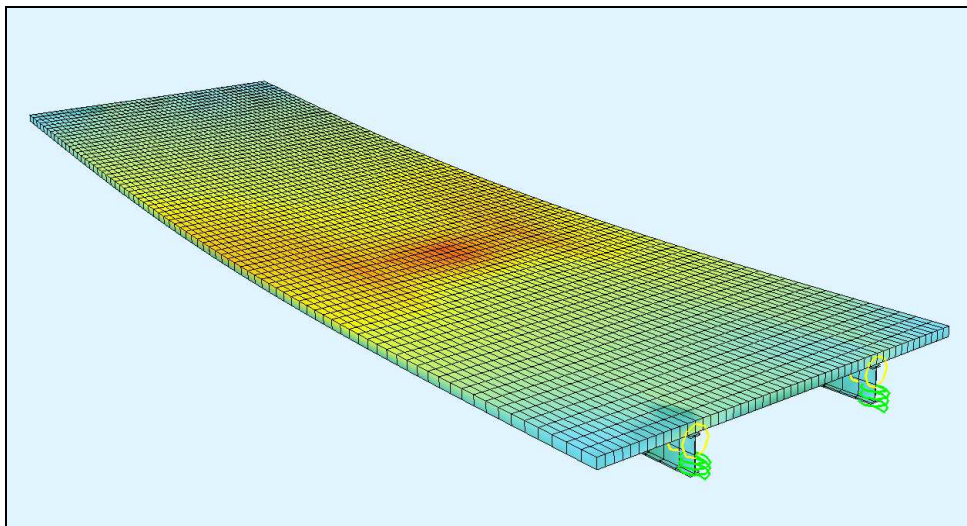
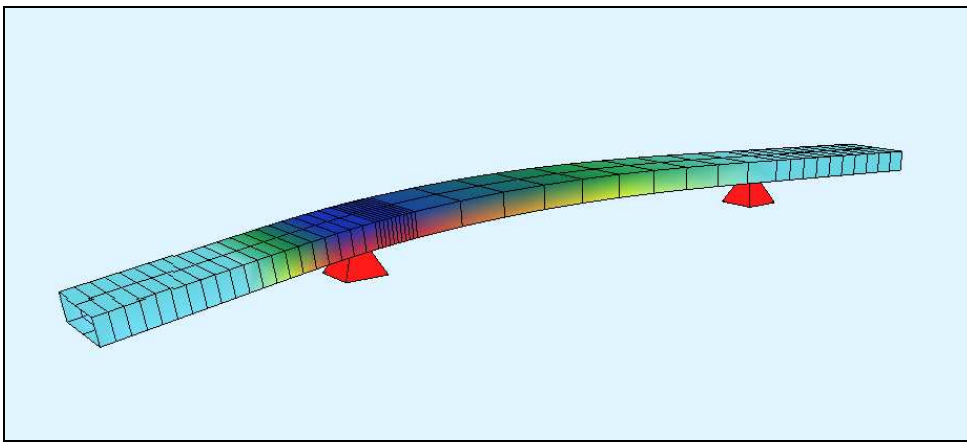




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Συγκριτική Μελέτη πλάκας καταστρώματος σύμμικτων γεφυρών με χρήση εναλλακτικών προσομοιωμάτων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Πέτρος Δράτσας

Επιβλέπων: Ιωάννης Βάγιας

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

ΕΜΚ ΔΕ 2012/22

Δράτσας Π. (2012).

Συγκριτική Μελέτη πλάκας καταστρώματος σύμμικτων γεφυρών με χρήση εναλλακτικών προσομοιωμάτων
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2012/22
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Dratsas P. (2012).

Comparative Study of composite deck slab bridges using alternative analytical models
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2012/22
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</i>	4
<i>ABSTRACT</i>	5
<i>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</i>	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
 <i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ</i>	
1.1 Γενικά στοιχεία	8
1.2 Σύμμικτες κατασκευές	9
1.3 Σύμμικτες γέφυρες	12
1.4 Πλεονεκτήματα σύμμικτων γεφυρών	13
1.5 Αντικείμενο μελέτης	17
1.6 Προσομοιώματα	18
 <i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΦΟΡΕΩΝ</i>	
2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Διατομή Ανωδομής 1	21
2.3 Διατομή Ανωδομής 2	24
2.4 Διατομή Ανωδομής 3	27
2.5 Διατομή Ανωδομής 4	30
2.6 Υλικά	34
2.7 Κανονισμοί	36
 <i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΔΡΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ</i>	
3.1 Εισαγωγή	37
3.2 Μόνιμες δράσεις	37
3.3 Μεταβλητές δράσεις	39
3.4 Δυσμενείς φορτίσεις γραμμικού προσομοιώματος	41
3.5 Συνδυασμοί δράσεων	75
 <i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</i>	
4.1 Εισαγωγή	76
4.2 Επεξεργασία αποτελεσμάτων	76
4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων-Ανοίγματα	84
4.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων-Στηρίξεις	89
 <i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i>	 95
 <i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	 96

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2012/22**Συγκριτική Μελέτη πλάκας καταστρώματος σύμμικτων γεφυρών με χρήση
εναλλακτικών προσομοιωμάτων**

Διπλωματική εργασία του Δράτσα Πέτρου

Επιβλέπων καθηγητής: Βάγιας Ιωάννης Καθηγητής ΕΜΠ

Περίληψη

Σύμμικτες είναι οι κατασκευές, στις οποίες χρησιμοποιούνται δυο τουλάχιστον διαφορετικά υλικά όπως οπλισμένο σκυρόδεμα και χάλυβας, συνδεδεμένα μεταξύ τους με την βοήθεια ειδικών συνδέσμων, σε τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η συνεργασία τους κατά την φόρτισή τους με όλα τα προβλεπόμενα από τον κανονισμό φορτία.

Η ανάλυση της πλάκας καταστρώματος με χρήση χωρικού προσομοιώματος απεικονίζει με ακρίβεια την εντατική κατάσταση αλλά συγχρόνως απαιτεί μεγάλη προσπάθεια, χρόνο, εμπειρία και εξειδίκευση σε σχέση με τα γραμμικά προσομοιώματα που είναι απλούστερα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησης απλών αναλυτικών μεθόδων (γραμμικά μοντέλα) για τον υπολογισμό της καμπτικής έντασης, της πλάκας καταστρώματος, επειδή θεωρούνται εργαλεία πιο προσιτά στην μεγάλη μάζα των μηχανικών της πράξης.

Για την ανάλυση επιλέγεται αμφιέριστος φορέας ενός ανοίγματος, συνολικού μήκους $L=40\text{m}$ από δομικό χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα και εξετάζονται τέσσερις διατομές ανωδομής για κάθε μια από τις οποίες μορφώνεται ένα χωρικό προσομοίωμα του φορέα και ένα απλό γραμμικό προσομοίωμα της εγκάρσιας διατομής του φορέα. Για τις αναλύσεις χρησιμοποιείται το πρόγραμμα SOFISTIK.

Όπως προκύπτει από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, πράγματι οι μηχανικοί της πράξης μπορούν σε γενικές γραμμές, να χρησιμοποιούν με ασφάλεια γραμμικά μοντέλα με χρήση μειωτικών συντελεστών.

Συγκεκριμένα, για τις ροπές ανοιγμάτων σε καταστρώματα ενός ανοίγματος ο μειωτικός συντελεστής είναι της τάξης του 3.00 σε καταστρώματα κιβωτοειδούς διατομής της τάξης του 3.50 και σε καταστρώματα συνεχών μικρών ανοιγμάτων της τάξης του 1.00. Για τις ροπές ακραίων στηρίξεων σε πρόβολο ο συντελεστής κυμαίνεται από 1.40~2.90 αναλογικά με το μήκος προβόλου. Το γραμμικό μοντέλο δεν ανταποκρίνεται μόνο στις εσωτερικές στηρίξεις συνεχών ανοιγμάτων καθώς δεν μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν η κάμψη κατά την διαμήκη έννοια του φορέα.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2011/04

Comparative Study of composite deck slab bridges using alternative analytical models

Dratsas P. (supervised by Vayas I.)

Abstract

Composite are the structures which consist of at least two different materials such as reinforced concrete and structural steel, connected together using special joints in a way that guaranties that they will work together under code specified loads.

The analysis of the deck slab using a spatial 3D model, represents with great accuracy it's stress state but requires also a significant effort, time, experience and expertise, when compared with simpler line-element models.

The scope of this diploma thesis is to investigate the possibility of using simple analytical procedures (line-element models) to calculate the flexural stress of a composite deck slab, given these models are easier to apply by most practicing engineers.

For the analysis, we choose a simply supported, one-span steel-concrete composite deck slab, spanning over $L = 40\text{m}$. Four sections of the superstructure are examined and for each one, a 3D model and a simple line-element model is developed to represent the section in the transverse direction. SOFISTIK software is used for all the analytical work.

The results of this study confirm that as a general rule practicing engineers can use simple line-element models for composite deck-slabs with reasonable accuracy and safety as long as reduction factors are also used.

Specifically, for flexural mid-span moments in a single-span deck, the reduction factor is of the order of 3.0, in a box-type section deck it is calculated as 3.5 and in decks of continuous small spans it is almost 1.0. For moments at the end supports in the case of a cantilever, the reduction factor ranges between 1.4 – 2.9, depending on the length of the cantilever. The simple line-element model inappropriate only for internal supports of multiple continuous spans, as it can't take into account bending in the longitudinal direction of the deck.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ιωάννη Βάγια που είχαμε μια άψογη συνεργασία το τελευταίο χρόνο και είχα τη αμέριστη βοήθεια του καθώς και τη συνεχή θεωρητική και πρακτική του καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τη Νικολέτα Βεκύρη για την υπομονή της και τη συνεχή στήριξη που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Πέτρος Δράτσας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις σύμμικτες γέφυρες το κατάστρωμα μορφώνεται ως πλάκα από σκυρόδεμα, συνεργαζόμενη μέσω διατμητικών συνδέσμων με τον χαλύβδινο φορέα.

Για την βέλτιστη και ορθολογική χρησιμοποίηση των σύμμικτων κατασκευών θεωρείται απαραίτητη η δημιουργία των αντίστοιχων εργαλείων λογισμικού που θα αποσκοπεί στην διαστασιολόγηση του φορέα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για χωρικά προσομοιώματα, αποτελεί ήδη ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης αλλά απαιτεί μεγάλη προσπάθεια, χρόνο, εμπειρία και εξειδίκευση.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα ακριβούς υπολογισμού της καμπτικής έντασης πλάκας καταστώματος σύμμικτης γέφυρας με χρήση γραμμικού μοντέλου, που θεωρείται πιο προσιτό στην μεγάλη μάζα των μηχανικών της πράξης.

Αντικείμενο λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων ανάλυσης δυο στατικών μοντέλων προσομοίωσης καταστώματος σύμμικτων γεφυρών.

Για τον σκοπό αυτό επιλέγεται αμφιέριστος φορέας ενός ανοίγματος, συνολικού μήκους $L=40m$ από δομικό χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα και εξετάζονται τέσσερις διατομές ανωδομής.

Συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι ακόλουθες διατομές ανωδομής:

Διατομή 1. αποτελείται από δυο κύριες δοκούς σε απόσταση μεταξύ τους 7.50m και προβόλους 2.50m εκατέρωθεν, συνολικού πλάτους 12.50m

Διατομή 2. αποτελείται από δυο κύριες δοκούς σε απόσταση μεταξύ τους 6.50m και προβόλους 3.00m εκατέρωθεν, συνολικού πλάτους 12.50m

Διατομή 3. αποτελείται από τέσσερις κύριες δοκούς σε απόσταση μεταξύ τους 2.90m και προβόλους 1.90m εκατέρωθεν, συνολικού πλάτους 12.50m

Διατομή 4. αποτελείται από κιβώτιο πλάτους 7.00m και προβόλους 2.00m εκατέρωθεν, συνολικού πλάτους 11.00m

Για τις αναλύσεις χρησιμοποιείται το πρόγραμμα SOFISTIK

Η μεθοδολογία ανάπτυξης της εργασίας είναι η ακόλουθη:

Θα μορφωθούν γραμμικά μοντέλα και θα υπολογισθούν με την βοήθεια των γραμμών επιρροής οι δυσμενείς φορτίσεις. Θα υπολογισθεί η καμπτική ένταση σε ανοίγματα, στηρίξεις με την βοήθεια γραμμικών μοντέλων (εγκάρσια διατομή). Στην συνέχεια θα μορφωθούν αναλυτικά μοντέλα, με χρήση χωρικών προσομοιωμάτων και θα υπολογισθεί η καμπτική ένταση για τις ίδιες φορτίσεις. Τέλος θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και θα εξετασθεί η δυνατότητα συσχέτισης των δύο αναλύσεων.

Η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τα εξής κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά στοιχεία που αφορούν τις σύμμικτες γέφυρες και ειδικότερα τα σύμμικτα καταστρώματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενώς παρουσίαση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των φορέων που θα εξεταστούν, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων υλικών και αναφέρονται τα προσομοιώματα που θα χρησιμοποιηθούν αναλυτικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι φορτίσεις που εξετάζονται η μεθοδολογία εντοπισμού των εκάστοτε δυσμενών φορτίσεων και τα αντίστοιχα αποτελέσματα εντατικών μεγεθών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο συγκρίνονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων

Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα.

1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

1.1 Γενικά στοιχεία

Η επιτυχής επιλογή του στατικού συστήματος (τύπου) του φορέα μιας γέφυρας είναι συχνά το κλειδί για την επιτυχή και έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου.

Οι παραδοχές σχεδιασμού κάθε τεχνικού έργου εξαρτώνται από την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του (σπουδαιότητα), το φυσικό περιβάλλον (μορφολογία, γεωλογία, σεισμικότητα) και τις κυκλοφοριακές απαιτήσεις (οδική - σιδηροδρομική κυκλοφορία ,φορτία σχεδιασμού).

Η επιλογή των βασικών στοιχείων που διέπουν το έργο όπως είναι η μορφολογία ,τα υλικά δόμησης, και η μέθοδος κατασκευής γίνονται με τα παρακάτω κριτήρια:

- Βέλτιστη στατική συμπεριφορά ανάλογα από την γεωμετρία της χάραξης (οριζοντιογραφικά και μηκοτομικά)
- Λειτουργία , αισθητική
- Τεχνικοοικονομία

Στα παραπάνω θα πρέπει να προστεθούν

- Διαθεσιμότητα και κόστος του εξοπλισμού κατασκευής
- Διαθέσιμη εμπειρία
- Συμβατικές δεσμεύσεις (εάν υπάρχουν)



Εικόνα 1. 1: Μακροσκοπική άποψη σύμμικτης πλάκας

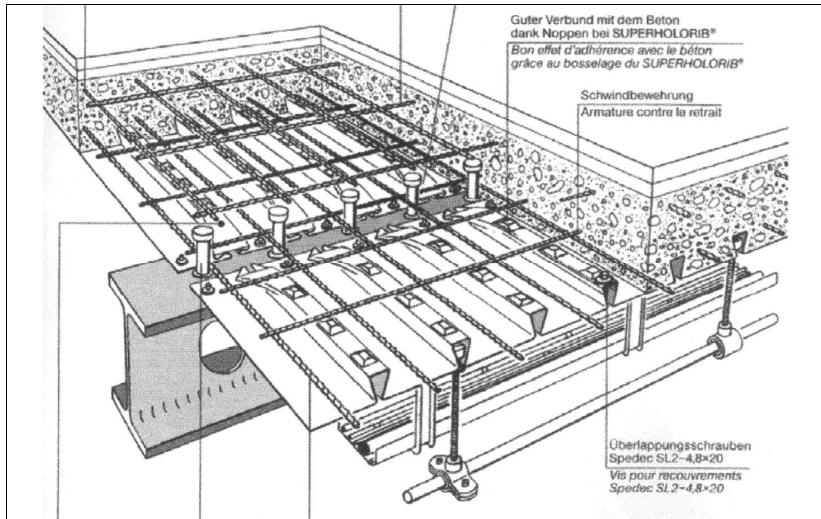
Σήμερα, μία από τις πιο αξιόλογες κατασκευαστικές μεθόδους είναι η σύμμικτη κατασκευή.

Είναι απόλυτα εναρμονισμένη με όλες τις διεθνείς κατευθύνσεις για την αειφόρο ανάπτυξη, υποστηρίζεται από την διαρκή εξέλιξη της τεχνολογίας στην κατεργασία χάλυβα, τα σύγχρονα δομικά υλικά και τις απειρίες αρχιτεκτονικών λύσεων που παρέχει ο χάλυβας. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κατασκευασθεί πολλά σημαντικά έργα που αναδεικνύουν την πρωτοπορία και τα οφέλη της σύμμικτης δόμησης σε πολλαπλούς τομείς.

1.2 Σύμμικτες κατασκευές

Σύμμικτες είναι οι κατασκευές που αποτελούνται από δομικά στοιχεία, οι επί μέρους διατομές των οποίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Πρόκειται για δομικά μέλη, στα οποία έχει εξασφαλισθεί η συνεργασία των υλικών με μηχανικά μέσα και όχι με συνάφεια. Συγκεκριμένα οι σύμμικτες κατασκευές αποτελούνται από

- Μεταλλικές δοκούς κοιλοδοκούς ή δικτυωτούς φορείς και
- Τμήματα σκυροδέματος οπλισμένου ή προεντεταμένου



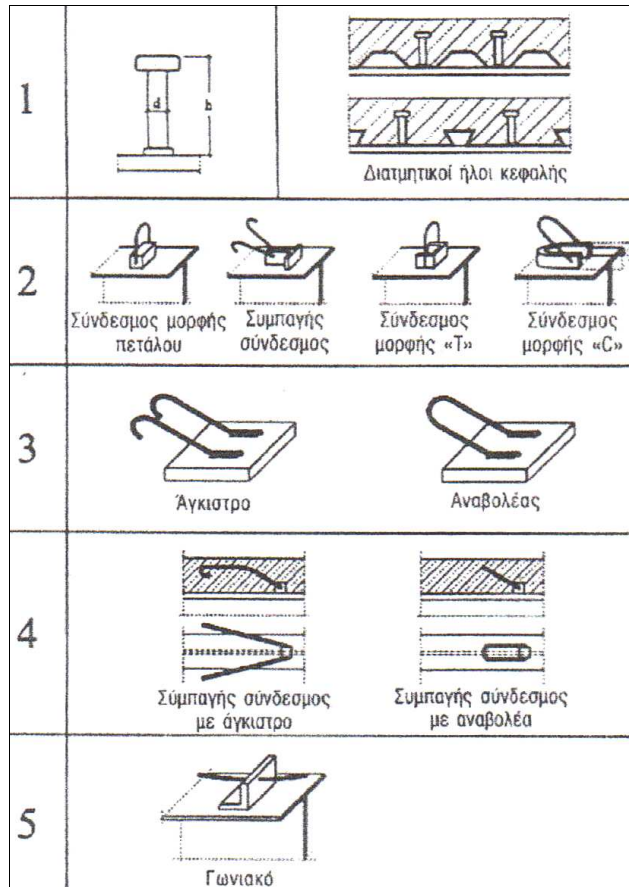
Εικόνα 1. 2: Τυπική μορφή σύμμικτης πλάκας

Η επιφάνεια επαφής των δύο υλικών ονομάζεται διεπιφάνεια και οι σύνδεσμοι που συνδέουν τα δυο υλικά επειδή καταπονούνται κυρίως από διατμητικές τάσεις ονομάζονται διατμητικοί σύνδεσμοι. Έτσι αποφεύγεται η σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια των υλικών και διατηρείται η επιπεδότητα των διατομών στην καμπτική αλλά και θλιπτική λειτουργία.

1.2.1 Τύποι διατμητικών συνδέσμων

Υπάρχουν πολλοί τύποι και μέσα διατμητικής σύνδεσης. Ο EC4 περιέχει κανόνες εφαρμογής για μερικούς τύπους διατμητικών συνδέσμων.

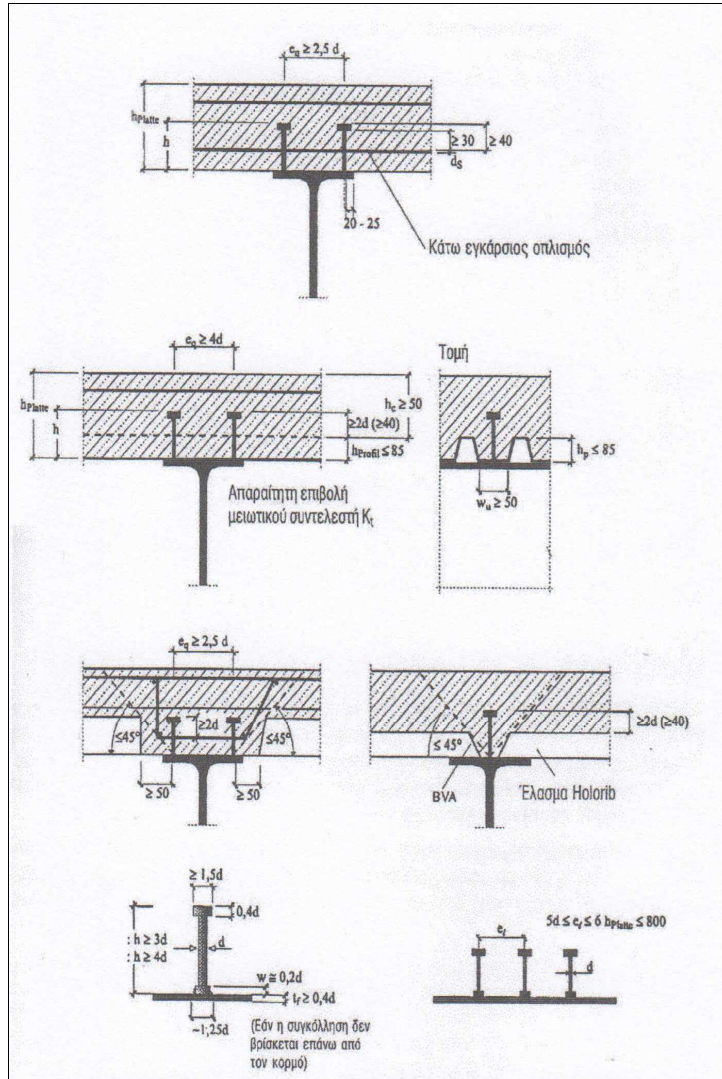
- Ήλοι κεφαλής σε συμπαγείς πλάκες σκυροδέματος
- Ήλοι κεφαλής σε πλάκες σκυροδέματος επί φατνωματικών χαλυβδόφυλλων
- Συμπαγείς σύνδεσμοι
- Αναβολείς και άγκιστρα σε συμπαγείς πλάκες σκυροδέματος
- Συμπαγείς σύνδεσμοι σε συνδυασμό με άγκιστρα και αναβολείς
- Γωνιακά σε συμπαγείς πλάκες



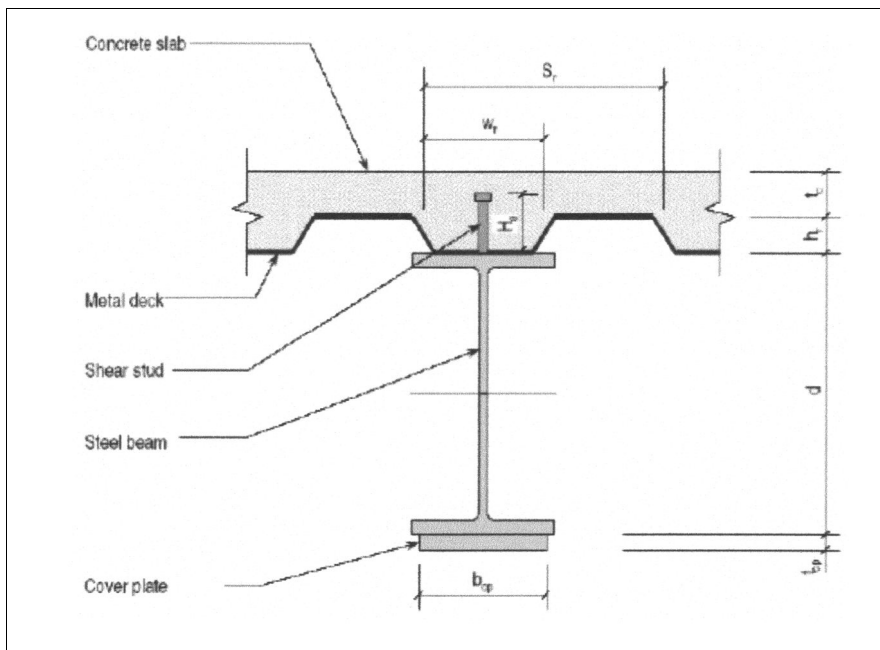
Εικόνα 1. 3: Διατμητικοί σύνδεσμοι σύμφωνα με τον EC4

Από τους ανωτέρω, ο πλέον εφαρμόσιμος και πιο συνηθισμένος τρόπος σύνδεσης είναι αυτός με τους διατμητικούς ήλους κεφαλής.

Οι ήλοι κεφαλής είναι χαλύβδινα κυλινδρικά στοιχεία με διάμετρο $d = 16 - 25\text{mm}$, ύψος $h = 50 - 525\text{mm}$ και η κεφαλή τους είναι μμεγαλύτερης διαμέτρου από τον κορμό τους. Η διάμετρος του ήλου d καθορίζεται από το πάχος t του πέλματος της δοκού που συγκολλούνται οι ήλοι και ο λόγος d/t δεν πρέπει να ξεπερνά το 1,5 για επαναλαμβανόμενη φόρτιση ή το 2,5 για μονοτονική, ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης ανάπτυξη της αντοχής των ήλων.



Εικόνα 1. 4: Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ήλων κεφαλής



Εικόνα 1. 5: Τοπική τομή σύμμικτης δοκού με σύμμικτη πλάκα

Τα τελευταία χρόνια παράλληλα με την ευρεία χρήση των σύμμικτων κατασκευών σε διάφορα έργα αναπτύσσεται και η θεωρητική έρευνα για την μελέτη της συμπεριφοράς τους.

Η μελέτη και διαστασιολόγηση των σύμμικτων κατασκευών γίνεται βάσει του Ευρωκώδικα 4 για οριακές καταστάσεις και για καταστάσεις σχεδιασμού, και σήμερα αποτελεί τον επίσημο κανονισμό για σύμμικτες κατασκευές στην Ελλάδα. Ειδικότερα υπάρχουν οριακές καταστάσεις αντοχής που εξετάζουν ελέγχους αντοχής και ευστάθειας και οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας που εξετάζουν ελέγχους παραμορφώσεων και μετατοπίσεων

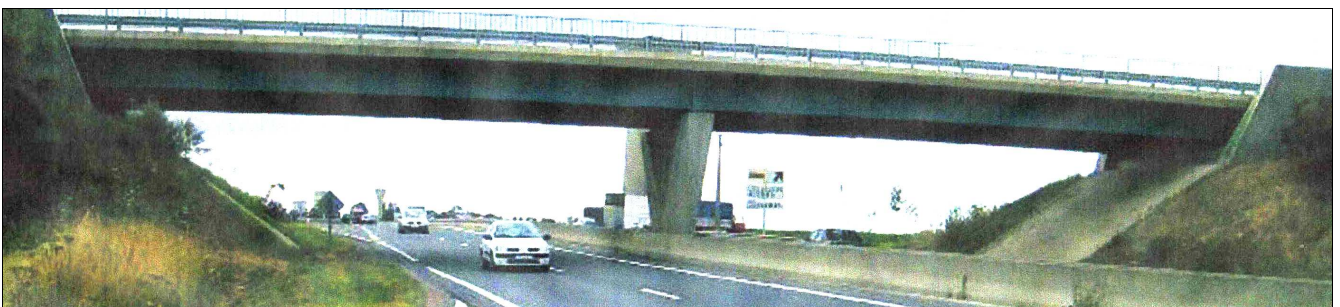
1.3 Σύμμικτες γέφυρες

Ο βασικός φορέας των σύμμικτων γεφυρών όπως και στις σιδηρές γέφυρες αποτελείται από δομικό χάλυβα. Μέχρι το 1960 περίπου, οι σιδηρές γέφυρες με κατάστρωμα από ορθότροπη πλάκα αποτελούσαν τον κύριο τύπο μεταλλικών γεφυρών.

Η κύρια διαφορά των δυο τύπων γεφυρών βρίσκεται στην πλάκα καταστρώματος. Στις σιδηρές γέφυρες το κατάστρωμα μορφώνεται ως ορθότροπη πλάκα, ενώ στις σύμμικτες γέφυρες ως πλάκα από σκυρόδεμα, συνεργαζόμενη μέσω των διατμητικών συνδέσμων με το χαλύβδινο φορέα.

Στις μέρες μας, η ορθότροπη πλάκα έχει σχεδόν τελείως εξαφανισθεί κυρίως λόγω υψηλού κόστους. Επίσης λόγω της μικρής θερμοχωρητικότητας του χάλυβα, το σιδηρό κατάστρωμα οδηγεί για μικρές θερμοκρασίες σε σχηματισμό πάγου, ενώ σε μεγάλες θερμοκρασίες προκαλούνται προβλήματα στην συνάφεια του με την άσφαλτο. Επιπλέον είναι ιδιαίτερα ευπαθές στην κόπωση. Έτσι, η χρήση καθαρά χαλύβδινων γεφυρών περιορίζεται σε ειδικές περιπτώσεις όπως για προσωρινές γέφυρες, κινητές ή γέφυρες εξαιρετικά μεγάλου ανοίγματος όπως κρεμαστές.

Οι σύμμικτοι φορείς οδηγούν σε πολύ οικονομικές λύσεις ιδιαίτερα αν εξετασθεί το σύνολο του έργου και όχι μόνο η ανωδομή. Ειδικά η σύμμικτη κατασκευή είναι ανταγωνίσιμη για μέτρια ή μεγάλα ανοίγματα φορέων, στα οποία χρησιμοποιείται πλάκα από σπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και για την περίπτωση που απαιτείται ταχεία αποπεράτωση του έργου. Η χρησιμοποίηση τυποποιημένων προϊόντων και η δυνατότητα εύκολης μεταφοράς από το εργοστάσιο στο εργοτάξιο χωρίς την δυσμενή επιρροή των καιρικών συνθηκών, πέραν των αισθητικών πλεονεκτημάτων, επηρεάζουν θετικά την ταχύτητα και την ποιότητα των έργων.



Εικόνα 1. 6: Τυπική μορφή σύμμικτης γέφυρας



Εικόνα 1. 7: Κάτω όψη καταστρώματος σύμμικτης γέφυρας

Είναι φανερό ότι πρόκειται για μια ταχύτατα εξελισσόμενη τεχνική, ευρύτατα διαδεδομένη στον παγκόσμιο χώρο αλλά συγχρόνως σχετικά άγνωστη στον ελληνικό, η οποία μπορεί να προσφέρει πολλά και στη γεφυροποιία

1.4 Σύμμικτο κατάστρωμα γέφυρας

Σε κάθε γέφυρα, ο τύπος καταστρώματος που επιλέγεται (εύκαμπτο – άκαμπτο, βαρύ –ελαφρύ) παίζει σημαντικό ρόλο στο στατικό σύστημα του φορέα, οπότε και στην επιλογή των λοιπών δομικών στοιχείων. Στις γέφυρες χρησιμοποιούνται καταστρώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, αμιγώς μεταλλικά αλλά και σύμμικτα. Κάθε τύπος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Γενικά η ακαμψία του καταστρώματος καθορίζει σε σημαντικό βαθμό και τα εντατικά μεγέθη στα βάρη.

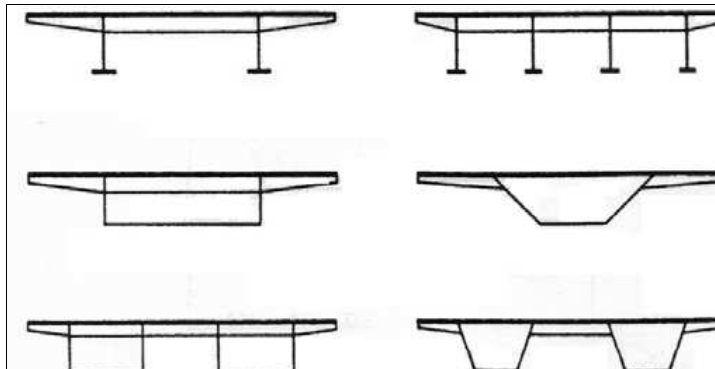
Την πρώτη επιλογή στις σιδηρές γέφυρες για δεκαετίες, αποτέλεσε η μόρφωση του καταστρώματος από χαλύβδινες κύριες δοκούς (διατομής I ή κιβωτίου) και η χρήση ορθότροπων χαλύβδινων καταστρωμάτων. Ωστόσο η επιλογή άκαμπτων καταστρωμάτων σε συνδυασμό με χαμηλό ίδιο βάρος σίγουρα δεν είναι η πλέον οικονομική, αφού το αντίστοιχο κόστος για κατάστρωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα - αν και το ίδιο βάρος είναι μεγαλύτερο - είναι πολύ χαμηλότερο.

Η χρήση σύμμικτων διατομών καταστρωμάτων αποτελεί κατά πολλούς την χρυσή τομή μεταξύ των δύο παραπάνω τύπων καταστρωμάτων. Η βασική διαφορά των σύμμικτων από τις σιδηρές γέφυρες έγκειται στον διαφορετικό τύπο πλάκας καταστρώματος.



Εικόνα 1. 8: Προετοιμασία καταστρώματος σύμμικτης γέφυρας

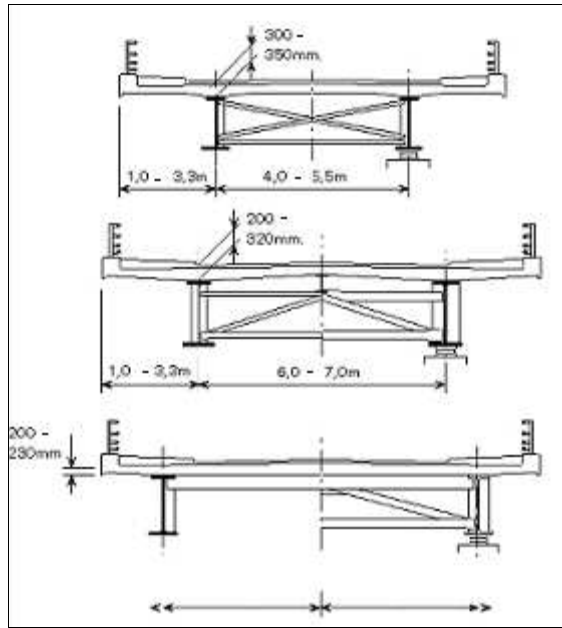
Η ορθότροπη μεταλλική πλάκα δεν συνεισφέρει στην αντοχή των κύριων δοκών, παρά μόνο μεταφέρει σε αυτές τα φορτία κυκλοφορίας. Στις σύμμικτες γέφυρες η πλάκα μορφώνεται από οπλισμένο σκυρόδεμα και συνεργάζεται διατμητικά με τις σιδηροδοκούς. Εκτός από τη μεταφορά των φορτίων, συνεισφέρει στην αντοχή του φορέα παραλαμβάνοντας τόσο καμπτικές ροπές, όσο και αξονικές δυνάμεις. Η οικονομικότητα της χρήσης σύμμικτου καταστρώματος μπορεί εύκολα να αποδειχτεί. Για την παραλαβή των ίδιων φορτίων, μια αμιγώς σιδηρά διατομή πρέπει να έχει πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις σε σχέση με την αντίστοιχη σύμμικτη (δεδομένου ότι ο χάλυβας είναι πολύ πιο ακριβό υλικό από το σκυρόδεμα).



Εικόνα 1. 9: Μορφές διατομής σύμμικτων καταστρώματων

Η μόρφωση του καταστρώματος μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Τα εντατικά μεγέθη και τα ανοίγματα κατά τη διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση καθορίζουν τον τύπο που θα χρησιμοποιηθεί. Οι συνήθεις μορφές είναι οι ανοικτές με χρήση διατομών διπλού ταυ και οι κιβωτιοειδείς.

Αν επιλεγεί χρήση διατομών διπλού ταυ το κατάστρωμα μορφώνεται ως εσχάρα δοκών. Κατά την διαμήκη έννοια τοποθετούνται 2 ή περισσότερες κύριες δοκοί οι οποίες εγκάρσια ενώνονται με διαδοκίδες (οι οποίες και αυτές συνεργάζονται με την πλάκα σκυροδέματος).



Εικόνα 1. 10: Κατάστρωμα με δύο κύριες δοκούς τύπου Ι

Οι σιδηροδοκοί που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι συγκολλητές και συχνά μεταβαλλόμενων διαστάσεων κατά μήκος του φορέα, ανάλογα με τα εντατικά μεγέθη. Οι συγκολλητές βέβαια έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής, ωστόσο είναι ελαφρύτερες από τις ελατές και δεν υπάρχει ο περιορισμός στην διαβάθμιση. Στην πράξη οι ελατές χρησιμοποιούνται μόνο για μικρά ανοίγματα όπου διατάσσονται περισσότερες από μία κύριες δοκοί. Στην περίπτωση της πυκνής διάταξης κύριων δοκών δεν απαιτούνται συνήθως διαδοκίδες. Όταν διατάσσονται διαδοκίδες, αυτές συνήθως είναι διατομές Ι ή χιαστί σύνδεσμοι μεταξύ των δοκών.



Εικόνα 1. 11: Κατάστρωμα με δύο κύριες δοκούς

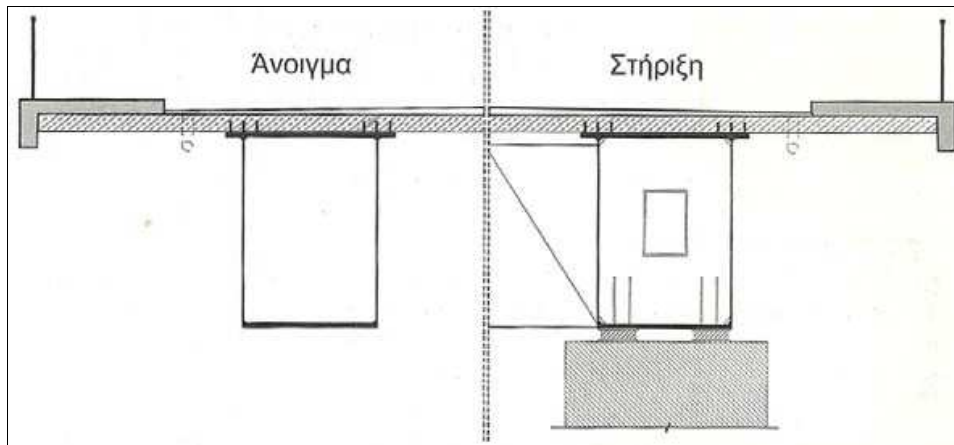


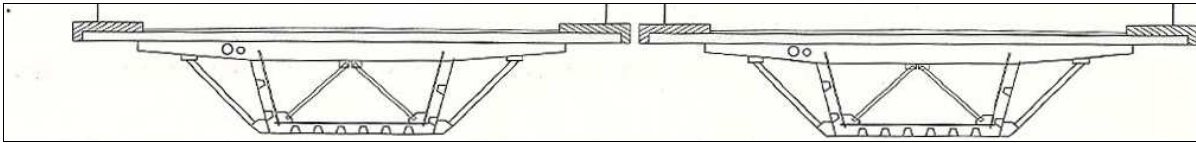
Εικόνα 1. 12: Καταστρώματα με κύριες δοκούς τύπου I



Εικόνα 1. 13: Οριζόντιοι σύνδεσμοι σιδηροδοκών

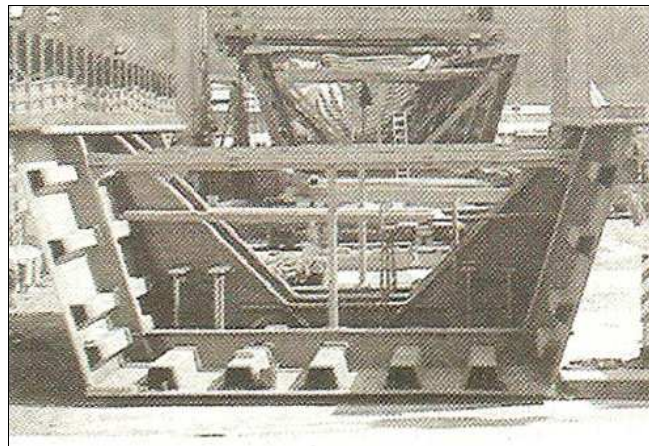
Εκτός από εσχάρες δοκών, συνήθης είναι η χρήση κιβωτιοειδών διατομών. Έχουν ορθογωνικό ή τραπεζοειδές σχήμα και συνδέονται διαμητικά με την πλάκα σκυροδέματος με ήλους που τοποθετούνται στα ανώτερο τοίχωμά τους. Διακρίνονται σε αεροστεγή μικροκιβώτια και επισκέψιμα κιβώτια. Οι διατομές αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυστρεψία (καλύτερη παραλαβή των έκκεντρων φορτίων κυκλοφορίας) και καλή συμπεριφορά σε αεροδυναμικά φαινόμενα. Η τραπεζοειδής διατομή χρησιμοποιείται προκειμένου να διατηρηθεί το κάτω πέλμα στην επιθυμητή διάσταση αλλά και να βελτιστοποιηθεί η θέση της στήριξης του καταστρώματος επί των κύριων δοκών.



Εικόνα 1.14: Τυπική διατομή σύμμικτης γέφυρας αεροστεγών μικροκιβωτίων**Εικόνα 1.15: Τυπική διατομή σύμμικτης γέφυρας επισκέψιμου κιβωτίου**

Τα κιβώτια πλεονεκτούν από στατικής άποψης, έχουν όμως μεγαλύτερο κατασκευαστικό κόστος και προτιμώνται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεγάλων καμπυλοτήτων και κάπως μεγαλύτερων ανοιγμάτων.

Σε οδούς δύο κλάδων επιλέγονται ανεξάρτητοι φορείς για κάθε κλάδο, ώστε κατά την εκτέλεση εργασιών συντήρησης η κυκλοφορία να διοχετεύεται στον ένα κλάδο και να μην εμποδίζονται οι εργασίες. Η επίσκεψη εντός του κιβωτίου γίνεται με όχημα που κινείται σε ράγες.

**Εικόνα 1.16: Διατομές κιβωτίων με διαμήκειες νευρώσεις, ενδιάμεσες διαδοκίδες και πλάκα εδραζόμενη στους κορμούς**

1.5 Αντικείμενο μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την καμπτική ένταση της πλάκας καταστρώματος σύμμικτων γεφυρών.

Συγκεκριμένα, εξετάζεται γέφυρα ενός ανοίγματος μήκους $L=40.0\text{m}$ από δομικό χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα με τέσσερις διαφορετικές διατομές ανωδομής..

