγα καλώδια (2 ή 3), ο φορέας έχει μικρή υπερστατικότητα, έτσι ώστε σε μία πιθανή αστοχία ενός καλωδίου (π.χ. αστοχία αγκύρωσης, χτύπημα κεραυνού) να υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης όλου του φορέα. Αντίθετα, μεγάλος αριθμός καλωδίων πλεονεκτεί, πέραν των άλλων και στην ομαλότερη διανομή των αξονικών δυνάμεων στις κύριες δοκούς, με μειονέκτημα τον μεγάλο αριθμό συνδέσεων.

Η ανάρτηση της γέφυρας μπορεί να γίνει συμμετρικά ως προς το μέσο της, δηλαδή με πυλώνες και στα 2 άκρα της, ή από έναν μόνο πυλώνα. Η αμφίπλευρη ανάρτηση πλεονεκτεί στη ζεύξη μεγάλων ανοιγμάτων, αλλά εισάγει μεγάλα εφελκυστικά φορτία περί το μέσο του ανοίγματος, κάτι μη επιθυμητό, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις σύμμικτης λειτουργίας. Αυτό μπορεί να εξαληφθεί, με τη δημιουργία αρμού στο, με ό,τι κατασκευαστικές δυσκολίες συνεπάγεται αυτή η λύση. Η μονόπλευρη ανάρτηση, συχνά χρησιμοποιείται για μικρά ανοίγματα, έχοντας το πλεονέκτημα της μη καταπόνησης του φορέα από εφελκυστικά φορτία.

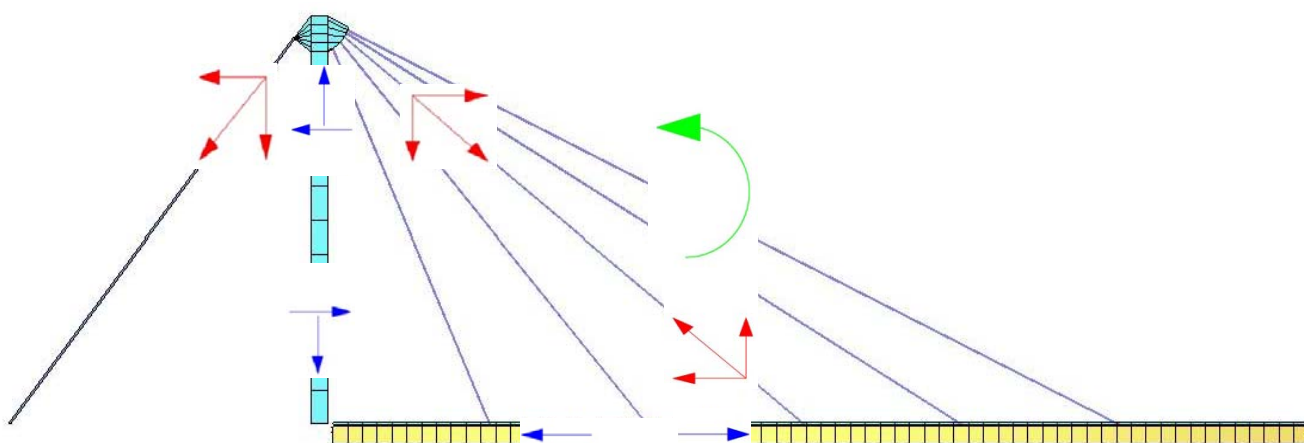
Οι πυλώνες μπορούν να είναι είτε από χάλυβα είτε από σκυρόδεμα. Λόγω των μεγάλων θλιπτικών δυνάμεων που δέχονται από τα καλώδια, υπάρχει κίνδυνος απώλειας της ευστάθειάς τους. Άρα ευνοϊκή είναι η χρησιμοποίηση πυλώνων από σκυρόδεμα με 2 ισχυρούς άξονες. Το ύψος των πυλώνων είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος. Η αύξηση του ύψους του έχει ευεργετικά αποτελέσματα ως προς την απόδοση των καλωδίων, την διατομή τους, αλλά και την καμπτική δυσκαμψία του φορέα. Σαν

μειονέκτημα σημειώνεται η μείωση της αντοχής σε ευστάθεια του και της καμπτικής δυσκαμψίας του.

Το μεγαλύτερο μέρος των φορτίων του καταστρώματος της γέφυρας μεταφέρεται μέσω των καλωδίων στους πυλώνες και από εκεί στα βάρθα και στο έδαφος. Τα καλώδια καταπονούνται μόνο με εφελκυστικά αξονικά φορτία καθότι έχουν μηδενική δυσμησία. Λόγω της μηδενικής δυσμησίας αλλά και των διακένων όπου υπάρχουν μεταξύ των δεσμών των επιμέρους μικρότερων καλωδίων όπου αποτελείται ένα καλώδιο, το μέτρο ελαστικότητας αυτού είναι μεταβλητό. Έτσι, είναι απαραίτητη η προέντασή τους, καθώς:

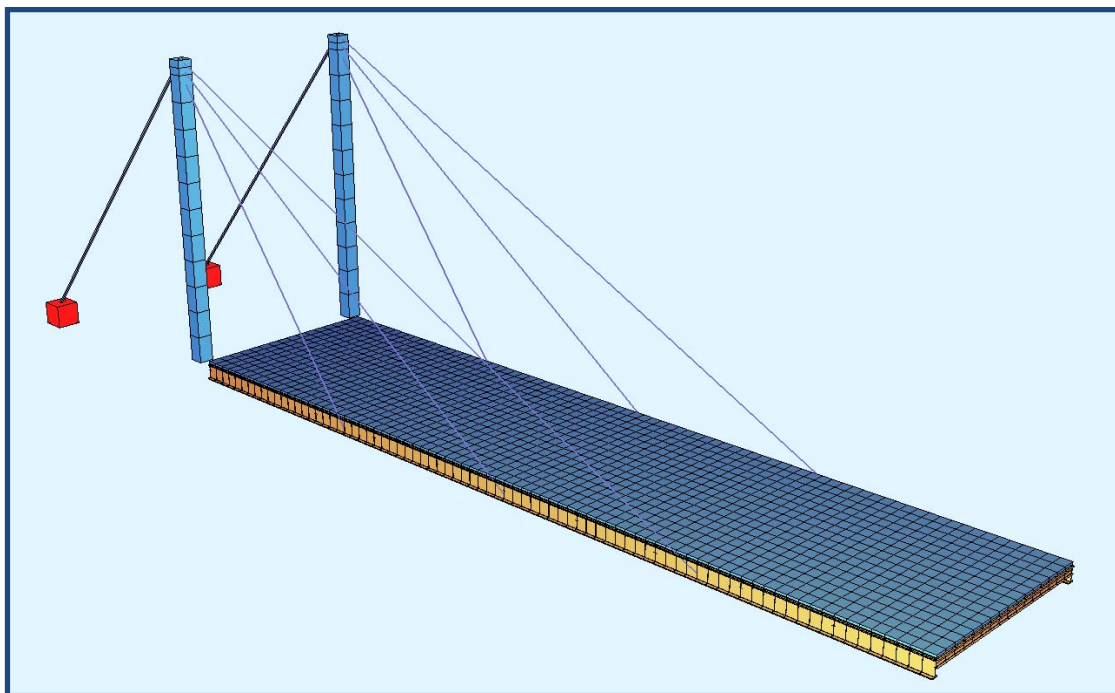
- Εξασφαλίζει την γραμμική ελαστική συμπεριφορά τους
- Καθιστά αξιόπιστο το σχεδιασμό του φορέα υπό δυναμικά φορτία, αφού τα καλώδια συμβάλλουν πάντα στο μητρώο ακαμψίας αυτού
- Επιτρέπει την εύκολη εισαγωγή αντιβέλους στο φορέα

Η στατική λειτουργία της καλωδιωτής γέφυρας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

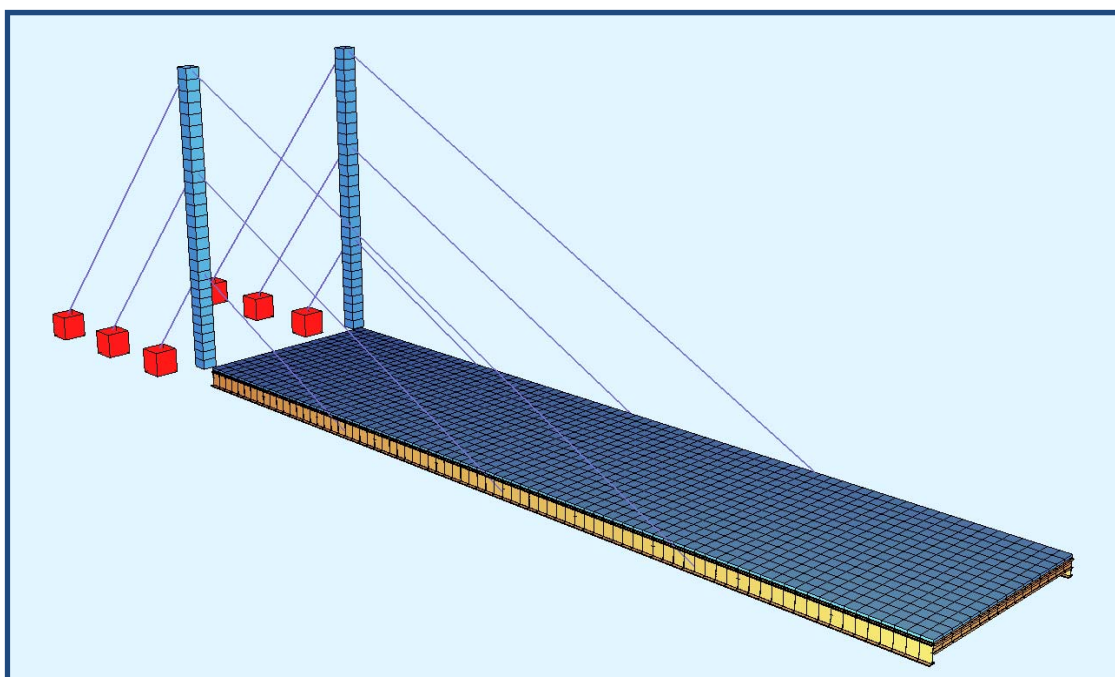


Η εξωτερική ροπή αναλαμβάνεται από την θλιπτική δύναμη που προκαλούν τα καλώδια στο κατάστρωμα και την αντίδραση στην κορυφή του πυλώνα, ενώ συνεισφέρει και η κάμψη των κυρίων δοκών του καταστρώματος καταστρώματος.

Κατασκευαστικά, έχει αρκετές συνδέσεις τέμνουσας μεταξύ των διαδοκίδων και των κύριων δοκών, ενώ απαιτείται προσοχή στην κατασκευή των σωμάτων αγκύρωσης των καλωδίων στις κύριες δοκούς, στους πυλώνες και στο έδαφος για τα καλώδια αγκύρωσης. Επίσης πρέπει να διατίθενται εξειδικευμένα συνεργεία για την πραγματοποίηση της προέντασης των καλωδίων.



*Καλωδιωτή με ακτινικό σύστημα*



*Καλωδιωτή με σύστημα άρπας*

## Κεφάλαιο 2

### ΦΟΡΕΙΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

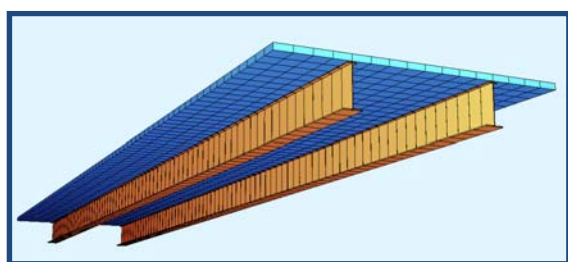
#### 2.1 Γενικά

Η διερεύνηση των διαφόρων τύπων συμμίκτων πεζογεφυρών, αφορά εναλλακτικές λύσεις για την κάλυψη ενός αμφιέριστου ανοίγματος μήκους  $L=35,0\text{m}$ . Το πλάτος της πεζογέφυρας ορίστηκε στα  $b=8,0\text{m}$ . Προτιμήθηκε ο τύπος της γέφυρας να μην είναι οδική, λόγω των πολλών περιπτώσεων φόρτισης των κινητών φορτίων, που κανονιστικά μπορεί να είναι απαραίτητος, αλλά απαιτεί μεγάλο όγκο υπολογισμών, έστω και για τον απλούστερο φορέα. Συνοπτικά οι μορφές φορέων που εξετάστηκαν, είναι αμφιέριστες πεζογέφυρες με διαμήκεις σύμμικτες δοκούς, με σύστημα άντωσης και καλωδιωτές. Σε όλες τις περιπτώσεις θεωρείται ότι στη φάση κατασκευής οι δοκοί του καταστρώματος υποστηρίζονται.

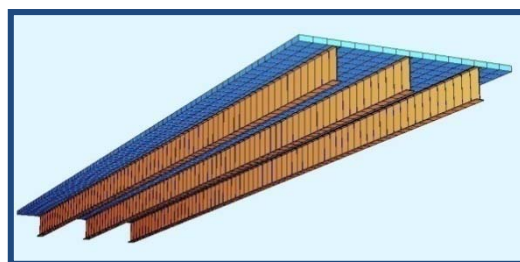
#### 2.2 Αμφιέριστες πεζογέφυρες

Εξετάστηκαν 4 περιπτώσεις αμφιέριστων πεζογεφυρών, όπου η διαφορά τους έγκειται στον διαφορετικό αριθμό δοκών. Αναλυτικά:

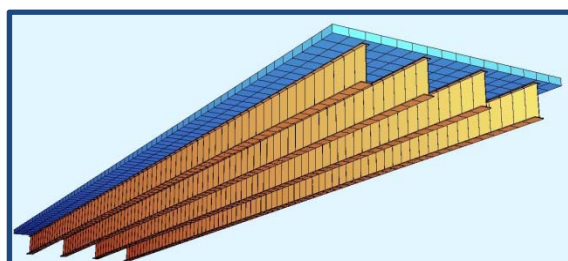
- Αμφιέριστη με 2 σύμμικτες δοκούς
- Αμφιέριστη με 3 σύμμικτες δοκούς
- Αμφιέριστη με 4 σύμμικτες δοκούς



2 Δοκοί



3 Δοκοί



4 Δοκοί

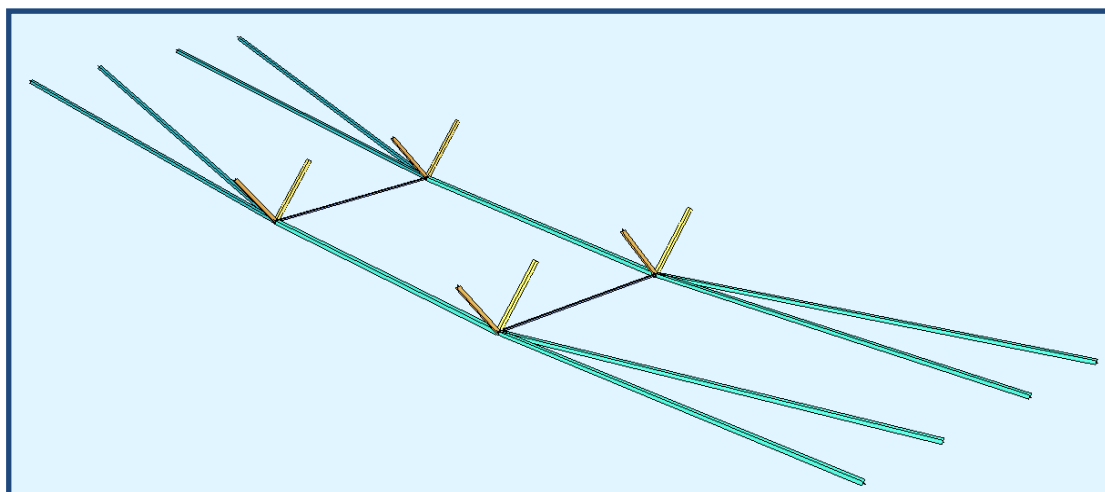
Η μεθοδολογία σχεδιασμού, έχει ως εξής:

- Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας
- Υπολογισμός και επιλογή διατομής σύμμικτης δοκού με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ υπό στατικά φορτία (οι δοκοί στη φάση κατασκευής θεωρούνται υποστυλωμένες)
- Έλεγχος σύμμικτης διατομής σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία
- Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

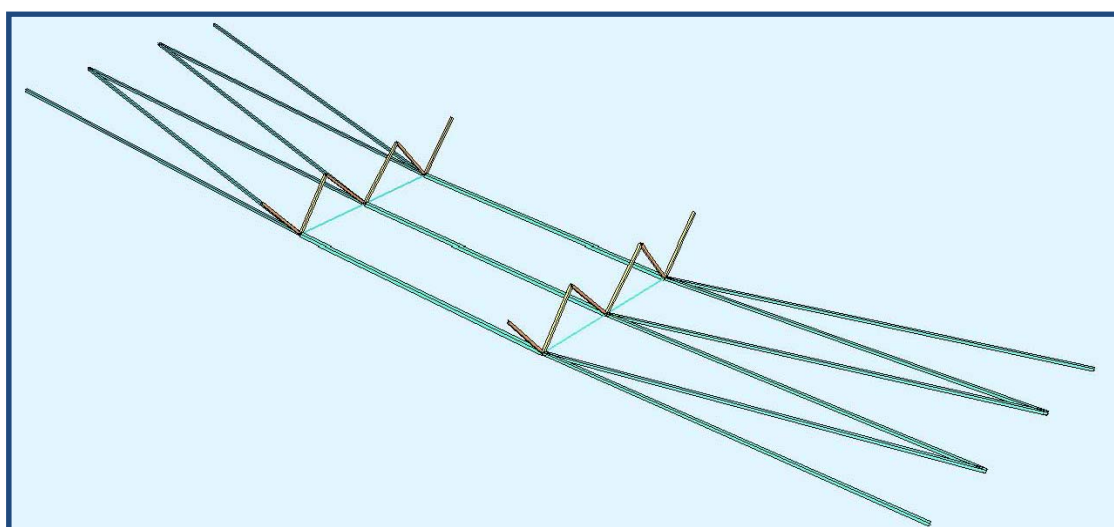
### 2.3 Αμφιέρειστες πεζογέφυρες με σύστημα άντωσης

Εξετάστηκαν 2 περιπτώσεις πεζογεφυρών με σύστημα άντωσης:

- Σύστημα άντωσης με 2 κύριους ελκυστήρες
- Σύστημα άντωσης με 3 κύριους ελκυστήρες

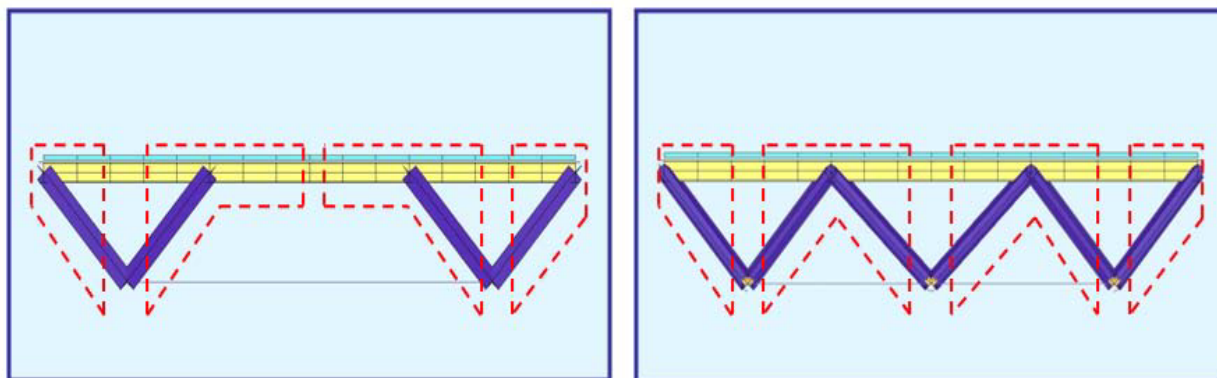


*Σύστημα άντωσης με 2 κύριους ελκυστήρες*



*Σύστημα άντωσης με 3 κύριους ελκυστήρες*



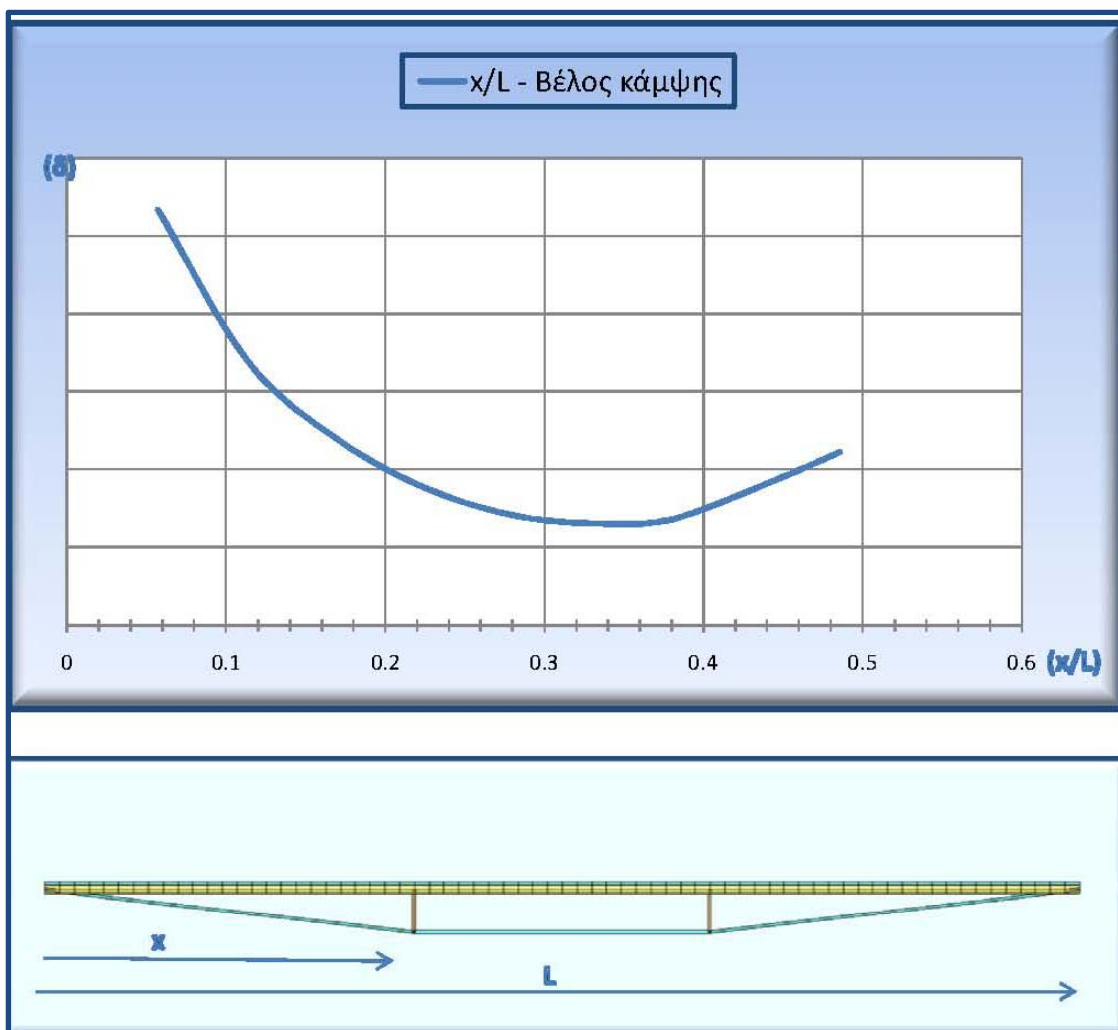


Η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι κύριες δοκοί στο σύστημα άντωσης με τους 3 ελκυστήρες έχουν συμμετρία ως προς τα φορτία που αναλαμβάνουν και τη δυσκαμψία τους.

Παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τα εντατικά μεγέθη και τα βέλη του φορέα, είναι το στατικό ύψος του φορέα και οι θέσεις των ορθοστατών. Όσο μεγαλύτερο στατικό ύψος έχει ο φορέας (μέχρι ενός σημείου), τόσο αποδοτικότερο και οικονομικότερο είναι το σύστημα άντωσης, ανεξαρτήτως της θέσης των ορθοστατών. Βέβαια, στην πλέον συνηθισμένη περίπτωση όπου η πεζογέφυρα διασχίζει οδικά δίκτυα, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται μεγάλα στατικά ύψη. Επίσης, το μεγάλο στατικό ύψος δεν έχει και ικανοποιητικό αισθητικό αποτέλεσμα.

Έτσι, το στατικό ύψος του φορέα λαμβάνεται το 1/20 του ανοίγματος, δηλαδή στα 1,75m.

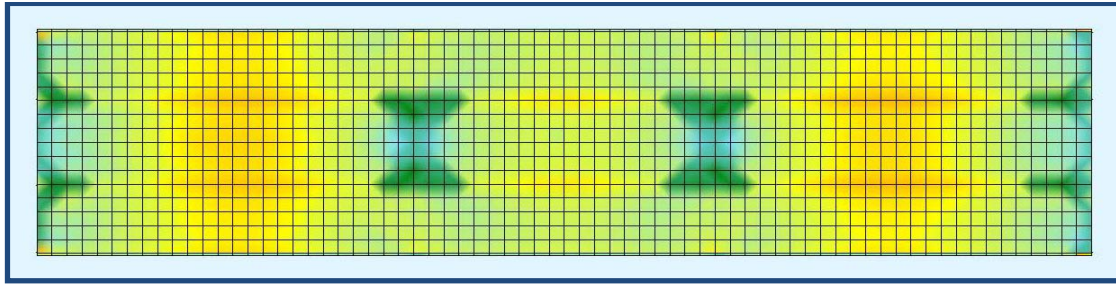
Η θέση των ορθοστατών, χρήζει διερεύνησης, καθώς η σωστή τοποθέτησή τους έχει ευεργετικά αποτελέσματα ως προς την καμπτική δυσκαμψία του φορέα. Έγινε σύγκριση των θέσεων των ορθοστατών στον ίδιο φορέα και τα αποτελέσματα ως προς το αναπτυσσόμενο βέλος κάμψης φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



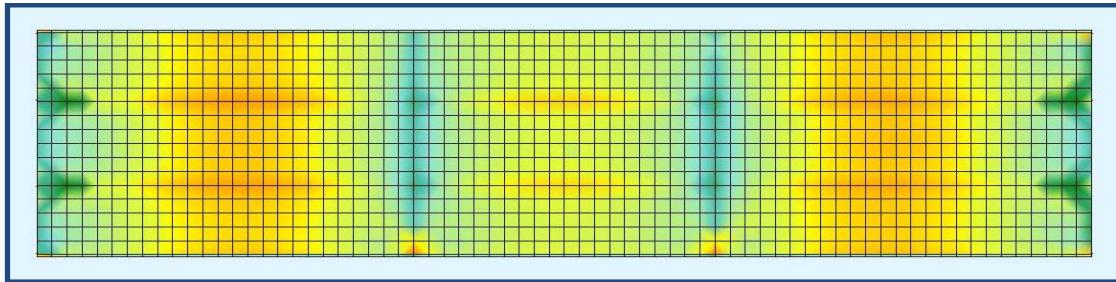
*Επιρροή θέσεως ορθοστατών ως προς τα αναπτυσσόμενα βέλη*

Παρατηρούμε ότι η βέλτιστη θέση είναι περίπου στο  $0,33x/L$ , δηλαδή στο  $1/3$  του ανοίγματος. Επίσης βλέπουμε ότι πιθανή χρήση ορθοστατών μόνο στο μέσο ( $x/L=0,5$ ), οδηγεί σε αντιοικονομική λύση σε σχέση με τους ορθοστάτες. Τελικά, επιλέγεται οι ορθοστάτες να τοποθετηθούν στα  $12,5m$  εκατέρωθεν των βάθρων.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η χρησιμότητα των διαδοκίδων στη διανομή των συγκεντρωμένων δυνάμεων των ορθοστατών στο κατάστρωμα.



*Χωρίς διαδοκίδες*



*Με διαδοκίδες*

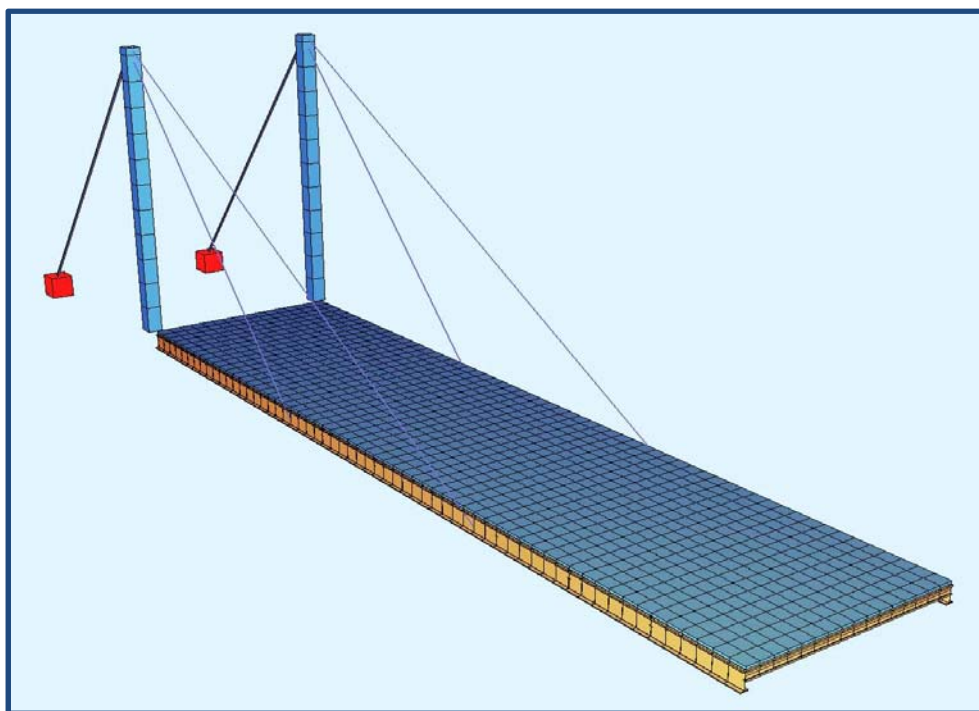
Η μεθοδολογία σχεδιασμού, έχει ως εξής:

- Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας
- Επιλογή διατομών σιδηρών δοκών, ορθοστατών και διατομών εφελκυσμένων μελών
- Έλεγχος διατομών στην ΟΚΛ υπό στατικά και δυναμικά φορτία
- Έλεγχος διατομών στην ΟΚΑ
- Έλεγχος ευστάθειας ορθοστατών
- Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

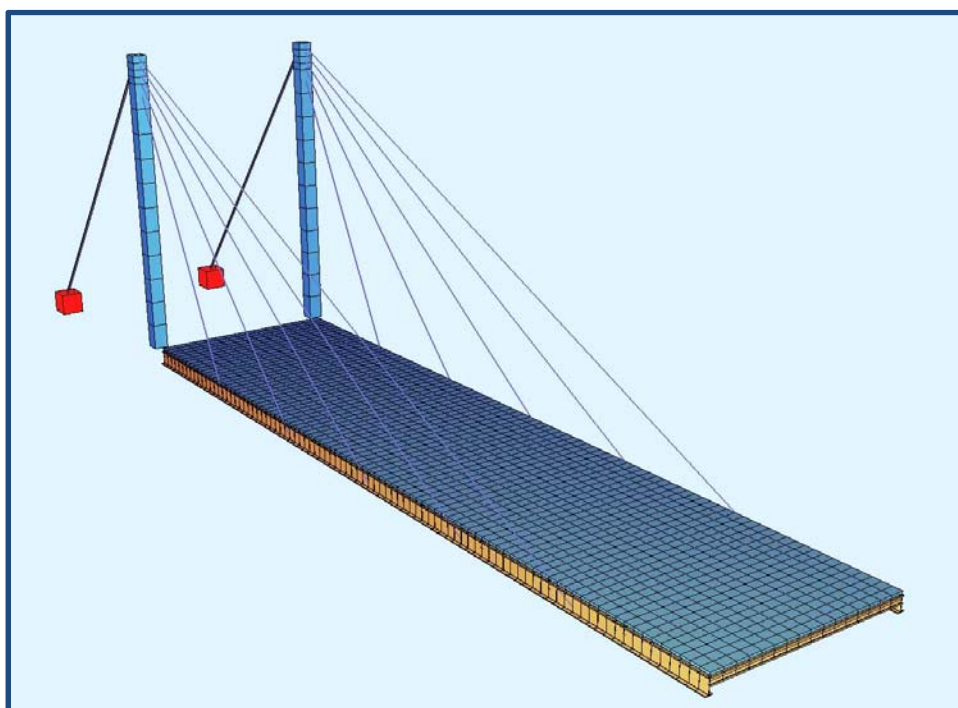
## 2.4 Αμφιέριστες καλωδιωτές πεζογέφυρες

Εξετάστηκαν 2 περιπτώσεις καλωδιωτών πεζογεφυρών:

- Με 2 καλώδια ανά παρειά σε ακτινικό σύστημα
- Με 5 καλώδια ανά παρειά σε ακτινικό σύστημα

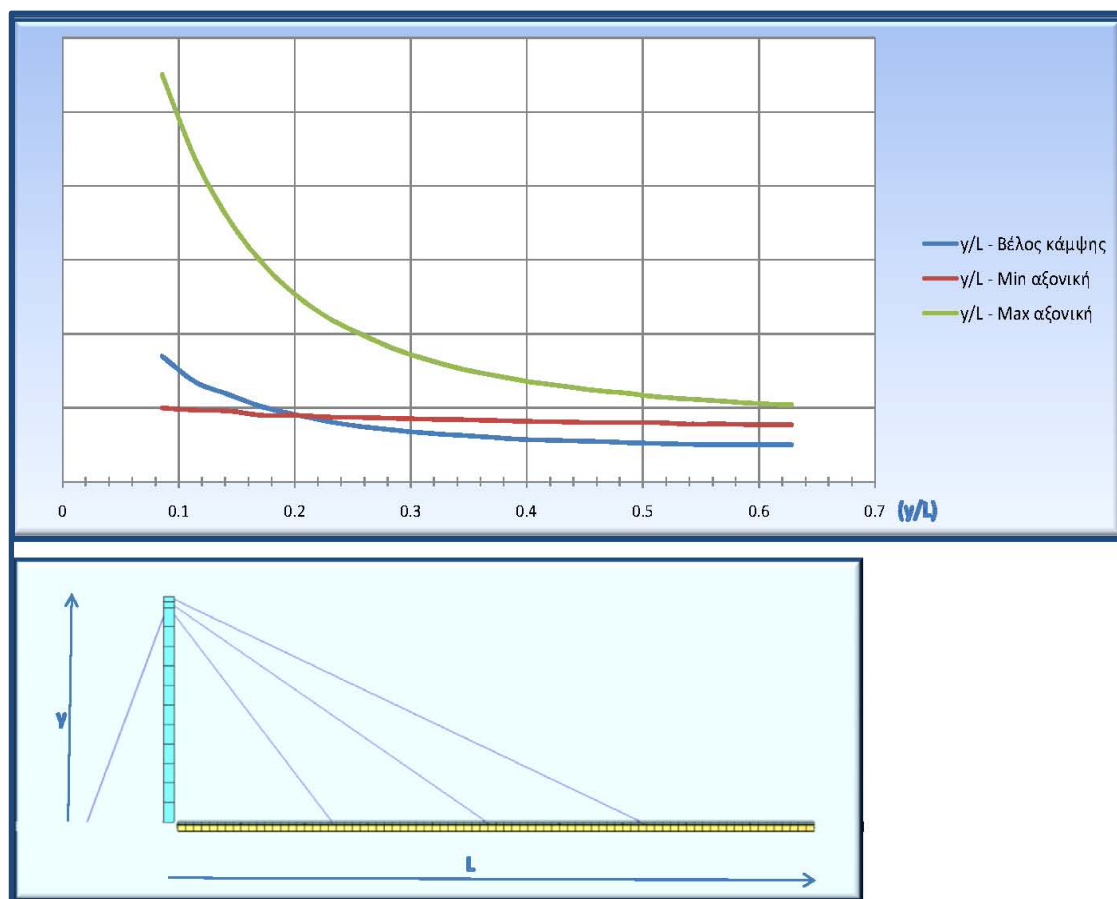


*Καλωδιωτή με 2 καλώδια ανά παρειά*



*Καλωδιωτή με 5 καλώδια ανά παρειά*

Το ύψος των πυλώνων είναι βασική παράμετρος ως προς την απόδοση των καλωδίων, την δυσκαμψία του φορέα, αλλά και την οικονομία των υλικών. Έγινε διερεύνηση ως προς την επιρροή του ύψους αυτών στο μέγιστο και ελάχιστο αξονικό φορτίο καλωδίων, καθώς και στα βέλη κάμψης. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



*Επιρροή ύψους πυλώνων ως προς τα αναπτυσσόμενα βέλη κάμψης και την μέγιστη και ελάχιστη αξονική δύναμη των καλωδίων*

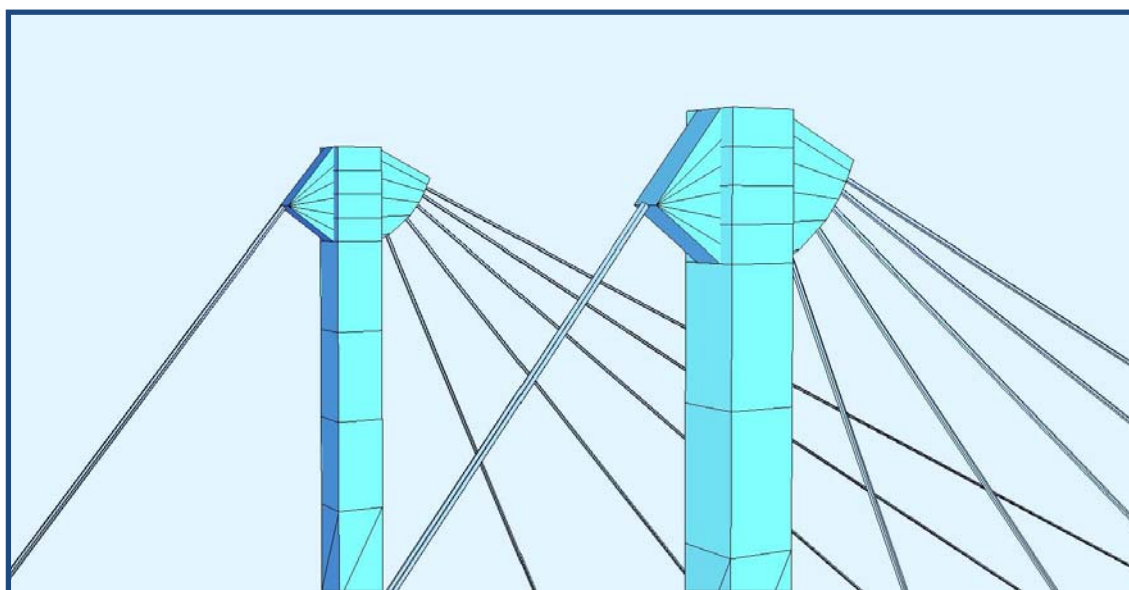
Παρατηρούμε πως η σταδιακή αύξηση του λόγου  $\gamma/L$  επηρεάζει σημαντικά την μέγιστη αξονική δύναμη των καλωδίων, ιδίως για μικρές τιμές αυτού (0,10-0,25) όπου και παρατηρείται μία μη-γραμμική σχέση αξονικής-ύψους πυλώνων. Η ελάχιστη αξονική δύναμη των καλωδίων πρακτικά μένει ανεπηρρέαστη. Το μέγιστο βέλος κάμψης επηρεάζεται σημαντικά για μικρές τιμές του λόγου  $\gamma/L$  (0,10-0,25), ενώ για τιμές μεγαλύτερες του 0,40 έχει σχεδόν σταθερή τιμή. Γενικά η αύξηση του ύψους των πυλώνων οδηγεί σε οικονομικότερες και αποδοτικότερες λύσεις. Ο μόνος περιορισμός αύξησης του ύψους αυτών, αφορά την ευστάθειά τους και την αισθητική εικόνα όπου δημιουργείται.

Με βάση παραπάνω, επιλέγεται λόγος  $\gamma/L=0,35$  όπου αντιστοιχεί σε ύψος πυλώνων  $H=12,5m$ .

Οι πυλώνες διαστασιολογούνται έναντι διαξονικής κάμψης και ορθής θλιπτικής δύναμης. Τα εντατικά μεγέθη προκύπτουν από ανάλυση με θεωρία 2ας τάξης, έτσι ώστε να ελεγχθεί και η ευστάθειά τους. Σαν γεωμετρική ατέλεια των πυλώνων, ορίζεται μία απόκλιση από την

κατακόρυφο και στις 2 διευθύνσεις ίση με  $\alpha = \frac{1}{100\sqrt{h}} \frac{l_0}{2}$  (rad), σύμφωνα με τον κανονισμό, όπου  $l_0$  το μήκος λυγισμού ανά διεύθυνση.

Στην στέψη των πυλώνων διατάσσονται ενισχύσεις για τα καλώδια, έτσι ώστε είναι δυνατή η αγκύρωσή τους, καθότι συντρέχουν όλα στο ίδιο σημείο.



Η απαιτούμενη προένταση των καλωδίων καθορίζεται εξαρτάται κυρίως από την προβολή των καλωδίων στο οριζόντιο επίπεδο, σύμφωνα με τη σχέση:

$$E = \frac{E_0}{\left(1 + \frac{G^2 L^2 E_0}{12\sigma^3}\right)}$$

όπου προκύπτει ένα παραβολικό διάγραμμα που τείνει ασυμπτωτικά στο ονομαστικό μέτρο ελαστικότητας  $E_0$ .

