



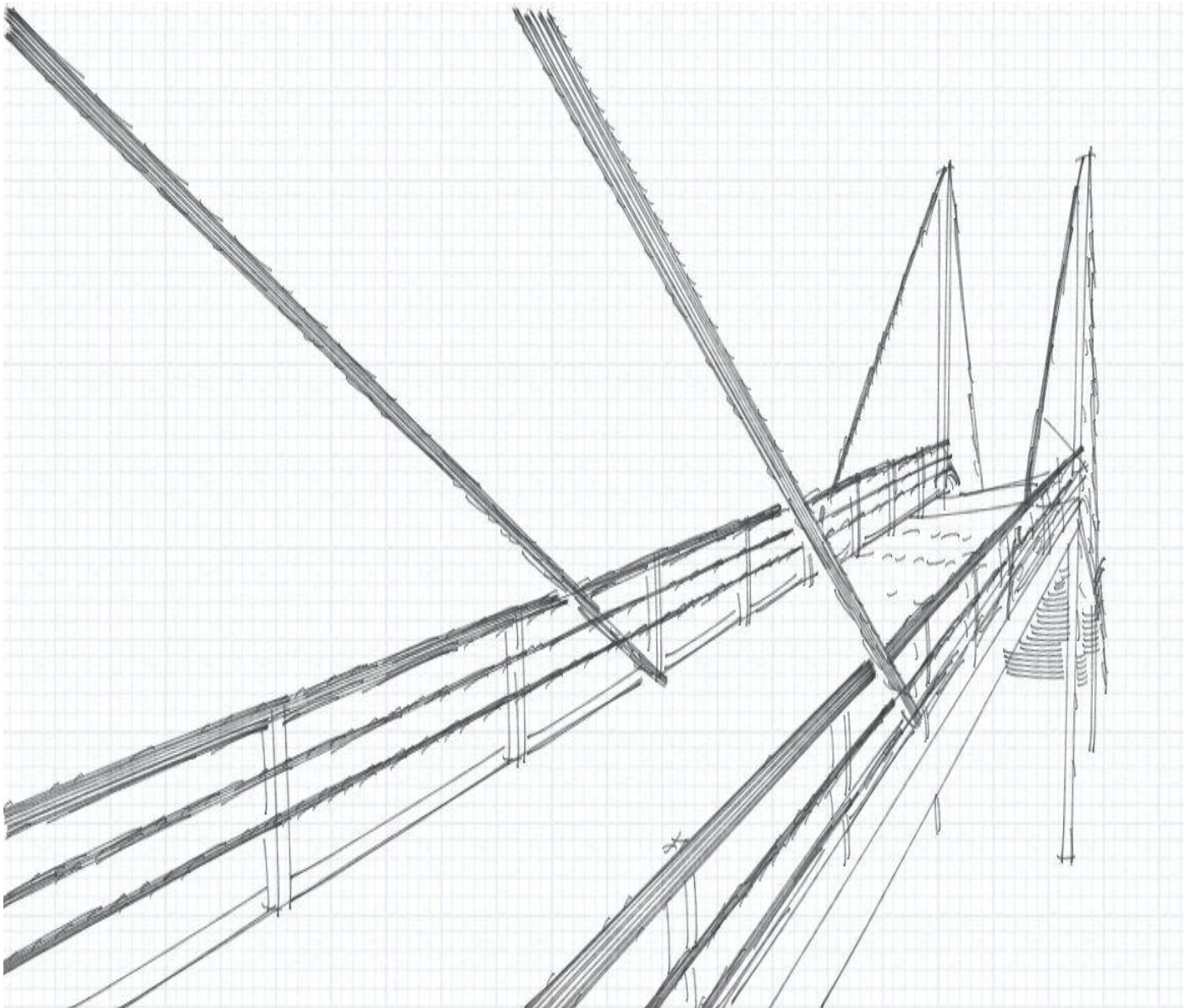
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Δομοστατικής

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μελέτη Μεταλλικής Πεζογέφυρας



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιάσων Κ. Βαρδακούλιας

Επιβλέπων: Ιωάννης Κ. Βάγιας

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

ΕΜΚ ΔΕ 2012/33

Ιάσων Κ. Βαρδακούλιας (2012)
Μελέτη Μεταλλικής Πεζογέφυρας
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2012/33
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Iason K. Vardakoulias (2012)
Study of Steel Pedestrian Bridge
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2012/33
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	3
Abstract	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο Χάλυβας-Μεταλλικές Γέφυρες.....	6
1.1.Χάλυβας	7
1.1.1 Ταξινόμηση και χρήση χαλύβων.....	7
1.1.2 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Χάλυβα	9
1.2 Μεταλλικές Γέφυρες	10
1.2.1 Μεταλλικές γέφυρες ανά τον κόσμο:	11
1.2.2 Οι πιο εντυπωσιακές πεζογέφυρες στον κόσμο	12
1.2.3 Δομικά Μέλη Γεφυρών	14
1.2.4 Κατηγορίες Γεφυρών.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο Δράσεις	22
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2. Φορτίσεις.....	24
2.2.1 Μόνιμα Φορτία	24
2.2.2 Κινητά φορτία.....	24
2.2.2.1 Δράσεις Ανέμου	25
2.2.2.2 Φορτία Χιονιού.....	30
2.2.2.3 Θερμοκρασιακές Μεταβολές	31
2.2.2.4 Συγκεντρωμένο φορτίο	33
2.2.3 Τυχηματικά φορτία.....	33
2.2.4 Σεισμικά Φορτία.....	34
2.2.5 Ταλαντώσεις	41
2.3 Συνδυασμοί δράσεων	43
2.3.1 Συνδυασμοί στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας	44
2.3.2 Συνδυασμοί στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας.....	45
2.3.3 Συνδυασμοί ΟΚΑ μελέτης.....	46
2.3.4 Συνδυασμοί ΟΚΛ μελέτης.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο Στατικά μοντέλα σε στάδιο προμελέτης	47
3.1 Εισαγωγή.....	48
3.2 Δικτυωτή	52
3.3 Τοξωτή	59
3.4 Καλωδιωτή	65
3.5 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο Οριστική μελέτη.....	71
4.1 Εισαγωγή.....	72

4.1.1 Μη γραμμική ανάλυση	73
4.1.2 Προένταση καλωδίων	76
4.1.3 Βέλη και παραμορφώσεις μελών στις ΟΚΑ	79
4.2 Κατασκευή – Ανέγερση	81
4.3.Συμπεράσματα	84
Βιβλιογραφία	85
Παράρτημα Α.	86
<i>Εσωτερικές Δυνάμεις Μελών στις διάφορες ΟΚΑ</i>	86
Παράρτημα Β	94
<i>Μετακινήσεις / Στροφές κόμβων στις διάφορες ΟΚΑ</i>	94

Μελέτη Μεταλλικής Πεζογέφυρας

Βαρδακούλιας Ι. Κ. (Επιβλέπων: Βάγιας Ι.)

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη του φορέα μιας μεταλλικής πεζογέφυρας. Το σημείο προορισμού της θα είναι η συμβολή των οδών Ρήγα Φεραίου & Λ. Βουλιαγμένης στο ύψος της Γλυφάδας, όπου καθημερινά αναγκάζονται να διασχίσουν εκατοντάδες παιδιά για να έχουν πρόσβαση στα σχολεία τους. Η επιλογή του σχεδιασμού της γέφυρας έγινε μέσω μελέτης 3 διαφορετικών στατικών μοντέλων και τελικώς, επιλογή της βέλτιστης λύσης εξ αυτών. Η μελέτη έγινε με χρήση του προγράμματος Scia Engineer 2011 -Student edition-, ενώ μερικά σχέδια και μορφοποιήσεις φωτογραφιών έγιναν με χρήση των προγραμμάτων 3ds Max, AutoCAD και Photoshop.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις μεταλλικές γέφυρες. Καταρχήν παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του χάλυβα και η χρησιμότητά του στα δομικά έργα. Έπειτα, γίνεται αναφορά στα διάφορα είδη γεφυρών και τα μέλη που τις αποτελούν μέσω φωτογραφιών και χαρακτηριστικών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φορτία, οι φορτιστικές καταστάσεις και οι συνδυασμοί αυτών, με βάση τους οποίους γίνεται ο έλεγχος επάρκειας των διατομών μιας γέφυρας. Γίνεται ο διαχωρισμός στα μόνιμα, μεταβλητά, τυχηματικά και σεισμικά φορτία, που καταπονούν τις κατασκευές και παρουσιάζονται εκτενώς οι λεπτομέρειες, οι προδιαγραφές, οι συντελεστές και οι κανονισμοί για κάθε δράση, επί της κατασκευής.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα 3 μοντέλα σε στάδιο προμελέτης. Αρχικά, διατυπώνονται οι ιδέες και οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτό το σχεδιασμό. Περιγράφονται οι πιθανές λύσεις και τα μηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία προέκυψαν από σχέσεις γραμμικού τύπου για την δικτυωτή κάτω διαβάσεως, την τοξωτή και την καλωδιωτή περίπτωση αντίστοιχα. Γίνεται παρουσίαση, για τα βασικά μέλη της γέφυρας, των εντατικών μεγεθών, των βελών και των δυναμικών χαρακτηριστικών και τελικά γίνεται μια προσπάθεια σύγκρισης των αποτελεσμάτων με βάση τεχνικοοικονομικά κριτήρια.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την οριστική μελέτη του καλωδιωτού μοντέλου, όπως αυτό προέκυψε από τη σύγκριση με τις υπόλοιπες πιθανές λύσεις. Παρουσιάζονται οι οριστικές διατομές των μελών του και λεπτομέρειες σχετικά με τα προεντεταμένα καλώδια. Η γέφυρα υπόκειται και σε μη-γραμμική ανάλυση για να ληφθούν υπόψη φαινόμενα 2^{ου} τάξεως, όπως επίσης και σε πρόσθετο έλεγχο δυσμενέστερης μορφής δυναμικής διέγερσης. Υπάρχουν σχήματα, στα οποία απεικονίζονται αναλυτικά τα βέλη προς κάθε διεύθυνση για όλα τα μέλη και αναφέρονται τα στάδια ανέγερσης της κατασκευής. Τέλος, παρουσιάζονται συγκεφαλαιωτικά τα συμπεράσματα της εργασίας, τα εντατικά μεγέθη όλων των μελών και οι μετακινήσεις των κόμβων για τους δυσμενέστερους συνδυασμούς αστοχίας.

Study of Steel Pedestrian Bridge

Vardakoulias I. K. (Supervised by Vayas I.)

Abstract

The object of this dissertation is the simulation and analysis of the main carrier of a steel pedestrian bridge. The bridge will be placed in the crossway of Riga Feraiou Street & Vouliagmenis Avenue inside the municipality of Glyfada, a rather hectic road due to rural traffic that numerous children have to cross daily in order to attend school classes. The decision upon the bridge's design part was made through the partial analysis of 3 different models and the selection of the most optimal choice. The analysis was accomplished via the use of the software program Scia Engineer 2011 -Student edition- while some designs and photo transformations were made through the usage of 3ds Max, AutoCad and Photoshop.

In the first chapter there is an introduction in the steel bridges. Firstly, we present the characteristics and the utility of the steel in structures. Afterwards, there is extended reference to the various types of bridges and their members, enhanced with photographs as well as with their particular characteristics.

The second chapter consists of a presentation of loads, load cases and combinations thereof, based on which a check of stability of the sections of the bridge is performed. There is distinction among permanent, variable, accidental and seismic loads, which strain the constructions and are therefore presented with extensive details, specifications, rates and regulations for each load type on the structure.

The third chapter includes the three structural models in their design stage. At first, the ideas and reasons for the selection of each design are formulated. Description of the possible solutions and mechanical characteristics follows, derived from linear relationships for the truss bridge of lower crossing, the arched and the cable-stayed bridge respectively. A presentation of the key members of the bridge, the internal forces, the deflections and the dynamic characteristics is performed and eventually a comparison of the results based on technical and economic criteria leads the way to the finalization of this thesis.

The fourth chapter includes the final design of the cable stayed bridge model, resulted from the comparison with the other two possible solutions. We introduce the final sections of the members and the details of prestressed cables. The bridge is subject to non-linear analysis in order to consider phenomena of 2nd order, as well as an additional audit in malign form of dynamic excitation. There are also, shapes that depict in detail the deflections in each direction for all members and the building stages of construction are listed. Finally, the overall conclusions are being illustrated along with the internal forces of all members and the shifting of all nodes.

σε όσους εμπνέουν, καθοδηγούν και διδάσκουν...



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο Χάλυβας-Μεταλλικές Γέφυρες

1.1.Χάλυβας

Ο χάλυβας, τεχνικό μεταλλικό υλικό γνωστό με την ευρεία ονομασία ασάλι, είναι κράμα σιδήρου – άνθρακα το οποίο αποτελείται από περίπου 2,06% κ.β. άνθρακα (C) , λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο (M) καθώς και από πολύ μικρές ποσότητες πυριτίου(Si), φωσφόρου (P), θείου (S) και οξυγόνου(O). Σήμερα ο χάλυβας αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα βιομηχανικά κατασκευαστικά υλικά, ακολουθώντας σε κατάταξη το σκυρόδεμα και το ξύλο. Απόδειξη για το παραπάνω αποτελούν οι πολλαπλές χρήσεις του καλύπτοντας ένα μεγάλο φάσμα δραστηριοτήτων που ξεκινά από την ναυπηγική και την αρχιτεκτονική και καταλήγει στην Παρασκευή χειρουργικών εργαλείων. Στον κλάδο των κατασκευών , τον οποίο και θα εξετάσουμε χρησιμοποιείται συνηθέστερα ο μαλακός χάλυβας, του οποίου η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι πολύ μικρή (δεν ξεπερνά το 0,3 % κ.β.)



1.1.1 Ταξινόμηση και χρήση χαλύβων

Οι χάλυβες μπορούν να καταταγούν σε κατηγορίες με βάση στοιχεία που αφορούν την χημική τους σύσταση , τον προορισμό τους και τέλος την χρήση τους.

Ανάλογα με την χημική τους σύσταση: Σε αυτή την περίπτωση οι χάλυβες διακρίνονται σε κοινούς ή ανθρακούχους και σε κραματωμένους.

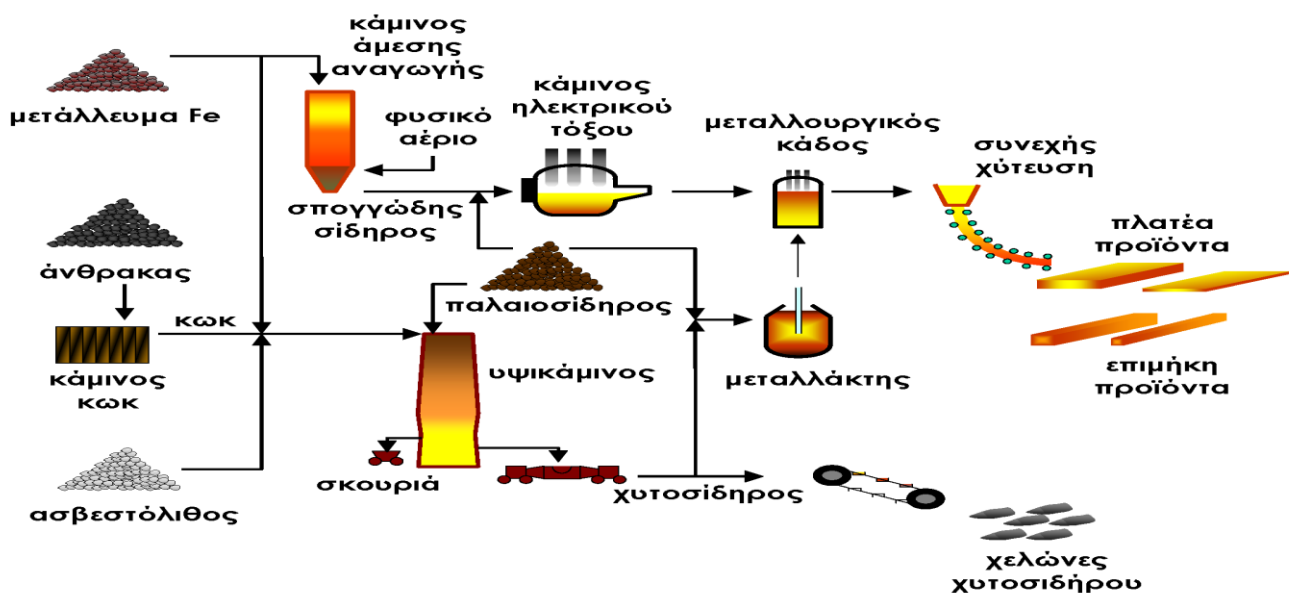
Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα. Μεταξύ των πολλών ταξινομήσεων που έχουν προταθεί για τους χάλυβες, πολλές βασίζονται στον παραδοσιακό συσχετισμό μεταξύ της περιεκτικότητας του άνθρακα και της σκληρότητας . Διακρίνονται λοιπόν στα εξής,

Οι κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες {περιεκτικότητα άνθρακα (έως 2,06%) , μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%)}. Ουσιαστικά με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (αγγλ. mild steels· $C < 0,30\%$),
- χάλυβες μέτριου άνθρακα (αγγλ. medium carbon steels· $0,30\% < C < 0,60\%$),
- χάλυβες υψηλού άνθρακα (αγγλ. high carbon steels· $0,60\% < C < 1,00\%$), και
- χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (αγγλ. ultra-high carbon steels· $1,00\% < C < 2,00\%$)[3].

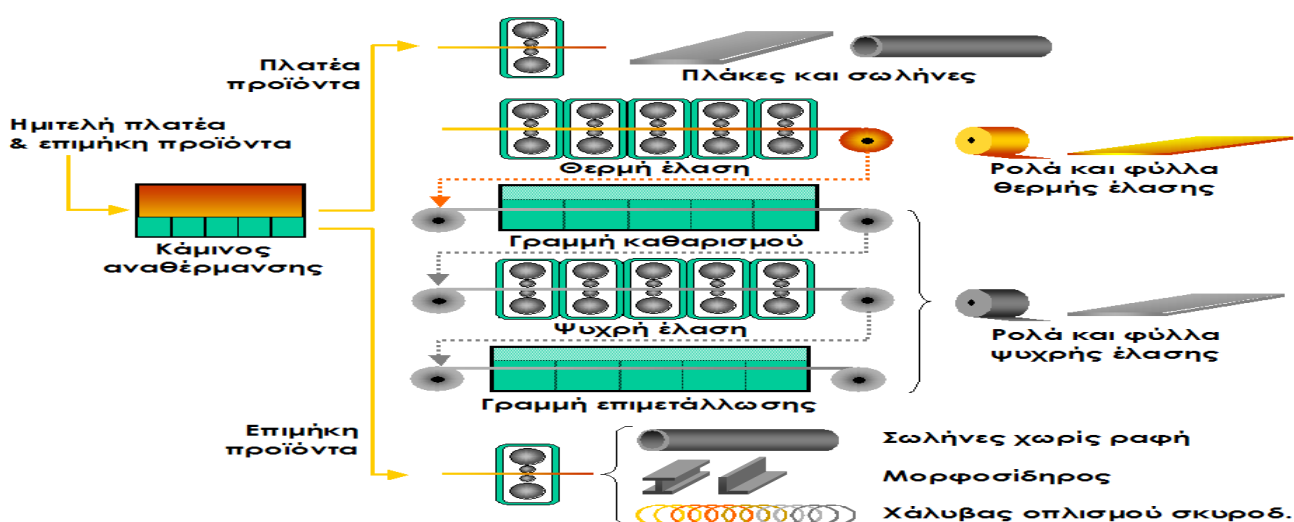
Κραματωμένοι χάλυβες (αγγλ. alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τα στοιχεία προσμίξεων έχουν σκοπό να προσδίδουν στον χάλυβα , ως συνέπεια μεταβολών χημικής ή δομικής σύστασης, ιδιαίτερες ιδιότητες ή να βελτιώνουν της συνήθεις ιδιότητες του χάλυβα συχνά με την διευκόλυνση των θερμικών κατεργασιών. Τέτοιοι είναι οι ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$), και οι ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξειδωτοι χάλυβες ($Cr > 10,5\%$), οι ταχυχάλυβες ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$), κ.λπ.

Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους : Χάλυβες Τόμας, Μαρτέν , Μπέσεμερ, ηλεκτροκαμινίου και μέθοδος οξυγόνου.



Σχήμα 1.1 Βιομηχανική κατεργασία χάλυβα

- *Χάλυβας χωνευτηρίου.* Η μέθοδος παραγωγής σε χωνευτήριο , ελάχιστα χρησιμοποιείται σήμερα εξαιτίας του υψηλού κόστους , παρά εφαρμόζεται μόνο για ορισμένους χάλυβες υψηλής ποιότητας (ευγενείς χάλυβες, χάλυβες εργαλείων , ειδικοί χάλυβες).
- *Ήσυχασμένος Χάλυβας.* Η ήσυχυση του χάλυβα επιτυγχάνεται με την προσθήκη αποξειδωτικών (πυριτίου, αλουμινίου) στο λουτρό του τήγματος, προς αποφυγή παραγωγής φυσαλίδων στην στερεοποιημένη μάζα.
- *Αφρίζων χάλυβας.* Κατά κανόνα μικρής περιεκτικότητας σε άνθρακα, αποξειδώνεται ανεπαρκώς, ώστε να επιτραπεί ή έλκυση αερίων κατά την στερεοποίηση , τα οποία σχηματίζουν πολυάριθμες φυσαλίδες , διάσπαρτες σε όλη την μάζα τοθ πλινθώματος.
- *Κονιομεταλλουργικός χάλυβας.* Παρασκευάζεται είτε με περίτηξη μίγματος κόνης σιδήρου και γραφίτη είτε με βαθιά ενανθράκωση μάζας κονιομεταλλουργικού σιδήρου.



Σε ότι αφορά τον προορισμό τους οι χάλυβες διακρίνονται σε :

- *Χάλυβες διαμόρφωσης.* Αυτοί υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση).
- *Χυτοχάλυβες.* Παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή «χελωνών».

Όσον αφορά τη χρήση οι χάλυβες διακρίνονται σε :

- *Χάλυβες κατασκευών.* Είναι χάλυβες με μικρά, σχετικά ποσοστά κραματικών στοιχείων (συνήθως Mn, Cr) και χρησιμοποιούνται σε πλήθος κατασκευών, όπως π.χ. λέβητες, μεταλλικοί σκελετοί, κ.λπ., αλλά και σε στοιχεία μηχανών, όπως π.χ. άξονες, διωστήρες, βαλβίδες, ελατήρια, κ.λπ.
- *Ανοξείδωτοι χάλυβες.* Είναι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε Cr (>13%) και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, που απαιτείται υψηλή αντοχή σε διάβρωση, όπως π.χ. στη χημική βιομηχανία. Κατασκευές από ανοξείδωτο χάλυβα είναι σωλήνες, πτερωτές, δοχεία, εναλλάκτες θερμότητας, αντιδραστήρες και οτιδήποτε έρχεται σε επαφή με διαβρωτικό υγρό, καθώς επίσης σε ιατρικά εργαλεία (π.χ. χειρουργικά νυστέρια) και είδη οικιακής χρήσεως, όπως π.χ. είδη κουζίνας, μαχαιροπήρουνα, κ.λπ.
- *Εργαλειοχάλυβες.* Περιέχουν συνήθως μεγάλα ποσοστά κραματικών στοιχείων (W, Mo, Cr, V), τα οποία ευνοούν την αύξηση της σκληρότητας και της αντίστασης σε φθορά-τριβή. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής (κοπτικά τόρνου, φρέζας, πλάνης, κ.λπ.) ή διαμόρφωσης (μήτρες, έμβολα, καλούπια χύτευσης και διαμόρφωσης).
- *Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.* Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών ηλεκτρικών γεννητριών, μονίμων μαγνητών, κ.λπ..

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

1.1.2 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Χάλυβα

Πλεονεκτήματα

- Μεγάλη αντοχή ή μεγάλος λόγος αντοχής προς ίδιο βάρος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία λεπτών διατομών , μείωση των ιδίων βαρών του φέροντα οργανισμού , οικονομία χώρου και υλικού, ζεύξη μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς ενδιάμεση υποστήλωση κ.α.
- Ομογένεια υλικού: Τα χαρακτηριστικά του είναι σταθερά σε κάθε σημείο της μάζας του υλικού , γεγονός που εξασφαλίζει την ακρίβεια παραδοχών ανάλυσης και των ελέγχων αντοχής.
- Μονιμότητα: Τα χαρακτηριστικά του είναι αμετάβλητα στο χρόνο , εφόσον δε παρέχεται η κατάλληλη συντήρηση, εξασφαλίζεται απεριόριστη διάρκεια ζωής της κατασκευής.
- Ελαστικότητα: Ο χάλυβας συμπεριφέρεται ελαστικά μέχρι σχετικά υψηλές τάσεις, τα δε γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά του προσδιορίζονται με μεγάλη ακρίβεια.
- Ολκιμότητα: Ορίζεται ως η ικανότητα του χάλυβα να υπόκειται σε μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς να αστοχεί. Έτσι, αν ένα τεμάχιο χάλυβα με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα υποβάλλεται σε εφελκυσμό , επιμηκύνεται σημαντικά με ταυτόχρονη μείωση της διατομής του στο σημείο αστοχίας, πριν επέλθει ή τελική θραύση. Υλικό που δεν διαθέτει αυτή την ιδιότητα , χαρακτηρίζεται ως ψαθυρό και αν υποβληθεί π.χ. σε κρουστικό φορτίο , μπορεί να θραύσει. Η ολκιμότητα στο χάλυβα , επιτρέπει την ανάπτυξη τοπικής διαρροής σε σημεία όπου εμφανίζεται συγκέντρωση υψηλών τάσεων υπό τα φορτία σχεδιασμού, με αποτέλεσμα την ανακατανομή της έντασης και την πρόληψη πρόωρης αστοχίας. Επιπλέον εάν η κατασκευή υπερφορτιστεί , σε μεγάλες παραμορφώσεις λόγω της ολκιμότητας, είναι ορατές και μπορεί να οδηγήσουν στην πρόληψη της επερχόμενης αστοχίας.
- Η ταχύτητα εκτέλεσης

- Βιομηχανικό κατά το μεγαλύτερο μέρος του προϊόν με ελεγχόμενη εκ τούτου ποιότητα.
- Το σχετικά μικρό βάρος των χαλύβδινων κατασκευών συνεπάγεται μικρότερες αδρανειακές σεισμικές δυνάμεις. Σε συνδυασμό με την ικανότητα ανάπτυξης σημαντικών πλαστικών παραμορφώσεων και απορρόφησης εξ αυτού προ της αστοχίας σημαντικής ενέργειας, καθίσταται ο χάλυβας ιδανικό υλικό για αντισεισμικές κατασκευές.
- Ευχέρεια διάνοιξης οπών για την διέλευση καναλιών κλιματισμού και άλλων ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.
- Άλλα πλεονεκτήματα του χάλυβα είναι:
 - Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του (ως έχει ή μετά από ανάταξη)
 - Ευκολία ενίσχυσης υπάρχουσών κατασκευών (με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας)
 - Ευκολία στην τυποποίηση και την προκατασκευή

Μειονεκτήματα

- Ευαισθησία σε υψηλές θερμοκρασίες (οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε περίπτωση πυρκαγιάς , προκαλούν έντονη απομείωση αντοχής του χάλυβα) και ανάγκη λήψης μέτρων πυροπροστασίας.
- Ευαισθησία σε φαινόμενα αστάθειας, η οποία οδηγεί σε αναγκαία αύξηση του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί σε θλιβόμενα στοιχεία, για την αποτροπή του φαινομένου του λυγισμού.
- Ευαισθησία έναντι κόπωσης (σε περίπτωση μεγάλου αριθμού κύκλων επαναλαμβανόμενης φόρτισης)

1.2 Μεταλλικές Γέφυρες

Γέφυρα είναι μια κατασκευή που έχει σκοπό τη συνέχεια μιας γραμμής επικοινωνίας, όπως μιας οδού (οδική γέφυρα), ενός σιδηροδρόμου, μιας ροής πεζών ή ενός αγωγού, πάνω από ένα εμπόδιο. Τα συνήθη εμπόδια που γεφυρώνονται είναι ποτάμια ή γενικότερα υδάτινες επιφάνειες, άλλοι συγκοινωνιακοί άξονες, τεχνητές υδάτινες ροές, εδαφικές ταπεινώσεις κ.τ.λ. Παρακάτω θα αναλυθούν διεξοδικά τα ιστορικά στοιχεία κατασκευής γεφυρών καθώς και τα στάδια που ακολουθούνται προκειμένου να επιλεγούν τα απαραίτητα υλικά και φορείς για την ανέγερση της.

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

Έτσι, δεν είναι αφύσικο το γεγονός ότι οι κατασκευές γεφυρών συνδέθηκαν με θρύλους, θυσίες ή και ανθρωποθυσίες. Πολλές είναι και οι γέφυρες οι οποίες τραγουδήθηκαν ή έγιναν αντικείμενα παράδοσης. Η ονομασία των γεφυρών συχνά συνδυάζεται με τοπωνυμία της θέσης της γέφυρας, με τον κατασκευαστή και κάποτε με τον πολιτικό ή στρατιωτικό ηγέτη που διέταξε την κατασκευή της ή με το εμπόδιο που γεφυρώνεται.

Το τέλος του 18^{ου} αιώνα σηματοδότησε την έναρξη χρήσης κραμάτων σιδήρου στην κατασκευή γεφυρών οπότε και αποτέλεσε την πλέον αξιοσημείωτη περίοδο της γεφυροποιίας.

1.2.1 Μεταλλικές γέφυρες ανά τον κόσμο:

- 1776-1779 , Σιδηρά οδική γέφυρα , από χυτοσίδηρο στον ποταμό Seven της Αγγλίας
- 1824, Σιδηρά σιδηροδρομική γέφυρα, από χυτοσίδηρο στη γραμμή Stockton- Darlington στην Αγγλία
- 1819-1826, κρεμαστή σιδηρά γέφυρα Menai στην Αγγλία
- 1846-1850, σιδηροδρομική γέφυρα Britannia , από πολτοπαγή σίδηρο στην Αγγλία
- 1851-1855, σιδηροδρομική γέφυρα απλής τροχιάς στο Dirschau της Γερμανίας
- 1870-1883, οδική γέφυρα του Brooklyn, ύστερα από μελέτη του J. Roebling επί του East River στην Νέα Υόρκη.
- 1880-1884, τοξωτή σιδηροδρομική γέφυρα Garabit κατασκευασμένη από τον Eiffel, στη Γαλλία
- 1883-1890, σιδηροδρομική γέφυρα Fifth of Forth, από ρευστοπαγή χάλυβα
- 1884, σιδηροδρομική γέφυρα Trisanna στην Αυστρία
- 1889-1891, σιδηροδρομική γέφυρα, πλησίον προηγούμενης στο Dirschau της Γερμανίας, κατασκευασμένη από τον Schwedler
- 1917, οδοφόρος τοξωτή γέφυρα Hell Gate στην Νέα Υόρκη
- 1927-1931, κρεμαστή γέφυρα του G. Washington στην Νέα Υόρκη
- 1931, τοξωτή οδοφόρος γέφυρα Bayonne στον ποταμό Kill Van Kull στην Νέα Υόρκη
- 1932, τοξωτή σιδηροδρομική γέφυρα στο Σύδνεϋ της Αυστραλίας
- 1933-1937, κρεμαστή σιδηρά γέφυρα Golden Gate στο Σαν Φρανσίσκο
- 1955, τοξωτή γέφυρα Saikai στην Ιαπωνία
- 1955, Matsushima στην Ιαπωνία
- 1957, κρεμαστή γέφυρα με καμπύλα καλώδια Mackinac Straits στο Μίσιγκαν
- 1958, γέφυρα North αναρτημένη σε ευθύγραμμο καλώδια στο Ντίσελντορφ
- 1958, οδοφόρος γέφυρα New Orleans στον Μισισσιπή των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.
- 1964, κρεμαστή γέφυρα με καμπύλα καλώδια Verrazano Narrows στην Νέα Υόρκη
- 1971, γέφυρα αναρτημένη σε ευθύγραμμο καλώδια Manheim στο Ρήνο
- 1972, δικτυωτή γέφυρα Tonogawa στην Ιαπωνία
- 1974, δικτυωτή γέφυρα Kuroseto στην Ιαπωνία
- 1978, δικτυωτή γέφυρα Francis Scott Key στην Βαλτιμόρη των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής

- 1979, γέφυρα αναρτημένη σε ευθύγραμμο καλώδια Flehe στο Ρήνο
- 1980, Humber στην Αγγλία
- 1982, τοξωτή γέφυρα New River Gorge στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
- 1982, τοξωτή γέφυρα Scwabelweis στον Δούναβη, Regensburg
- Fehmarnsund
- Milwaukee στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
- 1982, τοξωτή γέφυρα Matoya στην Ιαπωνία
- 1990, σιδηροδρομική γέφυρα Quebec στον ποταμό St. Lawrence του Καναδά
- Πλαισιωτή γέφυρα Kinki στην Ιαπωνία
- Πλαισιωτή γέφυρα Sfalassa Gorge στην Ιταλία

1.2.2 Οι πιο εντυπωσιακές πεζογέφυρες στον κόσμο

Langkawi Sky Bridge – Μαλαισία



Η πεζογέφυρα Langkawi Sky-Bridge (η γέφυρα στον ουρανό του Langkawi) βρίσκεται σε ένα από τα πολλά νησιά του αρχιπελάγους Langkawi, στη Μαλαισία. Η κατασκευή της ολοκληρώθηκε το 2005, προωθώντας την ιδιαίτερη κατασκευή της και την θέα της ως ένα από τα πιο μοναδικά αξιοθέατα στον κόσμο.

Πιο συγκεκριμένα, η γέφυρα κατασκευάστηκε σε ύψος 700 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας, συνδέοντας δύο βουνά με απόσταση 125 μέτρα. Το πλάτος της είναι 1,8 μέτρα και το μήκος της είναι 124 μέτρα, συμπεριλαμβανομένου ενός χώρου και στις δύο άκρες της, προσφερόμενου κυρίως για ανάπαυση και απόλαυση των επισκεπτών. Επίσης διαθέτει προστατευτικό κιγκλίδωμα από διπλό χάλυβα στο ανώτερο επίπεδο και το υπόλοιπο σώμα της έχει συρματόπλεγμα και ξύλινο στηθαίο.

Πρέπει να σημειωθεί πως αντίθετα με τις κοινές ευθείες γέφυρες, η γέφυρα Langkawi είναι κυρτή ώστε οι επισκέπτες να μπορούν να απολαύσουν εξίσου τον χερσαίο και τον θαλάσσιο τοπικό πλούτο.

BP Bridge, Millennium Park, Σικάγο – ΗΠΑ



Η πεζογέφυρα BP σχεδιάστηκε από τον αρχιτέκτονα Frank Gehry και η κατασκευή της ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2004. Διασχίζει τον δρόμο Columbus ώστε να ενώσει την πλατεία Daley Bicentennial με το πάρκο Millennium (και τα δύο σημεία είναι μέρη του πάρκου Grant).

Το όνομα BP προήλθε από την ενεργειακή μάρκα BP η οποία δώρισε 5 εκατομμύρια δολάρια προς την κατασκευή της.

Η γέφυρα βασίζεται επί κιβωτοειδείς δοκούς και τα καταστρώματα της καλύπτονται από επιδαπέδιες σανίδες ξύλου. Έχει σχεδιαστεί χωρίς κιγκλιδώματα με την χρήση ανοξείδωτου χάλυβα αντί αυτών. Το συνολικό της μήκος είναι 285 μέτρα , με 5% κλίση σε κεκλιμένες επιφάνειες που καθιστά την γέφυρα προσβάσιμη από όλους.

Αξιοσημείωτη είναι η ατσάλινη επένδυση της γέφυρας που θυμίζει δέρμα ερπετού.

Henderson Waves Bridge – Σιγκαπούρη

Η πεζογέφυρα Henderson Waves , σχεδιάστηκε το 2002 στα πλαίσια της ριζικής Αστικής Ανάπλασης της Σιγκαπούρης και υλοποιήθηκε δύο χρόνια αργότερα με την συνεργασία κατασκευαστικών εταιρών της Μεγάλης Βρετανίας (IJP Corporation) και της Σιγκαπούρης (RSP Architects Planners and Engineers PTE Ltd). Το κόστος της γέφυρας ξεπέρασε τα 25 εκατομμύρια δολάρια.

Τα τεχνικά της χαρακτηριστικά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν εξίσου εντυπωσιακά. Έχει μήκος 274 μέτρα και απέχει μόλις 36 μέτρα από τον πολυσύχναστο δρόμο Henderson. Συνδέει το Mount Faber Park και το Telok Blangah Hill Park.

Η μορφή της γέφυρας είναι κυματοειδής και αποτελείται από επτά καμπύλες που εναλλάσσονται στο πάνω και στο κάτω κομμάτι του καταστρώματος. Όσον αφορά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις καμπύλες αυτά είναι χαλύβδινα και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη του καταστρώματος είναι ξύλο (ποιότητας Balau) –ιδιαίτερα ανθεκτικό ανεξαρτήτως συνθηκών.

Οι επισκέπτες , διασχίζοντας την γέφυρα θα απολαύσουν την θέα που προσφέρει η περιοχή και ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες κατά τις οποίες η γέφυρα φωτίζεται με λάμπες LED το θέαμα είναι αξιομνημόνευτο.



Nagoya Pedestrian Bridge



1.2.3 Δομικά Μέλη Γεφυρών

Κατάστρωμα

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

- Διαδοκίδες, οι οποίες είναι δοκοί τοποθετημένες εγκάρσια ως προς τον διαμήκη άξονα της γέφυρας, δηλαδή κάθετα στις κύριες δοκούς
- Μηκίδες, οι οποίες είναι τοποθετημένες παράλληλα προς τον διαμήκη άξονα της γέφυρας και τις κύριες δοκούς.

Συνήθως, τα καταστρώματα των γεφυρών αποτελούνται από εσχάρα μηκίδων και διαδοκίδων.



Εικόνα 1.1. Απεικόνιση μηκίδων και διαδοκίδων

Κύριες Δοκοί / Κύριοι φορείς

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

Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας

Είναι επίπεδοι φορείς μορφής δικτυώματος ή πλαισίου, οι οποίοι παραλαμβάνουν τα οριζόντια φορτία, που δρουν επί της γέφυρας και συντελούν στην ευστάθεια του φορέα στο χώρο. Διακρίνονται στους κύριους (αντιανέμιος, εγκάρσιος) και δευτερεύοντες (μηκίδων και τροχοπέδησης). Γενικά οι οριζόντιοι σύνδεσμοι παραλαμβάνουν τα οριζόντια φορτία και τα μεταφέρουν στους κατακόρυφους, από τους οποίους αυτά μεταβιβάζονται στη θεμελίωση. Ακόμα συντελούν σημαντικά στη φάση κατασκευής του έργου και κυρίως στην αποφυγή στρεμπτοκαμπτικού λυγισμού των δοκών.