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται τέσσερις φορείς γεφυρών, ενός ανοίγματος μήκους $L=40.0\text{m}$ από δομικό χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στον πρώτο φορέα η διατομή της ανωδομής είναι από σύμμικτη κατασκευή, αποτελούμενη από 2 σιδηροδοκούς σε απόσταση 7.50m μεταξύ τους και κατάστρωμα από σκυρόδεμα. Το οδόστρωμα έχει πλάτος 9.50 m και το συνολικό πλάτος καταστρώματος της γέφυρας είναι 12.50m .

Στον δεύτερο φορέα η διατομή της ανωδομής είναι από σύμμικτη κατασκευή, αποτελούμενη από 2 σιδηροδοκούς σε απόσταση 6.50m μεταξύ τους και κατάστρωμα από σκυρόδεμα. Το οδόστρωμα έχει πλάτος 9.50 m και το συνολικό πλάτος καταστρώματος της γέφυρας είναι 12.50 m .

Στον τρίτο φορέα η διατομή της ανωδομής είναι από σύμμικτη κατασκευή, αποτελούμενη από 4 σιδηροδοκούς σε απόσταση 2.90m μεταξύ τους και κατάστρωμα από σκυρόδεμα. Το οδόστρωμα έχει πλάτος 9.50 m και το συνολικό πλάτος καταστρώματος της γέφυρας είναι 12.50m .

Στον τέταρτο φορέα η διατομή της ανωδομής είναι από σύμμικτη κατασκευή, αποτελούμενη από

μεταλλικό κιβώτιο πλάτους 7.00m και κατάστρωμα από σκυρόδεμα. Το οδόστρωμα έχει πλάτος 8.00m και το συνολικό πλάτος καταστρώματος της γέφυρας είναι 11.00m.

Όλοι οι φορείς έχουν εκατέρωθεν προβόλους για την στήριξη των πεζοδρομίων τα οποία προστατεύονται στα άκρα μέσω κιγκλιδωμάτων. Το σκυρόδεμα είναι ποιότητας C35/45 και ο δομικός χάλυβας S355. Το πάχος της πλάκας είναι 0.30m με εξαίρεση τον τέταρτο φορέα που είναι μεταβαλλόμενο.

1.6 Προσομοιώματα

Με την καθολική ανάλυση του φορέα προσδιορίζονται τα εντατικά μεγέθη, οι παραμορφώσεις και οι ταλαντώσεις του φορέα και των επί μέρους στοιχείων του. Το αναλυτικό προσομοίωμα πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο να αποτυπώνει την εντατική κατάσταση του φορέα, να περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία της ανωδομής, να είναι εύχρηστο στην εισαγωγή των φορτίων και να δίνει με απλό τρόπο των προσδιορισμό των αποτελεσμάτων.

Η σειρά προγραμμάτων SOFISTIK είναι ένα αξιόπιστο πακέτο ανάλυσης και διαστασιολόγησης. Πρόκειται για μια σειρά προγραμμάτων που συνεργάζονται όλα μεταξύ τους κάτω από μια κοινή βάση δεδομένων.

1.6.1 Προσομοίωμα επιφανειακού φορέα με χρήση πεπερασμένων στοιχείων

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί, εδώ και μεγάλο χρονικό διάστημα, ένα βασικό εργαλείο ά του μηχανικού

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι τα εξής [3]:

A) Εντοπισμός περιοχών αυξημένης έντασης

Με τα κλασσικά στοιχεία δοκού η χωρική απεικόνιση εντατικών μεγεθών και τάσεων είναι αδύνατη. Αντίθετα με τα πεπερασμένα στοιχεία περιοχές ή σημεία της κατασκευής στα οποία η ένταση είναι υψηλή μπορούν με την κατάλληλη προσομοίωση να αναγνωρισθούν και να ενισχυθούν κατάλληλα.

B) Αποφυγή υπολογισμού ενεργού πλάτους

Το ενεργό πλάτος είναι γενικά ένα αμφισβητήσιμο μέγεθος του οποίου η τιμή διαφοροποιείται από κανονισμό σε κανονισμό.

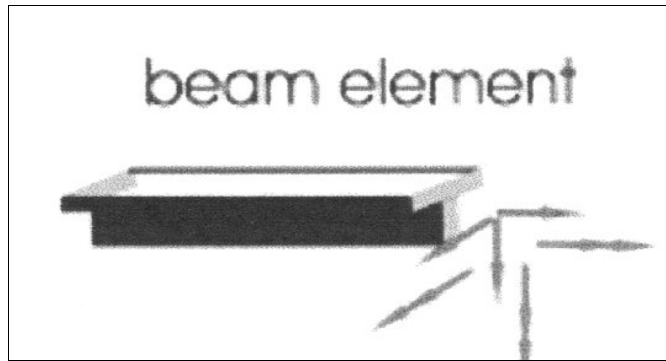
Γ) Υποστήριξη αποτελεσμάτων μοντέλων κλασσικής στατικής

Η προσομοίωση και η ανάλυση του φορέα θα υλοποιηθεί με το πρόγραμμα SOFISTIK.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ακόλουθη

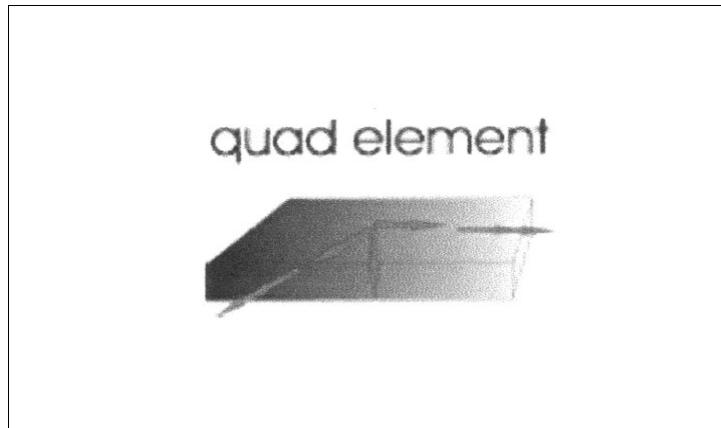
- Επιλογή ποιότητας υλικών
- Εισαγωγή δεδομένων διατομών
- Εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων του φορέα
- Καθορισμός των στοιχείων (επιφανειακά - ραβδωτά)
- Ορισμός συνοριακών συνθηκών
- Επιβολή φορτίσεων
- Επεξεργασία και λήψη των επιθυμητών αποτελεσμάτων

Για την μόρφωση του προσομοιώματος παρέχονται από το πρόγραμμα τα ακόλουθα στοιχεία για λεπτομερή και σωστή μοντελοποίηση:



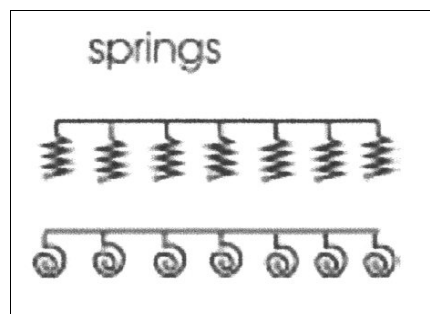
Εικόνα 1. 14: Ραβδωτό στοιχείο μεταβλητής και έκκεντρης διατομής με δυνατότητα προέντασης.

Μπορεί να παραλάβει στρέβλωση. Μπορεί να εδράζεται ελαστικά και να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες.



Εικόνα 1. 15: Επιφανειακό πεπερασμένο στοιχείο τρίκομβο ή τετράκομβο.

Πρόκειται για στοιχείο δίσκου, πλάκας ή κελύφους. Μπορεί να έχει μεταβλητό πάχος, να εδράζεται ελαστικά, να αποτελείται από υλικό με μη γραμμικές ιδιότητες και διαφορετικές στρώσεις, να φέρει προένταση και να έχει ορθότροπη συμπεριφορά.



Εικόνα 1. 18: Ελαστικές εδράσεις σε τυχαίες διευθύνσεις με μη γραμμικές ιδιότητες

Για την προσομοίωση των στοιχείων της πλάκας καταστρώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούμε επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία (QUADS), διαστάσεων 0.25X0.25m με πάχος πλάκας 0.30m. Για την προσομοίωση των σιδηροδοκών χρησιμοποιούμε ραβδωτά στοιχεία (BEAMS), με τις αντίστοιχα ορισμένες διατομές

Για την προσομοίωση των διατμητικών ήλων κεφαλής, που συντελούν στη διατμητική σύνδεση πλάκας καταστρώματος –σιδηροδοκού χρησιμοποιούμε ραβδωτά στοιχεία που μοιράζονται κοινούς κόμβους στο άνω πέλμα της σιδηροδοκού και στο μέσο της πλάκας καταστρώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με τον τρόπο αυτό το μοντέλο προσομοίωσης προσεγγίζει την σύμμικτη λειτουργία το φορέα.

Η σύνδεση της ανωδομής με τα βάθρα γίνεται μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων τα οποία προσομοιώνονται με ελατήρια.(SPRINGS)

1.6.2 Προσομοίωμα επίπεδου φορέα με ραβδωτά στοιχεία

Η μέθοδος προσομοίωσης με επίπεδο φορέα είναι απλούστερη . Διατίθενται πληθώρα λογισμικών τα οποία με αυτόματο τρόπο κατανέμουν ισοστατικά τα φορτία στις κύριες δοκούς κατά την εγκάρσια έννοια.

Η ανάλυση του φορέα γίνεται με προσομοίωμα «συνεχούς πλαισίου μορφής Π » (ανεστραμμένου U) και υλοποιείται στην εγκάρσια διατομή της γέφυρας με το πρόγραμμα SOFISTIK.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ακόλουθη

- Επιλογή ποιότητας υλικών
- Εισαγωγή δεδομένων διατομών
- Εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων του φορέα
- Καθορισμός των ραβδωτών στοιχείων
- Ορισμός συνοριακών συνθηκών
- Επιβολή φορτίσεων
- Επεξεργασία και λήψη των επιθυμητών αποτελεσμάτων

Για την προσομοίωση τόσο των στοιχείων της πλάκας καταστρώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα όσο και των σιδηροδοκών, χρησιμοποιούμε ραβδωτά στοιχεία (BEAMS), με τις αντίστοιχα ορισμένες διατομές.

2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΦΟΡΕΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Σκοπός του εν λόγω κεφαλαίου είναι να προσδιοριστούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κάθε φορέα, τα υλικά από τα οποία αποτελείται και οι ιδιότητές τους καθώς και η διάταξη των επιμέρους μελών του στο χώρο. Η σημασία κατανόησης της γεωμετρικής διάταξης και των υλικών που αποτελούν το φορέα είναι καθοριστική για την εντατικά μεγέθη σε κάθε σημείο του φορέα σε μια συγκεκριμένη φόρτιση. Οι τέσσερις περιπτώσεις που εξετάζονται ως προς το διαμήκη άξονα έχουν κοινό άνοιγμα αλλά διαφορετικές διατομές (εγκάρσιος άξονας). Για την συγκεκριμένη γέφυρα ανοίγματος 40m μελετήθηκαν οι ακόλουθες τέσσερις (4) διατομές ανωδομής:

Διατομή 1: ενός ανοίγματος 7.5 μέτρων και συνολικού πλάτους 12.5μ

Διατομή 2: ενός ανοίγματος 6.5 μέτρων και συνολικού πλάτους 12.5μ

Διατομή 3: τριών ίσων ανοιγμάτων (2.9μ το καθένα) συνολικού πλάτους 12.5μ

Διατομή 4: κιβωτοειδής με πλάτος κιβωτίου 7μ και συνολικό πλάτος 11μ

2.2 ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 1

2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

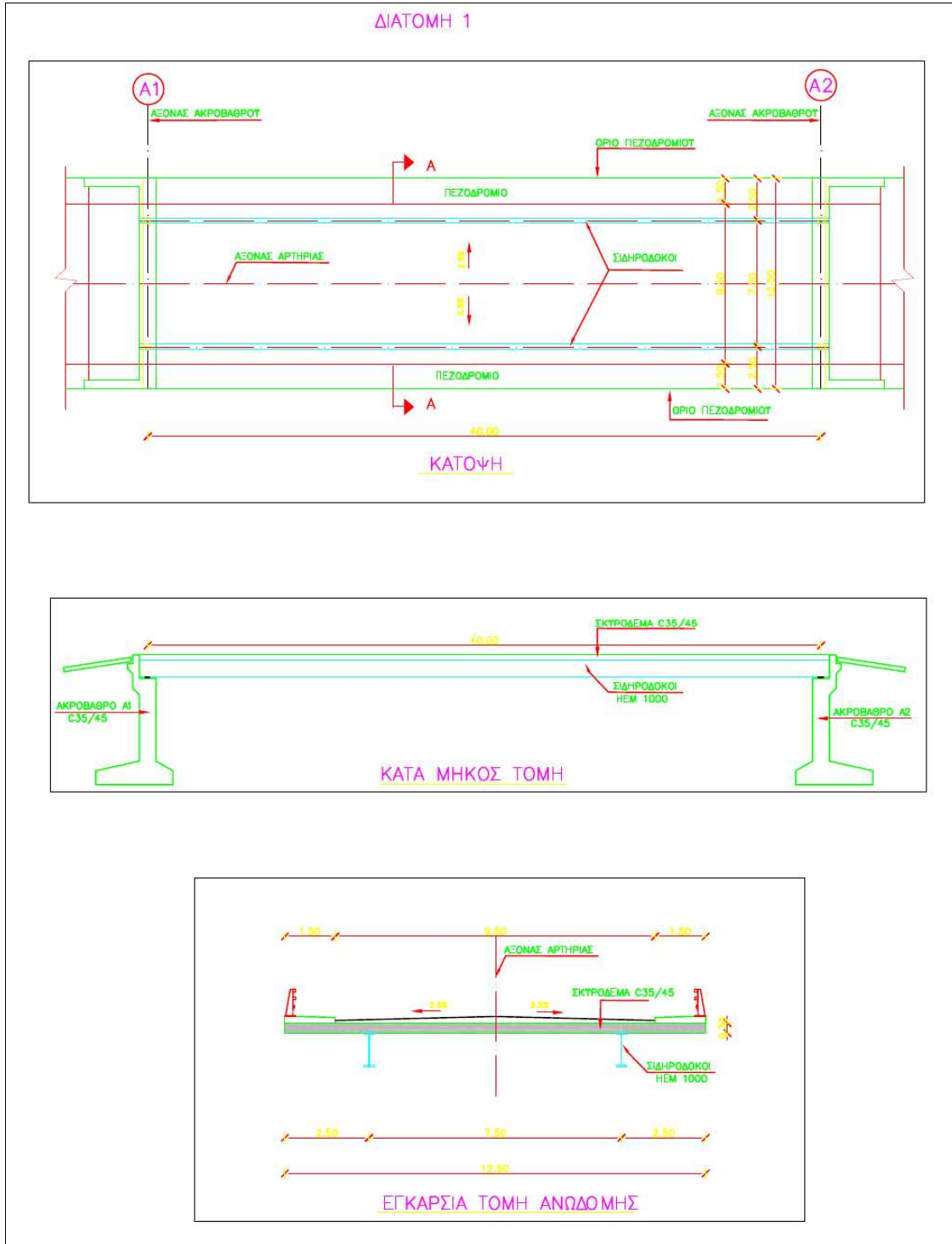
Εξετάζεται μια τυπική αμφιέριστη γέφυρα άνω διαβάσεως ανοίγματος 40m. Το οδόστρωμα έχει συνολικό πλάτος 9.5m, και προβλέπονται εκατέρωθεν πεζοδρόμια πλάτους 1.5m με στηθαίο ασφαλείας και κιγκλίδωμα. Το συνολικό πλάτος της γέφυρας είναι 12.5m. Ο φορέας της γέφυρας είναι σύμμικτος, μορφής ανεστραμμένου U με κατάστρωμα από σκυρόδεμα και δύο χαλύβδινες δοκούς μορφής I παράλληλα τοποθετημένες ως προς τον άξονα συμμετρίας της διατομής και με απόσταση 7.5 μέτρων (Σχήμα 2.2). Η έδραση της γέφυρας γίνεται επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Το πάχος της πλάκας είναι ίσο με 30cm χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων (ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση πάχους 8cm και αντιολισθηρή στρώση πάχους 3cm, ειδικού βάρους 25kN/m³). Το ύψος κρασπέδου είναι 20cm (ειδικό βάρος 25kN/m³)

2.2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

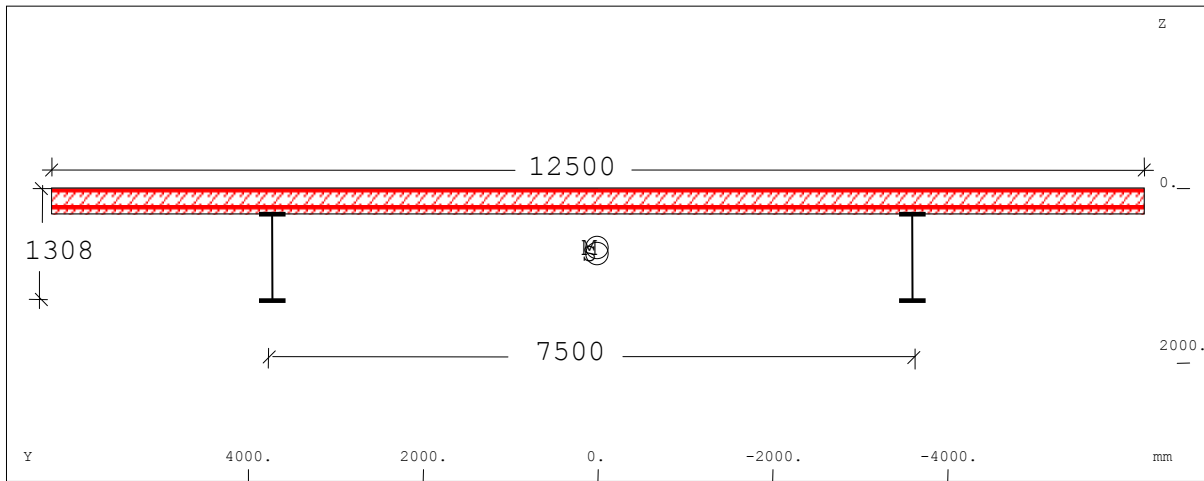
ΤΥΠΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ
ΑΝΟΙΓΜΑ	40m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	2
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	7.50m
ΠΛΑΤΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	9.50m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ (ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ)	2 (και 2 βοηθητικές)
ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	1.50m (εκατέρωθεν του οδοστρώματος)
ΜΟΡΦΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ U

2.2.3 ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 1

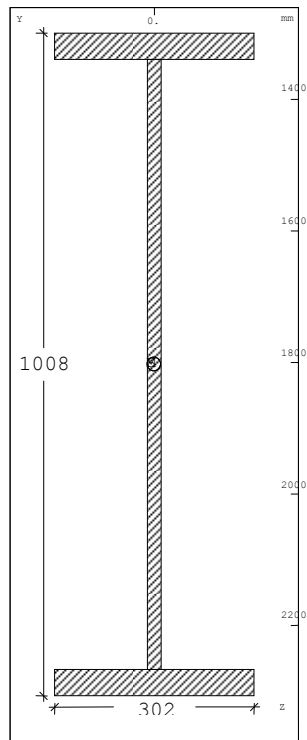
Εν συνεχεία παρατίθενται τα σχέδια της ανωδομής 1 της γέφυρας και οι διατομές της ανωδομής και των σιδηροδοκών επί των οποίων στηρίζεται η πλάκα και με βάση τις οποίες δημιουργείται το χωρικό προσομοίωμα της ανωδομής. Από δω και στο εξής θεωρείται ως δεδομένο ότι το χωρικό προσομοίωμα πλησιάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα.



Εικόνα 2. 1: Κάτοψη, κατά μήκος και εγκάρσια τομή ανωδομής 1



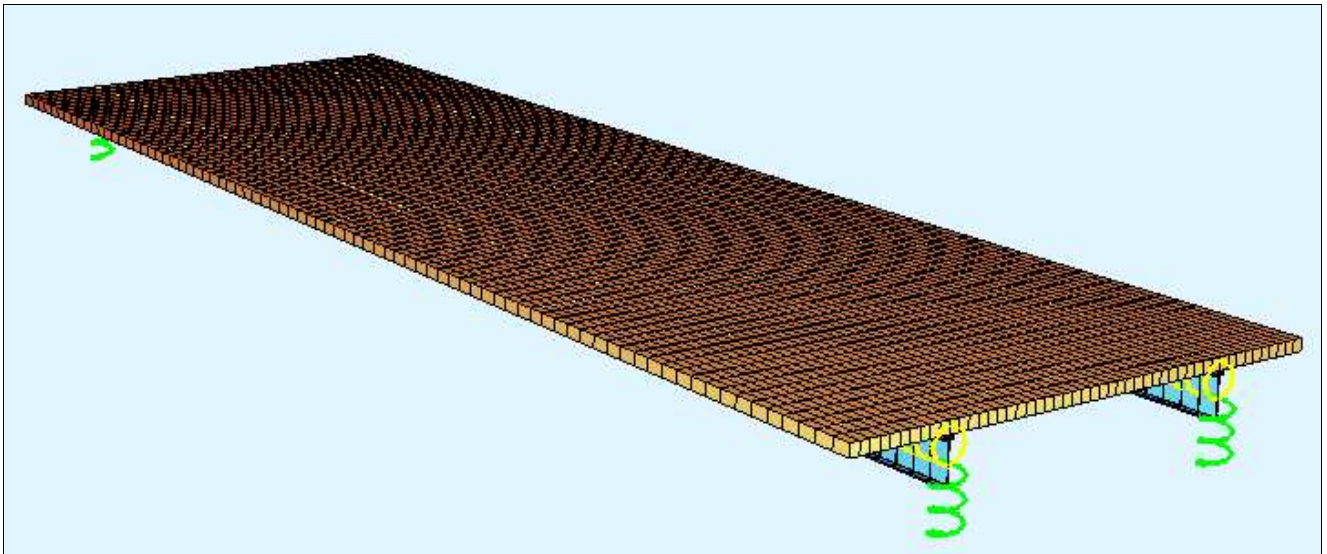
Σχήμα 2. 1: Τυπική διατομή ανωδομής 1



Σχήμα 2. 2: Χαλύβδινη διατομή που χρησιμοποιείται στη διατομή ανωδομής 1

Πίνακας 2. 1: Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

A [cm ²]	It [cm ⁴]	Iy/Iz [cm ⁴]	Ys/zs [cm]	y-sc / z-sc [cm]	Gam [kN/m]
436.48	1156	706100	0.000	0.000	3.43
		18430	1803	1803	



Εικόνα 2. 2: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής 1

2.3 ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 2

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

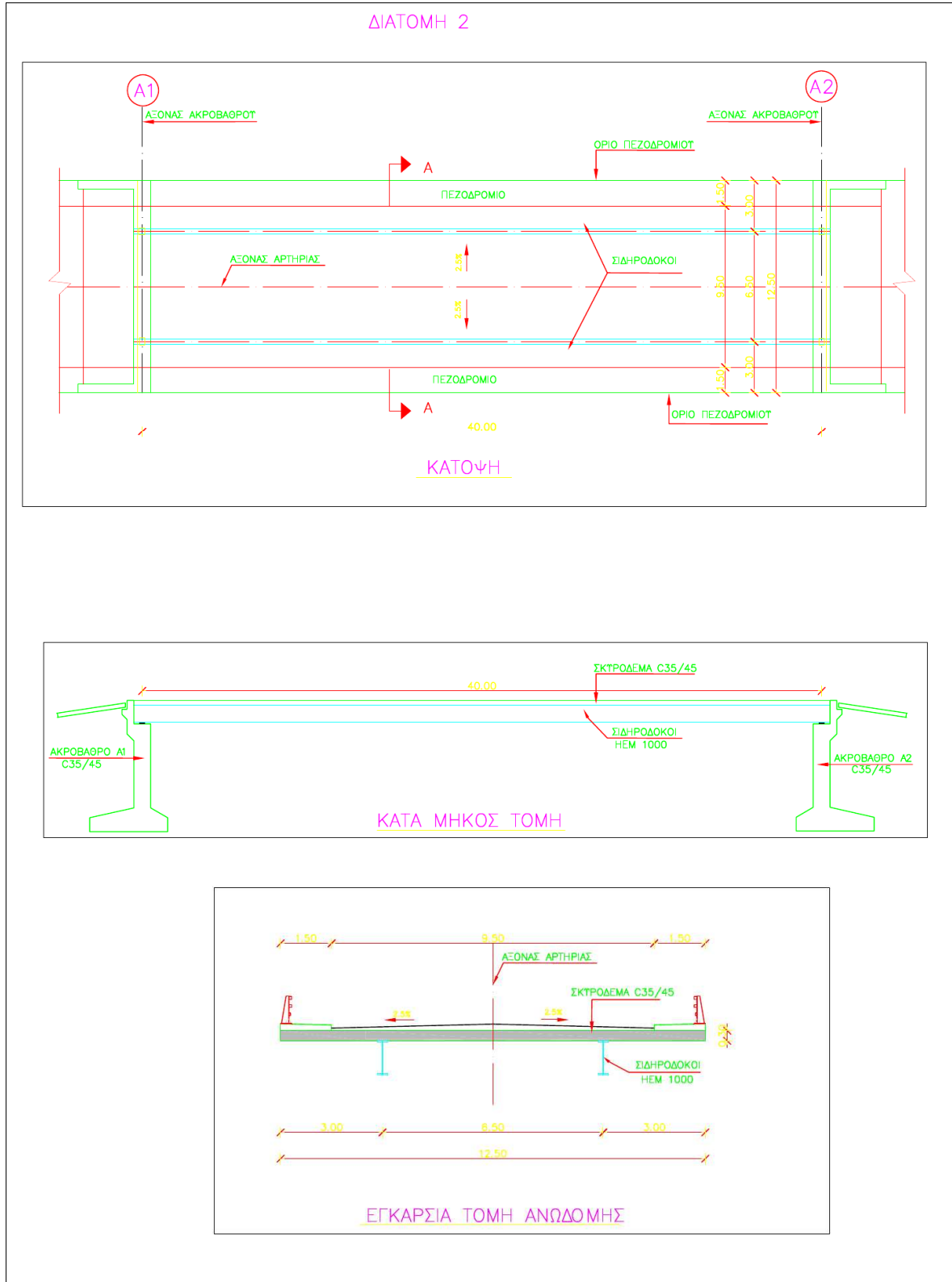
Η διάταξη και η κατασκευή είναι ίδια με την προηγούμενη περίπτωση με μόνη διαφορά το γεγονός ότι οι δύο χαλύβδινες δοκοί μορφής I παράλληλα τοποθετημένες ως προς τον άξονα συμμετρίας της διατομής έχουν απόσταση 6.5 μέτρων (Σχήμα 2.3).

2.3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

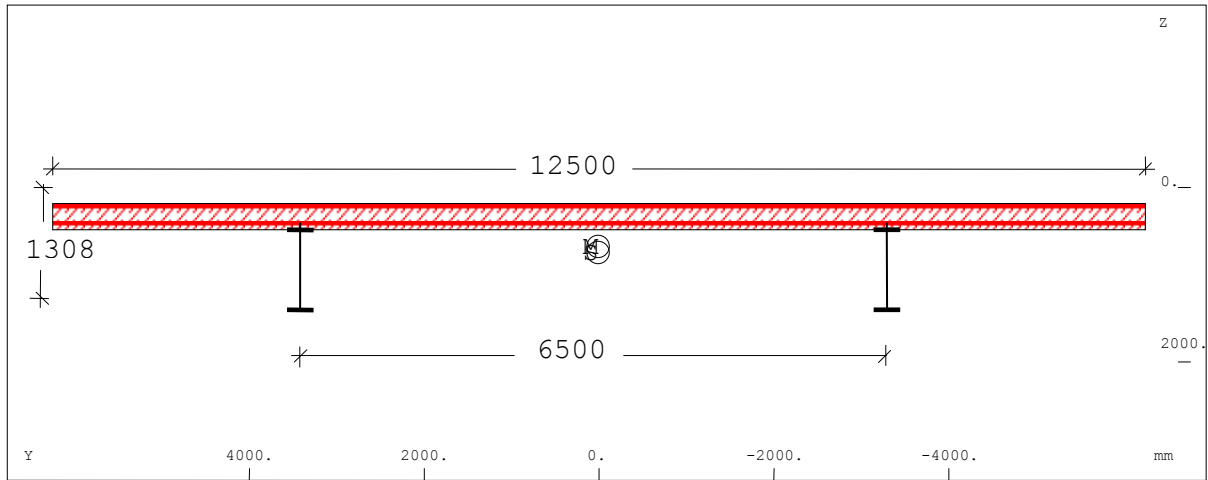
ΤΥΠΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ
ΑΝΟΙΓΜΑ	40m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	2
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	6.50m
ΠΛΑΤΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	9.50m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ (ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ)	2 (και 2 βοηθητικές)
ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	1.50m (εκατέρωθεν του οδοστρώματος)
ΜΟΡΦΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ U

2.3.3 ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 2

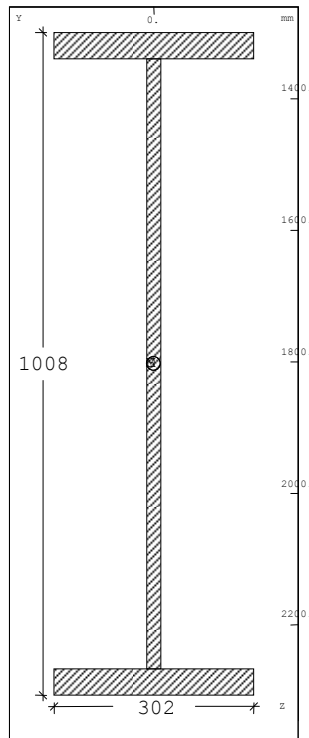
Εν συνεχεία παρατίθενται τα σχέδια της ανωδομής 2 της γέφυρας και οι διατομές της ανωδομής και των σιδηροδοκών επί των οποίων στηρίζεται η πλάκα και με βάση τις οποίες δημιουργείται το χωρικό προσομοίωμα της ανωδομής. Από δω και στο εξής θεωρείται ως δεδομένο ότι το χωρικό προσομοίωμα πλησιάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα.



Εικόνα 2. 3: Κάτοψη, καταμήκος και εγκάρσια τομή ανωδομής 2



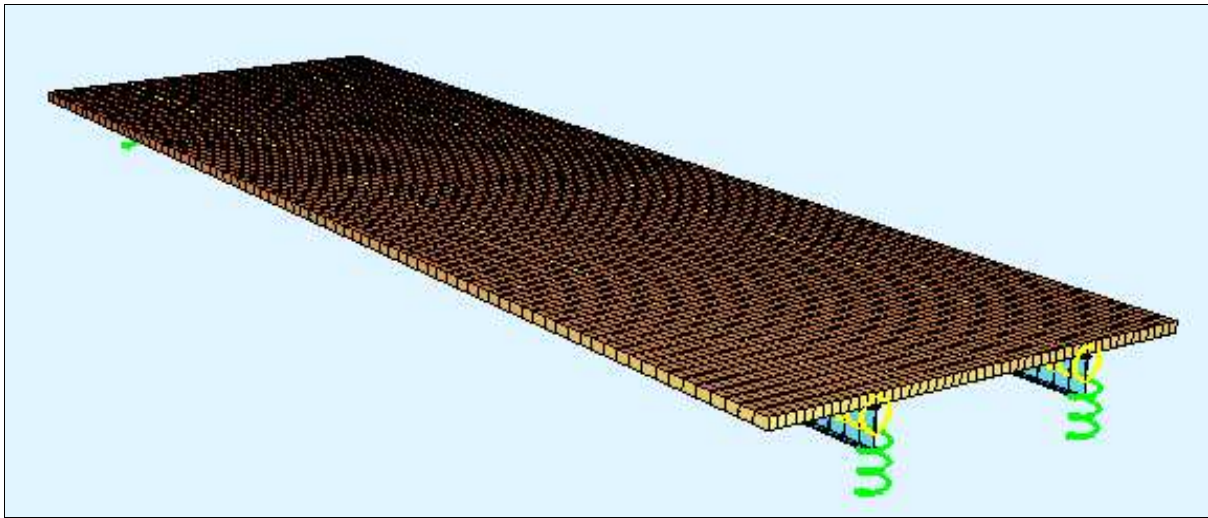
Σχήμα 2. 3: Τυπική διατομή ανωδομής 2



Σχήμα 2. 4: Χαλύβδινη διατομή που χρησιμοποιείται στη διατομή ανωδομής 2

Πίνακας 2. 2: Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

A [cm ²]	I _t [cm ⁴]	I _y /I _z [cm ⁴]	Y _s /z _s [cm]	y-sc / z-sc [cm]	G _{am} [kN/m]
436.48	1156	706100	0.000	0.000	3.43
		18430	1803	1803	



Εικόνα 2. 4: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής 2

2.4 ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 3

2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

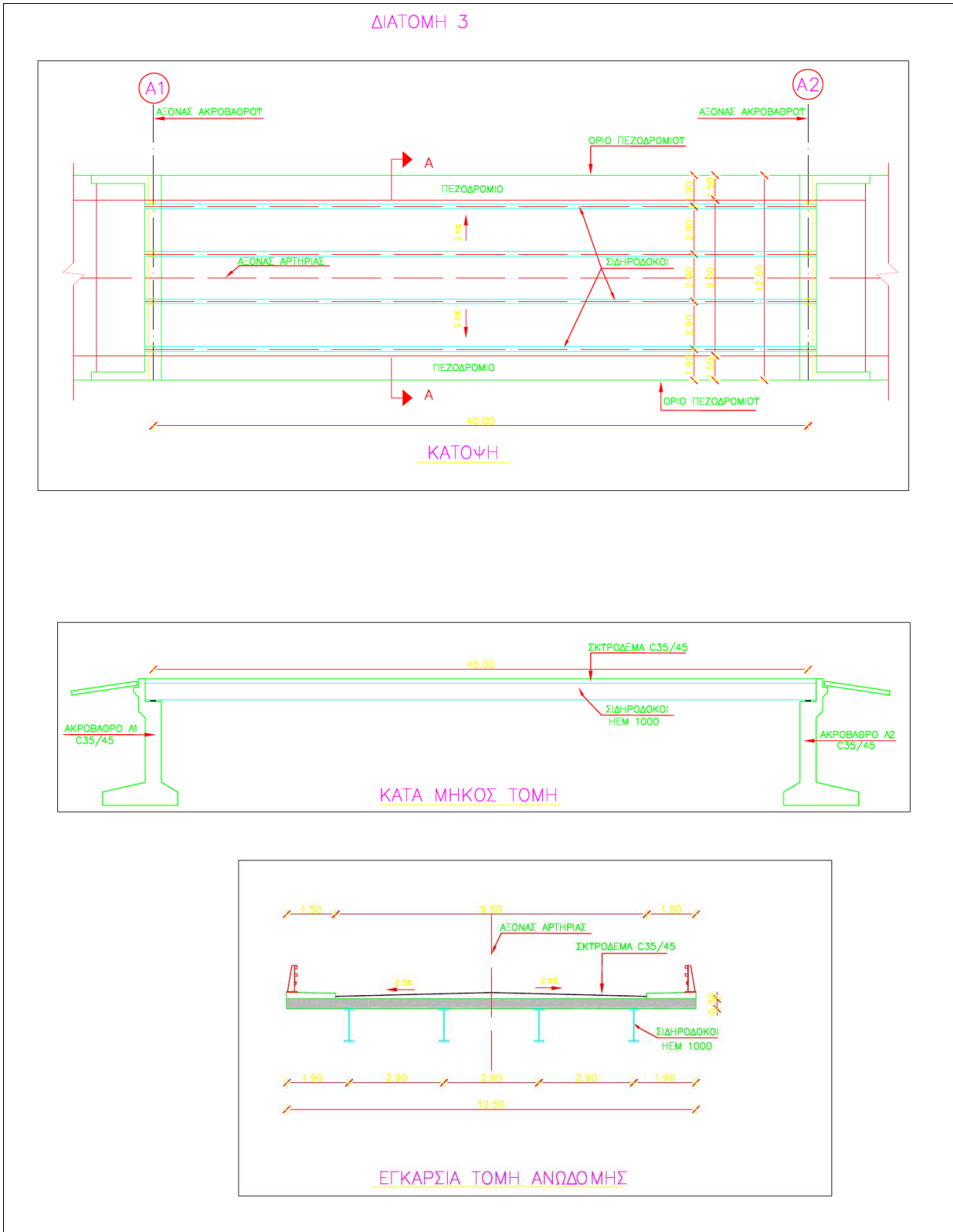
Εξετάζεται μια τυπική αμφιέριστη γέφυρα άνω διαβάσεως ανοίγματος 40m. Το οδόστρωμα έχει συνολικό πλάτος 9.5m και προβλέπονται εκατέρωθεν πεζοδρόμια πλάτους 1.5m με στηθαίο ασφαλείας και κιγκλίδωμα. Το συνολικό πλάτος της γέφυρας είναι 12.5m. Ο φορέας της γέφυρας είναι σύμμικτος, με κατάστρωμα από σκυρόδεμα και τέσσερις χαλύβδινες δοκούς μορφής I παράλληλα τοποθετημένες ως προς τον άξονα συμμετρίας της διατομής και με απόσταση 2.9 μέτρων όλες μεταξύ τους (Σχήμα 2.). Η έδραση της γέφυρας γίνεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Το πάχος της πλάκας είναι ίσο με 30cm χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων (ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση πάχους 8cm και αντιολισθηρή στρώση πάχους 3cm, ειδικού βάρους 25kN/m^3). Το ύψος κρασπέδου είναι 20cm (ειδικό βάρος 25kN/m^3)

2.4.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

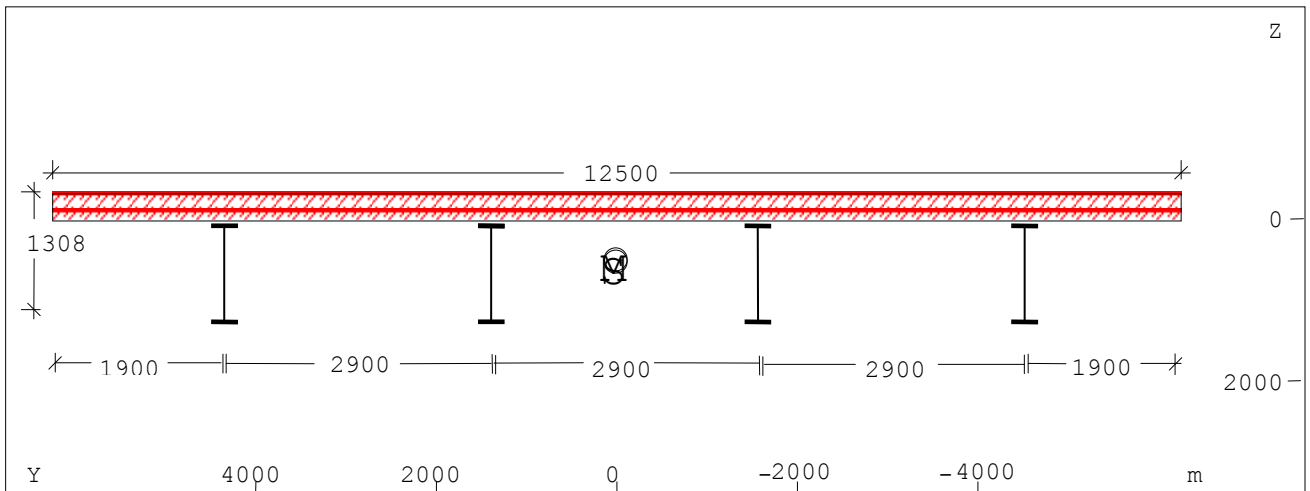
ΤΥΠΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ
ΑΝΟΙΓΜΑ	40m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	4
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	2.90m σταθερή απόσταση για κάθε ζευγάρι συνεχόμενων σιδηροδοκών
ΠΛΑΤΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	9.50m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ (ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ)	2 (και 2 βοηθητικές)
ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	1.50m (εκατέρωθεν του οδοστρώματος)

2.4.3 ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 3

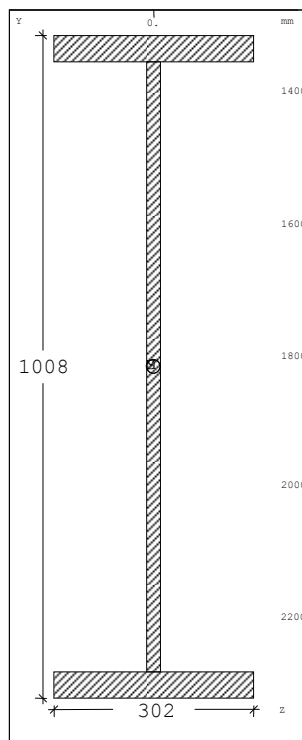
Εν συνεχεία παρατίθενται τα σχέδια της ανωδομής 3 της γέφυρας και οι διατομές της ανωδομής και των σιδηροδοκών επί των οποίων στηρίζεται η πλάκα και με βάση τις οποίες δημιουργείται το χωρικό προσομοίωμα της ανωδομής. Από δω και στο εξής θεωρείται ως δεδομένο ότι το χωρικό προσομοίωμα πλησιάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα.



