



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΑ ΕΡΓΑ»

Γεώργιος Κρικέλης (ΑΜ:18)

Retrofit-115

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«Dynamic pedestrian
loading on a composite
footbridge»

Δυναμική Φόρτιση Πεζών σε Σύμμικτη Πεζογέφυρα



Επιβλέπων καθηγητής:
Δρ. Γεώργιος Μαγείρου

Αθήνα, Δεκέμβριος 21

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής
τριμελή επιτροπή:

(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)
 (Υπογραφή)	 (Υπογραφή)	 (Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Γεώργιος Κρικέλης,
Δεκέμβριος 2021**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Σελ. | 4

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γεώργιος Κρικέλης του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου (ΑΜ:18) retrofit-115 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΑ ΕΡΓΑ»

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς, είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι τον Δεκέμβριο 2023 και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.

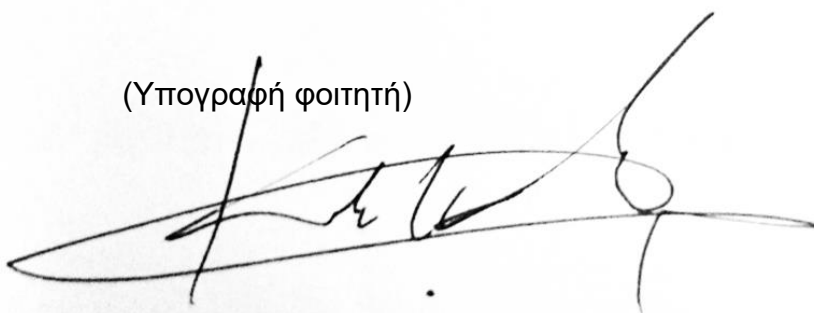
Ο Δηλών

Σελ. | 5

Γεώργιος Κρικέλης,

(Όνοματεπώνυμο φοιτητή)

(Υπογραφή φοιτητή)



Ευχαριστίες

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς, τον διευθυντή του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Δρ. Δημάκο Κων/νο καθώς και όλους ανεξαιρέτως τους καθηγητές αυτού, για την προσπάθεια που κατέβαλλαν τα δύο τελευταία χρόνια μεταδίδοντας μου τις γνώσεις τους. Η συμβολή τους υπήρξε πολύτιμη στην διαμόρφωση των αντιλήψεων μου επί του γνωστικού αντικείμενου του Δομοστατικού Μηχανικού. Προπομπός όμως, και ταυτόχρονα σταθμός στην ακαδημαϊκή μου μόρφωση στα αντικείμενα του Πολιτικού Μηχανικού, ήταν η Σχολή Τεχνικής Εκπαίδευσης Αξιωματικών Μηχανικού όπου επίσης γνώρισα εξαιρετικούς καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων και λοιπών ιδρυμάτων.

Σελ. | 6

Εξίσου καθοριστική όμως και πάντα άμεση, υπήρξε η βοήθεια του κου Στυλιανίδη Αλέξανδρου, Πολ. Μηχανικού εκ μέρους της εταιρείας «Στάθης Κοκκίνης Τεχνολογία 2020 Α.Ε.».

Καίριας και ουσιώδους σημασίας για την εκπόνηση αυτής της εργασίας υπήρξε η καθοδήγηση που έλαβα από τον επιβλέπων καθηγητή μου, Δρ. Μαγείρου Γεώργιο, ο οποίος εργαζόμενος με ζήλο και μεθοδικότητα διαθέτοντας ώρες από τον πολύτιμο χρόνο του και μη φειδόμενος κόπου με κατεύθυνε, με την ηρεμία που τον διακρίνει, στο σωστό μονοπάτι δίνοντας μου λύσεις όποτε βρέθηκα σε αδιέξοδο.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα ξεχωριστό και μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τη σύζυγο μου Χριστίνα και τη μικρή μας κόρη τη Ζωή.

Χριστίνα και Ζωή η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη σε εσάς!!!

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη συμπεριφορά της πεζογέφυρας «ΚΑΛΑΜΑΚΙΟΥ» που βρίσκεται επί της λεωφόρου Ποσειδώνος, στον Άλιμο.

Σελ. | 7

Συγκεκριμένα αφορά κυρίως στη μελέτη της συμπεριφοράς της στη δυναμική φόρτιση η οποία δύναται να προκληθεί από ομάδα πεζών συγκεκριμένης πυκνότητας. Επιπροσθέτως, στο παρών κείμενο πραγματοποιείται, σε επίπεδο προμελέτης, η ανάλυση και μοντελοποίηση της εν λόγω γέφυρας ενώ ταυτόχρονα μία περιορισμένης έκτασης μελέτη κατεδάφισης τμήματος της ή/και ολόκληρης της γέφυρας αναλόγως των απαιτήσεων.

Λέξεις Κλειδιά: Πεζογέφυρα, Δυναμική Φόρτιση Πεζών, έκρηξη, κατεδάφιση.

ABSTRACT

The present postgraduate thesis focuses on the behavior of the KALAMAKIOU pedestrian bridge, located on Poseidonos Avenue, in Alimos.

Specifically, it mainly studies its behavior under dynamic loading, caused by a group of pedestrians of a certain density. In addition, in the present text, a preliminary analysis and modeling is carried out, while at the same time a limited study of its partly/fully demolition depending on the circumstances is being carried out.

Keywords: Footbridge, Dynamic pedestrian Loading, explosion, demolition

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή	13
1.1 Αντικείμενο Εργασίας.....	13
1.2 Δομή	14
2. Γεφυροποιία και Σιδηρές Γέφυρες	15
2.1 Ιστορικά Στοιχεία.....	15
2.2 Σιδηρές Γέφυρες και Κατηγοριοποίηση.....	17
3. Κατασκευή και Δυναμική των πεζογεφυρών.....	19
3.1 Γενικά.....	19
3.2 Μονοβάθμιος Ταλαντωτής	19
3.3 Προσομοίωση του Φορτίου των πεζών.....	21
3.4 Βαδίσμα	22
3.4.1 Κατακόρυφη συνιστώσα βαδίσματος	22
3.4.2 Οριζόντια Συνιστώσα Βαδίσματος.....	24
3.5 Τρέξιμο	26
3.5.1 Κατακόρυφη Συνιστώσα	27
3.5.2 Οριζόντια Συνιστώσα.....	28
3.6 Οριακές Καταστάσεις (Αστοχία – Λειτουργικότητα)	28
4. Πεζογέφυρα Αλίμου, Δυναμική Ανάλυση, Επίλυση και Μοντελοποίηση..	32
4.1 Γενικά.....	32
4.2 Μεθοδολογία Ανάλυσης Πεζογεφυρών από τα Δυναμικά Φορτία των Πεζών	33
4.3 Σύνομη Περιγραφή της Πεζογέφυρας Αλίμου.....	41
4.4 Επίλυση (Δυναμικά Φορτία Πεζών)	43
4.5 Μοντελοποίηση – Στατική και Δυναμική Ανάλυση	48
4.5.1 Υπολογισμοί Αδρανειακών μεγεθών	48
4.5.2 Προσομοίωση.....	49
4.5.3 Φορτίσεις – Εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη	54
5. Μελέτη επιλογής εφεδράνων	64
6. Μελέτη κατεδάφισης με εκρηκτικές Ύλες.....	70
6.1 Γενικά.....	70
6.2 Βασικοί Ορισμοί	70
6.3 Απαιτούμενα Υλικά και εξοπλισμός	72
6.4 Μελέτη Κατεδάφισης.....	73

6.4.1 Κατεδάφιση Ακροβάθρων	73
6.4.2 Κατεδάφιση Καταστρώματος, τόξου και λοιπών στοιχείων της γέφυρας.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Α» . Κώδικας Strudl	78
Βιβλιογραφία.....	92



Πίνακες - Εικόνες

Πίνακας 1 Τιμές συντελεστών ασφαλείας για ΟΚΑ	30
Πίνακας 2 Συντελεστές «ψ» για ΟΚΛ.....	31
Πίνακας 3 Δραστηριότητες Πεζών και Εύρος Κινήσεων	32
Πίνακας 4 Αλληλουχία ενεργειών προσέγγισης του προβλήματος.....	33
Πίνακας 5 Εύρη επιταχύνσεων για κατακόρυφες και οριζόντιες δονήσεις (SETRA)..	35
Πίνακας 6 Εύρη συχνοτήτων για κατακόρυφες / διαμήκεις και για εγκάρσιες οριζόντιες δονήσεις (SETRA)	36
Πίνακας 7 Έλεγχος επιταχύνσεων ως προς το πλήθος και τον τρόπο φόρτισης (SETRA).....	37
Πίνακας 8 Πυκνότητα d πεζών ανά κατηγορία	38
Πίνακας 9 Φορτία ανά μονάδα επιφάνειας και ανά κατεύθυνση για LOAD CASE 1 (SETRA).....	39
Πίνακας 10 Φορτία ανά μονάδα επιφάνειας και ανά κατεύθυνση για LOAD CASE 1 (SETRA).....	39
Πίνακας 11 Κρίσιμη απόσβεση αναλόγως του υλικού της κατασκευής (SETRA).....	40
Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων εφεδράνων	43
Πίνακας 13 Υπολογισμός αδρανειακών μεγεθών	48
Πίνακας 14 Υπολογισμός Φάσματος (0.0 έως 1.8 sec).....	52
Πίνακας 15 Υπολογισμός Φάσματος (1.81 έως 3.7 sec).....	53
Πίνακας 16 Συνδυασμοί Φορτίσεων	55
Πίνακας 17 Ίδιο βάρος επιμέρους τμημάτων πεζογέφυρας.....	64
Πίνακας 18 Υπολογισμός Δυσκαμψίας	66
Πίνακας 19 Απαιτούμενες ποσότητες ΕΥ για την κατεδάφιση της γέφυρας.....	77
Εικόνα 1 Πεζογέφυρα Αλίμου , "ΣΤΑΘΗΣ ΚΟΚΚΙΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ 2020 ΑΕ"	13
Εικόνα 2 Γέφυρα Firth of Forth (commons wikimedia).....	16
Εικόνα 3 Γέφυρα Severn (English heritage uk).....	17
Εικόνα 4 Ο μονοβάθμιος ταλαντωτής.....	20
Εικόνα 5 Μεταβολές της δύναμης στη μονάδα του χρόνου για διαφορετικούς τύπους βαδίσματος (SETRA)	21
Εικόνα 6 Κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης πεζού για μία μέση συχνότητα 2 Hz (SETRA).....	23
Εικόνα 7 Κατακόρυφη συνιστώσα σε βάδισμα συχνότητας 2Hz (SETRA).....	24
Εικόνα 8 Εγκάρσια συνιστώσα οριζόντιας δύναμης πεζού κατά το βάδισμα (SETRA)	25
Εικόνα 9 Διαμήκης συνιστώσα οριζόντιας δύναμης πεζού κατά το βάδισμα (SETRA)	26
Εικόνα 10 Μεταβολή της δύναμης με το χρόνο (τρέξιμο).....	26
Εικόνα 11 Μεταβολή του χρόνου επαφής με τη συχνότητα (SETRA).....	27
Εικόνα 12 Σχέση συντελεστή επαφής και σχετικής περιόδου.....	28

Εικόνα 13 Μειωτικός συντελεστής "ψ" για κατακόρυφες και διαμήκεις περιπτώσεις (αριστερά) καθώς και για πλευρικές δονήσεις (δεξιά)	38
Εικόνα 14 Μειωτικός Συντελεστής "Ψ" για κατακόρυφες (αριστερά) και πλευρικές (δεξιά) δονήσεις.....	40
Εικόνα 15 Αεροφωτογραφία Πεζογέφυρας Αλίμου	42
Εικόνα 16 Τυπική διατομή της γέφυρας	48
Εικόνα 17 Διατομή τόξου πεζογέφυρας	49
Εικόνα 18 Προσομοίωμα της Γέφυρας στο Software GT Strudl.....	50
Εικόνα 19 Θεώρηση φορτίου πεζών για γέφυρες αμιγώς πεζών (κίτρινη καμπύλη) και για πεζόδρομους που αποτελούν τμήμα γεφυρών οχημάτων ή/και τρένων (κόκκινη καμπύλη).....	51
Εικόνα 20 Επιμέρους συντελεστές και για την κατασκευή του Ελαστικού Φάσματος (ΕΚ:8).....	51
Εικόνα 21 Ελαστικό Φάσμα Απόκρισης	54
Εικόνα 22 Τρίτη ιδιομορφή της πεζογέφυρας.....	55
Εικόνα 23 Loading Combination 1 (a)	55
Εικόνα 24 Loading Combination 1 (b)	56
Εικόνα 25 Loading Combination 1 (c).....	56
Εικόνα 26 Loading Combination 2	57
Εικόνα 27 Loading Combination 3	57
Εικόνα 28 Loading Combination 4	58
Εικόνα 29 Loading Combination 5.....	58
Εικόνα 30 Loading Combination 6	59
Εικόνα 31 Loading Combination 7	59
Εικόνα 32 Loading Combination 8 (a).....	60
Εικόνα 33 Loading Combination 8 (b)	60
Εικόνα 34 Loading Combination 9	61
Εικόνα 35 Loading Combination 10	61
Εικόνα 36 Loading Combination 11	62
Εικόνα 37 Loading Combination 12	62
Εικόνα 38 Loading Combination 13	63
Εικόνα 39 Loading Combination 14	63
Εικόνα 40 Αξονομετρικό πεζογέφυρας.....	64
Εικόνα 41 Διάγραμμα Δυνάμεων – Μετακινήσεων ελαστομεταλλικού εφεδράνου.....	68
Εικόνα 42 Τα αποτελέσματα της έκρηξης : Ωστικό κύμα - θερμότητα - Θραύσματα .	70
Εικόνα 43 Διάτρημα με ακαριαία θρυαλλίδα και εκρηκτική γόμωση	71
Εικόνα 44 Κάτοψη - Τοποθέτηση ΕΥ σε κάθε στύλο ακροβάθρου (εξωτερικά με χρήση βυσμάτων)	74
Εικόνα 45 Κάτοψη - Τοποθέτηση ΕΥ σε στύλο βάθρου - Διάτρημα	75
Εικόνα 46 Θέσεις τοποθέτησης ΕΥ για κατεδάφιση	75
Εικόνα 47 Πλαστική Εκρηκτική Ύλη Αμερικάνικου Τύπου.....	76
Εικόνα 48 Τρινιτροτουλόλη (TNT).....	77



1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο Εργασίας

Η παρούσα εργασία, σκοπεύει στην μελέτη της συμπεριφοράς υφιστάμενης πεζογέφυρας λόγω δυναμικής φόρτισης της από ομάδα πεζών. Η γέφυρα μελετάται, αφενός μεν για την περίπτωση τοπικής χρήσης όπου δύναται να φορτισθεί περιστασιακά από μεγάλες ομάδες ατόμων με ή χωρίς σημαντικά φορτία στην περιοχή των εφεδράνων, αφετέρου δε για την περίπτωση υψηλής κυκλοφορίας και κινητικότητας πεζών επ' αυτής, χρησιμοποιούμενη συχνά από πυκνά πλήθη.

Σελ. | 13

Επιπρόσθετα, στην εν λόγω εργασία, λόγω της ιδιότητας μου ως αξιωματικός του Όπλου του Μηχανικού και της εν γένει ενασχόλησής μου με τις εκρηκτικές ύλες (ΕΥ) αλλά και τις καταστροφές, μελετάται ο τρόπος συνδεσμολογίας και τοποθέτησης ΕΥ για την κατεδάφιση αυτής. Σημειώνεται δε, ότι η εν λόγω μελέτη πραγματοποιήθηκε σε όση έκταση κρίθηκε απαραίτητο ώστε το περιεχόμενο της εργασίας να μη θεωρηθεί διαβαθμισμένο.



Εικόνα 1 Πεζογέφυρα Αλίμου , "ΣΤΑΘΗΣ ΚΟΚΚΙΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ 2020 ΑΕ"

Με αυτό τον τρόπο, συνδέεται ο τομέας της μελέτης και κατασκευής ενός δομήματος με αυτό της κατεδάφισης του, μία επιλογή υπαρκτή με το πέρασ του χρόνου ζωής (≈ 100 έτη για μία γέφυρα). Συνεπώς, λόγω και του ανακυκλώσιμου του υλικού της υπόψη γέφυρας (χάλυβας) μία κατεδάφιση θα εύρισκε εφαρμογή είτε στην προαναφερθείσα περίπτωση είτε στην περίπτωση όπου μετά από διαπλάτυνση του δρόμου, απαιτηθεί η καθέλκυση αυτής, κατεδάφιση τμήματος της και κατασκευή νέας στην ίδια θέση.

Η εργασία αφορά σε ήδη κατασκευασθείσα γέφυρα επί της Λεωφόρου Ποσειδώνος, στον Άλιμο, συνολικού μήκους 43.5 μέτρων. Η γέφυρα κατασκευάστηκε το 2020 από την εταιρεία «ΣΤΑΘΗΣ ΚΟΚΚΙΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 2020 ΑΕ».

1.2 Δομή

Στο Δεύτερο κεφάλαιο της παρουσίασης εργασίας πραγματοποιείται μία ιστορική αναδρομή από την εποχή του 18^{ου} αιώνα και την κατασκευή των πρώτων γεφυρών από κράματα σιδήρου έως τη σημερινή εποχή με τις σύγχρονες τάσεις και εξελίξεις.

Στο Τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η δυναμική ανάλυση των πεζογεφυρών, με την υπενθύμιση σε όση έκταση απαιτείται της θεωρίας του μονοβάθμιου ταλαντωτή, ενώ εισάγεται η βασική θεωρία των επιβαλλόμενων από πεζούς φορτίων.

Το τέταρτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί και το κύριο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας, περιγράφεται η προς μελέτη γέφυρα, πραγματοποιείται η μοντελοποίηση της και εξάγονται τα αποτελέσματα αυτής.

Το πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται την μελέτη των εφεδράνων της πεζογέφυρας και τη σύγκρισή τους με την ήδη υπάρχουσα λύση.

Στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μία μικρή η μελέτη για το υποθετικό σενάριο της κατεδάφισης της πεζογέφυρας σε περίπτωση όπου έχει παρέλθει το όριο ζωής της και ΔΕΝ είναι πρόσφορος κάποιος άλλος τρόπος απομάκρυνσης της από την παρούσα θέση.

2. Γεφυροποιία και Σιδηρές Γέφυρες

2.1 Ιστορικά Στοιχεία

Από το 18^ο αι. όπου χρονολογείται η έναρξη της πλέον αξιόλογης περιόδου της Γεφυροποιίας, παρατηρείται συστηματική χρησιμοποίηση των του σιδήρου στην κατασκευή μεταλλικών γεφυρών. Ο όρος σιδηρές γέφυρες έχει επικρατήσει από παλιά και υπονοεί τη χρήση των κραμάτων του σιδήρου ως κύριο δομικό υλικό.¹

Γενικά, η χρήση δομικού χάλυβα σε γέφυρες εκμεταλλεύεται τις πλεονεκτικές ιδιότητές του όπως η δυνατότητα μεταφοράς βαριών φορτίων σε μεγάλες εκτάσεις με το ελάχιστο ίδιο βάρος. Επίσης, ο χάλυβας αποτελεί κατάλληλο υλικό για γεφύρωση εύρους ανοιγμάτων έως και 80 μέτρα². Καθιερώθηκε λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του υλικού σε σχέση των έως τότε χρησιμοποιούμενων υλικών (λίθος και ξύλο). Ως εκ τούτου από εκείνη την περίοδο διανοίγονται νέοι ορίζοντες για την γεφυροποιία η οποία καλείται να παρακολουθήσει την πρόοδο της τεχνολογίας αλλά και τις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις του ανθρώπου.

Ταυτόχρονα παρατηρείται μία σταδιακή εγκατάλειψη του εμπειρισμού και η παραχώρηση της θέσης του σε διαφορετικές μεθόδους όπως γραφικές, αναλυτικές και τελικά μεθόδους υπολογισμού. Επιπρόσθετα παρατηρείται μία βελτίωση στις μεθόδους κατασκευής και ανέγερσης ενώ το ίδιο ισχύει και για την εξέλιξη της βιομηχανίας του σιδήρου δίνοντας νέες καλύτερες και συνεχώς βελτιούμενες ποιότητες του εν λόγω υλικού.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο χάλυβας αποτελούσε την πρωταρχική λύση από το 1890, όταν Ολοκληρώθηκε η Firth of Forth πρώτη σιδηροδρομική γέφυρα προβόλου, η πρώτη μεγάλη χαλυβουργική γέφυρα στον κόσμο.

¹ Ερμόπουλος, Σιδηρές Γέφυρες

² Davison, Owens –Steel Designer’s Manual



Εικόνα 2 Γέφυρα Firth of Forth (commons wikimedia)

Για μικρά και μεσαία ανοίγματα³, οι γέφυρες από σκυρόδεμα κατείχαν μονοπώλιο από το 1950 έως το 1980 λόγω της χρήσης προεντεταμένων και προκατασκευασμένων στοιχείων. Επίσης, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι εξελίξεις στην χρήση του χάλυβα όπως μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό καθώς και βελτιωμένες τεχνικές συγκόλλησης εφαρμόστηκαν κυρίως σε γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων. Ταυτόχρονα, βελτιώσεις στις μεθόδους κατασκευής επέτρεψαν στον χάλυβα να αυξήσει το μερίδιο αγοράς του στην Ευρώπη και στις υπόλοιπες ηπείρους σε περισσότερο από 50% σε γέφυρες μικρών και μεσαίων ανοιγμάτων. Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά ορισμένοι από τους παράγοντες που οδήγησαν στην εν λόγω ανάπτυξη των χαλύβδινων γεφυρών σε μικρά και μεσαία ανοίγματα τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο⁴:

- Παγκόσμια σταθερότητα στην τιμή προϊόντων έλασης από χάλυβα
- Αυτοματοποίηση των διαδικασιών κατασκευής (χρήση εξοπλισμού για την καλύτερη προετοιμασία υλικών συγκόλληση και κατασκευή δοκών)
- Ταχύτερη ανέγερση (διαθεσιμότητα γερανών – μεγαλύτερα μήκη)
- Βελτιωμένα και αυστηρότερα κριτήρια σχεδιασμού
- Εμφάνιση προβλημάτων αντοχής κατασκευών από σκυρόδεμα (διάρκεια ζωής γεφυρών αντίστοιχων ανοιγμάτων περί τα 30 έτη)

³ Οι γέφυρες ταξινομούνται ανάλογα με το μήκος του ανοίγματος σε μικρού ανοίγματος (έως 30 μέτρα), μεσαίου ανοίγματος (από 30 έως 80 μέτρα) και μεγάλου ανοίγματος (πλέον των 80 μέτρων) – Davison, Owens –Steel Designer's Manual.

- Καλύτερη εκπαίδευση στο σχεδιασμό γεφυρών από χάλυβα μέσω προγραμμάτων του Steel Construction – BSCA.

2.2 Σιδηρές Γέφυρες και Κατηγοριοποίηση

Σελ. | 17

Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα σιδηρών γεφυρών από την πρώτη εμφάνισή τους έως και σήμερα είναι τα εξής:

Το 1776-1779 κατασκευάστηκε πάνω από τον ποταμό severn της Αγγλίας η πρώτη στον κόσμο σιδηρά γέφυρα από χυτοσίδηρο. Αποτελείται από πέντε τοξωτούς κύριους φορείς με άνοιγμα 30,5 μέτρα ύψος τόξου 12 μ. και πλάτος τα 7,30 μέτρα. Από το 1896 αποτελεί μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς της UNSECO.



Εικόνα 3 Γέφυρα Severn (English heritage uk)

Το 1824 κατασκευάστηκε στην Αγγλία η πρώτη σιδηροδρομική γέφυρα (γραμμή Stockton – Darlington) με κύριες δοκούς από χυτοσίδηρο αμφίκυρτης μορφής και άνοιγμα 3,8 μέτρα.

Το 1846-1850 κατασκευάστηκε από πολτοπαγή σίδηρο και κύριο φορέα συνεχή δοκό δύο ανοιγμάτων και διατομή κλειστή ορθογωνική

Το 1850-1855 κατασκευάστηκε στο Dirschau τη Γερμανίας η πρώτη γέφυρα με κύριο φορέα δικτυωτή δοκό. Δίπλα της, κατασκευάστηκε το 18891 η νεότερη σιδηροδρομική γέφυρα με κύριο φορέα δικτυωτή αμφίκυρτη δοκό με διαγώνιες διπλής κύρτωσης και ενδιάμεσο πέλμα ενώ το κατάστρωμα ήταν αναρτημένο από το κάτω πέλμα.

Το 1883-1890 κατασκευάστηκε η σιδηροδρομική γέφυρα Firth of Forth, διπλής τροχιάς με κύριες ράβδους σωληνωτής διατομής από ρευστοπαγή χάλυβα. Το ελεύθερο άνοιγμα μεταξύ των βάθρων είναι 521 μ ενώ το ύψος του δικτυώματος παρά τα βάθρα είναι 105 μ. Το ύψος αυτό γίνεται 12,5 στο σημείο

στήριξης του ενδιάμεσου αμφιέριστου τμήματος. Ο φορέας είναι μία δικτυωτή δοκός Gerber, όπου τα ογκώδη δικτυώματα ξεκινούν από τα βάθρα υπό μορφή προβόλου και προς τις δύο κατευθύνσεις και στηρίζουν στο άκρο τους τα αμφιέριστα μεσαία δικτυώματα τα οποία μεταφέρθηκαν κατά τη φάση ανέγερσης με πλωτά μέσα επί τόπου. Ο δικτυωτός φορέας είναι πιο πλατύς στη βάση έτσι ώστε να αυξηθεί η ευστάθειά του. Από το 1965 έχει κατασκευαστεί δίπλα στην γέφυρα μία καινούρια κρεμαστή.

Το 1884 κατασκευάστηκε στην Trissana της Αυστρίας σιδηροδρομική γέφυρα με κύριους φορείς σιδηρές αμφίκυρτες δικτυωτές δοκούς στηριζόμενες σε λίθινους πυλώνες.

Το 1900-1917 κατασκευάστηκε η όμοιου τύπου με τη γέφυρα Forth (συνεχής δικτυωτή δοκός με αρθρώσεις) γέφυρα Quebec στον ποταμό St. Lawrence του Καναδά

Μερικά από τα δείγματα παλαιών κρεμαστών γεφυρών αποτελούν η γέφυρα του Brooklin (1870-1873) στον ποταμό East Με κύριο άνοιγμα 448 μ και δύο ακραία μήκους 284 μ, ξ γέφυρα G. Washington (1927-1931) στη Νέα Υόρκη με κύριο άνοιγμα 1067 μ., πλάτος 36,5 και ύψος πυλώνων 98μ καθώς και η γέφυρα Golden Gate στο San Francisco (1933-1937) με κύριο άνοιγμα 1280 μ., πλάτος 18,3 μ και ύψος πυλώνων 227,5 μέτρα αποτελούν κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα παλαιών κρεμαστών γεφυρών.

