

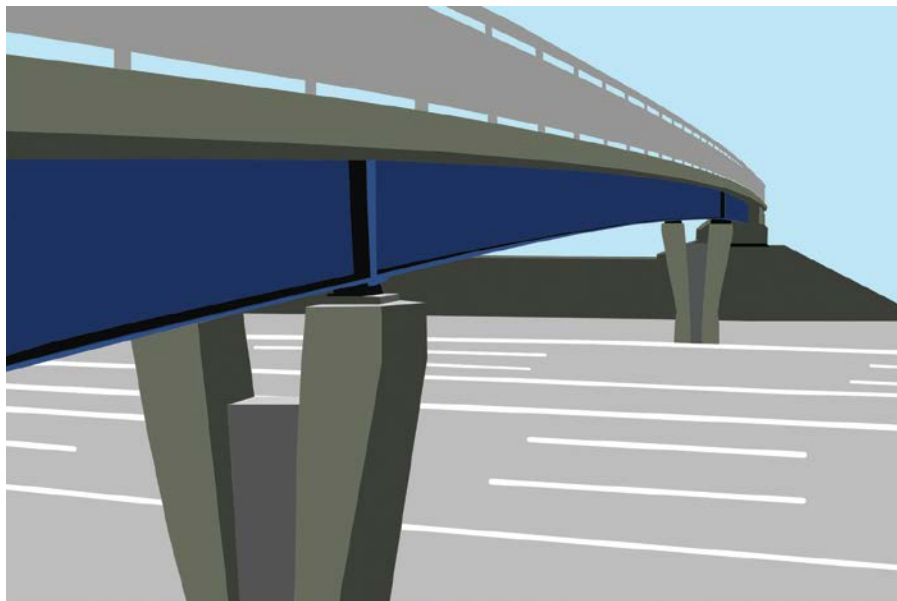


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΣΥΜΜΙΚΤΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στέλλα Δ. Πύρζα

Επιβλέπων:

κ. Ιωάννης Βάγιας

Αθήνα, Ιούλιος 2013

ΕΜΚ ΔΕ 2013/68

Πύρζα Σ. Δ (2013).

Συγκριτική ανάλυση συστημάτων στήριξης αμφιέριστης γέφυρας με
σύμμικτο κατάστρωμα

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2013/68

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,
Αθήνα.

Pyrza S. D. (2013).

Comparative analysis of structural systems for a composite steel-reinforced concrete bridge
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2013/68

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract	5
Ευχαριστίες	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Γενικά στοιχεία	7
1.2 Χαρακτηριστικά σύμμικτων γεφυρών	7
1.3 Κατάταξη γεφυρών	8
1.3.1 Γέφυρες με σύστημα δοκών	8
1.3.2 Γέφυρες με κιβώτια	8
1.3.3 Δικτυωτές γέφυρες	9
1.3.4 Τοξωτές γέφυρες	9
1.3.5 Κρεμαστές γέφυρες	10
1.3.6 Καλωδιωτές γέφυρες	10
2 Κανονισμοί	11
2.1 Εισαγωγή	11
2.2 Δράσεις	11
2.2.1 Κατάταξη δράσεων	11
2.2.2 Δράσεις Κυκλοφορίας για οδικές γέφυρες	12
2.2.3 Επιρροές λόγω χρόνιων παραμορφώσεων	14
2.3 Βάσεις σχεδιασμού	16
2.3.1 Οριακές καταστάσεις αστοχίας (Ο.Κ.Α)	16
2.3.2 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ)	18
2.4 Δομικά υλικά	19
2.4.1 Σκυρόδεμα	19
2.4.2 Χάλυβας σκυροδέματος	19
2.4.3 Δομικός χάλυβας	19
2.5 Έλεγχοι στην Ο.Κ.Α	20
2.5.1 Κατάταξη διατομών	20
2.5.2 Έλεγχοι διατομών	22
2.5.3 Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (απλοποιητική μέθοδος)	27
2.6 Έλεγχοι σε Ο.Κ.Λ	28
2.6.1 Έλεγχοι περιορισμού τάσεων	28
2.6.2 Έλεγχος ρηγμάτωσης σκυροδέματος	29
2.6.3 Έλεγχος βελών και ταλαντώσεων	29
2.7 Έλεγχοι διατμητικής σύνδεσης	30
2.7.1 Διατμητικοί ήλοι κεφαλής	30
2.7.2 Διατμητική κάλυψη πλάκας σκυροδέματος	31
2.8 Έλεγχοι σε κόπωση	32
2.8.1 Έλεγχος δομικού χάλυβα	32
2.8.2 Έλεγχος σκυροδέματος	34
2.8.3 Έλεγχος διατμητικών συνδέσεων	34
3 Εφαρμογή σε γέφυρα με δοκούς μορφής Ι	36
3.1 Εισαγωγή	36
3.2 Αδρανειακά χαρακτηριστικά διατομής κύριας δοκού	37

3.3	Χαρακτηριστικές τιμές φορτίσεων.....	38
3.4	Έλεγχοι σε ΟΚΑ.....	41
3.4.1	Χαρακτηριστικές τιμές εντατικών μεγεθών.....	41
3.4.2	Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού.....	41
3.4.3	Έλεγχος Διατομής σε Κάμψη.....	42
3.4.4	Έλεγχος Διατομής σε Διάτμηση.....	43
3.4.5	Έλεγχος επάρκειας διατομής σε φάση κατασκευής.....	44
3.5	Έλεγχοι σε Ο.Κ.Λ.....	46
3.5.1	Επιρροές λόγω χρόνιων παραμορφώσεων.....	46
	Ερπυσμός.....	46
3.5.2	Συστολή Ξήρανσης.....	49
3.5.3	Έλεγχος τάσεων σε Ο.Κ.Λ.....	50
3.5.4	Έλεγχος βελών στην Ο.Κ.Λ.....	51
3.6	Διατμητική Σύνδεση.....	54
3.6.1	Αντοχή ήλου σε διάτμηση.....	54
3.6.2	Αντοχή σε σύνθλιψη Άντυγας Σκυροδέματος.....	54
3.6.3	Κατανομή ήλων.....	55
3.6.4	Έλεγχος αποστάσεων.....	55
3.6.5	Διατμητική Κάλυψη πλάκας σκυροδέματος.....	56
3.7	Έλεγχος σε Κόπωση.....	57
3.7.1	Έλεγχος δομικού χάλυβα.....	57
3.7.2	Έλεγχος ήλων σε κόπωση.....	59
3.8	Εφέδρανα.....	60
3.8.1	Σεισμός.....	61
3.8.2	Μη σεισμικές δράσεις.....	63
4	Εφαρμογή σε γέφυρα με δικτυωτούς φορείς.....	67
4.1	Εισαγωγή.....	67
4.2	Χαρακτηριστικές τιμές φορτίσεων.....	68
4.3	Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού.....	75
4.3.1	Έλεγχος μελών στην ΟΚΑ.....	77
4.3.2	Έλεγχος ορθοστατών.....	79
4.3.3	Έλεγχος σύμμικτης διατομής άνω πέλματος σε θλίψη.....	80
4.3.4	Έλεγχος άνω πέλματος στη φάση κατασκευής.....	80
4.4	Έλεγχος διατομών σε ΟΚΛ.....	81
4.4.1	Έλεγχος τάσεων στην ΟΚΛ.....	81
4.4.2	Έλεγχος Βελών στην Ο.Κ.Λ.....	82
4.5	Διατμητική Σύνδεση.....	85
4.5.1	Αντοχή ήλου σε διάτμηση.....	85
4.5.2	Αντοχή σε σύνθλιψη Άντυγας Σκυροδέματος.....	86
4.5.3	Κατανομή ήλων.....	86
4.5.4	Έλεγχος αποστάσεων.....	87
4.5.5	Διατμητική Κάλυψη πλάκας σκυροδέματος.....	88
4.6	Έλεγχος σε Κόπωση.....	88
	Έλεγχος δομικού χάλυβα.....	88
4.6.1	Έλεγχος ήλων σε κόπωση.....	91
4.7	Εφέδρανα.....	92
4.7.1	Σεισμός.....	93
4.7.2	Μη σεισμικές δράσεις.....	95
5	Προμέτρηση χαλύβδινων υλικών.....	98
5.1.1	Σύστημα δοκών.....	98

5.1.2 Σύστημα δικτύματος	98
6 Συμπεράσματα	99
7 Βιβλιογραφία.....	100

**Συγκριτική ανάλυση συστημάτων στήριξης αμφιέρειστης γέφυρας με
σύμμικτο κατάστρωμα**

Πύρζα Σ.Δ. (Επιβλέπων: κ. Ιωάννης Βάγιας)

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη σύμμικτης οδικής γέφυρας με κατάστρωμα από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Το μήκος ανοίγματος της γέφυρας είναι $L=60$ m και το πλάτος καταστρώματος $b=11$ m.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση μιας γέφυρας σε δοκούς μορφής I και μίας δικτυωτής γέφυρας με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης ως προς τη λειτουργικότητα και την ευκολία μελέτης και κατασκευής. Οι απαραίτητοι έλεγχοι του φορέα γίνονται σύμφωνα με τις διατάξεις που ορίζουν οι Ευρωκώδικες.

Προκειμένου να αναλυθεί στον Η/Υ το μοντέλο του φορέα γίνεται χρήση του λογισμικού Sofistik, στο οποίο οι δοκοί, οι διαδοκίδες και το κατάστρωμα προσομοιώνονται με στοιχεία εσχάρας δοκού ενώ τα στοιχεία στήριξης με ελατήρια. Με τη βοήθεια του προγράμματος επίσης γίνονται όλες οι απαραίτητες στατικές και δυναμικές φορτίσεις από τις οποίες εξάγονται τα μεγέθη καταπόνησης του φορέα.

Στην εισαγωγή γίνεται σύντομη περιγραφή της λειτουργίας των σύμμικτων γεφυρών και ακολούθως δίδονται όλες οι απαραίτητες διατάξεις των Ευρωκωδίκων. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται η εφαρμογή των διατάξεων σε κάθε σύστημα που εξετάζεται. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο γεφυρών.

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

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2013/68

Comparative analysis of structural systems for a composite
steel-reinforced concrete bridge

Pyrza S. D. (supervised by Vayas I.)

Abstract

The purpose of this diploma thesis is the study of a composite road bridge with reinforced concrete deck. The length of the bridge is $L=60$ m and the width of deck is $b=11$ m.

Specifically, the subject of the project is the comparative analysis of a bridge with beams and a truss composite bridge and aims to find the optimal solution considering the functionality, and the easement of construction. The necessary controls of bridge are carried out accordingly to the provisions determined by Eurocodes.

In order to analyse the model of bridge in computer, the use of package Sofistik was necessary. The beams and deck are simulated as beam elements, while supports are simulated as elastic links. In addition, with the help of this program, all the necessary static and dynamic loads accordingly to which the results of stress of the bridge are exported, are input.

In the introduction the function of composite bridges are described summarily and all the used provisions of Eurocodes are given. In the next chapters, the appliance of provisions in each structural system which is examined is performed. The last chapter considers the inferences that turned out by the comparative analysis of the results of two supporting systems of bridges.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Ιωάννη Βάγια που ανέλαβε την επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ πολύ τον κ. Ανδρέα Σπηλιόπουλο για την βοήθεια και την καθοδήγηση του σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου για την συνεχή συμπαράσταση και την ώθηση τους στο να παίρνω σωστές αποφάσεις.

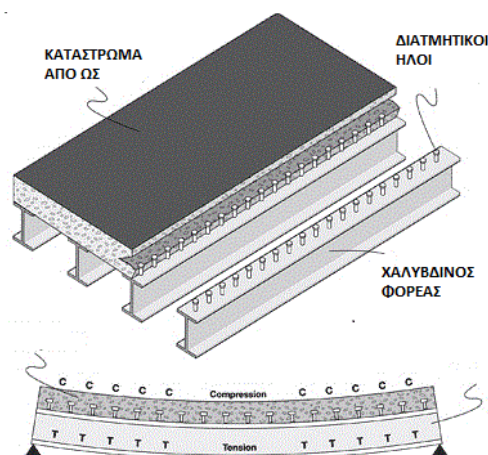
1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία

Γέφυρα είναι η κατασκευή που χρησιμοποιείται για την ζεύξη δύο ή περισσότερων σημείων με σκοπό τη διέλευση μέσω μεταφοράς. Ανάλογα με τον τύπο του φορέα οι γέφυρες διακρίνονται σε οδικές, σιδηροδρομικές, πεζών, πεζών και ποδηλάτων, υδατογέφυρες. Οι σύγχρονες γέφυρες κατασκευάζονται συνήθως είτε από σκυρόδεμα είτε από χάλυβα ή ως σύμμικτες με συνεργασία χάλυβα σκυροδέματος. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι διαμόρφωσης των γεφυρών, οι πιο συνηθισμένοι εκ των οποίων είναι τοξωτές, καλωδιωτές, κρεμαστές, δικτυωτές, με σύστημα δοκών ή κιβωτίων.

1.2 Χαρακτηριστικά σύμμικτων γεφυρών

Ο βασικός φορέας των σύμμικτων γεφυρών αποτελείται από δομικό χάλυβα, ενώ η πλάκα του καταστρώματος μορφώνεται ως πλάκα από σκυρόδεμα συνεργαζόμενη με τον χαλύβδινο φορέα. Η εξασφάλιση της συνεργασίας μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος γίνεται με τη σύνδεση των δύο υλικών μέσω διατμητικών ήλων.



1.3 Κατάταξη γεφυρών

1.3.1 Γέφυρες με σύστημα δοκών



Αποτελούν τον συνηθέστερο τύπο γεφυρών, λόγω της απλότητας κατασκευής τους. Για ανοίγματα μέχρι 30 μέτρα συνηθίζεται η χρήση πυκνά διατεταγμένων παράλληλων μεταξύ τους σιδηροδοκών και

από κατάστρωμα σταθερού πάχους μεταξύ 24 και 30cm. Το βασικό πλεονέκτημα της πυκνής διάταξης των σιδηροδοκών είναι η αποφυγή της χρήσης διαδοκίδων. Για γέφυρες ανοίγματος 30-80 μέτρων επικρατεί η χρήση δύο ολόσωμων συγκολλητών σιδηροδοκών με άνισα πέλματα.

1.3.2 Γέφυρες με κιβώτια



Τα κιβώτια πλεονεκτούν από στατικής απόψεως προσφέροντας μεγάλη δυστρεψία και καλύτερη εγκάρσια κατανομή φορτίων, έχουν όμως μεγαλύτερο κατασκευαστικό κόστος και προτιμώνται

ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεγαλύτερων ανοιγμάτων. Αντί των πυκνά διατεταγμένων σιδηροδοκών I μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μικρά ανοίγματα αεροστεγή μικροκιβώτια, ενώ για μεγαλύτερα ανοίγματα συνηθίζεται η χρήση επισκέψιμων κιβωτίων.

1.3.3 Δικτυωτές γέφυρες



Για ανοίγματα μεγαλύτερα από 50 m είναι δυνατή η χρήση δικτυωμάτων ως κύριων δοκών, σταθερού ή μεταβλητού ύψους, προσαρμοσμένου στο διάγραμμα ροπών. Το ύψος αυξάνεται στο στήριγμα για συνεχείς φορείς ενώ για αμφιέρειστους στο άνοιγμα. Η πλάκα καταστρώματος συνδέεται

διατμητικά με τη χαλύβδινη ράβδο του άνω πέλματος του δικτυώματος ώστε να συμμετέχει στην παραλαβή της έντασης εντός του συνεργαζόμενου πλάτους.

1.3.4 Τοξωτές γέφυρες



Για ανοίγματα μεταξύ 100 και 250 m μπορεί να χρησιμοποιηθούν τόξα από τα οποία αναρτώνται συνήθως οι κύριες δοκοί. Πραγματοποιείται πρώτα η ανέγερση των τόξων και στη συνέχεια γίνεται η ανάρτηση των φορέων του καταστρώματος.

Δημοφιλέστερο τύπο τοξωτών γεφυρών αποτελούν οι τοξωτές γέφυρες με ελκυστήρα, όπου οι κύριες δοκοί καταστρώματος συνδέονται με το τόξο τόσο στα άκρα, όσο και στις θέσεις των αναρτήρων.

1.3.5 Κρεμαστές γέφυρες



Σε αυτόν τον τύπο γέφυρας είναι τα καλώδια που σηκώνουν το βάρος του καταστρώματος κάθετα ως προς το κατάστρωμα. Γέφυρα αυτού του τύπου χρησιμοποιείται περισσότερο για τη διάβαση υδάτινων εμποδίων τα οποία διασχίζονται από πλοία.

Χάρη σε αυτή την εξειδικευμένη τεχνική, μπορούν να κατασκευαστούν γέφυρες με άνοιγμα πολλών χιλιομέτρων.

1.3.6 Καλωδιωτές γέφυρες



Η καλωδιωτή γέφυρα αποτελείται από έναν ή περισσότερους στύλους και από καλώδια λοξά ως προς το κατάστρωμα. Τα καλώδια είναι υψηλής αντοχής ώστε να μεταφέρουν τα φορτία του καταστρώματος στους πυλώνες μέσω αξονικού εφελκυσμού. Αυτές οι

γέφυρες αποδείχτηκαν ιδανικές για μεγαλύτερες αποστάσεις, τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.

2 Κανονισμοί

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται όλες οι απαραίτητες διατάξεις των κανονισμών που ορίζονται από τους Ευρωκώδικες και διέπουν τις οδικές γέφυρες. Οι κανονισμοί αυτοί χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των γεφυρών ως προς τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας, τα μοντέλα κόπωσης, τον έλεγχο των διατμητικών συνδέσμων καθώς επίσης και των έλεγχου των δράσεων του ανέμου και του σεισμού.

2.2 Δράσεις

2.2.1 Κατάταξη δράσεων

Ανάλογα με την μεταβολή τους ως προς το χρόνο οι δράσεις διακρίνονται σε μόνιμες, μεταβλητές και τυχηματικές, ενώ περαιτέρω διάκριση γίνεται ως προς το αν οι δράσεις είναι άμεσες, στις οποίες ανήκουν τα επιβαλλόμενα φορτία (ίδια βάρη, κυκλοφορία ή άνεμος) ή έμμεσες (θερμοκρασία, ερπυσμός, συστολή ξήρανσης).

Συμβολισμός	Δράση	Είδος
G1	Ίδια βάρη φέρουσας κατασκευής	Άμεση
G2	Λοιπά μόνιμα φορτία(άσφαλτος, πεζοδρόμια, κιγκλιδώματα, υγραμόνωση κλπ)	Άμεση
D1	Καθιζήσεις	Έμμεση

Πίνακας 2.1 Μόνιμες δράσεις

Συμβολισμός	Δράση	Είδος
Q	Φορτία κυκλοφορίας	Άμεση
T	Θερμοκρασία	Έμμεση
W	Άνεμος	Άμεση

Πίνακας 2.2 Μεταβλητές δράσεις

Συμβολισμός	Δράση	Είδος
S	Συστολή ξήρανσης σκυροδέματος	Έμμεση
C	Ερπυσμός σκυροδέματος	Έμμεση

Πίνακας 2.3 Ειδικές μόνιμες δράσεις

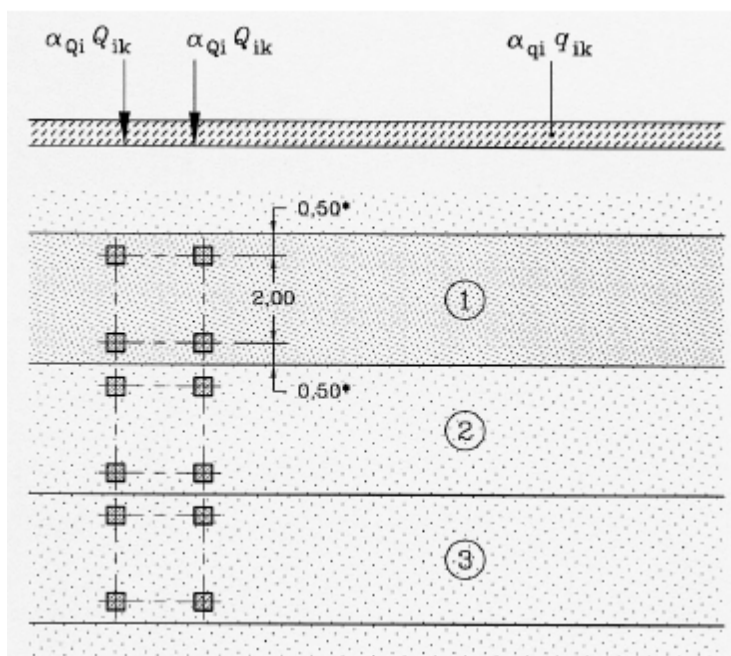
2.2.2 Δράσεις Κυκλοφορίας για οδικές γέφυρες

Για τον έλεγχο σε οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας οι δράσεις κυκλοφορίας υπολογίζονται με βάση το μοντέλο πρότυπης φόρτισης 1 του Ευρωκώδικα. Σύμφωνα με αυτό, το πλάτος του οδοστρώματος μετράται από την αρχή των κρασπέδων και χωρίζεται σε επιμέρους λωρίδες κυκλοφορίας ως εξής:

Πλάτος οδοστρώματος w	Αριθμός ονομαστικών λωρίδων	Πλάτος ονομαστικής λωρίδας	Πλάτος εναπομένουσας επιφάνειας
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_1 = 1$	3	$w - 3$
$5,4 \text{ m} \leq w \leq 6 \text{ m}$	$n_1 = 2$	$w/2$	0
$w \geq 6 \text{ m}$	$n_1 = w/3$	3 m	$w - 3n_1$

Πίνακας 2.4 Αριθμός και πλάτος λωρίδων κυκλοφορίας

Το μοντέλο φόρτισης 1 δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1 Μοντέλο πρότυπης φόρτισης 1

Τα φορτία του μοντέλου δίνονται στον πίνακα :

Περιοχή	Σύστημα δίδυμου άξονα TS Q(KN)	Σύστημα UDL q(KN/m ²)
Λωρίδα 1	300	9
Λωρίδα 2	200	2,5
Λωρίδα 3	100	2,5
Λωρίδα 4	0	2,5
Εναπομένουσα επιφάνεια(q_{rk})	0	2,5

Πίνακας 2.5 Φορτία

2.2.3 Επιρροές λόγω χρόνιων παραμορφώσεων

2.2.3.1 Ερπυσμός

Συντελεστής μετατροπής σκυροδέματος χάλυβα για βραχυχρόνιες φορτίσεις	$n_o = \frac{E_a}{E_{cm}}$
Συντελεστής μετατροπής σκυροδέματος χάλυβα για μακροχρόνιες φορτίσεις	$n_L = n_o \cdot (1 + \psi_L \cdot \varphi)$
ψ_L μόνιμων δράσεων	1,1
ψ_L συστολής ξήρανσης	0,55
ψ_L επιβαλλόμενων παραμορφώσεων	1,50
Συντελεστής ερπυσμού	$\varphi(t, t_o) = \beta(t, t_o) \cdot \varphi_o$
Βασική τιμή	$\varphi_o = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t, t_o)$
Ιδεατό πάχος	$h_o = 2 \cdot A_c / u$
Επιρροή σχετικής υγρασίας	$\varphi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - RH}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_o}}\right) \cdot a_1$
Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος	$\beta(f_{cm}) = \sqrt{\frac{16,8}{f_{cm}}}$
Επιρροή ηλικίας στην αρχή της φόρτισης	$\beta(t_o) = \frac{1}{0,1 + t_o^{0.2}}$
Συνάρτηση χρονικής εξέλιξης	$\beta_c(t, t_o) = \left(\frac{t - t_o}{\beta_H + (t - t_o)}\right)^{0.3}$
Συντελεστής β_H	$\beta_H = 1,5 \cdot (1 + (0,012 \cdot RH)^{18}) \cdot h_o + 250a_3$
Συντελεστής a_i	$a_i = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{n_i}$
Σχετική υγρασία RH	Θεωρείται 80%

2.2.3.2 Συστολή ξήρανσης

Βασικός συντελεστής συρρίκνωσης	$\varepsilon_{c,s}(f_{ck}) = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$
Χρονική συνάρτηση	$\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0,2 \cdot t^{0,5}}$
Βασικός συντελεστής ξήρανσης	$\varepsilon_{c,ds}(f_{cm}) = (220 + 110 \cdot a_{ds,1}) \cdot e^{(-a_{ds,2} \cdot \frac{f_{cm}}{10})} \cdot 10^{-6}$
Συντελεστής σχετικής υγρασίας	$\beta_{RH} = -1,55 \cdot (1 - RH^3)$
Χρονική συνάρτηση	$\beta_{ds}(t - t_s) = \frac{t - t_s}{t - t_s + 0,04 \cdot \sqrt{h_o^3}}$
Ανηγγμένη παραμόρφωση ξήρανσης	$\varepsilon_{c,ds}(t, t_s) = \varepsilon_{c,dso}(f_{cm}) \cdot \beta_{RH} \cdot \beta_{ds}(t - t_s)$
Ανηγγμένη παραμόρφωση συρρίκνωσης	$\varepsilon_{c,as}(t) = \varepsilon_{c,aso}(f_{cm}) \cdot \beta_{as}(t)$
Παραμόρφωση συστολής ξήρανσης	$\varepsilon_{cs}(t, t_o) = \varepsilon_{cs,as}(t) + \varepsilon_{c,ds}(t, t_s)$

2.3 Βάσεις σχεδιασμού

Οι βάσεις σχεδιασμού διακρίνονται σε οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας σχετίζονται με την ασφάλεια των ανθρώπων και του φορέα ενώ οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας σχετίζονται με την σωστή λειτουργία του φορέα υπό συνθήκες φυσιολογικής χρήσεως καθώς επίσης και με την άνεση των χρηστών του έργου.

