

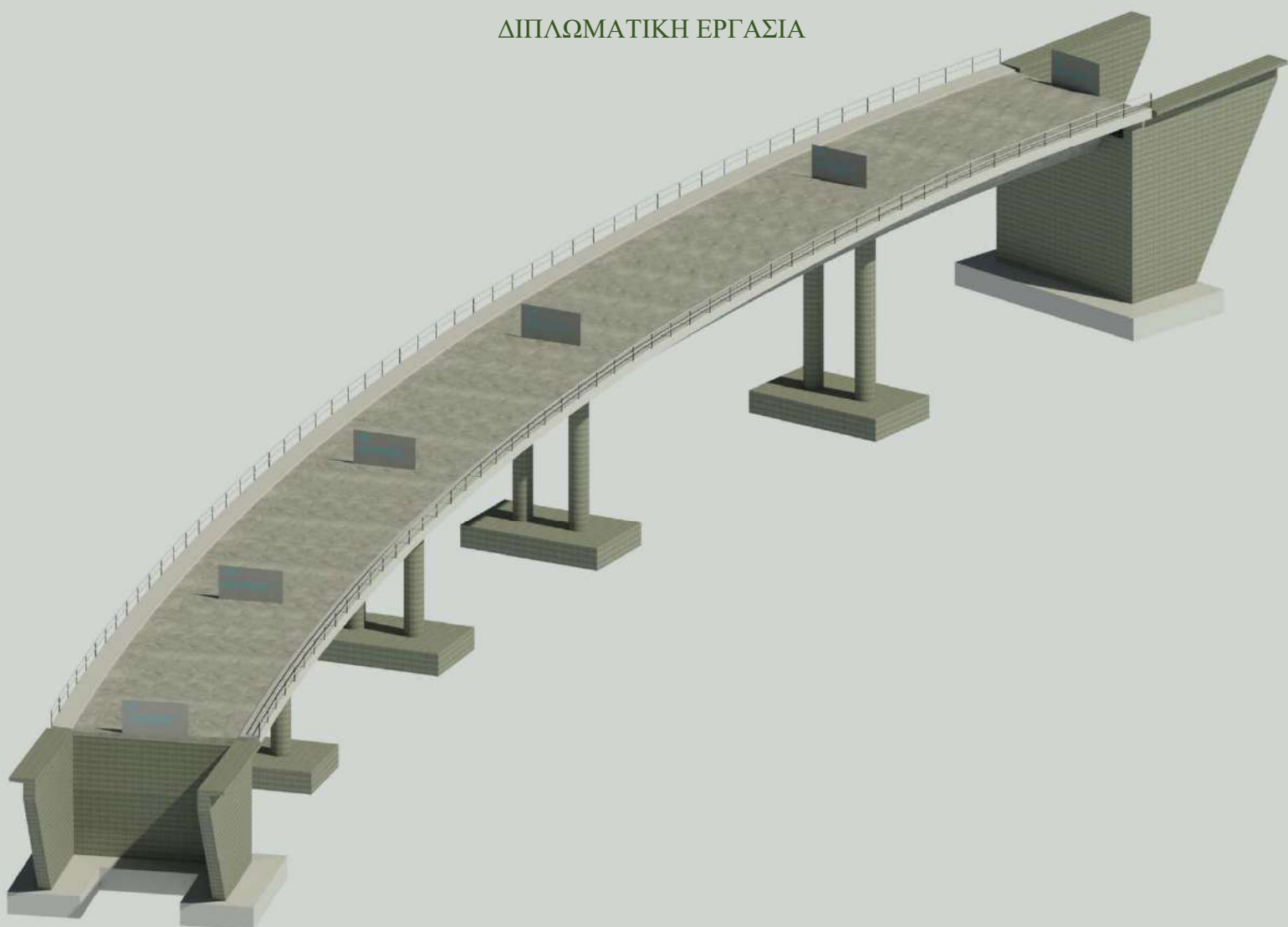


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

2023

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Επαμεινώνδας Ε. Ρεμουντάκης
Επιβλέπων: Χρήστος Ζέρης, Καθηγητής ΕΜΠ
Αθήνα, Νοέμβριος 2023



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ
ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επαμεινώνδας Ε. Ρεμουντάκης

Επιβλέπων: Χρήστος Ζέρης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2023



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING**

DIPLOMA THESIS

**RESEARCHING ALTERNATIVE DESIGN OF EXISTING MULTI – SPAN
PRESTRESSED CONCRETE CURVED BRIDGE**

Epameinondas E. Remountakis

Supervisor: Christos Zeris, Professor NTUA

Athens, November 2023

Copyright © Επαμεινώνδας Ε. Ρεμουντάκης, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική, με τίτλο «Διερεύνηση εναλλακτικού σχεδιασμού υφιστάμενης καμπύλης γέφυρας από ΠΣ πολλαπλών ανοιγμάτων», εκπονήθηκε για τον τομέα Δομοστατικής της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. από τον φοιτητή Επαμεινώνδα Ε. Ρεμουντάκη. Αντικείμενο της αποτελεί τη σύντομη περιγραφή του υφιστάμενου φορέα με την παθολογία του και τον σχεδιασμό του νέου φορέα καταστρώματος, όπου μορφώνεται από προεντεταμένο κιβώτιο, μεταβλητής διατομής. Υπεύθυνος της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Καθηγητής του Ε.Μ.Π., κ. Χρήστος Ζέρης τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την επίβλεψη και τον χρόνο που αφιέρωσε στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πολιτικό Μηχανικό MSc Ε.Μ.Π., κ. Αθανάσιο Κοντιζά, του οποίου οι γνώσεις και οι εμπειρίες του συνέβαλαν καθοριστικά στην ποιότητα της παρούσας εργασίας, καθώς και στην εκβάθυνση του αντικείμενου.

Επιπλέον ευχαριστώ τους συμφοιτητές μου Γεωργία Μιχαήλ, Δέσποινα Νικολιδάκη και Θωμά Ιωαννίδη, για όλα αυτά τα χρόνια στο Πολυτεχνείο, καθώς και την σύντροφο μου Δικαστική Ψυχολόγο MSc, κ. Φωτεινή Χριστοδουλάκη, για την συμπαράσταση της.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην εκφράσω την ευγνωμοσύνη στον Εμπειροτέχνη Εργολάβο και πατέρα μου, Επαμεινώνδα Γ. Ρεμουντάκη για την στήριξη που μου προσέφερε όλο αυτό το διάστημα, καθώς και τις εμπειρικές-χειρωνακτικές γνώσεις-δεξιότητες επί του πεδίου των κατασκευών.

Χωρίς την συμβολή όλων των παραπάνω θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη η πραγμάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας όπου και αφιερώνεται εις μνήμην της μητέρας μου Όλγα Ζερβάκη.

Επαμεινώνδας Ε. Ρεμουντάκης

Στην Όλγα...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζεται η γέφυρα Α/Δ οδού Σχιστού-Σκαραμαγκά στον Α/Κ Λ. Αθηνών στην περιοχή Σκαραμαγκά, όπου έχει υποστεί αρκετές διαβρώσεις. Θα εξεταστεί εκ νέου, νέος φορέας της γέφυρας υπό την μορφή κιβωτίου, χωρίς αλλαγές στη μελέτη οδοποιίας ή την οριογραμμή της υφιστάμενης γέφυρας, εφόσον αιτιολογηθεί η παθολογία του υφιστάμενου καταστρώματος. Ο νέος φορέας αυτός, θα αποτελείται από προεντεταμένο συνεχές κατάστρωμα, διατομής μονοκύπελου κιβωτίου, μεταβλητής διατομής. Μετά τη σύντομη περιγραφή του υφιστάμενου φορέα, την ανάλυση της παθολογίας, θα γίνει υπολογισμός των διαστάσεων της διατομής κιβωτίου σύμφωνα με τους Αμερικάνικους κανονισμούς AASHTO LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials – Load and Resistance Factor Design), θα ακολουθήσει η εγκάρσια ανάλυση και η διαμήκης ανάλυση σε δυσδιάστατα μαθηματικά προσομοιώματα στο λογισμικό στατικής ανάλυσης SOFiSTiK A.G.. Έπειτα θα γίνει υπολογισμός της προέντασης (γεωμετρία και δύναμη), όπου θα εισαχθούν στο καθολικό, τρισδιάστατο πλέον μοντέλο, όπου θα γίνει η τελική ανάλυση και οι τελική ελεγχθεί. Τέλος θα παρουσιαστούν τα σχέδια της υφιστάμενης κατάστασης και τα σχέδια του νέου φορέα της γέφυρας, καθώς και ένας προσεγγιστικός προϋπολογισμός του νέου φορέα (χωρίς την κοστολόγηση της κατεδάφισης). Τέλος προτείνεται σε επόμενη εργασία, να εξεταστεί το ενδεχόμενο της ενίσχυσης του υφιστάμενου καταστρώματος, με αποκατάσταση της συνέχειας στην περιοχή διαμόρφωσης της δοκού gerber, καθώς και η αποτίμηση των υφιστάμενων βάρων, για την παραλαβή των φορτίων σύμφωνα με τους πιο πρόσφατους κανονισμούς. Με τη παραπάνω πρόταση διερεύνησης, θα μπορεί να υπάρξει σύγκριση από πλευρά κόστους, των δύο λύσεων αυτών.

ABSTRACT

In the present Diploma Thesis, the bridge of the O/P road Schisto-Skaramagka in Athens Av. Athens O/P in the area of Skaramagkas is examined, where it has suffered several erosions. A new bridge girder in the form of a box girder will be considered again, without any changes to the road design or the limit line of the existing bridge. This new girder will consist of a prestressed continuous deck, of a single-cell box section, of variable cross-section. After the brief description of the existing structure, the analysis of the pathology, and the calculation of the dimensions of the box cross-section according to the American regulations will be carried out, followed by the transverse analysis and the longitudinal analysis in two-dimensional mathematical simulations in the static analysis software SOFiSTiK A.G.. Then the prestressing (geometry and force) will be calculated, where they will be entered into the global, now three-dimensional model, where the final analysis and final checks will be performed. Finally, the as-built and new bridge structure drawings will be presented, as well as an approximate budget for the new structure (excluding demolition costing). Finally, it is proposed in a subsequent work to consider the possibility of strengthening the existing deck, with restoration of continuity in the area of the gerber beam configuration, as well as the evaluation of the existing footings to receive the loads according to the most recent regulations. With the above exploration proposal, a cost comparison of these two solutions could be made.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων	13
Εισαγωγή.....	18
Δομή Διπλωματικής Εργασίας	18
1. Υφιστάμενη γέφυρα.....	20
1.1. Σκοπός & αφορμή	20
1.2. Περιγραφή υφιστάμενου φορέα	20
1.3. Δοκός Gerber – Αιωρούμενο άνοιγμα.....	22
1.4. Δοκός Gerber – Ιστορική αναδρομή.....	24
1.5. Διαβρώσεις	26
2. Παθολογία.....	32
3. Διερευνητικές εργασίες.....	34
4. Ενόργανη παρακολούθηση	36
5. Νέος φορέας γέφυρας.....	38
6. Παραδοχές	42
6.1. Υλικά.....	42
6.2. Φορτία και δράσεις.....	43
6.3. Δομικά υλικά.....	43
6.3.1. Γενικά	43
6.3.2. Σκυρόδεμα	43
6.3.3. Ιδιότητες σκυροδέματος.....	43
6.4. Ανθεκτικότητα	44
7. Υπολογισμός νέου κιβωτίου	45
7.1. Γενικά	45
7.2. Ύψος φορέα καταστρώματος.....	46
7.3. Πρόβολοι (φτερά)	47
7.4. Κορμός.....	48
7.5. Άνω πλάκα.....	50
7.6. Κάτω πλάκα	52
7.7. Τελική γεωμετρία κιβωτίου	53
8. Δράσεις γεφυρών	55
8.1. Γενικά [EN1991-2 (2)§2.1].....	55
8.2. Μεταβλητές δράσεις [EN1991-2 (2)§2.2]	56

8.3.	Δράσεις για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού [EN1991-2 (2)§2.3] ..	57
8.4.	Μόνιμες δράσεις.....	58
8.4.1.	Ίδια βάρη [LC1].....	58
8.4.2.	Πρόσθετα μόνιμα φορτία [LC2]	59
8.5.	Φορτία κυκλοφορίας.....	61
8.5.1.	Φορτία κυκλοφορίας – Τοπικός έλεγχος προβόλων [LC600]	63
8.5.2.	Φορτία κυκλοφορίας – Πρότυπη φόρτιση LM1 [LC500-600].....	63
8.5.3.	Φορτία κυκλοφορίας – Πρότυπη φόρτιση 2 [LC100].....	68
8.5.4.	Οριζόντιες δυνάμεις – Δυνάμεις πέδησης & επιτάχυνσης [LC700]	69
8.5.5.	Οριζόντιες δυνάμεις – Φυγόκεντρες και άλλες εγκάρσιες δυνάμεις [LC800] 71	
8.6.	Δυνάμεις πρόσκρουσης οχημάτων	72
8.7.	Υποχώρηση στήριξης.....	72
8.8.	Δράσεις ανέμου κατά EN 1991-1-4 [LC200-205].....	73
8.8.1.	Δράσεις ανέμου κατά X-X [LC200-201].....	78
8.8.2.	Δράσεις ανέμου κατά Y-Y [LC202-203].....	81
8.8.3.	Δράσεις ανέμου κατά Z-Z [LC204-205].....	81
8.9.	Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης [LC10]	83
8.9.1.	Γενικά (Τριανταφύλλου 2017, 95-106)	83
8.9.2.	Παράγοντες που επηρεάζουν τη Συστολή Ξήρανσης και τον Ερπυσμό	86
8.9.3.	Υλικά και αναλογίες σύνθεσης.....	86
8.9.4.	Χρόνο, υγρασία	88
8.9.5.	Γεωμετρία	89
8.9.6.	Συντήρηση, θερμοκρασία, μέγεθος τάσεων	90
8.9.7.	Υπολογισμός Χρόνιων Παραμορφώσεων	90
8.9.8.	Συστολή (ξήρανσης και αυτογενής).....	90
8.9.9.	Ερπυσμός.....	92
8.10.	Θερμικές δράσεις κατά EN1991-1-5.....	97
8.10.1.	Ομοιόμορφη συνιστώσα θερμοκρασίας [LC300-301]	98
8.10.2.	Καθ' ύψος γραμμική συνιστώσα θερμοκρασίας [LC302-303]	101
8.10.3.	Κατά πλάτος γραμμική συνιστώσα θερμοκρασίας [LC304-305]	104
8.10.4.	Σύγχρονη δράση των συνιστωσών θερμοκρασίας	105
8.11.	Σεισμικές δράσεις [EN1998].....	106

9.	Συνδυασμοί [EN1990]	111
10.	Εγκάρσια ανάλυση.....	112
10.1.	Προσομοίωμα εγκάρσιας ανάλυσης	114
10.2.	Υλικά προσομοιώματος.....	116
10.3.	Φορτία προσομοιώματος	120
10.3.1.	Μόνιμα φορτία G [LC1].....	121
10.3.2.	Πρόσθετα μόνιμα φορτία G' [LC2]	123
10.3.3.	Φορτία κυκλοφορίας.....	123
10.3.3.1.	Φορτία ελέγχου προβόλου [LC3]	124
10.3.3.2.	Κ. Λωρίδα στο αριστερό άκρο [LC4]	124
10.3.3.3.	Κ. Λωρίδα αριστερά και στο μέσο [LC5]	125
10.3.3.4.	Κ. Λωρίδα στο μέσο [LC6].....	125
10.3.3.5.	Κ. Λωρίδα δεξιά και στο μέσο[LC7]	126
10.3.3.6.	Κ. Λωρίδα στο δεξί άκρο [LC8]	126
10.3.4.	Εγκάρσια προένταση P [LC9].....	127
10.4.	Αποτελέσματα εγκάρσιας ανάλυσης.....	128
10.4.1.	Συνδυασμοί.....	128
10.4.2.	Εντατικά μεγέθη.....	129
10.4.3.	Περιβάλλουσα εντατικών	135
10.4.3.1.	Κιβώτιο 1	135
10.4.3.2.	Κιβώτιο 2	138
10.4.4.	Βαθμός εκμετάλλευσης	141
11.	Διαμήκης ανάλυση.....	144
11.1.	Προσομοίωμα διαμήκους ανάλυσης.....	144
11.2.	Υλικά προσομοιώματος.....	145
11.3.	Φορτία προσομοιώματος	146
11.3.1.	Μόνιμα φορτία G [LC1].....	147
11.3.2.	Πρόσθετα μόνιμα φορτία G' [LC2]	148
11.3.3.	Φορτία κυκλοφορίας [LC3].....	148
11.3.3.1.	Φορτία κυκλοφορίας στο 1 ^ο άνοιγμα [LC4]	149
11.3.3.2.	Φορτία κυκλοφορίας στο 2 ^ο άνοιγμα [LC5]	149
11.3.3.3.	Φορτία κυκλοφορίας στο 3 ^ο άνοιγμα [LC6]	149
11.3.3.4.	Φορτία κυκλοφορίας στο 4 ^ο άνοιγμα [LC7]	150

11.3.3.5.	Φορτία κυκλοφορίας στο 5 ^ο άνοιγμα [LC8]	150
11.4.	Αποτελέσματα διαμήκης ανάλυσης.....	150
11.4.1.	Συνδυασμοί.....	150
11.4.2.	Εντατικά μεγέθη.....	151
11.4.3.	Περιβάλλουσα εντατικών	155
11.4.4.	Βαθμός εκμετάλλευσης, τάσεις και τροπές.....	157
12.	Υπολογισμός προέντασης.....	160
12.1.	Γενικά	160
12.2.	Μέθοδος συνδυασμού εντατικών καταστάσεων.....	161
12.3.	Υλικά και μέσα προέντασης.....	162
12.4.	Σύστημα MK4 (MK4 n.d.).....	164
12.5.	Προμελέτη προέντασης	168
13.	Καθολικό μοντέλο.....	202
13.1.	Παραδοχές.....	203
13.2.	Άξονας προσομοίωσης.....	205
13.3.	Εισαγωγή προέντασης	210
13.4.	Υλικά προσομοιώματος.....	211
13.5.	Κανονισμοί	215
13.6.	Φορτία προσομοιώματος	216
13.6.1.	Μόνιμα φορτία G [LC1].....	218
13.6.2.	Πρόσθετα μόνιμα φορτία G' [LC2]	219
13.6.3.	Δύναμη προέντασης [LC3]	220
13.6.4.	Φορτία κυκλοφορίας [LC100-LC800].....	221
13.6.5.	Φορτία ανέμου [LC 200-LC205]	223
13.6.6.	Θερμικές δράσεις [LC300-LC340].....	227
13.6.7.	Συστολή ξήρανσης και αυτογενής [LC10]	233
13.6.8.	Κατασκευαστικές φάσεις [LC4010-5045]	234
13.7.	Ιδιομορφική ανάλυση	238
14.	Εφεδράνα	240
14.1.	Σύστημα εφεδράνων (MK4 χ.χ.).....	240
14.2.	Έλεγχος εφεδράνων (MK4 χ.χ.).....	242
15.	Αποτελέσματα ανάλυσης.....	251
16.	Προμέτρηση & Κοστολόγηση	298

17.	Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	305
18.	Λίστα σχεδίων	307
19.	Παράρτημα	308
19.1.	Κατηγορίες σκυροδέματος Ρωσικών κανονισμών	308
19.2.	Τιμές εκπομπών CO ₂ σκυροδέματος.....	309
19.3.	Τεύχος SOFiSTiK	310
20.	Βιβλιογραφία.....	403

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	Κατηγορίες σκυροδέματος Ρωσικών κανονισμών
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	Τιμές εκπομπών CO ₂ σκυροδέματος
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	Τεύχος προγράμματος SOFiSTiK
(ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ)	Σχέδια

Εισαγωγή

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζεται η γέφυρα Α/Δ οδού Σχιστού-Σκαρμαγκά στον Α/Κ Λ. Αθηνών στην περιοχή Σκαρμαγκά, όπου έχει υποστεί αρκετές διαβρώσεις. Θα εξεταστεί εκ νέου, νέος φορέας της γέφυρας υπό την μορφή κιβωτίου, χωρίς αλλαγές στη μελέτη οδοποιίας ή της οριογραμμής της υφιστάμενης γέφυρας. Η νέα γέφυρα αυτή θα αποτελείτε από έναν (1) κλάδο, με πλάτος κυκλοφορίας 7.50m, όπου θα έχει δύο (2) κύριες λωρίδες κυκλοφορίας, πλάτους 3.00m, και μία εναπομένουσα λωρίδα, πλάτους 1.50m.

Επιπρόσθετα θα διαθέτει δύο (2) πεζοδρόμια πλάτους 1.50m το καθένα. Η γέφυρα παραμένει αυτή των πέντε (5) ανοιγμάτων, με μέγιστο άνοιγμα στα 34.00m. Ο νέος φορέας της ανωδομής θα εδράζεται επί κεφαλοδοκού σε κυκλικά μεσόβαθρα, μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων, και σε τοιχοειδή ακρόβαθρα. Για το υπολογισμό και την διαστασιολόγηση του τεχνικού, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό στατικής ανάλυσης SOFiSTiK A.G. Θα παρουσιαστεί η υφιστάμενη κατάσταση και παθολογία της γέφυρας, και θα ολοκληρωθεί με τον νέο προτεινόμενο φορέα, έπειτα από την εγκάρσια, διαμήκη και καθολική ανάλυση, καθώς και με τον υπολογισμό κόστους του νέου τεχνικού. Τέλος, μέσα στη πορεία της εργασίας, θα παρουσιαστούν αρχές σχεδιασμού για τις οδογέφυρες, σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, καθώς και για τον υπολογισμό διαμήκους προέντασης.

Σημειώνεται πως η χάραξη της γέφυρας και πληροφορίες της αρχικής γεωμετρίας, καθώς και λοιπό υλικό, προέρχονται από το Τεχνικό Γραφείο του κ. Αθανάσιου Κοντιζά, όπου και τον ευχαριστώ για την συμβολή του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να καταδείξει την παθολογία του υφιστάμενου φορέα, πως αυτά εντοπίζονται, αξιολογούνται και προλαμβάνονται, αλλά και μία πλήρης περιγραφή της διαδικασίας μιας προμελέτης ενός νέου φορέα. Η παθολογία του φορέα, έχει τεκμηριωθεί από έκθεση του Υπουργείου Υποδομών, καθώς και οι πληροφορίες την αρχικής μελέτης, η γεωμετρία και η χάραξη του υφιστάμενου τεχνικού, παραχωρήθηκαν από το Τεχνικό Γραφείο Αθανάσιο Κοντιζά, ως βάση και αρχή της παρούσας διπλωματικής. Με αφορμή τα παραπάνω, προτείνεται νέος φορέας όπου θα αποτελείται από διατομή κιβωτίου, με συνδυασμό διαμήκους προέντασης, επί εφεδράνων. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας.

1. Κεφ. 1 – Υφιστάμενη γέφυρα: Γίνεται περιγραφή του υφιστάμενου φορέα, τα υλικά και το δομικό σύστημα που το αποτελούν, καθώς και συνοπτική παρουσίαση των διαβρώσεων του υφιστάμενου τεχνικού.
2. Κεφ. 2 – Παθολογία: Εξηγείται γιατί είναι σημαντικό η αποτροπή ανάπτυξης ρωγμών σε προεντεταμένους φορείς και έλεγχοι που θα πρέπει γίνονται σε υφιστάμενους φορείς, από το Εθνικό Εγχειρίδιο Επιθεώρησης και Αξιολόγησης Γεφυρών.

3. Κεφ. 3 – Διερευνητικές εργασίες: Σύντομη περιγραφή των μεθόδων συλλογής πληροφοριών σε υφιστάμενο φορέα.
4. Κεφ. 4 – Ενόργανη παρακολούθηση: Αναπτύσσεται ο σκοπός και οι μέθοδοι της ενόργανης παρακολούθησης.
5. Κεφ. 5 – Νέος φορέας γέφυρας: Περιγραφή του νέου φορέα που εξετάζεται και προτείνεται.
6. Κεφ. 6 – Παραδοχές: Οι παραδοχές που υιοθετήθηκαν για την μελέτη του φορέα.
7. Κεφ. 7 – Υπολογισμός νέου κιβωτίου: Αρχικός υπολογισμός της διατομής του κιβωτίου.
8. Κεφ. 8 – Δράσεις γεφυρών: Αναλυτική περιγραφή των δράσεων πάνω σε γέφυρες.
9. Κεφ. 9 – Συνδυασμοί: Βασικές εξισώσεις των συνδυασμών.
10. Κεφ. 10 – Εγκάρσια ανάλυση: Αρχική διαστασιολόγηση του κιβωτίου σε 2D προσομοίωμα.
11. Κεφ. 11 – Διαμήκης ανάλυση: Αρχική διαστασιολόγηση του φορέα κατά την έννοια του μήκος σε 2D προσομοίωμα, καθώς και συλλογή βασικών εντατικών μεγεθών.
12. Κεφ. 12 – Υπολογισμός προέντασης: Περιγραφή του συστήματος προέντασης και προμελέτη διαμήκους προέντασης.
13. Κεφ. 13 – Καθολικό μοντέλο: Αναπτύσσεται η μεθοδολογία προσομοίωσης, τρόπος εισαγωγής φορτίων και συστήματος προέντασης, σε 3D προσομοίωμα, ακριβούς γεωμετρίας.
14. Κεφ. 14 – Εφέδρανα: Περιγραφή συστήματος εφεδράνων και έλεγχος εφεδράνου σε στατικές και σεισμικές δράσεις.
15. Κεφ. 15 – Αποτελέσματα ανάλυσης: Παρουσίαση βασικών εντατικών και παραμορφωσιακών μεγεθών.
16. Κεφ. 16 – Προμέτρηση & Κοστολόγηση: Αναλυτική προμέτρηση του νέου καταστρώματος και αδρής προϋπολογισμός σύμφωνα με τα άρθρα ΟΔΟ.
17. Κεφ. 17: Συμπεράσματα – Προτάσεις
18. Κεφ. 18 – Λίστα σχεδίων: Σχέδια που συντάχθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.
19. Κεφ. 19 – Παράρτημα: Λοιπό υλικό
20. Κεφ. 20 – Βιβλιογραφία: Πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.

1. Υφιστάμενη γέφυρα

1.1. Σκοπός & αφορμή

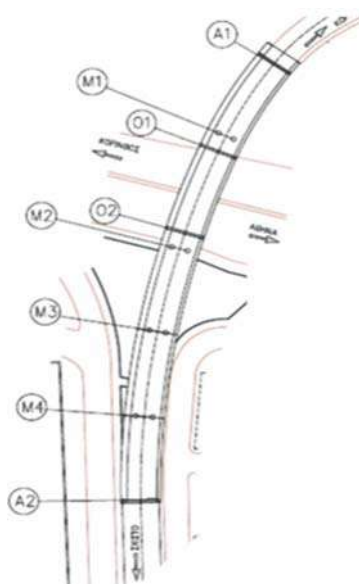
Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η συνοπτική παρουσίαση της υφιστάμενης γέφυρας άνω διάβασης οδού Σχιστού-Σκαραμαγκά, στον ανισόπεδο κόμβο Λεωφόρου Αθηνών, στην περιοχή Σκαραμαγκά, τόσο στον στατικό τύπο, όσο και στην παθολογία του φορέα. Έπειτα θα προταθεί νέος φορέας ανωδομής, ικανοποιώντας τις σύγχρονες απαιτήσεις τω Ευρωκωδίκων.

1.2. Περιγραφή υφιστάμενου φορέα

Η υφιστάμενη γέφυρα, χρονολογείται λίγο μετά το 1980, δηλαδή έχει χρόνο ζωής περίπου 40 ετών. Σύμφωνα με την αρχική μελέτη, η κατηγορία σκυροδέματος είναι B35 (σύμφωνα με τους Ρωσικούς Κανονισμούς αναλογεί σε C35/45) και η ποιότητα του χάλυβα οπλισμού είναι S500s. Έχει συνολικό μήκος περίπου ίσο με 130.00m και αποτελείται από πέντε (5) ανοίγματα, μήκους μετρούμενο στον άξονα της γέφυρας, δηλαδή αξονική απόσταση μεταξύ των βάθρων ως εξής:

A1 – M1	22.58m
M1 – M2	33.97m
M2 – M3	24.08m
M3 – M4	24.50m
M4 – A2	23.27m

Πίνακας 1. Αποστάσεις βάθρων.



Τα ανοίγματα M3 – M4 και M4 – A2 είναι αμφιέρειστα ενώ ο υπόλοιπος φορέας αποτελείται από δύο μονοπρόερχοντα τμήματα (M3 – M2 – O2 & O1 – M1 – A1), τα οποία συνδέονται με το αμφιέρειστο τμήμα O2 – O1, μέσω βαθμιδωτών αρθρώσεων τύπου Gerber.

Ο φορέας ανωδομής, αποτελείται από προεντεταμένη πλάκα σκυροδέματος με πλάτος άνω πέλματος ίσο με 9.90m, και πλάτος κάτω πέλματος ίσο με 7.20m. Η διατομή κατά το πλάτος του, διαμορφώνει έξι (6) ορθογωνικά κενά, πλάτους 0.85m, με διαμήκειες νευρώσεις (κορμούς) μεταξύ αυτών, πάχους 0.30m, ενώ το υπόλοιπο πλάτος διαμορφώνεται με δύο εκατέρωθεν προβόλους, ίσους με 1.35m. Σε κάθε σημείο στήριξης του καταστρώματος, διαμορφώνονται εγκάρσιες διαδοκίδες πάχους 0.30m.

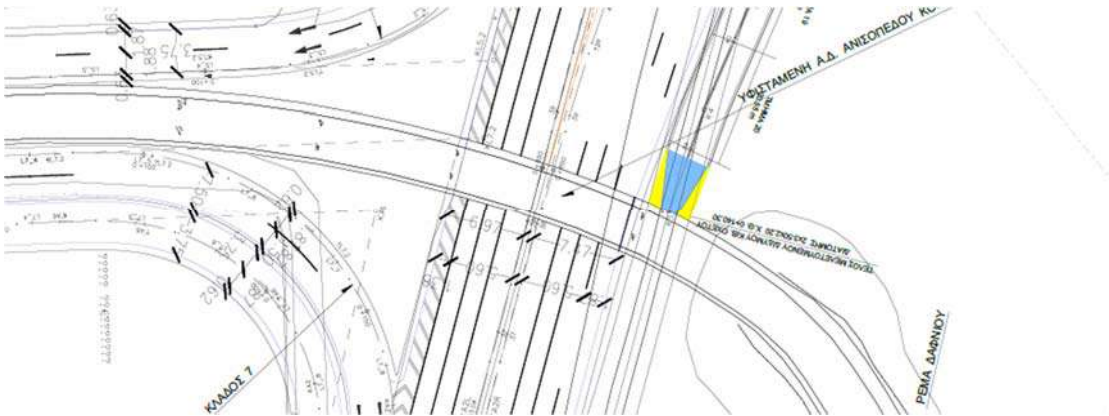
Εικόνα 1. Σκαρίφημα γέφυρας.



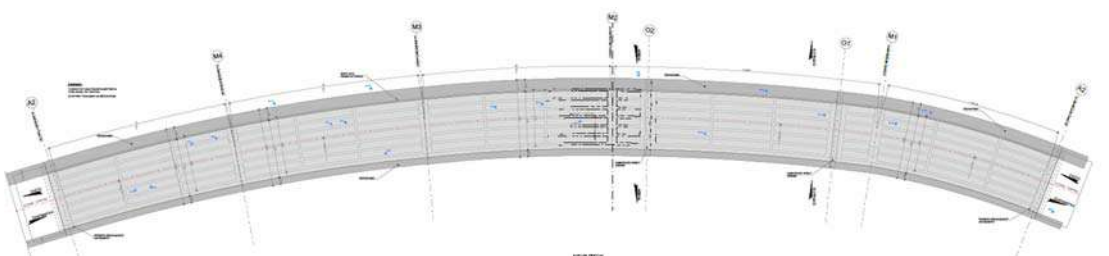
Εικόνα 2. Κεντρικό αιωρούμενο άνοιγμα.



Εικόνα 3. Υφιστάμενη γέφυρα.



Εικόνα 4. Τοπογραφικό γέφυρας.

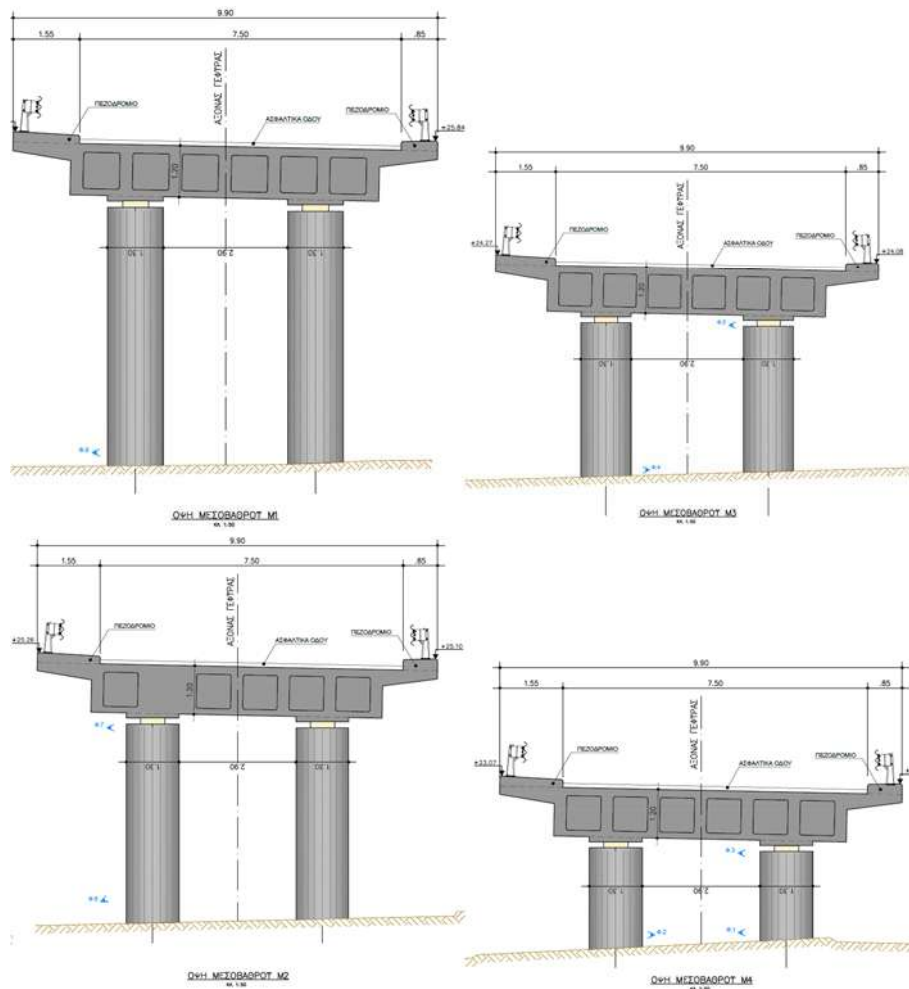


Εικόνα 5. Οριζοντιογραφία υφιστάμενης γέφυρας.

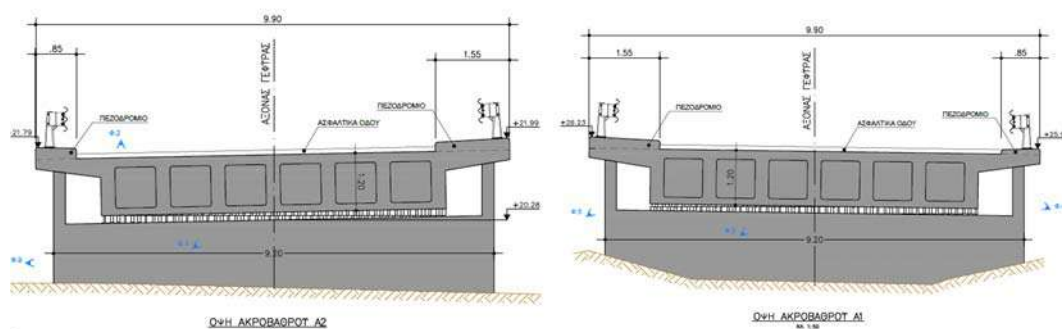


Εικόνα 6. Μηκοτομή υφιστάμενης γέφυρας.

Ο φορέας εδράζεται στα βάθρα μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων και το κατάστρωμα της γέφυρας περιλαμβάνει ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα πλάτος περίπου 7.50m.



Εικόνα 7. Μεσόβαθρα υφιστάμενης γέφυρας.

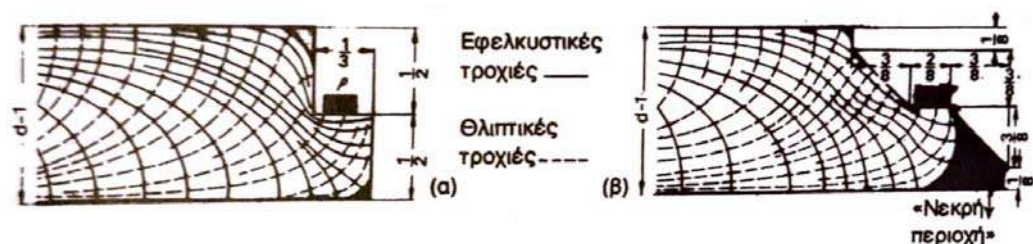


Εικόνα 8. Ακρόβαθρα υφιστάμενης γέφυρας.

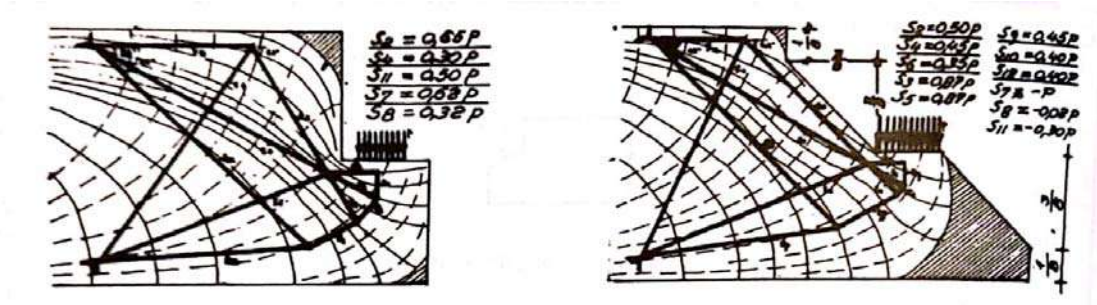
1.3. Δοκός Gerber – Αιωρούμενο άνοιγμα

Το αιωρούμενο άνοιγμα, όπου εδράζεται στα μονοπροέρχοντα τμήματα, είναι μήκους περίπου 24.50m, επίσης προεντεταμένο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι

θλιπτικές και οι εφελκυστικές τροχιές, η ανάλογη όπλιση, καθώς και η υφιστάμενη όπλιση.

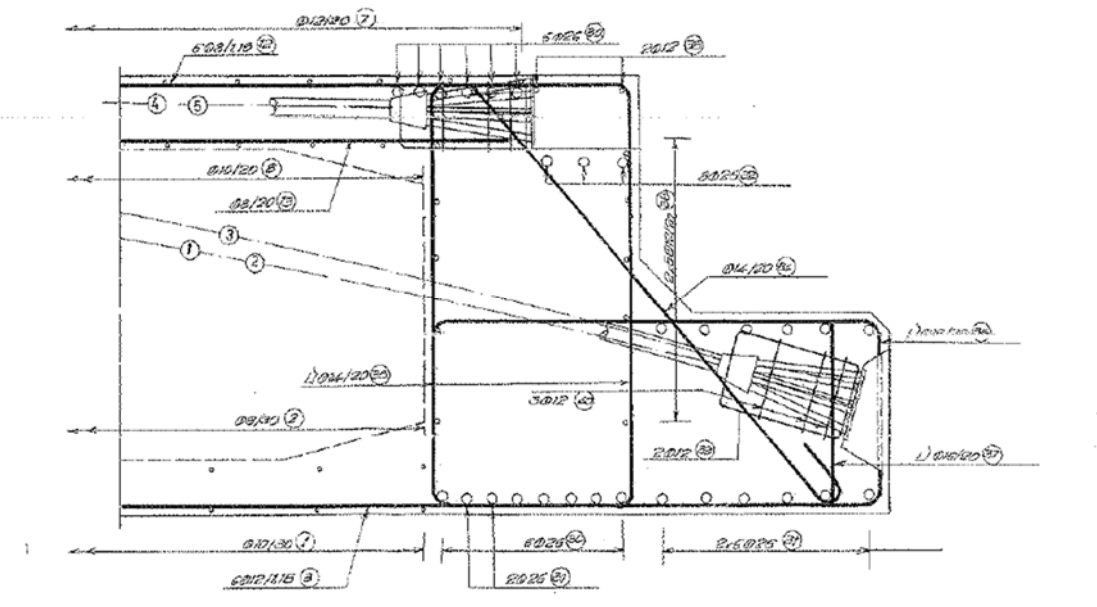


Εικόνα 9. Θλιπτικές και εφελκυστικές τροχιές.



Εικόνα 10. Διάταξη οπλισμών (δικτύωμα) δοκού Gerber (Τάσιος 1999).

Παρακάτω παρουσιάζεται η λεπτομέρεια υποδοχής της δοκού Gerber, με τυφλή αγκύρωση τένοντα, στην υφιστάμενη γέφυρα στην περιοχή του Σκαραμαγκά.



Εικόνα 11. Διάταξη υποδοχής δοκού Gerber (Κοντζιάς χ.χ.).



Εικόνα 12. Δοκός Gerber στην υφιστάμενη γέφυρα στη περιοχή Σκαρμαγκά.

1.4. Δοκός Gerber – Ιστορική αναδρομή

Η δοκός Gerber, ουσιαστικά είναι μια συνθήκη συνοριακών συνθηκών, μεταξύ δύο (2) δομικών μελών, δεσμεύοντας μόνο 2 βαθμούς ελευθερίας στο επίπεδο. Συγκεκριμένη αυτή της αξονικής και της τέμνουσας δύναμης, με ελευθερία στροφών, χωρίς ανάπτυξη εξωτερικής ροπής. Έτσι τα σημεία εσωτερικής άρθρωσης ή αλλιώς Gerber, έχουν πάντοτε μηδενική ροπή.

Το όνομα της συνθήκης αυτής, πήρε το όνομα της από τον Χάινριχ Γκέρμπερ (1932-1912), όπου ήταν Γερμανός πολιτικός μηχανικός, και εφευρέτης της δοκού Gerber.

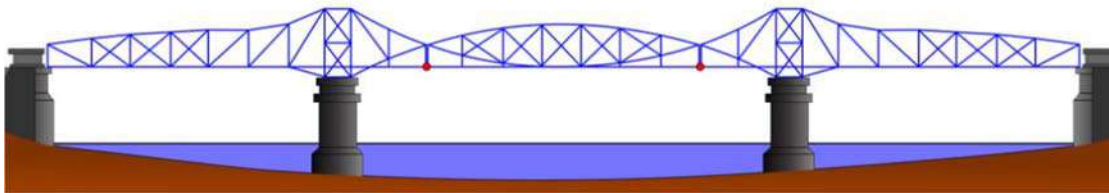


Εικόνα 13. Χάινριχ Γκέρμπερ (Heinrich Gerber).

Στην δεκαετία του 1850, ανέλαβε τη σύμβαση για την κατασκευή της σιδηροδρομικής γέφυρας πάνω από το Ρήνο στο Μάιντς, όπου αποφάσισε να κατασκευάσει τα μέρη της γέφυρας σε μια προσωρινή εγκατάσταση κοντά στην τελική θέση. Από τότε εργάστηκε σε συνεχή δομικά συστήματα, τα οποία μπορούσαν να υπολογιστούν ευκολότερα, όπως αυτό του συστήματος γέφυρας προβόλου (Gerber). Για τη συνεισφορά του αυτή, του απονεμήθηκε το βαυαρικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, και το σύστημα αυτό, εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 1867, σε μία γέφυρα πάνω από Ρέγκνιτς (ποταμός στη Φραγκονία της Γερμανίας), καθώς και στην κύρια γέφυρα στο Χάσφουρτ (πόλη στη Βαυαρία της Γερμανίας). Αυτή η κατασκευή εξαπλώθηκε γρήγορα και έγινε γνωστή ως Δοκός Gerber, όπου έχει εφαρμοστεί στην υπό εξέταση υφιστάμενη γέφυρα.



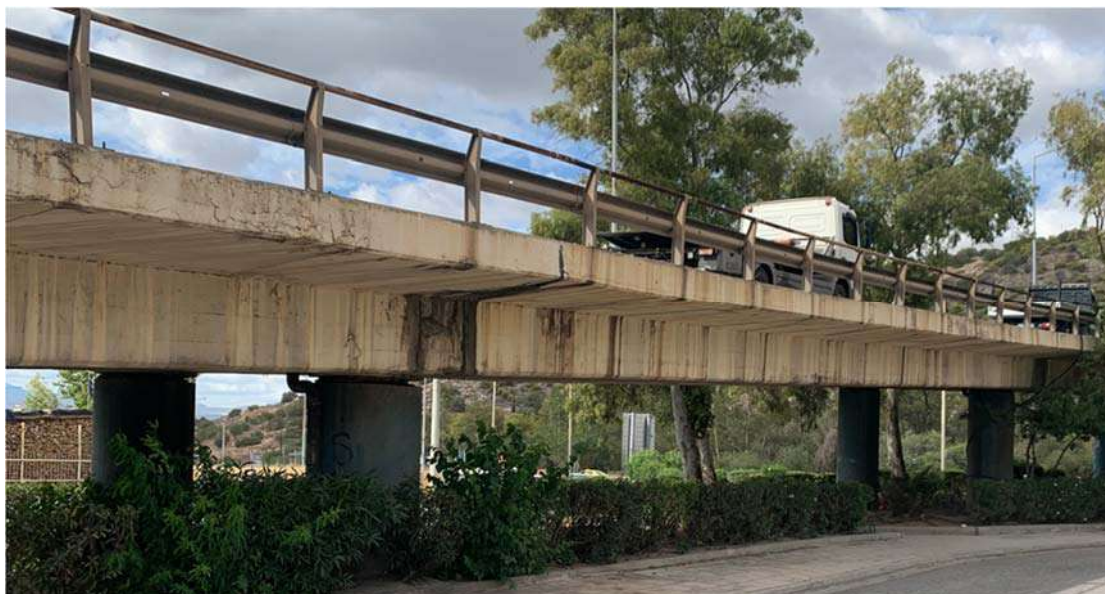
Εικόνα 14. Γέφυρα στο Χάσφουρτ.



Εικόνα 15. Σημεία Gerber, γέφυρας Χάσφουρτ.


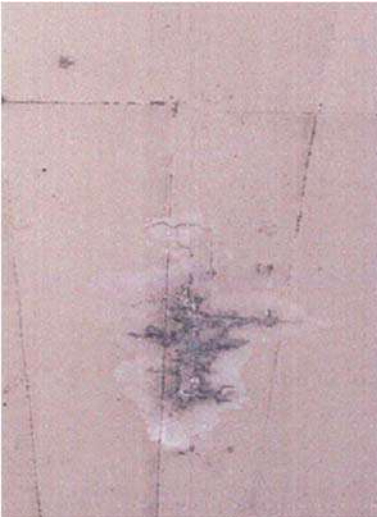
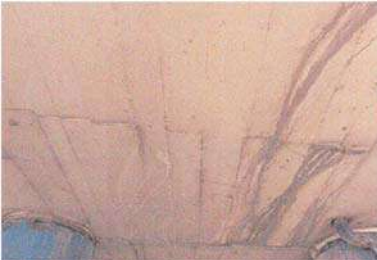
1.5. Διαβρώσεις

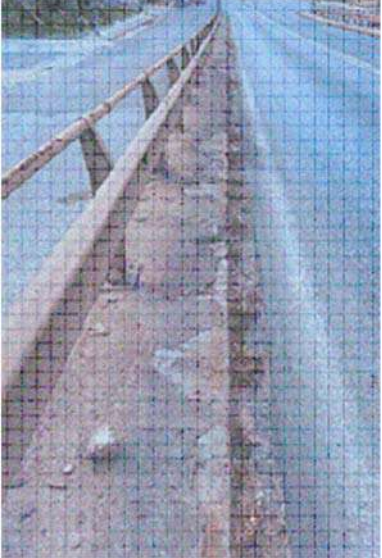


Στην υφιστάμενη κατάσταση της γέφυρας, παρατηρούνται αρκετές διαβρώσεις όπου παρουσιάζονται παρακάτω. Σύμφωνα με την αξιολόγηση των φθορών και των ευρημάτων παθολογίας, που πραγματοποιήθηκε με βάση το «Εθνικό Εγχειρίδιο Επιθεώρησης και Αξιολόγησης Γεφυρών» του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών (Υπουργείο 2021), η γέφυρα εμφανίζει προβλήματα που αξιολογούνται με βαθμό «3Ε5», καθόσον υπάρχουν ευρήματα που θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του χρήστη και των διερχομένων κάτω από τη γέφυρα, σύμφωνα με έκθεση αξιολόγησης του Υπουργείου (Κοντιζάς χ.χ.).



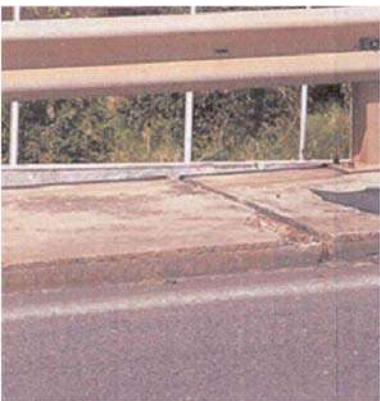




Εικόνα 16. Υφιστάμενη γέφυρα – πρώτα ανοίγματα.

Περιγραφή	Φωτογραφία
Αποθέσεις αλάτων στην κάτω παρειά της πλάκας του φορέα	

Περιγραφή	Φωτογραφία
<p>Διαμήκης ρωγμή στην κάτω παρειά της πλάκας του φορέα, μήκους περί 2.00m</p>	
<p>Αποθέσεις αλάτων στην κάτω παρειά της πλάκας του φορέα</p>	
<p>Χρωματικές αλλοιώσεις στην κάτω παρειά της πλάκας του φορέα</p>	

Περιγραφή	Φωτογραφία
<p data-bbox="347 477 839 622">Αποδιοργάνωση Διαμήκης ρηγμάτωση σκυροδέματος πεζοδρομίων, βλάστηση</p>	
<p data-bbox="496 1059 691 1205">Κάλυψη αρμού συστολής με άσφαλτο</p>	
<p data-bbox="512 1659 675 1742">Καθίζηση πεζοδρομίου</p>	

Περιγραφή	Φωτογραφία
Εγκάρσιες ρηγματώσεις	
Διαμήκης ρηγμάτωση	
Ανισοσταθμία στον αρμό Gerber της τάξης του 1.00cm	
Αλλοιώσεις οδοστρώματος (τροχαυλακώσεις, λακούβες με κυματώσεις, ρυτιδώσεις και διογκώσεις του οδοστρώματος, τοπικές επισκευές (μπαλώματα))	
Παρεία προς Κόρινθο: Χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού στην κάτω παρεία του προβόλου και στο τοίχωμα της πλάκας του φορέα	

Περιγραφή	Φωτογραφία
<p>Παρεία προς Κόρινθο: Αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οπλισμών στην κάτω παρεία της πλάκας του φορέα</p>	
<p>Αρμός Μεσοβάθρου M4, παρεία προς Κόρινθο: Χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού, αποκόλληση σκυροδέματος και εμφάνιση οξειδωμένων οπλισμών</p>	
<p>Ακρόβαθρο A2, αποκόλληση/εκτίναξη σκυροδέματος με εμφάνιση οξειδωμένων οπλισμών</p>	
<p>Βαθμιδωτός αρμός (Gerber) O2, παρεία προς Κόρινθο, ρηγμάτωση μήκους περί τα 2.00m</p>	

Περιγραφή	Φωτογραφία
Παραμόρφωση εφεδράνου	
Αποκόλληση σκυροδέματος και εμφάνιση οξειδωμένων οπλισμών	
Ακρόβαθρο A2: αποκόλληση σκυροδέματος στην βάση, με εμφάνιση οπλισμών	
Ακρόβαθρο A2, αποκόλληση/εκτίναξη σκυροδέματος με εμφάνιση οξειδωμένων οπλισμών	

Πίνακας 2. Διαβρώσεις υφιστάμενης γέφυρας.

2. Παθολογία

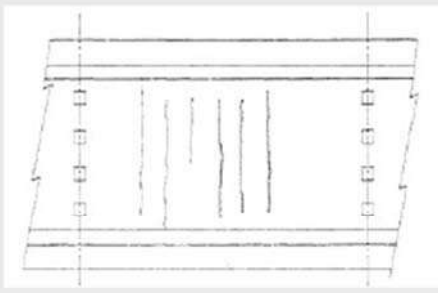
Σημαντικό ρόλο έχουν οι ρωγμές σε έργα γεφυροποιίας, όπου υπάρχουν ελλείματα στον κανονισμό όσον αναφορά για το επιτρεπτό βέλος. Αυτό θα μπορούσε έμμεσα να αποτελέσει ακόμα μια δικλείδα ασφαλείας για την αποτροπή δημιουργίας ρηγματώσεων. Επίσης είναι πολύ σημαντικό, αμέσως μετά το πέρας της κατασκευής, αλλά και κατά την διάρκεια, να γίνεται αποτύπωση των βελών, ώσπου να καταγραφεί και να επιβεβαιωθούν οι υπολογισμοί των αναλύσεων. Επιπλέον σε περίπτωση που το δόμημα χρειαστεί κάποιου είδους επέμβασης ή ακόμα και αποτίμησης, ο μηχανικός που θα διαθέτει την πληροφορία αυτή, το κατασκευαστικό βέλος ουσιαστικά, θα μπορεί να καταλήξει σε πιο ορθό συμπέρασμα και να πράξει αναλόγως.

Σύμφωνα με το Εθνικό Εγχειρίδιο Επιθεώρησης και Αξιολόγησης Γεφυρών του Υπουργείου Υποδομών & Μεταφορών, και συγκεκριμένα για γέφυρες από πλάκα προεντεταμένου σκυροδέματος με διάκενα, δίνει πιθανές διαγνώσεις και τον αντίστοιχο βαθμό αξιολόγησης. Παρακάτω παρουσιάζονται έλεγχοι από το Εθνικό Εγχειρίδιο, που αντιστοιχούν σε περιγραφές ρηγματώσεων που υπάρχουν στον υφιστάμενο φορέα, όπου για έναν προεντεταμένο φορέα, είναι κρίσιμες, καθώς αποτελεί πηγή εισόδου της διάβρωσης στους τένοντες.

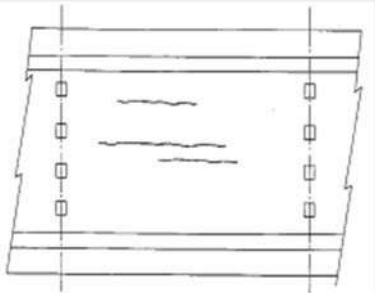
– Προβλήματα γεωμετρίας

1.1.2. Έλεγχος αλλοίωσης της ευθυγραμμίας κατά τη διαμήκη διεύθυνση του φορέα στη θέση μίας ή και περισσότερων σημείων στήριξης			
<p>Έμμεση στήριξη</p>	<p><i>Οφείλεται:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • σε φθορά / αστοχία ενός ή/περισσότερων εφεδράνων ή/και 	2 - 3	<p>3E</p> <ul style="list-style-type: none"> • εάν συνυπάρχει η ρηγμάτωση ΤΥΠΟΥ ΙΣ ή/και • σε περίπτωση συνεχούς υποχώρησης των στηρίξεων
	<ul style="list-style-type: none"> • σε μετατόπιση ενός ή περισσότερων βάθρων ή/και 	3 - 3E	
	<ul style="list-style-type: none"> • σε διαφορικές παραμορφώσεις του σκυροδέματος σε περιπτώσεις έμμεσης στήριξης (δικός Gerber) 	3 - 3E	
<p><i>Θα πρέπει να εξεταστεί σε συνδυασμό με τις φθορές εξοπλισμού της ανωδομής (κγκλιδώματα, στηθαία), τις φθορές των βάθρων και των εφεδράνων καθώς και με τις ρηγματώσεις Νο 1.4.2.</i></p>			

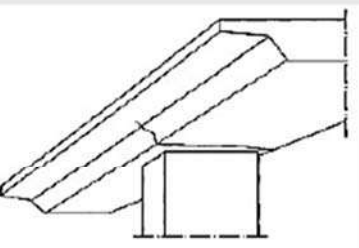
– Εγκάρσιες ρηγματώσεις

1.2.1. Ρωγμές στο κεντρικό τμήμα ενός ανοίγματος και σε μήκος της τάξεως των 2/3 του ανοίγματος (ΤΥΠΟΥ Ι)		
	<p>Οφείλονται στη διαμήκη κάμψη της πλάκας:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ως αποτέλεσμα της συμπεριφοράς του οπλισμένου σκυροδέματος εμφανίζονται ανά 30cm περίπου και το εύρος τους είναι $w < 0,30\text{mm}$ 	1
	<ul style="list-style-type: none"> • χωρίς παρουσία υγρασίας 	2
	<ul style="list-style-type: none"> • με παρουσία υγρασίας 	3
	<p>- Ως αποτέλεσμα φορτίων μεγαλύτερων των κανονιστικών φορτίων σχεδιασμού του φορέα, εμφανίζονται ανά 10cm περίπου και/ή το εύρος τους είναι $w > 0,30\text{mm}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • χωρίς παρουσία υγρασίας • με παρουσία υγρασίας 	3E
<p>Θα πρέπει να εξεταστεί σε συνδυασμό με το πρόβλημα Νο 1.1.1 και τις ρηγματώσεις Νο 1.4.1 και 1.4.2.</p>		

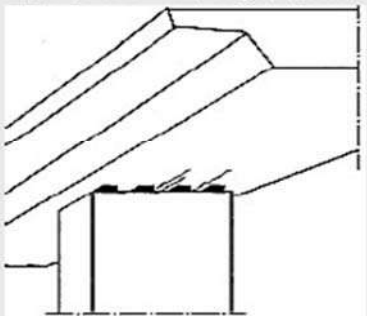
– Διαμήκειες ρηγματώσεις

1.3.2. Ρωγμές μικρού πλήθους (1 έως 3 ρηγματώσεις) στο μέσο (ως προς το πλάτος της διατομής) σε περίπτωση φορέα		
	<p>Οφείλονται:</p> <ul style="list-style-type: none"> - στην μη επαρκή αντοχή του φορέα σε εγκάρσια κάμψη ή/και - σε θερμικές επιδράσεις 	
	<p>Κατηγορία φθοράς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ρηγματώσεως:</p> <ul style="list-style-type: none"> ο χωρίς παρουσία υγρασίας 	1
	<ul style="list-style-type: none"> • ρωγμές εύρους $w < 0,30\text{ mm}$ • ρωγμές εύρους $w > 0,30\text{ mm}$ 	2
	<ul style="list-style-type: none"> ο με παρουσία υγρασίας ή/και με απόθεση αλάτων 	2
	<ul style="list-style-type: none"> • ρωγμές εύρους $w < 0,30\text{ mm}$ • ρωγμές εύρους $w > 0,30\text{ mm}$ 	3
<p>Θα πρέπει να εξεταστεί σε συνδυασμό με το πρόβλημα Νο 1.1.3.</p>		

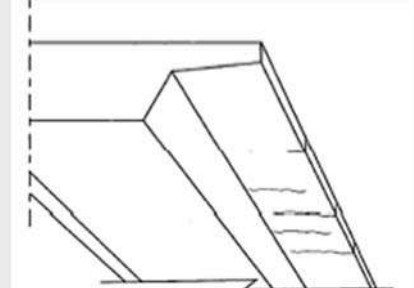
– Ρωγμές στην ακμή του φορέα

1.4.2. Ρωγμές στην ακμή φορέα - βάθρου ή πλησίον του βάθρου, ίσως εκτεινόμενες στις πλευρές του φορέα (ΤΥΠΟΥ ΙΣ)		
	<p>Οφείλονται:</p> <ul style="list-style-type: none"> - σε υποχώρηση του βάθρου ή - σε υποχώρηση των κριωμάτων πλησίον του βάθρου 	
	<p>Κατηγορία φθοράς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ρηγματώσεως:</p> <ul style="list-style-type: none"> • χωρίς παρουσία υγρασίας 	3
	<ul style="list-style-type: none"> • με παρουσία υγρασίας ή/και με απόθεση αλάτων 	3E
	<p>Θα πρέπει να εξεταστεί σε συνδυασμό με το πρόβλημα Νο 1.1.2.</p>	

– Διαμήκειες ρωγμές πλησίον των βάθρων

1.4.3. Διαμήκειες ρωγμές πλησίον των βάθρων (ΤΥΠΟΥ Χ)		
<p>(i) Εμφανίζονται τοπικά (1 έως 3 ρηγματώσεις)</p> 	<p>Οφείλονται:</p> <ul style="list-style-type: none"> - σε ανεπάρκεια αντοχής του φορέα σε εγκάρσια κάμψη 	
	<ul style="list-style-type: none"> • ρωγμές εύρους $w < 0,30\text{mm}$ • ρωγμές εύρους $w > 0,30\text{mm}$ 	<p>1</p> <p>2</p>
	<p>ή / και</p> <ul style="list-style-type: none"> - σε τοπική υποχώρηση του ικρίωματος 	<p>1</p>

– Ρηγμάτωση των προβόλων της διατομής

1.6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
<p>Πρόκειται περί εγκρασιών ρηγματώσεων που εμφανίζονται:</p> <p>(α) κατανεμημένες σ' όλο το μήκος του ανοίγματος κατά αραιές αποστάσεις, οι οποίες ξεκινούν από την "μασχάλη" του προβόλου και αναπτύσσονται προς το ελεύθερο άκρο του προβόλου</p> <p>(β) παρουσιάζονται περισσότερο στο μέσο του ανοίγματος και ξεκινούν από το ελεύθερο άκρο του προβόλου και κατευθύνονται προς τον φορέα.</p> 	<p>Στην περίπτωση (α) οι ρηγματώσεις οφείλονται</p> <ul style="list-style-type: none"> - στην συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος. 	
	<p>Στην περίπτωση (β) οφείλονται</p> <ul style="list-style-type: none"> - στην κάμψη κατά την διαμήκη διεύθυνση <p>Κατηγορία φθοράς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ρηγμάτωσης:</p> <ul style="list-style-type: none"> ο χωρίς παρουσία υγρασίας • ρωγμές εύρους $w < 0,30\text{mm}$ • ρωγμές εύρους $w > 0,30\text{mm}$ ο με παρουσία υγρασίας ή/και με απόθεση αλάτων ή/και με κηλίδες σκουριάς • ρωγμές εύρους $w < 0,30\text{mm}$ • ρωγμές εύρους $w > 0,30\text{mm}$ 	<p>1</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>3</p>

3. Διερευνητικές εργασίες

Βασική εργασία πριν την έναρξη της αποτίμησης μίας υφιστάμενης γέφυρας, είναι οι διερευνητικές εργασίες, όπου ακόμα και να υπάρχει διαθέσιμη η αρχική μελέτη, τα αποτελέσματα των διερευνητικών εργασιών θα αποδώσουν πληροφορίες του τεχνικού, όπως κατασκευάστηκε.

Βασική μέθοδος είναι η ακτινογράφιση οπλισμού (tendon scanning) με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και μέτρηση αποστάσεων σε φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος για εξακρίβωση των επιπέδων, του αριθμού και της διάταξης του υφιστάμενου σιδηροπλισμού, καθώς και του μέσου πάχους επικάλυψης του από σκυρόδεμα. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποσκοπεί στον εντοπισμό και αποτύπωση ράβδων οπλισμού σκυροδέματος και λοιπών στοιχείων που μπορεί να συνυπάρχουν (όπως τένοντες προέντασης).



Εικόνα 17. Χρήση ακτινογράφιση οπλισμού (αριστερά) και χρήση ενδοσκόπησης (δεξιά).

Σε περίπτωση εντοπισμού τενόντων, μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί διάτρηση μικρής διαμέτρου και να γίνει ενδοσκόπηση. Έτσι, μπορεί να αξιολογηθεί η πλήρωση των σωλήνων των τενόντων με τσιμεντένεμα καθώς και η ύπαρξη νερού – υγρασίας εντός των σωλήνων. Στην περίπτωση απουσίας ενέματος, μπορεί επίσης να αξιολογηθεί η κατάσταση του χάλυβα των τενόντων προέντασης.



Εικόνα 18. Παράδειγμα διαμήκη τένοντα με ανεπαρκή πλήρωση (αριστερά) και με επαρκή πλήρωση (δεξιά).

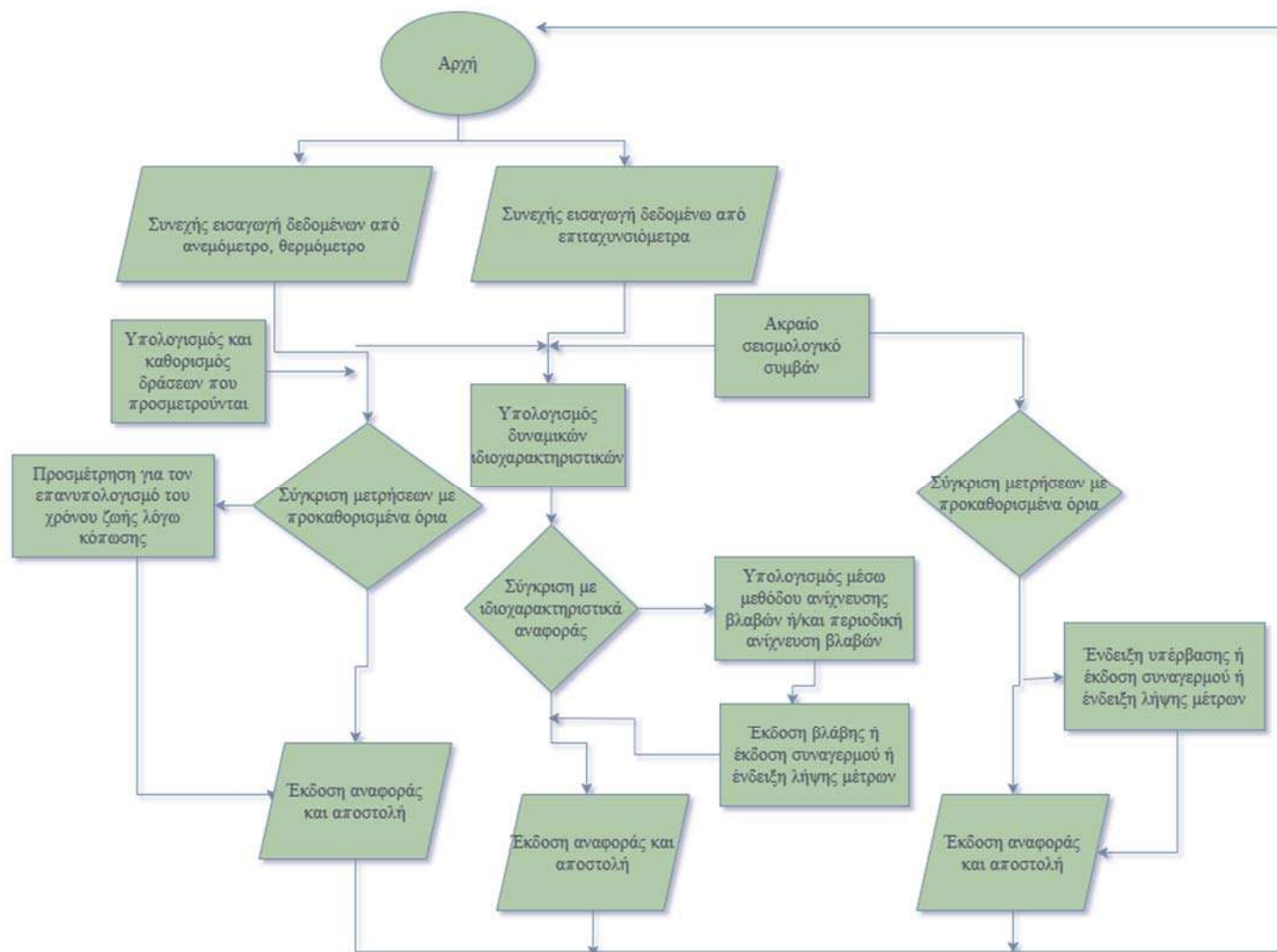
4. Ενόργανη παρακολούθηση

Σκοπός της ενόργανης παρακολούθησης των γεφυρών μέσω του Συστήματος Ενόργανης Παρακολούθησης Γεφυρών (RTSMS – Real Time Structural Monitoring System) είναι αρχικά η αξιολόγηση και επιβεβαίωση της συμπεριφοράς. Καθώς και η αξιολόγηση της λειτουργίας των συστημάτων στήριξης των γεφυρών μέσω των συσκευών σεισμικής προστασίας (εφεδράνων σεισμικής μόνωσης και αποσβεστήρων) και ακολούθως η συστηματική παρακολούθηση τυχηματικών και μη φαινομένων, η συσχετιζόμενη απόκριση και εντατική κατάσταση των ενοργανωμένων τεχνικών καθώς και η εκτίμηση ενδεχομένων υποβαθμίσεων της δομικής υγείας τους (structural health deterioration) σε βάθος χρόνου. Τα αποτελέσματα που θα αναπτυχθούν, θα προσφέρουν τις εξής δυνατότητες:

- a. Να επιβεβαιωθούν οι βασικές λειτουργίες των τεχνικών με βάση τις οριστικές μελέτες και τις μελέτες εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους.
- b. Να επιβεβαιωθούν τα επίπεδα επιτελεστικότητας της λειτουργίας των γεφυρών σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στις μελέτες.
- c. Να δημιουργηθούν κατάλληλα κριτήρια για την παραγωγή αυτοματοποιημένων μηνυμάτων – εκθέσεων (smart monitoring) για συγκεκριμένα σενάρια φορτίσεων, που παρουσιάζουν και μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης με σκοπό την ενίσχυση της ασφάλειας κυκλοφορίας.

Η βασικές λειτουργίες που θα πρέπει να πληροί ένα σύστημα ενόργανης παρακολούθησης είναι αρχικά να μπορεί μέσω αυτού να αξιολογηθεί και να επιβεβαιωθεί η συμπεριφορά και η λειτουργία των συστημάτων στήριξης, καθώς και τα επίπεδα λειτουργίας. Το ίδιο ισχύει και για την έκτακτη επιτελεστικότητα (σε σεισμικές ή και άλλες τυχηματικές φορτίσεις). Επίσης θα μπορεί να παρακολουθεί την δομική τρωτότητα καθώς και να ανιχνεύει βλάβες, σεισμικά ή άλλα φυσικά φαινόμενα (άνεμος, θερμικές δράσεις), καθώς και την απόκριση της κατασκευής. Τέλος θα εποπτεύεται και η παραμορφωσιακή κατάσταση του δομήματος μέσω της παρακολούθησης της γεωμετρίας και των απόλυτων μετακινήσεων σε πραγματικό χρόνο.

Η Βασική μέθοδος RTSMS των γεφυρών είναι η δικτύωση ειδικών αισθητήρων μέτρησης μεταβολών παραμόρφωσης με τεχνολογία οπτικών ινών, σε παράλληλη διάταξη με επιταχυνσιόμετρα, ειδικού τύπου μηκυνσιόμετρα και περιβαλλοντολογικούς αισθητήρες. Η μέθοδος RTSMS, με χρήση οπτικών ινών για την παρακολούθηση των αξονικών παραμορφώσεων και τάσεων σε δομικά στοιχεία γεφυρών, χρησιμοποιείται ήδη από καιρό στην παγκόσμια αγορά και αποτελεί την πλέον αποδεκτή αναλυτική μέθοδο εκτίμησης της εντατικής κατάστασης των φερόντων οργανισμών.

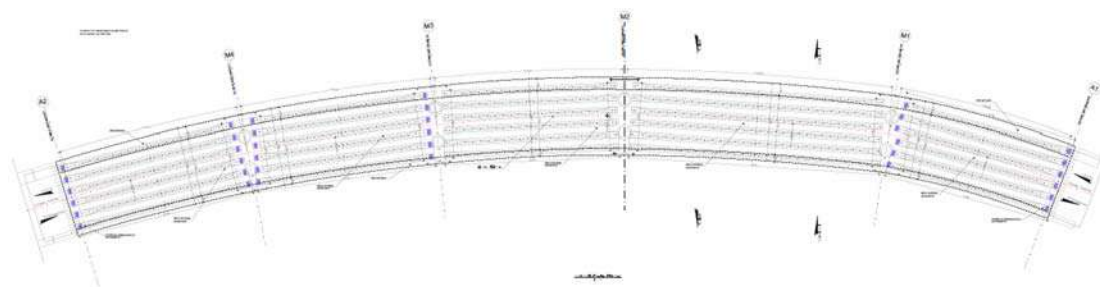


Εικόνα 19. Λογικό διάγραμμα – αλγόριθμος του συστήματος RTSMS.

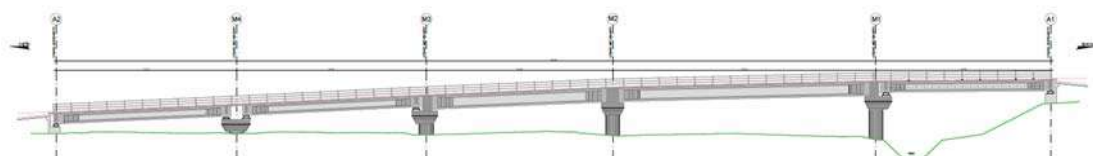
Σημειώνεται επίσης πως αλγόριθμοι ML (Machine Learning), έχουν γίνει πολύ δημοφιλείς και χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολυάριθμες μεθόδους, ακόμα και σε μεθόδους που δεν βασίζονται σε ML. Ένας βασικός αλγόριθμος μηχανικής μάθησης (ML) που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο της ανίχνευσης δομικών βλαβών είναι η Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης (SVM). Η SVM είναι μία δημοφιλής μέθοδος μάθησης με επίβλεψη που χρησιμοποιείται για εργασίες ταξινόμησης. Μπορεί να εκπαιδευτεί σε επισημασμένα δεδομένα για τον εντοπισμό κανονικών καταστάσεων και καταστάσεων βλάβης με βάση παραμετρικές μετρήσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN), όπου είναι μία ευέλικτη μέθοδος μηχανικής μάθησης (ML), όπου εμπνευσμένη από την νευρωνική δομή του ανθρώπινου εγκεφάλου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εργασίες ταξινόμησης όσο και παλινδρόμησης. Μία ακόμα μέθοδος είναι η Βαθιά Μάθηση (Deep Learning), όπου είναι ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης που επικεντρώνεται στη χρήση βαθιών νευρωνικών δικτύων για την εκμάθηση σύνθετων μοτίβων και αναπαραστάσεων από δεδομένα. Τα συνεπαγωγικά νευρωνικά δίκτυα (CN) και τα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (RNN) είναι συνήθως χρησιμοποιούμενες αρχιτεκτονικές βαθιά μάθησης στην παραμετρική ανίχνευση βλαβών.

5. Νέος φορέας γέφυρας

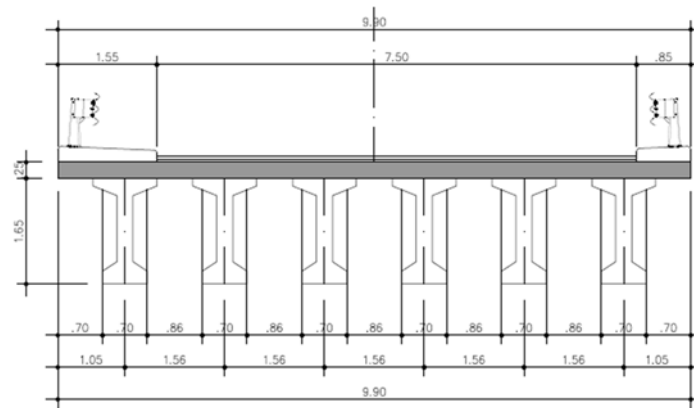
Ως ζητούμενο της παρούσας διπλωματικής, είναι η πρόταση εναλλακτικού σχεδιασμού της υφιστάμενης γέφυρας, καθώς έχει υπάρξει και αντίστοιχη μελέτη, με προκατασκευασμένα προεντεταμένα αμφιέριστα δοκάρια. Μία από τις κύριες συμβολές της παρούσας εργασίας, είναι να εξεταστεί ο νέος φορέας με προεντεταμένο κιβώτιο, έναντι άλλων συστημάτων.



Εικόνα 20. Οριζοντιογραφία με προκατασκευασμένες δοκοί ΠΣ (Κοντιζάς χ.χ.).

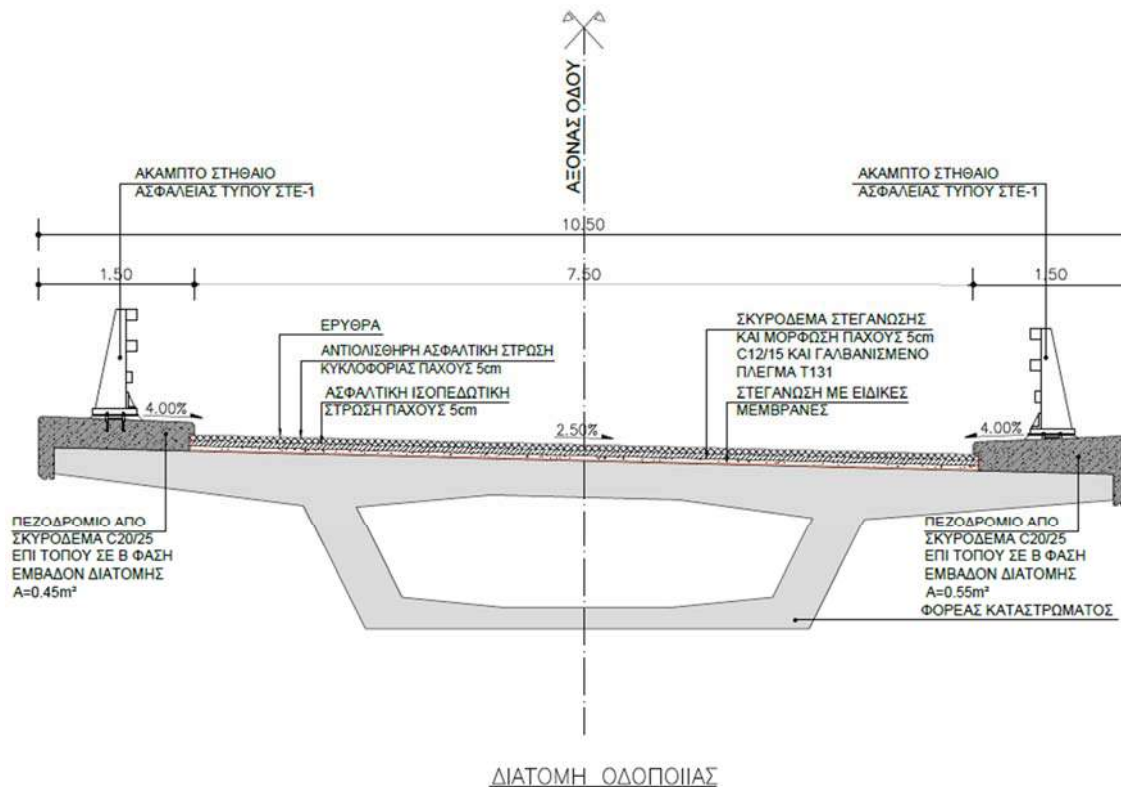


Εικόνα 21. Όψη γέφυρας με προκατασκευασμένες δοκοί ΠΣ (Κοντιζάς χ.χ.).



Εικόνα 22. Διατομή με προκατασκευασμένες δοκοί ΠΣ (Κοντιζάς χ.χ.).

Η νέα διατομή του φορέα καταστρώματος που προτείνεται, χωρίς να επηρεάζει την υφιστάμενη μελέτη οδοποιίας ή την υφιστάμενη χάραξη της ερυθράς, είναι η παρακάτω:

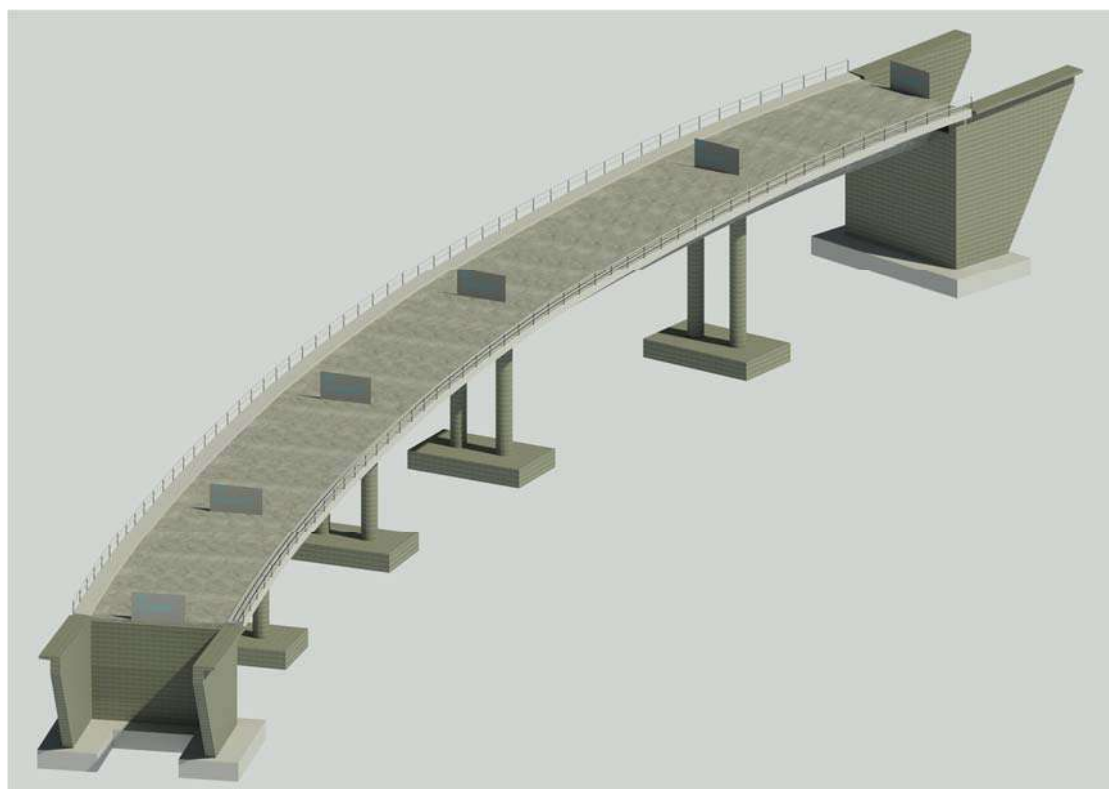


Εικόνα 23. Νέα διατομή οδοποιίας, όμοια με την υφιστάμενη.

Η νέα γέφυρα αυτή θα αποτελείται από έναν (1) κλάδο, με πλάτος κυκλοφορίας 7.50m, όπου θα έχει δύο (2) κύριες λωρίδες κυκλοφορίας, πλάτους 3.00m, και μία εναπομένουσα λωρίδα, πλάτους 1.50m. Επιπρόσθετα θα διαθέτει δύο (2) πεζοδρόμια πλάτους 1.50m έκαστος. Η γέφυρα παραμένει αυτή των πέντε (5) ανοιγμάτων, με μέγιστο άνοιγμα στα 34.00m. Ο φορέας της ανωδομής θα εδράζεται επί κεφαλοδοκού σε κυκλικά μεσόβαθρα, μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων, και σε τριχοειδή ακρόβαθρα, επίσης επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

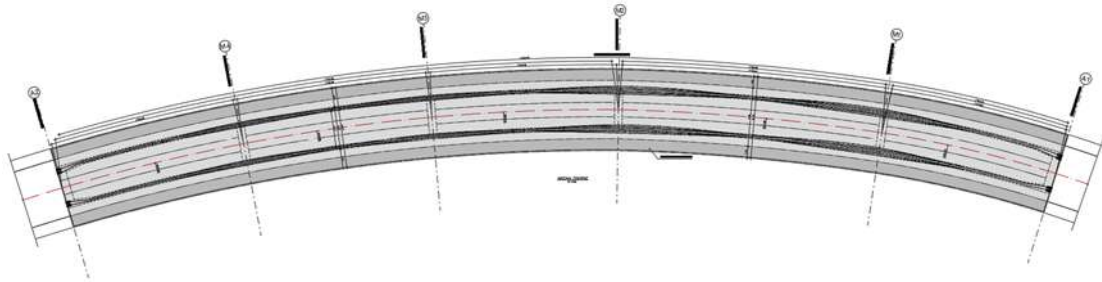
Επιλέγεται συνεχής φορέας, ώστε να υπάρχουν τα οφέλη της υπερστατικότητας και κυρίως αυτά της ανακατανομής των καμπτικών ροπών, χωρίς όμως να επηρεάζεται η ισοστατικότητα κατά τη διαμήκη έννοια. Δηλαδή δεν θα υπάρχει εξάντληση της προέντασης (όπου δρα κατά μήκος του φορέα) από ανάπτυξη εντατικών μεγεθών και παραμορφωσιακών περιορισμών στις στηρίξεις λόγω μονολιθικότητας μεταξύ ανωδομής και μεσοβάθρων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω έδρασης της ανωδομής επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων (γίνεται αναλυτικός σχεδιασμός στο κεφάλαιο Εφέδρανα).

Παρόλο που η μονολιθική σύνδεση βάρων – ανωδομής θα ήταν ευεργετική στις εντάσεις που προκαλούνται από την καμπύλη γεωμετρία, ειδικά αν αυτή εφαρμοζόταν σε βάρτο κοντά στον άξονα του κέντρου καμπυλότητας της γέφυρας, επιλέγεται πλεούμενο κατάστρωμα, για την μη κατανάλωση της προσφοράς της προέντασης στα ήδη καταπονημένα βάρτα (πέραν και του υπολογιστικού κόστους), εφόσον αυτά κριθούν ικανά να παραλάβουν τα φορτία της ανωδομής και τα σεισμικά φορτία. Σημειώνεται επίσης, πως για τη νέα γεωμετρία αυτή, υλοποιείται νέα κεφαλοδοκό με μερική καθαίρεση υποστυλωμάτων με διατήρηση οπλισμών, τόσο για αν προσφέρει δυσκαμψία στα υφιστάμενα υποστυλώματα, όσο και για γεωμετρικούς σκοπούς.

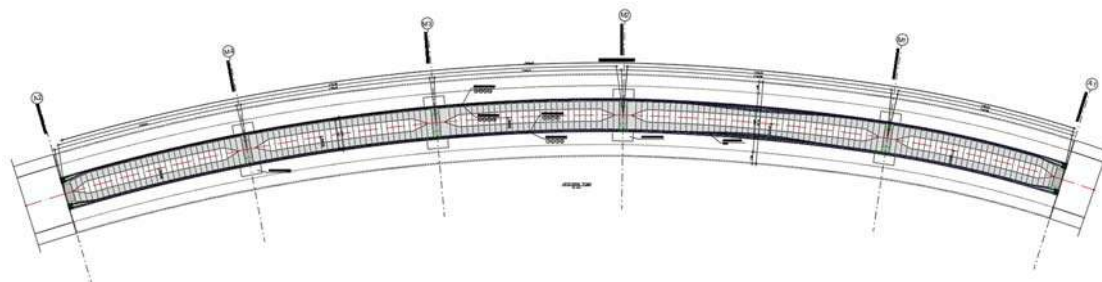


Εικόνα 24. Άποψη φορέα από το λογισμικό Revit AUTODESK.

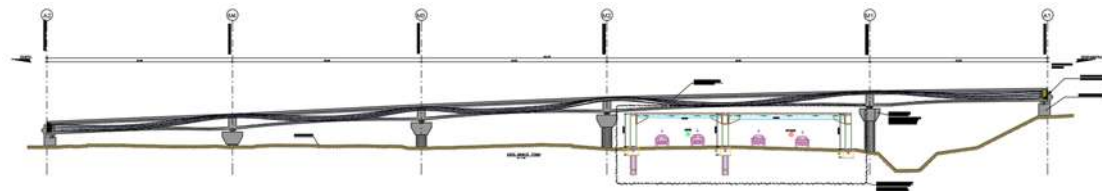
Για το υπολογισμό και την διαστασιολόγηση του τεχνικού, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό στατικής ανάλυσης SOFiSTiK A.G.



Εικόνα 25. Οριζοντιογραφία νέου φορέα.



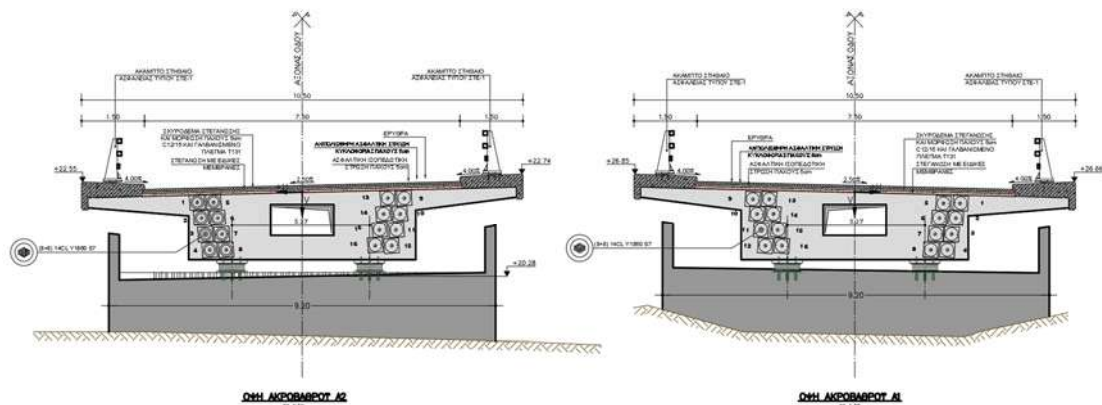
Εικόνα 26. Οριζόντια τομή νέου φορέα.



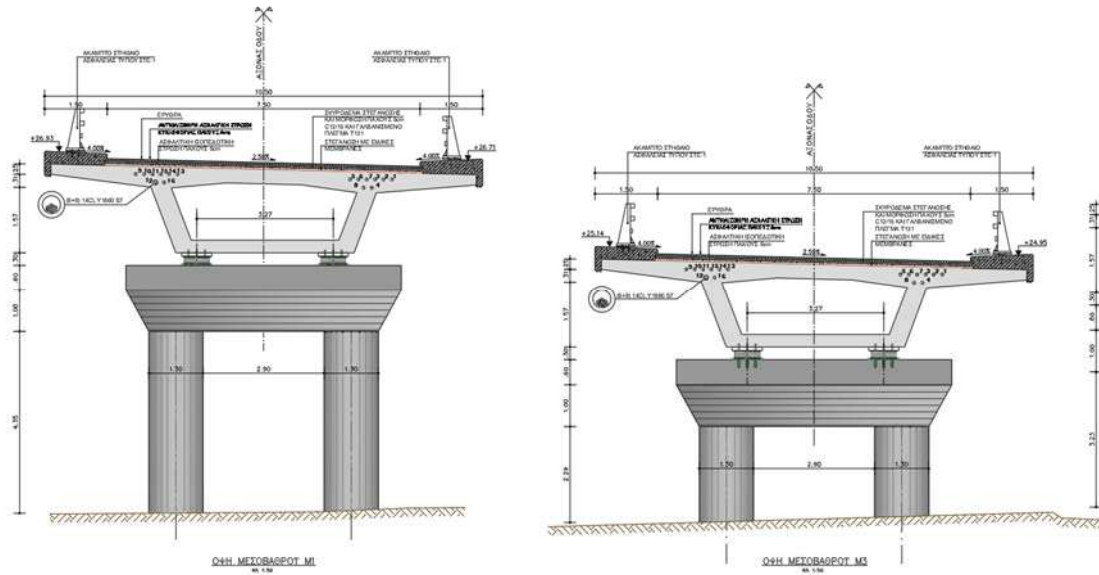
Εικόνα 27. Μηκотоμή νέου φορέα.



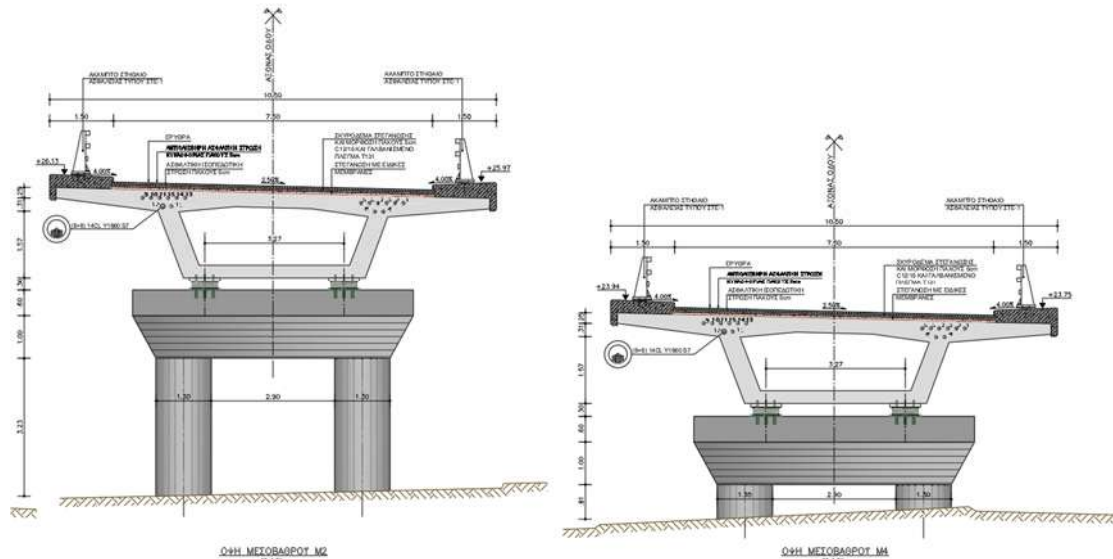
Εικόνα 28. Όψη νέου φορέα



Εικόνα 29. Όψη ακροβάθρων.



Εικόνα 30. Όψη μεσοβάθρων M1 & M3



Εικόνα 31. Όψη μεσοβάθρων M2 & M4

6. Παραδοχές

6.1. Υλικά

Σκυρόδεμα νέων κεφαλοδοκών	C40/50
Σκυρόδεμα υφ. βάθρων	C35/45
Σκυρόδεμα ανωδομής	C40/50
Σκυρόδεμα πεζοδρομίων	C20/25
Οπλισμικός χάλυβας	B500C
Χάλυβας προέντασης	Υ1770/1860

6.2. Φορτία και δράσεις

Ίδιο βάρος σκυροδέματος	25.00kN/m ³
Ίδιο βάρος νωπού σκυροδέματος	26.00kN/m ³
Ίδιο βάρος ασφαλτικών	24.00kN/m ³
Βάρος στηθαιού	1.00kN/m
Φορτία κυκλοφορίας	EN1991-2
Συντελεστές προσαρμογής	Εθνικό προσάρτημα
Φορτία ανέμου	EN1991-1-4
Θερμικές δράσεις	EN1991-1-5
Σεισμική ζώνη	Z1
Κατηγορία εδάφους	B (Φάσμα τύπου 1)

6.3. Δομικά υλικά

6.3.1. Γενικά

Στον χώρο τον κατασκευών τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά κόρον είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, ο δομικός χάλυβας, δομική ξυλεία και αλουμίνιο. Λόγω της ανάπτυξης της επιστήμης των υλικών, πολλά υλικά που δεν χρησιμοποιούνταν στην κατασκευή, ή η χρήση τους ήταν ελάχιστη, εισχωρούν όλο ένα και περισσότερο στο χώρο του πολιτικού μηχανικού (π.χ. γυαλί). Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, το κύριο υλικό που αναφέρεται είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα.

6.3.2. Σκυρόδεμα

Το οπλισμένο σκυρόδεμα, σε μεγάλο ποσοστό, είναι το κύριο υλικό σε κατασκευές σε χώρες με μεγάλη σεισμική δραστηριότητα όπως η Ελλάδα. Εκτός της σεισμικής δραστηριότητας, λόγω της φύσης του οπλισμένου σκυροδέματος στην κατασκευή, δηλαδή η δυνατότητας της έκχυσης σε καλούπια (ξυλότυποι, μεταλότυποι), αλλά και της διαθεσιμότητας των υλικών που αποτελείτε, κατακτά ακόμα ένα πλεονέκτημα στο χώρο τον κατασκευών.

6.3.3. Ιδιότητες σκυροδέματος

6.3.4. Θλιπτική Αντοχή

Σύμφωνα τους κανονισμούς [EN1992-1-1], η θλιπτική αντοχή ορίζεται ως η χαρακτηριστικοί (5%) αντοχή του κυλίνδρου f_{ck} , ή η αντοχή του κύβου $f_{ck,cube}$ σύμφωνα με το EN206-1. Η ως άνω αντοχή του κυλίνδρου, ορίζεται στην εικοστή-όγδοη (28^η) ημέρα με μέγιστη τιμή του C_{max} . Η τιμή του C_{max} καθορίζεται από τα εθνικά προσάρτηματα, με προτεινόμενη τιμή C90/105.

Για εύρεση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος πριν την εικοστή-όγδοη (28^η) ημέρα, μπορεί να γίνει χρήση των παρακάτω τύπων.

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t)f_{cm} \quad (\text{εξ. 3.1, EN1992-1-1}\S 3.1)$$

$$\text{με } \beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (\text{εξ. 3.2, EN1992-1-1}\S 3.2)$$

όπου $f_{cm}(t)$: μέση τιμή θλιπτική αντοχής σκυροδέματος σε ηλικία t μέρες
 $\beta_{cc}(t)$: σταθερά που εξαρτάτε από την ηλικία του σκυροδέματος
 t : ηλικία σκυροδέματος σε μέρες
 s : σταθερά που εξαρτάτε από τον τύπο του σκυροδέματος
 = 0.20 για σκυρόδεμα αντοχής CEM42.5R, CEN52.5N και CEM52.5R
 = 0.25 για σκυρόδεμα αντοχής CEM32.5R, CEM42.5N
 = 0.38 για σκυρόδεμα αντοχής CEM32.50N

Strength classes for concrete														Analytical relation / Explanation				
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90				
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	2.8			
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)			
f_{cm} (MPa)	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	$f_{cm} = 0.30 \times f_{ck}^{0.93} \leq C50/60$ $f_{cm} = 2.12 \ln(1 + (f_{ck}/10)) > C50/60$			
$f_{ck,0.05}$ (MPa)	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	$f_{ck,0.05} = 0.7 \times f_{cm}$ 5% fractile			
$f_{ck,0.95}$ (MPa)	2.0	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3	5.5	5.7	6.0	6.3	6.6	$f_{ck,0.95} = 1.3 \times f_{cm}$ 95% fractile			
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22((f_{cm}/10)^{0.3})$ (f_{cm} in MPa)			
ϵ_{c1} (‰)	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.25	2.3	2.4	2.45	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	see Figure 3.2 $\epsilon_{c1}(f_{cm}) = 0.7 f_{cm}^{0.31} \leq 2.8$			
ϵ_{cu1} (‰)					3.5								3.2	3.0	2.8	2.8	2.8	see Figure 3.2 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu1}(f_{cm}) = 2.8 + 27((98 - f_{cm})/100)^2$
ϵ_{c2} (‰)					2.0								2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c2}(f_{cm}) = 2.0 + 0.085(f_{cm} - 50)^{0.53}$
ϵ_{cu2} (‰)					3.5								3.1	2.9	2.7	2.6	2.6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu2}(f_{cm}) = 2.6 + 35((90 - f_{cm})/100)^4$
n					2.0								1.75	1.6	1.45	1.4	1.4	for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $n = 1.4 + 23.4((90 - f_{cm})/100)^4$
ϵ_{c3} (‰)					1.75								1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c3}(f_{cm}) = 1.75 + 0.55((f_{cm} - 50)/40)$
ϵ_{cu3} (‰)					3.5								3.1	2.9	2.7	2.6	2.6	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu3}(f_{cm}) = 2.6 + 35((90 - f_{cm})/100)^4$

Πίνακας 3. Αντοχή και παραμορφωσιακά χαρακτηριστικά σκυροδέματος [πίν. 3.1, EN1992-1-1§3.1].

6.4. Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα στην προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της νέα γέφυρας είναι από τις βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού. Η προστασία των ράβδων του οπλισμού και το χάλυβα προέντασης, γίνεται από το περιβάλλον σκυρόδεμα. Για την κατηγορία γεφυρών με διάρκεια ζωής εκατό (100) ετών, είναι γενικώς κατηγορία πέντε (5) κατά EN1990.

Η κατηγορία έκθεσης κατά EN206 και EN1992-1-1 είναι XS1, λόγω του ότι το τεχνικό βρίσκεται πλησίον της ακτής. Επιπλέον η κατηγορία μπορεί να μειωθεί μία (1)

φορά αλλά δεν επιλέγεται ο υποβιβασμός αυτός. Επομένως προκύπτει $c_{min,dur} = 50\text{mm}$, λαμβάνοντας υπόψη ότι πρόκειται για φορέα με χάλυβες προέντασης.

Με εκτιμώμενη μέγιστη ράβδου που θα χρησιμοποιηθεί να είναι $\varnothing 25$, η απαιτούμενη επικάλυψη για καλή συνάφεια της ράβδου είναι: $c_{min,b} = 25\text{mm}$. Επομένως $c_{min} = \max\{25; 50; 10\} = 50\text{mm}$. Η ονομαστική επικάλυψη του σκυροδέματος θα είναι ίση με $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}(10\text{mm}) \rightarrow c_{nom} = 60\text{mm}$.

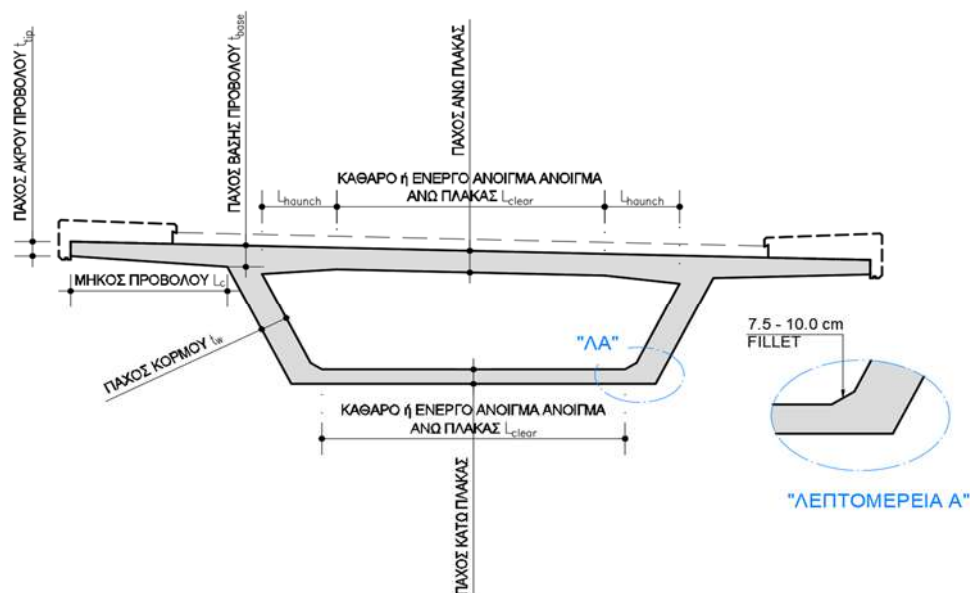
7. Υπολογισμός νέου κιβωτίου

7.1. Γενικά

Παρακάτω παρουσιάζονται οι απαιτήσεις για τον αρχικό σχεδιασμό κιβωτίου ως φορέα καταστρώματος με βάση τον AASHTO LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials – Load and Resistance Factor Design), καθώς υπάρχει έλλειμμα στους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς, και για αυτό υιοθετήθηκαν. Οι προδιαγραφές σχεδιασμού παρουσιάζουν αναλογίες βάρους προς άνοιγμα, με αντιστοιχία της εκάστοτε γέφυρας.

Να σημειωθεί πως υπάρχουν και προαιρετικά κριτήρια, εφόσον αυτά ζητηθούν από τον κύριο του έργου. Ταυτόχρονα με της παρακάτω απαιτήσεις, θα γίνεται σταδιακά και ο γεωμετρικός υπολογισμός του κιβωτίου για την συγκεκριμένη γέφυρα, της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Σημείωση¹: Στους τύπους που παρουσιάζονται στον παρόν κεφάλαιο, μπορούν να βρεθούν εκ πρώτης αναντιστοιχίες με τα σχετικά άρθρα του AASHTO. Αυτό εξηγείται από την μετατροπή των μονάδων από το Αγγλοσαξονικό σύστημα μέτρηση IS (Imperial System) στο Διεθνές σύστημα μονάδων SI (International System of Units), προσθέτοντας κατάλληλους συντελεστές.



Εικόνα 32. Διαστάσεις αναφοράς κιβωτίου στο άνοιγμα.

7.2. Ύψος φορέα καταστρώματος

Το ύψος του φορέα εξαρτάται κυρίως από το άνοιγμα και το στατικό σύστημα της γέφυρας. Το μέγιστο άνοιγμα σε καμπύλη της γέφυρας (34.00m) είναι προδιαγεγραμμένο για να μην αλλάξει η υπάρχουσα μελέτη οδοποιίας, και οι σχέσεις (αναλογίες) που προτείνονται για το ύψος του φορέα είναι οι εξής:

- Για μη προεντεταμένο φορέα:

$$h = L/17, \text{ για αμφιέρειστα ανοίγματα}$$

Εξίσωση 1

$$h = L/18, \text{ για συνεχές φορέα}$$

Εξίσωση 2

- Για προεντεταμένο φορέα:

$$h = L/21 \text{ για αμφιέρειστα ανοίγματα}$$

Εξίσωση 3

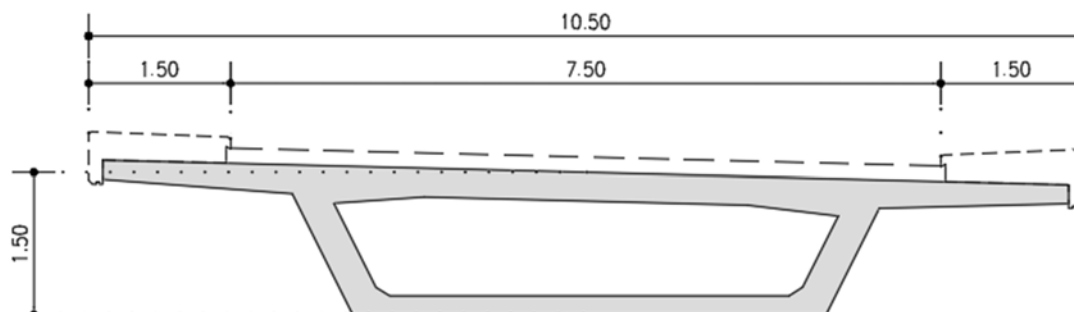
$$h = L/25, \text{ για συνεχές φορέα}$$

Εξίσωση 4

Τύπος φορέα για άνοιγμα (34.00m)	Προένταση	Ύψος φορέα
Αμφιέρειστος	×	2.00m
	✓	1.65m
Συνεχείς	×	1.90m
	✓	1.40m

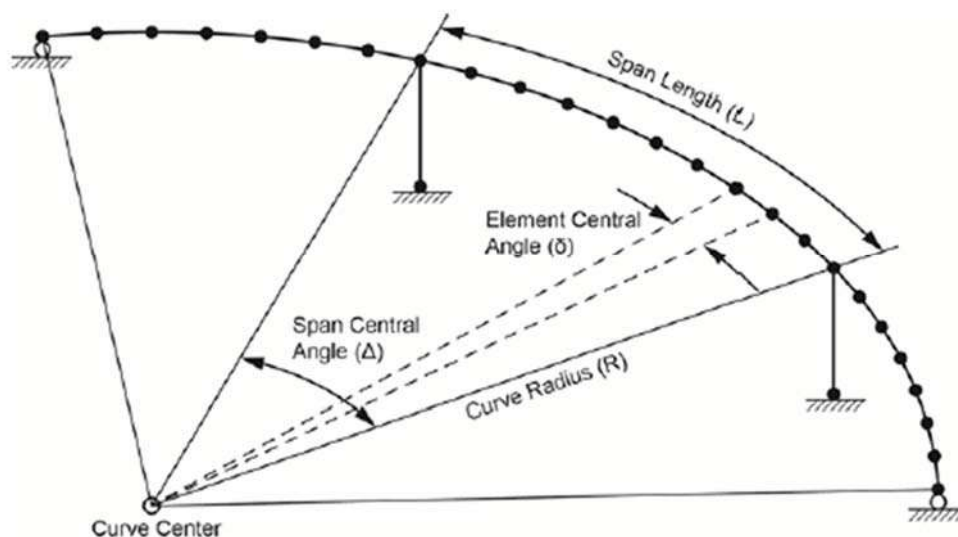
Πίνακας 4. Ύψος φορέα ανάλογα του στατικού συστήματος και την ύπαρξη προέντασης στον φορέα.

Για συνεχή φορέα με διαμήκης προένταση, που έχει αιτιολογηθεί η επιλογή του σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέγεται ύψος καταστρώματος ίσο με 1.50m.



Εικόνα 33. Ύψος κιβωτίου.

Επιπρόσθετα επιλέγεται κεκλιμένο το άνω πέλμα του κιβωτίου ως προς την οριζόντιο, ώστε να μειωθούν τα μόνιμα φορτία από σκυρόδεμα κλίσεων, καθώς και την αξιοποίηση της γεωμετρίας αυτής ως προς στην στρέψη που προκύπτει, από την καμπύλη σε οριζοντιογραφία χάραξη της ερυθράς.



Εικόνα 34. Ορισμός ανοίγματος καμπύλης γέφυρας (Corven 2016).

7.3. Πρόβολοι (φτερά)

Οι πρόβολοι ή αλλιώς τα φτερά του κιβωτίου, έχουν τόσο αισθητική αξία, όσο και στατική λειτουργία. Τα μήκη των προβόλων αυτών είναι 0.60-2.40m, ενώ τα πάχη είναι περί των 0.20m. Όταν πρόκειται για μεγαλύτερους προβόλους, θα πρέπει το πάχος να λαμβάνει από την αρχή, υπόψιν την ευρωστία του μέλος, μέσω των ελέγχων ρηγματώσεων. Παρακάτω δίνονται προσεγγίσιμες σχέσεις για τον υπολογισμό αυτών [AASHTO].

$$t_c = \frac{L_c}{5} \geq t_{tip}, \text{ για } L_c \leq 1.50\text{m (μέγιστη τιμή } 0.30\text{cm)}$$

Εξίσωση 5

$$t_c = 0.30 + (L_c - 1.50) * 0.09, \text{ για } 1.50 < L_c \leq 2.40$$

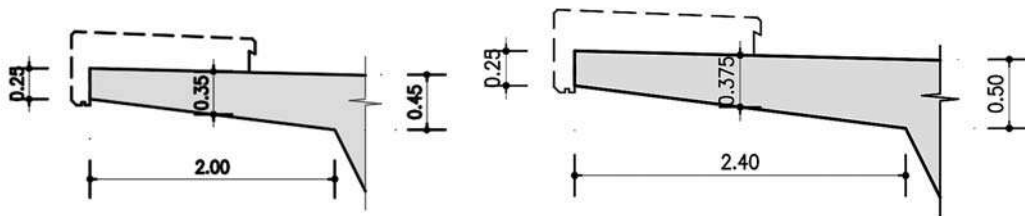
Εξίσωση 6

όπου L_c : μήκος προβόλου [m]
 t_{tip} : πάχος στο άκρο του προβόλου (tip) [m]
 t_c : πάχος στη βάση του προβόλου (base) [m]

Μήκος προβόλου L_c [m]	Πάχος προβόλου t_c [m]
0.60	0.120
1.00	0.200
1.50	0.300
2.00	0.345
2.40	0.375

Πίνακας 5. Πάχη προβόλου για διάφορα μήκη προβόλου.

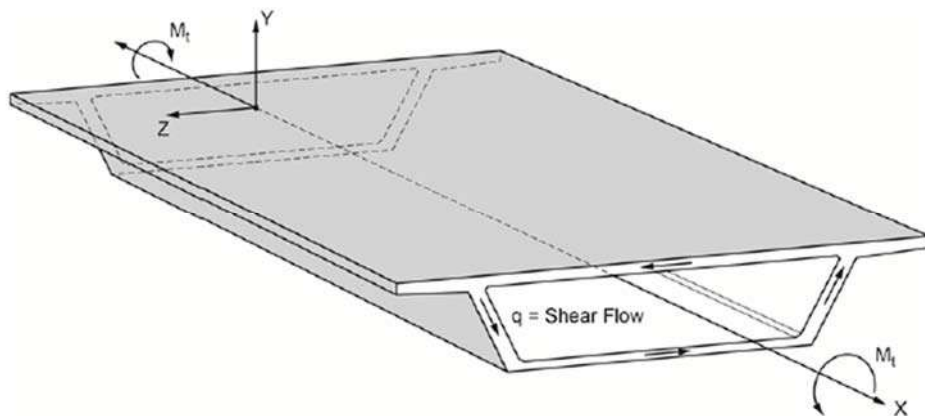
Επιλέγεται μήκος προβόλου 2.00m και πάχος προβόλου 0.35m στο μέσο, 0.25m στο άκρο, ενώ στη βάση 0.45m. Εναλλακτικά επιλέγεται μήκος προβόλου 2.40m και πάχος 0.375 στο μέσο, 0.25m στο άκρο, ενώ στη βάση 0.50m.



Εικόνα 35. Διαστάσεις προβόλου.

7.4. Κορμός

Το πάχος των κορμών του κιβωτίου θα πρέπει να ορίζεται με βάση την απαίτηση στη διάτμηση και στη στρέψη, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις συνθήκες επικαλύψεων.



Εικόνα 36. Επιρροή στρέψης ως διατμητική ροή (Corven 2016).

Στους εξωτερικούς κορμούς του κιβωτίου, μπορούν να έχουν κλίση 2:1. Γενικά προτείνονται οι παρακάτω τιμές [AASHTO]:

- Χωρίς προένταση : 0.20m
- Με διαμήκη ή εγκάρσια προένταση : 0.30m
- Με διαμήκη **και** εγκάρσια προένταση : 0.40m

Προσεγγιστική σχέση για τη διατμητική ροή [AASHTO]:

$$\tau_{DL} = \frac{V * Q_o}{I * b_{tot}} = \frac{p_{DL} * L_{max}}{2 * (0.8 * h * b_{tot})}$$

Εξίσωση 7

- όπου p_{DL} : νεκρά φορτία [kN/m]
 L_{max} : μέγιστο άνοιγμα γέφυρας [m]
 h : ύψος κιβωτίου [m]
 b_{total} : συνολικό πλάτος κορμών στην θέση του ουδέτερου άξονα (ο.α.) [m]
 Q_o : 1^η ροπή αδράνειας (στατική ροπή) πάνω ή κάτω από την θέση του ο.α. [m³]
 I : ροπή αδράνειας διατομής [m⁴]

Σημείωση² : Το νεκρό φορτίο μπορεί να υπολογιστεί από τις τυπικές διαστάσεις που προτείνονται.

Προσεγγιστική σχέση για τα νεκρά φορτία [AASHTO]:

$$p_{DL} = t_{ave} * b * 25 + p_b + p_{ws}$$

Εξίσωση 8

- όπου t_{ave} : μέσο πάχος γέφυρας συνάρτηση της επιφάνειας της διατομής, ανηγμένο στο πλάτος της γέφυρας, προτείνεται η τιμή 0.55 [m]
 b : πλάτος γέφυρας [m]
 p_b : φορτίο στηθαίου & πεζοδρομίου [kN/m]
 p_{ws} : πρόσθετα φορτία ασφαλικών κ.λπ [kN/m]

Λύνοντας ως προς b_{total} προκύπτει:

$$b_{total} = \frac{p_{DL} * L_{max}}{2 * (0.8 * h) * \tau_{allow}}$$

Εξίσωση 9

Σημείωση³ : Η διατμητική τάση μπορεί να κυμαίνεται ως εξής: $0.5\sqrt{f_{ck}} < \tau < 0.7\sqrt{f_{ck}}$, και για C40/50 (υποθετικά) δίνουν μέση τιμή ίση με 3.74MPa

Οι παραπάνω σχέσεις δίνουν:

$$p_{DL} = 0.55 * 10.50 * 25 + 27.00 + 27.40 = 198.80 \text{ kN/m}$$

όπου t_{ave} : προτείνεται η τιμή 0.55m

b : πλάτος γέφυρας ίσο με 10.50m

p_b : φορτίο στηθαίου & πεζοδρομίου ίσο με

$$2 * [(1[\Sigma. A.] + 12.50[\text{πεζοδρόμο}] \text{ kN/m}] = 27.00 \text{ kN/m}$$

(βλ. κεφάλαιο δράσεις γεφυρών)

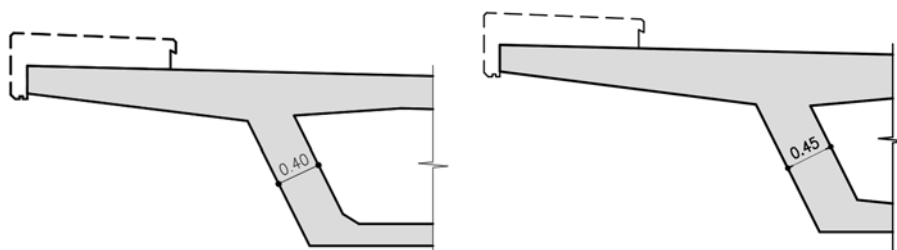
p_{ws} : πρόσθετα φορτία ασφαλτικών κ.λπ. ίσο με

$$(24 \text{ kN/m}^3 * 0.10 \text{ m} * + 25 \text{ kN/m}^3 * 0.05 \text{ m}) * 7.50 \text{ m} = 27.40 \text{ kN/m}$$

(βλ. κεφάλαιο δράσεις γεφυρών)

$$b_{total} = \frac{198.80 * 34.00}{2 * (0.8 * 1.50) * 3.74 * 10^3} = 0.75 \text{ m}$$

Επιλέγεται μονοκύψελο κιβώτιο με πάχος κορμών ίσο με $0.40 \text{ m} \geq 0.75/2 = 0.375 \text{ m}$, για την περίπτωση ανάγκης, ταυτόχρονης εγκάρσιας προέντασης. Για την εναλλακτική διατομή με πρόβολο 2.40m, επιλέγεται πάχος κορμού 0.45m.



Εικόνα 37. Πάχος κορμών κιβωτίου.

7.5. Άνω πλάκα

Τα άρθρα του AASHTO, προτείνουν το πάχος τις πλάκας να μην είναι λιγότερο από 0.18m, και όχι μικρότερο από την καθαρή απόσταση των κορμών (L_{clear}), διαιρεμένη με 20, στην περίπτωση που δεν προβλέπεται εγκάρσια προένταση. Επιπρόσθετα υπάρχει πρόσθετος περιορισμός $\sigma_{max} \leq 0.6f_{ck}$ απομοιωμένη κατά φ_w , με ελάχιστη απομείωση $\varphi_w = 0.75$.

Προτεινόμενες σχέσεις [AASHTO]:

$$14 \leq \frac{L_{clear}}{t_{slab}} \leq 17 \rightarrow \frac{L_{clear}}{14} \geq t_{slab} \geq \frac{L_{clear}}{17}$$

Εξίσωση 10

Επιπρόσθετα στα σημεία συναρμογής, μπορούν να δημιουργηθούν ομαλοποιήσεις, τάξεις των 7.5-10.0cm, όπου βοηθούν στην ομαλή ροή των τάσεων. Όμως σε περιπτώσεις μεγάλων θετικών ροπών μπορεί να δημιουργηθεί πεπλατυσμένες ομαλοποιήσεις (L_{haunch}), με μήκος 20-30% της συνολικής απόστασης των κορμών, και με ύψος όχι λιγότερο από το πάχος του προβόλου στη βάση και όχι λιγότερο από τα 0.20m.

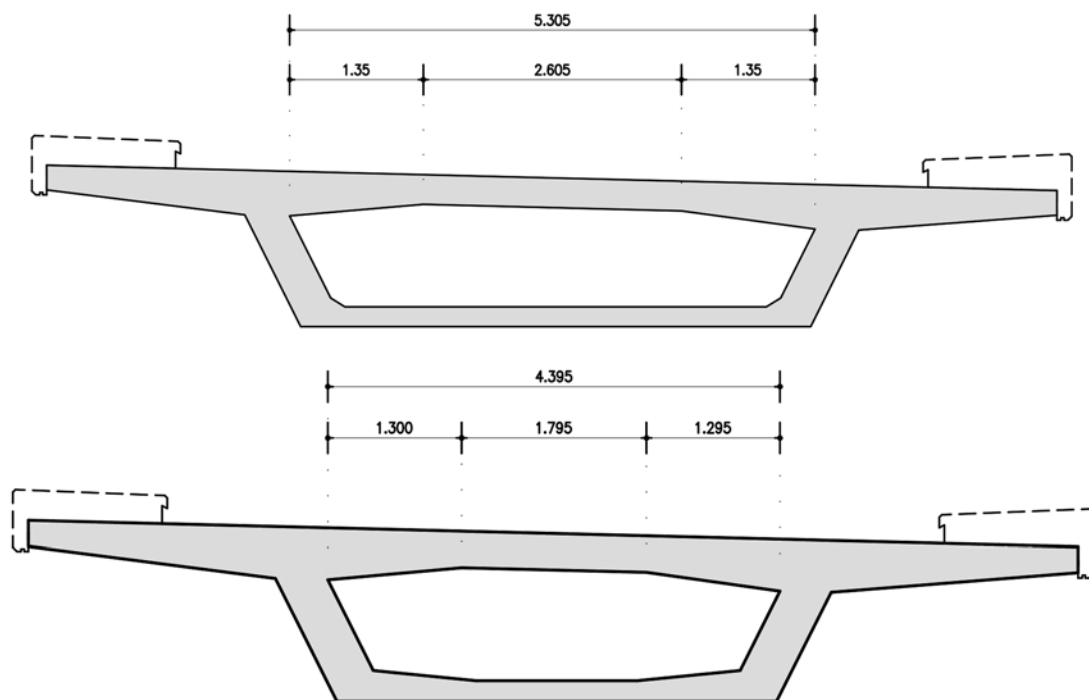
Συγκεκριμένα για συνολικό άνοιγμα άνω πλάκας κιβωτίου ίσο με 5.305m προκύπτει:

$$L_{launch} = 0.25 * 5.305 \cong 1.35m$$

Για την εναλλακτική διατομή του κιβωτίου προκύπτει:

$$L_{launch} = 0.30 * 4.395 \cong 1.30m$$

Σημείωσή⁴ : Όταν το καθαρό άνοιγμα μεταξύ των κορμών είναι > 4.55m ή το μήκος του προβόλου είναι > 2.40m, απαιτείτε εγκάρσια προένταση, παραμετροποιώντας το πάχος των πλακών ανάλογα, και ο περιορισμός στο πάχος της βάσης του προβόλου ανέρχεται στα 0.22m. Για προβόλους > 2.40m, το πάχος του προβόλου στη βάση προσαυξάνεται 1.5cm για κάθε 30cm επιπλέον μήκος.



Εικόνα 38. Διάταξη ομαλοποιήσεων στην άνω πλάκα του κιβωτίου.

Τα πάχη της άνω πλάκας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής:

$$0.190 \cong \frac{2.605}{14} \geq t_{slab} \geq \frac{2.605}{17} \cong 0.155m \text{ \& } 2.605 < 4.55m$$

$$0.128 \cong \frac{1.795}{14} \geq t_{slab} \geq \frac{1.795}{17} \cong 0.105m \text{ \& } 1.795 < 4.55m$$

Επιλέγεται πάχος άνω πλάκας ίσο με 0.25cm, όπου ικανοποιεί τα ως άνω κριτήρια.

Για το εναλλακτικό κιβώτιο, επιλέγεται πάχος άνω πλάκας ίσο με 0.35cm, όπου ικανοποιεί τα ως άνω κριτήρια. Επιλέγεται επιπλέον πάχος, για λόγο του περιορισμού των τάσεων.

7.6. Κάτω πλάκα

Το ελάχιστο πάχος που προτείνεται είναι 0.14m, όπου πρακτικά λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες επικαλύψεων, ανέρχεται στα 0.18m.

Προτεινόμενες σχέσεις [AASHTO]:

$$t_{slab} \geq \frac{L_{clear}}{16}, \text{ για μη προεντεταμένη}$$

Εξίσωση 11

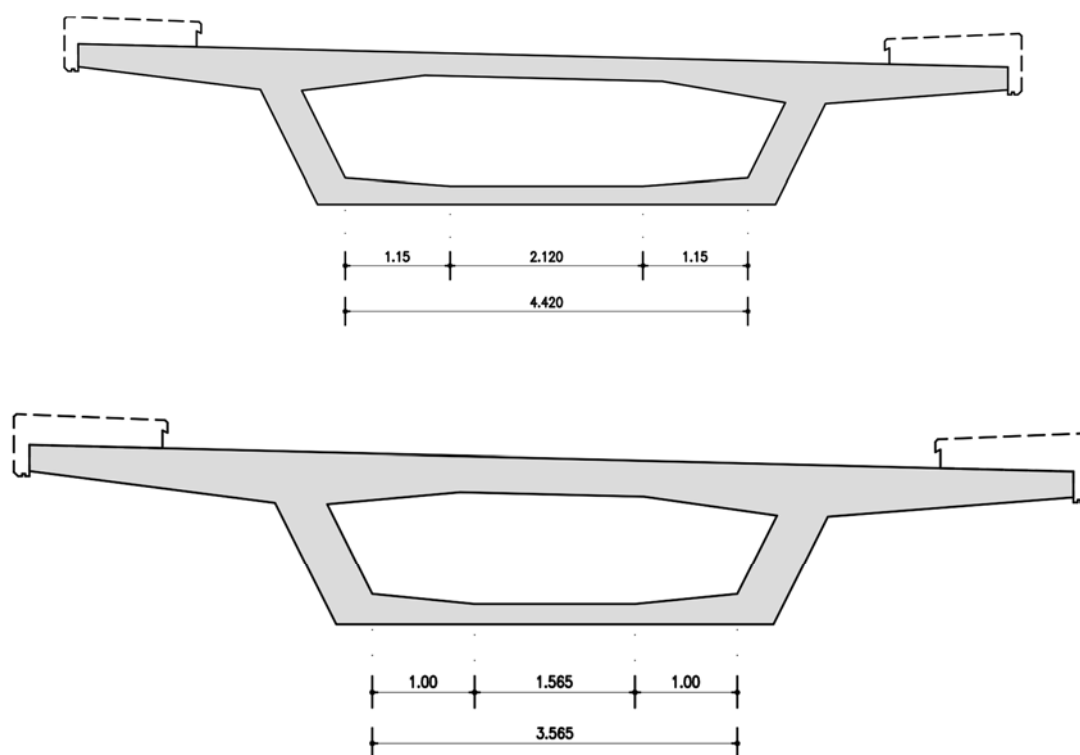
$$t_{slab} \geq \frac{L_{clear}}{30}, \text{ για προεντεταμένη}$$

Εξίσωση 12

Σημείωση⁵ : Όταν απαιτείται μικρότερο πάχος πλάκας, τότε θα πρέπει να προβλεφθεί και εγκάρσια προένταση.

Το πάχος της κάτω πλάκας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, χρησιμοποιώντας και εδώ ομαλοποιήσεις στις γωνίες για σκοπούς προέντασης είναι το εξής:

$$t_{slab} \geq \frac{2.12}{30} \cong 0.07m \text{ \& } t_{slab} \geq \frac{1.565}{30} \cong 0.05m$$

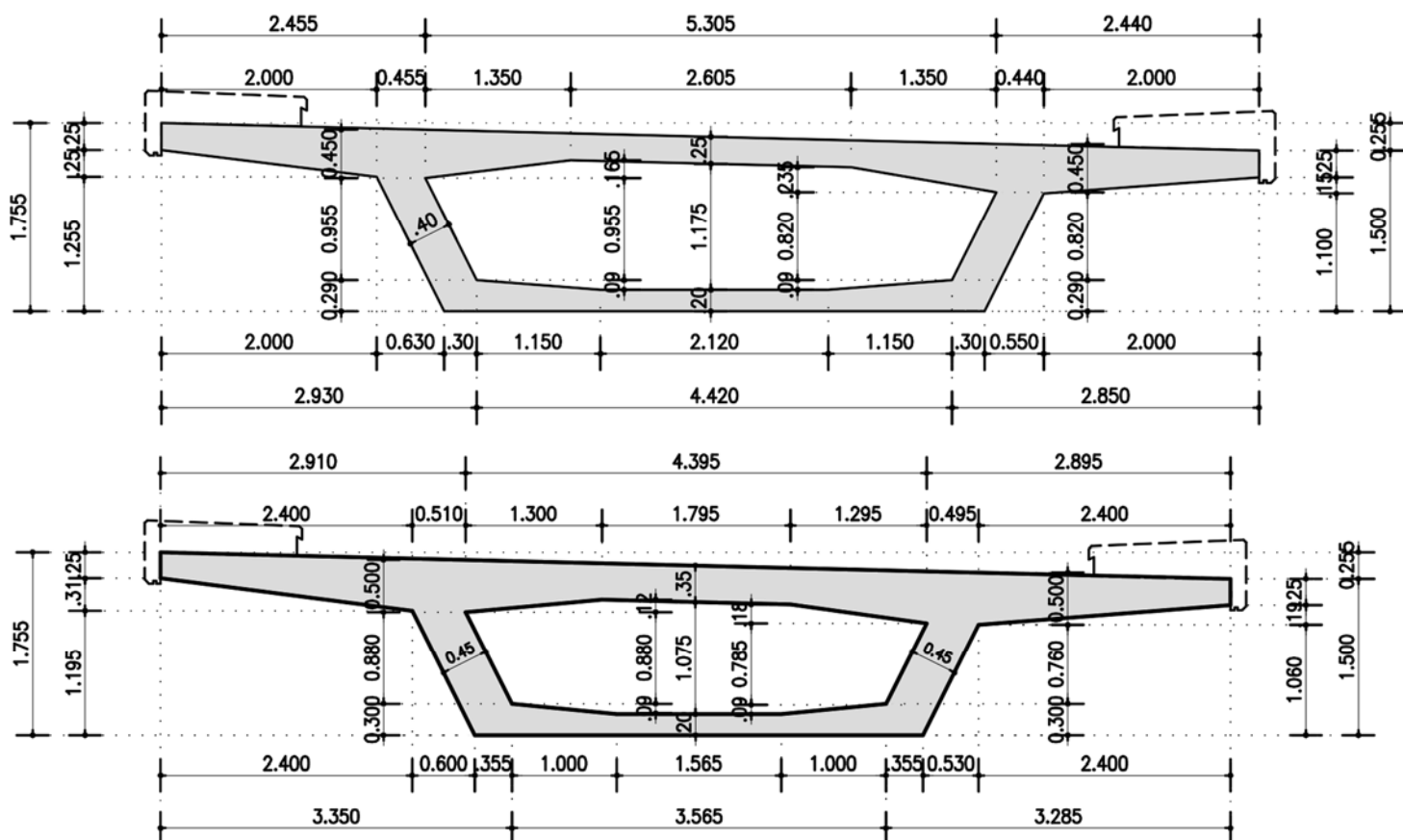


Εικόνα 39. Διάταξη ομαλοποιήσεων στην κάτω πλάκα του κιβωτίου.

Επιλέγεται πάχος κάτω πλάκας ίσο με 0.20cm, όπου ικανοποιεί τα ως άνω κριτήρια, και για τα δύο κιβώτια.

7.7. Τελική γεωμετρία κιβωτίου

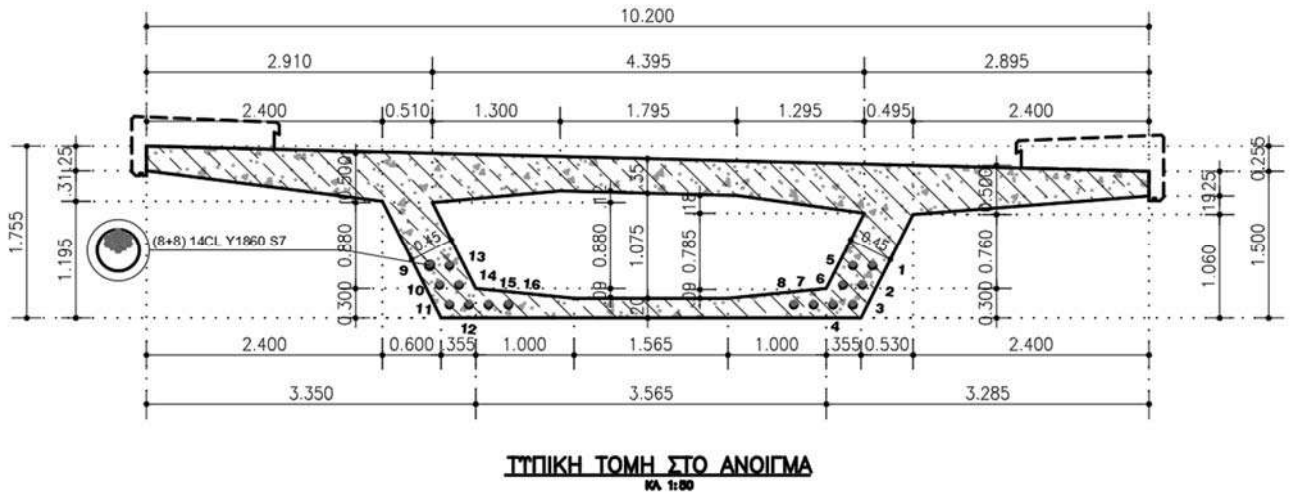
Η τελική γεωμετρία του κιβωτίου παρουσιάζεται παρακάτω, για της περιοχές του ανοίγματος, τόσο για την πρώτη γεωμετρία, όσο και για την δεύτερη.



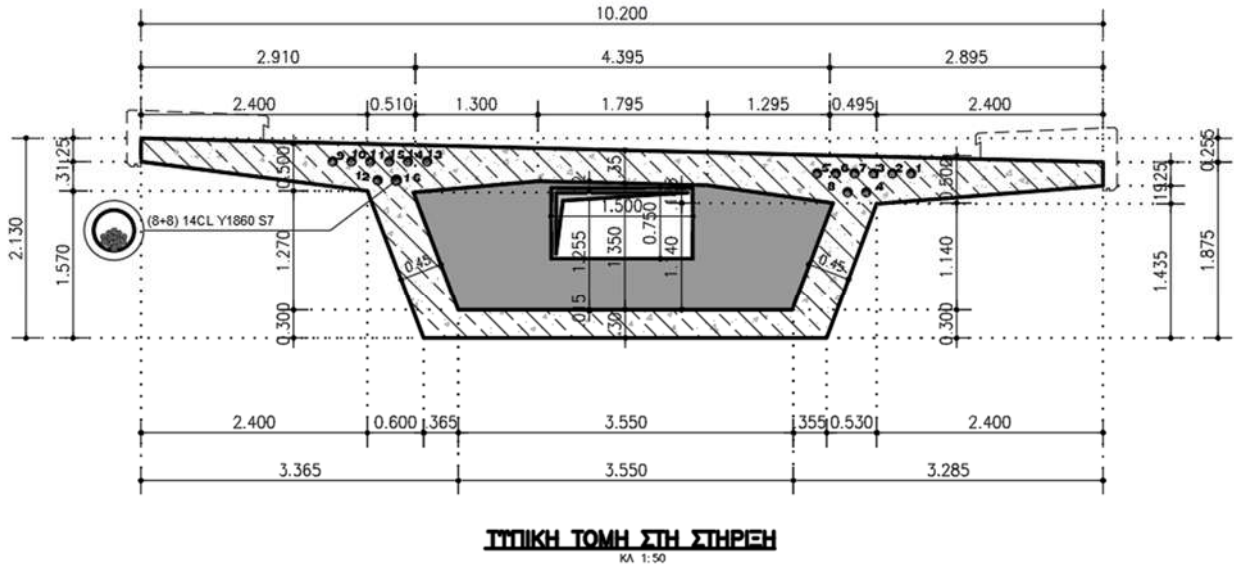
Εικόνα 40. Γεωμετρία κιβωτίου στο άνοιγμα.

Όπως θα αποδειχθεί παρακάτω, θα επιλεγθεί η δεύτερη γεωμετρία κιβωτίου, αυτή με πάχος κορμών 45cm. Για την περιοχή των στηρίξεων, για την καλύτερη παραλαβή της τέμνουσας και της αρνητικής ροπής, γίνεται αύξηση του ύψους κιβωτίου, καθώς πραγματοποιείται και διαδοκίδα με ανθρωποθυρίδα διαστάσεων 1.50 x 0.70m. Η ίδια γεωμετρία υλοποιείται και στις περιοχές στηρίξεων επί ακροβάθρων, με διεύρυνση του πλάτους του κάτω πέλματος, για την αποφυγή ανύψωσης των εφεδράνων. Τέλος, κατά την προσέγγιση των ακροβάθρων, γίνεται διαπλάτυνση των κορμών από τα 45cm στα 80cm, για την σωστή απόληξη και αγκύρωση των τενόντων, καθώς και για την ομαλή εισαγωγή της δύναμης προέντασης.

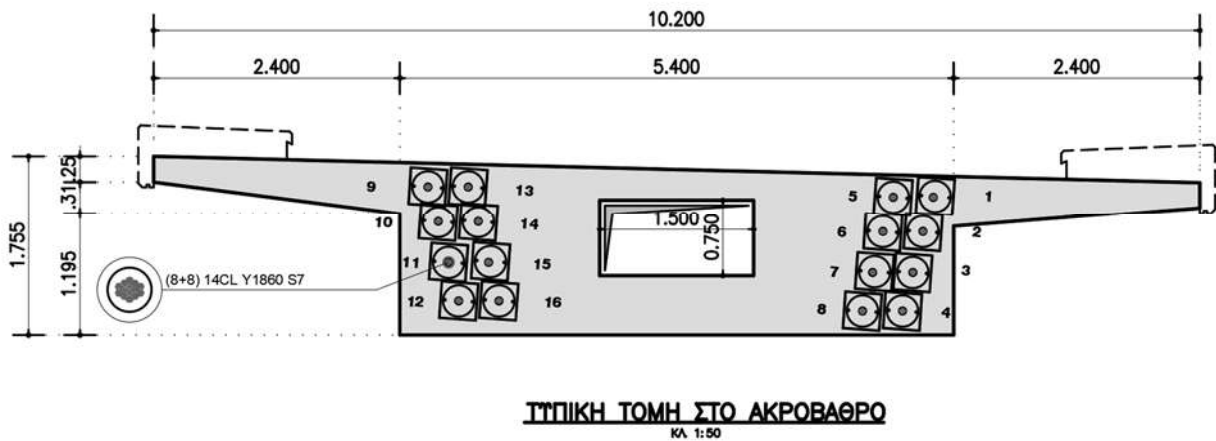
Παρακάτω παρουσιάζονται οι διατομές που τελικά θα εφαρμοστούν.



Εικόνα 41. Διατομή στις περιοχές των ανοιγμάτων.



Εικόνα 42. Διατομή στις θέσεις των μεσοβάθρων.



Εικόνα 43. Διατομή στις θέσεις των ακροβάθρων.

8. Δράσεις γεφυρών

8.1. Γενικά [EN1991-2 (2)§2.1]

Οι σχετικές δράσεις κυκλοφορίας καθώς και άλλες ειδικές δράσεις πάνω σε γέφυρες θα πρέπει να κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το EN1990, μέρος 4 (4.1.1). Οι δράσεις κυκλοφορίας πάνω στις οδογέφυρες, συνίστανται από μεταβλητές δράσεις και δράσεις για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού, οι οποίες αντιπροσωπεύονται από διάφορα προσομοιώματα. Όλες οι δράσεις κυκλοφορίας θα πρέπει να κατηγοριοποιούνται ως ελεύθερες δράσεις μέσα στα όρια που ορίζονται στα Κεφάλαιο 4 έως 6 του EN1991-2 (Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες). Οι δράσεις κυκλοφορίας είναι δράσεις πολλαπλών συνιστωσών.

– *Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας*

Διακρίνονται οι εξής οριακές καταστάσεις αστοχίας

- i. Απώλεια ισορροπίας (EQU)
- ii. Εξάντληση αντοχής (ή υπερβολική παραμορφώσεις κρίσιμων διατομών) από (STR): Μπορεί να προέλθει από:
 - a. Ορθή ένταση (M, N),
 - b. Διάτμηση (V),
 - c. Στρέψη (T),
 - d. Διάτρηση,
 - e. Συνάφεια αγκύρωσης,
 - f. Λυγισμός,
 - g. Μηχανισμός
- iii. Αστοχία εδάφους (GEO)
- iv. Κόπωση (FAT)
- v. Πυρκαγιά (ειδικές απαιτήσεις με σκοπό την ασφαλή διαφυγή των χρηστών, την προστασία ζωής των πυροσβεστών και την αποφυγή διάδοσης της πυρκαγιάς σε γειτονικά κτήρια)
- vi. Ευρωστία: Ένας φορέας θα σχεδιάζεται και θα κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υποστεί βλάβες από συμβάντα όπως για παράδειγμα:
 - a. Έκρηξη
 - b. Πρόσκρουση και
 - c. Συνέπειες ανθρωπίνων σφαλμάτων σε βαθμό δυσανάλογο ως προς το αρχικό συμβάν. Γενικώς οι ΟΚΑ αναφέρονται στην ζωή των χρηστών και στη ασφάλεια του δομήματος. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις (επικίνδυνα χημικά, μοναδικά μουσειακά εκθέματα) οι ΟΚΑ αναφέρονται και σ' αυτά.

8.2. Μεταβλητές δράσεις [EN1991-2 (2)§2.2]

Για κανονικές συνθήκες χρήσης (δηλ. με εξαίρεση οποιασδήποτε τυχηματικής κατάστασης), τα φορτία κυκλοφορίας και πεζών (συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής προσαύξησης, όπου απαιτείται) θα πρέπει να θεωρούνται ως μεταβλητές δράσεις. Οι διάφορες αντιπροσωπευτικές τιμές είναι:

- χαρακτηριστικές τιμές, οι οποίες είναι είτε στατιστικές, δηλ. αντιστοιχούν σε μία περιορισμένη πιθανότητα υπέρβασης πάνω σε μία γέφυρα κατά τη διάρκεια της ζωής σχεδιασμού, είτε ονομαστικές, βλέπε EN 1990, 4.1.2(7),
- συχνές τιμές,
- οιονεί – μόνιμες τιμές

Προσομοιώματα Οδικής Κυκλοφορίας	Χαρακτηριστικές Τιμές	Συχνές Τιμές	Οιονεί – μόνιμες τιμές
Οδογέφυρες			
LM1 (4.3.2)	Περίοδος επαναφοράς 1000 ετών (ή πιθανότητα υπέρβασης 5% σε 50 χρόνια) για κυκλοφορία στις κύριες οδικές αρτηρίες στην Ευρώπη (συντελεστής α ίσος με 1, βλέπε 4.3.2).	Περίοδος επαναφοράς 1 εβδομάδας για κυκλοφορία στις κύριες αρτηρίες στην Ευρώπη (συντελεστής α ίσος με 1, βλέπε 4.3.2).	Βαθμονόμηση σύμφωνα με τον ορισμό που δίδεται στο EN 1990.
LM2 (4.3.3)	Περίοδος επαναφοράς 1000 ετών (ή πιθανότητα υπέρβασης 5% σε 50 χρόνια) για κυκλοφορία στις κύριες οδικές αρτηρίες στην Ευρώπη (συντελεστής β ίσος με 1, βλέπε 4.3.3).	Περίοδος επαναφοράς 1 εβδομάδας για κυκλοφορία στις κύριες αρτηρίες στην Ευρώπη (συντελεστής β ίσος με 1, βλέπε 4.3.3).	Δεν είναι σχετικές
LM3 (4.3.4)	Σύνολο ονομαστικών τιμών. Οι βασικές τιμές που ορίζονται στο Παράρτημα Α προέρχονται από μία σύνθεση η οποία βασίζεται σε διαφορετικούς εθνικούς κανονισμούς.	Δεν είναι σχετικές	Δεν είναι σχετικές
LM4 (4.3.5)	Ονομαστική τιμή η οποία θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τη δράση του πλήθους. Ορίζεται με αναφορά σε υπάρχοντα εθνικά πρότυπα.	Δεν είναι σχετικές	Δεν είναι σχετικές

Πίνακας 6. Βάσεις για τη βαθμονόμηση των κύριων Προσομοιωμάτων Φόρτισης (εξαιρουμένης της κόπωσης) [EN1991-2(2), πίν. 2.1].

Για τον υπολογισμό της ζωής κόπωσης, δίδονται ξεχωριστά προσομοιώματα, συναφείς τιμές, και όπου είναι σχετικό, ειδικές απαιτήσεις στο 4.6 του EN1991-2 για οδογέφυρες, καθώς και στα συναφή παραρτήματα.

8.3.Δράσεις για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού [EN1991-2 (2)§2.3]

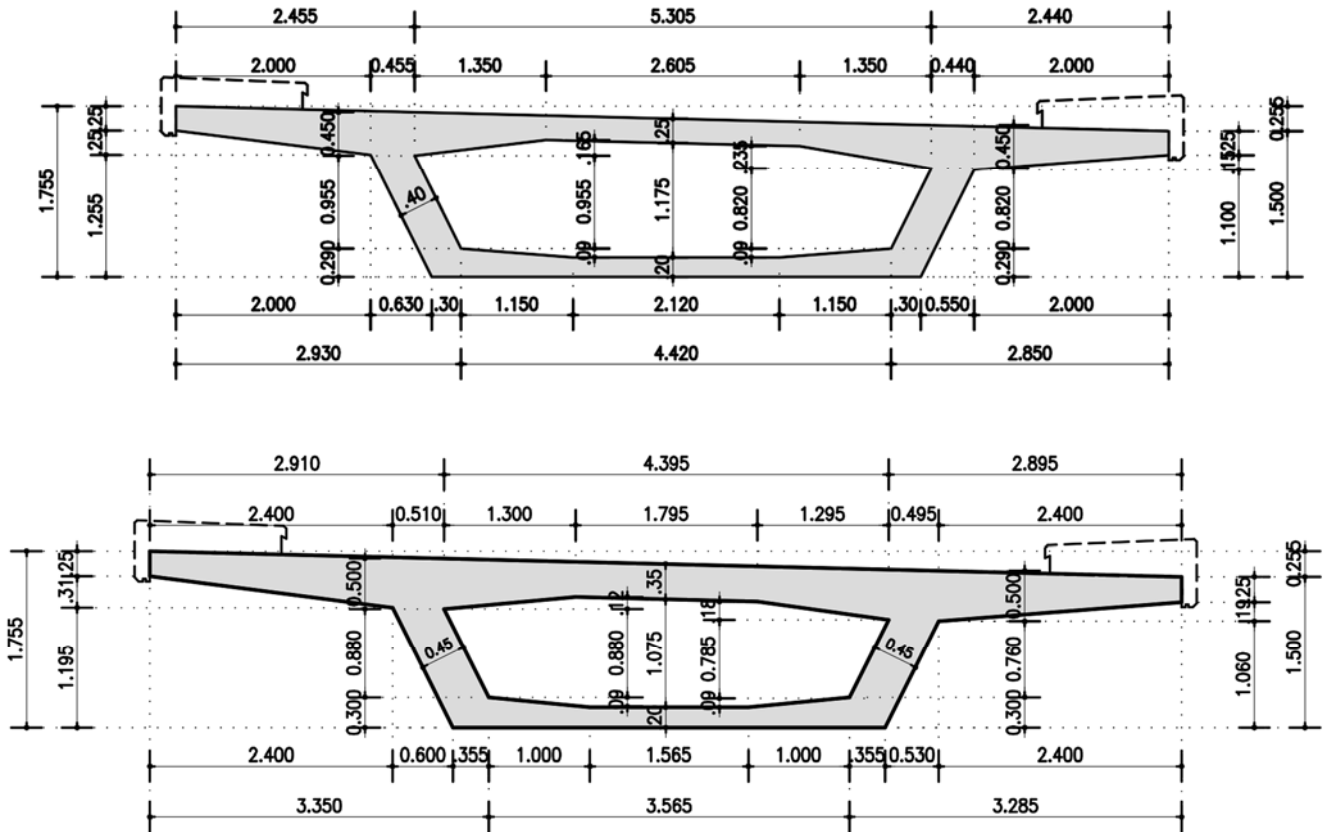
Τα οδικά οχήματα και οι σιδηροδρομικοί συρμοί μπορεί να προκαλέσουν δράσεις που οφείλονται σε σύγκρουση, ή στην τυχηματική τους παρουσία ή θέση. Οι δράσεις αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον δομοστατικό σχεδιασμό όπου δεν παρέχεται κατάλληλη προστασία. Οι δράσεις για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού που περιγράφονται στο υπόψη Μέρος του EN 1991 αναφέρονται σε κοινές καταστάσεις. Αντιπροσωπεύονται από διάφορα προσομοιώματα φόρτισης που ορίζουν τιμές σχεδιασμού με τη μορφή στατικών ισοδύναμων φορτίων. Για δράσεις που οφείλονται σε οδικά οχήματα κάτω από οδογέφυρες, πεζογέφυρες και σιδηροδρομικές γέφυρες και αφορούν τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού, βλέπε 4.7.2 και 5.6.2 του EN1991-2.

Οι δυνάμεις πρόσκρουσης που οφείλονται σε σκάφη, πλοία ή αεροπλάνα για οδογέφυρες, πεζογέφυρες και σιδηροδρομικές γέφυρες (π.χ. πάνω από διώρυγες και πλωτές υδάτινες οδούς), θα πρέπει να προσδιορίζονται όπου συντρέχει. Οι δράσεις για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού που οφείλονται σε οδικά οχήματα πάνω σε οδογέφυρες και πεζογέφυρες ορίζονται στο 4.7.3 και 5.6.3 αντιστοίχως. Οι δράσεις για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού που οφείλονται σε σιδηροδρομικούς συρμούς ή στη σιδηροδρομική υποδομή ορίζονται στο 6.7. Εφαρμόζονται, κατά περίπτωση, σε οδογέφυρες, πεζογέφυρες και σιδηροδρομικές γέφυρες.

8.4. Μόνιμες δράσεις

8.4.1. Ίδια βάρη [LC1]

- Φορέας ανωδομής εμβαδού $A = 5.40\text{m}^2$, αποτελούμενος από σκυρόδεμα με ειδικό βάρος ίσο με 25.00kN/m^3 .



Εικόνα 44. Γεωμετρία κιβωτίου.

- Κιβώτιο 1

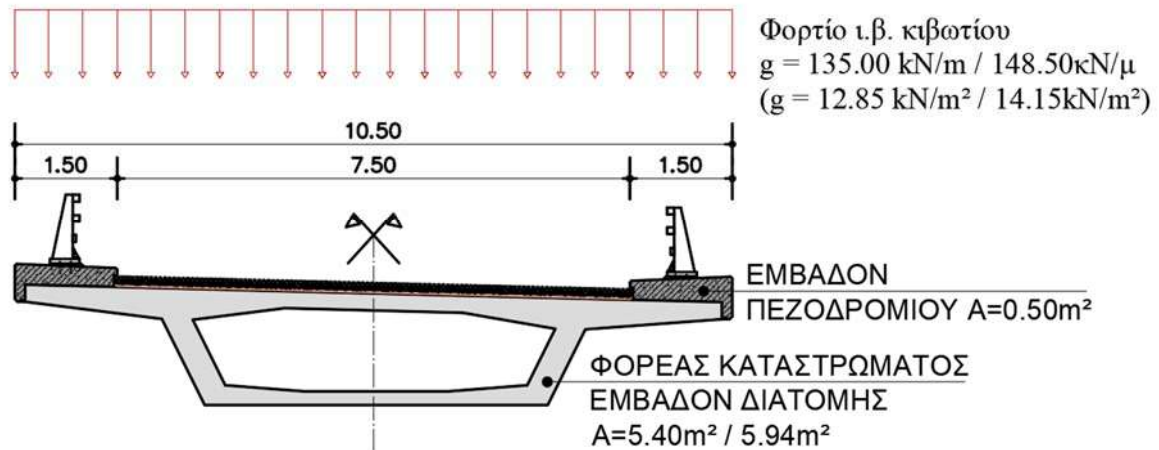
$$g = 25.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 5.40\text{m}^2 = 135 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{για γραμμικό φορτίο}$$

$$g = 135.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / 10.50\text{m} = 12.85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \text{για καταναμημένο φορτίο}$$

- Κιβώτιο 2

$$g = 25.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 5.94\text{m}^2 = 148.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{για γραμμικό φορτίο}$$

$$g = 148.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / 10.50\text{m} = 14.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \text{για καταναμημένο φορτίο}$$

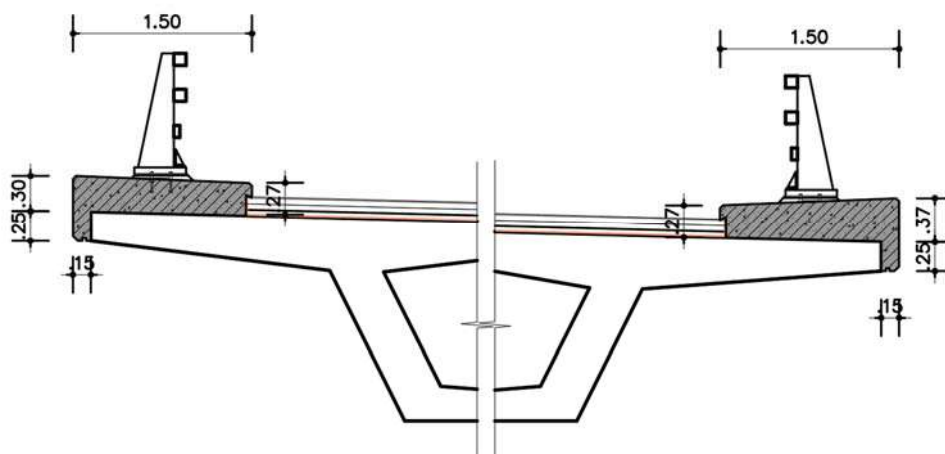


Εικόνα 45. Φορτία από ίδιο βάρος.

8.4.2. Πρόσθετα μόνιμα φορτία [LC2]

- Πεζοδρόμια

Στις εξωτερικές πλευρές του οδοστρώματος κατασκευάζονται πεζοδρόμια σε β-βάση, πλάτους 1.50m. Για την υλοποίηση της εγκάρσιας κλίσης 4.00%, το πάχος των πεζοδρομίων μεταβάλλεται όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Λόγω της κλίσης του άνω πέλματος, το εμβαδό της αριστερής και της δεξιά οριογραμμής, έχουν διαφορετικό εμβαδόν. Συγκεκριμένα 0.45 m^2 & 0.55 m^2 . Τα πεζοδρόμια είναι στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος με ειδικό βάρος 25.00 kN/m^3 . Λαμβάνεται μεσοσταθμικά εμβαδόν πεζοδρομίου ίσο με 0.50 m^2 .



Εικόνα 46. Γεωμετρία πεζοδρομίων.

$$g_s = 25.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0.50 \text{ m}^2 = 12.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{ για γραμμικό φορτίο}$$

$$g_s = 12.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}} / 1.50 \text{ m} = 8.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \text{ για ομοιόμορφο φορτίο}$$

- Ασφαλτικές στρώσεις & σκυρόδεμα εξομάλυνσης
Οι ασφαλτικές στρώσεις έχουν συνολικό πάχος 10cm και λαμβάνονται σε πλάτος 7.50m, ανάμεσα στα δύο πεζοδρόμια. Συγκεκριμένα αποτελείται από αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση πάχους 5cm, καθώς και από ασφαλτική ισοπεδωτική στρώση πάχους επίσης 5cm. Το ίδιο βάρος τους λαμβάνεται ίσο με 24.00kN/m³.

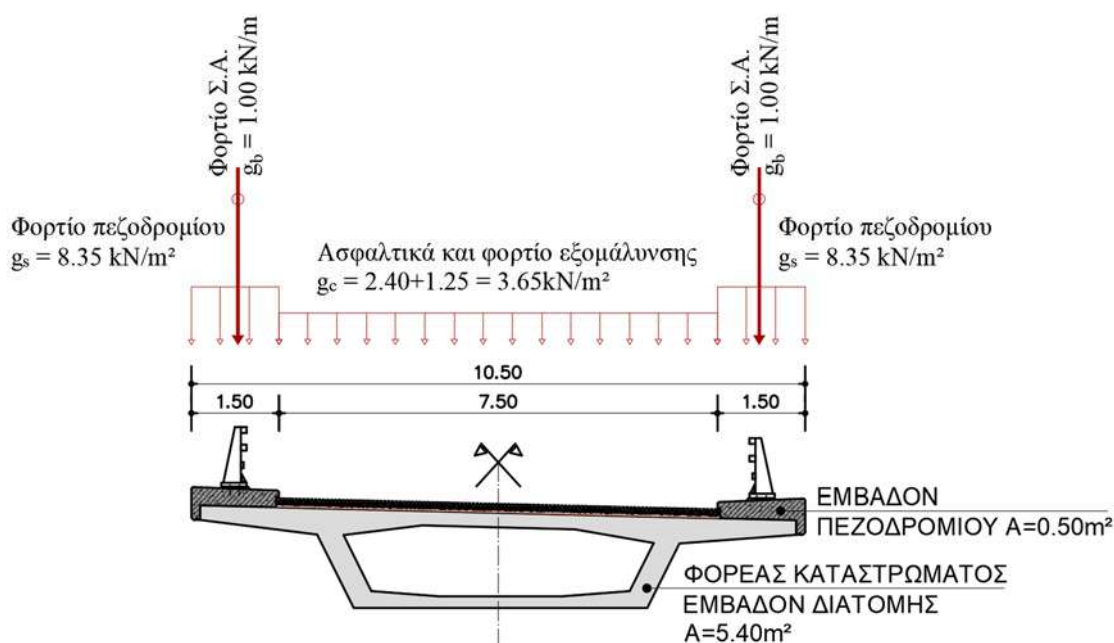
Επιπρόσθετα προδιαγράφεται σκυρόδεμα στεγάνωσης και μόρφωσης (εξομάλυνσης) πάχους 5cm, με ειδικό βάρος 25.00kN/m³ όπου ισοδυναμεί με μία ομοιόμορφη στρώση, η οποία χρησιμοποιείται για την επιπεδοποίηση του άνω πέλατος του κιβωτίου, λόγω πιθανών ατελειών.

$$g_c = 24.00 \frac{kN}{m^3} * 0.10m + 25.00 \frac{kN}{m^3} * 0.05m = 3.65 \frac{kN}{m^2}, \text{για ομοιόμορφο φορτίο}$$

$$g_c = 3.65 \frac{kN}{m^2} * 7.50m = 27.38 \frac{kN}{m}, \text{για γραμμικό φορτίο}$$

- Στηθαία ασφαλείας
Το βάρος των συστημάτων αναχαίτησης οχημάτων λαμβάνεται ίσο με 1.0 kN/m, όπου έχουν επιλεγθεί στηθαία τύπου ΣΤΕ-1.

$$g_b = (1.00 + 1.00) \frac{kN}{m}$$



Εικόνα 47. Πρόσθετα μόνιμα φορτία.

8.5. Φορτία κυκλοφορίας

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ομάδες φορτίων κυκλοφορίας στις οδογέφυρες.

		ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ					ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΟΔΗΛΑΤΟΔΡΟΜΟΙ	
Τύπος φόρτισης		Κατακόρυφες δυνάμεις			Οριζόντιες δυνάμεις		Μόνο κατακόρυφες δυνάμεις	
Παραπομπή		4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2-(1)
Σύστημα Φόρτισης		LM1 (TS και UDL συστήματα)	LM2 (Μονοαξονικό)	LM3 (Ειδικά Οχήματα)	LM4 (Ανθρωπο-συνωστισμός)	Δυνάμεις πέδησης και επιτάχυνσης	Δυνάμεις φυγόκεντρες και εγκάρσιες	Ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
	gr1a	Χαρακτηριστικές τιμές						Τιμή συνδυασμού ^b
	gr1b		Χαρακτηριστική τιμή					
	gr2	Συχνές τιμές ^c				Χαρακτηριστική τιμή	Χαρακτηριστική τιμή	
Ομάδες Φορτίων	gr3 ^a							Χαρακτηριστική τιμή ^c
	gr4				Χαρακτηριστική τιμή			Χαρακτηριστική τιμή ^b
	gr5	Βλέπε Παράρτημα Α		Χαρακτηριστική τιμή				
Επικρατούσα συνιστώσα δράση (οριζόμενη ως συνιστώσα που σχετίζεται με την ομάδα)								
^a Μπορεί να προσδιορίζεται στο Εθνικό Προσάρτημα.								
^b Μπορεί να προσδιορίζεται στο Εθνικό Προσάρτημα. Η προτεινόμενη τιμή είναι 3 kN/m ² .								
^c Βλέπε 5.3.2.1-(2). Μόνο ένα πεζοδρόμιο θα πρέπει να θεωρείται ότι είναι φορτιζόμενο όταν τα εντατικά μεγέθη είναι δυσμενέστερα από τα εντατικά μεγέθη για δύο φορτιζόμενα πεζοδρόμια.								
^d Η ομάδα αυτή δεν έχει νόημα εάν λαμβάνεται υπόψη το gr4.								

Πίνακας 7. Εκτίμηση των ομάδων φορτίων κυκλοφορίας (χαρακτηριστικές τιμές της δράσης πολλαπλών συνιστωσών) [EN1991-2 (4) πίν. 4.4a].

		ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ		ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΟΔΗΛΑΤΟΔΡΟΜΟΙ
Τύπος Φόρτισης		Κατακόρυφες δυνάμεις		
Παραπομπή		4.3.2	4.3.3	5.3.2(1)
Σύστημα φόρτισης		LM1 (Συστήματα TS και UDL)	LM2 (μονοαξονικό)	Ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο
	gr1a	Συχνές τιμές		
Ομάδες φορτίων	gr1b		Συχνή τιμή	
	gr3			Συχνή τιμή ^a
^a Μόνο ένα πεζοδρόμιο θα πρέπει να θεωρείται ότι είναι φορτιζόμενο όταν τα εντατικά μεγέθη είναι δυσμενέστερα από τα εντατικά μεγέθη για δύο φορτιζόμενα πεζοδρόμια.				

Πίνακας 8. Εκτίμηση των ομάδων φορτίων κυκλοφορίας (χαρακτηριστικές τιμές της δράσης πολλαπλών συνιστωσών) [EN1991-2 (4) πίν. 4.4b].

Το κατάστρωμα δε φέρει κάποιο μόνιμο διαχωριστικό, επομένως το πλάτος του οδοστρώματος λαμβάνεται ίσο με την απόσταση μεταξύ των συστημάτων αναχαίτισης (συγκεκριμένα μεταξύ των πεζοδρομίων). Το πλάτος αυτό αντιστοιχεί στα 7.50m. Κατά συνέπεια ορίζονται 2 λωρίδες κυκλοφορίας πλάτους 3.00m και μία εναπομένουσα επιφάνεια πλάτους $7.50 - 2 * 3.00 = 1.50m$.

Πλάτος οδοστρώματος w	Αριθμός ονομαστικών λωρίδων	Πλάτος ονομαστικής λωρίδας w_l	Πλάτος εναπομένουσας επιφάνειας
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_l = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_l = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_l$

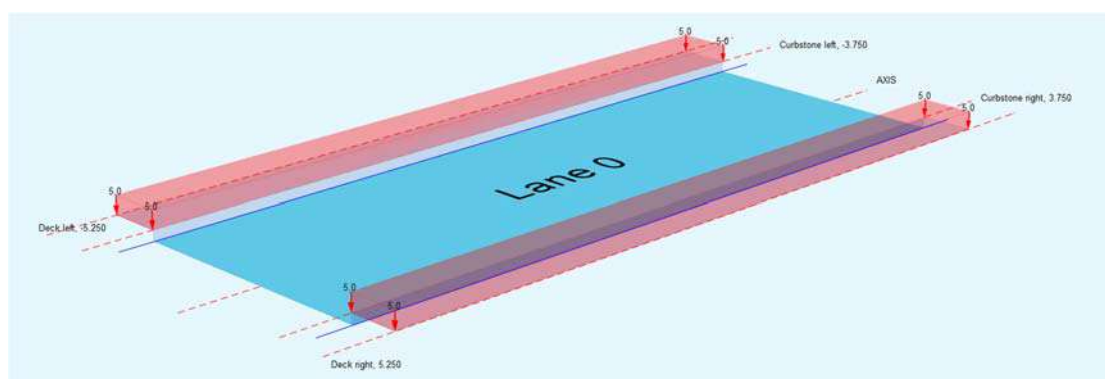
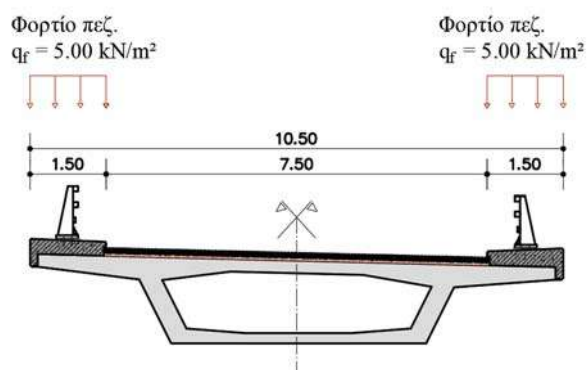
ΣΗΜΕΙΩΣΗ Για παράδειγμα, για πλάτος οδοστρώματος ίσο με 11m, $n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right) = 3$, και το πλάτος της εναπομένουσας επιφάνειας είναι $11 - 3 \times 3 = 2\text{m}$.



Πίνακας 9. Αριθμός και πλάτος των ονομαστικών λωρίδων κυκλοφορίας [EN1991-2(4)].

8.5.1. Φορτία κυκλοφορίας – Τοπικός έλεγχος προβόλων [LC600]

Για τοπικούς ελέγχους των προβόλων, λαμβάνεται φορτίο πεζοδρομίων ίσο με 5kN/m^2 , το οποίο δε συνδυάζεται με άλλα φορτία κυκλοφορίας.



Εικόνα 48. Φορτία πεζοδρομίων για τοπικό έλεγχο προβόλων.

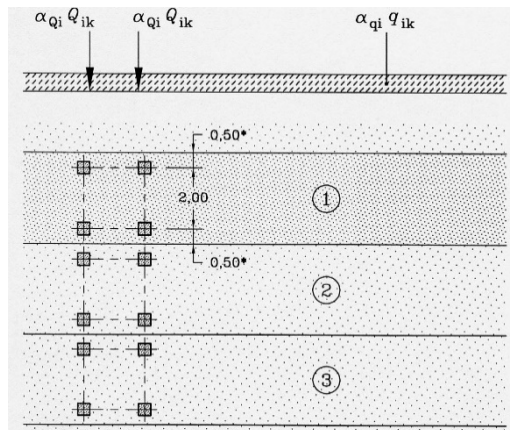
8.5.2. Φορτία κυκλοφορίας – Πρότυπη φόρτιση LM1 [LC500-600]

Για το βασικό σχεδιασμό της γέφυρας, εφαρμόζεται η πρότυπη φόρτιση 1 [LM1]. Σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα λαμβάνονται οι εξής τιμές προσαρμογής:

$$a_{Q1} = a_{Q2} = a_{Q3} = 0.90, \text{ για τα οχήματα (TS)}$$

$$a_{q1} = a_{q2} = a_{q3} = 1.00, \text{ για τα ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία (UDL)}$$

Τα τρία (3) οχήματα, συνολικού βάρους 540, 340 & 180kN, όπου το φορτίο εφαρμόζεται σε επιφάνεια $0.40 \times 0.40\text{m}$, τοποθετούνται σε όλες τις πιθανές θέσεις κατά μήκος και πλάτος της γέφυρας. Η λωρίδα 1 του κύριου οχήματος φορτίζεται με 9kN/m^2 , ενώ το υπόλοιπο κατάστρωμα με 2.50kN/m^2 . Το φορτίο των πεζοδρομίων που συνδυάζεται με τα φορτία κυκλοφορίας είναι $q_{\text{side}} = 3.00\text{kN/m}^2$, το οποίο λαμβάνεται σε όλο το πλάτος του πεζοδρομίου, ακόμα και στις ζώνες των κιγκλιδωμάτων και στηθαιών ασφάλειας.



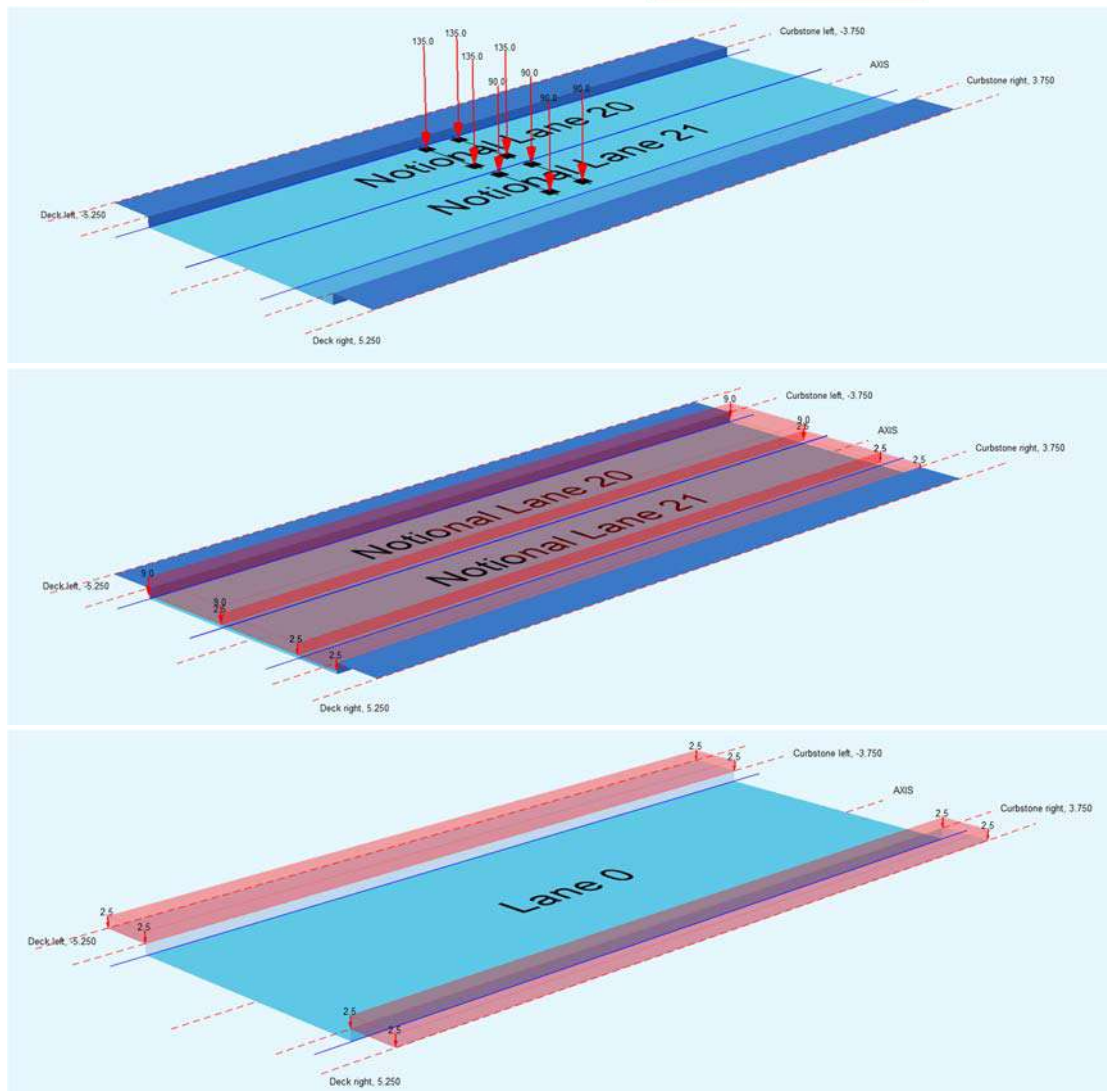
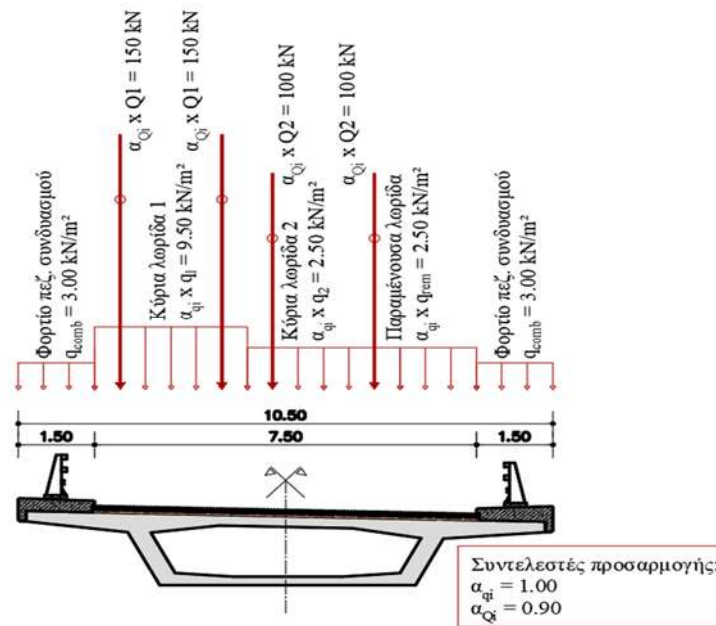
Όπου

- (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 : $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$; $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

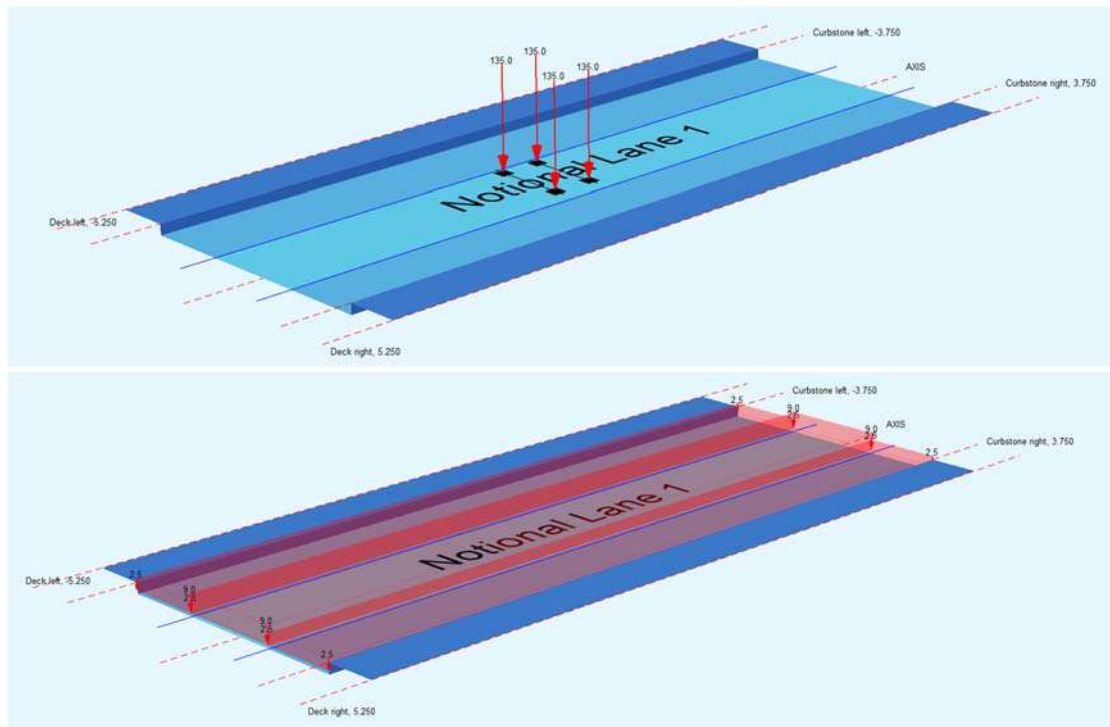
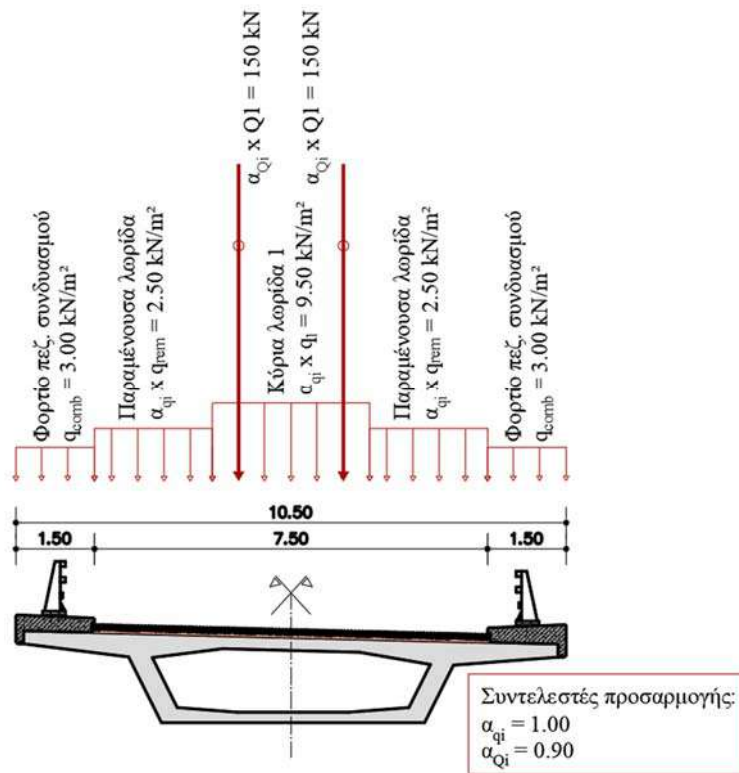
* Για $w_l = 3,00 \text{ m}$

Η κύρια λωρίδα και τα οχήματα τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις κατά μήκος και πλάτος της γέφυρας, και μόνο στις δυσμενείς περιοχές, ώστε να προκύψουν οι περιβάλλουσες για τις παραμορφώσεις και τα εντατικά μεγέθη.

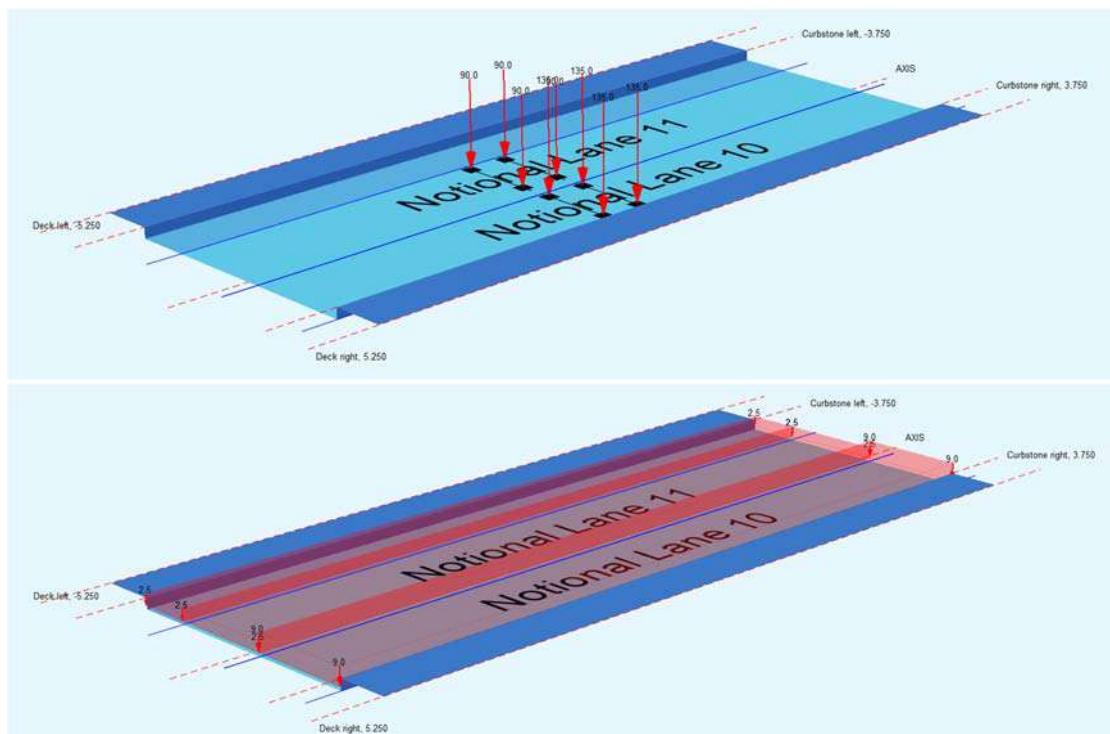
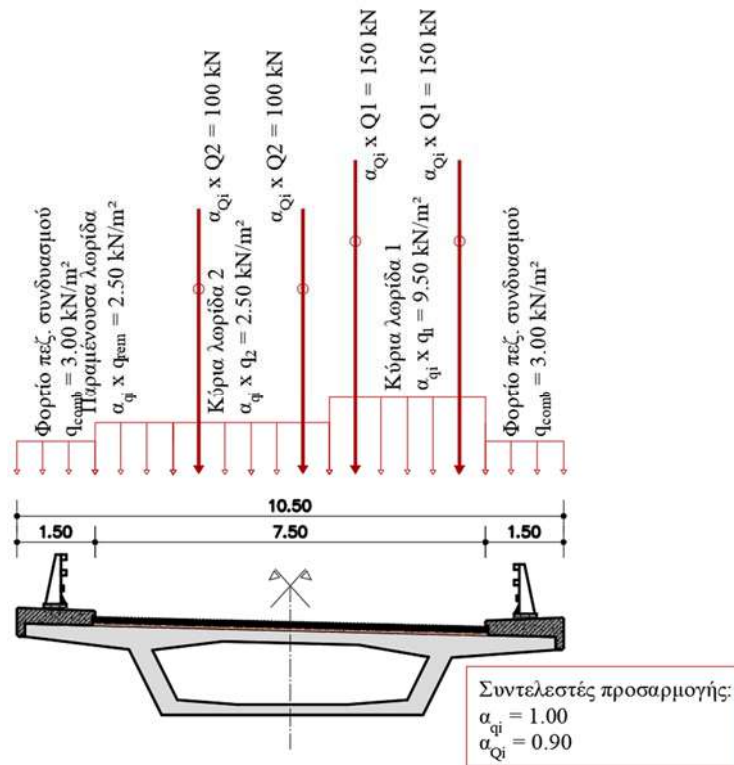
Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιθανοί συνδυασμού φορτίων κυκλοφορίας.



Εικόνα 49. Περίπτωση 1 για φορτία κυκλοφορίας, TS: LC500, UDL: LC600.



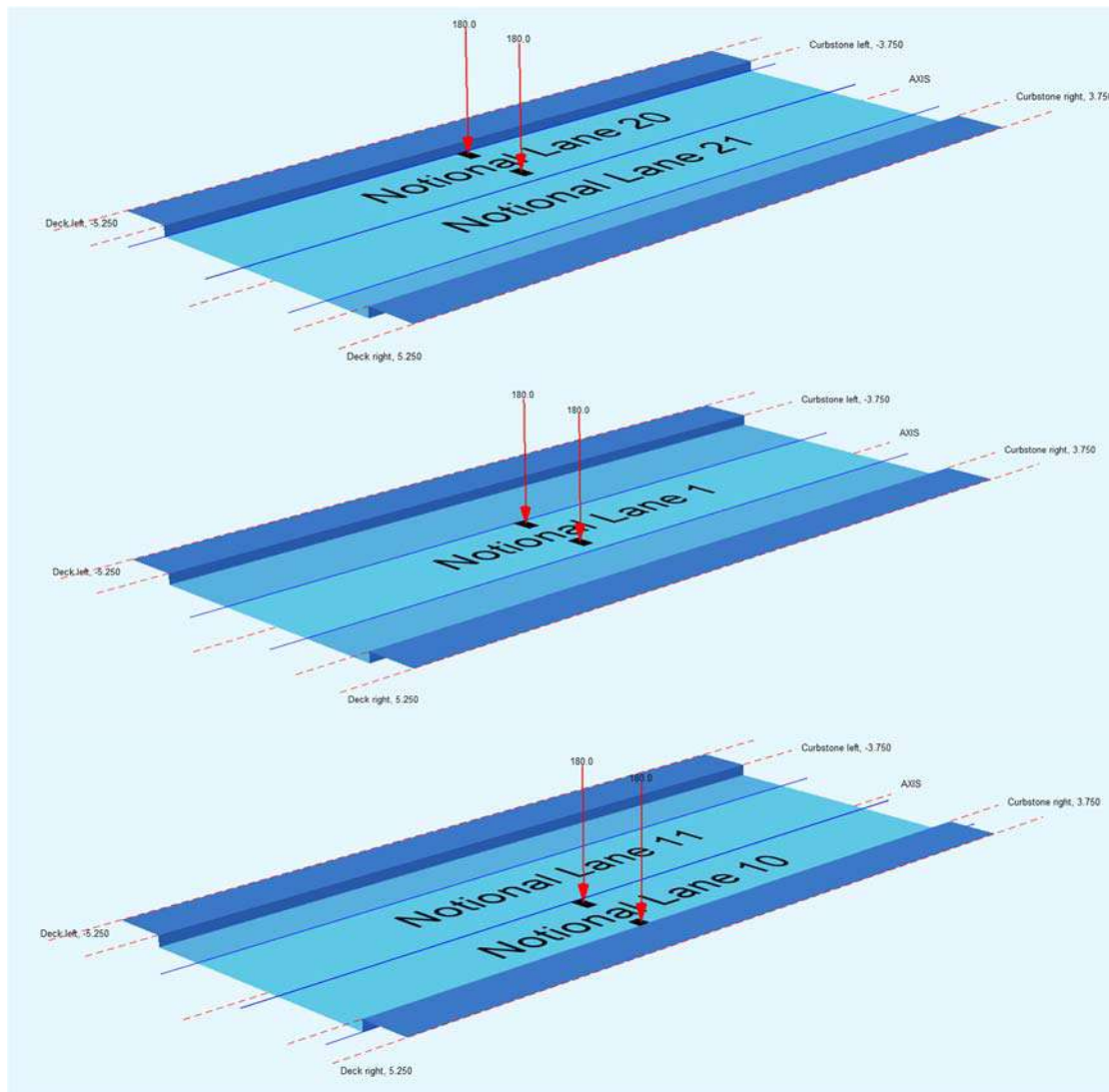
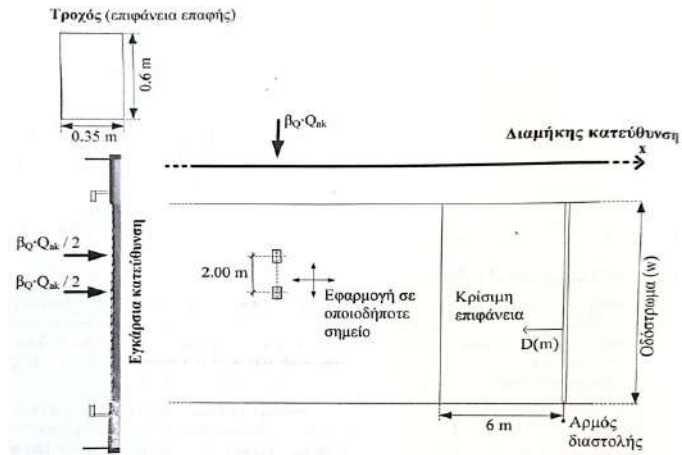
Εικόνα 50. Περίπτωση 3 για φορτία κυκλοφορίας, TS: LC500, UDL: LC600.



Εικόνα 51. Περίπτωση 5 για φορτία κυκλοφορίας, TS: LC500, UDL: LC600.

8.5.3. Φορτία κυκλοφορίας – Πρότυπη φόρτιση 2 [LC100]

Για τοπικούς ελέγχους, που αφορούν κυρίως την πλάκα σκυροδέματος, εφαρμόζεται η πρότυπη φόρτιση 2 (LM2). Αυτή αποτελείται από έναν άξονα βάρους $\alpha Q_i \times 400\text{kN}$, ο οποίος επίσης τοποθετείται σε όλο το μήκος και το πλάτος της γέφυρας. Σημειώνεται ότι κοντά στους αρμούς το φορτίο προσαυξάνεται κατά το συντελεστή δυναμικής μεγέθυνσης $\Delta\varphi_{fat}$, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 1,30 στη θέση του αρμού και 1.00 σε απόσταση 6.00m από αυτόν.



Εικόνα 52. Διάταξη πρότυπης φόρτισης LM2 TS: LC500.

8.5.4. Οριζόντιες δυνάμεις – Δυνάμεις πέδησης & επιτάχυνσης [LC700]

Μία δύναμη πέδησης, Q_{lk} , L το μήκος του καταστρώματος ή το υπό εξέταση μέρος αυτού, θα λαμβάνεται ως διαμήκης δύναμη ασκούμενη στο επίπεδο της επιφάνειας του οδοστρώματος. Η χαρακτηριστική τιμή του Q_{lk} , που περιορίζεται στα 900 kN για το συνολικό πλάτος της γέφυρας, θα υπολογίζεται, με τον ακόλουθο τρόπο, ως ένα κλάσμα των συνολικών μέγιστων κατακόρυφων φορτίων που αντιστοιχούν στην Πρότυπη Φόρτιση 1 που ενδέχεται να εφαρμοστούν στη Λωρίδα 1:

$$180 * a_{Q1} (kN) \leq Q_{lk} = 0.6 * (a_{Q1}) * 2 * Q_{1k} + 0.10 * \alpha_{q1} * q_{1k} * w_1 * L \leq 900 (kN)$$

Εξίσωση 13

Προκύπτει: $Q_{lk} = 0.6 * 0.90 * 2 * 300 + 0.10 * 1.00 * 9.50 * 3.00 * 129.45 \rightarrow$

$$\rightarrow 180 * 0.90 = 162 \leq Q_{lk} = 693 \text{ kN} \leq 900 \text{ kN}$$

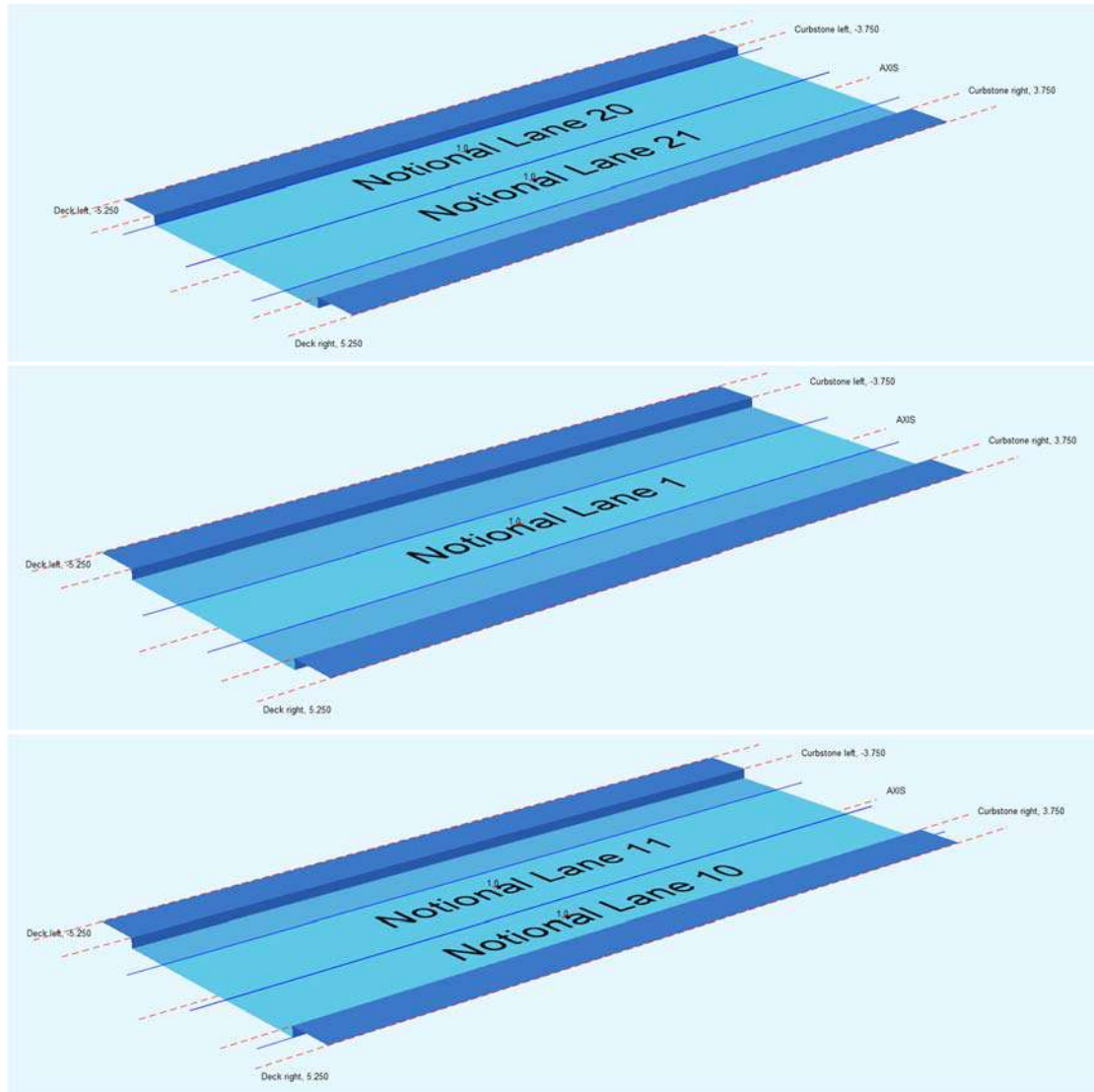
ή

$$q_{lk} = \frac{693}{129.45} \rightarrow q_{lk} = 5.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{ ανά μονάδα μήκους}$$

Parameter	Value
Loadtrain number	1200
Title	EN 1991-2 Load model LM1
Short title	LM1
Type	300
Action	none
Load Train	300.000
Axle load	300.0
Traffic Lane	9.00
Residual Area	2.50
Brake load	693.0
Total factor	1.000
Width of loading	3.000
Excentricity	

Πίνακας 10. Τιμές παραμέτρων φορτίων κυκλοφορίας.

Η δύναμη αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως ασκούμενη κατά μήκος του άξονα οποιασδήποτε λωρίδας. Ωστόσο, αν τα εντατικά μεγέθη λόγω εκκεντρότητας δεν είναι σημαντικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι η δύναμη ασκείται μόνον κατά μήκος του άξονα του οδοστρώματος, ομοιόμορφα κατανομημένη επί του φορτιζόμενου μήκους. Επίσης οι δυνάμεις επιτάχυνσης [LC300] θα θεωρούνται του ίδιου μεγέθους, όπως και οι δυνάμεις πέδησης, αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση.



Εικόνα 53. Οριζόντιες δυνάμεις LC700.

8.5.5. Οριζόντιες δυνάμεις – Φυγόκεντρες και άλλες εγκάρσιες δυνάμεις [LC800]

Η φυγόκεντρος δύναμη Q_{tk} θα πρέπει να λαμβάνεται ως εγκάρσια δύναμη ασκούμενη στο επίπεδο του αποπερατωμένου οδοστρώματος και ακτινικά ως προς τον άξονα του οδοστρώματος. Η χαρακτηριστική τιμή του Q_{tk} , συμπεριλαμβανομένων και των δυναμικών επιδράσεων, θα πρέπει να λαμβάνεται από τον Πίνακα 4.3.

$Q_{tk} = 0,2Q_v$ (kN)	αν $r < 200$ m
$Q_{tk} = 40Q_v/r$ (kN)	αν $200 \leq r \leq 1500$ m
$Q_{tk} = 0$	αν $r > 1500$ m

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικές τιμές των φυγόκεντρων δυνάμεων [EN1991-2 (4) πίν. 4.3].

όπου r : η οριζόντια ακτίνα του κεντρικού άξονα του οδοστρώματος [m]
 Q_v : είναι το συνολικό μέγιστο βάρος των κατακόρυφων συγκεντρωμένων φορτίων των συστημάτων δίδυμου άξονα της πρότυπης φόρτισης 1, όπου για τη δεδομένη γέφυρα ισούται με 1000kN.

Το Q_{tk} θα πρέπει να θεωρείται ότι δρα ως σημειακό φορτίο σε οποιαδήποτε διατομή του καταστρώματος. Όπου συντρέχει, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, πλευρικές δυνάμεις από λοξή πέδηση ή ολίσθηση. Μία εγκάρσια δύναμη πέδησης, Q_{trk} , ίση με το 25% της διαμήκου πέδησης ή επιτάχυνσης Q_{lk} , θα πρέπει να θεωρείται ότι δρα ταυτόχρονα με το Q_{lk} στο επίπεδο του αποπερατωμένου οδοστρώματος.

Συγκεκριμένα, η δεδομένη γέφυρα, για τα πρώτα τρία (3) ανοίγματα, έχει οριζόντια ακτίνα κεντρικού άξονα ίση με 245m, για το τέταρτο (4^ο) και μεγαλύτερο άνοιγμα ίση με 270m και για το τελευταίο άνοιγμα ίση με 150m. Επομένως λαμβάνονται οι εξής τιμές:

Δράση εγκάρσιας πέδησης	Περιγραφή	Τιμή
-	Εγκάρσια πέδηση για όλα τα ανοίγματα	$Q_{trk} = 0.25 * 693 \rightarrow$ $Q_{trk} = 173.25$ kN

Πίνακας 12. Δράσεις εγκάρσιας πέδησης.

Δράση φυγόκεντρης δύναμης	Περιγραφή	Τιμή
-	Φυγόκεντρος για τα πρώτα τρία (3) άνοιγμα	$Q_{tk} = 40 * \frac{1000}{245} \rightarrow$ $Q_{tk} = 163.30$ kN
-	Φυγόκεντρος για το τέταρτο (4 ^ο) άνοιγμα	$Q_{tk} = 40 * \frac{1000}{270} \rightarrow$ $Q_{tk} = 148.15$ kN
-	Φυγόκεντρος για το πέμπτο (5 ^ο) άνοιγμα	$Q_{tk} = 0.2 * 1000 \rightarrow$ $Q_{tk} = 200.00$ kN

Πίνακας 13. Δράσεις φυγόκεντρης δύναμης.

Εφαρμόζεται συνολική εγκάρσια δύναμη (εγκάρσια πέδηση & φυγόκεντρο) δύναμη ίση με:

$$Q_{trk,tk} = 173.25 + 200 \rightarrow Q_{trk,tk} = 373.25 \text{ kN σε βασικές θέσεις κατά μήκος}$$

8.6. Δυνάμεις πρόσκρουσης οχημάτων

– Πρόσκρουση οχημάτων στην κάτω πλευρά καταστρωμάτων γεφυρών

Μπορεί να συμβεί στην περίπτωση που το όχημα είναι ψηλότερο από το ελεύθερο ύψος της γέφυρας. Γενικά δεν λαμβάνονται υπόψη τέτοιου είδους δυνάμεις όταν το περιτύπωμα είναι μεγαλύτερο από 5.00m.

Για την δεδομένη γέφυρα η δύναμεις πρόσκρουσης οχημάτων στην κάτω πλευρά του καταστρώματος δεν λαμβάνονται υπόψη.

– Πρόσκρουση οχημάτων στη φέρουσα υποδομή

Θεωρούνται ισοδύναμες οριζόντιες στατικά συγκεντρωμένες δυνάμεις, για αυτοκινητόδρομους, εθνικές και κύριες οδούς. Η δύναμη αυτή λαμβάνει την τιμή των 1MN κατά μήκος της διεύθυνσης κυκλοφορίας και 0.5MN κάθετα στη διεύθυνση αυτή, χωρίς να εφαρμόζονται ταυτόχρονα. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα του EN1991-1-7, δεν μελετούμε έναντι πρόσκρουσης οχημάτων τα εξής φέροντα στοιχεία:

- Κυκλικά συμπαγή βάρθρα ή υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα με διαστάσεις:
 $L \geq 1.60\text{m} + x$, $b \geq 1.60\text{m} - x$, με $0 < x < 0.70\text{m}$
όπου L : μήκος παράλληλα ως προς τη διεύθυνση κυκλοφορίας
 b : πλάτος κάθετα ως προς τη διεύθυνση κυκλοφορίας

Εφόσον θα βάρθρα κριθούν πως μπορούν να παραλάβουν τα φορτία της ανωδομής και τα σεισμικά φορτία σύμφωνα με τους κανονισμούς, θα πρέπει να ελεγχθούν και ως προς την πρόσκρουση οχημάτων.

8.7. Υποχώρηση στήριξης

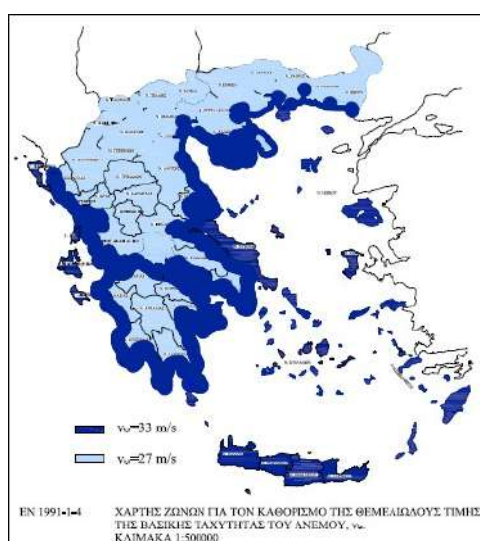
Δεν λαμβάνεται υπόψη η υποχώρηση στήριξης ως βύθιση (κατακόρυφη μετατόπιση) των βάρθρων, καθώς το τεχνικό είναι ήδη υφιστάμενο.

8.8. Δράσεις ανέμου κατά EN 1991-1-4 [LC200-205]

Ως δράση του ανέμου επί των κατασκευών θεωρείται η πίεση που αναπτύσσεται από την ανάσχεση της ροής του ανέμου. Εξετάζεται η φόρτιση που ασκείται στη γέφυρα με βάση των Ευρωκώδικα 1 για θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου (σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα) $v_{ref} = 33.00$ m/s και **κατηγορία εδάφους 0**. Λαμβάνεται ως τιμή z , το μέγιστο ύψος της γέφυρας, όπου είναι περίπου στα 8.00m.

Βασικά μεγέθη	$z = 8.00\text{m}$	$z_0 = 0.003\text{m}$	$z_{min} = 1.00\text{m}$
---------------	--------------------	-----------------------	--------------------------

Πίνακας 14. Βασικά μεγέθη για τον υπολογισμό της δράσης ανέμου.



Εικόνα 54. Χάρτης ζωνών για τον καθορισμό της $v_{b,0}$.

Κατηγορία εδάφους	z_0 m	z_{min} m
0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.	1,0	10

Οι κατηγορίες εδάφους εικονογραφούνται στο Παράρτημα Α.1.

Πίνακας 15. Κατηγορίες εδάφους.

- Βασική ταχύτητα ανέμου [EN1991-1-4(4.2)]

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$$

Εξίσωση 14

- όπου c_{dir} : συντελεστής διεύθυνσης (προτεινόμενη τιμή 1.00)
 c_{season} : συντελεστής εποχής (προτεινόμενη τιμή 1.00)
 $v_{b,0}$: θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας ανέμου (33 m/s)

Προκύπτει: $v_b = 1.00 * 1.00 * 33.00 \rightarrow v_b = 33.00 \frac{m}{s}$

- Μέση ταχύτητα ανέμου [EN1991-1-4(4.3.1)]

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

Εξίσωση 15

- όπου $c_r(z)$: συντελεστής τραχύτητας (υπολογίζεται παρακάτω)
 $c_0(z)$: συντελεστής ανάγλυφου του εδάφους (λαμβάνεται ίσο με 1.0)
 v_b : βασική ταχύτητα ανέμου

- Συντελεστής τραχύτητας: [EN1991-1-4(4.3.2)]

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Εξίσωση 16

- όπου k_r : συντελεστής εδάφους εξαρτώμενος από το μήκος τραχύτητας z_0 και υπολογίζεται με βάση την σχέση:
 $k_r = 0.19 (z_0/z_{0,II})^{0.07} = 0.19 (0.003/0.05)^{0.07} \rightarrow k_r = 0.156$
 z_0, z_{min} : εξαρτώνται από την κατ. εδάφους.

Προκύπτει: $v_m = \left[0.156 * \ln\left(\frac{7.00}{0.003}\right)\right] * 1.00 * 33.00 \rightarrow v_m = 39.92 \frac{m}{s}$

- Ένταση στροβιλισμού [EN1991-1-4(4.4)]

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}, \text{ για } z_{min} = 1.00 \leq z = 8.00m$$

Εξίσωση 17

- όπου k_l : συντελεστής στροβιλισμού (λαμβάνεται ίσος με 1.00)
 $c_0(z)$: συντελεστής ανάγλυφου του εδάφους (λαμβάνεται ίσο με 1.0)

Προκύπτει: $I_v(z) = \frac{1.00}{1.00 * \ln\left(\frac{8.00}{0.003}\right)} \rightarrow I_v = \mathbf{0.127}$

- Χαρακτηριστική πίεση ταχύτητα αιχμής [EN1991-1-4(4.5)]

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * 0.5 * \rho * v_m^2(z)$$

Εξίσωση 18

- όπου ρ : πυκνότητα του αέρα (λαμβάνεται ίση με $[1.25 \text{ kg/m}^3]$)
 $I_v(z)$: ένταση του στροβιλισμού σε ύψος z
 v_m : μέση ταχύτητα ανέμου σε ύψος z $[\text{m/s}^2]$

Προκύπτει: $q_p(z) = \frac{[1+7*0.127]*0.5*1.25*39.92^2}{10^3} \rightarrow q_p(z) = \mathbf{1.88 \text{ kPa}}$

- Υπολογισμός συντελεστή έκθεσης [EN1991-1-4(4.5)]

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

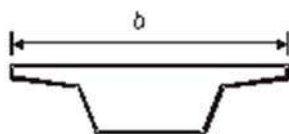
Εξίσωση 19

- όπου q_b : βασική πίεση που ισούται με:

$$\frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{\frac{1}{2} * 1.25 * 33.00^2}{10^3} = 0.68 \text{ kPa}$$

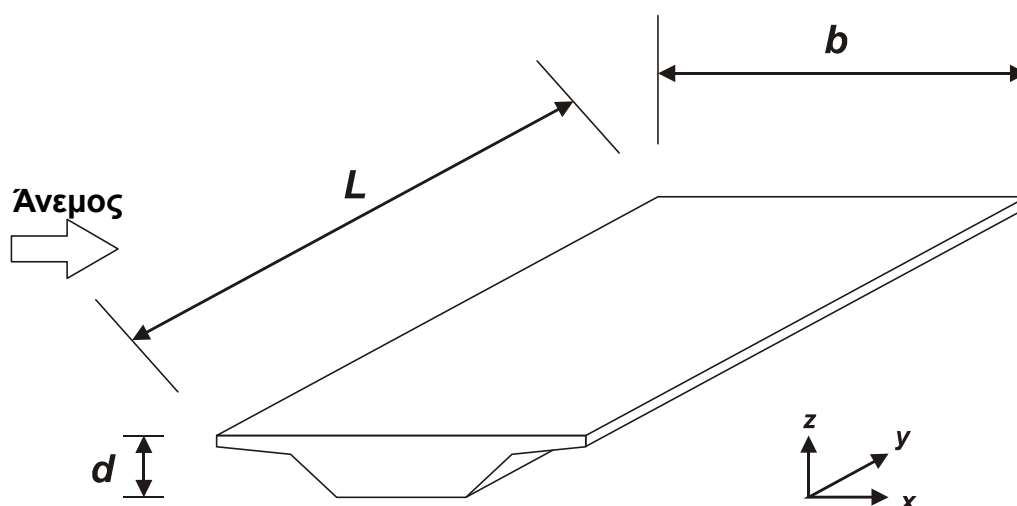
Προκύπτει: $c_e(z) = \frac{1.88}{0.68} \rightarrow c_e(z) = \mathbf{2.76}$

Οι παραπάνω δράσεις ανέμου του EN 1991-1-4, σύμφωνα με το κεφάλαιο 8, εφαρμόζεται σε γέφυρες με τις παρακάτω διατομές, αποτελούμενες από ένα μόνο κατάστρωμα, ανεξάρτητα τον αριθμό των ανοιγμάτων.



Εικόνα 57. Διατομή καταστρώματος.

Οι δράσεις ανέμου σε γέφυρες δημιουργούν δυνάμεις στις διευθύνσεις x (παράλληλα με το πλάτος του καταστρώματος), y (παράλληλα με το άνοιγμα της γέφυρας) και z (κάθετα προς το κατάστρωμα). Οι δυνάμεις που προκαλούνται στις διευθύνσεις x και y οφείλονται σε άνεμο που πνέει σε διαφορετικές διευθύνσεις και κανονικά δεν είναι ταυτόχρονες. Οι δυνάμεις που προκαλούνται στη διεύθυνση z μπορούν να προκύψουν από την πνοή του ανέμου σε πολλές διευθύνσεις. Εάν είναι δυσμενείς και σημαντικές, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ως ταυτόχρονες με τις δυνάμεις που προκαλούνται σε κάθε άλλη διεύθυνση.



Εικόνα 58. Διευθύνσεις των δράσεων του ανέμου σε γέφυρες (Standard, Eurocode 1 - Actions on structures 2002).

Όπου το φορτίο κυκλοφορίας σε οδογέφυρες θεωρείται ταυτόχρονα με τον άνεμο (σύμφωνα με A2.2.1 & A2.2.2, Παράρτημα A2 του EN 1990 [Βάσεις σχεδιασμού κατασκευών]), η τιμή συνδυασμού $\psi_0 F_{wk}$ της δράσης του ανέμου στη γέφυρα και στα οχήματα θα περιορίζεται στην τιμή F_w^* , η οποία προσδιορίζεται με υποκατάστατης θεμελιώδους τιμής της βασικής ταχύτητας $v_{b,0}$ με τιμή $v_{b,0}^*$ (προτεινόμενη τιμή ίση με 23m/s, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα).

Για την δεδομένη γέφυρα, με μέγιστο άνοιγμα στα 34.00m όπου είναι μικρότερο από τα 40.00m, δεν απαιτείται διαδικασία δυναμικής απόκρισης, σύμφωνα με την σημείωση 2 του EN1991-1-4, §8.2. Επομένως λαμβάνεται c_{scd} ίσο με μονάδα (1).

Σημείωση 1: Δεν λαμβάνεται δράση ανέμου στο στηθαίο ασφαλείας τύπου ΣΤΕ-1, καθώς θεωρείται ανοικτό παραπέτο.

Σημείωση 2: Δεν λαμβάνεται δράση ανέμου κατά τη φάση κατασκευής, καθώς ο φορέας δεν είναι σύμμικτο σύστημα, όπως π.χ. προεντεταμένες δοκοί στη φάση I και ύστερα με πλάκα σκυροδέματος στη φάση II.

8.8.1. Δράσεις ανέμου κατά Χ-Χ [LC200-201]

- Συντελεστές δύναμης στη διεύθυνση x (γενική μέθοδος)

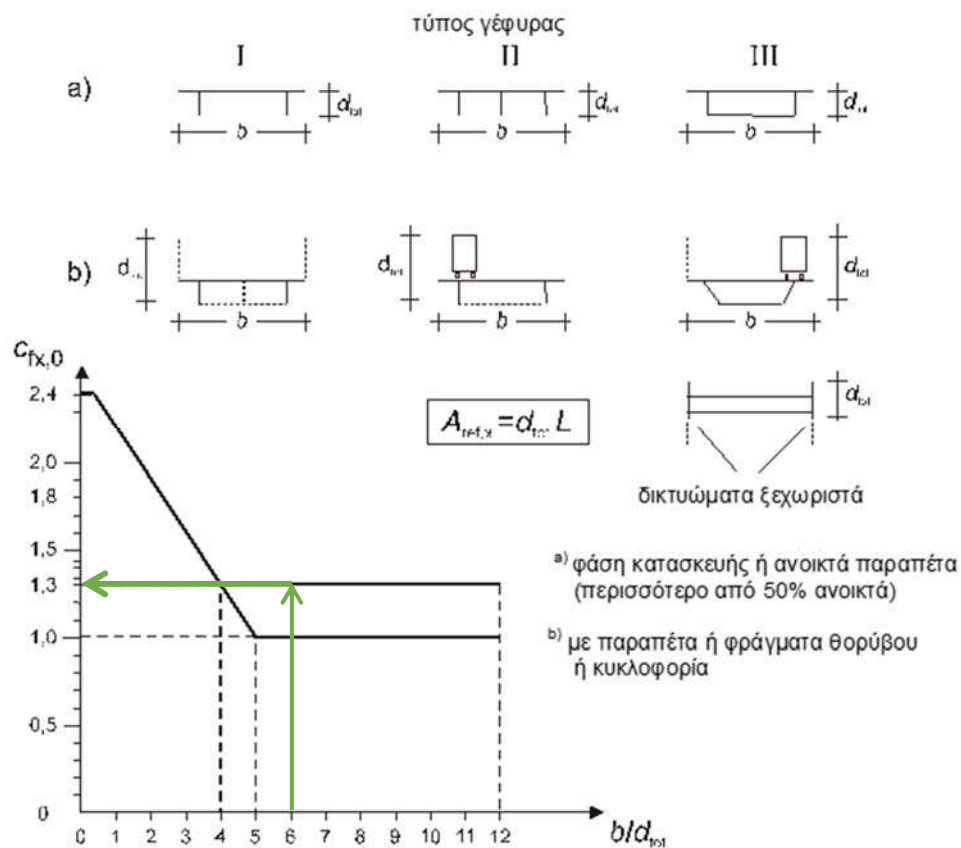
Οι συντελεστές δύναμης για τις δράσεις του ανέμου σε καταστρώματα γεφυρών στη διεύθυνση x δίνονται από:

$$c_{f,x} = c_{f,x,0}$$

Εξίσωση 20

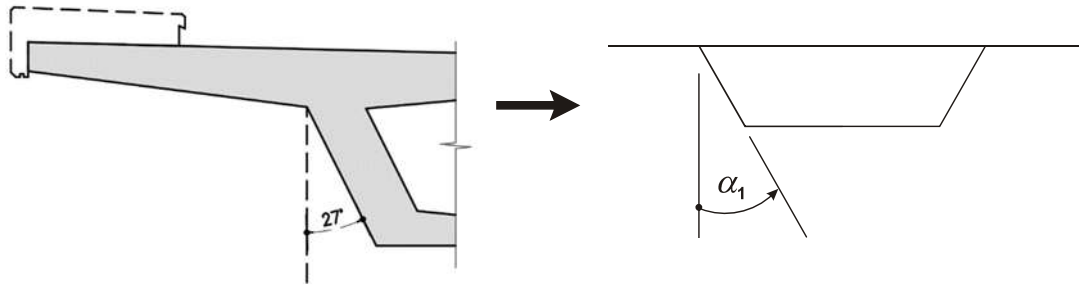
όπου $c_{f,x}$: συντελεστής δύναμης χωρίς ροή ελευθέρων ακρών

Για την δεδομένη γέφυρα, με πλάτος $b = 10.50\text{m}$, και ύψος $d_{\text{tot}} = 1.755\text{m}$, προκύπτει $b/d_{\text{tot}} \approx 6.00$, επομένως προκύπτει $c_{f,x,0} = 1.30$, δηλαδή η τιμή που προτείνεται.



Εικόνα 59. Συντελεστής δύναμης $c_{f,x,0}$ για γέφυρες.

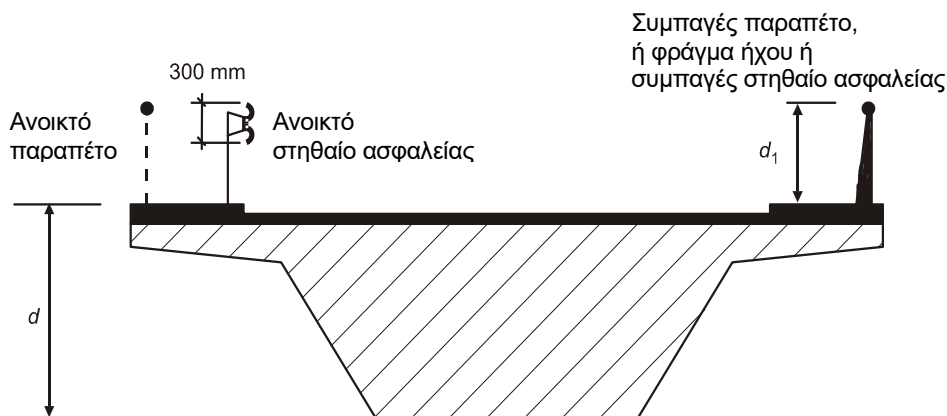
Λόγω της κλίσης όμως του κορμού το κιβωτίου ως προς την κατακόρυφο [2:1], ο συντελεστής δύναμης $c_{f,0}$ μπορεί να μειώνεται κατά 0.5% για κάθε μοίρα της κλίσης από την κατακόρυφο, με περιορισμό μέχρι 30%. Συγκριμένα προκύπτει: $0.50\% * 27^\circ = 13.5\% \rightarrow c_{f,x,0} = (1.00 - 0.135) * 1.30 \rightarrow c_{f,x,0} = 1.125$.



Εικόνα 60. Κλίση κορμού κιβωτίου ως προς την κατακόρυφο.

Επιπλέον, λόγω της εγκάρσιας κλίσης του καταστρώματος 4% [1.72°], ο συντελεστής $c_{f,x,0}$, θα πρέπει να αυξηθεί κατά 3% για κάθε μοίρα κλίσης, αλλά όχι περισσότερο από 25. Δηλαδή: $3\% * 1.72 = 5.16\% \rightarrow c_{f,x,0} = (1.00 + 0.052) * 1.125 \rightarrow c_{f,x,0} = 1.183$, και επομένως $c_{f,x} = c_{f,x,0} \rightarrow c_{f,x} = 1.183$.

Έπειτα για τον ορισμό της επιφάνειας αναφοράς $A_{ref,x}$, για τους συνδυασμούς φορτίων χωρίς φορτίο κυκλοφορίας θα ορίζεται ως εξής:



Σύστημα στηθαίων ασφαλείας	σε μια πλευρά	και στις δύο πλευρές
Ανοικτό παραπέτο ή ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Συμπαγές παραπέτο ή συμπαγές στηθαίο ασφαλείας	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

Εικόνα 61. Ύψος που χρησιμοποιείται για το $A_{ref,x}$ (Standard, Eurocode 0 - Basis of structural design 2005).

Για την δεδομένη γέφυρα, με σύστημα ανοικτών στηθαίων ασφαλείας και στις δύο πλευρές, σύμφωνα με την 1^η γραμμή του παραπάνω πίνακα, το ύψος της επιφάνειας ορίζεται ως εξής:

$$d = d + 0.60\text{m} = 1.755 + 0.60 \rightarrow d = 2.355\text{m}$$

– Δύναμη στη διεύθυνση x (Απλοποιητική μέθοδος)

Εφόσον δεν απαιτείται η διαδικασία δυναμικής απόκρισης, η δύναμη του ανέμου στη διεύθυνση x μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση του EN1991-1-4 §8.3.2.

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x}$$

Εξίσωση 21

όπου v_b : βασική ταχύτητα ανέμου [m/s^2]

C : συντελεστής φορτίου ανέμου με $C = c_e \times c_{f,x}$ και c_e συντελεστής έκθεσης

$A_{ref,x}$: επιφάνεια αναφοράς [m^2]

ρ : πυκνότητα του αέρα [1.25 kg/m^3]

Ο συντελεστής C προκύπτει: $C = 2.76 * 1.183 = 3.265$, όπου προκύπτει ευνοϊκότερος από τις προτεινόμενες τιμές του παρακάτω πίνακα. Για το λόγω ότι οι παρακάτω τιμές είναι προτεινόμενες, για βασισμένες στην κατηγορία εδάφους II, επιλέγεται συντελεστής C ίσο με 3.265.

b/d_{tot}	$z_e \leq 20 \text{ m}$	$z_e = 50 \text{ m}$
$\leq 0,5$	6,7	8,3
$\geq 4,0$	3,6	4,5

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Αυτός ο πίνακας βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

- κατηγορία εδάφους II σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1
- συντελεστής δύναμης $c_{f,x}$ σύμφωνα με το 8.3.1 (1)
- $c_o=1,0$
- $k_1=1,0$

Για ενδιάμεσες τιμές του b/d_{tot} και του z_e μπορεί να χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή

Πίνακας 16. Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή δύναμης C (Standard, Eurocode 1 - Actions on structures 2002).

Επομένως προκύπτει:

$$f_{w,x} = \frac{1}{2} * 1.25 * 33.00^2 * 3.265 * 2.355 * 10^{-3} \rightarrow f_{w,x} = 5.23 \frac{kN}{m}, \text{χωρίς κυκλοφορία}$$

$$f_{w,x} = \frac{1}{2} * 1.25 * 23.00^2 * 3.265 * 2.355 * 10^{-3} \rightarrow f_{w,x}^* = 2.54 \frac{kN}{m}, \text{με κυκλοφορία}$$

8.8.2. Δράσεις ανέμου κατά Y-Y [LC202-203]

Οι διαμήκεις δυνάμεις του ανέμου στη διεύθυνση y θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για ολόσωμες δοκούς, ίση με το 25% των δυνάμεων του ανέμου στη x διεύθυνση.