## Κεφάλαιο 3

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ, ΦΟΡΤΙΑ

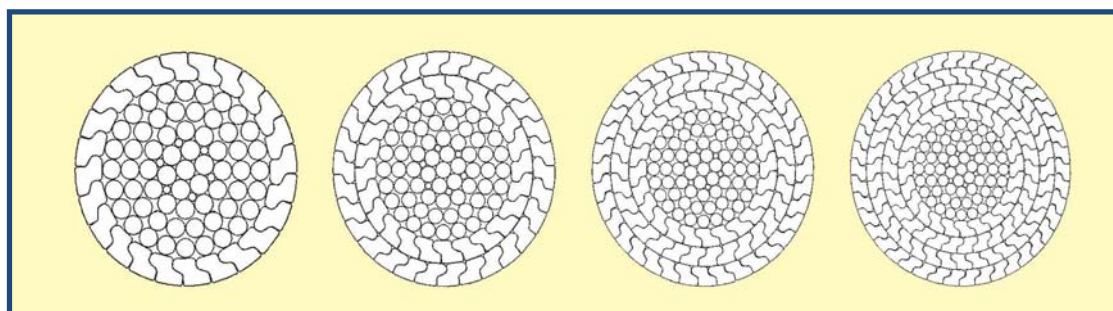
#### 3.1 Γενικά

Στο Μέρος 1 του EC1 περιγράφονται οι βασικές αρχές και απαιτήσεις για ασφάλεια, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα των κατασκευών, με βάση τη θεωρία των οριακών καταστάσεων και τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας. Οι φορείς σχεδιάζονται με βάση το πλέγμα των Ευρωκωδίκων και ικανοποιούν όλους τους ελέγχους έναντι αστοχίας και λειτουργικότητας.

#### 3.2 Ποιότητες υλικών

Οι ποιότητες υλικών με τις οποίες έγινε ο σχεδιασμός των φορέων είναι:

- S355 για τους κύριους φορείς της γέφυρας
- C35/45 για το σκυρόδεμα της πλάκας και των πυλώνων
- S1570/1760 για τα καλώδια ανάρτησης μέτρου ελαστικότητας  $E=165\text{GPa}$
- S350 για το χαλυβδόελασμα τραπεζοειδούς μορφής SYMDECK 73
- B500c για τον συνελκόμενο χάλυβα



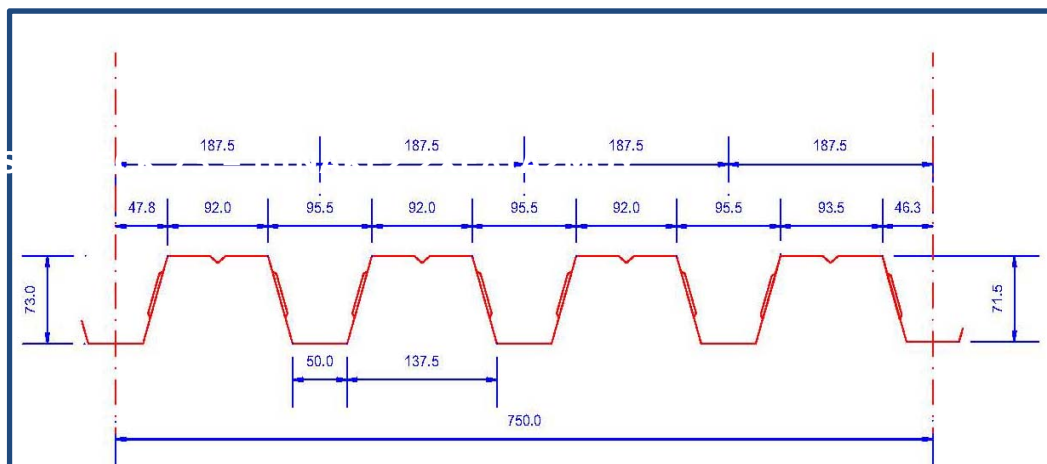
Καλώδια ανάρτησης της Tensoteci

##### 3.2.1 Χαλυβδόελασμα τραπεζοειδούς μορφής SYMDECK 73

Το χαλυβδόφυλλο SYMDECK 73 είναι ένα γαλβανισμένο προφίλ τραπεζοειδούς σχήματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή σύμμικτων πλακών μεγάλων ανοιγμάτων. Το άνω πέλμα του χαλυβδόφυλλου είναι ενισχυμένο έναντι τοπικού λυγισμού με μια ενδιάμεση ενίσχυση στο μέσο του. Στον κορμό υπάρχουν ειδικές νευρώσεις (εντυπώματα) μήκους 40 mm, τα οποία προσδίδουν την επιπλέον συνάφεια που απαιτείται μεταξύ χαλυβδόφυλλου και σκυροδέματος ούτως ώστε να μεταφέρονται οι δυνάμεις διαμήκους

διάτμησης που αναπτύσσονται μεταξύ των δύο υλικών. Παράγεται σε πάχη από 0.75 ως 1.25 mm. Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται είναι υψηλής ποιότητας Fe350G σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Παρακάτω φαίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χαλυβδόφυλλου.



Χαλυβδόφυλλο SYMDECK 73

### 3.3 Φορτία

#### 3.3.1 Στατικά φορτία

Σύμφωνα με τον EC3, εφαρμόζεται ομοιόμορφο κινητό φορτίο  $5\text{kN/m}^2$ . Σαν μόνιμο φορτίο λαμβάνεται μόνο το ίδιο βάρος της κατασκευής.

#### 3.3.2 Δυναμικά φορτία

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δυναμικά χαρακτηριστικά μιας πεζογέφυρας, πλησιάζουν τα δυναμικά χαρακτηριστικά μιας εξαναγκασμένης ταλάντωσης όπου προκαλεί το συγχρονισμένο βάδην σε αυτή. Τότε είναι δυνατόν η πεζογέφυρα να αναπτύξει μεγάλες παραμορφώσεις και εντατικά μεγέθη, έως και αρκετά μεγαλύτερα από αυτά των στατικών φορτίων, προκαλώντας την αίσθηση φόβου και ανασφάλειας στους χρήστες της.

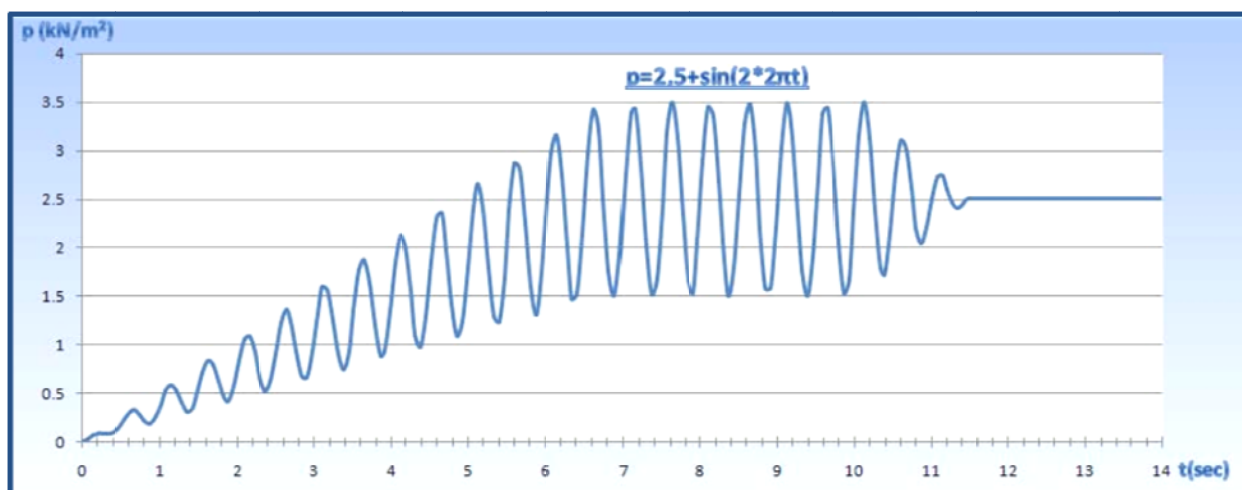
Για τον έλεγχο του φορέα υπό δυναμικά φορτία, γίνεται μία ανάλυση χρονιοστορίας (εν χρόνω ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης), κατά την οποία ο φορέας υποβάλλεται σε μία ημιτονοειδής διέγερση. Τα χαρακτηριστικά της ημιτονοειδούς διέγερσης είναι:

- Κυκλική ιδιοσυχνότητα  $\omega=2\text{Hz}$ , όπου αντιστοιχεί στην συχνότητα κανονικού βάδην (2 βήματα/δευτερόλεπτο)



- Βασικό ομοιόμορφο φορτίο διέγερσης  $p_0=2,5\text{kN/m}^2$ . Το φορτίο αυτό αντιστοιχεί στο μισό κινητό φορτίο που ορίζει ο EC3 για τις πεζογέφυρες, καθότι το φορτίο των  $5\text{kN/m}^2$  αντιστοιχεί σε ανθρωποσυνωστισμό, κάτι που δεν καθιστά δυνατή την δημιουργία ημιτονοειδούς φόρτισης λόγω βαδίσματος των χρηστών. Είναι λογικό πως για να μπορέσει να επιβληθεί στη γέφυρα ένα ημιτονοειδές φορτίο από τους χρήστες αυτής, πρέπει να υπάρχει και ο ανάλογος χώρος για την κίνηση αυτών.
- Το εύρος του ημιτονοειδούς διέγερσης, λόγω του βαδίσματος, ορίζεται το 40% του φορτίου διέγερσης. Δηλαδή  $\pm 1\text{kN/m}^2$
- Εξίσωση ημιτονοειδούς διέγερσης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$

Συνοπτικά τα παραπάνω φαίνονται στην παρακάτω γραφική παράσταση:



## Κεφάλαιο 4

### ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

#### 4.1 Λογισμικό υπολογισμού σύμμικτης διατομής δοκού

Για τον υπολογισμό σύμμικτων διατομών δοκών σύμφωνα με τον EC4, χρησιμοποιήθηκε λογισμικό όπου συντάχθηκε με τη βοήθεια του Microsoft Office Excel από τον γράφοντα. Το λογισμικό υπολογίζει:

- Συνεργαζόμενο πλάτος σκυροδέματος με βάση το άνοιγμα αμφιέριστης δοκού και την απόσταση μεταξύ γειτονικών δοκών
- Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και αστοχίας, με βάση το άνοιγμα αμφιέριστης δοκού
- Βέλη κάμψης για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και αντιβέλος εάν απαιτείται
- Ελαστικές τάσεις
- Κατηγορία διατομής
- Ελαστική και πλαστική ροπή αντοχής σιδηράς δοκού
- Ελαστική και πλαστική ροπή αντοχής σύμμικτης δοκού
- Αντοχή σε τέμνουσα σιδηράς δοκού
- Συντελεστή εξάντλησης διατομής
- Διατμητικούς συνδέσμους για πλήρη και μερική διατμητική κάλυψη

Επίσης λαμβάνει υπόψη:

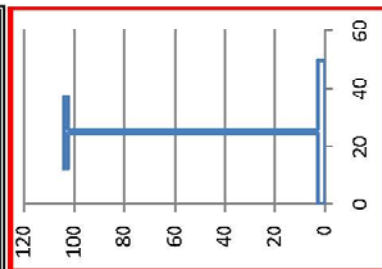
- Πρόσθετο έλασμα στο κάτω πέλμα της δοκού
- Συνελκόμενο οπλισμό σκυροδέματος
- Επιρροή τραπεζοειδών χαλυβδόφυλλων και τύπου Hologib στην αντοχή, δυσκαμψία και εντατικά μεγέθη της δοκού

Τέλος σχεδιάζει την διατομή της σιδηράς δοκού όπου επιλέγουμε. Στην επόμενη σελίδα φαίνεται το υπολογιστικό φύλλο Excel του προγράμματος.

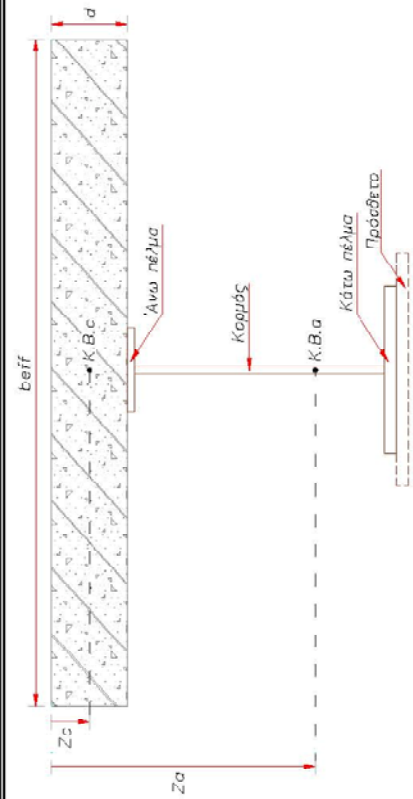
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΣ4

ΦΟΡΕΑΣ: ΑΜΦΙΦΕΡΕΣΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ 2 ΔΟΚΩΝ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ				ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
<b>ΥΛΙΚΑ</b>				<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ</b>			
Σκυρόδεμα		Χάλυβας οπλισμού		ΚΟΡΜΟΣ		ΑΝΩ	
C (MPa)	F <sub>yd</sub> (MPa)	E <sub>c</sub> (GPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)	S (MPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)	F <sub>td</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)
35	19.83	33.3	500	434.78	210	355	510
ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ		ΚΑΤΩ		ΚΑΤ.2	
q (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	L (m)	b (m)	b <sub>eff</sub> (cm)	d (cm)	Hολοιβ( cm)	S-deck (cm)
0.00	5.00	35.00	4.00	400	20	0.00	7.30
<b>ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ</b>				<b>ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</b>			
Άνω πέλαμα (cm)	Κορμός (cm)	Κάτω πέλαμα (cm)	Πρόσθετο (cm)	M <sub>u</sub> <sup>U</sup> (kNm)	M <sub>u</sub> <sup>O</sup> (kNm)	M <sub>u</sub> <sup>σθ</sup> (kNm)	M <sub>u</sub> <sup>pl</sup> (kNm)
1.50	25.00	1.50	100.00	6821.4	90276.8	9379.6	6821.4
<b>ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ</b>				<b>ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</b>			
φ	ανά (cm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ	D <sub>max</sub> (κΝ)	A <sub>max</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>max</sub> (κΝ)	Z <sub>0</sub> (cm)
ANΩ	12	15.0	L (cm)	12042.5	373.1	10408.0	11.9
ΚΑΤΩ	0	20.0	ΣΕΙΡΕΣ	M <sub>rd</sub> <sup>pl</sup> (kNm)	V <sub>rd</sub> <sup>pl</sup> (κΝ)	V <sub>rd</sub> <sup>FI</sup> (κΝ)	V <sub>rd</sub> <sup>FI</sup> (κΝ)
			a	2459.5	2459.5	2459.5	2459.5
<b>ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ</b>				<b>ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ</b>			
O.K.A.	O.K.L.	M <sub>act</sub> (kNm)	V <sub>act</sub> (kN)	φ	ανά (cm)	P <sub>rd</sub> (κΝ)	
8255.00	943.43	5774.54	659.95	22	41	121.19	
<b>ΒΕΛΗ (cm)</b>				<b>ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΙΣΙΣ</b>			
δ <sub>g</sub>	δ <sub>h</sub>	L/300	δ <sub>0</sub>	δ <sub>0a</sub>	σ <sub>u</sub>	σ <sub>p</sub>	σ <sub>c</sub>
8.0	9.3	< 11.7	-3.1	14.0	39.06	-2.95	-0.47
<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ</b>				<b>ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ</b>			
M <sub>rd</sub> (kNm)	V <sub>rd</sub> (κΝ)	M <sub>act</sub> (kNm)	V <sub>act</sub> (κΝ)	M <sub>rd</sub> (kNm)	V <sub>rd</sub> (κΝ)	M <sub>act</sub> (kNm)	V <sub>act</sub> (κΝ)
cap	0.83	cap	1.03	cap	1.21	cap	0.82



ΔΙΑΤΟΜΗ:  
15/250+15/1000+27/500



## 4.2 Λογισμικό ανάλυσης φορέων

Για τις αναλύσεις σύνθετων φορέων για στατικά και δυναμικά φορτία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SOFiSTiK. Χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά μέλη για την προσομοίωση δοκών, πυλώνων, ελκυστήρων και καλωδίων, ενώ η προσομοίωση της πλάκας σκυροδέματος έγινε με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Έγιναν αναλύσεις με θεωρία 2<sup>ης</sup> τάξης και 3<sup>ης</sup> τάξης, σύμφωνα με τις ανάγκες του κάθε φορέα.

## 4.3 Λογισμικό ανάλυσης και διαστασιολόγησης συμμικτων πλακών

Για την ανάλυση και διαστασιολόγηση συμμικτων πλακών με το χαλυβδόφυλλο SYMDECK 73, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SymDeck Designer όπου αναπτύχθηκε στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Πραγματοποιεί έλεγχο του χαλυβδόφυλλου στη φάση κατασκευής και της συμμικτης πλάκας στην φάση λειτουργίας, για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και αστοχίας, σύμφωνα με τους EC2, EC3 και EC4. Επίσης λαμβάνει υπόψη πιθανή υποσύλωση του χαλυβδόφυλλου στη φάση λειτουργίας, πλάκα πολλών ανοιγμάτων με προβόλους, καθώς και την επιρροή συνελκόμενου οπλισμού στο σκυρόδεμα.

α/α	L (m)	q (kN/m <sup>2</sup> )
1		
2		
3		
4		

1<sup>ο</sup> βάρος = 2.25 kN/m<sup>2</sup>  
 Πρόσθετα μόνιμα = 0 kN/m<sup>2</sup>

Σχεδίαση φορέα

Υ<sub>G</sub> = 1.35    Υ<sub>Q</sub> = 1.50

Γενικά στοιχεία    Φάση κατασκευής    Φάση λειτουργίας

$M_{Rd,S}^+$	$M_{Rd,S}^-$
$M_{pl,Rd}^+ = 29.15$ kNm/m	$M_{pl,Rd}^- = 4.53$ kNm/m
$V_{V,Rd} = 25.00$ kN/m	

t = 1.25 mm    l = 1.10    A<sub>s</sub> = 1.14 cm<sup>2</sup>/m  
 C = 20/25 MPa    c = 1.50    Ø : 6 mm / d = 10 cm  
 S = 500 MPa    γ<sub>s</sub> = 1.15  
 h = 0.13 m    c = 0.03 m  
 Fe : 320 G MPa

m = 90.83 MPa  
 k = 0.0144 MPa  
 V<sub>1,Rd</sub>

Λογισμικό SymDeck Designer

## Κεφάλαιο 5

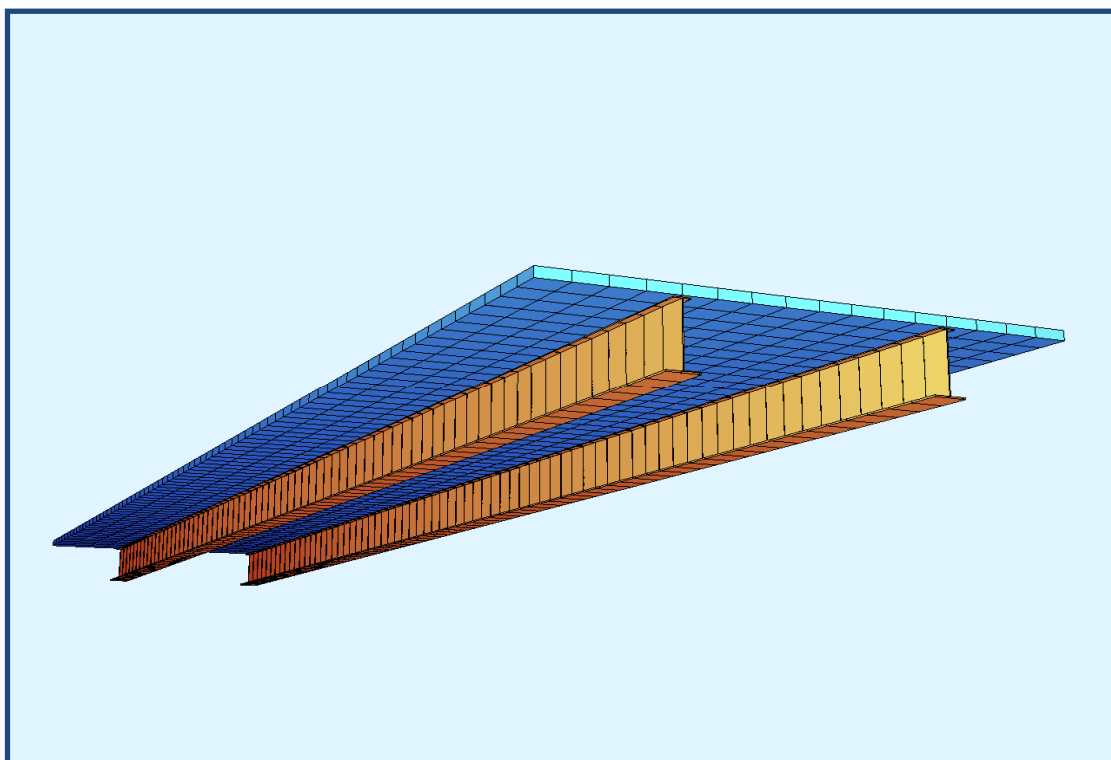
### ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΩΝ

#### 5.1 Αμφιέρειστες πεζογέφυρες

Η μεθοδολογία σχεδιασμού ακολουθεί τα εξής βήματα:

- Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας
- Υπολογισμός και επιλογή διατομής σύμμικτης δοκού με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ υπό στατικά φορτία (οι δοκοί στη φάση κατασκευής θεωρούνται υποστυλωμένες)
- Έλεγχος σύμμικτης διατομής σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία
- Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

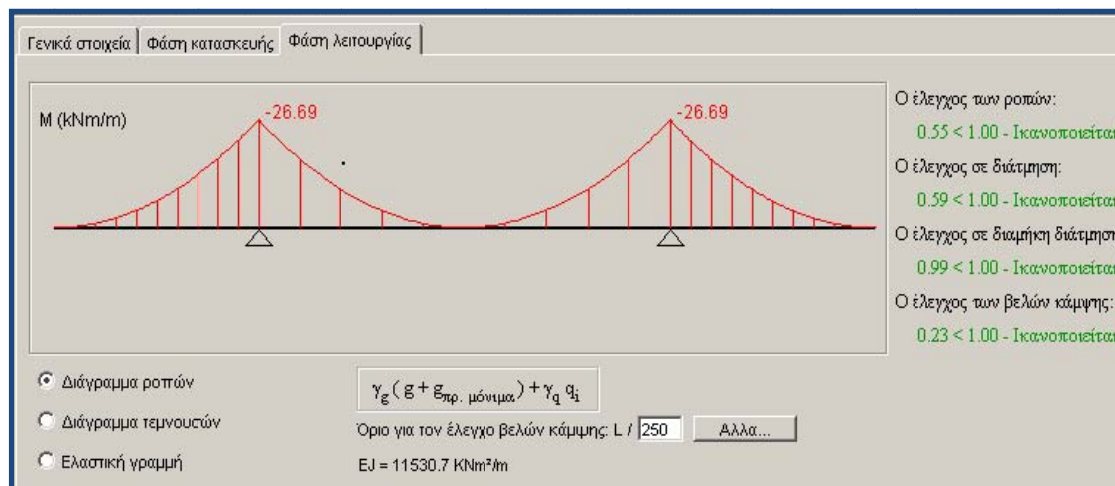
##### 5.1.1 Αμφιέρειστη πεζογέφυρα με 2 δοκούς



Φορέας

### 5.1.1.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας

Από τον έλεγχο της σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας, καθορίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος της. Η σύμμικτη πλάκα ισοδυναμεί με μία αμφιπροέχουσα δοκό στηριζόμενη στις 2 διαμήκεις δοκούς.



Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,25\text{mm}$  προκύπτει ελάχιστο πάχος πλάκας  $d_c=20\text{cm}$ , με τη συμμετοχή συνελκόμενου οπλισμού  $\phi 12/15$ .

### 5.1.1.2 Υπολογισμός και επιλογή σύμμικτης διατομής με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

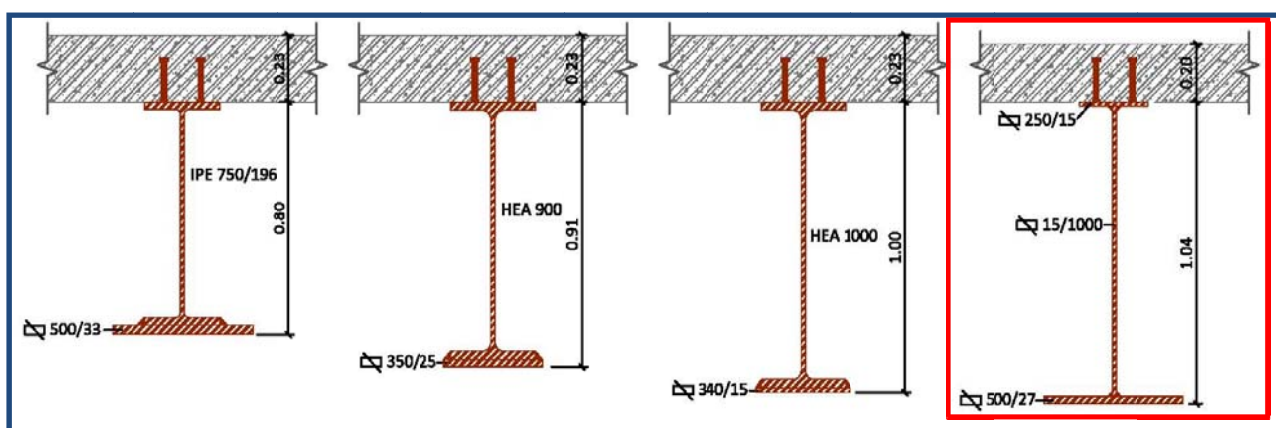
Ο φορέας αποτελείται από 2 αμφιέρειστες σύμμικτες δοκούς με συναργαζόμενο πλάτος  $b_{\text{eff}}=4,0\text{m}$ . Εξετάστηκαν πρότυπες διατομές με πρόσθετο έλασμα και συγκολλητές με άνισα πέλματα, κατηγορίας 1 και 2, με ελάχιστο πάχος σύμμικτης πλάκας  $d_c=20\text{cm}$ . Από τις δυνατές λύσεις επιλέγεται η οικονομικότερη, όπου είναι η συγκολλητή με άνισα πέλματα. Οι δυνατές λύσεις φαίνονται παρακάτω:

IPE 750x196 + #33/500 ( $A=407,30\text{cm}^2/d_c=23\text{cm}$ )

HEA 900 + #25/350 ( $A=400,30\text{cm}^2/d_c=23\text{cm}$ )

HEA 1000 + #15/340 ( $A=390,12\text{cm}^2/d_c=23\text{cm}$ )

**ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ 15/250+15/1000+27/500 ( $A=322,50\text{cm}^2/d_c=20\text{cm}$ )-KAT.2**



Στη συνέχεια φαίνεται το υπολογιστικό φύλλο Excel της επιλεγόμενης διατομής.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΣ4**

**ΦΟΡΕΑΣ: ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ 2 ΔΟΚΩΝ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Σκυρόδεμα		Χάλυβας οπλισμού		Δομικός χάλυβας		
C (MPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)	E <sub>c</sub> (GPa)	S (MPa)	St (MPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)
35	19.83	33.3	500	434.78	210	210

ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ	
q (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	L (m)	b (m)
0.00	5.00	35.00	4.00

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ		
Άνω πέλμα (cm)	Κορυφή (cm)	Κάτω πέλμα (cm)
1.50	25.00	100.00

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ	
φ	ανά (cm)	L (cm)	ΣΕΙΡΕΣ
ANΩ	12	15.0	30.1
KATΩ	0	20.0	0.0

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ		ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
ΚΟΡΜΟΣ	ΑΝΩ	D <sub>max</sub> (cm)	D <sub>max</sub> (cm)
c/h	66.67	7.83	12042.5
ΚΑΤΩ	0	0	A <sub>exp.</sub> (cm <sup>2</sup> ) 373.1
ΚΑΤ.2	0	0	Z <sub>max</sub> (cm) 10408.0
ΚΑΤ.3	0	0	Z <sub>s</sub> (cm) 11.9

ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ	
M <sub>u</sub> (kNm)	M <sub>u</sub> <sup>pl</sup> (kNm)	φ	ανά (cm)
3527.09	3527.09	22	41
2401.27	2401.27	22	42

ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ	
M <sub>u</sub> <sup>o</sup> (kNm)	M <sub>u</sub> <sup>pl</sup> (kNm)	Γ.Δ.Κ.	P <sub>rd</sub> (kN)
90276.8	90276.8	22	121.19
9379.6	9379.6	22	

ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ	
M <sub>u</sub> <sup>e</sup> (kNm)	M <sub>u</sub> <sup>pl</sup> (kNm)	Γ.Δ.Κ.	P <sub>rd</sub> (kN)
6821.4	6821.4	22	121.19
2459.5	2459.5	22	

**ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**

σ <sub>u</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>u</sub> <sup>o</sup>	σ <sub>u</sub> <sup>u</sup>	σ <sub>u</sub> <sup>o</sup>
39.06	-2.95	-0.47	-1.75	-1.75

**ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ**

O.K.A.	O.K.A.
M <sub>sd</sub> (kNm) 8255.00	M <sub>sd,exp</sub> (kNm) 5774.54
V <sub>sd</sub> (kN) 943.43	V <sub>sd,exp</sub> (kN) 659.95

**ΒΕΛΗ (cm)**

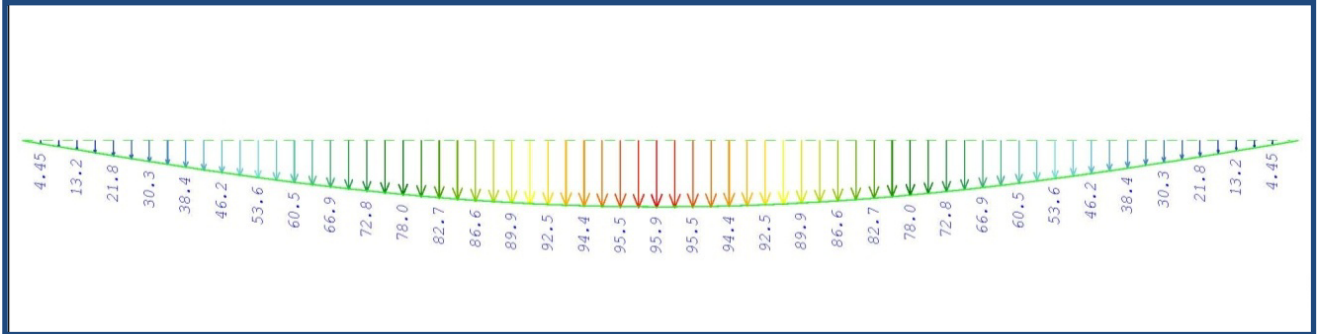
δ <sub>k</sub>	δ <sub>g</sub>	L/300	δ <sub>0</sub>	δ <sub>0A</sub>
8.0	9.1	< 11.7	-3.1	14.0

**ΔΙΑΤΟΜΗ:**  
15/250+15/1000+27/500

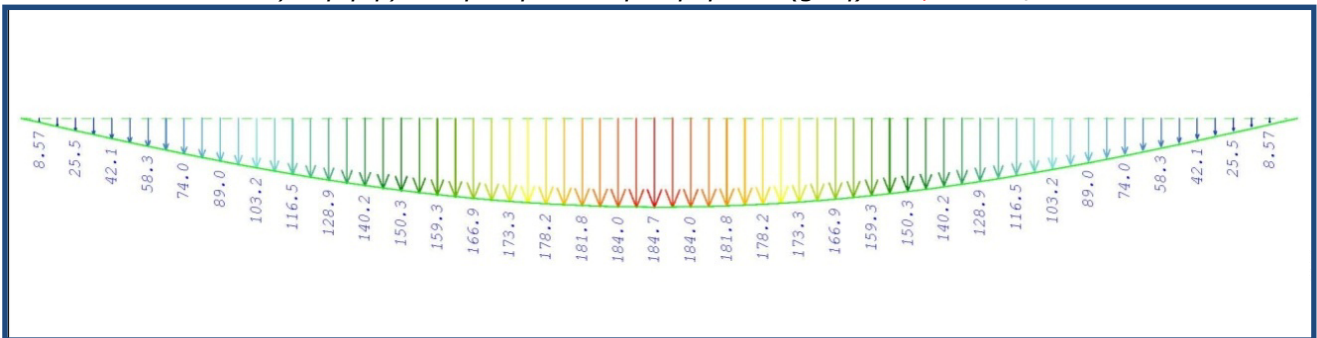
### 5.1.1.3 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό στατικά φορτία.

Βέλος κάμψης από κινητά φορτία  $\delta q = 9,6 \text{ cm} < L/300 = 11,7 \text{ cm}$

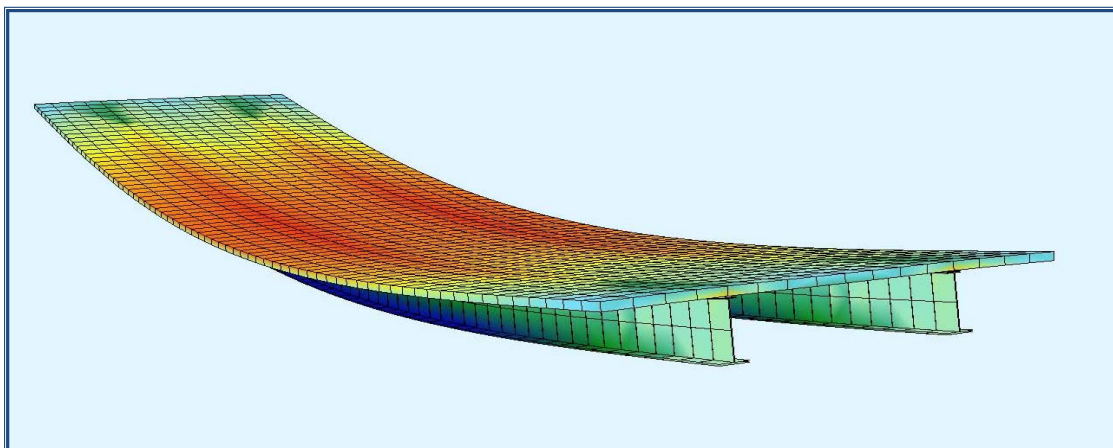


Βέλος κάμψης από μόνιμα+κινητά φορτία  $\delta(g+q) = 18,5 \text{ cm} > L/250 = 14 \text{ cm}$



Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό G+Q.

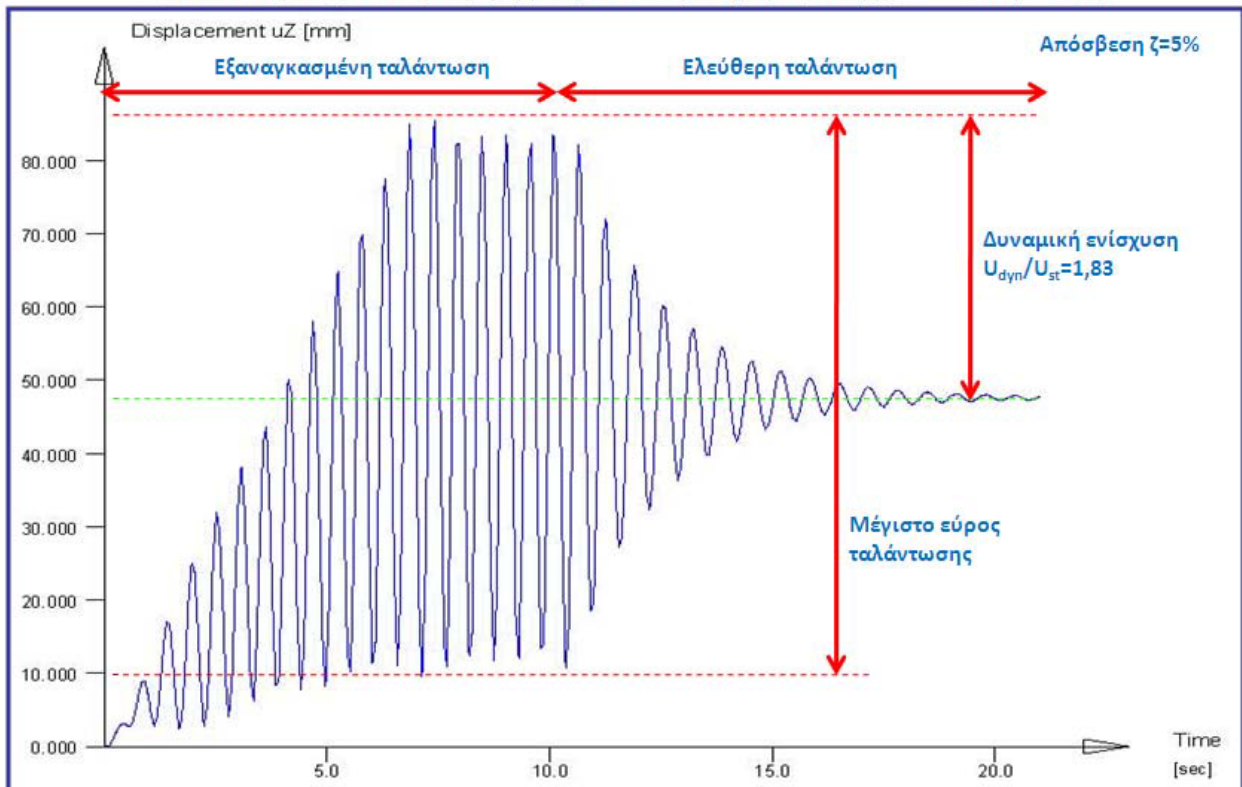
### 5.1.1.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία



Καμπτική ιδιομορφή με συχνότητα  $f = 1,52 \text{ Hz}$

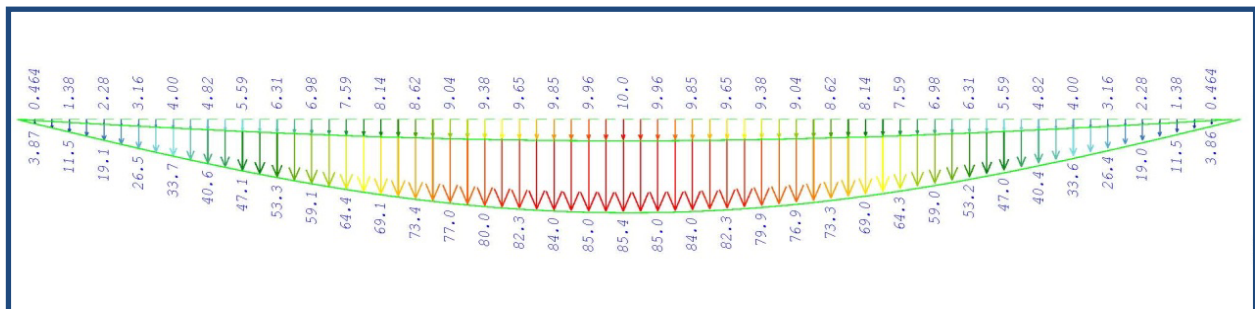


Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η χρονοϊστορία του βέλους κάμψης του φορέα, λόγω δυναμικής φόρτισης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$ .

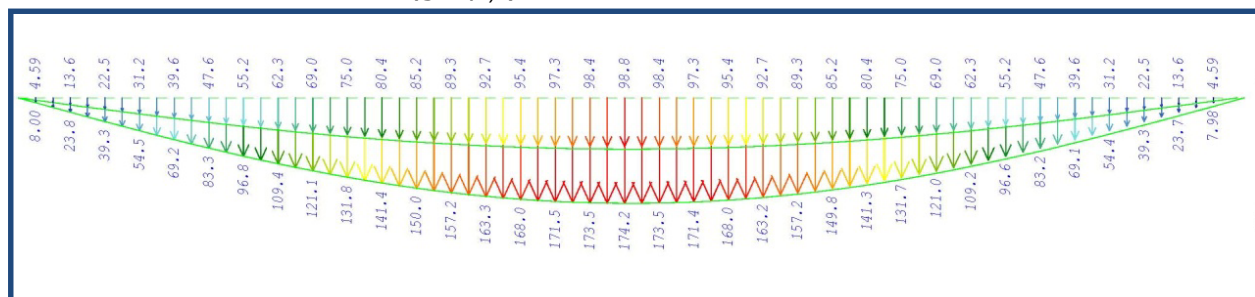


Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό δυναμικά φορτία.

Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων  $\delta q_{dyn}=8,5cm < L/300=11,6cm$



Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων + κινητών φορτίων  $\delta(g+q_{dyn})=17,4cm > L/250=14cm$



Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό  $G+Q_{dyn}$ .

Παρότι η διέγερση προκύπτει από κινητό φορτίο ίσο με το μισό του σχεδιασμού ( $2,5\text{kN/m}^2$ ), φαίνεται ότι η δυναμική ενίσχυση  $U_{\text{dyn}}/U_{\text{st}}$  πλησιάζει την τιμή 2, δηλαδή την καταπόνηση που θα επέφερε το πλήρες φορτίο των  $5\text{kN/m}^2$ . Αυτό συμβαίνει γιατί η καμπτική ιδιοπερίοδος του φορέα  $T=0,65\text{sec}$ , είναι κοντά στην ιδιοπερίοδο διέγερσης  $T_0=0,50\text{sec}$ . Εδώ γίνεται κατανοητή και η σημασία της ανάλυσης χρονοϊστορίας σε γέφυρες γενικά.