2.3.1 Οριακές καταστάσεις αστοχίας (Ο.Κ.Α)

Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας αφορούν:

- την αντοχή των διατομών
- την απώλεια ισορροπίας του φορέα
- την ευστάθεια των μελών
- την κόπωση
- την διατμητική σύνδεση

Η γενική ανίσωση ελέγχου σε ΟΚΑ είναι :

$$E_d \leq R_d$$

όπου E_d είναι η τιμή σχεδιασμού του αποτελέσματος των δράσεων ενώ R_d η τιμή σχεδιασμού της αντίστοιχης αντίστασης.

Ο βασικός συνδυασμός σε ΟΚΑ είναι:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

ενώ οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ και οι συντελεστές συνδυασμού ψ_0 για οδικές γέφυρες δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Δράσεις	Επίδραση		Συντελεστής ψ_0
	Ευμενής	Δυσμενής	
Μόνιμες	1,0	1,35	-
Συστολή ξήρανσης	1,0	1	μόνιμη δράση
Φορτία	0	1,35	TS: 0,75
κυκλοφορίας			UDL:0,40
Καθιζήσεις	1	1,1	μόνιμη δράση
Θερμοκρασία	0	0^2 η $1,5^3$	0^2 η $0,6^3$
Άνεμος	0	1,5	0,6

Πίνακας 2.6 Συντελεστές του βασικού συνδυασμού στην Ο.Κ.Α για οδικές γέφυρες

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας των αντιστάσεων έχουν εν γένει τις παρακάτω τιμές για ελέγχους στην οριακή κατάσταση αστοχίας:

Υλικό	Συντελεστής ασφαλείας
Σκυρόδεμα	$\gamma_c=1,5$
Χάλυβας σκυροδέματος	$\gamma_s=1,15$
Δομικός χάλυβας	$\gamma_M=1,0$
Διατμητική σύνδεση	$\gamma_v=1,25$
Διαμήκης διάτμηση σε σύμμικτες πλάκες	$\gamma_{vs}=1,25$

Πίνακας 2.7 Συντελεστές ασφαλείας των αντιστάσεων

2.3.2 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ)

Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας αφορούν:

- τον έλεγχο των παραμορφώσεων
- τα βέλη του φορέα και τις ταλαντώσεις
- την διατμητική σύνδεση

Η γενική ανίσωση ελέγχου σε ΟΚΑ είναι :

$$E_d \leq C_d$$

όπου E_d είναι η τιμή σχεδιασμού του αποτελέσματος των δράσεων ενώ R_d η τιμή σχεδιασμού του συναφούς κριτηρίου λειτουργικότητας Όσον αφορά τον προσδιορισμό των δράσεων, στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας λαμβάνονται πάντα υπόψη η επιρροές και των δευτερογενών δράσεων (ερπυσμός, συστολή ξήρανσης)

Οι συνδυασμοί δράσεων στην Ο.Κ.Λ συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος	Συνδυασμός	Πεδίο εφαρμογής
Συχνός	$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{j > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$	Περιορισμός ρηγμάτωσης Περιορισμός τάσεων οπλισμών
Μη συχνός	$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_1' \cdot Q_{k1} + \sum_{j > 1} \psi_{1i} Q_{ki}$	Έλεγχος διατμητικών συνδέσμων Ελάχιστος οπλισμός
Σπάνιος	$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{j > 1} \psi_{0i} Q_{ki}$	Περιορισμός τάσεων χάλυβα
Οιονεί μόνιμος	$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{j > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$	Περιορισμός τάσεων σκυροδέματος

Πίνακας 2.8 Συνδυασμοί στην Ο.Κ.Λ

2.4 Δομικά υλικά

2.4.1 Σκυρόδεμα

Για την σύμμικτη γέφυρα χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C35/45, οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του οποίου δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

f_{ck}	f_{cm}	$f_{ctk_{0,05}}$	$f_{ctk_{0,95}}$	f_{ctm}	E_{cm}	ν	γ	γ νωπού
35	43	2,2	4,2	3,2	33300	0,2	25	26

Πίνακας 2.9 Μηχανικές ιδιότητες σκυροδέματος

2.4.2 Χάλυβας σκυροδέματος

Η χρησιμοποιούμενη ποιότητα του χάλυβα σκυροδέματος είναι S500. Η συμπεριφορά του χάλυβα προσδιορίζεται κυρίως από το όριο διαρροής, τη συγκολλησιμότητα, την αντοχή σε κόπωση καθώς επίσης και από τις αντισεισμικές απαιτήσεις.

2.4.3 Δομικός χάλυβας

Η συνήθως χρησιμοποιούμενη ποιότητα χάλυβα στις σύμμικτες γέφυρες είναι η S355. Η τάση σχεδιασμού του χάλυβα S355 δίνεται από τη σχέση:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{f_{yk}}{1,0}$$

Το επιτρεπόμενο πάχος των ελασμάτων εφελκόμενων στοιχείων για ελάχιστη θερμοκρασία αναφοράς -23°C είναι 65 mm. Ωστόσο το πάχος

μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 150 mm για θερμομηχανικώς επεξεργασμένους χάλυβες.

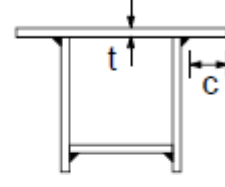
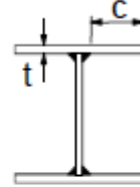
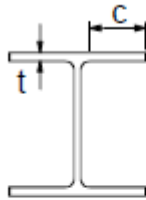
2.5 Έλεγχοι στην Ο.Κ.Α

2.5.1 Κατάταξη διατομών

Με την κατάταξη των διατομών ελέγχεται η εμφάνιση ή όχι τοπικού λυγισμού. Διακρίνονται 4 κατηγορίες διατομών όσον αφορά τα μεγέθη ορθής έντασης:

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα						
						Αξονας κάμψης
						Αξονας κάμψης
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	$\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	$\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	$\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ $\psi \leq -1^{\circ): c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

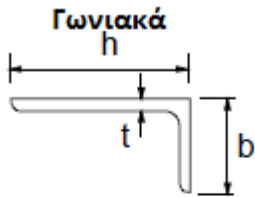
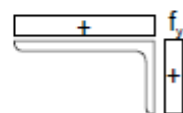
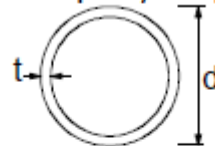
Προεξέχοντα στοιχεία



Ελατές διατομές

Συγκολλητές διατομές

Κατηγορία	Στοιχείο υπο θλίψη	Στοιχείο υπο κάμψη και θλίψη				
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό			
Πλαστική κατανομή τάσεων στο στοιχείο(θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Ελαστική κατανομή τάσεων στο στοιχείο(θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ · k_σ EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

		Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία
Διατομή σε θλίψη		
Κατανομή τάσεων στη διατομή(θλί- ψη θετική)		
3	$h/t \leq 15\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$	
Σωληνωτές διατομές		
		
Κατηγορία	Διατομή σε κάμψη ή/και θλίψη	
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$	
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$	
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$	
NOTE For $d/t > 90\varepsilon^2$ see EN 1993-1-6.		
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235 275 355 420 460
	ε	1,00 0,92 0,81 0,75 0,71
	ε^2	1,00 0,85 0,66 0,56 0,51

2.5.2 Έλεγχοι διατομών

2.5.2.1 Έλεγχος σε κάμψη

Η ροπή αντοχής προσδιορίζεται για κατανομή τάσεων εντός της διατομής όπου για τα διάφορα υλικά χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχες οριακές τιμές της τάσης. Η ανίσωση ελέγχου είναι :

$$M_{ed} \leq M_{c, Rd}$$

όπου M_{ed} ροπή σχεδιασμού και $M_{c, Rd}$ η ροπή αντοχής της διατομής.

Η καμπτική αντοχή σχεδιασμού για κάμψη περί ένα κύριο άξονα της διατομής καθορίζεται ως εξής:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1 ή 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1 ή 2}$$

2.5.2.2 Έλεγχος σε διάτμηση

Η διατμητική αντοχή της διατομής εξαρτάται από τη διατμητική λυγηρότητα του εξεταζόμενου φαινομένου. Αν η διατμητική λυγηρότητα είναι μικρή τότε η διατομή παραλαμβάνει την πλαστική αντοχή της σε τέμνουσα V_{pl} . Γενικά η ανίσωση ελέγχου σε διάτμηση είναι:

$$V_{Ed} \leq V_{pl} \quad \text{αν } \lambda_w \leq 0,83$$

$$V_{Ed} \leq \chi_w \cdot V_{pl} \quad \text{αν } \lambda_w > 0,83$$

όπου χ_w είναι ο μειωτικός συντελεστής διατμητικής κύρτωσης και δίνεται στον πίνακα:

	Δύσκαμπτη ακραία νεύρωση	Εύκαμπτη ακραία νεύρωση
$\lambda_w < 0,83$	1,0	1,0
$0,83 \leq \lambda_w < 1,08$	$0,83/\lambda_w$	$0,83/\lambda_w$
$\lambda_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7+\lambda_w)$	$0,83/\lambda_w$

Πίνακας 2.10 Μειωτικός συντελεστής χ_w

Η πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,Rd}$ δίνεται απο τη σχέση

$$V_{pl} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

όπου A_v η επιφάνεια διάτμησης.

2.5.2.3 Έλεγχος σε μονοαξονικό εφελκυσμό

Η τιμή της εφελκυστικής δύναμης N_{Ed} θα πρέπει να ικανοποιεί την ανίσωση:

$$N_{Ed} \leq N_{pl}$$

όπου η αξονική δύναμη σχεδιασμού διαρροής της διατομής δίνεται απο τη σχέση:

$$N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

2.5.2.4 Έλεγχος σε κάμψη και αξονική δύναμη

Για διατομές κατηγορίας 1 και 2 η επίδραση της αξονικής δύναμης λαμβάνεται υπόψη με μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής. Το κριτήριο σχεδιασμού γράφεται:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

όπου $M_{N,Rd}$ η πλαστική ροπή αντοχής μειωμένη λόγω της αξονικής δύναμης N_{Ed}

για κοίλες κυκλικές διατομές ισχύει:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - n^{1,7})$$

2.5.2.5 Έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης

Η επάρκεια ενός θλιβόμενου μέλους με σταθερή διατομή έναντι καμπτικού λυγισμού ελέγχεται με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

όπου η αντοχή $N_{b,Rd}$ θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό δίνεται από τη σχέση

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Σε μέλη υπό αξονική θλίψη η τιμή του μειωτικού συντελεστή χ υπολογίζεται ως συνάρτηση της ανηγμένης λυγηρότητας λ και του συντελεστή α , ο οποίος εξαρτάται από την αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \leq 1$$

όπου

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

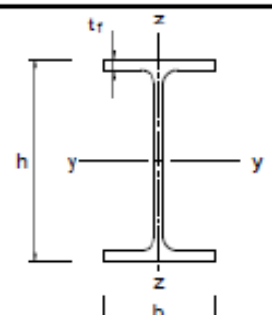
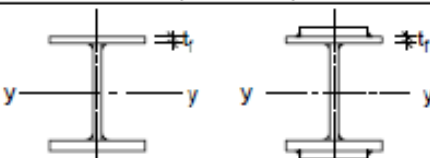

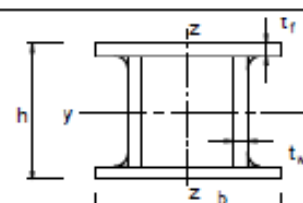
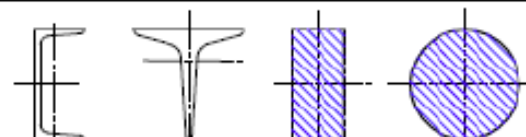

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

και L_{cr} το κρίσιμο μήκος λυγισμού του μέλους

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη Λυγισμού	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Ελαστές διατομές 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d
Συγκολλητές I-διατομές 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	
Κοίλες Διατομές 	Εν θερμώ έλαση	Κάθε	a	a ₀
	Ψυχρή έλαση	Κάθε	c	c
Συγκολλητές κυβηκωειδείς διατομές 	Γενικά (εκτός των κατωτέρω)	Κάθε	b	b
	Μεγάλα πάχη ροφής $\alpha > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Κάθε	c	c
U-, I- και σφιγτογής διατομές 		Κάθε	c	c
L-διατομές 		Κάθε	b	b

Πίνακας 2.11 Καμπύλες λυγισμού

Οι συντελεστές ατελειών ανάλογα με την καμπύλη λυγισμού είναι:

Καμπύλη λυγισμού	α_0	α	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Πίνακας 2.12 Συντελεστές ατελειών

2.5.3 Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (απλοποιητική μέθοδος)

Ο έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό μπορεί να γίνει με την απλοποιημένη μέθοδο όπου η πλευρική ευστάθεια του θλιβόμενου πέλματος εξετάζεται ως υποσύλωμα υπό αξονική θλιπτική δύναμη. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η διατομή που εξετάζεται αποτελείται από το θλιβόμενο πέλμα + το 1/3 του κορμού που βρίσκεται υπό θλίψη.

$$A = A_f + 1/3 \cdot A_{wc}$$

Η γενική ανίσωση ελέγχου της μεθόδου είναι

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\text{όπου } N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα είναι

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

όπου N_{cr} το κρίσιμο φορτίο Euler και δίνεται από τη σχέση :

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I_z / L^2$$

L το μήκος λυγισμού.

Για την αύξηση της αντοχής έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού ενδείκνυται η χρήση πλευρικών δεσμεύσεων είτε με οριζόντιους συνδέσμους στα θλιβόμενα πέλματα είτε με διαδοκίδες που αποσκοπούν στη μείωση του μήκους λυγισμού και κατά συνέπεια στην μείωση της ανηγμένης λυγηρότητας λ.

2.6 Έλεγχοι σε Ο.Κ.Λ

2.6.1 Έλεγχοι περιορισμού τάσεων

Οι έλεγχοι περιορισμού των τάσεων αποσκοπούν στην αποφυγή βλαβών του σκυροδέματος και στην αποφυγή ανελαστικών παραμορφώσεων στο δομικό χάλυβα και τον οπλισμό. Οι περιορισμοί των τάσεων σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι οι εξής

Υλικό	Θλίψη σκυροδέματος	Δομικός χάλυβας	Οπλισμός
Οριακή τάση	Χωρίς περιορισμό	$\sigma_{\alpha} \leq f_{yk} / \gamma_M$ $\tau_{\alpha} \leq f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_M)$ $\sqrt{\sigma_{\alpha}^2 + 3 \cdot \tau_{\alpha}^2} \leq f_{yk} / \gamma_M$	$\sigma_s \leq 0,8 \cdot f_{sk}$
Συνδυασμός δράσεων		σπάνιος $\gamma_M = 1,0$ μη συχνός με $\gamma_M = 1,1$	

Πίνακας 2.13 Περιορισμοί τάσεων

2.6.2 Έλεγχος ρηγμάτωσης σκυροδέματος

Οι έλεγχοι ρηγμάτωσης είναι απαραίτητοι στις περιοχές όπου η πλάκα σκυροδέματος βρίσκεται υπό εφελκυσμό και προβλέπουν τον ελάχιστο οπλισμό καθώς επίσης και τον έλεγχο περιορισμού του εύρους των ρωγμών

2.6.2.1 Ελάχιστος οπλισμός

Το εμβαδό του ελάχιστου οπλισμού δίνεται από τη σχέση:

$$\min A_s = \frac{k_d \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff}}{\sigma_s} \cdot A_{ct}$$

όπου $k_d=0,9$

$$k_c = \frac{1}{1 + \frac{h_c}{2 \cdot z_o}} + 0,3 \leq 1$$

σ_s = τάση οπλισμού

$$f_{ct,eff} = f_{cm} = \text{εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος}$$

2.6.2.2 Έλεγχος περιορισμού του εύρους ρωγμών

Η τάση του χάλυβα σκυροδέματος προσδιορίζεται από την τάση στη ρηγματωμένη διατομή μεγεθυμένη με έναν όρο $\Delta\sigma_s$ ώστε να ληφθεί υπόψη η επάυξη της λόγω συμμετοχής σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών

$$\sigma_{s,2} = \sigma_{s0,el} + \Delta\sigma_s = \frac{\min M}{I} \cdot z_{s0} + 0,4 \cdot \frac{f_{ct}}{a \cdot \rho_s}$$

2.6.3 Έλεγχος βελών και ταλαντώσεων

Μια απλοποιημένη μέθοδος είναι ο περιορισμός των ιδοσυχνοτήτων των κατακόρυφων ταλαντώσεων περί τα 2 HZ.

2.7 Έλεγχοι διατμητικής σύνδεσης

Η σύμμικτη λειτουργία μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και της σιδηροδοκού εξασφαλίζεται μέσω της παραλαβής της διάτμησης που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια χαλύβδινης διατομής και σκυροδέματος. Ένας από τους τρόπους παραλαβής της διάτμησης αυτής είναι η τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων, οι οποίοι παραλαμβάνουν τη διατμητική ροή μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος και εμποδίζουν την ολίσθηση μεταξύ των δύο στοιχείων. Η διατμητική σύνδεση μπορεί να είναι πλήρης όπου η ολίσθηση εμποδίζεται πλήρως ή μερική όπου υπάρχει σχετική ολίσθηση. Οι ήλοι κεφαλής εξετάζονται τόσο σε οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας όσο και σε κόπωση.

2.7.1 Διατμητικοί ήλοι κεφαλής

Αποτελούν το συνηθέστερο τύπο διατμητικών συνδέσμων. Η κεφαλή του ήλου εμποδίζει την ανύψωση της πλάκας σκυροδέματος και την αποκόλληση της από τη σιδηροδοκό. Οι διαστάσεις των χρησιμοποιούμενων ήλων κεφαλής δίνονται στον πίνακα:

d	d ₂	h
16	29	50,75,100,125,150,175,200
19	32	75,100,125,150,200
22	35	50,75,100,125,150,175,200,225,250
25	38	100,125,150,175,200,250

Πίνακας 2.14 Διαστάσεις ήλων κεφαλής σε mm

Αντοχή ήλων κεφαλής

Αντοχή σε διάτμηση

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}{\gamma_v}$$

Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck} E_{cm}}{\gamma_v}}$$

Έλεγχος αποστάσεων διατμητικών ήλων

Διάταξη	Όρια
Διαμήκης απόσταση ήλων	$5d \leq e_L \leq 4 h_c$ ή 800 mm
Εγκάρσια απόσταση ήλων	$2,5d \leq e_T$
Εγκάρσια απόσταση ακραίου ήλου από το πέλμα	$25mm \leq e_D$

Πίνακας 2.15 Αποστάσεις διατμητικών ήλων

2.7.2 Διατμητική κάλυψη πλάκας σκυροδέματος

Η δρώσα διατμητική ροή είναι:

για θλιβόμενο πέλμα

$$V_{Lc,Ed} = V_{L,Ed} \cdot \frac{A_{cp,eff}}{A_{ctot,eff}}$$

για εφελκούμενο πέλμα

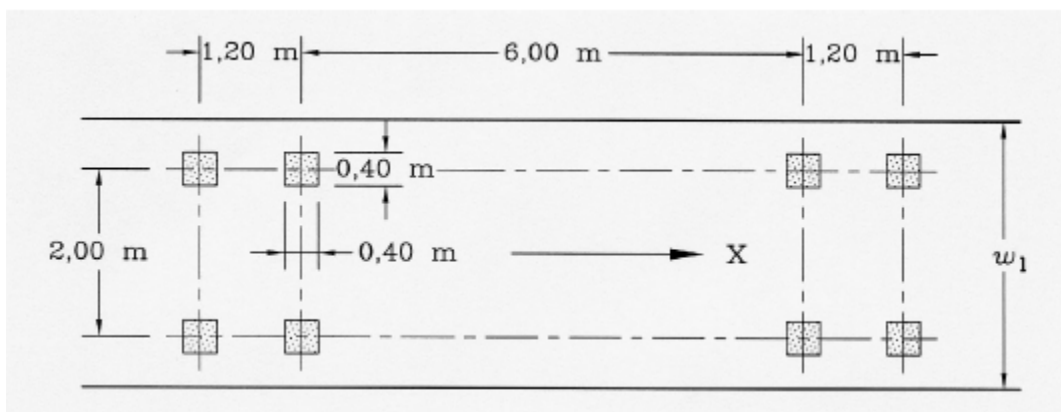
$$V_{Lc,Ed} = V_{L,Ed} \cdot \frac{A_{sp}}{A_{stot}}$$

Αντοχή θλιπτήρα σκυροδέματος:

$$V_{c,Rd} = \frac{0,75 \cdot L_v \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

2.8 Έλεγχοι σε κόπωση

Για τον έλεγχο σε κόπωση χρησιμοποιείται το μοντέλο κυκλοφορίας 3 του Ευρωκώδικα για οδικές γέφυρες. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό ο φορέας φορτίζεται ως εξής:



Σχήμα 2.2 Μοντέλο φόρτισης 3

Η αντοχή σε κόπωση εξαρτάται από την κατηγορία τις κάθε λεπτομέρειας που ελέγχεται.