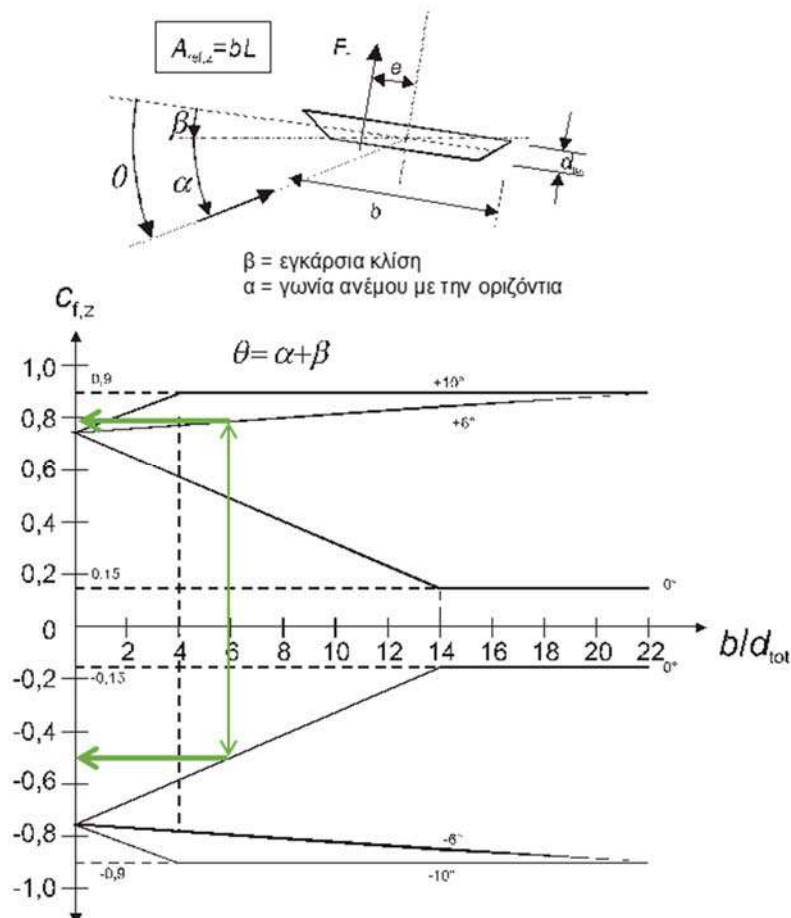
Προκύπτει:

$$f_{w,y} = 0.25 * 5.23 \rightarrow f_{w,y} = 1.31 \frac{kN}{m}, \text{χωρίς κυκλοφορία}$$

$$f_{w,y}^* = 0.25 * 2.54 \rightarrow f_{w,y}^* = 0.64 \frac{kN}{m}, \text{με κυκλοφορία}$$

8.8.3. Δράσεις ανέμου κατά Z-Z [LC204-205]

Οι συντελεστές δύναμης $c_{f,z}$ θα καθορίζονται για τη δράση του ανέμου στα καταστρώματα των γεφυρών κατά τη διεύθυνση z, τόσο προς τα άνω όσο και προς τα κάτω (συντελεστές δύναμης ανύψωσης). Ο συντελεστής δύναμης $c_{f,z}$ μπορεί να λαμβάνεται σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου d_{tot} θα περιορίζεται στο ύψος του καταστρώματος, αγνοώντας την κυκλοφορία και κάθε εξοπλισμό της γέφυρας. Για το λόγο ότι η γέφυρα δεν ξεπερνά τα 30.00m από το έδαφος, και η εγκάρσια κλίση είναι 1.72° με επίπεδο οριζόντιο έδαφος, λαμβάνεται επιπλέον γωνία α ανέμου $\pm 5^\circ$. Δηλαδή συνολικά $\theta = \alpha + \beta \approx 7^\circ$.



Εικόνα 62. Συντελεστής δύναμης $c_{f,z}$ για γέφυρες με εγκάρσια κλίση και άνεμο (Standard, Eurocode 1 - Actions on structures 2002).

Προκύπτει $c_{f,z}^+ = +0.80$, $c_{f,z}^- = -0.50$, όμως το Εθνικό προσάρτημα αναφέρει πως στις περιπτώσεις απουσίας δοκιμών σε αεροδυναμική σήραγγα, το συντελεστής δύναμης $c_{f,z}$, λαμβάνεται ίσος με $c_{f,z}^\pm = \pm 0.90$.

Επίσης λαμβάνεται εκκεντρότητα ίση με $e = b/4 = 10.50/4 \rightarrow e = 2.625\text{m}$.

Προκύπτει:

$$f_{w,z}^\pm = \frac{1}{2} * 1.25 * 33.00^2 * (2.76 * (\pm 0.90)) * 10^{-3} \rightarrow f_{w,z}^\pm = 1.69 \frac{kN}{m}, \text{χωρίς κυκλοφορία}$$

$$f_{w,z}^{\pm*} = \frac{1}{2} * 1.25 * 23.00^2 * (2.76 * (\pm 0.90)) * 10^{-3} \rightarrow f_{w,z}^{\pm*} = 0.82 \frac{kN}{m}, \text{με κυκλοφορία}$$

Συνδυασμός	Περιγραφή
LC 200	(+) Άνεμος κατά x-x χωρίς κυκλοφορία
LC 201	(+) Άνεμος κατά x-x με κυκλοφορία
LC 202	(+) Άνεμος κατά y-y χωρίς κυκλοφορία
LC 203	(+) Άνεμος κατά y-y με κυκλοφορία
LC 204	(+) Άνεμος κατά z-z χωρίς κυκλοφορία
LC 205	(+) Άνεμος κατά z-z με κυκλοφορία

Συνδυασμός	Περιγραφή
LC 210	(-) Άνεμος κατά x-x χωρίς κυκλοφορία
LC 211	(-) Άνεμος κατά x-x με κυκλοφορία
LC 212	(-) Άνεμος κατά y-y χωρίς κυκλοφορία
LC 213	(-) Άνεμος κατά y-y με κυκλοφορία
LC 214	(-) Άνεμος κατά z-z χωρίς κυκλοφορία
LC 215	(-) Άνεμος κατά z-z με κυκλοφορία

Πίνακας 17. Συνδυασμοί δράσεων ανέμου.

8.9. Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης [LC10]

8.9.1. Γενικά (Τριανταφύλλου 2017, 95-106)

Η συστολή ξήρανσης και ο ερπυσμός είναι φαινόμενα που οφείλονται κυρίως στην **απομάκρυνση προσροφημένου νερού** από τον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό. Η βασική διαφορά είναι ότι στην πρώτη περίπτωση, κινητήρια δύναμη είναι η διαφορά σχετικής υγρασίας μεταξύ του σκυροδέματος και του περιβάλλοντος, οπότε η συστολή είναι ομοιόμορφη προς όλες τις διευθύνσεις, ενώ στη δεύτερη είναι η δράση μόνιμου φορτίου, οπότε η παραμόρφωση είναι παράλληλη στη διεύθυνση της τάσης (ενώ οι εγκάρσιες παραμορφώσεις αυξάνονται με σταθερό λόγο Poisson).

Το φαινόμενο του ερπυσμού είναι κάπως πιο περίπλοκο, και υποστηρίζεται ότι οφείλεται σε κάποιο βαθμό και στις **μικρό-ρηγματώσεις** της μεταβατικής ζώνης λόγω εξωτερικών φορτίων και συστολής ξήρανσης. Τέλος, μια πρόσθετη αιτία ερπυσμού του σκυροδέματος είναι η **καθυστερημένη ελαστική απόκριση** των αδρανών. Καθότι ο τσιμεντοπολτός είναι συγκολλημένος με τα αδρανή, οι τάσεις σε αυτόν μειώνονται σταδιακά και τμήμα του φορτίου μεταφέρεται στα αδρανή, τα οποία παραμορφώνονται ελαστικά, συνεισφέροντας έτσι τον ερπυσμό.

Η επίδραση των συνθηκών φόρτισης και υγρασίας στη συστολή ξήρανσης και τον ερπυσμό γίνεται κατανοητή εξετάζοντας τις περιπτώσεις του παρακάτω πίνακα. Η δράση σταθερής τάσης σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 100% προκαλεί αύξηση της παραμόρφωσης με το χρόνο, φαινόμενο που ονομάζεται **βασικός ερπυσμός**. Κατόπιν θεωρούμε την περίπτωση σταθερής παραμόρφωσης, αποτέλεσμα της οποίας είναι η ανάπτυξη τάσεων, που όμως μειώνονται με το χρόνο (χαλάρωση). Στην Τρίτη περίπτωση ένα ελεύθερο δοκίμιο σκυροδέματος εκτίθεται σε συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασίας, με αποτέλεσμα τη συστολή ξήρανσης που αυξάνεται με το χρόνο. Αν η παραμόρφωση του δοκιμίου παρεμποδίζεται, θα επέλθει ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων, οι οποίες είναι συχνά υπεύθυνες για τη ρηγμάτωση του αφόρτιστου σκυροδέματος.

Μηχανισμός	Διάγραμμα	Παραμόρφωση συναρτήσει χρόνου	Τάση συναρτήσει χρόνου	Σημειώσεις
Βασικός ερπυσμός				Όχι μετακίνηση υγρασίας μεταξύ σκυροδέματος και περιβάλλοντος Σταθερή τάση
Χαλάρωση τάσεων				Σταθερή παραμόρφωση
Συστολή ξήρανσης (ανεμπόδιση)				Το μέλος παραμορφώνεται ανεμπόδιστα, χωρίς να αναπτύσσονται τάσεις
Συστολή ξήρανσης (παρεμπόδιση)				Ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων
Συστολή ξήρανσης (υπό σταθερή παραμόρφωση)				Το προηγούμενο παράδειγμα αποτελεί ειδική περίπτωση με $\epsilon_0 = 0$
Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης				Η συνολική παραμόρφωση είναι το άθροισμα της ελαστικής, του βασικού ερπυσμού, της συστολής ξήρανσης και του ερπυσμού ξήρανσης
Συστολή ξήρανσης και χαλάρωση τάσεων (παρεμπόδιση)				Η τάση χαλάρωσης είναι αντίθετη στην τάση λόγω συστολής ξήρανσης
Συστολή ξήρανσης και χαλάρωση τάσεων (υπό σταθερή παραμόρφωση)				Οι τάσεις λόγω συστολής ξήρανσης και χαλάρωσης έχουν την ίδια φορά

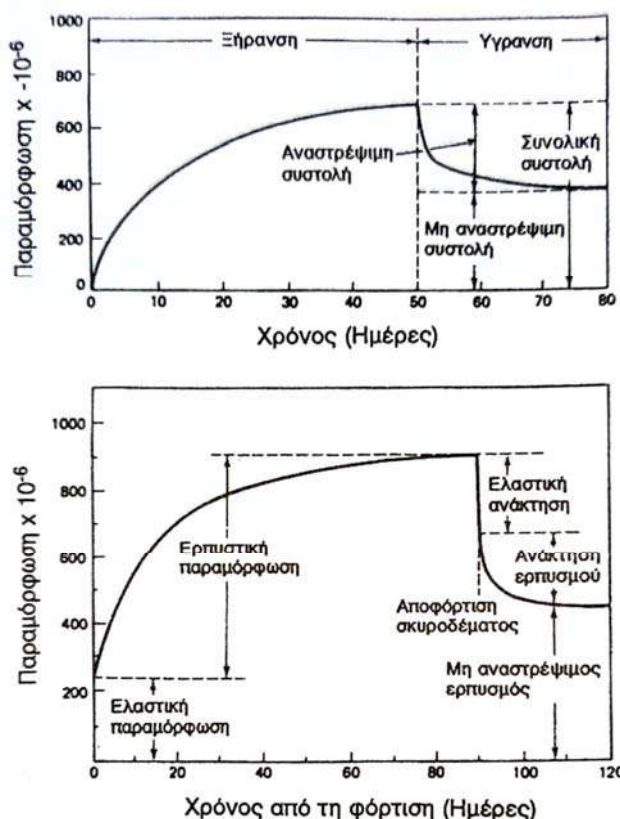
Εικόνα 63. Μηχανισμοί ερπυσμού & συστολής ξήρανσης (Τριανταφύλλου 2017).

Στην ευνοϊκή περίπτωση που το δοκίμιο ευρίσκεται υπό σταθερή παραμόρφωση, η συστολή ξήρανσης επιφέρει μείωση των τάσεων. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι όταν το σκυρόδεμα φορτίζεται σε συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασία, τότε η συνολική παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη από το άθροισμά της ελαστικής, της παραμόρφωσης λόγω βασικού ερπυσμού και της παραμόρφωσης λόγω συστολή ξήρανση. Η πρόσθετη αυτή παραμόρφωση χαρακτηρίζει το φαινόμενο που είναι γνωστό ως **ερπυσμός ξήρανσης**. Στην πράξη, η διαφοροποίηση μεταξύ βασικού ερπυσμού και ερπυσμού ξήρανσης ελάχιστα ενδιαφέρει, ενώ αυτό που υπολογίζεται είναι το άθροισμά τους, δηλαδή ο συνολικός ερπυσμός.

Ακολουθεί ο σχολιασμός της αλληλεπίδρασης μεταξύ συστολής ξήρανσης και χαλάρωσης. Για οριακές συνθήκες που παρεμποδίζουν την παραμόρφωση του δοκιμίου οι εφελκυστικές τάσεις λόγω συστολής ξήρανσης μειώνονται λόγω χαλάρωσης, ενώ στην περίπτωση σταθερής παραμόρφωσης οι τάσεις λόγω συστολής ξήρανσης έχουν το ίδιο πρόσημο με αυτές λόγω χαλάρωσης. Σημειώνεται τέλος ότι συχνά στην πράξη αναφερόμαστε στον ερπυσμό λόγω μοναδιαίας τάσης, που ονομάζεται *ειδικός ερπυσμός*, και στο λόγο μεταξύ ερπυστικών και ελαστικών παραμορφώσεων, που ονομάζεται *συντελεστής ερπυσμού*.

Τυπικές καμπύλες της συμπεριφοράς του σκυροδέματος σε σχέση με τα φαινόμενα συστολής ξήρανσης και ερπυσμού δίνονται στο παρακάτω σχήμα, όπου επισημαίνεται η μερική αναστρέψιμότητα που χαρακτηρίζει τα φαινόμενα αυτά. Η συνολική συστολή ξήρανσης δίνεται από το άθροισμά της *αναστρέψιμης συστολής*, που ανακτάται σε εναλλαγές ύγρανσης – ξήρανσης, και της *μη αναστρέψιμης συστολής*, που είναι μη ανακτήσιμη και οφείλεται στην ανάπτυξη χημικών δεσμών στη δομή του C-S-H. Ομοίως, αποφόρτιση δοκιμίων σκυροδέματος μετά από μακροχρόνια φόρτιση υπό σταθερή τάση επιφέρει σχεδόν πλήρη αναίρεση των ελαστικών παραμορφώσεων και σταδιακή μείωση των ερπυστικών, που είναι όμως μερική, και λέγεται *ανάκτηση ερπυσμού*. Έτσι και ο ερπυσμός διακρίνεται σε *αναστρέψιμο* και *μη αναστρέψιμο*. Ποσοστό του αναστρέψιμου ερπυσμού αποδίδεται στην καθυστερημένη ελαστική αποφόρτιση των αδρανών. Των οποίων οι παραμορφώσεις είναι ελαστικές και τελικά αναιρούνται πλήρως.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ορισμένα σκυροδέματα, όπως είναι κυρίως αυτά με υψηλές αντοχές, εκτός από τη συστολή ξήρανσης εμφανίζεται και το φαινόμενο που είναι γνωστό ως **αυτογενής συστολή**. Η αυτογενής συστολή είναι αυτή που αναπτύσσεται ακόμα και αν θεωρήσουμε το σκυροδέμα ως ένα “κλειστό κουτί”, στο οποίο εμποδίζει η απομάκρυνση του νερού. Κύρια αιτία της είναι η μείωση όγκου του τσιμέντου (αλλά και άλλων υλικών τα οποία ενδεχομένως προστίθεται για την παραγωγή σκυροδέματος, όπως π.χ. η πυριτική παιπάλη (κατά τη φάση της ενυδάτωσης αμέσως μετά την αρχική πήξη. Σε αντίθεση με τη συστολή ξήρανσης που αναπτύσσεται αργά, η αυτογενής συστολή αναπτύσσεται κυρίως κατά τις πρώτες ημέρες μετά τη σκυροδέτηση. Εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα τσιμέντου, γι’ αυτό και αυξάνεται (περίπου γραμμικά) με την αντοχή του σκυροδέματος. Γενικά η αυτογενής συστολή είναι μικρή συγκριτικά με τη συστολή ξήρανσης, με εξαίρεση τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής (και άρα με αυξημένη ποσότητα τσιμέντου), στα οποία ο ρόλος της είναι σημαντικός.



Εικόνα 64. Παραμορφώσεις ανάλογα με το χρόνο (Τριανταφύλλου 2017).

8.9.2. Παράγοντες που επηρεάζουν τη Συστολή Ξήρανσης και τον Ερπυσμό

Οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση του νερού στη δομή του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτό είναι αυτοί που ουσιαστικά καθορίζουν τη συστολή ξήρανσης και τον ερπυσμό, και περιγράφονται παρακάτω.

8.9.3. Υλικά και αναλογίες σύνθεσης

Η κύρια αιτία συστολής ξήρανσης και ερπυσμού σχετίζεται με τον τσιμεντοπολτό, χωρίς όμως να υπάρχει και άμεση αναλογία της έντασης των φαινομένων αυτών με το ποσοστό του κατ' όγκο, διότι αυτό που έχει κύριο ρόλο στο μέγεθος των παραμορφώσεων είναι ο βαθμός παρεμπόδισης τους από τα αδρανή. Πολλές θεωρίες υπολογισμού των χρόνιων παραμορφώσεων του σκυροδέματος στηρίζονται στην υπόθεση ότι ο βαθμός παρεμπόδισης τους καθορίζεται από το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος, που με τη σειρά του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών.

Όπως φαίνεται και από τα πειραματικά δεδομένα του παρακάτω σχήματος, τόσο ο λόγος της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος, S_c , προς αυτή του τσιμεντοπολτού, S_p , όσο και ο αντίστοιχος λόγος για τον ειδικό ερπυσμό, C_c/C_p , εξαρτώνται από την *περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αδρανή*. Οι λόγοι αυτοί περιγράφονται από παρόμοιες σχέσεις, της παρακάτω μορφής (Powers 1961, Neville 1964):

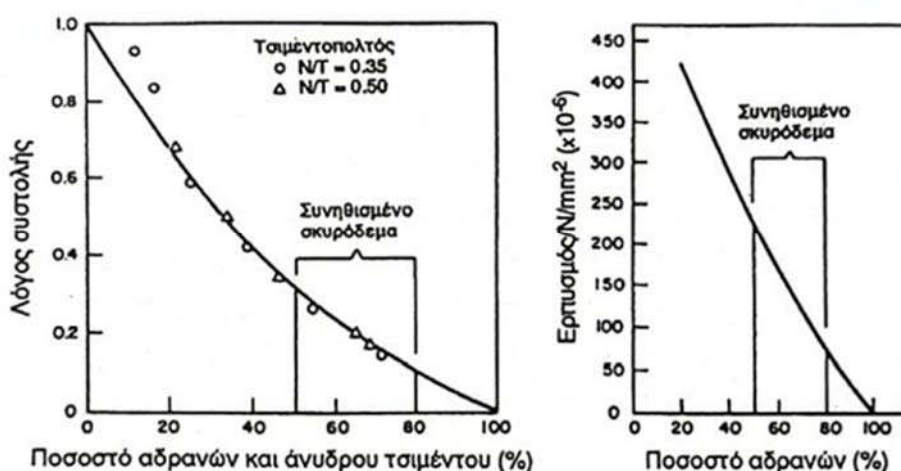
$$\frac{S_c}{S_p} = (1 - g)^n$$

Εξίσωση 22

$$\frac{C_c}{C_p} = (1 - g)^n$$

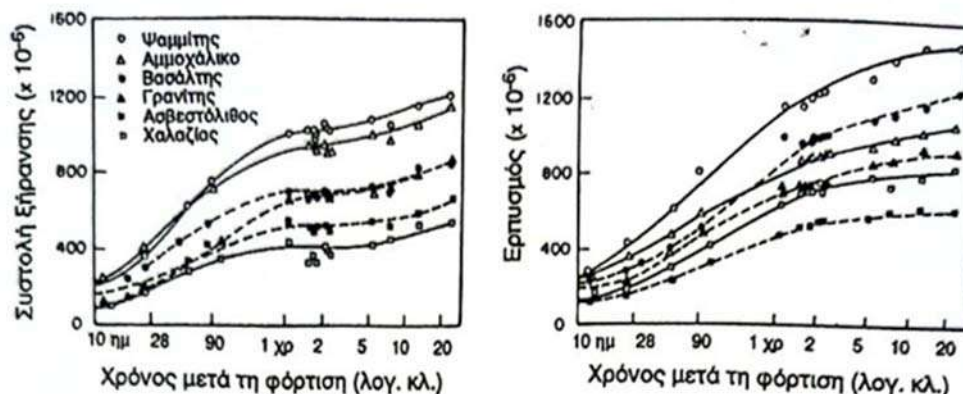
Εξίσωση 23

όπου g : κατ' όγκον αναλογία των αδρανών
 n, a : εκθέτες που εξαρτώνται κυρίως από το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών (π.χ. $n = 1.2 - 1.7$, L' Hermite 1962).



Εικόνα 65. Επιρροή σύνθεσης στην συστολή ξήρανσης και τον ερπυσμό (Τριανταφύλλου 2017).

Σχετικό με το ρόλο του *μέτρου ελαστικότητας των αδρανών* στις χρόνιες παραμορφώσεις του σκυροδέματος είναι το παρακάτω σχήμα (Troxeil eta al. 1958), στο οποίο δείχνεται ότι τόσο η συστολή ξήρανσης όσο και ο ερπυσμός μειώνονται κατά 2.5 φορές περίπου, όταν αδρανή μικρού μέτρου ελαστικότητας αντικατασταθούν με αδρανή μεγάλου μέτρου ελαστικότητας. Άλλα χαρακτηριστικά των αδρανών, εκτός από το μέτρο ελαστικότητας που είναι το σημαντικότερο, τα οποία επηρεάζουν τις χρόνιες παραμορφώσεις του σκυροδέματος είναι η διαβάθμιση τους, το μέγεθος μέγιστου κόκκου, το σχήμα και η επιφανειακή υφή.



Εικόνα 66. Επιρροή τύπου αδρανών στην συστολή ξήρανσης και στον ερπυσμό (Τριανταφύλλου 2017).

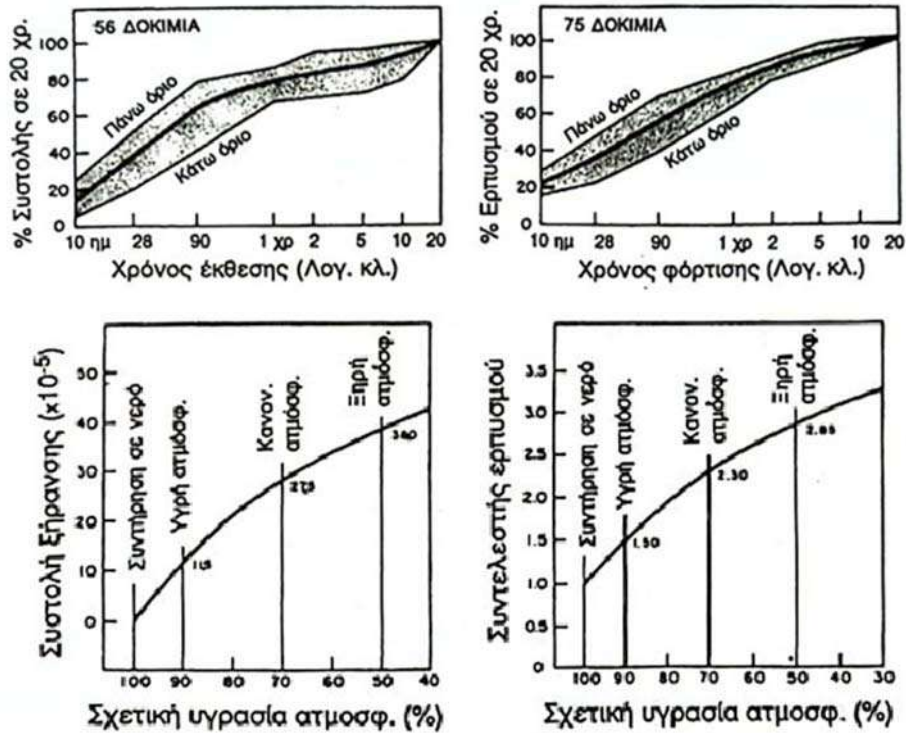
Όσον αφορά τη λεπτότητα και σύνθεση του τσιμέντου, που επιδρούν στο ρυθμό ενυδάτωσης, αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι παράγοντες αυτοί δεν επηρεάζουν τον όγκο και τα χαρακτηριστικά των προϊόντων ενυδάτωσής, άρα ούτε και τη συστολή ξήρανσης. Βεβαίως, αν ο τύπος τσιμέντου επιδρά στην αντοχή του σκυροδέματος τη στιγμή της φόρτισης, θα επηρεάσει και τον ερπυσμό του. Σε νεαρές ηλικίες, σκυροδέματα με τσιμέντο γρήγορης ανάπτυξης της αντοχής 'έχουν μικρότερο ερπυσμό από αντίστοιχα με κανονικό τσιμέντου Portland, ενώ το αντίθετο ισχύει όταν χρησιμοποιούνται ποζολανικά τσιμέντα ή τσιμέντο με σκωρία καμίνου.

Η επίδραση της *περιεκτικότητας σε τσιμέντο και νερό* στις χρόνιες παραμορφώσεις δεν είναι άμεση, αλλά σχετίζεται με την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αδρανή. Έτσι αναμένεται ότι τόσο η αύξηση του λόγου N/T για σταθερή περιεκτικότητα τσιμέντου, όσο και η αύξηση της περιεκτικότητας τσιμέντου για σταθερό λόγο N/T , επιφέρουν αύξηση της συστολής ξήρανσης και του ερπυσμού. Η τελευταία παρατήρηση δεν ισχύει πάντα για την περίπτωση του ερπυσμού, διότι η αύξηση της περιεκτικότητας σε τσιμέντο (για σταθερό N/T) επιφέρει μεν μείωση της περιεκτικότητας σε αδρανή, και άρα αύξηση του ερπυσμού, προκαλεί δε αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος, η οποία μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τον ερπυσμό.

Τέλος, τα διάφορα *πρόσμικτα και πρόσθετα* συχνά αυξάνουν τον όγκο των μικρών πόρων του τσιμεντοπολτού, διευκολύνοντας έτσι την κίνηση του νερού μέσω αυτών και προκαλώντας αύξηση των χρόνιων παραμορφώσεων.

8.9.4. Χρόνο, υγρασία

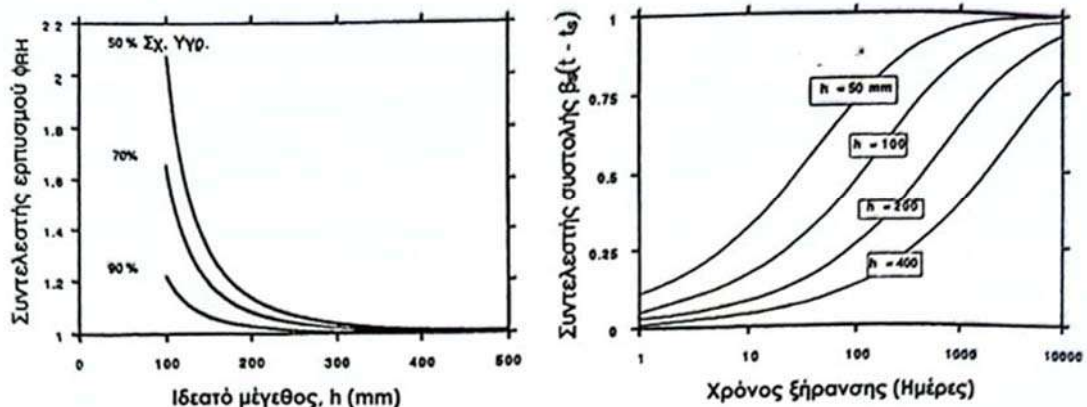
Η μετακίνηση του νερού του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού από τους μικρότερους προς τους μεγαλύτερους πόρους ή προς την ατμόσφαιρα είναι μια διαδικασία που εξελίσσεται χρονικά και μάλιστα με ρυθμούς που αυξάνονται όσο μειώνεται η ατμοσφαιρική υγρασία, με αποτέλεσμα η συστολή ξήρανσης και ο ερπυσμός να εξαρτώνται από το χρόνο έκθεσης ή φόρτισης, αντίστοιχα, αλλά και από τη σχετική υγρασία.



Εικόνα 67. Συστολή Ξήρανσης και ερπυσμός ανάλογα με τον χρόνο έκθεσης και την σχετική υγρασία (Τριανταφύλλου 2017).

8.9.5. Γεωμετρία

Η ευκολία με την οποία το νερό μεταφέρεται από το εσωτερικό του σκυροδέματος προς την ατμόσφαιρα καθορίζεται από το μήκος της διαδρομής που διανύει, και επομένως τόσο το σχήμα όσο και οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων, έχουν ιδιαίτερο ρόλο στις χρόνιες παραμορφώσεις. Η γεωμετρία ποσοτικοποιείται με το λεγόμενο *ιδεατό μέγεθος*, h , που ισούται με το λόγο της επιφάνειας της διατομής ενός στοιχείου, A_0 , προς την ημιπερίμετρο, $u/2$, που είναι εκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα. Τυπικές σχέσεις συστολής ξήρανσης και ερπυσμού με το ιδεατό μέγεθος δίνονται στο παρακάτω σχήμα (CEB – FIP 1990). Για την δεδομένη γεωμετρία κιβωτίου, λαμβάνεται μεσοσταθμικά ίσο με $h = 0.55m$



Εικόνα 68. Τυπικές σχέσεις συστολής ξήρανσης και ερπυσμού (Τριανταφύλλου 2017).

8.9.6. Συντήρηση, θερμοκρασία, μέγεθος τάσεων

Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά της μεταβατικής ζώνης και έτσι είναι περισσότερο καθοριστικοί για τον ερπυσμό απ' ό,τι για τη συστολή ξήρανσης. Για παράδειγμα, εναλλαγές ξήρανσης – ύγρανσης κατά τη συντήρηση αυξάνουν τον ερπυσμό λόγω μικρορηγμάτωσης στη μεταβατική ζώνη. Η θερμοκρασία μπορεί να επιφέρει διαφορετικά αποτελέσματα στον ερπυσμό ανάλογα με το πότε επιδρά: υψηλές θερμοκρασίες κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος αυξάνουν την αντοχή και μειώνουν τον ερπυσμό, ενώ όταν επιδρούν κατά τη διάρκεια της φόρτισης ο ερπυσμός αυξάνεται. Όσον αφορά, τέλος, το μέγεθος των τάσεων, οι ερπυστικές παραμορφώσεις αυξάνονται αναλογικά με τις τάσεις αρκεί οι τελευταίες να μην υπερβαίνουν τη γραμμική περιοχή του διαγράμματος $\sigma - \varepsilon$ (δηλαδή το 40% περίπου της αντοχής, για θλιπτικές τάσεις), ενώ η αύξηση είναι εντονότερη για μεγαλύτερες τάσεις (περίπου 35% μεγαλύτερες παραμορφώσεις για τάση ίση με 60% της θλιπτικής αντοχής).

8.9.7. Υπολογισμός Χρόνιων Παραμορφώσεων

Παρακάτω περιγράφονται οι μέθοδοι υπολογισμού των χρόνιων παραμορφώσεων βάσει του Πρότυπου Κανονισμού 2010 (*fib 2012*). Οι σχέσεις που ακολουθούν ισχύουν για σκυρόδεμα το οποίο έχει συντηρηθεί σε κανονική θερμοκρασία, για χρόνο συντήρησης όχι μεγαλύτερο από 14 ημέρες και για συνθήκες σχετικής υγρασίας (RH) της ατμόσφαιρας πάνω από 40%.

8.9.8. Συστολή (ξήρανσης και αυτογενής)

Η συνολική παραμόρφωση λόγω συστολής σε χρόνο t σκυροδέματος, που κατά την έναρξη του φαινομένου έχει ηλικία t_s , μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{c ds}(t, t_s) + \varepsilon_{cas}(t)$$

Εξίσωση 24

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = 0.378 - 0.431 = -0.053\text{‰}$$

όπου $\varepsilon_{c ds}(t, t_s)$: η παραμόρφωση λόγω συστολής ξήρανσης

$\varepsilon_{cas}(t)$: η παραμόρφωση λόγω αυτογενούς συστολής

$$\varepsilon_{c ds} = \varepsilon_{c ds 0}(f_{cm}) * \beta_{RH}(RH) * \beta_{ds}(t - t_s) \rightarrow$$

Εξίσωση 25

$$\varepsilon_{c ds} = 0.371 * 10^{-3} * 1.018 * 1.00 = 0.378\text{‰}$$

όπου $\varepsilon_{c ds 0}(f_{cm}) = [(220 + 110a_{ds1}) * \exp(-a_{ds2}f_{cm})] * 10^{-6} \rightarrow$

$$\varepsilon_{c ds 0}(f_{cm}) = [(220 + 110 * 4) * \exp(-0.012 * 48)] * 10^{-6} = 0.371\text{‰}$$

$$\beta_{RH}(RH) = \begin{cases} -1.55 \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 \right] & \text{για } 40\% \leq RH < 99\% * \beta_{s1} \\ 0.25 & \text{για } RH \geq 99\% * \beta_{s1} \end{cases}$$

$$\rightarrow \beta_{RH}(RH) = -1.55 \left[1 - \left(\frac{70}{100} \right)^3 \right] = -1.018, RH = 70\%$$

$$\beta_{ds}(t - t_s) = \left[\frac{t - t_s}{0.035h^2 + (t - t_s)} \right]^{0.5} \rightarrow \beta_{ds}(t - t_s) = \left[\frac{30000 - 1}{0.035 * 0.55^2 + (30000 - 1)} \right]^{0.5} = 1.00$$

$$\beta_{s1} = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.1} \leq 1 \rightarrow \beta_{s1} = \left(\frac{35}{48} \right)^{0.1} = 0.969 \leq 1$$

Στις παραπάνω εξισώσεις οι χρόνοι t (ηλικία του σκυροδέματος, λαμβάνεται ίσο με 100 χρόνια) και t_s (ηλικία σκυροδέματος στην έναρξη της ξήρανσης, όπου λαμβάνεται ίσο με 1 ημέρα) μετρούνται σε ημέρες, το ιδεατό μέγεθος h σε mm και η μέση θλιπτική αντοχή f_{cm} (25 ημερών) σε MPa.

Η παραμόρφωση λόγω αυτογενούς συστολής είναι:

$$\varepsilon_{cas} = \varepsilon_{cas0}(f_{cm}) * \beta_{as}(t) \rightarrow$$

Εξίσωση 26

$$\varepsilon_{cas} = -0.431 * 10^{-3} * 1 = -0.431\text{‰}$$

όπου $\varepsilon_{cas0}(f_{cm}) = -a_{as} \left(\frac{0.1f_{cm}}{6 + 0.1f_{cm}} \right) * 10^{-6} \rightarrow$

$$\varepsilon_{cas0}(f_{cm}) = -700 \left(\frac{0.1 * 48}{6 + 0.1 * 18} \right) * 10^{-6} = -0.431\text{‰}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2\sqrt{t}) \rightarrow \beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2\sqrt{30000}) = 1$$

Οι συντελεστές a_{ds1} , a_{ds2} και a_{as} στις εξισώσεις εξαρτώνται από τον τύπο του τσιμέντου, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία αντοχής του τσιμέντου	a_{ds1}	a_{ds2}	a_{as}
32.5 N	3	0.013	800
32.5 R, 42.5 N	4	0.012	700
42.5 R, 52.5 N, 52.5 R	6	0.012	600

Εικόνα 69. Συντελεστές ανάλογα τον τύπο τσιμέντου (Τριανταφύλλου 2017).

8.9.9. Ερπυσμός

Για σταθερή θλιπτική τάση $\sigma_c(t_0)$ που εφαρμόζεται σε χρόνο t_0 και είναι μικρότερη από το 40% της αντοχής, $|\sigma_c(t_0)| \leq 0.4 f_{cm}(t_0)$, η συνολική παραμόρφωση (ελαστική + ερπυστική) σε χρόνο t ισούται με:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \sigma_c(t_0) \left[\frac{1}{E_{ci}(t_0)} + \frac{\varphi(t, t_0)}{E_{ci}} \right] \rightarrow$$

Εξίσωση 27

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = -7.51 \left[\frac{1}{39509} + \frac{2.006}{35000} \right] = -0.621\text{‰}$$

όπου $E_{ci}(t_0)$, το (αρχικό) μέτρο ελαστικότητας σε χρόνο t_0 και E_{ci} είναι το αρχικό μέτρο ελαστικότητας σε ηλικία 28 ημερών και υπολογίζεται ως:

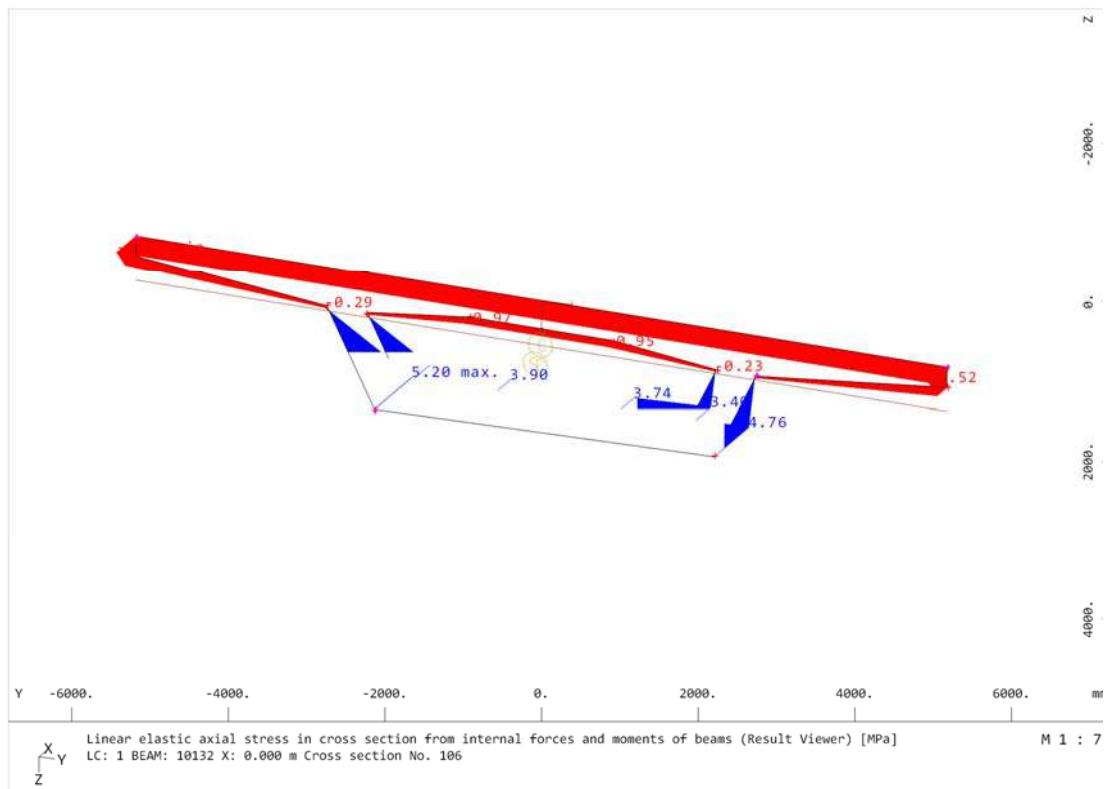
$$E_{ci}(t_0) = \beta_E(t_0)E_{ci} = [\beta_{cc}(t_0)]^{0.5}E_{ci} = (1.274)^{0.5} * 35 = 39.509$$

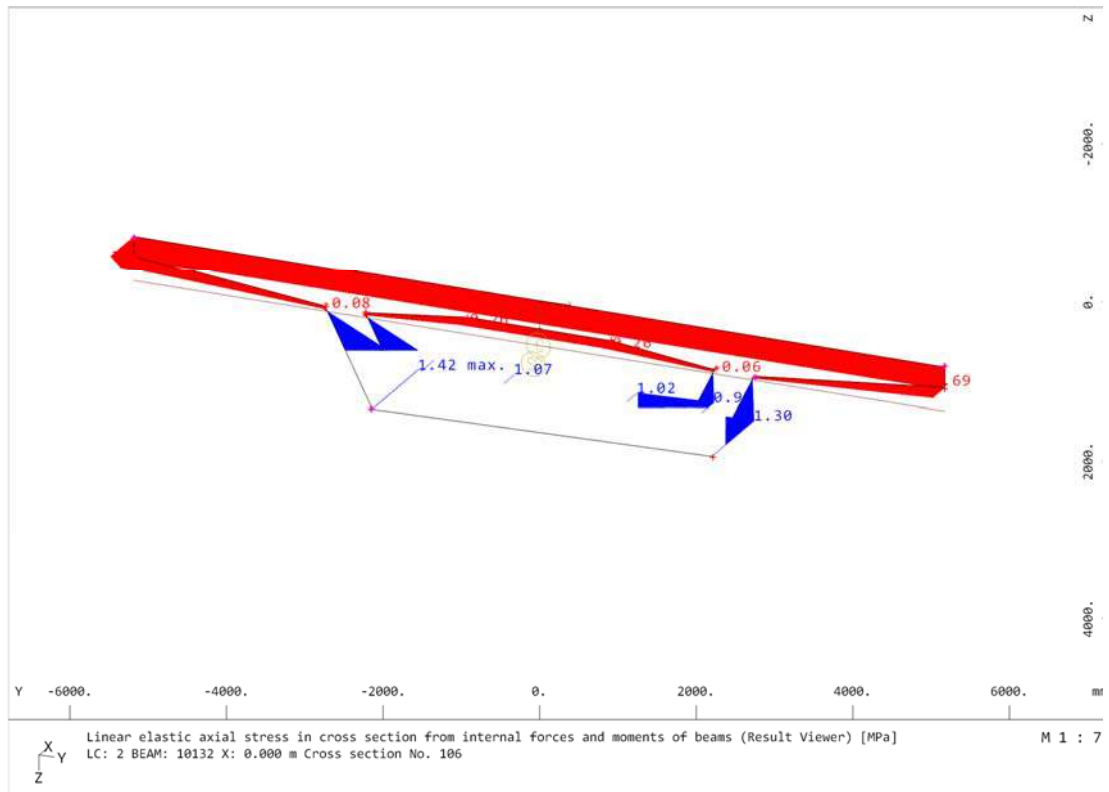
Εξίσωση 28

Η παράμετρος $\beta_{cc}(t_0)$, με παράμετρο s που είναι ανάλογη του τύπου τσιμέντου (0.25 για κανονικό τύπο και 0.38 για βραδύπηκτο) υπολογίζεται ως:

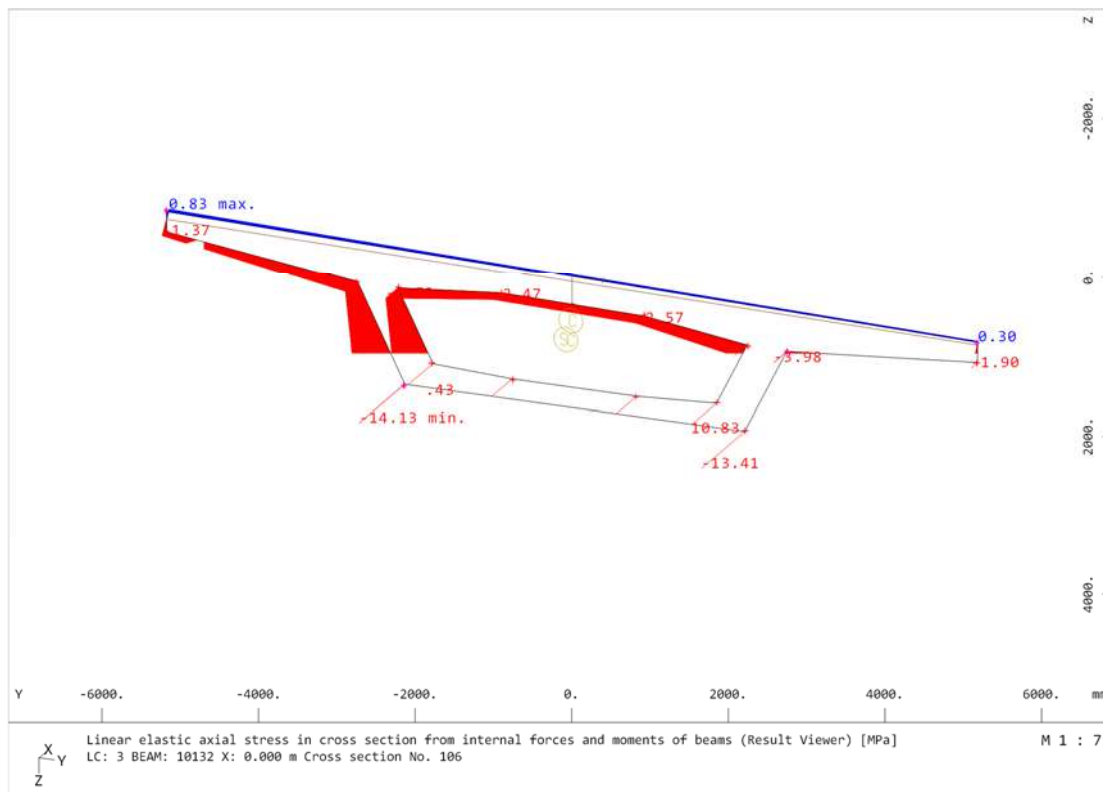
$$\beta_{cc}(t_0) = \exp \left\{ s \left[1 - \frac{28}{(t/t_1)^{1/2}} \right] \right\} = \exp \left\{ 0.25 \left[1 - \frac{28}{(30000/1)^{1/2}} \right] \right\} = 1.274$$

Εξίσωση 29

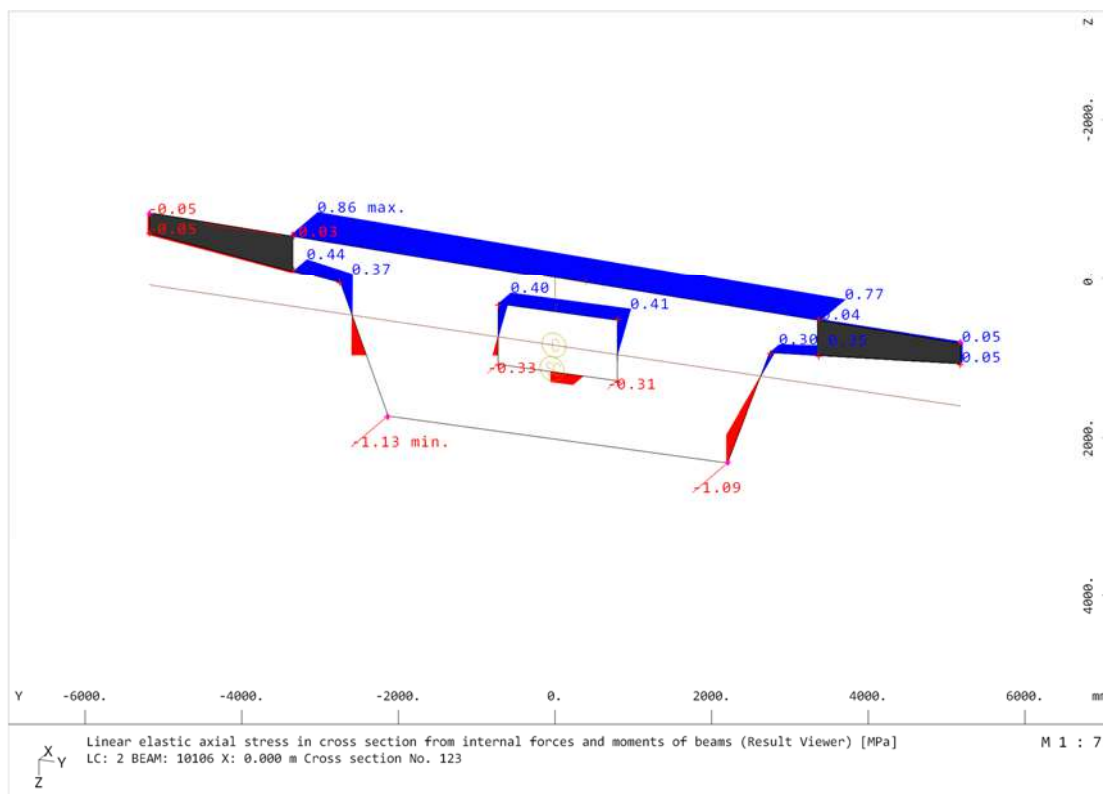
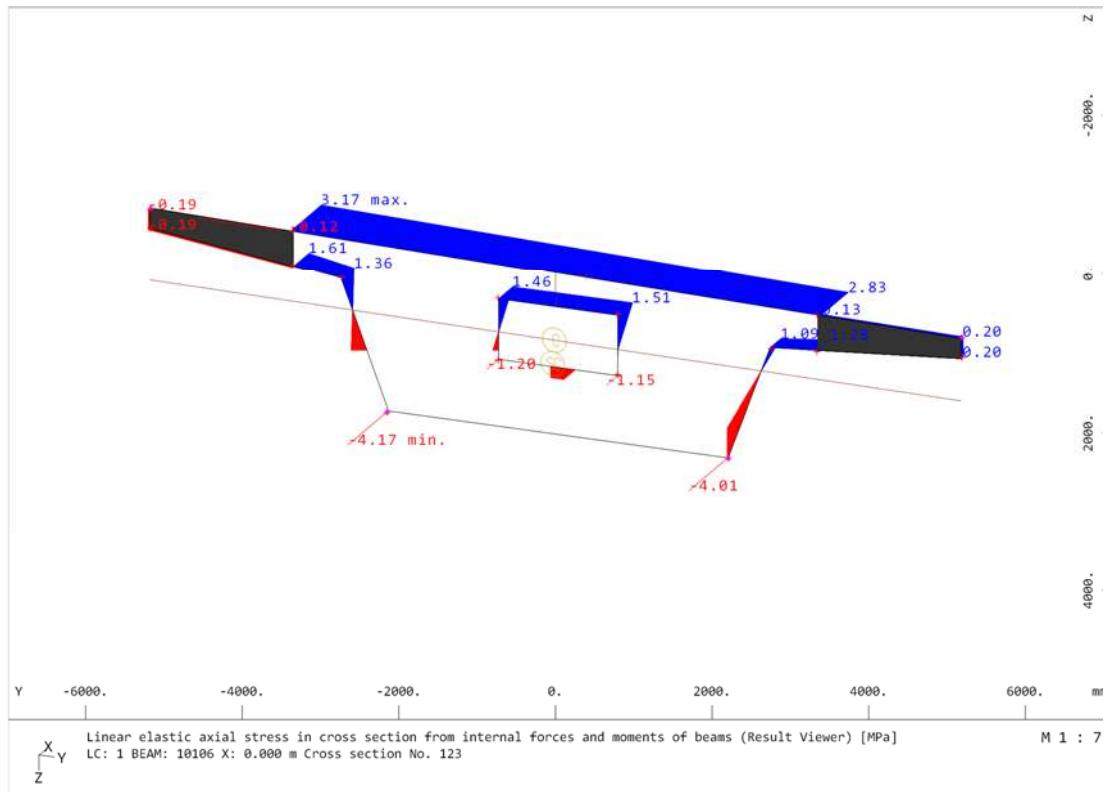




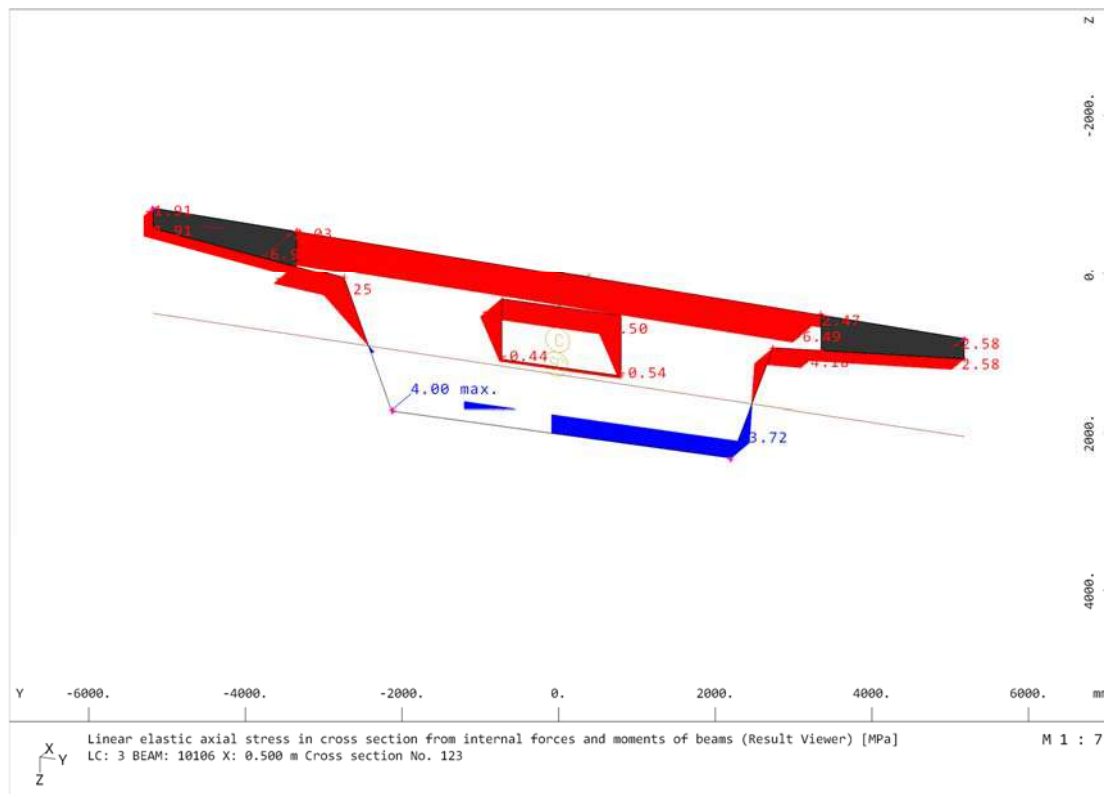
Εικόνα 70. Τάσεις από ι.β. και πρόσθετα μόνιμα φορτία στο άνοιγμα.



Εικόνα 71. Τάσεις από δύναμη προέκτασης στο άνοιγμα [MPa].



Εικόνα 72. Τάσεις από ι.β. και πρόσθετα μόνιμα φορτία στη στήριξη [MPa].



Εικόνα 73. Τάσεις από δύναμη προέντασης [MPa].

Ο συντελεστής ερπυσμού $\varphi(t, t_0)$ δίνεται ως το άθροισμα του συντελεστή βασικού ερπυσμού $\varphi_{bc}(t, t_0)$ και του συντελεστή ερπυσμού ξήρανσης $\varphi_{dc}(t, t_0)$:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{bc}(t, t_0) + \varphi_{dc}(t, t_0)$$

Εξίσωση 30

$$\varphi(t, t_0) = 1.586 + 0.420 = 2.006$$

Ο συντελεστής βασικού ερπυσμού μπορεί να εκτιμηθεί ως:

$$\varphi_{bc}(t, t_0) = \beta_{bc}(f_{cm}) * \beta_{bc}(t, t_0) \rightarrow$$

Εξίσωση 31

$$\varphi_{bc}(t, t_0) = 0.1198 * 13.236 = 1.586$$

όπου $\beta_{bc}(f_{cm}) = \frac{1.8}{(f_{cm})^{0.7}} \rightarrow \beta_{bc}(f_{cm}) = \frac{1.8}{(48)^{0.7}} = 0.1198$

$$\beta_{bc}(t, t_0) = \ln \left[\left(\frac{30}{t_0} + 0.035 \right)^2 * (t - t_0) + 1 \right] \rightarrow$$

$$\beta_{bc}(t, t_0) = \ln \left[\left(\frac{30}{7} + 0.035 \right)^2 * (30000 - 7) + 1 \right] = 13.236$$

Ο συντελεστής ερπυσμού ξήρανσης μπορεί να εκτιμηθεί ως

$$\varphi_{dc}(t, t_0) = \beta_{dc}(f_{cm}) * \beta(RH) * \beta_{dc}(t_0) * \beta_{dc}(t, t_0)$$

Εξίσωση 32

$$\varphi_{dc}(t, t_0) = 1.825 * 0.366 * 0.635 * 0.991 = 0.420$$

όπου $\beta_{dc}(f_{cm}) = \frac{412}{(f_{cm})^{1.4}} \rightarrow \beta_{dc}(f_{cm}) = \frac{412}{(48)^{1.4}} = 1.825$

$$\beta(RH) = \frac{1 - \frac{RH}{100}}{\sqrt[3]{\frac{h}{1000}}} \rightarrow \beta(RH) = \frac{1 - \frac{70}{100}}{\sqrt[3]{\frac{550}{1000}}} = 0.366$$

$$\beta_{dc}(t_0) = \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} \rightarrow \beta_{dc}(t_0) = \frac{1}{0.1 + 7^{0.2}} = 0.635$$

$$\beta_{dc}(t, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_h + (t - t_0)} \right]^{\gamma(t_0)} \rightarrow \beta_{dc}(t, t_0) = \left[\frac{30000 - 7}{1038.5 + (30000 - 7)} \right]^{0.276} = 0.991$$

$$\gamma(t_0) = \frac{1}{2.3 + \frac{3.50}{\sqrt{t_0}}} \rightarrow \gamma(t_0) = \frac{1}{2.3 + \frac{3.50}{\sqrt{7}}} = 0.276$$

$$\beta_h = 1.5h + 250af_{cm} \leq 1500af_{cm} \rightarrow$$

$$\beta_h = 1.5 * 550 + 250(0.854) \leq 1500(0.854) \rightarrow$$

$$\beta_h = 1038.5 \leq 1281.0 \rightarrow$$

$$af_{cm} = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} \rightarrow af_{cm} = \left(\frac{35}{48} \right)^{0.5} = 0.854$$

Η επίδραση του τύπου του τσιμέντου και της θερμοκρασίας κατά τη συντήρηση στο συντελεστή ερπυσμού λαμβάνεται υπόψη τροποποιώντας το t_0 σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$t_0 = t_{0,T} \left[\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1.2}} + 1 \right]^a \geq 0.5 \text{ ημέρες}$$

Εξίσωση 33

όπου a : εκθέτης που εξαρτάται από τον τύπο τσιμέντου, ίσος με -1 για βραδύ πηκτά τσιμέντα (32.5 N), με 0 για κανονικά τσιμέντα (32.5 R, 42.5 N) και με 1 για ταχύ πηκτά τσιμέντα (42.5 R, 52.5 N, 52.5 R)

$t_{0,T}$: ενεργή ηλικία του σκυροδέματος κατά τη φόρτιση, ίση με:

$$t_{0,T} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \exp \left[13.65 - \frac{4000}{273 + T(\Delta t_i)} \right]$$

Εξίσωση 34

με Δt_i : ο αριθμός ημερών που επικρατεί η θερμοκρασία T και $T(\Delta t_i)$ = θερμοκρασία σε (°C) κατά την περίοδο Δt_i .

Τέλος, για μεγαλύτερες τάσεις, στην περιοχή $0.4f_{cm}(t_0) - 0.6f_{cm}(t_0)$, ο συντελεστής ερπυσμού προσαρξάνεται πολλαπλασιάζοντας με $\exp[1.5(|\sigma_c(t_0)|/f_{cm} - 0.40)]$.

Ανάλογα με τη χρονική στιγμή ελέγχου, παραμετροποιείται το μέτρο ελαστικότητας για την προσομοίωση του ερπυσμού για $t = \infty$. Αρχικά γίνονται οι έλεγχοι με το αρχικό μέτρο ελαστικότητας για $t = 0$. Σημειώνεται πως το προσομοίωμα έχει δομηθεί με τις κατασκευαστικές φάσεις, όπου πρώτα ολοκληρώνεται η κατασκευή των κεφαλοδοκών στα υφιστάμενα βάθρα, και έπειτα σκυροδετείτε η ανωδομή.

Η συστολή ξήρανσης και αυτογενής εισάγονται στο προσομοίωμα σύμφωνα με το παρακάτω τύπο, ως ισοδύναμη θερμική δράση.

$$\Delta T_{NS} = \frac{\varepsilon_{cs}}{a_t} = \frac{-0.053 * 10^{-3}}{1 * 10^{-5}} = -5.30^{\circ}C$$

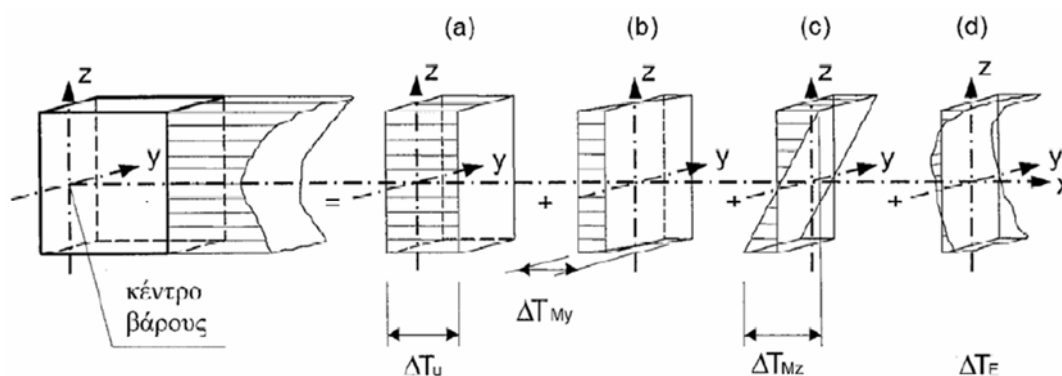
Εξίσωση 35

Όπου a_t : συντελεστής θερμικής διαστολής σκυροδέματος ίσο με $1 \times 10^{-5} 1/^{\circ}C$

8.10. Θερμικές δράσεις κατά EN1991-1-5

Οι θερμικές δράσεις που θα επιδράσουν στην δεδομένη γέφυρα, θα είναι αυτές του καταστρώματος τύπου III, δηλαδή κιβωτοειδής διατομή από Ω.Σ. Γενικά, η κατανομή θερμοκρασίας σε ένα μεμονωμένο δομικό στοιχείο μπορεί να αναλυθεί στις ακόλουθες τέσσερις (4) βασικές συνιστώσες, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

- Μία συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας, η οποία συνδέεται με την (γραμμική) διαστολή ή συστολή ενός στοιχείου ή φορέα
- Γραμμική συνιστώσα θερμοκρασιακής μεταβολή περί τον άξονα z-z
- Γραμμική συνιστώσα θερμοκρασιακής μεταβολής περί τον άξονα y-y
- Μία μη-γραμμική συνιστώσα θερμοκρασιακής μεταβολής η οποία οδηγεί σε ένα σύστημα αυτοϊσορροπων τάσεων που δεν προκαλεί εντατικά μεγέθη στο στοιχείο



Εικόνα 74. Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών της θερμοκρασιακής κατανομής.

8.10.1. Ομοιόμορφη συνιστώσα θερμοκρασίας [LC300-301]

Η συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας εξαρτάται από την ελάχιστη και τη μέγιστη θερμοκρασία που θα αναπτυχθεί σε μια γέφυρα. Εξ αυτών προκύπτει ένα εύρος ομοιόμορφων θερμοκρασιακών μεταβολών, που έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή μήκους των μελών ενός μη παρεμποδιζόμενου φορέα.



Εικόνα 75. Συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας.

Οι επιδράσεις που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

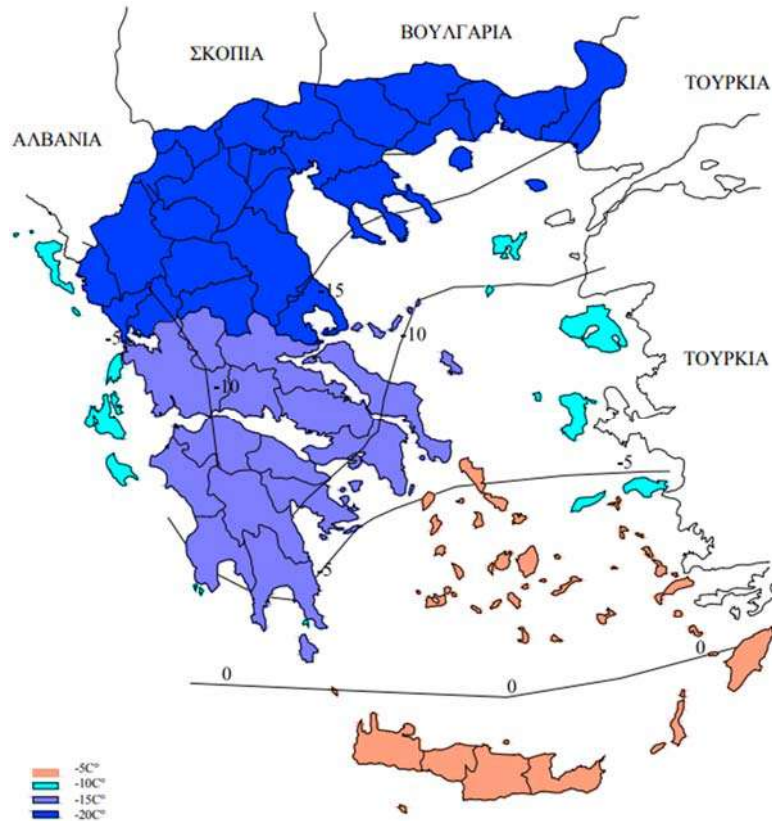
- Παρεμπόδιση της συναφούς συστολής ή διαστολής λόγω ελαστομεταλλικών εφεδράνων
- Σε περίπτωση κυλιόμενων ή ολισθαίνοντα εφεδρανα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η τριβή

– Βασικές τιμές θερμοκρασιών

Από τους εθνικούς χάρτες ισοθερμικών καμπυλών, λαμβάνεται η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά T_{min} και η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά T_{max} .



Εικόνα 76. Χάρτης μεγίστων θερμοκρασιών από σκιά, T_{max} (Standard, Eurocode 1 - Actions on structures 2002).



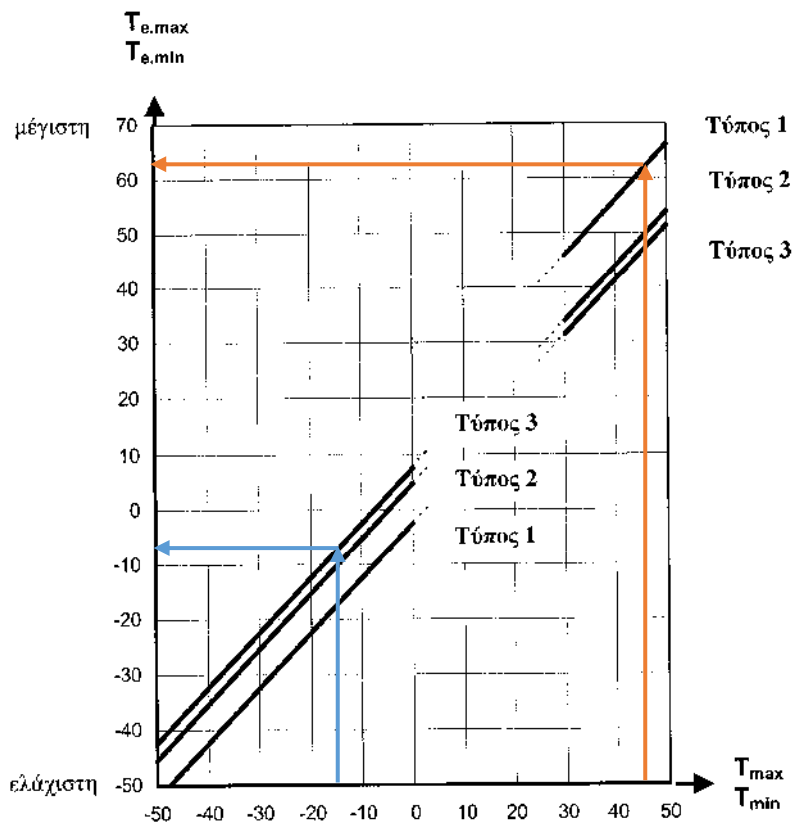
Εικόνα 77. Χάρτης ελαχίστων θερμοκρασιών υπό σκιά, T_{max} (Standard, Eurocode 1 - Actions on structures 2002).

Για την περιοχή του Σκαρμαγκά που βρίσκεται η δεδομένη γέφυρα προκύπτει:

$$T_{min} = -15^{\circ}C$$

$$T_{max} = +45^{\circ}C$$

Η ελάχιστη και η μέγιστη συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας γέφυρας $T_{e,min}$ και $T_{e,max}$ αντίστοιχα, μπορούν να υπολογιστούν από το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 78. Σχέση μεταξύ ελάχιστης/μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπό σκιά (T_{min}/T_{max}) και ελάχιστης/μέγιστης συνιστώσας ομοιόμορφης θερμοκρασίας γέφυρας ($T_{e,min}/T_{e,max}$) (Standard, Eurocode 1 - Actions on structures 2002).

Προκύπτει:

$$T_{e,min} = -7.5^{\circ}C$$

$$T_{e,max} = +62.5^{\circ}C$$

Τέλος ως αρχική θερμοκρασία T_0 , θα λαμβάνεται η θερμοκρασία του δομικού στοιχείου κατά το σχετικό στάδιο παρεμπόδισης του (ολοκλήρωση της τοποθέτησης τους). Η αρχική θερμοκρασία λαμβάνεται ίση με (σύμφωνα με το παράρτημα A.1 του EN1991-1-5):

$$T_0 = 15^{\circ}C$$

– *Εύρος της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας γέφυρας*

Για συστολή (-), η χαρακτηριστική τιμή του μέγιστου εύρους της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας $\Delta T_{N,con}$, θα πρέπει να λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min}$$

Εξίσωση 36

Για διαστολή (+), η χαρακτηριστική τιμή του μέγιστου εύρους της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας $\Delta T_{N,exp}$, θα πρέπει να λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0$$

Εξίσωση 37

Επιπλέον το συνολικό εύρος της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας είναι:

$$\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min}$$

Εξίσωση 38

Προκύπτει:

$$(-)\Delta T_{N,con} = 15 - (-7.5) \rightarrow \Delta T_{N,con} = 22.5^\circ C$$

$$(+)\Delta T_{N,exp} = 62.5 - 15 \rightarrow \Delta T_{N,exp} = 47.5^\circ C$$

$$\Delta T_N = 62.5 - (-7.5) \rightarrow \Delta T_N = 70^\circ C$$

Σε εφάδρανα, τα αντίστοιχα μέγιστα εύρη της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας για διαστολή και συστολή, ορίζονται ως εξής (θα χρησιμοποιηθούν στο κεφάλαιο των εφεδράνων):

$$\Delta T_{N,con}^b = \Delta T_{N,con} + 20^\circ C, \text{ εάν δεν καθορίζεται η θερμ. τοποθέτησης των εφεδράνων}$$

$$\Delta T_{N,con}^b = \Delta T_{N,con} + 10^\circ C, \text{ εάν καθορίζεται η θερμ. τοποθέτησης των εφεδράνων}$$

Εξίσωση 39

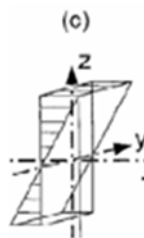
$$\Delta T_{N,exp}^b = \Delta T_{N,exp} + 20^\circ C, \text{ εάν δεν καθορίζεται η θερμ. τοποθέτησης των εφεδράνων}$$

$$\Delta T_{N,exp}^b = \Delta T_{N,exp} + 10^\circ C, \text{ εάν καθορίζεται η θερμ. τοποθέτησης των εφεδράνων}$$

Εξίσωση 40

8.10.2. Καθ' ύψος γραμμική συνιστώσα θερμοκρασίας [LC302-303]

Για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο θέρμανσης και ψύξης της άνω επιφάνειας ενός καταστρώματος γέφυρας, προκύπτει μι α μέγιστη θερμαντική (θερμότερη η άνω επιφάνεια) και μια μέγιστη ψυκτική (θερμότερη η κάτω επιφάνεια) θερμοκρασιακή διαφορά.



Εικόνα 79. Καθ' ύψος γραμμική συνιστώσα θερμοκρασίας.

Η καθ' ύψος αυτή θερμοκρασιακή διαφορά μπορεί να προκαλέσει επιδράσεις σε ένα φορέα όπως:

- Παρεμπόδιση της ελεύθερης καμπύλωσης λόγω του τύπου του φορέα (π.χ. για τη δεδομένη γέφυρα, όπου είναι συνεχείς φορέας)
- Τριβή σε εφέδρανα με κύλιστρα
- Μη γραμμικές γεωμετρικές επιδράσεις (φαινόμενα 2^{ης} τάξης)

Η επίδραση των καθ' ύψος συνιστώσων της θερμοκρασιακής διαφοράς, θα πρέπει να εξετάζεται με τη χρήση μιας γραμμικής συνιστώσας της θερμοκρασιακής διαφοράς, με τιμές $\Delta T_{M,heat}$ και $\Delta T_{M,cool}$. Οι τιμές αυτές θα πρέπει να εφαρμόζονται μεταξύ της πάνω και της κάτω επιφάνειας του καταστρώματος της γέφυρας. Οι προτεινόμενες τιμές των $\Delta T_{M,heat}$ και $\Delta T_{M,cool}$ δίνονται παρακάτω σύμφωνα με τον EN1991-1-5 §6.1.4.1.

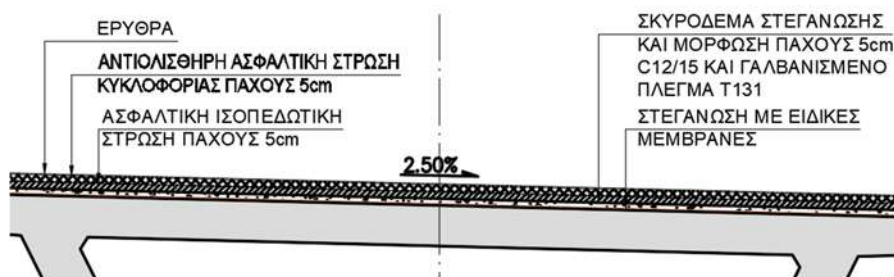
Τύπος καταστρώματος	Άνω επιφάνεια θερμότερη από την κάτω	Κάτω επιφάνεια θερμότερη από την άνω
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Τύπος 1: Χαλύβδινο κατάστρωμα	18	13
Τύπος 2: Σύμμικτο κατάστρωμα	15	18
Τύπος 3: Κατάστρωμα από Ω.Σ.:		
- κιβωτοειδής διατομή	10	5
- δοκός	15	8
- πλάκα	15	8

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Οι τιμές που δίνονται στον πίνακα αντιπροσωπεύουν άνω οριακές τιμές της γραμμικής συνιστώσας της θερμοκρασιακής διαφοράς για αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις γεωμετρίας γεφυρών.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Οι τιμές που δίνονται στον πίνακα βασίζονται σε πάχος επιφανειακής στρώσης 50mm για οδογέφυρες και σιδηροδρομικές γέφυρες. Για διαφορετικού πάχους επιφανειακές στρώσεις οι τιμές αυτές θα πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή k_{sur} . Συνιστώμενες τιμές για τον k_{sur} δίνονται στον Πίνακα 6.2. του EN1991-1-5 §6.1.4.1.

Πίνακας 18. Συνιστώμενες τιμές της γραμμικής συνιστώσας της θερμοκρασιακής διαφοράς για διάφορους τύπους καταστρωμάτων οδογεφυρών, πεζογεφυρών και σιδηροδρομικών γεφυρών.

Προκύπτουν οι εξής τιμές $\Delta T_{M,heat} = 10^{\circ}C$ και $\Delta T_{M,cool} = 5^{\circ}C$, όπου βασίζονται σε πάχος επιφανειακής στρώσης 50mm. Για την δεδομένη γέφυρα, το πάχος επιφανειακής στρώσης ισούται με 100mm συνολικά. Επομένως θα πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής k_{sur} , όπου συνιστώμενες τιμές δίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 80. Πάχη επιφανειακής στρώσης.

Οδογέφυρες, πεζογέφυρες και σιδηροδρομικές γέφυρες						
Πάχος επιφανειακής στρώσης	Τύπος 1		Τύπος 2		Τύπος 3	
	Άνω θερμότερο από κάτω	Κάτω θερμότερο από άνω	Άνω θερμότερο από κάτω	Κάτω θερμότερο από άνω	Άνω θερμότερο από κάτω	Κάτω θερμότερο από άνω
[mm]	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
χωρίς επιφανειακή στρώση	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
στεγανοποιημένο ¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
έρμα (750mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

¹⁾ Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν άνω οριακές τιμές για επιφάνειες με σκούρο χρώμα

Πίνακας 19. Συνιστώμενες τιμές του k_{sur} για να ληφθεί υπόψη η επιρροή του διαφορετικού πάχους οδοστρώματος.

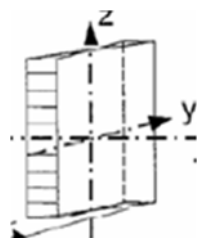
Τελικώς προκύπτει:

$$(+)\Delta T_{M,heat} = 0.70 * 10^{\circ}C \rightarrow \Delta T_{M,heat} = 7^{\circ}C$$

$$(-)\Delta T_{M,cool} = 1.00 * 5^{\circ}C \rightarrow \Delta T_{M,cool} = 5^{\circ}C$$

8.10.3. Κατά πλάτος γραμμική συνιστώσα θερμοκρασίας [LC304-305]

Λόγω του προσανατολισμού της γέφυρας, όπου η εσωτερική οριογραμμή είναι προς την ανατολή, ενώ η εξωτερική οριογραμμή προς την δύση.



Εικόνα 81. Κατά πλάτος γραμμική συνιστώσα θερμοκρασίας.



Εικόνα 82. Προσανατολισμός της γέφυρας (βορράς προς τα πάνω).

Με συνδυασμό ότι η εξωτερική οριογραμμή είναι μεγαλύτερη σε μήκος από την εσωτερική οριογραμμή, λόγω καμπύλης χάραξης, κρίνεται απαραίτητο να ληφθεί υπόψη και διαμήκης συνιστώσα της θερμοκρασιακής διαφοράς, κατά πλάτος της γέφυρας. Εφόσον δεν υπάρχουν άλλες διαθέσιμες πληροφορίες και ενδείξεις για υψηλότερες τιμές, η τιμή 5°C, μπορεί να συνιστάται ως γραμμική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξωτερικής και εσωτερικής παρειάς της γέφυρας, ανεξάρτητα του πλάτους της.

Προκύπτει:

$$(+)\Delta T_{M,heat}^* = (-)\Delta T_{M,cool}^* = 5^{\circ}C$$

Σημείωση ¹: Το κιβώτιο της δεδομένης γέφυρας, δεν θεωρείται σχετικά μεγάλο, επομένως διαφορές μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών τοιχωμάτων των κορμών των διατομών αυτών, μπορούν να αγνοηθούν.

8.10.4. Σύγχρονη δράση των συνιστωσών θερμοκρασίας

Λαμβάνονται υπόψη τόσο η θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta T_{M,heat}$ (ή $\Delta T_{M,cool}$), ως και το μέγιστο εύρος της συνιστώσας της ομοιόμορφης θερμοκρασίας της γέφυρας $\Delta T_{N,exp}$ (ή $\Delta T_{N,con}$), υποθέτοντας σύγχρονη δράση, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη έκφραση:

$$\sum \Delta T_{M,heat} \left(\text{ή} \sum \Delta T_{M,cool} \right) + \omega_N * \Delta T_{N,exp} \left(\text{ή} \Delta T_{N,con} \right)$$

Εξίσωση 41

$$\omega_M * \sum \Delta T_{M,heat} \left(\text{ή} \sum \Delta T_{M,cool} \right) + \Delta T_{N,exp} \left(\text{ή} \Delta T_{N,con} \right)$$

Εξίσωση 42όπου ω_N : ίσο με 0.35 ω_M : ίσο με 0.75

Θερμικές δράσεις	Περιγραφή
LC 300	$\Delta T_{N,exp}$
LC 301	$\Delta T_{N,con}$
LC 302	$\Delta T_{M,heat}$
LC 303	$\Delta T_{M,heat}^*$
LC 304	$\Delta T_{M,cool}$
LC 305	$\Delta T_{M,cool}^*$

Πίνακας 20. Θερμικών δράσεις.

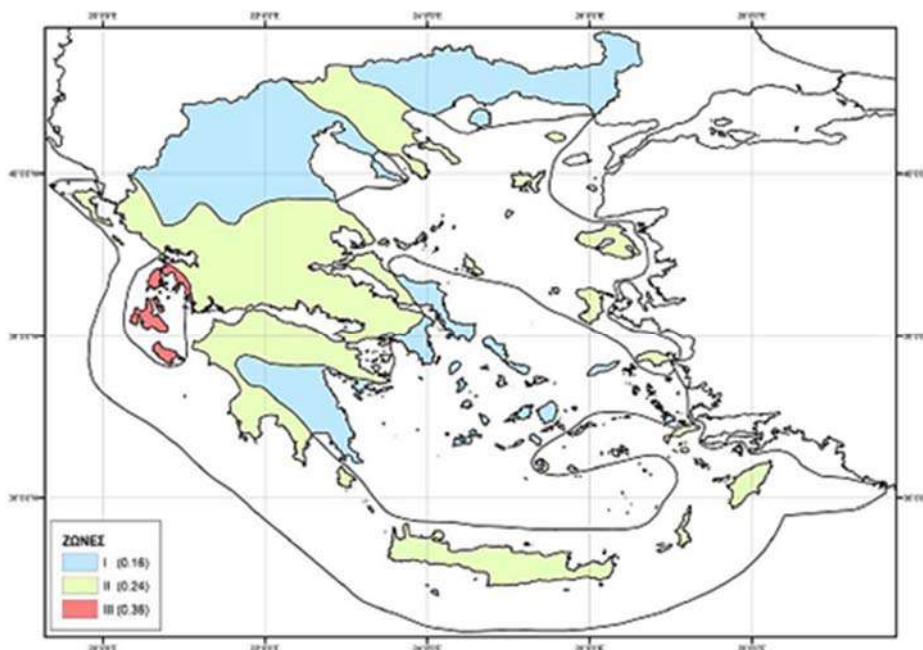
Προκύπτουν οι εξής συνδυασμοί θερμικών συγχρόνων δράσεων:

Συνδυασμός	Περιγραφή
LC 310	$(\Delta T_{M,heat} + \Delta T_{M,heat}^*) + 0.35\Delta T_{N,exp}$
LC 320	$(\Delta T_{M,cool} + \Delta T_{M,cool}^*) + 0.35\Delta T_{N,con}$
LC 330	$0.75 * (\Delta T_{M,heat} + \Delta T_{M,heat}^*) + \Delta T_{N,exp}$
LC 340	$0.75 * (\Delta T_{M,cool} + \Delta T_{M,cool}^*) + \Delta T_{N,con}$

Πίνακας 21. Συνδυασμοί θερμικών δράσεων.

8.11. Σεισμικές δράσεις [EN1998]

Τα σεισμικά φορτία υπολογίζονται σύμφωνα με το πρότυπο EN1998 (φάσμα τύπου 1), λαμβάνοντας της παρακάτω παραμέτρους σχεδιασμού.



Εικόνα 83. Σεισμικές ζώνες σύμφωνα με Ε.Α.Κ. 2000.

Οριζόντια φάσμα σχεδιασμού: (σύμφωνα με το EN1998-1:2004, 3.2.2.5). Για της οριζόντιες συνιστώσες της σεισμική δράσης το φάσμα σχεδιασμού, $S_d(T)$, ορίζεται από της ακόλουθες εκφράσεις:

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

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

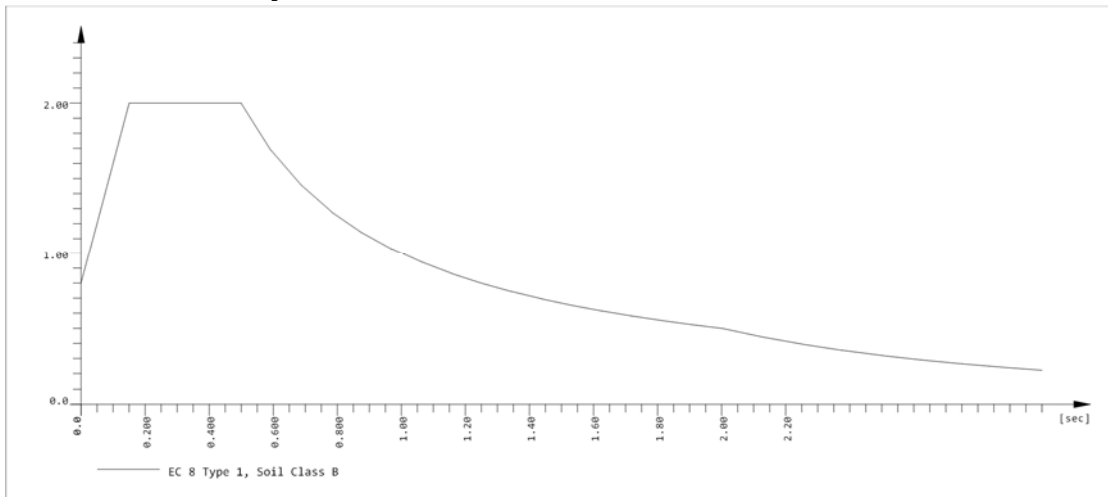
$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

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

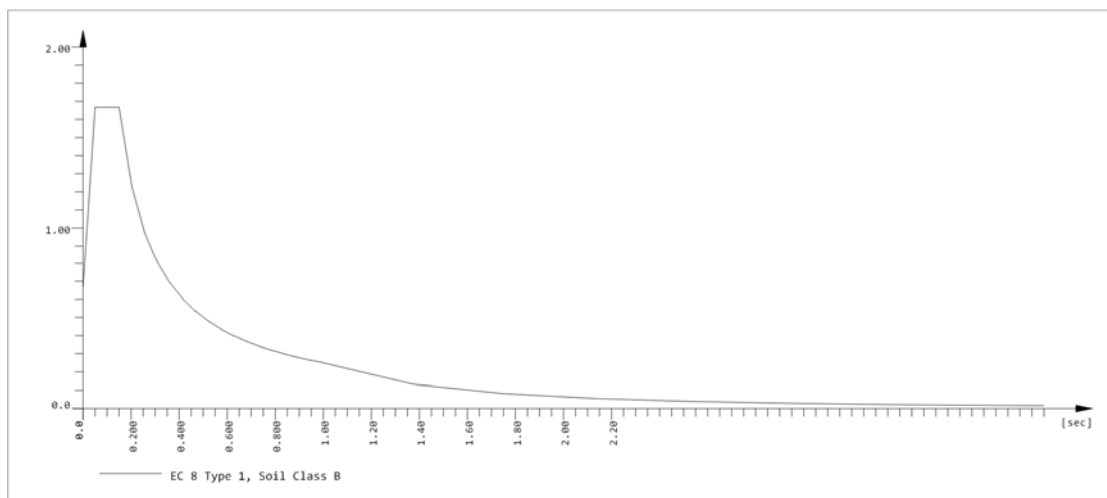
- Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας:	I
- Επιτάχυνση εδάφους:	$\alpha_{gR(Z2)} = 0.16 g$
- Συντελεστής σπουδαιότητας:	$\gamma_{I(II)} = 1.00$
- Επιτάχυνση εδάφους σχεδιασμού:	$\alpha_g = \gamma_I * \alpha_{gR}$
- Κατηγορία εδάφους:	B
- Συντελεστής εδάφους:	$S = 1.20$
- Περίοδος φάσματος T_B :	$0.15 sec$
- Περίοδος φάσματος T_C :	$0.50 sec$
- Περίοδος φάσματος T_D :	$2.50 sec$
- Συντελεστής συμπεριφοράς:	$q = 1.50$

Η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί με:

$$S_d = \gamma_I * S * a_{gR} * \frac{2.50}{q} = 1.00 * 1.20 * 0.16 * \frac{2.50}{1.50} \rightarrow S_d = 0.32g \text{ (πλατό)}$$



Εικόνα 84. Φάσμα σχεδιασμού κατά X-X και Y-Y.



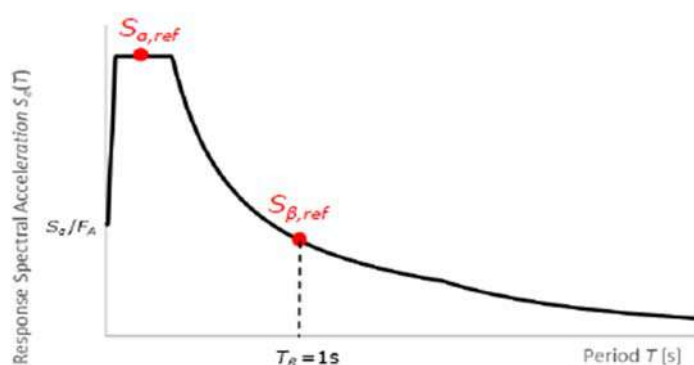
Εικόνα 85. Φάσμα σχεδιασμού κατά Z-Z.

8.11.1. Σεισμικές δράσεις νέου φάσματος

Σύμφωνα με την αναθεώρηση του EN1998-1, ορίζονται νέες φασματικές τιμές, και συγκεκριμένα για το οριζόντιο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού για απόσβεση $\zeta=5\%$, κατηγορία εδάφους A και περίοδο επαναφοράς T_{ref} (τυπικά $T_{ref}=475$ έτη). Οι δύο αυτές φασματικές τιμές, λαμβάνονται από σεισμολογικούς χάρτες, και είναι οι εξής:

$S_{a,ref}$: Φασματική επιτάχυνση αναφοράς που αντιστοιχεί στην περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

$S_{b,ref}$: Φασματική επιτάχυνση αναφοράς που αντιστοιχεί στην περίοδο $T_{\beta}=1\text{sec}$



Εικόνα 86. Αναθεωρημένο φάσμα (Ψυχάρης 2022).

Για διαφορετική περίοδο επανάληψης ($T_{RP} \neq T_{ref}$), οι φασματικές τιμές $S_{a,RP}$ και $S_{\beta,RP}$, μπορούν να ληφθούν είτε από χάρτες φασματικών επιταχύνσεων για την δεδομένη περίοδο επανάληψης (εφόσον διατίθενται), είτε με χρήση συντελεστών (σπουδαιότητας) $\gamma_{LS,CC}$ για την εξεταζόμενη στάθμη επιτελεστικότητα και την κατηγορία συνεπειών (consequences class). Δηλαδή:

$$S_{a,RP} = \gamma_{LS,CC} * S_{a,ref}$$

Εξίσωση 43

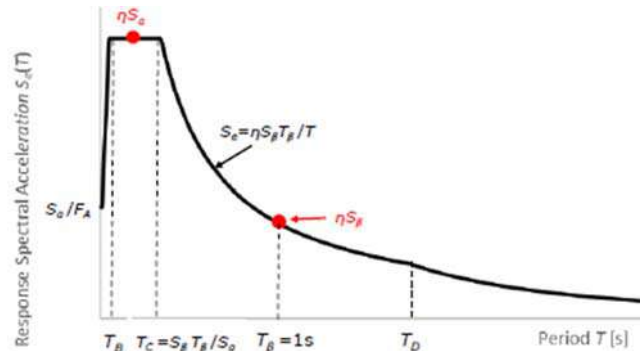
$$S_{\beta,RP} = \gamma_{LS,CC} * S_{\beta,ref}$$

Εξίσωση 44

Κατηγορία Συνεπειών	Περιγραφή
CC3	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή συνέπεια από απώλεια ανθρώπινης ζωής, ή Πολύ μεγάλες οικονομικές, κοινωνικές ή περιβαλλοντικές συνέπειες
CC2	<ul style="list-style-type: none"> Μέτρια συνέπεια από απώλεια ανθρώπινης ζωής, Σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές ή περιβαλλοντικές συνέπειες
CC1	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλή συνέπεια από απώλεια ανθρώπινης ζωής και Μικρές ή αμελητέες οικονομικές, κοινωνικές ή περιβαλλοντικές συνέπειες

Πίνακας 22. Κατηγορίες συνεπειών, Πίνακας B1 του EN1990.

Οι θεμελιώδεις σχέσεις που συντάσσουν το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων σύμφωνα με την αναθεώρηση του EN998-1 είναι οι εξής:



Εικόνα 87. Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού (Ψυχάρης 2022).

$$S_e(T) = \frac{S_a}{F_a}, \text{ για } 0 \leq T \leq T_A$$

$$S_e(T) = \frac{S_a}{T_B - T_A} \left[\eta(T - T_A) + \frac{T_B - T}{F_a} \right], \text{ για } T_A \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = \eta * S_a, \text{ για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = \frac{\eta(S_\beta * T_\beta)}{T}, \text{ για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = \eta * \frac{T_D(S_\beta * T_\beta)}{T^2}, \text{ για } T_D \leq T$$

όπου $S_a = F_T * F_a * S_{a,RP}$, με $S_{a,RP} = \gamma_{LS,CC} * S_{a,ref}$

$S_\beta = F_T * F_\beta * S_{\beta,RP}$, με $S_{\beta,RP} = \gamma_{LC,CC} * S_{\beta,ref}$

F_a : συντελεστής μεγέθυνσης για μικρές περιόδους

F_β : συντελεστής μεγέθυνσης για μεσαίες περιόδους ($T=T_\beta$)

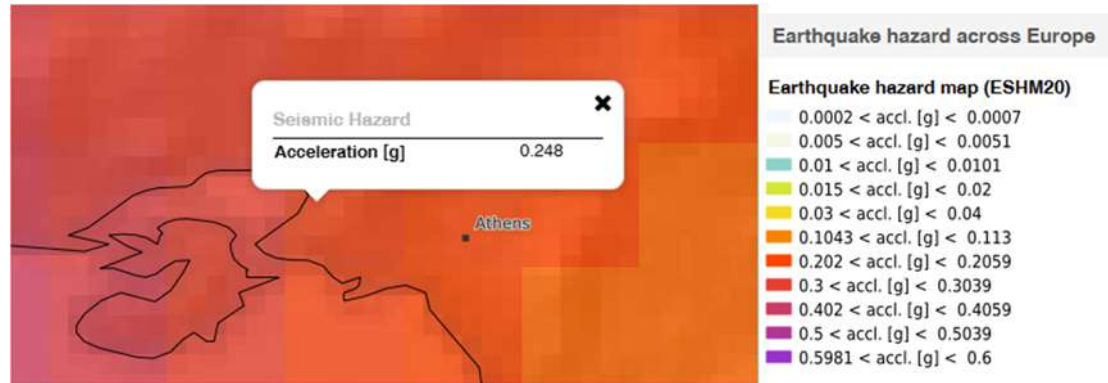
F_T : συντελεστής τοπογραφικής ενίσχυσης

$$F_a = 2.50, T_\beta = 1\text{sec}, T_A = 0.02\text{sec}, T_C = S_\beta * \frac{T_\beta}{S_a}$$

$$T_B = \begin{cases} 0.05\text{sec}, \text{ εάν } \frac{T_C}{4} \leq 0.05\text{sec} \\ \frac{T_C}{4}, \text{ εάν } 0.05 \text{ sec} \leq \frac{T_C}{4} \leq 0.10\text{sec} \\ 0.10\text{sec}, \text{ εάν } 0.10 \text{ sec} \leq \frac{T_C}{4} \end{cases}, T_D = \begin{cases} 2\text{sec}, \text{ εάν } S_{\beta,RP} \leq \frac{1\text{m}}{\text{s}^2} \\ 1 + S_{\beta,RP}, \text{ εάν } S_{\beta,RP} > \frac{1\text{m}}{\text{s}^2} \end{cases}$$

$$\eta = \left(\frac{10 + \frac{T_C(\xi - 5)}{T_C + 30 * T}}{5 + \xi} \right)^{0.5}$$

Για ιδιοπερίοδο περίπου 1.3sec, όπου προκύπτει για την δεδομένη κατασκευή (προκύπτει από το προσομοίωμα και από λογιστικούς ελέγχους που πραγματοποιούνται σε επόμενο κεφάλαιο), και από τον χάρτη φασματικών επιταχύνσεων ΕΦΕΗΡ, προκύπτουν οι εξής τιμές:



Εικόνα 88. Χάρτης φασματικών επιταχύνσεων ΕΦΕΗΡ.

$$S_{\alpha} = 1 * 1.20 * (1 * 0.248) = 0.298g$$

$$S_{\beta} = 1 * 1.60 * (1 * 0.16) = 0.256g$$

$$F_{\alpha} = 1.20, F_{\beta} = 1.60 \text{ για έδαφος Β}$$

$$F_A = 2.50, T_{\beta} = 1sec, T_A = 0.02sec, T_C = 0.256g * \frac{1.3}{0.298g} = 1.117$$

$$T_B = \left\{ 0.10sec, 0.10 sec \leq \frac{T_C}{4} = 0.279sec \right\}, T_D = \{1.24sec, 2.4 > 1m/s^2\}$$

$$\eta = \left(\frac{10 + \frac{T_C(\xi - 5)}{T_C + 30 * T}}{5 + \xi} \right)^{0.5} = 1.00$$

$$S_e(T) = 1 * \frac{1.24(0.256g * 1.0)}{1.3^2} = 0.188g, \text{ έναντι του } 0.175g \text{ με τον ισχύων EN1998}$$

Στην παρούσα εργασία επιλύεται με τον ισχύων κανονισμό του EN1998.

9. Συνδυασμοί [EN1990]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνδυασμοί που έχουν ληφθεί υπόψη για τη δημιουργία της περιβάλλουσας των εντατικών μεγεθών, καθώς και για διαστασιολόγηση του προγράμματος SOFiSTiK A.G.

- 1) Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

$$\Sigma \gamma_g \cdot G_k + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \Sigma \gamma_{Qi} \cdot \psi_{oi} \cdot Q_{ki} \quad [\text{Εξίσωση 6.10, EN 1990 (6.4)}]$$
- 2) Οριακή Κατάσταση Αστοχίας με σεισμό

$$\Sigma G_k + P + A_{Ed} + \Sigma \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad [\text{Εξίσωση 6.12, EN 1990 (6.4)}]$$
- 3) Τυχηματική Κατάσταση Αστοχίας

$$\Sigma G_k + P + A_{Ed} + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{ki} \quad [\text{Εξίσωση 6.11, EN 1990 (6.4)}]$$
- 4) Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας, Χαρακτηριστικό συνδυασμός

$$\Sigma G_k + P + Q_{k1} + \Sigma \psi_{oi} \cdot Q_{ki} \quad [\text{Εξίσωση 6.14, EN 1990 (6.5)}]$$
- 5) Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας, Συχνός συνδυασμός

$$\Sigma G_k + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Sigma \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad [\text{Εξίσωση 6.15, EN 1990 (6.5)}]$$
- 6) Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας, Οιονεί μόνιμος συνδυασμός

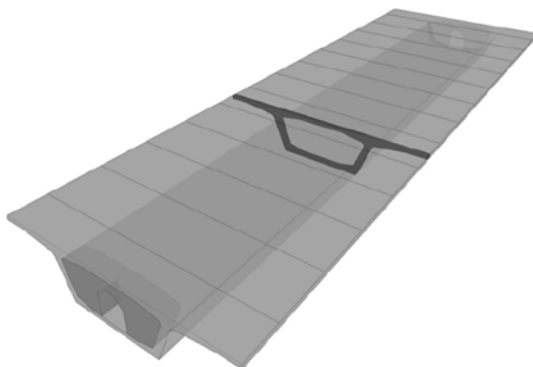
$$\Sigma G_k + P + \Sigma \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad [\text{Εξίσωση 6.16, EN 1990 (6.5)}]$$

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1-1)			
Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3
Category B : office areas	0,7	0,5	0,3
Category C : congregation areas	0,7	0,7	0,6
Category D : shopping areas	0,7	0,7	0,6
Category E : storage areas	1,0	0,9	0,8
Category F : traffic area, vehicle weight $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Category G : traffic area, $30\text{kN} < \text{vehicle weight} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Category H : roofs	0	0	0
Snow loads on buildings (see EN 1991-1-3)*			
– Finland, Iceland, Norway, Sweden	0,70	0,50	0,20
– Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H > 1000 \text{ m a.s.l.}$	0,70	0,50	0,20
– Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H \leq 1000 \text{ m a.s.l.}$	0,50	0,20	0
Wind loads on buildings (see EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperature (non-fire) in buildings (see EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTE The ψ values may be set by the National annex. * For countries not mentioned below, see relevant local conditions.			

Πίνακας 89. Συντελεστές ψ συμμετοχής δράσεων στους διάφορους συνδυασμούς.

10. Εγκάρσια ανάλυση

Η εγκάρσια ανάλυση της διατομής είναι μια διαστασιολόγηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη χρήση ενός προγράμματος ανάλυση πλαισίου γενικής χρήσης δύο (2) διαστάσεων, είτε τριών (3) διαστάσεων. Η τρισδιάστατη ανάλυση συνήθως απαιτεί πρόσθετες συνθήκες στήριξης από ένα επίπεδο μοντέλο, για την παροχή αναλυτικής ευστάθειας του προσομοιώματος.



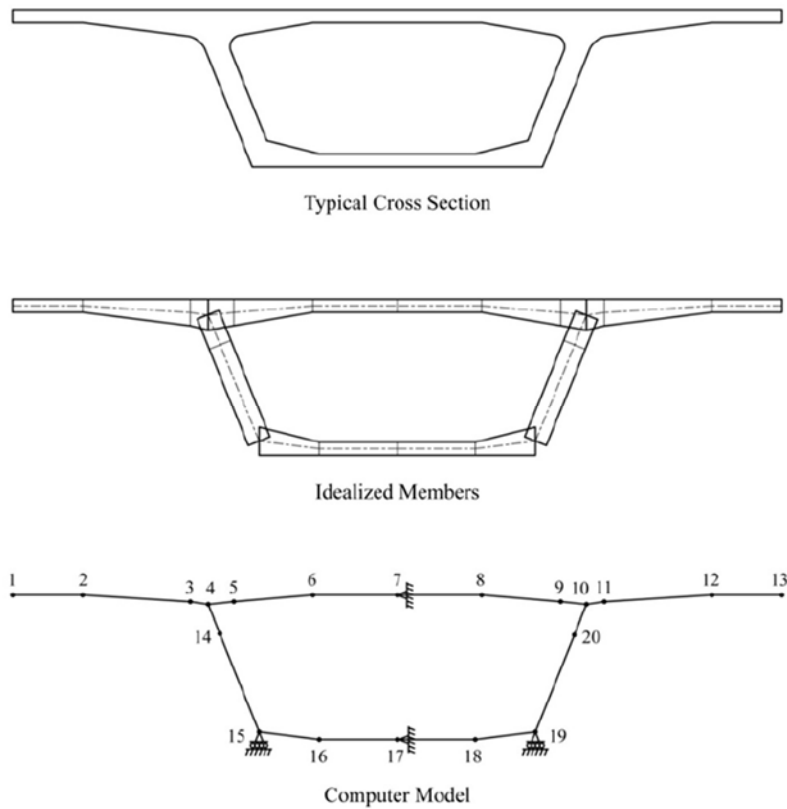
Εικόνα 90. Προοπτικό του φορέα καταστρώματος.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται παρακάτω, εκτελείται γραμμικά ελαστικά, για την ορθή επιλογή της διατομής που υπολογίστηκε αρχικά. Η άνω και η κάτω πλάκα, οι κορμοί και οι πρόβολοι (φτερά) του κιβωτίου, μοντελοποιούνται ως στοιχεία δοκού, με βάθος ίσο με το αντιπροσωπευτικό τους πλάτος. Το πλάτος της μοντελικής δοκού (εκτός του επιπέδου της σελίδας), ορίζεται ίσο με 1.00m. Οι θέσεις των κόμβων παρέχονται στη διεύθυνση διασταύρωσης των στοιχείων, στην αλλαγή του πάχους των στοιχείων και στην αλλαγή της ίδια της διεύθυνσης των στοιχείων.



Εικόνα 91. Μοντέλο δοκών διατομής, πάχους 1.00m.

Η κατακόρυφη στήριξη του μοντέλου διατομής γίνεται με άκαμπτες στηρίξεις στο κάτω μέρος των μοντελικών δοκών. Επιπρόσθετα, τοποθετείται μια οριζόντια στήριξη, όπου θα συγκρατήσει την εγκάρσια μετακίνηση της κάτω πλάκας. Εκτός αυτής, μία ακόμα οριζόντια στήριξη τοποθετείται άκαμπτα, για την συγκράτηση του πλαισίου έναντι πλευρικής μετακινήσεις, η οποία αντιπροσωπεύει καλύτερα της στρεπτική δυσκαμψία της κιβωτοειδούς διατομής σε σχέση με τις εγκάρσιες μετατοπίσεις. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται σε εξιδανικευμένα μέλη, το υπολογιστικό μοντέλο κομβικής ανάλυσης.

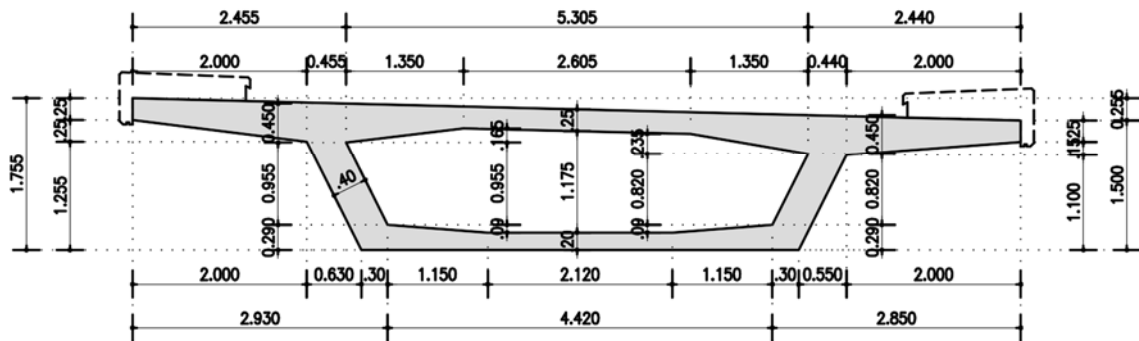


Εικόνα 92. Εξιδανικευμένο μοντέλο εγκάρσιας ανάλυσης (Corven 2016).

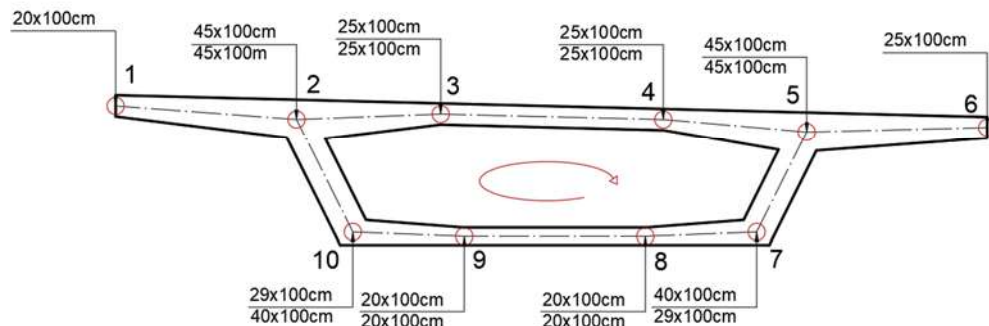
10.1. Προσομοίωμα εγκάρσιας ανάλυσης

Για τον έλεγχο της διατομής κιβωτίου, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SOFISTiK A.G., όπου τα μέλη της διατομής, ορίστηκαν ως ραβδόμορφα στοιχεία δοκού στο επίπεδο, με βάθος 1.00m, καθώς και σημειακές στηρίξεις, όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

- Κιβώτιο 1

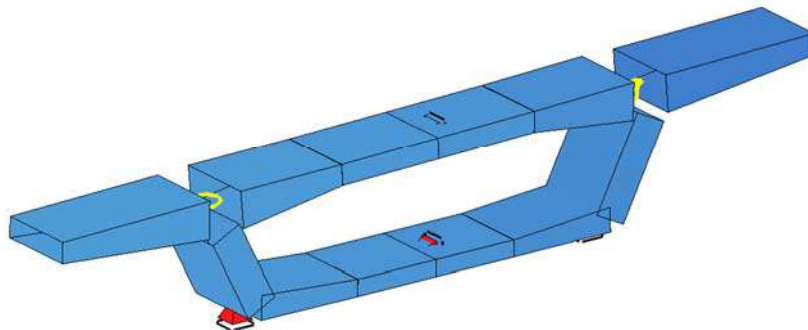


Εικόνα 93. Γεωμετρία κιβωτίου.



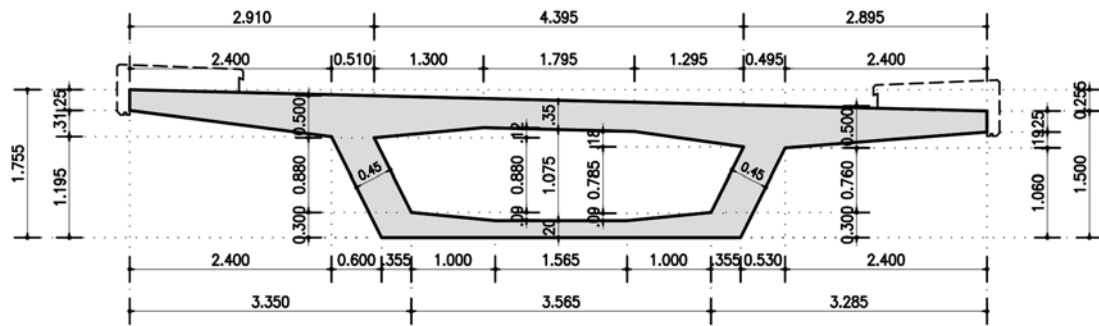
Εικόνα 94. Διατομές γραμμικών στοιχείων.

SOFISTiK

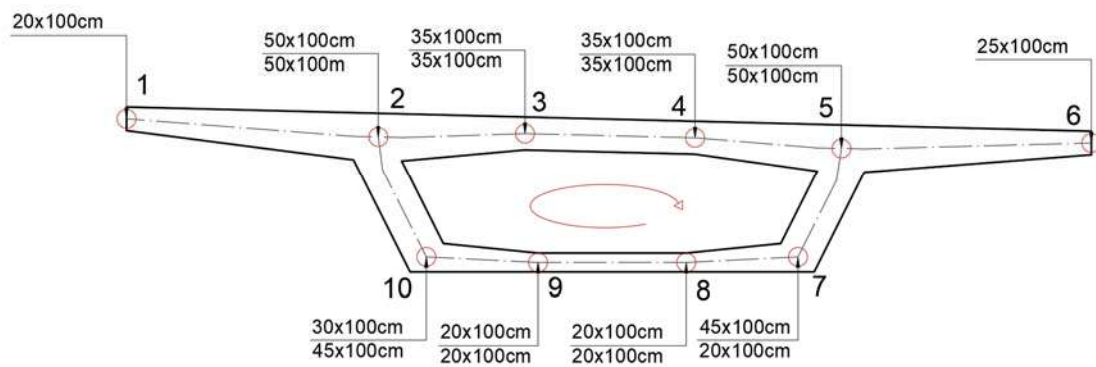


Εικόνα 95. Προοπτικό προσομοιώματος.

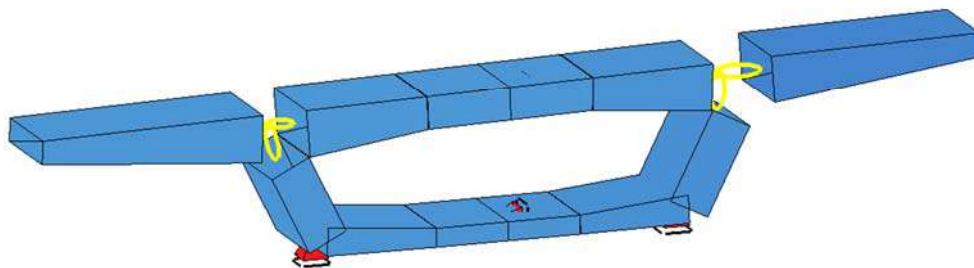
- Κιβώτιο 2



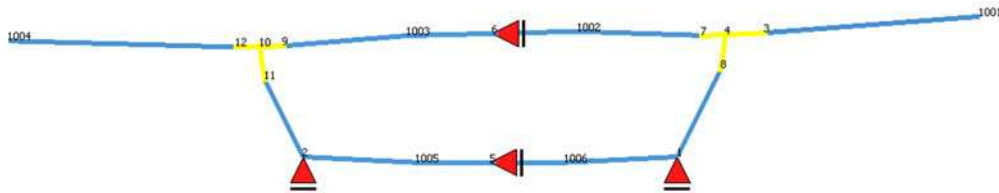
Εικόνα 96. Γεωμετρία κιβωτίου.



Εικόνα 97. Διατομές γραμμικών στοιχείων.



Εικόνα 98. Προοπτικό προσομοιώματος.



Εικόνα 99. Εξιδανικευμένο μοντέλο εγκάρσιας ανάλυσης για τα δεδομένα κιβώτια.

10.2. Υλικά προσομοιώματος

Mat	Classification
1	C40/50 (EN1992)
2	B500C (EN1992)

Πίνακας 100. Υλικά προσομοιώματος.

Mat 1 C 40/50 (EN 1992)

Young's modulus	E	35220	[N/mm ²]	Safetyfactor	1.50	[-]
Poisson's ratio	μ	0.20	[-]	Strength ¹	f _c	40.00 [MPa]
Shear modulus	G	14675	[N/mm ²]	Nominal strength	f _{ck}	40.00 [MPa]
Compression modulus	K	19567	[N/mm ²]	Tensile strength	f _{ctm}	3.51 [MPa]
Nominal Weight	γ	25.0	[kN/m ³]	Tensile strength	f _{ctk,05}	2.46 [MPa]
Mean density	ρ	2400.0	[kg/m ³]	Tensile strength	f _{ctk,95}	4.56 [MPa]
Elongation coefficient	α	1.00E-05	[1/K]	Bond strength	f _{bd}	3.68 [MPa]
				Service strength	f _{cm}	48.00 [MPa]
				Fatigue strength	f _{cd,fat}	19.04 [MPa]
				Tensile strength	f _{ctd}	1.64 [MPa]
				Tensile failure energy G _f	0.15	[N/mm]

¹ $f_c = f_{ck} * \alpha_{cc}$

Stress-Strain for serviceability	ε[ο/οο]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	36981
	-0.581	-19.51	29981
	-1.162	-34.60	21718
	-1.743	-44.44	11868
	-2.324	-48.00	0
	-3.500	-30.06	-32867
	Safetyfactor		1.50

Stress-Strain for ultimate load	ε[ο/οο]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	40000
	-2.000	-40.00	0
	-3.500	-40.00	0
	Safetyfactor		1.50

Stress-Strain of calc. mean values	ε[ο/οο]	σ-r[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	30818
	-0.581	-13.86	17916
	-1.162	-21.70	9634
	-1.743	-25.57	4002
	-2.324	-26.67	0
	-3.500	-23.31	-5222
	Safetyfactor		(1.50)

Mat 2 B 500 C (EN 1992)

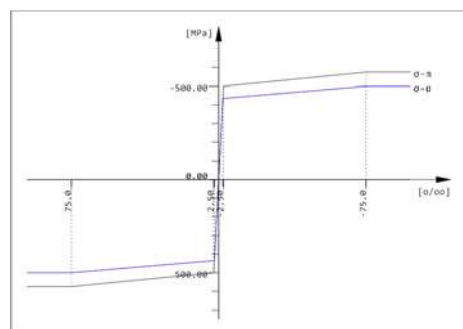
Young's modulus	E	200000	[N/mm ²]	Safetyfactor	1.15	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	fy	500.00 [MPa]
Shear modulus	G	76923	[N/mm ²]	Compressive yield	fyc	500.00 [MPa]
Compression modulus	K	166667	[N/mm ²]	Tensile strength	ft	575.00 [MPa]
Nominal Weight	γ	78.5	[kN/m ³]	Compressive strength	fc	575.00 [MPa]
Mean density	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Ultimate strain		75.00 [o/oo]
Elongation coefficient	α	1.20E-05	[1/K]	relative bond coeff.		1.00 [-]
max. thickness	t-max	32.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k1	0.80 [-]
				Hardening modulus	Eh	0.00 [MPa]
				Proportional limit	fp	500.00 [MPa]
				Dynamic allowance	σ -dyn	152.17 [MPa]

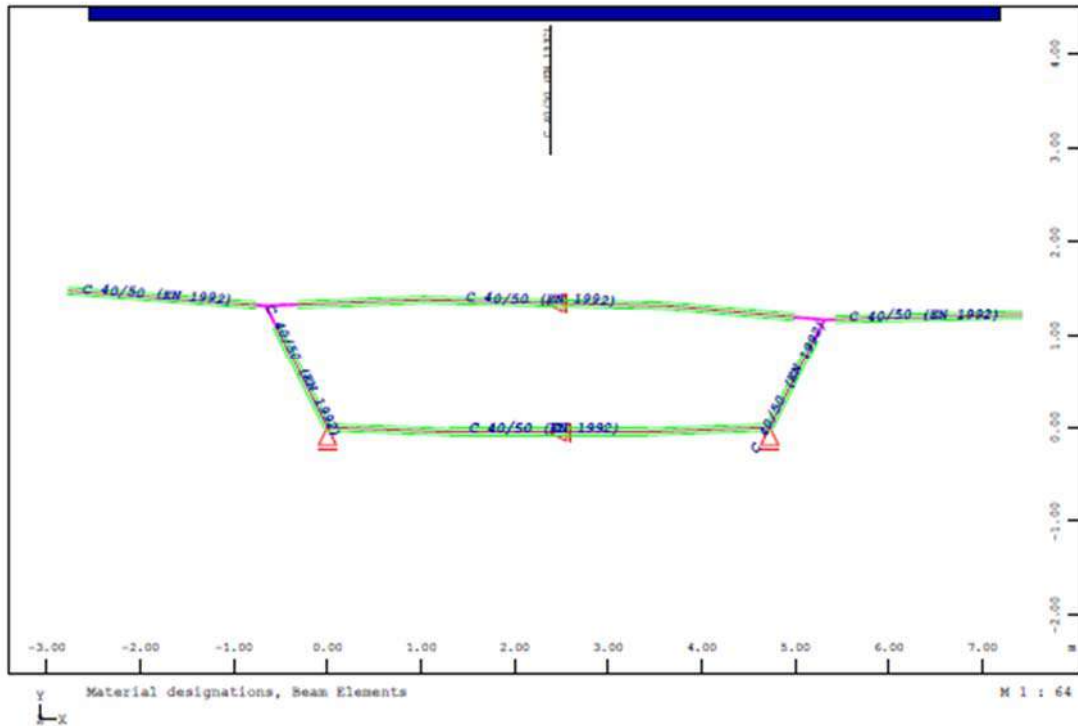
Stress-Strain for serviceability	ϵ [o/oo]	σ -m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	575.00	0
	75.000	575.00	0
	2.500	500.00	1034
	0.000	0.00	200000
	-2.500	-500.00	1034
	-75.000	-575.00	0
	-1000.000	-575.00	0
	Safetyfactor		1.15

Stress-Strain for ultimate load	ϵ [o/oo]	σ -u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	500.00	0
	75.000	500.00	0
	2.174	434.78	896
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	896
	-75.000	-500.00	0
	-1000.000	-500.00	0
	Safetyfactor		(1.15)

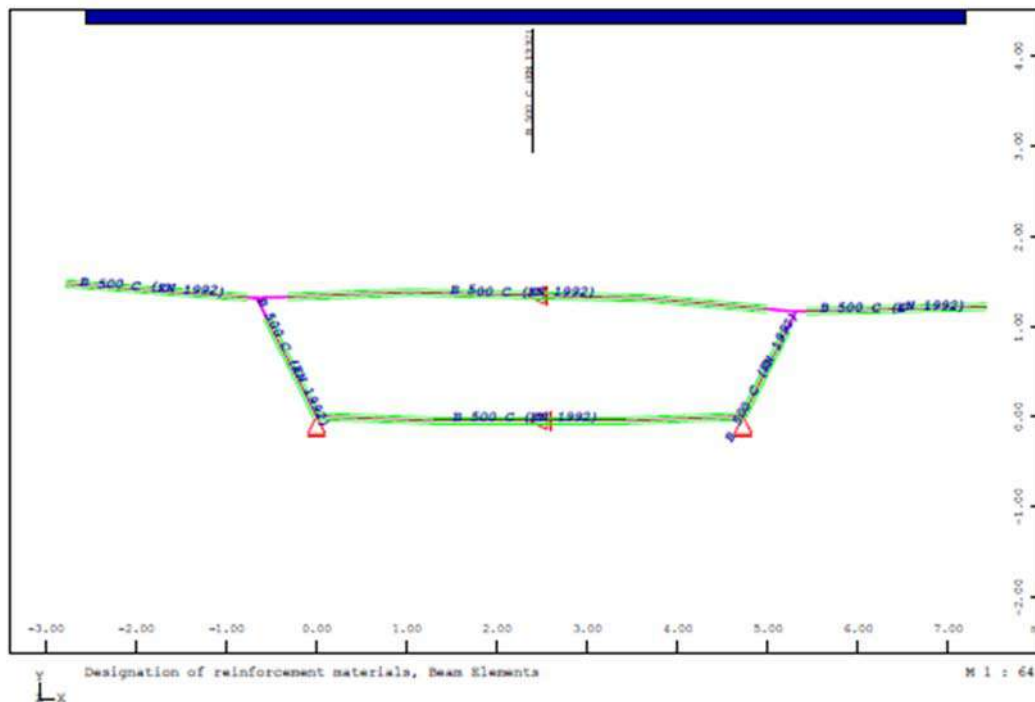
Stress-Strain of calc. mean values	ϵ [o/oo]	σ -r[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	500.00	0
	75.000	500.00	0
	2.174	434.78	896
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	896
	-75.000	-500.00	0
	-1000.000	-500.00	0
	Safetyfactor		(1.15)

B 500 C (EN 1992)

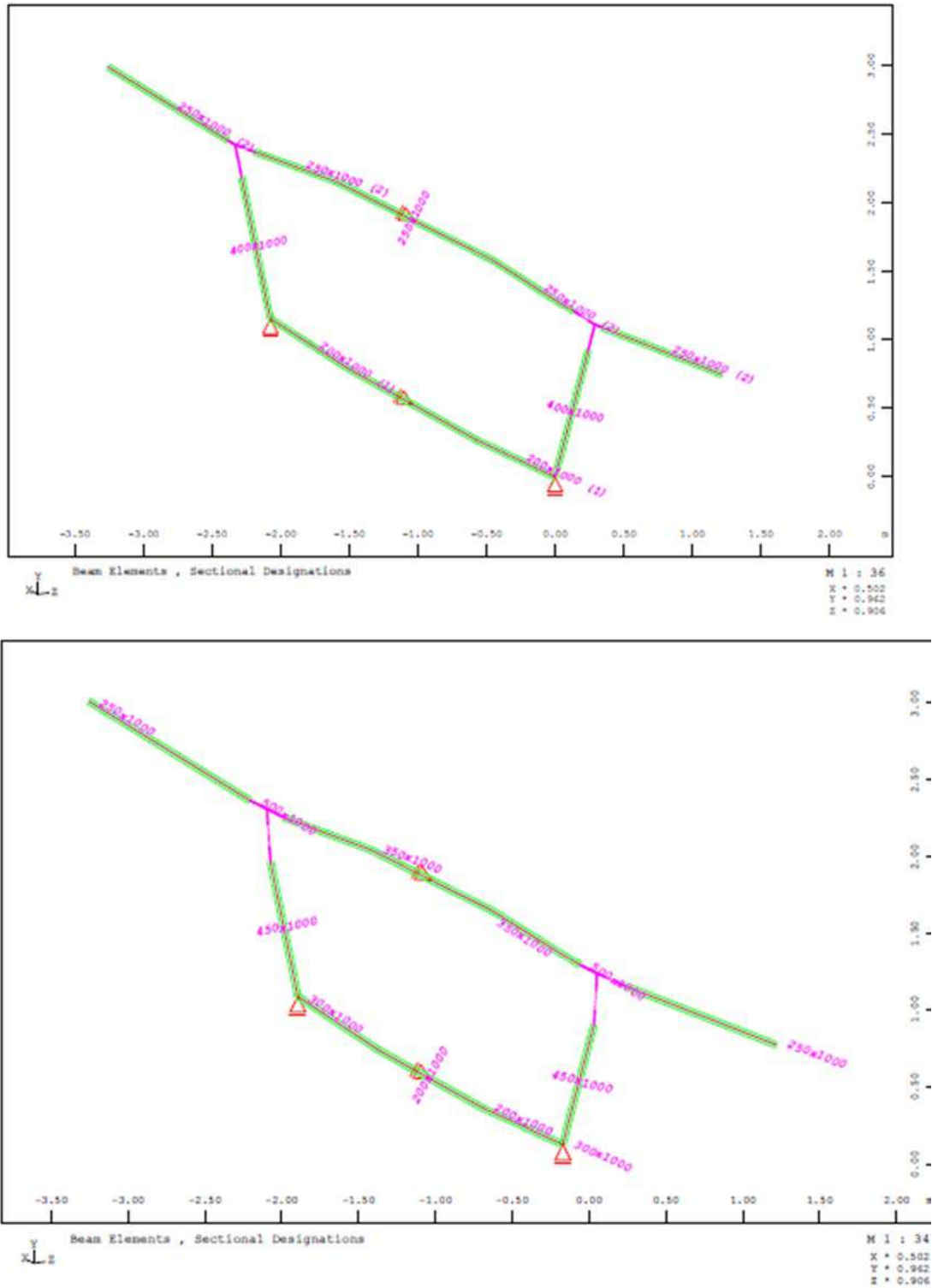




Εικόνα 101. Υλικό διατομών (και για τα δύο μοντέλα).



Εικόνα 102. Υλικό οπλισμού διατομών (και για τα δύο μοντέλα).



Εικόνα 103. Εξιδανικευμένο μοντέλο εγκάρσιας ανάλυσης για το δεδομένο κιβώτιο, και οι διατομές πριν και μετά από κάθε κόμβο (άνω: κιβώτιο 1, κάτω: κιβώτιο 2).

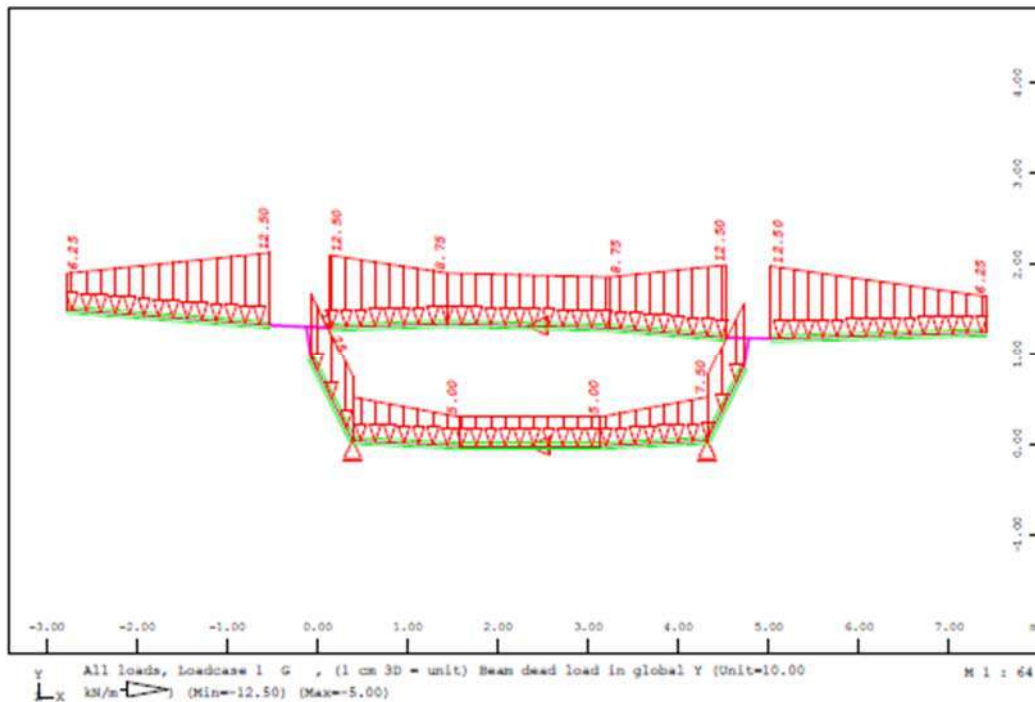
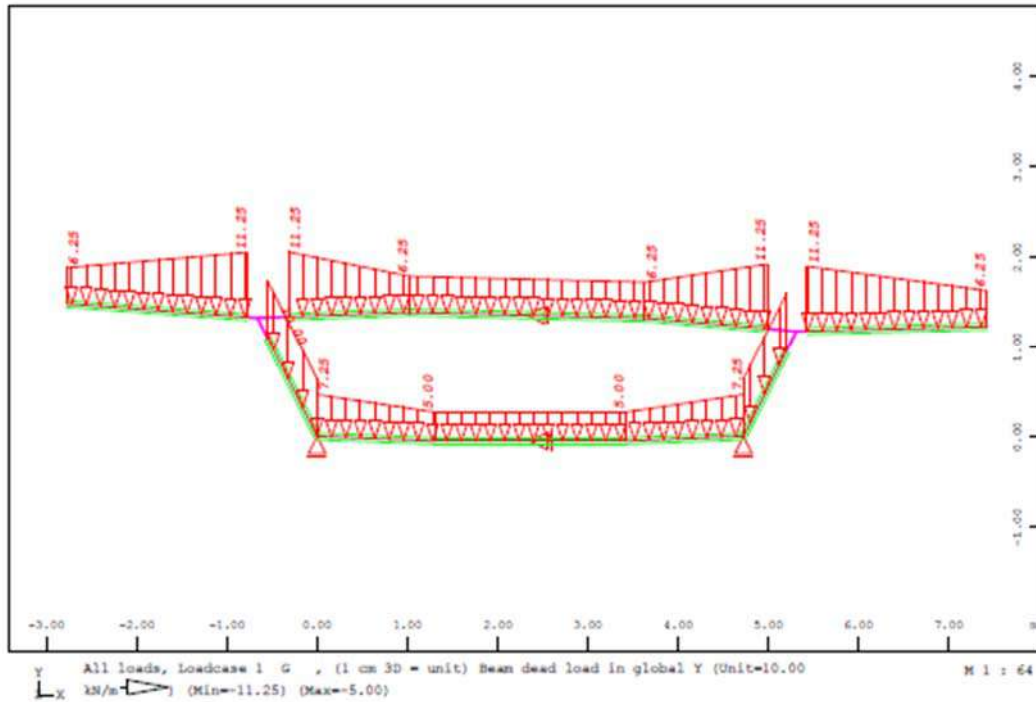
10.3. Φορτία προσομοιώματος

ΔΡΑΣΕΙΣ		
[G]	ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ	
[LC1]	Ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος	25.00 kN/m ³
[G']	ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ	
	Φορτίο ασφαλικών κ.λπ.	3.65 kN/m ²
[LC2]	Φορτίο πεζοδρομίων	8.33 kN/m ²
	[LC2] Φορτίο Σ.Α.	1.00 kN/m
[Q]	ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ [κατά EN1991-2]	
[LC3]	Φόρτιση για έλεγχο προβόλου	[EN1991-1-2]
[LC4]	Κ. Λωρίδα στο δεξί άκρο.	
[LC5]	Κ. Λωρίδα στη μέση και δεξιά	
[LC6]	Κ. Λωρίδα στη μέση	
[LC7]	Κ. Λωρίδα στη μέση και αριστερά	
[LC8]	κ. Λωρίδα στο αριστερό άκρο	
[P]	ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ	
[LC8]	Εγκάρσια προένταση στο άνω πέλμα	400 kN/m

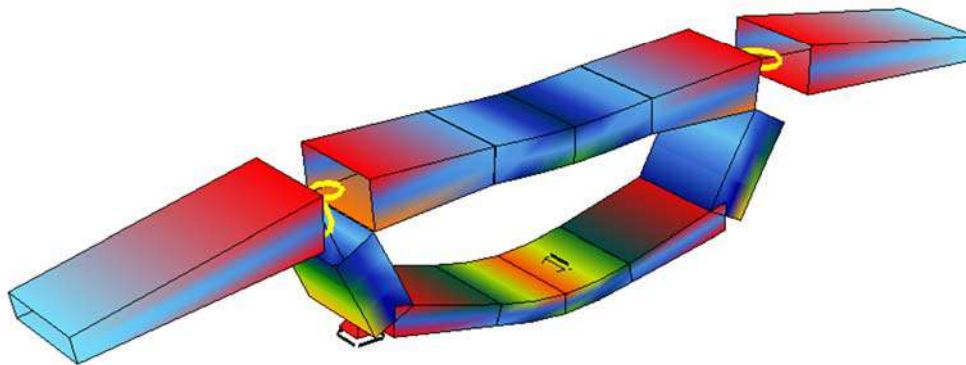
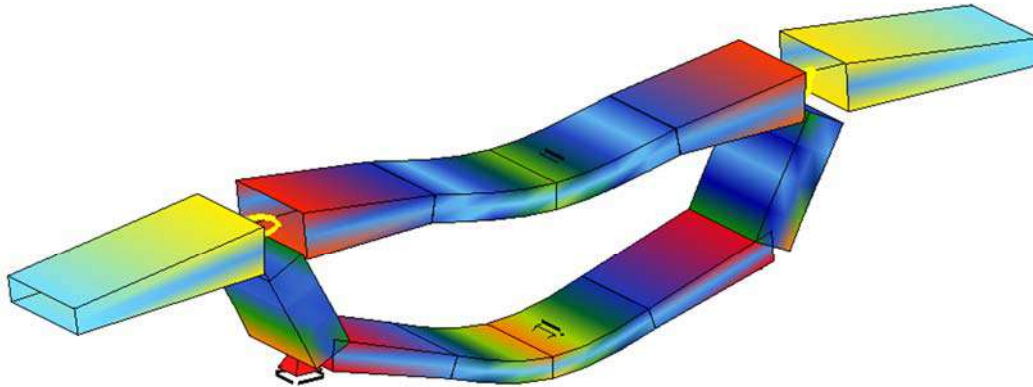
Πίνακας 23. Φορτίσεις για το μοντέλο εγκάρσιας ανάλυσης.

10.3.1. Μόνιμα φορτία G [LC1]

Το ίδιο βάρος υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.



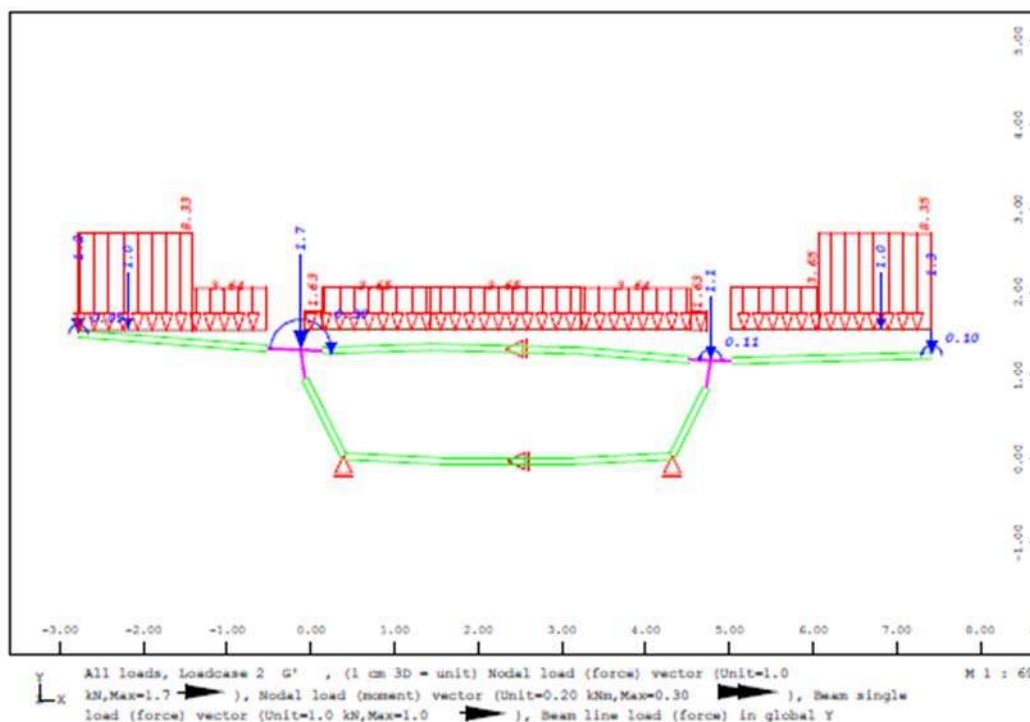
Εικόνα 104. Φορτίο ι.β. (άνω: κιβώτιο 1, κάτω: κιβώτιο 2) [kN/m].



Εικόνα 105. Παραμόρφωση λόγω ι.β. (άνω: κιβώτιο 1, κάτω: κιβώτιο 2).

10.3.2. Πρόσθετα μόνιμα φορτία G' [LC2]

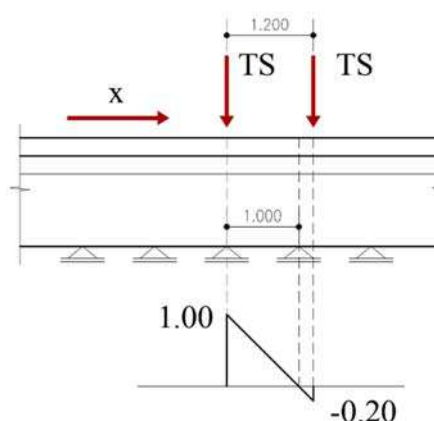
Επιβάλλονται τα πρόσθετα μόνιμα φορτία όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Δράσεις Γεφυρών, ανοιγμένα στην διατομή. Συγκεκριμένα για το πεζοδρόμιο, όπου προεξέχει του φορέα, έχει υπολογιστεί η αντίστοιχη ισοδύναμη ροπή που ασκείται στο άκρο του προβόλου (οι παρακάτω εικόνες, προέρχονται από το μοντέλο του δεύτερου κιβωτίου ενδεικτικά).



Εικόνα 106. Φορτία πρόσθετων μόνιμων φορτίων [kN/m].

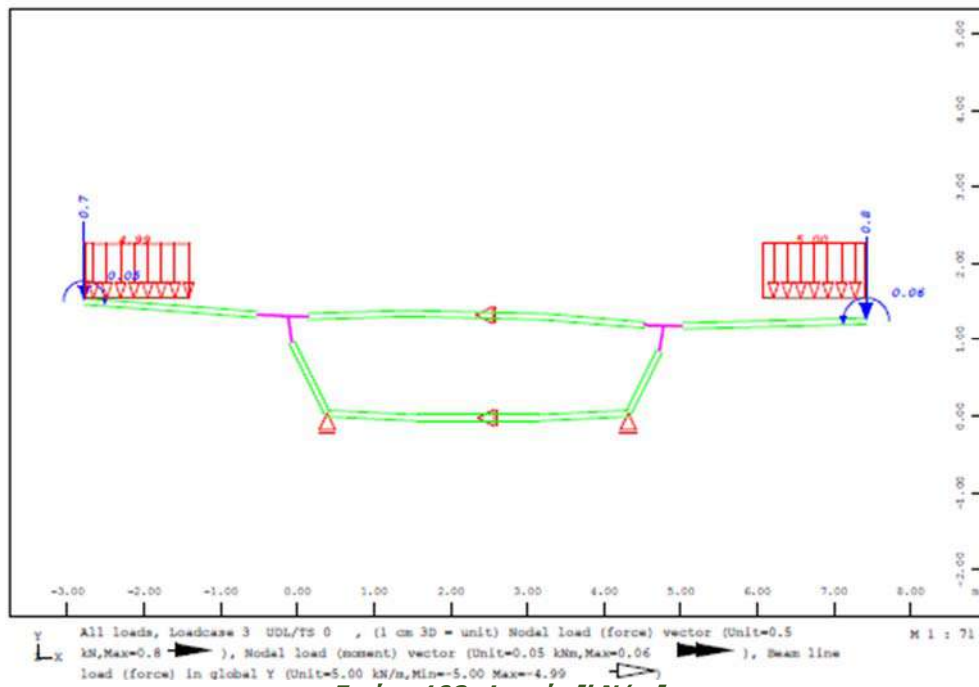
10.3.3. Φορτία κυκλοφορίας

Επιβάλλονται τα φορτία κυκλοφορίας όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Δράσεις Γεφυρών, ανοιγμένα στην διατομή. Συγκεκριμένα εφαρμόζεται στα φορτία των αξόνων TS, συντελεστής στατικής επιρροής, ίσο με 0.80, καθώς για κατά μήκος λωρίδα 1.00m, και μεταξόνιο 1.20m, προκύπτει απομείωση φορτίων κατά 20%.



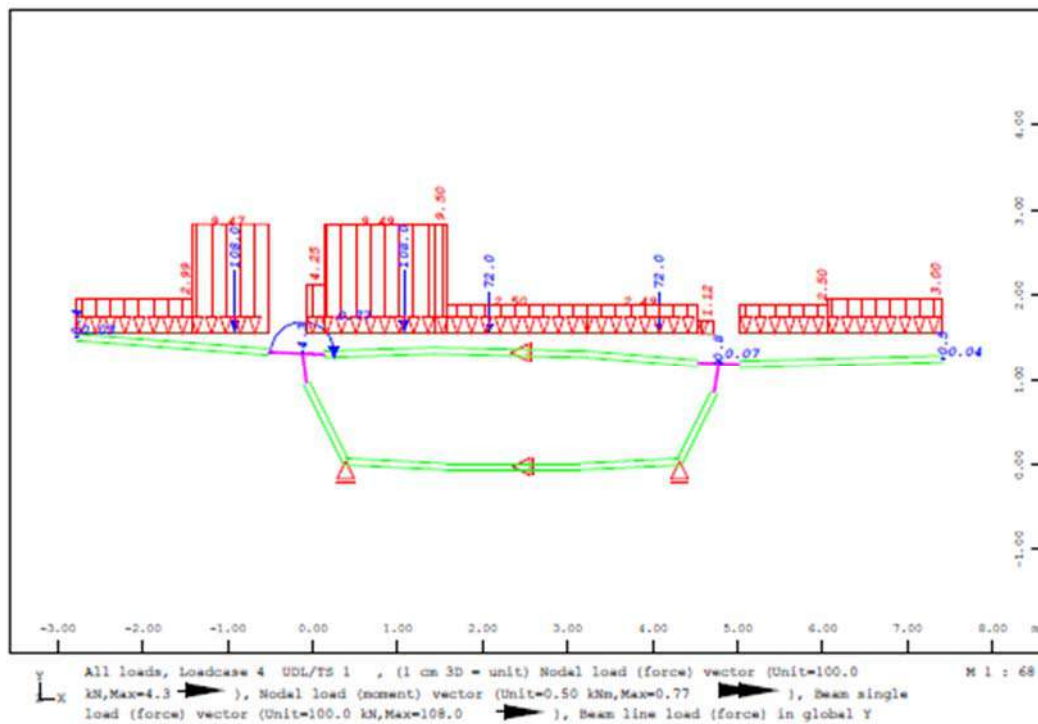
Εικόνα 107. Γραμμή επιρροής, για την εγκάρσια ανάλυση.

10.3.3.1. Φορτία ελέγχου προβόλου [LC3]



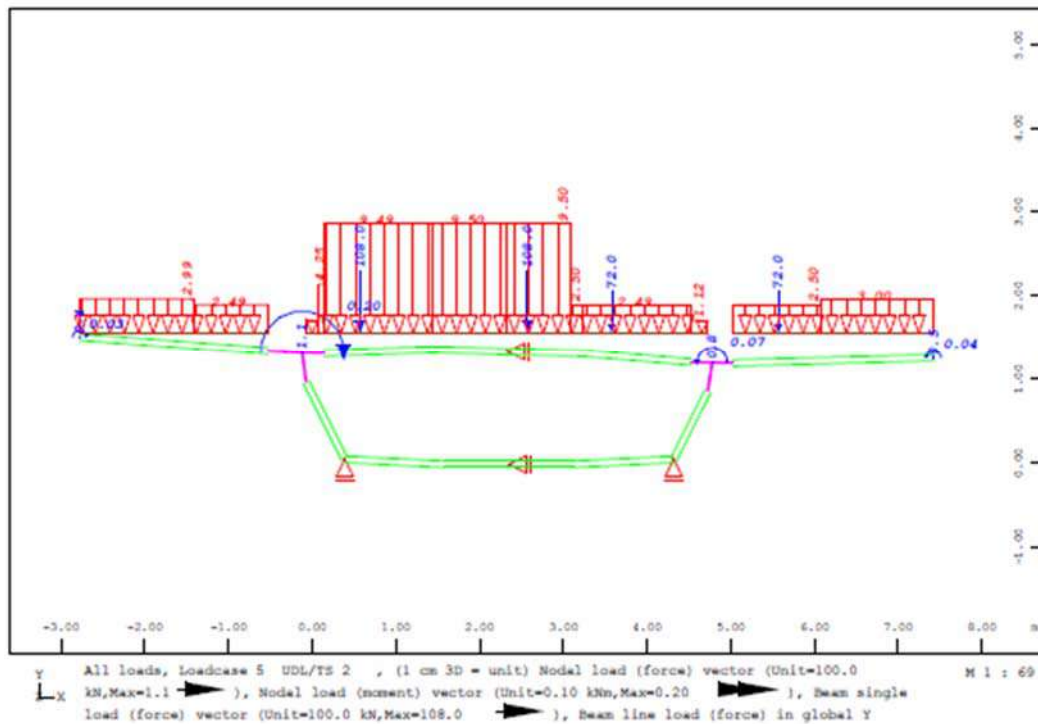
Εικόνα 108. Φορτία [kN/m].

10.3.3.2. Κ. Λωρίδα στο αριστερό άκρο [LC4]



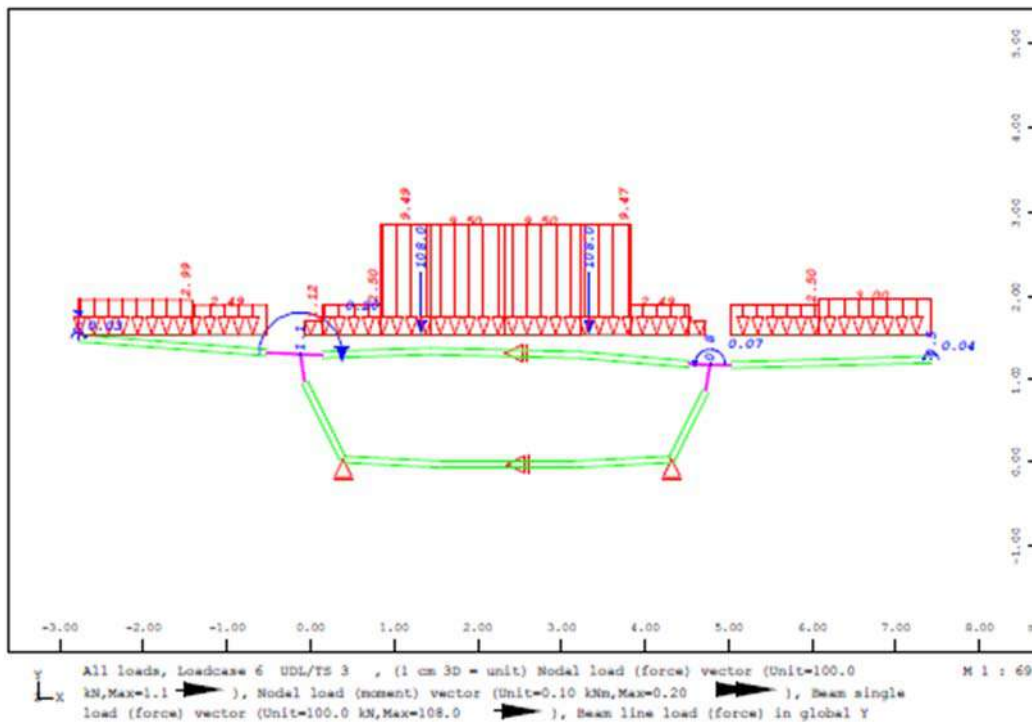
Εικόνα 109. Φορτία [kN/m].

10.3.3.3. Κ. Λωρίδα αριστερά και στο μέσο [LC5]



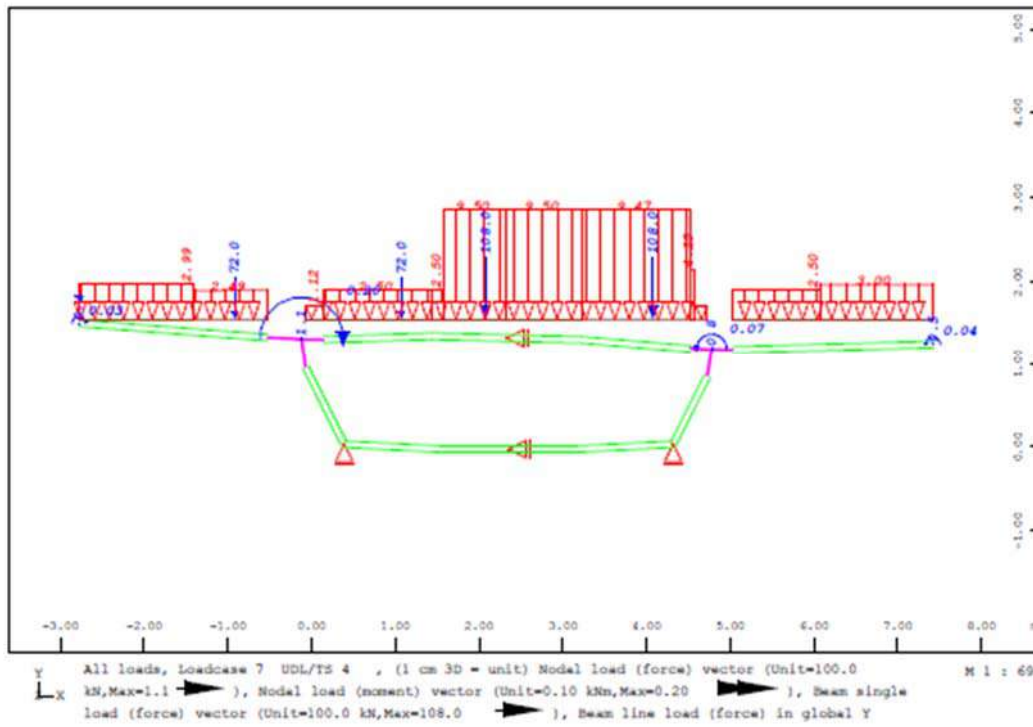
Εικόνα 110. Φορτία [kN/m].

10.3.3.4. Κ. Λωρίδα στο μέσο [LC6]



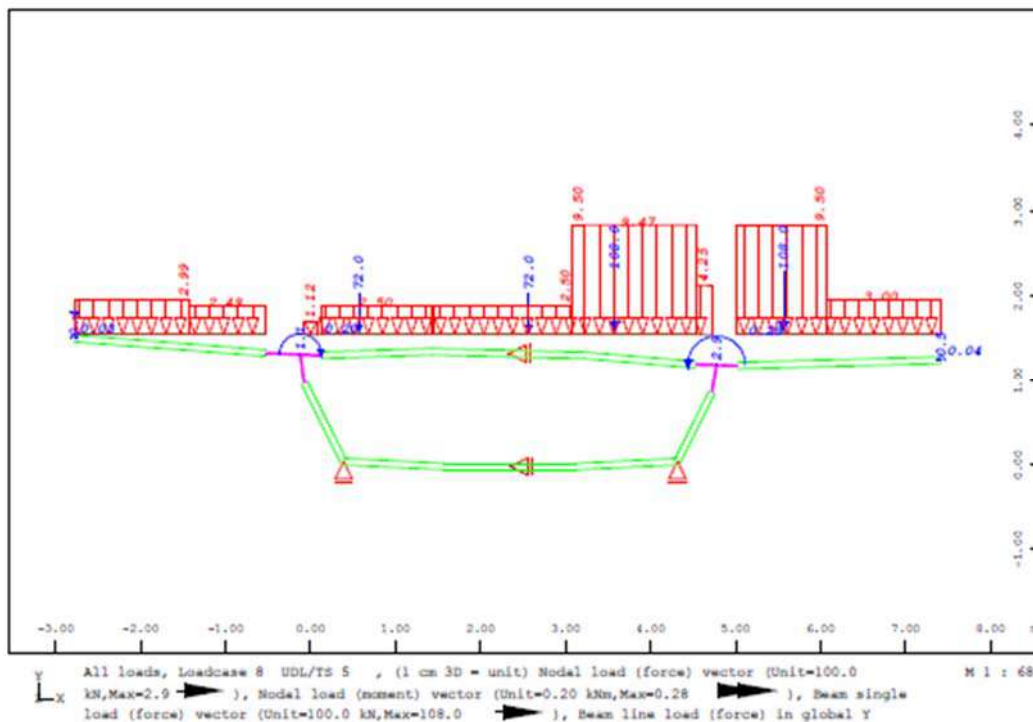
Εικόνα 111. Φορτία [kN/m].

10.3.3.5. Κ. Λωρίδα δεξιά και στο μέσο [LC7]



Εικόνα 112. Φορτία [kN/m].

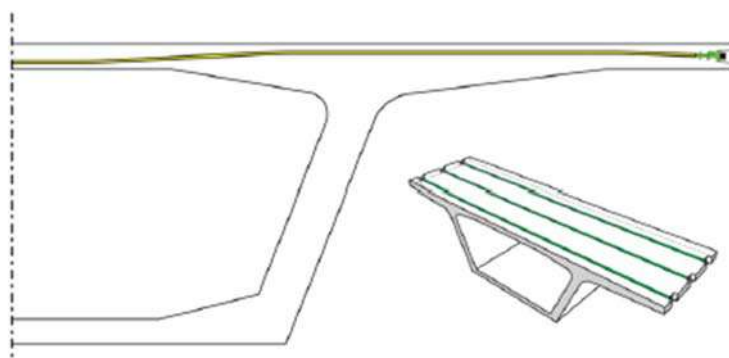
10.3.3.6. Κ. Λωρίδα στο δεξί άκρο [LC8]



Εικόνα 113. Φορτία [kN/m].

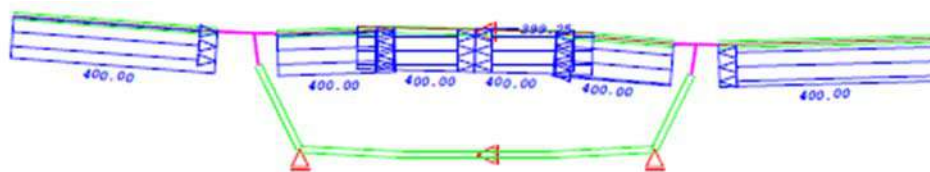
10.3.4. Εγκάρσια προένταση P [LC9]

Όπως θα αποδειχθεί παρακάτω, η εγκάρσια προένταση είναι αναγκαία στην διατομή 1, τάξης των 400kN, ενώ για τη διατομή 2, όπου τελικά επιλέγεται, μπορεί να αμεληθεί.

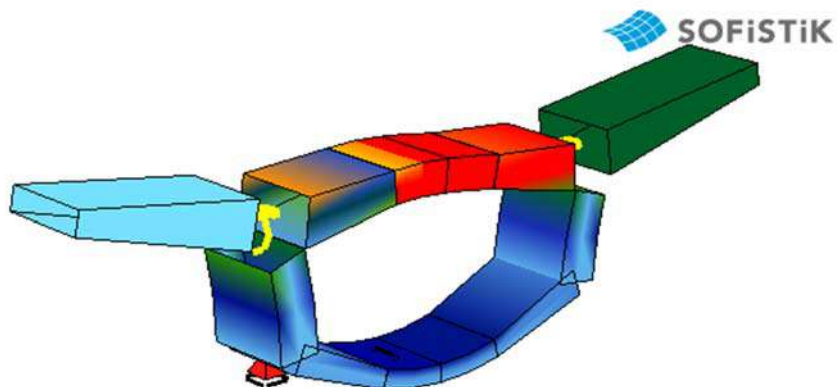


Εικόνα 114. Τυπική διάταξη εγκάρσιου τένοντα (Corven 2016).

Προτιμάται η γενική πάχυνση την άνω πλάκας και η διεύρυνση των κορμών σε κρίσιμες περιοχές όπως αυτές πλησίον των στηρίξεων, όπου τότε η εγκάρσια προένταση δεν απαιτείται. Κρίνεται πιο οικονομική επιλογή, καθώς τα παραπάνω κυβικά και η παραπάνω εργασία για την επίτευξη της γεωμετρίας, από πλευρά κόστους είναι πιο οικονομική από την επιλογή της εγκάρσιας προέντασης, καθώς πέρα από την παραπάνω ώρες εργασίας, αυτή τοποθετείται ιδιαίτερα πυκνά. Τέλος, με ελαφριά αύξηση της γεωμετρίας του κιβωτίου, επιτυγχάνονται καλύτερα ποσοστά αξιοποίησης της διατομής, παρά με την εισαγωγή εγκάρσιας προέντασης (85% αντί του 70%).



Εικόνα 115. Φορτία.



Εικόνα 116. Παραμόρφωση.

10.4. Αποτελέσματα εγκάρσιας ανάλυσης

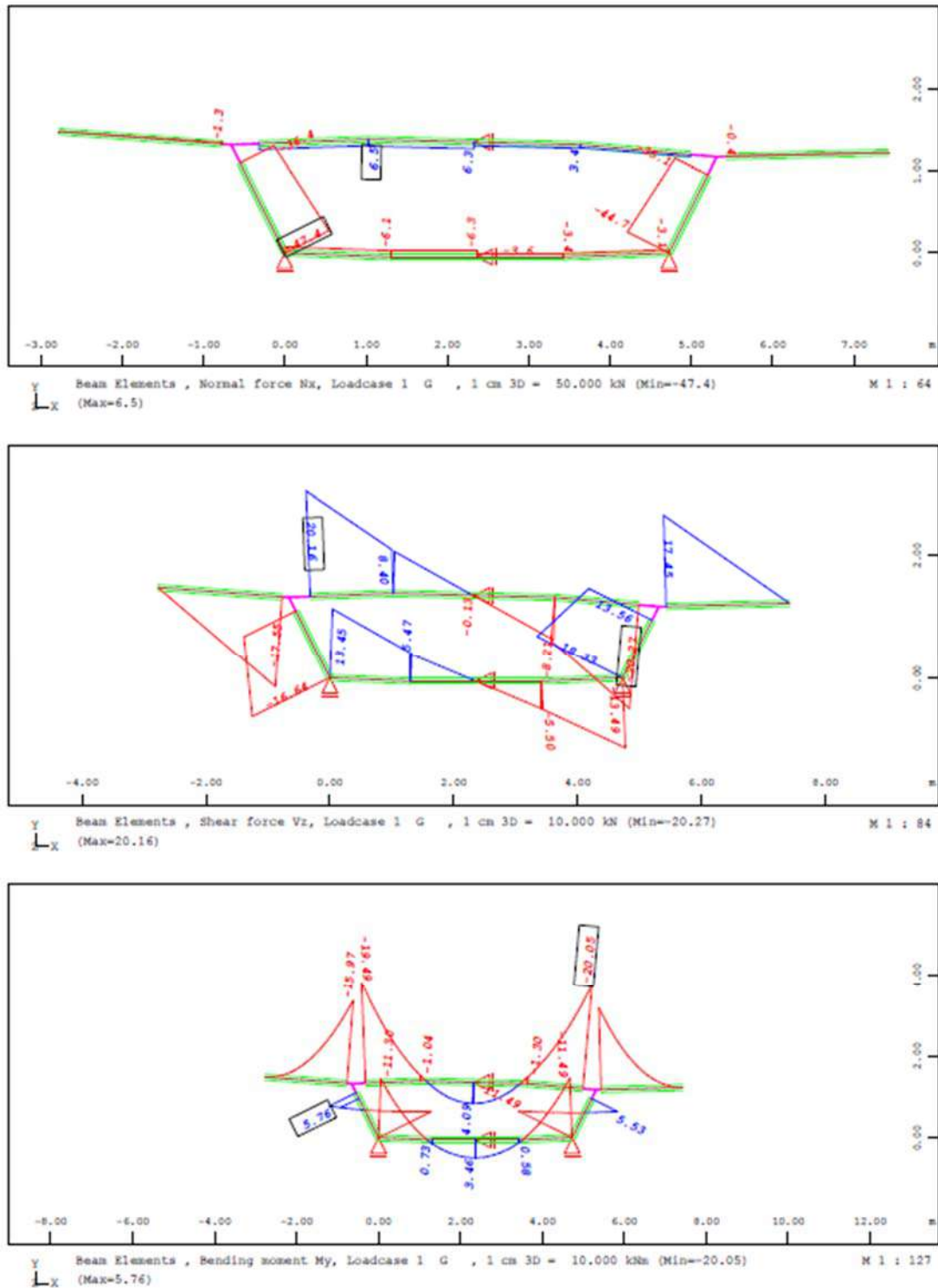
10.4.1. Συνδυασμοί

Συνδυασμός [LC]	Δράσεις	Ύπαρξη εγκάρσιας προέντασης
15000	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC3)$	✗
15001	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC4)$	
15002	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC5)$	
15003	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC6)$	
15004	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC7)$	
15005	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC8)$	
25001	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC3)+1.00(LC9)$	✓
25002	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC4) + 1.00(LC9)$	
25003	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC5) + 1.00(LC9)$	
25004	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC6) + 1.00(LC9)$	
25005	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC7) + 1.00(LC9)$	
25006	$1.35(LC1+LC2)+1.35(LC8) + 1.00(LC9)$	

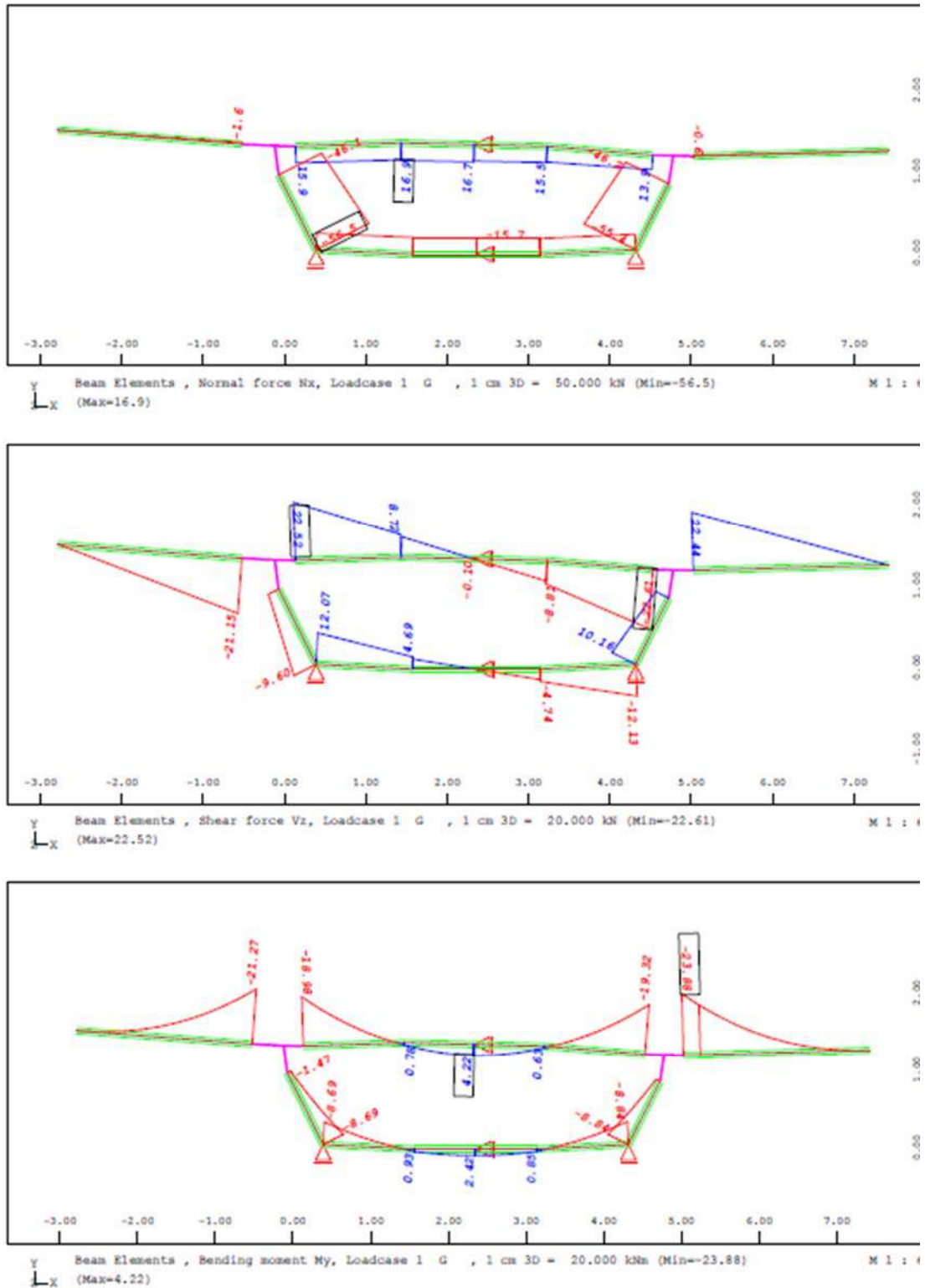
Πίνακας 24. Συνδυασμοί μοντέλου εγκάρσιας ανάλυσης.

10.4.2. Εντατικά μεγέθη

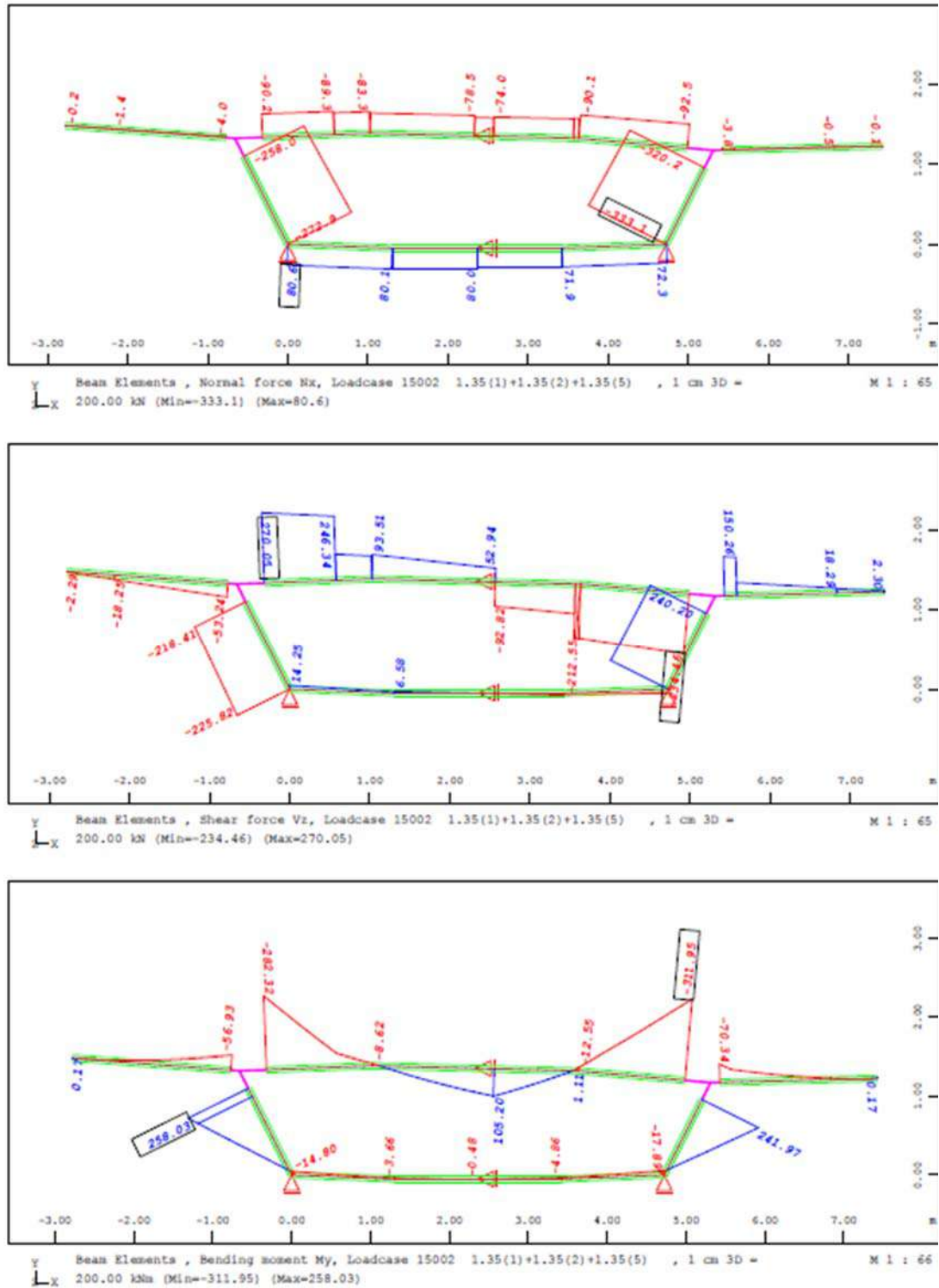
Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα εντατικά μεγέθη, για τους συνδυασμούς LC1 (i.β.), LC 15002 & LC2 25001 (όμοιος με LC 15002, όμως μαζί με την συνεισφορά της εγκάρσιας προέντασης), και για τα δύο κιβώτια.



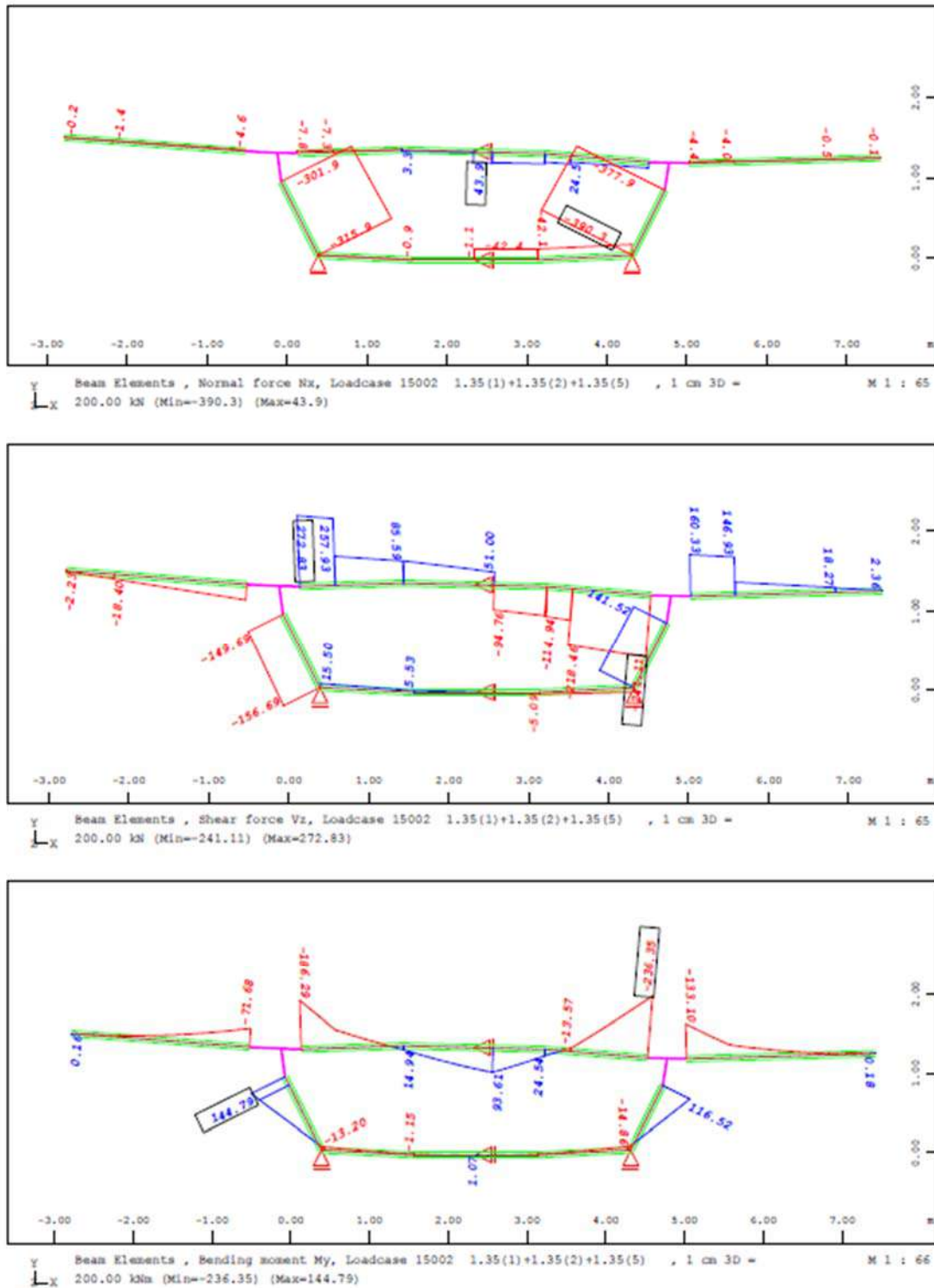
Εικόνα 117. Εντατικά από ίδιο βάρος [κιβώτιο 1].



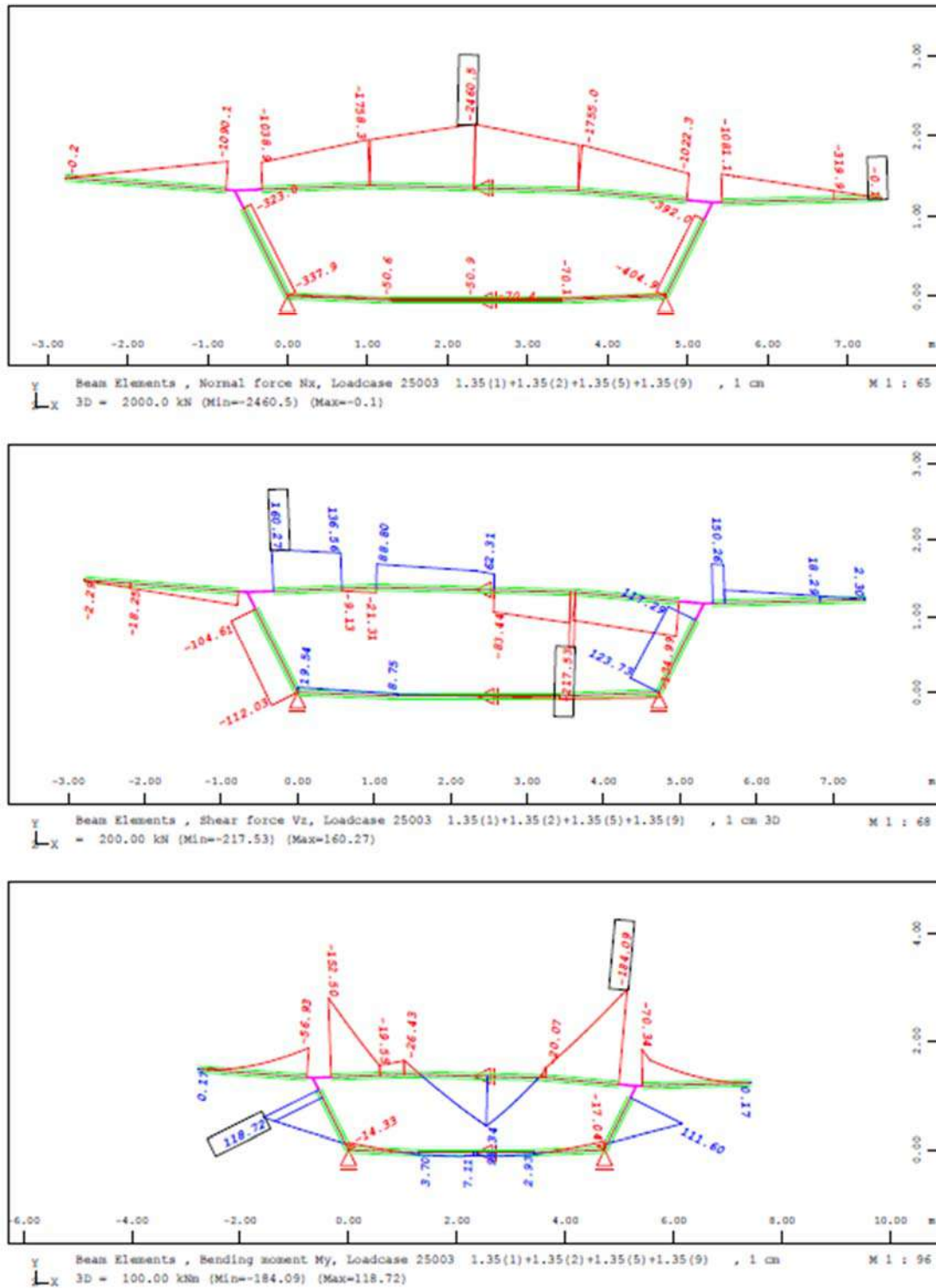
Εικόνα 118. Εντατικά από ίδιο βάρος [κιβώτιο 2].



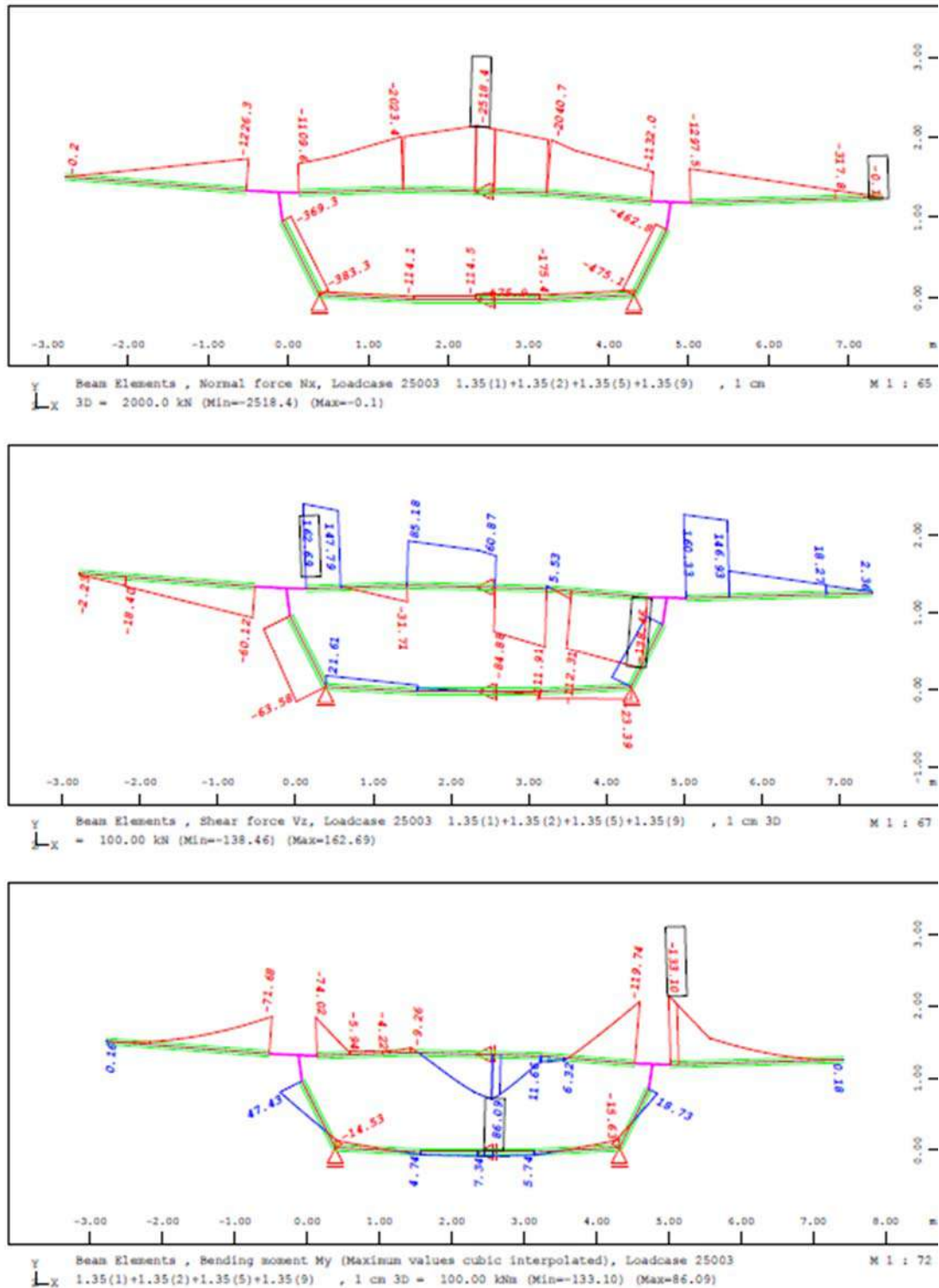
Εικόνα 119. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15002 [κιβώτιο 1].



Εικόνα 120. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15002 [κιβώτιο 2].



Εικόνα 121. Εντατικά από τον συνδυασμό LC25002 [κιβώτιο 1].

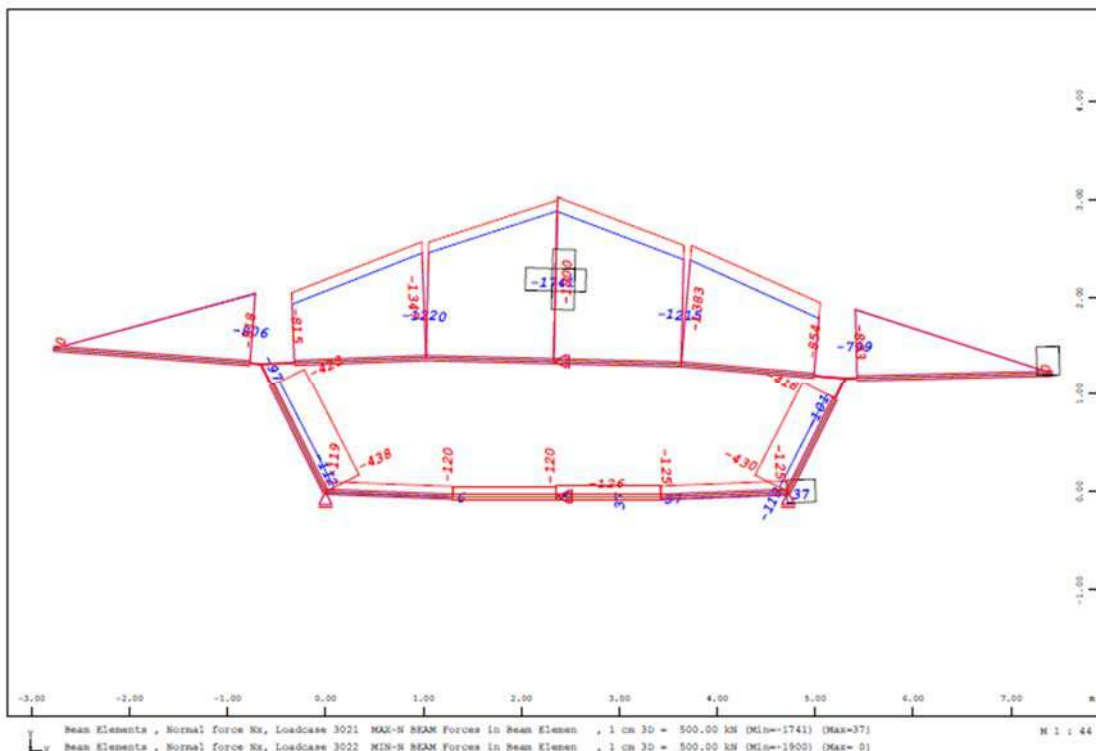
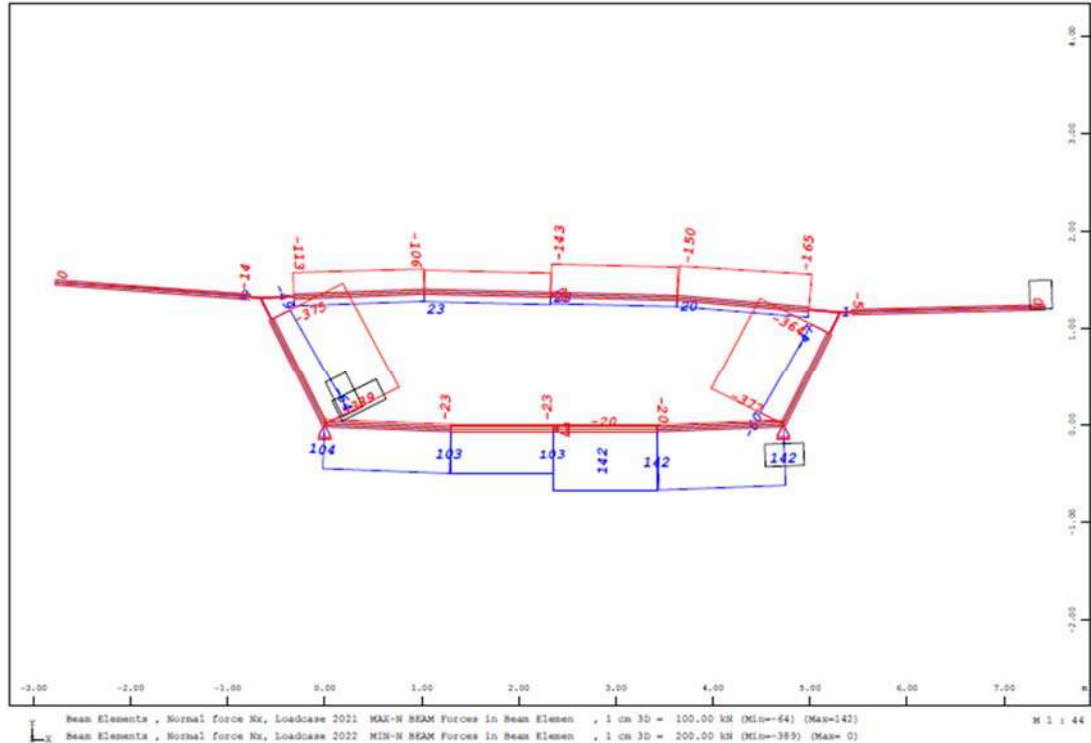


Εικόνα 122. Εντατικά από συνδυασμό LC25003 [κιβώτιο 2].

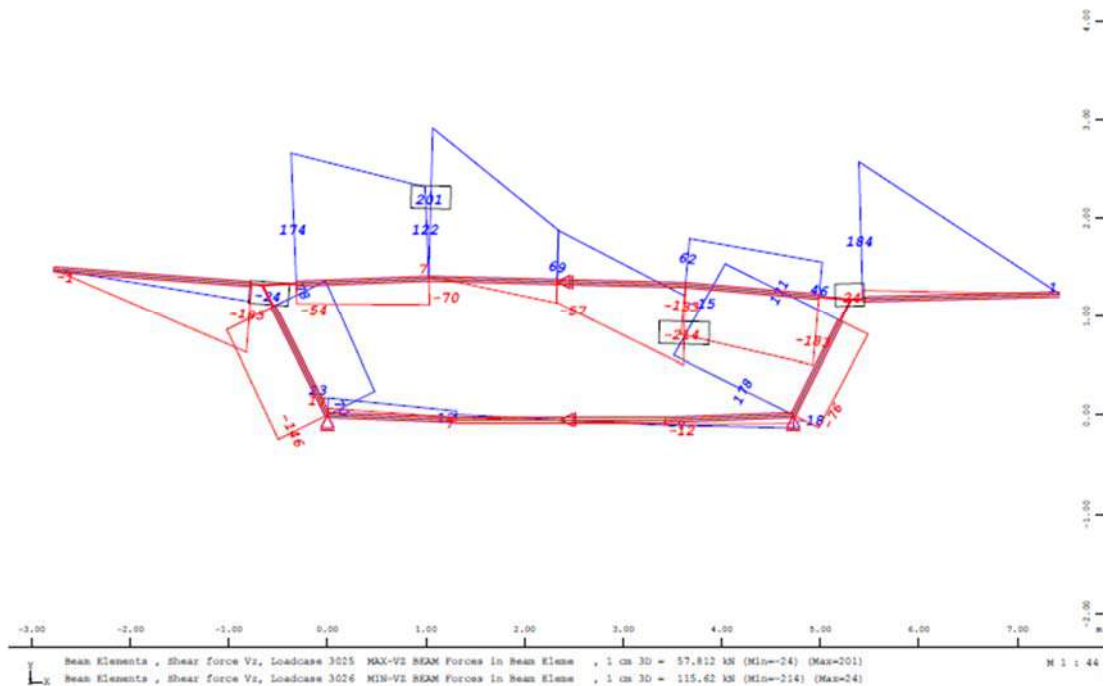
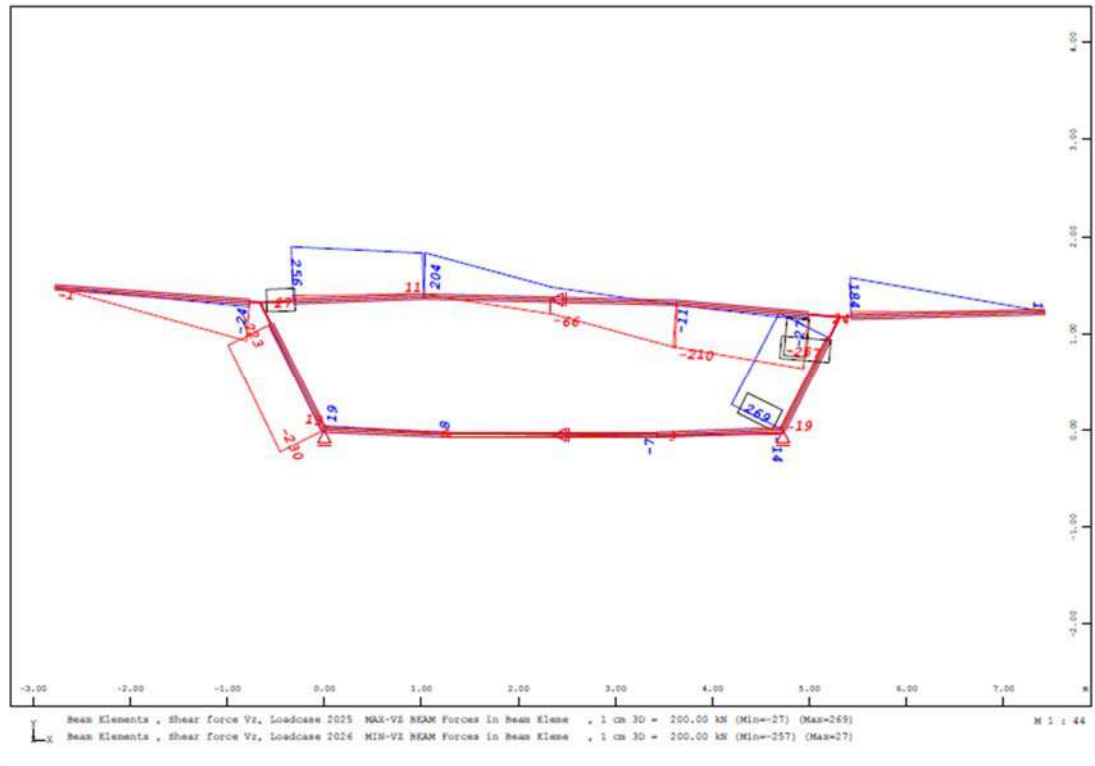
10.4.3. Περιβάλλουσα εντατικών

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω συνδυασμούς, προκύπτουν τα εξής διαγράμματα περιβάλλουσών, με και χωρίς προένταση, και για τα δύο κιβώτια.

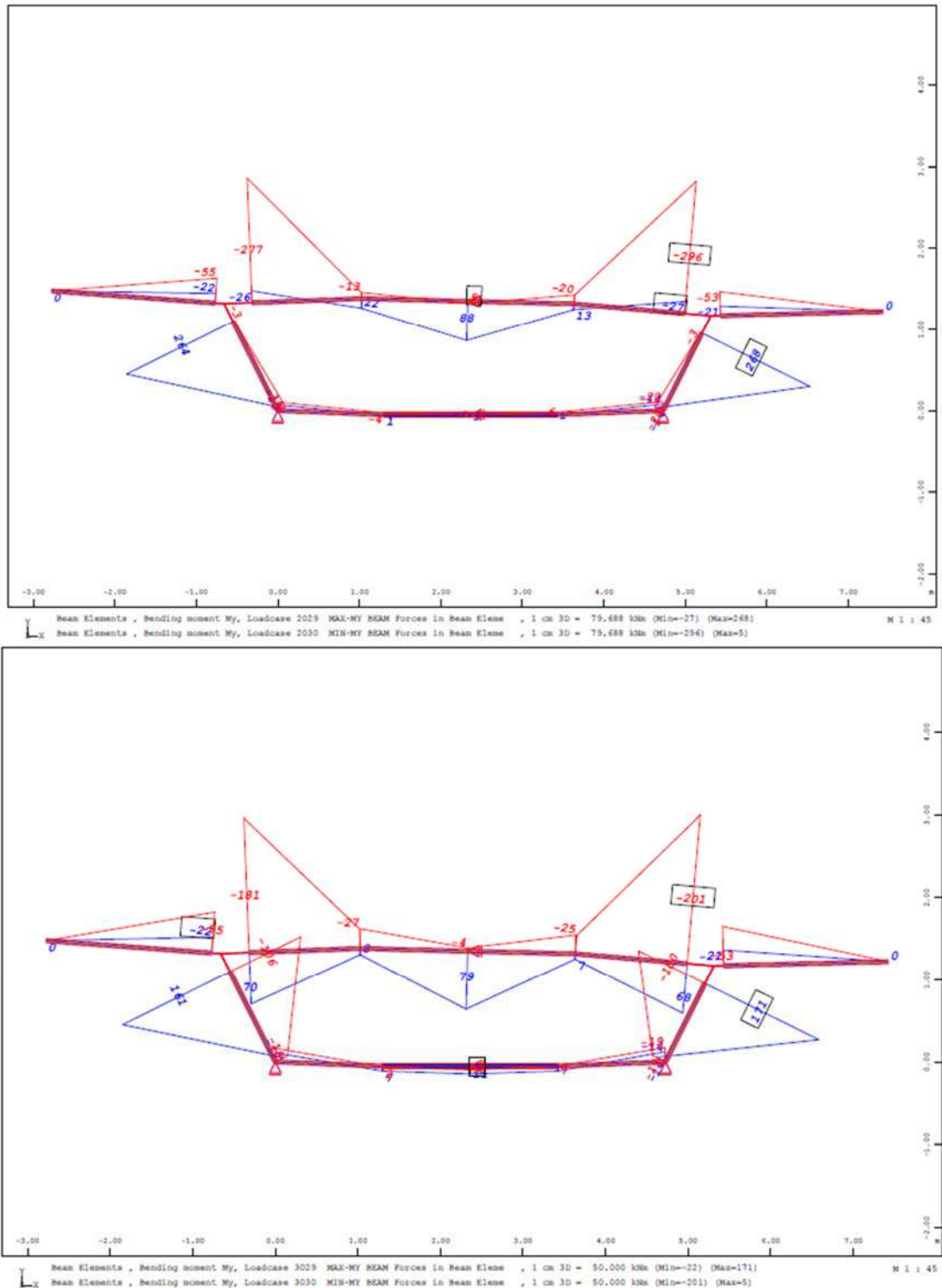
10.4.3.1. Κιβώτιο 1



Εικόνα 123. Περιβάλλουσα αξονικών χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω).

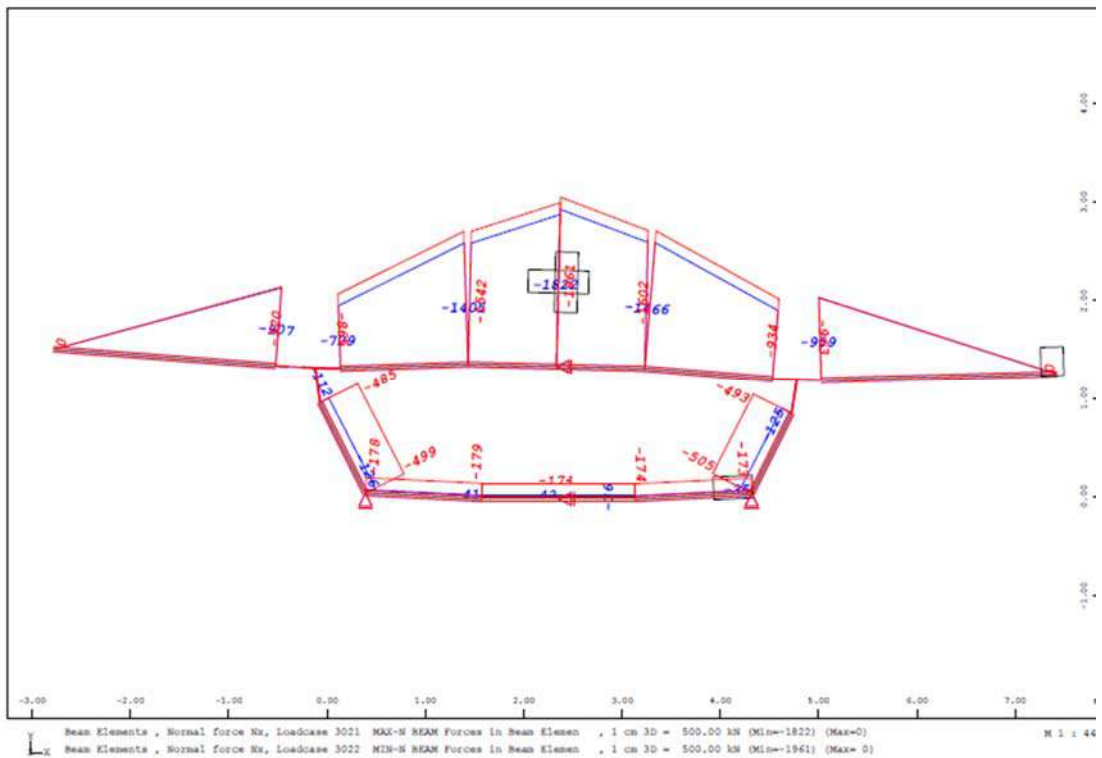
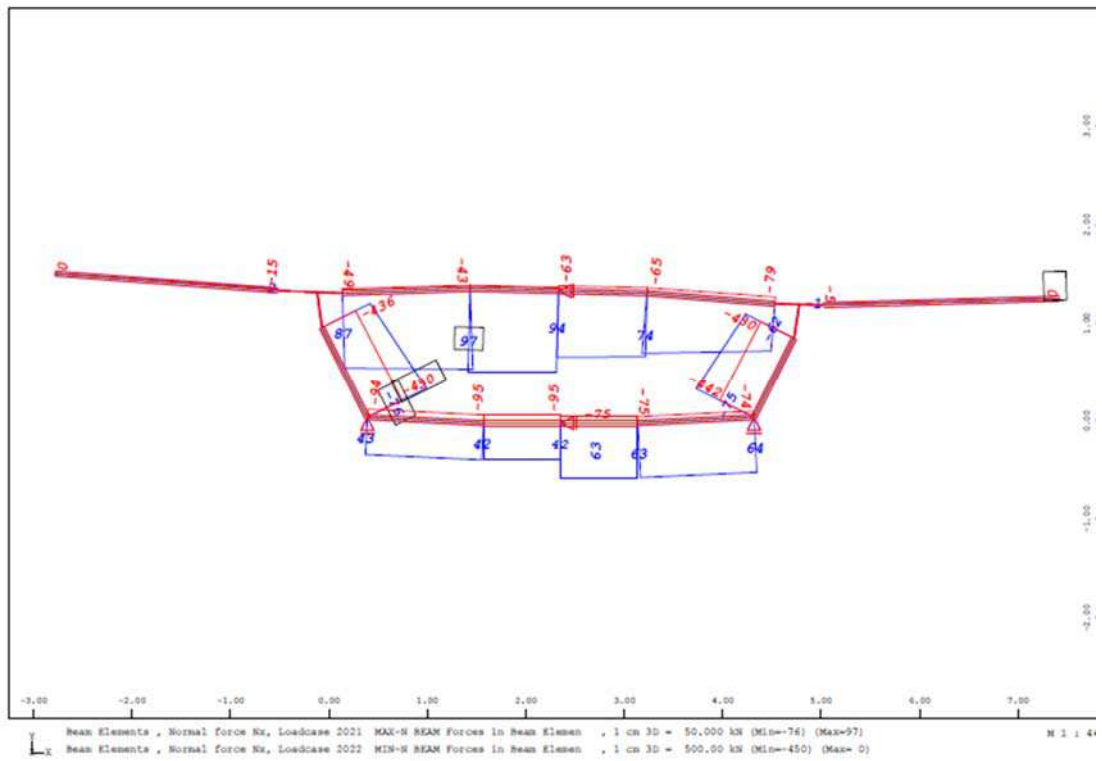


Εικόνα 124. Περιβάλλουσα τεμνουσών χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω).

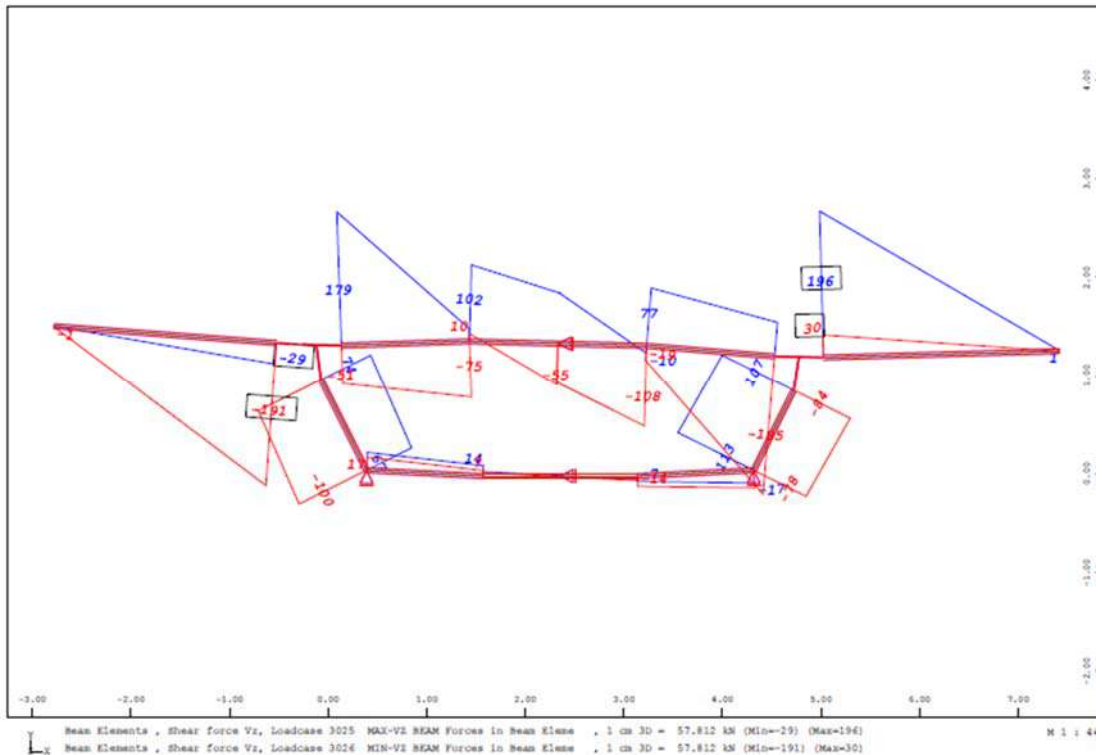
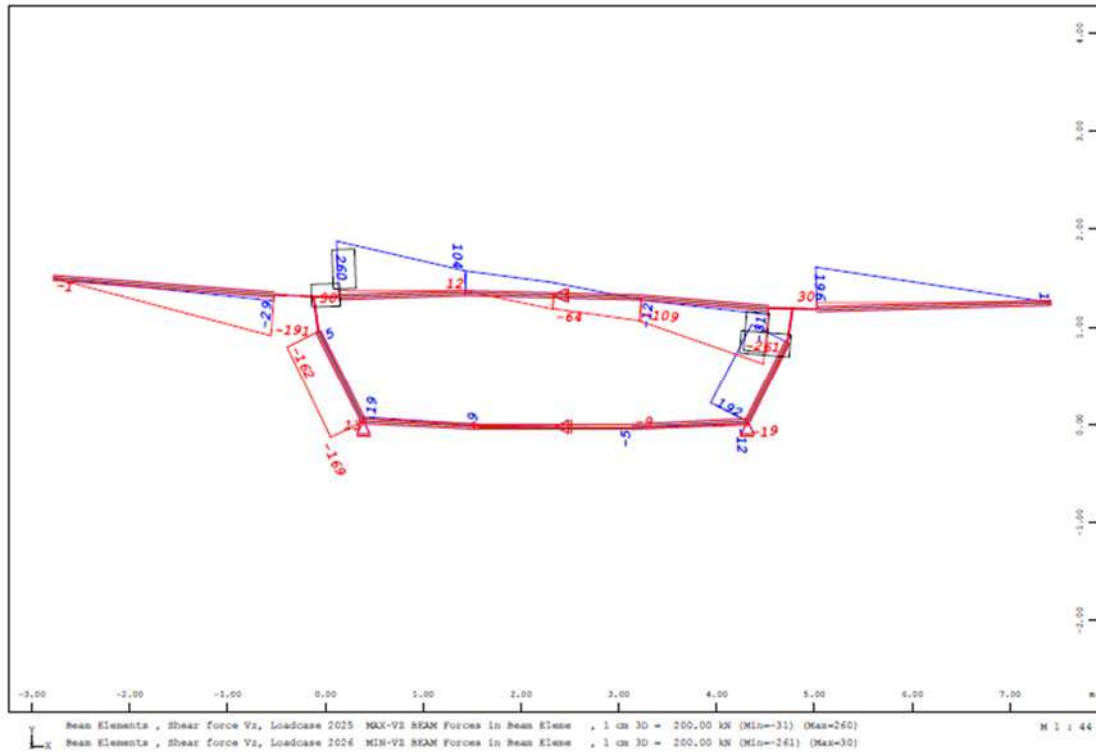


Εικόνα 125. Περιβάλλουσα ρομών χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω).

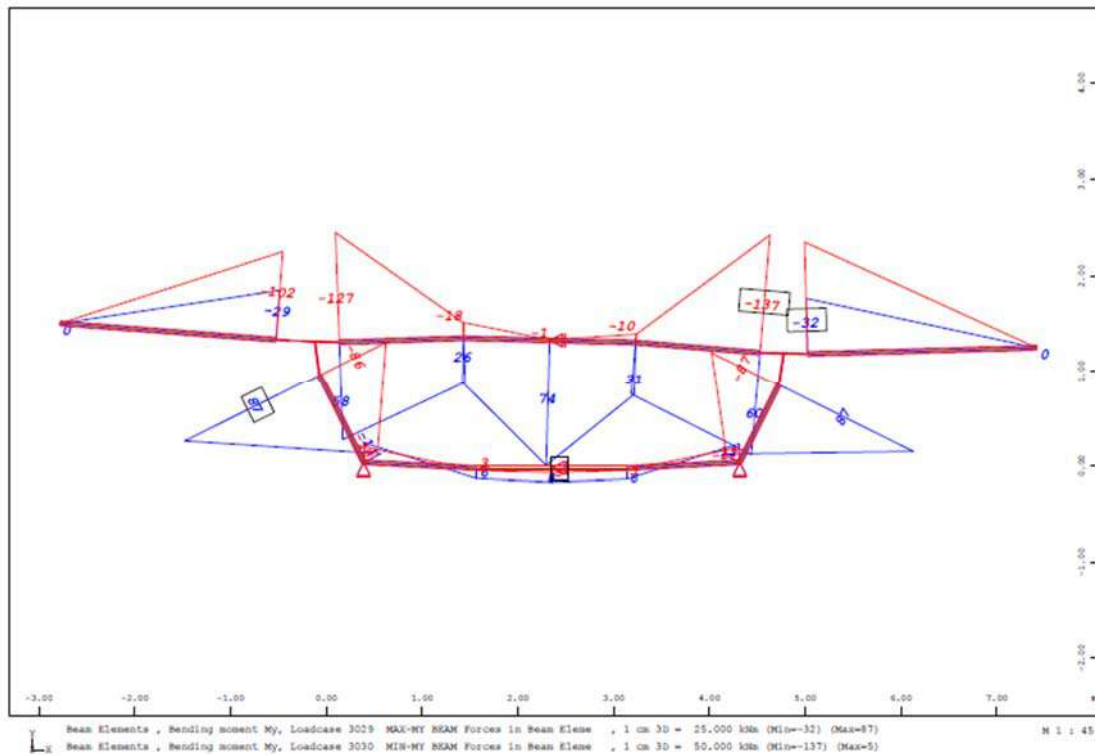
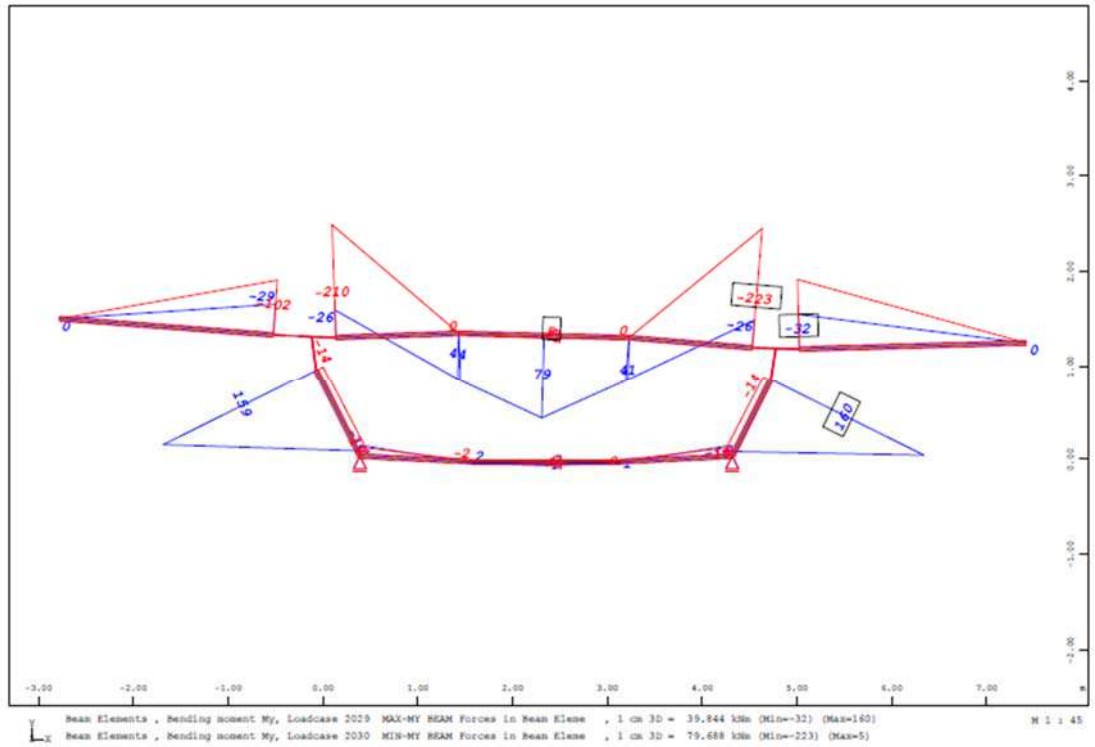
10.4.3.2. Κιβώτιο 2



Εικόνα 126. Περιβάλλουσα αξονικών χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω).



Εικόνα 127. Περιβάλλουσα τεμνουσών χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω).



Εικόνα 128. Περιβάλλουσα ρομών χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω).

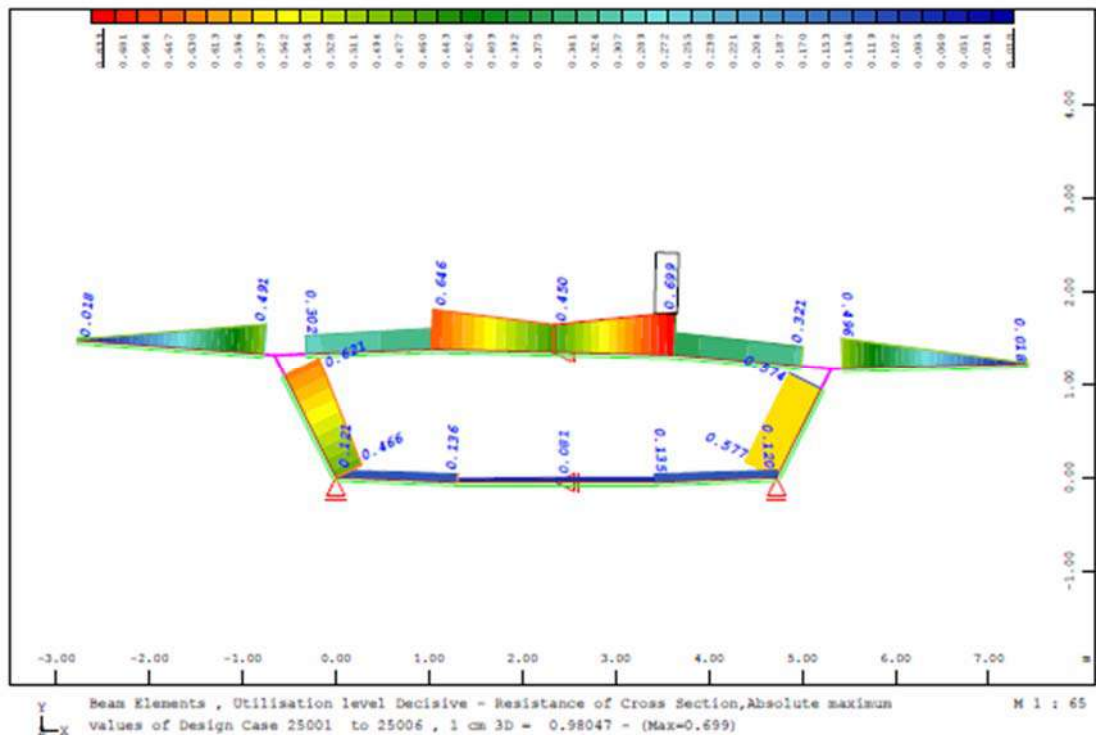
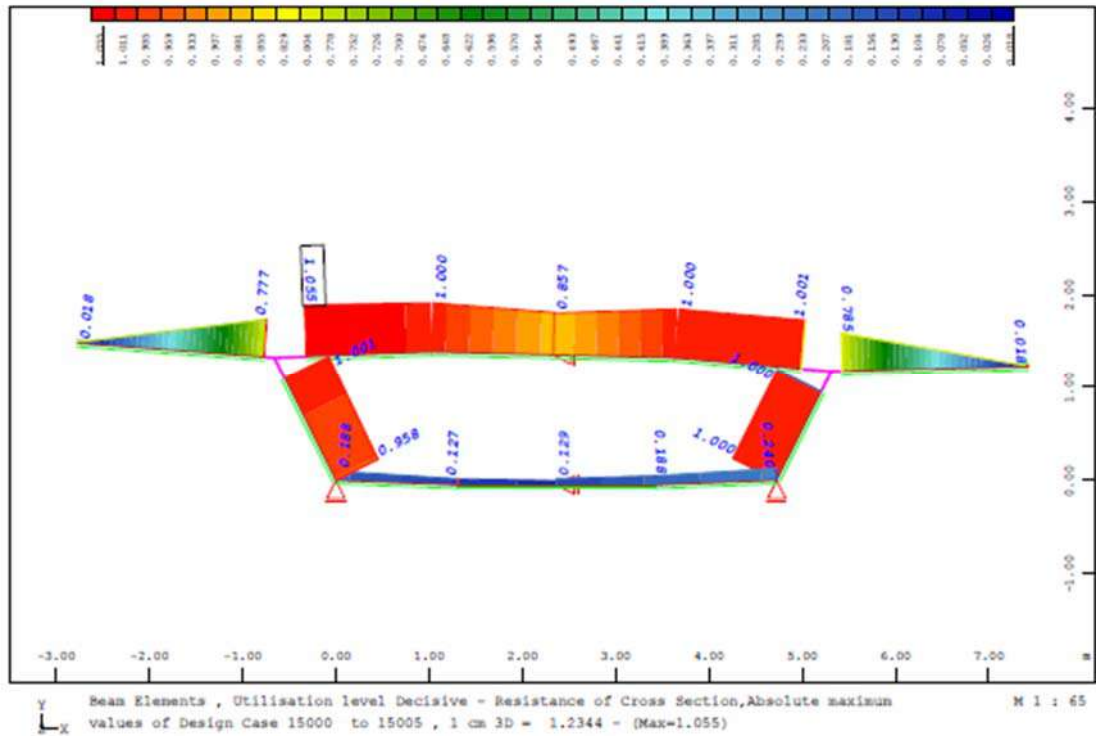
10.4.4. Βαθμός εκμετάλλευσης

Διαπιστώνεται πως αστοχίες μελών, και κυρίως της άνω πλάκας μπορούν να αποφευχθούν, με την χρήση εγκάρσια προέντασης, τάξης των 400kN, στην περίπτωση επιλογής του κιβωτίου 1. Αντίστοιχα για το κιβώτιο 2, η εγκάρσια προένταση ευνοεί την εντατική κατάσταση, αλλά δεν αποτελεί αναγκαία ενέργεια. Παρακάτω παρουσιάζονται ο βαθμός αντίστασης της διατομής από το πρόγραμμα SOFiSTiK, με και χωρίς εγκάρσια προένταση, και για τις δύο γεωμετρίες των κιβωτίων.

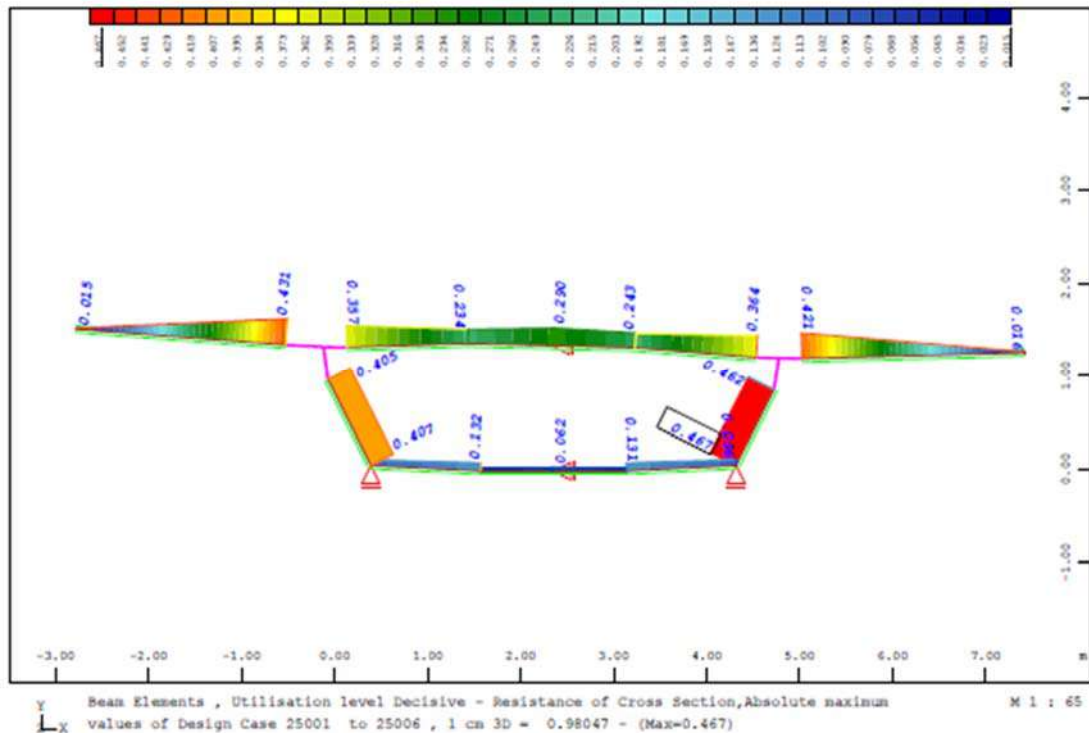
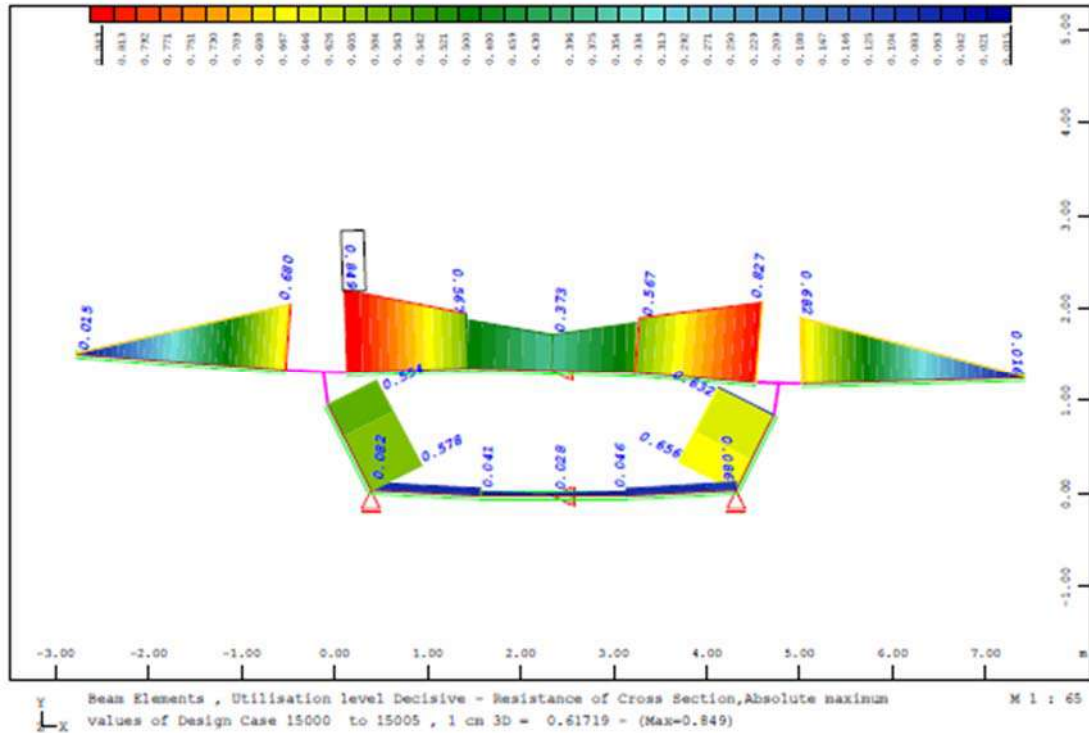
Επιπρόσθετα, σημειώνεται πως η προσομοίωση του κόμβου, μεταξύ του κορμού, προβόλου (φτερού) και άνω πλάκας, θα πρέπει να γίνεται μέσω άκαμπτης δοκού. Αμέσως παρακάτω, παρουσιάζονται η διαφορές των εντατικών μεγεθών, συγκεκριμένα για το 1.β.

Περιγραφή	Προσομοίωση κόμβου	Καμπτική ροπή [kNm]
Εντατική ροπή [kNm], στην περιοχή του κόμβου, χωρίς άκαμπτα στοιχεία.		
Εντατική ροπή [kNm], στην περιοχή του κόμβου, με άκαμπτα στοιχεία.		

Πίνακας 25. Διαφορές μεταξύ τρόπου προσομοίωσης περιοχών κόμβων.



Εικόνα 129. Βαθμός αξιοποίησης διατομής χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω), για όλους τους συνδυασμούς [κιβώτιο 1].