Ανάλογα με τον εκάστοτε εξεταζόμενο παράγοντα, οι σιδηρές και οι σύμμικτες γέφυρες μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες, ανεξάρτητες μεταξύ τους, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι ακόλουθες:

Αναλόγως της χρησιμοποίησης διακρίνονται σε οδικές, σιδηροδρομικές, μικτές, πεζογέφυρες, γέφυρες αγωγών, γερανογέφυρες, γέφυρες ταινιοδρόμων κλπ

Ανάλογα με τη στατική μόρφωση των κύριων δοκών (αμφιέριστες, συνεχείς με ή χωρίς αρθρώσεις, πλαισιωτές, τοξωτές, κρεμαστές με ευθύγραμμο ή καμπύλο καλώδιο κλπ

Αναλόγως της θέσης του καταστρώματος διακρίνονται σε άνω, μέσης και κάτω διάβασης

Επίσης, υφίστανται λοιπές κατηγοριοποιήσεις αναφορικά με έτερους παράγοντες όπως ο αριθμός καταστρωμάτων (μονώροφες και διώροφες), το είδος συνδέσεων (ηλωτές, κοχλιωτές, συγκολλητές), η λοξότητα (ορθές, λοξές), η γεωμετρική χάραξη άξονα (ευθύγραμμες ή καμπύλες, οριζόντιες ή κεκλιμένες), η διάρκεια χρήσης (μόνιμες, προσωπικές, λυόμενες) και η κινητικότητα (σταθερές και κινητές πχ κυλιόμενες, κατακόρυφα ανυψούμενες, περιστρεφόμενες επί κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα, βυθιζόμενες κλπ)

Είναι ευνόητο ότι κάθε γέφυρα εντάσσεται σε όλες τις παραπάνω κατηγορίες

3. Κατασκευή και Δυναμική των πεζογεφυρών

3.1 Γενικά

Κατά την φόρτιση μίας κατασκευής, όπως είναι ήδη γνωστό, τα στατικά φορτία δύναται να είναι σταθερά σε σχέση με το χρόνο ή να μεταβάλλονται (οιονεί στατικά) φορτία. Τα δυναμικά φορτία, αντίθετα, σχετίζονται με το χρόνο και δύναται να ομαδοποιηθούν στις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες:

- α) Αρμονικά ή καθαρά ημιτονοειδή φορτία.
- β) Περιοδικά επαναλαμβανόμενα φορτία που επαναλαμβάνονται σε ολοκληρωτικά σε τακτά χρονικά διαστήματα (περιόδους).
- γ) Τυχαία φορτία με αυθαίρετες μεταβολές στο χρόνο, στην ένταση και στην κατεύθυνση.
- δ) Παλμικά φορτία που αντιστοιχούν σε πολύ σύντομα φορτία.

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά στα φορτία των πεζών, αυτά, λόγω της μεταβολής τους με το χρόνο ταξινομούνται στην κατηγορία των περιοδικά επαναλαμβανόμενων φορτίων. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του δυναμικού φορτίου των πεζών είναι η χαμηλή τους ένταση (intensity). Δηλαδή ενώ εφαρμόζονται σε πολύ δύσκαμπτες και ογκώδεις κατασκευές, αυτές δύσκολα δονούνται σημαντικά. Ωστόσο, οι αισθητικές, τεχνικές και τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει τους μηχανικούς στην κατασκευή έργων πιο λεπτών, ευέλικτων και καλαίσθητων.

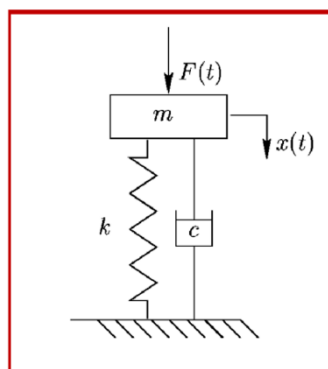
Το ίδιο ισχύει και για τις πεζογέφυρες που ακολουθώντας την παραπάνω τάση κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δύναται να καταπονούνται περισσότερο σε εντάσεις. Κατά συνέπεια, για την κατασκευή τους απαιτείται ενδελεχή δυναμική ανάλυση.

Η μελέτη ενός βασικού μοντέλου που αναφέρεται ως απλός ταλαντωτής απεικονίζει τις αρχές της δυναμικής ανάλυσης και αναδεικνύει τον ρόλο που διαδραματίζουν οι διαφορετικές δομικές παράμετροι που εμπλέκονται στην εν λόγω διαδικασία.

3.2 Μονοβάθμιος Ταλαντωτής

Η μελέτη του βασικού μοντέλου, του μονοβάθμιου ταλαντωτή καταδεικνύει τη δυναμική ανάλυση ενώ επισημαίνει το ρόλο που έχουν οι διαφορετικές παράμετροι που εμπλέκονται στη συγκεκριμένη διαδικασία. Ένα σύστημα μονοβάθμιου, ο απλός δηλαδή ταλαντωτής, αποτελείται από μάζα m , που συνδέεται σε ένα γραμμικό ελατήριο δυσκαμψίας k και ένα γραμμικό

αποσβεστήρα ιξώδους c , που επηρεάζεται από εξωτερική δύναμη $F(t)$. Ο ταλαντωτής κινείται σε μία μόνο κατεύθυνση και επομένως φέρει ένα βαθμό ελευθερίας που ορίζεται από τη θέση $x(t)$ της μάζας του.⁵



Εικόνα 4 Ο μονοβάθμιος ταλαντωτής

Οι δυναμικές παράμετροι του μονοβάθμιου ταλαντωτή είναι οι παρακάτω :

$\omega = \sqrt{k/m} = 2\pi f_0$ ιδιοπερίοδος κατασκευής (rad/s)

$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}$ ο λόγος κρίσιμης

απόσβεσης.

Στην πράξη, το ξ πάντοτε έχει τιμή μικρότερη της μονάδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν δεν πραγματοποιηθούν πειραματικές μετρήσεις δεν μπορεί παρά να γίνουν υποθέσεις για την τιμή του κρίσιμου λόγου απόσβεσης. Η τιμή της απόσβεσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως για παράδειγμα από τα υλικά της κατασκευής (χάλυβας, σκυρόδεμα, ξυλεία), εάν το σκυρόδεμα είναι ρηγματωμένο (οπλισμένο σκυρόδεμα, προεντεταμένο σκυρόδεμα), τη μέθοδο σύνδεσης χάλυβα (βίδα, συγκόλληση) κλπ. Το φαινόμενο συντονισμού είναι ιδιαίτερα σαφές όταν ο απλός ταλαντωτής διεγείρεται από μια ταλάντωση αρμονική (ή ημιτονοειδής) της μορφής $F = F_0 \sin(\omega t)$.

Εάν, εξ ορισμού, η στατική απόκριση του μονοβάθμιου ταλαντωτή που λαμβάνεται με σταθερή δύναμη ίση με F_0 είναι: $X_{\text{statique}} = F_0/k = \frac{F_0/m}{\omega^2}$

Η δυναμική απόκριση δύναται να πολλαπλασιαστεί με ένα παράγοντα $A(\Omega)$ οπότε $X_{\text{max}} = X_{\text{statique}} * A(\Omega)$ με $\Omega = \omega/\omega_0$ ο σχετικός ή μειωμένος παλμός και η δυναμική ενίσχυση και

$$A(\Omega) = \frac{1}{2\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + 4\xi^2\Omega^2}}, \text{ η δυναμική ενίσχυση.}$$

Η δυναμική ενίσχυση λαμβάνεται ως συνάρτηση του Ω και του ξ η οποία μπορεί να απεικονιστεί γραφικά από ένα σύνολο παραμετροποιημένων καμπυλών συναρτήσει το ξ . Αυτές οι καμπύλες εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή τους για την τιμή $\Omega_R = \sqrt{1 - 2\xi^2}$

η οποία χαρακτηρίζει τον συντονισμό και επομένως αντιστοιχεί στον παλμό του συντονισμού $\Omega_R = \omega_0 \sqrt{1 - 2\xi^2}$ και στη συχνότητα συντονισμού f

$$\frac{\omega_R}{2\pi}$$

⁵ Λεπτομερείς υπολογισμοί για τους μονοβάθμιους ταλαντωτές : Δυναμική των Κατασκευών, Anil Chopra

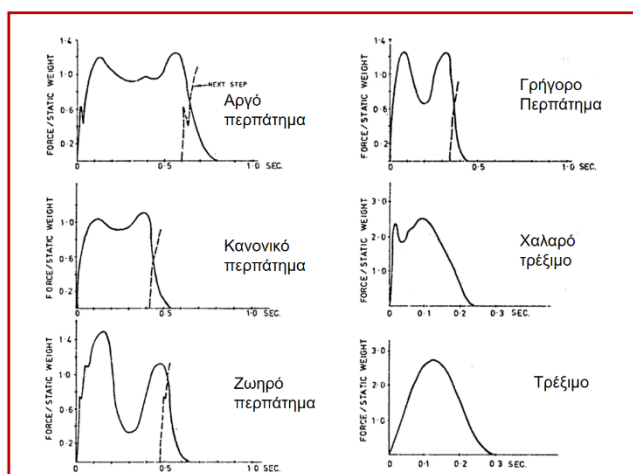
Η διαστασιολόγηση των κατασκευών με βάση τη δυναμική φόρτιση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με τη μέγιστη ένταση της πρόσκρουσης φορτίου. Έτσι, για παράδειγμα, φορτίο $F(t) = F_0 \sin(\omega_1 * t)$ μπορεί να δημιουργεί μετατοπίσεις ή τάσεις πολύ χαμηλότερες από το φορτίο $F(t) = (F_0/10) \sin(\omega_2 * t)$ που έχει πλάτος 10 φορές ασθενέστερο, εάν αυτό το δεύτερο φορτίο έχει συχνότητα πολύ πιο κοντά στη συχνότητα συντονισμού της κατασκευής.

Συνεπώς, η ενίσχυση συντονισμού σχετίζεται άμεσα με την απόσβεση

Οπότε και είναι κρίσιμος ο ορθός υπολογισμός της προκειμένου για τη μετέπειτα διαστασιολόγηση. Η μελέτη μονοβάθμιων ταλαντωτών βασίζεται στην υπόθεση της γραμμικής απόσβεσης⁶ (ιξώδες, με δύναμη απόσβεσης ανάλογη της ταχύτητας), που αποτελεί και την υπόθεση που επιλέγουν οι περισσότεροι μηχανικοί και σχεδιαστές πεζογεφυρών.

3.3 Προσομοίωση του Φορτίου των πεζών

Οι πεζογέφυρες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπόκεινται κυρίως στα φορτία των πεζών οι οποίοι δύναται να περπατούν ή να τρέχουν πάνω σε αυτές. Όταν ένας πεζός περπατάει κάθε στιγμή το ένα πόδι του βρίσκεται σε επαφή με το κατάστρωμα της γέφυρας κάτι που δε λαμβάνει χώρα όταν ο πεζός τρέχει. Συνεπώς πρόκειται για δύο τελείως διαφορετικού τύπου φορτίσεις και πρέπει να αντιμετωπίζονται ξεχωριστά.



Εικόνα 5 Μεταβολές της δύναμης στη μονάδα του χρόνου για διαφορετικούς τύπους βαδίσματος (SETRA)

⁶ Βλέπε ANIL CHOPRA «Δυναμική των Κατασκευών», κεφ. 3 «Απόκριση σε Αρμονικές και Περιοδικές Διεγέρσεις»

Σε κάθε περίπτωση (περπάτημα ή τρέξιμο), η δύναμη που εξασκεί ο πεζός αναλύεται σε μία κατακόρυφη και μία οριζόντια συνιστώσα. Η τελευταία με τη σειρά της διαχωρίζεται σε μία οριζόντια διαμήκη (κατά μήκος του άξονα της πεζογέφυρας) και μία εγκάρσια (κάθετη στον άξονα της πεζογέφυρας). Επιπλέον, εκτός από τη μεμονωμένη δράση ενός πεζού, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η καταπόνηση της γέφυρας από μία ομάδα ανθρώπων (πλήθος) καθώς επίσης και οι καταπονήσεις που λαμβάνουν χώρα σε ειδικές συνθήκες φορτίσεις όπως πχ εγκαίνια γέφυρας κλπ. Για δραστηριότητες χωρίς μετατόπιση (άλμα, ταλάντωση κ.λπ.), οι πειραματικές μετρήσεις όπως αναγράφεται στο SETRA (Service d' Etudes Techniques des Routes et Autoroutes) δείχνουν λαμβάνοντας υπόψη τις τρεις πρώτες ιδιομορφές και η αντίστοιχη πρώτη της κάθετης συνιστώσας του βαδίσματος $F(t)$.

Γενικά, οι ταλαντώσεις που προκαλούνται κατά την οριζόντια διεύθυνση είναι πιο επικίνδυνες από τις κατακόρυφες, γιατί ο πεζός μπορεί να χάσει την ισορροπία του. Κατά συνέπεια, εφόσον αυτό λάβει χώρα, προσπαθεί ασυναίσθητα να συντονίσει το βήμα του με την ταλάντωση της γέφυρας - κάτι που τελικά συμβαίνει⁷ και είναι ευρέως γνωστό με τον όρο «Lock in effect».

Από την άλλη, στις κατακόρυφες ταλαντώσεις αν και ο πεζός αισθάνεται τις επιταχύνσεις, δε χάνει την ισορροπία του και άρα δε συντονίζεται με τη γέφυρα.

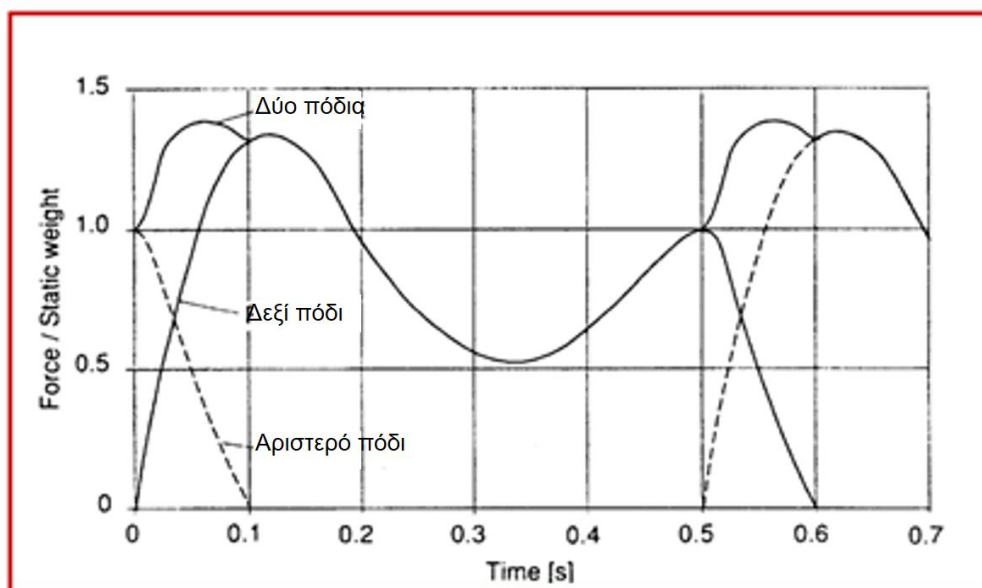
3.4 Βάδισμα

Το βάδισμα εν αντιθέσει με το τρέξιμο χαρακτηρίζεται από τη συνεχή επαφή με την επιφάνεια του καταστρώματος της πεζογέφυρας δεδομένου ότι το εμπρόσθιο πόδι έρχεται σε επαφή με το έδαφος πριν το οπίσθιο σηκωθεί.

3.4.1 Κατακόρυφη συνιστώσα βαδίσματος

Σε περίπτωση κανονικού βαδίσματος, η κατακόρυφη συνιστώσα για το κάθε πόδι λαμβάνει την πρώτη της κορυφή τη χρονική στιγμή όπου η φτέρνα προσκρούει στο έδαφος ενώ η δεύτερη κορυφή κατά τη στιγμή της ώθησης του πέλματος του ποδιού. Η γενική απεικόνιση της δύναμης που ασκεί η κατακόρυφη συνιστώσα στη μονάδα του χρόνου ονομάζεται “saddle shape” (λόγω του σχήματος της σέλας) το οποίο τείνει να αλλάξει σταδιακά με την αύξηση της συχνότητας που λαμβάνει χώρα κατά το τρέξιμο έως ότου εμφανίσει ημί - ημιπονοειδή μορφή κατά την περίπτωση του τρεξίματος.

⁷ Το φαινόμενο του «συγχρονισμού» ή αλλιώς “Lock in” λαμβάνει χώρα με την αλληλεπίδραση καταστρώματος και του βηματισμού του πεζού σε ορισμένο εύρος συχνοτήτων



Εικόνα 6 Κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης πεζού για μία μέση συχνότητα 2 Hz (SETRA)

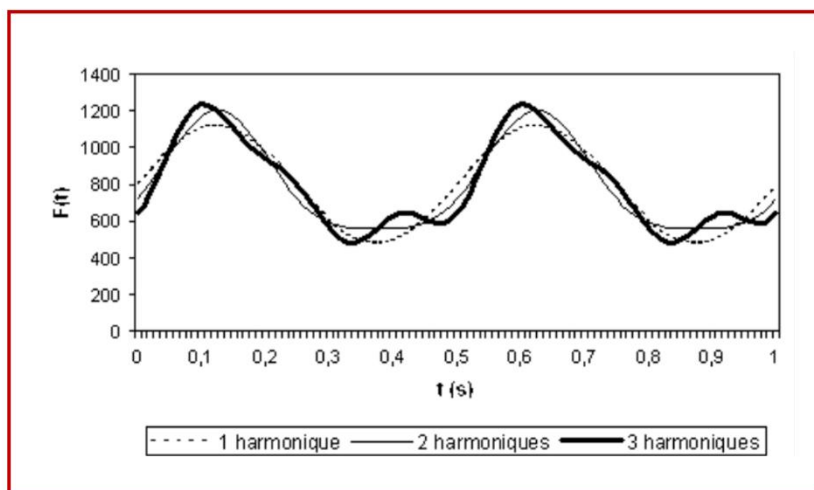
Στην περίπτωση κανονικού βαδίσματος (χωρίς κάποιο εμπόδιο) η συχνότητα μπορεί να περιγραφεί με μία κατανομή Gauss με μέση τιμή τα 2Hz και τυπική απόκλιση 0,2 Hz⁸. Στη μέση συχνότητα των 2 Hz ($f_m = 2$ Hz), οι τιμές των συντελεστών μετασχηματισμού Fourier του $F(t)$ είναι οι ακόλουθοι (Σημειώνεται ότι λαμβάνονται υπόψη οι τρεις πρώτοι συντελεστές $n = 3$) :

$$G_1=0,4 G_0 : G_2=G_3 \approx 0,1 G_0 \text{ και } \varphi_2=\varphi_3 \approx \pi/2$$

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι οι τιμές των G_i και φ_i για $n > 1$ δεν είναι ακριβείς (\approx) κάτι που οφείλεται αφενός μεν στις αβεβαιότητες των μετρήσεων, αφετέρου δε στους διαφορετικούς τρόπους βαδίσματος μεταξύ διαφόρων ατόμων.

Προτεινόμενες τιμές για τους υπολογισμούς: Για μία συχνότητα βαδίσματος 2.4 Hz η προτεινόμενη τιμή G_1 είναι $0,5 \cdot G_0$ ενώ οι λοιπές συνιστώσες παραμένουν αμετάβλητες. Με παρόμοιο τρόπο στην περίπτωση του αργού βαδίσματος (1 Hz) $G_1=0.1 \cdot G_0$. Η σχηματική απεικόνιση της κατακόρυφης συνιστώσας της δύναμης ενός ατόμου 700N ο οποίος βαδίζει με συχνότητα 2 Hz σε χρονικό διάστημα 1 sec λαμβάνοντας υπόψη τις τρεις πρώτες ιδιομορφές

⁸ Η τυπική απόκλιση κυμαίνεται από 0,175 έως 0,22 ανάλογα με τους συγγραφείς



Εικόνα 7 Κατακόρυφη συνιστώσα σε βάδισμα συχνότητας 2Hz (SETRA)

3.4.2 Οριζόντια Συνιστώσα Βαδίσματος

Η οριζόντια συνιστώσα της δύναμης που ασκεί ο πεζός στο κατάστρωμα της πεζογέφυρας είναι μικρότερης έντασης, ωστόσο, δεν θα πρέπει να αμελείται διότι δύναται να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα καθώς οι πεζοί είναι ασταθείς σε πλάγιες μετακινήσεις, διαταράσσεται ευκολότερα το βάδισμά τους και δημιουργείται αίσθημα ανασφάλειας ιδιαίτερα όταν βαδίζουν κοντά στην κουπαστή.

Συνεπώς, υφίσταται ανάγκη μελέτης της εγκάρσιας και της διαμήκουσ μετακίνησης των πεζών. Η εγκάρσια συνιστώσα της οριζόντιας δύναμης που ασκεί ο πεζός στο κατάστρωμα κατά το βάδισμα λαμβάνει χώρα σε συχνότητα μισή από τη συχνότητα του περπατήματος (1 Hz για $f_m = 2$ Hz). Από την άλλη, η διαμήκης συνιστώσα συνδέεται κυρίως με τη συχνότητα του βαδίσματος. Ο μετασχηματισμός του εγκάρσιου στοιχείου του Fourier (στις συχνότητες $f_m/2$, f_m , $3f_m/2$) σύμφωνα με τη βασική συχνότητα βάδισης f_m , είναι της μορφής:

$$F(t) = \sum_{i=1/2}^n G_i \sin 2\pi_i f_m t$$

όπου $i = 1/2, 1, 3/2, 2$ Κλπ

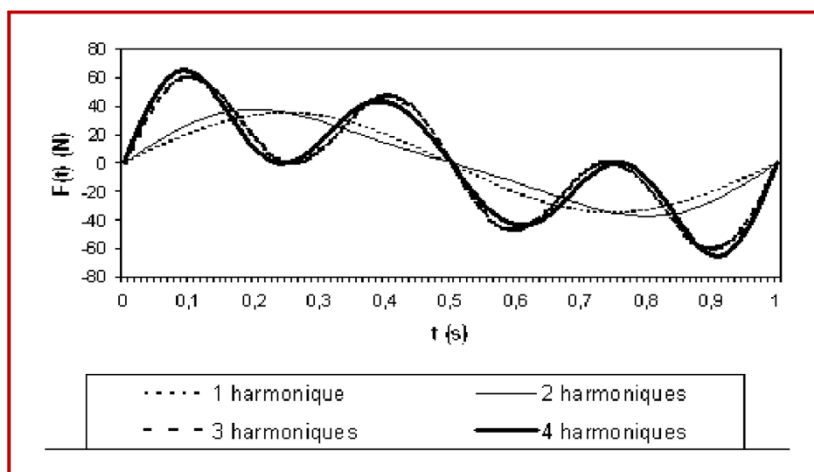
3.4.2.1 Εγκάρσια Συνιστώσα

Αναφορικά με την εγκάρσια συνιστώσα, οι διεξαχθείσες δοκιμές, σύμφωνα με το SETRA, έδειξαν ότι εντοπίζονται τα κύρια πλάτη αυτής να εμφανίζουν συχνότητα περίπου τη μισή από αυτή του κάθετου στοιχείου. Η συχνότητα αυτή αντιστοιχεί στις πλευρικές ταλαντώσεις του κέντρου βάρους

του σώματος κατά τη διάρκεια του βαδίσματος. Οι αντίστοιχες τιμές των συντελεστών Fourier είναι ως εξής:

$$G_{1/2} = G_{3/2} \approx 0,05 G_0; G_1 = G_2 \approx 0,01 *G_0.$$

Για κατακόρυφη συνιστώσα $G_0 = 700$ N, $f_m = 2$ Hz, η εγκάρσια οριζόντια συνιστώσα στη μονάδα του χρόνου λαμβάνοντας υπόψη μία έως τέσσερις ιδιομορφές φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και όπως είναι αναμενόμενο εμφανίζει τη μισή συχνότητα της κατακόρυφης συνιστώσας.



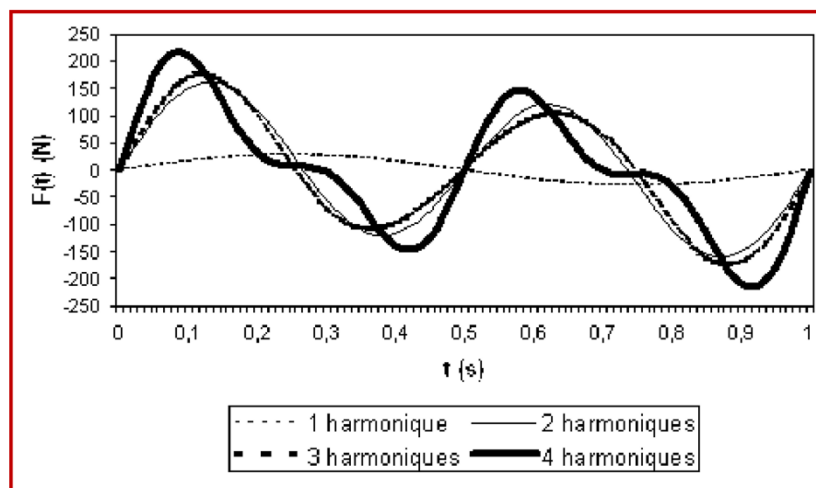
Εικόνα 8 Εγκάρσια συνιστώσα οριζόντιας δύναμης πεζού κατά το βάδισμα (SETRA)

3.4.2.2 Διαμήκης Συνιστώσα

Η κύρια συχνότητα που σχετίζεται με τη διαμήκη οριζόντια είναι περίπου η ίδια με αυτήν της κάθετης συνιστώσας ($f_m = 2$ Hz). Οι ταλαντώσεις αναφέρονται σε κάθε μεμονωμένο βήμα και αφορούν στην αρχική επαφή του ποδιού με το έδαφος καθώς και στην ώθηση που ασκείται μετέπειτα. Συνεπώς οι τιμές των συντελεστών Fourier είναι:

$$G_{1/2} \approx 0,04 G_0; G_1 \approx 0,2 *G_0; G_{3/2} \approx 0,03 *G_0; G_2 \approx 0.1 *G_0.$$

Παρακάτω, παρουσιάζεται σχηματικά η διαμήκης συνιστώσα του βαδίσματος στην μονάδα του χρόνου, κατ' αντιστοιχία με τα προηγούμενα και υπό τις ίδιες συνθήκες ($G_0 = 700$ N, $f_m = 2$ Hz).

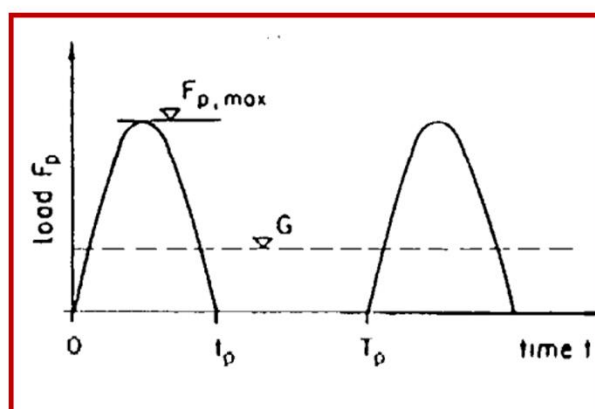


Εικόνα 9 Διαμήκης συνιστώσα οριζόντιας δύναμης πεζού κατά το βάδισμα (SETRA)

Σημειώνεται ότι η εν λόγω συνιστώσα έχει ελάχιστη επιρροή στις περισσότερες πεζογέφυρες.

3.5 Τρέξιμο

Το τρέξιμο χαρακτηρίζεται από μία μη συνεχόμενη επαφή του πεζού με το κατάστρωμα της γέφυρας και τα εύρη συχνοτήτων του (f_m) συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 2 και 3.5 Hz.