2.8.1 Έλεγχος δομικού χάλυβα

Σε περίπτωση καταπόνησης των στοιχείων μιας κατασκευής υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση με μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης απαιτείται η εξέταση τους σε κόπωση. Αφού προσδιοριστούν οι αντοχές και βρεθούν οι θετικές ροπές που ασκούνται στο φορέα στη συνέχεια προσδιορίζεται το εύρος των τάσεων σε κάθε ρηγματωμένη ή αρηγματώτη διατομή ως :

$$\Delta\sigma_E = \lambda \cdot \phi \cdot |\sigma_{a,max} - \sigma_{a,min}|$$

όπου $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \leq \lambda_{max}$ και $\phi = 1$ για οδικές γέφυρες

Οι επιμέρους συντελεστές δίνονται στον πίνακα:

λ_1	Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη το μήκος της γραμμής επιρροής
λ_2	<p>Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τον όγκο κυκλοφορίας</p> $\lambda_2 = \left(\frac{N_{obs}}{N_o}\right)^{1/m}$ <p>$N_{obs} = 2 \cdot 10^6$ για οδούς και αυτοκινητόδρομους με 2 η περισσότερες λωρίδες ανα κατεύθυνση</p> <p>$N_{obs} = 0,5 \cdot 10^6$ για οδούς πλάτους οδοστρώματος έως 13 m</p> <p>$m = 8$ για οδικές γέφυρες</p>
λ_3	<p>Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη διάρκεια ζωής της γέφυρας t_{Ld} σε έτη</p> $\lambda_3 = \left(\frac{t_{Ld}}{100}\right)^{1/5}$
λ_4	<p>Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την κυκλοφορία των φορτηγών σε άλλες λωρίδες</p> $\lambda_4 = \left(1 + \sum \left(\frac{n_j}{n_1}\right)^m\right)^{1/m}$ <p>n_j η τιμή της γραμμής επιρροής του εξεταζόμενου εντατικού μεγέθους στο μέσο της λωρίδας j</p>

Πίνακας 2.16 Συντελεστές κόπωσης

Η ανίσωση ελέγχου είναι

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_E}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf,a}} \leq 1$$

2.8.2 Έλεγχος σκυροδέματος

Για το θλιβόμενο σκυρόδεμα γίνεται ένας απλοποιητικός έλεγχος.

Η μέγιστη θλιπτική τάση είναι

$$\sigma_{cmaxf} = \frac{M_{maxf}}{I_1} \cdot z_c$$

Η ελάχιστη θλιπτική τάση

$$\sigma_{cminf} = \frac{M_{minf}}{I_1} \cdot z_c$$

Η αντοχή σε κόπωση δίνεται από τον τύπο:

$$f_{cdf} = e^{0,2(1-\sqrt{\frac{28}{t}})} \cdot (1 - \frac{f_{ck}}{250}) \cdot f_{cd}$$

εξίσωση ελέγχου:

$$\frac{(\sigma_{cmaxf} - 0,45 \cdot \sigma_{cminf})}{f_{cd}} \leq 0,5$$

2.8.3 Έλεγχος διατμητικών συνδέσμων

Ο έλεγχος γίνεται με βάση το εύρος διατμητικών τάσεων των ήλων.

$$\Delta\tau_e = \frac{\lambda_v \cdot \varphi \cdot \Delta V_f \cdot S_{St}}{n \cdot I \cdot A_d}$$

όπου n = ο αριθμός των συνδέσμων ανά μέτρο και A_d το εμβαδό της κεφαλής

$$\lambda_v = \lambda = \lambda_{v1} \cdot \lambda_{v2} \cdot \lambda_{v3} \cdot \lambda_{v4}$$

οι επιμέρους συντελεστές για διατμητικούς ήλους δίνονται στον πίνακα:

λ_{v1}	1,55 για οδικές γέφυρες
λ_{v2}	1,00 για $N_{obs} = 0,5 \cdot 10^6$
λ_{v3}	1,00
λ_{v4}	1,00

Πίνακας 2.17 Συντελεστές κόπωσης για διατμητικούς ήλους

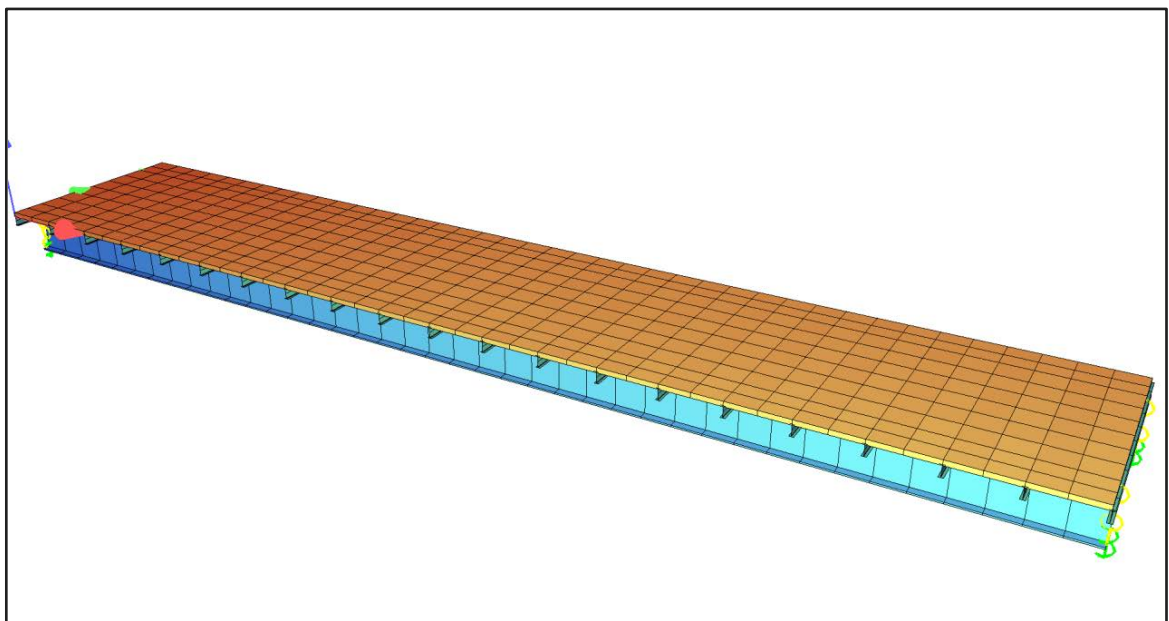
Έλεγχος :

$$\frac{\gamma_f \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \leq 1$$

3 Εφαρμογή σε γέφυρα με δοκούς μορφής I

3.1 Εισαγωγή

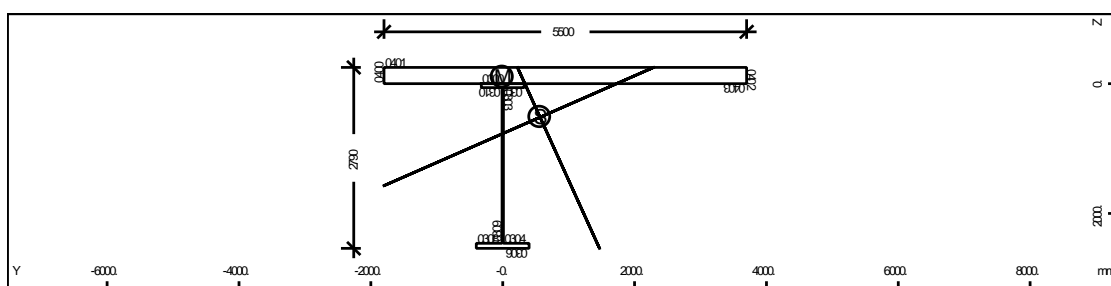
Η γέφυρα που μελετάται είναι αμφιέριστη ανοίγματος 60 m και στηρίζεται σε δύο δοκούς μορφής I. Το συνολικό πλάτος είναι 11 m εκ των οποίων τα 8 m αποτελούνται από το πλάτος του οδοστρώματος ενώ εκατέρωθεν του οδοστρώματος προβλέπονται πεζοδρόμια πλάτους 1.5 m.



Η γεωμετρία του φορέα είναι η εξής:

Γεωμετρία φορέα	
Τύπος Γέφυρας	Αμφιέριστη άνω διάβασης
Άνοιγμα	60 m
Αριθμός σιδηροδοκών	2
Απόσταση	7,4 m
Μήκος προβόλων	1,8 m
Αριθμός λωρίδων	2
Πλάτος οδοστρώματος	8 m
Πλάτος πεζοδρομίων	1,5 m
Συνολικό πλάτος καταστρώματος	11

3.2 Αδρανειακά χαρακτηριστικά διατομής κύριας δοκού



Διατομή	Συντελεστής n	A(m ²)	ze(m)	Iy(m ⁴)
Σιδηροδοκός		0,151	1,468	0,174
Σύμμικτη 0	6,170	0,389	0,744	0,410
Σύμμικτη Μόνιμες δράσεις P100	16,300	0,250	1,086	0,288
Σύμμικτη Συστολή Ξήρανσης S100	11,260	0,288	0,960	0,309

Σύμμικτη Μόνιμες δράσεις P30000	25,450	0,220	1,218	0,266
Σύμμικτη Συστολή Ξήρανσης S30000	15,810	0,253	1,076	0,290

Πίνακας 3.1 Αδρανειακά χαρακτηριστικά διατομής

3.3 Χαρακτηριστικές τιμές φορτίσεων

Ίδιο Βάρος χάλυβα

$$g_a = 11,8 \text{ KN/m}$$

Ίδιο βάρος πλάκας σκυροδέματος

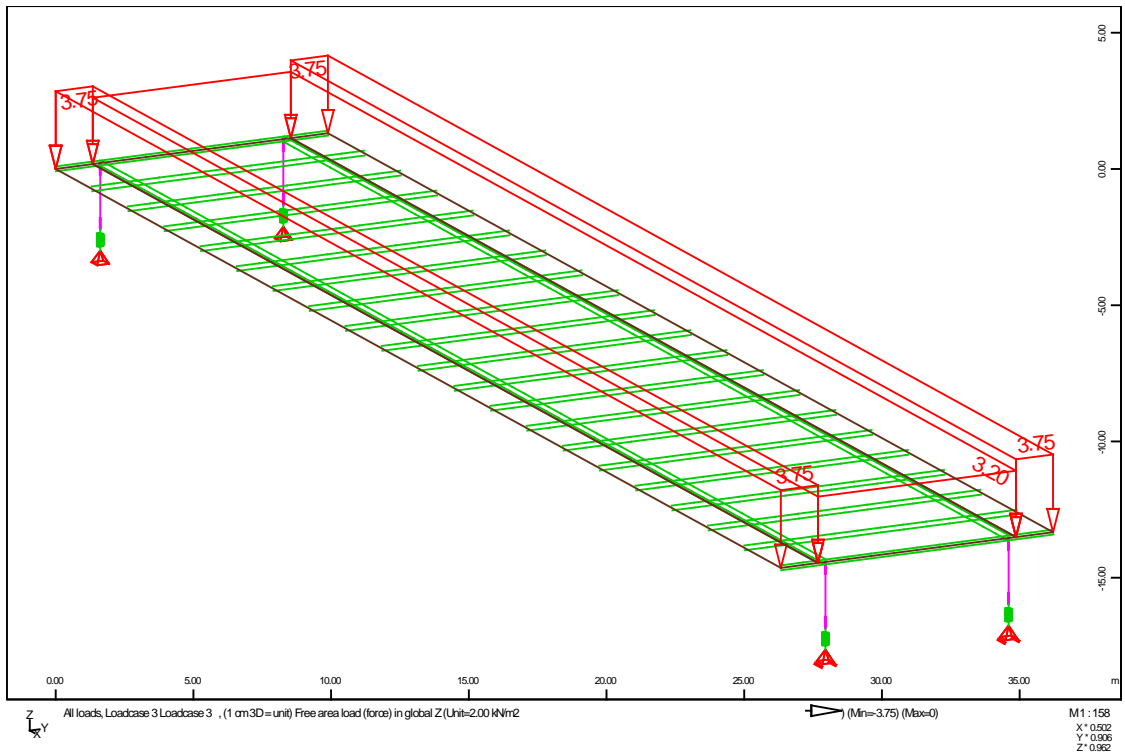
$$g_c = 25 \cdot 5,5 \cdot 0,25 = 34,375 \text{ KN/m}$$

Λοιπά μόνιμα φορτία g_2

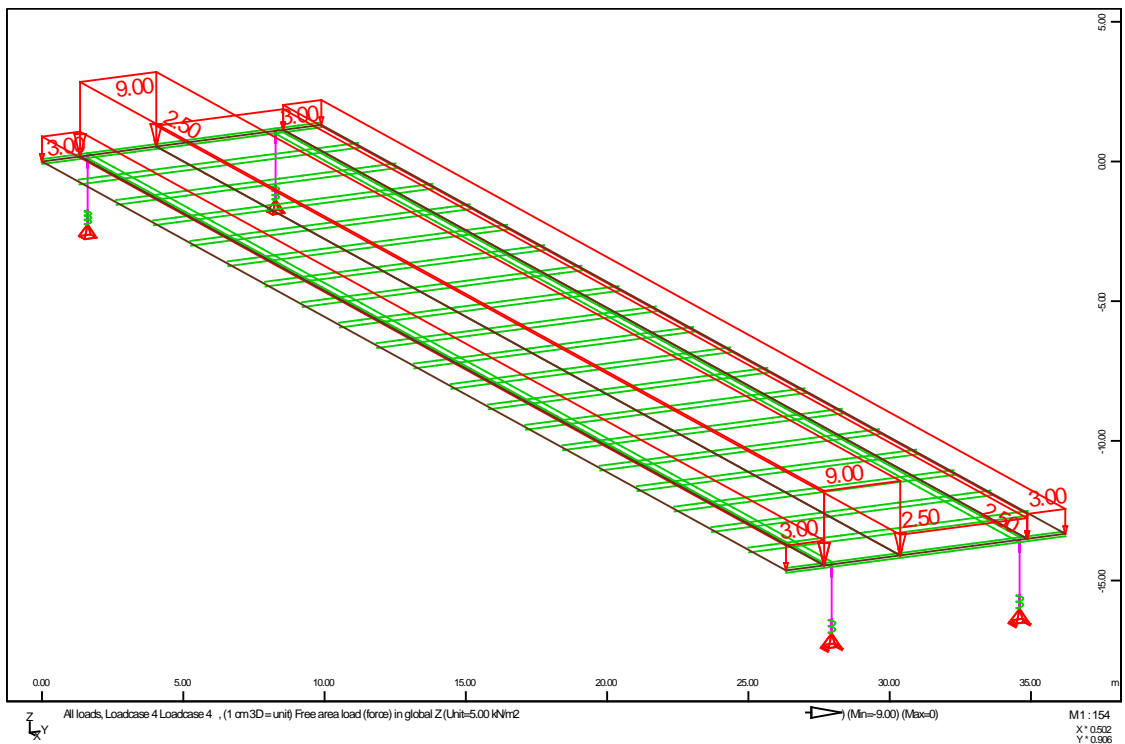
$$g_2 = 18,425 \text{ KN/m}$$

Κινητά φορτία

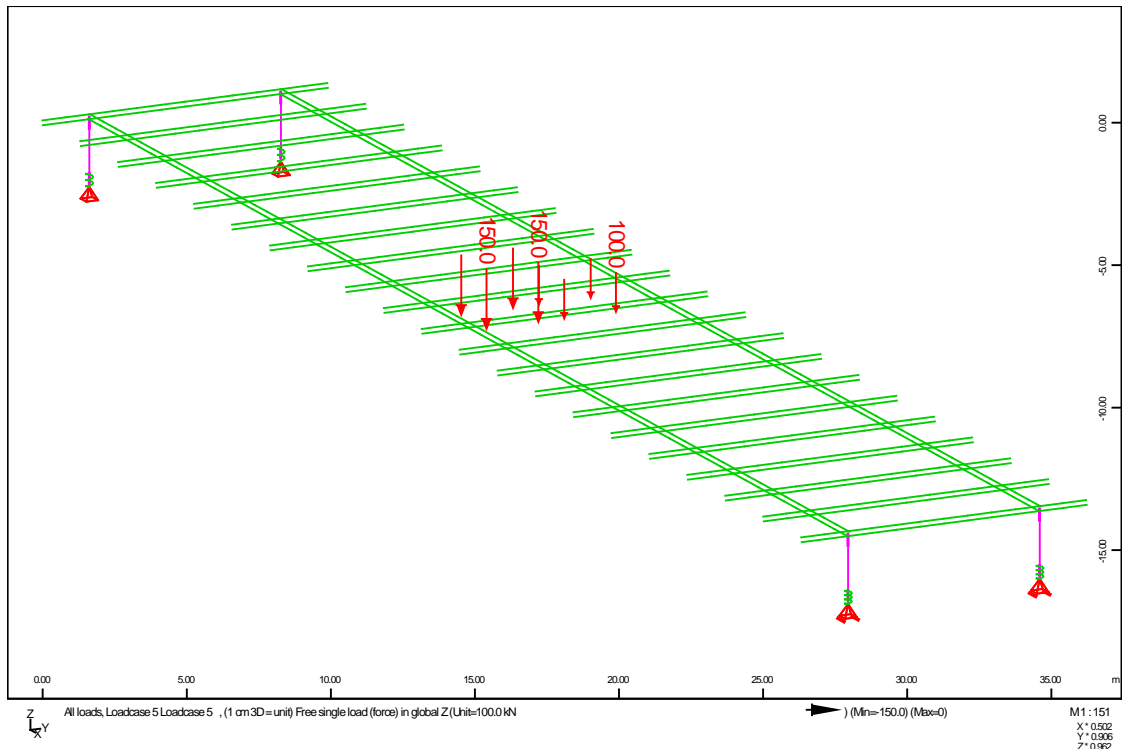
Για τα κινητά φορτία σε ΟΚΑ χρησιμοποιείται το μοντέλο φόρτισης 1 του Ευρωκώδικα.



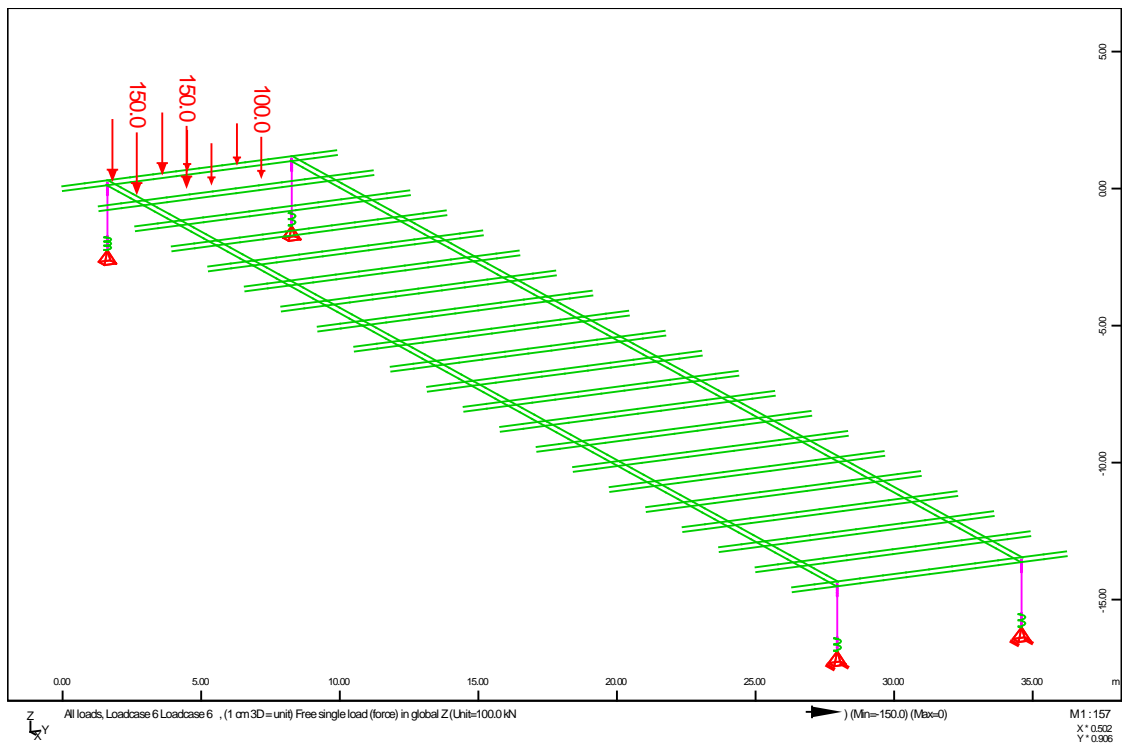
Σχήμα 3.1 Λοιπά μόνιμα φορτία



Σχήμα 3.2 Κινητά φορτία



Σχήμα 3.3 Όχημα στο μέσο του ανοίγματος



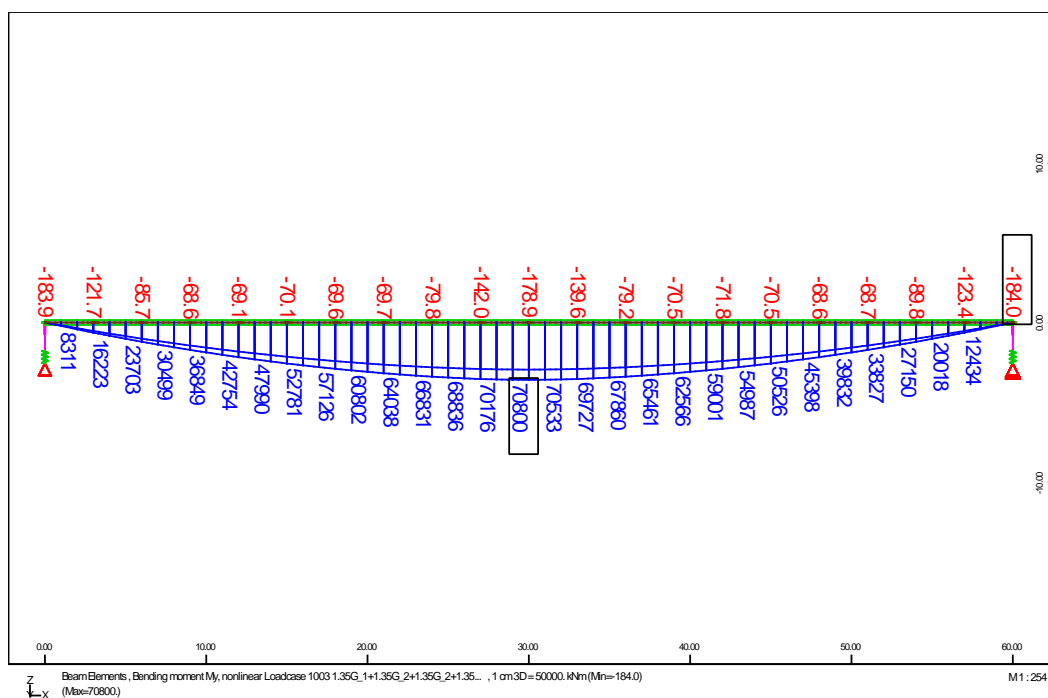
Σχήμα 3.4 Όχημα στο άκρο του ανοίγματος

3.4 Έλεγχοι σε ΟΚΑ

3.4.1 Χαρακτηριστικές τιμές εντατικών μεγεθών

	M(KNm)	V(KN)	R(KN)
I.B. σιδηροδοκού	5332	355,4	355,4
I.B πλάκας	16481	1031	1031
Πρόσθετα μόνιμα φορτία	8259	552,6	553
Κινητά φορτία	13416	1020	1020
Οχημα στο άκρο		340,8	656,4
Οχημα στο μεσο	9017		