### 5.1.1.5 Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα από τους ελέγχους σε ΟΚΛ φαίνονται παρακάτω:

- Κινητά φορτία:  $\delta q=9,6\text{cm}<L/300=11,7\text{cm}$
- Μόνιμα+κινητά φορτία:  $\delta(g+q)=18,5\text{cm}>L/250=14\text{cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων:  $\delta q_{\text{dyn}}=8,5\text{cm}<L/300=11,6\text{cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων+κινητών φορτίων:  
 $\delta(g+q_{\text{dyn}})=17,4\text{cm}>L/250=14\text{cm}$

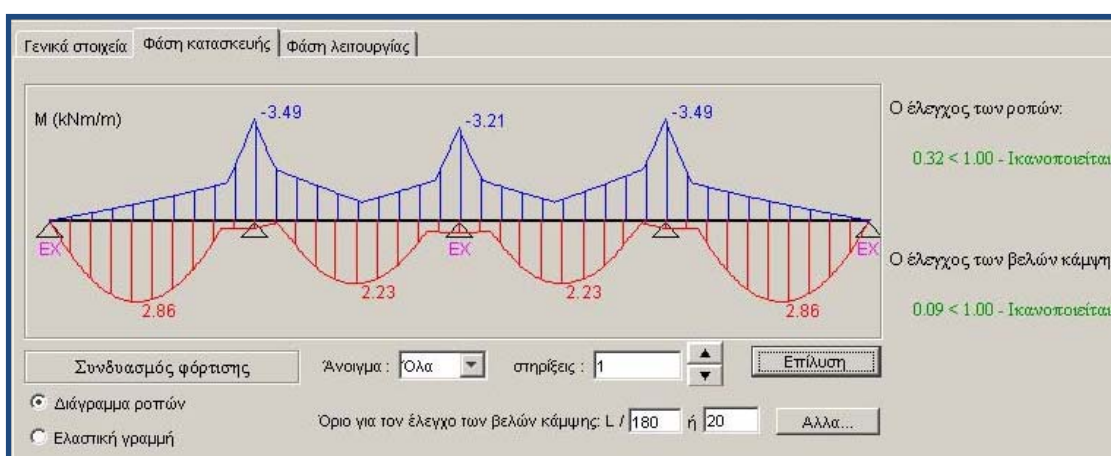
Απαιτείται ελάχιστο βέλος κάμψης  $\text{min}\delta_0=18,5-14=4,5\text{cm}$

Λόγω της αναγκαίας εισαγωγής αντιβέλους, προτιμάται να δωθεί αντιβέλος τέτοιο ώστε το βέλος κάμψης από μόνιμα φορτία να είναι μηδενικό.

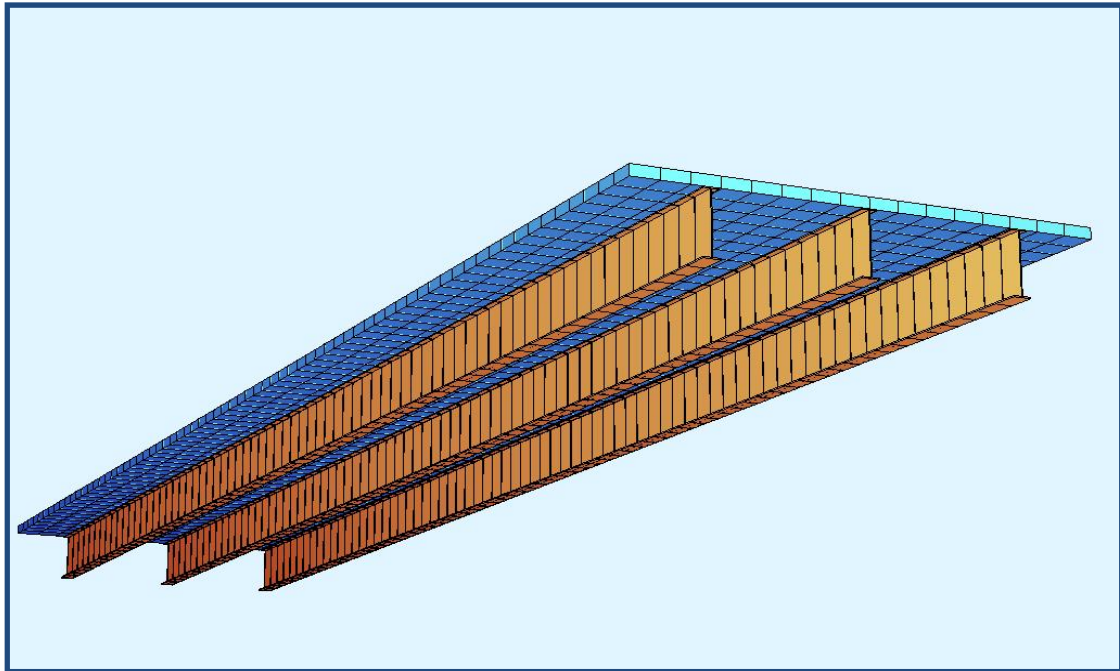
Άρα εισάγεται αντιβέλος  $\delta_0=18,5-9,6=8,9\text{cm}$ .

### 5.1.1.6 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,25\text{mm}$  προκύπτει επάρκεια αυτού, ύστερα από την προσωρινή υποστήριξή του. Τοποθετούνται συνολικά 3 υποστηρίγματα, 2 στα άκρα των προβόλων και 1 στο μέσο του φορέα.



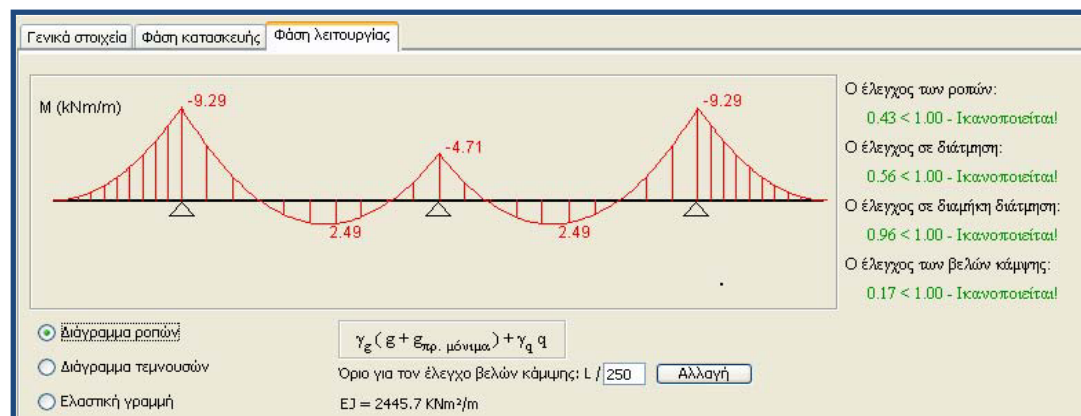
### 5.1.2 Αμφιέρειστη πεζογέφυρα με 3 δοκούς



Φορέας

#### 5.1.2.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας

Από τον έλεγχο της σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας, καθορίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος της. Η σύμμικτη πλάκα ισοδυναμεί με μία αμφιπροέχουσα δοκό 2 ανοιγμάτων στηριζόμενη στις 3 διαμήκειες δοκούς.



Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,00\text{mm}$  προκύπτει ελάχιστο πάχος πλάκας  $d_c=13\text{cm}$ .

### 5.1.2.2 Υπολογισμός και επιλογή σύμμικτης διατομής με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

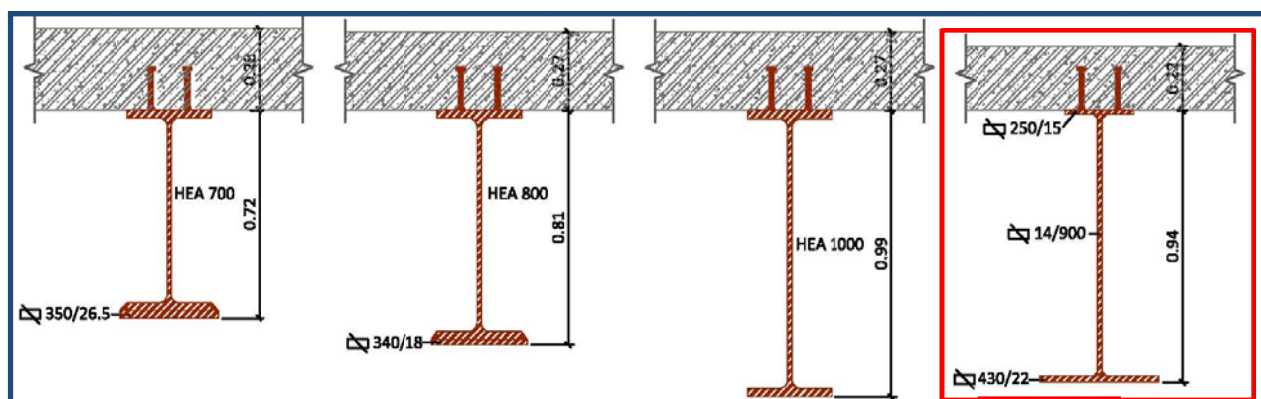
Ο φορέας αποτελείται από 3 αμφιέριστες σύμμικτες δοκούς με συναργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}=2,67m$ . Εξετάστηκαν πρότυπες διατομές με πρόσθετο έλασμα και συγκολλητές με άνισα πέλματα, κατηγορίας 1 και 2, με ελάχιστο πάχος σύμμικτης πλάκας  $d_c=13cm$ . Από τις δυνατές λύσεις επιλέγεται η οικονομικότερη, όπου είναι η συγκολλητή με άνισα πέλματα. Οι δυνατές λύσεις φαίνονται παρακάτω:

HEA 700 + #26.5/350 ( $A=350,15cm^2/d_c=28 cm$ )

HEA 800 + #18/340 ( $A=339,30cm^2/d_c=27 cm$ )

HEA 1000 ( $A=339,12cm^2/d_c=27cm$ )

**ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ 15/250+14/900+22/430 ( $A=255,60cm^2/d_c=22cm$ )-KAT.2**

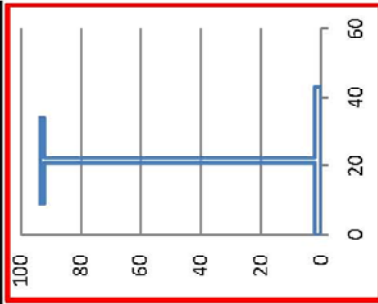


Στη συνέχεια φαίνεται το υπολογιστικό φύλλο Excel της επιλεγόμενης διατομής.

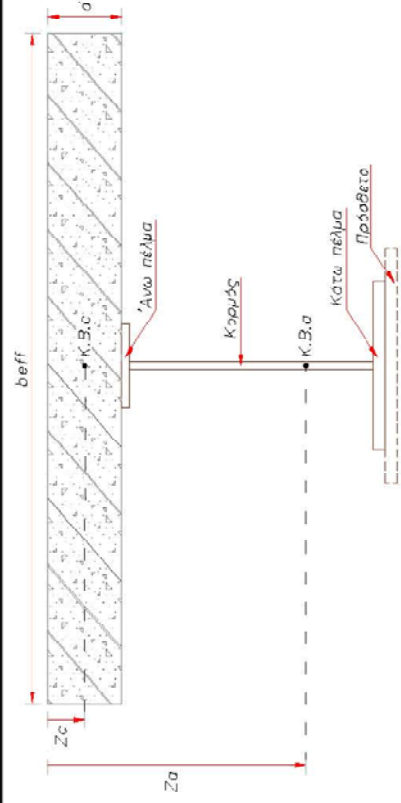
**ΦΟΡΕΑΣ: ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ 3 ΔΟΚΩΝ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΧ4**

ΔΕΔΟΜΕΝΑ			
ΥΛΙΚΑ		Δομικός χάλυβας	
Σκυρόδεμα	Χάλυβας σπλιτσιού	S <sub>t</sub> (MPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)
C (MPa)	F <sub>cd</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	E <sub>s</sub> (GPa)
35	19.83	500	355
	F <sub>ctd</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)
	33.3	210	322.73
	S (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	E <sub>s</sub> (GPa)
	500	210	210
ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ	
q (kN/m <sup>2</sup> )	ρ (kN/m <sup>3</sup> )	b <sub>eff</sub> (cm)	d (cm)
0.00	5.00	267	22
	L (m)	Hολοια (cm)	S-deck (cm)
	35.00	0.00	7.30
	b (m)		
	2.67		
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ			
Άνω πέλμα (cm)	Κορυφές (cm)	Κάτω πέλμα (cm)	Πρόσθετο (cm)
1.40	25.00	1.40	90.00
	E <sub>c</sub> (GPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)
	33.3	500	355
	S (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)
	500	210	322.73
	F <sub>ctd</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)
	33.3	210	322.73
	S (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)
	500	210	322.73
ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ			
φ	ανά (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ
ANQ	12	15.0	L (cm)
KATQ	0	20.0	ΣΕΙΡΕΣ
	20.0	0.0	2
	0.0	0.0	α
	0.0	0.0	1.00
ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ			
Ο.Κ.Α.	Ο.Κ.Α.	δ <sub>g</sub>	δ <sub>c</sub>
M <sub>act</sub> (kNm)	V <sub>act</sub> (kN)	9.7	9.6
5851.63	668.76	L/300	ξ <sub>0</sub>
		< 11.7	-5.3
		δ <sub>max</sub>	δ <sub>max</sub>
		14.0	14.0

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	
ΚΟΡΜΟΣ	ΑΝΩ	ΚΑΤΩ	ΚΑΤΩ
c/t	64.29	8.43	9.27
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	0	KAT.1	KAT.1
	0	0	0
	0	0	0
M <sub>pl</sub> (kNm)	2605.63	cap	1.19
M <sub>pl</sub> (kNm)	1858.36	cap	0.85
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
M <sub>pl</sub> <sup>u</sup> (kNm)	4696.6	D <sub>plix</sub> (kN)	9097.5
M <sub>pl</sub> <sup>o</sup> (kNm)	87041.2	A <sub>plix</sub> (cm <sup>2</sup> )	281.9
M <sub>pl</sub> <sup>o</sup> (kNm)	6036.7	Z <sub>plix</sub> (cm)	8248.9
M <sub>pl</sub> <sup>o</sup> (kNm)	26.8	z <sub>0</sub> (cm)	14.4
M <sub>pl</sub> <sup>el</sup> (kNm)	4696.6	M <sub>pl</sub> <sup>pl</sup> (kNm)	5975.3
V <sub>rc</sub> <sup>el</sup> (kN)	2066.0	V <sub>rc</sub> <sup>pl</sup> (kN)	2066.0
cap	0.80	cap	1.02
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ			
Π.Δ.Κ.	φ	ανά (cm)	P <sub>rd</sub> (kN)
Μ.Δ.Κ.	22	51	121.19
	22	53	



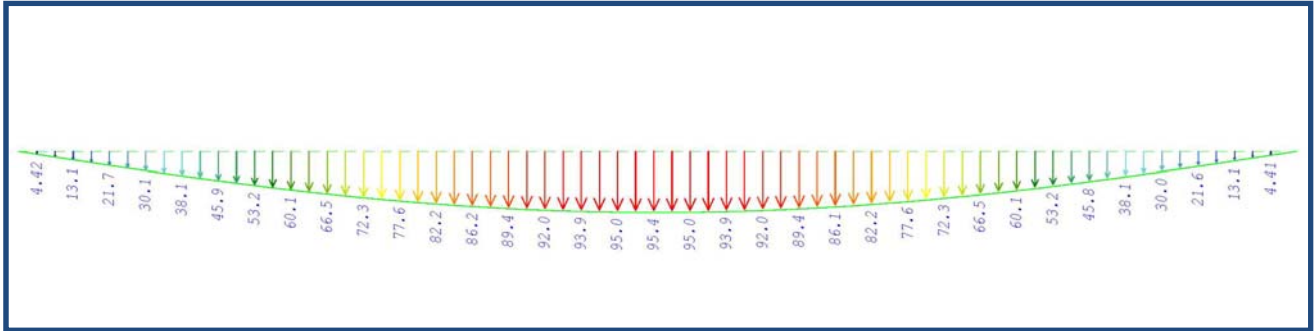
**ΔΙΑΤΟΜΗ:**  
**14/250+14/900+22/430**



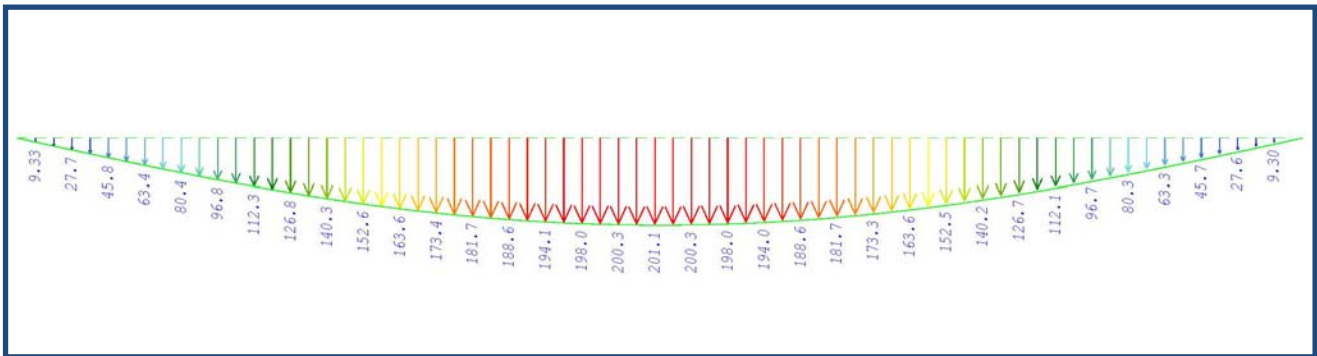
### 5.1.2.3 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό στατικά φορτία.

Βέλος κάμψης από κινητά φορτία  $\delta q = 9,5 \text{ cm} < L/300 = 11,7 \text{ cm}$

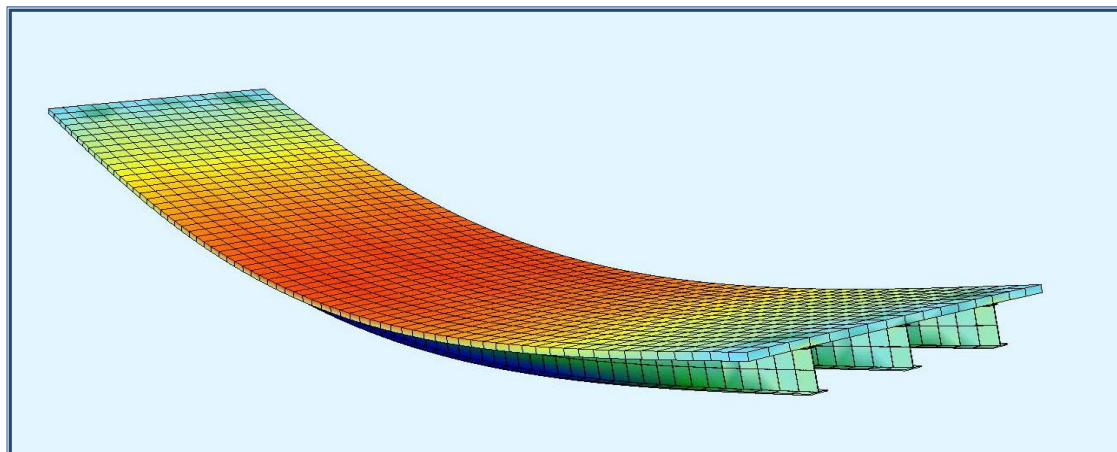


Βέλος κάμψης από μόνιμα+κινητά φορτία  $\delta(g+q) = 20,1 \text{ cm} > L/250 = 14 \text{ cm}$



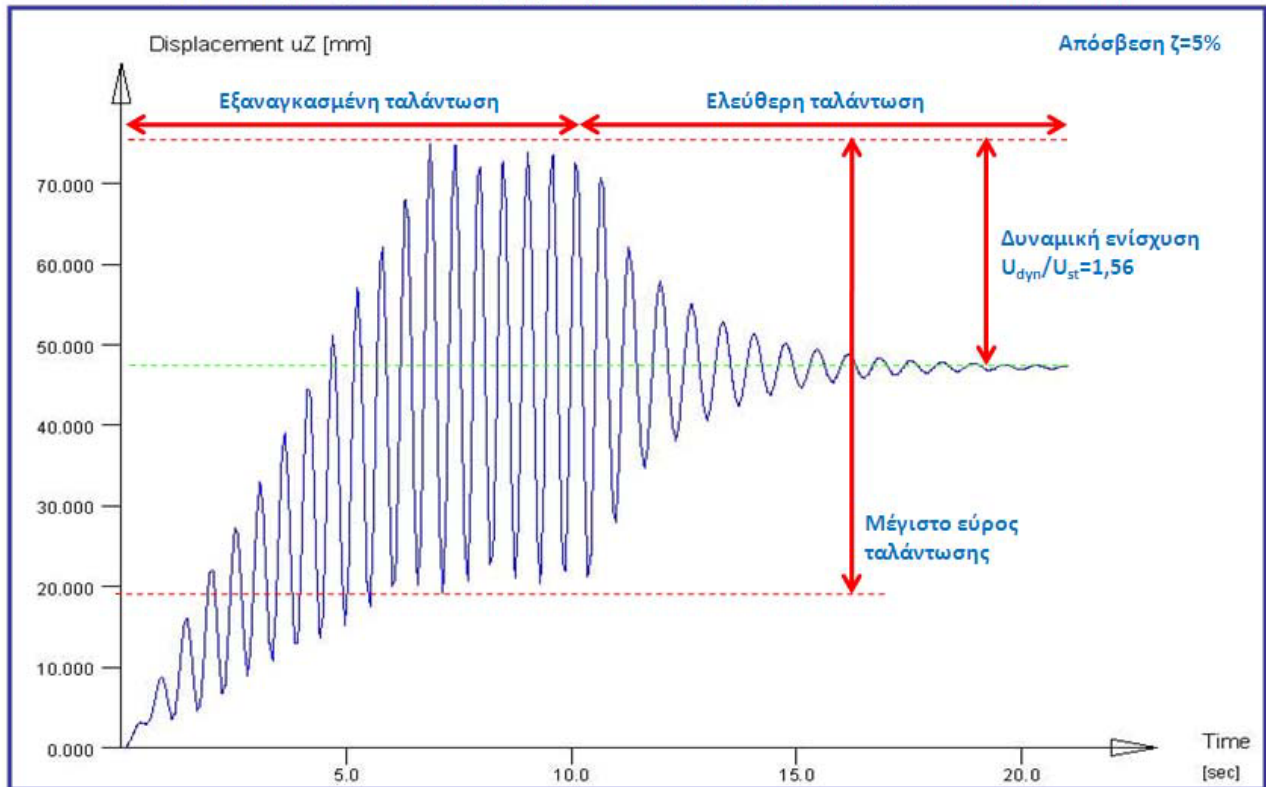
Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό G+Q.

### 5.1.2.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία



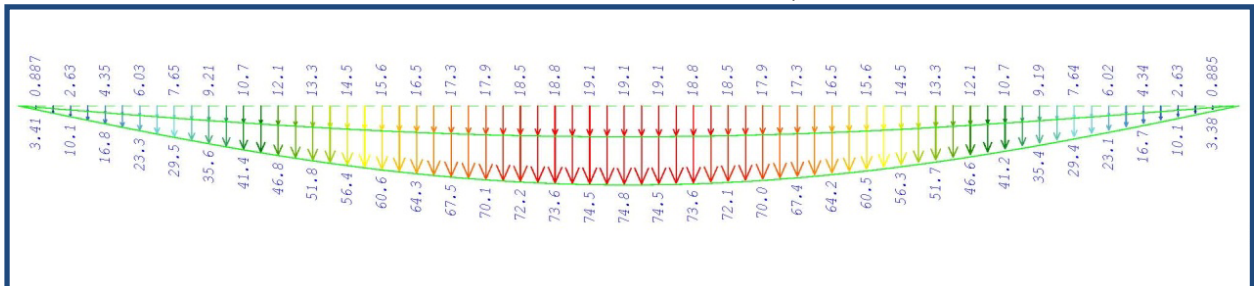
Καμπτική ιδιομορφή με συχνότητα  $f = 1,44 \text{ Hz}$

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η χρονοϊστορία του βέλους κάμψης του φορέα, λόγω δυναμικής φόρτισης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$ .

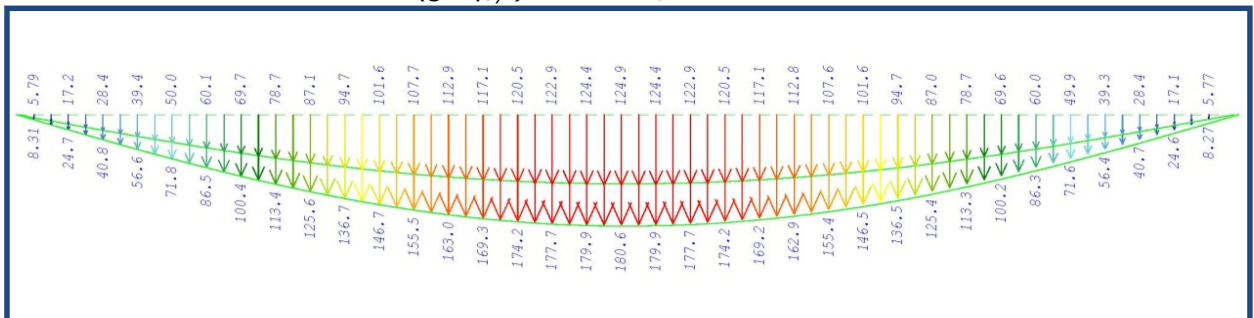


Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό δυναμικά φορτία.

Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων  $\delta q_{dyn}=7,5cm < L/300=11,6cm$



Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων + κινητών φορτίων  $\delta(g+q_{dyn})=18cm > L/250=14cm$



Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό  $G+Q_{dyn}$ .

### 5.1.2.5 Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα από τους ελέγχους σε ΟΚΛ φαίνονται παρακάτω:

- Κινητά φορτία:  $\delta q = 9,5 \text{ cm} < L/300 = 11,7 \text{ cm}$
- Μόνιμα+κινητά φορτία:  $\delta(g+q) = 20,1 \text{ cm} > L/250 = 14 \text{ cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων:  $\delta q_{\text{dyn}} = 7,5 \text{ cm} < L/300 = 11,6 \text{ cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων+κινητών φορτίων:  
 $\delta(g+q_{\text{dyn}}) = 18 \text{ cm} > L/250 = 14 \text{ cm}$

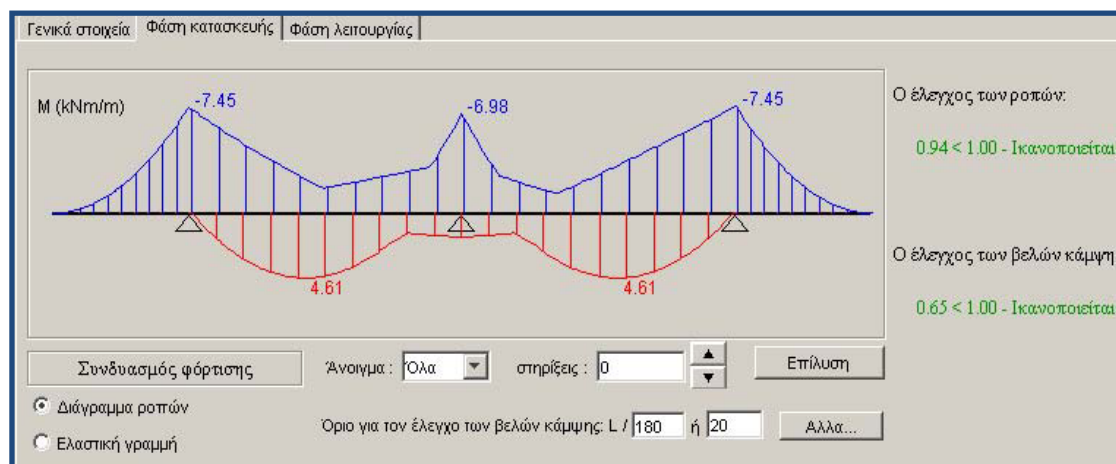
Απαιτείται ελάχιστο βέλος κάμψης  $\text{min} \delta_0 = 20,1 - 14 = 6,1 \text{ cm}$

Λόγω της αναγκαιάς εισαγωγής αντιβέλους, προτιμάται να δωθεί αντιβέλος τέτοιο ώστε το βέλος κάμψης από μόνιμα φορτία να είναι μηδενικό.

Άρα εισάγεται αντιβέλος  $\delta_0 = 20,1 - 9,5 = 10,6 \text{ cm}$ .

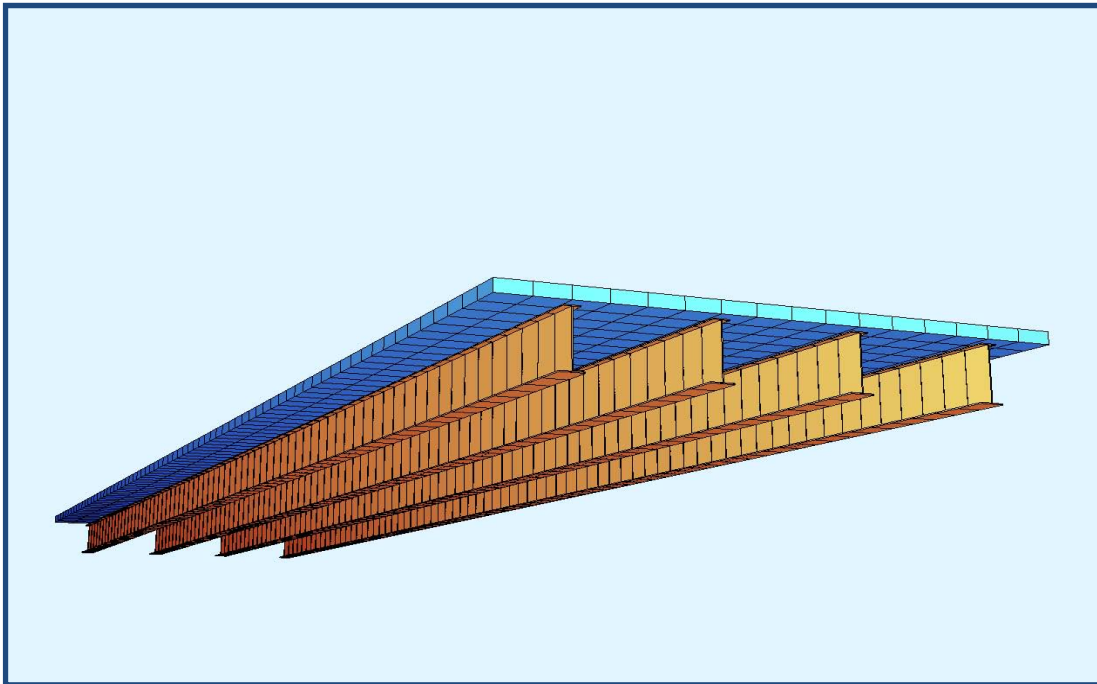
### 5.1.2.6 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t = 1,00 \text{ mm}$  προκύπτει επάρκεια αυτού, χωρίς να είναι αναγκαία η υποστήριξή του.





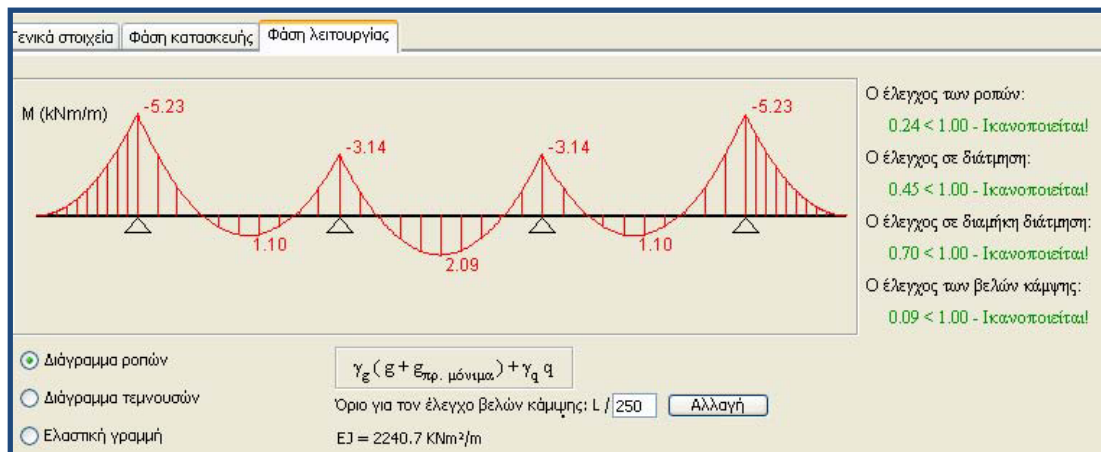
### 5.1.3 Αμφιέριστη πεζογέφυρα με 4 δοκούς



Φορέας

#### 5.1.3.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας

Από τον έλεγχο της σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας, καθορίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος της. Η σύμμικτη πλάκα ισοδυναμεί με μία αμφιπροέχουσα δοκό 3 ανοιγμάτων στηριζόμενη στις 4 διαμήκεις δοκούς.



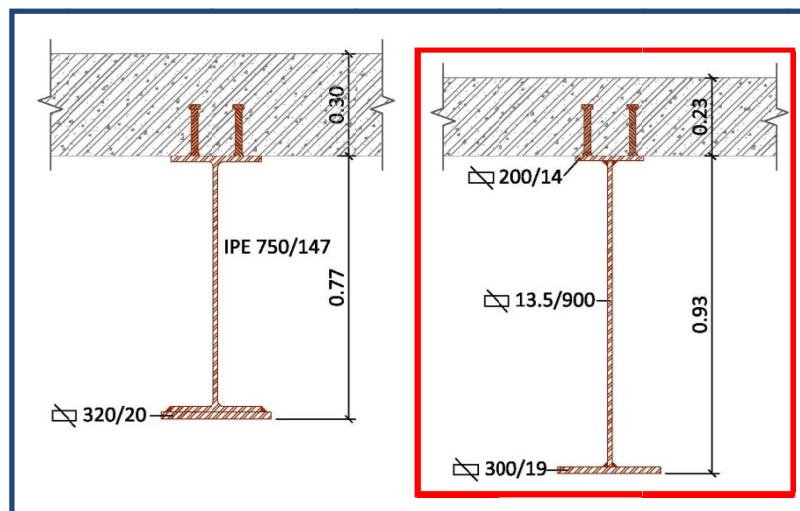
Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=0,75\text{mm}$  προκύπτει ελάχιστο πάχος πλάκας  $d_c=13\text{cm}$ .

### 5.1.3.2 Υπολογισμός και επιλογή σύμμικτης διατομής με κριτήριο τον έλεγχο σε ΟΚΛ και ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

Ο φορέας αποτελείται από 4 αμφιέριστες σύμμικτες δοκούς με συναργαζόμενο πλάτος  $b_{eff}=2,00m$ . Εξετάστηκαν πρότυπες διατομές με πρόσθετο έλασμα και συγκολλητές με άνισα πέλματα, κατηγορίας 1 και 2, με ελάχιστο πάχος σύμμικτης πλάκας  $d_c=13cm$ . Από τις δυνατές λύσεις επιλέγεται η οικονομικότερη, όπου είναι η συγκολλητή με άνισα πέλματα. Οι δυνατές λύσεις φαίνονται παρακάτω:

IPE 750x147 + #20/320 ( $A=266,26cm^2/d_c=30cm$ )

**ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ 14/200+13.5/900+19/300 ( $A=206,50cm^2/d_c=23cm$ )-KAT.2**



Στη συνέχεια φαίνεται το υπολογιστικό φύλλο Excel της επιλεγόμενης διατομής.

**ΦΟΡΕΑΣ: ΑΜΦΙΠΕΡΙΕΣΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ 4 ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΠΡΟΒΟΛΟ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΣ4**

ΔΕΔΟΜΕΝΑ			
ΥΛΙΚΑ		Χάλυβας σιτηλιού	
Σκυρόδεμα	$F_{cd}$ (MPa)	$S$ (GPa)	Δομικός χάλυβας
35	19.83	33.3	$F_{sd}$ (MPa)
			500
			$E_s$ (GPa)
			210
			$F_{sd}$ (MPa)
			355
			510
			322.73
			210
			$E_s$ (GPa)
			210
			$F_{sd}$ (MPa)
			355
			510
			322.73
			210

ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ	
$q$ (kN/m <sup>2</sup> )	$p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$b_{eff}$ (cm)	$d$ (cm)
0.00	5.00	200	23
			0.00
			7.30

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ		
Άνω πέλμα (cm)	Κορμός (cm)	Κάτω πέλμα (cm)
1.40	1.35	90.00
		1.90
		30.00
		0.00
		0.00
		206.50

ΟΓΛΩΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ	
$\phi$	ανά (cm)	$d$ (mm)	$L$ (cm)
ΑΝΩ	12	22	12.0
ΚΑΤΩ	0		2
			ΣΕΙΡΕΣ
			2
			α
			1.00

ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ		ΒΕΛΗ (cm)		ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ	
Ο.Κ.Α.	Ο.Κ.Α.	$\delta_b$	$\delta_c$	$\sigma_s^+$	$\sigma_s^-$
$M_{ed}$ (kNm)	$M_{red}$ (kNm)	10.5	9.8	42.70	-1.70
4511.01	3171.35			$\sigma_s^L$	$\sigma_s^D$
				-0.27	-2.00

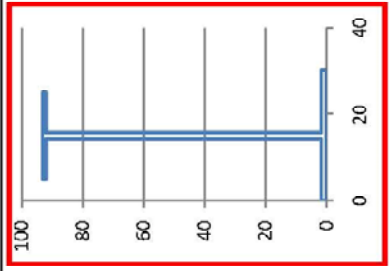
ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ			
ΚΟΡΜΟΣ	ΑΝΩ	ΚΑΤΩ	ΚΑΤΩ
66.67	6.66	7.39	7.39
0	ΚΑΤ.1	ΚΑΤ.1	ΚΑΤ.1
0	0	0	0
0	0	0	0
$M_{ed}$ (kNm)	2050.14	cap	11.18
$M_{ed}$ (kNm)	1538.81	cap	0.88

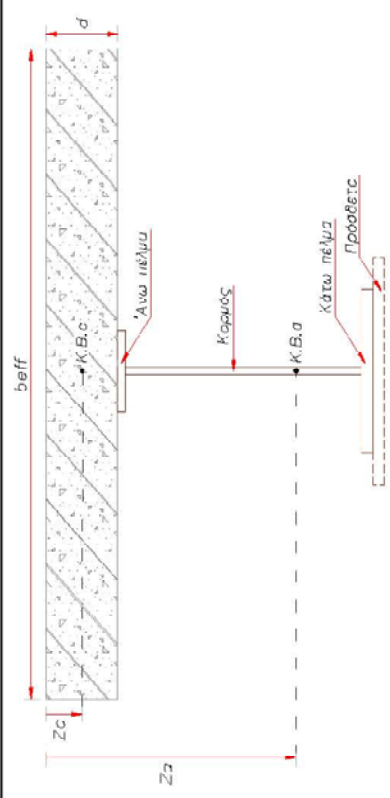
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ				ΠΑΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			
$M_{ed}^u$ (kNm)	3409.7	$D_{FIX}$ (kN)	7211.3	$M_{ed}^u$ (kNm)	3409.7	$D_{FIX}$ (kN)	7211.3
$M_{ed}^o$ (kNm)	85744.9	$A_{FIX}$ (cm <sup>2</sup> )	223.4	$M_{ed}^o$ (kNm)	85744.9	$A_{FIX}$ (cm <sup>2</sup> )	223.4
$M_{ed}^{c0}$ (kNm)	4465.4	$Z_{FIX}$ (kN)	6664.3	$M_{ed}^{c0}$ (kNm)	4465.4	$Z_{FIX}$ (kN)	6664.3
$Z_g$ (cm)	26.5	$Z_g$ (cm)	15.7	$Z_g$ (cm)	26.5	$Z_g$ (cm)	15.7
$M_{ed}^{el}$ (kNm)	3409.7	$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	4567.0	$M_{ed}^{el}$ (kNm)	3409.7	$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	4567.0
$V_{ed}^{el}$ (kN)	1992.2	$V_{ed}^{pl}$ (kN)	1992.2	$V_{ed}^{el}$ (kN)	1992.2	$V_{ed}^{pl}$ (kN)	1992.2
$V_{ed}^{el}$ (kN)	1992.2	$V_{ed}^{pl}$ (kN)	1992.2	$V_{ed}^{el}$ (kN)	1992.2	$V_{ed}^{pl}$ (kN)	1992.2
cap	0.75	cap	1.01	cap	0.75	cap	1.01

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ		
Π.Δ.Κ.	$\phi$	ανά (cm)
Μ.Δ.Κ.	22	64
	22	64
		$F_{rc}$ (kN)
		121.19



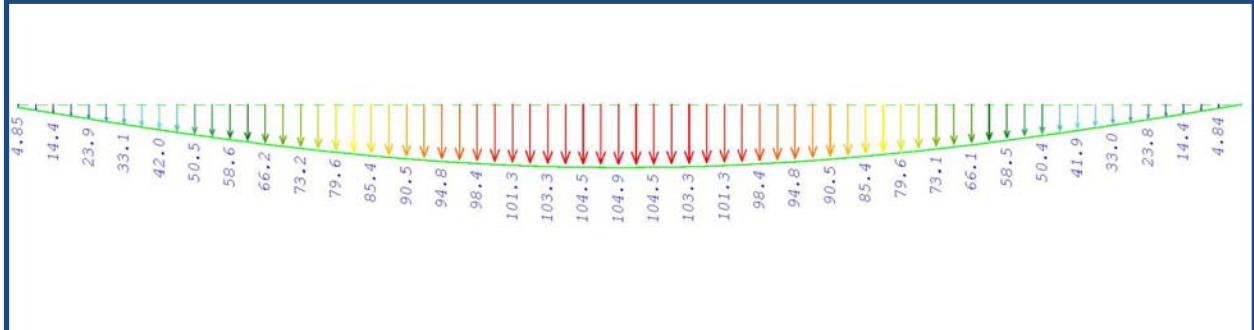
ΔΙΑΤΟΜΗ:  
15/230+13.5/910+19/340



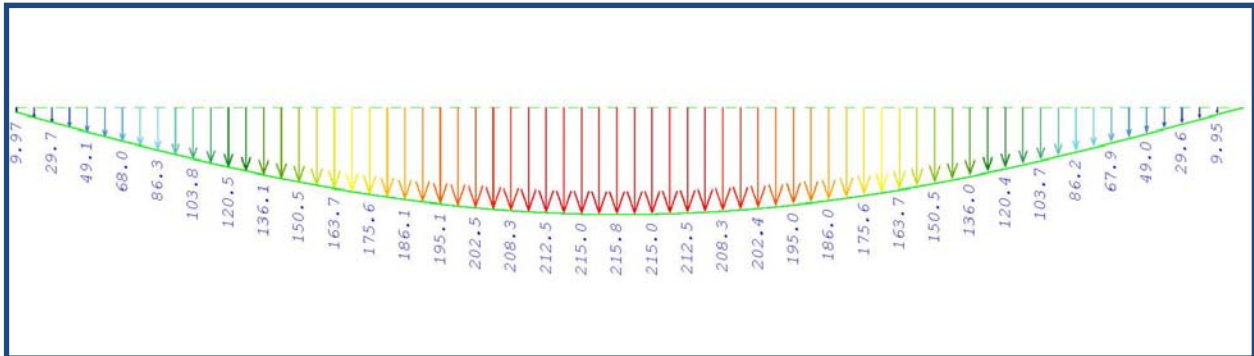
### 5.1.3.3 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό στατικά φορτία.