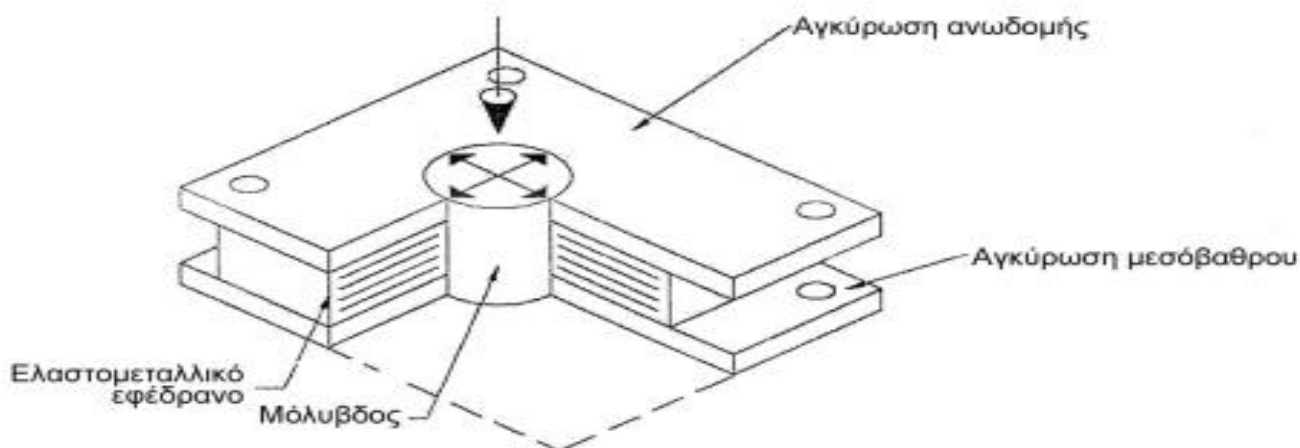


Εικόνα 1.2. Απεικόνιση οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας

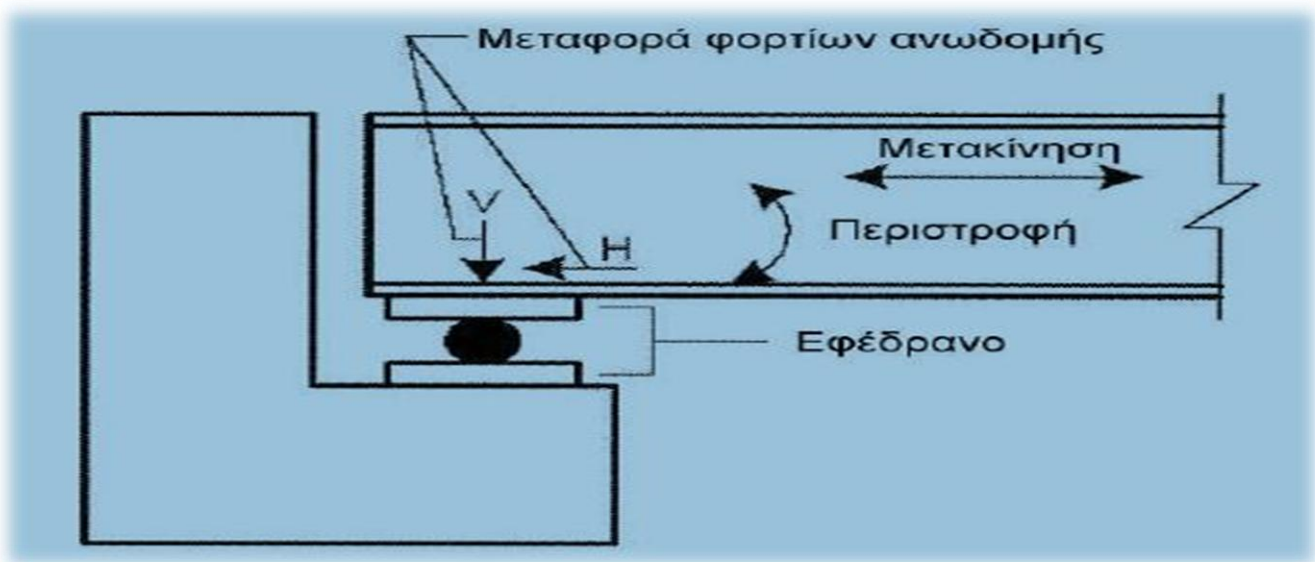
Εφέδρανα

Σκοπό έχουν να μεταφέρουν τις δυνάμεις της ανωδομής στην υποδομή. Τοποθετούνται στις ενώσεις των κύριων δοκών με τα βάθρα και εξασφαλίζουν τοπικές και διαφορικές μετακινήσεις ή παραμορφώσεις του καταστρώματος σε σχέση με τα βάθρα. Διακρίνονται σε σταθερά και κινητά ανάλογα με το αν επιτρέπουν οριζόντιες μετακινήσεις της ανωδομής ενώ σε κάθε περίπτωση επιτρέπουν την περιστροφή γύρω από το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο. Οι κύριοι τύποι εφεδράνων είναι :

- Ελαστομεταλλικά (με πυρήνα μολύβδου)
- Σφαιρικά
- Δοχείου
- Κυλινδρικά



Εικόνα 1.3. Ελαστομεταλλικό εφέδρανο με πυρήνα μολύβδου



Εικόνα 1.4. Λειτουργία εφεδράνων

Βάθρα

Αποτελούν τα σημεία στήριξης της γέφυρας και παραλαμβάνουν, μέσω των εφεδράνων, όλες τις δράσεις της ανωδομής. Τα μεταλλικά βάθρα είναι συνήθως δικτυωτά και αποτελούνται από :

- Τους κατακόρυφους στύλους, οι οποίοι μεταφέρουν στη θεμελίωση τα κατακόρυφα φορτία του καταστρώματος και μπορεί να έχουν και ενδιάμεσες διαδοκίδες για περιορισμό του μήκους λυγισμού τους, λόγω μεγάλων θλιπτικών δυνάμεων.
- Τους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας, οι οποίοι παραλαμβάνουν τα οριζόντια φορτία του καταστρώματος.
- Τις κεφαλοδοκούς, οι οποίες διαστασιολογούνται κυρίως με βάση τις αξονικές θλιπτικές δυνάμεις του σεισμού που καταπονούν τα βάθρα.

Διακρίνονται σε ακρόβαθρα και μεσόβαθρα ανάλογα με τη θέση τους, όπου τα ακρόβαθρα συνήθως παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των οριζόντιων φορτίων, ενώ τα μεσόβαθρα καταπονούνται κυρίως από τα κατακόρυφα φορτία.



Εικόνα 1.5. Απεικόνιση στοιχείων βάθρου

1.2.4 Κατηγορίες Γεφυρών

Οι γέφυρες διακρίνονται σε γενικά πλαίσια στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ανάλογα με τη χρήση ή τον τύπο του φορέα, σε οδικές, σιδηροδρομικές, πεζών, υδρογέφυρες κ.α.



1. Οδική γέφυρα Ναυπυ, Σαγκάη



2. Σιδηροδρομική γέφυρα Ασωπού, Ελλάδα



3. Πεζογέφυρα Κολεγίου Αθηνών, Ελλάδα



4. Υδρογέφυρα ποταμού Elbe, Γερμανία

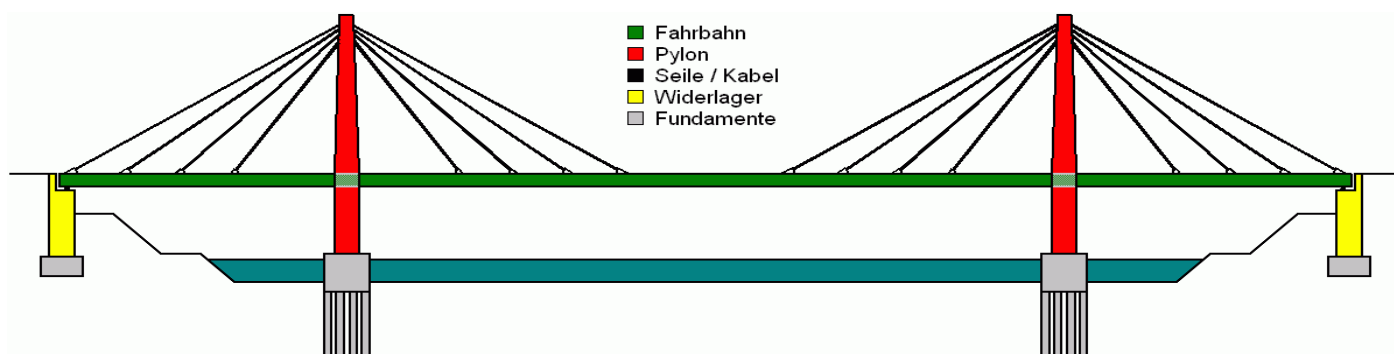
- Ανάλογα με το υλικό κατασκευής, σε ξύλινες, λίθινες, σχοινένιες, μεταλλικές ή και σύμμικτες.
- Ανάλογα με τον τρόπο έδρασης τους, που είναι και η σημαντικότερη κατάταξη τους σε κινητές και σε σταθερές ή σταθερώς εδραζόμενες.
- Ανάλογα με το είδος στατικής λειτουργίας τους, σε δικτυωτές, τοξωτές, κρεμαστές, καλωδιωτές και συνδυασμούς αυτών.

Κρεμαστές γέφυρες

Οι κρεμαστές γέφυρες αποτελούνται από τρία μέρη. Από τους πυλώνες που στηρίζουν το βάρος της, από το κατάστρωμα που τοποθετείται πάνω στους πυλώνες και από τα καλώδια που σηκώνουν το βάρος του καταστρώματος και είναι στερεωμένα πάνω στους πυλώνες της γέφυρας.



Καλωδιωτές γέφυρες



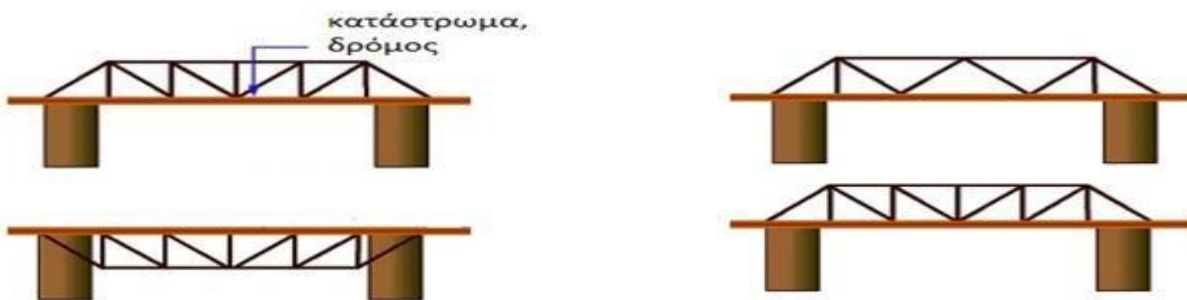
Σχήμα 1.2 Μέλη καλωδιωτής γέφυρας

Οι καλωδιωτές γέφυρες αποτελούνται από περισσότερους στύλους- πυλώνες, οι οποίοι στηρίζουν με καλώδια το οδόστρωμα. Η ιδέα προέρχεται από τις κρεμαστές γέφυρες. Σ' αυτόν τον τύπο γέφυρας, τα καλώδια ανάρτησης αναρτώνται κατευθείαν από το οδόστρωμα στους πυλώνες και έτσι δεν χρειάζονται τα δυο κύρια καλώδια και οι άκρες αντιστήριξης του προηγούμενου τύπου. Οι δυνάμεις και το βάρος του καταστρώματος μεταφέρονται μέσω των καλωδίων στους πύργους και στη συνέχεια στο έδαφος.



Εικόνα 1.6. Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου

Δικτυωτές γέφυρες



Ο τύπος αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος για τον λόγο ότι η κατασκευή είναι σχετικά απλή. Είναι μάλιστα πολύ διαδεδομένος στο σιδηροδρομικό δίκτυο της Ελλάδας. Η περίπτωση που απεικονίζεται κάτω αριστερά είναι δικτυωτή άνω διάβασης ενώ οι υπόλοιπες είναι κάτω διάβασης.

Τοξωτές



Εικόνα 1.7. Το τοξωτό γεφύρι Πλάκας έχει τη μεγαλύτερη διάμετρο τόξου, εντός του Ελλαδικού χώρου

Έχοντας μεγάλη χρήση από τα αρχαία χρόνια αυτό το είδος γέφυρας χρησιμοποιεί το τόξο ή την παραβολή κάποιες φορές, για να οδηγήσει τα κατακόρυφα φορτία στα άκρα του. Υπήρξε καθοριστική μηχανική ευρεσιτεχνία, ώστε να γίνονται ζεύξεις πάνω από ποτάμια (στην εικόνα ο Άραχθος) ή φαράγγια , όπου ήταν αρκετά δύσκολη η κατασκευή μεσόβαθρων εντός της κοίτης των ποταμιών ή ακατόρθωτη στην περίπτωση φαραγγιών.

Πλωτές Γέφυρες

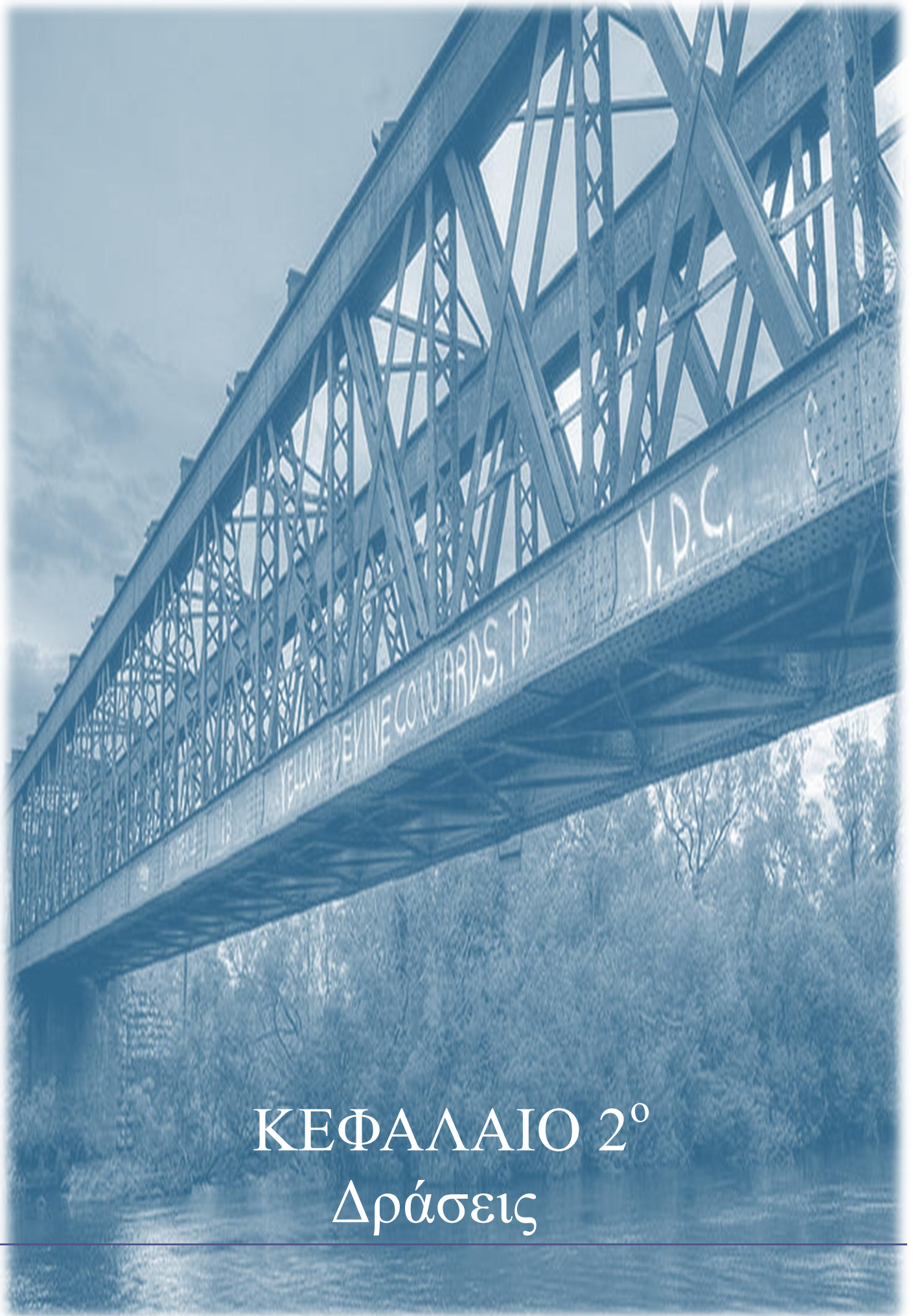


Οι γέφυρες αυτές είναι πολύ φτηνές και εύκολες στην κατασκευή τους, αν και δεν έχουν την σταθερότητα άλλων τύπων γεφυρών. Οι πλωτές γέφυρες σχηματίζονται από την παράθεση πλωτών μέσων που δένονται μεταξύ τους κατά τρόπο που να εξασφαλίζονται από σχετικές μετακινήσεις. Κατά αποστάσεις κάθε πλωτό μέσο αγκυρώνεται στον βυθό. Έτσι, όλη η κατασκευή παρουσιάζει μια επαρκή σταθερότητα. Επάνω στα πλωτά μέσα στηρίζεται το κατάστρωμα. Οι πλωτές γέφυρες έχουν κατά κανόνα προσωρινό χαρακτήρα. Υπάρχουν βέβαια και μόνιμες κατασκευές. Στην περίπτωση αυτή οι πλωτές γέφυρες διαθέτουν ένα τουλάχιστο κινητό τμήμα για τη διασφάλιση της ναυσιπλοΐας.



Οι παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν προκειμένου να επιλεγεί το καταλληλότερο φέρον σύστημα για μία γέφυρα είναι :

- Το τοπογραφικό ανάγλυφο
- Τα γεωλογικά και εδαφομηχανικά στοιχεία
- Η μέθοδος κατασκευής
- Τα διατιθέμενα υλικά και η τεχνογνωσία
- Η πρόοδος των υλικών (υψηλότερες αντοχές σκυροδέματος, χάλυβα, νέα υλικά)
- Με βάση όλα τα παραπάνω θα πρέπει να καθορίσουμε:
- Το μήκος της γέφυρας
- Τον αριθμό και το ύψος των μεσόβαθρων
- Το ύψος του φορέα

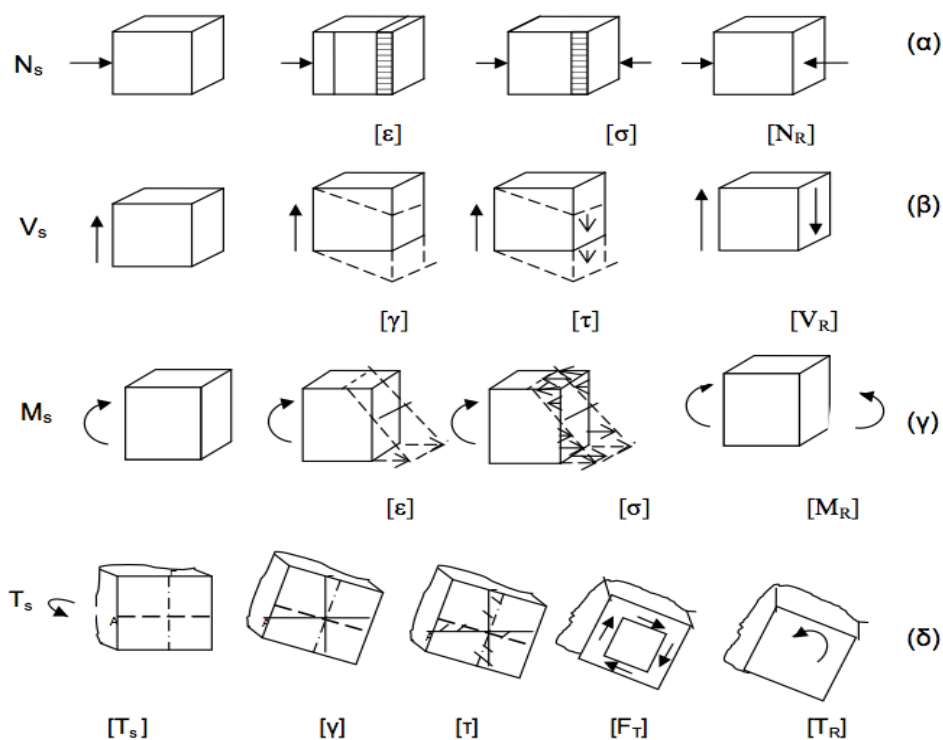


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Δράσεις

2.1 Εισαγωγή

Δράσεις είναι οι εξωτερικές καταπονήσεις, που εφαρμόζονται στην κατασκευή προκαλώντας ορθές και διατμητικές τάσεις. Ορθές ονομάζονται οι τάσεις, που δρουν κάθετα στην επιφάνεια που φορτίζουν, ενώ διατμητικές είναι οι τάσεις που δρουν παράλληλα στην επιφάνεια φόρτισης. Ορθές τάσεις προκύπτουν, όταν στη διατομή εφαρμόζονται μεγέθη ορθής έντασης, όπως Αξονική Δύναμη ή Ροπή Κάμψης, ενώ διατμητικές τάσεις προκύπτουν, όταν στη διατομή εφαρμόζονται Διατμητικά εντατικά μεγέθη, όπως Τέμνουσα Δύναμη ή Ροπή Στρέψης.



Σχήμα 2.1. Ορθές παραμορφώσεις, τάσεις, εσωτερικές δυνάμεις και εσωτερικά μεγέθη για : α) Αξονική , β) Διατμητική , γ) Καμπτική , δ) Στρεπτική καταπόνηση

Ανάλογα με τη χρήση, τη μορφή και τη θέση του έργου, προσδιορίζονται οι δράσεις από τους ισχύοντες κανονισμούς, τους οποίους ο μελετητής είναι υποχρεωμένος να ακολουθήσει, ώστε να εξασφαλισθεί η μη αστοχία αλλά και η σωστή λειτουργία της κατασκευής. Οι τιμές των φορτίων αλλά και οι συντελεστές ασφαλείας αυτών προκύπτουν από στατιστική ανάγνωση των αποκλίσεων των δυσμενέστερων καταστάσεων, που μπορεί να προκύψουν τόσο από πλευράς καταπονήσεων όσο και από πλευράς αντοχής των μελών. Σκοπός όλης αυτής της διαδικασίας είναι η σωστή μεταφορά των φορτίων, που δρουν στη γέφυρα, με ασφάλεια στη θεμελίωση. Οι κατηγορίες φορτίων είναι οι εξής :

Μόνιμα Φορτία (G)

- Ιδία βάρη κατασκευής G_{IB}
- Ιδία βάρη επικαλύψεων $G_{επικ}$
- Ιδία βάρη κυκλιδωμάτων $G_{κυκλ}$
- Δυνάμεις προέντασης P

Κινητά Φορτία (Q)

- Ομοιόμορφα διανεμημένο κατακόρυφο φορτίο q_{fk}
- Συγκεντρωμένο φορτίο για γενικές και τοπικές επιδράσεις $Q_{f,wk}$
- Οριζόντιο φορτίο που δρα κατά μήκος του άξονα της γέφυρας Q_{fk}
- Δράσεις Ανέμου F_w
- Φορτίο Χιονιού F_s
- Θερμοκρασιακές Μεταβολές T

Τυχηματικά Φορτία (F)

- Πρόσκρουση οχήματος σε βάθρο $F_{προσκρ}$

Σεισμικά Φορτία (E)

- Σεισμική δύναμη κατά τις 3 διευθύνσεις E

Ταλάντωση

- Αρμονική διέγερση επί του καταστρώματος

2.2. Φορτίσεις

2.2.1 Μόνιμα Φορτία

Στα μόνιμα φορτία κατατάσσονται οι καταπονήσεις, που έχουν μεγάλο (πρακτικά άπειρο) χρόνο επιβολής στη γέφυρα και εφαρμόζονται σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου. Αυτά είναι :

- Το ίδιο βάρος των Διατομών προκύπτει από το ειδικό βάρος του χάλυβα, το οποίο είναι $78,5 \text{ KN/m}^3$
- Βάρος επικάλυψης θεωρείται ένα φορτίο 1 KN/m^2 , το οποίο περιλαμβάνει τα βάρη επιχρίσεων, λοιπών εξοπλισμών, μονώσεων κτλ.
- Τα κιγκλιδώματα προσθέτουν ένα κατακόρυφο φορτίο 1 KN/m , σε μορφή λωρίδας κατά μήκος των κύριων δοκών.
- Πιθανές δυνάμεις προέντασης, είτε καλωδίων είτε τμημάτων κατά την περίοδο ανέγερσης.

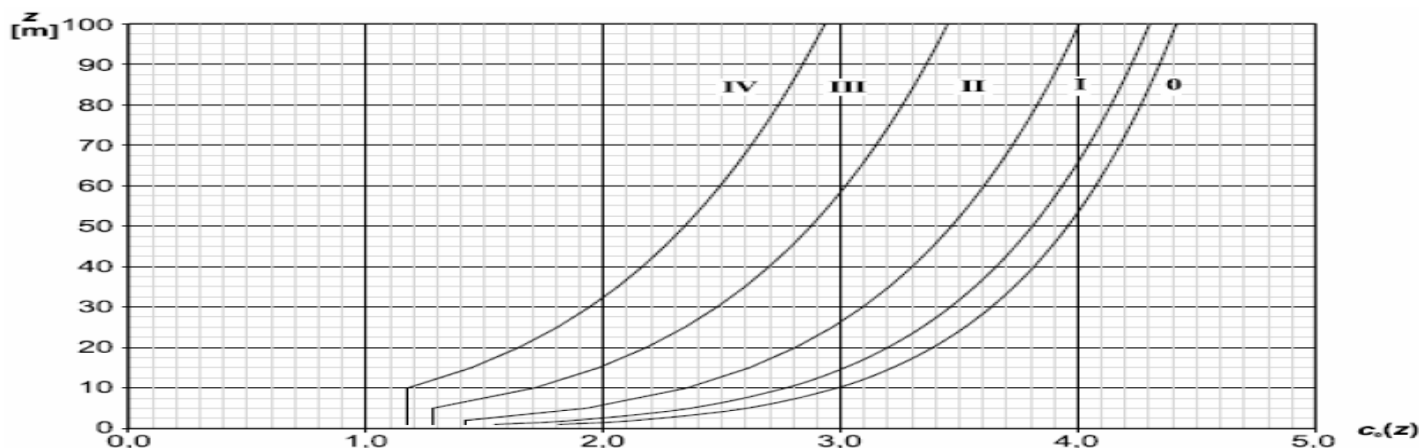
2.2.2 Κινητά φορτία

Στα κινητά φορτία κατατάσσονται οι καταπονήσεις , που προκύπτουν από τη χρήση της γέφυρας αλλά και από φορτία, τα οποία αν και αναμένεται να προκύψουν δεν γνωρίζουμε το χρόνο, τη φορά και το μέγεθός τους με σιγουριά. Αυτά τα φορτία έχουν αυξημένους συντελεστές ασφαλείας, διότι οι τιμές τους προκύπτουν από στατιστική παρατήρηση και υπάρχει αβεβαιότητα. Τα κινητά φορτία πρέπει να τοποθετούνται με τέτοια φορά και παράλληλα με διαφορετικά ενδεχόμενα ταυτόχρονου συνδυασμού, ώστε να προκύπτουν τα πιθανότερα δυσμενή αποτελέσματα καταπόνησης. Αυτά είναι :

- Ένα ομοιόμορφο διανεμημένο φορτίο ανθρωποσυστοτισμού ίσο με $5,0 \text{ KN/m}^2$.
- Οριζόντιο φορτίο ίσο με το 10% του διανεμημένου φορτίου, δηλαδή $0,5 \text{ KN/m}^2$.

2.2.2.1 Δράσεις Ανέμου

Ο Άνεμος παίζει σημαντικό ρόλο στις κατασκευές και πολλές φορές τείνει να γίνει το σημαντικότερο μέγεθος καταπόνησης. Η τιμή της έντασής του διαφέρει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, τη φυσική θέση, την τοπογραφία, τις διαστάσεις της κατασκευής, τη μέση ταχύτητα ανέμου, το σχήμα της κατασκευής, την κλίση της προσπίπτουσας επιφάνειας και τις διεύθυνσης του ανέμου. Αν και η δύναμη του ανέμου είναι χρονικά μεταβαλλόμενη και μπορεί να προκαλέσει και δυναμική καταπόνηση, τα φορτία ανέμου θεωρούνται στατικά.



Σχήμα 2.2. Συντελεστής έκθεσης C_e συναρτήσει του ύψους Z πάνω από το έδαφος, για διάφορες κατηγορίες εδάφους.

Πίεση ταχύτητας Αιχμής

Η εξωτερική πίεση, η οποία δρα στις επιφάνειες μιας κατασκευής δίνεται από τον τύπο :

$$W_e = q_{ref} * C_e(z) * C_d * C_{f,i} \quad (2.1)$$

όπου :

W_e , η εξωτερική πίεση

q_{ref} , η πίεση αναφοράς που αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα αναφοράς του ανέμου.

$C_e(z)$, ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την επιρροή της τραχύτητας του περιβάλλοντος εδάφους, της τοπογραφίας και του ύψους Z_e πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, επί της μέσης ταχύτητας ανέμου.

C_d , ο δυναμικός συντελεστής

$C_{f,i}$, ο συντελεστής δύναμης με το i να παίρνει τιμές x, y, z ανάλογα με τη διεύθυνση πνοής του ανέμου

- Δυναμικός συντελεστής C_d

Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από το υλικό κατασκευής (σκυρόδεμα, χάλυβας, μίξη) και από το ύψος και το πλάτος του έργου. Εκφράζει το πόσο ευαίσθητη είναι η κατασκευή σε δυναμικές διεγέρσεις και οι τιμές του μεταβάλλονται ανάλογα με το ύψος του καταστρώματος της γέφυρας από το έδαφος (Z) και το άνοιγμα (l).

- Πίεση αναφοράς q_{ref}

Δίνεται από τον τύπο :

$$q_{ref} = 0.5 * \rho * v_b^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (2.2)$$

όπου

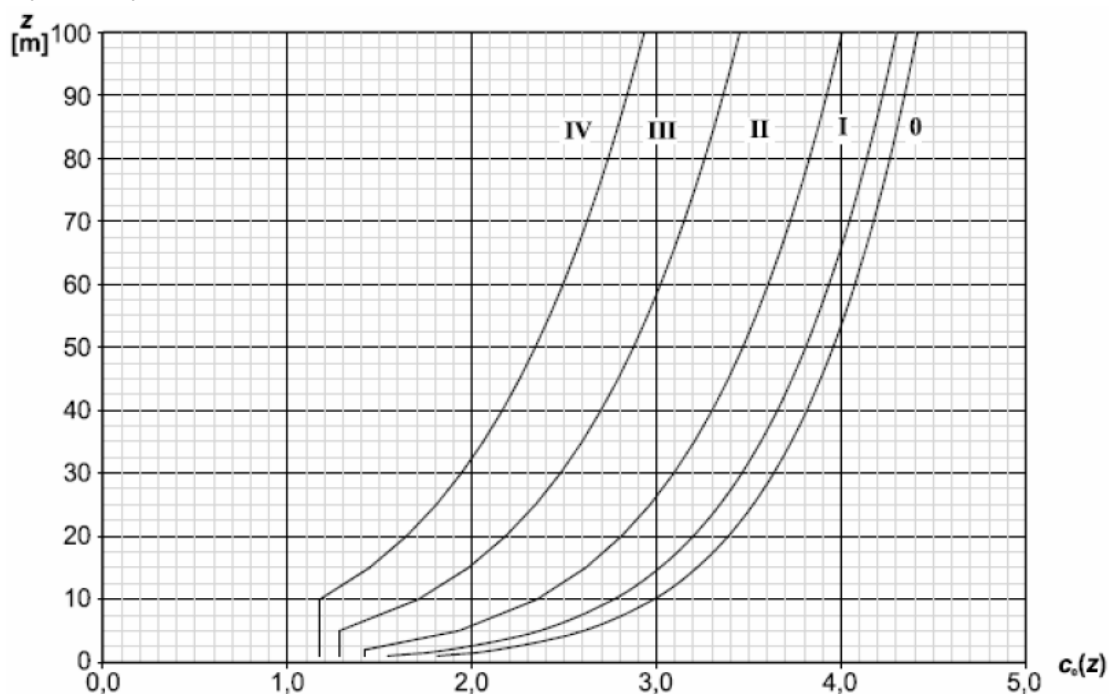
ρ , η πυκνότητα του αέρα, ίση με $1,25 \text{ kg/m}^3$

v_b , η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου (m/s), η οποία δίνεται στον πίνακα που ακολουθεί

Πίνακας 2.1. Βασική ταχύτητα ανέμου V_b

	Περιοχή	v_b [m/sec]
Αφόρτιστη γέφυρα	Νησιά και παράκτιες περιοχές σε απόσταση < 10 km από τη θάλασσα	33
	Περιοχές σε απόσταση > 10 km από τη θάλασσα	27
Φορτισμένη γέφυρα	Οδική	23
	Σιδηροδρομική	25

- Συντελεστής έκθεσης $C_e(z)$



Σχήμα 2.3. Συντελεστής έκθεσης C_e συναρτήσει του ύψους Z πάνω από το έδαφος, για διάφορες κατηγορίες εδάφους.

Οι κατηγορίες εδάφους είναι :

Πίνακας 2.2 Κατηγορίες εδάφους

Κατηγορίες εδάφους	
0	
	Θάλασσα, παράκτια

περιοχή εκτεθειμένη σε ανοιχτή θάλασσα

I



Λίμνες με μήκος ανάπτυξης κυματισμού τουλάχιστον 5 km, καθώς και λείες επίπεδες επιφάνειες εδάφους χωρίς εμπόδια

II



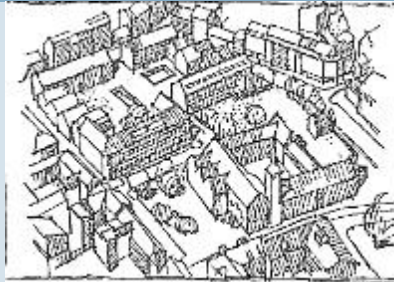
Αγροτικές εκτάσεις με περιμετρική περίφραξη, μικρές διάσπαρτες αγροτικές κατασκευές, κατοικίες ή δένδρα

III



Προαστιακές ή βιομηχανικές περιοχές και μόνιμες δασικές εκτάσεις

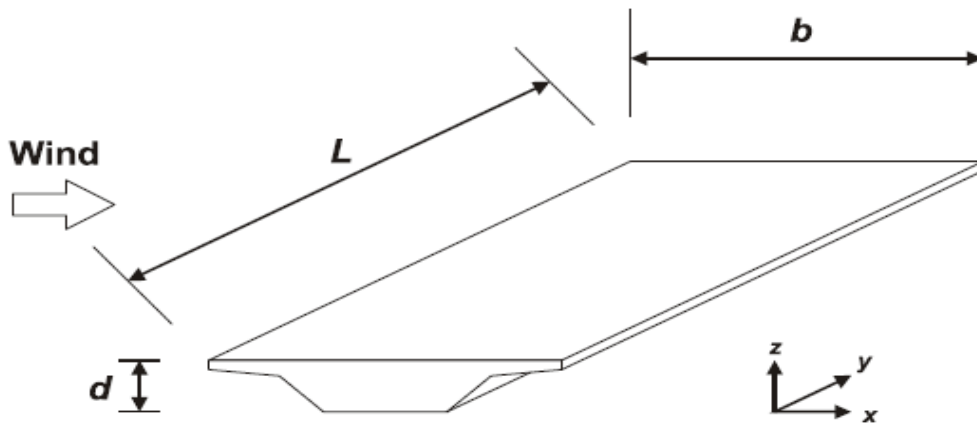
IV



Αστικές περιοχές, όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται από κτίρια, των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15 m

- Συντελεστές δύναμης σε γέφυρες C_f

Οι δράσεις του ανέμου επί των γεφυρών θεωρούνται κατά τις 3 διευθύνσεις x , y , z όπως φαίνεται στο σχήμα :



Σχήμα 2.4. Διευθύνσεις των δράσεων ανέμου σε γέφυρες

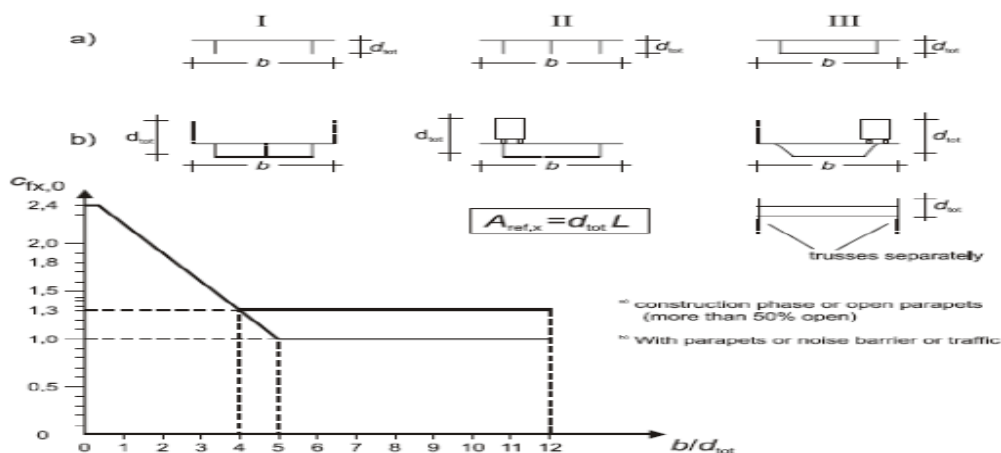
- Συντελεστής δύναμης ($C_{f,x}$) κατά τη διεύθυνση x

Ο έλεγχος της γέφυρας θα μπορούσε να γίνει με φορτίο 6 KN/m^2 , το οποίο θα φόρτιζε κάθετα την προσπίπτουσα θεωρούμενη επιφάνεια. Ωστόσο, έτσι θα φορτιζόνταν επιφάνειες, οι οποίες προκαλούν απομείωση της έντασης της ανεμοπίεσης. Ο συντελεστής δύναμης $C_{f,x}$ ισούται με :

$$C_{f,x} = C_{f,x,0} * \Psi_{\lambda,x} \quad (2.3)$$

όπου

$C_{f,x,0}$, ο συντελεστής δύναμης για $\lambda = l/d = \infty$ και δίνεται στο επόμενο σχήμα για διαφόρους τύπους γεφυρών $\Psi_{\lambda,x}$, μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας, ο οποίος θα ληφθεί ίσος με 1.0



Σχήμα 2.5. Συντελεστής δύναμης ανέμου $C_{f,x}$ ($C_{f,x} = C_{f,x,0}$)

Όταν η προσήνεμη επιφάνεια της γέφυρας είναι κεκλιμένη τότε ο συντελεστής $C_{f,x,0}$ μπορεί να μειώνεται κατά 0.5% για κάθε μια μοίρα κλίσης, με μέγιστη συνολική μείωση 30% .

- Συντελεστής δύναμης ($C_{f,y}$) κατά τη διεύθυνση y

Οι δυνάμεις κατά τη διεύθυνση y, δηλαδή το διαμήκη άξονα του καταστρώματος μπορούν να λαμβάνονται ίσες με :

- 25% των δυνάμεων ανέμου κατά τη διεύθυνση x για ολόσωμες γέφυρες
- 50% των δυνάμεων ανέμου κατά τη διεύθυνση x για δικτυωτές γέφυρες

- Συντελεστής δύναμης ($C_{f,z}$) κατά τη διεύθυνση z

Οι δυνάμεις κατά τη διεύθυνση z , δηλαδή κατά τον κατακόρυφο άξονα, λαμβάνονται με εκκεντρότητα $e = b/4$ ως προς το κέντρο βάρους του εγκάρσιου άξονα της προσήνεμης επιφάνειας.