3.4.2 Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού



Σχήμα 3.5 Διάγραμμα καμπτικών ροπών

Ουδέτερος άξονας

$$z_0 = 25 + \frac{53605 - 550 \cdot 25 \cdot 0.85 \cdot \frac{3,5}{1,5}}{2 \cdot 35,5 \cdot 65} = 30,7 < 31 \text{ cm}$$

Πλαστική ροπή αντοχής σχεδιασμού

$$M_{pl}^+ = 53605 \cdot \left(171,79 - \frac{25}{2}\right) - 2 \cdot 35,5 \cdot 65 \cdot (30,7 - 25) \cdot \frac{30,7}{2} = 81343,26 \text{ kNm}$$

3.4.4 Έλεγχος Διατομής σε Διάτμηση

Αρχικά εξετάζεται αν ο κορμός είναι λεπτότοιχος

$$\frac{h_w}{t} = \frac{240}{2} = 120 > 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

Επομένως υφίσταται περίπτωση διατμητικού λυγισμού

Ανηγμένη λυγηρότητα μη ενισχυμένου κορμού

$$\lambda_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot \varepsilon \cdot t_w} = \frac{240}{86,4 \cdot 0,81 \cdot 2} = 1,71 > 1,08$$

Καμπύλη κύρτωσης

$$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + 1,71} = 0,57$$

Αντοχή σε τέμνουσα

$$V_{pl,a,Rd} = A_v \frac{f_{yk}/\sqrt{3}}{\gamma_M} = \frac{240 \cdot 2 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 9838 \text{ KN}$$

$$V_{b,a,Rd} = 0,57 \cdot 9838 = 5607 \text{ KN}$$

Με την τοποθέτηση όμως διαμήκων νευρώσεων το ύψος μειώνεται στα 80 cm και είναι $\chi_w = 1,2$

3.4.5 Έλεγχος επάρκειας διατομής σε φάση κατασκευής

Η διατομή στη φάση κατασκευής στηρίζεται πλευρικά με οριζόντιους χιαστί συνδέσμους που μειώνουν το μήκος λυγισμού σε $L=6\text{m}$

Φορτία στη φάση κατασκευής

Ι.Β σιδηροδοκού: $g_a = 11,85 \text{ KN/m}$

Νωπό σκυρόδεμα: $g_c = 26 \cdot 5,5 \cdot 0,25 = 35,75 \text{ KN/m}$

Φορτίο Σχεδιασμού: $q_{sd} = 1,35 \cdot (11,85 + 35,75) = 64,26 \text{ KN/m}$

Ροπή σχεδιασμού στη φάση κατασκευής

$M_{Ed} = 28917 \text{ KNm}$

Η ενεργός διατομή θεωρείται ιδεατά ότι αποτελείται από το άνω πέλμα και το 1/3 του κορμού της σιδηροδοκού

Κέντρο Βάρους διατομής

$z = 15,5 \text{ cm}$

$$A_{\text{eff}} = 65 \cdot 6 + 80 \cdot 2 = 550 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{6 \cdot 65^3}{12} = 13712,5 \text{ cm}^4$$

Κρίσιμο φορτίο Λυγισμού

$$N_{\text{cr}} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 137312,5}{600^2} = 79054,5 \text{ KN}$$

Ανηγμένη Λυγηρότητα

$$\lambda_{\text{LT}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 550}{79054,5}} = 0,496$$

Συγκολλητή Διατομή με $h/b=2400/800=3>2 \rightarrow$ Καμπύλη λυγισμού η d

$$\chi_{\text{LT}} = 0,75$$

Πλαστικό Θλιπτικό φορτίο

$$N_{\text{b,Rd}} = 0,75 \cdot \frac{35,5}{1,1} \cdot 550 = 13312 \text{ KN}$$

Απόσταση κέντρου βάρους διατομής T από κέντρο βάρους συγκολλητής διατομής

$$z = 146,78 - 15,5 = 131,28$$

Ροπή αδράνειας συγκολλητής διατομής

$$I_{\alpha} = 17400000 \text{ cm}^4$$

Τάση στο κέντρο βάρους της διατομής

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot z = \frac{2891700}{17400000} \cdot 131,28 = 21,82 \text{ KN/cm}^2$$

Δρώσα θλιπτική δύναμη διατομής T

$$N_{\text{f,Ed}} = \sigma \cdot A_{\text{eff}} = 21,82 \cdot 550 = 12000 \text{ KN} < 13312 \text{ KN}$$

3.5 Έλεγχοι σε Ο.Κ.Λ

3.5.1 Επιρροές λόγω χρόνιων παραμορφώσεων

Ερπυσμός

Εμβαδό Σκυροδέματος: $A_c = 550 \cdot 25 = 13750 \text{ cm}^2$

Περίμετρος

$$u = 2 \cdot (550 + 25) = 1150 \text{ cm}$$

Ιδεατό Πάχος:

$$h_o = \frac{2 \cdot 13750}{1150} = 23,91 \text{ cm}$$

Σχετική Υγρασία 80%

Για σκυρόδεμα C35/45 $f_{cm} = 43 \text{ MPa}$ και $E_{cm} = 34000 \text{ MPa}$

επιρροή σχετικής υγρασίας :

$$\Phi_{RH} = \left(1 + \frac{1 - 0,8}{0,1^3 \sqrt{239,1}} \cdot 0,865 \right) \cdot 0,959 = 1,227$$

όπου $\alpha_1 = 0,865$, $\alpha_2 = 0,959$, $\alpha_3 = 0,9$

επιρροή της μέσης αντοχής σκυροδέματος σε 28 ημέρες:

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{43}} = 2,56$$

Σαν χρόνος έναρξης τίθεται $t_0 = 1$

επιρροή της ηλικίας του σκυροδέματος κατά το χρόνο της φόρτισης

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + 1^{0,2}} = 0,9$$

Βασικός Συντελεστής

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,227 \cdot 2,56 \cdot 0,9 = 2,85$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot RH)^{18}] \cdot h_0 + 250 \cdot a_3 = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot 80)^{18}] 239,1 + 250 \cdot 0,9 = 756,3 < 1500 \cdot a_3 = 1353,3$$

Χρόνος Ελέγχου 100 ημέρες

$$\beta_c(100) = \left(\frac{100 - 1}{756,3 + 100 - 1} \right)^{0,3} = 0,523$$
$$\varphi = \beta_c(t, t_0) \cdot \varphi_0 = 0,523 \cdot 2,85 = 1,49$$

Χρόνος Ελέγχου 30000 ημέρες

$$\beta_c(30000) = \left(\frac{30000 - 1}{756,3 + 30000 - 1} \right)^{0,3} = 0,99$$
$$\varphi = \beta_c(t, t_0) \cdot \varphi_0 = 0,99 \cdot 2,85 = 2,83$$

Συντελεστές Ισοδυναμίας Σκυροδέματος
 $E_{cm} = 34000$

Τιμή συντελεστή για βραχυχρόνιες φορτίσεις

$$n_0 = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{210000}{34000} = 6,17$$

Τιμή συντελεστή στις 100 ημέρες

Μακροχρόνιες Φορτίσεις

$$n_L = n_0 \cdot (1 + \psi_L \cdot \varphi(t, t_0))$$

Μόνιμα Φορτία $\psi_L=1,1$

$$n_{LP_{100}} = 6,17 \cdot (1 + 1,1 \cdot 1,49) = 16,3$$

Δευτερογενείς επιρροές $\psi_L=0,55$

$$n_{LP_{100}} = 6,17 \cdot (1 + 0,55 \cdot 1,49) = 11,26$$

Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις $\psi_L=1,5$

$$n_{LP_{100}} = 6,17 \cdot (1 + 1,5 \cdot 1,49) = 20$$

Τιμή συντελεστή στις 30000 ημέρες

Μόνιμα Φορτία $\psi_L=1,1$

$$n_{LP_{100}} = 6,17 \cdot (1 + 1,1 \cdot 0,99) = 25,45$$

Δευτερογενείς επιρροές $\psi_L=0,55$

$$n_{LP_{100}} = 6,17 \cdot (1 + 0,55 \cdot 0,99) = 15,81$$

Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις $\psi_L=1,5$

$$n_{LP_{100}} = 6,17 \cdot (1 + 1,5 \cdot 0,99) = 32,46$$

3.5.2 Συστολή Ξήρανσης

Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος $f_{cm}=43$

Κατηγορία Τσιμέντου N

$ads1=4$, $ads2=0,12$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left(1 - \left(\frac{RH}{100\%}\right)^3\right) = 1,55 \cdot (1 - 0,8^3) = 0,75$$

Βασική Τιμή

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot ads1) \cdot e^{-ads2 \cdot \frac{f_{cm}}{10}}\right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH}$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot 4) \cdot e^{-0,12 \cdot \frac{43}{10}}\right] \cdot 10^{-6} \cdot 0,75 = 0,00042$$

Χρονική συνάρτηση

$$\beta_d(t, ts) = \frac{t - ts}{t - ts + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$$

Ανηγμένη παραμόρφωση

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, ts) \cdot kh \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

όπου $kh=0,75$

100 μέρες

$$\beta_d(t, ts) = \frac{100 - 1}{100 - 1 + 0,04 \sqrt{239,1^3}} = 0,4$$

$$\varepsilon_{cd(100)} = 0,4 \cdot 0,75 \cdot 0,00042 = 0,00012$$

30000 μέρες

$$\beta_d(t, ts) = \frac{30000 - 1}{30000 - 1 + 0,04 \sqrt{239,1^3}} = 0,99$$

$$\varepsilon_{cd(100)} = 0,99 \cdot 0,75 \cdot 0,00042 = 0,00029$$

3.5.3 Έλεγχος τάσεων σε Ο.Κ.Λ

Επιρροή Συστολής ξήρανσης 30000 ημερών

$$N_{sh} = -\varepsilon_{sh} \cdot \frac{n_0}{n_s} \cdot E_{cm} \cdot A_c = -0,00029 \cdot \frac{6,17}{15,8} \cdot 3400 \cdot 13750 = 5294 \text{ KN}$$

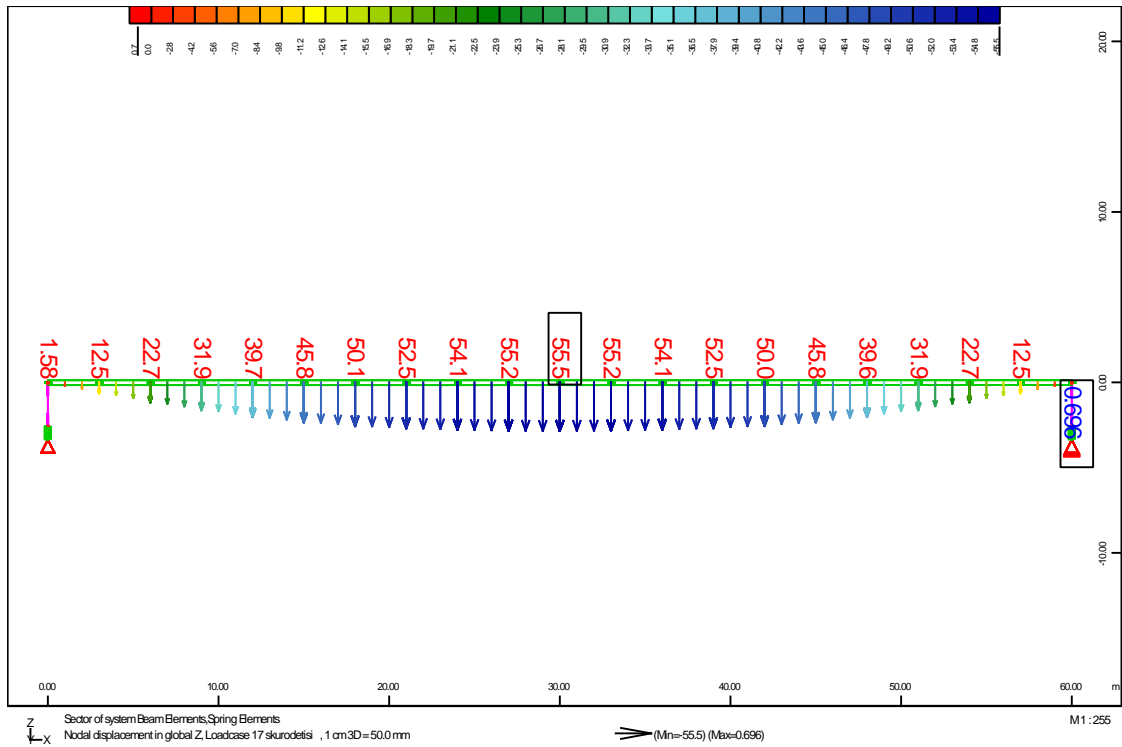
$$M_{sh} = N_{sh} \cdot (z_g - z_s) = 5294 \cdot 1,076 = 5696 \text{ KNm}$$

Τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της διατομής φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

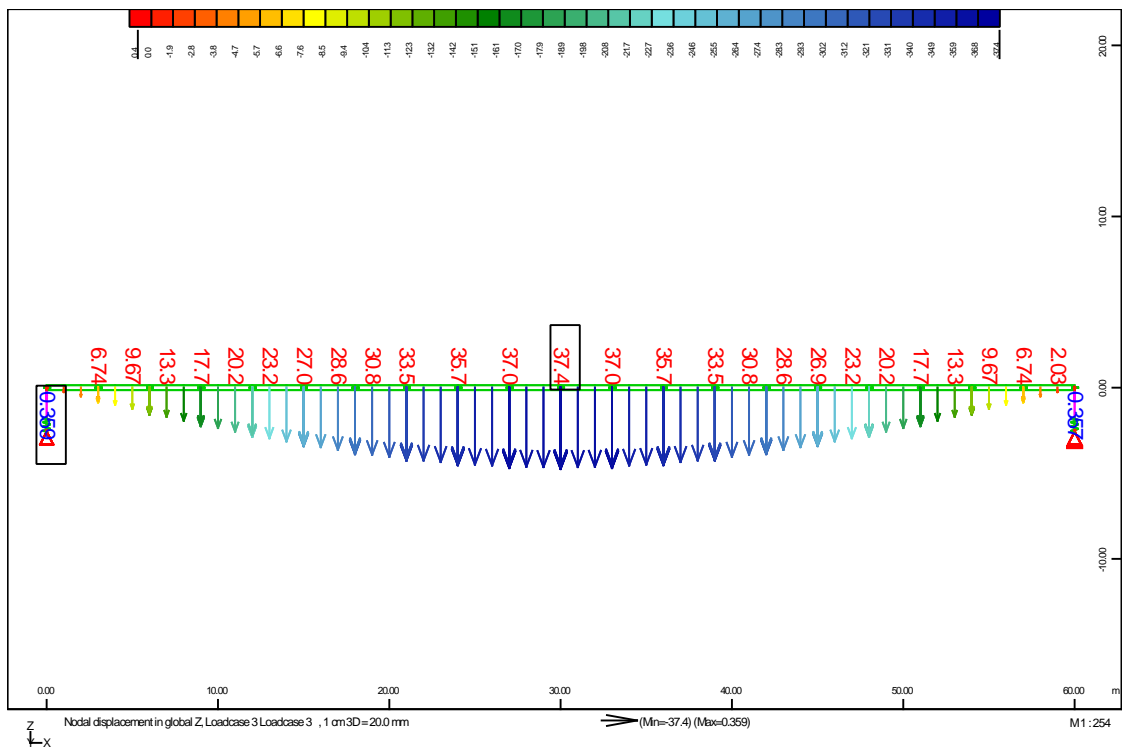
Διατομή	Ie	Wau	Wao
Σιδηρά Διατομή	17400000	162313,43	118528,61
Σύμμικτη Διατομή 0	40954650,94	200129,94	829718,38
Σύμμικτη διατομή Ρ	26620068,5	156203,13	318496,36

Έλεγχος Τάσεων διατομής σε ΟΚΛ

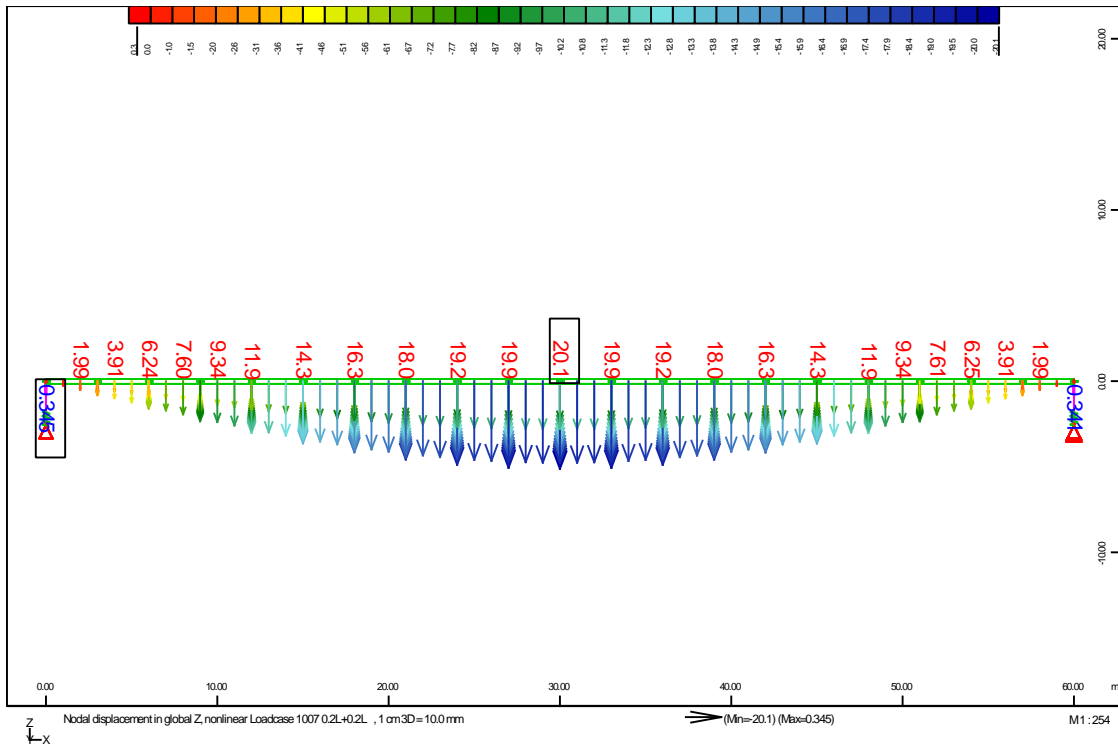
	M (KNcm)	σ_{au} (KN/cm ²)	σ_{ao} (KN/cm ²)
I.B. σιδηροδοκού	533200	3,285	4,498
I.B πλάκας	1546600	9,528	13,048
Πρόσθετα μόνιμα φορτία	829000	4,142	0,999
Κινητά φορτία	2428800	12,136	2,927
Συστολή ξήρανσης σε 30000 μέρες	569600	-2,846	-0,6877
		<u>26,246</u>	<u>20,787</u>



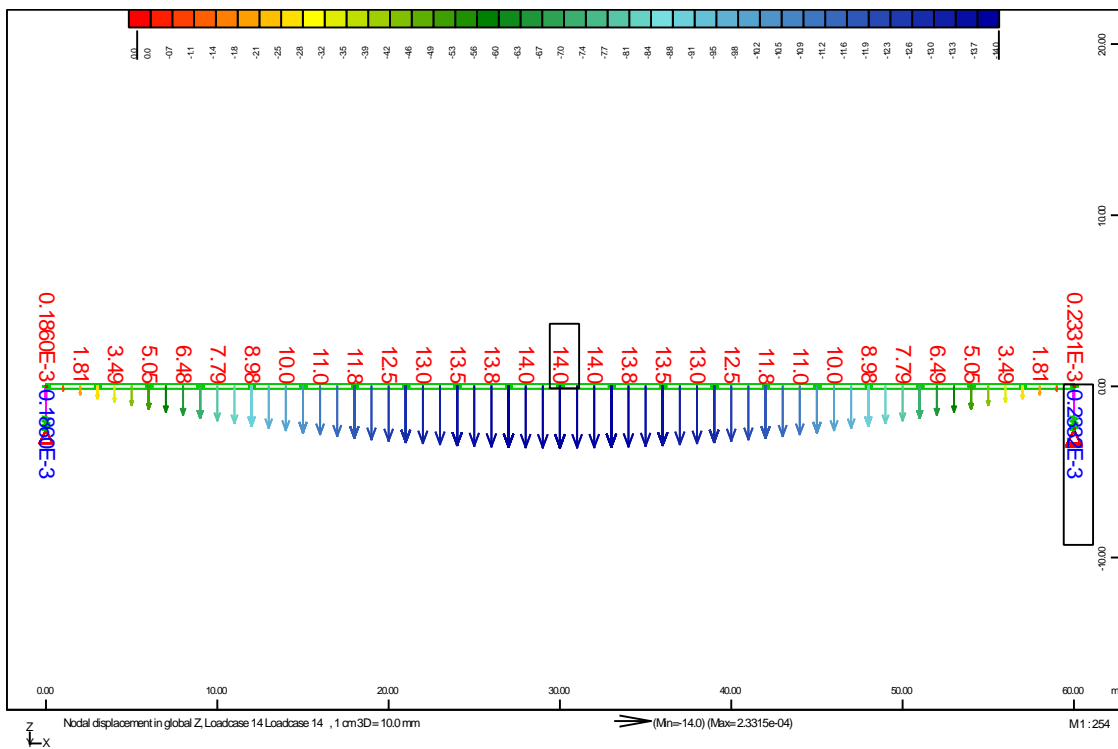
Σχήμα 3.9 2η φάση σκυροδέτησης



Σχήμα 3.10 Λοιπά μόνιμα φορτία



Σχήμα 3.11 Κινητά φορτία



Σχήμα 3.12 Συστολή ξήρανης

3.6 Διατμητική Σύνδεση

$$D = d \cdot b \cdot 0,85 \cdot f_{cd} + 2 \cdot f_{yd} \cdot b f_0 (z_0 - d)$$

$$D = 25 \cdot 550 \cdot 0,85 \cdot \frac{3,5}{1,5} + 2 \cdot 35,5 \cdot 65 (30,7 - 25)$$

$$D=53605 \text{ kN}$$

Η διατμητική σύνδεση είναι πλήρης

Θεωρώ ήλο Φ25 με $h=150 \text{ mm}$ και $f_{uk}=450 \text{ N/mm}^2$

3.6.1 Αντοχή ήλου σε διάτμηση

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}{\gamma_v}$$

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot 45 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2,5^2}{4}\right)}{1,25} = 141,37 \text{ KN}$$