Εικόνα 10 Μεταβολή της δύναμης με το χρόνο (τρέξιμο)

3.5.1 Κατακόρυφη Συνιστώσα

Η κατακόρυφη συνιστώσα του φορτίου του πεζού μπορεί να προσεγγιστεί με μία απλή μισή ημιτονοειδή (semi –sinusoid) ακολουθία σύμφωνα με την παρακάτω μαθηματική έκφραση:

$$F(t) = K_p * G_o * \sin (\pi t/t_p) \text{ για } (j-1)T_m \leq t \leq (j-1)T_m + t_p$$

$$F(t)=0 \text{ για } (j-1)T_m + t_p < t \leq jT_m$$

Όπου $K_p = F_{max} / G_o$, ο συντελεστής επαφής (πρόσκρουσης)

j , ο αύξων αριθμός της επανάληψης (βηματισμός) $j=1,2,\dots$

F_{max} , το μέγιστο φορτίο

G_o , το βάρος του πεζού

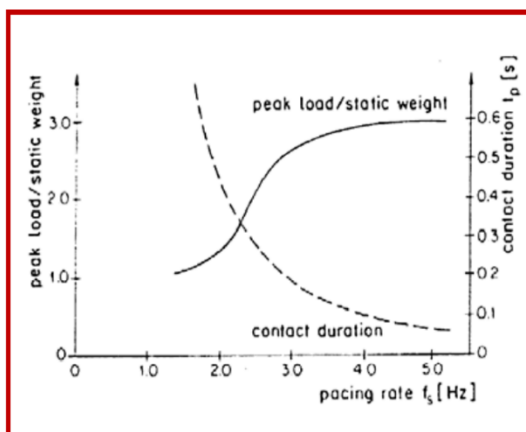
t_p , ο χρόνος της επαφής με το κατάστρωμα της γέφυρας

T_m , η περίοδος με $T_m = 1/f_m$ όπου f_m είναι η περίοδος του τρεξίματος. Ο χρόνος επαφής t_p σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο, αποτελεί την ημι-περίοδο T_m οπότε και η παραπάνω μαθηματική σχέση μετατρέπεται σε

$$F(t) = K_p * G_o * \sin (2\pi f_m t) \text{ για } (j-1)T_m + t_p < t \leq (j-1/2)T_m \text{ και}$$

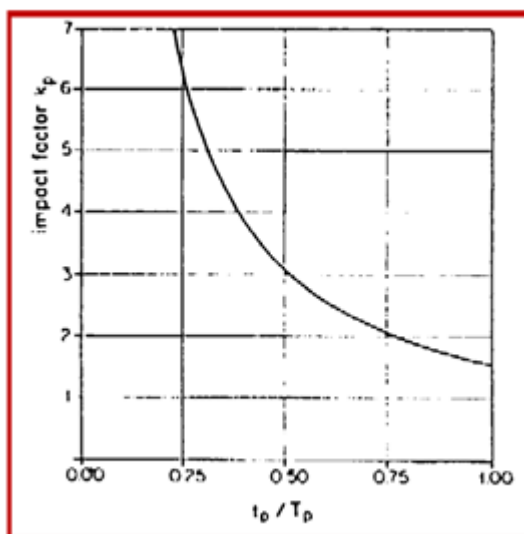
$$F(t)=0 \text{ για } (j-1/2)T_m + t_p \leq t \leq jT_m$$

Η συγκεκριμένη προσέγγιση του χρόνου επαφής αποτελεί μία υπερεκτίμηση των τιμών που μετρήθηκαν πειραματικά και σχετίζονται με την συχνότητα τρεξίματος η μεταβολή της οποίας με το πέρασμα του χρόνου παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 11 Μεταβολή του χρόνου επαφής με τη συχνότητα (SETRA)

Όσον αφορά στις τιμές του συντελεστή πρόσκρουση K_p αυτές συνάγονται από το επόμενο σχήμα και εξαρτώνται από την σχετική περίοδο επαφής (t_p/T_m).



Εικόνα 12 Σχέση συντελεστή επαφής και σχετικής περιόδου

Προκειμένου να καταστούν κατανοητά τα παραπάνω, παρατίθεται το επόμενο παράδειγμα. Αν υποθέσουμε ότι ένας πεζός τρέχει πάνω σε μία γέφυρα με συχνότητα 3 Hz -δηλαδή περίοδο $T_m = 0,33 \text{ sec}$ – τότε, ο χρόνος επαφής του δρομέα με το κατάστρωμα της γέφυρας είναι $t_p = 0,17 \text{ sec}$ και $k_p = 3$ (σε $t_p/T_p=0,5$).

3.5.2 Οριζόντια Συνιστώσα

Με τα μέχρι σήμερα γνωστά στοιχεία καταγεγραμμένα στον τεχνικό οδηγό Setra, δεν έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις της οριζόντιας συνιστώσας κατά τη διάρκεια τρεξίματος, είτε της διαμήκους προβολής του, είτε της εγκάρσιας προβολής του.

Ωστόσο, εκτιμάται, αφενός ότι, κατά τη διάρκεια ενός αγώνα τρεξίματος, η εγκάρσια συνιστώσα (στην οποία το κοινό παρουσιάζεται περισσότερο ευαίσθητο) έχει χαμηλό σχετικό πλάτος σε σύγκριση με την κατακόρυφη, ενώ η διαμήκης θα είναι μεγαλύτερη.

3.6 Οριακές Καταστάσεις (Αστοχία – Λειτουργικότητα)

Ο Σχεδιασμός μίας πεζογέφυρας πραγματοποιείται για δύο ξεχωριστές καταστάσεις. Την οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) και την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ). Όπως όλα τα υπόλοιπα δομήματα, έτσι και η γέφυρα έχει ένα όριο σχεδιασμού το οποίο έχει ορισθεί στα 100 έτη. Συνεπώς θα πρέπει

για τα εκατό χρόνια ζωής της να ικανοποιεί τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας – λειτουργικότητας και ανθεκτικότητας

Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας – Ultimate Limit States οι οποίες σχετίζονται με την ασφάλεια του φορέα και των ανθρώπων και διακρίνονται σε:

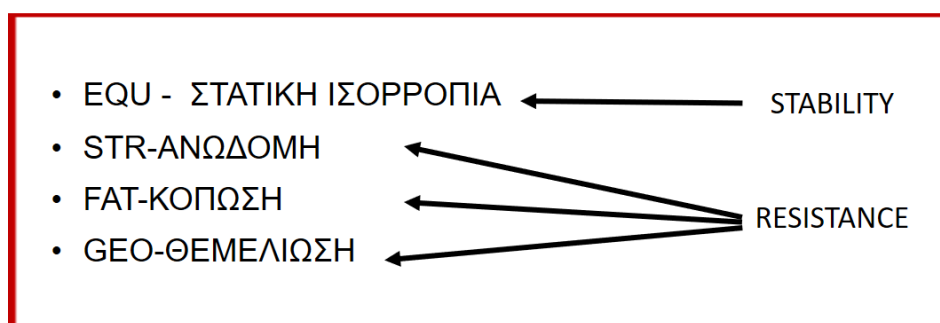
Σελ. | 29

EQU (Equilibrium): Αφορά στην απώλεια στατικής ισορροπίας του φορέα ή οποιοδήποτε σημείου που θεωρείται ως άκαμπτο σώμα

STR (Structure): Αφορά στην αστοχία της ανωδομής η οποία μπορεί να αναφέρεται στην αντοχή των διατομών και των συνδέσεων, στην ευστάθεια των μελών και στην αντοχή διατμητικών συνδέσεων.

FAT (Fatigue): Αφορά στην αστοχία λόγω κόπωσης

GEO (Geotechnical): Αφορά στην αστοχία στη θεμελίωση ή στο έδαφος όπου εδράζεται η γέφυρα



Σχήμα 1 Σχηματική απεικόνιση ΟΚΑ

Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας (Serviceability Limit States) σχετίζονται με τη λειτουργία της γέφυρας κατά τη φυσιολογική χρήση της, την αίσθηση της άνεσης που παρέχουν κατά τη διάρκεια χρήσης της καθώς και την εξωτερική εμφάνιση του έργου και αφορούν παραμορφώσεις, περιορισμό των τάσεων, ρηγματώσεις σκυροδέματος και ταλαντώσεις.

Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας

Στην Οριακή κατάσταση αστοχίας πραγματοποιείται ο έλεγχος της βασικής ανίωσης όπου η τιμή σχεδιασμού των αποτελεσμάτων των δράσεων να είναι μικρότερη από την τιμή σχεδιασμού των αντίστοιχων αντιστάσεων δηλαδή, $E_d \leq R_d$.

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι τιμές σχεδιασμού των αποτελεσμάτων των δράσεων αναγκαιούν οι χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων (F_k), τους συντελεστές ασφαλείας των δράσεων γ_F και τους συντελεστές συνδυασμού ψ .

Οι συντελεστές ασφαλείας για τις δράσεις κατηγοριοποιούνται σε μόνιμες γ_{Ginf} (ευμενής δράση) και γ_{Gsup} (δυσμενής δράση), μεταβλητές γ_Q , τυχηματικές γ_A και σεισμικές δράσεις γ_{AE} .

Για τις πεζογέφυρες οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας και συνδυασμού συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

Δράσεις		Επίδραση		Συντελεστής συνδυασμού ψ_0
		Ευμενής	Δυσμενής	
Μόνιμες δράσεις (STR)	G: γ_G	1.0	1.35	-
Μόνιμες δράσεις (EQU)	G: γ_G	0.95	1.05	-
Συστολή ξήρασης (α)	S_{sec} : γ_s	0 (α) ή 1.0	0 (α) ή 1.0	-
Προένταση με υποχώρηση στηρίξεων	P: γ_P	1.0	1.0	-
Ευστάθεια για εξωτερική προένταση	P: γ_P	1.0	1.35	-
Φορτία κυκλοφορίας g_{r1} , Q_{fwk} * g_{r2}	Q: γ_Q	0	1.35	g_{r1} : 0.4 Q_{fwk} : 0 g_{r2} : 0
Θερμοκρασία	T: γ_Q	0	0(β) ή 1.5(γ)	0(β) ή 0.6(γ)
Άνεμος	W: γ_Q	0	1.5	0.3
	S: γ_Q	0	1.5	0.8
	Q _c : γ_Q	0	1.5	1.0
Παρατηρήσεις (α) Πρωτογενείς και δευτερογενείς επιρροές για διατομές κατηγορίας 3 και 4 (β) Ισχύει για γέφυρες με διατομές κατηγορίας 1 ή 2 σε όλο το μήκος και όταν εξασφαλίζονται στις περιοχές αρνητικών ροπών έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού (γ) Ισχύει για γέφυρες με διατομές κατηγορίας 3 ή 4				

Πίνακας 1 Τιμές συντελεστών ασφαλείας για ΟΚΑ

Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας

Στην Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας πραγματοποιείται ο έλεγχος της βασικής ανίσωσης όπου η τιμή σχεδιασμού των αποτελεσμάτων των δράσεων οι οποίες καθορίζονται από τα κριτήρια λειτουργικότητας και προσδιορίζεται από τον εκάστοτε συναφές συνδυασμό, πρέπει να είναι μικρότερη της οριακής τιμής σχεδιασμού του συναφούς κριτηρίου λειτουργικότητας δηλαδή πρέπει

$E_d \leq C_d$. Στην ΟΚΑ υπάρχουν τρεις συνδυασμοί δράσεων που εφαρμόζονται στους παρακάτω ελέγχους:

Χαρακτηριστικός Συνδυασμός: $\Sigma G_{kj} \text{ "+" } P_k \text{ "+" } Q_{k1} \text{ "+" } \Sigma \psi_{0i} * Q_{ki}$ για $j \geq 1$

Συχνός Συνδυασμός: $\Sigma G_{kj} \text{ "+" } P_k \text{ "+" } \psi_{1,1} * Q_{k1} \text{ "+" } \Sigma \psi_{2i} * Q_{ki}$ για $j \geq 1$

Οιωνεί Μόνιμος Συνδυασμός: $\Sigma G_{kj} \text{ "+" } P_k \text{ "+" } \Sigma \psi_{2i} * Q_{ki}$ για $j \geq 1$

Οι συντελεστές συνδυασμού ψ_1 και ψ_2 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Σελ. | 31

Δράση	Είδος	ψ_1	ψ_2
Φορτία Κυκλοφορίας	g_{r1}	0.4	0
Άνεμος	w	0.2	0
Θερμοκρασία	T	0.6	0.5
Κατακόρυφα Φορτία	Q_c	-	1.0

Πίνακας 2 Συντελεστές « ψ » για ΟΚΛ

4. Πεζογέφυρα Αλίμου, Δυναμική Ανάλυση, Επίλυση και Μοντελοποίηση

4.1 Γενικά

Πεζογέφυρες κατασκευάζονται εδώ και πολλά χρόνια πλην όμως, τελευταία υπάρχει μια ραγδαία αύξηση της εμπλοκής των αρχιτεκτόνων μηχανικών για την αναζήτηση περισσότερο καλαίσθητων αποτελεσμάτων. Το παραπάνω σε συνδυασμό με την τάση αναζήτησης πιο ελαφριών λύσεων έχουν ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται προβλήματα στη δυναμική συμπεριφορά των γεφυρών και συγκεκριμένα σε ταλαντώσεις που ενδέχεται να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους.

Το θέμα των μετρήσεων της δυναμικής απόκρισης είναι αρκετά επίκαιρο καθώς τα τελευταία χρόνια έχουν λάβει χώρα ορισμένα περιστατικά όπου παρατηρήθηκαν μεγάλες ταλαντώσεις σε γέφυρες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η γέφυρα millennium στο Λονδίνο, η γέφυρα Solferino στη Αγγλία καθώς και πεζογέφυρες σε πολλές άλλες χώρες όπως, Ιαπωνία κλπ.

Ένας πεζός όταν είναι ακίνητος εξασκεί μία κατακόρυφη δύναμη ($W=m \cdot g$) στο κατάστρωμα. Όταν όμως αρχίσει να κινείται τότε εμφανίζεται μία κατακόρυφη δύναμη η οποία είναι μεταβαλλόμενη και όχι σταθερή καθώς και μία μεταβαλλόμενη οριζόντια πατάει μία στο δεξί και μία στο αριστερό πόδι. Οι παραπάνω δυνάμεις καθώς και τα αποτελέσματα που επιφέρουν στις αναλύσεις θα αναπτυχθούν περαιτέρω στη συνέχεια του κεφαλαίου πλην όμως κρίνεται σκόπιμο να παρουσιασθούν συνοπτικά οι δραστηριότητες των διαφόρων κινήσεων καθώς και το εύρος συχνοτήτων τους στον παρακάτω πίνακα.

Δραστηριότητα	Περιγραφή	Εύρος Συχνοτήτων (Hz)	
Βάδισμα	Συνεχή επαφή με το έδαφος	1.6 – 2.4	
		Αργό	≈ 1.7
		Μέτριο	≈ 2.0
		Γρήγορο	≈ 2.3
Τρέξιμο	Συνεχή επαφή με το έδαφος	2.0 – 3.5	
		Αργό	≈ 2.1
		Μέτριο	≈ 2.5
		Γρήγορο	≈ 3.0
Άλμα	Επί τόπου κανονικό ή υψηλό ρυθμικό άλμα με ταυτόχρονη επαφή και των δύο πελμάτων με το έδαφος	1.8 – 3.4	
Χορός		1.5 – 3.0	

Πίνακας 3 Δραστηριότητες Πεζών και Εύρος Κινήσεων

Οι δυνάμεις που εξασκούνται στο κατάστρωμα λόγω του βαδίσματος. Για παράδειγμα, στο κατάστρωμα ασκείται λόγω ενός μέσου βαδίσματος δύναμη που αντιστοιχεί συχνότητα 2 Hz. Αυτό πρακτικά σημαίνει δύο βήματα ανά δευτερόλεπτο και οπότε η ιδιοπερίοδος είναι 0,5 sec.

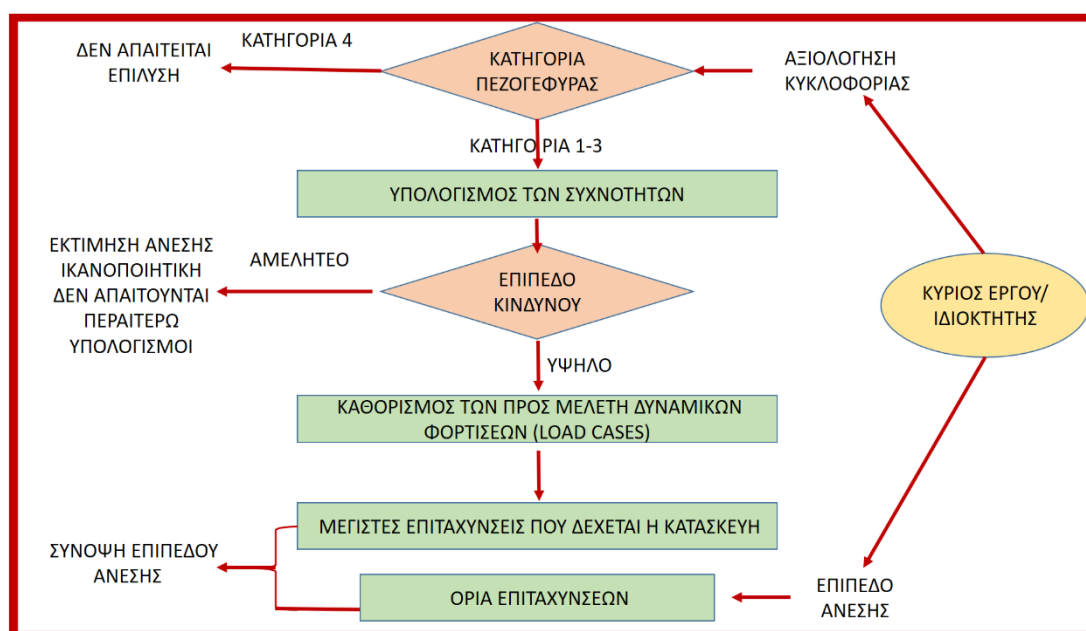
4.2 Μεθοδολογία Ανάλυσης Πεζογεφυρών από τα Δυναμικά Φορτία των Πεζών

Η προτεινόμενη μεθοδολογία στοχεύει στον περιορισμό των κινδύνων συντονισμού της γέφυρας ο οποίος δύναται να προκληθεί από το βηματισμό των πεζών. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο γεγονός ότι πολύ ελαφριές πεζογέφυρες μπορεί να υποβάλλονται σε σημαντικές ταλαντώσεις.

Κατ αρχάς, προ της έναρξης των εργασιών, ο κύριος του Έργου αποφασίζει τον τρόπο προσέγγισης του προβλήματος με τον ορισμό της κατηγορίας της γέφυρας και του επίπεδο άνεσης του χρήστη.

Η κατηγορία της Πεζογέφυρας συμβαδίζει με την αναγκαιότητα υπολογισμού της ιδιοσυχνότητας της γέφυρα καθόσον μετέπειτα, πρόκειται να προκύψουν οι δυναμικές συνθήκες φόρτισης (Load Cases - LC)

Οι LC ορίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αντιπροσωπεύουν τις διάφορες πιθανές επιπτώσεις στη γέφυρα από την κυκλοφορία των πεζών. Μετέπειτα, θα προκύψουν οι τιμές της επιτάχυνσης στις οποίες θα υπόκειται η κατασκευή καθώς και το επίπεδο (εύρος) άνεσης του χρήστη. Η μεθοδολογία συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.



Πίνακας 4 Αλληλουχία ενεργειών προσέγγισης του προβλήματος

Βήμα 1: Προσδιορισμός Κατηγορίας Πεζογέφυρας.

Η Κατηγοριοποίηση της πεζογέφυρας δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού του επιπέδου της κυκλοφορίας πεζών που μπορεί να δεχθεί.

Κατηγορία IV: Περιλαμβάνονται οι πεζογέφυρες που χρησιμοποιούνται με μικρή συχνότητα και έχουν κατασκευαστεί ώστε να συνδέουν αραιοκατοικημένες περιοχές ή να συνδέσουν δρομολόγια πεζών ή διασφαλίζουν τη συνέχεια ενός πεζόδρομου σε αυτοκινητόδρομους.

Κατηγορία III: Περιλαμβάνονται οι πεζογέφυρες για τυπική χρήση, που δύναται περιστασιακά να τη διασχίσουν σε μεγάλες ομάδες ατόμων αλλά δε θα δεχθούν σημαντικά φορτία στην περιοχή των εφεδράνων.

Κατηγορία II: Περιλαμβάνονται αστικές πεζογέφυρες που συνδέουν αραιοκατοικημένες περιοχές οι οποίες δύναται περιστασιακά να δεχθούν μεγάλα φορτία την περιοχή των εφεδράνων.

Κατηγορία I: Περιλαμβάνει αστικές πεζογέφυρες που συνδέουν περιοχές υψηλής κυκλοφορίας και κινητικότητας πεζών όπως για παράδειγμα γέφυρες κοντά σε σιδηροδρομικό σταθμό - υπόγειο σταθμό του ΜΕΤΡΟ ή γέφυρες χρησιμοποιούμενες συχνά από πυκνά πλήθη (διαδηλώσεις, τουρίστες) κλπ οι οποίες υπόκεινται συχνά σε πολύ μεγάλη κίνηση.

Η κατηγοριοποίηση της πεζογέφυρας πραγματοποιείται ως συνάρτηση των παραπάνω πληροφοριών λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. Οι πεζογέφυρες κατηγορίας IV δεν απαιτούν υπολογισμούς για τον έλεγχο της δυναμικής τους συμπεριφοράς ενώ στις περιπτώσεις πολύ ελαφριών πεζογεφυρών κρίνεται σκόπιμη η επιλογή κατ' αρχάς της κατηγορίας III προκειμένου να εξεταστεί ο έλεγχος της ελάχιστης απαίτησης κινδύνου

Βήμα 2: Προσδιορισμός Επιπέδου Άνεσης

Τα επίπεδα άνεσης κατηγοριοποιούνται στο μέγιστο επίπεδο όπου οι επιταχύνσεις που εμφανίζονται στις πεζογέφυρες είναι ανεπαίσθητες, στο ενδιάμεσο όπου οι επιταχύνσεις γίνονται ελάχιστα αντιληπτές από το χρήστη και στο ελάχιστο επίπεδο άνεσης αφορά σε συνθήκες σπάνιες όπου οι επιταχύνσεις από τη γέφυρα γίνονται αντιληπτές αλλά όχι ανυπόφορες.

Συνεπώς, είναι κατανοητό ότι τα παραπάνω στοιχεία δεν μπορούν να αποτελέσουν απόλυτα κριτήρια καθώς η έννοια της άνεσης είναι εξαιρετικά υποκειμενική και κάθε άτομο βιώνει διαφορετικά ένα συγκεκριμένο επίπεδο επιτάχυνσης. Επιπρόσθετα, η επιλογή του επιπέδου άνεσης επηρεάζεται

συνήθως από τον πληθυσμό που χρησιμοποιεί τη γέφυρα και από το επίπεδο σπουδαιότητάς του. Είναι πιθανό το επίπεδο σπουδαιότητας να αυξάνεται αν η πληθυσμιακή ομάδα που χρησιμοποιεί τη πεζογέφυρα είναι μαθητές σχολείου, ηλικιωμένοι ή άτομα με ειδικές ανάγκες.

Σε περιπτώσεις όπου ο κίνδυνος συντονισμού θεωρείται αμελητέος μετά τον υπολογισμό των ιδιοσυχνοτήτων το επίπεδο άνεσης της γέφυρας θεωρείται επαρκές χωρίς περαιτέρω επίλυση. Το επίπεδο άνεσης που επιτυγχάνεται αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη την επιτάχυνση που έχει υποστεί η γέφυρα. Δεδομένης της υποκειμενικής φύσης της έννοιας άνεσης, κρίθηκε προτιμότερη από τη λογική διαχωρισμού σε τέσσερα εύρη άνεσης όπως παρακάτω:

- Εύρος άνεσης 1: Μέγιστη αίσθηση άνεσης από το χρήστη
- Εύρος άνεσης 2: Ενδιάμεση αίσθηση άνεσης από το χρήστη
- Εύρος άνεσης 3: Ελάχιστη αίσθηση άνεσης από το χρήστη
- Εύρος άνεσης 4: Μη αποδεκτό επίπεδο λόγω εξαιρετικά δυσμενών επιταχύνσεων.

Εύρη Επιταχύνσεων (m/sec ²)	0	0.5	1.0	2.5
Εύρος Άνεσης «1»	Μέγιστο			
Εύρος Άνεσης «2»		Ενδιάμεσο		
Εύρος Άνεσης «3»			Ελάχιστο	
Εύρος Άνεσης «4»				
Εύρη επιταχύνσεων σε m/sec ² για τις κατακόρυφες δονήσεις				

Εύρη Επιταχύνσεων (m/sec ²)	0	0.1	0.15	0.3	0.8
Εύρος Άνεσης «1»	Μέγιστο				
Εύρος Άνεσης «2»			Ενδιάμεσο		
Εύρος Άνεσης «3»				Ελάχιστο	
Εύρος Άνεσης «4»					
Εύρη επιταχύνσεων σε m/sec ² για τις οριζόντιες δονήσεις					
Για την αποφυγή του φαινομένου «lock in» οι επιταχύνσεις παίρνουν τιμές >0.1					

Πίνακας 5 Εύρη επιταχύνσεων για κατακόρυφες και οριζόντιες δονήσεις (SETRA)

Βήμα 3: Προσδιορισμός των επιταχύνσεων και της ανάγκης ή όχι για τη διεξαγωγή δυναμικών αναλύσεων

Για τις πεζογέφυρες κατηγορίας I έως III, είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός της ιδιοσυχνότητας της κατασκευής. Οι εν λόγω ιδιοσυχνότητες αφορούν στην κατακόρυφη και στην οριζόντια κατεύθυνση. Η οριζόντια, όπως αναλύθηκε

παραπάνω, διακρίνεται σε διαμήκη και εγκάρσια. Οι υπολογισμοί λαμβάνουν χώρα για δύο υποθέσεις. Στην πρώτη υπόθεση η πεζογέφυρα δεν φέρει κινητά φορτία ενώ στη δεύτερη φορτίζεται στην περιοχή των εφεδράνων με φορτίο 700N/m^2 (70Kg/m^2).

Τα εύρη στα οποία τοποθετούνται οι ιδιοσυχνότητες καθιστούν δυνατή την εκτίμηση του κινδύνου από την κυκλοφορία πεζών και κατά συνέπεια προσδιορίζουν ποιες Load cases θα αναλυθούν ώστε να επιβεβαιωθούν τα κριτήρια άνεσης.

Συνεπώς, όσον αφορά στην κατηγοριοποίηση του εύρους συχνοτήτων αυτή έχει όπως παρακάτω

- Εύρος Συχνοτήτων 1: μέγιστος κίνδυνος συντονισμού.
- Εύρος Συχνοτήτων 2: μέσος κίνδυνος συντονισμού.
- Εύρος Συχνοτήτων 3: χαμηλός κίνδυνος συντονισμού για τυπικές καταστάσεις φόρτωσης.
- Εύρος Συχνοτήτων 4: αμελητέος κίνδυνος συντονισμού.