- Επιφάνεια αναφοράς $A_{ref,i}$

Είναι η επιφάνεια, στην οποία προσπίπτει ο άνεμος και προκαλεί ένταση στην κατασκευή. Υπάρχουν 3 επιφάνειες διεπαφής, μια για κάθε διεύθυνση. Κατά την κύρια διεύθυνση του ανέμου (x), η επιφάνεια αναφοράς $A_{ref,x}$ λαμβάνεται :

I. Για κατάστρωμα με ολόσωμες δοκούς :

- Η αντίστοιχη επιφάνεια της όψης της πρώτης κύριας δοκού καθώς και όλων των τμημάτων των άλλων δοκών ή των τμημάτων του καταστρώματος, που εξέχουν πάνω ή κάτω από αυτή.

II. Για κατάστρωμα με δικτυωτές δοκούς :

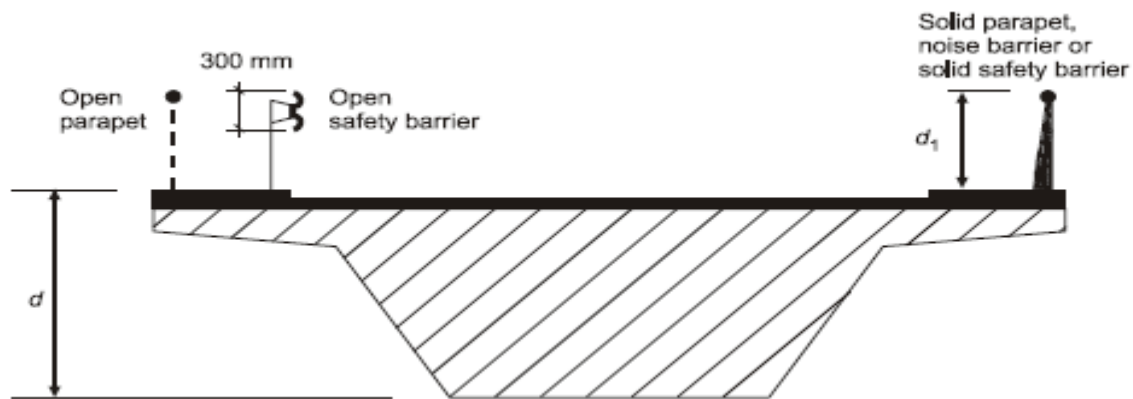
- Η επιφάνεια της όψης του οδοστρώματος ή/και των πεζοδρομίων
- Οι προβολές σε κατακόρυφο επίπεδο όλων των συμπαγών επιφανειών των τμημάτων του δικτυώματος που βρίσκονται πάνω ή κάτω από την όψη της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Σημαντικός είναι ο συνυπολογισμός της συμβολής των κιγκλιδωμάτων και των στηθαίων ασφαλείας είτε αυτά είναι προσήνεμα είτε υπήνεμα, καθώς προσαυξάνουν το συνολικό ελεύθερο ύψος d_{tot} , όπως προσδιορίζεται παρακάτω :

- 300 mm για κάθε ανοικτό κιγκλιδώμα και στηθαίο ασφαλείας
- το άθροισμα των υψών του κιγκλιδώματος και του στηθαίου ασφαλείας, αν αποτελούνται από συνεχείς επιφάνειες

Πίνακας 2.3. Επιρροή των παραπέτων και των στηθαίων στο ελεύθερο ύψος

Συστήματα συγκράτησης	Σε μία πλευρά	Σε δύο πλευρές
Ανοικτό παραπέτο ή ανοικτό στηθαίο	$d + 0,3m$	$d + 0,6m$
Κλειστό παραπέτο ή κλειστό στηθαίο	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο	$d + 0,6m$	$d + 1,2m$



Σχήμα 2.6. Προσδιορισμός του ύψους της επιφάνειας αναφοράς d_{tot}

Στην περίπτωση μας έχουμε έδαφος κατηγορίας IV .

Συνεπώς $C_e(z) = 1.2$ και $C_d = 0.94$

Για $d/b \approx 1$, $C_{F_x,0} = 2.30$

Κάνουμε απομείωση του $C_{F_x,0}$ για 45 μοίρες κλίση (όπου χρειάζεται) : $45 * 0,5\% = 22,5\% < 30\%$

$C_{F_y,0} = 0.25 * C_{F_x,0} = 0.45$ (για ολόσωμη γέφυρα)

$C_{F_y,0} = 0,50 * C_{F_x,0} = 0,89$ (για δικτυωτή γέφυρα)

$C_{F_z,0} = 0.70$, $e = b/4 = 0.75$ m.

$$q_{ref} = 0.5 * \rho * v_b^2 = 0.5 * 1.25 * 33^2 = 0.681 \text{ KN/m}^2$$

Επομένως η πίεση αναφοράς σε KN/m^2 ανά διεύθυνση είναι :

$$\text{Κατά } x : W_{e,x} = q_{ref} * C_e(z) * C_d * C_{f,x} = 0.681 * 1.2 * 0.94 * 0.45 = 1.367$$

$$\text{Κατά } y \text{ και ολόσωμη γέφυρα : } W_{e,y} = q_{ref} * C_e(z) * C_d * C_{f,y} = 0.681 * 1.2 * 0.94 * 0.45 = 0.346$$

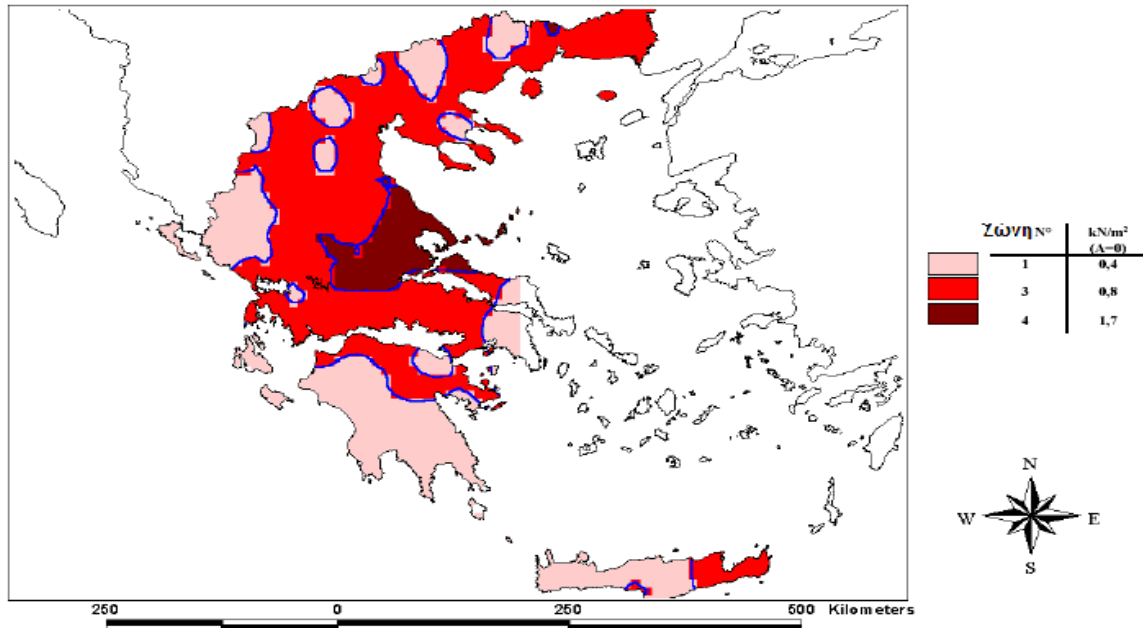
$$\text{Κατά } y \text{ και δικτυωτή γέφυρα : } W_{e,y} = q_{ref} * C_e(z) * C_d * C_{f,y} = 0.681 * 1.2 * 0.94 * 0.89 = 0.684$$

$$\text{Κατά } z : W_{e,z} = q_{ref} * C_e(z) * C_d * C_{f,z} = 0.681 * 1.2 * 0.94 * 0.70 = 0.538$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι στο πρόγραμμα Scia Engineer , εισάγοντας την κατηγορία εδάφους, το είδος της κατασκευής και την απόσταση από την ακτή, το πρόγραμμα υπολογίζει μόνο του τις δράσεις επί των αντίστοιχων επιφανειών και παρέχει επίσης δυνατότητα προσομοίωσης τρισδιάστατης φόρτισης, λόγω ανέμου.

2.2.2.2 Φορτία Χιονιού

Τα φορτία χιονιού αντιμετωπίζονται παραδοσιακά ορίζοντας μια απλή τιμή βάρους χιονιού ανάλογα με το ύψος χιονιού στη συγκεκριμένη περιοχή. Τα φορτία χιονιού υπάγονται στα μεταβλητά φορτία αν και σε πολύ ακραίες περιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν τυχηματικά. Υπολογίζονται για περίοδο επαναφοράς του έργου 50 έτη. Στην Ελλάδα υπάρχουν 3 ζώνες διαφοροποίησης των περιοχών, στην κάθε μια εκ των οποίων αντιστοιχεί και διαφορετικό φορτίο χιονιού.



Πίνακας 2.4 Ζώνες Χιονιού

Ζώνες	Νομοί	Φορτίο Χιονιού $S_{k,0}$ (KN/m ²)
I	Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και όλα τα νησιά πλην Σποράδων και Εύβοιας	0,4
II	Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια	1,7
III	Υπόλοιπη χώρα	0,8

**Η Αττική υπάγεται στην Ζώνη III με $S_{k,0} = 0,8 \text{ KN/m}^2$.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού (S_k) επί του εδάφους σε KN/m^2 δίνεται συναρτήσει της ζώνης και του αντίστοιχου υψομέτρου (A) από τον τύπο :

$$S_k = S_{k,0} * [1 + (\frac{A}{917})^2], \quad (2.4)$$

όπου στη δική μας περίπτωση δίνει για : $A = 40 \text{ m}$ δίνει $S_k = 0,81 \text{ KN/m}^2$. Το τελικό φορτίο χιονιού που θα ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς δίνεται από τον τύπο :

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k \quad (2.5)$$

μ_i : ο συντελεστής μορφής χιονιού, ο οποίος για μηδενική κλίση καταστρώματος λαμβάνεται ίσος με 0.8

C_e : ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1.0 , εκτός αν το έργο εκτίθεται σε ισχυρούς ανέμους $C_e = 0.8$ ή αν προστατεύεται (από κτίρια ή δέντρα) $C_e = 1.2$. Εδώ λαμβάνεται 1.0 .

C_t : ο θερμικός συντελεστής ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 1.0

Συνεπώς το τελικό φορτίο χιονιού είναι $S = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 0.81 = 0.70 \text{ KN/m}^2$.

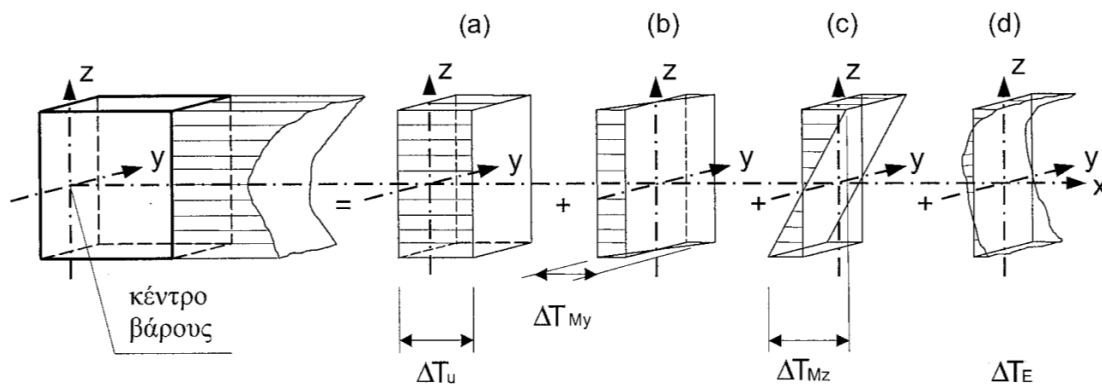
2.2.2.3 Θερμοκρασιακές Μεταβολές

Η κατανομή της θερμοκρασίας μέσα σε μια διατομή ενός στοιχείου προκαλεί παραμορφώσεις. Όταν αυτές οι παραμορφώσεις είναι παρεμποδισμένες, τότε προκαλούνται τάσεις, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για καταστάσεις διάρκειας και παροδικές. Στην κατηγορία των θερμοκρασιακών μεταβολών, ως τυχηματική φόρτιση ωστόσο, υπάγεται και η περίπτωση πυρκαγιάς, η οποία μπορεί να προκαλέσει ταχεία μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του χάλυβα.

Πίνακας 2.5. Επιρροή της θερμοκρασίας (πυρκαγιάς) στα μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα

Θερμοκρασία χάλυβα θ_a	Μειωτικοί συντελεστές σε θερμοκρασία θ_a ως προς την τιμή της f_y ή του E_s σε 20°C		
	Μειωτικός συντελεστής (ως προς την f_y) για την ενεργό τάση διαφθοής $k_{r,\theta} = f_{r,\theta}/f_y$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς την f_y) για το όριο αναλογίας $k_{r,\theta} = f_{r,\theta}/f_y$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το E_s) για την κλίση της γραμμικής ελαστικής περιοχής $k_{E,\theta} = E_{s,\theta}/E_s$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

Οι συνιστώσες της θερμοκρασιακής κατανομής σε μια διατομή μπορεί να είναι : α) ομοιόμορφη, β) γραμμική περί τον z-z, γ) γραμμική περί τον y-y, δ) μη γραμμική



Σχήμα 2.7. Κατανομή θερμοκρασιών στις διατομές

Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών τιμών των θερμοκρασιακών μεταβολών, τα καταστρώματα των γεφυρών ταξινομούνται στις ακόλουθες ομάδες :

- Ομάδα 1 : Χαλύβδινο δάπεδο επί κιβωτοειδών ή ανοικτών δοκών ή δικτυωτών δοκών από χάλυβα.
- Ομάδα 2 : Δάπεδο από σκυρόδεμα επί κιβωτοειδών ή ανοικτών δοκών ή δικτυωτών δοκών από χάλυβα.
- Ομάδα 3 : Δάπεδο από σκυρόδεμα επί ανοικτών ή κιβωτοειδών δοκών από σκυρόδεμα.

Ο έλεγχος γίνεται για την ομοιόμορφη και την γραμμική κατανομή της θερμοκρασίας και η συγκεκριμένη γέφυρα κατατάσσεται στην ομάδα 1.

Στην ομοιόμορφη συνιστώσα προσδιορίζονται από εθνικούς ισοθερμικούς χάρτες η ελάχιστη (T_{\min}) και η μέγιστη (T_{\max}) θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται η ελάχιστη και η μέγιστη ενεργός θερμοκρασία της γέφυρας.

Θεωρείται η θερμοκρασία κατασκευής του έργου ίση με $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
 Ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά $T_{e,\min} = -23 \text{ }^\circ\text{C}$
 Μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά $T_{e,\max} = +67 \text{ }^\circ\text{C}$

Επομένως:

$$\max \Delta T_N = 67 - 15 = 52 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\min \Delta T_N = -23 - 15 = -38 \text{ }^\circ\text{C}$$

Στην γραμμική συνιστώσα της θερμοκρασίας, η οποία είναι αποτέλεσμα θέρμανσης και ψύξης του καταστρώματος μέσα σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, εμφανίζεται μια μέγιστη θετική ($\Delta T_{M,\text{pos}}$) και μια μέγιστη αρνητική ($\Delta T_{M,\text{neg}}$) μεταβολή θερμοκρασίας, όπου στην πρώτη περίπτωση θερμότερη είναι η άνω επιφάνεια της διατομής ενώ στη δεύτερη θερμότερη είναι η κάτω επιφάνεια. Οι χαρακτηριστικές τιμές της γραμμικής διαφοράς θερμοκρασίας δίνονται παρακάτω.

Πίνακας 2.6 Θερμοκρασίες ελέγχου για γραμμική συνιστώσα

Χαρακτηριστικές τιμές γραμμικής διαφοράς θερμοκρασίας		
Ομάδα Καταστρώματος	Θετική διαφορά θερμοκρασίας	Αρνητική διαφορά θερμοκρασίας
	$\Delta T_{M,\text{pos}}$ ($^\circ\text{C}$)	$\Delta T_{M,\text{neg}}$ ($^\circ\text{C}$)
1	18	-13
2	15	-18
3	Κιβωτοειδής Δοκός	-5
	Λοιπές Μορφές	-8

Στην ταυτόχρονη συνύπαρξη της ομοιόμορφης (ΔT_N) και της γραμμικής (ΔT_M) συνιστώσας της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εκφράσεις :

$$\Delta T_M + 0.35 \Delta T_N$$

$$0.75 \Delta T_M + \Delta T_N$$

Από τις οποίες χρησιμοποιείται ο δυσμενέστερος συνδυασμός

2.2.2.4 Συγκεντρωμένο φορτίο

Ένα συγκεντρωμένο φορτίο $Q_{f,wk} = 10 \text{ KN}$, που δρα σε μια επιφάνεια $0,10 \times 0,10 \text{ m}^2$ τοποθετείται για γενικές και τοπικές επιδράσεις, εφόσον δεν γίνεται χρήση οχήματος συντήρησης.

2.2.3 Τυχηματικά φορτία

Οι δυνάμεις αυτές προέρχονται είτε από την κυκλοφορία κάτω από τη γέφυρα είτε από τυχαία παρουσία τροχοφόρου πάνω στη γέφυρα.

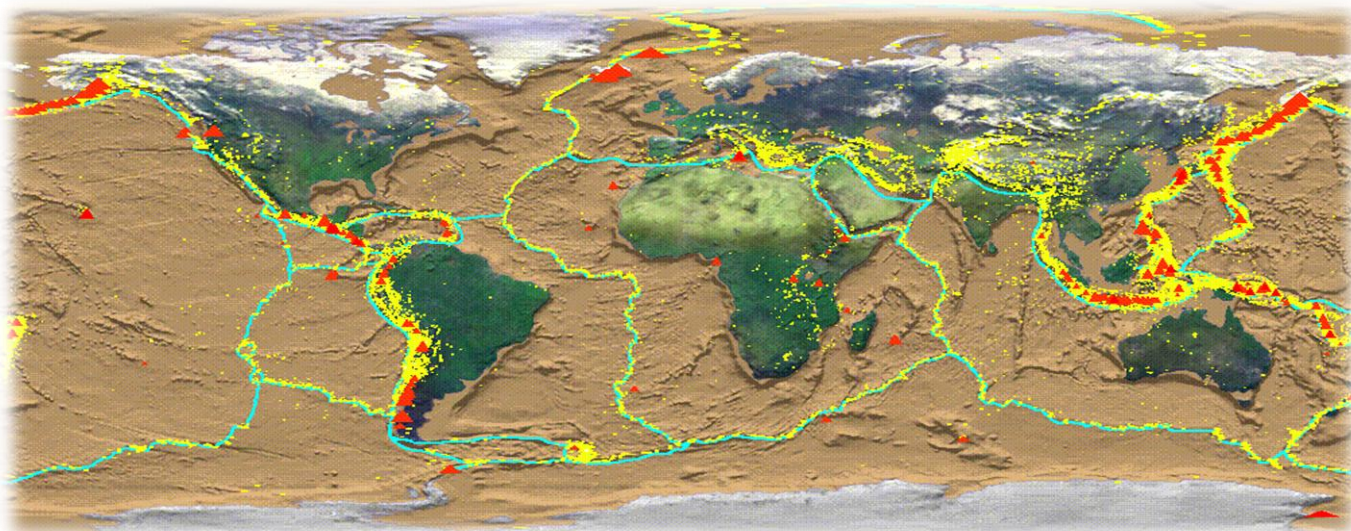
Στη συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνεται υπόψη ένα φορτίο πρόσκρουσης οχήματος στα βάθρα ή άλλα στοιχεία στήριξης της γέφυρας, σε ύψος 1.25 m πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος με φορτίο :

- 1000 KN παράλληλα προς τη διεύθυνση κυκλοφορίας του οχήματος
- 500 KN κάθετα προς τη διεύθυνση κυκλοφορίας του οχήματος

Λόγω της ευαισθησίας, που παρουσιάζουν οι πεζογέφυρες σε σχέση με τις οδικές και τις σιδηροδρομικές, θα προβλεφθεί στηθαίο ασφαλείας περιμετρικά των βάθρων και των λοιπών στηρίξεων για αποφυγή τέτοιου περιστατικού.

2.2.4 Σεισμικά Φορτία

Κατά τη διατάραξη του φλοιού της Γής από τη μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών εκλύεται ενέργεια, η οποία υπό τη μορφή ελαστικών κυμάτων μεταφέρεται στην επιφάνειά της και γίνεται αντιληπτή από τους ανθρώπους. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται σεισμός. Η Ελλάδα βρίσκεται πάνω από την Αιγαιακή πλάκα ενώ οι χαρακτηριστικές μετακινήσεις της περιοχής είναι η δυτική μετακίνηση της πλάκας της Ανατολίας κατά 25 mm ανά έτος και η νοτιοδυτική μετακίνηση της Αιγαιακής πλάκας στην περιοχή της Ελληνικής τάφρου κατά 50 mm ανά έτος.



Εικόνα 2.1. Χάρτης της Γης όπου απεικονίζονται τα όρια των τεκτονικών πλακών (γαλάζιες γραμμές), η κατανομή των πρόσφατων σεισμών (κίτρινα σημεία) και των ενεργών ηφαιστείων (κόκκινα σημεία).

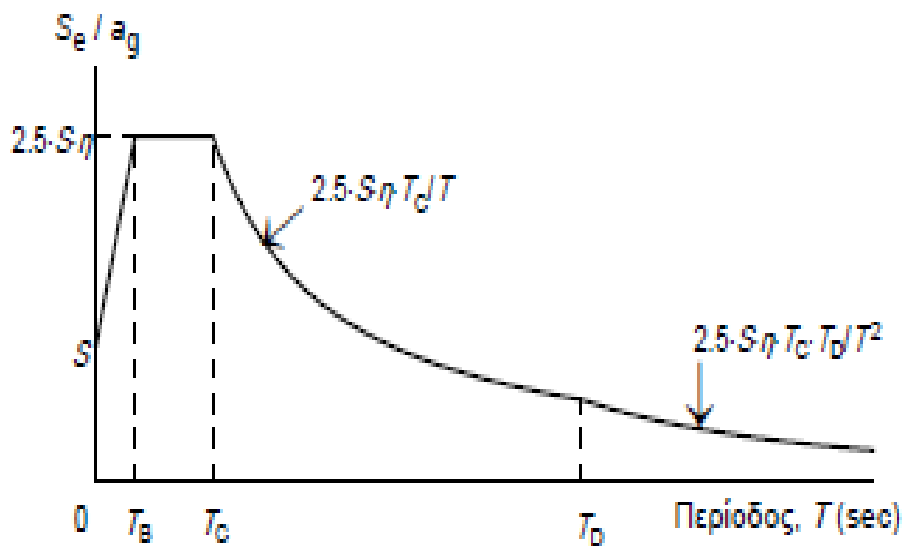
Η σεισμική φόρτιση έχει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις καθημερινές κατακόρυφες φορτίσεις επί των κατασκευών και για αυτό ο σωστός υπολογισμός της είναι καθοριστικός.

Πίνακας 2.7. Διαφορές Στατικής και Σεισμικής φόρτισης

Χαρακτηριστικά	Σεισμική Φόρτιση	Κατακόρυφη Φόρτιση
1. Διεύθυνση	Οριζόντια	Κατακόρυφη
2. Τύπος	Τυχηματική	Μόνιμη ή μεταβλητή
3. Φύση	Επιβολή Παραμόρφωσης	Επιβολή Τάσης
4. Εναλλαγή	Εναλλασσόμενη	Μονότονη
5. Απόκριση	Δυναμική	Στατική

Κατά τη διάρκεια του σεισμού αναπτύσσονται δύο οριζόντιες και μια κατακόρυφη επιτάχυνση, οι οποίες προκαλούν αδρανειακές δυνάμεις στις κατασκευές, με τις οριζόντιες να είναι συνήθως οι πιο κρίσιμες. Οι τρεις αυτές συνιστώσες θεωρούνται στατιστικά ανεξάρτητες. Ο προσδιορισμός των τιμών των σεισμικών διεγέρσεων καθορίζεται με τη βοήθεια των φασμάτων απόκρισης ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή, σε όρους επιτάχυνσης.

Ελαστικό φάσμα απόκρισης (S_e , ελαστική φασματική επιτάχυνση)



$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right]$$

για $0 \leq T \leq T_B$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5$$

για $T_B \leq T \leq T_C$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T}$$

για $T_C \leq T \leq T_D$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$$

για $T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$

όπου:

$$a_g = \gamma_i \cdot a_{gR}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{\zeta + 5}} \geq 0.55 = \text{συντελεστής απόσβεσης (το } \zeta \text{ τίθεται επί τοις εκατό)}$$

Σχήμα 2.8. Ελαστικό φάσμα

Όπου:

S_e , η ελαστική φασματική επιτάχυνση

a_{gR} , σεισμική επιτάχυνση εδάφους

a_g , επιτάχυνση που λαμβάνεται στους υπολογισμούς

S , συντελεστής εδάφους

γ_i , συντελεστής σπουδαιότητας

Πίνακας 2.8. Κατηγορίες εδάφους κατά τον Ευρωκώδικα

Κατηγορία Εδάφους	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)	S
A	0.15	0.40	2.50	1.00
B	0.15	0.50	2.50	1.20
C	0.20	0.60	2.50	1.15
D	0.20	0.80	2.50	1.35
E	0.15	0.50	2.50	1.40

Κατακόρυφη Συνιστώσα

Ισχύει ό,τι και για τις οριζόντιες συνιστώσες με τις διαφορές :

- Η επιτάχυνση μειώνεται κατά $a_{gR,ver} = 0.70 \cdot a_{gR,hor}$
- Τίθεται $S = 1.0$
- Λαμβάνεται $q \leq 1.5$ για όλα τα υλικά και στατικά συστήματα, εκτός αν υπάρχει κατάλληλη δικαιολόγηση μέσω ανάλυσης για τιμές $q > 1.5$.

Φάσμα Σχεδιασμού για ανελαστική συμπεριφορά (S_d , φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού).

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

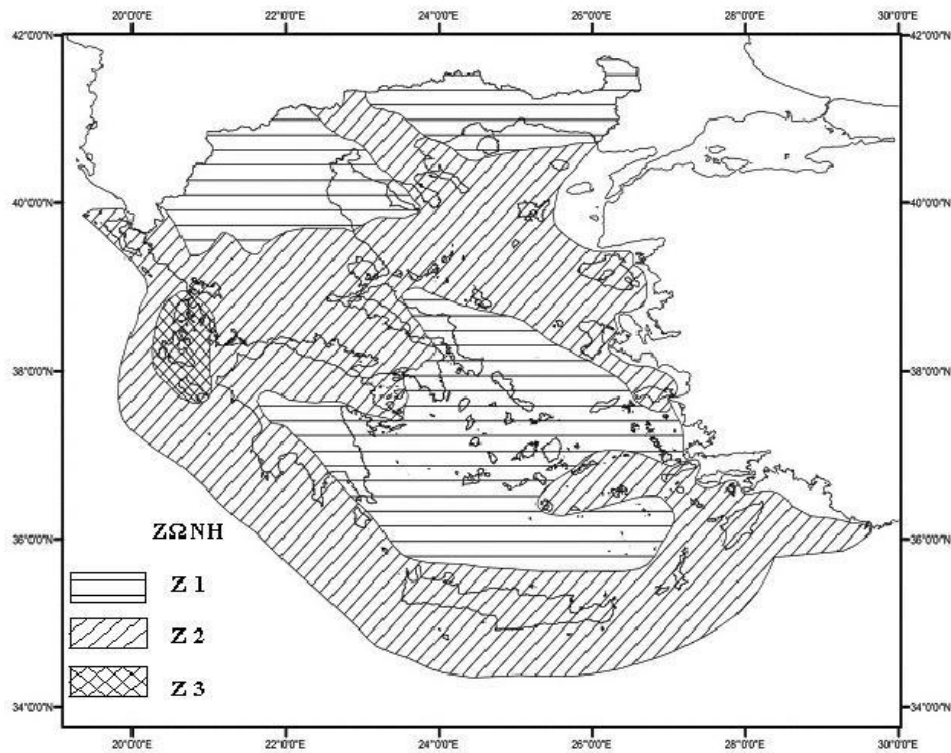
$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

Σχήμα 2.9. Επιταχύνσεις σχεδιασμού

Όπου το β είναι ίσο με 0.2 σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα.



Σχήμα 2.10. Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλαδικού Χώρου

Σεισμική Επιτάχυνση Εδάφους

Πίνακας 2.9. Επιταχύνσεις σεισμικών ζωνών

Ζώνες	Επιτάχυνση εδάφους a_g/g
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

Συντελεστής Σπουδαιότητας

Πίνακας 2.10. Συντελεστής σπουδαιότητας ανά κατηγορία έργου

Κατηγορία σπουδαιότητας	γ_i
Σ1 Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, όπως αγροτικά οικήματα και αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι, βουστάσια, χοιροστάσια, ορνιθοτροφεία, κλπ.	0.80
Σ2 Σνήθη κτίρια, όπως κατοικίες και γραφεία, βιομηχανικά - βιοτεχνικά κτίρια, ξενοδοχεία (τα οποία δεν περιλαμβάνουν χώρους συνεδρίων), ξενώνες, οικότροφεία, χώροι εκθέσεων, χώροι εστίασεως και ψυχαγωγίας (ζαχαροπλαστεία, καφενεία, μπόουλινγκ, μπιλιάρδου, ηλεκτρονικών παιχνιδιών, εστιατόρια, μπαρ, κλπ), τράπεζες, ιατρεία,	1.00

	αγορές, υπεραγορές, εμπορικά κέντρα, καταστήματα, φαρμακεία, κουρεία, κομμωτήρια, ινστιτούτα γυμναστικής, βιβλιοθήκες, εργοστάσια, συνεργεία συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφεία, ξυλουργεία, εργαστήρια ερευνών, παρασκευαστήρια τροφίμων, καθαριστήρια, κέντρα μηχανογράφησης, αποθήκες, κτίρια στάθμευσης αυτοκινήτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, ανεμογεννήτριες, γραφεία δημοσίων υπηρεσιών και τοπικής αυτοδιοίκησης που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία Σ4, κλπ	
Σ3	Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς και κτίρια δημόσιων συναθροίσεων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου, όπως αίθουσες αεροδρομίων, χώροι συνεδρίων, κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες, εκπαιδευτικά κτίρια, αίθουσες διδασκαλίας, φροντιστήρια, νηπιαγωγεία, χώροι συναυλιών, αίθουσες δικαστηρίων, ναοί, χώροι αθλητικών συγκεντρώσεων, θέατρα, κινηματογράφοι, κέντρα διασκέδασης, αίθουσες αναμονής επιβατών, ψυχιατρεία, ιδρύματα απόμων με ειδικές ανάγκες, ιδρύματα χρονίως πασχόντων, οίκοι ευγηρίας, βρεφοκομεία, βρεφικοί σταθμοί, παιδικοί σταθμοί, παιδότοποι, αναμορφωτήρια, φυλακές, εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού και αποβλήτων, κλπ.	1.20
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, κλινικές, αγροτικά ιατρεία, υγειονομικοί σταθμοί, κέντρα υγείας, διυλιστήρια, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, πυροσβεστικοί και αστυνομικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών από σεισμό. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας, όπως μουσεία, αποθήκες μουσείων, κλπ.	1.40

Στις γέφυρες ο συντελεστής σπουδαιότητας παίρνει τις ακόλουθες τιμές :

- $\gamma_i = 0.85$ για γέφυρες δευτερεύουσας σημασίας (π.χ. γέφυρες σε επαρχιακούς ή αγροτικούς δρόμους)
- $\gamma_i = 1.00$ για συνήθεις γέφυρες (αυτοκινητοδρόμων, εθνικών οδών και σιδηροδρόμων)
- $\gamma_i = 1.30$ για σημαντικές μεγάλες γέφυρες, οι οποίες, μετά το σεισμό, πρέπει να εξασφαλίσουν τη διέλευση κυκλοφορίας και των οποίων η κατάρρευση θα συνοδευόταν από μεγάλο αριθμό θανατηφόρων ατυχημάτων.

Μέγιστες Τιμές Συντελεστή Συμπεριφοράς q

Πίνακας 2.11. Τιμές συντελεστή συμπεριφοράς

Όλκιμα Στοιχεία	Σεισμική Συμπεριφορά	
	Μερικώς Όλκιμη	Όλκιμη
Βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα		
Κατακόρυφα βάθρα υπό κάμψη ($a_s \geq 1.0$)	1.5	3.5

Κοντά βάρθρα ($a_s=1.0$)	1.0	1.0
Κεκλιμένοι στύλοι υπό κάμψη	1.2	2.0
Χαλύβδινα βάρθρα		
Κατακόρυφα βάρθρα υπό κάμψη	1.5	3.5
Κεκλιμένοι στύλοι υπό κάμψη	1.2	2.0
Βάρθρα με κανονικούς συνδέσμους ακαμψίας	1.5	2.5
Βάρθρα με έκκεντρους συνδέσμους ακαμψίας	-	3.5
Ακρόβαθρα	1.0	1.0
Τόξα	1.2	2.0

Όπου :

$$a_s = H/L$$

H , ύψος βάρθρου

L , μήκος διατομής βάσης παράλληλα προς την εξεταζόμενη διεύθυνση

Στην περίπτωση επιθυμητής ελαστικής συμπεριφοράς λαμβάνεται $q = 1.00$.

Επίσης, η τιμή του q για δράση της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού θα λαμβάνεται ίση με 1.00.

Τιμές ποσοστού απόσβεσης ζ

Πίνακας 2.12. Τιμές απόσβεσης

Είδος κατασκευής		$\zeta\%$
Μεταλλική	Συγκολλητές συνδέσεις	2
	Κοχλιωτές συνδέσεις	4
Σκυρόδεμα	Άοπλο	3
	Οπλισμένο	5
	Προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία	Οπλισμένη	6
	Διαζωματική	5
Εύλινη	Κολλητή	4
	Κοχλιωτή	4
	Ηλωτή	5

Κατηγορίες εδάφους κατά EC8

Πίνακας 2.13. Διαφοροποίηση εδαφικών κατηγοριών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8

Κατηγορία Εδάφους	
A	Βράχος με έως 5m ασθενέστερο επιφανειακό υλικό
B	Πολύ πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή πολύ σκληρή άργιλος, δεκάδων m με αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος
C	Πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή σκληρή άργιλος, αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων m
D	Χαλαρή έως μετρίως χαλαρή άμμος ή αμμοχάλικο ή μαλακή έως μετρίως σκληρή άργιλος
E	Επιφανειακό στρώμα C ή D πάχους 5 έως 20 m και υπόστρωμα με $V_s > 800$ m/s

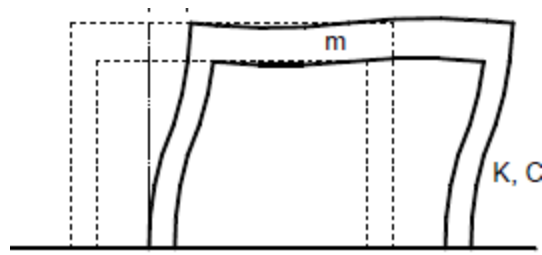
Όπου V_s η μέση ταχύτητα μετάδοσης των διατμητικών κυμάτων.

Η σεισμική δύναμη, προκαλούμενη από τις επιταχύνσεις του εδάφους δίνεται από την γνωστή σχέση :

$$F = m * a \quad (2.6)$$

Όπου,

m , η μάζα των φορτίων που δρουν επί της κατασκευής την στιγμή επιβολής της σεισμικής δύναμης
 a , η επιτάχυνση του εδάφους (με συνιστώσες a_x , a_y , a_z)



Εικόνα 2.2. Εικόνα παραμόρφωσης κτιρίου με μάζα m , δυσκαμψία K και απόσβεση C .

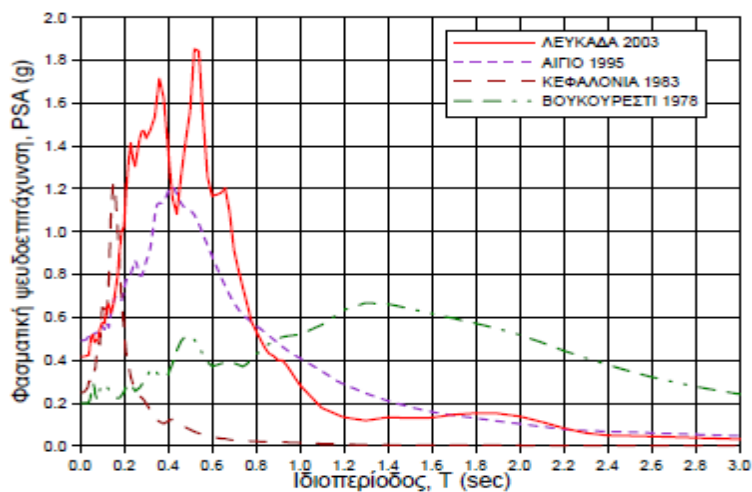
Ο προσδιορισμός των μαζών γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των μόνιμων φορτίων της γέφυρας με τις χαρακτηριστικές τους τιμές καθώς και τις οιονεί μόνιμες τιμές των μεταβλητών δράσεων με συντελεστή συνδυασμού : ψ_{21} .

Σε πεζογέφυρες επιτρέπεται να λαμβάνεται $\psi_{21} = 0$

Η συμπεριφορά των κατασκευών εξαρτάται, εκτός από τα γεωγραφικά, τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, από την ιδιοπερίοδο τους (T), η οποία δίνεται από τον τύπο

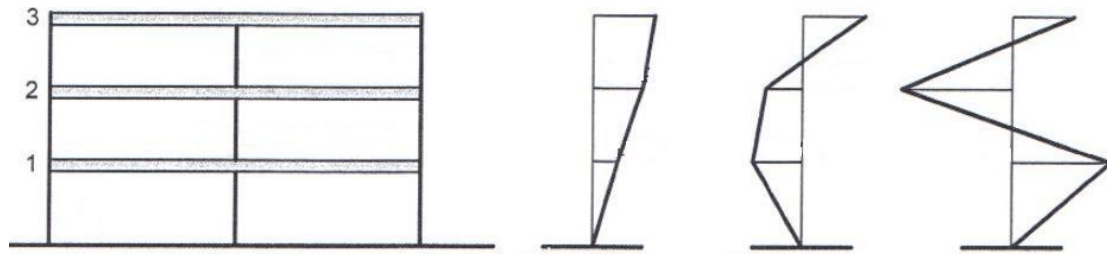
$$T = 2\pi * \sqrt{\left(\frac{m}{K}\right)} \quad (sec) \quad (2.7)$$

Δηλαδή ένα μέγεθος, που εξαρτάται από την μάζα και την ακαμψία της κατασκευής. Η ιδιοπερίοδος επηρεάζει σημαντικά τη σεισμική απόκριση των κατασκευών, καθώς επιτρέπει στην κατασκευή να αποσβένει ενέργεια και να καταπονείται από μικρότερες τελικές επιταχύνσεις, οι οποίες σε αντίθετη περίπτωση δημιουργούν μεγάλες παραμορφώσεις με κίνδυνο αστοχίας.