Εικόνα 130. Βαθμός αξιοποίησης διατομής χωρίς εγκάρσια προένταση (άνω) & με εγκάρσια προένταση (κάτω), για όλους τους συνδυασμούς [κιβώτιο 2].

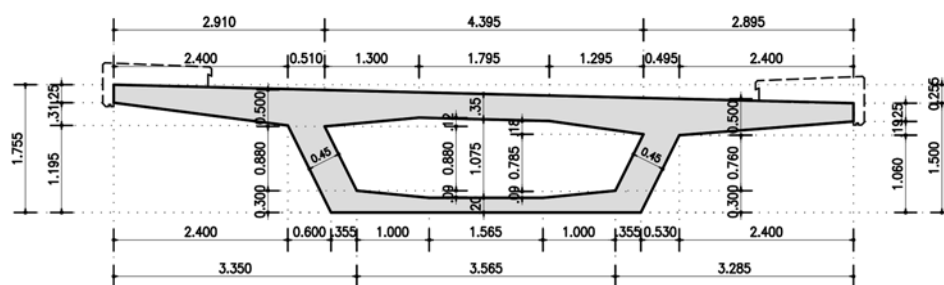
11. Διαμήκης ανάλυση

Η διαμήκης ανάλυση, με τον σχεδιασμό του κιβωτίου από την εγκάρσια ανάλυση, επαληθεύει την αντοχή της διατομής, σε οριακές καταστάσεις αστοχίας. Σε αυτό το μοντέλο, η επίλυση γίνεται επίσης γραμμικά ελαστικά, με ραβδόμορφα στοιχεία δοκού, σημειακές στηρίξεις (αρθρώσεις), σε επίπεδο προσομοίωμα. Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί, πως εφόσον πρόκειται για καμπύλη χάραξη, η γέφυρα προσομοιώνεται με το πραγματικό μήκος, δηλαδή του τόξου που αντιστοιχεί στο άξονα της γέφυρας. Εδώ σημειώνεται πως δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη φαινόμενα στρέψης που οφείλονται στην καμπύλη γεωμετρία.

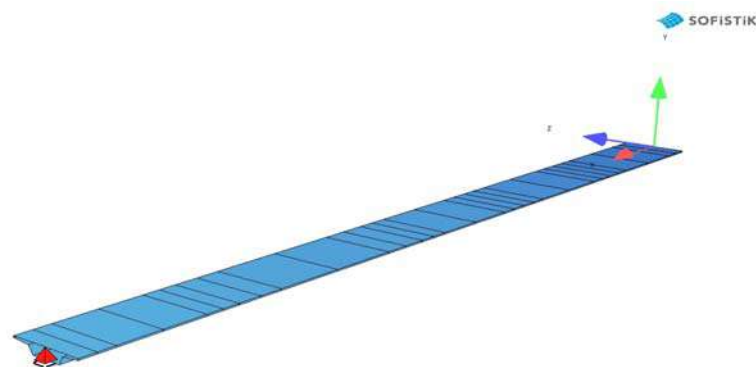
Τα υλικά, οι παραδοχές και τα φορτία, είναι όμοια με αυτής της εγκάρσιας ανάλυσης, όπως θα παρουσιαστούν και παρακάτω. Ουσιαστικά, στην διαμήκη ανάλυση, υπολογίζονται τα εντατικά μεγέθη, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της δύναμης προεντάσεως, και έπειτα μπορεί να οριστεί το καθολικό τρισδιάστατο μοντέλο, πεπερασμένων στοιχείων.

11.1. Προσομοίωμα διαμήκους ανάλυσης

Για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών, μέγιστης θετικής και αρνητικής ροής, καθώς και για τις τέμνουσες δυνάμεις, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SOFiSTiK A.G., όπου τα μέλη της διατομής, ορίστηκαν ως ραβδόμορφα στοιχεία δοκού στο επίπεδο, με διατομή αυτή του κιβωτίου 2, όπου τελικά επιλέχθηκε. Επιπλέον επιλέγονται σημειακές στηρίξεις, όπως παρουσιάζονται παρακάτω. Σημειώνεται πως στις στηρίξεις και σε απόσταση 20% του ανοίγματος, προσομοιώνεται διατομή συμπαγής, χωρίς το κεντρικό κενό, όπως παρουσιάζεται στο προοπτικό του φορέα παρακάτω.



Εικόνα 131. Γεωμετρία κιβωτίου.



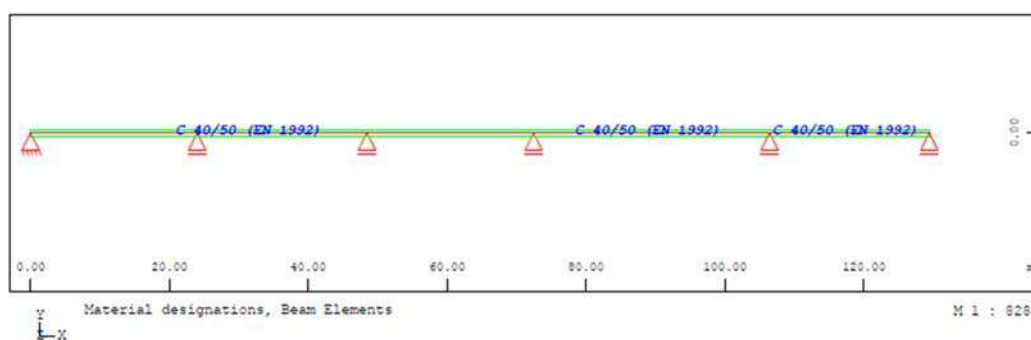
Εικόνα 132. Προοπτικό προσομοιώματος.

11.2. Υλικά προσομοιώματος

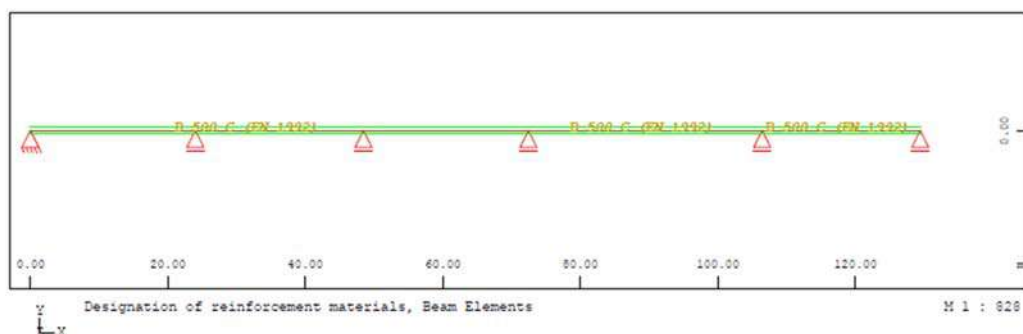
Τα υλικά του προσομοιώματος της διαμήκης ανάλυσης, είναι όμοια με αυτά της εγκάρσιας ανάλυσης.

Mat	Classification
1	C40/50 (EN1992)
2	B500C (EN1992)

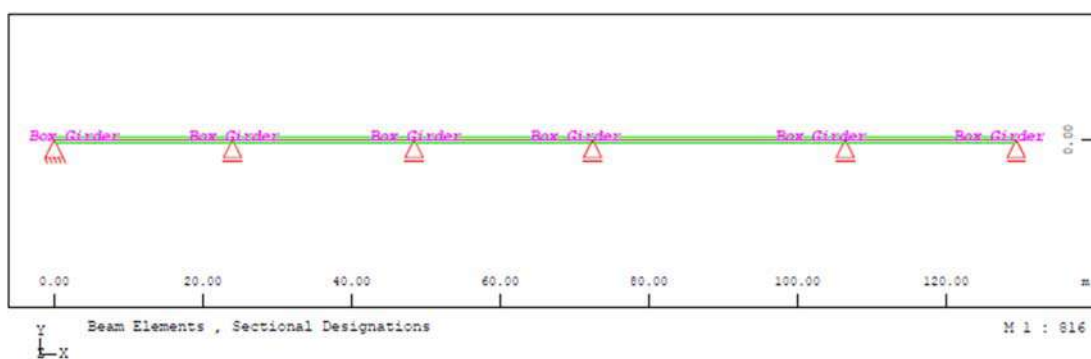
Πίνακας 133. Υλικά προσομοιώματος.



Εικόνα 134. Υλικό διατομών.



Εικόνα 135. Υλικό οπλισμού διατομών.



Εικόνα 136. Διατομές προσομοιώματος.

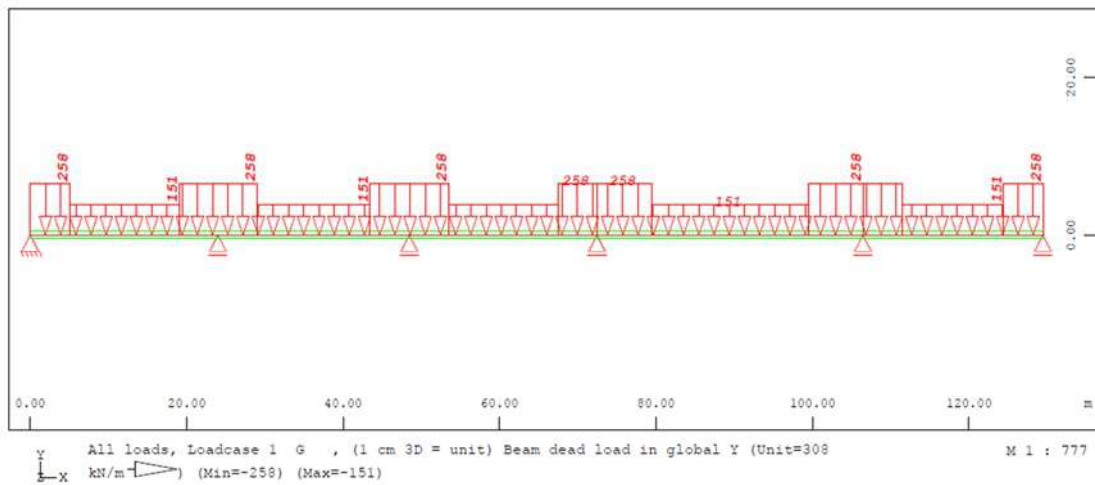
11.3. Φορτία προσομοιώματος

ΔΡΑΣΕΙΣ		
[G]	ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ	
[LC1]	Ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος	25.00 kN/m ³
[G']	ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ	
[LC2]	Φορτίο ασφαλικών κ.λπ.	27.40 kN/m
	Φορτίο πεζοδρομίων [x2]	12.50 kN/m
	[LC2] Φορτίο Σ.Α. [x2]	1.00 kN/m
[Q]	ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ [κατά EN1991-2]	
[LC3]	Φορτία κυκλοφορίας UDL [3.00m x 9.50kN/m ² + 4.50m x 2.50kN/m ²] (UDL) [2 x 1.50m x 3.00kN/m ²] (κινητό συνδ. πεζοδρομίου)	48.75 kN/m
[LC4]	TS στο 1 ^ο άνοιγμα	900.00 kN
[LC5]	TS στο 2 ^ο άνοιγμα	900.00 kN
[LC6]	TS στο 3 ^ο άνοιγμα	900.00 kN
[LC7]	TS στο 4 ^ο άνοιγμα	900.00 kN
[LC8]	TS στο 5 ^ο άνοιγμα	900.00 kN

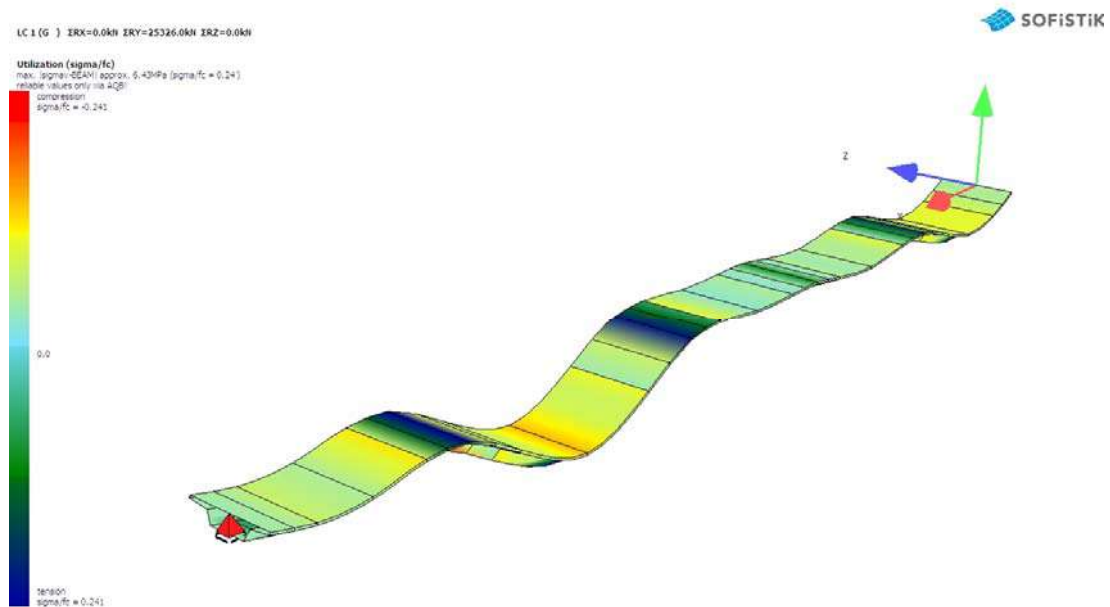
Πίνακας 26. Φορτίσεις για το μοντέλο διαμήκης ανάλυσης.

11.3.1. Μόνιμα φορτία G [LC1]

Το ίδιο βάρος υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.



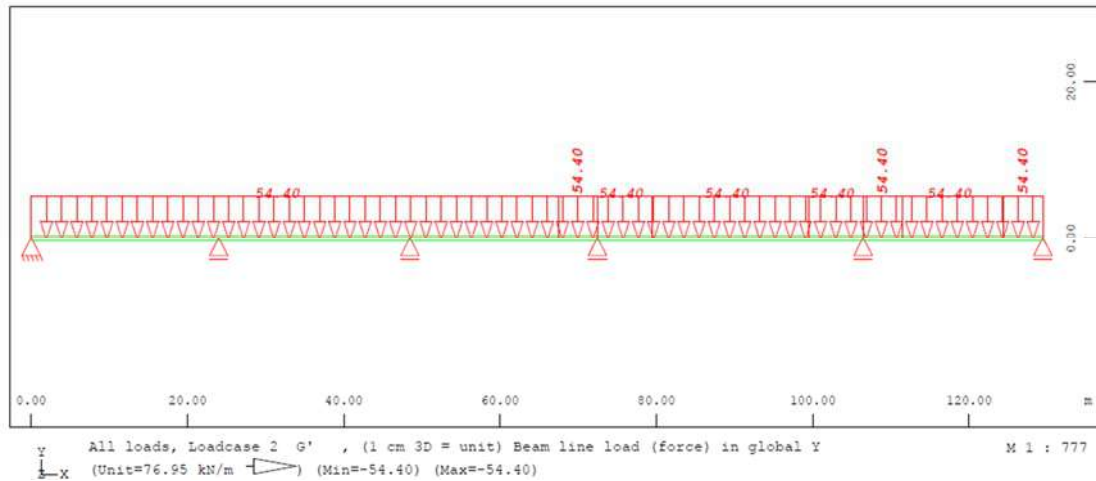
Εικόνα 137. Φορτίο ι.β.



Εικόνα 138. Παραμόρφωση λόγω ι.β.

11.3.2. Πρόσθετα μόνιμα φορτία G' [LC2]

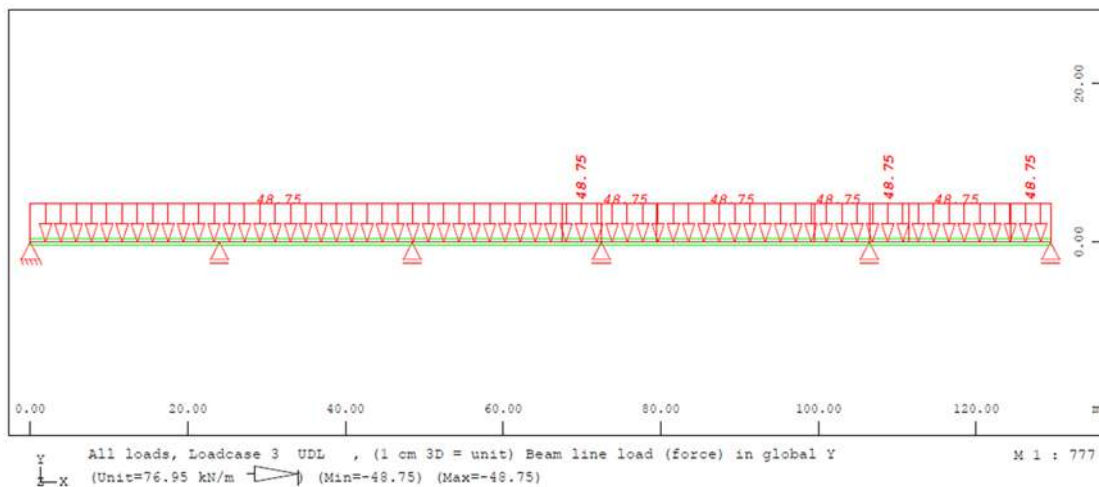
Επιβάλλονται τα πρόσθετα μόνιμα φορτία όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Δράσεις Γεφυρών, ανοιγμένα κατά το μήκος της γέφυρας.



Εικόνα 139. Φορτίο πρόσθετων μόνιμων φορτίων.

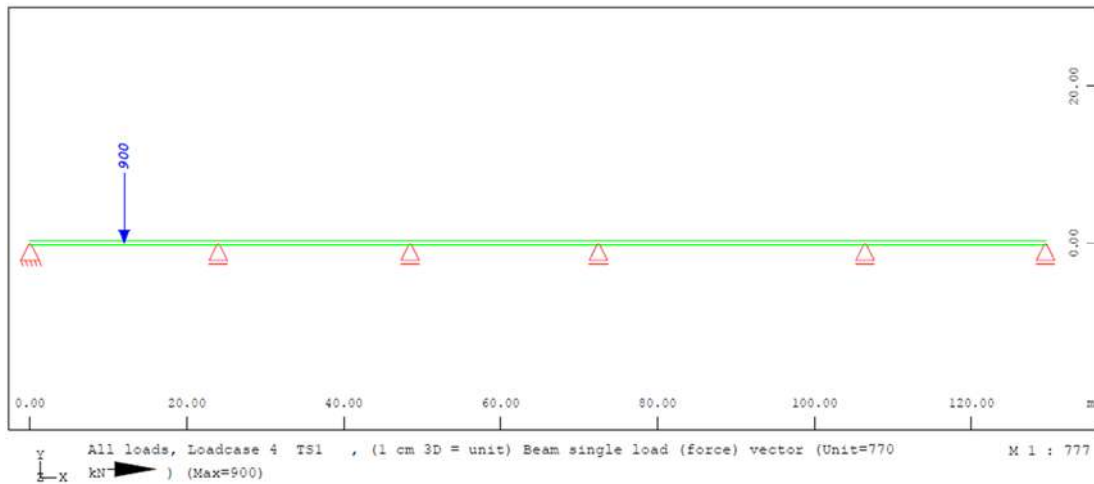
11.3.3. Φορτία κυκλοφορίας [LC3]

Επιβάλλονται τα φορτία κυκλοφορίας όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Δράσεις Γεφυρών, ανοιγμένα επίσης κατά το μήκος της γέφυρας.



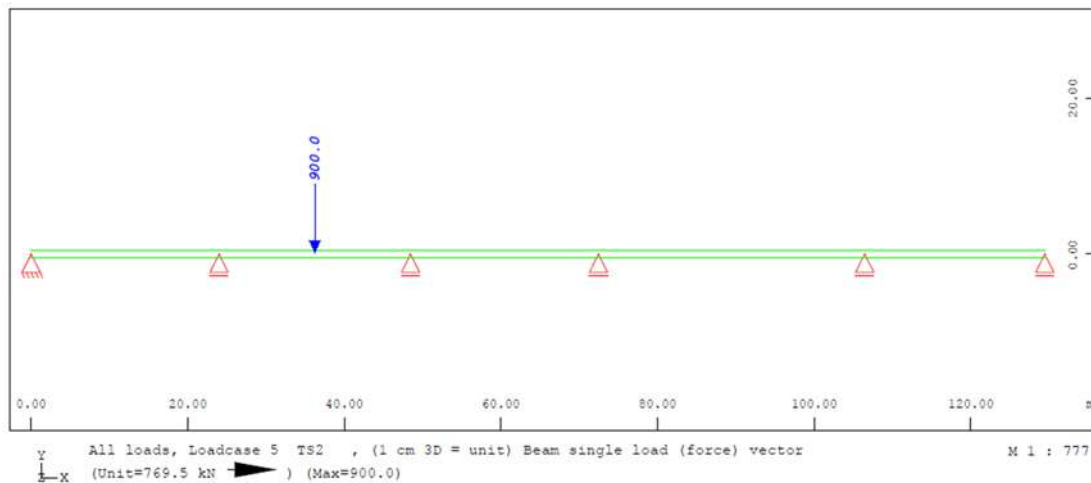
Εικόνα 140. Φορτία.

11.3.3.1. Φορτία κυκλοφορίας στο 1^ο άνοιγμα [LC4]



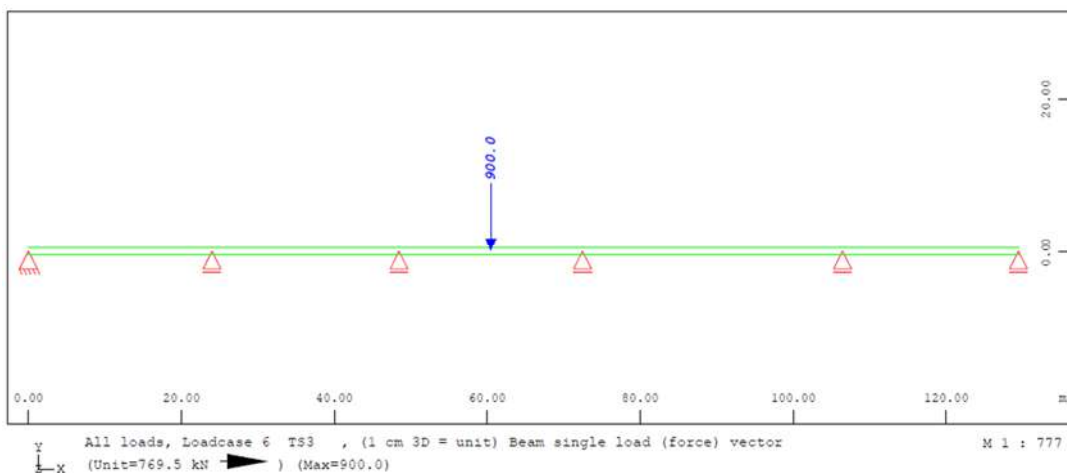
Εικόνα 141. Φορτία.

11.3.3.2. Φορτία κυκλοφορίας στο 2^ο άνοιγμα [LC5]



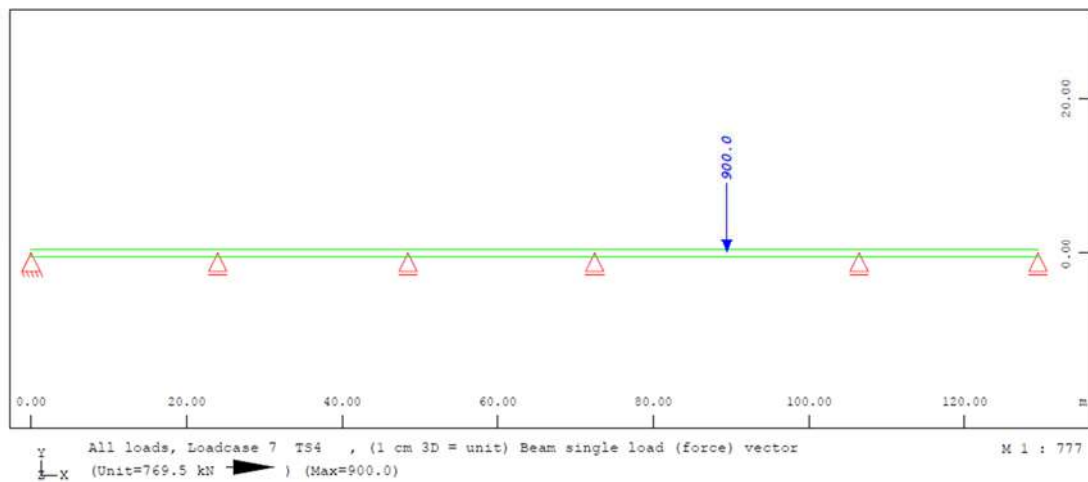
Εικόνα 142. Φορτία.

11.3.3.3. Φορτία κυκλοφορίας στο 3^ο άνοιγμα [LC6]



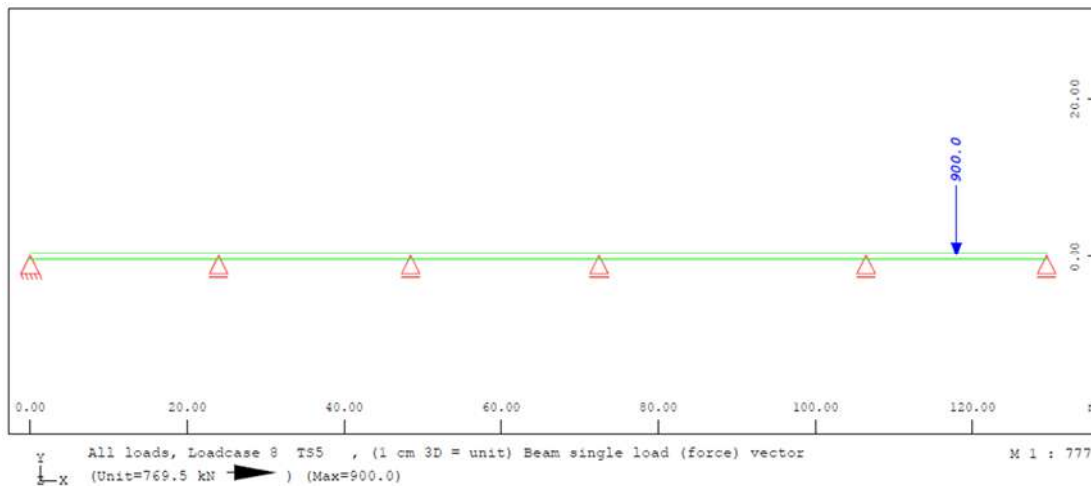
Εικόνα 143. Φορτία.

11.3.3.4. Φορτία κυκλοφορίας στο 4^ο άνοιγμα [LC7]



Εικόνα 144. Φορτία.

11.3.3.5. Φορτία κυκλοφορίας στο 5^ο άνοιγμα [LC8]



Εικόνα 145. Φορτία.

11.4. Αποτελέσματα διαμήκης ανάλυσης

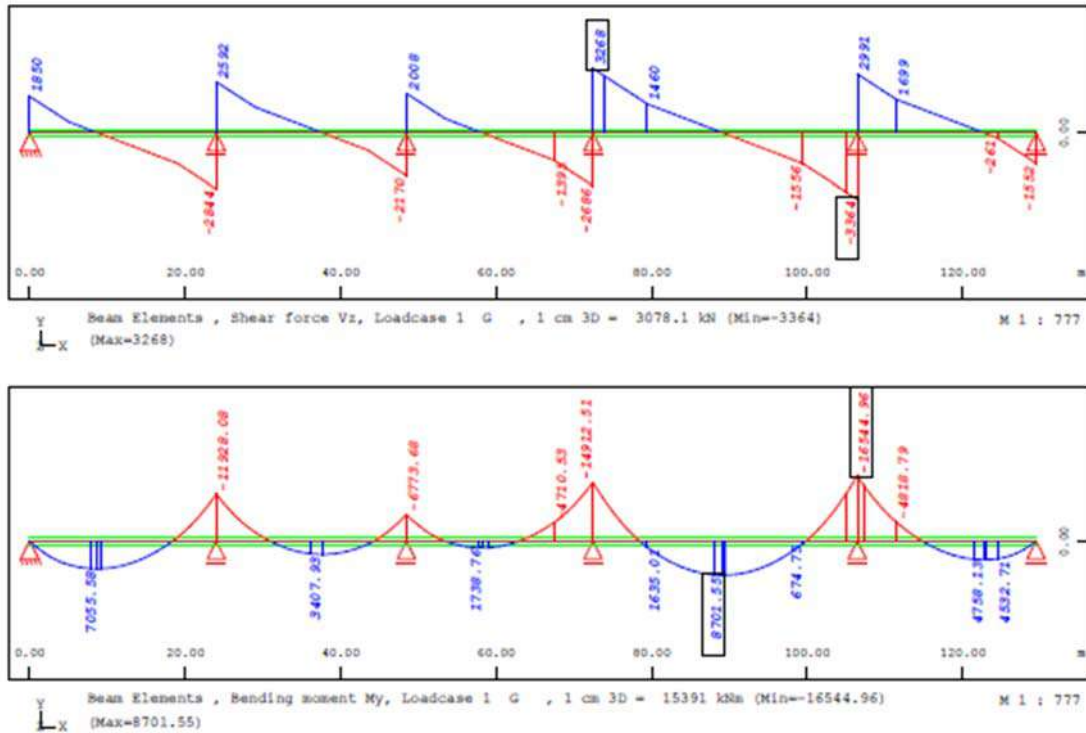
11.4.1. Συνδυασμοί

Συνδυασμός [LC]	Δράσεις
15000	1.35(LC1+LC2)+1.35(LC3+LC4)
15001	1.35(LC1+LC2)+1.35(LC3+LC5)
15002	1.35(LC1+LC2)+1.35(LC3+LC6)
15003	1.35(LC1+LC2)+1.35(LC3+LC7)
15004	1.35(LC1+LC2)+1.35(LC3+LC8)

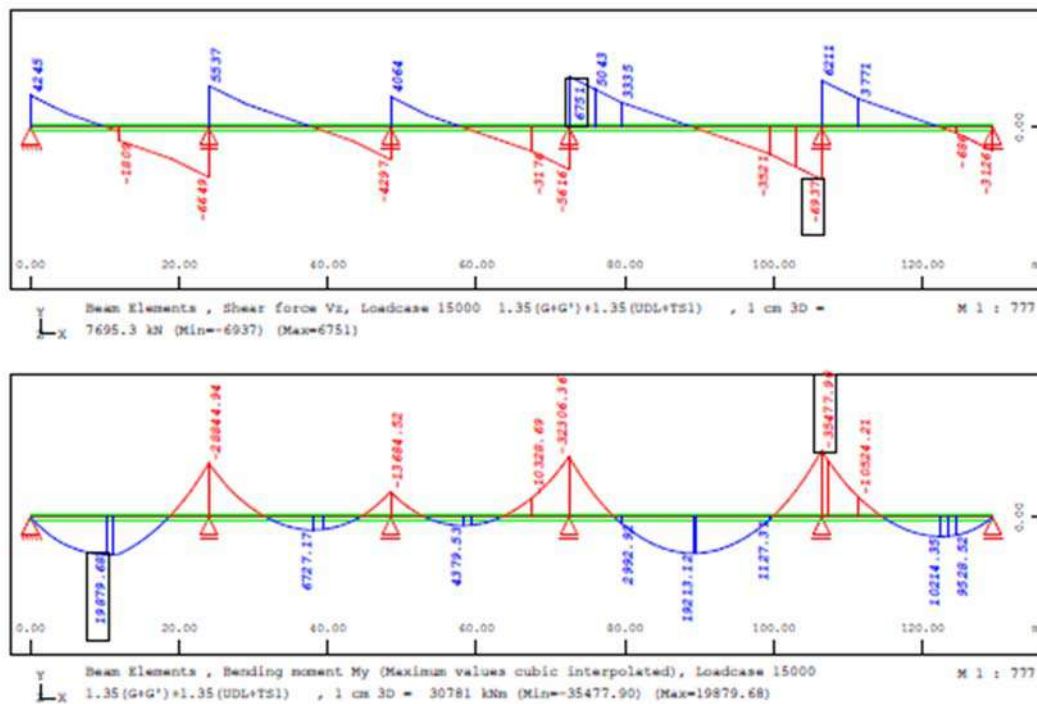
Πίνακας 27. Συνδυασμοί μοντέλου εγκάρσιας ανάλυσης.

11.4.2. Εντατικά μεγέθη

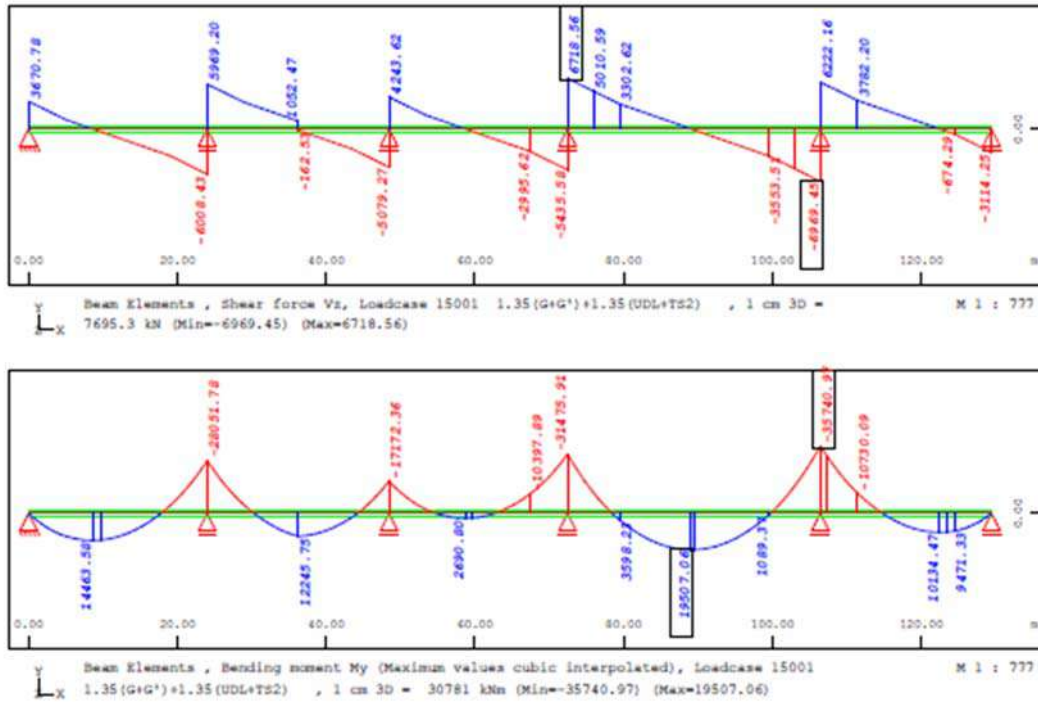
Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα εντατικά μεγέθη, για τους συνδυασμούς LC1 (ι.β.), LC 15002 & LC2 25001 (όμοιος με LC 15002, όμως μαζί με την συνεισφορά της εγκάρσιας προέντασης), και για τα δύο κιβώτια.



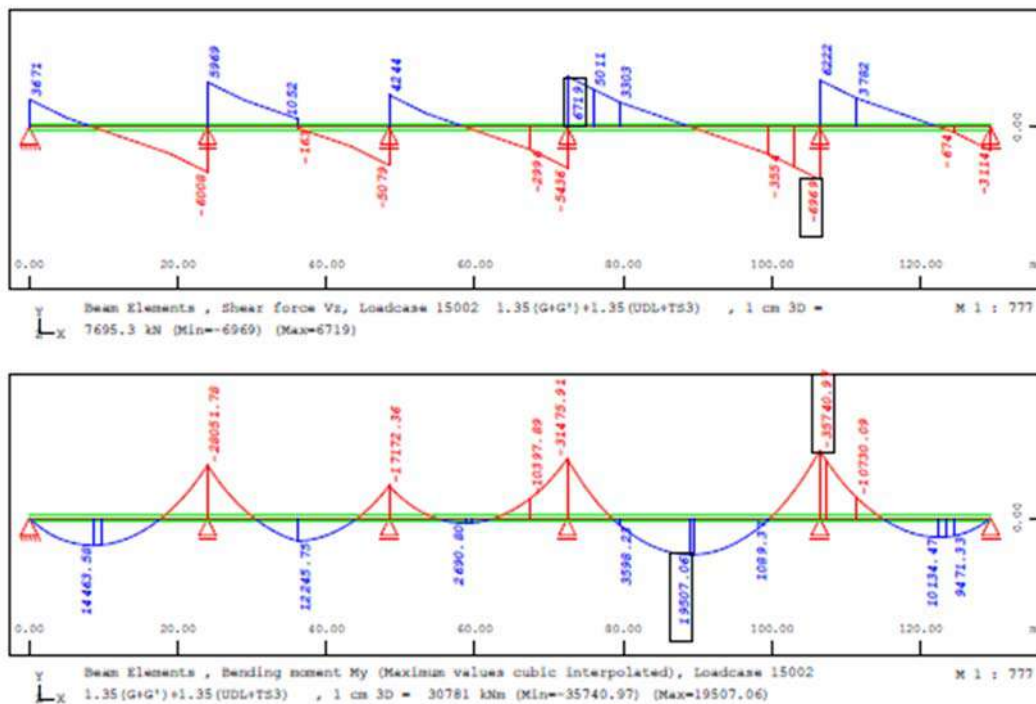
Εικόνα 146. Εντατικά από ίδιο βάρος.



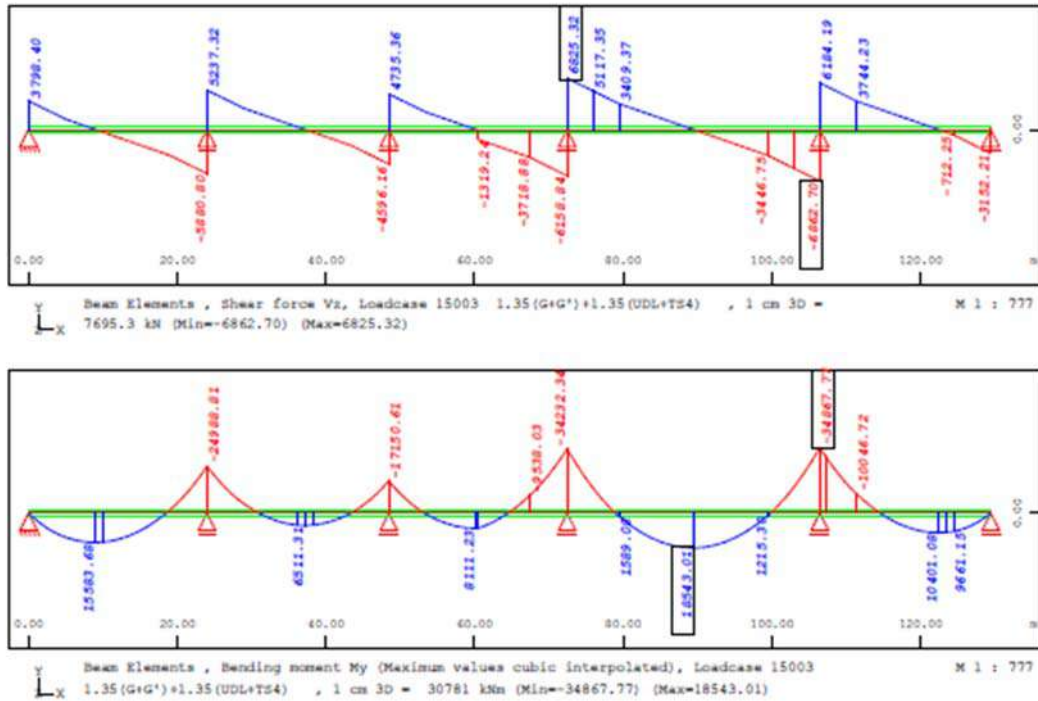
Εικόνα 147. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15000.



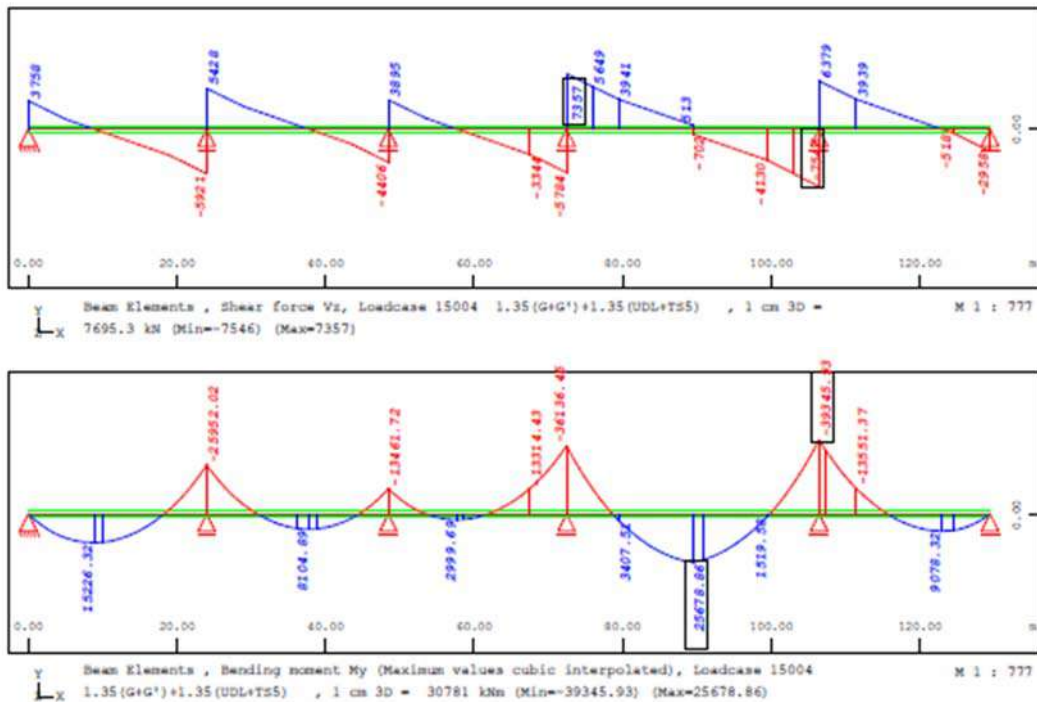
Εικόνα 148. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15001.



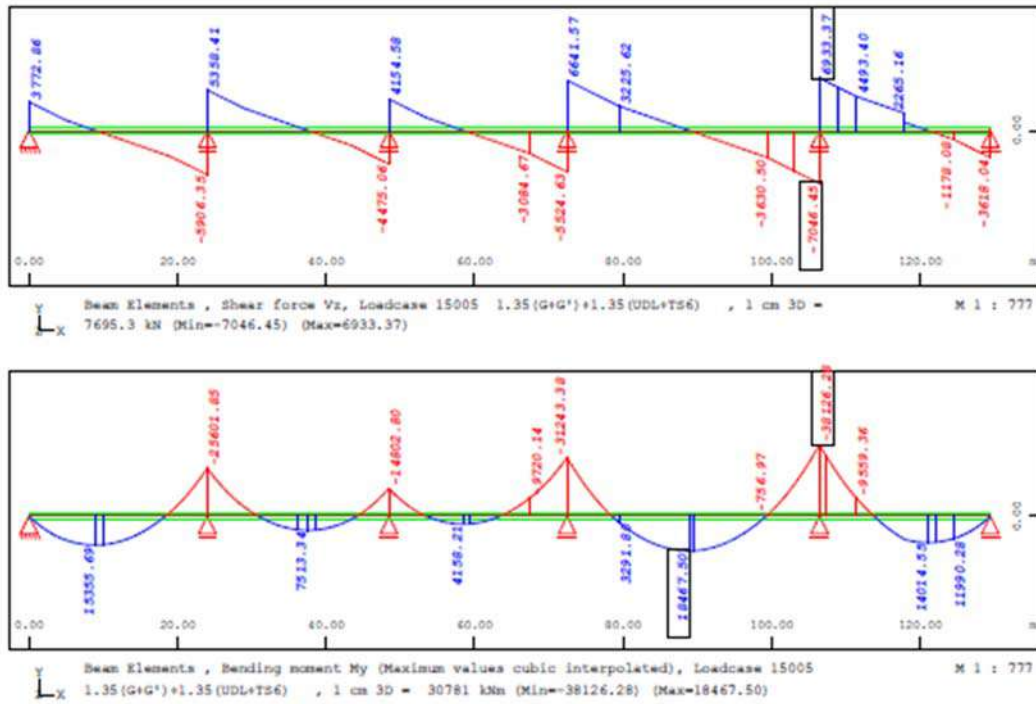
Εικόνα 149. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15002.



Εικόνα 150. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15003.



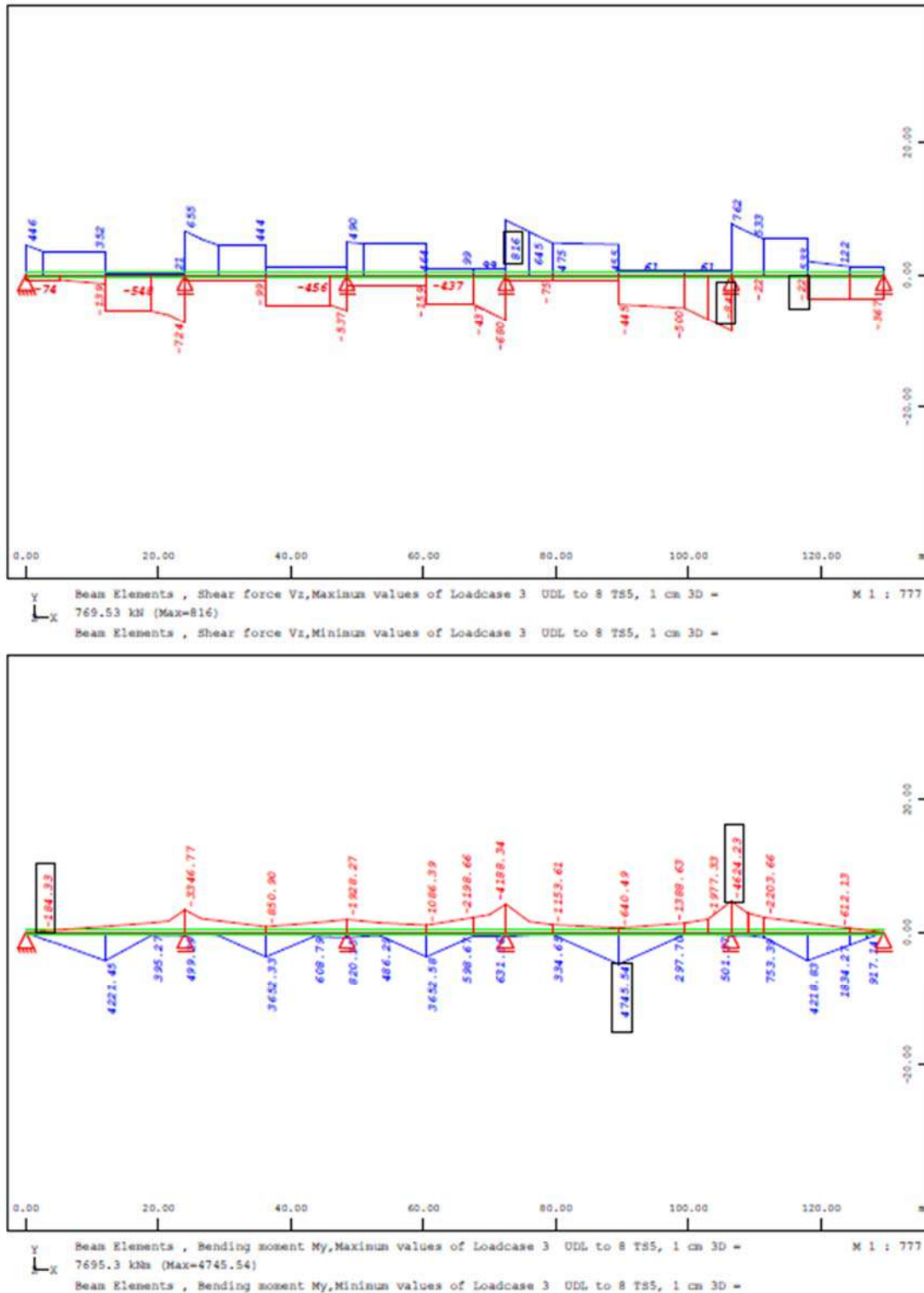
Εικόνα 151. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15004.



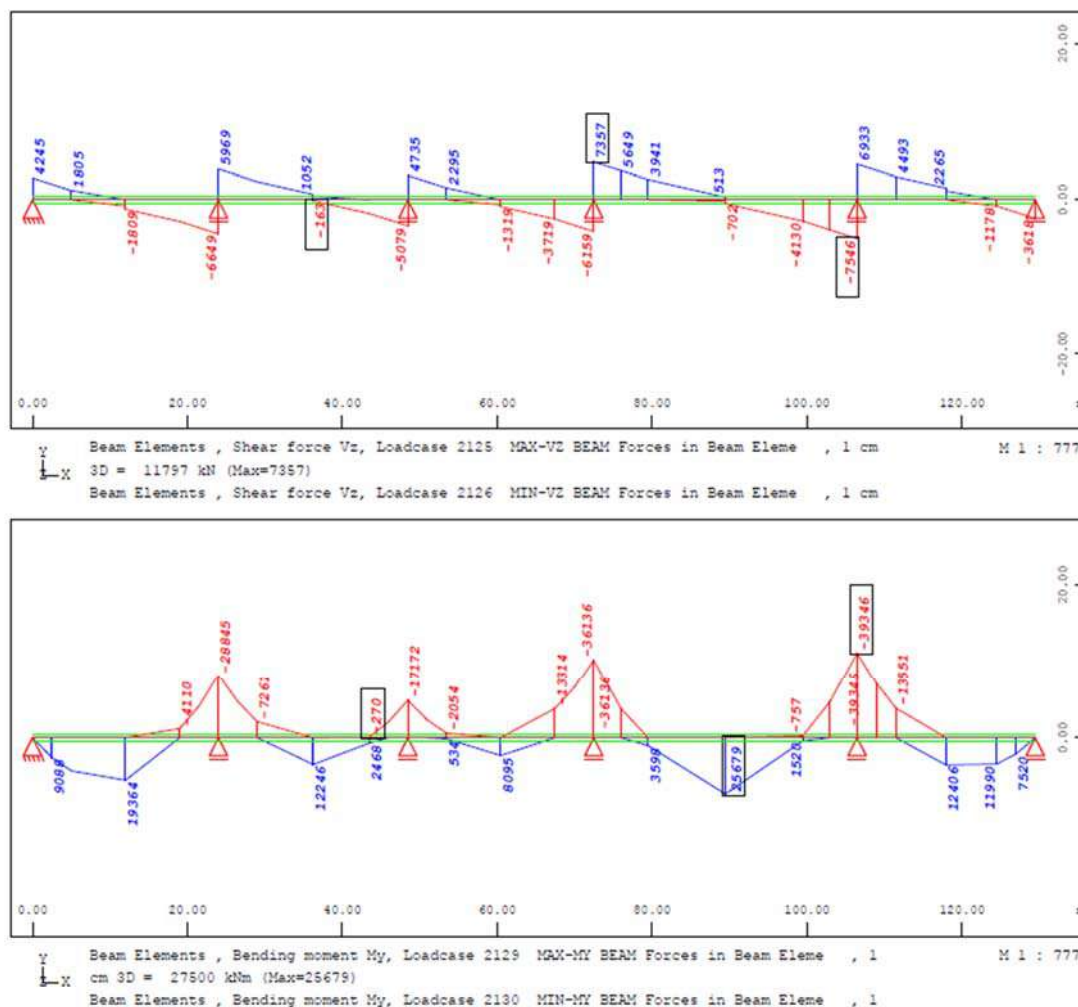
Εικόνα 152. Εντατικά από τον συνδυασμό LC15005.

11.4.3. Περιβάλλουσα εντατικών

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω συνδυασμούς, προκύπτουν τα εξής διαγράμματα περιβαλλουσών.



Εικόνα 153. Περιβάλλουσα εντατικών μεγεθών από φορτία κυκλοφορίας.



Εικόνα 154. Περιβάλλουσα εντατικών μεγεθών.

Σε αυτό το σημείο, να αναφερθεί πως στην περίπτωση της επιλογής του αμφιέρειστου κιβωτίου, η ροπή στο μεγαλύτερο άνοιγμα (34.00m), θα ήταν ίση με:

$$M_{max,span} = \frac{\left((1.35 * (151 + 54.40) + 1.35 * (48.75)) * 34^2 \right)}{8} + \frac{1.35 * (900.00) * 34.00}{4}$$

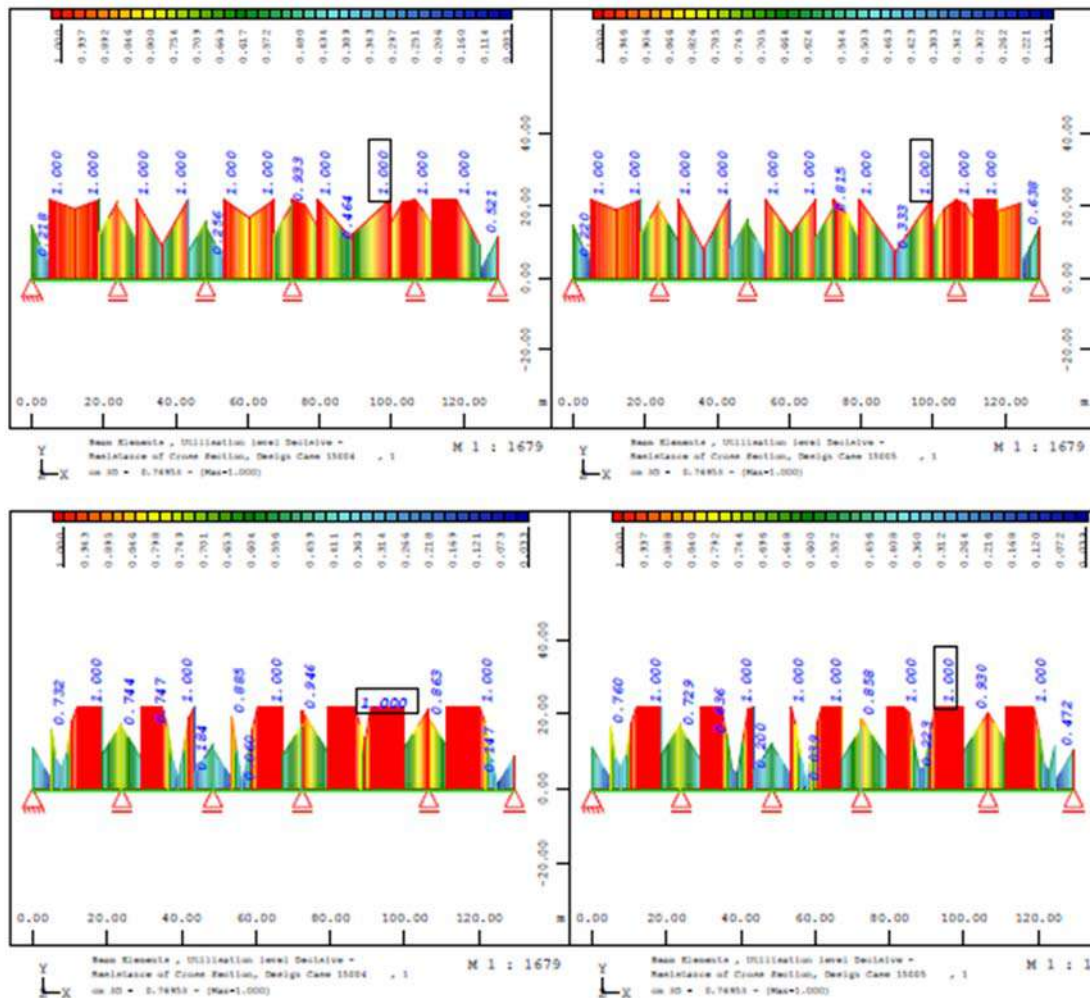
$$\rightarrow M_{max,span} = 49890.60 \text{ kNm (σχεδόν διπλάσια από αυτή του συνεχές φορέα)}$$

Όσο αναφορά την τέμνουσα δύναμη, η διαφορά θα ήταν σχετικά μικρή, δηλαδή:

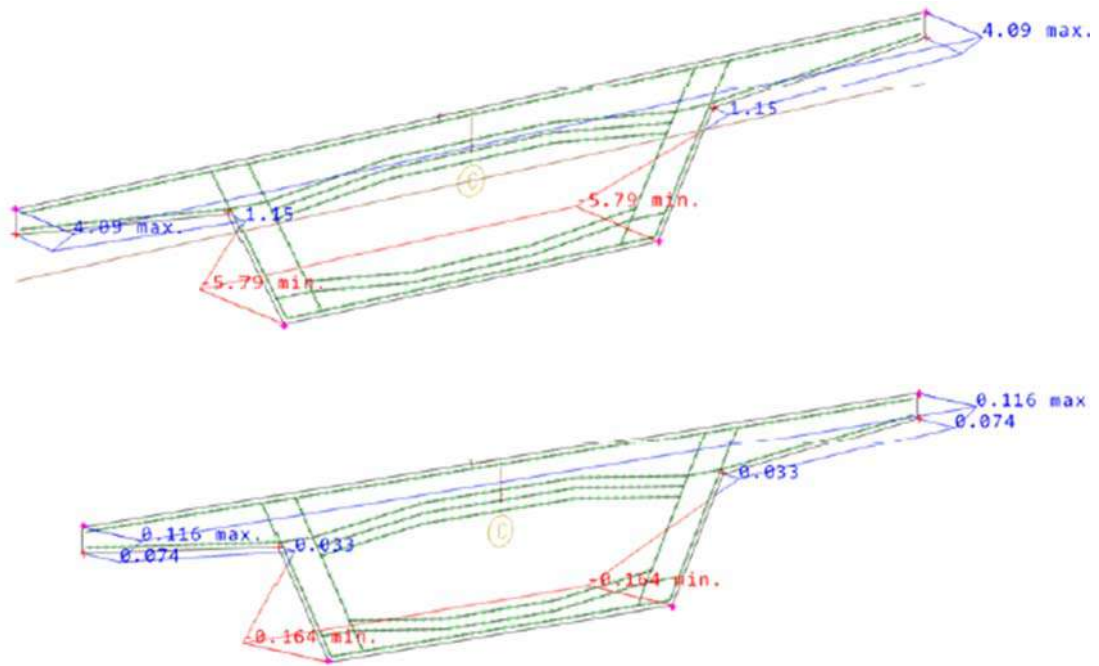
$$V_{max,sup} = \frac{[(1.35 * (151 + 54.40) + 1.35 * (48.75)) * 34 + 1.35 * 900]}{2} = 6440.25 \text{ kN}$$

11.4.4. Βαθμός εκμετάλλευσης, τάσεις και τροπές

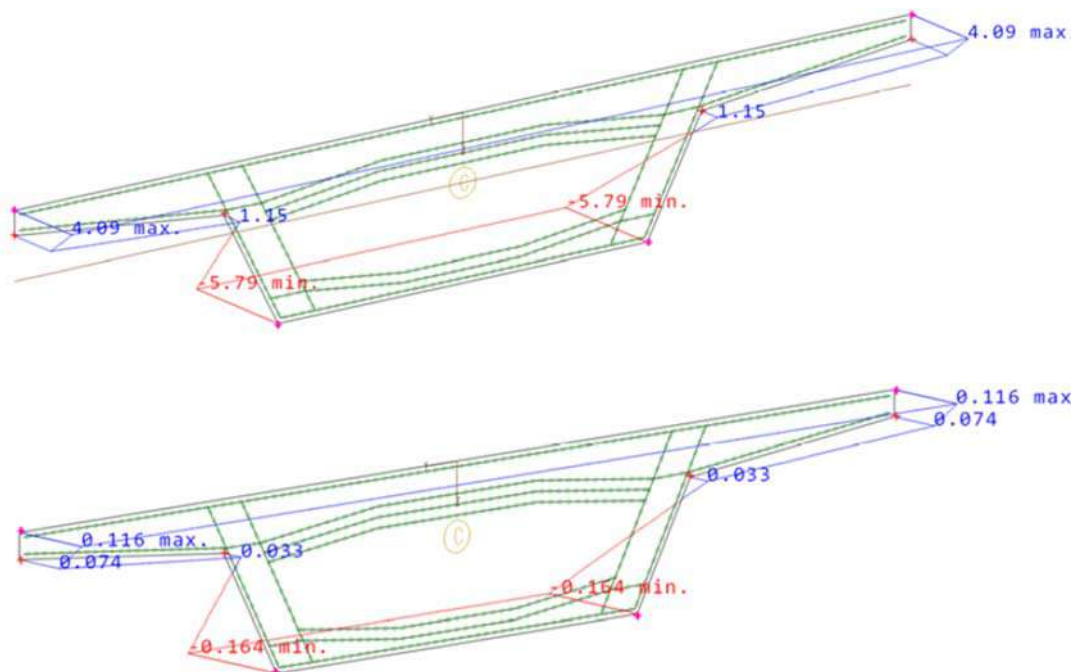
Διαπιστώνεται πως αστοχίες μελών, κάνουν την εμφάνιση τους, κυρίως στα σημεία των αρνητικών ροπών, πλησίον των στηριξεων. Παρακάτω παρουσιάζονται ο βαθμός αντίστασης της διατομής από το πρόγραμμα SOFiStiK. Επιλέγεται μεταβλητό ύψος του κιβωτίου, όπου ο λόγος της επάρκειας της διατομής ανέρχεται σε ικανοποιητικά επίπεδα στις περιοχές των στηριξεων (90%), ενώ το πρόβλημα της υπέρβασης στις περιοχές των ανοιγμάτων θα αντιμετωπιστεί κατόπιν του υπολογισμού της διαμήκου προέντασης.



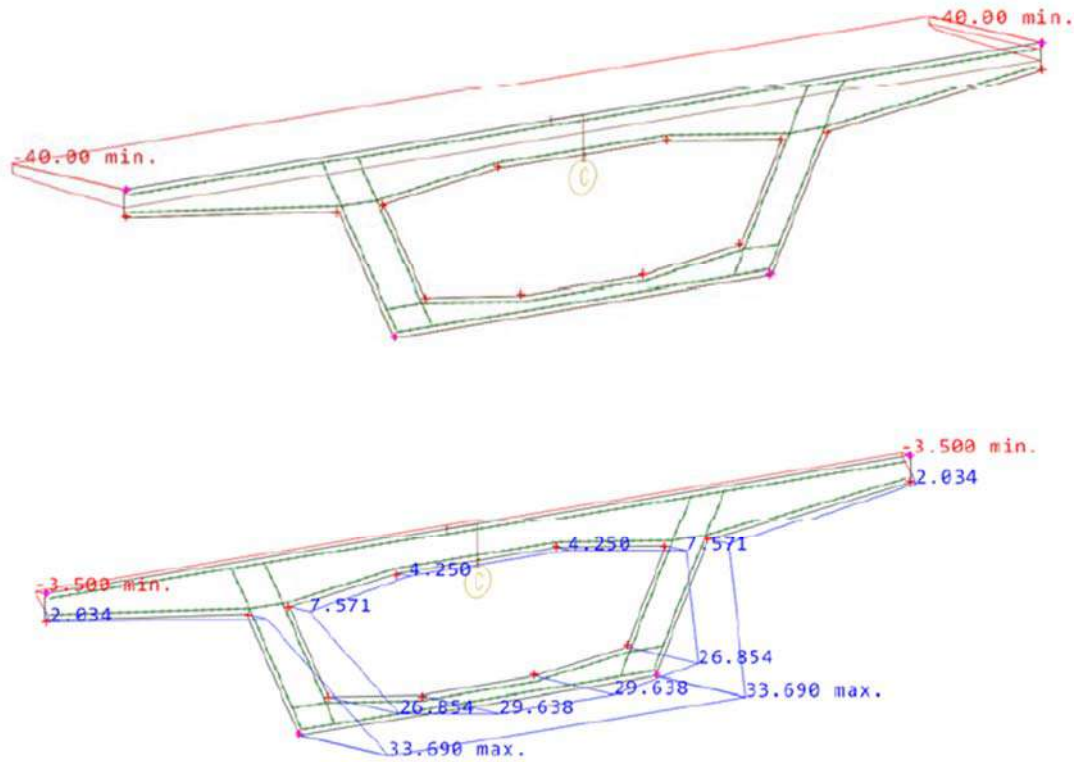
Εικόνα 155. Βαθμός αξιοποίησης διατομής με σταθερό ύψος (άνω) και με μεταβλητό ύψος κιβωτίου (κάτω).



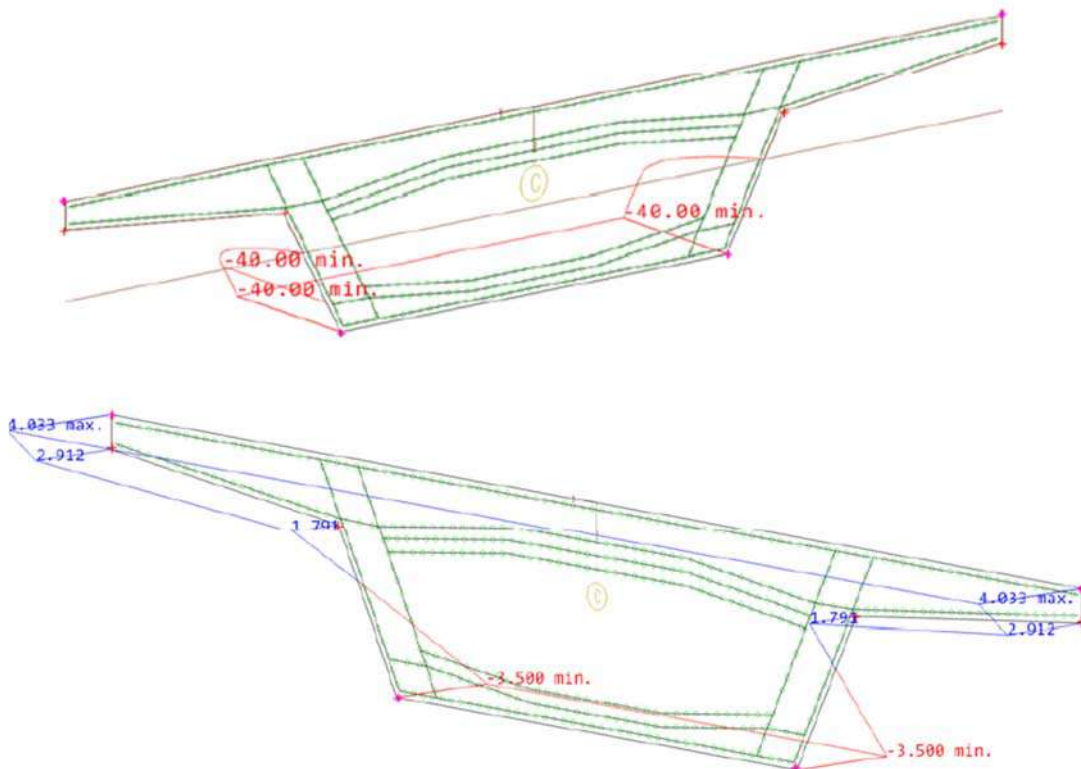
Εικόνα 156. Τάσεις (άνω) και τροπές (κάτω) στο άνοιγμα [ι.β.].



Εικόνα 157. Τάσεις (άνω) και τροπές (κάτω) στη στήριξη [ι.β.].



Εικόνα 158. Τάσεις (άνω) και τροπές (κάτω) στο άνοιγμα [OKA].

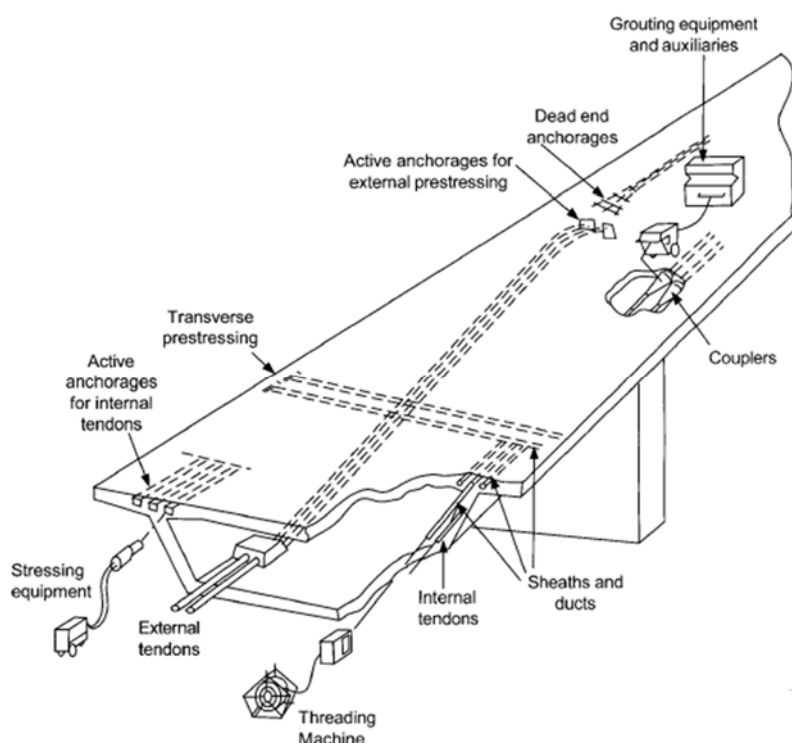


Εικόνα 159. Τάσεις (άνω) και τροπές (κάτω) στη στήριξη [OKA]

12. Υπολογισμός προέντασης

12.1. Γενικά

Η ιδέα της προέντασης βασίζεται στη σκέψη να μην υπάρχει αδρανές τμήμα της διατομής αλλά όλο το υλικό να συμμετέχει στην ανάληψη των φορτίων. Για να επιτευχθεί αυτό και δεδομένου ότι το σκυρόδεμα έχει πολύ μικρή εφελκυστική αντοχή θα πρέπει όλη η διατομή να βρίσκεται υπό θλίψη. Κατ' αυτόν τον τρόπο δεν θα υπάρχει ρηγμάτωση με αποτέλεσμα να διορθώνονται πολλά μειονεκτήματα όπως το μεγάλο ίδιο βάρος, η μειωμένη δυσκαμψία, τα μεγάλα βέλη κάμψεως, η υδατοστεγανότητα και ο κίνδυνος διάβρωσης του οπλισμού.



Εικόνα 160. Γενική διάταξη προέντασης σε γέφυρες (Naaman 2004).

Με τον όρο προένταση εννοείται η επιβολή μια επιπρόσθετης, ηθελημένης και κατάλληλα προσχεδιασμένης θλιπτικής φόρτισης η οποία έχει ως σκοπό την βελτίωση της στατικής λειτουργίας του φορέα διά της μεγίστης κατά το δυνατός εκμετάλλευσης των ιδιοτήτων των υλικών.

Πρώτος ο Freyssinet (1926) αντελήφθη ότι οι απώλειες αυτές ήταν σταθερές σε μεγάλο βαθμό και προβλέψιμες και άρα θα ήταν δυνατόν να αυξηθούν αναλόγως οι αρχικές τάσεις ώστε οι απώλειες να αποτελούν ένα τμήμα τους τέτοιο ώστε οι τάσεις που θα εναπομείνουν να είναι επαρκείς για την ασφαλή λειτουργία του στοιχείου. Οι παρατηρήσεις αυτές με τη σταδιακή βελτίωση των ιδιοτήτων των υλικών και ιδιαίτερα του χάλυβα επέτρεψε τελικά την απαραίτητη αρχική επιβολή αυξημένων τάσεων με αποτέλεσμα την υλοποίηση της ιδέας του προεντεταμένου σκυροδέματος.



Εικόνα 161. Eugène Freyssinet, Γάλλος πολιτικός μηχανικός, πρωτοπόρος του ΠΣ (1879-1962).

12.2. Μέθοδος συνδυασμού εντατικών καταστάσεων

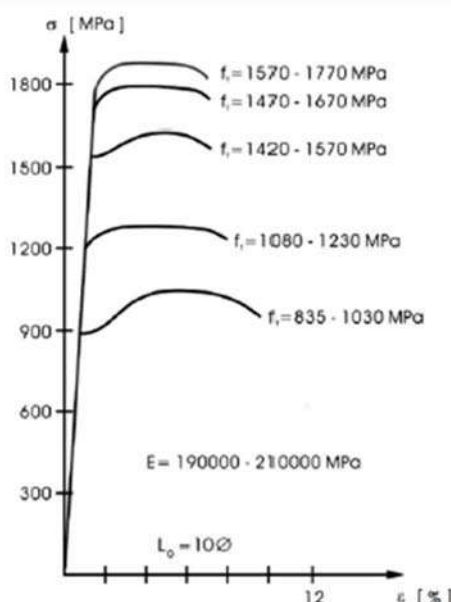
Για την επιλογή της προέντασης, γίνεται συνδυασμός των εντατικών καταστάσεων και υπολογίζεται η διανομή των τάσεων στις κρίσιμες διατομές. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις των προεντεταμένων δοκών με πλήρη προένταση οι διατομές παραμένουν αρηγμάτωτες υπό τα φορτία λειτουργίας και άρα οι αναλύσεις και οι έλεγχοι των διατομών γίνονται σε επίπεδο τάσεων με τις σχέσεις της αρηγμάτωσης της Μηχανικής.

Σημειώνεται πως υπάρχει και η μέθοδο των αντιφορτίων όπου πρόκειται για του υπερστατικούς φορείς. Τα αντιφορτία είναι νοητές εξωτερικές φορτίσεις που προκαλούν ακριβώς τη φόρτιση που προκαλεί ο τένοντας στο σκυρόδεμα. Ο συγκεκριμένος φορέας είναι ουσιαστικά, ένα σύστημα δοκού πολλαπλών ανοιγμάτων, όπου είναι υπερστατικός σύμφωνα με τις τρεις (3) βασικές εξισώσεις ισορροπίας της στατικής, αλλά κατά την διαμήκη έννοια, παραμένει ισοστατικός, καθώς ο φορέας είναι πλεούμενος επί εφεδράνων. Τα εφέδρανα προσδίδουν στήριξη πλησίον αυτή της κύλισης, αλλά με υπολογιζόμενη δυσκαμψία. Οι δράσεις της προέντασης που ασκούνται στα εφέδρανα, θα πρέπει να ελεγχθούν κατά την επιλογή και διαστασιολόγηση των εφεδράνων.

12.3. Υλικά και μέσα προέντασης

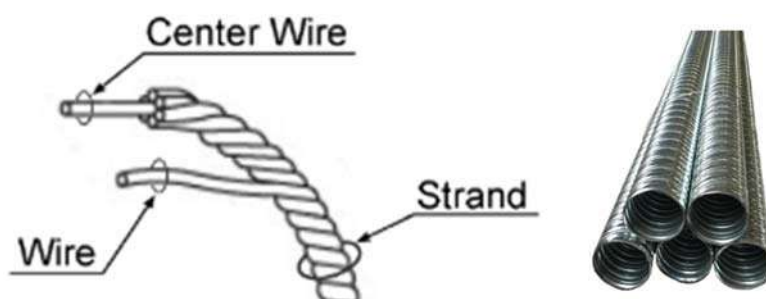
Τα βασικά υλικά για την υλοποίηση του προεντεταμένου σκυροδέματος είναι τα εξής:

- **Σκυρόδεμα** αυστηρών απαιτήσεων
- **Χάλυβες προεντάσεων** που περιλαμβάνουν ράβδους (bars), σύρματα (wires), συρματόσχοινα (strands) και καλώδια.



Εικόνα 162. Συγκριτική παρουσίαση των διαφόρων τύπων χάλυβων και επιρροή της αντοχής στην πλαστικότητα του χάλυβα.

- **Χάλυβες χαλαρού οπλισμού**, όπου οι χαλαροί χάλυβες πάντοτε συνυπάρχουν στα προεντεταμένα στοιχεία και χρησιμοποιούνται ως διαμήκεις οπλισμοί και ως συνδετήρες.
- **Τσιμεντένεμα**, όπου είναι το υλικό που εισπιέζεται μέσα στους σωλήνες προέντασης μετά την επιβολή της προέντασης με σκοπό να αποκατασταθεί η συνάφεια μεταξύ των τενόντων και του περιβάλλοντος σκυροδέματος.
- **Σωλήνες προέντασης**, όπου είναι οι σωλήνες καθοδήγησης των τενόντων στη συνήθη περίπτωση επιβολής της προέντασης μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος.



Εικόνα 163. Περιγραφή χάλυβα προέντασης (αριστερά) και σωλήνας προέντασης (δεξιά).

Κατά το σύστημα ΜΚ4 όπου επιλέγεται τελικά, αναφέρονται οι παρακάτω τιμές για τις εσωτερικές διαμέτρους D_o , των σωλήνων προέντασης.

Για συρματόσχοινα 0.5" (13mm), αντοχής S1770/1860	
Αριθμός συρμάτων	D_o
Έως 7	51
8 ή 9	62
10 έως 15	72
16 έως 19	85
20, 21 & 22	90
23 έως 27	100
28 έως 35	110

**Είναι σημαντικό να επισημανθεί πως σε φορείς με προένταση θα πρέπει να προδιαγράφεται σκυρόδεμα με ποσοστό χλωριόντων λιγότερο από 0.10% σύμφωνα με τον EN206-1, καθώς αποτελεί γενεσιουργός δύναμης επιτάχυνσης της διάβρωσης.*

Χρήση του σκυροδέματος	Κατηγορία περιεκτικότητας σε χλωριόντα ^α	Μέγιστη περιεκτικότητα Cl ⁻ σε ποσοστό της μάζας του τσιμέντου ^β
Σκυρόδεμα που δεν περιέχει χάλυβα οπλισμού ή άλλα ενσωματωμένα μεταλλικά τεμάχια με εξαίρεση ανοξειδωτά συστήματα ανύψωσης	Cl 1,0	1,0%
	Cl 1,5	1,5% ^δ
Σκυρόδεμα που περιέχει χάλυβα οπλισμού ή άλλα ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία	Cl 0,20	0,20%
	Cl 0,40 ^γ	0,40%
Σκυρόδεμα που περιέχει χάλυβα προέντασης	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%

^α Για συγκεκριμένη χρήση του σκυροδέματος, η Κατηγορία που θα εφαρμοσθεί εξαρτάται από τις διατάξεις που ισχύουν στην περιοχή που θα χρησιμοποιηθεί το σκυρόδεμα.
^β Όπου χρησιμοποιούνται πρόσμικτα τύπου II και τα οποία λαμβάνονται υπόψη στην περιεκτικότητα σε τσιμέντο, η περιεκτικότητα σε χλωριόντα εκφράζεται σαν το ποσοστό των χλωριόντων σε ποσοστό της μάζας του τσιμέντου και της συνολικής μάζας των πρόσμικτων τα οποία λαμβάνονται υπόψη.
^γ Διαφορετικές κατηγορίες περιεκτικότητας σε χλωριόντα είναι δυνατόν να επιτρέπονται για σκυρόδεμα που περιέχει τσιμέντο τύπου CEM III σύμφωνα με προβλέψεις που ισχύουν στον τόπο χρήσης του.
^δ Το όριο 1,0% του Προτύπου αυξήθηκε στο 1,5% εφόσον αυτό καθίσταται αναπόφευκτο από την έλλειψη κατάλληλου νερού και επιτρέπεται από τη φύση του έργου.

Εικόνα 164. Μέγιστη περιεκτικότητα χλωριόντων στο σκυρόδεμα κατά EN 206-1.

12.4. Σύστημα MK4 (MK4 n.d.)

– Γενικά

Το σύστημα προένταση MK4 (MEKANO 4), έχει σχεδιαστεί ώστε να προσαρμόζεται σε όλους τους διεθνείς κανονισμούς προέντασης. Συνδυάζοντας μεγάλη γκάμα υλικών και αγκυρώσεων, καθώς και εξοπλισμού όπου έχουν σχεδιαστεί με βάσει των νεότερων τεχνολογικών προδιαγραφών.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος MK4 είναι:

- Παροχή υλικών και εργασίας ανάλογα με τις ανάγκες του έργου / πελάτη
- Μεγάλη γκάμα υλικών (αγκυρώσεων, επιμηκυντήρων) προέντασης και εξοπλισμού, για διάφορους τύπους τενόντων (συρματόσχοινα 0.5" & 0.6")
- Αντιδιαβρωτική προστασία τενόντων μέσω της τσιμεντένεσης
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης μεταλλικών ανάγλυφων σωλήνων ή σωλήνων υψηλής αντοχής πολυαιθυλενίου
- Εξοπλισμός ακρίβειας, δυνατότητα τάνυσης ταυτόχρονα όλων των συρματόσχοινων ή τάνυσης μεμονωμένων συρματόσχοινων
- Δυνατότητα παραγωγής ειδικών αγκυρώσεων και των παρελκόμενων υλικών ανάλογα με τις ανάγκες του έργου.
- Πιστοποιημένο σύμφωνα με τον ISO 9001

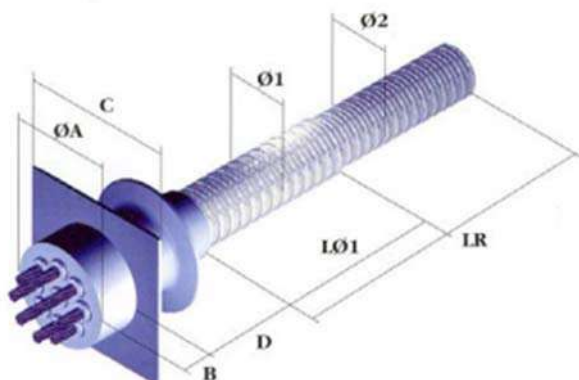
Αναφέρεται για τα συρματόσχοινα ότι στο σύστημα MK4, οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι διάμετροι είναι οι εξής δύο:

Συρματόσχοινο 0.6", με αντοχές $f_{p0.1k}/f_{ptk} = 1670/1770$, διατίθεται σε δύο τύπους με ελαφρώς διαφορετικές διαμέτρους ως εξής:	Συρματόσχοινο 0.5" με αντοχές $f_{p0.1k}/f_{ptk} = 1770/1860$, διατίθεται σε δύο τύπους με ελαφρώς διαφορετικές διαμέτρους, ως εξής:
<ul style="list-style-type: none"> • Με διάμετρο 16mm, διατομή 150mm², και βάρος 1170gr/m (pr EN-10138-3, strand 16mm & 1860 S7). Χρησιμοποιείται συνήθως στα έργα γεφυροποιίας και στα συνήθη έργα με προένταση. • Με διάμετρο 15.2mm, διατομή 140mm² και βάρος 1095gr/m (ASTM A416m-99, stand 15.2mm, Grade 270). Χρησιμοποιείται συνήθως στα αγκύρια (σε βράχους, πρανή) και τα τούνελ. 	<ul style="list-style-type: none"> • Με διάμετρο 13mm, διατομή 100mm², και βάρος 780gr/m (pr EN-10138-3, strand 13mm & 1860 S7). Χρησιμοποιείται σε προκατασκευασμένα στοιχεία όπου η τάνυση γίνεται πριν από την έγχυση του σκυροδέματος και τα συρματόσχοινα λειτουργούν με συνάφεια (χωρίς σωλήνες προέντασης). • Με διάμετρο 12.7mm, διατομή 99mm², και βάρος 775gr/m (ASTM A416M-99, strand 12.7mm, Grade 270).

Πίνακας 28. Συρματόσχοινα στο σύστημα MK4.

– **Τύποι αγκυρώσεων**

- Ενεργές / Κινητές αγκυρώσεις τύπου MSA
Οι ενεργές αγκυρώσεις όπου θα λάβει χώρα η τάνυση των συρματόσχοινων διευκολύνουν / επιτρέπουν τη μεταφορά της δύναμης προέντασης στον τένοντα από τους υδραυλικούς γρύλλους, κατά τη διάρκεια της τάνυσης.



Εικόνα 165. Ενεργή αγκύρωση τύπου MSA (MK4 χ.χ.).

	Τένοντας	Τρομπέτα	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	LQ1 [mm]	LR [mm]	Q1 [mm]	Q2 [mm]	Ελάχιστη καμπυλότητα [mm]
Συρματόσχοινο 15mm (0.6")	4	T-4	110	50	170	155		600		51/56	3.000
	5	T-4	110	50	170	155		600		51/56	3.000
	7	T-5	129	61	194	150		600		62/67	3.000
	9	T-6	144	60	220	175		900		72/77	4.000
	12	T-7	165	72	254	200		900		85/90	4.000
	15	T-8	186	78	282	235		900		90/95	4.500
	19	T-10	200	94	314	230	250	1200	103/108	100/105	5.000
	24	TR-24	239	95	356	611		1200		110/115	5.000
	27	TR-31	252	105	395	646		1500		120/125	6.000
	31	TR-31	268	115	395	646		1500		120/125	6.000
Συρματόσχοινο 13mm (0.5")	37	TR-37	296	128	444	856		1500		130/137	6.500
	4	T-4	110	45	170	155		600		51/56	3.000
	5	T-4	110	45	170	155		600		51/56	3.000
	7	T-4	110	45	170	155		600		51/56	3.000
	9	T-5	125	50	194	150		600		62/67	3.000
	12	T-6	143	55	220	175		900		72/77	4.000
	15	T-7	160	60	254	200		900		85/90	4.000
	19	T-8	179	70	282	235	500	900	90/95	85/90	4.000
	22	T-10	192	75	314	230	500	1200	100/105	90/95	4.500
	27	TR-24	227	85	356	611	500	1200	110/115	100/105	5.000
	31	TR-24	233	90	356	611		1200		110/115	5.000
	35	TR-24	239	95	356	611		1200		110/115	5.000

Πίνακας 29. Τιμές παραμέτρων ενεργής αγκύρωσης τύπου MSA (MK4 χ.χ.).

- Ενεργές / Κινητές αγκυρώσεις τύπου MF4/0.56"

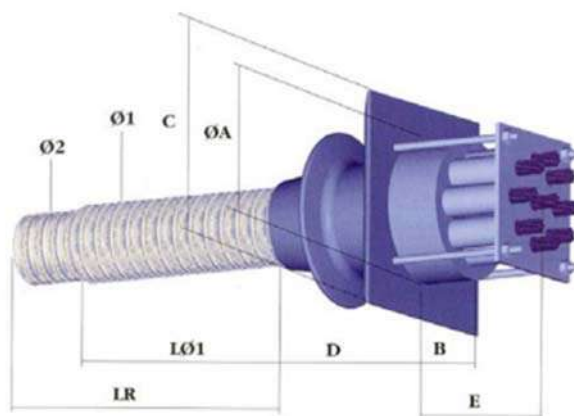
Αυτός ο τύπος αγκύρωσης αφορά τένοντες που αποτελούνται από 1 έως 4 συρματόσχοινα (0.6") και προορίζονται για την προένταση πλακών κτιρίων, γεφυρών, κλπ. Ο σωλήνας της αγκύρωσης MF4/0.6" είναι επίπεδος, ενώ η τάνυση των συρματόσχοινων γίνεται μεμονωμένα για κάθε συρματόσχοινο με τη χρήση Μονοjack.



Εικόνα 166. Αγκύρωση τύπου MSA και Monojack 25tn (MK4 χ.χ.).

- Νεκρή / Σταθερή αγκύρωση τύπου MPT

Αυτή η νεκρή αγκύρωση, χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που οι αγκυρώσεις πρέπει να εγκιβωτιστούν μέσα στο σκυρόδεμα ή όταν δεν είναι προσπελάσιμες. Αποτελούνται από τρομπέτα, πλάκα αγκύρωσης, σφηνάκια σύσφιξης και από μία πλάκα συγκράτησης.



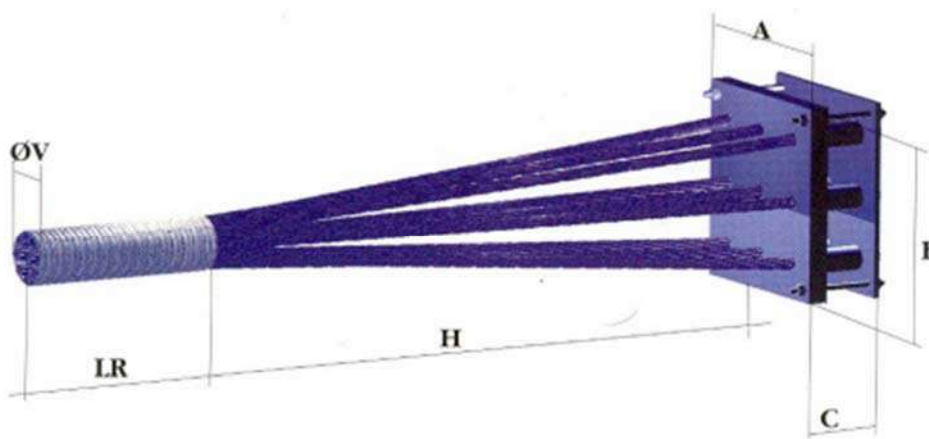
Εικόνα 167. Νεκρή αγκύρωση τύπου MPT (MK4 χ.χ.).

Τένοντας	Τρομπέτα	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	LQ1 [mm]	LR [mm]	Q1 [mm]	Q2 [mm]	Ελάχιστη καμπυλότητα [mm]	
Συρματόσχοινο 15mm (0.6")	4	T-4	110	45	170	155	600		51/56	3.000	
	5	T-4	110	45	170	155	600		51/56	3.000	
	7	T-5	129	55	194	150	600		62/67	3.000	
	9	T-6	144	55	220	175	900		72/77	4.000	
	12	T-7	165	65	254	200	900		85/90	4.000	
	15	T-8	186	70	282	235	900		90/95	4.500	
	19	T-10	200	85	314	230	250	1200	103/108	100/105	5.000
	24	TR-24	239	90	356	611		1200		110/115	5.000
	27	TR-31	252	95	395	646		1500		120/125	6.000
	31	TR-31	268	100	395	646		1500		120/125	6.000
Συρματόσχοινο 13mm (0.5")	37	TR-37	296	115	444	856		1500		130/137	6.500
	4	T-4	110	45	170	155	600		51/56	3.000	
	5	T-4	110	45	170	155	600		51/56	3.000	
	7	T-4	110	45	170	155	600		51/56	3.000	
	9	T-5	125	45	194	150	600		62/67	3.000	
	12	T-6	143	50	220	175	900		72/77	4.000	
	15	T-7	160	55	254	200	500	900	85/90	72/77	4.000
	19	T-8	179	65	282	235	500	900	90/95	85/90	4.000
	22	T-10	192	70	314	230	500	1200	100/105	90/95	4.500
	27	TR-24	227	80	356	611	500	1200	110/115	100/105	5.000
	31	TR-24	233	85	356	611		1200		110/115	5.000
	35	TR-24	239	90	356	611		1200		110/115	5.000

Πίνακας 30. Τιμές παραμέτρων νεκρής αγκύρωσης τύπου MPT (MK4 χ.χ.).

- Νεκρή / Σταθερή αγκύρωση τύπου MPSB

Η νεκρή αγκύρωση MPSB αποτελείται από μία πλάκα συγκράτησης, ειδικά εξαρτήματα σύσφιξης και μία πλάκα στερέωσης. Οι νεκρές αγκυρώσεις εγκιβωτίζονται μέσα στην κατασκευή. Εάν απαιτείται, είναι δυνατή η τοποθέτηση ειδικών σωλήνων πολυαιθυλενίου γύρω από τα συρματοσχοίνα, για το ελεύθερο τμήμα μεταξύ του άκρου του σωλήνα και της πλάκας στερέωσης.



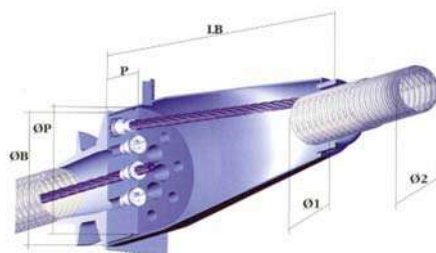
Εικόνα 168. Νεκρή αγκύρωση τύπου MPSB (MK4 χ.χ.).

	Τένοντας	A [mm]	B [mm]	C [mm]	H [mm]	LR [mm]	QV [mm]	Ελάχιστη καμπυλότητα [mm]
15mm (0,6")	4	160	160	115	600	600	51/56	3.000
	5	160	240	115	600	600	51/56	3.000
	7	240	240	115	750	600	62/67	3.000
	9	240	240	115	750	900	72/77	4.000
	12	240	320	115	900	900	85/90	4.000
	15	240	400	115	900	900	90/95	4.500
	19	320	400	115	900	1200	100/105	5.000
13mm (0,5")	4	140	140	100	600	600	51/56	3.000
	5	140	200	100	600	600	51/56	3.000
	7	200	200	100	750	600	51/56	3.000
	9	200	200	100	750	600	62/67	3.000
	12	200	260	100	750	900	72/77	4.000
	15	200	330	100	900	900	72/77	4.000
	19	270	330	100	900	900	85/90	4.000
	22	330	330	100	900	1200	90/95	4.500

Πίνακας 31. Τιμές παραμέτρων νεκρής αγκύρωσης τύπου MPSB (MK4 χ.χ.).

- **Επιμηκυντήρες (μούφες)**
- Επιμηκυντήρας τύπου MCB

Όταν δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση ή η τάνυση ενός ακέραιου τένοντα λόγω είτε του εκτεταμένου μήκους του ή της μεθόδου κατασκευής που χρησιμοποιείται για τον φέροντα οργανισμό, τότε είναι αναγκαία η χρήση επιμηκυντήρων. Με τους επιμηκυντήρες επιτυγχάνεται σε μία πρώτη φάση η τάνυση και αγκύρωση του ενεργού τένοντα ενώ σε δεύτερη φάση προσαρμόζεται γύρω από το ενεργό αυτό τμήμα το παθητικό τμήμα του τένοντα. Ο επιμηκυντήρας είναι εγκλεισμένος μέσα σε ένα κωνικό / κυλινδρικό καπάκι (τρομπέτα), το οποίο φέρει ειδική εσοχή για την τσιμεντένεση.



Εικόνα 169. Επιμηκυντήρας τύπου MCB (MK4 χ.χ.).

- Επιμηκυντήρας τύπου MCU

Οι επιμηκυντήρες ενός συρματοσχοινίου MCU, χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις εκείνες όπου ο χώρος εργασίας είναι περιορισμένος, όπως π.χ. όταν το πάχος του καταστρώματος μίας γέφυρας είναι τόσο μικρό ώστε ο ανάλογος επιμηκυντήρας είναι τύπου MCB, δεν θα ήταν συμβατός.

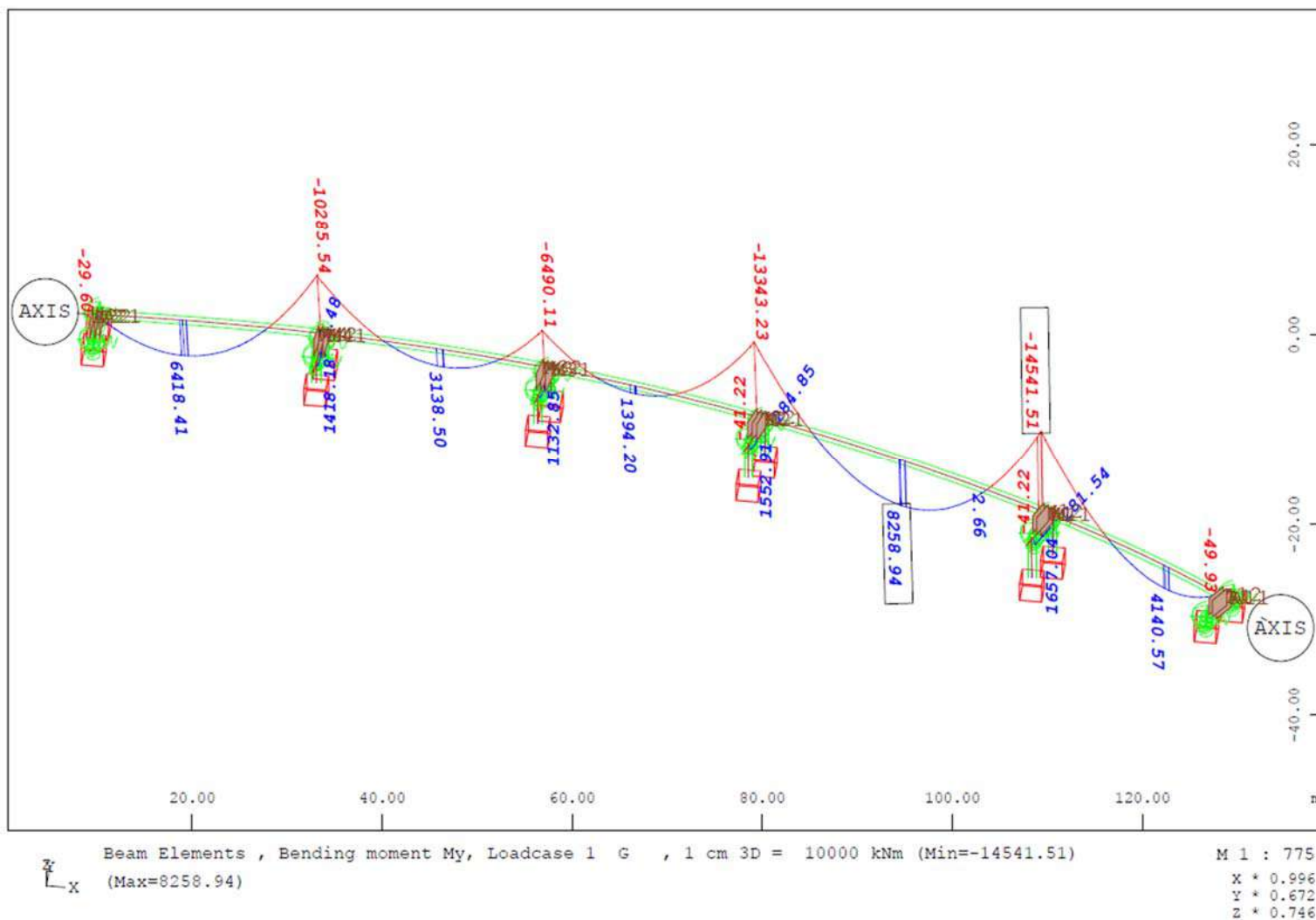


Εικόνα 170. Επιμηκυντήρας τύπου MCU (MK4 χ.χ.).

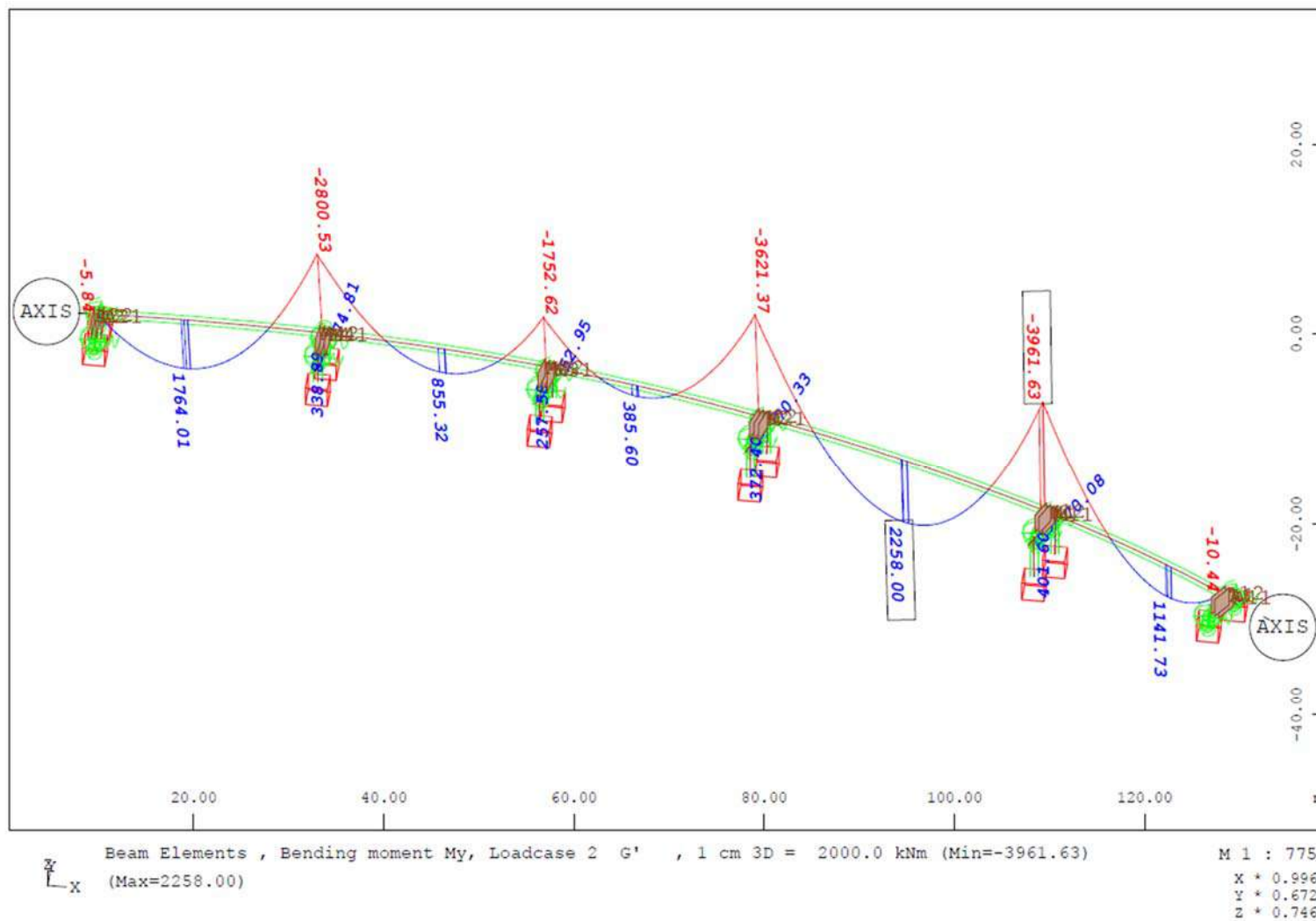
Αναφέρθηκαν μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος MK4.

12.5. Προμελέτη προέντασης

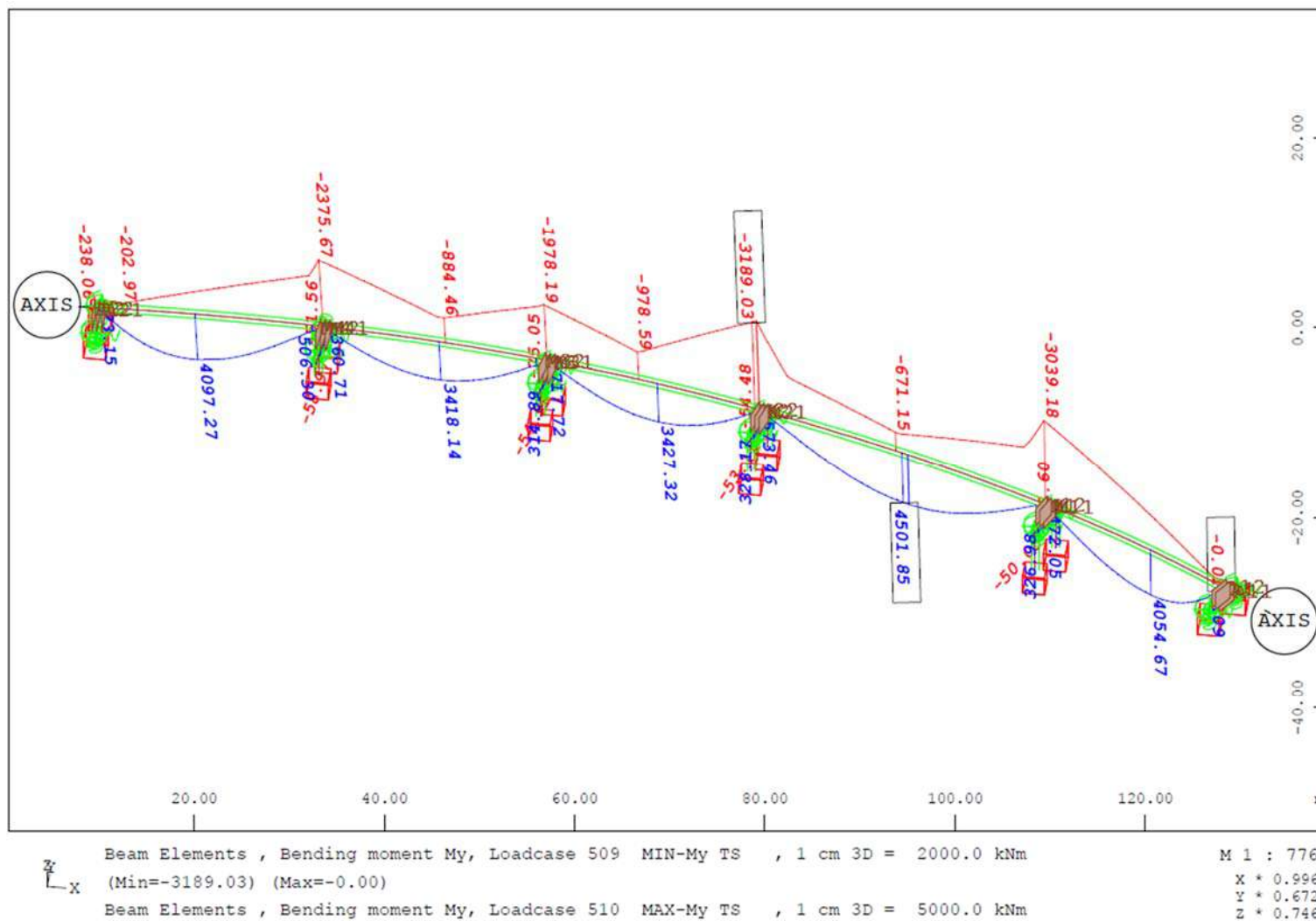
Από την αρχική επίλυση του φορέα, και για τις βασικές δράσεις προκύπτουν τα εξής εντατικά μεγέθη:



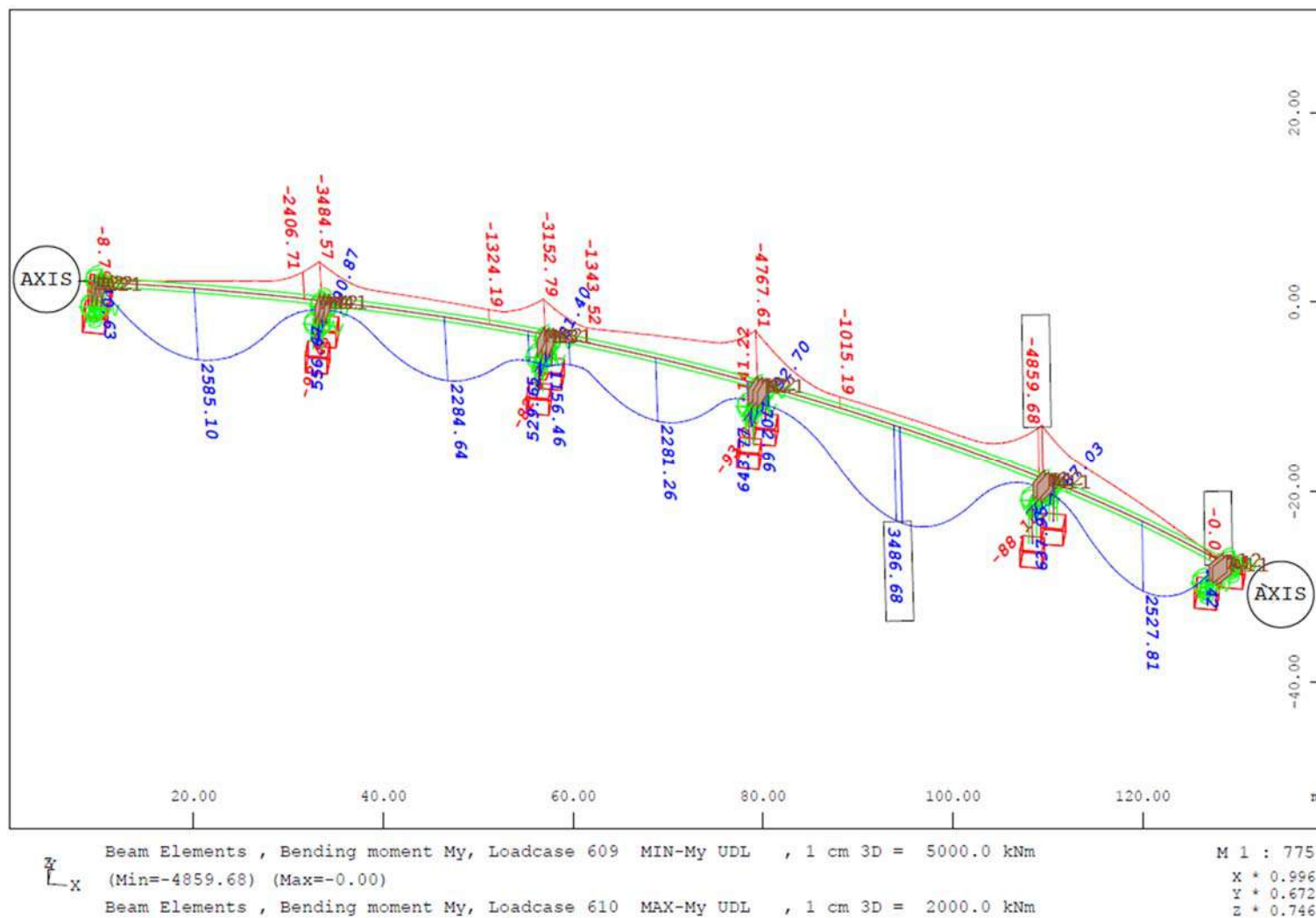
Εικόνα 171. Ροπές κάμψης από ίδιο βάρος G.



Εικόνα 172. Ροπές κάμψης από πρόσθετα μόνιμα φορτία G'.



Εικόνα 173. Περιβάλλουσα καμπτικών ροπών από τα φορτία κυκλοφορίας TS.



Εικόνα 174. Περιβάλλουσα καμπτικών ροπών από τα φορτία κυκλοφορίας UDL.

12.5.1. Μέγιστη δύναμη προένταση κατά την τάνυση

Η μέγιστη δύναμη που επιτρέπεται κατά τον Ευρωκώδικα 2 να εφαρμοσθεί σε ένα τένοντα κατά την τάνυση [EN1992 §5.10.2.1(1)], δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή:

$$P_{max} = A_p * \sigma_{p,max}$$

Εξίσωση 45

Ενώ η μέγιστη τάση του χάλυβα $\sigma_{p,max}$ δίδεται από τη σχέση:

$$\sigma_{p,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_1 * f_{pk} \\ k_2 * f_{p0.1k} \end{array} \right\}$$

Εξίσωση 46

όπου A_p : διατομή του χάλυβα

f_{pk} : χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή του χάλυβα προεντάσεως

$f_{p0.1k}$: χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή διαρροής του χάλυβα προεντάσεως σε παραμένουσα ανηγμένη παραμόρφωση 10‰

k_1 : συνιστώμενη τιμή 0.80

k_2 : συνιστώμενη τιμή 0.90

12.5.2. Μέγιστη δύναμη προέντασης

Η τιμή της δύναμης προέντασης $P_{mt}(x)$ στη θέση x κατά την χρονική στιγμή t προκύπτει από τη δύναμη προέντασης P_{max} που εφαρμόζεται μετά την τάνυση στο άκρο με την ενεργό αγκύρωση εάν αφαιρεθούν οι άμεσες απώλειες μέχρι τη θέση x και οι απώλειες που εξαρτώνται από τον χρόνο t .

Κατ' ακολουθίαν, η τιμή της αρχικής δύναμης προέντασης $P_{m0}(x)$, δηλαδή η δύναμη προέντασης αμέσως μετά την τάνυση και αγκύρωση (για τη συνήθη προένταση μετά την σκλήρυνση) ή αμέσως μετά την μεταφορά δύναμης στο σκυρόδεμα με τη συνάφεια (για την προένταση πριν από την έγχυση προσδιορίζεται εάν από την δύναμη κατά την τάνυση P_{max} αφαιρέσουμε τις άμεσες (ή στιγμιαίες) απώλειες. Σε αυτή την στιγμή η αρχική προένταση $P_{m0}(x)$ δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την τιμή:

$$P_{m0}(x) = A_p * \sigma_{pm0}(x)$$

Εξίσωση 47

Ενώ η μέγιστη τάση του χάλυβα $\sigma_{pm0}(x)$ αμέσως μετά την αγκύρωση (ή την μεταφορά της δύναμης αν γίνεται τάνυση πριν από την έγχυση) δίδεται από τη σχέση του EN1992 §5.10.3:

$$\sigma_{pm0}(x) = \min \left\{ k_7 * f_{pk} \right. \\ \left. k_8 * f_{p0.1k} \right\}$$

Εξίσωση 48

όπου A_p : διατομή του χάλυβα

f_{pk} : χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή του χάλυβα προεντάσεως

$f_{p0.1k}$: χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή διαρροής του χάλυβα προεντάσεως σε παραμένουσα ανηγμένη παραμόρφωση 0.1%

k_7 : συνιστώμενη τιμή 0.75

k_8 : συνιστώμενη τιμή 0.85

Σημείωση ¹ : Οι παραπάνω τιμές για τους συντελεστές k_7 και k_8 υιοθετούνται και από το Εθνικό Προσάρτημα στον ΕΛΟΤ EN1992-1-1:2005.

12.5.3. Διαδικασία – βήματα του προελέγχου

Ο επιτυχής προέλεγχος μιας προεντεταμένης κατασκευής εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό και μια επιτυχημένη πορεία για τον τελικό σχεδιασμό της. Σε αντίθετη περίπτωση είναι δυνατόν σε κάποιο βήμα του σχεδιασμού να μην είναι δυνατόν να ικανοποιηθεί ένας έλεγχος και είναι πιθανό να πρέπει να μεταβληθεί η γεωμετρία της διατομής ή η δύναμη προέντασης, οπότε θα πρέπει να επαναληφθεί όλη η διαδικασία από την αρχή. Η διαδικασία του προελέγχου μιας προεντεταμένης δοκού περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

– **Βήμα Α. Επιλογή των θέσεων του προελέγχου**

Συνήθως επιλέγεται η θέση της μέγιστης ροπής δηλαδή η κρίσιμη διατομή. Στις περισσότερες περιπτώσεις η διαδικασία αυτή αρκεί σε μία μόνο θέση, στη κρίσιμη διατομή. Είναι δυνατόν όμως σε συνεχείς συνήθως δοκούς, να χρειάζεται προέλεγχος σε περισσότερες από μία διατομές.

– **Βήμα Β. Επιλογή διατομής και διαστάσεων**

Η αρχική επιλογή της γεωμετρίας της διατομής εξαρτάται από το είδος του έργου (οικοδομικό, γέφυρα, πλαίσιο). Η επιλογή των διαστάσεων ή ο έλεγχος αυτών γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$W_1 \geq \frac{M_{g+q} - \omega * M_g}{\omega(0.6f_{ck})}, \quad W_2 \geq \omega * W_1$$

Εξίσωση 49, Εξίσωση 50

– **Βήμα Γ. Αρχική εκτίμηση της απαιτούμενης προέντασης P_0**

Με δεδομένη την επιλογή των διαστάσεων της διατομής και των μεγεθών $W_{1,2}$ και $k_{1,2}$ (όπου $k_1 = W_2/A_c$ και $k_2 = W_1/A_c$), από το προηγούμενο βήμα, γίνεται αρχική εκτίμηση της απαιτούμενης προέντασης P_0 . Η εκτίμηση της απαιτούμενης δύναμης γίνεται με τη σκέψη ότι επιζητείται λύση με όσον το δυνατόν μικρότερη δύναμη προέντασης. Η πρώτη εκτίμηση γίνεται με βάση αυτή τη σκέψη και με τη χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$P_0 \geq \frac{M_{g+q} - \omega * M_g}{\omega(k_1 + k_2)}$$

Εξίσωση 51– **Βήμα Δ. Εκτίμηση της θέσης του τένοντα στη διατομή (τιμή y_p)**

Με δεδομένη την επιλογή των διαστάσεων της διατομής και των μεγεθών $W_{1,2}$ και $k_{1,2}$ από το βήμα Β και της αρχικής εκτίμησης της απαιτούμενης προέντασης P_0 από το προηγούμενο βήμα, γίνεται εκτίμηση της θέσης του τένοντα. Ο προσδιορισμός της τιμής του y_p γίνεται με βάση την παρακάτω διπλή ανίσωση:

$$\frac{M_{g+q}}{\omega * P_0} - k_2 \leq y_p \leq \frac{M_g}{P_0} + k_1$$

Εξίσωση 52

Προφανώς η εκτίμηση της τιμής του y_p περιορίζεται από τη γεωμετρία της διατομής και από την απαιτούμενη επικάλυψη. Έτσι αν y_1 είναι η απόσταση του κέντρου βάρους της διατομής από τη παρειά, c η απαιτούμενη από τις συνθήκες επικάλυψης και ϕ_c η διάμετρος του σωλήνα, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ισχύει ότι:

$$y_p = y_1 - \left(c + \frac{\phi_c}{2}\right)$$

Εξίσωση 53– **Βήμα Ε. Εκτίμηση της απαιτούμενης δύναμης προέντασης P_0**

Με βάση την επιλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της διατομής και τη θέση της δύναμης προέντασης στη διατομή γίνεται μια τελική εκτίμηση της απαιτούμενης δύναμης προέντασης στην εξεταζόμενη διατομή με βάση την διπλή ανίσωση της παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{M_{g+q}}{\omega(y_p + k_2)} \leq P_0 \leq \frac{M_g}{y_p - k_1}$$

Εξίσωση 54

12.5.4. Διάγραμμα Magnel

Με τη χρήση της διαδικασίας του προελέγχου όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, είναι δυνατό να προσδιορισθούν ικανοποιητικές τιμές της δύναμης προέντασης για τη τιμή της εκκεντρότητας y_p που επιλέγεται κάθε φορά, με συνδυασμό των παρακάτω σχέσεων.

Οι παρακάτω σχέσεις προκύπτουν από τον υπολογισμό των ακραίων ορθών τάσεων σε χρόνο $t = 0$ και σε χρόνο $t = \infty$. Συγκεκριμένα:

- Σε χρόνο $t = 0$ οι ακραίες τιμές αναπτύσσονται για φορτία $g+P_0$ και θα πρέπει:
 - Η τάση στην άνω ίνα να μην λαμβάνει εφελκυστικές τιμές αλλά να παραμένει σε θλίψη δηλαδή πρέπει $\sigma_{2,0} \leq 0$ (περίπτωση πλήρους προέντασης).

$$\sigma_{2,0} = -\frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 * y_p}{W_2} - \frac{M_g}{W_2} \leq 0$$

Εξίσωση 55

- Η τάση στην κάτω ίνα να μην λαμβάνει θλιπτικές τιμές μεγαλύτερες από ένα όριο που θέτει ο κανονισμός EN1992, δηλαδή πρέπει $|\sigma_{1,0}| \leq |0.6 f_{ck}|$.

$$\sigma_{1,0} = \left| -\frac{P_0}{A_c} + \frac{P_0 * y_p}{W_1} + \frac{M_g}{W_1} \right| \leq f_{c,max}$$

Εξίσωση 56

- Σε χρόνο $t = \infty$ οι ακραίες τιμές αναπτύσσονται για φορτίο $g+q+P_\infty$ και θα πρέπει:
 - Η τάση στην άνω ίνα να μην λαμβάνει θλιπτικές τιμές μεγαλύτερες από ένα όριο που θέτει ο κανονισμός EN1992, δηλαδή πρέπει $|\sigma_{2,\infty}| \leq |0.6 f_{ck}|$.

$$\sigma_{2,\infty} = \left| -\frac{P_\infty}{A_c} + \frac{P_\infty * y_p}{W_2} - \frac{M_{g+q}}{W_2} \right| \leq f_{c,max}$$

Εξίσωση 57

- Η τάση στην κάτω ίνα να μην λαμβάνει εφελκυστικές τιμές αλλά να παραμένει σε θλίψη δηλαδή πρέπει $\sigma_{1,\infty} \leq 0$ (περίπτωση πλήρους προέντασης).

$$\sigma_{1,\infty} = -\frac{P_\infty}{A_c} - \frac{P_\infty * y_p}{W_1} + \frac{M_{g+q}}{W_1} \leq 0$$

Εξίσωση 58

όπου P_0 : η δύναμη προέντασης σε χρόνο $t = 0$, δηλαδή μετά τις στιγμιαίες απώλειες και πριν από τις χρόνιες απώλειες

P_∞ : η δύναμη προέντασης σε χρόνο $t = \infty$, δηλαδή μετά τις απώλειες (στιγμιαίες και χρόνιες)

$f_{c,max}$: η μέγιστη επιτρεπόμενη θλιπτική τάση του σκυροδέματος, όπως αναφέρθηκε, ο EN1992 θέτει ως όριο τη τιμή $0.6 f_{ck}$, δηλαδή $f_{c,max} = |0.6 f_{ck}|$

A_c : το εμβαδόν της διατομής

$W_{1,2}$: οι ροπές αντιστάσεως της διατομής

y_p : η απόσταση του κέντρου βάρους της διατομής από τους τένοντες (εκκεντρότητα της δύναμης προέντασης)

M_g : καμπτική ροπή στην θέση του προελέγχου για μόνιμα φορτία

M_{g+q} : καμπτική ροπή στην θέση του προελέγχου για μόνιμα και μεταβλητά φορτία

Οι γραμμές του διαγράμματος Magnel περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις οι οποίες εξάγονται από τις σχέσεις του προελέγχου.

- **Ευθεία γραμμή α**

$$\frac{1}{P_0} \geq \frac{\omega \left(\frac{1}{A_c} - \frac{y_p}{W_2} \right)}{f_{c,max} - \frac{M_{g+q}}{W_2}}$$

Εξίσωση 59

Για τη χάραξη της ευθείας γραμμής α χρειάζεται να προσδιορισθούν δύο σημεία:

1. Για $y_p = 0$ προκύπτει ότι: $\frac{1}{P_0} = \frac{\frac{\omega}{A_c}}{f_{c,max} - \frac{M_{g+q}}{W_2}}$
2. Για $1/P_0 \rightarrow 0$ προκύπτει ότι: $y_p = \frac{W_2}{A_c}$

- **Ευθεία γραμμή β**

$$\frac{1}{P_0} \geq \frac{\frac{1}{A_c} - \frac{y_p}{W_2}}{-\frac{M_g}{W_2}}$$

Εξίσωση 60

Για τη χάραξη της ευθείας γραμμής β χρειάζεται να προσδιορισθούν δύο σημεία:

1. Για $y_p = 0$ προκύπτει ότι: $\frac{1}{P_0} = -\frac{W_2}{A_c * M_g}$
2. Για $1/P \rightarrow 0$ προκύπτει ότι: $y_p = \frac{W_2}{A_c}$

- **Ευθεία γραμμή γ**

$$\frac{1}{P_0} \leq \frac{\omega \left(\frac{1}{A_c} + \frac{y_p}{W_1} \right)}{\frac{M_{g+q}}{W_1}}$$

Εξίσωση 61

Για τη χάραξη της ευθείας γραμμής γ χρειάζεται να προσδιορισθούν δύο σημεία:

1. Για $y_p = 0$ προκύπτει ότι: $\frac{1}{P_0} = \frac{\omega * W_1}{A_c * M_{g+q}}$
2. Για $1/P \rightarrow 0$ προκύπτει ότι: $y_p = -\frac{W_1}{A_c}$

- **Ευθεία γραμμή δ**

$$\frac{1}{P_0} \geq \frac{\frac{1}{A_c} + \frac{y_p}{W_1}}{f_{c,max} + \frac{M_g}{W_1}}$$

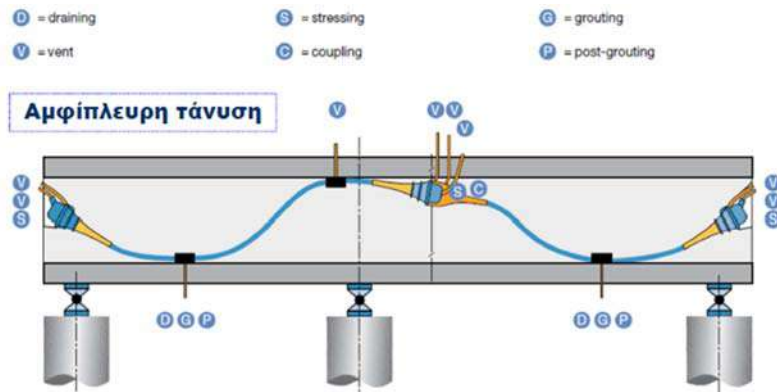
Εξίσωση 62

Για τη χάραξη της ευθείας γραμμής δ χρειάζεται να προσδιορισθούν δύο σημεία:

1. Για $y_p = 0$ προκύπτει ότι: $\frac{1}{P_0} = \frac{\frac{1}{A_c}}{f_{c,max} - \frac{M_g}{W_1}}$
2. Για $1/P_0 \rightarrow 0$ προκύπτει ότι: $y_p = -\frac{W_1}{A_c}$

12.5.5. Αποτελέσματα

Χρησιμοποιώντας το θεωρητικό υπόβαθρο που προηγήθηκε με τη χρήση υπολογιστικού φύλλου (excel) και με συντελεστή απόδοσης ω προμελέτης ίσο με 0.85, με αμφίπλευρη τάνυση και με την παρακάτω ενδεικτική διάταξη, επιλέγεται δύναμη προέντασης ίση με 27.65MN.



Εικόνα 175. Ενδεικτική διάταξη προέντασης (Ζέρης 2021-22).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

C40/50	f_{ck}	40,00 [MPa]
	$f_{c,max}$ [EN1992]	24,00 [MPa]
B500C	f_{yk}	500,00 [MPa]
Y1860	f_{pk}	1860,00 [MPa]
Συντ. απόδ.	ω	0,85 [-]
Επικάλυψη	c	60,00 [mm]
Διάμετρος σωλήνα	ϕ_{σ}	72,00 [mm]

Τα αδρανειακά χαρακτηριστικά της διατομής του κιβωτίου, στις θέσεις των στηρίξεων και των ανοιγμάτων, λαμβάνονται από την γεννήτρια διατομών του προγράμματος στατικής ανάλυσης SOFiSTiK A.G.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΘΕΣΗ [-]	ΜΗΚΟΣ [m]	ΕΜΒΑΔΟΝ ΔΙΑΤΟΜΗΣ A_c [m ²]	ΥΨΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ H [m]	ΚΑΤΩ ΙΝΑ y_1 [m]	ΑΝΩ ΙΝΑ y_2 [m]	ΡΟΠΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ I_y [m]	ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ w_1 [m ³]	ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΝΩ ΙΝΑΣ w_2 [m ³]	ΣΤΑΘΕΡΑ k_1 [m]	ΣΤΑΘΕΡΑ k_2 [m]	
A2 - M4	ΑΝΟΙΓΜΑ	24,00	5,939	1,628	1,091	0,537	1,440	1,320	2,683	0,452	0,222
	ΣΤΗΡΙΞΗ		10,627	2,000	1,028	0,972	3,145	3,059	3,236	0,304	0,288
M4 - M3	ΑΝΟΙΓΜΑ	24,45	5,939	1,628	1,091	0,537	1,440	1,320	2,683	0,452	0,222
	ΣΤΗΡΙΞΗ		10,627	2,000	1,028	0,972	3,208	3,120	3,301	0,311	0,294
M3 - M2	ΑΝΟΙΓΜΑ	24,00	5,939	1,628	1,091	0,537	1,440	1,320	2,683	0,452	0,222
	ΣΤΗΡΙΞΗ		10,627	2,000	1,028	0,972	3,208	3,120	3,301	0,311	0,294
M2 - M1	ΑΝΟΙΓΜΑ	34,00	5,939	1,628	1,091	0,537	1,440	1,320	2,683	0,452	0,222
	ΣΤΗΡΙΞΗ		10,627	2,000	1,028	0,972	3,145	3,059	3,236	0,304	0,288
M1 - A1	ΑΝΟΙΓΜΑ	23,00	5,939	1,628	1,091	0,537	1,440	1,320	2,683	0,452	0,222
	ΣΤΗΡΙΞΗ		10,627	2,000	1,028	0,972	3,208	3,120	3,301	0,311	0,294

Πίνακας 32. Χαρακτηριστικά διατομών ανωδομής.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

ΘΕΣΗ [-]	ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ M_i [kNm]					ΕΛΕΓΧΟΣ $W_{1,2} \geq \frac{M_{g+q} - \omega M_g}{\omega(0,60f_{ck})}, W_{2,1} \leq \omega W_{1,2}$					
	-	M_g	$M_{g'}$	M_{UDL}	M_{TS}	-					
A2 - M4	ΑΝΟΙΓΜΑ	6221,740	1713,550	2592,340	4057,670	$W_1 =$	1,320	\geq	0,384	[m ³]	TRUE
	ΣΤΗΡΙΞΗ	10803,510	2940,380	3695,230	2529,230	$W_2 =$	2,683	\geq	1,122	[m ³]	TRUE
M4 - M3	ΑΝΟΙΓΜΑ	3164,810	862,090	2277,300	3361,610	$W_1 =$	3,059	\geq	2,750	[m ³]	TRUE
	ΣΤΗΡΙΞΗ	6028,000	1626,490	3319,320	2099,090	$W_2 =$	3,236	\geq	0,406	[m ³]	TRUE
M3 - M2	ΑΝΟΙΓΜΑ	1648,250	453,320	2296,070	3368,160	$W_1 =$	1,320	\geq	0,306	[m ³]	TRUE
	ΣΤΗΡΙΞΗ	13388,130	3634,670	4920,770	332,500	$W_2 =$	2,683	\geq	1,122	[m ³]	TRUE
M2 - M1	ΑΝΟΙΓΜΑ	8048,080	2200,550	3411,750	4434,350	$W_1 =$	3,120	\geq	2,806	[m ³]	TRUE
						$W_2 =$	3,301	\geq	0,322	[m ³]	TRUE
						$W_1 =$	1,320	\geq	0,293	[m ³]	TRUE
						$W_2 =$	2,683	\geq	1,122	[m ³]	TRUE
						$W_1 =$	3,120	\geq	2,806	[m ³]	TRUE
						$W_2 =$	3,301	\geq	0,383	[m ³]	TRUE
						$W_1 =$	1,320	\geq	0,460	[m ³]	TRUE
						$W_2 =$	2,683	\geq	1,122	[m ³]	TRUE

ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

ΘΕΣΗ [-]	ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ M_i [kNm]				ΕΛΕΓΧΟΣ $W_{1,2} \geq \frac{M_{g+q} - \omega M_g}{\omega(0,60f_{ck})}, W_{2,1} \leq \omega W_{1,2}$						
	-	M_g	$M_{g'}$	M_{UDL}	M_{TS}	-	-	-	-		
M1 - A1	ΣΤΗΡΙΞΗ	14942,710	4067,410	4960,060	3095,040	$W_1 =$	3,059	\geq	2,750	[m ³]	TRUE
						$W_2 =$	3,236	\geq	0,535	[m ³]	TRUE
	ΑΝΟΙΓΜΑ	4003,190	1108,290	2539,240	4037,350	$W_1 =$	1,320	\geq	0,360	[m ³]	TRUE
						$W_2 =$	2,683	\geq	1,122	[m ³]	TRUE
	ΣΤΗΡΙΞΗ	0,000	0,000	0,000	0,000	$W_1 =$	3,120	\geq	2,806	[m ³]	TRUE
						$W_2 =$	3,301	\geq	0,000	[m ³]	TRUE

Πίνακας 33. Έλεγχος γεωμετρίας.

ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ & ΘΕΣΗ ΤΕΝΟΝΤΑ

ΘΕΣΗ [-]	ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ P_0 [kN]		ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ P_0 [kN]	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΣΗΣ ΤΕΝΟΝΤΑ y_p [m]			ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ y_p [m]
	$\frac{M_{g+q}}{\omega P_0} - k_{2,1} \leq y_p \leq \frac{M_g}{P_0} + k_{1,2}$	$P_0 \geq \frac{M_{g+q} - \omega M_g}{\omega(k_1 + k_2)}$		$y_p \leq y_{1,2} - \left(c + \frac{\theta_\sigma}{2}\right) = 0,950\text{m} \ \& \ 0,823\text{m}$			
A2 - M4	ΑΝΟΙΓΜΑ	$P_0 \geq 13685,530$	27650,000	0,398	$\leq y_p \leq$	0,739	0,700
	ΣΤΗΡΙΞΗ	$P_0 \geq 16458,888$	27650,000	0,545	$\leq y_p \leq$	0,719	0,700
M4 - M3	ΑΝΟΙΓΜΑ	$P_0 \geq 10897,283$	27650,000	0,189	$\leq y_p \leq$	0,597	0,550
	ΣΤΗΡΙΞΗ	$P_0 \geq 12785,679$	27650,000	0,246	$\leq y_p \leq$	0,499	0,450
M3 - M2	ΑΝΟΙΓΜΑ	$P_0 \geq 10437,370$	27650,000	0,108	$\leq y_p \leq$	0,528	0,500
	ΣΤΗΡΙΞΗ	$P_0 \geq 15200,269$	27650,000	0,637	$\leq y_p \leq$	0,838	0,800
M2 - M1	ΑΝΟΙΓΜΑ	$P_0 \geq 16379,050$	27650,000	0,548	$\leq y_p \leq$	0,822	0,800
	ΣΤΗΡΙΞΗ	$P_0 \geq 21664,237$	27650,000	0,847	$\leq y_p \leq$	0,910	0,900
M1 - A1	ΑΝΟΙΓΜΑ	$P_0 \geq 12818,013$	27650,000	0,275	$\leq y_p \leq$	0,637	0,600
	ΣΤΗΡΙΞΗ	$P_0 \geq 0,000$	27650,000	-0,311	$\leq y_p \leq$	0,222	0,200

Σημείωση: Η απόσταση y_p λογίζεται από το κ.β. της εκάστοτε διατομής.

Πίνακας 34. Αρχική εκτίμηση απαιτούμενης προέντασης & θέσης τένοντα.

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΤΕΝΟΝΤΑ

ΘΕΣΗ [-]	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ P_0 [kN]	ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ P_0 [kN]	ΘΕΣΗ ΤΕΝΟΝΤΑ y_p [m]	
-	-	-	-	
A2 - M4	ΑΝΟΙΓΜΑ	18604,722 ≤ P_0 ≤ 31956,680	$P_0 = 27650,000$	0,700
	ΣΤΗΡΙΞΗ	23387,819 ≤ P_0 ≤ 33344,303	$P_0 = 27650,000$	0,700
M4 - M3	ΑΝΟΙΓΜΑ	14724,211 ≤ P_0 ≤ 40959,591	$P_0 = 27650,000$	0,550
	ΣΤΗΡΙΞΗ	20220,711 ≤ P_0 ≤ 48948,580	$P_0 = 27650,000$	0,450
M3 - M2	ΑΝΟΙΓΜΑ	12648,770 ≤ P_0 ≤ 43498,186	$P_0 = 27650,000$	0,500
	ΣΤΗΡΙΞΗ	23597,272 ≤ P_0 ≤ 33616,772	$P_0 = 27650,000$	0,800
M2 - M1	ΑΝΟΙΓΜΑ	20823,507 ≤ P_0 ≤ 29423,540	$P_0 = 27650,000$	0,800
	ΣΤΗΡΙΞΗ	26436,230 ≤ P_0 ≤ 31053,101	$P_0 = 27650,000$	0,900
M1 - A1	ΑΝΟΙΓΜΑ	16722,161 ≤ P_0 ≤ 34463,915	$P_0 = 27650,000$	0,600
	ΣΤΗΡΙΞΗ	0,000 ≤ P_0 ≤ 0,000	$P_0 = 27650,000$	0,200

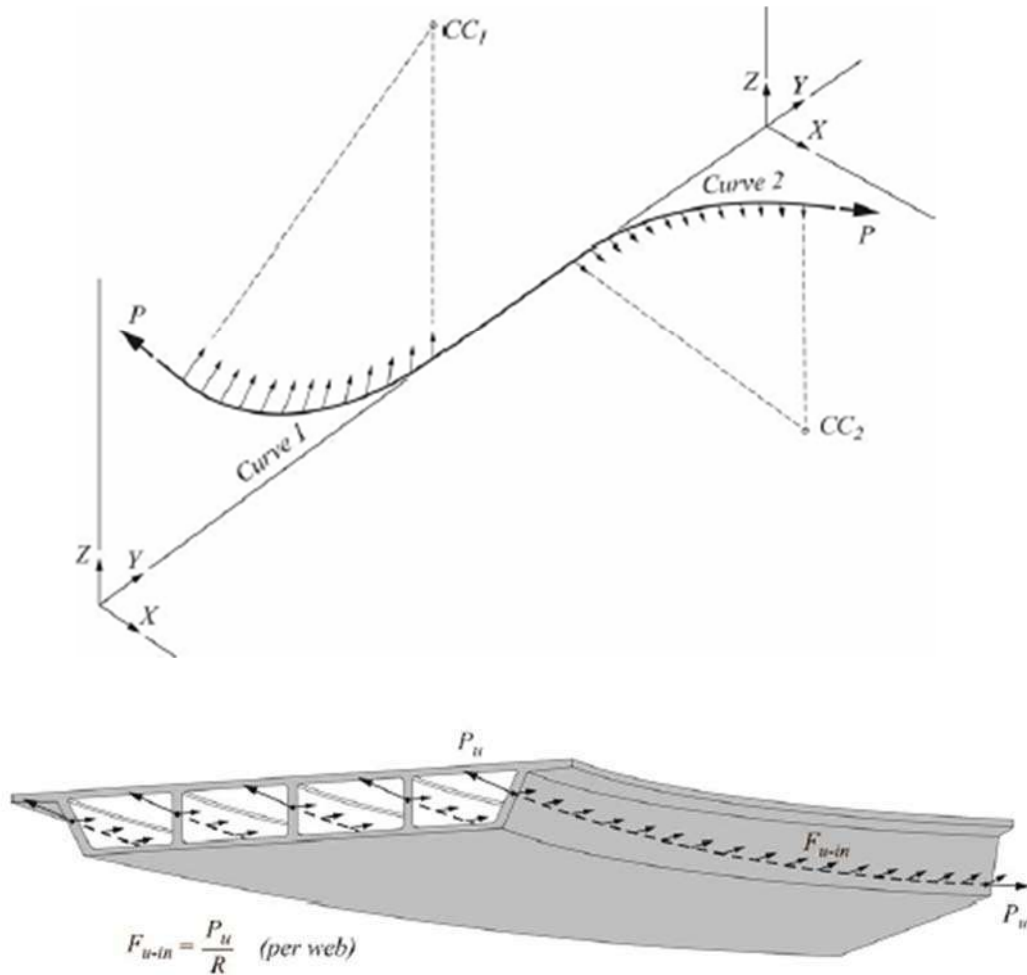
Πίνακας 35. Τελική εκτίμηση δύναμης προέντασης και θέση τένοντα.

ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΑ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΤΕΝΟΝΤΑ

ΘΕΣΗ [-]		ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ P_0 [kN]	ΘΕΣΗ ΤΕΝΟΝΤΑ (από άνω ίνα) y_p [m]
-		-	-
A2 - M4	ΑΝΟΙΓΜΑ	27650,000	1,237
	ΣΤΗΡΙΞΗ	27650,000	0,272
M4 - M3	ΑΝΟΙΓΜΑ	27650,000	1,087
	ΣΤΗΡΙΞΗ	27650,000	0,522
M3 - M2	ΑΝΟΙΓΜΑ	27650,000	1,037
	ΣΤΗΡΙΞΗ	27650,000	0,172
M2 - M1	ΑΝΟΙΓΜΑ	27650,000	1,337
	ΣΤΗΡΙΞΗ	27650,000	0,072
M1 - A1	ΑΝΟΙΓΜΑ	27650,000	1,137
	ΣΤΗΡΙΞΗ	27650,000	0,772

Πίνακας 36. Εφαρμοστέα δύναμη προέντασης και θέση τένοντα.

Σημειώνεται πως, λόγω της καμπύλης γεωμετρίας του φορέα, υπάρχουν εγκάρσιες δυνάμεις, που τείνουν εκμηδενίσουν την καμπύλη. Τέτοιες δυνάμεις λαμβάνονται υπόψη στο καθολικό προσομοίωμα.



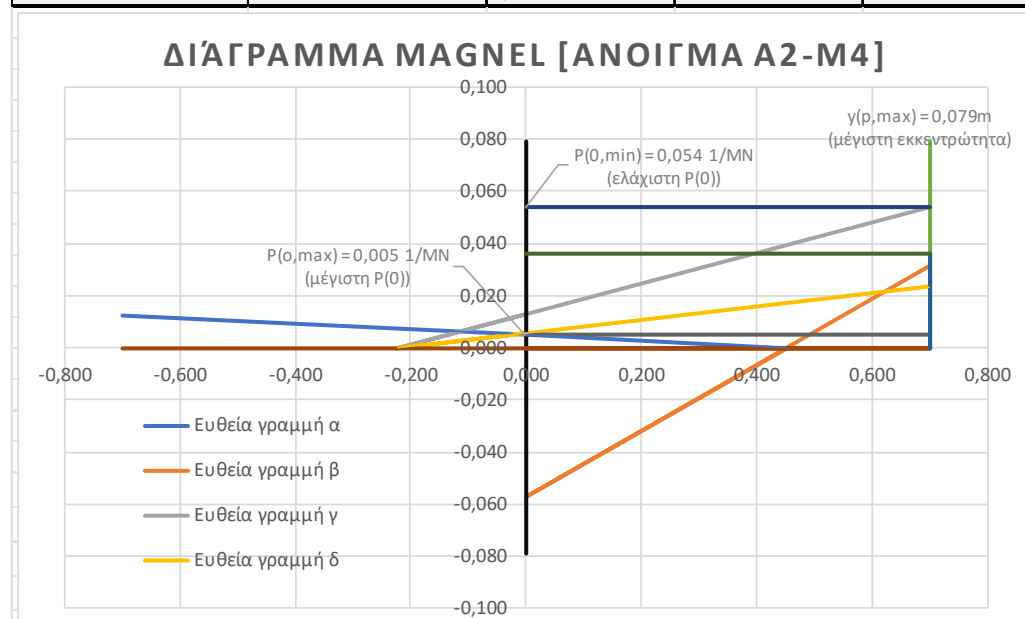
Εικόνα 176. Δυνάμεις επαναφοράς καμπύλης λόγω προέντασης (Corven 2016).



Εικόνα 177. Εγκάρσιες δυνάμεις προέντασης σε επίπεδο διατομής (Corven 2016).

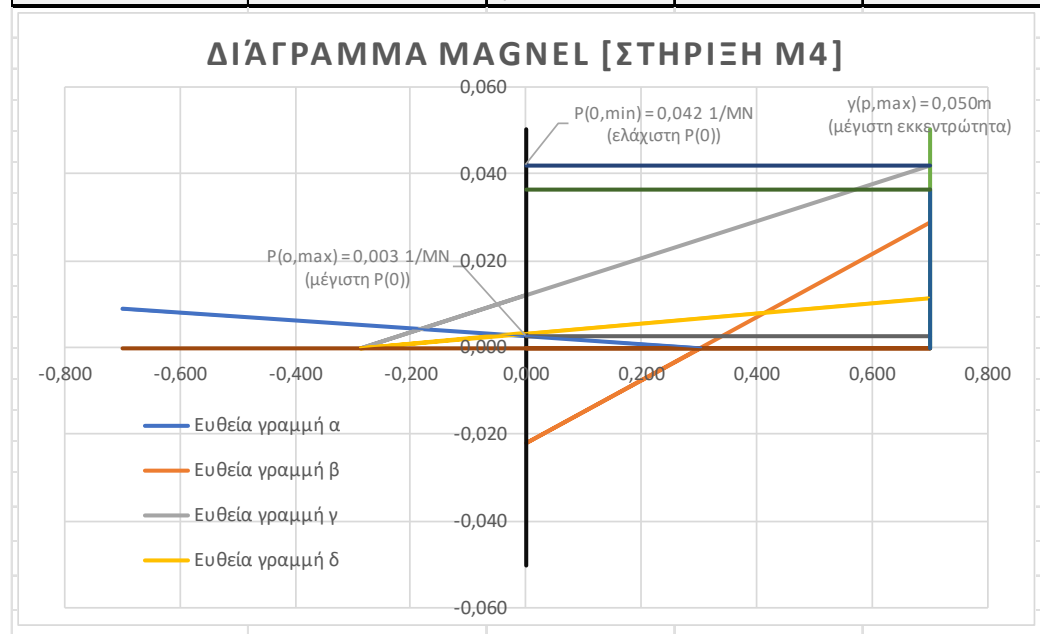
Τέλος ακολουθούν τα διαγράμματα Magnel για την προένταση και την εκκεντρότητα που επιλέχθηκε (πέρας πράσινης γραμμής).

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρική)	$\gamma_{p,max}$	0,700	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος $ 0.6f_c $	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης Α			
Ροπή από ι.β.	M_g	7935,29	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	6650,01	kNm
Διατομή Φάσης Α			
Εμβαδόν διατομής	A_c	59390,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-2682563,34	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	1320253,05	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α		$1/P_0 \geq$	0,012 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,005 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452 m
Ευθεία γραμμή β		$1/P_0 \geq$	0,079 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,057 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452 m
Ευθεία γραμμή γ		$1/P_0 \leq$	0,054 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,013 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222 m
Ευθεία γραμμή δ		$1/P_0 \geq$	0,023 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,006 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222 m



Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκεντρότητα	γ_p	0,700	m

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης		ω	0,85 -
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρικ)		$\gamma_{p,max}$	0,700 m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος 0.6f _c		$f_{c,max}$	24,00 MPa
Φορτία Φάσης A			
Ροπή από ι.β.		M_g	13743,89 kNm
Ροπή από πλάκα		M_q	6224,46 kNm
Διατομή Φάσης A			
Εμβαδόν διατομής		A_c	106270,00 cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας		W_2	-3235518,06 cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας		W_1	3058651,88 cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α		$1/P_0 \geq$	0,009 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,003 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,304 m
Ευθεία γραμμή β		$1/P_0 \geq$	0,050 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,022 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,304 m
Ευθεία γραμμή γ		$1/P_0 \leq$	0,042 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,012 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,288 m
Ευθεία γραμμή δ		$1/P_0 \geq$	0,011 1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,003 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,288 m



Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως		$1/P_0$	0,036 1/MN
Εκκεντρότητα		γ_p	0,700 m

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρικ)	$\gamma_{p,max}$	0,550	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος 0.6f _c	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης Α			
Ροπή από ι.β.	M_g	4026,90	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	5638,91	kNm
Διατομή Φάσης Α			
Εμβαδόν διατομής	A_c	59390,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-2682563,34	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	1320253,05	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α	$1/P_0 \geq$	0,011	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,005
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452
Ευθεία γραμμή β	$1/P_0 \geq$	0,104	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,112
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452
Ευθεία γραμμή γ	$1/P_0 \leq$	0,068	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,020
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222
Ευθεία γραμμή δ	$1/P_0 \geq$	0,022	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,006

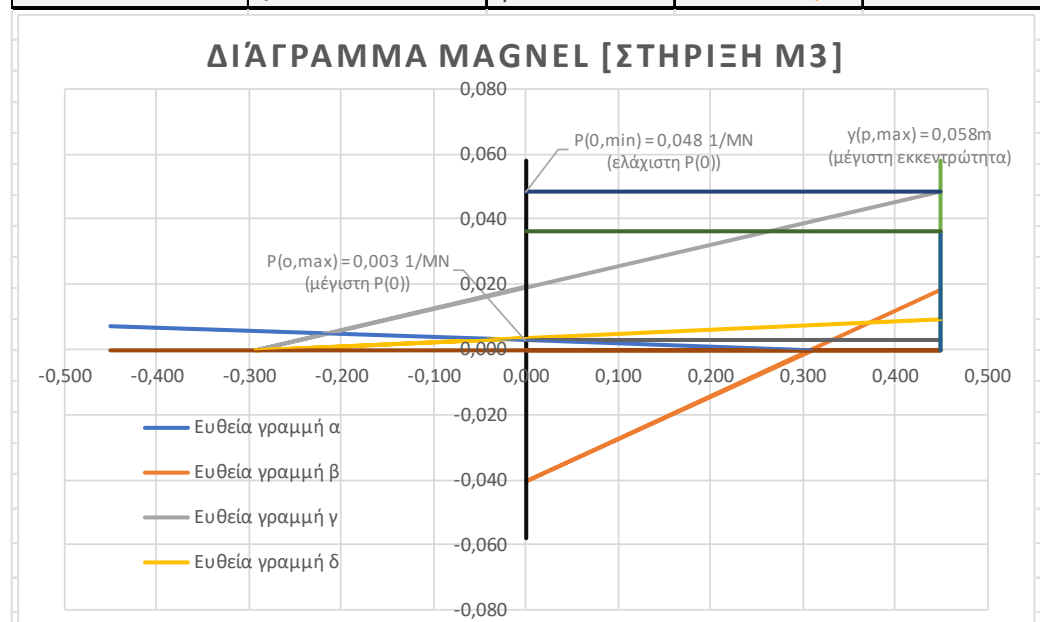
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ MAGNEL [ΑΝΟΙΓΜΑ Μ4-Μ3]

$P(0,max) = 0,005 \text{ 1/MN}$ (μέγιστη $P(0)$)
 $P(0,min) = 0,068 \text{ 1/MN}$ (ελάχιστη $P(0)$)
 $\gamma_p,max = 0,112m$ (μέγιστη εκκεντρότητα)

— Ευθεία γραμμή α
 — Ευθεία γραμμή β
 — Ευθεία γραμμή γ
 — Ευθεία γραμμή δ

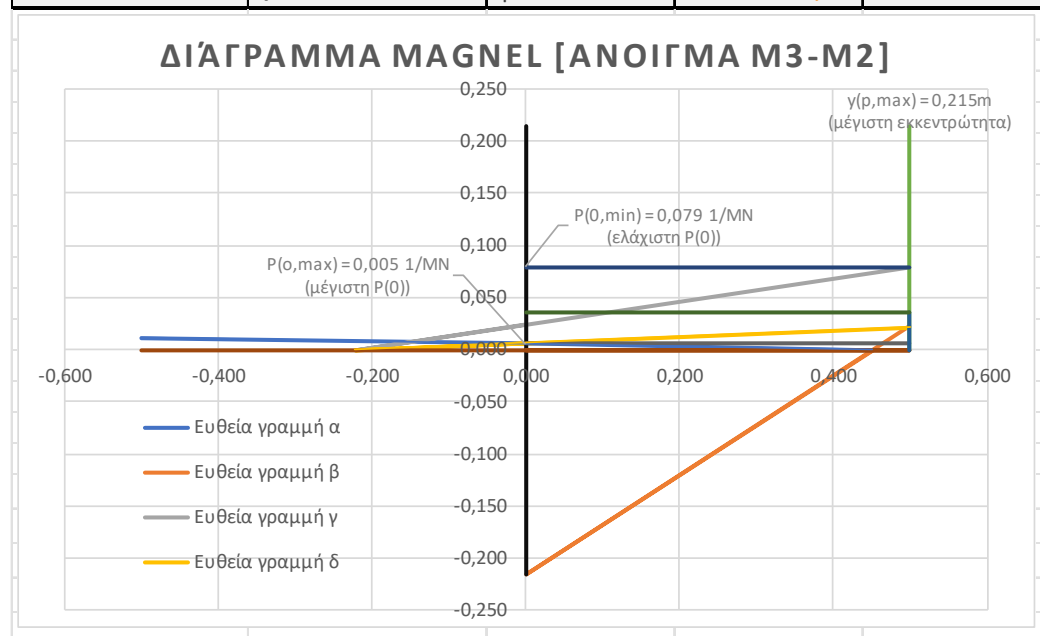
Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκεντρότητα	γ_p	0,550	m

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκενρώτητα τένοντα (γεωμετρικ)	$\gamma_{p,max}$	0,450	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος 0.6f _c	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης Α			
Ροπή από ι.β.	M_g	7654,49	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	5418,41	kNm
Διατομή Φάσης Α			
Εμβαδόν διατομής	A_c	106270,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-3300751,11	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	3120319,04	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α	$1/P_0 \geq$	0,007	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,003 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,311 m
Ευθεία γραμμή β	$1/P_0 \geq$	0,058	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,041 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,311 m
Ευθεία γραμμή γ	$1/P_0 \leq$	0,048	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,019 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,294 m
Ευθεία γραμμή δ	$1/P_0 \geq$	0,009	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,004 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,294 m



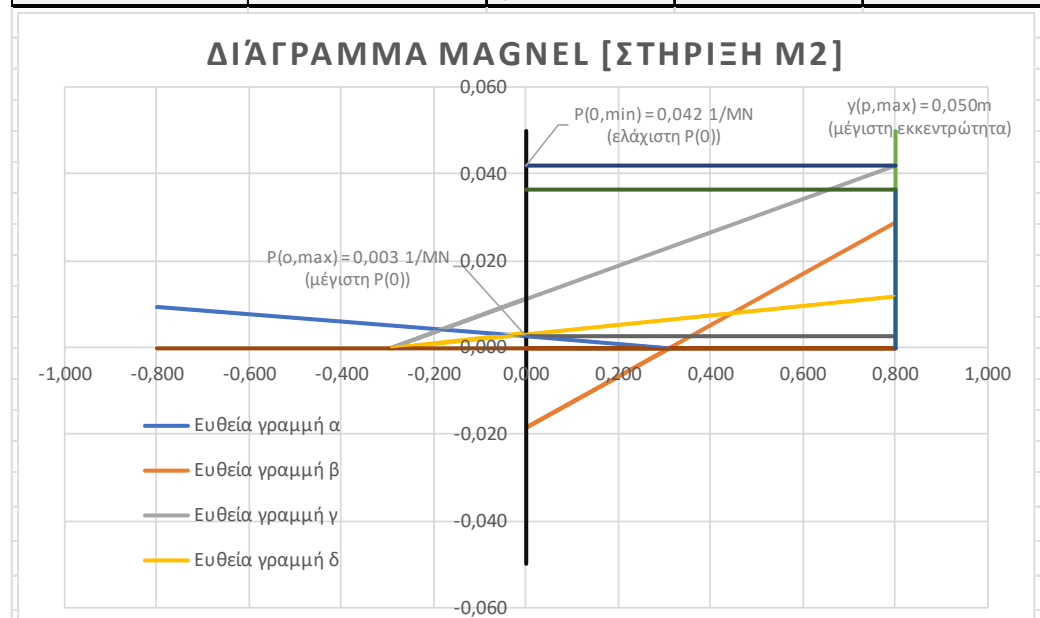
Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκενρώτητα	γ_p	0,450	m

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρικ)	$\gamma_{p,max}$	0,500	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος 0.6f _c	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης A			
Ροπή από ι.β.	M_g	2101,57	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	5664,23	kNm
Διατομή Φάσης A			
Εμβαδόν διατομής	A_c	59390,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-2682563,34	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	1320253,05	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α	$1/P_0 \geq$	0,011	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,005 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452 m
Ευθεία γραμμή β	$1/P_0 \geq$	0,123	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,215 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452 m
Ευθεία γραμμή γ	$1/P_0 \leq$	0,079	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,024 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222 m
Ευθεία γραμμή δ	$1/P_0 \geq$	0,021	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,007 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222 m



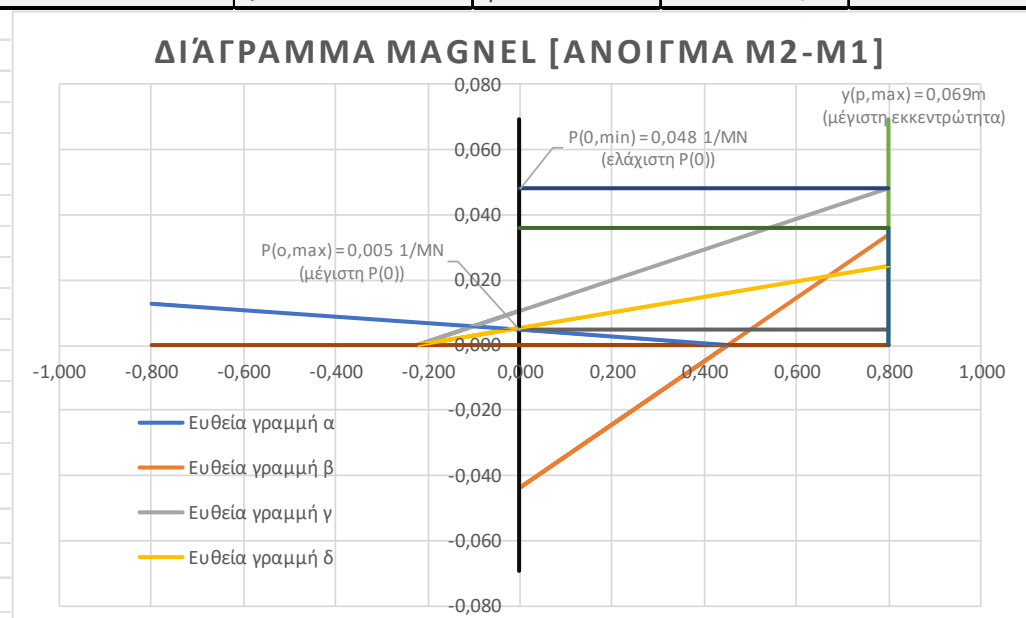
Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκεντρότητα	γ_p	0,500	m

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρική)	$\gamma_{p,max}$	0,800	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος $ 0.6f_c $	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης Α			
Ροπή από ι.β.	M_g	17022,80	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	5253,27	kNm
Διατομή Φάσης Α			
Εμβαδόν διατομής	A_c	106270,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-3300751,11	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	3120319,04	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α	$1/P_0 \geq$	0,009	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,003 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,311 m
Ευθεία γραμμή β	$1/P_0 \geq$	0,050	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,018 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,311 m
Ευθεία γραμμή γ	$1/P_0 \leq$	0,042	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,011 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,294 m
Ευθεία γραμμή δ	$1/P_0 \geq$	0,012	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,003 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,294 m



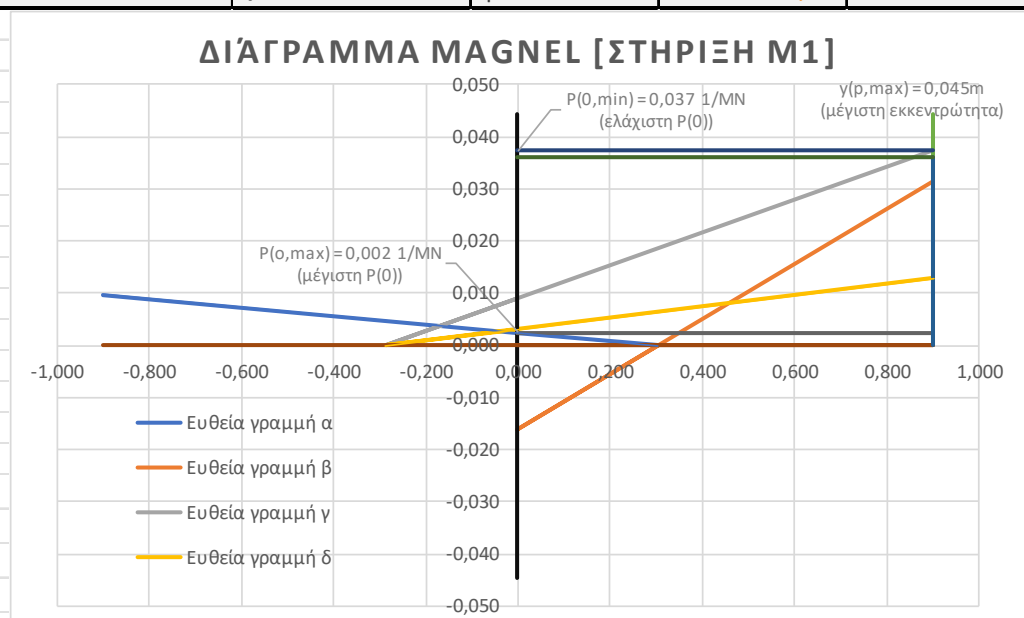
Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκεντρότητα	γ_p	0,800	m

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρικ)	$\gamma_{p,max}$	0,800	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος 0.6f _c	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης A			
Ροπή από ι.β.	M_g	10248,63	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	7846,10	kNm
Διατομή Φάσης A			
Εμβαδόν διατομής	A_c	59390,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-2682563,34	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	1320253,05	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α	$1/P_0 \geq$	0,013	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,005 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452 m
Ευθεία γραμμή β	$1/P_0 \geq$	0,069	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,044 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452 m
Ευθεία γραμμή γ	$1/P_0 \leq$	0,048	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,010 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222 m
Ευθεία γραμμή δ	$1/P_0 \geq$	0,024	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,005 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222 m



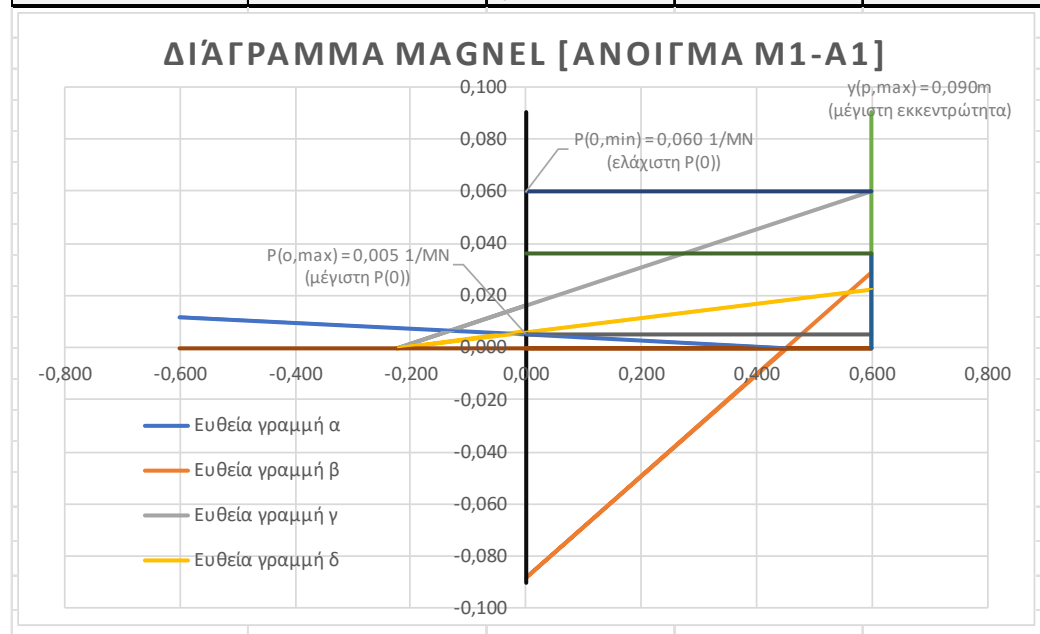
Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκεντρότητα	γ_p	0,800	m

Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρικ)	$\gamma_{p,max}$	0,900	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος 0.6f _c	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης A			
Ροπή από ι.β.	M_g	19010,12	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	8055,10	kNm
Διατομή Φάσης A			
Εμβαδόν διατομής	A_c	106270,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-3235518,06	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	3058651,88	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α	$1/P_0 \geq$	0,010	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,002 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,304 m
Ευθεία γραμμή β	$1/P_0 \geq$	0,045	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,016 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,304 m
Ευθεία γραμμή γ	$1/P_0 \leq$	0,037	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,009 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,288 m
Ευθεία γραμμή δ	$1/P_0 \geq$	0,013	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,003 1/MN
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,288 m



Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκεντρότητα	γ_p	0,900	m

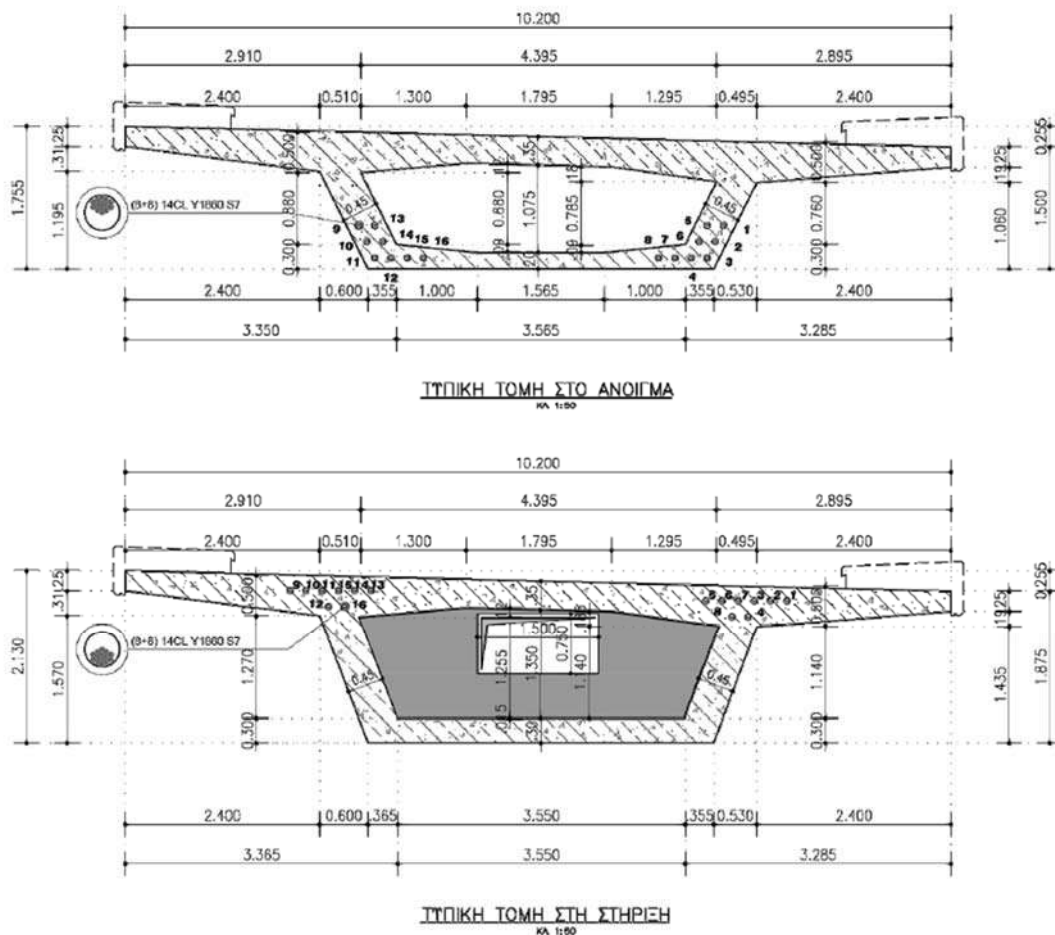
Δεδομένα			
Απόδοση προέντασης	ω	0,85	-
Μέγιστη εκκεντρότητα τένοντα (γεωμετρικ)	$\gamma_{p,max}$	0,600	m
Μέγιστη θλιπτική τάση σκυροδέματος 0.6f _c	$f_{c,max}$	24,00	MPa
Φορτία Φάσης Α			
Ροπή από ι.β.	M_g	5111,48	kNm
Ροπή από πλάκα	M_q	6576,59	kNm
Διατομή Φάσης Α			
Εμβαδόν διατομής	A_c	59390,00	cm ²
Ροπή αντίστασης άνω ίνας	W_2	-2682563,34	cm ³
Ροπή αντίστασης κάτω ίνας	W_1	1320253,05	cm ³
Διάγραμμα Magnel			
Ευθεία γραμμή α	$1/P_0 \geq$	0,012	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,005
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452
Ευθεία γραμμή β	$1/P_0 \geq$	0,090	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,088
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	0,452
Ευθεία γραμμή γ	$1/P_0 \leq$	0,060	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,016
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222
Ευθεία γραμμή δ	$1/P_0 \geq$	0,022	1/MN
Σημείο	$\gamma_p = 0$	$1/P_0 =$	0,006
	$1/P = 0$	$\gamma_p =$	-0,222



Έλεγχος			
Δύναμη προεντάσεως	$1/P_0$	0,036	1/MN
Εκκεντρότητα	γ_p	0,600	m

12.5.6. Επιλογή τενόντων

Για την δύναμη των 27MN, επιλέγονται τένοντες (8+8) 14CL Y1860 S7, δηλαδή δεκαέξι (16) τένοντες συνολικά (οχτώ (8) σε κάθε κορμό), όπου θα αποτελούνται από δεκατέσσερα (14) εφτάκλινα (7-κλινα) συρματόσχοινα (strand) ο καθένας. Το κάθε συρματόσχοινο θα αποτελείται από επτά (7) σύρματα (wire).



Εικόνα 178. Διάταξη τενόντων στο άνοιγμα (πάνω) και στη στήριξη (κάτω).

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις ελέγχου προκύπτει:

- Έλεγχος κατά την τάνυση:

$$P_{max} = A_p * \sigma_{p,max} = (8 + 8) * 14 * 100 * 10^{-6} * 1488.0 \rightarrow$$

$$P_{max} = 33.33MN > 27.65MN$$

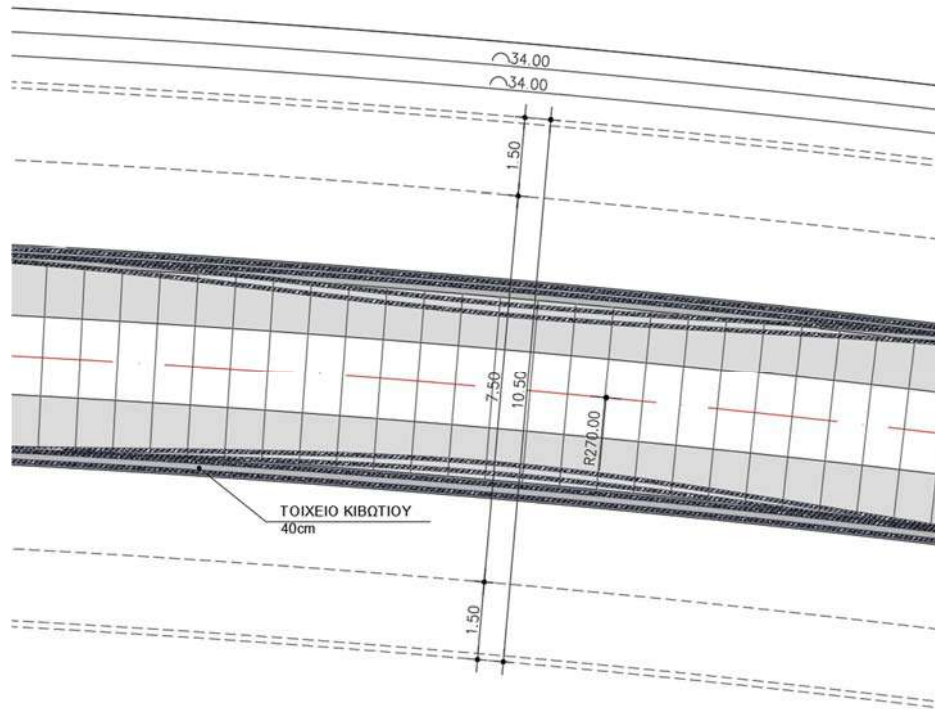
$$\text{όπου: } \sigma_{p,max} = \min \left\{ \begin{matrix} k_1 * f_{pk} \\ k_2 * f_{p0.1k} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 0.80 * 1860 \\ 0.90 * 1770 \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 1488.0 \\ 1593.0 \end{matrix} \right\} = 1488.0MPa$$

- Έλεγχος αμέσως μετά την αγκύρωση:

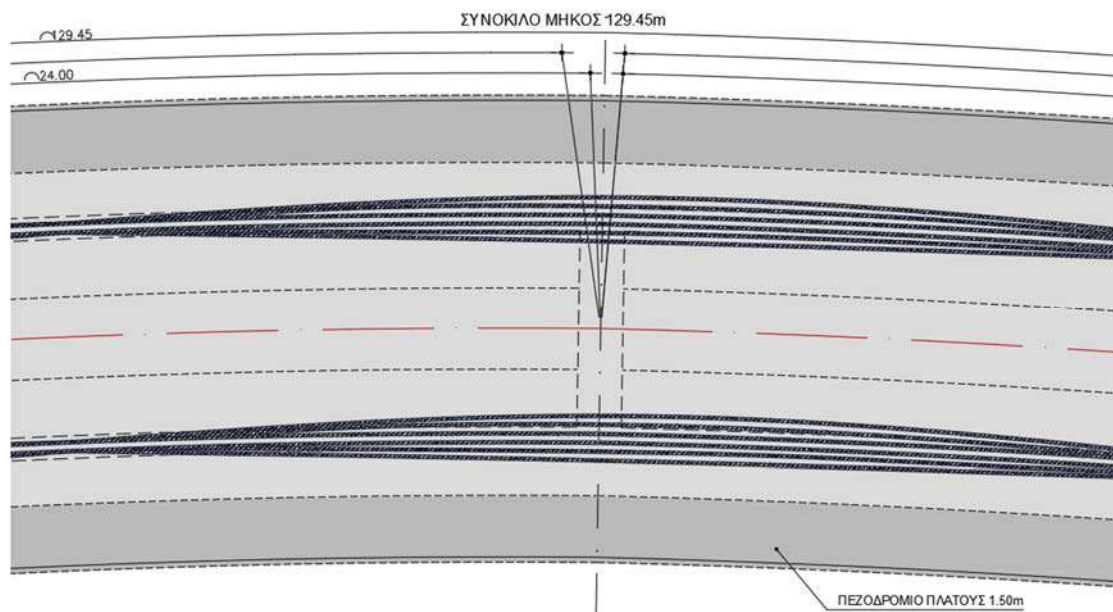
$$P_{m0}(x) = A_p * \sigma_{pm0}(x) = (8 + 8) * 14 * 100 * 10^{-6} * 1395.0 \rightarrow$$

$$P_{m0}(x) = 31.25MN > 27.65MN$$

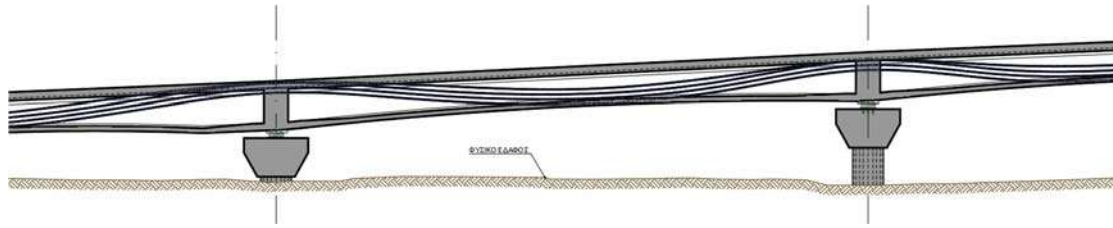
$$\text{όπου: } \sigma_{pm0}(x) = \min \left\{ \begin{matrix} k_7 * f_{pk} \\ k_8 * f_{p0.1k} \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 0.75 * 1860 \\ 0.85 * 1770 \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 1395.0 \\ 1504.5 \end{matrix} \right\} = 1395.0$$



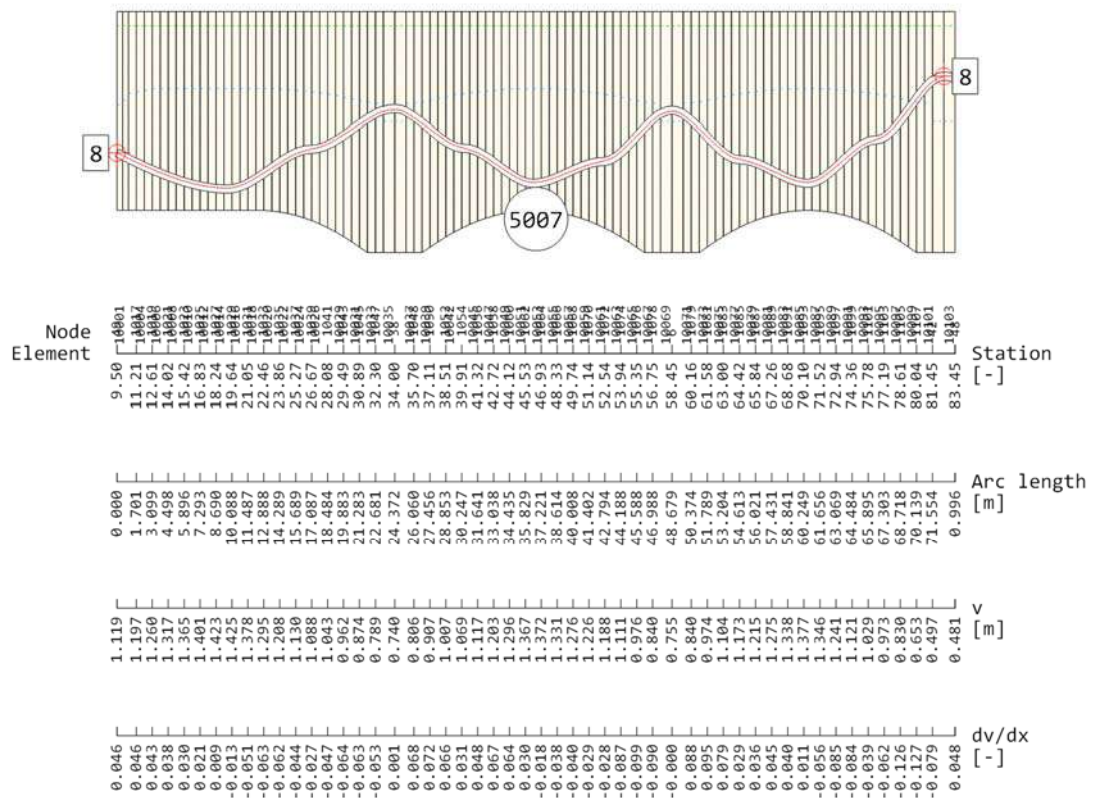
Εικόνα 179. Διάταξη τενόντων στο κάτω πέλαμα σε περιοχή ανοίγματος.



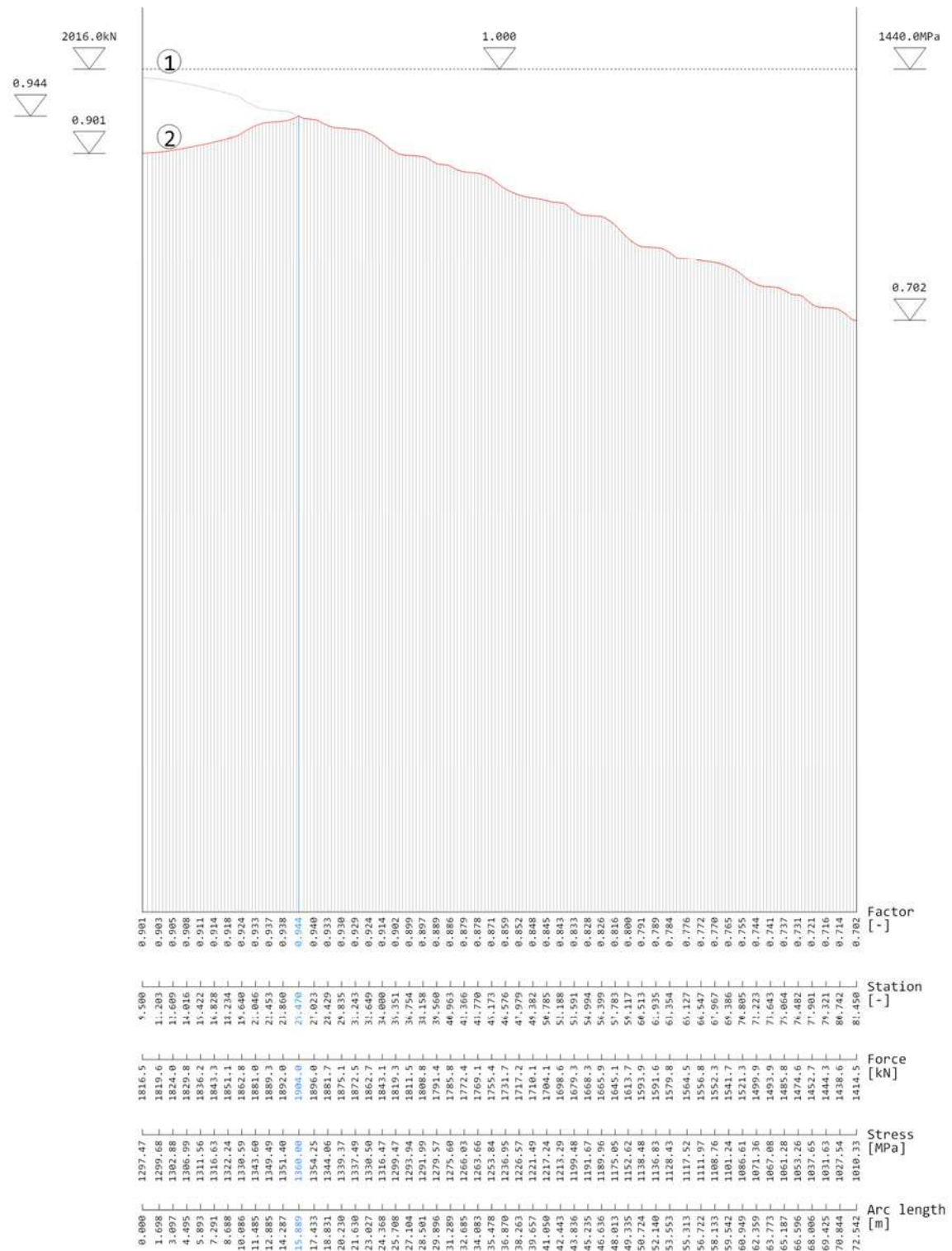
Εικόνα 180. Διάταξη τενόντων στο άνω πέλαμα σε περιοχή στήριξης.



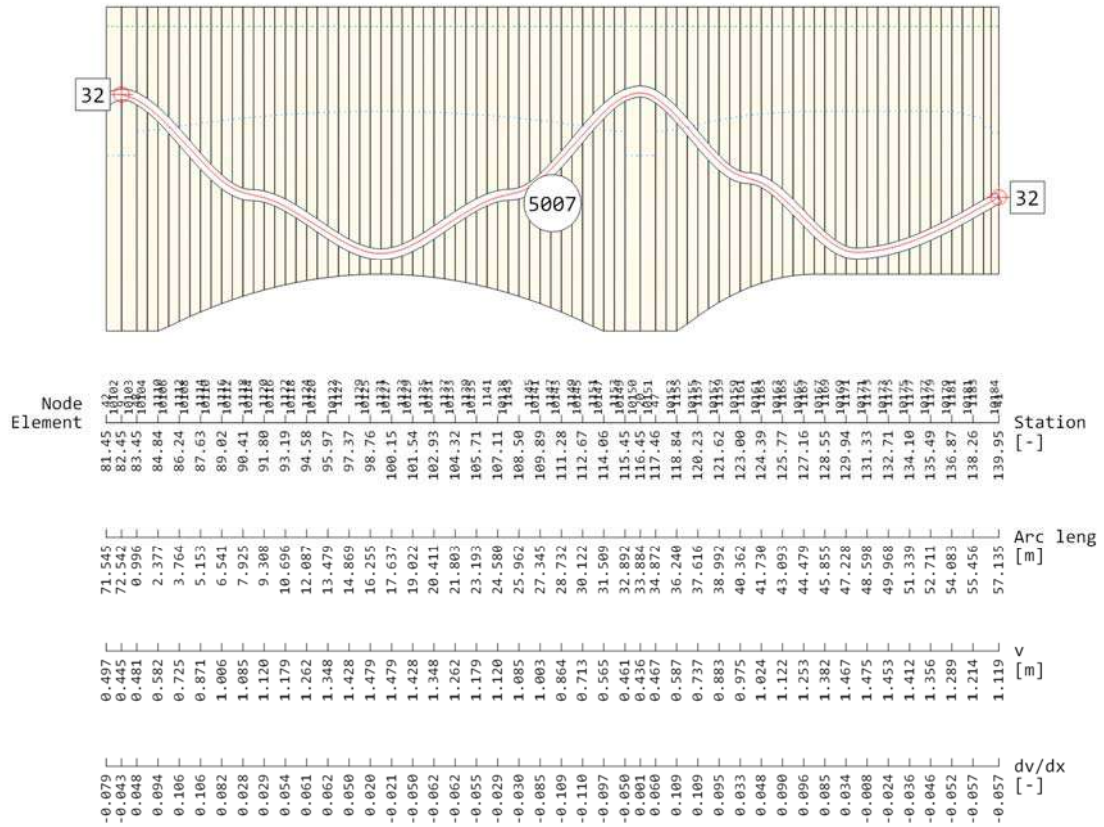
Εικόνα 181. Διάταξη τενόντων σε επίπεδο μηκοτομής.



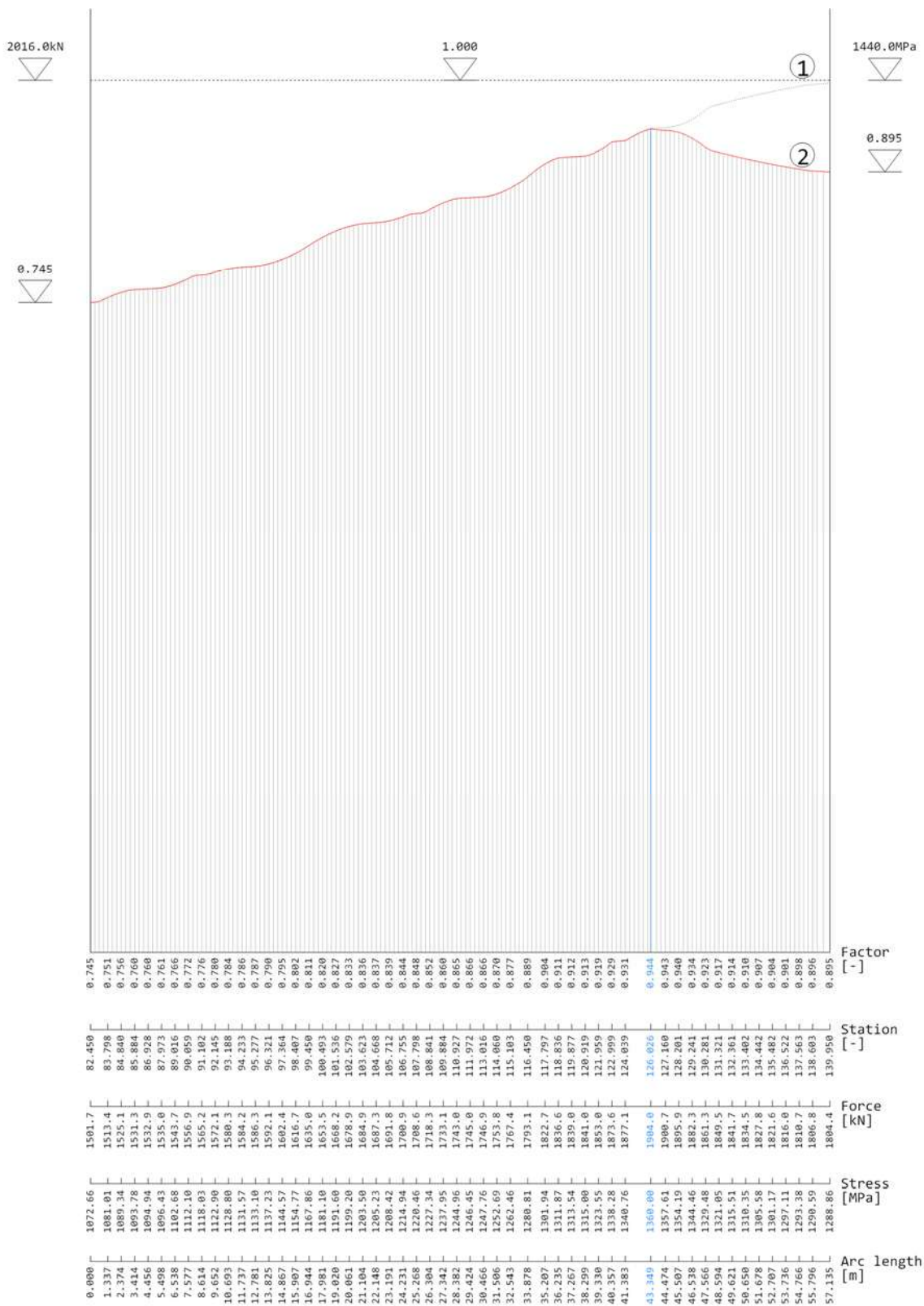
Εικόνα 182. Τένοντας στα τμήματα A2 – M4 – M3 – M2.



Εικόνα 183. Διάγραμμα απωλειών στα τμήματα A2 – M4 – M3 – M2.



Εικόνα 184. Τένοντας στα τμήματα M2 – M1 – A1.



Εικόνα 185. Διάγραμμα απωλειών στα τμήματα M2 – M1 – A1.

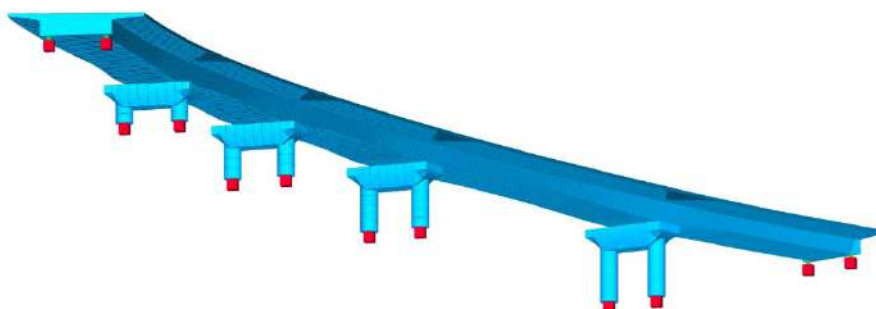
13. Καθολικό μοντέλο

Για την διαστασιολόγηση του φορέα και τον υπολογισμό των εντατικών/παραμορφωσιακών μεγεθών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατικής ανάλυσης SOFiSTiK A.G.. Παρακάτω παρουσιάζει η μεθοδολογία και οι παραδοχές της προσομοίωσης, καθώς ακολουθούν στιγμιότυπα από το μαθηματικό προσομοίωμα.

Αξίζει να σημειωθεί, πως τα βήματα ανάλυσης, πρέπει να ακολουθούν την σειρά, από το πιο απλό στο πιο σύνθετο. Δηλαδή από την εγκάρσια ανάλυση όπου βρέθηκαν οι δυσμενείς θέσεις των οχημάτων (αντίστοιχη διαδικασία γραμμών επιρροής), έπειτα στην διαμήκη ανάλυση για τον προσδιορισμό των κύριων εντατικών μεγεθών και τον υπολογισμό της προέντασης, και τέλος στο καθολικό μοντέλο, όπου εισάγονται όλοι οι παράμετροι που υπολογίστηκαν από τα προηγούμενα βήματα.



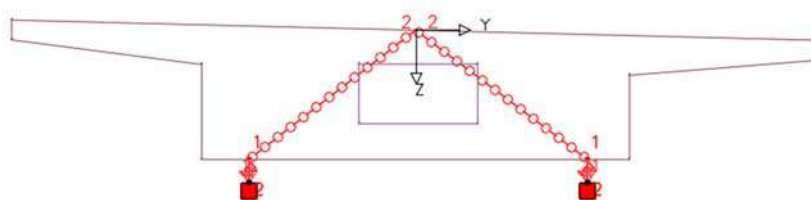
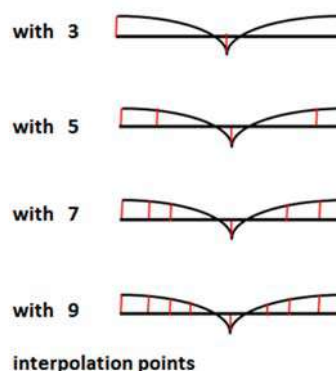
SOFiSTiK



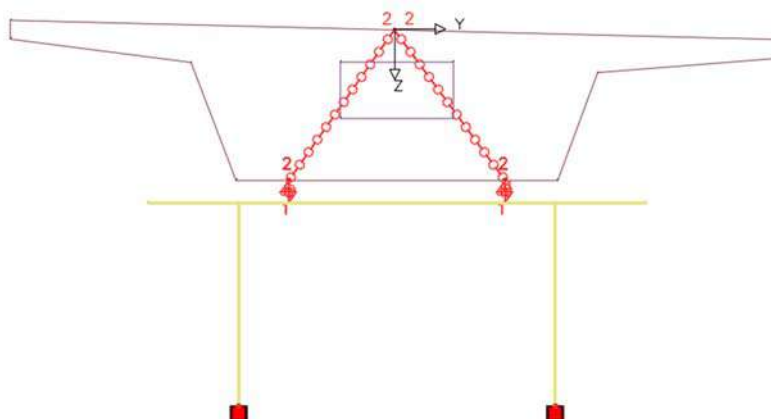
Εικόνα 186. Άποψη από το προσομοίωμα SOFiSTiK A.G..

13.1. Παραδοχές

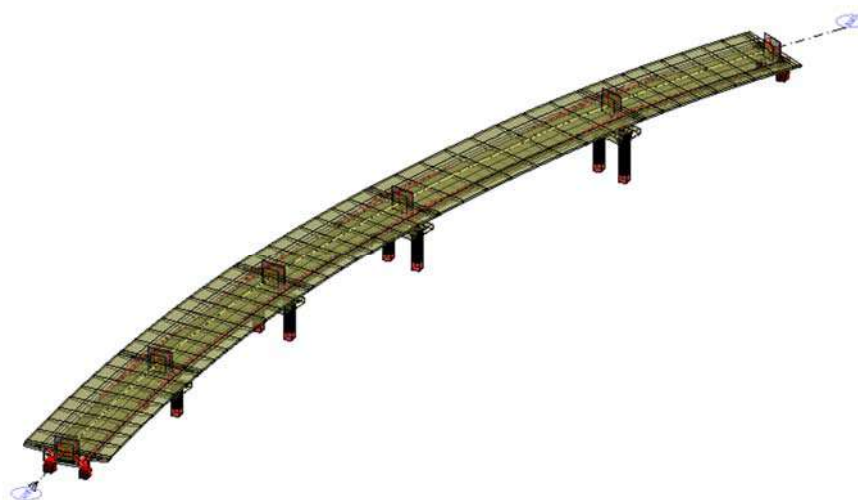
Οι παραδοχές που έχουν ακολουθεί είναι η προσομοίωση του φορέα με πεπερασμένα στοιχεία, και συγκεκριμένα διακριτοποίηση παραβολής της διατομής σε 9 σημεία, ενώ για τα μεσόβαθρα και τις κεφαλοδοκούς ως ραβδόμορφα στοιχεία 6 βαθμών ελευθερίας, όπου προσομοιώθηκαν για την ορθή εισαγωγή των συνοριακών συνθηκών. Θα εφέδρανα προσομοιώθηκαν ως ελατηριακές σταθερές, ενώ τα ακρόβαθρα θεωρήθηκαν ως πακτώσεις (θεωρούνται ακλόνητα), όπως και οι εδράσεις των μεσοβάθρων.



Εικόνα 187. Προσομοίωση φορέα στη περιοχή των ακροβάθρων.

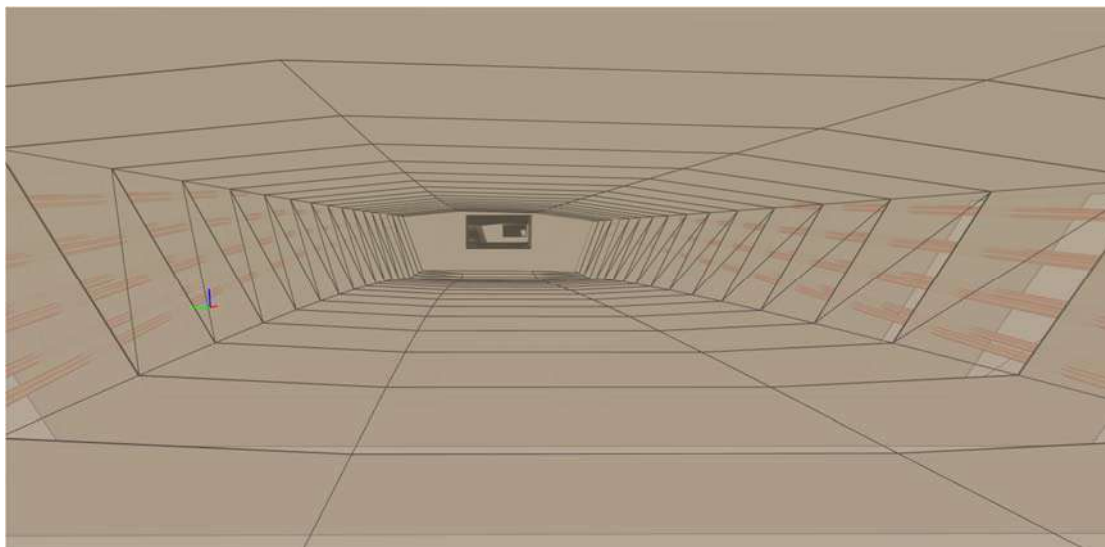


Εικόνα 188. Προσομοίωση φορέα στην περιοχή των μεσοβάθρων.

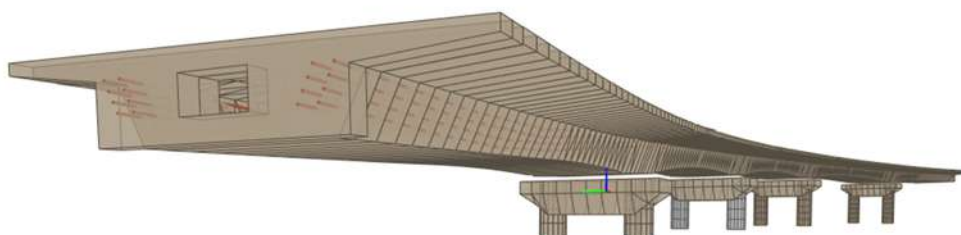


Εικόνα 189. Γενικό προσομοίωμα.

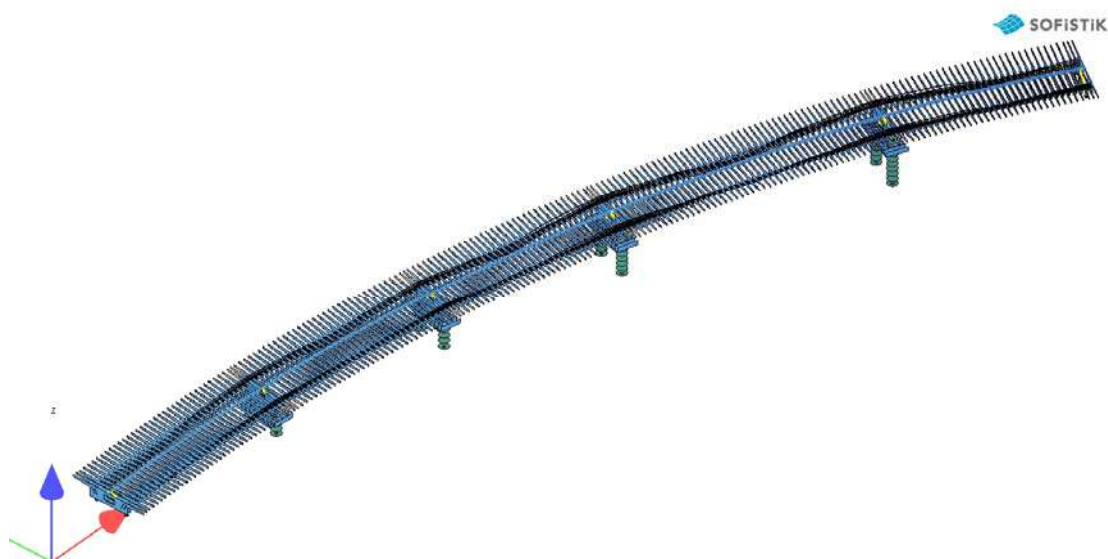
Στο προσομοίωμα έχουν εισαχθεί με κατάλληλο αλγόριθμό, τόσο η γεωμετρία των τενόντων, όσο και οι δυνάμεις της προέντασης.



Εικόνα 190. Προοπτικό φορέα, εσωτερικά του κιβωτίου σε μορφή IFC.



Εικόνα 191. Προοπτικό φορέα σε μορφή IFC.

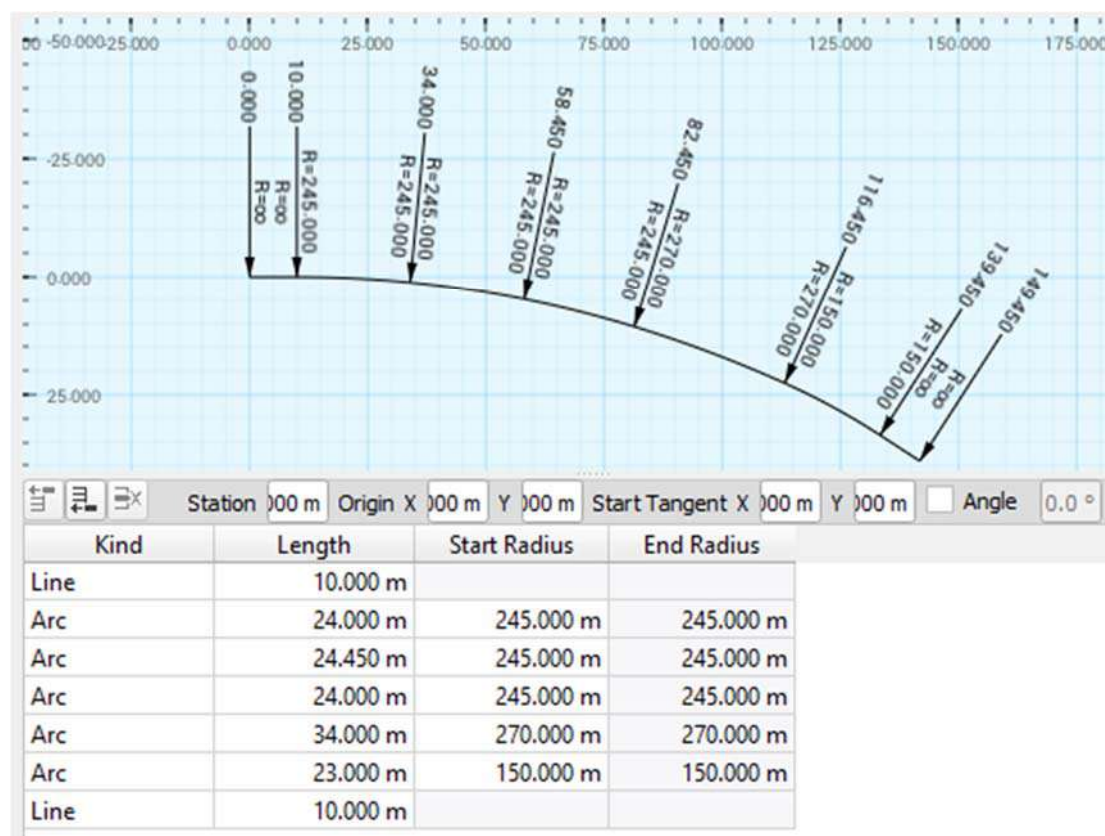


Εικόνα 192. Γεωμετρία τενόντων στο πρόγραμμα SOFISTIK A.G..

13.2. Άξονας προσομοίωσης

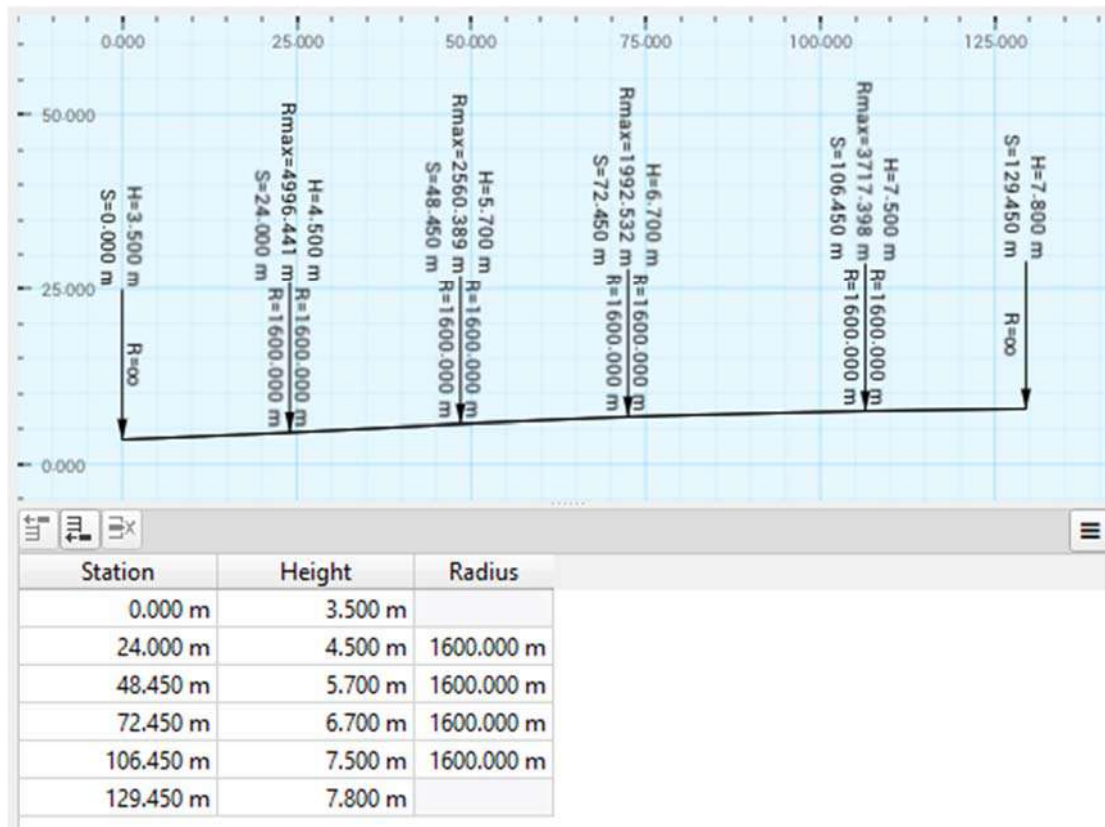
Ένα από τα βασικά προτερήματα του προγράμματος στατικής ανάλυσης SOFiStiK A.G., είναι η διαδικασία προσομοίωσης του τεχνικού, μέσω ενός άξονα. Επιπρόσθετα, μέσω της εντολής ELLA (Traffic loader), εισάγονται τα κανονιστικά φορτία κυκλοφορίας στον φορέα, λαμβάνοντας έτσι και τα φαινόμενα που προκύπτουν από την καμπύλη γεωμετρία.. Όπου δημιουργώντας τις κατάλληλες παραμέτρους σε αυτόν, και έπειτα εισάγοντας τις επιθυμητές τιμές, η διαδικασία προσομοίωσης είναι εύκολη και φιλική προς τις τυχούσες αλλαγές της γεωμετρίας. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία ορισμού του άξονα.

Αρχικά, ορίζεται τα μήκη των επιμέρους τμημάτων του άξονα. Συγκεκριμένα, για λόγους προσομοίωσης, ορίζεται ένα ευθύγραμμο τμήμα 10m πριν την αρχή και μετά το πέρας, και έπειτα τα επί μέρους τμήματα. Το κάθε τμήμα ουσιαστικά, αντιστοιχεί στο κάθε άνοιγμα, εισάγοντας το μήκος τους και την καμπυλότητά τους.



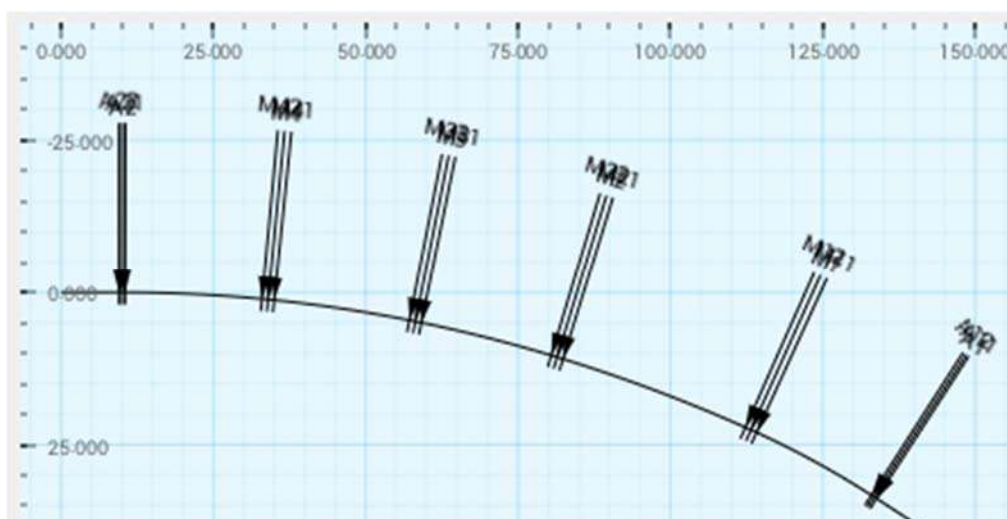
Εικόνα 193. Ορισμός καμπυλότητας, μήκους και θέσεις του άξονα, σε επίπεδο οριζοντιογραφίας.

Στο επόμενο βήμα, ορίζονται οι υψομετρικές θέσεις κόμβων των τμημάτων.

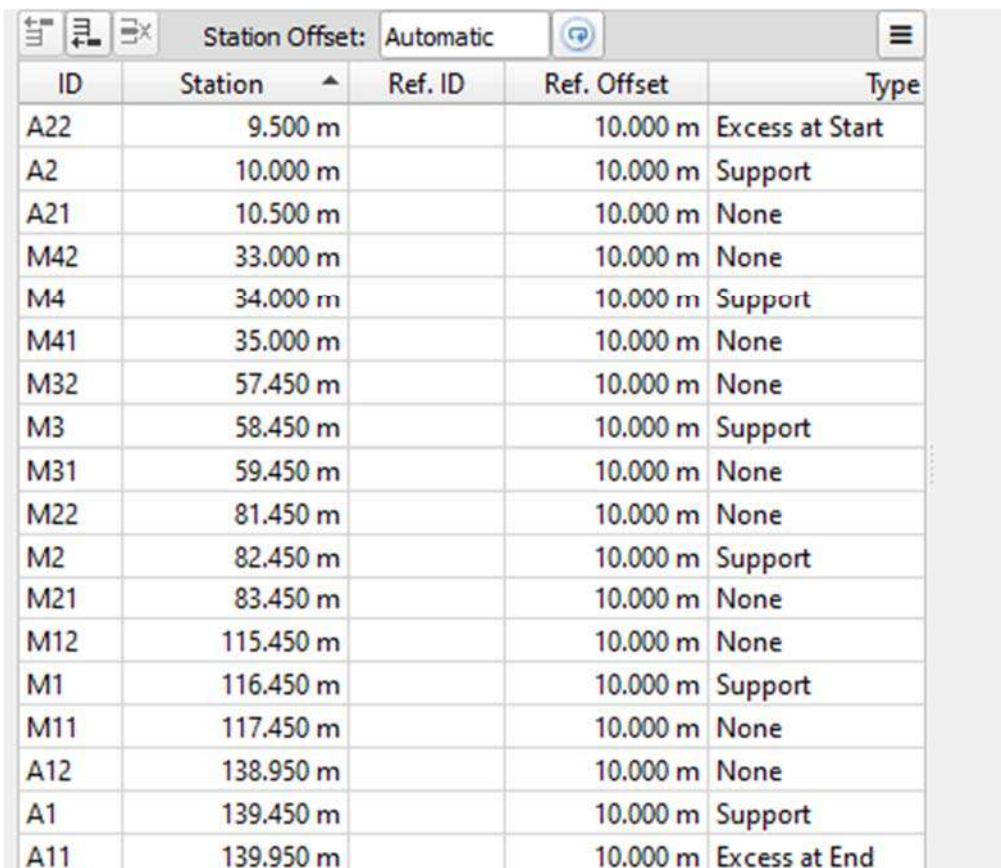


Εικόνα 194. Ορισμός υψομετρικών στις θέσεις του άξονα, σε επίπεδο μηκοτομής.

Έπειτα, ορίζονται οι χαρακτηριστικές θέσεις, οι οποίες είναι χρήσιμες για τον καθορισμό των στηρίξεων, καθώς και για διάφορες τιμές παραμέτρων που αφορούν την γεωμετρία της ανωδομής, όπως το ύψος του κιβωτίου, το πάχος των κορμών κ.α.



Εικόνα 195. Ορισμός χαρακτηριστικών θέσεων του άξονα.

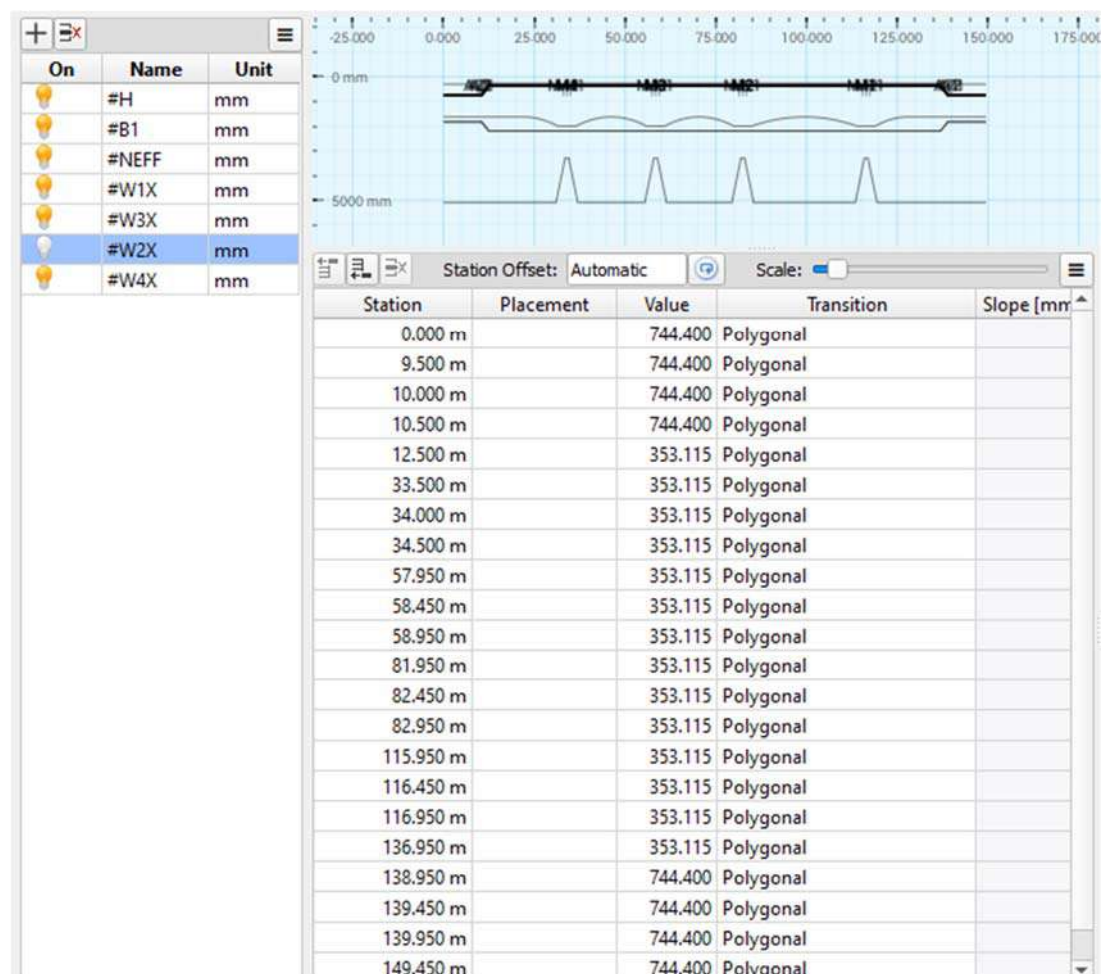


ID	Station	Ref. ID	Ref. Offset	Type
A22	9.500 m		10.000 m	Excess at Start
A2	10.000 m		10.000 m	Support
A21	10.500 m		10.000 m	None
M42	33.000 m		10.000 m	None
M4	34.000 m		10.000 m	Support
M41	35.000 m		10.000 m	None
M32	57.450 m		10.000 m	None
M3	58.450 m		10.000 m	Support
M31	59.450 m		10.000 m	None
M22	81.450 m		10.000 m	None
M2	82.450 m		10.000 m	Support
M21	83.450 m		10.000 m	None
M12	115.450 m		10.000 m	None
M1	116.450 m		10.000 m	Support
M11	117.450 m		10.000 m	None
A12	138.950 m		10.000 m	None
A1	139.450 m		10.000 m	Support
A11	139.950 m		10.000 m	Excess at End

Εικόνα 196. Τιμές χαρακτηριστικών θέσεων του άξονα.

Τέλος, εφόσον έχουν οριστεί τα προηγούμενα, μπορούν να οριστούν επιπλέον θέσεις, όπου θα δοθούν οι τιμές των μεταβλητών τιμών της διατομής καταστρώματος, κατά μήκος του άξονα. Συγκεκριμένα για αυτό το τεχνικό, έχουν οριστεί ως μεταβλητές το ύψος του κιβωτίου (#H), το πάχος του κάτω πέλματος (#B1), η αδρανής περιοχή του άνω πέλματος στις περιοχές των στηρίξεων (#NEFF), καθώς και τα πάχη του αριστερά και δεξιά κορμού, όπου ορίζονται στο ανώτατο και στο κατώτατο σημείο τομής με το άνω και το κάτω πέλμα αντίστοιχα (#W1X), (#W3X), (#W2X) και (#W4X).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως η αδρανής περιοχή, εφόσον υλοποιείται προένταση, δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς σκοπός είναι όλη η διατομή, να είναι συνεχώς υπό θλίψη. Παρόλα αυτά λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο αυτό, στις διάφορα φάσης κατά την κατασκευή του τεχνικού.



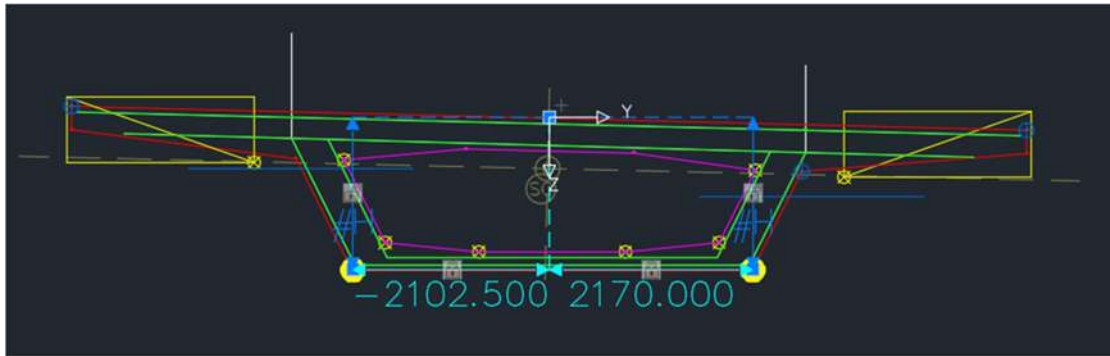
Εικόνα 197. Ορισμός τιμών μεταβλητών παραμέτρων κατά το μήκος του άξονα.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μεταβλητές της διατομής του ανοίγματος, για κάθε παράμετρο, όπου αντίστοιχες έχουν οριστεί και στην διατομή των στηρίξεων με την εγκάρσια διαδοκίδα.

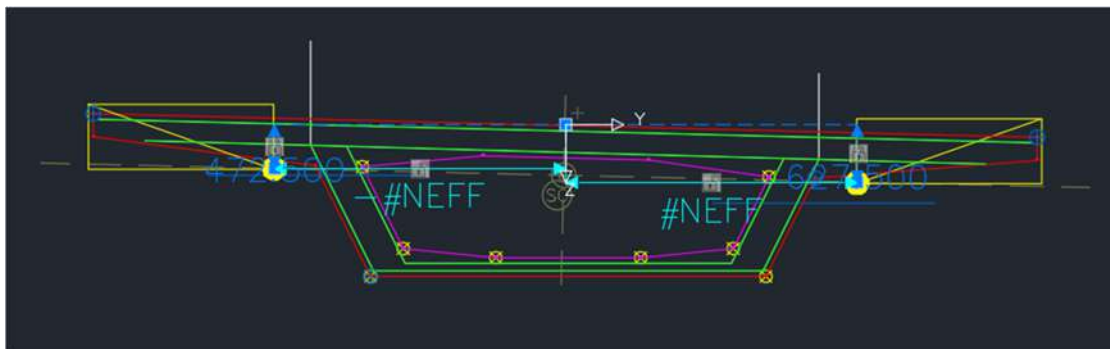
Σημειώνεται επίσης πως έχουν οριστεί 9 διαφορετικές στρώσεις (layers) οπλισμού (πράσινες γραμμές στα παρακάτω σχήματα όπου η κάθε μία αντιστοιχεί σε:

Layer 01	Κάτω οπλισμός κάτω πέλματος
Layer 02	Άνω οπλισμός κάτω πέλματος
Layer 03	Εξ. οπλισμός αριστερού κορμού
Layer 04	Εσ. οπλισμός αριστερού κορμού
Layer 05	Εσ. οπλισμός δεξιού κορμού
Layer 06	Εξ. οπλισμός δεξιού κορμού
Layer 07	Κάτω οπλισμός άνω πέλματος
Layer 08	Άνω οπλισμός άνω πέλματος
Layer 09	Οπλισμός στέψης

Πίνακας 37. Ορισμός στρώσεων (layers) οπλισμών.



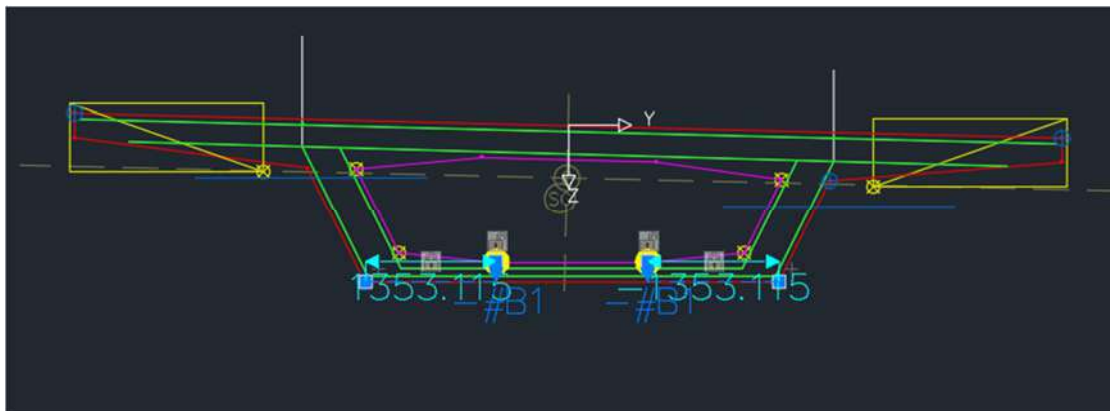
Εικόνα 198. Μεταβλητή ύψος κιβωτίου (#H).



Εικόνα 199. Μεταβλητή αδρανής περιοχής (#NEFF).



