



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

## ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΕΞΩΡΑΧΙΟΥΣ ΤΕΝΟΝΤΕΣ (extradosed)

ΘΕΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:  
ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ TEROR

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Παναγιώτης Μιχ. Στρατηγάκης

Επιβλέπουσα: Ελισάβετ Βιντζηλαίου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.  
Συνεπιβλέπων: Ιωάννης Ν. Σιγάλας, Επιστημονικός Συνεργάτης Ε.Μ.Π.  
External Advisor: Jordi Revoltós, Bridge Engineer EIPSA-SENER

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

## ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΕΞΩΡΑΧΙΟΥΣ ΤΕΝΟΝΤΕΣ (extradosed)

ΘΕΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:  
ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ TEROR

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Παναγιώτης Μιχ. Στρατηγάκης

Επιβλέπουσα: Ελισάβετ Βιντζηλαίου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.  
Συνεπιβλέπων: Ιωάννης Ν. Σιγάλας, Επιστημονικός Συνεργάτης Ε.Μ.Π.  
External Advisor: Jordi Revoltós, Bridge Engineer, EIPSA-SENER

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING  
LABORATORY OF REINFORCED CONCRETE

## EXTRADOSED BRIDGES

SPECIAL DESIGN TOPICS AND CONSTRUCTION ISSUES:  
**PARTICULAR REFERENCE TO TEROR BRIDGE**

DIPLOMA THESIS



Panagiotis M. Stratigakis

Supervisor: E. Vintzilaiou, Professor (NTUA)  
Co-Supervisor: J. N. Sigalas, Research Associate (NTUA)  
External Advisor: Jordi Revoltós, Bridge Engineer EIPSA-SENER

OCTOBER 2019



Παναγιώτης Μιχ. Στρατηγάκης (2019)  
Γέφυρες με εξωράχιους τένοντες (extradosed)  
Θέματα μελέτης και κατασκευής: ειδική αναφορά στην γέφυρα Teror  
Διπλωματική εργασία  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Panagiotis M. Stratigakis (2019)  
Extradosed Bridges  
Special Design Topics and Construction Issues: Particular Reference to Teror Bridge  
Diploma Thesis  
School of Civil Engineering, National Technical University of Athens



## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το επιστέγασμα των πενταετών προσπαθειών μου στις προπτυχιακές σπουδές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Μεταξύ των καθηγητών μου, ευχαριστώ ιδιαίτερα την κα Ελισάβετ Βιντζηλαίου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. και τον κ. Ιωάννη Σιγάλα, επιστημονικό συνεργάτη του εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος, για την δυνατότητα που μου παρείχαν να ασχοληθώ με ένα θέμα διπλωματικής στον κλάδο της γεφυροποιίας υπό την επίβλεψή τους.

Ευχαριστίες επίσης απευθύνω στον κ. Jordi Revoltós, Πολιτικό Μηχανικό και συν-μελετητή της γέφυρας Teror, για την παροχή των αναγκαίων πληροφοριών για το έργο που αποτελεί αντικείμενο της εργασίας κατά το ήμισυ. Εξίσου ευχαριστώ τον Πολιτικό Μηχανικό της εταιρίας «Καλλίεργος», κ. Γιάννη Μουρελάτο, για την συνεργασία, τις συμβουλές και την καθοδήγηση στην ορθή χρήση του λογισμικού Sofistik.

Την εργασία αυτή αφιερώνω στην οικογένειά μου.

Παναγιώτης Μιχ. Στρατηγάκης

Αθήνα, Οκτώβριος 2019







ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

**ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΕΞΩΡΑΧΙΟΥΣ ΤΕΝΟΝΤΕΣ (extradosed)  
ΘΕΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ TEROR**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η παρουσίαση και διερεύνηση θεμάτων που διέπουν την μελέτη και κατασκευή των Γεφυρών με Εξωράχιους Τένοντες (extradosed). Η κατηγορία αυτή δεν τυγχάνει μέχρι σήμερα εφαρμογών στην Ελλάδα και εμφανίζεται σχετικά πρόσφατα στην διεθνή βιβλιογραφία. Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη, εκ των οποίων στο πρώτο γίνεται παράθεση θεωρητικών στοιχείων και προσεγγίσεων στον σχεδιασμό, ενώ στο δεύτερο μελετάται μία υφιστάμενη γέφυρα με εξωράχιους τένοντες με έμφαση σε ορισμένα κατασκευαστικά θέματα.

Ειδικότερα, στο μέρος Α' επιχειρείται αρχικά μία ιστορική αναδρομή στην τεχνική της προβολοδόμησης, των καλωδιωτών γεφυρών και εν τέλει των γεφυρών extradosed, με ταυτόχρονη παράθεση φωτογραφικού υλικού από υφιστάμενες γέφυρες. Παρουσιάζονται ακολούθως τα βασικά στοιχεία ως προς την κατασκευή, την μορφή και την μελέτη κλασικών προεντεταμένων γεφυρών από ωπλισμένο σκυρόδεμα που κατασκευάζονται με την μέθοδο της προβολοδόμησης. Σε αντιδιαστολή με τα ανωτέρω στοιχεία, παρουσιάζονται εν συνεχεία τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, των γεφυρών με εξωράχιους τένοντες που τις καθιστούν διακριτή κατηγορία γεφυρών.

Αφού παρουσιαστούν τα στοιχεία και τα υλικά της γέφυρας Teror, το μέρος Β' εστιάζει στις παραδοχές σχεδιασμού που αφορούν την μελέτη μίας τέτοιας γέφυρας, με βάση τους Ευρωκώδικες αλλά και κάποιες συστάσεις της βιβλιογραφίας. Ακολουθεί η τεχνική περιγραφή της γέφυρας με λεπτομερείς αναφορές σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά, όπως η διάταξη ανοιγμάτων-βάθρων, η διατομή και οι εξωράχιοι τένοντες. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι λεπτομέρειες προσομοίωσης του φορέα της γέφυρας στο λογισμικό Sofistik, παρατίθενται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διατομών και γίνεται απαρίθμηση των τενόντων που χρησιμοποιούνται. Τέλος παρατίθενται και τα διαγράμματα μειώσεων της προέντασης για κάθε τένοντα

ξεχωριστά, ενώ δίνεται έμφαση στις φάσεις κατασκευής οι οποίες λαμβάνονται αναλυτικά υπ' όψη στην ανάλυση του προσομοιώματος. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο ως εντατικά μεγέθη (M,Q,N). Ακολουθώς, για συγκεκριμένους συνδυασμούς φορτίσεων, γίνονται έλεγχοι τάσεων, κόπωσης και μη ολίσθησης στις «σέλες εκτροπής», ενώ γίνεται και σχεδιασμός έναντι Οριακής Κατάστασης Αστοχίας με υπολογισμό του αναγκαίου οπλισμού. Εξετάζεται επίσης και η περίπτωση απώλειας εξωράχιου τένοντα. Τέλος, ακολουθεί αναφορά στην κατασκευή του διαγράμματος αντιβελών και μία σύντομη φωτογραφική τεκμηρίωση του έργου.

## Πίνακας περιεχομένων

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	13
1. Περὶ γεφυροποιίας.....	15
2. Ιστορική αναδρομή .....	16
3. Η προβολοδόμηση ως μέθοδος κατασκευής γεφυρών .....	27
3.1. Γενικά .....	27
3.2. Πεδίο εφαρμογής.....	30
3.3. Διάταξη ανοιγμάτων-βάθρων .....	30
3.4. Σχεδιασμός διατομής.....	32
3.5. Προένταση.....	34
3.6. Έλεγχος βυθίσεων .....	37
4. Ιδιαιτερότητες των γεφυρών με εξωράχιους τένοντες .....	38
4.1. Προέλευση της ονομασίας.....	38
4.2. Πεδίο εφαρμογής και πλεονεκτήματα.....	39
4.3. Σχεδιασμός διατομής.....	39
4.4. Μορφή βάθρων και πυλώνων .....	42
4.5. Εξωράχιοι τένοντες .....	43
4.5.1. Υλικά και διατάξεις αγκύρωσης .....	43
4.5.2. Συνήθεις διατάξεις τενόντων .....	46
4.5.3. Αντιδιαβρωτική προστασία τενόντων από επτάκλινα συρματόσχοινα .....	47
4.6. Σώματα εκτροπής τενόντων.....	48
4.7. Επιρροή της σιβαρότητας του καταστρώματος στην μελέτη.....	49
4.8. Επιτρεπόμενες τάσεις εξωράχιων τενόντων.....	50
4.9. Όριο διαφοράς δυνάμεων κλάδων του ίδιου τένοντα στην σέλα.....	51
ΜΕΡΟΣ Β΄: Η ΓΕΦΥΡΑ TEROR.....	53
1. Παραδοχές σχεδιασμού .....	55
1.1. Γενικά .....	55
1.2. Μέθοδος κατασκευής .....	56
1.3. Διατομή οδοποιίας.....	57
1.4. Υλικά.....	58
1.4.1. Σκυρόδεμα.....	58
1.4.2. Χάλυβας οπλισμού .....	59
1.4.3. Χάλυβας προέντασης .....	60
1.4.4. Συντελεστές ασφαλείας υλικών .....	61
1.4.5. Σύστημα προέντασης τενόντων .....	62
1.5. Δράσεις σχεδιασμού .....	62
1.5.1. Μόνιμα φορτία.....	62
1.5.2. Κατασκευαστικά φορτία.....	62
1.5.3. Πρόσθετα μόνιμα φορτία.....	63
1.5.4. Φορτία πεζοδιαδρόμων .....	63
1.5.5. Φορτία οδικής κυκλοφορίας .....	63
1.5.5.1. Χωρισμός σε λωρίδες .....	63
1.5.5.2. Προσομοίωμα φόρτισης.....	65
1.5.5.3. Προσομοίωμα φόρτισης για κόπωση.....	67
1.5.6. Προένταση.....	67
1.5.7. Χρόνιες απώλειες στο προεντεταμένο σκυρόδεμα .....	68
1.6. Συνδυασμοί φορτίσεων .....	69
1.6.1. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	69

1.6.2.	Οριακή κατάσταση αστοχίας.....	70
<b>2.</b>	<b>Περιγραφή της γέφυρας.....</b>	<b>72</b>
2.1.	Διάταξη ανοιγμάτων βάθρων .....	72
2.2.	Σχεδιασμός διατομής.....	74
2.3.	Βάθρα και πυλώνες.....	79
2.4.	Εξωράχιοι τένοντες (extradosed).....	81
<b>3.</b>	<b>Μόρφωση προσομοιώματος.....</b>	<b>83</b>
3.1.	Φορέας.....	83
3.2.	Στηρίξεις.....	87
3.3.	Εγκάρσια συμπεριφορά φορέα .....	87
3.4.	Μηχανικά χαρακτηριστικά διατομών καταστρώματος .....	88
3.5.	Μηχανικά χαρακτηριστικά λοιπών διατομών.....	92
3.5.1.	Διατομές βάσης βάθρων .....	92
3.5.2.	Διατομές βάθρων στην «διχάλα».....	93
3.5.3.	Διατομή πυλώνων .....	94
3.6.	Εσωτερικοί και εξωράχιοι τένοντες .....	94
3.6.1.	Κατάλογοι τενόντων .....	94
3.6.2.	Ενδεικτικές διατομές τενόντων και αναρτήρων.....	97
3.6.3.	Διαγράμματα μειώσεων τενόντων.....	101
3.6.3.1.	Διαγράμματα μειώσεων άνω τενόντων .....	101
3.6.3.2.	Διαγράμματα μειώσεων κάτω τενόντων.....	109
3.7.	Φάσεις κατασκευής .....	116
<b>4.</b>	<b>Εντατικά μεγέθη .....</b>	<b>122</b>
<b>5.</b>	<b>Έλεγχοι .....</b>	<b>143</b>
5.1.	Έλεγχος τάσεων Ο.Κ.Λ. ....	143
5.2.	Έλεγχος κόπωσης .....	155
5.2.1.	Σκυρόδεμα.....	155
5.2.2.	Εξωτερικοί τένοντες (εντός του ύψους του κιβωτίου).....	156
5.2.3.	Εξωράχιοι τένοντες (extradosed) .....	156
5.3.	Έλεγχος μη ολίσθησης τενόντων στις σέλες .....	161
<b>6.</b>	<b>Περίπτωση απώλειας εξωράχιου τένοντα.....</b>	<b>164</b>
<b>7.</b>	<b>Σχεδιασμός διατομής (Ο.Κ.Α.) .....</b>	<b>167</b>
7.1.	Σχεδιασμός έναντι κάμψης .....	167
7.2.	Σχεδιασμός έναντι διάτμησης.....	169
<b>8.</b>	<b>Διάγραμμα αντιβελών.....</b>	<b>170</b>
<b>9.</b>	<b>Φωτογραφικό υλικό.....</b>	<b>171</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>179</b>
	<b>Κατάλογος εικόνων .....</b>	<b>179</b>
	<b>Κατάλογος πινάκων.....</b>	<b>180</b>
	<b>Κατάλογος σχημάτων .....</b>	<b>181</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>185</b>

## Μέρος Α': Θεωρητικά στοιχεία



## 1. Περί γεφυροποιίας

Η γεφυροποιία υπό την έννοια της ζεύξης δύο σημείων μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται εμπόδιο αποτελεί την αρχαιότερη ίσως κατασκευαστική δραστηριότητα του ανθρώπου με ιδιαίτερη σημασία και συμβολισμό. Ο συμβολισμός αυτός αποτυπώνεται στην διαχρονική χρήση του τίτλου *Pontifex Maximus*<sup>1</sup>, που μεταφράζεται ως *Υπάτος Γεφυροποιός*, αρχικά για τον θρησκευτικό ηγέτη της Αρχαίας Ρώμης και εν συνεχεία για τον προκαθήμενο της Ρωμαιοκαθολικής Εκκλησίας.

Οι δυσκολίες που διέπουν την μελέτη και κατασκευή μίας γέφυρας πριν την συστηματοποίηση των γνώσεων μηχανικού, εκφράζονται χαρακτηριστικά στις λαϊκές αφηγήσεις και θρύλους. Σήμερα, παρά τα σύγχρονα μέσα και υλικά, η γεφυροποιία εξακολουθεί να είναι απαιτητική δραστηριότητα, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην οικονομικότητα της κατασκευής. Για τους λόγους αυτούς, αποτελεί βασικό πεδίο της επιστήμης Πολιτικού Μηχανικού στο οποίο τυγχάνει εφαρμογής η έρευνα και η καινοτομία των επιμέρους γνωστικών πεδίων.

Συμπληρώνοντας κάθε σύγχρονο οδικό άξονα, η ύπαρξή τους αποτελεί έναν άτυπο δείκτη για τις δυνατότητες ανάπτυξης μίας περιοχής και κατ' επέκταση μίας χώρας. Από αυτή την αξία χρήσεως απορρέει κάθε άλλη δευτερεύουσα αξία που μπορεί δυνητικά να αποδοθεί σε μία γέφυρα.

---

<sup>1</sup> Η λατινική λέξη «Pontifex» κυριολεκτικά σημαίνει «Κατασκευαστής Γεφυρών» [pons+facere]. «Maximus» σημαίνει Ανώτατος, Υπάτος. Η θέση του κατασκευαστή γεφυρών στην Ρώμη θεωρείτο σπουδαία. Ο ποταμός Τίβερης που την διασχίζει είχε ιερή σημασία για τους Αρχαίους Ρωμαίους και μόνο ένας γνωστός και ευσεβής Ρωμαίος επιτρεπόταν να αλλοιώσει τον ποταμό με μηχανικές προσθήκες. Εν προκειμένω βέβαια αφορά την δημιουργία γεφυρών μεταξύ θεού και ανθρώπων.



## 2. Ιστορική αναδρομή

Η «εν προβόλω δόμησις» είναι μία κατασκευαστική διαδικασία γνωστή ήδη από τα αρχαία χρόνια για γεφύρωση ανοιγμάτων όπου δεν είναι εφικτή η ενδιάμεση στήριξη. Παρόλα αυτά η επανεμφάνισή της ως σύγχρονης κατασκευαστικής μεθόδου γεφυροποιίας τοποθετείται στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όταν και κυριαρχούν υλικά βιομηχανικής παραγωγής με επαρκή ολκιμότητα, όπως ο σίδηρος και ο χάλυβας. Τα δύο αυτά υλικά και αργότερα το ωπλισμένο σκυρόδεμα αντικαθιστούν πλήρως την ξυλεία, τους φυσικούς λίθους και τον ψαθυρό χυτοσίδηρο σχεδόν σε κάθε κατασκευή. Η εντατική κατασκευή γεφυρών εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο ανασυγκρότησης των δικτύων μεταφορών που επιβάλλει η βιομηχανική επανάσταση. Ειδοποιός διαφορά σε σχέση με παλαιότερα, είναι τα κατά πολύ αυξημένα ανοίγματα που πρέπει να γεφυρωθούν με οικονομικότητα και η απαίτηση κίνησης βαρέων μηχανοκίνητων οχημάτων όπως ο σιδηρόδρομος και αργότερα το αυτοκίνητο.



Εικόνα 1 Προβολοδόμηση με κορμούς στο Θιβέτ

Η ανάλυση των φορέων με γραφοστατική μέθοδο αναδεικνύει την χρήση δικτυωτών φορέων ανωδομής που μπορούν να αναλάβουν καμπτικά φορτία μέσω ανάπτυξης αποκλειστικά αξονικών δυνάμεων σε κάθε μέλος. Αντίστοιχα, τα βάρη μπορούν να είναι είτε λιθόκτιστα, είτε και αυτά δικτυωτά από χάλυβα. Έτσι, η προβολοδόμηση εφαρμόζεται με συμμετρική ανάπτυξη δικτυωμάτων πακτωμένων σε κάθε βάρη. Εν προκειμένω, η κατασκευή των προβόλων γίνεται με διαρκή προσθήκη χαλύβδινων μελών στον υφιστάμενο φορέα. Κάθε πρόβολος φθάνει μέχρι σχεδόν το μέσον του ανοίγματος, με το ενδιάμεσο τμήμα να κατασκευάζεται τελευταίο εν είδει κλείδας, οπότε και αποκαθίσταται η συνέχεια.

Χαρακτηριστική χαλύβδινη γέφυρα κατασκευασμένη με προβολοδόμηση<sup>2</sup> είναι η σιδηροδρομική γέφυρα του κόλπου Forth στην Σκωτία (Forth Rail Bridge) που αποτελεί τοπόσημο του Εδιμβούργου. Κατασκευάστηκε το 1890 από τους Sir John Fowler και Sir Benjamin Baker και έχει μέγιστο άνοιγμα 521 m.



Εικόνα 2 Σιδηροδρομική γέφυρα Forth (1890), Σκωτία

---

<sup>2</sup> Η επιλογή της μεθόδου έγινε προς ελαχιστοποίηση των ενδιάμεσων στηρίξεων, ενώ είναι σχεδιασμένη έναντι ισχυρής ανεμοπίεσης. Τα κριτήρια αυτά ανέδειξε η πολύνεκρη κατάρρευση της κοντινής σιδηροδρομικής γέφυρας του κόλπου Tay το 1879, λόγω ανεμοπίεσης και ταυτόχρονης διέλευσης αμαξοστοιχίας. Λόγω αυτού, ματαιώθηκε η κατασκευή κρεμαστής γέφυρας που είχε ήδη μελετηθεί αντί της σημερινής στην ίδια θέση.



Εικόνα 3 Η γέφυρα Forth λίγο πριν την αποκατάσταση της συνέχειας

Παρά την ευρύτατη διάδοση, η ανάγκη συνεχούς συντήρησης των σιδηρών και χαλύβδινων κατασκευών ανέδειξε σταδιακά το ωπλισμένο σκυρόδεμα ως βασικό υλικό γεφυροποιίας με επαρκή ανθεκτικότητα. Από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, με την εφεύρεση του τσιμέντου Portland, το άοπλο ακόμη σκυρόδεμα άρχισε να αντικαθιστά τους φυσικούς λίθους σε τοξωτές κατασκευές. Η πρώτη γέφυρα από σιδηροπαγές σκυρόδεμα κατασκευάστηκε στο Σαζελέ της Γαλλίας (1875) από τον κηπουρό Joseph Monier, εμπειροτέχνη και πρωτοπόρο στην χρήση οπλισμού.



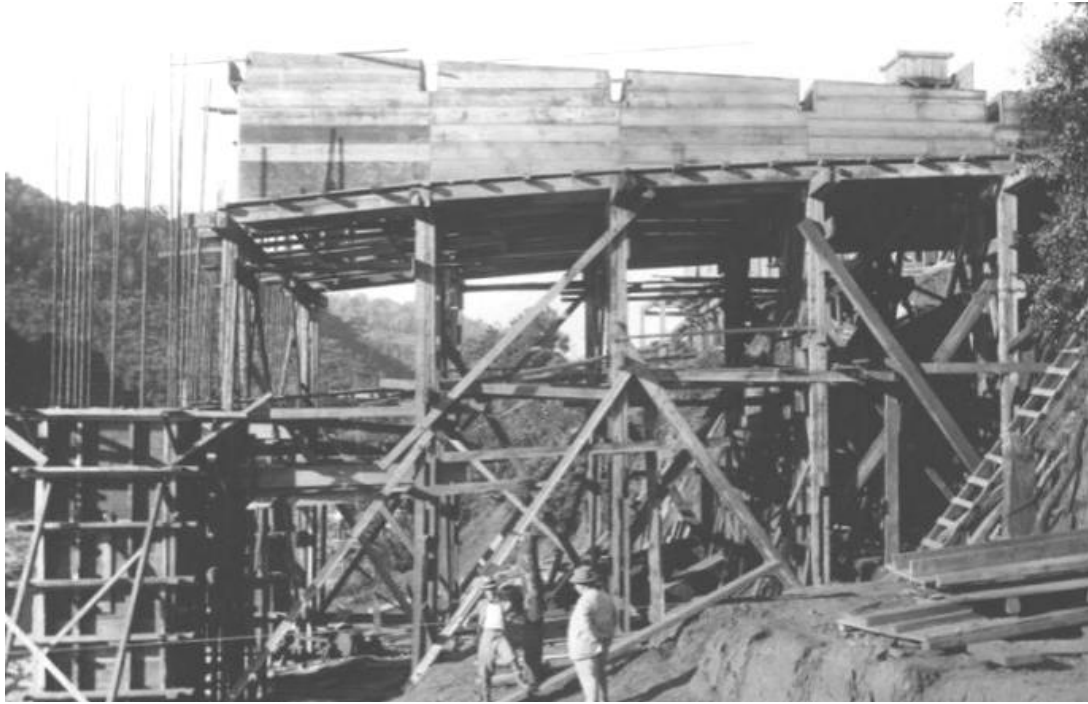
Εικόνα 4 Η πρώτη γέφυρα από Ω.Σ. στο Σαζελέ (1875), Γαλλία

Η θεωρητική τεκμηρίωση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος και των μεθόδων μελέτης, έδωσε ώθηση στην ανέγερση πολυάριθμων τοξοτών γεφυρών από σιδηροπαγές σκυρόδεμα. Η τάση σχεδιασμού των γεφυρών ως ισοστατικών φορέων και ιδίως τριαρθρωτών τόξων, είχε ως αποτέλεσμα εκδήλωση έντονων ερπυστικών παραμορφώσεων, που μόλις τότε άρχισαν να γίνονται αντικείμενο μελέτης.