Σχήμα 2.11 Φάσμα απόκρισης, για απόσβεση $\zeta=5\%$, διαφόρων σεισμών.

Κατά την διάρκεια εφαρμογής της σεισμικής δύναμης, η κατασκευή μπορεί να ταλαντωθεί παίρνοντας διάφορα σχήματα (βλ. δυναμική ανάλυση μονοβάθμιων και πολυβάθμιων συστημάτων), αυτά τα σχήματα ονομάζονται ιδιομορφές. Κάθε ιδιομορφή έχει τη δική της περίοδο καθώς και τη δική της δρώσα ιδιομορφική μάζα. Στα πλαίσια της φασματικής ανάλυσης επιτρέπεται να λαμβάνονται στο σχεδιασμό οι ιδιομορφές, των οποίων το άθροισμα των δρωσών ιδιομορφικών μαζών αντιστοιχεί στο 90% της συνολικής μάζας της κατασκευής.



Σχήμα 2.12. . Οι 3 πρώτες οριζόντιες ιδιομορφές ενός 3όροφου κτιρίου

Για τη συνύπαρξη των σεισμικών δράσεων και κατά τις 3 διευθύνσεις, η σεισμική δύναμη E μπορεί να προσδιορίζεται από τις μέγιστες τιμές των ανεξάρτητων δράσεων E_x , E_y , E_z . Δηλαδή $E = [(E_x)^2 + (E_y)^2 + (E_z)^2]^{0.5}$ ή λαμβάνοντας την δυσμενέστερη τιμή από τους συνδυασμούς :

$$A_{E_x} + 0.3A_{E_y} + 0.3A_{E_z}$$

$$0.3A_{E_x} + A_{E_y} + 0.3A_{E_z}$$

$$0.3A_{E_x} + 0.3A_{E_y} + A_{E_z}$$

2.2.5 Ταλαντώσεις

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της βελτίωσης των οικοδομικών υλικών, οι κατασκευές γίνονται ελαφρύτερες και πιο εύκαμπτες σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Αυτή η μείωση της δυσκαμψίας οδηγεί πολλές φορές σε μεγάλες παραμορφώσεις, λόγω χαμηλών ιδιοσυχνοτήτων, οι οποίες πλησιάζουν τις ιδιοσυχνότητες εξωτερικών διεγέρσεων δημιουργώντας πιθανό πρόβλημα συντονισμού. Μολονότι σπανίως τα δυναμικά φαινόμενα υπήρξαν λόγος αστοχίας στο κοντινό παρελθόν, μπορούν να προκαλέσουν έντονη όχληση στους χρήστες μέσω έντονων μετακινήσεων. Στις πεζογέφυρες, εξαιτίας της μικρής δυσκαμψίας σε σχέση με τις οδικές και τις σιδηροδρομικές, τα δυναμικά φαινόμενα που προκαλούνται από την κίνηση των ατόμων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά της κατασκευής.

Πίνακας 2.14. Συχνότητες για διάφορες κατηγορίες κινήσεων

Είδος κίνησης	Συχνότητα f (Hz)
Αργό βάδισμα	1.7
Κανονικό βάδισμα	2.0
Γρήγορο βάδισμα	2.3
Αργό τρέξιμο	2.1
Κανονικό τρέξιμο	2.5
Γρήγορο τρέξιμο	3.0
Κανονικό άλμα	2.0-3.0
Υψηλό άλμα	2.0-3.0

Για την οριζόντια συνιστώσα των κινήσεων η τιμές των συχνοτήτων κυμαίνονται σε ένα εύρος 0.7-1.2 Hz.

Η δυναμική φόρτιση στην κατακόρυφη και την οριζόντια διαμήκη διεύθυνση, λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας περιγράφεται από σειρά Fourier της μορφής :

$$F_p(t) = G + \sum_{i=1}^n G * a_i * \sin(2\pi * i * f_p * t - \varphi_i) \quad (2.8)$$

όπου :

G = το βάρος του ατόμου που προκαλεί την ταλάντωση (συνήθως 80kg)

a_i = συντελεστής Fourier για την i αρμονική

f_p = συχνότητα κίνησης του ατόμου

φ_i = διαφορά φάσης της i αρμονικής από την πρώτη αρμονική (συχνά αμελείται)

Για την οριζόντια εγκάρσια διεύθυνση η σειρά Fourier παίρνει τη μορφή :

$$F_p(t) = G + \sum_{i=1}^n G * a_i * \sin(\pi * i * f_p * t - \varphi_i) \quad (2.9)$$

Στις συνήθειες περιπτώσεις αρκεί να λαμβάνονται υπόψη οι 3 πρώτες αρμονικές.

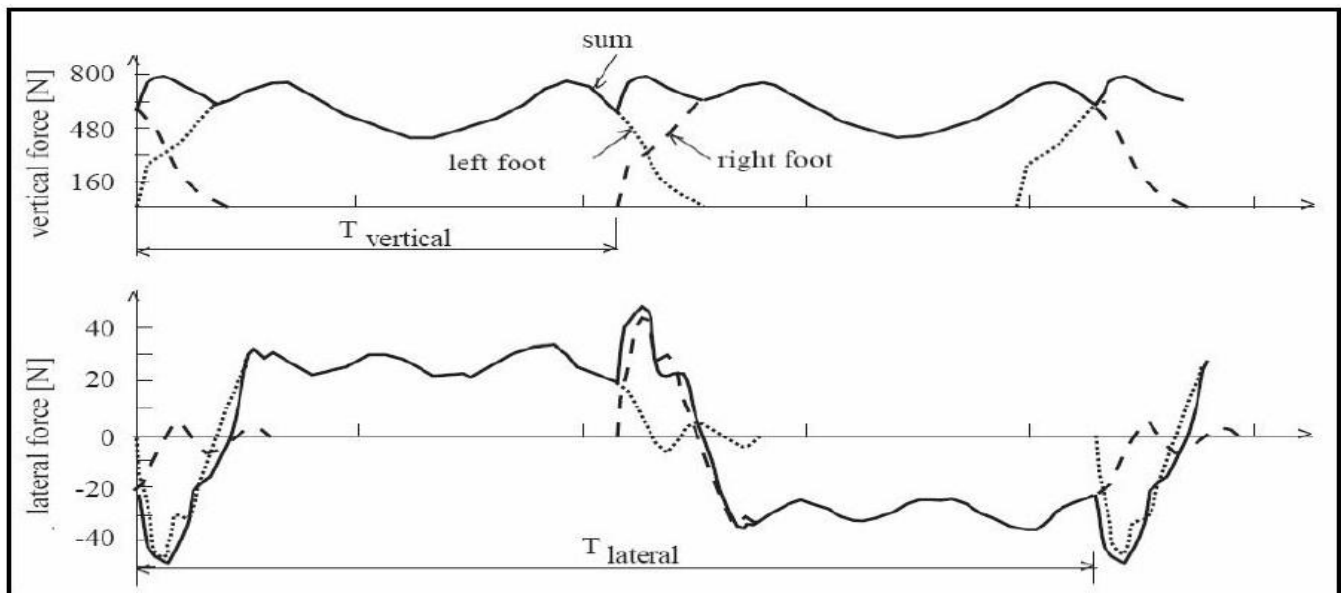
Ενδεικτικά αναφέρονται οι βασικοί συντελεστές a_i :

$a_{\text{vert},1} = 0.4$

$a_{\text{vert},2} = 0.1$

$a_{\text{lat},1} = 0.05$

$a_{\text{long},1} = 0.2$



Σχήμα 2.13. Γενική μορφή κατακόρυφης και οριζόντιας δύναμης για συνεχές αρμονικό βάδισμα

Για πεζογέφυρες, η συνολική δύναμη από την κίνηση N ατόμων δίνεται από τον τύπο (Kramer) :

$$F_N(t) = F_p(t) * N * S * R \quad (2.10)$$

όπου :

N = το πλήθος των ατόμων που συμμετέχουν στην κίνηση

S = συντελεστής συγχρονισμού

R = μειωτικός συντελεστής

Ο αριθμός N εκφράζεται ως το πηλίκο της αναμενόμενης ποσότητας των ατόμων ανά m^2 .

Ο συντελεστής συγχρονισμού S φροντίζει, ώστε η εξίσωση να λάβει υπόψη την άτακτη κίνηση των ατόμων, αφού η πιθανότητα ταυτόχρονου συντονισμού του βήματός τους είναι στατιστικά αμελητέα. Υπολογίζεται ως το πηλίκο της ταχύτητας σε ένα σημείο του φορέα, λόγω της άτακτης κίνησης των ατόμων, προς την

αντίστοιχη ταχύτητα, λόγω συντονισμένης κίνησής τους. Από μετρήσεις για το μέσο του φορέα έχει προκύψει $S=0.275$, ενώ η θεωρητική τιμή είναι $S=0.225$.

Ο μειωτικός συντελεστής R εισάγεται για να λάβουμε υπόψη την απομάκρυνση των ατόμων από το μέσο του φορέα και συνήθως θεωρείται ίσος με $R=0.465$.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι οι κανονισμοί πάνω στα θέματα ταλαντώσεων διαφοροποιούνται αρκετά και έχουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Υπάρχουν γέφυρες, οι οποίες βρίσκονται εκτός των κανονιστικών ορίων και δεν παρουσίασαν ποτέ προβλήματα ταλαντώσεων. Παρακάτω απεικονίζονται οι οριακές τιμές των κατακόρυφων και οριζόντιων επιταχύνσεων σε διάφορους κανονισμούς.

Πίνακας 2.15. Οριακές τιμές επιταχύνσεων διάφορων κανονισμών

Vertical acceleration $a_{v,max}$ [m/s ²]		
ISO 2631	$1.9 \cdot \sqrt{f_1}$	f_1 = fundamental natural frequency of the bridge
AISC Guide 11	0.5	
Eurocode 1	$\text{Min} \begin{cases} 0.50 \cdot \sqrt{f_h} \\ 0.70 \end{cases}$	for $f = 1$ to 3 Hz for $f = 3$ -5 Hz: check dependant on case from $f = 5$ Hz: no check necessary
DIN-Fachbericht 102	$0.5 \cdot \sqrt{f_1}$, vert.	for $f_1 \leq 5$ Hz; f_1 = fundamental natural frequency of the unloaded bridge
VDI 2057	$0.6 \cdot \sqrt{f_1}$, vert. 0.214 , hor.	f_1 = fundamental natural frequency of the bridge
SBA	0.39	
BS 5400	$0.5 \cdot \sqrt{f_1}$	f_1 = fundamental natural frequency of the bridge
Ontario Bridge Code ONT83	$0.25 \cdot f_1^{0.78}$	f_1 = fundamental natural frequency of the bridge
Eurocode 5 (ENV 1995-2)	0.7	
Bachmann [40]	0.5 - 1.0	
Japanese Footbridge Design Code (1979)	1.0	
Lateral acceleration $a_{L,max}$ [m/s ²]		
Eurocode 1	$\text{Min} \begin{cases} 0.14 \cdot \sqrt{f_h} \\ 0.15 \end{cases}$	for $f = 0.5$ to 1.5 Hz for $f = 1.5$ -2.5 Hz: check dependant on case from $f = 2.5$ Hz: no check necessary
Eurocode 5 (ENV 1995-2)	0.2	for $f < 2.5$ Hz (for standing individuals)

2.3 Συνδυασμοί δράσεων

Στους συνδυασμούς δράσεων προσπαθούμε να επιτύχουμε τους δυσμενέστερους συνδυασμούς των ανεξάρτητων φορτίσεων μέσα σε στατιστικά αποδεκτά όρια, ώστε να μην υπάρχει σπατάλη υλικού άνευ λόγου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μειωτικών συντελεστών, οι οποίοι εφαρμόζονται στα φορτία και σχετίζονται με την πιθανότητα ταυτόχρονης εμφάνισης των ανεξάρτητων φορτίσεων.

Προκειμένου να ελεγχθεί η επάρκεια των διατομών, οι συνδυασμοί δράσεων καλύπτουν όλες τις πιθανές καταστάσεις σχεδιασμού :

- *Διάρκειας*, οι οποίες αναφέρονται στις κανονικές συνθήκες χρήσης της κατασκευής.
- *Παροδικές*, οι οποίες αναφέρονται σε προσωρινές συνθήκες χρήσης του φορέα.

- *Τυχηματικές*, οι οποίες αναφέρονται σε εξαιρετικά σπάνιες και επίπονες συνθήκες για το έργο.
- *Σεισμικές*, οι οποίες αναφέρονται στη φόρτιση της κατασκευής από σεισμικό γεγονός.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες οριακών καταστάσεων, η οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) και η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ). Οριακές είναι οι καταστάσεις, πέραν των οποίων ο φορέας δεν ικανοποιεί τα κριτήρια σχεδιασμού του. Στην οριακή κατάσταση αστοχίας, η κατασκευή υπόκειται σε ελέγχους, οι οποίοι αφορούν τη μη κατάρρευση αυτής ή τμήμα αυτής και σχετίζονται με την ασφάλεια του φορέα αλλά και των ανθρώπων. Οι έλεγχοι, που γίνονται αφορούν οριακές αντοχές μελών και διατομών, απώλεια ευστάθειας, ανατροπή, κόπωση, θραύση, λυγισμός κλπ. Η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας σχετίζεται με τη δυνατότητα του φορέα να είναι λειτουργικός, δηλαδή να μην υπάρχουν έντονες ταλαντώσεις, μεγάλα βέλη, ρηγματώσεις κλπ. Οι έλεγχοι που γίνονται περιορίζουν παραμορφώσεις, οι οποίες επηρεάζουν την εμφάνιση και τη λειτουργία του έργου καθώς και την άνεση των χρηστών, αποσβένουν ταλαντώσεις, οι οποίες προκαλούν ενόχληση στους χρήστες και μηδενίζουν πιθανές βλάβες, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την εμφάνιση, την ανθεκτικότητα και τη λειτουργία της κατασκευής.

2.3.1 Συνδυασμοί στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

I. Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{gj} G_{kj} + \gamma_p P_k + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{oi} Q_k$$

II. Για τυχηματικές καταστάσεις

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} G_{kj} + \gamma_{pA} P_k + A_d + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{oi} Q_k$$

III. Για καταστάσεις σεισμού

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \gamma_I A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

Όπου

(+) , δηλώνει την επαλληλία των φορτίσεων, δηλαδή την ταυτόχρονη συνύπαρξη και δεν σχετίζεται με αλγεβρική ή γεωμετρική άθροιση.

G_{kj} , είναι η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων φορτίων

P_k , είναι η χαρακτηριστική τιμή της δύναμης προέντασης

Q_{ki} , είναι η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης i

A_d , είναι η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης

A_{Ed} , είναι η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης

γ_{Gj} , γ_{GAj} , είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση j

γ_p , γ_{pA} , είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την προένταση

γ_{Qi} , είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση i

γ_I , είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας κατά EC8

ψ_{oi} , ψ_{1i} , ψ_{2i} , είναι οι συντελεστές συνδυασμού (ή συμμετοχής) των μεταβλητών δράσεων

2.3.2 Συνδυασμοί στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

I. Χαρακτηριστικός (σπάνιος) συνδυασμός

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{oi} Q_{ki}$$

II. Συχνός συνδυασμός

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

III. Ημιμόνιμος συνδυασμός

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

Πίνακας 2.16. Συντελεστές ασφαλείας

Δράση	Συμβολισμός	Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ για πεζογέφυρες	
		Μόνιμη/Παροδική	Κατάσταση Τυχηματική
Μόνιμες : ίδιο βάρος φερόντων και μη στοιχείων, μόνιμες δράσεις λόγω εδάφους κλπ.			
Δυσμενής	γ_{Gsup}	1.35	1.00
Ευμενής	γ_{Ginf}	1.00	1.00
Προένταση	γ_P	1.00	1.00
Υποχώρηση	γ_{Gset}	1.00	-
Δράσεις κυκλοφορίας	γ_G		
Δυσμενείς		1.35	1.00
Ευμενείς		0	0
Άλλες μεταβλητές δράσεις	γ_Q		
Δυσμενείς		1.35	1.00
Ευμενείς		0	0
Τυχηματικές	γ_A	-	1.00

Πίνακας 2.17. Συντελεστές συνδυασμού

Συντελεστές συνδυασμού ψ για πεζογέφυρες (OKA)				
Δράση	Σύμβολο	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Φορτία	gr1	0.4	0.4	0
κυκλοφορίας	Q_{fwk}	0	0	0
	gr2	0	0	0

Δράσεις ανέμου	F_w	0.3	0.2	0
Θερμικές δράσεις	T_k	0.6	0.6	0.5
Φορτία χιονιού	$Q_{sn,k}$ (κατά την εκτέλεση)	0.8	-	0
Φορτία κατασκευής	Q_c	1.0	-	1.0

Με βάση τους παραπάνω πίνακες, απ' όπου λαμβάνονται οι συντελεστές ασφαλείας και συνδυασμού, προκύπτουν οι εξής απαιτούμενοι έλεγχοι.

Διευκρινίζονται τα σύμβολα :

$G_{Iβ}$, μόνιμα φορτία ιδίου βάρους διατομών

$G_{επικ}$, μόνιμα φορτία λόγω επικάλυψης

$G_{κιγκλ}$, μόνιμα φορτία κιγκλιδωμάτων

P , δυνάμεις προέκτασης

q_{fk} , ομοιόμορφα διανεμημένο κατακόρυφο φορτίο

Q_{fwk} , συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο

Q_{flk} , διανεμημένο οριζόντιο φορτίο

F_w , δυνάμεις ανέμου

F_s , δυνάμεις χιονιού

T , δυνάμεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών

$F_{προσκρ}$, δυνάμεις προσκρούσεως οχήματος σε βάθρο

A_{Ed} , σεισμικές δυνάμεις

2.3.3 Συνδυασμοί ΟΚΑ μελέτης

I. Καταστάσεις Διάρκειας

- $1,35 * G + 1,00 * P + 1,50 * (q_{fk} + Q_{fwk} + Q_{flk}) + 1,50 * 0,3 * F_w + 1,50 * 0,8 * F_s + 1,50 * 0,6 * T$
- $1,35 * G + 1,00 * P + 1,50 * 0,4 * (q_{fk} + Q_{flk}) + 1,50 * F_w + 1,50 * 0,8 * F_s + 1,50 * 0,6 * T$
- $1,35 * G + 1,00 * P + 1,50 * 0,4 * (q_{fk} + Q_{flk}) + 1,50 * 0,3 * F_w + 1,50 * F_s + 1,50 * 0,6 * T$
- $1,35 * G + 1,00 * P + 1,50 * 0,4 * (q_{fk} + Q_{flk}) + 1,50 * 0,3 * F_w + 1,50 * 0,8 * F_s + 1,50 * T$

II. Σεισμικές Καταστάσεις

- $E_d = G + P + A_{Ed} + 0,5 * T$

2.3.4 Συνδυασμοί ΟΚΛ μελέτης

I. Χαρακτηριστικός (σπάνιος) συνδυασμός

- $G + P + (q_{fk} + Q_{fwk} + Q_{flk}) + 0,3 * F_w + 0,8 * F_s + 0,6 * T$
- $G + P + 0,4 * (q_{fk} + Q_{flk}) + F_w + 0,8 * F_s + 0,6 * T$
- $G + P + 0,4 * (q_{fk} + Q_{flk}) + 0,3 * F_w + F_s + 0,6 * T$
- $G + P + 0,4 * (q_{fk} + Q_{flk}) + 0,3 * F_w + 0,8 * F_s + T$

II. Συχνός συνδυασμός

- $G + P + 0,4 * (q_{fk} + Q_{flk}) + 0,5 * T$
- $G + P + 0,2 * F_w + 0,5 * T$
- $G + P + 0,6 * T$

III. Ημιμόνιμος συνδυασμός

- $G + P + 0,5 * T$



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο
Στατικά μοντέλα σε στάδιο
προμελέτης

3.1 Εισαγωγή

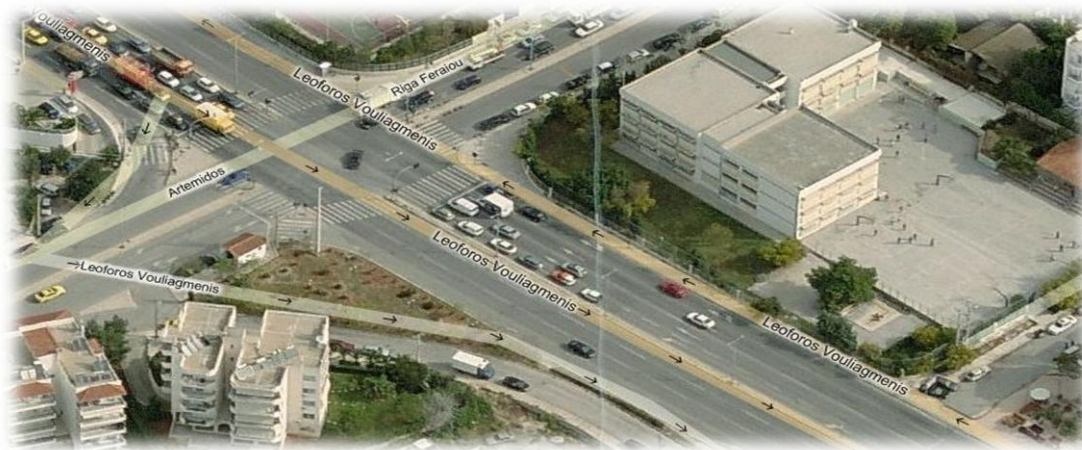
Η μελέτη των στατικών συστημάτων θα γίνει σε άξονα σχεδόν παράλληλο στην οδό Ρήγα Φεραίου και κάθετο στη Λ. Βουλιαγμένης. Η γέφυρα θα ξεκινάει από το πεζοδρόμιο που βρίσκεται μπροστά στο 2^ο Γυμνάσιο/Λύκειο Γλυφάδας και θα καταλήγει στο πάρκο, που βρίσκεται δίπλα στο μικρό εκκλησάκι του Αγ. Νικολάου. Το πλάτος του δρόμου είναι 28.00 m ενώ τα βάθρα τοποθετούνται σε ελάχιστη απόσταση 2m από την παρειά του πεζοδρομίου, για να διευκολύνεται η κίνηση των πεζών.

Στο συγκεκριμένο σημείο βρίσκονται 4 σχολεία, στα οποία είναι εγγεγραμμένα τα παιδιά που φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3.1. Ονόματα σχολείων και εγγεγραμμένα παιδιά ανά σχολείο

Σχολείο	Εγγεγραμμένα Παιδιά
8 ^ο Νηπιαγωγείο Γλυφάδας	27
9 ^ο Δημοτικό Γλυφάδας	214
2 ^ο Γυμνάσιο Γλυφάδας	181
2 ^ο Λύκειο Γλυφάδας	168

Βλέποντας και τον χάρτη της επόμενης σελίδας καταλαβαίνει κανείς το ποσοστό αυτών των παιδιών, τα οποία κατοικούν στο τμήμα της κάτω Γλυφάδας και τι ακριβώς συμβαίνει τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες καθημερινά, όταν αυτός ο όγκος μαθητών πρέπει να προσέλθει ή να αποχωρήσει από τα αντίστοιχα σχολεία. Επιπλέον, το συγκεκριμένο σημείο αποτελεί κόμβο για οποιονδήποτε θέλει να διασχίσει τη Λ. Βουλιαγμένης και μένει στο Νοτιοανατολικό τμήμα της Γλυφάδας. Δεν είναι καθόλου σπάνιο το φαινόμενο να βλέπουμε μαθητές, εκπαιδευτικούς, γονείς και περαστικούς συνωστισμένους πάνω στο διάζωμα της λεωφόρου.

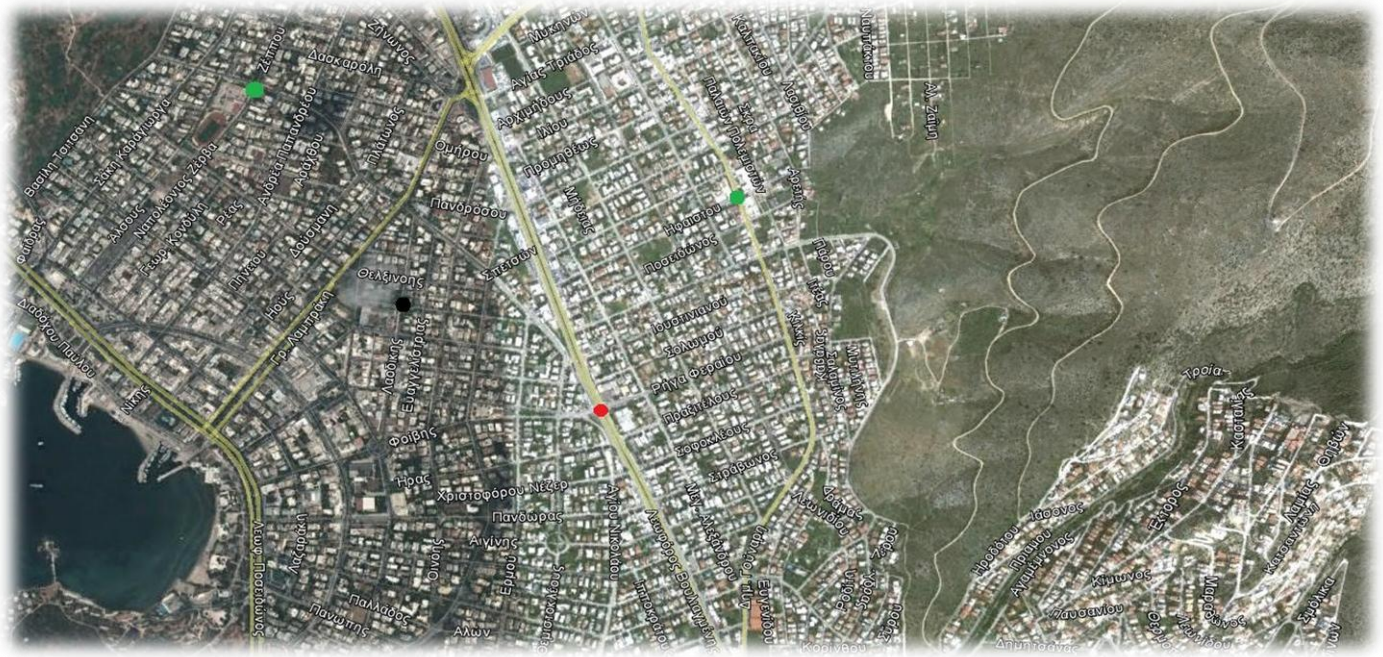


Εικόνα 3.1. Νότια όψη

Στο δεξή άνω τμήμα της εικόνας φαίνεται το 2^ο γυμνάσιο/λύκειο ενώ στην απέναντι πλευρά της Λ. Βουλιαγμένης φαίνεται το μικρό εκκλησάκι του Αγ. Νικολάου.



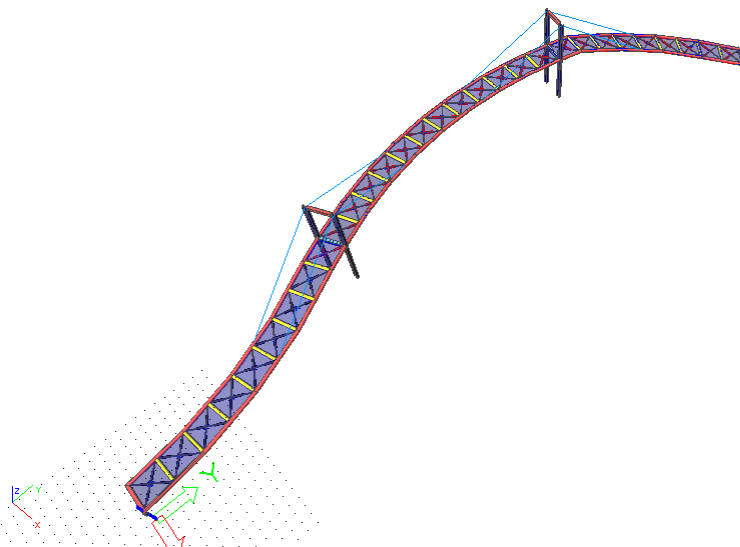
Εικόνα 3.2. Βόρεια όψη



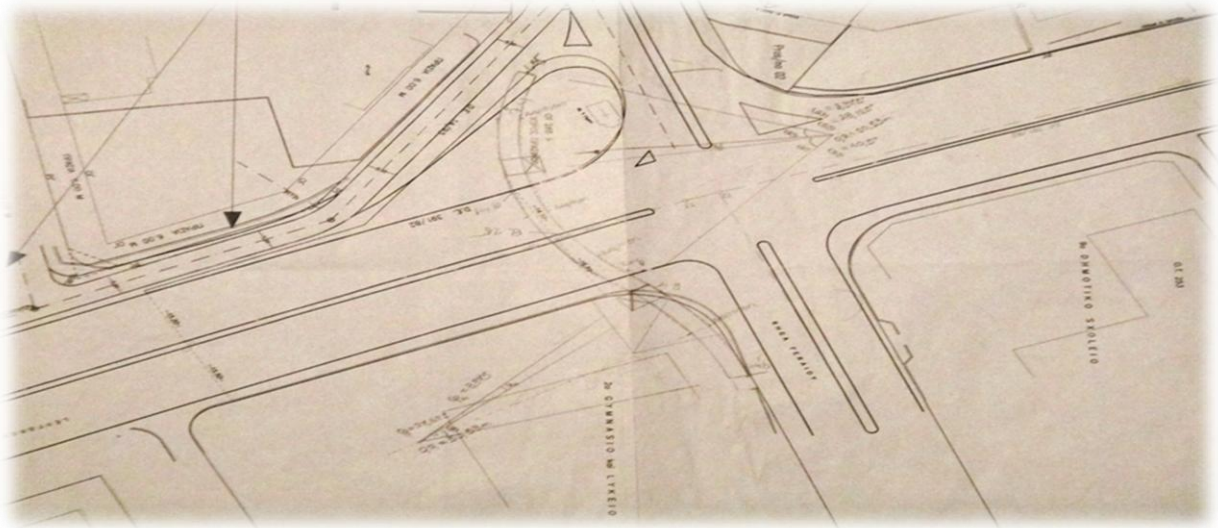
Εικόνα 3.3. Χάρτης Γλυφάδας, όπου με «●» συμβολίζεται το σημείο του έργου, με «●» τα κοντινότερα γυμνάσια/λύκεια και με «●» το κοντινότερο δημοτικό.

Στην προσπάθεια μελέτης μιας πιθανής λύσης εξετάστηκαν 3 πιθανά στατικά μοντέλα. Όλα υποβλήθηκαν στις φορτίσεις, όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για το κάθε μοντέλο θα γίνει μια ανάλυση των εντατικών μεγεθών στα σημαντικά δομικά στοιχεία του καθώς και μια προσπάθεια σύγκρισης αυτών των μεγεθών με τη συνολική μάζα του υλικού που χρησιμοποιήθηκε αλλά και την απόδοση του κάθε μέλους σε σχέση με την οριακή αντοχή του, όπου με "0" συμβολίζεται η απόδοση ενός μέλους το οποίο δεν καταπονείται καθόλου ενώ με "1" συμβολίζεται η απόδοση ενός μέλους όταν αυτή ταυτίζεται με την οριακή αντοχή του. Προφανώς, αναζητούνται διατομές που πλησιάζουν όσο γίνεται την τιμή της μονάδας, ώστε να εξασφαλιστεί οικονομία υλικού. Λόγω και της δυσχερούς οικονομικής κατάστασης, στην οποία βρίσκεται η χώρα μας, ο σχεδιασμός της γέφυρας έγινε με βασικό κριτήριο την οικονομία, ώστε να δοθεί ένα κίνητρο στις αρμόδιες αρχές για την υλοποίηση του έργου.

Η αρχική ιδέα σχεδιασμού περιλάμβανε ένα φορέα καμπυλωτό, σχεδιασμένο από 3 κυκλικά τόξα διαφορετικής ακτίνας και ράμπα ανάβασης/κατάβασης με κλίση μικρότερη από 12.5% , ώστε να μην χρειάζονται σκαλοπάτια, ενώ από την πλευρά του σχολείου θα είχαμε κλίση μικρότερη από 6.0% και δεν θα χρειαζόταν η παρεμβολή ούτε οριζόντιων τμημάτων, όπως αναφέρεται στον κανονισμό.



Σχήμα 3.1. Αρχική ιδέα καμπυλωτού φορέα



Σχήμα 3.2. Αρχική ιδέα χάραξης επί του τοπογραφικού που παραλήφθηκε από το Δήμο Γλυφάδας

Ωστόσο, η λύση της ράμπας (χωρίς σκαλιά) δημιουργεί πρόβλημα, διότι θα παρουσιαστεί το φαινόμενο να ανεβαίνουν μηχανάκια, τα οποία θα έπρεπε να παρεμποδιστούν. Δυστυχώς, παρεμποδίζοντας τα μηχανάκια θα είχαν πρόβλημα και τα ποδήλατα ενώ παράλληλα το μήκος ανάβασης/κατάβασης θα αυξανόταν πάρα πολύ (για να επιτευχθεί κλίση $<12,5\%$) , που μπαίνει το ερώτημα πόσα παιδιά θα επέλεγαν να διανύσουν μια πεζογέφυρα συνολικού μήκους 85m, όταν μπορούν να διασχίσουν ένα δρόμο 30m, οπότε απορρίφθηκε.

Επιπλέον, ο καμπυλωτός σχεδιασμός θα δημιουργούσε μεγαλύτερα ανοίγματα και κυρίως θα προκαλούσε έντονη στρέψη στα βάρη, στα σημεία σύνδεσής τους με τις κύριες δοκούς. Για την αποφυγή στρέψης, ιδίως με μια τοξωτή κατασκευή τύπου γέφυρας Juscelino Kubitschek στη Βραζιλία, θα είχαμε μεγάλη αύξηση του κόστους που δεν δικαιολογείται ούτε από την οικονομική ευημερία του δημοσίου, ούτε από τη μετακίνηση των ατόμων που μας ενδιαφέρει.

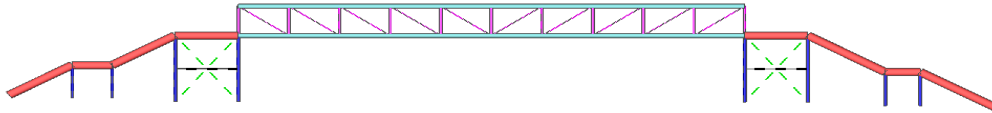
Τελικώς, αποφασίστηκε η μελέτη ευθύγραμμου φορέα πλάτους 4m με τμήματα ανάβασης/κατάβασης μήκους περίπου 15m, στα οποία περιλαμβάνεται και οριζόντιο τμήμα μήκους περίπου 2m καθώς και κατάστρωμα ανοίγματος 32m, του οποίου το ελεύθερο ύψος από τον άξονα του δρόμου ξεπερνάει τα 5.0m.



Σχήμα 3.3. Οριστική Χάραξη επί του τοπογραφικού

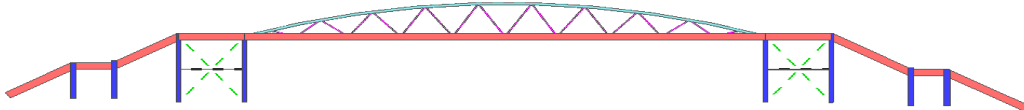
Τα μοντέλα που θα παρουσιαστούν είναι :

- i. *Δικτυωτό*, δηλαδή ο φορέας θα αποτελείται από 2 δικτυωτές δοκούς στο κατάστρωμα με μορφή δικτυώματος και θα είναι κάτω διαβάσεως. Τα βάθρα θα είναι διαστάσεων $4 \times 4 \text{ m}^2$ και θα αποτελούνται από χιαστή συνδέσμους δυσκαμψίας.



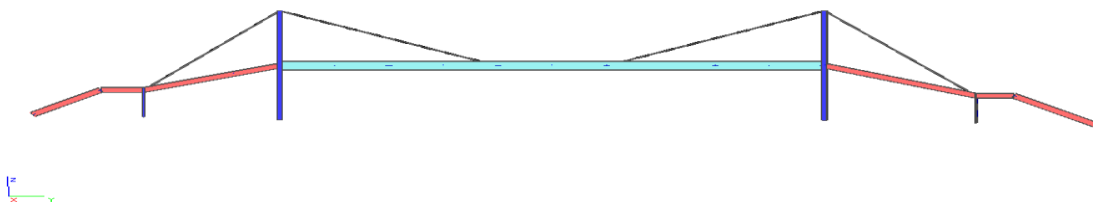
Σχήμα 3.4. Δικτυωτό μοντέλο

- ii. *Τοξωτό*, όπου το μόνο που θα αλλάξουμε σε σχέση με το Δικτυωτό μοντέλο για λόγους διευκόλυνσης της σύγκρισης μετέπειτα θα είναι το κατάστρωμα, στο οποίο τα φορτία θα παραλαμβάνονται από τοξωτή δοκό μέσω αναρτήρων.



Σχήμα 3.5. Τοξωτό μοντέλο

- iii. *Καλωδιωτό*, όπου τα φορτία των κύριων δοκών παραλαμβάνονται από αναρτήρες και στο κατάστρωμα, αλλά και στην ανάβαση/κατάβαση, οι οποίοι μπορούν να είναι είτε από κλασική χαλύβδινη διατομή είτε από προεντεταμένους τένοντες. Υπάρχει ακόμα σημαντική μεταβολή στα βάθρα, τα οποία είναι ψηλότερα και ισχυρότερα.