*Βέλος κάμψης από κινητά φορτία  $\delta q=10,5\text{cm}<L/300=11,7\text{cm}$*

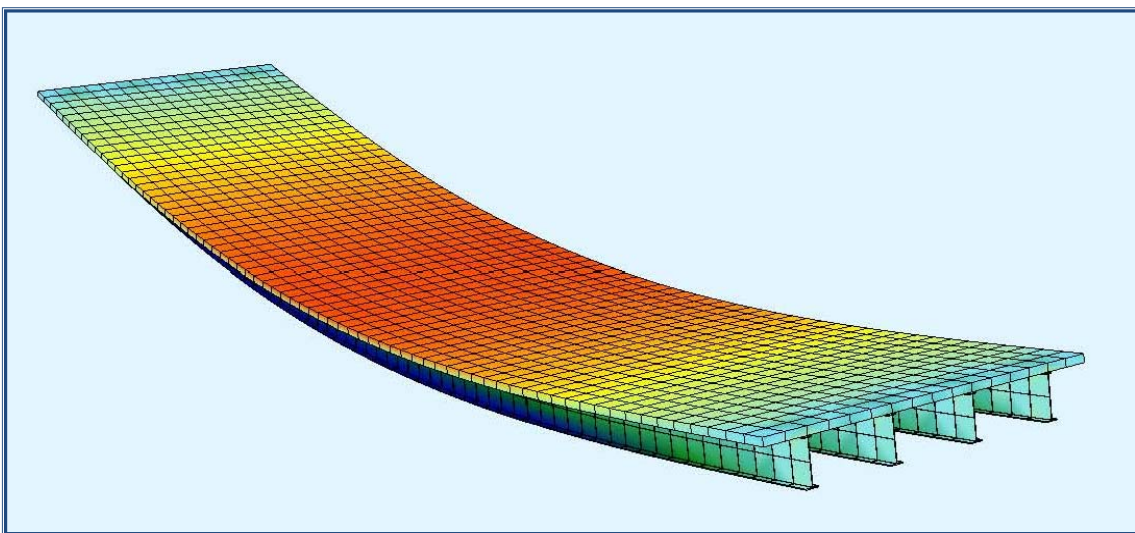


*Βέλος κάμψης από μόνιμα+κινητά φορτία  $\delta(g+q)=21,6\text{cm}>L/250=14\text{cm}$*



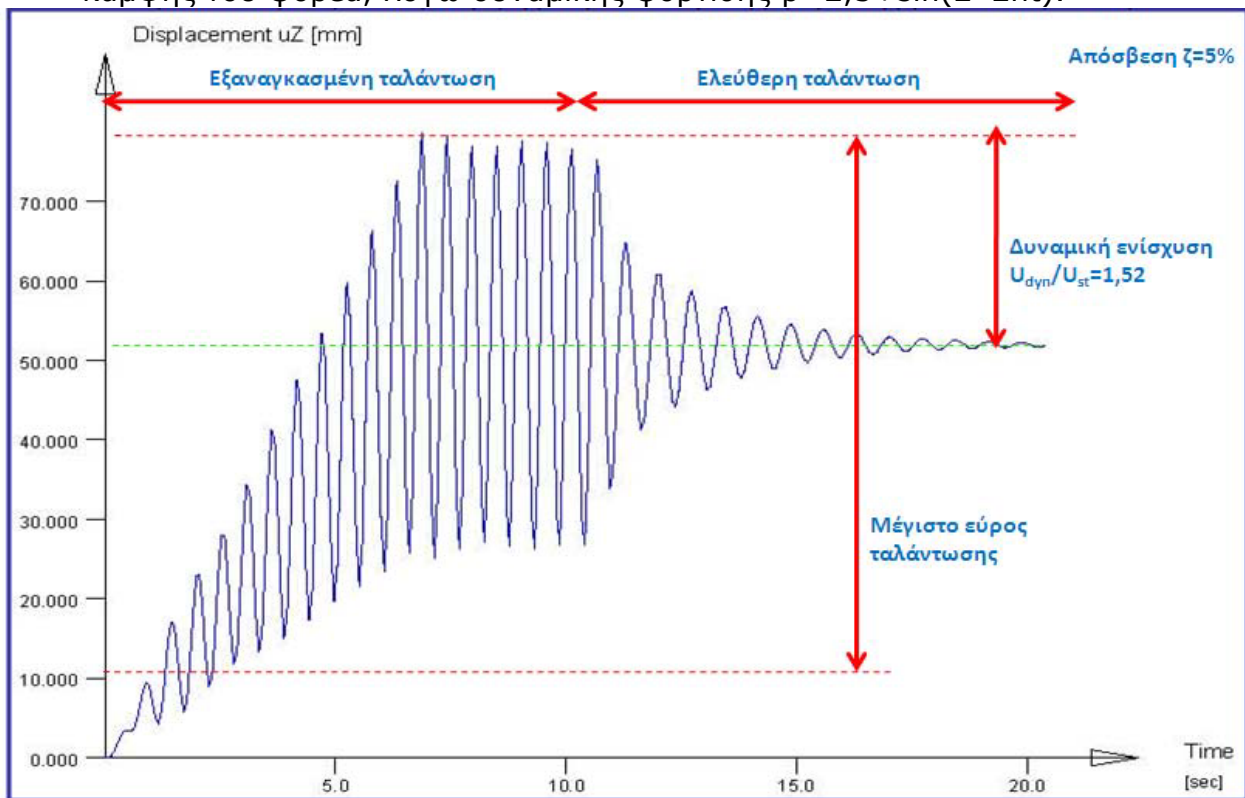
Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό G+Q.

### 5.1.3.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία



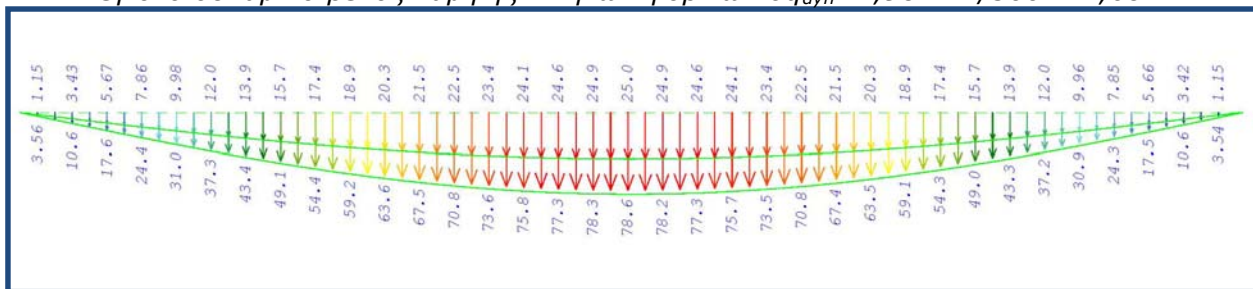
*Καμπτική ιδιομορφή με συχνότητα  $f=1,40\text{Hz}$*

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η χρονοϊστορία του βέλους κάμψης του φορέα, λόγω δυναμικής φόρτισης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$ .

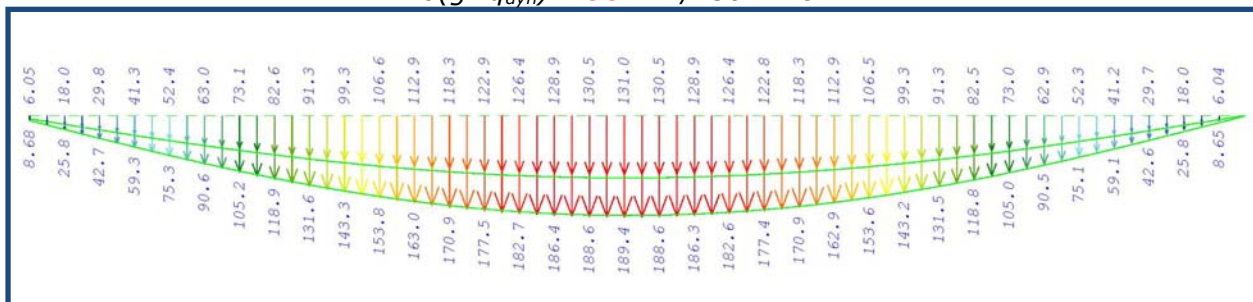


Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό δυναμικά φορτία.

Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων  $\delta q_{dyn}=7,9cm < L/300=11,6cm$



Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων + κινητών φορτίων  $\delta(g+q_{dyn})=19cm > L/250=14cm$



Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό  $G+Q_{dyn}$ .

### 5.1.3.5 Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα από τους ελέγχους σε ΟΚΛ φαίνονται παρακάτω:

- Κινητά φορτία:  $\delta q = 10,5\text{cm} < L/300 = 11,7\text{cm}$
- Μόνιμα+κινητά φορτία:  $\delta(g+q) = 21,6\text{cm} > L/250 = 14\text{cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων:  $\delta q_{\text{dyn}} = 7,9\text{cm} < L/300 = 11,6\text{cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων+κινητών φορτίων:  
 $\delta(g+q_{\text{dyn}}) = 19\text{cm} > L/250 = 14\text{cm}$

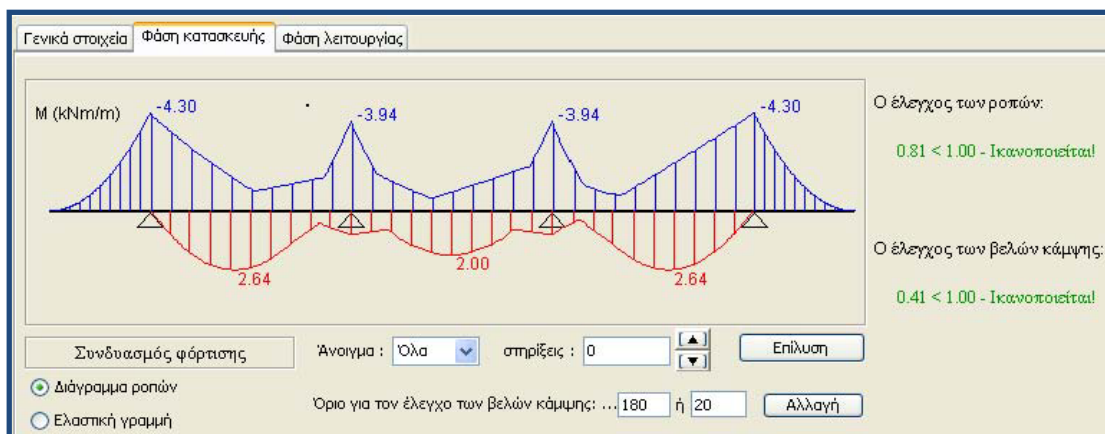
Απαιτείται ελάχιστο βέλος κάμψης  $\text{min}\delta_0 = 21,6 - 14 = 7,6\text{cm}$

Λόγω της αναγκαστικής εισαγωγής αντιβέλους, προτιμάται να δωθεί αντιβέλος τέτοιο ώστε το βέλος κάμψης από μόνιμα φορτία να είναι μηδενικό.

Άρα εισάγεται αντιβέλος  $\delta_0 = 21,6 - 10,5 = 11,1\text{cm}$ .

### 5.1.3.6 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t = 0,75\text{mm}$  προκύπτει επάρκεια αυτού, χωρίς να είναι αναγκαία η υποστήριξή του.

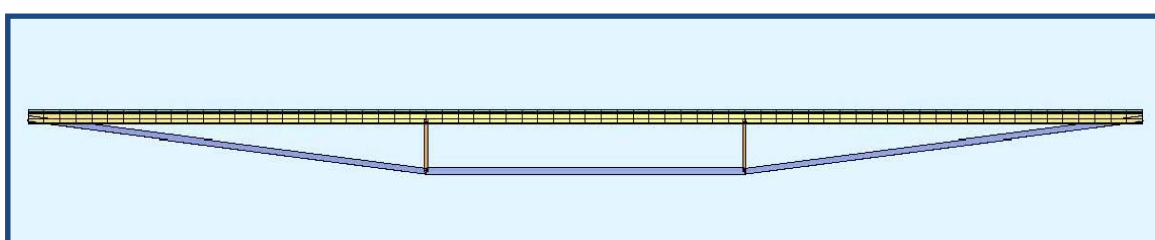
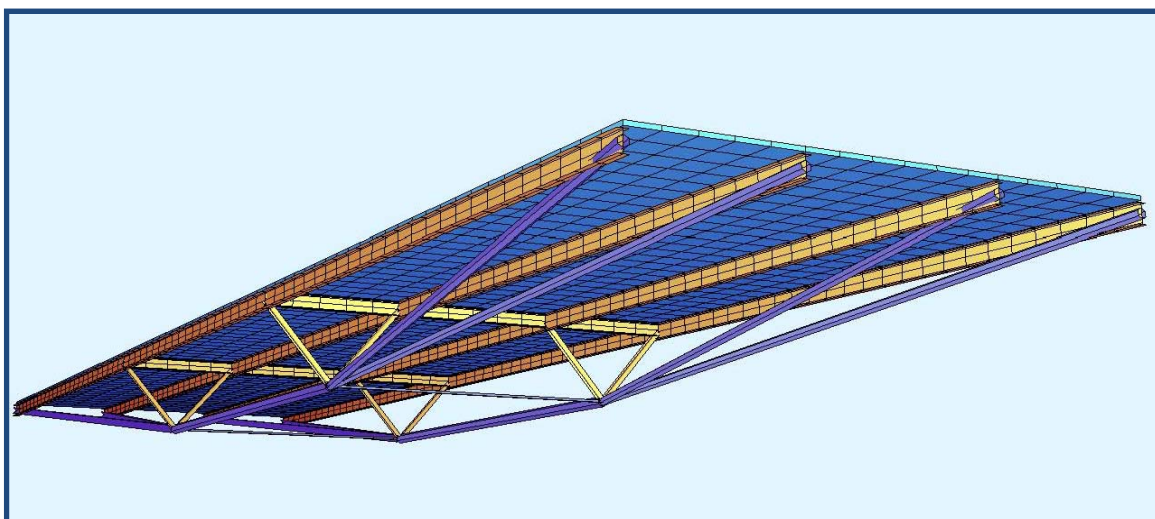


## 5.2 Αμφιέρειστες πεζογέφυρες με σύστημα άντωσης

Η μεθοδολογία σχεδιασμού ακολουθεί τα εξής βήματα:

- Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας
- Επιλογή διατομών σιδηρών δοκών, ορθοστατών και διατομών εφελκόμενων μελών
- Έλεγχος διατομών στην ΟΚΛ υπό στατικά και δυναμικά φορτία
- Έλεγχος διατομών στην ΟΚΑ
- Έλεγχος ευστάθειας ορθοστατών
- Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

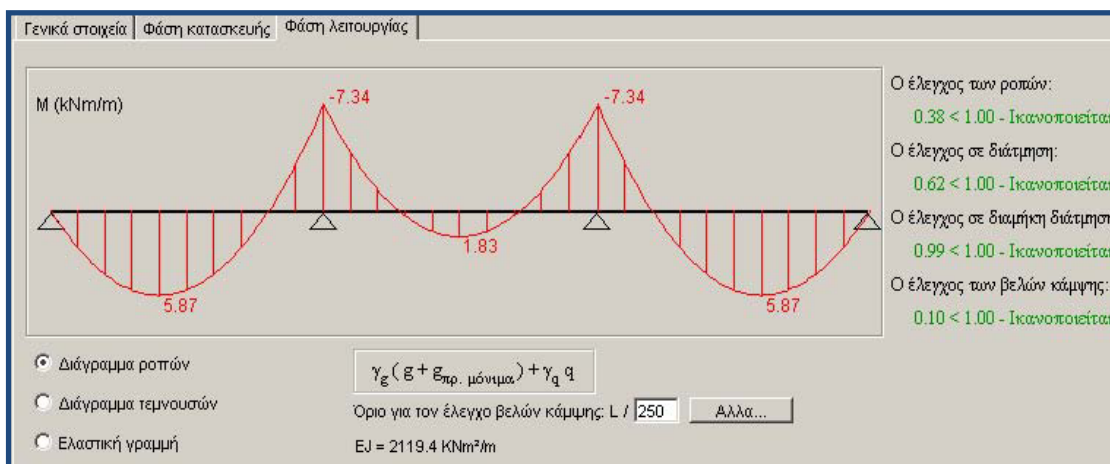
### 5.2.1 Αμφιέρειστη πεζογέφυρα με σύστημα άντωσης 2 κύριων ελκυστήρων



Φορέας

### 5.2.1.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας

Από τον έλεγχο της σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας, καθορίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος της. Η σύμμικτη πλάκα ισοδυναμεί με μία συνεχή δοκό στηριζόμενη στις 4 διαμήκεις δοκούς.



Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,00\text{mm}$  προκύπτει ελάχιστο πάχος πλάκας  $d_c=12,3\text{cm}$ , με τη συμμετοχή συνελκόμενου οπλισμού  $\phi 12/15$ .

### 5.2.1.2 Επιλογή διατομών

Ο φορέας αποτελείται από 4 σύμμικτες δοκούς 3 ανοιγμάτων με συναργαζόμενο πλάτος που προσαρμόζεται στο διάγραμμα ροπών. Γίνεται αρχικά μία επιλογή διατομών:

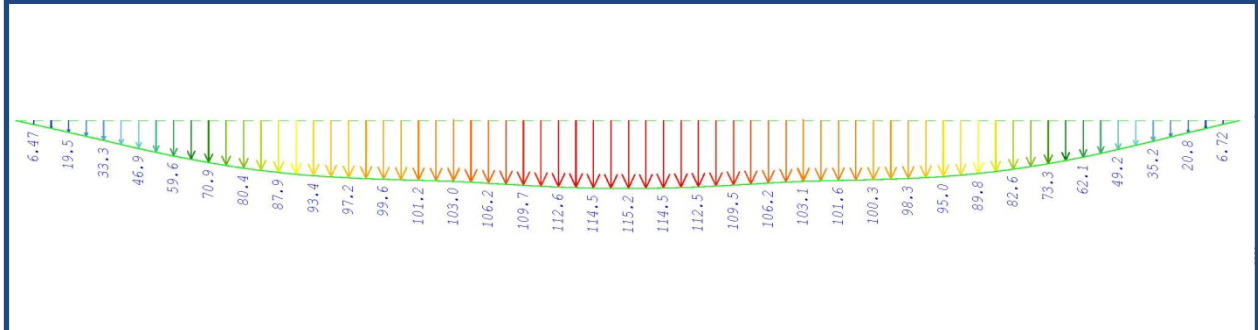
- Διατομή κύριων δοκών: IPE 330
- Διατομή διαδοκίδων: IPE 270
- Διατομή κύριων ελκυστήρων: CHS 219.1/16
- Διατομή δευτερευόντων ελκυστήρων: CHS 168.3/12
- Διατομή εγκάρσιων ελκυστήρων: CHS 42.4/3.2
- Διατομή ορθοστατών: CHS 101.6/6
- Πάχος σύμμικτης πλάκας 12,3cm



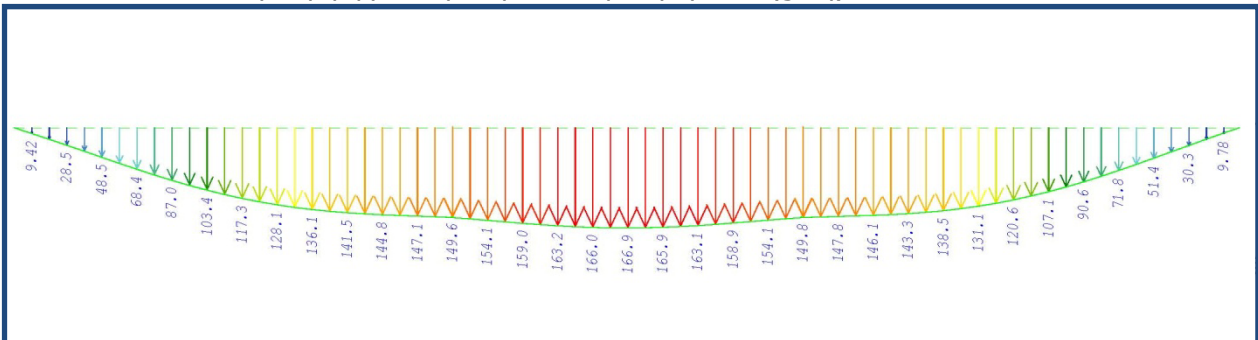
### 5.2.1.3 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό στατικά φορτία.

*Βέλος κάμψης από κινητά φορτία  $\delta q = 11,5 \text{ cm} < L/300 = 11,7 \text{ cm}$*

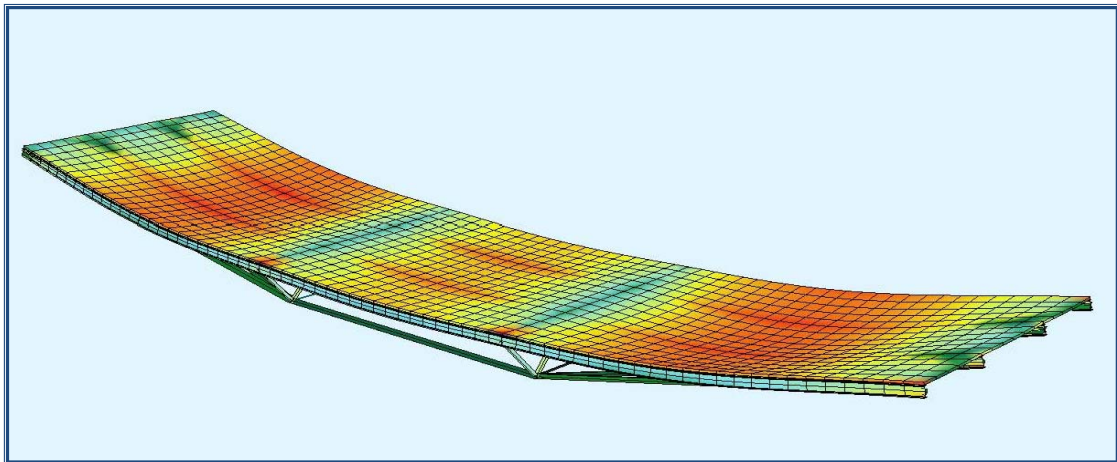


*Βέλος κάμψης από μόνιμα+κινητά φορτία  $\delta(g+q) = 16,7 \text{ cm} > L/250 = 14 \text{ cm}$*



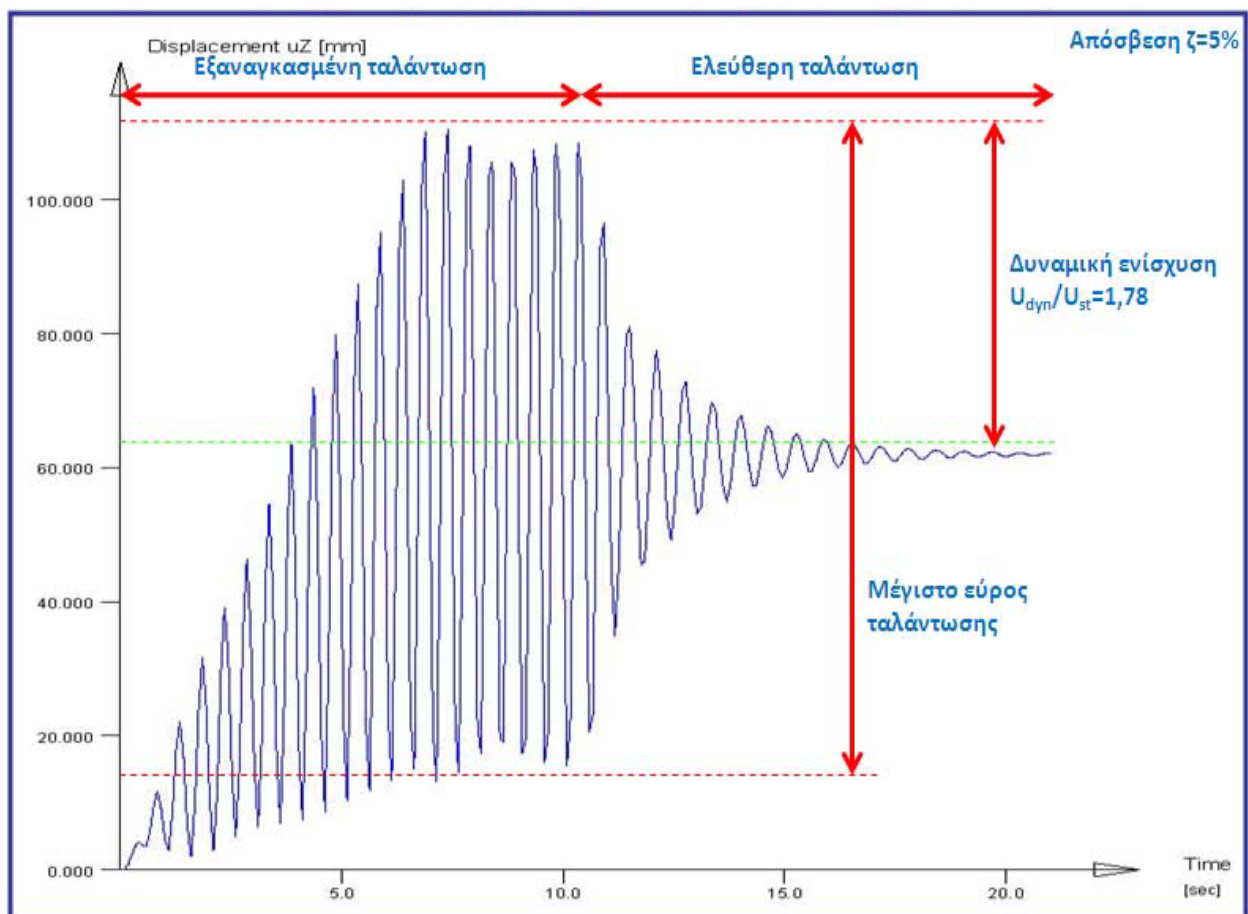
Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό G+Q.

### 5.2.1.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία



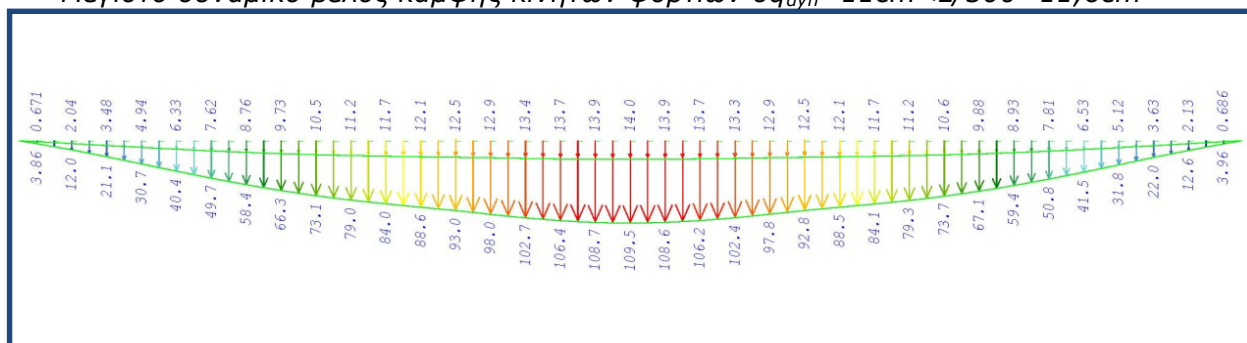
Καμπτική ιδιομορφή με συχνότητα  $f=1,60\text{Hz}$

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η ιστορία του βέλους κάμψης του φορέα, λόγω δυναμικής φόρτισης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$ .

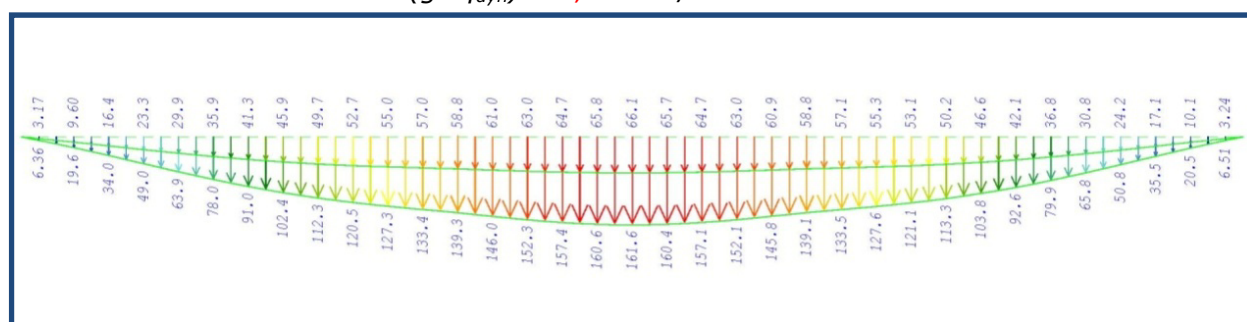


Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό δυναμικά φορτία.

Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων  $\delta q_{dyn}=11\text{cm}<L/300=11,6\text{cm}$



Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων + κινητών φορτίων  
 $\delta(g+q_{dyn})=16,1\text{cm}>L/250=14\text{cm}$



Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό  $G+Q_{dyn}$ .

### 5.2.1.5 Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα από τους ελέγχους σε ΟΚΛ φαίνονται παρακάτω:

- Κινητά φορτία:  $\delta q=11,5\text{cm}<L/300=11,7\text{cm}$
- Μόνιμα+κινητά φορτία:  $\delta(g+q)=16,7\text{cm}>L/250=14\text{cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων:  $\delta q_{dyn}=11\text{cm}<L/300=11,6\text{cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων+κινητών φορτίων:  
 $\delta(g+q_{dyn})=16,1\text{cm}>L/250=14\text{cm}$

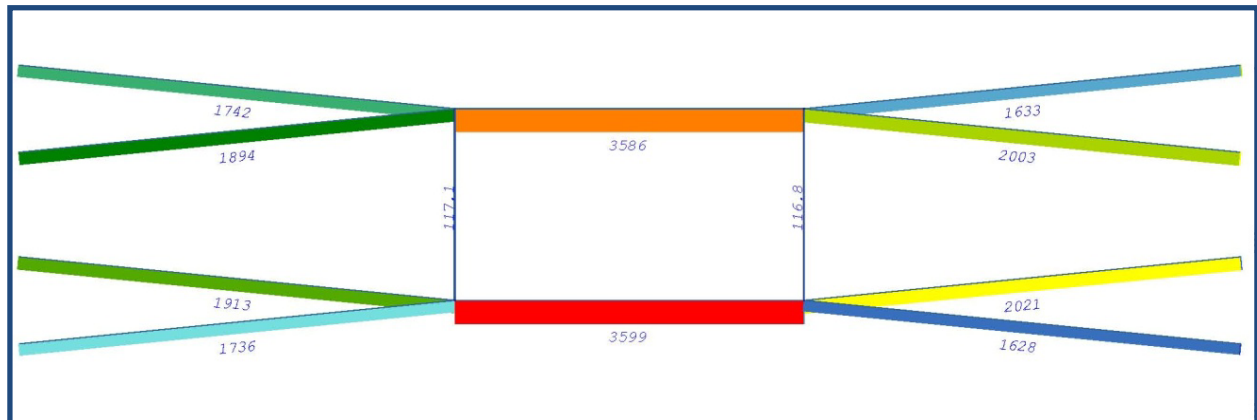
Απαιτείται ελάχιστο βέλος κάμψης  $\text{min}\delta_0=18,5-14=4,5\text{cm}$

Λόγω της αναγκαιάς εισαγωγής αντιβέλους, προτιμάται να δωθεί αντιβέλος τέτοιο ώστε το βέλος κάμψης από μόνιμα φορτία να είναι μηδενικό.

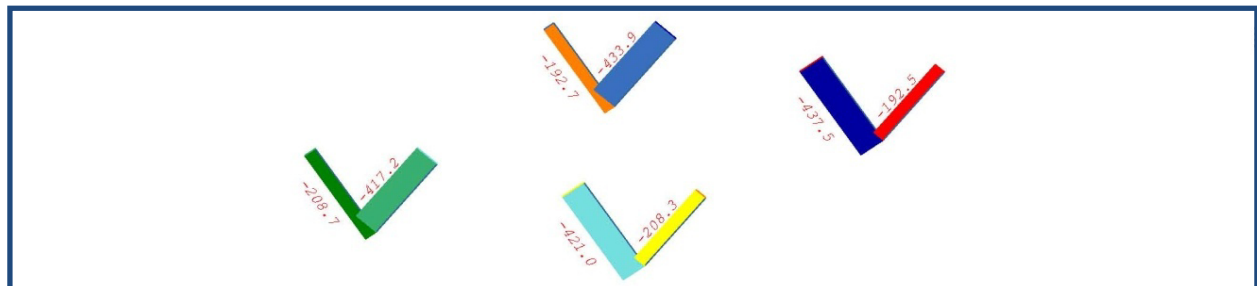
Άρα εισάγεται αντιβέλος  $\delta_0=16,7-11,5=5,2\text{cm}$ .

### 5.2.1.6 Έλεγχος συστήματος αντώσεως σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι αξονικές δυνάμεις των μελών του συστήματος αντώσεως υπό στατικά φορτία.



Αξονικό φορτίο ελκυστήρων



Αξονικό φορτίο ορθοστατών

Έλεγχος εφελκόμενων μελών:

- CHS 219.6/16:  $N_{t,Rd} = 102 \text{ cm}^2 * 35.5 \text{ kN/cm}^2 = 3621 \text{ kN} > N_{sd} = 3599 \text{ kN}$
- CHS 168.3/12:  $N_{t,Rd} = 58.9 \text{ cm}^2 * 35.5 \text{ kN/cm}^2 = 2091 \text{ kN} > N_{sd} = 2021 \text{ kN}$
- CHS 42.4/3.2:  $N_{t,Rd} = 3.94 \text{ cm}^2 * 35.5 \text{ kN/cm}^2 = 140 \text{ kN} > N_{sd} = 117 \text{ kN}$

Έλεγχος ορθοστατών σε θλίψη:

- CHS 101.6/6:  $N_{t,Rd} = 18.8 \text{ cm}^2 * 35.5 \text{ kN/cm}^2 = 607 \text{ kN} > N_{sd} = 434 \text{ kN}$

Έλεγχος ευστάθειας ορθοστατών σε καμπτικό λυγισμό:

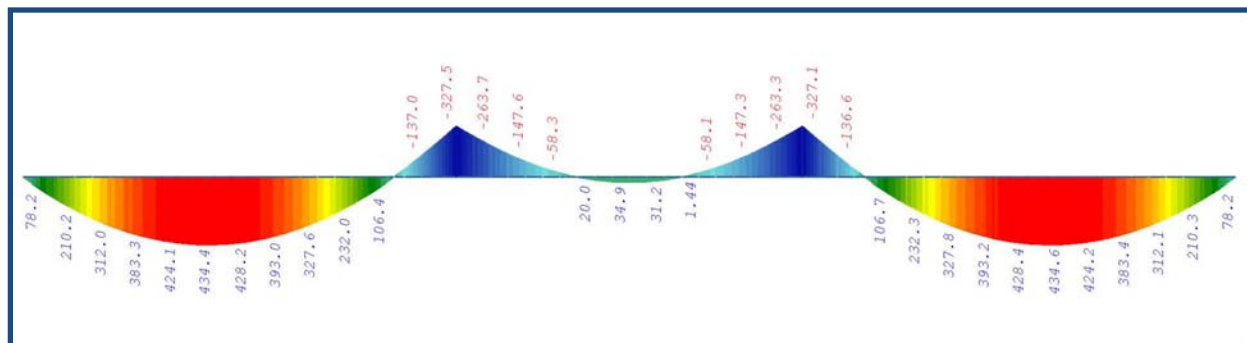
- CHS 101.6/6:  $L_{cr} = 2,0 \text{ m}$ ,  $N_{cr} = \pi^2 EI / L_{cr}^2 = 1072 \text{ kN}$ ,  $\lambda = 0,75$

Για καμπύλη λυγισμού α:  $\chi = 0,82$

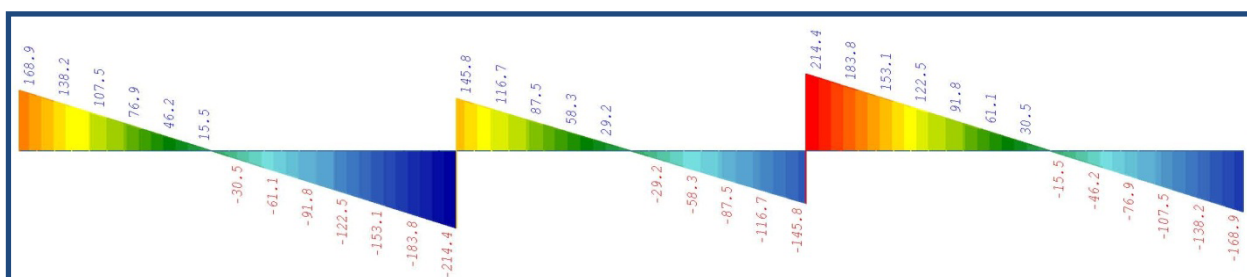
$$N_{b,Rd} = \chi * N_{t,Rd} = 0,82 * 607 = 498 \text{ kN} > N_{sd} = 434 \text{ kN}$$

### 5.2.1.7 Έλεγχος μεσαίων κύριων δοκών σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

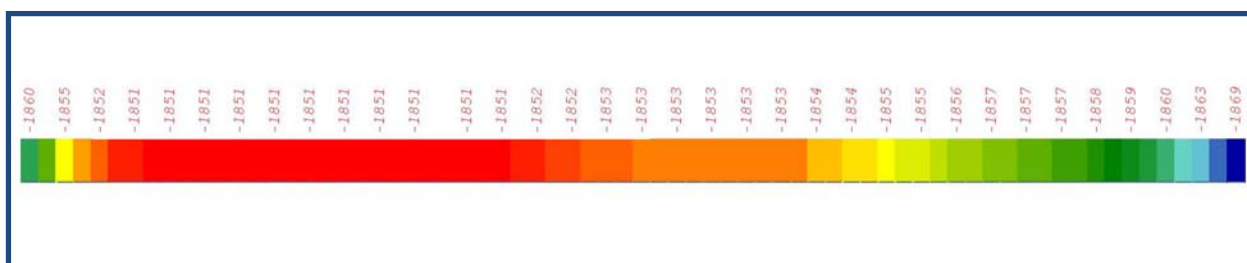
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι καμπτικές ροπές, οι τέμνουσες και αξονικές δυνάμεις των μεσαίων κύριων δοκών υπό στατικά φορτία.



Καμπτικές ροπές



Τέμνουσες δυνάμεις



Αξονικές δυνάμεις

Έλεγχος σιδηράς δοκού σε κάμψη, τέμνουσα και αξονική στη στήριξη:

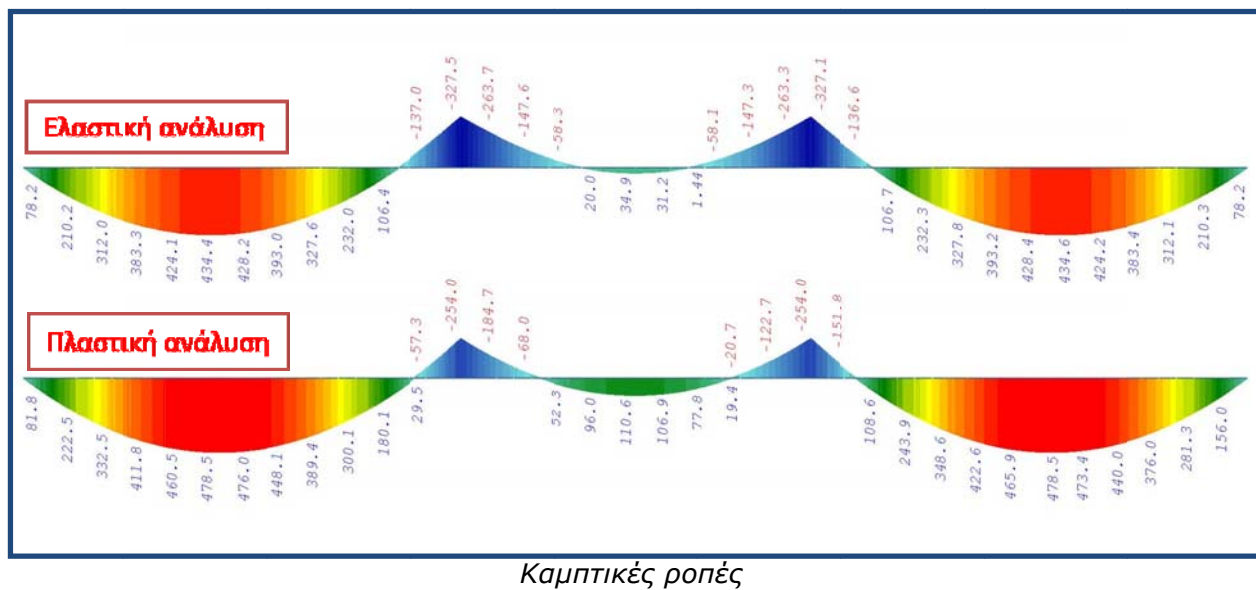
$$- \text{ΙΡΕ330: } M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 804,3 \cdot 35,5 = 285 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / 1,73 = 30,81 \cdot 35,5 / 1,73 = 632 \text{ kN} > V_{sd} = 214 \text{ kN}$$

Επειδή  $0,5 \cdot V_{pl,Rd} > V_{sd}$  δεν υπάρχει απομείωση της  $M_{pl,Rd}$

Επειδή  $N_{sd} = 1850 \text{ kN} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 5637 = 1410 \text{ kN}$  πρέπει να γίνει απομείωση της  $M_{pl,Rd}$  σε  $M_{pl,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot [1 - (N_{sd}/N_{pl,Rd})^2] = 254 \text{ kNm} < M_{sd} = 328 \text{ kNm}$ .