Τα εύρη συχνοτήτων για καθώς και για εγκάρσιες οριζόντιες αντίστοιχα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Εύρη Συχνοτήτων (Hz)	0	1.0	1.7	2.1	2.6	5.0
Εύρος «1»						
Εύρος «2»						
Εύρος «3»						
Εύρος «4»						
Εύρη συχνοτήτων σε Hz για τις κατακόρυφες / διαμήκεις δονήσεις						

Εύρη Συχνοτήτων (Hz)	0	0.3	0.5	1.1	1.3	2.5
Εύρος «1»						
Εύρος «2»						
Εύρος «3»						
Εύρος «4»						
Εύρη συχνοτήτων σε Hz για τις εγκάρσιες οριζόντιες δονήσεις						

Πίνακας 6 Εύρη συχνοτήτων για κατακόρυφες / διαμήκεις και για εγκάρσιες οριζόντιες δονήσεις (SETRA)

Για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων δυναμικών υπολογισμών, διακρίνονται 3 Load cases τα οποία εφαρμόζονται στο υπολογιστικό μοντέλο είτε στο σύνολο τους είτε κάποια μόνο από αυτά. Συνεπώς, ανάλογα με το πλήθος των ατόμων που χρησιμοποιούν τη γέφυρα διακρίνεται:

- Load Case 1: σποραδικό και πυκνό πλήθος
- Load Case 2: πολύ πυκνό πλήθος
- Load Case 3: Για ομοιόμορφα κατανεμημένο πλήθος (2^η ιδιοσυχνότητα)

Οι έλεγχοι των επιταχύνσεων ως προς το πλήθος και τον τρόπο φόρτισης ανά κατηγορία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πλήθος	Κατηγορία	Natural Frequency Range		
		1	2	3
Αραιό	III	LC1	--	--
Πυκνό	II	LC1	LC 1	LC3
Εξαιρετικά Πυκνό	I	LC2	LC2	LC3

Πίνακας 7 Έλεγχοι επιταχύνσεων ως προς το πλήθος και τον τρόπο φόρτισης (SETRA)

Βήμα 4: Αναλύσεις με δυναμικές Load Cases (εφ' όσον απαιτηθεί)

Αν κατά το προηγούμενο βήμα προκύψει το συμπέρασμα ότι απαιτούνται δυναμικές αναλύσεις τότε αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Ελέγχους που αφορούν στα κριτήρια άνεσης
- Ελέγχους SLS και ULS

Ο ορισμός των LC σκοπεύει στο να επεξηγήσει με απλοποιημένο και πρακτικό τρόπο τις επιπτώσεις του αριθμού των πεζών σε μία πεζογέφυρα. Οι γέφυρες, έχουν κατασκευαστεί ώστε να αντέχουν σε δονήσεις ή συχνότητες οι οποίες βρίσκονται εντός ενός εύρους όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος συντονισμού.

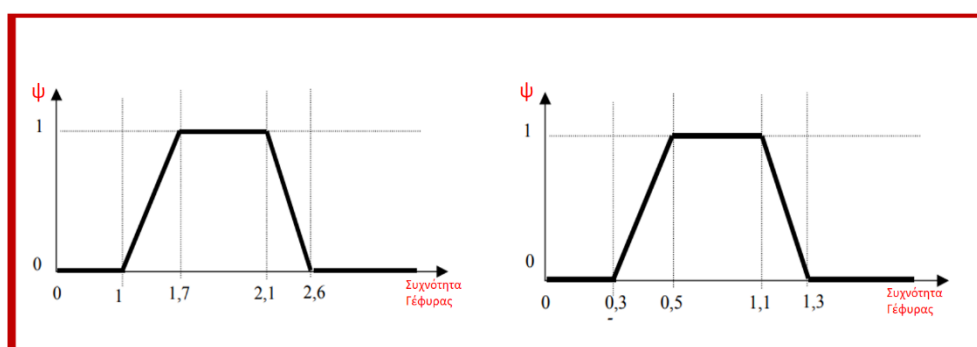
Load Case 1: Σποραδικό και πυκνό πλήθος

Η συγκεκριμένη κατηγορία φόρτισης αφορά στις πεζογέφυρες κατηγορίας III (αραιό πλήθος) και II (πυκνό πλήθος). Η πυκνότητα d του πλήθους των πεζών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ανάλογα με την κατηγορία της πεζογέφυρας και έχει τις παρακάτω τιμές

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ «d» ΤΩΝ ΠΕΖΩΝ
III	0,5 Πεζοί ανά τετραγωνικό μέτρο
II	0,8 Πεζοί ανά τετραγωνικό μέτρο

Πίνακας 8 Πυκνότητα d πεζών ανά κατηγορία

Η πυκνότητα των πεζών, το πλήθος, θεωρείται ότι είναι ομοιόμορφα κατανομημένο στη συνολική έκταση της πεζογέφυρας S . Επομένως, ο αριθμός των πεζών που βρίσκονται στη πεζογέφυρα είναι: $N = S \times d$. Ακόμη, ο αριθμός των ισοδύναμων πεζών, δηλαδή των ατόμων που βρίσκονται σε ίδια συχνότητα και φάση και παράγουν τα ίδια αποτελέσματα με τυχαίους πεζούς σε συχνότητα και φάση ισούται με: $N_{\text{ισοδυν}} = 10,8 \times (\xi \times N)^9$. Το φορτίο που πρέπει να ληφθεί υπόψη τροποποιείται με τον συντελεστή ψ ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος συντονισμού δηλαδή εκτός του εύρους 1,7 Hz – 2,1 Hz για κάθετες επιταχύνσεις και 0,5 Hz – 1,1 Hz για οριζόντιες επιταχύνσεις. Ο παράγοντας ψ μηδενίζεται στις περιπτώσεις όπου η συχνότητα της πεζογέφυρας είναι μικρότερη από 1 Hz για την κατακόρυφη δράση και 0,3 Hz για την οριζόντια. Τέλος στις περιπτώσεις όπου η κατακόρυφη δράση είναι μεγαλύτερη από 2,6 Hz και η κατακόρυφη δράση από 1,3 Hz είναι αναγκαία η εξέταση και της δεύτερης ιδιομορφής των πεζών.



Εικόνα 13 Μειωτικός συντελεστής " ψ " για κατακόρυφες και διαμήκεις περιπτώσεις (αριστερά) καθώς και για πλευρικές δονήσεις (δεξιά)

⁹ Για περισσότερες λεπτομέρειες Κεφάλαιο 1 SETRA

Παρακάτω, συνοψίζονται τα φορτία ανά μονάδα επιφάνειας που πρόκειται εφαρμοσθούν ανά κατεύθυνση για οποιοδήποτε τυχαίο πλήθος. Όπου ξ , η κρίσιμη απόσβεση και n ο αριθμός των πεζών ($d \cdot S$)

ΚΑΤΕΥΣΘΥΝΣΗ	Load /m ²
Κάθετη - vertical	$d \times (280N) \times \cos(2\pi fvt) \times 10.8 \times (\xi / n)^{1/2} \times \psi$
Διαμήκης - Longitudinal	$d \times (140N) \times \cos(2\pi fvt) \times 10.8 \times (\xi / n)^{1/2} \times \psi$
Εγκάρσια - Transversal	$d \times (35N) \times \cos(2\pi fvt) \times 10.8 \times (\xi / n)^{1/2} \times \psi$

Πίνακας 9 Φορτία ανά μονάδα επιφάνειας και ανά κατεύθυνση για LOAD CASE 1 (SETRA)

Τα παραπάνω φορτία θα πρέπει να εφαρμόζονται σε ολόκληρη την πεζογέφυρα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς το μέγιστο αποτέλεσμα.

Load Case 2: Πολύ πυκνό πλήθος

Η συγκεκριμένη κατηγορία φόρτισης αφορά στις πεζογέφυρες κατηγορίας Ι. Σε αυτή την περίπτωση, η πυκνότητα των πεζών θεωρείται ως ένας πεζός ανά τετραγωνικό μέτρο και είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος στη συνολική έκταση της πεζογέφυρας S. Οι πεζοί έχουν την ίδια συχνότητα με τυχαία φάση.

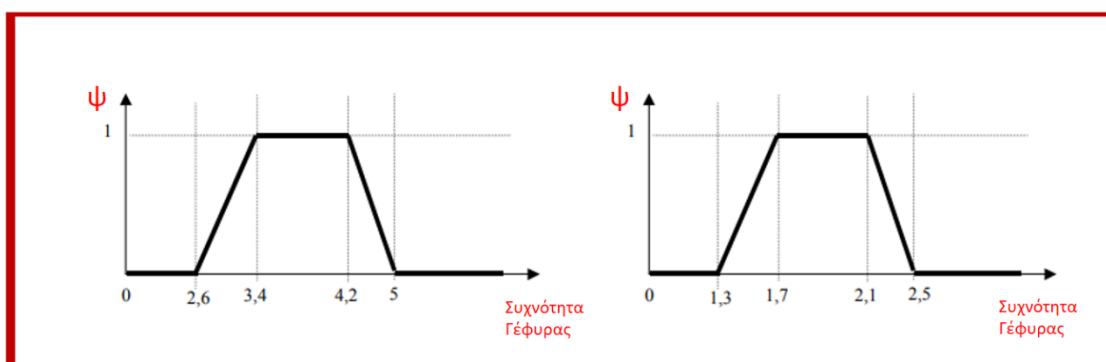
ΚΑΤΕΥΣΘΥΝΣΗ	Load /m ²
Κάθετη - vertical	$1.0 \times (280N) \times \cos(2\pi fvt) \times 10.8 (1/n)^{1/2} \times \psi$
Διαμήκης - Longitudinal	$1.0 \times (140N) \times \cos(2\pi fvt) \times 10.8 (1/n)^{1/2} \times \psi$
Εγκάρσια - Transversal	$1.0 \times (35N) \times \cos(2\pi fvt) \times 10.8 (1/n)^{1/2} \times \psi$

Πίνακας 10 Φορτία ανά μονάδα επιφάνειας και ανά κατεύθυνση για LOAD CASE 1 (SETRA)

Load Case 3: Επιρροή της δεύτερης ιδιομορφής του πλήθους

Η εν λόγω κατηγορία φόρτισης είναι παρόμοια με την I και II αλλά λαμβάνει υπόψη της τη δεύτερη ιδιομορφή των πεζών κατά το βάδισμά τους η οποία κατά μέσο όρο εμφανίζεται διπλάσια της πρώτης. Η συγκεκριμένη φόρτιση επιβάλλεται μόνο σε κατηγορίες γεφυρών I και II. Όμοια η πυκνότητα των πεζών θεωρείται 0,8 άτομα/ τετραγωνικό μέτρο και 1.0 άτομο ανά τετραγωνικό μέτρο αντίστοιχα για πεζογέφυρες κατηγορίας II και I αντίστοιχα. Η δύναμη που ασκεί ο κάθε πεζός λαμβάνεται ως 70N για την κατακόρυφη διεύθυνση, 7N για την εγκάρσια και 35 για την διαμήκη. Ο μειωτικός συντελεστής ψ δίνεται από το παρακάτω σχήμα.

Σελ. | 40



Εικόνα 14 Μειωτικός Συντελεστής "Ψ" για κατακόρυφες (αριστερά) και πλευρικές (δεξιά) δονήσεις

Κατά τους υπολογισμούς η κρίσιμη απόσβεση της πεζογέφυρας λαμβάνεται από τον παρακάτω πίνακα. Σε περίπτωση διαφορετικών υλικών τότε η κρίσιμη απόσβεση λαμβάνεται ανάλογα με το ποσοστό που συμμετέχει το κάθε υλικό στη συνολική δυσκαμψία της κατασκευής.

Υλικό κατασκευής	Κρίσιμη Απόσβεση
Ωπλισμένο Σκυρόδεμα	1.3%
Προεντεταμένο σκυρόδεμα	1.0%
Σύμμικτη κατασκευή	0.6%
Χάλυβας	0.4%
Ξύλο	1.0%

Πίνακας 11 Κρίσιμη απόσβεση αναλόγως του υλικού της κατασκευής (SETRA)

Βήμα 5: Τροποποίηση του τρόπου σχεδίασης της γέφυρας

Στην περίπτωση όπου οι παραπάνω υπολογισμοί δεν καταλήξουν σε ασφαλή αποτελέσματα, τότε ενδέχεται το έργο να απαιτηθεί να επανασχεδιαστεί αν πρόκειται για νέα γέφυρα ή θα πρέπει να πραγματοποιηθούν τροποποιήσεις στην περίπτωση ήδη υπάρχουσας γέφυρας. Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά με σειρά φθίνουσας σημασίας οι προτάσεις τροποποίησης μίας ήδη υπάρχουσας γέφυρας προκειμένου οι αναλύσεις της να δώσουν ασφαλή αποτελέσματα.

Σελ. | 41

- α) Τροποποίηση των ιδιοσυχνοτήτων της γέφυρας
 - Κατακόρυφες δονήσεις
 - Στρεπτικές δονήσεις
 - Οριζόντιες δονήσεις
- β) Μείωση των επιταχύνσεων των δομικών μερών
- γ) Σεισμική Μόνωση – εναλλακτικές λύσεις (απλά εφέδρανα, εφέδρανα με απόσβεση)

4.3 Σύνομη Περιγραφή της Πεζογέφυρας Αλίμου

Η μελέτη σκοπιμότητας για την κατασκευή τόσο του συγκεκριμένου τύπου πεζογέφυρας όσο και ενός δεύτερου παρόμοιου ανοίγματος αφορούσε στη συλλογή πληροφοριών από αριθμό ατυχημάτων πεζών σε διάφορες θέσεις του λεκανοπεδίου. Οι παραπάνω πληροφορίες αναφορικά με τον αριθμό των ατυχημάτων δόθηκαν είτε σε απόλυτο αριθμό ατυχημάτων είτε υπήρξε συσχέτιση τους με το φόρτο των πεζών στα συγκεκριμένα τμήματα του οδικού άξονα. Οδικού άξονα του λεκανοπεδίου. Τα δεδομένα αφού συγκεντρώθηκαν μετά από την επεξεργασία τους διερευνήθηκε τελικά η δυνατότητα ή όχι κατασκευής της γέφυρας στη εκάστοτε θέση.

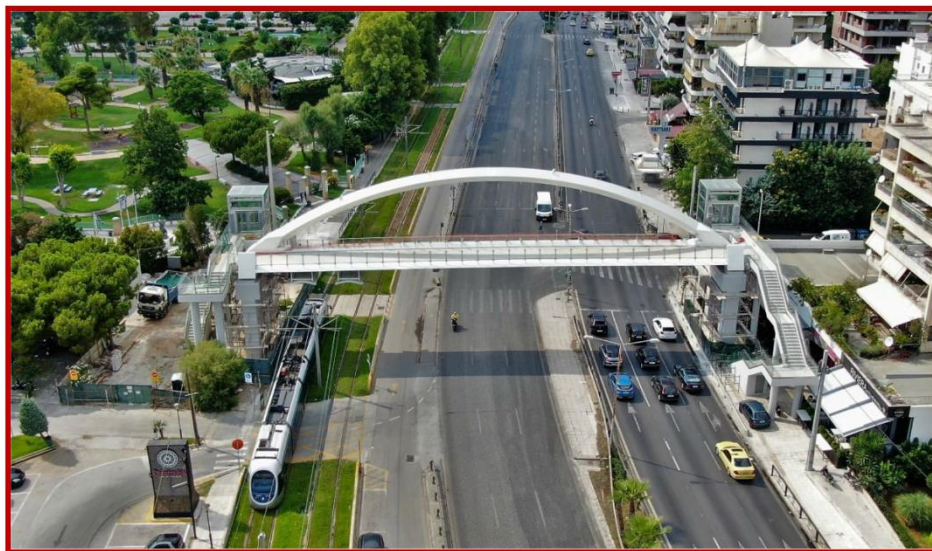
Κάποιες ενδεικτικές θέσεις αποτέλεσαν τμήματα ανάμεσα σε σηματοδοτούμενους κόμβους, μεγάλα πλάτη αξόνων χωρίς μεσαίες νησίδες ενώ δεν πρέπει να αμεληθεί το γεγονός ότι ελήφθησαν υπόψη οι δραστηριότητες καθώς και ο φόρτος εργασίας του οδικού άξονα. Στην περίπτωση όπου υπήρχε δυνατότητα κάποιας εναλλακτικής λύσης, η κατασκευή της γέφυρας στη συγκεκριμένη θέση απορριπτόταν.

Επιλέχθηκαν αρκετές θέσεις σε οδικό δίκτυο μήκους 166 χιλιομέτρων πρωτεύοντος αστικού δικτύου. Η συγκεκριμένη πεζογέφυρα κατασκευάστηκε στη λεωφόρο Ποσειδώνος και Καλαμακίου στον Άλιμο.

Η πεζογέφυρα έχει συνολικό άνοιγμα 43.5 μέτρα και ωφέλιμο πλάτος (βατό τμήμα) 3.0 μέτρα αφαιρουμένου ελκυστήρα και λοιπών βοηθητικών

κατασκευών. Επιπρόσθετα, φέρει μονό τόξο κοίλης συγκολλητής τετράγωνης διατομής καθώς και ελκυστήρα. Επίσης φέρει έξι καλώδια τύπου PFEIFER PV 115 και αριθμός εγκάρσιων δοκών καταστρώματος. Το μέσο ελεύθερο ύψος της ανέρχεται στα 8.30 μέτρα.

Επίσης έχει μία κλίμακα ωφέλιμου πλάτους 1.5 μέτρων καθώς και δύο ανελκυστήρες ανόδου σε κάθε τμήμα. Τα ακρόβαθρα της γέφυρας έχουν παραλληλόγραμμη διατομή σε κάτοψη με κενό (μη συμπαγής). Ο ανελκυστήρας θεμελιώθηκε μέσω πασσάλων διαφορετικής διαμέτρου (80, 100 ή 150 εκατοστών)



Εικόνα 15 Αεροφωτογραφία Πεζογέφυρας Αλίμου

Τα βάθρα συνδέονται με το κατάστρωμα μέσω τεσσάρων εφεδράνων ώστε να επιτευχθεί καλύτερη συμπεριφορά έναντι των φαινομένων του συντονισμού. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά του κάθε χρησιμοποιούμενου εφεδράνου περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

α/α	θέση	Τύπος σφαιρικού εφεδράνου	Χαρακτηριστικά				
			Κατακόρυφο φορτίο [κΝ]	Οριζόντιο φορτίο εγκάρσιως [κΝ]	Οριζόντιο φορτίο διαμήκως [κΝ]	Ικανότητα διαμήκους οριζόντιας μετακίνησης [mm]	Ικανότητα οριζόντιας μετακίνησης εγκάρσιως [mm]
1	A	δεσμευμένο εγκάρσιως και ελεύθερο διαμήκως	1150	850	--	±130	--
2	B	ελεύθερο διαμήκως	1150	--	--	±130	±30

		και εγκαρσίως					
3	Γ	δεσμευμένο διαμήκως και ελεύθερο εγκαρσίως	1150	--	1100	--	±30 Σελ. 43
4	δ	Σταθερό σφαιρικό εφένδρανο	1150	850	1100	--	--

Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων εφένδρανων

4.4 Επίλυση (Δυναμικά Φορτία Πεζών)

Η επίλυση της πεζογέφυρας αναφορικά με τα φορτία των πεζών θα ακολουθήσει την αναγραφόμενη μεθοδολογία του Κεφαλαίου 3 της παρούσης εργασίας

Ροπή αδρανείας της Γέφυρας : $I_{xx} = 1,7928E-05 \text{ m}^4$

$m = 2163,2 \text{ Kg/m}$

Μέτρο Ελαστικότητας Χάλυβα $E = 210 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$

Κατηγορία III

Οι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν αρχικά με την υπόθεση ότι η πεζογέφυρα κατατάσσεται στη κατηγορία III δηλαδή μια γέφυρα κανονικής χρήσης που μπορεί κάποιες φορές να διασχίζεται από μεγάλο πλήθος αλλά ποτέ δεν δέχεται φορτίο σε όλη την επιφάνεια της.

Υπολογισμός Ιδιοσυχνοτήτων

Η ιδιοσυχνότητα (natural frequency) ισούται με

$$Fn = \frac{n^2 \cdot \pi}{2 \cdot L^2} * \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho S}}$$

Όπου ρS είναι η γραμμική πυκνότητα (Kg/m) του καταστρώματος προσαυξομένη με την αντίστοιχη των πεζών. Για Κατηγορία III η πυκνότητα $d = 0,5$ πεζοί / m^2 Επομένως ο αριθμός των πεζών $n_p = 0,5 * 3 * 43,5 = 65,25 = 66$ πεζοί, των οποίων η συνολική μάζα $m = 70 \text{ N} * 66 = 4620 \text{ kg}$. Η μάζα των πεζών ανά μέτρο μήκους $m_p = 4620 / 43,5 = 106,2 \text{ kg/m}$

Η Συνολική μάζα ανά μέτρο μήκους $\rho_s = 94100/43.5 + 2*66 = 2163.2 + 2*66 = 2269 \text{ Kg/m}$

Για την πρώτη ιδιομορφή το άνω και κάτω άκρο υπολογίζεται ως εξής

$$F_1 = \frac{1^2 * \pi}{2 * 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2163.2}} \quad \text{και} \quad F_1 = \frac{1^2 * \pi}{2 * 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2163.2 + 2 * 66}}$$

Σελ. | 44

δηλαδή $F_1 = 0,034631 \text{ Hz}$ και $F_1 = 0,03382 \text{ Hz}$ αντίστοιχα

Όμοια για τη δεύτερη ιδιομορφή τα όρια είναι

$$F_2 = \frac{2^2 * \pi}{2 * 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2163.2}} \quad \text{και} \quad F_2 = \frac{2^2 * \pi}{2 * 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2163.2 + 2 * 66}}$$

δηλαδή $F_2 = 0,131 \text{ Hz}$ και $F_2 = 0,132 \text{ Hz}$ αντίστοιχα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ : Οι δύο ιδιομορφές βρίσκονται μέσα στο εύρος Συχνοτήτων «4» και για κατακόρυφες / διαμήκειες και για εγκάρσιες οριζόντιες δονήσεις οπότε ο κίνδυνος συντονισμού είναι αμελητέος.

Υπολογισμός Δυναμικού Φορτίου Πεζών

Πρόκειται να υπολογισθεί η πρώτη ιδιομορφή με κρίσιμο ποσοστό απόσβεσης το 0.6% καθώς πρόκειται για σύμμικτο κατάστρωμα. Το επιφανειακό φορτίο αναφορικά με την κατακόρυφη συνιστώσα ισούται με $F_s = 1.0 \times (280\text{N}) \times \cos(2\pi f t) \times 10.8 (1/n) 1/2 \times \psi$, όπου $\psi \rightarrow$ μειωτικός συντελεστής. Το επιφανειακό φορτίο ισούται με $F_s = 0.5 \times (280\text{N}) \times \cos(2\pi 0,0342 t) \times 0.120 * 0,01 = 0,144 * \cos(2\pi 0,0342 t)$ ενώ το αντίστοιχο γραμμικό $F = F_s * l_p = 0,144 * 3.5 * \cos(2\pi 0,0342 t) = 0,432$

Υπολογισμών δυναμικών αποκρίσεων

Η μέγιστη επιτάχυνση ισούται με $A_{ccmax} = \frac{1}{2\xi_n\pi} * \frac{4 * F}{\rho_s}$

Και με αντικατάσταση έχουμε $A_{ccmax} = \frac{1}{2 * \frac{0.6}{100} \pi} * \frac{4 * 0,432}{2163.2}$

Δηλαδή $A_{ccmax} = 0,20 \text{ m/sec}^2$

Συμπέρασμα : Εύρος άνεσης 1 \rightarrow Μέγιστο εύρος άνεσης χωρίς πιθανότητα ανάπτυξης φαινομένου Lock in για οριζόντιες δονήσεις

Κατηγορία II

Οι ίδιοι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν με την υπόθεση ότι η πεζογέφυρα κατατάσσεται στη κατηγορία II, δηλαδή αστική πεζογέφυρα που συνδέει αραιοκατοικημένες περιοχές οι οποίες δύναται περιστασιακά να δεχθούν μεγάλα φορτία την περιοχή των εφεδράνων.

Υπολογισμός Ιδιοσυχνοτήτων

Όμοια, ο συντελεστής κρίσιμης απόσβεσης ισούται με $\xi_n = 0.6\%$ όπως και στην Κατηγορία III. Η ιδιοσυχνότητα (natural frequency) ισούται με

$$Fn = \frac{n^2 * \pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{E * I}{\rho S}}$$

Όπου ρS είναι η γραμμική πυκνότητα (Kg/m) του καταστρώματος προσαυξούμενη με την αντίστοιχη των πεζών. Για Κατηγορία II η πυκνότητα $d = 0,8$ πεζοί / m^2 . Επομένως ο αριθμός των πεζών $n_p = 0,8 * 3 * 43,5 = 104,4 = 105$ πεζοί, των οποίων η συνολική μάζα $m = 70N * 105 = 7350$ kg. Η μάζα των πεζών ανά μέτρο μήκους $m_p = 7350 / 43,5 = 168,97$ kg/m

Η Συνολική μάζα ανά μέτρο μήκους $\rho_s = 94100/43,5 + 168,97 = 2163,2 + 168,97 = 2332,16$ Kg/m

Για την πρώτη ιδιομορφή το άνω και κάτω άκρο υπολογίζεται ως εξής

$$F_1 = \frac{1^2 * \pi}{2 * 43,5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2332,16}} \quad \text{και} \quad F_1 = \frac{1^2 * \pi}{2 * 43,5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2332,16 + 2 * 105}}$$

Όμοια για τη δεύτερη ιδιομορφή τα όρια είναι

$$F_2 = \frac{2^2 * \pi}{2 * 43,5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2332,16}} \quad \text{και} \quad F_2 = \frac{2^2 * \pi}{2 * 43,5^2} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 * I}{2332,16 + 2 * 105}}$$

δηλαδή $F_1 = 0,22$ Hz και $F_1 = 0,23$ Hz αντίστοιχα

και

δηλαδή $F_2 = 0,32$ Hz και $F_2 = 0,33$ Hz αντίστοιχα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ : Οι δύο ιδιομορφές βρίσκονται μέσα στο εύρος Συχνοτήτων «4» και για κατακόρυφες / διαμήκειες και για εγκάρσιες οριζόντιες δονήσεις οπότε ο κίνδυνος συντονισμού είναι αμελητέος

Υπολογισμός Δυναμικού Φορτίου Πεζών

Πρόκειται να υπολογισθεί η πρώτη ιδιομορφή με κρίσιμο ποσοστό απόσβεσης το 0.6% καθώς πρόκειται για σύμμικτο κατάστρωμα. Το επιφανειακό φορτίο αναφορικά με την κατακόρυφη συνιστώσα ισούται με $F_s = 0.8 \times (280\text{N}) \times \cos(2\pi f_n t) \times 10.8 (1/n) 1/2 \times \psi$, όπου $\psi \rightarrow$ μειωτικός συντελεστής. Το επιφανειακό φορτίο ισούται με $F_s = 0.8 \times (280\text{N}) \times \cos(2\pi f_n t) \times 0.120 \times 0,1 = 0,022 \times \cos(2\pi f_n t)$ ενώ το αντίστοιχο γραμμικό $F = F_s \times l_p = 0,022 \times 3 \times \cos(2\pi f_n t) = 0,18$

Σελ. | 46

Υπολογισμών δυναμικών αποκρίσεων

Η μέγιστη επιτάχυνση ισούται με $A_{ccmax} = \frac{1}{2\xi_n\pi} * \frac{4 * F}{\rho_s}$

Και με αντικατάσταση έχουμε $A_{ccmax} = \frac{1}{2 * \frac{0.6}{100} \pi} * \frac{4 * 0,18}{2232.16}$

Δηλαδή $A_{ccmax} = 0,25 \text{ m/sec}^2$

Συμπέρασμα: Εύρος άνεσης 1 \rightarrow Μέγιστο εύρος άνεσης χωρίς πιθανότητα ανάπτυξης φαινομένου Lock in για οριζόντιες δονήσεις

Κατηγορία I

Όμοια, υποθέτοντας ότι η πεζογέφυρα κατατάσσεται στην κατηγορία I, δηλαδή αστική πεζογέφυρα η οποία συνδέει περιοχές υψηλής κυκλοφορίας και κινητικότητας πεζών όπως για παράδειγμα γέφυρες κοντά σε σιδηροδρομικό σταθμό - υπόγειο σταθμό του ΜΕΤΡΟ ή γέφυρα συχνά χρησιμοποιούμενη συχνά από πλήθη (διαδηλώσεις, τουρίστες) κλπ και γενικά που υπόκειται συχνά σε πολύ μεγάλη κίνηση.