Σχήμα 3.6. Καλωδιωτό μοντέλο

Παραδοχές φορτίων και υλικών

Πίνακας 3.2. Χαρακτηριστικά Χάλυβα S355 N/NL

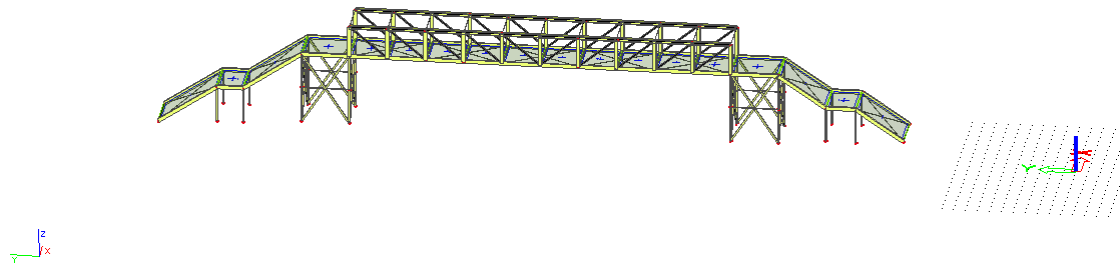
Ειδικό βάρος (γ)	78.5 KN/m ³
Συντελεστής Poisson (ν)	0.3
Μέτρο ελαστικότητας (E)	21000 KN/cm ²
Μέτρο Διάτμησης (G)	8077 KN/cm ²
Ειδική θερμότητα (c)	0.6 J/gK
Θερμική αγωγιμότητα (k)	45.0 W/mK
Αντοχή διαρροής (f_y)	49.0 KN/cm ²
Οριακή αντοχή (f_u)	35.5 KN/cm ²

Πίνακας 3.3. Παραδοχές φορτίων που θα καταπονήσουν την κατασκευή

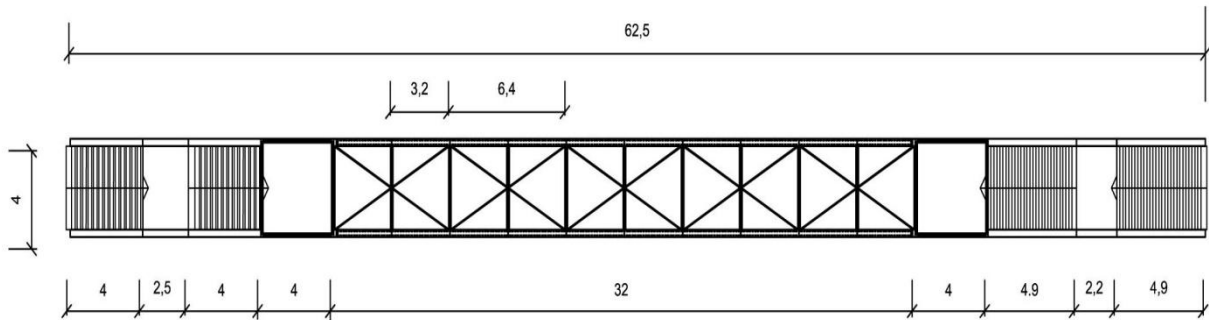
Ιδία βάρη μεταλλικών διατομών	Υπολογίζεται από το ειδικό βάρος του χάλυβα 78.5 KN/m ³
Ιδίο βάρος επικαλύψεων	1.0 KN/m ²
Ιδίο βάρος κιγκλιδομάτων	1.0 KN/m
Ομοιόμορφο διανεμημένο φορτίο ανθρωποσυνοστισμού	5.0 KN/m ²
Οριζόντιο διανεμημένο φορτίο ίσο με το 10% του κατακόρυφου	0.5 KN/m ²
Συγκεντρωμένο φορτίο για γενικές και τοπικές επιδράσεις	10 KN
Δράσεις Ανέμου κατά τις 3 διευθύνσεις	$F_x = 1.367 \text{ KN/m}^2$, $F_y = 0.346$ ή $F_y = 0.684 \text{ KN/m}^2$, $F_z = 0.538 \text{ KN/m}^2$
Φορτίο Χιονιού	0.7 KN/m ²
Θερμοκρασιακές μεταβολές	Ομοιόμορφη ($\Delta T = 53, -38$), Γραμμική περί τον $z'z$ ($\Delta T_{M, \text{pos}; M, \text{neg}} = 18, -13$)
Σεισμικές Δράσεις κατά τις 3 διευθύνσεις	Έδαφος B, $\gamma = 1.00$, $S_{\text{οριζόντια, κατακόρυφη}} = 1.2, 1.0$ $q_{\text{οριζόντια, κατακόρυφη}} = 1.5, 1.0$, $\zeta = 5\%$, $a_{\text{gr, οριζόντια, κατακόρυφη}} = 0.160g, 0.112g$ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $n = 1.0$ $E = \max(1.0E_x + 0.3E_y + 0.3E_z; 0.3E_x + 1.0E_y + 0.3E_z; 0.3E_x + 0.3E_y + 1.0E_z)$
Ταλαντώσεις	Αρμονικό φορτίο στο κέντρο του καταστρώματος βάρους 80kg με συχνότητα $f = 2.0 \text{ Hz}$

3.2 Δικτυωτή

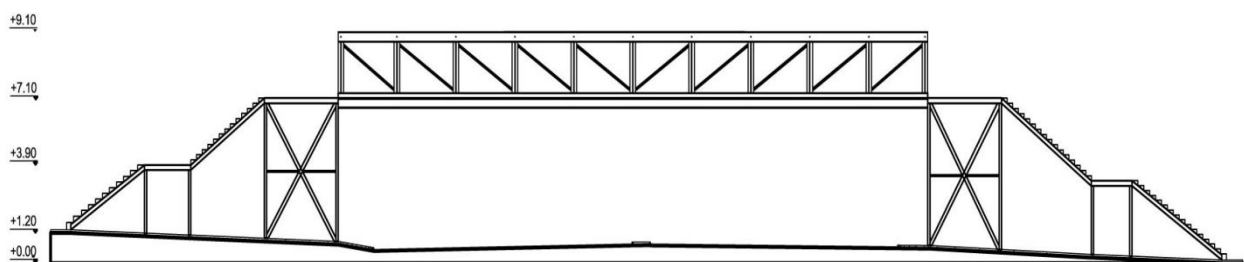
Στην περίπτωση του Δικτυωτού φορέα κάτω διάβασης τα κατακόρυφα φορτία του καταστρώματος αναλαμβάνονται από το σύστημα των παράλληλων δοκών με τις διαγώνιους τους και τους ορθοστάτες μετατρέποντας επί της ουσίας τη ροπή κάμψης του ανοίγματος σε αξονικές δυνάμεις για τις δοκούς μέσω Δικτυωτού στατικού συστήματος. Τα οριζόντια φορτία αναλαμβάνονται από τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας του καταστρώματος.



Σχήμα 3.7. Σχεδιασμός Δικτυωτού Μοντέλου στο πρόγραμμα Scia Engineer 2011



Σχήμα 3.8. Κάτοψη με χρήση του προγράμματος AutoCad



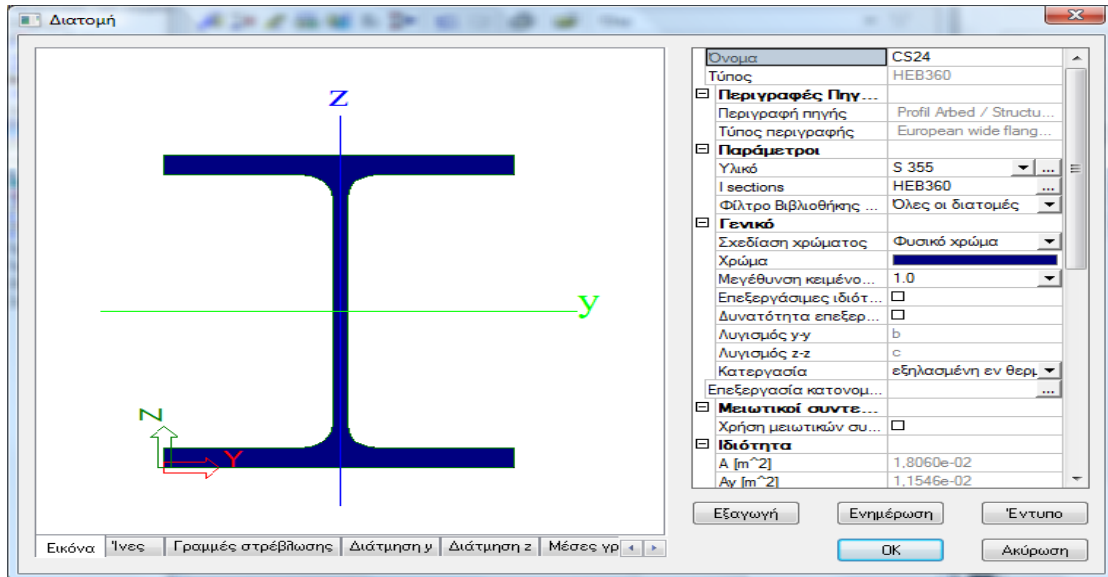
Σχήμα 3.9. Όψη

Δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη των μελών σε ΟΚΑ

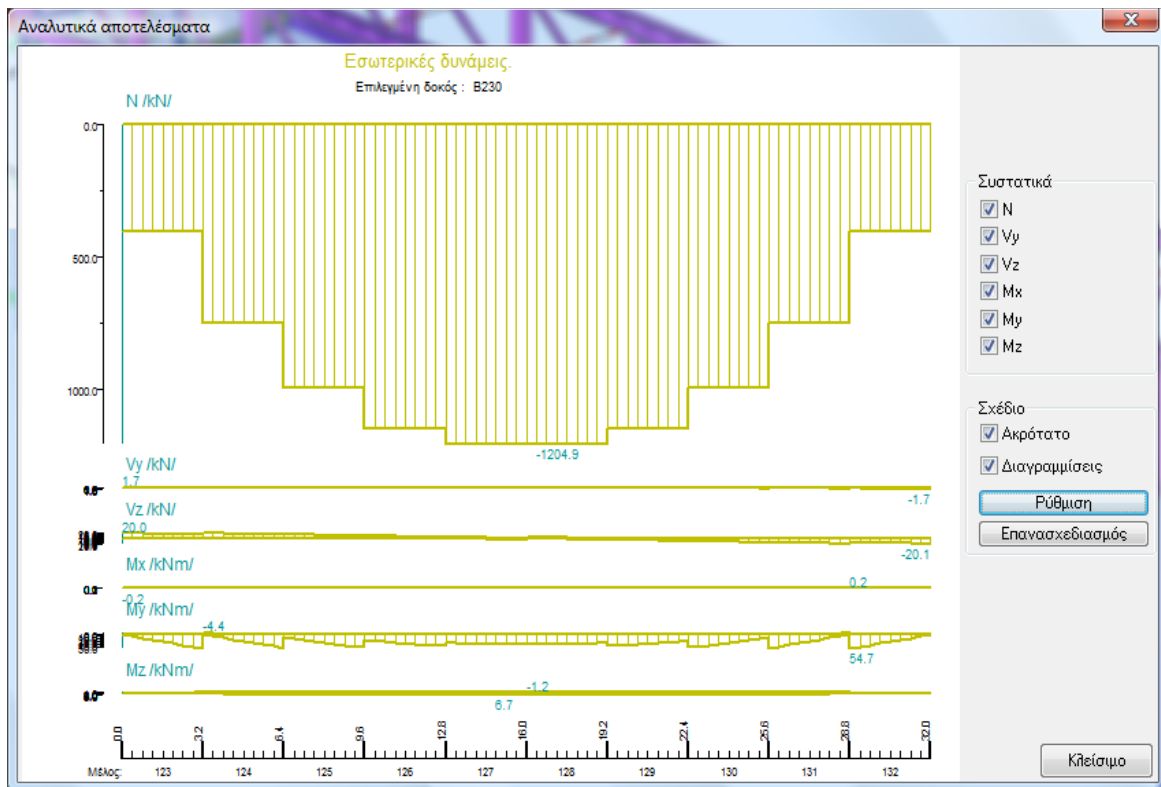
Πίνακας 3.4. Εντατικά μεγέθη μελών

Μέλος	Εντατικό Μέγεθος					
	N (KN)	V _y (KN)	V _z (KN)	M _x (KNm)	M _y (KNm)	M _z (KNm)
Διαδοκίδα	1.8	4.8	65.3	-	65.3	4.8
Καταστρώματος	-0.4	-4.8	-65.3	-	0	0
Εφελκόμενο Πέλμα	804.7	2.4	20.9	10.3	35.1	-1.1
Δικτυώματος	-806.9	-2.4	-20.9	-10.4	-24.2	4.6
Θλιβόμενο Πέλμα	0	1.6	22.1	0.2	60.5	5.7
Δικτυώματος	-1223.3	-1.6	-22.2	-0.2	-5.5	-1.3
Διαγώνιος	534.5	-	-	-	-	-
Δικτυώματος	0	-	-	-	-	-
Ορθοστάτης	0	1.9	2.2	-	2.2	15.7
Δικτυώματος	-360	-6.0	-0.8	-	-4.8	-4.9
Διαδοκίδα	0.8	-	0	-	-	-
Θλιβόμενου Πέλματος	0	-	0	-	-	-
Κεφαλοδοκός βάθρων κατά Χ	43	0.7	0.2	-	0.3	0.5
	-8.81	-0.7	-0.4	-	-0.5	-0.2
Κεφαλοδοκός βάθρων κατά Υ	0	2.2	17.4	2.1	7.2	0.9
	-568.8	-0.2	-4.8	-8.8	-46.4	-5.5
Δοκός	0	0.4	43.3	0.6	56.1	1.8
Ανάβασης/Κατάβασης	-585.7	-2.7	-59.8	-2.2	0	-7.2
Ζύγωμα Κοντών	6.3	0.7	0.1	0	0	0.5
Στύλων κατά Χ	-0.6	-0.7	-0.1	0	-0.1	-0.2
Υποστυλώματα	106.1	2.7	1.5	0.3	1.4	4.7
Βάθρων	-190	-1.5	-3.2	-0.2	-7.3	-2.3
Διαδοκίδες Στύλων	1.3	0.7	0.1	-	0	0.2
	-2.1	-0.7	-0.1	-	0	-0.5
Κοντά	233.7	2.5	0.8	0	0.5	3.9
Υποστυλώματα	-398.1	-1.1	-0.9	-0.1	-1.0	-2.33
Οριζόντιοι	32.9	-	-	-	-	-
Σύνδεσμοι	-39.6	-	-	-	-	-
Δυσκαμψίας						
Κατακόρυφοι	187.7	-	-	-	-	-
Σύνδεσμοι	-352.0	-	-	-	-	-
Δυσκαμψίας						

Στα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν τα εντατικά μεγέθη των μελών είναι ως προς τους τοπικούς άξονες των μελών. Τα πρόσημα των αποτελεσμάτων ακολουθούν τη σύμβαση της κλασσικής στατικής, ενώ οι τιμές των εντατικών μεγεθών είναι οι περιβάλλουσες (δυσμενέστερες) για όλους τους κύκλους φορτίσεων.



Σχήμα 3.10. Τοπικοί άξονες διατομής, όπου X ο διαμήκης άξονας του μέλους και Y,Z οι εγκάρσιοι άξονες.



Σχήμα 3.11. Παρουσιάζεται ενδεικτικά Ο πίνακας με τις εσωτερικές δυνάμεις της θλιβόμενης ράβδου του άνω πέλματος του Δικτύωματος.

Επιπλέον, παρουσιάζονται τα βέλη των βασικών μελών στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας :

Πίνακας 3.12. Βέλη w (cm) των βασικών μελών σε ΟΚΛ.

Μέλος	Βέλος w_z (cm)	Βέλος w_y (cm)	Συνολικό βέλος $w = (w_z^2 + w_y^2)^{0.5}$ (cm)	Επιτρεπόμενο Βέλος $w_{max}=L/250$ (cm)
Διαδοκίδα	1.40	0.73	1.58	1.6

Καταστρώματος ($l=4.000m$)				
Εφελκόμενο Πέλμα ($l=32.000m$)	3.51	1.37	3.77	12.8
Θλιβόμενο Πέλμα ($l=32.000m$)	3.51	3.10	4.68	12.8
Στύλος Βάθρου($l=5.973m$)	0.05	0.16	0.17	2.38
Δοκός Ανάβασης/Κατάβασης ($l=5.872m$)	0.26	0.1	0.28	1.91
Κοντός Στύλος($l=2.951m$)	0.01	0.07	0.07	1.18

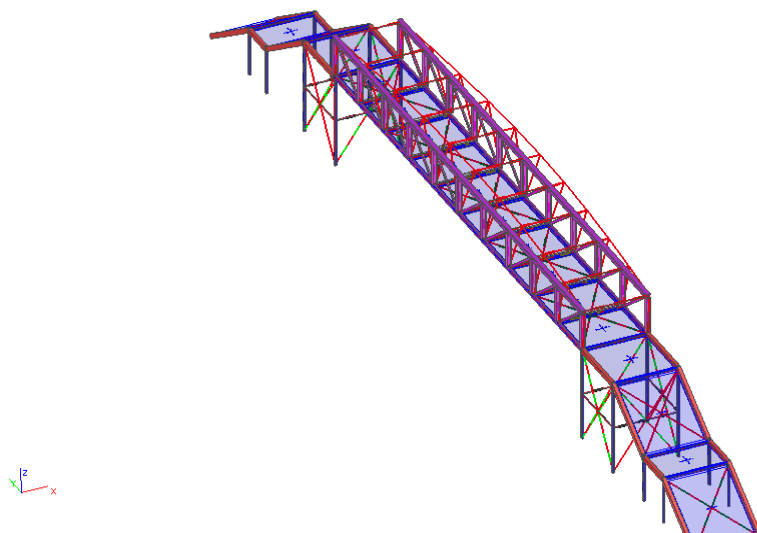
Ιδιοπερίοδοι

Για κάθε μοντέλο κρατήσαμε τις 10 πρώτες περιόδους / συχνότητες, δηλαδή τις ιδιοπερίοδους με περίοδο μεγαλύτερη από 0.2 sec, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω.

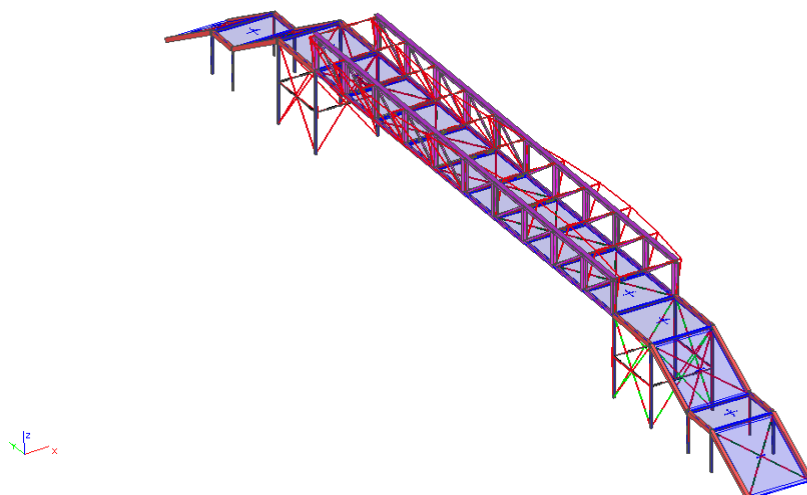
Πίνακας 3.13. Ιδιοσυχνότητες/Ιδιοπερίοδοι

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega ² [1/sec ²]	T [sec]
<i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i>				
Συνδυασμός μαζών : CM1				
1	0,54	3,39	11,49	1,85
2	1,25	7,83	61,31	0,80
3	1,69	10,61	112,54	0,59
4	2,09	13,15	172,90	0,48
5	2,77	17,40	302,88	0,36
6	2,95	18,53	343,44	0,34
7	3,10	19,47	378,94	0,32
8	3,28	20,59	424,14	0,31
9	3,28	20,62	425,32	0,30
10	3,30	20,76	431,03	0,30

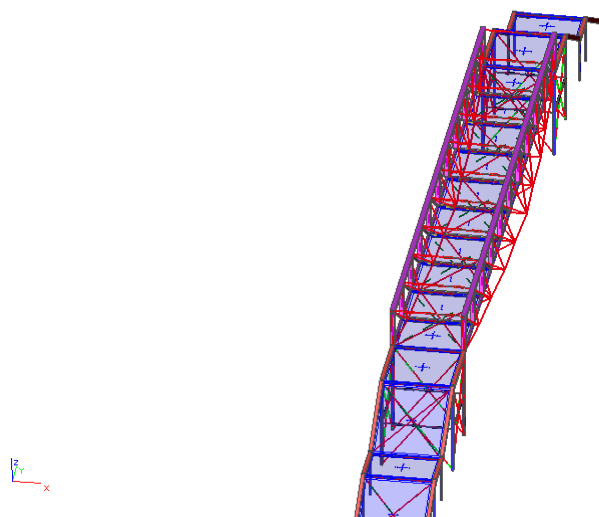
Παρουσιάζονται οι πρώτες Ιδιομορφές ταλάντωσης του φορέα. Παρατηρούμε ότι δυσμενέστερη διεύθυνση σεισμού είναι η εγκάρσια οριζόντια (διεύθυνση X καθολικών αξόνων), αφού το μεγαλύτερο τμήμα της ταλαντευόμενης μάζας βρίσκεται στο κατάστρωμα της γέφυρας.



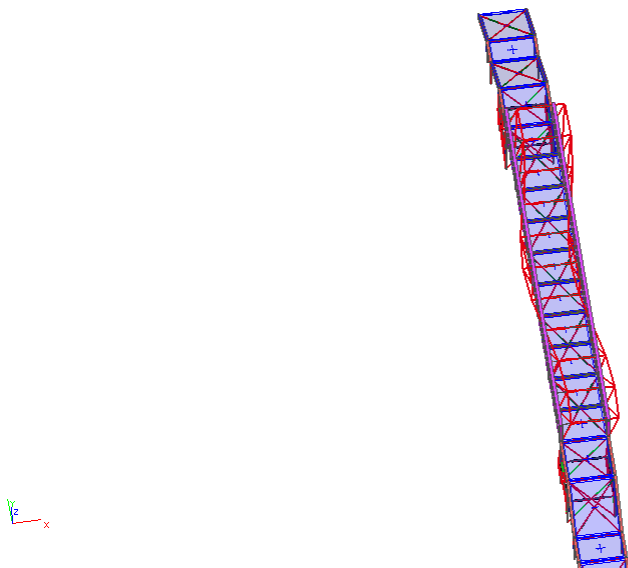
Σχήμα 3.12. 1η ιδιομορφή, οριζόντια μετακίνηση του πάνω πέλματος των δικτυωμάτων



Σχήμα 3.13. 2η ιδιομορφή, ασύζευκτη μετακίνηση του πάνω πέλματος των δικτυωμάτων



Σχήμα 3.14. 3η ιδιομορφή, μετακίνηση των εφελκόμενων πελμάτων του δικτυώματος κατά την οριζόντια διεύθυνση +X



Σχήμα 3.15. 4η ιδιομορφή, ασύζευκτη εγκάρσια μετακίνηση των θλιβόμενων πελμάτων περιοδικής μορφής



Σχήμα 3.16. Κατακόρυφες επιταχύνσεις, $a_{\text{vet,max}} = 0.127 \text{ m/sec}^2$



Σχήμα 3.17 Οριζόντιες επιταχύνσεις $a_{\text{lat,max}} = 0.002 \text{ m/sec}^2$

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι διατομές των μελών.

Πίνακας 3.14. Διατομές μελών

Μέλος	Διατομή
Διαδοκίδα Καταστρώματος	IPE 270
Εφελκόμενο Πέλμα Δικτύωματος	RHS 300/100/12.5
Θλιβόμενο Πέλμα Δικτύωματος	HEB 280
Διαγώνιος Δικτύωματος	IPE 140
Ορθοστάτης Δικτύωματος	HEA 280
Διαδοκίδα Θλιβόμενου Πέλματος	CHS 21.3/3.2
Κεφαλοδοκός βάθρων κατά Χ	RHS 50/30/2.5
Κεφαλοδοκός βάθρων κατά Υ	RHS 300/200/16.0
Δοκός Ανάβασης/Κατάβασης	RHS 300/200/16.0
Ζύγωμα Κοντών Στύλων κατά Χ	RHS 50/30/2.5
Υποστυλώματα Βάθρων	SHS 120/120/12.5
Διαδοκίδες Στύλων	SHS 40/40/2.5
Κοντά Υποστυλώματα	SHS 100/100/6.3
Οριζόντιοι	CHS 21.3/3.2
Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας	
Κατακόρυφοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας	SHS 140/140/6.3

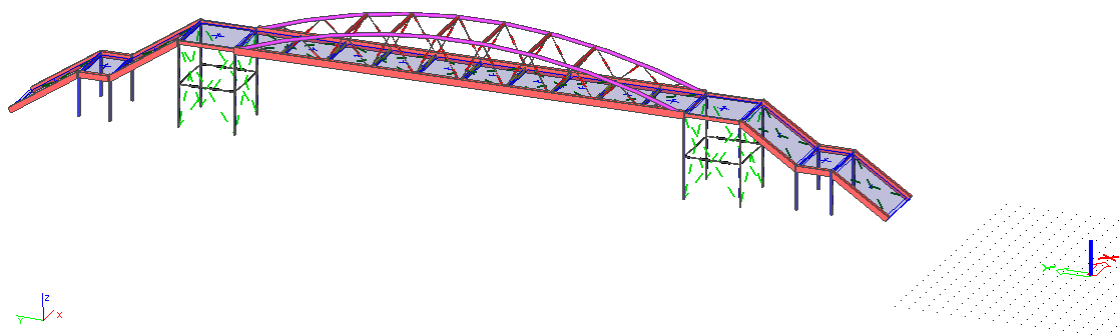
Μέσος συντελεστής απόδοσης Διατομών : 0.82



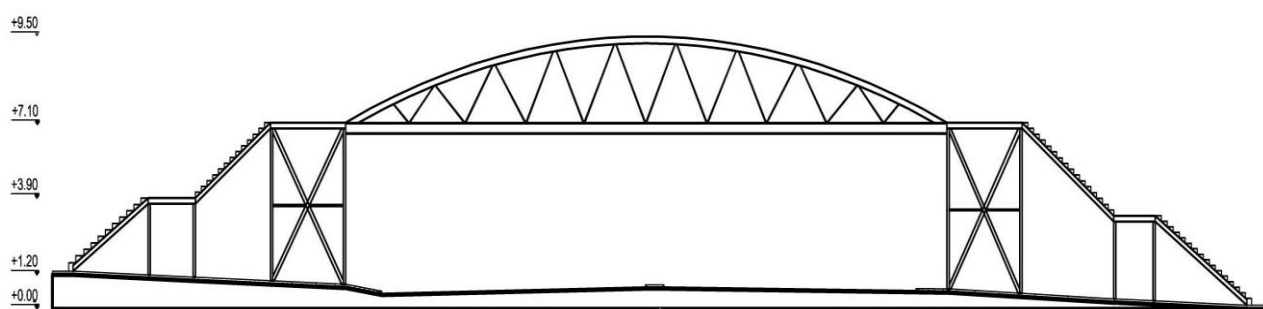
Εικόνα 3.3 Φωτορεαλιστική απεικόνιση δικτυωτής γέφυρας

3.3 Τοξωτή

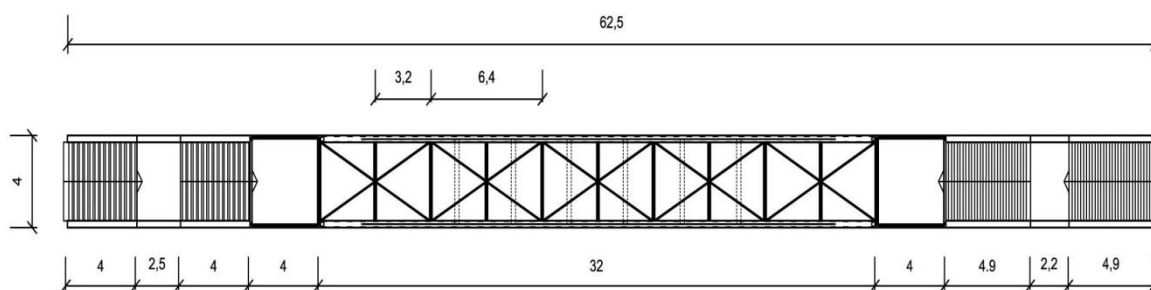
Στην τοξωτή λύση τα φορτία του καταστρώματος μεταφέρονται μέσω αναρτήρων στα παραβολικά τόξα, τα οποία κυρίως μέσω αξονικής θλιπτικής δύναμης τα μεταφέρουν με ασφάλεια στα βάθρα.



Σχήμα 3.18. Σχεδιασμός τοξωτού μοντέλου στο πρόγραμμα Scia Engineer 2011



Σχήμα 3.19. Όψη



Σχήμα 3.20. Κάτοψη

Πίνακας 3.15. Εντατικά Μεγέθη Μελών (τοπικοί άξονες)

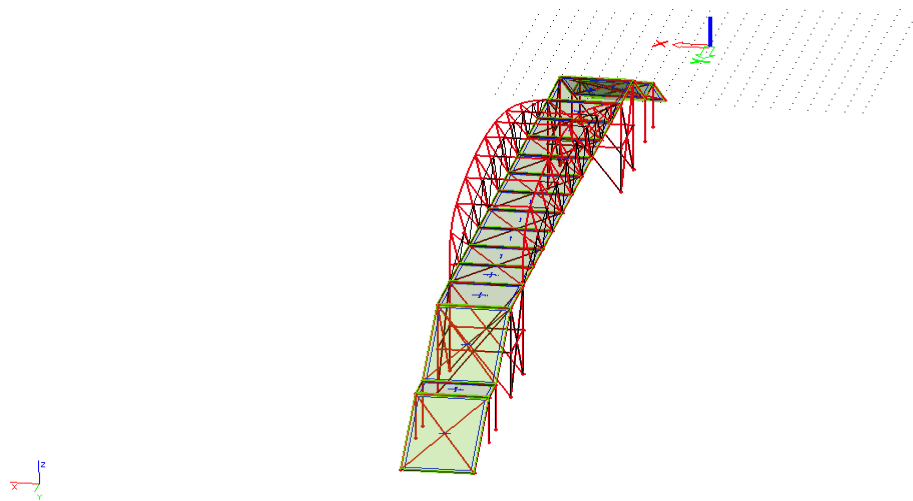
Μέλος	Εντατικό Μέγεθος					
	N (KN)	V _y (KN)	V _z (KN)	M _x (KNm)	M _y (KNm)	M _z (KNm)
Διαδοκίδα	3.4	4.8	65.3	-	65.3	4.8
Καταστρώματος	-2.6	-4.8	-65.3		0	0
Κύριες Δοκοί	440.0	4.1	24.1	0.6	69.0	20.4
	-402.5	-4.1	-24.1	-0.5	-4.0	-1.7
Παραβολικά Τόξα	0	41.8	39.6	25.3	28.4	6.7
	-1095.4	-41.8	-39.4	-25.2	-9.6	-284.7
Αναρτήρες Τόξων	84.4	2.1	0	-	-	0
	0	-2.0				-1.7
Διαδοκίδα Τόξων	2.4	2.4	2.9	0.4	3.5	22.0
	-2.5	-12.7	-4.1	0	-2.5	-20.7
Κεφαλοδοκός βάρων κατά X	46.1	-	1.8	-	2.7	0.1
	-38.8		-0.4		-3.1	-0.1
Κεφαλοδοκός βάρων κατά Y	4.2	3.8	11.4	2.2	4.1	1.6
	-458.3	-1.2	-3.3	0	-22.2	-4.7
Δοκός	0	1.5	55.6	10.0	80.7	1.1
Ανάβασης/Κατάβασης	-406.9	-4.8	-47.0	0	0	-8.8
Ζύγωμα Κοντών Στύλων κατά X	4.8	2.4	0.1	-	0.1	1.6
	-3.3	-2.4	-0.1		-0.1	-0.8
Υποστυλώματα Βάρων	39.5	3.8	6.2	0.7	5.6	4.0
	-61.8	-3.7	-5.9	-0.7	-7.7	-2.0
Διαδοκίδες Στύλων	2.5	2.4	0.1	0	0.1	0.9
	-2.4	-2.4	-0.1		-0.1	-1.6
Κοντά Υποστυλώματα	257.0	3.4	5.8	0.1	5.2	4.7
	-384.08	-2.2	-4.7	0	-6.6	-3.1
Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας	81.5	-	-	-	-	-
	-80.2					
Κατακόρυφοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας	243.1	-	-	-	-	-
	-454.2					

Πίνακας 3.16. Βέλη w σε cm βασικών μελών

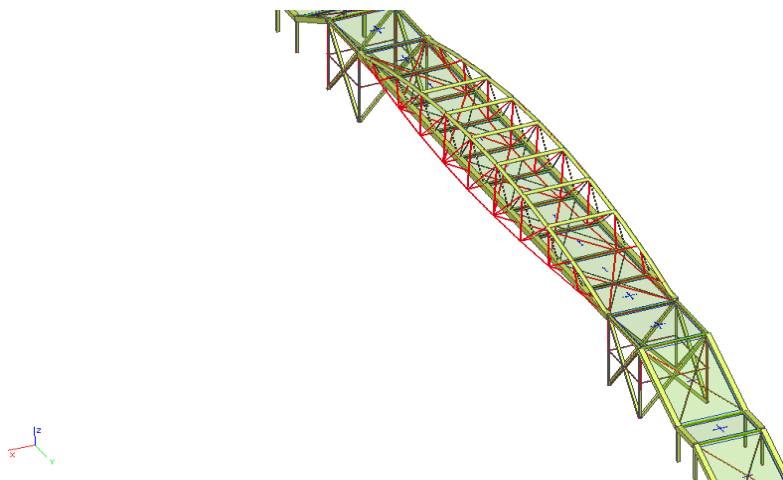
Μέλος	Βέλος w _z (cm)	Βέλος w _y (cm)	Συνολικό βέλος $w = (w_z^2 + w_y^2)^{0.5}$ (cm)	Επιτρεπόμενο Βέλος $w_{max}=L/250$ (cm)
Διαδοκίδα Καταστρώματος(l=4.000m)	1.49	0.58	1.6	1.6
Τόξο (l=32.735m)	2.17	9.52	9.77	13.1
Κύρια Δοκός(l=32.000m)	2.3	0.76	2.42	12.8
Στύλος Βάρου(l=5.973m)	0.52	0.26	0.58	2.38
Δοκός Ανάβασης/Κατάβασης (l=5.872m)	0.13	0.07	0.15	1.91
Κοντός Στύλος(l=2.951m)	0.08	0.07	0.11	1.18

Πίνακας 3.17. Ιδιοπερίοδοι/Ιδιοσυχνότητες

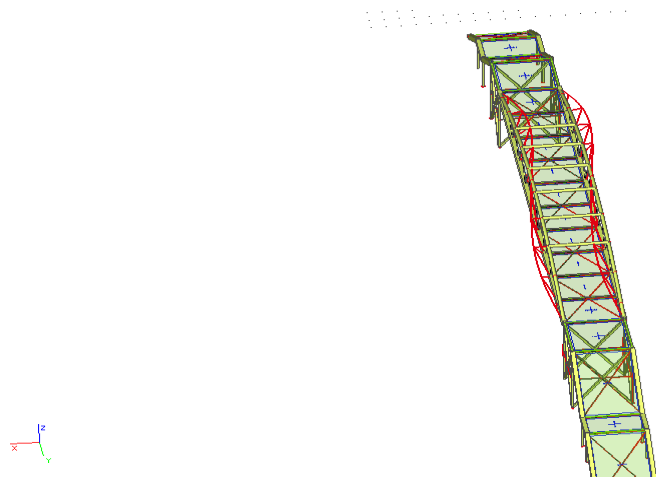
N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega^2 [1/sec^2]	T [sec]
<i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i>				
Συνδυασμός μαζών : CM1				
1	0,79	4,98	24,82	1,26
2	2,21	13,88	192,68	0,45
3	2,81	17,64	311,03	0,36
4	2,92	18,36	336,93	0,34
5	2,95	18,52	342,82	0,34
6	2,98	18,72	350,59	0,34
7	3,39	21,32	454,62	0,29
8	4,23	26,58	706,68	0,24
9	4,70	29,56	873,58	0,21
10	4,80	30,18	910,59	0,21



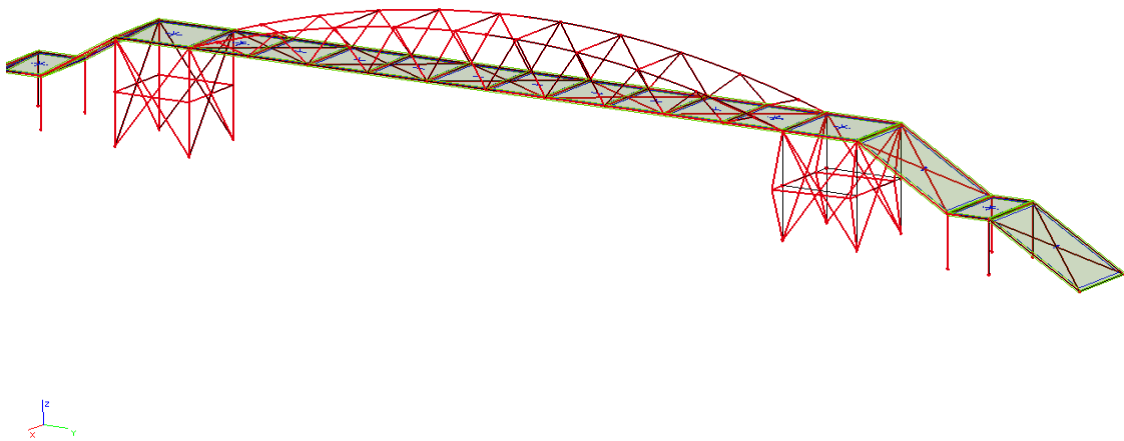
Σχήμα 3.21. 1η ιδιομορφή, ομόσημη μετακίνηση των τόξων



Σχήμα 3.22. 2η ιδιομορφή, μετακίνηση κυρίων δοκών καταστρώματος προς μια διεύθυνση



Σχήμα 3.23. 3η ιδιομορφή, ασύζευκτη οριζόντια μετακίνηση των τόξων

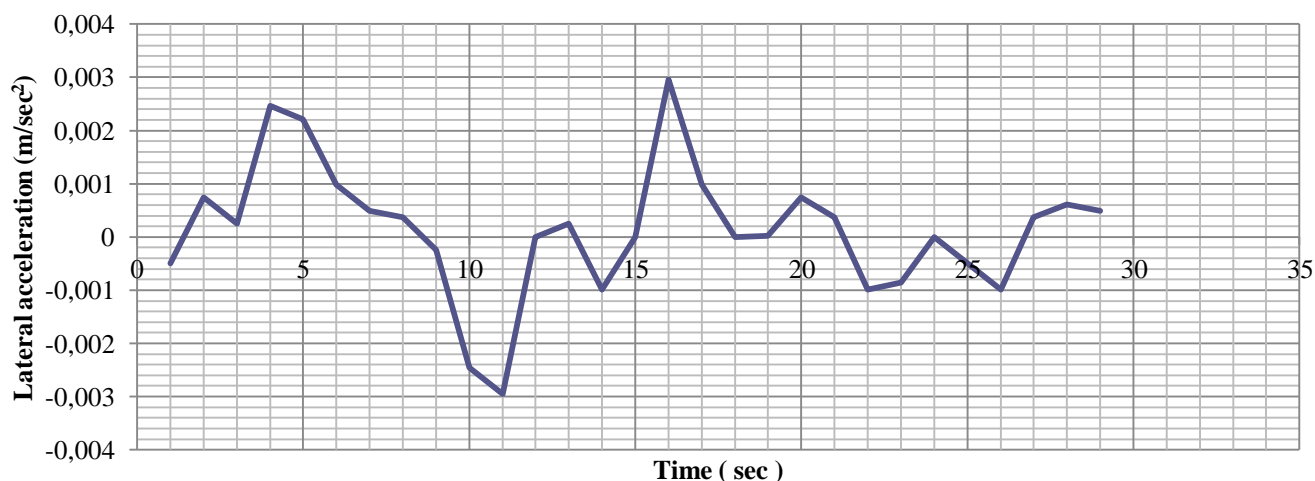


Σχήμα 3.24. 4η ιδιομορφή, ανομοιόμορφη μετακίνηση του δυσμενέστερου βάρου επί της διεύθυνσης X



Σχήμα 3.25. Κατακόρυφες επιταχύνσεις με $a_{\max} = 0.23$ m/sec²

Εγκάρσιες επιταχύνσεις κύριας δοκού, για αρμονικό φορτίο στο κέντρο του καταστρώματος μάζας 80kg με περίοδο $f = 2.0 \text{ Hz}$



Σχήμα 3.26. Εγκάρσιες επιταχύνσεις με $a_{\max} = 0.003 \text{ m/sec}^2$

Πίνακας 3.17. Διατομές μελών

Μέλος	Διατομή
Διαδοκίδα Καταστρώματος	IPE 270
Κύριες Δοκοί	RHS 300/250/8.0
Τόξα	CHS 244.5/20.0
Αναρτήρες Τόξων	CHS 42.4/4.0
Διαδοκίδες Τόξων	CHS 244.5/20.0
Κεφαλοδοκός βάθρων κατά X	RHS 80/40/3.0
Κεφαλοδοκός βάθρων κατά Y	RHS 250/100/16.0
Δοκοί Ανάβασης/Κατάβασης	RHS 400/150/8.0
Ζύγωμα Κοντών Στύλων κατά X	RHS 50/30/4.0
Υποστυλώματα Βάθρων	SHS 80/80/5.0
Διαδοκίδες Στύλων	SHS 40/40/2.5
Κοντά Υποστυλώματα	SHS 120/120/5.0
Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας	CHS 33.7/2.6
Κατακόρυφοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας	SHS 150/150/10.0

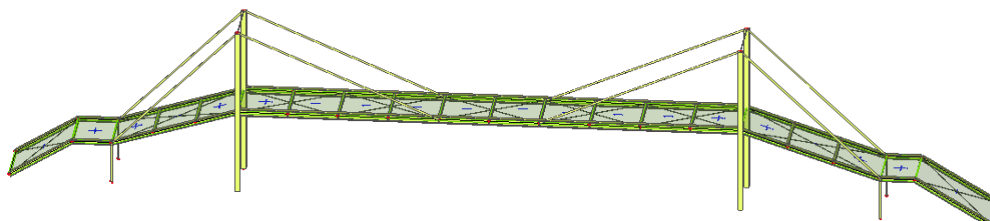
Μέσος συντελεστής απόδοσης Διατομών : 0.87



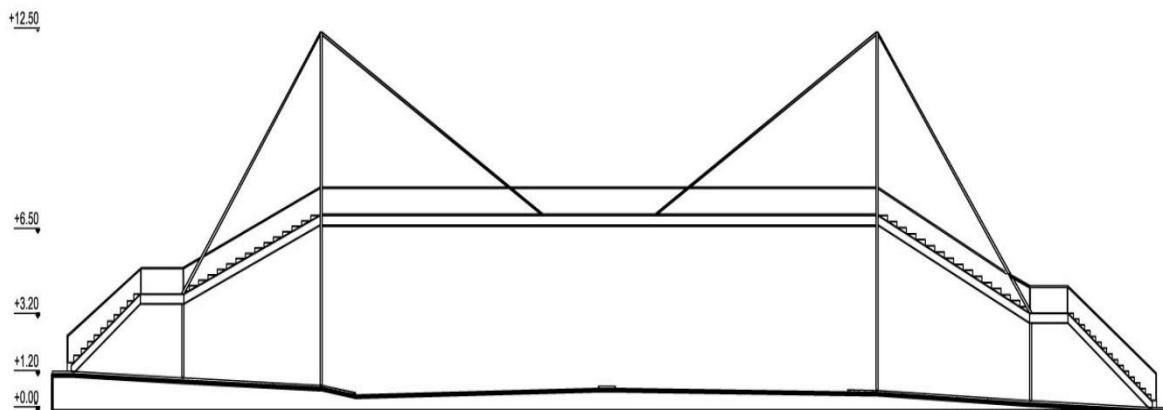
Εικόνα 3.4 Φωτορεαλιστική αναπαράσταση τοξωτής γέφυρας

3.4 Καλωδιωτή

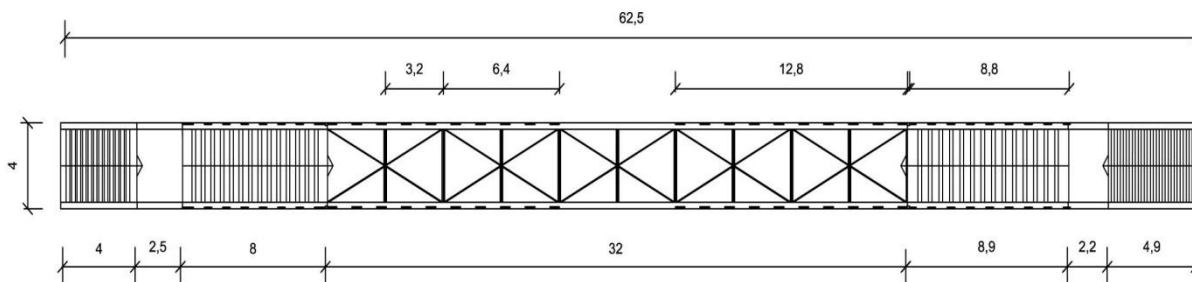
Στην καλωδιωτή λύση οι κύριες δοκοί αναρτώνται μέσω δοκών στα βάθρα, τα οποία είναι ενισχυμένα σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις και έχουν μεγαλύτερο ύψος. Τα κατακόρυφα φορτία του καταστρώματος αναλαμβάνονται από την κύρια δοκό, που καταπονείται πολύ λιγότερο από ότι η αντίστοιχη αμφιέριστη, η οποία μεταφέρει ένα τμήμα των φορτίων απευθείας στα βάθρα και το υπόλοιπο ποσοστό τους στους αναρτήρες. Για λόγους ευκολότερης σύγκρισης με τα άλλα δύο μοντέλα οι αναρτήρες είναι κοίλης κυκλικής διατομής και όχι τένοντες προεντάσεως, τουλάχιστον στη φάση προμελέτης.