3.6.2 Αντοχή σε σύνθλιψη Άντυγας Σκυροδέματος

$$\frac{h}{d} = \frac{150}{25} = 6 > 4, \quad \text{άρα } \alpha=1$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck} E_{cm}}{\gamma_v}}$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot 1 \cdot 2,5^2 \cdot \sqrt{\frac{3,5 \cdot 3350}{1,25}} = 157 \text{ KN}$$

$$Prd = \min(141,3; 157) = 141,3 \text{ KN}$$

3.6.3 Κατανομή ήλων

$$D = 53605 \text{ KN}$$

Απαιτούμενος αριθμός ήλων

$$n_3 = \frac{53605}{141,3} = 380 \text{ ήλοι}$$

Τίθενται 127 τριάδες ήλων

Απόσταση Συνδέσμων

$$e_L = \frac{l}{n} = \frac{6000}{127} = 23 \text{ cm}$$

Άρα τίθεται μία τριάδα ήλων $\Phi 25/23 \text{ cm}$

3.6.4 Έλεγχος αποστάσεων

Διαμήκης Απόσταση

$$5d < e_L < \min(6h_c, 800 \text{ mm})$$
$$125 \text{ mm} < 230 \text{ mm} < 800 \text{ mm}$$

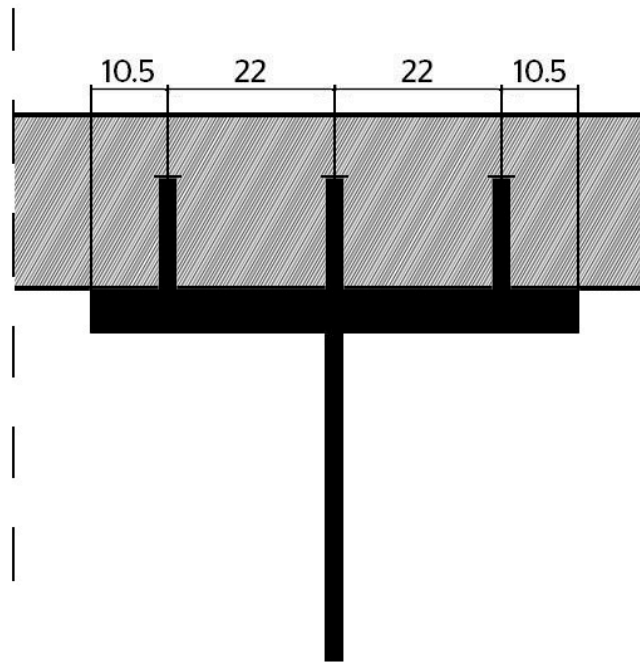
Έγκάρσια Απόσταση

$$e_T \geq 2,5d = 2,5 \cdot 25 = 62,5 \text{ mm}$$

Απόσταση Ακραίου Ήλου απο την άκρη του πέλματος

$$e_T \leq 9 \cdot t_f \cdot \varepsilon = 9 \cdot 60 \cdot 0,81 = 437,4 \text{ mm}$$

Τελική διάταξη :



3.6.5 Διατμητική Κάλυψη πλάκας σκυροδέματος

Μέγιστη Διατμητική Ροή

$$V_{L,Ed} = \frac{53605}{30} = 1787 \text{ KN/m}$$

Διατμητική ροή στο περύγιο

$$A_{cp,eff} = \frac{550 - 65}{2} \cdot 25 = 6062,5 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος Σκυροδέματος

$$V_{cRd} = \frac{0,75 \cdot L_v \cdot f_{cd}}{1,2 + 1,2^{-1}} = \frac{0,75 \cdot 25 \cdot 0,85 \frac{3,5}{1,5}}{1,2 + 1,2^{-1}} = 1828 \text{ KN/m}$$

$$\frac{V_{Lc,Ed}}{V_{c.Rd}} = \frac{787,9}{1828} = 0,43 < 1$$

3.7 Έλεγχος σε Κόπωση

Σε χαρακτηριστικές θέσεις του φορέα προσδιορίζονται τα εύρη ορθών και διατμητικών τάσεων.

3.7.1 Έλεγχος δομικού χάλυβα

Άνω πέλμα

Διαμήκεις εξωραφές συγκόλλησης κορμού πέλματος → κατηγορία 100

Συγκολλήσεις ένωσης πέλματος με εγκάρσια νεύρωση (Διακοπτόμενες εξωραφές) → Κατηγορία 80

Συγκόλληση διατμητικού ήλου → Κατηγορία 80

Κάτω πέλμα

Διαμήκεις εξωραφές συγκόλλησης κορμού πέλματος → κατηγορία 100

Εξωραφές συγκόλλησης πέλματος με εγκάρσια νεύρωση → κατηγορία 80

Άρα για ολόκληρη την διατομή η κατηγορία είναι 80 και $\Delta\sigma=8$ KN/cm²

Προσδιορισμός φορτίων και τάσεων κόπωσης

Απο τα εντατικά μεγέθη προσδιορίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των τάσεων στις θέσεις ελέγχου

Για οδογέφυρες ανοίγματος μέχρι 80 m προβλέπεται η χρήση του συντελεστή λ :

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \leq \lambda_{\max}$$

λ_1 : συντελεστής που εξαρτάται από το άνοιγμα της γέφυρας

$$\lambda_1 = 2,55 - 0,7 \frac{L - 10}{70} = 2,55 - 0,7 \frac{50}{70} = 2,05$$

λ_2 : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τον όγκο κυκλοφορίας

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left(\frac{N_{obs}}{N_0} \right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{N_{obs}}{N_0} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Για τον έλεγχο σε κόπωση θεωρείται Κατηγορία κυκλοφορίας 2 : οδοί με μέτριο ποσοστό ροής βαρέων οχημάτων, άρα $N_{obs}=0,5 \cdot 10^6$ και $N_0=0,5 \cdot 10^6 \rightarrow \lambda_2=1$

$$\lambda_3 = \left(\frac{t_{Ld}}{100} \right)^{\frac{1}{5}} = 1$$

$\lambda_4=1$ (ευμενής επιρροή)

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2$$

για γέφυρες με άνοιγμα μεγαλύτερο των 25 μέτρων θεωρείται $\lambda_{\max}=2$

$$M_{\max,f,E} = M_{\text{perm}} + \lambda \cdot M_{\max,f} = M_{\text{perm}} + 2 \cdot 4624 = 29090 + 9248 \text{ KNm}$$

$$M_{\min,f,E} = M_{\text{perm}} + \lambda \cdot M_{\min,f} = 29090 \text{ KNm}$$

$$\Delta M = M_{\max} - M_{\min} = 9248 \text{ KNm}$$

Εύρος ορθών τάσεων στο κάτω πέλμα στη θέση της συγκόλλησης

$$\Delta \sigma_{\varepsilon} = \frac{\Delta M}{W_{au}} = \frac{924800}{200130} = 4,6 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{8,0}{1,15} = 7,0 \text{ KN/cm}^2$$

Εύρος ορθών τάσεων στο άνω πέλμα στη θέση της ένωσης των διατμητικών ήλων

$$\Delta \sigma_{\varepsilon} = \frac{\Delta M}{W_{ao}} = \frac{924800}{829718} = 1,11 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{8,0}{1,15} = 7,0 \text{ KN/cm}^2$$

Εύρος διατμητικών τάσεων

$$\Delta V = \lambda (V_{\max,f} - V_{\min,f}) = 2 \cdot 251,6 = 503,2 \text{ KN}$$

$$\Delta \tau_{\varepsilon} = \frac{\Delta V}{A_{vz}} = \frac{503,2}{480} = 1,048 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{8,0}{1,15} = 7,0 \text{ KN/cm}^2$$

3.7.2 Έλεγχος ήλων σε κόπωση

Για μέγιστες διατμητικές τάσεις η κατηγορία λεπτομέρειας είναι 90

$\lambda_{v1} = 1,55$ για οδική γέφυρα μήκους $< 100 \text{ m}$

$$\lambda_{v2} = \frac{N_{\text{obs}}}{0,5 \cdot 10^6}^{1/8} = 1$$

$\lambda_3 = 1,00$ για διάρκεια ζωής 100 έτη

$$\lambda_{v4}=1,00$$

$$\lambda_v = \lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1,55$$

Έλεγχος για μέγιστες διατμητικές τάσεις

Ο υπολογισμός των τάσεων στους ήλους έγινε συνδυάζοντας τις διατμητικές δυνάμεις από την διατομή της δοκού και της πλάκας σκυροδέματος

$$\Delta\tau E = \frac{\lambda_v \cdot \phi \cdot \Delta V f \cdot A_{c0} \cdot z_{a,0}}{n \cdot I \cdot A_d} = \frac{1,55 \cdot 1 \cdot 251 \cdot 13750 \cdot 49,4}{13 \cdot 40954650,94 \cdot 4,9} = 0,10$$
$$< \frac{9}{1,25} = 7,2 \text{ KN/cm}^2$$

3.8 Εφέδρανα

Τοποθετούνται στα σημεία στήριξης όλων των δοκών επί των βάθρων τετραγωνικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα διαστάσεων κάτοψης 800x800

Χαρακτηριστικά Εφεδράνων

Πάχος στρώσης 15 mm

Αριθμός στρώσεων n=8

Μέτρο Διάτμησης: G=0,10 KN/cm²

Μέτρο Ελαστικότητας: E=119.6 KN/cm²

Τα εφέδρανα προσομοιάζονται με ελατήρια σταθεράς

$$K_x = K_y = \frac{a \cdot b \cdot G}{n \cdot t_i} = \frac{80 \cdot 80 \cdot 0,1}{8 \cdot 1,5} = 5333 \text{ KN/m}$$

$$K_z = \frac{a \cdot b \cdot E}{t} = \frac{80 \cdot 80 \cdot 119,6}{8 \cdot 1,5} = 6378666 \text{ KN/m}$$

3.8.1 Σεισμός

Προσομοίωση της σεισμικής δράσης

Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

Τα χαρακτηριστικά του σεισμού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά σεισμού	
Κατηγορία εδάφους	C
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	II (A=0.24g)
Συντελεστής συμπεριφοράς α	1,5
T_B	0,2
T_c	0,6
T_D	2

Μέσω της δυναμικής ανάλυσης προέκυψαν από το πρόγραμμα οι παρακάτω ιδιομορφές:

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος T(sec)
1η	1,82
2η	1,49
3η	1,07
4η	0,79
5η	0,68
6η	0,64
7η	0,47
8η	0,45
9η	0,44
10η	0,40

Η συνολική μέγιστη σεισμική μετακίνηση που προκύπτει έχει την τιμή:

$$\max U (CQC)=180\text{mm}$$

Έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης εφεδράνου

Ανηγγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω σεισμού

$$\varepsilon_{sd} = \frac{18}{8 \cdot 1,5} = 1,5 < 2$$

Ανηγγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω θλίψης

$$\max N_{Ed}=2210 \text{ KN}$$

Συντελεστής σχήματος εφεδράνου

$$S = \frac{a \cdot b}{2(a + b) \cdot t_i} = \frac{80 \cdot 80}{2(80 + 80) \cdot 1,5} = 13,33$$

Ενεργός επιφάνεια εφεδράνου

$$A_r=(a-\delta_x) \cdot (b-\delta_y)=(80-17,7) \cdot (80-13,8)=4124,26\text{cm}^2$$

Μέγιστη ορθή τάση εφεδράνου

$$\sigma = \frac{\max N}{A_r} = \frac{2210}{4124,26} = 0,54 \text{ KN/cm}^2$$

Ανηγμένη παραμόρφωση

$$\varepsilon_{cd} = \frac{1,5 \sigma_e}{S \cdot G} = \frac{1,5 \cdot 0,54}{13,33 \cdot 0,1} = 0,6$$

Μέγιστη διατμητική παραμόρφωση εφεδράνου:

$$\varepsilon_{bd} = \varepsilon_{s,d} + \varepsilon_{cd} = 1,5 + 0,6 = 2,1$$

Έλεγχος ολίσθησης εφεδράνου

Η μέγιστη ορθή τάση του εφεδράνου είναι

$$\sigma_e = 0,54 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{2 \cdot a \cdot G \cdot S}{3 \cdot \Sigma t_i} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 0,1 \cdot 13,33}{3 \cdot 8 \cdot 1,5} = 5,92 \text{ KN/cm}^2$$

επομένως το εφέδρανο επαρκεί έναντι ολίσθησης

3.8.2 Μη σεισμικές δράσεις

3.8.2.1 Φορτίσεις στην διαμήκη διεύθυνση

Τροχοπέδηση-Εκκίνηση

Θεωρείται ότι η δύναμη ασκείται κεντρικά στην άνω στάθμη του οδοστρώματος

$$Q = 0,6 \cdot 600 + 0,1 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 60 = 522 \text{ KN}$$

Τα εφέδρανα είναι ίδια μεταξύ τους άρα κάθε ένα αναλαμβάνει δύναμη

$$\frac{522}{4} = 130,5 \text{ KN}$$

Διατμητική παραμόρφωση εφεδράνου

$$\tan\gamma_x = \frac{H_x}{\alpha \cdot b \cdot G} = \frac{130,5}{80 \cdot 80 \cdot 0,1} = 0,20$$

Διαφορά Θερμοκρασίας

$$\delta_x = 13.4 \text{ mm}$$

Συνολική διατμητική παραμόρφωση κατα x:

$$\Sigma \tan\gamma_x = 0,20 + \frac{1,34}{8 \cdot 1,5} = 0,31$$

3.8.2.2 Φορτίσεις στην εγκάρσια διεύθυνση

Άνεμος

Δράση ανέμου χωρίς κυκλοφορία

Βασική πίεση ανέμου

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 33^2 = 0,68 \text{ KN/m}^2$$

Πίεση ταχύτητας αιχμής

$$q_p = c_e \cdot q_b = 2,03 \cdot 0,68 = 1,38 \text{ KN/m}^2$$

Συντελεστής δύναμης

Για ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας

$$\text{ύψος } d_{\text{ολ}} = d + d_1 = 2,79 + 1 = 3,79 \text{ m}$$

$$\text{και για } b/d_{\text{ολ}} = 11/4 = 2,75 \text{ είναι } c_{\text{fx},0} = 1,7$$

Φορτίο ανέμου

$$w = q_p \cdot c_{\text{fx}} = 1,38 \cdot 1,7 = 2,346 \text{ KN/m}^2$$

Δράση ανέμου με κυκλοφορία

Για ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας θεωρείται

$$\text{ύψος } d_{\text{ολ}} = d + 2 = 2,79 + 2 = 4,79 \text{ m}$$

$$b/d_{\text{ολ}} = 11/4,79 = 2,3 \text{ άρα } c_{\text{fx},0} = 1,9$$

Φορτίο ανέμου

$$w = q_p \cdot c_{\text{fx}} = 1,38 \cdot 1,9 = 2,622 \text{ KN/m}^2$$

Άρα δυσμενέστερη είναι η περίπτωση φόρτισης με κυκλοφορία

Το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο λόγω του ανέμου είναι:

$$w = 3,2 \cdot 4,79 = 15,3 \text{ KN/m}$$

από την επίλυση δίνεται η συνολική μετακίνηση κατά y

$$u_{y\text{max}} = 31 \text{ mm}$$

Η συνολική διατμητική παραμόρφωση κατά y είναι:

$$\Sigma \tan \gamma_y = \frac{3,1}{8 \cdot 1,5} = 0,26$$

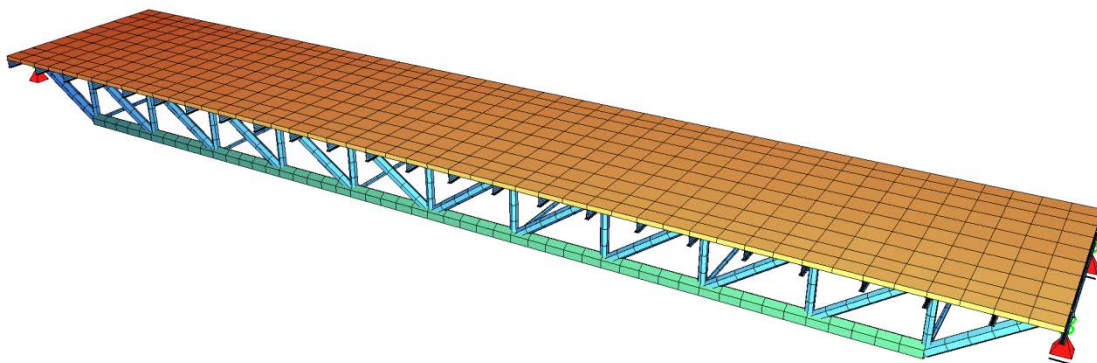
Έλεγχος συνολικής διατμητικής παραμόρφωσης

$$\sum \tan \gamma = \sqrt{\left(\sum \tan \gamma_x\right)^2 + \left(\sum \tan \gamma_y\right)^2} = \sqrt{0,31^2 + 0,26^2} = 0,4$$

4 Εφαρμογή σε γέφυρα με δικτυωτούς φορείς

4.1 Εισαγωγή

Η γέφυρα που μελετάται είναι αμφιέρειστη και στηρίζεται σε δύο δικτυωτούς φορείς αποτελούμενους από μέλη κυκλικών κοίλων διατομών.



Γεωμετρία φορέα

Τύπος Γέφυρας	Αμφιέρειστη άνω διάβασης
Άνοιγμα	60 m
Αριθμός σιδηροδοκών	2
Απόσταση	7,4 m
Μήκος προβόλων	1,8 m
Αριθμός λωρίδων	2
Πλάτος οδοστρώματος	8 m
Πλάτος πεζοδρομίων	1,5 m
Συνολικό πλάτος καταστρώματος	11

Η διατομή του άνω πέλματος του δικτυώματος μορφώνεται ως σύμμικτη και τα χαρακτηριστικά της με βάση την χρονοιστορία φόρτισης δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Διατομή	Συντελεστής n	A(m ²)	ze(m)	Iy(m ⁴)
Σιδηροδοκός		0.030700	0.254000	0.000914
Σύμμικτη 0	6.170000	0.268553	0.168326	0.005981
Σύμμικτη Μόνιμες δράσεις P100	16.300000	0.130056	0.214464	0.004722
Σύμμικτη Συστολή Ξήρανσης S100	11.260000	0.167814	0.194335	0.005153
Σύμμικτη Μόνιμες δράσεις P30000	25.450000	0.099728	0.241671	0.004248
Σύμμικτη Συστολή Ξήρανσης S30000	15.810000	0.132670	0.212701	0.004757

4.2 Χαρακτηριστικές τιμές φορτίσεων

Ίδιο Βάρος χάλυβα

Προκύπτει από το ίδιο βάρος όλων των μελών του δικτυώματος

Ίδιο βάρος πλάκας σκυροδέματος

$$g_c = 25 \cdot 5,5 \cdot 0,25 = 34,375 \text{ KN/m}$$

Λοιπά μόνιμα φορτία g₂

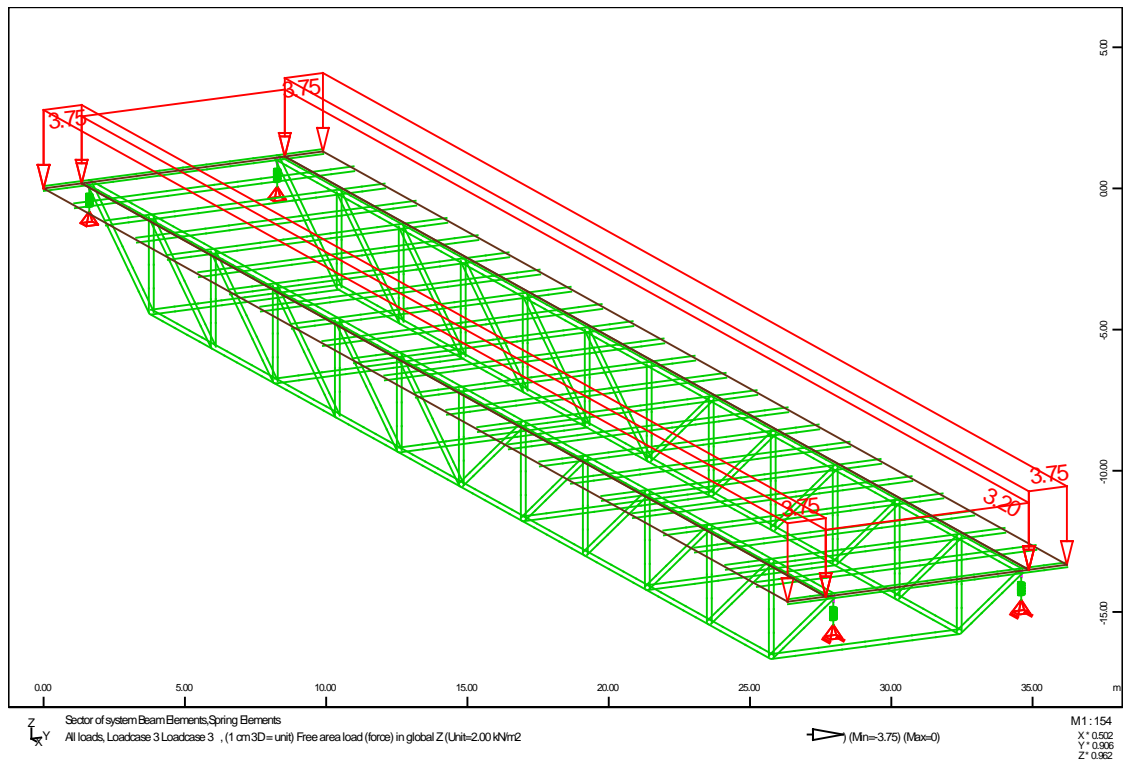
$$g_2 = 18,425 \text{ KN/m}$$

Κινητά φορτία

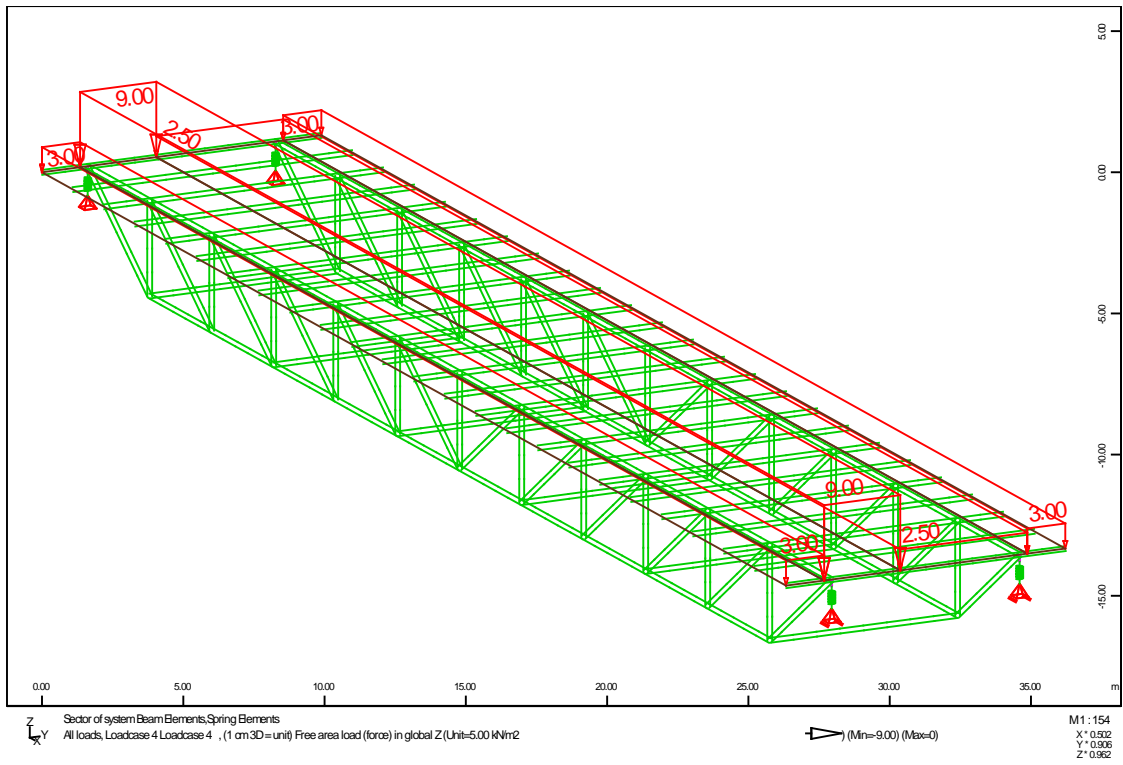
Για τα κινητά φορτία σε ΟΚΑ χρησιμοποιείται το μοντέλο φόρτισης 1 του Ευρωκώδικα.