Εικόνα 2. 5: Κάτοψη, καταμήκος και εγκάρσια τομή ανωδομής 3



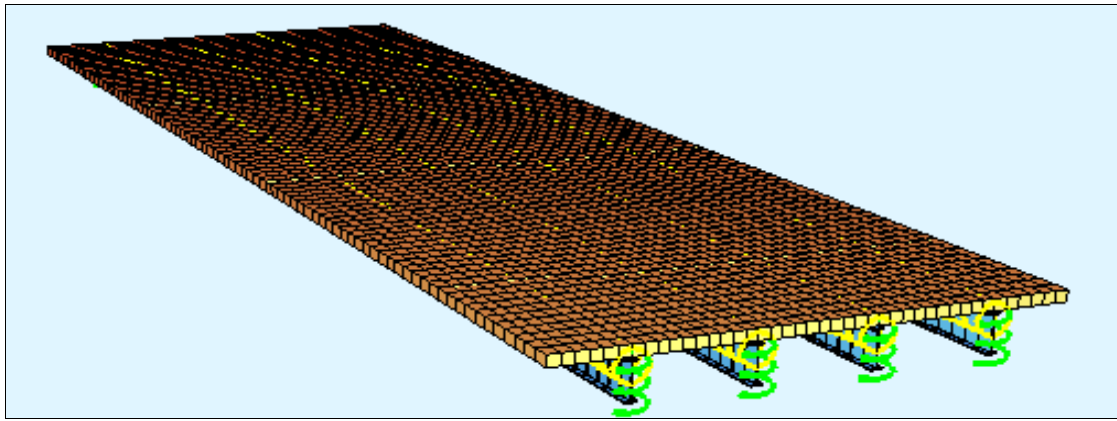
Σχήμα 2. 5: Τυπική διατομή ανωδομής 3



Σχήμα 2. 6: Χαλύβδινη διατομή που χρησιμοποιείται στη διατομή ανωδομής 3

Πίνακας 2. 3: Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

A [cm ²]	I _t [cm ⁴]	I _y /I _z [cm ⁴]	Y _s /z _s [cm]	y-sc / z-sc [cm]	G _{am} [kN/m]
436.48	1156	706100	0.000	0.000	3.43
		18430	1803	1803	



Εικόνα 2. 6: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής

2.5 ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 4

2.5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

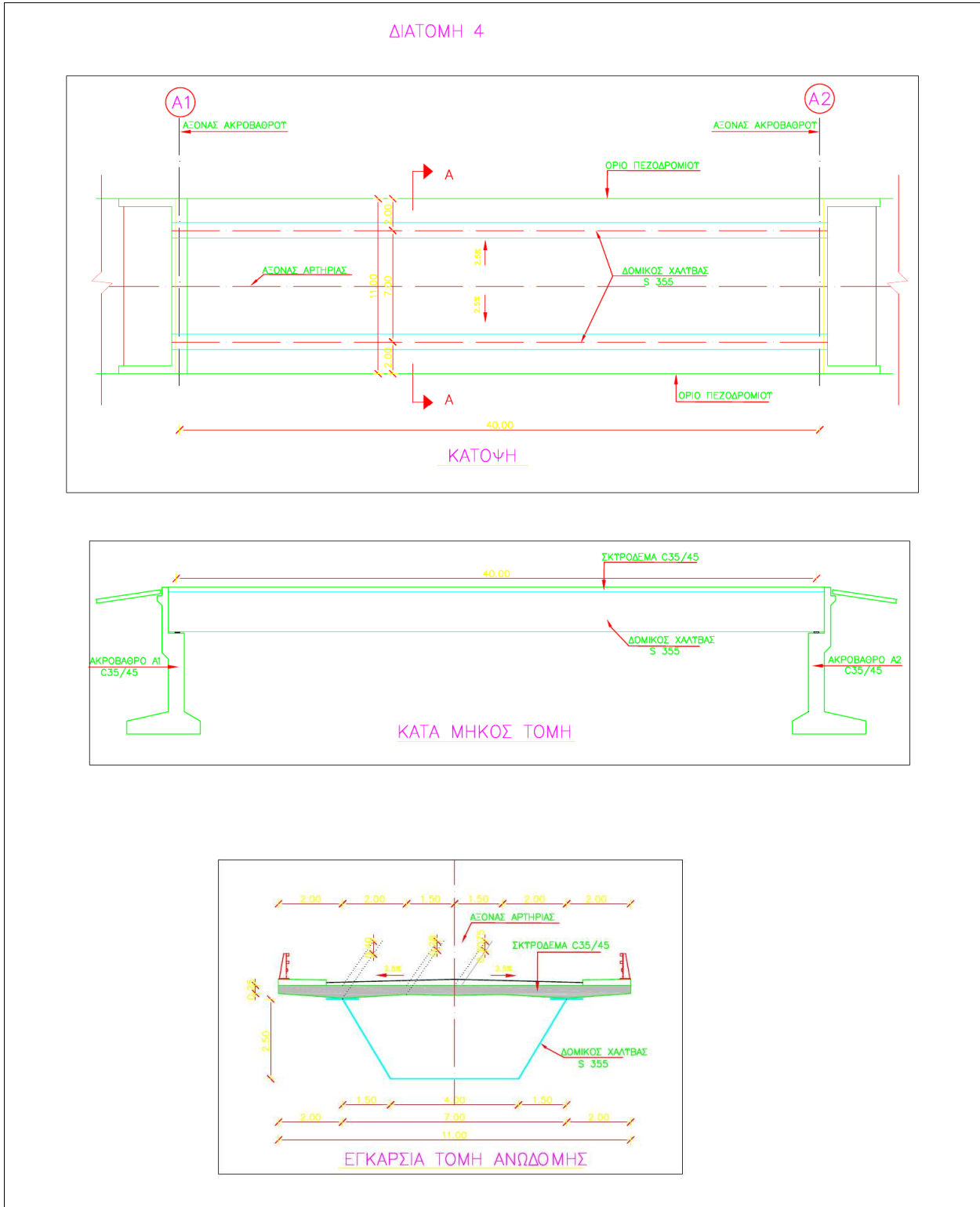
Εξετάζεται μια τυπική αμφιέριστη κιβωτοειδής γέφυρα άνω διαβάσεως ανοίγματος 40m. Το οδόστρωμα έχει συνολικό πλάτος 8m, και προβλέπονται εκατέρωθεν πεζοδρόμια πλάτους 1.5m με στηθαίο ασφαλείας και κιγκλίδωμα. Το συνολικό πλάτος της γέφυρας είναι 11m. Ο φορέας της γέφυρας είναι σύμμικτος με κατάστρωμα από σκυρόδεμα και κιβώτιο με διατομή τραπεζίου μικρής βάσης 4m μεγάλης βάσης 7m και ύψους 2.5m της οποίας ο άξονας συμμετρίας ταυτίζεται με τον άξονα συμμετρίας της διατομής του καταστρώματος. Η έδραση της γέφυρας γίνεται επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Η πλάκα σκυροδέματος είναι μεταβαλλόμενου πάχους: στο μέσο της πλάκας το πάχος είναι 0.3075m, 1.5m εκατέρωθεν του μέσου είναι 0.28m, επί των στηρίξεων είναι 0.40m και στα άκρα είναι 0.25m. Στο πάχος της πλάκας δεν συμπεριλαμβάνεται το πάχος των ασφαλτικών στρώσεων (ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση πάχους 8cm και αντιολισθηρή στρώση πάχους 3cm, ειδικού βάρους 25kN/m³). Το ύψος κρασπέδου είναι 20cm (ειδικό βάρος 25kN/m³).

2.5.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΤΥΠΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ
ΑΝΟΙΓΜΑ	40m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	Κιβώτιο
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΙΔΗΡΟΔΟΚΩΝ	Τραπεζοειδής διατομή κιβωτίου μικρής βάσης 4m, μεγάλης βάσης 7m, ύψους 2.5m
ΠΛΑΤΟΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	9.50m
ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ (ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ)	2 (και 2 βοηθητικές)
ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ	1.50m (εκατέρωθεν του οδοστρώματος)
ΠΑΧΟΣ ΠΛΑΚΑΣ	Μεταβαλλόμενο

2.5.3 ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ ΑΝΩΔΟΜΗΣ 4

Εν συνεχεία παρατίθενται τα σχέδια της ανωδομής 4 της γέφυρας και οι διατομές της ανωδομής και της προσομοίωσης του κιβωτίου επί του οποίου στηρίζεται η πλάκα και με βάση τις οποίες δημιουργείται το χωρικό προσομοίωμα της ανωδομής. Από δω και στο εξής θεωρείται ως δεδομένο ότι το χωρικό προσομοίωμα πλησιάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα.



Εικόνα 2. 7: Κάτοψη, καταμήκος και εγκάρσια τομή ανωδομής 4

Προσομοιώνω το κιβώτιο σε 2 δοκούς οι διατομές των οποίων έχουν αθροιστικά το εμβαδό της διατομής του κιβωτίου. Οι διαστάσεις των μελών της διατομής του κιβωτίου (πέλματα, κορμός) ταυτίζονται με το άθροισμα των διαστάσεων των αντίστοιχων μελών (πέλματα, κορμός) των 2 δοκών.

Από τον τύπο του Bredt βρίσκω τη ροπή στροφικής αδράνειας του κιβωτίου:

$$I_t = 4A_m^2 / \sum (ds/t) = 51164.6 \text{ cm}^4$$

Όπου

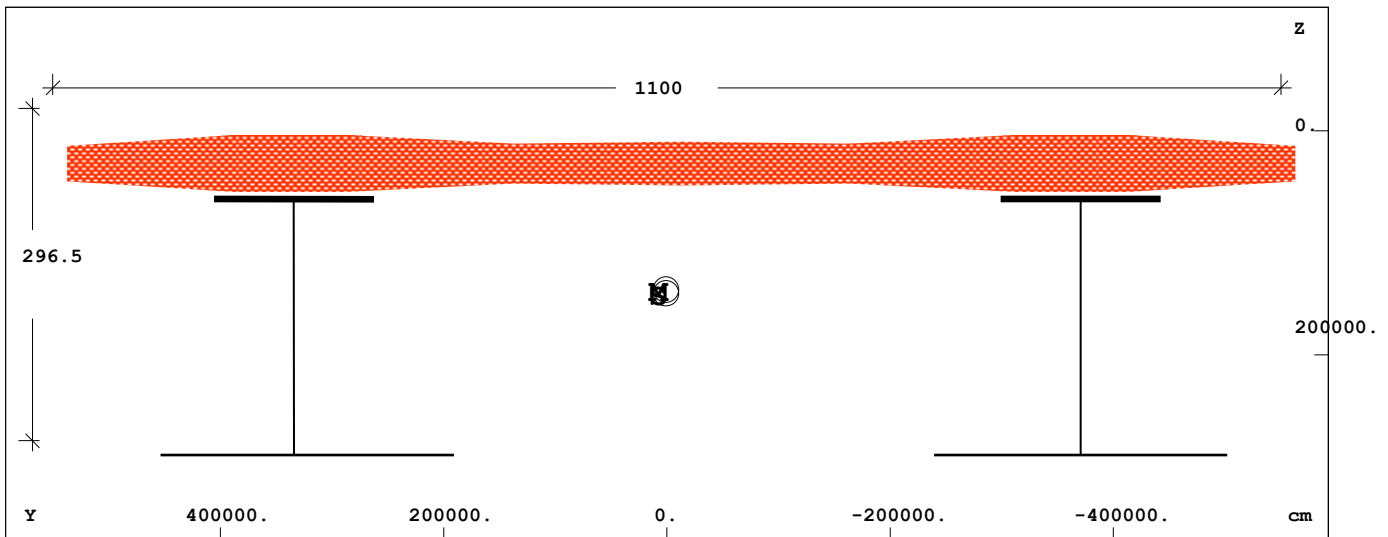
A_m το εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζεται από τη μέση γραμμή των ελασμάτων,
τα οποία σχηματίζουν το κιβώτιο

ds στοιχειώδες μήκος μέλους κιβωτίου

t αντίστοιχο πάχος μέλους κιβωτίου

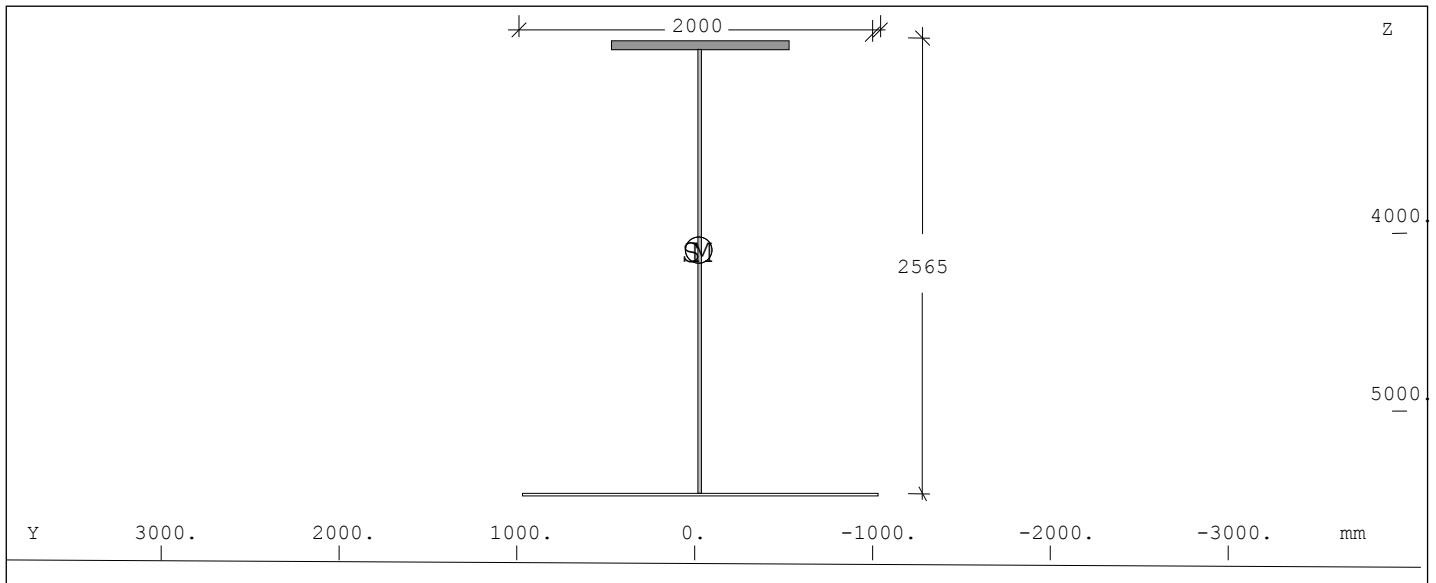
Εκτός από το γεγονός ότι οι διατομές των δοκών είναι ισημεβαδικές και έχουν ίσες διαστάσεις με τη διατομή του κιβωτίου ισομοιράζουμε σε κάθε δοκό τη ροπή στροφικής αδράνειας έτσι ώστε κάθε δοκός να έχει $(I_t / 2)$ που ισούται με 25582.25 cm^4

Σε επόμενο κεφάλαιο αφού τοποθετηθούν οι κατάλληλοι συνδυασμοί φορτίσεων θα εξετάσουμε αν επηρεάζει και σε ποιο βαθμό η ροπή στροφικής αδράνειας των δοκών τα αποτελέσματα των M_y που υπολογίσουμε.



Σχήμα 2. 7: Τυπική διατομή ανωδομής 4

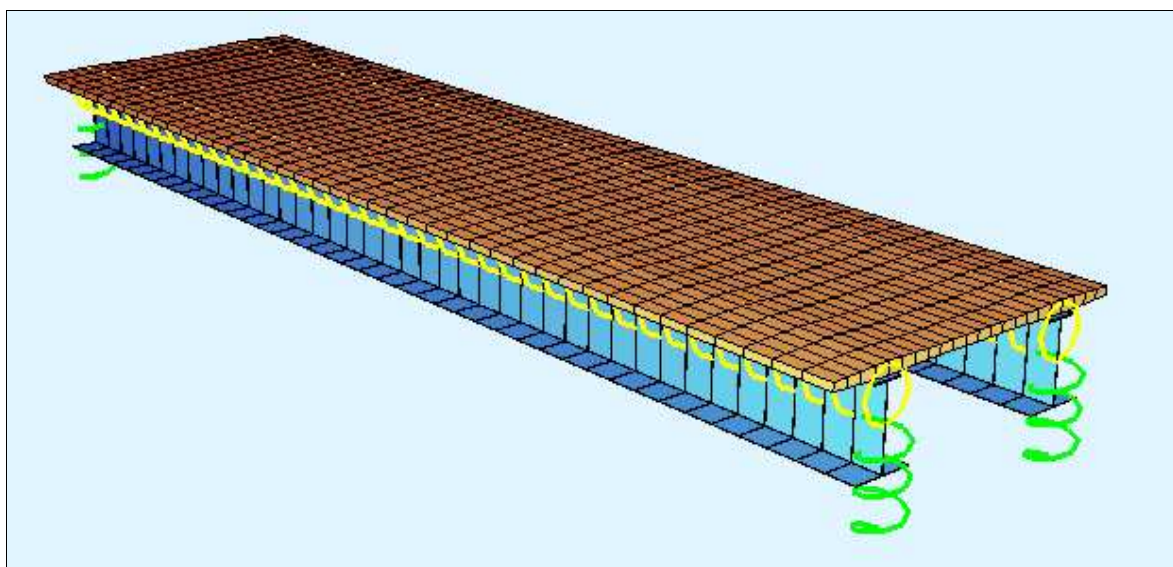
Το πάνω πέλμα έχει διαστάσεις 1000mm×50mm, το κάτω πέλμα 2000mm×15mm και ο κορμός 2500mm×20mm



Σχήμα 2. 8: Χαλύβδινη διατομή που χρησιμοποιείται στη διατομή ανωδομής 4

Πίνακας 2. 4: Χαρακτηριστικά χαλύβδινης διατομής

A [cm ²]	It [cm ⁴]	Iy/Iz [cm ⁴]	Ys/zs [cm]	y-sc / z-sc [cm]	Gam [kN/m]
1300	25582.25	14960000	0.000	0.000	10.21
		1417000	4100	4100	



Εικόνα 2. 8: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής 4

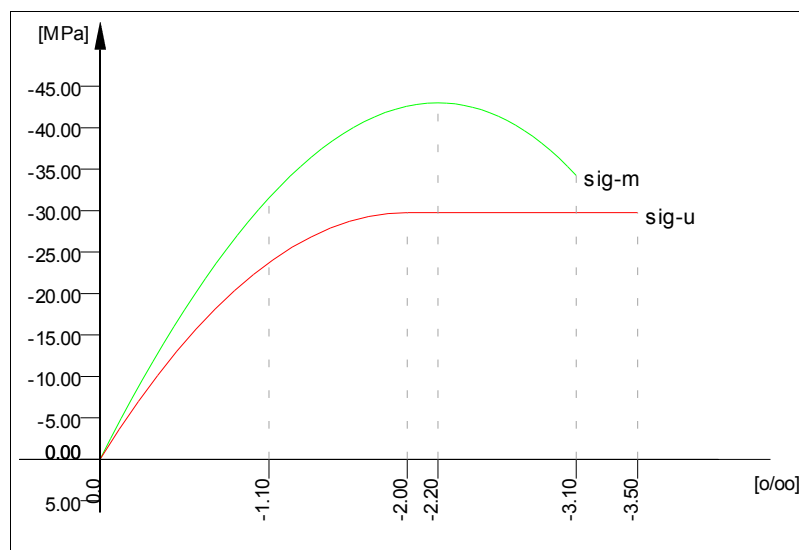
2.6 ΥΛΙΚΑ

2.6.1 Σκυρόδεμα

Κατηγορία C35/45 με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 2.5 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων που φαίνεται στο Σχήμα 2.7

Πίνακας 2. 5: Ιδιότητες σκυροδέματος

fck [MPa]	fctm [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	ϵ_2 (‰)	ecu2 (‰)	fcd,fat [MPa]	α [1/°K]	Λόγος Poisson
35	3.21	33282	13868	25	2	3.5	-	1.00E-05	0.2



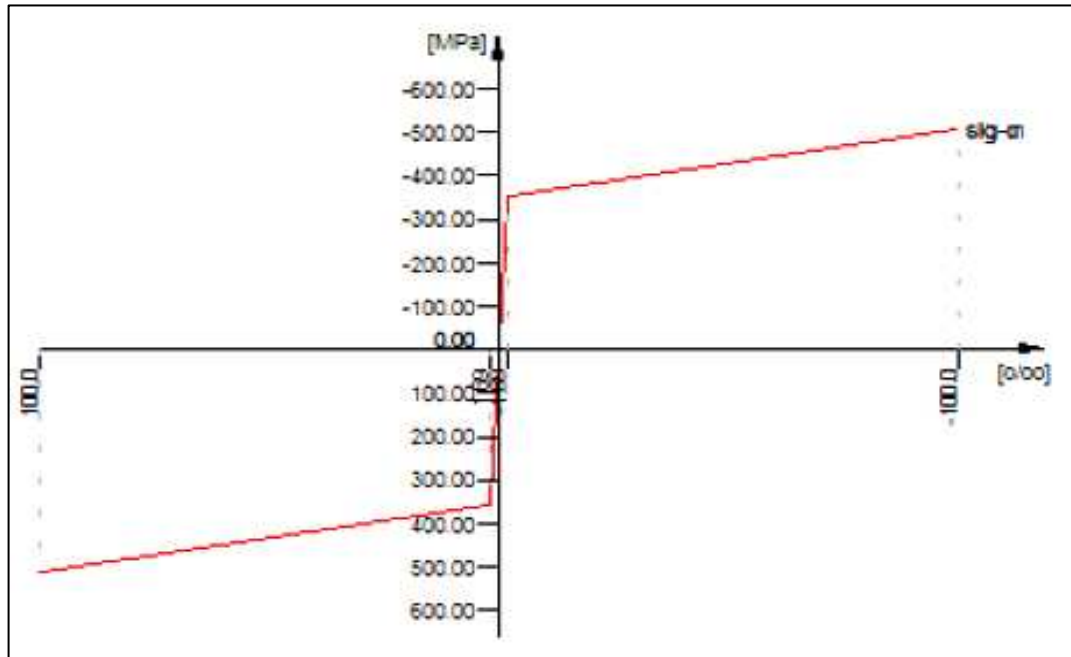
Διάγραμμα 2. 1: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που χρησιμοποιήθηκε για σκυρόδεμα C35/45

2.6.2 Δομικός Χάλυβας

Κατηγορίας S355 με τις ιδιότητες που δίνονται στον Πίνακα 2.3 και τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων που φαίνεται στο Σχήμα 5.8

Πίνακας 2. 6: Ιδιότητες χάλυβα S355C

f_{yk} [MPa]	f_t [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	γ [kN/m ³]	ϵ_{uk} (‰)	k1	α [1/°K]	Λόγος Poisson
355	510	210000	80769	78.5	100	-	1.20E-05	0.3



Διάγραμμα 2. 2: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα S355

2.6.3 Χάλυβας οπλισμού

Ο χάλυβας οπλισμού αγνοείται στα προσομοιώματα και στους υπολογισμούς.

2.7 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη της γέφυρας γίνεται σύμφωνα με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω κανονισμοί και το αντίστοιχα εθνικά προσαρτήματα:

EN 1990:2002 Βάσεις σχεδιασμού

EN 1990:2002/A1 Παράρτημα A2

EN 1991-1-1:2002 Γενικές δράσεις - Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια

EN 1991-1-4:2005 Δράσεις ανέμου

EN 1991-2:2003 Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες

EN 1992-1-1:2004 Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα - Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια

EN 1992-2:2005 Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα - Γέφυρες από σκυρόδεμα -Σχεδιασμός και κανόνες διαμόρφωσης

EN 1993-1-1:2005 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα – Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια

EN 1993-1-5:2006 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Μέλη από επίπεδα ελάσματα

EN 1993-1-9:2005 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Κόπωση

EN 1993-1-10:2005 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Αντοχή σε ψαθυρή θραύση και ιδιότητες κατά την έννοια του πάχους

EN 1993-2:2006 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Χαλύβδινες γέφυρες

EN 1994-1-1:2004 Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα - Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια

prEN 1994-2:2005 Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα - Γενικοί κανόνες και κανόνες για γέφυρες

3 ΔΡΑΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός των έργων γίνεται με βάση τις αρχές και τις απαιτήσεις για ασφάλεια και λειτουργικότητα των κατασκευών με βάση την θεωρία των οριακών καταστάσεων. Οριακές καταστάσεις είναι εκείνες πέραν των οποίων οι κατασκευές δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας του σχεδιασμού και διακρίνονται σε οριακές καταστάσεις αστοχίας και οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας. Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας αντιστοιχούν σε κατάρρευση και θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, ενώ οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας είναι αυτές πέραν των οποίων δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργικότητας της κατασκευής όπως μεγάλες παραμορφώσεις ή μετακινήσεις που προκαλούν βλάβες και ενόχληση στους χρήστες.

Οι δράσεις οι οποίες επιβάλλονται στην κατασκευή με την μορφή συνδυασμών για τις προαναφερθείσες καταστάσεις σχεδιασμού, διακρίνονται σε άμεσες π.χ. συγκεντρωμένα ή ομοιόμορφα κατανεμημένα γραμμικά και επιφανειακά φορτία και έμμεσες π.χ. επιβαλλόμενη παραμόρφωση λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής ή επιβαλλόμενη επιτάχυνση λόγω σεισμού. Οι δράσεις ως προς τον χρόνο ταξινομούνται σε μόνιμες (G) π.χ. ίδια βάρη κατασκευής, επικαλύψεις σε μεταβλητές (Q) π.χ. φορτία κυκλοφορίας και σε τυχηματικές (A) π.χ. πρόσκρουση οχήματος.

Συγκεκριμένα εμείς θα ασχοληθούμε μόνο με κατακόρυφα φορτία ίδια βάρη, επικαλύψεις και φορτία κυκλοφορίας. Με την βοήθεια των γραμμών επιρροής θα προσδιοριστούν στο γραμμικό μοντέλο οι δυσμενέστερες φορτίσεις για κάθε εξεταζόμενο σημείο (άνοιγμα ,στήριξη) της κάθε ανωδομής . Μέσω δοκιμών καταλήγουμε στη δυσμενέστερη φόρτιση και την εφαρμόζουμε τόσο στο προσομοίωμα της δοκού όσο και στο χωρικό προσομοίωμα της γέφυρας.

3.2 Μόνιμες Δράσεις

Τις μόνιμες δυνάμεις συνιστούν τα φορτία που δρουν στον φορέα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του. Αυτά στη συγκεκριμένη περίπτωση που εξετάζουμε είναι το ίδιο βάρος και τα πρόσθετα μόνιμα φορτία των ασφαλικών στρώσεων, των πεζοδρομίων και των κιγκλιδωμάτων.

3.2.1 Ίδια Βάρη

Πίνακας 3. 1: Ίδια βάρη διατομών ανωδομής 1 και 2

ΔΙΑΤΟΜΗ	Ίδιο βάρος GK,1 (KN/μήκος)
Σκυρόδεμα	$b \cdot h \cdot \gamma = 12.5 \cdot 0.30 \cdot 25 = 93.75$
Χαλύβδινη διατομή	$2 \cdot A \cdot \gamma = 2 \cdot 0,043648 \cdot 78.5 = 685.2736$

Πίνακας 3. 2: Ίδια βάρη διατομών ανωδομής 3

ΔΙΑΤΟΜΗ	Ίδιο βάρος GK,1 (KN/μήκους)
Σκυρόδεμα	$b \cdot h \cdot \gamma = 12,5 \cdot 0,30 \cdot 25 = 93.75$
Χαλύβδινη διατομή	$4 \cdot A \cdot \gamma = 4 \cdot 0,043648 \cdot 78,5 = 1370.5472$

Πίνακας 3. 3: Ίδια βάρη διατομών ανωδομής 4

ΔΙΑΤΟΜΗ	Ίδιο βάρος GK,1 (KN/μήκους)
Σκυρόδεμα	$\Sigma i=1-3 (b_i \cdot h_i \cdot \gamma) = 4,00 \cdot (0,325 + 0,34) \cdot 25 + 3,00 \cdot 0,29375 \cdot 25 = 88.53$
Χαλύβδινη διατομή	$2 \cdot A \cdot \gamma = 4 \cdot 0,2880624847 \cdot 78,5 = 45.22581$

3.2.2 Πρόσθετες Μόνιμες Δράσεις

Πίνακας 3. 4: Πρόσθετα μόνιμα φορτία διατομών ανωδομών 1,2 και 3

ΔΙΑΤΟΜΗ	Ίδιο βάρος GK,2 (KN/mμήκους)
Ασφαλτική Στρώση	$c \cdot b \cdot \gamma = (0.08 + 0.03) \cdot 9.5 \cdot 25 = 26.125$
Πεζοδρομίου	$2 \cdot b_{\text{πεζ}} \cdot h_{\text{πεζ}} \cdot \gamma = 2 \cdot 0.2 \cdot 1.5 \cdot 78.5 = 47.1$
Κιγκλιδώματος	$2 \cdot F_{\text{κιγκλ}} = 2 \cdot 1.3 = 2.6$

Πίνακας 3. 5: Πρόσθετα μόνιμα φορτία διατομών ανωδομών 4

ΔΙΑΤΟΜΗ	Ίδιο βάρος GK,2 (KN/mμήκους)
Ασφαλτική Στρώση	$c \cdot b \cdot \gamma = (0.08 + 0.03) \cdot 8.0 \cdot 25 = 26.125$
Πεζοδρομίου	$2 \cdot b_{\text{πεζ}} \cdot h_{\text{πεζ}} \cdot \gamma = 2 \cdot 0.2 \cdot 1.5 \cdot 78.5 = 47.1$
Κιγκλιδώματος	$2 \cdot F_{\text{κιγκλ}} = 2 \cdot 1.3 = 2.6$

3.3 Μεταβλητές Δράσεις

Μεταβλητές δράσεις είναι τα φορτία κυκλοφορίας που απαρτίζονται από τα συγκεντρωμένα φορτία δυο αξόνων (διαξονικό όχημα – tandem system TS) και το ομοιόμορφο διανεμημένο φορτίο (UDL) σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας.

Για την τοποθέτηση των δυνάμεων στο φορέα ακολουθούμε το Μοντέλο Φόρτισης 1 γνωστό και ως κύριο σύστημα φόρτισης (Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες, Ερμόπουλος 2000)

Σε κάθε λωρίδα ένα διαξονικό όχημα με την πλήρη του μορφή στην πλέον δυσμενή θέση. Το ίδιο ισχύει και για το κατανεμημένο φορτίο το οποίο πρέπει να τίθεται μόνο στα τμήματα εκείνα της επιφάνειας επιρροής, τα οποία επαυξάνουν τις δυσμενείς επιπτώσεις λόγω κινητών φορτίων.

Πίνακας 3. 5: Βασικές τιμές φορτίσεων με βάση το Μοντέλο Φόρτισης 1

	Διαξονικό όχημα Φορτίο άξονος	Ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
	Q (kN)	q (kN)
Λωρίδα 1	300	9
Λωρίδα 2	200	2,5
Λωρίδα 3	100	2,5
Λοιπές λωρίδες	0	2,5
Απομένουσα επιφάνεια	0	2,5

Το φορτίο του πεζοδρομίου σε φόρτιση όπου δεν έχουμε συγκεντρωμένα φορτία (φορτία τροχού) θεωρείται 5kN/m ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση λαμβάνεται 3,5kN/m.

Παρακάτω ορίζεται ο μέγιστος αριθμός και το αντίστοιχο πλάτος των συμβατικών λωρίδων κυκλοφορίας, ανάλογα με το πλάτος του οδοστρώματος.

Πίνακας 3. 6: Αριθμός και πλάτος λωρίδων κυκλοφορίας

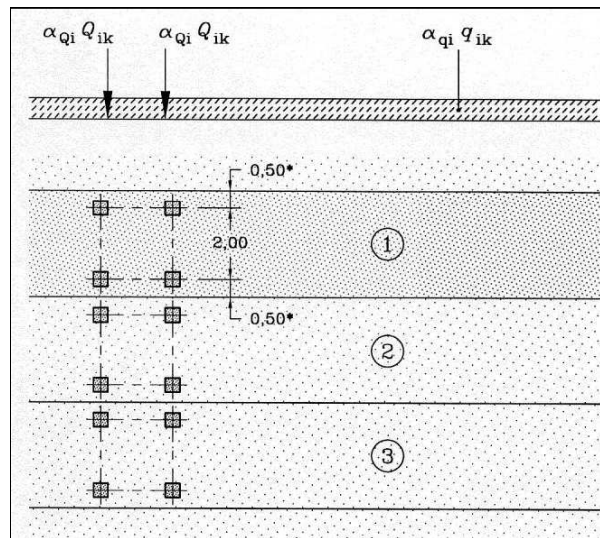
Πλάτος Οδοστρώματος w	Αριθμός συμβατικών λωρίδων κυκλοφορίας n ₁	Πλάτος συμβατικής λωρίδας κυκλοφορίας w ₁	Πλάτος της απομένουσας επιφάνειας w _r
w < 5,4m	1	3m	w - 3m
5,4m ≤ w < 6m	2	w/2	0
6m ≤ w	Int (w/3)	3m	w - 3n ₁

Απομένουσα Επιφάνεια

Γενικά η απομένουσα επιφάνεια ισούται με το πλάτος του οδοστρώματος αν αφαιρέσουμε από αυτό το συνολικό πλάτος όλων των συμβατικών λωρίδων (για πλάτη οδοστρώματος μεγαλύτερα των 6m: n₁* 3, όπου n₁ ο αριθμός των συμβατικών λωρίδων και 3m το πλάτος μιας συμβατικής λωρίδας). Στη διαδικασία κατανομής των λωρίδων δεν τοποθετείται η απομένουσα επιφάνεια ανάμεσα στις συμβατικές λωρίδες κι αυτό κυρίως για λειτουργικούς λόγους.

Παρατηρήσεις

Η προσομοίωση φόρτισης γίνεται σύμφωνα με την εικόνα 3.1 και τις τιμές του πίνακα 3.5



Εικόνα 3. 1: Μοντέλο Φόρτισης 1

όπου

- (1) Λωρίδα 1 : $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$; $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$
- (2) Λωρίδα 2 : $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$; $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- (3) Λωρίδα 3 : $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$; $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

* Για $w_l = 3,00 \text{ m}$

Η εγκάρσια απόσταση αξόνων τροχών στα γειτονικά οχήματα πρέπει να ισούται τουλάχιστον με 0,5m. Η διαμήκης απόσταση των αξόνων των τροχών είναι 1,20m και η εγκάρσια 2.00 m. Στο προσομοίωμα της δοκού τα κατανεμημένα φορτία παραμένουν ίδια κατά πλάτος και από τα συγκεντρωμένα διατηρούνται τα δύο εκ των τεσσάρων φορτίων τροχών.

3.4 Δυσμενείς φορτίσεις γραμμικού προσομοιώματος

Βρίσκω τις δυσμενέστερες φορτίσεις για κάθε θέση της ανωδομής που εξετάζω (άνοιγμα, στήριξη) με βάση τις γραμμές επιρροής του γραμμικού μοντέλου κάθε γέφυρας. Όταν οι γραμμές επιρροής έχουν μορφή ευθειών τότε μέσω λίγων συγκεκριμένων δοκιμών έχω τη δυνατότητα να βρω τη δυσμενέστερη φόρτιση. Για καθένα από ζητούμενα σημεία παίρνονται διάφορες δοκιμές φορτίσεων με βάση τους παραπάνω κανόνες και περιορισμούς και επιλέγεται η δυσμενέστερη αφού διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει άλλη φόρτιση που θα προκαλεί μεγαλύτερη καμπτική ροπή στο εν λόγω σημείο.

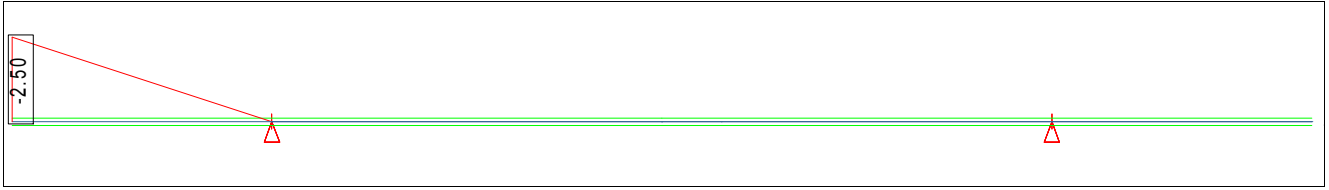
Στην περίπτωση που οι γραμμές επιρροής είναι καμπυλόμορφες, τότε μετακινούμε την κάθε επιμέρους φόρτιση με βήμα 0.1m (τροχικό φορτίο λωρίδας 1, τροχικό φορτίο λωρίδας 2, καταναμημένο φορτίο λωρίδας 1 κτλ) κατά μήκος των περιοχών που οι φορτίσεις αυτές έχουν δυσμενή αποτελέσματα για τα ζητούμενα σημεία. Στη συνέχεια μέσω επαλληλίας και λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3.2 (τροχικό φορτίο 1 εντός λωρίδας 1, τροχικό φορτίο 2 εκτός λωρίδας 1, πεζοδρόμιο πλάτους 1.5m στα άκρα τις διατομής, ελάχιστη απόσταση διαφορετικών τροχικών φορτίων κτλ) υπολογίζω τη δυσμενέστερη φόρτιση.

Αφού υπολογιστεί η δυσμενέστερη φόρτιση στο γραμμικό μοντέλο (προσομοίωμα δοκού) πρέπει να διαμορφωθεί και η αντίστοιχη φόρτιση στο χωρικό προσομοίωμα. Τα συγκεντρωμένα (τροχικά) φορτία διατηρούν τη θέση τους επί του εγκάρσιου άξονα όπως και το μέτρο τους αλλά στο χωρικό προστίθενται και οι άλλοι δυο τροχοί του οχήματος σε απόσταση 1.2m επί του διαμήκη άξονα.

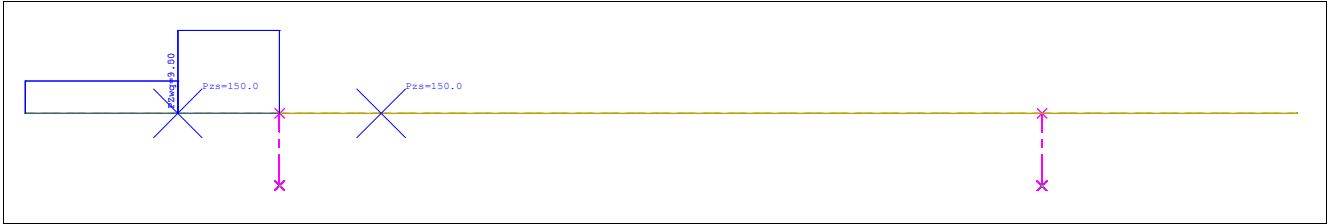
Η παραπάνω μεθοδολογία ακολουθείται για όλες τις εξεταζόμενες ανωδομές. Ο υπολογισμός δυσμενέστερης φόρτισης με βάση τις γραμμές επιρροής της ροπής κάμψης για κάθε εξεταζόμενη θέση στο γραμμικό μοντέλο και μετατροπή των φορτίσεων αυτών στο αντίστοιχο χωρικό προσομοίωμα.