Σχήμα 3.27. Σχεδιασμός καλωδιωτής μορφής στο πρόγραμμα Scia Engineer 2011



Σχήμα 3.28. Όψη (φαίνονται και τα κυκλιδώματα επί των κυρίων δοκών)



Σχήμα 3.29. Κάτοψη (οι διακεκομμένες γραμμές επί των κυρίων δοκών αναφέρονται στα καλώδια)

Πίνακας 3.18. Εντατικά Μεγέθη Μελών

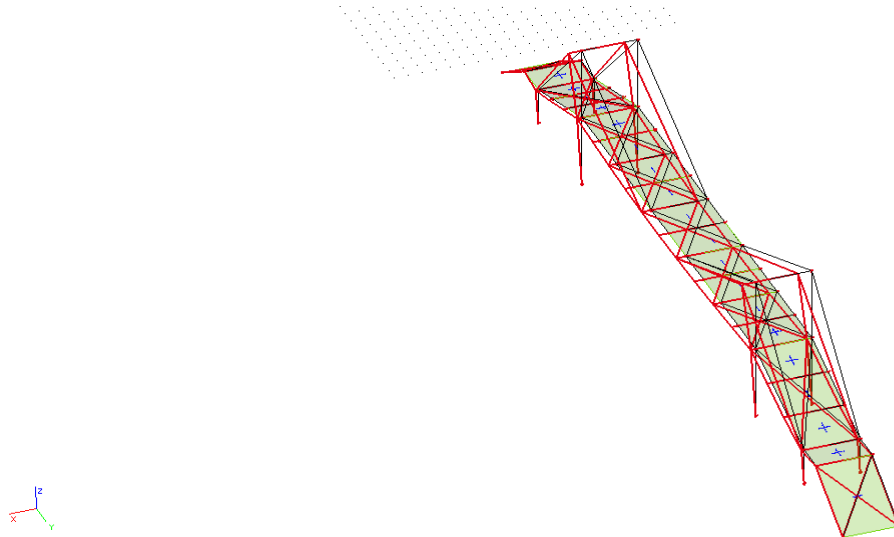
Εντατικό Μέγεθος Μέλος	N (KN)	V _y (KN)	V _z (KN)	M _x (KNm)	M _y (KNm)	M _z (KNm)
Διαδοκίδες Καταστρώματος	1.73 -1.67	4.8 -4.8	64.64 -64.64	-	64.64 -1.23	4.81 -2.44
Κύριες Δοκοί	276.6 -669.3	3.8 -3.8	121.7 -122.0	-	459.5 -49.9	8.9 -5.8
Αναρτήρες Καταστρώματος	546.9 0	-	-	-	-	-
Αναρτήρες Ανάβασης/Κατάβασης	704.4 0	-	-	-	-	-
Στύλοι Βάθρων	0 -847.55	22.0 -21.3	45.3 -20.3	13.8 -12.0	148.6 264.9	127.7 -132.0
Δοκοί Ανάβασης/Κατάβασης	196.4 -684.7	7.2 -6.5	77.8 -75.2	0.7 -0.4	145.0 -200.6	17.3 -20.2
Κοντά Υποστυλώματα	146.7 -4.0	1.1 -1.1	6.8 -3.3	-	7.7 -9.1	1.8 -2.0
Ζύγωμα Κοντών Υποστυλωμάτων	3.5 -2.9	0.1 -0.1	0.9 -0.7	-	1.4 -1.6	0.2 -0.2
Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμμίας	57.2 -60.0	-	-	-	-	-
Διαδοκίδες Βάθρων	3.8 -0.9	0.1 -0.1	0.2 -0.3	-	0.4 -0.5	0.1 -0.1

Πίνακας 3.19. Βέλη w σε cm βασικών μελών

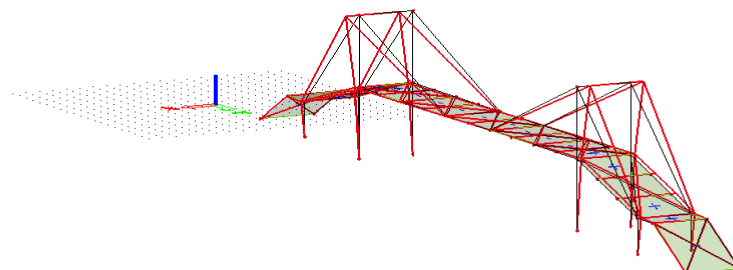
Μέλος	Βέλος w _z (cm)	Βέλος w _y (cm)	Συνολικό βέλος $w = (w_z^2 + w_y^2)^{0.5}$ (cm)	Επιτρεπόμενο Βέλος w _{max} =L/250 (cm)
Διαδοκίδα Καταστρώματος (l=4.000m)	1.49	0.58	1.6	1.6
Κύρια Δοκός (l=32.000m)	8.49	5.49	10.11	12.8
Στύλος Βάθρου (l=11.953m)	2.29	2.08	3.09	4.78
Δοκός Ανάβασης/Κατάβασης (l=9.482)	0.56	1.13	1.26	3.37
(κοντοί δοκός l=5.872m)	(1.17)	(0.63)	(1.33)	(2.34)
Κοντός Στύλος(l=3.018m)	0.94	0.44	1.04	1.18

Πίνακας 3.20. Ιδιοσυχνότητες/Ιδιοπερίοδοι

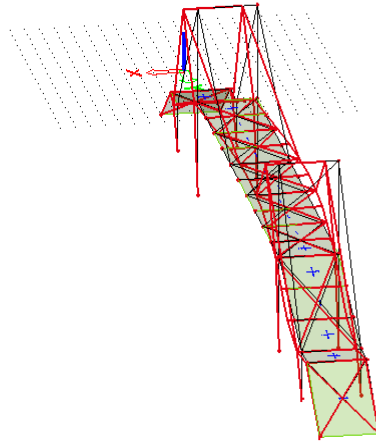
N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega^2 [1/sec^2]	T [sec]
<i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i> <i>*Φοιτητική έκδοση*</i>				
Συνδυασμός μαζών : Earthqua				
1	1,42	8,92	79,62	0,70
2	1,98	12,44	154,82	0,50
3	2,56	16,10	259,23	0,39
4	2,63	16,54	273,65	0,38
5	2,65	16,65	277,36	0,38
6	3,24	20,36	414,49	0,31
7	3,32	20,86	435,06	0,30
8	3,33	20,91	437,32	0,30
9	3,72	23,38	546,75	0,27
10	3,97	24,95	622,28	0,25



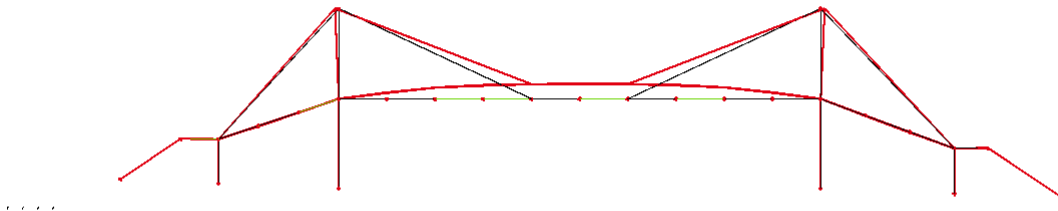
Σχήμα 3.30. 1η Ιδιομορφή, οριζόντια μετακίνηση καταστρώματος και βάθρων κατά +X



Σχήμα 3.31. 2η Ιδιομορφή, αντισυμμετρική μετακίνηση των βάθρων ως προς τον εγκάρσιο άξονα της γέφυρας



Σχήμα 3.32. 3η Ιδιομορφή, μετακίνηση βάθρων και δοκών αναβάσεων κατά +X, ενώ το κατάρωμα μετακινείται κατά -X

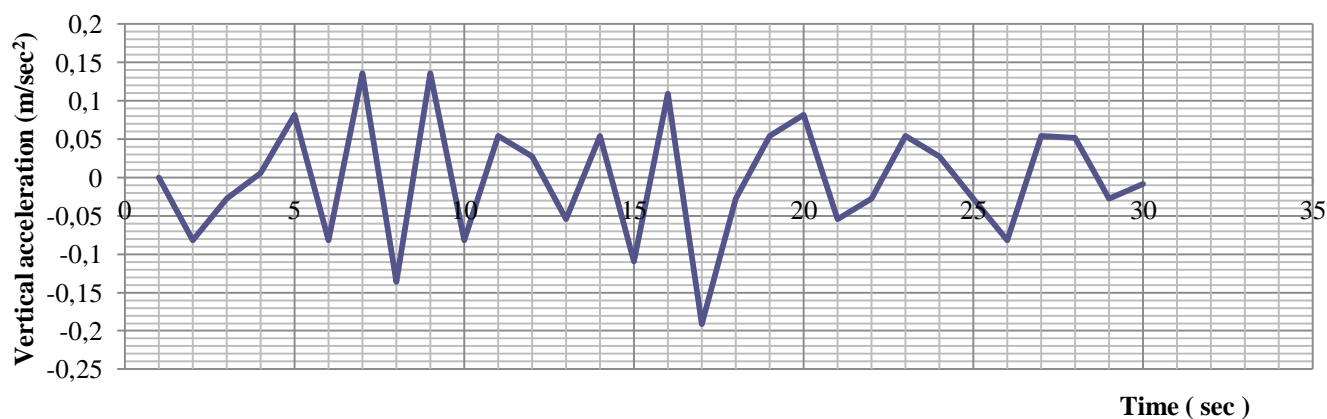


Σχήμα 3.33. 4η Ιδιομορφή, κατακόρυφη μετακίνηση του καταστώματος κατά +Z, με ταυτόχρονη απομάκρυνση των βάθρων από την κατακόρυφο



Σχήμα 3.34. Εγκάρσιες επιταχύνσεις με $a_{max} = 0.024$ m/sec²

Κατακόρυφες επιταχύνσεις κύριας δοκού για αρμονικό φορτίο στο κέντρο του καταστρώματος μάζας 80kg με περίοδο $f = 2.0 \text{ Hz}$



Σχήμα 3.35. Κατακόρυφες επιταχύνσεις με $a_{\max} = 0.19 \text{ m/sec}^2$

Πίνακας 3.21. Διατομές μελών

Μέλος	Διατομή
Διαδοκίδες Καταστρώματος	IPE 270
Κύριες Δοκοί	HEA 500
Αναρτήρες Καταστρώματος	CHS 114.3/5.0
Αναρτήρες Ανάβασης/Κατάβασης	CHS 114.3/6.3
Στύλοι Βάθρων	SHS 450/450/16.0
Δοκοί Ανάβασης/Κατάβασης	HEB 280
Κοντά Υποστλώματα	HEA 100A
Ζύγωμα Κοντών Υποστλωμάτων	IPE 80A
Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας	CHS 33.7/2.6
Διαδοκίδες Βάθρων	RHS 50/30/2.5

Μέσος συντελεστής απόδοσης Διατομών : 0.87



Εικόνα 3.5. Φωτορεαλιστική αναπαράσταση της καλωδιωτής γέφυρας

3.5 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Σημαντικό στοιχείο στην επιλογή της βέλτιστης περίπτωσης αποτελεί και η ποσότητα υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε για το κάθε μοντέλο. Έτσι, από τη μάζα του κάθε μέλους συναρτήσε του μήκους και της διατομής του, προκύπτουν οι συνολικές μάζες για το κάθε μοντέλο. Η συνολική επιφάνεια κάτοψης είναι σχεδόν ίδια για το κάθε μοντέλο και ίση με 261.22 m².

Πίνακας 3.22. Συγκεντρωτικά στοιχεία

	Μάζες Μεταλλικού φορέα	Μάζα μεταλλικού φορέα ανά μονάδα επιφάνειας (kg/m ²)	Ιδιοσυχνότητες
Δικτυωτή	31.6	121	f = 0.54 Hz (θεμελιώδης οριζόντια) f = 3.28 Hz (θεμελιώδης κατακόρυφη)
Τοξωτή	26.8	103	f = 0.79 Hz (θεμελιώδης οριζόντια) f = 4.70 Hz (θεμελιώδης κατακόρυφη)
Καλωδιωτή	21.1	81	f = 1.42 Hz (θεμελιώδης οριζόντια) f = 2.63 Hz (θεμελιώδης κατακόρυφη)

Παρατηρούμε ότι το καλωδιωτό μοντέλο χρειάζεται 21% λιγότερο υλικό από το τοξωτό μοντέλο, το οποίο με τη σειρά του χρειάζεται 15% λιγότερο υλικό από το δικτυωτό. Παράλληλα, η καλωδιωτή και η τοξωτή γέφυρα αξιοποιούν καλύτερα τις αντίστοιχες διατομές των μελών τους, αφού παρουσιάζουν συντελεστή απόδοσης 0.87 έναντι 0.82 της δικτυωτής.

Όσον αφορά τα εντατικά μεγέθη η σύγκριση της τοξωτής και της δικτυωτής είναι πιο εύκολη, λόγω πλησιέστερου στατικού μοντέλου, με την τοξωτή να ασκεί μεγαλύτερες οριζόντιες δυνάμεις στο φορέα εκτός του καταστρώματος, εξαιτίας της μεγάλης θλιπτικής δύναμης που μεταφέρει το τόξο, το οποίο ωστόσο λειτουργεί πολύ πιο αποδοτικά απ' ό,τι το κλασσικό δικτύωμα του 1^{ου} μοντέλου.

Στην καλωδιωτή τα βάρη είναι τα κυρίως σημεία ανάληψης των φορτίων, για αυτό είναι και πιο ενισχυμένα σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις, ενώ λόγω μη ύπαρξης κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας, οι δοκοί ανάβασης/κατάβασης αναλαμβάνουν πρόσθετη αξονική και ροπή σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις. Επιπλέον, επιλέγοντας απλό σύστημα καλωδίων (ένα καλώδιο ανά πλευρά), οδηγούμε σε αύξηση της διατομής των κύριων δοκών. Ακόμα η καλωδιωτή γέφυρα έχει αισθητά μικρότερη προβαλλόμενη επιφάνεια διατομών κάθετα στην εγκάρσια δύναμη του ανέμου (διεύθυνση X), με συνέπεια την μικρότερη καταπόνηση των οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας, αλλά και των εσωτερικών παραμορφώσεων των μελών. Ωστόσο, τα δικτυωτά συστήματα, λόγω του μεγάλου ύψους της δικτυωτής δοκού και του στατικού τρόπου λειτουργίας τους παρουσιάζουν αισθητά μικρότερο βέλος σε σχέση με τις ολόσωμες αν και το κόστος κατασκευής και συντήρησης είναι επαυξημένο. Σε όλες τις περιπτώσεις, κύρια διεύθυνση ταλάντωσης είναι η εγκάρσια οριζόντια, ως προς την οποία εμφανίζονται και οι πρώτες ιδιομορφές. Ως προς τις επιταχύνσεις, λόγω αρμονικών φορτίων, η καλωδιωτή εμφανίζει τις μεγαλύτερες στην οριζόντια διεύθυνση ενώ η τοξωτή στην κατακόρυφη.

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τα στατικά συστήματα και την ασφάλεια μεταβίβασης των φορτίων από το ένα μέλος στο άλλο, αλλά κυρίως την οικονομικότητα και απόδοση των κατασκευών, εφόσον και οι 3 περιπτώσεις είναι επαρκής για την ανάληψη των φορτίων, ιδανικότερη λύση αποτελεί η *καλωδιωτή*.

An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide fjord. The bridge features four prominent white pylons supporting the deck with numerous stay cables. The water is a deep blue, and the surrounding landscape consists of steep, forested mountains under a cloudy sky. A small town is visible on the right side of the fjord.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Οριστική μελέτη

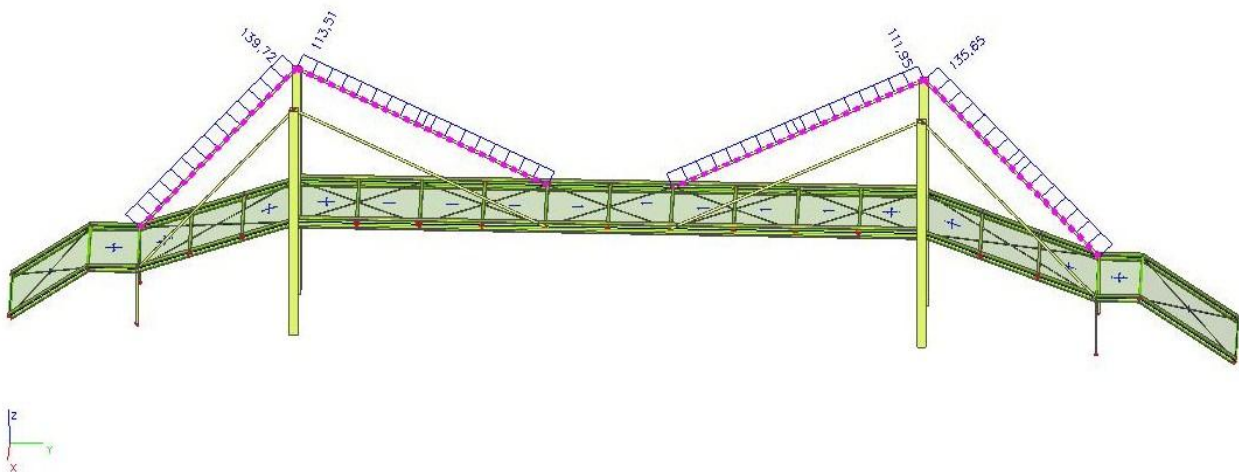
4.1 Εισαγωγή

Η λύση καλωδιωτής μορφής, υποβάλλεται πλέον και σε μη-γραμμική ανάλυση για να γίνει έλεγχος της επιρροής φαινομένων 2^{ης} τάξεως. Επιπλέον, θα παρουσιασθούν τα εντατικά μεγέθη όλων των μελών αναλυτικά, καθώς και οι παραμορφώσεις τους. Επίσης, για κατασκευαστικούς και λειτουργικούς λόγους θα χρησιμοποιηθούν προεντεταμένα καλώδια για τη στήριξη του καταστρώματος έναντι αναρτήρων κοίλων διατομών CHS, που παρουσιάστηκαν στη φάση προμελέτης. Η ανάρτηση θα γίνει με συνολικά 8 καλώδια. Λόγω του αυξημένου κόστους των καλωδίων, ειδικά στην Ελλάδα, δεν θα χρησιμοποιηθούν περισσότερα καλώδια από 1 ανά σημείο ανάρτησης, διότι η απόδοσή τους μειώνεται ανάλογα με τον αριθμό τους. Φυσικά με τη χρήση πληθώρας καλωδίων μειώνονται οι αξονικές τους δυνάμεις και δεν χρειάζονται μεγάλες ενισχύσεις στους κορμούς και τα πέλματα των διατομών, οι οποίες συνδέονται με αυτούς, καθώς επίσης διευκολύνεται η αγκύρωσή τους, μειώνεται το ύψος της κύριας δοκού λόγω μείωσης των ανοιγμάτων της, αυξάνεται η αεροδυναμική ευστάθεια του φορέα και γίνεται πιο εύκολα η ανέγερση και η αντικατάστασή τους σε περίπτωση κόπωσης ή σκωρίασης.

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται τα εντατικά μεγέθη των αναρτήρων, όπως αυτά προέκυψαν από τις φορτιστικές καταστάσεις του προηγούμενου κεφαλαίου. Με βάση αυτά τα εντατικά μεγέθη, τα βέλη των διατομών και τις χρόνιες απώλειες των τενόντων θα προσδιοριστούν οι διατομές των καλωδίων και οι αρχικές δυνάμεις προέντασης.



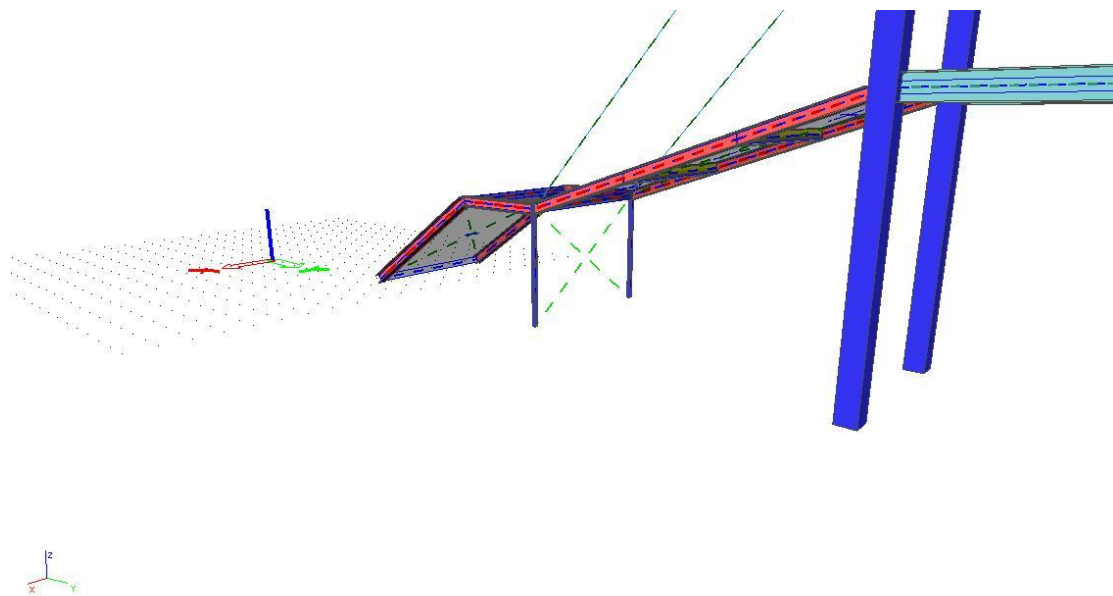
Σχήμα 4.1. Αξονικές αναρτήρων στην ΟΚΑ



Σχήμα 4.2. Αξονικές αναρτήρων στην φορτιστική κατάσταση G

4.1.1 Μη γραμμική ανάλυση

Μέσω του μη-γραμμικού υπολογισμού παρουσιάστηκε στροφή εκτός των επιτρεπόμενων ορίων και αστάθεια του φορέα στους κόμβους των κοντών υποστυλωμάτων με τα καλώδια (στροφή περί των κατακόρυφο άξονα Z) και προστέθηκαν χιαστί κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας διατομής Li 50x40x5 εντός του επιπέδου του πλαισίου των κοντών υποστυλωμάτων, που καταπονούνται με δύναμη $N_{εφελκ.} = 65.85$ KN και $N_{θλιπτ.} = -46.70$ KN. Στα υπόλοιπα μέλη δεν παρατηρήθηκε κάποια ιδιαίτερη μεταβολή στις καταπονήσεις και για αυτό οι διατομές παρέμειναν ίδιες με αυτές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.



Σχήμα 4.3. Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας

Πίνακας 4.1. Νέα δυναμικά χαρακτηριστικά ≈ αρχικά (πριν τους συνδέσμους)

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega ² [1/sec ²]	T [sec]
*Φοιτητική έκδοση ¹ *Φοιτητική έκδοση ² *Φοιτητική έκδοση ³ *Φοιτητική έκδοση ⁴ *Φοιτητική έκδοση ⁵ *Φοιτητική έκδοση ⁶				
Συνδυασμός μαζών : Earthqua				
1	1,60	10,03	100,67	0,63
2	2,38	14,92	222,69	0,42
3	2,80	17,60	309,74	0,36
4	2,81	17,64	311,17	0,36
5	2,87	18,05	325,70	0,35
6	3,36	21,10	445,01	0,30
7	3,38	21,22	450,38	0,30
8	3,39	21,30	453,78	0,29
9	3,68	23,10	533,54	0,27
10	3,91	24,55	602,92	0,26

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 2 αν και κάναμε έλεγχο ταλαντώσεων για αρμονικό φορτίο ενός ανθρώπου στο μέσο του καταστρώματος θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει και έλεγχος αρμονικού φορτίου για 8 άτομα σύμφωνα με Kramer, αφού η συγκεκριμένη πεζογέφυρα θα καταπονείται ιδιαίτερα έντονα κατά τις ώρες προσέλευσης και αποχώρησης των παιδιών προς/από τα σχολεία. Παρακάτω παρατίθενται το

Βρετανικό εθνικό προσάρτημα κατάταξης πεζογεφυρών ανάλογα με τη χρήση τους, σύμφωνα με το οποίο η συγκεκριμένη πεζογέφυρα ανήκει στην κατηγορία C.

Πίνακας 4.2. Βρετανικό προσάρτημα για την κατάταξη γεφυρών και τους απαιτούμενους ελέγχους

Bridge Class	Bridge Usage	Group size (walking)	Group size (jogging)	Crowd density ρ (persons/m ²) (walking)
A	Rural locations seldom used and in sparsely populated areas.	N = 2	N = 0	0
B	Sub-urban location likely to experience slight variations in pedestrian loading intensity on an occasional basis.	N = 4	N = 1	0.4
C	Urban routes subject to significant variation in daily usage (e.g. structures serving access to offices or schools).	N = 8	N = 2	0.8
D	Primary access to major public assembly facilities such as sports stadia or major public transportation facilities.	N = 16	N = 4	1.5

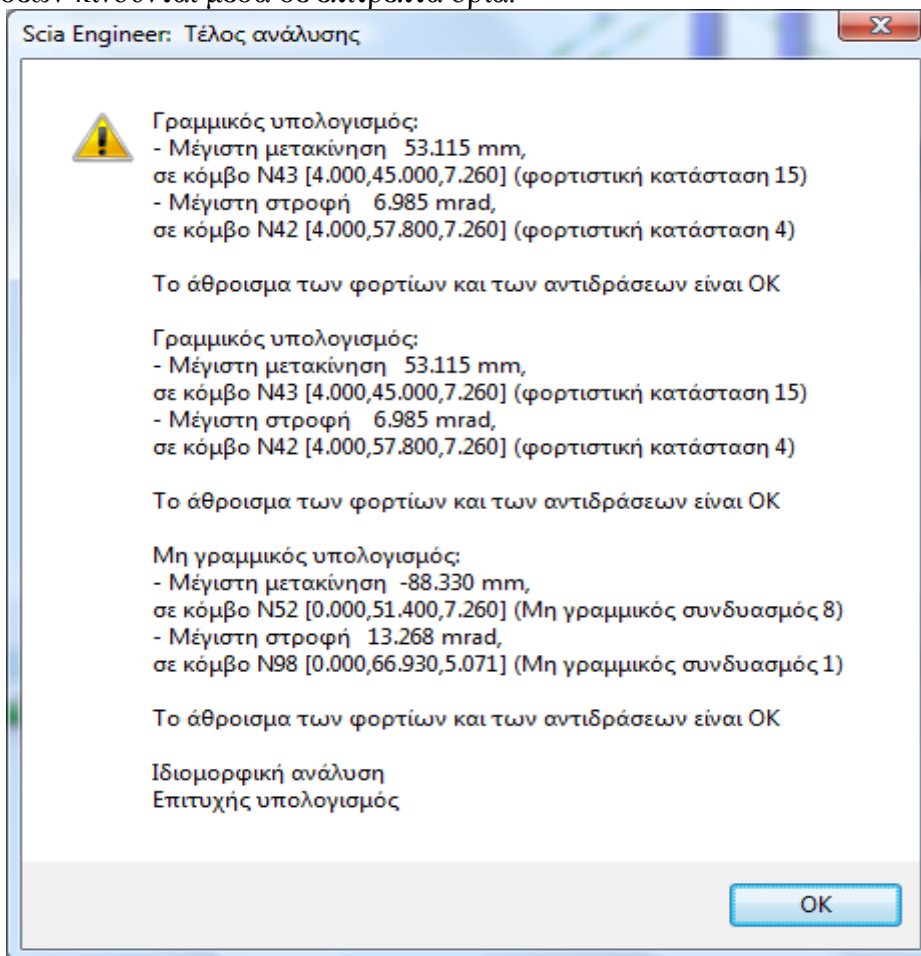


Σχήμα 4.4. Εγκάρσιες επιταχύνσεις με $a_{\max} = 0.08 \text{ m/sec}^2$



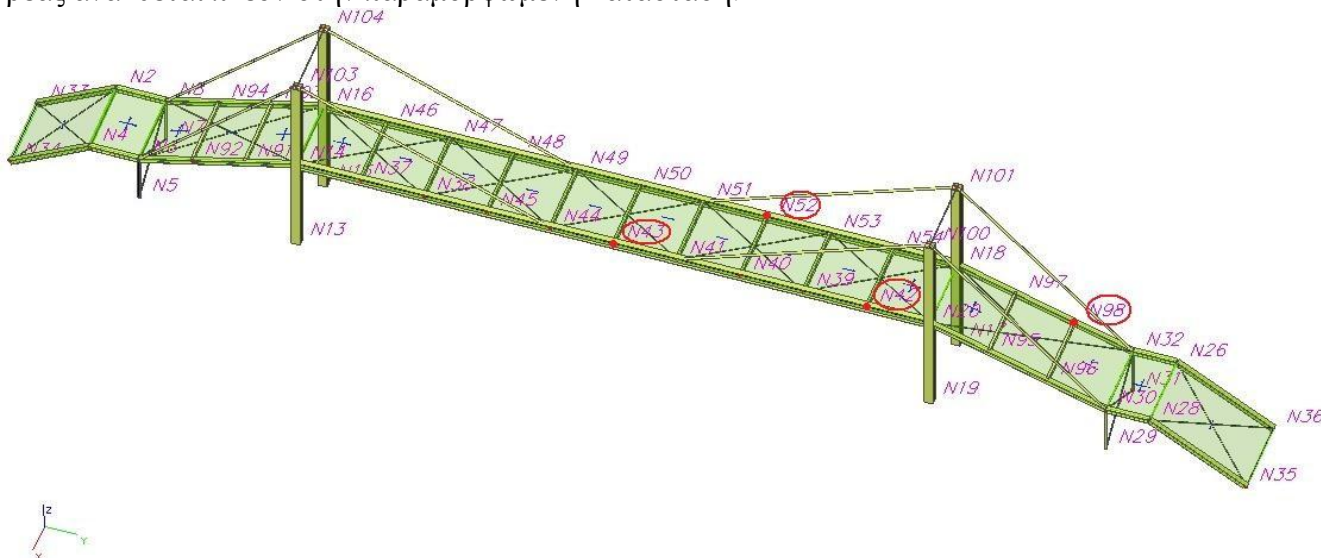
Σχήμα 4.5. Κατακόρυφες επιταχύνσεις με $a_{\max} = 0.61 \text{ m/sec}^2$

Παρατηρούμε ότι $\alpha_{ver.max} < 0.7m/sec^2$ και $\alpha_{lat.max} < 0.2m/sec^2$ και επομένως οι ταλαντώσεις, λόγω εξωτερικών δυναμικών διεγέρσεων κινούνται μέσα σε επιτρεπτά όρια.



Εικόνα 4.1. Μέγιστες μετακινήσεις των κόμβων για γραμμικό και μη-γραμμικό υπολογισμό σε ΟΚΑ

Η μη γραμμικότητα των καλωδίων οφείλεται στο ότι με την αύξηση της έντασης παρατηρείται επιμήκυνση των καλωδίων και αναιρείται το βέλος, λόγω ίδιου βάρους με σχέση μη γραμμικής μορφής. Για τους πυλώνες και τις κύριες δοκούς, επειδή υποβάλλονται σε ταυτόχρονη θλίψη και κάμψη, η μη γραμμικότητα οφείλεται στην αλληλεξάρτηση αυτών μέσω της λυγηρότητας του φορέα καθώς με την παραμόρφωση των διατομών η θλιπτική αξονική δύναμη προκαλεί πρόσθετη ροπή κάμψης. Η αρχή της επαλληλίας που ίσχυε στην γραμμική ανάλυση δεν ισχύει πια, αφού αναιρείται ο κανόνας της επιπεδότητας των διατομών και ο φορέας αναλύεται πλέον στην παραμορφωμένη κατάσταση.



Σχήμα 4.6. Παρουσίαση των κόμβων. Εντός κόκκινου κύκλου εμφανίζονται οι δυσμενέστεροι

4.1.2 Προένταση καλωδίων

Οι τένοντες που περιλαμβάνονται στα καλώδια καταπονούνται μόνο από εφελκυστικά αξονικά φορτία. Λόγω της ελικοειδούς μορφής των συρματόσχοινων, όταν εφαρμοσθεί το αξονικό φορτίο, η επιμήκυνση τους θα οφείλεται αφενός στην γραμμικά ελαστική συμπεριφορά τους και αφετέρου στη σύμπτυξη τους. Έτσι έχουμε μη-γραμμική μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας των καλωδίων, συναρτήσει της δύναμης, που τους ασκείται. Το νέο μέτρο ελαστικότητας δίνεται από τη σχέση :

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \frac{\gamma^2 a^2 E}{12 \sigma^3}} \quad (4.1)$$

όπου :

E , το μέτρο ελαστικότητας του ευθύγραμμου καλωδίου

a , η οριζόντια προβολή του καλωδίου

γ , το ειδικό βάρος του καλωδίου

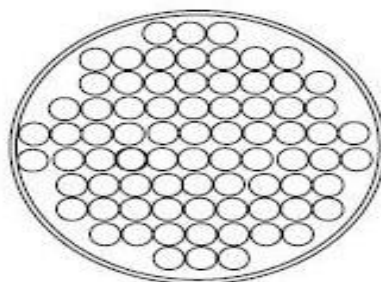
σ , η εφελκυστική τάση του καλωδίου

Έτσι, προκειμένου να αρθεί αυτή η μη-ελαστική συμπεριφορά επιβάλλεται συνήθως μια προένταση (της τάξης του 10-20%). Ακόμα, ιδίως στην περίπτωση μας, όπου το κατάστρωμα αναρτάται μόνο σε δύο σημεία ανά δοκό, η προένταση των καλωδίων βοηθά στην εισαγωγή αντιβέλους, το οποίο σε συνδυασμό με τα μόνιμα φορτία της γέφυρας, μετά το πέρας της χαλάρωσης, παράγει προσεγγιστικά μηδενικό βέλος.