Εικόνα 200. Μεταβλητή πάχους κορμών (#W1X), (#W2X), (#W3X) και (#W4X).



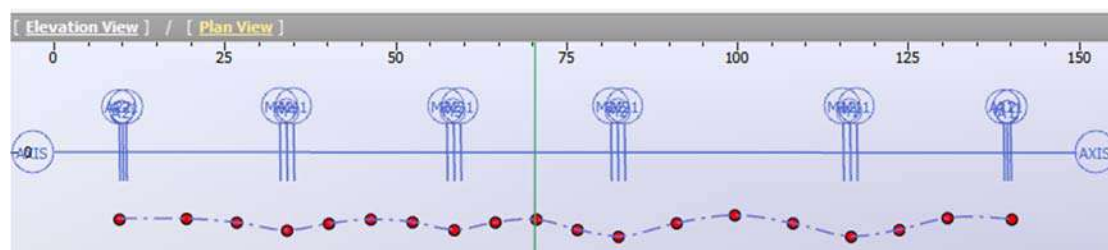
Εικόνα 201. Μεταβλητή πάχος κάτω πέλματος (#B1).

13.3. Εισαγωγή προέντασης

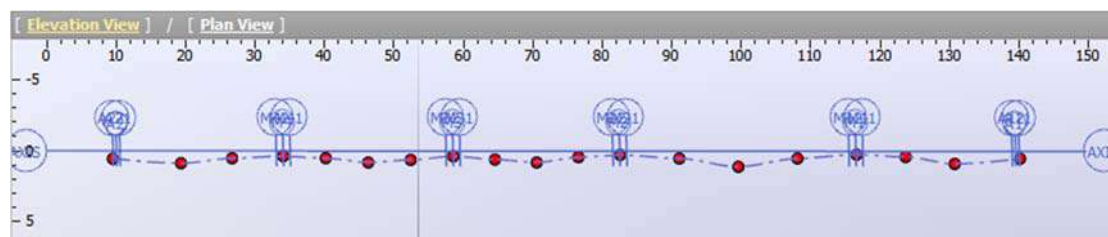
Έχοντας προσομοιώσει το φορέα μέσω του βασικού άξονα, η προένταση μπορεί να εισαχθεί, εφόσον αρχικά οριστούν οι βασικοί παράμετροι. Έπειτα, ορίζεται η γεωμετρία του τένοντα, όπου το λογισμικό έχει δημιουργήσει μια τροχιά παραβολής, και με κατάλληλες διακριτοποιήσεις, ορίζεται η ακριβείς γεωμετρία του τένοντα. Η τροχιά του τένοντα θα πρέπει να ορίζεται αυστηρά, ώστε να ικανοποιούνται σε κάθε σημείο, οι απαιτήσεις των επικαλύψεων. Ενδεικτικά παρατίθεται παρακάτω η χάραξη ενός τένοντα στο πρόγραμμα στατική ανάλυσης SOFiSTiK A.G..

Prestressing	
Prestressing Limits	According to Eurocode
Prestress Direction	From left
Prestressing Sequence	Tensioning+Slip
Number of Tendons	1
Prestressing: According to Eurocode	
Maximum stress during tensioning	$P_{0,max} = \min(k_1 \cdot f_{pk} \dots, k_2 \cdot f_{pk} \dots)$
k1	0.80
k2	0.90
General stress limit after anchor set	$P_{m0} = \min(k_3 \cdot f_{pk} \dots, k_4 \cdot f_{p0} \dots)$
k3 (k7 acc. EN 1992-1-1)	0.75
k4 (k8 acc. EN 1992-1-1)	0.85
Stress limit at jacking anchor	
k5	0.75
k6	0.85
Stress limit at dead anchor	
k7	0.75
k8	0.85

Εικόνα 202. Βασικές παράμετροι προέντασης.



Εικόνα 203. Χάραξη τένοντα σε οριζοντιογραφία.



Εικόνα 204. Χάραξη τένοντα σε μηκотоμή.

13.4. Υλικά προσομοιώματος

Mat	Classification
1	C40/50 (EN1992) Κατάστρωμα & κεφαλοδοκοί
2	B500C (EN1992) Οπλισμικός χάλυβας
3	Υ1860 A (EN1992) Χάλυβας προέντασης
4	C35/45 (EN1992) Μεσόβαθρα

Πίνακας 205. Υλικά καθολικού προσομοιώματος.

Mat 1 C 40/50 (EN 1992)

Young's modulus	E	35220	[N/mm ²]	Safetyfactor	1.50	[-]
Poisson's ratio	μ	0.20	[-]	Strength ¹	fc	34.00 [MPa]
Shear modulus	G	14675	[N/mm ²]	Nominal strength	fck	40.00 [MPa]
Compression modulus	K	19567	[N/mm ²]	Tensile strength	fctm	3.51 [MPa]
Nominal Weight	γ	25.0	[kN/m ³]	Tensile strength	fctk,05	2.46 [MPa]
Mean density	ρ	2400.0	[kg/m ³]	Tensile strength	fctk,95	4.56 [MPa]
Elongation coefficient	α	1.00E-05	[1/K]	Bond strength	fbd	3.68 [MPa]
				Service strength	fcm	48.00 [MPa]
				Fatigue strength	fcd,fat	19.04 [MPa]
				Tensile strength	fctd	1.64 [MPa]
				Tensile failure energy	Gf	0.15 [N/mm]

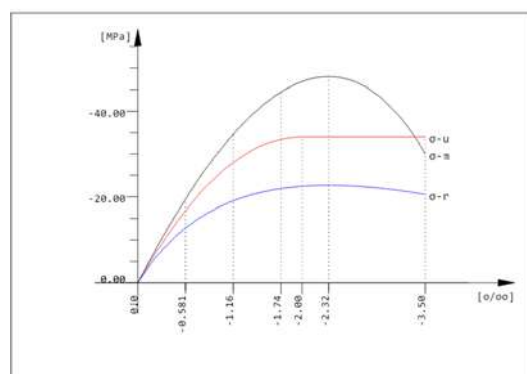
¹ $f_c = f_{ck} \cdot \alpha_{cc}$

Stress-Strain for serviceability	ε[ο/οο]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	36981
	-0.581	-19.51	29981
	-1.162	-34.60	21718
	-1.743	-44.44	11868
	-2.324	-48.00	0
	-3.500	-30.06	-32867
	Safetyfactor		1.50

Stress-Strain for ultimate load	ε[ο/οο]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	34000
	-2.000	-34.00	0
	-3.500	-34.00	0
	Safetyfactor		1.50

Stress-Strain of calc. mean values	ε[ο/οο]	σ-r[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	30818
	-0.581	-12.78	15164
	-1.162	-19.08	7305
	-1.743	-21.91	2810
	-2.324	-22.67	0
	-3.500	-20.56	-3208
	Safetyfactor		(1.50)

C 40/50 (EN 1992)



Mat 2 B 500 C (EN 1992)

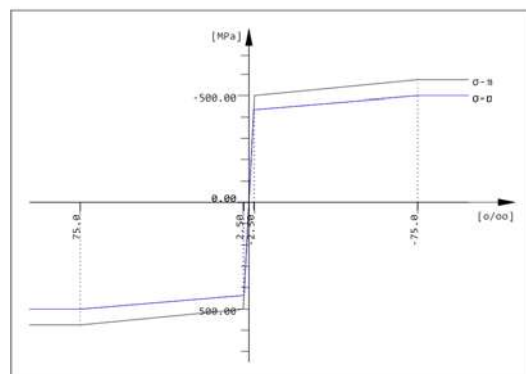
Young's modulus	E	200000	[N/mm ²]	Safetyfactor	1.15	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	f _y	500.00 [MPa]
Shear modulus	G	76923	[N/mm ²]	Compressive yield	f _{yc}	500.00 [MPa]
Compression modulus	K	166667	[N/mm ²]	Tensile strength	f _t	575.00 [MPa]
Nominal Weight	γ	78.5	[kN/m ³]	Compressive strength	f _c	575.00 [MPa]
Mean density	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Ultimate strain		75.00 [o/oo]
Elongation coefficient	α	1.20E-05	[1/K]	relative bond coeff.		1.00 [-]
max. thickness	t-max	32.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k ₁	0.80 [-]
				Hardening modulus	E _h	0.00 [MPa]
				Proportional limit	f _p	500.00 [MPa]
				Dynamic allowance	σ-dyn	152.17 [MPa]

Stress-Strain for serviceability	ε[o/oo]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	575.00	0
	75.000	575.00	0
	2.500	500.00	1034
	0.000	0.00	200000
	-2.500	-500.00	1034
	-75.000	-575.00	0
	-1000.000	-575.00	0
Safetyfactor			1.15

Stress Strain for ultimate load	ε[o/oo]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	500.00	0
	75.000	500.00	0
	2.174	434.78	896
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	896
	-75.000	-500.00	0
	-1000.000	-500.00	0
Safetyfactor			(1.15)

Stress-Strain of calc. mean values	ε[o/oo]	σ-r[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	500.00	0
	75.000	500.00	0
	2.174	434.78	896
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	896
	-75.000	-500.00	0
	-1000.000	-500.00	0
Safetyfactor			(1.15)

B 500 C (EN 1992)



Mat 3 Y 1860 A (EN 1992)

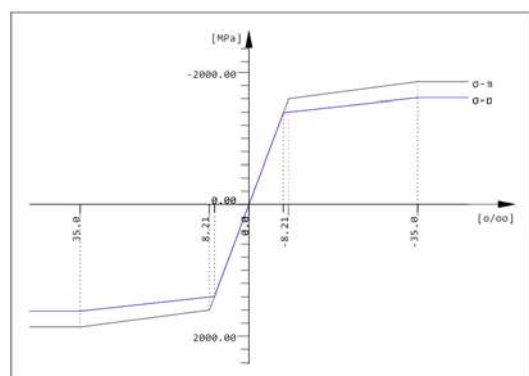
Young's modulus	E	195000	[N/mm ²]	Safetyfactor		1.15	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	fy	1600.00	[MPa]
Shear modulus	G	75000	[N/mm ²]	Compressive yield	fyc	1600.00	[MPa]
Compression modulus	K	162500	[N/mm ²]	Tensile strength	ft	1860.00	[MPa]
Nominal Weight	γ	78.5	[kN/m ³]	Compressive strength	fc	1860.00	[MPa]
Mean density	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Ultimate strain		35.00	[o/oo]
Elongation coefficient	α	1.20E-05	[1/K]	relative bond coeff.		0.50	[-]
max. thickness	t-max	18.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k1	1.60	[-]
Relaxation	EN-1992	Class	2	Hardening modulus	Eh	0.00	[MPa]
Relaxation	ρ(1000h)	2.50	[%]	Proportional limit	fp	1600.00	[MPa]
				Dynamic allowance	σ-dyn	160.87	[MPa]

Stress-Strain for serviceability	ε[o/oo]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	1860.00	0
	35.000	1860.00	0
	8.205	1600.00	9703
	0.000	0.00	195000
	-8.205	-1600.00	9703
	-35.000	-1860.00	0
	-1000.000	-1860.00	0
Safetyfactor			1.15

Stress Strain for ultimate load	ε[o/oo]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	1617.39	0
	35.000	1617.39	0
	7.135	1391.30	8114
	0.000	0.00	195000
	-7.135	-1391.30	8114
	-35.000	-1617.39	0
	-1000.000	-1617.39	0
Safetyfactor			(1.15)

Stress-Strain of calc. mean values	ε[o/oo]	σ-r[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	1617.39	0
	35.000	1617.39	0
	7.135	1391.30	8114
	0.000	0.00	195000
	-7.135	-1391.30	8114
	-35.000	-1617.39	0
	-1000.000	-1617.39	0
Safetyfactor			(1.15)

Y 1860 A (EN 1992)



Mat 4 C 35/45 (EN 1992)

Young's modulus	E	34077	[N/mm ²]	Safetyfactor	1.50	[-]
Poisson's ratio	μ	0.20	[-]	Strength ¹	f _c	29.75 [MPa]
Shear modulus	G	14199	[N/mm ²]	Nominal strength	f _{ck}	35.00 [MPa]
Compression modulus	K	18932	[N/mm ²]	Tensile strength	f _{ctm}	3.21 [MPa]
Nominal Weight	γ	25.0	[kN/m ³]	Tensile strength	f _{ctk,05}	2.25 [MPa]
Mean density	ρ	2400.0	[kg/m ³]	Tensile strength	f _{ctk,95}	4.17 [MPa]
Elongation coefficient	α	1.00E-05	[1/K]	Bond strength	f _{bd}	3.37 [MPa]
				Service strength	f _{cm}	43.00 [MPa]
				Fatigue strength	f _{cd,fat}	17.06 [MPa]
				Tensile strength	f _{ctd}	1.50 [MPa]
				Tensile failure energy	G _f	0.14 [N/mm]

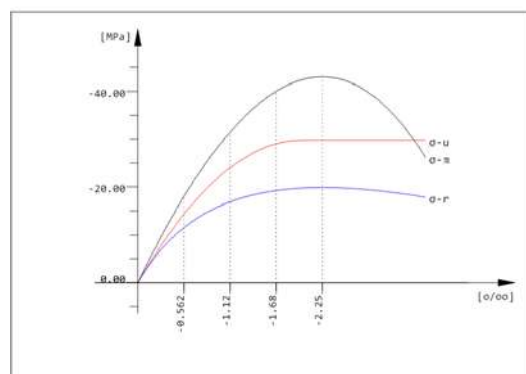
¹ $f_c = f_{ck} * \alpha_{cc}$

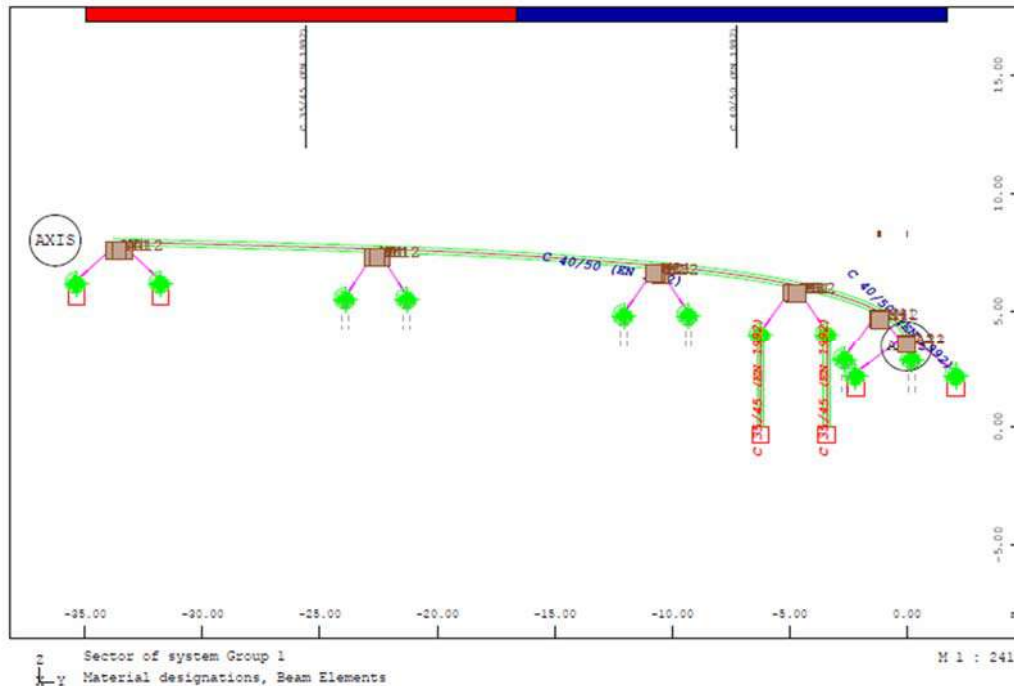
Stress-Strain for serviceability	ε[o/oo]	σ-m[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	35781
	-0.562	-17.99	28179
	-1.123	-31.50	19765
	-1.685	-40.02	10420
	-2.246	-43.00	0
	-3.500	-26.18	-28065
	Safetyfactor		1.50

Stress-Strain for ultimate load	ε[o/oo]	σ-u[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	29750
	-2.000	-29.75	0
	-3.500	-29.75	0
	Safetyfactor		1.50

Stress-Strain of calc. mean values	ε[o/oo]	σ-r[MPa]	E-t[N/mm ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	29818
	-0.562	-11.53	13637
	-1.123	-16.90	6295
	-1.685	-19.22	2356
	-2.246	-19.83	0
	-3.500	-17.87	-2750
	Safetyfactor		(1.50)

C 35/45 (EN 1992)





Εικόνα 206. Υλικό διατομών.

13.5. Κανονισμοί

Η εκπόνηση της μελέτης γίνεται σύμφωνα με της ισχύοντες Ευρωκώδικες με ενσωματωμένες της παραμέτρους των Εθνικών Προσαρτημάτων.

International Standards

1. Eurocode 0: Basis of structural design. European Standard EN1990
2. Eurocode 1: Actions on structures. European Standard EN1991
3. Eurocode 2: Design of concrete structures. European Standard EN1992
4. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. European Standard EN1998.

13.6. Φορτία προσομοιώματος

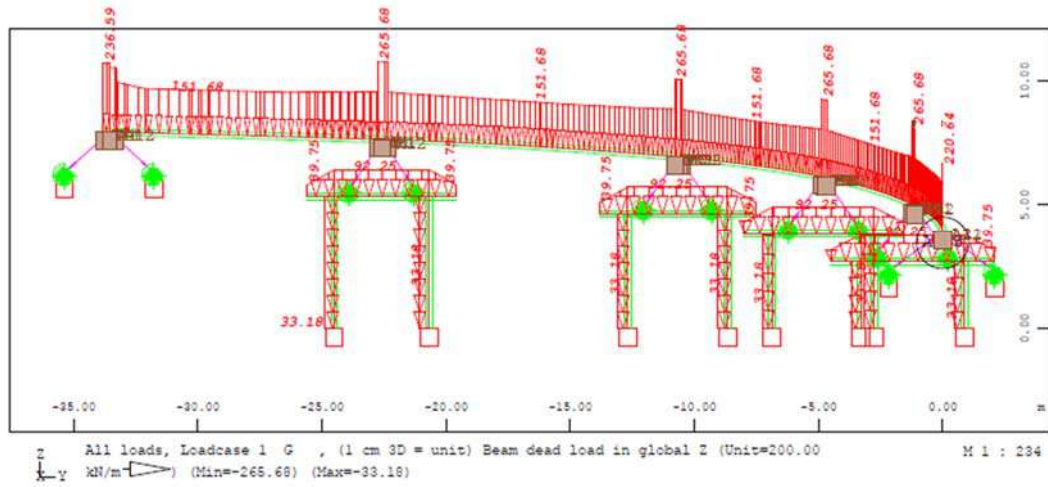
ΔΡΑΣΕΙΣ		
[G]	ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ	
[LC1]	Ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος	25.00 kN/m ³
[G']	ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ	
[LC2]	Φορτίο ασφαλικών κ.λπ.	27.38 kN/m
	Φορτίο πεζοδρομίων	12.50 kN/m
	[LC2] Φορτίο Σ.Α. (x2)	2.00 kN/m
[G]	ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	
[LC3]	Τένοντες προέντασης	16 CL Y1860 S7
[Q]	ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ [κατά EN1991-2]	
[LC100]	Φορτία κυκλοφορίας LM2	[EN1991-1-2]
[LC500]	Φορτία κυκλοφορίας TS LM1	
[LC600]	Φορτία κυκλοφορίας UDL LM1	
[LC600]	Φόρτιση για έλεγχο προβόλου	
[LC700]	Οριζόντιες δυνάμεις πέδησης - επιτάχυνσης	
[LC800]	Φυγόκεντρος	
[W]	ΔΡΑΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ	
[LC200-205]	Δράσεις ανέμου	[EN1991-1-4]
[T]	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	

ΔΡΑΣΕΙΣ		
[LC300-305]	Θερμικές δράσεις	[EN1991-1-5]
[LC310-340]	Συνδυασμός θερμικών δράσεων	
[C+S]	ΕΡΠΥΣΜΟΣ & ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ	
[LC4010-5010]	Κατασκευή κεφαλοδοκού	[EN1992]
[LC4015-5015]	Ερπυσμός $t = 0$	
[LC4020-5020]	Κατασκευή ανωδομής	
[LC4021-0521]	Προένταση	
[LC4025-5025]	Ερπυσμός $t = 0$	
[LC4030-5030]	Εφαρμογή πρόσθετων μόνιμων φορτίων (ασφαλτικά κ.α.)	
[LC5035]	Ερπυσμός $t = 0$	
[LC5045]	Ερπυσμός $t = \infty$	
[LC10]	Συστολή ξήρανσης (και αυτογενής)	

Πίνακας 38. Φορτίσεις για το καθολικό μοντέλο ανάλυσης.

13.6.1. Μόνιμα φορτία G [LC1]

Το ίδιο βάρος υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.

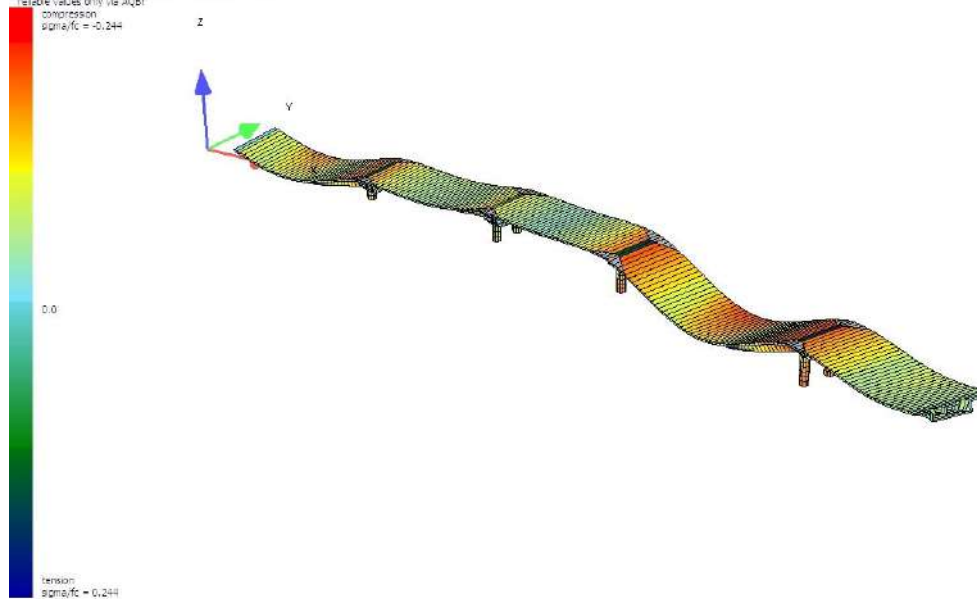


Εικόνα 207. Φορτίο ι.β..

LC1(G_1) ΣRX=0.0kN ΣRY=0.0kN ΣRZ=24108.8kN



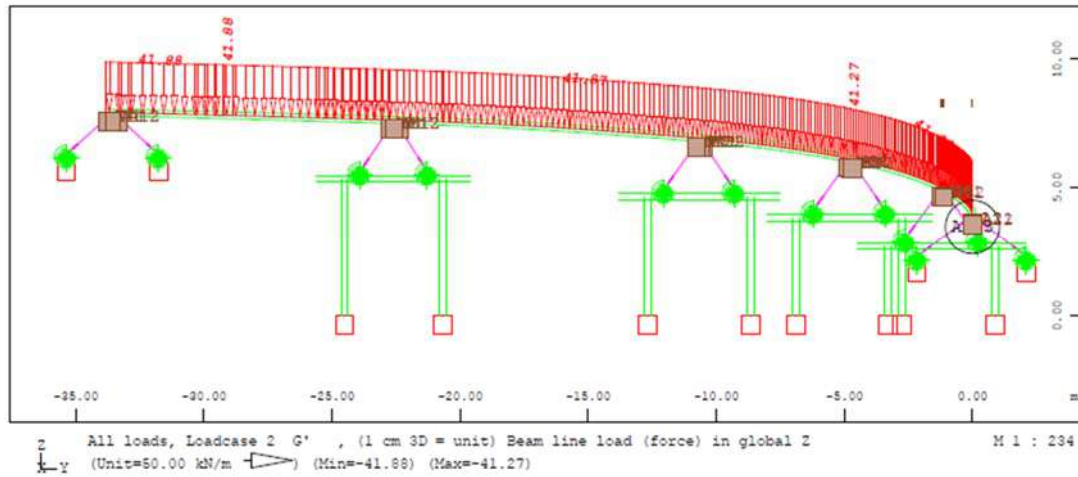
Utilization (sigma/fc)
max. (sigma) (EEM) approx. 5.53MPa (sigma/fc = 0.24)
relative values only (via AQB)
compression
sigma/fc = -0.244



Εικόνα 208. Παραμόρφωση λόγω ι.β., συνολικό βάρος: 2457.6tn.

13.6.2. Πρόσθετα μόνιμα φορτία G' [LC2]

Επιβάλλονται τα πρόσθετα μόνιμα φορτία όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Δράσεις Γεφυρών.

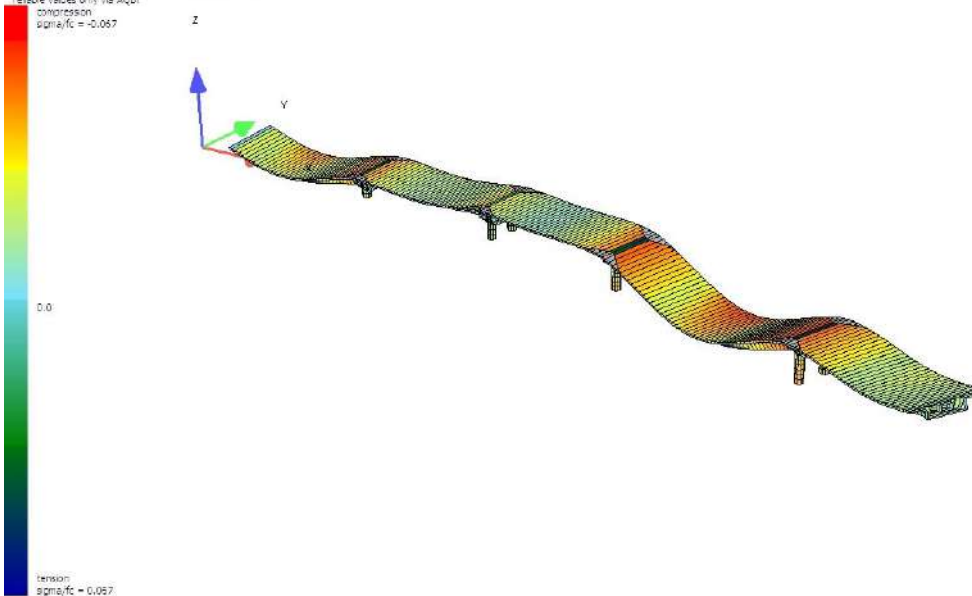


Εικόνα 209. Φορτίο πρόσθετων μόνιμων φορτίων.

LC 2 (G_2) ZRX=0.0kN ZRY=0.0kN ZRZ=5462.6kN

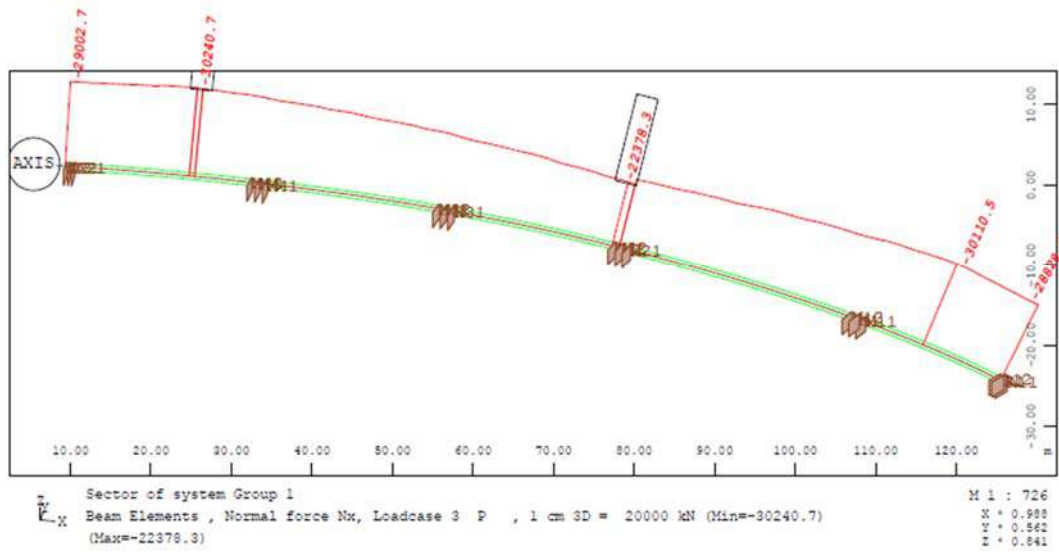


Utilization (sigma/fc)
max. (sigma) (EEM) approx. 1.5 MPa (sigma/fc = 0.07)
relative values only (vs AQB)
compression
sigma/fc = -0.057



Εικόνα 210. Παραμόρφωση λόγω πρόσθετων μόνιμων φορτίων, συνολικό βάρος: 556.8tn.

13.6.3. Δύναμη προέντασης [LC3]

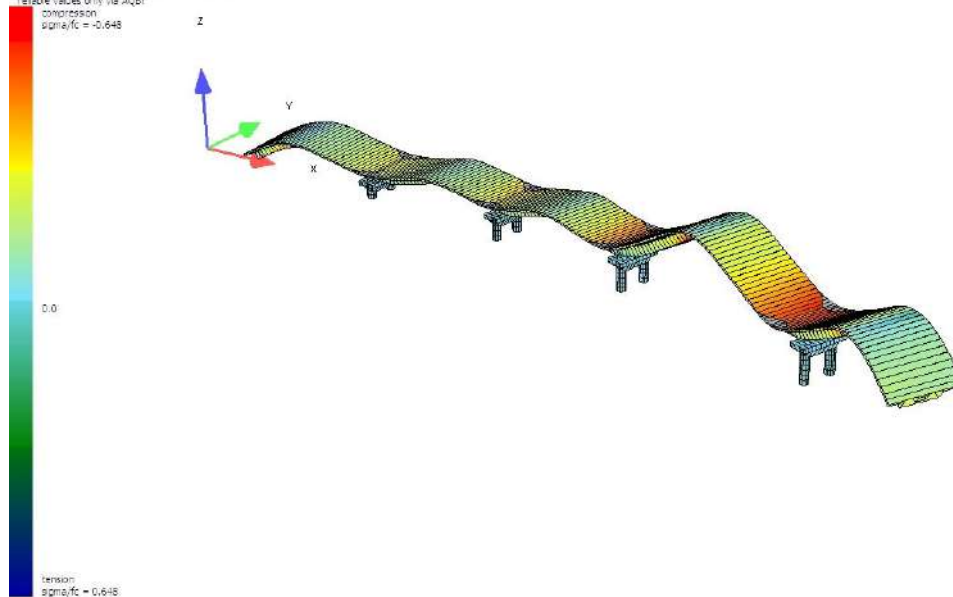


Εικόνα 211. Δύναμη προέντασης.

LC 3 (P) ΣRX=0.0kN ΣRY=0.0kN ΣRZ=0.0kN



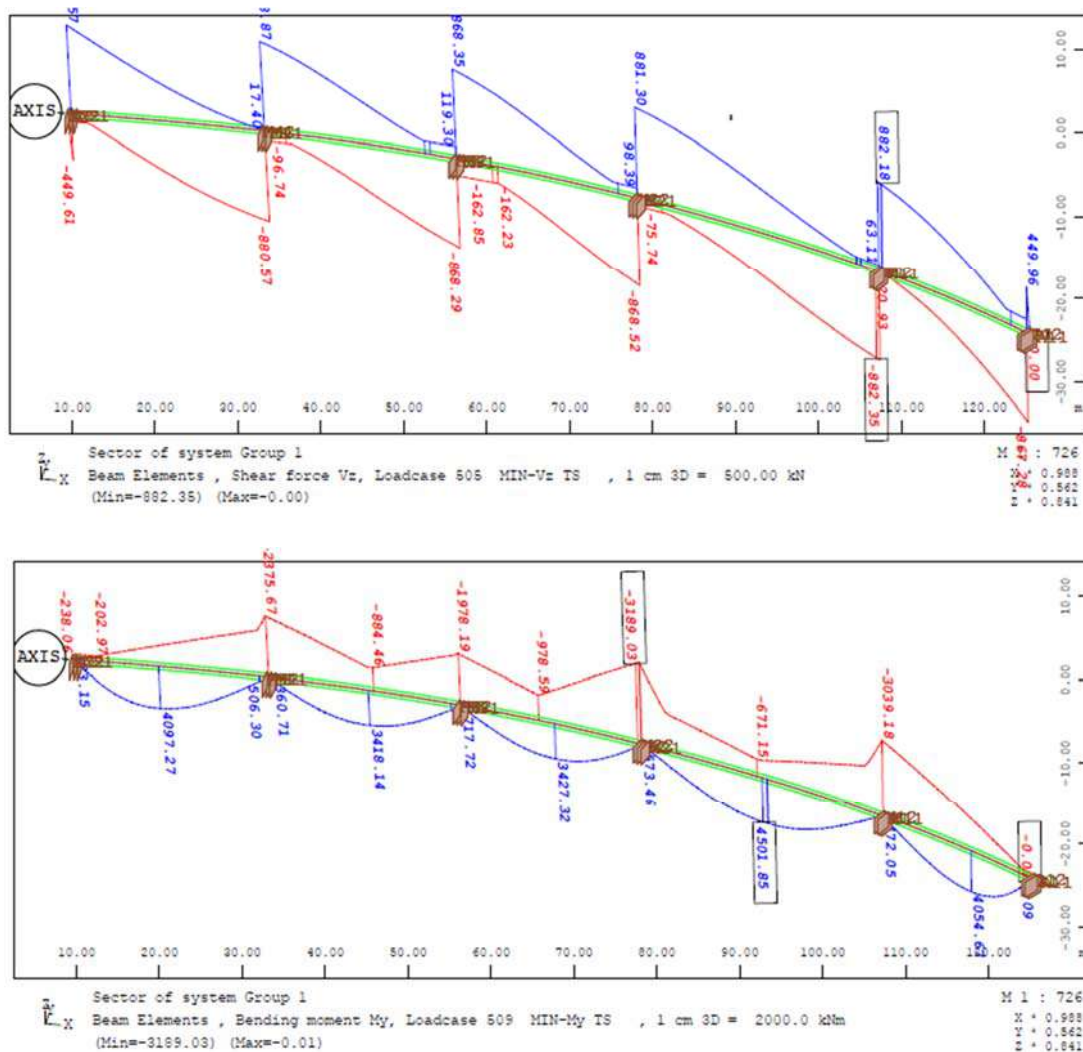
Utilization (sigma/fc)
max. (sign): EE4M approx. 14.68MPa (sigma/fc = 0.65)
relative values only via ACFI!



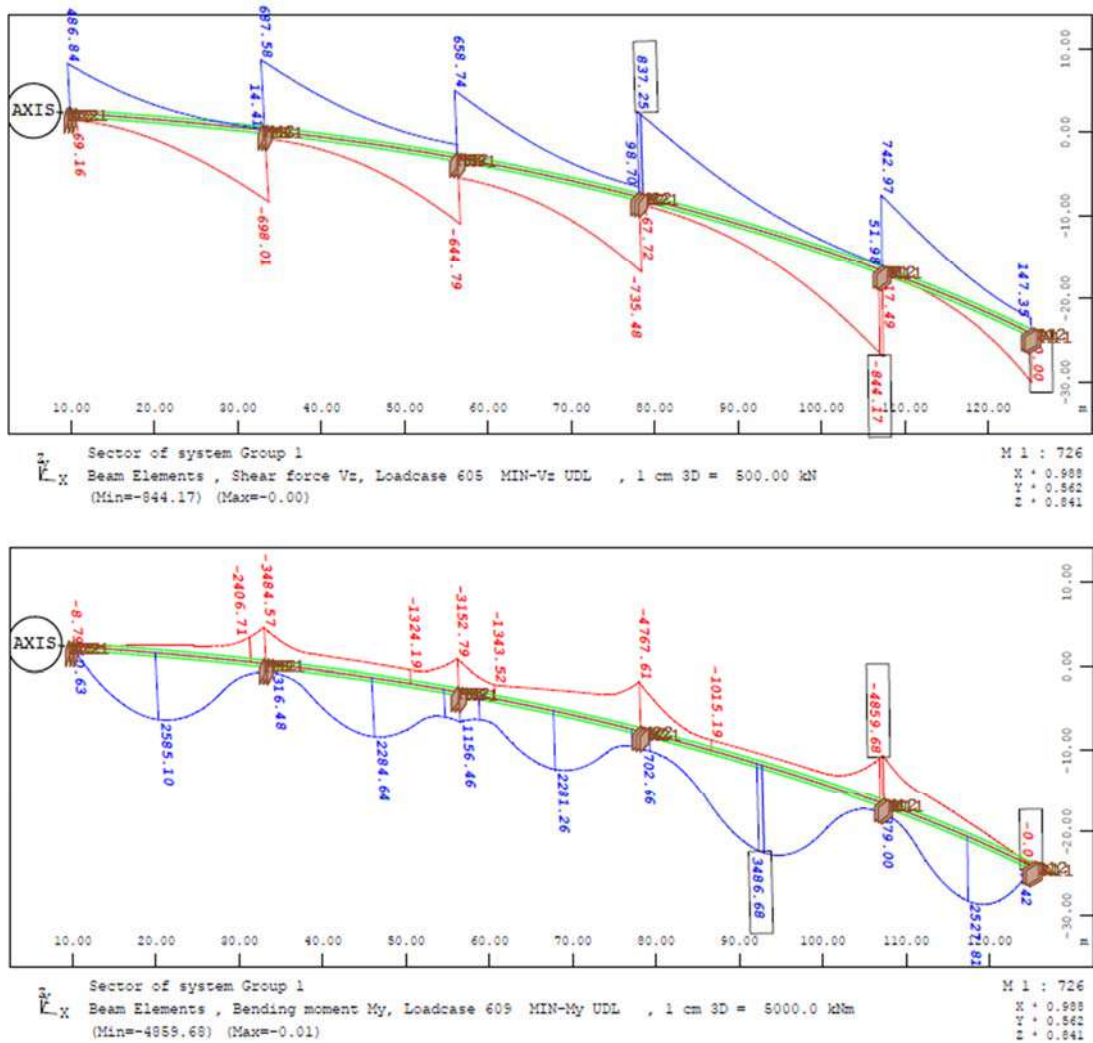
Εικόνα 212. Παραμόρφωση λόγω δύναμης προέντασης.

13.6.4. Φορτία κυκλοφορίας [LC100-LC800]

Επιβάλλονται τα φορτία κυκλοφορίας όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Δράσεις Γεφυρών.



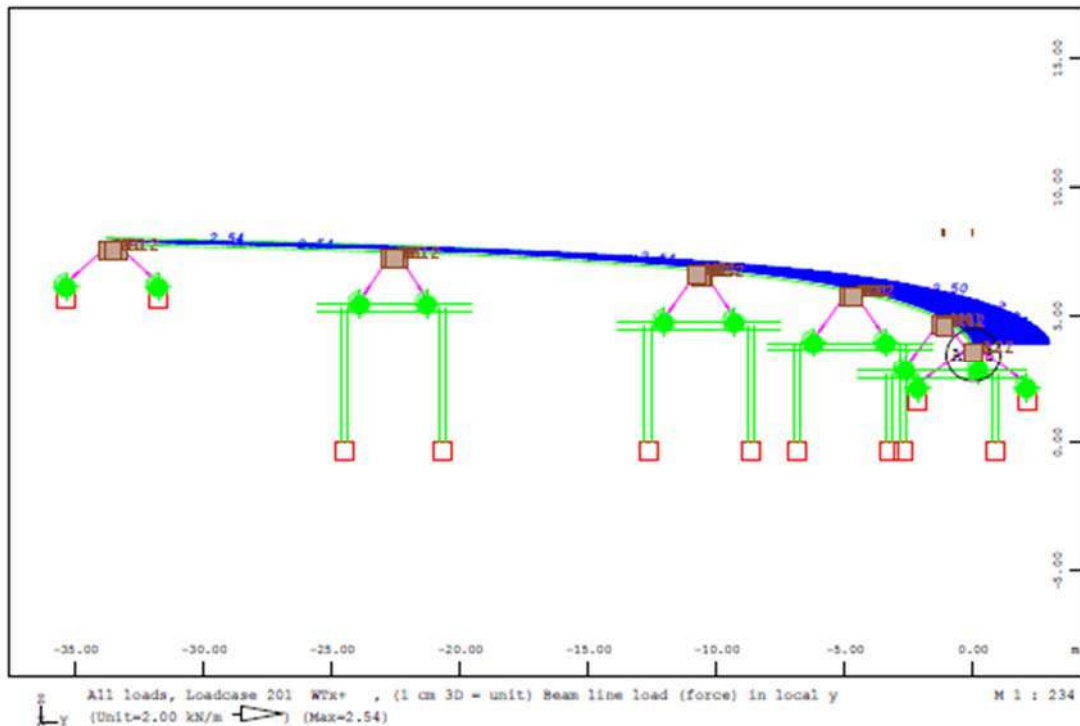
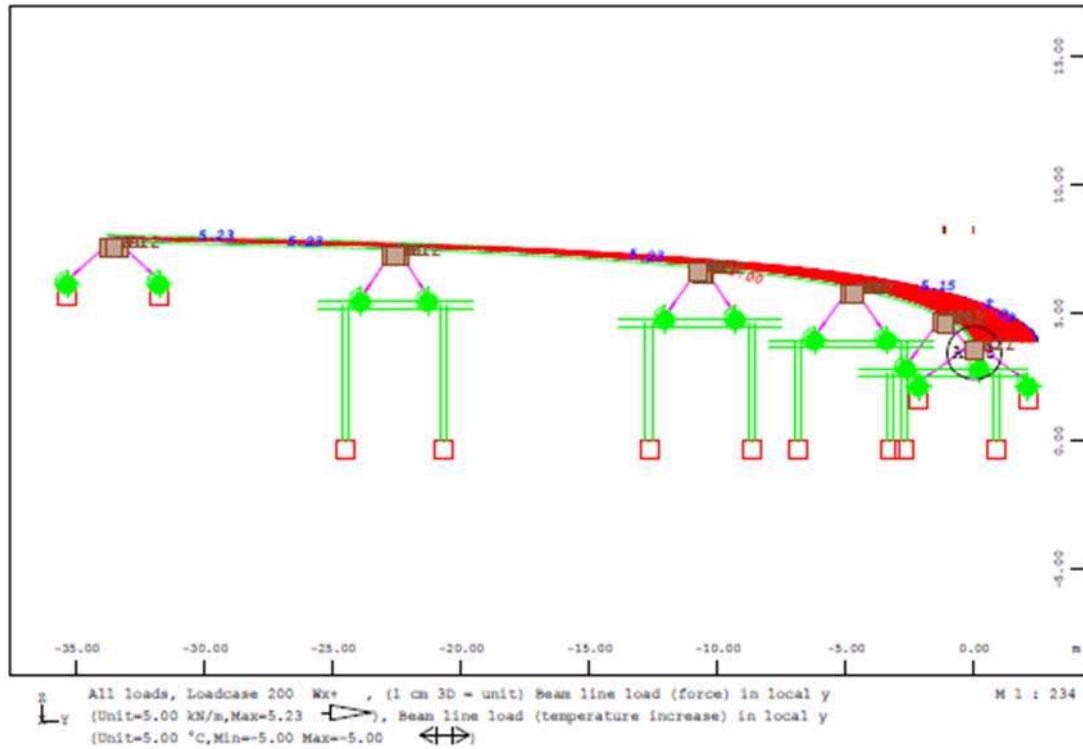
Εικόνα 213. Περιβάλλουσα τεμνουσών (πάνω) και ροπών (κάτω) TS.



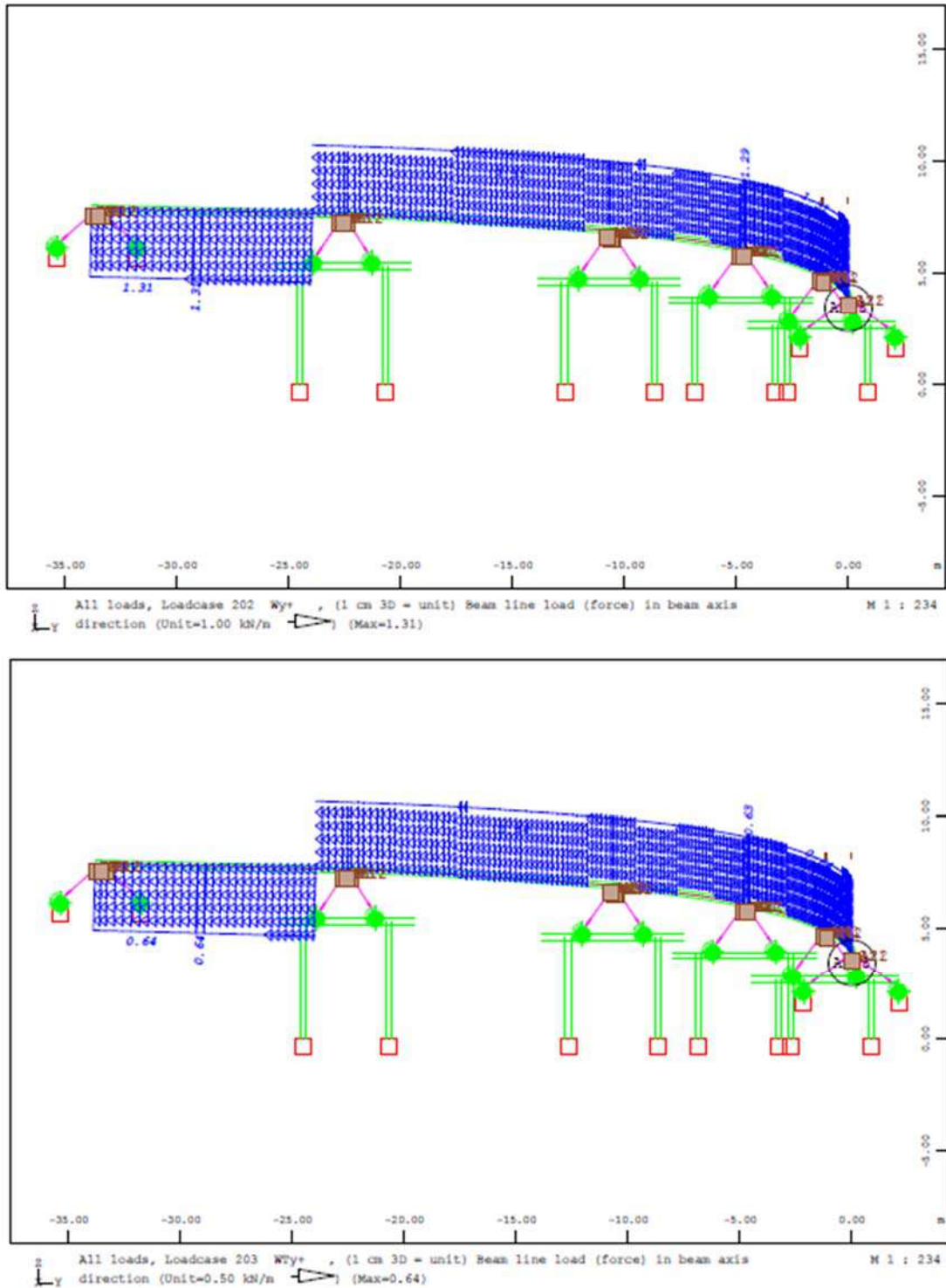
Εικόνα 214. Περιβάλλουσα τεμνουσών (πάνω) και ροπών (κάτω) UDL.

13.6.5. Φορτία ανέμου [LC 200-LC205]

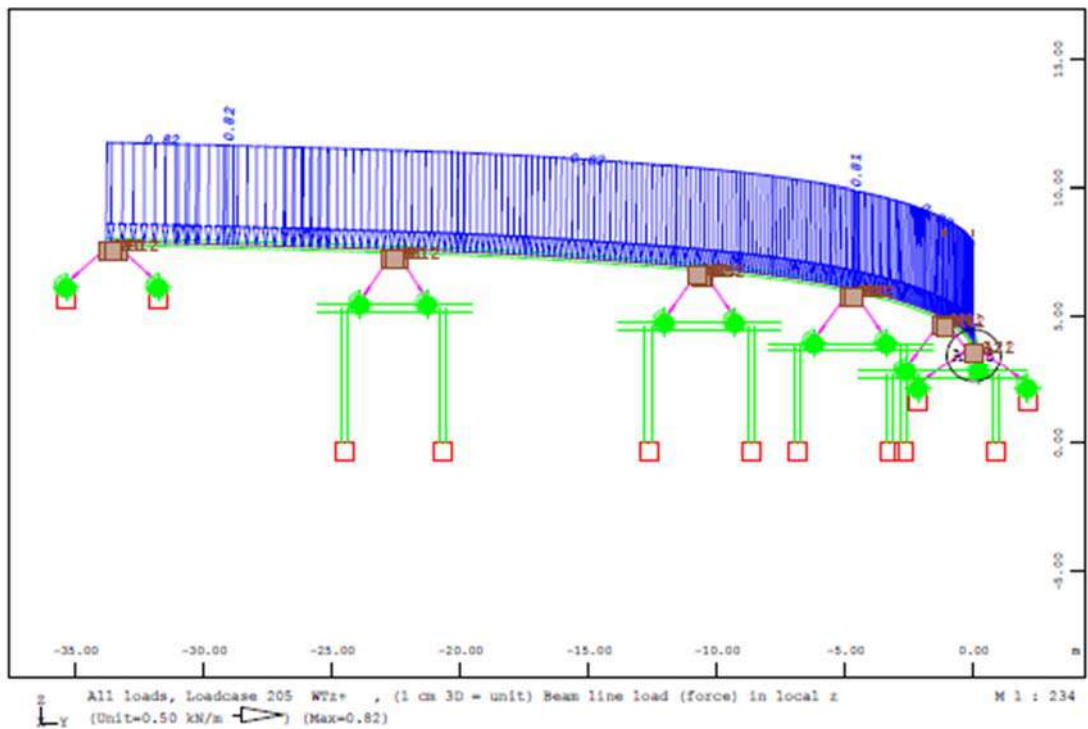
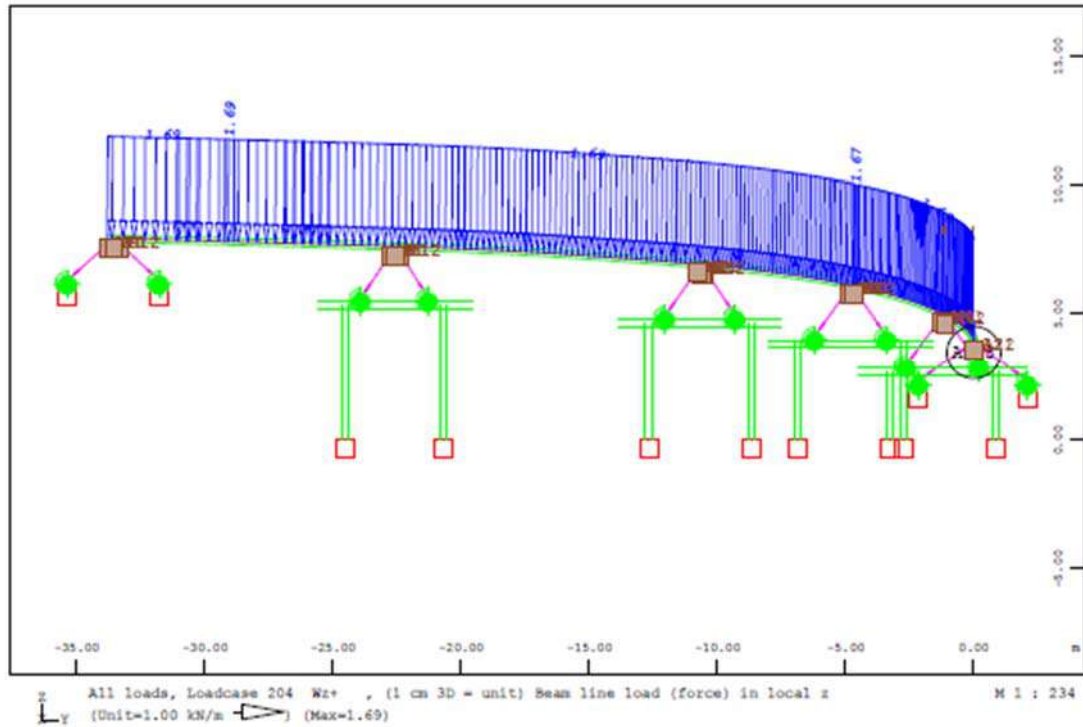
Επιβάλλονται τα φορτία ανέμου όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Δράσεις Ανέμου. Οι ίδιες φορτίσεις εφαρμόζονται και με αρνητικό πρόσημο στους αντίστοιχους συνδυασμούς.



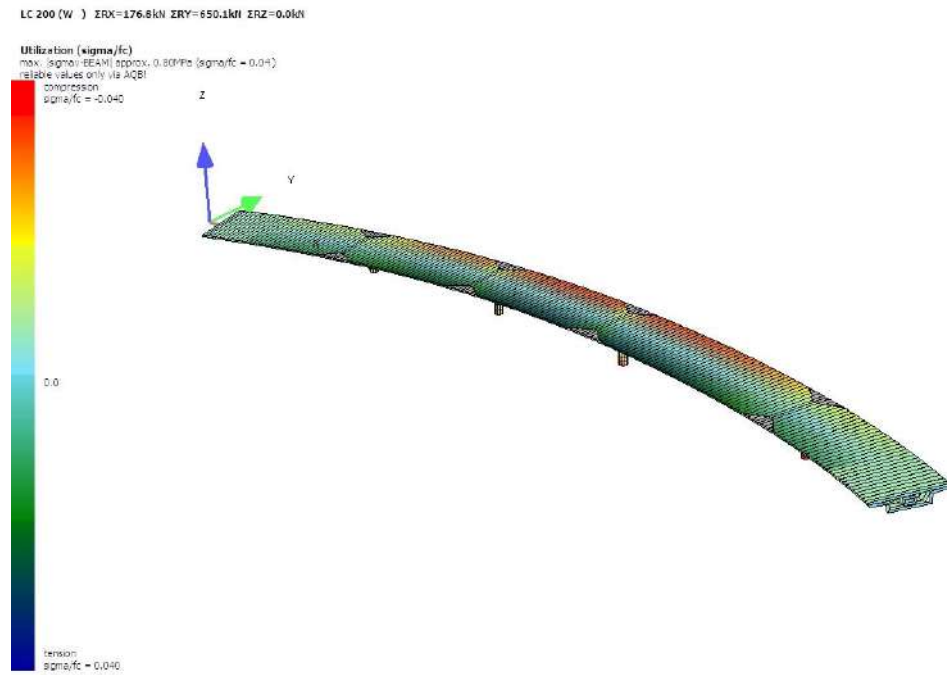
Εικόνα 215. Δράση ανέμου κατά X-X χωρίς κυκλοφορία (πάνω) και με κυκλοφορία (κάτω).



Εικόνα 216. Δράση ανέμου κατά Y-Y χωρίς κυκλοφορία (πάνω) και με κυκλοφορία (κάτω).



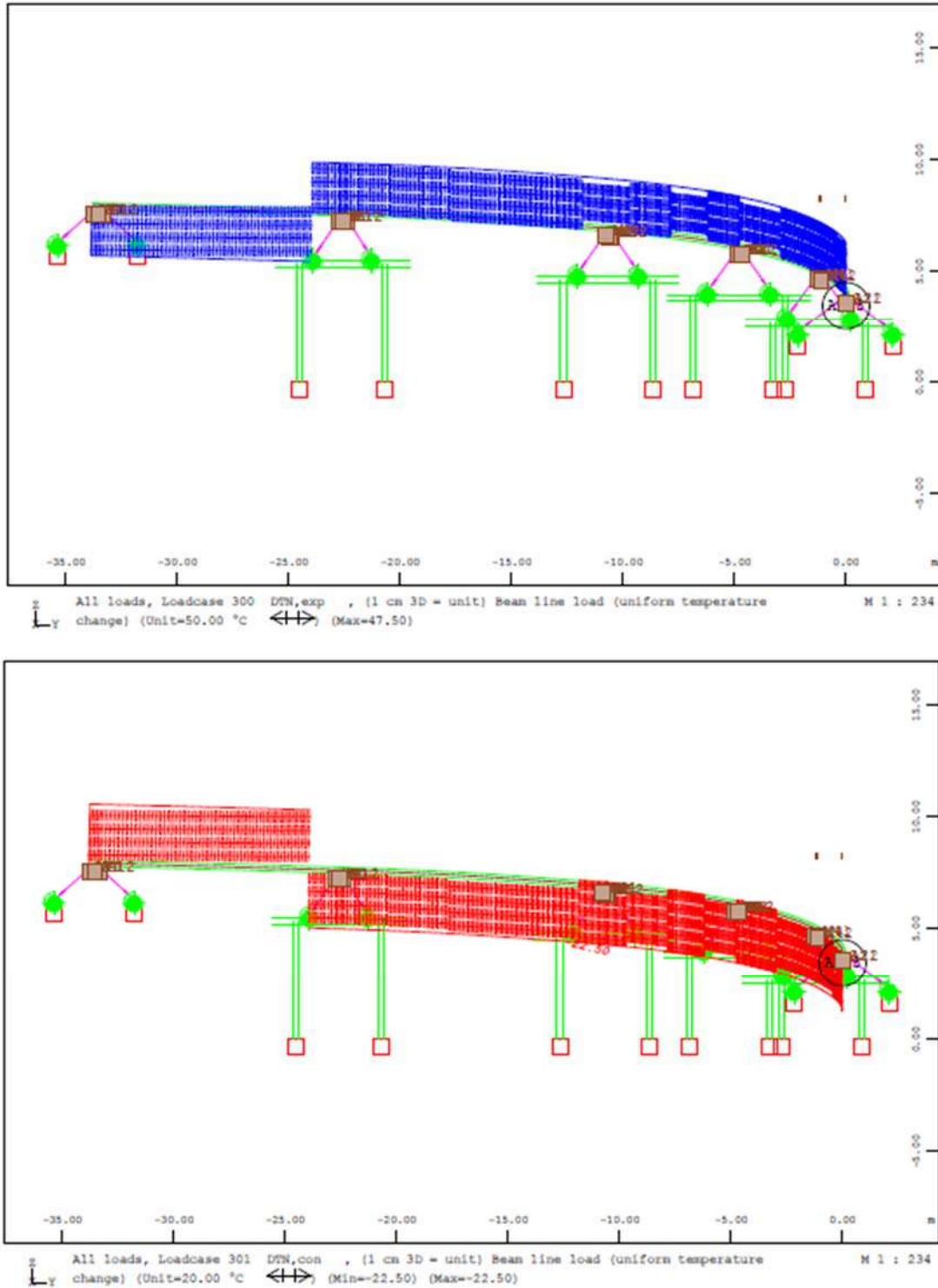
Εικόνα 217. Δράση ανέμου κατά Z-Z χωρίς κυκλοφορία (πάνω) και με κυκλοφορία (κάτω).



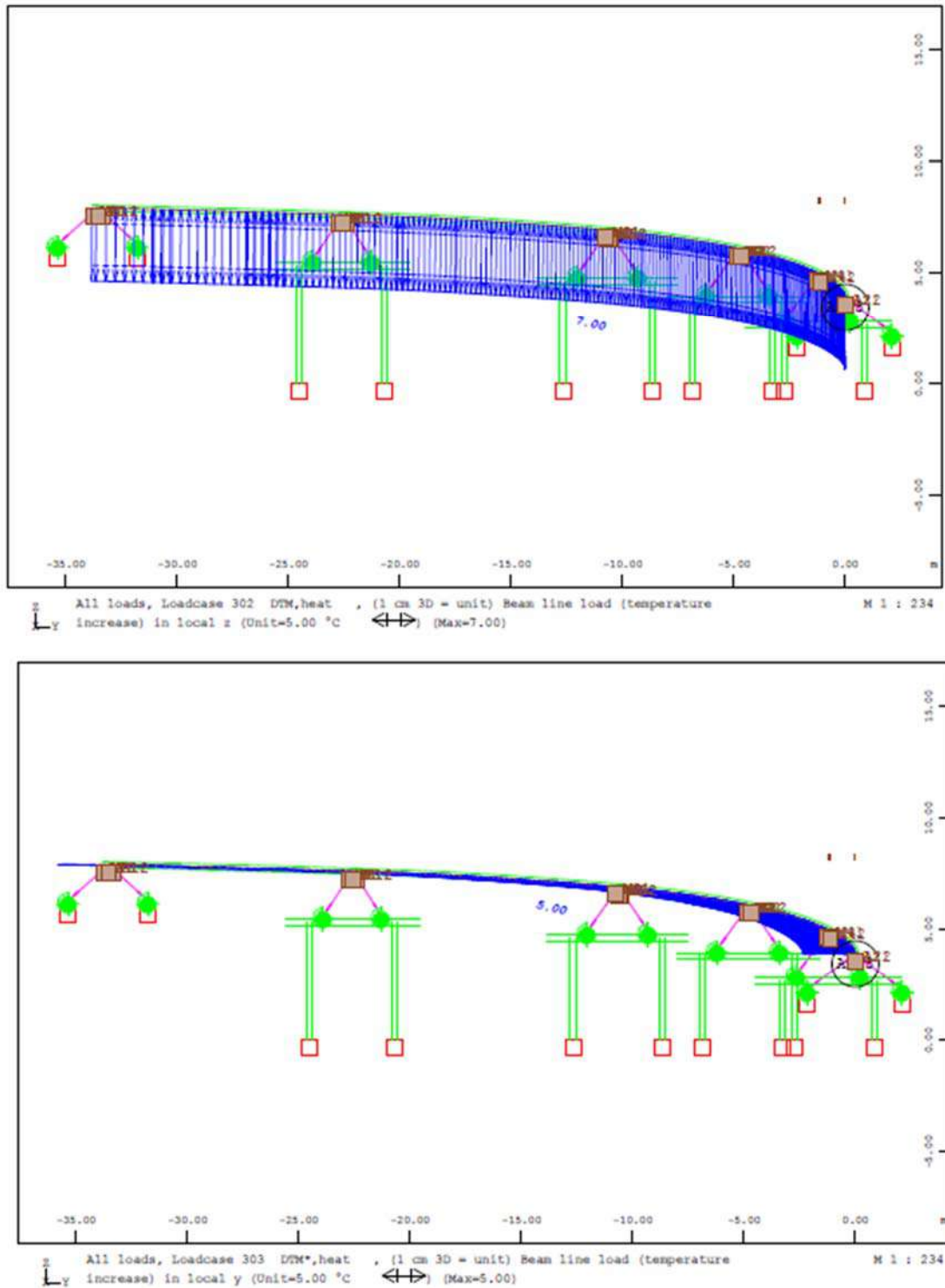
Εικόνα 218. Ενδεικτική παραμόρφωση φορέα λόγω δράσης εγκάρσιου ανέμου [LC200].

13.6.6. Θερμικές δράσεις [LC300-LC340]

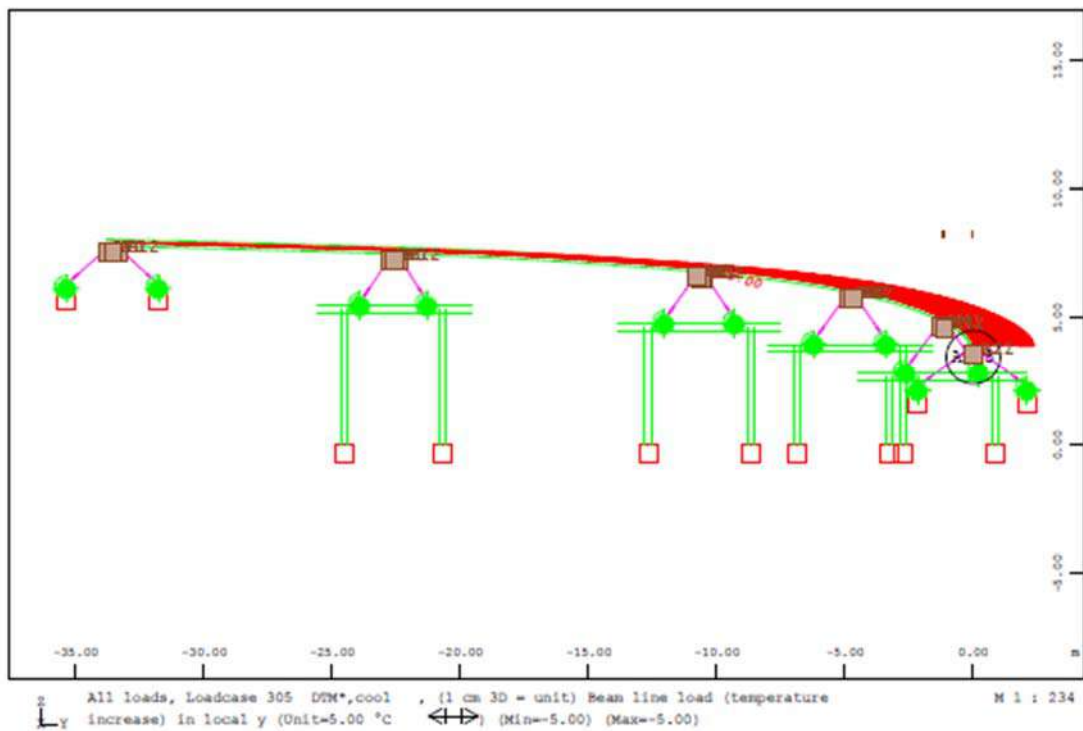
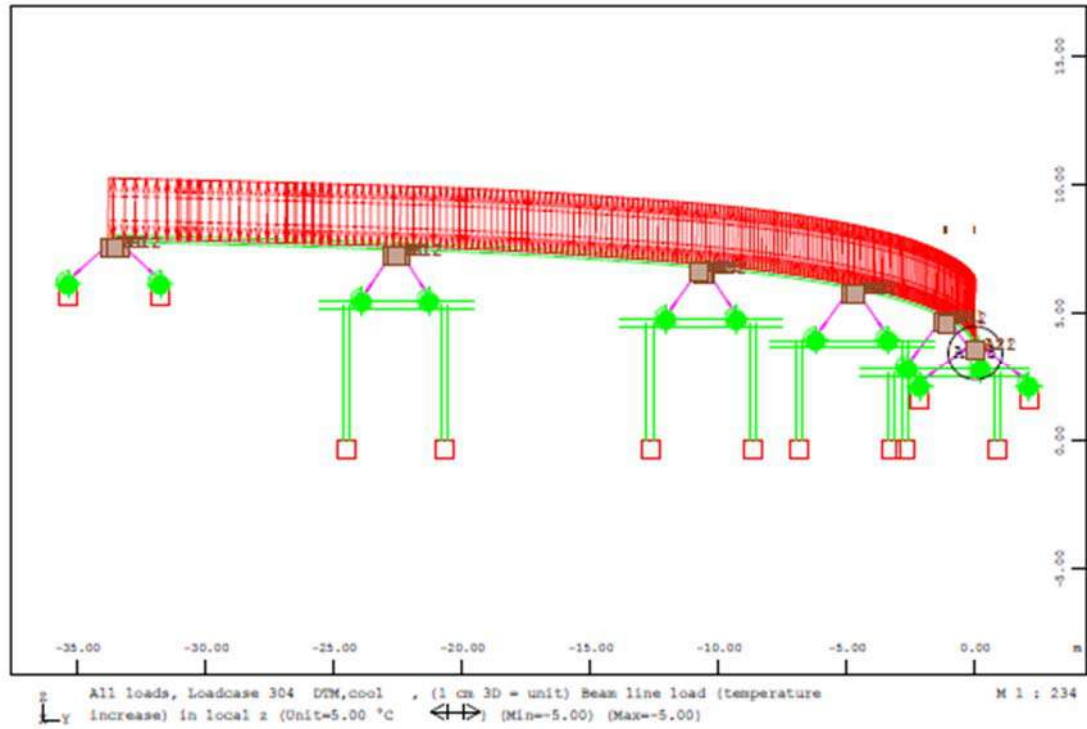
Επιβάλλονται οι θερμικές δράσεις όπως έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο Θερμικές δράσεις.



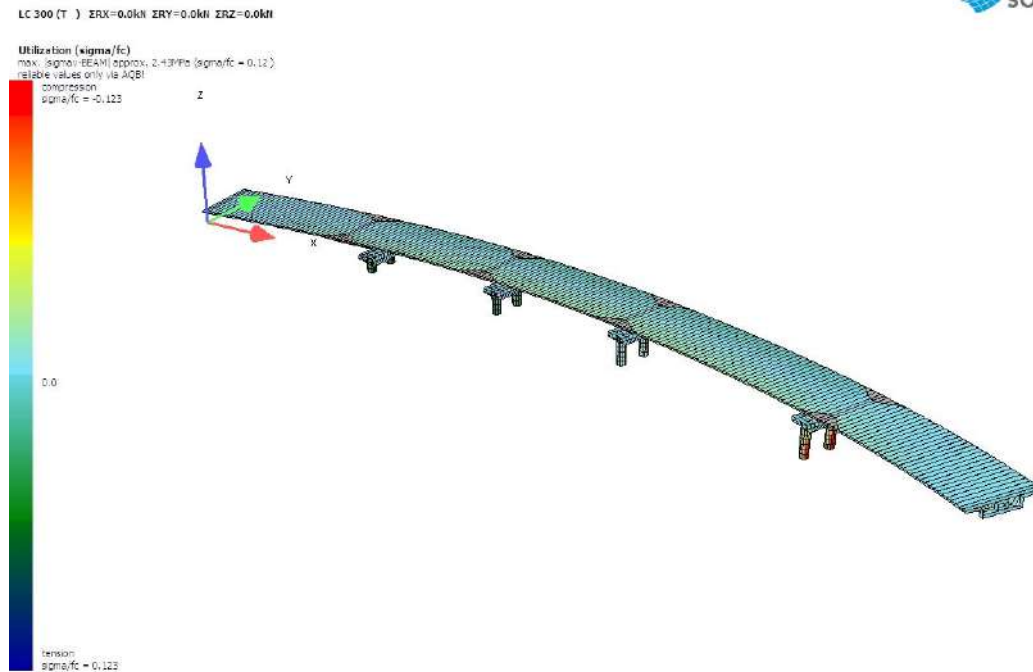
Εικόνα 219. Θερμικές δράσεις, ομοιόμορφη διαστολική (πάνω) και συστολική (κάτω).



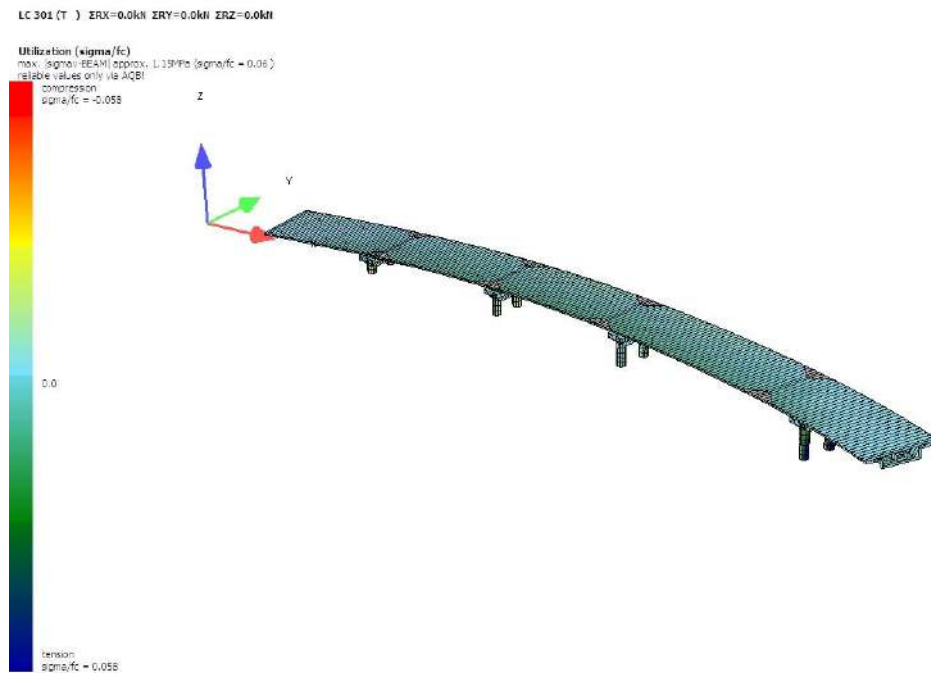
Εικόνα 220. Θερμικές δράσεις θερμής παρειάς, κατά Z-Z (πάνω) και κατά Y-Y (κάτω).



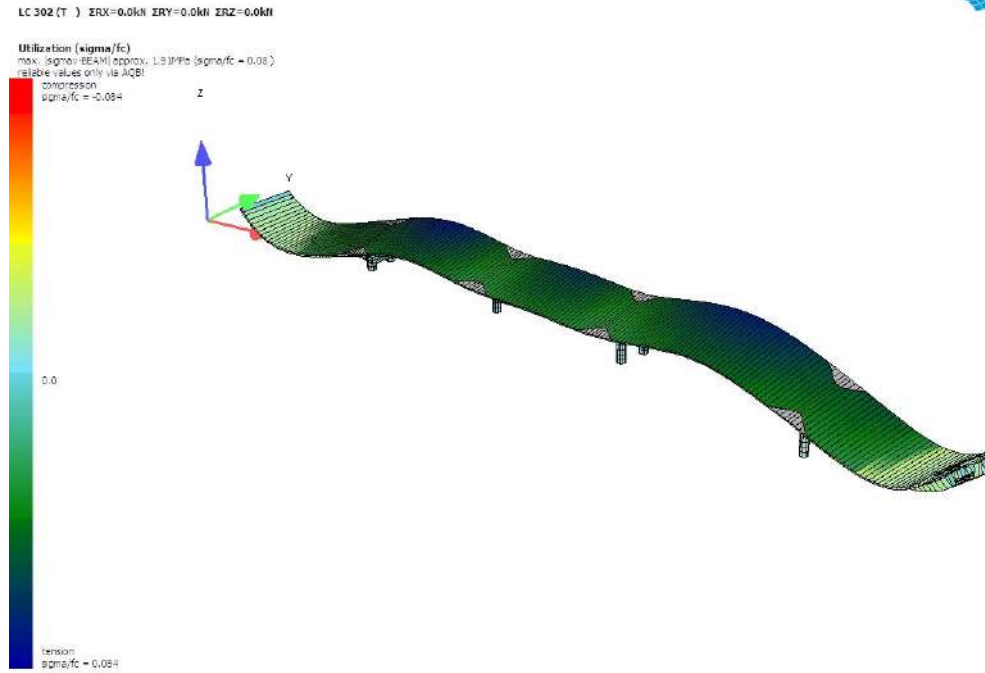
Εικόνα 221. Θερμικές δράσεις κρύας παρειάς, κατά Z-Z (πάνω) και κατά Y-Y (κάτω).



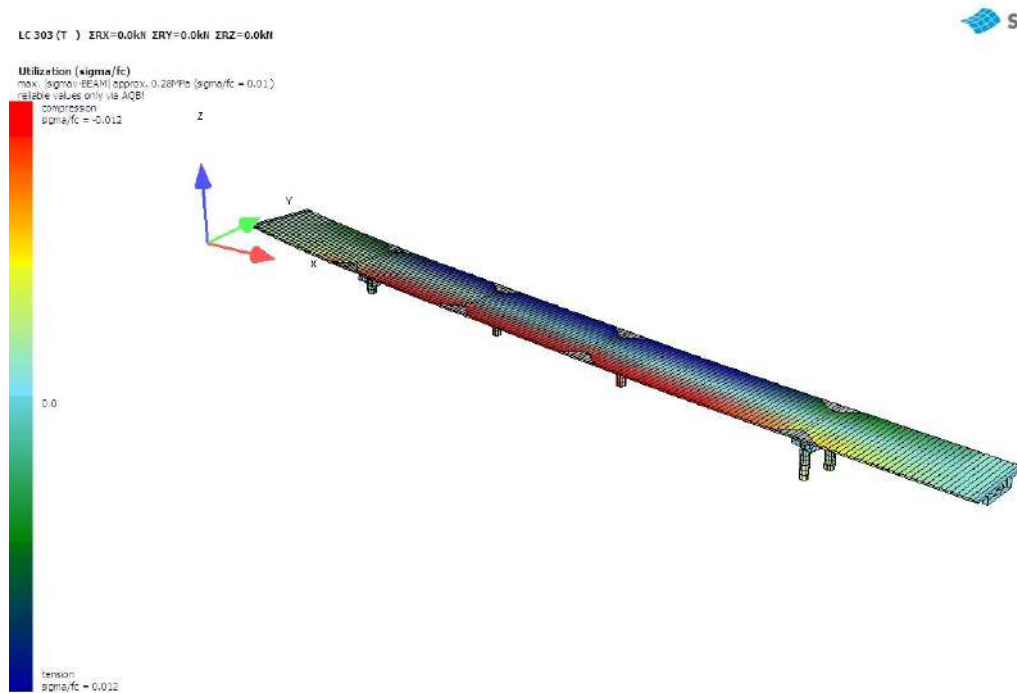
Εικόνα 222. Παραμόρφωση φορέα από θερμική δράση (ομοιόμορφη διαστολική) [LC300].



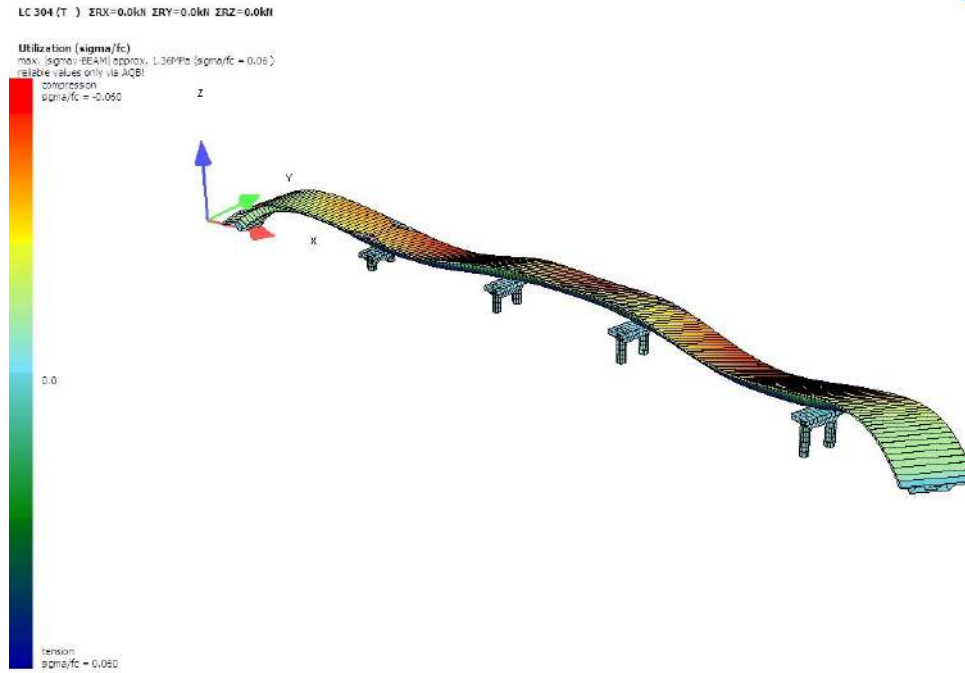
Εικόνα 223. Παραμόρφωση φορέα από θερμική δράση (ομοιόμορφη συστολική) [LC301].



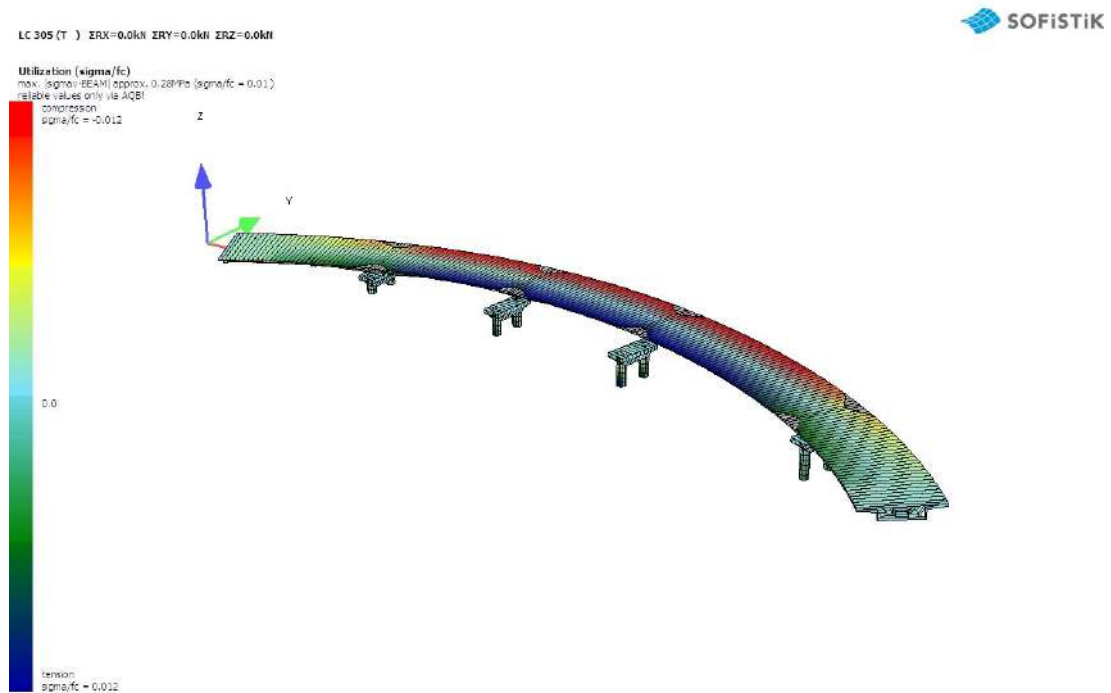
Εικόνα 224. Παραμόρφωση φορέα από θερμική δράση (καθ' ύψος) [LC302].



Εικόνα 225. Παραμόρφωση φορέα από θερμική δράση (κατά πλάτος) [LC303].

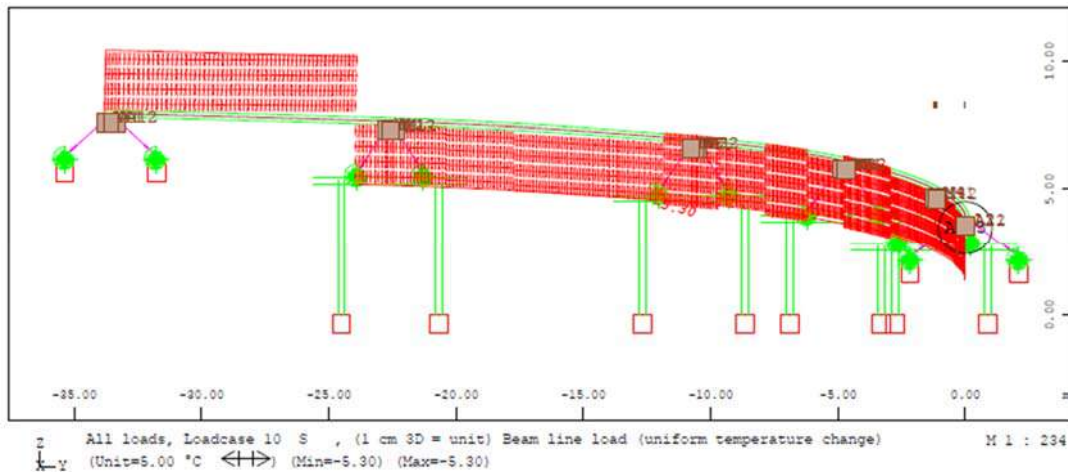


Εικόνα 226. Παραμόρφωση φορέα από θερμική δράση (καθ' ύψος) [LC304].



Εικόνα 227. Παραμόρφωση φορέα από θερμική δράση (κατά πλάτος) [LC305].

13.6.7. Συστολή ξήρανσης και αυτογενής [LC10]

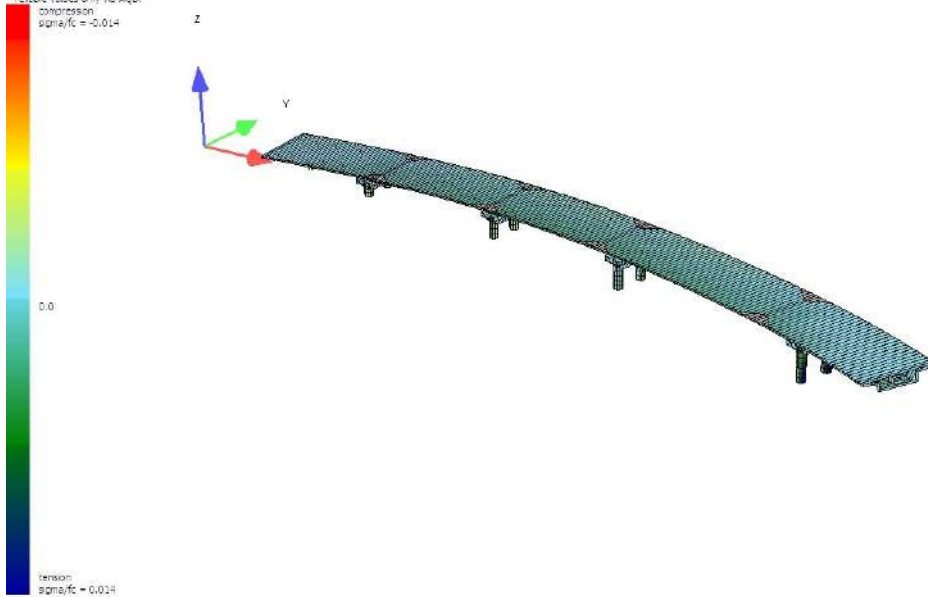


Εικόνα 228. Ισοδύναμη θερμική δράση για την συστολή ξήρανσης.

LC 10 (C) ERX=0.0kN ERY=0.0kN ERZ=0.0kN

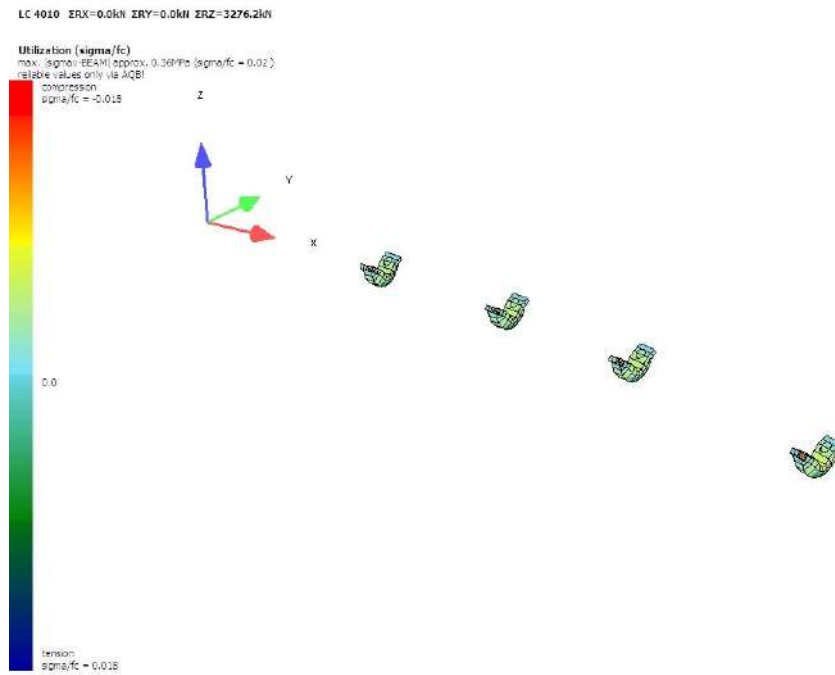


Utilization (sigma/fc)
max. (sigma) EEAM approx. 0.277% (sigma/fc = 0.01)
relative values only (vs AQB)
compression
sigma/fc = -0.014

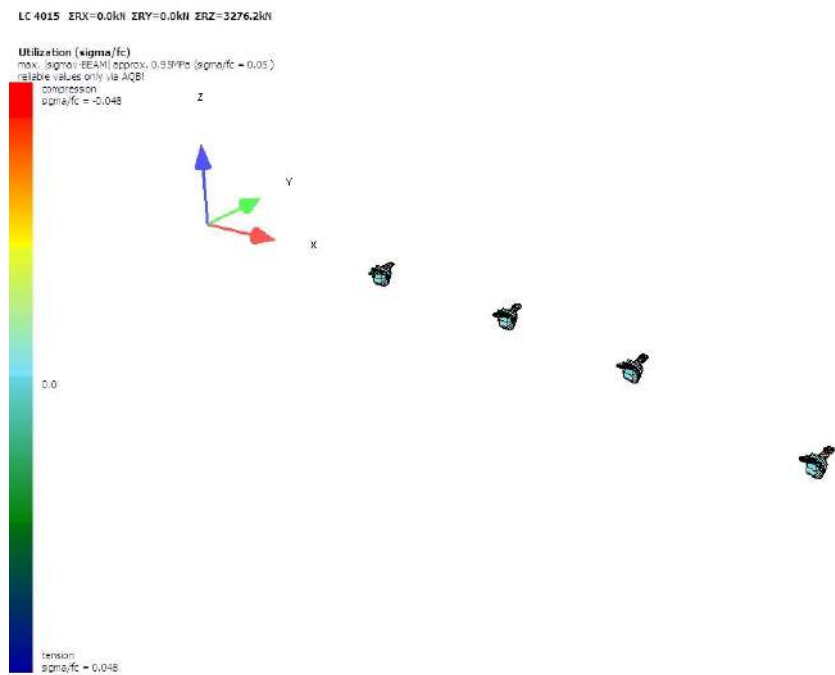


Εικόνα 229. Παραμόρφωση λόγω συστολή ξήρανσης.

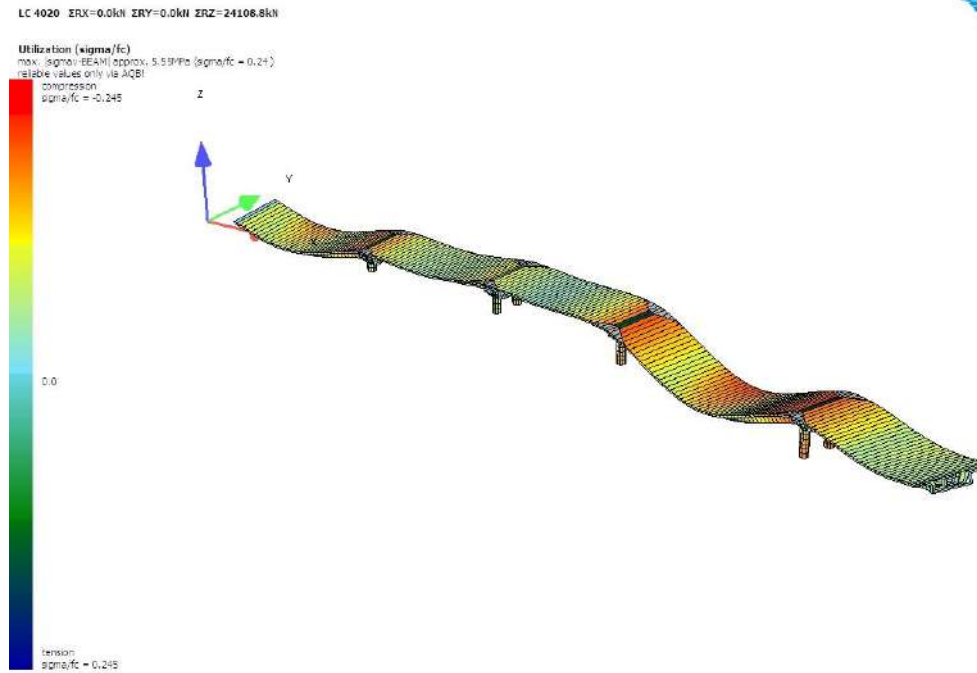
13.6.8. Κατασκευαστικές φάσεις [LC4010-5045]



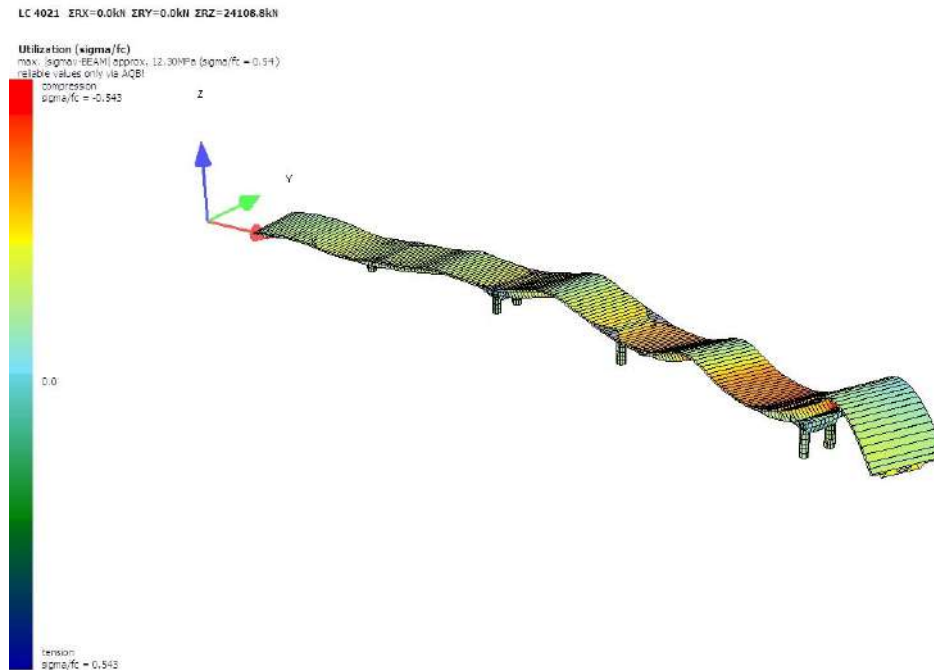
Εικόνα 230. Παραμόρφωση μετά την κατασκευή των κεφαλοδοκών.



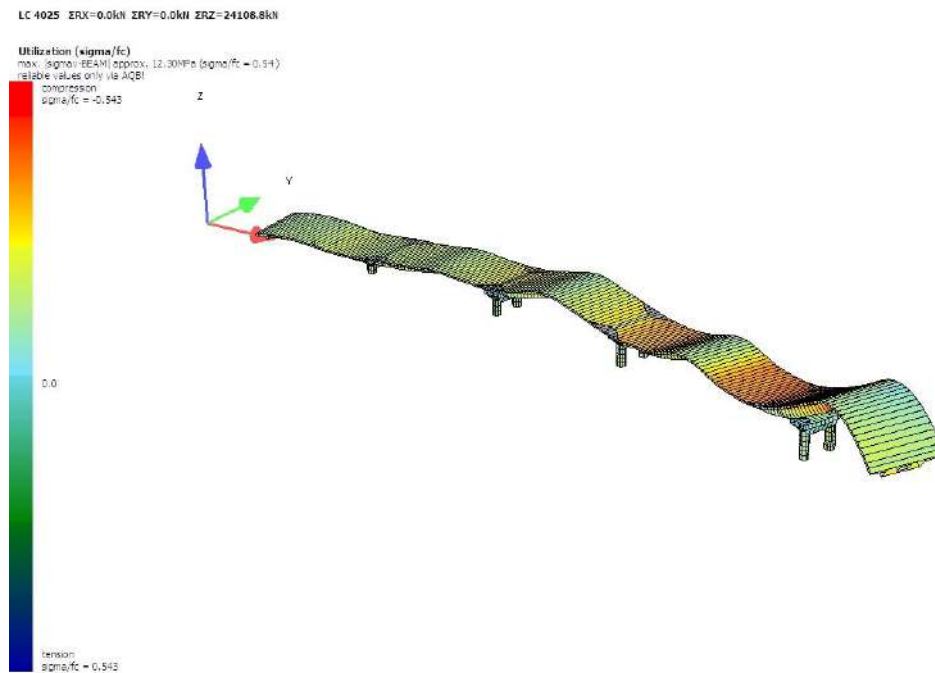
Εικόνα 231. Ερπυσμός για $t=0$ μετά την κατασκευή των κεφαλοδοκών.



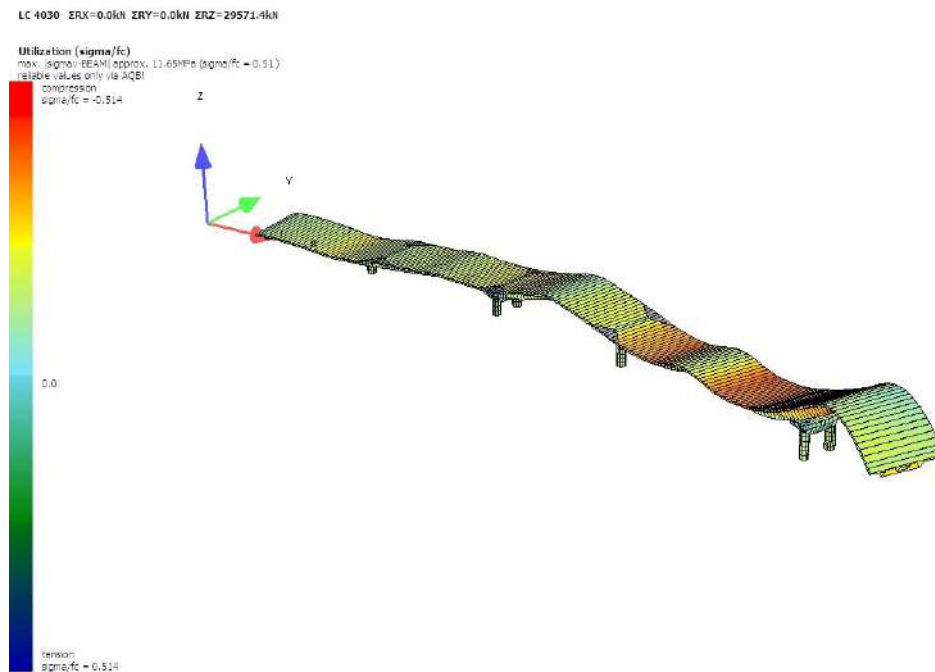
Εικόνα 232. Παραμόρφωση μετά την κατασκευή του καταστρώματος.



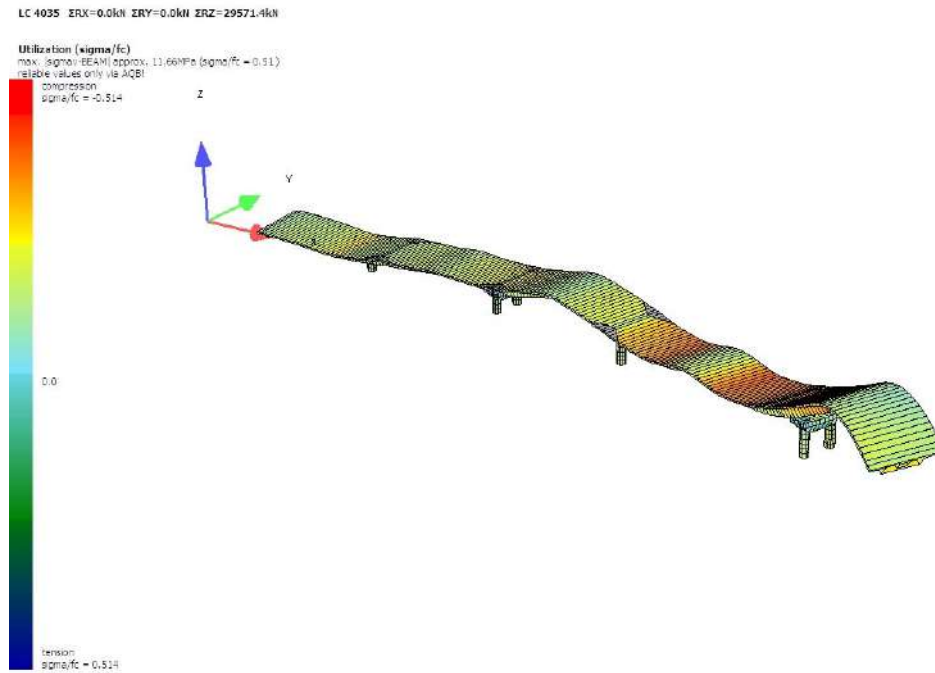
Εικόνα 233. Παραμόρφωση κατά την φάση προέντασης.



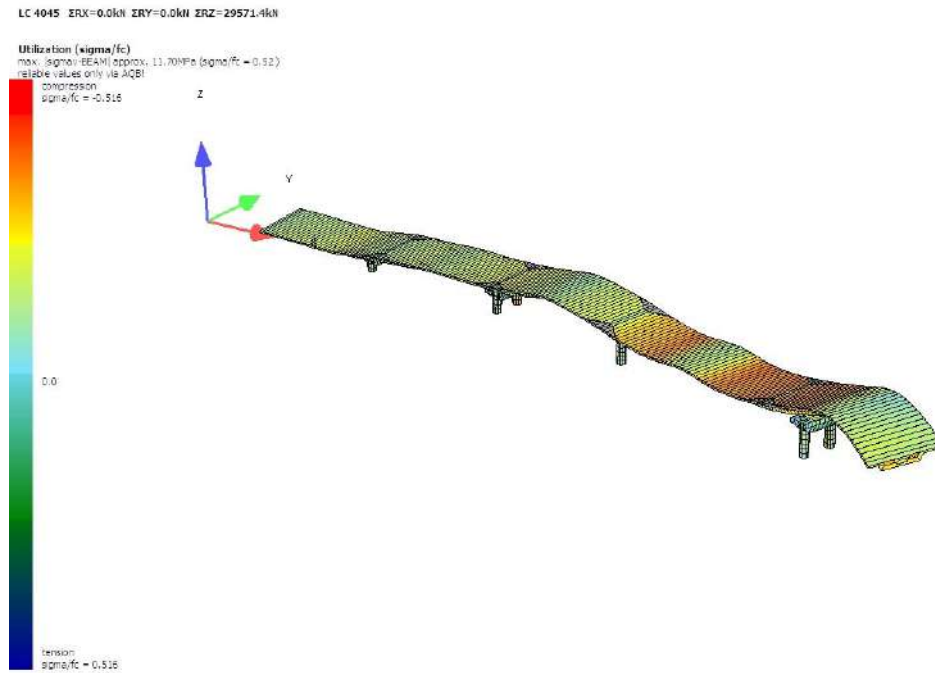
Εικόνα 234. Ερυσμός για $t=0$ μετά την προένταση.



Εικόνα 235. Επιβολή των πρόσθετων μόνιμων φορτίων.



Εικόνα 236. Ερπυσμός τελικού φορέα.



Εικόνα 237. Ερπυσμός $t=\infty$ τελικού φορέα.

13.7. Ιδιομορφική ανάλυση

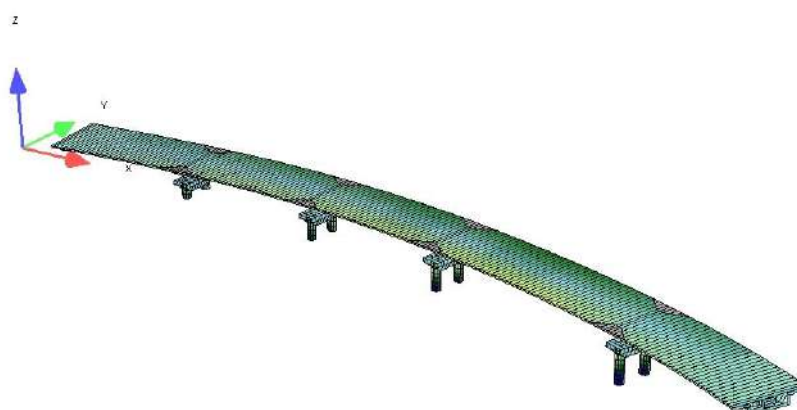
Για την ενεργοποίηση τουλάχιστον του 90% της συνολικής μάζας που αντιστοιχεί σε κάθε εξεταζόμενη διεύθυνση σεισμικής δράσης (x,y), χρειάζονται 3 ιδιομορφές. Αναλυτικότερα, στις 3 ιδιομορφές ενεργοποιείται το 98% της συνολικής μάζας στη διεύθυνση x και το 97% της συνολικής μάζας στη διεύθυνση y.

no	LC	frequency	effective modal mass			Period	λ
			X[%]	Y[%]	Z[%]		
		[Hertz]	X[%]	Y[%]	Z[%]	T [sec]	[rad2/sec2]
1	10001	0.743	1.00	97.1	0.00	1.347	2.1765E+01
2	10002	0.751	98.20	0.90	0.00	1.332	2.2263E+01
3	10003	0.896	0.20	1.10	0.00	1.116	3.1704E+01

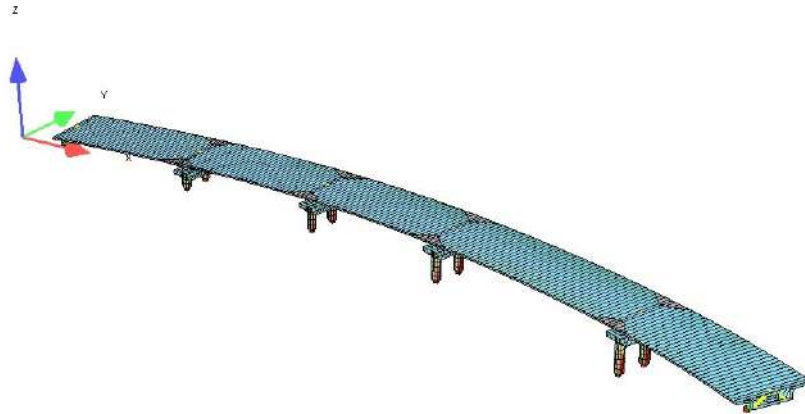
Πίνακας 39. Αποτελέσματα ιδιομορφική ανάλυσης φορέα.

Από τον παραπάνω πίνακα, διαπιστώνεται ότι η θεμελιώδης ιδιομορφή κατά τη διεύθυνση x είναι η δεύτερη, η οποία ενεργοποιείται στο 98% της συνολικής μάζας, που αντιστοιχεί σε αυτή τη διεύθυνση.

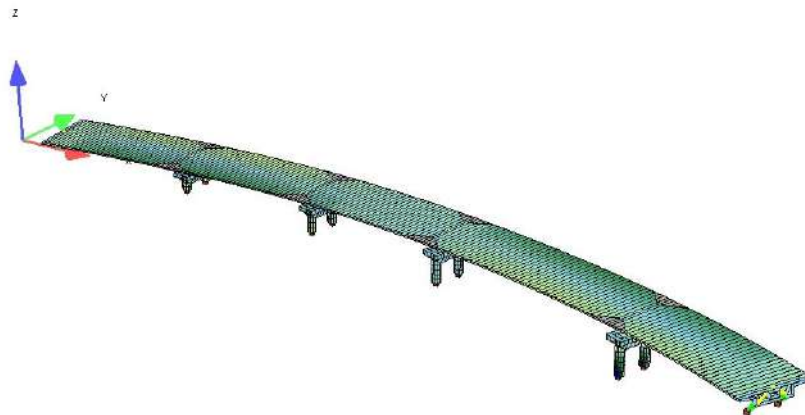
Κατά τη διεύθυνση y, η θεμελιώδης ιδιομορφή είναι η πρώτη, η οποία ενεργοποιεί το 87% της συνολικής μάζας, που αντιστοιχεί στη διεύθυνση αυτή. Συγκρίνοντας τις θεμελιώδεις ιδιομορφές κατά x και y, παρατηρείται ότι $T_x = 1.332 \text{ sec} < T_y = 1.347 \text{ sec}$, και συνεπώς ο φορέας είναι περισσότερο δύσκαμπτος κατά τη διεύθυνση X-X.



Πίνακας 40. 1^ο ιδιόσχημα, $T=1.347\text{sec}$.



Πίνακας 41. 2^ο ιδίοσχημα, $T=1.332sec.$



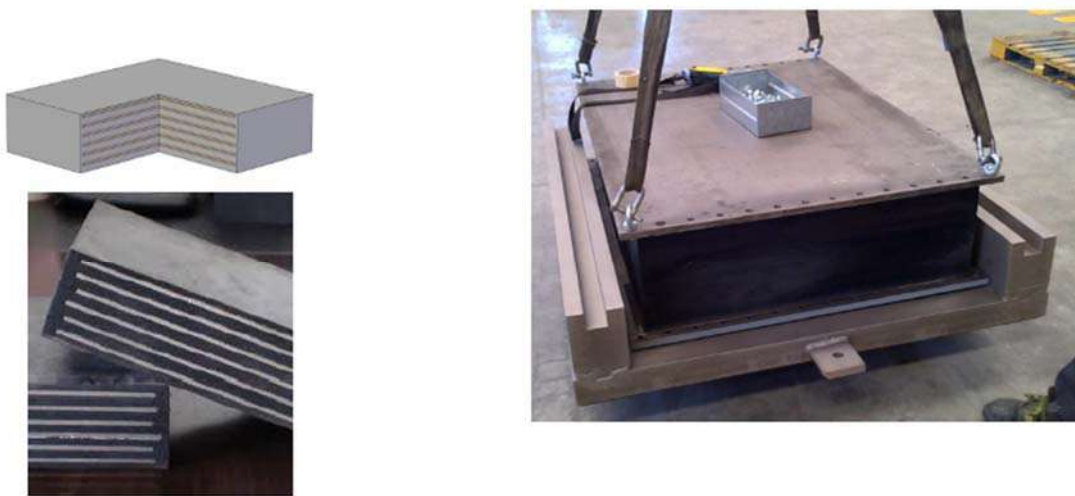
Πίνακας 42. 3^ο ιδίοσχημα, $T=1.116sec.$

14. Εφέδρανα

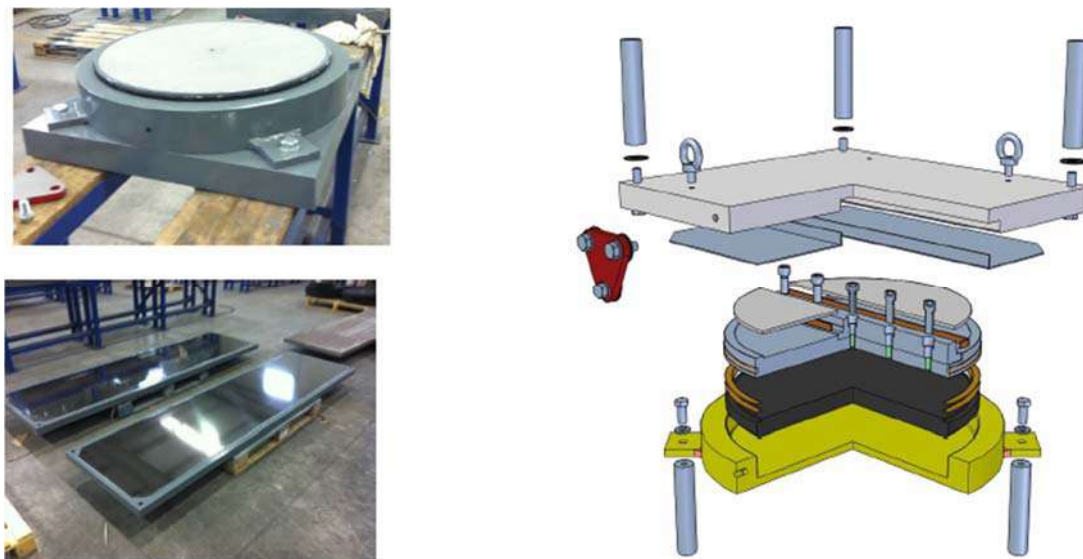
Η έδραση του φορέα γίνεται σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης (RB), τα οποία αποτελούν την οικονομικότερη και απλούστερη λύση. Επειδή επιλογή και η διαστασιολόγηση των είναι μία επαναληπτική διαδικασία μεγάλου αριθμού ελέγχων, πραγματοποιείται μια αρχική εκτίμηση των διαστάσεων των εφεδράνων με βάση τα σημαντικότερα εντατικά μεγέθη και μετακινήσεις. Στη συνέχεια, τα εφέδρανα που θα προκύψουν θα πρέπει να ελέγχονται για όλους του συνδυασμούς των δράσεων.

14.1. Σύστημα εφεδράνων (MK4 χ.χ.)

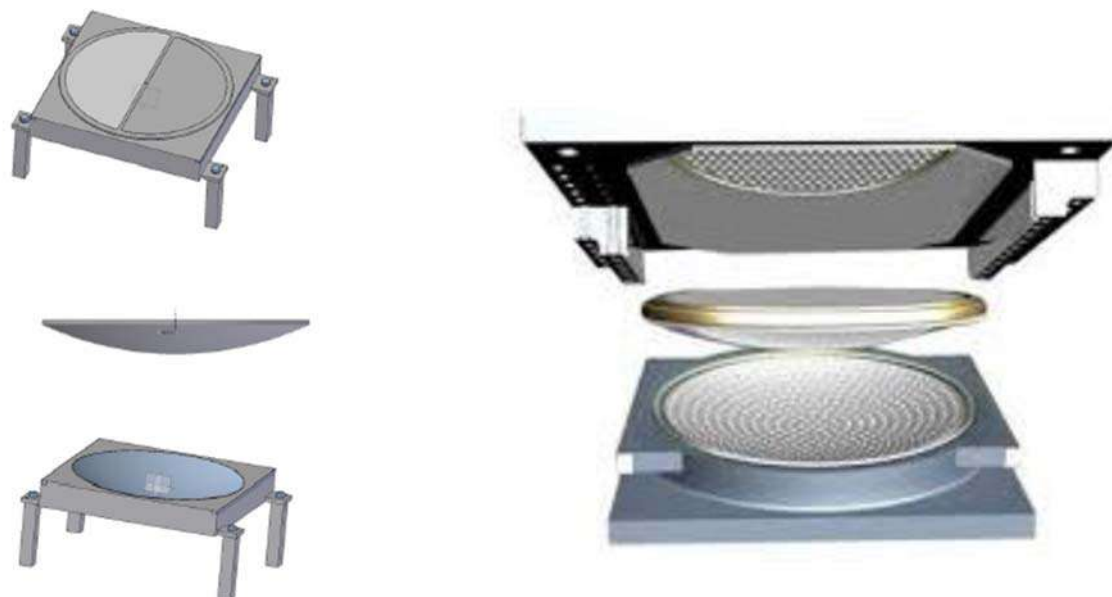
Επιλέγεται σύστημα εφεδράνων επίσης της MK4, και συγκεκριμένα ελαστομεταλλικά ακυρούμενα τύπου C2. Παρακάτω παρουσιάζονται και άλλων τύπων εφεδράνων της MK4.



Εικόνα 238. Ελαστομεταλλικά Pad bearings (MK4 χ.χ.).

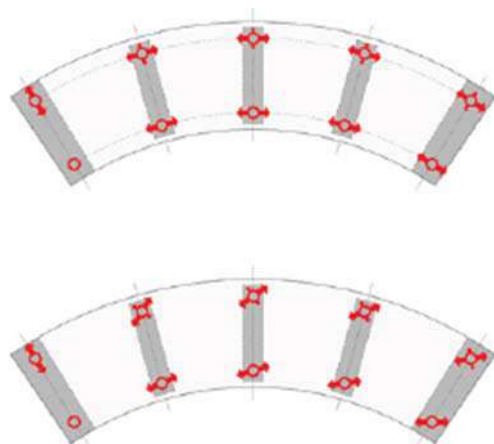


Εικόνα 239. Ελαστομεταλλικά Pot bearings (MK4 χ.χ.).



Εικόνα 240. Σφαιρικά εφέδρανα (MK4 χ.χ.).

Για καμπύλες γέφυρες, ο προσανατολισμός των εφεδράνων, θα πρέπει να προνοείται για την αποφυγή φαινομένων στρέβλωσης από τις διάφορες δράσεις με συνδυασμό την καμπύλη γεωμετρία.

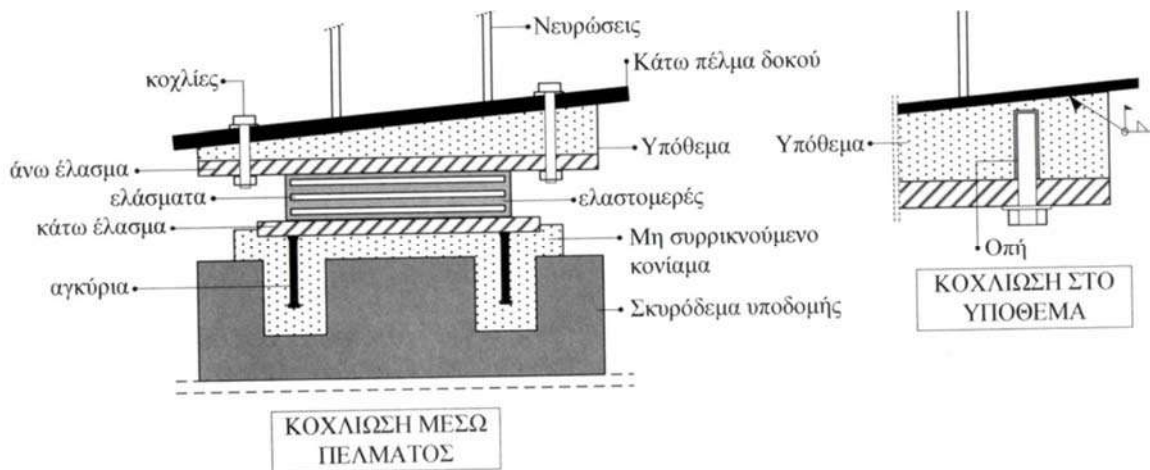


Ouvrage courbe, appareils d'appui tangentiels au déplacement :
Les joints travaillent parallèlement à l'axe de l'ouvrage.

Ouvrage courbe, appareils d'appui glissants guidés dirigés vers le point fixe :
Les joints travaillent de biais par rapport à l'ouvrage. Seuls les efforts latéraux d'exploitation sollicitent les appareils d'appui guidés.

Εικόνα 241. Διατάξεις εφεδράνων για καμπύλες γέφυρες (Freyssinet n.d.) (Freyssinet χ.χ.).

Στα εφέδρανα τύπου C2, οι άνω και κάτω στρώσεις αποτελούνται από χαλύβδινα ελάσματα. Μπορεί να ασφαλιστεί έναντι ολίσθησης και στις δύο πλευρές. Η σύνδεση των χαλύβδινων πλακών με στοιχεία από σκυρόδεμα γίνεται με τη βοήθεια διατμητικών ήλων ή αγκυριών, ενώ με στοιχεία από χάλυβα με τη βοήθεια προεντεταμένων κοχλιών.

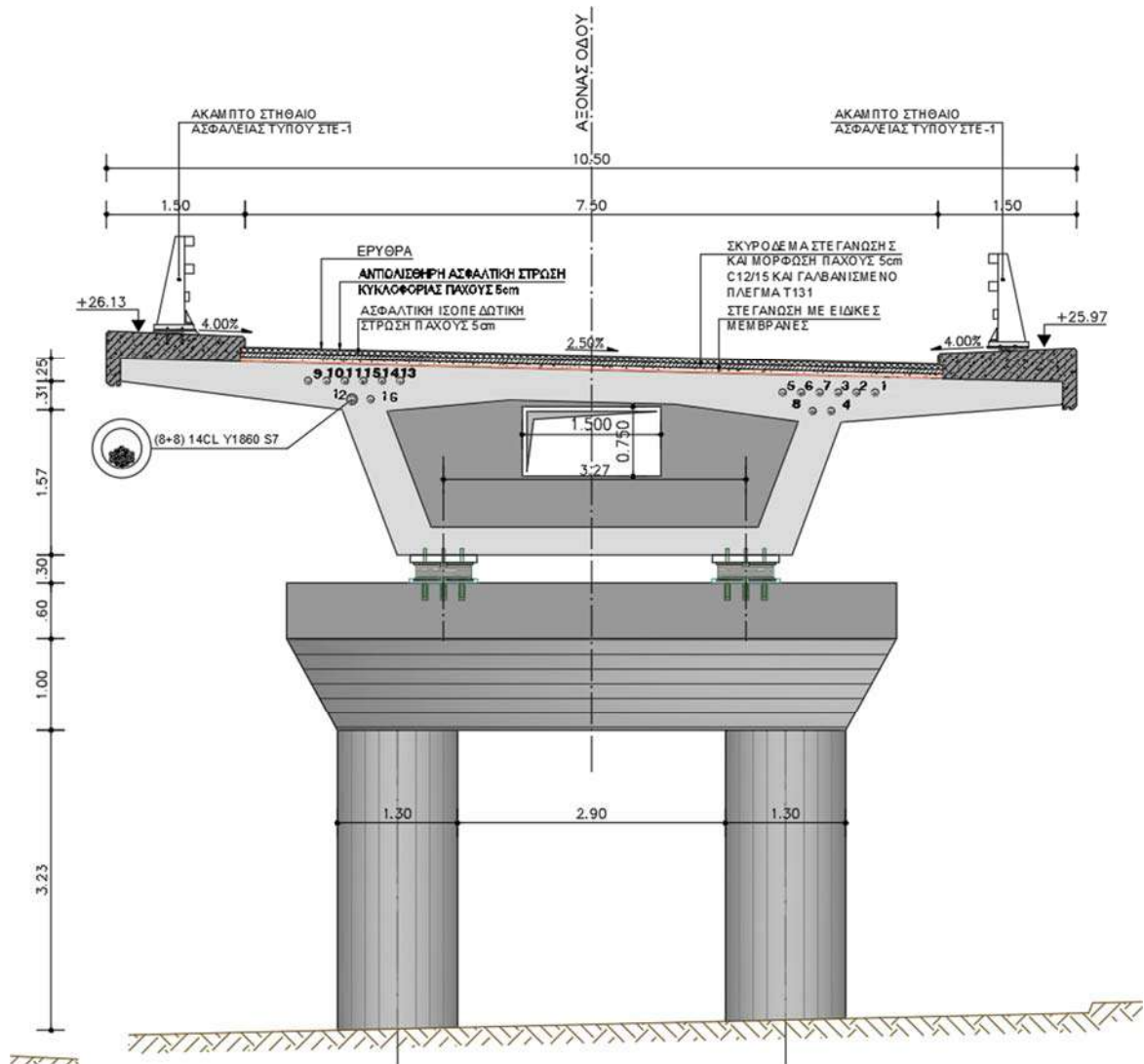


Εικόνα 242. Τυπική σύνδεση εφεδράνου τύπου C2 με ανωδομή και υποδομή (Ιωάννης Βάγιας 2016).

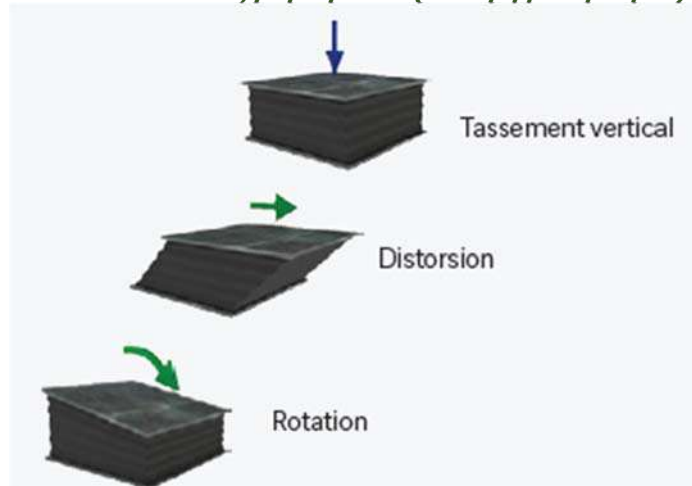
Μεταξύ της βάσης από σκυρόδεμα και της πλάκας του εφεδράνου τοποθετείται μη συρρικνούμενο κονίαμα υψηλής αντοχής. Επίσης, αν το τάκος ή η μεταλλική αναμονή είναι κεκλιμένη, πράγμα σύνηθες, παρεμβάλλονται ενδιάμεσα σφηνοειδή ελάσματα, μεταξύ του κεκλιμένου τάκου και της οριζόντιας πλάκας του εφεδράνου. Για να είναι δυνατή η αντικατάσταση των εφεδράνων, κάτι που είναι απαραίτητο, καθώς η διάρκεια ζωής των εφεδράνων είναι πολύ μικρότερη από αυτή της γέφυρας, χρησιμοποιούνται κοχλιωτές συνδέσεις ή, όπου αυτό δεν είναι δυνατό (π.χ. αγκύρωση σε ΩΣ), διπλές χαλύβδινες πλάκες, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με ένα χαλύβδινο δίσκο που λειτουργεί σε διάτμηση. Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται μια τυπική αγκύρωση εφεδράνων τύπου C2. Παρόμοια είναι διάταξη για εφέδρανα τύπου B/C (1/2), με τη διαφορά ότι δεν υπάρχει αγκύρωση με την ανωδομή.

14.2. Έλεγχος εφεδράνων (ΜΚ4 χ.χ.)

Τα κυριότερα μεγέθη για το σχεδιασμό τω εφεδράνων είναι η κατακόρυφη αντίδραση και η στροφή ως προς τον εγκάρσιο άξονα, καθώς και οι οριζόντιες μετακινήσεις εφόσον αυτές είναι σημαντικές. Οι κατακόρυφες αντιδράσεις και οι στροφές λαμβάνονται από το τρισδιάστατο μοντέλο και οι εγκάρσιες στροφές και οι μικρές οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω των κατακόρυφων φορτίων δεν συμβάλλουν ουσιαστικά στο σχεδιασμό. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δυνάμεις και οι στροφές για κάθε δράση. Σημειώνεται πως οι δράσεις προκύπτουν με σταθερά δυσκαμψίας αυτή των στατικών φορτίσεων ($G=900\text{kPa}$), ενώ οι σεισμικές μετακινήσεις προκύπτουν με σταθερά δυσκαμψίας για τις ανώτατες ($G=990\text{kPa}$) και τις κατώτατες ($G=1485\text{kPa}$) τιμές παραμέτρων σχεδιασμού.



Εικόνα 243. Διάταξη εφεδράνων (διατομή μεσοβάθρου).



Εικόνα 244. Κύριες εντάσεις εφεδράνων (Freyssinet χ.χ.).

Φόρτιση	Δύναμη [kN]	Μετακινήσεις [mm]			Στροφές [mrad]		
	Z-Z	X-X	Y-Y	Z-Z	X	Y	Z
G	+2692.8 -2340.2	1.01	0.45	-3.61	0.297	0.845	0.022
G'	+693.7 -598.2	0.30	0.12	-0.80	0.079	0.116	0.006
P	+285.2 -266.5	9.81	3.34	+0.30 -0.22	0.944	1.777	0.018
$W+$	-103.1	3.27	11.97	-0.10	0.063	0.040	0.204
$W-$	+829.2	5.28	14.10	+0.11	0.065	0.040	0.208
$\Delta T+$	+172.0	31.30	8.41	+0.13	0.125	0.277	0.280
$\Delta T-$	-164.4	29.80	8.49	-0.18	0.125	0.227	0.281
$TS+$	+628.8 -597.1	0.49	0.21	+0.16	0.183	0.405	0.012
$TS-$	+101.1 -149.1	0.41	0.21	-0.96	0.280	0.340	0.010
$UDL+$	+1243.5 -1062.4	0.58	0.30	+0.42	0.505	0.403	0.019
$UDL-$	+209.5 -397.9	0.50	0.33	-1.38	0.457	0.387	0.019
S	+3.5 -3.3	3.24	1.24	+0.003 -0.004	0.013	0.031	0.006
E_x	G_{min}	52.59	-	-	0.359	-	-
	G_{max}	43.75	-	-	0.440	-	-
E_y	G_{min}	-	56.74	-	-	0.785	-
	G_{max}	-	49.95	-	-	0.959	-
E_z	G_{min}	-	-	+0.39	-	-	0.415
	G_{max}	-	-	+0.47	-	-	0.490

Πίνακας 43. Βασικές εντάσεις και παραμορφωσιακά μεγέθη επί των εφεδράνων.

Επιλέγονται αρχικά ορθογωνικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης, τύπου C2, διαστάσεων 1000x1000x305 (180). Για εφέδρανα διαστάσεων ≥ 800 mm διατίθενται σε τετραγωνικό σχήμα και το ελαστομερές του εφεδράνου αποτελείται από 10 στρώσεις των 18mm. Μεταξύ των στρώσεων του ελαστομερούς τοποθετούνται χαλύβδινα ελάσματα πάχους 5mm. Στο εξωτερικό μέρος του εφεδράνου τοποθετούνται 4 ελάσματα πάχους 20mm. Τα εσωτερικά ελάσματα αποτελούν μέρος του εφεδράνου μέσω της διαδικασίας του βουλκανισμού, ενώ τα εξωτερικά συνδέονται με το φορέας με τα βάρη.

Σημείωση: Τα εφέδρανα περιορίζονται με ειδική διάταξη διατμητικού συνδέσμου ώστε να περιορίζεται η εγκάρσια μετατόπιση της γέφυρας στην περιοχή των ακροβάθρων.

- Υπολογισμός δυσκαμψίας των ελατηρίων των εφεδράνων:
Τιμές για στατικές φορτίσεις $G = 900\text{kPa}$
Κατώτερες τιμές παραμέτρων σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) $G = 990\text{kPa}$
Ανώτερες τιμές παραμέτρων σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) $G = 1485\text{kPa}$

$$K_x = K_y = \frac{1000^2 * 900}{0.18} = 5000 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{στατικές φορτίσεις}$$

$$K_x = K_y = \frac{1000^2 * 990}{0.18} = 5500 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{σεισμικές φορτίσεις (ΚΤΠΣ)}$$

$$K_x = K_y = \frac{1000^2 * 1485}{0.18} = 8250 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{στατικές φορτίσεις (ΑΤΠΣ)}$$

Δυσκαμψία οριζόντιων ελατηρίων [kN/m]				
Βάθρο	Εφέδρανο	Στατικές φορτίσεις	Σεισμικές φορτίσεις	
			ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
		G = 900kPa	G = 990kPa	G = 1485kPa
A2	2 x 1000 x 1000 x 305 (180)	5000	5500	8250
M4	2 x 1000 x 1000 x 305 (180)	5000	5500	8250
M3	2 x 1000 x 1000 x 305 (180)	5000	5500	8250
M2	2 x 1000 x 1000 x 305 (180)	5000	5500	8250
M1	2 x 1000 x 1000 x 305 (180)	5000	5500	8250
A1	2 x 1000 x 1000 x 305 (180)	5000	5500	8250
Συνολική δυσκαμψία K_{dir}		60000	66000	99000

Εικόνα 245. Δυσκαμψία οριζόντιων ελατηρίων.

Λόγω των διαστάσεων της γέφυρας, τα σεισμικά φορτία είναι πολύ πιο σημαντικά από τα στατικά, κάτι που σημαίνει ότι όλα τα εφέδρανα πρέπει να έχουν ίδιο ή παρόμοιο πάχος ελαστομερούς, αφού οι σεισμικές μετακινήσεις είναι σχεδόν ομοιόμορφες. Επίσης λόγω των μεγάλων κατακόρυφων φορτίων, επιλέχθηκαν εφέδρανα σχετικά μεγάλων διαστάσεων, ώστε ταυτόχρονα να μην επιβαρύνονται από τις μεγάλες στροφές που επιβάλλει η καμπύλη γεωμετρία του φορέα.

Για τον υπολογισμό των μετακινήσεων λόγω της ομοιόμορφης συστολής και διαστολής λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, υπενθυμίζεται ότι για το σχεδιασμό των εφεδράνων ο συντελεστής θερμικής διαστολής λαμβάνεται ίσος με $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, τόσο για το χάλυβα όσο και για το σκυρόδεμα. Επιπλέον, οι τιμές των ομοιόμορφων θερμοκρασιακών μεταβολών θα πρέπει να προσαυξάνονται κατά 20°C λόγω της αυξημένης ευαισθησίας των εφεδράνων και των αρμών διαστολής. Επισημαίνεται ότι για τη μετατροπή αυτή δεν χρειάζονται νέες φορτίσεις ή νέα υλικά στο καθολικό μοντέλο, αλλά πολλαπλασιασμός των αποτελεσμάτων των βασικών φορτίσεων με κατάλληλους συντελεστές.

Η συνολική επιμήκυνση της γέφυρας λόγω της ομοιόμορφης θερμοκρασιακής διαστολής της γέφυρας κατά $\Delta T_{bear,exp} = +47.50 + 20 = +67.5^\circ\text{C}$, είναι:

$$\Delta l_{exp,bear} = a * \Delta T_{bear,exp} * L = 1.2 * 10^{-5} * 67.5 * 129450 = 104.85\text{mm}$$

Με την παραδοχή ότι η επιμήκυνση αυτή ισομοιράζεται, κάτι που δεν ισχύει λόγω της μη ταύτισης του κέντρου βάρους και του κέντρου δυσκαμψίας της γέφυρας (με απόκλιση περίπου 30% από το ακριβές προσομοίωμα, όπου είναι σημαντική), προκύπτει:

$$\delta_{x,\Delta Texp,bear} = 17.48\text{mm}$$

Για την αντίστοιχη αρχική προκύπτει ($\Delta T_{exp} = +47.50^\circ\text{C}$):

$$\Delta l_{exp} = a * \Delta T_{bear,exp} * L = 1.2 * 10^{-5} * 47.5 * 129450 = 73.79\text{mm}$$

$$\delta_{x,\Delta Texp} = 12.30\text{mm}$$

Συμπεραίνεται πως θα πρέπει να αυξηθούν οι μετακινήσεις κατά:

$$\frac{\Delta l_{exp,bear}}{\Delta l_{exp}} = \frac{104.85}{73.79} = 1.42, \text{επομένως}$$

$$\delta_{x,\Delta Texp,bear} = 1.42 * 31.30 = 44.48\text{mm}$$

Ομοίως για την ομοιόμορφη θερμοκρασιακή συστολή κατά $\Delta T_{bear,con} = -22.5 - 20 - 42.50^\circ\text{C}$, προκύπτει:

$$\delta_{x,\Delta Tcon,bear} = 42.32\text{mm}$$

Η δύναμη τροχοπέδησης/επιτάχυνσης παραλαμβάνεται από το δίσκο του καταστρώματος και προκαλεί μετακίνηση στα εφέδρανα ίση με:

$$\delta_{x,br} = \frac{Q_{lk}}{K_{dir,stat}} = \frac{693}{60000} 10^3 = 11.55\text{mm}$$

Το φορτίο του ανέμου είναι η μόνη "στατική" φόρτιση που δίνει σημαντικές μετακινήσεις στην εγκάρσια διεύθυνση. Από την περιβάλουσα δράσεων του ανέμου προκύπτει:

$$\delta_{x,w} = 14.10\text{mm}$$

Η μετακίνηση λόγω των σεισμικών φορτίσεων υπολογίστηκε από το καθολικό μοντέλο και επιβεβαιώνεται με τη βοήθεια του προσομοιώματος του μονοβάθμιου ταλαντωτή, αρχικά με τις ΚΤΠΣ, από τις οποίες προκύπτουν οι μέγιστες μετακινήσεις και είναι κρίσιμες για τη διαστασιολόγηση των εφεδράνων, όσο για τον σχεδιασμό του αρμού.

- Συνολικά κατακόρυφα φορτία γέφυρας (βλ. Δράσεις Γεφυρών) για τους σεισμικούς συνδυασμούς:

$$g = 186.24 \text{ kN/m (τελική γεωμετρία)}$$

$$g' = 12.50 + 27.38 + 2.00 = 41.88 \text{ kNm}$$

$$q_{UDL} = 47.25 \text{ kN/m}$$

$$V_{tot} = (g + g' + 0.2q_{UDL}) * L = (186.24 + 41.88 + 0.2 * 47.25) * 129.45 \rightarrow$$

$$V_{tot} = 30753.44 \text{ kN}$$

- Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος:

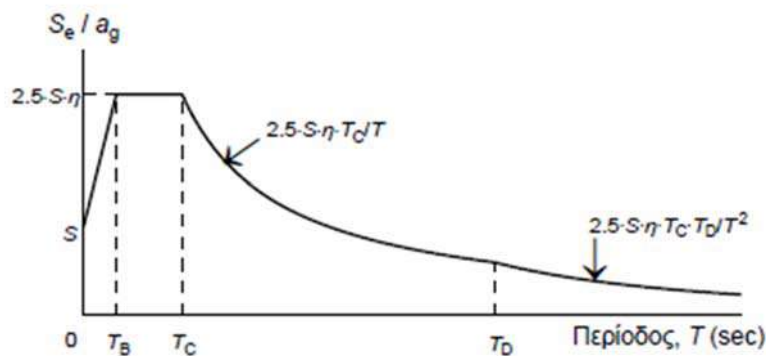
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M_{dir}}{K_{dir,Gmin}}} = 2\pi \sqrt{\frac{30753.44/g}{66000}} \rightarrow$$

$$T = 1.369 \text{ sec, για τις ΚΤΠΣ, έναντι των } 1.347 \text{ sec του προσομοιώματος}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M_{dir}}{K_{dir,Gmax}}} = 2\pi \sqrt{\frac{30753.44/g}{99000}} = 1.118 \text{ sec, για τις ΑΤΠΣ}$$

- Φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού:

Με την παραδοχή εδάφους Β με $S = 1.20$, $T_C = 0.50 \text{ sec} < T = 1.369 \text{ sec} < T_D = 2.50 \text{ sec}$ προκύπτει:



Εικόνα 246. Φάσμα σχεδιασμού EN1998.

$$S_e(T) = a_g * S * \eta * \gamma_I * 2.50 * \frac{T_C}{T} = 0.16g * 1.20 * 1 * 1 * 2.50 * \frac{0.50}{1.369} \rightarrow$$

$$S_e(T) = 0.175g \text{ για τις ΚΤΠΣ}$$

$$S_e(T) = 0.215g \text{ για τις ΑΤΠΣ}$$

Επομένως η συνολική σεισμική δύναμη και παραμόρφωση για τις ΚΤΠΣ προκύπτει:

$$H_{e,Gmin} = S_e(T) * M_{dir} = 0.175g * \frac{30753.44}{g} = 5381.85 \text{ kN, για τις ΚΤΠΣ}$$

$$H_{e,Gmax} = S_e(T) * M_{dir} = 0.215g * \frac{30753.44}{g} = 6601.81 \text{ kN, για τις ΑΤΠΣ}$$

$$\delta_{e,Gmin} = \frac{H_{e,Gmin}}{K_{dir,Gmin}} = \frac{5381.85}{66000} * 10^3 = 81.54 \text{ mm}$$

$$\delta_{e,Gmax} = \frac{H_{e,Gmax}}{K_{dir,Gmax}} = \frac{6601.81}{99000} * 10^3 = 66.68 \text{ mm}$$

Εδώ παρατηρείται πως από το προσομοίωμα η μετακίνηση για τις ΚΤΠΣ προκύπτει ίση με $52.59 \sim 56.74\text{mm}$, με συντελεστή συμπεριφοράς ίσο με $q=1.50$. Άρα η πραγματική μετακίνηση από το προσομοίωμα προκύπτει ίση με: $1.50 \times (52.59 \sim 56.74) = 78.89 \sim 85.11$. Γεγονός που αποδεικνύει πως οι παραδοχές του προσομοιώματος επαληθεύονται και χρησιμοποιούνται οι τιμές που προκύπτουν από αυτό. Επίσης επιβεβαιώνεται πως οι μέγιστες σεισμικές μετακινήσεις προκύπτουν από τις ΚΤΠΣ. Το αρμοκάλυπτρο θα πρέπει να είναι αυτό των 15cm.

– Εφέδρανο $1000 \times 1000 \times 305$ (180)

Διαστάσεις και εμβαδόν χαλύβδινων ελασμάτων:

$$a' = b' = 1000 - 8 = 992\text{mm}$$

$$A_1 = a' * b' = 99.2 * 99.2 = 9840.64\text{cm}^2$$

Συντελεστής σχήματος:

$$S = \frac{a' * b'}{2 * t_i(a' + b')} = \frac{992 * 992}{2 * 18(992 + 992)} = 13.778$$

Δυσκαμψία κατακόρυφου ελατηρίου (πρακτικά ακλόνητη στήριξη):

$$K_z = \left[\frac{n * t_i}{A_l} \left(\frac{1}{5 * G * S^2} + \frac{1}{E_b} \right) \right]^{-1} = \left[\frac{10 * 0.018}{0.984064} \left(\frac{1}{5 * 900 * 13.778^2} + \frac{1}{2 * 10^6} \right) \right]^{-1} \rightarrow$$

$$K_z = 3272500\text{kN/m}$$

– Στατικές φορτίσεις

Από το συνδυασμό $1.35(G+G') + P + S + 1.35Q_{gr1} + 0.9\Delta T + 0.9W$, προκύπτει η μέγιστη κατακόρυφη αντίδραση και οι συνοδεύουσες παραμορφώσεις:

$$F_z = 6717.72\text{kN} \quad a_x = 2.695\text{mrad} \quad a_y = 4.481\text{mrad}$$

$$\delta_x = 61.02\text{mm} \quad \delta_y = 29.62\text{mm}$$

Ενεργό εμβαδόν

$$A_r = A_l \left(1 - \frac{v_{x,d}}{a'} - \frac{v_{y,d}}{b'} \right) = 9840.65 \left(1 - \frac{6.102}{99.2} - \frac{2.962}{99.2} \right) = 8941.50\text{cm}^2$$

Παραμόρφωση λόγω θλίψης:

$$\varepsilon_{c,d} = \frac{1.50 * F_{z,d}}{G * A_r * S} = \frac{1.50 * 6717.72}{900 * 0.89415 * 13.778} = 0.909$$

Διατμητική παραμόρφωση:

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q} = \frac{(6.102^2 + 2.962^2)^{\frac{1}{2}}}{18} = 0.377 < \begin{matrix} 1.0 \text{ για OKA} \\ 0.7 \text{ για OKA} \\ 2.0 \text{ για σεισμικές δράσεις} \end{matrix}$$

Παραμόρφωση λόγω στροφής:

$$\varepsilon_{a,d} = \frac{a'^2 * a_{a,d} + b'^2 * a_{b,d}}{2 * n * t_i^2} = \frac{99.2^2 * 0.004481 + 99.2^2 * 0.002695}{2 * 10 * 1.8^2} = 1.089$$

Συνολική παραμόρφωση:

$$\varepsilon_{t,d} = K_L(\varepsilon_{c,d} + \varepsilon_{q,d} + \varepsilon_{a,d}) \leq \frac{7.0}{\gamma_m}, \gamma_m = \begin{matrix} 1.00, \text{για ΟΚΑ} \\ 1.40, \text{για ΟΚΛ} \\ 1.15, \text{για σεισμικές δράσεις} \end{matrix}$$

$$\varepsilon_{t,d} = 1.0(0.909 + 0.377 + 1.089) = \mathbf{2.375 < 7.00mm}$$

Έλεγχος χαλύβδινων ελασμάτων σε εφελκυσμό:

$$t_{s,min} = \frac{K_p * F_{z,d} * 2 * t_i * K_h * \gamma_m}{A_r * f_y} = \frac{1.3 * 6717.72 * 2 * 18 * 1 * 1}{8941.50 * 23.5} = \mathbf{1.496 < 5mm}$$

Περιορισμός στροφής:

$$\frac{F_{z,d} * n * t_i}{A_l} \left(\frac{1}{5 * G * S^2} + \frac{1}{E_b} \right) \geq \frac{a' * a_{a,d} + b' * a_{b,d}}{K_{r,d}} \rightarrow$$

$$\frac{6717.72 * 10 * 0.008}{0.984064} \left(\frac{1}{5 * 900 * 13.778^2} + \frac{1}{2000} \right) \geq \frac{0.992 * 0.00481 + 0.992 * 0.002695}{3} \rightarrow$$

$$\mathbf{0.274m \geq 0.003m}$$

Έλεγχος ευστάθειας:

$$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2 * a' * G * S}{3 * T_e} \rightarrow \frac{6717.72}{8941.50} < \frac{2 * 99.2 * 0.09 * 13.778}{3 * 18.0} \rightarrow$$

$$\mathbf{0.751kN/cm^2 < 4.56kN/cm^2}$$

Όλοι οι έλεγχοι των εφεδράνων ικανοποιούνται.

– Σεισμικές φορτίσεις

Από το συνδυασμό $G+G'+P+S+0.2Q_{gr1}+0.5\Delta T+E_x+0.3E_y$, προκύπτει η μέγιστη κατακόρυφη αντίδραση και οι συνοδείς παραμορφώσεις:

$$F_z = 3970.58kN \quad a_x = 1.856mrad \quad a_y = 3.224mrad$$

$$\delta_x = 89.29mm \quad \delta_y = 28.27mm$$

Ενεργό εμβαδόν

$$A_r = A_l \left(1 - \frac{v_{x,d}}{a'} - \frac{v_{y,d}}{b'} \right) = 9840.65 \left(1 - \frac{8.929}{99.2} - \frac{2.827}{99.2} \right) = 8674.45cm^2$$

Παραμόρφωση λόγω θλίψης:

$$\varepsilon_{c,d} = \frac{1.50 * F_{z,d}}{G_{min} * A_r * S} = \frac{1.50 * 3970.58}{990 * 0.867445 * 13.778} = 0.503$$

Διατμητική παραμόρφωση:

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q} = \frac{(8.929^2 + 2.827^2)^{\frac{1}{2}}}{18} = 0.520 < \begin{matrix} 1.0 \text{ για OKA} \\ 0.7 \text{ για OKA} \end{matrix}$$

2.0 για σεισμικές δράσεις

Παραμόρφωση λόγω στροφής:

$$\varepsilon_{a,d} = \frac{a'^2 * a_{a,d} + b'^2 * a_{b,d}}{2 * n * t_i^2} = \frac{99.2^2 * 0.003224 + 99.2^2 * 0.001856}{2 * 10 * 1.8^2} = 0.771$$

Συνολική παραμόρφωση:

$$\varepsilon_{t,d} = K_L(\varepsilon_{c,d} + \varepsilon_{q,d} + \varepsilon_{a,d}) \leq \frac{7.0}{\gamma_m}, \gamma_m = \begin{matrix} 1.00, \text{ για OKA} \\ 1.40, \text{ για OKL} \end{matrix}$$

1.15, για σεισμικές δράσεις

$$\varepsilon_{t,d} = 1.0(0.503 + 0.520 + 0.771) = \mathbf{1.794 \leq 6.087}$$

Έλεγχος χαλύβδινων ελασμάτων σε εφελκυσμό:

$$t_{s,min} = \frac{K_p * F_{z,d} * 2 * t_i * K_h * \gamma_m}{A_r * f_y} = \frac{1.3 * 3970.58 * 2 * 18 * 1 * 1}{8674.45 * 23.5} = \mathbf{0.912 \leq 5mm}$$

Περιορισμός στροφής:

$$\frac{F_{z,d} * n * t_i}{A_l} \left(\frac{1}{5 * G * S^2} + \frac{1}{E_b} \right) \geq \frac{a' * a_{a,d} + b' * a_{b,d}}{K_{r,d}} \rightarrow$$

$$\frac{3970.58 * 10 * 0.008}{0.984065} \left(\frac{1}{5 * 990 * 13.778^2} + \frac{1}{2000} \right) \geq \frac{0.992 * 0.003224 + 0.992 * 0.001856}{3} \rightarrow$$

0.162m ≥ 0.002m

Έλεγχος ευστάθειας:

$$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2 * a' * G * S}{3 * T_e} \rightarrow \frac{3970.58}{8674.45} < \frac{2 * 99.2 * 0.099 * 13.778}{3 * 18.0} \rightarrow$$

0.458kN/cm² < 5.012kN/cm²

Όλοι οι έλεγχοι των εφεδράνων ικανοποιούνται.

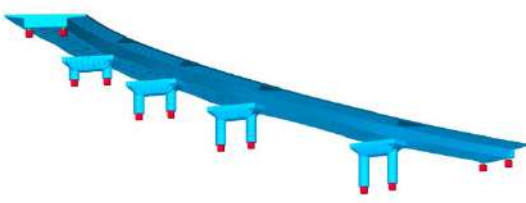
– Διατμητική δύναμη μέσω σύνδεσης

Έλεγχος ολίσθησης δεν απαιτείται για εφεδράνα τύπου C2. Αντιθέτως, οι οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται παραλαμβάνονται μέσω διάτμησης. Τα στοιχεία που πρέπει να σχεδιαστούν με τη δύναμη αυτή είναι:

- Διατμητικοί ήλοι που τοποθετούνται εντός του τάκου έδρασης του βάθρου και της ανωδομής.
- Δίσκοι μεταξύ των εξωτερικών πλακών του εφεδράνου, οι οποίοι επιτρέπουν την εύκολη αντικατάσταση του εφεδράνου.

15. Αποτελέσματα ανάλυσης

ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ ΦΟΡΕΑ

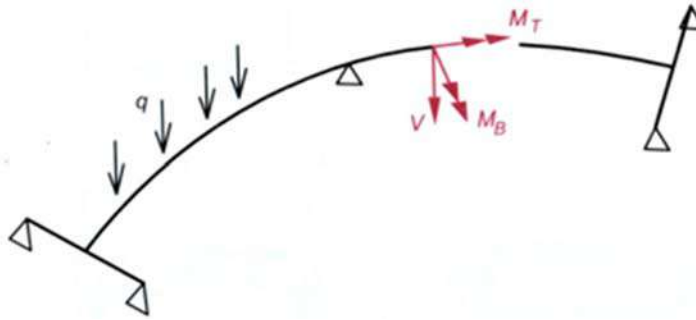
Συνολικός φορέας		2457.6 tn
------------------	--	-----------

Παρακάτω παρατηρείτε πως οι αποκλίσεις των δύο προσομοιωμάτων δεν είναι μεν μεγάλες αλλά σίγουρα όχι αμελητέες. Οι διαφορές στις ροπές από το ίδιο βάρος, οφείλονται κυρίως στην εισαγωγή των εφεδράνων και την ακριβέστερη προσομοίωση της γεωμετρίας στο 3D προσομοίωμα.

Όσον αναφορά στα φορτία κυκλοφορίας, και συγκεκριμένα για τα φορτία του άξονα TS, οι διαφορές είναι μικρές, καθώς δεν επηρεάζονται από την επιφάνεια του καταστρώματος. Όμως για τα κατανεμημένα φορτία κυκλοφορίας UDL, λόγω της καμπύλης γεωμετρίας σε οριζοντιογραφία αλλά και η κλίση του φορέα σε επίπεδο μηκοτομής, αποδίδει διαφορετική κατανομή.

Δράση	Σύγκριση καμπτικών ροπών [kNm]			
	Διαμήκης ανάλυση 2D		Καθολική ανάλυση 3D	
	Άνοιγμα	Στήριξη	Άνοιγμα	Στήριξη
G	8702	16545	8259	14542
TS	4746	2994	4502	3040
UDL	2640	4189	3467	4860

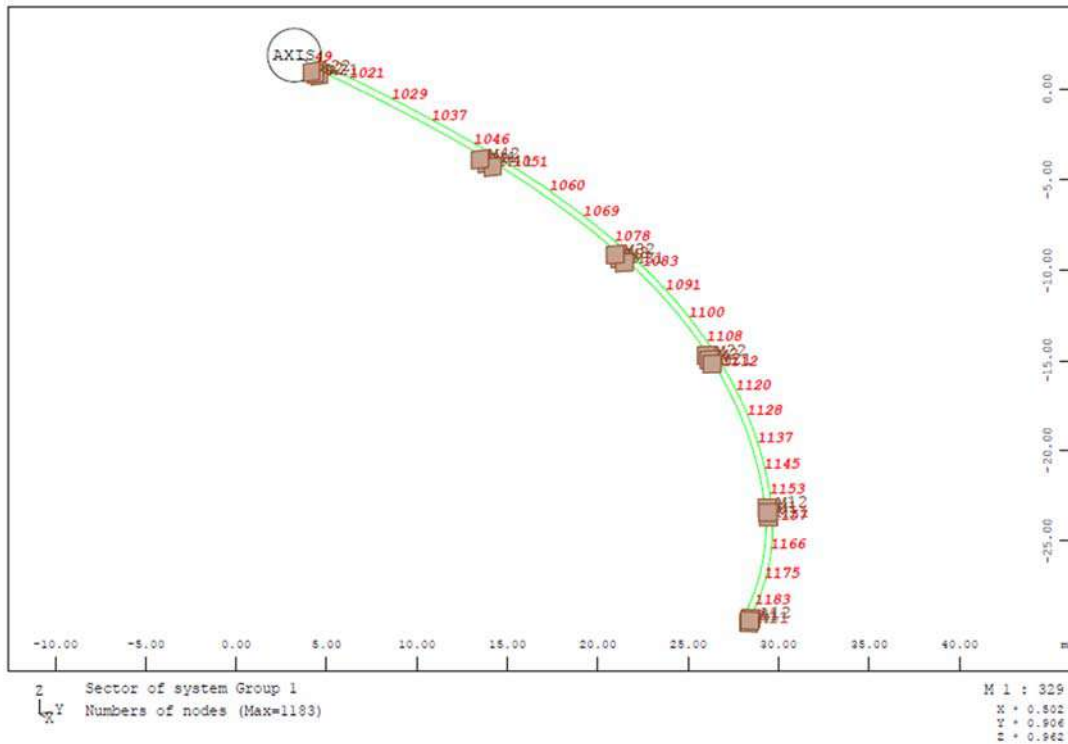
Πίνακας 44. Σύγκριση καμπτικών ροπών.



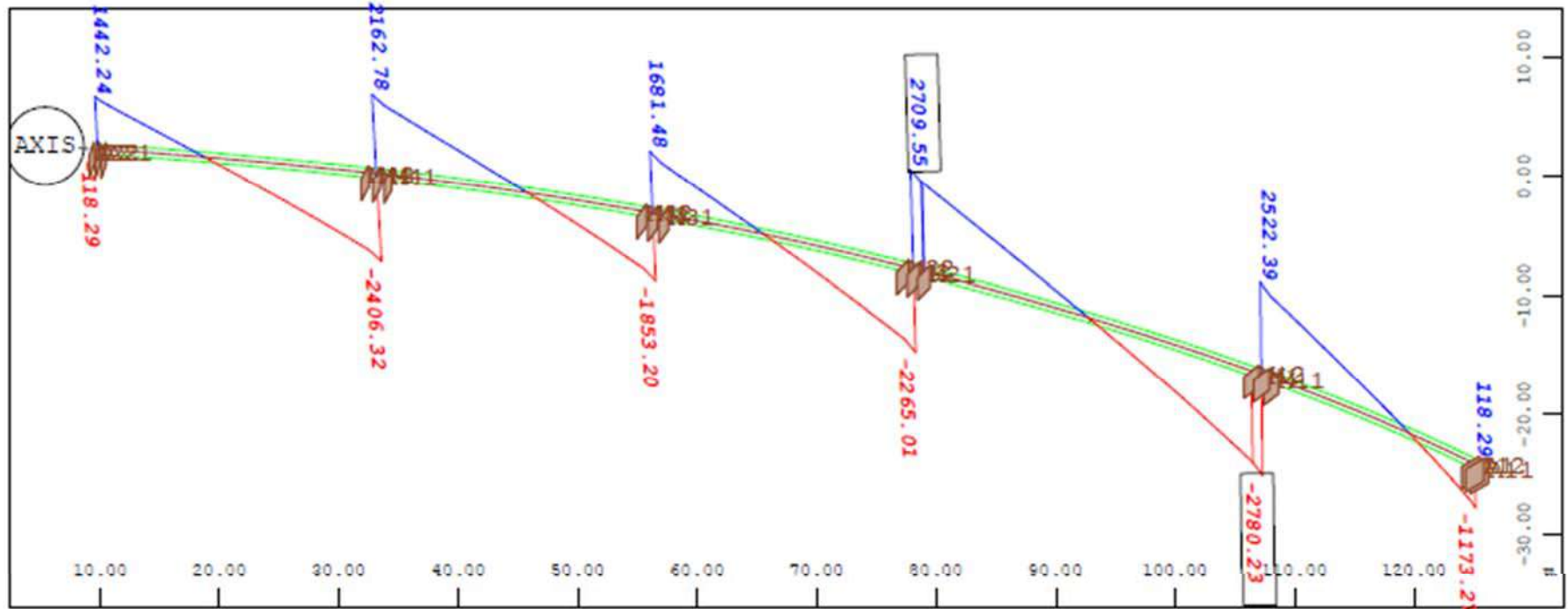
Εικόνα 247. Μοντέλο καμπύλης δοκού με τα εντατικά της μεγέθη (Σταυρίδης 2006).

Παρακάτω παρουσιάζονται βασικά εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη καθώς και οι βαθμοί αξιοποίησης των δομικών μελών. Τέλος παρουσιάζεται η τυπική όπλιση της διατομής.

ΚΟΜΒΟΙ ΑΝΩΔΟΜΗΣ



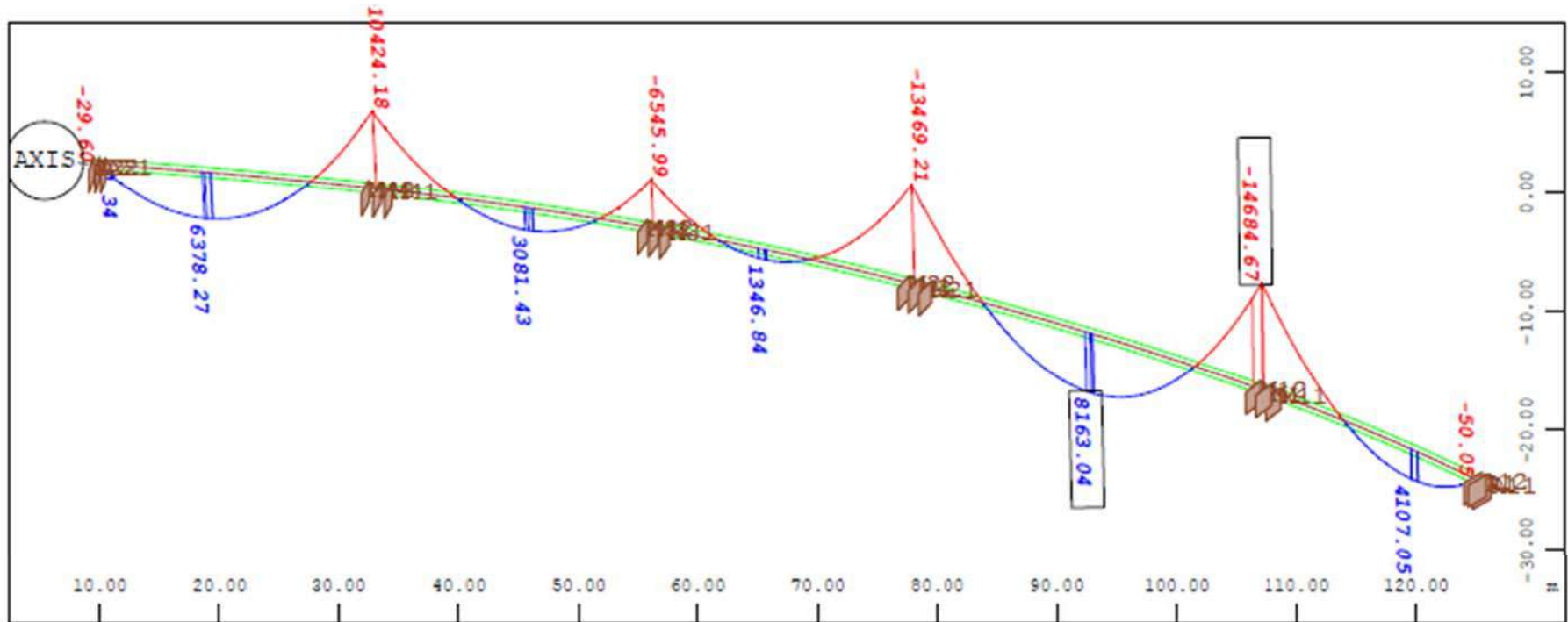
ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



Sector of system Group 1
 Beam Elements , Shear force Vz, Loadcase 1 G , 1 cm 3D = 2000.0 kN (Min=-2780.23)
 (Max=2709.55)

M 1 : 726
 X + 0.988
 Y + 0.562
 Z + 0.841

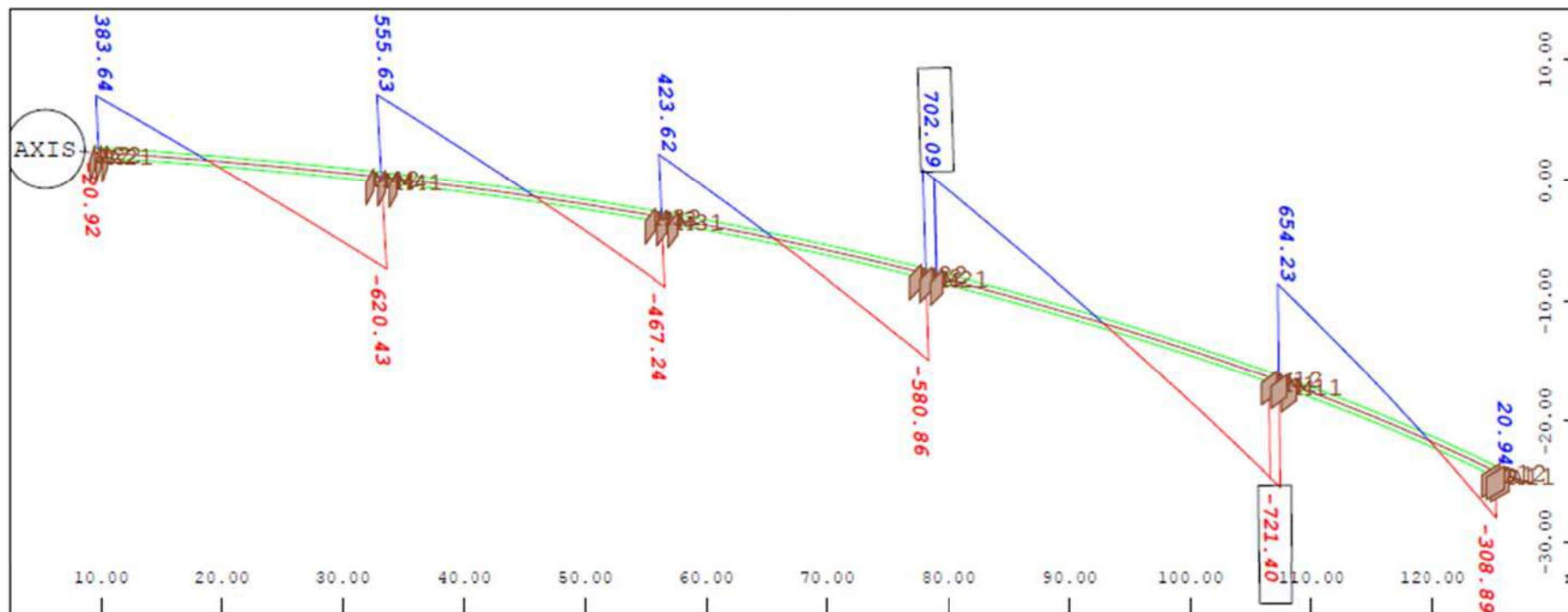
ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]



Sector of system Group 1
Beam Elements , Bending moment My, Loadcase 1 G , 1 cm 3D = 10000 kNm (Min=-14684.67)
(Max=8163.04)

M 1 : 726
X + 0.988
Y + 0.962
Z + 0.841

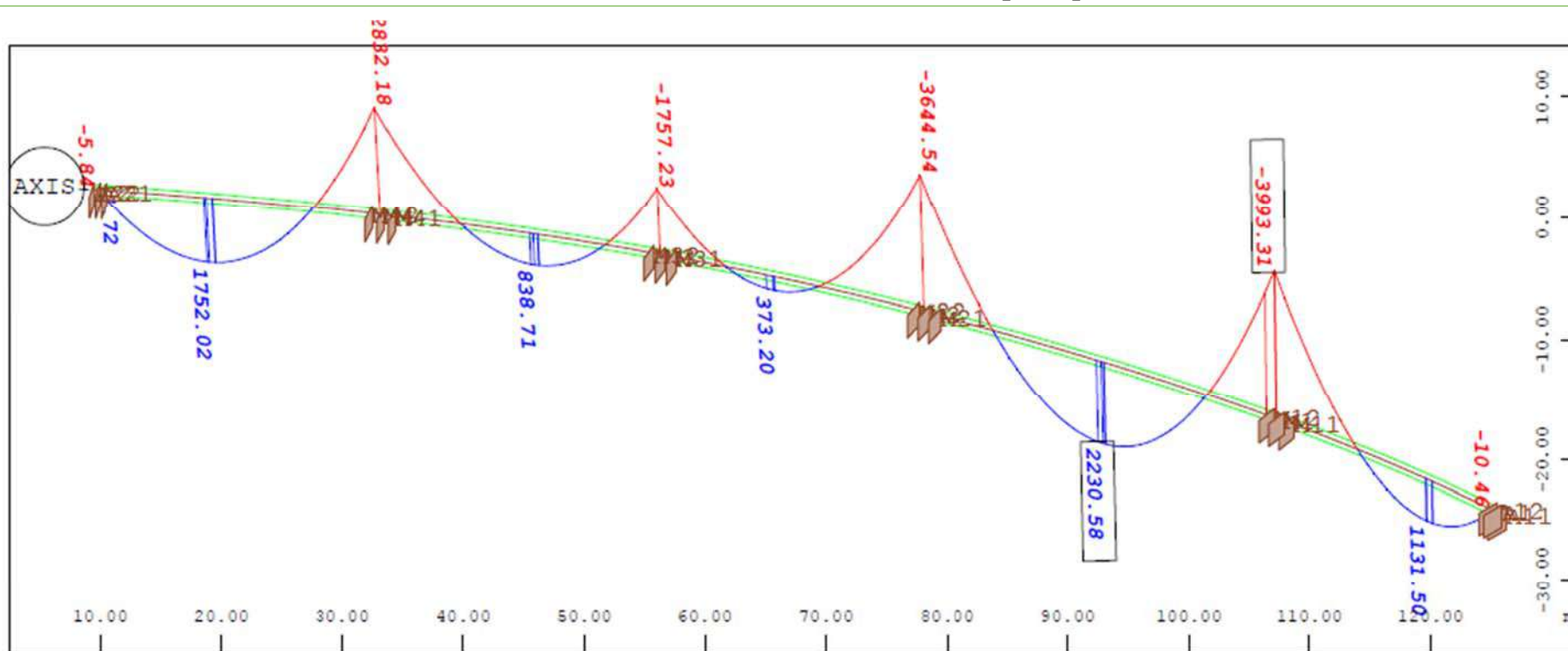
ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΟΝΙΜΑ: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



Sector of system Group 1
 Beam Elements , Shear force Vz, Loadcase 2 G' , 1 cm 3D = 500.00 kN (Min=-721.40)
 (Max=702.09)

M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.862
 Z * 0.841

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΟΝΙΜΑ: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]

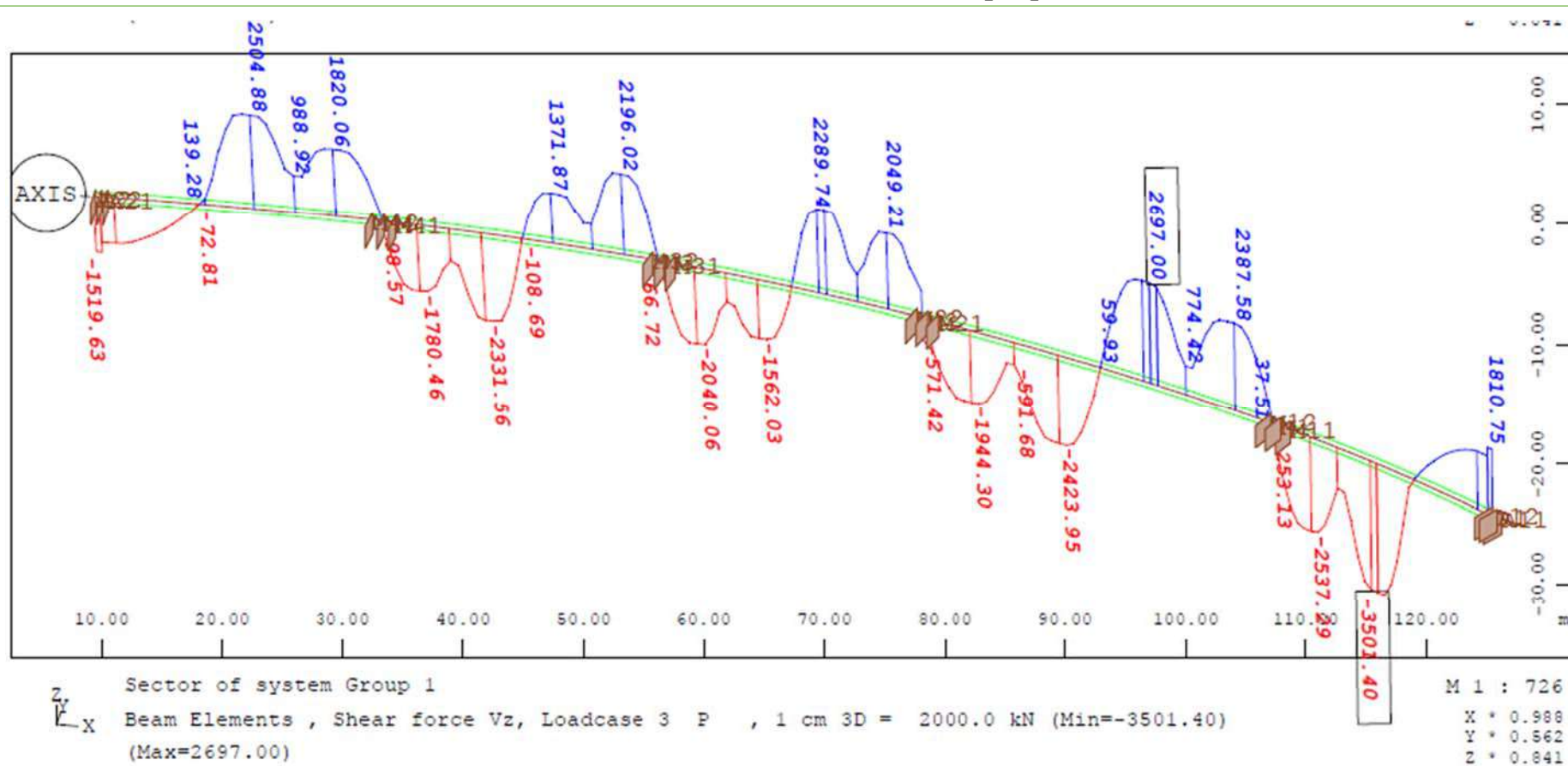


Sector of system Group 1
 Beam Elements , Bending moment My, Loadcase 2 G' , 1 cm 3D = 2000.0 kNm (Min=-3993.31)
 (Max=2230.58)

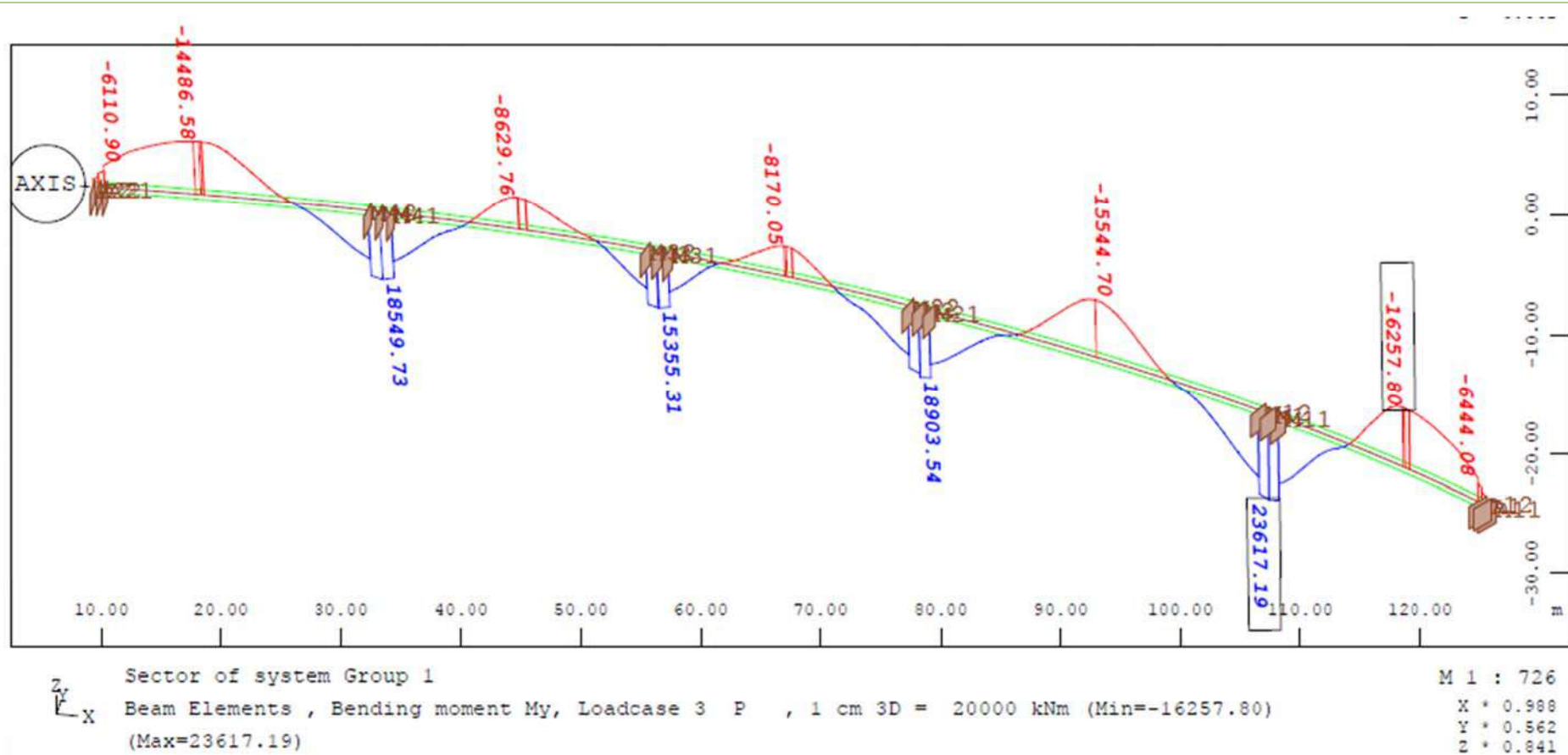
M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.562
 Z * 0.841

σ

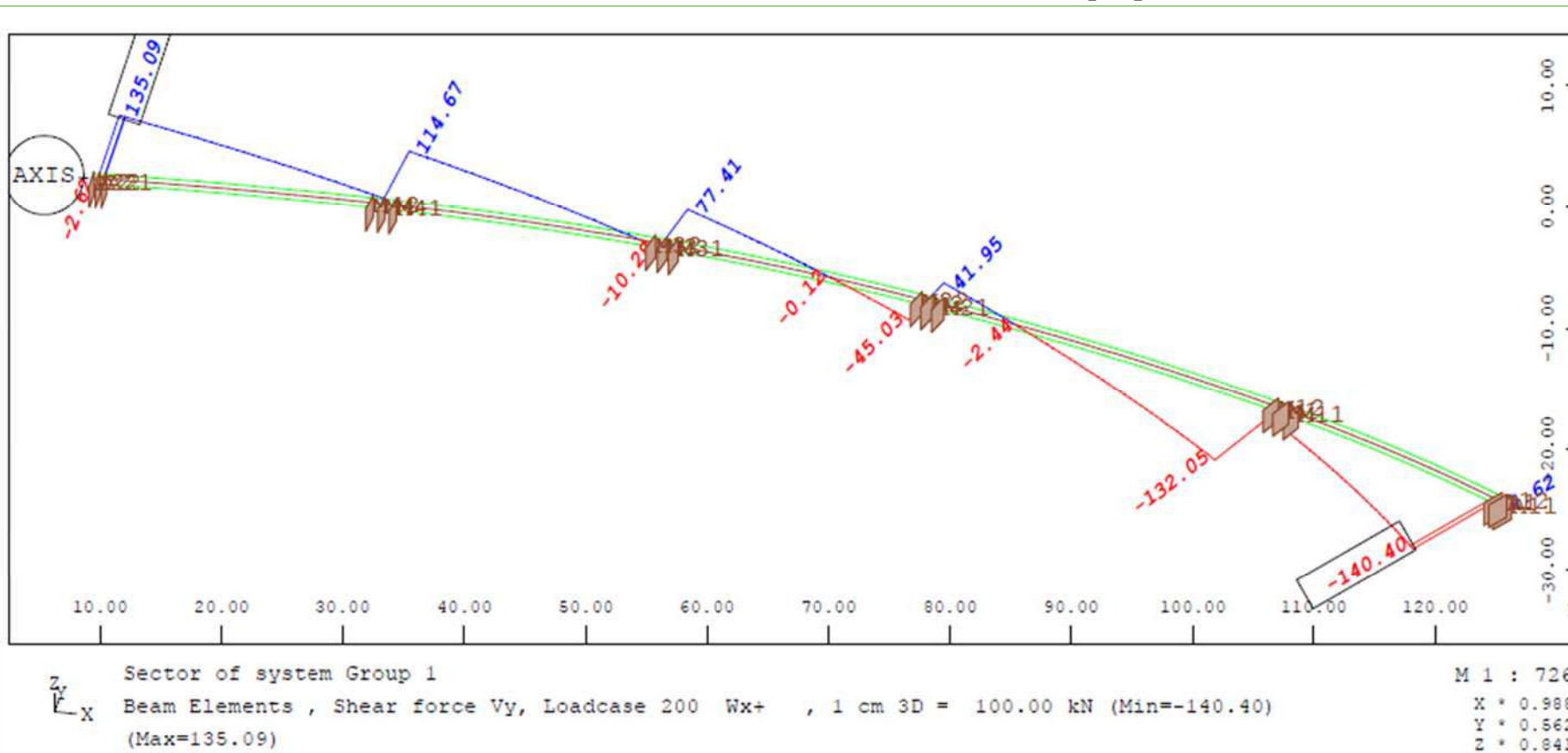
ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



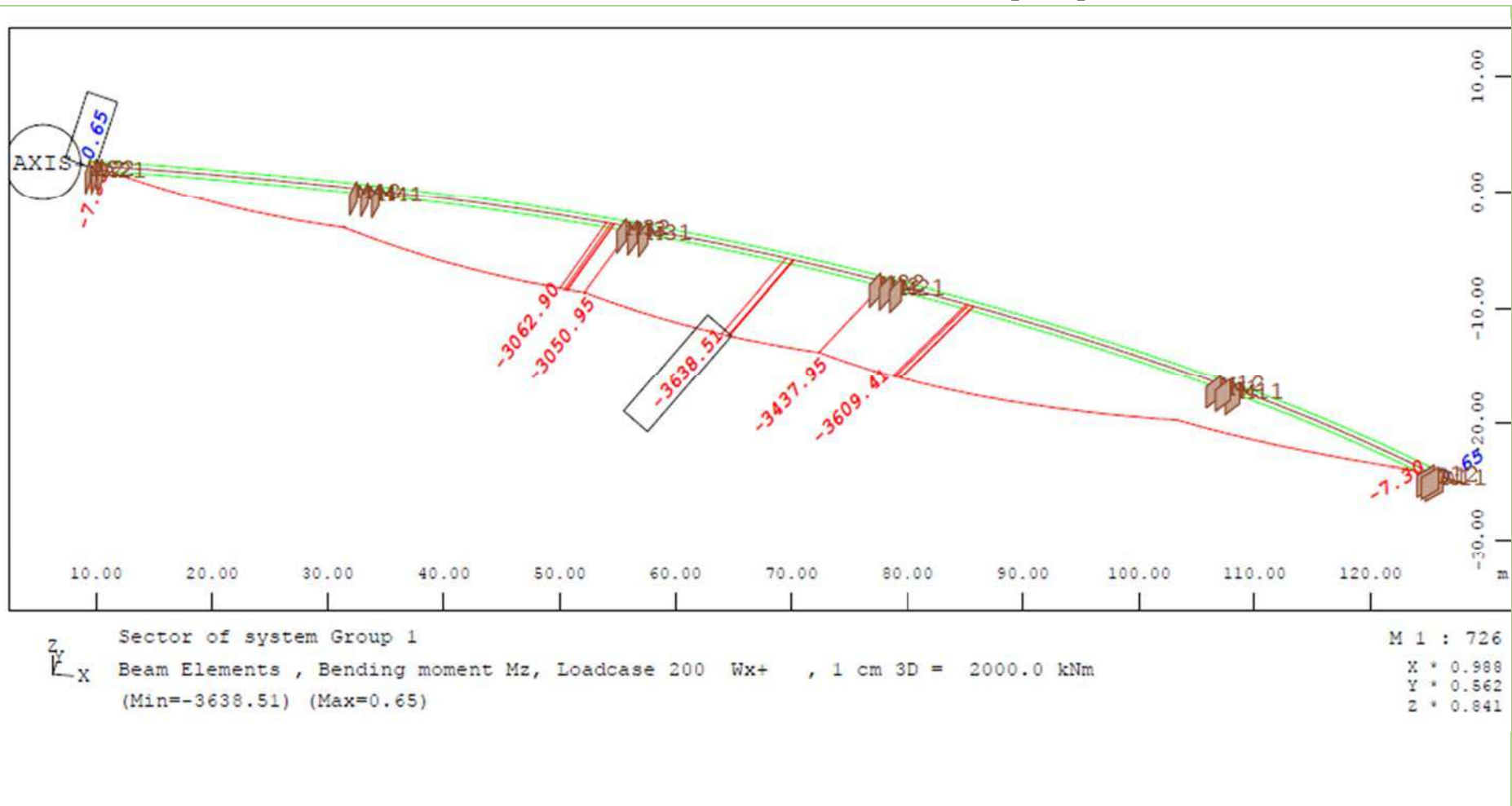
ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]



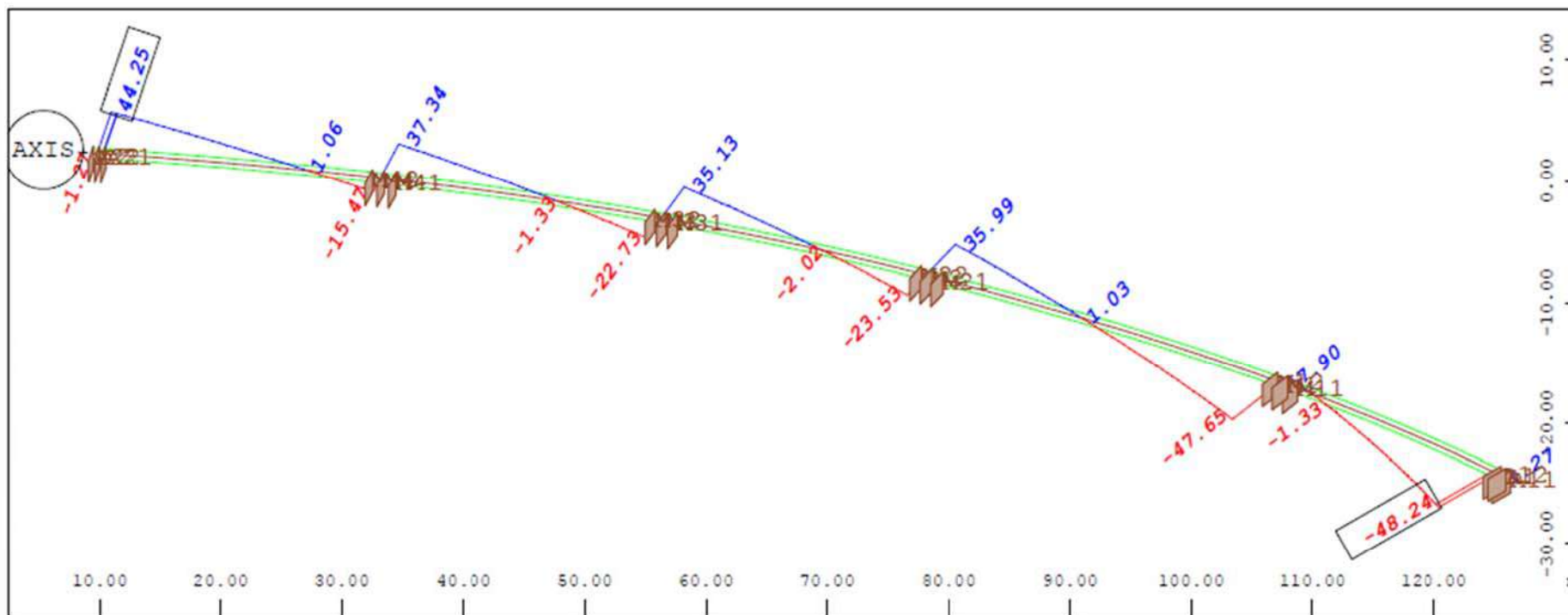
ΑΝΕΜΟΣ ΧΩΡΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



ΑΝΕΜΟΣ ΧΩΡΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]



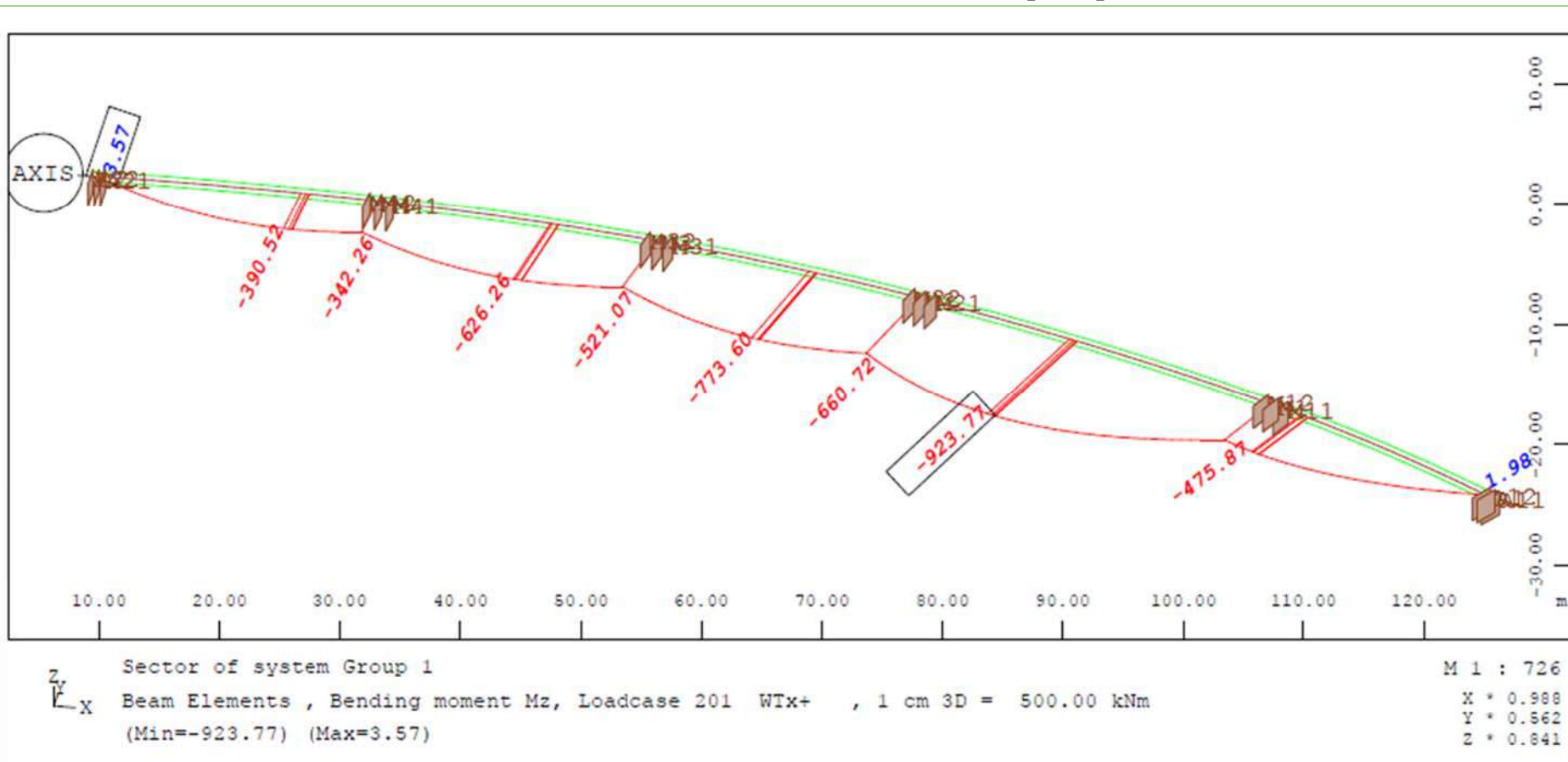
ΑΝΕΜΟΣ ΜΕ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



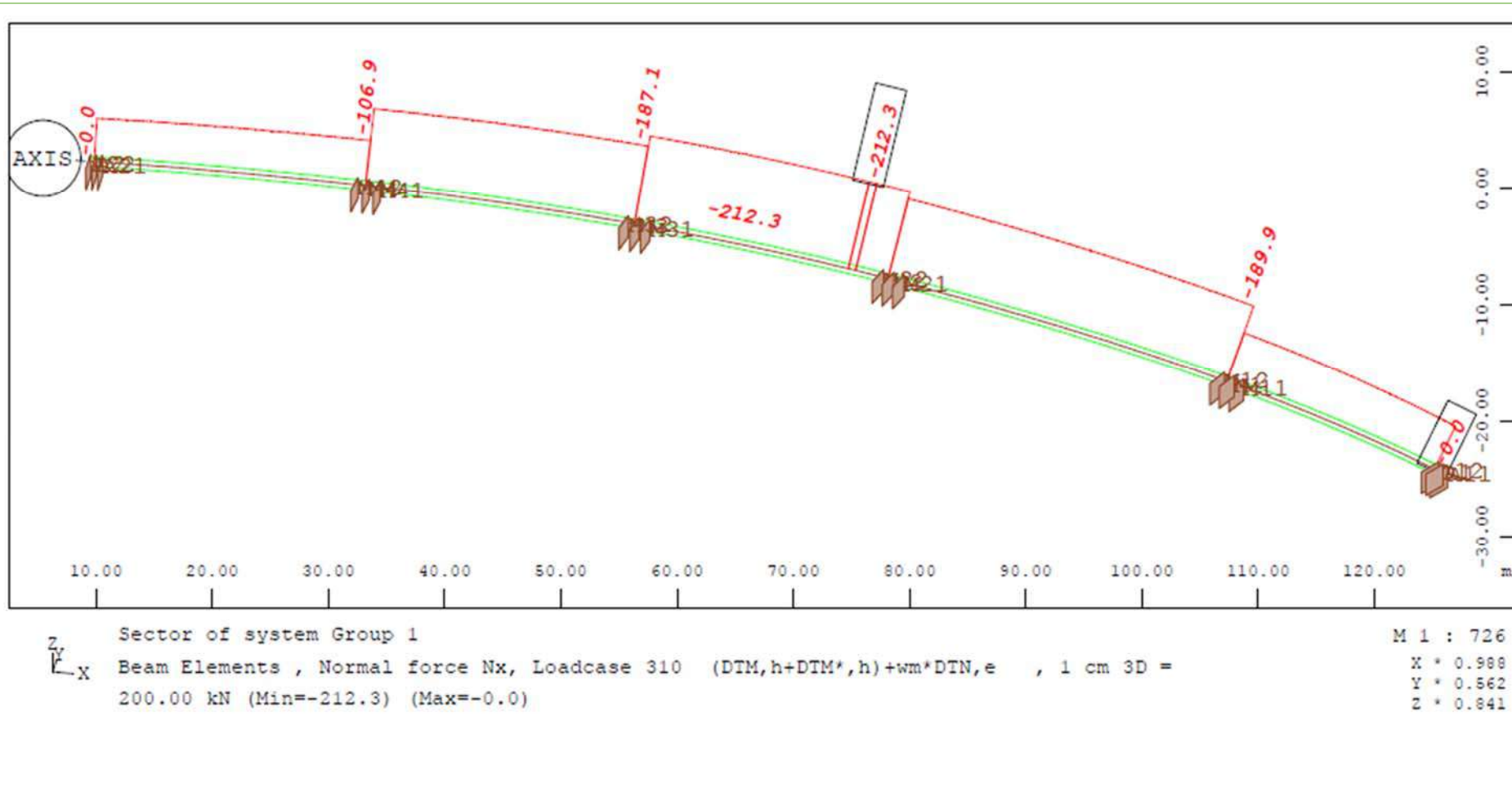
Sector of system Group 1
 Beam Elements , Shear force Vy, Loadcase 201 WTx+ , 1 cm 3D = 50.000 kN (Min=-48.24)
 (Max=44.25)

M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.962
 Z * 0.841

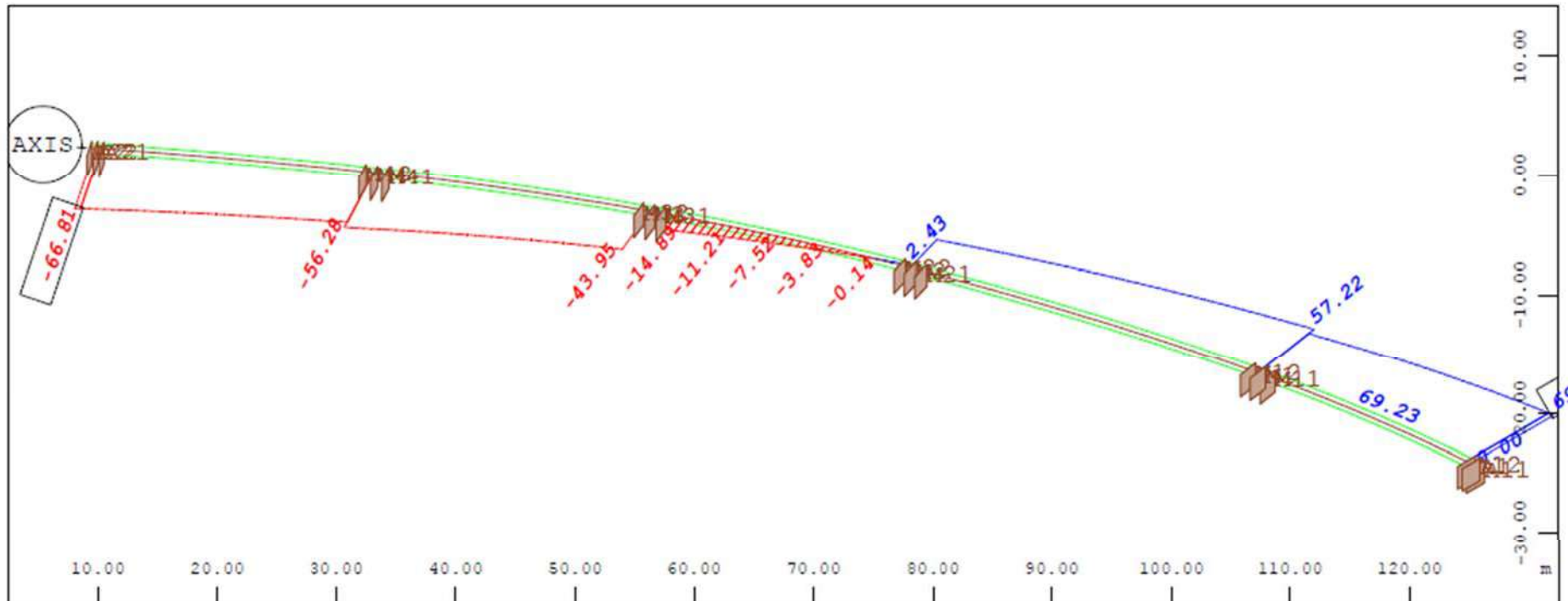
ΑΝΕΜΟΣ ΜΕ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]



ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΗΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ $\Delta T_{M,h} + \Delta T_{M^*,h} + \omega_M \Delta T_{N,e}$: ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



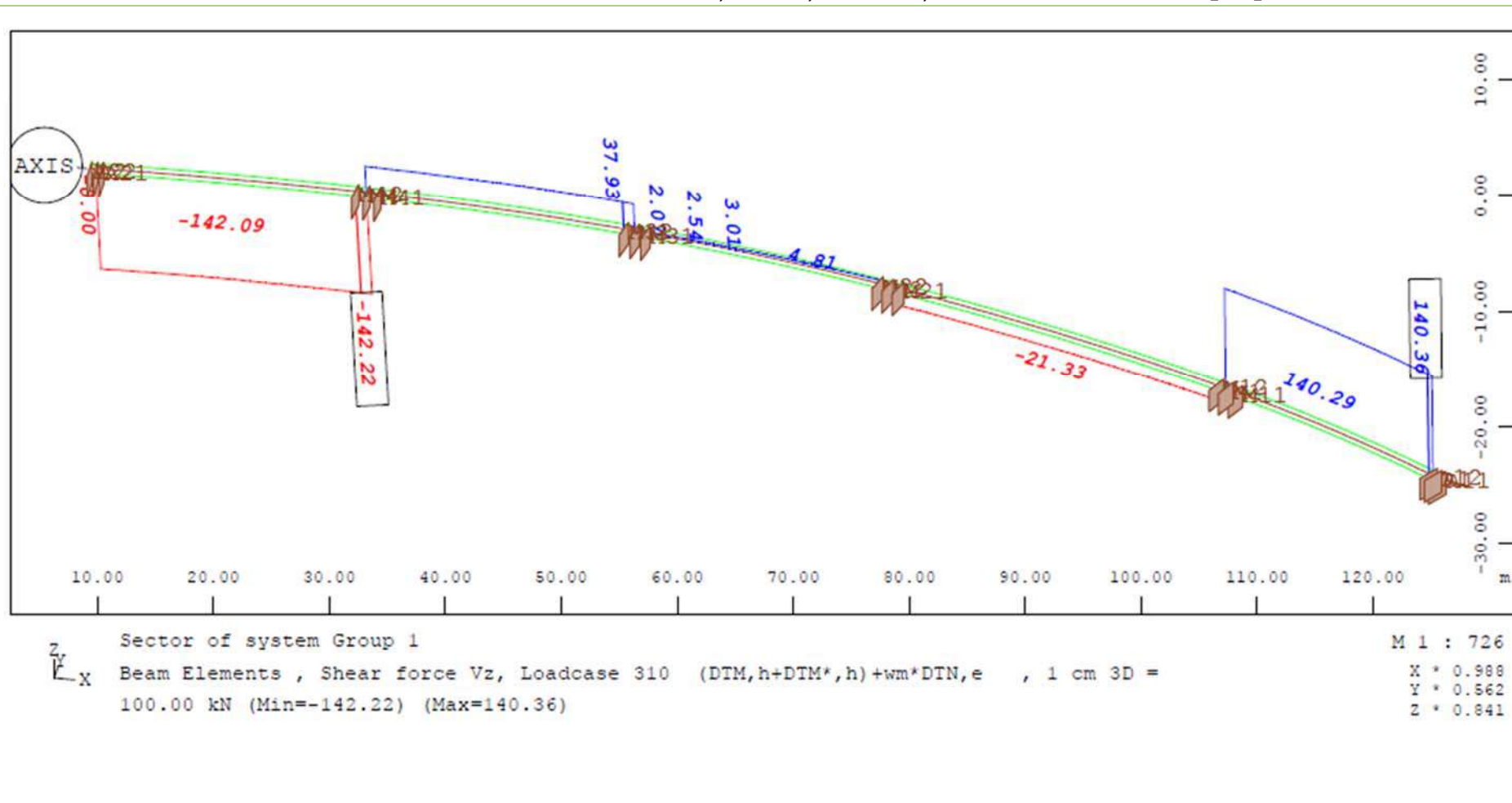
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΗΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ $\Delta T_{M,h} + \Delta T_{M^*,h} + \omega_M \Delta T_{N,e}$: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



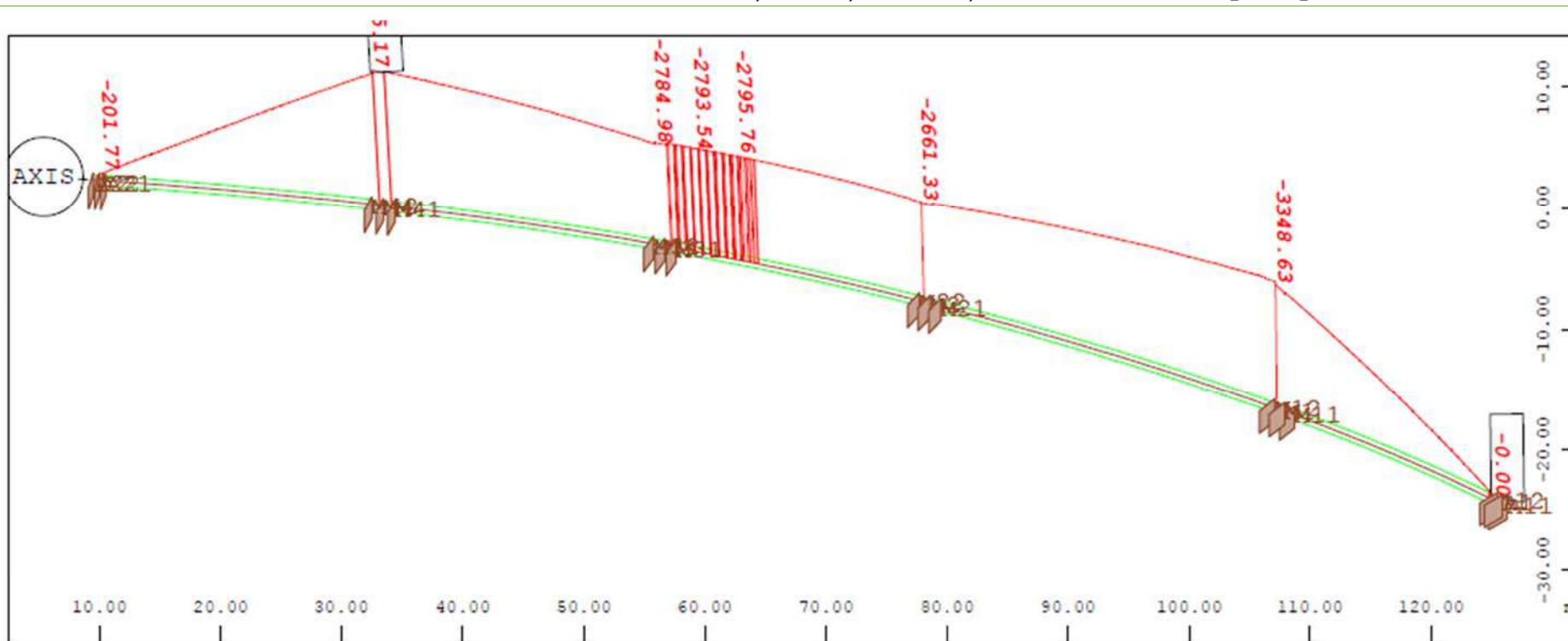
Sector of system Group 1
 Beam Elements , Shear force Vy, Loadcase 310 (DTM,h+DTM*,h)+wm*DTN,e , 1 cm 3D =
 50.000 kN (Min=-66.81) (Max=69.54)

M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.562
 Z * 0.841

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΗΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ $\Delta T_{M,h} + \Delta T_{M^*,h} + \omega_M \Delta T_{N,e}$: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]

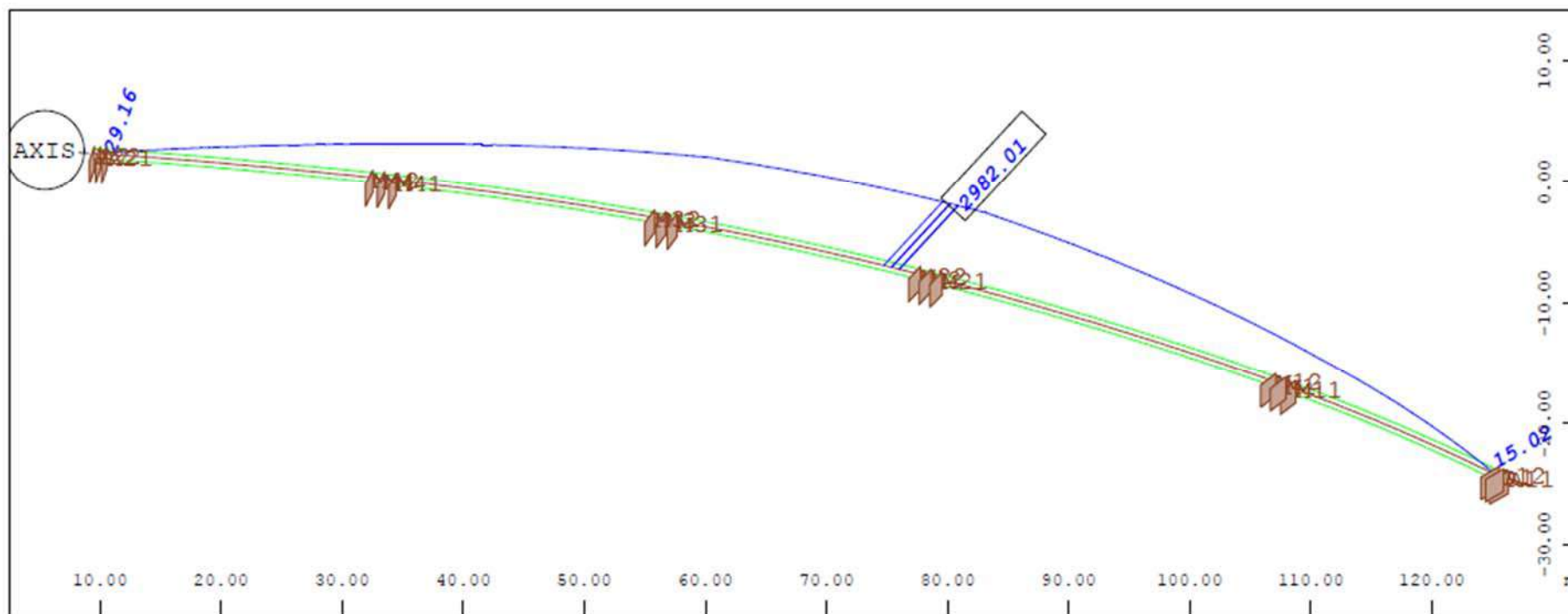


ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΗΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ $\Delta T_{M,h} + \Delta T_{M^*,h} + \omega_M \Delta T_{N,e}$: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]



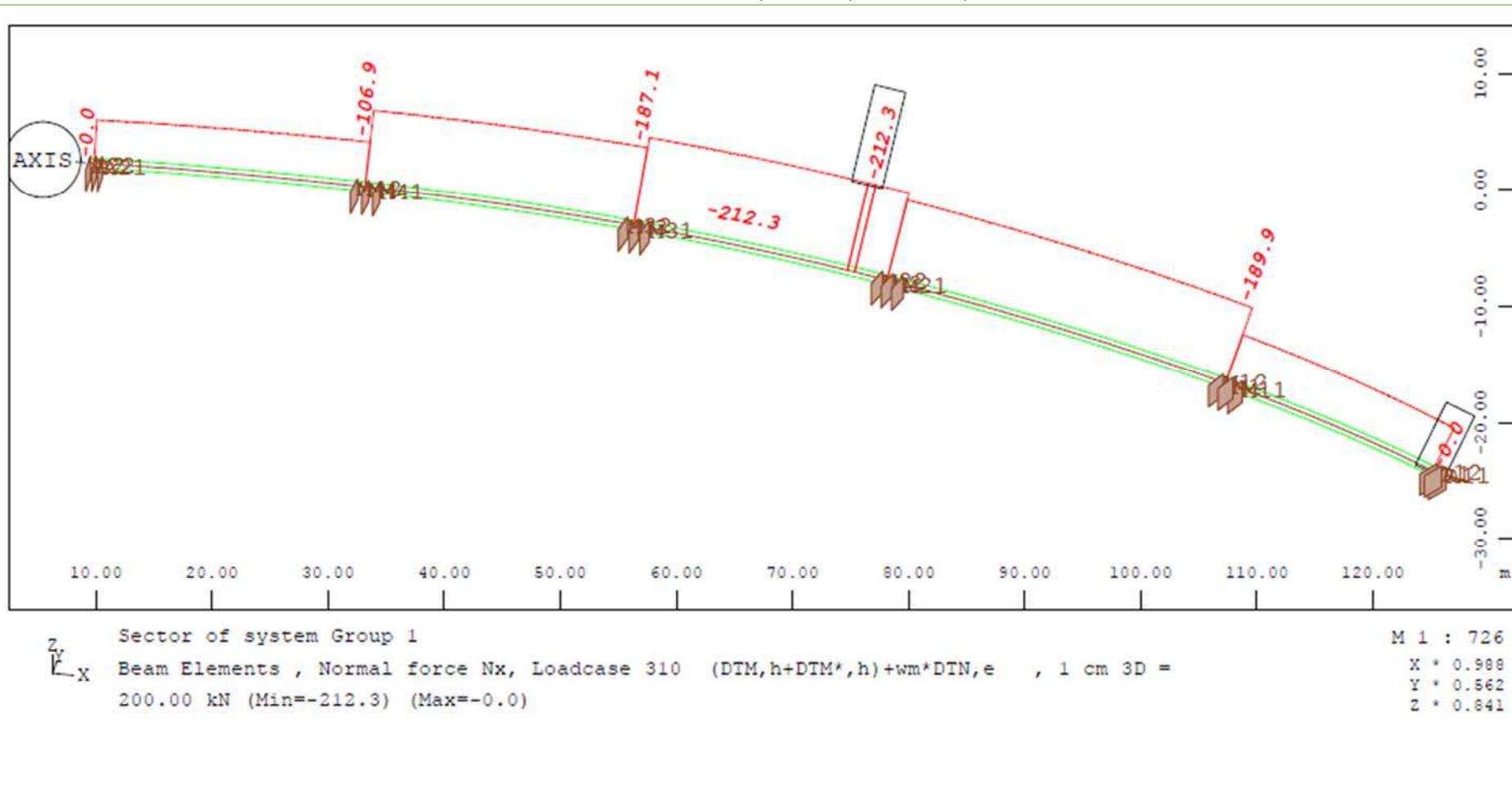
$\begin{matrix} z \\ \downarrow \\ x \end{matrix}$ Sector of system Group 1 M 1 : 726
 Beam Elements , Bending moment My, Loadcase 310 (DTM,h+DTM*,h)+wm*DTN,e , 1 cm 3D = X * 0.988
 2000.0 kNm (Min=-3605.17) (Max=-0.00) Y * 0.562
Z * 0.841

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΗΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ $\Delta T_{M,h} + \Delta T_{M^*,h} + \omega_M \Delta T_{N,e}$: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]

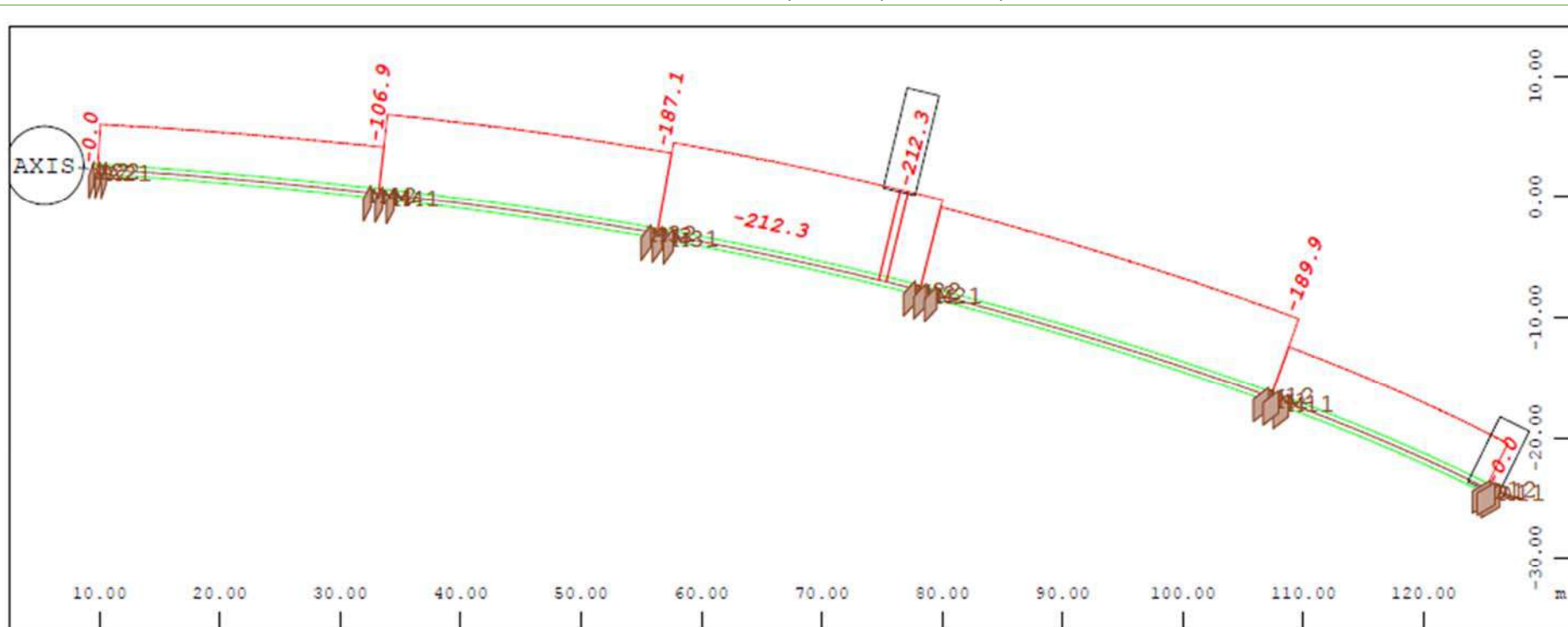


Sector of system Group 1
 Beam Elements , Bending moment Mz, Loadcase 310 (DTM,h+DTM*,h)+wm*DTN,e , 1 cm 3D =
 2000.0 kNm (Min=-0.00) (Max=2982.01)
 M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.562
 Z * 0.841

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΗΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ $\Delta T_{M,h} + \Delta T_{M^*,h} + \omega_M \Delta T_{N,e}$: ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

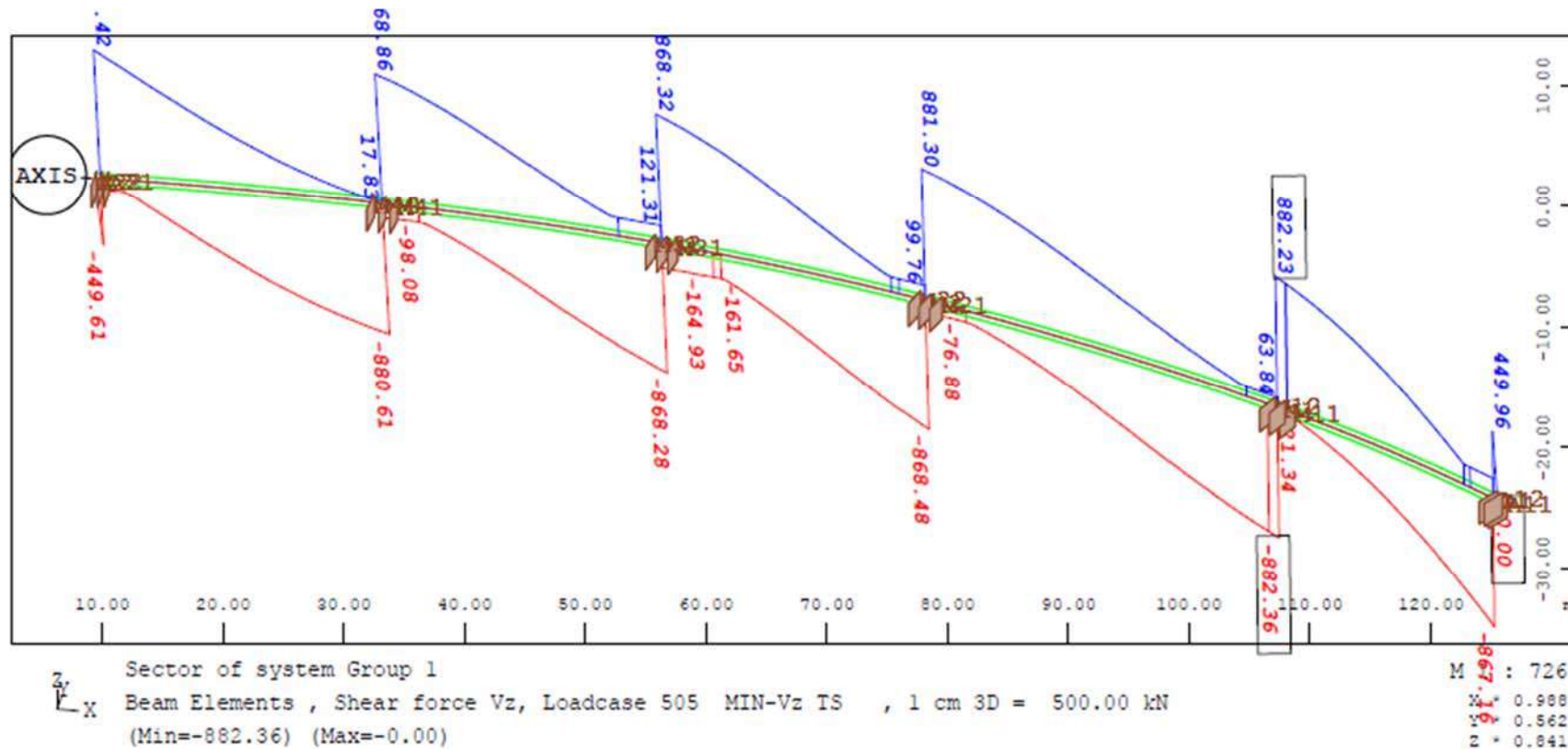


ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΗΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ $\Delta T_{M,h} + \Delta T_{M^*,h} + \omega_M \Delta T_{N,e}$: ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

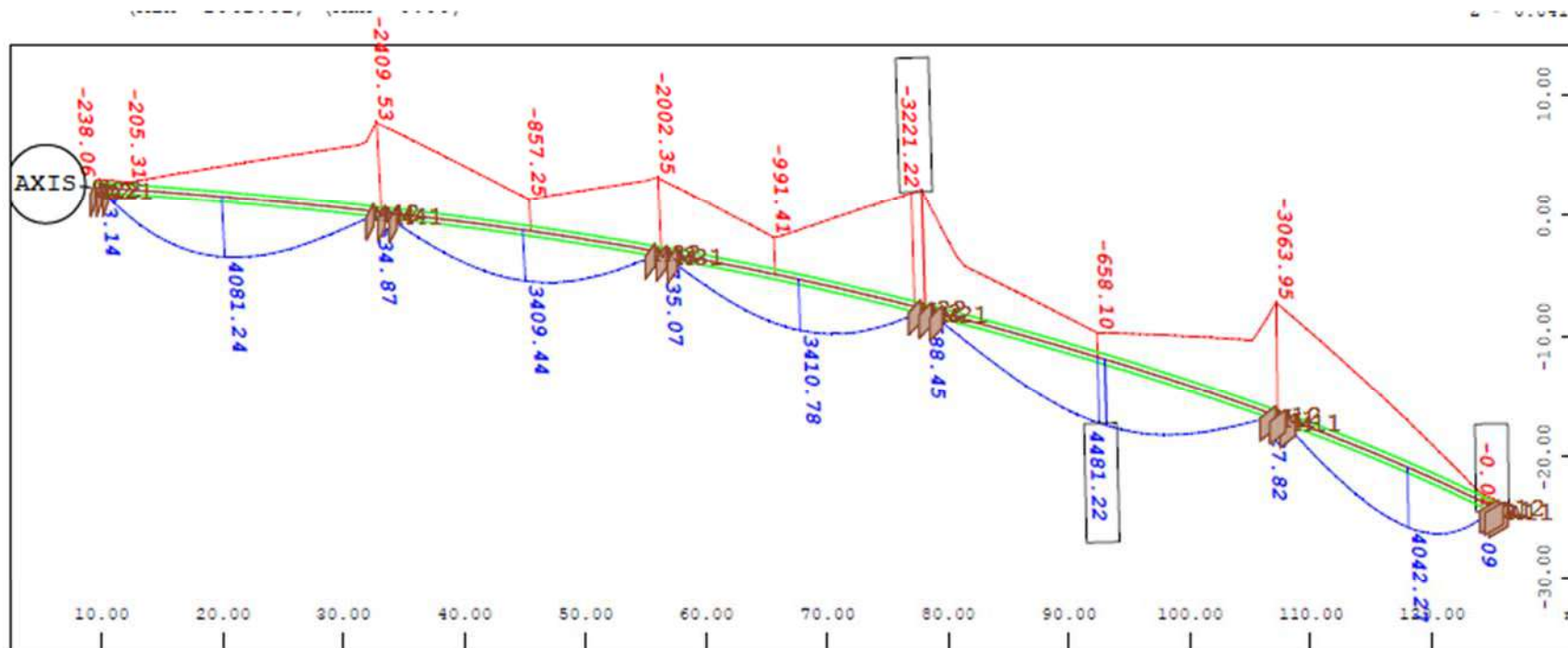


$\begin{matrix} z \\ y \\ x \end{matrix}$ Sector of system Group 1 M 1 : 726
 Beam Elements , Normal force Nx, Loadcase 310 (DTM,h+DTM*,h)+wm*DTN,e , 1 cm 3D = X * 0.988
 200.00 kN (Min=-212.3) (Max=-0.0) Y * 0.562
Z * 0.841

ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΣΑ ΦΟΡΤΙΩΝ TS: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