Για τις διατομές ανωδομών 1,2 και 4 καλούμε Α την θέση της πρώτης (από τα αριστερά) στήριξης και Β το μέσο του ανοίγματος. Όσον αφορά την ανωδομή 3 έχουμε Α την εξωτερική (από τα αριστερά) στήριξη, Γ την εσωτερική (από τα αριστερά) στήριξη, Β το μέσο του εξωτερικού (από τα αριστερά) ανοίγματος και Δ το μέσο του εσωτερικού (από τα αριστερά) ανοίγματος

3.4.1 Δυσμενέστερη Φόρτιση Ανωδομής 1



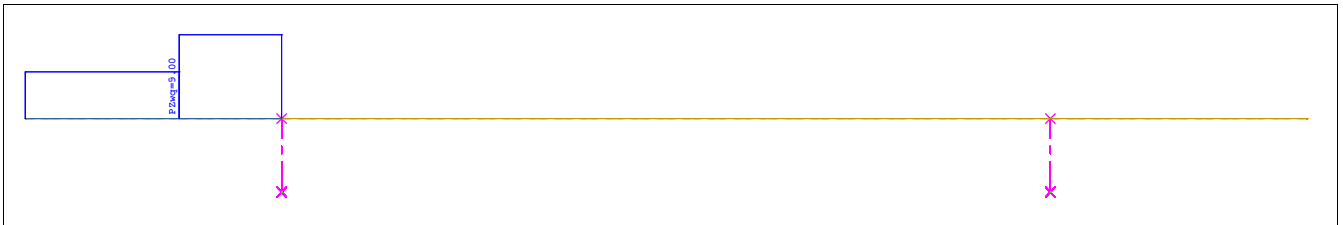
Σχήμα 3. 1: Γραμμές επιρροής Στήριξης A



Σχήμα 3. 2: Δοκιμή Φόρτισης 1 για Στήριξη A

Πίνακας 3. 7: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 1 και τιμή καμπτικής ροπής στη στήριξη A

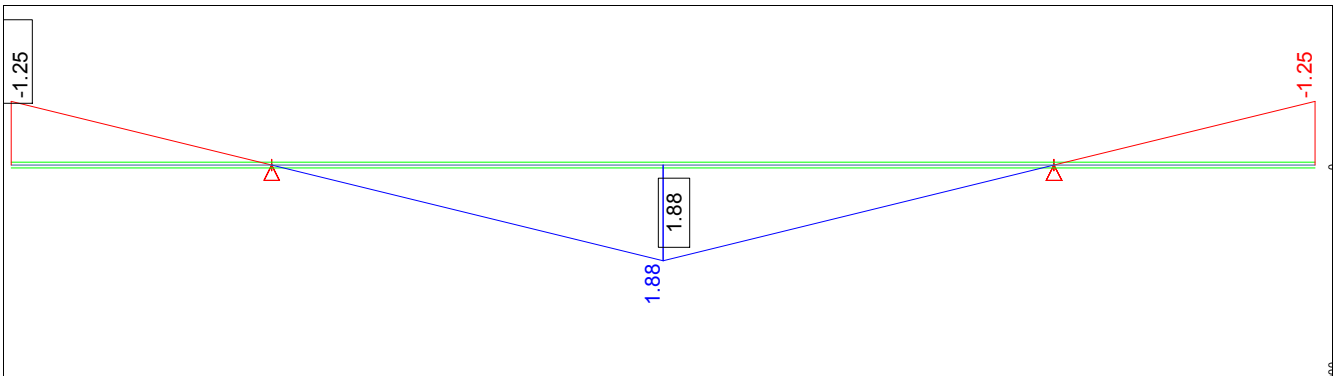
Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη A
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
1.50	3.50	-	-	1.50	2.50	3.5	-163.69



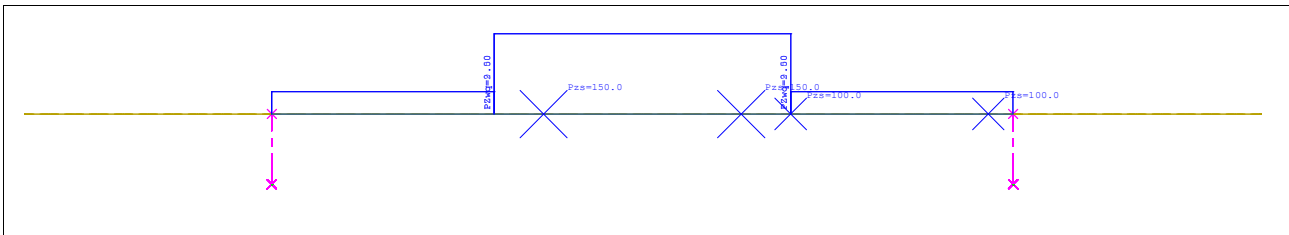
Σχήμα 3. 3: Δοκιμή Φόρτισης 2 για Στήριξη A

Πίνακας 3. 8: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 2 και τιμή καμπτικής ροπής στη στήριξη A

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη A
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
-	-	-	-	1.50	2.50	5.0	-17.62



Σχήμα 3. 4: Γραμμές επιρροής μέσου Ανοίγματος Β

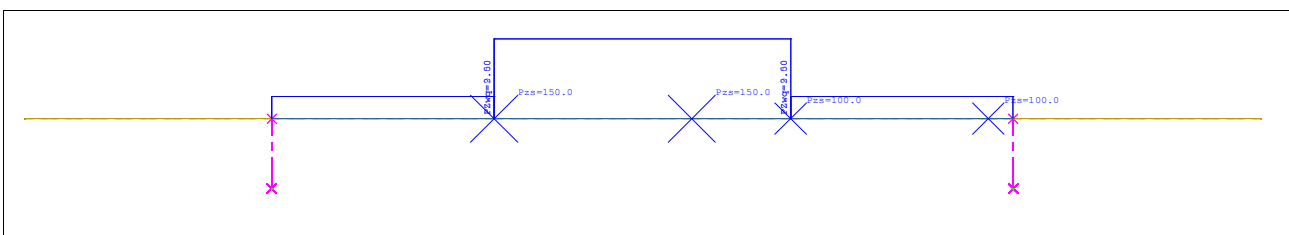


Σχήμα 3. 5: Δοκιμή Φόρτισης 1 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 9: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 1 και τιμή καμπτικής ροπής στο Ανοίγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Καταναμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
5.25	7.25	7.75	9.75	4.75	7.75	-	584.33

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.50m με 10.00m) το φορτίο είναι καταναμημένο και ίσο με 2.50kN/m

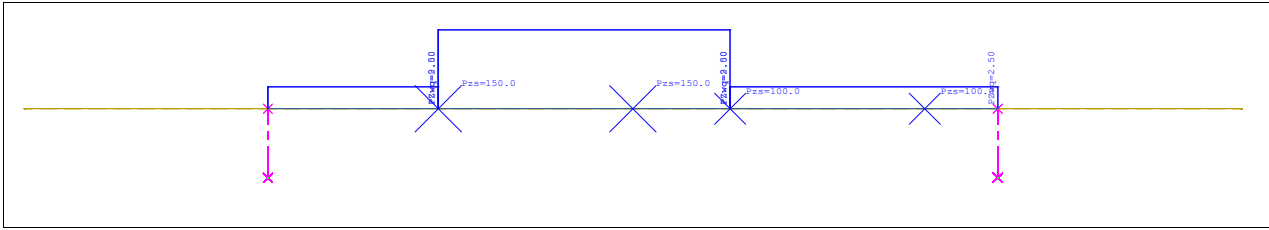


Σχήμα 3. 6: Δοκιμή Φόρτισης 2 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 10: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 2 και τιμή καμπτικής ροπής στο Ανοίγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Καταναμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.75	6.75	7.75	9.75	4.75	7.75	-	584.33

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.50m με 10.00m) το φορτίο είναι καταναμημένο και ίσο με 2.50kN/m

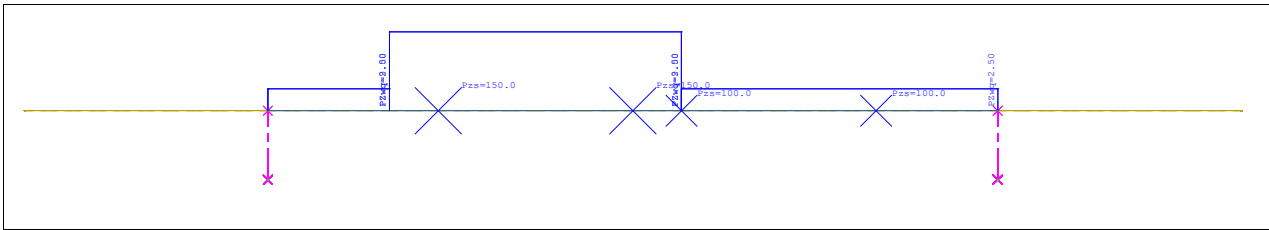


Σχήμα 3. 7: Δοκιμή Φόρτισης 3 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 11: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 3 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.25	6.25	7.25	9.25	4.25	7.25	-	633.52

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.50m με 10.00m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m



Σχήμα 3. 8: Δοκιμή Φόρτισης 4 για μέσο Ανοίγματος Β

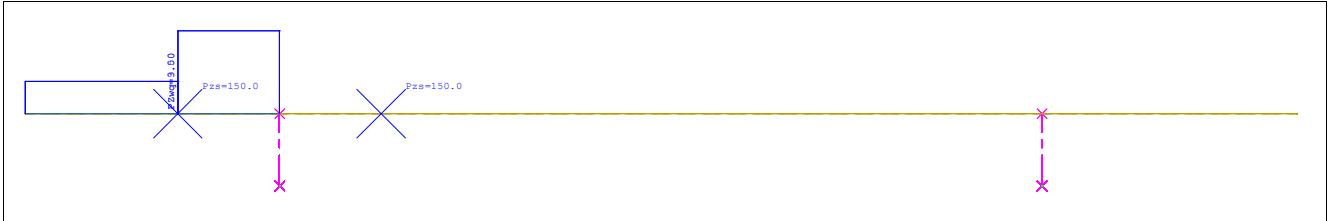
Πίνακας 3. 12: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 4 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.25	6.25	6.75	8.75	3.75	6.75	-	681.08

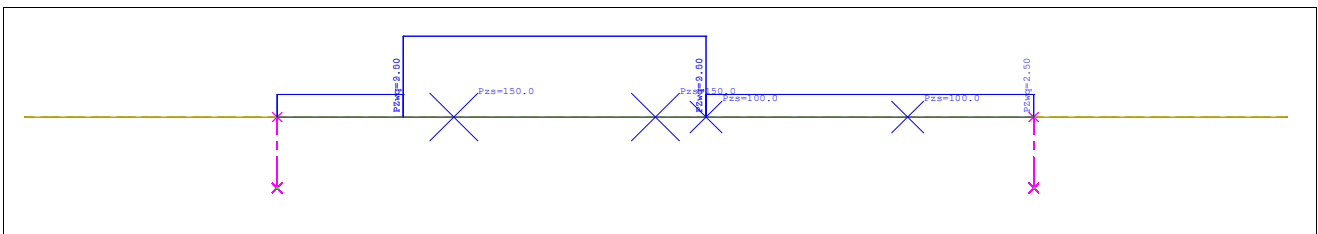
* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.50m με 10.00m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m

Επιλογή δυσμενέστερων φορτίσεων

Στην περίπτωση της στήριξης A ως δυσμενέστερη φόρτιση επιλέγεται η δοκιμή φόρτισης 1 και στην περίπτωση του μέσου του ανοίγματος η δοκιμή φόρτισης 4.



Σχήμα 3. 9: Δυσμενέστερη Φόρτιση για Στήριξη A

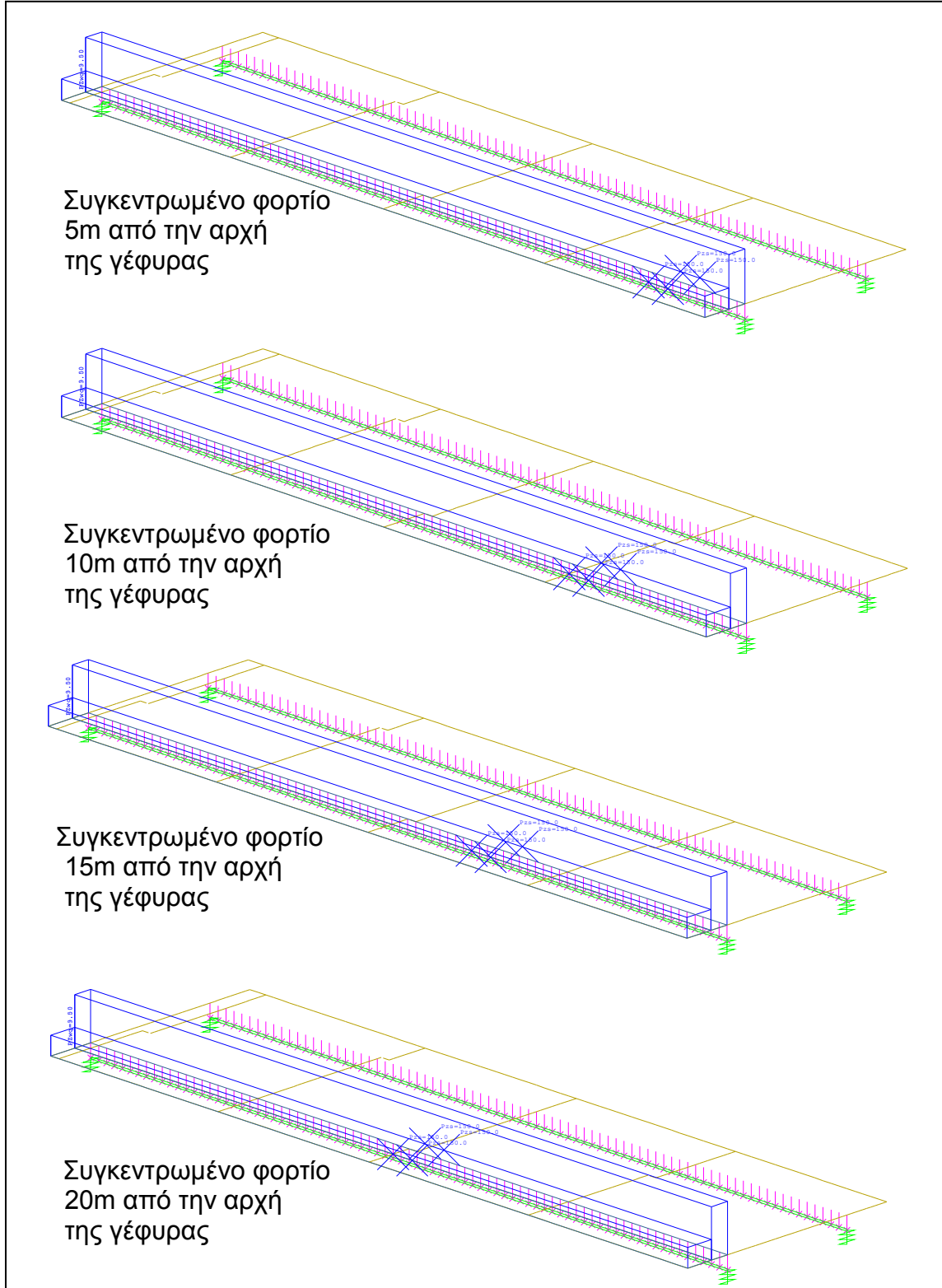


Σχήμα 3. 10: Δυσμενέστερη Φόρτιση για το μέσο B του ανοίγματος

Φορτίσεις στο χωρικό προσομοίωμα

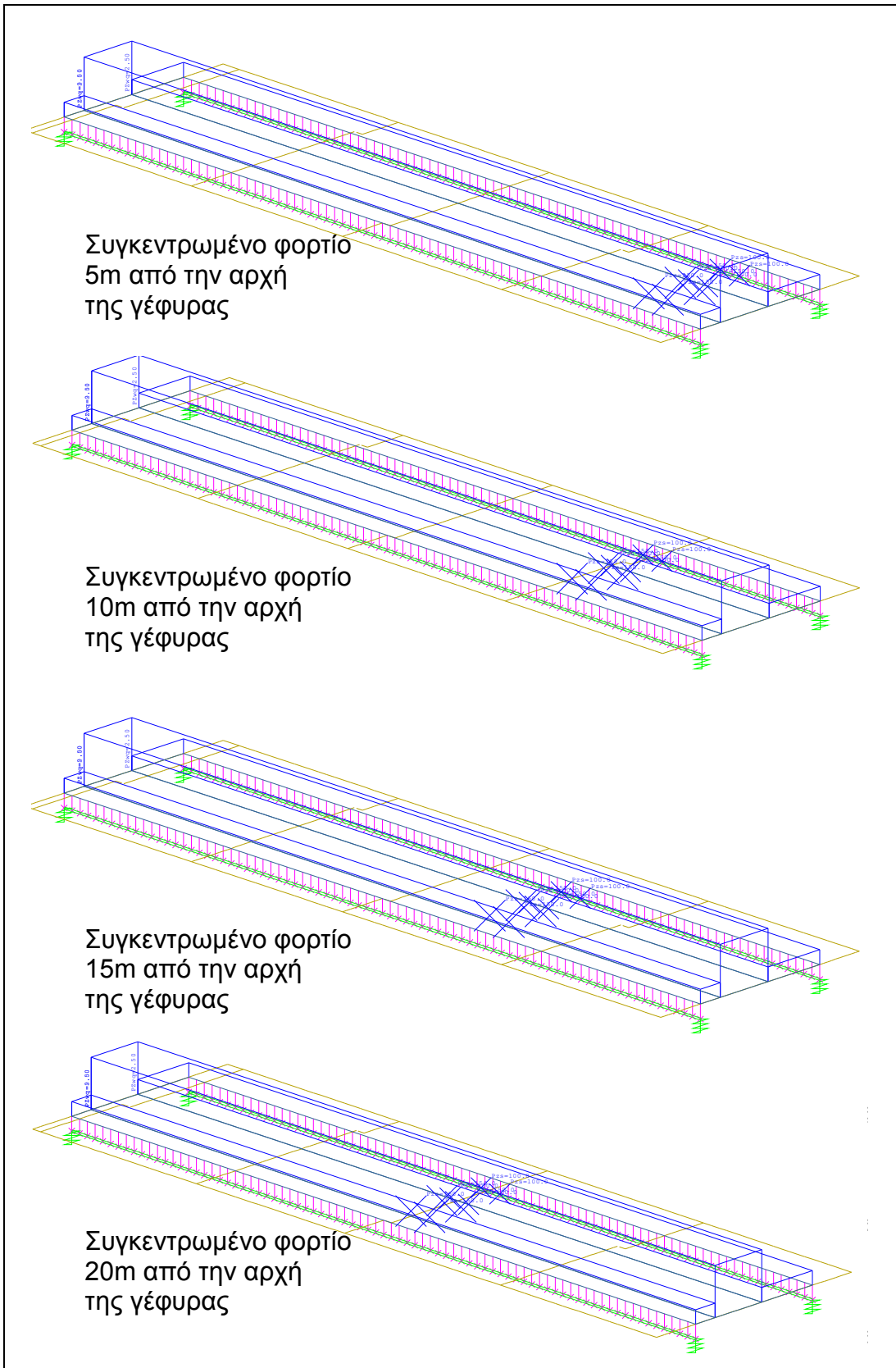
Τα καταναμημένα φορτία δρουν σε όλη την επιφάνεια της λωρίδας και τα τέσσερα (4) φορτία των τροχών κινούνται κατά τον διαμήκη άξονα. Επιλέγονται οι παρακάτω θέσεις όπου δρουν τα συγκεντρωμένα φορτία: 5m, 10m, 15m, 20m από την αρχή της γέφυρας.

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στη στήριξη για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



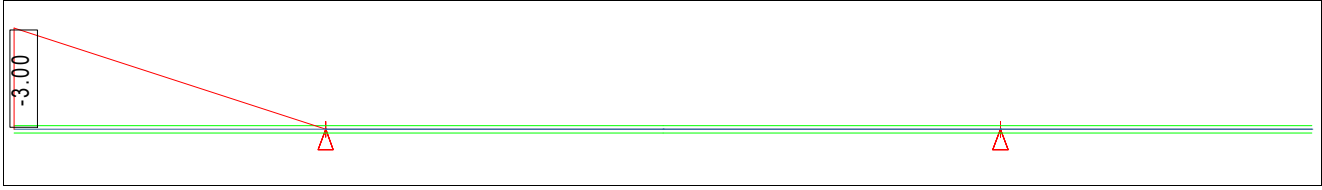
Σχήμα 3. 11: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Στήριξης Α για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στο μέσο του ανοίγματος για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα

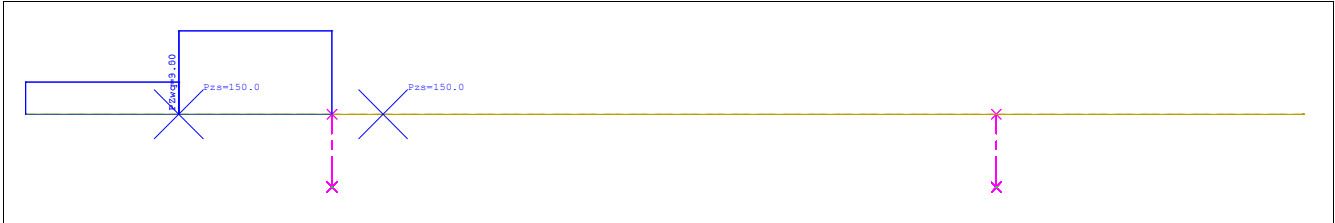


Σχήμα 3. 12: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Ανοίγματος Β για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

3.4.2 Δυσμενέστερη Φόρτιση Ανωδομής 2



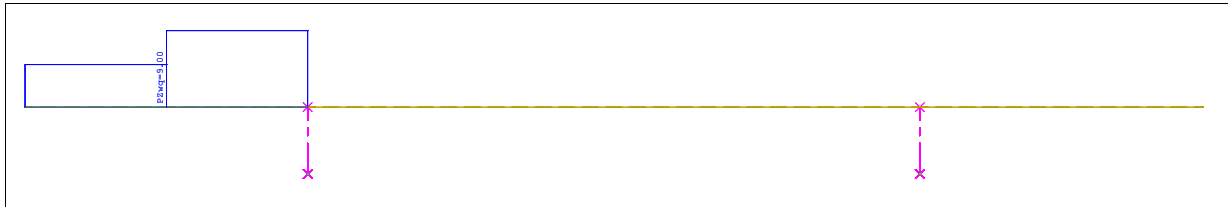
Σχήμα 3. 13: Γραμμές επιρροής Στήριξης Α



Σχήμα 3. 14: Δοκιμή Φόρτισης 1 για Στήριξη Α

Πίνακας 3. 13: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 1 και τιμή καμπτικής ροπής στη Στήριξη Α

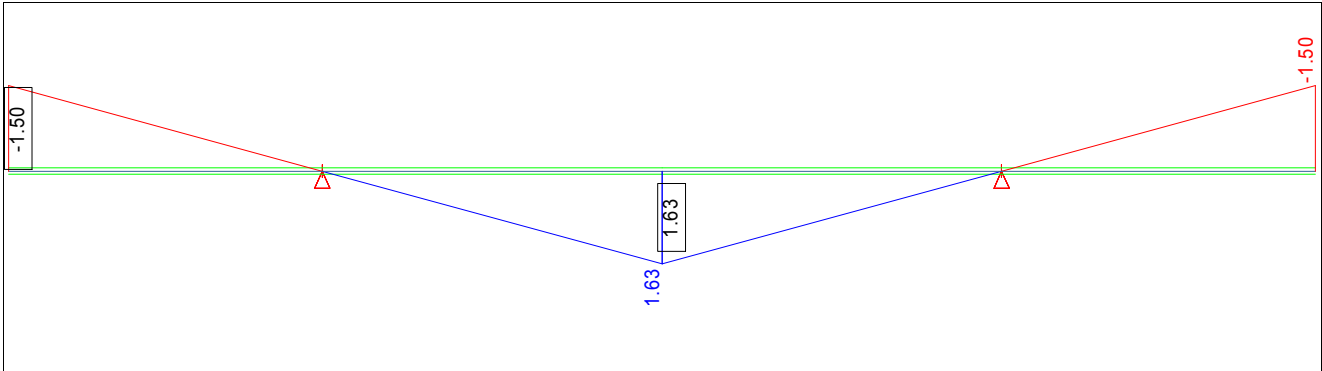
Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη Α
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
1.50	3.50	-	-	1.50	3.00	3.5	-246.94



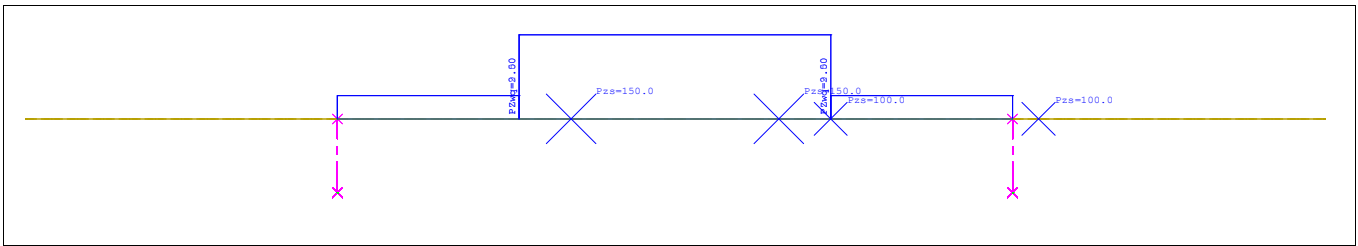
Σχήμα 3. 15: Δοκιμή Φόρτισης 2 για Στήριξη Α

Πίνακας 3. 14: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 2 και τιμή καμπτικής ροπής στη Στήριξη Α

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη Α
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
-	-	-	-	1.50	3.00	5.0	-27.00



Σχήμα 3. 16: Γραμμές επιρροής Μέσου Ανοίγματος Β

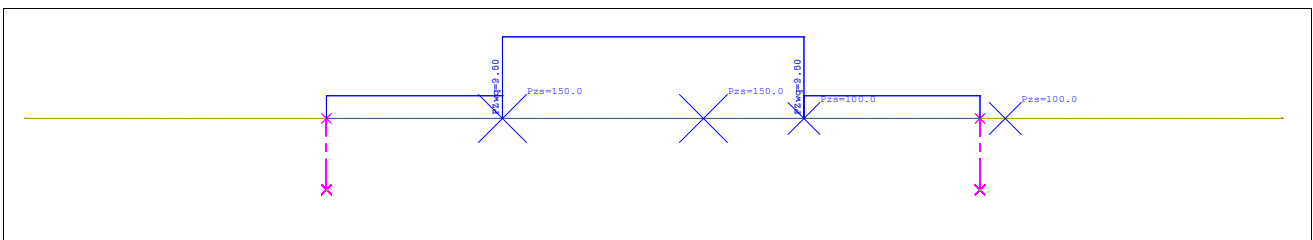


Σχήμα 3. 17: Δοκιμή Φόρτισης 1 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 15: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 1 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Καταναμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
5.25	7.25	7.75	9.75	4.75	7.75	-	450.08

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (3.00m με 9.50m) το φορτίο είναι καταναμημένο και ίσο με 2.50kN/m

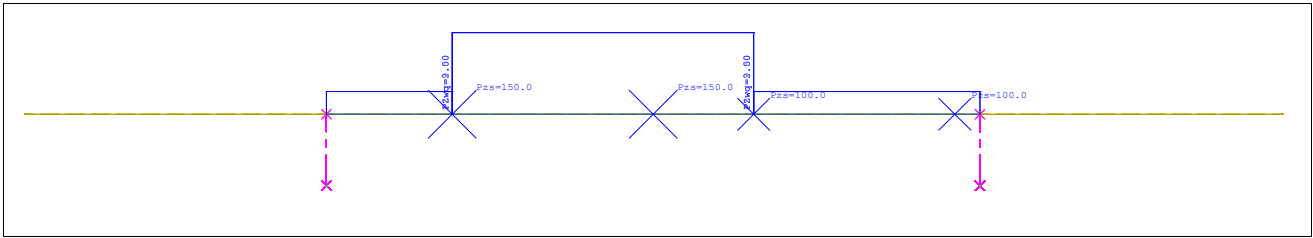


Σχήμα 3. 18: Δοκιμή Φόρτισης 2 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 16: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 2 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Καταναμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.75	6.75	7.75	9.75	4.75	7.75	-	450.08

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (3.00m με 9.50m) το φορτίο είναι καταναμημένο και ίσο με 2.50kN/m

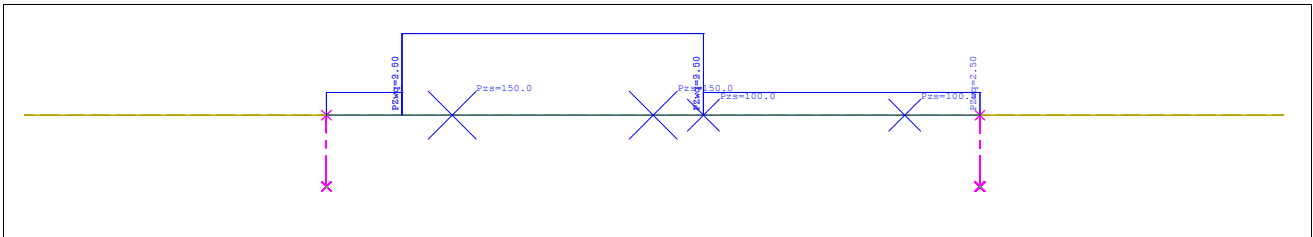


Σχήμα 3. 19: Δοκιμή Φόρτισης 3 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 17: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 3 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.25	6.25	7.25	9.25	4.25	7.25	-	499.27

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (3.00m με 9.50m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m



Σχήμα 3. 20: Δοκιμή Φόρτισης 4 για Μέσο Ανοίγματος Β

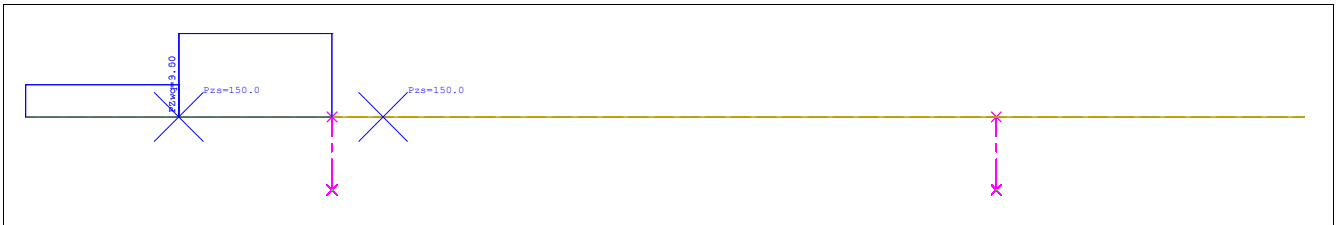
Πίνακας 3. 18: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 4 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.25	6.25	6.75	8.75	3.75	6.75	-	546.83

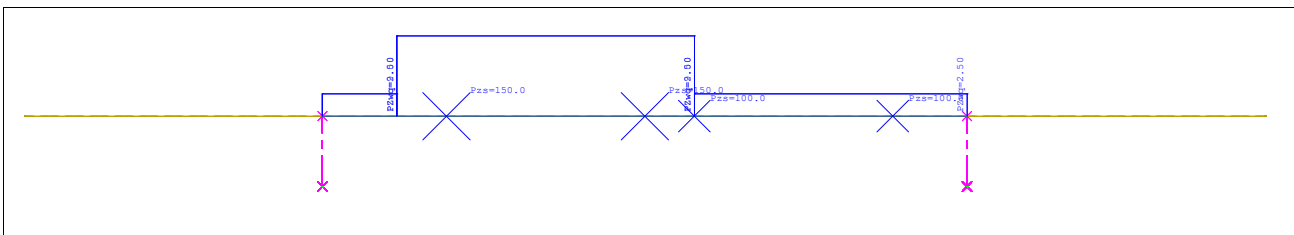
* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (3.00m με 9.50m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m

Επιλογή δυσμενέστερων φορτίσεων

Στην περίπτωση της στήριξης A ως δυσμενέστερη φόρτιση επιλέγεται η δοκιμή φόρτισης 1 και στην περίπτωση του μέσου του ανοίγματος η δοκιμή φόρτισης 4.



Σχήμα 3. 21: Δυσμενέστερη Φόρτιση Στήριξης A

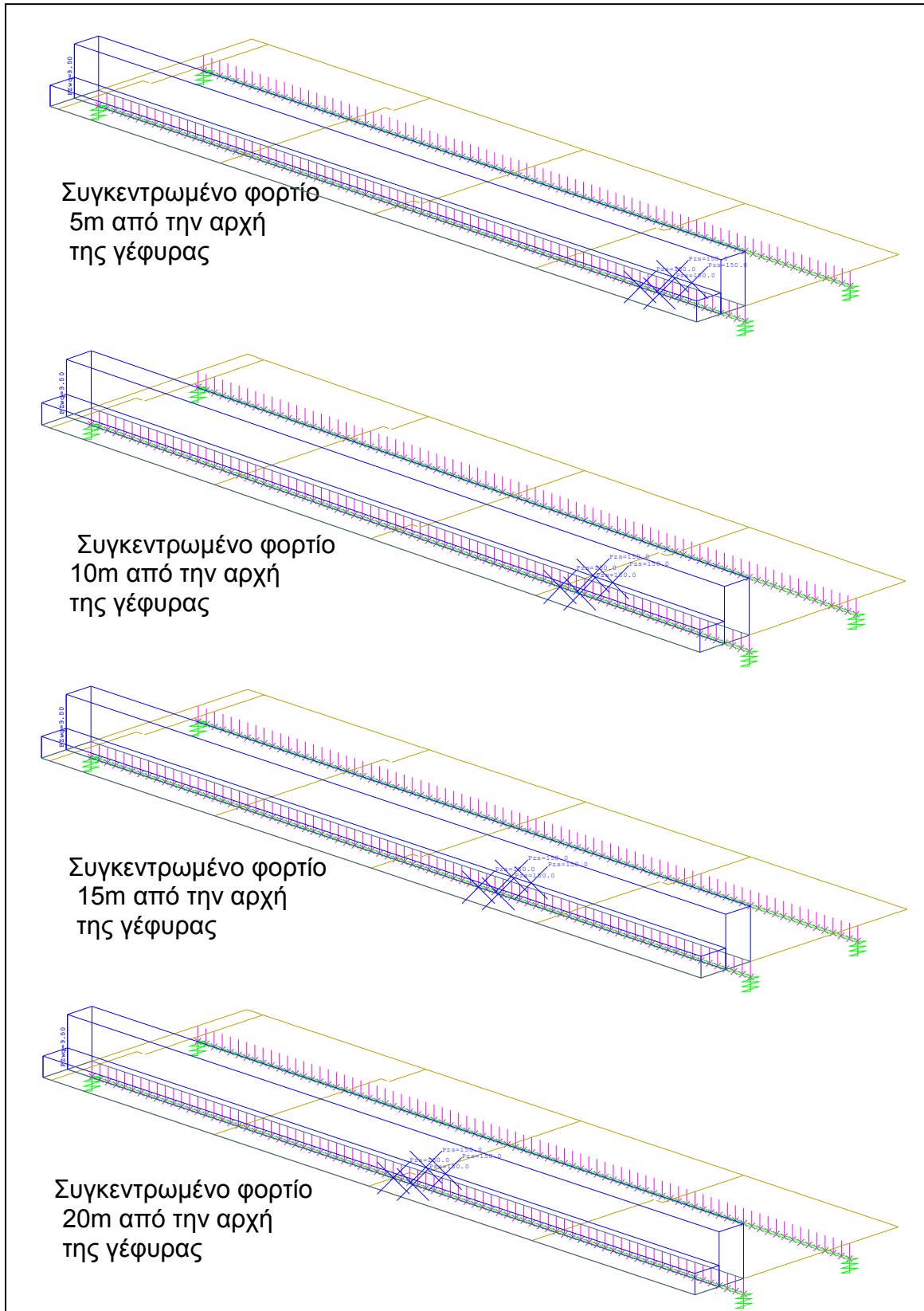


Σχήμα 3. 22: Δυσμενέστερη Φόρτιση μέσου Ανοίγματος B

Φορτίσεις στο χωρικό προσομοίωμα

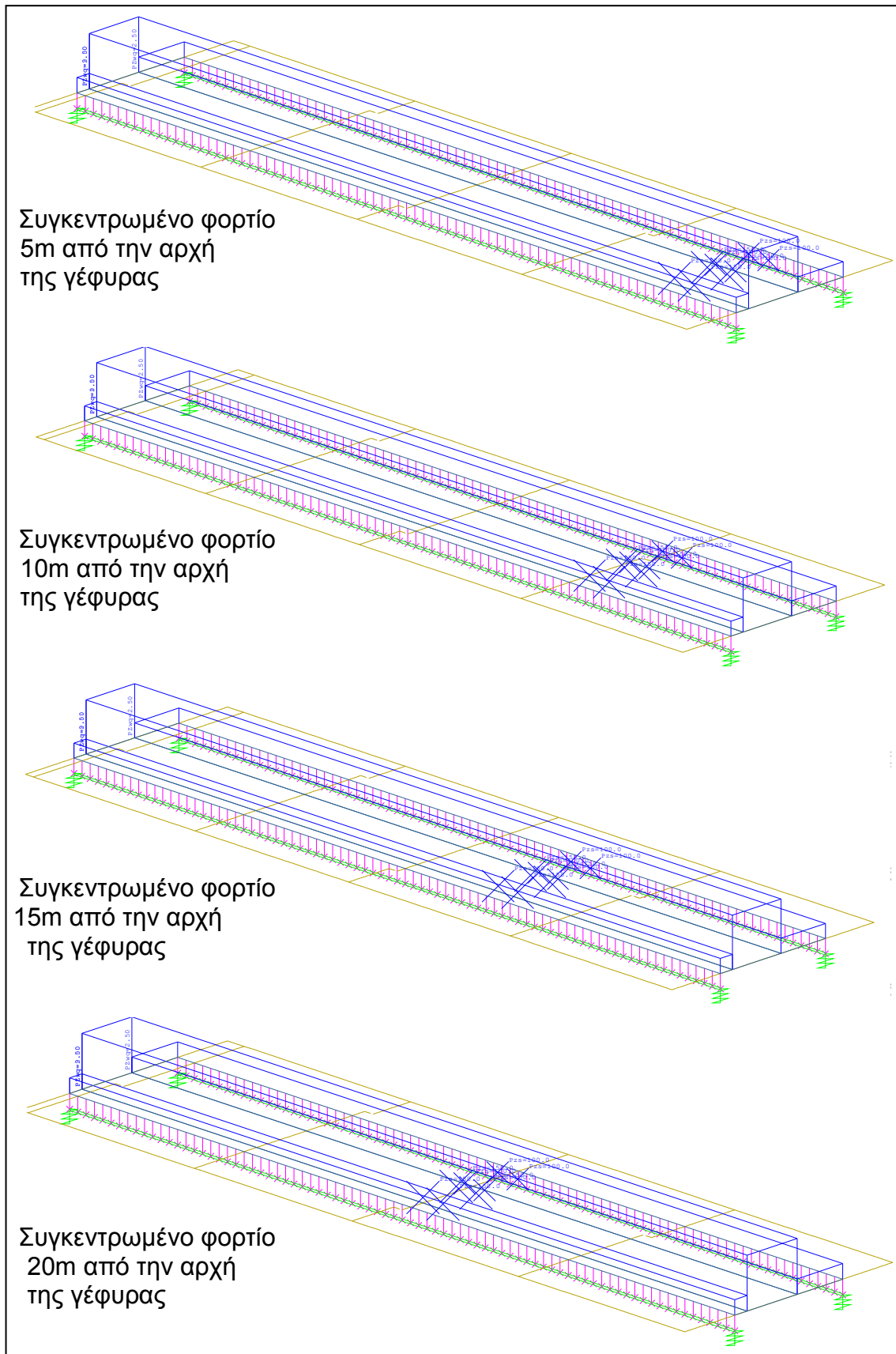
Τα κατανεμημένα φορτία δρουν σε όλη την επιφάνεια της λαρίδας και τα τέσσερα (4) φορτία των τροχών κινούνται κατά τον διαμήκη άξονα. Επιλέγονται οι παρακάτω θέσεις όπου δρουν τα συγκεντρωμένα φορτία: 5m, 10m, 15m, 20m από την αρχή της γέφυρας.

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στη στήριξη για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



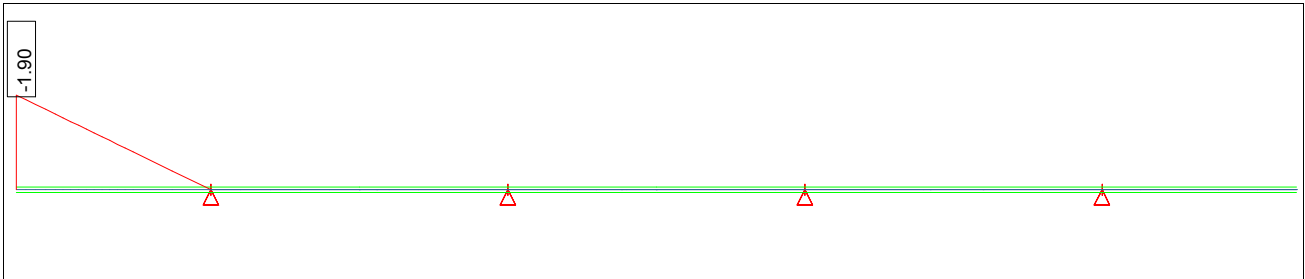
Σχήμα 3.23: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Στήριξης A για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στο μέσο του ανοίγματος για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



Σχήμα 3.24: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Στήριξης Α για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

3.4.3 Δυσμενέστερη Φόρτιση Ανωδομής 3



Σχήμα 3. 25: Γραμμές επιρροής Στήριξης Α



Σχήμα 3. 26: Δοκιμή Φόρτισης 1 για Στήριξη Α

Πίνακας 3. 19: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 1 και τιμή καμπτικής ροπής στη Στήριξη Α

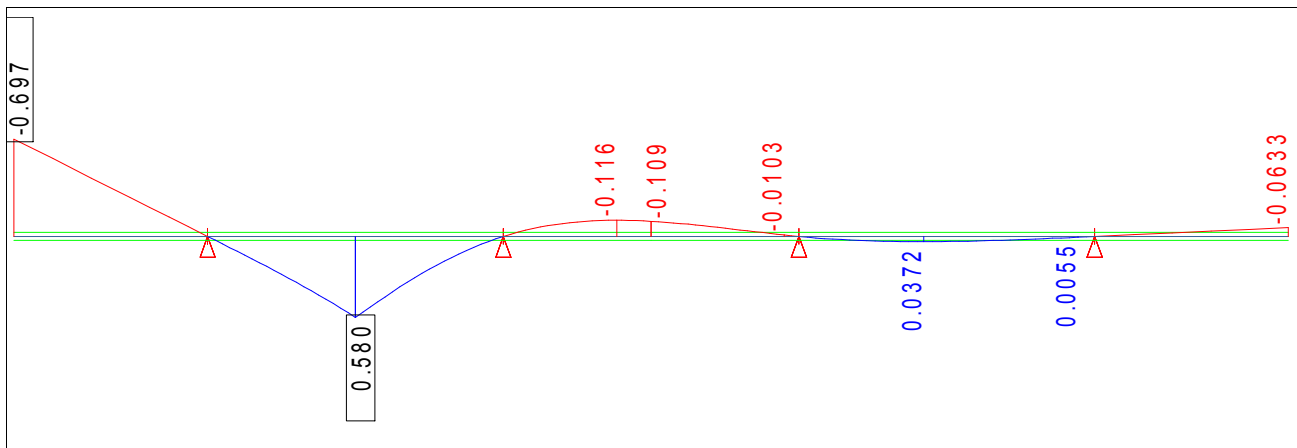
Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη Α
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
1.50	3.50	-	-	1.50	1.90	3.50	-66.76



Σχήμα 3. 27: Δοκιμή Φόρτισης 2 για Στήριξη Α

Πίνακας 3. 20: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 2 και τιμή καμπτικής ροπής στη Στήριξη Α

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη Α
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
1.50	3.50	-	-	1.50	1.90	5.00	-9.295



Σχήμα 3. 28: Γραμμές επιρροής Μέσου Ανοίγματος Β

Στην περίπτωση καμπυλόμορφων γραμμών επιρροής εφαρμόζουμε τη μέθοδο που περιγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου 3.3 μετατοπίζοντας τα επιμέρους φορτία με βήμα 0.1m κατά μήκος των φορτιζόμενων επιφανειών που προξενούν δυσμενή καμπτική ροπή στα σημεία που εξετάζουμε σε κάθε περίπτωση.

Τη δυσμενέστερη επιρροή στην καμπτική ροπή οποιουδήποτε σημείου την έχει το τροχικό φορτίο της λωρίδας 1, τη δεύτερη μεγαλύτερη το τροχικό φορτίο λωρίδας 2 και τη μικρότερη το καταναμημένο φορτίο λωρίδας 1. Ουσιαστικά από τη θέση αυτών των τριών φορτίσεων υπολογίζεται η δυσμενέστερη φόρτιση για κάθε σημείο της διατομής αφού στις υπόλοιπες περιοχές που η φόρτιση επί αυτών έχει δυσμενή επιρροή το καταναμημένο φορτίο είναι σταθερό (2,5kN/m) εκτός του πεζοδρομίου (3,5kN/m).

Από τις γραμμές επιρροής προκύπτει ότι για την εύρεση της δυσμενέστερης φόρτισης για καμπτική ροπή στο μέσο Β του πρώτου από τα αριστερά ανοίγματος πρέπει να τοποθετηθεί η δυσμενέστερη επιμέρους φόρτιση (τροχικό φορτίο λωρίδας 1) στο πρώτο άνοιγμα από τα αριστερά.

Μετατοπίζω με βήμα 0,1 τα επιμέρους φορτία στις περιοχές όπου η φόρτιση έχει δυσμενή επιρροή για την καμπτική ροπή του μέσου Β του πρώτου αριστερά ανοίγματος και συγκεντρώνω όλα τα στοιχεία στον παρακάτω πίνακα.

Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς (τροχικό φορτίο λωρίδας1 εντός λωρίδας1, τροχικό φορτίο λωρίδας2 εκτός λωρίδας2, πεζοδρόμια 1,5m από τα άκρα της διατομής) με δοκιμές υπολογίζεται ο δυσμενέστερος συνδυασμός φόρτισης για την καμπτική ροπή στο μέσο ανοίγματος Β.

Από εδώ και στο εξής συμβολίζονται με T1 τα φορτία τροχών λωρίδας 1, με T2 τα φορτία τροχών λωρίδας 2 και με L1 το καταναμημένο φορτίο λωρίδας 1.