Διαφορετικά, όπως φαίνεται άλλωστε και στο κεφάλαιο 3 (πίνακες βελών) , η κατακόρυφη μετακίνηση των κύριων δοκών του καλωδιωτού μοντέλου είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα άλλα δύο μοντέλα στην ΟΚΛ.

Πίνακας 4.3. Χαρακτηριστικά καλωδίων με τένοντες

Υλικό	Y1770S7-15.2
Μέτρο ελαστικότητας (E)	195000 MPa
Μέτρο διάτμησης (G)	84783 MPa
Διάμετρος συρματόσχοινων (d)	15.2 mm
Εμβαδόν ενός συρματόσχοινου (A)	139 mm ²
Μέγιστη δύναμη ενός τένοντα (F_m)	246.00 KN
Χαρακτηριστική 0.1% ονομαστική δύναμη ($F_{p0.1}$)	216.50
Σύνολο επιμήκυνσης στη μέγιστη δύναμη (A_{gt})	3.5%
Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή (f_{ptk})	1770 MPa
Χαρακτηριστική 0.1% ονομαστική τάση ($f_{p0.1k}$)	1560 MPa
Όριο παραμόρφωσης ($k = f_{ptk}/f_{p0.1k}$)	1.13
Κατηγορία χαλάρωσης	Κατηγορία 2 – σύρματα και καλώδια χαμηλής χαλάρωσης
Απαραίτητη τένοντες ανά καλώδιο	3
Συνολικό εμβαδόν καλωδίου	417 mm ²
Σωλήνας καλωδίων για 3T15	$\emptyset_{εσωτ.} / \emptyset_{εξωτ.} = 45/51$ (mm)

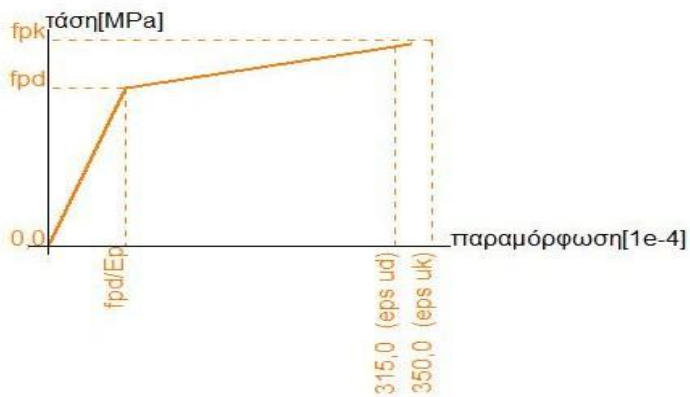


Εικόνα 4.2. Καλώδιο τύπου συρματόσχοινου/τένοντα

Η αγκύρωση των καλωδίων στο κατάστρωμα θα γίνει με άμεσο τρόπο, χωρίς να προστεθούν εγκάρσια ή διαμήκη κατασκευαστικά στοιχεία εφόσον η δύναμη των καλωδίων δεν θα δρα έκκεντρα επί των κύριων δοκών. Ωστόσο, θα τοποθετηθούν ελάσματα ενίσχυσης για την μείωση των τάσεων κατά μήκος του κορμού, λόγω των μικρών διατομών των καλωδίων σε σχέση με το αξονικό φορτίο που μεταφέρουν.



Εικόνα 4.3. Άμεση αγκύρωση καλωδίων επί κύριων δοκών

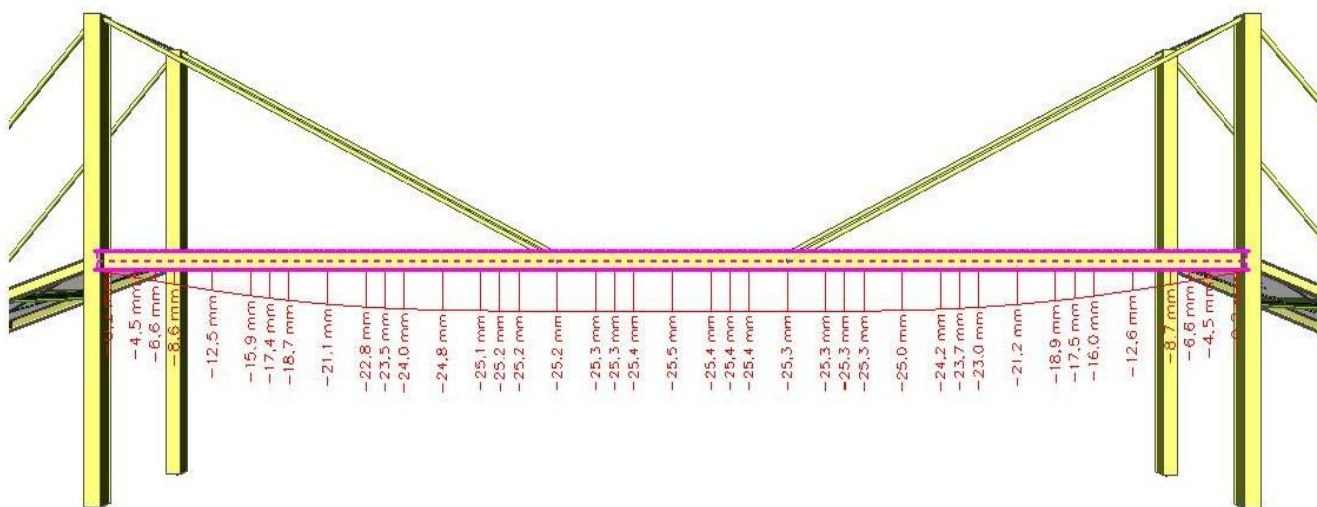


Σχήμα 4.7. Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων καλωδίων

Final relaxation loss related to tendon stress

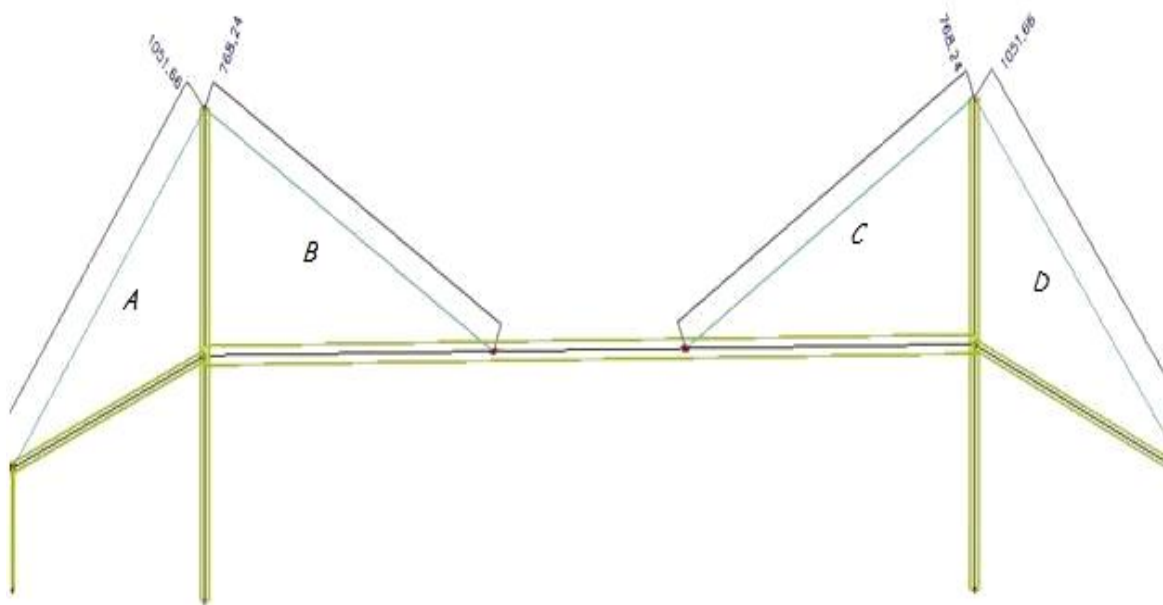


Σχήμα 4.8. Χρόνιες απώλειες, λόγω χαλάρωσης υπολογισμένες από το πρόγραμμα Scia Engineer



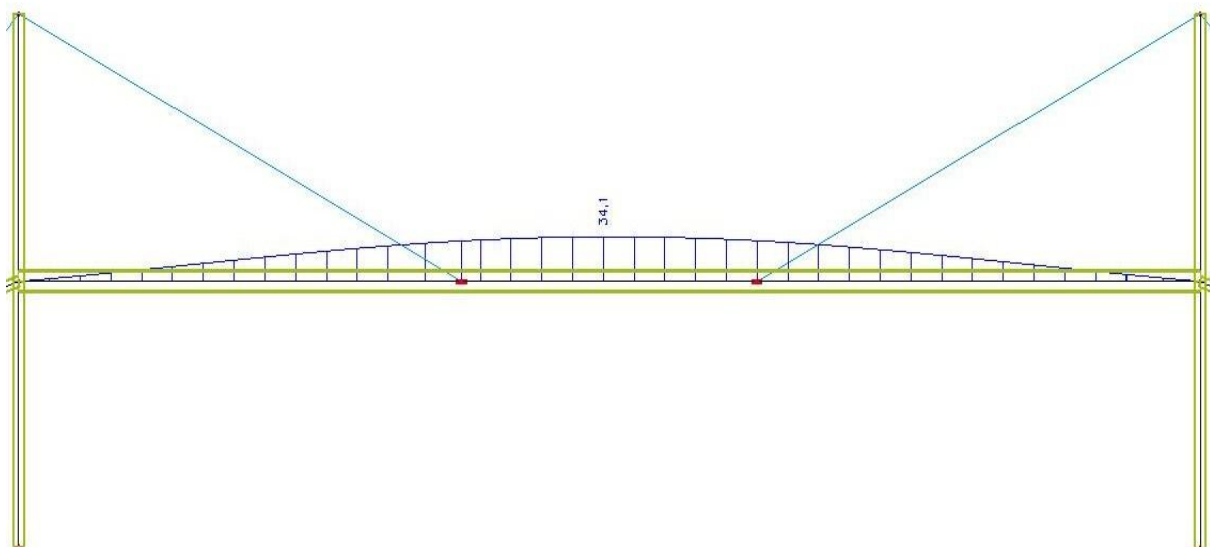
Σχήμα 4.9. Βέλος κάμψης κύριας δοκού, λόγω μόνιμων φορτίων 25.5 mm

Έπειτα από δοκιμές προέκυψαν οι παρακάτω δυνάμεις προέντασης για τα καλώδια του καταστρώματος και τα καλώδια ανάβασης/κατάβασης, ώστε το βέλος της κύριας δοκού υπό την επίδραση των μόνιμων φορτίων και της προέντασης να είναι μηδενικό.



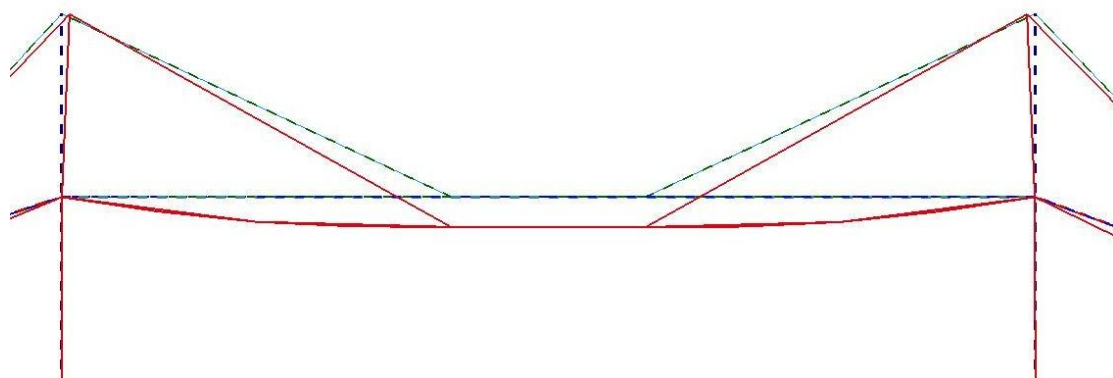
Σχήμα 4.10. Τάσεις προέντασης καλωδίων, 1052 MPa (439 KN) για τα ακραία και 769 MPa (321 KN) για τα ενδιάμεσα

Οι συνολικές αξονικές δυνάμεις των καλωδίων σε σχέση με την οριακή αντοχή τους (738 KN) είναι 93% για τα ακραία καλώδια (A,D) και 76% για τα ενδιάμεσα καλώδια (B,C).

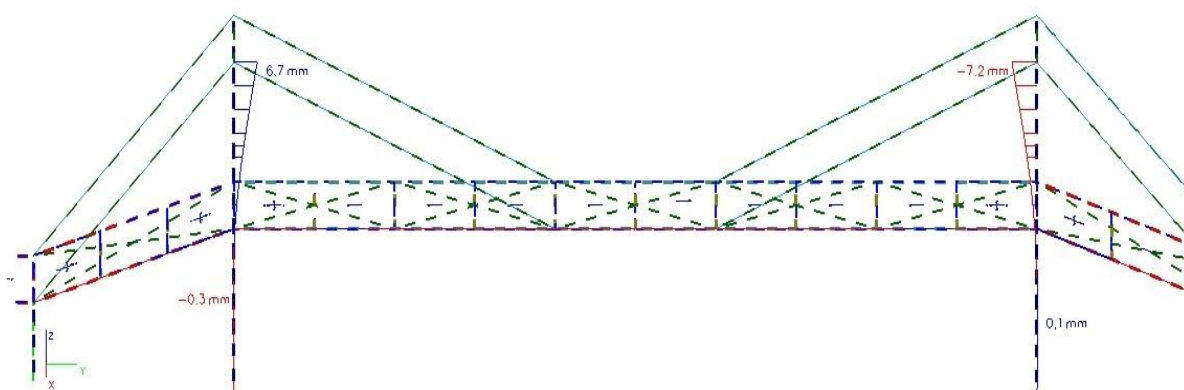


Σχήμα 4.11. Αντιβέλος 34.1 mm, λόγω προέντασης (πριν τις απώλειες)

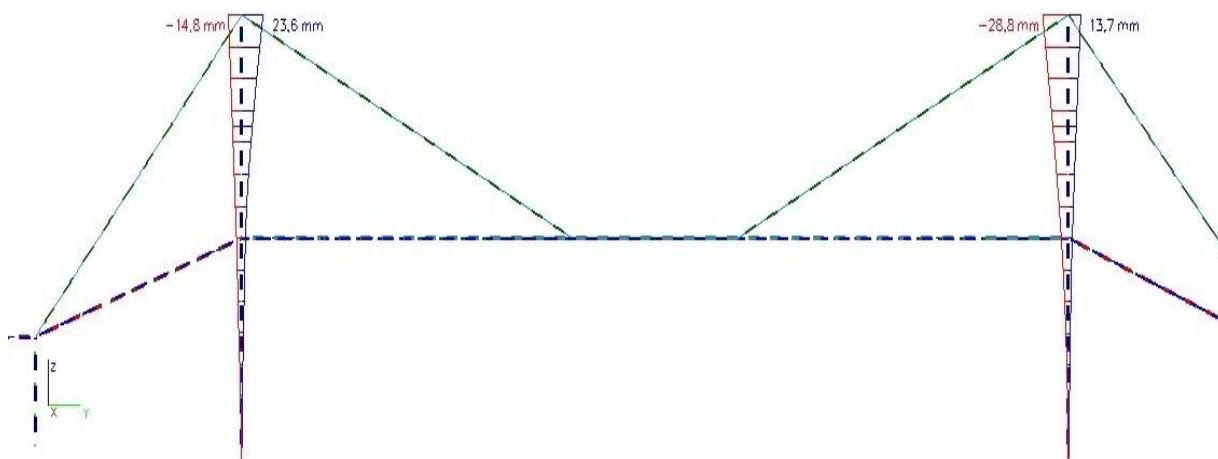
4.1.3 Βέλη και παραμορφώσεις μελών στις ΟΚΑ



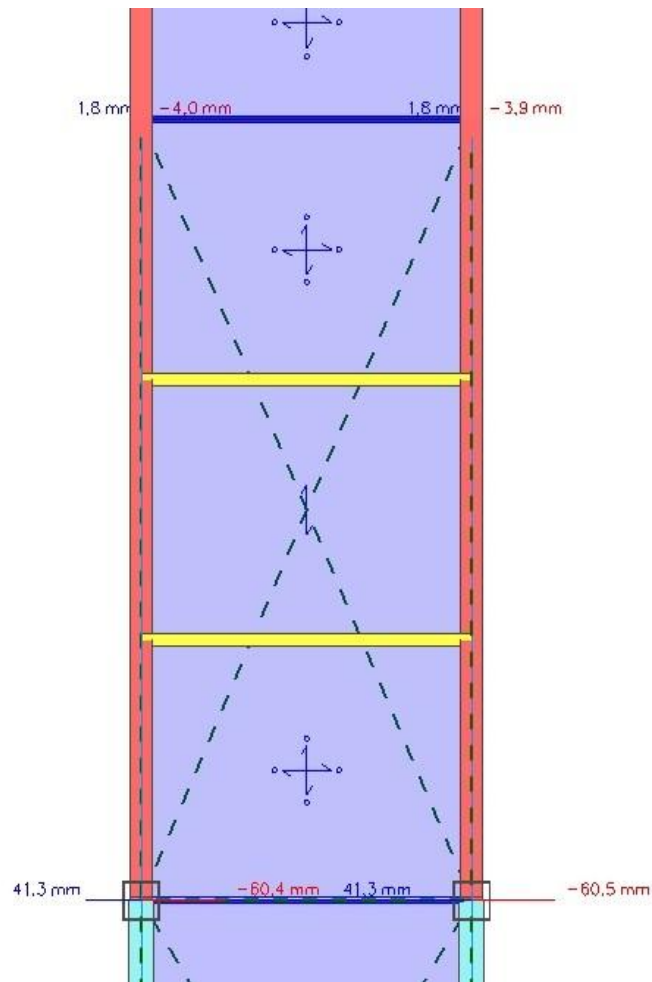
Σχήμα 4.12. Εικόνα παραμόρφωσης υπό την δράση των μόνιμων φορτίων, χωρίς την προένταση των καλωδίων



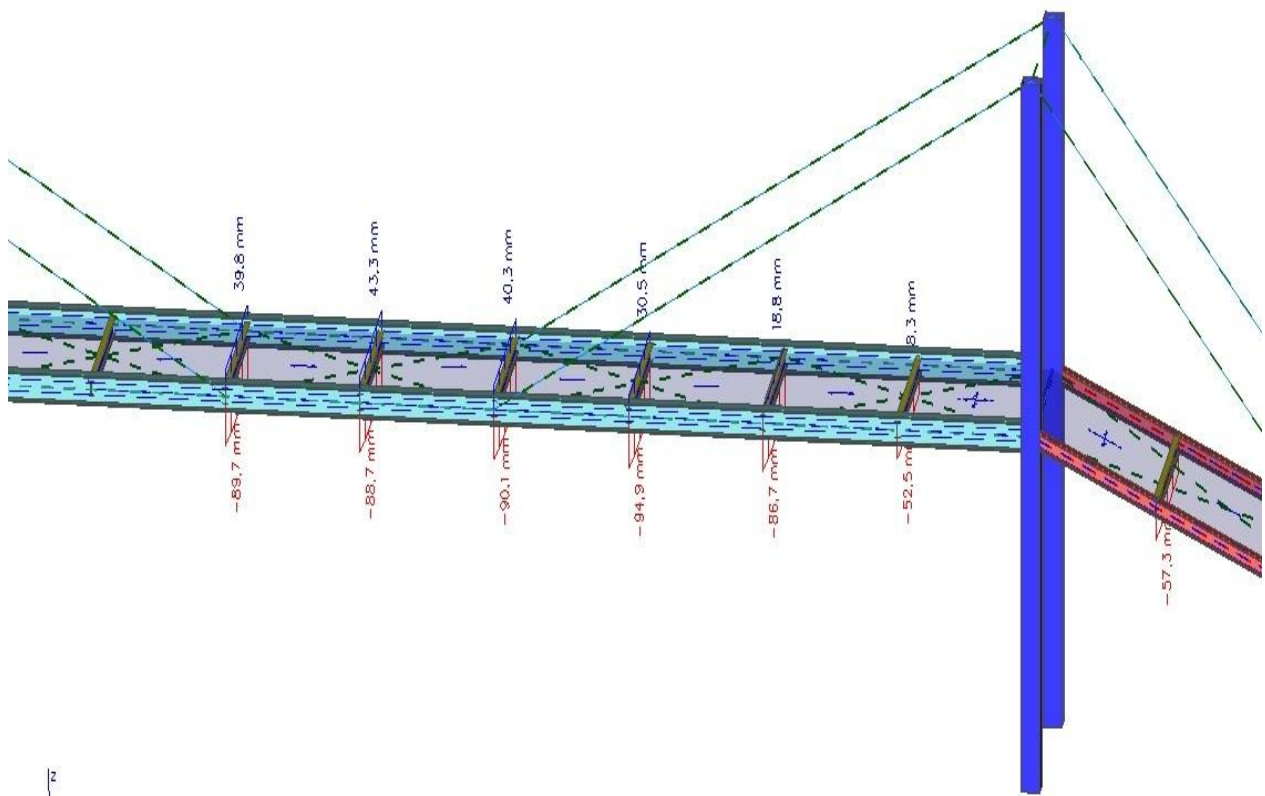
Σχήμα 4.13. Παραμορφώσεις βάθρων στη διαμήκη διεύθυνση Y υπό τη δράση μόνιμων φορτίων και προέντασης



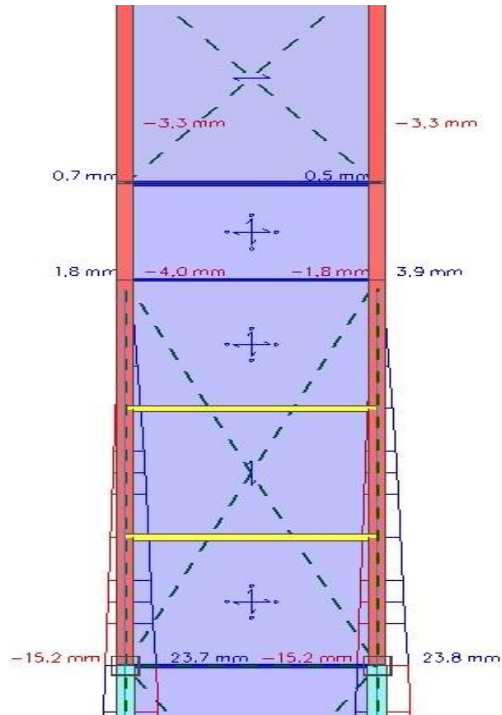
Σχήμα 4.14. Μέγιστες παραμορφώσεις βάθρων



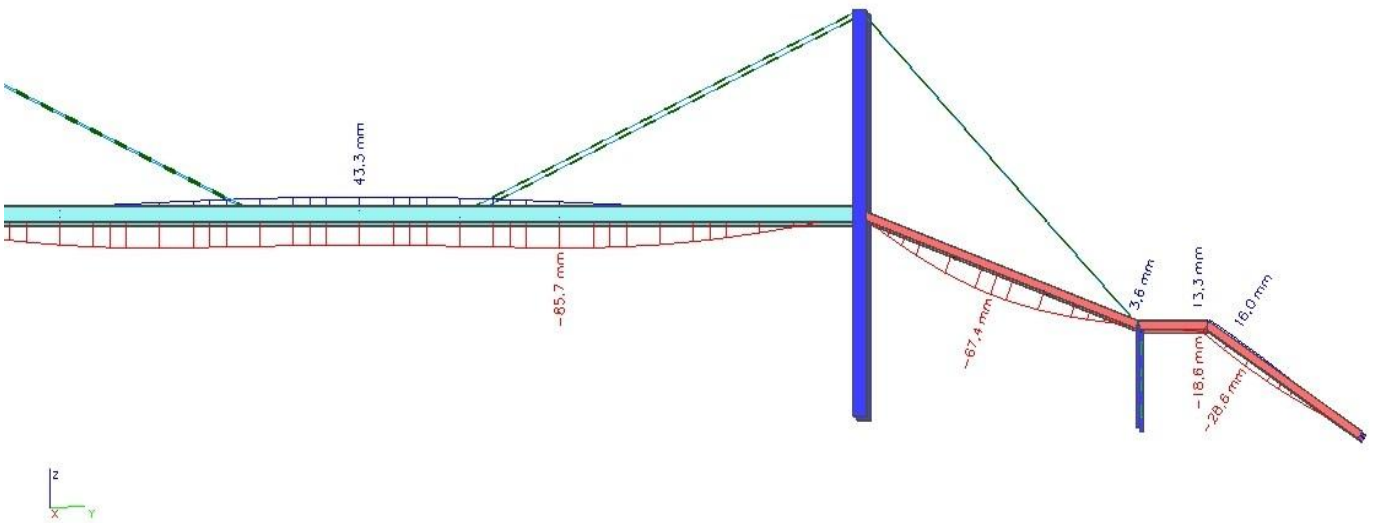
Σχήμα 4.15. Μέγιστες εγκάρσιες παραμορφώσεις κοντών στύλων (πάνω) και βάρων (κάτω)



Σχήμα 4.16. Μέγιστες κατακόρυφες παραμορφώσεις Διαδοκίδων καταστρώματος



Σχήμα 4.17. Μέγιστες εγκάρσιες παραμορφώσεις δοκών ανάβασης/κατάβασης, ξεκινώντας από τις ακραίες στηρίξεις (πάνω) μέχρι και τα βάθρα (κάτω)



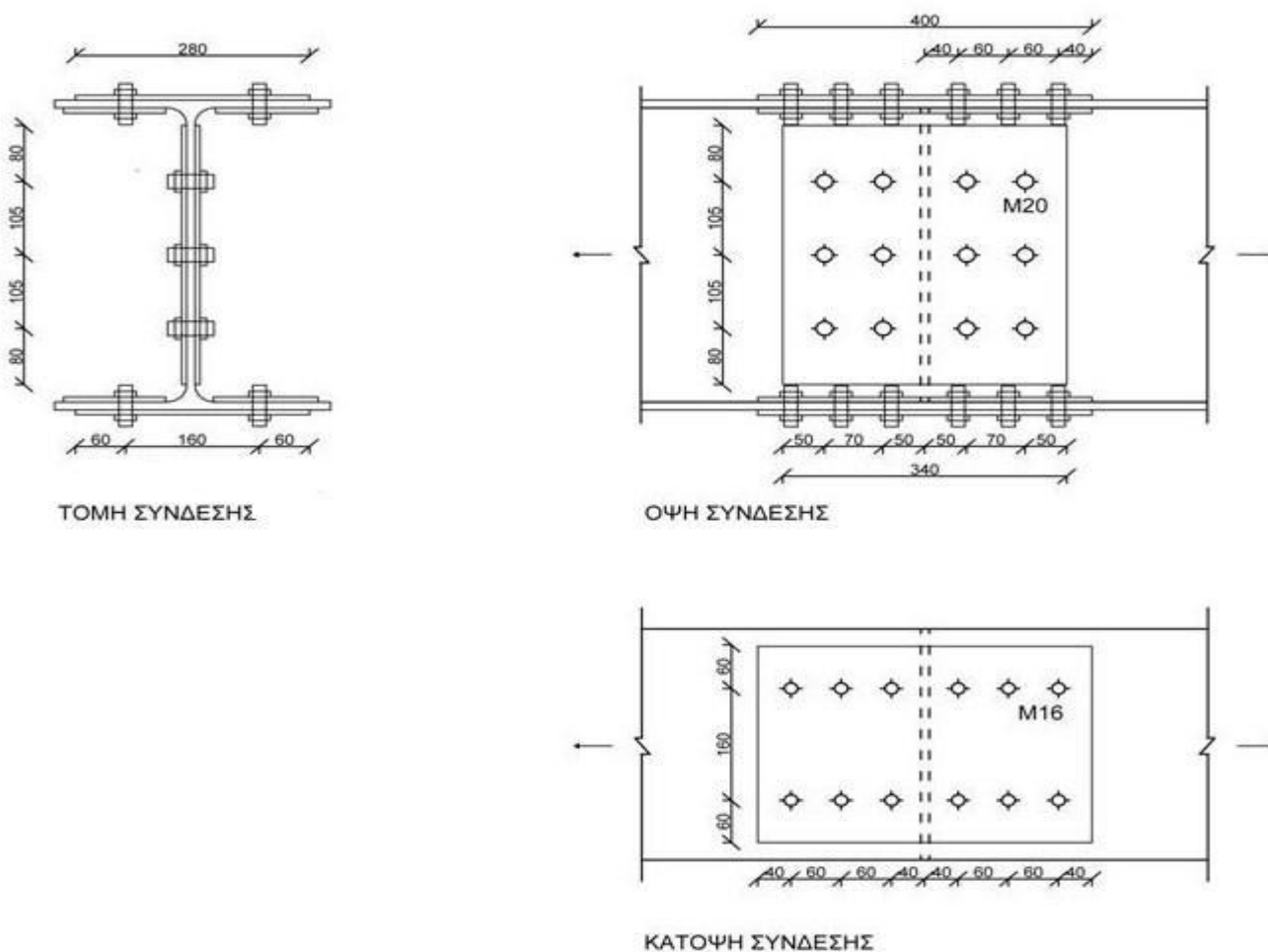
Σχήμα 4.18. Μέγιστες κατακόρυφες παραμορφώσεις δοκών ανάβασης/κατάβασης και κύριων δοκών

4.2 Κατασκευή – Ανέγερση

Για τα στάδια κατασκευής της πεζογέφυρας είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη μας κυρίως φαινόμενα στρεμτοκαμπτικού λυγισμού ελεύθερων δοκών μεγάλου μήκους, τα καλώδια προέντασης καθώς και το άνοιγμα του καταστρώματος, κάτω από το οποίο βρίσκεται το οδόστρωμα. Σημειώνεται ότι στις κύριες δοκούς HEA500 το διατιθέμενο μήκος εμπορίου είναι 12m και για αυτό θα πραγματοποιηθεί αποκατάσταση συνέχειας σε 2 ενδιάμεσα σημεία του συνολικού μήκους τους, όπως φαίνεται στα επόμενα σχέδια. Οι κοχλίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι κατηγορίας C προεντεταμένοι, ανθεκτικοί σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας, ποιότητας 8.8 διατομής M20 στον κορμό και M16 στα πέλματα. Οι επιφάνειες επαφής θεωρήθηκαν συντηρητικά κατηγορίας B, γαλβανισμένες, με συντελεστή ολίσθησης $\mu = 0.4$.

Ο Ευρωκώδικας 3 προβλέπει ειδικές απαιτήσεις για κοχλιωτές συνδέσεις σε γέφυρες (Μέρους 1.1, Κεφ. 6).

Οι αποστάσεις μεταξύ του κέντρου της οπής και των πλησιέστερων άκρων του ελάσματος πρέπει να ανήκουν στα διαστήματα : $1.5d_0 < e_1, e_2 < 125 \text{ mm}$ ή $8t$, ενώ για τις αποστάσεις μεταξύ των κέντρων των οπών ισχύουν οι τιμές : $2.5d_0 < p_1, p_2 < 175 \text{ mm}$ ή $14t_{\min}$. Η λεπίδα κορμού είναι #370.340.10 ενώ οι λεπίδες πέλματων είναι #400.280.15 εξωτερικά και #400.95.10 εσωτερικά .



Σχήμα 4.19. Αποκατάσταση συνέχειας κύριων δοκών

Όλα τα υπόλοιπα μέλη θα είναι ενιαία μονοκόμματα, ενώ και τα βάθρα έχουν υπολογισθεί με μήκος οριακά μικρότερο των 12m. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται η σειρά των εργασιών εκτός των χωματουργικών και της θεμελίωσης.

Πίνακας 4.4. Στάδια κατασκευής

A/A Σταδίου	Είδος εργασίας
1	Τοποθέτηση κοντών στύλων και βάθρων
2	Τοποθέτηση Δοκών ανάβασης/κατάβασης,

	οριζόντιων/κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας, ζυγμάτων και διαδοκίδων.
3	Τοποθέτηση μεσόβαθρου επί του διαζώματος και εκτροπή της κυκλοφορίας των οχημάτων από τις συνορεύουσες με αυτό λωρίδες.
4	Τοποθέτηση των πρώτων 12m των κύριων δοκών από το κάθε βάθρο μαζί με τους συνδέσμους δυσκαμψίας και τις διαδοκίδες.
5	Τοποθέτηση του μεσαίου τμήματος των κυρίων δοκών μήκους 12m μαζί με τους συνδέσμους και τις διαδοκίδες του.
6	Τοποθέτηση των καλωδίων, εφαρμογή προέντασης και απομάκρυνση του μεσόβαθρου.
7	Διαμόρφωση καταστρώματος και λοιπών λεπτομερειών λειτουργίας, υδρορροές, φωτισμός, δάπεδο κτλ.

4.3. Συμπεράσματα

Ξεκινώντας την μελέτη μιας γέφυρας ο μηχανικός αναγκάζεται με βάση τη γνώση, αλλά κυρίως την εμπειρία του να επιλέξει το σχεδιασμό της. Αν και υπάρχουν θεωρητικοί τύποι και προτάσεις για το σχεδιασμό ανάλογα με το μήκος μια γέφυρας, το πλάτος κ.α. είναι αρκετά δύσκολο στην πράξη να αξιοποιηθεί πλήρως ένα μοντέλο. Κάνοντας κάποιες βασικές παραδοχές και λειτουργώντας με βάση τη γνώση της στατικής και της μηχανικής, η προσέγγιση αυτή γίνεται όλο και καλύτερη χωρίς βέβαια να είμαστε σίγουροι ακόμα για την σύγκριση όλων των πιθανών λύσεων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση μέσω μιας διαδικασίας ανάλυσης των εντατικών μεγεθών καταλήξαμε στην καλωδιωτή λύση έναντι των άλλων δύο λύσεων, ενώ με διαφορετική διαμόρφωση των άλλων δύο μοντέλων μπορεί το αποτέλεσμα να ήταν διαφορετικό. Η σπουδαιότητα της κατασκευής και οι πόροι, που δαπανούνται για την βελτιστοποίηση των λύσεων είναι καθοριστικοί και εκτός από συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπου τα μέχρι τώρα υλικά μας αναγκάζουν να διαμορφώσουμε τον φορέα μας, οι πιθανές λύσεις είναι αρκετές.

Η αρχιτεκτονική των πεζογεφυρών παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση και αξιοποίησή τους, αφού αρκετές φορές οι πεζογέφυρες τείνουν να μένουν ανεκμετάλλευτες, λόγω της απόστασης, που οι διερχόμενοι άνθρωποι έχουν να διανύσουν. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ο σκοπός της κατασκευής ενός έργου δεν είναι να μην καταπονείται, αλλά να χρησιμοποιείται ώστε να βελτιστοποιεί την πραγματική χρησιμότητά του.

Μελετώντας τα διάφορα μοντέλα παρατηρήσαμε την έντονη μείωση του βάρους σε σχέση με παλαιότερες κατασκευές, λόγω βελτίωσης των υλικών, με αποτέλεσμα οι κατασκευές να είναι αρκετά πιο εύκαμπτες και να παρουσιάζουν προβλήματα ταλαντώσεων. Παρατηρήσαμε ότι και στις 3 γέφυρες δυσμενέστερη διεύθυνση ταλάντωσης ήταν η εγκάρσια οριζόντια, μέσω των διαφόρων ιδιομορφών των κατασκευών.

Χρησιμοποιώντας βάθρα με 4 υποστυλώματα επιτυγχάνεται καλύτερη λειτουργία μεταξύ των μελών με σημαντική απομείωση των εντάσεων, που καταπονούν το κάθε μέλος, ενώ σε βάθρα με 2 υποστυλώματα, όπως στην καλωδιωτή περίπτωση, χωρίς κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας, οι εντάσεις αναλαμβάνονται πλήρως από τους στύλους με πλαισιακή λειτουργία το πολύ ως προς τη μια διεύθυνση, αυξάνοντας παράλληλα της παραμορφώσεις τους.

Η αξιοποίηση της ιδέας της προέντασης στα καλώδια εξυπηρετεί αρκετά τους λειτουργικούς σκοπούς της κατασκευής. Προτιμήθηκαν καλώδια τύπου τενόντων έναντι παραλλήλων ράβδων/συρμάτων ή τύπου locked-coil, εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης τους και σε προεντεταμένους φορείς από σκυρόδεμα, κάτι που μειώνει το κόστος και βελτιώνει την αξιοπιστία τους, ενώ παράλληλα τα προβλήματα κόπωσης και διάβρωσης, που τα χαρακτηρίζαν, έχουν αντιμετωπιστεί επαρκώς.

Βιβλιογραφία

1. Barker C., Mackenzie D. (2008). “Calibration of the UK national Annex. “ Proceedings of the 3rd International Conference of footbridges, Porto, Portugal.
2. Chopra A. (2007). “Dynamics of structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering, 3rd edition”, by Pearson Education Inc., New Jersey.
3. Van den Broeck P., Van Nimmen K., Gezels B., Reynders E., De Roeck G. (2011) “ Measurement and simulation of the human-induced vibration of a footbridge.” Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EUROODYN 2011, Leuven, Belgium.
4. Zivanovic M., Pavic A. (2011). “Dynamic response of footbridges due to vertical load models of pedestrians.” Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics, EUROODYN 2011, Leuven, Belgium.
5. Βάγιας Ι. (2003). « Σιδηρές κατασκευές – Ανάλυση και διαστασιολόγηση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
6. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005). « Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2^η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
7. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (1999). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
8. Βάγιας Ι., Ηλιόπουλος Α. (2006). «Σύμμικτες γέφυρες», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
9. Γκάνης Ν., Δημάκης Ν., Καραγκιοζόπουλος Γ., Σακελλάρης Μ., Χρυσανθόπουλος Α. (2008). « Το θεωρητικό υπόβαθρο του σχεδιασμού - Εφαρμογή σε συνήθεις φορείς.» Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
10. Ερμόπουλος Ι. (2005). « Ευρωκώδικας 1, 2^η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
11. Ερμόπουλος Ι. (2008). « Σιδηρές και σύμμικτες γέφυρες. Ανάλυση και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1 έως 8, 2^η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
12. Κατσικαδέλης Ι. (2002). « Δυναμική των κατασκευών, Τόμος Ι». Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
13. Κατσικαδέλης Ι. (2002). « Δυναμική των κατασκευών, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
14. Μιχάλτσος Γ. (2005). « Προβλήματα δυναμικής των σιδηρών γεφυρών». Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
15. Μιχάλτσος Γ. (2008). « Ελαφρές μεταλλικές κατασκευές. Μέθοδοι υπολογισμού, 2^η έκδοση», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
16. Μιχάλτσος Γ. (2009). « Ελαφρές μεταλλικές κατασκευές. Θεωρία και εφαρμογές, 3^η έκδοση», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
17. Παπαζάχος Β., Καρακαΐσης Γ., Χατζηδημητρίου Π. (2005). « Εισαγωγή στη σεισμολογία». Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
18. Το φωτογραφικό υλικό είναι αποτέλεσμα διαδικτυακής έρευνας καθώς και υλικό από προσωπικό αρχείο.