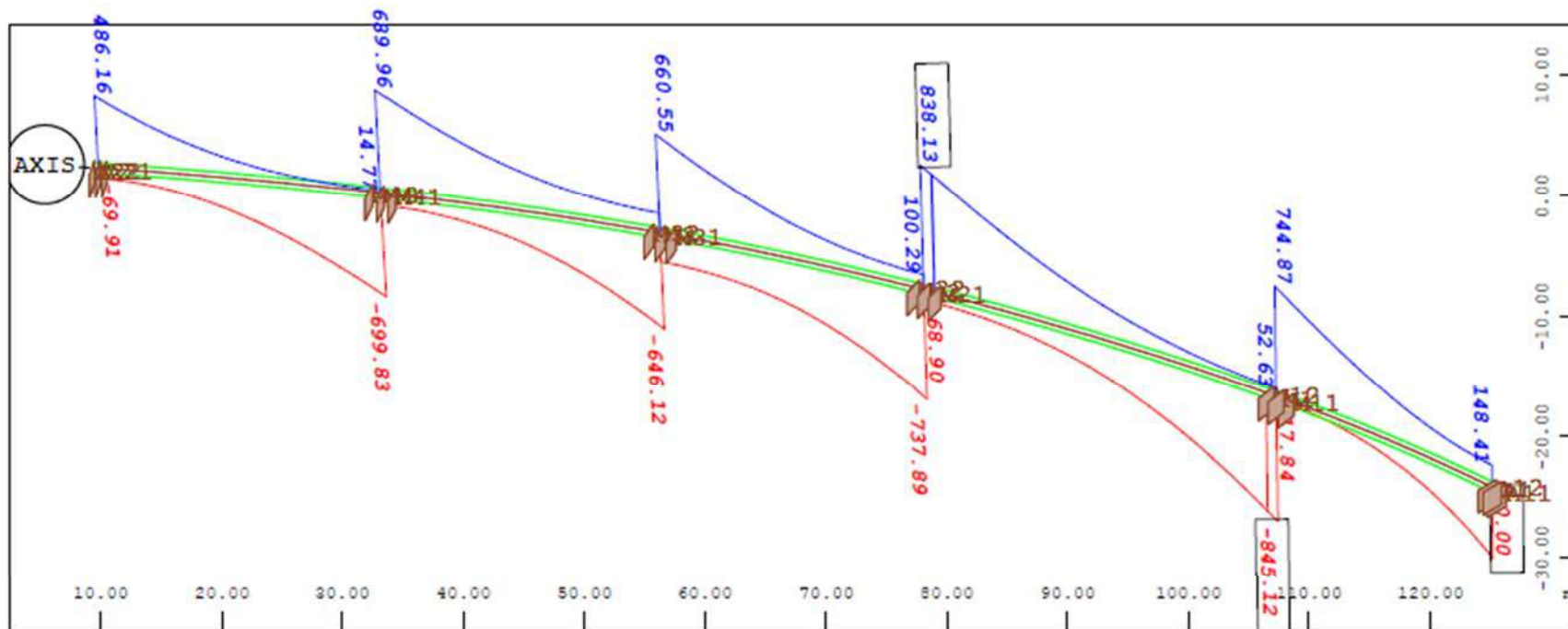
ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΣΑ ΦΟΡΤΙΩΝ TS: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]



Sector of system Group 1
 Beam Elements , Bending moment My, Loadcase 509 MIN-My TS , 1 cm 3D = 2000.0 kNm
 (Min=-3221.22) (Max=-0.01)

M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.562
 Z * 0.841

ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΣΑ ΦΟΡΤΙΩΝ UDL: ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΔΥΝΑΜΗ [kN]



z
 x

Sector of system Group 1

Beam Elements , Shear force Vz, Loadcase 605 MIN-Vz UDL , 1 cm 3D = 500.00 kN

(Min=-845.12) (Max=-0.00)

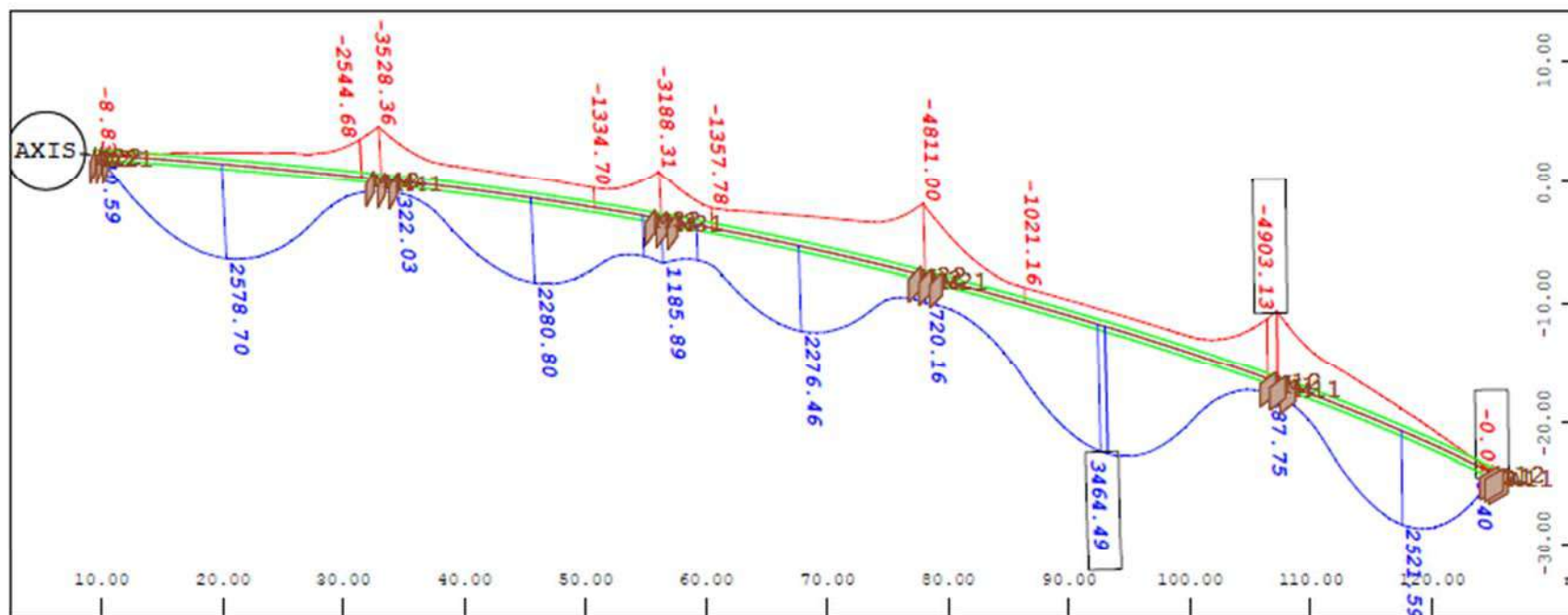
M 1 : 726

X * 0.988

Y * 0.562

Z * 0.841

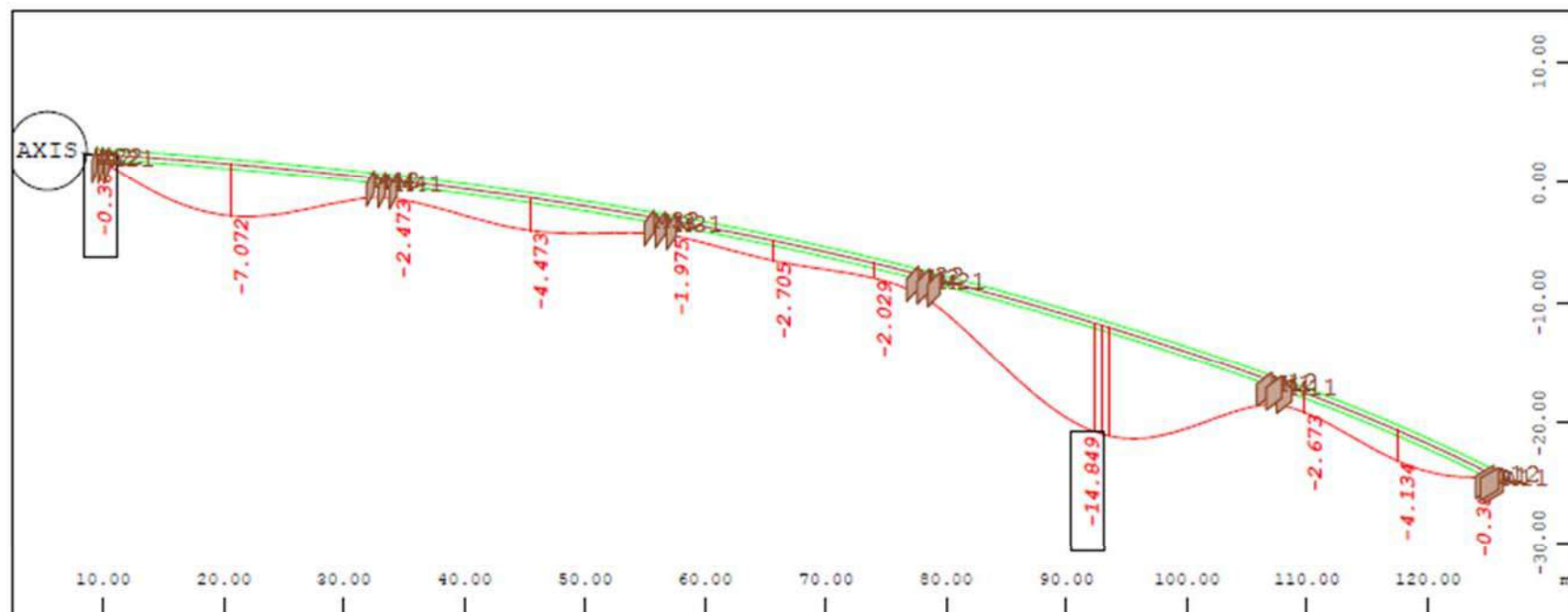
ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΣΑ ΦΟΡΤΙΩΝ UDL: ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ [kNm]



Sector of system Group 1
 Beam Elements , Bending moment My, Loadcase 609 MIN-My UDL , 1 cm 3D = 5000.0 kNm
 (Min=-4903.13) (Max=-0.01)

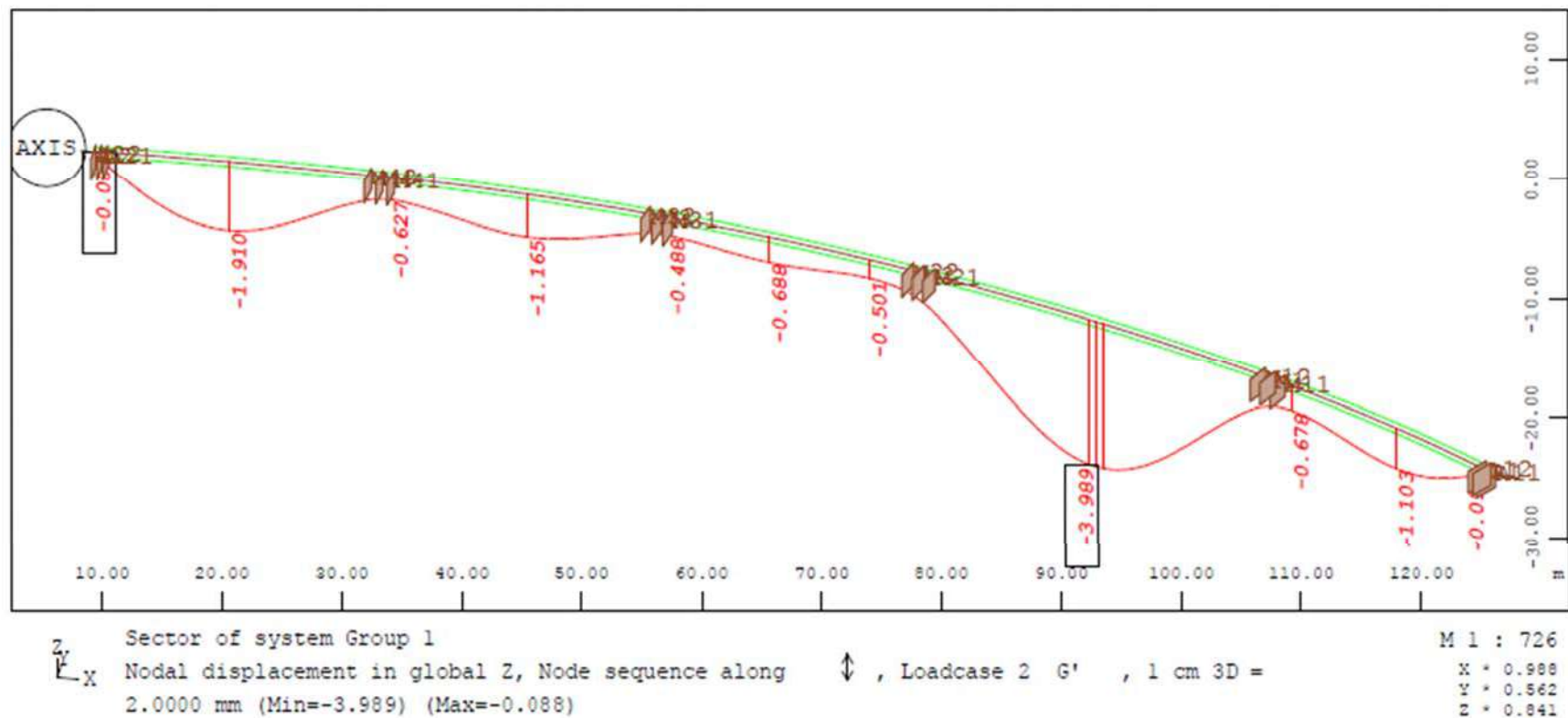
M 1 : 726
 X = 0.988
 Y = 0.962
 Z = 0.841

ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΒΕΛΟΣ [mm]

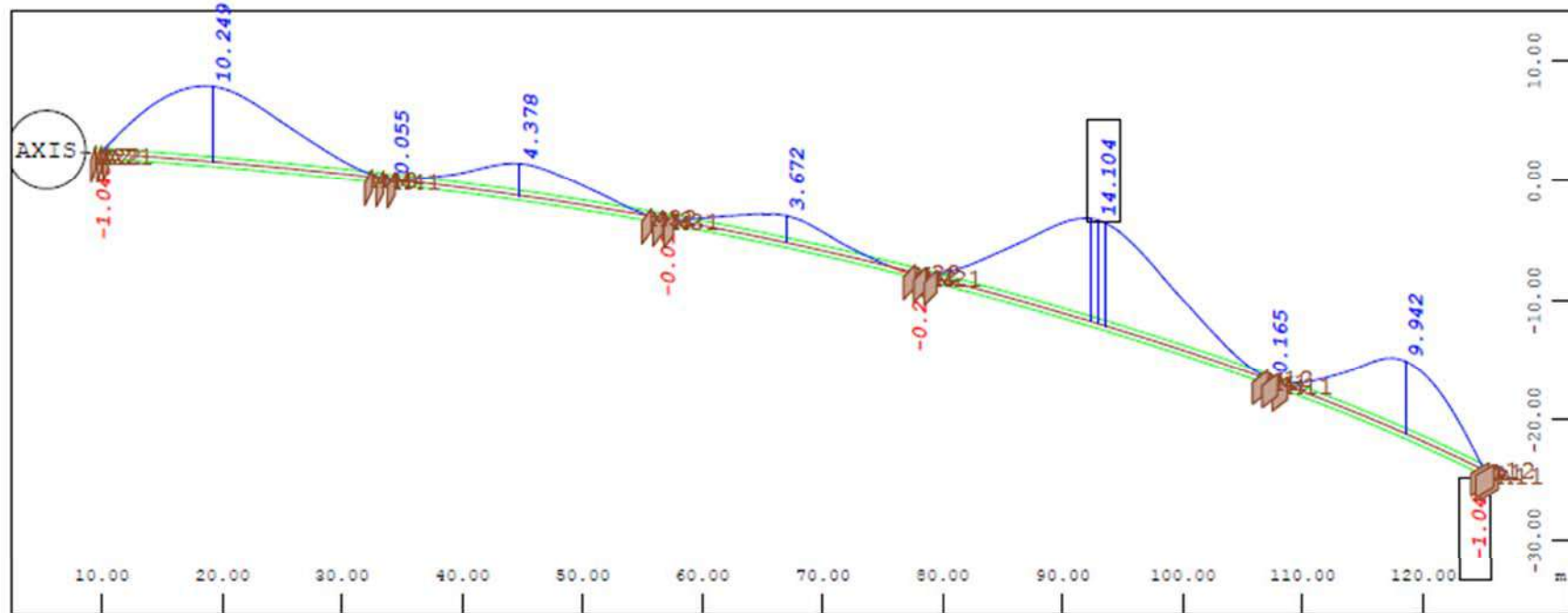


Sector of system Group 1
 Nodal displacement in global Z, Node sequence along \updownarrow , Loadcase 1 G, 1 cm 3D = 10.000
 mm (Min=-14.849) (Max=-0.360) M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.562
 Z * 0.841

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΒΕΛΟΣ [mm]



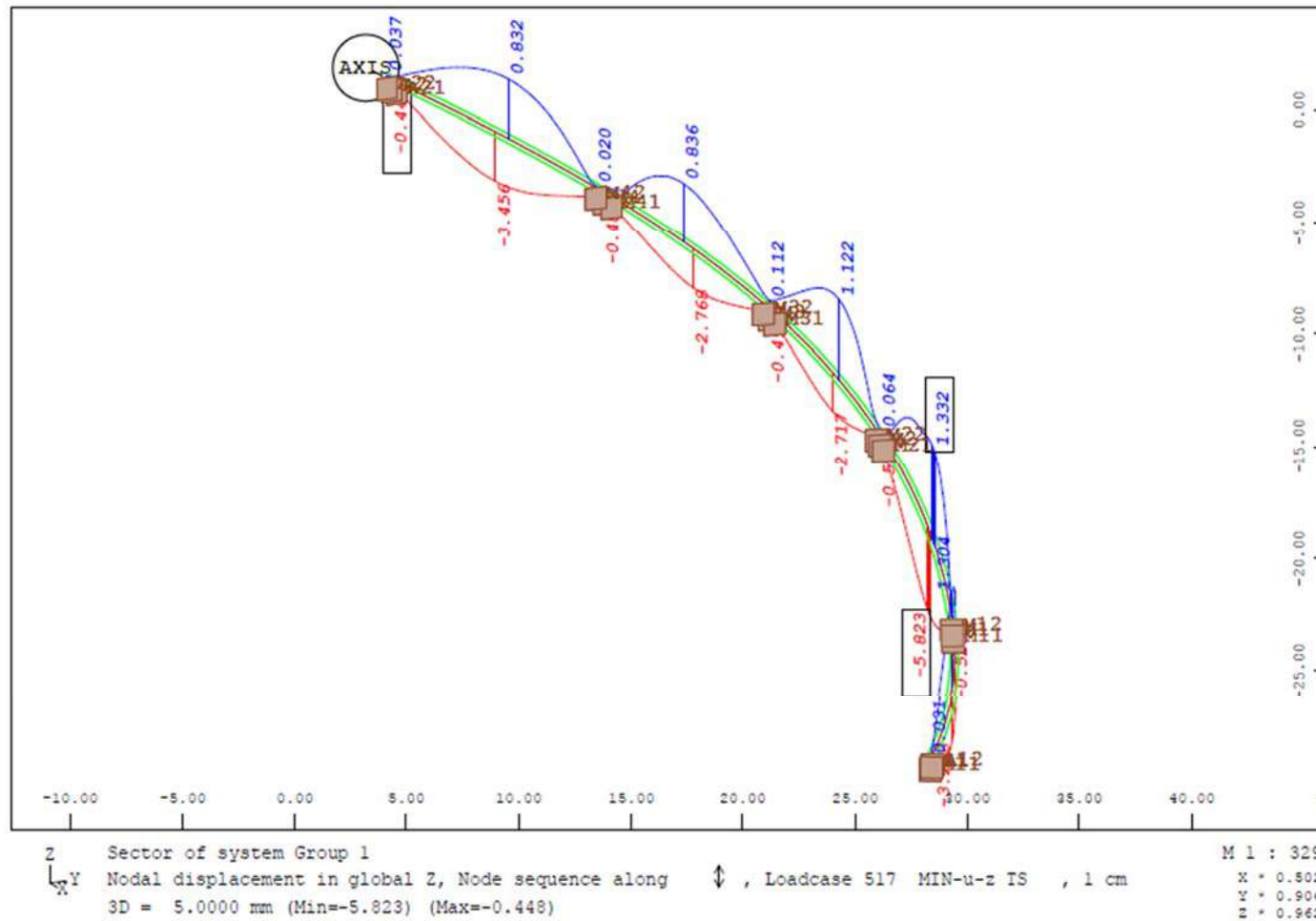
ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΒΕΛΟΣ [mm]



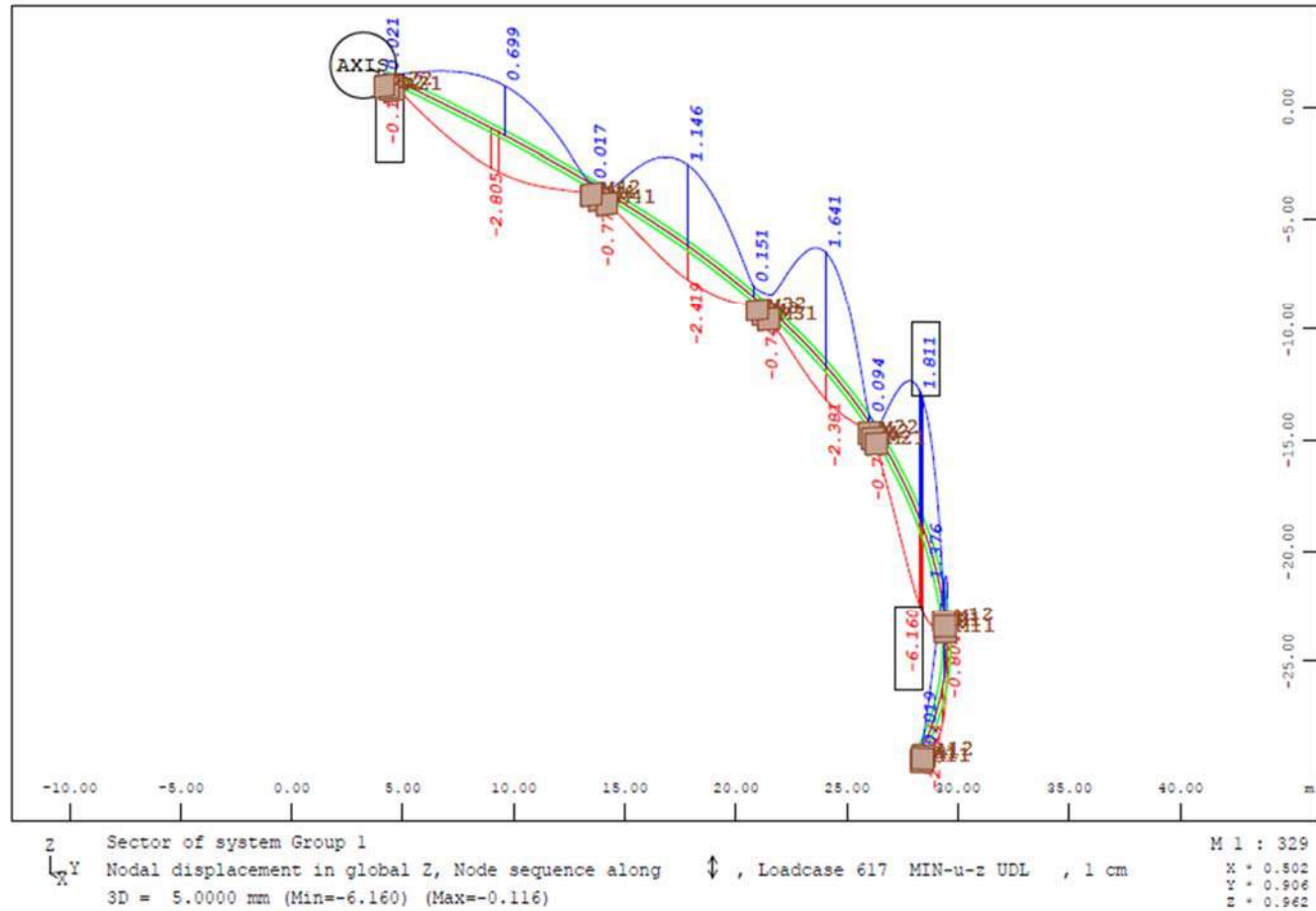
$\begin{matrix} z \\ \downarrow \\ x \end{matrix}$ Sector of system Group 1
 Nodal displacement in global Z, Node sequence along \updownarrow , Loadcase 3 P, 1 cm 3D = 10.000
 mm (Min=-1.048) (Max=14.104)

M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.562
 Z * 0.841

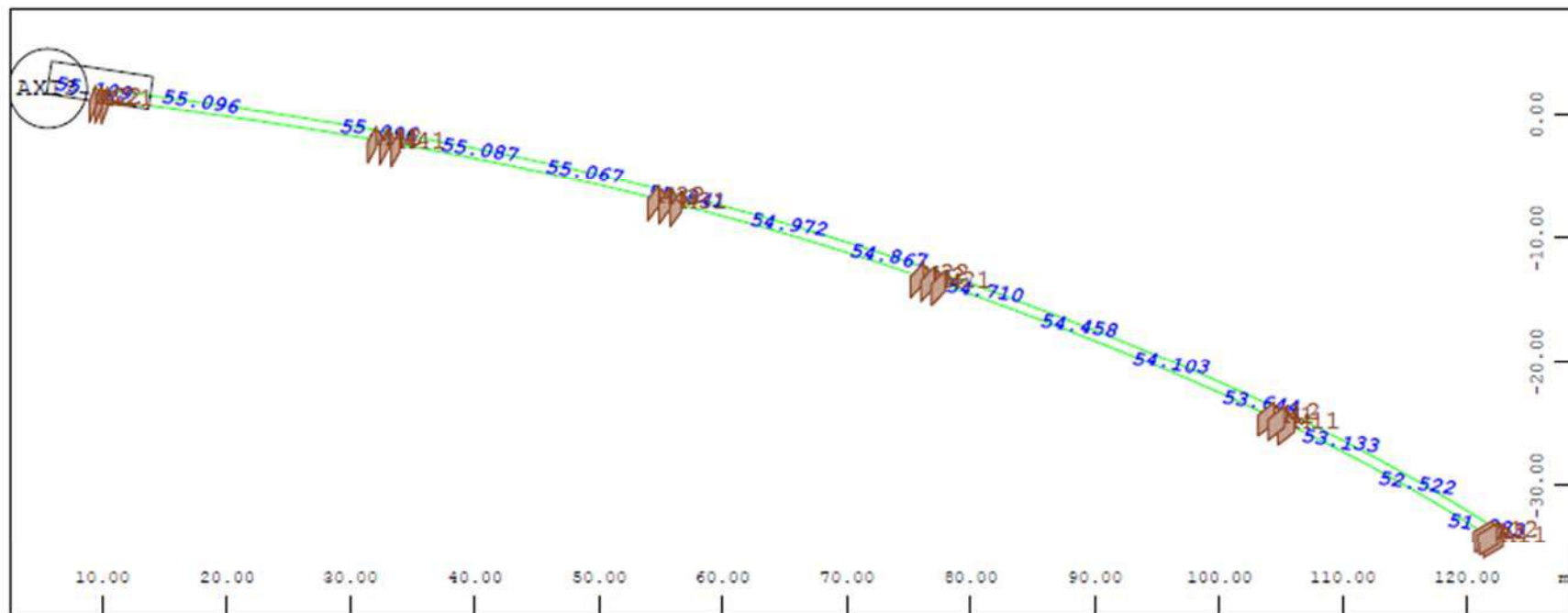
ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΣΑ ΦΟΡΤΙΩΝ TS: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΒΕΛΟΣ [mm]



ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΣΑ ΦΟΡΤΙΩΝ UDL: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΒΕΛΟΣ [mm]

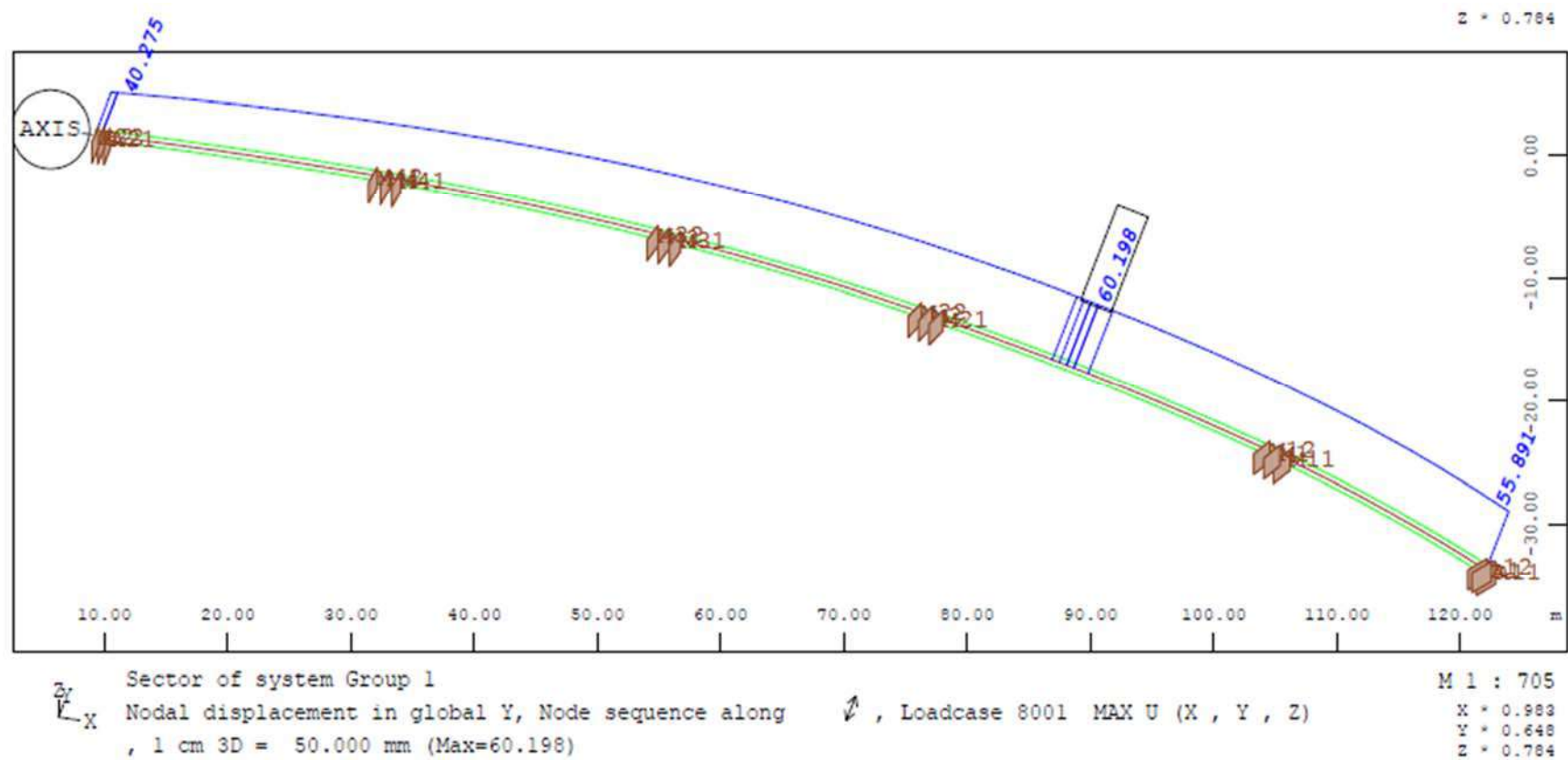


ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ Ex: ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ [mm]

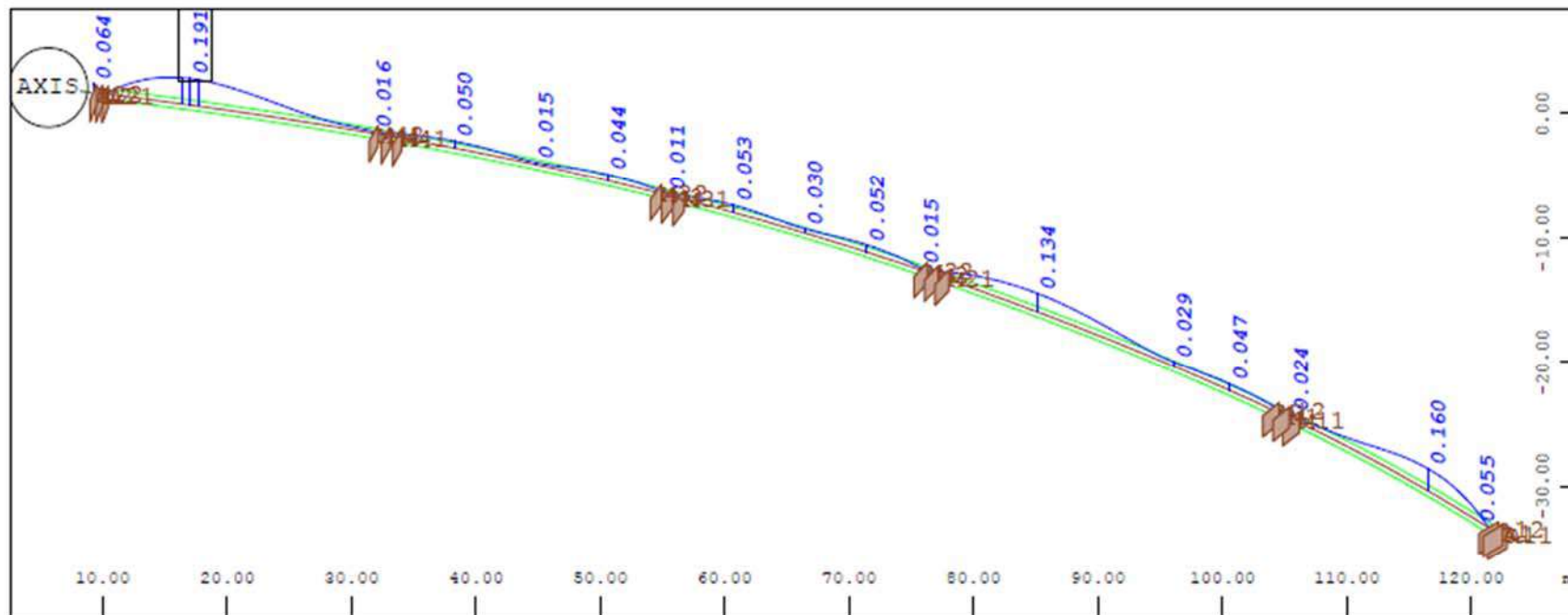


Sector of system Group 1
Nodal displacement in global X in mm, Loadcase 8001 MAX U (X , Y , Z) (Max=55.109)
M 1 : 705
X = 0.983
Y = 0.648
Z = 0.784

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ E_y : ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ [mm]

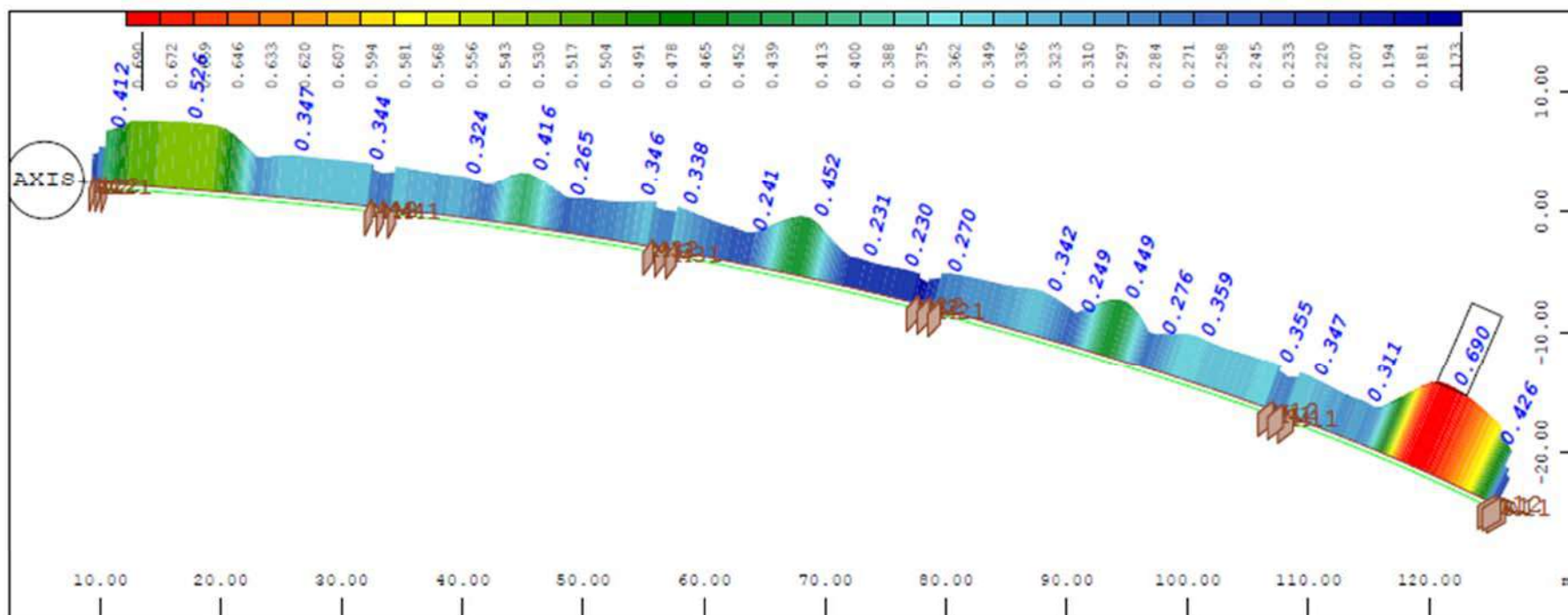


ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ Ez: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ [mm]



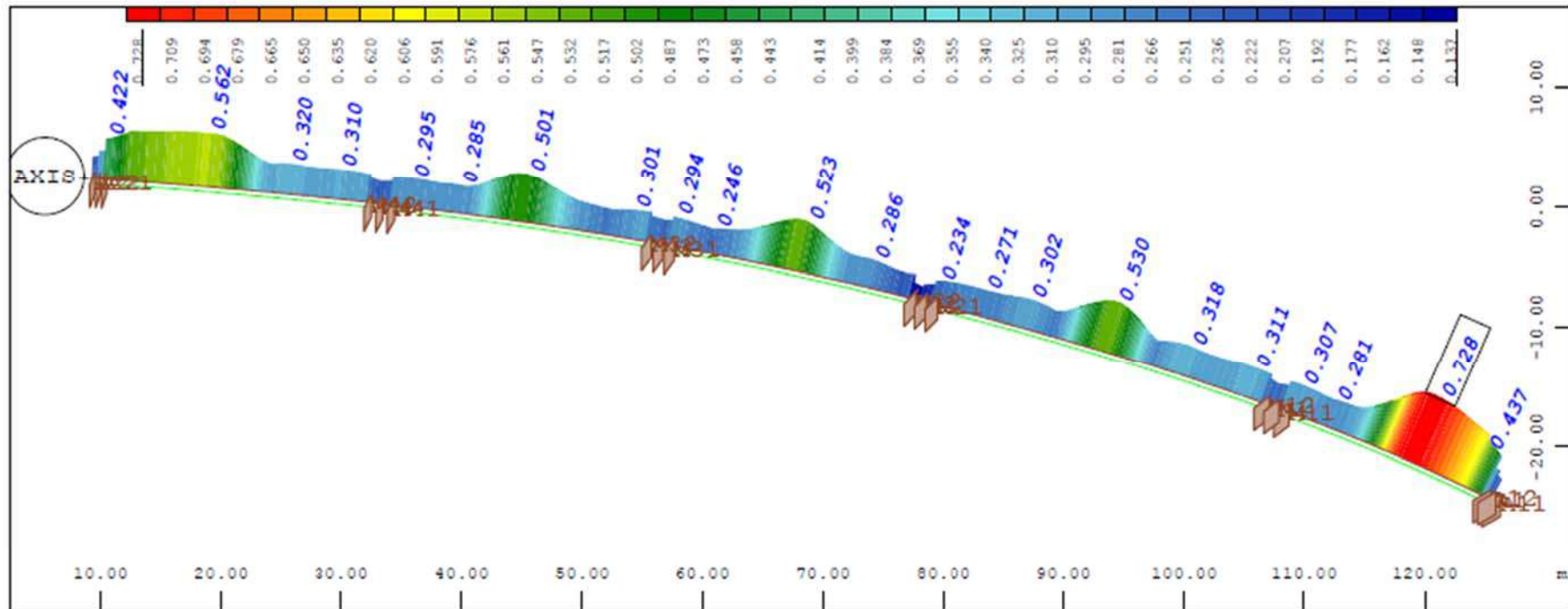
Sector of system Group 1
Nodal displacement in global Z, Node sequence along \updownarrow , Loadcase 8001 MAX U (X, Y, Z)
, 1 cm 3D = 0.50000 mm (Max=0.191)
M 1 : 705
X * 0.983
Y * 0.648
Z * 0.784

ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ [μέγιστες ροπές]



$\begin{matrix} z \\ \downarrow \\ x \end{matrix}$ Sector of system Group 1 M 1 : 726
 Beam Elements , Utilisation level Decisive - Resistance of Cross Section, Design Case 9400 X = 0.988
 St.Time t1 permanent Pk_sup_maxMY , 1 cm 3D = 0.68750 - (Max=0.690) Y = 0.562
z = 0.841

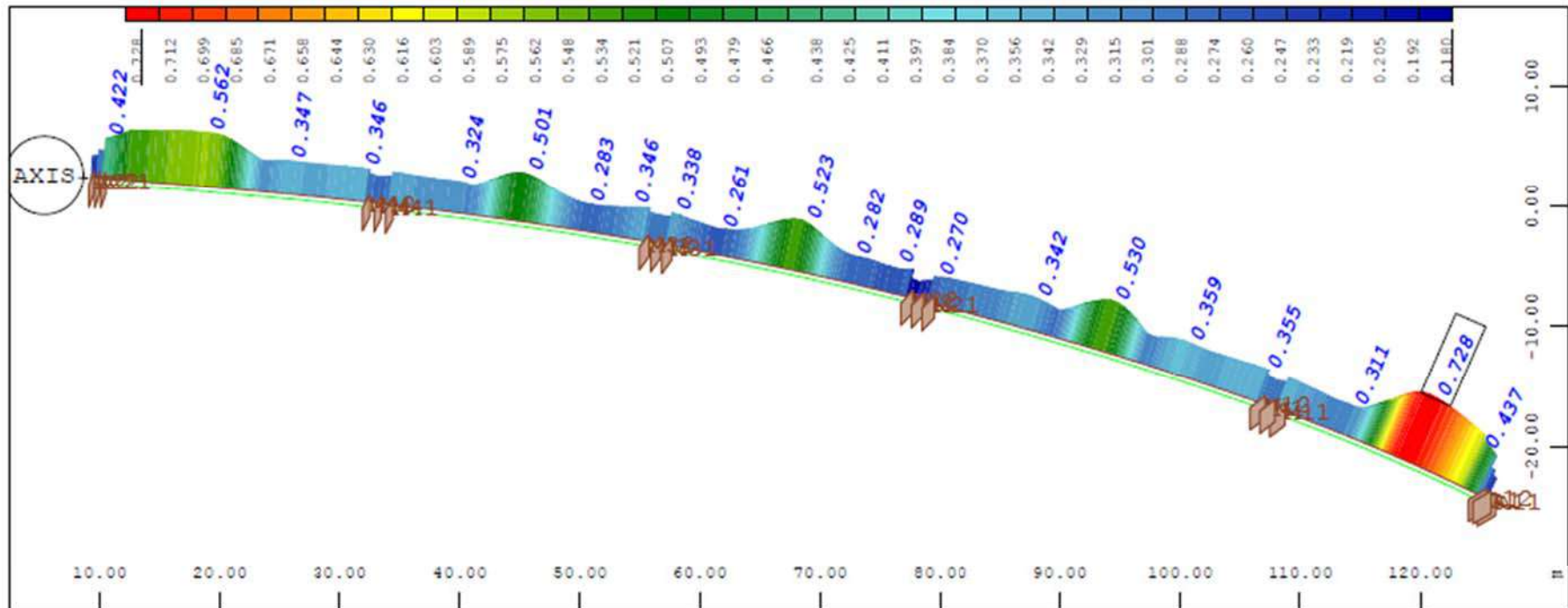
ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ [ελάχιστες ροπές]



Sector of system Group 1
 Beam Elements , Utilisation level Decisive - Resistance of Cross Section, Design Case 9401
 St.Time t1 permanent Pk_sup_minMY , 1 cm 3D = 0.90234 - (Max=0.728)

M 1 : 726
 X * 0.988
 Y * 0.962
 Z * 0.841

ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ [t=∞]

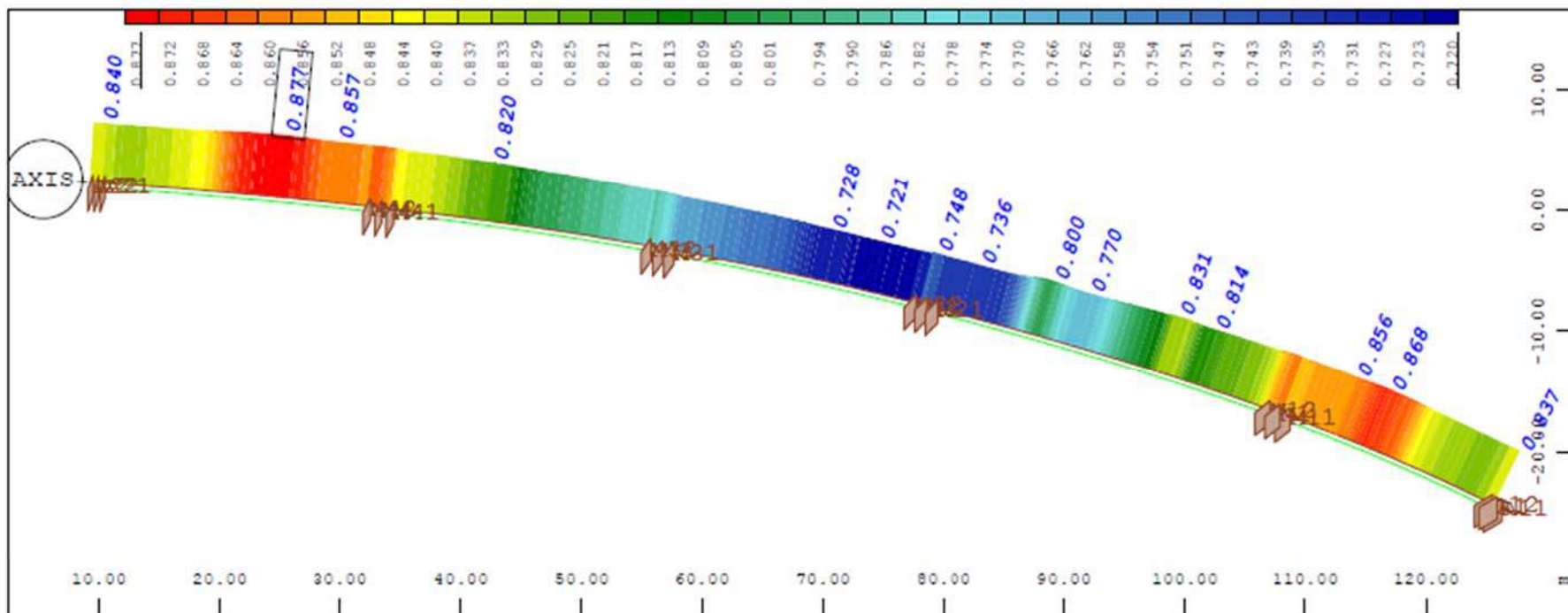


z
K_x

Sector of system Group 1
Beam Elements , Utilisation level Decisive - Resistance of Cross Section, Design Case 9402
Stress check permanent inf-sup_ma , 1 cm 3D = 0.90234 - (Max=0.728)

M 1 : 726
X * 0.988
Y * 0.562
Z * 0.841

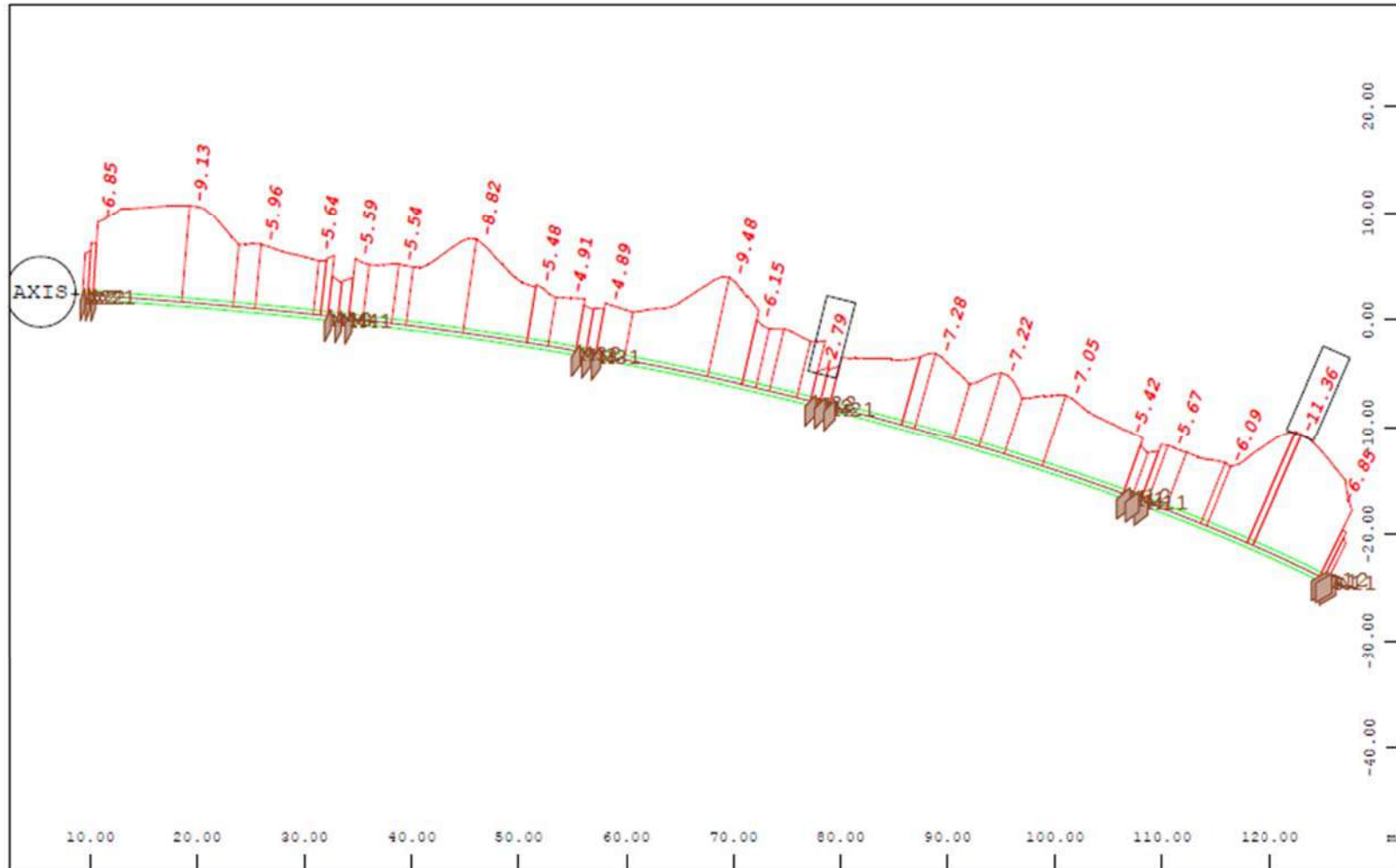
ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ



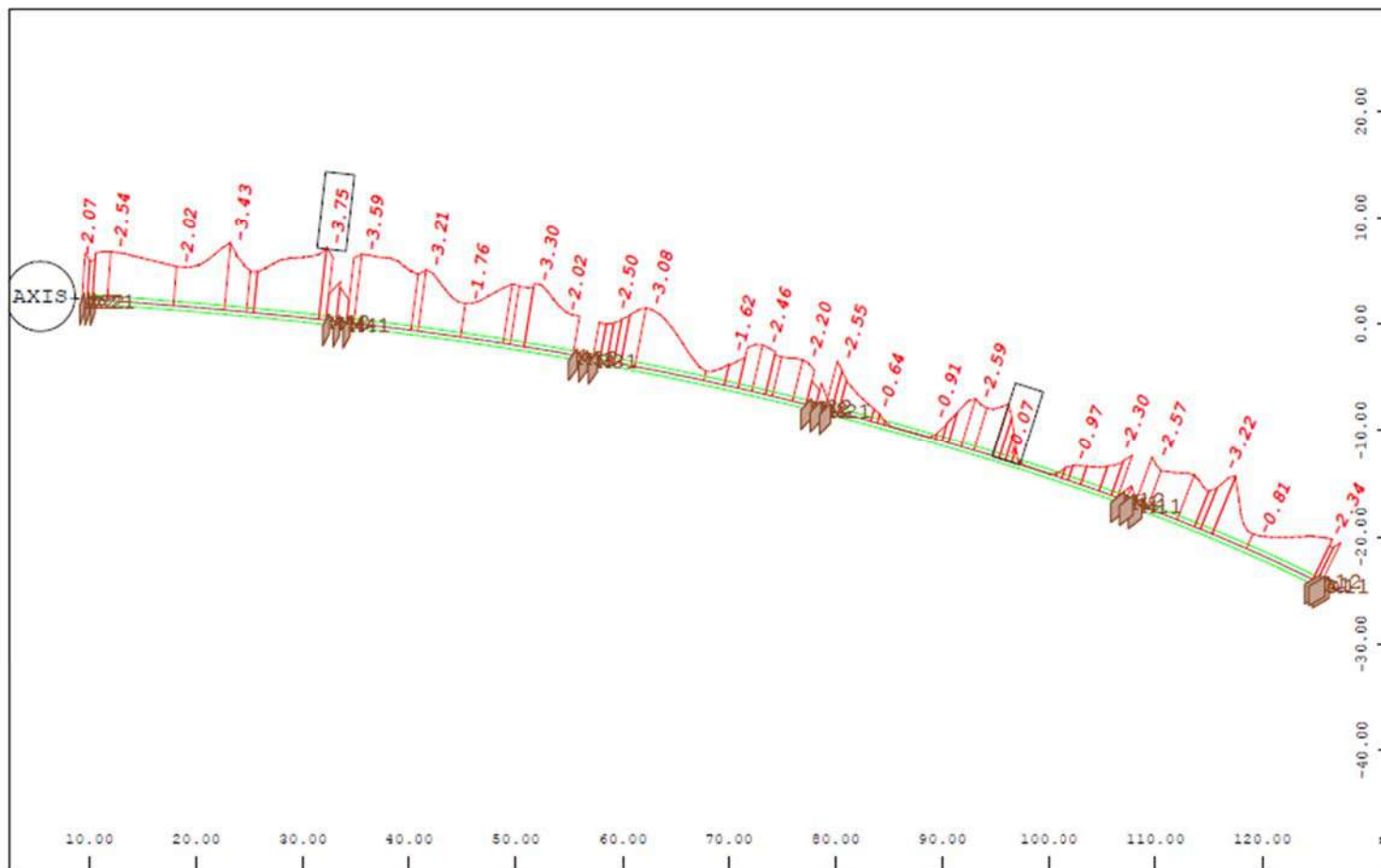
Sector of system Group 1
 Beam Elements , Utilisation level Decisive - Resistance of Cross Section, Design Case 1197
 Tendon stress rare_max , 1 cm 3D = 1.2383 - (Max=0.877)

M 1 : 726
 X = 0.988
 Y = 0.962
 z = 0.841

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ [MPa]



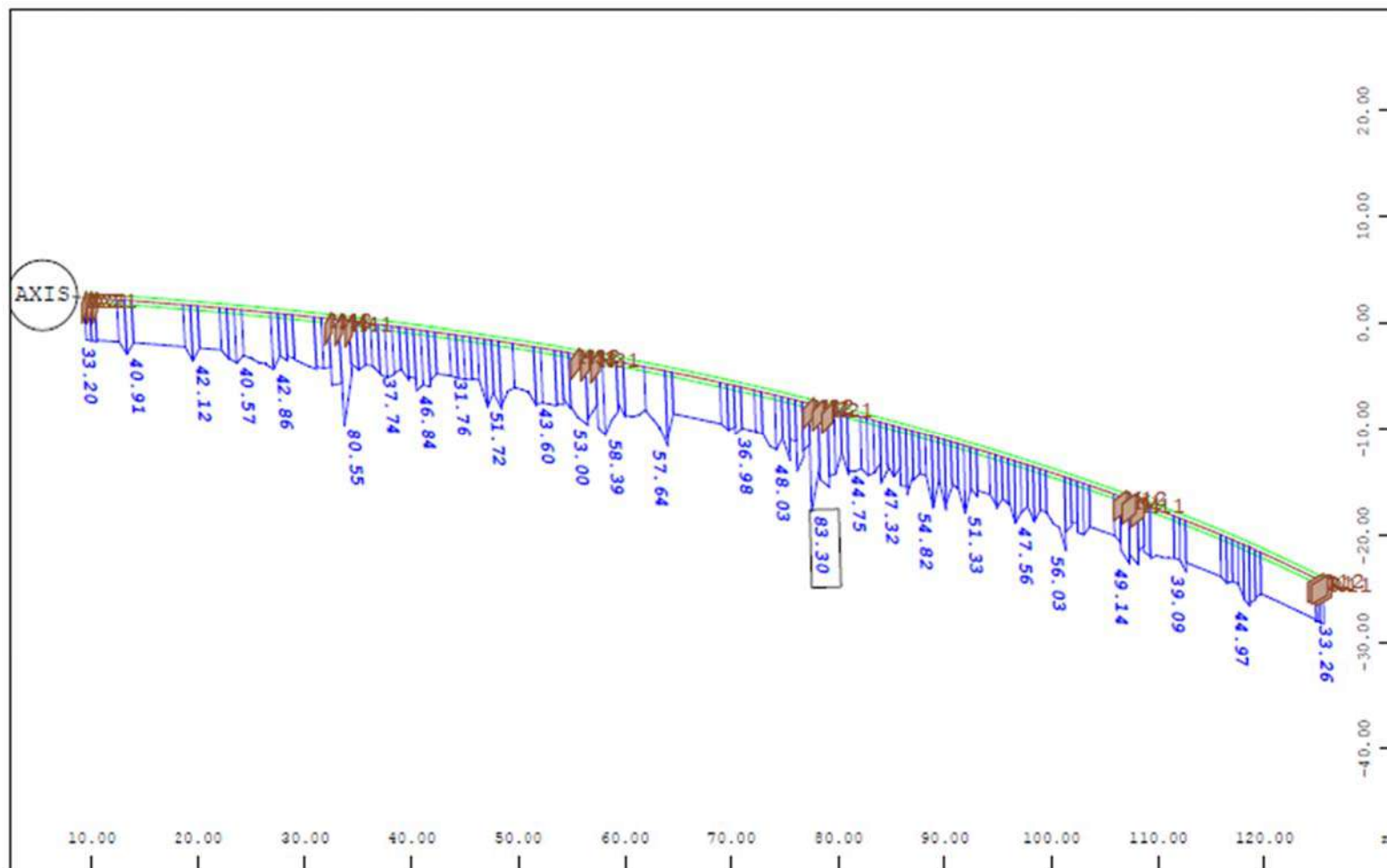
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΕΛΑΧΙΣΤΟΝ ΤΑΣΕΩΝ [MPa]



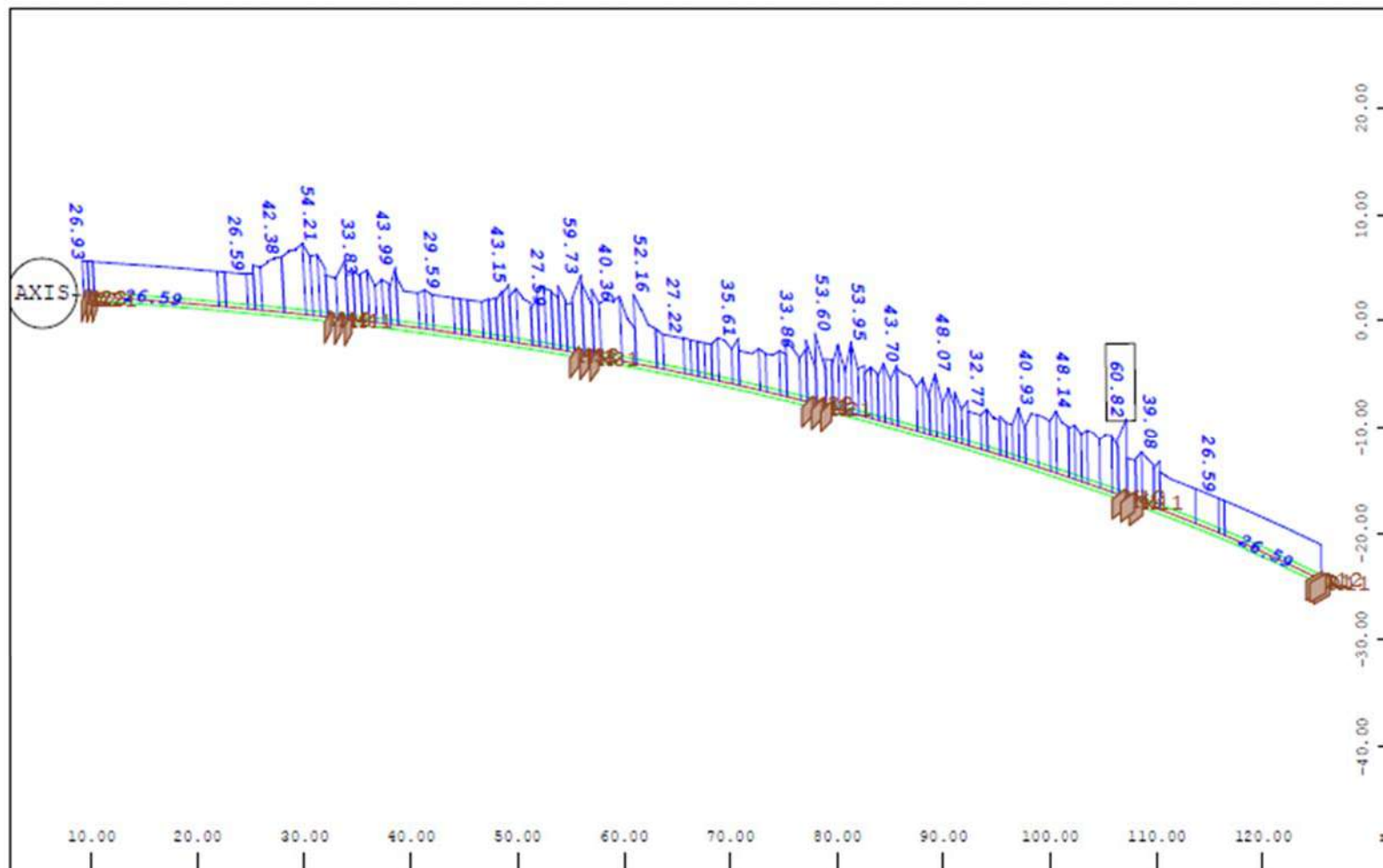
ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΒΑΘΡΩΝ



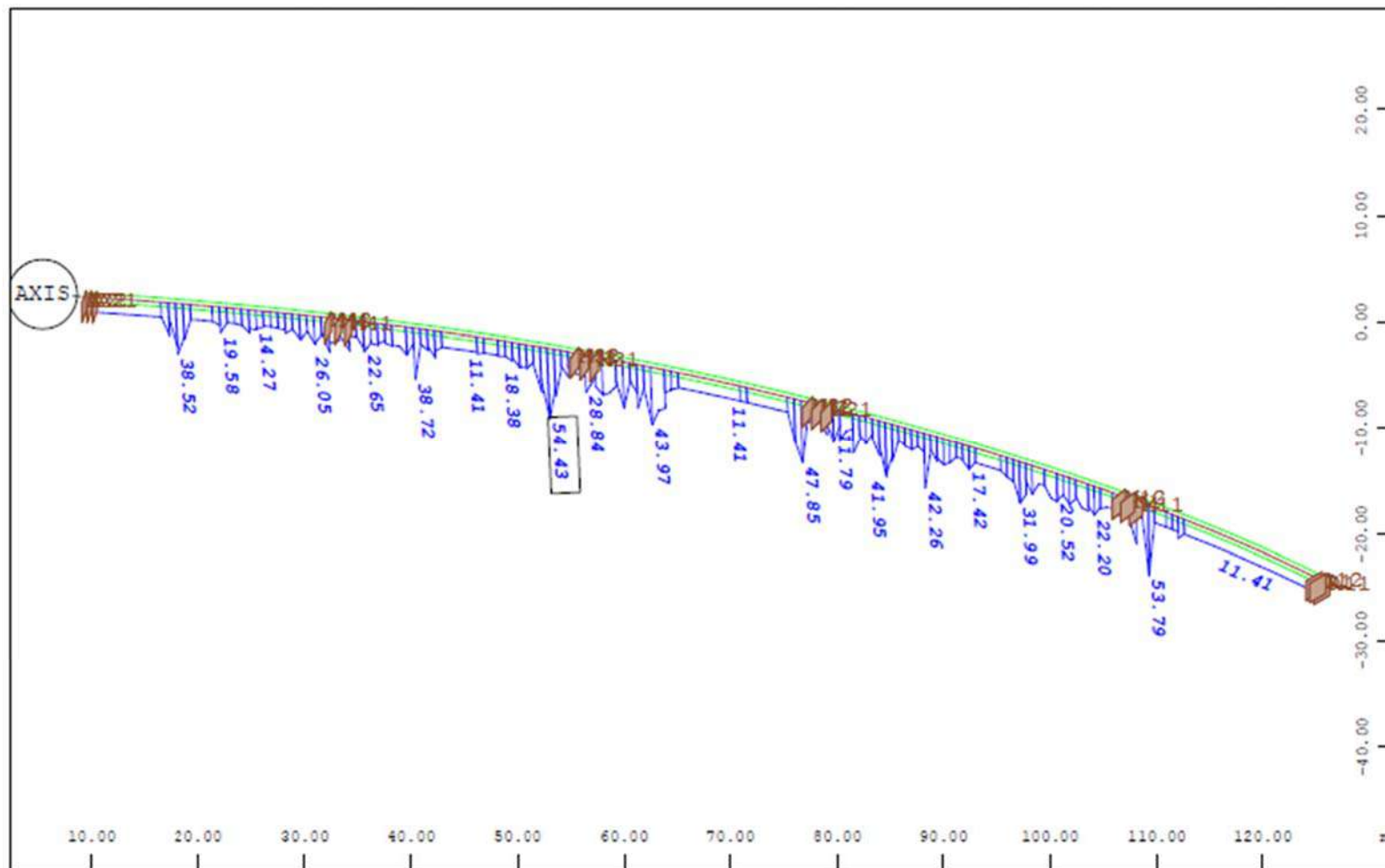
ΚΑΤΩ ΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΚΑΤΩ ΠΕΛΜΑ [cm²]



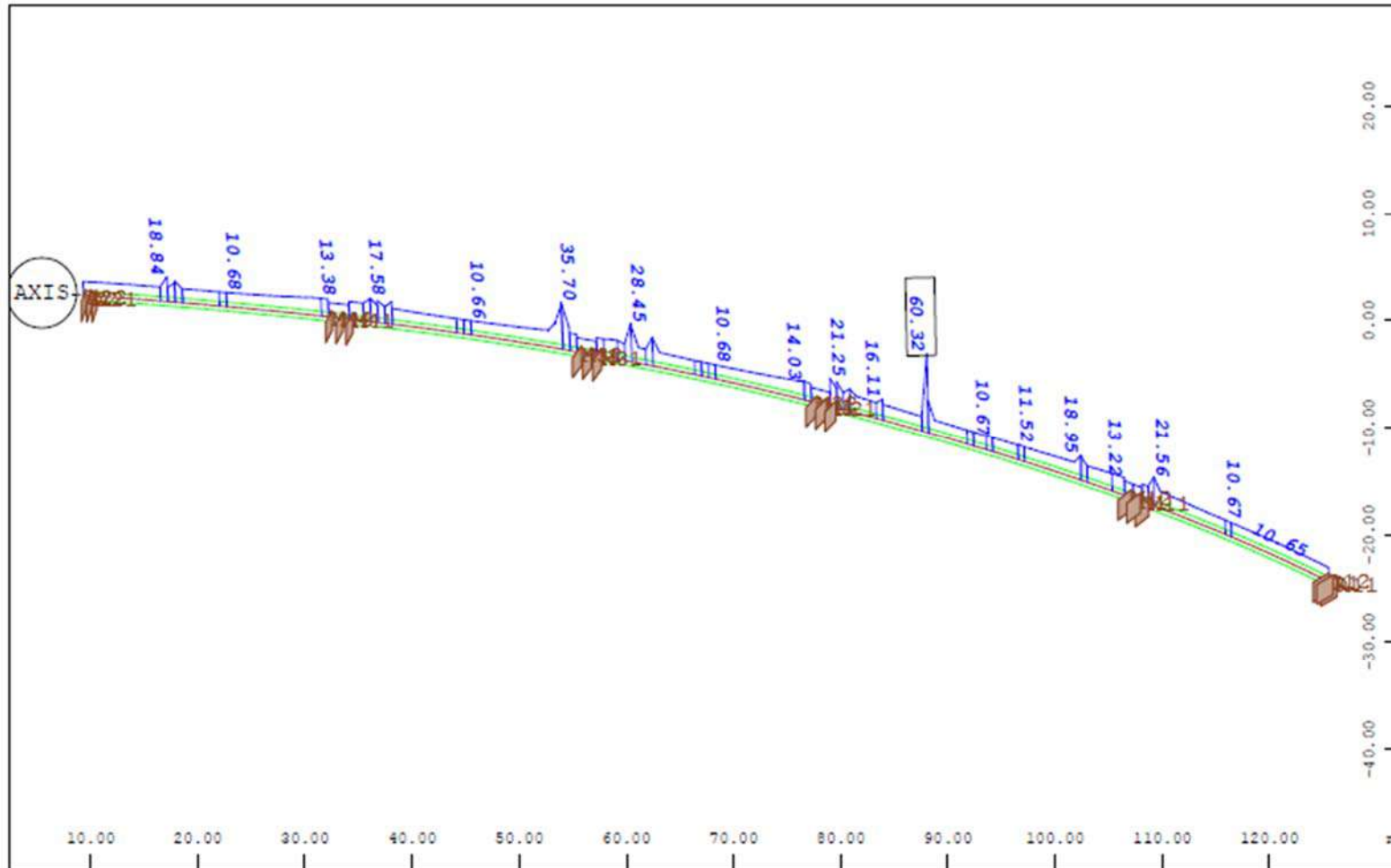
ΑΝΩ ΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΚΑΤΩ ΠΕΛΜΑ [cm²]



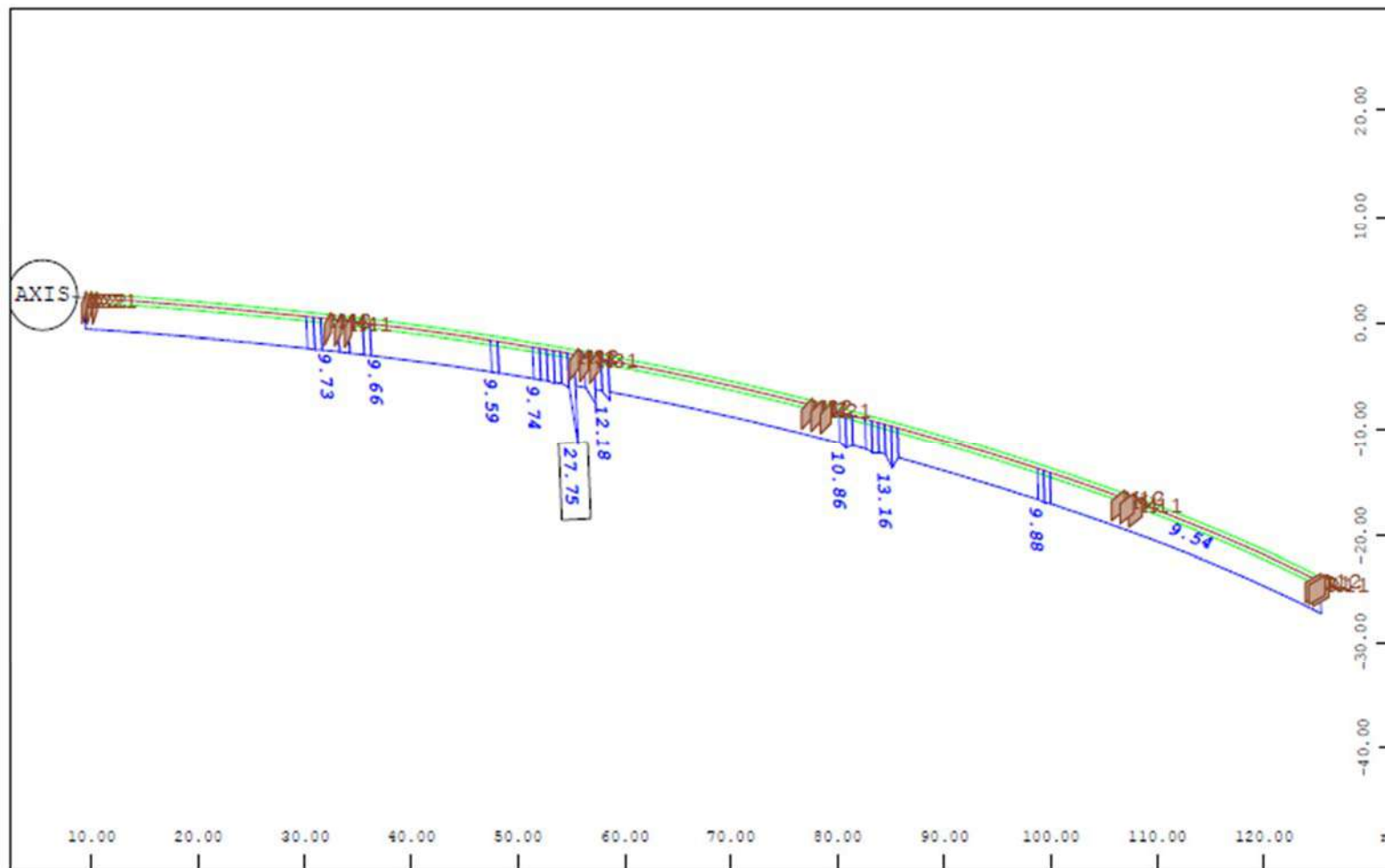
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΟΡΜΟΣ [cm²]



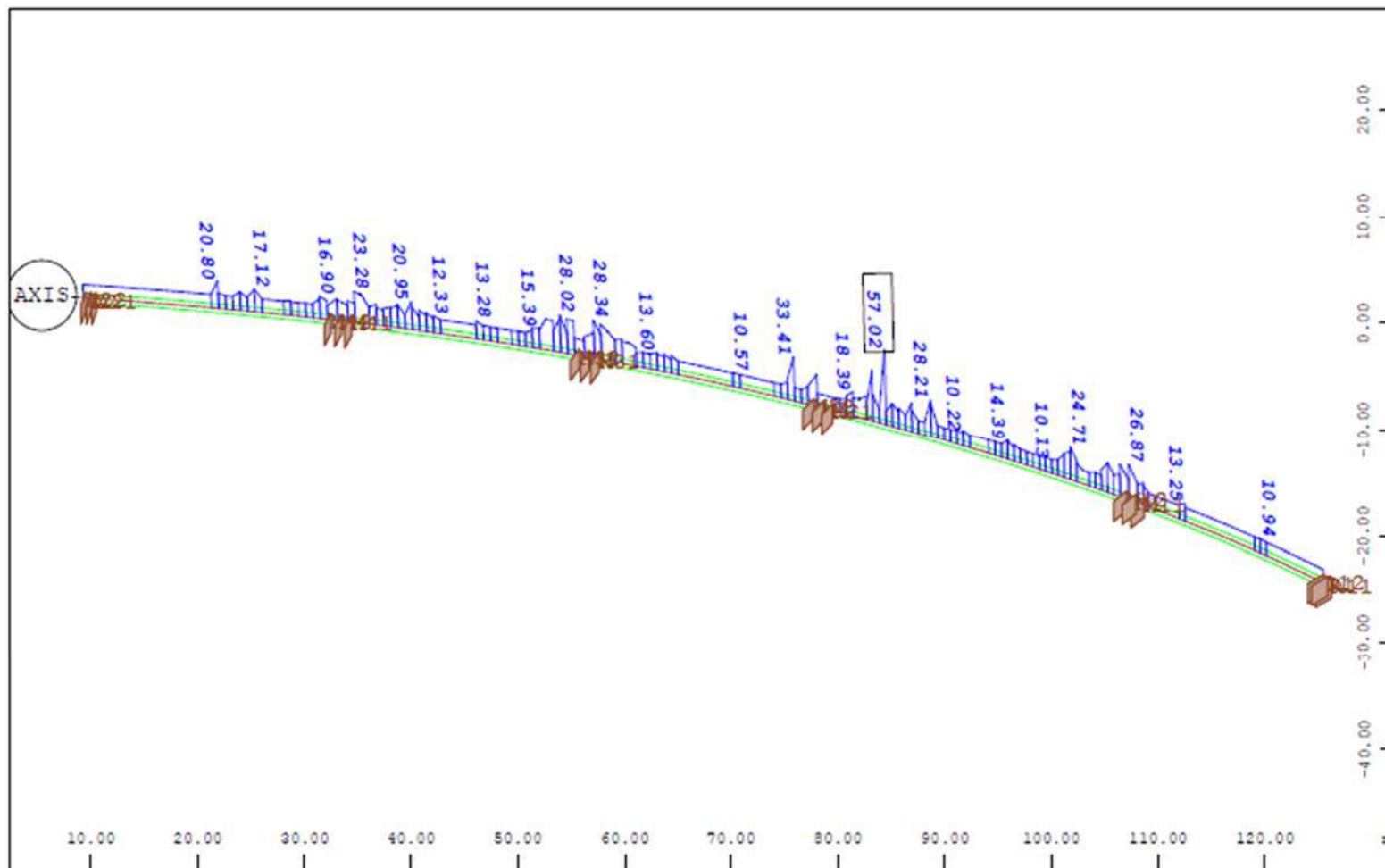
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΟΡΜΟΣ – ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΟΡΜΟΣ [cm²]



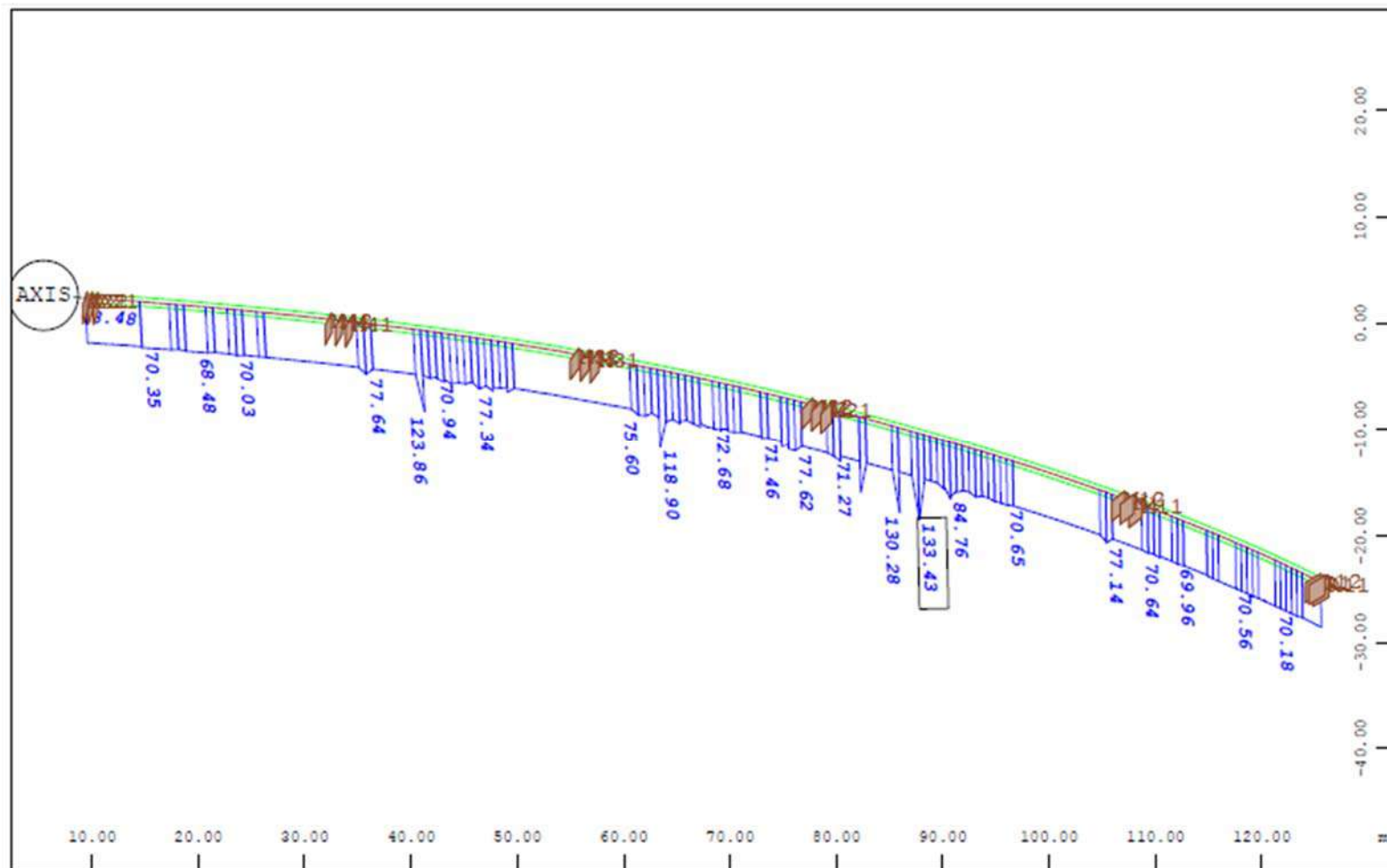
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΟΡΜΟΣ [cm²]



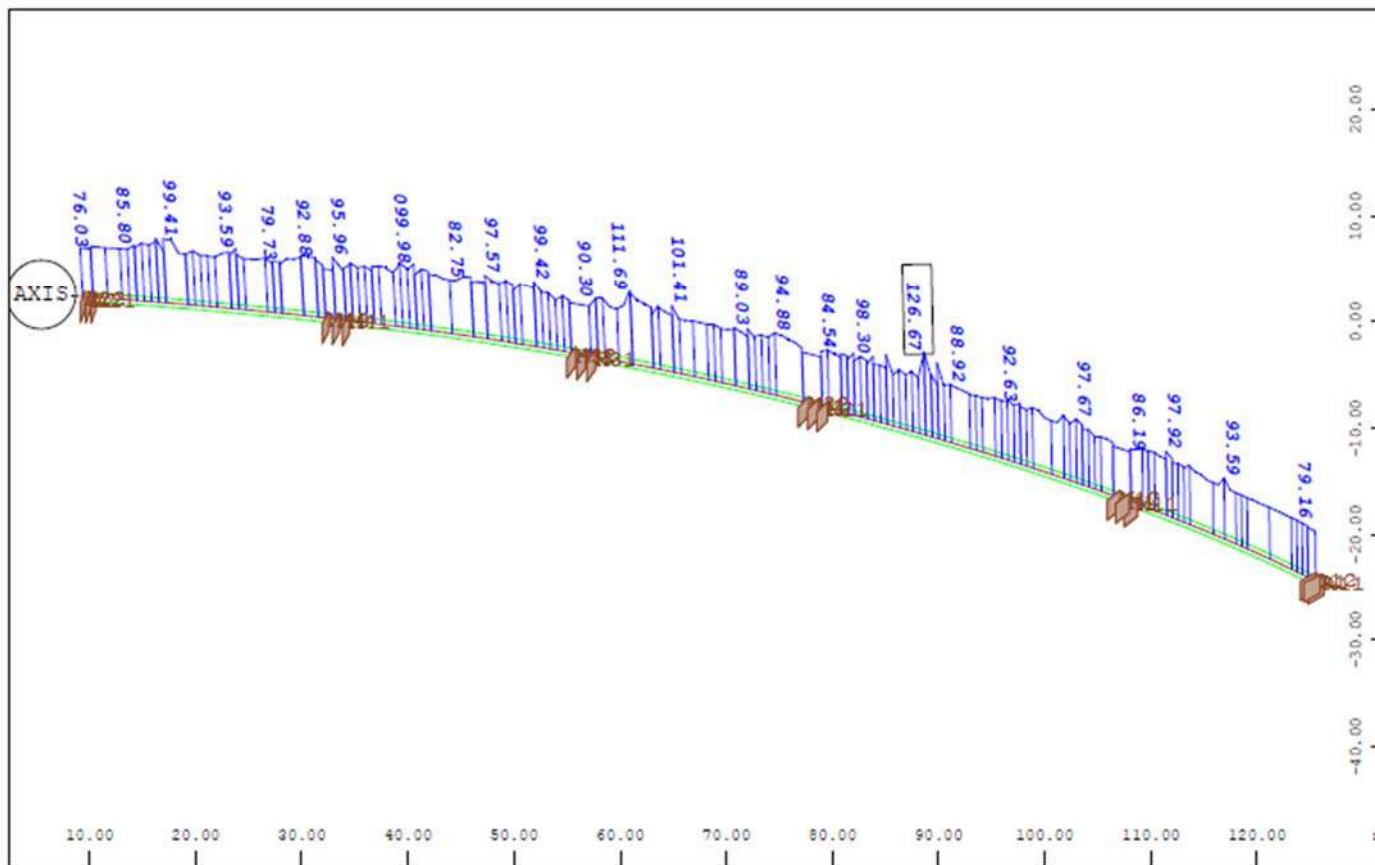
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΟΡΜΟΣ – ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΟΡΜΟΣ [cm²]



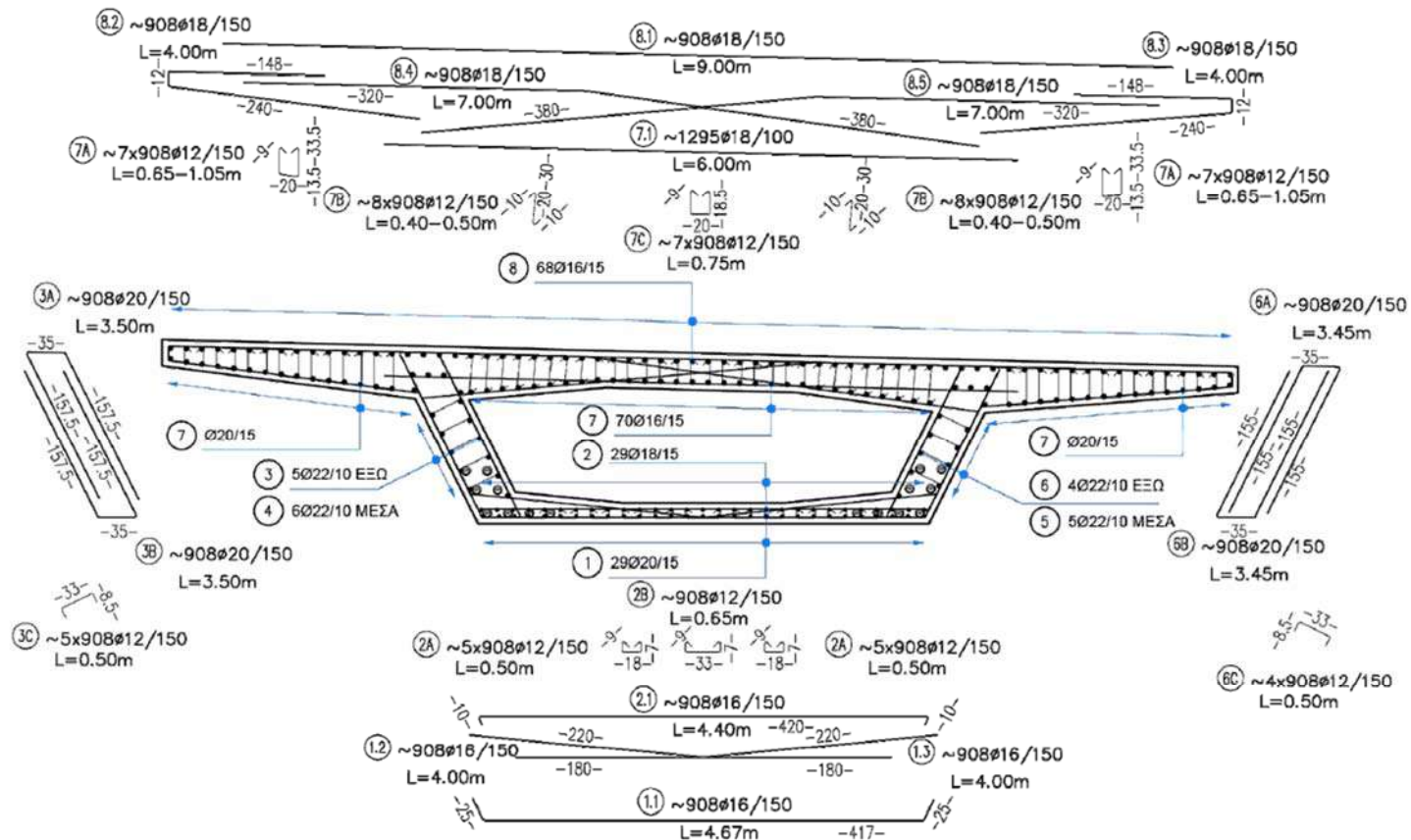
ΚΑΤΩ ΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΑΝΩ ΠΕΛΜΑ [cm²]



ΑΝΩ ΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΑΝΩ ΠΕΛΜΑ [cm²]



ΤΥΠΙΚΗ ΟΠΛΙΣΗ



ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΟΠΛΙΣΗ

ΚΑ 1:50

16. Προμέτρηση & Κοστολόγηση

Το συνολικό κόστος της ανωδομής ανέρχεται στα περίπου στα **1,300,800€**, δηλαδή περίπου $1300800/1330 = 980€/m^2$.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ								
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ								
1. (B-29.5.6) Μικροκατασκευές (ρείθρων σχισμής κλπ) από σκυρόδεμα C30/37								
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)		
	Πεζοδρόμια Αριστερά	1	-	132,50	-	0,50	66,25	m ³
	Πεζοδρόμια Δεξιά	1	-	126,25	-	0,55	69,44	m ³
							135,69	m³
							Ποσό μετά στρογγύλευσης	140,00 m³
2. (B-29.5.16.2) Κιβωτοειδείς φορείς γεφυρών από σκυρόδεμα C40/50, επί ικριωμάτων - Σε ύψος από το έδαφος H < 7,00 m								
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)		
	Διατομή ανοίγματος	1	-	109,45	-	6,45	705,95	m ³
	Διατομή πλησίον στήριξης	1	-	20,00	-	15,15	303,00	m ³
							1008,95	m³
							Ποσό μετά στρογγύλευσης	1050,00 m³

ΟΠΛΙΣΜΟΣ							
3. (B-30.2) Χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος B500C εκτός υπογείων έργων							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ						
	Κατάστρωμα					211300,80	kg
						211300,80	kg
					Ποσό μετά στρογγύλευσης	217640,0	kg
4. Προένταση							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ						
	Κατάστρωμα					158995,20	kg
						158995,20	kg
					Ποσό μετά στρογγύλευσης	163770,0	kg
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ - ΜΟΝΩΣΕΙΣ - ΑΡΜΟΙ							
5. (B-32) Διαμόρφωση επιφανειών σκυροδέματος τύπου Γ							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Πεζοδρόμια Αριστερά	1	-	132,50	2,60	-	344,50 m ²
	Πεζοδρόμια Δεξιά	1	-	126,25	2,70	-	340,88 m ²
	Διατομή ανοίγματος	1	-	109,45	12,15	-	1329,82 m ²
	Διατομή πλησίον στήριξης	1	-	20,00	12,80	-	256,00 m ²
							2271,19 m²
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		2385,00 m²

6. (B-35) Αντιγραφιστική επάλειψη								
ΤΜΗΜΑ Ή Χ.Θ.	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m²)		
	Πεζοδρόμια Αριστερά	1	-	132,50	2,60	-	344,50	m ²
	Πεζοδρόμια Δεξιά	1	-	126,25	2,70	-	340,88	m ²
	Διατομή ανοίγματος	1	-	109,45	12,15	-	1329,82	m ²
	Διατομή πλησίον στήριξης	1	-	20,00	12,80	-	256,00	m ²
							2271,19	m²
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		2385,00	m²
7. (B-38) Στεγάνωση καταστρώματος γεφυρών με ειδικές μεμβράνες								
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m²)		
	Κατάστρωμα	1	-	129,45	7,50	-	970,88	m ²
							970,88	m²
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		981,00	m²

ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ - ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ							
8 . (B-59) Σιδηροσωλήνες γαλβανισμένοι διέλευσης καλωδίων DN 100							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Πεζοδρόμια Αριστερά	3	-	132,50	-	-	397,50 m
	Πεζοδρόμια Δεξιά	3	-	126,25	-	-	378,75 m
							776,25 m
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		792,00 m
ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ							
9 . (Δ-8.2) Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας συμπυκνωμένου πάχους 0,05 m με χρήση τροποποιημένης ασφάλτου							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Κατάστρωμα	1	-	129,45	7,50	-	970,88 m ²
							970,88 m²
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		985,00 m²
10 . (Δ-9.2) Αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση συμπυκνωμένου πάχους 0,04 m με χρήση τροποποιημένης ασφάλτου							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Κατάστρωμα	1	-	129,45	7,50	-	970,88 m ²
							970,88 m²
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		985,00 m²

ΣΤΗΘΑΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ - ΚΙΓΚΛΙΔΩΜΑΤΑ							
11 . (E-1.3.4) Στηθαίο ασφαλείας ικανότητας συγκράτησης H2, λειτουργικού πλάτους W4, κατηγορίας σφοδρότητας πρόσκρουσης							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Πεζοδρόμια Αριστερά	1	-	132,50	-	-	132,50 m
	Πεζοδρόμια Δεξιά	1	-	126,25	-	-	126,25 m
							258,75 m
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		267,00 m
12 . (E-4.1) Σιδηροσωλήνες κιγκλιδωμάτων							
ΤΜΗΜΑ Ή Χ.Θ.	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Πεζοδρόμια Αριστερά	3	-	132,50	-	-	397,50 m
	Πεζοδρόμια Δεξιά	3	-	126,25	-	-	378,75 m
							776,25 m
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		785,00 m
13 . (E-4.2) Σιδηρά κιγκλιδώματα							
ΤΜΗΜΑ Ή Χ.Θ.	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ			ΒΑΡΟΣ (kg)/τεμ.		
	Πεζοδρόμια Αριστερά	67			13,00	871,00	Kg
	Πεζοδρόμια Δεξιά	64			13,00	832,00	m
						1703,00	Kg
					Ποσό μετά στρογγύλευσης	1717,00	Kg

ΑΡΜΟΙ - ΕΦΕΔΡΑΝΑ							
14 . (N/B-45) Αρμόι συστολο-διαστολής γεφυρών ολικού εύρους μετακίνησης 200 mm							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Ακρόβαθρα A1 & A2	2	-	10,50	-	-	21,00 m
							21,00 m
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		21,00 m
15 . (ΝΕΑ ΤΙΜΗ) Εφέδρανα σεισμικής μόνωσης							
	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ Ή ΥΨΟΣ (m)	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	
	Ακρόβαθρα & Μεσόβαθρα	4	-	-	-	-	4 τμχ
	Μεσόβαθρα M1 - M4	8	-	-	-	-	8 τμχ
							12 τμχ
					Ποσό μετά στρογγύλευσης		12 τμχ

ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σύμφωνα με τα ειναια τιμολόγια Έργων Οδοποιίας > 10.000.000€

α/α Τιμολογ.	Είδος εργασίας	Άρθρο αναθ/σης	Μονάδα	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας	Δαπάνη	
						Μερική	Ολική
ΟΜΑΔΑ Β: ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ							
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ							
B-29	Κατασκευές από σκυρόδεμα						
B-29.5	Κατασκευές από σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 & C40/50	ΟΔΟ-2551	m ³				
B-29.5.6	Μικροκατασκευές (ρείθρων σχισμής κλπ.) από σκυρόδεμα C30/37	ΟΔΟ-2551	m ³	140,00	128,00	17920,00	
B-29.5.16	Γηροεντεταμενοι κηρωσισεις φορεις γεφυρων απο σκυροσερα C40/50 επι κρηματων						
B-29.5.16.2	Σε ύψος από το έδαφος 7,00< H ≤15,00 m	ΟΔΟ-2566	m ³	1050,00	200,00	210000,00	
ΟΠΛΙΣΜΟΙ							
B-30	Χαλύβδινος οπλισμός σκυροδεμάτων						
B-30.2	Χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος B500C εκτός υπογείων έργων	ΟΔΟ-2612	kg	217640,0	0,95	217640,00	
	Χάλυβας προέντασης		kg	163770,0	3,80	622326,00	
ΕΠΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΜΟΝΩΣΕΙΣ -							
B-32	Διαμόρφωση επιφανειών σκυροδέματος τύπου Γ	ΥΔΡ-6403	m ²	2385,00	5,30	12640,50	
B-35	Αντιγραφιστική επάλειψη	ΟΙΚ-7902	m ²	2385,00	4,80	11448,00	
B-38	Στεγάνωση καταστρώματος γεφυρών με ειδικές μεμβράνες	ΟΔΟ-2412	m ²	981,00	11,40	11183,40	
B-43	Σφράγιση αρμών						
N/B-45	Αρμοί συστολο-διαστολής γεφυρών ολκού εύρους μετακίνησης 200	ΟΔΟ-2651	m	21,00	1.426,50	29956,50	
ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΓΕΦΥΡΩΝ							
ΝΕΑ ΤΙΜΗ	Εφέδρανα σεισμικής μόνωσης	ΟΔΟ-2912	τμχ	12,00	7.000,00	84000,00	
ΕΝΣΩΜΑΤΟΥΜΕΝΟΙ ΣΙΔΗΡΟΣΩΛΗΝΕΣ							
B-59	Σιδηροσωλήνας γαλβανισμένος διέλευσης καλωδίων DN100 *** (1)	H/M-5	m	792,00	22,60	17899,20	1235013,60
ΟΜΑΔΑ Δ: ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ (με την αξία της ασφάλτου)							
Δ-8	Ασφαλτικές στρώσεις κυκλοφορίας						
Δ-8.2	Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας συμπτυκνωμένου πάχους 0,05 m με χρήση τροποποιημένης ασφάλτου	ΟΔΟ-4521B	m ²	985,00	8,10*	9850,00	
Δ-9	Αντιολισθηρές ασφαλτικές στρώσεις κυκλοφορίας						
Δ-9.2	Αντιολισθηρή ασφαλτική στρώση συμπτυκνωμένου πάχους 0,04 m με χρήση τροποποιημένης ασφάλτου	ΟΔΟ-4521B	m ²	985,00	9,00*	10736,50	
							20586,50
ΟΜΑΔΑ Ε: ΣΗΜΑΝΣΗ - ΑΣΦΑΛΕΙΑ							
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΣΑΟ)							
E-1.3	Μονόπλευρα χαλύβδινα στηθαία ασφαλείας, τεχνικών έργων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1317-2						
E-1.3.4	Στηθαίο ασφαλείας ικανότητας συγκράτησης H2, λειτουργικού πλάτους W4, κατηγορίας σφοδρότητας πρόσκρουσης A *** (2)	ΟΔΟ-2653	m	267,00	125,00	33375,00	
ΚΙΓΚΛΙΔΩΜΑΤΑ - ΠΕΡΙΦΡΑΞΕΙΣ - ΟΡΙΟΔΕΙΚΤΕΣ							
E-4	Κιγκλιδώματα						
E-4.1	Σιδηροσωλήνες κιγκλιδωμάτων	ΟΔΟ-2653	m	785,00	9,95	7810,75	
E-4.2	Σιδηρά κιγκλιδώματα	ΟΔΟ-2652	kg	1717,00	2,30	3949,10	
							45134,85
Συνολικός προϋπολογισμός:						1.300.734,95 €	

17. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Όσο αναφορά τα αίτια που οδήγησαν τον υφιστάμενο φορέα στην σημερινή κατάσταση, αυτά οφείλονται κυρίως στην αύξηση των φορτίων κυκλοφορίας, καθώς η περιοχή του Σκαραμαγκά επιβάλλει αυξημένο κυκλοφοριακό φόρτο. Το ίδιο ισχύει και τον αντισεισμικό σχεδιασμό της γέφυρας, με σχέση τον EN1998 και την εγκύκλιο E39/99 (Οδηγίες Αντισεισμικής Μελέτης Γεφυρών), όπου αρχικά μελετήθηκε η υφιστάμενη γέφυρα.

Οι εγκάρσιες ρωγμές στο κάτω πέλμα, όπως και οι διαμήκεις, επιβεβαιώνουν τον άνω ισχυρισμό, καθώς προσθέτουν και την μη επαρκή αντοχή του φορέα σε εγκάρσια κάμψη, κάτι που του επιβάλλει η γεωμετρία του (λόγω καμπύλης). Ρωγμές στις περιοχές των πεζοδρομίων, πιθανότατα οφείλονται στην συστολή ξήρανσης, καθόσον δεν φαίνεται η γεωμετρία του πεζοδρομίου να επιτρέπει τον συνωπισμό πεζών. Τέλος είναι βέβαιο πως ο φορέας υποφέρει από διάβρωση, και αυτό εντοπίζεται άμεσα από της εκτινάξεις της επικάλυψης, όπου οφείλεται από την διάβρωση του σιδηρού οπλισμού.

Σημαντικό είναι δε, αν προκύψει νέα γεωμετρία ή ενίσχυση των υφιστάμενων υποστρωμάτων, αυτή να γίνει έτσι ώστε η δυσκαμψία των μεσοβάθρων, να είναι ίση. Λόγω του διαφορετικού ύψους των βάθρων, αυτό μπορεί να επιτευχθεί, μέσω του τύπου $K = 3EI/L^3$ (ή $12EI/L^3$, εφόσον κατασκευαστή η κεφαλοδοκός), όπου ανάλογα με την ενίσχυση, θα ορίζεται η κατάλληλη τιμή του EI.

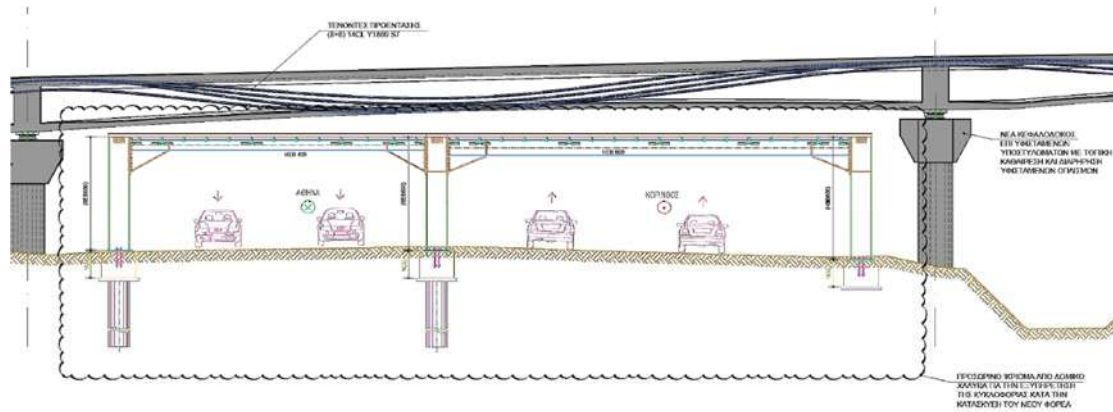
Επίσης, στο ενδεχόμενο καθαίρεσης, προτείνεται η ανακύκλωση του υλικού, όπου θα χρησιμοποιηθεί στο νέο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, η μέση εκπομπή CO₂ για κάθε κυβικό σκυροδέματος είναι περίπου 0.6tn, ενώ για το σκυρόδεμα με ανακυκλώσιμα αδρανή αναλογεί σε περίπου 0.5tn CO₂/m³. Για τον δεδομένο φορέα (συνολικά), οι εκπομπές CO₂ που δεν θα παραχθούν εάν αυτός παραχθεί από ανακυκλώσιμα αδρανή, θα ήταν ίση με $\sim 965\text{m}^3 \times (0.6-0.5)\text{tn}/\text{m}^3(\text{CO}_2) \rightarrow 96.5\text{tn CO}_2$.

Material	Embodied Carbon Factor - kg CO2e / kg	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
		REF-0.50	FA20	FA10	GS20	GS10
Cement	0.91	319.2	255.4	287.3	255.4	287.3
GGBS	0.04	-	-	-	2.9	1.5
Fly ash	0.00	-	0.3	0.1	-	-
Limestone fines	0.02	-	-	-	-	-
Water	0.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Admixture	1.88 (SP)	2.0	2.6	3.1	5.7	3.1
Aggregates	0.007	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
Transport of constituents	0.004991322	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65
Concrete batching plant operations	0.00072	-	-	-	-	-
With mixing waste	1.0%	3.46	2.83	3.16	2.89	3.17
Precasting	0.0142	33.12	33.12	33.13	33.15	33.13
Steel reinforcement	1.55	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00
Transport to site	0.1033	21.19	21.19	21.119	21.21	21.19
RESULTS - kg CO2e / m ³ concrete		559	495	528	501	530

RESULTS - kg CO2e / kg concrete	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
	0.240	0.212	0.226	0.2151	0.227

Εικόνα 248. Τιμές εκπομπών CO₂, για διάφορα μείγματα σκυροδέματος.

Στην περίπτωση μη καθαίρεσης των υφιστάμενων βάθρων, επίσης προτείνεται η σκυροδέτηση να γίνει επί ικριωμάτων, καθώς επιτρέπεται από την συγκεκριμένη υψομετρία. Η παραπάνω μέθοδος κατασκευής μπορεί να εφαρμοστεί στην περιοχή του οδοστρώματος μέσω προσωρινού μεταλλικού πλαισίου, ώστε να εξυπηρετείται η κυκλοφορία, και από τα δύο ρεύματα. Σημαντικό είναι σε αυτήν την περίπτωση, να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας, για την ασφαλή διέλευση πεζών και οχημάτων κάτω από τη γέφυρα. Σημειώνεται πως η ανάλυση έχει πραγματοποιηθεί σύμφωνα με την παραπάνω παραδοχή κατασκευής.



Εικόνα 249. Προσωρινό μεταλλικό πλαίσιο για τη διέλευση των οχημάτων κατά την φάση κατασκευής.

18. Λίστα σχεδίων

A/A	ΤΙΤΛΟΣ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ
1	ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	DT-REMER-NTUA-DWG-TO-01
2	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ	DT-REMER-NTUA-DWG-YF-01
3	ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	DT-REMER-NTUA-DWG-YF-02
4	ΟΨΕΙΣ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	DT-REMER-NTUA-DWG-YF-03
5	ΟΨΕΙΣ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	DT-REMER-NTUA-DWG-YF-04
6	ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	DT-REMER-NTUA-DWG-YF-05
7	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	DT-REMER-NTUA-DWG-NS-01
8	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΤΟΜΗ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	DT-REMER-NTUA-DWG-NS-02
9	ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	DT-REMER-NTUA-DWG-NS-03
10	ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	DT-REMER-NTUA-DWG-NS-04
11	ΔΙΑΤΟΜΕΣ & ΟΨΕΙΣ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	DT-REMER-NTUA-DWG-NS-05
12	ΟΨΕΙΣ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	DT-REMER-NTUA-DWG-NS-06
13	ΤΥΠΙΚΗ ΟΠΛΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ	DT-REMER-NTUA-DWG-NS-07

19. Παράρτημα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	Κατηγορίες σκυροδέματος Ρωσικών κανονισμών
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	Τιμές εκπομπών CO ₂ σκυροδέματος
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	Τεύχος προγράμματος SOFiSTiK
(ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ)	Σχέδια

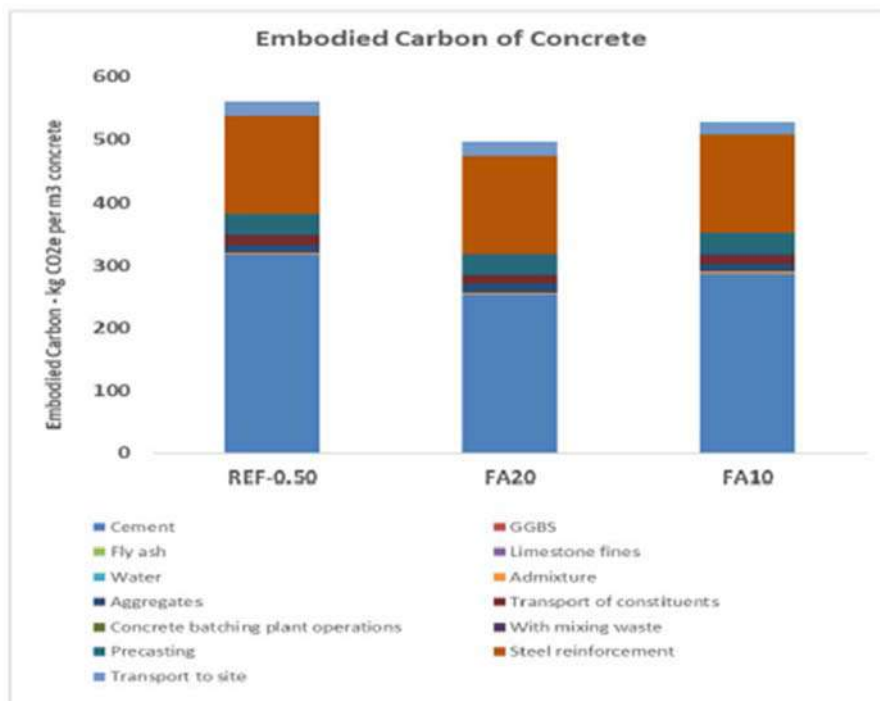
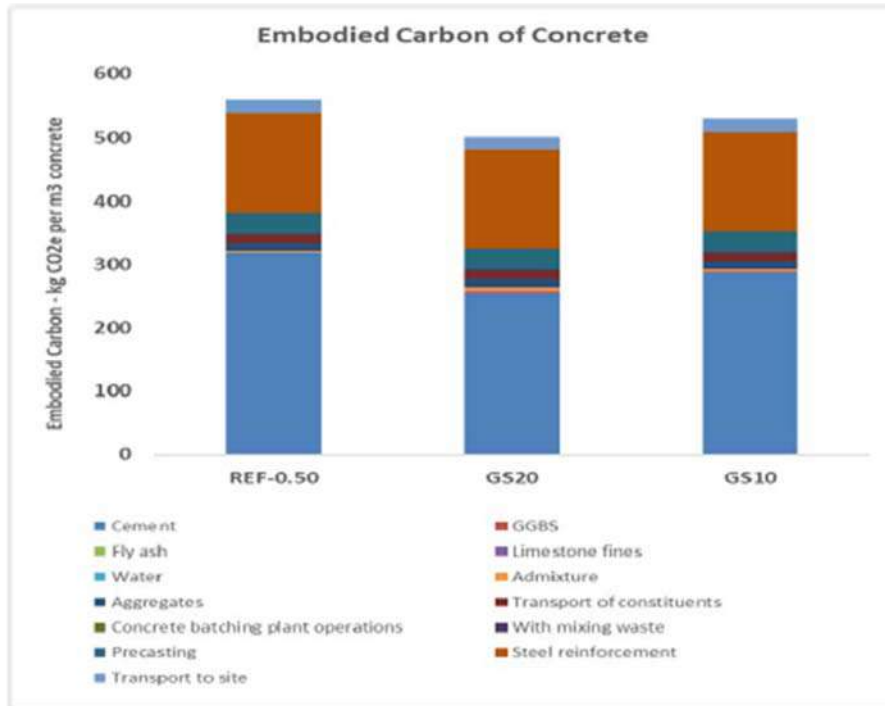
19.1. Κατηγορίες σκυροδέματος Ρωσικών κανονισμών

Κατηγορίες σκυροδέματος και αντοχές Ρωσικών κανονισμών (Pronozin 2012).

Concrete strength class used nowadays	Average compressive strength of a cube, MPa	Old strength class (used before 1984)
B10	13,1	M150
B15	19,6	M200
B20	26,2	M250
B25	32,7	M350
B30	39,3	M400
B35	45,8	M450
B40	52,4	M550
B45	58,9	M600
B50	65,5	M600
B55	72,0	M700
B60	78,6	M800

19.2. Τιμές εκπομπών CO₂ σκυροδέματος

Τιμές εκπομπών CO₂ για τα διάφορα μείγματα (Remountakis 2021).



Μείγματα για τον προσδιορισμό εκπομπών CO₂ (Remountakis 2021).

No	Kg/m ³					
	Cement	Aggregates	Water	FA	GS	SP
Mix 1 (REF-0.50)	350	1850	175	-	-	1.05
Mix 2 (FA20)	280	1850	175	70	-	1.37
Mix 3 (FA10)	315	1850	175	35	-	1.80
Mix 4 (GS20)	280	1850	175	-	70	3.02
Mix 5 (GS10)	315	1850	175	-	35	1.67

Material	Embodied Carbon Factor - kg CO ₂ e / kg	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
		REF-0.50	FA20	FA10	GS20	GS10
Cement	0.91	319.2	255.4	287.3	255.4	287.3
GGBS	0.04	-	-	-	2.9	1.5
Fly ash	0.00	-	0.3	0.1	-	-
Limestone fines	0.02	-	-	-	-	-
Water	0.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Admixture	1.88 (SP)	2.0	2.6	3.1	5.7	3.1
Aggregates	0.007	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
Transport of constituents	0.004991322	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65
Concrete batching plant operations	0.00072	-	-	-	-	-
With mixing waste	1.0%	3.46	2.83	3.16	2.89	3.17
Precasting	0.0142	33.12	33.12	33.13	33.15	33.13
Steel reinforcement	1.55	155.00	155.00	155.00	155.00	155.00
Transport to site	0.1033	21.19	21.19	21.119	21.21	21.19
RESULTS - kg CO₂e / m³ concrete		559	495	528	501	530

RESULTS - kg CO ₂ e / kg concrete	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
	0.240	0.212	0.226	0.2151	0.227

19.3. Τεύχος SOFiSTiK

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Materials

Design Code

Eurocode Bridges: EN 1992-2:2005 Design of concrete structures (Europe) V 2024
Structure: B (Road bridges)

Snow load zone : 1

National Defined Parameters

Reference of parameter in design code	Value
long term reduction concrete compressive strength α_{cc} EN 1992-2 3.1.6	0.850 ¹
long term reduction concrete tensile strength β_{ct} EN 1992-1-1 3.1.6 (2)	1.000 ¹
safety coefficient γ_{cc} for concrete EN 1992-1-1 2.4.2.4	1.500 ¹
safety coefficient γ_{CE} for concrete elasticity EN 1992-1-1 5.8.6 (3)	1.200 ¹
safety coefficient γ_s for reinforcing steel EN 1992-1-1 2.4.2.4	1.150 ¹
safety coefficient γ_{st} for prestressing steel EN 1992-1-1 2.4.2.4	1.150 ¹

Materials

Mat	Classification
1	C 40/50 (EN 1992)
2	B 500 C (EN 1992)
3	Y 1860 A (EN 1992)
4	C 35/45 (EN 1992)

Mat 1 C 40/50 (EN 1992)

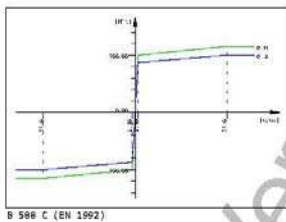
Young's modulus	E	35220	[N/m ²]	Safetyfactor		1.50	[-]
Poisson's ratio	μ	0.20	[-]	Strength ¹	f_c	34.88	[MPa]
Shear modulus	G	14675	[N/m ²]	Nominal strength	f_{ck}	46.68	[MPa]
Compression modulus	K	19567	[N/m ²]	Tensile strength	$f_{ct,e}$	3.51	[MPa]
Nominal weight	γ	25.0	[kN/m ³]	Tensile strength	$f_{ctk,95}$	2.46	[MPa]
Mean density	ρ	2480.0	[kg/m ³]	Tensile strength	$f_{ctk,95}$	4.56	[MPa]
Elongation coefficient	α	1.00E-05	[1/K]	Bond strength	f_{bd}	3.68	[MPa]
				Service strength	f_{cs}	46.80	[MPa]
				Fatigue strength	$f_{cd,fat}$	19.84	[MPa]
				Tensile strength	f_{ctd}	1.64	[MPa]
				Tensile failure energy	G_f	8.15	[N/m]

Stress-Strain for serviceability	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	36901
	-0.581	-19.51	29981
	-1.162	-39.00	21718
	-1.743	-44.44	11868
	-2.324	-48.00	0
	-3.500	-38.00	-32067
Safetyfactor			1.50

Stress-Strain for ultimate load	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	34888
	-2.000	-34.00	0
	-3.500	-34.00	0
Safetyfactor			1.50

Stress-Strain of calc. mean values	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	38818
	-0.581	-12.78	15164
	-1.162	-19.08	7365
	-1.743	-21.91	2818
	-2.324	-22.67	0
	-3.500	-28.56	-32028
Safetyfactor			(1.50)

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Materials



Mat 3 Y 1860 A (EN 1992)

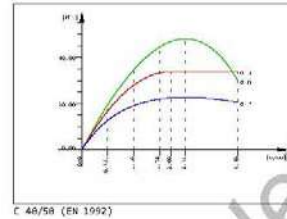
Young's modulus	E	195000	[N/m ²]	Safetyfactor		1.15	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	f_y	1680.00	[MPa]
Shear modulus	G	75000	[N/m ²]	Compressive yield	f_{yc}	1680.00	[MPa]
Compression modulus	K	162500	[N/m ²]	Tensile strength	f_{tk}	1860.00	[MPa]
Nominal weight	γ	78.5	[kN/m ³]	Compressive strength	f_c	1680.00	[MPa]
Mean density	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Ultimate strain	$\epsilon_{0.05}$	0.005	[-]
Elongation coefficient	α	1.20E-05	[1/K]	relative bond coeff.		0.58	[-]
max. thickness	t-max	18.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k_1	1.68	[-]
Relaxation	EN 1992	Class 2		Hardening modulus	E_h	0.00	[MPa]
	p(1000h)	2.50	[%]	Proportional limit	f_p	1680.00	[MPa]
				Dynamic allowance	α_{dyn}	1.00	[MPa]

Stress-Strain for serviceability	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	1860.00	0
	35.000	1860.00	0
	8.205	1600.00	9783
	0.000	0.00	195000
	-8.205	-1600.00	9783
	-35.000	-1860.00	0
	-1000.000	-1860.00	0
Safetyfactor			1.15

Stress-Strain for ultimate load	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	1617.30	0
	35.000	1617.30	0
	7.135	1391.30	8114
	0.000	0.00	195000
	-7.135	-1391.30	8114
	-35.000	-1617.30	0
	-1000.000	-1617.30	0
Safetyfactor			(1.15)

Stress-Strain of calc. mean values	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	1617.30	0
	35.000	1617.30	0
	7.135	1391.30	8114
	0.000	0.00	195000
	-7.135	-1391.30	8114
	-35.000	-1617.30	0
	-1000.000	-1617.30	0
Safetyfactor			(1.15)

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Materials



Mat 2 B 500 C (EN 1992)

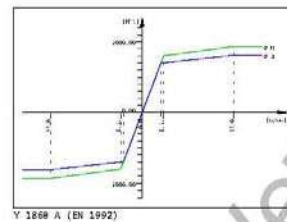
Young's modulus	E	200000	[N/m ²]	Safetyfactor		1.15	[-]
Poisson's ratio	μ	0.30	[-]	Yield stress	f_y	500.00	[MPa]
Shear modulus	G	76923	[N/m ²]	Compressive yield	f_{yc}	500.00	[MPa]
Compression modulus	K	166667	[N/m ²]	Tensile strength	f_{tk}	575.00	[MPa]
Nominal weight	γ	78.5	[kN/m ³]	Compressive strength	f_c	575.00	[MPa]
Mean density	ρ	7850.0	[kg/m ³]	Ultimate strain		75.00	[‰]
Elongation coefficient	α	1.20E-05	[1/K]	relative bond coeff.		1.00	[-]
max. thickness	t-max	32.00	[mm]	EN 1992 bond coeff.	k_1	0.00	[-]
				Hardening modulus	E_h	0.00	[MPa]
				Proportional limit	f_p	500.00	[MPa]
				Dynamic allowance	α_{dyn}	1.00	[MPa]

Stress-Strain for serviceability	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	575.00	0
	75.000	575.00	0
	2.500	500.00	1034
	0.000	0.00	200000
	-2.500	-500.00	1034
	-75.000	-575.00	0
	-1000.000	-575.00	0
Safetyfactor			1.15

Stress-Strain for ultimate load	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	500.00	0
	75.000	500.00	0
	2.174	434.78	896
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	896
	-75.000	-500.00	0
	-1000.000	-500.00	0
Safetyfactor			(1.15)

Stress-Strain of calc. mean values	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is also extended beyond the defined stress range	1000.000	500.00	0
	75.000	500.00	0
	2.174	434.78	896
	0.000	0.00	200000
	-2.174	-434.78	896
	-75.000	-500.00	0
	-1000.000	-500.00	0
Safetyfactor			(1.15)

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Materials



Mat 4 C 35/45 (EN 1992)

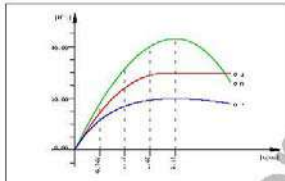
Young's modulus	E	34077	[N/m ²]	Safetyfactor		1.50	[-]
Poisson's ratio	μ	0.20	[-]	Strength ¹	f_c	29.75	[MPa]
Shear modulus	G	14199	[N/m ²]	Nominal strength	f_{ck}	35.00	[MPa]
Compression modulus	K	18032	[N/m ²]	Tensile strength	$f_{ct,e}$	3.21	[MPa]
Nominal weight	γ	25.0	[kN/m ³]	Tensile strength	$f_{ctk,95}$	2.25	[MPa]
Mean density	ρ	2480.0	[kg/m ³]	Tensile strength	$f_{ctk,95}$	4.17	[MPa]
Elongation coefficient	α	1.00E-05	[1/K]	Bond strength	f_{bd}	3.37	[MPa]
				Service strength	f_{cs}	43.00	[MPa]
				Fatigue strength	$f_{cd,fat}$	17.86	[MPa]
				Tensile strength	f_{ctd}	1.50	[MPa]
				Tensile failure energy	G_f	0.00	[N/m]

Stress-Strain for serviceability	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	35781
	-0.562	-17.00	28179
	-1.125	-31.50	19745
	-1.685	-40.02	10420
	-2.246	-43.00	0
	-3.500	-26.18	-28905
Safetyfactor			1.50

Stress-Strain for ultimate load	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	29758
	-2.000	-29.75	0
	-3.500	-29.75	0
Safetyfactor			1.50

Stress-Strain of calc. mean values	ϵ [‰]	σ [MPa]	E-t[N/m ²]
Is only valid within the defined stress range	0.000	0.00	29818
	-0.562	-11.53	13637
	-1.125	-16.00	6295
	-1.685	-19.22	2356
	-2.246	-19.03	0
	-3.500	-17.87	-2758
Safetyfactor			(1.50)

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Materials



C 35/45 (EN 1992)

Thermal material constants

Mat	T [°C]	S (x37.5/m³)	K _{ss} (W/m·m)	γ _{sp} (W/m·m)	K _{zz} (W/m·m)
1	AUTO	2.13E+03	1.951E+08		
2	AUTO	3.45E+03	5.333E+01		
3	AUTO	3.45E+03	5.333E+01		
4	AUTO	2.13E+03	1.951E+08		

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 AQUA - GENERAL CROSS SECTIONS
Page 6
2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

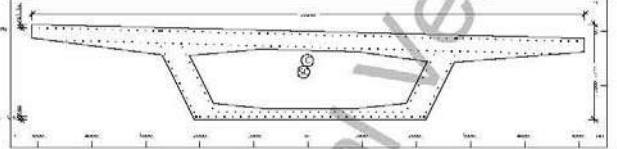
Design Code
EuroNorm Bridges: EN 1992-2:2005 Design of concrete structures (Europe) V 2024
Structure: 8 (Road bridges)

Snow load zone : 1

Materials

Mat	Classification
1	C 48/56 (EN 1992)
2	C 35/45 (EN 1992)
3	C 30/37 (EN 1992)
4	C 35/45 (EN 1992)

Cross section No. 1 - BOX GIRDER SPAN



Static properties of cross section

Mat	RRF	A [m²]	A _y [m²]	A _z [m²]	I _y [m⁴]	I _z [m⁴]	y _c [mm]	z _c [mm]	W _y [mm²]	W _z [mm²]	g [kg/m]	I-1 [m⁴]	I-2 [m⁴]
1	5.939E+08	4.47E+08	1.697E+08	-15.2	-87.1	35228	14847.5	3.873E+01					
2	4.369E+08	7.854E-01	3.871E+01	536.8	752.6	14675	1.677E+01						

Reinforcements are not considered in the structural analysis.

Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A: total area
A_y: area of reinforcement
A_z: area of reinforcement
I_y: moment of inertia
I_z: moment of inertia
y_c: centroidal distance
z_c: centroidal distance
W_y: section modulus
W_z: section modulus
g: weight
I-1: moment of inertia
I-2: moment of inertia

Additional static properties of cross section

α-T [1/K]	y _{min} [mm]	y _{max} [mm]	z _{min} [mm]	z _{max} [mm]	h _{ym} [mm]	h _{zm} [mm]	AK [m²]	R _h	1/MT [1/m³]	1/W _y [1/m²]	1/W _z [1/m²]
1.8E-05	5884.8	-664.3	5796.1	7.59E+08	2	4.412E-01	3.248E-01				
	5115.2	1899.7	1245.9	5.939E+08			6.814E-01	1.486E+08			

Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A: total area
A_y: area of reinforcement
A_z: area of reinforcement
I_y: moment of inertia
I_z: moment of inertia
y_c: centroidal distance
z_c: centroidal distance
W_y: section modulus
W_z: section modulus
g: weight
I-1: moment of inertia
I-2: moment of inertia

Section values for wrapping

Mat	RRF	A _s [m²]	A _s [m²]	A _s [m²]	A _s [m²]	A _s [m²]	r _y [mm]	r _z [mm]
1	1.7888	1.5761	2.577E+08	4.272	2.682E-01	-9.665E-02	168.9	-4548.3

Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A_s: area of reinforcement
A_s: area of reinforcement
r_y: reinforcement radius
r_z: reinforcement radius

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

Effective static properties of cross section

Mat	RRF	A [m²]	I _y [m⁴]	I _z [m⁴]	y _c [mm]	z _c [mm]	W _y [mm²]	W _z [mm²]	g [kg/m]	I-1 [m⁴]	I-2 [m⁴]
1	5.939E+08	1.446E+08	-15.2	-15.2	35228	14847.5	3.871E+01				
2	4.369E+08	3.871E+01	536.8	752.6	14675	1.436E+01					

Reinforcements are not considered in the structural analysis.
Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A: total area
I_y: moment of inertia
I_z: moment of inertia
y_c: centroidal distance
z_c: centroidal distance
W_y: section modulus
W_z: section modulus
g: weight
I-1: moment of inertia
I-2: moment of inertia

Additional design data

Mat	periphery-0/-1	As	diff	t-min	t-max	thet-p	thet-y	thet-z	thet-yz	γ _p	z _p
1	22.324	9.838	532.1			101888.98	4241.788	96767.192	2159.212	-15.2	536.8

Mat: material name
periphery-0/-1: periphery-0/-1
As: area of reinforcement
diff: difference of reinforcement
t-min: thickness of reinforcement
t-max: thickness of reinforcement
thet-p: angle of reinforcement
thet-y: angle of reinforcement
thet-z: angle of reinforcement
thet-yz: angle of reinforcement
γ_p: reinforcement factor
z_p: reinforcement radius

Reinforcement global values

Layer	#ref	Mat	As	As min	As max	D	γ _p	z _p	I-tors	N-p	R _{y-p}	R _{z-p}
M1	BB	1	2	31.76	31.76	12	33.7	1567.5				
M2	BT	1	2	26.59	26.59	12	33.7	1487.5				
M3	LE	1	2	11.41	11.41	12	-2419.9	899.6				
M4	LT	1	2	18.65	18.65	12	-2845.1	856.8				
M5	RE	1	2	9.54	9.54	12	2079.0	921.6				
M6	RT	1	2	18.13	18.13	12	2648.3	966.8				
M7	TB	1	2	68.48	68.48	12	8.5	299.1				
M8	TT	1	2	76.93	76.93	12	8.9	69.8				
M9	TORS	1	2	19.64	19.64	25	14.7	813.7	12979.8			

Layer: layer of reinforcement
#ref: number of reinforcement
Mat: material name
As: area of reinforcement
As min: minimum area of reinforcement
As max: maximum area of reinforcement
D: diameter of reinforcement
γ_p: reinforcement factor
z_p: reinforcement radius
I-tors: torsion moment of inertia
N-p: reinforcement factor
R_{y-p}: reinforcement radius
R_{z-p}: reinforcement radius

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

Static properties of cross section

Mat	RRF	A [m²]	I _y [m⁴]	I _z [m⁴]	y _c [mm]	z _c [mm]	W _y [mm²]	W _z [mm²]	g [kg/m]	I-1 [m⁴]	I-2 [m⁴]
1	8.825E+08	6.792E+08	2.242E+09	-28.6	-62.6	35228	22864.8	4.358E+01			
2	5.598E+08	3.658E+08	4.348E+01	657.8	892.8	14675	1.848E+01				

Reinforcements are not considered in the structural analysis.
Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A: total area
I_y: moment of inertia
I_z: moment of inertia
y_c: centroidal distance
z_c: centroidal distance
W_y: section modulus
W_z: section modulus
g: weight
I-1: moment of inertia
I-2: moment of inertia

Additional static properties of cross section

α-T [1/K]	y _{min} [mm]	y _{max} [mm]	z _{min} [mm]	z _{max} [mm]	h _{ym} [mm]	h _{zm} [mm]	AK [m²]	R _h	1/MT [1/m³]	1/W _y [1/m²]	1/W _z [1/m²]
1.8E-05	-5079.4	-784.5	5185.4	7.59E+08	2	3.895E-01	3.834E-01				
	5128.6	978.5	1132.8	8.825E+08			2.871E-01	5.788E-01			

Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A: total area
I_y: moment of inertia
I_z: moment of inertia
y_c: centroidal distance
z_c: centroidal distance
W_y: section modulus
W_z: section modulus
g: weight
I-1: moment of inertia
I-2: moment of inertia

Section values for wrapping

Mat	RRF	A _s [m²]	A _s [m²]	A _s [m²]	A _s [m²]	A _s [m²]	r _y [mm]	r _z [mm]
1	1.4071	1.4894	2.987E+08	1.768	4.812E-01	-9.893E-02	121.8	5308.0

Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A_s: area of reinforcement
A_s: area of reinforcement
r_y: reinforcement radius
r_z: reinforcement radius

Effective static properties of cross section

Mat	RRF	A [m²]	I _y [m⁴]	I _z [m⁴]	y _c [mm]	z _c [mm]	W _y [mm²]	W _z [mm²]	g [kg/m]	I-1 [m⁴]	I-2 [m⁴]
1	8.825E+08	3.843E+08	-28.6	-28.6	35228	22864.8	4.348E+01				
2	5.598E+08	4.348E+01	657.8	892.8	14675	1.848E+01					

Reinforcements are not considered in the structural analysis.
Mat: material name
RRF: reinforcement factor
A: total area
I_y: moment of inertia
I_z: moment of inertia
y_c: centroidal distance
z_c: centroidal distance
W_y: section modulus
W_z: section modulus
g: weight
I-1: moment of inertia
I-2: moment of inertia

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

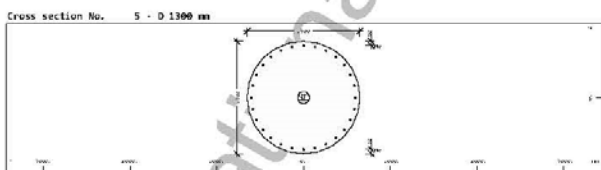
Additional design data

Ref	periphery-O/I [m]	diff [m]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kg/m ² /m]	thet-y [kg/m ² /m]	thet-z [kg/m ² /m]	thet-yr [kg/m ² /m]	yp [mm]	zg [mm]
1	22.324	4.598	799.7	114298.82	5695.593	198693.25	2349.841		28.6	657.0

Reinforcement global values

Layer	Ref	Ref	As [cm ²]	As-min [cm ²]	As-max [cm ²]	D [mm]	yp [mm]	zr [mm]	L-tors [mm]	N-p [kN]	Ry-p [kN]	Rz-p [kN]
M1	BB	1	2	31.76	31.76	12	33.7	1567.5				
M2	BT	1	2	26.59	26.59	12	33.7	1487.5				
M3	LE	1	2	11.41	11.41	12	2416.0	899.6				
M4	LI	1	2	18.65	18.65	12	2845.1	856.9				
M5	RT	1	2	9.54	9.54	12	2879.8	921.6				
M6	RE	1	2	18.13	18.13	12	2448.3	966.8				
M7	TB	1	2	68.48	68.48	12	8.5	298.1				
M8	TT	1	2	76.83	76.83	12	8.8	68.8				
M9	TORS	1	2	19.64	19.64	25	14.7	813.7	12979.8			

Cross section No. 5 - D 1388 mm



Static properties of cross section

Ref	A [m ²]	It [m ⁴]	Itx [m ⁴]	Ity [m ⁴]	yc [mm]	yc [mm]	zc [mm]	zc [mm]	E [N/m ²]	g [kg/m]	I-1 [m ⁴]	I-2 [m ⁴]
1	1.3273E+00	1.195E+00			1.482E-01	0.8	0.8	0.8	34877	3318.3		
2	2.884E-01	1.195E+00			1.482E-01	0.8	0.8	0.8	14199	(COVR)		

Additional static properties of cross section

α T [1/K]	ymin [mm]	ymax [mm]	zmin [mm]	zmax [mm]	hmin [mm]	hmax [mm]	AK [m ²]	ARs	1/MT [1/m ³]	1/MVz [1/m ²]
1.0E+05	-658.8	658.8	-658.8	658.8	705.8	705.8	1.131E+08	2	2.318E+08	1.889E+08

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

Additional static properties of cross section

α T [1/K]	ymin [mm]	ymax [mm]	zmin [mm]	zmax [mm]	hmin [mm]	hmax [mm]	AK [m ²]	ARs	1/MT [1/m ³]	1/MVz [1/m ²]
1.0E+05	-5861.3	5861.3	-824.4	824.4	5181.4	5181.4	7.596E+08	2	2.722E+01	2.912E+01

Section values for warping

Imin [m ⁴]	Imax [m ⁴]	CI [m ⁶]	CS [m ⁶]	ASy [m ⁶]	ASz [m ⁶]	ry [mm]	rz [mm]
1.7794	1.6821	4.866E+08	13.388	5.816E-01	1.377E-01	287.1	4654.0

Effective static properties of cross section

Ref	A [m ²]	It [m ⁴]	Itx [m ⁴]	Ity [m ⁴]	yc [mm]	yc [mm]	zc [mm]	zc [mm]	E [N/m ²]	g [kg/m]	I-1 [m ⁴]	I-2 [m ⁴]
1	9.4635E+00	2.839E+00			-36.7	-36.7	35229	2368.8	4.759E+01			
2	4.759E+01	784.3			696.9	696.9	14675	2.837E+01				

Additional design data

Ref	periphery-O/I [m]	diff [m]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kg/m ² /m]	thet-y [kg/m ² /m]	thet-z [kg/m ² /m]	thet-yr [kg/m ² /m]	yp [mm]	zg [mm]
1	23.186	4.598	816.3	126991.53	6242.395	118749.22	2289.618		36.7	606.0

Reinforcement global values

Layer	Ref	Ref	As [cm ²]	As-min [cm ²]	As-max [cm ²]	D [mm]	yp [mm]	zr [mm]	L-tors [mm]	N-p [kN]	Ry-p [kN]	Rz-p [kN]
M1	BB	1	2	31.76	31.76	12	33.7	1567.5				
M2	BT	1	2	26.59	26.59	12	33.7	1487.5				
M3	LE	1	2	11.41	11.41	12	2416.0	899.6				
M4	LI	1	2	18.65	18.65	12	2845.1	856.9				
M5	RT	1	2	9.54	9.54	12	2879.8	921.6				
M6	RE	1	2	18.13	18.13	12	2448.3	966.8				
M7	TB	1	2	68.48	68.48	12	8.5	298.1				
M8	TT	1	2	76.83	76.83	12	8.8	68.8				
M9	TORS	1	2	19.64	19.64	25	14.7	813.7	12979.8			

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

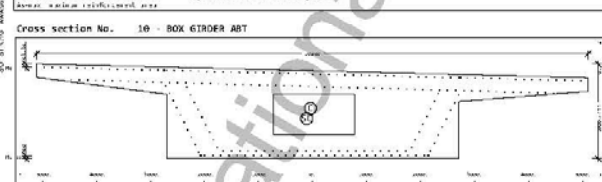
Additional design data

Ref	periphery-O/I [m]	diff [m]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kg/m ² /m]	thet-y [kg/m ² /m]	thet-z [kg/m ² /m]	thet-yr [kg/m ² /m]	yp [mm]	zg [mm]
1	4.884		658.8	658.8	788.992	358.406	358.406		8.8	8.8

Reinforcement global values

Layer	Ref	Ref	As [cm ²]	As-min [cm ²]	As-max [cm ²]	D [mm]	yp [mm]	zr [mm]	L-tors [mm]	N-p [kN]	Ry-p [kN]	Rz-p [kN]
M1	4	2	87.92	87.92		20	8.8	8.8	3769.9			

Cross section No. 10 - BOX GIRDER ABT



Static properties of cross section

Ref	A [m ²]	It [m ⁴]	Itx [m ⁴]	Ity [m ⁴]	yc [mm]	yc [mm]	zc [mm]	zc [mm]	E [N/m ²]	g [kg/m]	I-1 [m ⁴]	I-2 [m ⁴]
1	9.4635E+00	7.825E+00			2.497E+00	-38.7	-187.4	-187.4	35228	2368.8	4.752E+01	
2	6.209E+00	4.346E+00			4.759E+01	696.9	885.9	14675	(BCA)	2.489E+01		

Additional static properties of cross section

α T [1/K]	ymin [mm]	ymax [mm]	zmin [mm]	zmax [mm]	hmin [mm]	hmax [mm]	AK [m ²]	ARs	1/MT [1/m ³]	1/MVz [1/m ²]
1.0E+05	-658.8	658.8	-658.8	658.8	705.8	705.8	1.131E+08	2	2.318E+08	1.889E+08

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

Additional static properties of cross section

α T [1/K]	ymin [mm]	ymax [mm]	zmin [mm]	zmax [mm]	hmin [mm]	hmax [mm]	AK [m ²]	ARs	1/MT [1/m ³]	1/MVz [1/m ²]
1.0E+05	-5138.7	5138.7	-824.4	824.4	5181.4	5181.4	9.464E+08	3.827E-01	4.966E-01	

Section values for warping

Imin [m ⁴]	Imax [m ⁴]	CI [m ⁶]	CS [m ⁶]	ASy [m ⁶]	ASz [m ⁶]	ry [mm]	rz [mm]
1.7794	1.6821	4.866E+08	13.388	5.816E-01	1.377E-01	287.1	4654.0

Effective static properties of cross section

Ref	A [m ²]	It [m ⁴]	Itx [m ⁴]	Ity [m ⁴]	yc [mm]	yc [mm]	zc [mm]	zc [mm]	E [N/m ²]	g [kg/m]	I-1 [m ⁴]	I-2 [m ⁴]
1	3.6988E+00	3.169E+00			7.363E-01	0.8	0.8	0.8	35228	9225.8	1.755E+00	
2	1.795E+00	3.886E+00			1.755E+00	738.4	817.3	14675	(BEA)	7.363E-01		

Additional static properties of cross section

α T [1/K]	ymin [mm]	ymax [mm]	zmin [mm]	zmax [mm]	hmin [mm]	hmax [mm]	AK [m ²]	ARs	1/MT [1/m ³]	1/MVz [1/m ²]
1.0E+05	-1325.8	1325.8	-738.4	738.4	2.870E+00	2.870E+00	2.749E+01	2	1.178E+08	4.125E-01

Section values for warping

Imin [m ⁴]	Imax [m ⁴]	CI [m ⁶]	CS [m ⁶]	ASy [m ⁶]	ASz [m ⁶]	ry [mm]	rz [mm]
-8.3630	8.3630	5.899E-02	-8.428	-9.627E-11	1.898E-00	8.8	368.0

Additional design data

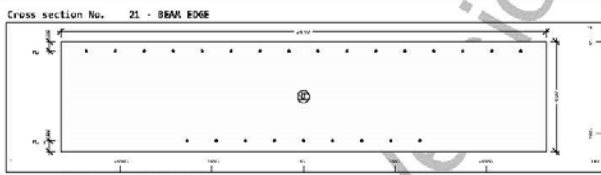
Ref	periphery-O/I [m]	diff [m]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kg/m ² /m]	thet-y [kg/m ² /m]	thet-z [kg/m ² /m]	thet-yr [kg/m ² /m]	yp [mm]	zg [mm]
1	7.883		908.6		6228.798	1248.868	4387.922		8.888	8.8

Reinforcement global values

Layer	Ref	Ref	As [cm ²]	As-min [cm ²]	As-max [cm ²]	D [mm]	yp [mm]	zr [mm]	L-tors [mm]	N-p [kN]	Ry-p [kN]	Rz-p [kN]
M1	B	1	2	19.78	19.78	12	9.9	1548.9				
M2	T	1	2	19.88	19.88	12	8.8	58.8				
M3	TORS	1	2	9.88	9.88			9.8				

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

Part	material	reference material	z1	z2	ordinate of elastic centroid
Part	radius	radius	z1	z2	ordinate of elastic centroid
Part	radius	radius	z1	z2	ordinate of elastic centroid
Part	radius	radius	z1	z2	ordinate of elastic centroid



Cross section No. 21 - BEAM EDGE

Static properties of cross section

Part	A [m²]	Ay [m²]	Az [m²]	Iy [m⁴]	Iz [m⁴]	Iyz [m⁴]	yc [m]	zc [m]	ysc [m]	zsc [m]	E [N/mm²]	G [N/mm²]	1-1 [m²]	1-2 [m²]	α [°]
1	1.598E+00	1.32E+00	4.77E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35220	3975.0	9.36E-01	4.77E-02	0.0
2*	1.654E-01	1.391E+00	9.38E-01	388.8	388.1	14675	388.1	388.1	388.1	388.1	14675	3975.0	9.36E-01	4.77E-02	0.0
Total															

Reinforcements are not considered in the structural analysis.

Part material reference material z1 z2 ordinate of elastic centroid
Part radius radius z1 z2 ordinate of elastic centroid
Part radius radius z1 z2 ordinate of elastic centroid
Part radius radius z1 z2 ordinate of elastic centroid

Additional static properties of cross section

α-T [1/K]	ym [mm]	zm [mm]	ymz [mm]	zmz [mm]	AK [m²]	AKs	1/MT [1/m³]	1/MY [1/m²]	1/MZ [1/m²]
1.6E-05	-1325.0	-388.0	3766.7	8.34E+01	2	3.66E+00	9.36E-01	1.72E+00	8.78E-01
α-T [1/K]	ym [mm]	zm [mm]	ymz [mm]	zmz [mm]	AK [m²]	AKs	1/MT [1/m³]	1/MY [1/m²]	1/MZ [1/m²]
1.6E-05	-1325.0	-388.0	3766.7	8.34E+01	2	3.66E+00	9.36E-01	1.72E+00	8.78E-01

Section values for warping

Wint [m²]	Wext [m²]	OW [m²]	CWS [m²]	AWyy [m²]	AWzz [m²]	ry [mm]	rz [mm]
-0.3126	0.3126	2.25E-02	0.696	-9.26E-12	-8.12E-12	0.0	-0.2

Additional design data

Part	periphery 0-1 [m]	periphery 0-2 [m]	diff [m]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kg/m²]	thet-y [kg/m²]	thet-z [kg/m²]	thet-yz [kg/m²]	yp [mm]	zp [mm]
1	6.588	489.2	482.7	2326.293	0.000	0.0	0.0	388.0			

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Sections

Reinforcement table values

Layer	Area	Area	Area	As-min [cm²]	As-max [cm²]	D [mm]	yr [mm]	zr [mm]	L-tors [mm]	N-p [kN]	Ay-p [kN]	Az-p [kN]
M1	8	1	2	18.78	18.78	12	8.8	548.8				
M2	T	1	2	19.88	19.88	12	8.8	56.8				
M3	TORS	8	2	8.88	8.88			8.8				

Reinforcement table values

Layer	Area	Area	Area	As-min [cm²]	As-max [cm²]	D [mm]	yr [mm]	zr [mm]	L-tors [mm]	N-p [kN]	Ay-p [kN]	Az-p [kN]
M1	8	1	2	18.78	18.78	12	8.8	548.8				
M2	T	1	2	19.88	19.88	12	8.8	56.8				
M3	TORS	8	2	8.88	8.88			8.8				

Part material reference material z1 z2 ordinate of elastic centroid
Part radius radius z1 z2 ordinate of elastic centroid
Part radius radius z1 z2 ordinate of elastic centroid
Part radius radius z1 z2 ordinate of elastic centroid

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Actions

Actions

type	part	sup	Designation	v-u	v-f	v-p	φu	φi	φs	ψi inf
G	1	G	pern dead load p1	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G	2	G	pern dead load p2	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	8	P	pern Static undetermined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1	P	pern creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	2	P	pern creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	8	P	pern prestressing	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	8	P	pern Static determined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T	Q	excl	temperature loading	1.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00
Y	1	Q	exex rare without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	2	Q	exex nonf without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	3	Q	exex freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	4	Q	exex pern without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	5	Q	exex deko with psi 8.5	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	6	Q	exex Y 6 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	7	Q	exex Y 7 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	8	Q	exex Y 8 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	9	Q	exex 1.8* without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	A	Q	exex acci without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	D	Q	exex desi without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	E	Q	exex earq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	F	Q	exex fati without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	G	Q	exex stress range L-Q	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	R	Q	exex robust without p	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	X	Q	exex extra-temporary	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Z	w	Q	excl additional wind incl. traffic	1.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
GR	T	Q	1 excl gr1a LMI	1.35	0.00	1.00	0.48	0.75	0.00	0.00
GR	U	Q	1 excl gr1a LMI	1.35	0.00	1.00	0.48	0.48	0.00	0.00
GR	Z	Q	2 exex gr2 Horizontal forces	1.35	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
E	E	exex	seismic loading	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Reliability factor				Kfi	1.000					
Reduction factor				psi	0.858					

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Temperature Load Combinations

According to EN199-1-5 chapter 6 temperature loads belong to the variable actions.

Actions

type	part	sup	Designation	v-u	v-f	v-p	φu	φi	φs	ψi inf
G	1	G	pern dead load p1	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G	2	G	pern dead load p2	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	8	P	pern Static undetermined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1	P	pern creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	2	P	pern creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	8	P	pern prestressing	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	8	P	pern Static determined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T	Q	excl	temperature loading	1.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00
Y	1	Q	exex rare without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	2	Q	exex nonf without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	3	Q	exex freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	4	Q	exex pern without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	5	Q	exex deko with psi 8.5	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	6	Q	exex Y 6 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	7	Q	exex Y 7 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	8	Q	exex Y 8 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	9	Q	exex 1.8* without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	A	Q	exex acci without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	D	Q	exex desi without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	E	Q	exex earq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	F	Q	exex fati without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	G	Q	exex stress range L-Q	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	R	Q	exex robust without p	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	X	Q	exex extra-temporary	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Z	w	Q	excl additional wind incl. traffic	1.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
GR	T	Q	1 excl gr1a LMI	1.35	0.00	1.00	0.48	0.75	0.00	0.00
GR	U	Q	1 excl gr1a LMI	1.35	0.00	1.00	0.48	0.48	0.00	0.00
GR	Z	Q	2 exex gr2 Horizontal forces	1.35	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
E	E	exex	seismic loading	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Reliability factor				Kfi	1.000					
Reduction factor				psi	0.858					

Load Case 310 (T) (DTL, c=DTM, c) * ssm * DTN, c

Factor forces and moments	1.000
unfavourable partial safety factor	0.800
favourable partial safety factor	0.800
Combination coefficient	ψi inf 0.600 (rare)
Combination coefficient	ψi 0.800 (infrequent)
Combination coefficient	ψs 0.600 (infrequent)
Combination coefficient	ψs 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 302 with factor 1.000
Selected loads copied from load case 303 with factor 1.000
Selected loads copied from load case 300 with factor 0.350

Load Case 320 (T) (DTL, c=DTM, c) * ssm * DTN, c

Factor forces and moments	1.000
unfavourable partial safety factor	1.500
favourable partial safety factor	0.800
Combination coefficient	ψi inf 0.800 (infrequent)
Combination coefficient	ψs 0.600 (frequent)

SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 17
SOFISTIK 2024-1.0 SOFILOAD - LOAD DEFINITIONS 2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Temperature Load Combinations

Load Case 320 (T) (DIR,c+DIR*,c)+mm*DTN,c
Combination coefficient ψ_s 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 304 with factor 1.000
Selected loads copied from load case 305 with factor 1.000
Selected loads copied from load case 301 with factor 0.350

Load Case 330 (T) mn(DIR,h+DIR*,h)+DTN,e
factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient ψ_{1inf} 0.800 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 302 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 303 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 300 with factor 1.000

Load Case 340 (T) mn(DIR,c+DIR*,c)+DTN,c
factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient ψ_{1inf} 0.800 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 304 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 305 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 301 with factor 1.000

SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 18
SOFISTIK 2024-1.0 TENDON - GEOMETRY OF PRESTRESSING 2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis

Tendons
Tendon: 1 AXIS_1_1
Overview tendon: 1 AXIS_1_1

Prestressing system	1	Number of summarized tendons	1
Material	3	Number of strands	14
Duct curve	9890	Area of each tendon	1400 [mm ²]
Reference axis	1	Construction stages ¹	21/22/8

Young's modulus	195000.00 [MPa]	Permissible curvature radius	8.300 [m]
Yield strength	1400.00 [MPa]	Maximum eccentricity	10.0 [mm]
Tensile strength	1850.00 [MPa]	Diameter of duct DO	72.0 [mm]

Station from	9.500 [-]	Effective diameter D2	42.2 [mm]
Station to	82.444 [-]	Effective perimeter U2	180.1 [mm]
Arc length tendon	72.339 [m]	Associated eff. area A2	1400 [mm ²]
Sue angular change	62.78 [°]	Force transition length	0.800 [m]
Minimum curvature radius	15.453 [m]		

Reference force P _{ref}	2010.0 [kN]	friction coeff. stressing	0.200 [-]
Reference stress σ_{ref}	1440.00 [MPa]	friction coeff. releasing	0.200 [-]
Slip at jack anchor	6.0 [mm]	wobble coeff. curved	0.280 [°/m]
Additional elongation	0.0 [mm]	wobble coeff. straight	0.000 [°/m]

¹ Installation/production method

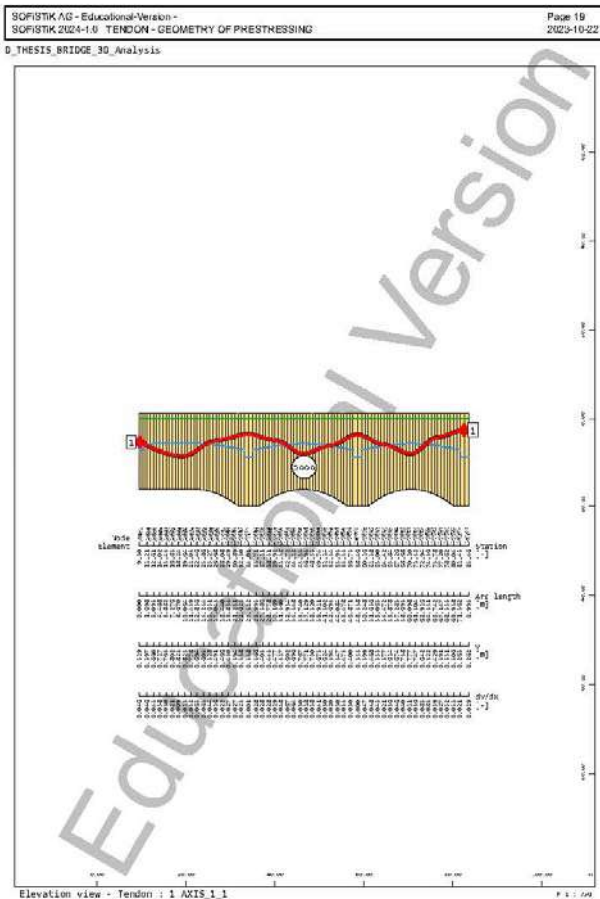
Stress-Release forces/Elongations: 1 AXIS_1_1

Force [kN]	Left				Right					
	Stres	Relea	Restr	Slip	active	Stres	Relea	Restr	Slip	active
1907.4	-	-	-	1815.0	1815.0	-	-	-	-	1493.6
466.0	-	-	-	-6.0	498.0	-	-	-	-	0.0

Elongation [mm]: 466.0, -6.0, 498.0

Includes the additional elongations defined in the prestressing system for the first stressing.
Remark: Please note that the elongations do NOT include elastic shortening effects.
¹ Overall force during first stressing/releasing step.
² Elongation at max. elongation/releasing step. See stress/strain/elongation curves released/added.

Stres: Restringing Restr: Restringing Slip: Slip:



SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 20
SOFISTIK 2024-1.0 TENDON - GEOMETRY OF PRESTRESSING 2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis

Prestressing method - Limits by standard: 1 AXIS_1_1

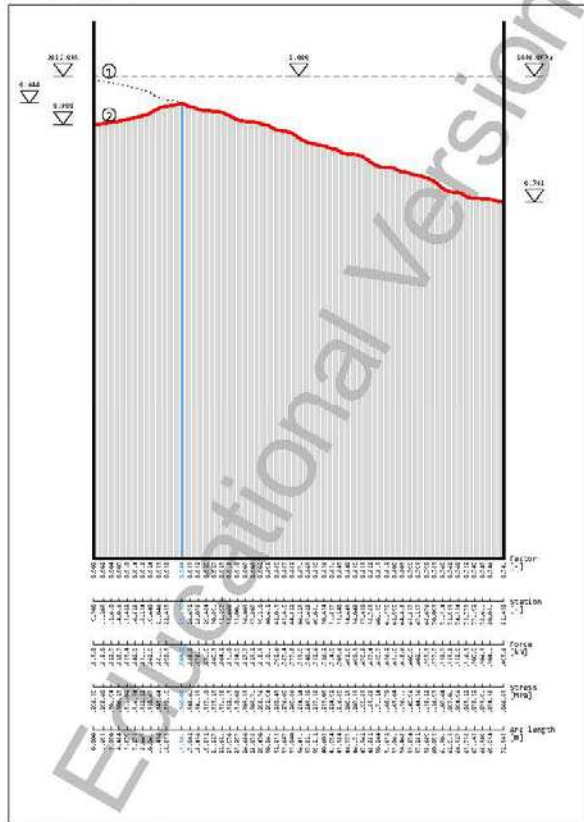
	Limits	Factor [-]	Force [kN]	Stress [MPa]
Max. jacking force	P _{max}	1.000	2010.0	1440.00
Max. mean force	P _{0.8}	0.944	1906.0	1368.00
Max. force at dead anchor		0.944	1906.0	1368.00

Sequence: from left (S)¹

¹ S: stressing; R: releasing; M: restraining; B: stop

Factor Reference Value [-] (S): 2010.0kN

Force [-] (R): 1906.0kN



Tendon: 2 AXIS_2_2
Overview tendon: 2 AXIS_2_2

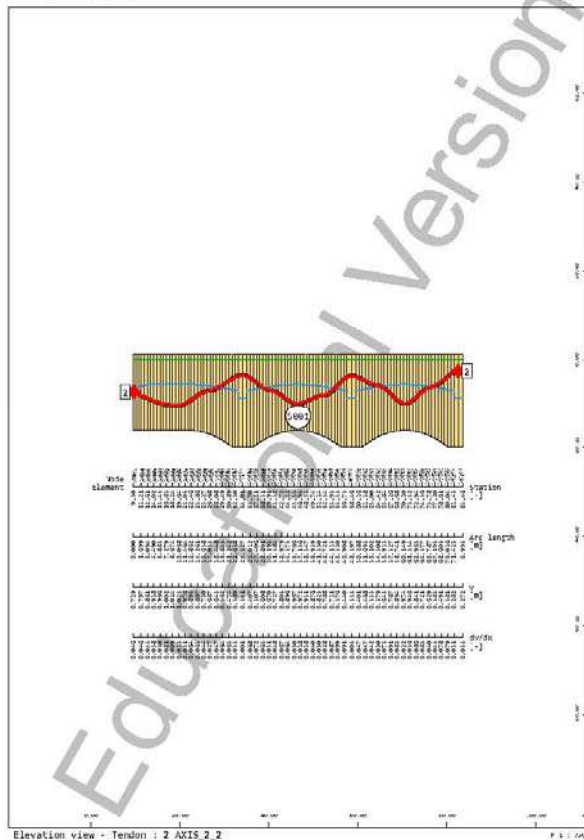
Prestressing system	1	Number of summarized tendons	1
Material	3	Number of strands	14
Duct curve	5981	Area of each tendon	1488 [mm ²]
Reference axis	2	Construction stages ¹	21/22/6
Young's modulus	199866.88 [MPa]	Permissible curvature radius	8.388 [m]
Yield strength	1686.86 [MPa]	Annulus eccentricity	18.6 [mm]
Tensile strength	1809.89 [MPa]	Diameter of duct D0	72.9 [mm]
Station from	9.589 [-]	Effective diameter DZ	42.2 [mm]
Station to	82.445 [-]	Effective perimeter UZ	188.1 [mm]
Arc length tendon	72.485 [m]	Associated eff. area AZ	1488 [mm ²]
Sun angular change	73.96 [°]	Force transition length	0.099 [m]
Minimum curvature radius	11.113 [m]		
Reference force P _{ref}	2816.8 [kN]	Friction coeff. stressing	0.288 [-]
Reference stress σ _{ref}	1449.99 [MPa]	Friction coeff. releasing	0.299 [-]
Slip at jack anchor	6.8 [mm]	Wobble coeff. curved	0.289 [°/m]
Additional elongation	8.8 [mm]	Wobble coeff. straight	0.888 [°/m]

¹ Evaluation stage of the work

Stress-Release forces/Elongations: 2 AXIS_2_2

	Left				Right					
	Stress	Relax	Restr	Slip	active	Stress	Relax	Restr	Slip	active
Force [kN] ¹	1998.5	-	-	1814.8	1814.8	-	-	-	-	1437.7
Elongation [mm] ²	458.4	-	-	6.8	454.4	-	-	-	-	8.8

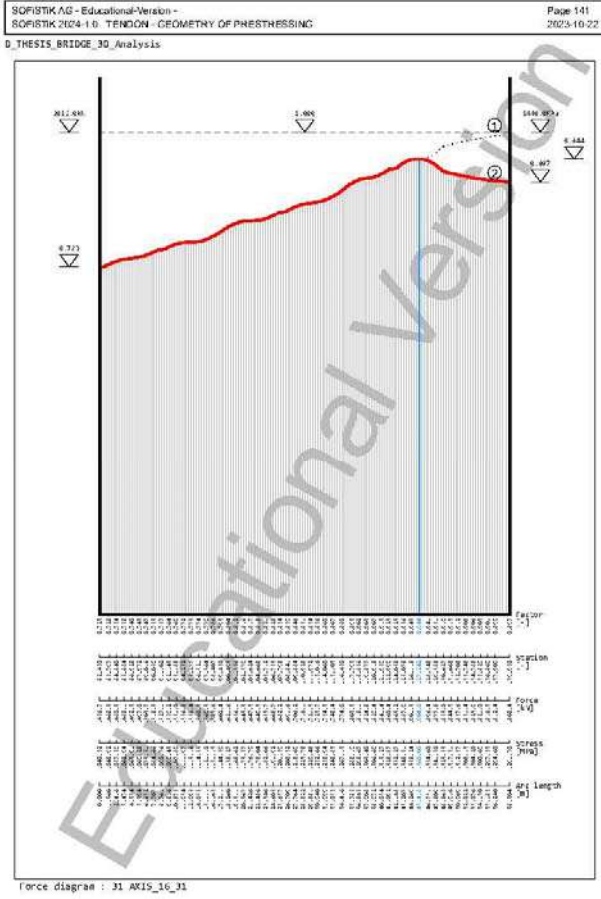
Includes the additional elongations defined in the prestressing system for the first stressing.
 Remarks: Please note that the elongations do NOT include elastic shortening effects.
¹ Overall Release force and stress/relaxing etc.
² Includes slip at the jacking/relaxing etc. (no slip at releasing and slip at releasing)
 Data: Relasing Relax Relasing
 Data: Relasing Slip Slip



Prestressing method - Limits by standard: 2 AXIS_2_2

	Limits	Factor [-]	Force [kN]	Stress [MPa]
Max. jacking force	P _{max}	1.000	2816.8	1449.99
Max. mean force	P ₈₈	0.944	1984.8	1368.88
Max. force at jack anchor	P ₉₄₄	0.944	1984.8	1368.88
Max. force at dead anchor	P ₉₄₄	0.944	1984.8	1368.88

Sequence: from left (15)¹
¹ 1: launching, 8: stressing, 9: restraining, 10: slip
 Factor: Reference value (1.00 = 2012-01-15)
 Code: 28: design limits; Limit of summarized slip tendon: 1



SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 142
SOFISTIK 2024-1.0 TENDON - GEOMETRY OF PRESTRESSING 2023-10-22
D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis

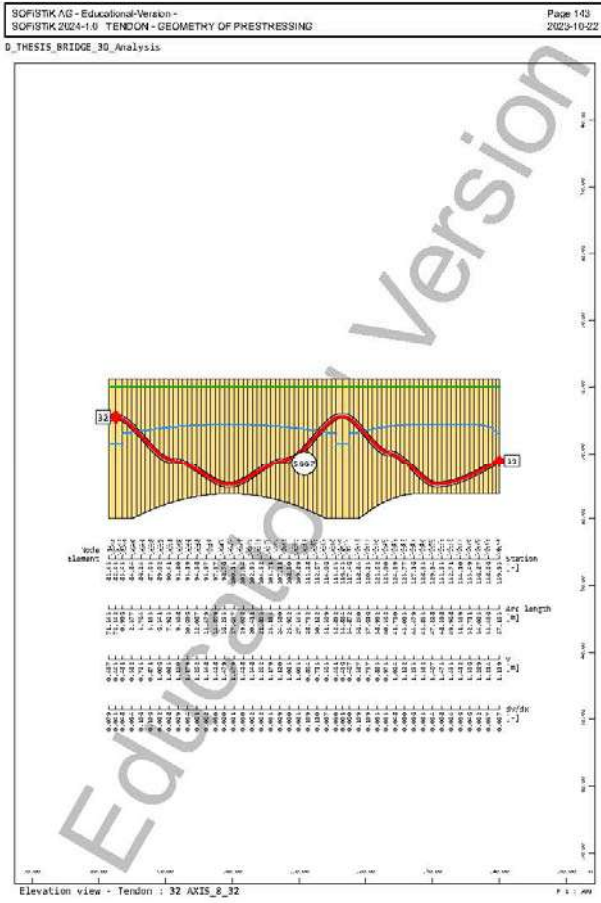
Tendon: 32 AKIS_8_32
Overview tendon: 32 AKIS_8_32

Prestressing system		Number of summarized tendons	
Material	1	Number of strands	14
Duct curve	5987	Area of each tendon	1488 [mm ²]
Reference axis	8	Construction stages	21/22/6
Young's modulus	199888.88 [MPa]	Permissible curvature radius	8.388 [m]
Yield strength	1686.86 [MPa]	Annulus eccentricity	18.6 [mm]
Tensile strength	1800.88 [MPa]	Diameter of duct D0	72.8 [mm]
Station from	82.455 [-]	Effective diameter DZ	42.2 [mm]
Station to	139.950 [-]	Effective perimeter UZ	188.1 [mm]
Arc length tendon	57.135 [m]	Associated eff. area AZ	1488 [mm ²]
Sun angular change	67.25 [°]	Force transition length	0.000 [m]
Minimum curvature radius	11.422 [m]		
Reference force P _{0,ref}	2816.8 [kN]	Friction coeff. stressing	0.208 [-]
Reference stress σ _{0,ref}	1449.00 [MPa]	Friction coeff. releasing	0.290 [-]
Slip at jack anchor	8.8 [mm]	Wobble coeff. curved	0.280 [°/m]
Additional elongation	8.8 [mm]	Wobble coeff. straight	0.888 [°/m]

Stress-Release forces/Elongations: 32 AKIS_8_32

Force [kN] ¹	Left				Right			
	Stress	Relax	Restr	Slip	Stress	Relax	Restr	Slip
1591.7	-	-	-	1591.7	2869.1	-	-	1894.4
8.8	-	-	-	8.8	366.7	-	-	-6.8

Includes the additional elongations defined in the prestressing system for the first stressing.
 Remarks: Please note that the elongations do NOT include elastic shortening effects.
 1 - Overall Release Force (kN) Stressing/Releasing etc.
 - Elongations at Jack Anchors/Releasing etc. (mm) (at Release/Releasing etc. respectively)
 Data: Stressing Relax Releasing Slip: 1591.7 8.8 2869.1 -6.8 1894.4 366.7

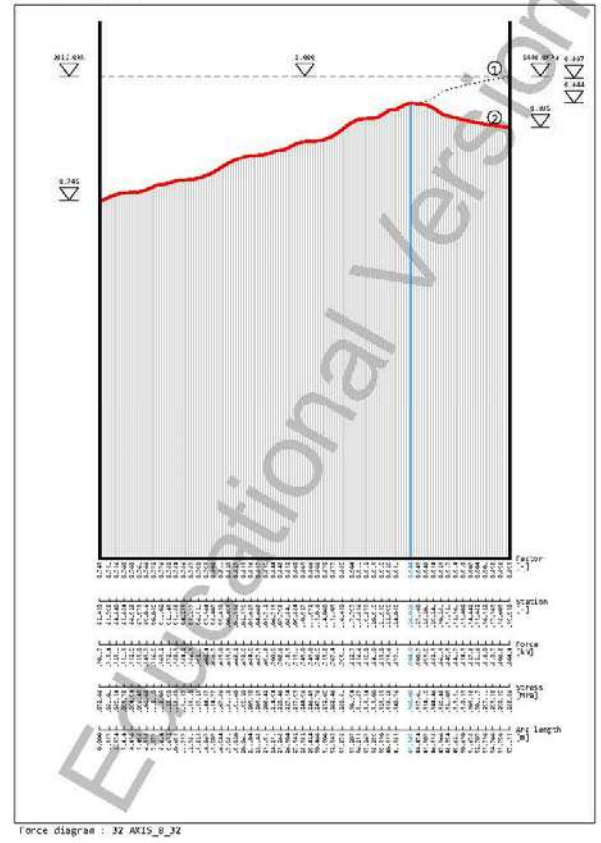


SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 144
SOFISTIK 2024-1.0 TENDON - GEOMETRY OF PRESTRESSING 2023-10-22
D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis

Prestressing method - Limits by standard: 32 AKIS_8_32

Limits	Factor [-]	Force [kN]	Stress [MPa]
Max. jacking force P _{max}	1.000	2816.8	1449.00
Max. mean force P _{0,0}	0.944	1986.9	1368.88
Max. force at jack anchor	0.944	1986.9	1368.88
Max. force at dead anchor	0.944	1986.9	1368.88

Sequence: from right (TS)
 1 - Stressing, 8 - stressing, 8 - releasing, 8 - slip
 Factor Reference Value [-] (P_{0,0} - 2012-01-01)
 Code - 28 - 28 days (max. Limit of summarized single tendons: 1



Overview
Overview stressing/releasing forces

No.	Title	Nten	Stres	Left [kN]		Right [kN]	
				Relax	Restr	Relax	Slip active
1	AXIS_1_1	1	1997.4	-	-	1815.8	1815.8
2	AXIS_2_2	1	1996.5	-	-	1814.0	1814.0
3	AXIS_3_3	1	1998.9	-	-	1813.6	1813.6
4	AXIS_A_4_4	1	1999.2	-	-	1813.3	1813.3
5	AXIS_5_5	1	1994.8	-	-	1817.3	1817.3
6	AXIS_6_6	1	1999.1	-	-	1817.8	1817.8
7	AXIS_7_7	1	1995.4	-	-	1816.7	1816.7
8	AXIS_8_8	1	1999.8	-	-	1816.5	1816.5
9	AXIS_9_9	1	-	-	-	1532.3	2093.8
10	AXIS_10_10	1	1996.4	-	-	1815.8	1815.8
11	AXIS_11_11	1	1996.5	-	-	1815.8	1815.8
12	AXIS_12_12	1	1996.5	-	-	1815.8	1815.8
13	AXIS_13_13	1	1997.1	-	-	1815.3	1815.3
14	AXIS_14_14	1	1996.8	-	-	1815.5	1815.5
15	AXIS_15_15	1	1996.8	-	-	1815.5	1815.5
16	AXIS_16_16	1	1996.8	-	-	1815.5	1815.5
17	AXIS_17_17	1	-	-	-	1579.6	2815.9
18	AXIS_2_18	1	-	-	-	1538.7	2811.7
19	AXIS_3_19	1	-	-	-	1499.7	2812.1
20	AXIS_4_20	1	-	-	-	1521.6	2812.4
21	AXIS_5_21	1	-	-	-	1573.6	2809.7
22	AXIS_6_22	1	-	-	-	1559.5	2808.5
23	AXIS_7_23	1	-	-	-	1488.8	2808.7
24	AXIS_9_24	1	1996.3	-	-	1816.8	1816.8
25	AXIS_10_25	1	-	-	-	1505.4	2809.8
26	AXIS_11_26	1	-	-	-	1468.6	2802.9
27	AXIS_12_27	1	-	-	-	1465.9	2805.8
28	AXIS_13_28	1	-	-	-	1528.8	2807.8
29	AXIS_14_29	1	-	-	-	1587.8	2805.7
30	AXIS_15_30	1	-	-	-	1442.5	2804.7
31	AXIS_16_31	1	-	-	-	1456.7	2804.7
32	AXIS_0_32	1	-	-	-	1501.7	2809.1

Overall forces during each stressing/releasing step.

Overview elongations

No.	Title	Stres	Left [mm]		Right [mm]	
			Relax	Restr	Relax	Slip active
1	AXIS_1_1	464.6	-	-	-6.8	458.0
2	AXIS_2_2	468.4	-	-	-6.8	454.4
3	AXIS_3_3	459.2	-	-	-6.8	453.2
4	AXIS_A_4_4	459.2	-	-	-6.8	453.2
5	AXIS_5_5	468.7	-	-	-6.8	463.7
6	AXIS_6_6	468.3	-	-	-6.8	454.3
7	AXIS_7_7	468.2	-	-	-6.8	454.2
8	AXIS_8_8	468.1	-	-	-6.8	454.1
9	AXIS_9_9	-	-	-	8.0	377.4
10	AXIS_10_10	461.0	-	-	-6.8	455.0
11	AXIS_11_11	468.2	-	-	-6.8	454.2
12	AXIS_12_12	458.6	-	-	-6.8	453.6
13	AXIS_13_13	465.2	-	-	-6.8	455.2
14	AXIS_14_14	468.4	-	-	-6.8	454.4
15	AXIS_15_15	459.9	-	-	-6.8	453.9
16	AXIS_16_16	459.3	-	-	-6.8	453.3
17	AXIS_1_17	-	-	-	8.0	373.2
18	AXIS_2_18	-	-	-	8.8	369.2

Overview elongations

No.	Title	Stres	Left [mm]		Right [mm]	
			Relax	Restr	Relax	Slip active
19	AXIS_3_19	-	-	-	-6.8	365.4
20	AXIS_4_20	-	-	-	-6.8	367.8
21	AXIS_5_21	-	-	-	-6.8	374.8
22	AXIS_6_22	-	-	-	-6.8	371.7
23	AXIS_7_23	-	-	-	-6.8	365.7
24	AXIS_9_24	469.0	-	-	-6.8	463.8
25	AXIS_10_25	-	-	-	-6.8	375.4
26	AXIS_11_26	-	-	-	-6.8	378.6
27	AXIS_12_27	-	-	-	-6.8	371.4
28	AXIS_13_28	-	-	-	-6.8	376.2
29	AXIS_14_29	-	-	-	-6.8	374.5
30	AXIS_15_30	-	-	-	-6.8	369.8
31	AXIS_16_31	-	-	-	-6.8	369.7
32	AXIS_0_32	-	-	-	-6.8	366.7

Elongation at each stressing/releasing step. Pos. when re-/stressed, neg. when released/slipping. Includes the additional elongations defined in the prestressing system for the first stressing. **Remark:** Please note that the elongations do NOT include elastic shortening effects.

Duct volumes

RefAxis	T-geom	Length [m]	DO [mm]	Cross section [mm ²]	Nten	Duct volume [m ³]
1	5000	129.282	72.0	4872	1	0.526
2	5001	129.400	72.0	4872	1	0.527
3	5002	129.507	72.0	4872	1	0.527
4	5003	129.546	72.0	4872	1	0.527
5	5004	129.433	72.0	4872	1	0.527
6	5005	129.515	72.0	4872	1	0.527
7	5006	129.650	72.0	4872	1	0.528
8	5007	129.785	72.0	4872	1	0.528
9	5008	132.385	72.0	4872	1	0.539
10	5009	132.348	72.0	4872	1	0.539
11	5010	132.324	72.0	4872	1	0.539
12	5011	132.293	72.0	4872	1	0.539
13	5012	132.074	72.0	4872	1	0.538
14	5013	132.141	72.0	4872	1	0.538
15	5014	132.228	72.0	4872	1	0.538
16	5015	132.152	72.0	4872	1	0.538
Sum						2893.977

RefAxis Reference axis
T-geom Duct layer
DO Diameter of the duct in [mm]

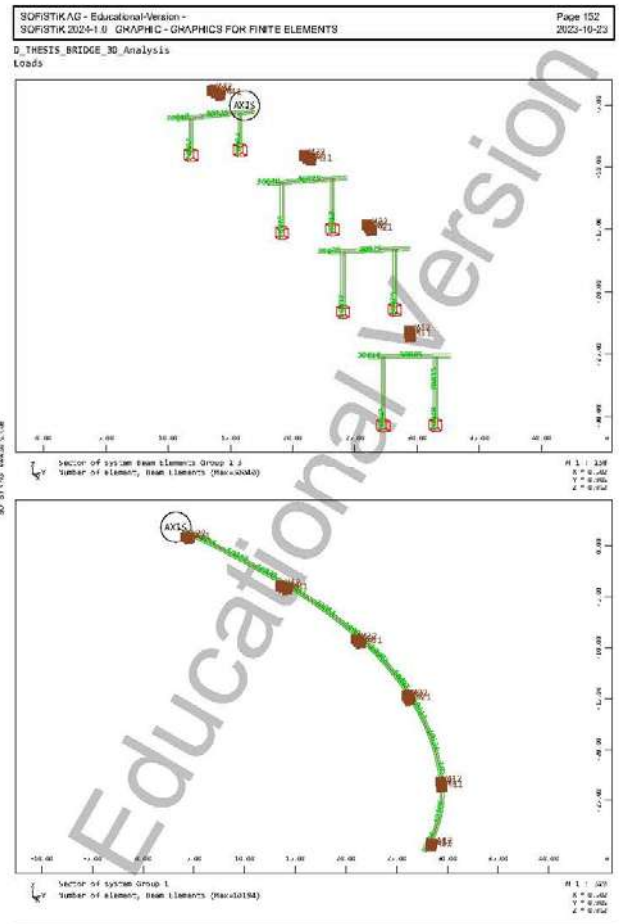
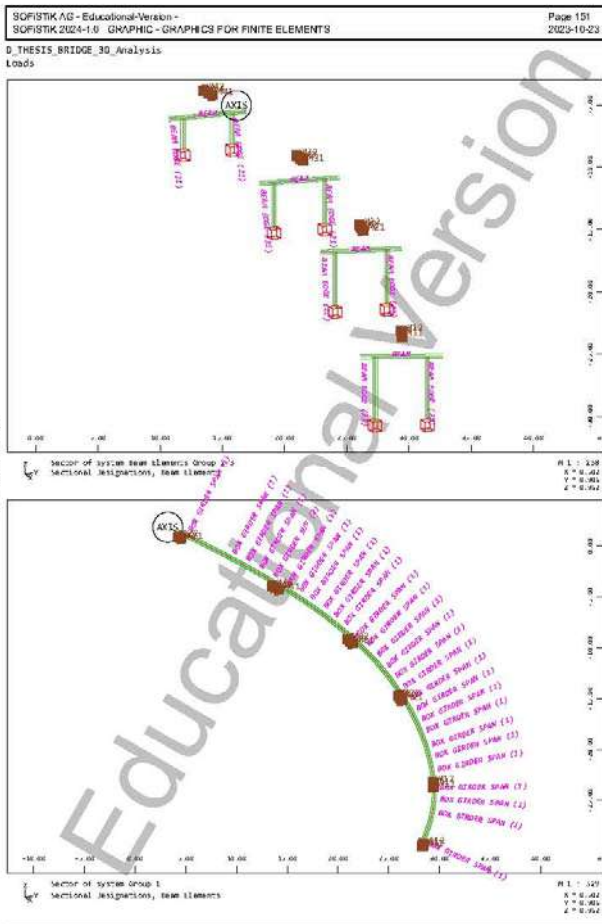
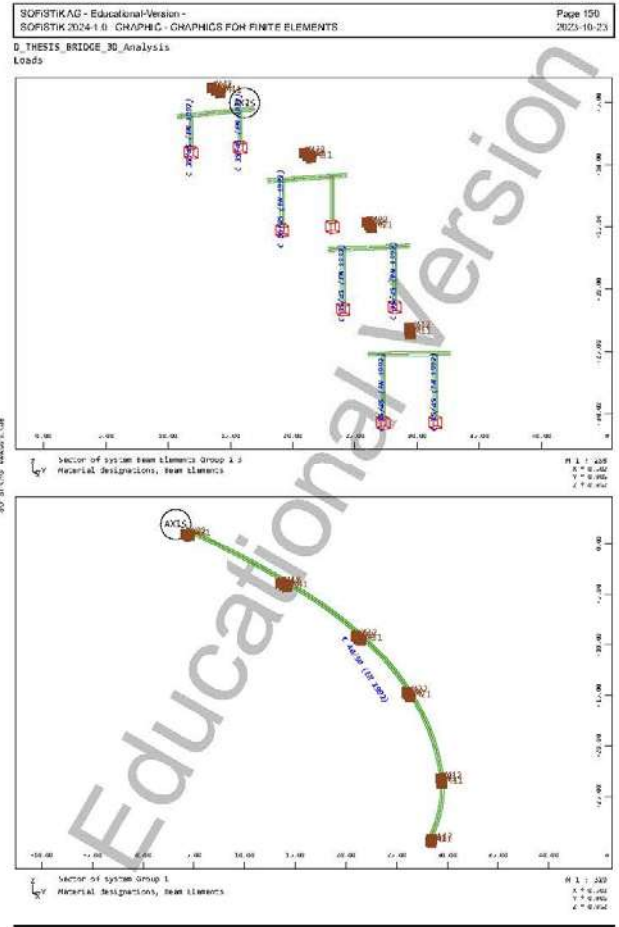
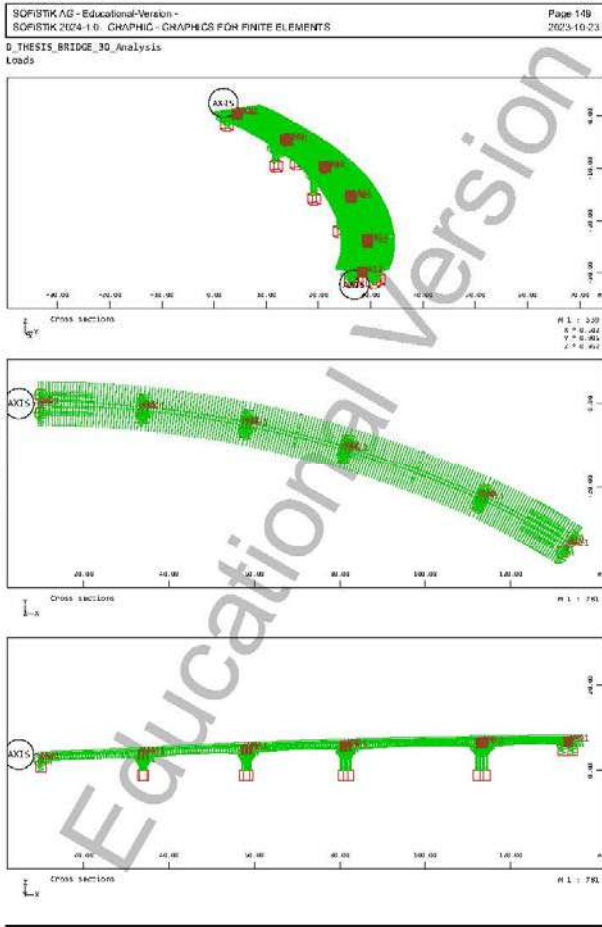
Masses of prestressing steel

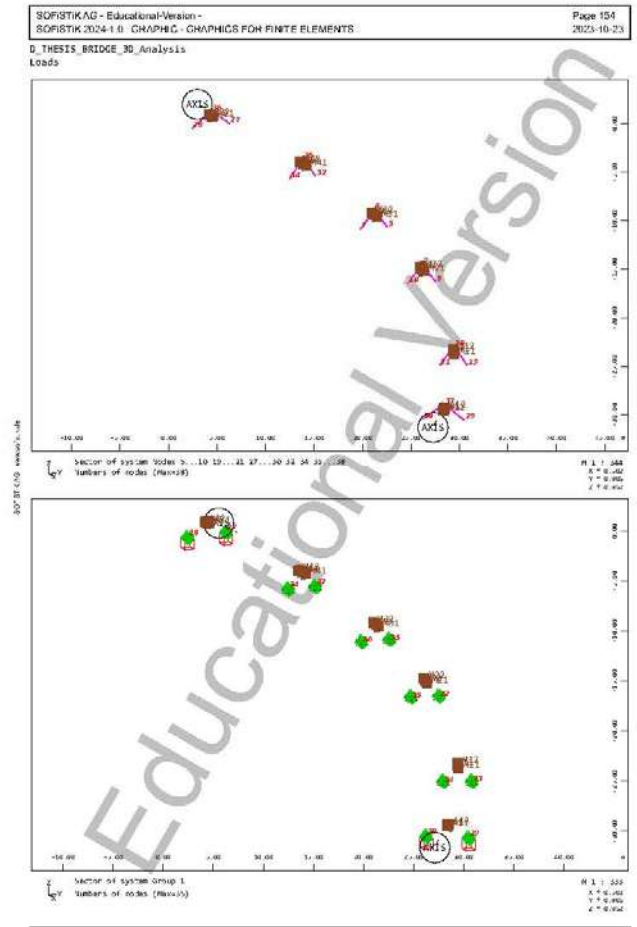
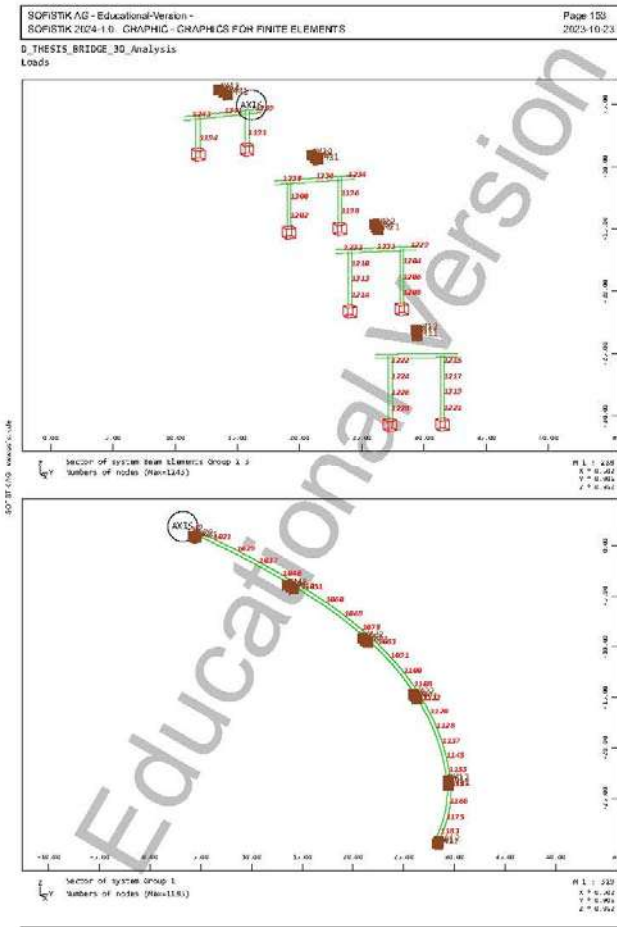
RefAxis	T-geom	Tendon	Length [m]	Steel area [mm ²]	Nten	Steel volume [m ³]	Steel weight [t]
1	5000	1	72.345	1400	1	0.101	0.795
2	5001	2	72.418	1400	1	0.101	0.796
3	5002	3	72.452	1400	1	0.101	0.796
4	5003	4	72.478	1400	1	0.101	0.797
5	5004	5	72.411	1400	1	0.101	0.796
6	5005	6	72.478	1400	1	0.101	0.796
7	5006	7	72.515	1400	1	0.102	0.797
8	5007	8	72.542	1400	1	0.102	0.797
9	5008	9	58.425	1400	1	0.082	0.642
10	5009	10	73.919	1400	1	0.103	0.812
11	5010	11	73.904	1400	1	0.103	0.812
12	5011	12	73.981	1400	1	0.103	0.812

Masses of prestressing steel

RefAxis	T-geom	Tendon	Length [m]	Steel area [mm ²]	Nten	Steel volume [m ³]	Steel weight [t]
13	5012	13	73.788	1400	1	0.103	0.811
14	5013	14	73.841	1400	1	0.103	0.812
15	5014	15	73.841	1400	1	0.103	0.812
16	5015	16	73.816	1400	1	0.103	0.811
1	5000	17	56.914	1400	1	0.080	0.625
2	5001	18	56.963	1400	1	0.080	0.626
3	5002	19	57.027	1400	1	0.080	0.627
4	5003	20	57.039	1400	1	0.080	0.627
5	5004	21	57.001	1400	1	0.080	0.626
6	5005	22	57.020	1400	1	0.080	0.627
7	5006	23	57.116	1400	1	0.080	0.628
8	5008	24	73.033	1400	1	0.104	0.813
9	5009	25	58.302	1400	1	0.082	0.642
11	5010	26	58.309	1400	1	0.082	0.642
12	5011	27	58.308	1400	1	0.082	0.641
13	5012	28	58.269	1400	1	0.082	0.640
14	5013	29	58.271	1400	1	0.082	0.640
15	5014	30	58.347	1400	1	0.082	0.641
16	5015	31	58.304	1400	1	0.082	0.641
8	5007	32	57.135	1400	1	0.080	0.628
Sum						2893.538	23.088

RefAxis Reference axis
T-geom Duct layer
Nten Number of extended tendons





SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0_ASE - ADVANCED SOLUTION ENGINE Page 155
2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of forces and moments

Load Case	Factor forces and moments	unfavourable partial safety factor	favourable partial safety factor	Combination coefficient	Combination coefficient	Combination coefficient	Combination coefficient
1 (G ₁) G	1.000	1.000	1.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	1.000 (frequent)	1.000 (permanent)
2 (G ₂) G	1.000	1.350	1.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	1.000 (frequent)	1.000 (permanent)
3 (P) P	1.000	1.000	1.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	1.000 (frequent)	1.000 (permanent)
10 (C) S	1.000	1.000	1.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	1.000 (frequent)	1.000 (permanent)
200 (M) Mx	1.000	1.500	0.000	0.600 (rare)	0.600 (infrequent)	0.200 (frequent)	0.000 (permanent)
201 (2W) Mx+	1.000	1.500	0.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	0.000 (frequent)	0.000 (permanent)

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0_ASE - ADVANCED SOLUTION ENGINE Page 156
2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of forces and moments

Load Case	Factor forces and moments	unfavourable partial safety factor	favourable partial safety factor	Combination coefficient	Combination coefficient	Combination coefficient	Combination coefficient
202 (M) My	1.000	1.500	0.000	0.600 (rare)	0.600 (infrequent)	0.200 (frequent)	0.000 (permanent)
203 (2W) My+	1.000	1.500	0.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	0.000 (frequent)	0.000 (permanent)
204 (M) Mz	1.000	1.500	0.000	0.600 (rare)	0.600 (infrequent)	0.200 (frequent)	0.000 (permanent)
205 (2W) Mz+	1.000	1.500	0.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	0.000 (frequent)	0.000 (permanent)
210 (M) Mx-	1.000	1.500	0.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	0.000 (frequent)	0.000 (permanent)
211 (2W) Mx-	1.000	1.500	0.000	0.000 (rare)	1.000 (infrequent)	0.000 (frequent)	0.000 (permanent)

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ASE - ADVANCED SOLUTION ENGINE Page 157
2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of forces and moments

Load Case 212 (M) My-
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.200 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.800 (permanent)

Load Case 213 (ZW) Myz-
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 1.000 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 1.000 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.000 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.800 (permanent)

Load Case 214 (M) Mz-
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.200 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.800 (permanent)

Load Case 215 (ZW) Mxz-
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 1.000 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 1.000 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.000 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.800 (permanent)

Load Case 300 (T) DTN,exp
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Load Case 301 (T) DTN,con
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ASE - ADVANCED SOLUTION ENGINE Page 158
2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of forces and moments

Load Case 302 (T) DTN,heat
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Load Case 303 (T) DTN*,heat
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Load Case 304 (T) DTN,cool
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Load Case 305 (T) DTN*,cool
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Load Case 310 (T) (DTN,h+DTN*,h)+w*DTN,c
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 302 with factor 1.000
Selected loads copied from load case 303 with factor 1.000
Selected loads copied from load case 300 with factor 0.350

Load Case 320 (T) (DTN,c+DTN*,c)+w*DTN,c
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 302 with factor 1.000
Selected loads copied from load case 303 with factor 1.000

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ASE - ADVANCED SOLUTION ENGINE Page 159
2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of forces and moments

Load Case 320 (T) (DTN,c+DTN*,c)+w*DTN,c
Selected loads copied from load case 301 with factor 0.350

Load Case 330 (T) w*(DTN,h+DTN*,h)+DTN,e
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 302 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 303 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 300 with factor 1.000

Load Case 340 (T) w*(DTN,c+DTN*,c)+DTN,c
Factor forces and moments 1.000
unfavourable partial safety factor 1.500
favourable partial safety factor 0.800
Combination coefficient ψ_0 0.600 (rare)
Combination coefficient $\psi_{1,inf}$ 0.600 (infrequent)
Combination coefficient ψ_1 0.600 (frequent)
Combination coefficient ψ_2 0.500 (permanent)

Selected loads copied from load case 304 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 305 with factor 0.750
Selected loads copied from load case 301 with factor 1.000

Sum of Loadings

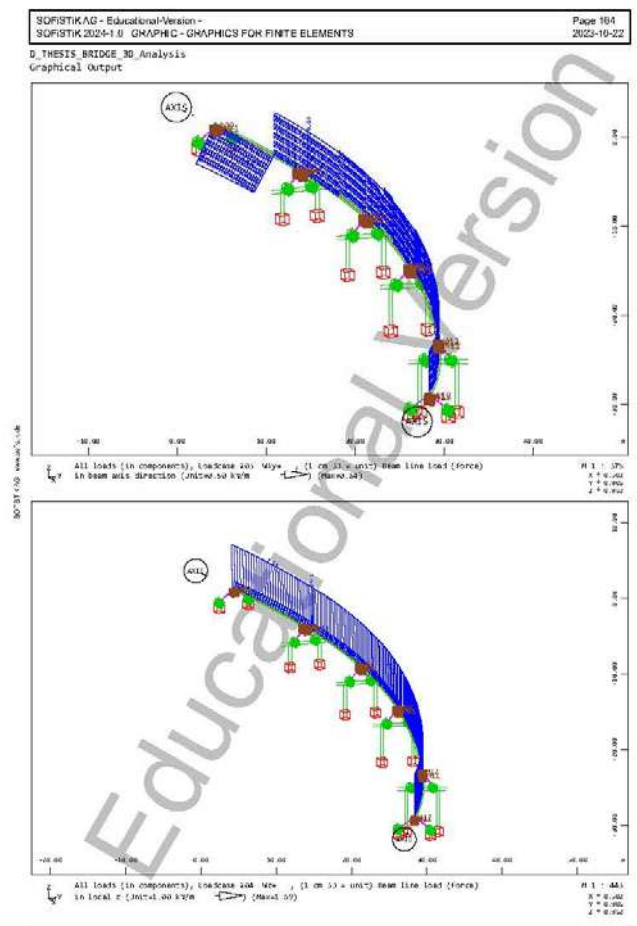
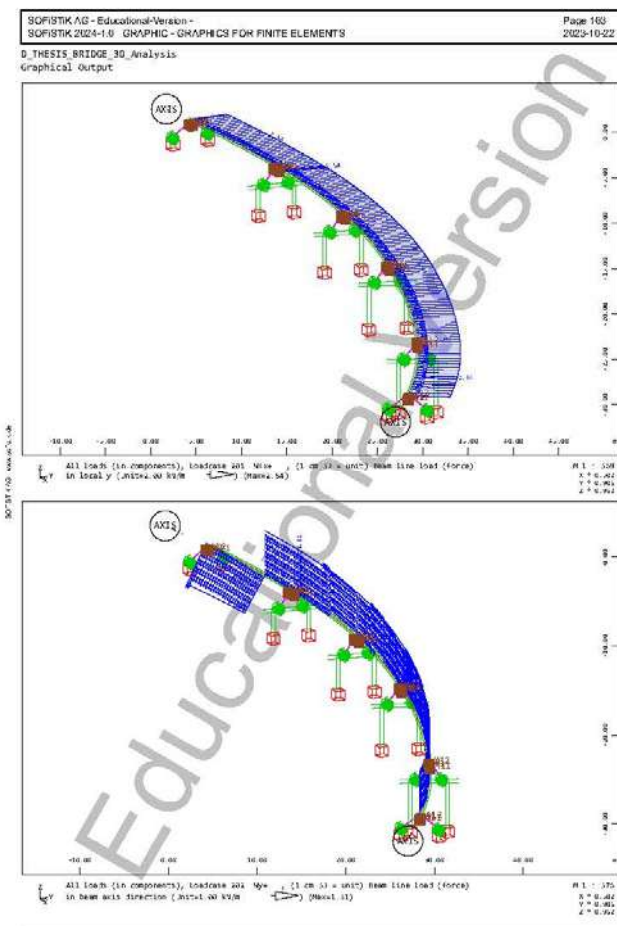
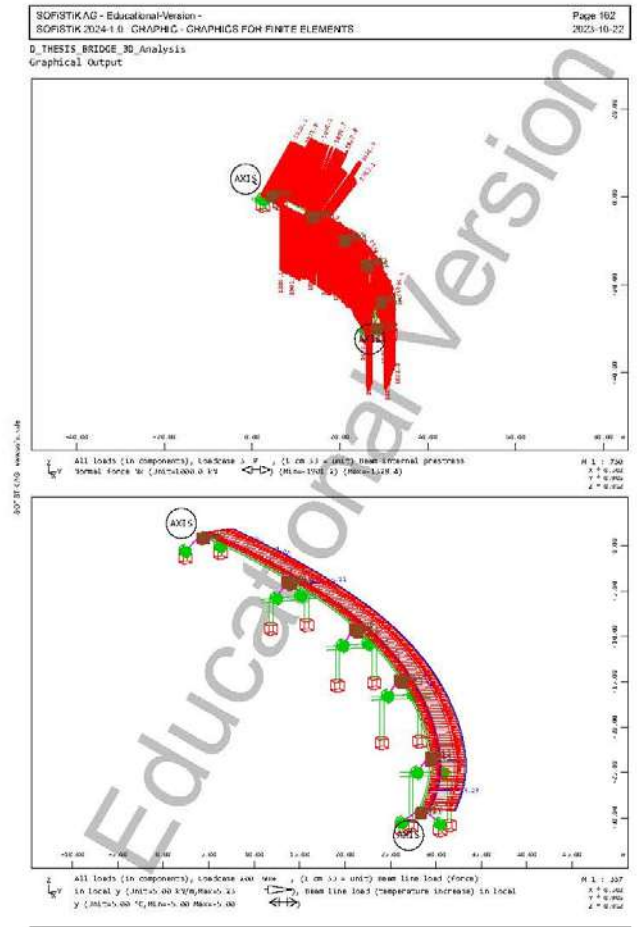
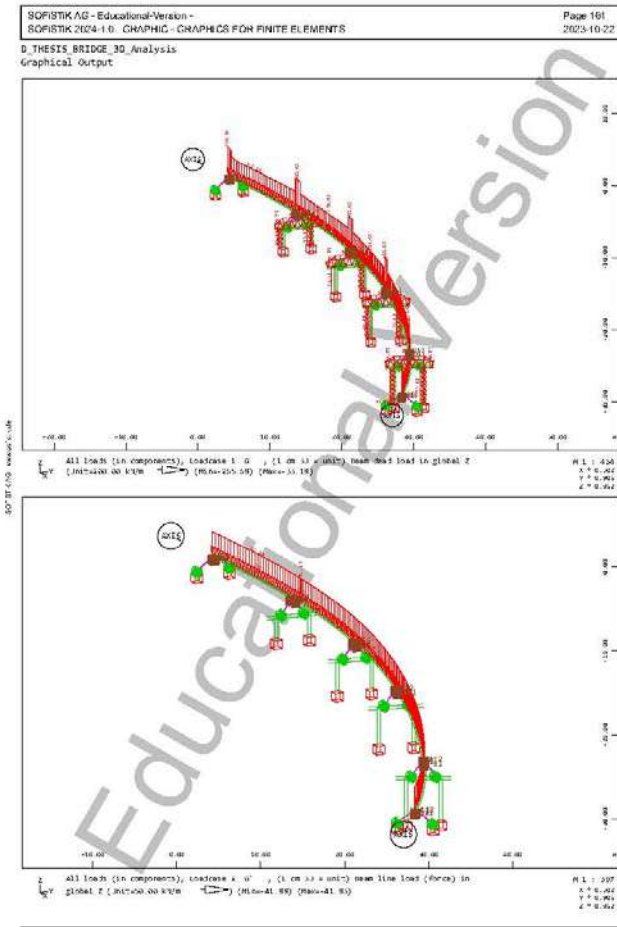
Loadcase	X[kN]	Y[kN]	Z[kN]	Designation
1	0.0	0.0	-24521.8	G
2	0.0	0.0	-5463.1	G'
3	0.0	0.0	0.0	P
10	0.0	0.0	0.0	S
200	-176.8	-658.2	0.0	wx+
201	-85.9	-315.8	0.0	wTx+
202	162.8	-44.3	5.3	wy+
203	79.5	-21.6	2.6	wTy+
204	6.6	-1.4	-228.3	wz+
205	3.2	-0.7	-106.9	wTz+
210	100.1	0.0	106.9	wx-
211	85.9	315.8	0.0	wTx-
212	-162.8	44.3	-5.3	wy-
213	-79.5	21.6	-2.6	wTy-
214	-6.6	1.4	-228.3	wz-
215	-3.2	0.7	-106.9	wTz-
300	0.0	0.0	0.0	DTN,exp
301	0.0	0.0	0.0	DTN,con
302	0.0	0.0	0.0	DTN,heat
303	0.0	0.0	0.0	DTN*,heat
304	0.0	0.0	0.0	DTN,cool
305	0.0	0.0	0.0	DTN*,cool
310	0.0	0.0	0.0	(DTN,h+DTN*,h)+w*DTN,c
320	0.0	0.0	0.0	(DTN,c+DTN*,c)+w*DTN,c
330	0.0	0.0	0.0	w*(DTN,h+DTN*,h)+DTN,e
340	0.0	0.0	0.0	w*(DTN,c+DTN*,c)+DTN,c

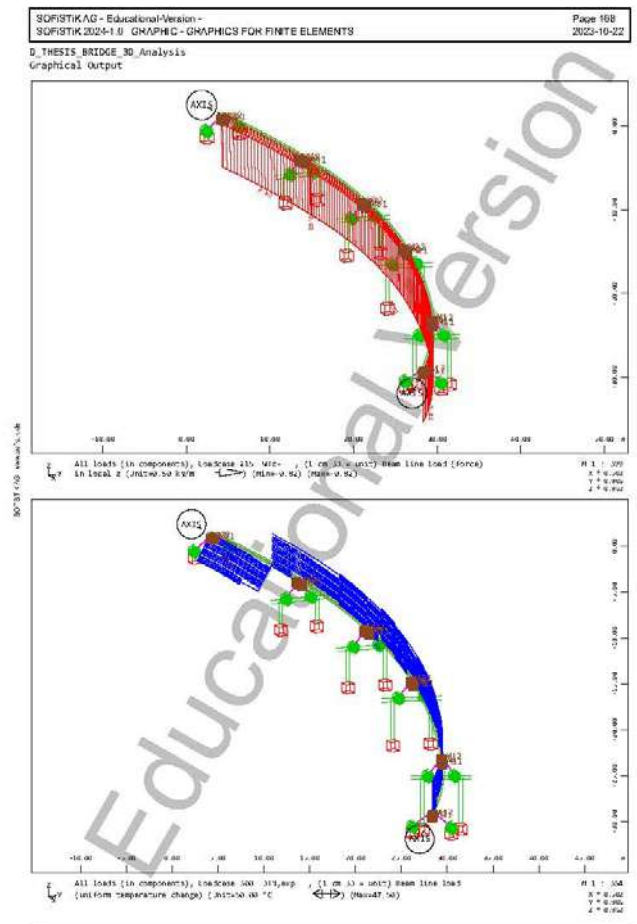
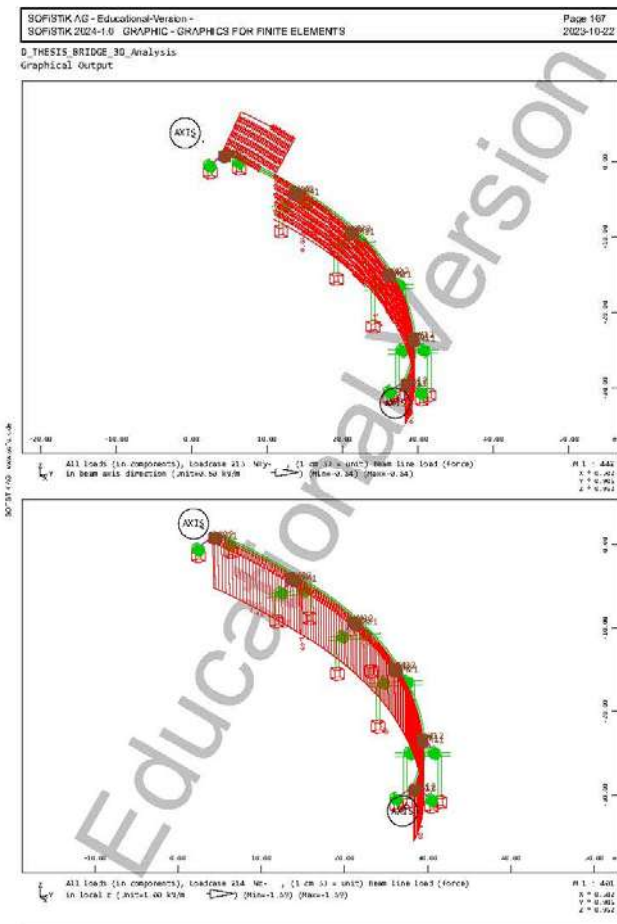
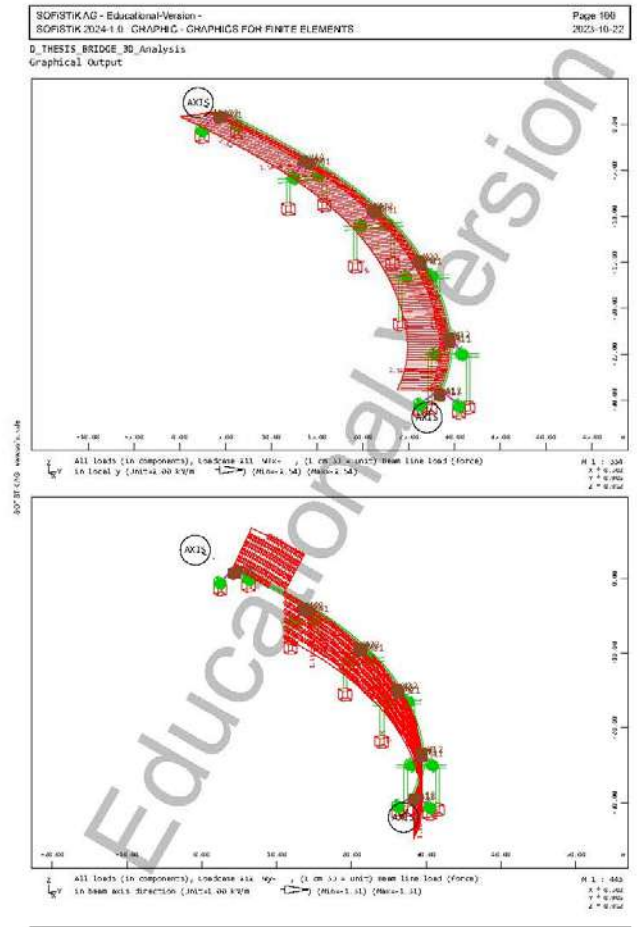
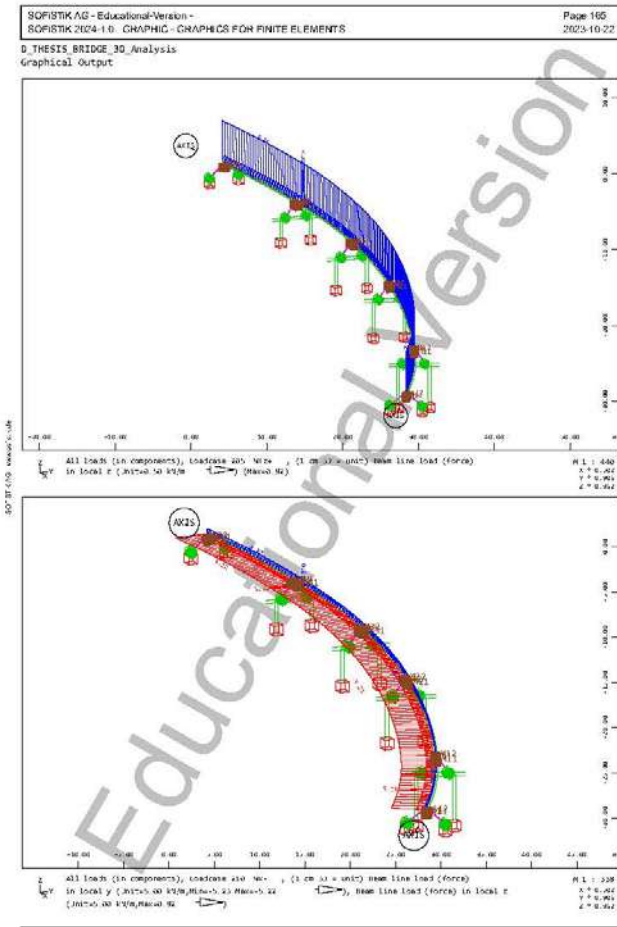
SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ASE - ADVANCED SOLUTION ENGINE Page 160
2023-10-22

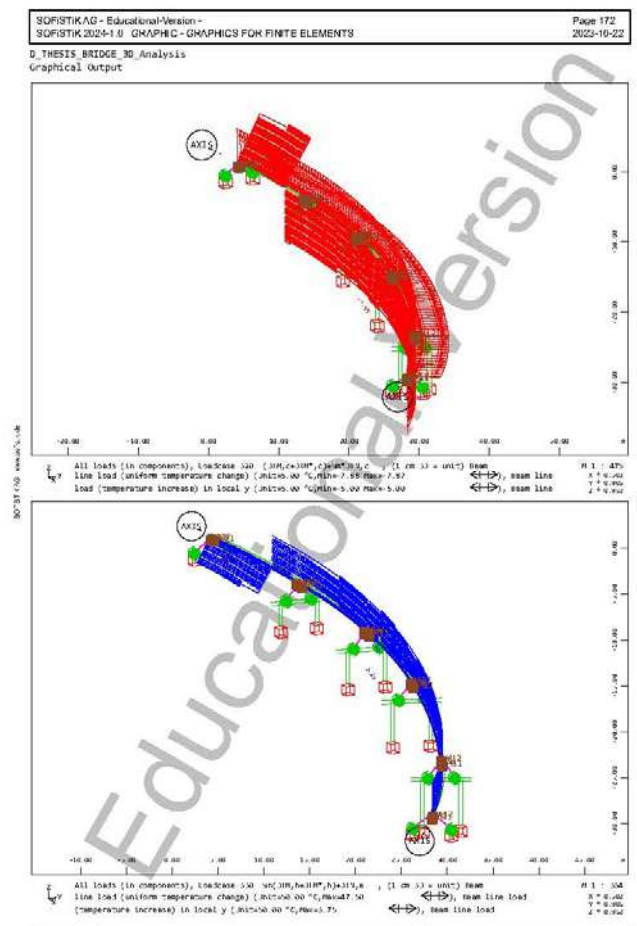
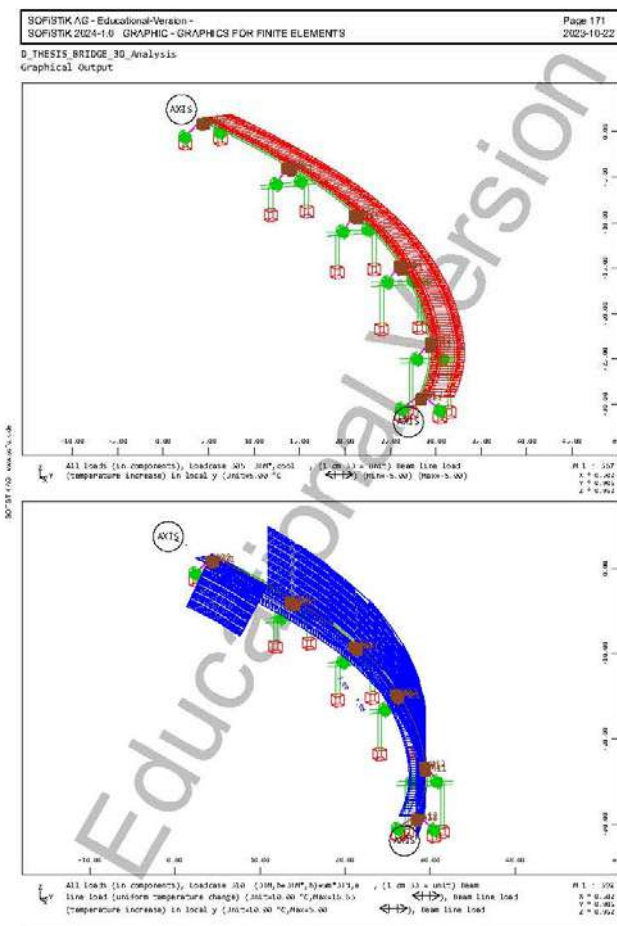
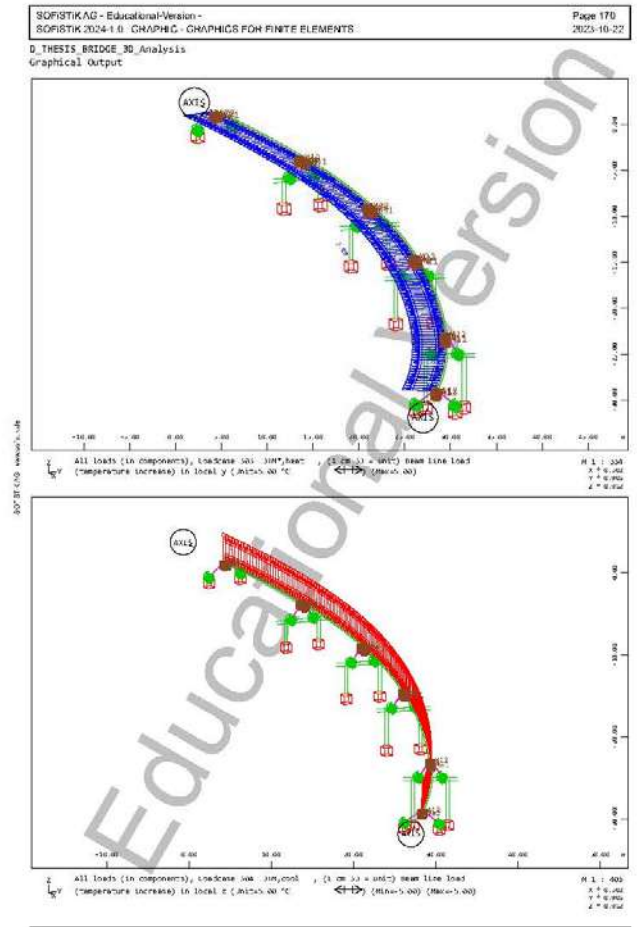
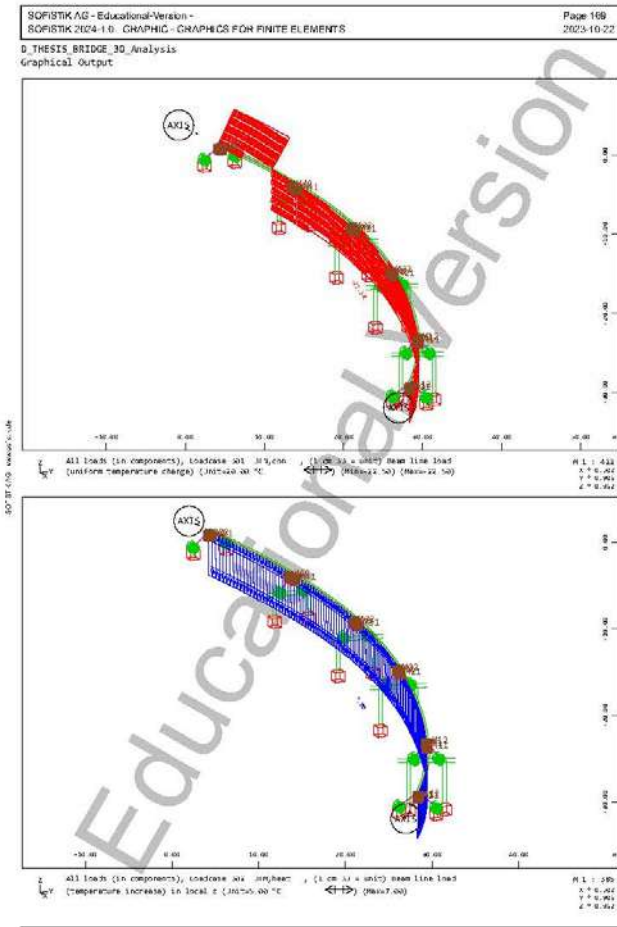
D_THESIS_BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of forces and moments

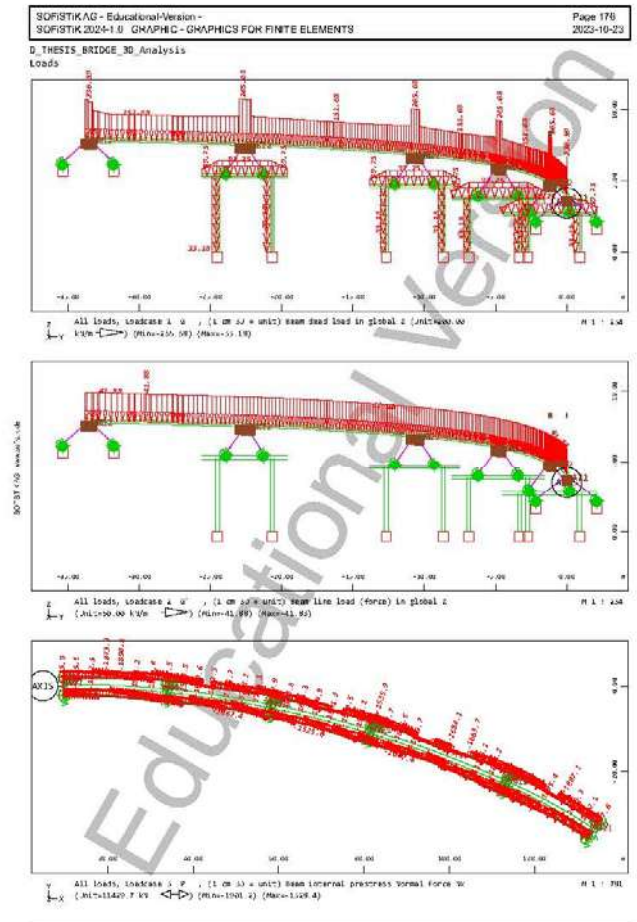
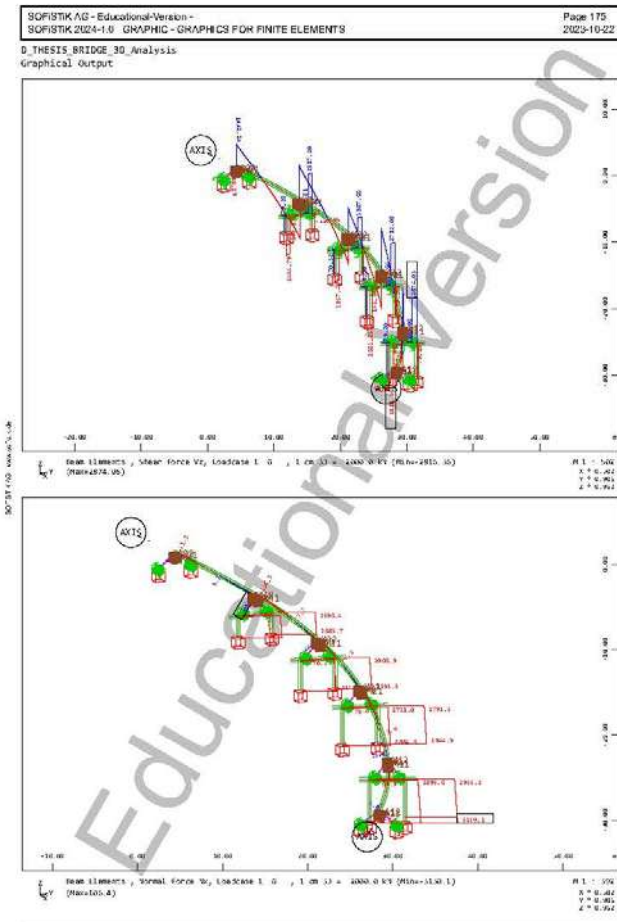
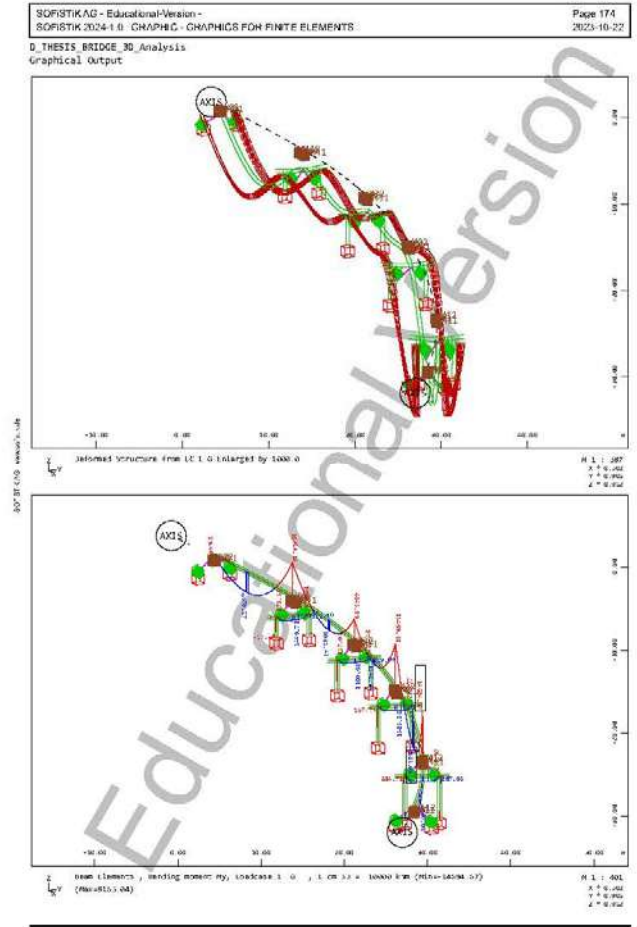
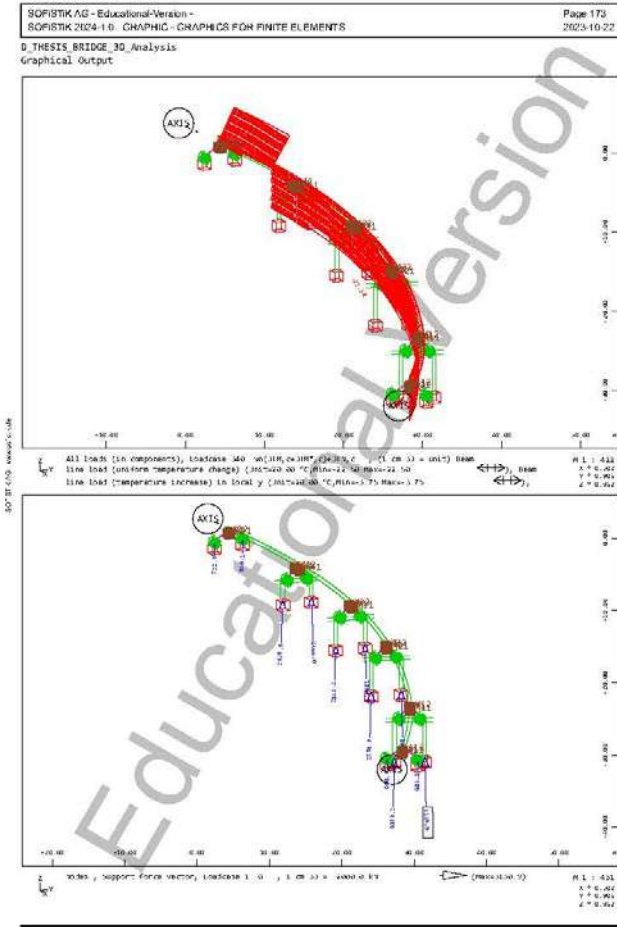
Sum of Reactions and Loadings