Ακολουθεί ο πίνακας με τις επιρροές της θέσης του κάθε φορτίου στην καμπτική ροπή του ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 21: Καμπτικές Ροπές στο Άνοιγμα Β ανάλογα με τη θέση του κάθε επιμέρους φορτίου καταμήκος της δοκού

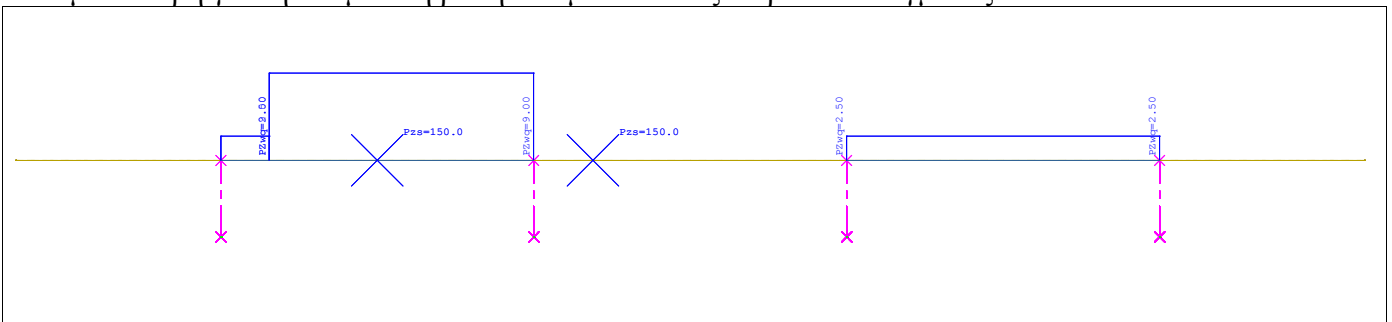
T1			T2			L1		
ΘΕΣΗ		My	ΘΕΣΗ		My	ΘΕΣΗ		My
1,50	3,50	53,24	4,50	6,50	αρνητική	1,50	4,50	7,04
1,60	3,60	51,18	4,60	6,60	αρνητική	1,60	4,60	7,08
1,70	3,70	49,37	4,70	6,70	αρνητική	1,70	4,70	7,11
1,80	3,80	47,82	...	...	αρνητική	1,80	4,80	7,11
1,90	3,90	46,53	...	...	αρνητική	1,90	4,90	7,11
2,00	4,00	45,53	...	...	αρνητική	2,00	5,00	7,10
2,10	4,10	44,85	6,70	8,70	αρνητική	2,10	5,10	7,07
2,20	4,20	44,51	6,80	8,80	αρνητική	2,20	5,20	7,01
2,30	4,30	44,54	6,90	8,90	αρνητική	2,30	5,30	6,92
2,40	4,40	44,97	7,00	9,00	αρνητική	2,35	5,35	6,88
2,50	4,50	45,82	7,10	9,10	αρνητική	2,40	5,40	6,81
2,60	4,60	47,13	7,20	9,20	αρνητική	2,50	5,50	6,68
2,70	4,70	48,93	7,30	9,30	0,37	2,60	5,60	6,52
2,80	4,80	51,24	7,35	9,35	0,88	2,70	5,70	6,34
2,90	4,90	54,09	7,40	9,40	1,06	2,80	5,80	6,13
3,00	5,00	57,48	7,50	9,50	1,68	2,90	5,90	5,90
3,10	5,10	61,4	7,60	9,60	2,24	3,00	6,00	5,63
3,20	5,20	65,85	7,70	9,70	2,71	3,10	6,10	5,34
3,30	5,30	70,83	7,80	9,80	3,1	3,20	6,20	5,03
3,35	5,35	73,52	7,90	9,90	3,4	3,30	6,30	4,68
3,40	5,40	68,84	8,00	10,00	3,61	3,40	6,40	4,31
3,50	5,50	59,87	8,10	10,10	3,76	3,50	6,50	3,97
3,60	5,60	51,41	8,20	10,20	3,83	3,60	6,60	3,66
3,70	5,70	43,47	8,30	10,30	3,83	3,70	6,70	3,38
3,80	5,80	36,03	8,40	10,40	3,78	3,80	6,80	3,13
3,90	5,90	29,11	8,50	10,50	3,66	3,90	6,90	2,92
4,00	6,00	22,68	8,60	10,60	3,5	4,00	7,00	2,73
4,10	6,10	16,76	8,70	10,70	3,28	4,10	7,10	2,57
4,20	6,20	11,33	8,80	10,80	3,02	4,20	7,20	2,44
4,30	6,30	6,4	8,90	10,90	2,72	4,30	7,30	2,33
4,40	6,40	1,95	9,00	11,00	2,38	4,40	7,40	2,24

Η δυσμενέστερη φόρτιση στην οποία συμμετέχουν τα φορτία των τροχών λωρίδας 2 για την καμπτική ροπή στο σημείο Β είναι αυτή όπου τα φορτία τροχών λωρίδας 1 βρίσκονται στις θέσεις 3,35 και 5,35 τα αντίστοιχα της λωρίδας 2 στις θέσεις 7,35 και 9,35 και το κατανεμημένο φορτίο λωρίδας 1 εκτείνεται από από τη θέση 3,35 μέχρι τη θέση 6,35 και προκαλεί καμπτική ροπή 76,39kNm στο σημείο Β. Από δοκιμές διαπιστώνεται όμως ότι υπάρχει και δυσμενέστερη φόρτιση στην οποία δε συμμετέχουν τα φορτία τροχών λωρίδας 2 και τα φορτία τροχών λωρίδας 1 παραμένουν στις ίδιες θέσεις με την προηγούμενη φόρτιση (3,35 και 5,35) αλλά το κατανεμημένο φορτίο λωρίδας 1 αρχίζει από τη θέση 2,35 και καταλήγει στη θέση 5,35. Η καμπτική ροπή στο Β για αυτήν την περίπτωση ισούται με 80,40kNm. Συνεπώς, από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι στη δυσμενέστερη φόρτιση για την καμπτική ροπή στο Β δε συμμετέχουν τα φορτία τροχών της λωρίδας 2 και για την εύρεση της χρησιμοποιείται μια μεθοδολογία όπου για κάθε θέση του τροχικού φορτίου λωρίδας 1 υπολογίζεται η επιτρεπόμενη θέση του κατανεμημένου φορτίου της ίδιας λωρίδας που έχει τη μέγιστη επιρροή στην καμπτική ροπή του σημείου Β. Η επιρροή που έχει στην καμπτική ροπή η επαλληλία των δύο παραπάνω φορτίσεων επιλέγεται για κάθε θέση του τροχικού φορτίου λωρίδας 1 και τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα όπου η δυσμενέστερη επιρροή στην καμπτική ροπή του Β είναι και η δυσμενέστερη φόρτιση συνολικά για το σημείο Β.

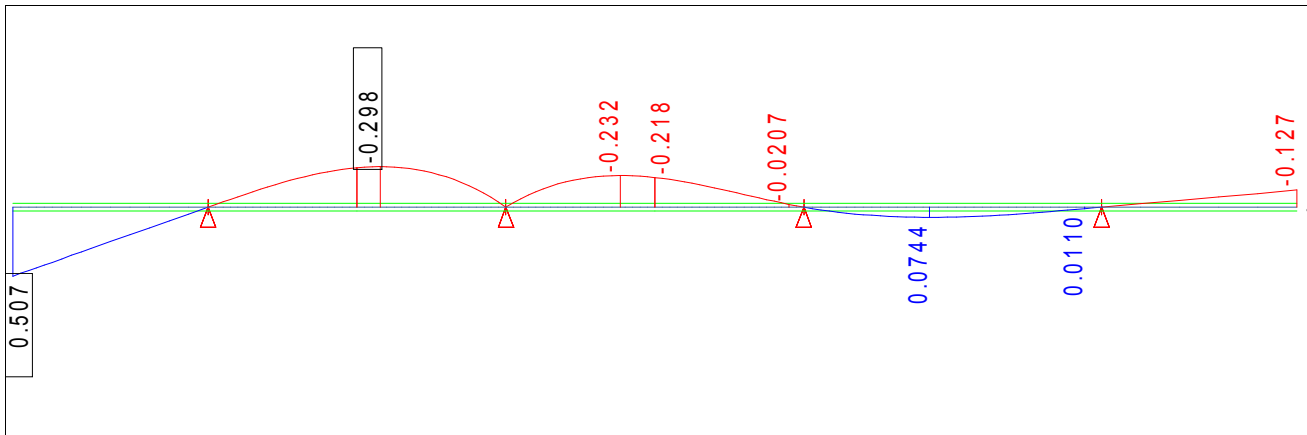
Πίνακας 3. 22: Πίνακας δυσμενέστερων συνδυασμών φόρτισης για την καμπτική ροπή στο Β για κάθε θέση του Τ1 στη φορτιζόμενη επιφάνεια της δοκού που έχει δυσμενείς επιρροές στο Β

Τ1		ΕπιτρεπόμενοMAXL1			Τ1+επιτρεπόμενοMAXL1	
ΘΕΣΗ		My	ΘΕΣΗ		My	
1,50	3,50	53,24	1,50	4,50	7,04	60,28
1,60	3,60	51,18	1,60	4,60	7,08	58,26
1,70	3,70	49,37	1,70	4,70	7,11	56,48
1,80	3,80	47,82	1,80	4,80	7,11	54,93
1,90	3,90	46,53	1,90	4,90	7,11	53,64
2,00	4,00	45,53	1,90	4,90	7,11	52,64
2,10	4,10	44,85	1,90	4,90	7,11	51,96
2,20	4,20	44,51	1,90	4,90	7,11	51,62
2,30	4,30	44,54	1,90	4,90	7,11	51,65
2,40	4,40	44,97	1,90	4,90	7,11	52,08
2,50	4,50	45,82	1,90	4,90	7,11	52,93
2,60	4,60	47,13	1,90	4,90	7,11	54,24
2,70	4,70	48,93	1,90	4,90	7,11	56,04
2,80	4,80	51,24	1,90	4,90	7,11	58,35
2,90	4,90	54,09	1,90	4,90	7,11	61,20
3,00	5,00	57,48	2,00	5,00	7,10	64,58
3,10	5,10	61,40	2,10	5,10	7,07	68,47
3,20	5,20	65,85	2,20	5,20	7,01	72,86
3,30	5,30	70,83	2,30	5,30	6,92	77,75
3,35	5,35	73,52	2,35	5,35	6,88	80,40
3,40	5,40	68,84	2,40	5,40	6,81	75,65
3,50	5,50	59,87	2,50	5,50	6,68	66,55
3,60	5,60	51,41	2,60	5,60	6,52	57,93
3,70	5,70	43,47	2,70	5,70	6,34	49,81
3,80	5,80	36,03	2,80	5,80	6,13	42,16
3,90	5,90	29,11	2,90	5,90	5,90	35,01
4,00	6,00	22,68	3,00	6,00	5,63	28,31
4,10	6,10	16,76	3,10	6,10	5,34	22,10
4,20	6,20	11,33	3,20	6,20	5,03	16,36
4,30	6,30	6,40	3,30	6,30	4,68	11,08
4,40	6,40	1,95	3,40	6,40	4,31	6,26

Από τον πίνακα συμπεραίνεται ότι η φόρτιση που αναπαρίσταται στο παρακάτω σχήμα (όπου 3,35 και 5,35 οι θέσεις των τροχών και το κατανεμημένο φορτίο εκτείνεται από τη θέση 2,35 μέχρι 5,35), όπου προστίθενται και τα δεδομένα φορτία των υπόλοιπων λωρίδων, είναι η δυσμενέστερη για την καμπτική ροπή στο μέσο του εξωτερικού ανοίγματος Β



Σχήμα 3. 23: Δυσμενέστερη Φόρτιση για μέσο ανοίγματος Β



Σχήμα 3. 30: Γραμμές επιρροής Στήριξης Γ

Επειδή οι γραμμές επιρροής είναι καμπυλόμορφες εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος με την προηγούμενη περίπτωση όπου μετατοπίζονται τα επιμέρους φορτία (φορτία τροχών λωρίδας1, φορτία τροχών λωρίδας2 και καταναμημένο φορτίο λωρίδας1) με βήμα 0.1m κατά μήκος των φορτιζόμενων επιφανειών που προξενούν δυσμενή καμπτική ροπή στην εσωτερική στήριξη Γ.

Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση που αφορούσε το μέσο Β του εξωτερικού ανοίγματος, από τις γραμμές επιρροής εύκολα προκύπτει το συμπέρασμα ότι στη φόρτιση για την εύρεση της δυσμενέστερης καμπτικής ροπής στην εσωτερική στήριξη Γ συμμετέχουν και τα τρία επιμέρους φορτία που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Από το παραπάνω σχήμα γίνεται κατανοητό ότι η φόρτιση στο εξωτερικό άνοιγμα έχει δυσμενέστερη επιρροή στη ροπή στήριξης σε σχέση με ίδια φόρτιση στο μεσαίο άνοιγμα. Οπότε μια ασφαλής εκτίμηση όσον αφορά την τοποθέτηση των φορτίων είναι ότι τα φορτία της λωρίδας 1 (τροχών και καταναμημένα) βρίσκονται αριστερά των φορτίων της λωρίδας 2.

Παρατίθενται οι πίνακες που εκφράζουν την καμπτική ροπή της στήριξης Γ ανάλογα με τη θέση του κάθε επιμέρους φορτίου.

Πίνακας 3. 23: Καμπτικές Ροπές στη Στήριξη Γ ανάλογα με τη θέση του κάθε επιμέρους φορτίου καταμήκος της δοκού

T1			T2			L1		
ΘΕΣΗ		My	ΘΕΣΗ		My	ΘΕΣΗ		My
1,50	3,50	-28,52	4,50	6,50	-32,69	1,50	4,50	-5,96
1,60	3,60	-32,63	4,60	6,60	-27,33	1,60	4,60	-6,03
1,70	3,70	-36,26	4,70	6,70	-21,33	1,70	4,70	-6,08
1,80	3,80	-39,38	4,80	6,80	-14,69	1,80	4,80	-6,1
1,90	3,90	-41,95	4,90	6,90	-17,45	1,90	4,90	-6,11
2,00	4,00	-43,95	5,00	7,00	-19,61	2,00	5,00	-6,14
2,10	4,10	-45,32	5,10	7,10	-21,25	2,10	5,10	-6,18
2,20	4,20	-46,01	5,20	7,20	-22,40	2,20	5,20	-6,23
2,30	4,30	-45,95	5,30	7,30	-23,11	2,30	5,30	-6,27
2,40	4,40	-45,10	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31
2,50	4,50	-43,38	5,50	7,50	-23,42	2,50	5,50	-6,35
2,60	4,60	-40,76	5,60	7,60	-23,11	2,60	5,60	-6,38
2,70	4,70	-37,16	5,70	7,70	-22,54	2,70	5,70	-6,4
2,80	4,80	-32,54	5,80	7,80	-21,78	2,80	5,80	-6,41
2,90	4,90	-41,84	5,90	7,90	-20,83	2,90	5,90	-6,42
3,00	5,00	-50,07	6,00	8,00	-19,72	3,00	6,00	-6,41

3,10	5,10	-57,22	6,10	8,10	-18,47	3,10	6,10	-6,39
3,20	5,20	-63,32	6,20	8,20	-17,10	3,20	6,20	-6,36
3,30	5,30	-68,35	6,30	8,30	-15,62	3,30	6,30	-6,32
3,40	5,40	-72,34	6,40	8,40	-14,05	3,40	6,40	-6,26
3,50	5,50	-75,29	6,50	8,50	-12,42	3,50	6,50	-6,20
3,60	5,60	-77,20	6,60	8,60	-10,74	3,60	6,60	-6,13
3,70	5,70	-78,08	6,70	8,70	-9,04	3,70	6,70	-6,05
3,80	5,80	-77,95	6,80	8,80	-7,32	3,80	6,80	-5,96
3,90	5,90	-76,80	6,90	8,90	-5,61	3,90	6,90	-5,86
4,00	6,00	-74,64	7,00	9,00	-3,93	4,00	7,00	-5,76
4,10	6,10	-71,49	7,10	9,10	-2,30	4,10	7,10	-5,66
4,20	6,20	-67,34	7,20	9,20	-0,74	4,20	7,20	-5,56
4,30	6,30	-62,21				4,30	7,30	-5,47
4,40	6,40	-56,10				4,40	7,40	-5,38
4,50	6,50	-49,03				4,50	7,50	-5,31
4,60	6,60	-40,99				4,60	7,60	-5,25
4,70	6,70	-31,99				4,70	7,70	-5,2
4,80	6,80	-22,04				4,80	7,80	-5,19
4,90	6,90	-26,17				4,90	7,90	-5,17
5,00	7,00	-29,42				5,00	8,00	-5,13
5,10	7,10	-31,87				5,10	8,10	-5,07
5,20	7,20	-33,60				5,20	8,20	-4,98
5,30	7,30	-34,67				5,30	8,30	-4,88
5,40	7,40	-35,16				5,40	8,40	-4,76
5,50	7,50	-35,13				5,50	8,50	-4,63
5,60	7,60	-34,66				5,60	8,60	-4,5
5,70	7,70	-33,81				5,70	8,70	-4,35
5,80	7,80	-32,67				5,80	8,80	-4,2
5,90	7,90	-31,25				5,90	8,90	-4,05
6,00	8,00	-29,58				6,00	9,00	-3,9
6,10	8,10	-27,71				6,10	9,10	-3,75
6,20	8,20	-25,65				6,20	9,20	-3,61
6,30	8,30	-23,43				6,30	9,30	-3,47

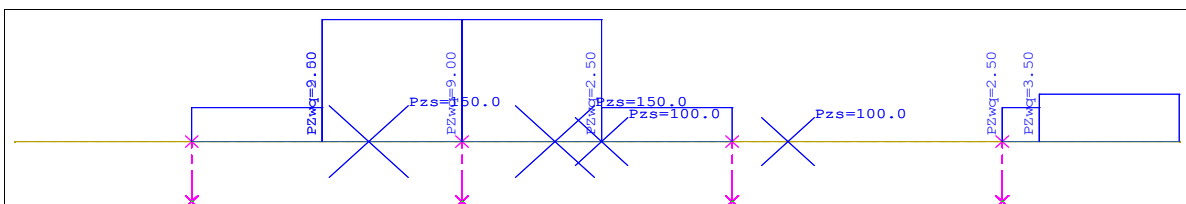
Με βάση τη σειρά επιρροής του κάθε φορτίου στην καμπτική ροπή ενός οποιουδήποτε σημείου ακολουθείται μια μεθοδολογία εύρεσης της δυσμενέστερης φόρτισης στην καμπτική ροπή στήριξης Γ όπου για κάθε θέση του τροχικού φορτίου λωρίδας 1 επιλέγεται η επιτρεπόμενη θέση τροχικού φορτίου λωρίδας 2 που έχει τις δυσμενέστερες επιπτώσεις στην καμπτική ροπή της στήριξης Γ και στη συνέχεια με βάση την τοποθέτηση αυτών των φορτίων επιλέγεται η επιτρεπόμενη θέση του δυσμενέστερου κατανεμημένου φορτίου της λωρίδας 1 για την καμπτική ροπή του ίδιου σημείου.

Η επιρροή που έχει στην καμπτική ροπή η επαλληλία των τριών φορτίσεων υπολογίζεται για κάθε θέση του τροχικού φορτίου λωρίδας 1 επί των φορτιζόμενων επιφανειών και παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα όπου η δυσμενέστερη επιρροή στην καμπτική ροπή του Γ είναι και η δυσμενέστερη φόρτιση συνολικά για τη ροπή στο σημείο Γ.

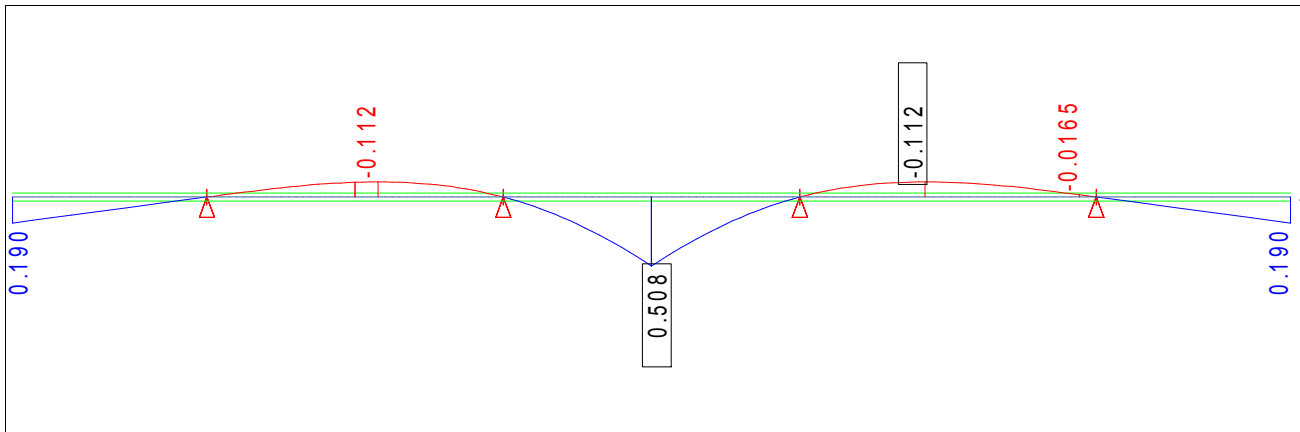
Πίνακας 3. 24: Πίνακας δυσμενέστερων συνδυασμών φόρτισης για την καμπτική ροπή στο Γ για κάθε θέση του T1 στη φορτιζόμενη επιφάνεια της δοκού που έχει δυσμενείς επιρροές στο Γ

T1		Επιτρ. MAX T2			Επιτρ. MAX L1			ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ M_y	
ΘΕΣΗ	M_y	ΘΕΣΗ	M_y	ΘΕΣΗ	M_y				
1,50	3,50	-28,52	4,50	6,50	-32,69	1,50	4,50	-5,96	-67,17
1,60	3,60	-32,63	4,50	6,50	-32,69	1,50	4,50	-5,96	-71,28
1,70	3,70	-36,26	4,50	6,50	-32,69	1,50	4,50	-5,96	-74,91
1,80	3,80	-39,38	4,50	6,50	-32,69	1,50	4,50	-5,96	-78,03
1,90	3,90	-41,95	4,50	6,50	-32,69	1,50	4,50	-5,96	-80,60
2,00	4,00	-43,95	4,50	6,50	-32,69	1,50	4,50	-5,96	-82,60
2,10	4,10	-45,32	4,60	6,60	-27,33	1,60	4,60	-6,03	-78,68
2,20	4,20	-46,01	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-75,76
2,30	4,30	-45,95	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-75,70
2,40	4,40	-45,10	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-74,85
2,50	4,50	-43,38	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-73,13
2,60	4,60	-40,76	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-70,51
2,70	4,70	-37,16	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-66,91
2,80	4,80	-32,54	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-62,29
2,90	4,90	-41,84	5,40	7,40	-23,44	2,40	5,40	-6,31	-71,59
3,00	5,00	-50,07	5,50	7,50	-23,42	2,50	5,50	-6,35	-79,84
3,10	5,10	-57,22	5,60	7,60	-23,11	2,60	5,60	-6,38	-86,71
3,20	5,20	-63,32	5,70	7,70	-22,54	2,70	5,70	-6,40	-92,26
3,30	5,30	-68,35	5,80	7,80	-21,78	2,80	5,80	-6,41	-96,54
3,40	5,40	-72,34	5,90	7,90	-20,83	2,90	5,90	-6,42	-99,59
3,50	5,50	-75,29	6,00	8,00	-19,72	2,90	5,90	-6,42	-101,43
3,60	5,60	-77,20	6,10	8,10	-18,47	2,90	5,90	-6,42	-102,09
3,70	5,70	-78,08	6,20	8,20	-17,10	2,90	5,90	-6,42	-101,60
3,80	5,80	-77,95	6,30	8,30	-15,62	2,90	5,90	-6,42	-99,99
3,90	5,90	-76,80	6,40	8,40	-14,05	2,90	5,90	-6,42	-97,27
4,00	6,00	-74,64	6,50	8,50	-12,42	3,00	6,00	-6,41	-93,47
4,10	6,10	-71,49	6,60	8,60	-10,74	3,10	6,10	-6,39	-88,62
4,20	6,20	-67,34	6,70	8,70	-9,04	3,20	6,20	-6,36	-82,74
4,30	6,30	-62,21	6,80	8,80	-7,32	3,30	6,30	-6,32	-75,85
4,40	6,40	-56,10	6,90	8,90	-5,61	3,40	6,40	-6,26	-67,97
4,50	6,50	-49,03	7,00	9,00	-3,93	3,50	6,50	-6,2	-59,16
4,60	6,60	-40,99	7,10	9,10	-2,30	3,60	6,60	-6,13	-49,42
4,70	6,70	-31,99	7,20	9,20	-0,74	3,70	6,70	-6,05	-67,17

Από τον πίνακα συμπεραίνεται ότι η φόρτιση που αναπαρίσταται στο παρακάτω σχήμα (όπου 3,60 και 5,60 οι θέσεις των τροχών λωρίδας 1, 6,10 και 8,10 οι θέσεις των τροχών λωρίδας 2 και το κατανεμημένο φορτίο εκτείνεται από τη θέση 2,90 μέχρι 5,90), όπου προστίθενται και τα δεδομένα φορτία των υπόλοιπων λωρίδων, είναι η δυσμενέστερη για την καμπτική ροπή στη στήριξη Γ.



Σχήμα 3. 31: Δυσμενέστερη Φόρτιση για τη Στήριξη Γ



Σχήμα 3. 32: Γραμμές επιρροής για μέσο ανοίγματος Δ

Οι καμπυλόμορφες γραμμές επιρροής της καμπτικής ροπής του μέσου Δ του μεσαίου ανοίγματος οδηγούν στην ίδια μέθοδο με την προηγούμενη περίπτωση όπου μετατοπίζονται τα επιμέρους φορτία (φορτία τροχών λωρίδας1, φορτία τροχών λωρίδας2 και κατανεμημένο φορτίο λωρίδας1) με βήμα 0.1m κατά μήκος των φορτιζόμενων επιφανειών που προξενούν δυσμενή καμπτική ροπή στο μέσο Δ του μεσαίου ανοίγματος.

Ο φορέας είναι συμμετρικός (και συνεπώς και οι γραμμές επιρροής) ως προς τη μεσοκάθετο του φορέα που περνάει από το μέσο Δ της διατομής. Αυτό συνεπάγεται πως οι δυο φορτίσεις που είναι συμμετρικές μεταξύ τους στη μεσοκάθετο δημιουργούν την ίδια καμπτική ροπή στο μέσο Δ του ανοίγματος.

Με βάση την παραπάνω συμμετρία τα επιμέρους φορτία χρειάζεται να μετατοπιστούν με βήμα 0,1m από την πιο αριστερά (ή πιο δεξιά) θέση που έχει δυσμενή επιρροή στην καμπτική ροπή του σημείου Δ (3,30m και 5,30m για φορτία τροχών) μέχρι τη θέση όπου τα φορτία των τροχών βρίσκονται στη ίδια απόσταση εκατέρωθεν του Δ και συνεπώς του άξονα συμμετρία(5,25m και 7,25m για φορτία τροχών).

Επισημαίνεται ότι η τοποθέτηση συγκεντρωμένου φορτίου τροχού σε οποιαδήποτε θέση επί των προβόλων δεν έχει δυσμενή αποτελέσματα στην καμπτική ροπή του σημείου Δ, οπότε η δυσμενέστερη φόρτιση για τη ροπή στο Δ δεν έχει συγκεντρωμένα φορτία τροχών (και άρα ούτε κατανεμημένο φορτίο λωρίδας1) τοποθετημένα στους προβόλους .

Εν συνεχεία, παρατίθενται οι πίνακες που εκφράζουν την καμπτική ροπή της στήριξης Γ ανάλογα με τη θέση του κάθε επιμέρους φορτίου.

Πίνακας 3. 25: Καμπτικές Ροπές στη Στήριξη Δ ανάλογα με τη θέση του κάθε επιμέρους φορτίου καταμήκος της δοκού

T1			T2			L1		
ΘΕΣΗ		My	ΘΕΣΗ		My	ΘΕΣΗ		My
3,30	5,30	2,77	5,80	7,80	28,45	2,30	5,30	1,77
3,40	5,40	7,10	5,90	7,90	30,92	2,40	5,40	1,86
3,50	5,50	11,91	6,00	8,00	33,79	2,50	5,50	1,97
3,60	5,60	17,19	6,10	8,10	37,06	2,60	5,60	2,11
3,70	5,70	22,97	6,20	8,20	40,71	2,70	5,70	2,27
3,80	5,80	29,25	6,30	8,30	39,74	2,80	5,80	2,45
3,90	5,90	36,04	6,40	8,40	34,14	2,90	5,90	2,66
4,00	6,00	43,36	6,50	8,50	28,91	3,00	6,00	2,90
4,10	6,10	51,21	6,60	8,60	24,03	3,10	6,10	3,17
4,20	6,20	59,61	6,70	8,70	19,50	3,20	6,20	3,47
4,30	6,30	61,07	6,80	8,80	15,31	3,30	6,30	3,79
4,40	6,40	55,59	6,90	8,90	11,46	3,40	6,40	4,09
4,50	6,50	50,69	7,00	9,00	7,94	3,50	6,50	4,35
4,60	6,60	46,38	7,10	9,10	4,73	3,60	6,60	4,59
4,70	6,70	42,67	7,20	9,20	1,85	3,70	6,70	4,80
4,80	6,80	39,57	7,30	9,30	αρνητική	3,80	6,80	4,99
4,90	6,90	37,09	7,40	9,40	αρνητική	3,90	6,90	5,15
5,00	7,00	35,22	7,50	9,50	αρνητική	4,00	7,00	5,28
5,10	7,10	33,98	7,60	9,60	αρνητική	4,10	7,10	5,39
5,20	7,20	33,36				4,20	7,20	5,49
5,30	7,30	33,36				4,30	7,30	5,56
5,40	7,40	33,98				4,40	7,40	5,61
5,50	7,50	35,22				4,50	7,50	5,65
5,60	7,60	37,09				4,60	7,60	5,67
5,70	7,70	39,57				4,70	7,70	5,68
5,80	7,80	42,67				4,80	7,80	5,68
5,90	7,90	46,38				4,90	7,90	5,67
6,00	8,00	50,69				5,00	8,00	5,65
6,10	8,10	55,59				5,10	8,10	5,61
6,20	8,20	61,07				5,20	8,20	5,56
6,30	8,30	59,61				5,30	8,30	5,49
6,40	8,40	51,21				5,40	8,40	5,39
						5,50	8,50	5,28
						5,60	8,60	5,15
						5,70	8,70	4,99
						5,80	8,80	4,80
						5,90	8,90	4,59
						6,00	9,00	4,35
						6,10	9,10	4,09
						6,20	9,20	3,79
						6,30	9,30	3,47
						6,40	9,40	3,17

Με βάση τους παραπάνω πίνακες και τη σειρά επιρροής του κάθε φορτίου στην καμπτική ροπή ενός οποιουδήποτε σημείου ακολουθείται η ίδια μεθοδολογία εύρεσης της δυσμενέστερης φόρτισης στην καμπτική ροπή στο Δ όπου για κάθε θέση του τροχικού φορτίου λωρίδας 1 επιλέγεται η επιτρεπόμενη θέση τροχικού φορτίου λωρίδας 2 που έχει τις δυσμενέστερες 62επιπτώσεις στην καμπτική ροπή του μέσου Δ του μεσαίου ανοίγματος και στη συνέχεια με

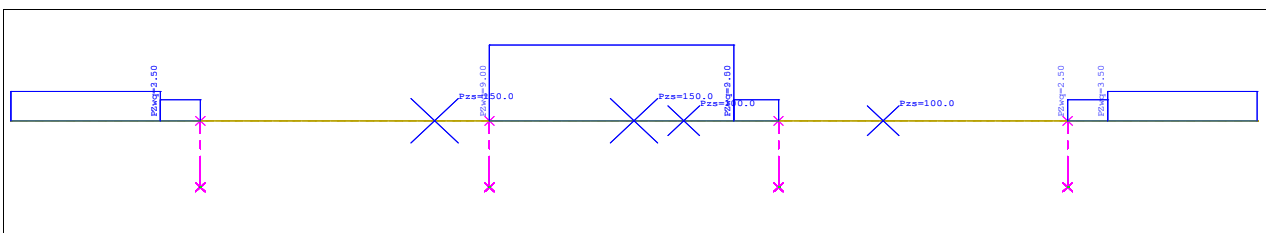
βάση την τοποθέτηση αυτών των φορτίων επιλέγεται η επιτρεπόμενη θέση του δυσμενέστερου κατανομημένου φορτίου της λωρίδας1 για την καμπτική ροπή του ίδιου σημείου.

Η επιρροή που έχει στην καμπτική ροπή η επαλληλία των τριών φορτίσεων υπολογίζεται για κάθε θέση του τροχικού φορτίου λωρίδας1 επί των φορτιζόμενων επιφανειών και παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα όπου η δυσμενέστερη επιρροή στην καμπτική ροπή του Δ είναι και η δυσμενέστερη φόρτιση συνολικά για τη ροπή στο σημείο αυτό.

Πίνακας 3. 26: Πίνακας δυσμενέστερων συνδυασμών φόρτισης για την καμπτική ροπή στο Δ για κάθε θέση του T1 στη φορτιζόμενη επιφάνεια της δοκού που έχει δυσμενείς επιρροές στο Δ

T1		Επιτρ.ΜΑΧΤ2		Επιτρ.ΜΑΧL1		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ My			
ΘΕΣΗ	My	ΘΕΣΗ	My	ΘΕΣΗ	My				
3,30	5,30	2,77	6,20	8,20	40,71	3,2	6,2	3,47	46,95
3,40	5,40	7,10	6,20	8,20	40,71	3,2	6,2	3,47	51,28
3,50	5,50	11,91	6,20	8,20	40,71	3,2	6,2	3,47	56,09
3,60	5,60	17,19	6,20	8,20	40,71	3,2	6,2	3,47	61,37
3,70	5,70	22,97	6,20	8,20	40,71	3,2	6,2	3,47	67,15
3,80	5,80	29,25	6,30	8,30	39,74	3,3	6,3	3,79	72,78
3,90	5,90	36,04	6,40	8,40	34,14	3,4	6,4	4,09	74,27
4,00	6,00	43,36	6,50	8,50	28,91	3,5	6,5	4,35	76,62
4,10	6,10	51,21	6,60	8,60	24,03	3,6	6,6	4,59	79,83
4,20	6,20	59,61	6,70	8,70	19,50	3,7	6,7	4,80	83,91
4,25	6,25	62,54	6,75	8,75	17,44	3,75	6,75	4,88	84,86
4,30	6,30	61,07	6,80	8,80	15,31	3,8	6,8	4,99	81,37
4,40	6,40	55,59	6,90	8,90	11,46	3,9	6,9	5,15	72,20
4,50	6,50	50,69	7,00	9,00	7,94	4	7	5,28	63,91
4,60	6,60	46,38	7,10	9,10	4,73	4,1	7,1	5,39	56,50
4,70	6,70	42,67	7,20	9,20	1,85	4,2	7,2	5,49	50,01
4,80	6,80	39,57	-	-	-	4,7	7,7	5,68	45,25
4,90	6,90	37,09	-	-	-	4,7	7,7	5,68	42,77
5,00	7,00	35,22	-	-	-	4,7	7,7	5,68	40,90
5,10	7,10	33,98	-	-	-	4,7	7,7	5,68	39,66
5,20	7,20	33,36	-	-	-	4,7	7,7	5,68	39,04
5,30	7,30	33,36	-	-	-	4,7	7,7	5,68	39,04

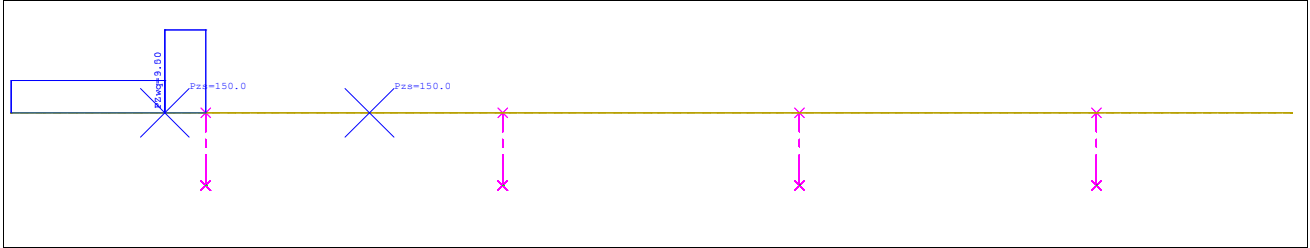
Από τον πίνακα συμπεραίνεται ότι η φόρτιση που αναπαρίσταται στο παρακάτω σχήμα (όπου 4,25 και 6,25 οι θέσεις των τροχών λωρίδας1, 6,75 και 8,75 οι θέσεις των τροχών λωρίδας 2 και το κατανομημένο φορτίο εκτείνεται από τη θέση 3,75 μέχρι 6,75), όπου προστίθενται και τα δεδομένα φορτία των υπόλοιπων λωρίδων, είναι η δυσμενέστερη για την καμπτική ροπή στο μέσο Δ του μεσαίου ανοίγματος.



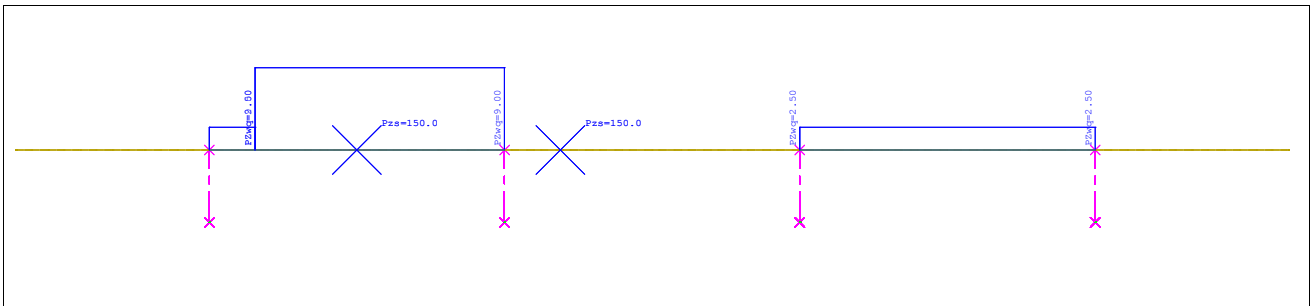
Σχήμα 3. 33: Δυσμενέστερη Φόρτιση για το μέσο ανοίγματος Δ

Επιλογή δυσμενέστερων φορτίσεων

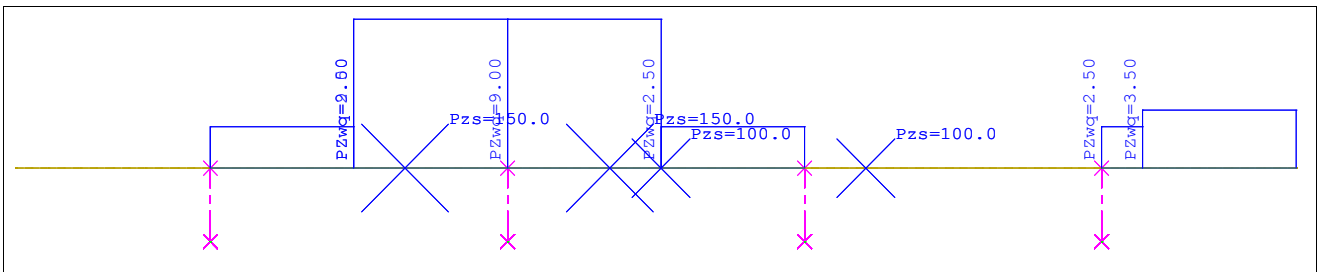
Στην περίπτωση της στήριξης Α ως δυσμενέστερη φόρτιση επιλέγεται η δοκιμή φόρτισης 1 και στην περίπτωση του μέσου του ανοίγματος η δοκιμή φόρτισης 4.