Συστολή Ξήρανσης

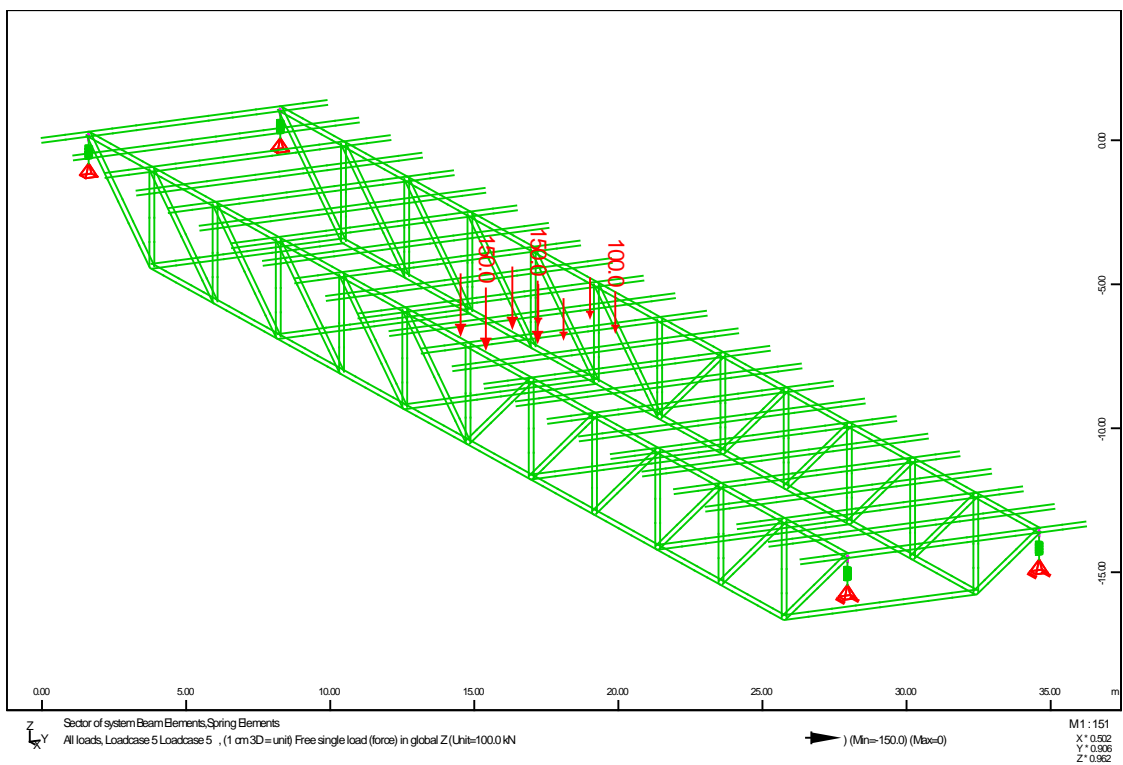
Ο φορέας είναι ισοστατικός, επομένως η επιρροή της συστολής ξήρανσης είναι πρωτογενής και επηρεάζει τα εντατικά μεγέθη μόνο στην ΟΚΛ



Σχήμα 4.1 Λοιπά μόνιμα φορτία

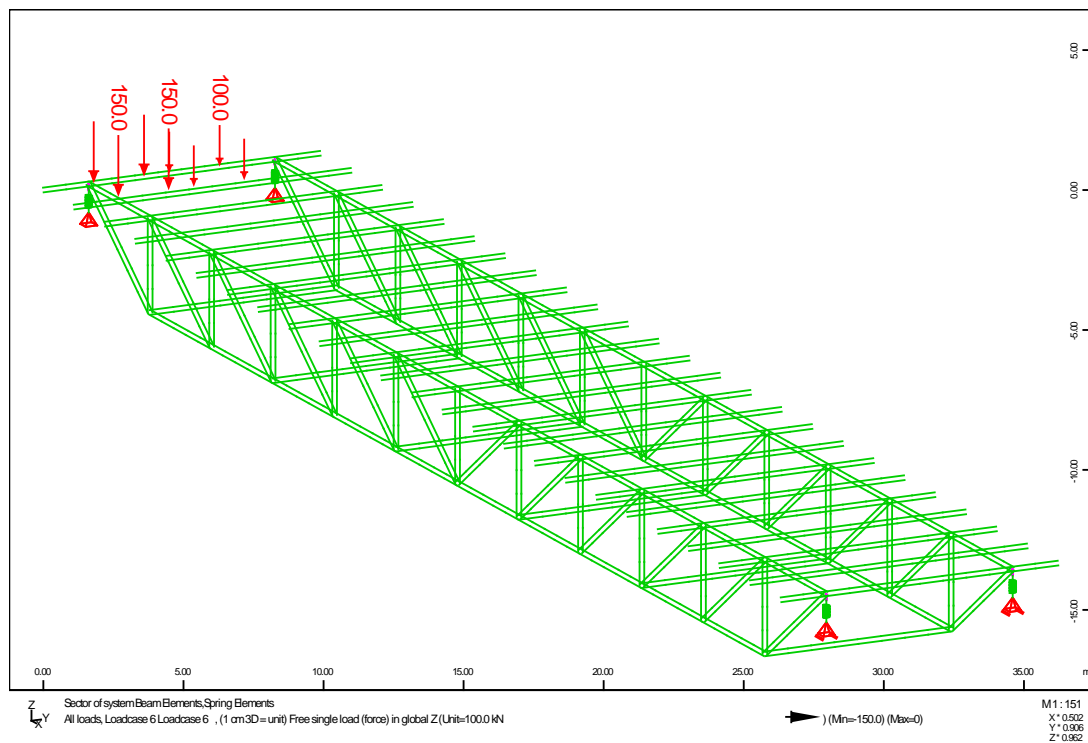


Σχήμα 4.2 Φορτία κυκλοφορίας

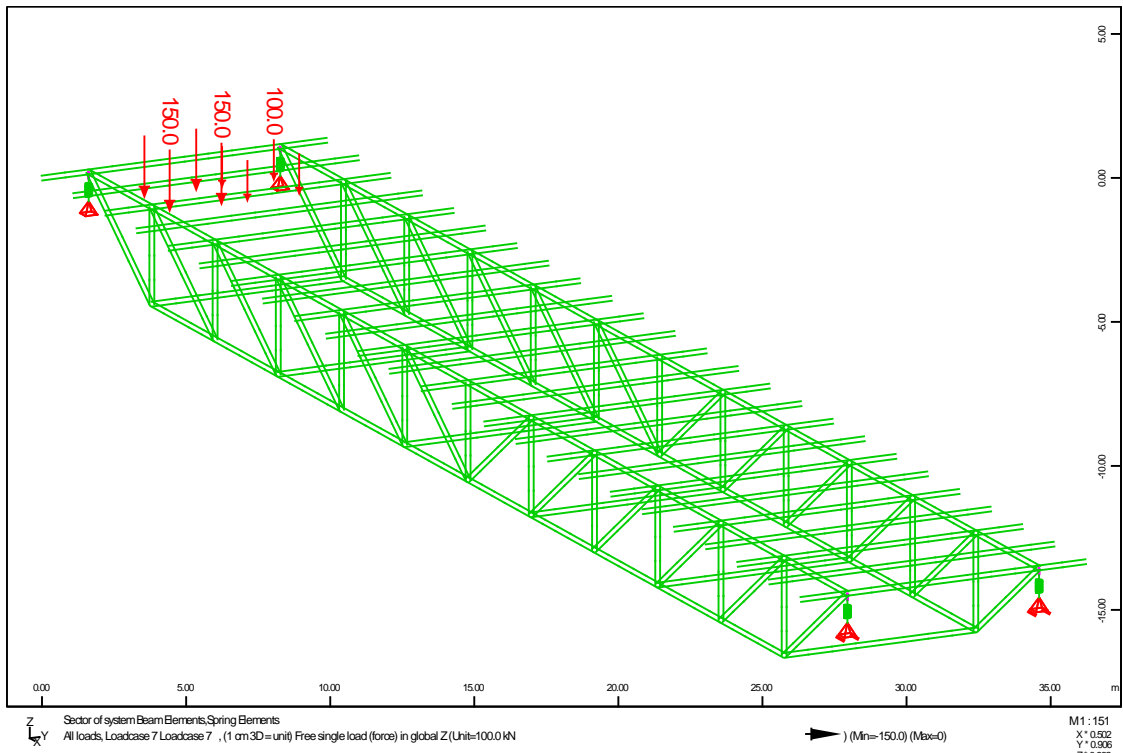


Σχήμα 4.3 Όχημα στο μέσο του ανοίγματος

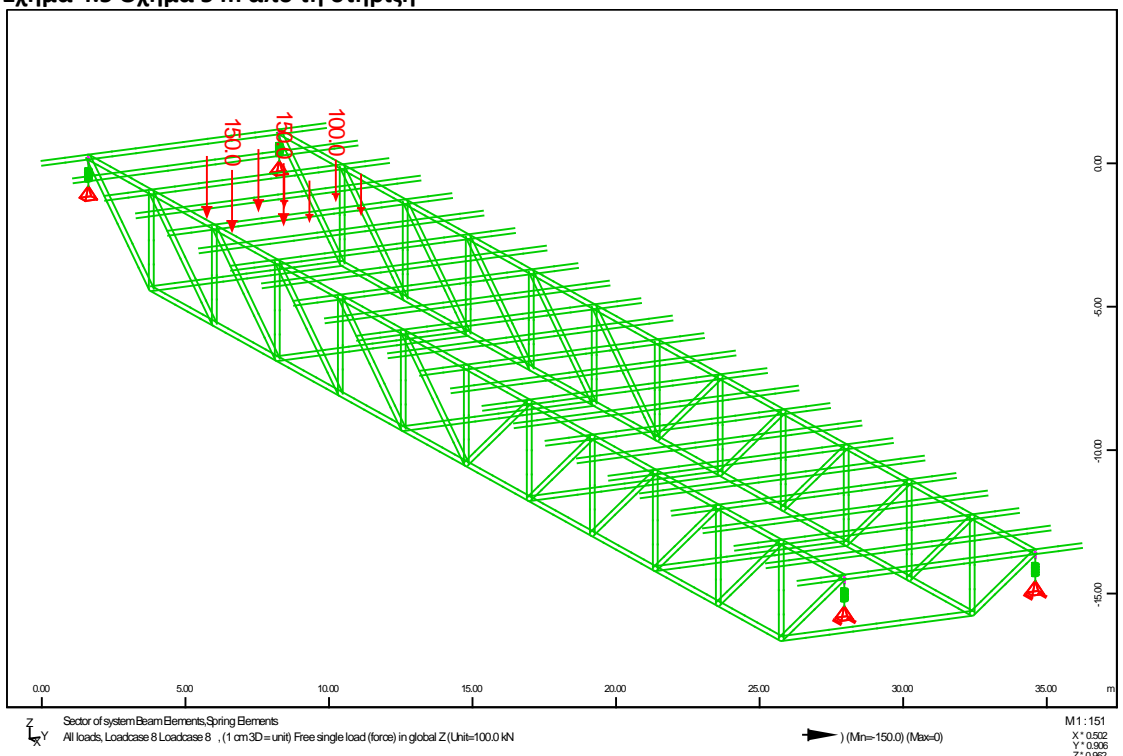
Για την διαστασιολόγηση των διαγώνιων μελών του δικτυώματος καθώς επίσης και για τους ορθοστάτες πραγματοποιήθηκαν φορτίσεις του οχήματος σε διαδοχικές θέσεις του ανοίγματος με σκοπό την εύρεση των δυσμενέστερων μεγεθών καταπόνησης των μελών.