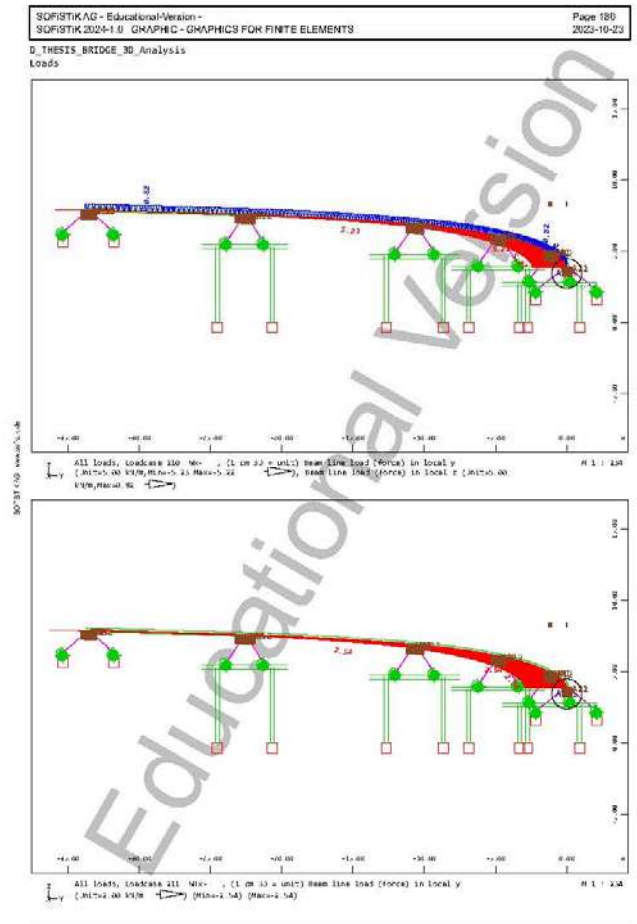
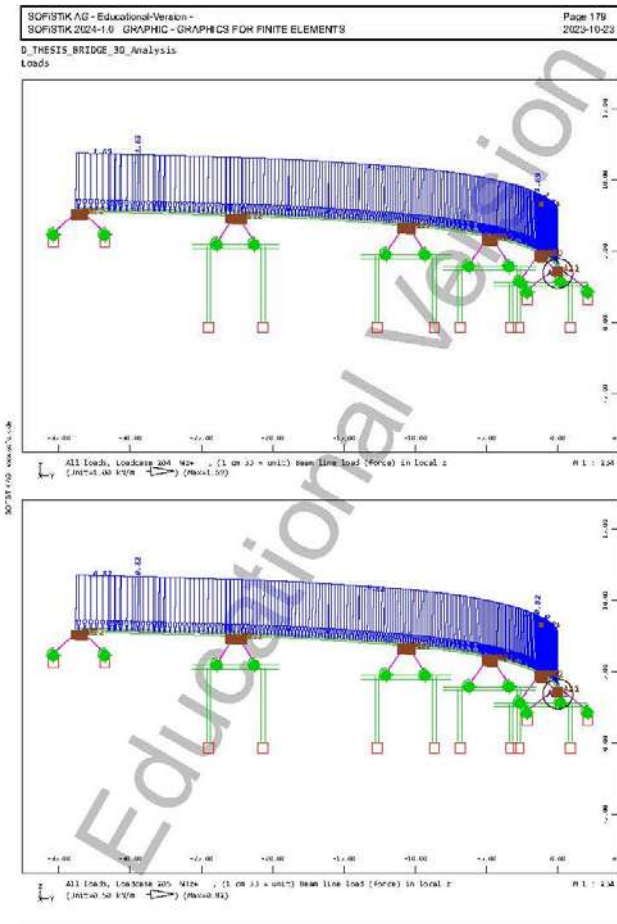
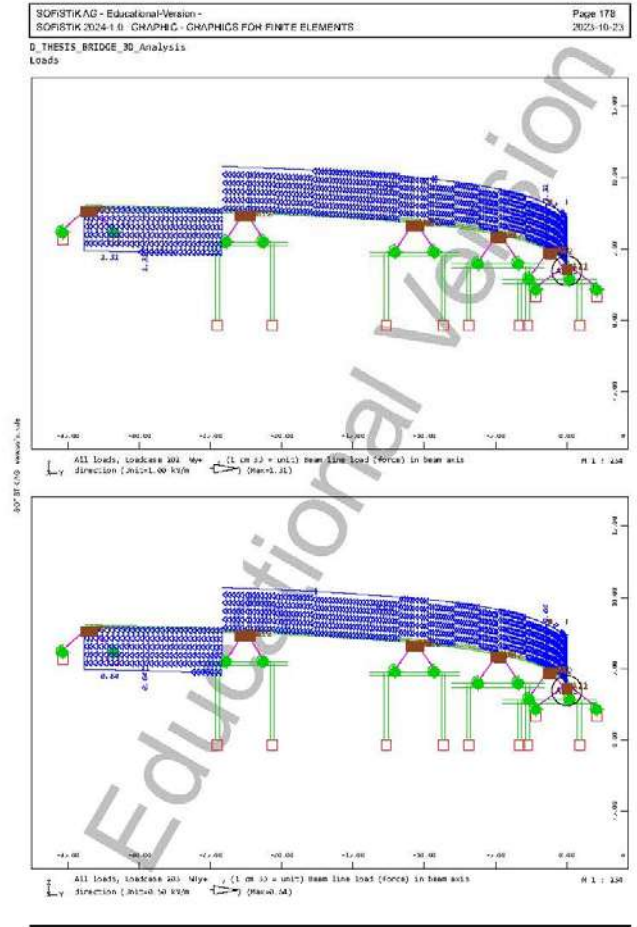
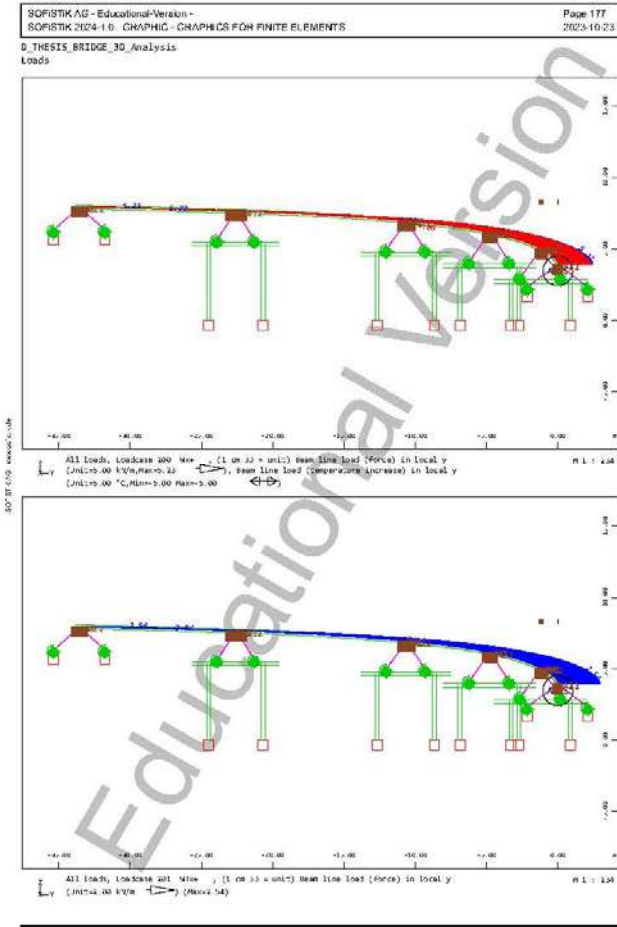
Loadcase	Z (Reactions)			Designation
	X[kN]	Y[kN]	Z[kN]	
1	0.0	0.0	24521.8	G
2	0.0	0.0	-24521.8	G'
3	0.0	0.0	5463.1	G'
10	0.0	0.0	-5463.1	G
3	0.0	0.0	0.0	P
10	0.0	0.0	0.0	S
200	176.8	658.2	0.0	wx+
201	-85.9	-315.8	0.0	wTx+
202	-162.8	-44.3	5.3	wy+
203	-79.5	-21.6	2.6	wTy+
204	6.6	-1.4	-228.3	wz+
205	3.2	-0.7	-106.9	wTz+
210	-100.1	0.0	106.9	wx-
211	-85.9	315.8	0.0	wTx-
212	162.8	44.3	-5.3	wy-
213	79.5	21.6	-2.6	wTy-
214	6.6	-1.4	-228.3	wz-
215	3.2	-0.7	-106.9	wTz-
300	0.0	0.0	0.0	DTN,exp
301	0.0	0.0	0.0	DTN,con
302	0.0	0.0	0.0	DTN,heat
303	0.0	0.0	0.0	DTN*,heat
304	0.0	0.0	0.0	DTN,cool
305	0.0	0.0	0.0	DTN*,cool
310	0.0	0.0	0.0	(DTN,h+DTN*,h)+w*DTN,c
320	0.0	0.0	0.0	(DTN,c+DTN*,c)+w*DTN,c
330	0.0	0.0	0.0	w*(DTN,h+DTN*,h)+DTN,e
340	0.0	0.0	0.0	w*(DTN,c+DTN*,c)+DTN,c

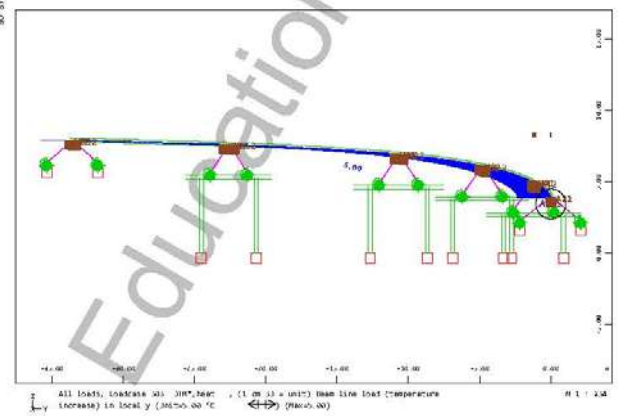
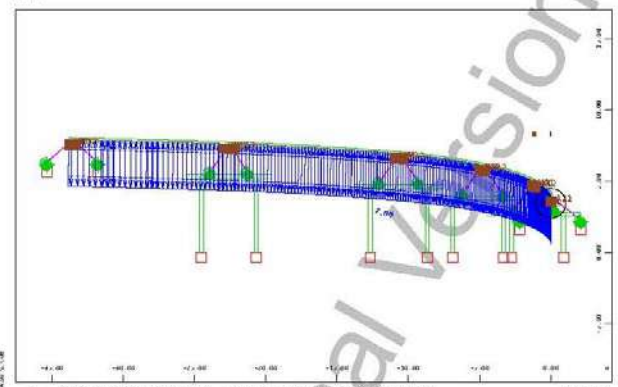
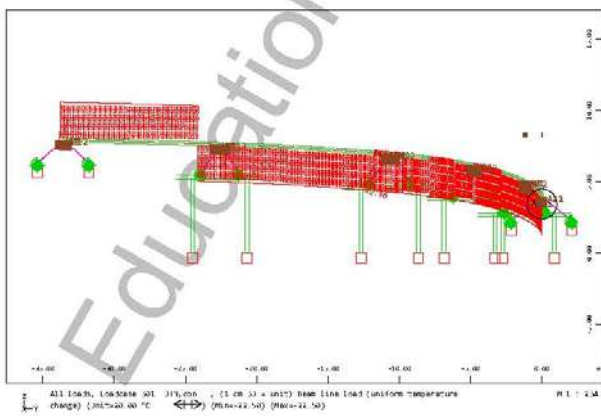
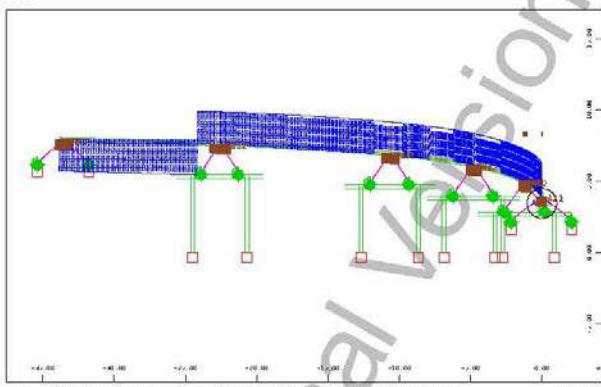
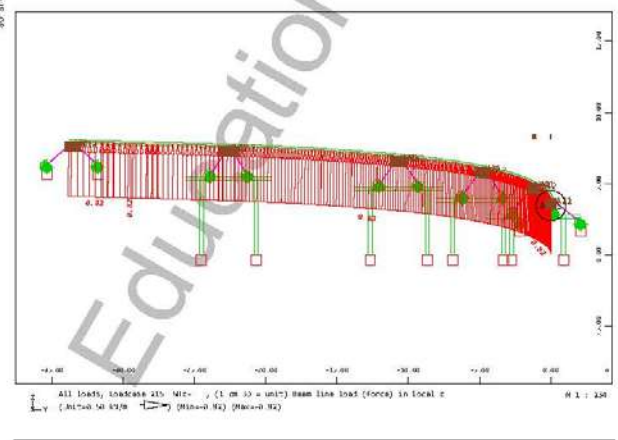
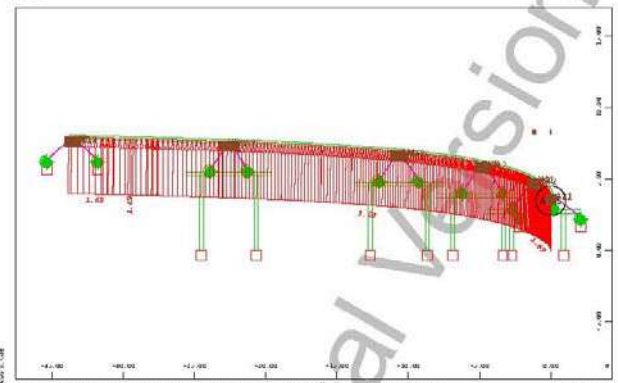
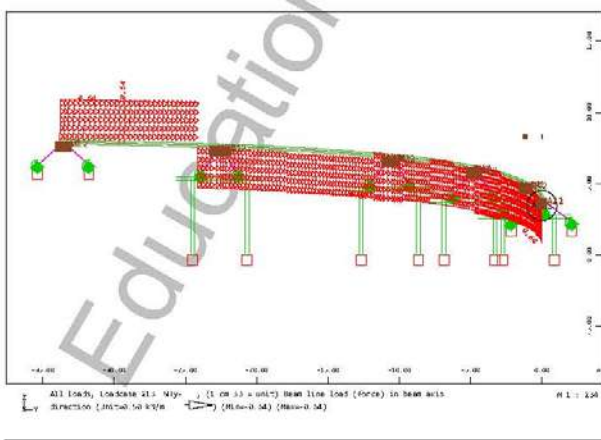
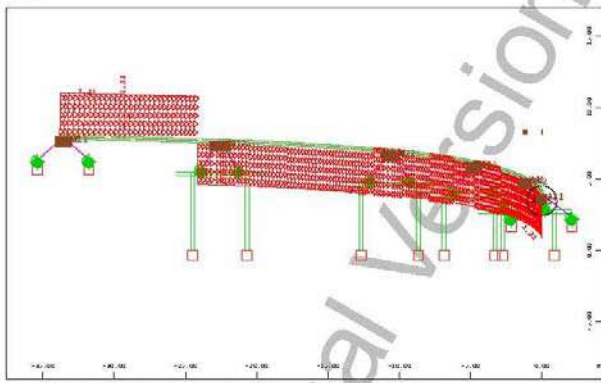


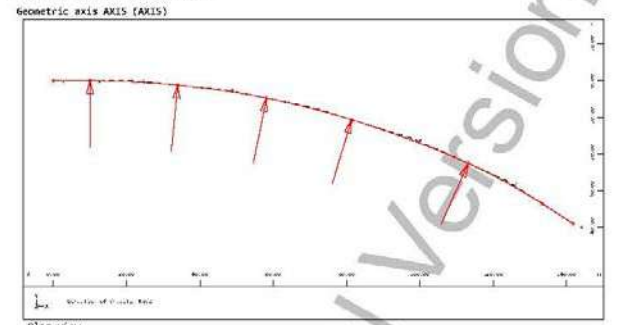
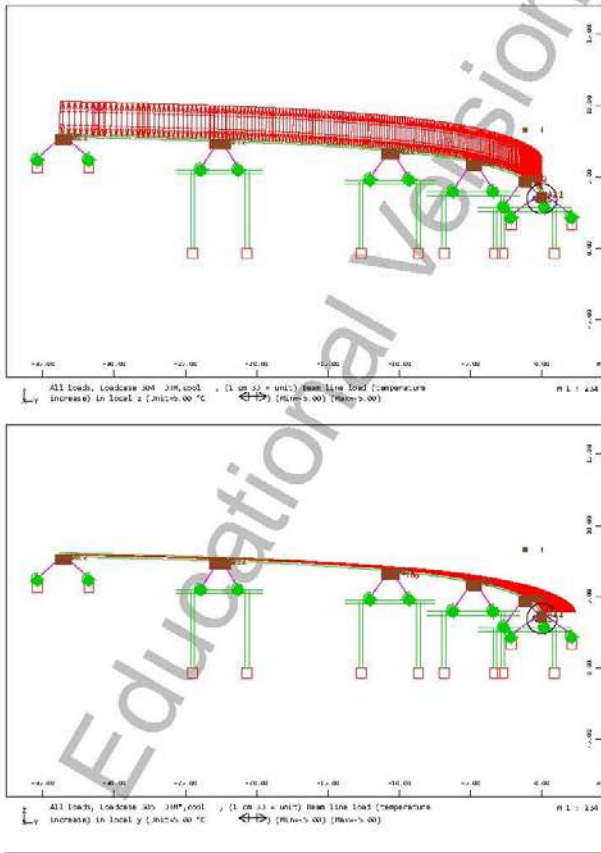












Plan view

Tangential intersection points

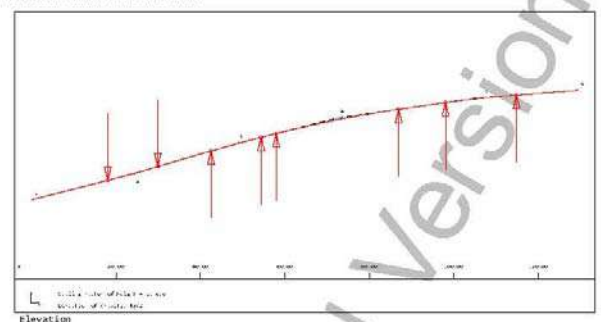
Ident	S [m]	X [m]	Y [m]	R [m]	La [m]	Le [m]	Tau [°]
IP 1	0.000	0.000	0.000				
IP 2	18.000	18.000	0.000				
IP 3	24.000	22.010	0.000	245.000			5.61
IP 4	58.450	46.138	-2.371	245.000			5.72
IP 5	82.450	69.910	-7.135	245.000			5.61
IP 6	116.450	97.662	-15.395	278.000			7.22
IP 7	139.450	123.727	-27.277	158.000			8.79
IP 8	149.450	141.780	-36.962				

R: radius value
 X, Y: coordinates of the tangential intersection point
 R: radius in side of tangency
 La: length of the first transition element
 Le: length of the second transition element
 Tau: deflection angle

Segments

Ident	S [m]	X [m]	Y [m]	L [m]	Ra [m]	Rc [m]	A [m]
IP	straight	0.000	0.000	0.000	18.000		
TC	circle	18.000	18.000	0.000	24.000	245.000	245.000
CC	circle	34.000	33.042	-1.175	24.450	245.000	245.000
CC	circle	58.450	58.135	-4.775	24.000	245.000	245.000
CC	circle	82.450	81.399	-10.634	34.000	278.000	278.000
CC	circle	116.450	113.214	-22.562	23.000	158.000	158.000
CT	straight	139.450	133.397	-33.544	10.000		
IP		149.450	141.780	-36.962			

R: radius value at start point
 X, Y: coordinates of start point
 Ra, Rc: radius at start / end point
 L: length of the segment
 A: abscissa constant R/L * A



Elevation

Tangential intersection points

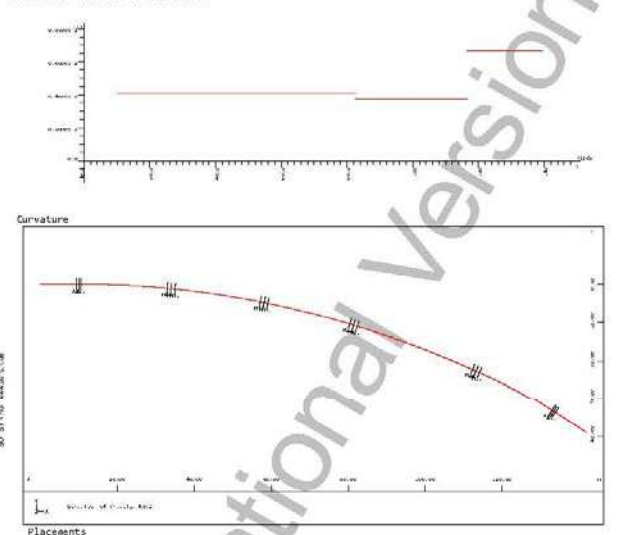
Ident	S [m]	H [m]	R [m]
IP 1	0.000	3.500	
IP 2	28.000	4.500	1600.000
IP 3	48.450	5.700	1600.000
IP 4	72.450	6.700	1600.000
IP 5	100.450	7.500	1600.000
IP 6	129.450	7.800	

R: radius value
 H: height of the girack object
 R: radius of curvature

Segments

Ident	S [m]	H [m]	L [m]	R [m]	I (o/oo)
IP	0.000	3.500	18.070		41.7
TC	18.070	4.253	11.061	1600.000	
CT	29.930	4.793	12.569		49.1
TC	42.520	5.400	11.061	1600.000	
CT	54.380	5.947	3.060		41.7
TC	57.940	6.095	29.920	1600.000	
CT	86.960	7.041	11.181		23.5
TC	98.905	7.303	16.777	1600.000	
CT	114.630	7.605	14.611		13.8
IP	129.450	7.800			

R: radius value at start point
 H: height at start point
 L: length of the segment
 R: radius of curvature
 I: inclination



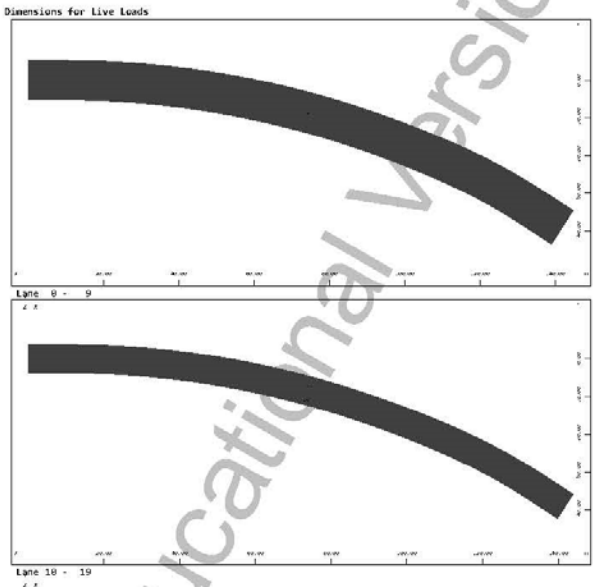
Placements

Input data

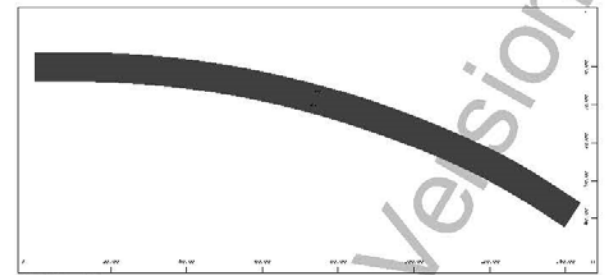
ID	S [m]	Type	IDS	NPT	GRP	NOS	ALP [°]	ALPZ [°]	INCR [o/o]	INCL [o/o]	Title
N3:	58.450	S	0						0.00	0.00	
N4:	34.000	S	0						0.00	0.00	
AL2:	139.950	0							0.00	0.00	
N31:	59.450	0							0.00	0.00	
AL1:	139.950	0							0.00	0.00	
N27:	81.450	0							0.00	0.00	
AL2:	115.450	0							0.00	0.00	
N211:	110.500	0							0.00	0.00	
N41:	35.000	0							0.00	0.00	
A2:	10.000	0							0.00	0.00	
N2:	82.450	S	0						0.00	0.00	
N32:	57.450	0							0.00	0.00	
AL1:	117.450	0							0.00	0.00	
N21:	83.450	0							0.00	0.00	
AL:	139.450	0							0.00	0.00	
N1:	116.450	S	0						0.00	0.00	
A22:	9.500	A	0						0.00	0.00	
N22:	33.000	0							0.00	0.00	

D.THESES BRIDGE 3D Analysis
POSITIONAL VARIANTS OF LOAD TRAINS

SI: Material color: NSB
Type: Type of the element: A111
SD: Selection of the secondary axis: A121
V1: Width of the structural part (without A statement): 10000, 10000, 10000
CE: Area of the part at the reference surface: 1000000, 1000000, 1000000



D.THESES BRIDGE 3D Analysis
POSITIONAL VARIANTS OF LOAD TRAINS



Lane 0 - 99

S	n	yc	yr	yl	l-ph	hs	incl	h-eff	b-eff	d-eff	a-s1
0.000	0	0.000	5.250	5.250	149.45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
149.450	0	0.000	5.250	-5.250	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.250		
0.000	1	0.000	3.750	-3.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.000	0.000	0.000
149.450	0	0.000	3.750	3.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.250		
0.000	10	2.250	3.750	0.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.000	0.000	0.000
149.450	0	2.250	3.750	0.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.250		
0.000	11	0.750	0.750	-3.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.000	0.000	0.000
149.450	0	0.750	0.750	-3.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.250		
0.000	20	-2.250	-0.750	-3.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.000	0.000	0.000
149.450	0	-2.250	-0.750	-3.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.250		
0.000	21	0.750	3.750	-0.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.000	0.000	0.000
149.450	0	0.750	3.750	-0.750	149.45	0.000	0.000	inc-d=	0.250		

Actions

Type	part	sup	Designation	y-u	y-f	y-a	ψ _u	ψ _f	ψ _a	ψ _{inf}
G.1	G	pern	dead load g1	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G.2	G	pern	dead load g2	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZP	G	pern	Static undetermined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C.1	P	pern	creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C.2	P	pern	creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	P	pern	prestressing	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PB	P	pern	Static determined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T	Q	excl	temperature loading	1.50	0.00	1.00	0.60	0.60	0.50	0.00
W	Q	excl	wind loading	1.50	0.00	1.00	0.60	0.20	0.00	0.00
Y.1	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.2	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.3	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.4	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.5	Q	excl	freq with psi 0.5	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.6	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.7	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.8	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.9	Q	excl	freq without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.A	Q	excl	acc1 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.D	Q	excl	acc2 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

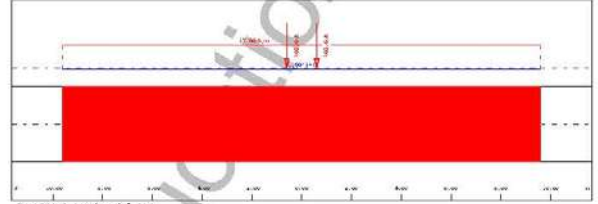
D.THESES BRIDGE 3D Analysis
POSITIONAL VARIANTS OF LOAD TRAINS

Actions

Type	part	sup	Designation	y-u	y-f	y-a	ψ _u	ψ _f	ψ _a	ψ _{inf}
Y.E	Q	excl	extra without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.F	Q	excl	fat1 without spc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.G	Q	excl	stress range 1-Q	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.R	Q	excl	robust without p	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y.X	Q	excl	extra-tearpary	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Zu	Q	excl	additional wind incl. traffic	1.50	0.00	1.00	0.60	0.60	0.80	0.00
GR.T	Q.1	excl	gr1a LMI	1.35	0.00	1.00	0.75	0.75	0.00	0.00
GR.U	Q.1	excl	gr1a LMI	1.35	0.00	1.00	0.40	0.40	0.00	0.00
GR.Z	Q.2	excl	gr2 Horizontal forces	1.35	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
E	E	usex	elastic loading	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
			Reliability factor	kfl	1.000					
			Reduction factor	ksi	0.850					

Load Train 1200 EN 1991-2 Load model LMI
LMI 300 EN 1991-2 Load model LMI

Load element of Load Train	Load value	Remark
Load Train	300.000 [k]	
Axle load	300.0 [kN]	$\mu_{0,0k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Traffic lane	0.00 [kN/m2]	$\mu_{0,1k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Residual Area	2.50 [kN/m2]	$\mu_{0,2k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Wind Load Height	3.000 [m]	
Brake load	603.0 [kN]	$100 < 300 \cdot \mu + 2.70 \cdot \mu < 603$ [kN]
Total factor	1.000 [-]	
Width of loading	3.000 [m]	
Fact.centrifugal	1.000 [-]	



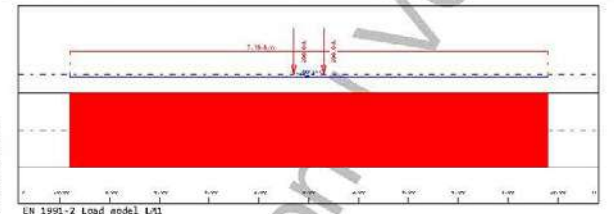
Load elements of Load Train

P	Pv	P1	Pw	Pf	ffav	X[m]	L[m]	y[m]	hw[m]	hs[m]	b[m]	contg
B	27.00	1.0*0.0k	0.00	0.00	0.0							
2P	300.0	0.0	0.0	300.0	1.0	-0.600		0.000	1.750	0.000	9.00	[kN/m2]
2P	300.0	0.0	0.0	300.0	1.0	0.600		0.000	0.000	0.000	2.000	0.400 0.400
											0.400	0.400

D.THESES BRIDGE 3D Analysis
POSITIONAL VARIANTS OF LOAD TRAINS

Load Train 3201 EN 1991-2 Load model LMI
LMI 200 EN 1991-2 Load model LMI

Load element of Load Train	Load value	Remark
Load Train	200.000 [-]	
Axle load	200.0 [kN]	$\mu_{0,0k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Traffic lane	2.50 [kN/m2]	$\mu_{0,1k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Residual Area	2.50 [kN/m2]	$\mu_{0,2k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Wind Load Height	3.500 [m]	
Total factor	1.000 [-]	
Width of loading	3.000 [m]	
Fact.centrifugal	1.000 [-]	



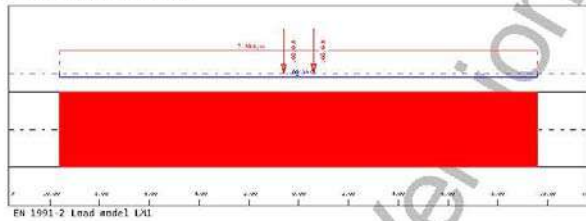
Load elements of Load Train

P	Pv	P1	Pw	Pf	ffav	X[m]	L[m]	y[m]	hw[m]	hs[m]	b[m]	contg
B	7.50	1.0*0.0k	0.00	0.00	0.0							
2P	200.0	0.0	0.0	200.0	1.0	-0.600		0.000	0.000	0.000	2.50	[kN/m2]
2P	200.0	0.0	0.0	200.0	1.0	0.600		0.000	0.000	0.000	2.000	0.400 0.400
											0.400	0.400

Load Train 3202 EN 1991-2 Load model LMI
LMI 100 EN 1991-2 Load model LMI

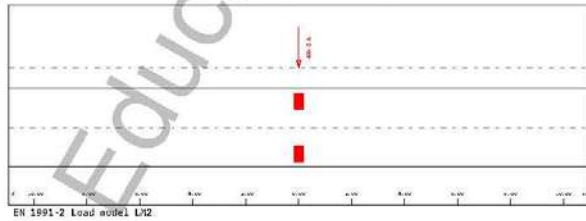
Load element of Load Train	Load value	Remark
Load Train	100.000 [-]	
Axle load	100.0 [kN]	$\mu_{0,0k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Traffic lane	2.50 [kN/m2]	$\mu_{0,1k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Residual Area	2.50 [kN/m2]	$\mu_{0,2k} = 1.00$ (NDP: 1.00)
Wind Load Height	3.500 [m]	
Total factor	1.000 [-]	
Width of loading	3.000 [m]	
Fact.centrifugal	1.000 [-]	

D_THESIS BRIDGE 3D Analysis
POSITIONAL VARIANTS OF LOAD TRAINS



Load elements of Load Train	P	Pv	PL	Pv	Pf	ffav	X[m]	L[m]	y[m]	hw[m]	hs[m]	b[m]	contg
	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN/m]	[m]					[kN/m ²]	
P	7.50	1.6750k	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	1.750	0.000	0.000	2.50	
Pv	180.0	0.0	0.0	180.0	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400
PL	180.0	0.0	0.0	180.0	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400

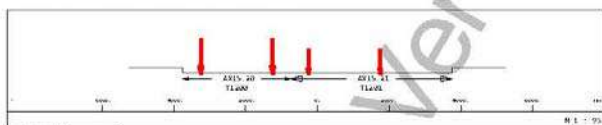
Load Train	1203 EN 1991-2 Load model L12
Load value	400.000 [-]
Remark	00 = 1.00 (NDP: 1.00)
Axle load	400.0 [kN]
Wind Load Height	3.000 [m]
Total factor	1.000 [-]
Width of loading	3.000 [m]
Fact.centrifugal	1.000 [-]



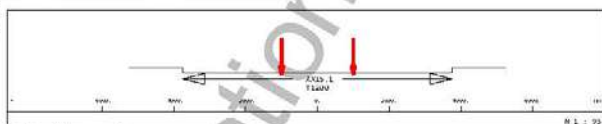
D_THESIS BRIDGE 3D Analysis
AUTOMATIC EVALUATION OF LOAD TRAINS

Geometry of Lane AXIS = AXIS
single-lane dV= 99.000 dZ= 0.100

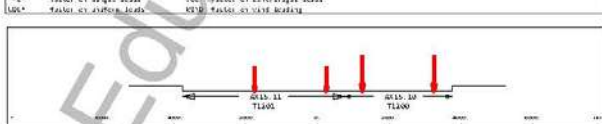
Evaluation: Case 1 TS	Lane	LC	p[kN/m ²]	v[km/h]	ycx[m]	PL*	UDL*	ROL*	BRK*	TRAF*	FUG*	WIND
	AXIS_20	1200	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AXIS_21	1201	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Evaluation: Case 2 TS	Lane	LC	p[kN/m ²]	v[km/h]	ycx[m]	PL*	UDL*	ROL*	BRK*	TRAF*	FUG*	WIND
	AXIS_1	1200	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AXIS_11	1201	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Evaluation: Case 3 TS	Lane	LC	p[kN/m ²]	v[km/h]	ycx[m]	PL*	UDL*	ROL*	BRK*	TRAF*	FUG*	WIND
	AXIS_10	1200	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AXIS_11	1201	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



D_THESIS BRIDGE 3D Analysis
POSITIONAL VARIANTS OF LOAD TRAINS

Load elements of Load Train	P	Pv	PL	Pv	Pf	ffav	X[m]	L[m]	y[m]	hw[m]	hs[m]	b[m]	contg
	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN/m]	[m]					[kN/m ²]	
P	400.0	0.0	0.0	400.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pv													
PL													

Load elements of Load Train	P	Pv	PL	Pv	Pf	ffav	X[m]	L[m]	y[m]	hw[m]	hs[m]	b[m]	contg
	[kN]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN]	[kN/m]	[m]					[kN/m ²]	
P	2.50	1.6750k	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	1.750	0.000	0.000	2.50	
Pv	180.0	0.0	0.0	180.0	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400
PL	180.0	0.0	0.0	180.0	1.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400

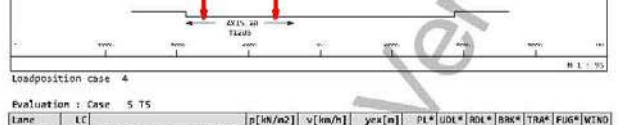
Load Train	1203 EN 1991-2 Load model L12
Load value	400.000 [-]
Remark	00 = 1.00 (NDP: 1.00)
Axle load	400.0 [kN]
Wind Load Height	3.000 [m]
Total factor	1.000 [-]
Width of loading	3.000 [m]
Fact.centrifugal	1.000 [-]



D_THESIS BRIDGE 3D Analysis
AUTOMATIC EVALUATION OF LOAD TRAINS

Evaluation: Case 4 TS

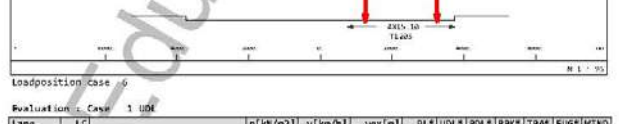
Evaluation: Case 4 TS	Lane	LC	p[kN/m ²]	v[km/h]	ycx[m]	PL*	UDL*	ROL*	BRK*	TRAF*	FUG*	WIND
	AXIS_20	1203	EN 1991-2 Load model L12	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AXIS_21	1201	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Evaluation: Case 5 TS	Lane	LC	p[kN/m ²]	v[km/h]	ycx[m]	PL*	UDL*	ROL*	BRK*	TRAF*	FUG*	WIND
	AXIS_1	1203	EN 1991-2 Load model L12	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AXIS_11	1201	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Evaluation: Case 6 TS	Lane	LC	p[kN/m ²]	v[km/h]	ycx[m]	PL*	UDL*	ROL*	BRK*	TRAF*	FUG*	WIND
	AXIS_10	1203	EN 1991-2 Load model L12	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AXIS_11	1201	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Evaluation: Case 1 UDL	Lane	LC	p[kN/m ²]	v[km/h]	ycx[m]	PL*	UDL*	ROL*	BRK*	TRAF*	FUG*	WIND
	AXIS_20	1200	EN 1991-2 Load model L11	2.50	0.0	0.000	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	AXIS_21	1201	EN 1991-2 Load model L11	2.50	0.0	0.000	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00



SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ELLA - EXTENDED LIVE LOAD ANALYSIS Page 197
2023-10-22

D.THEISIS BRIDGE 3D Analysis
AUTOMATIC EVALUATION OF LOAD TRAINS

UL* Factor on single loads UDL* Factor on distributed loads
ULB* Factor on surface loads UDLB* Factor on surface loads

Loadposition case 1

Evaluation : Case 2 UDL

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.10	1209	EN 1991-2 Load model L11	2.50	0.0	0.000	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UL* Factor on single loads UDL* Factor on distributed loads
ULB* Factor on surface loads UDLB* Factor on surface loads

Loadposition case 2

Evaluation : Case 3 UDL

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.10	1209	EN 1991-2 Load model L11	2.50	0.0	0.000	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UL* Factor on single loads UDL* Factor on distributed loads
ULB* Factor on surface loads UDLB* Factor on surface loads

Loadposition case 3

Evaluation : Case 4 UDL

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.10	1209	EN 1991-2 Load model L11	2.50	0.0	0.000	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UL* Factor on single loads UDL* Factor on distributed loads
ULB* Factor on surface loads UDLB* Factor on surface loads

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ELLA - EXTENDED LIVE LOAD ANALYSIS Page 198
2023-10-22

D.THEISIS BRIDGE 3D Analysis
AUTOMATIC EVALUATION OF LOAD TRAINS

Loadposition case 4

Evaluation : Case 5 UDL

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.10	1209	EN 1991-2 Load model L11	2.50	0.0	0.000	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UL* Factor on single loads UDL* Factor on distributed loads
ULB* Factor on surface loads UDLB* Factor on surface loads

Loadposition case 5

Load Cases

Superposition combinations

Type	case	fact1	case	fact2	case	fact3	case	fact4
AB	1	1.00	4	1.00				
AB	2	1.00	4	1.00				
AB	3	1.00	4	1.00				

Evaluation : Case 1 6R2

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.20	1209	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Loading travels in both directions

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.21	1209	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Loading travels in both directions

Loadposition case 1

Evaluation : Case 2 6R2

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.1	1209	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Loading travels in both directions

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ELLA - EXTENDED LIVE LOAD ANALYSIS Page 199
2023-10-22

D.THEISIS BRIDGE 3D Analysis
AUTOMATIC EVALUATION OF LOAD TRAINS

UL* Factor on single loads UDL* Factor on distributed loads
ULB* Factor on surface loads UDLB* Factor on surface loads

Loadposition case 2

Evaluation : Case 3 6R2

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.10	1209	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Loading travels in both directions

Lane	LC	p[kN/m2]	v[km/h]	yes[n]	PL*	UDL*	UDL*	BRK*	TRM*	RUG*	WIND
AXIS.11	1209	EN 1991-2 Load model L11	0.00	0.0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00

Loading travels in both directions

Loadposition case 3

SOFISTIK AG - Educational-Version -
SOFISTIK 2024-1.0 ASE - ADVANCED SOLUTION ENGINE Page 200
2023-10-22

D.THEISIS BRIDGE 3D Analysis
Calculation of Eigenvalues

Sum of Masses

	TR-X[t]	TR-Y[t]	TR-Z[t]	RR-X[tm2]	RR-Y[tm2]	RR-Z[tm2]
total	2998.488	2998.488	2998.488	10405.618	441.584	12867.729
active	2989.318	2989.318	2989.318	10404.807	448.838	12865.792

Center of mass

X[m]	Y[m]	Z[m]
78.262	-11.123	5.578

Parameter of System of Equations

Number of unknowns 1614 DIRECT-SPARSE
Total entries 14032
Total entries after fill in 21169
Mass matrix 13588 (consistent)

Eigenfrequencies

Using Lanczos Method
Iterations/vectors 11
Rayleighfactor A 0.00000
Rayleighfactor B 0.00000
Modal Damping 0.05000

No	LC	Eigenvalue [1/Sec2]	Relative error	frequency [Hertz]	Period [Sec]	modal damping
1	10001	2.14212E+01	3.58E-14	0.737	1.357556	0.05000
2	10002	2.15169E+01	1.10E-12	0.745	1.342111	0.05000
3	10003	3.13680E+01	3.92E-12	0.891	1.121855	0.05000
4	1	1.50311E+02	1.67E-07	1.958	0.512711	
5	4	4.05843E+02	8.64E-04	3.432	0.291262	
6	8	8.47655E+02	1.73E-02	4.634	0.215809	
7	1	1.45875E+03	8.83E-01	6.870	0.145800	
8	1	1.56713E+03	2.38E-01	6.388	0.158718	
9	2	2.78787E+03	2.73E-01	8.282	0.120744	
10	6	6.89642E+03	7.39E-01	13.217	0.073668	
11	6	6.37630E+03	3.25E+00	12.000	0.083768	

Modal masses - activated mass

no	LC	frequency [Hertz]	effective modal mass X[%]	Y[%]	Z[%]	activated mass	rotation around S phiX[%]	phiY[%]	phiZ[%]
1	10001	0.737	1.07	87.47	0.00	72.71951	0.79	0.00	0.77
2	10002	0.745	88.51	0.98	0.00	86.99948	0.82	0.03	0.31
3	10003	0.891	0.20	1.00	0.00	26.64840	1.02	0.01	0.50
		sum	89.84	89.45	0.00				

The effective modal masses are calculated for the global X, Y and Z direction (contiguous).
The "activated mass" also includes the modal and element elements.
activated mass is in percent of the structure's mass.
The rotation around S is calculated as a ratio of the rotation around S to the rotation around X.
The rotation around S is calculated as a ratio of the rotation around S to the rotation around X.
The rotation around S is calculated as a ratio of the rotation around S to the rotation around X.
The rotation around S is calculated as a ratio of the rotation around S to the rotation around X.

SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 201
SOFISTIK 2024-1.0 SOFILOAD - LOAD DEFINITIONS 2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D Analysis
Definition Response Spectra

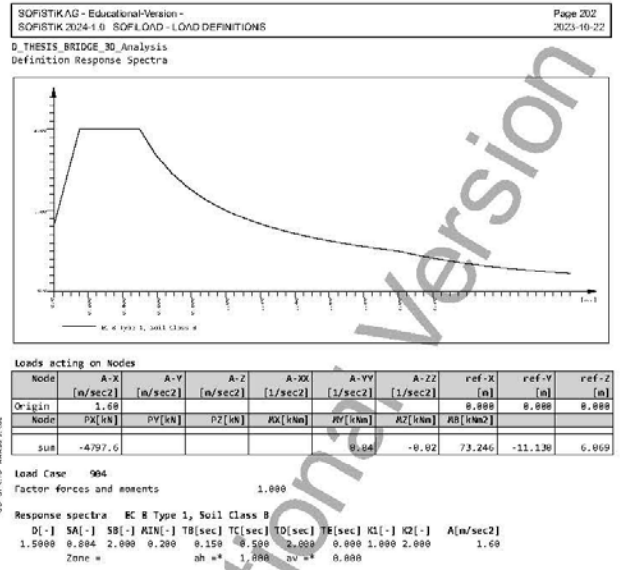
Actions

Type	prt	suf	Designation	y-u	y-f	y-r	φ _x	φ _y	φ _z	φ ₁ inf
G 1	G	pern	dead load g1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G 2	G	pern	dead load g2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZP	G	pern	Static undetermined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C 1	P	pern	creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C 2	P	pern	creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C 1	P	pern	creep + shrinkage	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P 1	P	pern	practising	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PB	P	pern	Static determined part	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T	Q	excl	temperature loading	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00
W	Q	excl	wind loading	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y 1	Q	excl	rare without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 2	Q	excl	nonf without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 3	Q	excl	freq without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 4	Q	excl	para without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 5	Q	excl	deho with psi 9.5	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 6	Q	excl	Y 6 without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 7	Q	excl	Y 7 without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 8	Q	excl	Y 8 without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y 9	Q	excl	1.0* without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y A	Q	excl	bcci without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y B	Q	excl	bszi without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y C	Q	excl	enq without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y D	Q	excl	fati without gpc	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y E	Q	excl	stress range L+Q	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y R	Q	excl	robust without p	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Y X	Q	excl	extra temporary	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ZW	Q	excl	additional wind incl. traffic	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
GB 1	Q	excl	grb1 kxi	1.00	0.00	1.00	0.75	0.75	0.00	0.00
GB 2	Q	excl	grb2 kxi	1.00	0.00	1.00	0.40	0.40	0.00	0.00
GR 2	Q	excl	gr2 Horizontal forces	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	E	usx	seismic loading	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Reliability factor k_{fi} 1.000
Reduction factor k_{xi} 0.850

Load Case 901
Factor forces and moments 1.000

Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class B
D[-] SA[-] SB[-] MIN[-] T0[sec] T1[sec] T2[sec] T3[sec] K1[-] K2[-] A[m/sec2]
1.5000 0.004 2.000 0.200 0.150 0.500 2.000 0.000 1.000 2.000 1.60
Zone = ah =* 1.000 av =* 0.000



SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 202
SOFISTIK 2024-1.0 SOFILOAD - LOAD DEFINITIONS 2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D Analysis
Definition Response Spectra

Loads acting on Nodes

Node	A-X [m/sec2]	A-Y [m/sec2]	A-Z [m/sec2]	A-XX [1/sec2]	A-YY [1/sec2]	A-ZZ [1/sec2]	ref-X [m]	ref-Y [m]	ref-Z [m]
Origin	1.00						0.000	0.000	0.000
Node	PX [kN]	PY [kN]	PZ [kN]	RX [kNm]	RY [kNm]	RZ [kNm]	RB [kNm2]		
sum	-4797.6			-0.04	-0.03	73.246	-11.130	6.069	

Load Case 900
Factor forces and moments 1.000

Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class B
D[-] SA[-] SB[-] MIN[-] T0[sec] T1[sec] T2[sec] T3[sec] K1[-] K2[-] A[m/sec2]
1.5000 0.678 1.667 0.000 0.000 0.150 1.000 4.000 1.000 2.000 1.60
Zone = ah =* 0.000 av =* 1.000

SOFISTIK AG - Educational-Version - Page 204
SOFISTIK 2024-1.0 DYNA - Dynamic Structures 2023-10-22

D_THESIS_BRIDGE_3D Analysis
Calculation of Spectra - Evaluation case (X, Y, Z)

System and Control Information
Control Information
Number of unknowns 1614 (Pure endof analysis)
Unknowns per node 6
Number eigenvalues 3

Grp Option	CS	Factor	Rayleigh-A [1/sec]	Rayleigh-B [1/sec]	ε	Mind
0 FULL		1.000	0.000000	0.000000		
1 FULL		1.000	0.000000	0.000000		
2 FULL		1.000	0.000000	0.000000		
3 FULL		1.000	0.000000	0.000000		

CS calculation stage Rayleigh-2 stiffness proportional damping ratio
Factor Factor of stiffness 1 modal damping ratio
Rayleigh-A mass proportional damping ratio Mind control damping ratio
Rayleigh-B mass proportional damping ratio Mind control damping ratio

Beam Elements
Finite beam elements without intermediate sections
Shear deformations accounted for with nonconforming SOFISTIK-Timoshenko beam

Sum of masses and mass moments of inertia

Node	TM			RM			RB
	X[t]	Y[t]	Z[t]	X[tm2]	Y[tm2]	Z[tm2]	[tm2]
total ¹	2990.400	2990.400	2990.400	1.362E+04	3.013E+03	0.316E+04	-
	RM(S) ²						
	73.246	-11.130	6.069	2.990E+05	-1.000E+00	1.213E+05	
				-1.000E+06	3.765E+06	-3.172E+04	
				1.213E+09	-8.775E+04	4.002E+05	
active ²	2980.318	2980.318	2980.318	1.362E+04	3.012E+03	1.316E+04	-
	RM(S) ²						
	73.253	-11.135	6.080	2.980E+05	-1.000E+00	1.212E+05	
				-1.000E+06	3.755E+06	-3.163E+04	
				1.212E+09	-3.163E+04	4.039E+05	

¹ sum of the total and the active solid masses
² contribution of the system of gravity
³ total rotational mass outside of the system of gravity
TM: translational masses in X-, Y- and Z-directions
RM: rotational masses around X-, Y- and Z-axes
RB: rotating mass

Processing Eigenvalues

No.	LC	λ	error	ω	f	T	E	X [%]	Y [%]	Z [%]	participation
		[rad2/sec2]	[]	[rad/sec]	[Hz]	[sec]	[k]				
1	10001	2.1421E+01		4.628	0.737	1.358	5.000	1.1	87.2	0.0	1.1 87.2 0.0
2	10002	2.1917E+01		4.662	0.745	1.342	5.000	88.2	1.0	0.0	88.5 1.0 0.0
3	10003	3.1360E+01		5.601	0.891	1.122	5.000	0.3	1.0	0.0	0.3 1.0 0.0

¹ total effective mass
² effective mass
LC: load case
λ: eigenvalue
error: relative eigenvalue error
ω: absolute eigenvalue
f: absolute frequency
T: absolute period
E: absolute stiffness
X [%]: relative modal mass in X-, Y- and Z-directions
Y [%]: relative modal mass in X-, Y- and Z-directions
Z [%]: relative modal mass in X-, Y- and Z-directions

Load Cases
-- Spectra 901 EC 8 Type 1, Soil Class B
D[-] SA[-] SB[-] MIN[-] T0[sec] T1[sec] T2[sec] T3[sec] K1[-] K2[-] A[m/sec2]
1.5000 0.004 2.000 0.200 0.150 0.500 2.000 0.000 1.000 2.000 1.60
Node PX [kN] PY [kN] PZ [kN] RX [kNm] RY [kNm] RZ [kNm] RB [kNm2]
sum -4782.9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
Loads on kinematic constraints have been transferred to their master

D.THESIS BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of Spectras - Evaluation case (X, Y, Z)

-- Spectra 984 EC B Type 1, Soil Class B
Df=1 SA[-] S0[-] AIN[-] 10[sec] 1[sec] 10[sec] 1k[-] 1k2[-] A[m/sec2]
1.5888 0.804 2.088 0.288 0.158 0.588 2.088 0.808 1.888 2.888 1.68

Node PX PY PZ JX JY JZ Nb
[kN] [kN] [kN] [kNm] [kNm] [kNm] [kNm2]
sum 0.0 -4782.9 0.0 0.00 0.00 0.00 0.00

Loads on kinematic constraints have been transferred to their master

-- Spectra 989 EC B Type 1, Soil Class B
Df=1 SA[-] S0[-] AIN[-] 10[sec] 1[sec] 10[sec] 1k[-] 1k2[-] A[m/sec2]
1.5888 0.678 1.667 0.888 0.858 0.158 1.888 4.888 1.888 2.888 1.68

Node PX PY PZ JX JY JZ Nb
[kN] [kN] [kN] [kNm] [kNm] [kNm] [kNm2]
sum 0.0 0.0 -4782.9 0.00 0.00 0.00 0.00

Loads on kinematic constraints have been transferred to their master

Nodal load participation factors per load function

LC	Mode	0-p	02-p	Node	0-p	02-p
981	1	-0.837E+01	-1.977E-02	3	4.488E+00	-1.168E-01
	2	-8.238E+01	-1.577E+08			
	3				6.875E+03	-1.714E+00
984	1	-8.182E+01	-1.586E+00	3	8.753E+00	-1.482E+00
	2	8.643E+00	-2.332E-02			
	3				6.815E+03	-3.891E+00
989	1	4.268E-02	-9.137E-07	3	1.588E-03	-1.768E-06
	2	3.392E-02	-2.777E-06			
	3				2.968E-03	-5.458E-06

Response of periodic loading is exact including the phases.
Contributions of all functions will be added as sum of squares.

Results
Nodal Displacements, method CQC

Node	u-X [mm]	u-Y [mm]	u-Z [mm]	u-XX [mrad]	u-YY [mrad]	u-ZZ [mrad]
MAX	55.189	68.198	8.371	8.371	8.752	8.412

D.THESIS BRIDGE_3D_Analysis
Calculation of Spectras - Evaluation case (X, Y, Z)

Supporting Forces in Nodes, method CQC

Node	P-X [kN]	P-Y [kN]	P-Z [kN]	R-X [kNm]	R-Y [kNm]	R-Z [kNm]
MAX	279.2	291.8	551.8	976.24	1318.85	7.36

Nodal velocities, method CQC

Node	v-X [m/sec]	v-Y [m/sec]	v-Z [m/sec]	v-XX [1/sec]	v-YY [1/sec]	v-ZZ [1/sec]
MAX	0.26	0.28	0.80	0.002	0.006	0.002

Nodal accelerations, method CQC

Node	a-X [m/sec2]	a-Y [m/sec2]	a-Z [m/sec2]	a-XX [1/sec2]	a-YY [1/sec2]	a-ZZ [1/sec2]
MAX	1.21	1.29	8.81	0.008	0.016	0.009

Generated load cases for maximum results

Type	LC-MAX	LC-MIN	STYP
Beam Elements			
N	8811	-	CQC
Vy	8812	-	CQC
Vz	8813	-	CQC
Mc	8814	-	CQC
Mx	8816	-	CQC
Mz	8817	-	CQC
Spring Elements			
P	8838	-	CQC
PT	8839	-	CQC
PEX	8840	-	CQC
PEY	8841	-	CQC
PEZ	8842	-	CQC

D.THESIS BRIDGE_3D_Analysis
Combine Loads

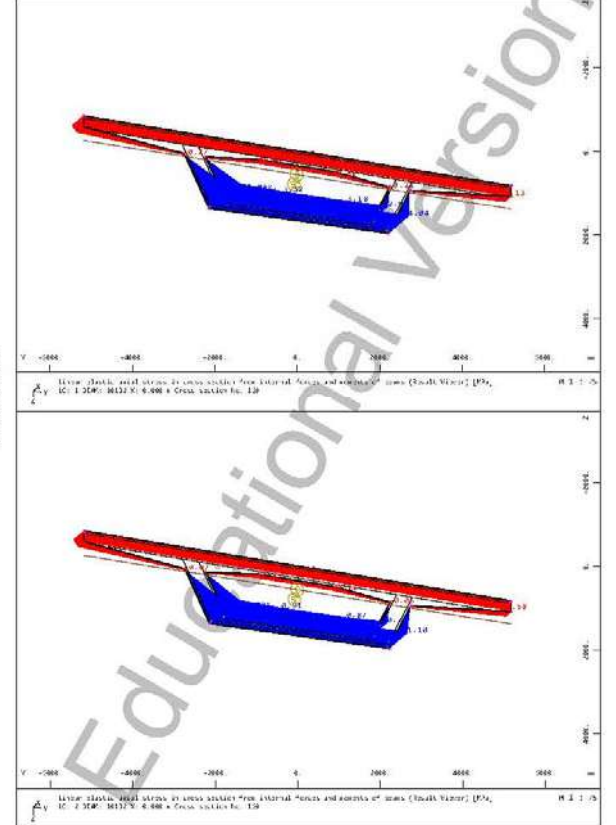
Load Combinations

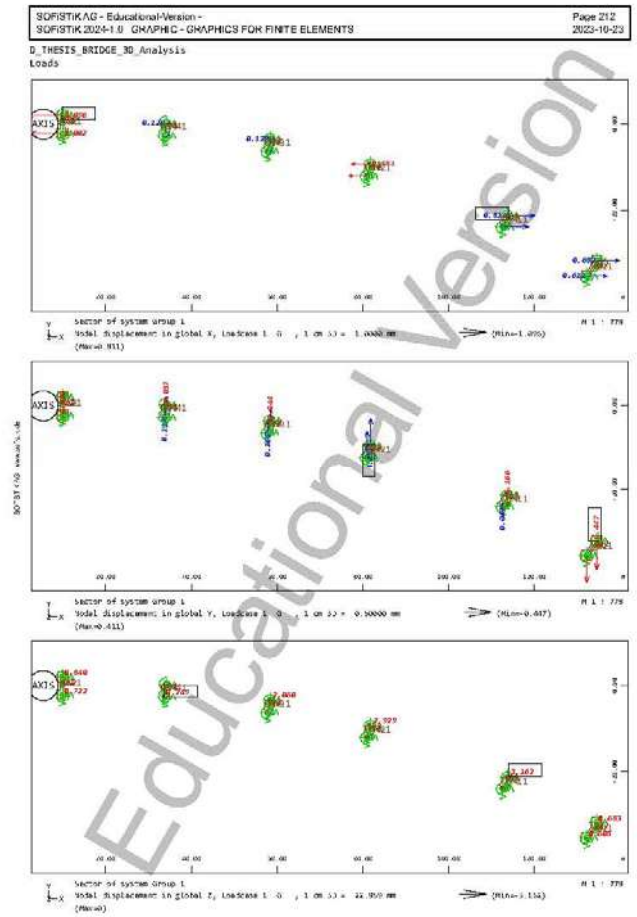
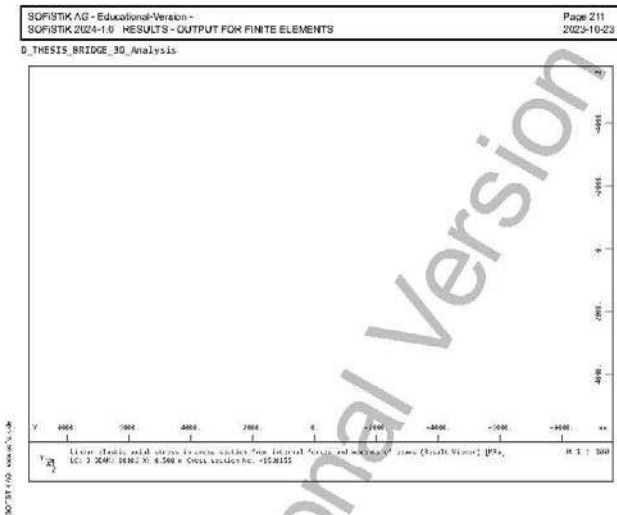
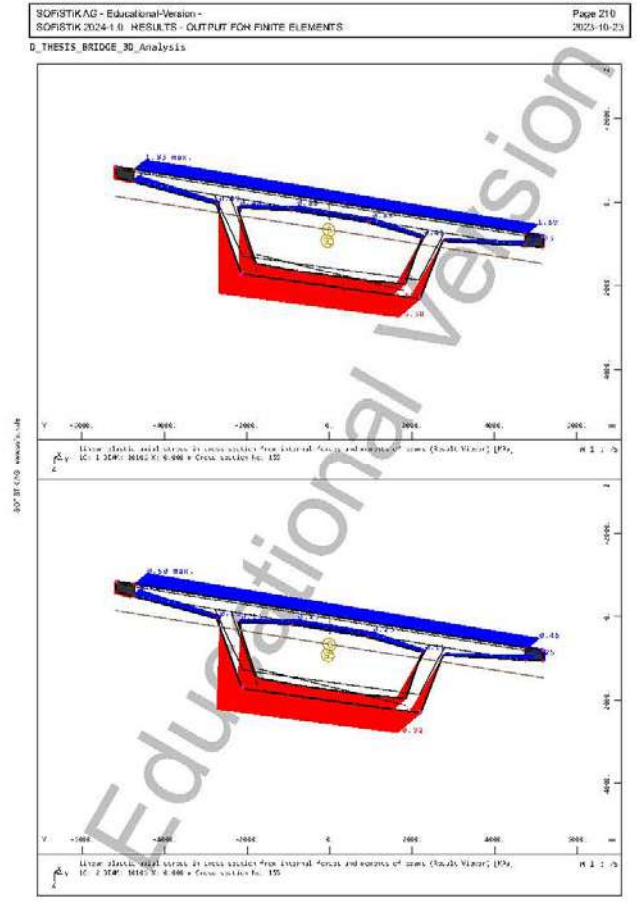
Load Cases	Designation	Action	Factor
981	sum PX=4788. kN		1.000
1 G		G_1	1.000
2 C'		G_2	1.000
3 P		P	1.000
Generated Load Cases	Designation	Design Type	
15888	(1)+(2)+(3)+(981)	ULS seismic combination	

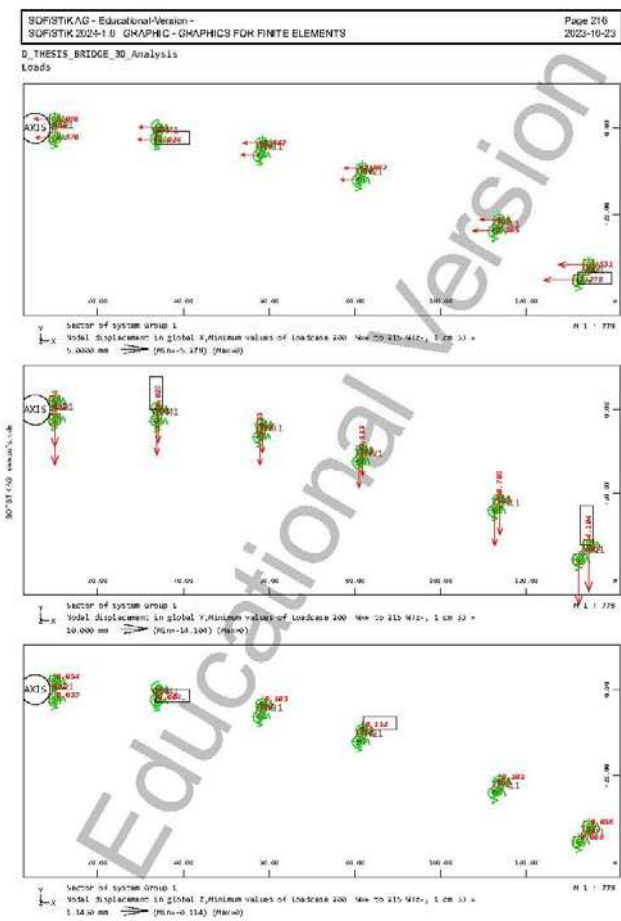
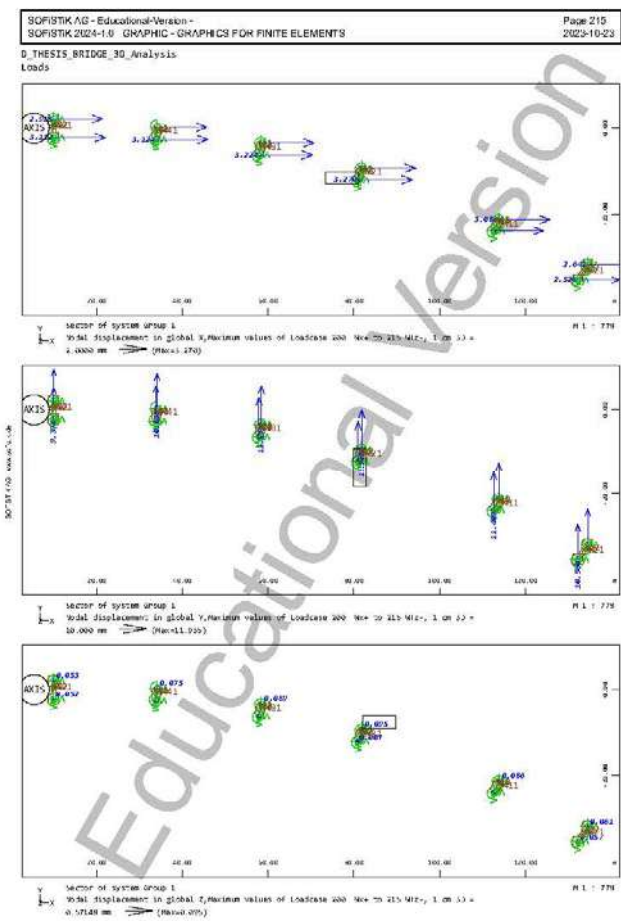
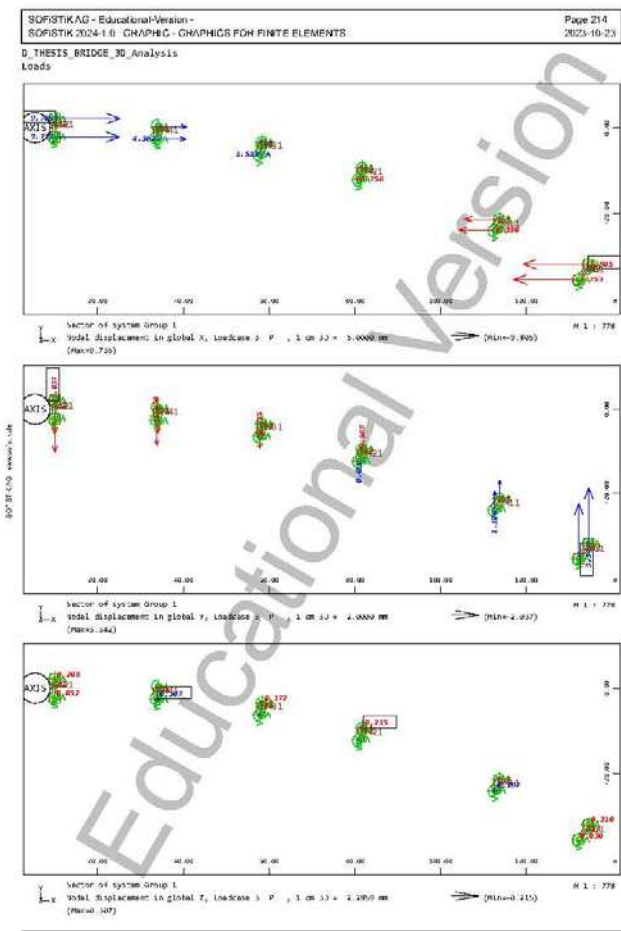
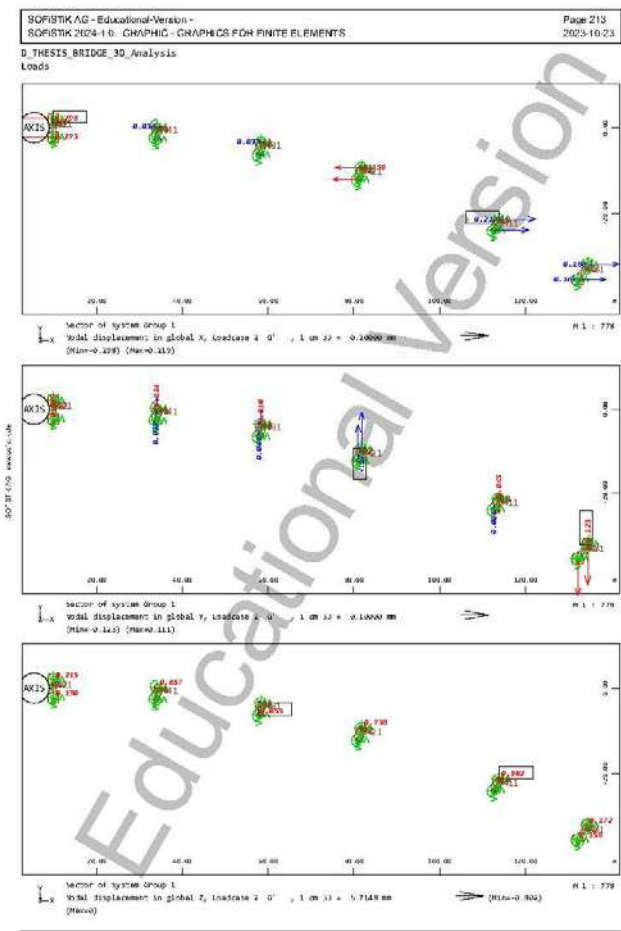
Load Cases	Designation	Action	Factor
984	sum PY=4788. kN		1.000
1 G		G_1	1.000
2 C'		G_2	1.000
3 P		P	1.000
Generated Load Cases	Designation	Design Type	
15891	(1)+(2)+(3)+(984)	ULS seismic combination	

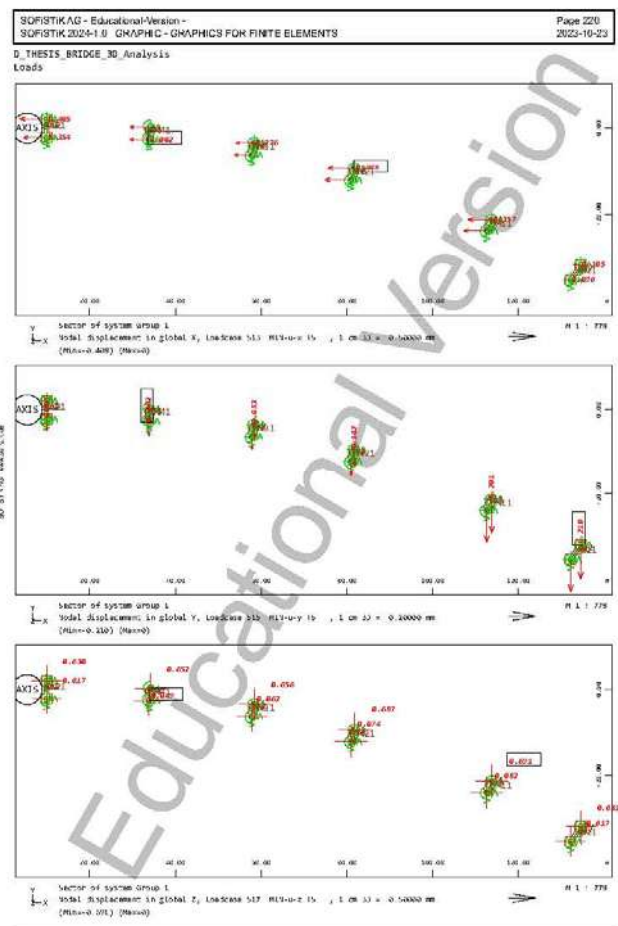
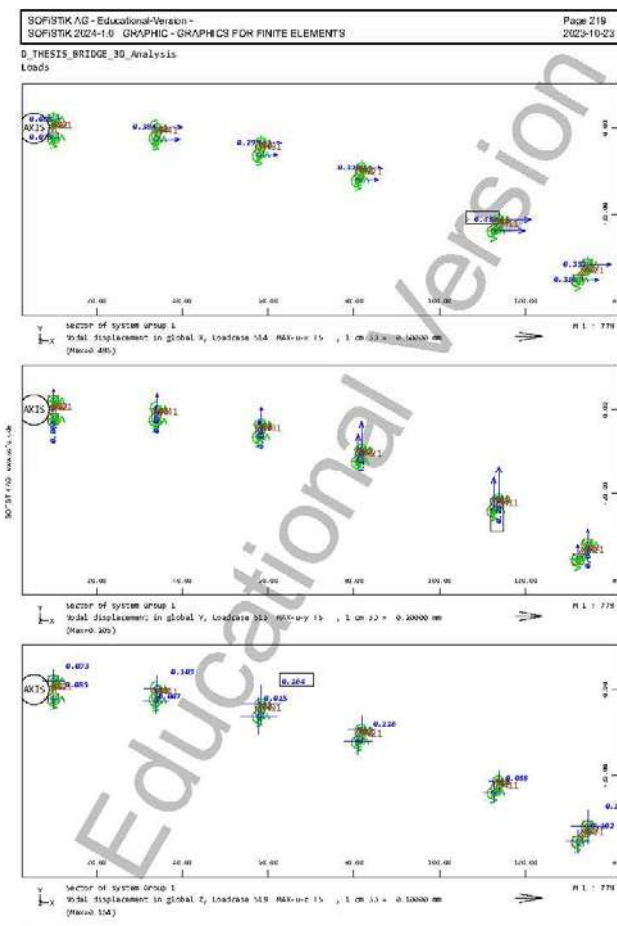
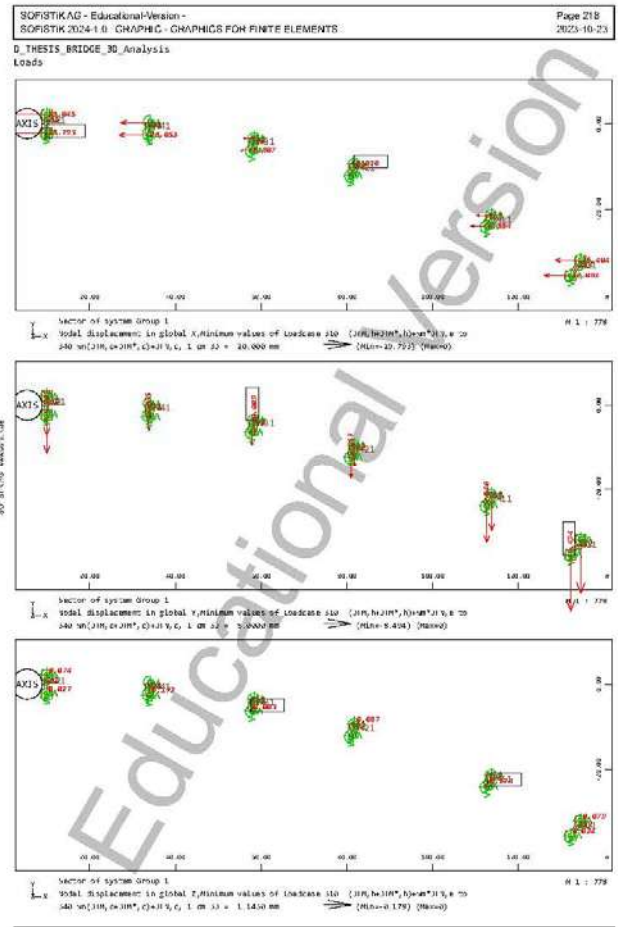
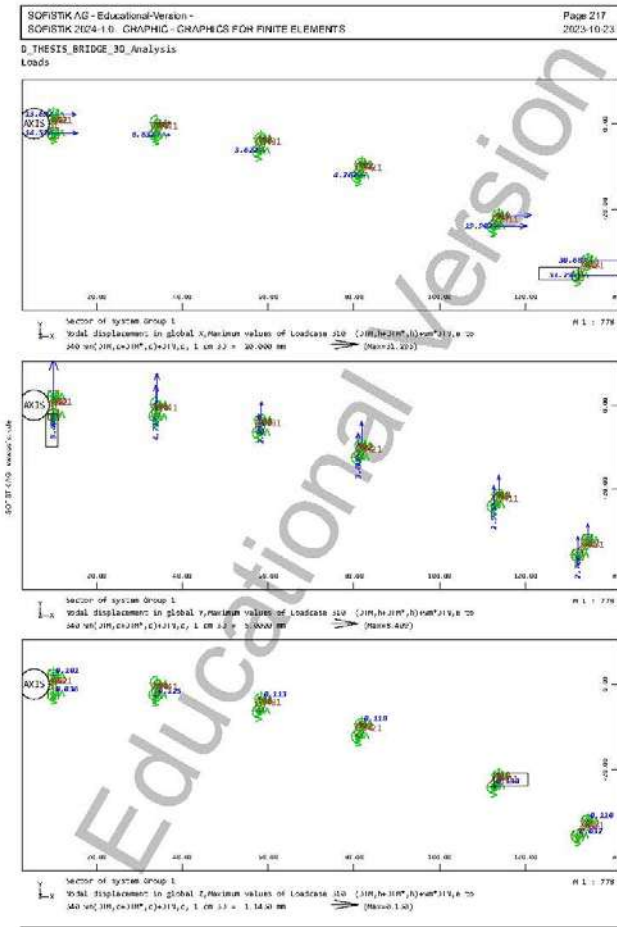
Load Cases	Designation	Action	Factor
989	sum PZ=4788. kN		1.000
1 G		G_1	1.000
2 C'		G_2	1.000
3 P		P	1.000
Generated Load Cases	Designation	Design Type	
15892	(1)+(2)+(3)+(989)	ULS seismic combination	

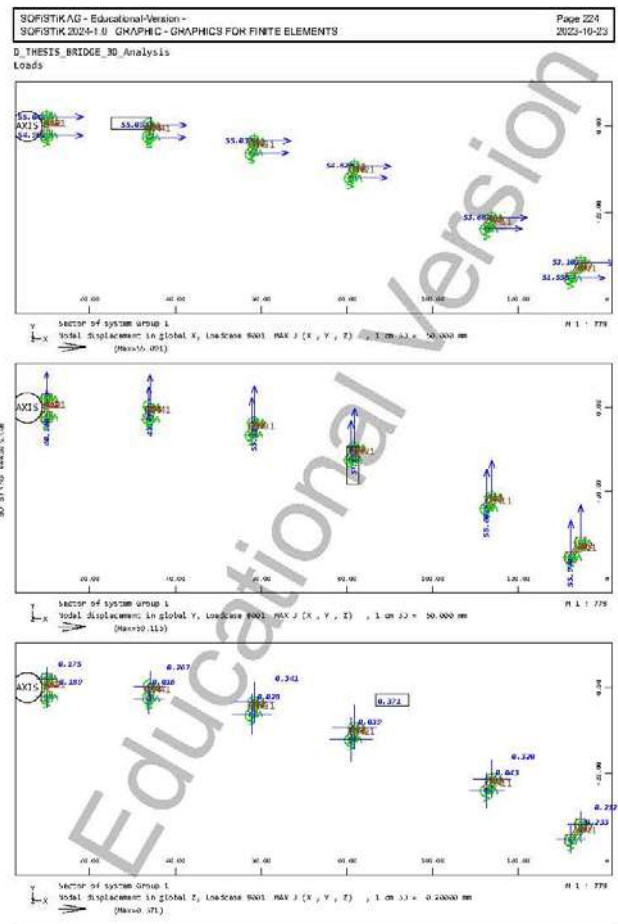
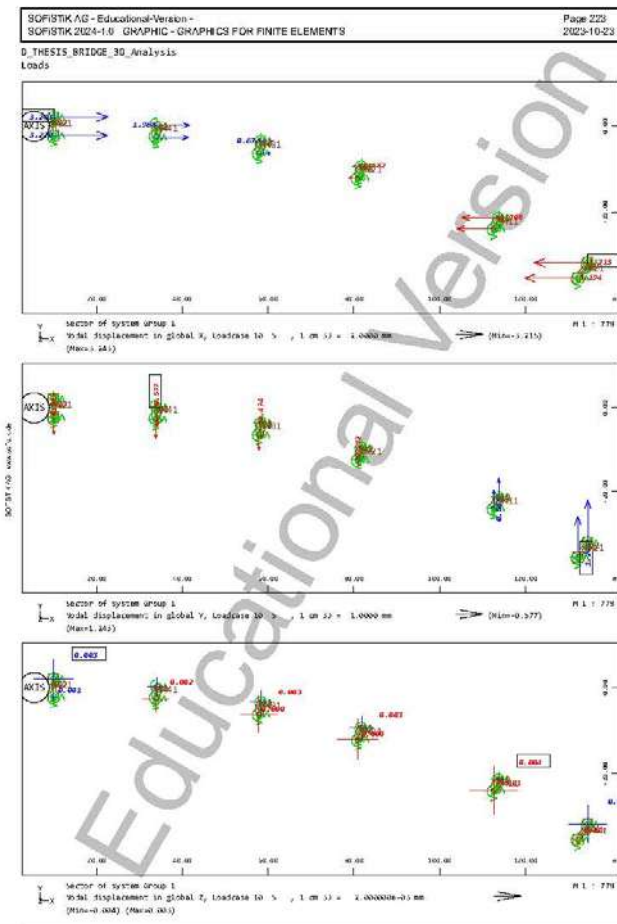
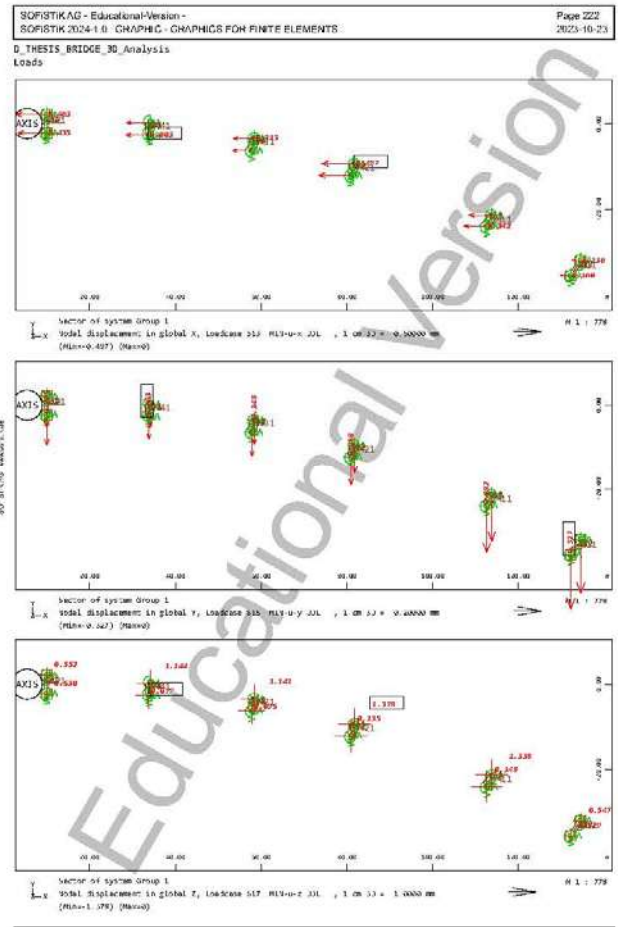
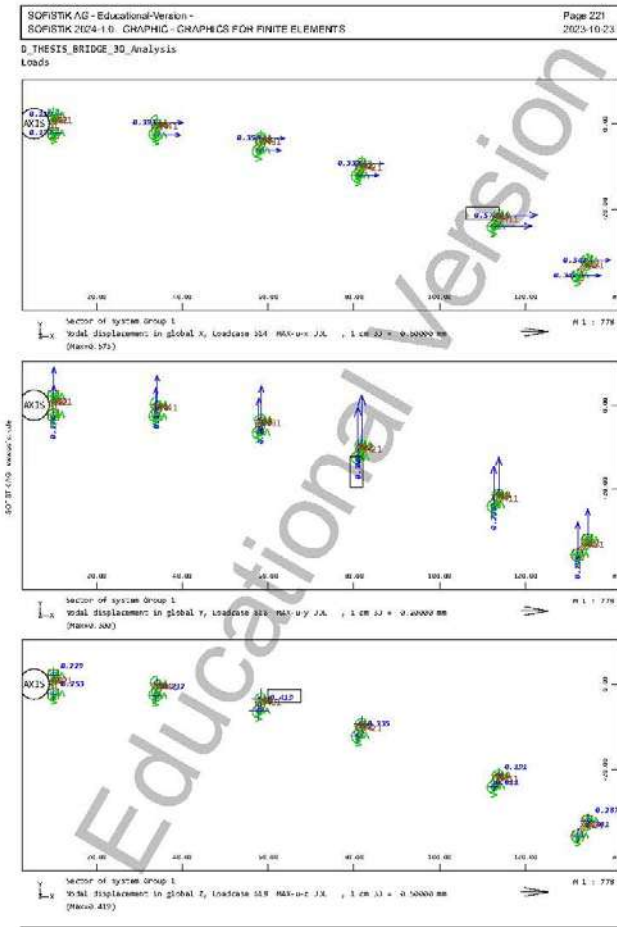
D.THESIS BRIDGE_3D_Analysis

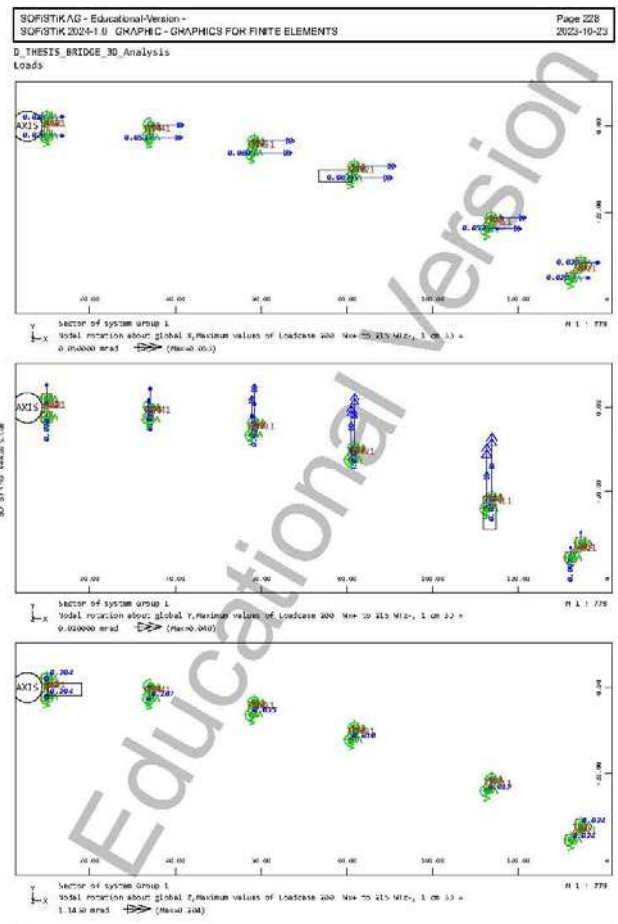
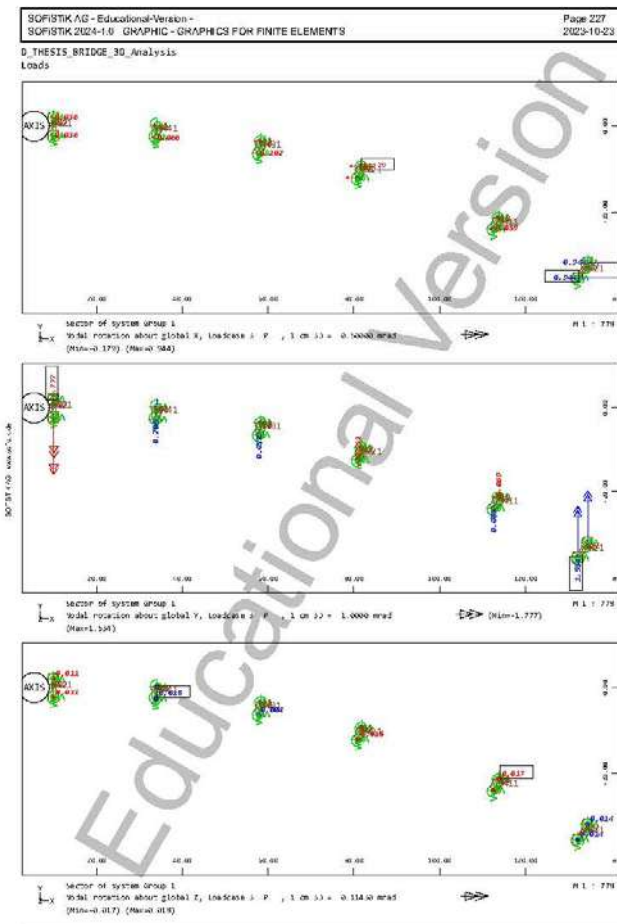
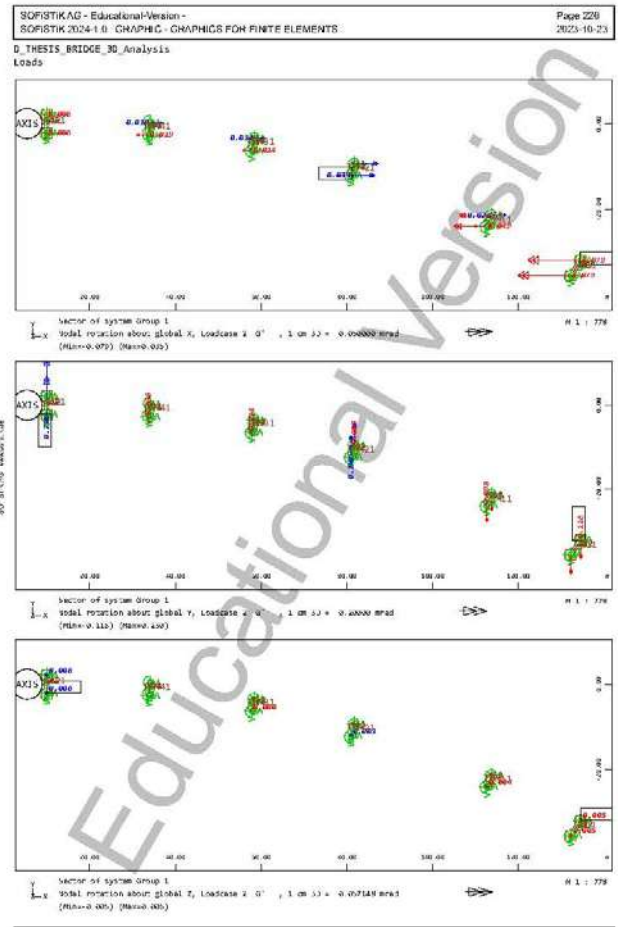
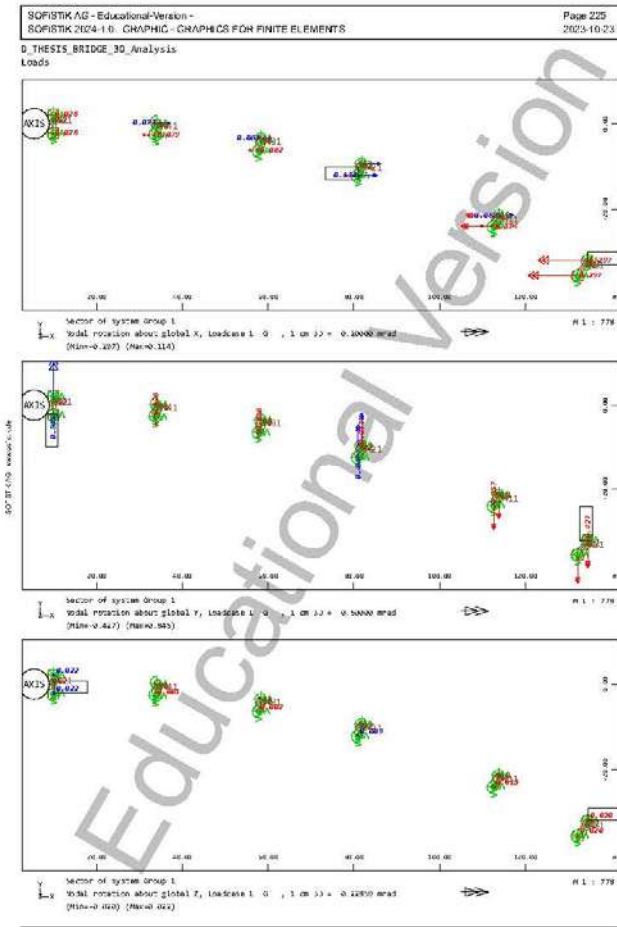


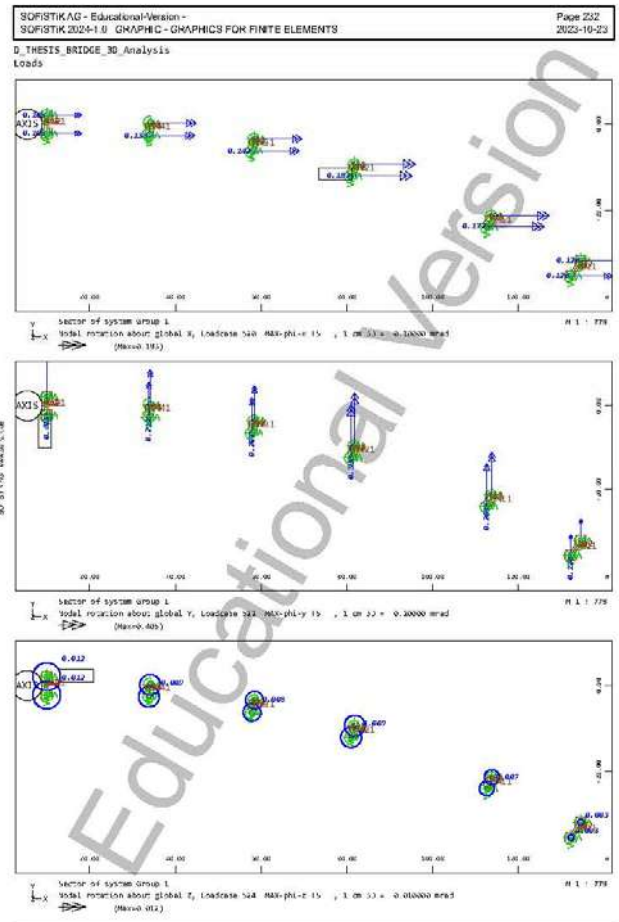
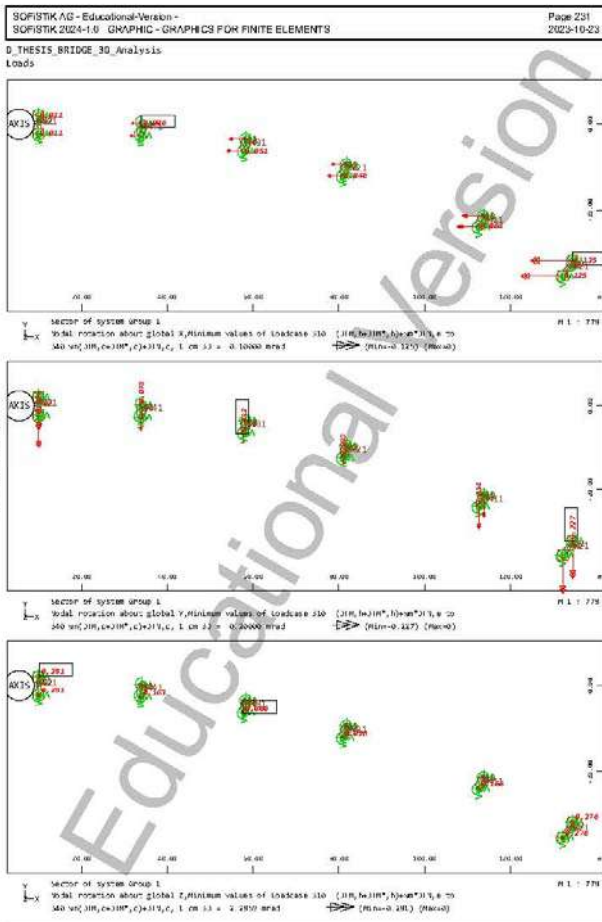
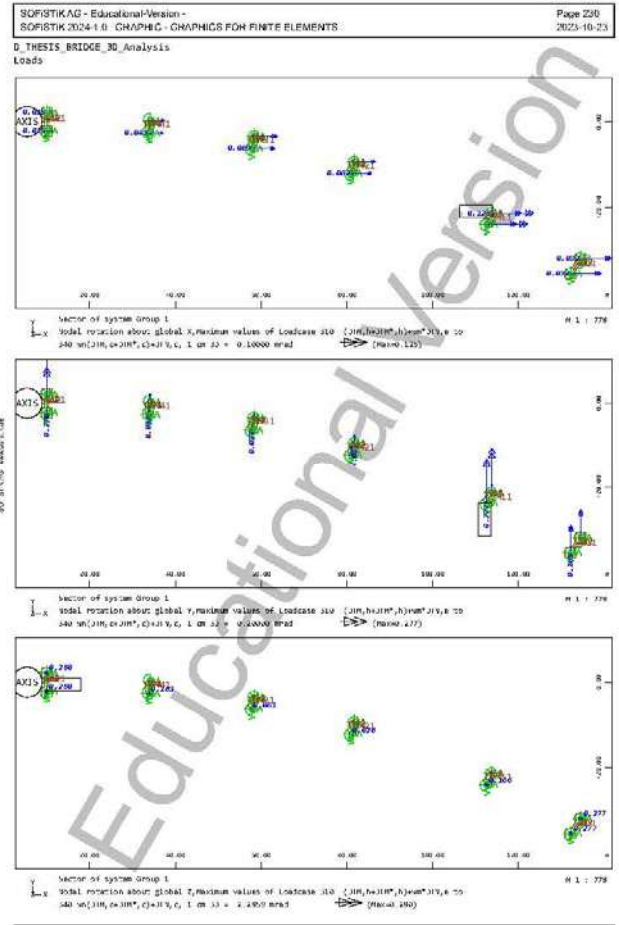
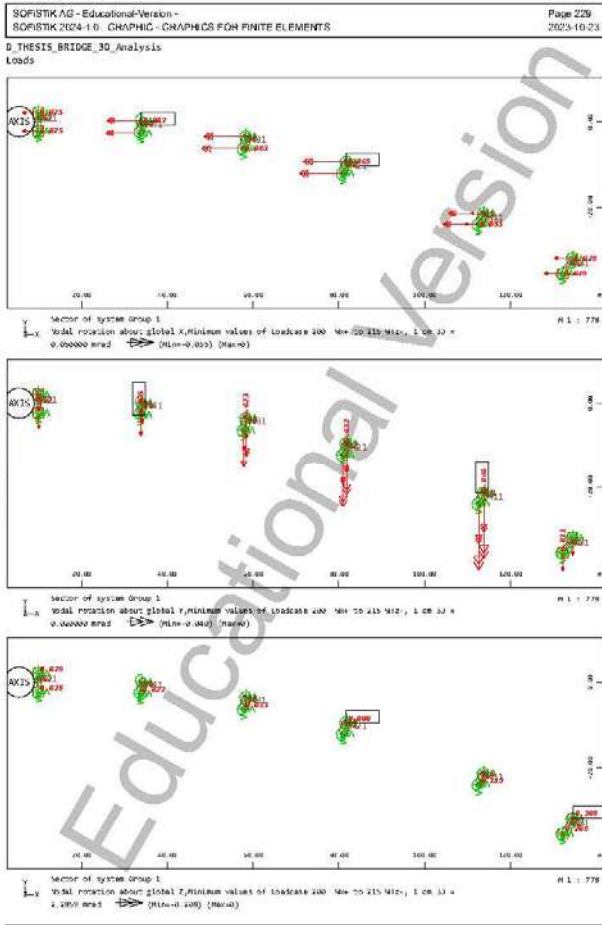


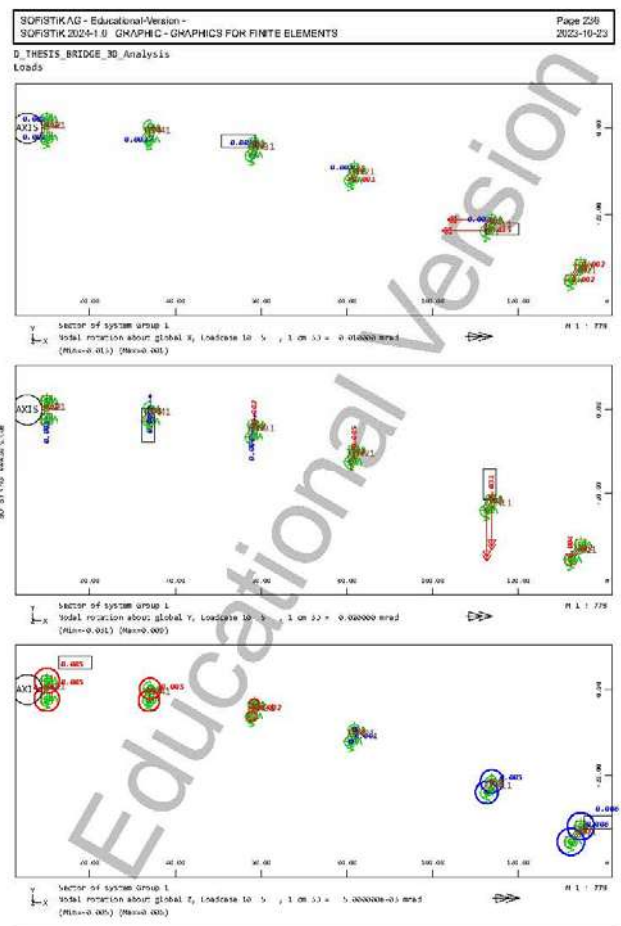
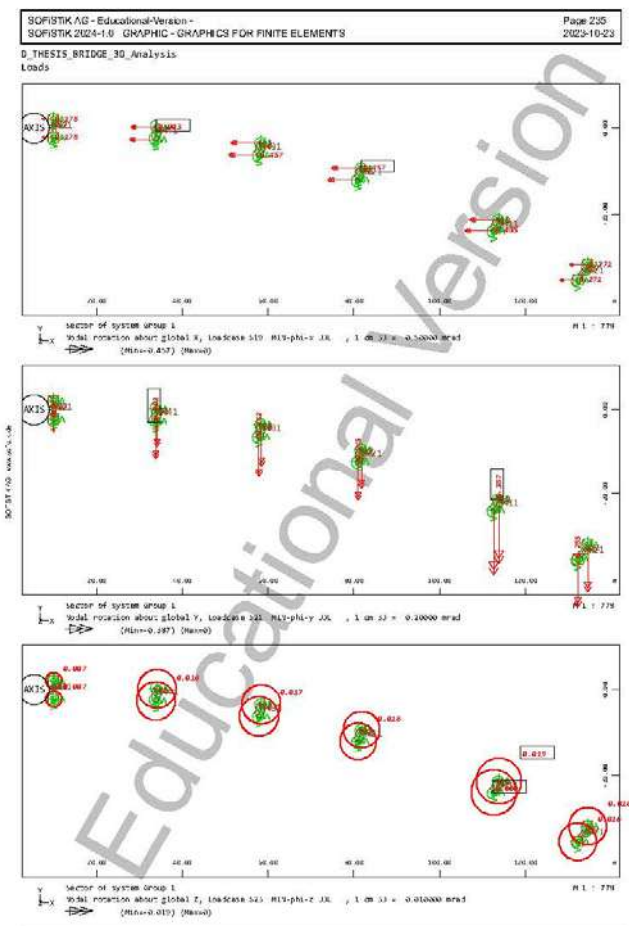
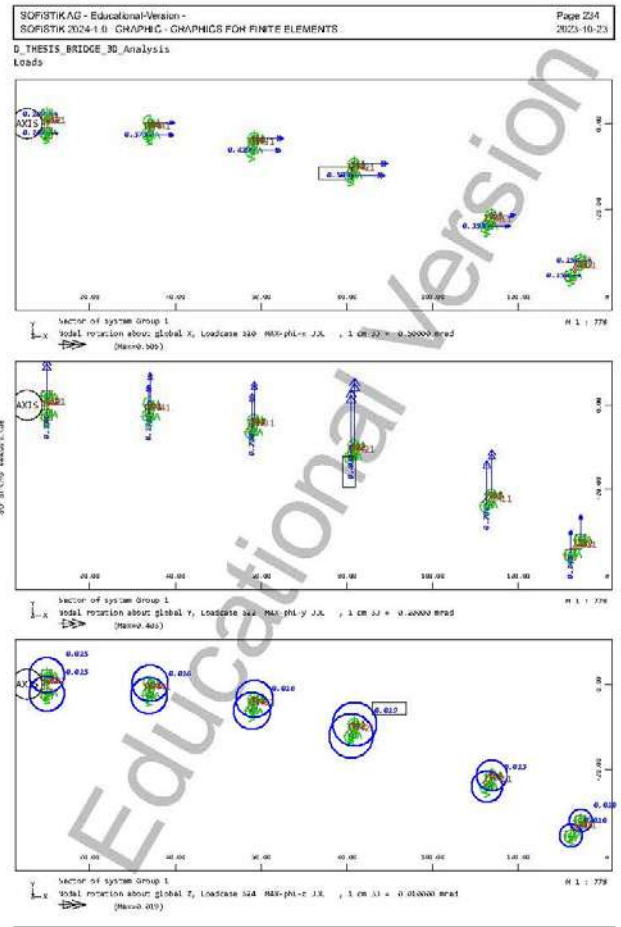
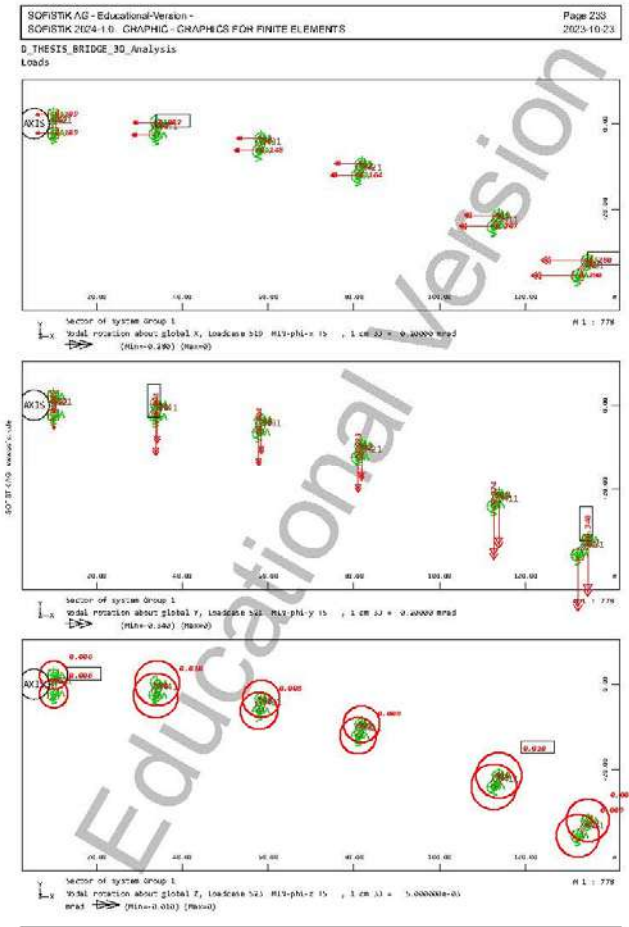


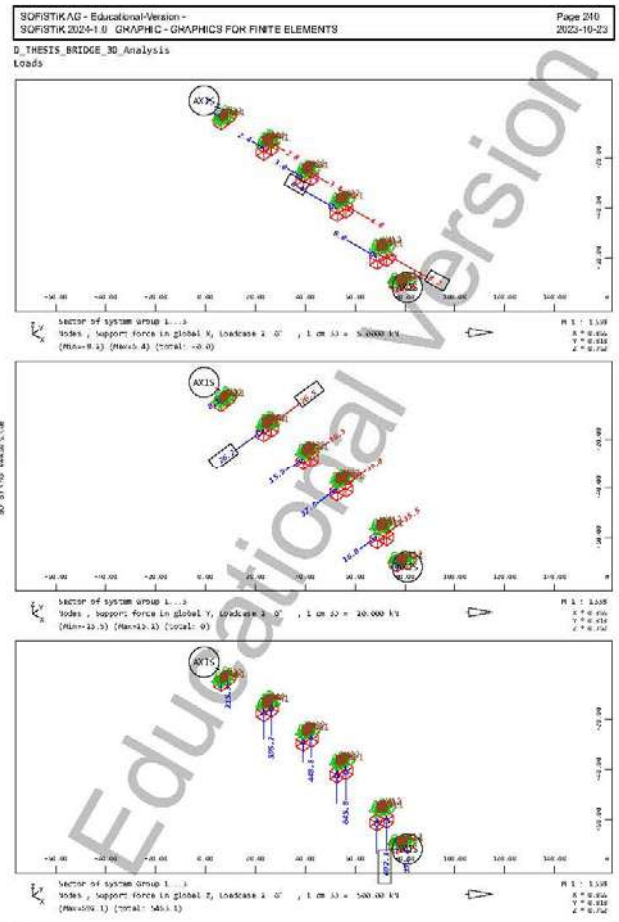
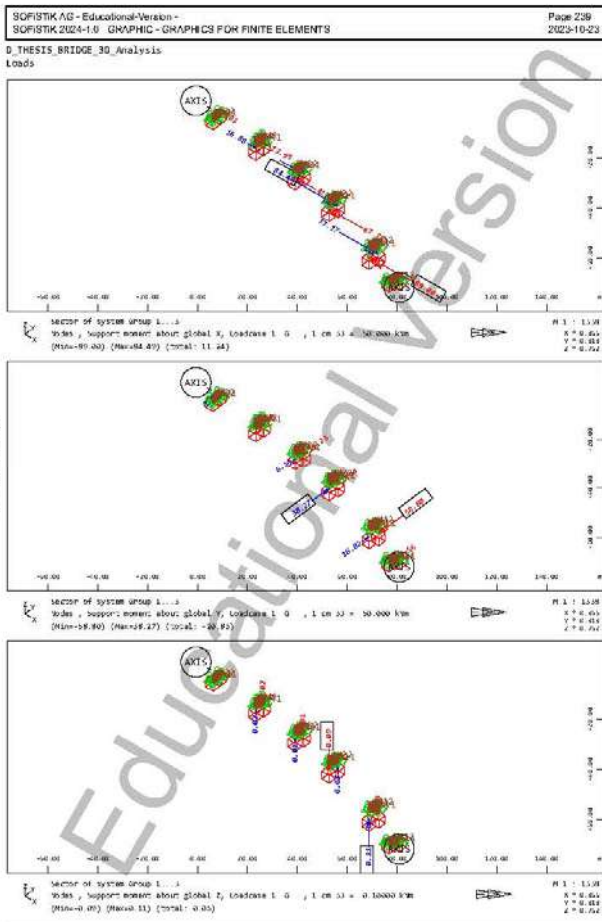
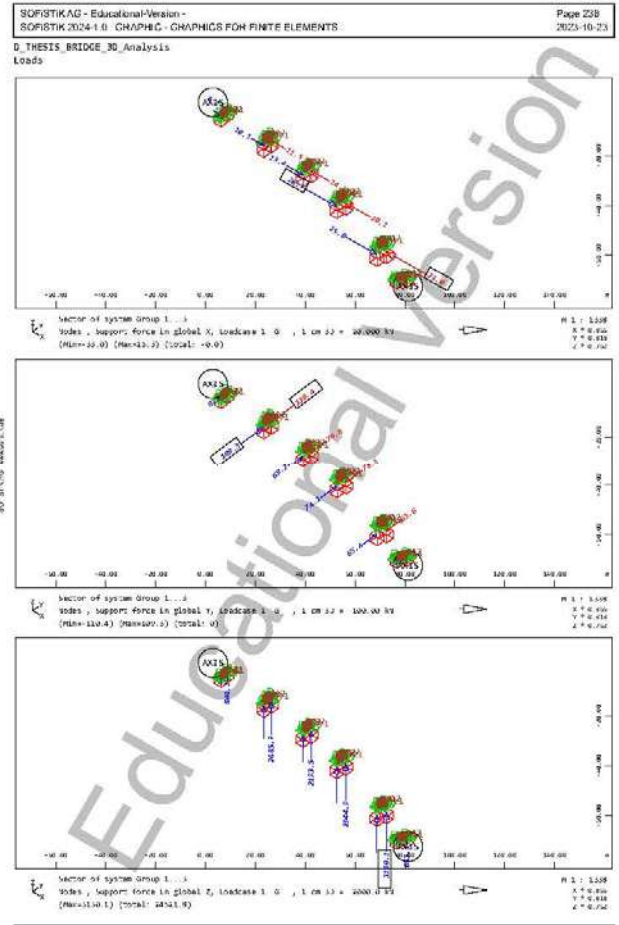
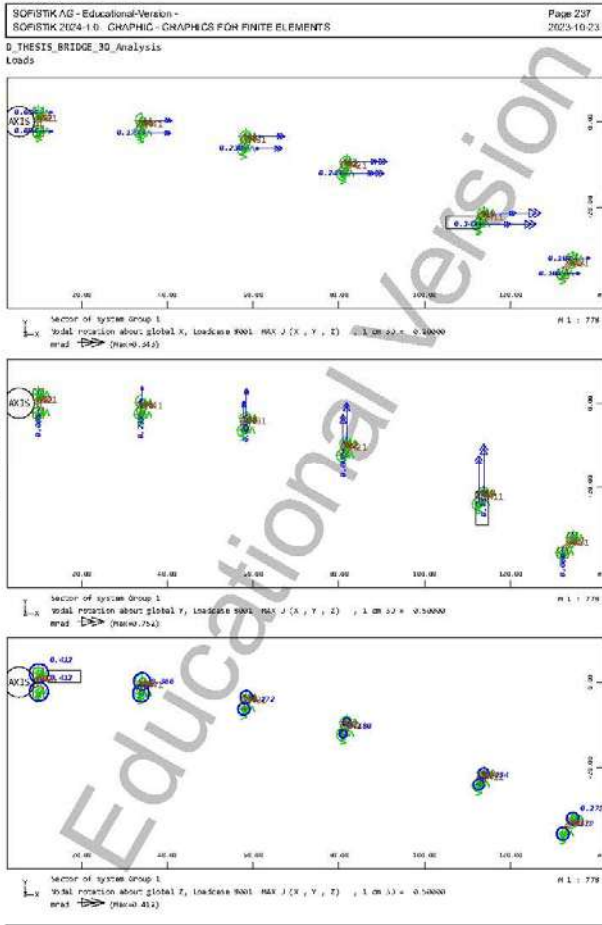


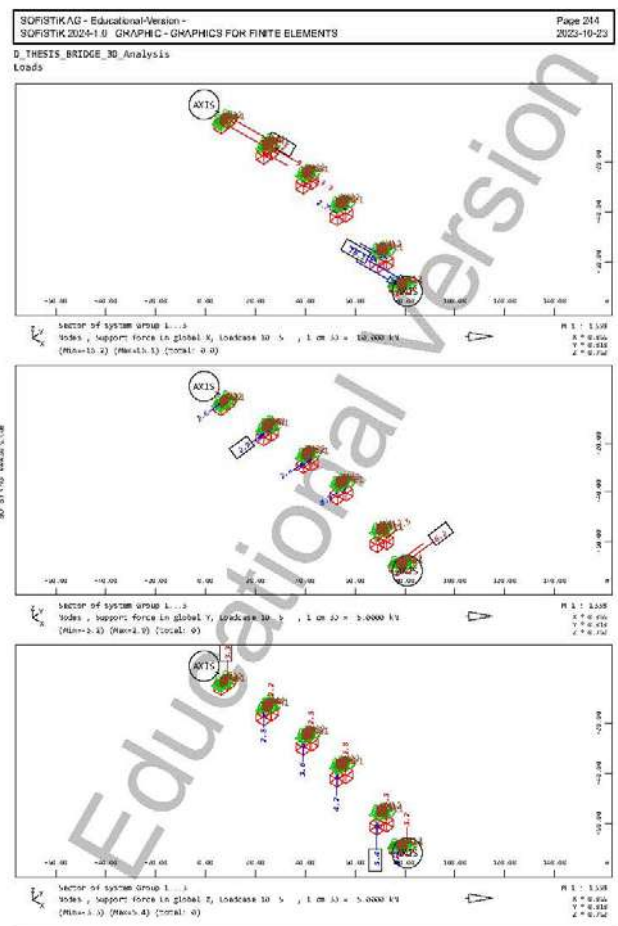
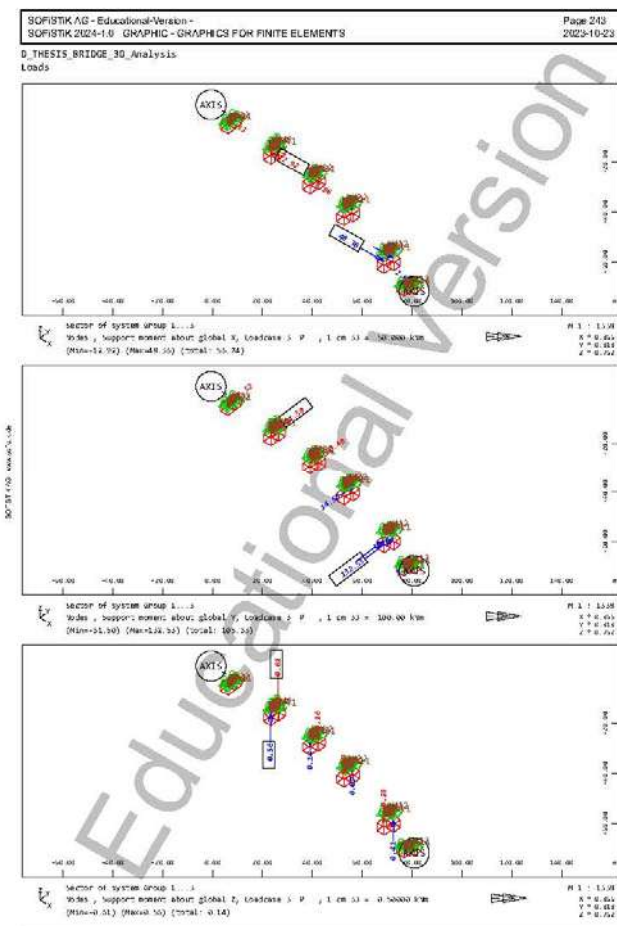
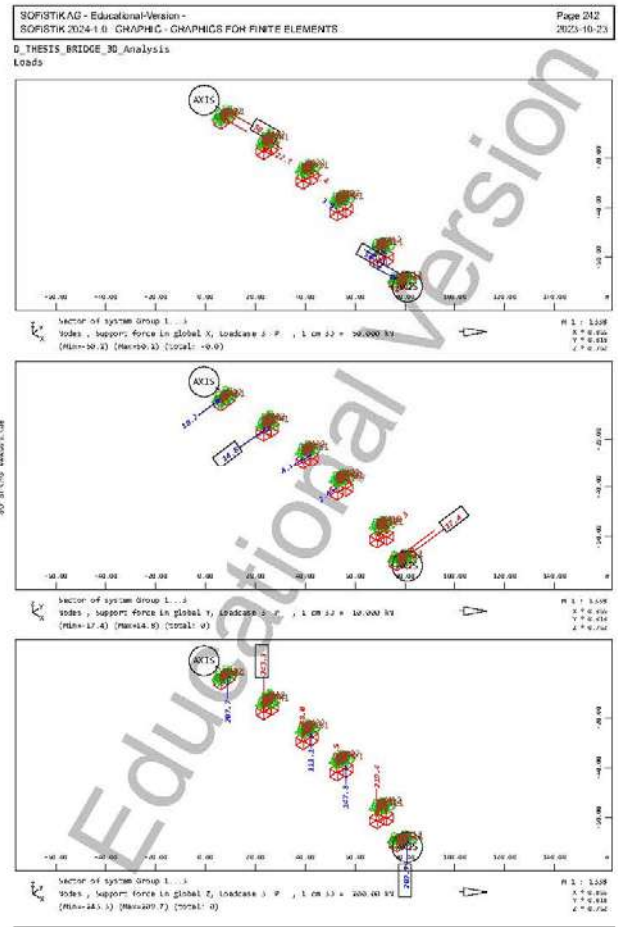
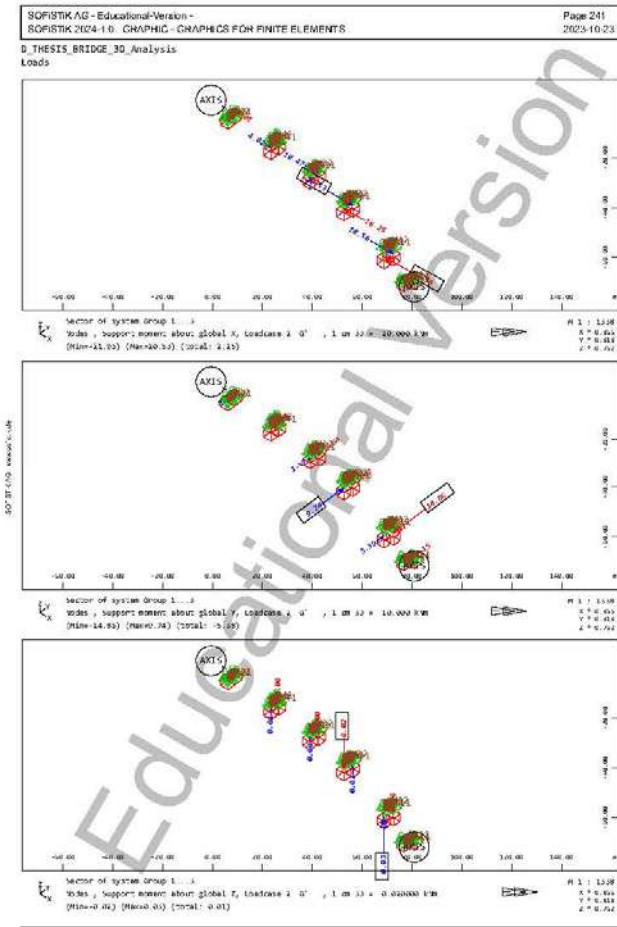


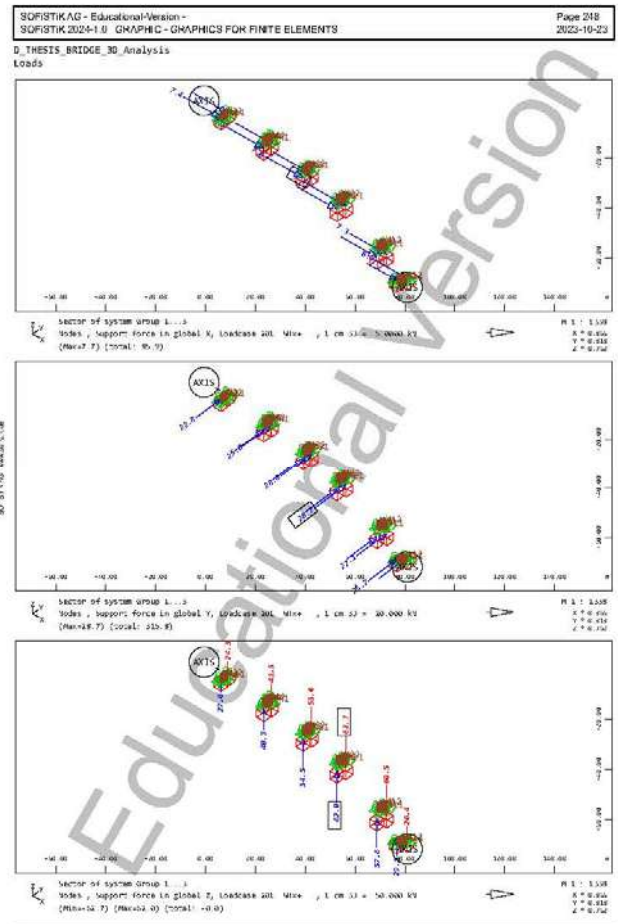
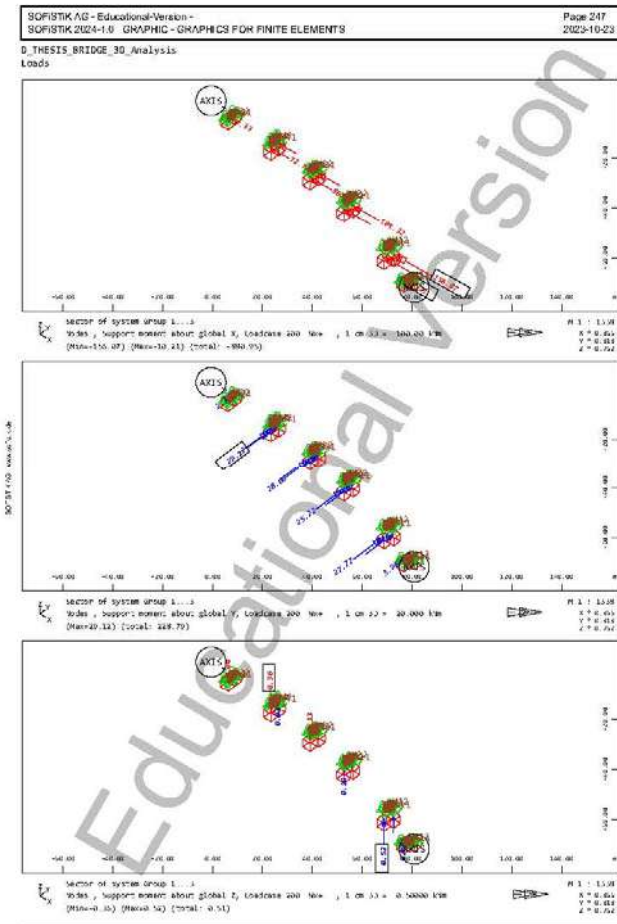
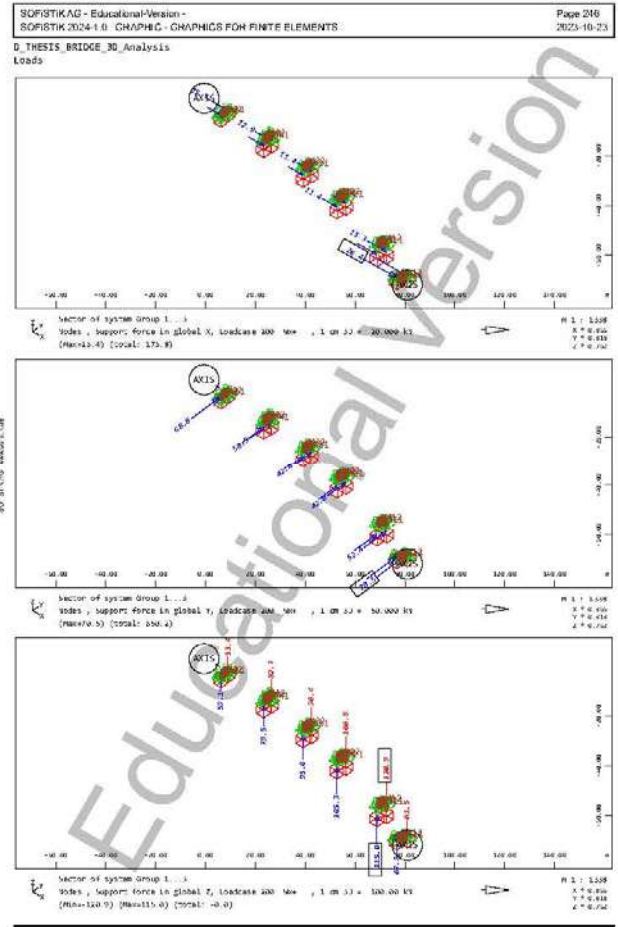
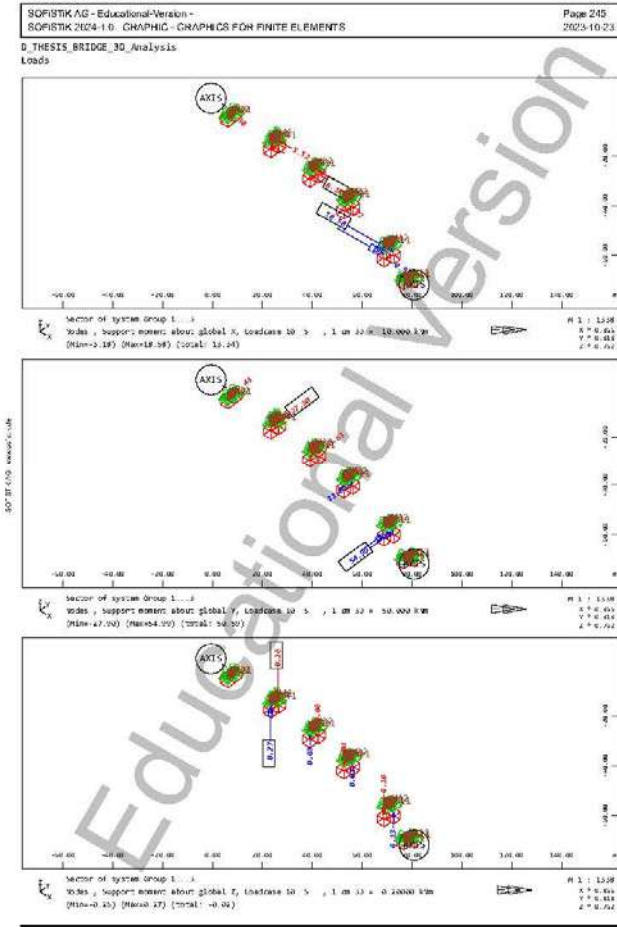


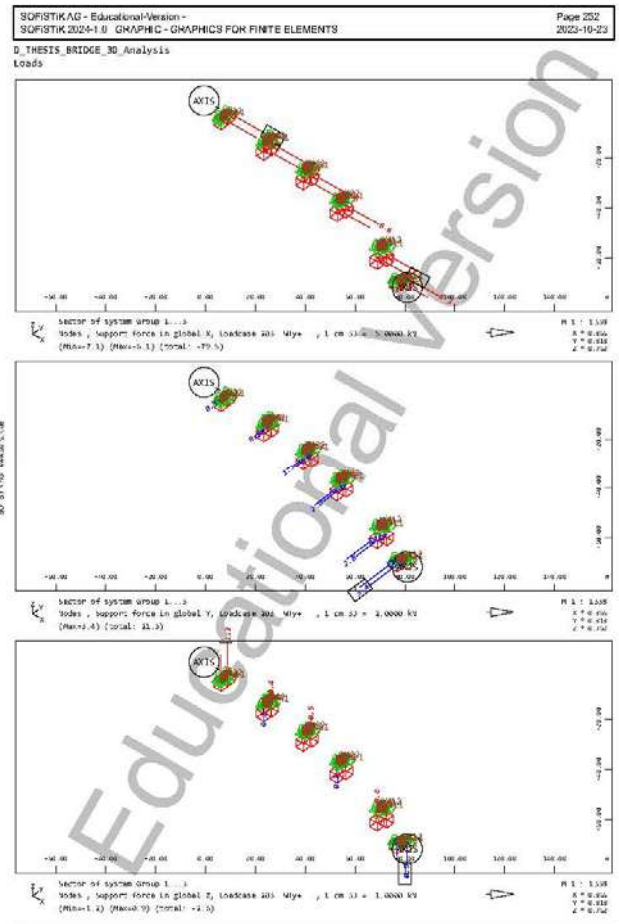
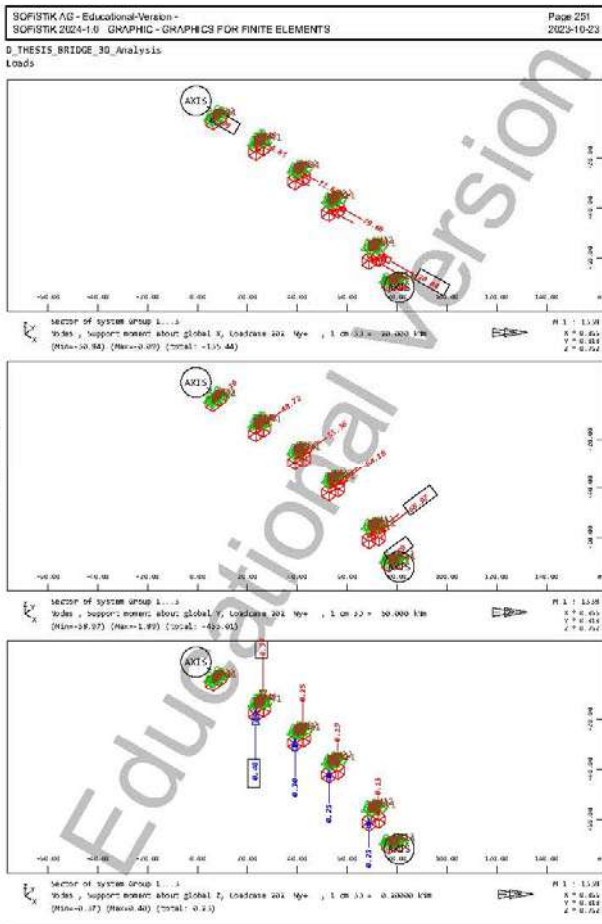
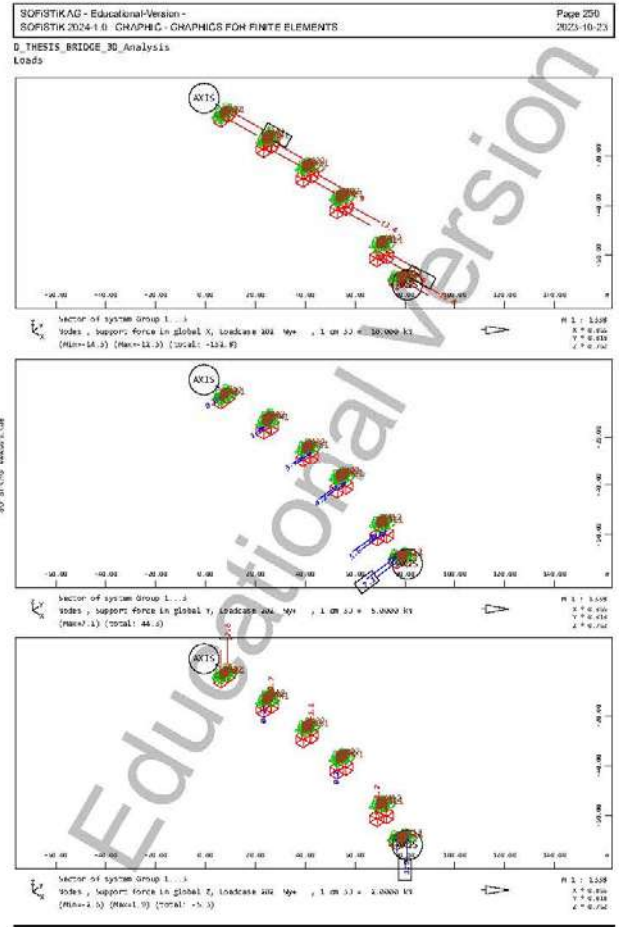
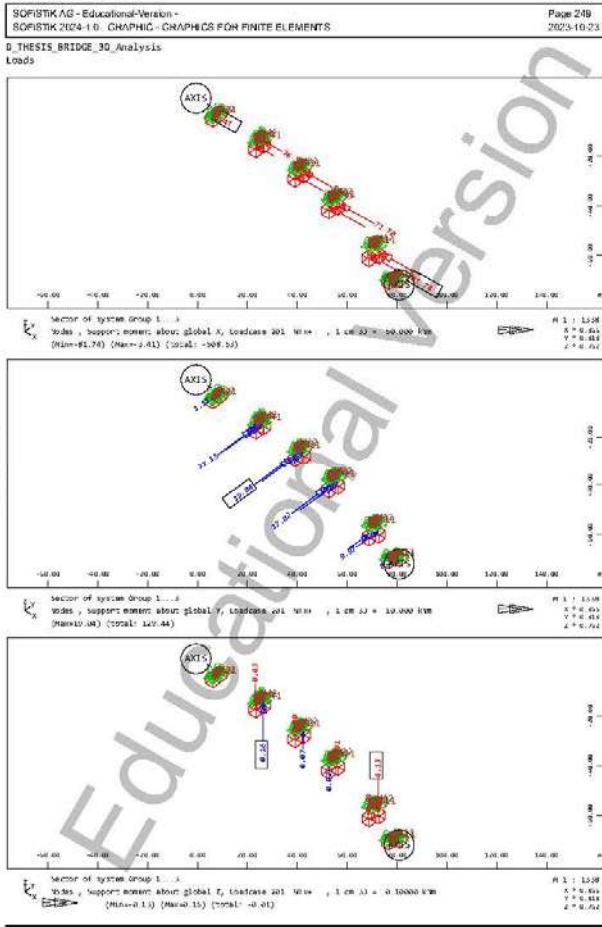


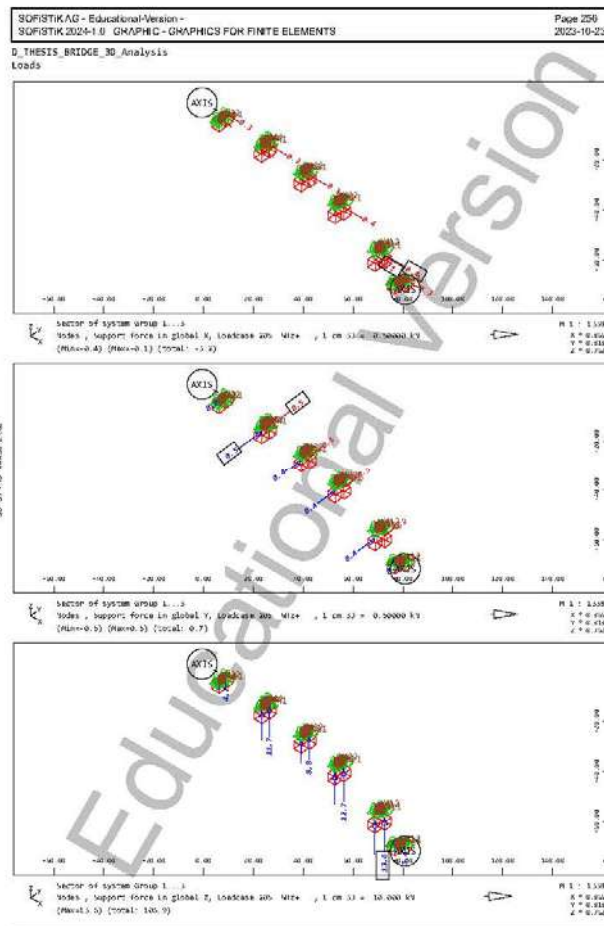
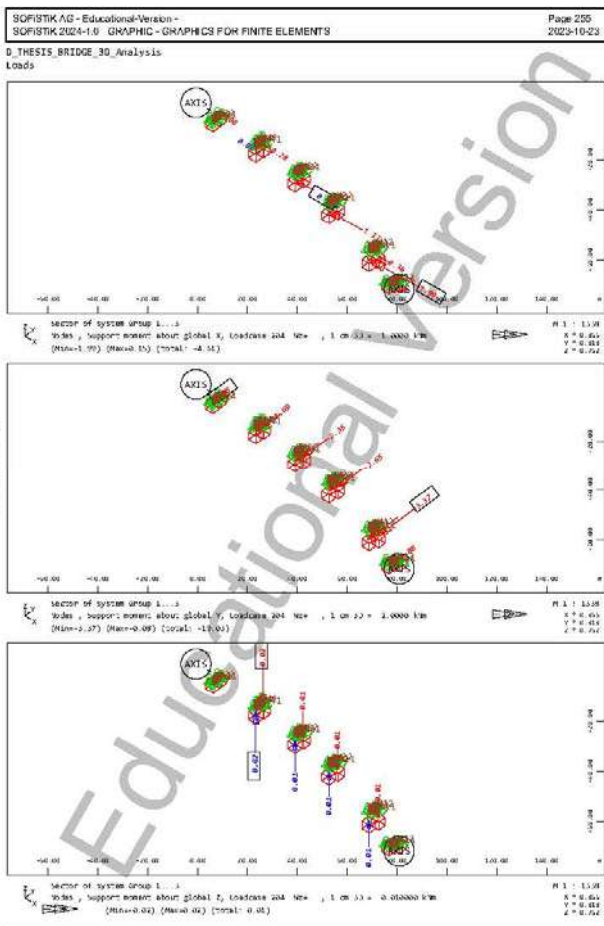
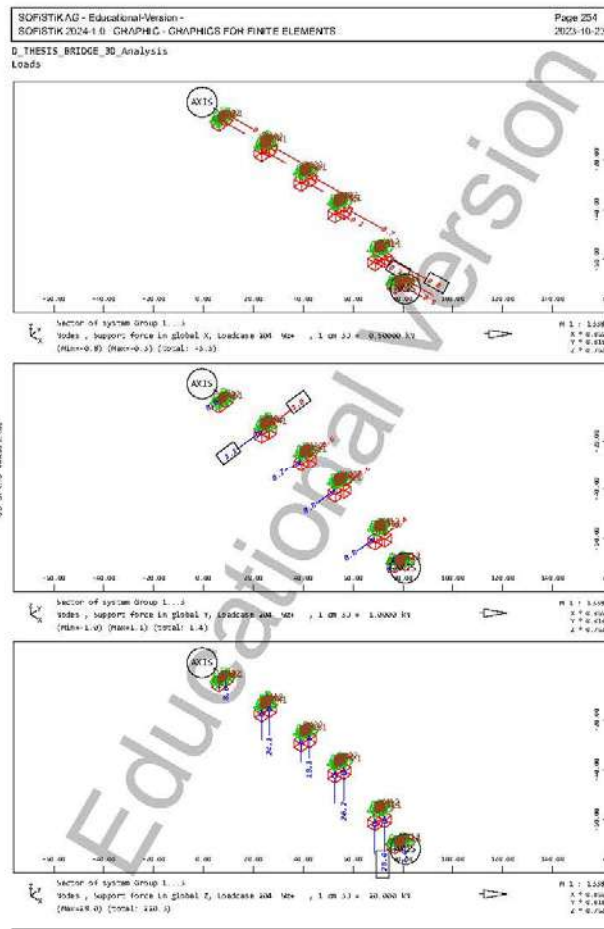
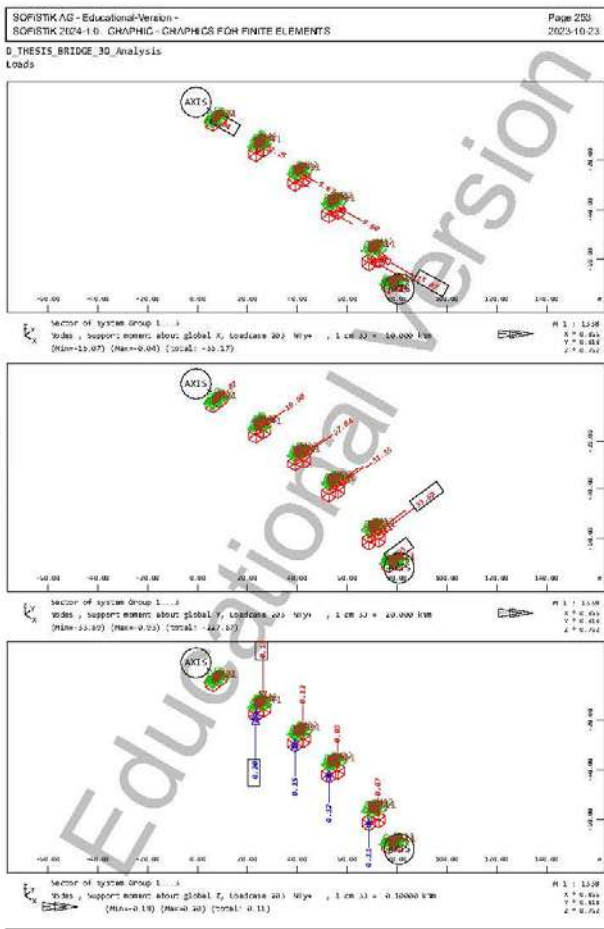


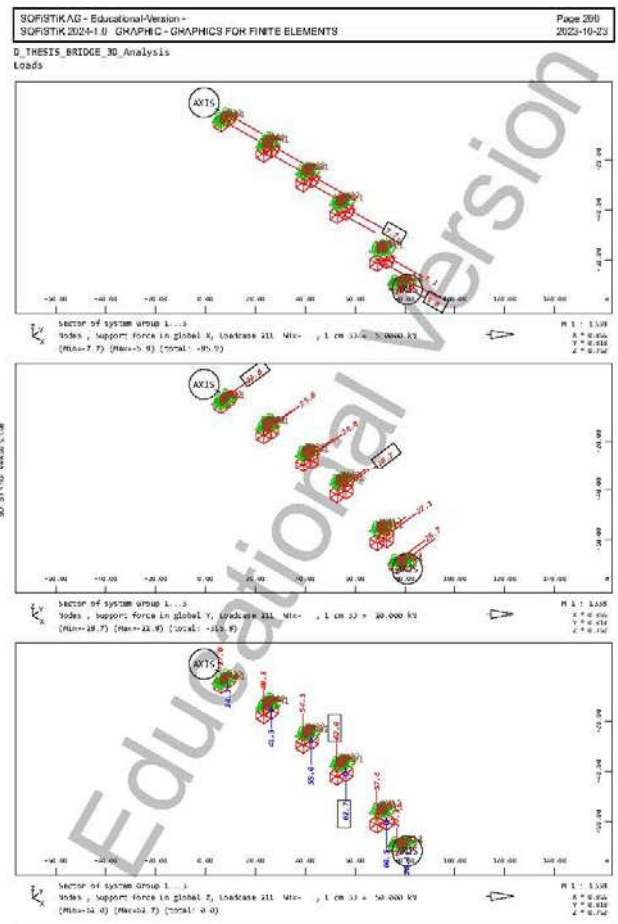
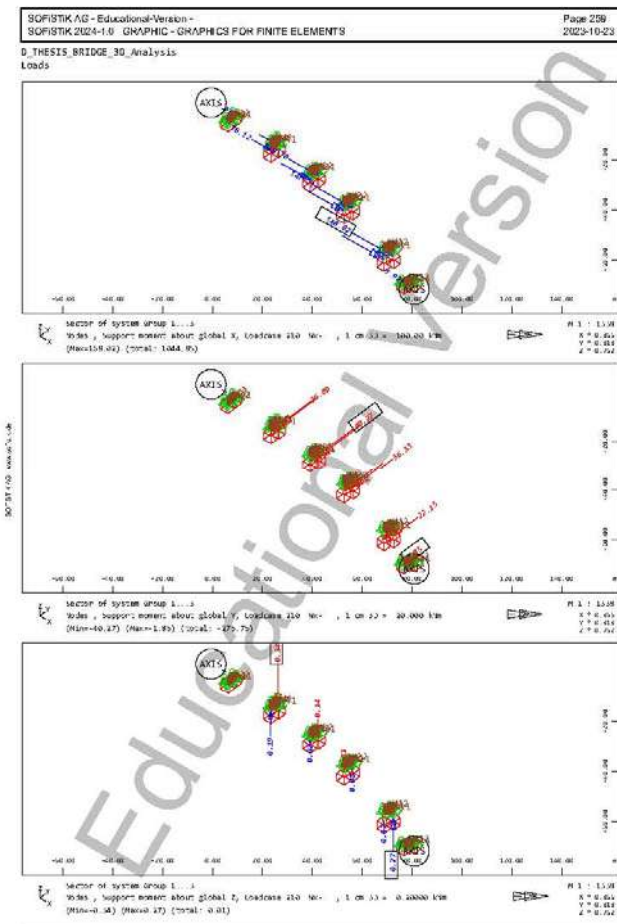
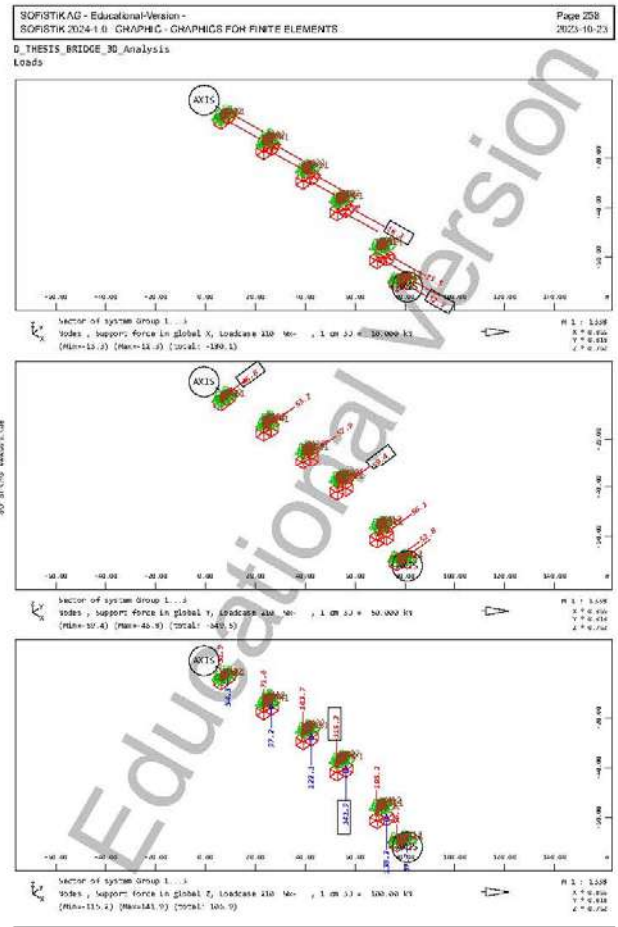
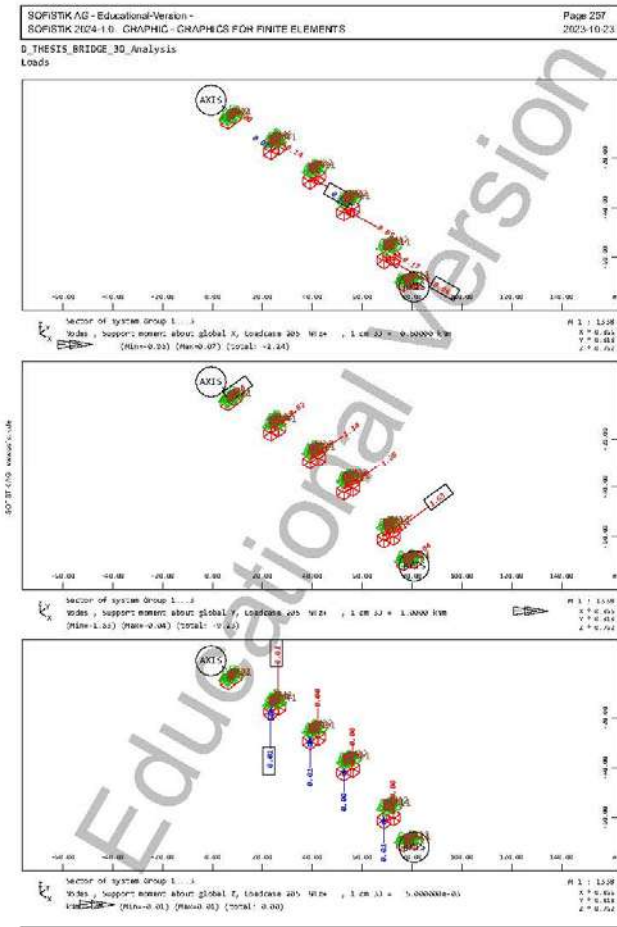


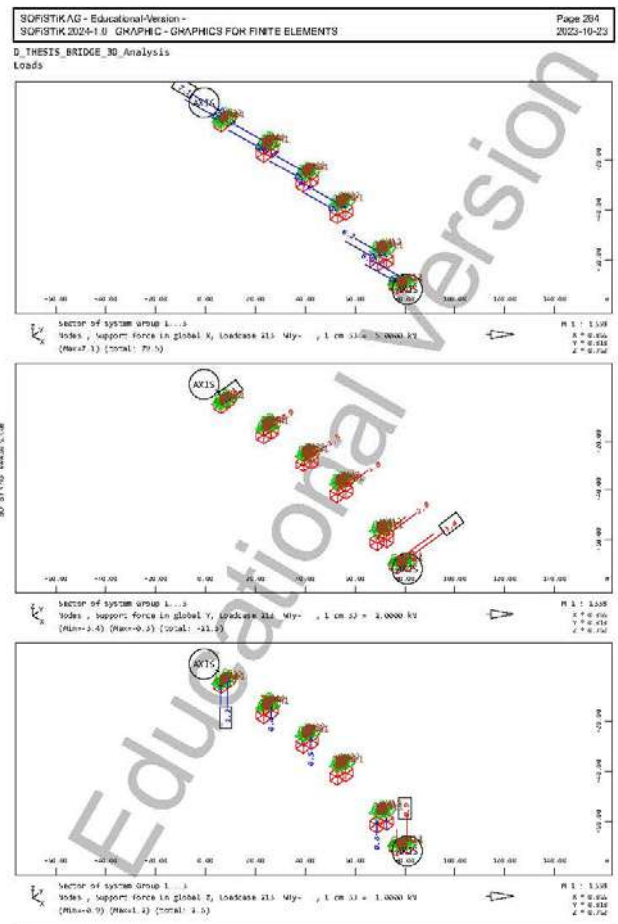
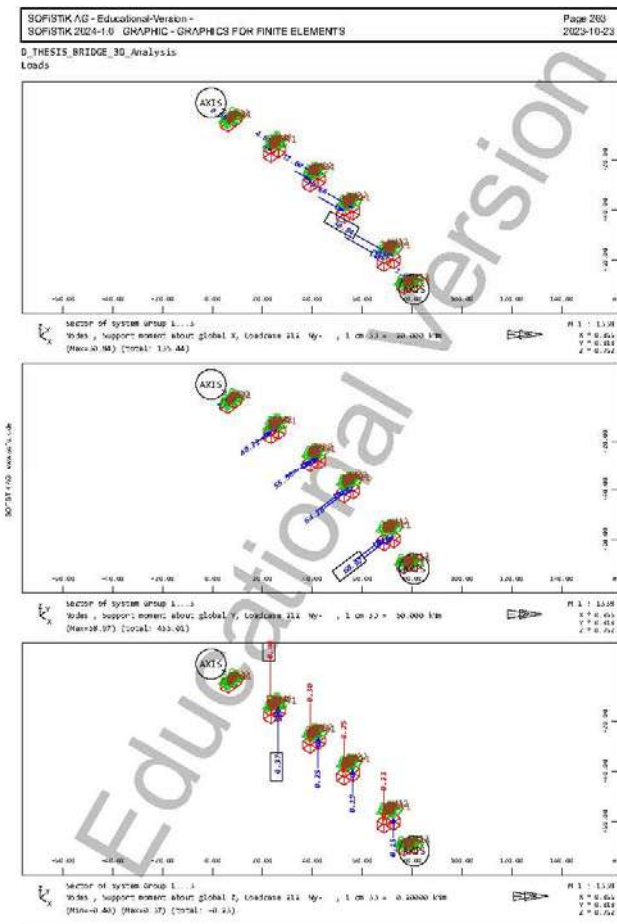
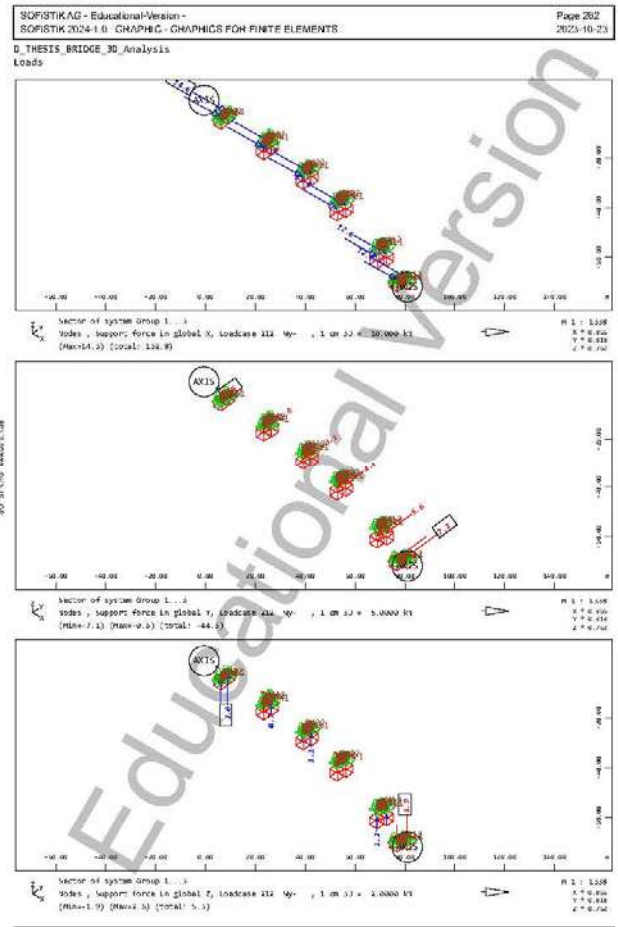
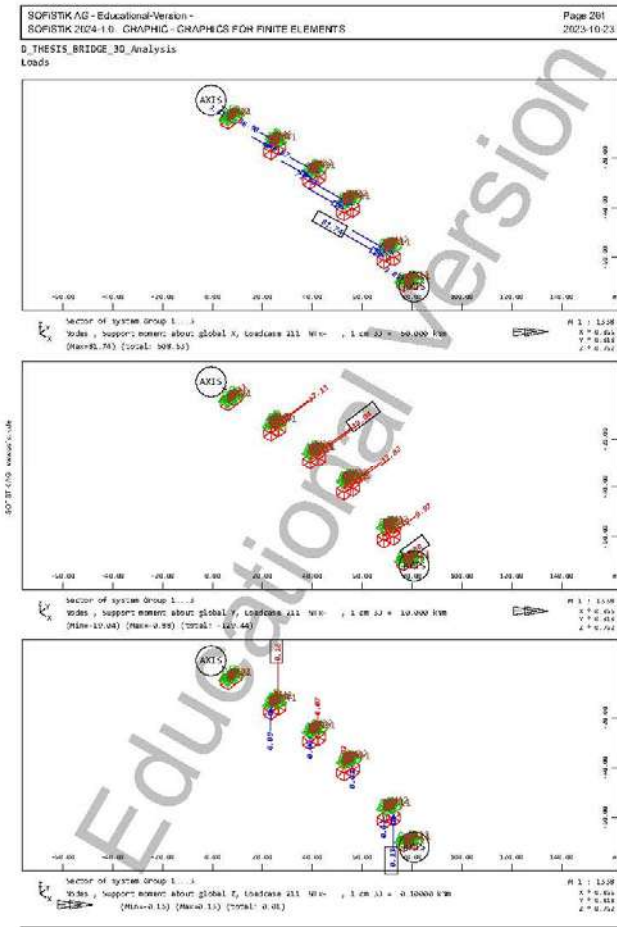


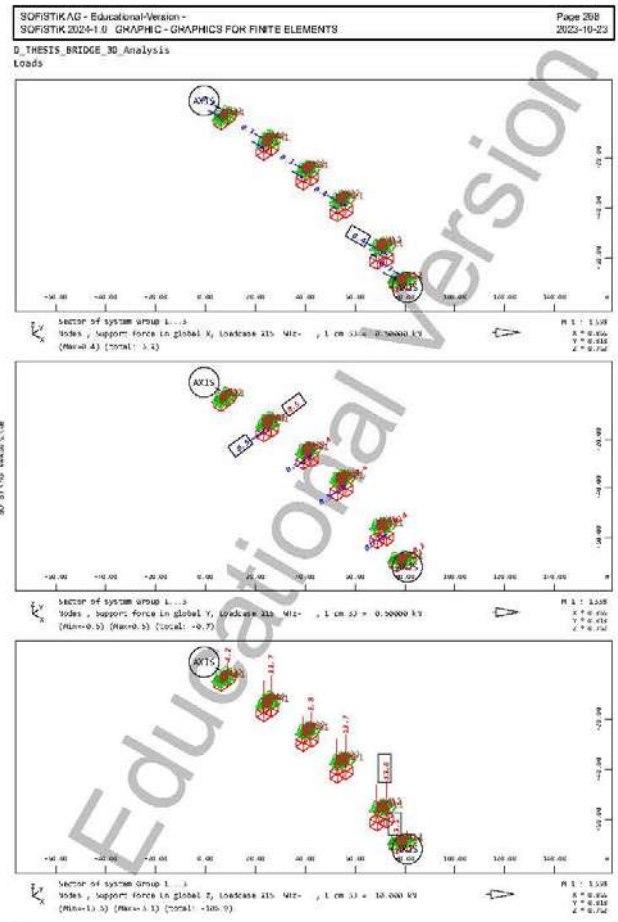
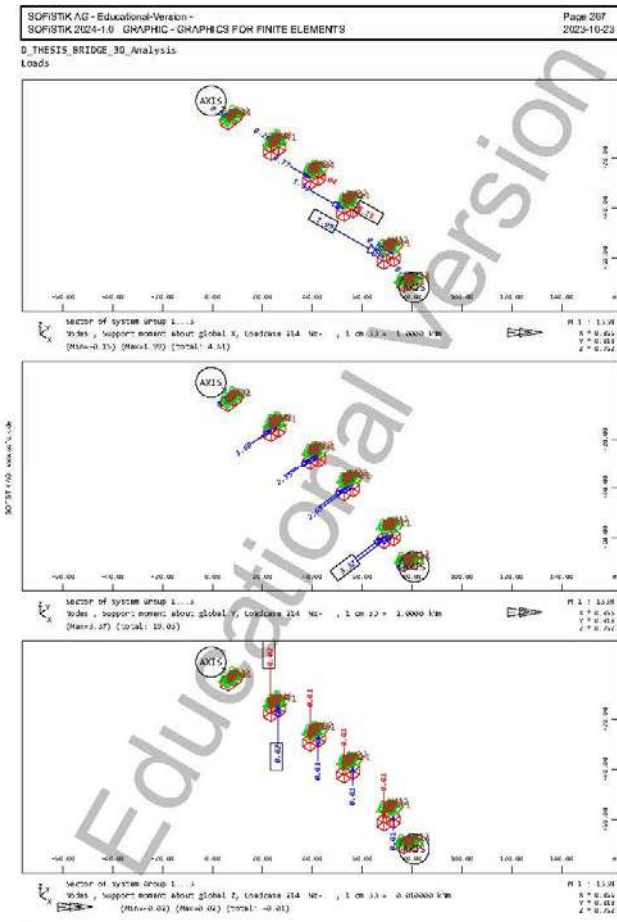
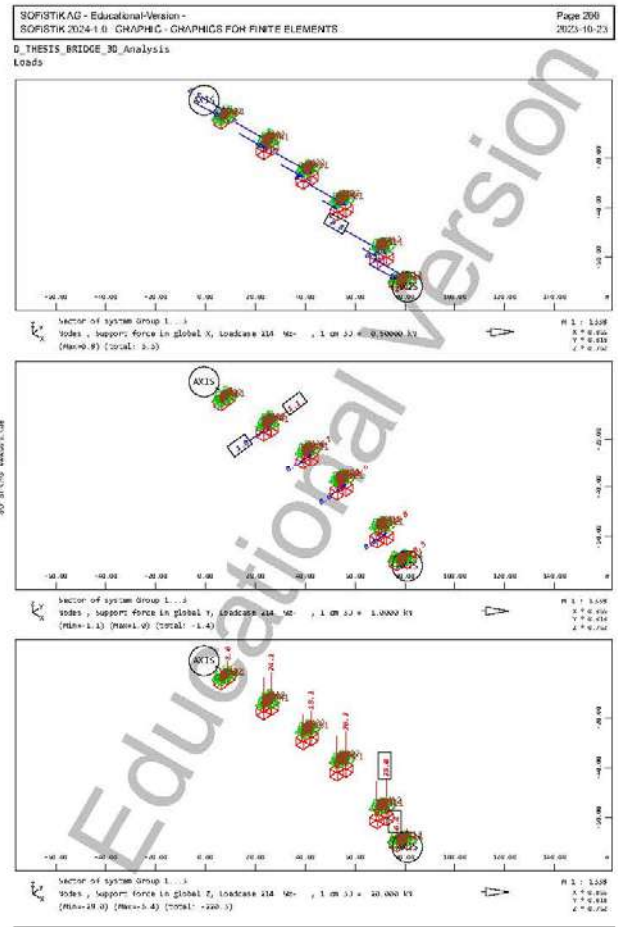
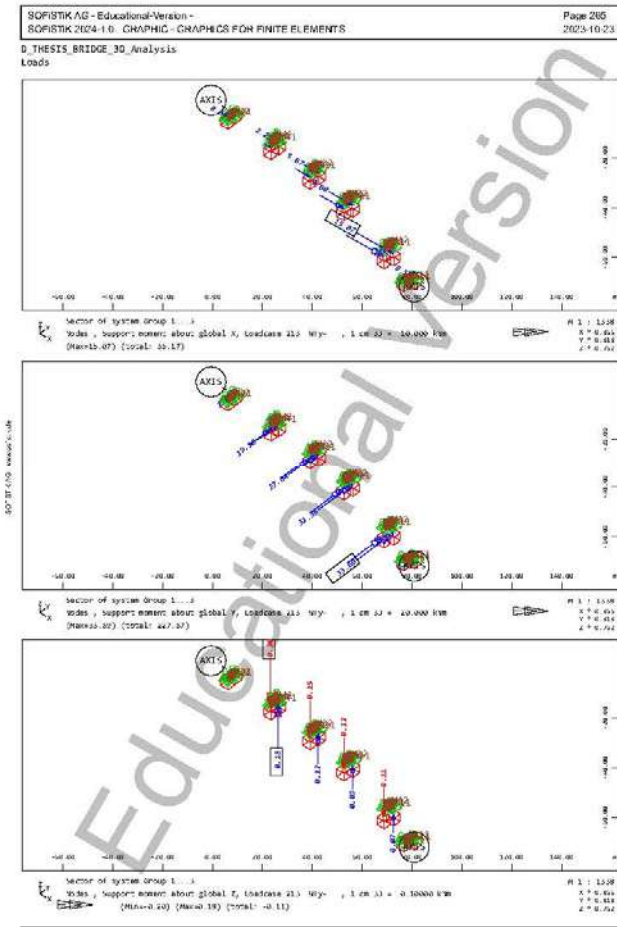


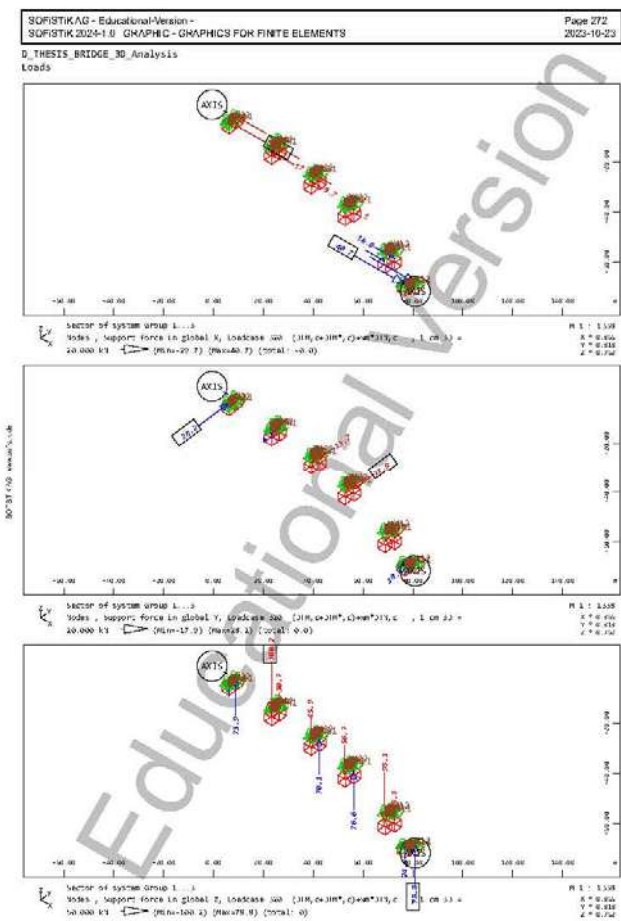
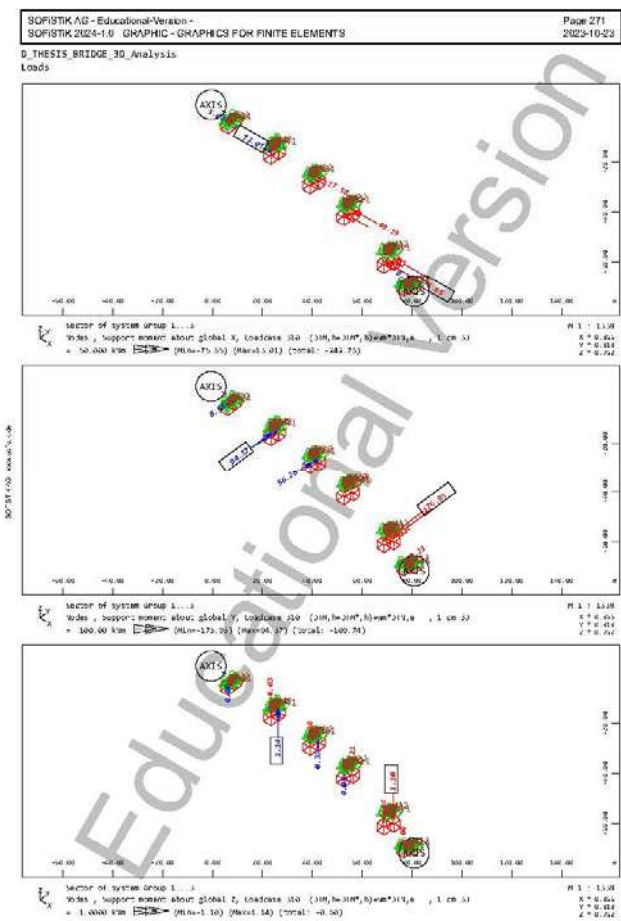
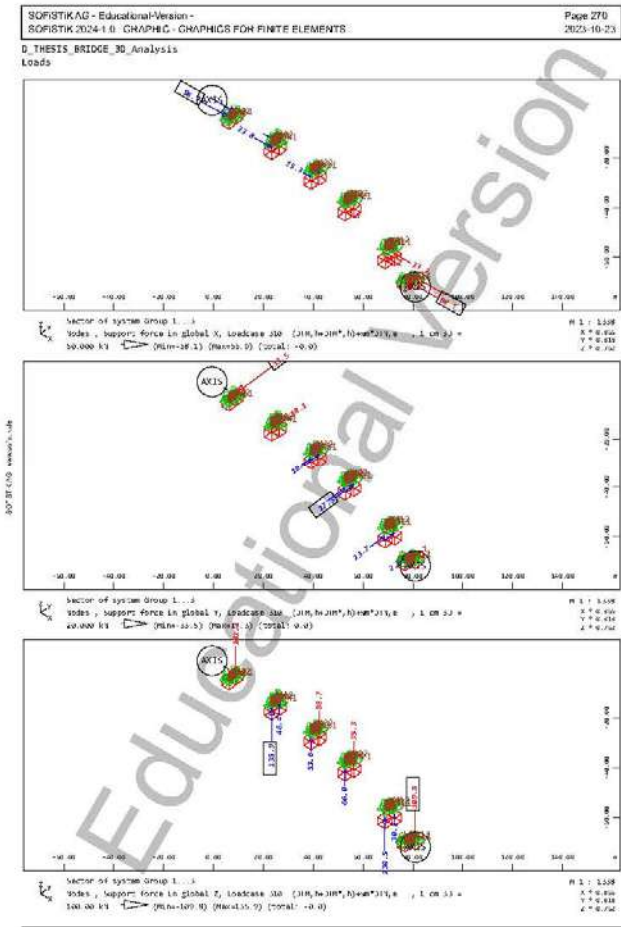
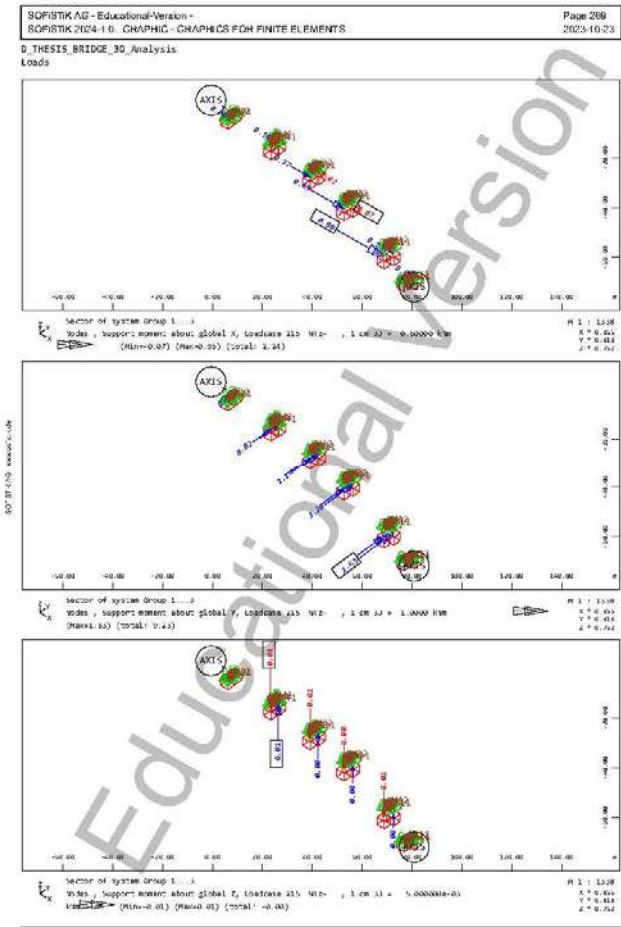


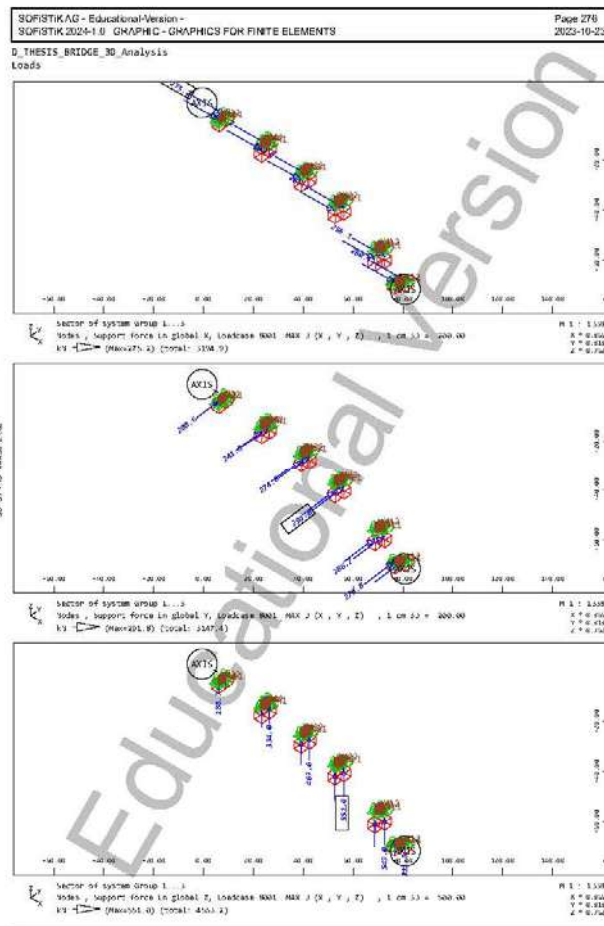
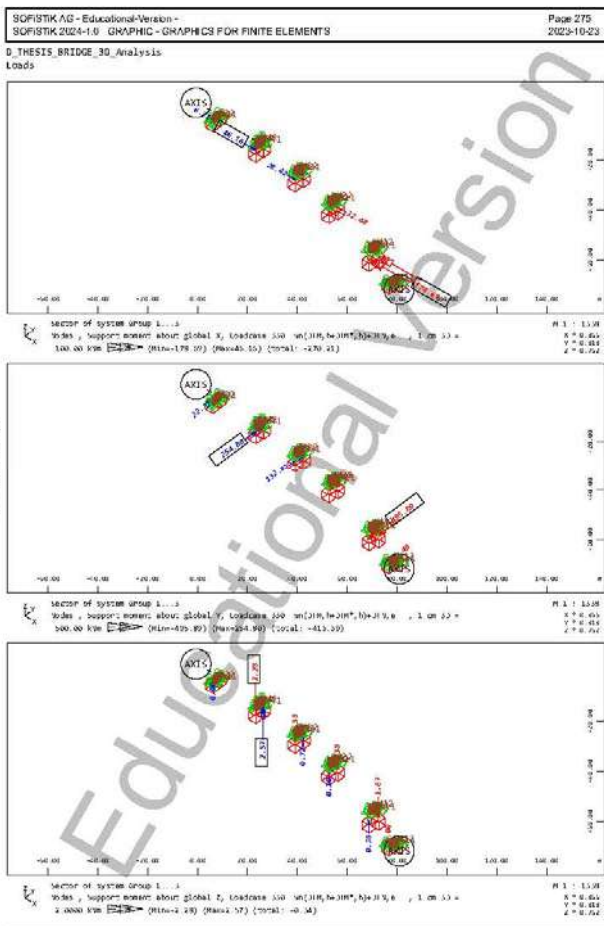
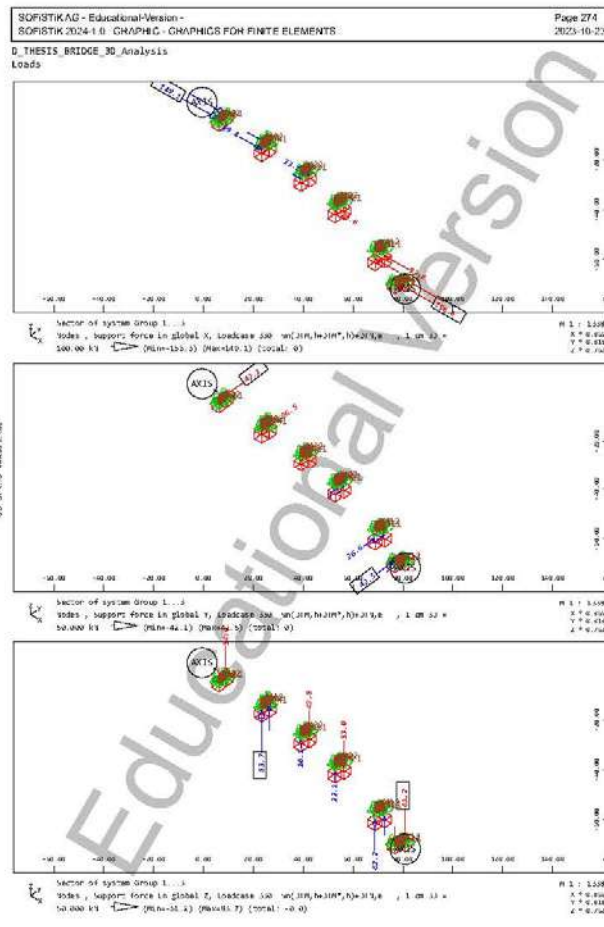
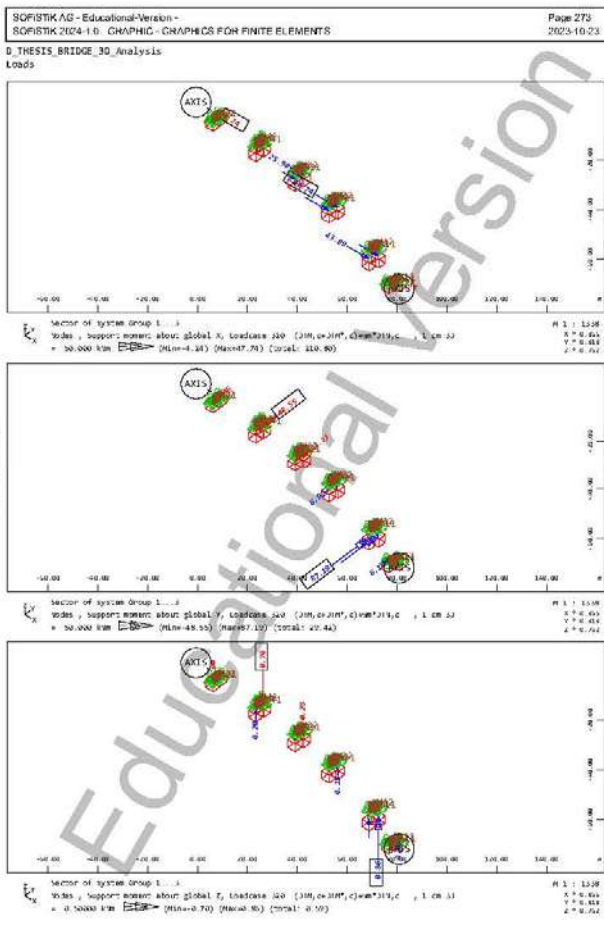


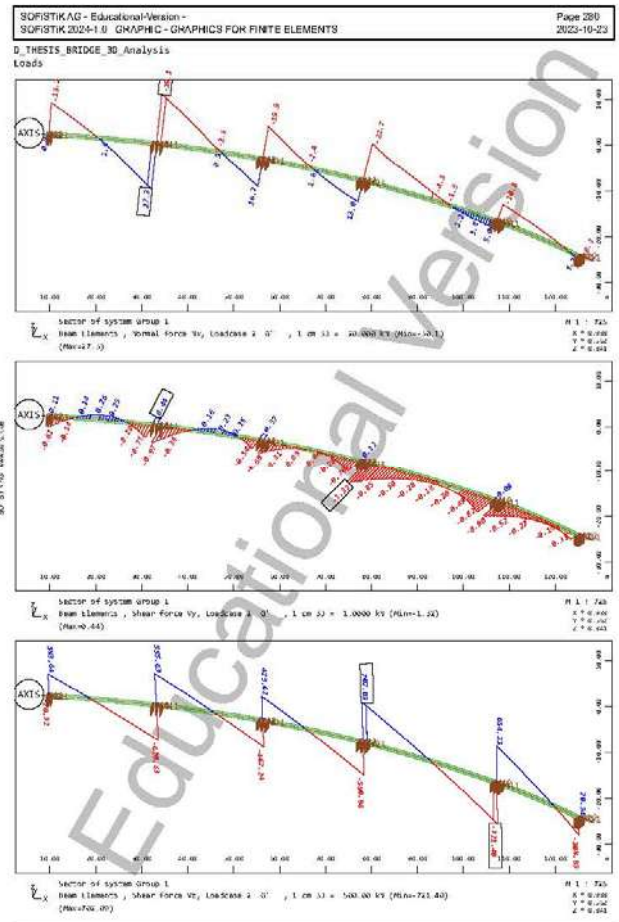
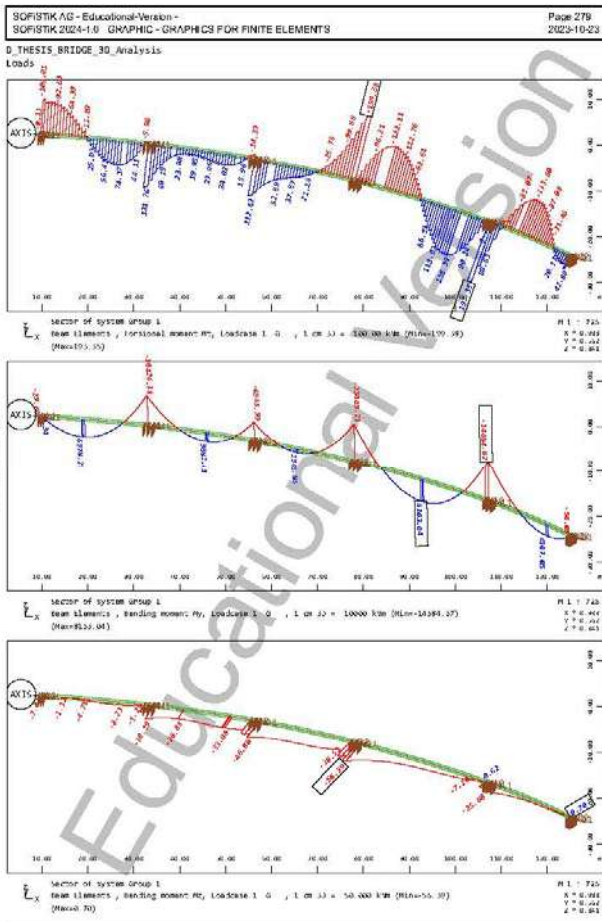
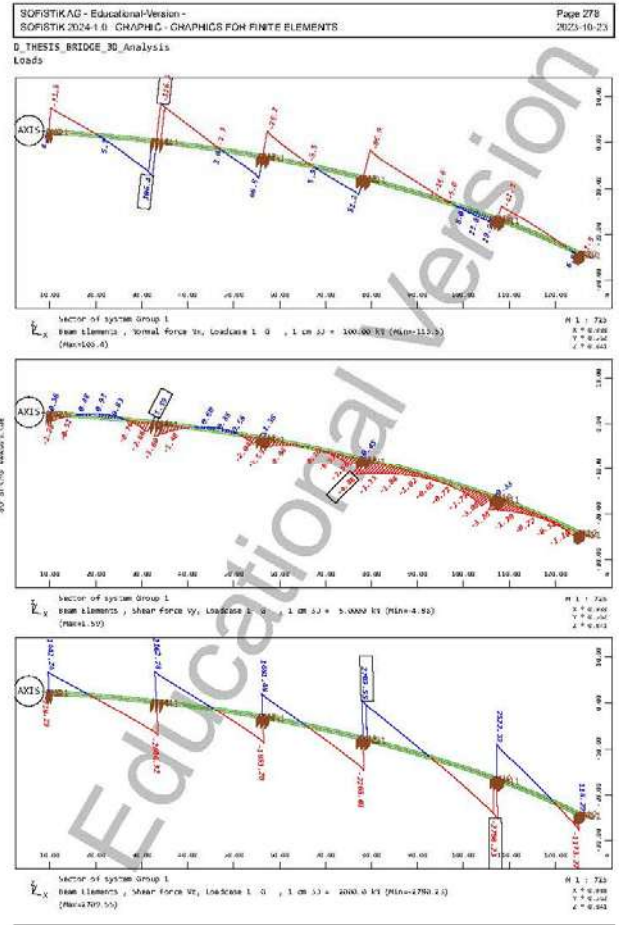
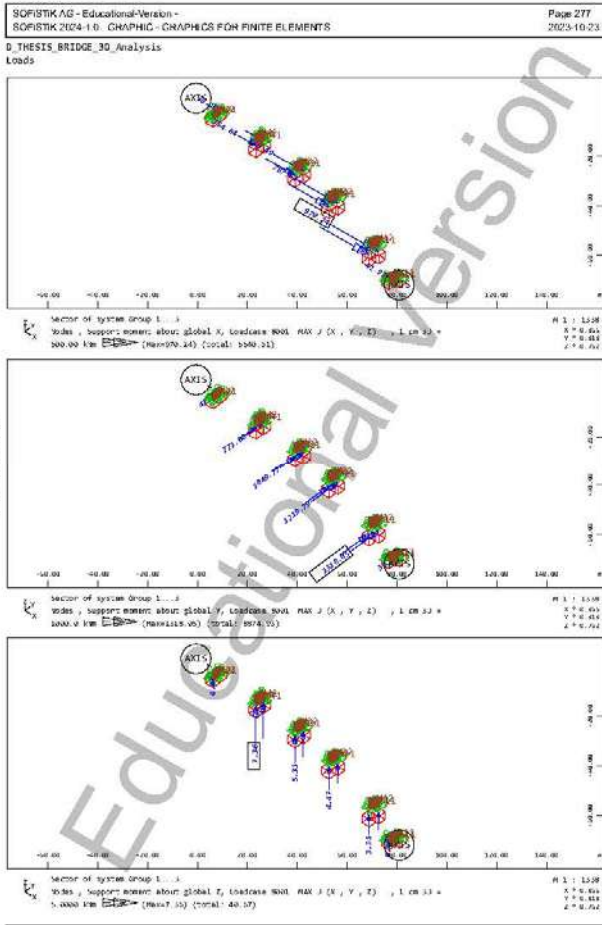


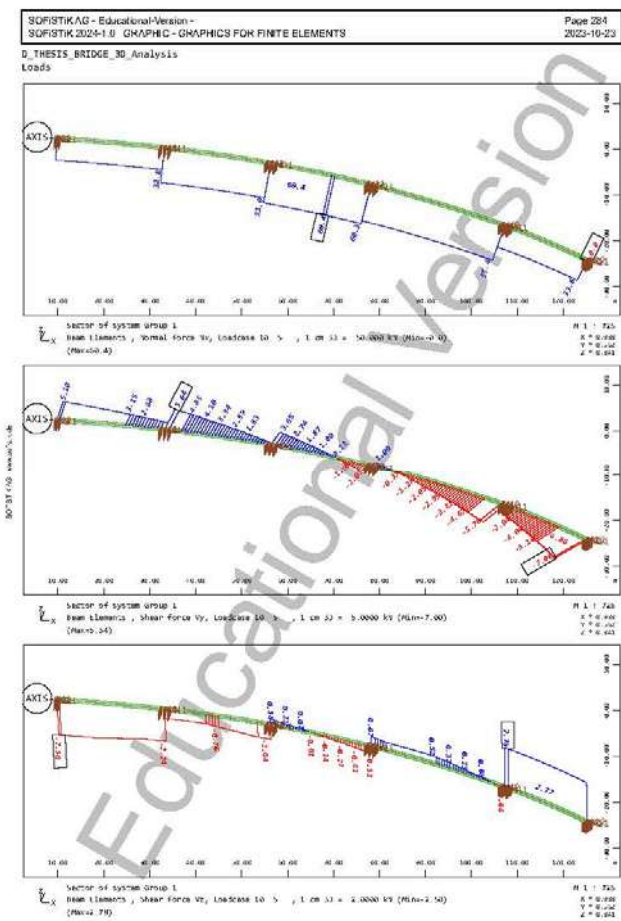
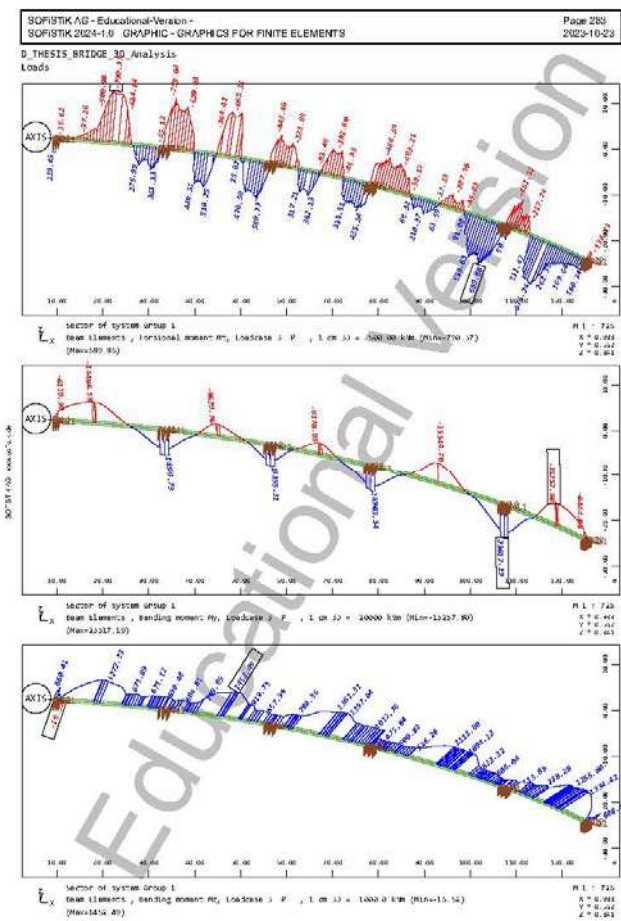
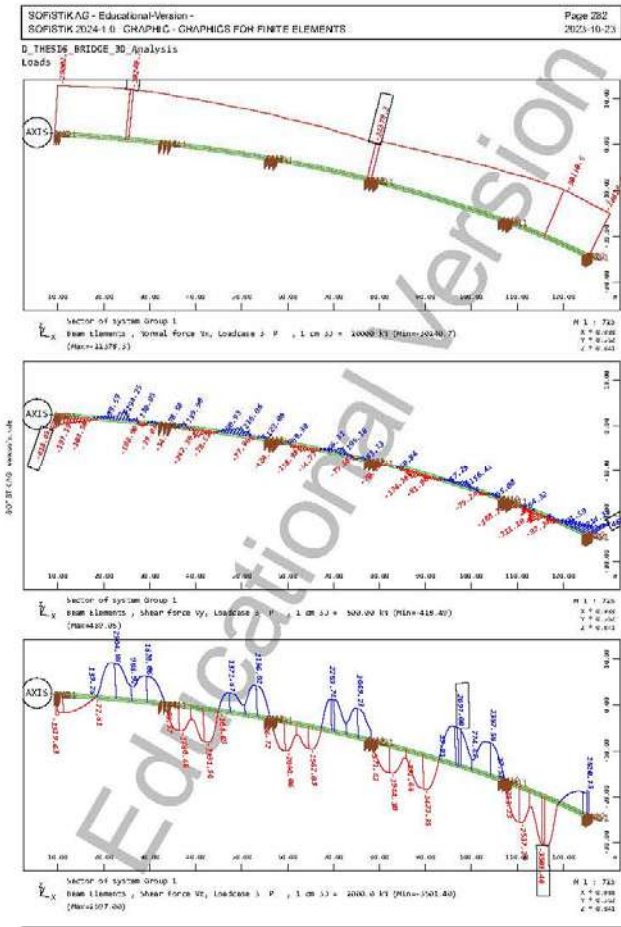
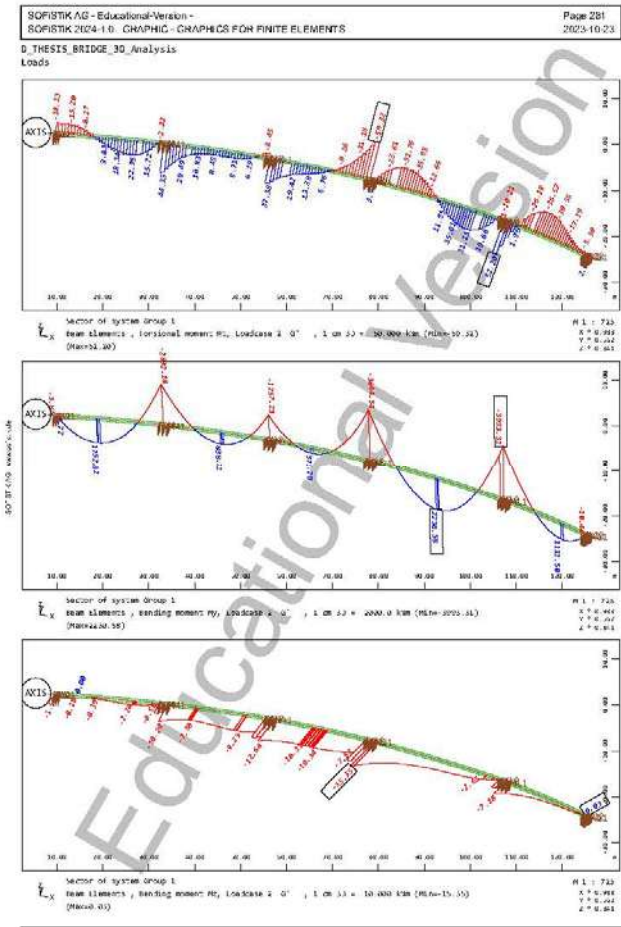


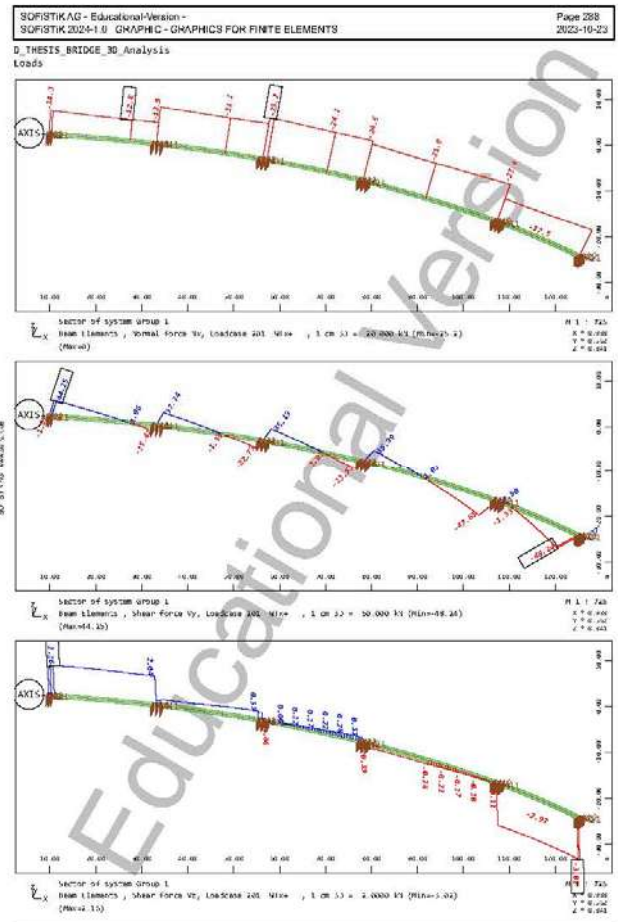
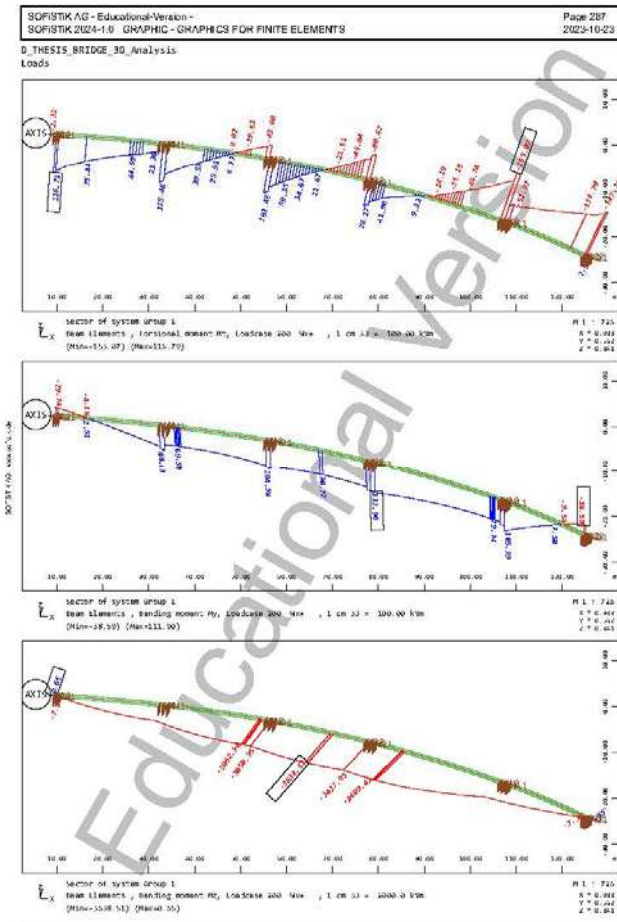
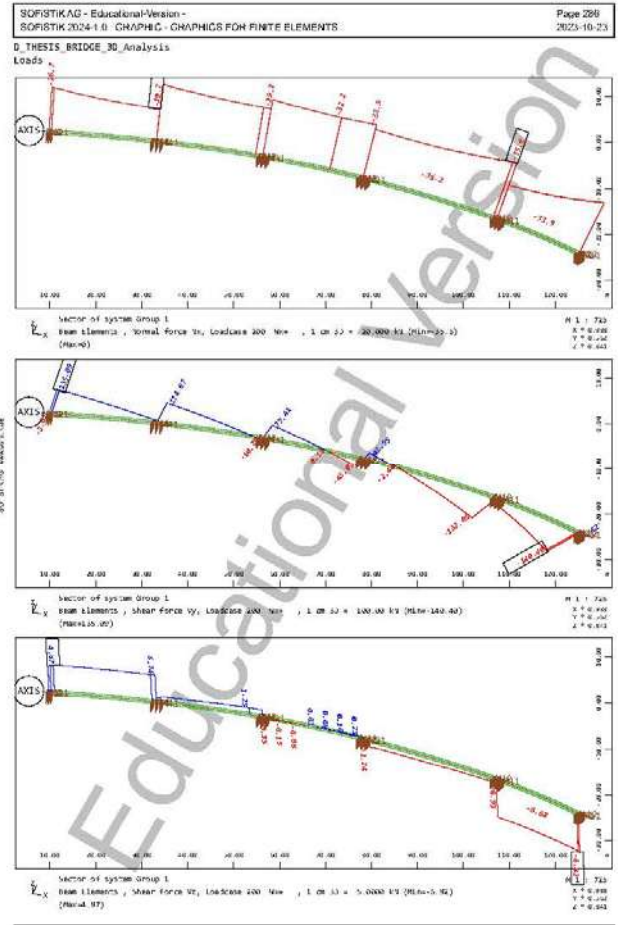
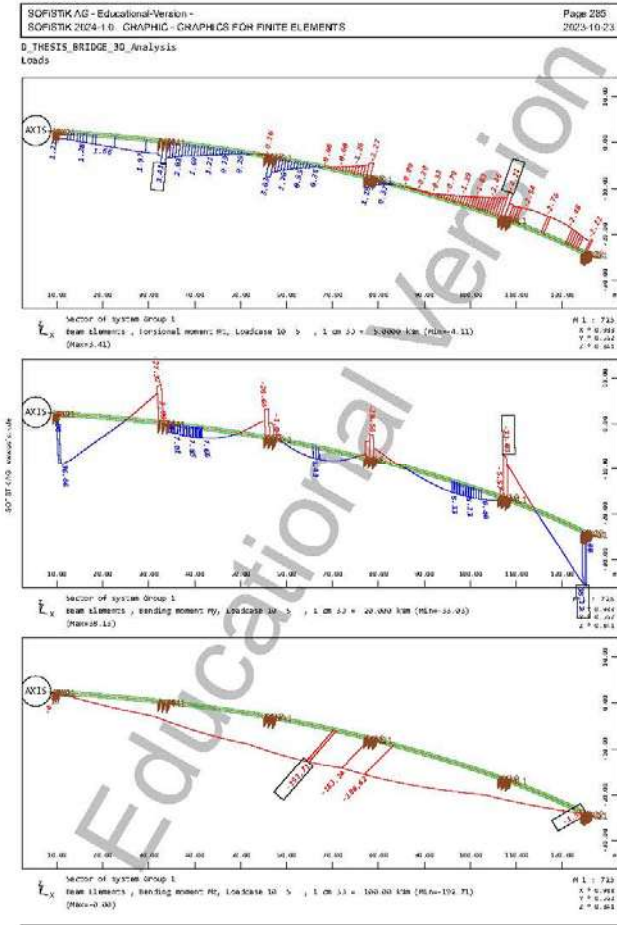


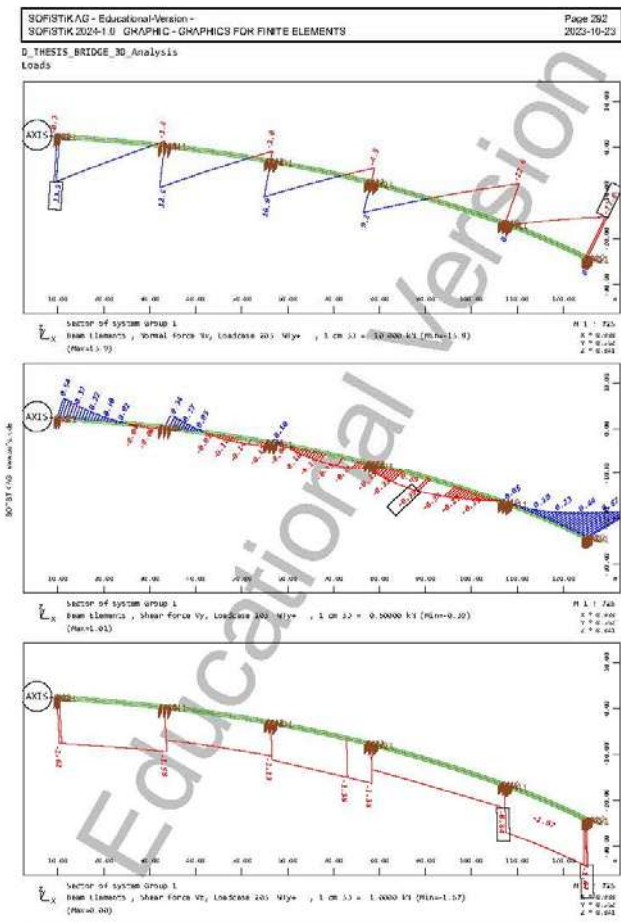
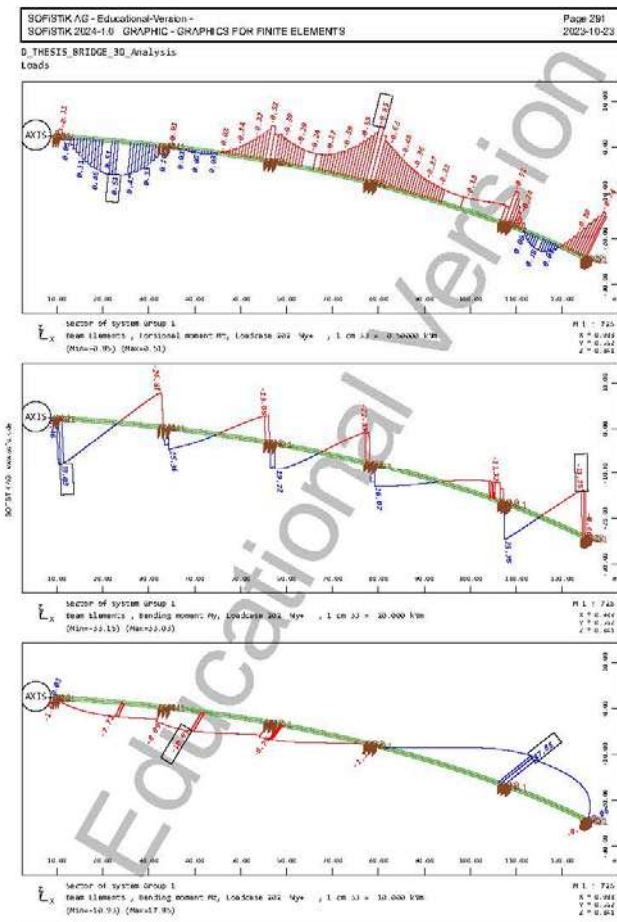
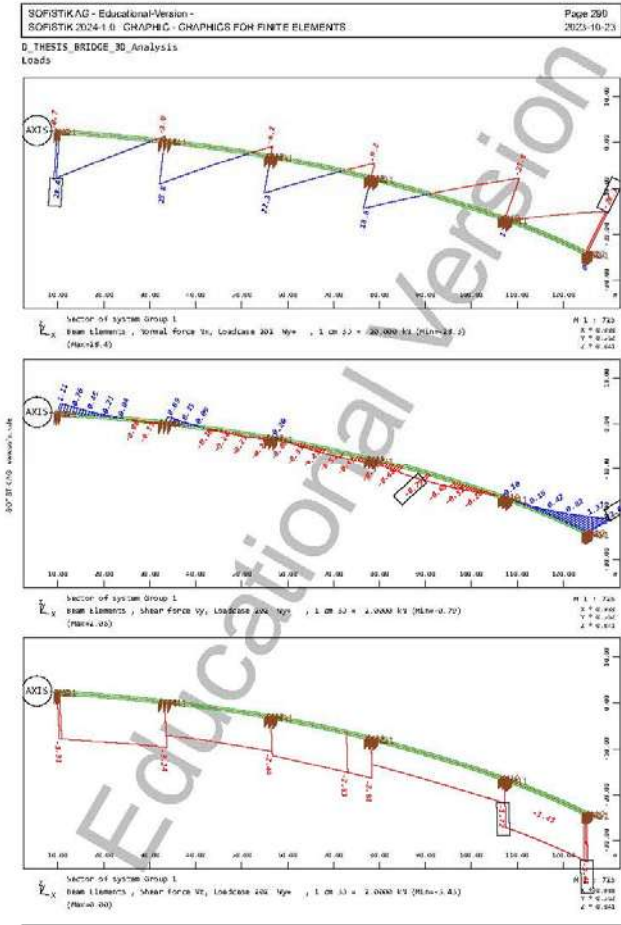
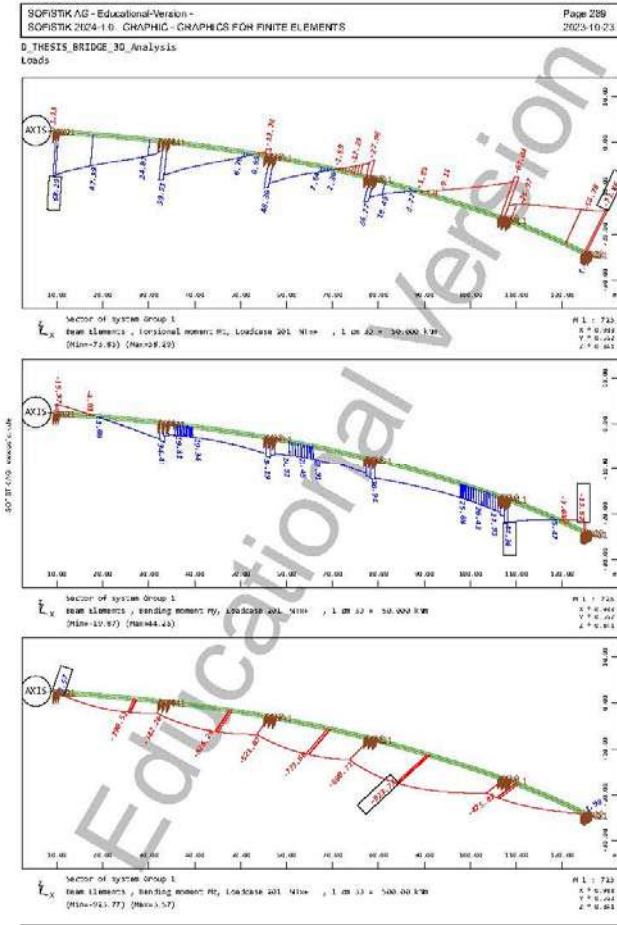


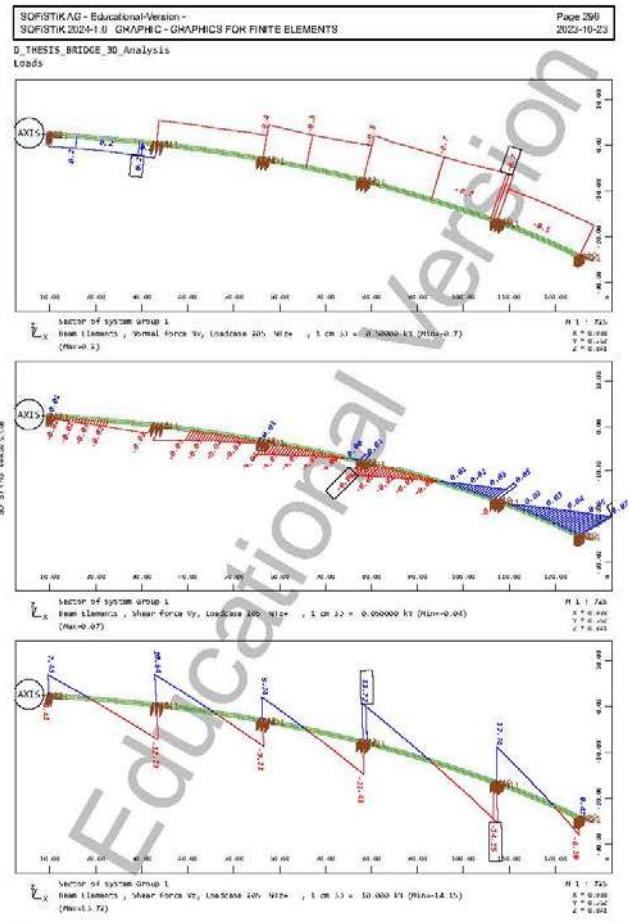
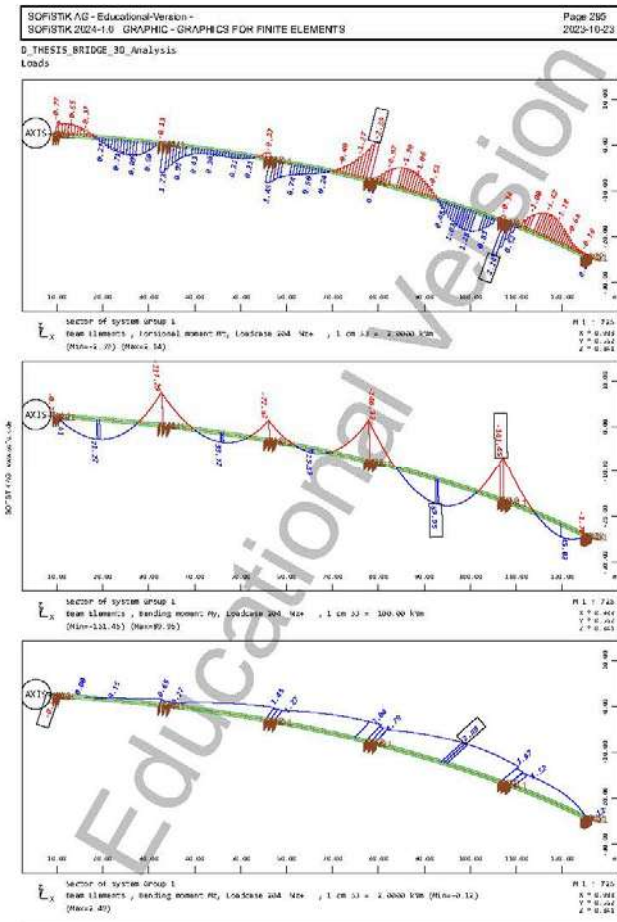
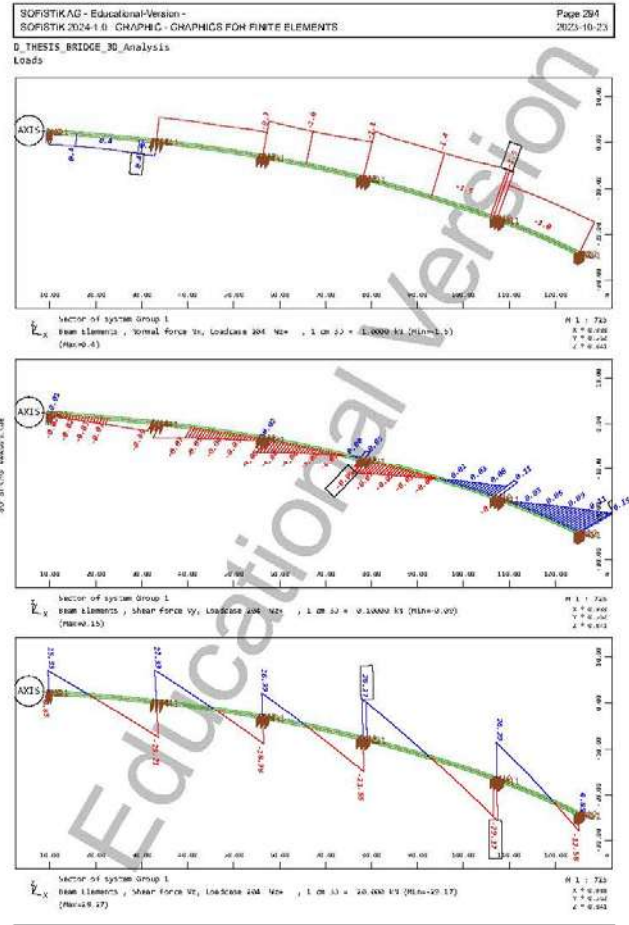
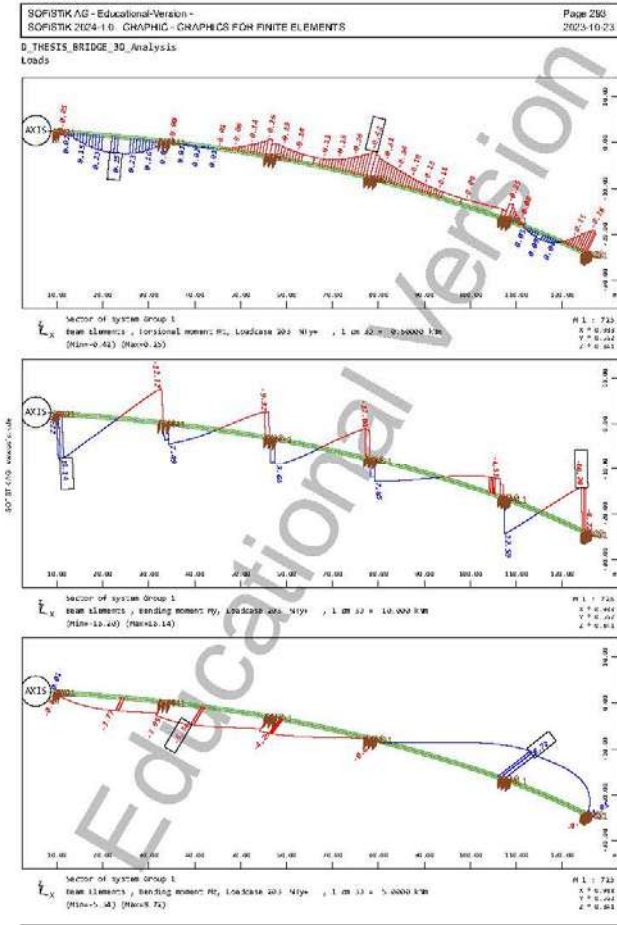


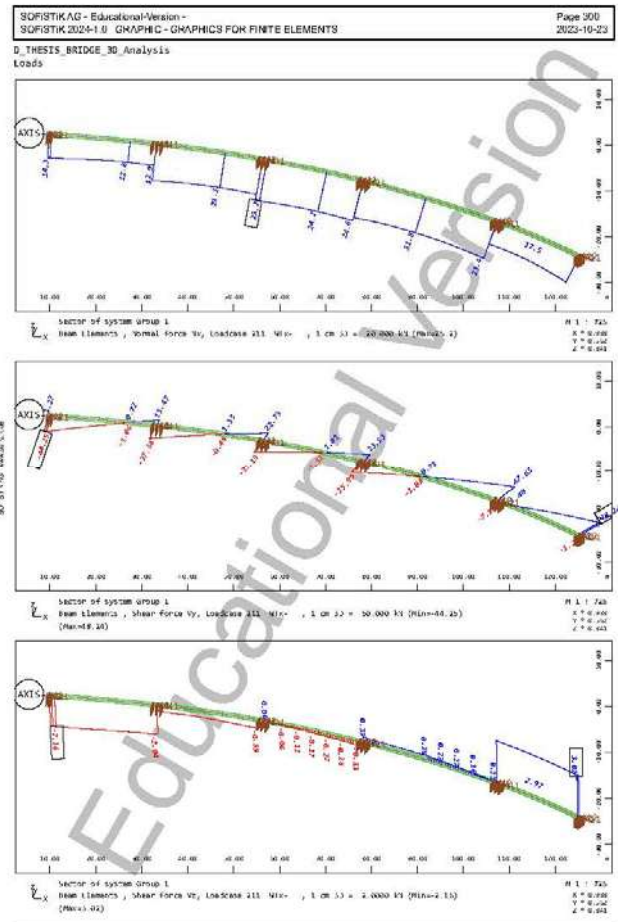
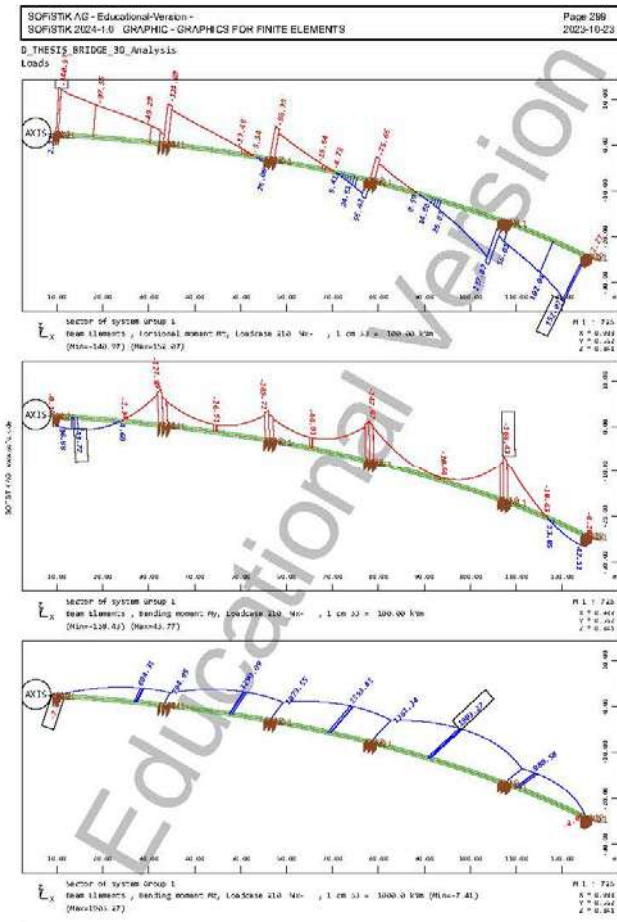
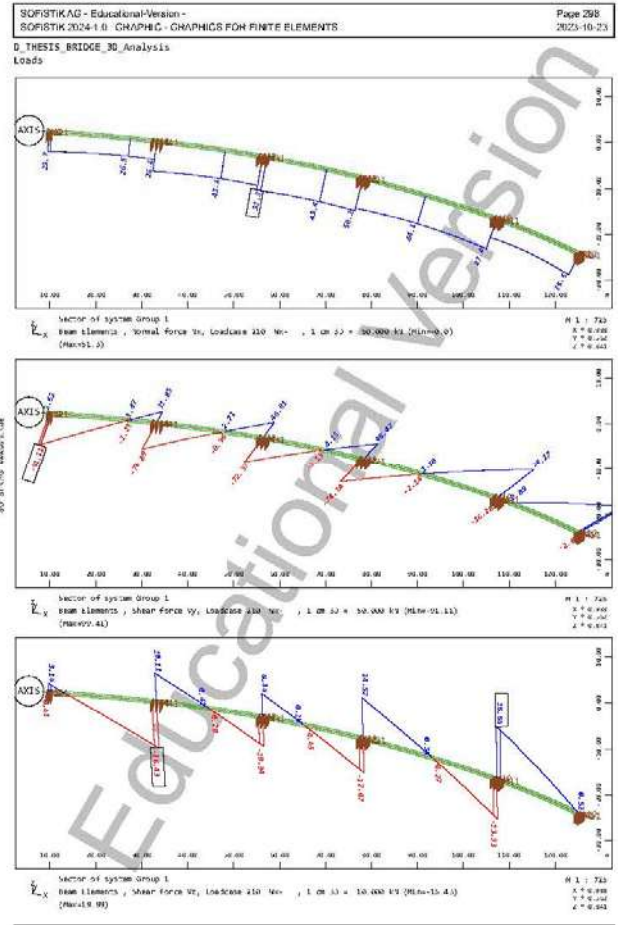
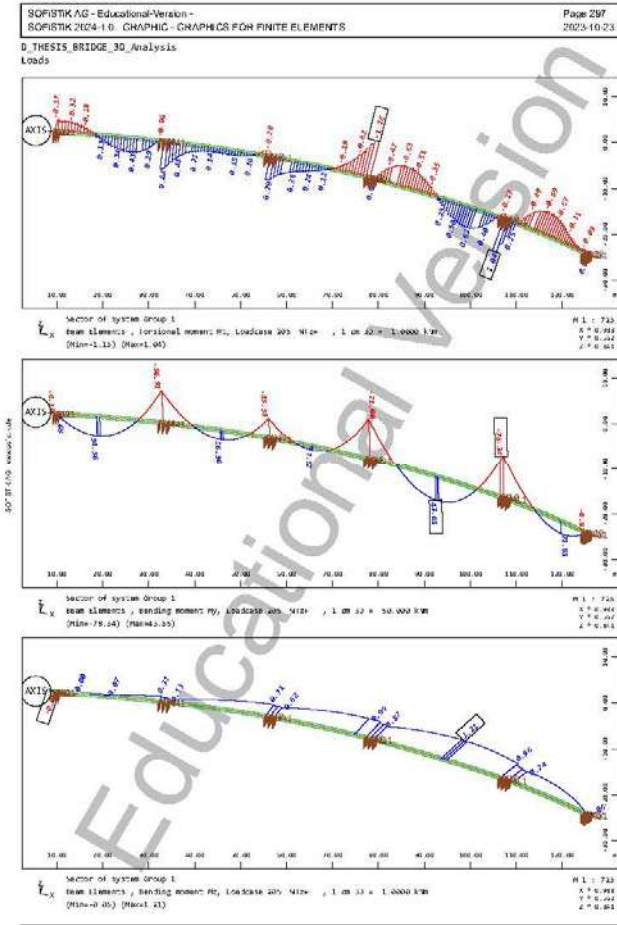