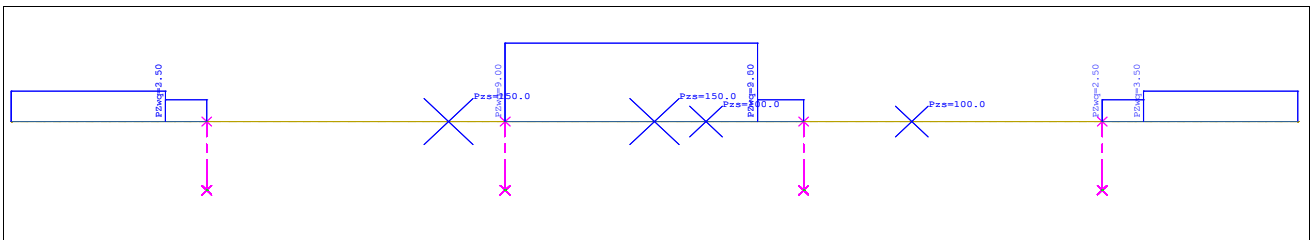
Σχήμα 3. 34: Δυσμενέστερη φόρτιση για την εξωτερική στήριξη Α



Σχήμα 3. 35: Δυσμενέστερη φόρτιση για το μέσο Β του εξωτερικού ανοίγματος



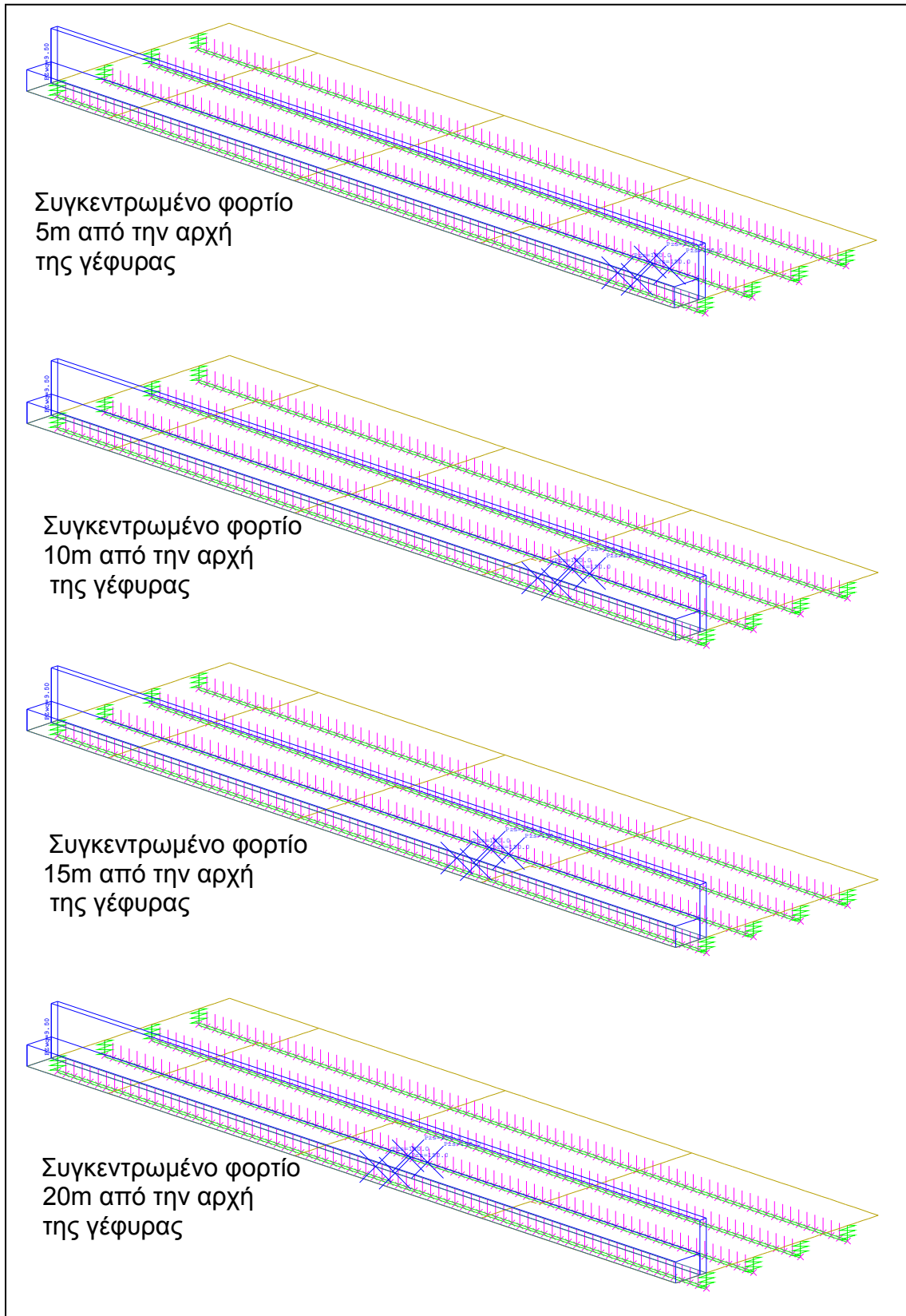
Σχήμα 3. 36: Δυσμενέστερη φόρτιση για την εσωτερική στήριξη Γ



Σχήμα 3. 37: Δυσμενέστερη φόρτιση για το μέσο Δ του μεσαίου ανοίγματος

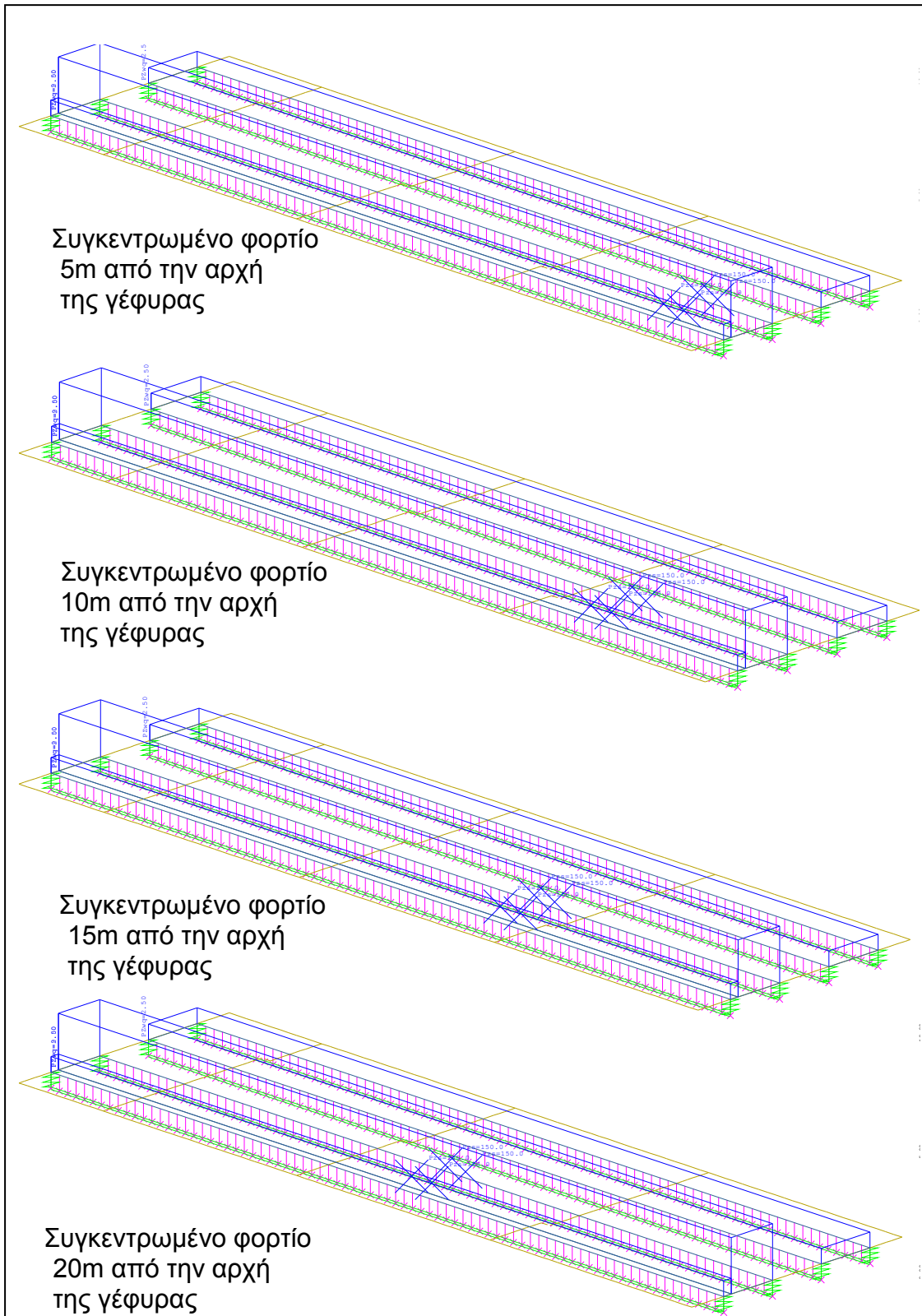
Φορτίσεις στο χωρικό προσομοίωμα

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στην εξωτερική στήριξη Α για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



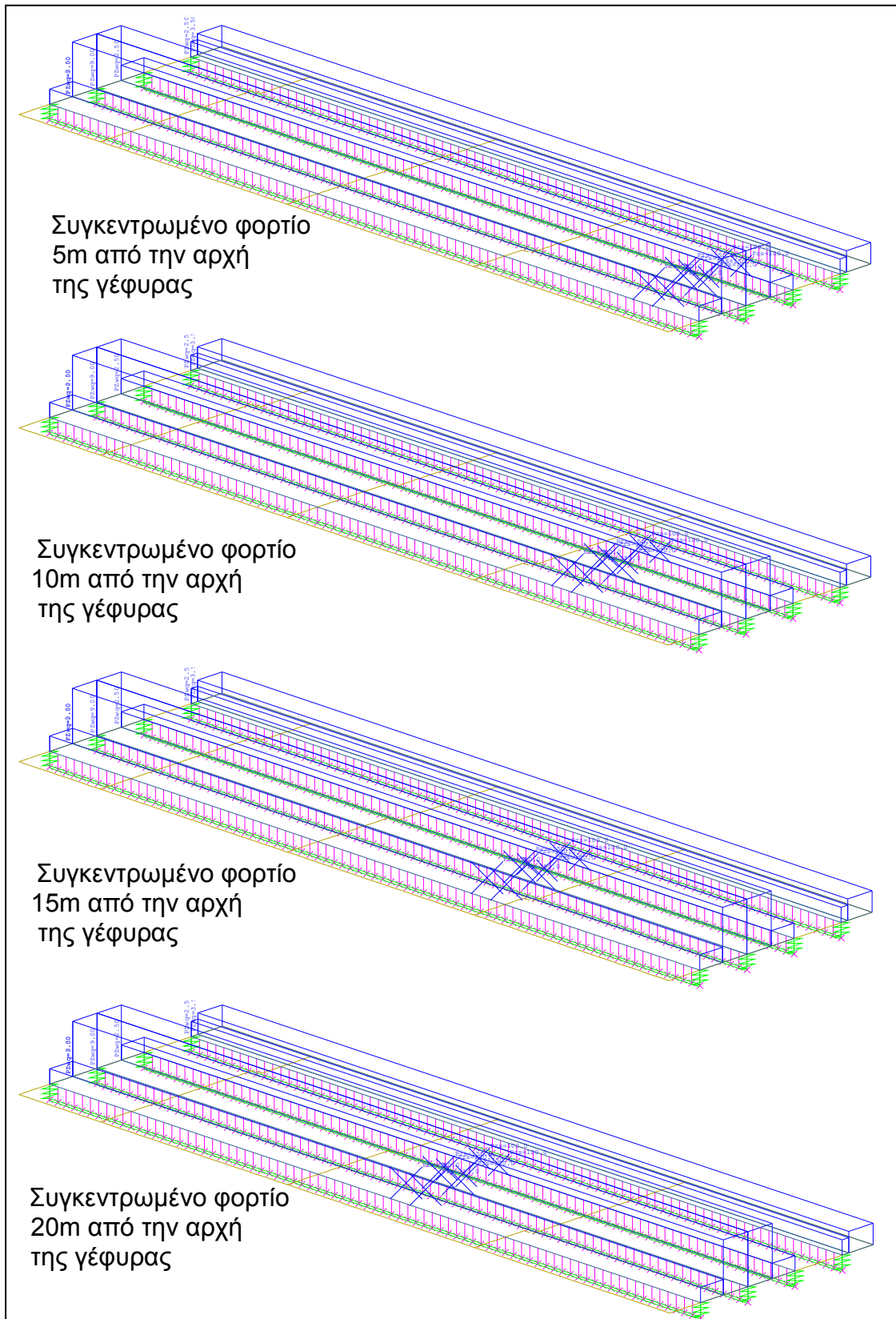
Σχήμα 3.38: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Στήριξης Α για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στο μέσο Β του εξωτερικού ανοίγματος για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



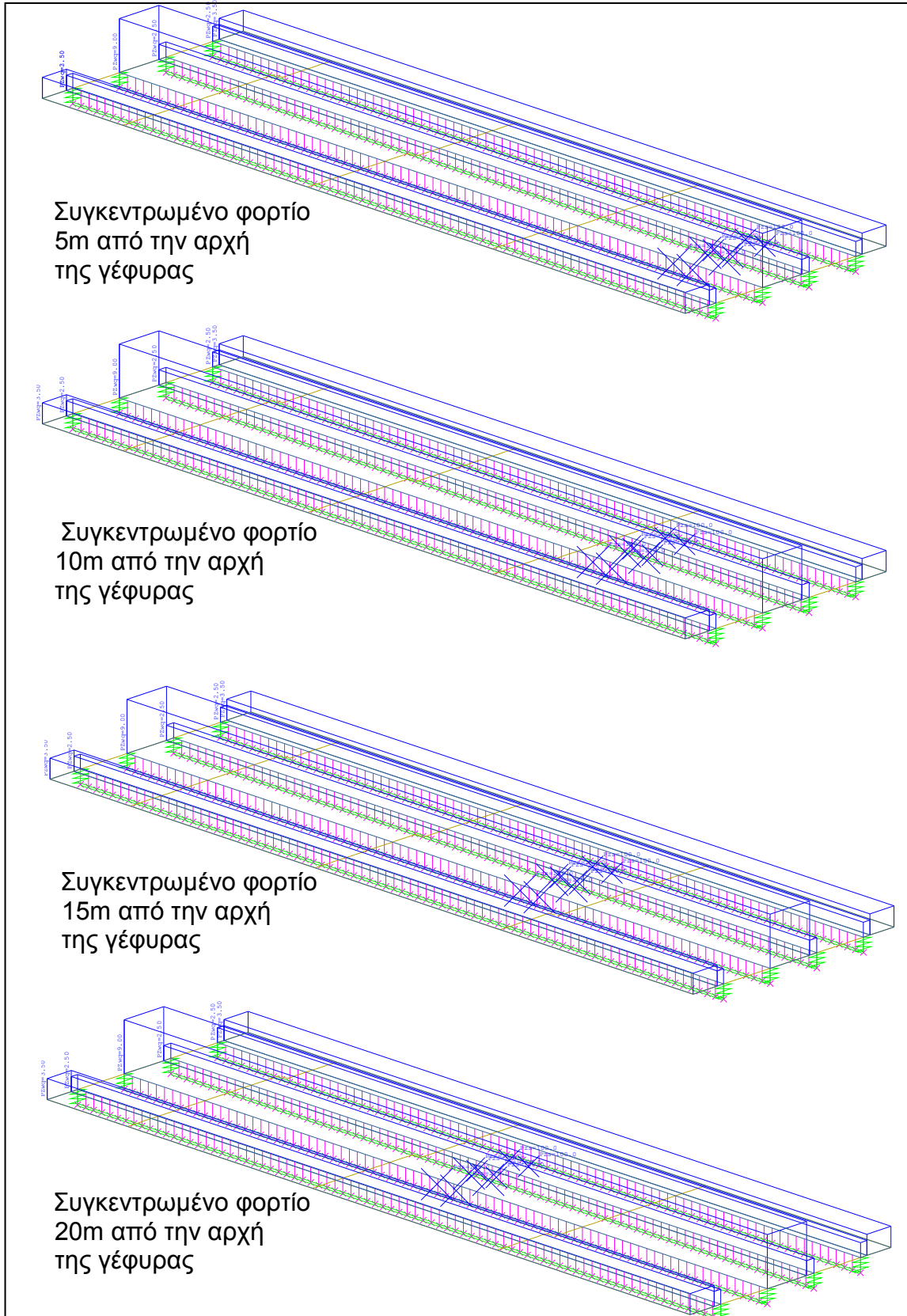
Σχήμα 3.39: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Ανοίγματος Β για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στην εσωτερική στήριξη Γ για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα.



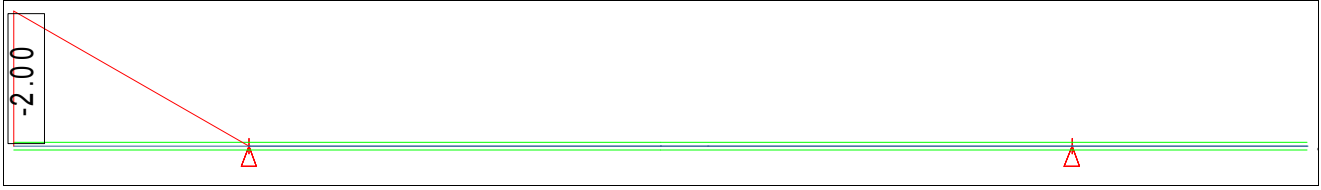
Σχήμα 3.40: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Στήριξης Γ για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στο μέσο Δ του μεσαίου ανοίγματος για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



Σχήμα 3.41: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Ανοίγματος Δ για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

3.4.4 Δυσμενέστερη Φόρτιση Ανωδομής 4



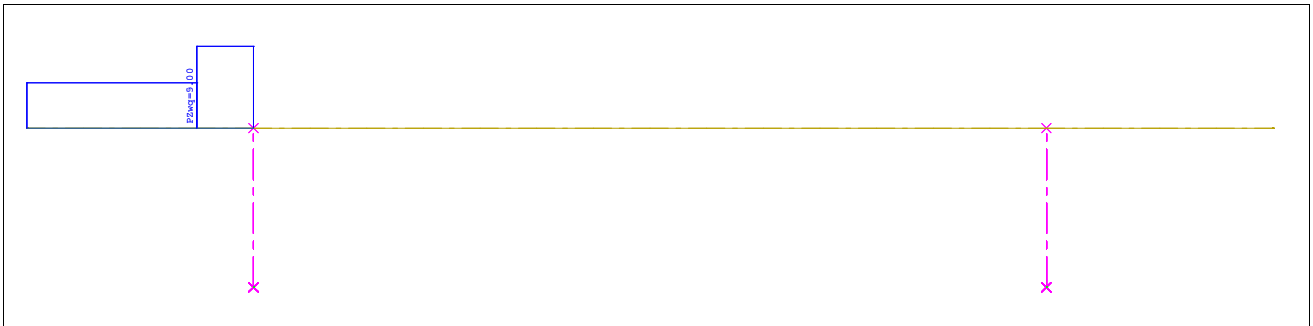
Σχήμα 3.42: Γραμμές επιρροής Στήριξης Α



Σχήμα 3.43: Δοκιμή Φόρτισης 1 για Στήριξη Α

Πίνακας 3. 27: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 1 και τιμή καμπτικής ροπής στη Στήριξη Α

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη Α
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
1.50	3.50	-	-	1.50	2.00	3.5	-82.69

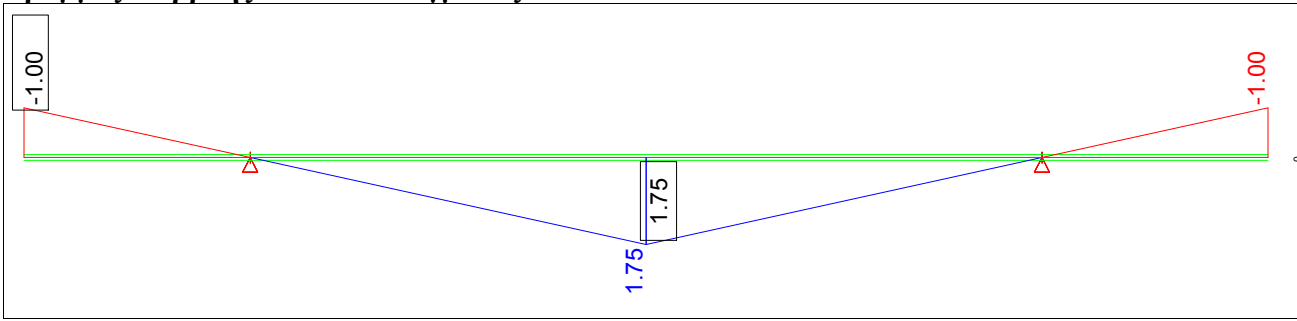


Σχήμα 3.44: Δοκιμή Φόρτισης 2 για Στήριξη Α

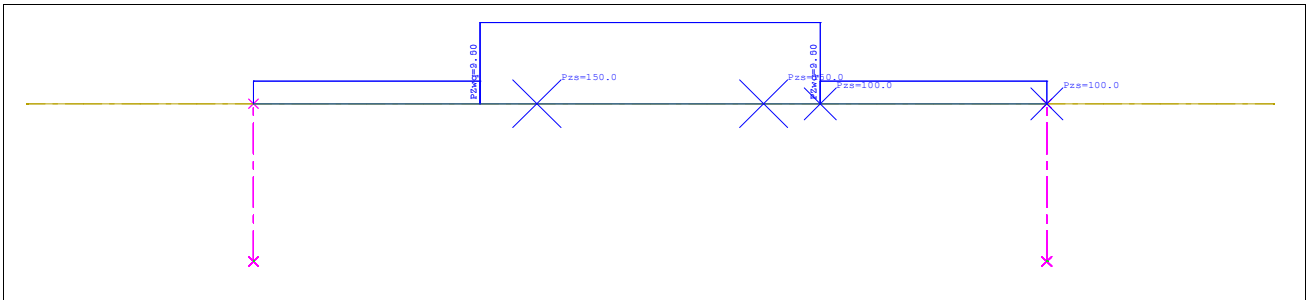
Πίνακας 3. 28: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 2 και τιμή καμπτικής ροπής στη Στήριξη Α

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στη Στήριξη Α
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
-	-	-	-	1.50	2.00	5.0	-11.625

Γραμμές επιρροής Μέσου Ανοίγματος Β



Σχήμα 3.45: Γραμμές επιρροής μέσου Ανοίγματος Β

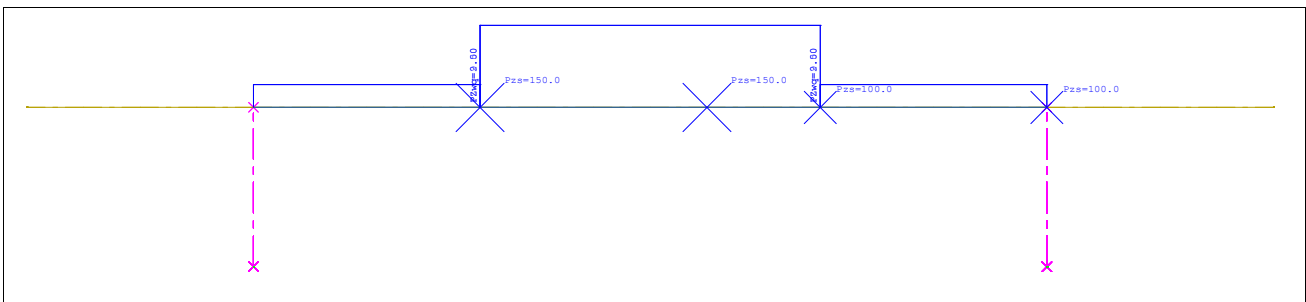


Σχήμα 3.46: Δοκιμή Φόρτισης 1 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 29: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 1 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.50	6.50	7.00	9.00	4.00	7.00	-	517.12

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.00m με 9.00m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m

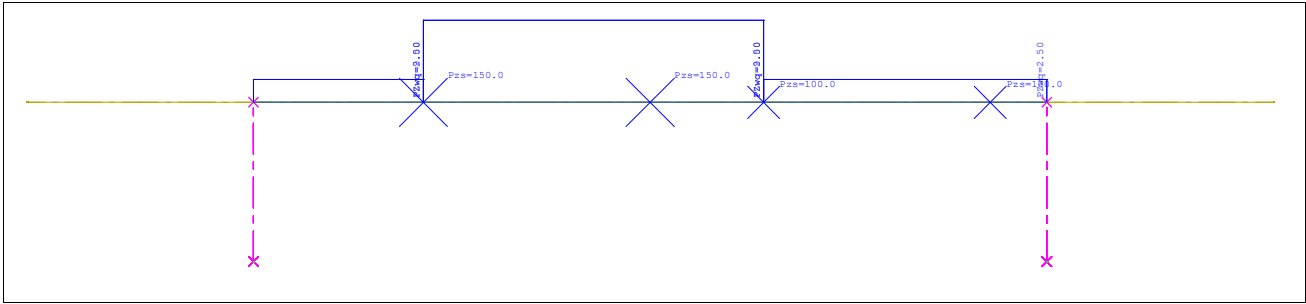


Σχήμα 3.47: Δοκιμή Φόρτισης 2 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 30: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 2 και τιμή καμπτικής ροπής στο Άνοιγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
4.00	6.00	7.00	9.00	4.00	7.00	-	517.12

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.00m με 9.00m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m

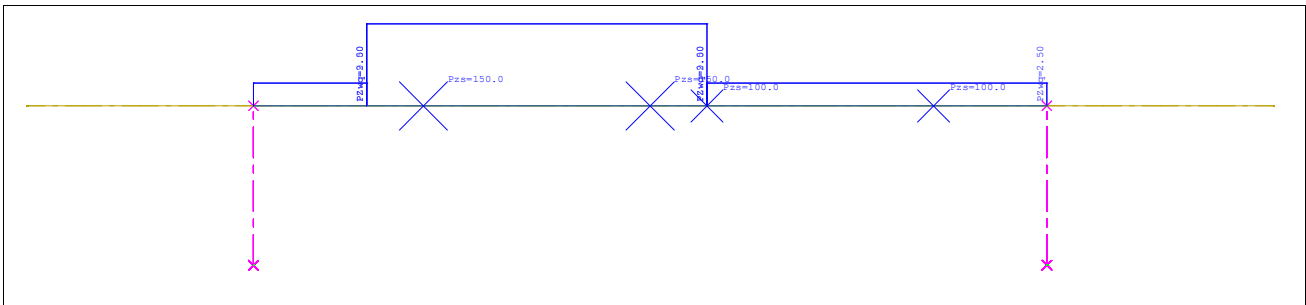


Σχήμα 3.48: Δοκιμή Φόρτισης 3 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 31: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 3 και τιμή καμπτικής ροπής στο Ανοίγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
3.50	5.50	6.50	8.50	3.50	6.50	-	566.31

* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.00m με 9.00m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m



Σχήμα 3.49: Δοκιμή Φόρτισης 4 για μέσο Ανοίγματος Β

Πίνακας 3. 32: Θέσεις φορτίων Δοκιμής Φόρτισης 4 και τιμή καμπτικής ροπής στο Ανοίγμα Β

Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 1 (kN)		Τροχικό Φορτίο Λωρίδας 2 (kN)		Κατανεμημένο Φορτίο Λωρίδας 1 (kN/m)		Φορτίο πεζοδρομίου 1.5m πλάτους στα άκρα της διατομής (kN/m)	Καμπτική Ροπή στο Μέσο Ανοίγματος Β
1 ^ο	2 ^ο	1 ^ο	2 ^ο	από	μέχρι		
3.50	5.50	6.00	8.00	3.00	6.00	-	613.88

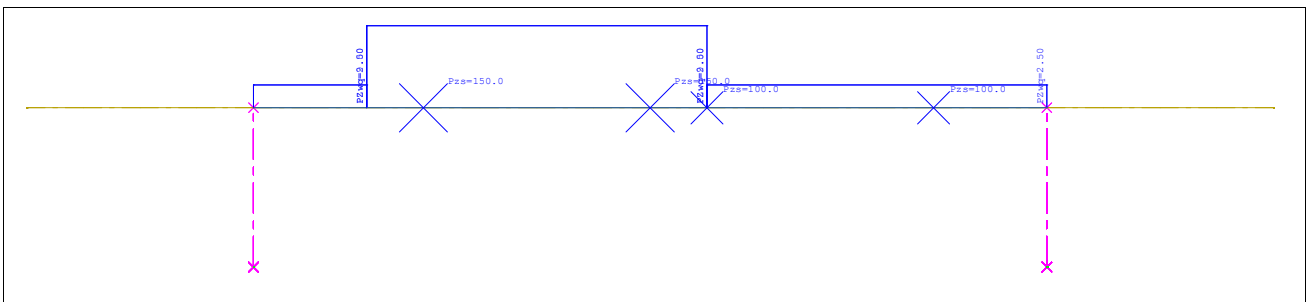
* Στις υπόλοιπες περιοχές φόρτισης (2.00m με 9.00m) το φορτίο είναι κατανεμημένο και ίσο με 2.50kN/m

Επιλογή δυσμενέστερων φορτίσεων

Στην περίπτωση της στήριξης A ως δυσμενέστερη φόρτιση επιλέγεται η δοκιμή φόρτισης 1 και στην περίπτωση του μέσου του ανοίγματος η δοκιμή φόρτισης 4.



Σχήμα 3.50: Δυσμενέστερη φόρτιση για τη στήριξη

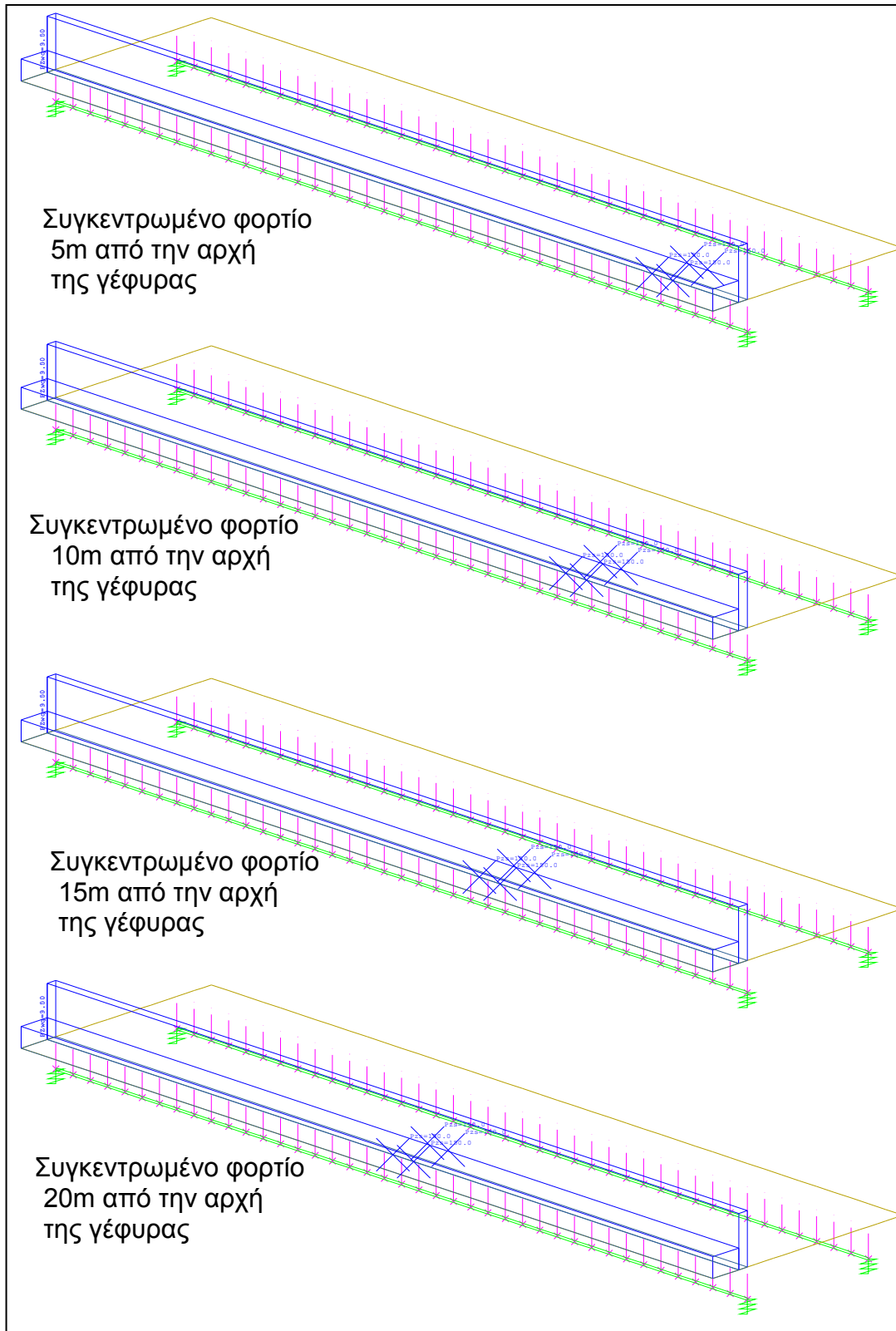


Σχήμα 3.51: Δυσμενέστερη φόρτιση για το μέσο του ανοίγματος

Φορτίσεις στο χωρικό προσομοίωμα

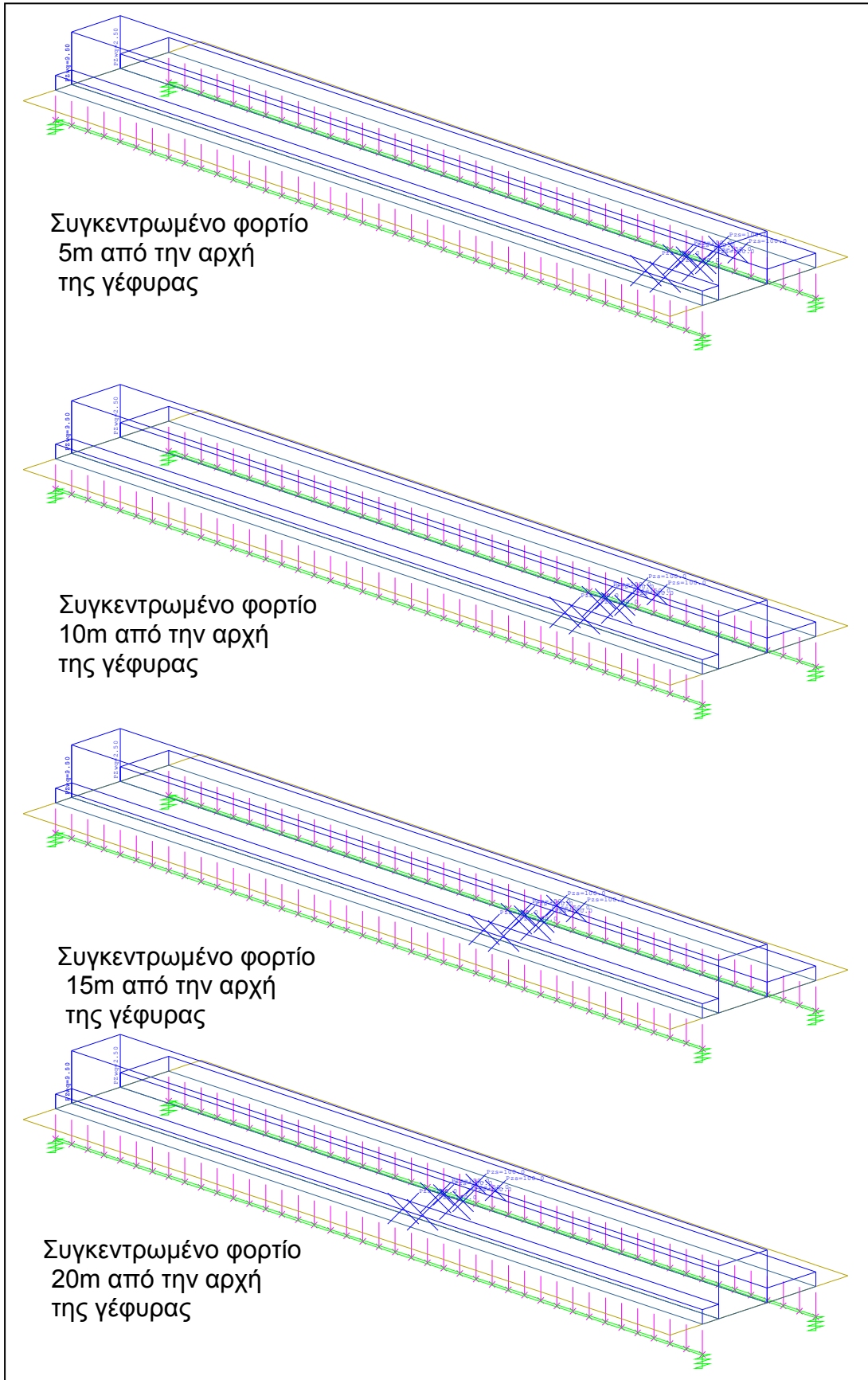
Τα κατανεμημένα φορτία δρουν σε όλη την επιφάνεια της λωρίδας και τα τέσσερα (4) φορτία των τροχών κινούνται κατά τον διαμήκη άξονα. Επιλέγονται οι παρακάτω θέσεις όπου δρουν τα συγκεντρωμένα φορτία: 5m, 10m, 15m, 20m από την αρχή της γέφυρας

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στη στήριξη για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



Σχήμα 3.52: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης Στήριξης Α για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ροπής στο άνοιγμα για την εκάστοτε θέση στο διαμήκη άξονα



Σχήμα 3.53: Μεταφορά Δυσμενέστερης Φόρτισης μέσω Ανοίγματος Β για δοκό στο χωρικό προσομοίωμα με μεταβαλλόμενη θέση φορτίου τροχών κατά μήκος του διαμήκη άξονα

3.5 Συνδυασμοί δράσεων

Τόσο για τους ελέγχους σε οριακή κατάσταση αστοχίας όσο και για τους ελέγχους σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας εφαρμόζεται ο συνδυασμός σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 1

$$\gamma_G G + \gamma_Q Q$$

Για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας οι συντελεστές λαμβάνονται ίσοι με μονάδα ενώ για την οριακή κατάσταση αστοχίας ίσοι με 1.35.

Προκειμένου να διερευνηθεί αποκλειστικά η επίδραση των κινητών φορτίων

Εξετάζονται οι ακόλουθοι συνδυασμοί δράσεων :

α.. $0.00G + 1.00Q$

β. $1.35G + 1.35 Q$ όπου G τα μόνιμα και Q τα κινητά φορτία

4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται αρχικά σε πίνακες τα αποτελέσματα των φορτίσεων που προέκυψαν στο κεφάλαιο 3 για τις καμπτικές ροπές σε επιλεγμένες θέσεις επί του χωρικού προσομοιώματος και επί του προσομοιώματος της δοκού. Έπειτα γίνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και υπολογίζονται ανά θέση οι συντελεστές προσομοιώματος δοκού οι οποίοι παρουσιάζονται σε ξεχωριστά διάγραμμα για όλες τις ανωδομές και τους συνδυασμούς φορτίσεως. Τέλος παρουσιάζεται η ερμηνεία και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των δυο αναλύσεων.

4.2 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Πίνακας 4. 1: Ροπές δοκού και χωρικού προσομοιώματος για Διατομή 1

ΔΙΑΤΟΜΗ 1: ΣΥΝΕΧΗΣ ΕΝΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (2.5 - 7.5 - 2.5m)						
ΣΗΜΕΙΑ	Φόρτιση	Προσομοίωμα δοκού	Χωρικό 5m	Χωρικό 10m	Χωρικό 15m	Χωρικό 20m
ΣΤΗΡΙΞΗ Α	0.00g+1.00q	-163.69	-73.62	-57.79	-52.62	-51.39
	1.35g+1.35q	-276.58	-151.99	-126.65	-118.69	-116.78
ΑΝΟΙΓΜΑ Β	0.00g+1.00q	681.08	215.08	204.03	203.19	203.18
	1.35g+1.35q	961.15	327.7	316.77	317.61	318.07

Πίνακας 4. 2: Ροπές δοκού και χωρικού προσομοιώματος για Διατομή 2

ΔΙΑΤΟΜΗ 2: ΣΥΝΕΧΗΣ ΕΝΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (3.0 - 6.5 - 3.0m)						
ΣΗΜΕΙΑ	Φόρτιση	Προσομοίωμα δοκού	Χωρικό 5m	Χωρικό 10m	Χωρικό 15m	Χωρικό 20m
ΣΤΗΡΙΞΗ Α	0.00g+1.00q	-246.94	-92.71	-65.31	-57.36	-55.63
	1.35g+1.35q	-411.15	-202.1	-158.23	-145.49	-142.67
ΑΝΟΙΓΜΑ Β	0.00g+1.00q	546.83	185.41	179.24	179.27	179.42
	1.35g+1.35q	733.51	239.29	238.76	241.98	242.94

Πίνακας 4. 3: Ροπές δοκού και χωρικού προσομοιώματος για Διατομή 3

ΔΙΑΤΟΜΗ 3: ΣΥΝΕΧΗΣ ΤΡΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ (1.9 - 2.9 - 2.9 - 2.9 - 1.9m)						
ΣΗΜΕΙΑ	Φόρτιση	Προσομοίωμα δοκού	Χωρικό 5m	Χωρικό 10m	Χωρικό 15m	Χωρικό 20m
ΣΤΗΡΙΞΗ Α	0.00g+1.00q	-66.76	-36.95	-29.38	-26.26	-25.38
	1.35g+1.35q	-123.67	-83.31	-70.99	-65.32	-64.63
ΑΝΟΙΓΜΑ Β	0.00g+1.00q	80.39	85.87	88.05	89.88	90.34
	1.35g+1.35q	103.83	85.98	93.13	97.14	98.15
ΣΤΗΡΙΞΗ Γ	0.00g+1.00q	-101.81	18.27	12.37	12.46	12.48
	1.35g+1.35q	-142.38	18.53	15.39	17.51	18.07
ΑΝΟΙΓΜΑ Δ	0.00g+1.00q	87.53	123.09	113.86	112.86	112.72
	1.35g+1.35q	127.79	126.41	119.62	120.56	120.95

Πίνακας 4. 4: Ροπές δοκού και χωρικού προσομοιώματος για Διατομή 4

ΔΙΑΤΟΜΗ 4: ΣΥΝΕΧΗΣ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΕΝΗ ΕΝΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (2.0 - 7.0 - 2.0m)						
ΣΗΜΕΙΑ	Φόρτιση	Προσομοίωμα δοκού	Χωρικό 5m	Χωρικό 10m	Χωρικό 15m	Χωρικό 20m
ΣΤΗΡΙΞΗ Α	0.00g+1.00q	-82.69	-59.95	-55.44	-48.15	-45.07
	1.35g+1.35q	-150.20	-111.02	-112.92	-107.87	-105.32
ΑΝΟΙΓΜΑ Β	0.00g+1.00q	613.88	148.85	149.35	149.85	149.94
	1.35g+1.35q	876.75	243.69	246.48	247.86	248.32

Για την εύρεση των συντελεστών προσομοιώματος δοκού σε κάθε περίπτωση γέφυρας διαιρείται η ροπή του γραμμικού μοντέλου με την ροπή του χωρικού για τον ίδιο συνδυασμό φόρτισης σε όλα τα σημεία που έχουμε επιλέξει κατά μήκος της γέφυρας (5m, 10m, 15m, 20m από την αρχή της γέφυρας).

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι ροπές των δύο αναλύσεων και οι συντελεστές προσομοιώματος δοκού για κάθε δεδομένο συνδυασμό φόρτισης.