Η σιδηρά δοκός δεν επαρκεί για την ένταση στη στήριξη, οπότε γίνεται πλαστική ανάλυση με ανακατανομή των ροπών στα εκατέρωθεν ανοίγματα.



Έλεγχος σιδηράς δοκού σε κάμψη και τέμνουσα στη στήριξη:

- IPE330:  $M_{pl,Rd}=254=M_{sd}$

Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε κάμψη στο άνοιγμα:

- IPE330 ( $b_{eff}=2,67m/d_c=12cm$ ):  $M_{pl,Rd}=532kNm$

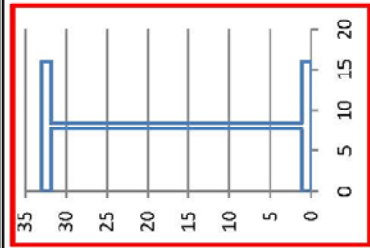
Η τέμνουσα στη θέση της μέγιστης ροπής είναι μηδενική.

Επειδή  $N_{sd}=1850kN > 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 5637 = 1410kN$  πρέπει να γίνει απομείωση της  $M_{pl,Rd}$  σε  $M_{pl,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot [1 - (N_{sd}/N_{pl,Rd})^2] = 480kNm < M_{sd} = 478kNm$

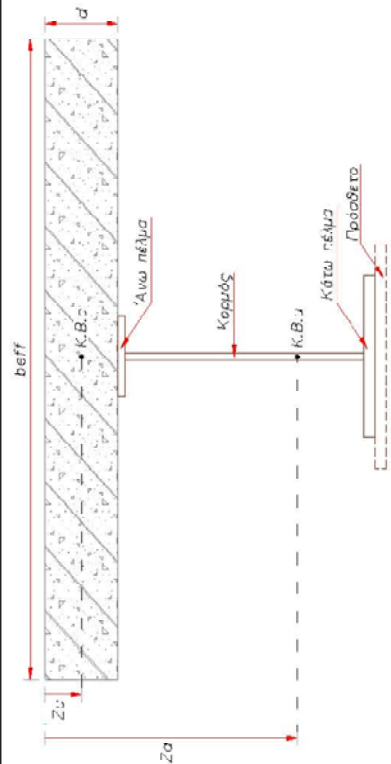
Το υπολογιστικό φύλλο Excel της σύμμικτης δοκού φαίνεται στην επόμενη σελίδα

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΧ4**  
**ΦΟΡΕΑΣ: ΑΜΦΙΠΕΡΙΣΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ 4 ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΩΣΗΣ**

ΔΕΔΟΜΕΝΑ			
ΥΛΙΚΑ		Δομικός χάλυβας	
Σκυρόδεμα	Χάλυβας οπλισμού	St (MPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)
C (MPa)	F <sub>cd</sub> (MPa)	E <sub>c</sub> (GPa)	E <sub>s</sub> (GPa)
35	19.83	33.3	210
S (MPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)
500	434.78	210	355
510	322.73	210	510
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ			
b <sub>eff</sub> (cm)	d (cm)	Hολογία(cm)	S-deck (cm)
267	12	0.0C	7.30
ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ			
q (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	L (m)	b (m)
0.00	5.00	12.50	2.67
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ			
Άνω πέλμα (cm)	Κορμός (cm)	Κάτω πέλμα (cm)	Πρόσθετο (cm)
1.15	16.00	0.75	30.70
1.15	16.00	1.15	16.00
ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ			
φ	ανά (cm)	As (cm <sup>2</sup> )	
ΑΝΩ	12	15.0	20.1
ΚΑΤΩ	0	15.0	0.0
ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ			
Ο.Κ.Α.	Ο.Κ.Λ.		
M <sub>red</sub> (kNm)	V <sub>red</sub> (kN)	M <sub>max</sub> (kNm)	V <sub>max</sub> (kN)
465.00	215.00	368.73	117.99
ΒΕΛΗ (cm)			
δ <sub>8</sub>	δ <sub>9</sub>	L/300	δ <sub>0</sub>
1.9	4.6	> 4.2	-1.5
δ <sub>ak</sub>			5.0
ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ			
σ <sub>p</sub> <sup>u</sup>	σ <sub>p</sub> <sup>o</sup>	σ <sub>p</sub> <sup>u</sup>	σ <sub>p</sub> <sup>o</sup>
39.42	4.59	0.73	-1.35
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			
M <sub>ed</sub> <sup>u</sup> (kNm)	M <sub>ed</sub> <sup>o</sup> (kNm)	M <sub>ed</sub> <sup>pl</sup> (kNm)	V <sub>ed</sub> <sup>pl</sup> (kN)
380.6	377.5	380.6	377.5
cap 0.82	cap 1.14		
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ			
D <sub>max</sub> (kN)	A <sub>max</sub> (cm <sup>2</sup> )	Z <sub>max</sub> (kN)	Z <sub>0</sub> (cm)
4013.8	124.4	1930.7	2.2
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ			
φ	ανά (cm)	P <sub>red</sub> (kN)	
19	29	90.39	
Μ.Δ.Κ.	Μ.Δ.Κ.		
19	33		

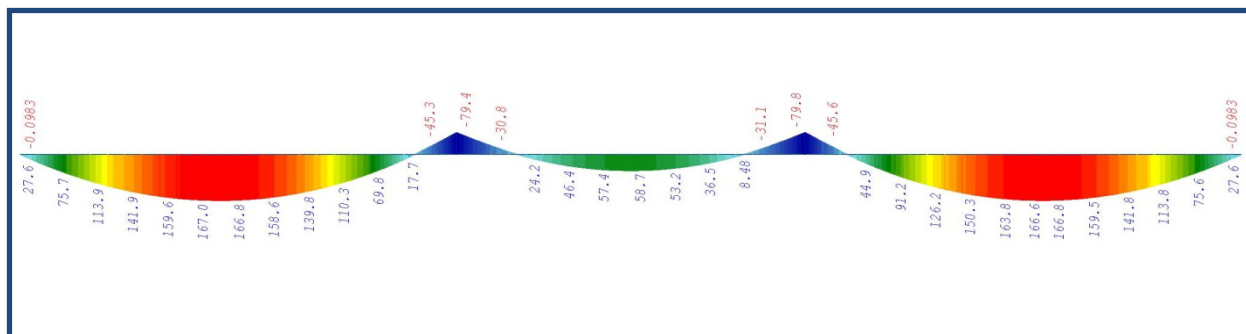


ΔΙΑΤΟΜΗ: ΙΡΕ 330

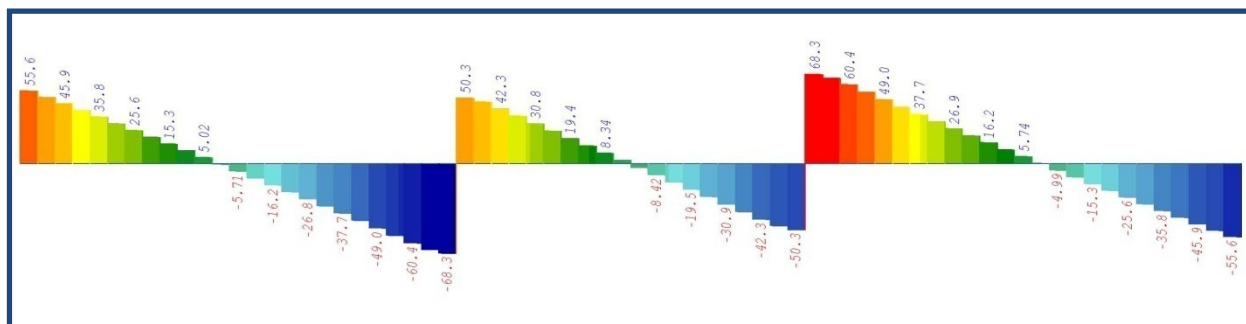


### 5.2.1.8 Έλεγχος ακραίων κύριων δοκών σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

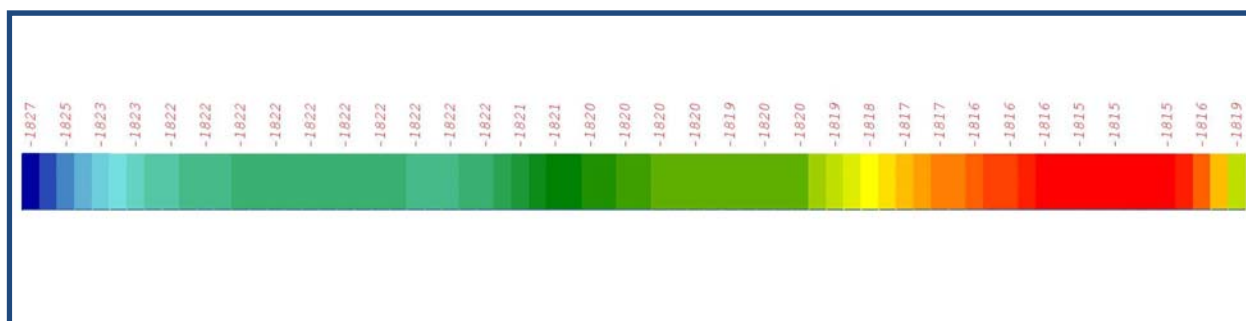
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι καμπτικές ροπές, οι τέμνουσες και αξονικές δυνάμεις των ακραίων κύριων δοκών υπό στατικά φορτία.



Καμπτικές ροπές



Τέμνουσες δυνάμεις



Αξονικές δυνάμεις

Τα εντατικά μεγέθη είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα των μεσαίων κύριων δοκών και δεν απαιτείται πλαστική ανάλυση.

Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε κάμψη στο άνοιγμα:

- ΙΡΕ330 ( $b_{eff}=1,34m/d_c=12cm$ ):  $M_{el,Rd}=377kNm > M_{sd}=167kNm$

Έλεγχος σιδηράς δοκού σε κάμψη, τέμνουσα και αξονική στη στήριξη:

- ΙΡΕ330:  $M_{pl,Rd}=W_{pl} \cdot f_y=804,3 \cdot 35,5=285kNm$

$$V_{pl,Rd}=A_v \cdot f_y / 1,73=30,81 \cdot 35,5 / 1,73=632kN > V_{sd}=214kN$$



Επειδή  $0,5 \cdot V_{pl,Rd} > V_{sd}$  δεν υπάρχει απομείωση της  $M_{pl,Rd}$

Επειδή  $N_{sd} = 1850 \text{ kN} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 5637 = 1410 \text{ kN}$  πρέπει να γίνει απομείωση της  $M_{pl,Rd}$  σε  $M_{pl,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot [1 - (N_{sd}/N_{pl,Rd})^2] = 254 \text{ kNm} > M_{sd} = 80 \text{ kNm}$ .

Το υπολογιστικό φύλλο Excel της σύμμικτης δοκού φαίνεται παρακάτω.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕC4**  
**ΦΟΡΕΑΣ: ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ 4 ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΩΣΗΣ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Σκοράδεια		Χάλυβας οπλισμού		Δομικός χάλυβας	
C (MPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)	E <sub>c</sub> (GPa)	S (MPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)
35	19.83	33.3	500	434.78	210
q (kN/m <sup>2</sup> )	5.00	L (m)	12.50	b (m)	2.67
0.00	5.00	12.50	2.67		

**ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ**

q (kN/m <sup>2</sup> )	5.00	L (m)	12.50	b (m)	2.67
0.00	5.00	12.50	2.67		

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ**

Άνω πέλμα (cm)	Κορμός (cm)	Κάτω πέλμα (cm)	Πρόσθετο (cm)	A (cm <sup>2</sup> )
1.15	16.00	0.75	30.70	1.15
1.15	16.00	0.75	30.70	59.83

**ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ**

φ	ανά (cm)	As (cm <sup>2</sup> )
ΑΝΩ	12	15.0
ΚΑΤΩ	0	15.0

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ**

b <sub>eff</sub> (cm)	d (cm)	H <sub>oliorib</sub> (cm)	S-deck (cm)
267	12	0.00	7.30

**ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**

δ <sub>b</sub>	δ <sub>s</sub>	L/300	ξ <sub>0</sub>	δ <sub>ak</sub>
1.9	4.6	> 4.2	-1.5	5.0

**ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ**

Ο.Κ.Α.	Ο.Κ.Λ.
M <sub>Ed</sub> (kNm)	V <sub>Ed</sub> (kN)
465.00	215.00
M <sub>Res</sub> (kNm)	V <sub>Res</sub> (kN)
368.73	117.99

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΩ	
ΚΟΡΜΟΣ	ΑΝΩ	ΑΝΩ	ΚΑΤΩ
40.93	6.63	6.63	6.46
ΚΑΤ.1	ΚΑΤ.1	ΚΑΤ.1	ΚΑΤ.1
0	0	0	0
0	0	0	0

**ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

M <sub>ed</sub> (kNm)	380.6	D <sub>max</sub> (kN)	4013.8
M <sub>sd</sub> (kNm)	3270.0	A <sub>reqd</sub> (cm <sup>2</sup> )	124.4
M <sub>ed</sub> <sup>o</sup> (kNm)	684.6	Z <sub>max</sub> (kN)	1930.7
Z <sub>o</sub> (cm)	8.1	Z <sub>o</sub> (cm)	2.2
M <sub>ed</sub> <sup>el</sup> (kNm)	380.6	M <sub>res</sub> <sup>el</sup> (kNm)	531.3
V <sub>ed</sub> <sup>o</sup> (kN)	377.5	V <sub>res</sub> <sup>el</sup> (kN)	377.5
cap	0.82	cap	1.14

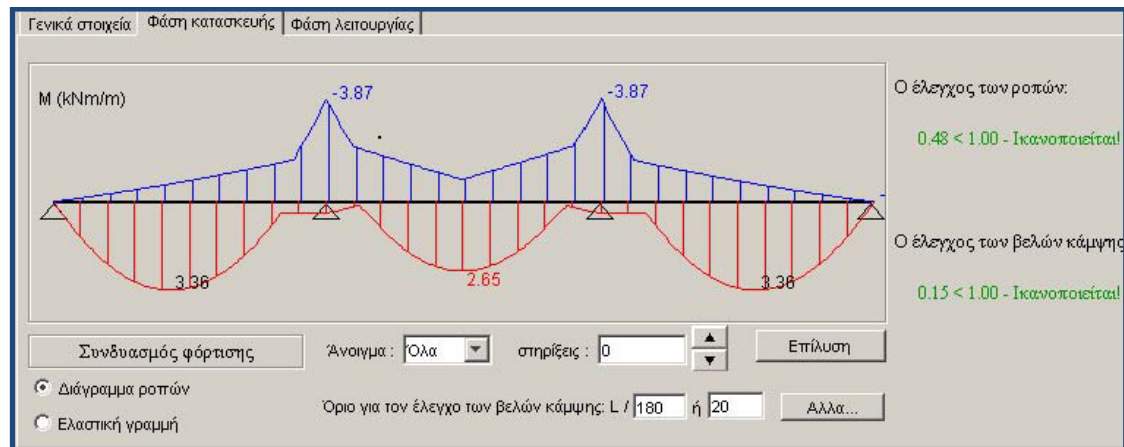
**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΛΕΣΜΟΙ**

φ	ανά (cm)	P <sub>ri</sub> (kN)
19	29	90.39
Μ.Δ.Κ.	19	Μ.Δ.Κ.

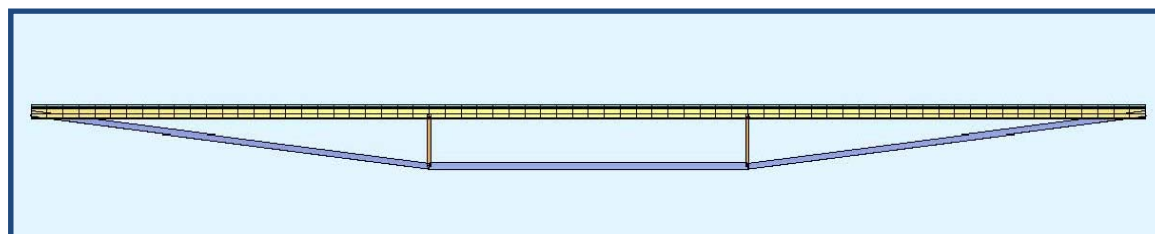
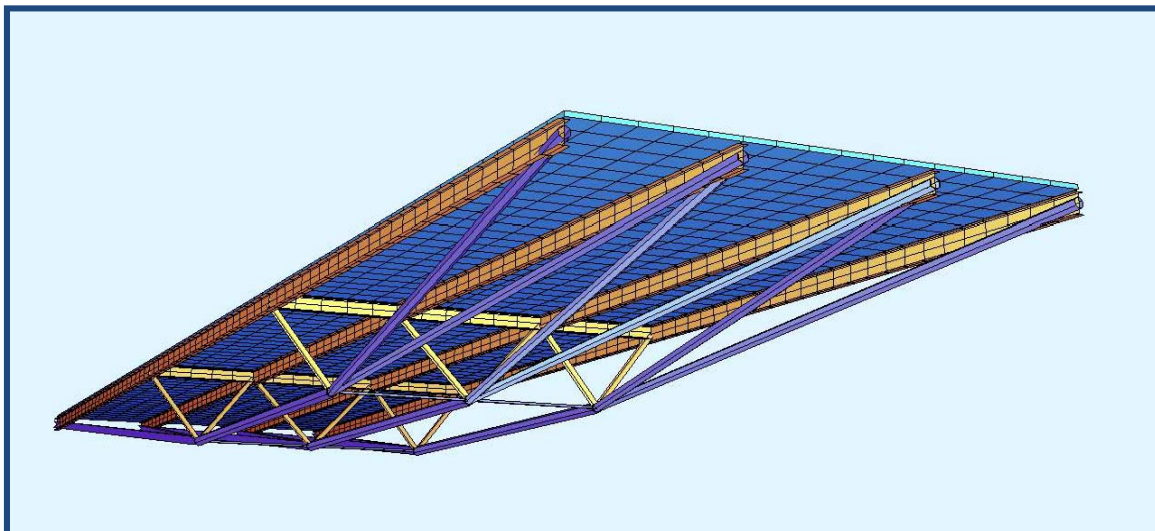
**ΔΙΑΤΟΜΗ: ΙΡΕ 330**

**5.2.1.9 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής**

Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,00\text{mm}$  προκύπτει επάρκεια αυτού, χωρίς να είναι αναγκαία η υποστήριξή του.



### 5.2.2 Αμφιέριστη πεζογέφυρα με σύστημα άντωσης 3 κύριων ελκυστήρων



Φορέας

#### 5.2.2.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, προκύπτει ελάχιστο πάχος πλάκας  $d_c=12,3\text{cm}$ , για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,00\text{mm}$ .

#### 5.2.2.2 Επιλογή διατομών

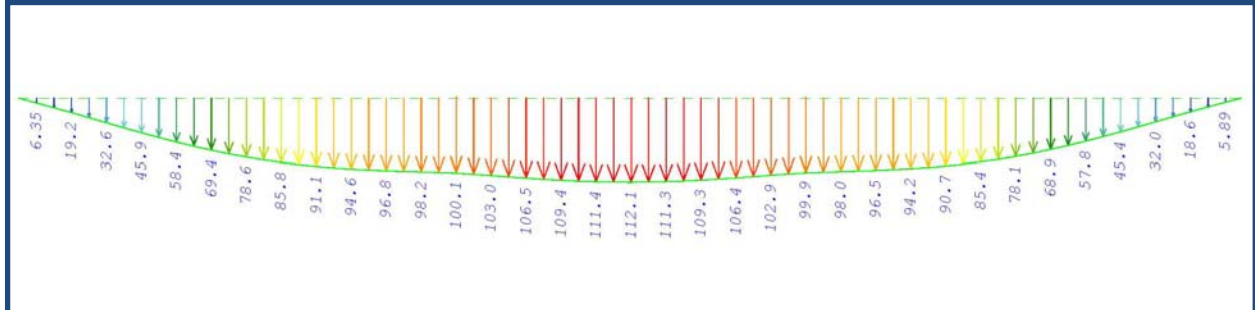
Ο φορέας αποτελείται από 4 σύμμικτες δοκούς 3 ανοιγμάτων με συναργαζόμενο πλάτος που προσαρμόζεται στο διάγραμμα ροπών. Γίνεται αρχικά μία επιλογή διατομών:

- Διατομή κύριων δοκών: IPE 330
- Διατομή διαδοκίδων: IPE 270
- Διατομή κύριων ελκυστήρων: CHS 193.7/12
- Διατομή δευτερευόντων ελκυστήρων: CHS 139.7/10
- Διατομή εγκάρσιων ελκυστήρων: CHS 21.3/2.6
- Διατομή ορθοστατών: CHS 76.1/5
- Πάχος σύμμικτης πλάκας 12,3cm

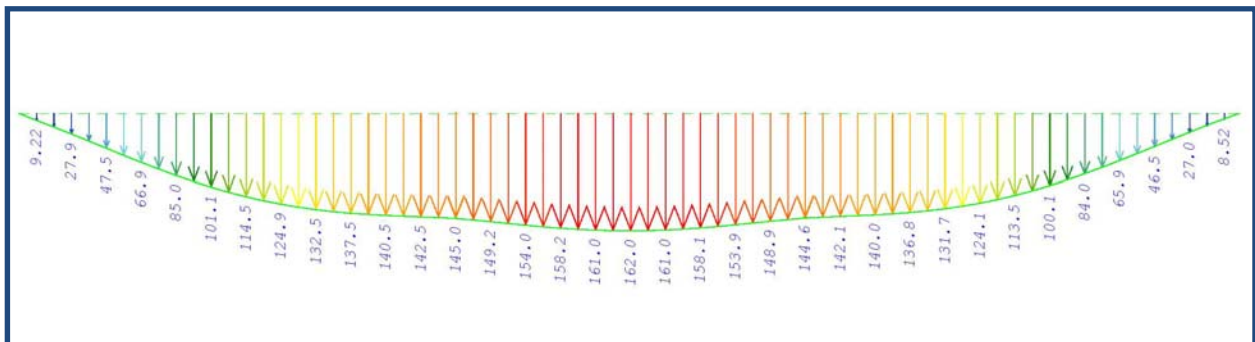
### 5.2.2.3 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό στατικά φορτία.

*Βέλος κάμψης από κινητά φορτία  $\delta q=11,2\text{cm}<L/300=11,7\text{cm}$*

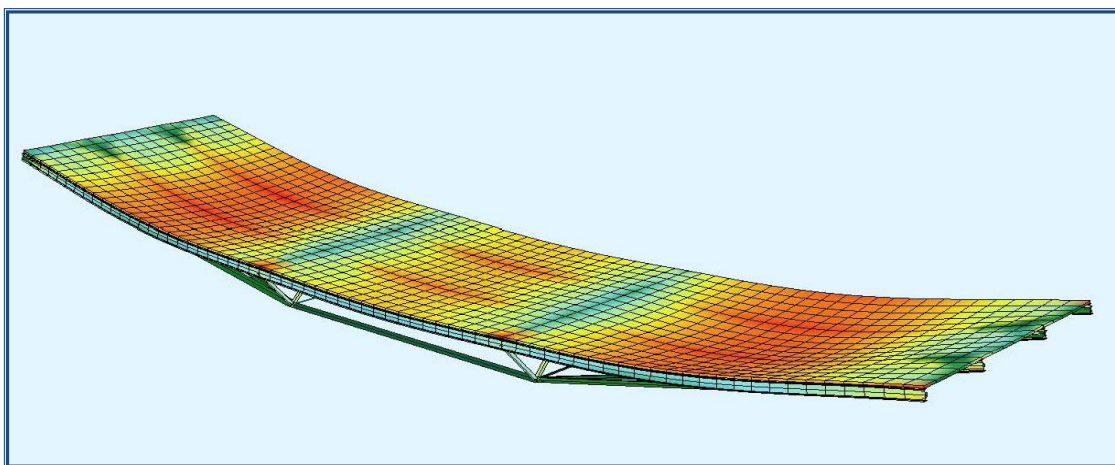


*Βέλος κάμψης από μόνιμα+κινητά φορτία  $\delta(g+q)=16,2\text{cm}>L/250=14\text{cm}$*



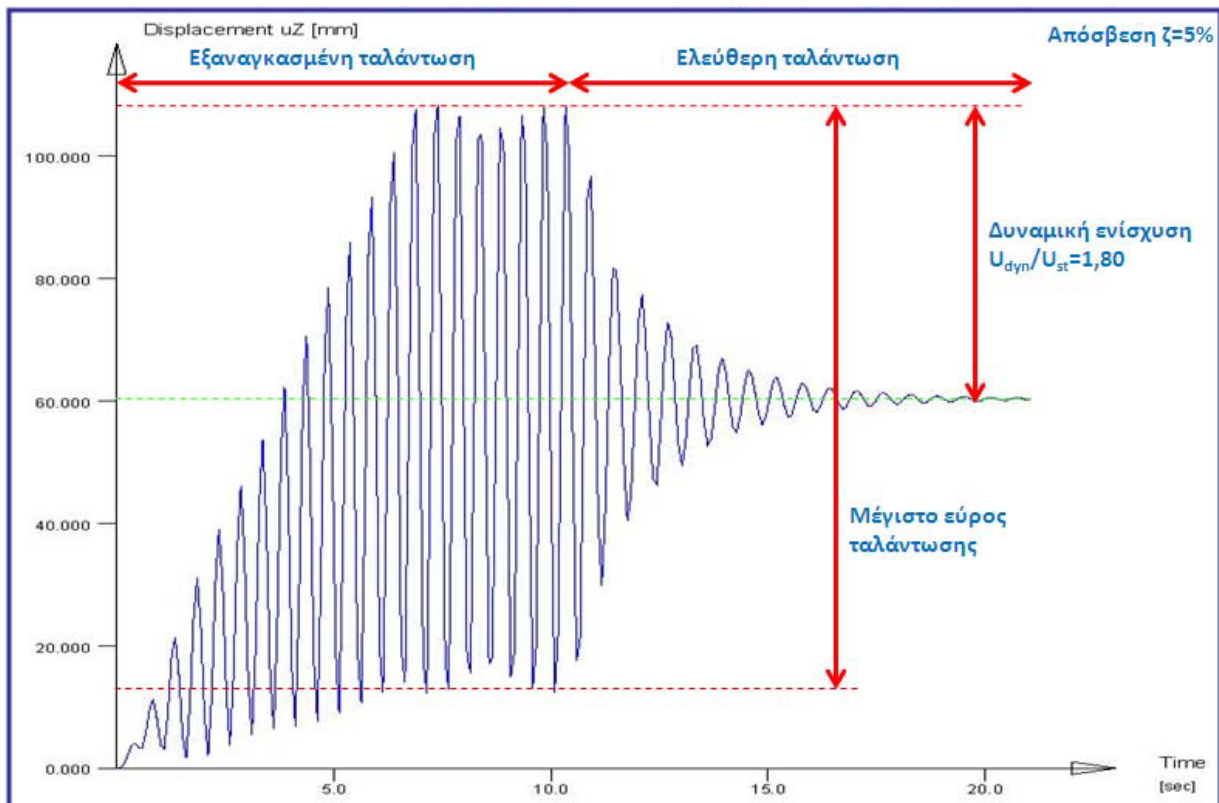
Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό G+Q.

### 5.2.2.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία



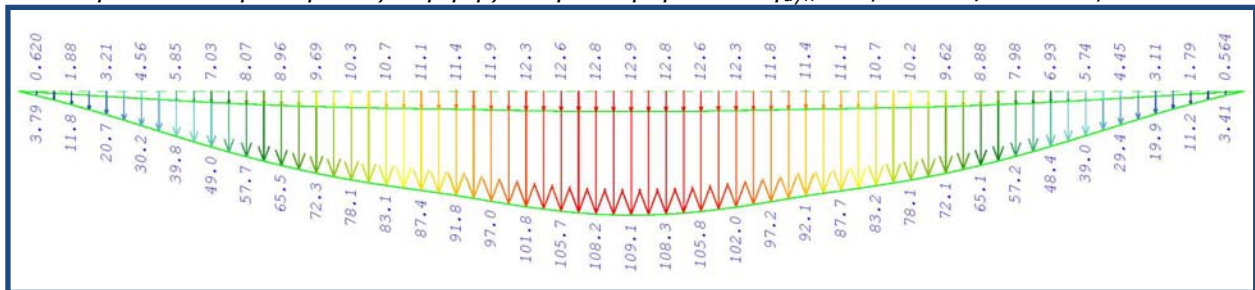
*Καμπτική ιδιομορφή με συχνότητα  $f=1,62\text{Hz}$*

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η χρονοϊστορία του βέλους κάμψης του φορέα, λόγω δυναμικής φόρτισης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$ .

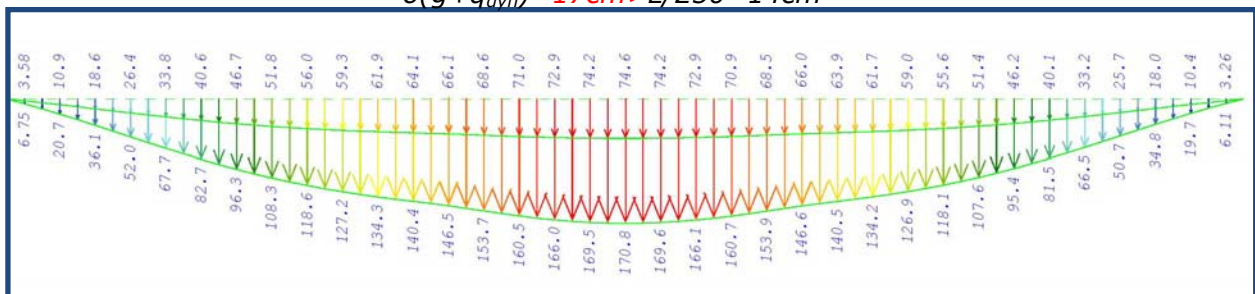


Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό δυναμικά φορτία.

Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων  $\delta q_{dyn}=10,9cm < L/300=11,6cm$



Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων + κινητών φορτίων  $\delta(g+q_{dyn})=17cm > L/250=14cm$



Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος για το συνδυασμό  $G+Q_{dyn}$ .

### 5.2.2.5 Εισαγωγή αντιβέλους κύριων δοκών

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα από τους ελέγχους σε ΟΚΛ φαίνονται παρακάτω:

- Κινητά φορτία:  $\delta q = 11,2 \text{ cm} < L/300 = 11,7 \text{ cm}$
- Μόνιμα+κινητά φορτία:  $\delta(g+q) = 16,2 \text{ cm} > L/250 = 14 \text{ cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων:  $\delta q_{\text{dyn}} = 10,9 \text{ cm} < L/300 = 11,6 \text{ cm}$
- Δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων+κινητών φορτίων:  
 $\delta(g+q_{\text{dyn}}) = 17 \text{ cm} > L/250 = 14 \text{ cm}$

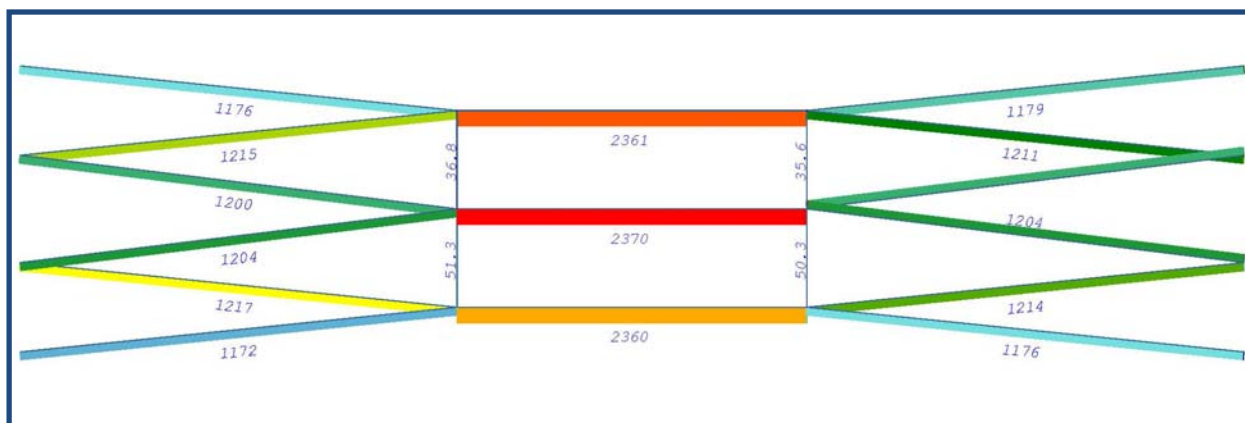
Απαιτείται ελάχιστο βέλος κάμψης  $\text{min} \delta_0 = 17 - 14 = 3 \text{ cm}$

Λόγω της αναγκαστικής εισαγωγής αντιβέλους, προτιμάται να δωθεί αντιβέλος τέτοιο ώστε το βέλος κάμψης από μόνιμα φορτία να είναι μηδενικό.

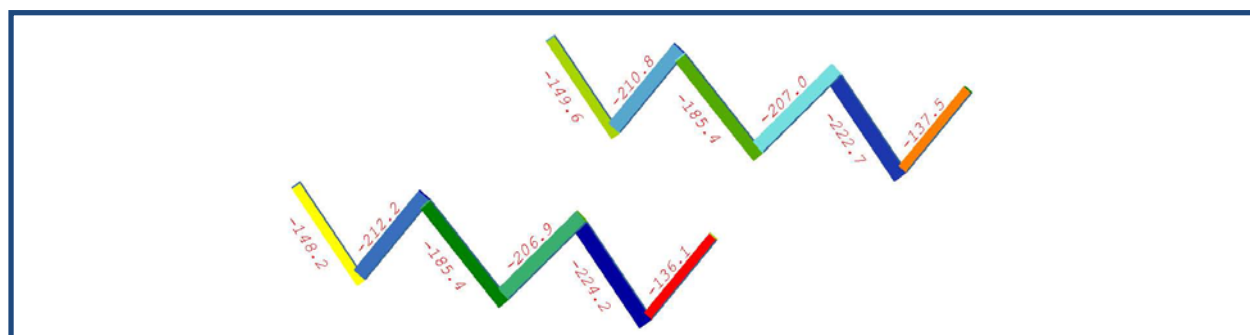
Άρα εισάγεται αντιβέλος  $\delta_0 = 16,2 - 11,2 = 5 \text{ cm}$ .

### 5.2.2.6 Έλεγχος συστήματος αντώσεως σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι αξονικές δυνάμεις των μελών του συστήματος αντώσεως υπό στατικά φορτία.



Αξονικό φορτίο ελκυστήρων



Αξονικό φορτίο ορθοστατών

Έλεγχος εφελκυσμένων μελών:

- CHS 193.7/12:  $N_{t,Rd} = 68.5 \text{cm}^2 * 35.5 \text{kN/cm}^2 = 2432 \text{kN} > N_{sd} = 2370 \text{kN}$
- CHS 139.7/10:  $N_{t,Rd} = 40.7 \text{cm}^2 * 35.5 \text{kN/cm}^2 = 2091 \text{kN} > N_{sd} = 1217 \text{kN}$
- CHS 21.3/2.6:  $N_{t,Rd} = 1.53 \text{cm}^2 * 35.5 \text{kN/cm}^2 = 54 \text{kN} > N_{sd} = 51 \text{kN}$

Έλεγχος ορθοστατών σε θλίψη:

- CHS 76.1/5:  $N_{t,Rd} = 11.2 \text{cm}^2 * 35.5 \text{kN/cm}^2 = 398 \text{kN} > N_{sd} = 224 \text{kN}$

Έλεγχος ευστάθειας ορθοστατών σε καμπτικό λυγισμό:

- CHS 76.5/5:  $L_{cr} = 2,0 \text{m}$ ,  $N_{cr} = \pi^2 EI / L_{cr}^2 = 367 \text{kN}$ ,  $\lambda = 1,04$

Για καμπύλη λυγισμού α:  $\chi = 0,64$

$$N_{b,Rd} = \chi * N_{t,Rd} = 0,64 * 367 = 235 \text{kN} > N_{sd} = 224 \text{kN}$$

#### 5.2.2.7 Έλεγχος κύριων δοκών σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

Ο έλεγχος των κύριων δοκών, είναι ο ίδιος με αυτόν του συστήματος ανώσεως με τους 2 κύριους ελκυστήρες, καθότι η διαφορετική διάταξη του συστήματος ανώσεως δεν επηρεάζει την κατανομή των δυνάμεων στις διαμήκεις δοκούς.

#### 5.2.2.8 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

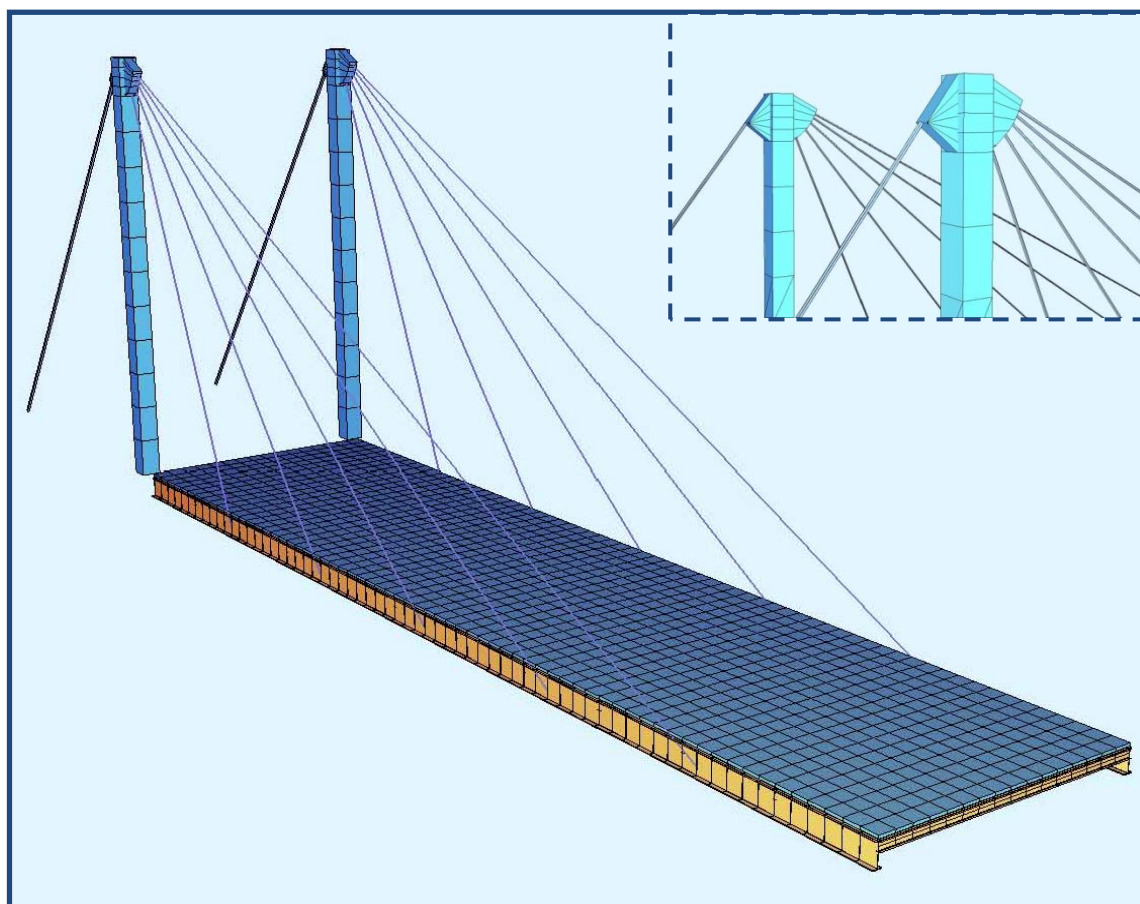
Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, υπάρχει επάρκεια του χαλυβδόφυλλου, πάχους  $t = 1,00 \text{mm}$ .