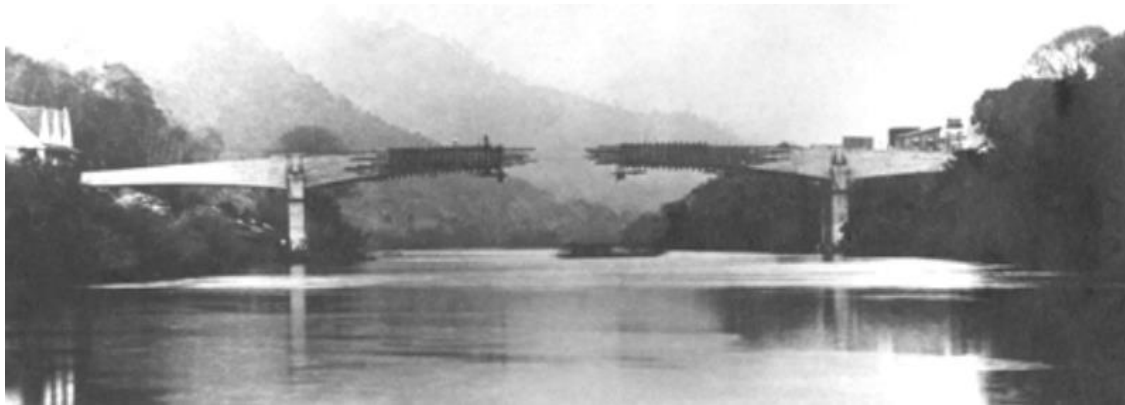
Η πρώτη γέφυρα από σκυρόδεμα με προβολοδόμηση κατασκευάστηκε το 1933 στον ποταμό Reixe, στο Herval της Βραζιλίας από τον Βραζιλιάνο μηχανικό Emilio Baumgart. Το κεντρικό άνοιγμα είχε μήκος 68.5 m, ενώ η επιλογή της μεθόδου έγινε λόγω φόβου πλημμυρών του ποταμού. Με προβολοδόμηση κατασκευάστηκε μόνο το κεντρικό άνοιγμα, ενώ τα δύο ακραία κατασκευάστηκαν πριν από το κεντρικό και επί κριωμάτων μεταξύ μεσοβάθρων και ακροβάθρων. Επί της ουσίας, το στατικό σύστημα του φορέα στις φάσεις κατασκευής, ήταν αυτό της μονοπροέχουσας δοκού. Χρησιμοποιήθηκαν σπόνδυλοι μήκους 1.5 m, ενώ στο σύνολό της η κατασκευή ήταν από σιδηροπαγές και όχι προεντεταμένο σκυρόδεμα, το οποίο βρισκόταν ακόμη υπό θεωρητική μελέτη. Άξια λόγου, είναι η χρήση χαλύβδινων αρθρωτών συνδέσμων στην σύνδεση ανωδομής και ακροβάθρων. Η γέφυρα κατέρρευσε μετά από πλημμύρα του ποταμού το 1983.



Εικόνα 5 Γέφυρα ποταμού Reixe (1933), Βραζιλία



Εικόνα 6 Κατασκευή ακραίου ανοίγματος επί ικρωμάτων στην γέφυρα του ποταμού Ρείχε



Εικόνα 7 Προβολοδόμηση εν εξελίξει στην γέφυρα του ποταμού Ρείχε

Αρχικά η προένταση θεωρούνταν τεχνική για τον περιορισμό της ρηγματώσης<sup>3</sup> των φορέων και όχι σαν μέσο αύξησης της φέρουσας ικανότητας μέσω τεχνητής εντατικής κατάστασης. Οι πρώτες εφαρμογές σε κατασκευές μελετήθηκαν από τον Eugène Freyssinet στο πρώτο μισό της δεκαετίας του '30, ενώ ο ίδιος συγχρόνως σχεδίασε τα πρώτα συστήματα προεντάσεως. Η πρώτη προεντεταμένη

---

<sup>3</sup> Τεχνικές προεντάσεως χρησιμοποιούνταν για να εξασφαλίσουν στεγανότητα μεταξύ ξύλινων σανίδων, με κύρια πεδία εφαρμογής την ναυπηγική και την βαρελοποιία. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα υπήρξαν εφαρμογές περιορισμού της ρηγματώσης σε πλάκες ω.σ. με χρήση καλωδίων από τον μηχανικό W. Döring.

γέφυρα με τένοντες μη ενεματωμένους κατασκευάστηκε από τον Franz Dischinger στο Aue της Γερμανίας το 1937 με μέγιστο άνοιγμα 69 m. Όμως η μη ενεμάτωση των τενόντων είχε ως συνέπεια την σταδιακή απώλεια μεγάλου μέρους της προέντασης λόγω χρόνιων απωλειών.

Η πρώτη συνεχής προεντεταμένη γέφυρα σχεδιάστηκε από τον Gustave Magnel στον ποταμό Maas, στην Ολλανδία το 1949. Τα επόμενα χρόνια η προένταση εφαρμόζεται και σε κατασκευές με προβολοδόμηση. Μία από τις πρώτες γέφυρες, είναι η γέφυρα Nibelungen στη Γερμανία που κατασκευάστηκε από τον Ulrich Finsterwalder το 1953. Είναι γέφυρα τριών ανοιγμάτων με μήκη 101.5 m, 114.2 m και 104.2 m, ενώ η σκυροδέτηση των σπονδύλων έγινε επί τόπου.



Εικόνα 8 Γέφυρα Nibelungen (1953), Γερμανία

Προβολοδόμηση με χρήση προκατασκευασμένων σπονδύλων εφαρμόστηκε πρώτη φορά στην Σοβιετική Ένωση και συγκεκριμένα στη γέφυρα Lickhacer στην Μόσχα κατά την δεκαετία του '60. Για την σύνδεση των σπονδύλων γινόταν επί τόπου σκυροδέτηση ενός συνδέσμου πάχους 20 cm με αναμονές και από τους δύο σπονδύλους. Άξια λόγου είναι και η χρήση προκατασκευασμένων σπονδύλων με εν ξηρώ σύνδεση, που έγινε στην γέφυρα Ojat της Σοβιετικής Ένωσης.

Η πρώτη καλωδιωτή γέφυρα κατασκευάστηκε από τον Ricardo Morandi στην Βενεζουέλα το 1962. Έχοντας άνοιγμα 235 m, φέρει δύο αναρτήρες στο 1/3 κάθε ανοίγματος, ενώ το κατάστρωμα αποτελείται από πλακοδοκούς. Προβολοδόμηση με κιβωτιοειδή διατομή εφαρμόστηκε πάλι από τον Morandi στην γέφυρα Waal στην Ολλανδία το 1972. Εν προκειμένω, η χρήση μόνο τεσσάρων αναρτήρων από τον πυλώνα στο άνοιγμα επέβαλε την χρήση και προσωρινών αναρτήσεων. Το 1973 κατασκευάστηκε από τον Finsterwalder η πρώτη γέφυρα πολλών καλωδίων με κατάστρωμα από σκυρόδεμα. Χάρης στο στιβαρό της κατάστρωμα, η εν λόγω γέφυρα, καταφέρνει να διανέμει πλήρως τα κινητά φορτία σε πολλαπλά καλώδια, σε αντίθεση με άλλες γέφυρες όπου οι αναρτήσεις αποτελούν σημειακές στηρίξεις.



Εικόνα 9 Γέφυρα Maracaibo (1962), Βενεζουέλα



Εικόνα 10 Γέφυρα New Hoechst στην Φρανκφούρτη (1973), Γερμανία

Μία ιδιαίτερη κατηγορία γεφυρών εμφανίζεται το 1980, όταν ο Christian Menn σχεδιάζει την γέφυρα Ganter στην Ελβετία. Οι γέφυρες αυτές, κατασκευασμένες με προβολοδόμηση, διαθέτουν άνω τένοντες που δεν βρίσκονται στο σύνολό τους στην άνω πλάκα του καταστρώματος, αλλά διέρχονται από κοντό πυλώνα στην θέση της στήριξης και είναι εγκιβωτισμένοι σε υψίκορμα στοιχεία από σκυρόδεμα, σαν τοιχία. Λόγω της μορφής των στοιχείων αυτών, οι γέφυρες διακρίνονται σε *finback bridges* (γέφυρες με πτερύγιο) και *cable-panel bridges*, ανάλογα με το αν το τοιχίο αποτελεί τμήμα της διατομής σε όλο το μήκος του ή αν απλά εγκιβωτίζει τους τένοντες.



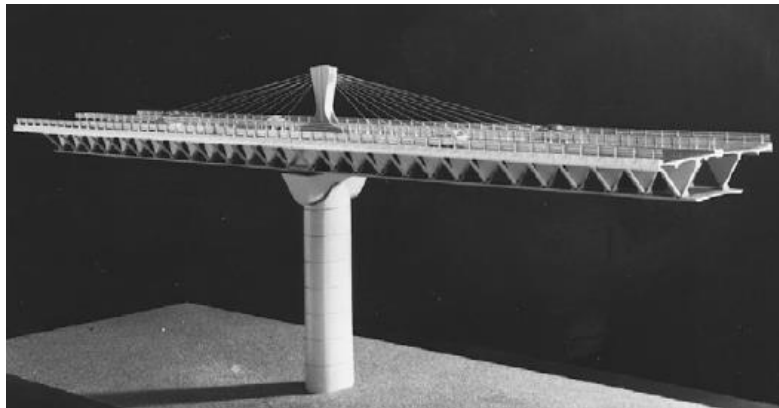
Εικόνα 11 Γέφυρα Barton Creek (1991), Τέξας



Εικόνα 12 Γέφυρα Ganter (1980), Ελβετία



Στις αρχές της δεκαετίας του '80, ο Jacques Mathivat μελετά την χρήση εξωτερικών τενόντων στην προβολοδόμηση. Οι εξωτερικοί τένοντες, σχεδιάζονται να διέρχονται από πυλώνα χαμηλού ύψους και ονομάζονται *extradosed tendons* ή *εξωράχιοι τένοντες*. Προορίζονται δε να αντικαταστήσουν τους τένοντες άνω πέλματος μερικώς ή ολικώς, υπό το σκεπτικό πως θα είναι πλήρως αντικαταστάσιμοι, σε αντίθεση με τις finback ή cable-panel γέφυρες. Σημειωτέον πως η πρώτη extradosed γέφυρα με προκατασκευασμένους σπονδύλους που σχεδιάστηκε από τον Mathivat το 1982, εν τέλει δεν υλοποιήθηκε<sup>4</sup>. Η κατασκευή της πρώτης extradosed γέφυρας έγινε το 1994 στην Odawara της Ιαπωνίας. Πρόκειται για την γέφυρα Blueway με διάταξη ανοιγμάτων 73.3-122.3-73.3 και ύψος πυλώνα 10.7 m.



Εικόνα 13 Πρόπλασμα προτεινόμενης extradosed γέφυρας του Mathivat (1982)



Εικόνα 14 Γέφυρα Blueway (1994), Ιαπωνία

---

<sup>4</sup> Η πρόταση αφορούσε την κατασκευή γέφυρας Arrêt-Darré στην νοτιοδυτική Γαλλία.

Η γέφυρα Saint Rémy de Maurianne (1996), δεύτερη παγκοσμίως και πρώτη στην Ευρώπη, κατασκευάστηκε αμέσως μετά την Blueway, στην Σαβοΐα της Γαλλίας και έχει δύο ανοίγματα 52.4 m και 48.5 m. Μεταξύ των extradosed γεφυρών της Ευρώπης, από τις πιο χαρακτηριστικές, είναι η γέφυρα Sunniberg που σχεδίασε ο Christian Menn το 1998 και αναδεικνύει συγχρόνως τα αισθητικά πλεονεκτήματα της κατηγορίας των extradosed.

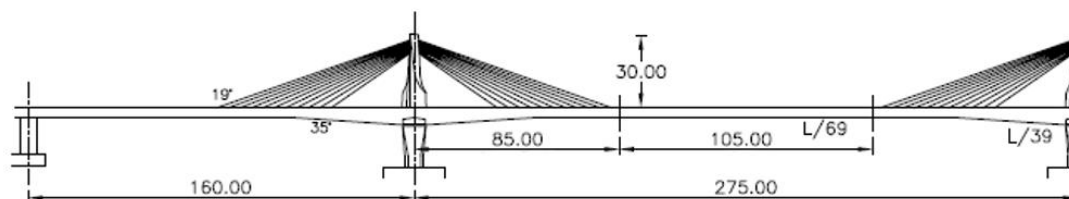


Εικόνα 15 Γέφυρα Saint-Remy (1996), Γαλλία



Εικόνα 16 Γέφυρα Sunniberg (1998), Ελβετία

Μέχρι σήμερα οι ανά τον κόσμο extradosed γέφυρες ανέρχονται σε περίπου 60, με πάνω από τις μισές να βρίσκονται στην Ιαπωνία. Ομοίως στην Nagashima της Ιαπωνίας, βρίσκεται και η extradosed γέφυρα με το μεγαλύτερο άνοιγμα. Πρόκειται για την γέφυρα του ποταμού Kiso (2001), με διάταξη ανοιγμάτων 160-275-275-275-160, ύψος πυλώνων 30 m και τετρακύψελη διατομή.



Σχήμα 1 Διάταξη ανοιγμάτων γέφυρας Kiso (2001)

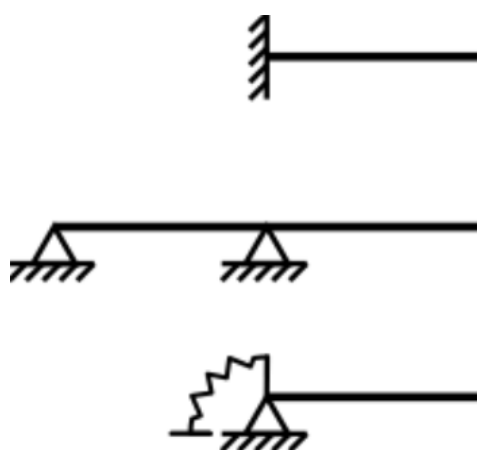


Εικόνα 17 Γέφυρα Kiso (2001), Ιαπωνία

### 3. Η προβολοδόμηση ως μέθοδος κατασκευής γεφυρών

#### 3.1. Γενικά

Ως πρόβολος χαρακτηρίζεται ο ισοστατικός φορέας με ένα σημείο στήριξης στο άκρο του. Στην στατική, το σημείο αυτό μπορεί να είναι μία απλή πάκτωση ή ένα σύστημα μελών-στηρίξεων που εξασφαλίζει την μεταφορά εντατικών μεγεθών από το εν πρόβωλο ισοστατικό τμήμα στον υπόλοιπο φορέα, χωρίς σοβαρές μετακινήσεις.



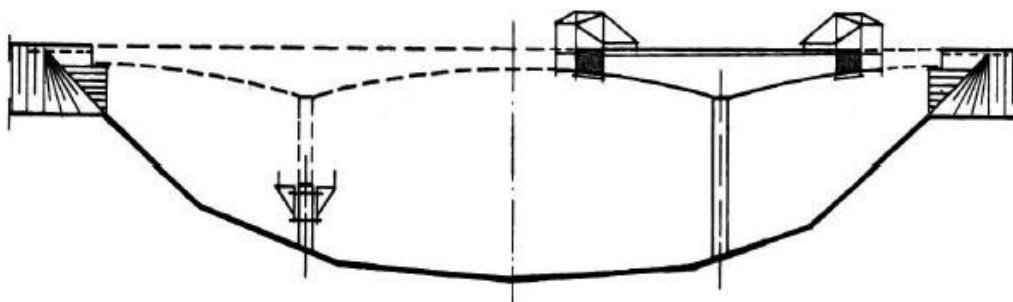
Σχήμα 2 Εναλλακτικά στατικά συστήματα προβόλου

Με αφετηρία αυτή τη θεωρητική προσέγγιση, μπορεί να διατυπωθεί ο σύγχρονος ορισμός: προβολοδόμηση είναι η κατασκευαστική διαδικασία με την οποία η δόμηση (γεφύρωση) αρχίζει από μία σταθερή βάση (μεσόβαθρα ή σώματα πακτώσεως) και προωθείται κατά διακεκριμένα διαδοχικά στάδια. Τα τμήματα προόδου της προβολοδόμησης συνιστούν το κατάστρωμα της γέφυρας και καλούνται σπόνδυλοι· το μήκος των σπονδύλων είναι συνήθως 3 έως 5 m.

Ανάλογα με την χρήση ή μη εξωτερικών αναρτήρων κατά την κατασκευή των προβόλων, δύναται να υπάρξει περαιτέρω κατηγοριοποίηση των γεφυρών της προβολοδόμησης. Προκύπτουν οι εξής τύποι γεφυρών:

- Γέφυρες κλασικής προβολοδόμησης στις οποίες το σύνολο των τενόντων διέρχεται εντός της διατομής.
- Γέφυρες με εξωράχιους τένοντες ή extradosed, όπου τίθενται αναρτήρες μικρής κλίσης
- Καλωδιωτές γέφυρες, όπου τίθενται αναρτήρες μεγάλης κλίσης και πυλώνες μεγάλου ύψους

Όταν μεσόβαθρα χρησιμοποιούνται ως οι σταθερές βάσεις, οι πρόβολοι κατασκευάζονται συμμετρικά και φθάνουν είτε έως την θέση του ακροβάθρου (ή πλησίον αυτής), είτε έως το μέσο του ανοίγματος. Οι σπόνδυλοι είναι είτε προκατασκευασμένοι, είτε σκυροδετούνται επί τόπου με χρήση φορείου (κινητού ξυλοτύπου) που μετατίθεται ανά στάδιο κατασκευής με έναρξη από την θέση του βάθρου. Στηρίζεται δε στον αμέσως προηγούμενο ολοκληρωμένο σπόνδυλο και φέρει το ίδιο βάρος του υπό κατασκευή σπονδύλου από την στιγμή της σκυροδέτησης μέχρι την προέنتασή του. Η συμμετρική ανάπτυξη του φορέα, είναι αυτή που εξασφαλίζει την πάκτωση κάθε προβόλου στο μεσόβαθρο.



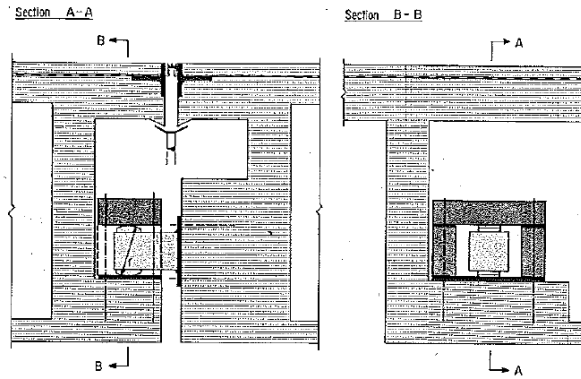
Σχήμα 3 Συμμετρική προβολοδόμηση

Εναλλακτικά, ως σταθερή βάση για την προβολοδόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθούν σώματα πακτώσεως που λειτουργούν ως αντίβαρα. Η χρήση σωμάτων πακτώσεως ενδεικτικά επιβάλλεται όταν είναι απαγορευτική η ύπαρξη μεσοβάθρων λόγω τοπογραφίας (π.χ. γέφυρα Ισθμού Κορίνθου).



Σχήμα 4 Προβολοδόμηση με χρήση σώματος πακτώσεως

Αφού ολοκληρωθούν οι πρόβολοι, επιτυγχάνεται η τελική μορφή του φορέα με την αποκατάσταση της συνέχειας μέσω κατασκευής τμημάτων σύνδεσης (κλείδες). Σύγχρονη τάση αποτελεί η πλήρης αποκατάσταση της συνέχειας με επιτόπου σκυροδέτηση της κλείδας. Παλαιότερες τεχνικές, όπως η αρθρωτή σύνδεση δεν προτιμώνται για λόγους μη ικανοποίησης της λειτουργικότητας.



Σχήμα 5 Ενδεικτική αρθρωτή σύνδεση προβόλων



Εικόνα 18 Πρόβολοι πριν την αποκατάσταση συνέχειας



Εικόνα 19 Πρόβολοι κατά την σκυροδέτηση της κλείδας

### 3.2. Πεδίο εφαρμογής

Η προβολοδόμηση έχει εφαρμογή στη γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων, κυρίως όταν το ύψος, η τοπογραφία ή οι συνθήκες εδάφους απαγορεύουν την χρήση ικριωμάτων. Η κλασική μέθοδος καθίσταται οικονομική για ανοίγματα από 80 έως περισσότερο από 250 m με επιτόπου έγχυση των σπονδύλων. Εναλλακτικά, με χρήση προκατασκευασμένων σπονδύλων έχει εφαρμογή και για ανοίγματα 50 έως 60 m.

Σε μεγάλα ανοίγματα, η οικονομικότητα της μεθόδου βασίζεται στον επαναληπτικό χαρακτήρα των εργασιών της ανωδομής και κατά βάση του καταστρώματος: ανά φάση, ο ξυλότυπος, υπό μορφή κινητού φορείου προωθείται στην θέση του επόμενου σπονδύλου στηριζόμενος στον προηγούμενο. Το κάτω όριο ανοίγματος καθορίζεται από το κόστος της κεφαλής μεσοβάθρου και αυτό της συναρμολόγησης-αποσυναρμολόγησης και μεταφοράς του φορείου.

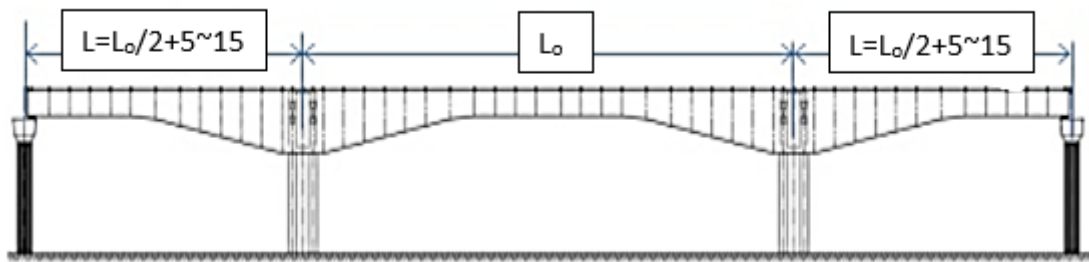
Περιοχές όπου προκρίνεται η εφαρμογή της προβολοδόμησης, είναι σε διαύλους ναυσιπλοΐας, βαθιές χαράδρες, αστικές περιοχές με δόμηση ή πυκνή κυκλοφορία κλπ.



Εικόνα 20 Φορείο σκυροδέτησης σπονδύλων

### 3.3. Διάταξη ανοιγμάτων-βάθρων

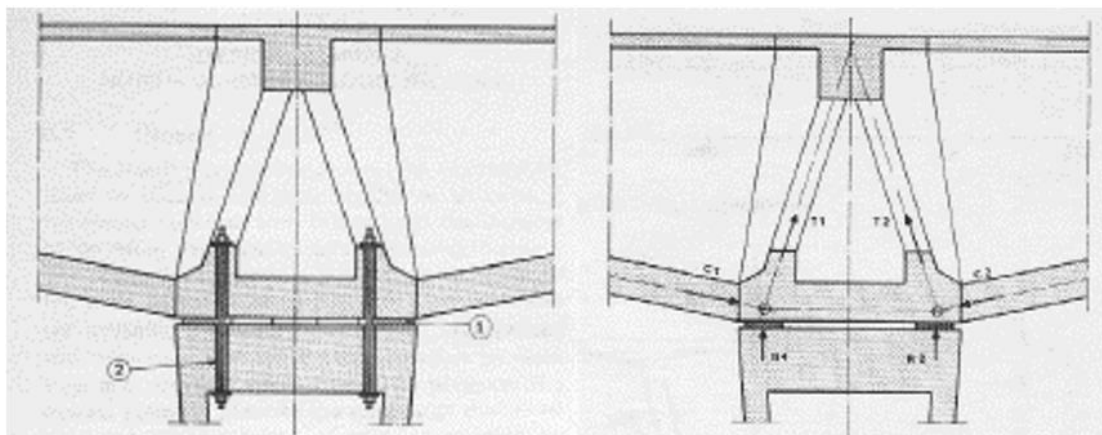
Επιλέγεται διάταξη βάθρων και ανοιγμάτων ούτως ώστε το τυπικό (εσωτερικό) άνοιγμα να έχει μήκος  $L_0=70$  έως 250 m περίπου. Τα ακραία ανοίγματα έχουν συνήθως μήκος  $L=L_0/2+5$  έως 15 m. Συνήθως, το πρόσθετο τμήμα που απαιτείται μεταξύ προβόλου και ακροβάθρου, κατασκευάζεται με συμβατικές μεθόδους επί ικριωμάτων.