Όμοια, ο συντελεστής κρίσιμης απόσβεσης ισούται με $\xi_n = 0.6\%$ όπως και στην Κατηγορία II. Η ιδιοσυχνότητα (natural frequency) ισούται με

$$F_n = \frac{n^2 * \pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{E * I}{\rho S}}$$

Όπου ρS είναι η γραμμική πυκνότητα (Kg/m) του καταστρώματος προσαυξούμενη με την αντίστοιχη των πεζών. Για Κατηγορία I η πυκνότητα $d = 1.0$ πεζοί / m^2 . Επομένως ο αριθμός των πεζών $n_p = 1.0 * 3,5 * 43.5 = 130.5 = 131$ πεζοί, των οποίων η συνολική μάζα $m = 70\text{N} * 131 = 9170 \text{ kg}$. Η μάζα των πεζών ανά μέτρο μήκους $m_p = 9170 / 43.5 = 210.8 \text{ kg/m}$

Η Συνολική μάζα ανά μέτρο μήκους $\rho_s = 94100/43.5 + 210.8 = 2163.2 + 210.8 = 2374 \text{ Kg/m}$

Για την πρώτη ιδιομορφή το άνω και κάτω άκρο υπολογίζεται ως εξής

$$F_1 = \frac{1^2 \cdot \pi}{2 \cdot 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot I}{2374}} \quad \text{και} \quad F_1 = \frac{1^2 \cdot \pi}{2 \cdot 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot I}{2374 + 2 \cdot 131}}$$

Όμοια για τη δεύτερη ιδιομορφή τα όρια είναι

$$F_2 = \frac{2^2 \cdot \pi}{2 \cdot 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot I}{2374}} \quad \text{και} \quad F_2 = \frac{2^2 \cdot \pi}{2 \cdot 43.5^2} * \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot I}{2374 + 2 \cdot 131}}$$

Σελ. | 47

δηλαδή $F_1 = 0,41 \text{ Hz}$ και $F_1 = 0,43 \text{ Hz}$ αντίστοιχα

και

δηλαδή $F_2 = 0,5 \text{ Hz}$ και $F_2 = 0,53 \text{ Hz}$ αντίστοιχα

Υπολογισμός Δυναμικού Φορτίου Πεζών

Πρόκειται να υπολογισθεί η πρώτη ιδιομορφή με κρίσιμο ποσοστό απόσβεσης το 0.6% καθώς πρόκειται για σύμμικτο κατάστρωμα. Το επιφανειακό φορτίο αναφορικά με την κατακόρυφη συνιστώσα ισούται με $F_s = 1.0 \times (280\text{N}) \times \cos(2\pi fvt) \times 10.8 (1/n)^{1/2} \times \psi$, όπου ψ —μειωτικός συντελεστής. Το επιφανειακό φορτίο ισούται με $F_s = 0.5 \times (280\text{N}) \times \cos(2\pi fvt) \times 0.120 \cdot 1 = 0,204 \cdot \cos(2\pi fvt)$ ενώ το αντίστοιχο γραμμικό $F = F_s \cdot l_p = 0,204 \cdot 3 \cdot \cos(2\pi fvt) = 0.61$

Υπολογισμών δυναμικών αποκρίσεων

Η μέγιστη επιτάχυνση ισούται με $A_{ccmax} = \frac{1}{2\xi_n\pi} * \frac{4 \cdot F}{\rho_s}$

Και με αντικατάσταση έχουμε $A_{ccmax} = \frac{1}{2 * \frac{0.6}{100} \pi} * \frac{4 * 0.61}{2374}$

Δηλαδή $A_{ccmax} = 0,274$

Συμπέρασμα: Εύρος άνεσης 1 → Μέγιστο εύρος άνεσης χωρίς πιθανότητα ανάπτυξης φαινομένου Lock in για οριζόντιες δονήσεις

4.5 Μοντελοποίηση – Στατική και Δυναμική Ανάλυση

4.5.1 Υπολογισμοί Αδρανειακών μεγεθών



Εικόνα 16 Τυπική διατομή της γέφυρας

Αρχικά υπολογίζονται τα αδρανειακά μεγέθη της κύριας διατομής. Η διατομή από το μεταλλικό κοίλο ρόμβο $t=50\text{mm}$, πλάκα ωπλισμένου σκυροδέματος 15cm με μεταλλική φλοιδα, πάχους $t_2 = 35\text{mm}$. Η ροπή αδράνειας του μεταλλικού κοίλου ρόμβου υπολογίσθηκε μέσω AutoCAD με την εντολή Massprop ως $I_{romv,xx}=I_{romv,yy}=0,009\text{ m}^4$

Για το υπόλοιπο τμήμα θα πραγματοποιηθεί προσέγγιση του προβλήματος με τη μέθοδο υπολογίζεται η μετασηματισμένη διατομή. Θέτοντας ως βάση το χάλυβα με $E_{ref} = E_{steel} = 210000\text{KPa}$ ο λόγος $n = E_{concr}/E_{steel} = 0.143$ και συνεπώς οι νέες διαστάσεις της ισοδύναμης διατομής καθώς και τα αδρανειακά μεγέθη αυτής προκύπτουν από τον παρακάτω πίνακα.

Αδρανειακά μεγέθη													
i	d [cm]	h [cm]	A [cm ²]	yi [cm]	xi [cm]	Σγι*Ai [cm ³]	I'yy [cm ⁴]	d ² [cm ²]	I katastry	Σxi*Ai	I'xx [cm ⁴]	d ² [cm ²]	I katastrx
1	300	3,5	1050	1,75	150	1837,5	1071,875	0,0514948	1125,944489	157500	7875000	106,9335007	7987280
2	42,85714286	2,142857	91,83673	4,571429	21,42857	419,8250729	35,14161	6,7314511	653,336098	1967,93	14056,64307	13978,46603	1297793
		Συνολο	1141,837			2257,325073			1779,280587	cm ⁴	159467,9		9285073
		γk =	1,976925	cm				I,final	1,77928E-05	m ⁴			0,092851
									139,6591				

Πίνακας 13 Υπολογισμός αδρανειακών μεγεθών

Όπου $I_{katastr,xx} = 0,09 \text{ m}^4$ και $I_{yytot} = 1.779 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$. Αναφορικά με το ρόμβο κοίλης διατομής του τόξου, αυτός λόγω διαστάσεων έχει τα ίδια αδρανειακά μεγέθη με τον αντίστοιχο τμήμα της κύριας διατομής.



Εικόνα 17 Διατομή τόξου πεζογέφυρας

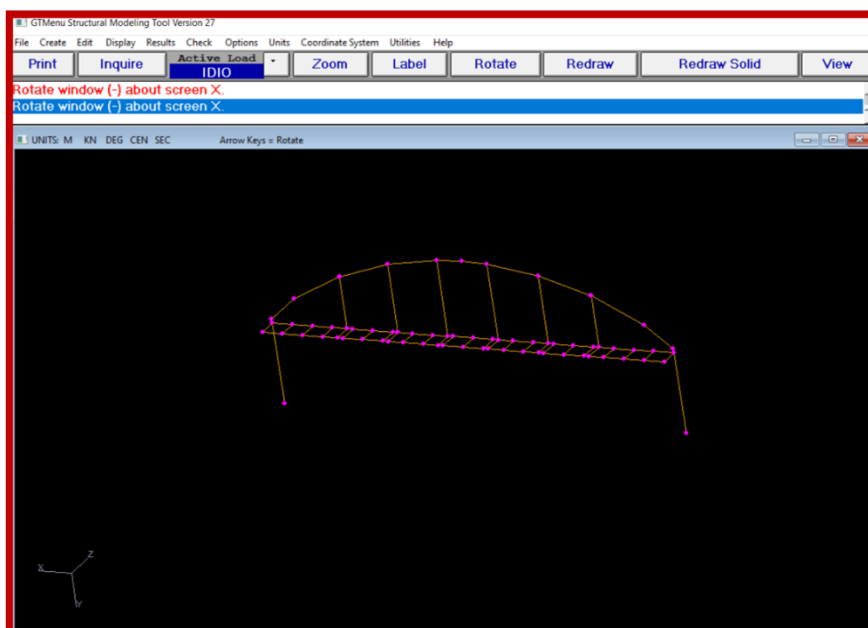
4.5.2 Προσομοίωση

Το προσομοίωμα της γέφυρας μορφώθηκε στο πρόγραμμα GT Strudl software. Ο Κώδικας της προσομοίωσης έχει όπως στο Παράρτημα «Α».

Τα μέλη της γέφυρας ομαδοποιήθηκαν (define group members) στις παρακάτω κατηγορίες:

- Group member “edok” , το οποίο προσομοιώνει την σύμμικτη πλάκα μαζί με το μεταλλικό τμήμα του καταστρώματος
- Group member “efedrano” για την προσομοίωση των τεσσάρων εφεδράνων της γέφυρας
- Group member “toxo” : για την προσομοίωση του τόξου της γέφυρας
- Group member “anart” με το οποίο προσομοιώνονται οι αναρτήρες
- Group member “dokostox” : με το οποίο προσομοιώνεται η δοκός του καταστρώματος
- Group member “ypost” : για την προσομοίωση των υποστυλωμάτων

➤ Group member “akampta” : για τη δημιουργία διαφραγματικής λειτουργίας

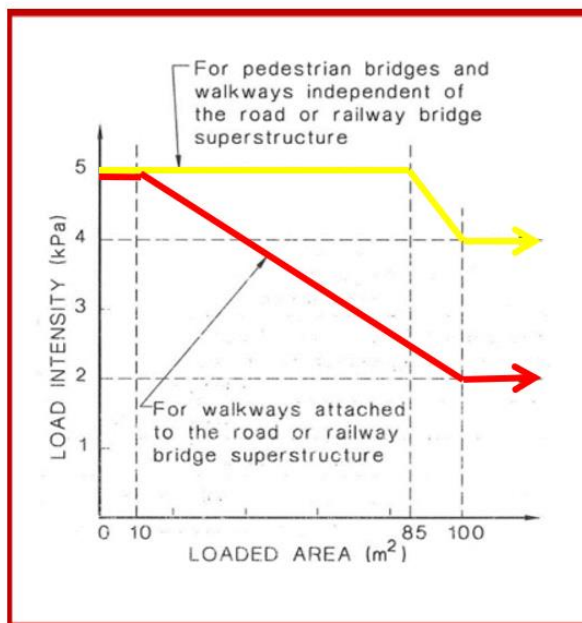


Εικόνα 18 Προσομοίωμα της Γέφυρας στο Software GT Strudl

Ακολούθως εισήχθησαν στο software οι διαστάσεις και οι ιδιότητες των μελών ώστε να δύναται να υπολογισθεί το ίδιο βάρος της κατασκευής καθώς και τα φορτία που πρόκειται να φέρει. Η διατομή έχει συνολική μάζα (βλ. κεφ 5) 94,1 Mgr. Συνεπώς από την κατάτμηση σε 20 τμήματα γραμμικού φορτίου, προκύπτει $g = 94,1 \cdot 10^3 \text{ Kg} \cdot 9.81 \text{ m/sec}^2 / 43.5$.

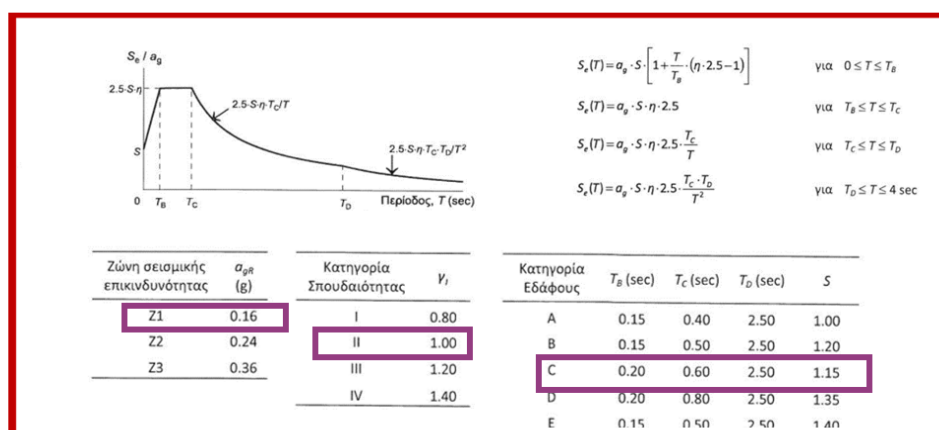
Ως κινητό φορτίο πεζών, για γέφυρες με συνολικό μήκος κάτω από 100m δύναται να θεωρηθούν φορτία από 4 - 5 KPa = KN/m² σύμφωνα με τη βιβλιογραφία¹⁰. Το φορτίο μπορεί να θεωρηθεί κάτω από 5 KPa μόνο εάν η συνολική έκταση (βατό τμήμα του καταστρώματος) είναι μικρότερη από 100m². Αναφορικά με το βατό τμήμα του καταστρώματος της προς μελέτη πεζογέφυρας, αυτό υπολογίζεται σε $43.5 \cdot 3 = 130.5 \text{ m}^2$ επομένως σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα (κίτρινη καμπύλη) δύναται να θεωρήσουμε το φορτίο των πεζών ως 4Kpa.

¹⁰ Options for Designers of Pedestrian and Cyclist Bridges to achieve value-for-money (Κεφ.17 παρ.2)



Εικόνα 19 Θεώρηση φορτίου πεζών για γέφυρες αμιγώς πεζών (κίτρινη καμπύλη) και για πεζόδρομους που αποτελούν τμήμα γεφυρών οχημάτων ή/και τρένων (κόκκινη καμπύλη)

Για την κατασκευή του φάσματος, λαμβάνουμε από τον Ευρωκώδικα τις αντίστοιχες τιμές των επιμέρους όρων αυτού ώστε να μορφώσουμε τους όρους της μαθηματικής εξίσωσης



Εικόνα 20 Επιμέρους συντελεστές και για την κατασκευή του Ελαστικού Φάσματος (ΕΚ:8)

Για τον ακριβή μαθηματικό υπολογισμό του φάσματος εισάγονται οι εξισώσεις σε ένα λογιστικό φύλλο excel και με βήμα T=0,01 sec προκύπτει η ελαστική επιτάχυνση.

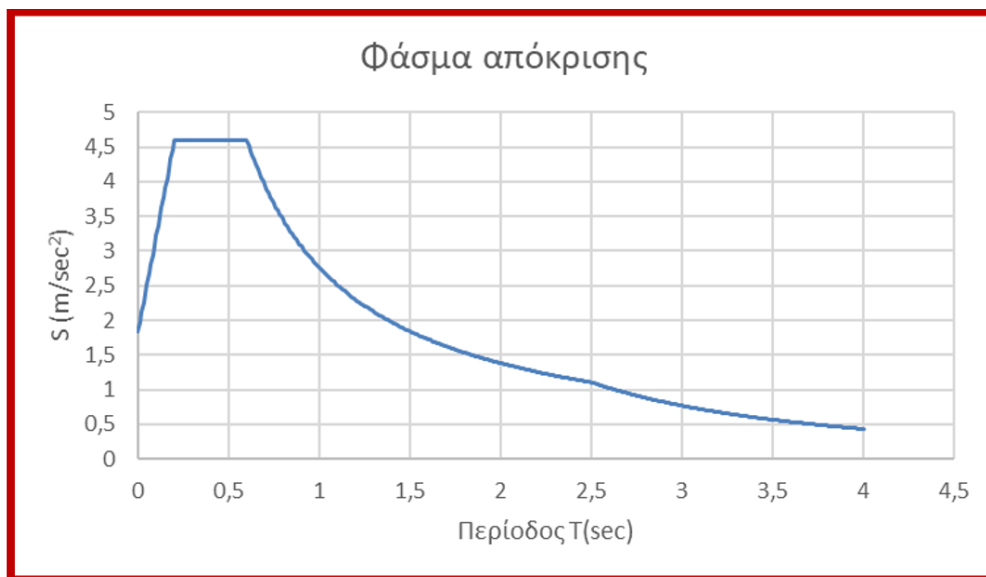
0<=T<=Tb		Tb<=T<=Tc		Tc<=T<=TD					
T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)
0	1,84	0,21	4,6	0,61	4,5245902	1,01	2,7326733	1,41	1,9574468
0,01	1,978	0,22	4,6	0,62	4,4516129	1,02	2,7058824	1,42	1,943662
0,02	2,116	0,23	4,6	0,63	4,3809524	1,03	2,6796117	1,43	1,9300699
0,03	2,254	0,24	4,6	0,64	4,3125	1,04	2,6538462	1,44	1,9166667
0,04	2,392	0,25	4,6	0,65	4,2461538	1,05	2,6285714	1,45	1,9034483
0,05	2,53	0,26	4,6	0,66	4,1818182	1,06	2,6037736	1,46	1,890411
0,06	2,668	0,27	4,6	0,67	4,119403	1,07	2,5794393	1,47	1,877551
0,07	2,806	0,28	4,6	0,68	4,0588235	1,08	2,5555556	1,48	1,8648649
0,08	2,944	0,29	4,6	0,69	4	1,09	2,5321101	1,49	1,852349
0,09	3,082	0,3	4,6	0,7	3,9428571	1,1	2,5090909	1,5	1,84
0,1	3,22	0,31	4,6	0,71	3,8873239	1,11	2,4864865	1,51	1,8278146
0,11	3,358	0,32	4,6	0,72	3,8333333	1,12	2,4642857	1,52	1,8157895
0,12	3,496	0,33	4,6	0,73	3,7808219	1,13	2,4424779	1,53	1,8039216
0,13	3,634	0,34	4,6	0,74	3,7297297	1,14	2,4210526	1,54	1,7922078
0,14	3,772	0,35	4,6	0,75	3,68	1,15	2,4	1,55	1,7806452
0,15	3,91	0,36	4,6	0,76	3,6315789	1,16	2,3793103	1,56	1,7692308
0,16	4,048	0,37	4,6	0,77	3,5844156	1,17	2,3589744	1,57	1,7579618
0,17	4,186	0,38	4,6	0,78	3,5384615	1,18	2,3389831	1,58	1,7468354
0,18	4,324	0,39	4,6	0,79	3,4936709	1,19	2,3193277	1,59	1,7358491
0,19	4,462	0,4	4,6	0,8	3,45	1,2	2,3	1,6	1,725
0,2	4,6	0,41	4,6	0,81	3,4074074	1,21	2,2809917	1,61	1,7142857
		0,42	4,6	0,82	3,3658537	1,22	2,2622951	1,62	1,7037037
		0,43	4,6	0,83	3,3253012	1,23	2,2439024	1,63	1,6932515
		0,44	4,6	0,84	3,2857143	1,24	2,2258065	1,64	1,6829268
		0,45	4,6	0,85	3,2470588	1,25	2,208	1,65	1,6727273
		0,46	4,6	0,86	3,2093023	1,26	2,1904762	1,66	1,6626506
		0,47	4,6	0,87	3,1724138	1,27	2,1732283	1,67	1,6526946
		0,48	4,6	0,88	3,1363636	1,28	2,15625	1,68	1,6428571
		0,49	4,6	0,89	3,1011236	1,29	2,1395349	1,69	1,6331361
		0,5	4,6	0,9	3,0666667	1,3	2,1230769	1,7	1,6235294
		0,51	4,6	0,91	3,032967	1,31	2,1068702	1,71	1,6140351
		0,52	4,6	0,92	3	1,32	2,0909091	1,72	1,6046512
		0,53	4,6	0,93	2,9677419	1,33	2,075188	1,73	1,5953757
		0,54	4,6	0,94	2,9361702	1,34	2,0597015	1,74	1,5862069
		0,55	4,6	0,95	2,9052632	1,35	2,0444444	1,75	1,5771429
		0,56	4,6	0,96	2,875	1,36	2,0294118	1,76	1,5681818
		0,57	4,6	0,97	2,8453608	1,37	2,0145985	1,77	1,559322
		0,58	4,6	0,98	2,8163265	1,38	2	1,78	1,5505618
		0,59	4,6	0,99	2,7878788	1,39	1,9856115	1,79	1,5418994
		0,6	4,6	1	2,76	1,4	1,9714286	1,8	1,5333333

Πίνακας 14 Υπολογισμός Φάσματος (0.0 έως 1.8 sec)

Tc<=T<=TD				Td<=T<=4					
T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)	T(sec)	Se(m/sec ²)
1,81	1,5248619	2,21	1,248869	2,51	1,095221	2,91	0,814823	3,31	0,629786
1,82	1,5164835	2,22	1,243243	2,52	1,086546	2,92	0,809251	3,32	0,625998
1,83	1,5081967	2,23	1,237668	2,53	1,077973	2,93	0,803737	3,33	0,622244
1,84	1,5	2,24	1,232143	2,54	1,069502	2,94	0,798278	3,34	0,618523
1,85	1,4918919	2,25	1,226667	2,55	1,06113	2,95	0,792876	3,35	0,614836
1,86	1,483871	2,26	1,221239	2,56	1,052856	2,96	0,787527	3,36	0,611182
1,87	1,4759358	2,27	1,215859	2,57	1,044679	2,97	0,782233	3,37	0,60756
1,88	1,4680851	2,28	1,210526	2,58	1,036596	2,98	0,776992	3,38	0,60397
1,89	1,4603175	2,29	1,20524	2,59	1,028607	2,99	0,771803	3,39	0,600412
1,9	1,4526316	2,3	1,2	2,6	1,02071	3	0,766667	3,4	0,596886
1,91	1,4450262	2,31	1,194805	2,61	1,012904	3,01	0,761581	3,41	0,59339
1,92	1,4375	2,32	1,189655	2,62	1,005186	3,02	0,756546	3,42	0,589925
1,93	1,4300518	2,33	1,184549	2,63	0,997557	3,03	0,75156	3,43	0,58649
1,94	1,4226804	2,34	1,179487	2,64	0,990014	3,04	0,746624	3,44	0,583085
1,95	1,4153846	2,35	1,174468	2,65	0,982556	3,05	0,741736	3,45	0,57971
1,96	1,4081633	2,36	1,169492	2,66	0,975182	3,06	0,736896	3,46	0,576364
1,97	1,4010152	2,37	1,164557	2,67	0,967891	3,07	0,732103	3,47	0,573047
1,98	1,3939394	2,38	1,159664	2,68	0,960682	3,08	0,727357	3,48	0,569758
1,99	1,3869347	2,39	1,154812	2,69	0,953552	3,09	0,722657	3,49	0,566498
2	1,38	2,4	1,15	2,7	0,946502	3,1	0,718002	3,5	0,563265
2,01	1,3731343	2,41	1,145228	2,71	0,93953	3,11	0,713392	3,51	0,56006
2,02	1,3663366	2,42	1,140496	2,72	0,932634	3,12	0,708826	3,52	0,556883
2,03	1,3596059	2,43	1,135802	2,73	0,925814	3,13	0,704304	3,53	0,553732
2,04	1,3529412	2,44	1,131148	2,74	0,919069	3,14	0,699826	3,54	0,550608
2,05	1,3463415	2,45	1,126531	2,75	0,912397	3,15	0,695389	3,55	0,54751
2,06	1,3398058	2,46	1,121951	2,76	0,905797	3,16	0,690995	3,56	0,544439
2,07	1,3333333	2,47	1,117409	2,77	0,899269	3,17	0,686642	3,57	0,541393
2,08	1,3269231	2,48	1,112903	2,78	0,892811	3,18	0,682331	3,58	0,538373
2,09	1,3205742	2,49	1,108434	2,79	0,886422	3,19	0,678059	3,59	0,535378
2,1	1,3142857	2,5	1,104	2,8	0,880102	3,2	0,673828	3,6	0,532407
2,11	1,3080569			2,81	0,873849	3,21	0,669636	3,61	0,529462
2,12	1,3018868			2,82	0,867663	3,22	0,665484	3,62	0,526541
2,13	1,2957746			2,83	0,861542	3,23	0,661369	3,63	0,523644
2,14	1,2897196			2,84	0,855485	3,24	0,657293	3,64	0,52077
2,15	1,2837209			2,85	0,849492	3,25	0,653254	3,65	0,517921
2,16	1,2777778			2,86	0,843562	3,26	0,649253	3,66	0,515095
2,17	1,2718894			2,87	0,837694	3,27	0,645288	3,67	0,512291
2,18	1,266055			2,88	0,831887	3,28	0,641359	3,68	0,509511
2,19	1,260274			2,89	0,82614	3,29	0,637466	3,69	0,506753
2,2	1,2545455			2,9	0,820452	3,3	0,633609	3,7	0,504018

Πίνακας 15 Υπολογισμός Φάσματος (1.81 έως 3.7 sec)

Επομένως το προκύπτον ελαστικό φάσμα είναι το παρακάτω:



Εικόνα 21 Ελαστικό Φάσμα Απόκρισης

4.5.3 Φορτίσεις – Εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη

Οι συνδυασμοί φορτίσεων που πρόκειται να εφαρμοστούν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

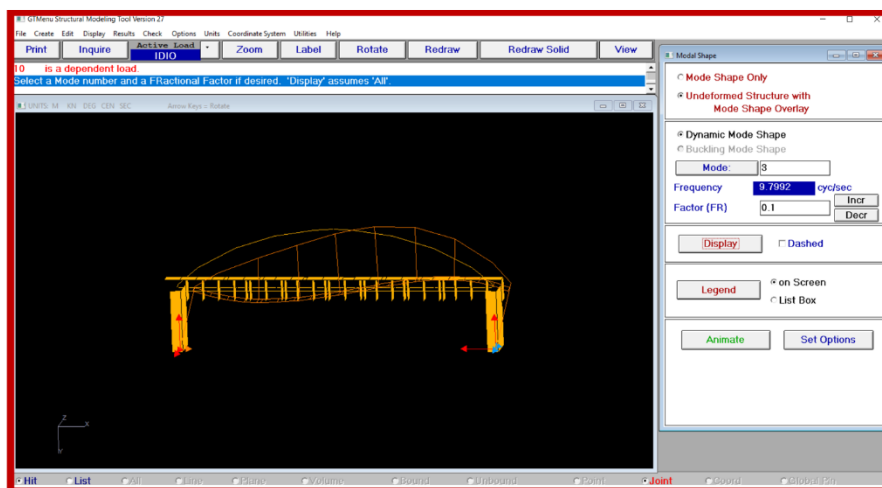
Αύξων αριθμός LC	LOADING COMBINATION
1	'1.35 G + 1.50 Q'
2	'G + Q'
3	'G + 0.3 Q + SEISMX + 0.3 SEISMZ'
4	'G + 0.3 Q - SEISMX - 0.3 SEISMZ'
5	'G + 0.3 Q + SEISMX - 0.3 SEISMZ'
6	'G + 0.3 Q - SEISMX + 0.3 SEISMZ'
7	'G + 0.3 Q + 0.3 SEISMX + SEISMZ'
8	G + 0.3 Q - 0.3 SEISMX - SEISMZ'
9	'G + 0.3 Q + 0.3 SEISMX - SEISMZ'
10	'G + 0.3 Q - 0.3 SEISMX + SEISMZ'
11	'SEISMX + SEISMZ'