### 5.3 Αμφιέριστες καλωδιωτές πεζογέφυρες

Η μεθοδολογία σχεδιασμού ακολουθεί τα εξής βήματα:

- Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ – διάταξη κύριων δοκών και διαδοκίδων
- Επιλογή διατομών σιδηρών δοκών, πυλώνων και καλωδίων
- Εφαρμογή κατάλληλης προέντασης στα καλώδια
- Έλεγχος διατομών στην ΟΚΛ υπό στατικά και δυναμικά φορτία
- Έλεγχος διατομών στην ΟΚΑ
- Έλεγχος ευστάθειας πυλώνων
- Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

#### 5.3.1 Αμφιέριστη καλωδιωτή πεζογέφυρα με 5 καλώδια ανά παρειά

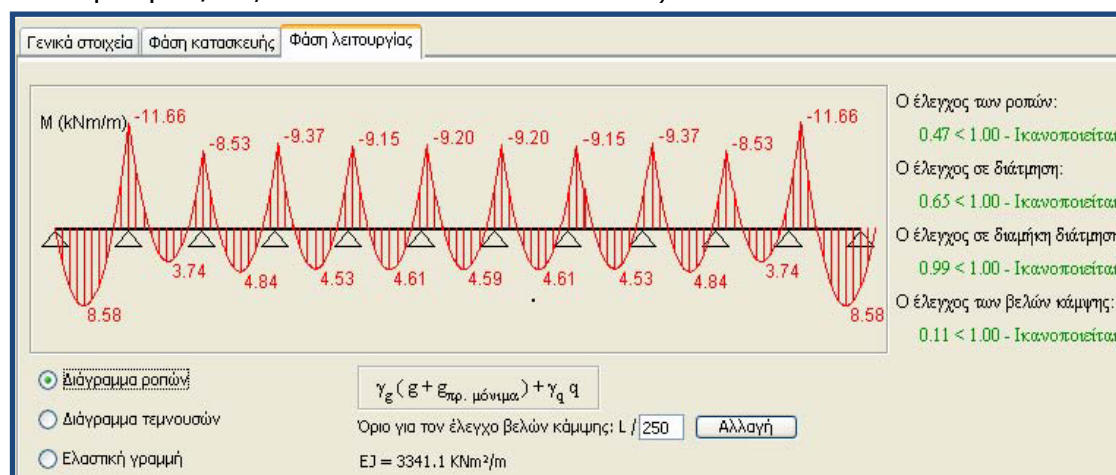


Φορέας



### 5.3.1.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ – διάταξη κύριων δοκών και διαδοκίδων

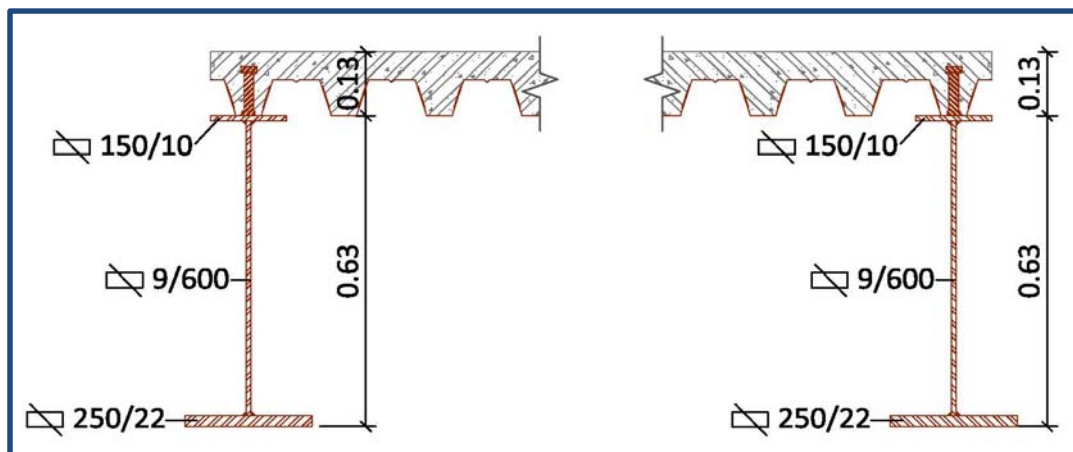
Η εσχάρα δοκών αποτελείται από 2 κύριες δοκούς στις παρειές και εγκάρσιες διαδοκίδες. Η αντοχή της σύμμικτης πλάκας του καταστρώματος στη φάση λειτουργίας καθορίζει τον αριθμό των διαδοκίδων, καθώς ο ρόλος τους είναι απλά η μεταφορά των φορτίων στις κύριες δοκούς. Για πάχος σύμμικτης πλάκας 12-14cm όπου θα χρησιμοποιηθεί στις αναλύσεις, πάχος  $t=1,25\text{mm}$  και συνελκόμενο οπλισμό  $\phi 12/15$ , απαιτούνται 12 διαδοκίδες.



### 5.3.1.2 Επιλογή διατομών

Οι αρχικές επιλεγόμενες διατομές είναι:

- Διατομή κύριων δοκών: Συγκολλητή 10/150+9/600+22/250 – ΚΑΤ.2
- Διατομή διαδοκίδων: IPE 240
- Διατομή πυλώνων από σκυρόδεμα: Τετραγωνική 60x60
- Διατομές καλωδίων: Καλώδια ανάρτησης  $\Phi 36$  και αγκύρωσης  $\Phi 80$
- Πάχος σύμμικτης πλάκας 13cm

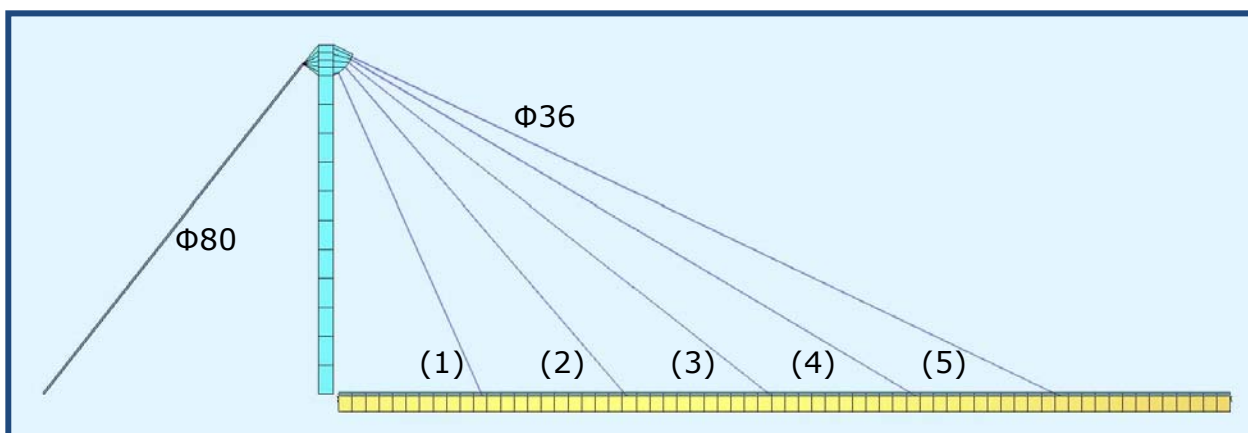
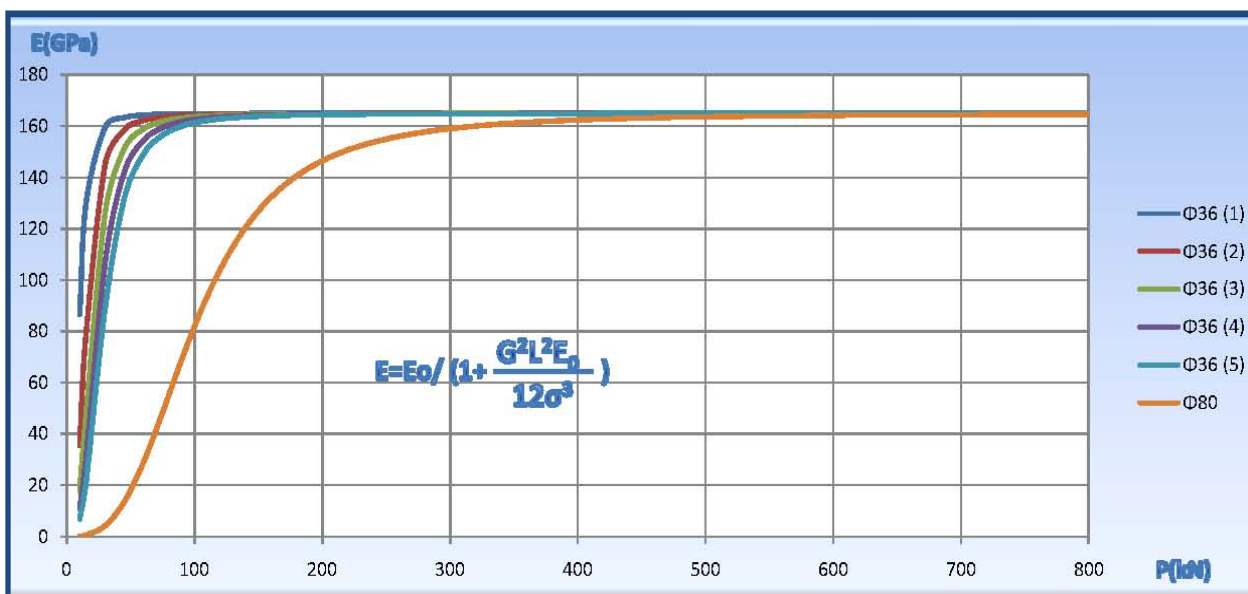


### 5.3.1.3 Προένταση καλωδίων

Η απαιτούμενη προένταση των καλωδίων καθορίζεται εξαρτάται κυρίως από την προβολή των καλωδίων στο οριζόντιο επίπεδο, σύμφωνα με τη σχέση:

$$E = \frac{E_0}{\left(1 + \frac{G^2 L^2 E_0}{12\sigma^3}\right)}$$

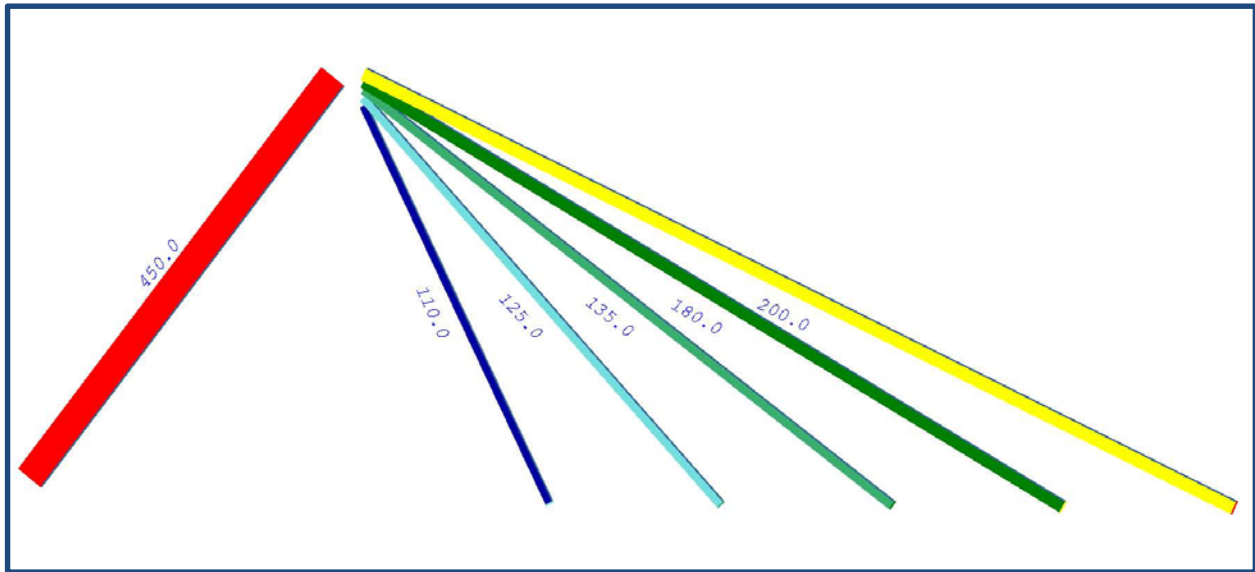
Στο επόμενο διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες ενεργού μέτρου ελαστικότητας των καλωδίων συναρτήσει της δύναμης προεντάσεως.



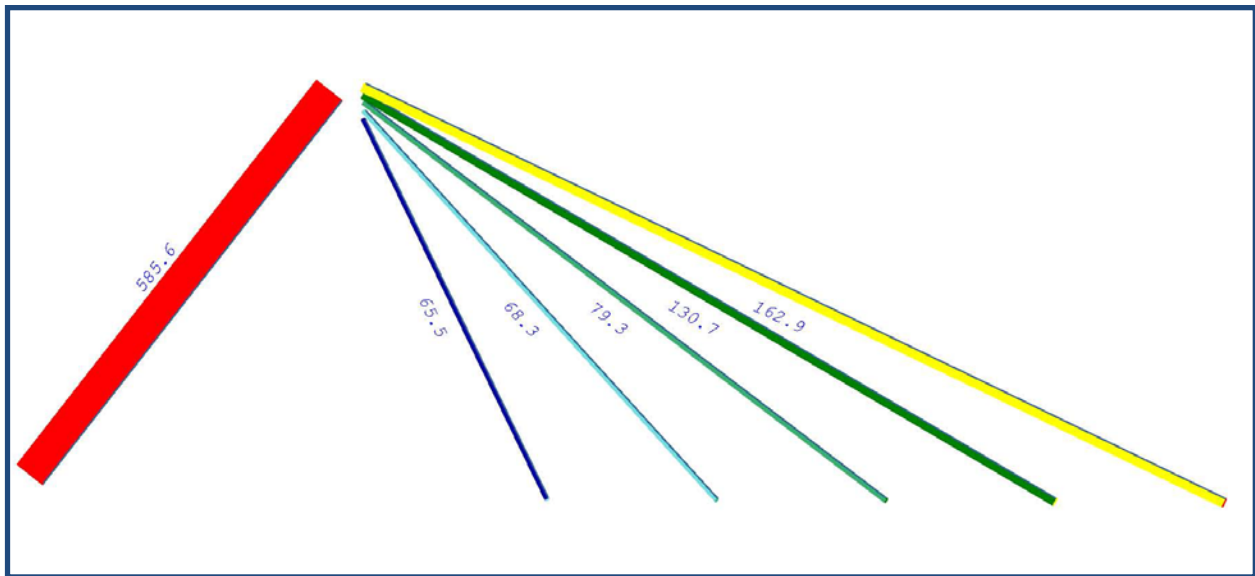
Η ελάχιστη προένταση κάθε καλωδίου είναι:

- Φ36 (1):  $P_{\min} = 45\text{kN}$
- Φ36 (2):  $P_{\min} = 60\text{kN}$
- Φ36 (3):  $P_{\min} = 75\text{kN}$
- Φ36 (4):  $P_{\min} = 105\text{kN}$
- Φ36 (5):  $P_{\min} = 150\text{kN}$
- Φ80:  $P_{\min} = 390\text{kN}$

Η προένταση όπου εφαρμόζεται σε κάθε καλώδιο, φαίνεται παρακάτω:



Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα τελικά αξονικά φορτία των καλωδίων μετά την προένταση και υπό μόνιμα φορτία.

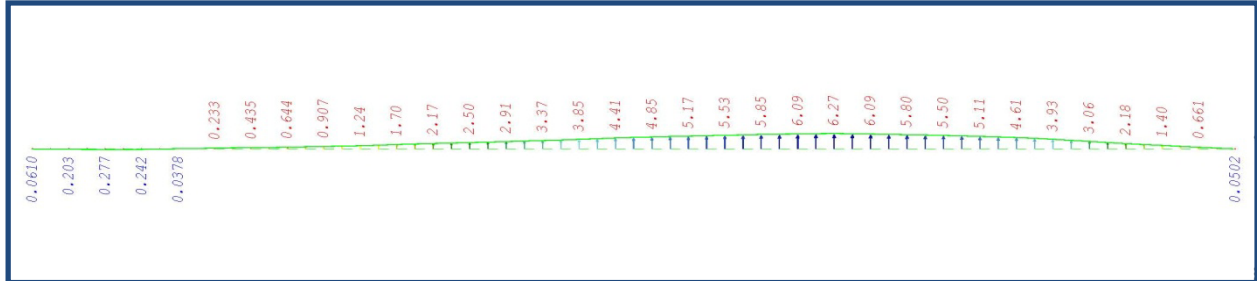


Παρατηρούμε ότι όλα τα καλώδια φέρουν αξονικό φορτίο μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο για ελαστική λειτουργία. Επίσης φαίνεται ότι το αξονικό φορτίο είναι μειωμένο σε σχέση με την δύναμη προέντασης, λόγω της χαλάρωσής τους από την έλξη που δημιουργούν στο φορέα.

### 5.3.1.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία

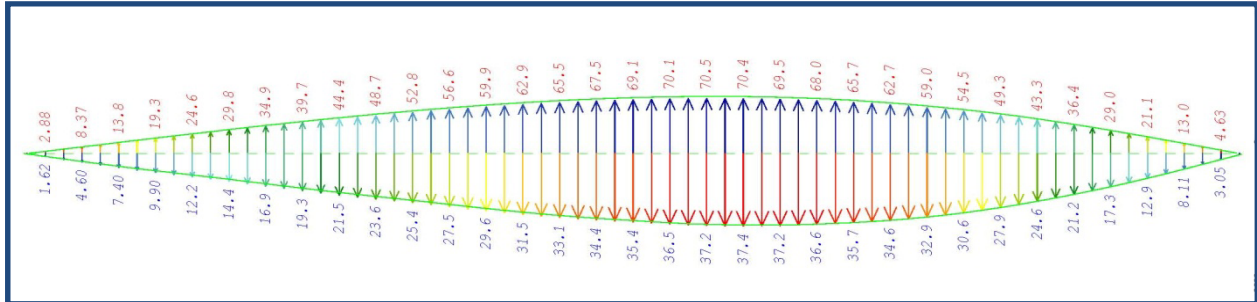
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό στατικά φορτία.

*Βέλος κάμψης από μόνιμα φορτία + προένταση  $\delta(g+p)=-6mm$*

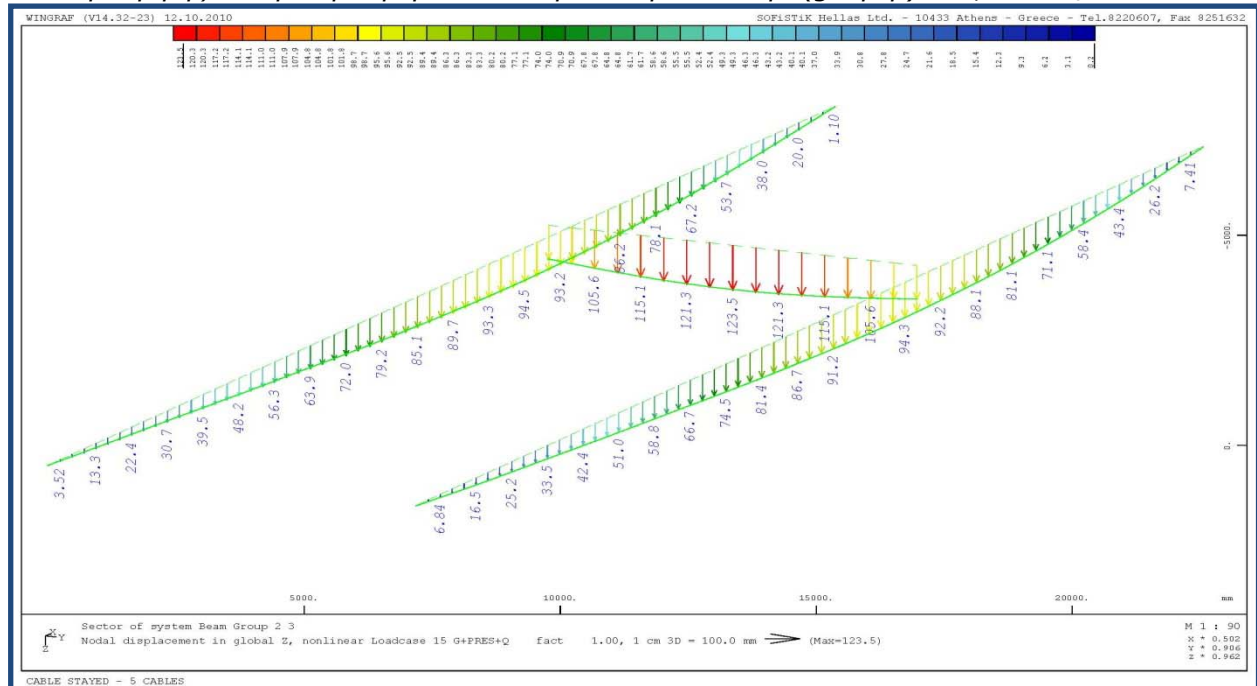


Η προένταση των καλωδίων δημιουργεί αντιβέλος στο φορέα, τέτοιο ώστε υπό μόνιμα φορτία να υπάρχει στην ουσία μηδενικό βέλος.

*Βέλος κάμψης από κινητά φορτία  $\delta q=7+3,7=10,7cm < L/300=11,7cm$*

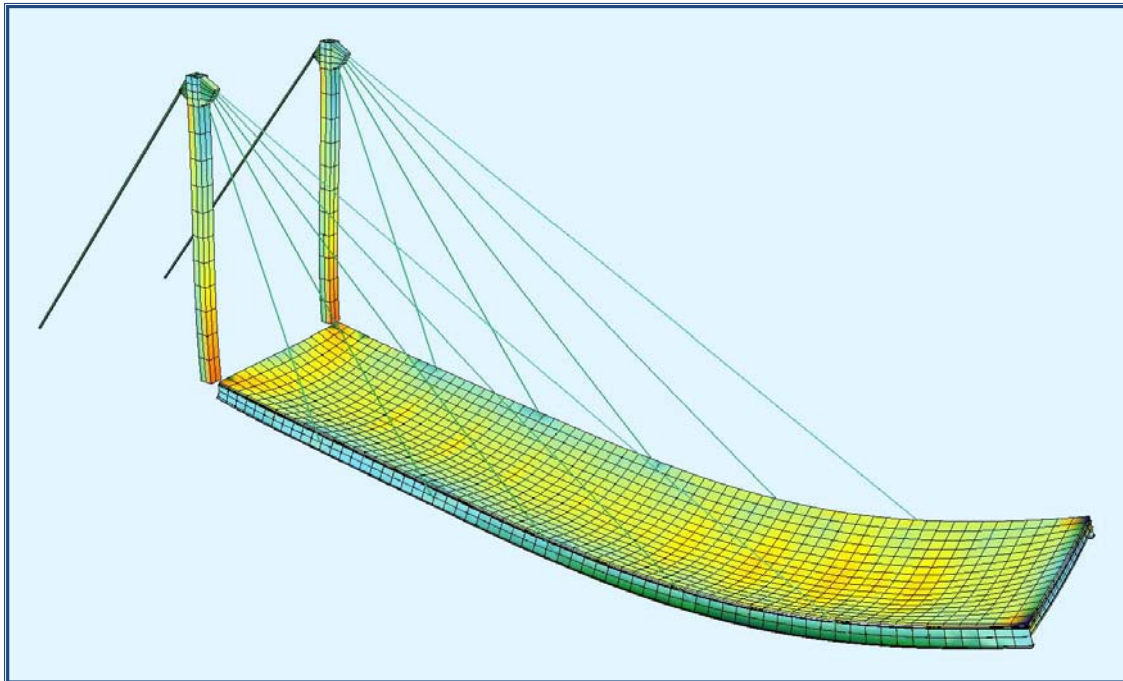


*Βέλη κάμψης από μόνιμα φορτία + κινητά + προένταση  $\delta(g+q+p)=12,3cm < L/250=14cm$*



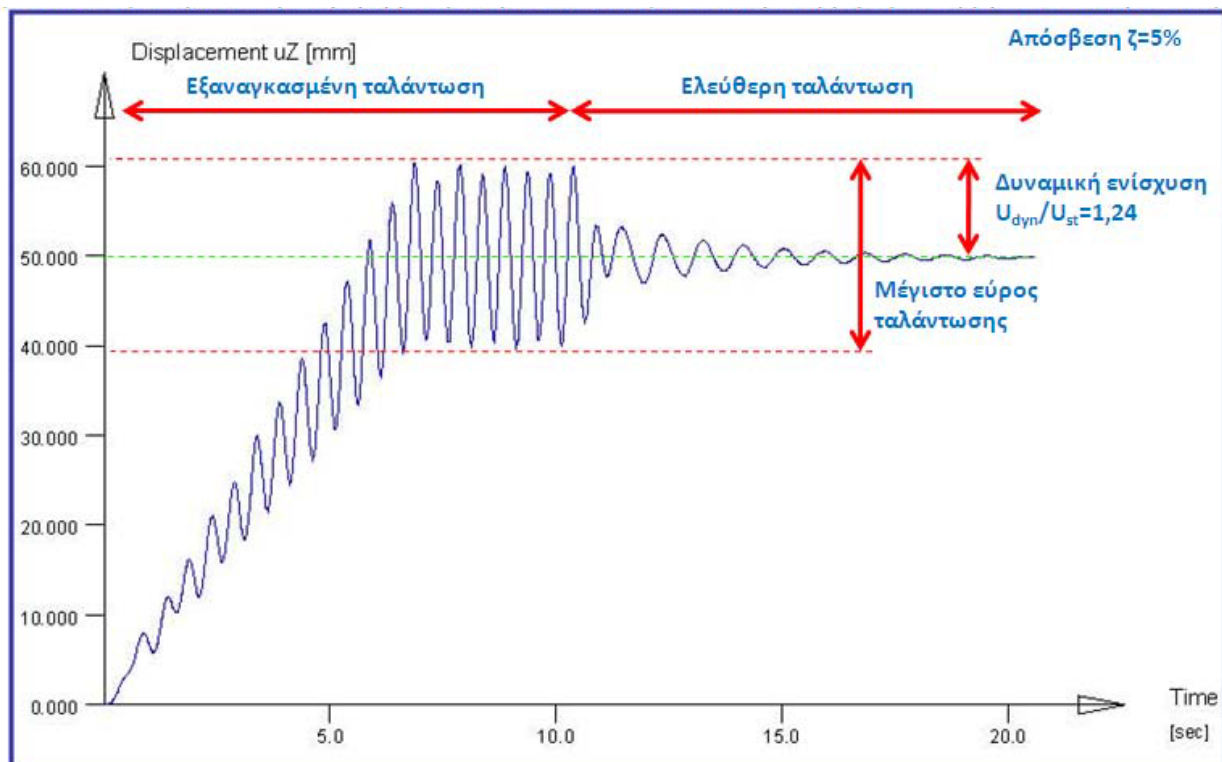
Όλοι οι έλεγχοι σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία ικανοποιούνται.

### 5.3.1.5 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία



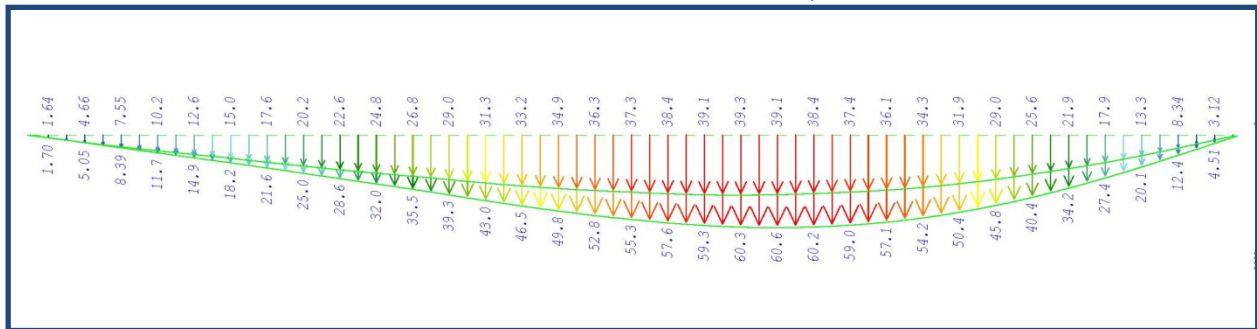
Καμπτική ιδιομορφή με συχνότητα  $f=1,10\text{Hz}$

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η χρονοϊστορία του βέλους κάμψης του φορέα, λόγω δυναμικής φόρτισης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$ .

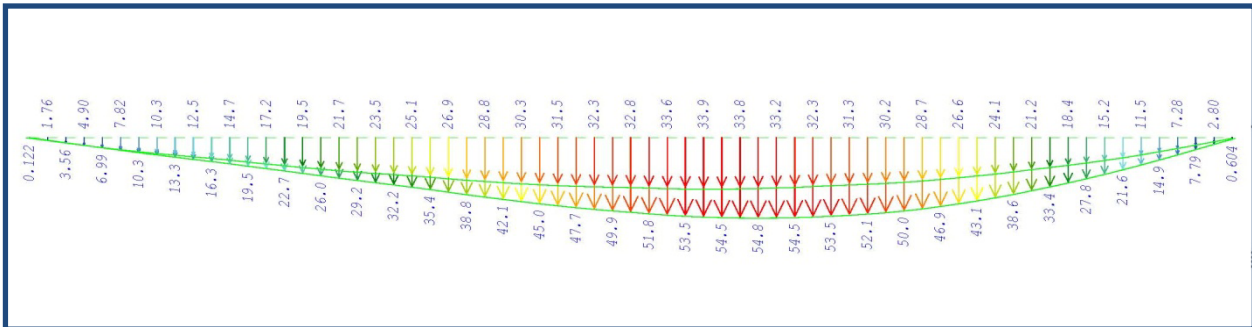


Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό δυναμικά φορτία.

Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων  $\delta_{q_{dyn}}=6\text{cm}<L/300=11,7\text{cm}$



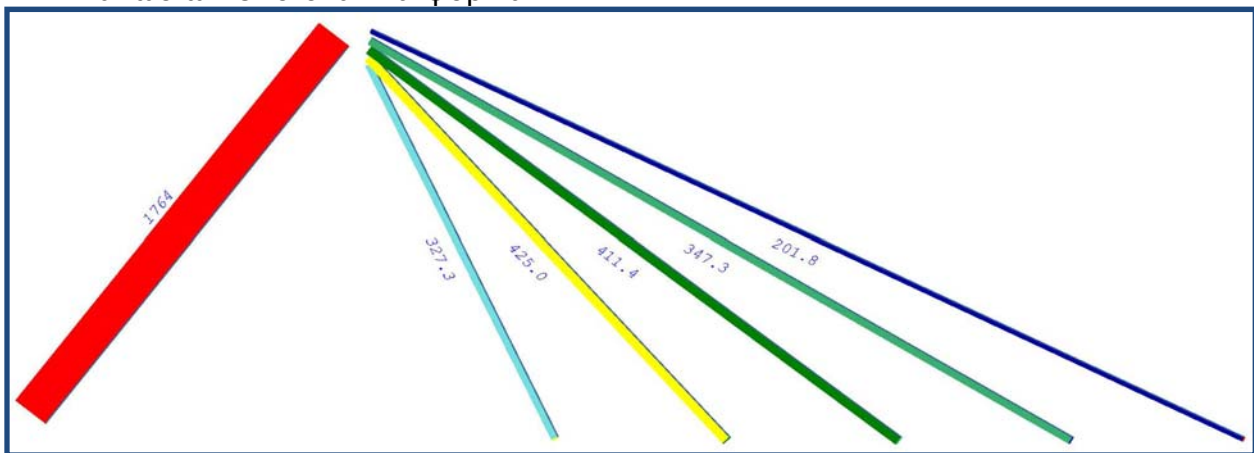
Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων + κινητών φορτίων + προέντασης  
 $\delta(g+q_{dyn}+p)=5,5\text{cm}<L/250=14\text{cm}$



Όλοι οι έλεγχοι σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία ικανοποιούνται.

### 5.3.1.6 Έλεγχος καλωδίων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνονται οι αξονικές δυνάμεις των καλωδίων υπό στατικά φορτία.

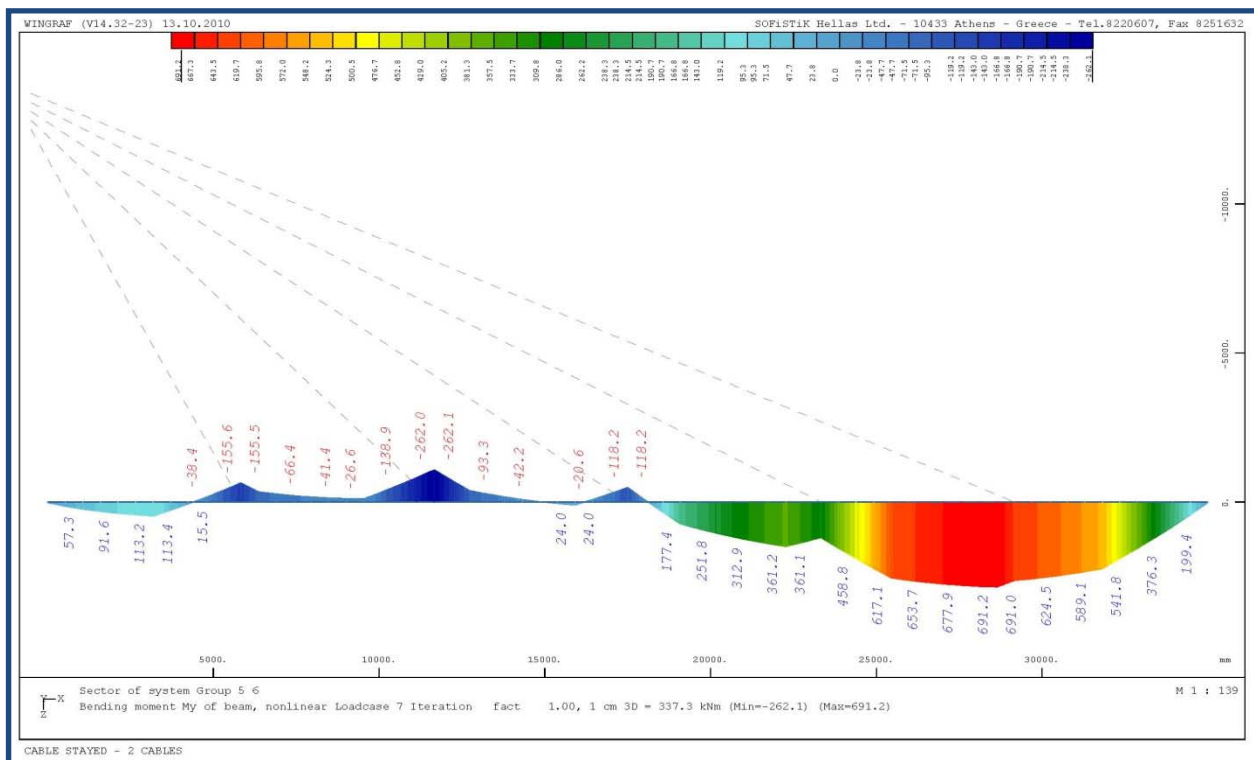


Αξονικό φορτίο καλωδίων

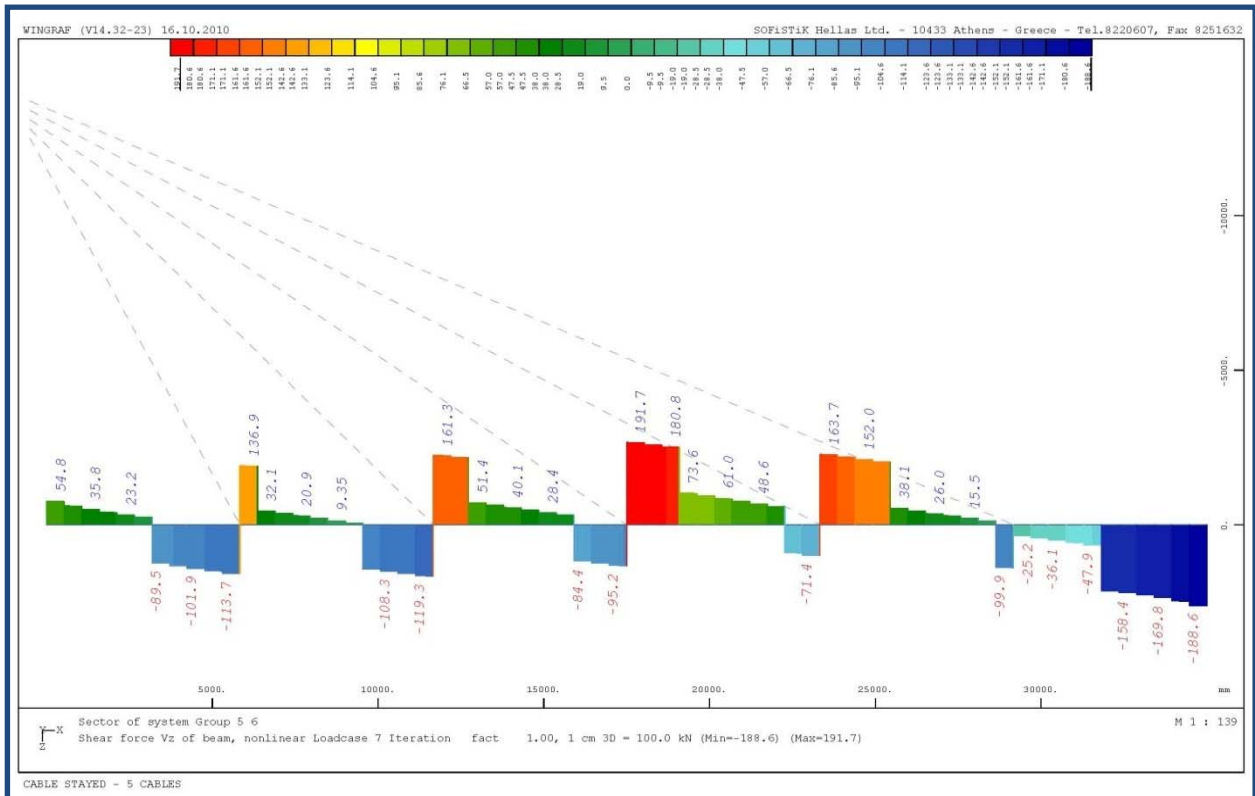
- $\Phi 80: N_{t,Rd}=6405\text{kN} > N_{sd}=1764\text{kN}$
- $\Phi 36: N_{t,Rd}=1285\text{kN} > N_{sd}=425\text{kN}$

### 5.3.1.7 Έλεγχος κύριων δοκών και διαδοκίδων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

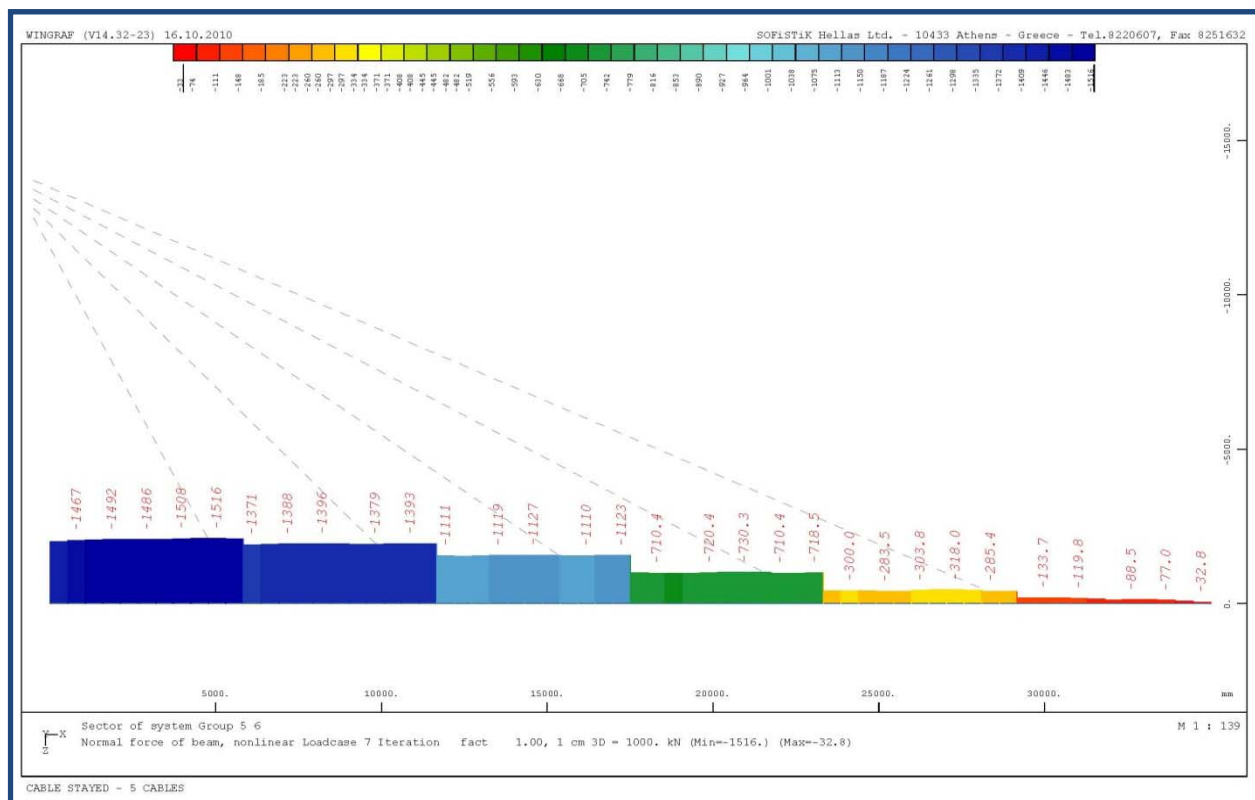
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι καμπτικές ροπές, τέμνουσες και αξονικές δυνάμεις των κύριων δοκών.



Καμπτικές ροπές



Τέμνουσες



Αξονικές



Έλεγχος σύμμικτης κύριας δοκού σε κάμψη, τέμνουσα και αξονικό φορτίο για θετικές ροπές:

- Συγκολλητή 10/150+9/600+22/250 ( $b_{eff}=2,13m/d_c=13cm$ ):  
 $M_{el,Rd}=1621kNm > M_{sd}=691kNm$   
 $V_{pl,Rd}=885 > V_{sd}=100kN$   
 $N_{pl,Rd}=10300 > N_{sd}=300kN$

Έλεγχος σιδηράς κύριας δοκού σε κάμψη, τέμνουσα και αξονικό φορτίο για αρνητικές ροπές:

- Συγκολλητή 10/150+9/600+22/250:  
 $M_{pl,Rd}=815kNm > M_{sd}=262kNm$   
 $V_{pl,Rd}=901kN > V_{sd}=161kN$   
 $N_{pl,Rd}=10300kN > N_{sd}=1380kN$

Δεν απαιτούνται απομοιώσεις των καμπτικών αντοχών.

Οι διαδοκίδες εξασφαλίζουν την ευστάθεια της κύριας δοκού έναντι πλευρικού λυγισμού.

Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε κάμψη και τέμνουσα:

- IPE240 ( $b_{eff}=2,00m/d_c=13cm$ ):  
 $M_{pl,Rd}=280kNm > M_{sd}=265kNm$   
 $V_{pl,Rd}=255kN > V_{sd}=132kN$

Οι έλεγχοι των κύριων δοκών και των διαδοκίδων υπό στατικά φορτία σε ΟΚΑ ικανοποιούνται.