Σχήμα 6 Τυπική διάταξη ανοιγμάτων προβολοδόμησης

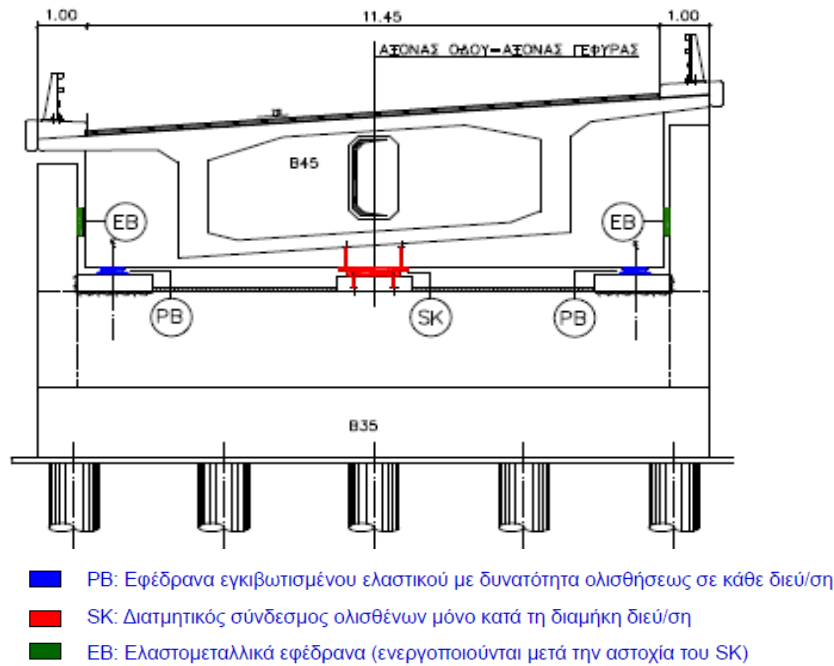
Συνηθέστερα, τα μεσόβαθρα συνδέονται μονολιθικά με την ανωδομή, ενώ η έδραση του καταστρώματος στα ακρόβαθρα γίνεται μέσω εφεδράνων. Ειδικότερα, στις θέσεις των ακροβάθρων, γίνεται δέσμευση των εγκάρσιων μετακινήσεων μέσω χαλύβδινων διατμητικών συνδέσμων βιομηχανικού τύπου ή με σύστημα τórμου-εντορμίας στο ύψος της πλάκας πυθμένα. Ταυτόχρονα τίθενται και κατακόρυφοι προσκρουστήρες στις θέσεις των ωτίδων.

Σε περίπτωση προβολοδόμησης με προκατασκευασμένους σπονδύλους, είναι εφικτή και η στήριξη της ανωδομής στα μεσόβαθρα μέσω εφεδράνων. Επίσης έχει εφαρμογή και στα ακραία μεσόβαθρα σε γέφυρες πολλών ανοιγμάτων, προς μετριασμό των εντάσεων από καταναγκασμούς. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής και για λόγους ευστάθειας, γίνεται αγκύρωση του σπονδύλου κεφαλής με το μεσόβαθρο.



Σχήμα 7 Προσωρινή αγκύρωση και στήριξη μέσω εφεδράνων, ανωδομής στο μεσόβαθρο





Σχήμα 8 Σύνδεση ανωδομής και ακροβάθρου

### 3.4. Σχεδιασμός διατομής

Οι διατομές που προτιμώνται στην προβολοδόμηση είναι οι κιβωτιοειδείς. Τα βασικά κριτήρια που υπαγορεύουν την επιλογή τους είναι τα εξής:

- Ικανοποιητική σχέση Αντοχή/Ιδιο βάρος ( $J/A$ ).
- Ικανότητα παραλαβής μεγάλων αρνητικών ροπών χάρις στον μεγάλο μοχλοβραχίονα μεταξύ εφελκυσμένης και θλιβόμενης ζώνης – Ικανοποιητική σχέση Αντοχή/Ιδιο βάρος ( $J/A$ ).
- Σημαντική δυστρεψία λόγω δυνατότητας ανάπτυξης κλειστού διατμητικού φορτίου.
- Εύκολη πρόσβαση και κίνηση στο εσωτερικό για επιθεώρηση και συντήρηση.

Η σύγχρονη τάση για διευκόλυνση της κατασκευής, είναι η χρήση μονοκύπελων κιβωτιών. Ο σχεδιασμός πολυκύπελων διατομών, μικραίνει μεν το εγκάρσιο άνοιγμα της πλάκας καταστρώματος με την προσθήκη ενδιάμεσων κορμών, όμως δεν προτιμάται για κατασκευαστικούς λόγους. Το πλεονέκτημα των περισσότερων κορμών, μπορεί να αντισταθμιστεί με μεγαλύτερο πάχος των δύο

κορμών της μονοκύψελης, ενώ για την επίτευξη καταστρώματος μεγάλου πλάτους μπορεί να χρησιμοποιηθεί εγκάρσια προένταση.

Λεπτομερέστερα, οι κορμοί σχεδιάζονται κάθετοι ή κεκλιμένοι και συνδέονται με τις άνω και κάτω πλάκες συνήθως με πρισματική διαμόρφωση. Γενικά, λίγοι ή καθόλου τένοντες διέρχονται από τους κορμούς, συνεπώς οι διαστάσεις τους δεν εξαρτώνται άμεσα από αυτούς. Το πάχος τους καθορίζεται από την τέμνουσα που αναλαμβάνουν, το διατμητικό φορτίο λόγω στρέψης και την κάμψη περί τον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα. Σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0.35 m.

Μέσα στην πλάκα καταστρώματος (άνω) διέρχεται το σύνολο των τενόντων της εν προβόλω φάσης, δηλαδή όσων προεντείνονται πριν την αποκατάσταση της συνέχειας. Ως εκ τούτου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ελάττωση των μηχανικών της χαρακτηριστικών στις διάφορες φορτίσεις ανά φάση κατασκευής. Η άνω πλάκα πρέπει να σχεδιάζεται προκειμένου να αναλαμβάνει την κάμψη από το ίδιο βάρος της και όλα τα κινητά φορτία και να την μεταβιβάζει στους κορμούς που λειτουργούν ως στηρίξεις. Πρέπει επίσης να αναλαμβάνει το κλειστό διατμητικό φορτίο λόγω στρέψης, καθώς και το αξονικό φορτίο λόγω κάμψης της διατομής και προέντασης.

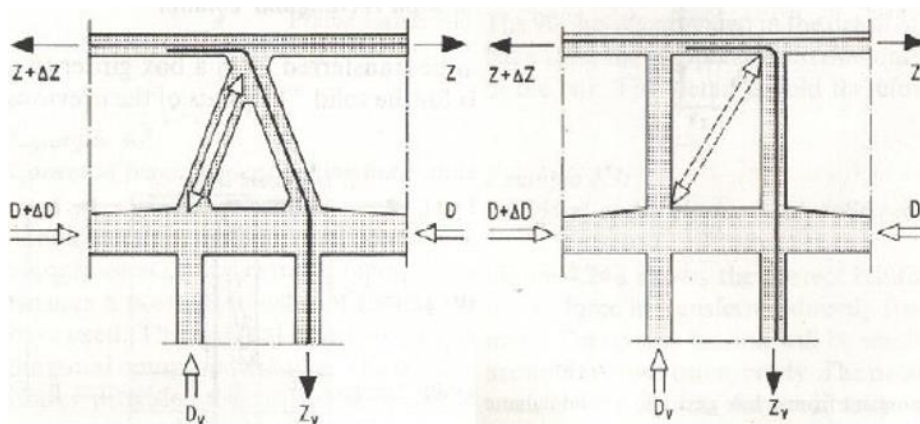
Η κάτω πλάκα του κιβωτίου, είναι αυτή που παρέχει την θλιβόμενη ζώνη σε κάθε πρόβολο. Το πάχος της πρέπει να είναι μέγιστο στις θέσεις στήριξης, ενώ μέχρι την άκρη του προβόλου πρέπει να ελαττώνεται. Σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 16 cm.

Το συνολικό ύψος της διατομής συνήθως μεταβάλλεται παραβολικά κατά μήκος, με την σχέση ύψους/μήκος να είναι  $D/L=1/15 - 1/20$  στις στηρίξεις και  $D/L=1/50$  στα μέσα των ανοιγμάτων. Σε κάθε περίπτωση πρέπει το ύψος να είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 2 m ούτως ώστε να επιτρέπεται η διέλευση για επιθεώρηση και εργασία.

Η χρήση διατομών σταθερού ύψους κατά μήκος γίνεται σε συνδυασμό με καλωδιωτές αναρτήσεις, είτε για λόγους αισθητικής. Επιλέγεται σταθερός λόγος  $D/L=1/15$  έως  $1/20$ , ενώ σε περιπτώσεις καλωδιωτών γεφυρών  $D/L=1/85$ .

Σε κάθε θέση στηρίξεως τίθενται διαδοκίδες, συνήθως σε ζεύγη κατακόρυφα ή κεκλιμένα. Κάθε διαδοκίδα καλύπτει το σύνολο ή μέρος του εσωτερικού του κιβωτίου. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει πρόβλεψη διόδων διελεύσεως μέσα από

αυτές. Διαστασιολογούνται κατά βάση με θεώρηση της διαδρομής του φορτίου προς τα βάθρα λόγω ασύμμετρης φόρτισης του καταστρώματος. Η διάταξη των οπλισμών και οι έλεγχοι έναντι σεισμικών ή άλλων δράσεων, ακολουθούν τις αντίστοιχες μεθοδολογίες σχεδιασμού των κόμβων πλαισίων.



Σχήμα 9 Κεκλιμένες και κατακόρυφες διαδοκίδες



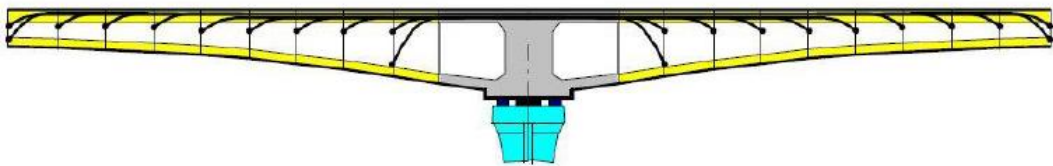
Εικόνα 21 Διαδοκίδα με ανθρωποθυρίδα διελεύσεως

### 3.5. Προένταση

Στην προβολοδόμηση, ορίζονται τρεις κατηγορίες διαμήκων τενόντων, οι τένοντες προβόλου ή πάνω πέλματος, οι τένοντες ανοίγματος ή κάτω πέλματος και οι τένοντες συνεχείας. Επίσης, υφίστανται και τένοντες που τίθενται εγκάρσια. Γενικά, οι κατηγορίες τενόντων είναι οι ακόλουθες:

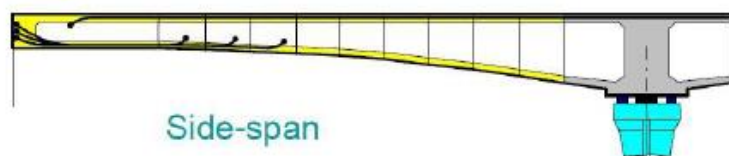
- Οι τένοντες άνω πέλματος, αποτελούν τον σημαντικότερο οπλισμό καθώς με την προέντασή τους εξισορροπούν τις αρνητικές ροπές του προβόλου. Στην κλασική προβολοδόμηση διατάσσονται εσωτερικά, καθ' όλο το πλάτος της

πλάκας καταστρώματος και αγκυρώνονται στις θέσεις συμβολής κορμών και πλάκας, ενώ κατόπιν ενεματώνονται. Οι τένοντες προβόλου δύνανται να αντικατασταθούν ολικά ή εν μέρει από προεντεταμένους αναρτήρες που αγκυρώνονται σε πυλώνα σε κάθε μεσόβαθρο· πυλώνες μεγάλου ύψους και αναρτήρες μεγάλης κλίσης, χαρακτηρίζουν την κατηγορία των καλωδιωτών γεφυρών, που αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση προβολοδόμησης. Ενδιάμεση κατηγορία κατασκευών προβολοδόμησης, δηλαδή με πυλώνα χαμηλού ύψους και μικρές κλίσεις αναρτήρων, αποτελούν οι γέφυρες extradosed ή γέφυρες με εξωράχιους τένοντες.



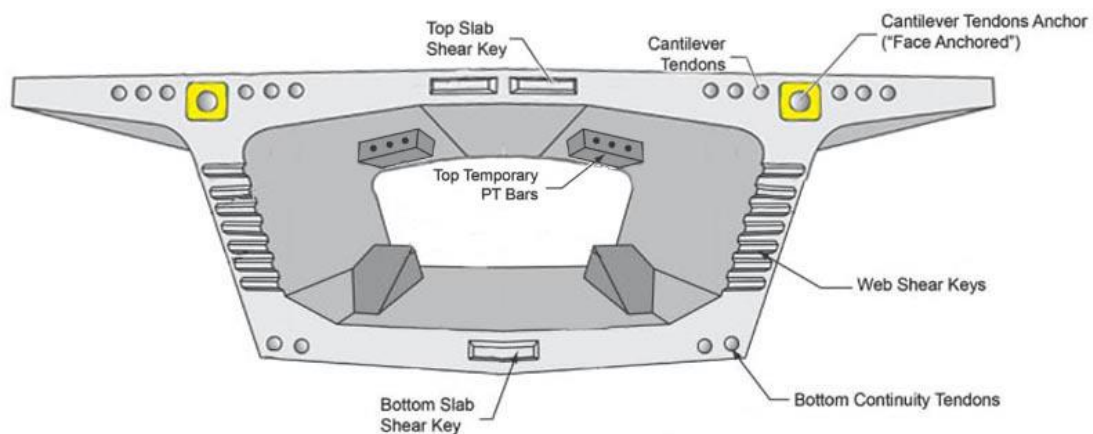
Σχήμα 10 Τένοντες προβόλου ή άνω πέλματος

- Οι τένοντες ανοίγματος ή κάτω πέλματος, τανύονται μετά την αποκατάσταση της συνέχειας του φορέα. Τίθενται κυρίως στο μεσαίο εν τρίτο του καταστρώματος, έναντι των θετικών ροπών που αναπτύσσονται. Αγκυρώνονται σε σώματα αγκυρώσεως που κατασκευάζονται στην συμβολή κορμού και πλάκας πυθμένα. Λόγω της κατά μήκος καμπυλότητας του φορέα δημιουργούνται δυνάμεις εκτινάξεως, συνεπώς πρέπει να τίθεται ειδικός οπλισμός μεταξύ αυτών και των κορμών.



Σχήμα 11 Τένοντες ανοίγματος ή κάτω πέλματος

- Οι τένοντες συνεχείας διανύουν συνήθως τους κορμούς του κιβωτίου με παραβολική χάραξη και αποτελούν «εφεδρική» προένταση π.χ. εάν μετά την αποκατάσταση της συνέχειας διαπιστωθούν σημαντικές παραμορφώσεις. Για τον περιορισμό του τανυόμενου μήκους, γίνεται παράθεση των τενόντων στις θέσεις των μεσοβάθρων με αγκύρωση στους κορμούς.
- Η χρήση εγκάρσιας προέντασης χρησιμεύει για την επίτευξη μεγάλου πλάτους καταστρώματος. Οι τένοντες διατάσσονται εγκαρσίως στην άνω πλάκα για την ανάληψη της εγκάρσιας εντάσεως, ενώ συνηθίζονται περισσότερο σε μονοκύψελες κιβωτιοειδείς διατομές.



Σχήμα 12 Ενδεικτικές θέσεις τενόντων σε κιβωτιοειδή διατομή

Η επιβαλλόμενη προένταση από τους ανωτέρω διαμήκεις τένοντες, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και με χρονικώς εξαρτημένα φαινόμενα όπως ο ερπυσμός. Ο ερπυσμός λόγω της αλλαγής του στατικού συστήματος, είναι αυτός που θα προκαλέσει ανακατανομή της έντασης. Μόλις υπάρξει αποκατάσταση της συνέχειας, οι ερπυστικές παραμορφώσεις που πρόκειται να αναπτυχθούν, θα προκαλέσουν αθέμιτη ανακατανομή των ροπών από τις στηρίξεις στα μέσα των ανοιγμάτων.

Αποτελεί στόχο της προέντασης να αντισταθμίσει σε μεγάλο βαθμό τις ροπές λόγω ιδίου βάρους. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ελαχιστοποίηση των ελαστικών και πλαστικών παραμορφώσεων – συμπεριλαμβανομένης και της αβεβαιότητας αυτών - της ανωδομής λόγω μόνιμου φορτίου. Η απόδοση της προεντάσεως μεγιστοποιείται

με τον περιορισμό του συνελκόμενου οπλισμού στον απαιτούμενο για έλεγχο του εύρους ρωγμής. Συνήθης απαίτηση, αποτελεί ο μη εφελκυσμός της διατομής για τον συνδυασμό  $G+P+1/2Q$  και εφελκυσμός στο 50% του συνήθους για τον συνδυασμό  $G+P+Q$ .

### 3.6. Έλεγχος βυθίσεων

Κατασκευαστικό στόχο αποτελεί η σύμπτωση των σταθμών του καταστρώματος με τις αντίστοιχες της ερυθράς στην συγκοινωνιακή μελέτη. Για τον λόγο αυτό γίνεται έλεγχος των σταδιακώς αναπτυσσόμενων βελών, παρότι αυτά έχουν υπολογιστεί κατά την μελέτη. Η εκτίμησή τους προϋποθέτει υπολογισμό του χρονικώς εξαρτημένου μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος, του ερπυσμού, της συστολής ξήρανσης, της χαλάρωσης του χάλυβα προεντάσεως και των καθιζήσεων στις στηρίξεις.

Απαιτείται σε κάθε φάση της κατασκευής να δίδονται αντιβέλη για τον προσδιορισμό των οποίων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

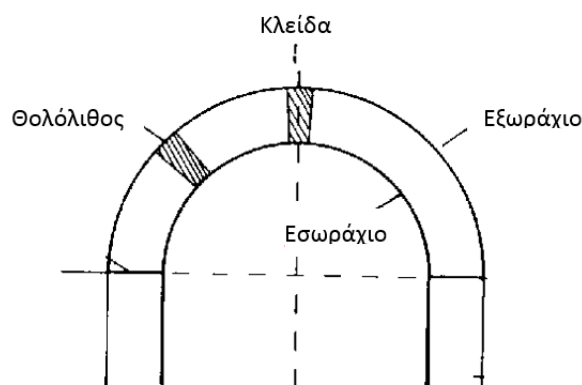
- Βέλος φορείου λόγω του βάρους του σκυροδέματος
- Βέλη προβόλων λόγω φορέων, ιδίου βάρους, κατασκευαστικού φορτίου, προεντάσεως κλπ.
- Χρονική εξέλιξη των βελών πριν από την αποκατάσταση της συνέχειας
- Βυθίσεις μετά την αποκατάσταση της συνέχειας λόγω ίδιου βάρους της κλίδας, της προέντασης συνεχείας, μόνιμων φορτίων και μέρους των κινητών

Βάσει των ανωτέρω, καταρτίζεται κατά την μελέτη και διορθώνεται κατά την κατασκευή το διάγραμμα αντιβελών. Η γραμμή των αντιβελών προκύπτει από την γραμμή της επαλληλίας των διαδοχικών βελών κάθε σπονδύλου με αντίθετο όμως πρόσημο. Έτσι, προσδιορίζει ανά φάση προόδου το σχετικό ύψος που πρέπει η άκρη του φορείου να λάβει σε σχέση με την αρχή του. Η θέση των προβόλων που προκύπτει, δεν συμπίπτει με την τελική τους θέση σε καμία ενδιάμεση φάση κατασκευής.

## 4. Ιδιαιτερότητες των γεφυρών με εξωράχιους τένοντες

### 4.1. Προέλευση της ονομασίας

Ο όρος *extradosed*<sup>5</sup>, που χαρακτηρίζει την ομώνυμη κατηγορία προβολοδόμησης, μπορεί να αποδοθεί στα ελληνικά ως εξωράχιος και αναφέρεται στους εξωτερικούς τένοντες που προεντείνουν την ανωδομή και τίθενται κατά την εν προβόλω φάση. Και στα ελληνικά και στα αγγλικά, ο όρος χρησιμοποιείται σε αντιδιαστολή με τον όρο εσωράχιο, που περιγράφει την εσωτερική παρειά μιας αψίδας και κατ' επέκταση μιας γέφυρας.



Σχήμα 13 Μέλη αψίδας

Όπως αναφέρθηκε, οι γέφυρες με εξωράχιους τένοντες ή *extradosed* αποτελούν την ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ κλασικής προβολοδόμησης και καλωδιωτών γεφυρών. Ειδοποιός διαφορά με την κλασική προβολοδόμηση, είναι η επιλογή μέρους της προεντάσεως προβόλου να δοθεί από εξωτερικούς τένοντες – αναρτήρες που διέρχονται από πυλώνα στην «ράχη» του καταστρώματος.

<sup>5</sup> Απόδοση στην αγγλική του γαλλικού «*extradossé*». Σύνθετη λέξη από το λατινικό «*extra*», που σημαίνει «εξωτερικός» και το γαλλικό «*dos*», που παράγεται από την λατινική λέξη «*dostrum*» που σημαίνει πλάτη ή ράχη.

## 4.2. Πεδίο εφαρμογής και πλεονεκτήματα

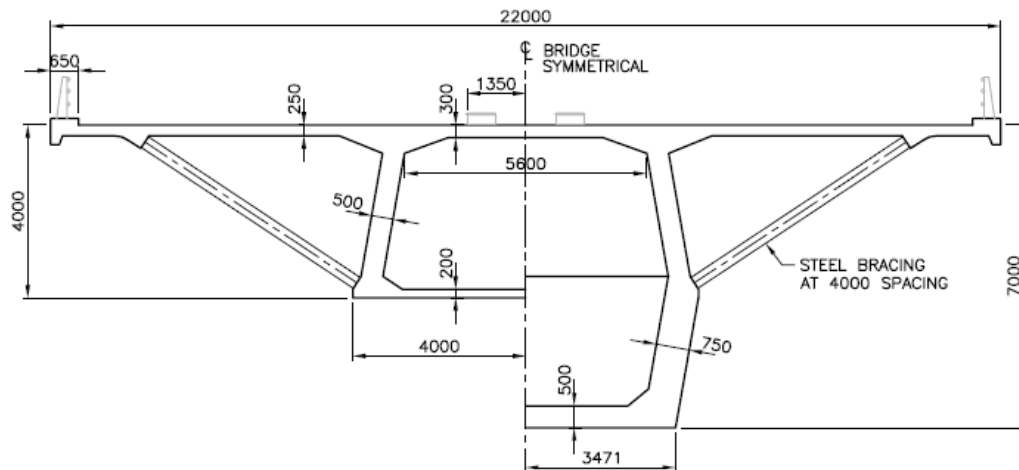
Οι περιπτώσεις εφαρμογής και τα πλεονεκτήματα της κλασικής προβολοδόμησης, ισχύουν και στην περίπτωση των γεφυρών extradosed. Τα συνηθέστερα μήκη ανοιγμάτων που γεφυρώνονται με προβολοδόμηση με εξωράχιους τένοντες είναι από 70 έως 200 m, με μέγιστο υλοποιηθέν τα 275 m στις γέφυρες των ποταμών Kiso και Ibi στην Ιαπωνία (2001).

Σαν πλεονέκτημα σε σχέση με την κλασική προβολοδόμηση, πρέπει να αναφερθεί το μικρότερο ύψος ανωδομής στην στήριξη – υποδιπλάσιο ή υποτριπλάσιο – που οδηγεί σε μεγαλύτερο ελεύθερο ύψος κάτω από την γέφυρα και επιχώματα προσβάσεως μικρότερου ύψους. Επίσης, αποκτά αισθητικά πλεονεκτήματα παρόμοια με των καλωδιωτών γεφυρών, ενώ χάρη στο στιβαρό κατάστρωμα που τις χαρακτηρίζει, θεωρούνται καταλληλότερες για σιδηροδρομική χρήση, λόγω ευκολότερης ικανοποίησης των απαιτήσεων λειτουργικότητας. Τέλος, παρουσιάζει μικρότερο ίδιο βάρος από τις κλασικές γέφυρες της προβολοδόμησης· η ωφέλειά της μείωσης είναι σχετική καθώς το ίδιο βάρος καθορίζει την επιτρεπόμενη προένταση στην εν προβόλω φάση. Όσον αφορά το κόστος, εκτιμάται αυξημένο σε σχέση με την κλασική προβολοδόμηση, ενώ μειωμένο σε σχέση με τις καλωδιωτές γέφυρες.