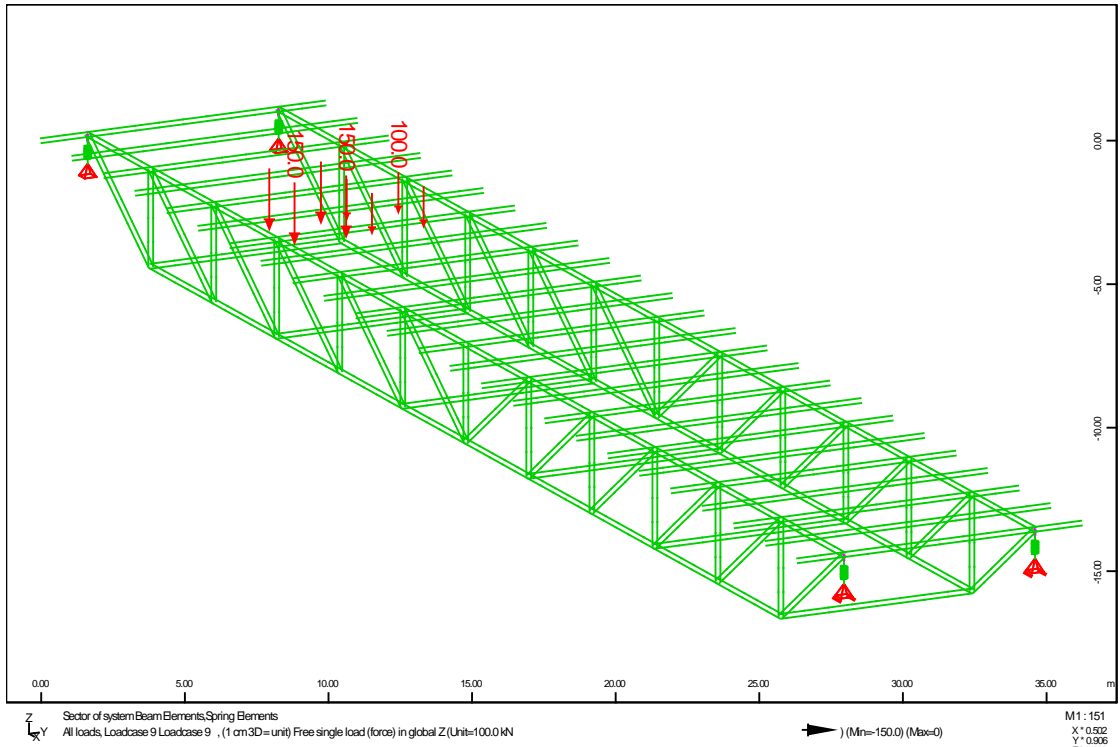
Σχήμα 4.4 Όχημα στο άκρο του ανοίγματος



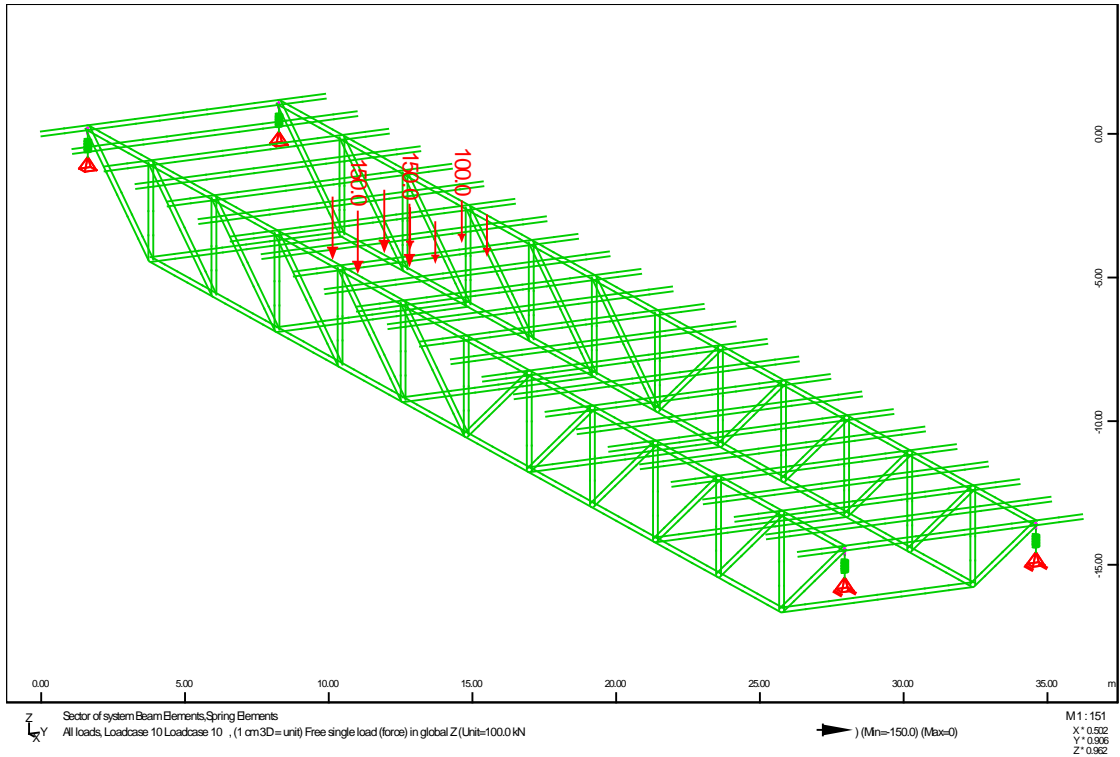
Σχήμα 4.5 Όχημα 5 m από τη στήριξη



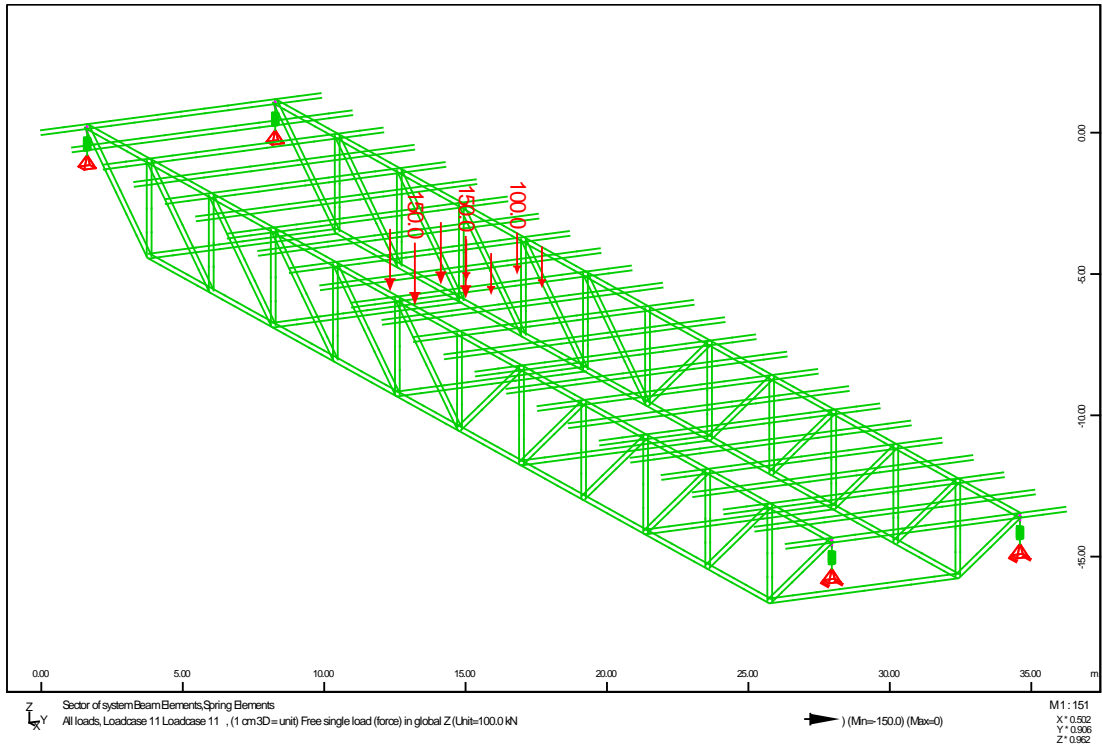
Σχήμα 4.6 Όχημα 10 m από τη στήριξη



Σχήμα 4.7 Όχημα 15 m από τη στήριξη

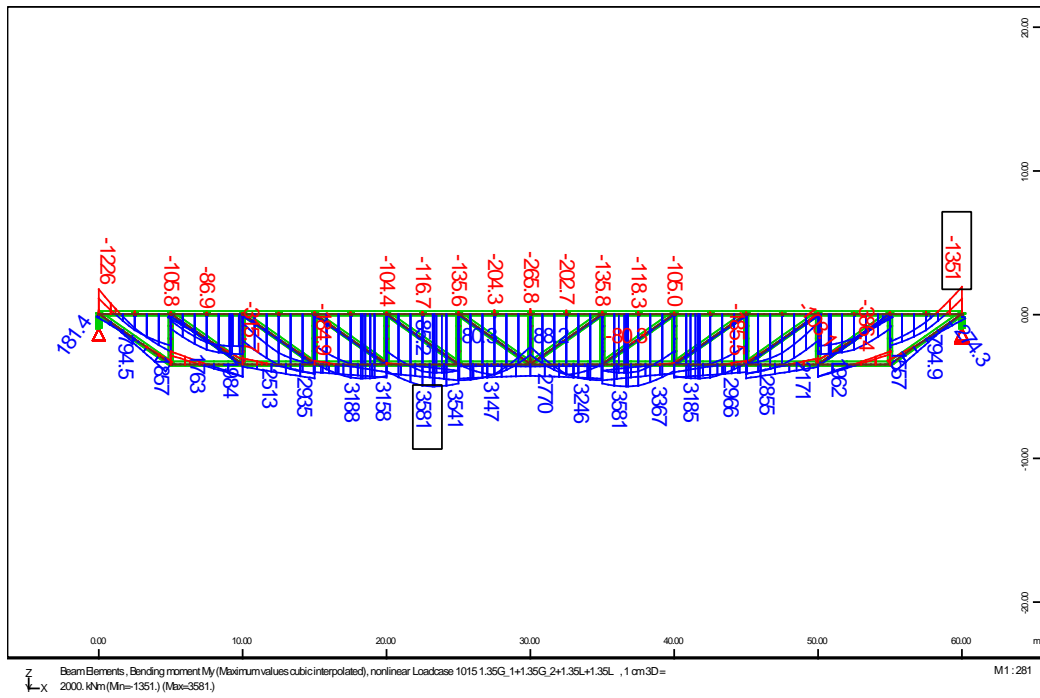


Σχήμα 4.8 Όχημα 20 m από τη στήριξη

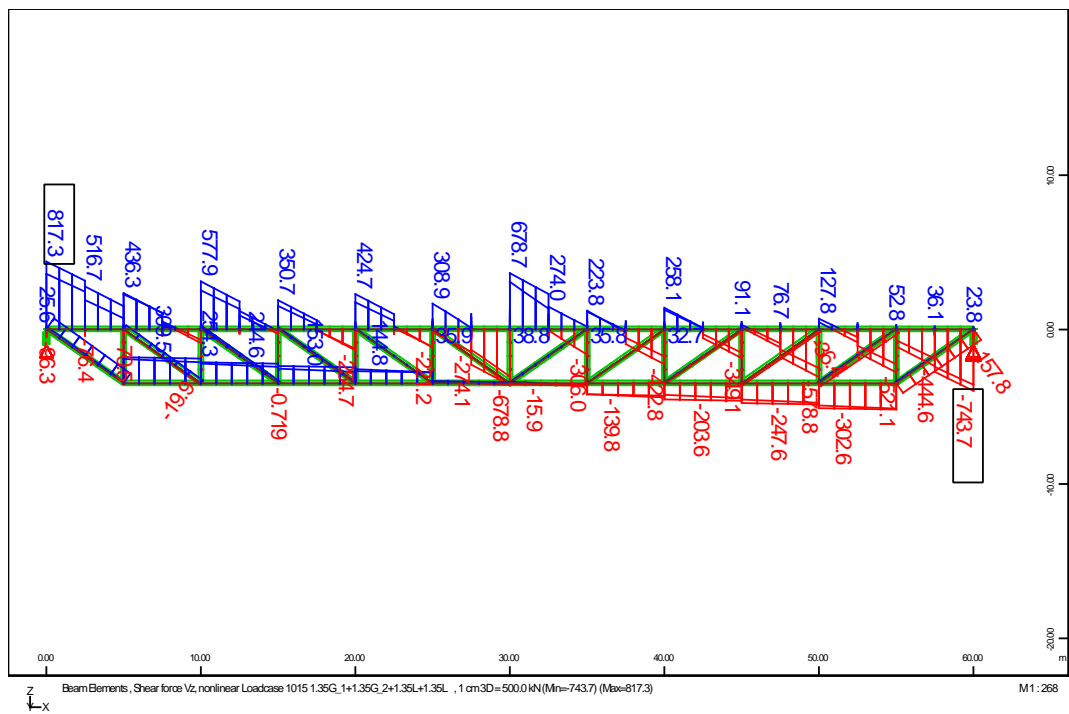


Σχήμα 4.9 Όχημα 25 m από τη στήριξη

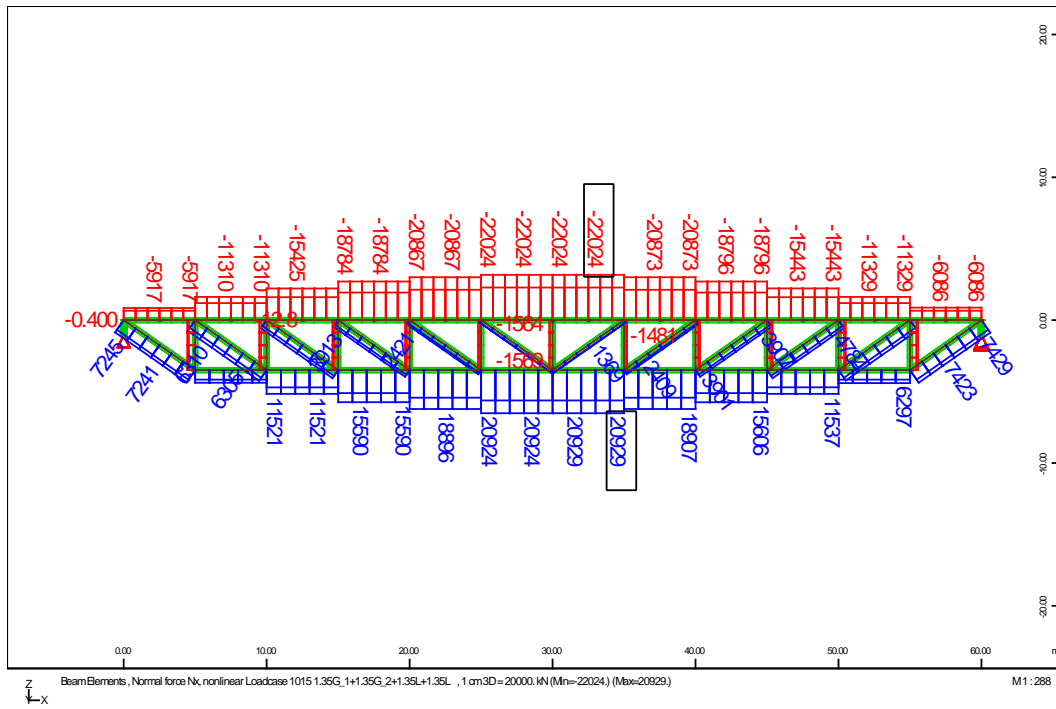
4.3 Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού



Σχήμα 4.10 Ροπές κάμψης



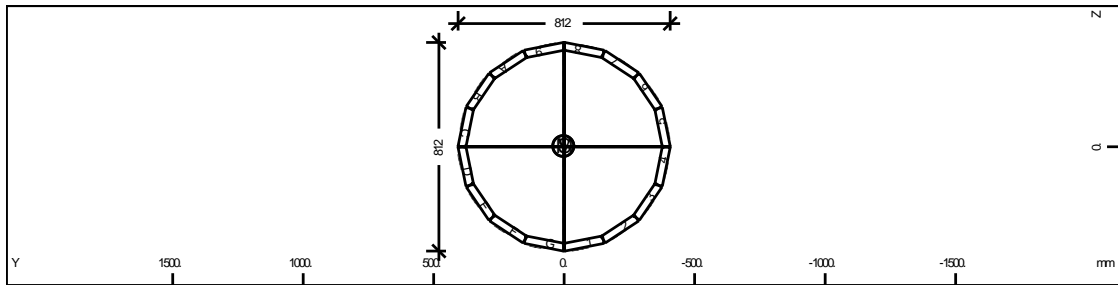
Σχήμα 4.11 Τέμνουσες δυνάμεις



Σχήμα 4.12 Αξονικές δυνάμεις

4.3.1 Έλεγχος μελών στην ΟΚΑ

4.3.1.1 Έλεγχος κάτω πέλματος δικτυώματος CHS 813x30



Έλεγχος σε εφελκυσμό

$$N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{737 \cdot 35,5}{1,00} = 26163,5 \text{ KN}$$

Έλεγχος σε κάμψη

$$M_{pl} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{18402 \cdot 35,5}{1,00} = 6532 \text{ KNm}$$

Έλεγχος σε διάτμηση

$$V_{pl,a,Rd} = A_v \frac{f_{yk}/\sqrt{3}}{\gamma_M} = \frac{737 \cdot 35,5}{\sqrt{3}} = 15105 \text{ KN}$$

4.3.1.2 Έλεγχος διαγώνιων ελκυστήρων

Έλεγχος ακραίου διαγώνιου ελκυστήρα CHS 508x16

Έλεγχος σε εφελκυσμό

$$N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{247 \cdot 35,5}{1,00} = 8768,5 \text{ KN}$$

Έλεγχος σε διαξονική κάμψη

$$\left(\frac{M_y}{M_{pl}}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{pl}}\right)^2 = \left(\frac{200}{1250}\right)^2 + \left(\frac{81,8}{1250}\right)^2 = 0,029 \leq 1$$

Έλεγχος ενδιάμεσων ελκυστήρων CHS 406,4x16

Έλεγχος σε εφελκυσμό

$$N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{196 \cdot 35,5}{1,00} = 6958 \text{ KN}$$

Έλεγχος σε διαξονική κάμψη

$$\left(\frac{M_y}{M_{pl}}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{pl}}\right)^2 = \left(\frac{75,5}{866,2}\right)^2 + \left(\frac{49,2}{866,2}\right)^2 = 0,01 \leq 1$$

Έλεγχος ενδιάμεσων ελκυστήρων CHS 323,9x16

Έλεγχος σε εφελκυσμό

$$N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{155 \cdot 35,5}{1,00} = 5502,5 \text{ KN}$$

Έλεγχος σε διαξονική κάμψη

$$\left(\frac{M_y}{M_{pl}}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{pl}}\right)^2 = \left(\frac{31,6}{538,9}\right)^2 + \left(\frac{14,8}{538,9}\right)^2 = 0,004 \leq 1$$

4.3.2 Έλεγχος ορθοστατών

Έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό λόγω θλιπτικής δύναμης

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{350}{13,8 \cdot 76,06} = 0,332$$

$$\phi = 0,568$$

$$\chi = 0,97$$

$$N_{pl} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,97 \cdot 196 \cdot 35,5}{1,00} = 6750 \text{ KN}$$

Έλεγχος σε διαξονική κάμψη και αξονική δύναμη

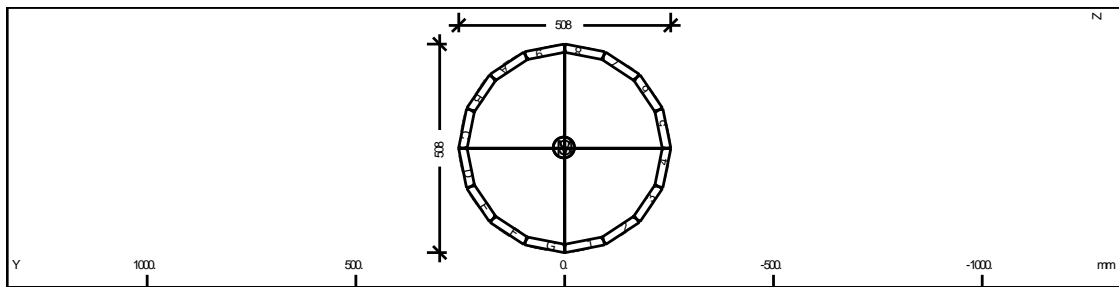
$$M_{N_y,Rd} = M_{N_z,Rd} = M_{pl} (1 - n^{1,7}) = 2509(1 - 0,58^{1,7}) = 1515 \text{ KNm}$$

$$\left(\frac{M_y}{M_{N_y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{N_z,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{111,2}{1515} \right)^2 + \left(\frac{314,3}{1515} \right)^2 = 0,048 \leq 1$$

4.3.3 Έλεγχος σύμμικτης διατομής άνω πέλματος σε θλίψη

$$N_{pl} = \frac{A_e \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2685 \cdot 35,5}{1,00} = 95317 \text{ KN}$$

4.3.4 Έλεγχος άνω πέλματος στη φάση κατασκευής



Στην φάση κατασκευής όπου δεν υφίσταται σύμμικτη λειτουργία ο φορέας καλείται να αναλάβει τα ίδια βάρη και το βάρος του νωπού σκυροδέματος

Αξονική σχεδιασμού στη φάση κατασκευής

$$N_{Ed} = 8196 \text{ KN}$$

Έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό λόγω θλιπτικής δύναμης

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{500}{17,3 \cdot 76,06} = 0,38$$

$$\phi = 0,59$$

$$\chi = 0,96$$

$$N_{pl} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,96 \cdot 307 \cdot 35,5}{1,00} = 10462 \text{ KN}$$

4.4 Έλεγχος διατομών σε ΟΚΛ

4.4.1 Έλεγχος τάσεων στην ΟΚΛ

Επιρροή Συστολής ξήρανσης 30000 ημερών

$$N_{sh} = -\varepsilon_{sh} \cdot \frac{n_0}{n_s} \cdot E_{cm} \cdot A_c = -0,00029 \cdot \frac{6,17}{15,8} \cdot 3400 \cdot 13750 = 5294 \text{ KN}$$

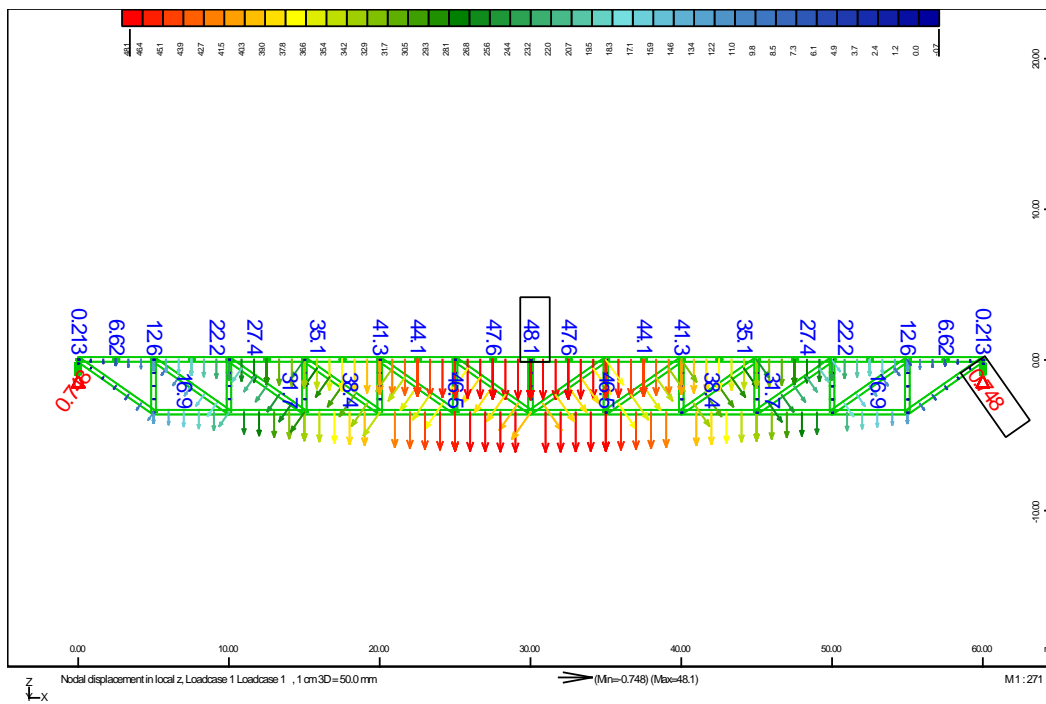
Έλεγχος τάσεων σύμμικτης διατομής άνω πέλματος σε ΟΚΛ

	N (KN)	σα (KN/cm²)
I.B. σιδηροδοκού	1688	5.5
I.B πλάκας	4605	15
Πρόσθετα μόνιμα φορτία	2285	0.85
Κινητά φορτία	5970	2.22
Συστολή ξήρανσης σε 30000 μέρες	5294	-3.9
Σύνολο		<u>19,67</u>

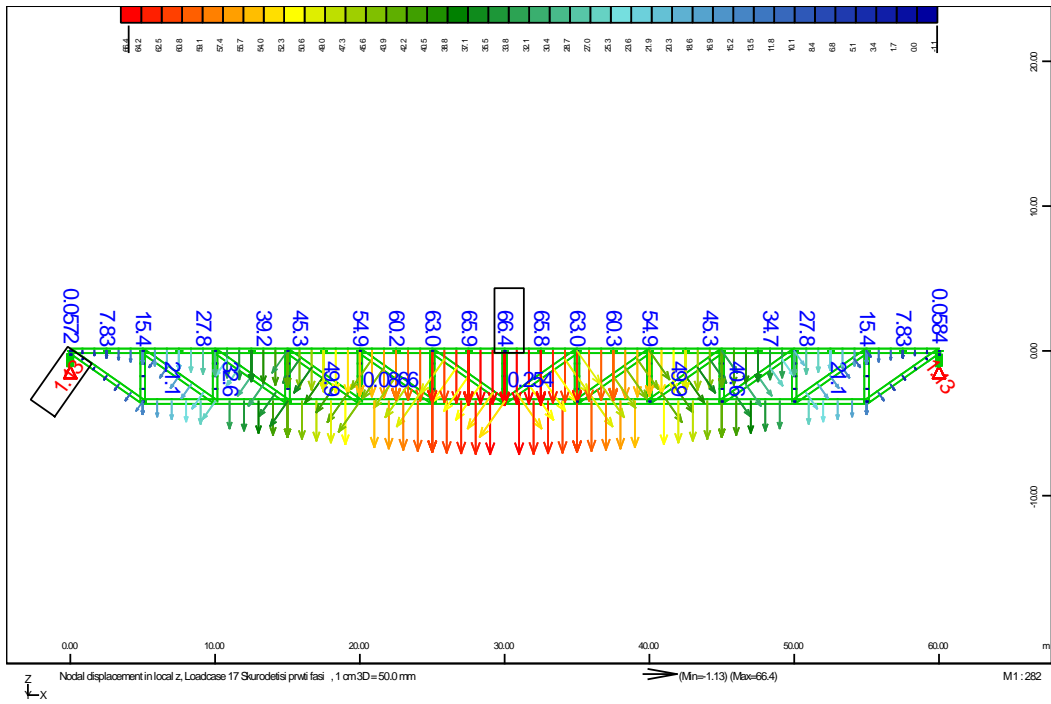
Έλεγχος τάσεων κάτω πέλματος σε ΟΚΛ

	N (KN)	σα (KN/cm ²)
Ι.Β. σιδηροδοκού	1683	2.27
Ι.Β πλάκας	4585	6.19
Πρόσθετα μόνιμα φορτία	2185	2.95
Κινητά φορτία	5605	7.57
Σύνολο		<u>18,98</u>

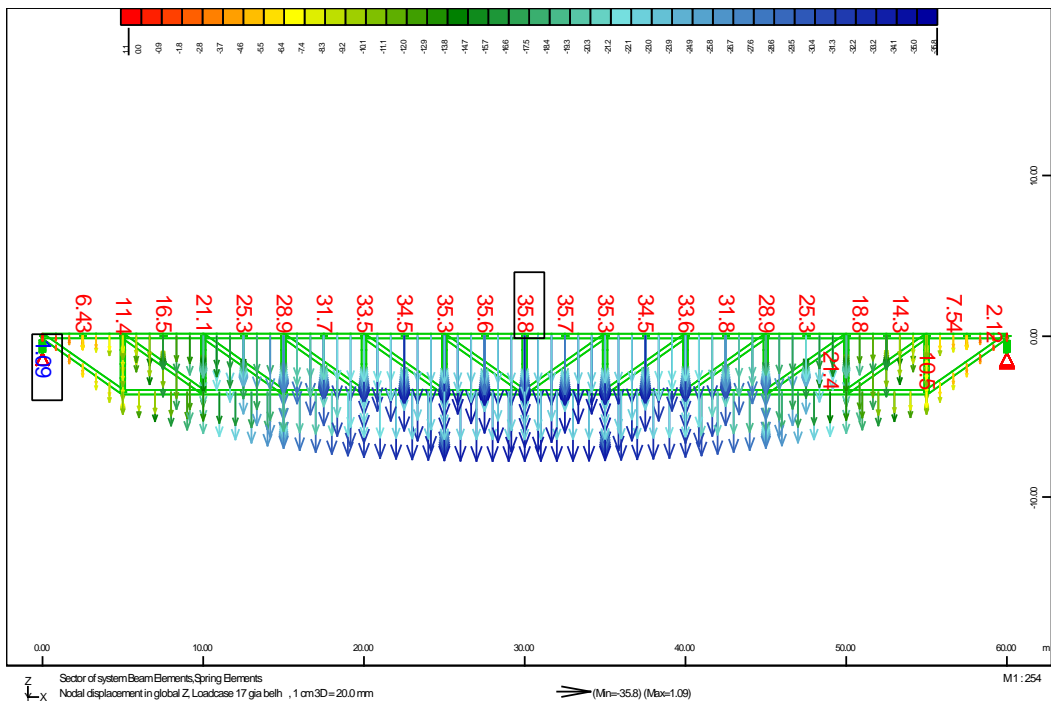
4.4.2 Έλεγχος Βελών στην Ο.Κ.Λ



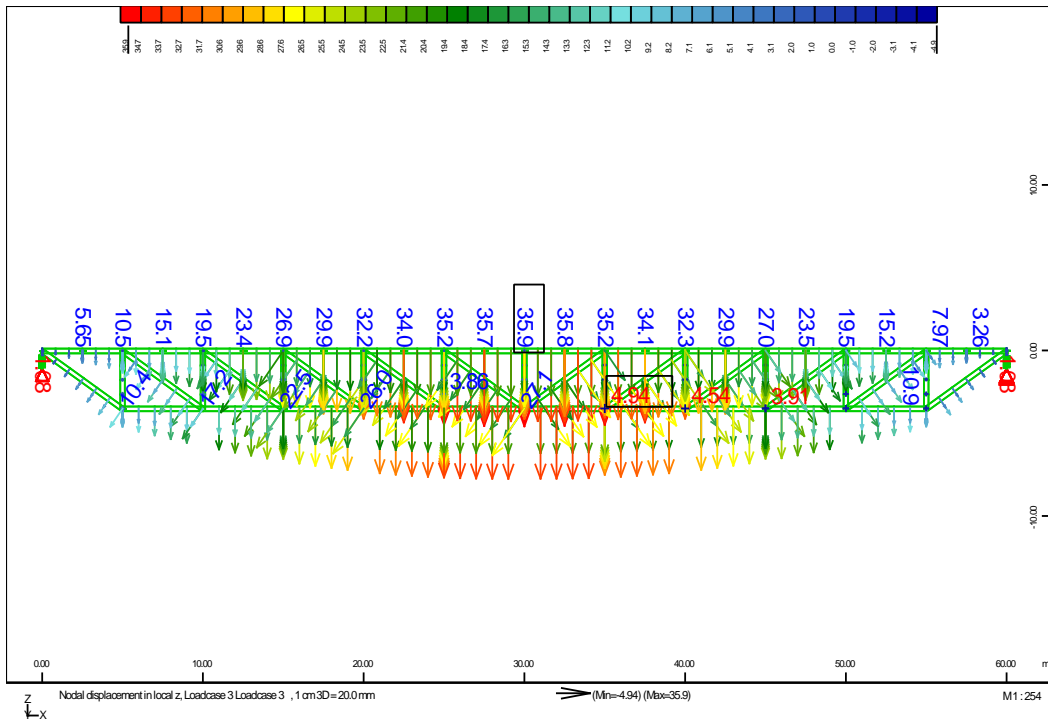
Σχήμα 4.13 Ίδιο βάρος μεταλλικών στοιχείων