Τα υπολογιστικά φύλλα Excel των κύριων δοκών και διαδοκίδων φαίνονται στις επόμενες σελίδες.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΣ4**  
**ΦΟΡΕΑΣ: ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ ΜΕ 5 ΚΑΛΩΔΙΑ/ΠΑΡΕΙΑ - ΚΥΡΙΑ ΔΟΚΟΣ**

ΔΕΔΟΜΕΝΑ			
ΥΛΙΚΑ		Δομικός χάλυβας	
Σκυρόδεμα	Χάλυβας οπλισμού	$F_{yk}$ (MPa)	$F_{yk}$ (MPa)
C (MPa)	S (MPa)	355	510
$E_c$ (GPa)	$E_s$ (GPa)	210	210
$F_{ct}$ (MPa)	$F_{td}$ (MPa)	434.78	322.73
35	19.83	33.3	500
ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ	
$q$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\rho$ (kN/m <sup>2</sup> )	$b_{eff}$ (cm)	d (cm)
0.00	5.00	267	13
L (m)	b (m)	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ	
12.50	2.67	Κάτω πέλμα (cm)	Πρόσθετο (cm)
0.90	60.00	2.20	0.00
1.00	15.00	25.00	0.00
0.90	60.00	124.00	124.00
ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ	
$\phi$	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	d (mm)	ΣΕΙΡΕΣ
0	0.0	19	1
0	0.0	9.0	1
0	0.0	ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ	
ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ		ΒΕΛΗ (cm)	
Ο.Κ.Α.	Ο.Κ.Α.	$\delta_g$	$\delta_b$
$M_{100}$ (kNm)	$M_{max}$ (kNm)	0.3	0.3
465.00	387.38	$L/300$	$\delta_b$
215.00	123.96	4.2	1.0
387.38	123.96	$C.7 <$	4.2
387.38	123.96	$V_{ed} <$	4.2
387.38	123.96	$V_{ed} <$	4.2

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ		ΚΑΤΩ	
ΚΟΡΜΟΣ	ΑΝΩ	ΑΝΩ	ΚΑΤΩ
c/t	7.05	7.05	5.18
0	ΚΑΤ.1	ΚΑΤ.1	ΚΑΤ.1
0	0	0	0
0	0	0	0
$M_{ed}$ (kNm)	815.53	cap	5.67
$M_{ed}$ (kNm)	555.19	cap	3.86
ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
$M_{ed}$ (kNm)	1638.2	$D_{max}$ (kN)	4371.4
$M_{ed}$ (kNm)	20906.7	$A_{sc}$ (cm <sup>2</sup> )	135.5
$M_{ed}$ (kNm)	2116.3	$Z_{max}$ (kN)	4001.8
$Z_e$ (cm)	17.6	$Z_e$ (cm)	8.1
$M_{ed}$ (kNm)	1638.2	$M_{ed}$ (kNm)	2126.5
$V_{ed}$ (kN)	885.4	$V_{ed}$ (kN)	885.4
cap	3.57	cap	4.57
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ			
Π.Δ.Κ.	$\phi$	ανά (cm)	$P_{ed}$ (kN)
Μ.Δ.Κ.	19	14	90.39
Μ.Δ.Κ.	19	65	

ΔΙΑΤΟΜΗ:

10/150+9/600+22/250

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΧ4**

**ΦΟΡΕΑΣ: ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ ΜΕ 5 ΚΑΛΩΔΙΑ/ΠΑΡΕΙΑ - ΔΙΑΔΟΚΙΔΑ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

ΥΛΙΚΑ		Χάλυβας οπλισμού				Δομικός χάλυβας			
Σκυρόδεμα	$F_{cd}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$F_{yk}$ (MPa)	$E_s$ (GPa)	$S_t$ (MPa)	$F_{td}$ (MPa)	$F_{td}$ (MPa)	$E_s$ (GPa)	
35	19.83	33.3	500	434.78	210	355	510	322.73	210

ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ	
$q$ (kN/m <sup>2</sup> )	$p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$L$ (m)	$b$ (m)
0.00	5.00	8.00	3.18

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ		Κάτω πέλμας (cm)		Πρόσβλετο (cm)		$\lambda$ (cm <sup>2</sup> )	
Άνω πέλμας (cm)	Κορίσις (cm)	0.98	22.04	0.98	12.00	0.00	0.00
0.98	12.00	0.62	22.04	0.98	12.00	0.00	37.18

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ	
$\phi$	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$L$ (cm)	ΣΕΙΡΕΣ
ANΩ	0	15.0	0.0
KATΩ	0	15.0	0.0

**ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

$M_{ed}$ (kNm)	109.60	cap	2.70
$M_{ed}$ (kNm)	98.73	cap	2.43

**ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

$M_{ed}^u$ (kNm)	208.5	$D_{tr,ak}$ (kN)	3274.5
$M_{ed}^o$ (kNm)	1066.4	$A_{tr,ak}$ (cm <sup>2</sup> )	101.5
$M_{ed}^{so}$ (kNm)	336.7	$Z_{tr,ak}$ (kN)	1200.1
$z$ (cm)	7.2	$z_{tr}$ (cm)	3.2
$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	208.5	$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	280.7
$V_{ed}^{pl}$ (kN)	224.1	$V_{ed}^{pl}$ (kN)	224.1
cap	0.79	cap	1.06

**ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

$M_{ed}^u$ (kNm)	208.5	$D_{tr,ak}$ (kN)	3274.5
$M_{ed}^o$ (kNm)	1066.4	$A_{tr,ak}$ (cm <sup>2</sup> )	101.5
$M_{ed}^{so}$ (kNm)	336.7	$Z_{tr,ak}$ (kN)	1200.1
$z$ (cm)	7.2	$z_{tr}$ (cm)	3.2
$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	208.5	$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	280.7
$V_{ed}^{pl}$ (kN)	224.1	$V_{ed}^{pl}$ (kN)	224.1
cap	0.79	cap	1.06

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ	
ΚΟΡΜΟΣ	ΑΝΩ	ΚΑΤΩ	ΚΑΤΩ
$c/t$	35.55	5.81	5.62
ΚΑΤΩΡΙΑ	0	0	0
$M_{ed}$ (kNm)	109.60	cap	2.70
$M_{ed}$ (kNm)	98.73	cap	2.43

**ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

$M_{ed}^u$ (kNm)	208.5	$D_{tr,ak}$ (kN)	3274.5
$M_{ed}^o$ (kNm)	1066.4	$A_{tr,ak}$ (cm <sup>2</sup> )	101.5
$M_{ed}^{so}$ (kNm)	336.7	$Z_{tr,ak}$ (kN)	1200.1
$z$ (cm)	7.2	$z_{tr}$ (cm)	3.2
$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	208.5	$M_{ed}^{pl}$ (kNm)	280.7
$V_{ed}^{pl}$ (kN)	224.1	$V_{ed}^{pl}$ (kN)	224.1
cap	0.79	cap	1.06

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ**

$\phi$	ανώ (cm)	$P_{rel}$ (kN)
Π.Δ.Κ.	19	30
Μ.Δ.Κ.	19	32

**ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**

$\delta_k$	$\delta_{tr}$	$L/300$	$\delta_s$	$\delta_{sk}$
0.6	1.3	< 2.7	0.0	1.9

**ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ**

Ο.Κ.Α.	Ο.Κ.Α.	
$M_{ed}$ (kNm)	$V_{ed}$ (kN)	$M_{ed,ext}$ (kNm)
264.83	132.41	182.04
		$V_{ed,ext}$ (kN)
		81.28

**ΔΙΑΤΟΜΗ: ΙΡΕ 240**

### 5.3.1.8 Έλεγχος πυλώνων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

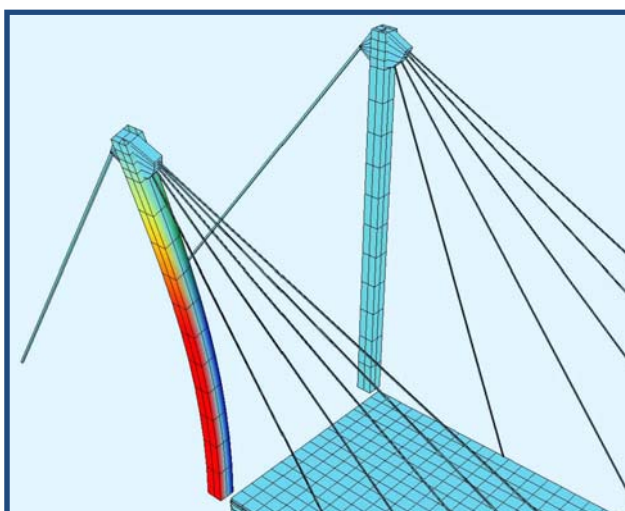
Οι πυλώνες διαστασιολογούνται έναντι διαξονικής κάμψης και ορθής θλιπτικής δύναμης. Τα εντατικά μεγέθη προκύπτουν από ανάλυση με θεωρία 2ας τάξης, έτσι ώστε να ελεγχθεί και η ευστάθειά τους. Σαν γεωμετρική ατέλεια των πυλώνων, ορίζεται μία απόκλιση από την κατακόρυφο και στις 2 διευθύνσεις ίση με

$\alpha = \frac{1}{100\sqrt{h}} \frac{l_0}{2}$  (rad), σύμφωνα με τον κανονισμό, όπου  $l_0$  το μήκος λυγισμού ανά διεύθυνση.

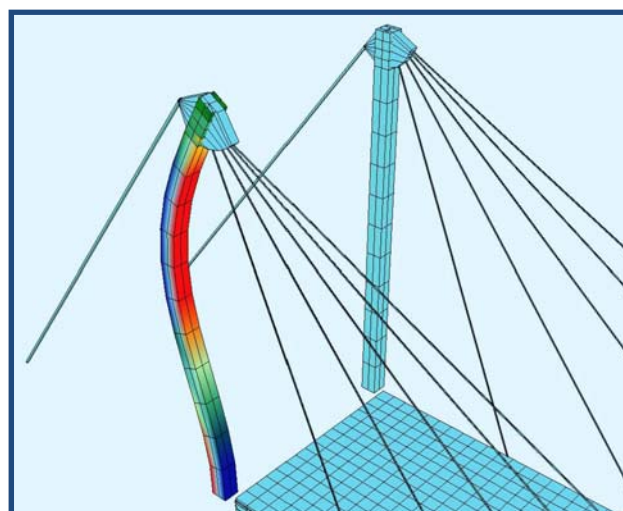
Στη διαμήκη διεύθυνση ο πυλώνας θεωρείται μονόπακτος, άρα  $l_0 = 0,70 * 12,5 = 8,75\text{m}$

Στην εγκάρσια διεύθυνση ο πυλώνας θεωρείται πρόβολος, άρα  $l_0 = 2 * 12,5 = 25\text{m}$

Οπότε οι αποκλίσεις είναι  $\alpha_{x-x} = 0,012\text{rad}$  και  $\alpha_{y-y} = 0,035\text{rad}$

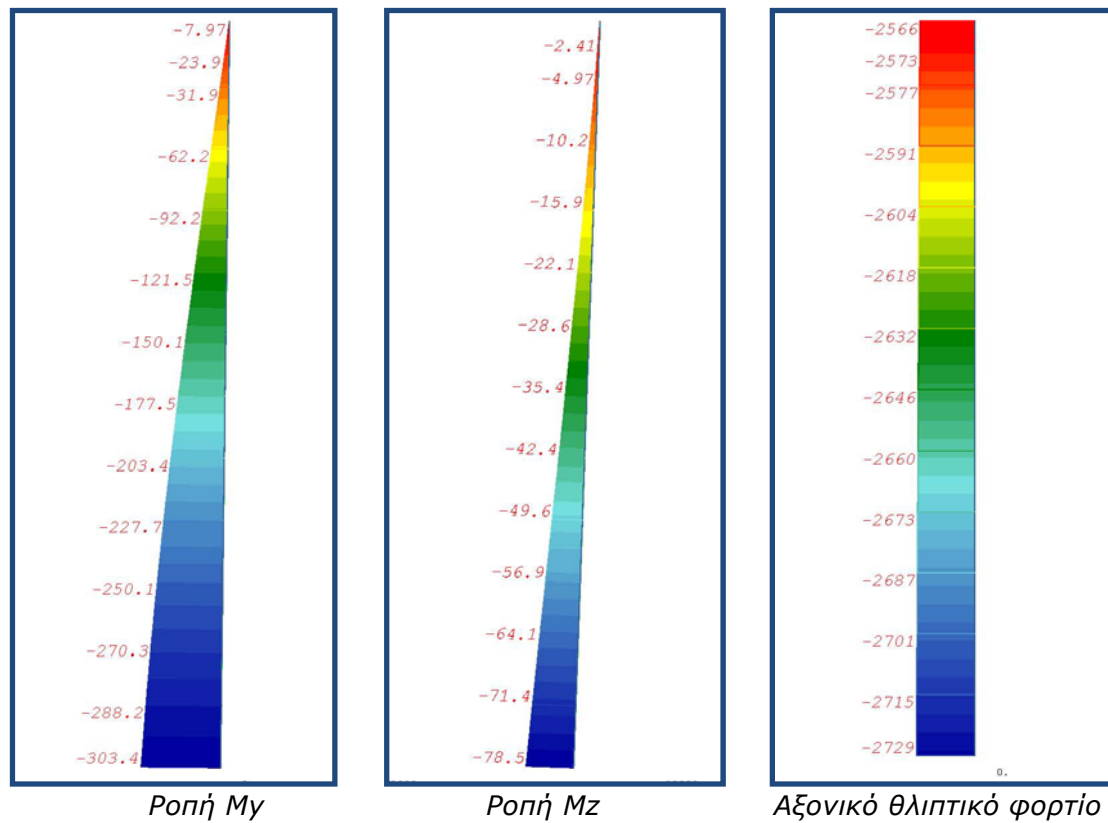


Λυγισμός στην εγκάρσια διεύθυνση



Λυγισμός στην διαμήκη διεύθυνση

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι καμπτικές ροπές και το αξονικό φορτίο των πασσάλων.



Διαξονική κάμψη με ορθή θλιπτική δύναμη.

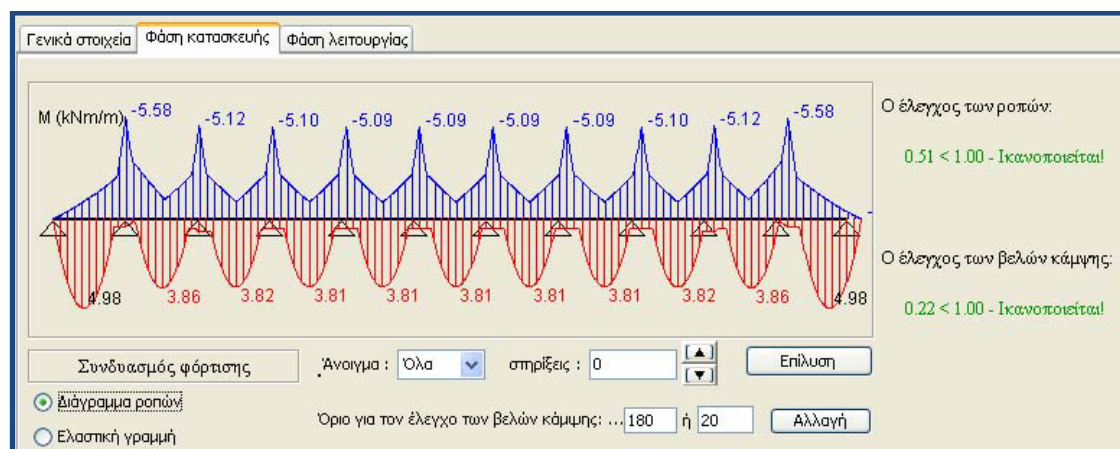
Ροπές  $M_{y,sd}=303\text{kNm}$ ,  $M_{x,sd}=79\text{kNm}$ ,  $N_{sd}= -2730\text{kN}$

Τοποθετείται περιμετρικός οπλισμός 12φ20

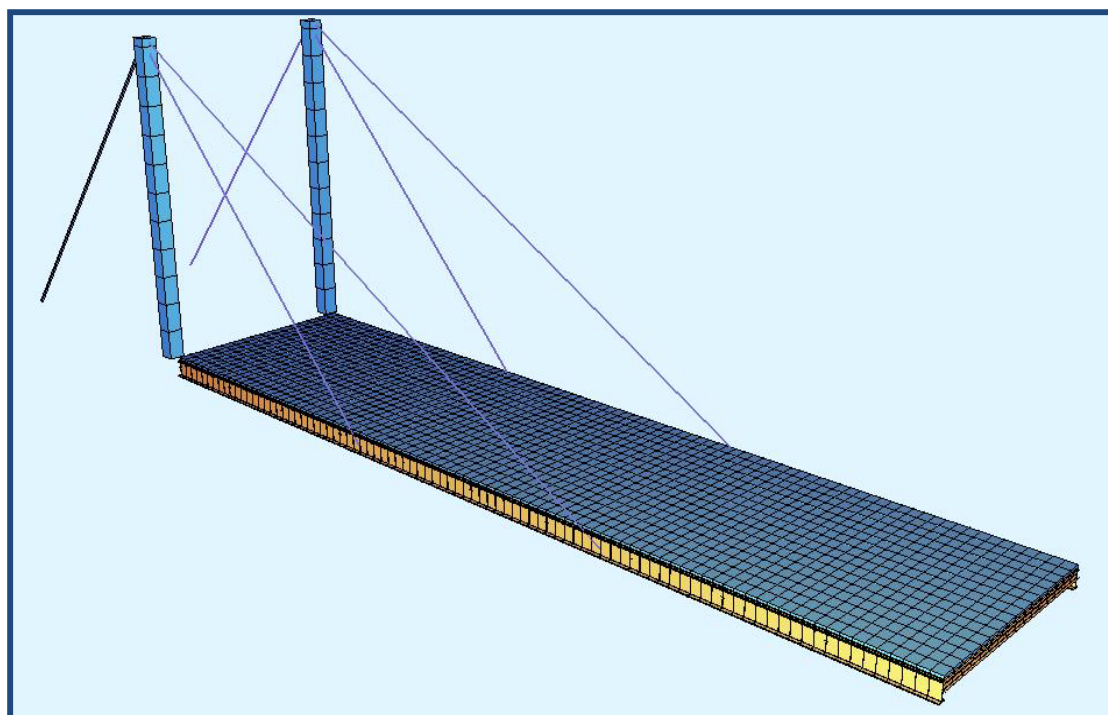
Επίσης δεν παρατηρείται απώλεια ευστάθειας των πυλώνων.

### 5.3.1.9 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

Για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,25\text{mm}$  προκύπτει επάρκεια αυτού, χωρίς να είναι αναγκαία η υποστήριξη του.



### 5.3.2 Αμφιέριστη καλωδιωτή πεζογέφυρα με 2 καλώδια ανά παρειά



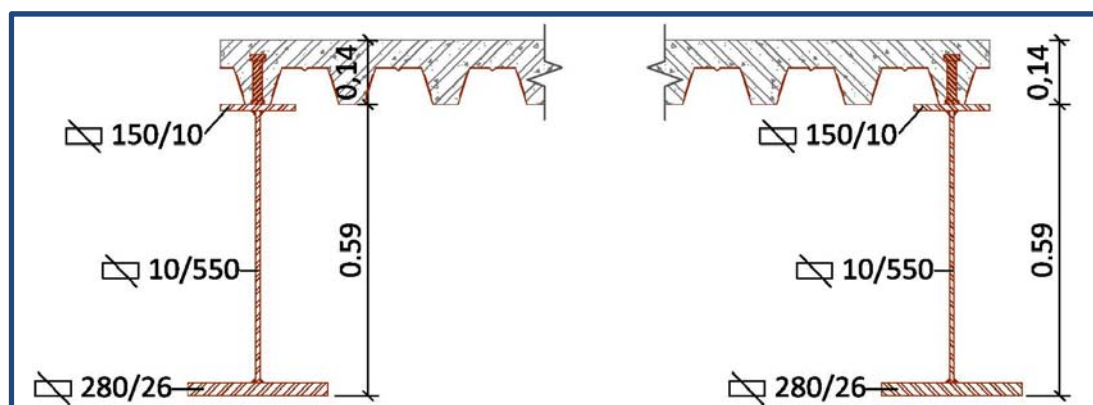
Φορέας

#### 5.3.2.1 Έλεγχος σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας – διάταξη κύριων δοκών και διαδοκίδων

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, χρησιμοποιούνται 12 διαδοκίδες, καθότι ο διαφορετικός αριθμός των καλωδίων δεν επηρεάζει τη σύμμικτη πλάκα και τις διαδοκίδες, για πάχος χαλυβδόφυλλου  $t=1,25\text{mm}$ .

#### 5.3.2.2 Επιλογή διατομών

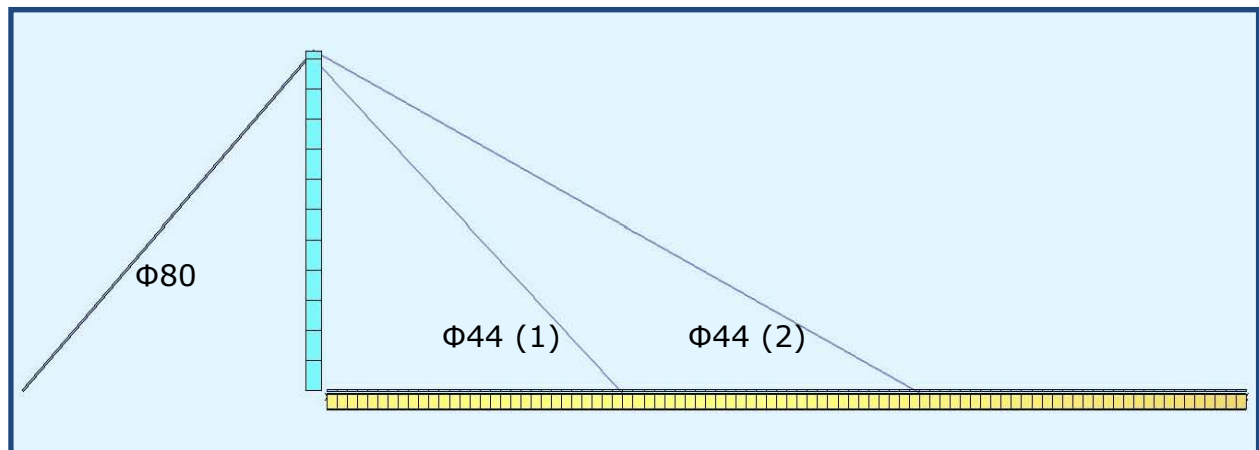
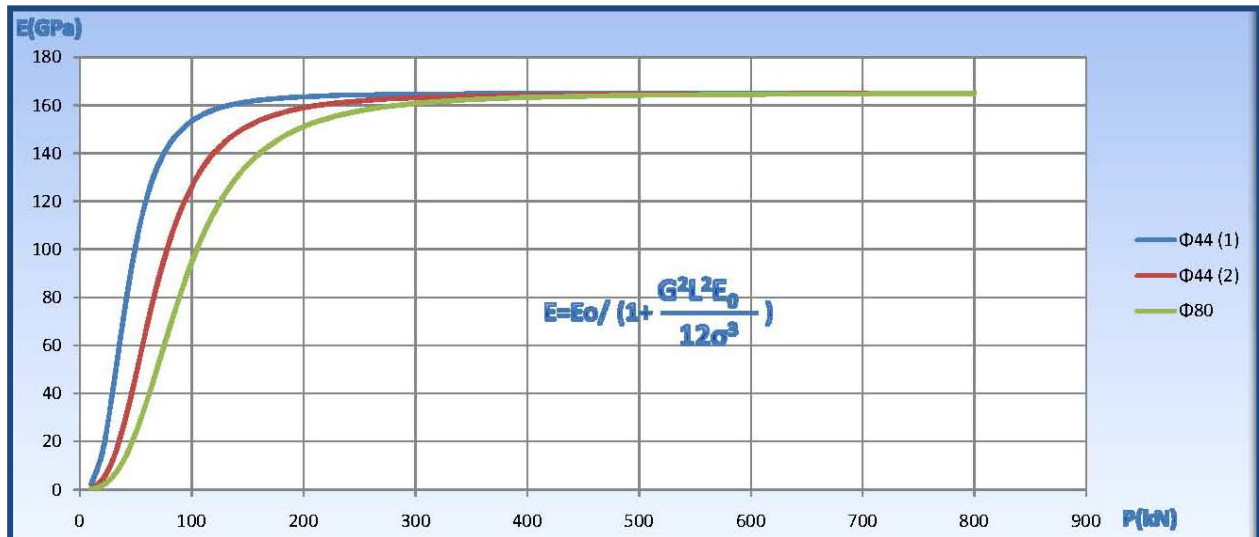
- Διατομή κύριων δοκών: Συγκολλητή 10/150+9/600+22/250 – ΚΑΤ.2
- Διατομή διαδοκίδων: IPE 240
- Διατομή πυλώνων από σκυρόδεμα: Τετραγωνική 60x60
- Διατομές καλωδίων: Καλώδια ανάρτησης  $\Phi 44$  και αγκύρωσης  $\Phi 80$
- Πάχος σύμμικτης πλάκας 14cm



### 5.3.2.3 Προένταση καλωδίων

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες ενεργού μέτρου ελαστικότητας των καλωδίων συναρτήσει της δύναμης προεντάσεως, σύμφωνα με τη σχέση:

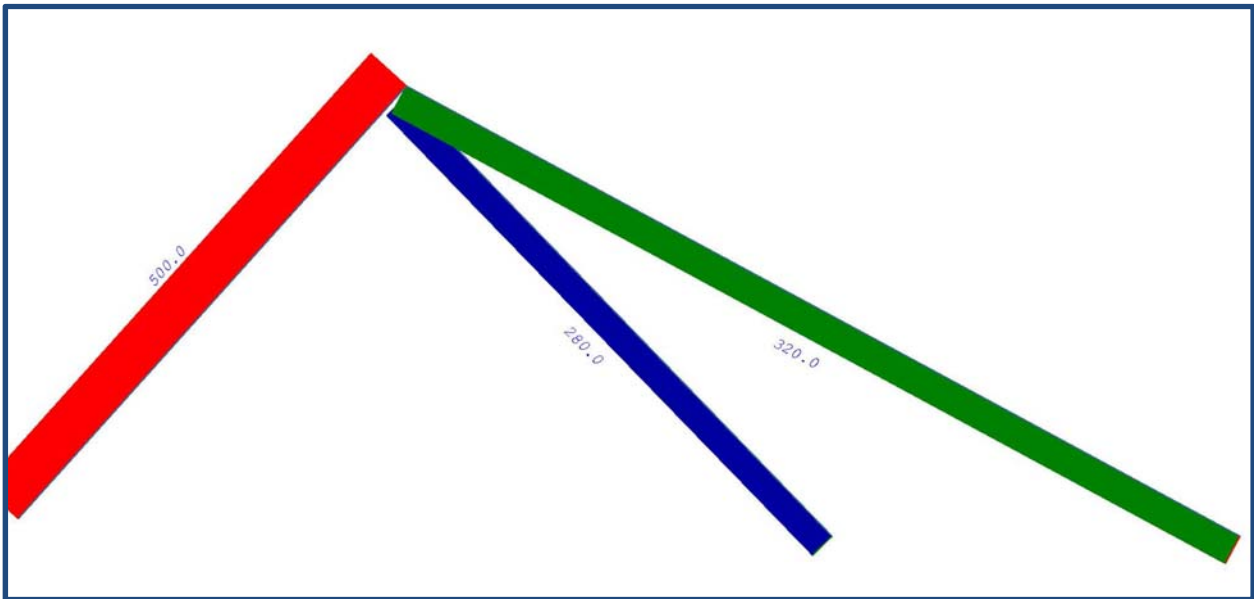
$$E = \frac{E_0}{\left(1 + \frac{G^2 L^2 E_0}{12\sigma^3}\right)}$$



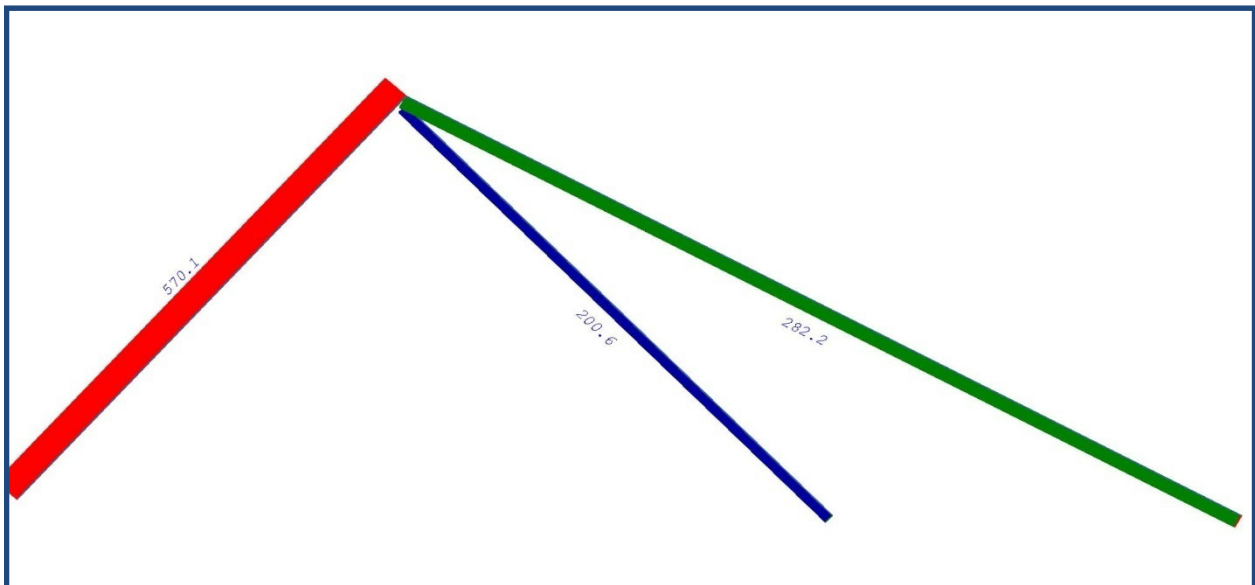
Η ελάχιστη προένταση κάθε καλωδίου είναι:

- $\Phi 44$  (1):  $P_{\min} = 185 \text{ kN}$
- $\Phi 44$  (2):  $P_{\min} = 260 \text{ kN}$
- $\Phi 80$ :  $P_{\min} = 390 \text{ kN}$

Η προένταση όπου εφαρμόζεται σε κάθε καλώδιο, φαίνεται παρακάτω:



Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα τελικά αξονικά φορτία των καλωδίων μετά την προένταση και υπό μόνιμα φορτία.



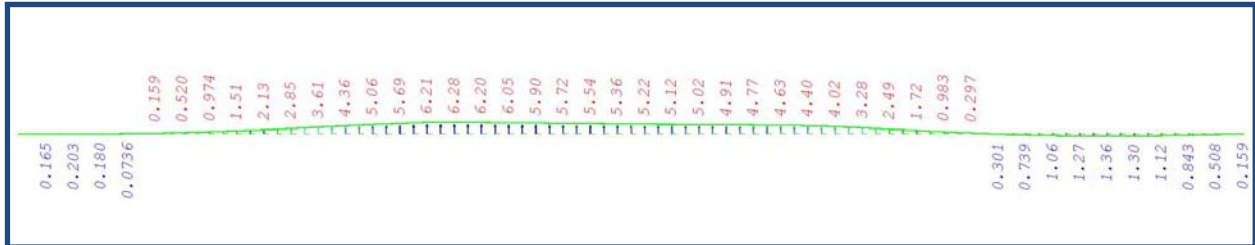
Παρατηρούμε ότι όλα τα καλώδια φέρουν αξονικό φορτίο μεγαλύτερο από το ελάχιστο απαιτούμενο για ελαστική λειτουργία.



### 5.3.2.4 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία

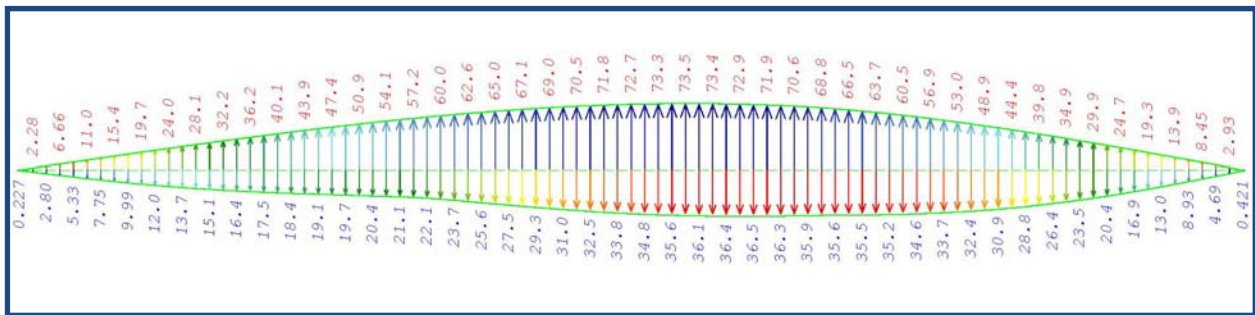
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό στατικά φορτία.

*Βέλος κάμψης από μόνιμα φορτία + προένταση  $\delta(g+p)=-6mm$*

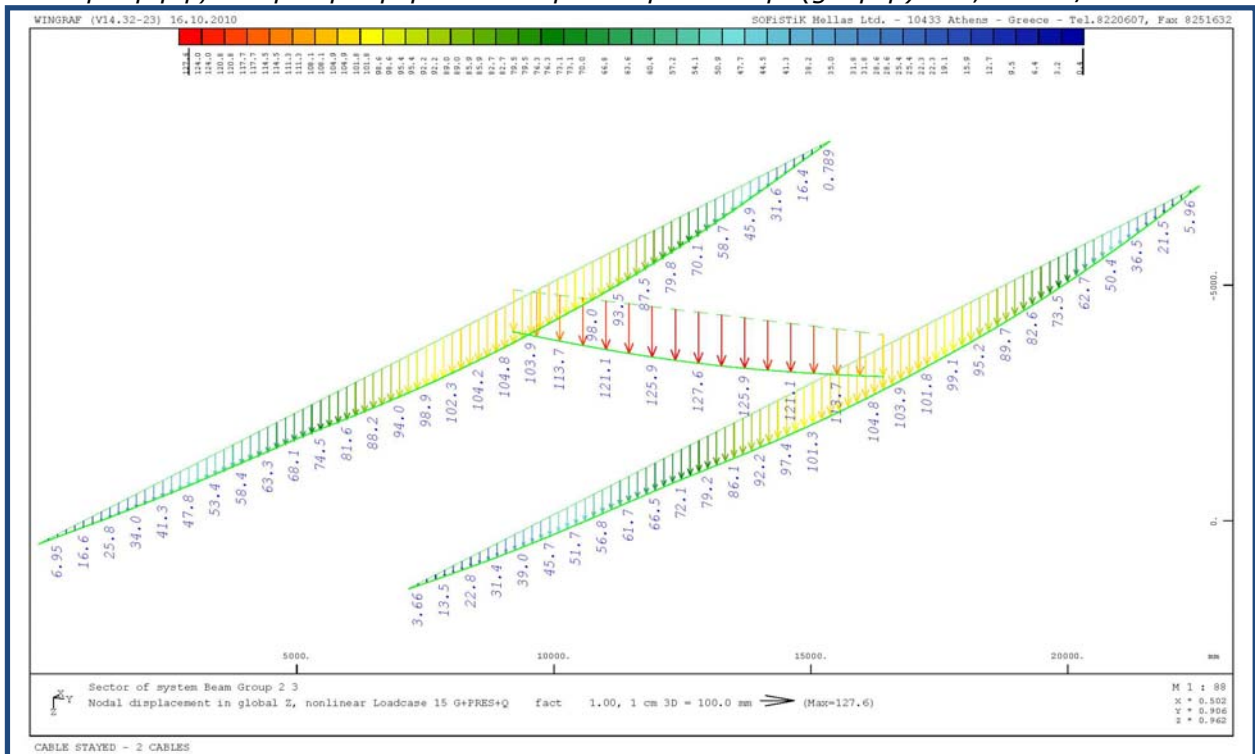


Η προένταση των καλωδίων δημιουργεί αντιβέλος στο φορέα, τέτοιο ώστε υπό μόνιμα φορτία να υπάρχει στην ουσία μηδενικό βέλος.

*Βέλος κάμψης από κινητά φορτία  $\delta q=7,3+3,6=10,9cm < L/300=11,7cm$*

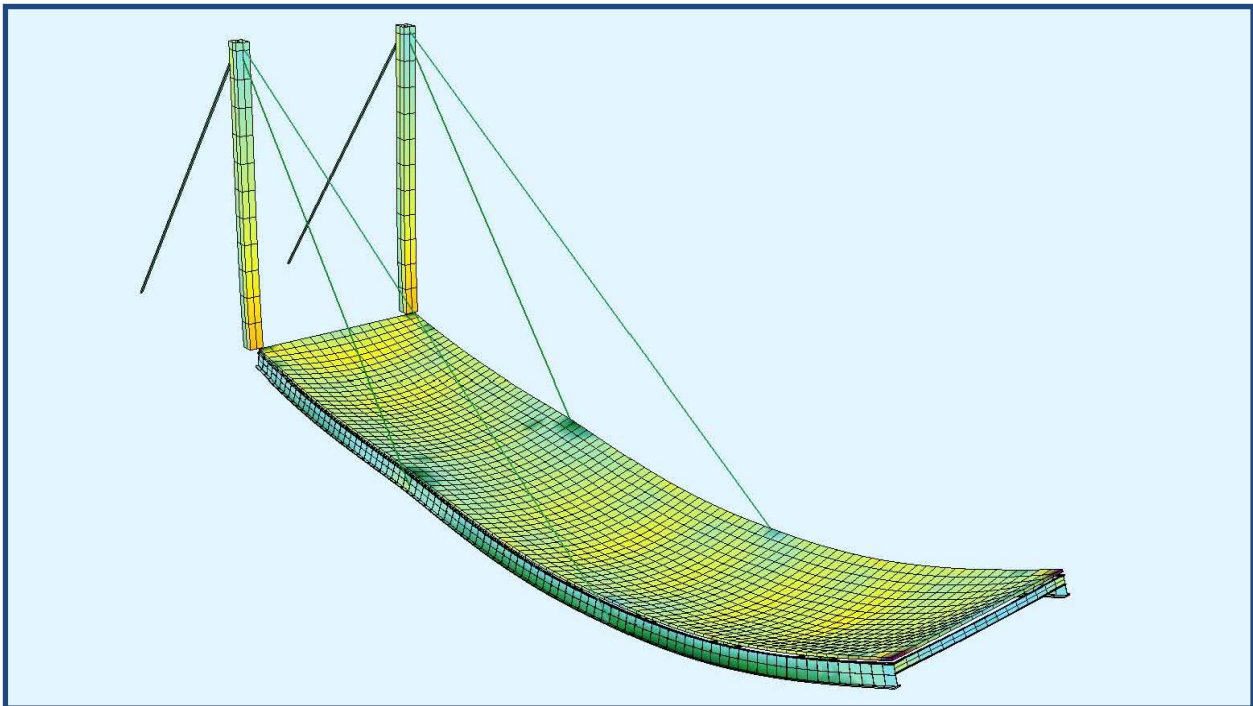


*Βέλη κάμψης από μόνιμα φορτία + κινητά + προένταση  $\delta(g+q+p)=12,7cm < L/250=14cm$*



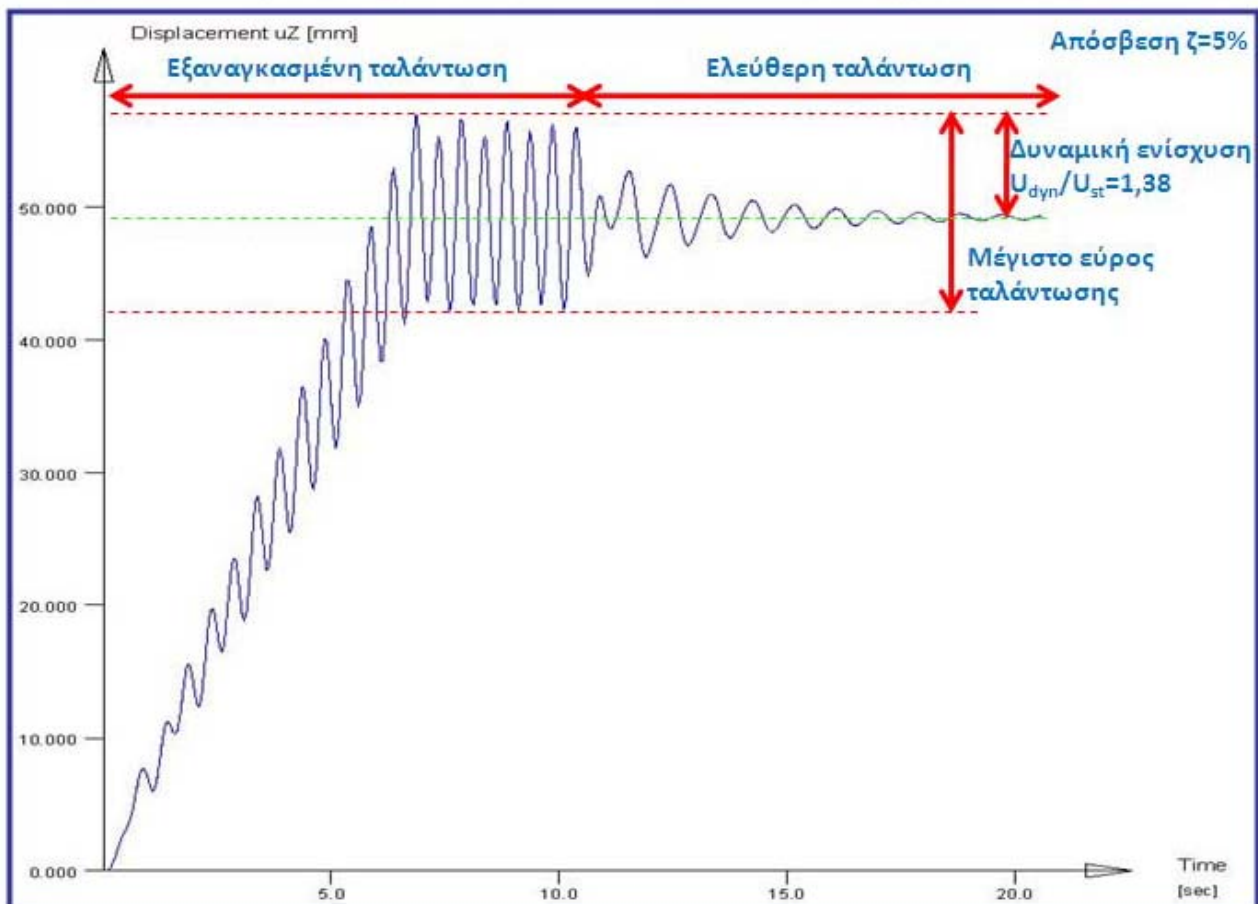
Όλοι οι έλεγχοι σε ΟΚΛ υπό στατικά φορτία ικανοποιούνται.