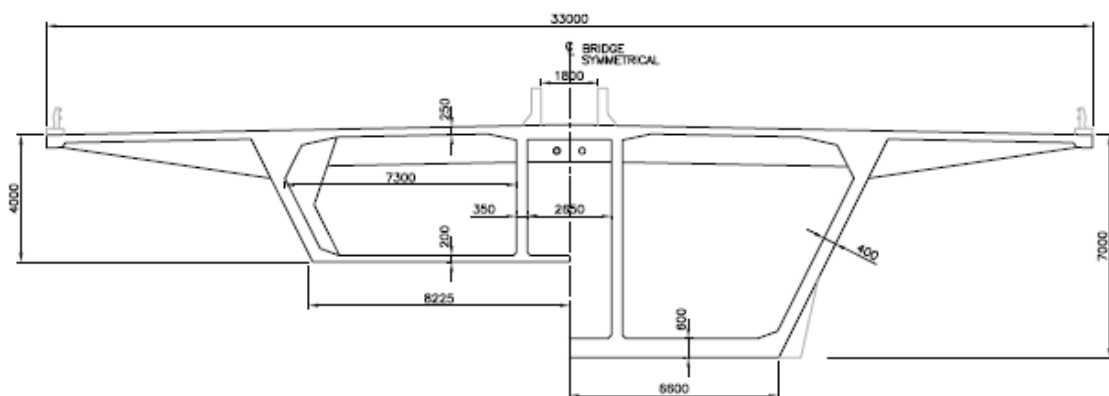
## 4.3. Σχεδιασμός διατομής

Οι γέφυρες με εξωράχιους τένοντες σχεδιάζονται συνήθως με κιβωτιοειδείς διατομές που μορφολογικά δεν διαφέρουν από αυτές της κλασικής προβολοδόμησης. Σε περίπτωση επί τόπου έγχυσης των σπονδύλων και για μήκη ανοίγματος περί τα 150 m, συνηθίζεται λόγος ύψους διατομής προς μήκος ανοίγματος ίσος με  $D/L=1/30$  έως  $1/35$  στην στήριξη και  $D/L=1/45$  έως  $1/50$  στο άνοιγμα, με παραβολική μεταβολή. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις προκατασκευασμένων σπονδύλων και για λόγους τυποποίησης, προτιμάται σταθερό ύψος διατομής με λόγο  $D/L=1/35$  προσεγγιστικά.





Σχήμα 14 Διατομή γέφυρας Trois Bassins στο νησί Ρεϋνιόν (μέγιστο άνοιγμα 126 m) με λόγο  $D/L=1/30$  στη στήριξη και  $1/50$  στο άνοιγμα

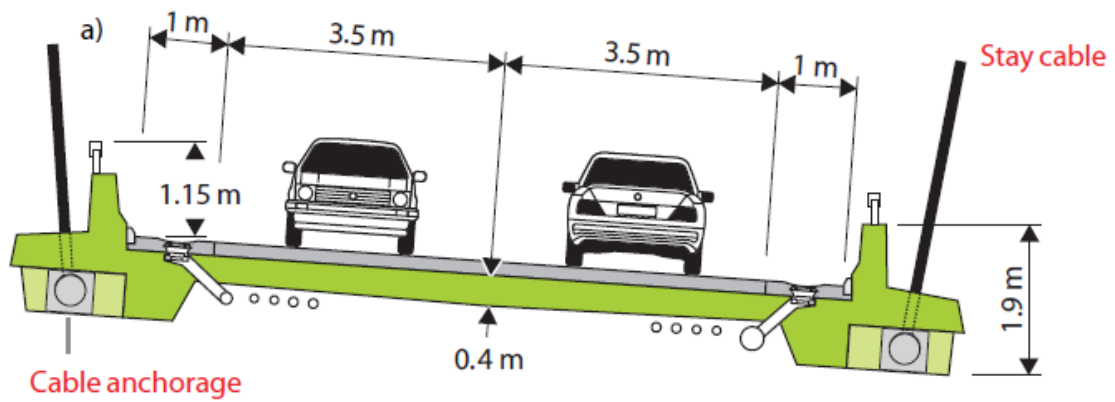


Σχήμα 15 Διατομή γέφυρας ποταμού Kiso (με μέγιστο άνοιγμα 275 m) με λόγο  $D/L=1/29$  στη στήριξη και  $1/69$  στο άνοιγμα

Βασικό κριτήριο για τον σχεδιασμό, αποτελεί η μορφή του πυλώνα. Στην περίπτωση μονού-κεντρικού πυλώνα, συνηθίζεται η ανάρτηση του κιβωτίου από το μέσον του. Έτσι, επιλέγονται διατομές πολυκύψελες, με κορμούς κοντά στην θέση αγκύρωσης. Διαφορετικά, όταν γίνεται χρήση πυλώνων μορφής σφεντόνας, η ανάρτηση γίνεται από δίδυμους τένοντες στα άκρα της διατομής και κατά βάση στα φτερά των πεζοδρομίων.

Ελάχιστες από τις υφιστάμενες extradosed γέφυρες διαθέτουν ανωδομή μορφής πλάκας με πλακοδοκούς μορφής Γ κοντά στις θέσεις των αγκυρώσεων των τενόντων. Χαρακτηριστικότερη εξ αυτών, είναι η γέφυρα Sunniberg που κατασκευάστηκε το 1998 στην Ελβετία. Σχεδιασμένη από τον Christian Menn, είναι μία γέφυρα μορφής πλάκας με δοκούς στα δύο άκρα της και μέγιστο μήκος

ανοίγματος 140 m. Η ανωδομή που παρουσιάζει μικρή μεταβολή του ύψους της κατά μήκος ( $D/L=1/127$ ) είναι μονολιθικά συνδεδεμένη με τους πυλώνες μορφής σφεντόνας.



Σχήμα 16 Διατομή γέφυρας Sunniberg

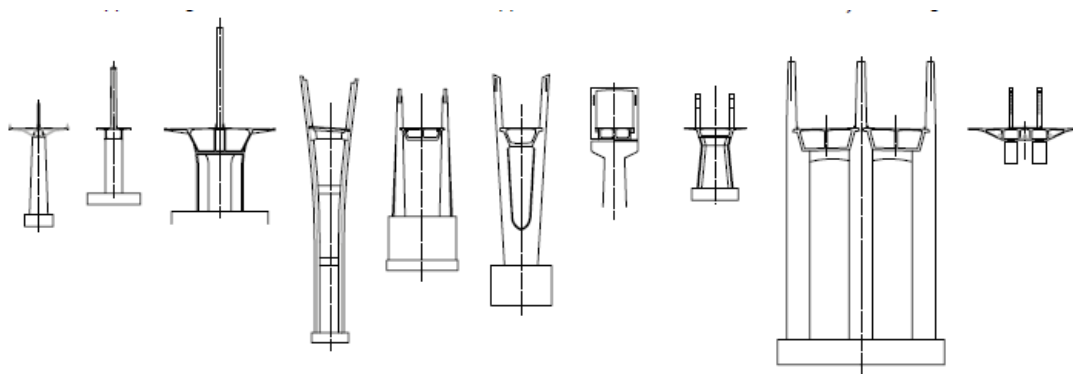


Εικόνα 22 Γέφυρα Sunniberg στην Ελβετία

#### 4.4. Μορφή βάθρων και πυλώνων

Όπως και στις καλωδιωτές γέφυρες, οι πυλώνες των γεφυρών με εξωράχιους τένοντες αποτελούν προέκταση του βάθρου υψηλότερα από το κατάστρωμα, το οποίο είναι πάντοτε πακτωμένο στο βάθρο. Η μορφή τους αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό μίας extradosed γέφυρας, από άποψη στατικής λειτουργίας και αισθητικής, ενώ ο σχεδιασμός τους είναι αλληλένδετος με την επιλογή διατομής.

Άνωθεν κάθε βάθρου, μπορεί να τοποθετείται ένας ή δύο συμμετρικοί πυλώνες. Στην περίπτωση του μονού, η διατομή πρέπει να έχει διαχωρισμένη κυκλοφορία με ελεύθερο πλάτος ενδιάμεσα, ούτως ώστε εκεί να γίνεται η αγκύρωση των εξωράχιων τενόντων. Στην περίπτωση δύο συμμετρικών πυλώνων, το βάθρο και οι πυλώνες ως προέκταση αυτού σχεδιάζονται συνήθως με μορφή Υ (σφεντόνας) ή Η, ανάλογα με το αν τα δύο σκέλη του βάθρου συγκλίνουν σε μία κοινή θεμελίωση ή αν απολήγουν στο έδαφος κατακόρυφα.



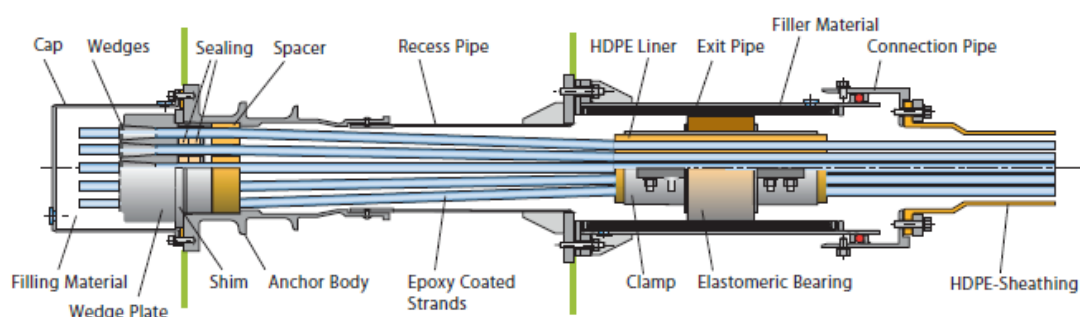
Σχήμα 17 Συνήθεις μορφές βάθρων και πυλώνων

Το ύψος του πυλώνα εξαρτάται από το μήκος του ανοίγματος και όχι από την μονολιθική σύνδεση ή μη του καταστρώματος στο βάθρο. Στις γέφυρες extradosed επιλέγεται ύψος προσεγγιστικά με άνω όριο το  $1/8$  του ανοίγματος και κλίση τενόντων περίπου 17 μοιρών. Σαν κάτω όριο εφικτού ύψους, ορίζεται το  $1/15$  του μήκους ανοίγματος. Σημειωτέον πως το αντίστοιχο συμβατικό ύψος του πυλώνα στις καλωδιωτές γέφυρες αντιστοιχεί στο  $1/5$  του ανοίγματος ή μεγαλύτερο.

## 4.5. Εξωράχιοι τένοντες

### 4.5.1. Γλικά και διατάξεις αγκύρωσης

Από άποψη υλικών και συστημάτων, οι εξωράχιοι τένοντες μπορούν να είναι είτε καλώδια, όμοια με των καλωδιωτών γεφυρών, είτε επτάκλινα συρματόσχοινα (S7) που επιλέγονται για τις εσωτερικές προεντάσεις. Γενικά η χρήση τενόντων πλεγμένων από επτάκλινα συρματόσχοινα είναι προτιμότερη τα τελευταία χρόνια λόγω της ξεχωριστής σφήνωσης κάθε συρματόσχοινου στην κεφαλή αγκύρωσης. Σε κάθε περίπτωση, χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα συστήματα τανύσεως, σφηνώσεως και αγκυρώσεως, σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές και επιταγές των κατασκευαστών.



Σχήμα 18 Διαμήκης τομή εξωράχιοι τένοντα στην θέση αγκύρωσης (DYWIDAG)

	Internal tendons <sup>1)</sup>	External unbonded tendons			
		Steel duct/ non lubricated	HDPE duct/ non lubricated	Steel duct/ lubricated	HDPE duct/ lubricated
Cold drawn wire	0,17	0,25	0,14	0,18	0,12
Strand	0,19	0,24	0,12	0,16	0,10
Deformed bar	0,65	-	-	-	-
Smooth round bar	0,33	-	-	-	-

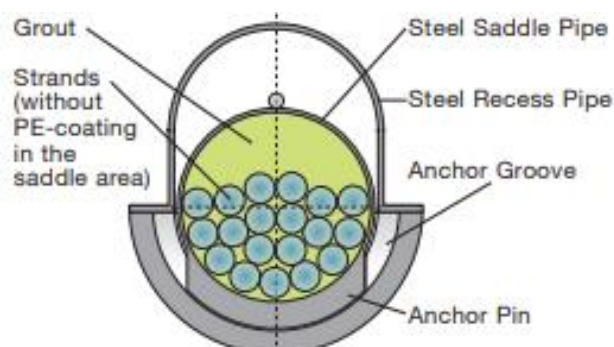
<sup>1)</sup> for tendons which fill about half of the duct

Πίνακας 1 Συντελεστές τριβής (μ) για εσωτερικούς και εξωτερικούς τένοντες (πιν. 5.1 EN1992.2 §5.10.5.2)

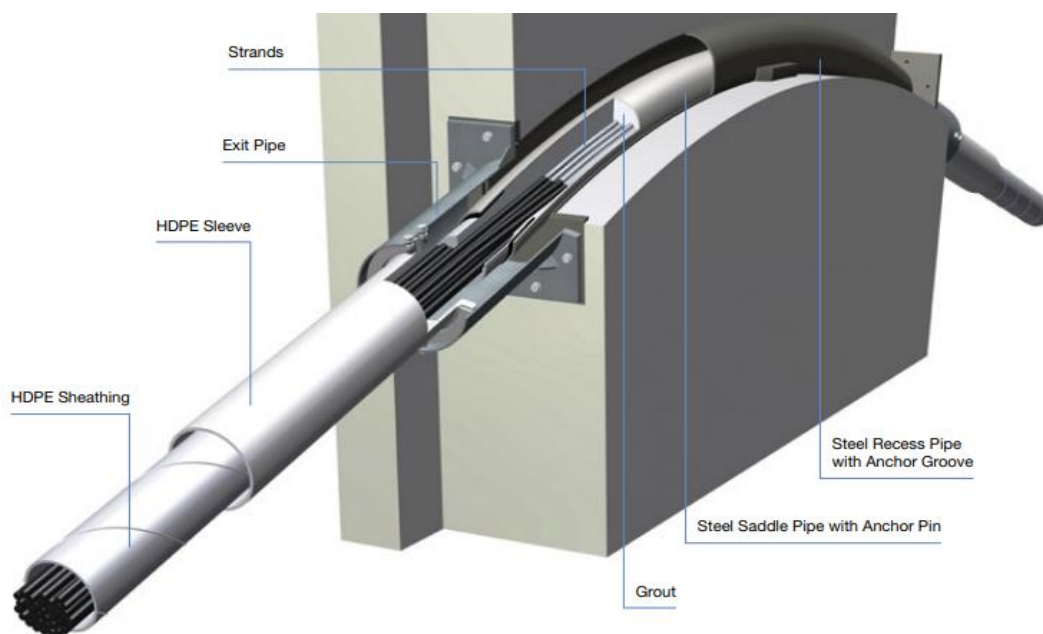
Οι εξωτερικοί τένοντες επιλέγεται ενίοτε να τίθενται ενιαίοι, δηλαδή με αγκύρωση-σφήνωση κατά την τάνυση σε κάθε άκρη του προβόλου και διέλευση από τον πυλώνα μέσω διάταξης «σέλας εκτροπής»<sup>6</sup>. Οι σέλες αποτελούνται συνήθως από προκεκαμμένη χαλυβδοσωλήνα με καταλλήλως διαμορφωμένα άκρα, μέσα σε ειδικά ανοίγματα των πυλώνων. Μετά την τάνυσή του, κάθε τένοντας μεταφέρει θλίψη στους πυλώνες στις θέσεις των σελών, υπό μορφή κατανεμημένου αντιφορτίου.

<sup>6</sup> Ο όρος «σέλα» χρησιμοποιείται σε απόδοση του όρου «saddle» ή «deviation saddle» που περιγράφει την εν λόγω διάταξη στην διεθνή βιβλιογραφία.

Συνεπώς και η διάταξη σέλας και ο πυλώνας συνολικά πρέπει να σχεδιάζονται έναντι διαφορετικών δυνάμεων τριβής εκατέρωθεν. Συγχρόνως πρέπει και οι διατάξεις σέλας και οι τένοντες να είναι αντικαταστάσιμοι. Πρέπει να αναφερθεί, πως με διάταξη σέλας, ελαχιστοποιούνται οι ροπές που θα ασκηθούν στον πυλώνα λόγω θραύσης τένοντα ή κατά την αντικατάστασή του.



Σχήμα 19 Διάταξη συρματόσχοινων εντός της σέλας (DYWIDAG)



Σχήμα 20 Ενδεικτικό σύστημα σέλας (DYWIDAG)

Τα συστήματα σέλας του εμπορίου, πρέπει να διαθέτουν εργαστηριακά τεκμηριωμένο συντελεστή τριβής από 0.05 έως 0.4 (βάσει Fib), για την μεταφορά των διαφορετικών δυνάμεων του τένοντα στον πυλώνα μέσω στατικής τριβής για κάθε συνδυασμό φόρτισης.

Η καμπυλότητα της σέλας και άρα η καμπυλότητα που λαμβάνει ο τένοντας, υπολογίζεται με βάση τις τάσεις που αναπτύσσουν τα συρματόσχοινα λόγω θλάσης σε κάθε σέλα. Οι κανονισμοί και προδιαγραφές γεφυρών ανά τον κόσμο ορίζουν

ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας σέλας η οποία εξαρτάται κυρίως από την ελάχιστη διάμετρο των συρματόσχοινων. Οι διατάξεις τους αφορούν κατά βάσιν τις καλωδιωτές γέφυρες, αλλά η εφαρμογή τους μπορεί να επεκταθεί και στις extradosed. Ενδεικτικά, αναφέρονται τα εξής:

- Η SÉTRA<sup>7</sup> (2001) αναφέρει πως απαιτείται ακτίνα καμπυλότητας μεγαλύτερη από 125 φορές την εξωτερική διάμετρο κάθε συρματόσχοινου.
- Η Fib<sup>8</sup> (2005) ορίζει ως ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας, 400 φορές την διάμετρο κάθε σύρματος του συρματόσχοινου. Γενικά πρέπει:

$$R \geq 30 D$$

όπου D η εξωτερική διάμετρος του περιβλήματος HDPE

- Το PTI<sup>9</sup> (2001) ορίζει ως ελάχιστη ακτίνα τα 3 m εάν τα συρματόσχοινα είναι μεμονωμένα και τα 4 m για τένοντες με πλεγμένα συρματόσχοινα. Γενικά πρέπει:

$$R > F \frac{n^{-0.4}}{90}$$

όπου n ο αριθμός συρματόσχοινων κάθε τένοντα και F η δύναμη του τένοντα υπό τον συνδυασμό κόπωσης, έστω  $F=0.35 * f_{pu} * A_p$ .

Αριθ. συρματοσχοίωνων (n)	12	19	27	37	48
Διάμετρος περιβλήματος HDPE (mm)	110	125	160	180	200
Ελαχ. ακτίνα καμπυλ. Fib (m)	4.6	6.0	7.4	9.0	10.5
Ελαχ. ακτίνα καμπυλ. PTI (m)	3.3	3.75	4.8	5.4	6

Πίνακας 2 Ελάχιστες ακτίνες καμπυλότητας σέλας για χάλυβα Y1770

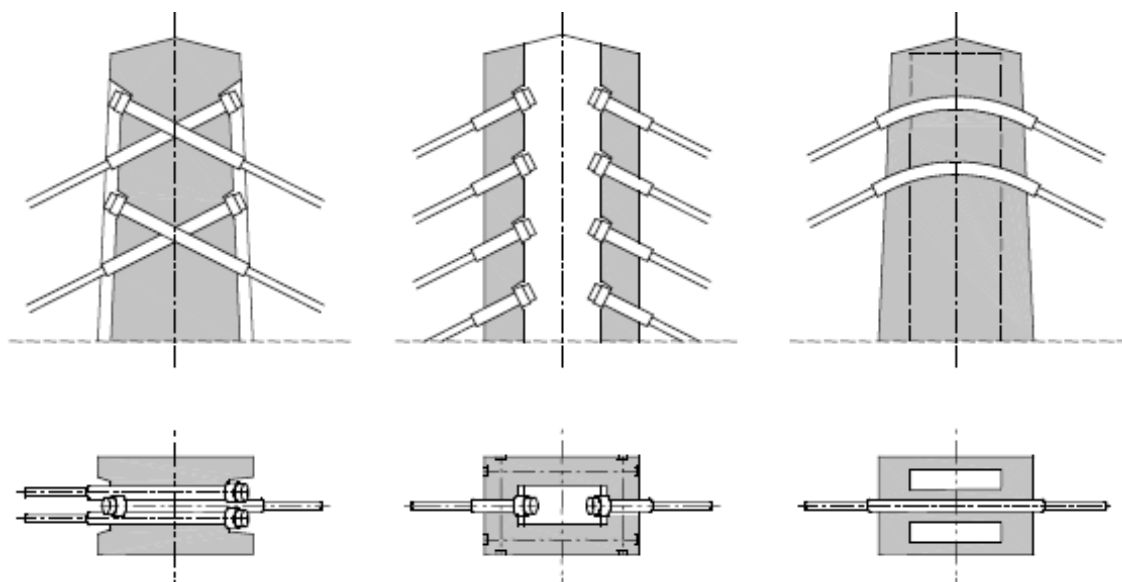
Εναλλακτικά προς τα ανωτέρω, τυγχάνει εφαρμογών και η αγκύρωση κάθε τένοντα στον πυλώνα ξεχωριστά. Οι τένοντες πρέπει να αγκυρώνονται σε κατάλληλες θέσεις ούτως ώστε να μην αναπτύσσεται σημαντική στρέψη στον πυλώνα. Για την

<sup>7</sup> SÉTRA: Service d' Études Techniques des Routes et Autoroutes

<sup>8</sup> Fib: Fédération Internationale du Béton

<sup>9</sup> PTI: Post Tensioning Institute

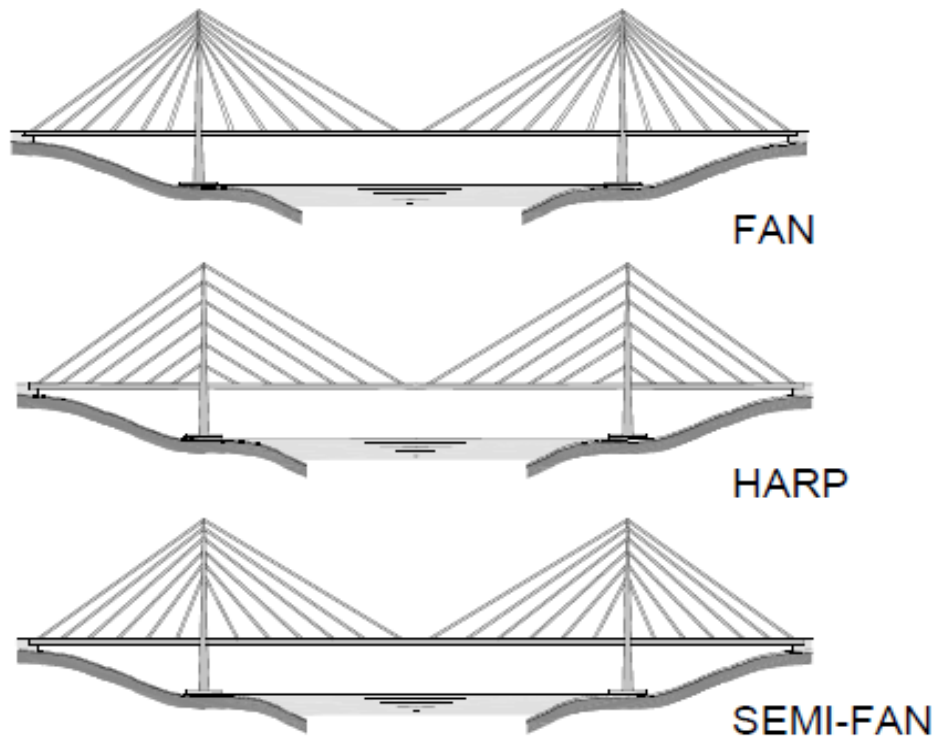
αποφυγή αυτή, είναι εφικτή η αγκύρωση δύο τενόντων μικρότερης διατομής στην αντίθετη παρειά για κάθε έναν τένοντα. Συγχρόνως, ο πυλώνας πρέπει να σχεδιάζεται έναντι μεγαλύτερων ροπών λόγω θραύσης ή κατά την αντικατάσταση τενόντων, ενώ απαιτείται και η ύπαρξη θαλάμων προσβάσεως για επιθεώρηση των αγκυρώσεων.