12	'- SEISMX - SEISMZ'
13	'SEISMX - SEISMZ'
14	'- SEISMX + SEISMZ'

Πίνακας 16 Συνδυασμοί Φορτίσεων

Αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε φόρτιση

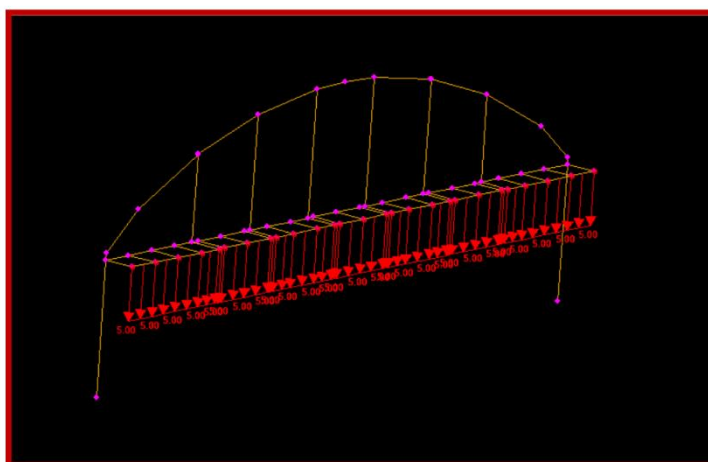
0. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



Εικόνα 22 Τρίτη ιδιομορφή της πεζογέφυρας

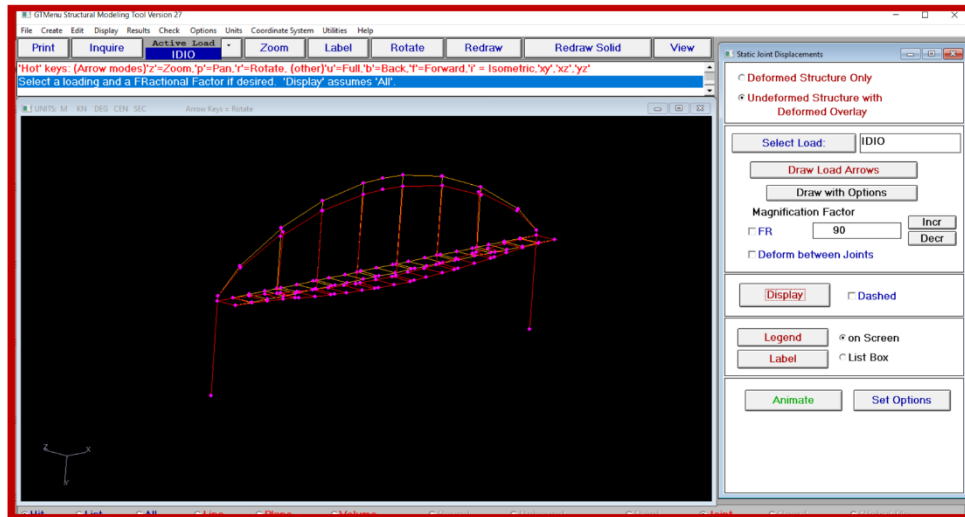
1. LOADING COMBINATION 1 '1.35 G + 1.50 Q'

Ενδεικτικά Εντατικά Μεγέθη (Q- Τέμνουσα)



Εικόνα 23 Loading Combination 1 (a)

Παραμορφωσιακά Μεγέθη



Εικόνα 24 Loading Combination 1 (b)

Πίνακες Αποτελεσμάτων (u_v)

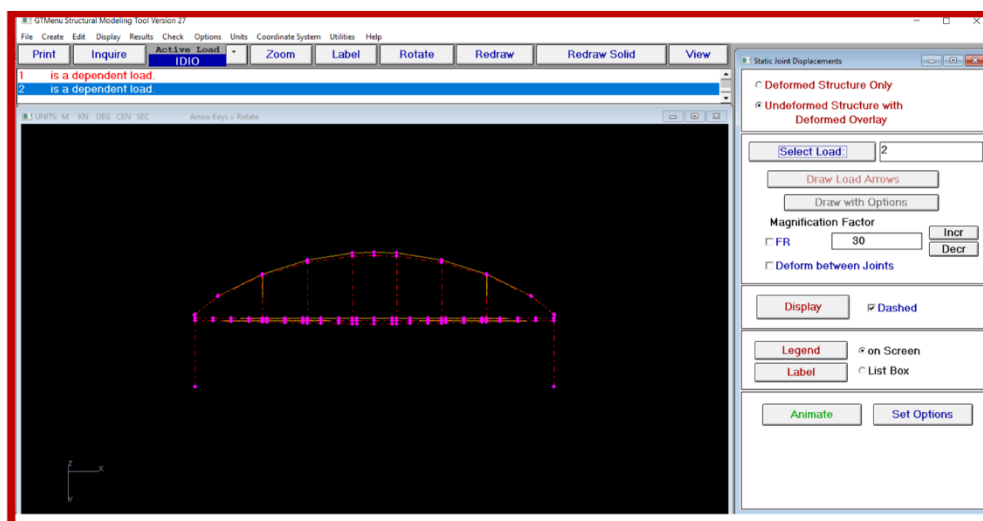
50	GLOBAL	-0.0007104	0.0000364	0.0194157
51	GLOBAL	-0.0005739	0.0000069	0.0194152
52	GLOBAL	-0.0006979	0.0000625	0.0193778
53	GLOBAL	-0.0005297	0.0000327	0.0193400
54	GLOBAL	-0.0004668	-0.0000464	0.0181100
55	GLOBAL	-0.0001832	-0.0000757	0.0181100

Εικόνα 25 Loading Combination 1 (c)

2. LOADING COMBINATION 2 'G + Q'

Παραμορφωσιακά Μεγέθη (u_y)

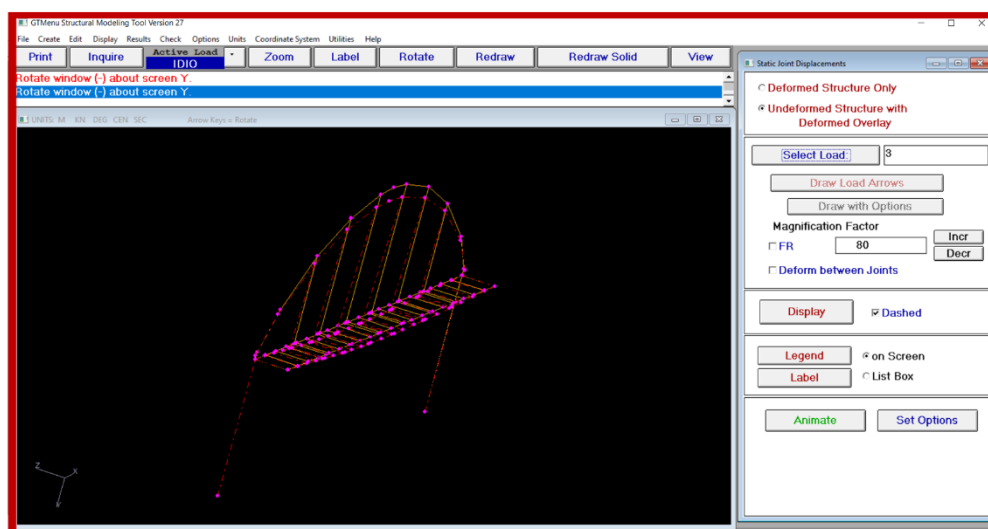
Σελ. | 57



Εικόνα 26 Loading Combination 2

3. LOADING COMBINATION 3 'G + 0.3 Q + SEISMX + 0.3 SEISMZ'

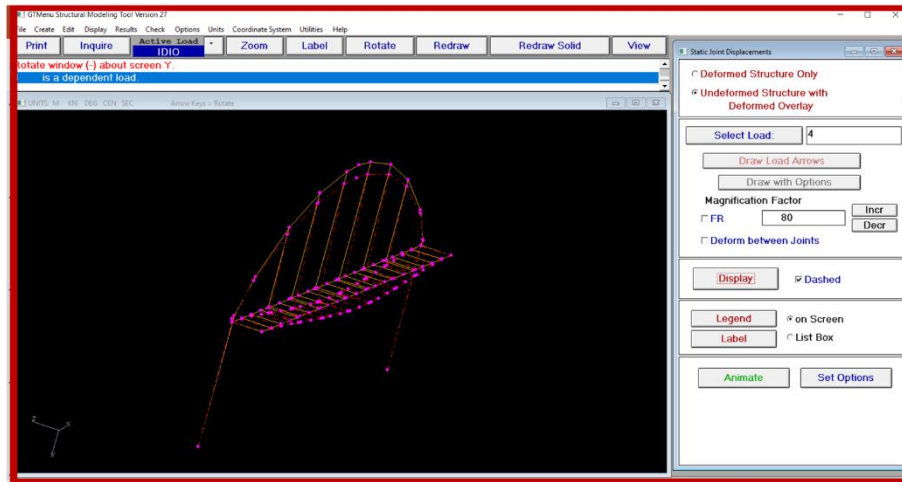
Παραμορφωσιακά Μεγέθη (u_y)



Εικόνα 27 Loading Combination 3

4. LOADING COMBINATION 4 'G + 0.3 Q - SEISMX - 0.3 SEISMZ'

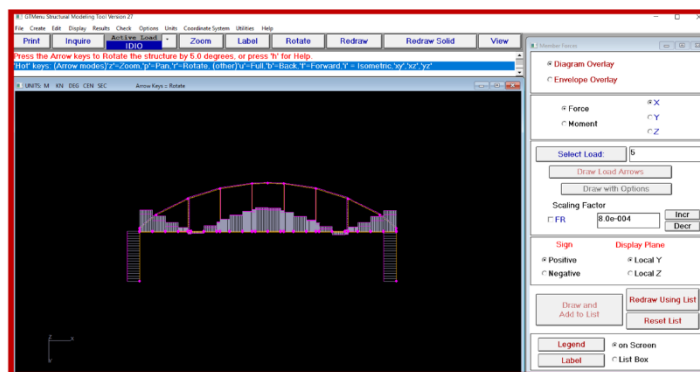
Παραμορφωσιακά Μεγέθη (u_y)



Εικόνα 28 Loading Combination 4

5. LOADING COMBINATION 5 'G + 0.3 Q + SEISMX - 0.3 SEISMZ'

Εντατικά Μεγέθη (N – Αξονική δύναμη)

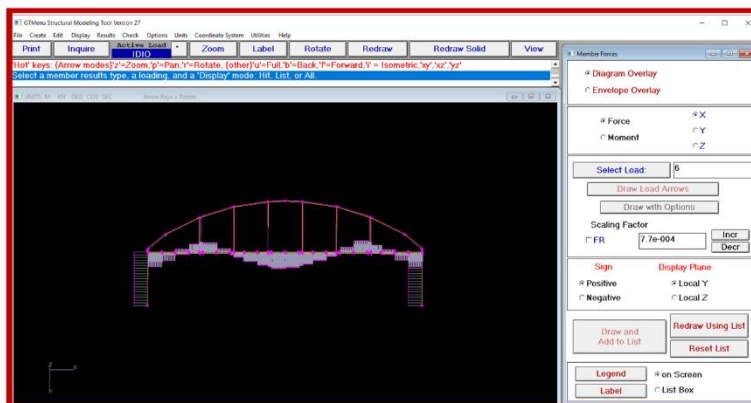


Εικόνα 29 Loading Combination 5

6. LOADING COMBINATION 6 'G + 0.3 Q - SEISMX + 0.3 SEISMZ'

Εντατικά Μεγέθη (N - Αξονική δύναμη)

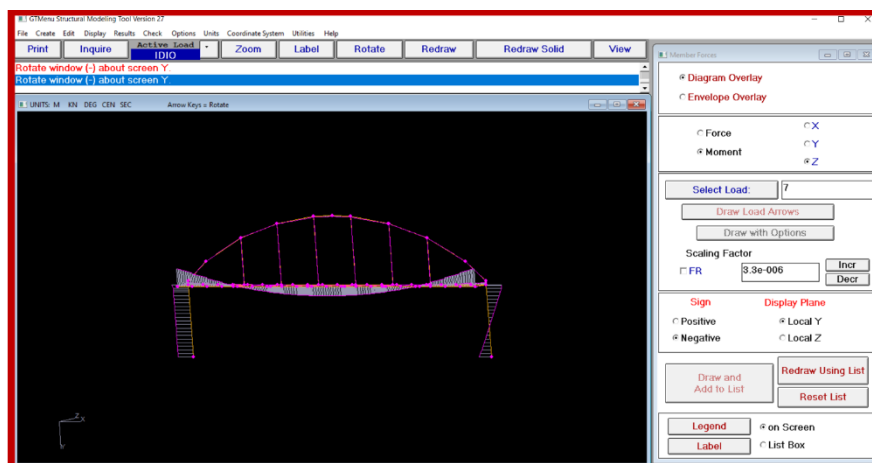
Σελ. | 59



Εικόνα 30 Loading Combination 6

7. LOADING COMBINATION 7 'G + 0.3 Q + 0.3 SEISMX + SEISMZ'

Εντατικά Μεγέθη (M_{zz})

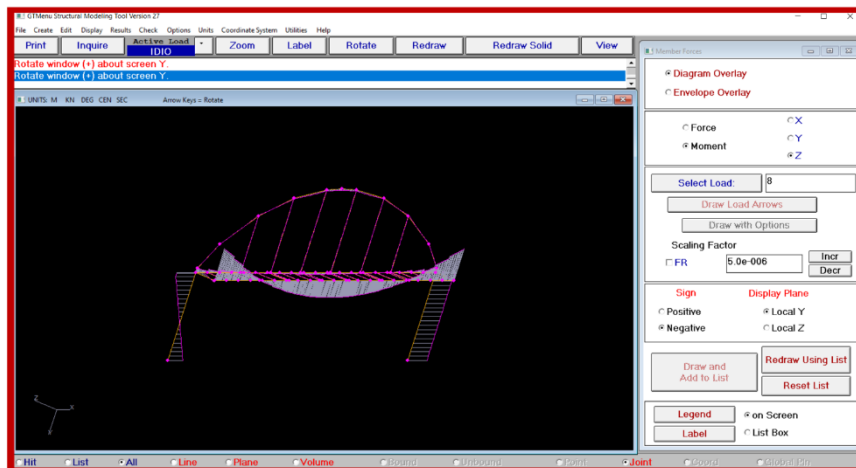


Εικόνα 31 Loading Combination 7

8. LOADING COMBINATION 8 'G + 0.3 Q - 0.3 SEISMX - SEISMZ'

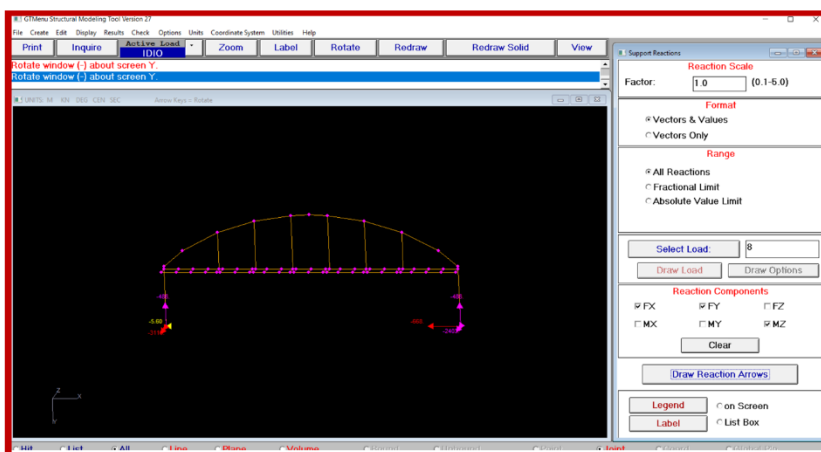
Εντατικά Μεγέθη (M_{zz})

Σελ. | 60



Εικόνα 32 Loading Combination 8 (a)

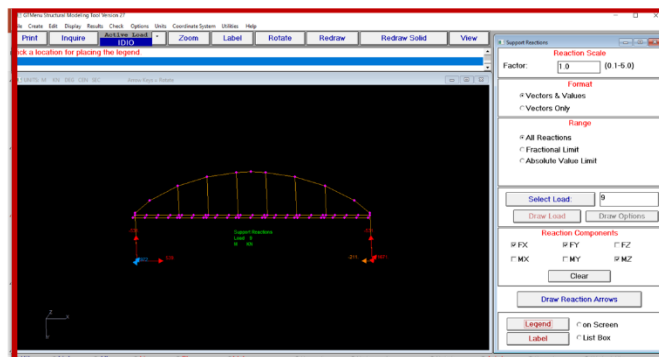
Αντιδράσεις στις στηρίξεις (M – Q – N)



Εικόνα 33 Loading Combination 8 (b)

9. LOADING COMBINATION 9 'G + 0.3 Q + 0.3 SEISMX - SEISMZ'

Αντιδράσεις στις στηρίξεις (M – Q – N)

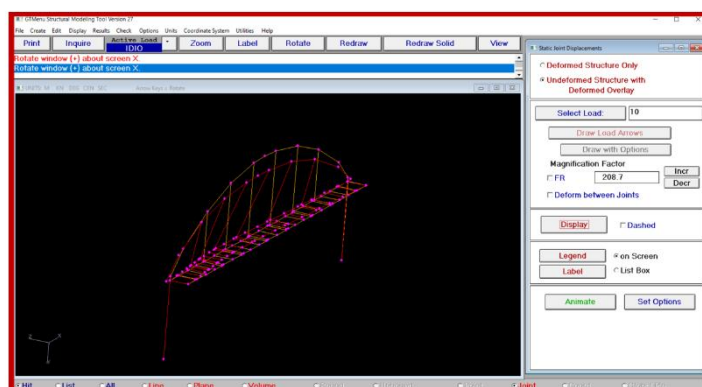


Σελ. | 61

Εικόνα 34 Loading Combination 9

10. LOADING COMBINATION 10 'G + 0.3 Q - 0.3 SEISMX + SEISMZ'

Παραμορφωσιακά Μεγέθη (U_x, U_y, U_z)

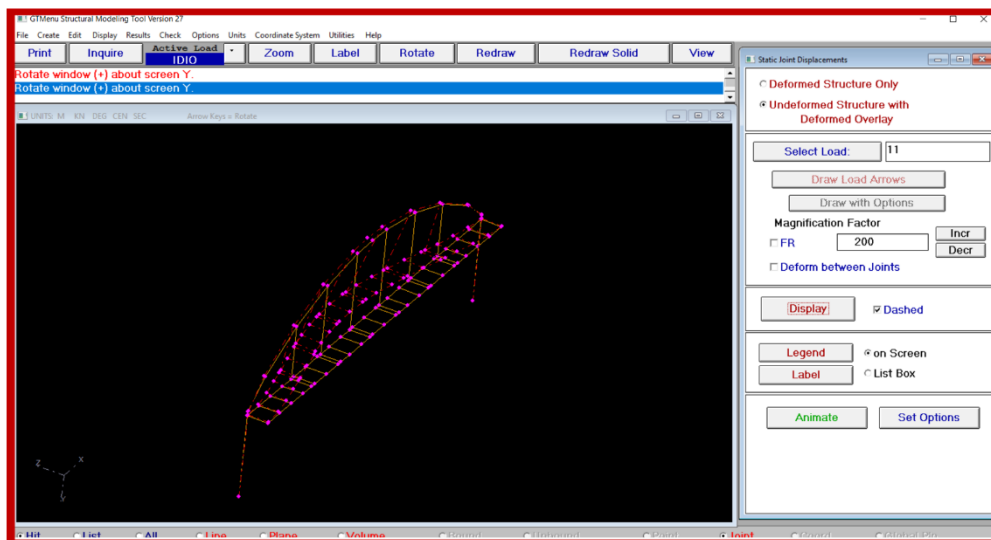


Εικόνα 35 Loading Combination 10

11. LOADING COMBINATION 11 'SEISMX + SEISMZ'

Παραμορφωσιακά Μεγέθη (U_x, U_y, U_z)

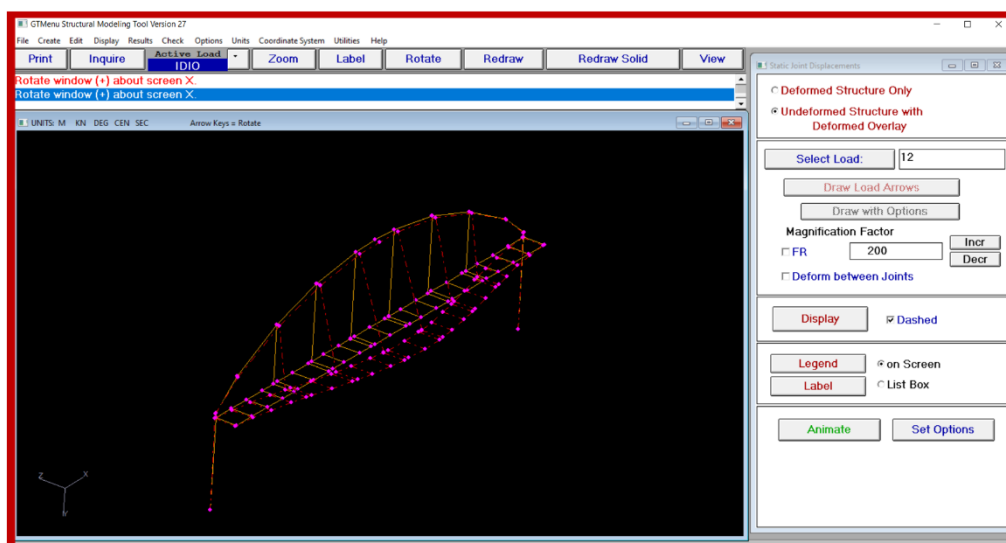
Σελ. | 62



Εικόνα 36 Loading Combination 11

12. LOADING COMBINATION 12 '- SEISMX - SEISMZ'

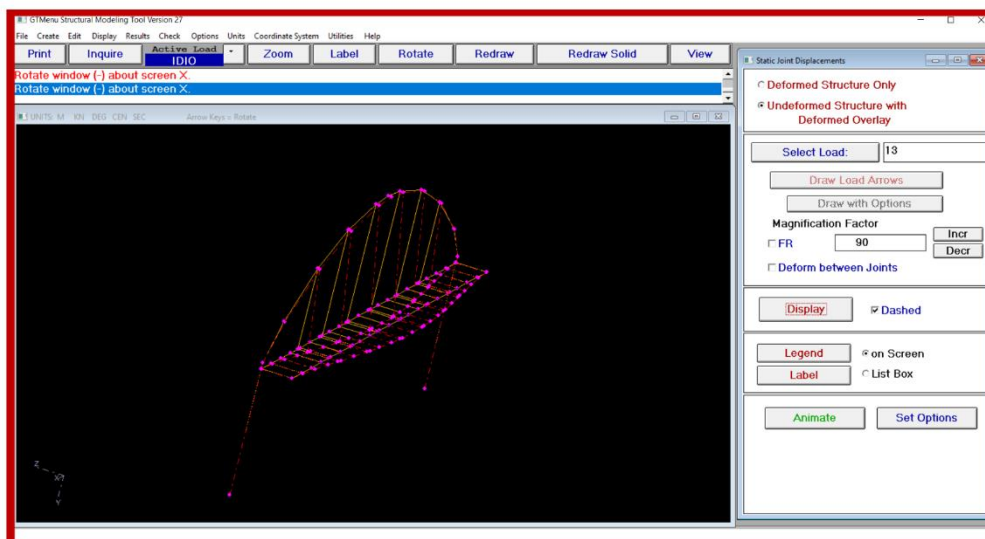
Παραμορφωσιακά Μεγέθη (U_x, U_y, U_z)



Εικόνα 37 Loading Combination 12

13. LOADING COMBINATION 13 'SEISMX - SEISMZ'

Παραμορφωσιακά Μεγέθη (U_x, U_y, U_z)

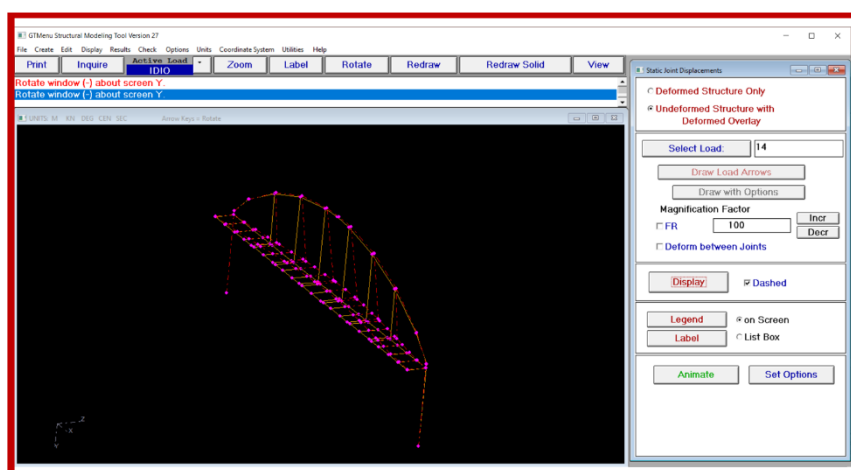


Σελ. | 63

Εικόνα 38 Loading Combination 13

14. LOADING COMBINATION 14 '- SEISMX + SEISMZ'

Παραμορφωσιακά Μεγέθη (U_x, U_y, U_z)



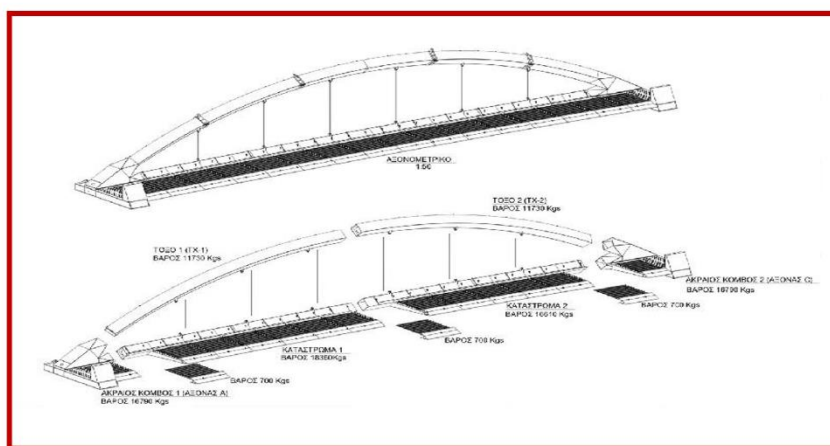
Εικόνα 39 Loading Combination 14

5. Μελέτη επιλογής εφεδράνων

Για τη μελέτη της γέφυρας διερευνώνται διάφορες εναλλακτικές λύσεις εφεδράνων. Λαμβάνεται η θεώρηση, όπως αυτό προκύπτει από τη θέση κατασκευής της γέφυρας, ότι το έδαφος είναι μαλακό και πώς η συμπεριφορά του προσομοιάζεται εν γένει με οριζόντια δυσκαμψία $K_{\chi}= 1500 \text{ MN/m}$ και η στρωφική αντίστοιχα με $K_{\phi}= 15000 \text{ MNm/rad}$. Για τον υπολογισμό της δυσκαμψίας των στύλων λαμβάνεται υπόψη το $\frac{1}{2}$ της γεωμετρικής δυσκαμψίας. Ως μέτρο Young λαμβάνεται $E=30 \text{ GPa}$. Ο σχεδιασμός πραγματοποιείται για τα ακόλουθα σεισμολογικά δεδομένα:

Σελ. | 64

- ❖ Ζώνη: Z1 ($agR=0,16g$)
- ❖ Κατηγορία εδάφους: C ($T_B=0,20 \text{ sec}$, $T_c=0,60 \text{ sec}$, $T_D=2,50 \text{ sec}$, $S=1,15$)
- ❖ Συντελεστής Σπουδαιότητας: $\gamma_{II}=1.0$



Εικόνα 40 Αξονομετρικό πεζογέφυρας

Αρχικά απαιτείται να υπολογισθεί η συνολική μάζα της γέφυρας σύμφωνα με την κατάτμηση του παραπάνω σχήματος. Προκύπτει ότι $m=94,1 \text{ Mgr}$.