### 5.3.2.5 Έλεγχος σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία



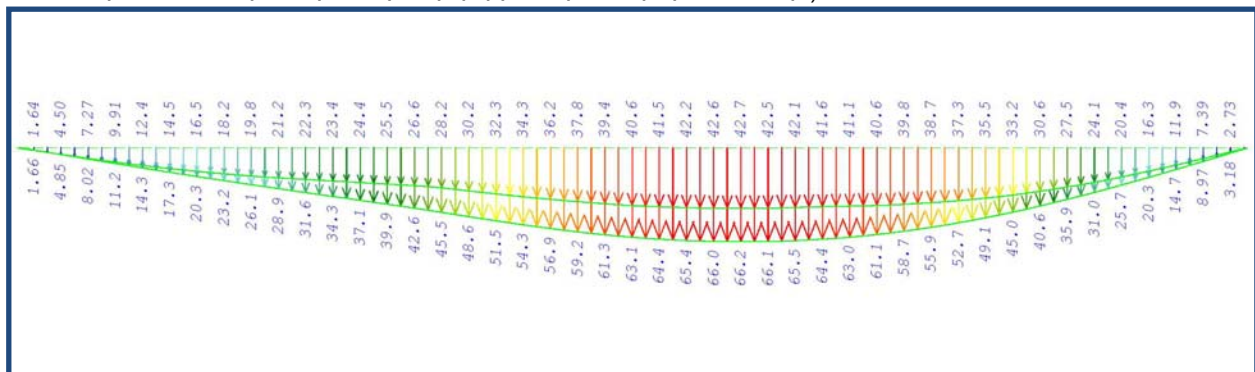
Καμπτική ιδιομορφή με συχνότητα  $f=1,10\text{Hz}$

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνεται η χρονοϊστορία του βέλους κάμψης του φορέα, λόγω δυναμικής φόρτισης  $p=2,5+\sin(2*2\pi t)$ .

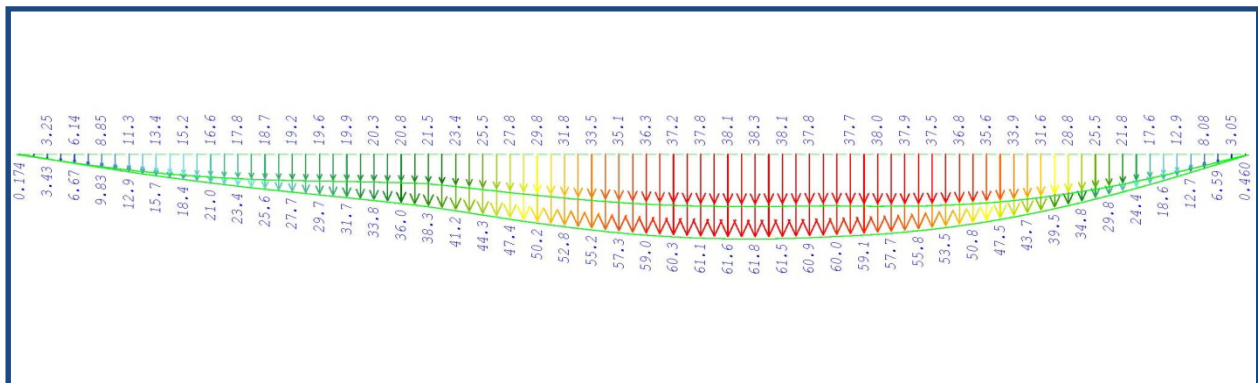


Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται τα βέλη κάμψης του φορέα υπό δυναμικά φορτία.

Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης κινητών φορτίων  $\delta q_{dyn}=6,6cm < L/300=11,7cm$



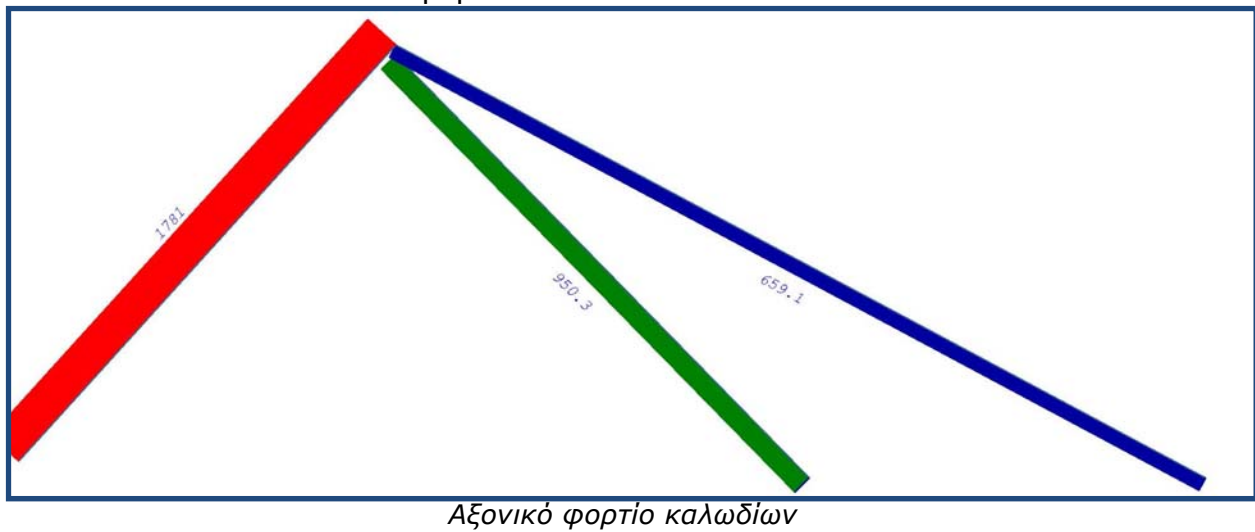
Μέγιστο δυναμικό βέλος κάμψης μόνιμων + κινητών φορτίων + προέκτασης  $\delta(g+q_{dyn}+p)=6,2cm < L/250=14cm$



Όλοι οι έλεγχοι σε ΟΚΛ υπό δυναμικά φορτία ικανοποιούνται.

### 5.3.2.6 Έλεγχος καλωδίων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

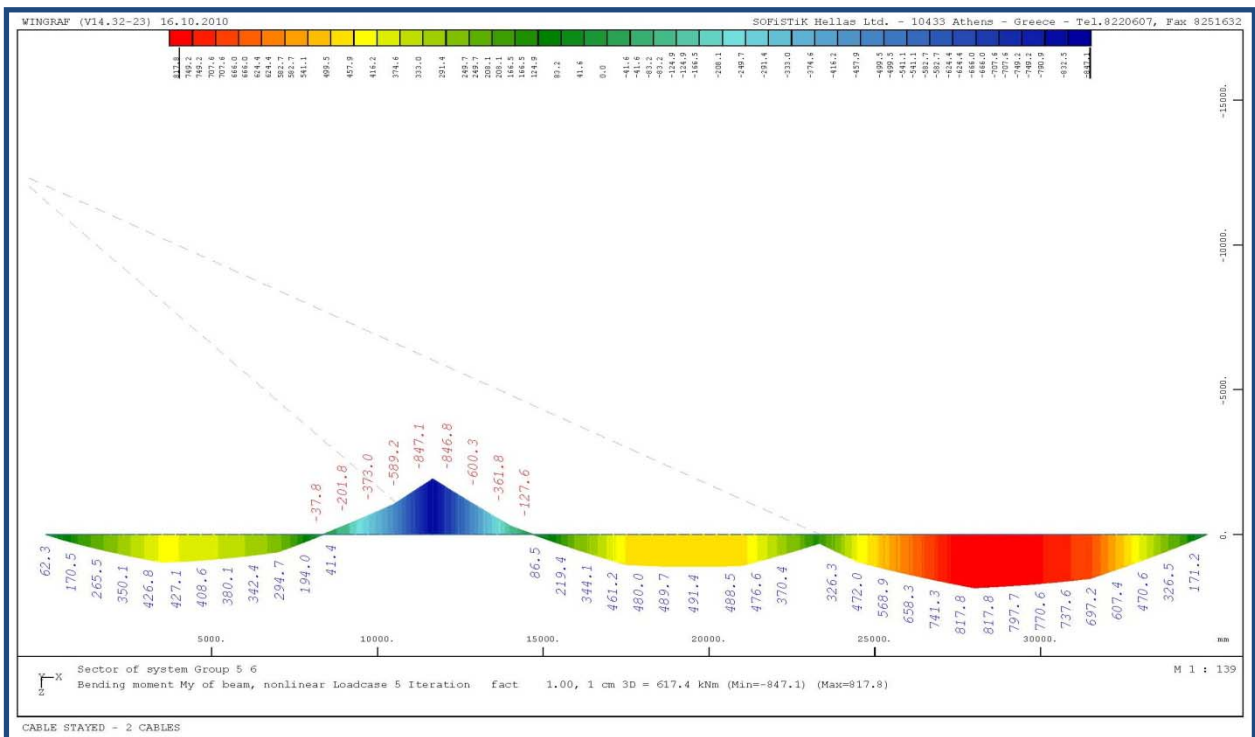
Στο διάγραμμα που ακολουθεί, φαίνονται οι αξονικές δυνάμεις των καλωδίων υπό στατικά φορτία.

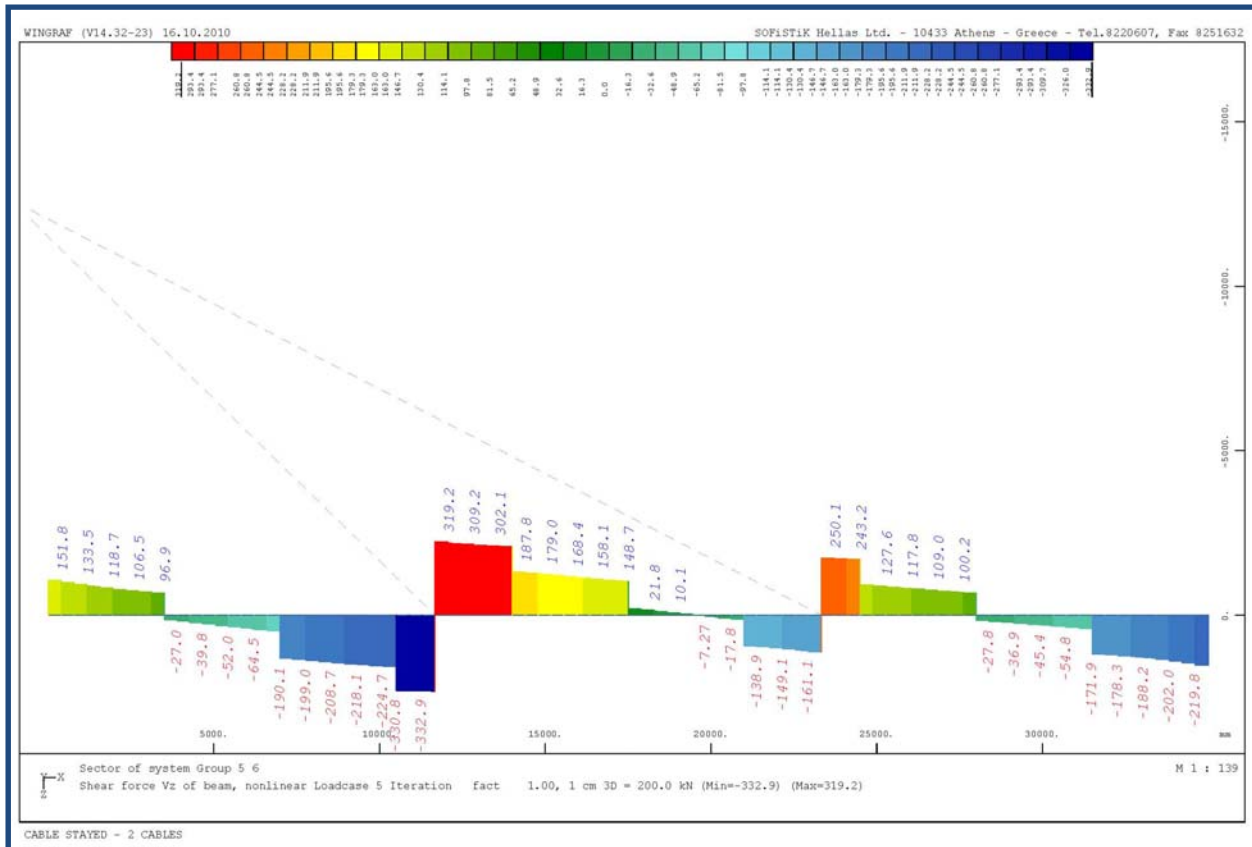


- $\Phi 80$ :  $N_{t,Rd}=6405\text{kN} > N_{sd}=1781\text{kN}$
- $\Phi 44$ :  $N_{t,Rd}=1945\text{kN} > N_{sd}=950\text{kN}$

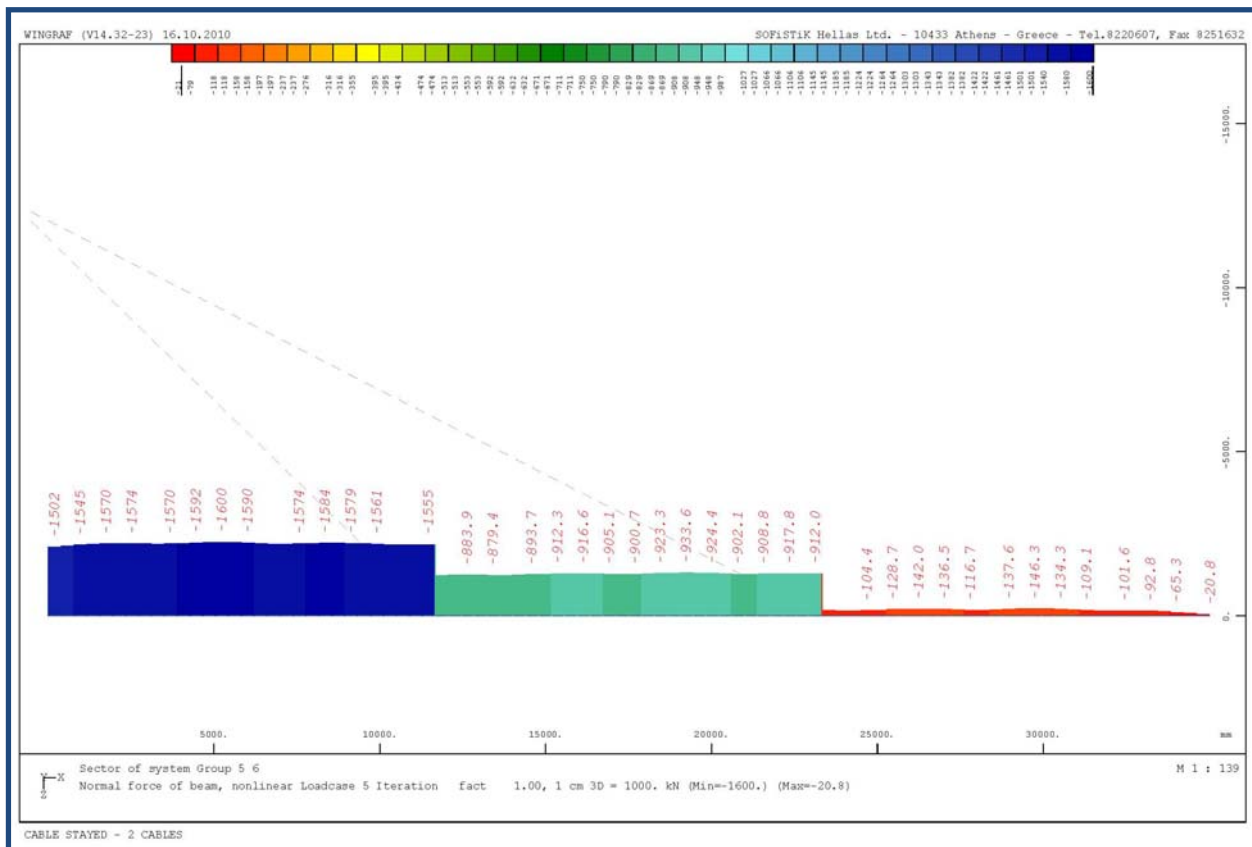
### 5.3.2.7 Έλεγχος κύριων δοκών και διαδοκίδων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι καμπτικές ροπές, τέμνουσες και αξονικές δυνάμεις των κύριων δοκών.





Τέμνουσες



Αξονικές

Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε κάμψη, τέμνουσα και αξονικό φορτίο για θετικές ροπές:

- Συγκολλητή 13/150+10/550+26/280 ( $b_{eff}=1,46m/d_c=14cm$ ):

$$M_{el,Rd}=1188kNm > M_{sd}=800kNm$$

$$V_{pl,Rd}=901 > V_{sd}=171kN$$

$$N_{pl,Rd}=11893 > V_{sd}=135kN$$

Έλεγχος σιδηράς δοκού σε κάμψη και τέμνουσα για αρνητικές ροπές:

- Συγκολλητή 13/150+10/550+26/280:

$$M_{pl,Rd}=868kNm > M_{sd}=847kNm$$

$$V_{pl,Rd}=901 > V_{sd}=330kN$$

$$N_{pl,Rd}=11893 > V_{sd}=1555kN$$

Δεν απαιτούνται απομοιώσεις των καμπτικών αντοχών.

Οι διαδοκίδες εξασφαλίζουν την ευστάθειά της έναντι πλευρικού λυγισμού.

Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε κάμψη και τέμνουσα:

- IPE240 ( $b_{eff}=2,00m/d_c=14cm$ ):

$$M_{pl,Rd}=293kNm > M_{sd}=273kNm$$

$$V_{pl,Rd}=255kN > V_{sd}=136kN$$

Οι έλεγχοι των κύριων δοκών και των διαδοκίδων υπό στατικά φορτία σε ΟΚΑ ικανοποιούνται.

Τα υπολογιστικά φύλλα Excel των κύριων δοκών και διαδοκίδων φαίνονται στις επόμενες σελίδες.

**ΦΟΡΕΑΣ: ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ ΜΕ 2 ΚΑΛΩΔΙΑ/ΠΑΡΕΙΑ - ΚΥΡΙΑ ΔΟΚΟΣ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΣ4**

ΔΕΔΟΜΕΝΑ			
ΥΛΙΚΑ		Δομικός χάλυβας	
Σκυρόδεμα	Χάλυβας σπλισμού	$F_{yd}$ (MPa)	$F_{td}$ (MPa)
C (MPa)	S (MPa)	355	510
$F_{cd}$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	210	322.73
35	19.83	33.3	210
$F_{ctd}$ (MPa)	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	500	24.78
3.5	5.00	11.67	4.00
ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ	
$q$ (kN/m <sup>2</sup> )	L (m)	$b_{eff}$ (cm)	d (cm)
0.00	5.00	146	12
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ	
Άνω πέλμα (cm)	Κορμός (cm)	Κάτω πέλμα (cm)	Πρόσθετο (cm)
1.30	15.00	1.00	55.00
ΟΠΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΕΙΡΕΣ	
$\phi$	ανά (cm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	a
AMD	0	20.0	0.0
KATQ	0	20.0	0.0
ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ		ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	
$\sigma_a^u$	$\sigma_a^c$	$\sigma^u$	$\sigma^c$
15.27	-4.85	-0.77	-1.42
$\delta_g$	$\delta_a$	$L/300$	$\delta_0$
0.2	0.3	3.9	0.0
$\delta_{th}$			
0.5			
O.K.A.	O.K.A.	$M_{ed}$ (kNm)	$V_{ed}$ (kN)
		850.00	93.79
$M_{red}$ (kNm)	$V_{red}$ (kN)	188.89	64.74

ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
$M_{b,0}$ (kNm)	1797.0	$D_{max}$ (kN)	2099.0
$M_{b,0}^{(0)}$ (kNm)	5650.5	$A_{req}$ (cm <sup>2</sup> )	65.0
$M_{b,1}$ (kNm)	1188.0	$Z_{max}$ (kN)	4753.8
$z$ (cm)	26.2	$z_{0.05}$ (cm)	13.7
$M_{ed}^{el}$ (kNm)	1188.0	$M_{red}^{pl}$ (kNm)	2244.7
$V_{ed}^{el}$ (kN)	901.8	$V_{red}^{pl}$ (kN)	901.8
$V_{red}$ (kN)	cap 1.40	$V_{red}$ (kN)	cap 2.64

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ	
ΚΟΡΜΟΣ	ΑΝΩ	ΚΑΤΩ	ΚΑΤΩ
$c/t$	55.00	5.38	4.88
KATQ	KAT.1	KAT.1	KAT.1
0	0	0	0
0	0	0	0
$M_{ed}$ (kNm)	868.57	cap	11.91
$M_{ed}$ (kNm)	603.31	cap	8.27

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ	
$\phi$	ανά (cm)
19	25
19	66
Π.Δ.Κ.	19
Μ.Δ.Κ.	19

**ΔΙΑΤΟΜΗ:**  
13/150+10/550+26/280

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΣ4**  
**ΦΟΡΕΑΣ: ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΠΕΖΟΓΕΦΥΡΑ ΜΕ 2 ΚΑΛΩΔΙΑ/ΓΡΑΦΕΙΑ - ΔΙΑΔΟΚΙΔΑ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Σκυρόδεμα		Υλικό		Χάλυβας οπλισμού		Δομικός χάλυβας	
C (MPa)	F <sub>ctd</sub> (MPa)	F <sub>yk</sub> (MPa)	F <sub>td</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (GPa)	E <sub>c</sub> (GPa)	St (MPa)	F <sub>sd</sub> (MPa)
35	19.83	500	434.78	210	355	510	322.73
ΦΟΡΤΙΑ - ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ		ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΛΑΚΑΣ		b <sub>eff</sub> (cm)		d (cm)	
q (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	L (m)	b (m)	200	-4	0.00	7.30
0.00	5.00	8.00	3.18				

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΟΥ		Κάτω πέλμα (cm)		Πρόσθετο (cm)		A (cm <sup>2</sup> )	
Άνω πέλμα (cm)	Κορυμός (cm)	0.98	22.04	0.00	0.00	0.00	37.18
0.98	12.00	0.62	22.04	0.00	0.00	0.00	37.18

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ		ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΗΛΟΙ	
φ	ανά (cm)	d (mm)	L (cm)
ΑΝΩ	0	19	9.0
ΚΑΤΩ	0	19	9.0

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΟΥ		ΑΝΩ		ΚΑΤΩ	
c/t	ΚΟΡΜΟΣ	ΚΑΤ. J	ΑΝΩ	ΚΑΤ. J	ΚΑΤ. J
	35.55	0	5.81	0	5.62
ΚΑΤ. J	0	0	0	0	0
M <sub>pl</sub> (kNm)	109.60	cap	2.45	cap	2.21
M <sub>sd</sub> (kNm)	98.73	cap	2.21	cap	2.21

ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
M <sub>ed</sub> <sup>II</sup> (kNm)	220.7	D <sub>max</sub> (kN)	3671.2
M <sub>ed</sub> <sup>0</sup> (kNm)	1029.1	A <sub>max</sub> (cm <sup>3</sup> )	113.8
M <sub>ed</sub> <sup>III</sup> (kNm)	350.9	Z <sub>max</sub> (kN)	1200.1
Z <sub>e</sub> (cm)	7.4	Z <sub>0</sub> (cm)	3.2
M <sub>ed</sub> <sup>d</sup> (kNm)	220.7	M <sub>ed</sub> <sup>pl</sup> (kNm)	292.8
V <sub>ed</sub> <sup>II</sup> (kN)	254.6	V <sub>ed</sub> <sup>pl</sup> (kN)	254.6
cap	0.81	cap	1.07

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΑΕΣΜΟΙ	
Π.Δ.Κ.	φ
19	19
Μ.Δ.Κ.	19
	ανά [cm]
	30
	32
	P <sub>rd</sub> (kN)
	90.39

**ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**

σ <sub>a</sub>	σ <sub>x</sub>	σ <sub>y</sub>	σ <sub>u</sub>	σ <sub>v</sub>	σ <sub>o</sub>
39.99	8.57	1.36	-1.55		

**ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ**

Ο.Κ.Α.	Ο.Κ.Α.
M <sub>sd</sub> (kNm)	M <sub>kntt</sub> (kNm)
273.42	136.71
V <sub>sd</sub> (kN)	V <sub>sdet</sub> (kN)
119.35	59.58

**ΒΕΛΗ (cm)**

δ <sub>k</sub>	δ <sub>g</sub>	L/300	δ <sub>0</sub>	δ <sub>ok</sub>
0.6	1.2	< 2.7	0.0	1.8

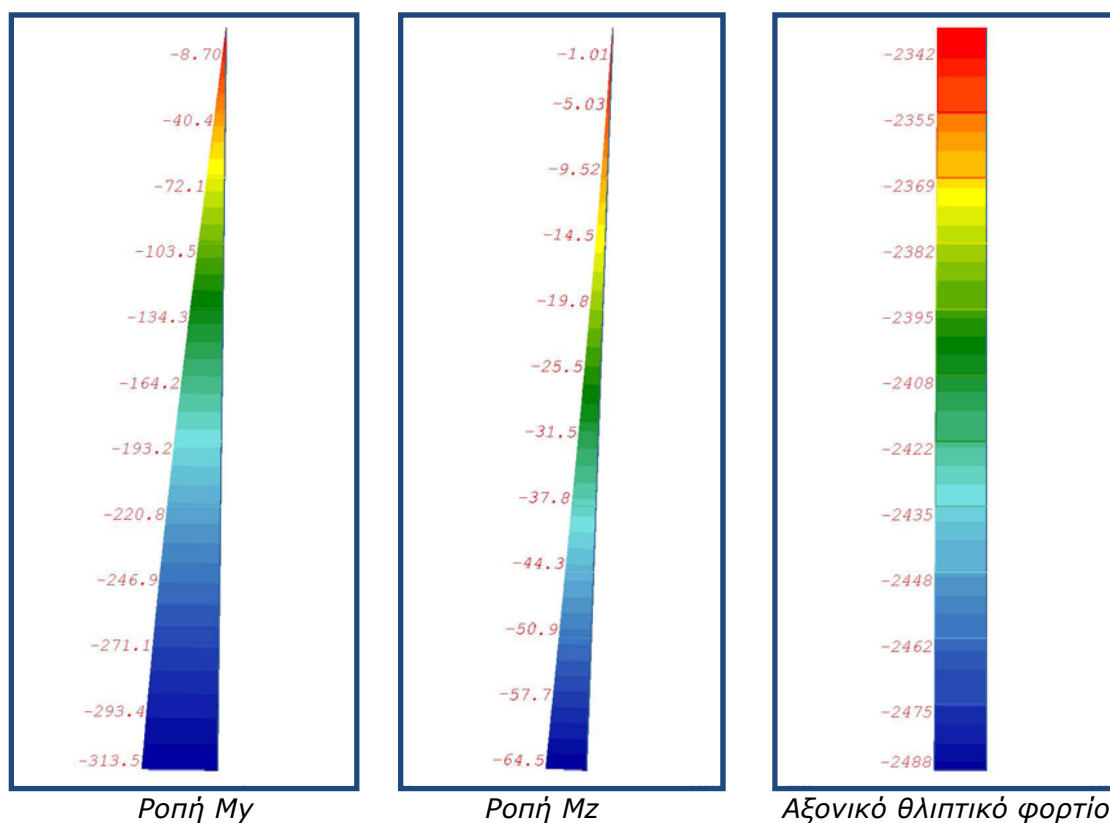
**ΔΙΑΤΟΜΗ: ΙΡΕ 240**



### 5.3.2.8 Έλεγχος πυλώνων σε ΟΚΑ υπό στατικά φορτία

Οι πυλώνες διαστασιολογούνται έναντι διαξονικής κάμψης και ορθής θλιπτικής δύναμης με θεωρία 2ας τάξης, όπως στην προηγούμενη περίπτωση, για τις ίδιες γεωμετρικές ατέλειες.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, φαίνονται οι καμπτικές ροπές και το αξονικό φορτίο των πασσάλων.



Διαξονική κάμψη με ορθή θλιπτική δύναμη.

Ροπές  $M_{y,sd}=313\text{kNm}$ ,  $M_{z,sd}=65\text{kNm}$ ,  $N_{sd}= -2488\text{kN}$

Τοποθετείται περιμετρικός οπλισμός 12φ20

Επίσης δεν παρατηρείται απώλεια ευστάθειας των πυλώνων.

### 5.3.2.9 Έλεγχος χαλυβδόφυλλου σε ΟΚΛ και ΟΚΑ στη φάση κατασκευής

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, υπάρχει επάρκεια του χαλυβδόφυλλου  $t=1,25\text{mm}$ .

## Κεφάλαιο 6

### ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 6.1 Αμφιέρειστες πεζογέφυρες

##### 6.1.1 Προμέτρηση και προϋπολογισμός αμφιέρειστων πεζογεφυρών

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το κόστος και οι ποσότητες υλικών για τους 3 τύπους αμφιέρειστων πεζογεφυρών όπου εξετάστηκαν.

ΦΟΡΕΑΣ / ΥΛΙΚΑ	Δομικός χάλυβας S355 (t)	Σκυρόδεμα C35/45 (m <sup>3</sup> )	Χαλ/φυλλο t(mm)	Υποστήριξη χαλ/φυλλου	Συνολικό Κόστος (€)
2 ΔΟΚΩΝ	17.7	41.7	1.25	ΝΑΙ	<b>61,031</b>
3 ΔΟΚΩΝ	21.1	47.3	1.00	ΟΧΙ	<b>70,029</b>
4 ΔΟΚΩΝ	22.7	50.1	0.75	ΟΧΙ	<b>74,143</b>

Παρατηρούμε πως η αύξηση του αριθμού των δοκών, οδηγεί σε αύξηση του κόστους του φορέα. Το αυξημένο κόστος, έγκειται στην αύξηση της ποσότητας του δομικού χάλυβα και στην αύξηση του σκυροδέματος λόγω της ανάγκης παχύτερων συμμίκτων πλακών. Παράλληλα οι περισσότερες δοκοί έχουν και υψηλότερο κόστος εργατικών. Οι περιπτώσεις των 3 και 4 δοκών υπερτερούν μόνο στο ότι δεν απαιτούν υποστήριξη του χαλυβδόφυλλου στη φάση κατασκευής.

Άρα από την πλευρά του κόστους οι 2 διαμήκεις δοκοί αποτελούν την οικονομικότερη λύση.

##### 6.1.2 Συμπεράσματα ως προς το σχεδιασμό

Ως προς το σχεδιασμό, οι λύσεις δεν διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους, αφού η αύξηση του αριθμού των δοκών δεν προσφέρει κάτι στη στατική λειτουργία του φορέα. Ίσως σε μεγαλύτερα πλάτη να ετίθετο θέμα εγκάρσιας λειτουργίας της πλάκας, αλλά για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις και για μη συγκεντρωμένα φορτία όπως σε οδικές γέφυρες, δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα.

## 6.2 Αμφιέρειστες πεζογέφυρες με σύστημα άντωσης

### 6.2.1 Προμέτρηση και προϋπολογισμός αμφιέρειστων πεζογεφυρών με σύστημα άντωσης

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το κόστος και οι ποσότητες υλικών για τους 2 τύπους αμφιέρειστων πεζογεφυρών με σύστημα άντωσης όπου εξετάστηκαν.

ΦΟΡΕΑΣ / ΥΛΙΚΑ	Δομικός χάλυβας S355 (t)	Σκυρόδεμα C35/45 (m <sup>3</sup> )	Χαλ/φυλλο t(mm)	Υποστήριξη χαλ/φυλλου	Συνολικό Κόστος (€)
ΣΥΣΤ. ΑΝΤΩΣΗΣ ΜΕ 2 ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	13.9	19.3	1.00	ΟΧΙ	<b>43,718</b>
ΣΥΣΤ. ΑΝΤΩΣΗΣ ΜΕ 3 ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	14.1	19.3	1.00	ΟΧΙ	<b>44,218</b>

Παρατηρούμε πως οι δύο λύσεις είναι πρακτικά ισοδύναμες, με το σύστημα των 2 ελκυστήρων να υπερτερεί στο ότι έχει μικρότερο κόστος εργατικών λόγω λιγότερων συνδέσεων.

Άρα από την πλευρά του κόστους το σύστημα άντωσης με τους 2 κύριους ελκυστήρες αποτελεί την οικονομικότερη λύση.

### 6.2.2 Συμπεράσματα ως προς το σχεδιασμό

Ως προς το σχεδιασμό, οι λύσεις δεν διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους, αφού η αύξηση του αριθμού των δοκών δεν προσφέρει κάτι στη στατική λειτουργία του φορέα. Ίσως σε μεγαλύτερα πλάτη να ετίθετο θέμα εγκάρσιας λειτουργίας της πλάκας, αλλά για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις και για μη συγκεντρωμένα φορτία όπως σε οδικές γέφυρες, δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα.

### 6.3 Αμφιέρειστες καλωδιωτές πεζογέφυρες

#### 6.3.1 Προμέτρηση και προϋπολογισμός αμφιέρειστων καλωδιωτών πεζογεφυρών

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το κόστος και οι ποσότητες υλικών για τους 2 τύπους καλωδιωτών πεζογεφυρών όπου εξετάστηκαν, ενώ έχει υπολογιστεί και το κόστος εργασίας για την προένταση.

ΦΟΡΕΑΣ / ΥΛΙΚΑ	Δομικός χάλυβας S355 (t)	Καλώδια 1570/1760 (t)	Σκυρόδεμα C35/45 (m <sup>3</sup> )	Χαλ/φυλλο t(mm)	Υποστήριξη χαλ/φυλλου	Κόστος υλικών (€)	Εργασία (€)	Συνολικό Κόστος (€)
ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΜΕ 5 ΚΑΛΩΔΙΑ ΑΝΑ ΠΑΡΕΙΑ	9.8	2.8	31.5	1.25	ΟΧΙ	120,370	49,500	169,870
ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΜΕ 2 ΚΑΛΩΔΙΑ ΑΝΑ ΠΑΡΕΙΑ	11.0	2.1	34.3	1.25	ΟΧΙ	105,095	37,800	142,895

Παρατηρούμε πως παρά την σχεδόν ίδια συνολική ποσότητα χάλυβα, η μεγαλύτερη ποσότητα του χάλυβα καλωδίων στον ένα φορέα οδηγεί σε αρκετά αυξημένο κόστος. Αυτό οφείλεται στην υψηλή τιμή των καλωδίων (~30€/kg), αλλά και στο υψηλό κόστος τοποθέτησης και προέντασής τους (~18€/kg), όπου δίνουν ένα συνολικό κόστος καλωδίων 48€/kg, σε σχέση με τα περίπου 2,5€/kg του απλού δομικού χάλυβα.

Άρα από την πλευρά του κόστους η καλωδιωτή με 2 καλώδια ανά παρειά αποτελεί την οικονομικότερη λύση.

#### 6.3.2 Συμπεράσματα ως προς το σχεδιασμό

Κοινό συμπέρασμα και για τους 2 τύπους καλωδιωτών πεζογεφυρών, είναι η μη πλήρης εκμετάλλευση της σύμμικτης λειτουργίας των κυρίων δοκών. Η σύμμικτης λειτουργία των κυρίων δοκών συμβάλλει μόνο ως προς την δυσκαμψία και όχι ως προς την αντοχή, καθότι από τις αναλύσεις φαίνεται πως η εξωτερική ροπή μπορεί να αναληφθεί αποκλειστικά από την σιδηρά δοκό. Αυτό βέβαια δεν αναιρεί την σημαντική συμβολή της σύμμικτης λειτουργίας στα βέλη του φορέα.

Η πεζογέφυρα με τα 5 καλώδια ανά παρειά έχει πιο ομαλή μεταβολή εντάσεων στις κύριες δοκούς ανά θέση αγκύρωσης και μικρότερες αρνητικές ροπές και τοπικές καταπονήσεις στις θέσεις αγκυρώσεων σε σχέση με τα 2 καλώδια ανά παρειά, ενώ είναι και πιο εύκολη η προέντασή τους.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι μεγάλος αριθμός καλωδίων έχει και καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα, όντας ελκυστικότερη στο χρήστη.

Άρα από την πλευρά του σχεδιασμού είναι ευνοϊκότερη η πεζογέφυρα με τα 5 καλώδια ανά παρειά, έχοντας όμως αυξημένο κόστος.

#### 6.4 Σύγκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων πεζογεφυρών

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα συνολικά κόστη όλων των τύπων πεζογεφυρών όπου εξετάστηκαν.

ΦΟΡΕΑΣ / ΥΛΙΚΑ	Δομικός χάλυβας S355 (t)	Καλώδια 1570/1760 (t)	Σκυρόδεμα C35/45 (m <sup>3</sup> )	Χαλ/φυλλο t(mm)	Υποστήριξη χαλ/φυλλου	Κόστος υλικών (€)	Εργασία (€)	Συνολικό Κόστος (€)
2 ΔΟΚΩΝ	17.7	-	41.70	1.25	ΝΑΙ	61,031	-	61,031
3 ΔΟΚΩΝ	21.1	-	47.30	1.00	ΟΧΙ	70,029	-	70,029
4 ΔΟΚΩΝ	22.7	-	50.10	0.75	ΟΧΙ	74,143	-	74,143
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΩΣΗΣ ΜΕ 2 ΚΥΡΙΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	13.9	-	19.30	1.00	ΟΧΙ	43,718	-	43,718
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΩΣΗΣ ΜΕ 3 ΚΥΡΙΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ	14.1	-	19.30	1.00	ΟΧΙ	44,218	-	44,218
ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΜΕ 5 ΚΑΛΩΔΙΑ ΑΝΑ ΠΑΡΕΙΑ	9.8	2.8	31.5	1.25	ΟΧΙ	120370	49,500	169,870
ΚΑΛΩΔΙΩΤΗ ΜΕ 2 ΚΑΛΩΔΙΑ ΑΝΑ ΠΑΡΕΙΑ	11.0	2.1	34.3	1.25	ΟΧΙ	105095	37,800	142,895

Την οικονομικότερη λύση αποτελούν οι πεζογέφυρες με το σύστημα άντωσης. Αυτό οφείλεται στην πλήρη εκμετάλλευση των αντοχών των μελών όπου χρησιμοποιήθηκαν και στην στατική της λειτουργία όπου καθιστά δυνατή την βελτιστοποίησή της για όλα τα μέλη. Οι καλωδιωτές πεζογέφυρες, παρότι απαιτούν συνολικά την λιγότερη ποσότητα χάλυβα, έχουν πολύ αυξημένο κόστος λόγω των καλωδίων και της εργασίας τους, αλλά και της δυσκολίας να επιτευχθεί μία λύση όπου εξαντλεί τα περιθώρια αντοχής όλων των μελών λόγω των πολλών παραμέτρων που επηρεάζουν το σχεδιασμό. Οι πεζογέφυρες με ολόσωμες δοκούς, υστερούν έναντι του συστήματος ανώσεως λόγω του μικρότερου στατικού ύψους. Αυτό οφείλεται κυρίως στην λυγηρότητα των κορμών που περιορίζει τη δυνατότητα επίτευξης μεγάλου στατικού ύψους. Παρόλα αυτά όμως, χαρακτηρίζονται από τον πολύ εύκολο στατικό υπολογισμό τους και την εύκολη βελτιστοποίησή τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω αποτελέσματα ισχύουν για μία συγκεκριμένη κάτοψη φορέα. Σε μεγάλα ανοίγματα οι καλωδιωτές πεζογέφυρες είναι σίγουρα πολύ οικονομική λύση, ενώ δεν θα ήταν δυνατόν για το ίδιο άνοιγμα να επιτευχθεί λύση με απλές ολόσωμες δοκούς.

Στην τελική επιλογή, πέρα από το κόστος, πρέπει να ληφθούν υπόψη και παράγοντες όπως ο τόπος του έργου, η αισθητική εικόνα, η ελκυστικότητα που προκαλεί στον χρήστη, αλλά και η σημασία (πολιτιστική, ιστορική) του έργου. Για παράδειγμα το σύστημα άντωσης υπερτερεί των ολόσωμων δοκών, αφού παρότι μεγαλύτερου συνολικού ύψους, αποτελεί ένα πολύ λεπτό φορέα. Τέλος, είναι βέβαιο ότι οι καλωδιωτές πεζογέφυρες αποτελούν την πιο εντυπωσιακή κατασκευή και σαν αισθητική αλλά και σαν σχεδιασμό μεταξύ των υπολοίπων, πλεονεκτήματα που πολλές φορές της δίνουν το τελικό πραβάδισμα.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Βάγιας Ι., Ηλιόπουλος Α.: Σύμμικτες Γέφυρες, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [2] Βάγιας Ι.: Σύμμικτες Κατασκευές, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [3] Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ.: Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [4] Γαντές Χ.: Σχεδιασμός Καλωδιωτών Κατασκευών και Μembranών, Σημειώσεις για το αντίστοιχο Μεταπτυχιακό μάθημα του ΔΜΠΣ «Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών» του ΕΜΠ
- [5] Ερμόπουλος Ι.: Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [6] Walther R., Houriet B., Isler W., Moïa P.: Cable Stayed Bridges, Thomas Telford ed.