Σχήμα 21 Συνήθεις διατάξεις τενόντων στον πυλώνα

#### 4.5.2. Συνήθεις διατάξεις τενόντων

Υπάρχουν δύο διαφορετικές διατάξεις των εξωράχιων τενόντων. Η ακτινωτή διάταξη «βεντάλιας» παρουσιάζει το μειονέκτημα της αλλαγής κλίσεως μεταξύ κάθε τένοντα και άρα αλλαγή κλίσεως σε κάθε διάταξη-σώματα αγκυρώσεως. Σημειωτέον πως απολύτως ακτινωτή διάταξη δεν εφαρμόζεται, διότι είναι αδύνατη η διέλευση όλων των τενόντων από κοινό σημείο στον πυλώνα. Στην εν παραλλήλω διάταξη ή «άρπας» οι περιοχές αγκύρωσης στο κατάστρωμα μπορούν να τυποποιηθούν. Υπάρχει όμως μεγαλύτερη απαίτηση χάλυβα και αυξημένη δύναμη προεντάσεως λόγω μικρότερου μοχλοβραχίονα. Πάντως, αποτελεί συνήθη πρακτική ο σχεδιασμός των γεφυρών με μεικτή διάταξη των τενόντων.



Σχήμα 22 Παράδειγμα ακτινωτής (άνω), διάταξης άρπας (μέσον) και μεικτής διάταξης (κάτω)

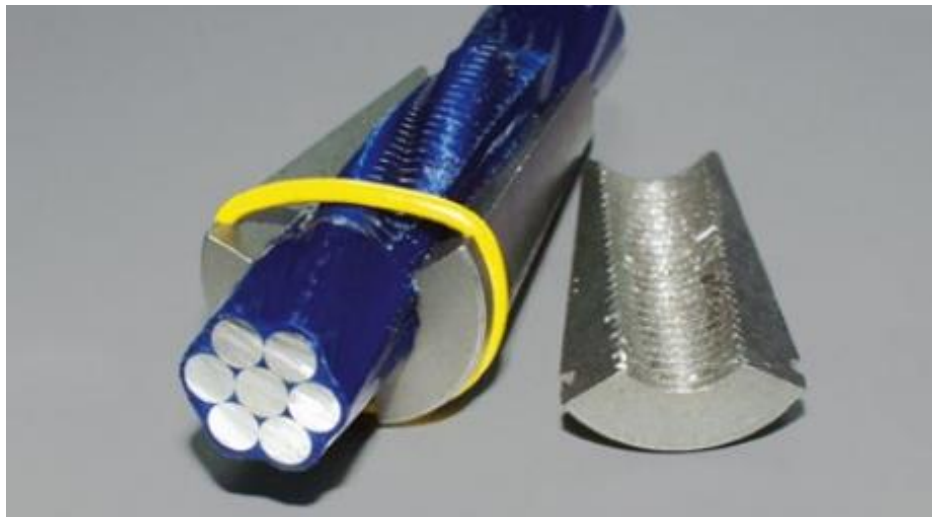
#### 4.5.3. Αντιδιαβρωτική προστασία τενόντων από επτάκλινα συρματόσχοινα

Όσον αφορά την αντιδιαβρωτική προστασία τενόντων από επτάκλινα συρματόσχοινα (S7), επιλέγονται συρματόσχοινα με εποξειδική επικάλυψη και με κατάλληλες σφήνες, αντί των απλώς γαλβανισμένων. Επίσης, οι τένοντες σε όλο το μήκος τους (πλην των θέσεων αγκύρωσης) βρίσκονται μέσα σε σωλήνα HDPE στον οποίο προστίθεται αργότερα κερί ή γράσο. Το υλικό αυτό, παράγωγα πετρελαίου παρουσιάζουν το πλεονέκτημα σταθερής κρυσταλλικής δομής. Οι διαδικασίες διευκολύνονται πολύ αν διατίθενται αυτοκινούμενα δοχεία με αντλίες ικανές να εισπιέσουν το κερί ή το γράσο απευθείας εντός των σωλήνων. Γενικά η εισπίεση γίνεται με το υλικό είτε σε υψηλή θερμοκρασία (90° C) και χαμηλή πίεση (0.2 MPa) είτε σε χαμηλή θερμοκρασία (40° C) και υψηλή πίεση (1.5-2 MPa).





Εικόνα 23 Σύνηθες γαλβανισμένο συρματόσχοινο και σφήνα (DYWIDAG)



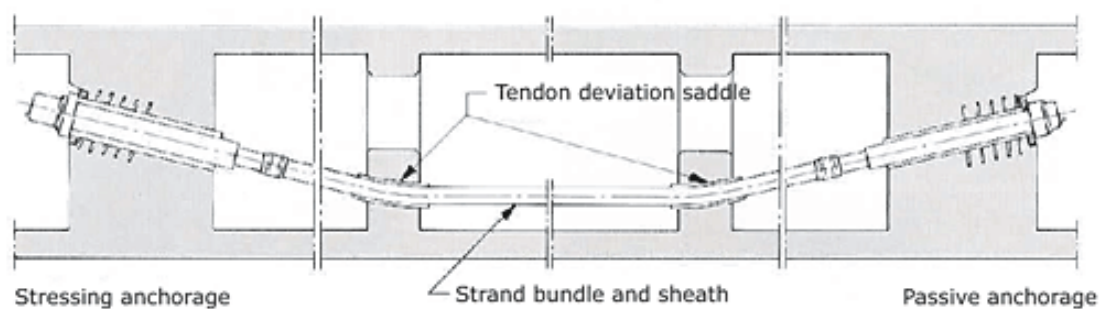
Εικόνα 24 Συρματόσχοινο με επιδερμική αντιδιαβρωτική προστασία και σφήνα (DYWIDAG)

#### 4.6. Σώματα εκτροπής τενόντων

Σώματα εκτροπής ονομάζονται τα στοιχεία από σκυρόδεμα, μέσα από τα οποία διέρχονται οι εξωτερικοί τένοντες και αλλάζουν διεύθυνση προκειμένου να προσαρμοστεί η χάραξή τους στις απαιτήσεις της εντάσεως (διαγράμματα M, Q). Συνεπώς, με την χρήση τους η χάραξη μετατρέπεται σε τεθλασμένη γραμμή.

Συνηθέστεροι τύποι τέτοιων σωμάτων, είναι τάκοι από σκυρόδεμα που σκυροδετούνται συγχρόνως με την ανωδομή και κοντά στους κορμούς ή ισχυρή μεταλλική κατασκευή. Με την χρήση τάκων ή μεταλλικής κατασκευής, η δύναμη εκτροπής παραλαμβάνεται αξονικά (κυρίως) από τους δίσκους του κορμού και της

πλάκας πυθμένα. Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να εκτραπούν ένας ή δύο τένοντες που βρίσκονται κοντά στην συμβολή κορμού πλάκας, ενώ οι προηγούμενως εκτραπέντες τένοντες αναγκαστικώς εκτρέπονται και στο οριζόντιο επίπεδο. Εναλλακτικά, η εκτροπή μπορεί να γίνει από εγκάρσια στοιχεία όπως οι διαδοκίδες, με ειδική διάταξη. Μέσω διαδοκίδας, μπορούν να εκτραπούν πολλοί περισσότεροι τένοντες, όλοι στο κατακόρυφο επίπεδο. Μειονέκτημα αποτελεί το ίδιο βάρος των διαδοκίδων που αυξάνεται λόγω του απαιτούμενου πλάτους.



Σχήμα 23 Ενδεικτικά σώματα εκτροπής εντός του κιβωτίου (διαμήκης τομή)

Ομοίως με τις διατάξεις των σελών, οι τένοντες διέρχονται μέσα από κεκκαμένη χαλυβδοσωλήνα με κατάλληλη ακτίνα καμπυλότητας. Χρησιμοποιούνται επίσης τα ίδια μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας και υπάρχει πρόβλεψη αντικαταστάσεως.

#### 4.7. Επιρροή της στιβαρότητας του καταστρώματος στην μελέτη

Στον σχεδιασμό των extradosed γεφυρών, επικρατούν δύο τάσεις, που καθορίζουν και την μελέτη τους. Η πρώτη προβλέπει στιβαρή<sup>10</sup> ανωδομή, πακτωμένη στο σύστημα βάθρου-πυλώνα, που εξασφαλίζει ομοιόμορφη μεταφορά των δυνάμεων στους αναρτήρες και τα βάθρα. Στην περίπτωση αυτή, το εύρος τάσεων λόγω κινητών φορτίων μειώνεται, περιορίζοντας το πρόβλημα της κόπωσης και επιτρέποντας την τάνυση των εξωράχιων τενόντων έως και στο 60% της τάσεως

<sup>10</sup> Συγχρόνως δύσκαμπτη και δύστρεπτη.

αστοχίας τους ( $f_{pu}$ ). Χαρακτηριστικό δείγμα τέτοιου σχεδιασμού, είναι η γέφυρα Blueway στην Ιαπωνία, η πρώτη extradosed γέφυρα που κατασκευάστηκε.

Η δεύτερη προσέγγιση που υποστηρίχθηκε κυρίως από τον C. Menp, προβλέπει πυλώνες αυξημένης στιβαρότητας και ανωδομή μεγαλύτερης λυγνότητας. Επίσης, η διατομή μπορεί να είναι μορφής πλάκας και όχι απαραίτητα κιβωτιοειδής. Στην περίπτωση αυτή, τα φορτία αναλαμβάνονται από τον φορέα μέσω αξονικών δυνάμεων στους τένοντες και το κατάστρωμα. Ο σχεδιασμός αυτός, που παραπέμπει περισσότερο σε καλωδιωτή γέφυρα, έχει ως αποτέλεσμα μεγάλα εύρη τάσεων στους εξωράχιους τένοντες λόγω διέλευσης κινητών φορτίων. Συνεπώς, για λόγους μετριασμού του κινδύνου αστοχίας από κόπωση, οι τένοντες τανύονται με δύναμη που αντιστοιχεί περίπου στο 40% του ορίου θραύσεως ( $f_{pu}$ ).

#### 4.8. Επιτρεπόμενες τάσεις εξωράχιων τενόντων

Στις σύγχρονες προδιαγραφές και κανονισμούς, η μέγιστη τάση που επιτρέπεται να αναπτύξουν οι εξωράχιοι τένοντες στην Ο.Κ.Λ., καθορίζεται από το εύρος τάσεων που αναπτύσσεται κατά την φόρτιση με προσομοίωμα κόπωσης. Σε καμία περίπτωση όμως, η τάση δεν πρέπει να ξεπερνά το 60% του ορίου θραύσεως. Βάσει των ανωτέρω, παρατίθενται δύο προδιαγραφές:

- Η ΣΕΤΡΑ επιτρέπει τάση αναρτήρων στο 0.46 έως 0.60 του ορίου θραύσεως ( $f_{pu}$ ). Το ακριβές ποσοστό προκύπτει με επιλογή του εύρους τάσεων από συνδυασμό κόπωσης της Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας, το οποίο πρέπει να είναι λιγότερο από 140 MPa. Συγκεκριμένα ισχύει ο τύπος:

$$f_a \leq 0.46 \left( \frac{\Delta\sigma_L}{140} \right)^{-0.25} \times f_{pu} \leq 0.6f_{pu}$$

όπου  $\Delta\sigma_L$ , το εύρος τάσεων και  $f_a$ , η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση.

- Οι ιαπωνικές προδιαγραφές (Japan Prestressed Concrete Engineering Association Specifications) προβλέπουν γενικά μέγιστη τάση  $f_a = 0.4 \cdot f_{pu}$  έως

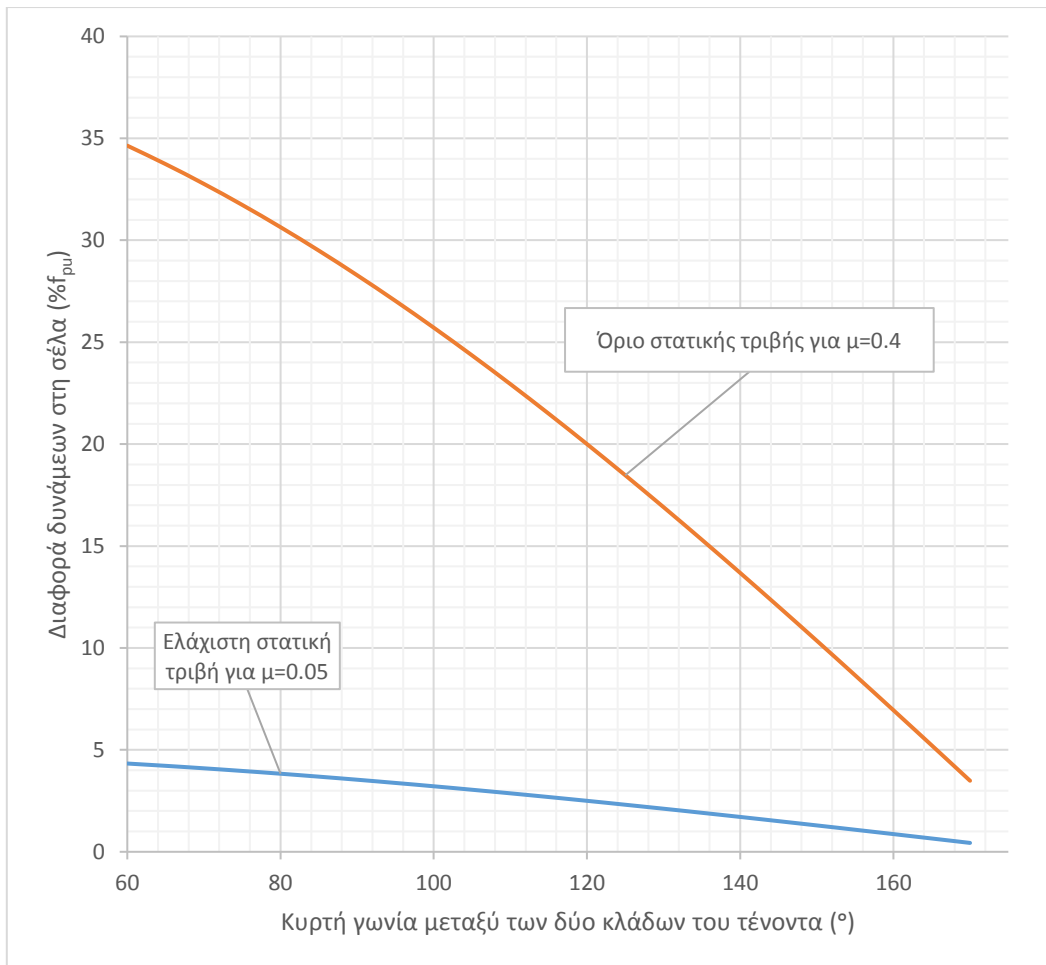
$0.6 \cdot f_{pu}$ . Ανάλογα με το εύρος τάσεων  $\Delta\sigma_L$  και για τένοντες αποτελούμενους από πλεγμένα συρματόσχοινα, θέτει τα ακόλουθα όρια:

$$f_a = \begin{cases} 0.6 f_{pu}, & \Delta\sigma_L < 70 \text{ MPa} \\ (1.067 - 0.00667 \Delta\sigma_L) \times f_{pu}, & 70 \text{ MPa} < \Delta\sigma_L < 100 \text{ MPa} \\ 0.4 f_{pu}, & \Delta\sigma_L > 100 \text{ MPa} \end{cases}$$

όπου  $\Delta\sigma_L$ , το εύρος τάσεων και  $f_a$ , η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση

#### 4.9. Όριο διαφοράς δυνάμεων κλάδων του ίδιου τένοντα στην σέλα

Η διέλευση των εξωράχιων τενόντων από τους πυλώνες μέσω σέλας και χωρίς ενδιάμεση αγκύρωση, προϋποθέτει την μη ολίσθηση σε κάθε φάση κατασκευής και ελέγχου (Ο.Κ.Α. και Ο.Κ.Λ.). Η σέλα πρέπει να διαθέτει ικανό συντελεστή τριβής  $\mu$ , ούτως ώστε η τριβή ολισθήσεως να είναι μεγαλύτερη των διαφορών των δυνάμεων που τυχόν θα αναπτυχθούν, με συντελεστή ασφαλείας 1.5. Από την Fib, ορίζεται μέγιστος συντελεστής τριβής  $\mu=0.4$  και ελάχιστος  $\mu=0.05$ , ενώ γενικά η ακριβής του τιμή πρέπει να προσδιορίζεται εργαστηριακά. Για τις ανωτέρω τιμές του συντελεστή τριβής, μπορεί να προκύψει διάγραμμα που συσχετίζει την διαφορά δύναμης ως ποσοστό (%) της δύναμης αστοχίας με την κυρτή γωνία που σχηματίζει κάθε τένοντας διερχόμενος από την σέλα.



Σχήμα 24 Συσχέτιση τριβής και γωνίας τενόντων

## Μέρος Β': Η γέφυρα Teror



# 1. Παραδοχές σχεδιασμού

## 1.1. Γενικά

Η γέφυρα Τέρρορ (Teror) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα προβολοδόμησης με εξωράχιους τένοντες (extradosed)- κατασκευάστηκε την τριετία 2009 έως 2011. Βρίσκεται στο νησί Γκραν Κανάρια του συμπλέγματος των Καναρίων Νήσων της Ισπανίας και συνδέει την πόλη Τέρρορ με την πρωτεύουσα Λας Πάλμας, αποτελώντας τμήμα του τοπικού οδικού δικτύου. Διασχίζει δε κατάφυτη χαράδρα βάθους περίπου 70 m. Έχει συνολικό μήκος 261 m και κατά μήκος κλίσης 6%.



Εικόνα 25 Επίσημανση γέφυρας στο οδικό δίκτυο



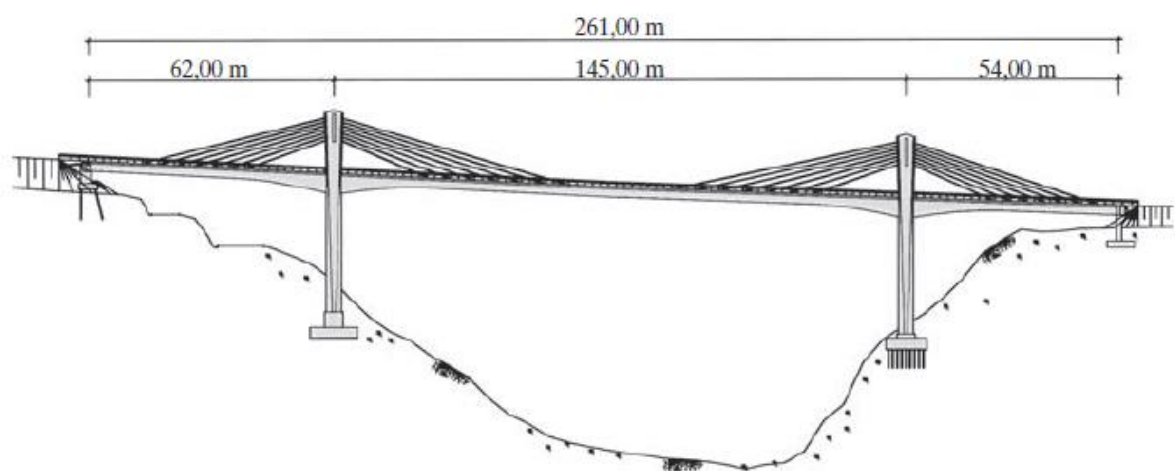


Εικόνα 26 Χάρτης Κανάριων Νήσων

## 1.2. Μέθοδος κατασκευής

Η γέφυρα Τέρρορ είναι κατασκευασμένη από προεντεταμένο σκυρόδεμα και αποτελεί εφαρμογή προβολοδόμησης με εξωράχιους τένοντες και μεσόβαθρα μορφής Υ ή σφεντόνας. Η ανωδομή είναι μονολιθικά συνδεδεμένη με τα μεσόβαθρα. Ο εν λόγω σχεδιασμός προκρίνεται για λόγους αισθητικής· ο αριθμός των μεσοβάθρων περιορίζεται σε δύο, η ανωδομή σχεδιάζεται λεπτότερη, ενώ με την χρήση εξωτερικών τενόντων, η γέφυρα παραμένει διαυγής και δεν επιβάλλεται στο φυσικό περιβάλλον.

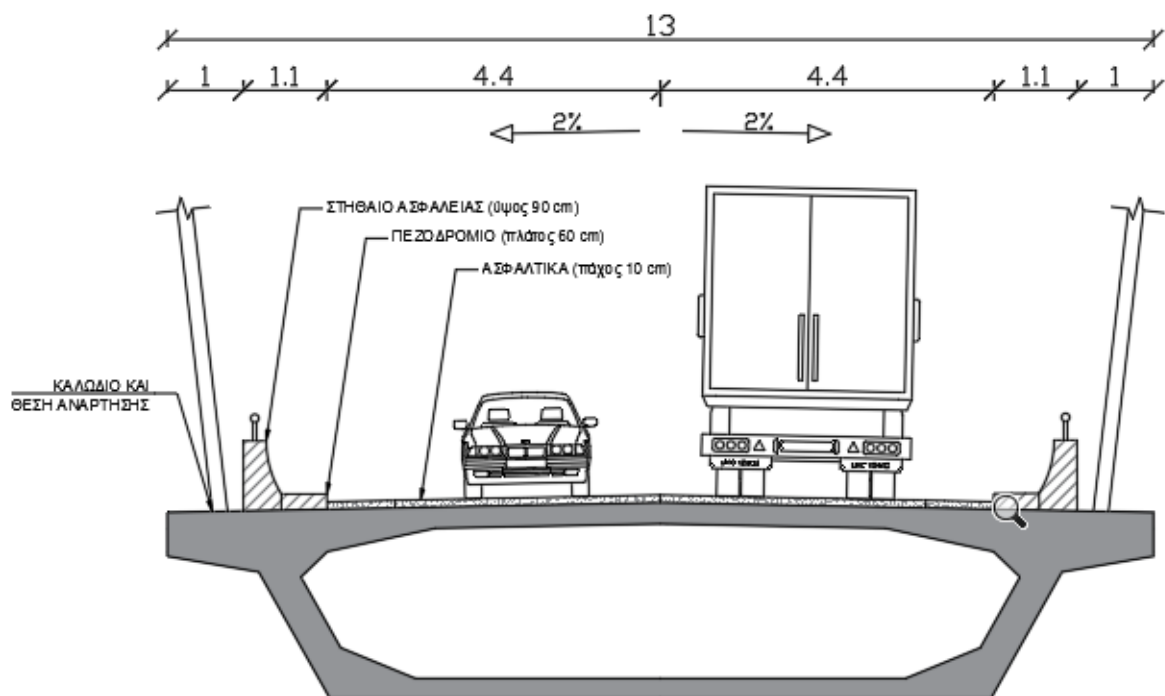
Η γέφυρα, συνολικού μήκους 261.00 m σχεδιάζεται με τρία ανοίγματα. Το κεντρικό και μεγαλύτερο (άνοιγμα 2) έχει μήκος 145.00 m ενώ τα δύο ακραία 62.00 (άνοιγμα 1) και 54.00 m (άνοιγμα 3) αντίστοιχα.