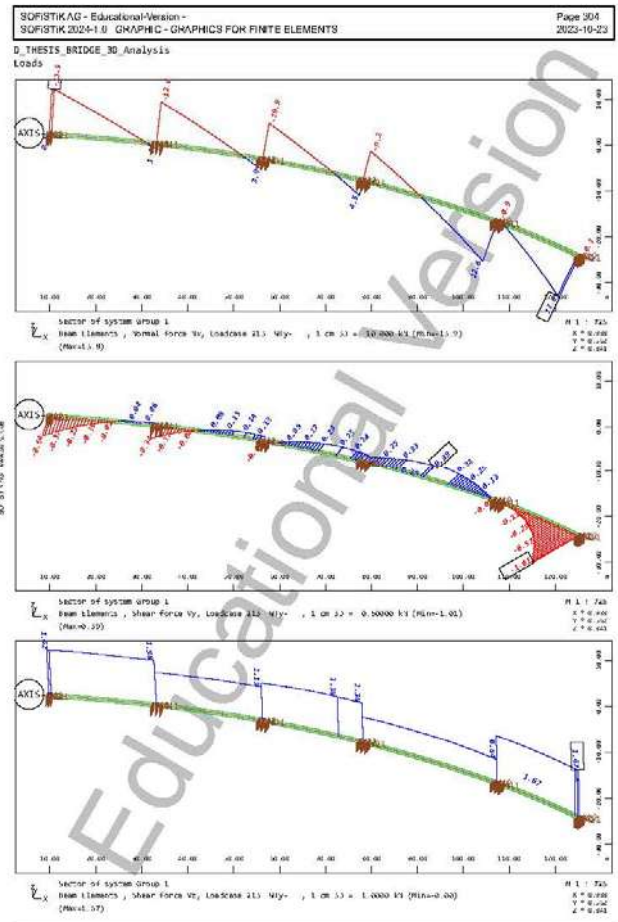
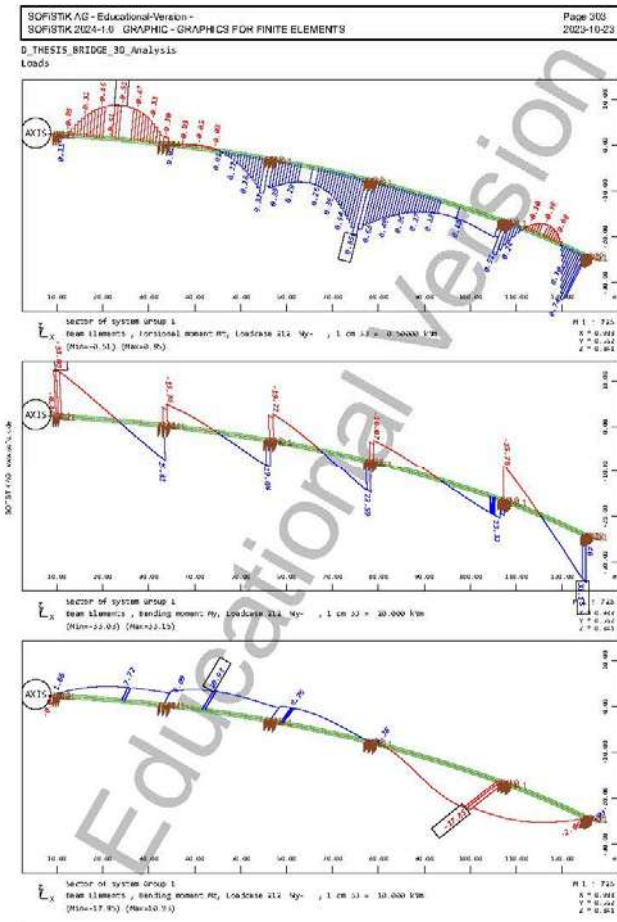
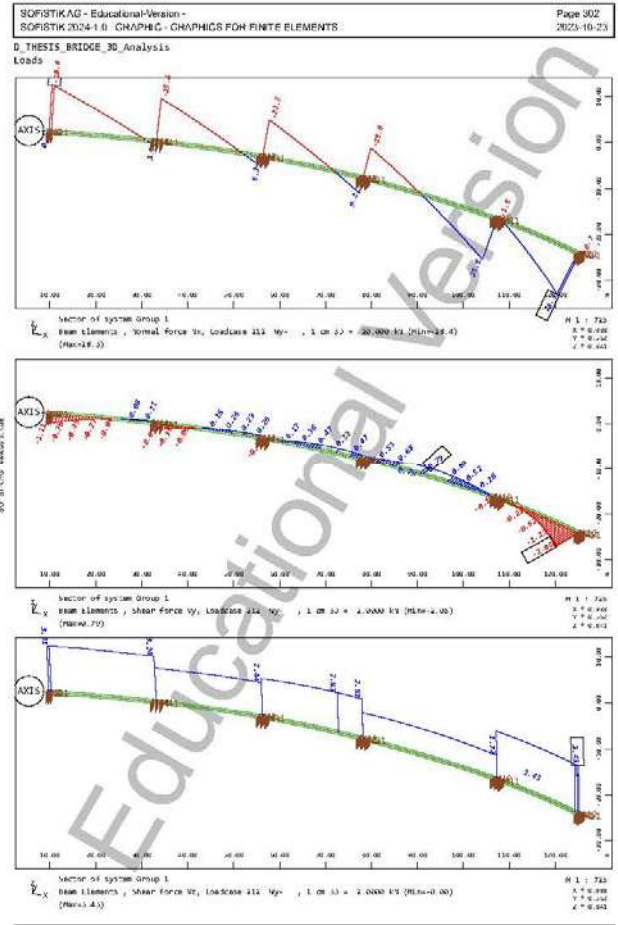
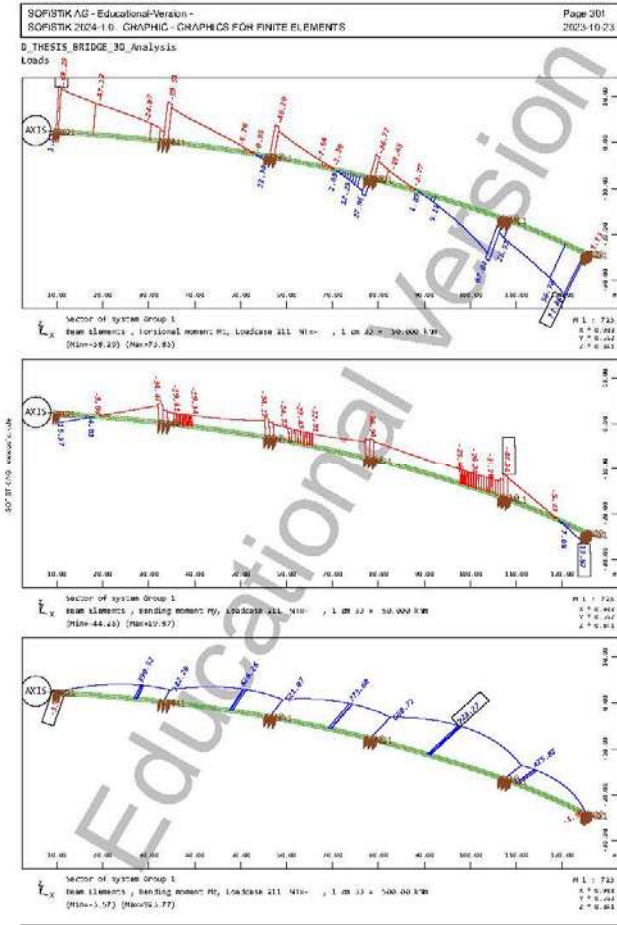


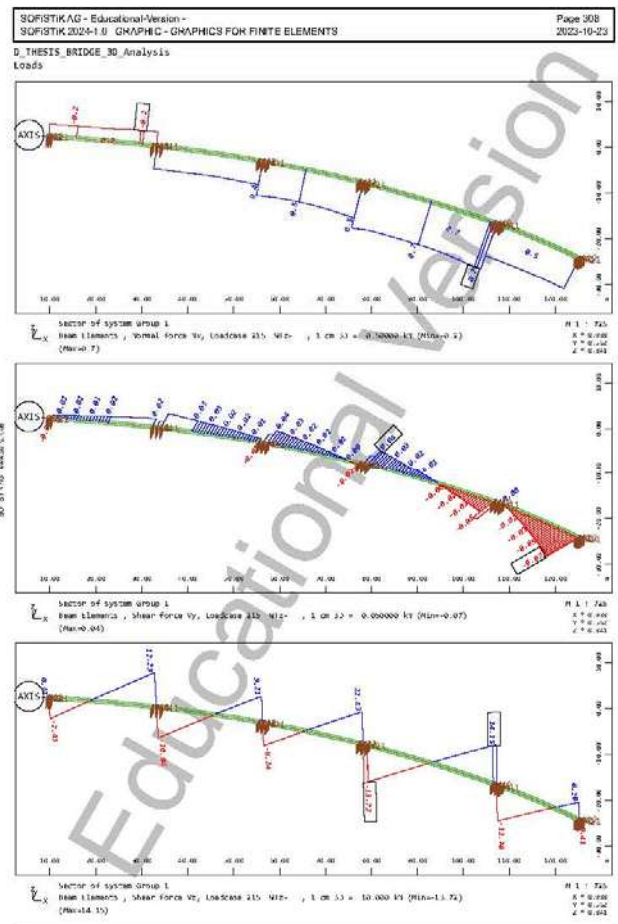
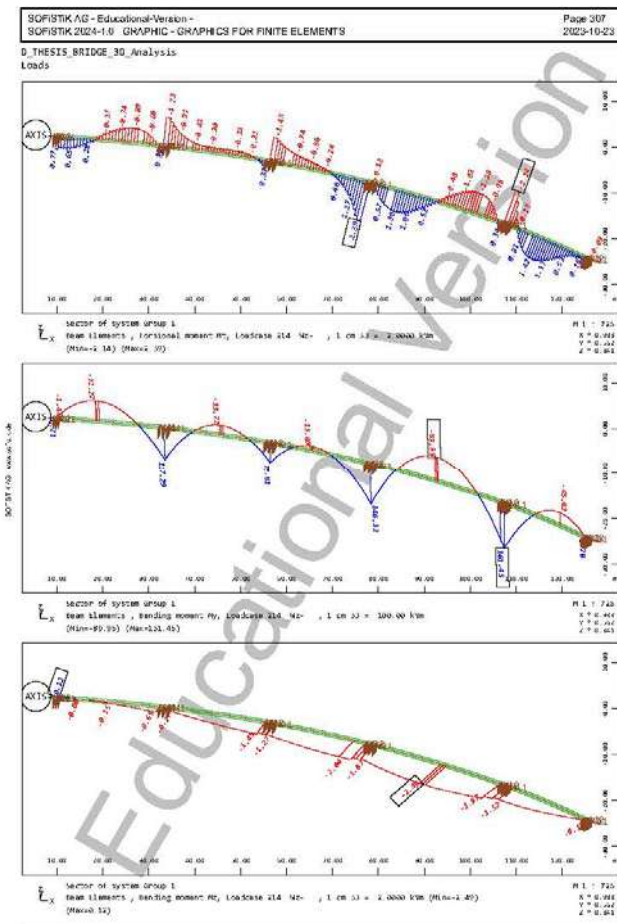
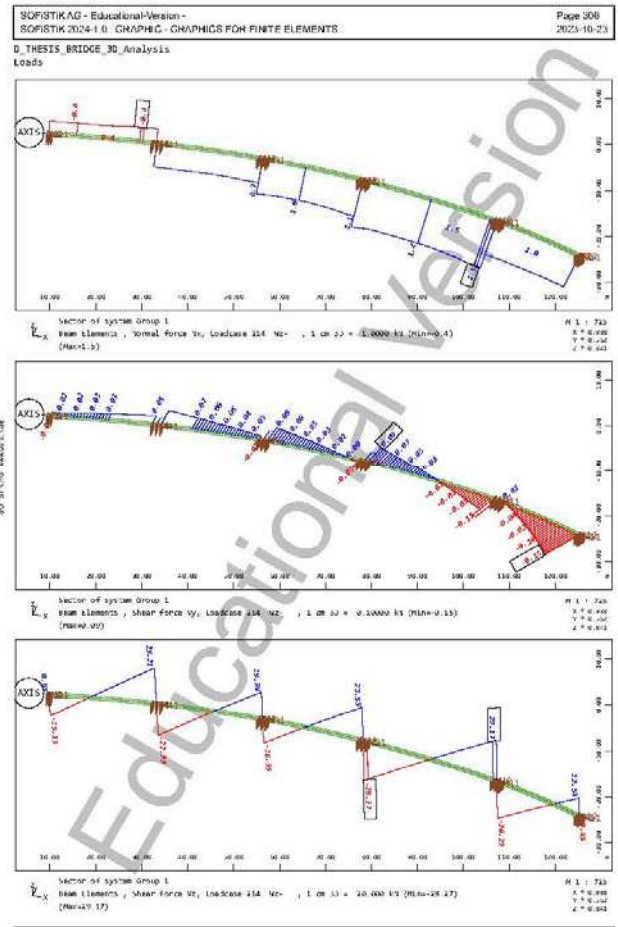
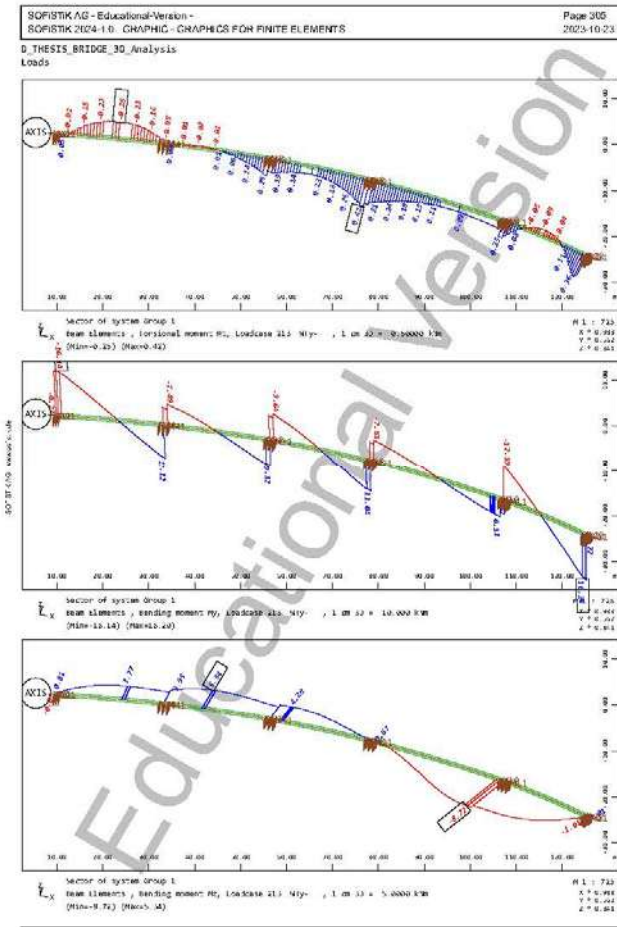


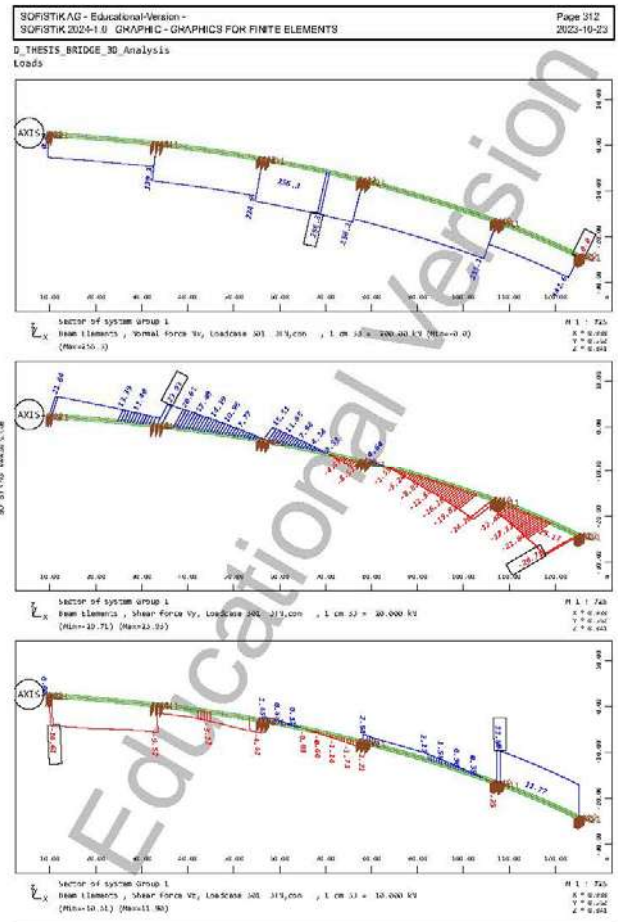
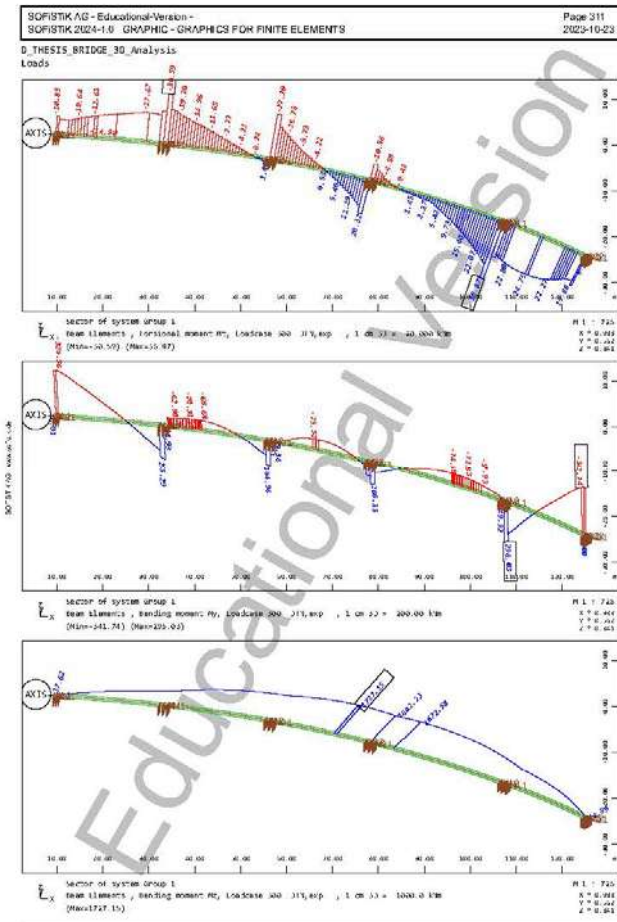
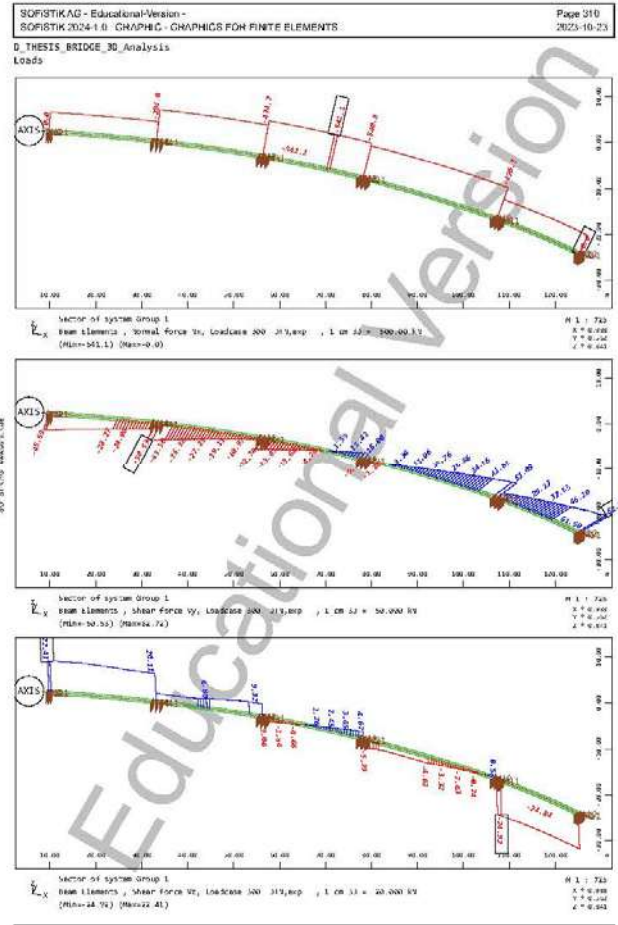
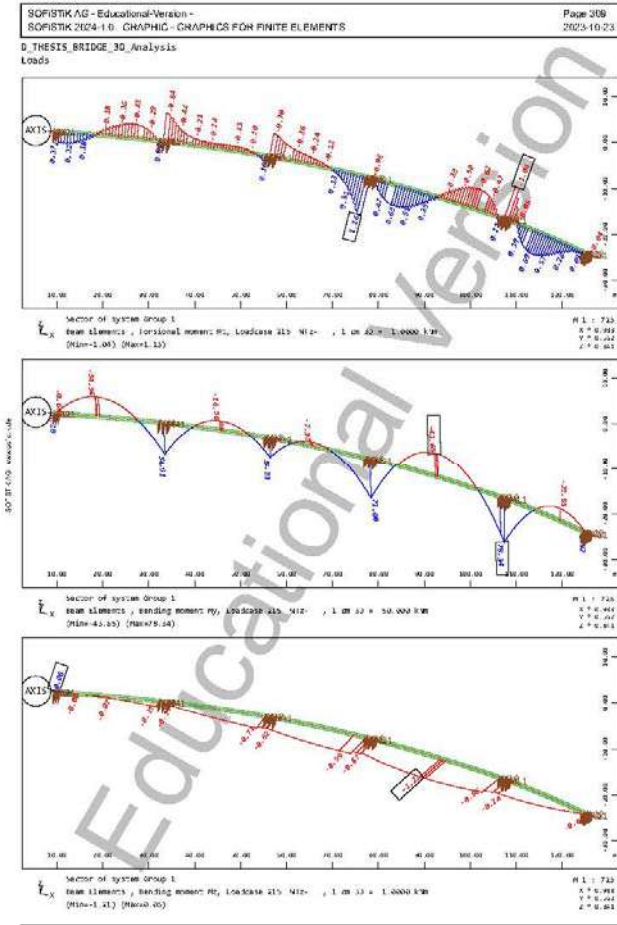


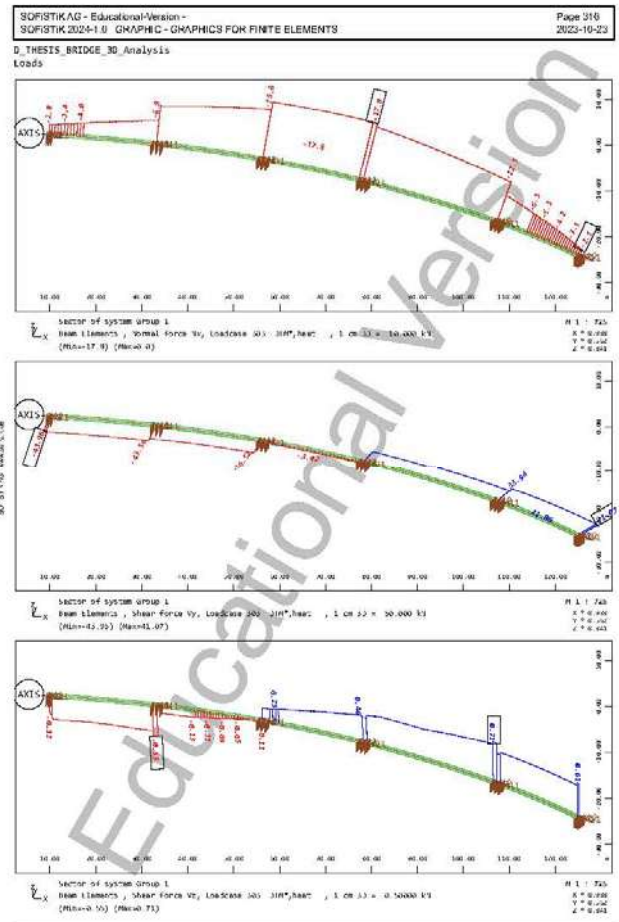
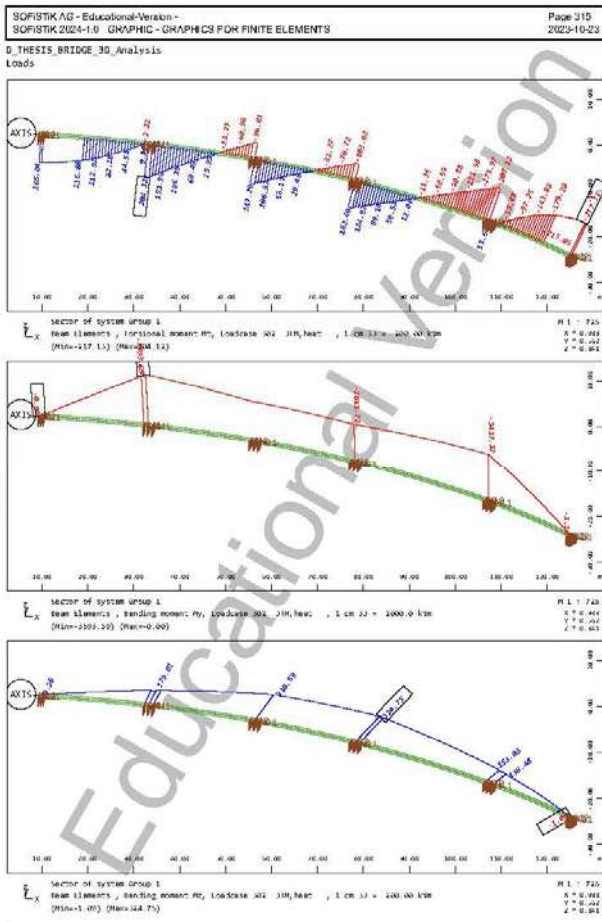
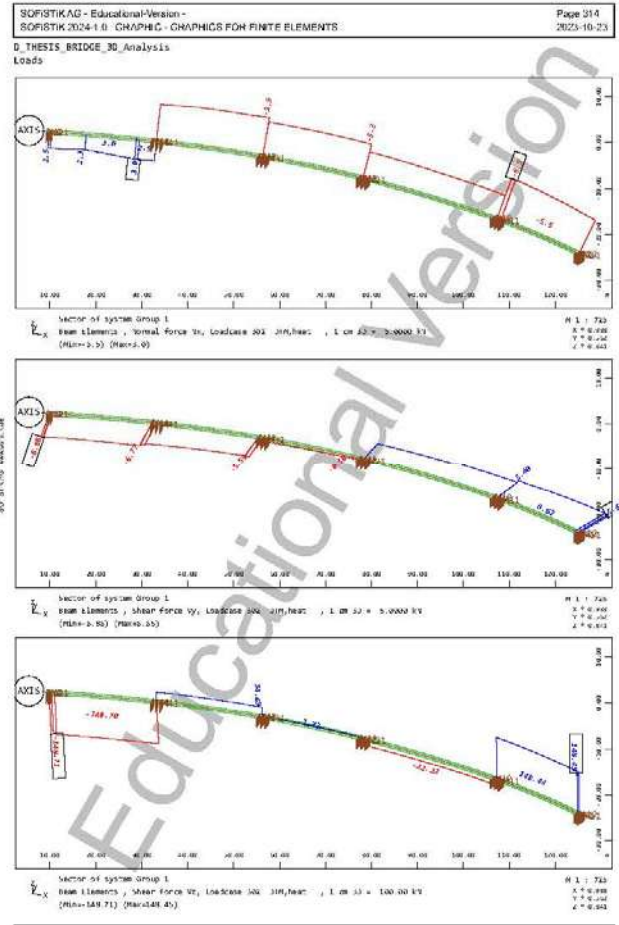
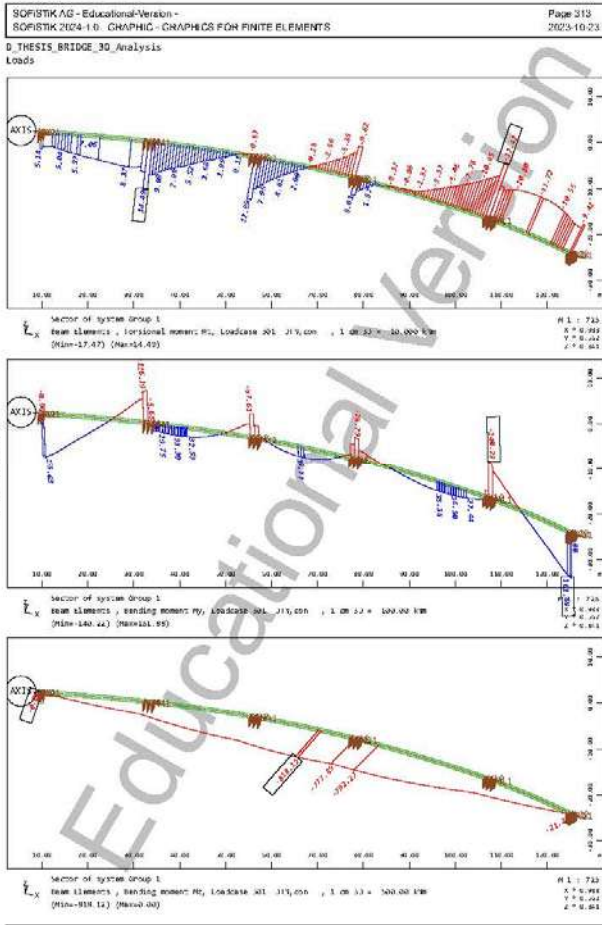


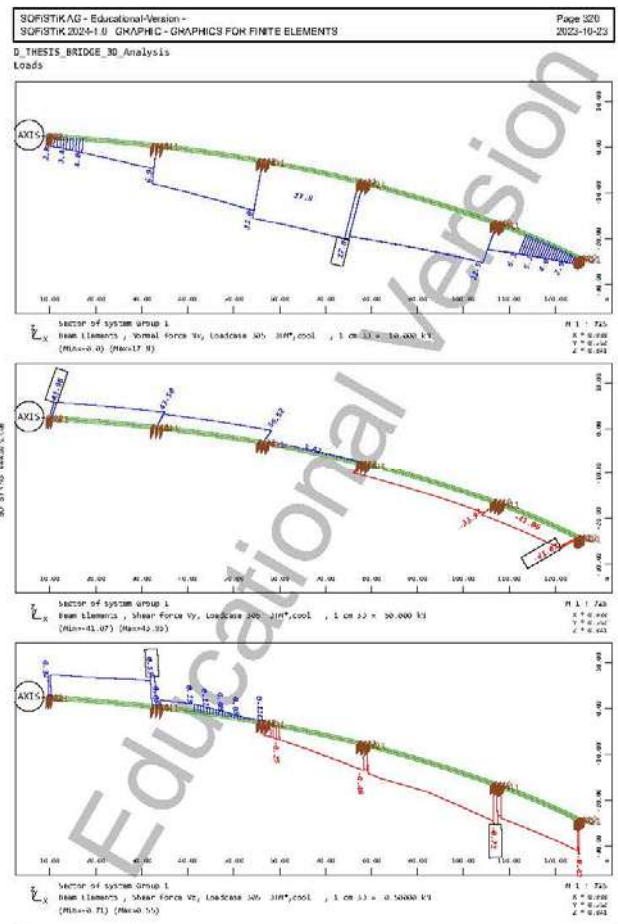
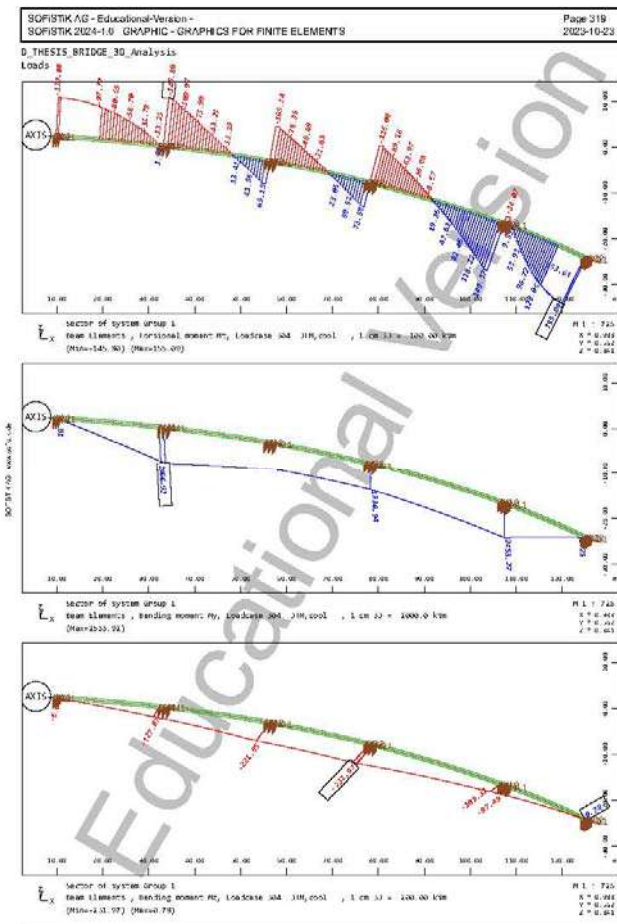
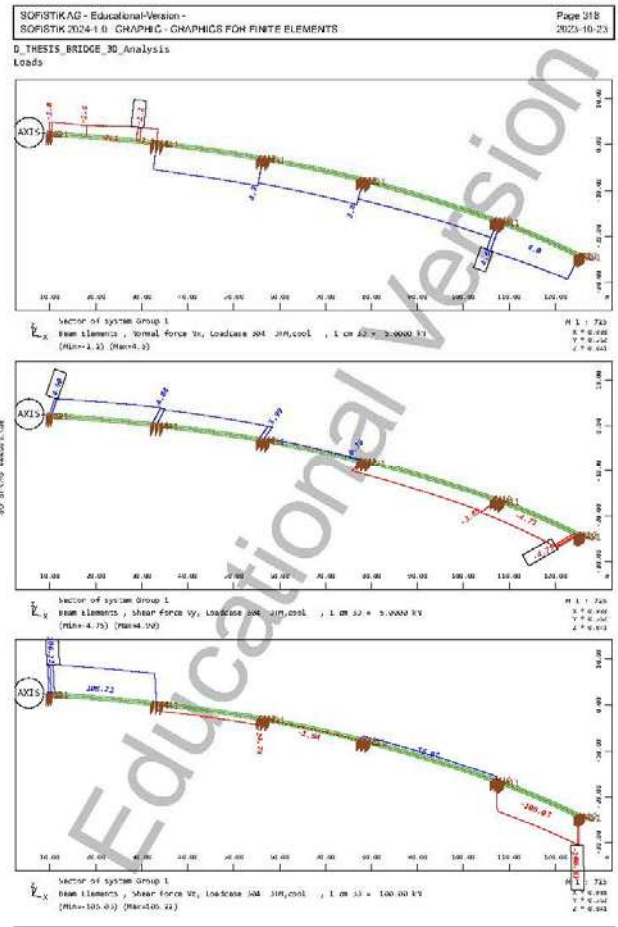
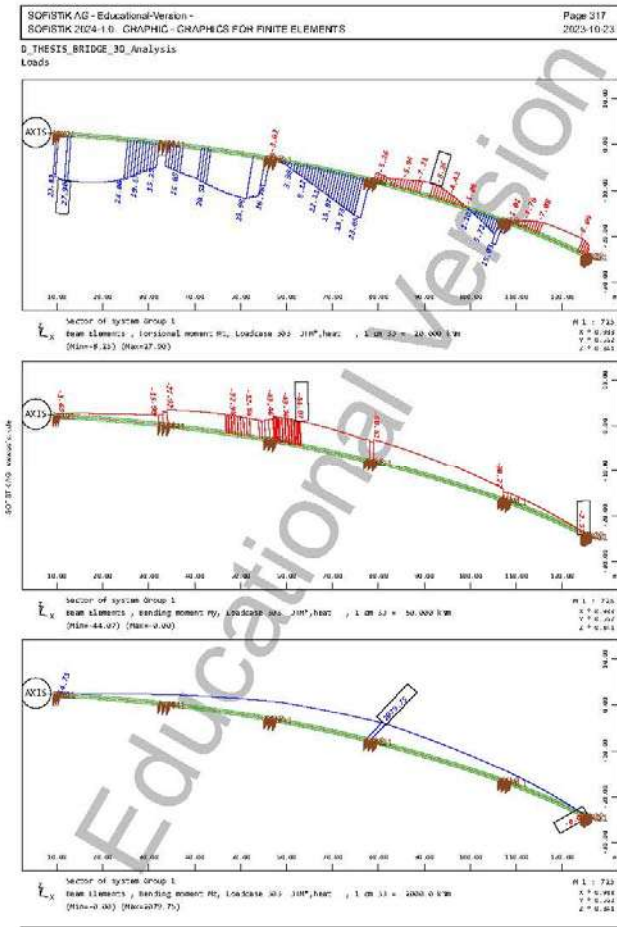


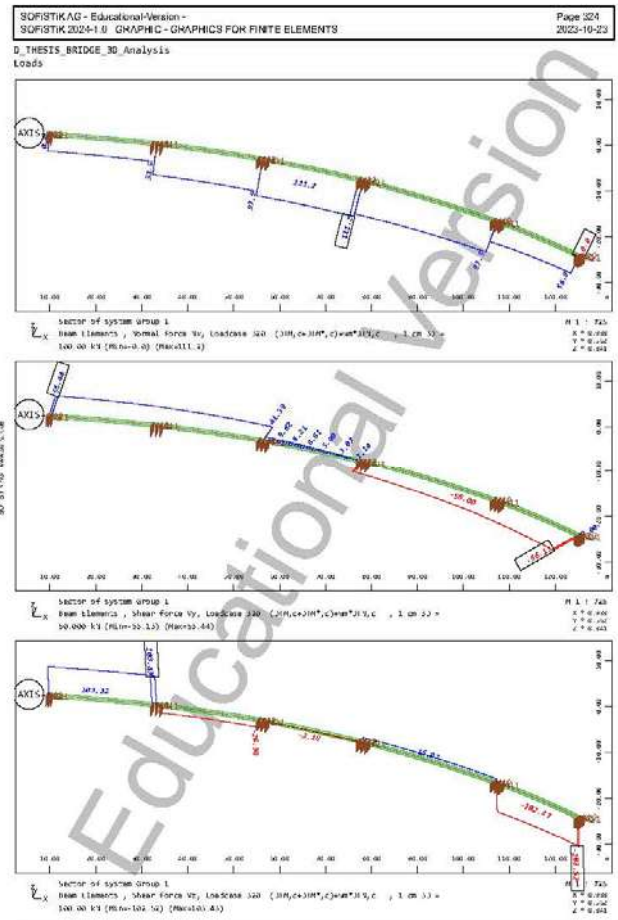
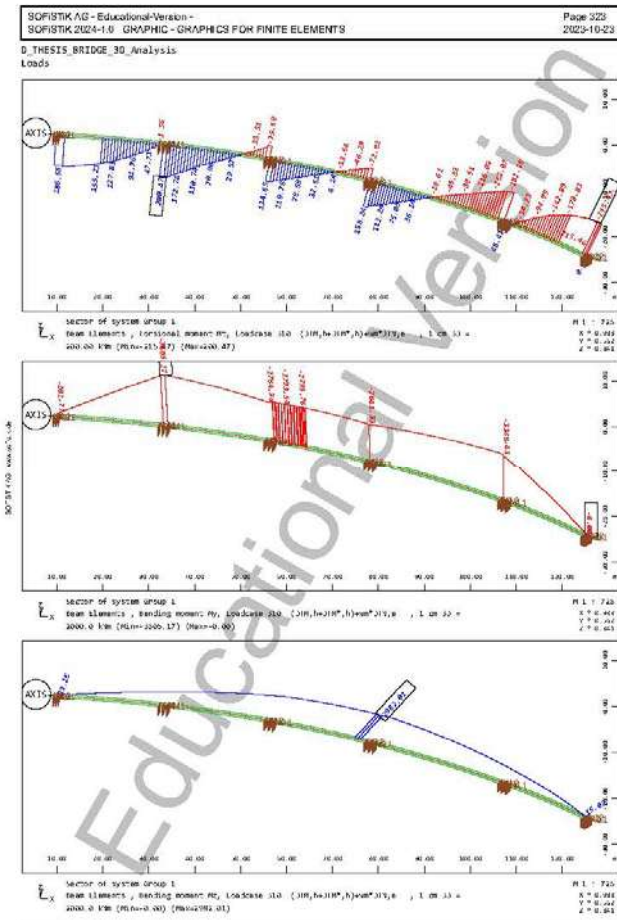
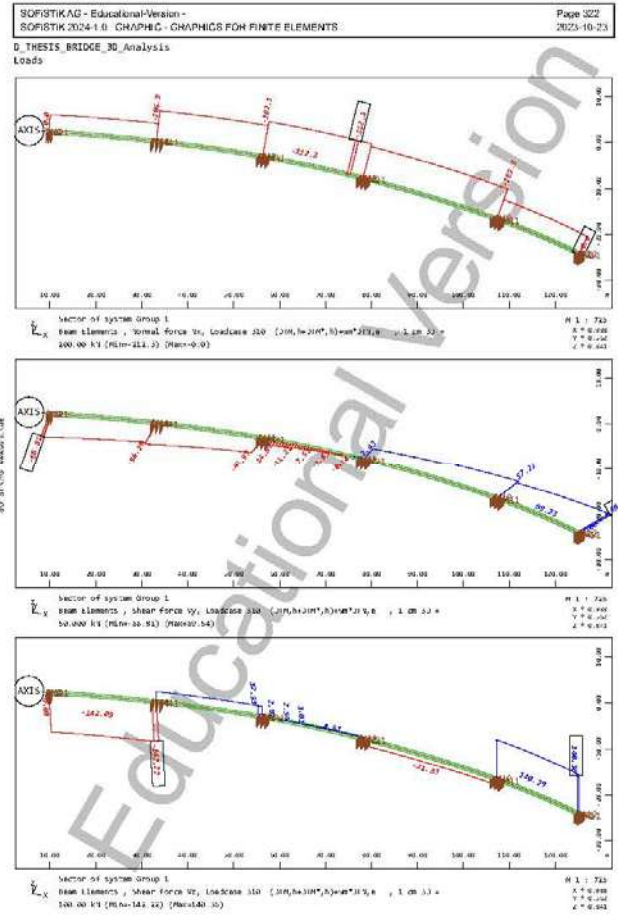
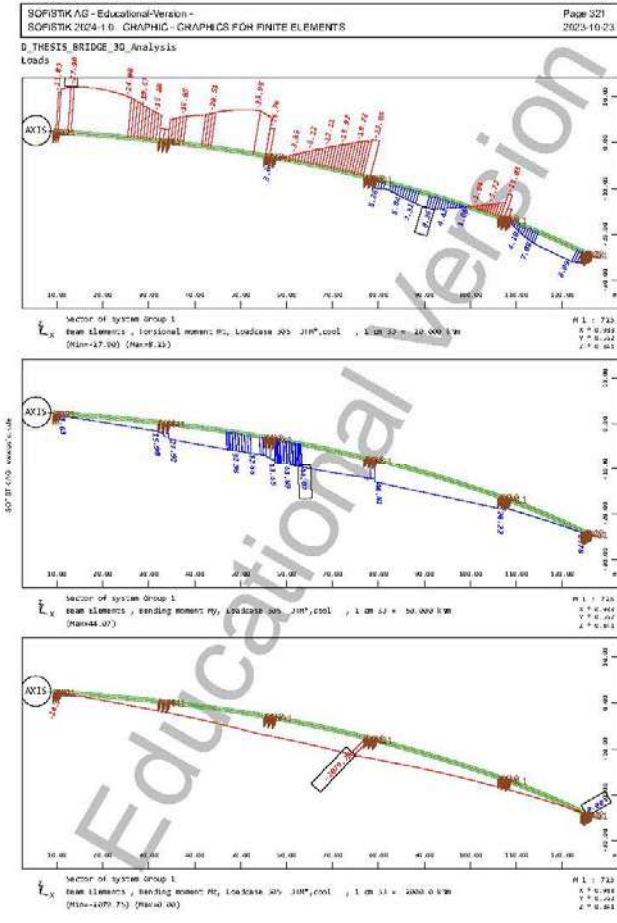


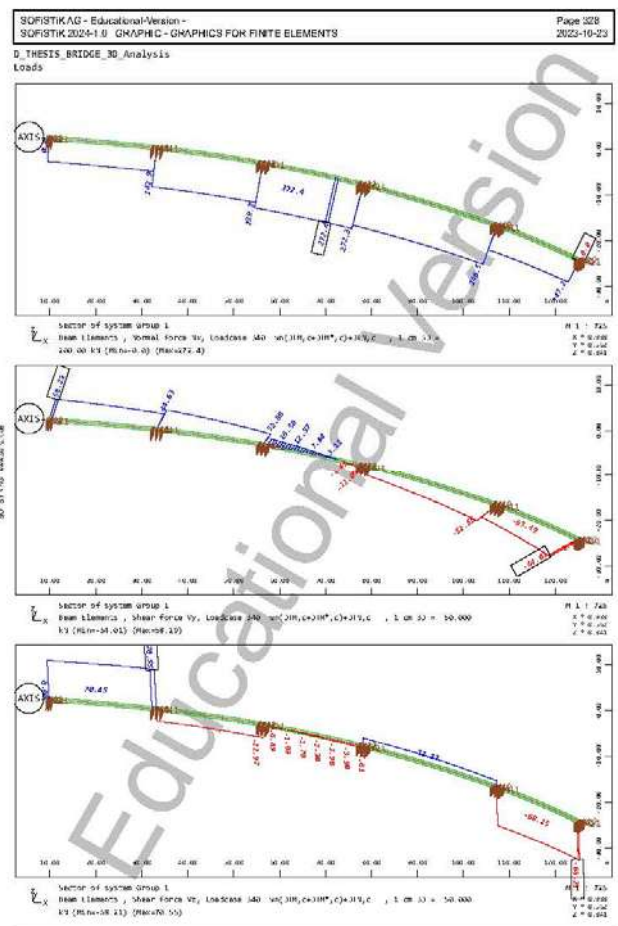
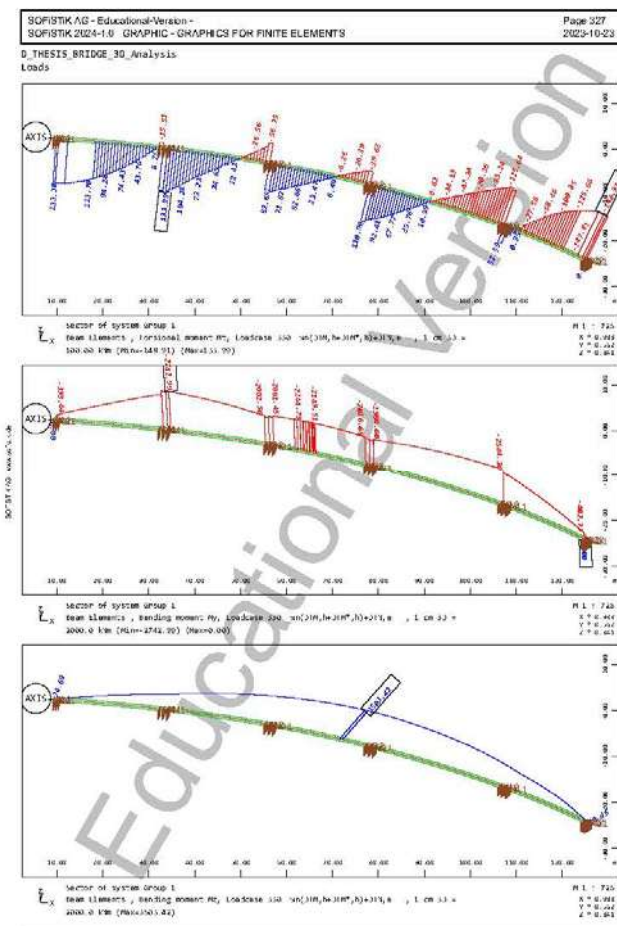
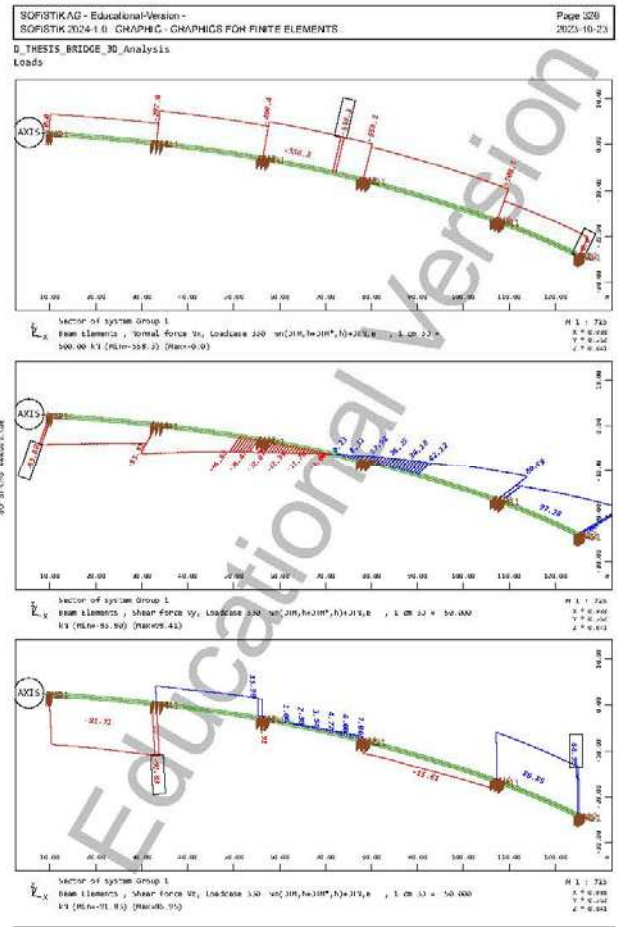
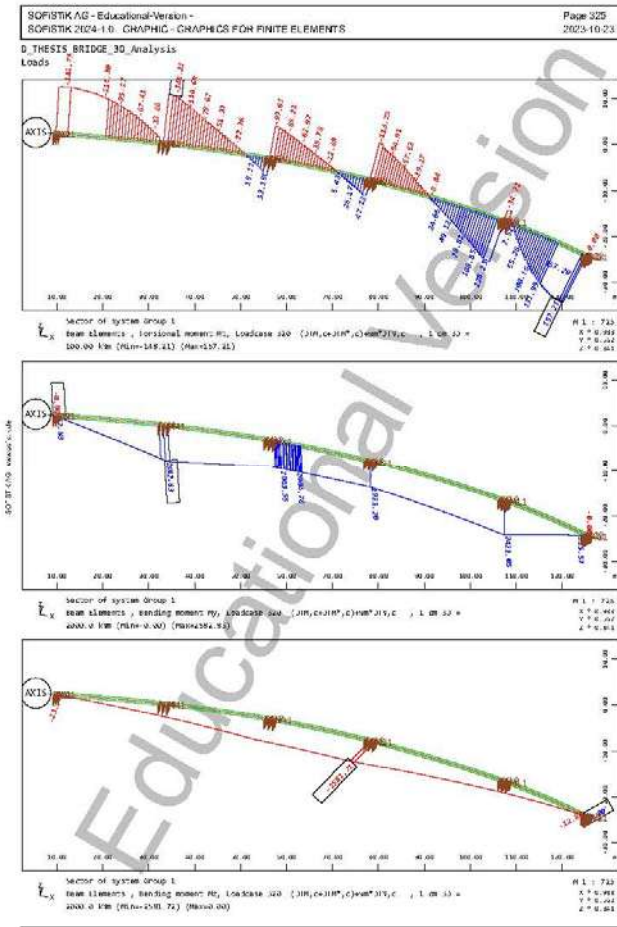


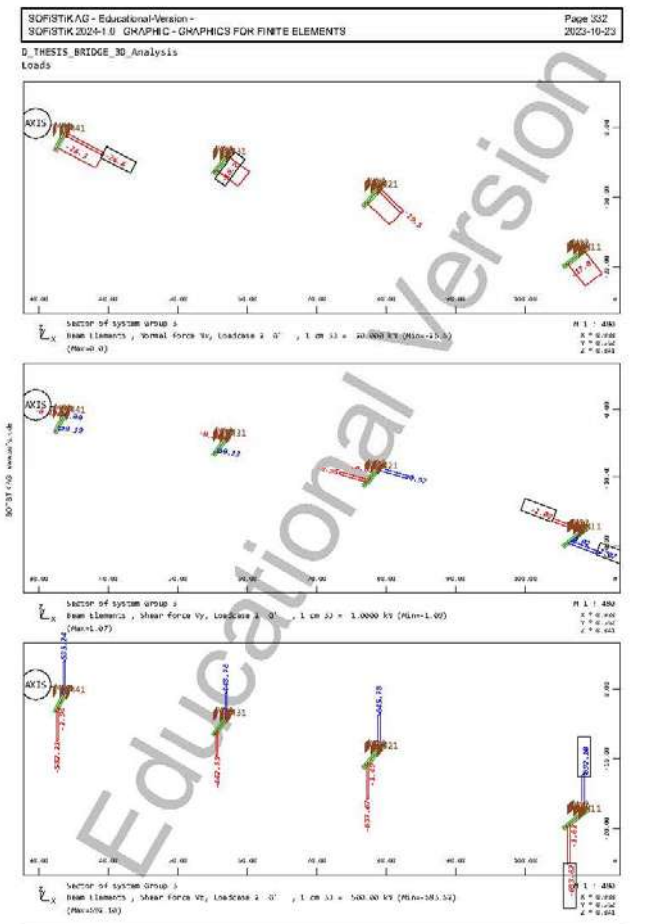
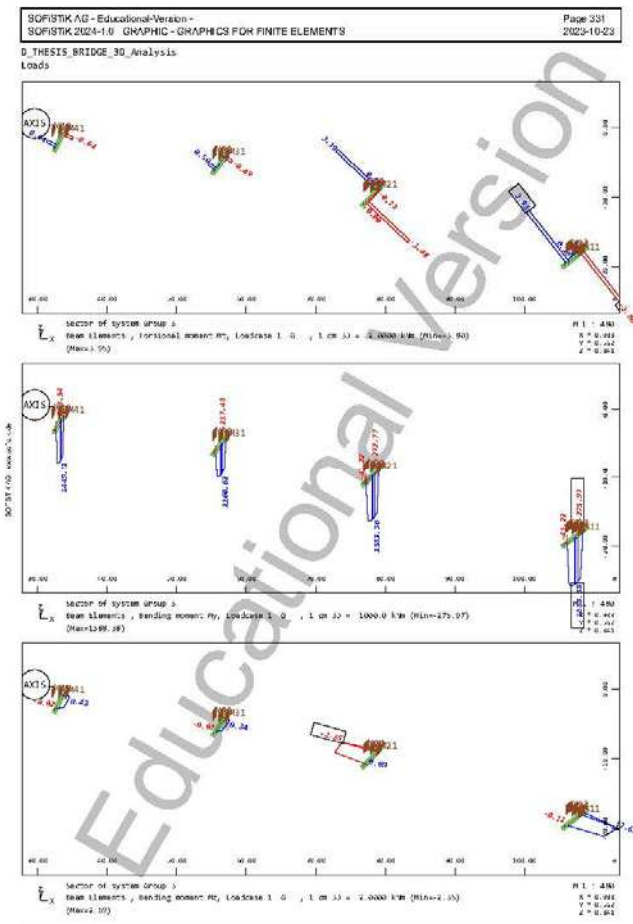
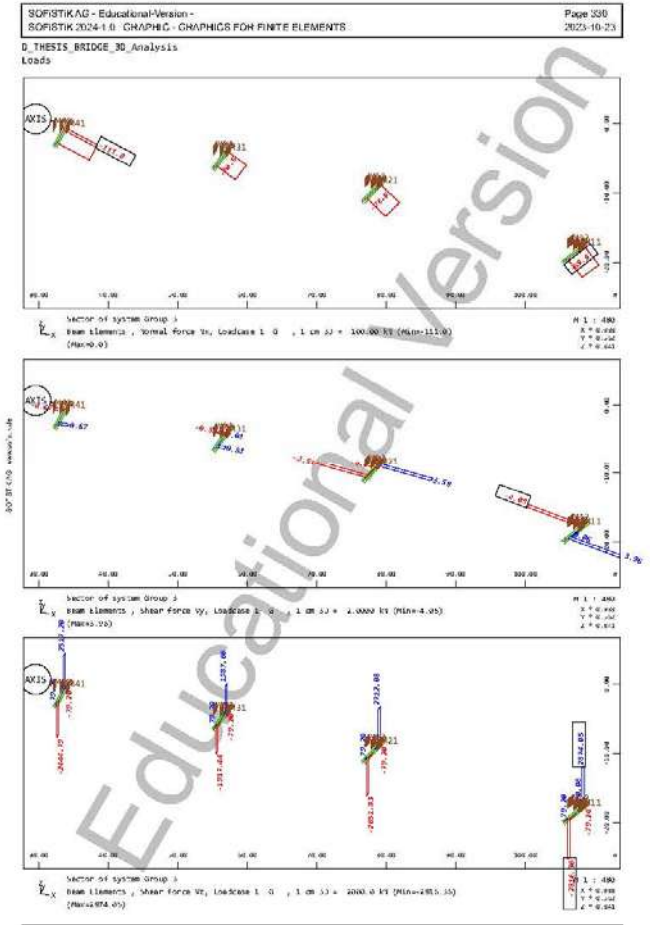
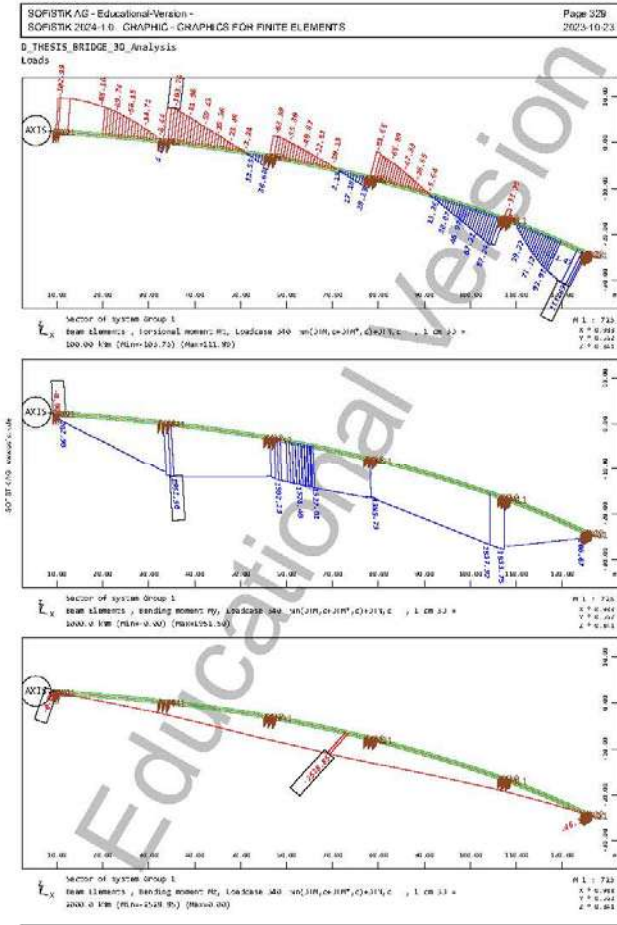


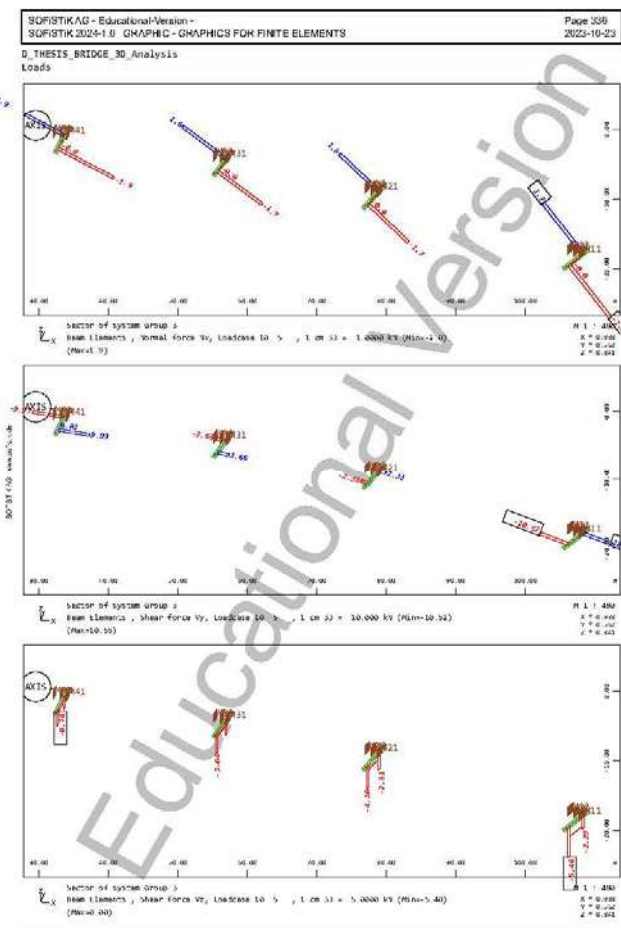
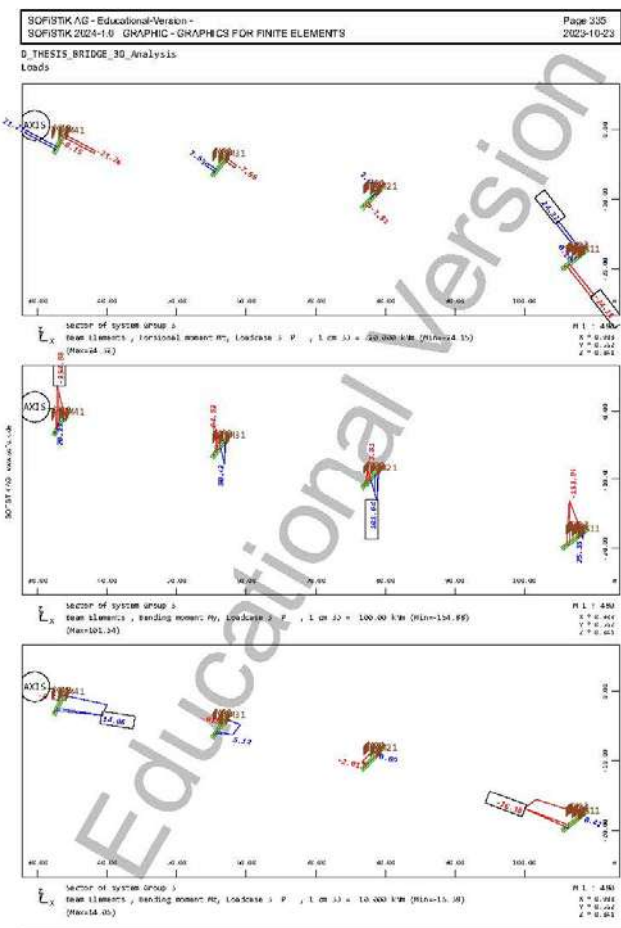
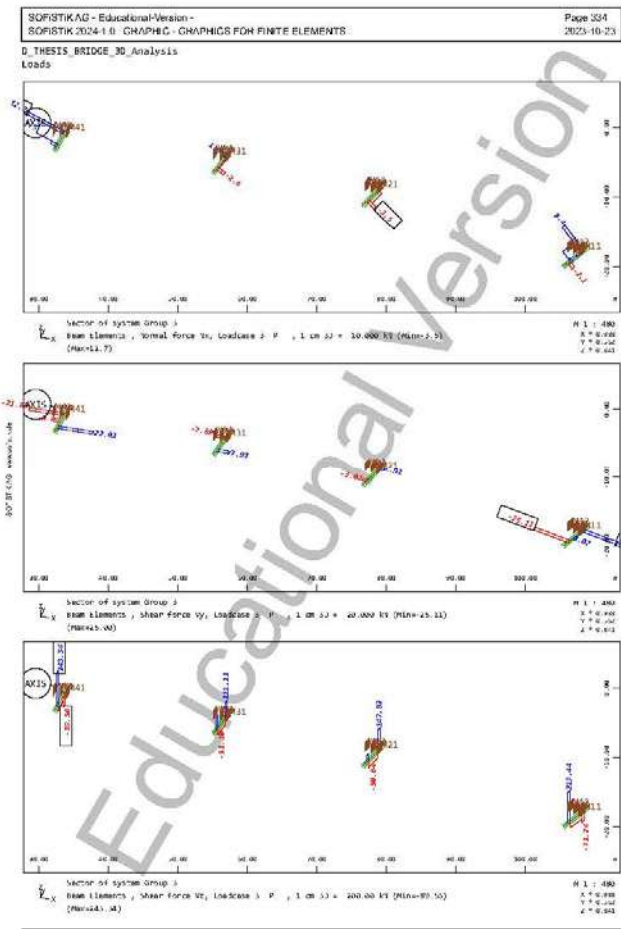
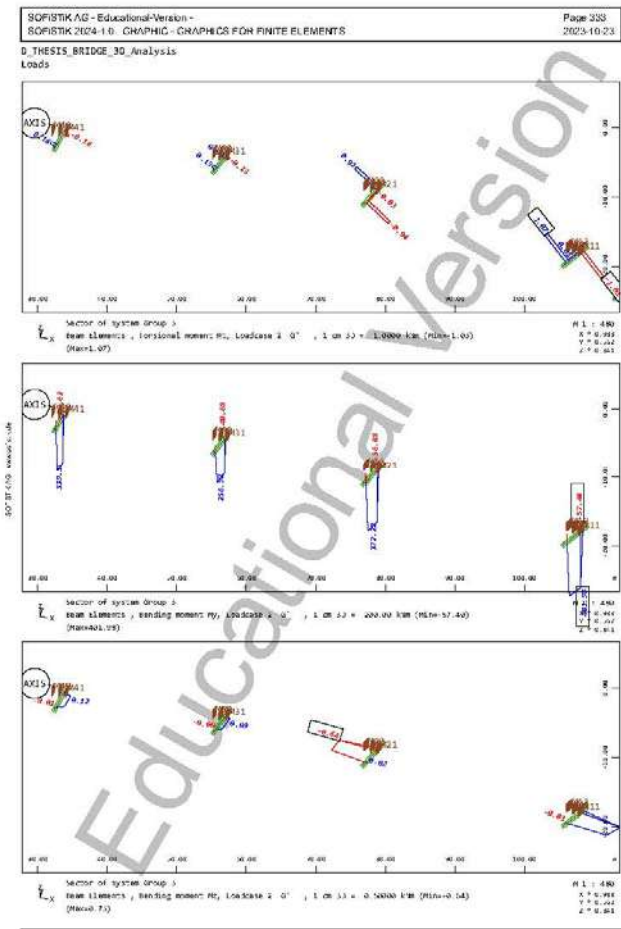


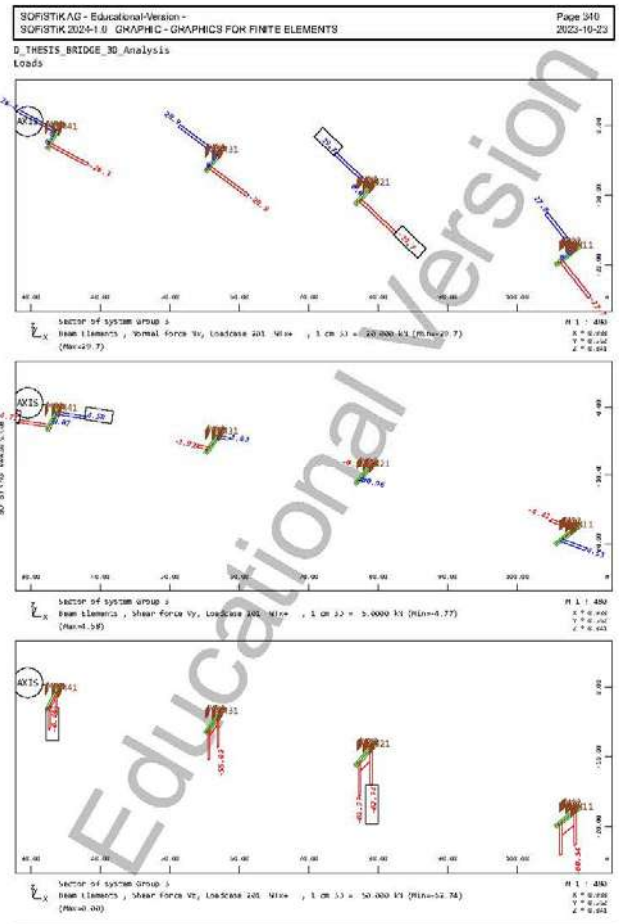
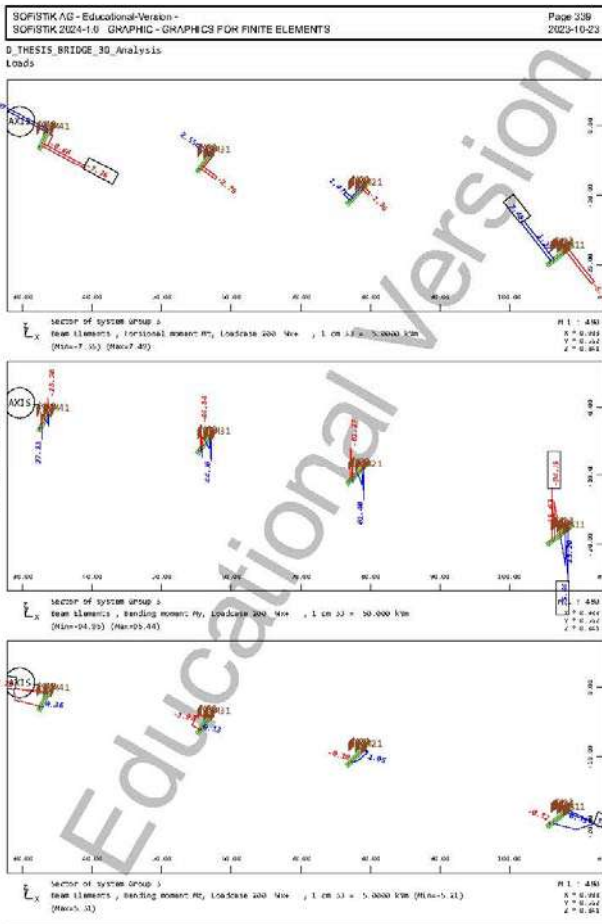
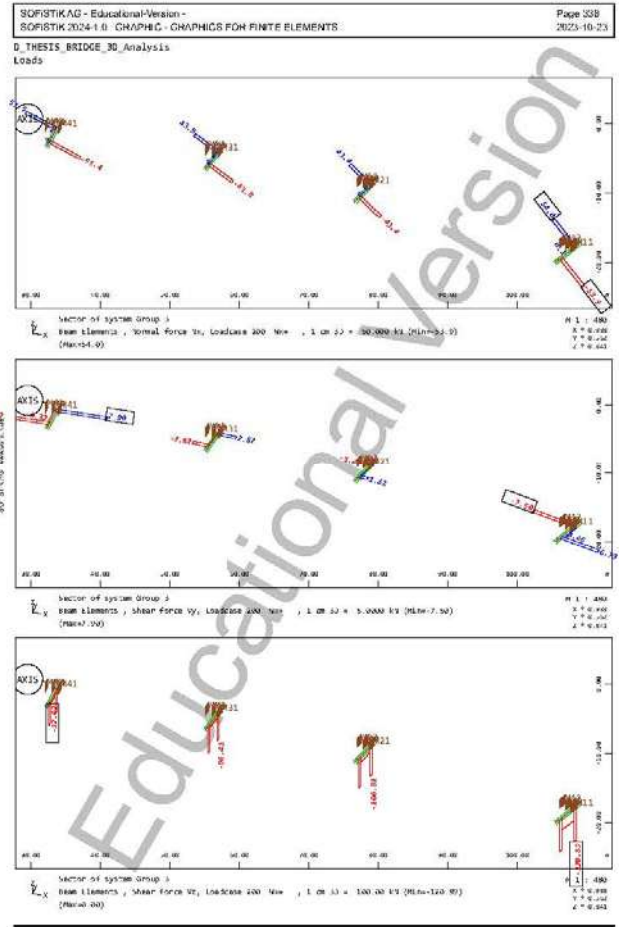
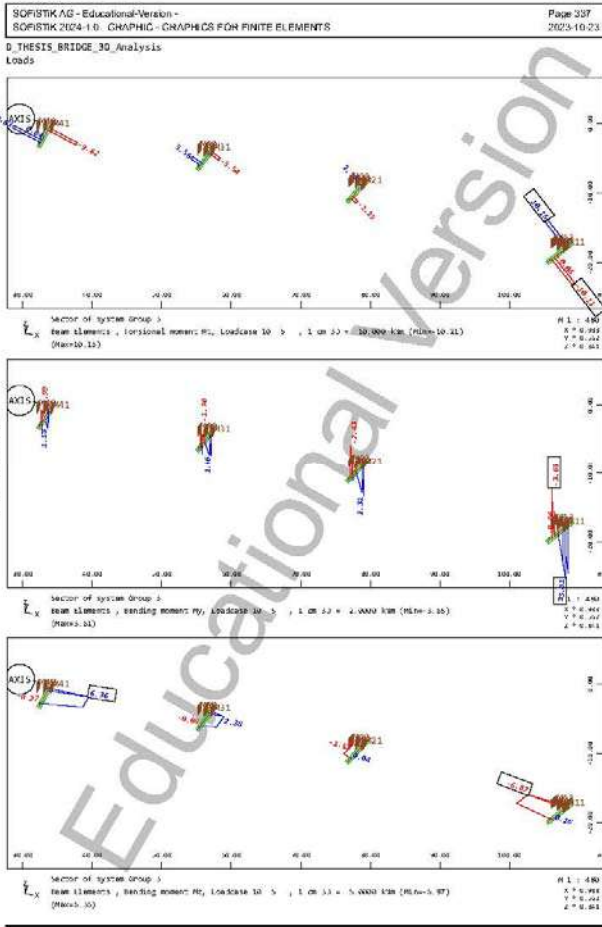


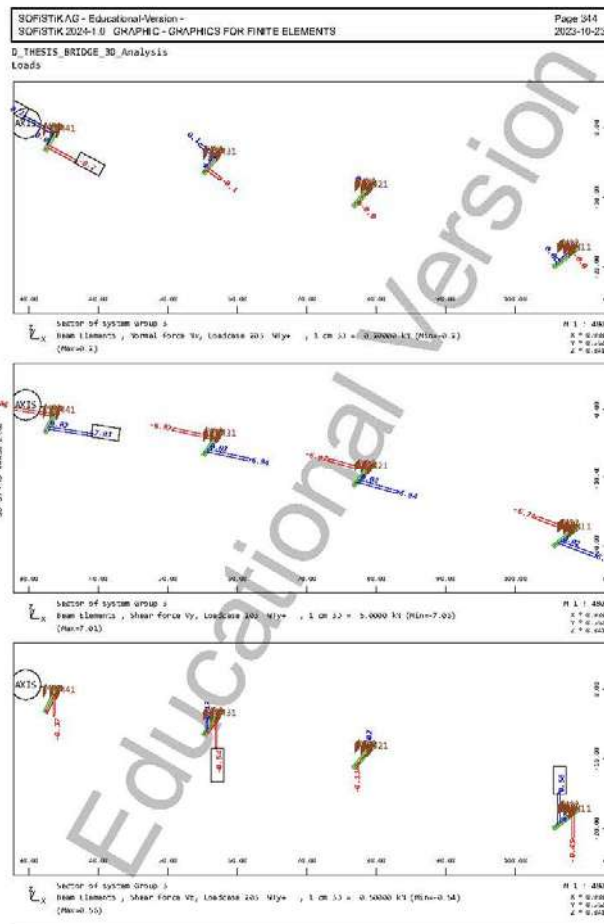
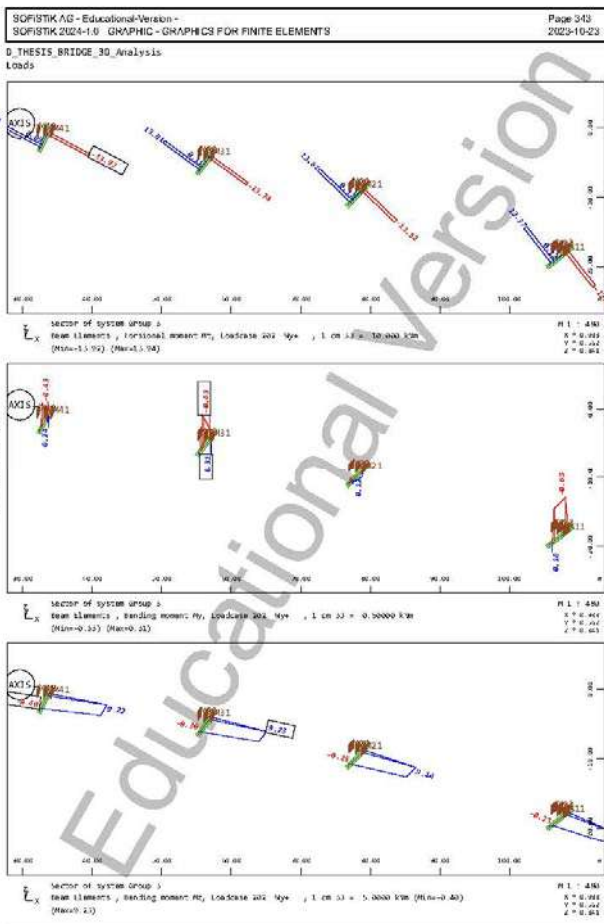
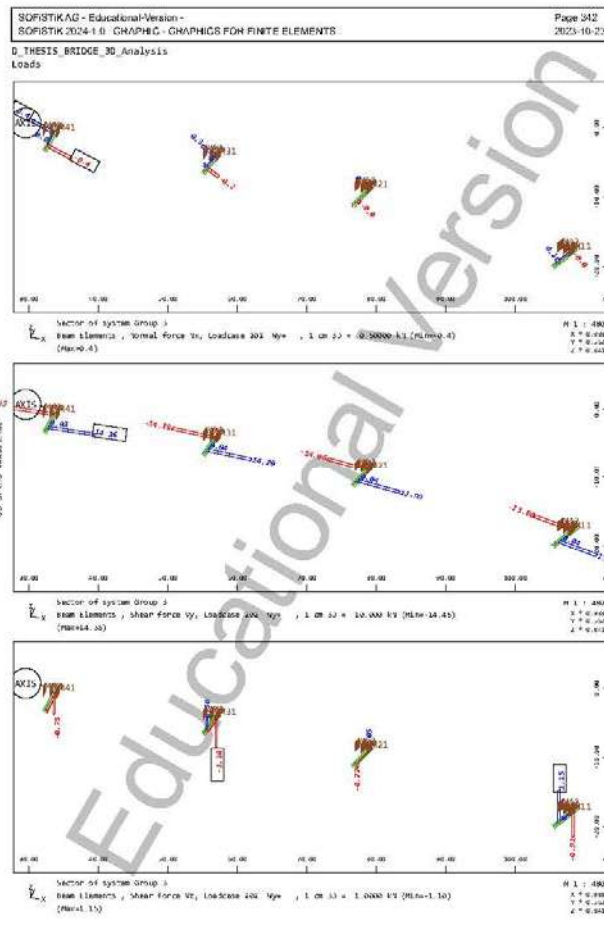
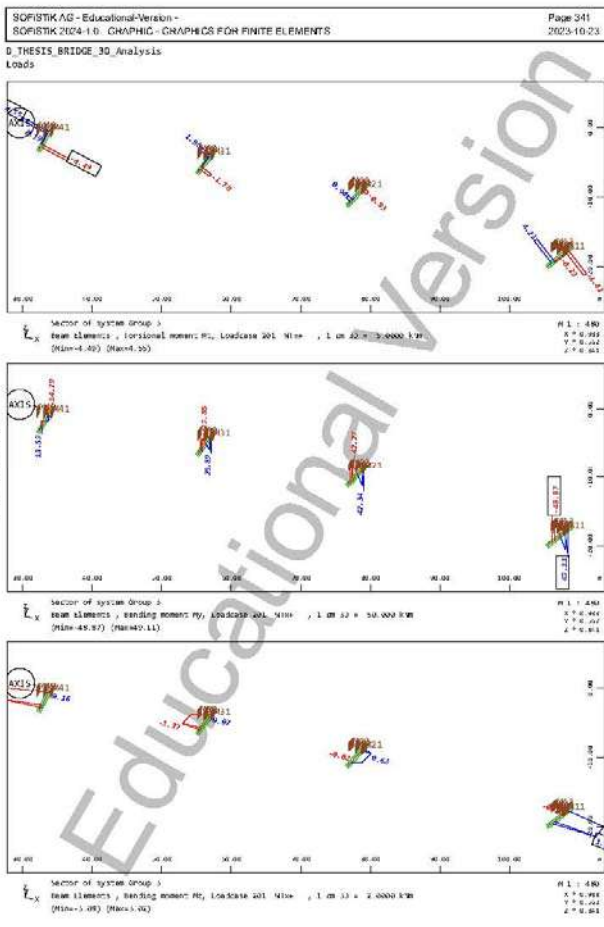


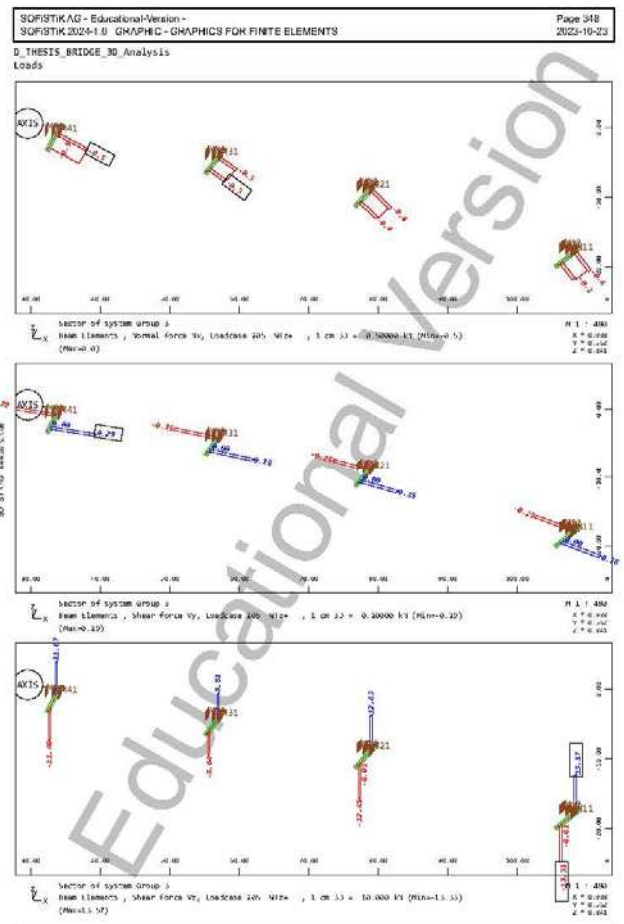
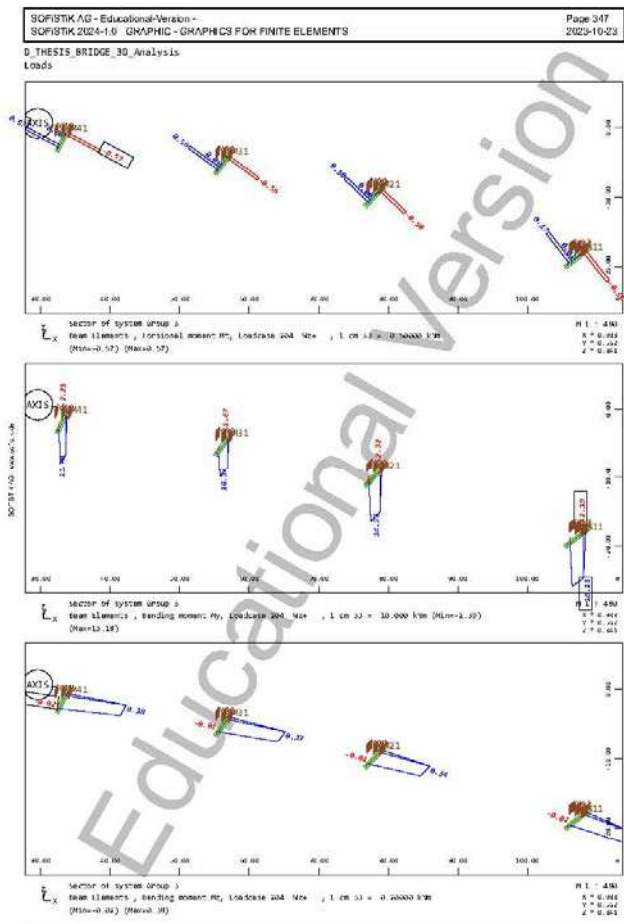
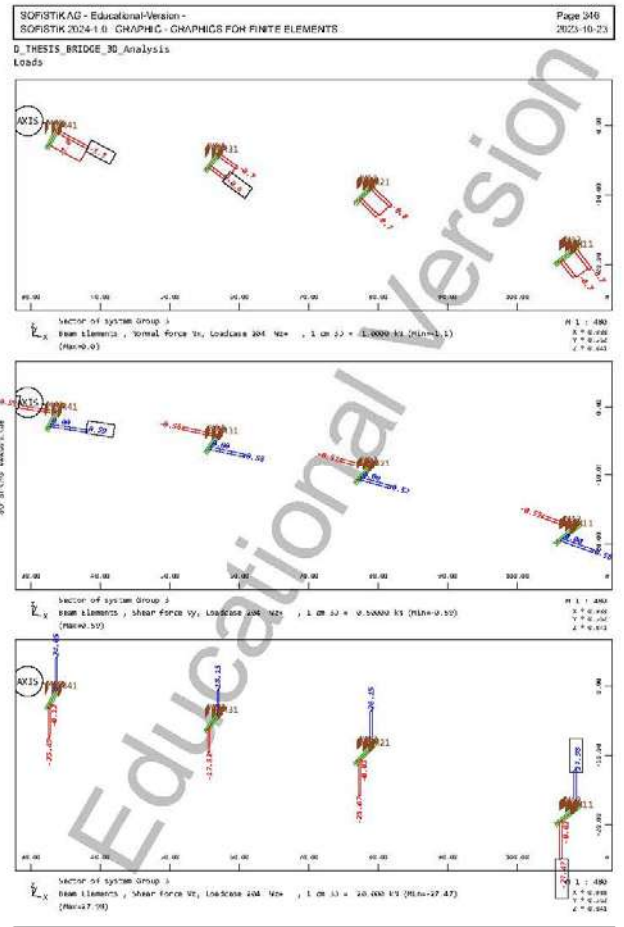
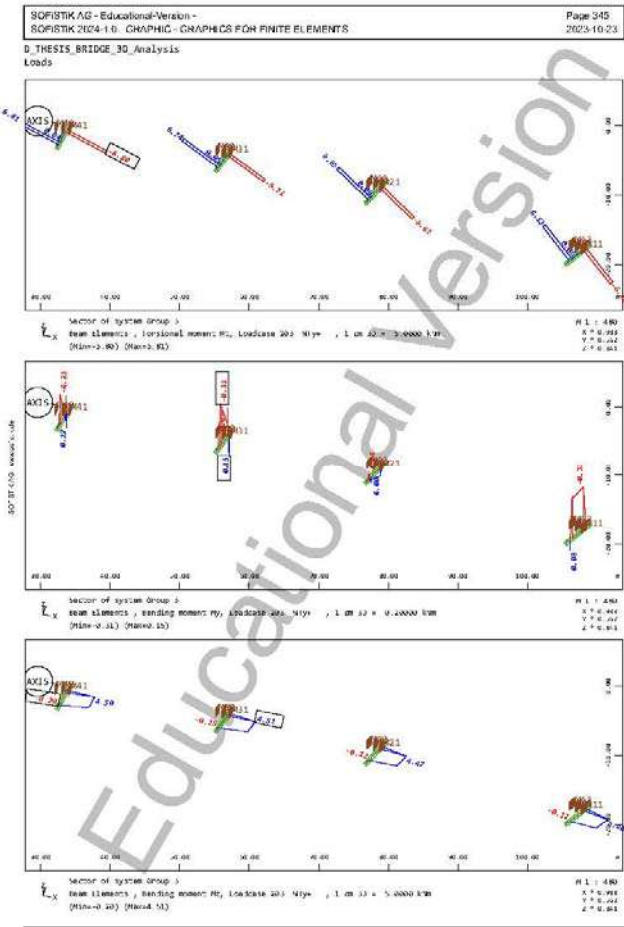


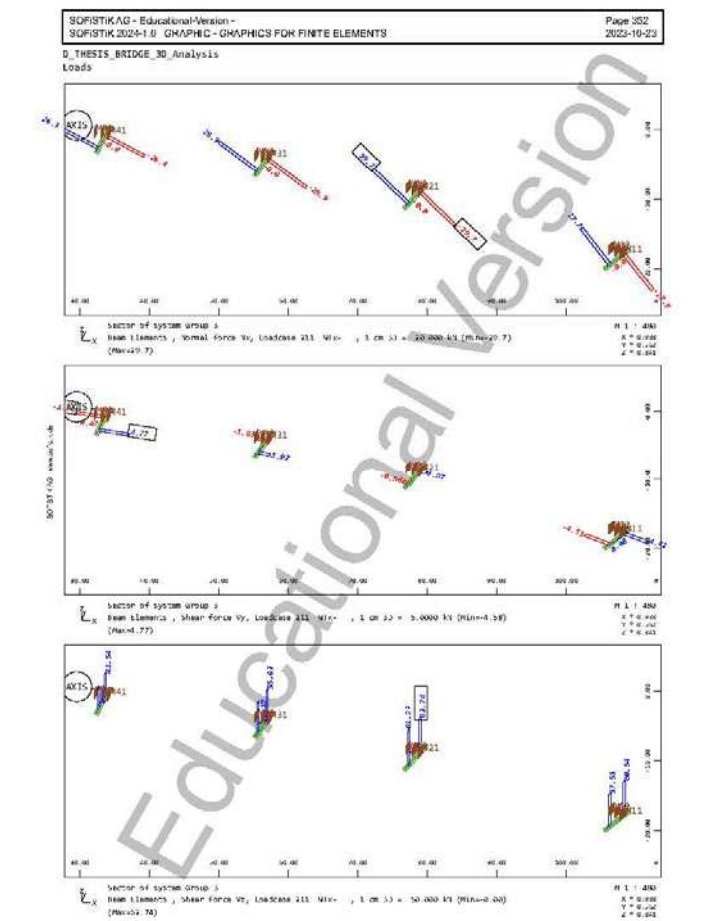
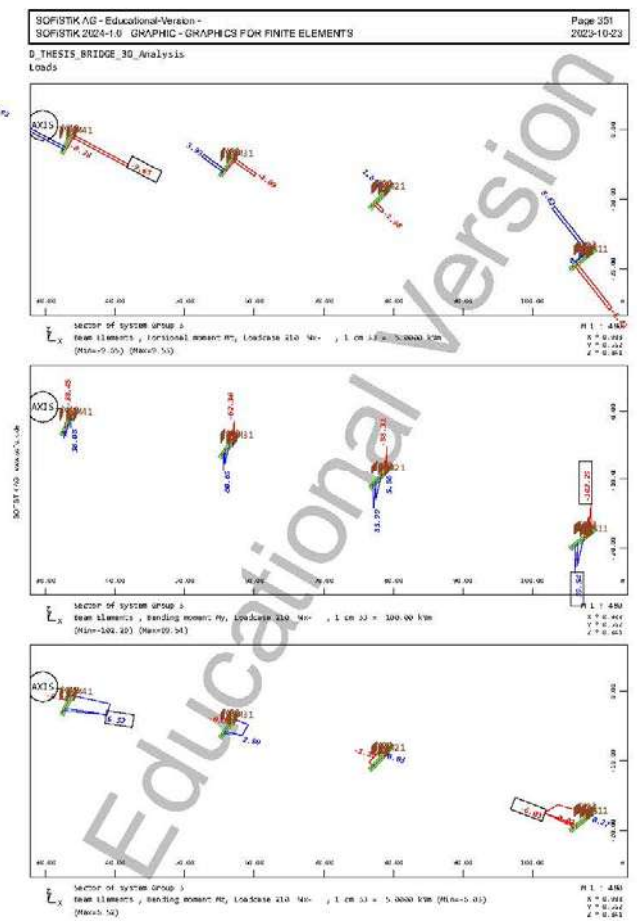
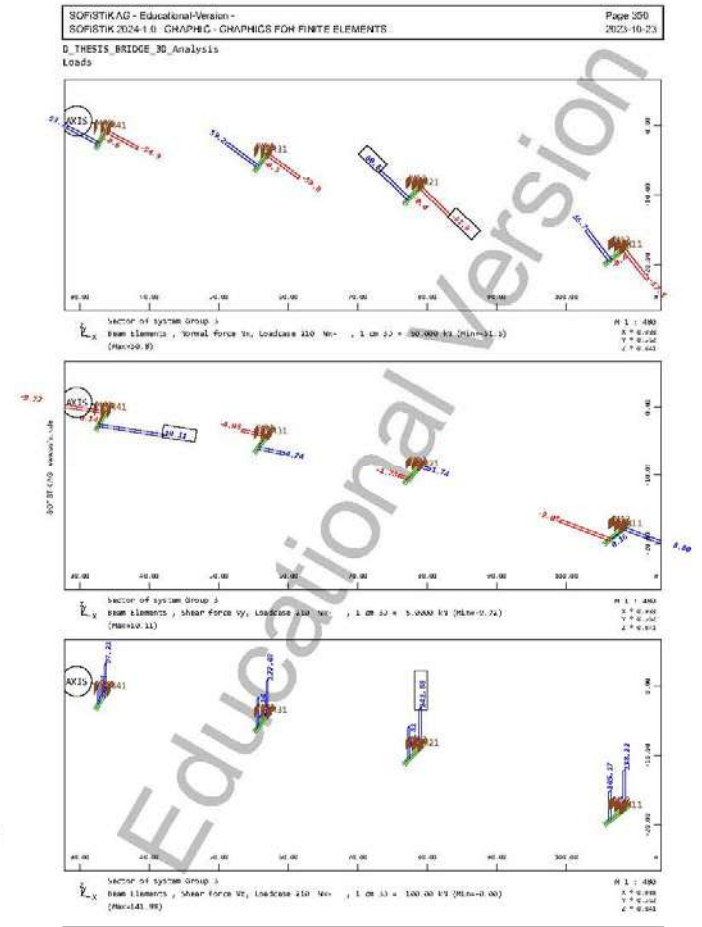
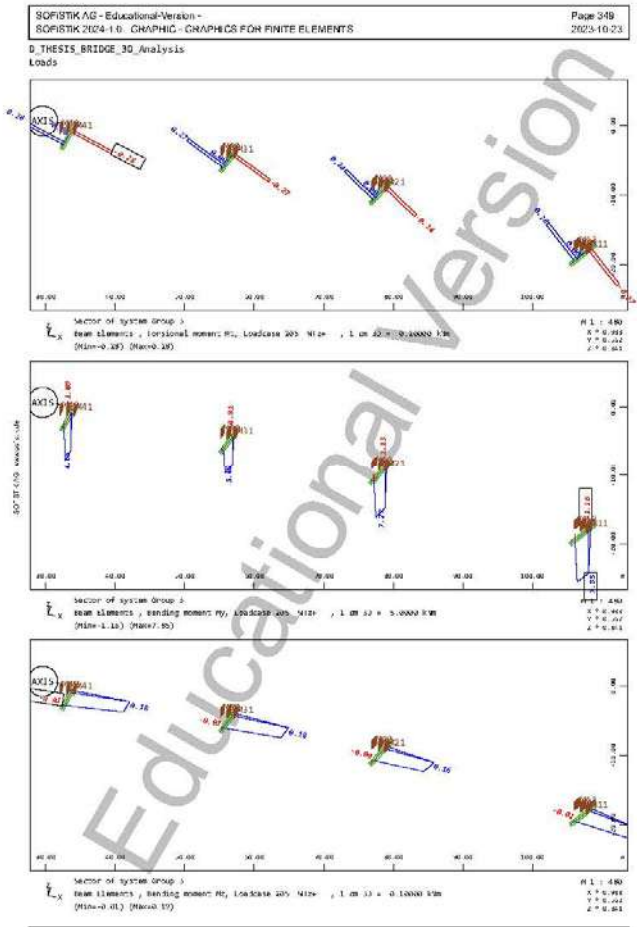


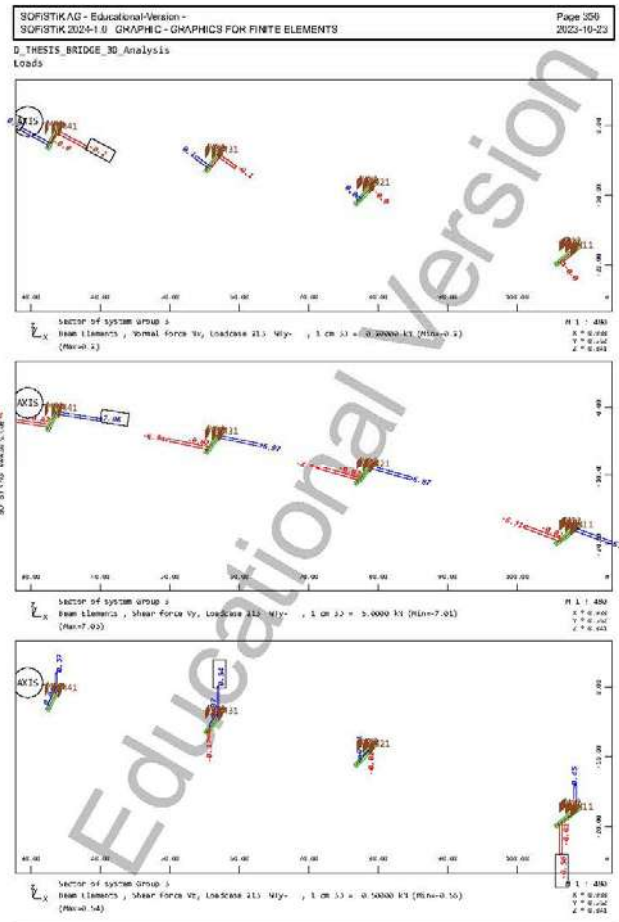
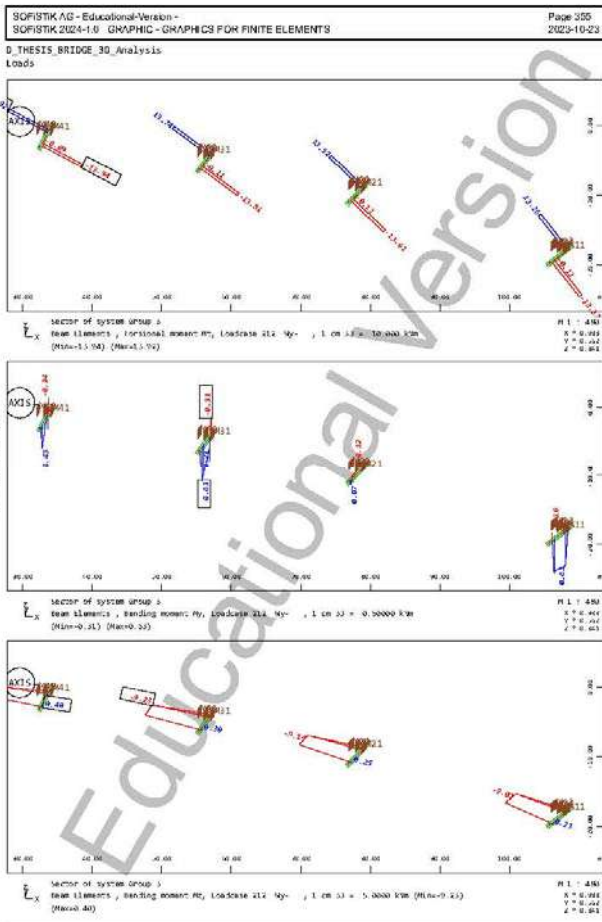
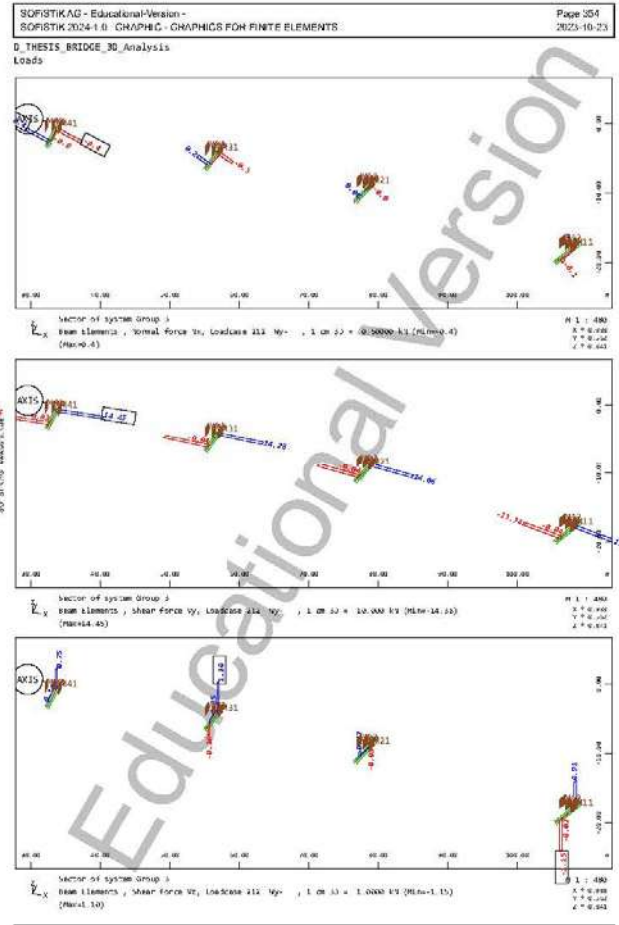
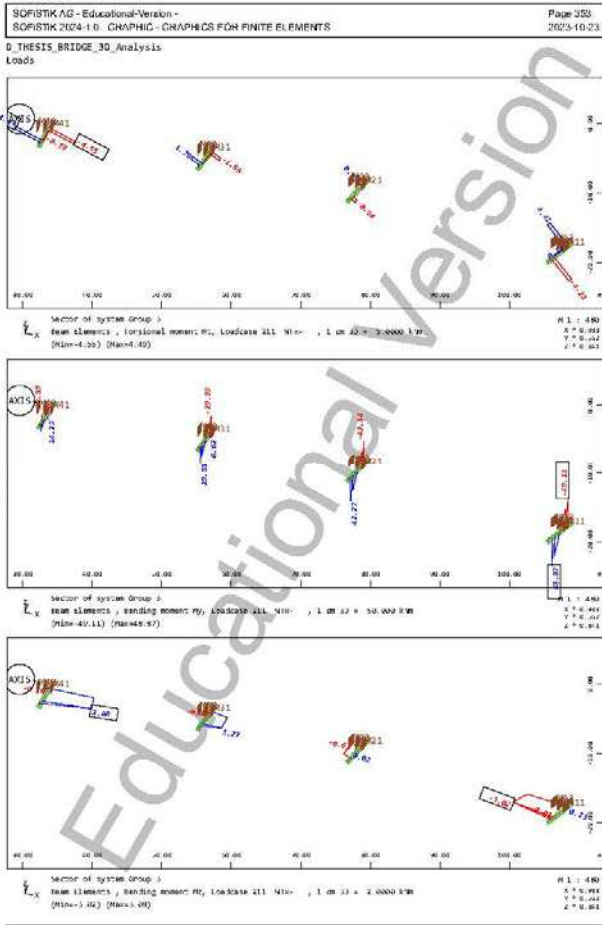


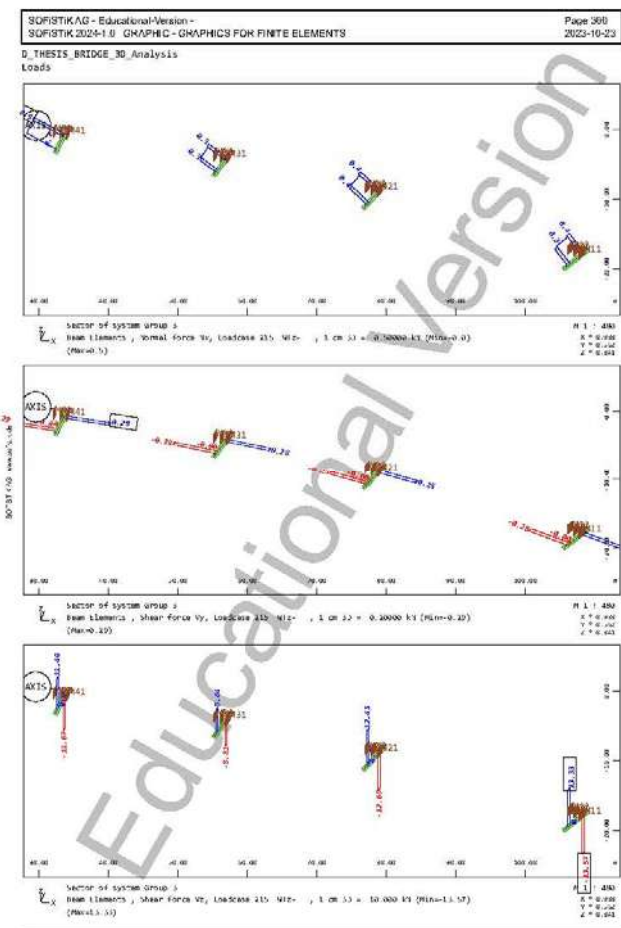
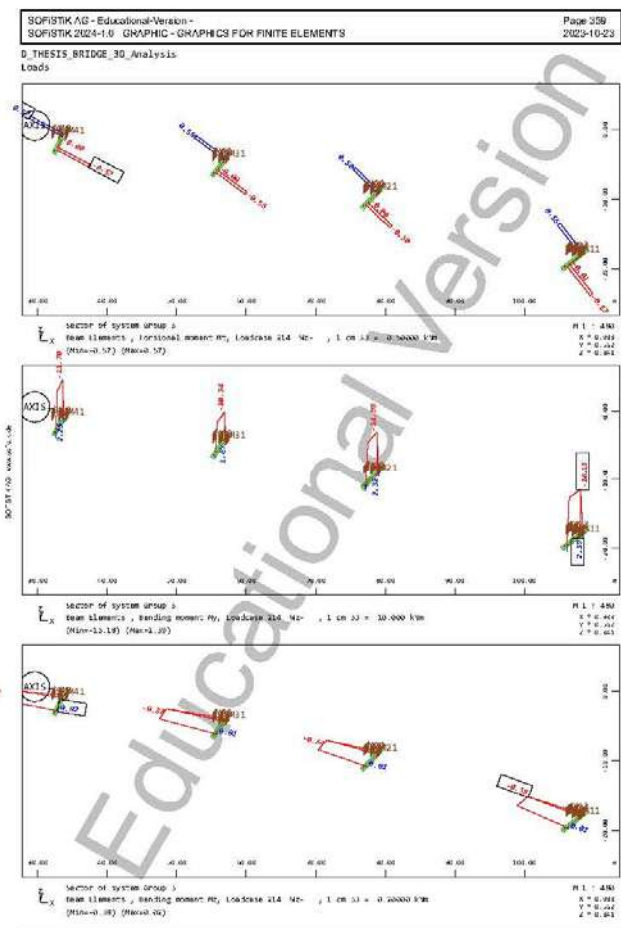
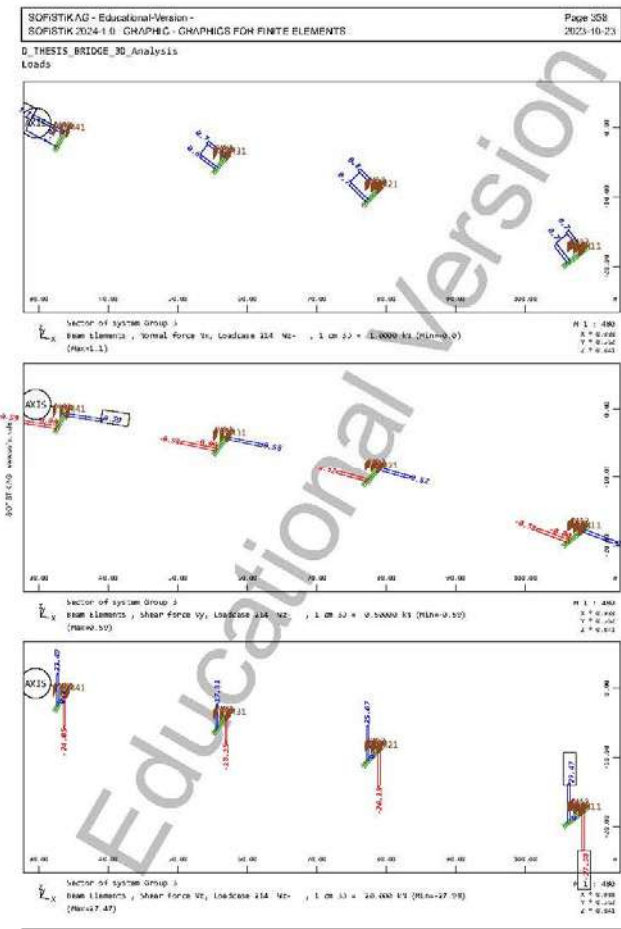
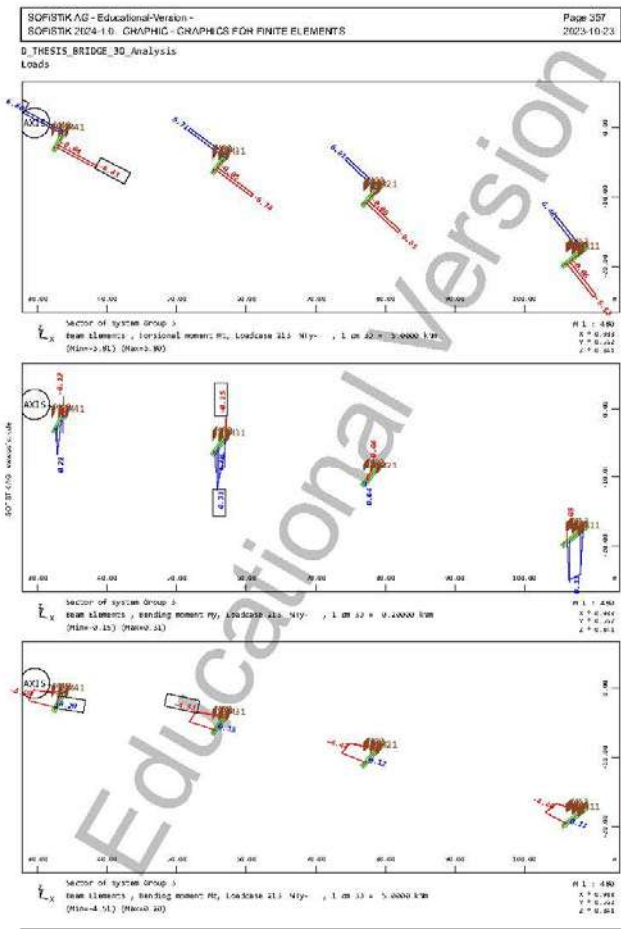


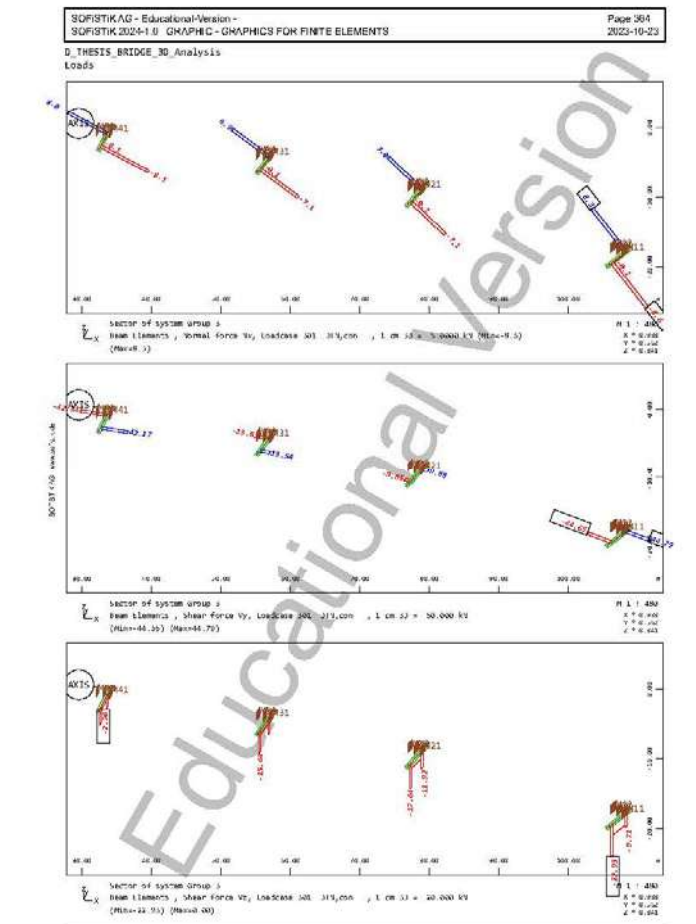
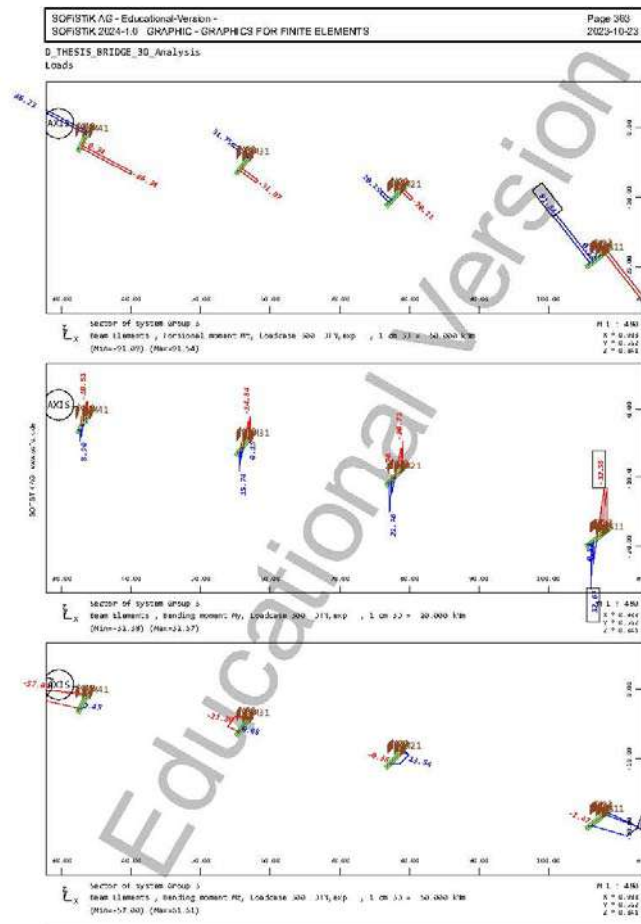
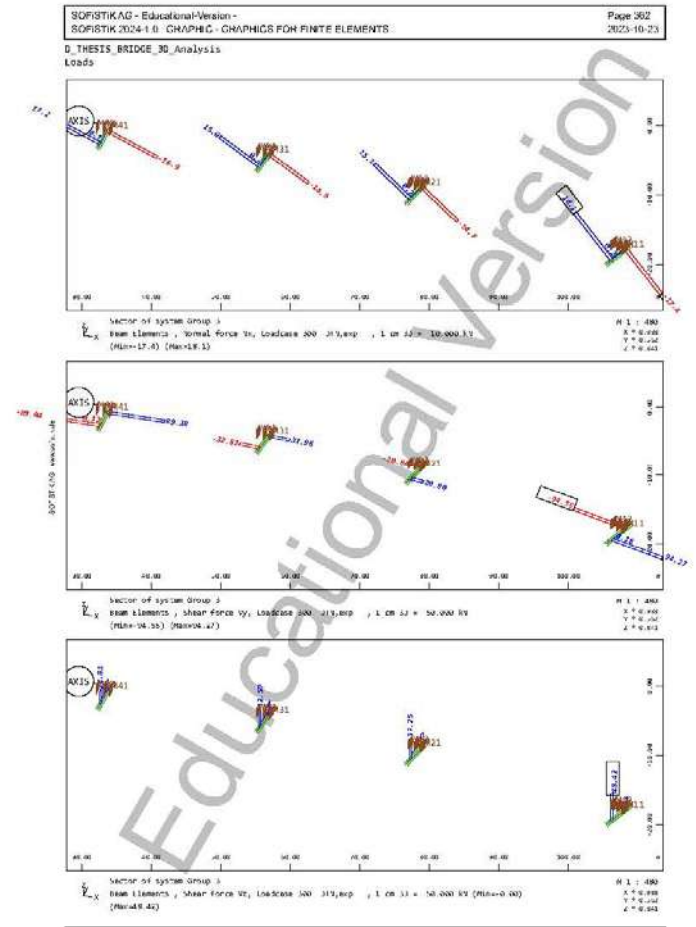
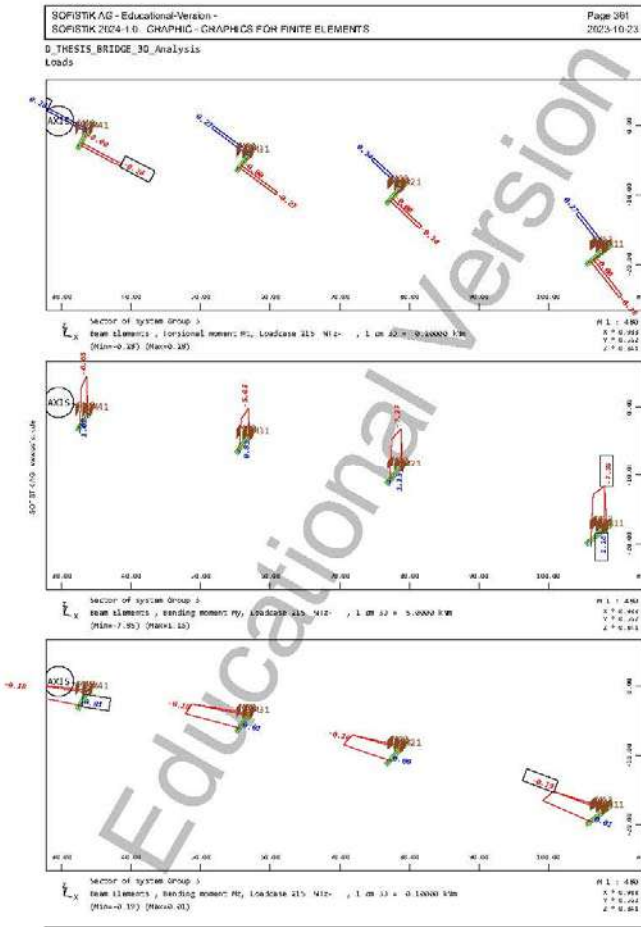


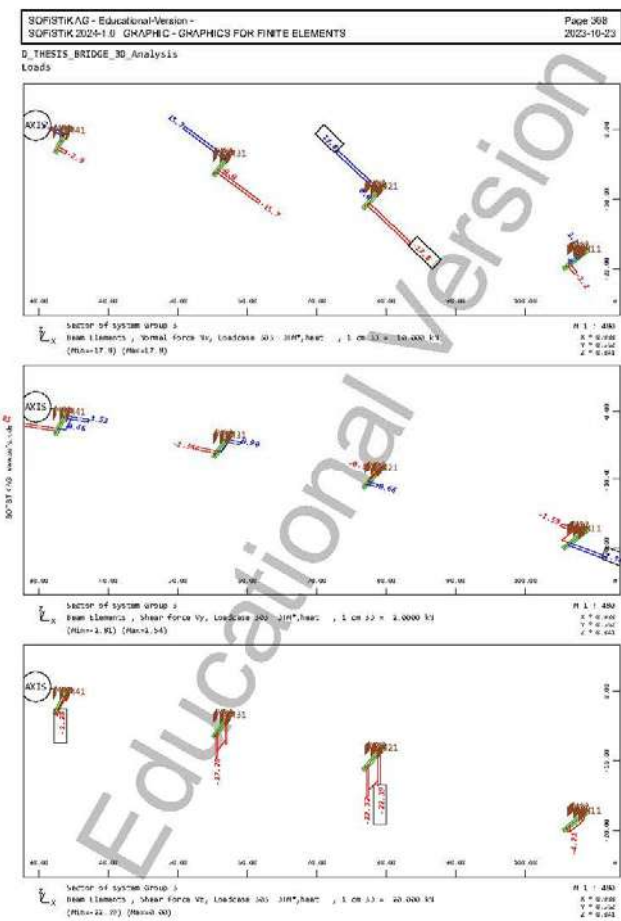
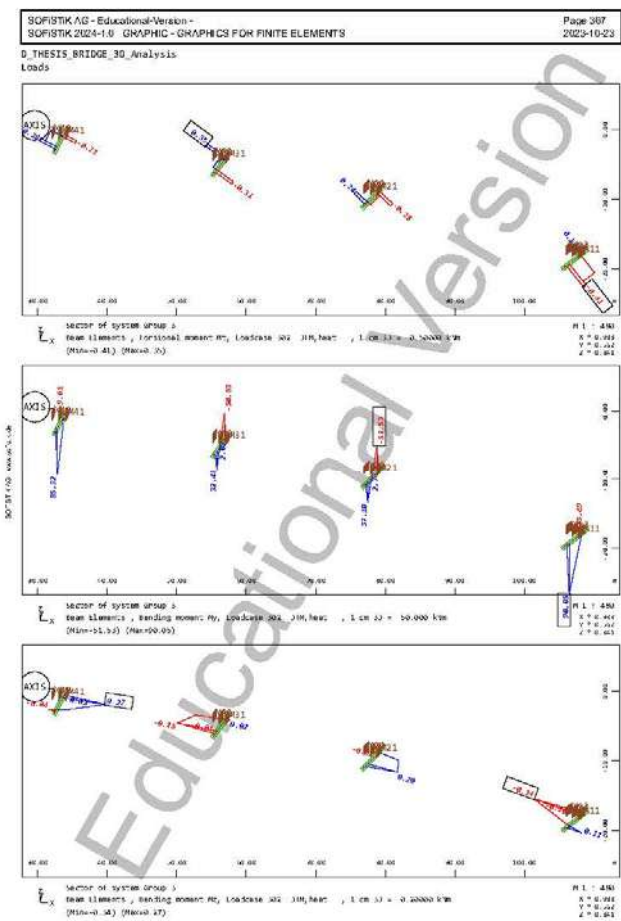
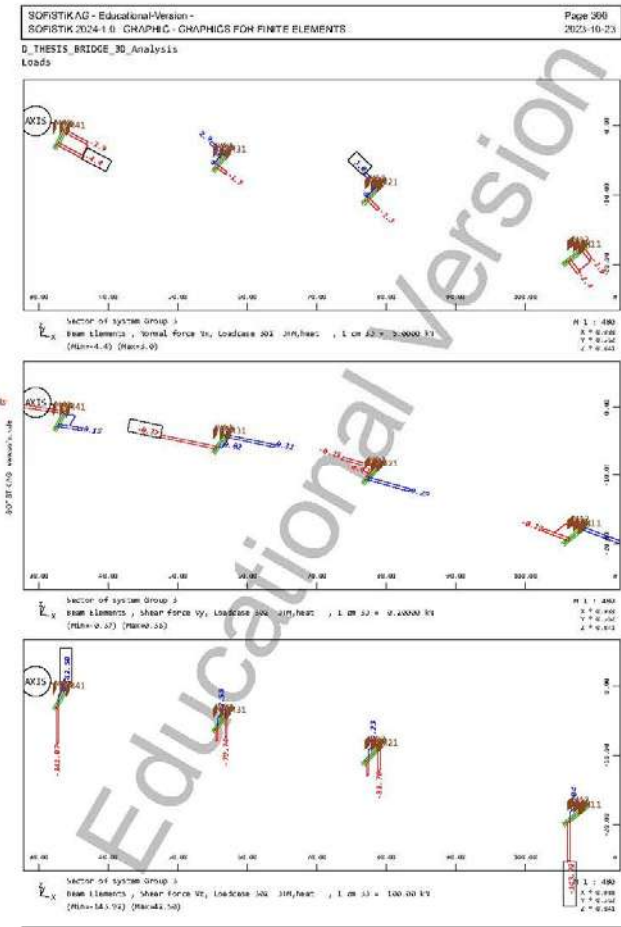
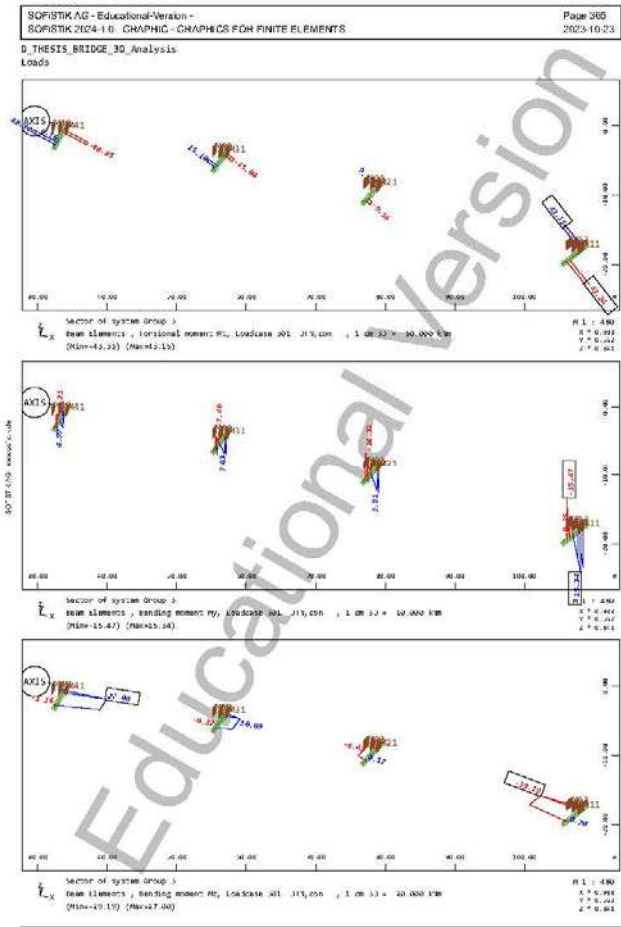


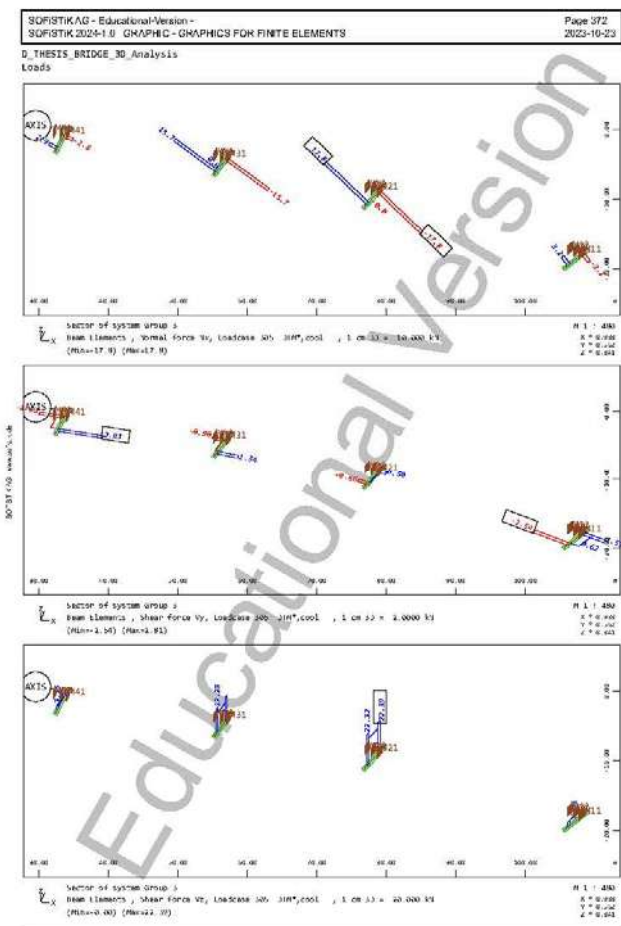
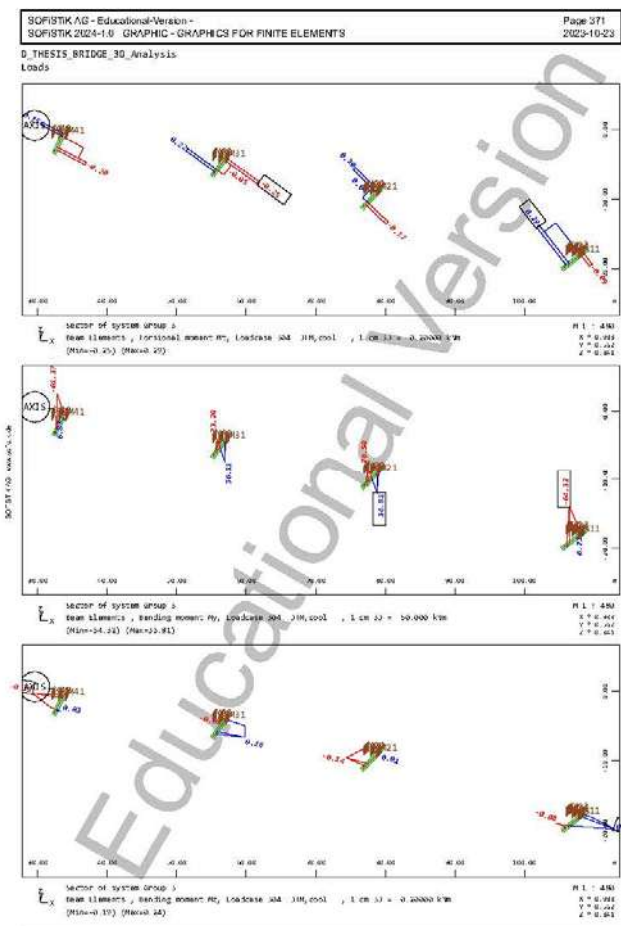
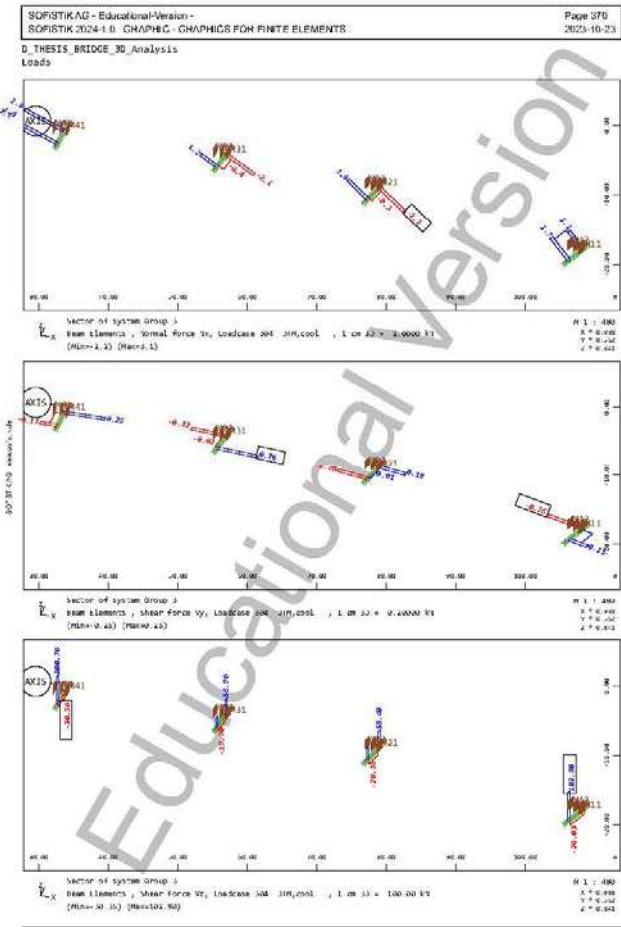
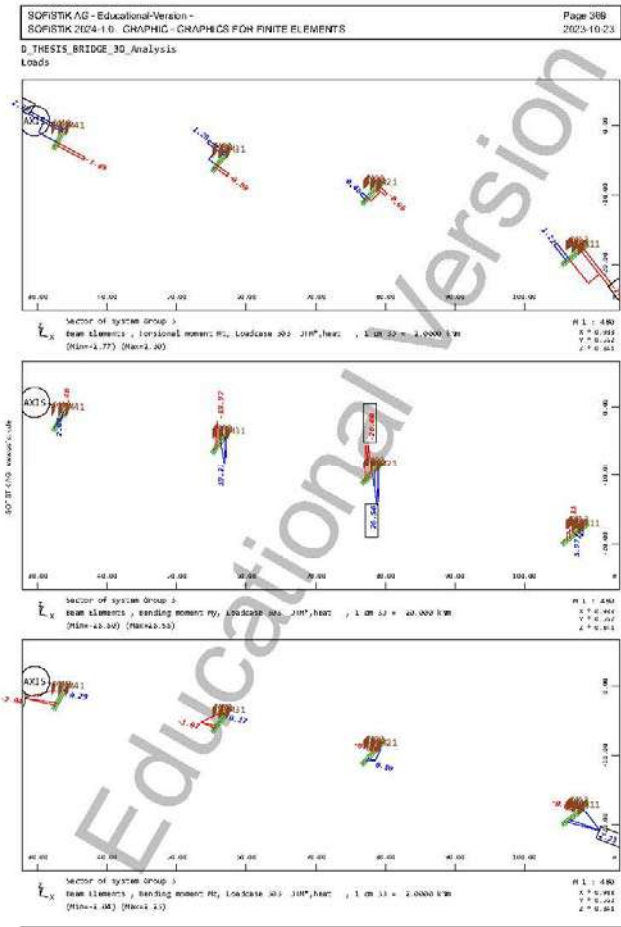


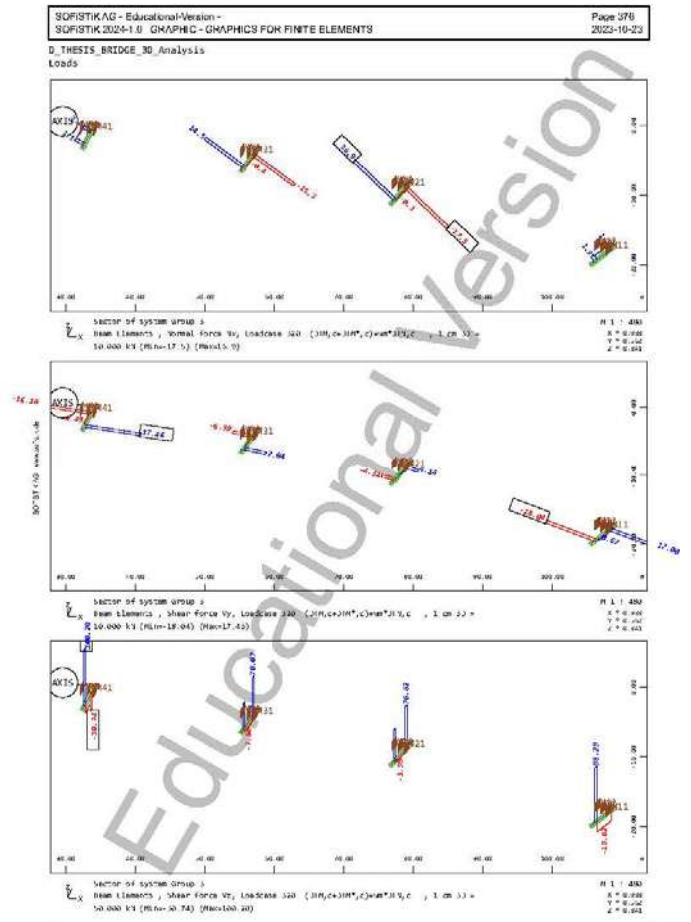
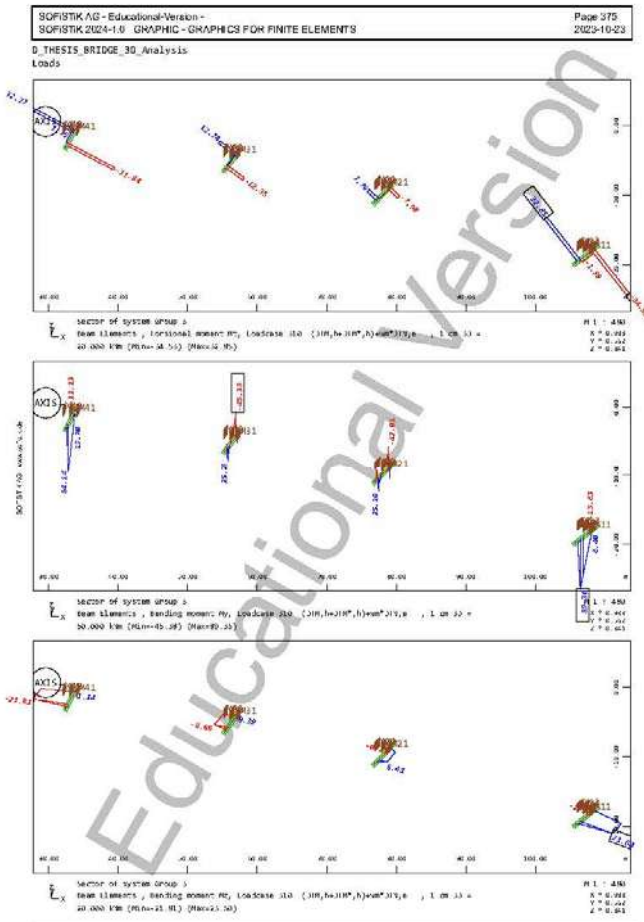
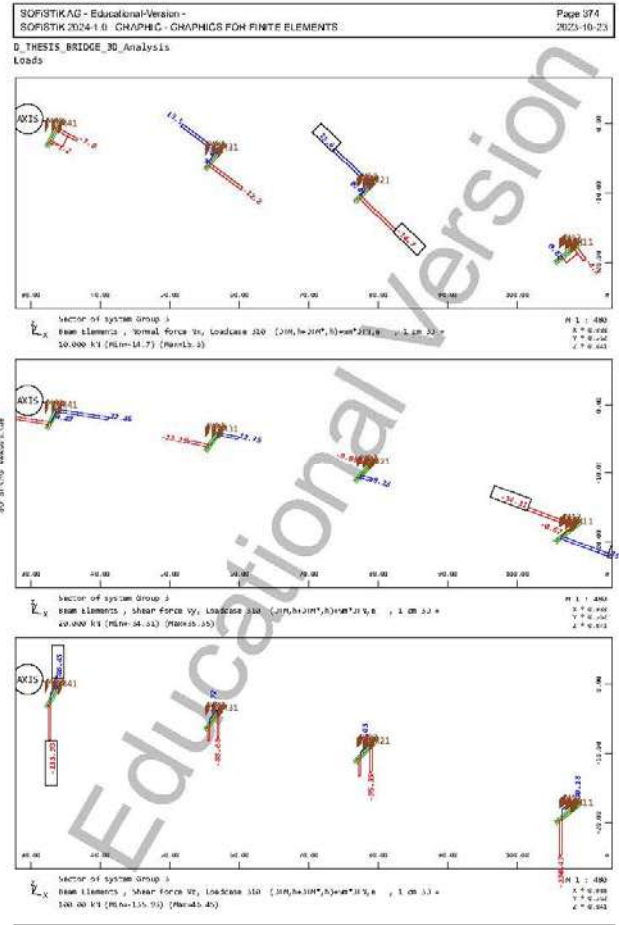
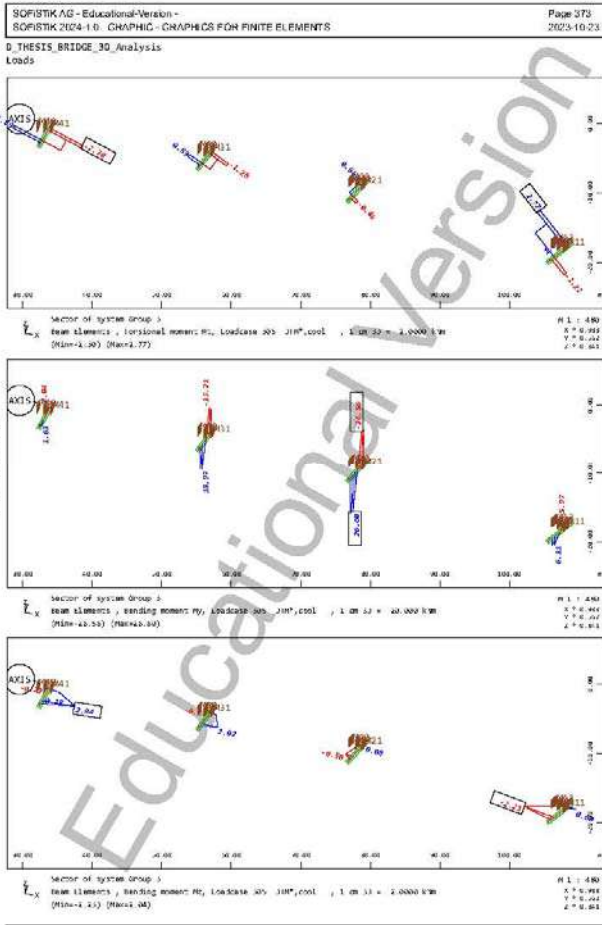


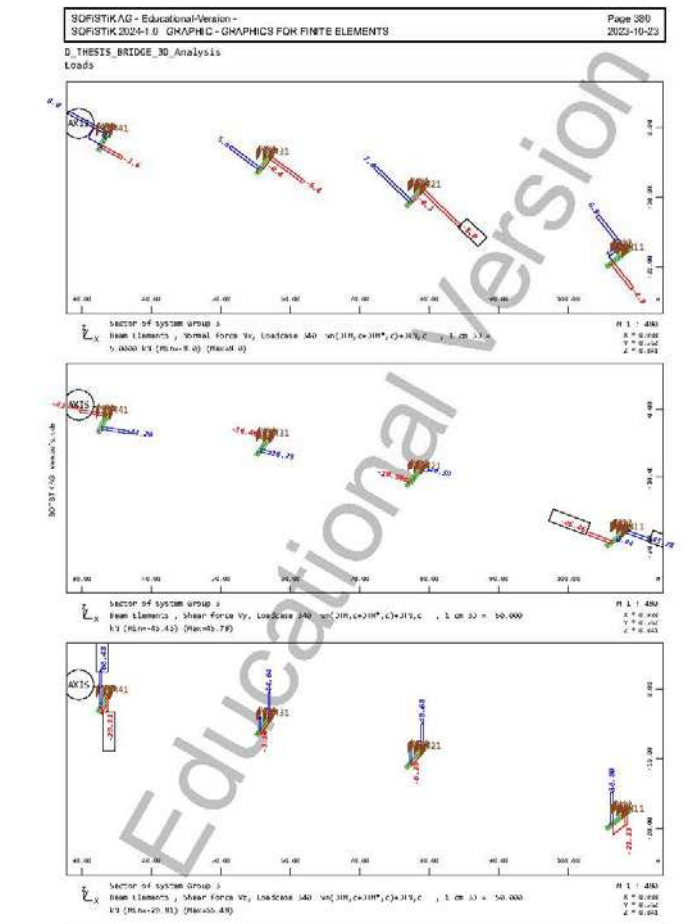
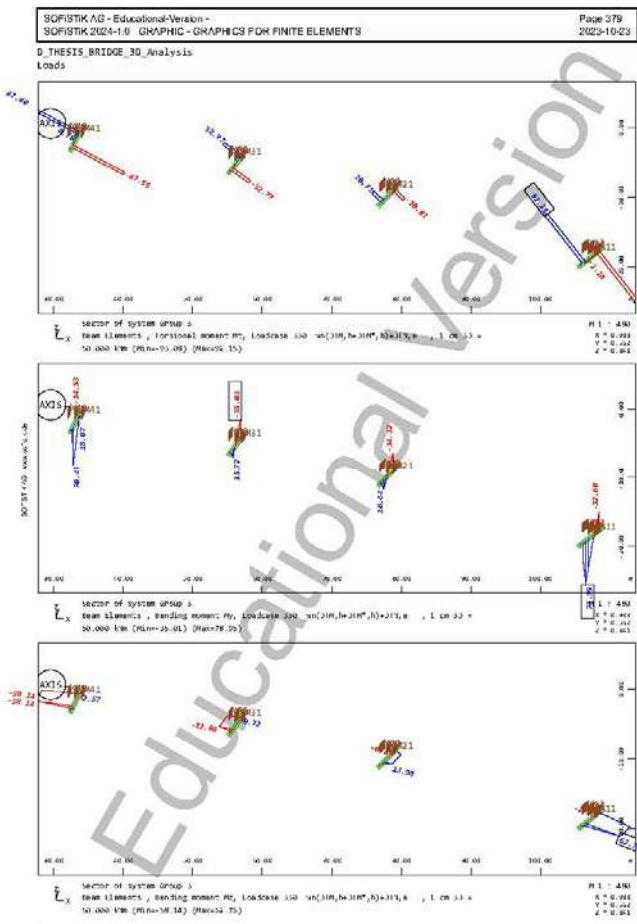
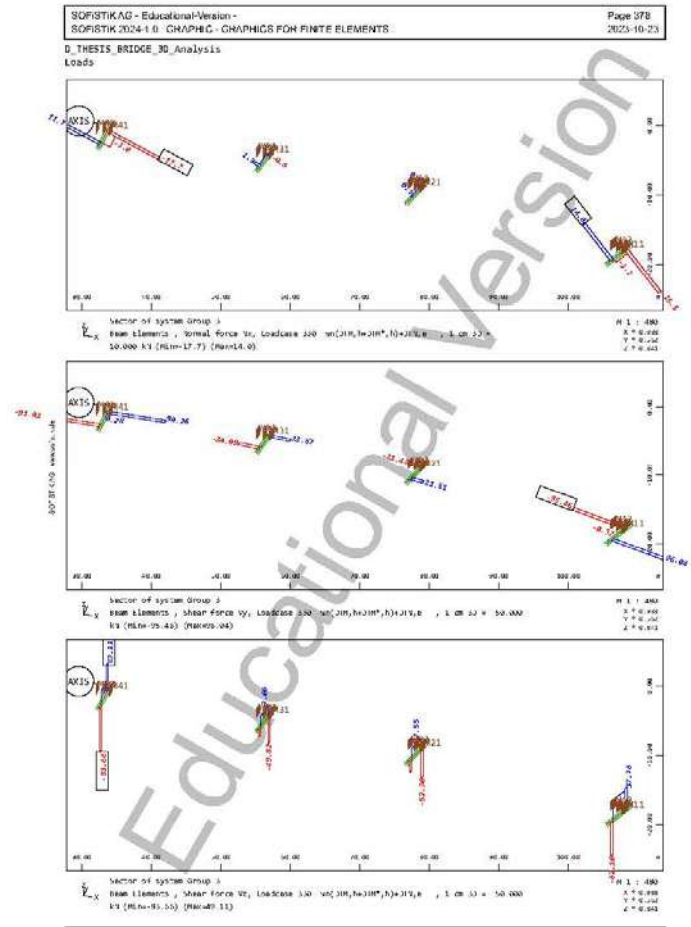
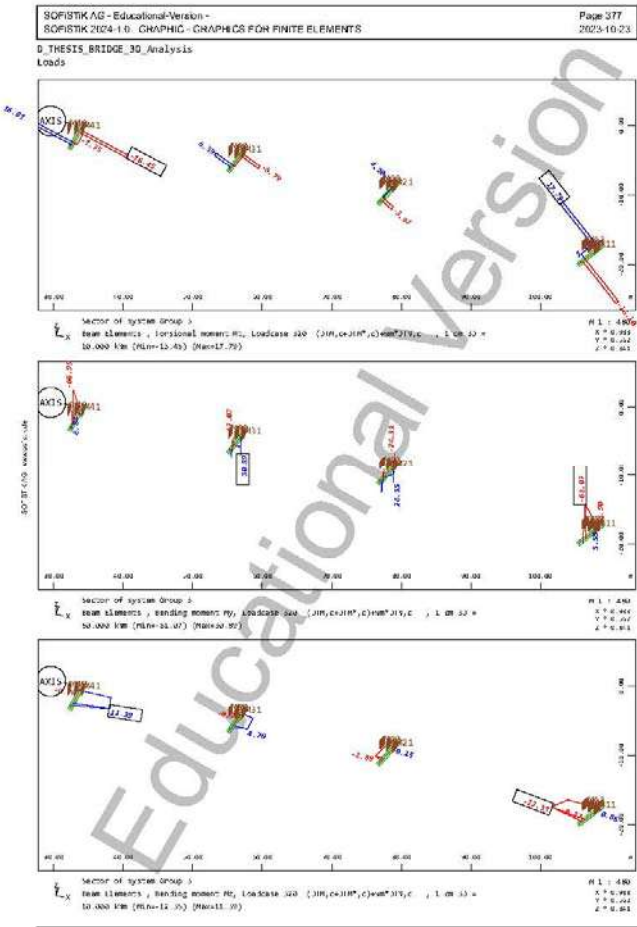


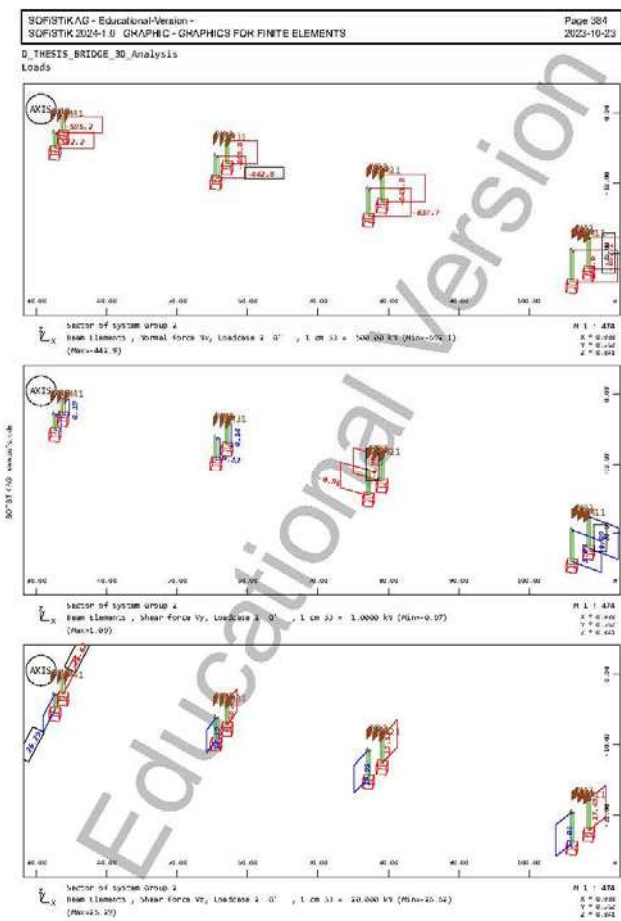
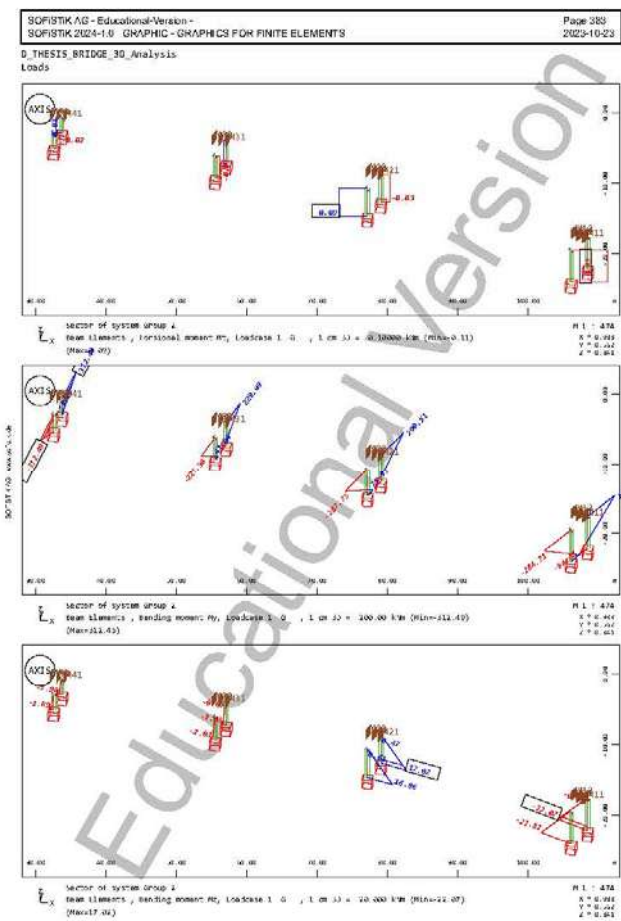
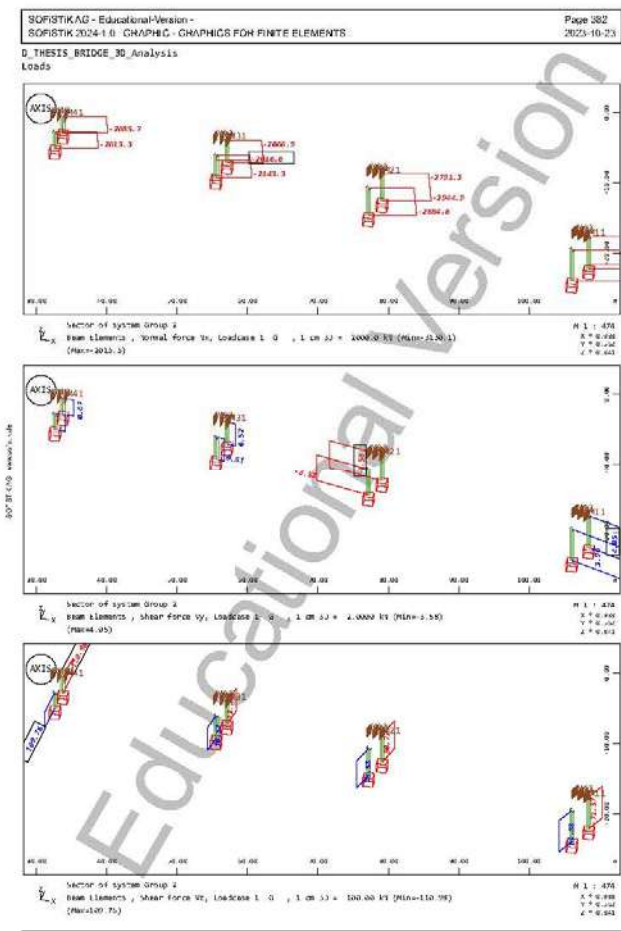
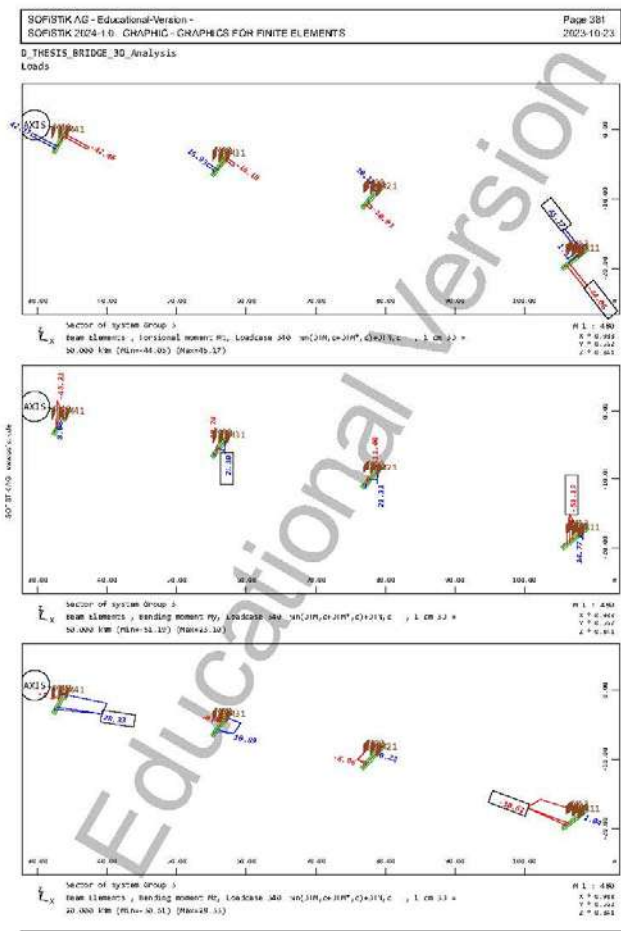


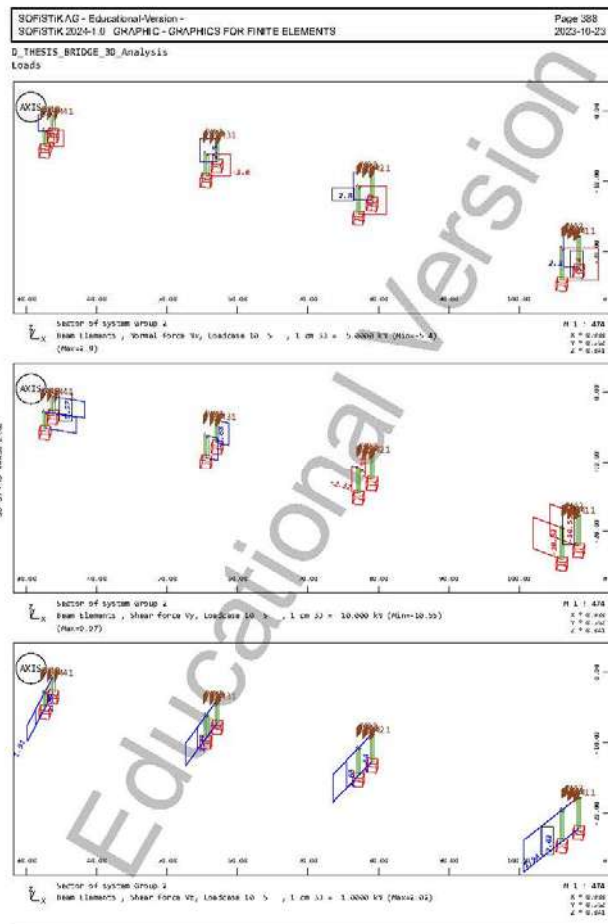
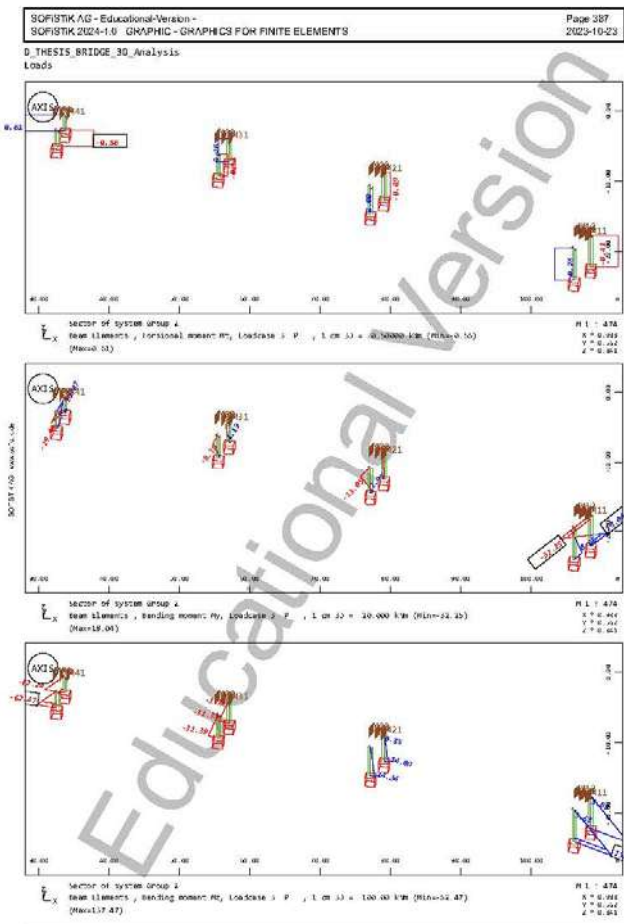
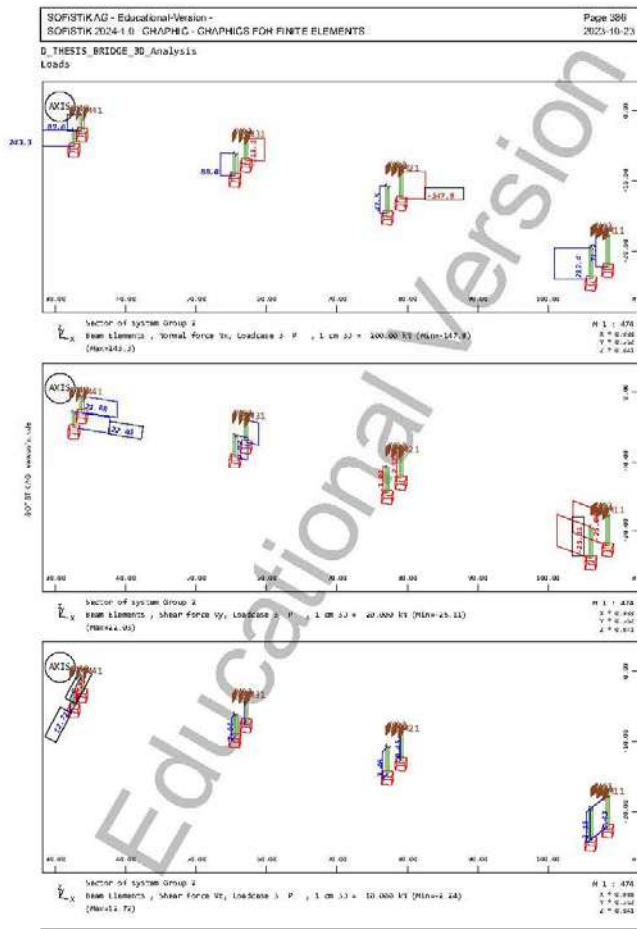
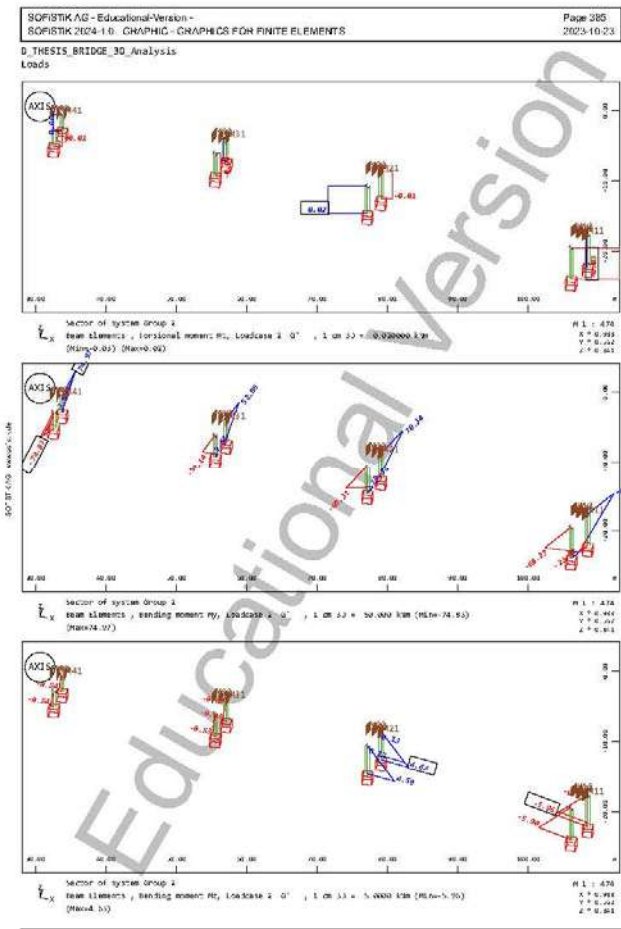


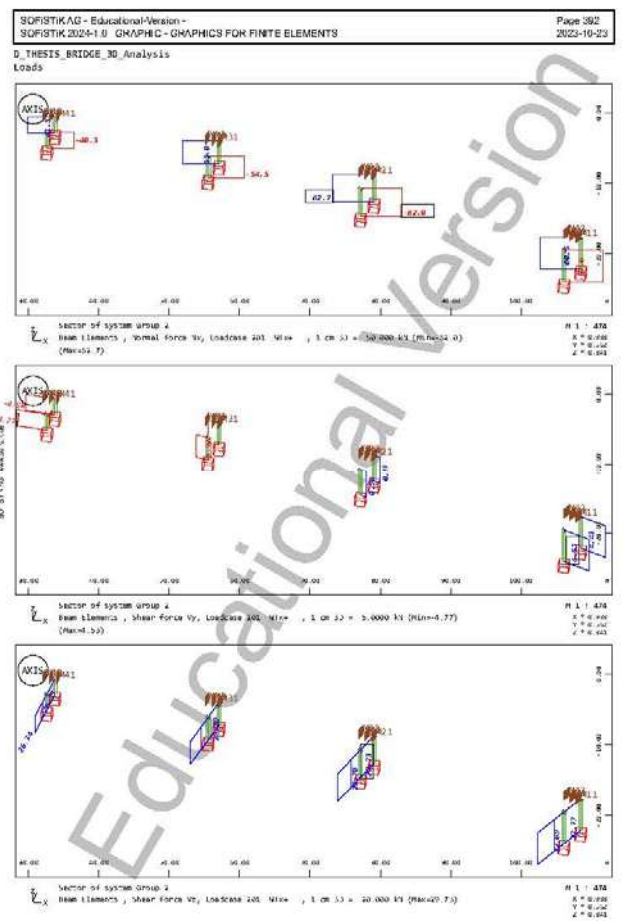
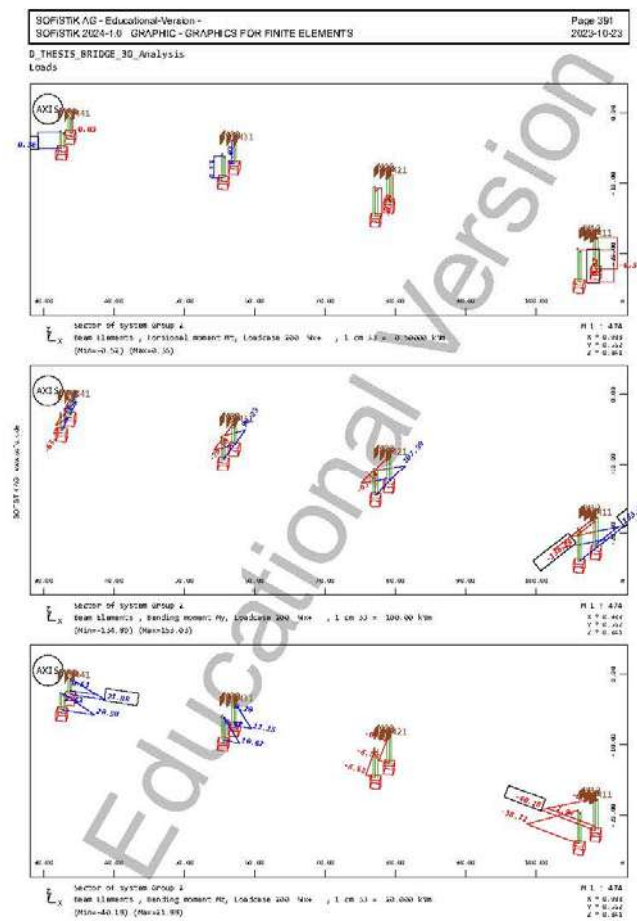
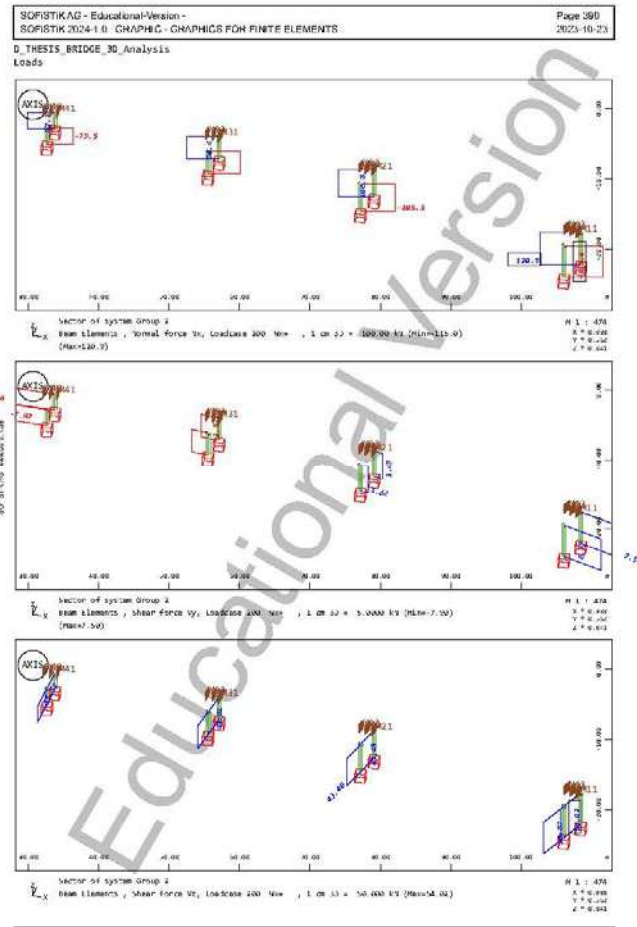
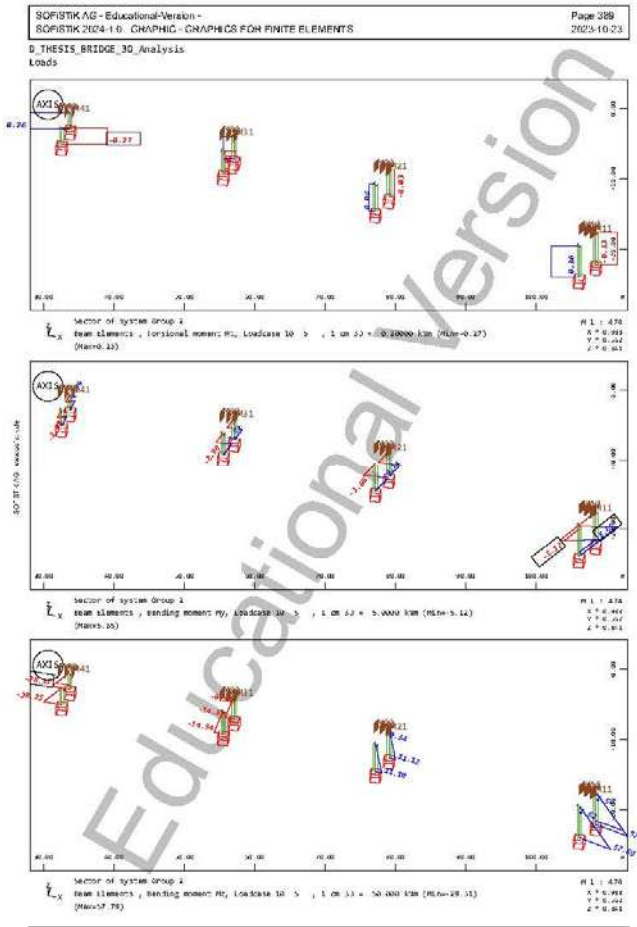


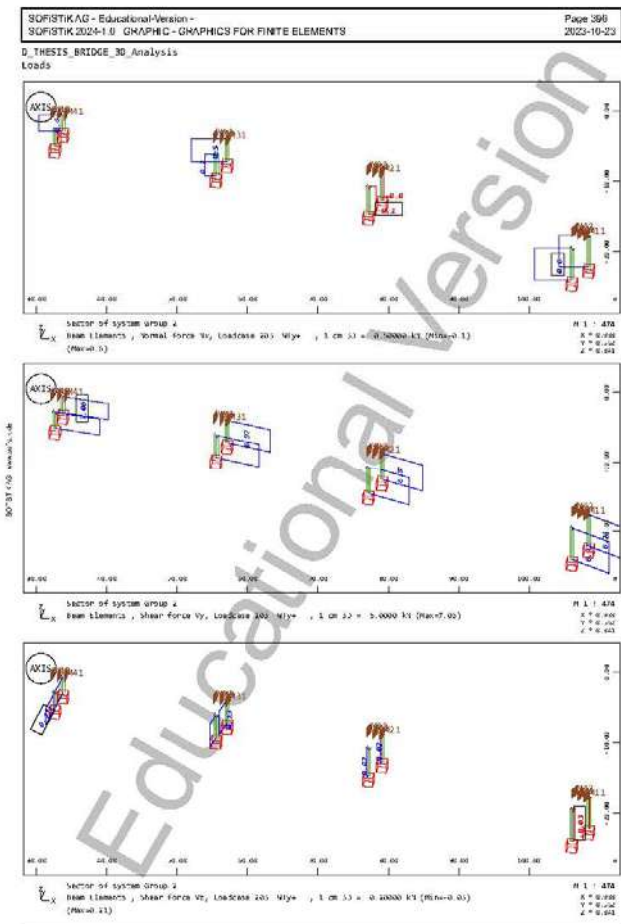
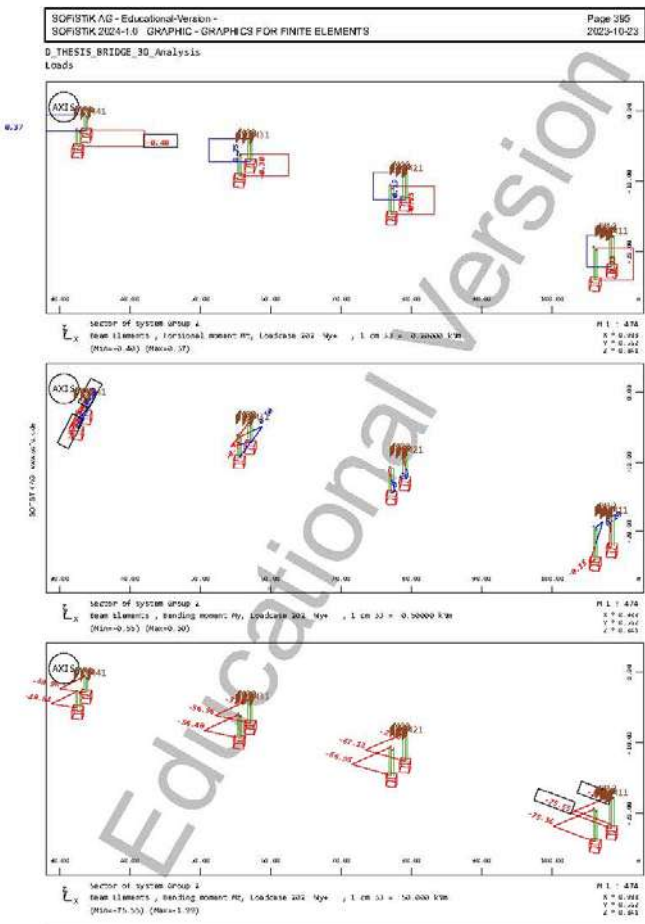
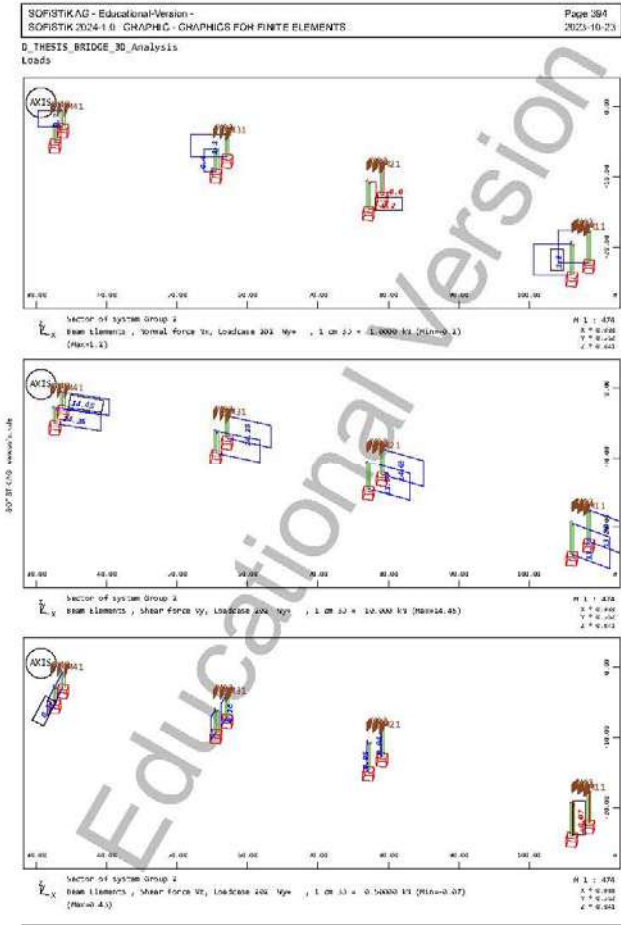
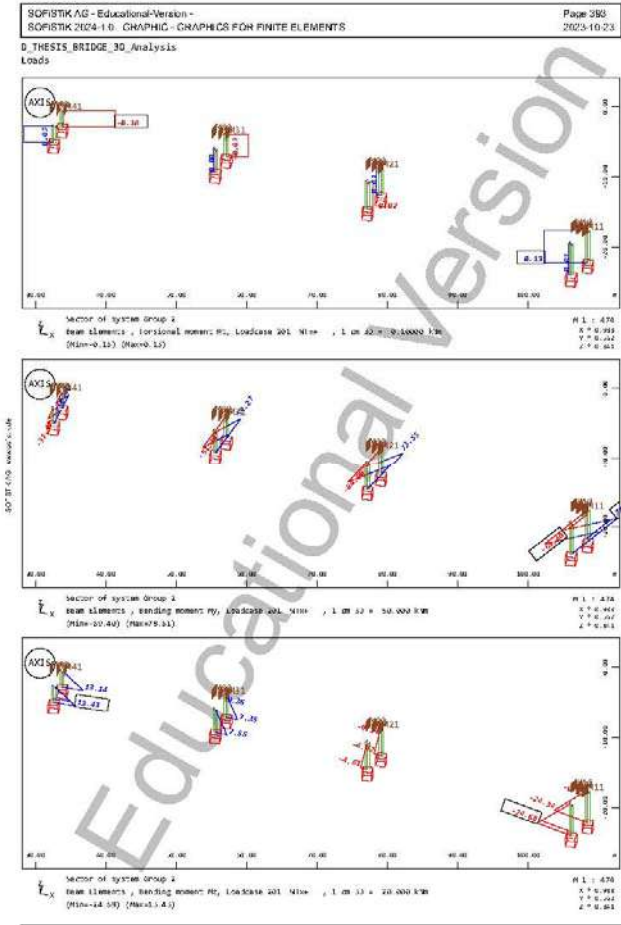


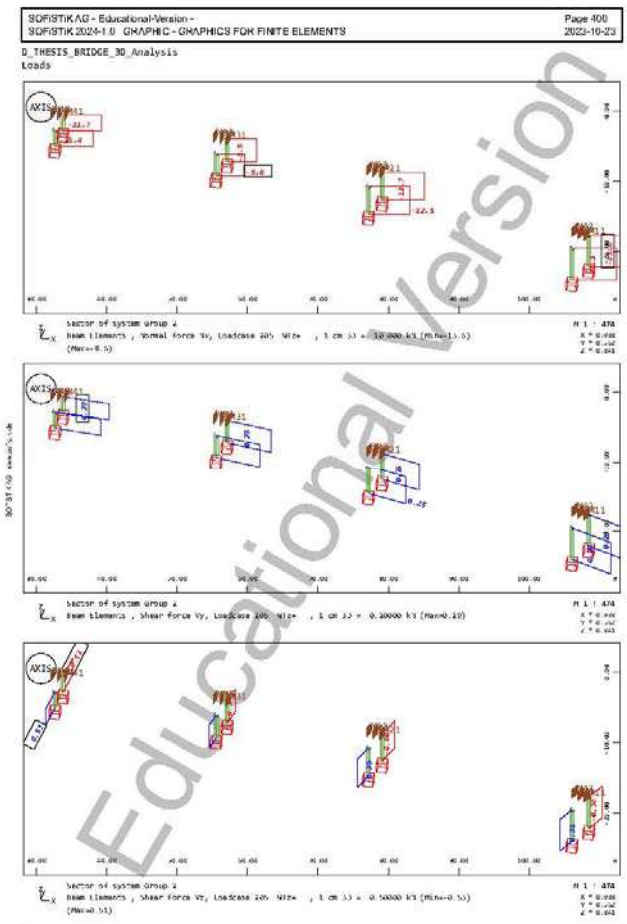
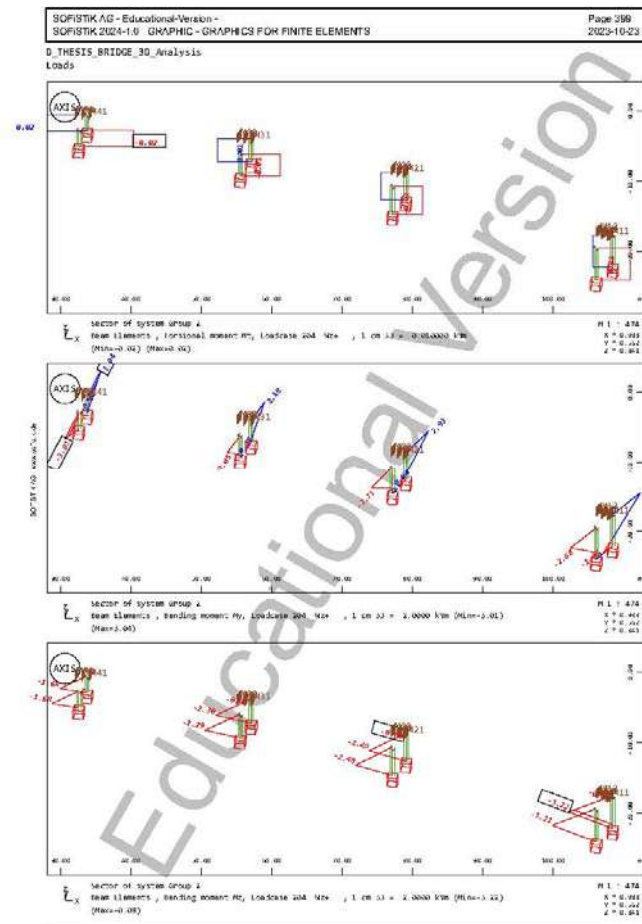
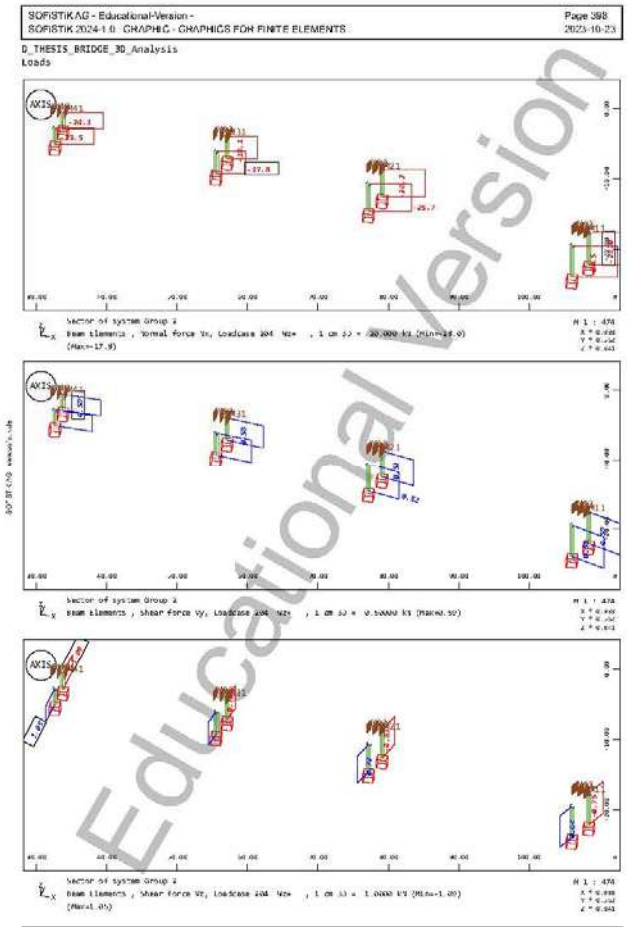
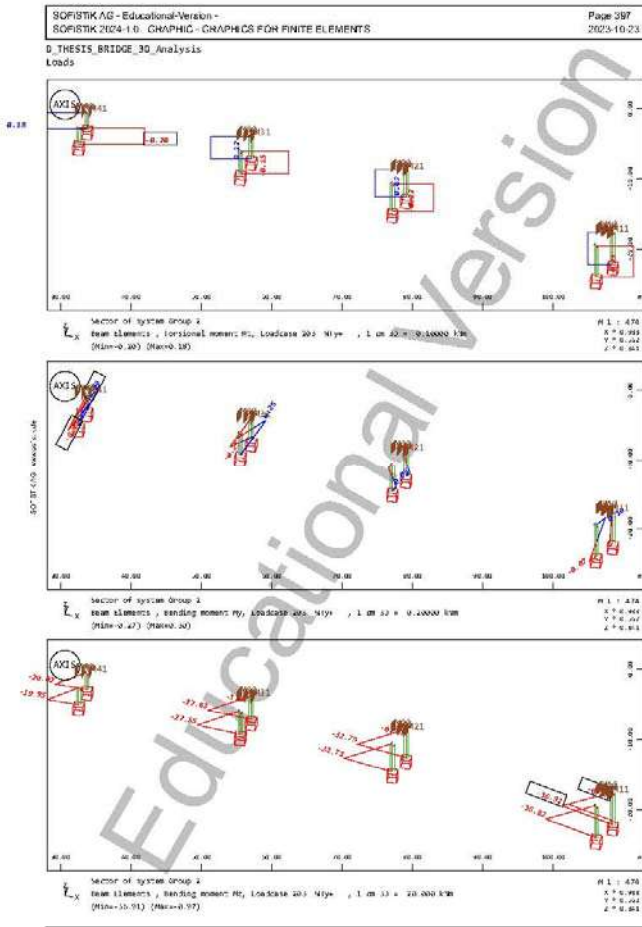


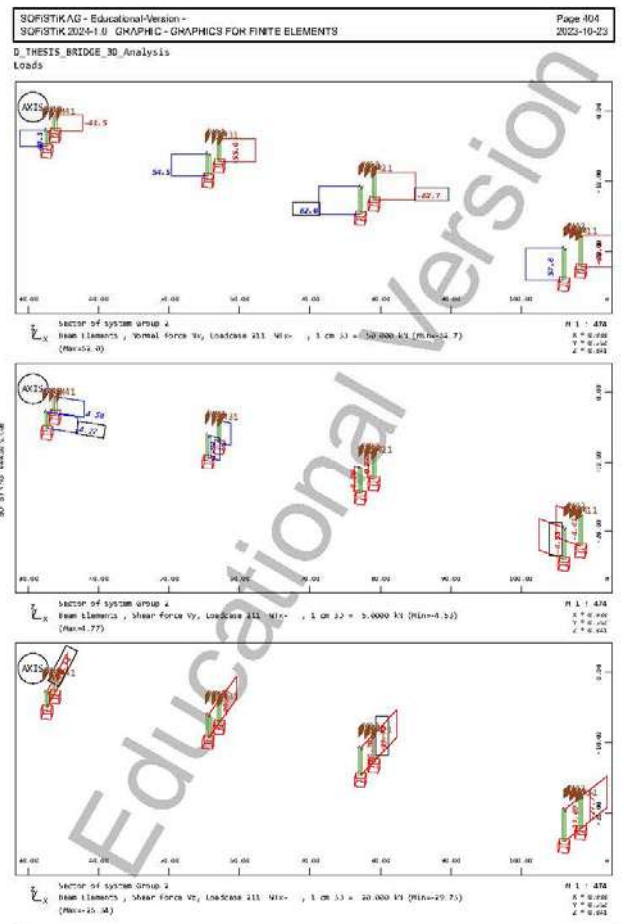
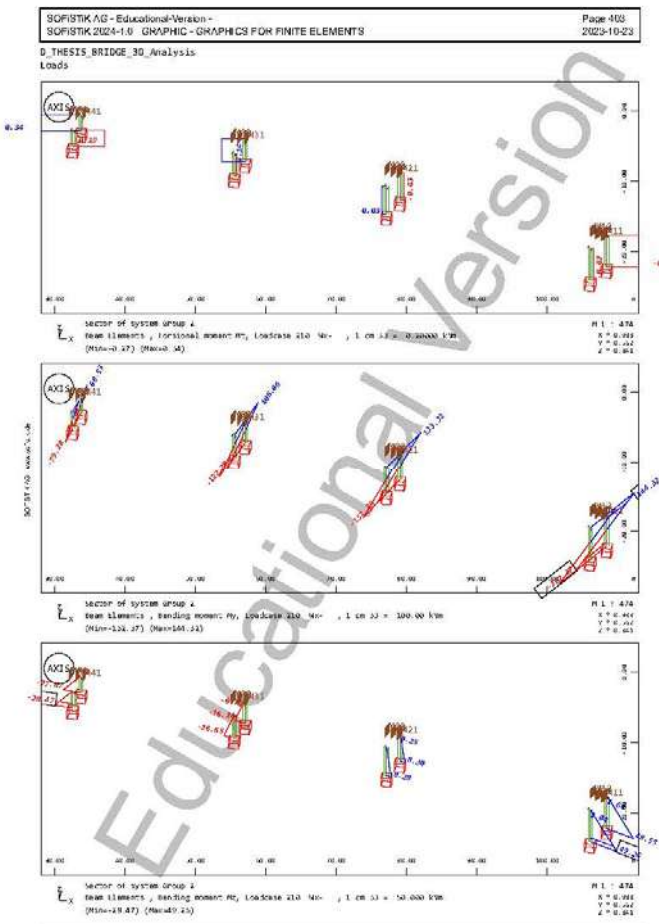
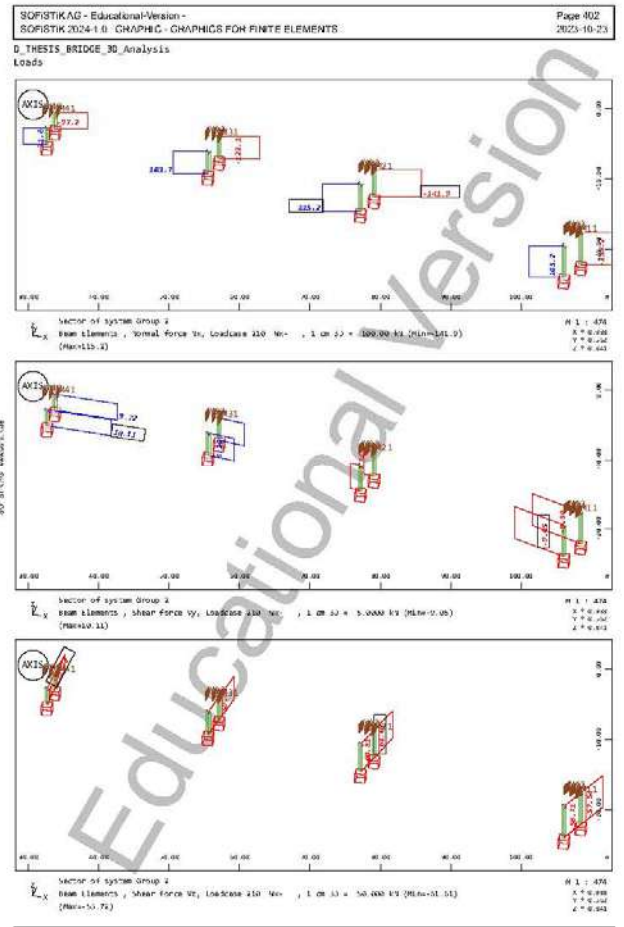
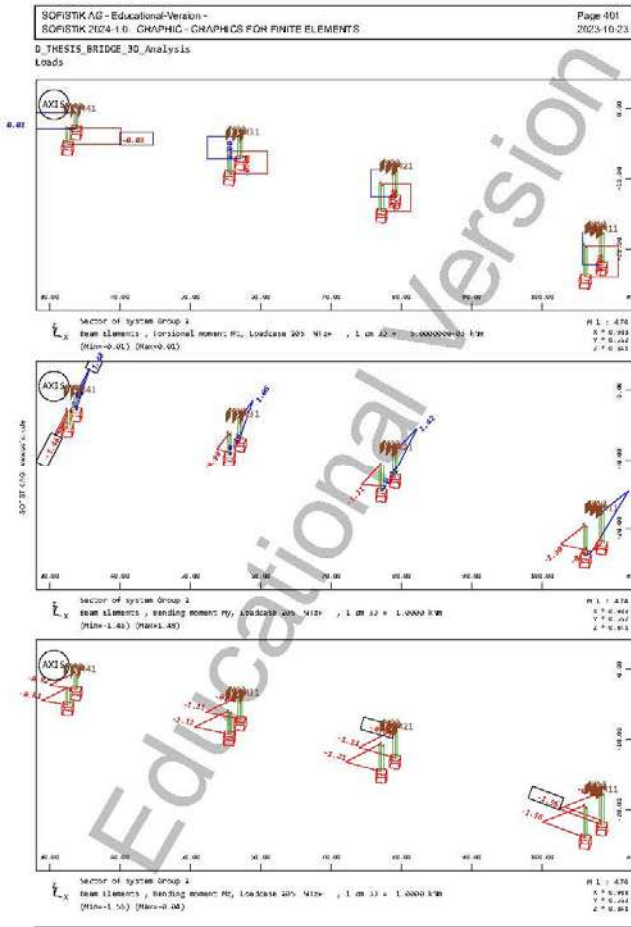


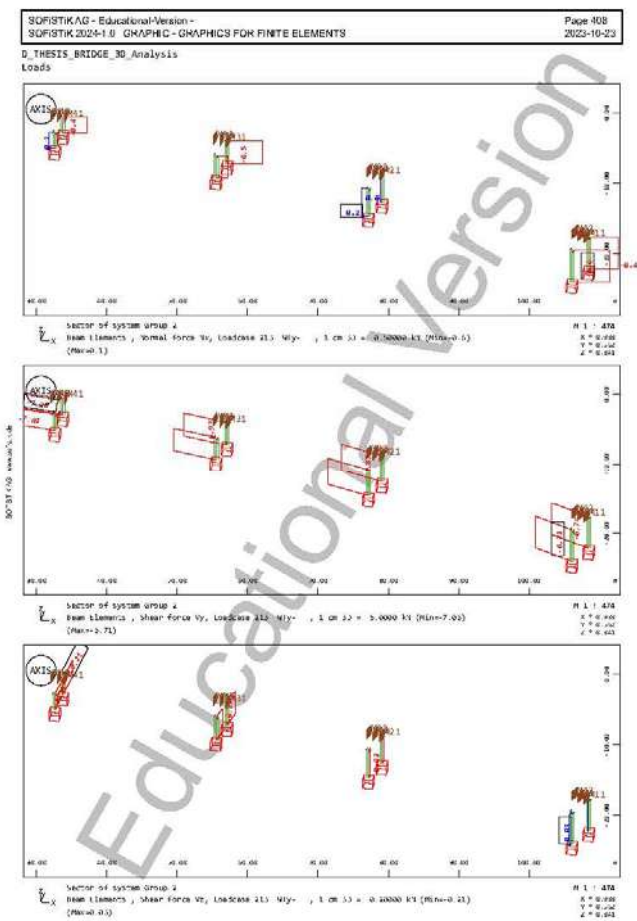
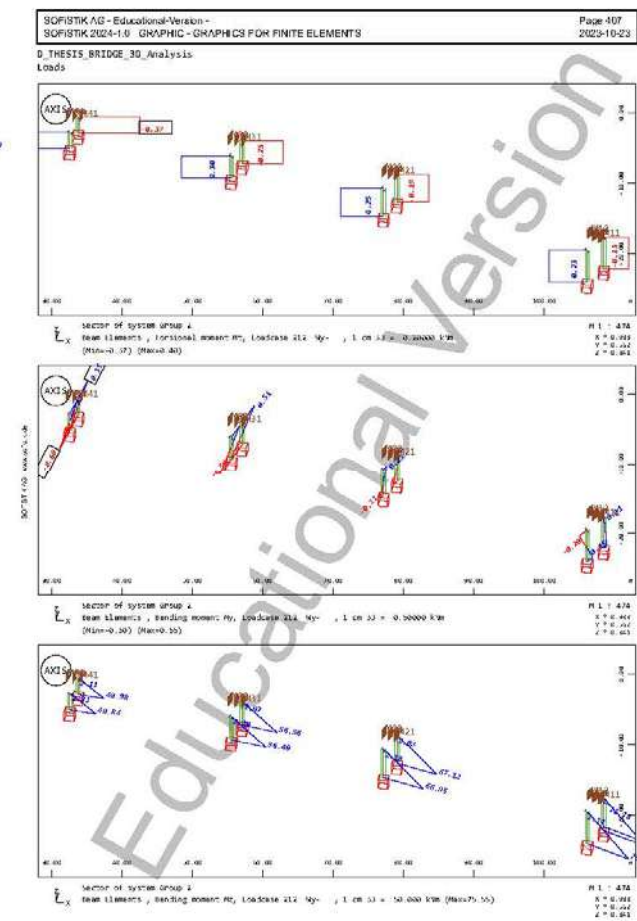
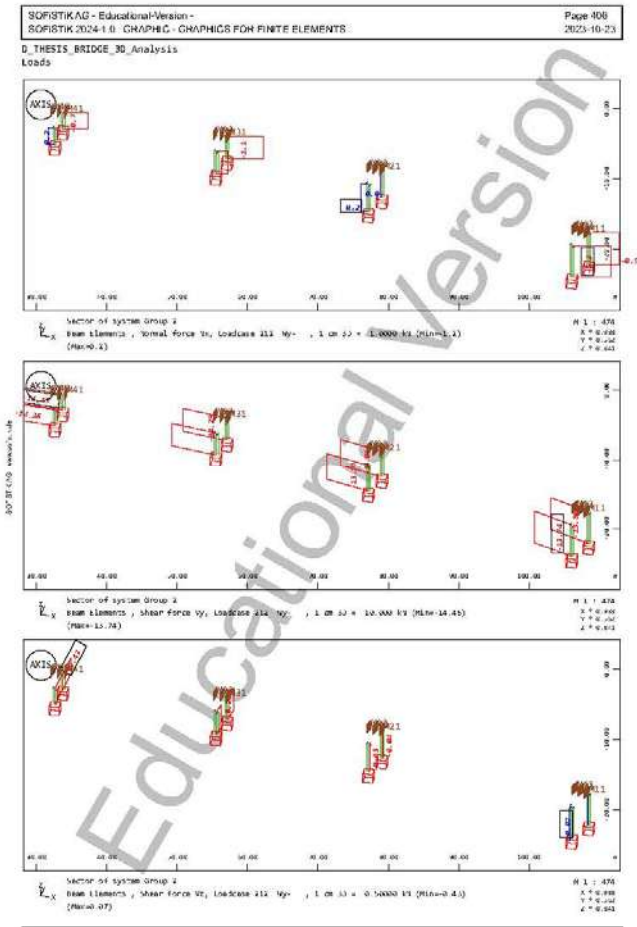
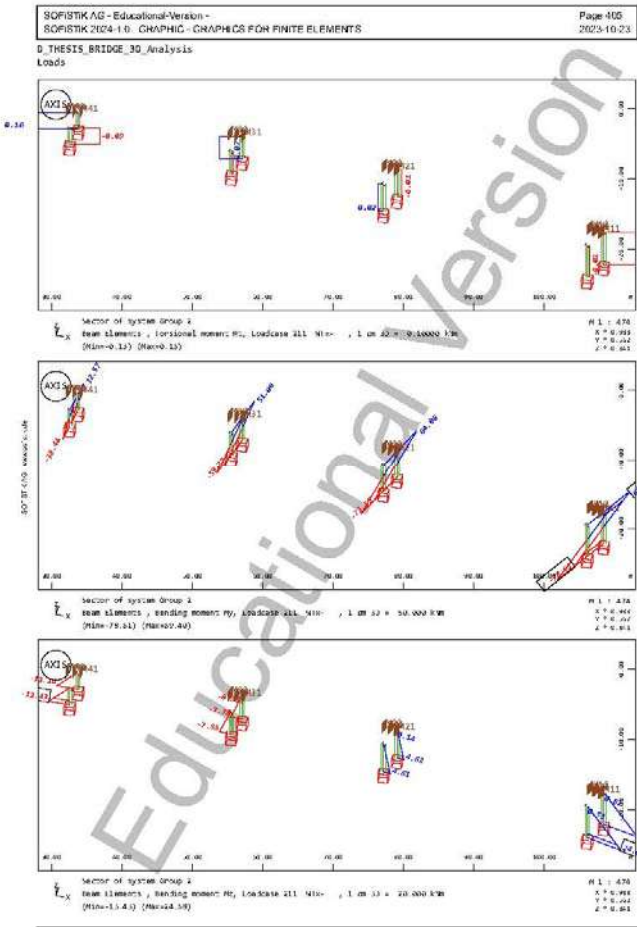


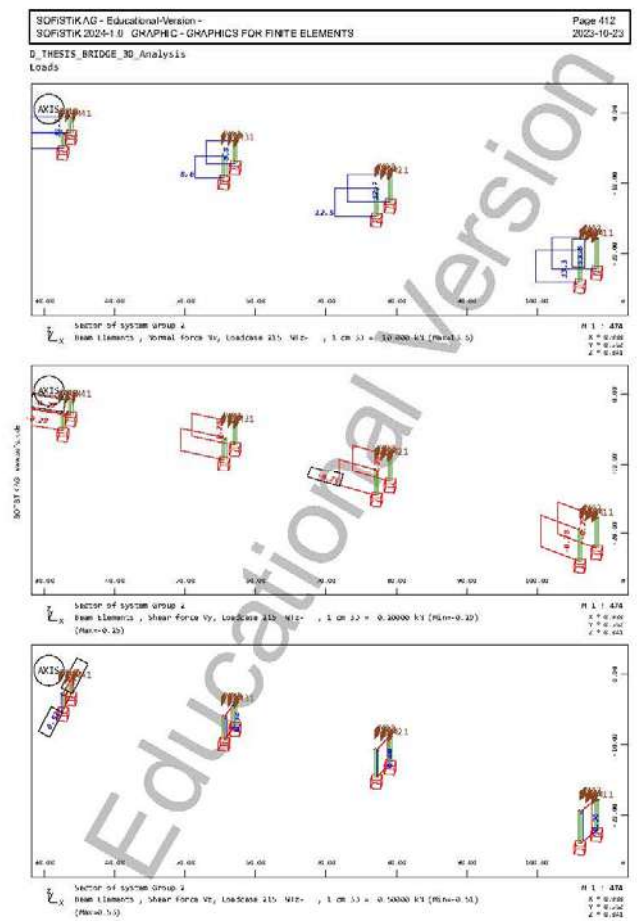
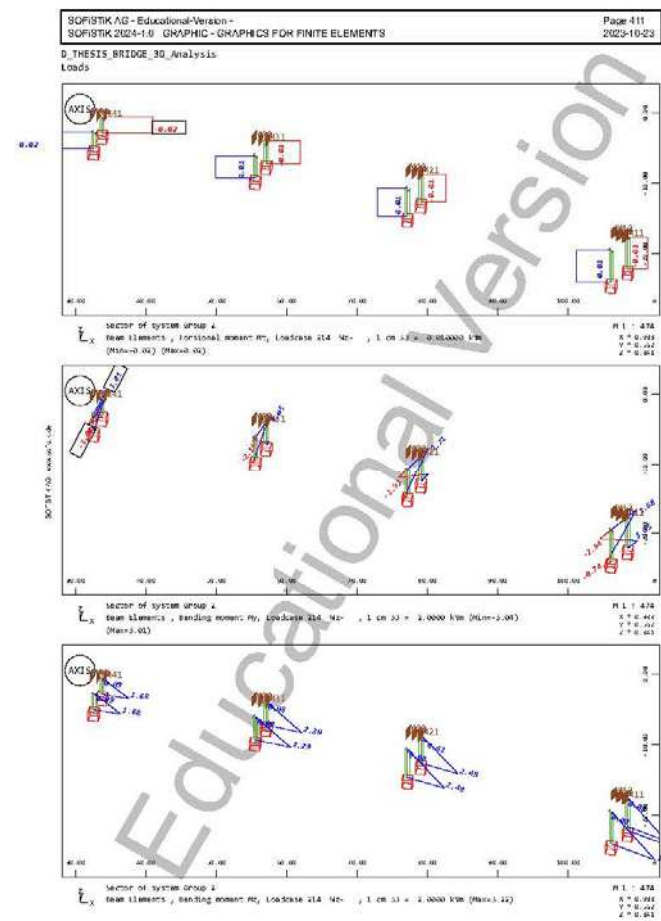
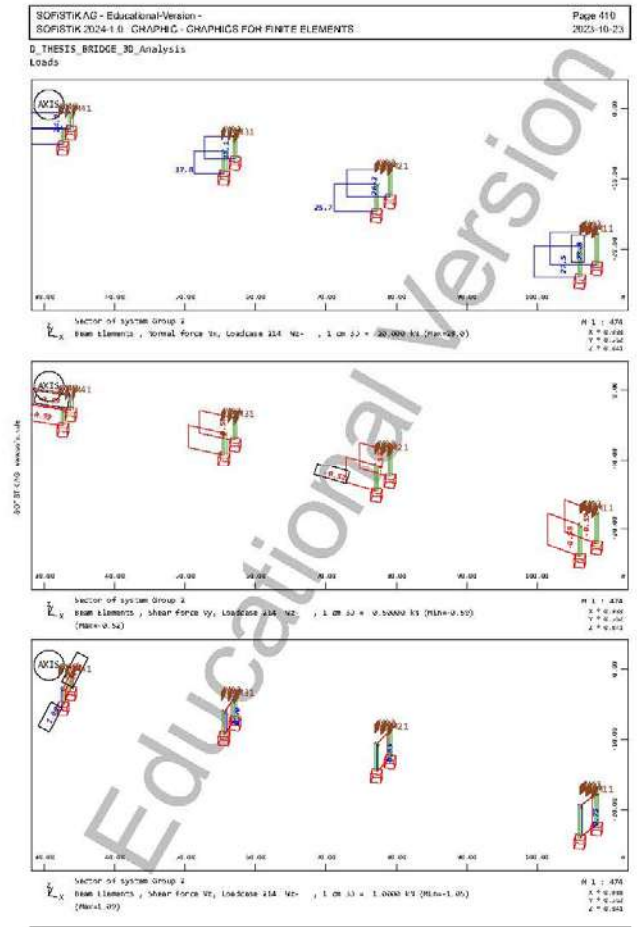
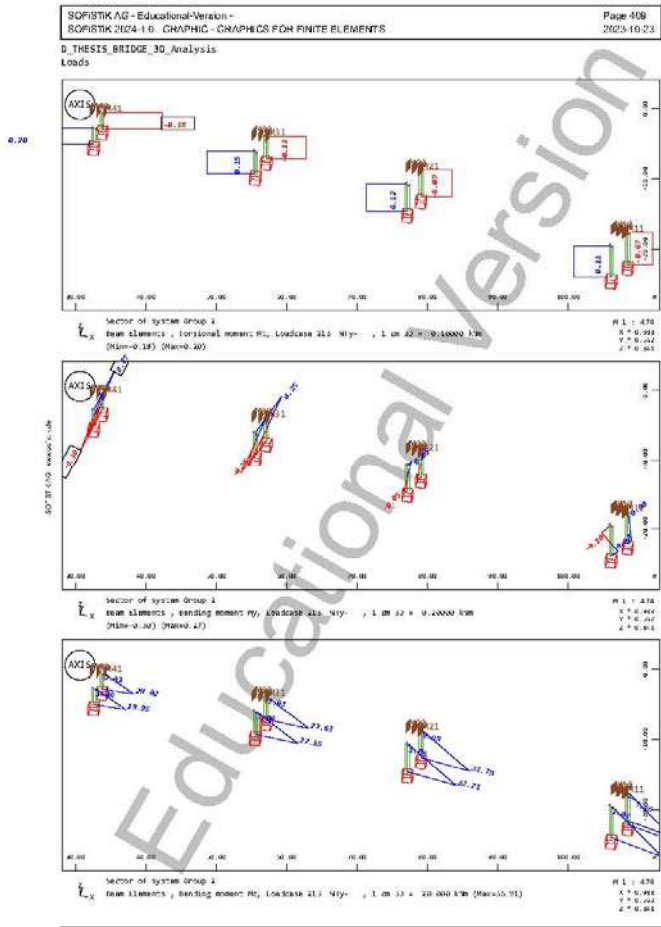


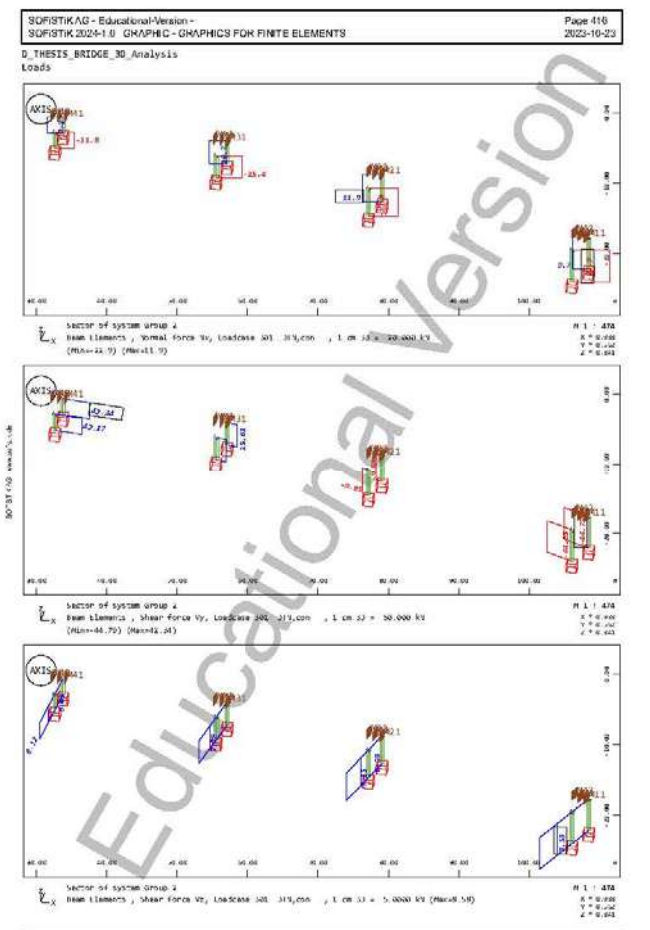
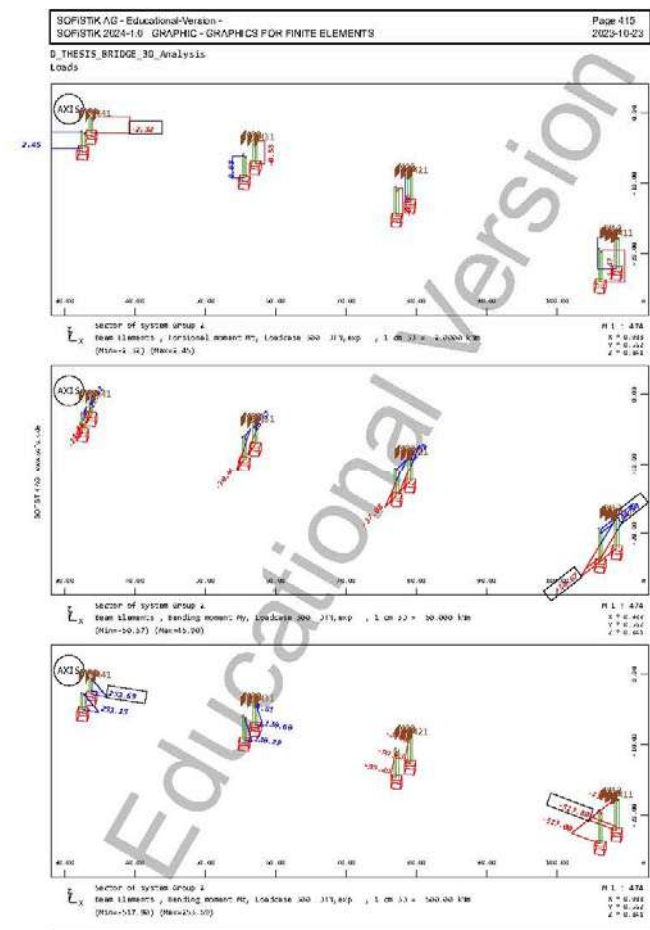
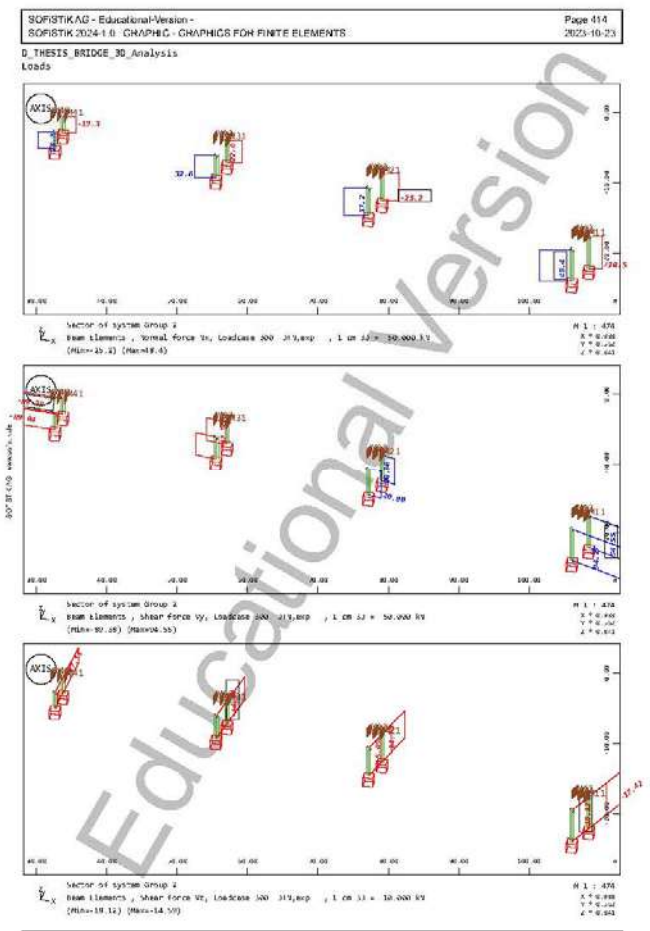
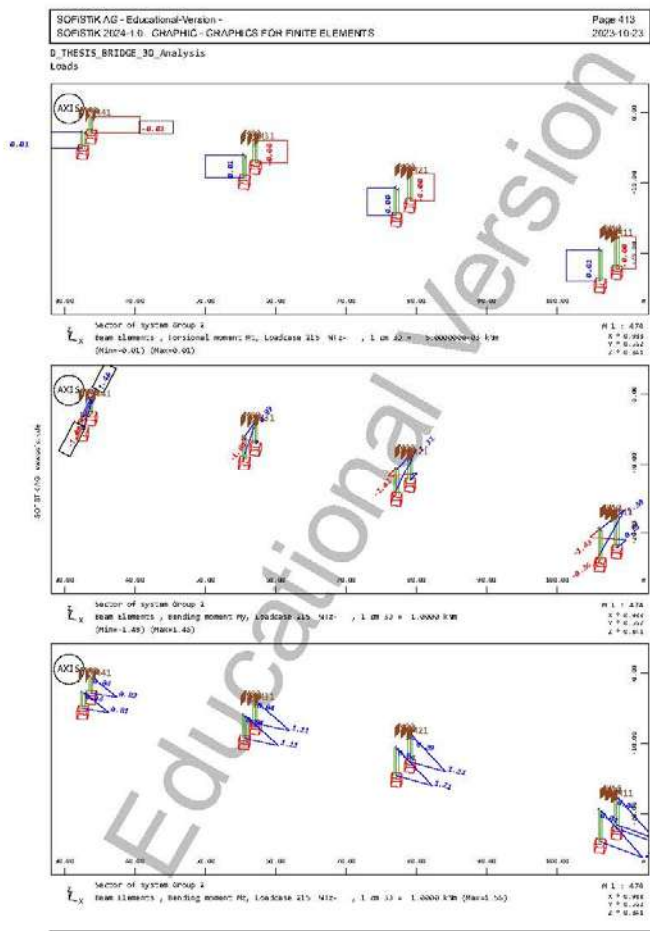


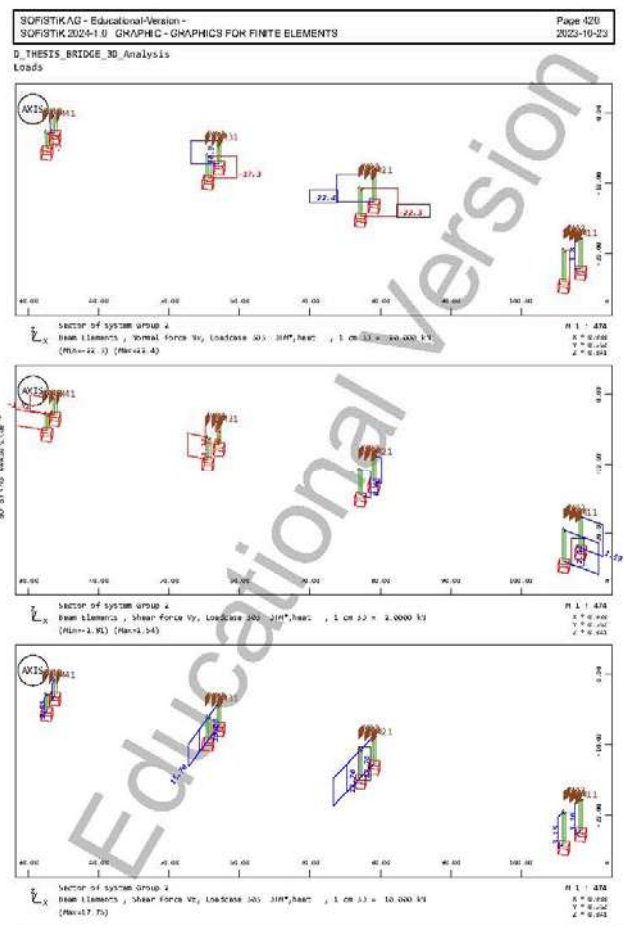
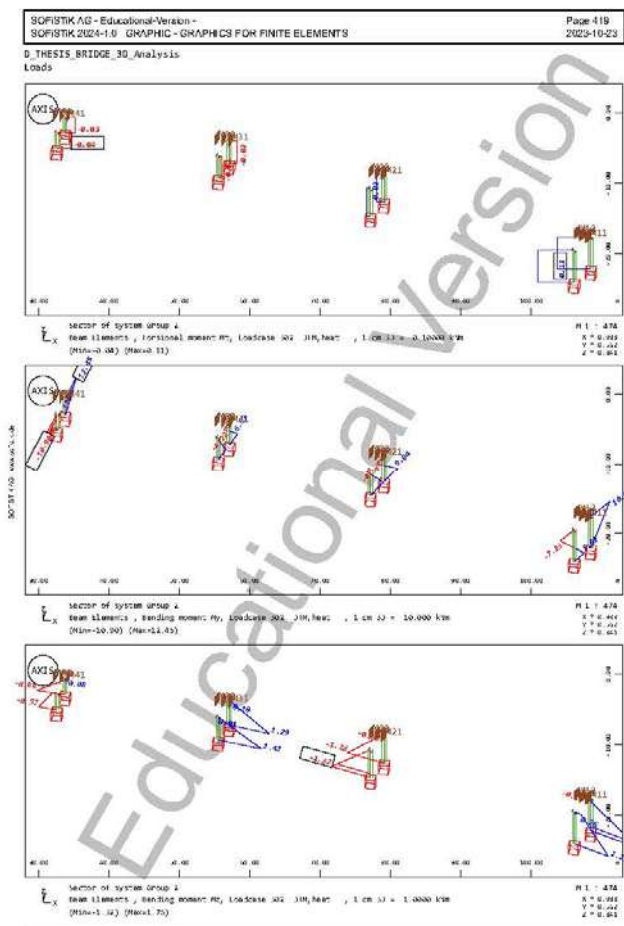
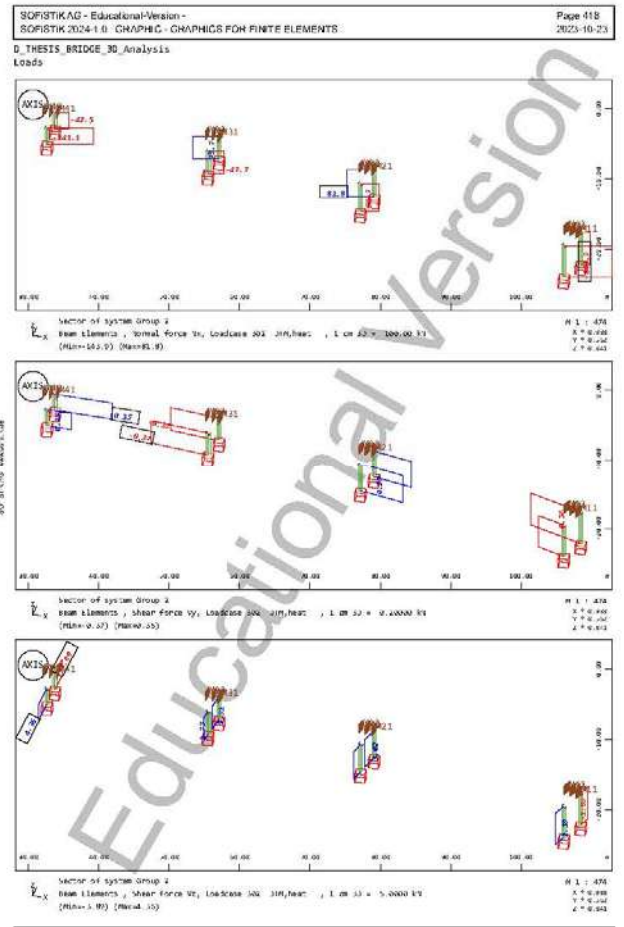
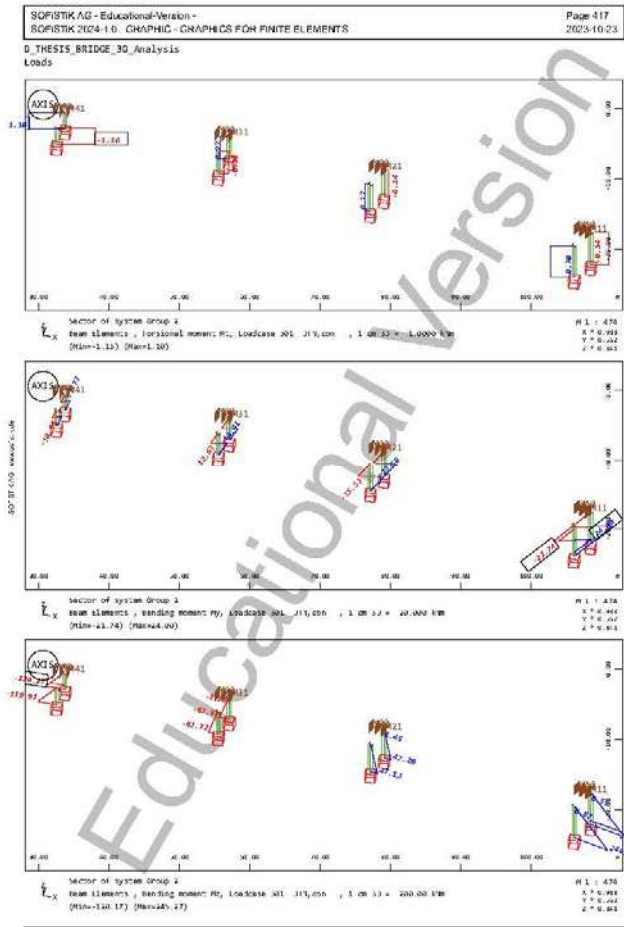