Πίνακας 4. 5: Πίνακας επεξεργασίας των αποτελεσμάτων για την εύρεση των συντελεστών προσομοιωματος δοκού στην ανωδομή 1

ΣΥΝΕΧΗΣ ΕΝΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (2.5m-7.5m-2.5m)						
	ΣΤΗΡΙΞΗ Α			ΑΝΟΙΓΜΑ Β		
ΣΗΜΕΙΑ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
Φόρτιση 0.00g+1.00g						
5	-163.69	-73.62	2.22	681.08	215.08	3.17
10	-163.69	-57.79	2.83	681.08	204.03	3.34
15	-163.69	-52.62	3.11	681.08	203.19	3.35
20	-163.69	-51.39	3.19	681.08	203.18	3.35
25	-163.69	-52.62	3.11	681.08	203.19	3.35
30	-163.69	-57.79	2.83	681.08	204.03	3.34
35	-163.69	-73.62	2.22	681.08	215.08	3.17
Φόρτιση 1.35g+1.35g						
5	-276.58	-151.99	1.82	961.15	327.7	2.93
10	-276.58	-126.65	2.18	961.15	316.77	3.03
15	-276.58	-118.69	2.33	961.15	317.61	3.03
20	-276.58	-116.78	2.37	961.15	318.07	3.02
25	-276.58	-118.69	2.33	961.15	317.61	3.03
30	-276.58	-126.65	2.18	961.15	316.77	3.03
35	-276.58	-151.99	1.82	961.15	327.7	2.93

Πίνακας 4. 6: Πίνακας επεξεργασίας των αποτελεσμάτων για την εύρεση των συντελεστών προσομοιωματος δοκού στην ανωδομή 2

ΣΥΝΕΧΗΣ ΕΝΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (3m-6.5m-3m)						
	ΣΤΗΡΙΞΗ Α			ΑΝΟΙΓΜΑ Β		
ΣΗΜΕΙΑ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
Φόρτιση 0.00g+1.00g						
5	-246.94	-92.71	2.66	546.83	185.41	2.95
10	-246.94	-65.31	3.78	546.83	179.24	3.05
15	-246.94	-57.36	4.31	546.83	179.27	3.05
20	-246.94	-55.63	4.44	546.83	179.42	3.05
25	-246.94	-57.36	4.31	546.83	179.27	3.05
30	-246.94	-65.31	3.78	546.83	179.24	3.05
35	-246.94	-92.71	2.66	546.83	185.41	2.95
Φόρτιση 1.35g+1.35g						
5	-411.15	-202.1	2.03	733.51	239.29	3.07
10	-411.15	-158.23	2.60	733.51	238.76	3.07
15	-411.15	-145.49	2.82	733.51	241.98	3.03
20	-411.15	-142.67	2.88	733.51	242.94	3.02
25	-411.15	-145.49	2.82	733.51	241.98	3.03
30	-411.15	-158.23	2.60	733.51	238.76	3.07
35	-411.15	-202.1	2.03	733.51	239.29	3.07

Πίνακας 4. 7: Πίνακας επεξεργασίας των αποτελεσμάτων για την εύρεση των συντελεστών προσομοιωματος δοκού στην ανωδομή 3

ΣΥΝΕΧΗΣ ΤΡΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ (1.9m-2.9m-2.9m-2.9m-1.9m)						
ΣΤΗΡΙΞΗ Α			ΑΝΟΙΓΜΑ Β			
ΣΗΜΕΙΑ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
Φόρτιση 0.00g+1.00g						
5	-66,76	-36,95	1,81	80,39	85,87	0,94
10	-66,76	-29,38	2,27	80,39	88,05	0,91
15	-66,76	-26,26	2,54	80,39	89,88	0,89
20	-66,76	-25,38	2,63	80,39	90,34	0,89
25	-66,76	-26,26	2,54	80,39	89,88	0,89
30	-66,76	-29,38	2,27	80,39	88,05	0,91
35	-66,76	-36,95	1,81	80,39	85,87	0,94
Φόρτιση 1.35g+1.35g						
5	-123,67	-83,31	1,48	103,83	85,98	1,21
10	-123,67	-70,99	1,74	103,83	93,13	1,11
15	-123,67	-65,32	1,89	103,83	97,14	1,07
20	-123,67	-64,63	1,91	103,83	98,15	1,06
25	-123,67	-65,32	1,89	103,83	97,14	1,07
30	-123,67	-70,99	1,74	103,83	93,13	1,11
35	-123,67	-83,31	1,48	103,83	85,98	1,21
ΣΤΗΡΙΞΗ Γ			ΑΝΟΙΓΜΑ Δ			
ΣΗΜΕΙΑ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
Φόρτιση 0.00g+1.00g						
5	-101,81	18,27	-5,57	87,53	123,09	0,71
10	-101,81	12,37	-8,23	87,53	113,86	0,77
15	-101,81	12,46	-8,17	87,53	112,86	0,78
20	-101,81	12,48	-8,16	87,53	112,72	0,78
25	-101,81	12,46	-8,17	87,53	112,86	0,78
30	-101,81	12,37	-8,23	87,53	113,86	0,77
35	-101,81	18,27	-5,57	87,53	123,09	0,71
Φόρτιση 1.35g+1.35g						
5	-142,38	18,53	-7,69	127,79	126,41	1,01
10	-142,38	15,39	-9,25	127,79	119,62	1,07
15	-142,38	17,51	-8,13	127,79	120,56	1,06
20	-142,38	18,07	-7,88	127,79	120,95	1,06
25	-142,38	17,51	-8,13	127,79	120,56	1,06
30	-142,38	15,39	-9,25	127,79	119,62	1,07
35	-142,38	18,53	-7,69	127,79	126,41	1,01

Πίνακας 4. 8: Πίνακας επεξεργασίας των αποτελεσμάτων για την εύρεση των συντελεστών προσομοιωματος δοκού στην ανωδομή 4

ΚΙΒΩΤΙΟΕΙΔΗΣ ΕΝΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (2m-7m-2m)						
ΣΤΗΡΙΞΗ Α			ΑΝΟΙΓΜΑ Β			
ΣΗΜΕΙΑ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	ΔΟΚΟΣ	ΧΩΡΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
Φόρτιση 0.00g+1.00q						
5	-82.69	-59.95	1.38	613.88	148.85	4.12
10	-82.69	-55.44	1.49	613.88	149.35	4.11
15	-82.69	-48.15	1.72	613.88	149.85	4.10
20	-82.69	-45.07	1.84	613.88	149.94	4.09
25	-82.69	-48.15	1.72	613.88	149.85	4.10
30	-82.69	-55.44	1.49	613.88	149.35	4.11
35	-82.69	-59.95	1.38	613.88	148.85	4.12
Φόρτιση 1.35g+1.35q						
5	-150.2	-111.02	1.35	876.75	243.69	3.60
10	-150.2	-112.92	1.33	876.75	246.48	3.56
15	-150.2	-107.87	1.39	876.75	247.86	3.54
20	-150.2	-105.32	1.43	876.75	248.32	3.53
25	-150.2	-107.87	1.39	876.75	247.86	3.54
30	-150.2	-112.92	1.33	876.75	246.48	3.56
35	-150.2	-111.02	1.35	876.75	243.69	3.60

Στην συνέχεια απεικονίζονται οι πίνακες με τους συντελεστές προσομοιώματος δοκού για κάθε ανωδομή και συνδυασμό φόρτισης και ακολουθούν τα διαγράμματα των συντελεστών με βάση την θέση και το είδος της φόρτισης.

Πίνακας 4. 9: ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ για συνδυασμό φόρτισης 0.00g+1.00g

	Ανωδομή 1 Μήκος προβόλου=2.5m	Ανωδομή 2 Μήκος προβόλου=3.0m	Ανωδομή 3 Μήκος προβόλου=1.9m	Ανωδομή 3 Εσωτερική στήριξη	Ανωδομή 4 Κιβώτιο Μήκος προβόλου=2.0m
5	2.22	2.66	1,81	-5.57	1.38
10	2.83	3.78	2,27	-8.23	1.49
15	3.11	4.31	2,54	-8.17	1.72
20	3.19	4.44	2,63	-8.16	1.84
25	3.11	4.31	2,54	-8.17	1.72
30	2.83	3.78	2,27	-8.23	1.49
35	2.22	2.66	1,81	-5.57	1.38

Πίνακας 4. 10: ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ για συνδυασμό φόρτισης 0.00g+1.00g

	Ανωδομή 1 Μήκος ανοίγματος=7.5 m	Ανωδομή 2 Μήκος ανοίγματος=6.5m	Ανωδομή 3 Εξωτερικό άνοιγμα μήκους 2.9m	Ανωδομή 3 Εσωτερικό άνοιγμα μήκους 2.9m	Ανωδομή 4 Κιβώτιο Μήκος ανοίγματος=7.0m
5	3.17	2.95	0,94	0,71	4.12
10	3.34	3.05	0,91	0,77	4.11
15	3.35	3.05	0,89	0,78	4.10
20	3.35	3.05	0,89	0,78	4.09
25	3.35	3.05	0,89	0,78	4.10
30	3.34	3.05	0,91	0,77	4.11
35	3.17	2.95	0,94	0,71	4.12

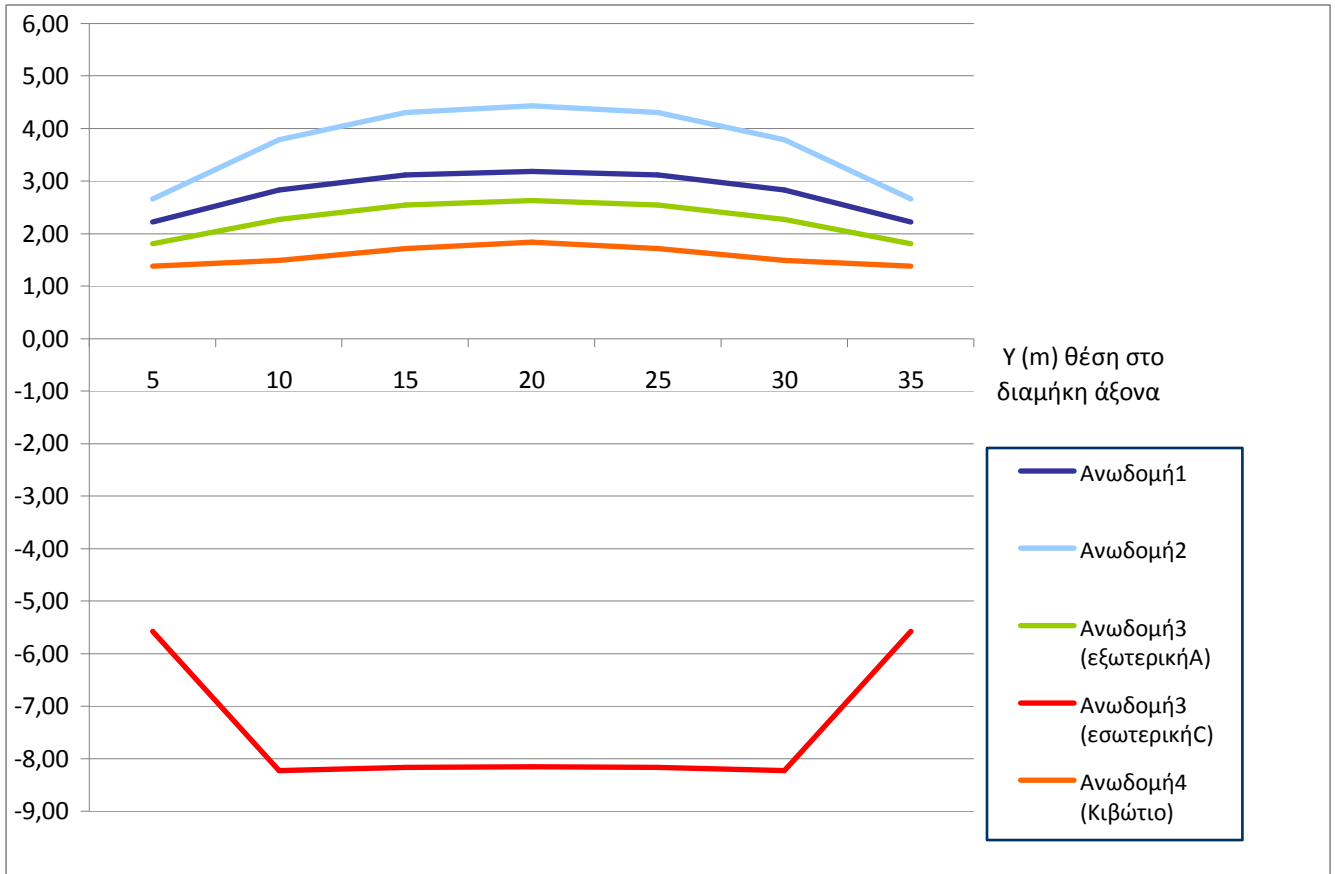
Πίνακας 4. 11: ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ για συνδυασμό φόρτισης 1.35g+1.35g

	Ανωδομή 1 Μήκος προβόλου=2.5m	Ανωδομή 2 Μήκος προβόλου=3.0m	Ανωδομή 3 Μήκος προβόλου=1.9m	Ανωδομή 3 Εσωτερική στήριξη	Ανωδομή 4 Κιβώτιο Μήκος προβόλου=2.0m
5	1.82	2.03	1,48	-7,69	1.35
10	2.18	2.60	1,74	-9,25	1.33
15	2.33	2.82	1,89	-8,13	1.39
20	2.37	2.88	1,91	-7,88	1.43
25	2.33	2.82	1,89	-8,13	1.39
30	2.18	2.60	1,74	-9,25	1.33
35	1.82	2.03	1,48	-7,69	1.35

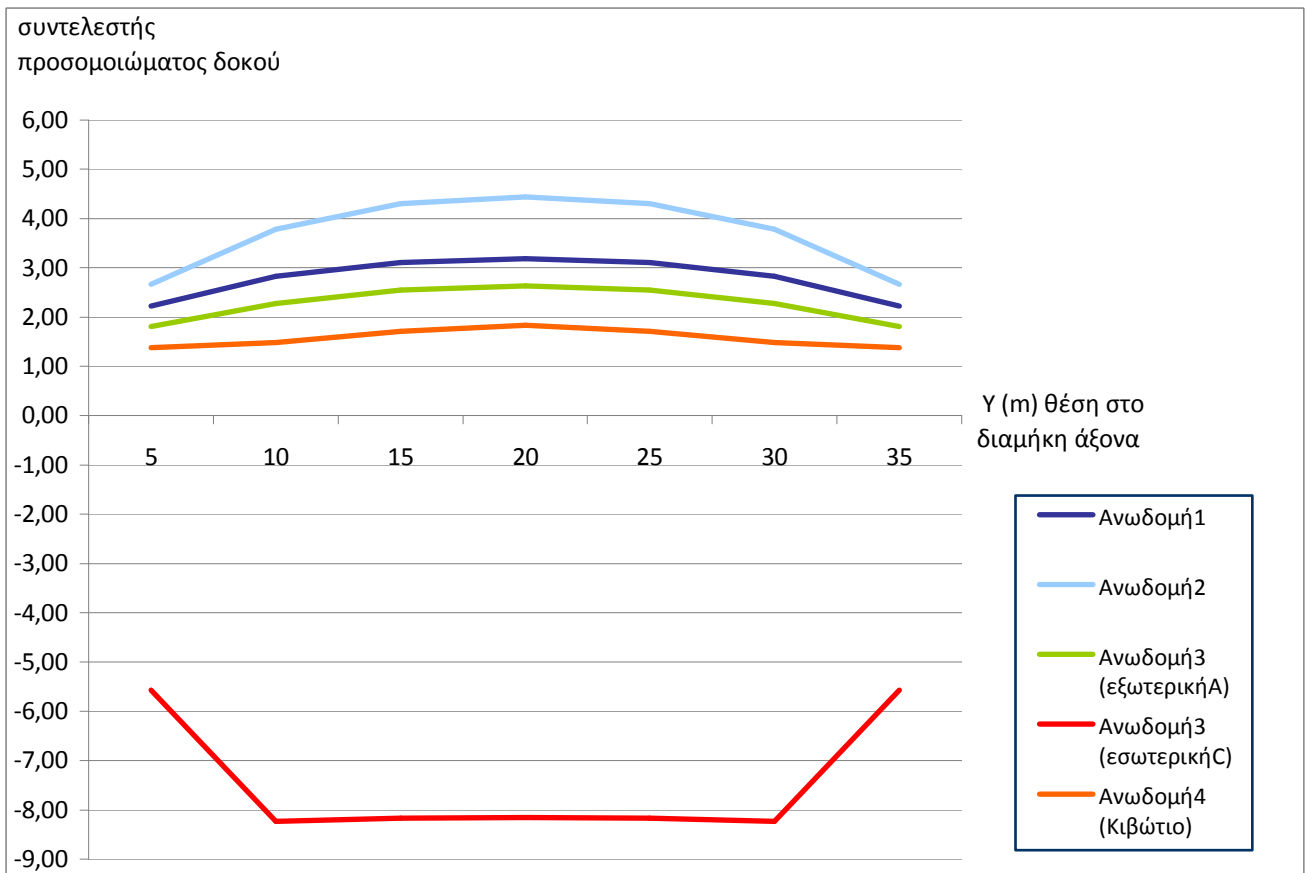
Πίνακας 4. 12: ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ για συνδυασμό φόρτισης 1.35g+1.35g

	Ανωδομή 1 Μήκος ανοίγματος=7.5m	Ανωδομή 2 Μήκος ανοίγματος=6.5m	Ανωδομή 3 Εξωτερικό άνοιγμα μήκους 2.9m	Ανωδομή 3 Εσωτερικό άνοιγμα μήκους 2.9m	Ανωδομή 4 Κιβώτιο Μήκος ανοίγματος=7.0 m
5	2.93	3.07	1,21	1,01	3.60
10	3.03	3.07	1,11	1,07	3.56
15	3.03	3.03	1,07	1,06	3.54
20	3.02	3.02	1,06	1,06	3.53
25	3.03	3.03	1,07	1,06	3.54
30	3.03	3.07	1,11	1,07	3.56
35	2.93	3.07	1,21	1,01	3.60

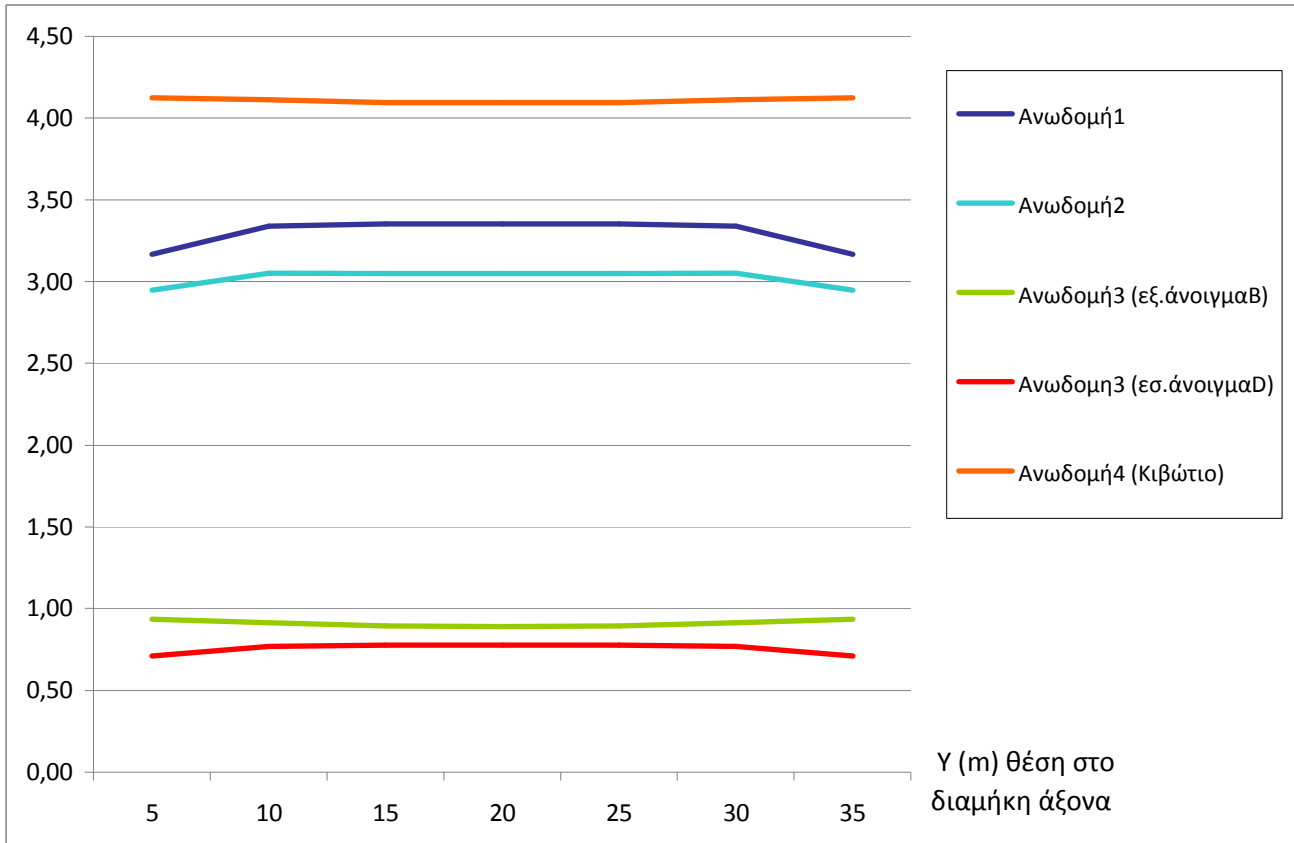
Διάγραμμα 4. 1: ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ για συνδυασμό φόρτισης 0.00g+1.00g



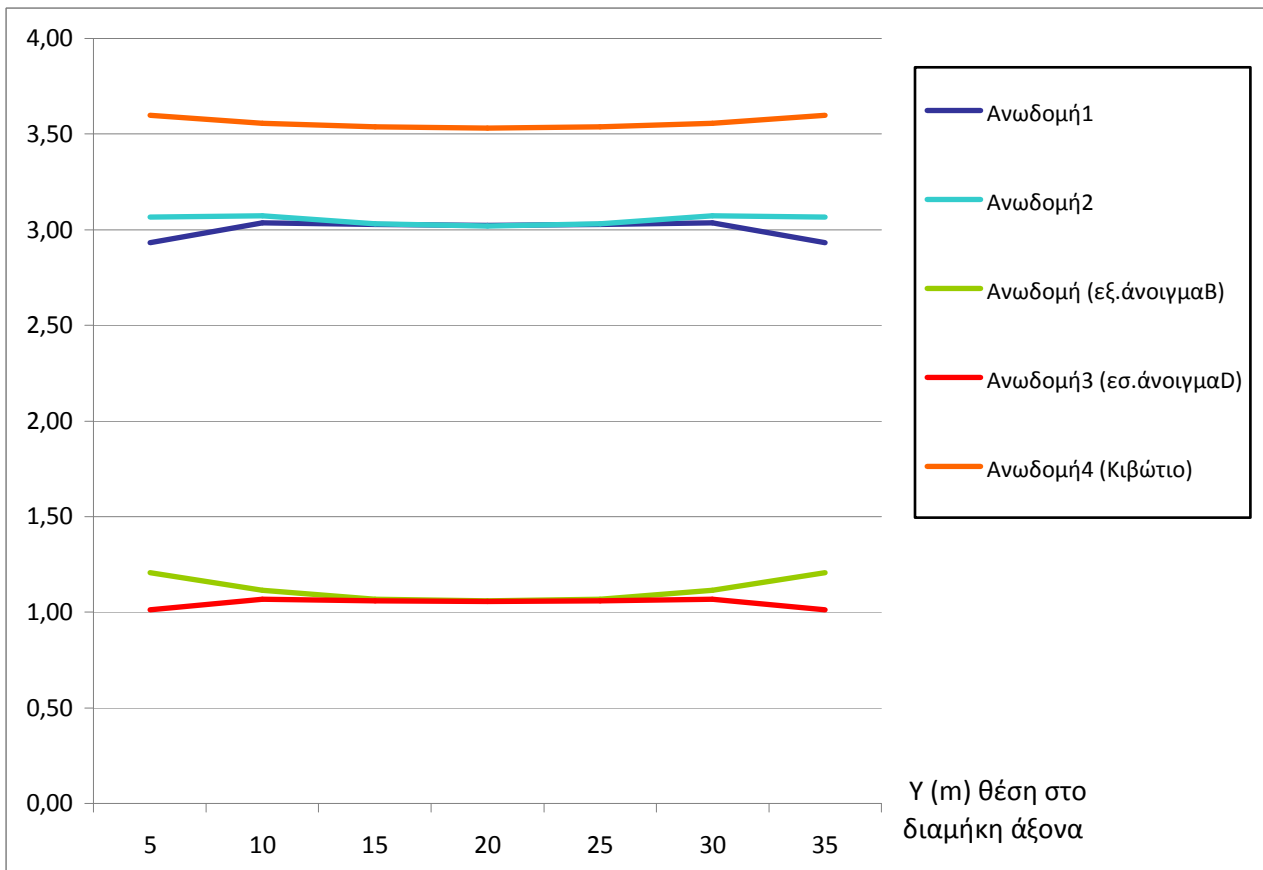
Διάγραμμα 4. 2: ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ για συνδυασμό φόρτισης 1.35g+1.35g



Διάγραμμα 4. 3: ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ για συνδυασμό φόρτισης 0.00g+1.00g



Διάγραμμα 4. 4: ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ για συνδυασμό φόρτισης 1.35g+1.35g

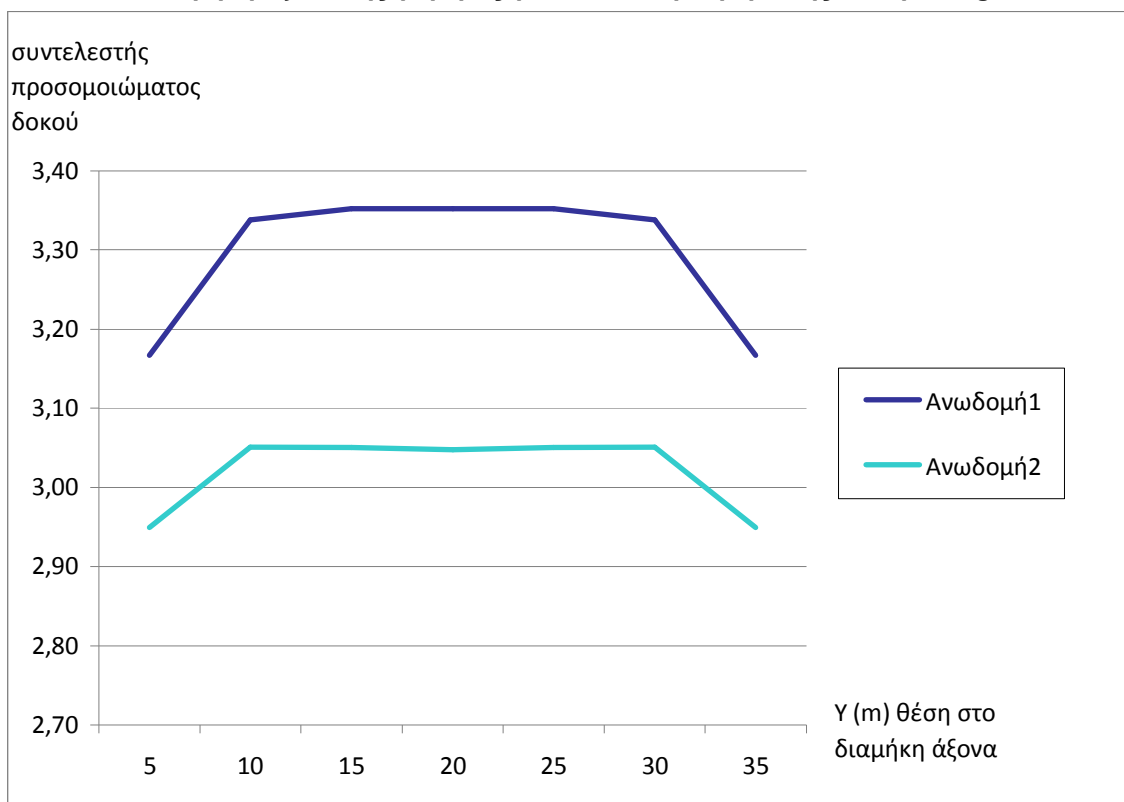


4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων -Ανοίγματα

Από τον πίνακα συντελεστών προσομοιώματος δοκού για τα ανοίγματα σε φόρτιση μόνο κινητών φορτίων (0.00g+1.00q) προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Συγκρίνοντας τις τιμές των ανωδομών 1 και 2 διαπιστώνεται ότι η μεταβολή μήκους επηρεάζει και τον συντελεστή προσομοιώματος δοκού για φόρτιση μόνο κινητών φορτίων διότι το μήκος του ανοίγματος είναι ανάλογο του συντελεστή δοκού. Ο συντελεστής προσομοιώματος δοκού για την ανωδομή 1 ισούται περίπου με 3.30 (εικόνες 4.1, 4.2) και ο αντίστοιχος συντελεστής για την ανωδομή 2 ισούται περίπου με 3.00 (συνδυασμός φόρτισης 0.00g+1.00q) όπου οι πρόβολοι δεν επηρεάζουν στον υπολογισμό της ροπής γιατί δεν φορτίζονται.

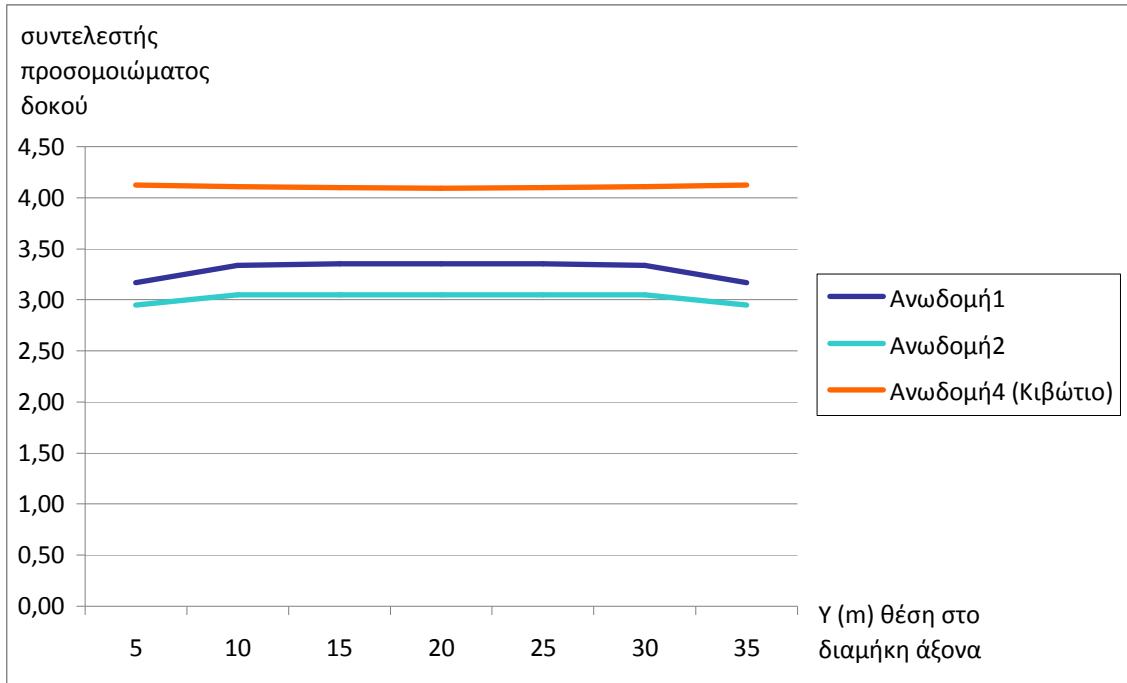
Διάγραμμα 4. 5: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τα ανοίγματα ανωδομής 1 και 2 κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης 0.00q+1.00g



Στην περίπτωση της εγκιβωτισμένης γέφυρας ανωδομής 4, παρά το γεγονός ότι το άνοιγμα της είναι μικρότερο από το άνοιγμα της ανωδομής 1 (και τα φορτία τοποθετούνται μόνο επί του ανοίγματος οπότε οι πρόβολοι δεν επηρεάζουν στον υπολογισμό της ροπής) ο συντελεστής προσομοιώματος δοκού για φόρτιση μόνο κινητών φορτίων (0.00g+1.00q) είναι μεγαλύτερος από τους αντίστοιχους συντελεστές ανωδομής 1 και 2 και ισούται περίπου με 4.10.

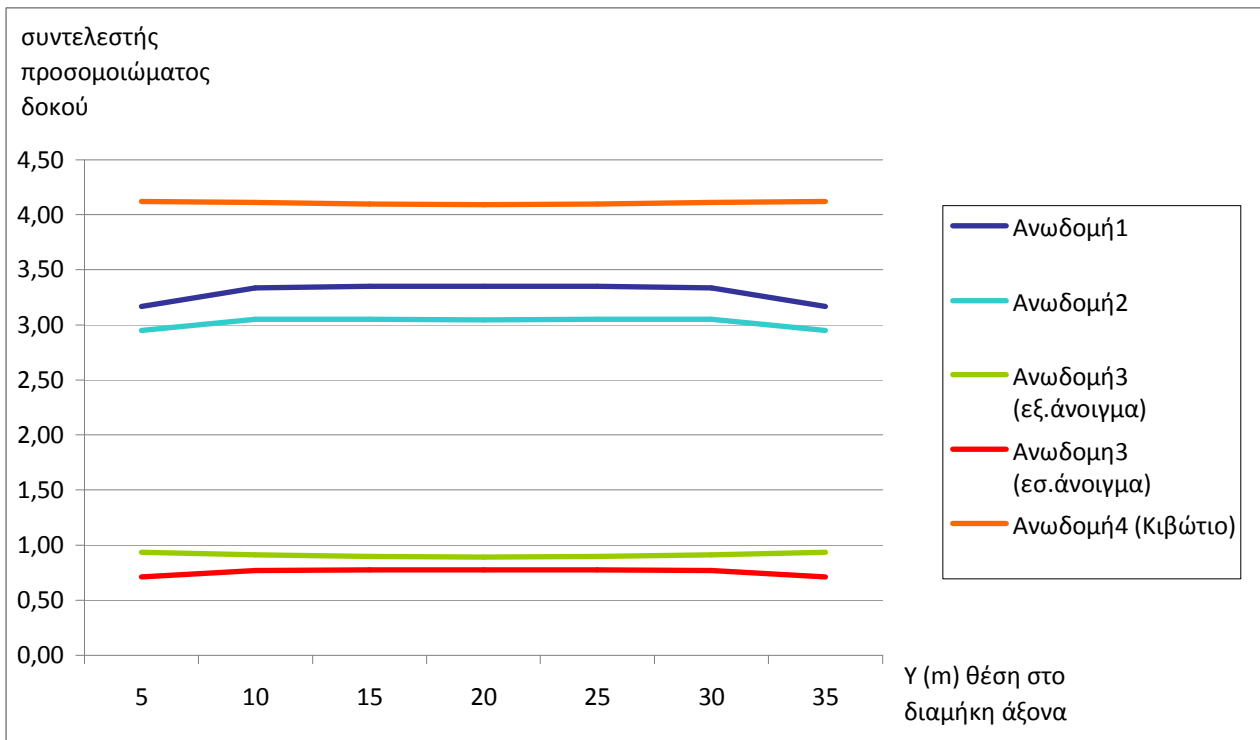
Η παραπάνω συμπεριφορά εξηγείται από το γεγονός ότι η διατομή του κιβωτίου ανωδομής 4 διαθέτει σαφώς μεγαλύτερη ακαμψία που προσομοιώνεται στο χωρικό μοντέλο από τη διατομή των δύο σιδηροδοκών στις ανωδομές 1,2 και 3. Η ροπή κάμψης της πλάκας είναι μικρότερη οπότε προκύπτει αρκετά μεγαλύτερος συντελεστής δοκού.

Διάγραμμα 4. 6: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τα ανοίγματα ανωδομής 1, 2 και 4 κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης 0.00q+1.00g

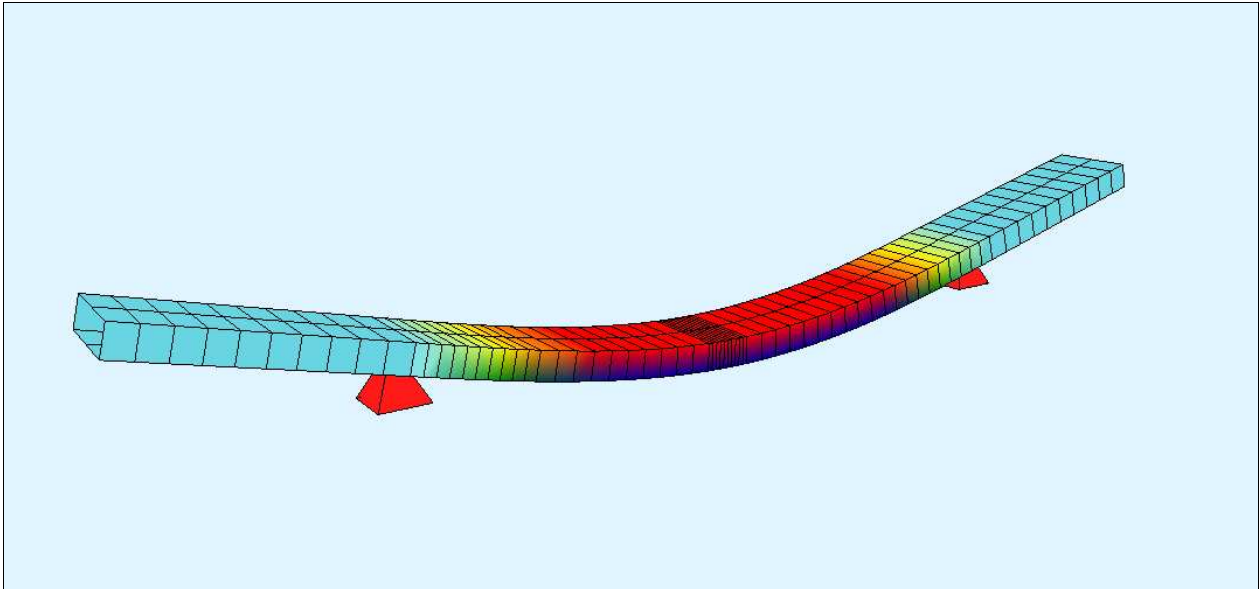


Στην περίπτωση της ανωδομής 3 (τριών ανοιγμάτων), όπου το μήκος ανοίγματος προσεγγίζει την αξονική απόσταση τροχών, και για φόρτιση μόνο κινητών φορτίων οι συντελεστές προσομοιώματος είναι μικρότεροι της μονάδας οπότε δεν έχουν φυσικό νόημα. Αυτό συμβαίνει γιατί στο χωρικό προσομοίωμα όπου υπάρχει η διαμήκης κάμψη του φορέα, φορτίζεται μικρή επιφάνεια και η πραγματική τιμή ροπής ανοίγματος είναι αρκετά μικρότερη αυτής του γραμμικού μοντέλου (εικόνες 4.3, 4.4)

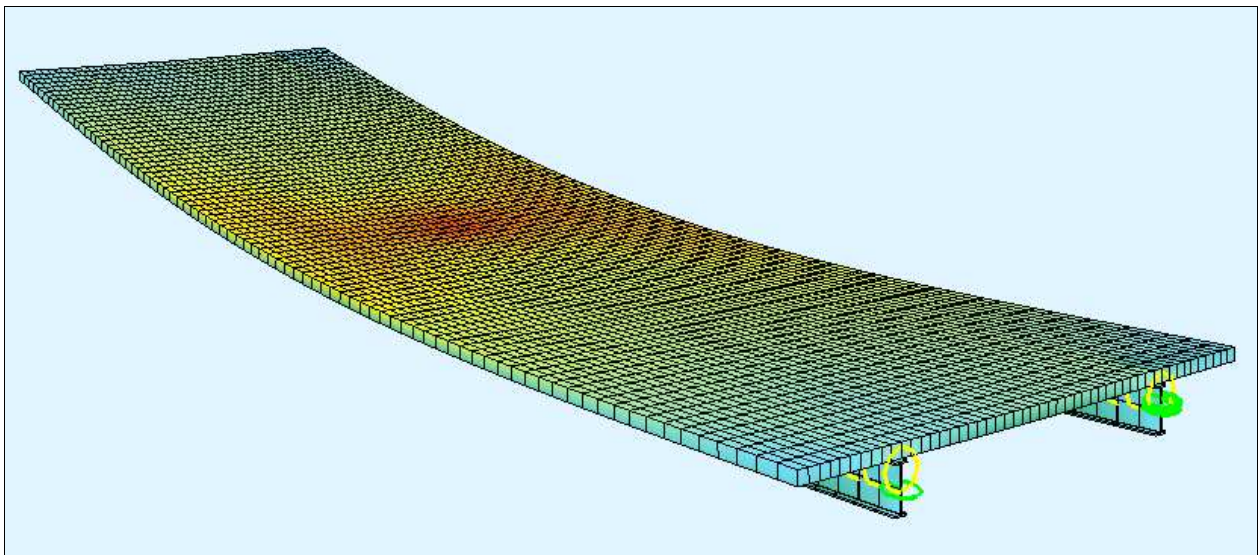
Διάγραμμα 4. 7: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τα ανοίγματα όλων των ανοδομών κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης 0.00q+1.00g



Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω τα προσομοιώματα υπό δυσμενή φόρτιση για το άνοιγμα, συνδυασμού $0.00g+1.00q$ της ανωδομή 1. Ανάλογη συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα ανοίγματα των ανωδομών 2 και 4 για αντίστοιχη φόρτιση.

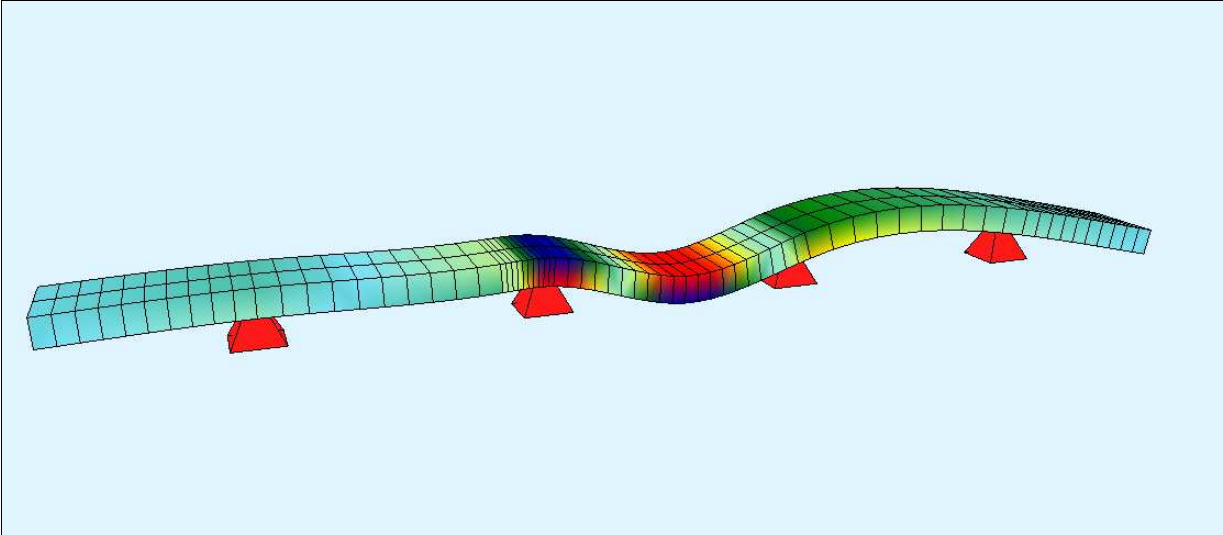


Εικόνα 4. 1: Προσομοίωμα δοκού ανωδομής 1 υπό δυσμενή φόρτιση στο άνοιγμα (συνδυασμού $0.00g+1.00q$)

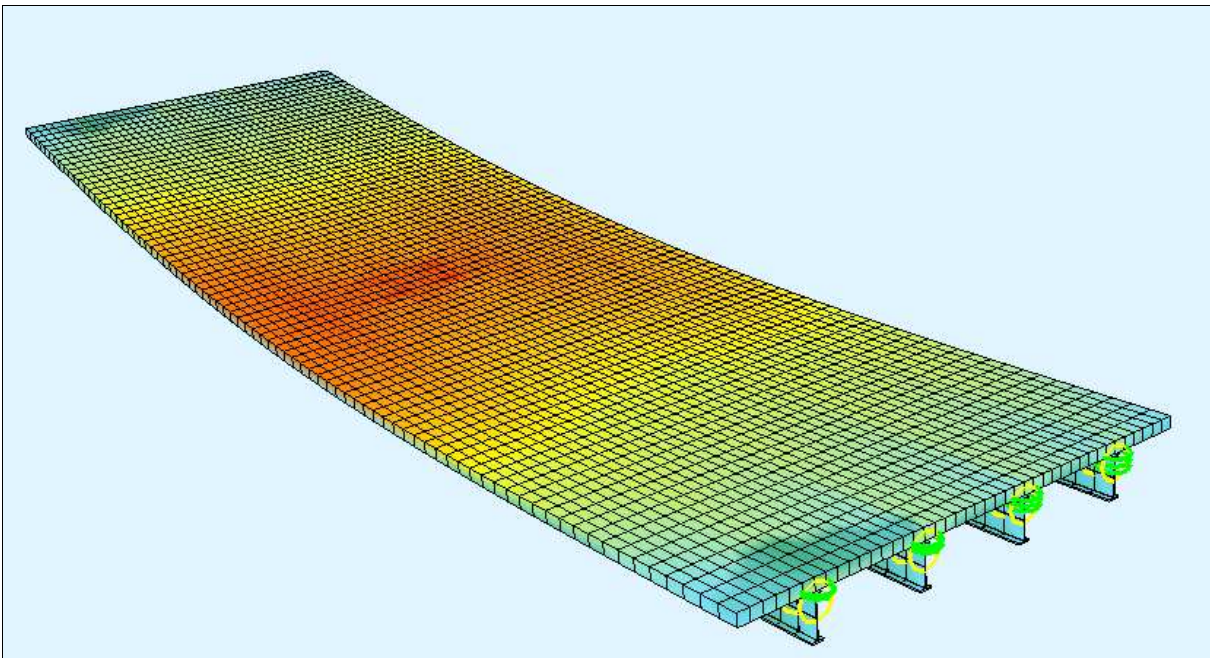


Εικόνα 4. 2: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής 1 υπό δυσμενή φόρτιση στο άνοιγμα (συνδυασμού $0.00g+1.00q$)

Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω τα προσομοιώματα υπό δυσμενή φόρτιση για το ενδιάμεσο άνοιγμα, συνδυασμού $0.00g+1.00q$ της ανωδομής 3. Ανάλογη συμπεριφορά παρουσιάζει και το εξωτερικό άνοιγματα της ίδιας ανωδομής.