	Μάζα Kg
Ακραίος κόμβος 1	16790
Σύνδεσμος 1	700
Κατάστρωμα 1	18350
Σύνδεσμος 2	700
Κατάστρωμα 2	16610
Σύνδεσμος 3	700
Ακραίος Κόμβος 2	16790
Τόξο 1	11730
Τόξο 2	11730
Σύνολο	94100

Πίνακας 17 Ίδιο βάρος επιμέρους τμημάτων πεζογέφυρας

Η σύνδεση του φορέα με τα βάθρα πρόκειται να πραγματοποιηθεί μέσω εφεδράνων διότι αυτός ο τρόπος σύνδεσης παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- ❖ Δεν μεταφέρονται ροπές από τα βάθρα στο φορέα.
- ❖ Οδηγεί σε εύκαμπτα συστήματα με αποτέλεσμα τη μείωση των σεισμικών δυνάμεων. Συνεπώς, τα εφέδρανα θεωρούνται είδος σεισμικής μόνωσης.
- ❖ Δεν καταπονούνται τα βάθρα από θερμοκρασιακές μεταβολές, συρρίκνωση του φορέα, προένταση και ερπυσμό.

Σελ. | 65

Οι συνήθεις μορφές βάθρων είναι τα μονόστηλα, τα τοιχοειδή, τα κοίλης διατομής και τα πολύστυλα τα οποία και επιλέχθηκαν. Συνήθως κατασκευάζονται μαζί με μία δοκό η οποία συνδέει τους στύλους και επί της οποίας εδράζεται ο φορέας και η οποία ονομάζεται «δοκός έδρασης». Στην περίπτωση που η σύνδεση φορέα – βάθρου είναι μονολιθική, η δοκός έδρασης δεν είναι απαραίτητη και οι στύλοι μπορούν να συνδέονται απ' ευθείας με το φορέα. Τα πολύστυλα βάθρα έχουν γενικώς καλή σεισμική συμπεριφορά, λόγω της υπερστατικότητας που διαθέτουν στο επίπεδο του πλαισίου. Στη διαμήκη διεύθυνση, συμπεριφέρονται ως μονόστηλα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στο γεγονός ότι σε λοξούς ή καμπύλους φορείς, η στροφή περί κατακόρυφο άξονα, που συμβαίνει στο φορέα, μπορεί να προκαλέσει στρέψη και πρόσθετη καμπτική καταπόνηση στους στύλους και στη δοκό σύνδεσης (κεφαλόδεσμο), λόγω διαφορετικής οριζόντιας μετακίνησης στα δύο άκρα του βάθρου. Στην περίπτωση της προς μελέτης γέφυρας ο συγκεκριμένος περιορισμός δεν υφίσταται.

Επιλέγονται ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης (RB) ως εξής: Ακρόβαθρα : 4 εφέδρανα 0,40m * 0,60m 8 φύλλων έκαστο με t=10mm. Ως μέτρο διάτμησης των εφεδράνων λαμβάνεται $G_{min}=1000\text{KPa}$ και $G_{max}=1500\text{KPa}$.

Υπολογισμός Μετακινήσεων Ανάλυσης

Για τον υπολογισμό των μετακινήσεων, χρησιμοποιείται το G_{min} . Αρχικά, λαμβάνεται υπόψη η δυσκαμψία των εφεδράνων. Με δεδομένο ότι τοποθετούμε τέσσερα ελαστομεταλλικά εφέδρανα η δυσκαμψία των ακροβάθρων προκύπτει ως

$$K_{b, ακρ} = 4 \frac{G_{min} \cdot A}{\sum t_i} \Rightarrow$$

$$K_{b, ακρ} = 4 \frac{1000 \cdot 0,4 \cdot 0,60}{8 \cdot 0,008} = 15000 \text{ KN/m}$$

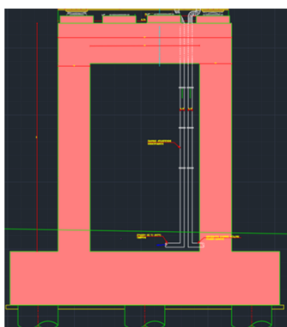
Η συνολική δυσκαμψία του κάθε ακροβάθρου υπολογίζεται ως εξής:

$$K_{tot, ακρ} = \frac{1}{K_x} + \frac{1}{K_{b, ακρ}} + \frac{1}{K_s} + \frac{H^2}{K_\varphi}$$

Τα παραπάνω προγραμματίστηκαν σε φύλλο εργασίας excel όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

Υπολογισμός Δυσκαμψίας	
Δεδομένα	
Ακρόβαθρα	2τεμ
h	8,51m
H	10,51m
Στυλοι	2τεμ
πλάτος Στύλου	1,2m
μήκος Στύλου	1,2m
Gmin	1000kN/m ²
Gmax	1500kN/m ²
E	30Gpa
Εφεδρανα	
Ορθογωνικά	4τεμ
b	0,4m
h	0,6m
φύλλα	8τεμ
ti	0,008m
E*leff	5184000kNm ²
K _{b,ακρ}	960kN/m
K _s	25234,67kN/m
K _x	1500000kN/m
K _φ	15000000kNm/rad

1/K _x	6,667E-07
1/K _s	3,963E-05
1/k _{s,tot}	1,981E-05
H ³ /K _φ	7,74E-05
1/k _{b,ακρ}	0,0010417
1/K _{tot,ακρ}	0,0011395kN/m
k _{tot,ακρ}	877,54473kN/m
K _{tot}	1755,0895kN/m



Πίνακας 18 Υπολογισμός Δυσκαμψίας

Για τον υπολογισμό της περιόδου T ισχύει $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_{tot}}}$

Δηλαδή, $T = 2 * \pi * \sqrt{(94,1/1755,0895)} = 1,45 \text{ sec.}$

Επειδή $T_b < T < T_c$, έχουμε $S_e(T) = 1,00 * 0,16 * 10 * 1,15 * 2,5 * 0,6 / 1,45 = 1,897 \text{ m/sec}^2$. Η μετακίνηση του φορέα από τη σχέση $d_c = S_e / \omega^2$ ισούται με $d_c = 1,897 / [2\pi / 1,45]^2 = 0,1017 \text{ m} = 101,7 \text{ mm.}$

Η μετακίνηση του εφεδράνου του ακροβάθρου όμως ισούται με $d_{b,ακρ} = d_c * (K_{tot,ακρ} / K_{b,ακρ}) = 101,7 * (877,54/960) = 92,98 \text{ mm.}$

Υπολογισμός εντατικών μεγεθών ανάλυσης

Για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών λαμβάνεται υπόψη το $G_{max} = 1500 \text{ kN/m}^2$

Συνεπώς, όμοια με την προηγούμενη περίπτωση $K_{b,ακρ} = 4 * G_{max} * A / \sum t_i = 4 * 1500 * 0,4 * 0,6 / (8 * 0,008) = 1440 \text{ kN/m}$

$K_s = 3 * (E_{leff}) / h^3 = 3 * ((30 * 10^6 * 0,4 * 0,6^3 / 12) * 2 * 0,5) / 8,51^3 = 25234,7 \text{ kN/m.}$
(Λήφθηκε υπόψη το 1/2 της γεωμετρικής δυσκαμψίας).

$K_x = 1500000 \text{ kN/m}$ και $K_\phi = 15000000 \text{ kNm/rad}$

Συνεπώς,

$$K_{tot,ακρ} = \frac{1}{K_x} + \frac{1}{K_{b,ακρ}} + \frac{1}{K_s} + \frac{H^2}{K_\phi} =$$

$$K_{tot,ακρ} = \frac{1}{1500.000} + \frac{1}{1440} + \frac{1}{25234,67} + \frac{10,51^2}{15.000.000}$$

$$K_{tot,ακρ} = 1262,114 \text{ kN/m}$$

Σελ. | 67

$$\text{και } K_{tot} = 2 * K_{tot,ακρ} = 2524,23 \text{ kN/m}$$

$$T = 2\pi * \sqrt{(m/K_{tot})} = 2\pi * \sqrt{(94,1/2524,23)} = 1,21 \text{ sec}$$

Όμοια, παρατηρείται ότι $T_b < T < T_c$, έχουμε $S_e(T) = 1,00 * 0,16 * 10 * 1,15 * 2,5 * 0,6 / 1,21 = 2,275 \text{ m/sec}^2$

Τέμνουσα: $V_{tot} = m * S_e(T) = 94,1 * 2,275 = 214,08 \text{ kN}$ και $V_{ακρ} = V_{tot} / 2 = 214,08 / 2 = 107,04 \text{ kN}$.

Ροπή στη βάση του κάθε ακροβάθρου: $M_{μ\epsilon\sigma} = V_{μ\epsilon\sigma} * h = 107,04 * 8,51 = 910,9 \text{ kNm}$.

Ροπή διαστασιολόγησης ακροβάθρου: Για τη διαστασιολόγηση του στύλου του ακροβάθρου χρησιμοποιείται $q=1,5$. Συνεπώς, $M_{E,A,\sigma T} = M_{μ\epsilon\sigma} = 910,9 \text{ kNm}$ και $M_{E,ακρ} = M_{E,A,\sigma T} / 1,5 = 910,9 / 1,5 = 607,27 \text{ kNm}$

Η διαστασιολόγηση της θεμελίωσης πραγματοποιείται με την ικανοτική ροπή άρα έχουμε $M_{E,θεμ} = q * M_{E,\sigma T} = 1,5 * 910,9 \text{ kNm}$

Σεισμική δύναμη ακροβάθρου: Για τη διαστασιολόγηση των ακροβάθρων χρησιμοποιείται $q=1,5$. Συνεπώς, $V_{E,A,ακρ} = 107,04 \text{ kN}$ και $V_{E,ακρ} = V_{E,A,ακρ} / q = 107,04 \text{ kN} / 1,5 = 71,36 \text{ kN}$.

Μετακινήσεις / Δυνάμεις ελέγχου εφεδράνων:

$$D_{b,a,ακρ} = 1,5 * 92,98 = 139,47 \text{ mm}$$

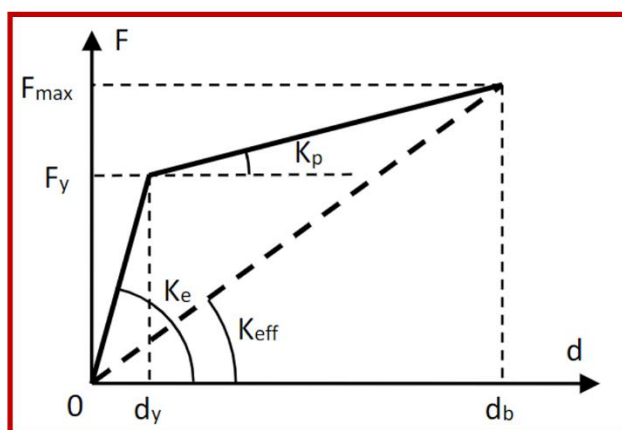
$$F_{b,a,ακρ} = K_{b,ακρ} * (139,47 / 1000) = 134,12 \text{ kN}$$

Όμοια, υπάρχει πληθώρα επιλογών τύπων εφεδράνων και συνδυασμών μεταξύ τους. Για παράδειγμα δύναται να επιλεχθούν τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης (RB) της 1^{ης} περίπτωσης με την προσθήκη δύο οριζόντιων υδραυλικών αποσβεστήρων (VD) σε κάθε ακρόβαθρο. Ενδεικτικές ιδιότητες αποσβεστήρων¹¹: $C = 750 \text{ KN*sec/m}$, $\alpha = 0,6$ ¹²

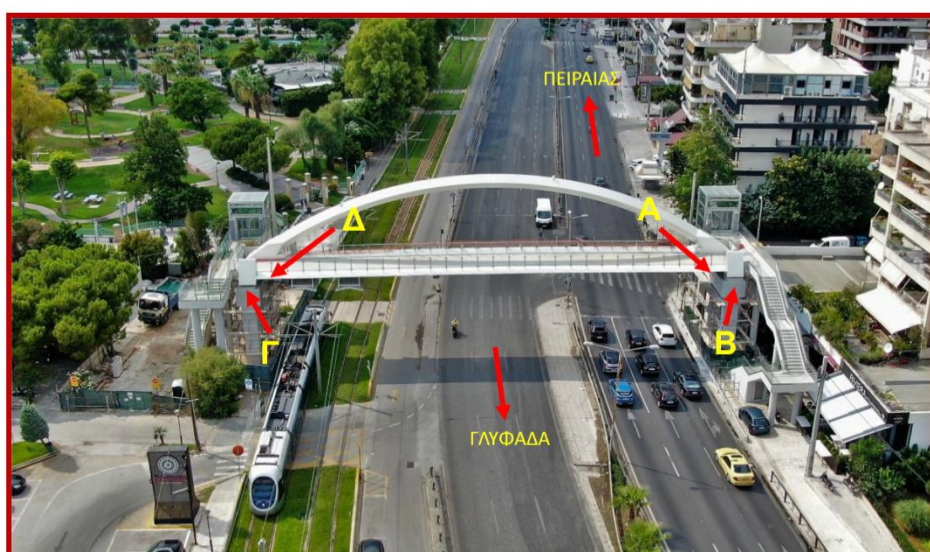
¹¹ Υπενθυμίζεται ότι για τους αποσβεστήρες ισχύει $F_{VD,ακρ} = 2 * C * v$, $F_{vd,max,ακρ} = 2 * C * (v_{max})$ και $E_{D,ακρ} = \lambda(\alpha) * F_{VD,max,ακρ} * d_{b,ακρ}$

¹² Για την επίλυση προβλήματος με χρήση αποσβεστήρων πραγματοποιείται χρήση της συνάρτησης «Γ».

Όμοια, δύναται να επιλεγούν ελαστομεταλλικά εφεδράνα υψηλής απόσβεσης (HDBR - High damping rubber bearings) ίδια σε διαστάσεις και αριθμό με την 1^η περίπτωση τα οποία να διαρρέουν σε διαμητική παραμόρφωση 5% με τη μετελαστική δυστένεια να ισούται με $K_p = 10\% K_e$. Σε αυτή την περίπτωση, τα εν λόγω χαρακτηριστικά του εφεδράνου (F_{max} , d_b) φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί



Εικόνα 41 Διάγραμμα Δυνάμεων – Μετακινήσεων ελαστομεταλλικού εφεδράνου



Στη γέφυρα, τοποθετήθηκαν τέσσερα εφέδρανα (σφαιρικά με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά

α/α	θέση	Τύπος σφαιρικού εφεδράνου	Χαρακτηριστικά				
			Κατακόρυφο φορτίο [κΝ]	Οριζόντιο φορτίο εγκαρσίου [κΝ]	Οριζόντιο φορτίο διαμήκως [κΝ]	Ικανότητα διαμήκως οριζόντιας μετακίνησης	Ικανότητα οριζόντιας μετακίνησης εγκαρσίου [mm]
1	A	δεσμευμένο εγκαρσίου και ελεύθερο διαμήκως	1150	850	--	±130	--
2	B	ελεύθερο διαμήκως και εγκαρσίου	1150	--	--	±130	±30
3	Γ	δεσμευμένο διαμήκως και ελεύθερο εγκαρσίου	1150	--	1100	--	±30
4	δ	Σταθερό σφαιρικό εφέδρανο	1150	850	1100	--	--

6. Μελέτη κατεδάφισης με εκρηκτικές Ύλες

6.1 Γενικά

Σελ. | 70

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στη μελέτη κατεδάφισης της προς μελέτη γέφυρας. Για λόγους ασφαλείας δεν περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού της ποσότητας των εκρηκτικών υλών ενώ δεν παρατίθενται λοιπές πληροφορίες που θα καταστήσουν την εργασία «ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΗ». Οι ποσότητες των εκρηκτικών υλών και των λοιπών υλικών αφορούν μόνο στη συγκεκριμένη γέφυρα και δεν έχουν γενική εφαρμογή σε ίδιου τύπου κατασκευές. ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΜΗ ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΗΜΕΝΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΚΑΙ Ο ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ ΔΕ ΦΕΡΕΙ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΕΥΘΥΝΗ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΚΛΗΣΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ.

6.2 Βασικοί Ορισμοί

Εκρηκτική Ύλη καλείται μία απλή η σύνθετη ουσία η οποία με την επίδραση κάποιας θερμικής ή μηχανικής ενέργειας υφίσταται απότομη χημική μεταβολή.

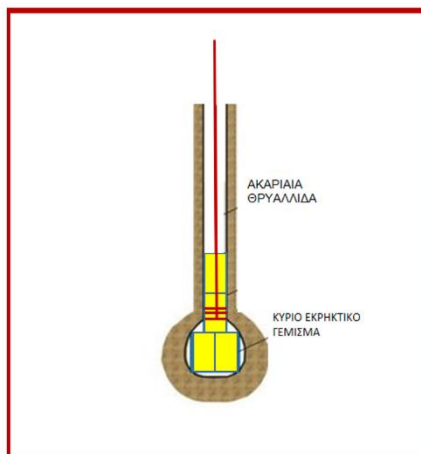
Έκρηξη είναι η ακαριαία αποσύνθεση της εκρηκτικής ύλης. Η συγκεκριμένη μορφή έκρηξης ονομάζεται χημική έκρηξη και διαχωρίζεται από την πυρηνική ή/και την φυσική έκρηξη¹³.



Εικόνα 42 Τα αποτελέσματα της έκρηξης : Ωστικό κύμα - θερμότητα - Θραύσματα

¹³ Οι έννοιες φυσική και πυρηνική έκρηξη δεν πραγματεύονται στην παρούσα εργασία.

Διάτρημα καλείται το μακρόστενο άνοιγμα σε σχήμα κυλίνδρου το οποίο διαμορφώνεται σε βράχο ή σκυρόδεμα προκειμένου να τοποθετηθεί στη συνέχεια κατάλληλη ποσότητα εκρηκτικής ύλης. Μέσα στο διάτρημα θα λάβει χώρα η αποσύνθεση της εκρηκτικής ύλης με σκοπό τη διάτρηση.



Εικόνα 43 Διάτρημα με ακαριαία θρυαλλίδα και εκρηκτική γόμωση

Ρηκτική εκρηκτική ύλη καλείται εκείνη η ΕΥ η οποία έχει πολύ μεγάλη ταχύτητα αποσύνθεσης (πχ 2000 μ/δλ) και η οποία ενεργεί ρηκτικά πάνω στο σώμα με το οποίο έρχεται σε επαφή. Μία ρηκτική ΕΥ εφαρμόζει στιγμιαία τη μεγαλύτερη δυνατή πίεση των αερίων

Ωστική Εκρηκτική Ύλη καλείται εκείνη η ΕΥ η οποία έχει μικτή ταχύτητα αποσύνθεσης (πχ 350 μ/δλ) και η οποία ενεργεί ωστικά πάνω στο σώμα με το οποίο έρχεται σε επαφή. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται η πίεση των αερίων προοδευτικά.

Γέμισμα καλείται η ποσότητα της εκρηκτικής ύλης η οποία χρησιμοποιείται για την καταστροφή.

Βυσμάτωση είναι η τοποθέτηση αδρανής ύλης για την αεροστεγή κάλυψη της εκρηκτικής ύλης με σκοπό τον περιορισμό της διαφυγής των αερίων κατά την έκρηξη

Έναυση καλείται η απαραίτητη θερμική ή μηχανική ενέργεια με την οποία προκαλείται η έκρηξη

Πυροδότηση είναι η επέμβαση με την οποία ενεργοποιείται η έναυση

Εμπυρευμάτωση καλείται η σύνδεση του γεμίσματος με τα απαραίτητα μέσα πυροδότησης.

Γραμμή ελάχιστης αντίστασης είναι η κατεύθυνση προς την οποία το σώμα που περιβάλλει την εκρηκτική ύλη παρουσιάζει τη μικρότερη αντίσταση

κάτι που καταδεικνύει την κατεύθυνση των αερίων που θα προκληθούν από την έκρηξη.

Συντελεστής Σχετικής Αποτελεσματικότητας ή Συντελεστής Ισχύος καλείται ο αριθμός που εκφράζει την ισχύ μία εκρηκτικής ύλης σε σχέση με την ισχύ του TNT σε ίσες μεταξύ τους ποσότητες

6.3 Απαιτούμενα Υλικά και εξοπλισμός

Κατά τον χειρισμό εκρηκτικών υλών υφίσταται μεγάλος κίνδυνος πρόκλησης ατυχήματος είτε στην περίπτωση κακού χειρισμού τους, είτε κατά τη διαδικασία της μεταφοράς και χρήσης τους ή ακόμη λόγω κακής και μακροχρόνιας εναποθήκευσης. Το προσωπικό που χειρίζεται εκρηκτικές ύλες φέρει προσωπικό προστατευτικό εξοπλισμό ενώ οφείλει να λαμβάνει υπόψη του κάθε παράγοντα ο οποίος μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητα αποτελέσματα (πχ πρόκληση πυρκαγιάς, πρόωρη έκρηξη λόγω ηλεκτρικής καταιγίδας κλπ).

Τα υλικά για μία ασφαλή πυροδότηση διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα εκρηκτικά και τα μη εκρηκτικά εξαρτήματα.

Τα εκρηκτικά εξαρτήματα που απαιτούνται είναι τα παρακάτω:

- Μέσο έναυσης, πχ πηγή φλόγας σε περίπτωση κοινής πυροδότησης
- Ηλεκτρικός ή κοινός πυροκροτητής ώστε το αρχικό ερέθισμα που θα δημιουργήσει μία αρχικά μικρή έκρηξη να πολλαπλασιαστεί και να μεταφερθεί στην κύρια ποσότητα της ΕΥ
- Ακαριαία θρυαλλίδα
- Βραδύκαυστο πυραγωγό σχοινίο στην περίπτωση της κοινής πυροδότησης
- Ποσότητα εκρηκτικής ύλης.

Επιπρόσθετα, απαιτούνται μη εκρηκτικά εξαρτήματα προκειμένου να δύναται να πραγματοποιούνται οι έλεγχοι των κυκλωμάτων, καθώς και να βελτιστοποιούνται τα αποτελέσματα της έκρηξης. Για παράδειγμα η τοποθέτηση γαιόσακων πληρωμένων με αδρανή ύλη (πχ άμμο θαλάσσης) θα δημιουργήσει την απαραίτητη βυσμάτωση ώστε τα παραγόμενα από την έκρηξη αέρια να κατευθυνθούν προς τη γραμμή ελάχιστης αντίστασης δηλ. το υλικό της γέφυρας και να προσδώσουν το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Πλέον των ανωτέρω, για την υλοποίηση της διαδικασίας απαιτείται η ύπαρξη των παρακάτω:

- Δυναμοεκρηκτήρας, για την ηλεκτρική πυροδότηση
- Συσφιγγήτηρας πυροκροτητών για την κοινή πυροδότηση
- Κοπίδι, μετροταινία και μονωτική ταινία για τη διαμόρφωση των γεμισμάτων
- Γαλβανόμετρο για τον έλεγχο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- Οτιδήποτε άλλο κριθεί απαραίτητο ανά περίπτωση (πχ πλάκες από ξύλο, σφυρί και καρφιά για τη στήριξη των γεμισμάτων ή των γαιόσακων).

6.4 Μελέτη Κατεδάφισης

Η συγκεκριμένη πεζογέφυρα αποτελεί αδιαμφισβήτα ένα έργο πνοής για την περιοχή λόγω του φόρτου των πεζών που εξυπηρετεί δίνοντας τους παράλληλα τη δυνατότητα να διασχίζουν με ασφάλεια και τα δύο ρεύματα της λεωφόρου Ποσειδώνος. Επιπρόσθετα το καλαίσθητο αποτέλεσμα είναι χαρακτηριστικό και συνεπώς σε καμία περίπτωση δεν υφίσταται λόγος για την κατεδάφιση της στην παρούσα χρονική περίοδο.

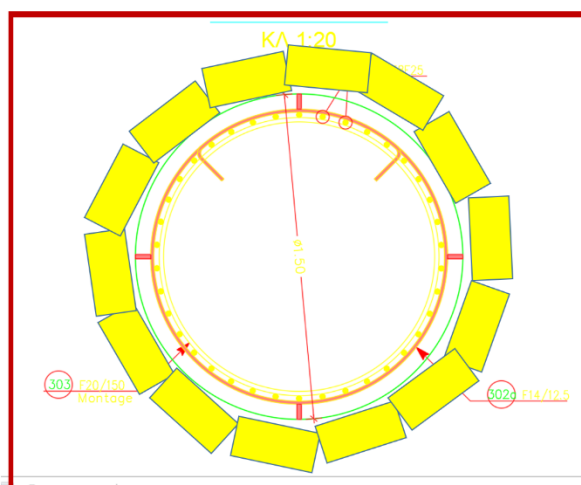
Στο υποθετικό αυτό μελλοντικό σενάριο, κατεδάφισης της γέφυρας θα πρέπει αρχικά ο κύριος του έργου να λάβει απόφαση για το αν επιθυμεί εξ' ολοκλήρου ή τμηματική κατεδάφιση ώστε να δύναται να επαναχρησιμοποιήσει κάποιο τμήμα την γέφυρας λχ τα βάθρα. Παρακάτω πρόκειται να μελετηθεί η εξ' ολοκλήρου κατεδάφιση της πεζογέφυρας.

6.4.1 Κατεδάφιση Ακροβάθρων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την προσέγγιση της μεθόδου επίλυσης. Για παράδειγμα μπορεί η τοποθέτηση των γεμισμάτων να είναι εξωτερική με ή χωρίς βυσμάτωσης ή ακόμη και εσωτερική σε διατρήματα. Επίσης, για τον υπολογισμό των ποσοτήτων, εκτός των άλλων, λαμβάνεται υπόψη το υλικό κατασκευής των ακροβάθρων, ήτοι ωπλισμένο σκυρόδεμα.

Αρχικά, πραγματοποιείται η θεώρηση ότι η τοποθέτηση των γεμισμάτων είναι εξωτερική με χρήση βυσμάτωσης. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της ποσότητας της εκρηκτικής ύλης είναι η ακτίνα ρήξης, ο συντελεστής υλικού καθώς και ο συντελεστής βυσμάτωσης. Για να θεωρηθεί ότι η ποσότητα εκρηκτικής ύλης είναι βυσματωμένη απαιτείται το πάχος βυσμάτωσης να είναι τουλάχιστο ίσο με την

ακτίνα ρήξης. Σύμφωνα με τα για κάθε στύλο ακροβάθρου απαιτούνται 197 λίβρες¹⁴ Τρινιτρολουόλης.