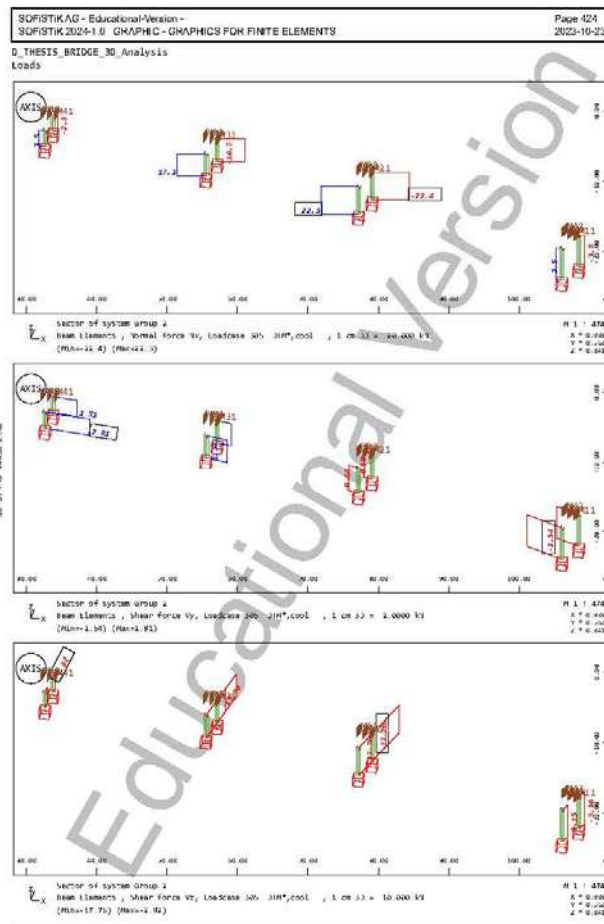
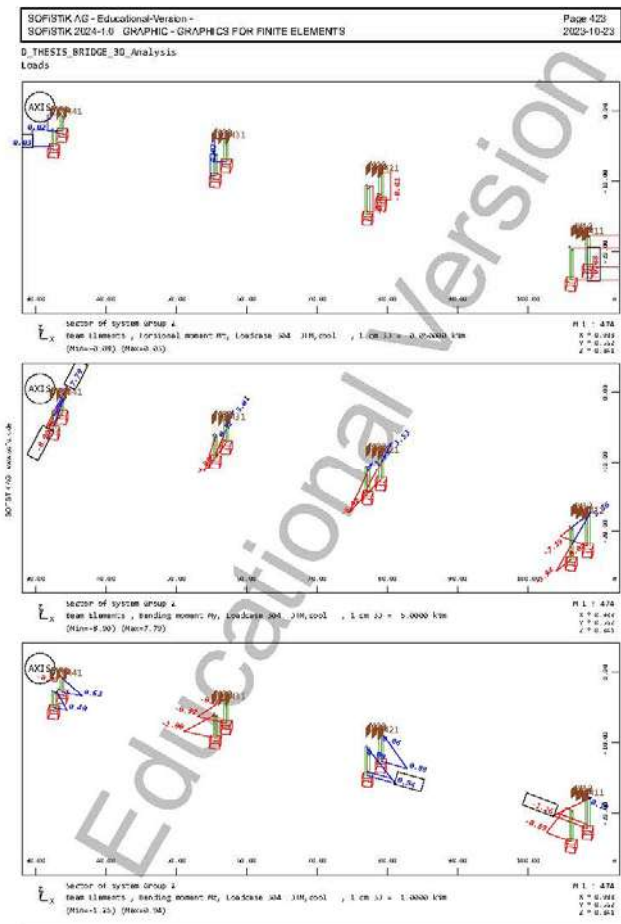
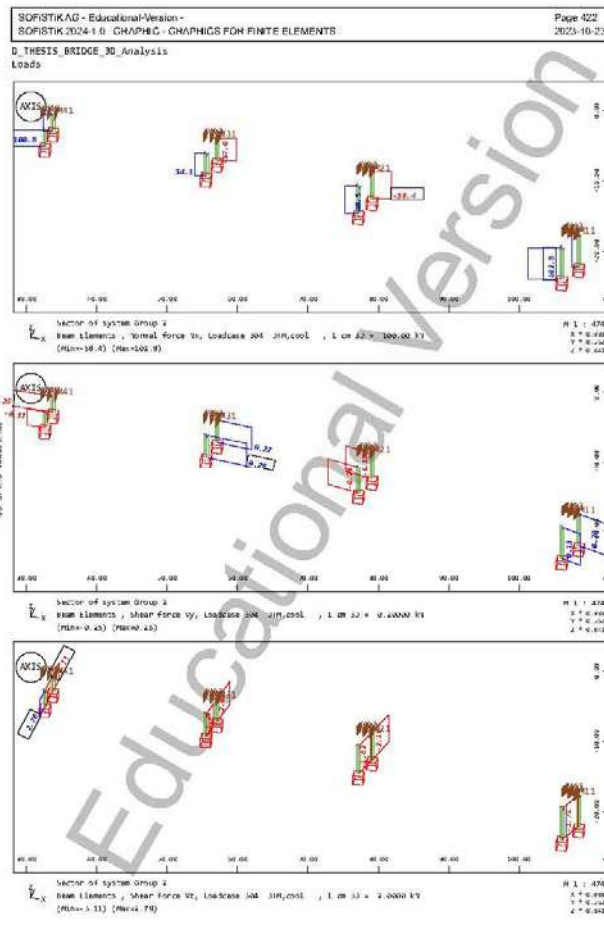
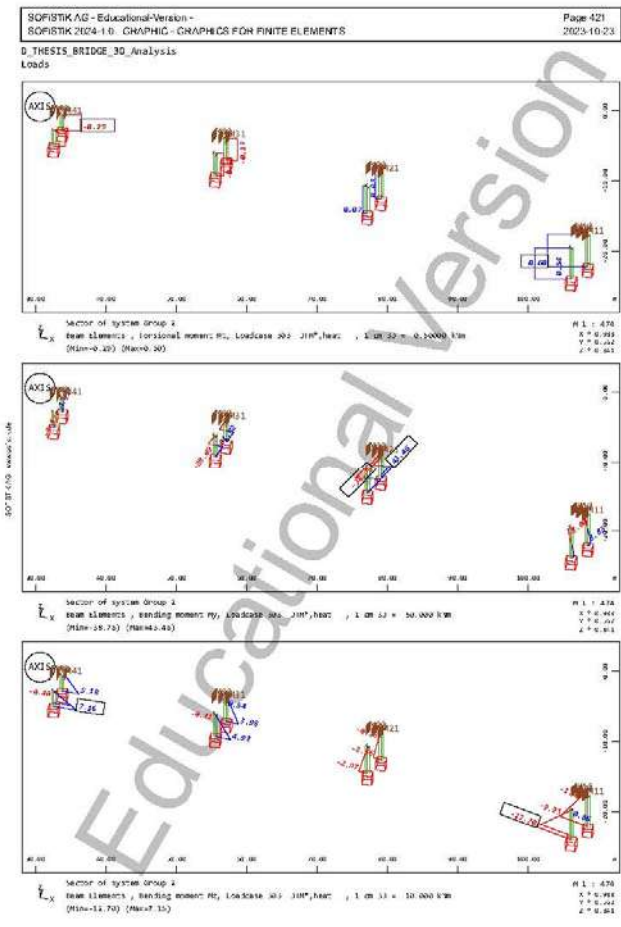


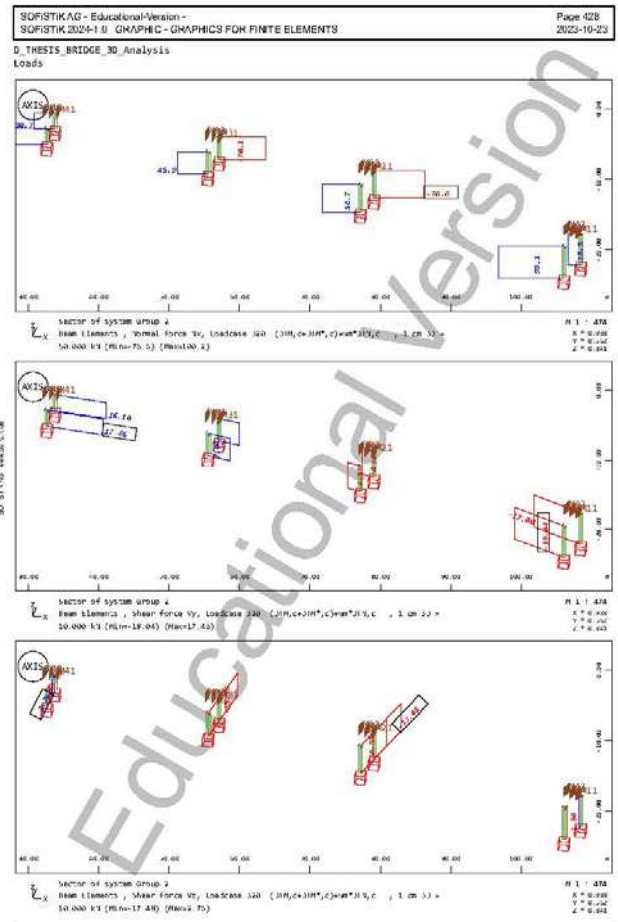
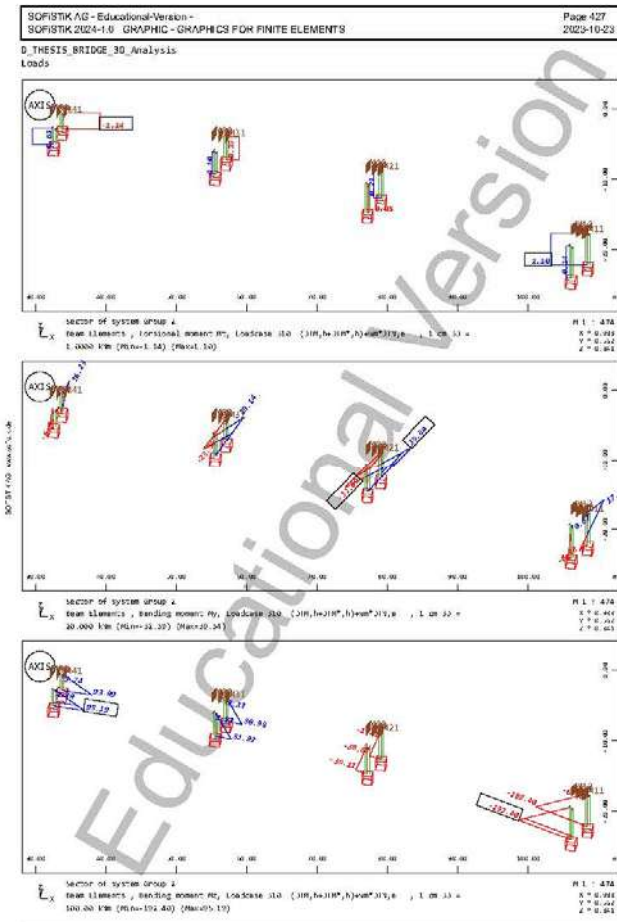
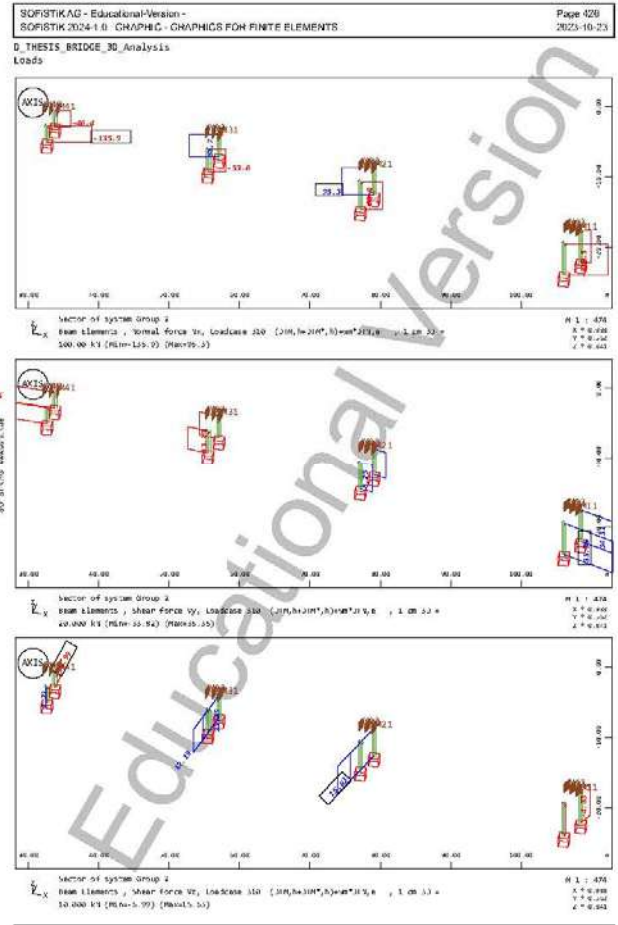
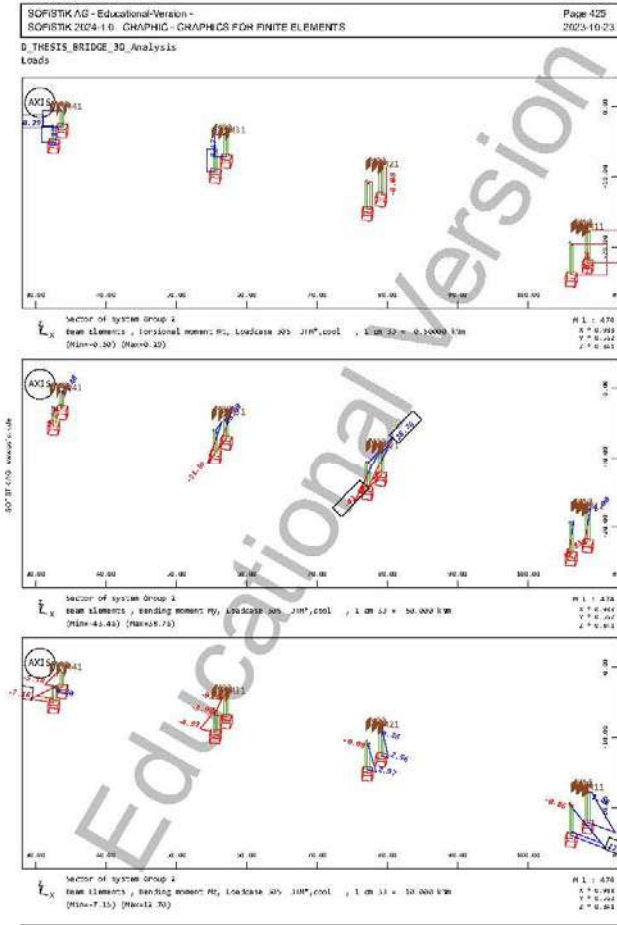


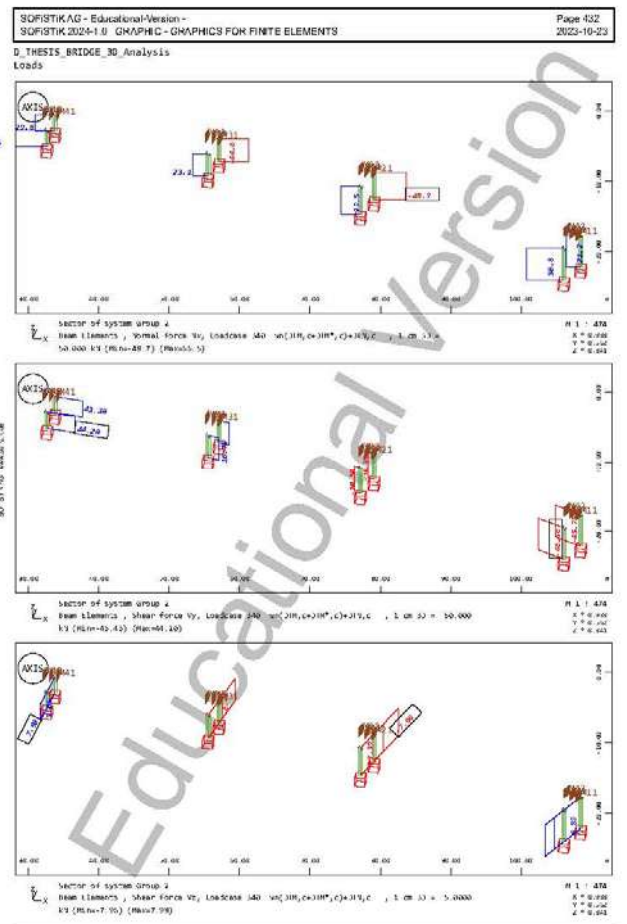
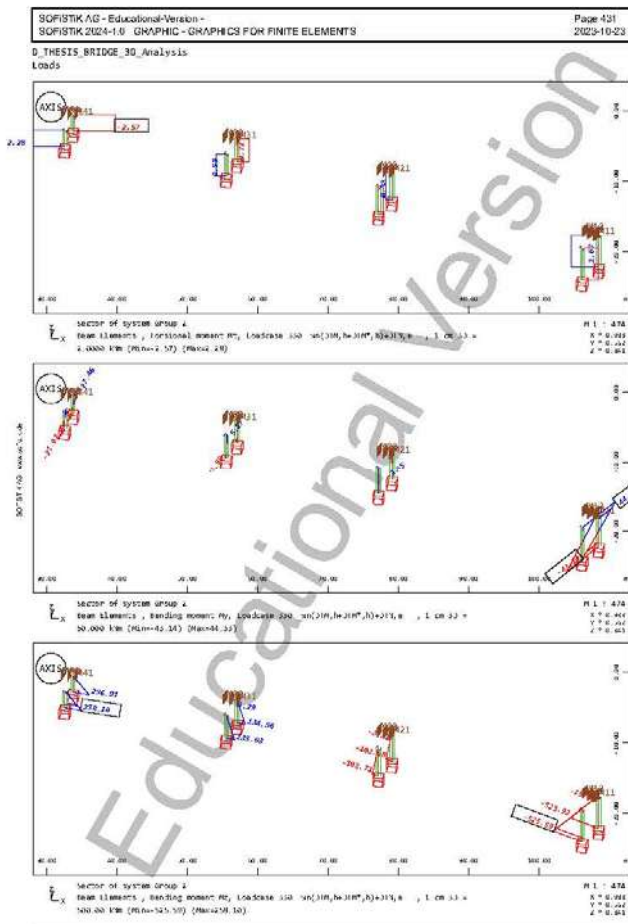
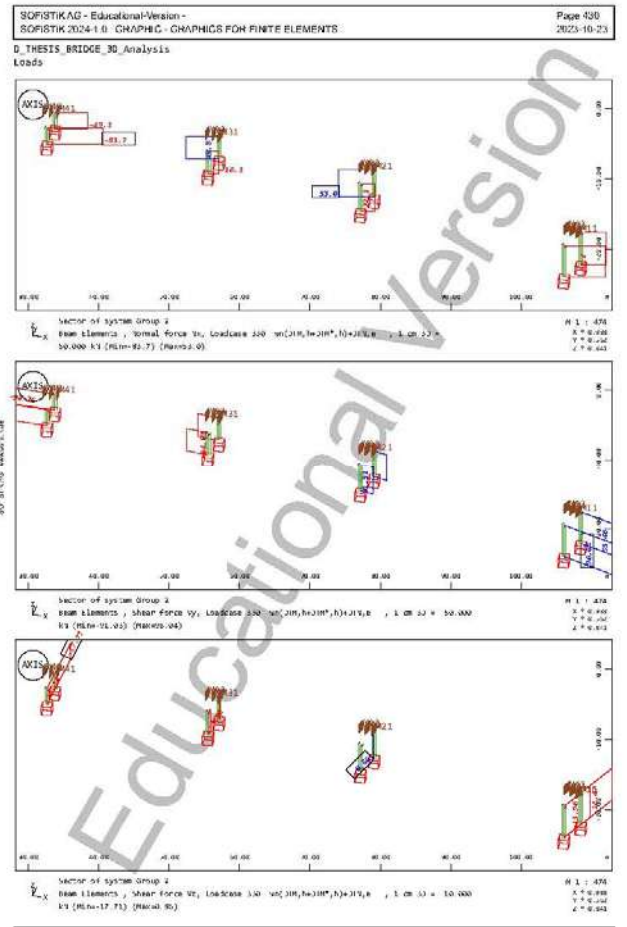
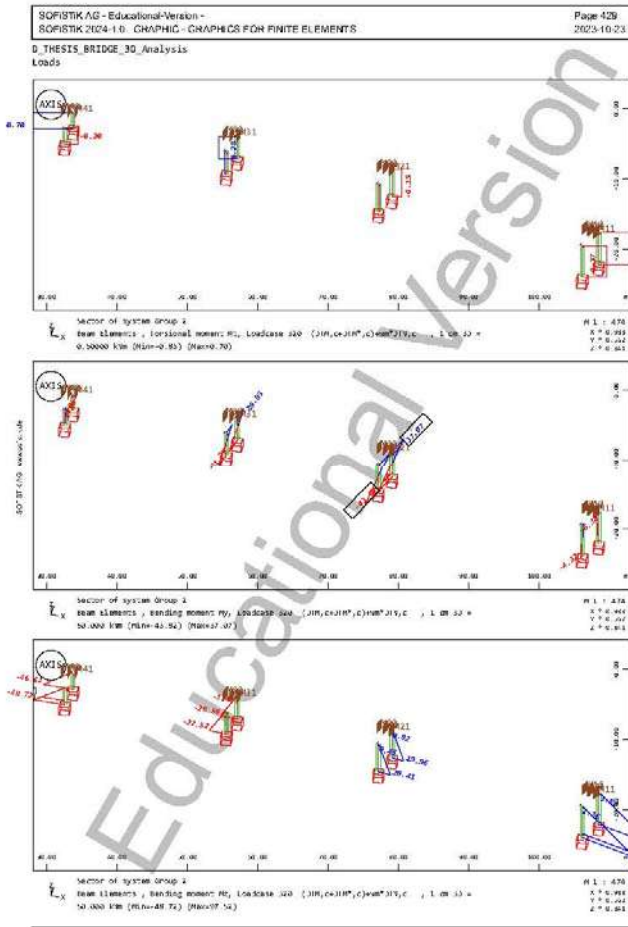


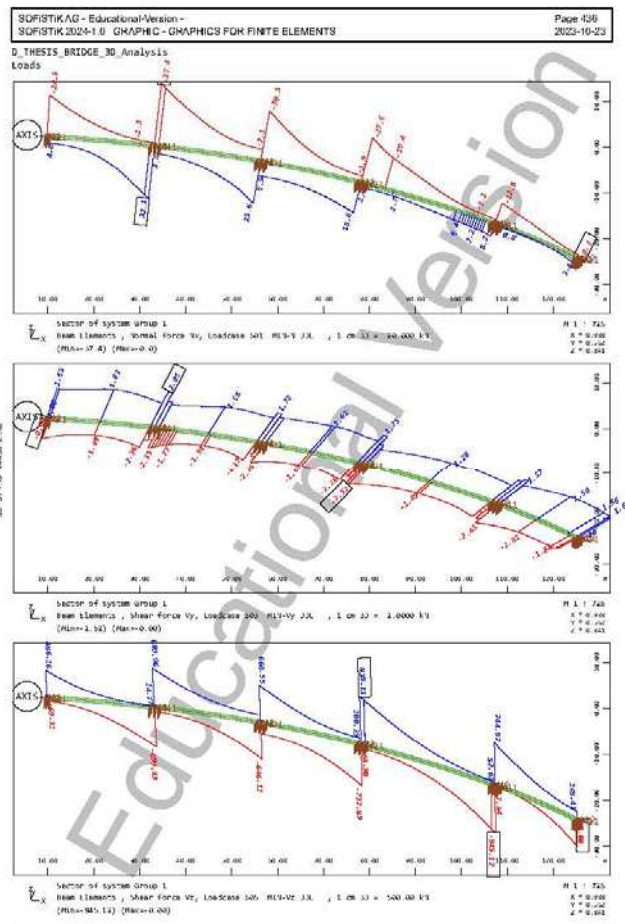
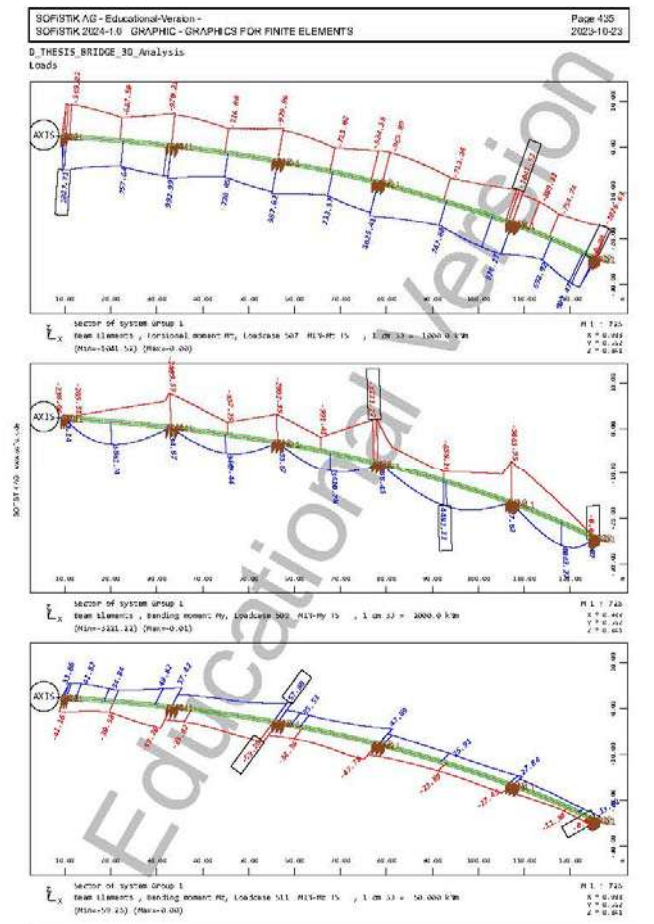
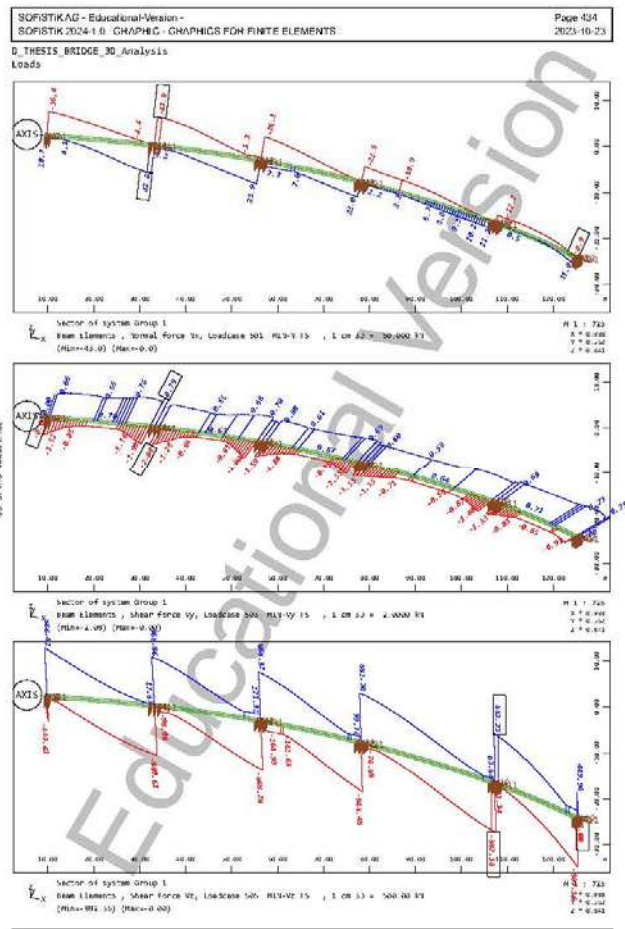
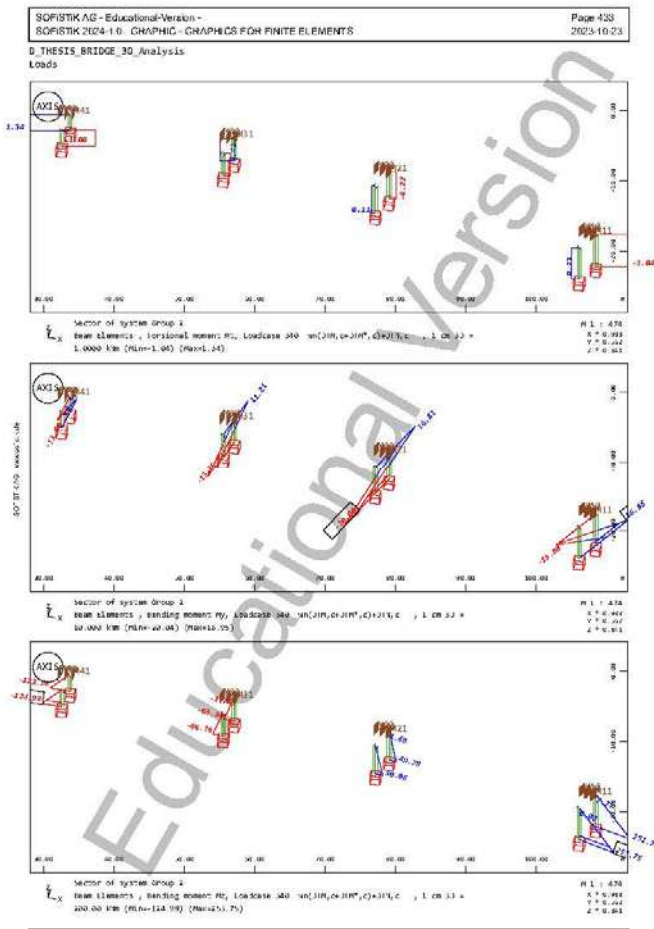


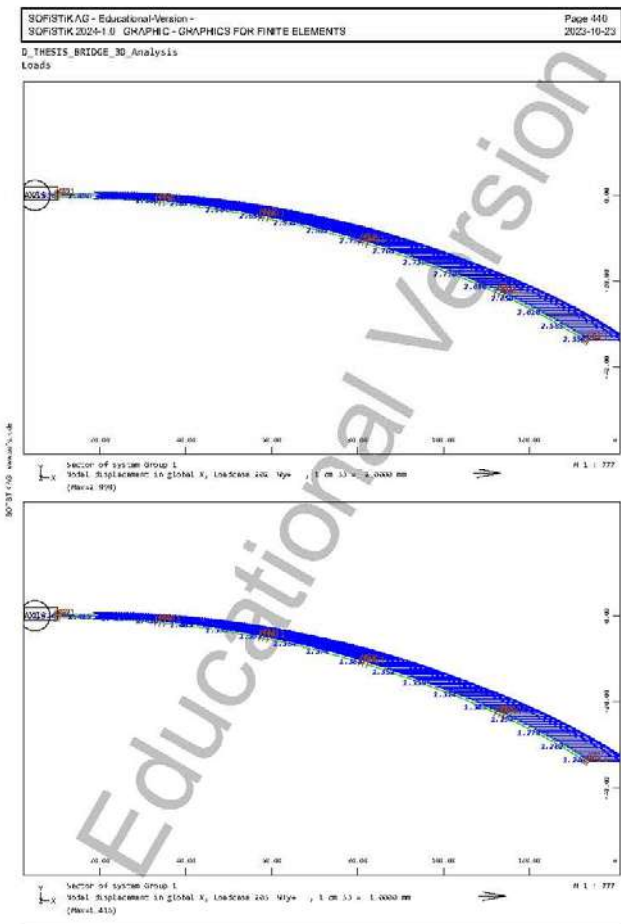
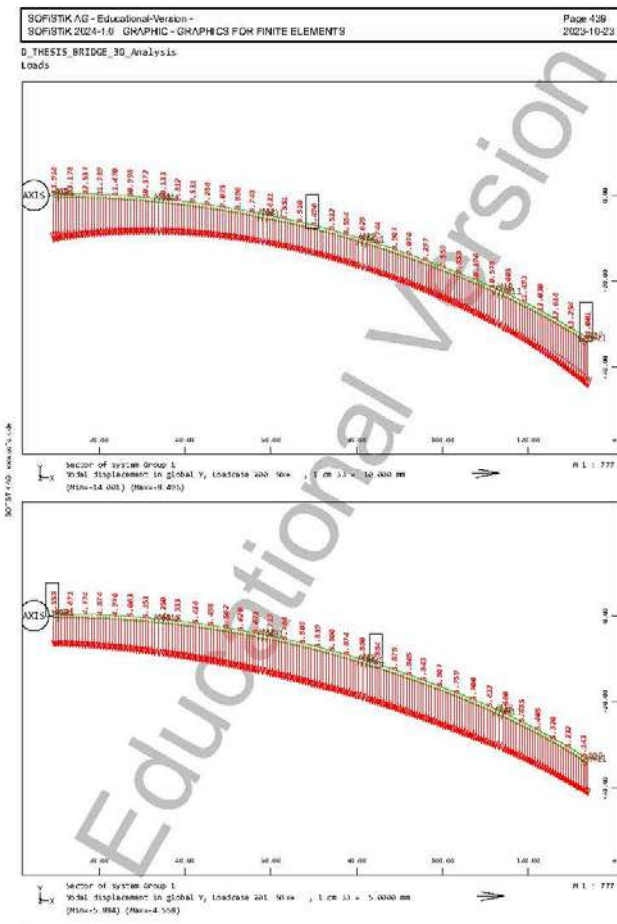
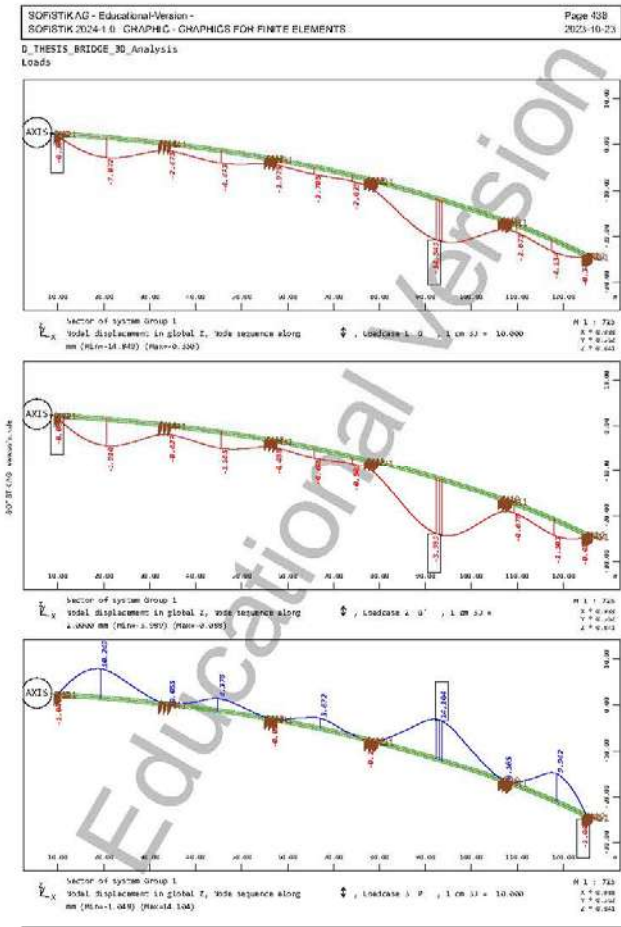
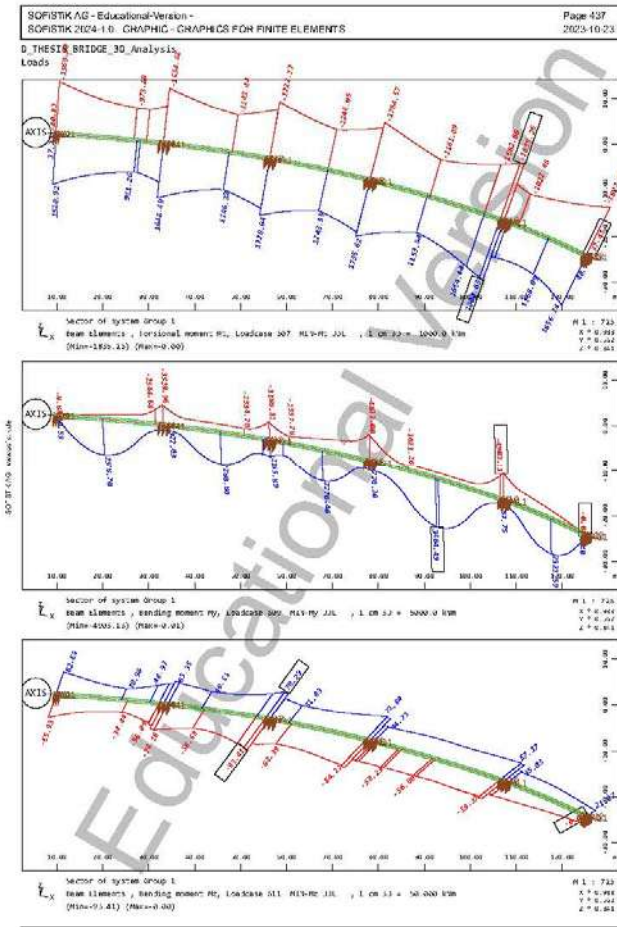


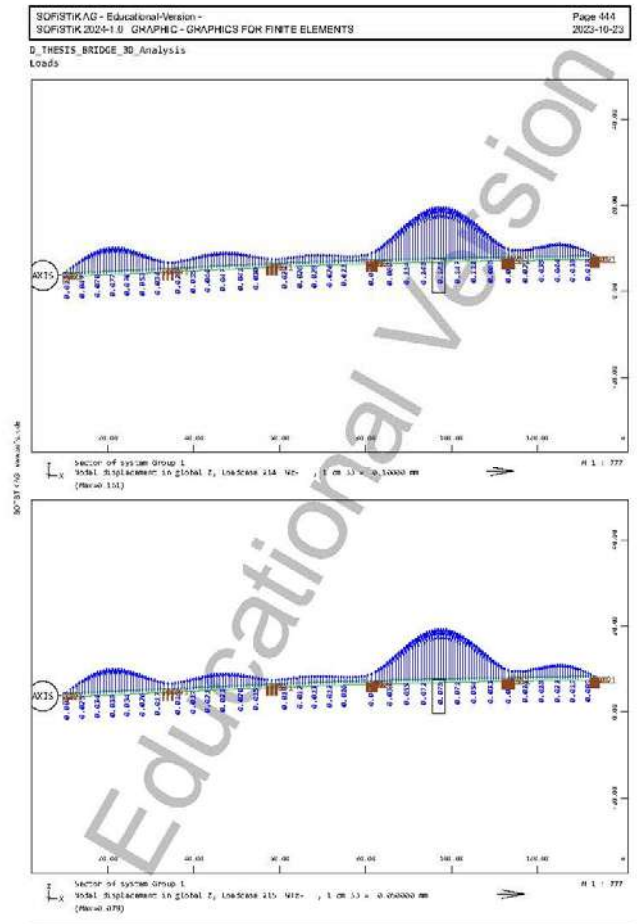
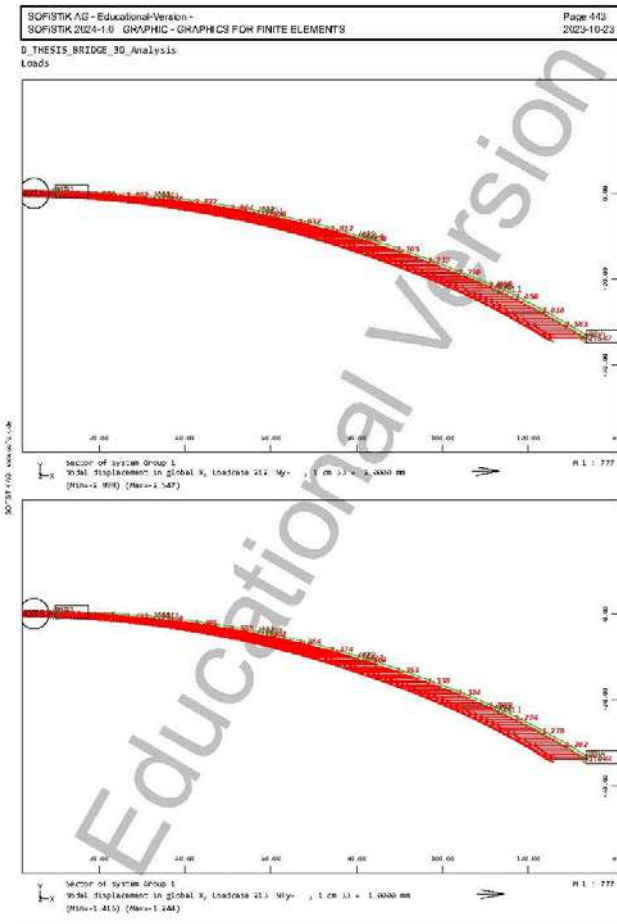
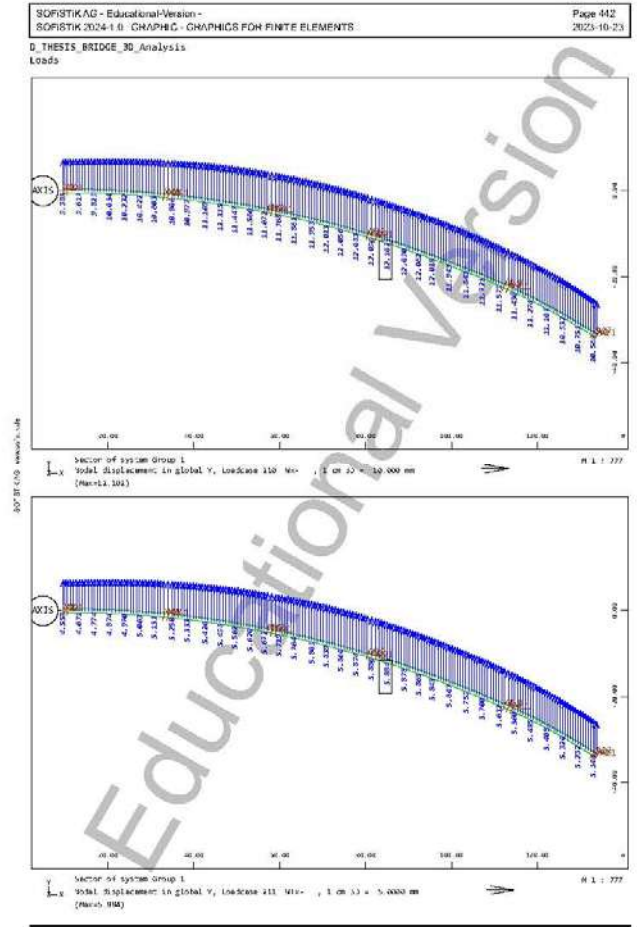
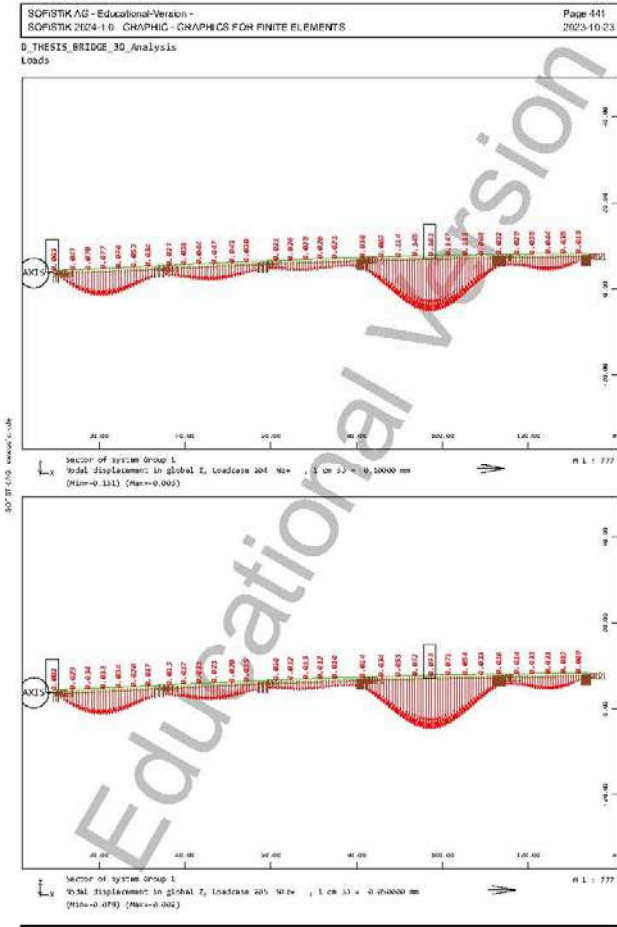


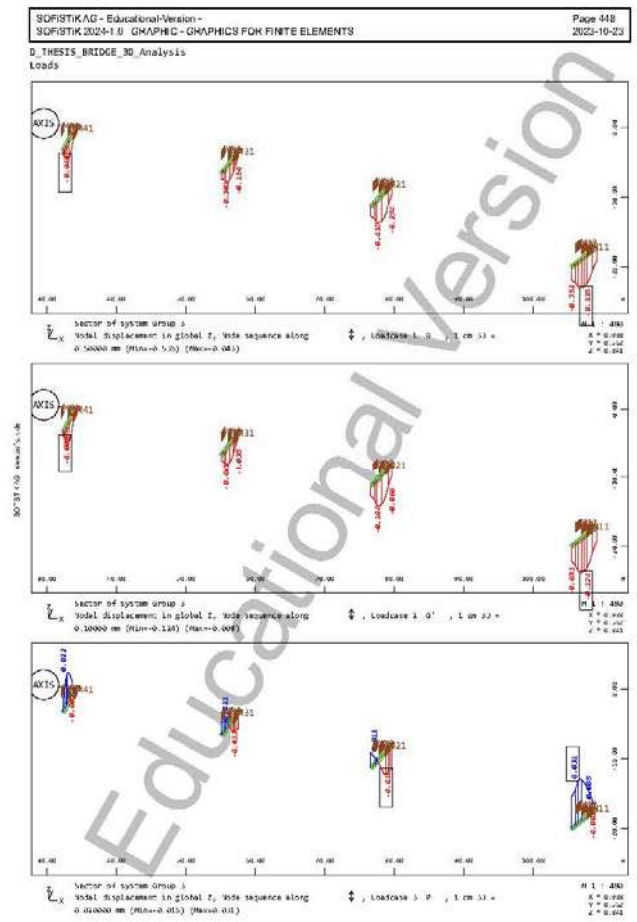
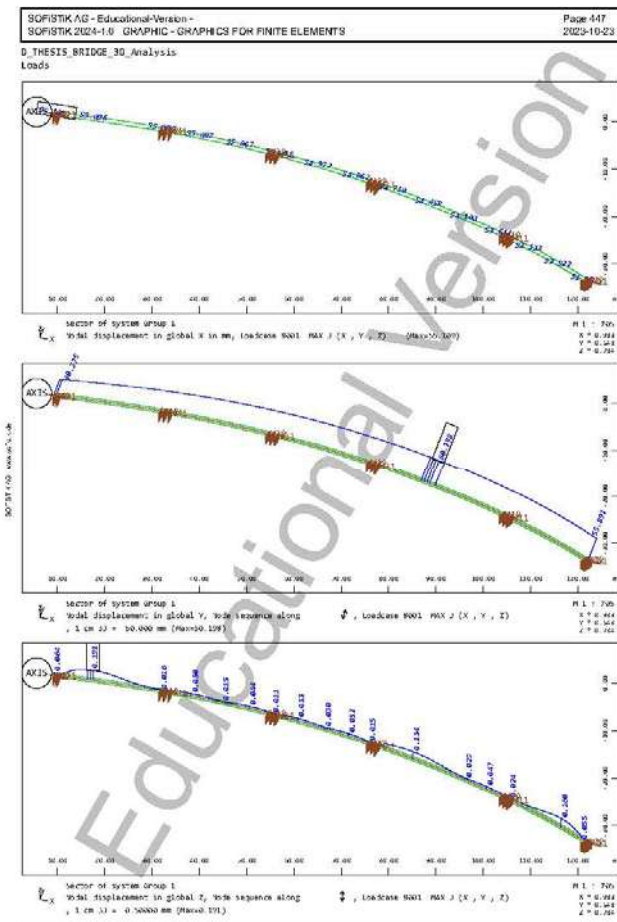
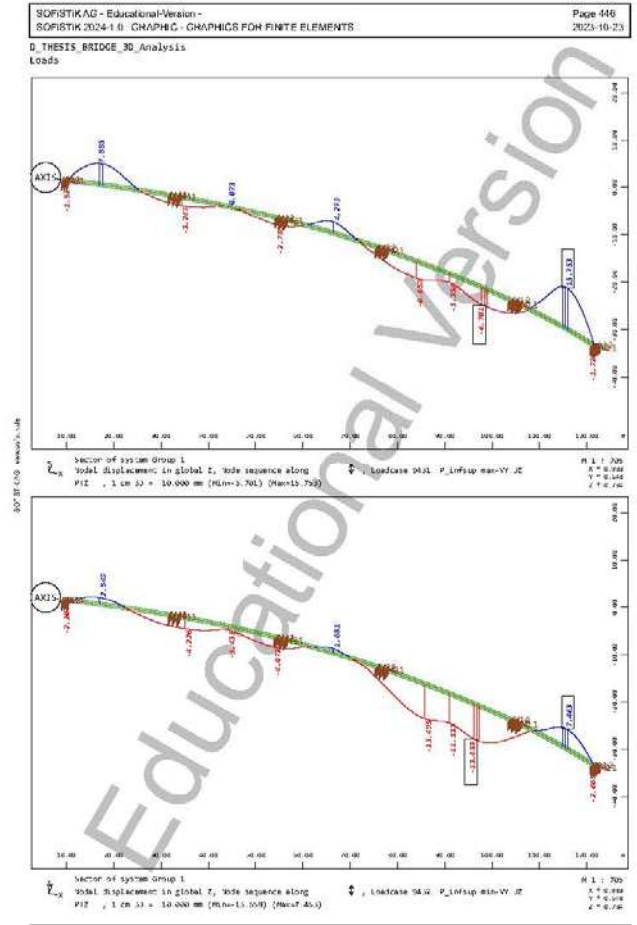
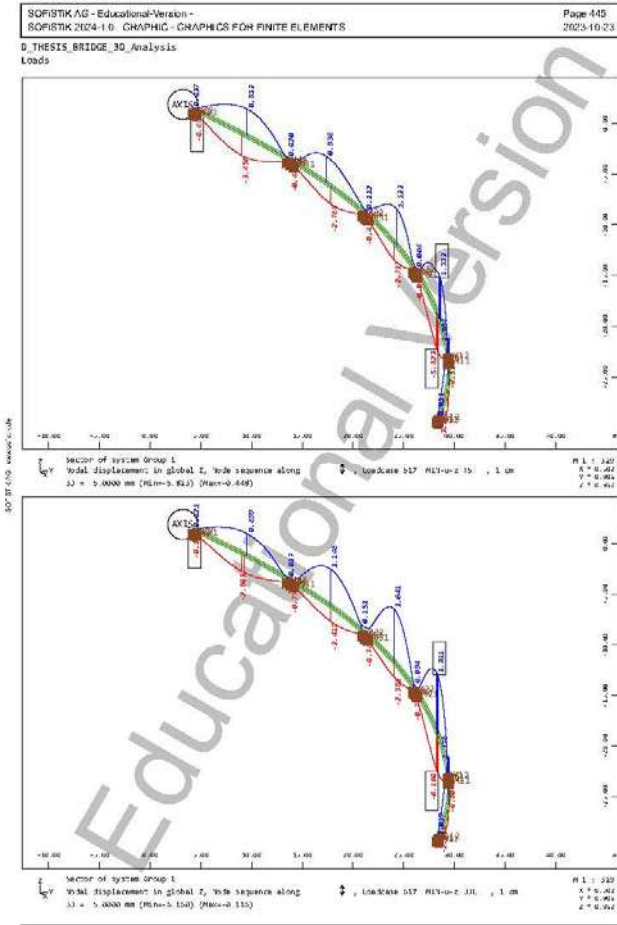


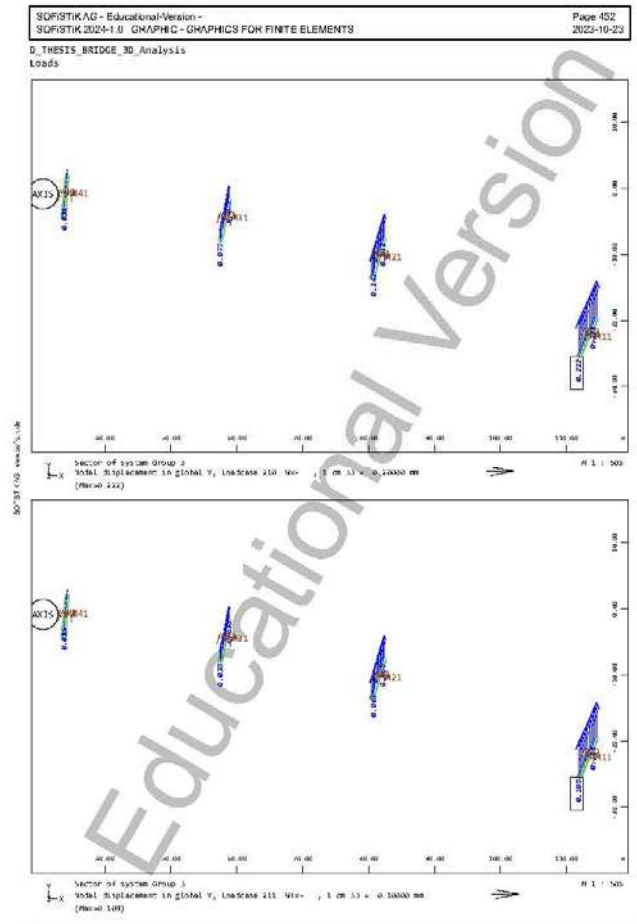
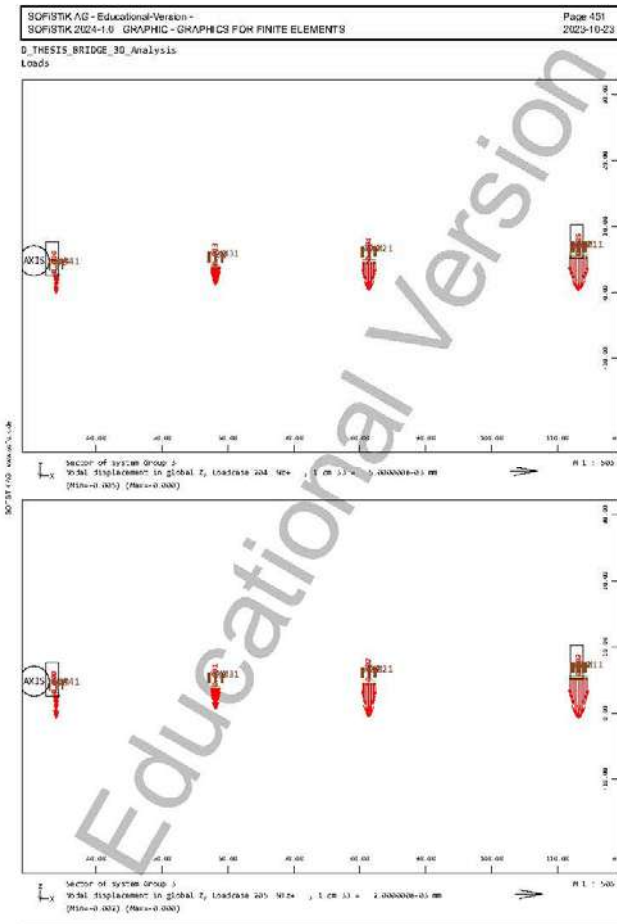
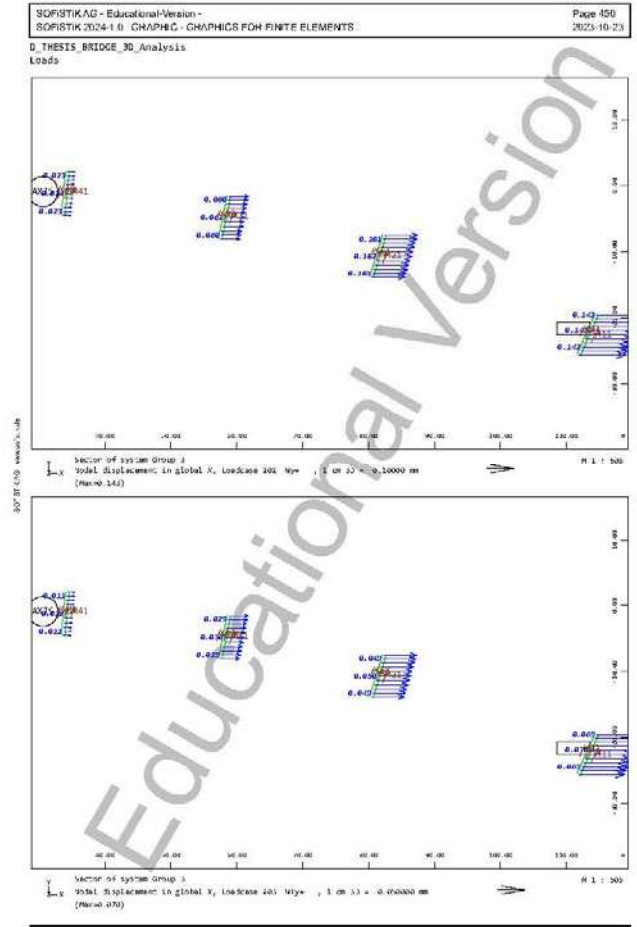
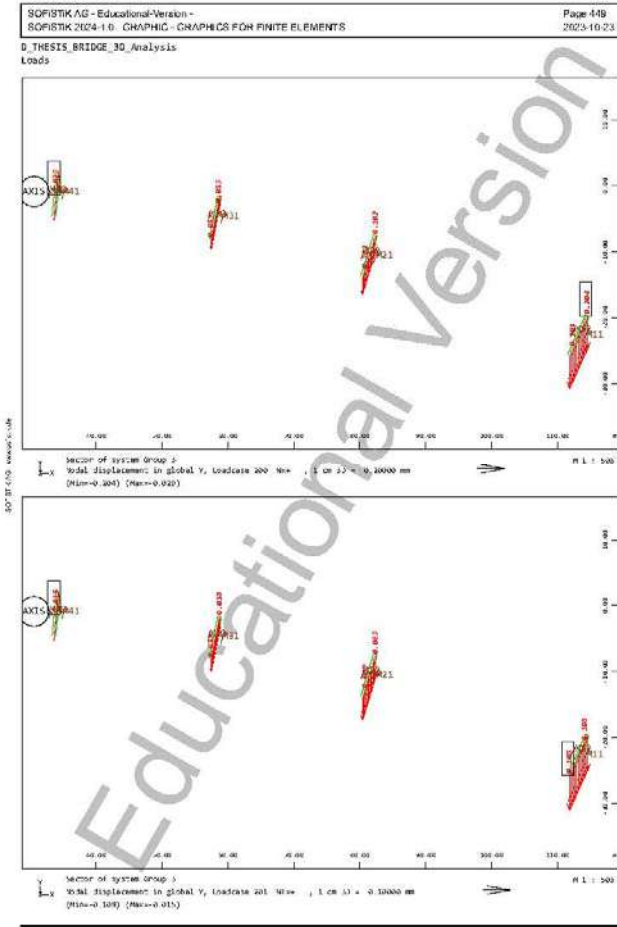


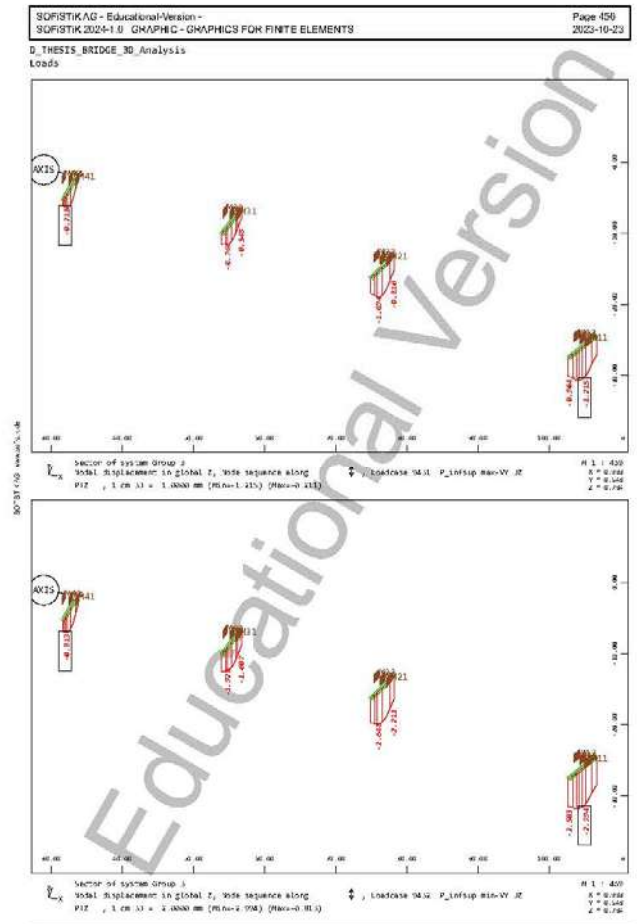
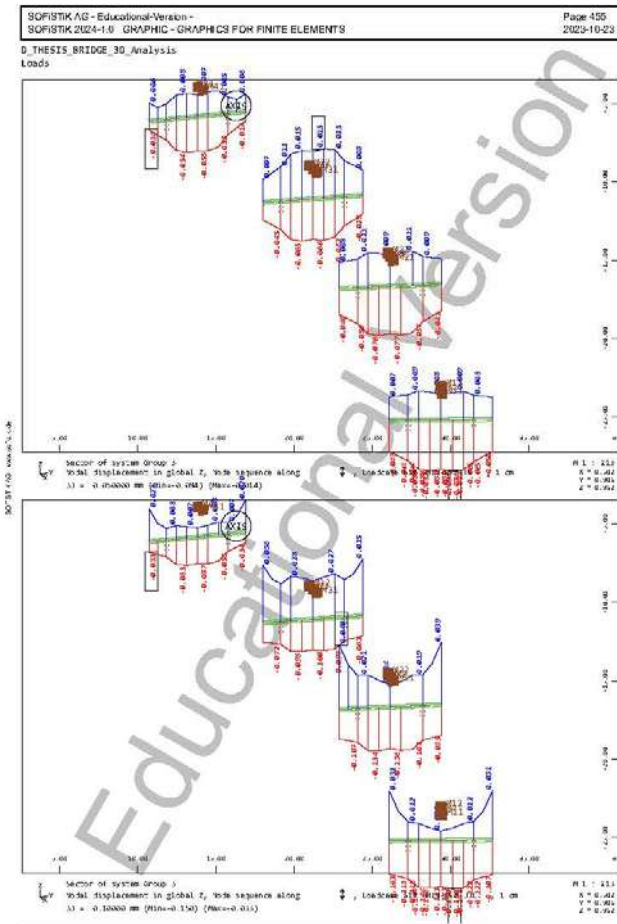
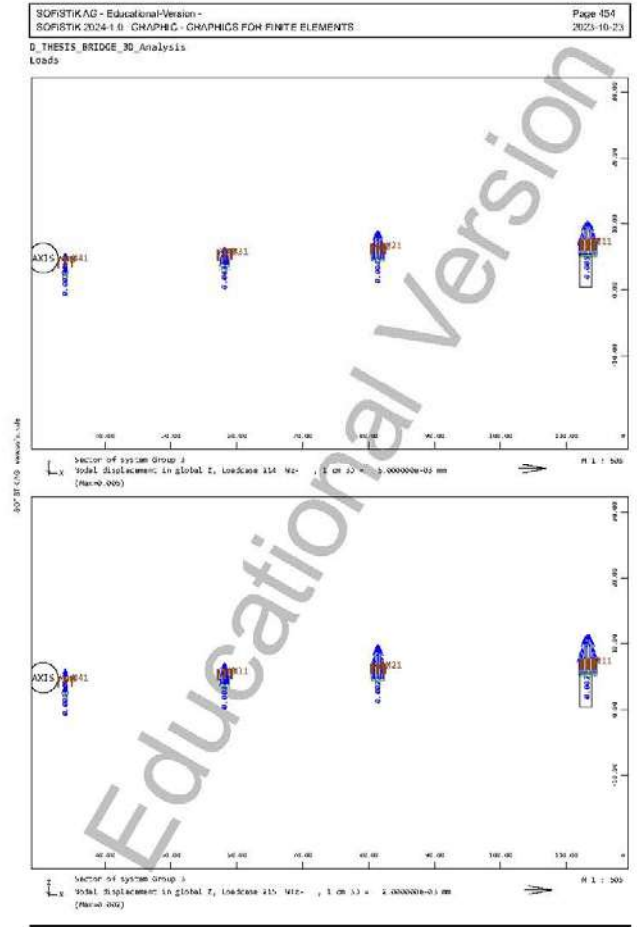
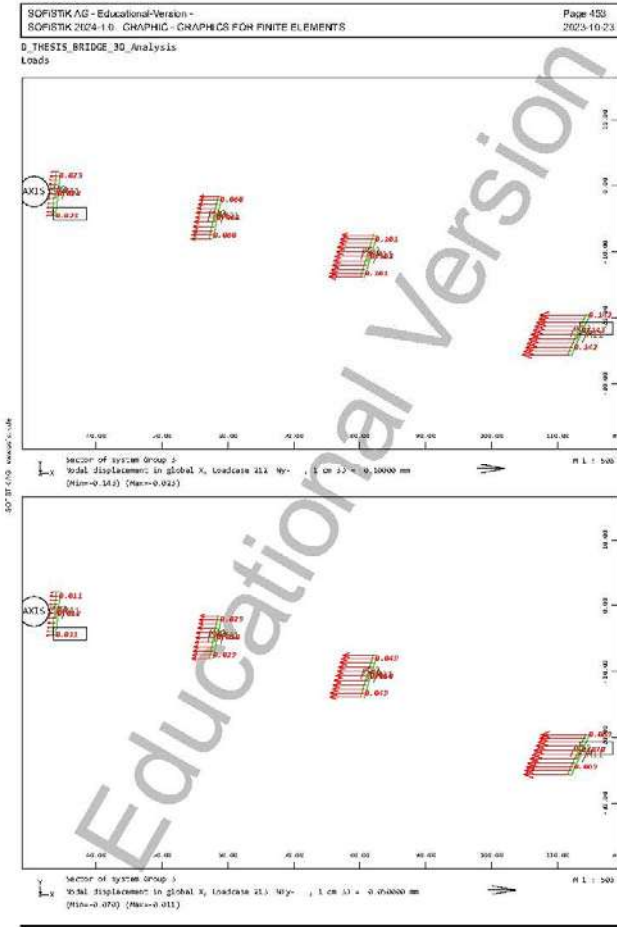


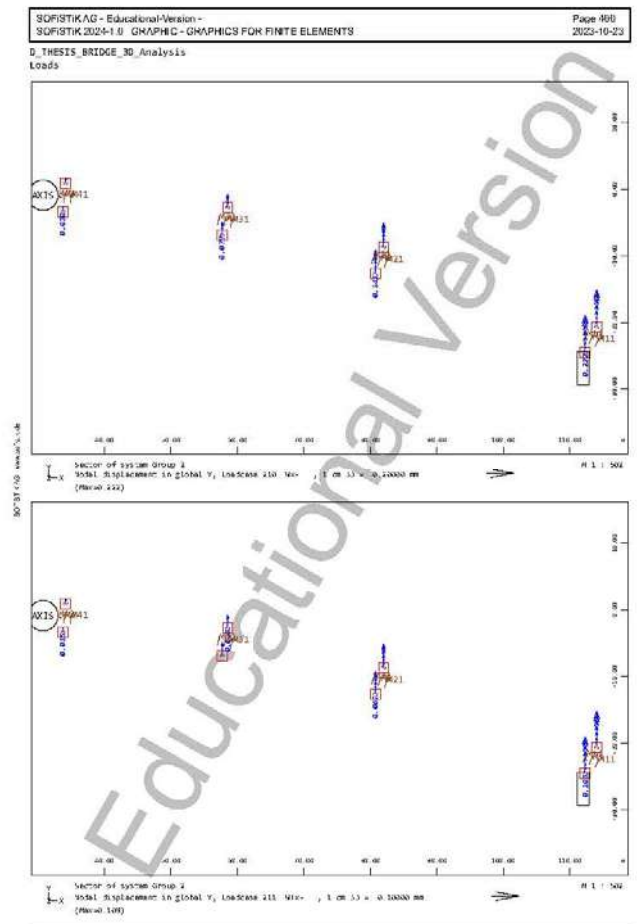
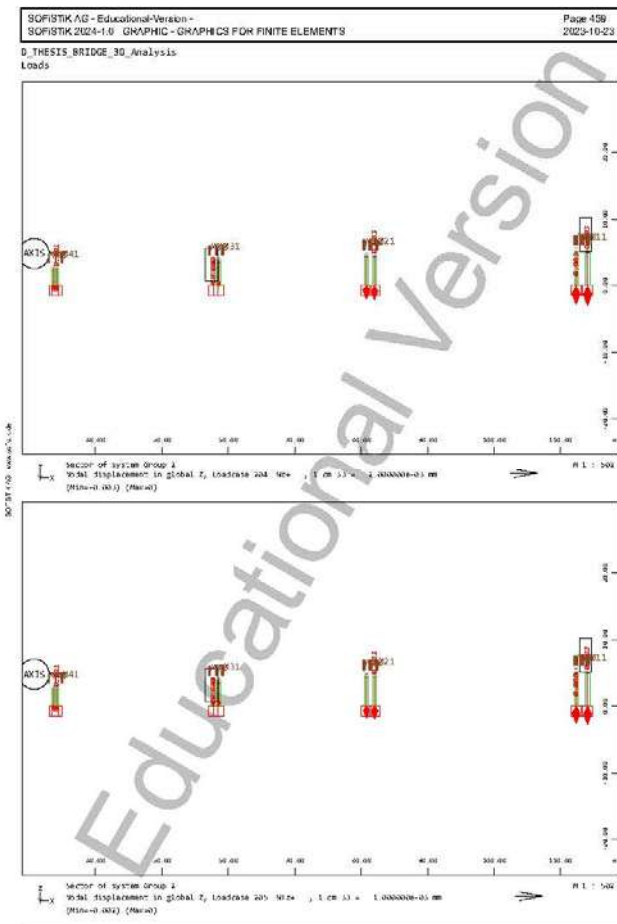
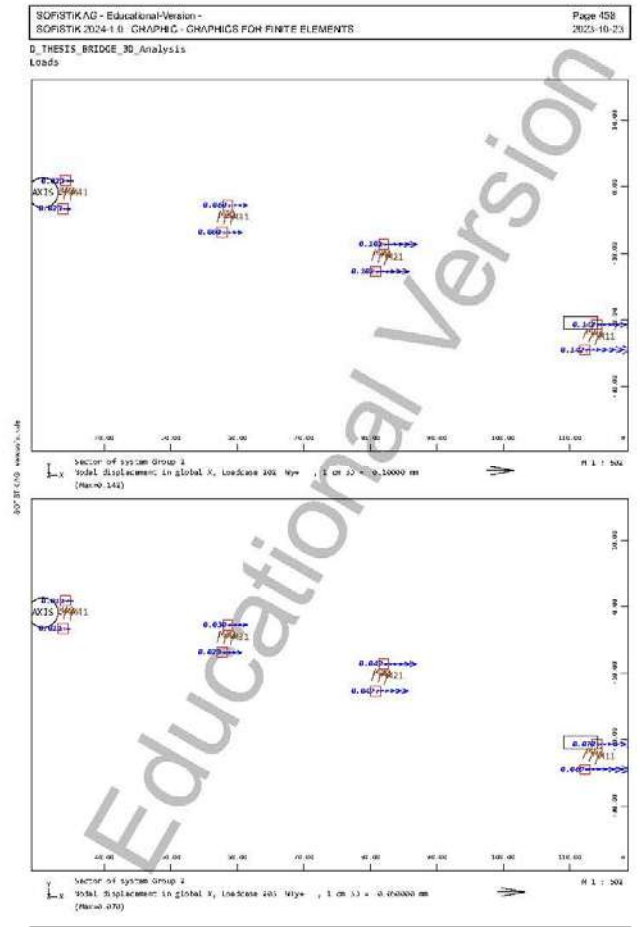
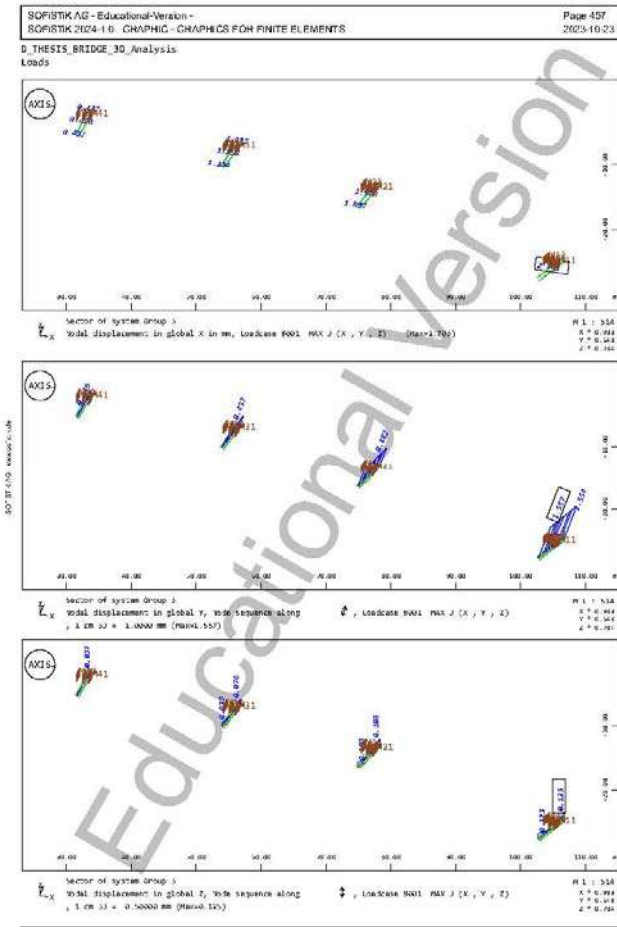


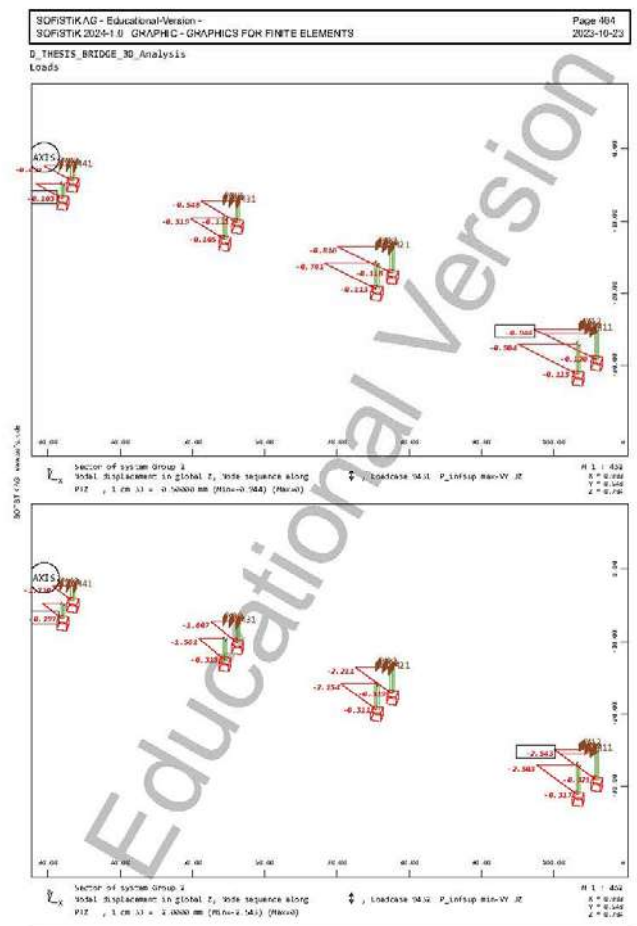
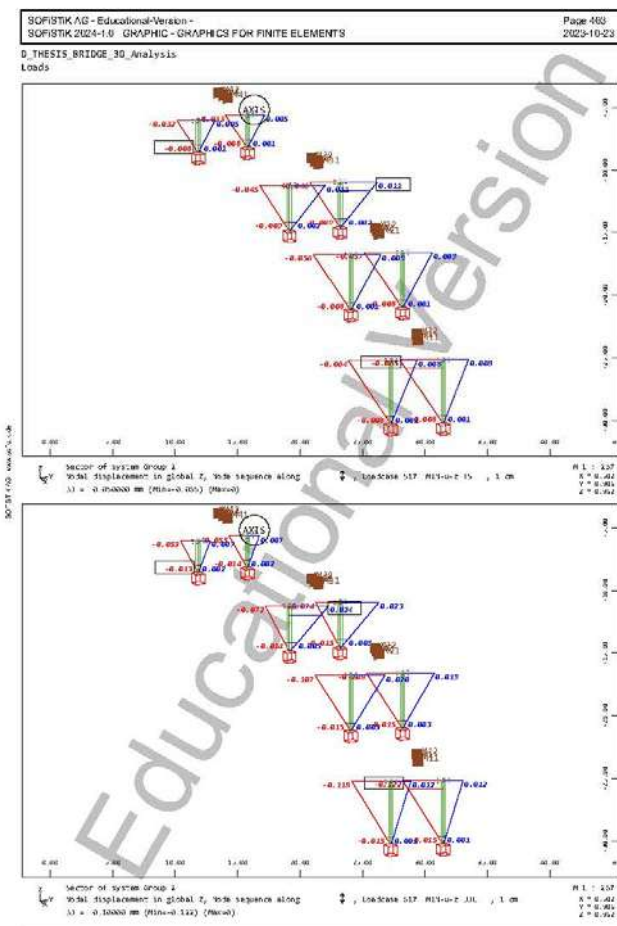
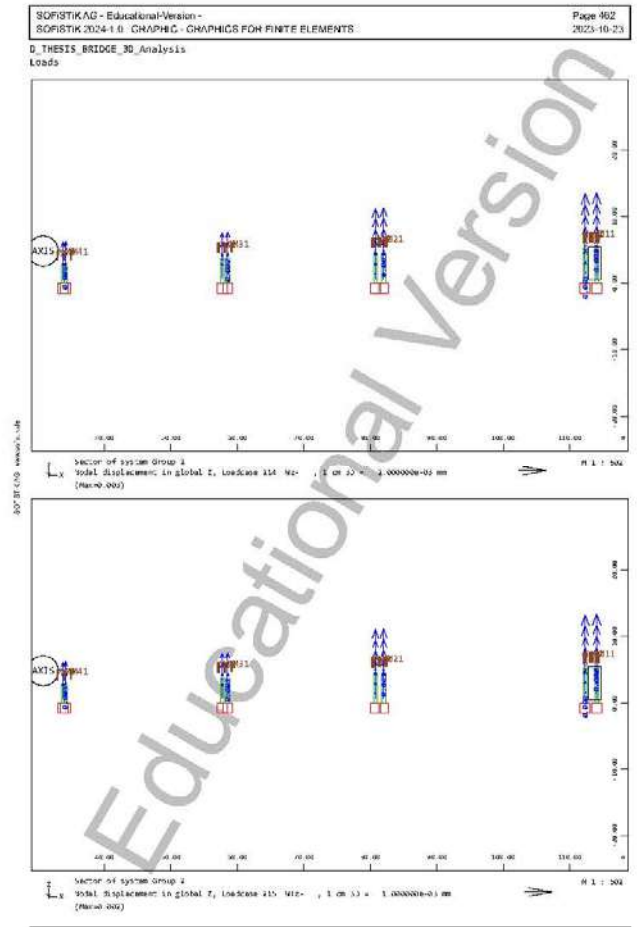
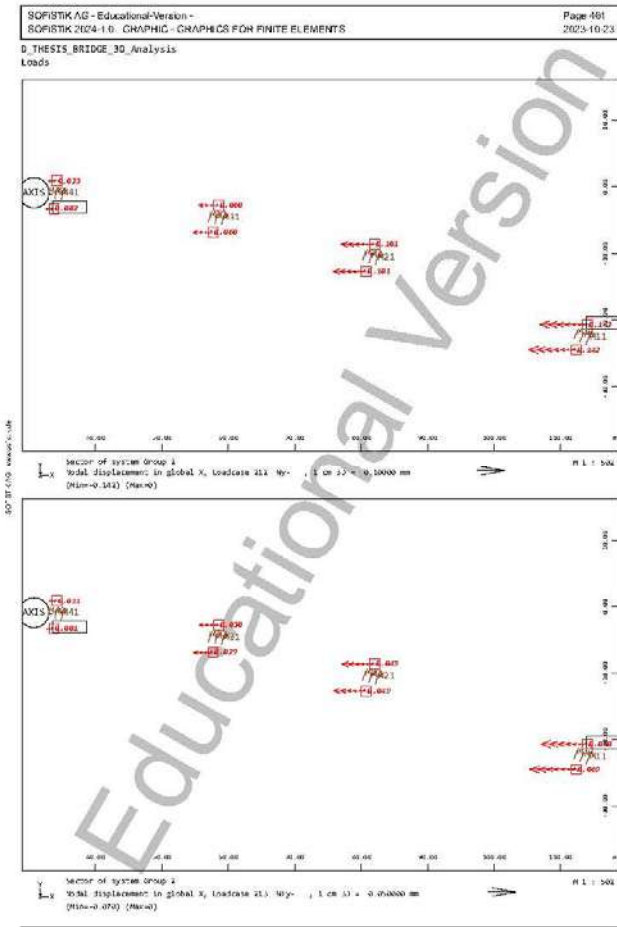


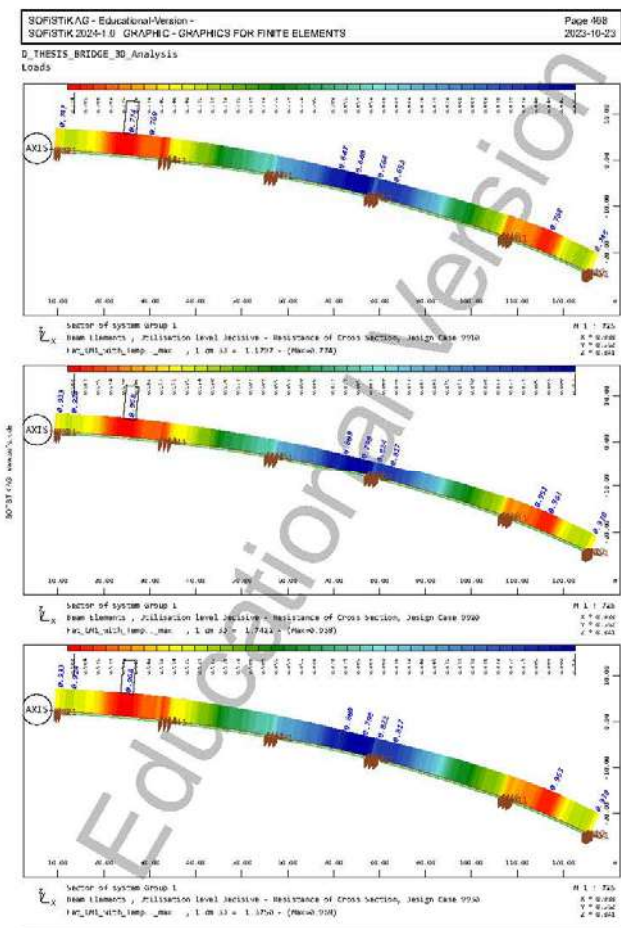
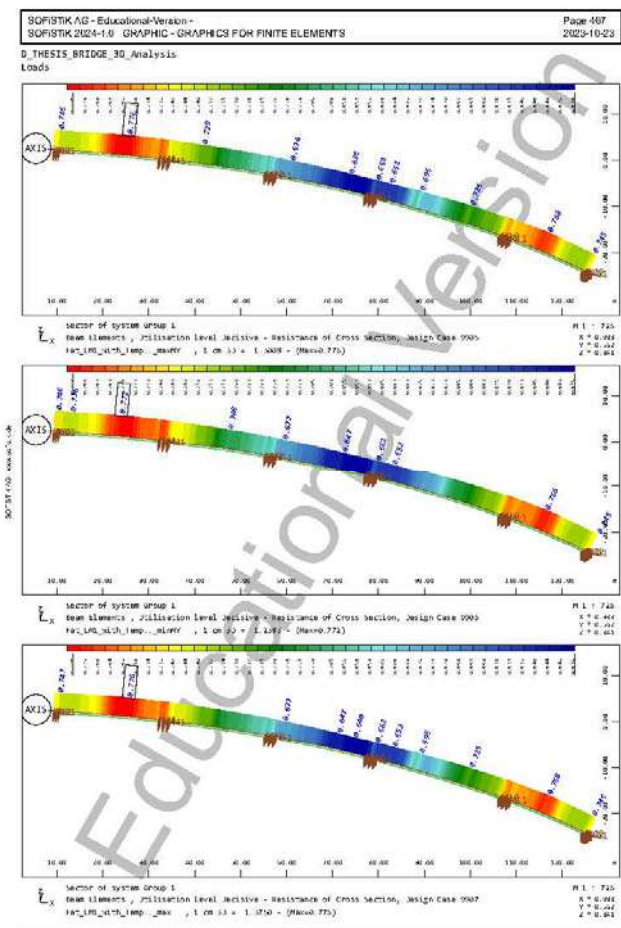
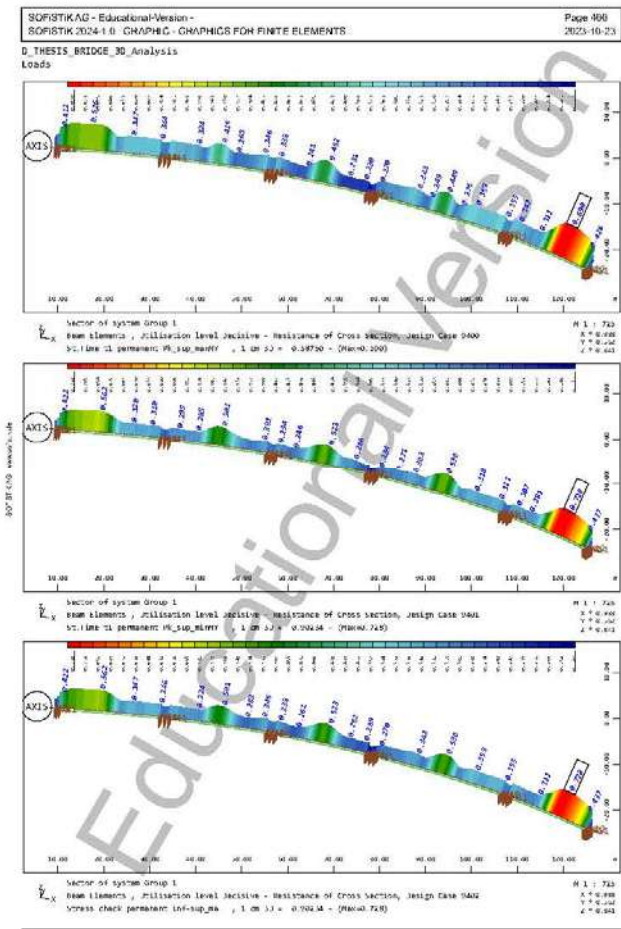
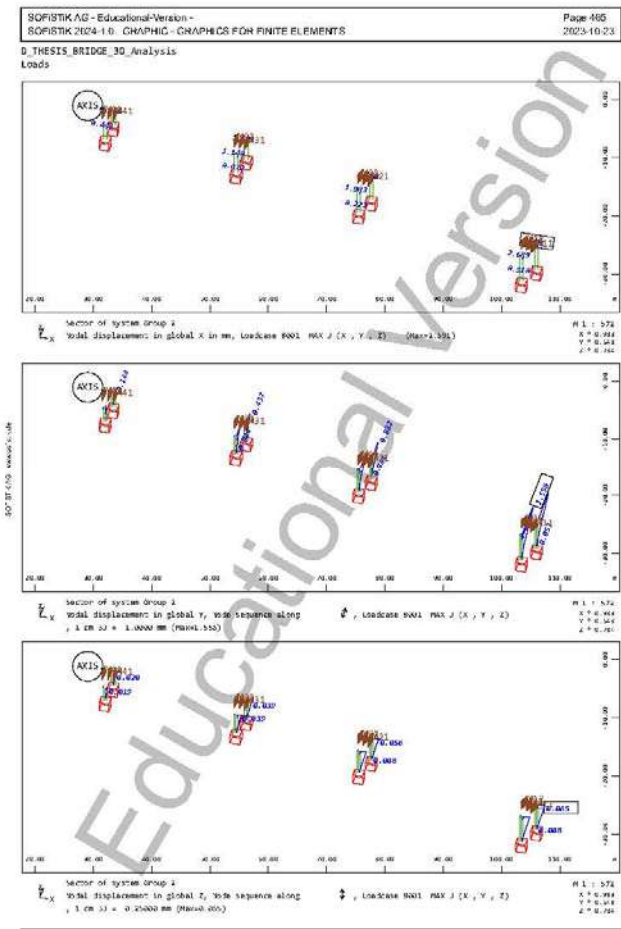


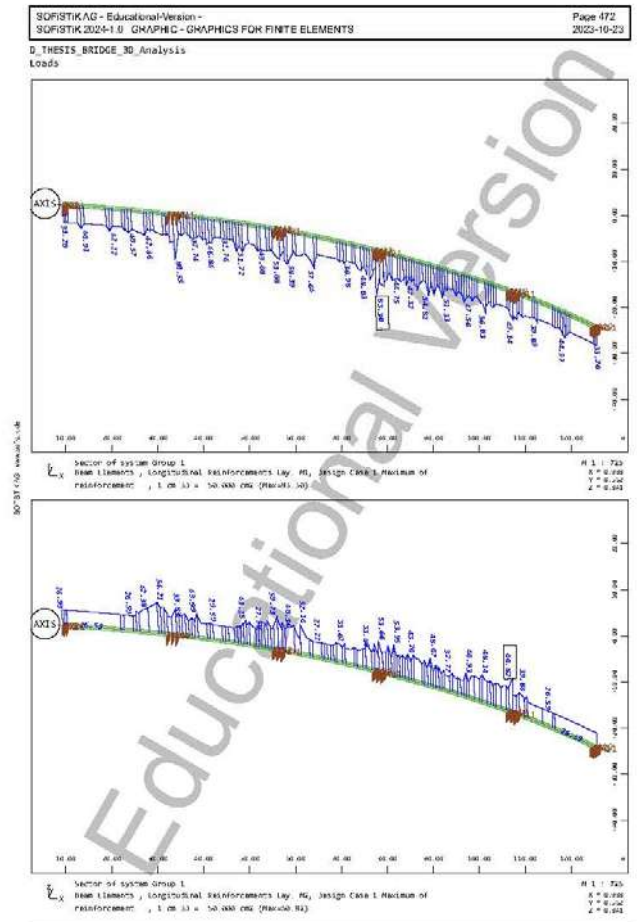
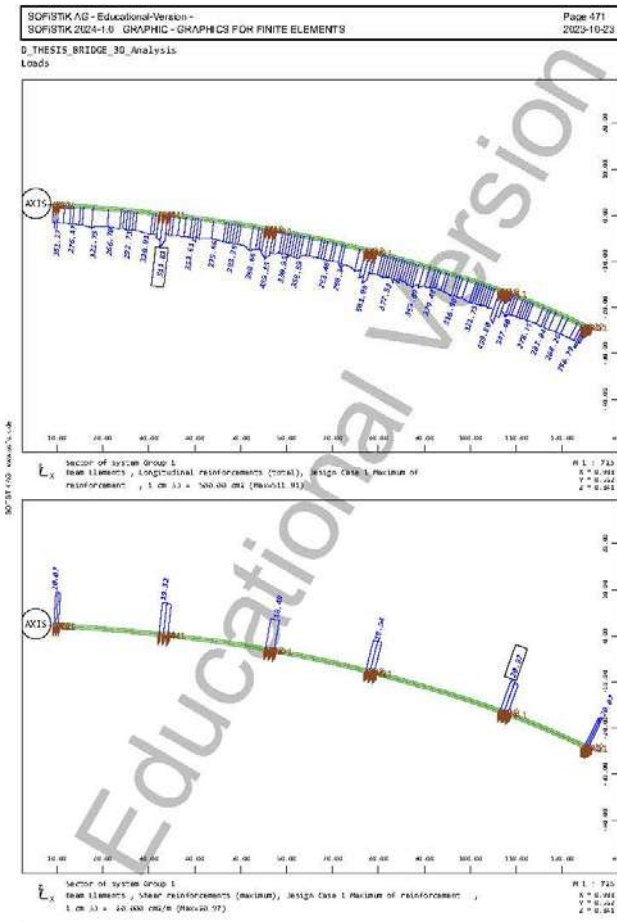
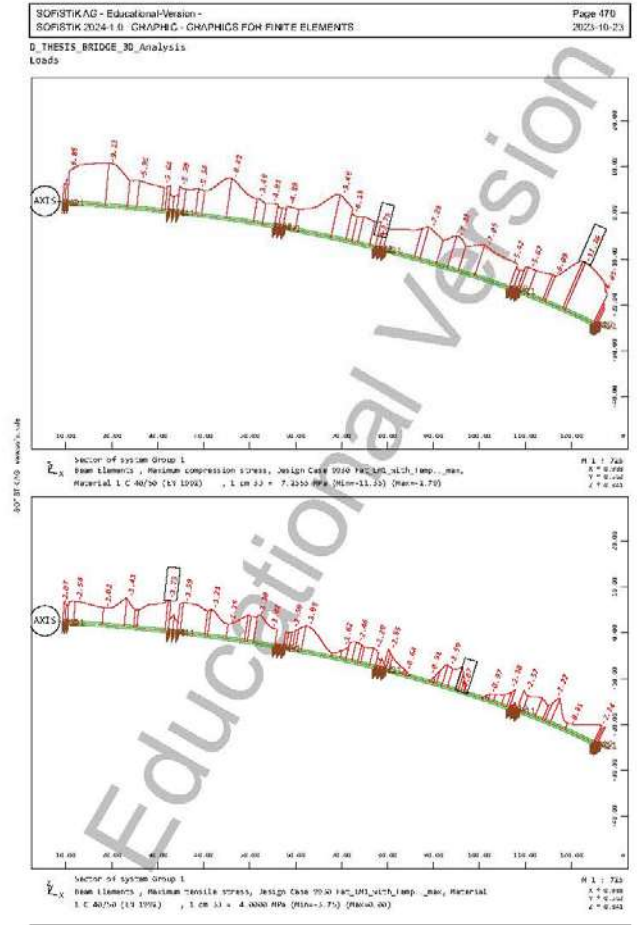
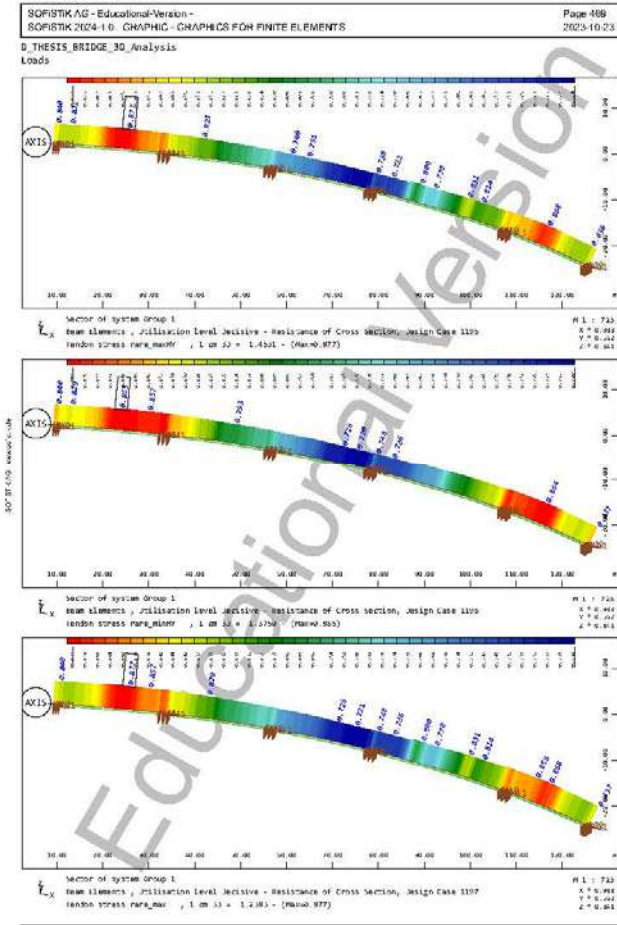


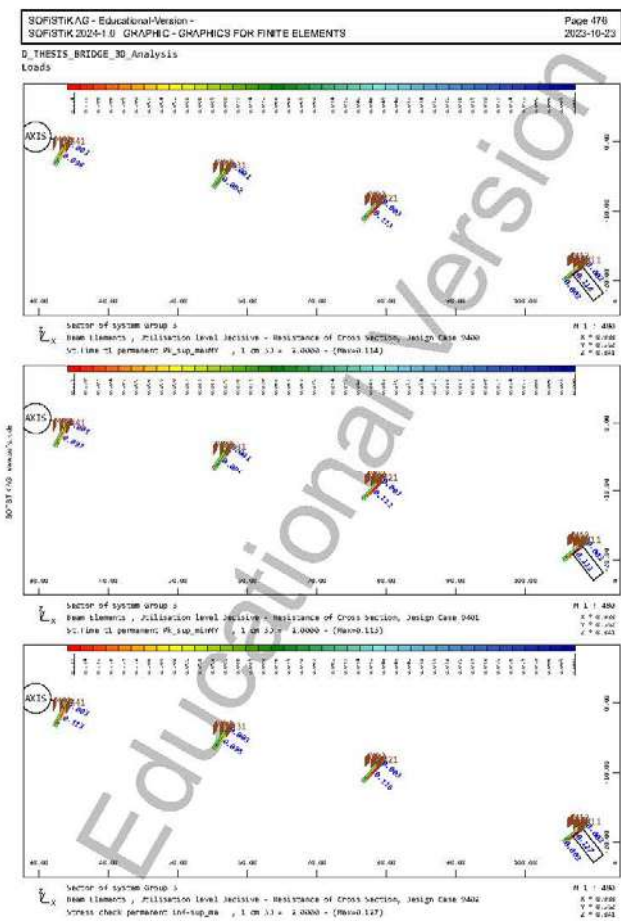
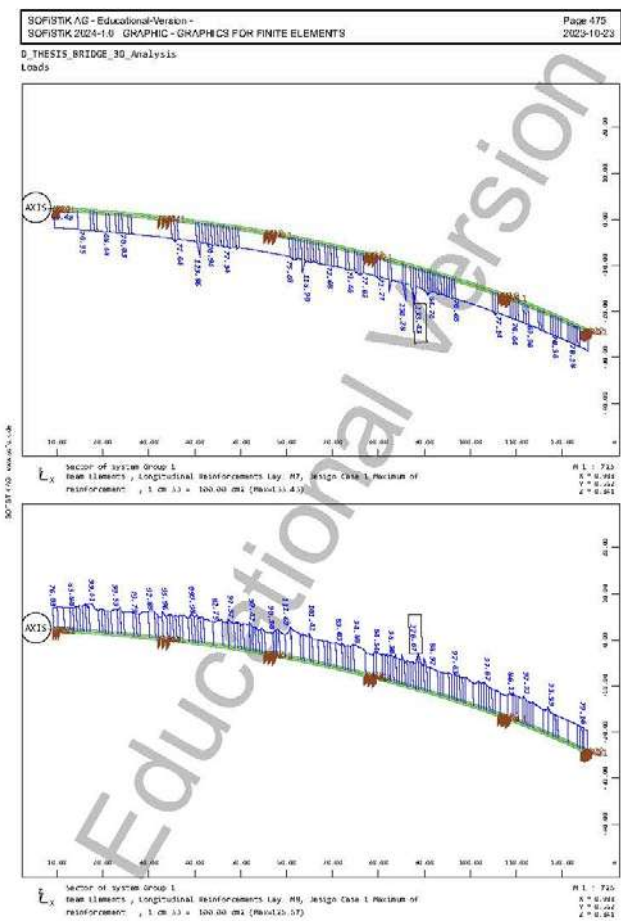
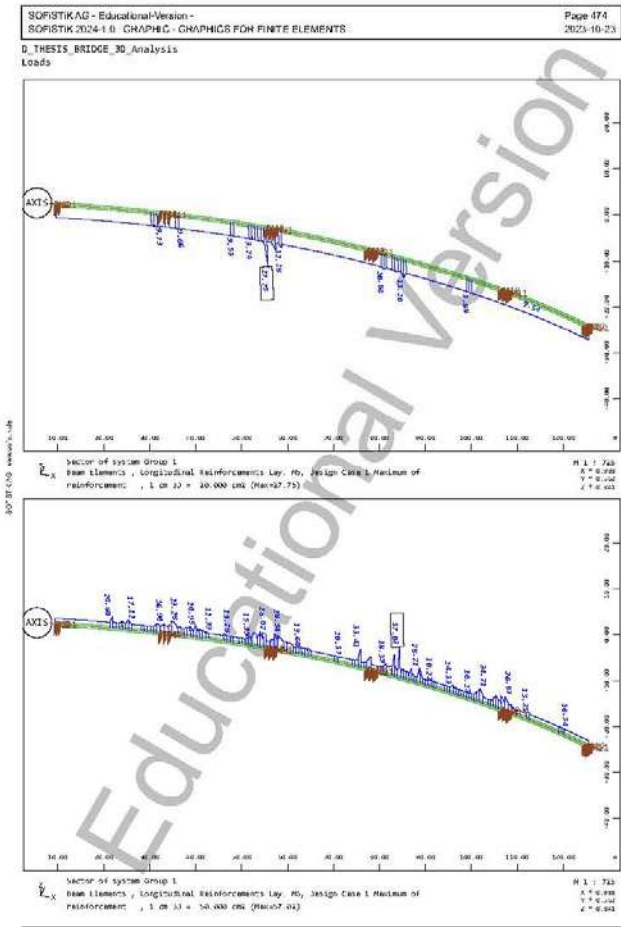
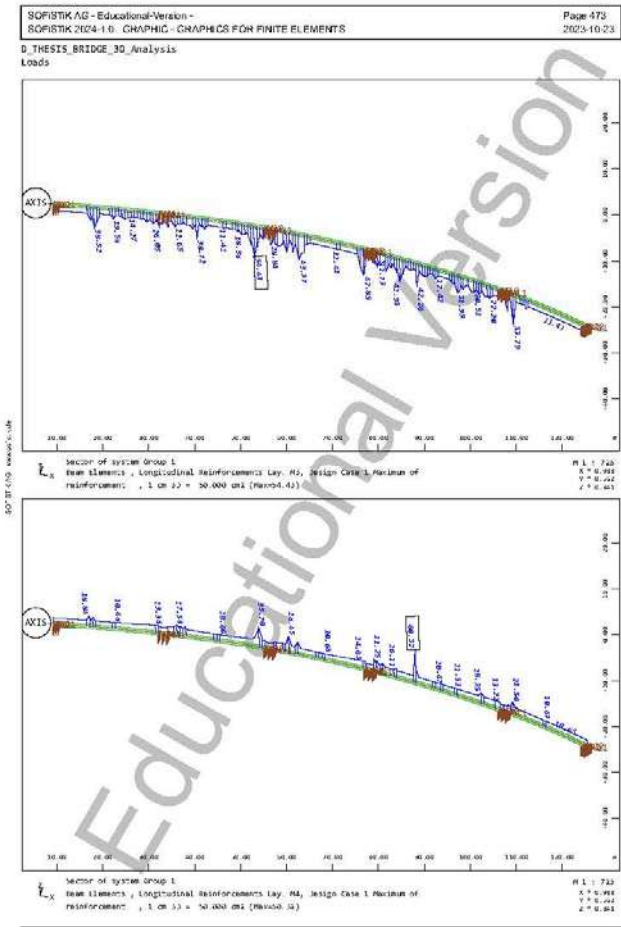


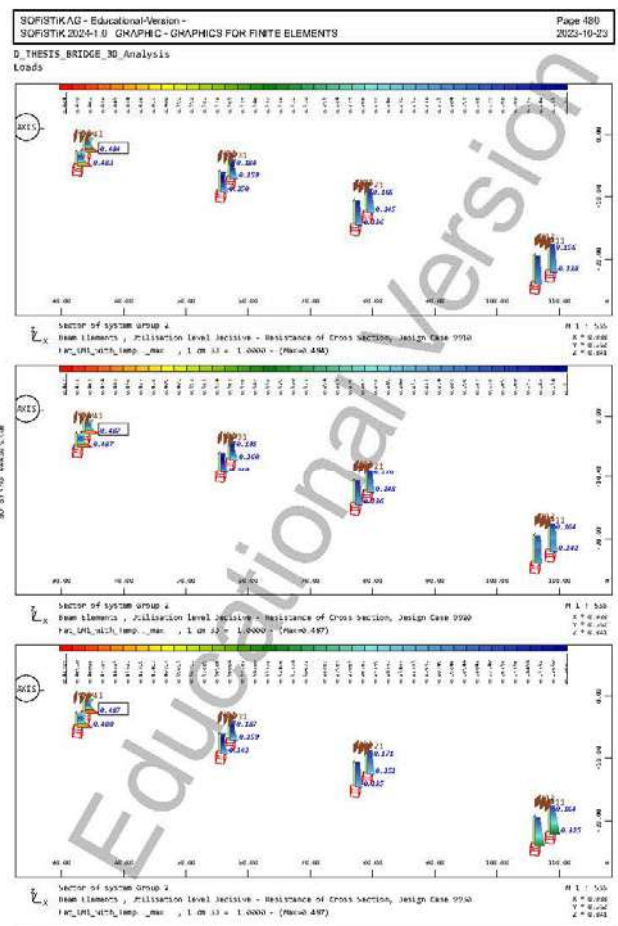
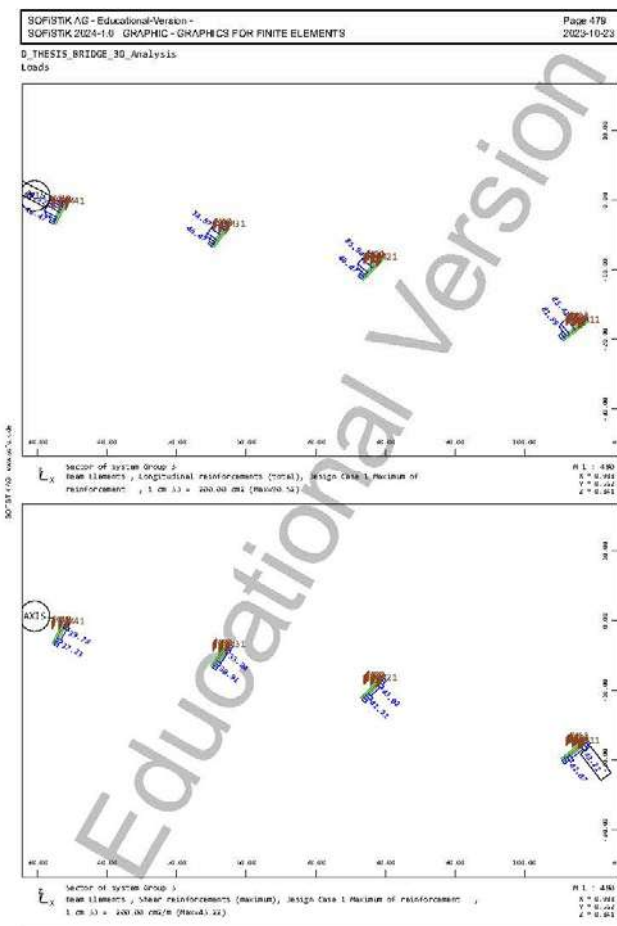
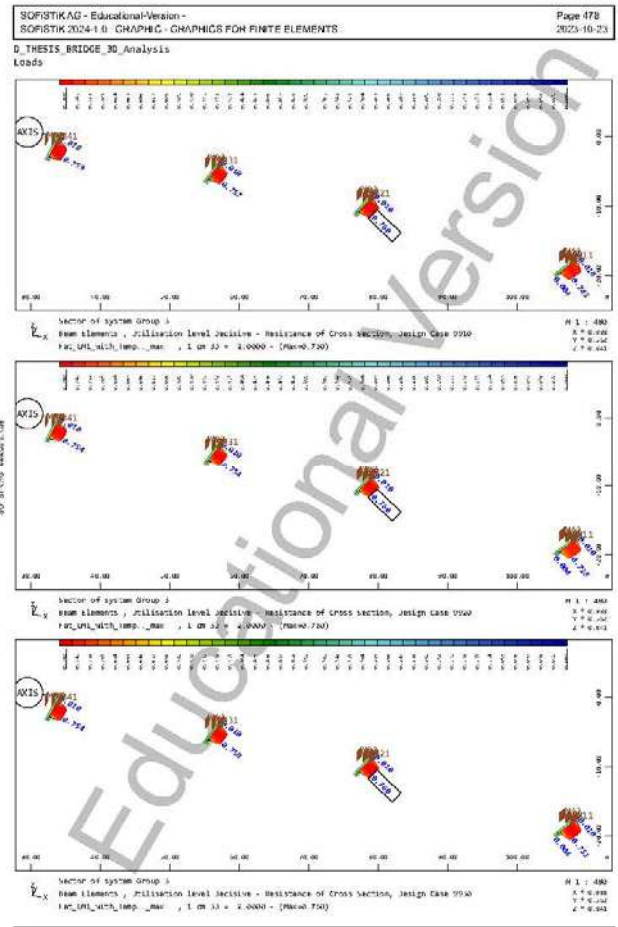
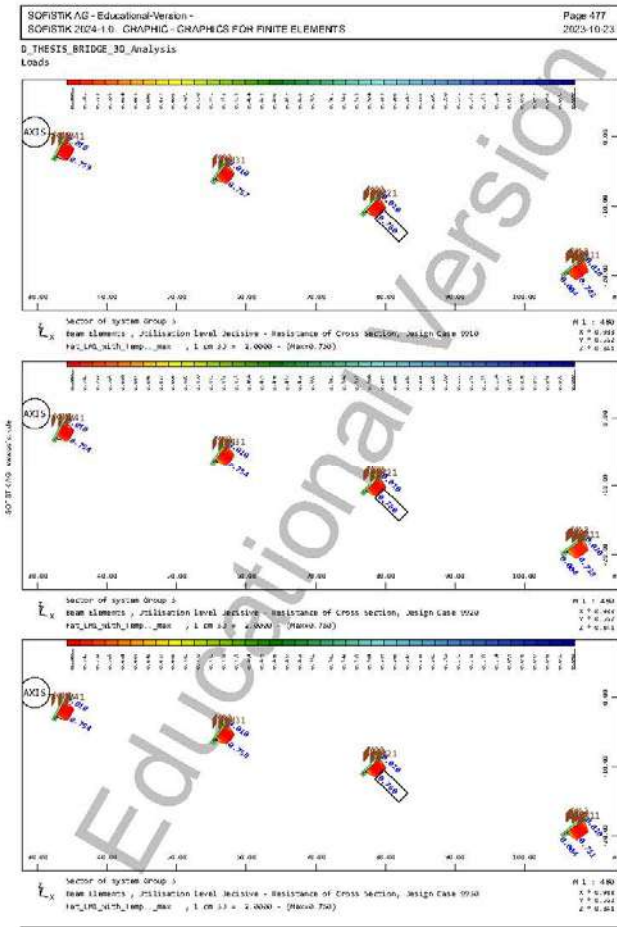


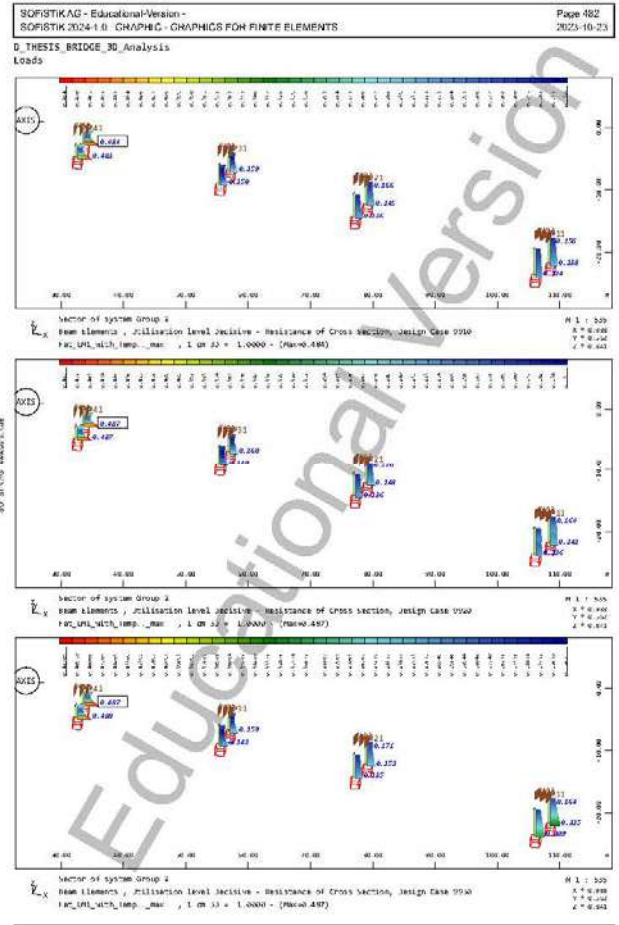
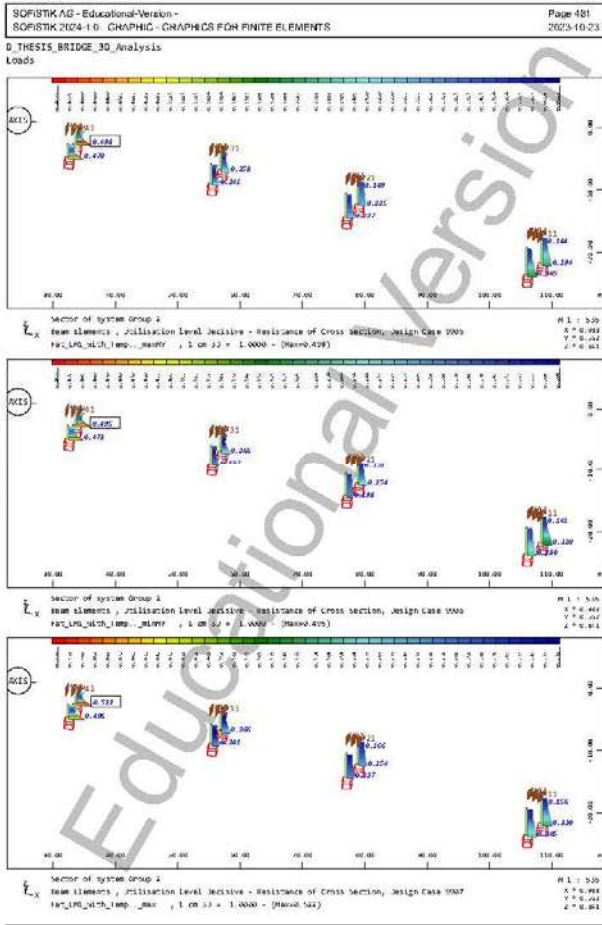












20. Βιβλιογραφία

- AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 4th Edition. «Load and Resistance Factor Design.» Washington, 2007.
- Chopra, Anil K. *Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Hoboken: Pearson Education, 2017.
- Corven, John. *Post - Tensioned Box Girder Design Manual*. Report FHWA-HIF-15-016, 2016, N. Jersey, USA, New Jersey: Federal Highway Administration, 2016.
- Freyssinet, Sustainable technology. «Les appareils d' appui mecaniques Fressinet.» France, χ.χ.
- Heung Fai Lam, Ching Tai Ng. «The selection of pattern features for structural damage detection using an extended Bayesian ANN algorithm, Engineering Structures, Volume 30, Issue 10, 2008, pp 2762-2770.» 2008, χ.χ.
- Leonhardt, F. *Ολόσωμες Κατασκευής - 6. Ολόσωμες γέφυρες (Vorlesungen über massivbau - sechster teil)*. Αθήνα (Berlin): Μόσχος Γιούρδας, 2010 (1979).
- Michael Ashby, Hugh Shercliff, David Cebon. *Materials, Engineerin, science, processin and design*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010.
- MK4, Mekano4 SA Innovative Solutions. Barcelona - Spain. χ.χ.
- Naaman, Antoine E. *Prestressed Concrete Analysis and Design*. Michigan: Techno Press 3000, 2004.
- Pronozin, Alexy. *Comprarison of Russian, Finnish and Europea Norms for Reinforced Cocrete Structures*. Φινλανδία: Saimaa University of Applied Sciences, 2012.
- Remountakis, Epameinondas. *Life cycle analysis of concrete with supplementary cementitious material and recycled aggregates, NTUA*. Athens: (Εργασία εξαμήνου), 2021.
- SOFISTIK, Hellas AE. «Καμπύλη προεντεταμένη γέφυρα.» Αθήνα, 2000.
- Standard, European. *Eurocode 0 - Basis of structural design*. Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
- Standard, European. *Eurocode 1 - Actions on sturctures*. Brussels: European Committee for Standardization, 2002.
- Standard, European. *Eurocode 2 - Design of concrete structure*. Brussels: European Committee for Standardization, 2004.
- Standard, European. *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance*. Brussels: European Committee for Standardization, 2004.

Ζέρης, Χρήστος. *Διαλέξεις Προεντεταμένου Σκυροδέματος*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2021-22.

Ιωάννης Βάγιας, Άρης Ηλιόπουλος, Παύλος Θανόπουλος. *Σχεδιασμός Σύμμικτων Γεφυρών από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα*. Αθήνα: Κλειδάριθμος, 2016, 2016.

Καραγιάννης, Χρήστος Γ. *Κατασκευές από Προεντεταμένο Σκυρόδεμα*. Θεσσαλονίκη: σοφία, 2022.

Κοντιζάς, Αθανάσιος. «Τεχνικό Γραφείο.» χ.χ.

Παπαδρακάκης, Μ. *Ανάλυση Φορέων με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων*. Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2001.

Προβατίδης, Χριστόφορος Γ. *Πεπερασμένα Στοιχεία στην Ανάλυση Κατασκευών*. Αθήνα: Τζόλα, 2021.

Σταυρίδης, Λεωνίδας Θ. *Στατική των δομικών φορέων*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2006.

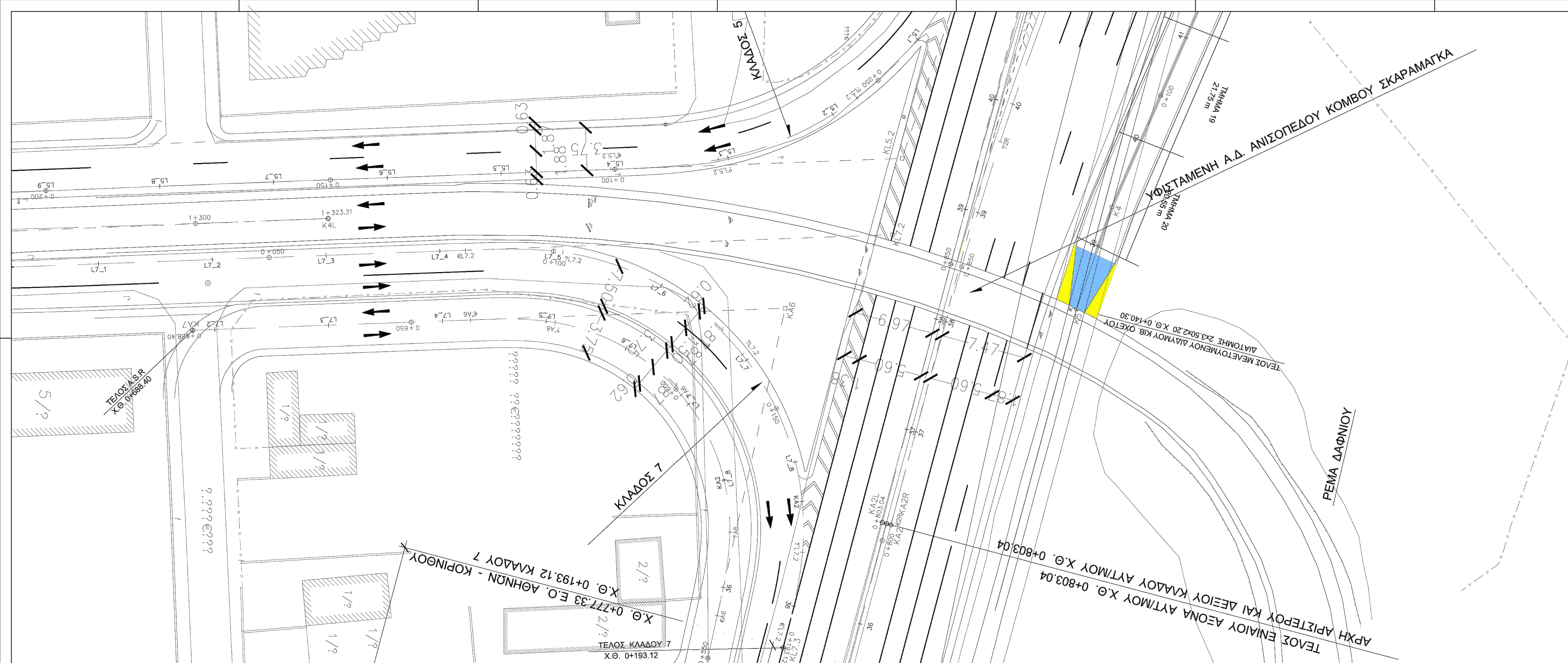
Τάσιος, Θ.Π. *ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ και ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ από ΩΠΛ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ*. Αθήνα: Συμμετρία, 1999.

Τρέζος, Κων/νος Γ. *Οπλισμένο Σκυρόδεμα με βάση των Ευρωκώδια 2*. Αθήνα: DaVinci, 2020.

Τριανταφύλλου, Αθανάσιος Χ. *Δομικά Υλικά*. Πάτρα: GOTSIS, 2017.

Υπουργείο, Υποδομών και Μεταφορών. *Εθνικό Εγχειρίδιο Επιθεώρησης και Αξιολόγησης Γεφυρών*. Γενική γραμματεία υποδομών, 2021.

Ψυχάρης, Ι. *Διαλέξεις Γεφυροποιίας II*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, 2022.



 **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ / NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME: ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΕ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STATUS: ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ / PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΜΙΑ / DATE: ΝΟΣΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION: 00

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ / STRUCTURAL DESIGNER: **ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432**

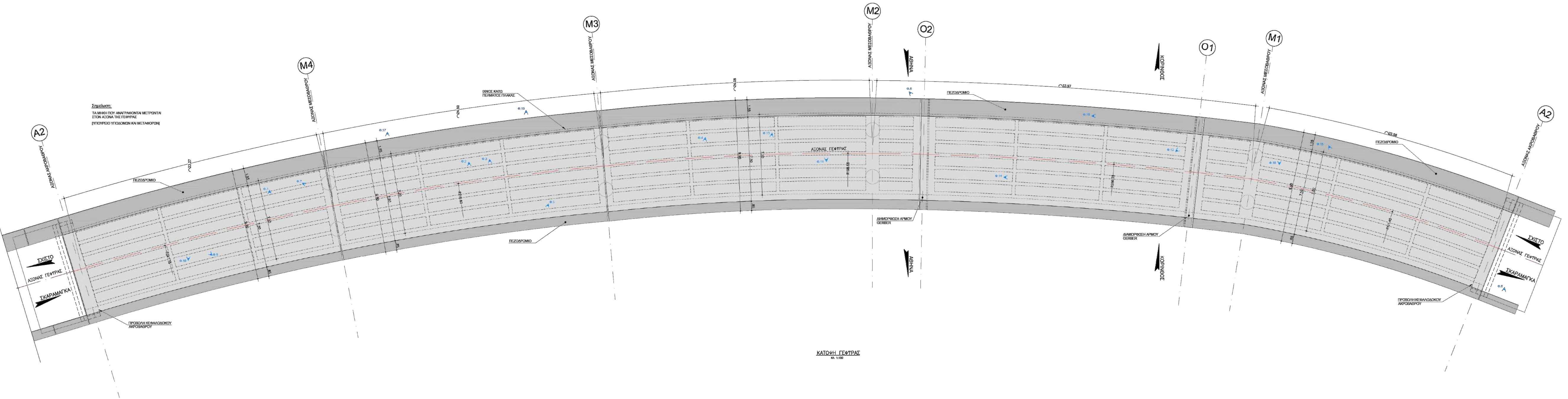
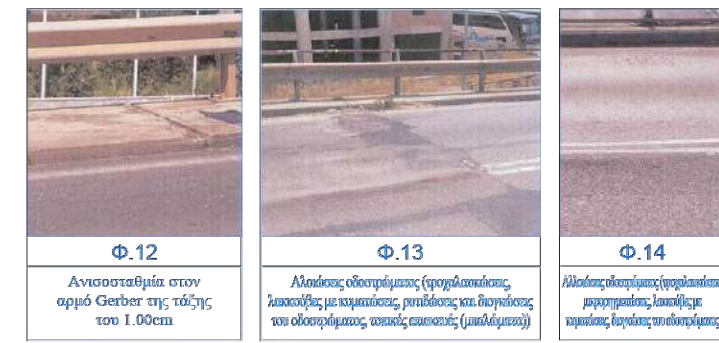
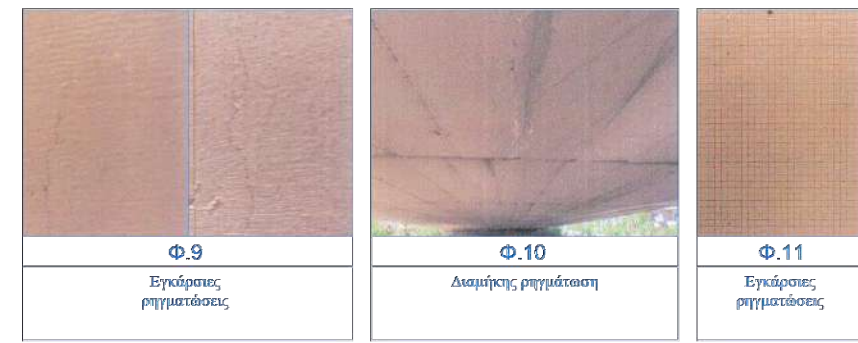
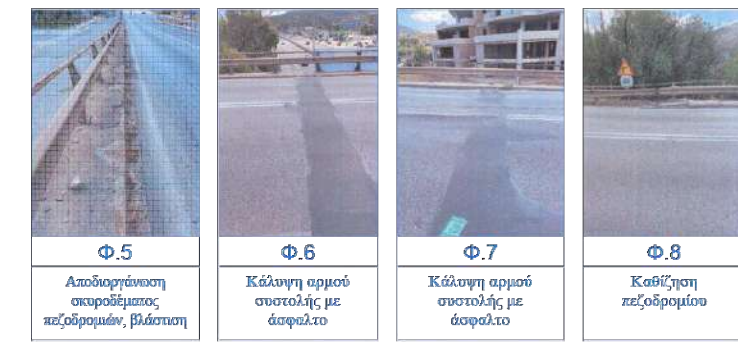
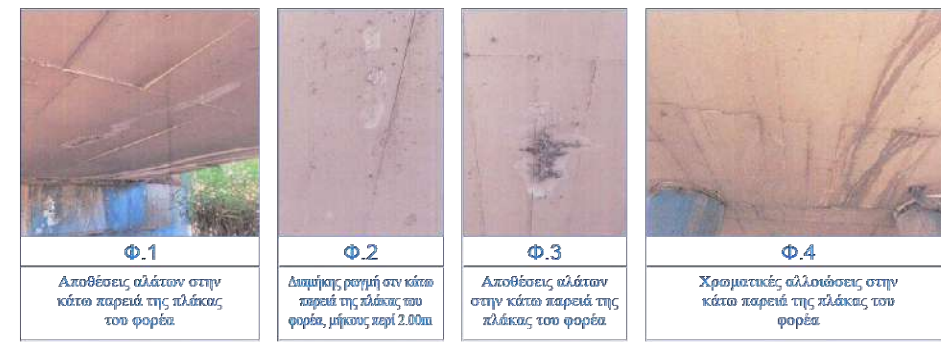
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING TITLE: ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ


ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE: 1:100

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH. SIZE: 2A1

SHEET NO: 01

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO: DT ΡΕΜΕΡ ΝΤΙΑ DWG TOP-01





**ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**
*ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ*

ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ / NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΥΡΥΝΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΕ-
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STATUS: ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ / PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΜΙΑ / DATE: ΝΟΣΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION: 00

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΙΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

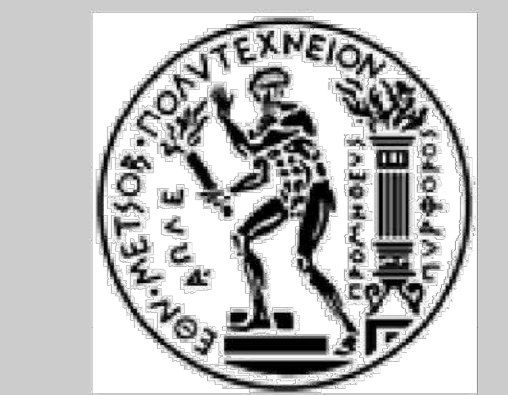
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING TITLE:
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE: 1:100

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH. SIZE: 2A1

SHEET NO: 01

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT-REMER-NIUA-DWG-YF-01



ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
*ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ*

ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAUS:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

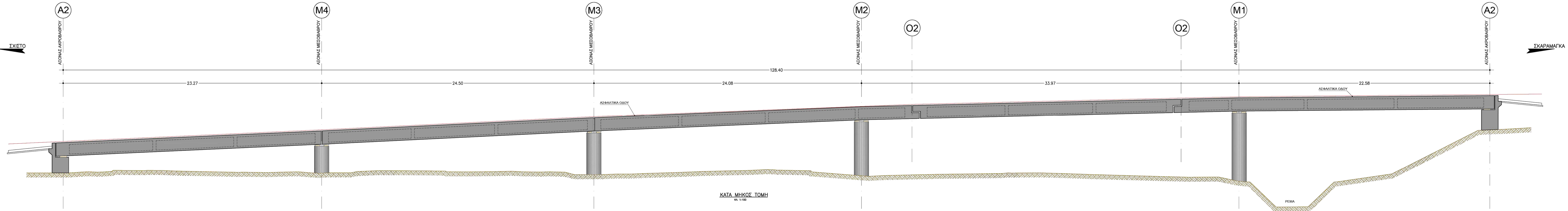
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ /
DRAWING TITLE:
ΜΗΚΟΤΟΜΗ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:100

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE:
8A4

SHEET NO:
02

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP ΝΤΥΑ DWG ΥΓ-02



Σημείωση:
[ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ]



ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAUS:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ /
DRAWING TITLE:
ΟΥΕΙΣ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:50

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE:
5A4

SHEET NO:
03

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP NTUA DWG YF-03



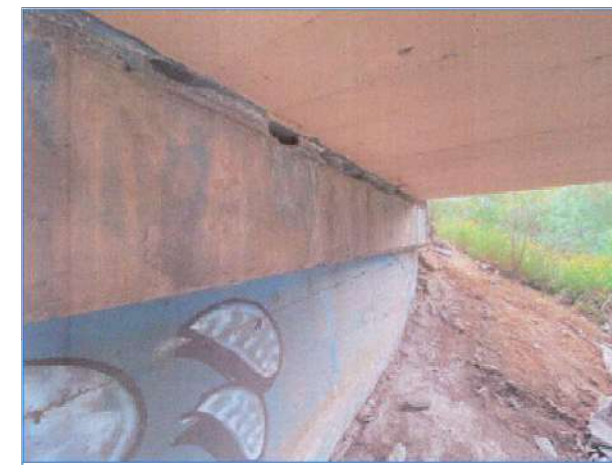
Φ.1

Ακρόβαθρο Α2, χρωματική αλλοίωση, ίχνη υγρασίας και απολέπιση σκυροδέματος



Φ.2

Αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξειδωμένων οπλισμών



Φ.3

Ακρόβαθρο Α1, χρωματική αλλοίωση, ίχνη υγρασίας και απόθεση αλάτων



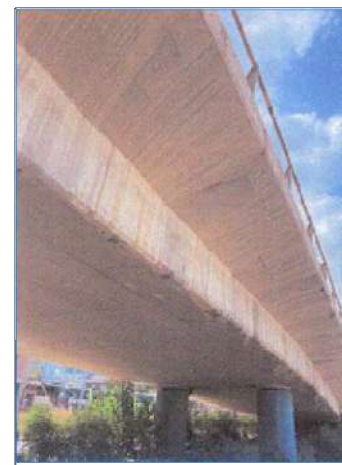
Φ.4

Ακρόβαθρο Α1, έντονη αποκόλληση σκυροδέματος, συσσώρευση απορριμμάτων, βλάστηση



Φ.5

Ακρόβαθρο Α1, χρωματική και απόθεση αλάτων



Φ.6

Παρεία προς Κόρινθο, χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού σε όλα τα ανοίγματα



Φ.7

Παρεία προς Αθήνα, Άνοιγμα Α2-M2, άτακτη επιφανειακή ρηγματώση



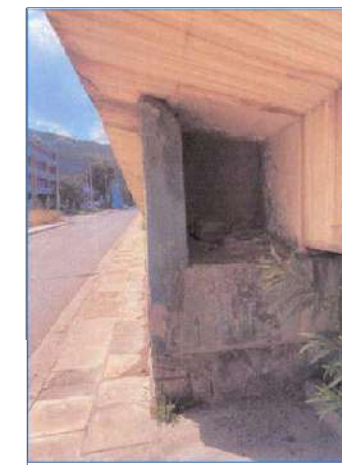
Φ.8

Παρεία προς Αθήνα, χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού σε όλα τα ανοίγματα, στην κάτω παρειά του πεζοδρομίου, στην επάνω παρειά και στην κάτω παρειά του φρεσίου απορρύθμισης και αποκόλληση σκυροδέματος και εμφάνιση σιδ. οπλισμού με διάβρωση



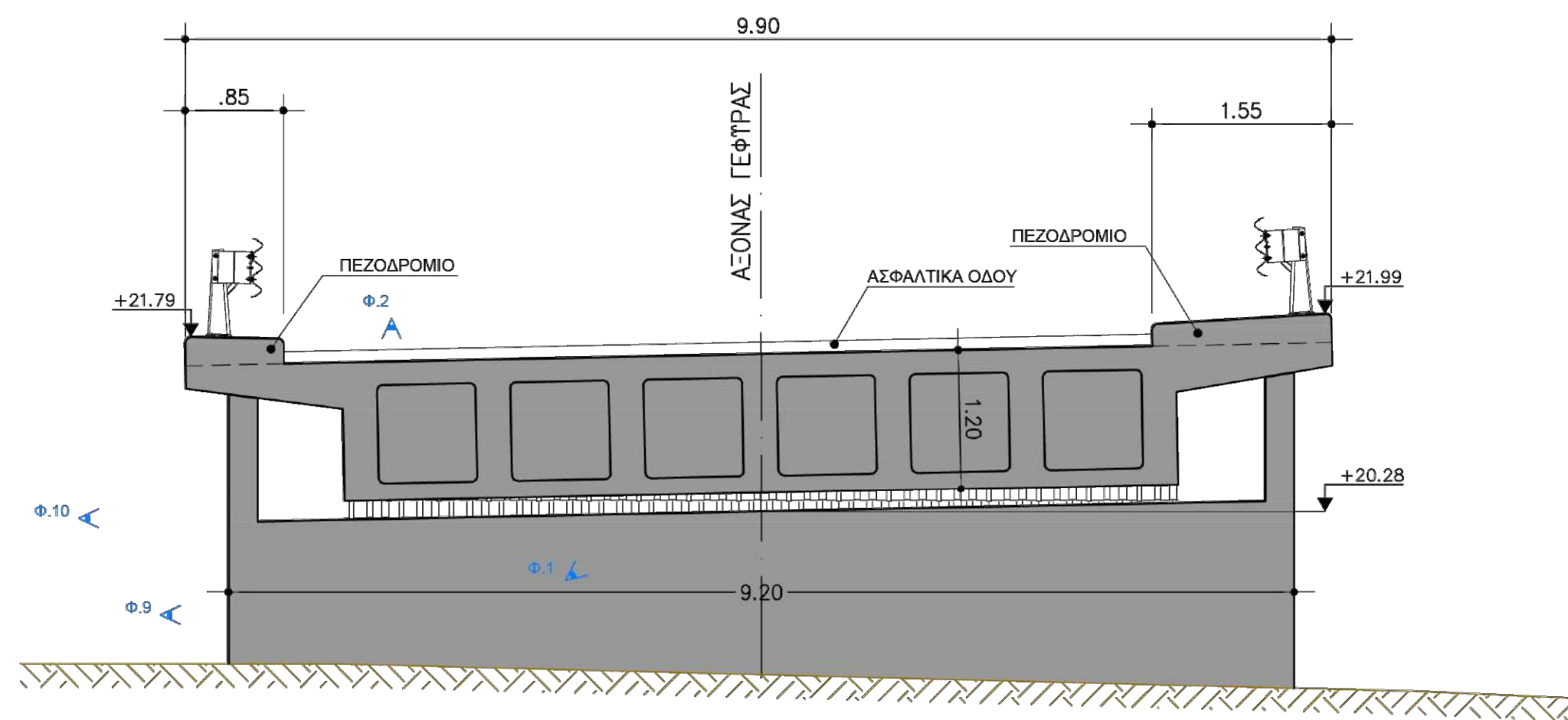
Φ.9

Ακρόβαθρο Α2: αποκόλληση σκυροδέματος στην βάση, με εμφάνιση οπλισμών



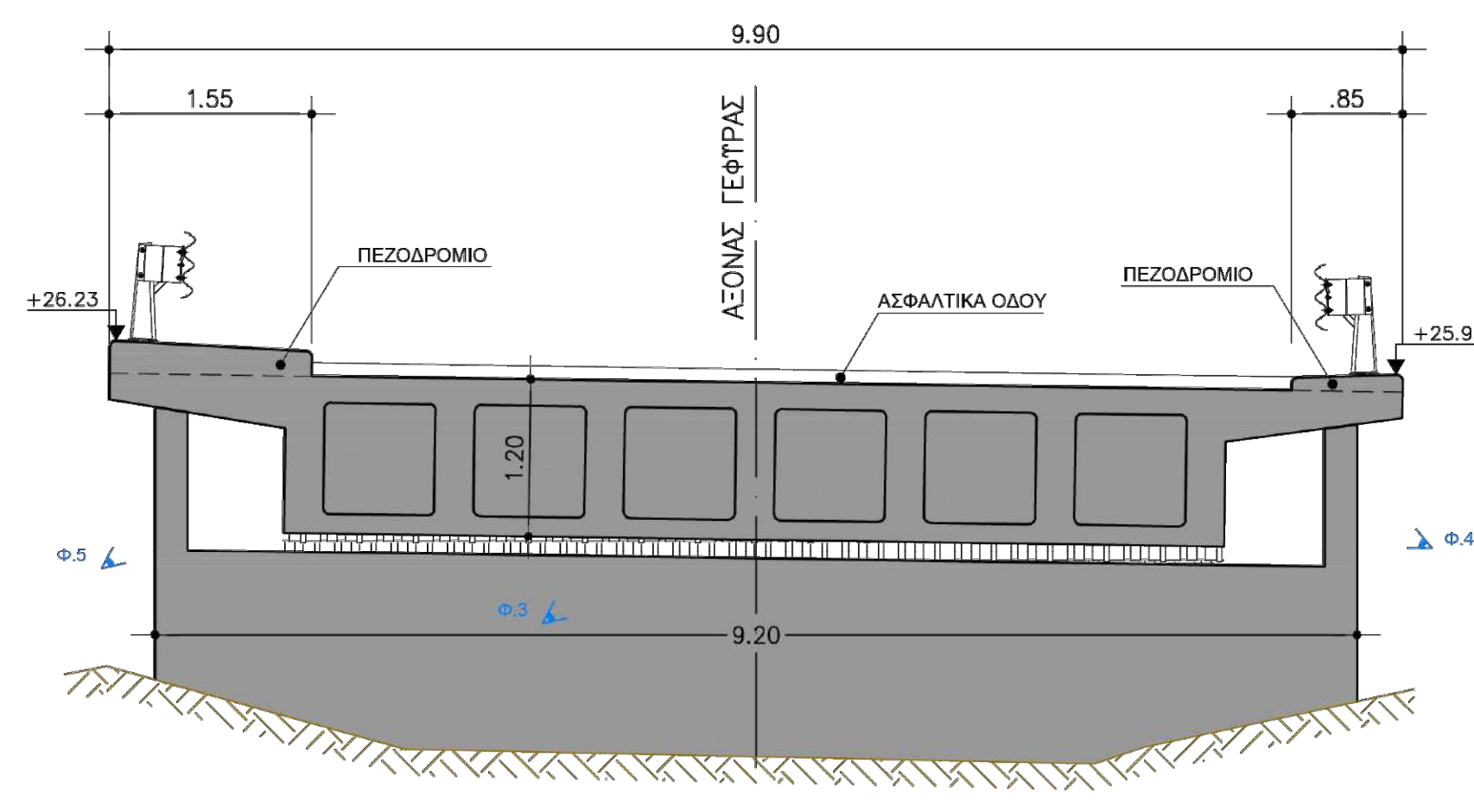
Φ.10

Ακρόβαθρο Α2, αποκόλληση / εκτίναξη σκυροδέματος με εμφάνιση οξειδωμένων οπλισμών

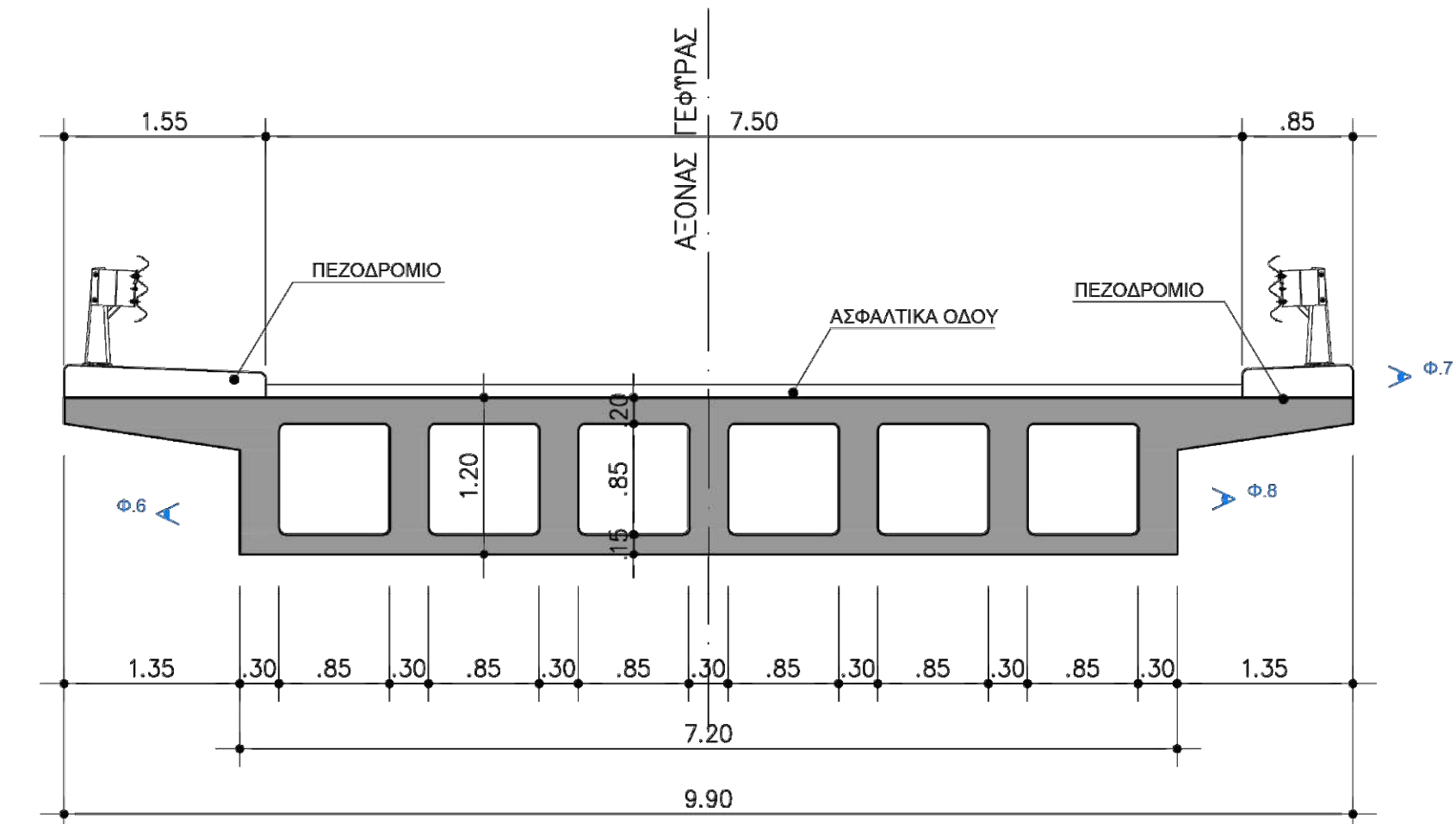


ΟΨΗ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟΥ Α2
ΚΑΙ 1:50

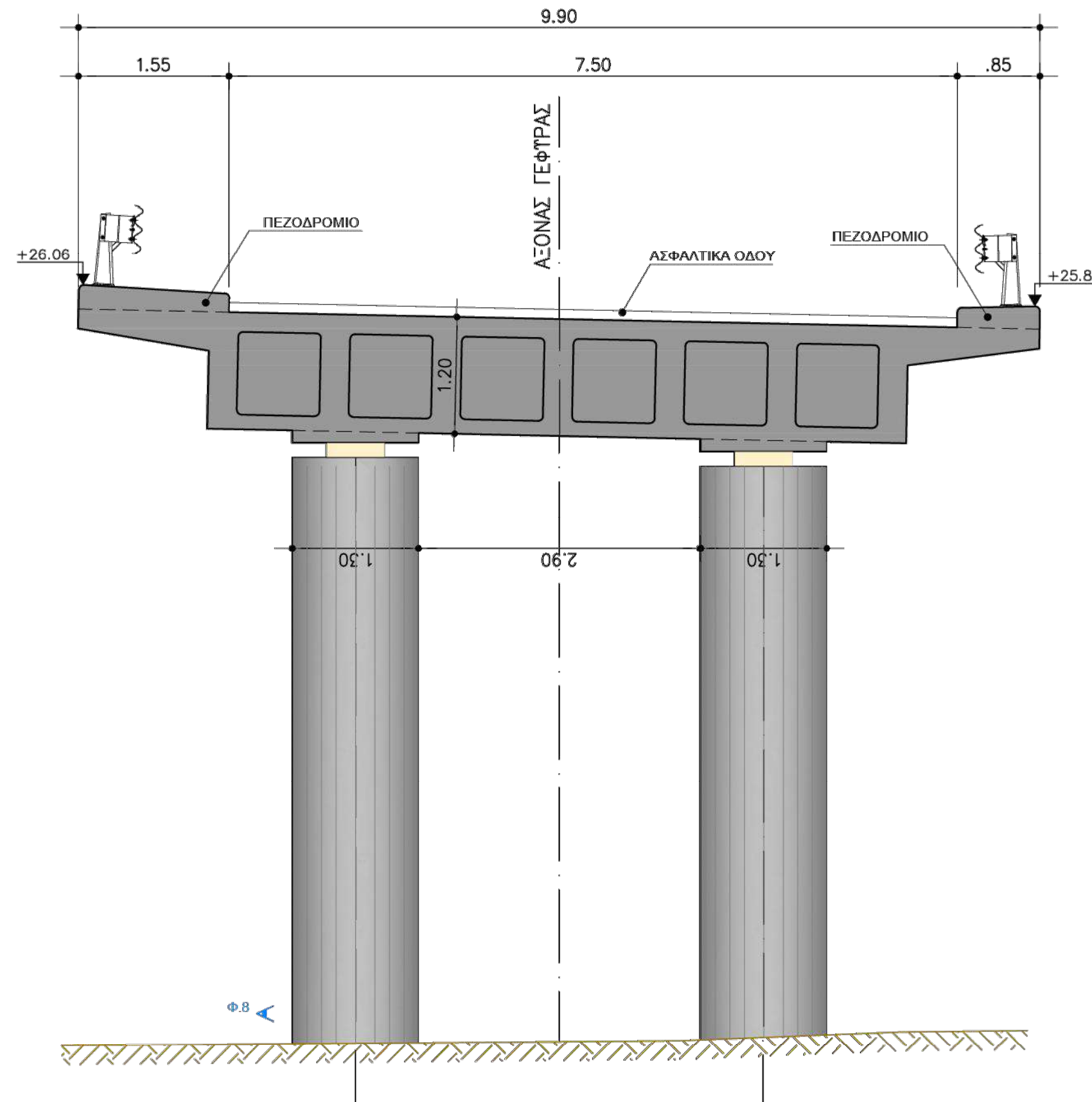
Σημείωση:
[ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ]



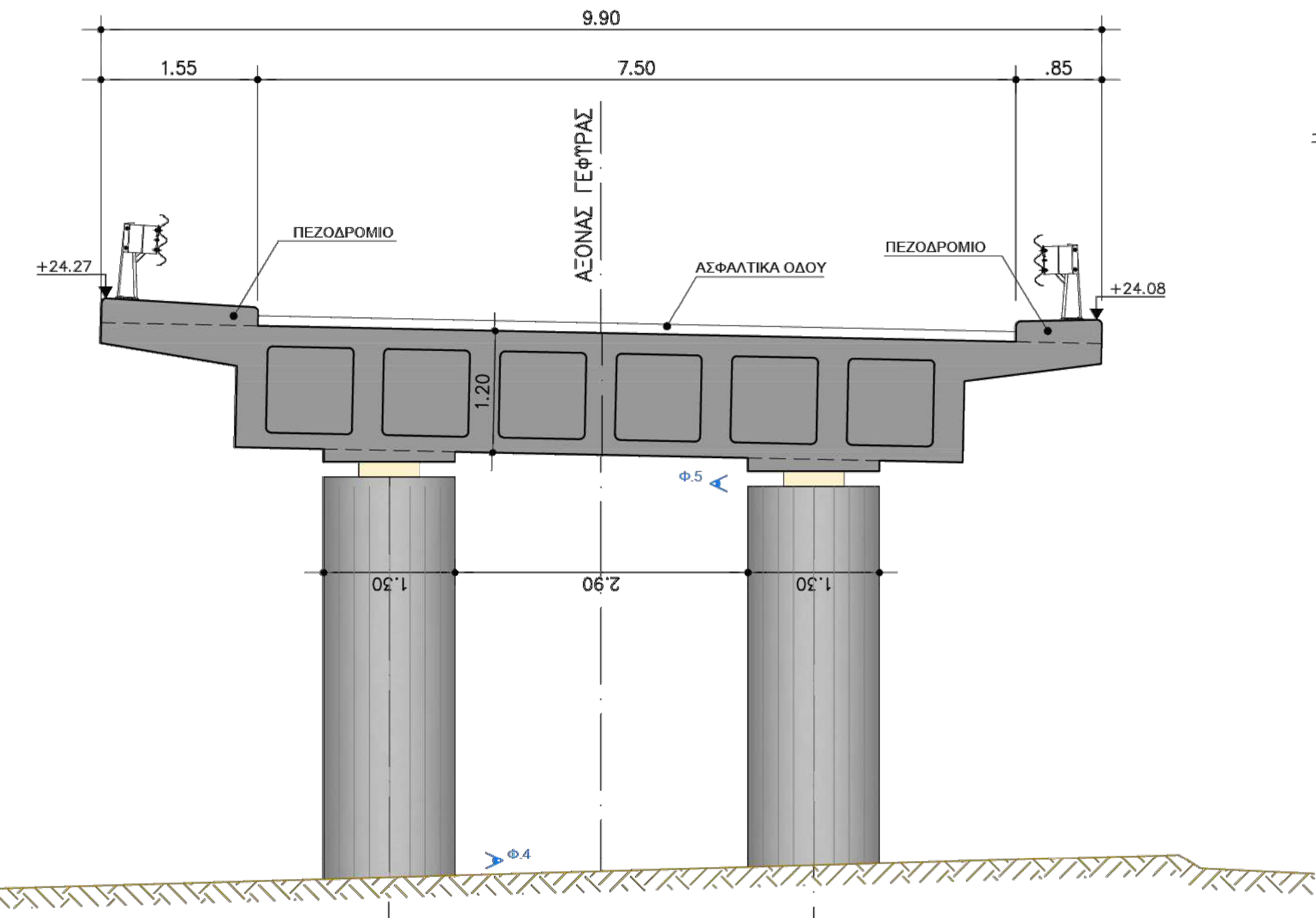
ΟΨΗ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟΥ Α1
ΚΑΙ 1:50



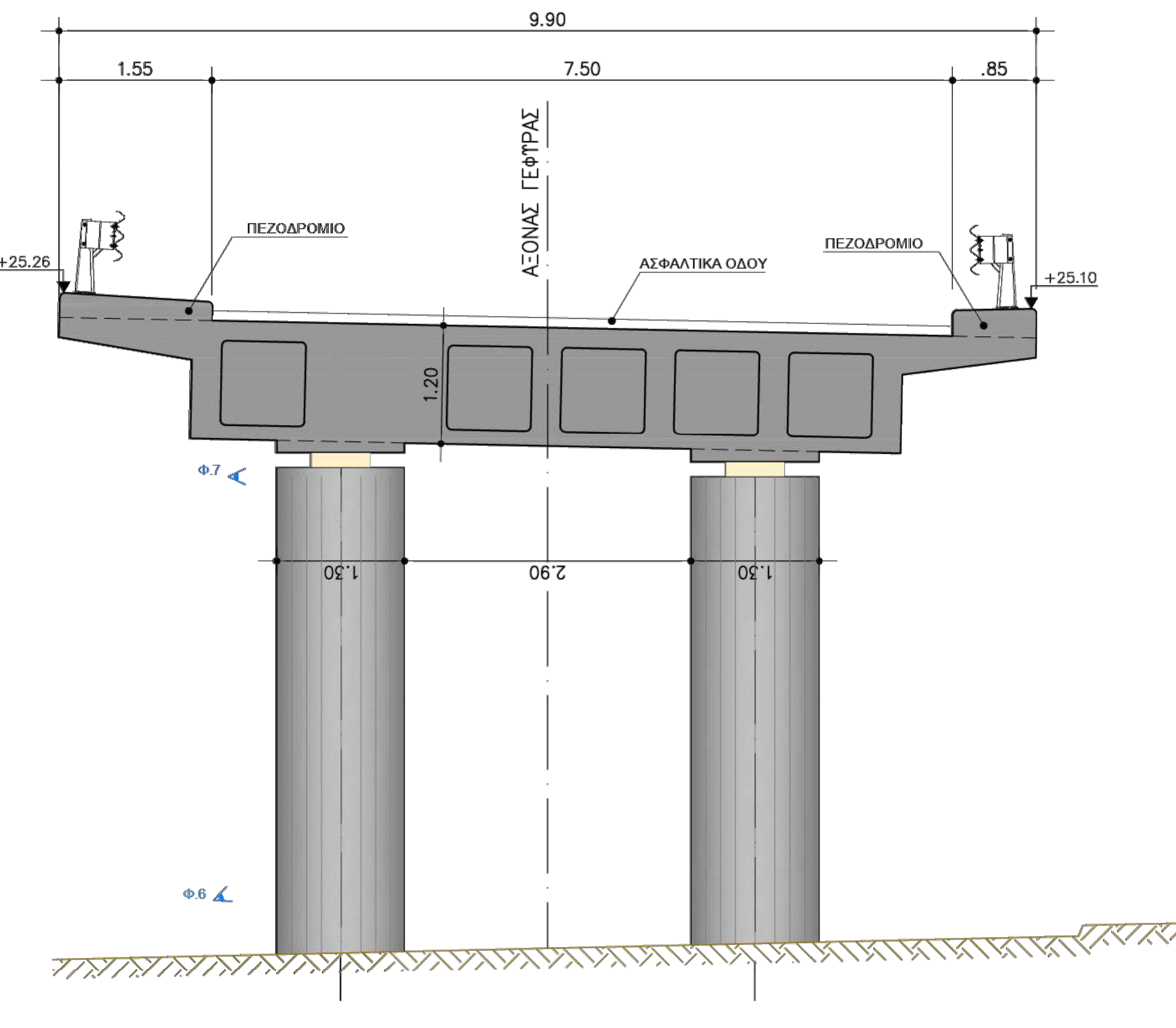
ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ
(ΜΕ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΩΝ ΔΙΑΚΕΝΩΝ)
ΚΑΙ 1:50



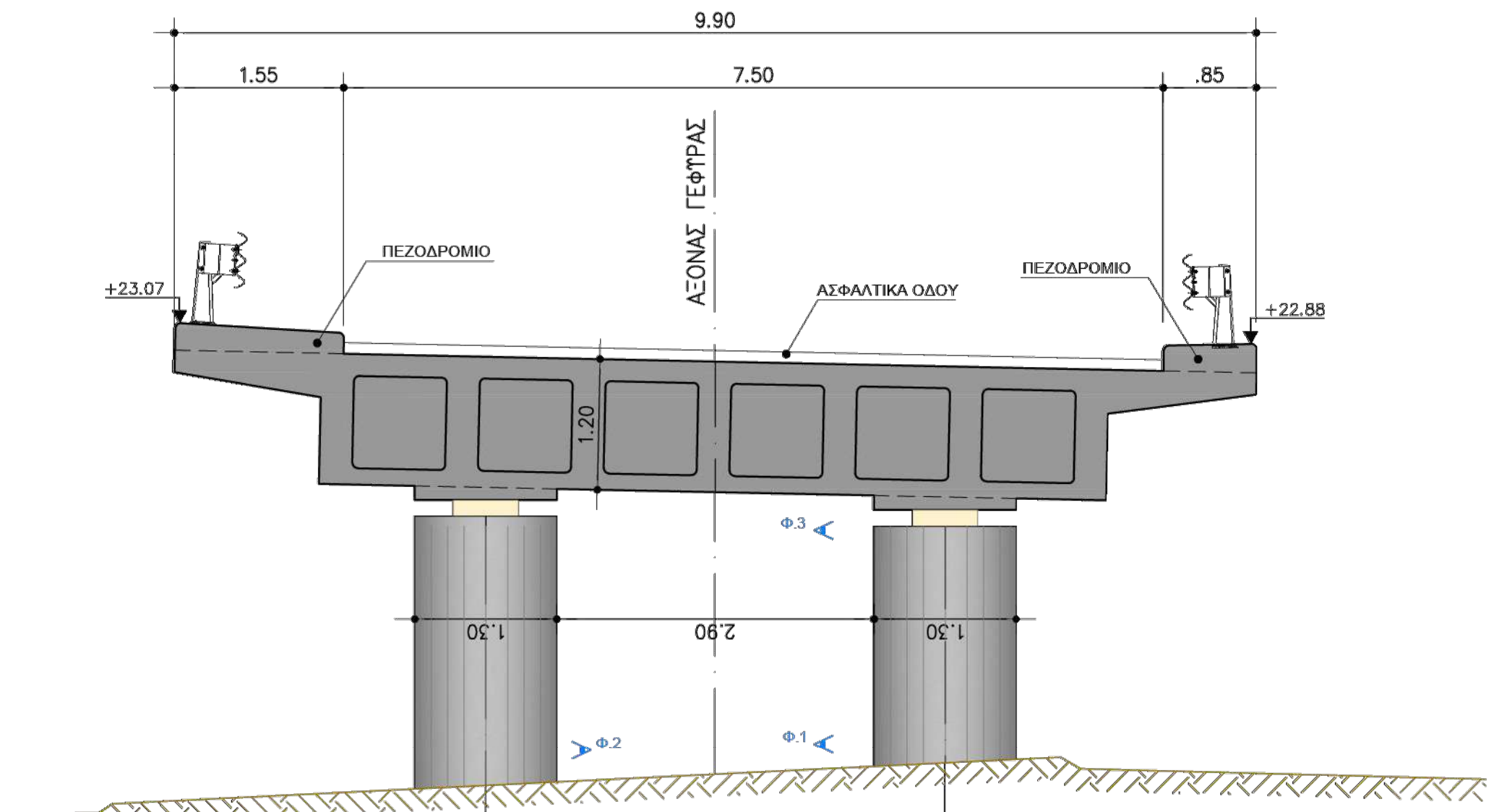
ΟΨΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ Μ1
ΚΑ 1:50



ΟΨΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ Μ3
ΚΑ 1:50



ΟΨΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ Μ2
ΚΑ 1:50



ΟΨΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ Μ4
ΚΑ 1:50



Φ.1
Στόλος προς Αθήνα, χωματική αλλοίωση



Φ.2
Στόλος προς Κόρινθο, χωματική αλλοίωση και ανάπτυξη βλάστησης



Φ.3
Φθορά του σωλήνα αποχέυσεως



Φ.4
Ίχνη υγρασίας στη βάση



Φ.5
Παραμόρφωση εφεδράνου



Φ.6
Αποκόλληση τεμαχίου σκυροδέματος στη βάση του στόλου



Φ.7
Παραμόρφωση εφεδράνου



Φ.8
Αποκόλληση σκυροδέματος και εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών



ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAU:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΙΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ /
DRAWING TITLE:
ΟΨΕΙΣ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:50

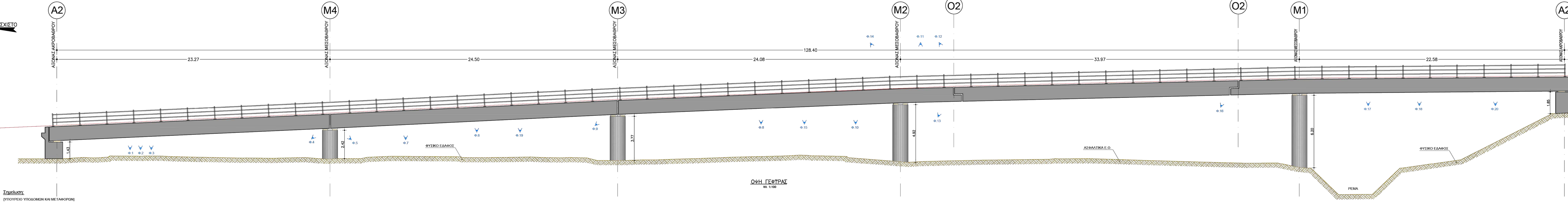
ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE:
7Α4

SHEET NO:
04

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP ΝΤΥΑ DWG ΥΦ-04



Φ.1 Παρειά προς Κόρινθο: Χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού στην κάτω παρειά του προβόλου και στο τοίχωμα της πλάκας του φορέα.
 Φ.2 Παρειά προς Κόρινθο: Αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οπλισμών στη κάτω παρειά της πλάκας του φορέα.
 Φ.3 Παρειά προς Αθήνα: Χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού στην κάτω παρειά του προβόλου και στο τοίχωμα της πλάκας του φορέα.
 Φ.4 Αρμός Μεσοβάθρου Μ4, παρειά προς Κόρινθο: Χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού, αποκόλληση σκυροδέματος και εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.5 Ακρόβαθρο Α2, αποκόλληση / εκτάμηση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.6 Άνοιγμα Μ4-Μ3, παρειά προς Κόρινθο, κατακόρυφες ρηγματώσεις στο τοίχωμα του φορέα, παρά το μέσο του στήριγματος.
 Φ.7 Άνοιγμα Μ4-Μ3, παρειά προς Κόρινθο, χρωματικές αλλοιώσεις, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.8 Άνοιγμα Μ3-Μ2, παρειά προς Κόρινθο, χρωματικές αλλοιώσεις, αποκόλληση σκυροδέματος και εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.9 Άρμός Μεσοβάθρου Μ3, παρειά προς Κόρινθο: Χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.10 Άνοιγμα Μ3-Μ2-Ο2, παρειά προς Κόρινθο, χρωματικές αλλοιώσεις, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.11 Βαθμιδοτός αρμός (Gerber) Ο2, παρειά προς Κόρινθο, ρηγματώσει μήκους περί τα 2.00m.
 Φ.12 Βαθμιδοτός αρμός (Gerber) Ο2, παρειά προς Κόρινθο, χρωματική αλλοίωση, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.13 Βαθμιδοτός αρμός (Gerber) Ο2, παρειά προς Κόρινθο, χρωματική αλλοίωση, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.14 Αποκόλληση σκυροδέματος στη παρειά προς Κόρινθο με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών πάνω από το μεσοβάθρο Μ2.
 Φ.15 Άνοιγμα Μ3-Μ2-Ο2, παρειά προς Αθήνα, χρωματικές αλλοιώσεις, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.16 Βαθμιδοτός αρμός (Gerber) Ο1, παρειά προς Κόρινθο, χρωματική αλλοίωση λόγω ροής νερού.
 Φ.17 Άνοιγμα Ο1-Μ1-Α2, παρειά προς Αθήνα, χρωματικές αλλοιώσεις, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.18 Άνοιγμα Ο1-Μ1-Α2, παρειά προς Κόρινθο, χρωματικές αλλοιώσεις, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.19 Άνοιγμα Μ4-Μ3, παρειά προς Κόρινθο, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.
 Φ.20 Άνοιγμα Μ4-Μ3, παρειά προς Κόρινθο, χρωματικές αλλοιώσεις, αποκόλληση σκυροδέματος με εμφάνιση οξείδωμένων οπλισμών.



Σημείωση: [ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ] ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΚΑΙ 1:100

ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ / NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAU:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ / PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

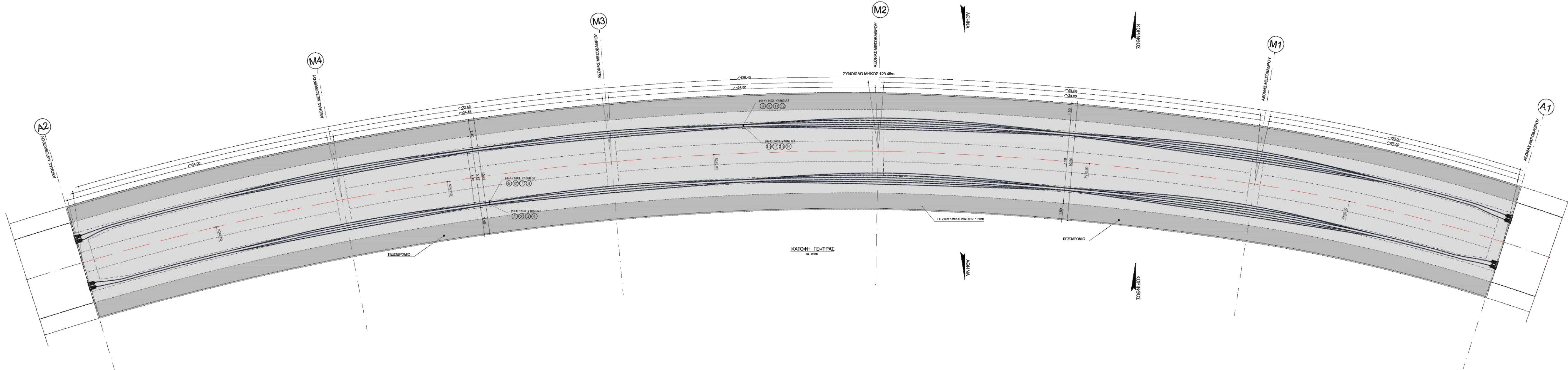
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING TITLE:
ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:100


ΜΕΓΕΘΟΣ / SH. SIZE:
844

SHEET NO:
05

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP ΝΤΥΑ DWG ΥΕ-05



ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	DESIGN BASES
ΤΑΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΣΤΡΩΜΑ	MATERIAL GRADES CONCRETE
Φορέας (γενικός) : (C40/50) X33	Bridge slabs and walls : (C40/50) X33
Εργαστηριακή οπλιστική : (C12/15) X0	Leveling courses : (C12/15) X0
Μεταβαση κίλιων οδοστρώχων : (C12/15) X0	Deck cross fall courses : (C12/15) X0
ΧΥΛΙΒΕΣ	Steel
Χάλυβας οπλισμού γενικό : B57 500 (B500C)	Reinforcing steel : B57 500 (B500C)
Χάλυβας προένταση : Y1860	Prestress steel : Y1860
ΠΑΡΑΔΟΣΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	DESIGN ACTIONS AND LOADS
Φορτίο οδοστρώχων : EN1991-2	Traffic loads : EN1991-2
Ασκή φορτία υποδομικών (για οδοστρώχων) : EN1991-2	Design loads (non vehicle) : EN1991-2
Όλο βάρος οδοστρώχων αυτοβάρους : γ=25 kN/m ³	Reinforced concrete unit weight : γ=25 kN/m ³
Στατική όψνη : 1	Statical angle : 1
Στατική αποβάρυνση : α=-0.15g	Clearance acceleration : α=-0.15g
Στατική αντίστροφη αποβάρυνση : γ=-1.00	Inward factor : γ=-1.00
Στατική αντίστροφη αποβάρυνση : α=1.50	Outward factor : α=1.50
Καταπόνηση οδοστρώχων : 15	Out class : 15
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	DESIGN STANDARDS
EN1992 : Διαμορφωμένη Θεωρία οδοστρώχων αυτοβάρους	EN1992 : Design of Reinforced Concrete
EN1991 : Κανονισμός φορτίων οδοστρώχων	EN1991 : Design loads for road bridges
EN1998 (ΑΝΑΜ.1) : Αντισεισμικός υπολογισμός	EN1998 : Code for Seismic Design



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΕ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STATUS: ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΜΗ / DATE: ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION: 00

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

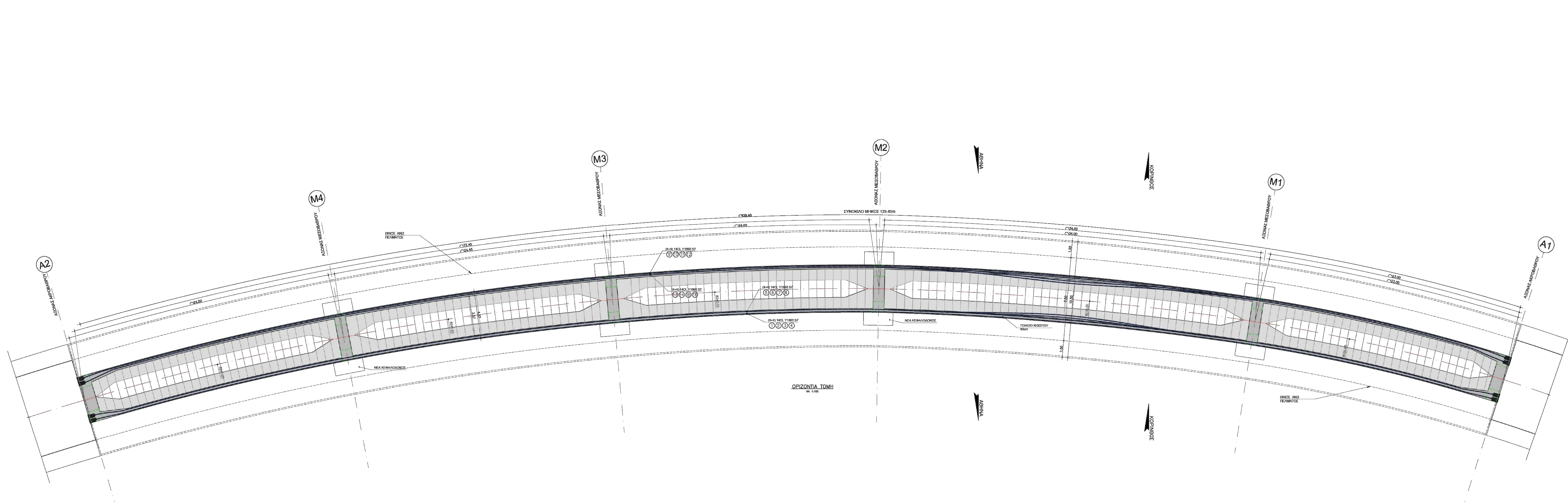
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING TITLE:
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE: 1:100

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE: 2A1


SHEET NO: 06

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
D7_REMER_NTA_DWG_NS-01



ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΤΟΜΗ
ΚΑ 1:100

ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ		DESIGN BASES	
ΤΑΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΓΓΡΑΜΜΑ			
Φορέας (γενικό)	(C40/50) X33	MATERIAL GRADES	
Εδαφολογική επίρροια	(C13/15) X0	CONCRETE	
Μέγιστος κλίση ανωδομής	(C13/15) X0	Bridge slabs and walls (C40/50) X33	
		Leveling courses (C13/15) X0	
		Deck cover fill courses (C13/15) X0	
ΣΥΛΛΕΪ			
Χάλυβας αντοχής γενικό	SST 500 (B500C)	Steel	
Χάλυβας προσαρμογής	Y1800	Reinforcing steel (B500C)	
		Prestress steel (Y1800)	
ΠΑΡΑΔΟΣΕΣ ΤΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ			
Φορέας κατασκευής	EN1991-2	DESIGN ACTIONS AND LOADS	
Ασκή φορέα υποδομικών (με ασφάλειά)	EN1991-2	Traffic loads (EN1991-2)	
Ασκή φορέα υποδομικών (με ασφάλειά)	EN1991-2	Design loads (non seismic) (EN1991-2)	
Βαρύς ασταθής ασταθής	$\gamma=25 \text{ kN/m}^3$	Reinforced concrete unit weight ($\gamma=25 \text{ kN/m}^3$)	
Στατική όλη	±	Seismic zone (±)	
Στατική οριζόντια ολόκληρη	$\alpha=0.16g$	Classed acceleration ($\alpha=0.16g$)	
Επιρροιας συντελεστής	$\gamma=1.00$	Importance factor ($\gamma=1.00$)	
Επιρροιας συντελεστής	$\alpha=1.50$	Behaviour factor ($\alpha=1.50$)	
Καταπόνηση ολόκληρη	±	Soil class (±)	
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ			
EN1992	Διαμορφωμένη βελτιωμένη ασταθής	DESIGN STANDARDS	
EN1991	Κανονισμός φορτίμων οδοιπορικών	EN1992 Design of Reinforced Concrete	
EN1998 (ANAB)	Αστιστοσύνη υποδομικών	EN1991 Design loads for road bridges	
		EN1998 Code for Seismic Design	



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΘΕΤΟ / CLIENT: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME: ΓΕΦΥΡΑ ΕΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΕ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STATUS: ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE: ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION: 00

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ / STRUCTURAL DESIGNER: **ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432**

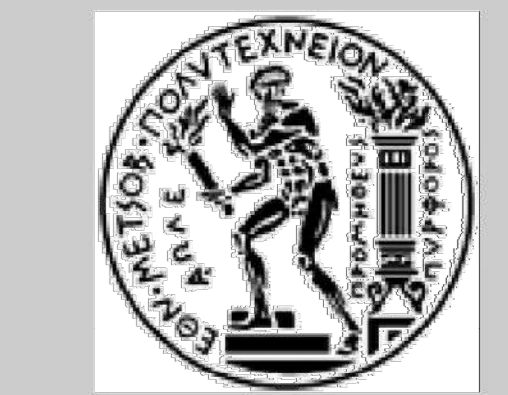
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING TITLE: ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΤΟΜΗ ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE: 1:100

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE: 2A1

SHEET NO: 07

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO: DT_REMPE_NTA_DWG_NS-02



ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ / NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAUΣ:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ / PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

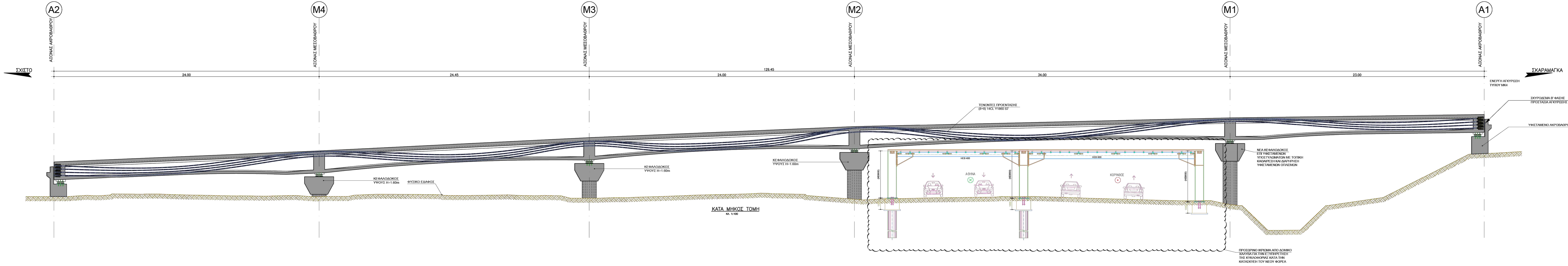
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ /
DRAWING TITLE:
ΜΗΚΟΤΟΜΗ
ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

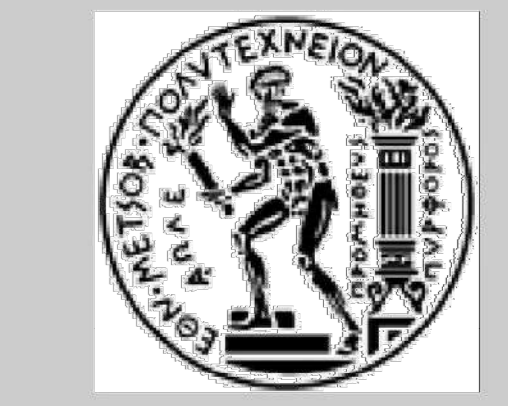
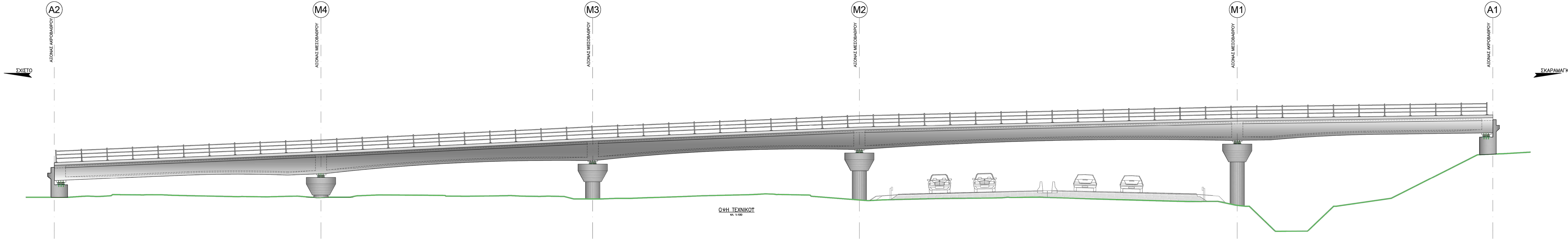
ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:100

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE:
844

SHEET NO:
08

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP ΝΤΥΑ DWG NS-03





ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
*ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ*

ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAIOS:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ /
DRAWING TITLE:
ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ
ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:100

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE:
844

SHEET NO:
09

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP ΝΤΥΑ DWG NS-04



ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAUΣ:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΙΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

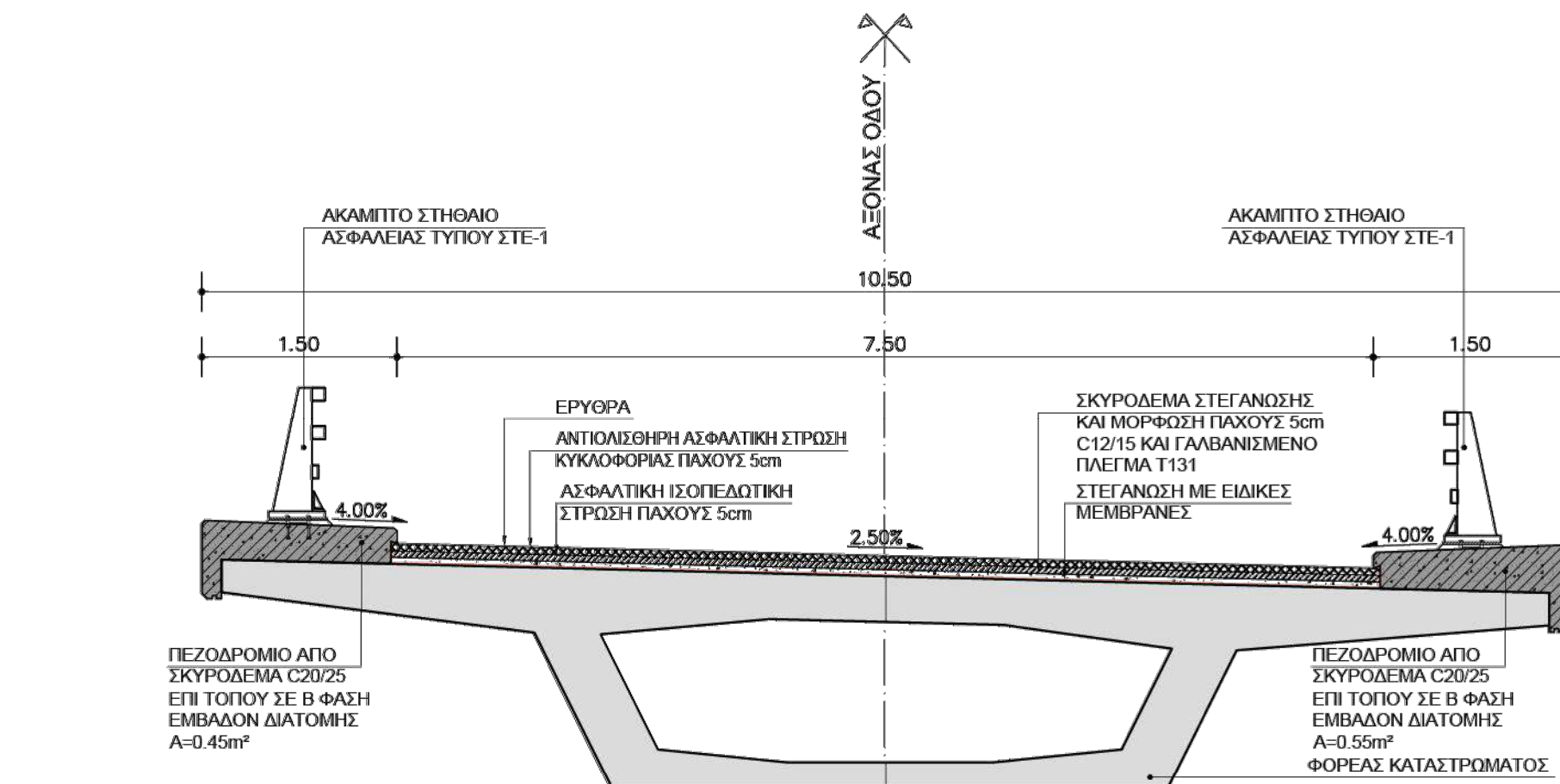
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ /
DRAWING TITLE:
ΔΙΑΤΟΜΕΣ & ΟΥΦΕΙΣ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ
ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:50

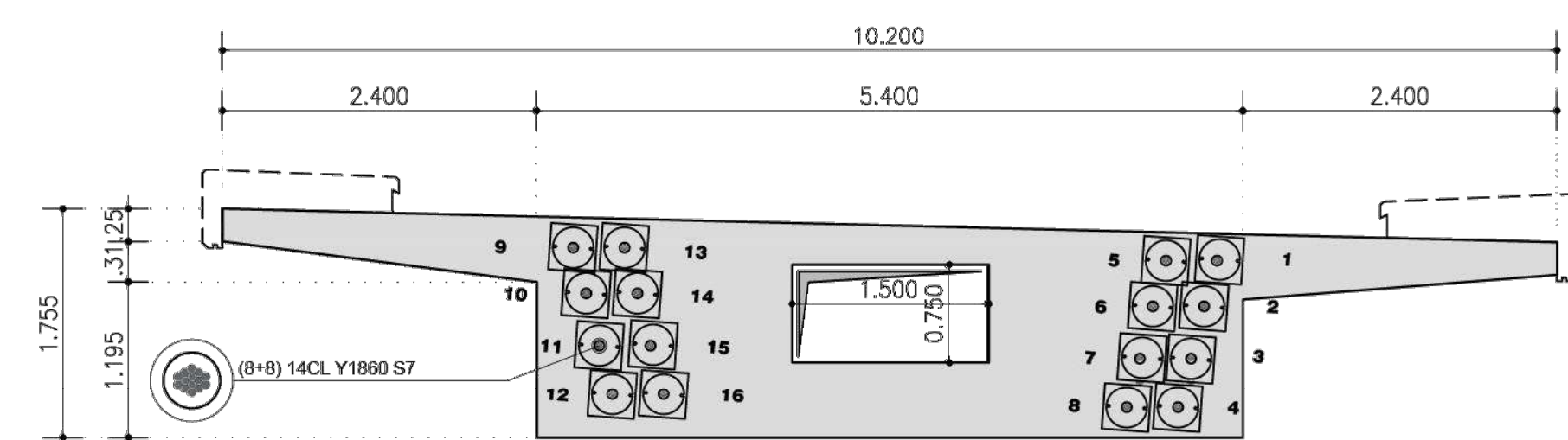
ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE:
7A4

SHEET NO:
10

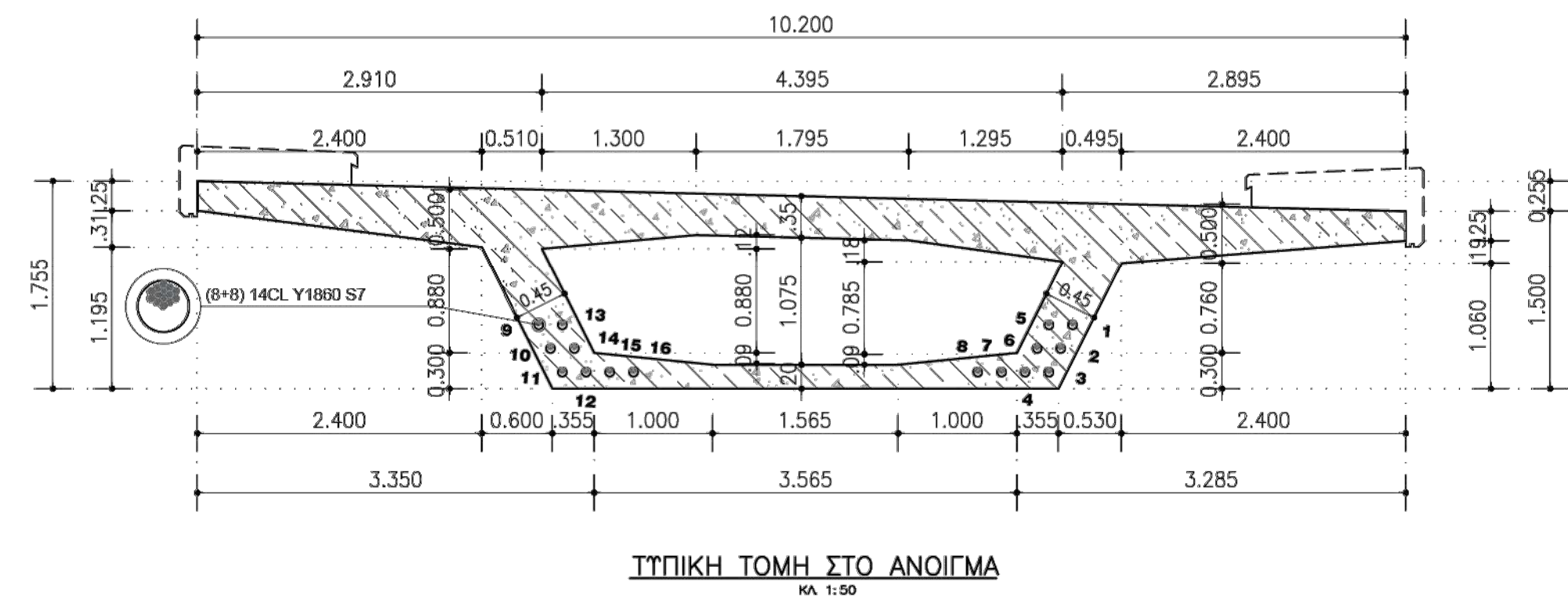
ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP ΝΤΥΑ DWG NS-05



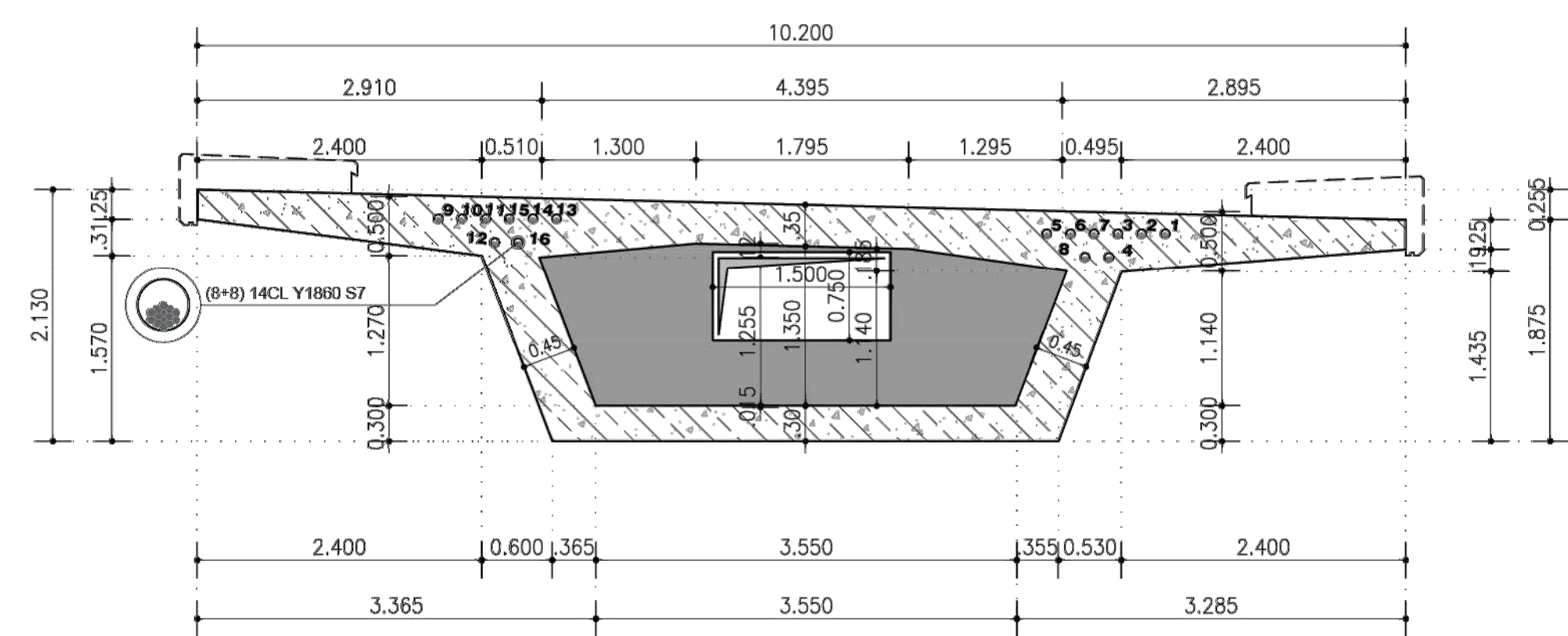
ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ
ΚΑ 1:50



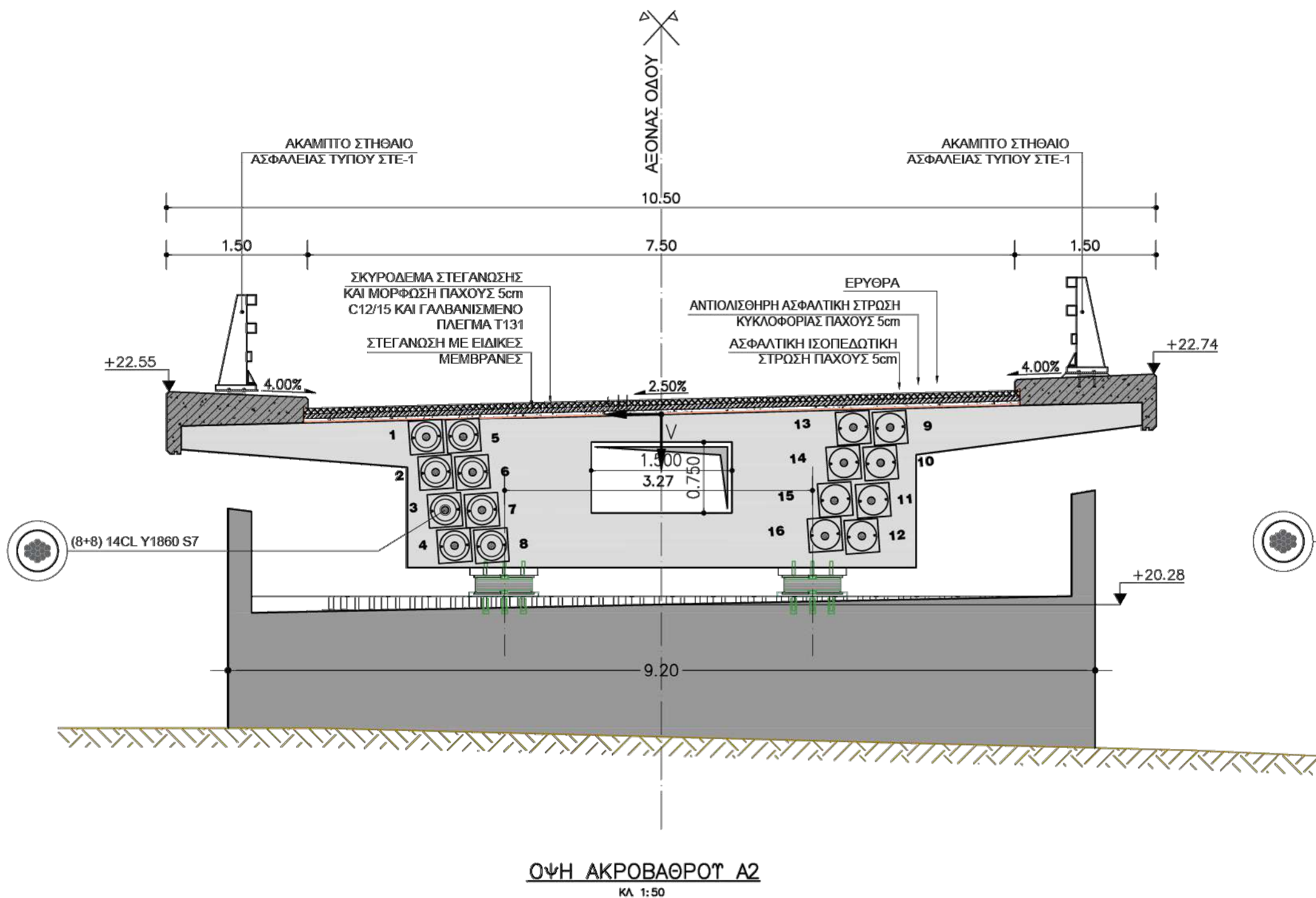
ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΤΟ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟ
ΚΑ 1:50



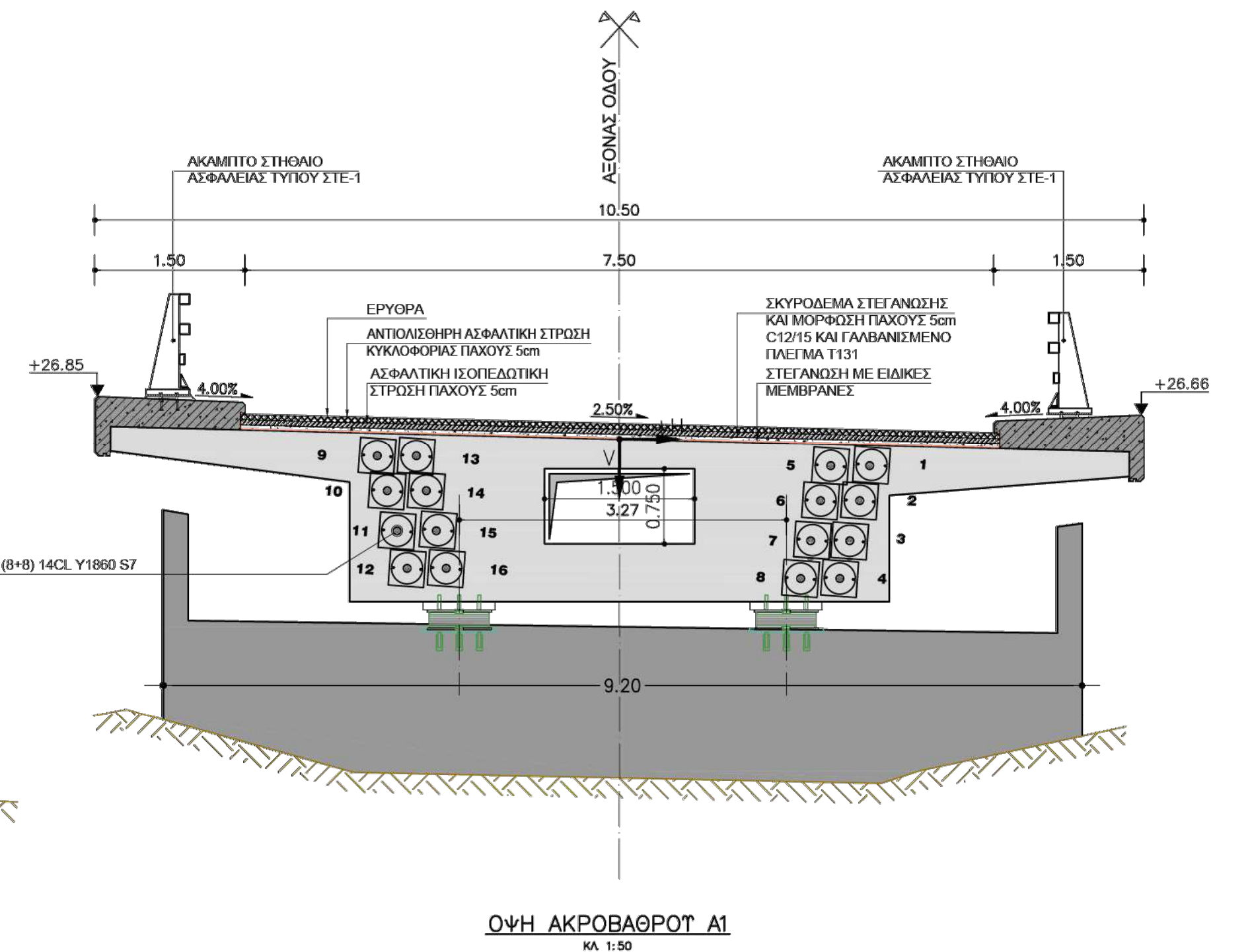
ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ
ΚΑ 1:50



ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ
ΚΑ 1:50



ΟΨΗ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟΥ Α2
ΚΑ 1:50



ΟΨΗ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟΥ Α1
ΚΑ 1:50



ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:

ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

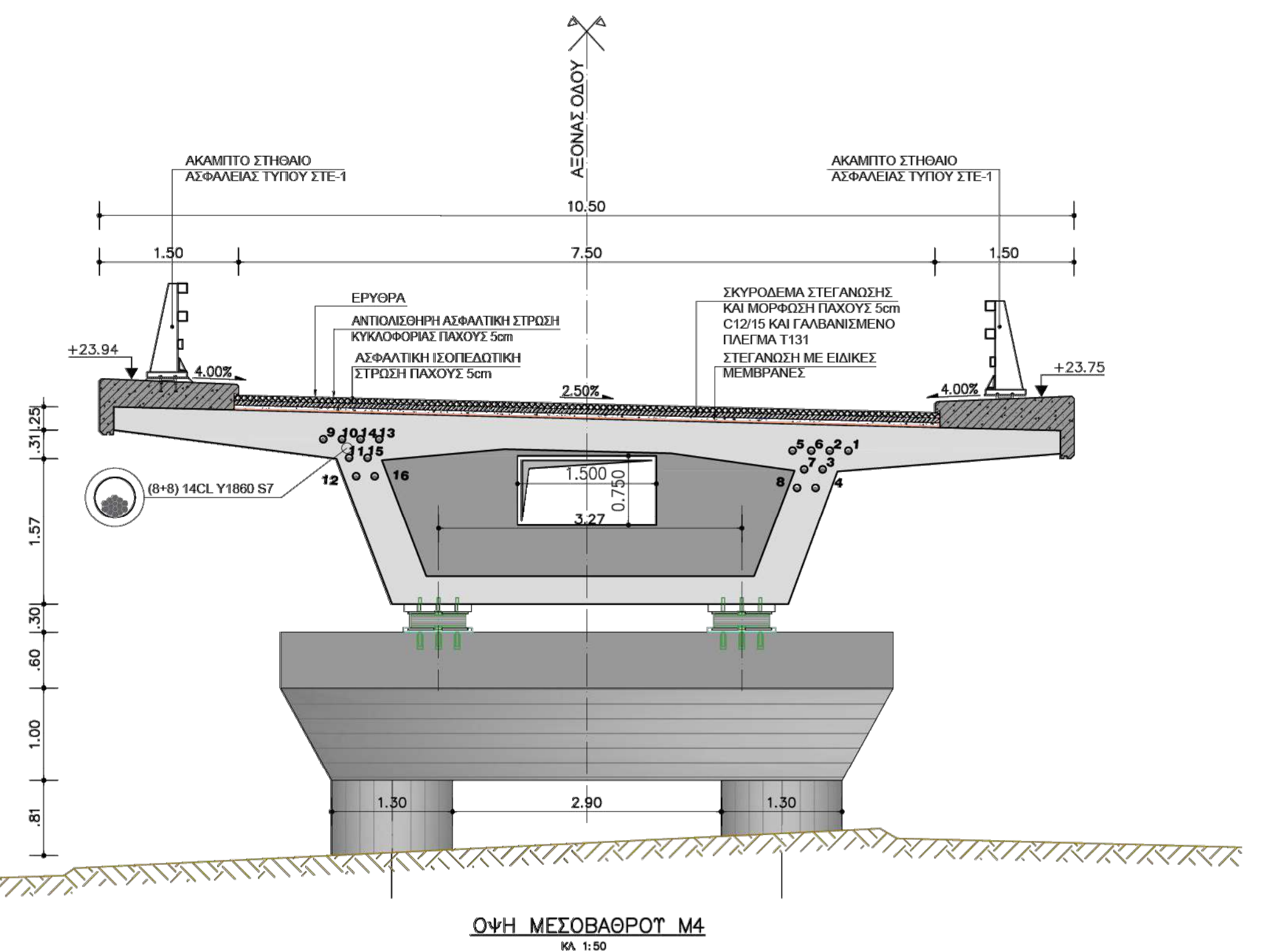
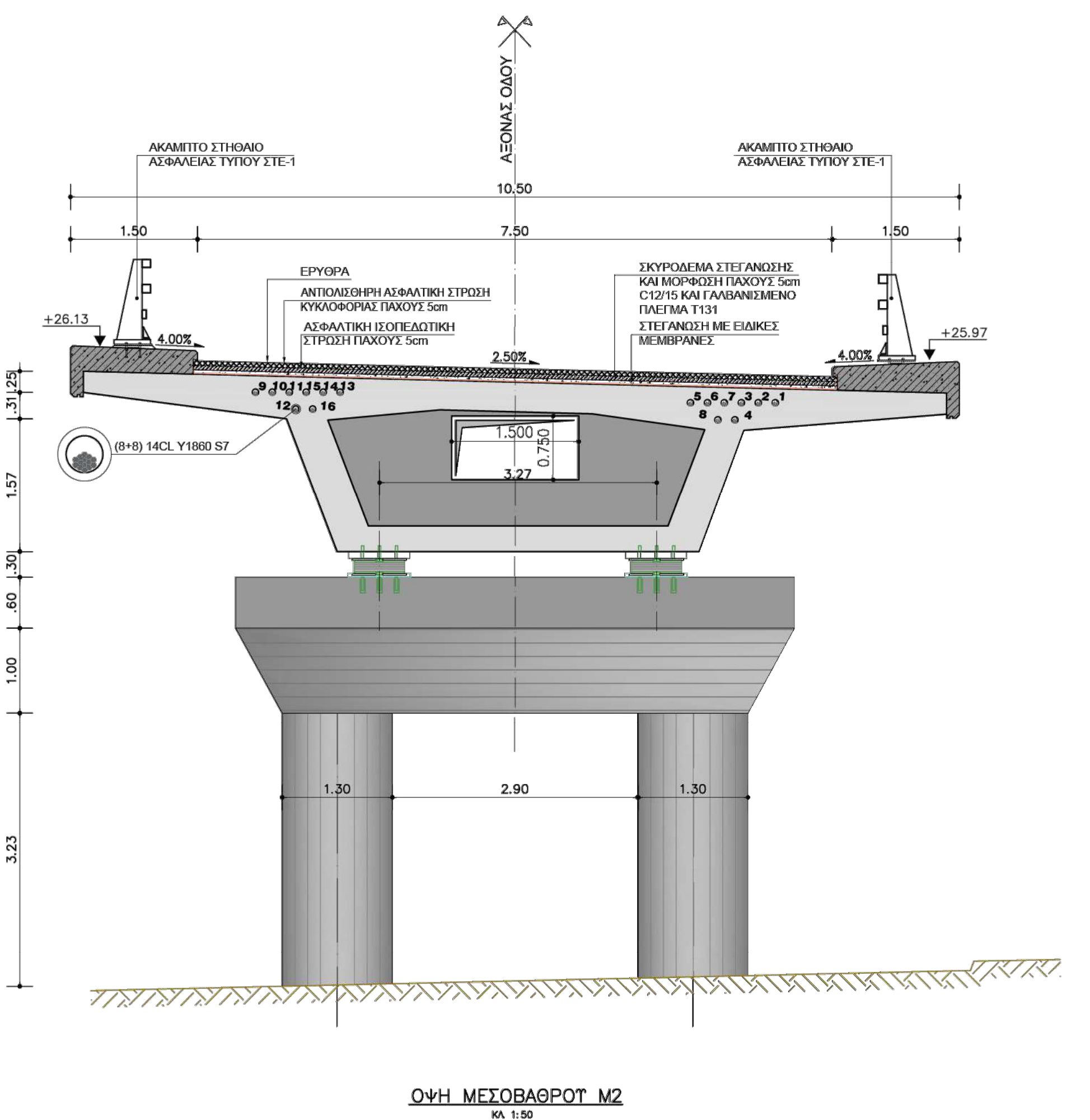
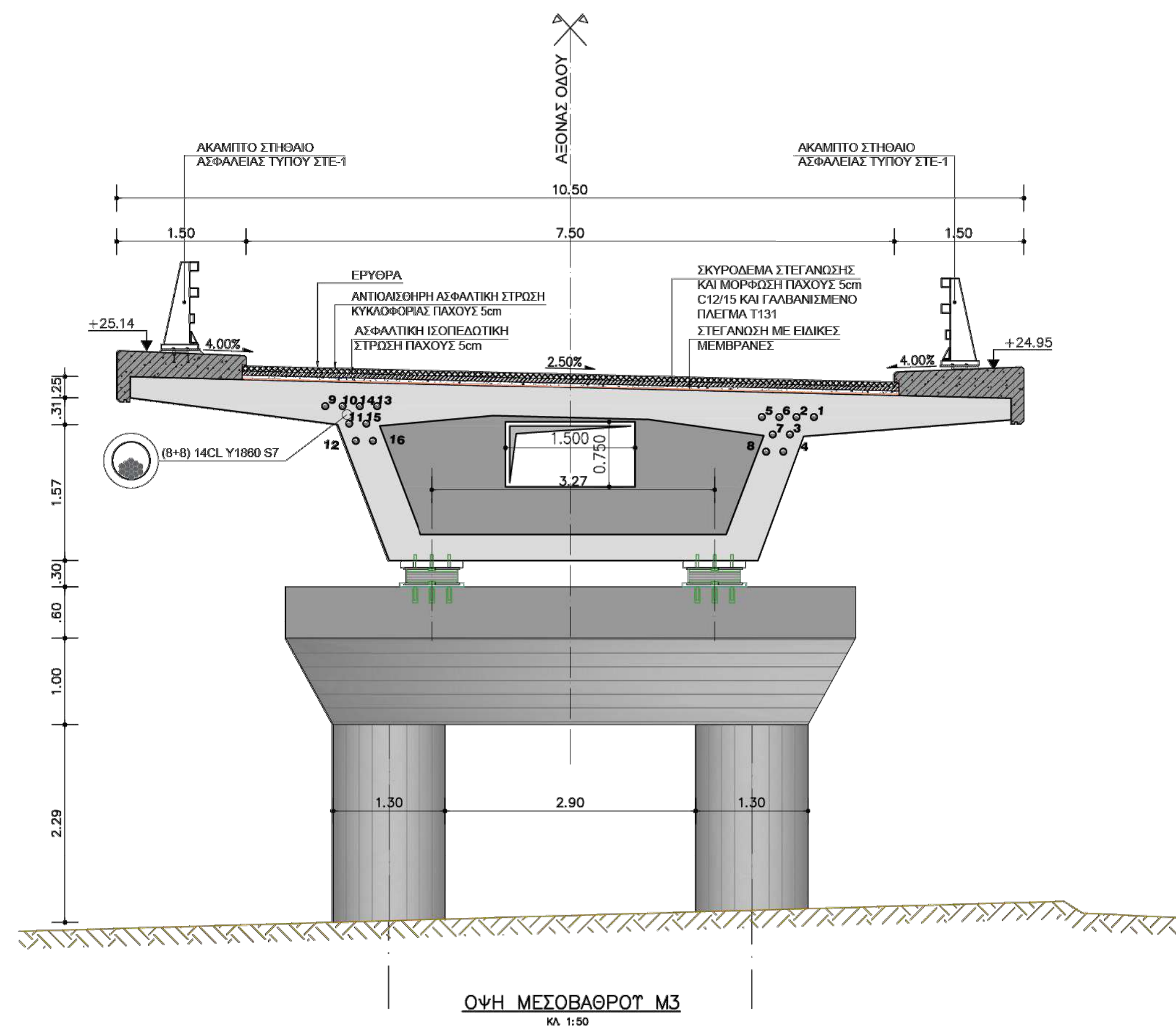
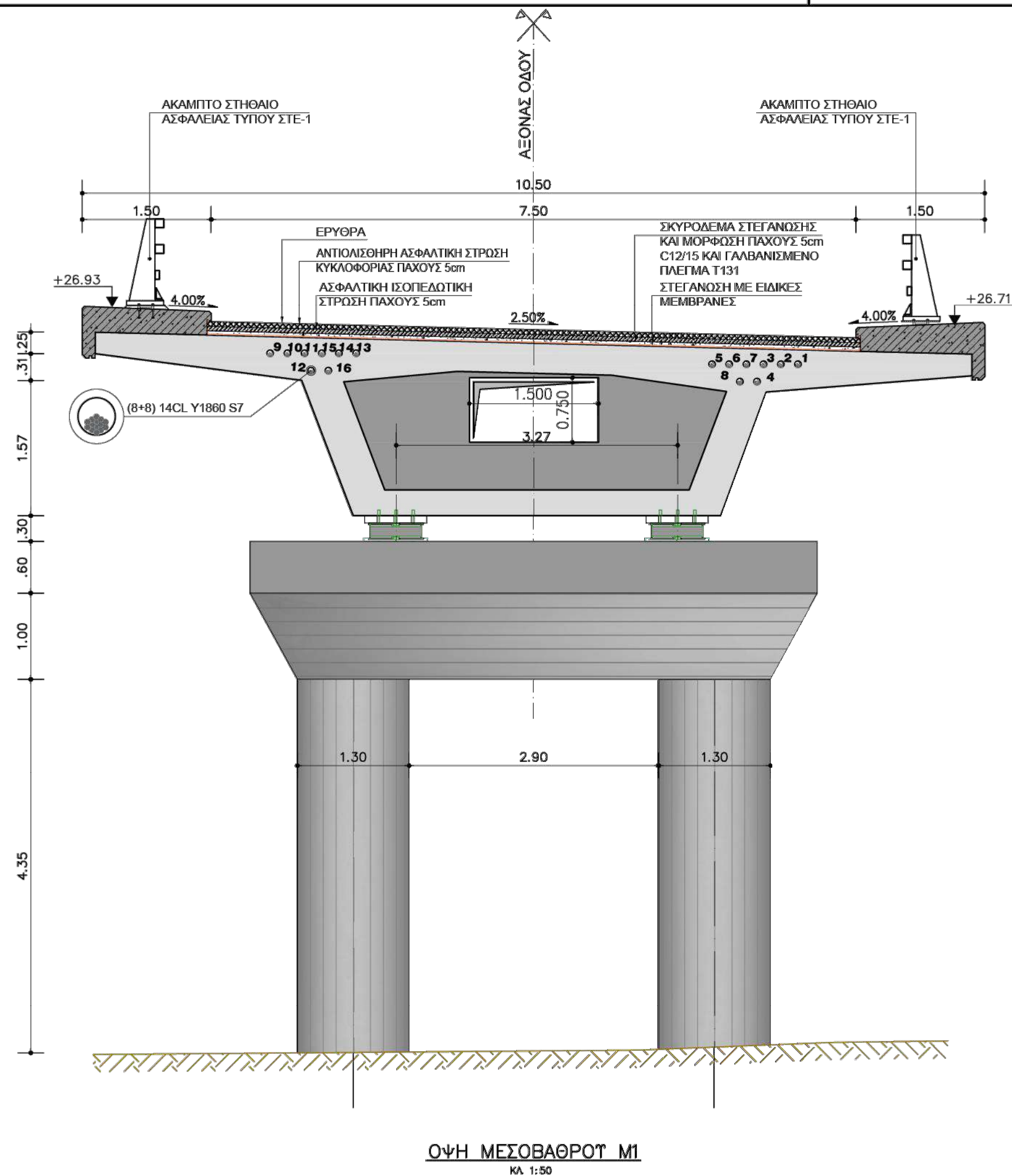
ΣΤΑΔΙΟ / STAUΣ: ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN
ΗΜ/ΝΙΑ / DATE: ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023
REVISION: 00

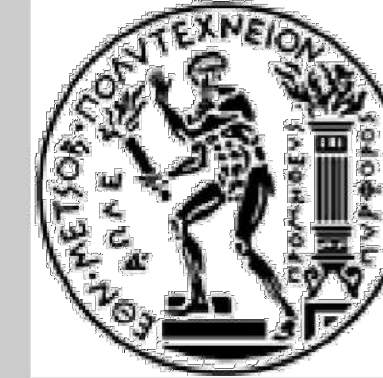
ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΙΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING TITLE:
ΟΨΕΙΣ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ
ΝΕΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ / SCALE: 1:50
ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE: 7A4
SHEET NO: 11

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:
DT REMEP NTUA DWG NS-06





ΕΡΓΟΔΟΤΗΣ / CLIENT:
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ/NATIONAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΕΡΓΟ / PROJECT NAME:
ΓΕΦΥΡΑ ΣΧΙΣΤΟΥ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΣΤΑΔΙΟ / STAUΣ:
ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ/PRELIMINARY DESIGN

ΗΜ/ΝΙΑ / DATE:
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023

REVISION:
00

ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ / STRUCTURAL DESIGNER:
ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ ΡΕΜΟΥΤΑΚΗΣ CV18432

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ /
DRAWING TITLE:
ΟΦΕΙΣ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ
ΤΥΠΙΚΗ ΟΠΛΙΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

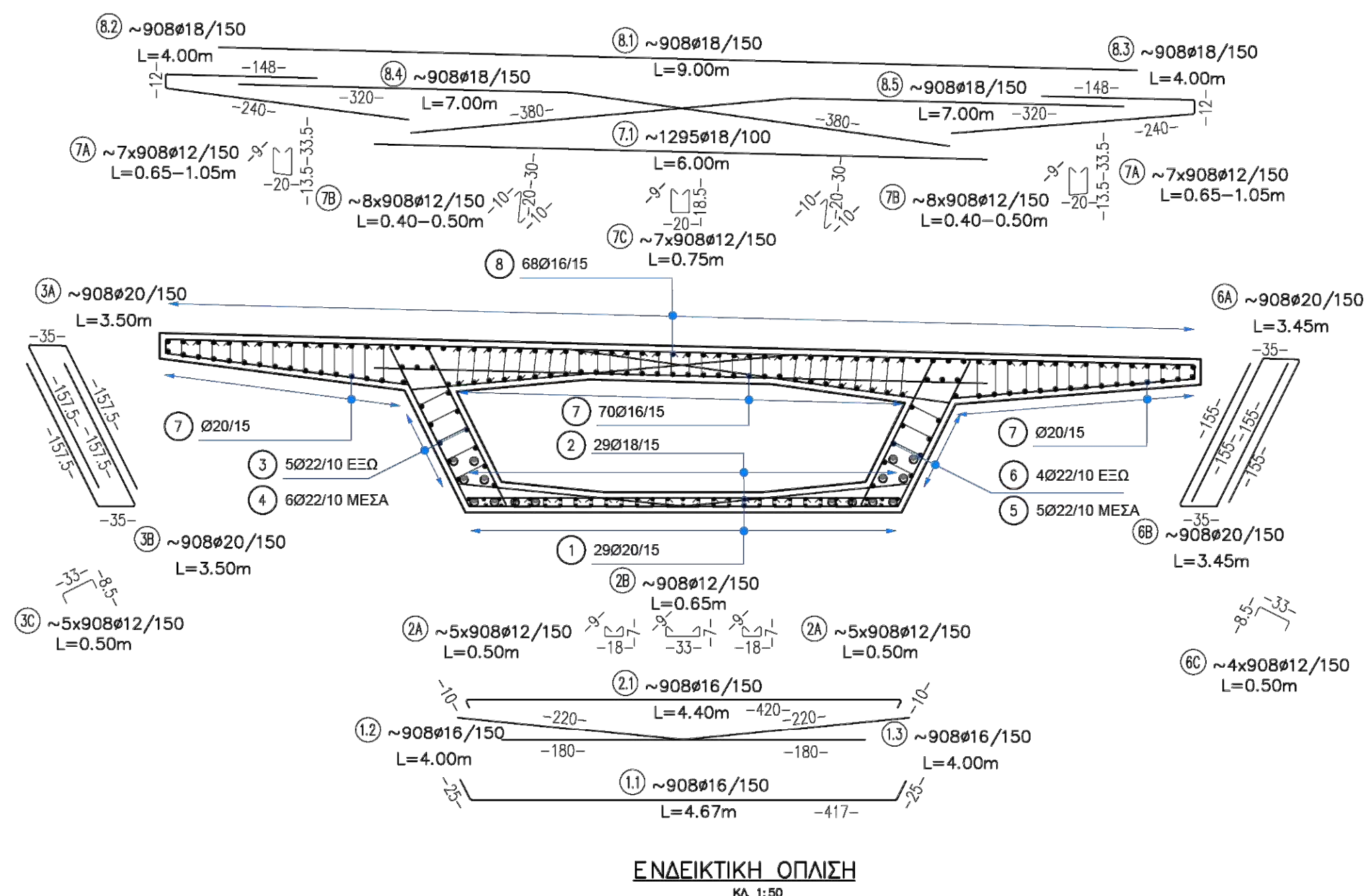
ΚΑΙΜΑΚΑ / SCALE:
1:50

ΜΕΓΕΘΟΣ / SH.SIZE:
4A4

SHEET NO:
11

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ / DRAWING NO:

DT REMEP NTUA DWG NS-07



ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ)
TABLE OF REINFORCEMENT (ESTIMATED)

No A/A	ΣΧΗΜΑ ΡΑΒΔΙΟΥ/REBAR SHAPE ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ cm/ DIMENSIONS IN cm	Ø	QUANTITY ΤΕΜΑΧΙΑ	LENGTH/ΜΗΚΟΣ		WEIGHT/ΒΑΡΟΣ	
				ΙΤΕΜ./ΤΕΜ.	TOTAL/ΟΛΙΚΟ	kg/m	TOTAL/ΟΛΙΚΟ
①	-1400-	20	290	14.00	4060.00	2.466	10012.57
①.1		16	908	4.67	4240.36	1.578	6692.71
①.2		16	908	4.00	3632.00	1.578	5732.52
①.3		16	908	4.00	3632.00	1.578	5732.52
②	-1400-	18	290	14.00	4060.00	1.998	8110.18
②.1		16	908	4.40	3995.20	1.578	6305.77
②A		12	9080	0.50	4540.00	0.888	4030.68
②B		12	908	0.65	590.20	0.888	523.99
③	-700-	22	95	7.00	665.00	2.984	1984.39
③A		20	908	3.50	3178.00	2.466	7837.43
③B		20	908	3.50	3178.00	2.466	7837.43
③C		12	3632	0.50	1816.00	0.888	1612.27
④	-700-	22	114	7.00	798.00	2.984	2381.27
⑤	-700-	22	95	7.00	665.00	2.984	1984.39
⑥	-700-	22	76	7	532.00	2.984	1587.51
TOTAL WEIGHT/ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (Kg)							211300.78

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ)
TABLE OF REINFORCEMENT (ESTIMATED)

No A/A	ΣΧΗΜΑ ΡΑΒΔΙΟΥ/REBAR SHAPE ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ cm/ DIMENSIONS IN cm	Ø	QUANTITY ΤΕΜΑΧΙΑ	LENGTH/ΜΗΚΟΣ		WEIGHT/ΒΑΡΟΣ	
				ΙΤΕΜ./ΤΕΜ.	TOTAL/ΟΛΙΚΟ	kg/m	TOTAL/ΟΛΙΚΟ
⑥A		20	908	3.45	3132.60	2.466	7725.46
⑥B		20	908	3.45	3132.60	2.466	7725.46
⑥C		12	3632	0.50	1816.00	0.888	1612.27
⑦	-1400-	16	700	14	9800.00	1.578	15467.69
⑦.1	-600-	18	1295	6.00	7770.00	1.998	15521.21
⑦A		12	12712	0.85	10805.20	0.888	9593.01
⑦B		12	14528	0.45	6537.60	0.888	5804.17
⑦C		12	6356	0.75	4767.00	0.888	4232.21
⑧	-1400-	16	680	14.00	9520.00	1.578	15025.76
⑧.1	-900-	18	908	9.00	8172.00	1.998	16324.24
⑧.2		18	908	4.00	3632.00	1.998	7255.22
⑧.3		18	908	4.00	3632.00	1.998	7255.22
⑧.4		18	908	7.00	6356.00	1.998	12696.63
⑧.5		18	908	7.00	6356.00	1.998	12696.63
TOTAL WEIGHT/ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (Kg)							211300.78