Παράρτημα Β

Μετακινήσεις / Στροφές κόμβων στις διάφορες ΟΚΑ

Μετατόπιση των κόμβων

Γραμμικός υπολογισμός, Ακρότατο : Κόμβος
Επιλογή : Όλα
Κατηγορία : Αστοχία

Κόμβος	Περίπτωση	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
N2	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/8	-0,7	-7,2	12,9	-1,1	-0,4	-0,1
N2	ΟΚΑ - Άνεμος/19	2,5	5,5	-9,3	2,0	-0,8	-0,6
N2	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	-0,7	-8,0	14,3	-1,9	-0,3	-0,1
N2	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/11	1,1	7,4	-13,1	3,0	0,0	-0,1
N2	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/14	0,9	6,2	-10,8	3,2	-0,1	-0,2
N2	ΟΚΑ - Άνεμος/12	1,8	-1,6	3,0	0,6	-1,1	-0,7
N2	Σεισμός X/13	0,0	1,8	1,0	0,7	1,0	0,7
N2	Σεισμός X/1	0,0	-0,8	-2,7	0,1	-0,9	-0,7
N4	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/14	-0,5	6,4	-11,4	2,2	-0,3	-0,1
N4	ΟΚΑ - Άνεμος/12	2,4	-3,4	5,7	0,0	-0,9	-0,6
N4	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	1,4	-8,3	14,6	-2,0	0,0	-0,1
N4	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/16	-0,5	7,2	-12,7	2,9	-0,3	0,0
N4	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/17	-0,3	5,9	-10,4	3,1	-0,2	0,0
N4	ΟΚΑ - Άνεμος/19	1,8	3,6	-6,7	1,4	-1,2	-0,7
N4	Σεισμός X/13	0,0	1,8	1,0	0,7	0,9	0,7
N4	Σεισμός X/1	0,0	-0,8	-2,7	0,1	-1,0	-0,7
N5	ΟΚΑ - Άνεμος/19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N5	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N5	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N5	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N5	ΟΚΑ - Άνεμος/19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N5	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N6	Σεισμός X/1	-1,9	-0,8	0,2	-0,4	-1,6	-0,8
N6	ΟΚΑ - Άνεμος/20	3,7	-2,5	0,8	-2,0	0,2	-0,4
N6	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	1,5	-7,6	1,6	-6,4	0,1	0,0
N6	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/16	-0,4	6,6	0,5	6,2	-0,5	0,0
N6	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/21	0,7	5,5	-0,1	5,2	-0,3	-0,2
N6	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/18	0,2	-4,5	2,4	-3,1	-0,2	0,1
N6	Σεισμός X/13	1,9	1,8	0,5	1,4	1,2	0,8
N7	ΟΚΑ - Άνεμος/12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N7	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N7	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N7	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N7	ΟΚΑ - Άνεμος/17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N7	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N8	Σεισμός X/1	-1,9	-0,8	0,2	-0,4	-1,2	-0,8
N8	ΟΚΑ - Άνεμος/23	3,8	4,4	1,2	4,4	0,8	-0,5
N8	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	-0,5	-7,3	1,6	-6,2	0,0	-0,1
N8	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/11	1,5	6,9	0,6	6,4	0,6	-0,1
N8	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/14	0,4	5,8	0,0	5,4	0,5	0,0
N8	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/22	0,8	-4,2	2,5	-2,9	0,3	-0,2
N8	Σεισμός X/13	1,9	1,8	0,5	1,4	1,6	0,8
N13	ΟΚΑ - Άνεμος/12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N13	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N13	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N13	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N13	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N13	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N13	ΟΚΑ - Άνεμος/26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N13	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N14	Σεισμός X/1	-13,6	-1,0	-0,2	-0,7	-3,6	-0,8
N14	ΟΚΑ - Άνεμος/26	22,1	-2,6	0,2	-0,1	5,6	-1,3
N14	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	7,2	-5,8	1,7	1,5	1,7	-0,4
N14	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/16	-0,3	4,2	-2,0	-1,3	0,0	0,0
N14	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/24	6,2	3,8	-2,0	-1,3	1,7	-0,3
N14	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/25	0,6	-5,4	1,7	1,4	0,0	0,0
N14	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/17	0,0	3,3	-1,7	-1,9	0,0	0,1
N14	ΟΚΑ - Άνεμος/27	22,1	-3,6	0,5	1,0	5,6	-1,3
N14	Σεισμός X/13	13,7	1,5	-0,2	-0,3	3,6	0,8
N15	ΟΚΑ - Άνεμος/128	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N15	ΟΚΑ - Άνεμος/19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N15	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N15	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N15	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Φορητική έκδοση *Φορητική έκδοση* *Φορητική έκδοση* *Φορητική έκδοση* *Φορητική έκδοση* *Φορητική έκδοση* *Φορητική έκδοση* *Φορητική έκδοση* *Φορητική έκδοση*

Κόμβος	Περίπτωση	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
Φορτηκή έκδοση *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση*							
N15	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N15	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N15	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N16	Σεισμός X/1	-13,7	-1,0	-0,2	-0,7	-3,6	-0,8
N16	ΟΚΑ - Άνεμος1/28	22,0	3,3	-1,1	-0,4	5,6	-1,3
N16	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	-0,6	-5,5	1,7	1,4	0,0	0,0
N16	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/11	6,8	4,5	-1,9	-1,4	1,7	-0,4
N16	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/29	0,3	4,1	-2,0	-1,3	0,0	0,0
N16	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/30	5,9	-5,1	1,7	1,4	1,6	-0,4
N16	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/4	6,6	3,5	-1,7	-2,0	1,7	-0,4
N16	ΟΚΑ - Άνεμος1/31	21,9	4,2	-1,4	-1,4	5,6	-1,3
N16	Σεισμός X/13	13,6	1,5	-0,2	-0,3	3,6	0,8
N17	ΟΚΑ - Άνεμος1/32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	Σεισμός Y/36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/37	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N17	ΟΚΑ - Άνεμος1/23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N18	Σεισμός X/1	-15,2	-1,8	-0,2	0,4	-4,0	-0,6
N18	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	23,7	-4,0	-1,1	0,5	6,0	0,8
N18	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/3	7,1	-8,2	-1,7	2,7	1,8	0,3
N18	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	-0,6	4,1	1,7	-1,3	0,0	0,0
N18	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/34	0,3	-6,2	-1,9	1,6	0,0	0,0
N18	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/35	6,4	3,8	1,7	-1,2	1,7	0,3
N18	ΟΚΑ - Άνεμος1/23	23,6	-5,9	-1,4	1,6	6,0	0,9
N19	ΟΚΑ - Άνεμος/2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N19	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N19	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N19	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N19	Σεισμός Y/36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N19	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N19	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N19	ΟΚΑ - Άνεμος/20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N20	Σεισμός X/1	-15,2	-1,8	-0,2	0,4	-4,0	-0,6
N20	ΟΚΑ - Άνεμος/2	23,8	0,5	0,2	0,4	6,0	0,8
N20	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/44	-0,1	-8,0	-1,7	2,6	0,0	0,0
N20	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	7,7	4,3	1,7	-1,3	1,8	0,3
N20	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/41	6,7	-6,0	-2,0	1,6	1,8	0,2
N20	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/42	0,6	4,0	1,7	-1,2	0,0	0,0
N20	ΟΚΑ - Άνεμος/20	23,8	2,4	0,5	-0,8	6,0	0,8
N26	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/46	-0,7	5,0	10,2	1,3	-0,3	0,1
N26	ΟΚΑ - Άνεμος1/32	2,9	-6,5	-11,1	-3,4	-1,0	0,3
N26	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/3	1,1	-11,4	-18,9	-6,8	-0,2	0,1
N26	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	-0,7	6,7	13,0	2,7	-0,3	0,1
N26	ΟΚΑ - Άνεμος/47	2,3	-0,3	0,4	-1,3	-1,3	0,4
N26	Σεισμός X/13	0,4	0,3	0,3	-0,2	1,2	0,8
N26	Σεισμός X/1	-0,5	-2,2	-3,4	-1,2	-1,1	-0,8
N28	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/48	-0,5	-8,0	-14,3	-4,1	-0,3	0,1
N28	ΟΚΑ - Άνεμος/47	2,9	1,1	2,4	-0,6	-1,1	0,2
N28	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/44	-0,3	-11,1	-18,6	-6,7	-0,2	0,0
N28	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	1,5	6,9	13,3	2,8	0,0	0,0
N28	ΟΚΑ - Άνεμος1/32	2,3	-5,0	-9,1	-2,7	-1,4	0,3
N28	Σεισμός X/13	0,5	0,3	0,3	-0,2	1,1	0,8
N28	Σεισμός X/1	-0,4	-2,2	-3,4	-1,2	-1,2	-0,8
N29	ΟΚΑ - Άνεμος1/32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N29	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N29	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N29	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N29	ΟΚΑ - Άνεμος/27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N29	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N30	Σεισμός X/1	-1,8	-2,2	0,1	-1,8	-2,0	-1,1
N30	ΟΚΑ - Άνεμος/27	3,9	1,2	0,7	1,4	3,3	0,9
N30	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/44	-0,2	-10,8	0,9	-9,5	-0,1	0,0
N30	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	1,6	6,3	1,5	6,2	1,3	0,2
N30	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/49	0,7	-7,3	-0,3	-7,0	0,7	0,3

Φορτηκή έκδοση *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση* *Φορτηκή έκδοση*

Κόμβος	Περίπτωση	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
Φορτηκή έδρα	*Φορτηκή έδρα*	*Φορτηκή έδρα*	*Φορτηκή έδρα*	*Φορτηκή έδρα*	*Φορτηκή έδρα*	*Φορτηκή έδρα*	*Φορτηκή έδρα*
N30	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/33	0,3	-0,5	2,0	-0,1	0,2	-0,1
N30	ΟΚΑ - Άνεμος/47	3,9	0,9	1,3	0,9	3,3	0,9
N30	Σεισμός X/13	1,8	0,3	0,4	0,1	1,9	1,1
N31	ΟΚΑ - Άνεμος/47	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N31	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N31	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N31	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/1/3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N31	ΟΚΑ - Άνεμος1/31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N31	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N32	Σεισμός X/1	-1,8	-2,2	0,1	-1,8	-1,9	-1,1
N32	ΟΚΑ - Άνεμος1/31	4,0	-6,5	0,9	-6,3	3,3	1,0
N32	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/1/3	1,4	-11,0	0,9	-9,7	1,1	0,3
N32	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	-0,5	6,1	1,6	6,0	-0,3	0,1
N32	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/48	0,4	-7,5	-0,2	-7,2	0,3	-0,1
N32	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/40	0,9	-0,7	2,1	-0,3	0,8	0,4
N32	ΟΚΑ - Άνεμος1/32	4,0	-6,2	0,3	-5,8	3,4	0,9
N32	Σεισμός X/13	1,8	0,3	0,4	0,1	2,0	1,1
N33	ΟΚΑ - Άνεμος/20	0,0	0,0	0,0	0,2	-0,6	-1,4
N33	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/50	0,0	0,0	0,0	-5,8	0,3	0,1
N33	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	0,0	0,0	0,0	4,4	-0,5	-0,5
N33	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/11	0,0	0,0	0,0	-6,9	0,1	-0,4
N33	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	0,0	0,0	0,0	5,5	-0,4	0,0
N33	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	-1,6	-1,0	-0,6
N33	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,7
N33	ΟΚΑ - Άνεμος/12	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,6	-1,5
N34	ΟΚΑ - Άνεμος1/23	0,0	0,0	0,0	-3,8	-0,6	-1,5
N34	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/51	0,0	0,0	0,0	-5,6	-0,4	-0,5
N34	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	0,0	0,0	0,0	4,6	0,4	0,0
N34	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/16	0,0	0,0	0,0	-6,7	-0,3	-0,1
N34	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	0,0	0,0	0,0	5,7	0,2	-0,4
N34	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	-1,6	-1,0	-0,7
N34	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,6
N34	ΟΚΑ - Άνεμος1/9	0,0	0,0	0,0	-3,4	-0,6	-1,5
N35	ΟΚΑ - Άνεμος1/31	0,0	0,0	0,0	6,1	-0,4	1,8
N35	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	0,0	0,0	0,0	-3,4	0,3	-0,1
N35	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/11	0,0	0,0	0,0	8,1	-0,3	0,6
N35	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	0,0	0,0	0,0	-4,5	0,3	0,5
N35	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/1/44	0,0	0,0	0,0	11,4	-0,1	0,1
N35	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	0,5	-1,3	-0,7
N35	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	2,0	1,2	0,7
N35	ΟΚΑ - Άνεμος1/32	0,0	0,0	0,0	4,6	-0,4	1,8
N36	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	0,0	0,0	0,0	-3,3	-0,4	0,6
N36	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/16	0,0	0,0	0,0	8,2	0,2	-0,1
N36	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	0,0	0,0	0,0	-4,4	-0,3	0,1
N36	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/1/3	0,0	0,0	0,0	11,5	0,1	0,5
N36	Σεισμός X/1	0,0	0,0	0,0	0,5	-1,2	-0,7
N36	Σεισμός X/13	0,0	0,0	0,0	2,0	1,3	0,7
N36	ΟΚΑ - Άνεμος/47	0,0	0,0	0,0	2,1	-0,4	1,8
N37	Σεισμός X/1	-18,3	-1,1	-13,6	-3,7	-3,4	-1,7
N37	ΟΚΑ - Άνεμος/26	29,4	-2,5	-21,0	-5,3	5,6	-2,7
N37	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/52	9,1	-5,2	4,1	1,5	1,7	-0,8
N37	Σεισμός Y/53	5,5	3,8	-10,6	-2,9	1,0	0,5
N37	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/1/17	-0,3	2,4	-47,6	-12,2	0,0	0,0
N37	Dynamic1/5	0,0	0,1	7,9	2,8	0,0	0,0
N37	ΟΚΑ - Άνεμος/19	29,4	-2,1	2,7	1,2	5,6	-2,7
N37	Σεισμός X/13	18,3	1,4	-11,5	-3,1	3,4	1,7
N38	Σεισμός X/1	-23,7	-1,2	-23,1	-2,1	-3,2	-1,6
N38	ΟΚΑ - Άνεμος/12	37,7	-2,9	-32,0	-1,4	5,7	-2,3
N38	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοιχιά/54	11,6	-4,7	0,8	1,7	1,7	-0,7
N38	Σεισμός Y/53	7,1	3,7	-18,1	-1,8	1,0	0,5
N38	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/1/17	-0,3	1,5	-77,1	-5,8	0,0	0,0
N38	Dynamic1/5	0,0	0,1	18,1	3,5	0,0	0,0
N38	ΟΚΑ - Άνεμος1/31	37,1	1,2	-44,0	-2,8	5,6	-2,4
N38	Σεισμός X/13	23,7	1,3	-19,4	-1,8	3,2	1,6
N39	Σεισμός X/1	-24,6	-1,6	-23,3	1,8	-3,6	-1,6
N39	ΟΚΑ - Άνεμος/2	38,5	0,2	-32,0	1,4	5,9	2,3
N39	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχιά/1/44	-0,3	-6,2	-77,5	5,9	0,0	0,1
N39	Σεισμός Y/53	7,4	3,2	-18,2	2,1	1,1	0,5

Φορτηκή έδρα *Φορτηκή έδρα* *Φορτηκή έδρα* *Φορτηκή έδρα* *Φορτηκή έδρα* *Φορτηκή έδρα* *Φορτηκή έδρα* *Φορτηκή έδρα* *Φορτηκή έδρα

Κόμβος	Περίπτωση	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
N39	Dynamic1/5	0,0	-0,3	18,8	-3,6	0,0	0,0
N39	ΟΚΑ - Άνεμος1/23	38,0	-3,3	-44,0	2,8	5,9	2,3
N40	Σεισμός X/1	-28,8	-1,5	-27,4	0,4	-3,3	-0,9
N40	ΟΚΑ - Άνεμος/12	44,5	-1,2	-30,2	-2,0	5,9	1,3
N40	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/144	-0,3	-5,3	-85,7	-0,1	0,0	0,1
N40	Σεισμός Y/53	8,6	3,4	-22,1	0,8	1,0	0,3
N40	Dynamic1/5	0,0	-0,2	30,5	-3,6	0,0	0,0
N40	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/30	13,9	0,6	28,5	-3,7	1,8	0,4
N40	ΟΚΑ - Άνεμος/2	44,5	0,0	-30,1	-2,0	5,9	1,2
N40	ΟΚΑ - Άνεμος/55	44,5	0,1	18,0	-3,0	5,9	1,3
N41	Σεισμός X/1	-30,3	-1,4	-27,8	-0,1	-3,1	-0,4
N41	ΟΚΑ - Άνεμος/2	47,0	-0,3	-22,0	-1,9	5,8	0,5
N41	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/144	-0,3	-4,4	-80,9	-1,3	0,0	0,0
N41	Σεισμός Y/53	9,1	3,5	-23,5	0,5	0,9	0,1
N41	Dynamic1/5	0,0	-0,1	40,3	-2,1	0,0	0,0
N41	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	14,7	-0,4	39,0	-2,3	1,8	0,2
N41	ΟΚΑ - Άνεμος1/7	46,4	-1,0	-40,7	-1,3	5,8	0,5
N42	Σεισμός X/1	-19,4	-1,7	-13,7	3,1	-3,8	-1,7
N42	ΟΚΑ - Άνεμος/2	30,4	0,3	-21,0	5,3	5,9	2,6
N42	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/144	-0,3	-7,1	-47,9	12,3	0,0	0,0
N42	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	9,7	3,5	7,7	-2,3	1,8	0,8
N42	Dynamic1/5	0,0	-0,4	8,3	-2,9	0,0	0,0
N42	ΟΚΑ - Άνεμος/55	30,4	0,9	2,9	-1,2	5,9	2,6
N43	Σεισμός X/1	-31,3	-1,3	-27,9	-0,2	-3,0	-0,1
N43	ΟΚΑ - Άνεμος/2	48,1	-0,8	-19,7	0,0	5,8	0,0
N43	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/22	14,8	-4,0	-57,6	-0,1	1,8	0,0
N43	Σεισμός Y/53	9,4	3,5	-24,4	0,5	0,9	0,0
N43	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/144	-0,3	-3,9	-79,5	-0,1	0,0	0,1
N43	Dynamic1/5	0,0	-0,1	43,3	0,1	0,0	0,0
N43	Σεισμός Y/36	-9,4	-3,9	-27,0	-0,5	-0,9	0,0
N43	ΟΚΑ - Άνεμος/12	48,1	-1,9	-19,7	0,0	5,8	0,0
N43	Σεισμός X/13	31,3	1,0	-23,5	0,1	3,0	0,1
N44	Σεισμός X/1	-30,0	-1,3	-27,6	-0,2	-2,8	-0,5
N44	ΟΚΑ - Άνεμος/12	46,7	-2,5	-22,1	1,9	5,8	-0,6
N44	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/22	14,3	-4,5	-59,7	1,9	1,8	-0,2
N44	Σεισμός Y/53	9,0	3,5	-23,3	0,4	0,9	0,2
N44	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/117	-0,3	-0,3	-80,5	1,2	0,0	0,0
N44	Dynamic1/5	0,0	-0,1	39,8	2,2	0,0	0,0
N44	Σεισμός Y/36	-9,0	-3,8	-27,5	-0,5	-0,8	-0,2
N44	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	14,6	-1,1	38,7	2,4	1,8	-0,2
N44	ΟΚΑ - Άνεμος/17	46,1	-0,5	-40,7	1,3	5,7	-0,6
N44	Σεισμός X/13	30,0	1,0	-23,2	0,1	2,8	0,5
N45	Σεισμός X/1	-28,1	-1,2	-27,2	-0,7	-3,0	-1,0
N45	ΟΚΑ - Άνεμος/2	43,9	-1,5	-30,2	2,0	5,7	-1,3
N45	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/22	13,5	-4,6	-67,6	1,3	1,7	-0,4
N45	Σεισμός Y/53	8,4	3,6	-21,9	-0,3	0,9	0,3
N45	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/117	-0,3	0,6	-85,2	0,1	0,0	0,0
N45	Dynamic1/5	0,0	0,0	29,8	3,6	0,0	0,0
N45	Σεισμός Y/36	-8,4	-3,7	-28,1	-0,8	-0,9	-0,3
N45	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/45	13,7	-1,9	28,0	3,7	1,8	-0,4
N45	ΟΚΑ - Άνεμος/12	43,9	-2,7	-30,1	2,0	5,7	-1,3
N45	ΟΚΑ - Άνεμος/19	43,9	-1,3	17,6	3,1	5,7	-1,3
N45	Σεισμός X/13	28,1	1,1	-22,8	-0,4	3,0	1,0
N46	Σεισμός X/1	-18,3	-1,1	-13,6	-3,7	-3,4	-1,7
N46	ΟΚΑ - Άνεμος/128	29,4	2,6	-5,4	-0,8	5,6	-2,7
N46	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/56	-0,4	-4,9	3,9	1,4	0,0	0,0
N46	Σεισμός Y/53	5,5	3,8	-10,6	-2,9	1,0	0,5
N46	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/14	9,0	2,6	-47,8	-12,3	1,7	-0,8
N46	Dynamic1/5	0,0	0,1	7,9	2,8	0,0	0,0
N46	ΟΚΑ - Άνεμος/157	29,4	2,2	-29,1	-7,3	5,6	-2,7
N46	Σεισμός X/13	18,3	1,4	-11,5	-3,1	3,4	1,7
N47	Σεισμός X/1	-23,7	-1,2	-23,1	-2,1	-3,2	-1,6
N47	ΟΚΑ - Άνεμος/19	37,7	2,5	-5,7	0,7	5,7	-2,3
N47	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/58	-0,4	-4,5	0,5	1,6	0,0	0,0
N47	Σεισμός Y/53	7,1	3,7	-18,1	-1,8	1,0	0,5
N47	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/14	11,5	1,7	-77,4	-5,9	1,7	-0,7
N47	Dynamic1/5	0,0	0,1	18,1	3,5	0,0	0,0
N47	ΟΚΑ - Άνεμος/27	37,1	-1,5	6,3	2,1	5,6	-2,4

Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα* *Φοιτητική έδρα* *Φοιτητική έδρα* *Φοιτητική έδρα* *Φοιτητική έδρα* *Φοιτητική έδρα* *Φοιτητική έδρα* *Φοιτητική έδρα

Κόμβος	Περίπτωση	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
*Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα							
N47	Σεισμός X/13	23,7	1,3	-19,4	-1,8	3,2	1,6
N48	Σεισμός X/1	-28,1	-1,2	-27,2	-0,7	-3,0	-1,0
N48	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	43,9	0,7	-1,3	1,8	5,7	-1,4
N48	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίαι/18	-0,4	-4,4	-68,1	1,3	0,0	0,0
N48	Σεισμός Y/53	8,4	3,6	-21,9	-0,3	0,9	0,3
N48	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/14	13,4	0,7	-85,7	0,0	1,7	-0,4
N48	Dynamic1/5	0,0	0,0	29,8	3,6	0,0	0,0
N48	Σεισμός Y/36	-8,4	-3,7	-28,1	-0,8	-0,9	-0,3
N48	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	-0,6	-1,8	27,5	3,7	0,0	0,0
N48	ΟΚΑ - Άνεμος1/9	43,9	1,8	-1,4	1,8	5,7	-1,3
N48	ΟΚΑ - Άνεμος1/57	43,9	0,4	-49,1	0,7	5,7	-1,4
N48	Σεισμός X/13	28,1	1,1	-22,8	-0,4	3,0	1,0
N49	Σεισμός X/1	-30,0	-1,3	-27,6	-0,2	-2,8	-0,5
N49	ΟΚΑ - Άνεμος1/9	46,7	1,1	4,4	1,3	5,7	-0,6
N49	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίαι/18	-0,4	-4,4	-60,2	1,9	0,0	0,0
N49	Σεισμός Y/53	9,0	3,5	-23,3	0,4	0,8	0,2
N49	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/14	14,2	-0,2	-81,1	1,2	1,7	-0,2
N49	Dynamic1/5	0,0	-0,1	39,8	2,2	0,0	0,0
N49	Σεισμός Y/36	-9,0	-3,8	-27,5	-0,5	-0,9	-0,2
N49	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	-0,7	-1,0	38,2	2,4	0,0	0,0
N49	ΟΚΑ - Άνεμος/55	46,1	-0,9	23,0	1,9	5,7	-0,6
N49	Σεισμός X/13	30,0	1,0	-23,2	0,1	2,8	0,5
N50	Σεισμός X/1	-31,3	-1,3	-27,9	-0,2	-3,0	-0,1
N50	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	48,2	-0,7	6,4	0,0	5,8	-0,1
N50	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίαι/18	-0,4	-3,9	-58,2	-0,1	0,0	-0,1
N50	Σεισμός Y/53	9,4	3,5	-24,4	0,5	0,9	0,0
N50	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/13	14,6	-3,9	-80,1	-0,1	1,7	-0,1
N50	Dynamic1/5	0,0	-0,1	43,3	0,1	0,0	0,0
N50	Σεισμός Y/36	-9,4	-3,9	-27,0	-0,5	-0,9	0,0
N50	ΟΚΑ - Άνεμος1/9	48,2	0,5	6,4	0,1	5,8	0,0
N50	Σεισμός X/13	31,3	1,0	-23,5	0,1	3,0	0,1
N51	Σεισμός X/1	-30,4	-1,4	-27,8	-0,1	-3,1	-0,4
N51	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	47,0	-1,3	4,7	-1,3	5,8	0,6
N51	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/13	14,3	-4,4	-81,4	-1,3	1,7	0,2
N51	Σεισμός Y/53	9,1	3,5	-23,5	0,5	0,9	0,1
N51	Dynamic1/5	0,0	-0,1	40,3	-2,1	0,0	0,0
N51	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	-0,7	-0,4	38,5	-2,3	0,0	0,0
N51	ΟΚΑ - Άνεμος/55	46,4	-0,5	23,4	-1,8	5,8	0,6
N52	Σεισμός X/1	-28,8	-1,5	-27,4	0,4	-3,3	-0,9
N52	ΟΚΑ - Άνεμος1/9	44,6	-0,9	-0,9	-1,8	5,9	1,2
N52	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/13	13,6	-5,4	-86,2	0,0	1,8	0,3
N52	Σεισμός Y/53	8,6	3,4	-22,1	0,8	1,0	0,3
N52	Dynamic1/5	0,0	-0,2	30,5	-3,6	0,0	0,0
N52	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/25	-0,6	0,5	28,0	-3,7	0,0	0,0
N52	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	44,6	-2,0	-0,9	-1,8	5,9	1,2
N52	ΟΚΑ - Άνεμος1/7	44,6	-2,2	-49,1	-0,7	5,8	1,2
N53	Σεισμός X/1	-24,6	-1,6	-23,3	1,8	-3,6	-1,6
N53	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	38,5	-2,7	-5,3	-0,7	5,9	2,3
N53	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/13	11,7	-6,3	-77,8	5,9	1,8	0,6
N53	Σεισμός Y/53	7,4	3,2	-18,2	2,1	1,1	0,5
N53	Dynamic1/5	0,0	-0,3	18,8	-3,6	0,0	0,0
N53	ΟΚΑ - Άνεμος/20	38,0	0,8	6,8	-2,1	5,9	2,3
N54	Σεισμός X/1	-19,4	-1,7	-13,7	3,1	-3,8	-1,6
N54	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	30,4	-3,4	-5,2	0,7	5,9	2,6
N54	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/13	9,3	-7,3	-48,0	12,4	1,8	0,8
N54	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	-0,6	3,3	7,5	-2,2	0,0	0,0
N54	Dynamic1/5	0,0	-0,4	8,3	-2,9	0,0	0,0
N54	ΟΚΑ - Άνεμος1/7	30,4	-3,9	-29,1	7,3	5,9	2,6
N91	Σεισμός X/1	-14,2	1,1	-7,1	1,3	-2,7	-1,1
N91	ΟΚΑ - Άνεμος/12	22,3	3,5	-19,7	4,3	3,4	0,2
N91	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	7,3	-3,5	-7,0	1,8	1,0	0,1
N91	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/1/17	-0,3	14,9	-33,3	6,9	-0,1	-0,1
N91	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίαι/1/59	6,3	14,5	-33,3	6,9	0,9	0,0
N91	Σεισμός Y/53	4,3	6,6	-5,2	1,7	0,7	0,3
N91	Σεισμός Y/36	-4,3	-1,5	-8,1	1,1	-0,8	-0,4
N91	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίαι/60	7,0	8,9	-31,6	6,9	1,0	0,1
N91	ΟΚΑ - Άνεμος/26	22,3	4,1	-19,7	4,3	3,4	0,2
N91	Σεισμός X/13	14,2	3,9	-6,2	1,5	2,5	1,1

*Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα** *Φοιτητική έδρα

Κόμβος	Περίπτωση	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
*Φοιτητική έδρα	*Φοιτητική έδρα	*Φοιτητική έδρα	*Φοιτητική έδρα	*Φοιτητική έδρα	*Φοιτητική έδρα	*Φοιτητική έδρα	*Φοιτητική έδρα
N92	Σεισμός X/1	-10,6	1,2	-6,9	-1,6	-2,5	-1,8
N92	ΟΚΑ - Άνεμος/20	16,2	0,7	-8,2	-2,0	2,7	-2,8
N92	ΟΚΑ - Θερμοκρασία/15	5,4	-4,1	-7,0	-1,9	0,9	-0,9
N92	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/17	-0,3	15,6	-32,3	-7,4	-0,2	-0,1
N92	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/59	4,5	15,3	-32,4	-7,4	0,6	-0,9
N92	Σεισμός Y/53	3,2	6,7	-5,0	-1,2	0,6	0,5
N92	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/61	-0,3	15,4	-32,2	-7,4	-0,2	-0,1
N92	ΟΚΑ - Άνεμος/62	16,2	2,5	-16,9	-4,0	2,7	-2,8
N92	ΟΚΑ - Άνεμος/1/6	15,7	6,3	-11,6	-2,6	2,5	-2,8
N92	Σεισμός X/13	10,6	4,0	-6,0	-1,4	2,3	1,7
N93	Σεισμός X/1	-14,2	1,1	-7,1	1,3	-2,5	-1,1
N93	ΟΚΑ - Άνεμος/1/9	22,3	7,2	-9,5	1,8	3,5	0,3
N93	ΟΚΑ - Θερμοκρασία/10	-0,6	-3,3	-7,0	1,8	0,0	0,0
N93	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/4	6,9	15,1	-33,2	6,9	1,1	0,2
N93	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/63	0,3	14,8	-33,3	6,9	0,1	0,1
N93	Σεισμός Y/53	4,3	6,6	-5,2	1,7	0,8	0,4
N93	Σεισμός Y/36	-4,3	-1,5	-8,1	1,1	-0,7	-0,3
N93	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/64	-0,4	9,2	-31,6	6,9	0,0	0,0
N93	ΟΚΑ - Άνεμος/1/28	22,3	6,7	-9,5	1,8	3,5	0,3
N93	Σεισμός X/13	14,2	3,9	-6,2	1,5	2,7	1,1
N94	Σεισμός X/1	-10,6	1,2	-6,9	-1,6	-2,3	-1,7
N94	ΟΚΑ - Άνεμος/1/23	16,3	10,5	-20,0	-4,7	3,0	-2,7
N94	ΟΚΑ - Θερμοκρασία/10	-0,6	-3,8	-7,0	-1,9	0,0	0,0
N94	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/4	5,1	15,9	-32,2	-7,4	1,1	-0,8
N94	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/63	0,3	15,5	-32,3	-7,4	0,2	0,1
N94	Σεισμός Y/53	3,2	6,7	-5,0	-1,2	0,8	0,6
N94	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/65	5,1	15,7	-32,2	-7,4	1,1	-0,8
N94	ΟΚΑ - Άνεμος/1/66	16,3	8,7	-11,3	-2,7	3,0	-2,7
N94	ΟΚΑ - Άνεμος/67	15,7	4,9	-16,6	-4,0	2,9	-2,7
N94	Σεισμός X/13	10,6	4,0	-6,0	-1,4	2,5	1,8
N95	Σεισμός X/1	-11,2	-6,5	-12,6	-2,5	-3,0	-0,7
N95	ΟΚΑ - Άνεμος/2	17,9	-11,3	-31,4	-6,2	4,7	-0,1
N95	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/44	-0,3	-28,1	-52,9	-10,2	0,0	0,1
N95	Σεισμός Y/53	3,4	1,8	-3,0	-0,5	0,9	0,2
N95	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/68	5,0	-27,7	-53,0	-10,2	1,4	0,0
N95	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/69	5,7	-22,0	-51,3	-10,2	1,5	0,0
N95	ΟΚΑ - Άνεμος/47	17,9	-10,8	-31,4	-6,2	4,7	-0,1
N95	Σεισμός X/13	11,2	-2,5	-8,0	-1,5	3,0	0,7
N96	Σεισμός X/1	-7,4	-6,7	-12,5	1,6	-2,5	-0,8
N96	ΟΚΑ - Άνεμος/27	11,8	-4,3	-13,8	2,9	4,2	1,0
N96	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/44	-0,3	-29,0	-52,1	10,5	-0,1	0,0
N96	Σεισμός Y/53	2,2	1,7	-2,8	3,5	0,7	0,2
N96	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/68	3,2	-28,6	-52,2	10,4	1,2	0,3
N96	Σεισμός Y/36	-2,2	-10,9	-17,5	0,6	-0,8	-0,2
N96	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/70	0,0	-26,2	-51,5	10,5	0,0	0,0
N96	ΟΚΑ - Άνεμος/47	11,8	-10,8	-31,1	6,4	4,3	1,0
N96	ΟΚΑ - Άνεμος/1/32	11,3	-9,6	-14,9	2,9	4,1	1,1
N97	Σεισμός X/1	-11,2	-6,5	-12,6	-2,5	-3,0	-0,7
N97	ΟΚΑ - Άνεμος/1/38	17,9	-9,9	-15,1	-2,8	4,7	-0,2
N97	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/3	5,6	-28,3	-52,9	-10,2	1,4	-0,1
N97	Σεισμός Y/53	3,4	1,8	-3,0	-0,5	0,9	0,2
N97	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/71	0,3	-27,9	-53,0	-10,2	0,0	-0,1
N97	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/72	-0,4	-22,2	-51,3	-10,2	-0,1	0,0
N97	ΟΚΑ - Άνεμος/1/32	17,9	-10,4	-15,1	-2,8	4,7	-0,2
N97	Σεισμός X/13	11,2	-2,5	-8,0	-1,5	3,0	0,7
N98	Σεισμός X/1	-7,4	-6,7	-12,5	1,6	-2,5	-0,8
N98	ΟΚΑ - Άνεμος/1/31	11,9	-17,5	-31,9	6,5	4,3	1,0
N98	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/3	3,8	-29,3	-52,1	10,5	1,3	0,3
N98	Σεισμός Y/53	2,2	1,7	-2,8	3,5	0,8	0,2
N98	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/71	0,3	-28,8	-52,2	10,5	0,1	0,0
N98	Σεισμός Y/36	-2,2	-10,9	-17,5	0,6	-0,7	-0,2
N98	ΟΚΑ-Ανθρωποσυστοισίσιμος/73	3,5	-26,4	-51,4	10,5	1,2	0,3
N98	ΟΚΑ - Άνεμος/1/32	11,9	-11,0	-14,6	2,9	4,3	1,0
N98	ΟΚΑ - Άνεμος/47	11,3	-12,2	-30,8	6,5	4,1	1,1
N100	Σεισμός X/1	-41,3	-8,6	-0,4	1,2	-4,5	-0,6
N100	ΟΚΑ - Άνεμος/2	60,5	-5,7	0,4	1,3	6,1	0,8
N100	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοισίσιμος/1/44	0,0	-28,8	-3,3	3,9	0,0	0,0
N100	ΟΚΑ - Θερμοκρασία/45	18,2	13,7	3,4	-1,7	1,7	0,3

*Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα *Φοιτητική έδρα

Κόμβος	Περίπτωση	Ux [mm]	Uy [mm]	Uz [mm]	Fix [mrad]	Fiy [mrad]	Fiz [mrad]
N100	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/41	18,1	-16,1	-3,9	1,7	1,9	0,2
N100	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/42	0,1	13,2	3,4	-1,7	-0,2	0,0
N100	Dynamic1/5	0,0	9,7	-0,4	-2,2	0,0	0,0
N100	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχισμός1/17	0,0	-25,6	-3,3	4,0	0,0	0,0
N100	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	60,4	-0,6	-2,3	-0,6	6,3	0,8
N100	ΟΚΑ - Άνεμος/20	60,5	8,8	1,0	-1,2	6,1	0,8
N101	Σεισμός X/1	-41,3	-8,6	-0,4	1,2	-4,5	-0,6
N101	ΟΚΑ - Άνεμος1/38	60,4	-2,6	-2,2	-0,6	6,2	0,8
N101	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχισμός1/3	18,1	-29,1	-3,3	3,9	1,8	0,3
N101	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/39	-0,1	13,4	3,4	-1,7	0,2	0,0
N101	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/34	0,0	-16,4	-3,9	1,7	-0,1	0,0
N101	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/35	18,1	12,9	3,4	-1,7	2,0	0,3
N101	Dynamic1/5	0,0	9,7	-0,4	-2,2	0,0	0,0
N101	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχισμός1/4	18,1	-25,8	-3,3	4,0	1,9	0,3
N101	ΟΚΑ - Άνεμος/2	60,4	-7,6	0,5	1,4	6,3	0,8
N101	ΟΚΑ - Άνεμος1/23	60,4	-17,1	-2,8	2,0	6,2	0,9
N103	Σεισμός X/1	-37,1	5,2	-0,4	-1,5	-4,1	-0,8
N103	ΟΚΑ - Άνεμος/26	56,5	3,5	0,4	-1,5	5,7	-1,3
N103	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	17,0	-14,8	3,3	1,5	1,6	-0,4
N103	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχισμός1/17	0,0	23,6	-3,4	-4,1	0,0	0,1
N103	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/11	16,9	14,0	-3,9	-1,9	1,8	-0,3
N103	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	0,1	-14,5	3,4	1,5	-0,2	0,0
N103	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχισμός1/44	0,0	20,5	-3,3	-4,3	0,0	0,0
N103	Dynamic1/5	0,0	-9,4	-0,4	2,1	0,0	0,0
N103	ΟΚΑ - Άνεμος1/28	56,5	-0,3	-2,3	0,5	5,9	-1,3
N103	ΟΚΑ - Άνεμος/27	56,5	-9,7	1,0	1,1	5,8	-1,3
N103	Σεισμός X/13	37,1	8,1	-0,3	-1,2	4,0	0,8
N104	Σεισμός X/1	-37,1	5,2	-0,4	-1,5	-4,0	-0,8
N104	ΟΚΑ - Άνεμος1/28	56,5	2,1	-2,2	0,5	5,8	-1,3
N104	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/10	-0,1	-14,5	3,4	1,5	0,2	0,0
N104	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχισμός1/4	16,9	24,0	-3,3	-4,1	1,7	-0,4
N104	ΟΚΑ -Θερμοκρασία1/16	0,0	14,4	-3,9	-1,9	-0,1	0,0
N104	ΟΚΑ -Θερμοκρασία/15	16,9	-14,1	3,4	1,5	1,9	-0,4
N104	ΟΚΑ - Ανθρωποσυστοιχισμός1/3	16,9	20,8	-3,3	-4,3	1,7	-0,4
N104	Dynamic1/5	0,0	-9,4	-0,4	2,1	0,0	0,0
N104	ΟΚΑ - Άνεμος/26	56,4	5,9	0,4	-1,5	5,9	-1,3
N104	ΟΚΑ - Άνεμος1/31	56,5	15,3	-2,8	-2,1	5,8	-1,3
N104	Σεισμός X/13	37,1	8,1	-0,3	-1,2	4,1	0,8