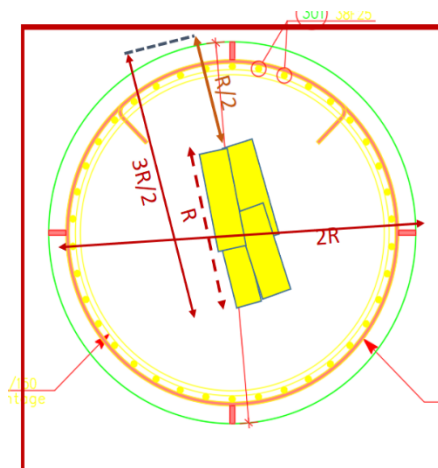


Εικόνα 44 Κάτοψη - Τοποθέτηση ΕΥ σε κάθε στύλο ακροβάθρου (εξωτερικά με χρήση βυσμάτων)

Στην περίπτωση περιμετρικής βυσμάτωσης, το πάχος αυτής απαιτείται να είναι κατ' ελάχιστον όσο και η ακτίνα διάρρηξης οπότε η συγκεκριμένη επιλογή λόγω της μεγάλης ποσότητας εκρηκτικών υλών αλλά και της δυσκολίας τοποθέτησης τους δεν προτείνεται καθόσον δεν αποτελεί ούτε την οικονομικότερη λύση αλλά ούτε και την ευκολότερη διάταξη.

Έστω ότι κατασκευάζεται διάτρημα εντός του κάθε ακροβάθρου. Όμοια λαμβάνοντας υπόψη το πλάτος του αντικειμένου για καταστροφή η υπολογισθείσα ποσότητα ανέρχεται σε 5.7 λίβρες TNT. Η εσωτερική τοποθέτηση ΕΥ πραγματοποιείται υπό γωνία περίπου 30 μοιρών ενώ η οριζόντια προβολή της περιοχής βυσμάτωσης ($R/2$) καθώς και του μήκους των ΕΥ (R) δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το $3R/2$. Λόγω των γεωμετρικών περιορισμών, η παραπάνω ποσότητα πρόκειται να τοποθετηθεί σε δύο διατρήματα με μία μικτή τελικώςεπαύξηση κατά το $1/3$. Συνεπώς πρόκειται να τοποθετηθούν δύο γεμίσματα με 8.5 λίβρες ΕΥ TNT.

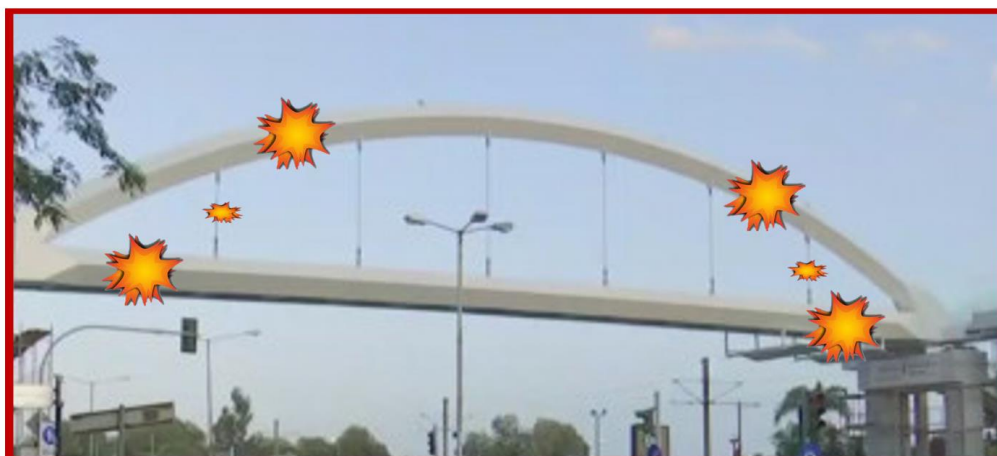
¹⁴ Δεν παρατίθενται οι αναλυτικοί υπολογισμοί των ποσοτήτων για λόγους διαβάθμισης



Εικόνα 45 Κάτοψη - Τοποθέτηση ΕΥ σε σύλο βάθρου - Διάτρημα

6.4.2 Κατεδάφιση Καταστρώματος, τόξου και λοιπών στοιχείων της γέφυρας

Το κατάστρωμα αποτελείται από σύμμικτη πλάκα. Επιπροσθέτως απαιτείται η μελέτη κατεδάφισης των λοιπών στοιχείων της γέφυρας όπως το τόξο και οι αναρτήρες. Η τοποθέτηση των εκρηκτικών υλών θα πραγματοποιηθεί όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα 46.



Εικόνα 46 Θέσεις τοποθέτησης ΕΥ για κατεδάφιση

Στους αναρτήρες πρόκειται να τοποθετηθεί μία λίβρα πλαστικής εκρηκτικής ύλης σε δύο θέσεις όπως αυτό φαίνεται παραπάνω. Δύναται βέβαια να τοποθετηθεί με τον ίδιο τρόπο η ίδια ποσότητα εκρηκτικής ύλης και στους έξι αναρτήρες προκειμένου να διασφαλισθεί η πλήρη αποκοπή του τόξου με το

κατάστρωμα. Για τους υπολογισμούς των παραπάνω ποσοτήτων χρησιμοποιήθηκε Εκρηκτική Ύλη με Συντελεστή Ισχύος 1,35.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας ΕΥ που πρόκειται να τοποθετηθεί στην κοίλη συγκολλητή τετράγωνη διατομή του τόξου και την αντίστοιχη του καταστρώματος λαμβάνεται υπόψη το εμβαδόν της προς αποκοπή διατομής. Έτσι, υπολογίσθηκαν 20,8 (≈21 λίβρες) σε κάθε θέση. Επομένως, για δύο θέσεις στο τόξο απαιτούνται συνολικά 41,6 λίβρες [10,4 * 2 ανά θέση * 2 θέσεις] ενώ για τις αντίστοιχες στο κατάστρωμα 20,8 λίβρες συνολικά [10,4 ανά θέση * 2 θέσεις]. Συνολικά απαιτούνται 62,4 λίβρες πλαστικής εκρηκτικής ύλης με ΣΣΑ ≈ 1,35.

Σελ. | 76



Εικόνα 47 Πλαστική Εκρηκτική Ύλη Αμερικάνικου Τύπου

Η προσέγγιση για την αποκοπή του σύμμικτου καταστρώματος είναι διττή. Αρχικά απαιτείται να υπολογισθεί η ποσότητα της εκρηκτικής ύλης του σκυροδέματος και εν συνεχεία η αντίστοιχη για το χαλύβδινο φύλλο πάνω στο οποίο εδράζεται αυτό.

Για το σκυρόδεμα απαιτούνται 20 λίβρες TNT ανά διατομή (σε δύο θέσεις) ενώ για την μεταλλική βάση όπου εδράζεται αυτό 13,75 λίβρες πλαστικής ΕΥ ανά διατομή (σε δύο θέσεις).



Εικόνα 48 Τρινιτροτολουόλη (TNT)

Συγκεντρωτικά οι ποσότητες των εκρηκτικών υλών και των απαραίτητων εκρηκτικών εξαρτημάτων απαριθμούνται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ				
Πίνακας Απαιτούμενων Εκρηκτικών Υλών για την κατεδάφιση της Γέφυρας				
α/α	Ποσότητες	Μον. Μέτρησης	Τύπος ΕΥ	Παρατηρήσεις
Βάθρο	34	Λίβρες	TNT	8,5 λίβρες ανά στύλο, σε τέσσερις στύλους
Αναρτήρες	6	Λίβρες	Πλαστική ΕΥ με ΣΣΑ 1,35	1 λίβρα ανά αναρτήρα
Πλάκα καταστρώματος	40	Λίβρες	TNT	20 λίβρες σε δύο θέσεις
Μεταλλική βάση Καταστρώματος	28	Λίβρες	Πλαστική ΕΥ με ΣΣΑ 1,35	11*1,25= 13,75 λίβρες σε δύο θέσεις
Κοίλη συγκολλητή τετράγωνη διατομή	62,4		Πλαστική ΕΥ με ΣΣΑ 1,35	10,4 λίβρες * 2 = 20,8 για κάθε διατομή σε δύο θέσεις και 41,6 λίβρες σε δύο θέσεις
ΑΠΣ (θρυαλλίδα)	300	Μέτρα	PETN	Για την μεταφορά ταυτόχρονη μεταφορά της έκρηξης
Πυροκροτητές	2-4	Τεμ.	RDX, Lead azide, Lead Styphnate	Για την ενεργοποίηση της εκρηκτικής αλυσίδας

Πίνακας 19 Απαιτούμενες ποσότητες ΕΥ για την κατεδάφιση της γέφυρας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Α» . Κώδικας Strudl

STRUDL 'PTIXIAKI'

TYPE SPACE FRAME

UNITS METERS KN DEGREES CENTIGRADES

MATERIAL STEEL

CONSTANTS

E 200000000

G 175000000

UNITS Meters

JOINT COORDINATES

1	1.50802611e+001	1.15216526e+001	0.00000000e+000 S
2	1.50802611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
3	5.85802611e+001	1.15216526e+001	0.00000000e+000 S
4	5.85802611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
5	3.68302611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
6	3.68302611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
7	1.50802611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
8	5.85802611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
9	1.50802611e+001	2.56665261e+000	-1.80000000e-015
10	5.85802611e+001	2.56665261e+000	-1.80000000e-015
11	1.78680272e+001	2.44863267e-001	-1.80000000e-015
12	2.32240111e+001	-2.46032074e+000	-5.30000000e-015
13	2.86615111e+001	-4.17624090e+000	-5.30000000e-015
14	3.41240111e+001	-5.00957163e+000	-5.30000000e-015

15	3.68302611e+001	-5.11073055e+000	-5.30000000e-015
16	2.32302611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
17	2.86702611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
18	3.41102611e+001	2.99665261e+000	-3.60000000e-015
19	5.57924950e+001	2.44863267e-001	-1.07000000e-014
20	5.04365111e+001	-2.46032074e+000	-1.07000000e-014
21	4.49990111e+001	-4.17624090e+000	-8.90000000e-015
22	3.95365111e+001	-5.00957163e+000	-7.10000000e-015
23	5.04302611e+001	2.99665261e+000	-7.10000000e-015
24	4.49902611e+001	2.99665261e+000	-5.30000000e-015
25	3.95502611e+001	2.99665261e+000	-3.60000000e-015
26	3.41102049e+001	3.02933490e+000	-3.60000000e-015
27	3.41102049e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
28	2.86702692e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
29	2.32302611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
30	3.95503172e+001	3.02933490e+000	-3.60000000e-015
31	3.95503172e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
32	4.49902530e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
33	5.04302611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
34	1.72552611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
35	1.72552611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
36	1.94302611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
37	1.94302611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
38	2.16052611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
39	2.16052611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
40	2.37802611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
41	2.37802611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015



42	2.59552611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
43	2.59552611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
44	2.81302611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
45	2.81302611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
46	3.03052611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
47	3.03052611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
48	3.24802611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
49	3.24802611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
50	3.46552611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
51	3.46552611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
52	3.90052611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
53	3.90052611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
54	4.11802611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
55	4.11802611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
56	4.33552611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
57	4.33552611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
58	4.55302611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
59	4.55302611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
60	4.98802611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
61	4.98802611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
62	5.64052611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
63	5.64052611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
64	4.77052611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
65	4.77052611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
66	5.20552611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000
67	5.20552611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
68	5.42302611e+001	2.99665261e+000	-2.10000000e+000



69	5.42302611e+001	2.99665261e+000	-1.80000000e-015
70	2.86865111e+001	-4.18411991e+000	-5.30000000e-015
71	4.49740111e+001	-4.18411991e+000	-8.90000000e-015

TYPE Space Frame

Σελ. | 81

MEMBER INCIDENCES

1	1	2
2	3	4
3	5	6
4	2	7
5	4	8
6	2	9
7	4	10
8	9	11
9	11	12
10	13	14
11	14	15
12	16	12
13	17	13
14	18	14
15	10	19
16	19	20
17	21	22
18	22	15
19	23	20
20	24	21
21	25	22
22	26	27

23	17	28
24	16	29
25	30	31
26	24	32
27	23	33
28	34	35
29	36	37
30	38	39
31	40	41
32	42	43
33	44	45
34	46	47
35	48	49
36	50	51
37	52	53
38	54	55
39	56	57
40	58	59
41	60	61
42	62	63
43	64	65
44	66	67
45	68	69
46	12	13
47	13	70
48	20	21
49	21	71

50	2	35
51	34	7
52	35	37
53	36	34
54	37	39
55	39	16
56	29	38
57	38	36
58	16	41
59	40	29
60	41	43
61	42	40
62	43	45
63	45	17
64	28	44
65	44	42
66	17	47
67	46	28
68	47	49
69	49	18
70	27	48
71	48	46
72	6	50
73	50	27
74	18	51
75	51	5
76	31	52

77	52	6
78	5	53
79	53	25
80	25	55
81	54	31
82	55	57
83	57	24
84	32	56
85	56	54
86	24	59
87	58	32
88	61	23
89	33	60
90	63	4
91	8	62
92	59	65
93	65	61
94	60	64
95	64	58
96	23	67
97	66	33
98	67	69
99	69	63
100	62	68
101	68	66

*Define Group 'ypost' -
members -*



1 2

Define Group 'dokostox' -

members -

50 52 54 55 58 60 62 63 66 68 -

69 74 75 78 79 80 82 83 86 88 -

90 92 93 96 98 99

Define Group 'akampta' -

members -

3 4 5 22 23 24 25 26 27 28 -

29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 -

39 40 41 42 43 44 45

Define Group 'edok' -

members -

51 53 56 57 59 61 64 65 67 70 -

71 72 73 76 77 81 84 85 87 89 -

91 94 95 97 100 101

Define Group 'efedrano' -

members -

6 7

Define Group 'toxo' -

members -

8 9 10 11 15 16 17 18 46 47 -

48 49

Define Group 'anart' -

members -

12 13 14 19 20 21



MEMBER DIMENSION PRISMATIC

GROUP 'ypost' RECT B 4.5 H 1.5

GROUP 'akampta' RECT B 3.0 H 3.0

GROUP 'efedrano' CIRCLE B 0.36

GROUP 'anart' CIRCLE B 0.036

\$Group 'toxo' RECT B 0.3 H 0.3

\$GROUP 'dokostox' RECT B 0.3 H 0.3

\$GROUP 'edok' RECT B 0.3 H 0.3

MEMBER PROPERTIES

Group 'toxo' AX 0.0702 AY 0.036 AZ 0.036 IX 0.018 IY 0.009 IZ 0.009

GROUP 'dokostox' AX 0.0702 AY 0.036 AZ 0.036 IX 0.009 IY 0.009 IZ 0.009

\$GROUP 'edok' AX 0.114 AY 0.114 AZ 0.114 IX 0.093 IY 0.0000177 IZ 0.093

GROUP 'edok' AX 0.114 AY 0.114 AZ 0.114 IX 0.093 IY 0.00177 IZ 0.093

CHANGES

CONSTANTS

E 100000.0 GROUP 'efedrano'

G 100000.0 GROUP 'efedrano'

DENSITY 20.0 GROUP 'efedrano'

POISSON 0.3 GROUP 'efedrano'

ADDITIONS

LOADING 'IDIO'

MEMBER LOADS

GROUP 'anart' FORCE Y GLOBAL UNIFORM W 0.08

Group 'toxo' FORCE Y GLOBAL UNIFORM W 5.54

GROUP 'dokostox' FORCE Y GLOBAL UNIFORM W 5.54

GROUP 'edok' FORCE Y GLOBAL UNIFORM W 9.0

LOADING 'KINITO'



MEMBER LOADS

GROUP 'edok' FORCE Y GLOBAL UNIFORM W 5.0

\$IDIA BAROI GRAVITY LOADS G

FORM LOADING 'G' FROM 'IDIO' 1.0

Σελ. | 87

\$OFELIMA FORTIA Q

FORM LOADING 'Q' FROM 'KINITO' 1.0

DYNAMIC DEGREES OF FREEDOM WITH STATIC CONDENSATION

JOINTS 7 34 36 38 29 40 42 44 28 46 48 27 50 6 52 31 54 56 32 58 64 60 66
68 62 8 TRANS X Z ROT Y

\$G+0.3 Q

\$ I plakas $1/12 * m * (a^2 + b^2)$ gia strofi giro apo axona/rotational inertia plate

\$gia translational motion exo maza m

\$INERTIA OF JOINTS 7 34 36 38 29 40 42 44 28 46 48 27 50 6 52 31 54 56
32 58 64 60 66 68 62 8 TRANS X 3619.2 Z 3619.2 ROT Y 14934454.2

INERTIA OF JOINTS 7 34 36 38 29 40 42 44 28 46 48 27 50 6 52 31 54 56
32 58 64 60 66 68 62 8 TRANS X 20.0 Z 20.0 ROT Y 200.0

\$orizoume tin aposvesi

DAMPING RATIOS 0.06 10

\$orizoume 3 idiomorfes

EIGEN PARAMETERS

NUMBER OF MODES 10

DYNAMIC ANALYSIS EIGENVALUE

LIST DYNAMIC EIGENVALUE

STORE RESPONSE SPECTRUM ACCELERATION LINEAR VS NATURAL
PERIOD LINEAR 'EC'



DAMPING PERCENT 6.0 FACTOR 1.0

1.84 0.0

1.978 0.01

2.116 0.02

.....

(όπως πίνακες 8 & 9 με πρώτη στήλη Se και δεύτερη T)

.....

0.455984298 3.89

0.453648915 3.9

0.451331428 3.91

0.449031653 3.92

0.446749412 3.93

0.444484527 3.94

0.442236821 3.95

0.440006122 3.96

0.437792258 3.97

0.435595061 3.98

0.433414363 3.99

0.43125 4.0

END OF RESPONSE SPECTRUM

RESPONSE SPECTRUM LOADING 'SEISMOS-X'

SUPPORT ACCELERATION

TRANS X FILE 'EC'

\$MODE FACTORS 2.0 12

END RESPONSE SPECTRUM LOAD

RESPONSE SPECTRUM LOADING 'SEISM-Z'

SUPPORT ACCELERATION

TRANS Z FILE 'EC'

END RESPONSE SPECTRUM LOAD

LOADING COMBINATION 1 '1.35 G + 1.50 Q'

COMBINE 1 'G' 1.35 'Q' 1.50

Σελ. | 89

LOADING COMBINATION 2 'G + Q'

COMBINE 2 'G' 1.0 'Q' 1.0

\$PRINT DATA

PERFORM RESPONSE SPECTRA ANALYSIS

\$PRINT DYNAMIC DATA

\$PRINT DYNAMIC MATRICES

\$LIST FORCES REACTIONS

\$LIST DISPLACEMENTS

*COMPUTE RESPONSE SPECTRA DISPLACEMENTS MODAL
COMBINATIONS CQC*

OUTPUT MODAL CONTRIBUTIONS ON

*COMPUTE RESPONSE SPECTRA VELOCITIES MODAL COMBINATIONS
CQC*

OUTPUT MODAL CONTRIBUTIONS ON

*COMPUTE RESPONSE SPECTRA ACCELERATIONS MODAL
COMBINATIONS CQC*

OUTPUT MODAL CONTRIBUTIONS ON

COMPUTE RESPONSE SPECTRA FORCES MODAL COMBINATIONS CQC

OUTPUT MODAL CONTRIBUTIONS ON

*COMPUTE RESPONSE SPECTRA STRESSES MODAL COMBINATIONS
CQC*

OUTPUT MODAL CONTRIBUTIONS ON

COMPUTE RESPONSE SPECTRA LOADS MODAL COMBINATIONS CQC

OUTPUT MODAL CONTRIBUTIONS ON



COMPUTE RESPONSE SPECTRA REACTIONS MODAL COMBINATIONS
CQC

OUTPUT MODAL CONTRIBUTIONS ON

CREATE PSEUDO STATIC LOADING 'PSX' FROM CQC OF LOADING
'SEISMOS-X'

Σελ. | 90

CREATE PSEUDO STATIC LOADING 'PSZ' FROM CQC OF LOADING
'SEISM-Z'

STIFFNESS ANALYSIS

\$CREATE PSEUDO STATIC LOADING 'PSXZ' FROM CQC OF LOADING
'XZ'

LOADING COMBINATION 3 'G' + 0.3 'Q' + SEISMX + 0.3 SEISMZ'

COMBINE 3 'G' 1.0 'Q' 0.3 'PSX' 1.0 'PSZ' 0.3

LOADING COMBINATION 4 'G' + 0.3 'Q' - SEISMX - 0.3 SEISMZ'

COMBINE 4 'G' 1.0 'Q' 0.3 'PSX' -1.0 'PSZ' -0.3

LOADING COMBINATION 5 'G' + 0.3 'Q' + SEISMX - 0.3 SEISMZ'

COMBINE 5 'G' 1.0 'Q' 0.3 'PSX' 1.0 'PSZ' -0.3

LOADING COMBINATION 6 'G' + 0.3 'Q' - SEISMX + 0.3 SEISMZ'

COMBINE 6 'G' 1.0 'Q' 0.3 'PSX' -1.0 'PSZ' 0.3

LOADING COMBINATION 7 'G' + 0.3 'Q' + 0.3 SEISMX + SEISMZ'

COMBINE 7 'G' 1.0 'Q' 0.3 'PSX' 0.3 'PSZ' 1.0

LOADING COMBINATION 8 'G' + 0.3 'Q' - 0.3 SEISMX - SEISMZ'

COMBINE 8 'G' 1.0 'Q' 0.3 'PSX' -0.3 'PSZ' -1.0

LOADING COMBINATION 9 'G' + 0.3 'Q' + 0.3 SEISMX - SEISMZ'

COMBINE 9 'G' 1.0 'Q' 0.8 'PSX' 0.3 'PSZ' -1.0

LOADING COMBINATION 10 'G' + 0.3 'Q' - 0.3 SEISMX + SEISMZ'

COMBINE 10 'G' 1.0 'Q' 0.3 'PSX' -0.3 'PSZ' 1.0

LOADING COMBINATION 11 'SEISMX + SEISMZ'

COMBINE 11 'PSX' 1.0 'PSZ' 1.0



LOADING COMBINATION 12 '- SEISMX - SEISMZ'

COMBINE 12 'PSX' -1.0 'PSZ' -1.0

LOADING COMBINATION 13 'SEISMX - SEISMZ'

COMBINE 13 'PSX' 1.0 'PSZ' -1.0

Σελ. | 91

LOADING COMBINATION 14 '- SEISMX + SEISMZ'

COMBINE 14 'PSX' -1.0 'PSZ' 1.0

*\$LIST RESPONSE SPECTRA DISPLACEMENTS MODAL COMBINATIONS
CQC*

*\$LIST RESPONSE SPECTRUM PARTICIPATION FACTORS MODE
COMBINATION CQC*

Βιβλιογραφία

1. Sétra - service d'Études techniques des routes et autoroutes (2006):
Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading.
– Technical Guide
2. Ιωάννης Χ. Ερμόπουλος (2008) : Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες
3. Βάγιας – Ηλιόπουλος – Θανόπουλος, 2016, Σχεδιασμός Σύμμικτων
Γεφυρών από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα
4. Ψυχάρης – Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας Ι
5. Ψυχάρης – Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας ΙΙ
6. Ψυχάρης – Αντισεισμικός Σχεδιασμός Γεφυρών
7. Βάγιας 2010, Σύμμικτες Κατασκευές από Χάλυβα και Οπλισμένο
Σκυρόδεμα
8. Ιωάννης Τέγος, Ολόσωμες Γέφυρες
9. FM 5-250 Explosives and demolitions, Department of the Army Field
Manual – USA, 1995
10. Almansa, EM, Cánovas MF. Behaviour of normal and steel fiber-reinforced
concrete under impact of small projectiles. Cem Concr Res 1999; 29:1807-1814
11. Chen, Duan Bridge Engineering Handbook
12. SCI – Design Guide for Simply Supported Composite Bridges
13. DoT – Bridge Design Manual, 2003
14. Einar N Strommen Theory of Bridge Aerodynamics
15. ACI 544 (1996): State-of-the-Art Report on fibre Reinforced Concrete. ACI
Committee 544 Report 544.1R-96, American Concrete Institute
16. Akhavan J., The chemistry of explosives, Royal Society of Chemistry, 2011.
17. ASTM E8-01, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic
Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, www.astm.org
18. An improved SDOF model for steel members subject to explosion loading–
generalized supports and catenary action, Imperial College London, 2001.

19. Andersson, S. and Karlsson, H. (2012). “Structural response of reinforced concrete beams subjected to explosions: Time dependent transformation factors, support reactions and distribution of section forces”. Master Thesis. Chalmers University of Technology

20. Χαράλαμπος Τσουτρέλης (2011): Εκρηκτικές Ύλες και Τεχνική των Ανατινάξεων, Τόμος I (Εκρηκτικές Ύλες)

Σελ. | 93

21. Χαράλαμπος Τσουτρέλης (2001): Εκρηκτικές Ύλες και Τεχνική των Ανατινάξεων, Τόμος II (Τεχνική των ανατινάξεων)

22. Ζαχαρίας Αγιουτάντης : Στοιχεία Διάτρησης – Ανατίναξης, εκδόσεις Ίων

Ευρετήριο

A

Ανάλυση · 7, 8, 14, 19, 33, 50
Άνεση · 30, 34, 35, 36, 37, 39, 47,
48, 49
Αστοχία · 8, 29, 30

B

Βάδισμα · 8, 23

Γ

Γεφυροποιία · 8, 15

Δ

Δυναμική · 7, 8, 14, 19, 20, 21, 33,
50
Δυσκαμψία · 10, 20, 42, 67, 68, 69

E

Εγκάρσια · 10, 22, 25, 26, 29, 37,
41, 44, 45, 72
Εκρηκτική Ύλη · 11, 74, 75, 80
Έκρηξη · 7, 74, 75, 76
Εφέδρανο · 8, 10, 11, 13, 14, 35,
37, 44, 45, 47, 51, 67, 68, 69, 70,
71, 72, 73

I

Ιστορική Αναδρομή · 14

K

Κατακόρυφη · 8, 10, 23, 24, 28
Κατεδάφιση · 7, 9, 10, 11, 13, 14,
77, 79, 81

Λ

Λειτουργικότητα · 8, 29, 30, 31, 32

M

Μονοβάθμιος Ταλαντωτής · 14, 19,
20
Μοντελοποίηση · 7, 8, 14, 33, 50

Π

Πεζογέφυρα · 7, 8, 10, 13, 33, 36,
37, 39, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 77
Πεζός · 7, 8, 10, 21, 22, 24, 25, 29,
33, 34, 41, 45, 46, 48, 49
Πλεονεκτημάτων · 15
Πλήθος · 13, 35, 48
Ποσειδώνος · 7, 14, 43, 77
Προεντεταμένο · 20, 42
Προσομοίωση · 8, 21, 51

Σ

Σκυρόδεμα · 30, 42, 50, 80, 96
Σύμμικτη · 18, 42, 46, 48, 49, 96
Συμπεριφορά · 7, 13, 35
Συνιστώσα · 8, 24, 25, 26, 28, 29
Συντελεστής · 10, 11, 24, 25, 26,
31, 42, 67, 76
Συχνότητα · 10, 11, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 35, 37,
38, 40, 41, 46, 48

T

TNT · 12, 76, 78, 80, 81
Τρέξιμο · 8, 27

Υ

Υπολογισμός · 8, 10, 15, 20, 21,
34, 37, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50,
51, 55, 56, 68, 69, 74, 78

Φ

Φάσμα · 11, 53, 54, 57
Φόρτιση · 7, 19, 21, 41, 58

Χ

Χάλυβας · 42