Εικόνα 4. 3: Προσομοίωμα δοκού ανωδομής 3 υπό δυσμενή φόρτιση στο ενδιάμεσο άνοιγμα (συνδυασμού $0.00g+1.00q$)

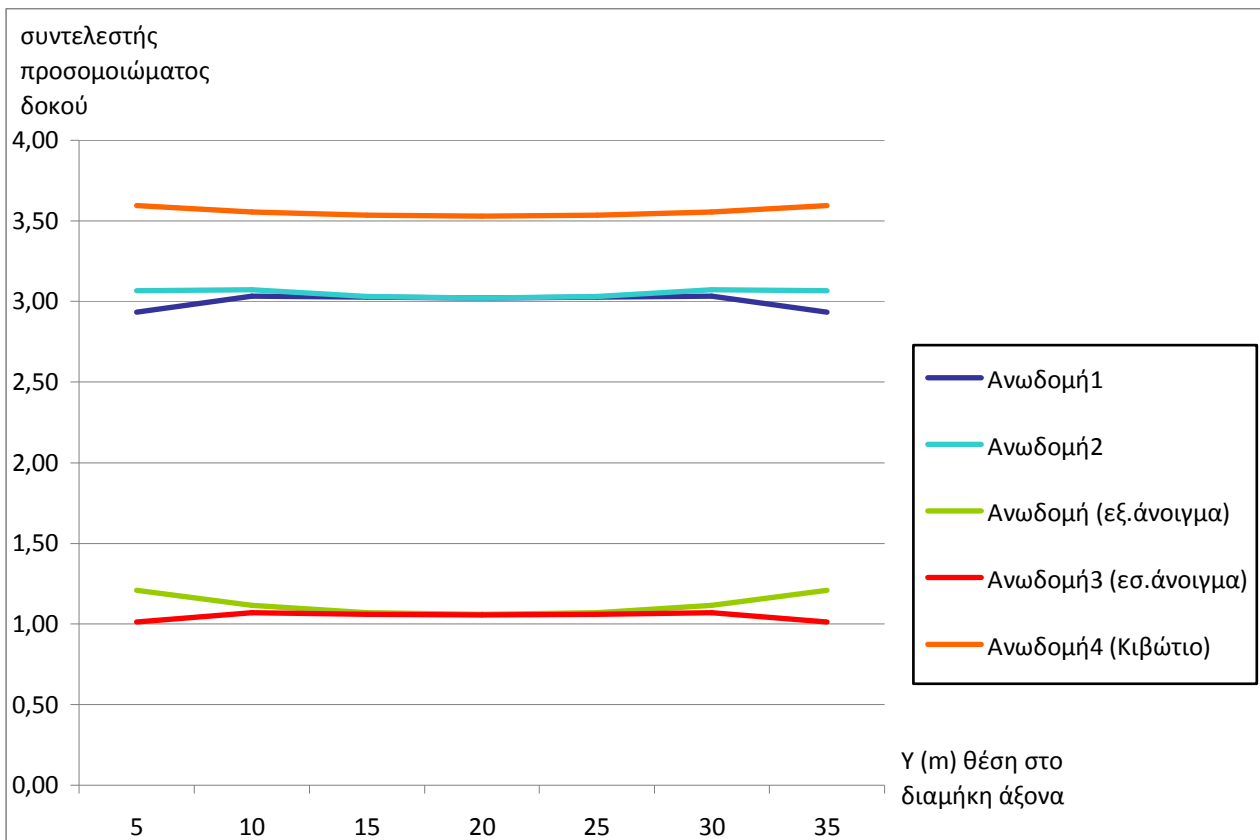


Εικόνα 4. 4: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής 3 υπό δυσμενή φόρτιση στο άνοιγμα (συνδυασμού $0.00g+1.00q$)

Η εξέταση των ανοιγμάτων των ίδιων ανωδομών για τον συνδυασμό φόρτισης 1.35g+1.35q οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα μόνιμα φορτία (ίδια βάρη, πρόσθετα μόνιμα) που κατανέμονται σε όλο το μήκος της δοκού και την επιφάνεια του χωρικού συμβάλλουν στη μείωση των συντελεστών δοκού. Όπως είναι ορατό και στο διάγραμμα οι συντελεστές δοκού των ανωδομών 1 και 2 συγκλίνουν αριθμητικά στην τιμή 3.00, οι αντίστοιχοι συντελεστές του εσωτερικού και εξωτερικού ανοίγματος της ανωδομής 3 συγκλίνουν στην μονάδα (1.00) και ο συντελεστής δοκού για την εγκιβωτισμένη γέφυρα ανωδομής 4 ισούται με 3.50.

Η προσθήκη μόνιμων φορτίων σε όλο το μήκος της δοκού και σε όλη την επιφάνεια του χωρικού συνιστά μια επιπλέον παράμετρο επιρροής των καμπτικών ροπών στα ανοίγματα και ταυτόχρονα περιορίζει το ποσοστό της επιρροής που έχουν τα κινητά φορτία .

Διάγραμμα 4. 8: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τα ανοίγματα όλων των ανωδομών κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης 1.35q+1.35g



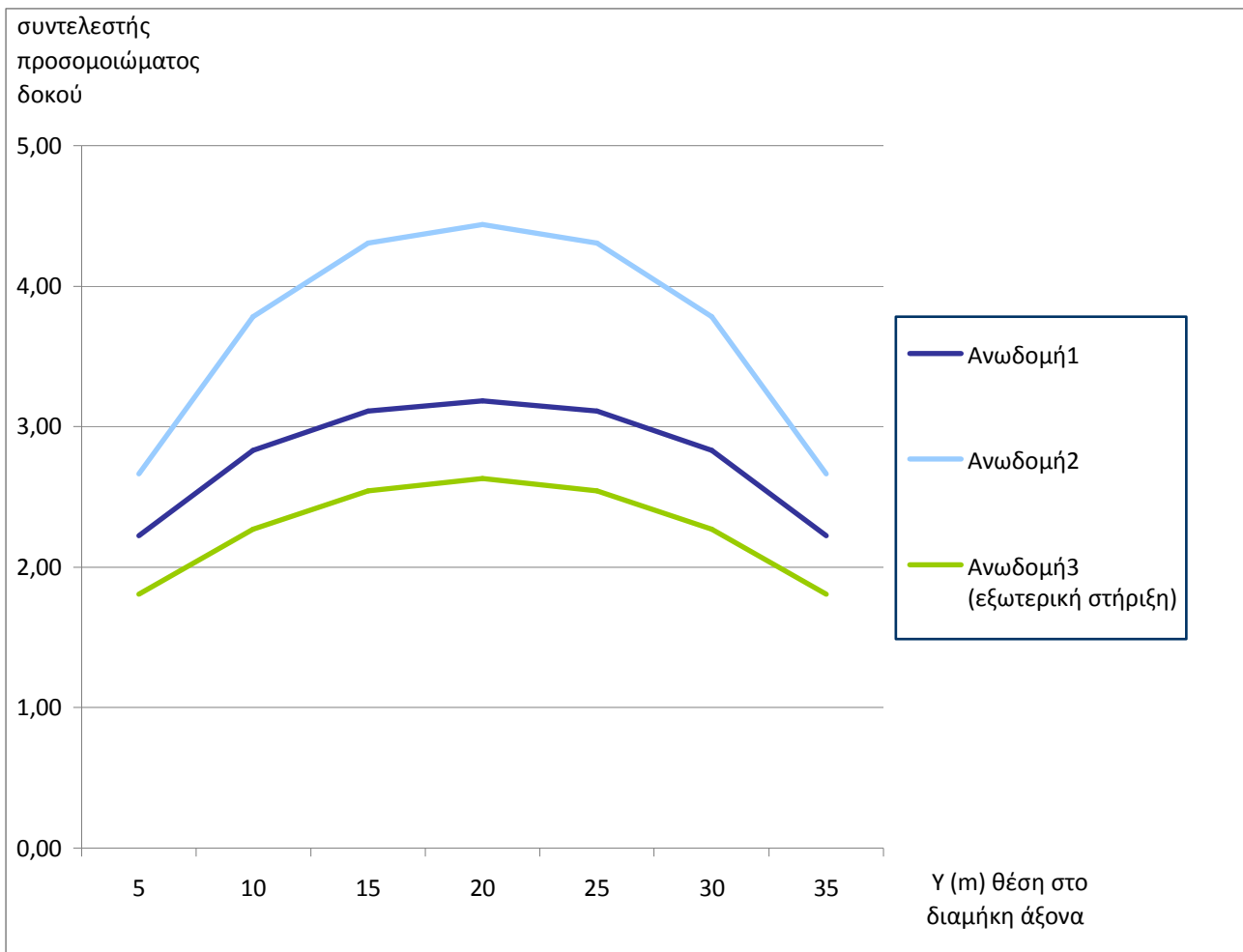
Πρέπει να επισημανθεί η επιρροή της μεταβολής της θέσης κατά μήκος του διαμήκη άξονα. Όπως φαίνεται στους αντίστοιχους πίνακες οι συντελεστές προσομοιώματος δοκού έχουν την μέγιστη τιμή τους στο μέσον του ανοίγματος της γέφυρας (20m) και την μικρότερη στα άκρα της γέφυρας (5m, 35m). Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συντελεστή τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση των δύο μοντέλων και αυτό συμβαίνει στις ακραίες περιοχές επειδή επηρεάζει η διαμήκης κάμψη του φορέα..

4.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Στηρίξεις

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων των συντελεστών προσομοιώματος δοκού για ακραίες στηρίξεις στην περίπτωση φόρτισης μόνο με κινητά φορτία συμπεραίνεται ότι υπάρχει αναλογία του μήκους του προβόλου με τον συντελεστή δοκού .

Για φόρτιση μόνο κινητών φορτίων (0.00g+1.00g) ο συντελεστής προσομοιώματος δοκού στη στήριξη ανωδομής 1 κυμαίνεται από 2.20 στην άκρη της γέφυρας μέχρι 3.20 στο μέσο (εικόνες 4.5,4.6). Ο αντίστοιχος συντελεστής στη στήριξη της ανωδομής 2 κυμαίνεται από 2.60 στην άκρη της γέφυρας μέχρι 4.40 στο μέσο της και στην εξωτερική στήριξη της ανωδομής 3 από 1.80 στην άκρη της γέφυρας μέχρι 2.60 στο μέσο της.

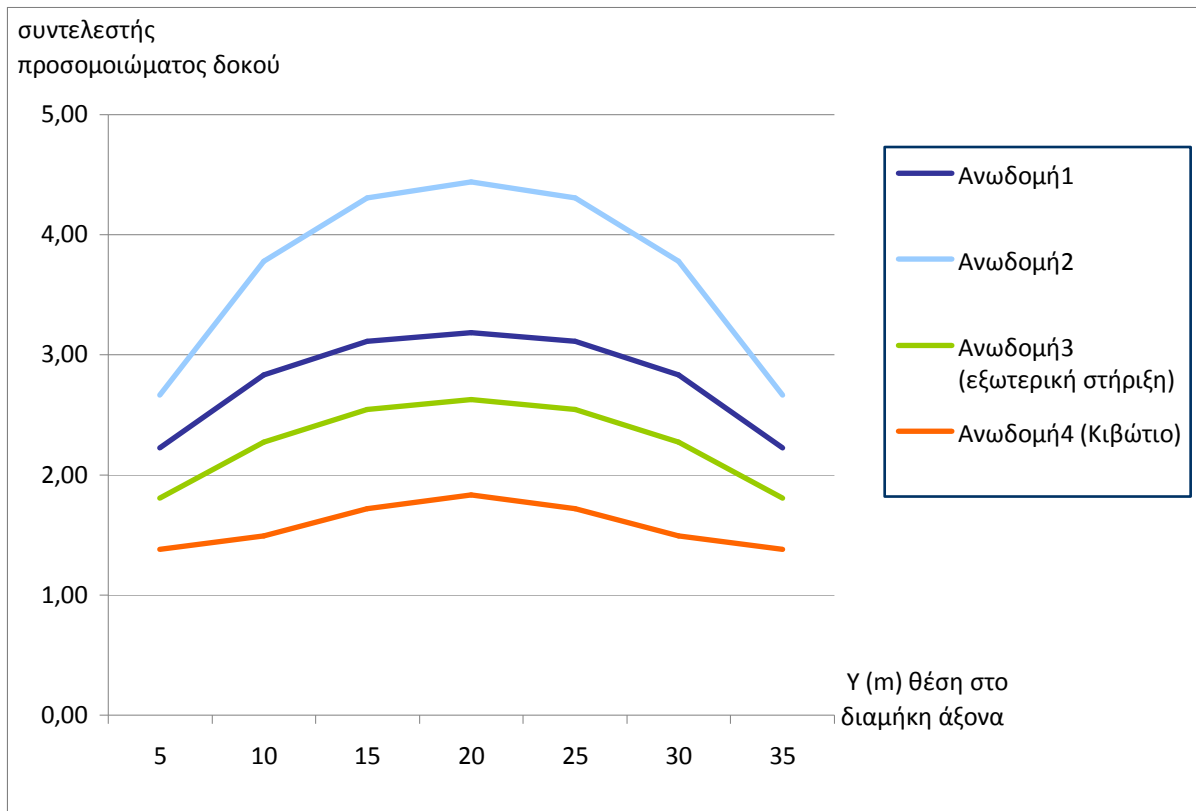
Διάγραμμα 4. 9: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τις στηρίξεις ανωδομής 1, 2 και εξωτερικής στήριξης 3 κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης 0.00q+1.00g



Στη διατομή της εγκιβωτισμένης γέφυρας (ανωδομή 4) το μήκος του προβόλου (2.00m) είναι περίπου ίσο με το μήκος του προβόλου της ανωδομής 3 (1.90m) εν τούτοις ο συντελεστής δοκού της εξωτερικής στήριξης της ανωδομής 3 είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο της ανωδομής 4. Η πολύ μεγαλύτερη ακαμψία της διατομής του κιβωτίου όπου στηρίζεται η πλάκα σε σχέση με τις σιδηροδοκούς των ανωδομών 1,2 και 3 συμβάλει στην αύξηση της καμπτικής ροπής της στήριξης στο χωρικό και άρα στη μείωση του συντελεστή δοκού.

Ο συντελεστής προσομοιώματος δοκού στη στήριξη της ανωδομής 4 κυμαίνεται από 1.40 στην άκρη του μήκους της γέφυρας μέχρι 1.85 στο μέσο του μήκους της.

Διάγραμμα 4. 10: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τις στηρίξεις ανωδομής 1, 2, 4 και εξωτερικής στήριξης 3 κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης 0.00q+1.00g

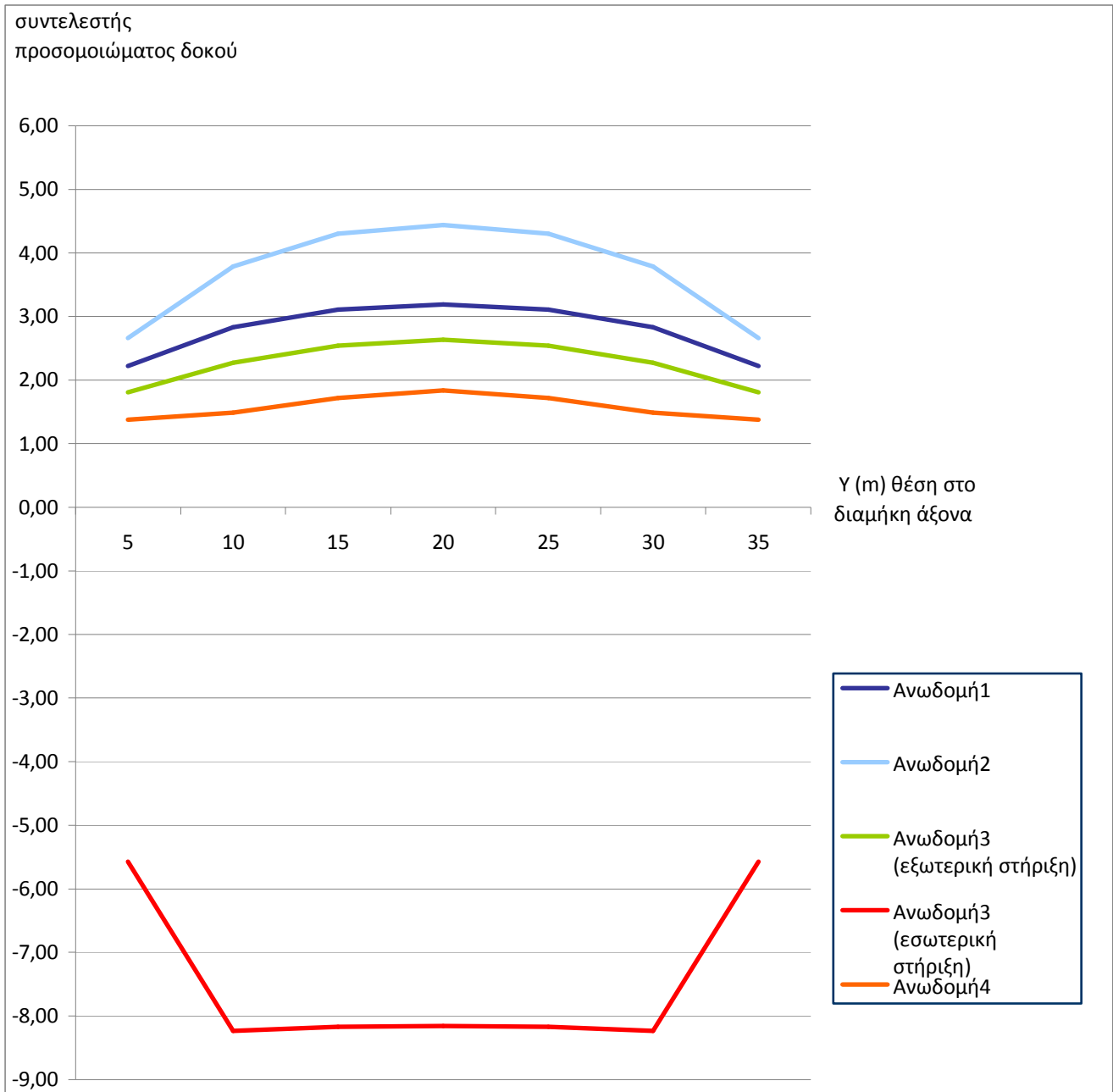


Ιδιαιτερότητα σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις παρουσιάζει η τιμή στην οποία κυμαίνεται ο συντελεστής δοκού της εσωτερικής στήριξης της ανωδομής 3 και αυτό γιατί είναι αρνητικός αριθμός και πολλαπλάσιος κατ' απόλυτη τιμή των υπολοίπων.

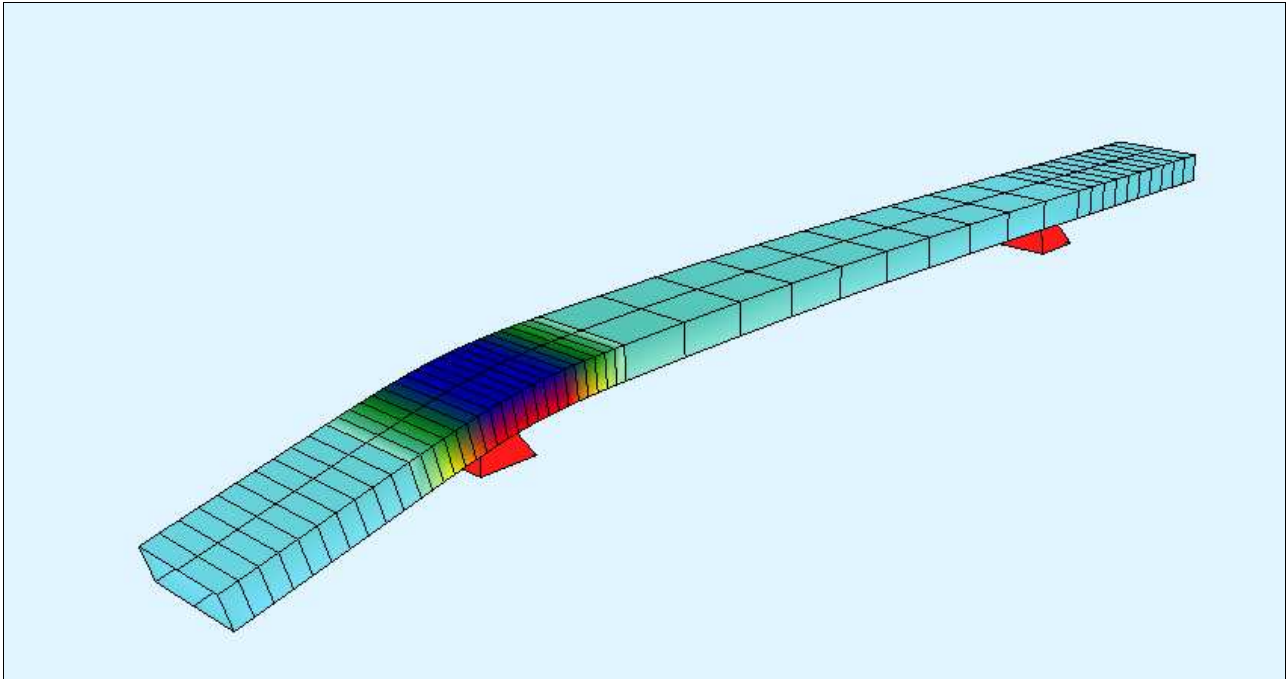
Στο γραμμικό μοντέλο η εσωτερική στήριξη εμφανίζει αρνητική ροπή όπως αναμένεται.

Η κάμψη του αμφιέρειστου φορέα στο χωρικό προσομοίωμα έχει σαν αποτέλεσμα η ενδιάμεση στήριξη να μην «ανασηκώνεται» αλλά να υποχωρεί προς τα κάτω μαζί με το μεγαλύτερο μέρος της υπόλοιπης κατασκευής και να αποκτά θετική ροπή και συνεπώς αρνητικό συντελεστή δοκού (εικόνες 4.7, 4.8). Ο συντελεστής προσομοιώματος δοκού στην εσωτερική στήριξη της ανωδομής 3 κυμαίνεται από -5.50 στην άκρη του μήκους της γέφυρας μέχρι -8.20 στο μέσο του μήκους της.

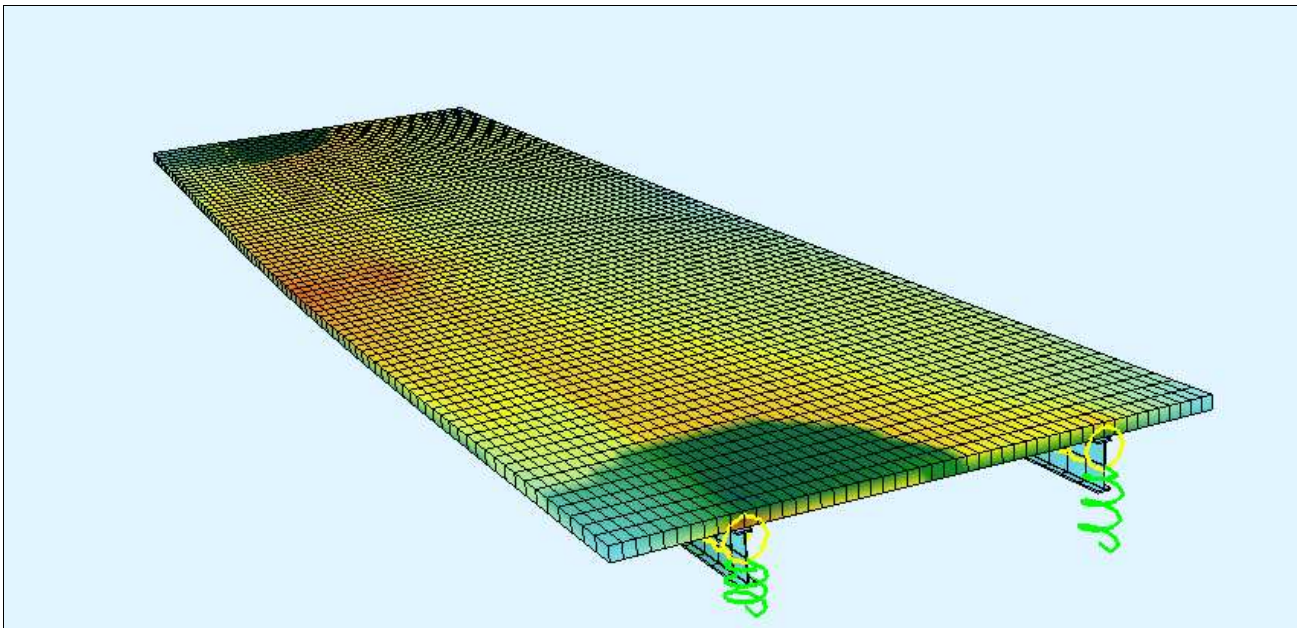
Διάγραμμα 4. 11: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τις στηρίξεις όλων των ανοδομών κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης 0.00q+1.00g



Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω τα προσομοιώματα υπό δυσμενή φόρτιση για την εξωτερική στήριξη, συνδυασμού $0.00g+1.00q$ της ανωδομής 1. Ανάλογη συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι στηρίξεις των ανωδομών 2 και 4 καθώς και η εξωτερική στήριξη της ανωδομής 3 για αντίστοιχη φόρτιση.

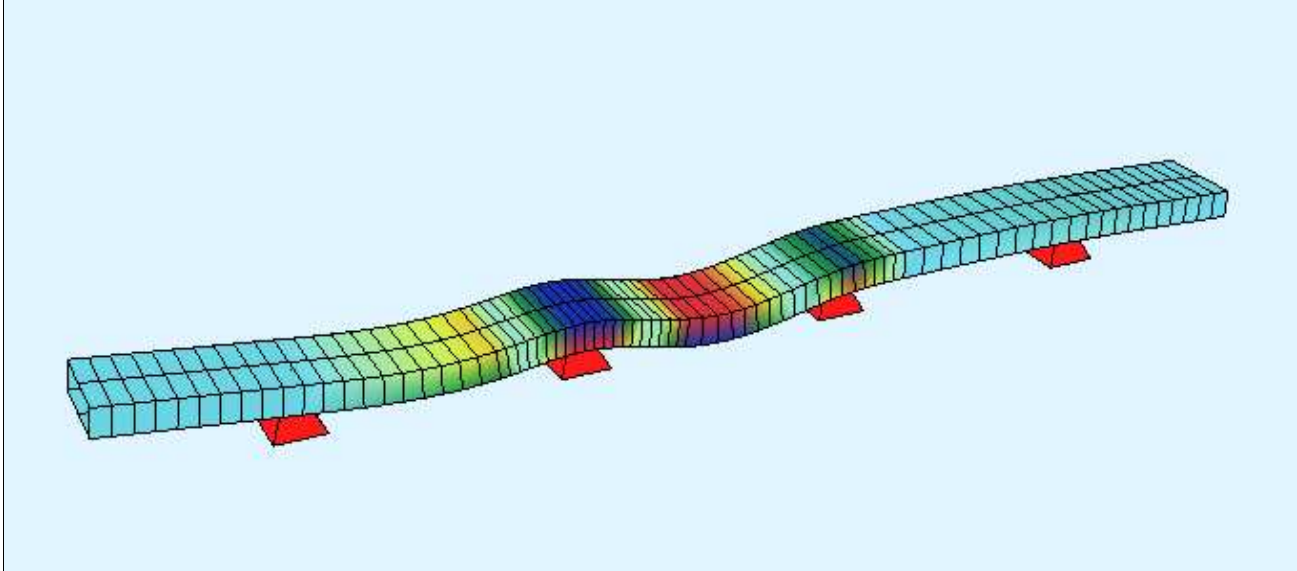


Εικόνα 4. 5: Προσομοίωμα δοκού ανωδομής 1 υπό δυσμενή φόρτιση στην στήριξη (συνδυασμού $0.00g+1.00q$)

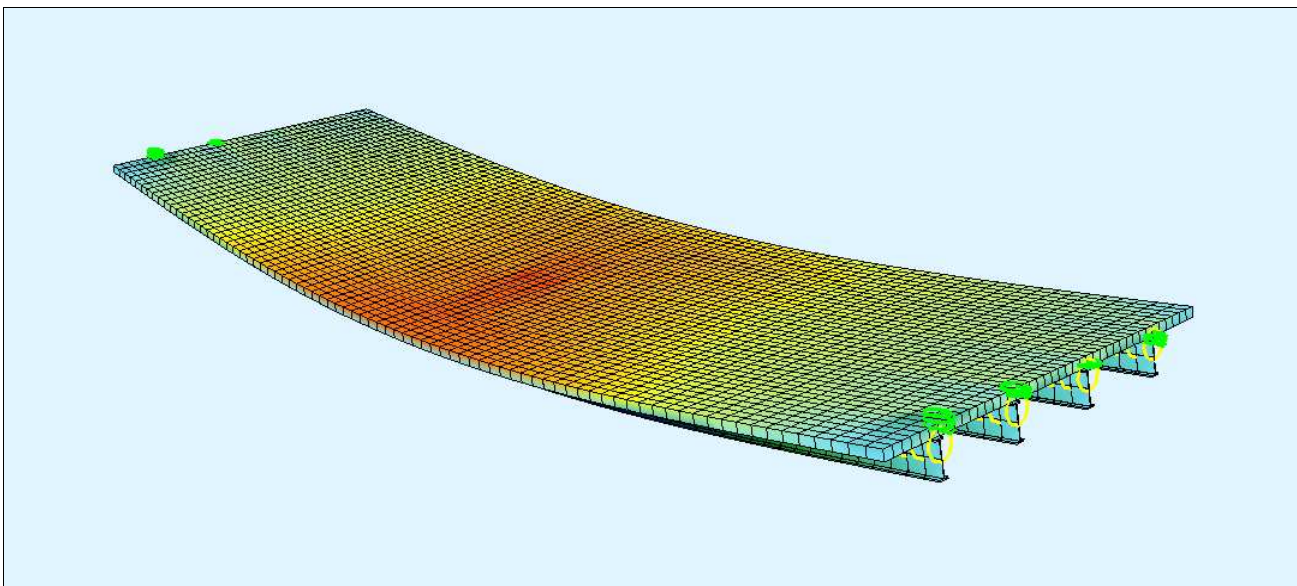


Εικόνα 4. 6: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής 1 υπό δυσμενή φόρτιση στη στήριξη (συνδυασμού $0.00g+1.00q$)

Παρατίθενται παρακάτω τα προσομοιώματα υπό δυσμενή φόρτιση για την ενδιάμεση στήριξη, συνδυασμού 0.00g+1.00q της ανωδομή 3. Παρατηρείται ότι στο χωρικό ποσομοίωμα η ενδιάμεση στήριξη Γ δεν «ανασηκώνεται» αλλά υποχωρεί προς τα κάτω μαζί με το μεγαλύτερο μέρος της υπόλοιπης κατασκευής και αποκτά θετική ροπή σε αντίθεση με την αρνητική ροπή στην ίδια θέση του προσομοιώματος δοκού. Αναδεικνύεται, λοιπόν, με τον πιο παραστατικό τρόπο η αδυναμία προσέγγισης της πραγματικότητας με προσομοίωμα δοκού για τη συγκεκριμένη περίπτωση.



Εικόνα 4. 7: Εικόνα 4. 8: Προσομοίωμα δοκού ανωδομής 3 υπό δυσμενή φόρτιση στην ενδιάμεση στήριξη (συνδυασμού 0.00g+1.00q)

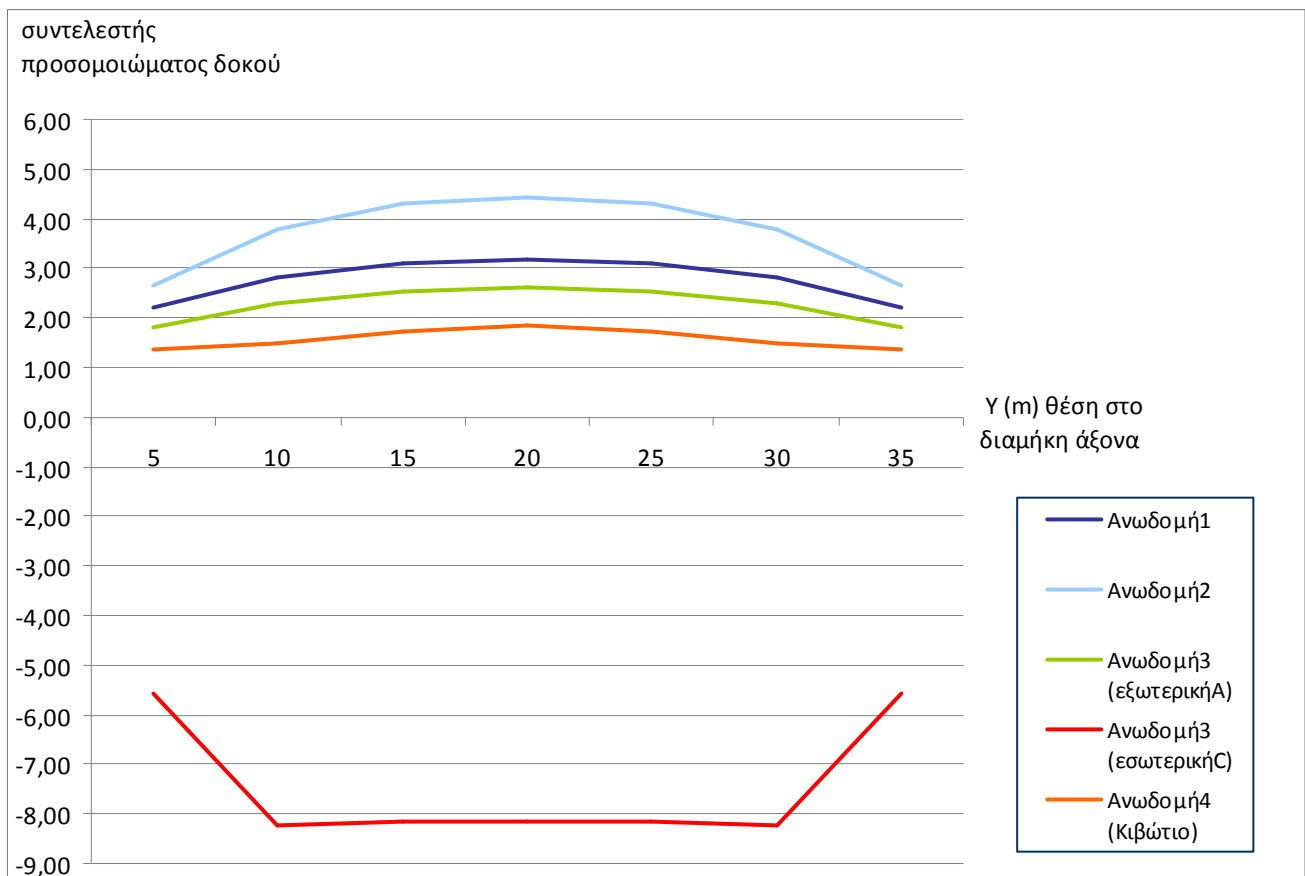


Εικόνα 4. 9: Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής 3 υπό δυσμενή φόρτιση στην ενδιάμεση στήριξη (συνδυασμού 0.00g+1.00q)

Υπό το συνδυασμό φόρτισης $1.35g + 1.35q$, ο συντελεστής προσομοιώματος δοκού στη στήριξη ανωδομής 1 κυμαίνεται από 1.80 στην άκρη της γέφυρας μέχρι 2.40 στο μέσο της, στη στήριξη της ανωδομής 2 από 2.00 στην άκρη της γέφυρας μέχρι 2.90 στο μέσο της, στην εξωτερική στήριξη της ανωδομής 3 από 1.50 στην άκρη της γέφυρας μέχρι 1.90 στο μέσο της, και τέλος στη στήριξη ανωδομής 4 από 1.35 στην άκρη της γέφυρας μέχρι 1.45 στο μέσο της.

Ιδιαιτερότητα σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις παρουσιάζει και για την φόρτιση $(1.35g + 1.35q)$ η τιμή στην οποία κυμαίνεται ο συντελεστής δοκού της εσωτερικής στήριξης της ανωδομής 3 και αυτό γιατί είναι αρνητικός αριθμός και πολλαπλάσιος κατ' απόλυτη τιμή των υπολοίπων. Και στην περίπτωση που προστίθενται τα μόνιμα φορτία το γραμμικό μοντέλο δεν μπορεί να αποτυπώσει την πραγματική κάμψη στην συγκεκριμένη θέση.

Διάγραμμα 4. 12: Συντελεστές προσομοιώματος δοκού για τις στηρίξεις όλων των ανωδομών κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας για συνδυασμό φόρτισης $1.35g+1.35q$



Πρέπει να επισημανθεί η επιρροή της μεταβολής της θέσης κατά μήκος του διαμήκη άξονα. Όπως φαίνεται στους αντίστοιχους πίνακες οι συντελεστές προσομοιώματος δοκού έχουν την μέγιστη τιμή τους στο μέσον του ανοίγματος της γέφυρας (20m) και την μικρότερη στα άκρα της γέφυρας (5m, 35m). Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συντελεστή τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση των δύο μοντέλων και αυτό συμβαίνει στις ακραίες περιοχές επειδή επηρεάζει η διαμήκης κάμψη του φορέα..

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε η δυνατότητα ακριβούς υπολογισμού της καμπτικής έντασης πλάκας καταστώματος σύμμικτης γέφυρας με χρήση γραμμικού μοντέλου, που θεωρείται πιο προσιτό στην μεγάλη μάζα των μηχανικών της πράξης.

Για τον σκοπό αυτό μορφώθηκαν γραμμικά μοντέλα και υπολογίσθηκαν με την βοήθεια των γραμμών επιρροής οι δυσμενείς φορτίσεις. Υπολογίσθηκε η καμπτική ένταση σε ανοίγματα, στηρίξεις με την βοήθεια γραμμικών μοντέλων (εγκάρσια διατομή). Στην συνέχεια μορφώθηκαν αναλυτικά μοντέλα, με χρήση χωρικών προσομοιωμάτων και υπολογίσθηκε η καμπτική ένταση για τις ίδιες φορτίσεις. Τέλος έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων και εξετάστηκε η δυνατότητα συσχέτισης των δύο αναλύσεων.

Όπως προκύπτει από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, πράγματι οι μηχανικοί της πράξης μπορούν σε γενικές γραμμές, να χρησιμοποιούν με ασφάλεια γραμμικά μοντέλα με χρήση μειωτικών συντελεστών.

Συγκεκριμένα, για καταστώματα ανωδομής ενός ανοίγματος με προβόλους, που η απόσταση μεταξύ των σιδηροδοκών υπερβαίνει την εγκάρσια αξονική απόσταση των τροχών, ο μειωτικός συντελεστής είναι της τάξης του 3.00 για την καμπτική ροπή ανοίγματος και κυμαίνεται από 2.00~2.90 αναλογικά με το μήκος προβόλου για την καμπτική ροπή στήριξης για φόρτιση $1.35(g+q)$. Η εικόνα είναι αντίστοιχη και για φόρτιση $0.00g+1.00q$.

Για καταστώματα κιβωτοειδούς διατομής τα αποτελέσματα είναι παρόμοια, με μειωτικό συντελεστή ελαφρά αυξημένο της τάξης του 3.50 για το άνοιγμα και ελαφρά μειωμένο της τάξης του 1.40 για την στήριξη που δικαιολογείται από την αυξημένη ακαμψία έδρασης της πλάκας.

Σε καταστώματα συνεχών ανοιγμάτων που η απόσταση μεταξύ των σιδηροδοκών είναι αρκετά μικρότερη και προσεγγίζει την αξονική απόσταση των τροχών το γραμμικό μοντέλο για την καμπτική ροπή ανοίγματος και για φόρτιση μόνο κινητών φορτίων ($0.00g+1.00q$) δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, δίνοντας συντελεστές μικρότερους της μονάδας. Με την προσθήκη όμως των μονίμων φορτίων $1.35(g+q)$ πλησιάζει πολύ την πραγματική συμπεριφορά, με συντελεστές 1.00~1.20. Αντίθετα, για την εσωτερική στήριξη το μοντέλο παρουσιάζει αδυναμία προσέγγισης της πραγματικής κατάστασης με αρνητικούς συντελεστές και για τους δυο συνδυασμούς φορτίσεων $0.00g+1.00q$ και $1.35(g+q)$. ,καθώς δεν αποτυπώνεται η ακριβής καμπτική συμπεριφορά του φορέα στον χώρο επειδή η κάμψη κατά την διαμήκη έννοια δίνει θετικές καμπτικές ροπές στήριξης στο σύνολο του πλάτους της διατομής.

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις εξετάζοντας την μεταβολή των συντελεστών κατά την έννοια του ανοίγματος της γέφυρας το γραμμικό μοντέλο ανταποκρίνεται καλύτερα στις περιοχές κοντά στις στηρίξεις (μέγιστος συντελεστής στο μέσον του ανοίγματος L) που δικαιολογείται από την επιρροή της διαμήκου κάμψης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βάγιας Ι., Ηλιόπουλος Α., «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα»
εκδόσεις Κλειδάριθμος 2006
- [2] Ερμόπουλος Ι., «Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες -Ανάλυση και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1 έως 8 »
εκδόσεις Κλειδάριθμος 2008
- [3] Βάγιας Ι., «Σύμμικτες Γέφυρες -Οδηγός Σχεδιασμού με βάση τα DIN-Fachberichte και τους Ευρωκώδικες»
εκδόσεις Κλειδάριθμος 2006
- [4] Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., «Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα -Με βάση τα τελικά κείμενα των Ευρωκωδίκων»
εκδόσεις Κλειδάριθμος 2005
- [5] Pucher A., Einflussfelder elastischer Platten, 5. Auflage Springer-Verlag, Wien (1977)