Σχήμα 25 Τομή κοιλάδας και όψη γέφυρας

### 1.3. Διατομή οδοποιίας

Βάσει των συγκοινωνιακών απαιτήσεων, η γέφυρα φέρει μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Οι δύο λωρίδες έχουν αθροιστικό πλάτος 7.00 m, ενώ το συνολικό πλάτος του οδοστρώματος ανέρχεται στα 8.80 m. Εκατέρωθεν προβλέπεται πεζοδρόμιο πλάτους 0.60 m και στηθαίο ασφαλείας από μπετόν πλάτους 0.5 m. Στα άκρα, τα φτερά του κιβωτίου χρησιμεύουν για την αγκύρωση των εξωράχιων τενόντων.



Σχήμα 26 Διατομή οδοποιίας

## 1.4. Υλικά

### 1.4.1. Σκυρόδεμα

Για την κατασκευή του καταστρώματος χρησιμοποιείται σκυρόδεμα C40/45, ενώ για την κατασκευή των βάθρων και των πυλώνων C30/37. Επίσης, θεωρείται μέση σχετική υγρασία RH=70%. Ως ειδικό βάρος σκυροδέματος λαμβάνεται η τιμή  $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$  και ως συντελεστής θερμικής διαστολής η τιμή  $\alpha=10^{-5}$ . Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών, λαμβάνονται από τον πίνακα 3.1 του EN1992.1.1, ο οποίος παρατίθεται.

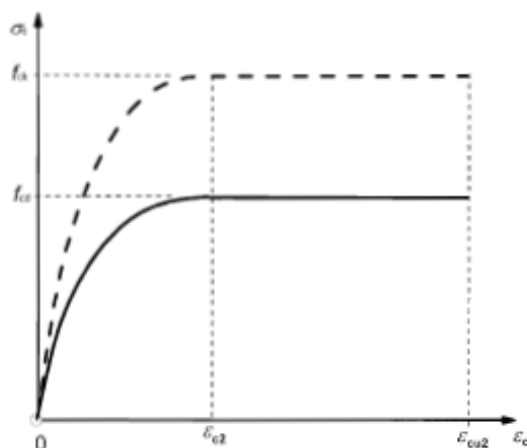
Strength classes for concrete														Analytical relation / Explanation	
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	2.8
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	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	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{cm}^{(2.3)} \geq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$ > C50/60
$f_{tk,0.05}$ (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	$f_{tk,0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{tk,0.95}$ (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	$f_{tk,0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 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)
$\epsilon_{c1}$ (‰)	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 $\epsilon_{c1}(\epsilon_{100}) = 0,7 f_{cm}^{0.31} \leq 2,8$ (‰)
$\epsilon_{cu1}$ (‰)	3,5								3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu1}(\epsilon_{100}) = 2,8 + 27(98 - f_{ck})/100$	
$\epsilon_{c2}$ (‰)	2,0								2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c2}(\epsilon_{100}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0.53}$	
$\epsilon_{cu2}$ (‰)	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu2}(\epsilon_{100}) = 2,6 + 35(90 - f_{ck})/100$	
$n$	2,0								1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4(90 - f_{ck})/100$	
$\epsilon_{c3}$ (‰)	1,75								1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c3}(\epsilon_{100}) = 1,75 + 0,55(f_{ck} - 50)/40$	
$\epsilon_{cu3}$ (‰)	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu3}(\epsilon_{100}) = 2,6 + 35(90 - f_{ck})/100$	

Πίνακας 3 Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος (πιν. 3.1 EN1992.1.1)

Η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος, για τιμή  $\alpha_{cc}=0.85$  ή  $\alpha_{cc}=1.00$  προκύπτει ως εξής:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Για την συμπεριφορά του σκυροδέματος υπό θλίψη, λαμβάνεται υπόψη το παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$  που προτείνεται από τον EN1992-1-1.



Σχήμα 27 Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα  $\sigma$ - $\epsilon$ , για σκυρόδεμα υπό θλίψη (σχ. 3.3 EN1992.1.1)

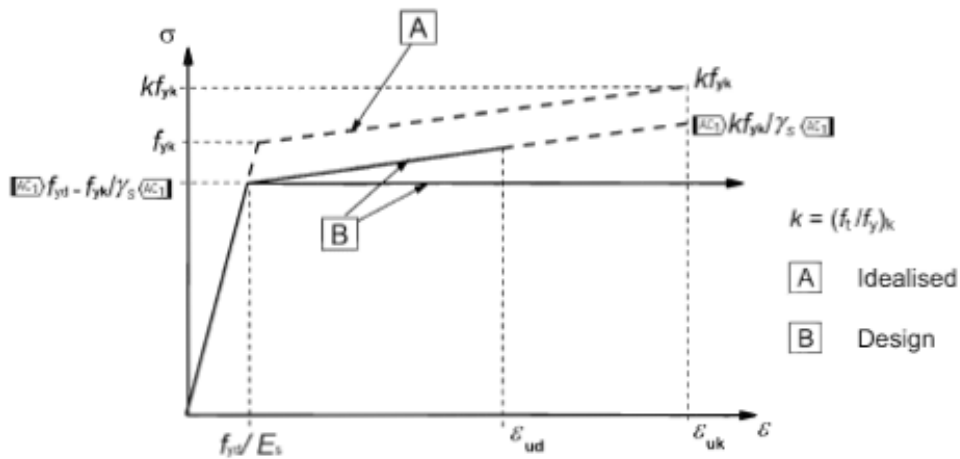
#### 1.4.2. Χάλυβας οπλισμού

Χρησιμοποιείται χάλυβας ποιότητας B500 B με χαρακτηριστικό όριο διαρροής  $f_{yk}=500$  MPa, μέτρο ελαστικότητας  $E_s=200$  GPa και ειδικό βάρος  $\gamma=78.5$  kN/m<sup>3</sup>. Οι ιδιότητες του χάλυβα οπλισμού, καθορίζονται βάσει του πίνακα C.1 του EN1992-1-1, ο οποίος παρατίθεται.

Product form	Bars and de-coiled rods			Wire Fabrics			Requirement or quantile value (%)
	A	B	C	A	B	C	
Class	A	B	C	A	B	C	-
Characteristic yield strength $f_{yk}$ or $f_{0,2k}$ (MPa)	400 to 600						5,0
Minimum value of $k = (f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Characteristic strain at maximum force, $\epsilon_{yk}$ (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Bendability	Bend/Rebend test			-			
Shear strength	-			$0,25 A f_{yk}$ (A is area of wire)			Minimum
Maximum deviation from nominal bar size (mm)							5,0
Nominal bar size (mm)							
≤ 8 (individual bar or wire) (%)							
> 8 (%)							

Πίνακας 4 Ιδιότητες χάλυβα (πιν. C.1 EN1992.1.1)

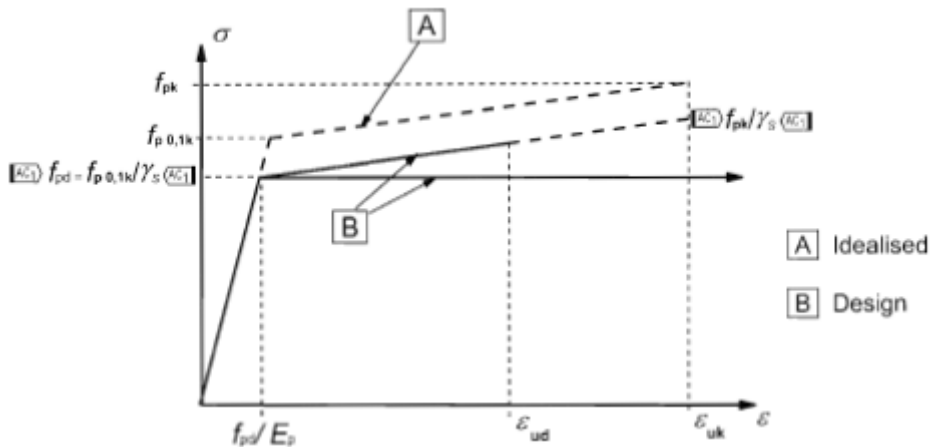
Για τις ανάγκες του σχεδιασμού, λαμβάνεται υπόψη κρατυνόμενος χάλυβας, με συντελεστή  $k$  που καθορίζεται από τον πίνακα 4.2, βάσει του ακόλουθου τύπου.



Σχήμα 28 Εξιδανικευμένο διάγραμμα σ-ε (A) και διάγραμμα σχεδιασμού (B) χάλυβα χαλαρού σπλισμού για εφελκυσμό και θλίψη (σχ. 3.8 EN1992.1.1)

### 1.4.3. Χάλυβας προέντασης

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τένοντες αποτελούνται από επτάκλινα συρματόσχοινα (S7) χαμηλής χαλάρωσης ( $\rho_{1000}=2.5\%$ ). Για τον σχεδιασμό των τενόντων, εσωτερικών και εξωτερικών, λαμβάνεται υπόψη το ακόλουθο διάγραμμα σ-ε του EN1992.1.1.



Σχήμα 29 Εξιδανικευμένο διάγραμμα σ-ε (A) και διάγραμμα σχεδιασμού (B) χάλυβα προεντάσεως (σχ. 3.10 EN1992.1.1)

Κάθε ποιότητα χάλυβα καθορίζεται από τις τιμές  $f_{p0.1k}$ , που είναι το χαρακτηριστικό όριο διαρροής για παραμόρφωση 0.1‰ και  $f_{pk}$  που είναι η χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή. Τα χαρακτηριστικά των χαλύβων που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται αναλυτικά ακολούθως.

Τιμή	Μονάδα	Τένοντες (εσωτερικοί και εξωτερικοί)	Εξωράχιοι τένοντες (extradosed)
Συρματόσχοινα		Επτάκλινα (S7) χαμηλής χαλάρωσης	Επτάκλινα (S7) χαμηλής χαλάρωσης
$f_{pk}$	MPa	1862	1770
$f_{p0.1k}$	MPa	1762	1593
$E_s$	GPa	200	200
$\alpha$	1/°C	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$
$\sigma_{συρμ.}$	mm	15.7	15.7
$A_{συρμ.}$	mm <sup>2</sup>	150	150
$F_{pk}$	kN	279.3	265.5

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά χαλύβων προεντάσεως

#### 1.4.4. Συντελεστές ασφαλείας υλικών

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας των υλικών καθορίζονται στην παράγραφο 2.4.2.4 του EN1992.1.1. Οι τιμές αυτών λαμβάνονται από τον πίνακα 2.1N.

Καταστάσεις σχεδιασμού		$\gamma_c$ για σκυρόδεμα	$\gamma_s$ για χάλυβα οπλισμού	$\gamma_s$ για χάλυβα προέντασης
ΟΚΑ	Μόνιμες & παροδικές	1.50	1.15	1.15
	Τυχηματικές	1.2	1.00	1.00
ΟΚΛ		1.00	1.00	1.00

Πίνακας 6 Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας των υλικών

#### 1.4.5. Σύστημα προέντασης τενόντων

Το σύστημα προέντασης που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά για εσωτερικούς ή εξωτερικούς τένοντες.

Συντελεστής	Εξήγηση	Τένοντες εσωτερικοί	Τένοντες εξωτερικοί
$\delta$ (mm)	ολίσθηση σφηνών	5	5
$\mu$	συντελ. τριβής	0.21	0.00
K	συντελ. εκκεντρότ.	0.0015	0
B	$=K/\mu * 180/\pi$	0.34	0.00

Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά συστήματος προέντασης τενόντων

### 1.5. Δράσεις σχεδιασμού

#### 1.5.1. Μόνιμα φορτία

Οι μόνιμες δράσεις που λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό προέρχονται από το ίδιο βάρος των δομικών μελών. Τα ίδια βάρη υπολογίζονται βάσει του ειδικού βάρους κάθε υλικού.

Υλικό	Ειδικό βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Ωπλισμένο σκυρόδεμα	25.00
Άοπλο σκυρόδεμα	24.00
Χάλυβας χαλαρός	78.50
Χάλυβας προέντασης	78.50

Πίνακας 8 Ειδικά βάρη υλικών

#### 1.5.2. Κατασκευαστικά φορτία

Το κύριο φορτίο που δρα στον φορέα κατά την κατασκευή, είναι το βάρος του φορείου επί τόπου έγχυσης των σπονδύλων (form traveller). Το φορτίο αυτό, τίθεται ως κατακόρυφο συγκεντρωμένο φορτίο στην άκρη κάθε προβόλου κατά την φάση κατασκευής. Η τιμή που χρησιμοποιείται για το εν λόγω φορτίο είναι  $Q_{t,c} = 945$  kN.

Επίσης, κατά την φάση κατασκευής και μόνο υπάρχει κατασκευαστικό φορτίο  $Q_c = 50$  kN/m<sup>2</sup> επί των προβόλων, για το οποίο γίνονται δυσμενείς φορτίσεις.

### 1.5.3. Πρόσθετα μόνιμα φορτία

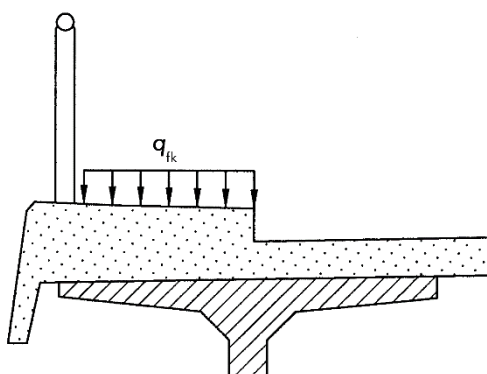
Περιλαμβάνουν το ίδιο βάρος όλων των πρόσθετων και μη φερόντων στοιχείων της διατομής. Προκύπτουν γενικά από την διατομή οδοποιίας και είναι στοιχεία του συγκοινωνιακού σχεδιασμού της γέφυρας.

Στοιχείο	Υλικό	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m)
Οδόστρωμα	Ασφαλτικά	24.00	21.12
Πεζοδρόμια	Άοπλο σκυρόδεμα	24.00	7.20
Στηθαίο ασφαλείας	Άοπλο σκυρόδεμα	24.00	17.28
Μπάρα	Χάλυβας	-	2.00
Σύνολο πρόσθετων μονίμων ( $G_2$ )			47.60

Πίνακας 9 Πρόσθετα μόνιμα φορτία

### 1.5.4. Φορτία πεζοδιαδρόμων

Οι πεζοδιάδρομοι θεωρούνται μη δημόσιας χρήσης και θα χρησιμοποιούνται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό. Σύμφωνα με τον EN1991-2, για οδογέφυρες που στηρίζουν μη δημόσιους πεζοδιαδρόμους ορίζεται ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο  $q_k=5$  kN/m<sup>2</sup> στην επιφάνεια των πεζοδιαδρόμων αυτών. Με αναγωγή του φορτίου στην διαμήκη έννοια, προκύπτει γραμμικό φορτίο 6 kN/m και για τους δύο πεζοδιαδρόμους.



Σχήμα 30 Φόρτιση πεζοδιαδρόμων βάσει του EN1991.2

### 1.5.5. Φορτία οδικής κυκλοφορίας

#### 1.5.5.1. Χωρισμός σε λωρίδες

Σύμφωνα με τον EN1991.2 §4, το οδόστρωμα διαιρείται σε λωρίδες βάσει του πλάτους  $w$  μεταξύ των εκατέρωθεν κρασπέδων. Σημειωτέον, πως για την οριοθέτηση



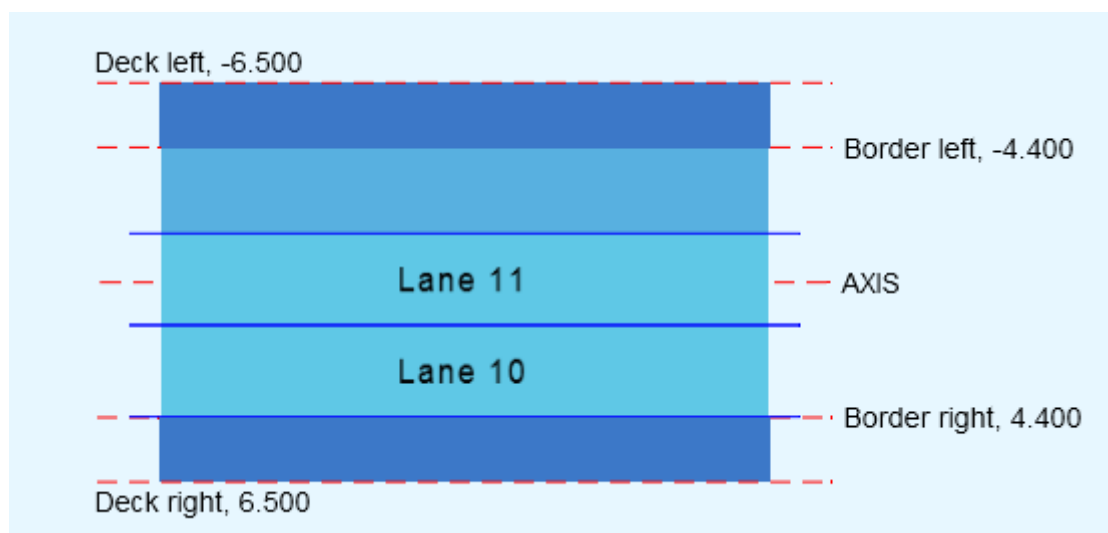
λωρίδων μεταξύ κρασπέδων, απαιτείται τα κράσπεδα να έχουν σχετικό ύψος μεγαλύτερο των 100 mm. Βάσει αυτών,  $w=8.80$  m.

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

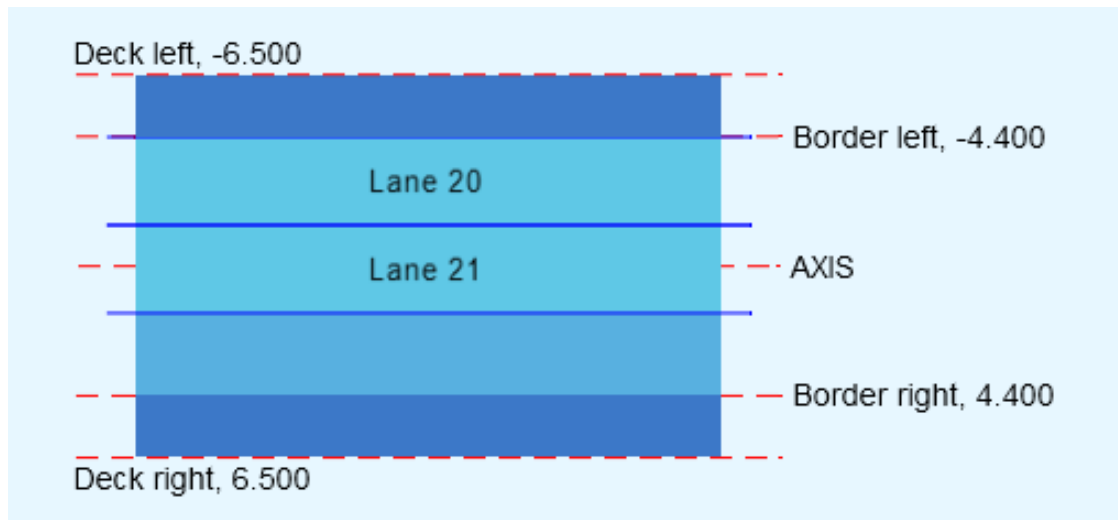
ΣΗΜΕΙΩΣΗ Για παράδειγμα, για πλάτος οδοστρώματος ίσο με 11m,  $n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right) = 3$ , και το πλάτος της εναπομένουσας επιφάνειας είναι  $11 - 3 \times 3 = 2$  m.

Πίνακας 10 Χωρισμός λωρίδων (πιν. 4.1 EN1991.2)

Βάσει του ανωτέρω πίνακα, οι λωρίδες προκύπτουν δύο, με υπολειπόμενη επιφάνεια πλάτους 2.80 m. Προκύπτουν δύο διατάξεις λωρίδων, για επίτευξη δυσμενέστερων αποτελεσμάτων. Στην πρώτη διάταξη, η δυσμενέστερα φορτιζόμενη λωρίδα είναι στην παρειά του δεξιού κράσπεδου. Αντίστοιχα, στην δεύτερη διάταξη, βρίσκεται στην παρειά του αριστερού κράσπεδου.



Σχήμα 31 Διάταξη λωρίδων δεξιά, όπου Lane 10 η δυσμενέστερα φορτιζόμενη



Σχήμα 32 Διάταξη λωρίδων αριστερά, όπου Lane 20 η δυσμενέστερα φορτιζόμενη

#### 1.5.5.2. Προσομοίωμα φόρτισης

Ο EN1991.2 ορίζει τέσσερα διαφορετικά προσομοιώματα κυκλοφοριακού φόρτου ως ακολούθως:

Προσομοιώματα Οδικής Κυκλοφορίας	Χαρακτηριστικές Τιμές	Συχνές Τιμές	Όμοιες – μόνιμες τιμές
<b>Ομογεγυφίρες</b>			
LM1 (4.3.2)	Περίοδος επαναφοράς 1000 ετών (ή πιθανότητα υπέρβασης 5% σε 50 χρόνια) για κυκλοφορία στις κύριες οδικές αρτηρίες στην Ευρώπη (συντελεστής $\alpha$ ίσος με 1, βλέπε 4.3.2).	Περίοδος επαναφοράς 1 εβδομάδας για κυκλοφορία στις κύριες αρτηρίες στην Ευρώπη (συντελεστής $\alpha$ ίσος με 1, βλέπε 4.3.2).	Βαθμονόμηση σύμφωνα με τον αριθμό 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 $\beta$ ίσος με 1, βλέπε 4.3.3).	Περίοδος επαναφοράς 1 εβδομάδας για κυκλοφορία στις κύριες αρτηρίες στην Ευρώπη (συντελεστής $\beta$ 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 11 Βαθμονόμηση προσομοιωμάτων οδικής κυκλοφορίας (πιν. 4.2 EN1991.2)

Για τα κατακόρυφα κυκλοφοριακά φορτία χρησιμοποιείται η πρότυπη φόρτιση 1 (LM1). Σύμφωνα με τον EN1991.2, το LM1 αφορά γενικούς και τοπικούς ελέγχους και καλύπτει την πλειονότητα των επιδράσεων από την κυκλοφορία βαρέων και επιβατικών οχημάτων. Η LM1 αποτελείται από δύο συστήματα φόρτισης:

- Διαξονικά συγκεντρωμένα φορτία (σύστημα δίδυμου άξονα: TS), με τον κάθε άξονα να έχει το ακόλουθο βάρος:

$$\alpha_Q Q_k,$$

όπου  $\alpha_Q = 0.90$  είναι συντελεστές προσαρμογής.

Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών στο σύνολο της γέφυρας, το σύστημα δίδυμου άξονα λαμβάνεται υπόψη υποθέτοντας ότι κινείται κεντρικά κατά μήκος των αξόνων των ονομαστικών λωρίδων κυκλοφορίας. Κάθε άξονας του συστήματος δίδυμου άξονα λαμβάνεται υπόψη με δύο πανομοιότυπους τροχούς, με φορτίο ανά τροχό ίσο προς :

$$0,5\alpha_Q Q_k$$

Ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία (σύστημα UDL), τα οποία διαθέτουν βάρος ανά τετραγωνικό μέτρο ονομαστικής λωρίδας κυκλοφορίας:

$$\alpha_q q_k$$

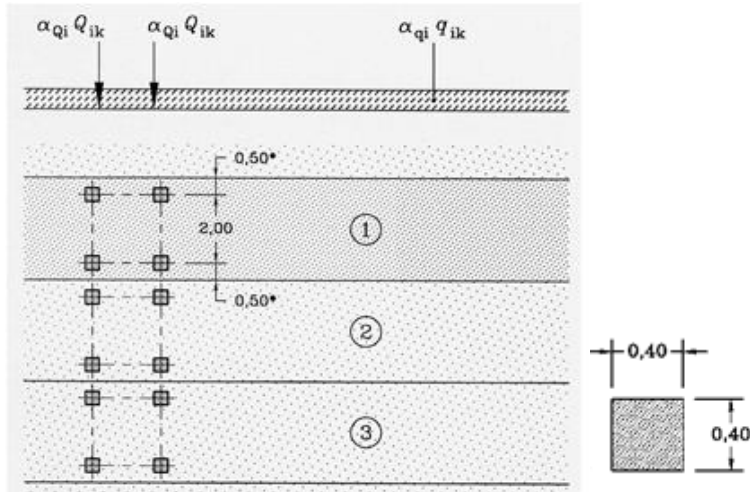
όπου  $\alpha_q = 1.0$  είναι ο συντελεστές προσαρμογής.