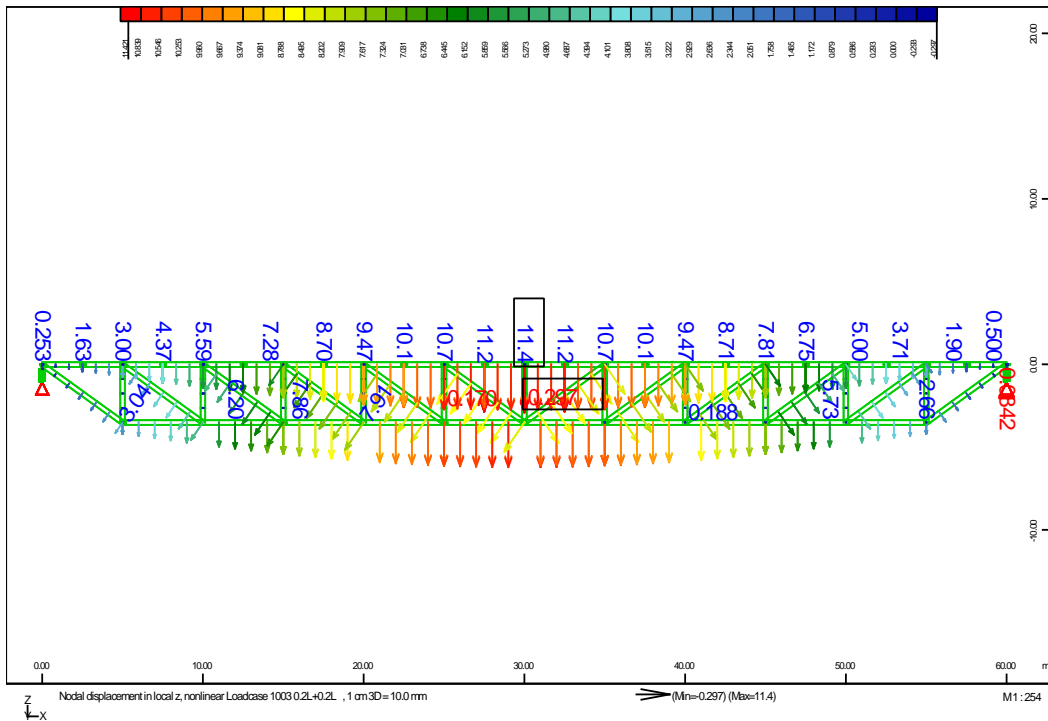
Σχήμα 4.14 1η φάση σκυροδέτησης



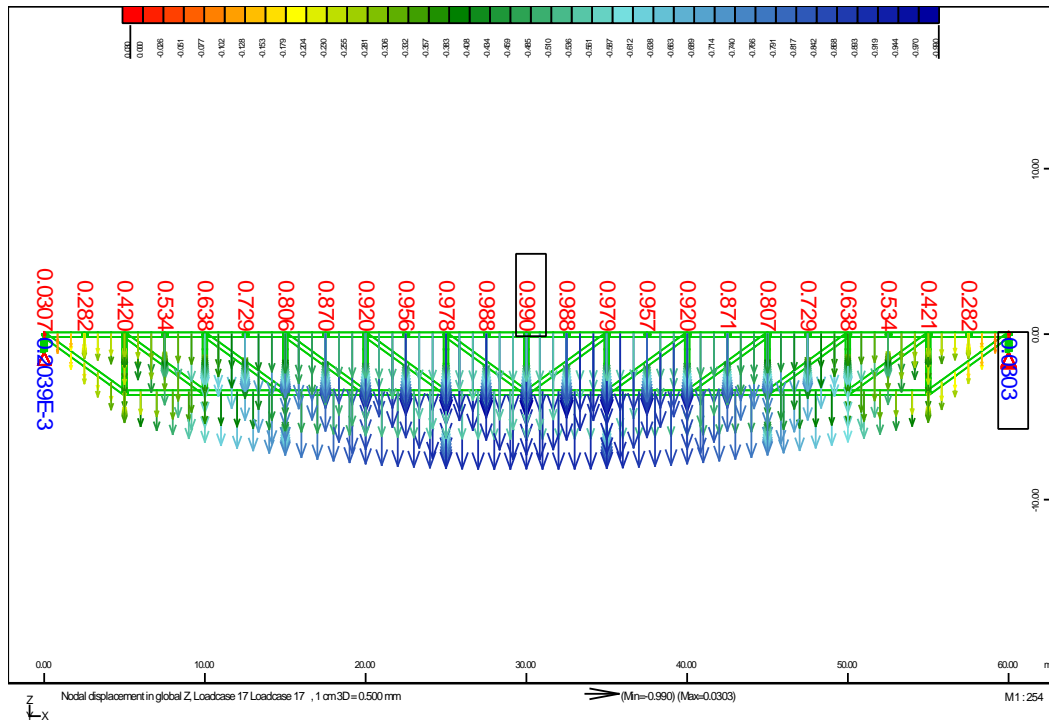
Σχήμα 4.15 2η φάση σκυροδέτησης



Σχήμα 4.16 Λοιπά μόνιμα φορτία



Σχήμα 4.17 Κινητά φορτία



Σχήμα 4.18 Συστολή ξήρασης

4.5 Διατμητική Σύνδεση

Ήλος κεφαλής

$$D = 27270 \text{ KN}$$

Θεωρώ ήλο $\Phi 25$ με $h=150 \text{ mm}$ και $f_{uk}=450 \text{ N/mm}^2$

4.5.1 Αντοχή ήλου σε διάτμηση

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}{\gamma_v}$$

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot 45 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2,5^2}{4}\right)}{1,25} = 141,37 \text{ KN}$$

4.5.2 Αντοχή σε σύνθλιψη Άντυγας Σκυροδέματος

$$\frac{h}{d} = \frac{150}{25} = 6 > 4, \quad \text{άρα } \alpha=1$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck} E_{cm}}{\gamma_v}}$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot 1 \cdot 2,5^2 \cdot \sqrt{\frac{3,5 \cdot 3350}{1,25}} = 157 \text{ KN}$$

$$P_{rd} = \min(141,3; 157) = 141,3 \text{ KN}$$

4.5.3 Κατανομή ήλων

$$D=27270 \text{ KN}$$

Απαιτούμενος αριθμός ήλων

$$n_3 = \frac{27270}{141,3} = 192 \text{ ήλοι}$$

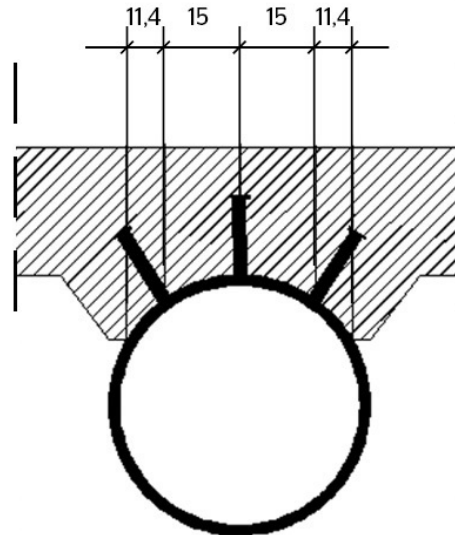
Τίθενται 64 τριάδες ήλων

Απόσταση Συνδέσμων

$$e_L = \frac{l}{2} = \frac{6000}{64} = 46 \text{ cm}$$

Άρα τίθεται μία τριάδα ήλων $\Phi 25/46$ cm

Διάταξη ήλων:



4.5.4 Έλεγχος αποστάσεων

Διαμήκης Απόσταση

$$5d < e_L < \min(6h_c, 800 \text{ mm})$$

$$125 \text{ mm} < 460 \text{ mm} < 800 \text{ mm}$$

Έγκάρσια Απόσταση

$$e_T \geq 2,5d = 2,5 \cdot 25 = 62,5 \text{ mm}$$

Απόσταση Ακραίου Ήλου απο την άκρη του πέλματος

$$e_T \leq 9 \cdot t_f \cdot \epsilon = 9 \cdot 60 \cdot 0,81 = 437,4 \text{ mm}$$

4.5.5 Διατμητική Κάλυψη πλάκας σκυροδέματος

Μέγιστη Διατμητική Ροή

$$V_{L,Ed} = \frac{27270}{30} = 909 \text{ KN/m}$$

Διατμητική ροή στο πτερύγιο

$$A_{cp,eff} = \frac{550 - 50}{2} \cdot 25 = 6250 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος Σκυροδέματος

$$V_{cRd} = \frac{0,75 \cdot L_v \cdot f_{cd}}{1,2 + 1,2^{-1}} = \frac{0,75 \cdot 25 \cdot 0,85 \frac{3,5}{1,5}}{1,2 + 1,2^{-1}} = 1828 \text{ KN/m}$$

$$\frac{V_{Lc,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{909}{1828} = 0,50 < 1$$

4.6 Έλεγχος σε Κόπωση

Έλεγχος δομικού χάλυβα

Ο έλεγχος του δομικού χάλυβα γίνεται στις θέσεις των συγκολλήσεων των κοιλοδοκών καθώς επίσης και στα σημεία αποκατάστασης της συνέχειας μεταξύ των τμημάτων της γέφυρας.

Κατηγορίες λεπτομερειών

Άνω πέλμα

Κυκλικές συγκολλούμενες πλάτη με πλάτη με εσωραφές → κατηγορία 71

Ενώσεις με υπερκάλυψη κόμβοι N κοίλων διατομών → κατηγορία 68

Συγκόλληση διατμητικού ήλου → Κατηγορία 80

Μέλη δικτυώματος

Ενώσεις με υπερκάλυψη κόμβοι N κοίλων διατομών → κατηγορία 50

Κάτω πέλμα

Κυκλικές συγκολλούμενες πλάτη με πλάτη με εσωραφές → κατηγορία 71

Ενώσεις με υπερκάλυψη κόμβοι N κοίλων διατομών → Κατηγορία 71

Προσδιορισμός φορτίων και τάσεων κόπωσης

Απο τα εντατικά μεγέθη προσδιορίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των τάσεων στις θέσεις ελέγχου

Για οδογέφυρες ανοίγματος μέχρι 80 m προβλέπεται η χρήση του συντελεστή λ :

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \leq \lambda_{\max}$$

λ_1 : συντελεστής που εξαρτάται από το άνοιγμα της γέφυρας

$$\lambda_1 = 2,55 - 0,7 \frac{L - 10}{70} = 2,55 - 0,7 \frac{50}{70} = 2,05$$

λ_2 : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τον όγκο κυκλοφορίας

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left(\frac{N_{obs}}{N_0} \right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{N_{obs}}{N_0} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Για τον έλεγχο σε κόπωση θεωρείται Κατηγορία κυκλοφορίας 2 : οδοί με μέτριο ποσοστό ροής βαρέων οχημάτων, άρα $N_{obs}=0,5 \cdot 10^6$ και $N_0=0,5 \cdot 10^6 \rightarrow \lambda_2=1$

$$\lambda_3 = \left(\frac{t_{Ld}}{100} \right)^{\frac{1}{5}} = 1$$

$\lambda_4=1$ (ευμενής επιρροή)

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 2$$

για γέφυρες με άνοιγμα μεγαλύτερο των 25 μέτρων θεωρείται $\lambda_{max}=2$

Ο έλεγχος γίνεται σε όλες τις χαρακτηριστικές θέσεις ελέγχου κατά μήκος του φορέα. Ενδεικτικά παρατίθενται ορισμένοι κρίσιμοι έλεγχοι στα μέλη του δικτυώματος.

Εύρος ορθών τάσεων στο άνω πέλμα του δικτυώματος

$$\Delta\sigma_{\epsilon} = \lambda \cdot \frac{\Delta N, f}{A\alpha} = 2 \cdot \frac{1304 - 79}{2685} = 0,91 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{8,0}{1,15} = 7,0 \text{ KN/cm}^2$$

Εύρος ορθών τάσεων στο κάτω πέλμα του δικτυώματος

$$\Delta\sigma_{\epsilon} = \lambda \cdot \frac{\Delta N, f}{A\alpha} = 2 \cdot \frac{1232 - 90,3}{737} = 3,09 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{7,1}{1,15} = 6,17 \text{ KN/cm}^2$$

Εύρος τάσεων στους ορθοστάτες

$$\Delta\sigma_{\epsilon} = \lambda \cdot \frac{\Delta N, f}{A_{\alpha}} = 2 \cdot \frac{254 - 8,41}{196} = 2,5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{5}{1,15} = 4,35 \text{ KN/cm}^2$$

Εύρος τάσεων στον ακριανό ελκυστήρα

$$\Delta\sigma_{\epsilon} = \lambda \cdot \frac{\Delta N, f}{A_{\alpha}} = 2 \cdot \frac{476 - 15,81}{247} = 3,72 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{5}{1,15} = 4,35 \text{ KN/cm}^2$$

4.6.1 Έλεγχος ήλων σε κόπωση

Για μέγιστες διατμητικές τάσεις η κατηγορία λεπτομέρειας είναι 90

$\lambda_{v1}=1,55$ για οδική γέφυρα μήκους <100 m

$$\lambda_{v2} = \frac{N_{\text{obs}}}{0,5 \cdot 10^6}^{1/8} = 1$$

$\lambda_3=1,00$ για διάρκεια ζωής 100 έτη

$\lambda_{v4}=1,00$

$$\lambda_v = \lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1,55$$

Έλεγχος για μέγιστες διατμητικές τάσεις

$$\Delta\tau E = \frac{\lambda_v \cdot \varphi \cdot \Delta V f \cdot A_{c0} \cdot z_{a,0}}{n \cdot I \cdot A_d} = \frac{1,55 \cdot 1 \cdot 67,4 \cdot 13750 \cdot 8,6}{6 \cdot 598100 \cdot 4,9} = 0,70$$
$$< \frac{9}{1,25} = 7,2 \text{ KN/cm}^2$$

4.7 Εφέδρανα

Τα εφέδρανα είναι ίδιου τύπου με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στην γέφυρα της εφαρμογής του κεφαλαίου 3.

Χαρακτηριστικά Εφεδράνων

Πάχος στρώσης 15 mm

Αριθμός στρώσεων $n=8$

Μέτρο Διάτμησης: $G=0,10 \text{ KN/cm}^2$

Μέτρο Ελαστικότητας: $E=119.6 \text{ KN/cm}^2$

Τα εφέδρανα προσομοιώνονται με ελατήρια σταθεράς

$$K_x = K_y = \frac{a \cdot b \cdot G}{n \cdot t_i} = \frac{80 \cdot 80 \cdot 0,1}{8 \cdot 1,5} = 5333 \text{ KN/m}$$

$$K_z = \frac{a \cdot b \cdot E}{t} = \frac{80 \cdot 80 \cdot 119,6}{8 \cdot 1,5} = 6378666 \text{ KN/m}$$

4.7.1 Σεισμός

Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού

Χαρακτηριστικά σεισμού	
Κατηγορία εδάφους	C
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	II (A=0.24g)
Συντελεστής συμπεριφοράς η	1,5
T_B	0,2
T_C	0,6
T_D	2

Μέσω της δυναμικής ανάλυσης προέκυψαν από το πρόγραμμα οι παρακάτω ιδιομορφές:

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος T(sec)
1η	1,76
2η	1,28
3η	0,72
4η	0,63
5η	0,52
6η	0,21
7η	0,19
8η	0,13
9η	0,12
10η	0,11

Μέγιστη μετακίνηση εφεδράνου (Μέθοδος CQC)

maxu=161,8 mm

Έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης εφεδράνου

Ανηγγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω σεισμού

$$\varepsilon_{sd} = \frac{16,18}{8 \cdot 1,5} = 1,34 < 2$$

Ανηγγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω θλίψης

$$\max N_{Ed} = 1137,8 \text{ KN}$$

Συντελεστής σχήματος εφεδράνου

$$S = \frac{a \cdot b}{2(a + b) \cdot t_i} = \frac{80 \cdot 80}{2(80 + 80) \cdot 1,5} = 13,33$$

Ενεργός επιφάνεια εφεδράνου

$$A_r = (a - \delta_x) \cdot (b - \delta_y) = (80 - 16,7) \cdot (80 - 13,5) = 4200,45 \text{ cm}^2$$

Μέγιστη ορθή τάση εφεδράνου

$$\sigma = \frac{\max N}{A_r} = \frac{1137,8}{4200,45} = 0,27 \text{ KN/cm}^2$$

Ανηγγμένη παραμόρφωση

$$\varepsilon_{cd} = \frac{1,5 \sigma_e}{S \cdot G} = \frac{1,5 \cdot 0,27}{13,33 \cdot 0,1} = 0,3$$

Μέγιστη διατμητική παραμόρφωση εφεδράνου:

$$\varepsilon_{bd} = \varepsilon_{s,d} + \varepsilon_{cd} = 1,34 + 0,3 = 1,64 < 7/1,15 = 6,09$$

Έλεγχος ολίσθησης εφεδράνου

Η μέγιστη ορθή τάση του εφεδράνου είναι

$$\sigma_e = 0,27 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{2 \cdot a \cdot G \cdot S}{3 \cdot \Sigma t_i} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 0,1 \cdot 13,33}{3 \cdot 8 \cdot 1,5} = 5,92 \text{ KN/cm}^2$$

επομένως το εφέδρανο δεν ολισθαίνει

4.7.2 Μη σεισμικές δράσεις

4.7.2.1 Φορτίσεις στην διαμήκη διεύθυνση

Τροχοπέδηση-Εκκίνηση

Θεωρείται ότι η δύναμη ασκείται κεντρικά στην άνω στάθμη του οδοστρώματος

$$Q = 0,6 \cdot 600 + 0,1 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 60 = 522 \text{ KN}$$

Τα εφέδρανα είναι ίδια μεταξύ τους άρα κάθε ένα αναλαμβάνει δύναμη

$$\frac{522}{4} = 130,5 \text{ KN}$$

Διατμητική παραμόρφωση εφεδράνου κατά x

$$\tan \gamma_x = \frac{H_x}{\alpha \cdot b \cdot G} = \frac{130,5}{80 \cdot 80 \cdot 0,1} = 0,20$$

Διαφορά Θερμοκρασίας

$$\delta_x = 13.4 \text{ mm}$$

Συνολική διατμητική παραμόρφωση κατά x:

$$\Sigma \tan \gamma_x = 0,20 + \frac{1,34}{8 \cdot 1,5} = 0,31$$

4.7.2.2 Φορτίσεις στην εγκάρσια διεύθυνση

Άνεμος

Δράση ανέμου χωρίς κυκλοφορία

Βασική πίεση ανέμου

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 33^2 = 0,68 \text{ KN/m}^2$$

Πίεση ταχύτητας αιχμής

$$q_p = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot q_b = (1 + 7 \cdot 0,2) \cdot 0,68 = 1,632$$

Για ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας

$$\text{ύψος } d_{ολ} = d + d_1 = 3,75 + 1 = 4,75 \text{ m}$$

και για $b/d_{ολ} = 11/5 = 2,2$ ο συντελεστής δύναμης είναι $c_{fx,0} = 1,9$

Φορτίο ανέμου

$$w = q_p \cdot c_{fx} = 1,63 \cdot 1,9 = 3,1 \text{ KN/m}^2$$

Δράση ανέμου με κυκλοφορία

Για ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας θεωρείται

$$\text{ύψος } d_{\text{ολ}} = d + 2 = 3,75 + 2 = 5,75 \text{ m}$$

$$b/d_{\text{ολ}} = 11/5,75 = 1,9 \text{ άρα } c_{f_x,0} = 2$$

Φορτίο ανέμου

$$w = q_p \cdot c_{f_x} = 1,632 \cdot 2 = 3,2 \text{ KN/m}^2$$

Άρα δυσμενέστερη είναι η περίπτωση φόρτισης με κυκλοφορία
Το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο λόγω του ανέμου είναι:

$$w = 3,2 \cdot 5,75 = 18,4 \text{ KN/m}$$

από την επίλυση δίνεται η συνολική μετακίνηση κατά y

$$u_{y\text{max}} = 31 \text{ mm}$$

Η συνολική διατμητική παραμόρφωση κατά y είναι:

$$\Sigma \tan \gamma_y = \frac{3,1}{8 \cdot 1,5} = 0,26$$

Έλεγχος συνολικής διατμητικής παραμόρφωσης

$$\Sigma \tan \gamma = \sqrt{\left(\Sigma \tan \gamma_x\right)^2 + \left(\Sigma \tan \gamma_y\right)^2} = \sqrt{0,31^2 + 0,26^2} = 0,4$$

5 Προμέτρηση χαλύβδινων υλικών

5.1.1 Σύστημα δοκών

Διατομή	Βάρος(kg/m)	Μήκος(m)	Τεμάχια	Σύνολο(tn)
Συγκολλητή διατομή κύριας δοκού	1208.36	60	2	<u>145.0032</u>

5.1.2 Σύστημα δικτυώματος

Διατομή	Βάρος(kg/m)	Μήκος(m)	Τεμάχια	Σύνολο(tn)
CHS 508x20	241	60	2	28.92
CHS 508x16	194	6.1	8	9.4672
CHS 406,4x16	154	6.1	8	7.5152
CHS 323x16	121	6.1	8	5.9288
CHS 406,4x16	154	3.5	22	11.858
CHS 813x30	579.3	60	2	69.516
				<u>133.2052</u>

6 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η σύγκριση μίας αμφιέριστης γέφυρας όπου ο κύριος φορέας αποτελείται από δοκούς μορφής I με άνισα πέλματα και μίας αντίστοιχης αμφιέριστης με δικτυωτούς φορείς. Εξετάσθηκαν όλες οι παράμετροι μελέτης που ορίζονται από τους κανονισμούς για τις σύμμικτες γέφυρες με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης λύσης εκ των δύο συστημάτων.

Μέσα από την εργασία αυτή λοιπόν μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Όσον αφορά τους δικτυωτούς φορείς, αποδεικνύονται ελαφρύτεροι σαν κατασκευή, με αρκετά περιθώρια βελτίωσης με τον όσο καλύτερο δυνατό σχεδιασμό. Επιπροσθέτως, παρατηρείται περιορισμός των βελών του φορέα καθώς επίσης και ένας περιορισμός των τάσεων στην ΟΚΛ. Τέλος, λόγω της μικρότερης μάζας του προκαλεί μικρότερη καταπόνηση στα εφέδρανα της γέφυρας λόγω σεισμικών δράσεων .

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα αυτά του δικτυωτού φορέα αντισταθμίζονται από την μεγάλη πολυπλοκότητα των συνδέσεων μεταξύ των μελών, καθώς επίσης και από την ανάγκη για εκτενείς και συστηματικούς ελέγχους σε κόπωση σε αρκετές θέσεις του φορέα.

Οι ολόσωμες δοκοί από την άλλη, , τόσο λόγω της ευκολίας σύνδεσης μεταξύ των μελών όσο και της ανάγκης για σαφώς λιγότερους υπολογισμούς και ελέγχους, καθίστανται ως μία αρκετά απλούστερη λύση. Αξίζει τέλος να σημειωθεί η μικρή τους ευαισθησία σε δυνάμεις ανεμοπίεσης.

Βασικό όμως μειονέκτημα σε σχέση με το δικτύωμα αποτελεί το μεγαλύτερο βάρος τους το οποίο επιφέρει δυσμενέστερα αποτελέσματα και στις σεισμικές δράσεις.

7 Βιβλιογραφία

- Βάγιας Ι., «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα» εκδόσεις Κλειδάριθμος 2006
- Βάγιας Ι., «Σύμμικτες Γέφυρες -Οδηγός Σχεδιασμού με βάση τα DIN-Fachberichte και τους Ευρωκώδικες» εκδόσεις Κλειδάριθμος 2006
- Ερμόπουλος Ι., «Σιδηρές και Σύμμικτες Γέφυρες -Ανάλυση και διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 1 έως 8 » εκδόσεις Κλειδάριθμος 2008
- Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., «Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα -Με βάση τα τελικά κείμενα των Ευρωκωδίκων» εκδόσεις Κλειδάριθμος 2005
- EN 1993-1-1: Ευρωκώδικας: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, (2004)
- EN 1991-1-2: Ευρωκώδικας 1: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών, (2004)
- EN 1993-2: Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα- Μέρος 2 Σιδηρές γέφυρες
- EN 1993-1-9: Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Μέρος 1-9: Κόπωση, (2004)
- EN 1994-1-1: Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα, (2004)
- EN 1994-1-2: Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα, σύμμικτες γέφυρες, (2004)