Θέση	Σύστημα δίδυμου άξονα TS	Σύστημα UDL
	Αξονικά Φορτία $Q_{ik}$ (kN)	$q_{ik}$ (ή $q_{ik}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Λωρίδα 1	300	9
Λωρίδα 2	200	2,5
Λωρίδα 3	100	2,5
Λοιπές λωρίδες	0	2,5
Εναπομένουσα επιφάνεια ( $q_{ik}$ )	0	2,5

Πίνακας 12 Φορτία Πρότυπης Φόρτισης 1

Θέση	Συντελεστής $\alpha_{Qi}$ για τον ΔΑ (TS)	Συντελεστής $\alpha_{qi}$ για το ΟΚΦ (UDL)
Λωρίδα κυκλοφορίας 1	$\alpha_{Q1} = 0,9$	$\alpha_{q1} = 1,0$
Λωρίδα κυκλοφορίας 2	$\alpha_{Q2} = 0,9$	$\alpha_{q2} = 1,0$
Λωρίδα κυκλοφορίας 3	$\alpha_{Q3} = 0,9$	$\alpha_{q3} = 1,0$
Άλλες λωρίδες κυκλοφ.	-	$\alpha_{qi} = 1,0$
Λοιπή επιφάνεια	-	$\alpha_{qx} = 1,0$

Πίνακας 13 Συντελεστές φορτίων Πρότυπης Φόρτισης 1



Πίνακας 14 Θέσεις φορτίων επί των λωρίδων και διαστάσεις τροχού

### 1.5.5.3. Προσομοίωμα φόρτισης για κόπωση

Ο έλεγχος σε κόπωση αφορά κατά βάση τους χαλύβδινους αναρτήρες. Σύμφωνα με το κανονιστικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε στο πρώτο μέρος, αντικείμενο ελέγχου είναι το εύρος των εμφανιζόμενων τάσεων. Ως προσομοίωμα φόρτισης, υιοθετείται η πρότυπη φόρτιση κόπωσης 1, που είναι παρεμφερής της LM1. Συγκεκριμένα, οι τιμές των συγκεντρωμένων κινητών φορτίων λαμβάνουν τιμή  $0.7 \cdot Q_{ik}$ , ενώ οι τιμές των ομοιόμορφα κατανεμημένων  $0.3 \cdot q_{ik}$ .

### 1.5.6. Προένταση

Η δύναμη προέντασης κάθε τένοντα είναι μεταβλητή κατά μήκος. Οι άμεσες μειώσεις οφείλονται στην εκκεντρότητα της χάραξης (ηθελημένη και μη), στην τριβή και στην ολίσθηση σφηνών κατά την αγκύρωση. Η μέγιστη τάση του τένοντα εμφανίζεται είτε στο πέρας επιρροής της ολισθήσεως, είτε στο τανυόμενο άκρο κατά την τάνυση. Για το μεν τανυόμενο άκρο, πρέπει:

$$\sigma_p^* \leq \min(k_5 * f_{p,k} ; k_6 * f_{p,0.1k})$$

όπου  $k_5=0.8$  και  $k_6=0.9$ , ενώ για το πέρας επιρροής της ολισθήσεως:

$$\sigma_p^* \leq \min(k_7 * f_{p,k} ; k_8 * f_{p,0.1k})$$

όπου  $k_7=0.75$  και  $k_8=0.85$ . Γενικά, η δύναμη του τένοντα σε κάθε θέση του διαγράμματος μειώσεων μετά το πέρας επιρροής της ολισθήσεως ισούται με:

$$P_o(x) = A_p * \sigma_p(x) = P_o(0) * e^{-\mu(\alpha_x + k_x)}$$

Αντίστοιχα το πέρας επιρροής της ολισθήσεως υπολογίζεται ως:

$$x_o = -\frac{1}{k_x} \ln \left( 1 - \sqrt{\frac{k_x * \delta}{\varepsilon_{\rho o}}} \right)$$

### 1.5.7. Χρόνιες απώλειες στο προεντεταμένο σκυρόδεμα

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες υπό τις οποίες εκδηλώνονται οι απώλειες παραμένουν σταθερές κατά την διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας. Θεωρείται θερμοκρασία αέρα  $T=20^\circ \text{C}$  και σχετική υγρασία  $RH=70\%$ .

Οι χρόνιες απώλειες λαμβάνονται υπόψη στον έλεγχο τάσεων μεταξύ κάθε φάσης κατασκευής για τα τμήματα που ανεγείρονται σταδιακά. Ομοίως υπολογίζονται σε θεωρητικά άπειρο χρόνο από την απόδοση στην κυκλοφορία ( $t = 30.000 \text{ days}$ ) για το σύνολο της κατασκευής. Για την αποφυγή φαινομένων μη γραμμικού ερπυσμού, η επιτρεπόμενη θλιπτική τάση μειώνεται στο 45% της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος ( $0.45 * f_{ck}$ ), αντί του 60%. Ο έλεγχος αυτός αφορά τον χαρακτηριστικό συνδυασμό της Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας.

Στην εμφάνιση απωλειών συμβάλλουν τρία φαινόμενα, ο ερπυσμός (creep), η συστολή ξήρανσης (shrinkage) και η χαλάρωση των τενόντων υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία. Γενικά, οι συνολικές απώλειες σε συνάρτηση με τον χρόνο  $t$ , δίνονται από τον τύπο 5.46 του EN1992-1-1:

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta \sigma_{c+s+r} = A_p \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0,8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c, QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot A_p \left( \frac{1}{A_c} + \frac{y_{cp}^2}{I_c} \right) [1 + 0,8 \varphi(t, t_0)]}$$

όπου  $\Delta P_{c+s+r}$  η μεταβολή της δύναμης προεντάσεως και  $\varphi$  ο συντελεστής ερπυσμού σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή  $t$ . Στη χρονική στιγμή 0 εκτελείται θεωρητικά η σκυροδέτηση εκάστου σπονδύλου και στην  $t_0$  εκτελείται η τάνυση και ενεμάτωση. Ο υπολογισμός των απωλειών γίνεται από το πρόγραμμα με εφαρμογή του EN1992.2 και του παραρτήματος Β του EN1992.1.1.

## 1.6. Συνδυασμοί φορτίσεων

### 1.6.1. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Βάσει της §7 του EN1992-2, έλεγχος τάσεων της διατομής πραγματοποιείται για τον χαρακτηριστικό συνδυασμό φορτίων της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας. Αντιστοίχως, βάσει της §6.8.3(g) του EN1992.2, ο έλεγχος κοπώσεως πραγματοποιείται για τον συχνό συνδυασμό δράσεων.

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι το ίδιο βάρος, τα πρόσθετα μόνιμα, η προένταση και τα κινητά λόγω κυκλοφορίας βάσει του προτύπου LM1. Για την κατάρτιση συνδυασμών, λαμβάνεται υπόψη ο EN1990 και οι επιμέρους συντελεστές λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα.

Action	Symbol	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	
Traffic loads (see EN 1991-2, Table 4.4)	gr1a (LM1+pedestrian or cycle-track loads) <sup>1)</sup>	TS	0,75	0,75	0
		UDL	0,40	0,40	0
		Pedestrian+cycle-track loads <sup>2)</sup>	0,40	0,40	0
	gr1b (Single axle)		0	0,75	0
	gr2 (Horizontal forces)		0	0	0
	gr3 (Pedestrian loads)		0	$\psi_1 \cdot 0,40 \cdot \psi_2$	0
Wind forces	$F_{Wk}$				
	- Persistent design situations	0,6	0,2	0	
	- Execution	0,8	-	0	
	$F_W^*$	1,0	-	-	
Thermal actions	$T_k$	0,6 <sup>3)</sup>	0,6	0,5	
Snow loads	$Q_{s0,k}$ (during execution)	0,8	-	-	
Construction loads	$Q_c$	1,0	-	1,0	

Πίνακας 15 Συντελεστές συνδυασμού δράσεων οδογεφυρών (πιν. A2.1 EN1990)

Σύμφωνα με τον EN1990 σχηματίζονται οι ακόλουθοι συνδυασμοί φορτίσεως:

- **Χαρακτηριστικός συνδυασμός**

Σύμφωνα με τον EN1990 ο χαρακτηριστικός συνδυασμός προκύπτει με άθροιση των κύριων αντιπροσωπευτικών τιμών των δράσεων με συντελεστή 1.0, ως ακολούθως.

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1$$

Το περιεχόμενο της αγκύλης, προσδιορίζεται ως εξής:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Συνεπώς, οι χαρακτηριστικοί συνδυασμοί που αφορούν την φάση λειτουργίας της γέφυρας είναι οι ακόλουθοι:

$$E_d = G_1 + G_2 + P + (Cr\_Shr)^{11} + Q_{UDL} + 0.75 * Q_{TS}$$

$$E_d = G_1 + G_2 + P + (Cr\_Shr) + Q_{TS} + 0.40 * Q_{UDL}$$

Συμπληρωματικά, θα ελεγχθεί και ο εξής συνδυασμός:

$$E_d = G_1 + G_2 + P + (Cr\_Shr) + Q_{UDL} + Q_{TS}$$

Αντιστοίχως, για κάθε φάση κατασκευής προκύπτει ο επόμενος συνδυασμός:

$$E_d = G_{1,i} + G_{2,i} + P_i + (Cr\_Shr)_i + Q_c$$

- **Συχνός συνδυασμός**

Ο συχνός συνδυασμός καταρτίζεται μόνο για την τελική φάση, αφού η γέφυρα αποδοθεί στην κυκλοφορία. Βάσει του EN1990-2, οι δράσεις συνδυάζονται ως ακολούθως.

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; \psi_{1,1} Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} j \geq 1; i > 1$$

Το περιεχόμενο της αγκύλης προσδιορίζεται ως εξής:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Συνεπώς, οι συχνοί συνδυασμοί που προκύπτουν για την φάση λειτουργίας της γέφυρας είναι οι ακόλουθοι και λαμβάνεται υπόψη ο δυσμενέστερος:

$$E_d = G_1 + G_2 + P + (Cr\_Shr) + 0.75 * Q_{TS}$$

$$E_d = G_1 + G_2 + P + (Cr\_Shr) + 0.40 * Q_{UDL}$$

### 1.6.2. Οριακή κατάσταση αστοχίας

- **Συνδυασμός σχεδιασμού**

Ο συνδυασμός που ορίζεται από τον EN1990 είναι ο ακόλουθος:

<sup>11</sup> Cr\_Shr: ερπυσμός, συστολή ξήρανσης και γενικώς χρόνιες απώλειες στο προεντεταμένο σκυρόδεμα

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} j \geq 1; i > 1$$

Το περιεχόμενο της αγκύλης προσδιορίζεται ως εξής:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Οι συντελεστές των δράσεων λαμβάνουν τιμές από τον πίνακα A2.4(B) του παραρτήματος A2 του EN1990, ως ακολούθως:

$\gamma_{G,sup} = 1.35$  (συντελεστής ι.β. με δυσμενή επίδραση)

$\gamma_{G,inf} = 1.00$  (συντελεστής ι.β. με ευμενή επίδραση)

$\gamma_Q = 1.35$  (συντελεστής οδικών φορτίων και φορτίων πεζοδρομίων με ευμενή επίδραση, αλλιώς 0)

$\gamma_Q = 1.50$  (για λοιπές δράσεις κινητών)

$\gamma_p = 1.00$  (για την δράση της προέκτασης και των φαινομένων ερπυσμού, συστολής κλπ.)

Συνεπώς, για τις συγκεκριμένες και μόνο δράσεις ο συνδυασμός είναι ο ακόλουθος:

$$E_d = 1.35 * G_1 + 1.35 * G_2 + 1.00 * P + 1.00 * (Cr\_Shr) + 1.35 * Q_{TS+UDL}$$

- **Οιονεί μόνιμος συνδυασμός**

Ο συνδυασμός που ορίζεται από τον EN1990 είναι ο ακόλουθος:

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} j \geq 1; i > 1$$

Το περιεχόμενο της αγκύλης προσδιορίζεται ως εξής:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Βάσει του προηγούμενου πίνακα,  $\psi_2=0$  για τις δράσεις οδικής κυκλοφορίας και πεζοδιαδρόμων, συνεπώς ο συνδυασμός είναι ο ακόλουθος:

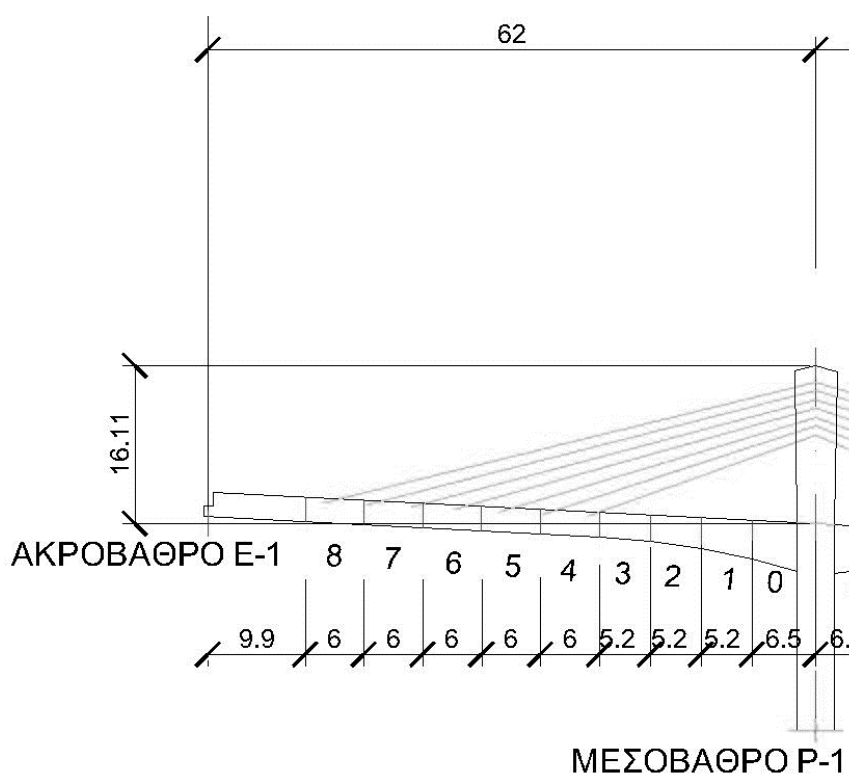
$$E_d = G_1 + G_2 + P + (Cr\_Shr)$$



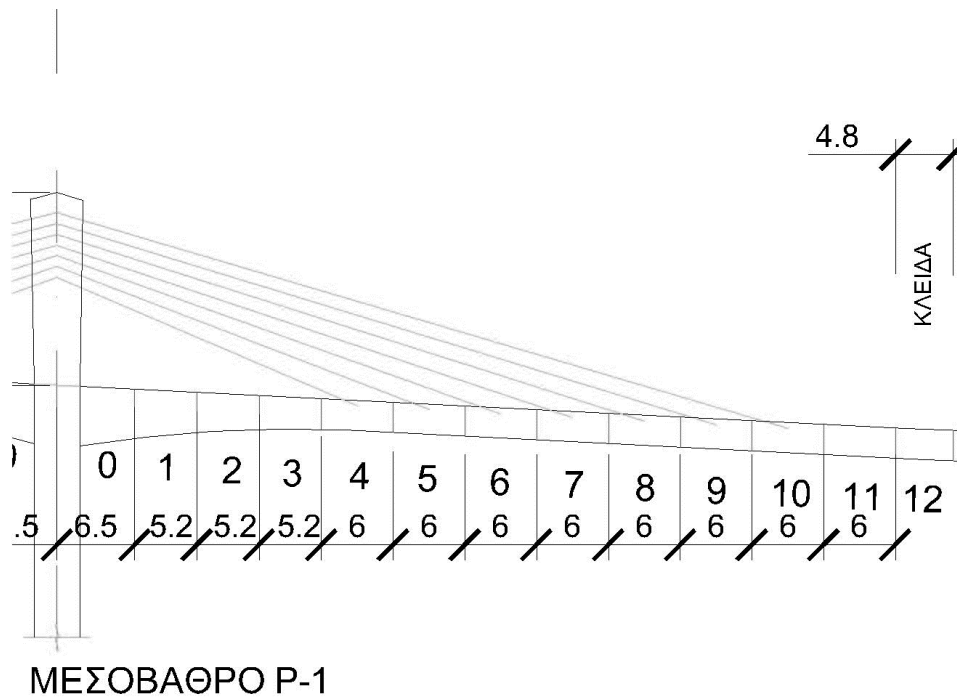
## 2. Περιγραφή της γέφυρας

### 2.1. Διάταξη ανοιγμάτων βάρων

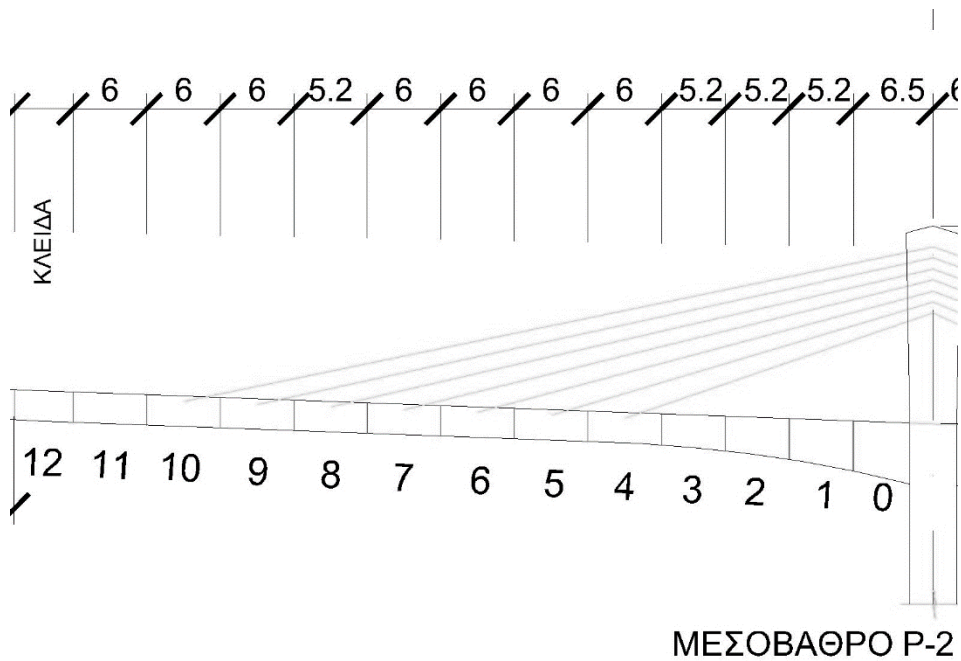
Η ανωδομή υλοποιείται με σπονδύλους των 5.20 m και των 6.00 m που σκυροδετούνται επί τόπου με χρήση φορείου. Όπως αναφέρθηκε, το κεντρικό άνοιγμα έχει μήκος 145.00 m, ενώ τα ακραία 62.00 m και 54.00 m αντίστοιχα. Προκειμένου να προκύψουν μεσόβαθρα χαμηλότερου ύψους, δεν ικανοποιείται η τυπική διάταξη προβολοδόμησης κατά την οποία τα ακραία ανοίγματα έχουν μήκος  $L=L_0/2 + 5$  έως 15 m, όπου  $L_0$  το μήκος του κεντρικού ανοίγματος. Έτσι, τα ακραία ανοίγματα έχουν μικρότερο μήκος από το αναμενόμενο και οι πρόβολοι στερούνται πλήρους συμμετρίας. Επιπλέον, τα τμήματα της ανωδομής μεταξύ της άκρης του προβόλου και του ακροβάθρου σκυροδετούνται επί τόπου επί κριωμάτων και έχουν μήκη 9.90 m και 1.90 m αντίστοιχα.



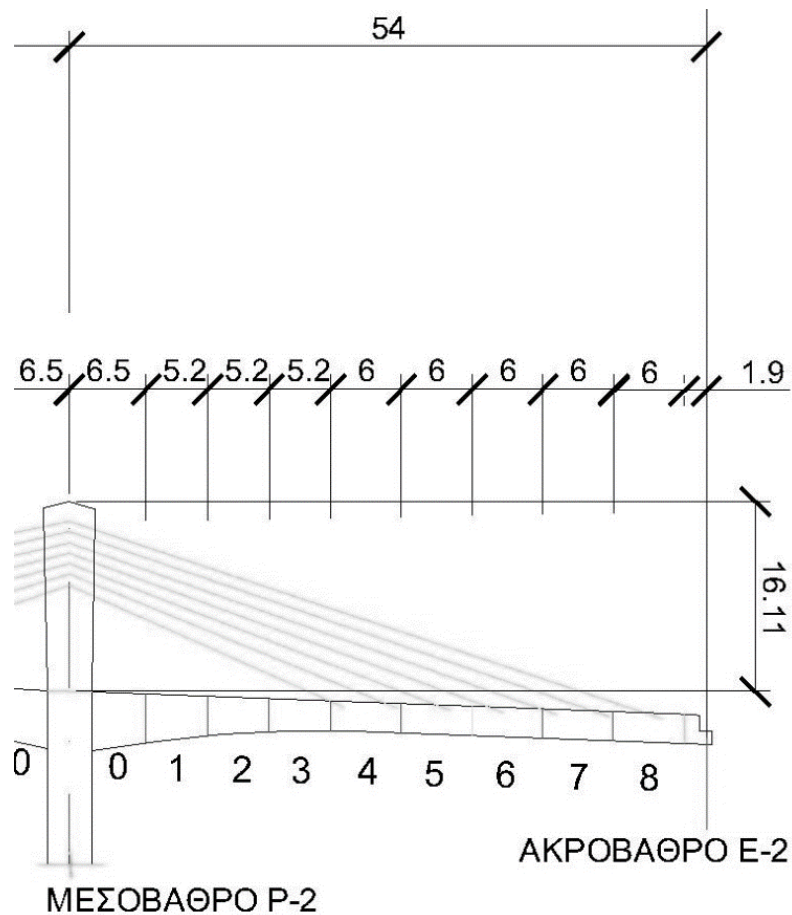
Σχήμα 33 Όψη ανοίγματος 1 με διαστάσεις



Σχήμα 34 Όψη ανοίγματος 2Α με διαστάσεις



Σχήμα 35 Όψη ανοίγματος 2Β με διαστάσεις



Σχήμα 36 Όψη ανοίγματος 3 με διαστάσεις

## 2.2. Σχεδιασμός διατομής

Η διατομή σχεδιάζεται ως μονοκύψηλη κιβωτιοειδής με φτερά εκατέρωθεν, στα οποία γίνεται η αγκύρωση των αναρτήρων. Το συνολικό ύψος της είναι μεταβλητό· στο άνοιγμα έχει ύψος 2.57 m και λόγο  $D/L=2.57/145=1/56$  και στην στήριξη ύψος 5.07 m και λόγο  $D/L=5.07/145=1/29$ . Το ύψος D κατά μήκος ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση παραβολής, συναρτήσει της θέσης  $l_i$ :

$$D = a * (20.2 - l_i)^2 + 2.57$$

όπου  $a=0.00612685$ .

Αντιστοίχως, μεταβάλλεται και το πάχος της κάτω πλάκας. Συγκεκριμένα στην στήριξη έχει ύψος 0.8 m και στο άνοιγμα 0.25 m. Η απόσταση της άνω ίνας της

διατομής έως την άνω παρειά της κάτω πλάκας, μεταβάλλεται παραβολικά συναρτήσει της θέσης  $li$  ως εξής:

$$d = D - \beta * (17.6 - li)^2 - 2.325$$

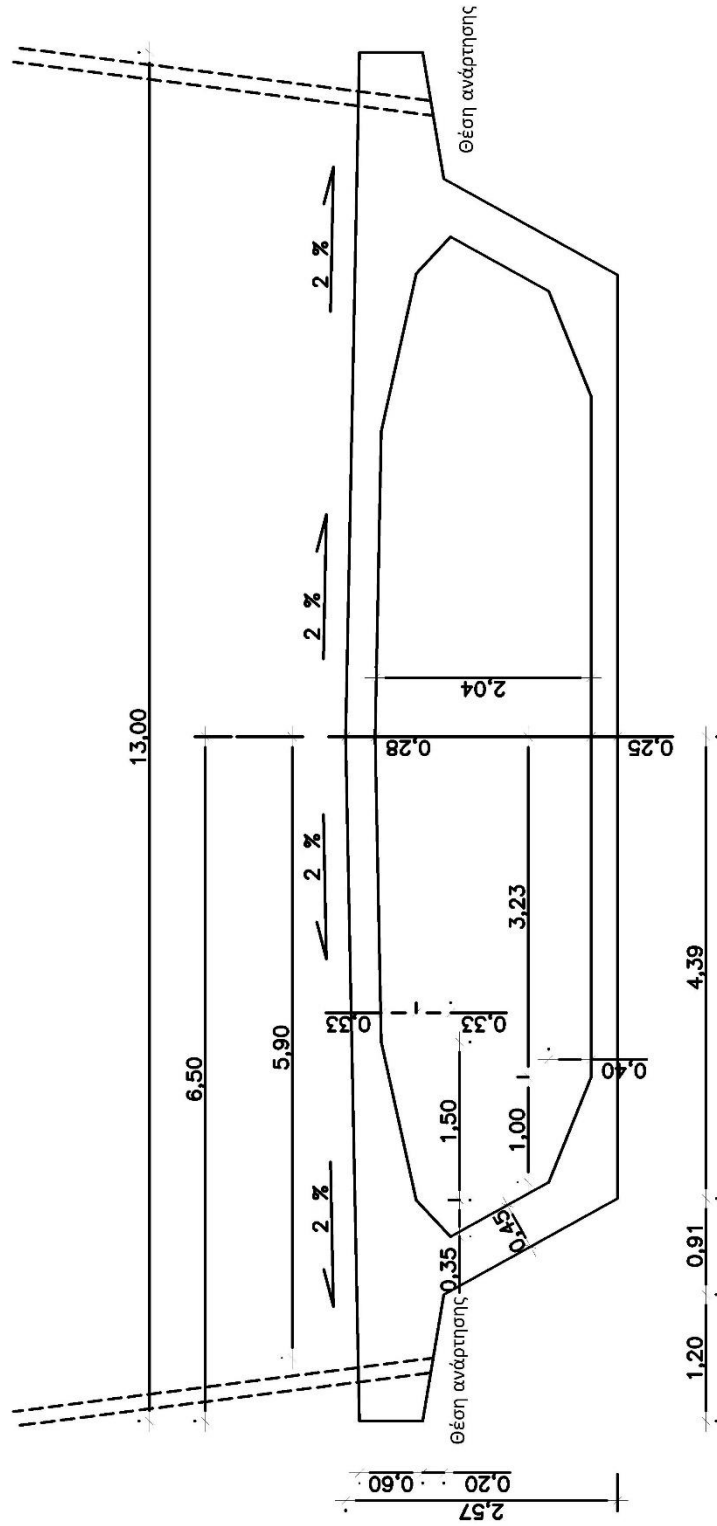
όπου  $\beta=0.00623063$  και  $d$  το πάχος της κάτω πλάκας.

Πρέπει να σημειωθεί, πως από τις ανωτέρω εξισώσεις προκύπτει η μεταβολή υψών για κάθε άκρη μεμονωμένου σπονδύλου από τον σπόνδυλο 0 έως και τον 3, ενώ για τους υπόλοιπους η διατομή παραμένει σταθερή. Συνεπώς, η πραγματική εικόνα της ανωδομής παραπέμπει σε παραβολή που προσεγγίζεται με splines.

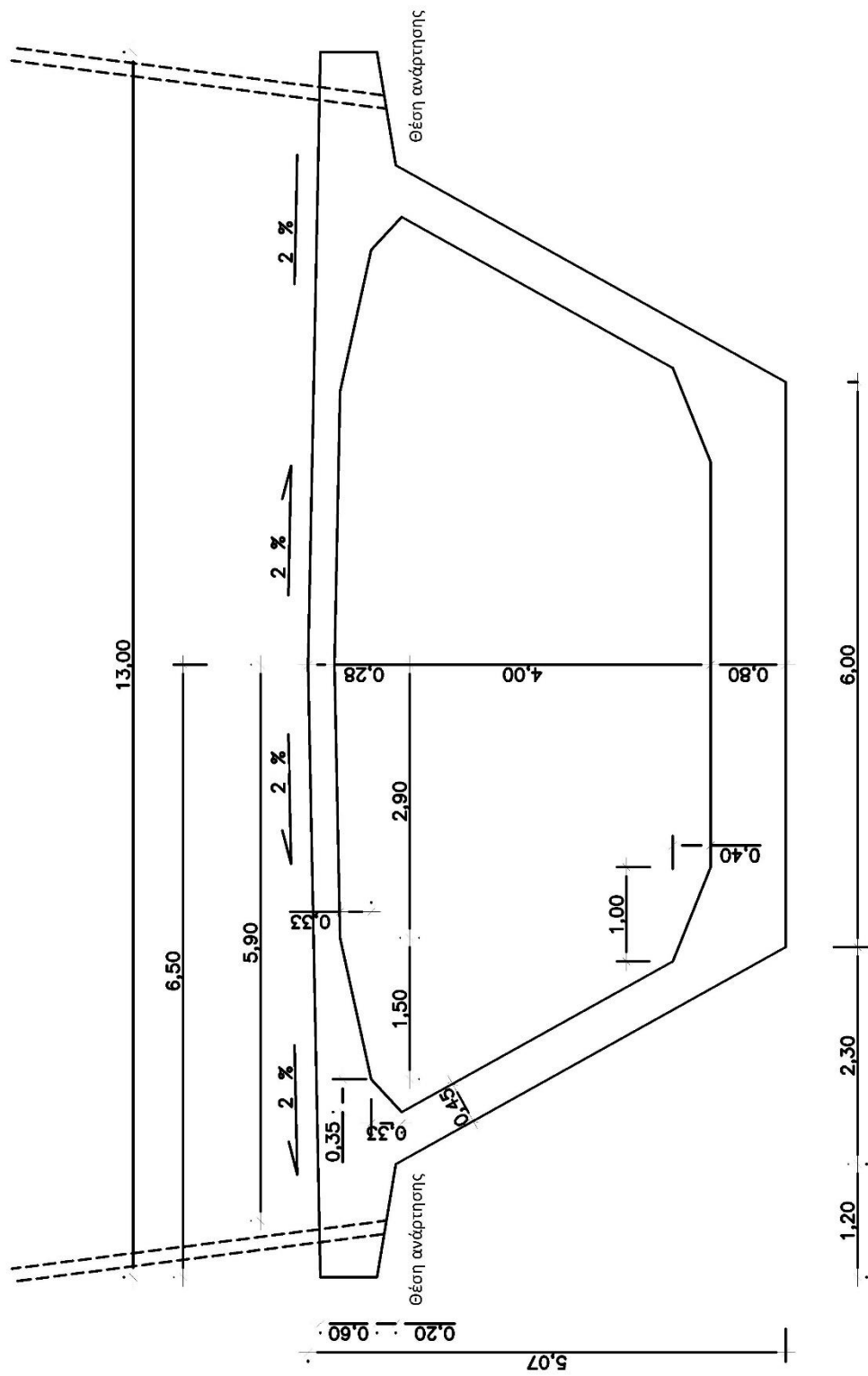
Σπόνδυλος	Απόσταση αρχής σπονδύλου από παρειά βάθρου (li)	Συνολικό ύψος διατομής (D)	Απόσταση άνω επιφάνειας καταστρώματος από άνω παρειά κάτω πλάκας (D-d)	Πάχος κάτω πλάκας (d)
0	0.0	5.075	4.255	0.820
1	4.6	4.066	3.378	0.688
2	9.8	3.238	2.704	0.534
3	15.0	2.741	2.367	0.374
4	20.2	2.575	2.325	0.250
5	26.2	2.575	2.325	0.250
6	32.2	2.575	2.325	0.250
7	38.2	2.575	2.325	0.250
8	44.2	2.575	2.325	0.250
9	50.2	2.575	2.325	0.250
10	56.2	2.575	2.325	0.250
11	62.2	2.575	2.325	0.250
12	68.2	2.575	2.325	0.250
Μέσο	70.6	2.575	2.325	0.250

Πίνακας 16 Κατά μήκος μεταβολή ύψους διατομής

Η άνω πλάκα σχεδιάζεται αμφικλινής με κλίση 2% και σταθερό πάχος 0.25 m. Οι κορμοί έχουν και αυτοί κλίση και σταθερό πάχος 0.45 m, ενώ η προσαρμογή στην συμβολή κορμού και πλακών είναι πρισματική. Οι διαστάσεις φαίνονται αναλυτικά στα ακόλουθα σχήματα.

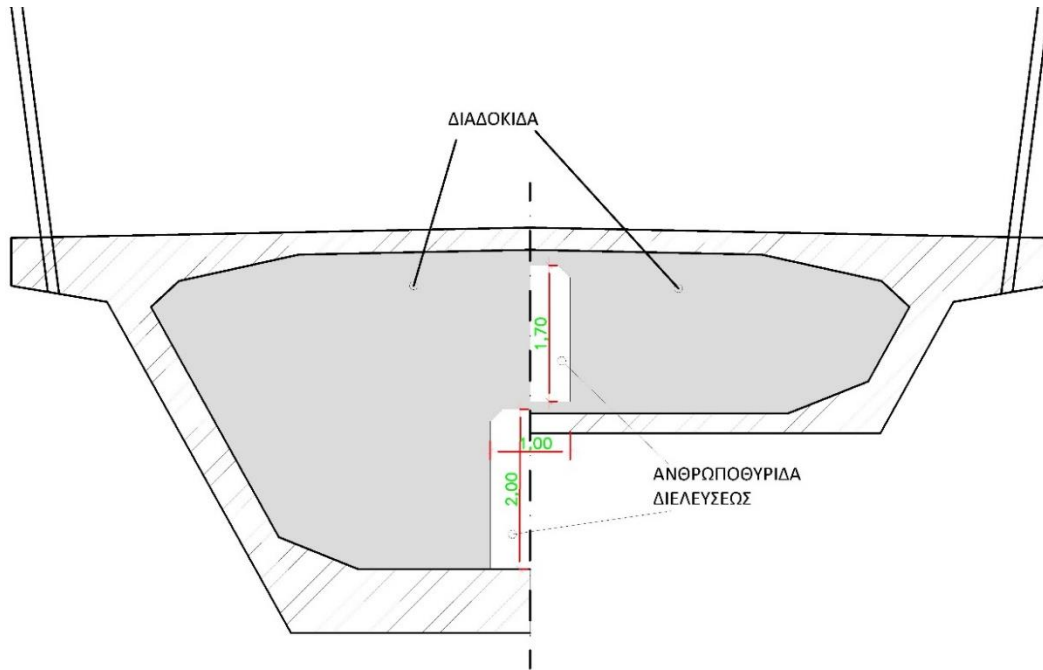


Σχήμα 37 Διατομή γέφυρας στο άνοιγμα με  $D/L=1/56$

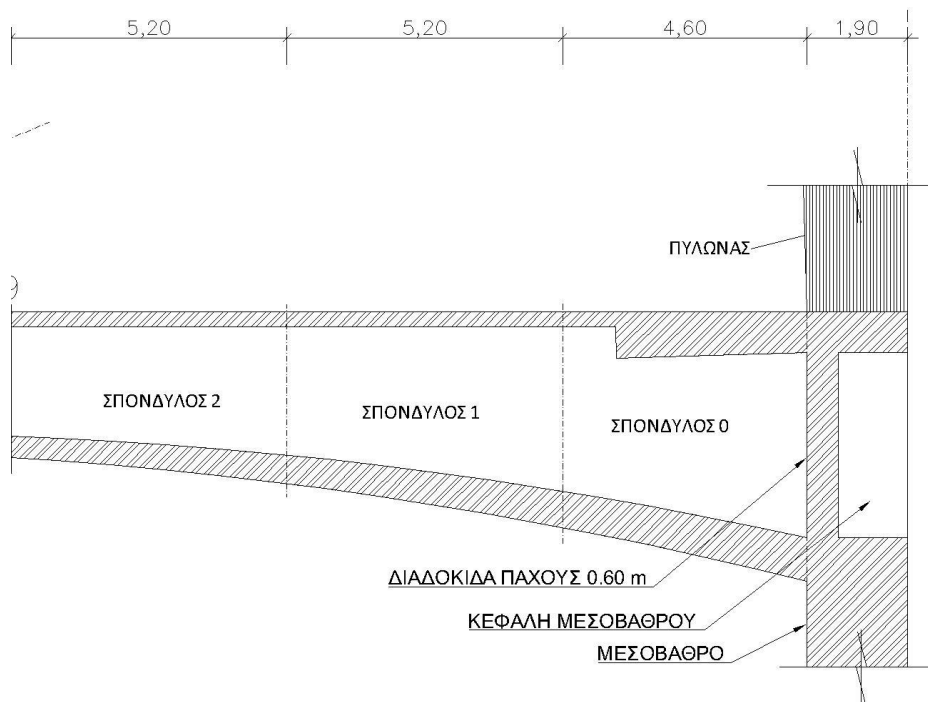


Σχήμα 38 Διατομή γέφυρας στην στήριξη (παρειά μεσοβάθρου) με  $D/L=1/29$

Στις θέσεις των στηρίξεων προβλέπονται δύο κάθετες διαδοκίδες ακριβώς στις παρειές της κεφαλής των μεσοβάθρων. Ομοίως προβλέπονται διαδοκίδες και στην άκρη κάθε επιπλέον τμήματος που κατασκευάζεται επί ικριωμάτων στα ακρόβαθρα. Σε κάθε διαδοκίδα προβλέπεται ανθρωποθυρίδα στο μέσον της, σύμφωνα με το σχήμα 4.12.



Σχήμα 39 Θέσεις ανθρωποθυρίδων στις διαδοκίδες



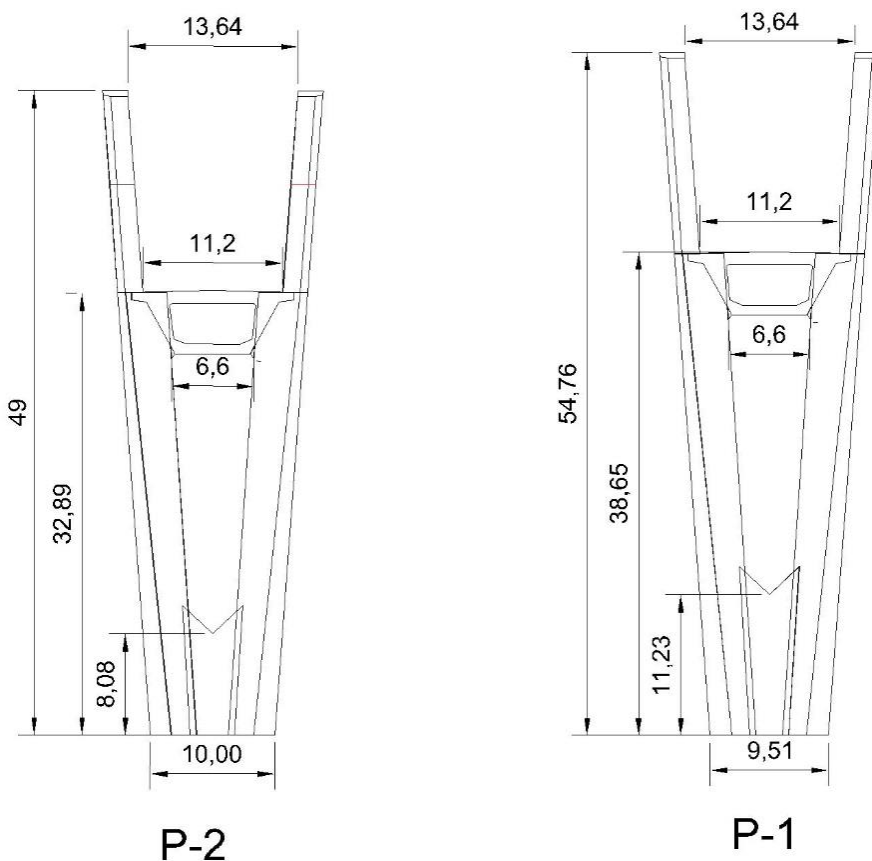
Σχήμα 40 Διαδοκίδα στην θέση του μεσοβάθρου



Σχήμα 41 Διαδοκίδα άνευ ανθρωποθυρίδας στην θέση του ακροβάθρου

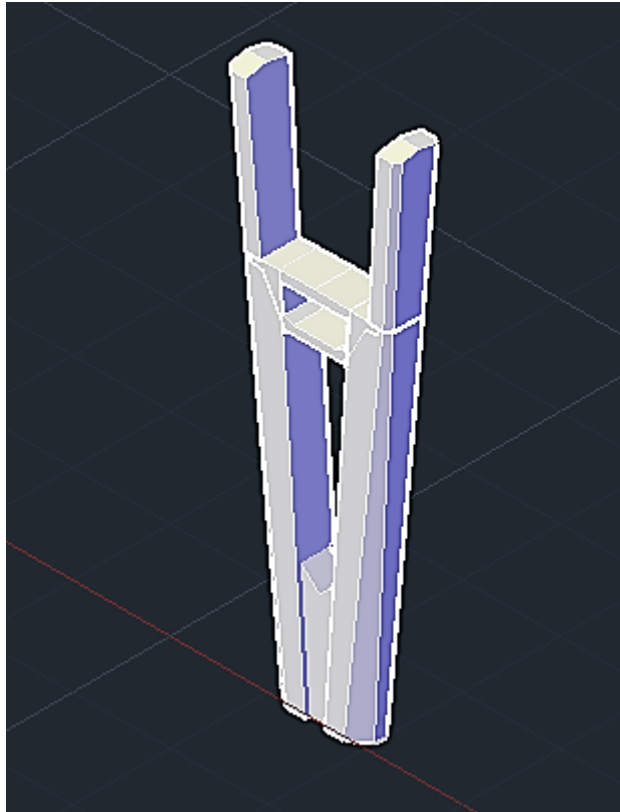
### 2.3. Βάθρα και πυλώνες

Τα βάθρα σχεδιάζονται σε σχήμα σφεντόνας με τους πυλώνες να αποτελούν προέκταση αυτών προς τα άνω και την διατομή διαρκώς μεταβαλλόμενη καθ' ύψος. Έκαστος πυλώνας έχει ύψος 16.11 m, ενώ το ύψος του μεσοβάθρου P-1 από την επιφάνεια καταστρώματος έως το έδαφος είναι 38.65 m και του P-2, 32.89 m. Η ανωδομή συνδέεται μονολιθικά με κάθε μεσόβαθρο.

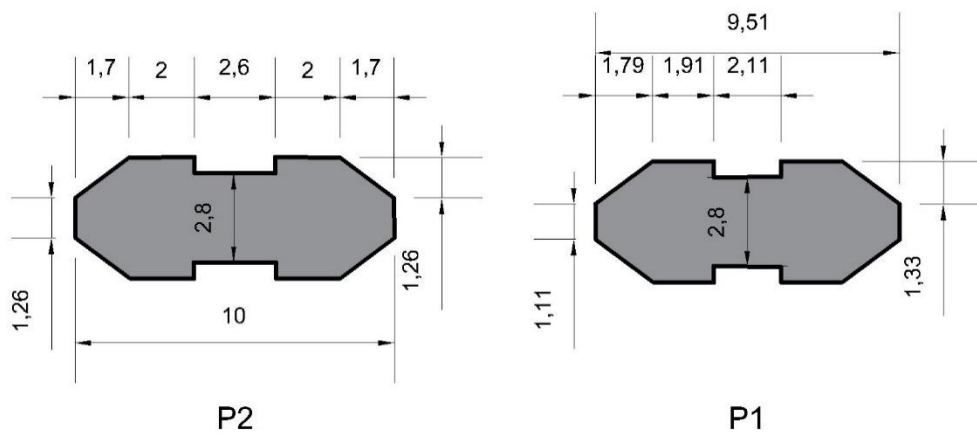


Σχήμα 42 Όψεις βάθρων

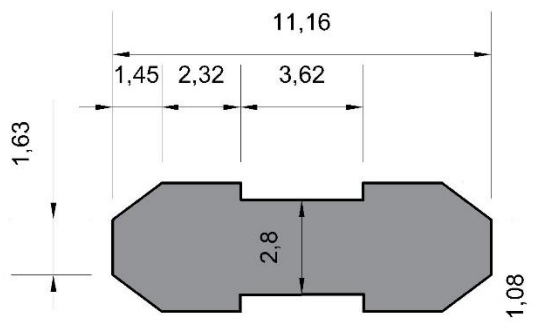




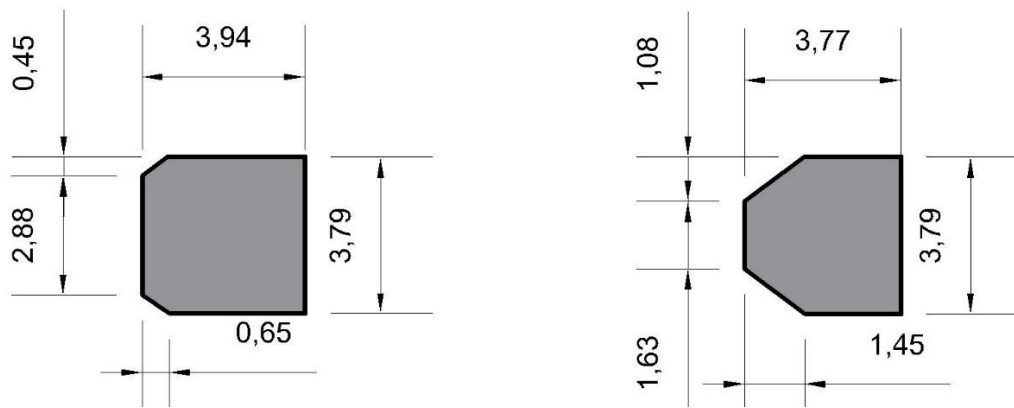
Σχήμα 43 Τρισδιάστατη απεικόνιση μεσοβάθρου



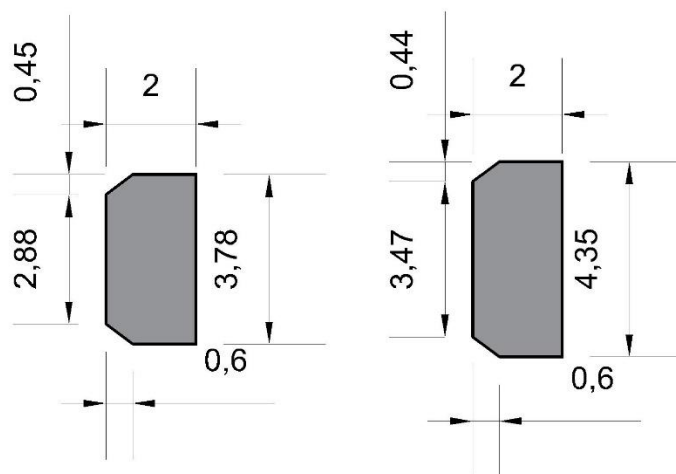
Σχήμα 44 Διατομές βάσης βάθρων



Σχήμα 45 Διατομή βάθρων στις στάθμες +8.80 (P1) και +8.00 (P2)



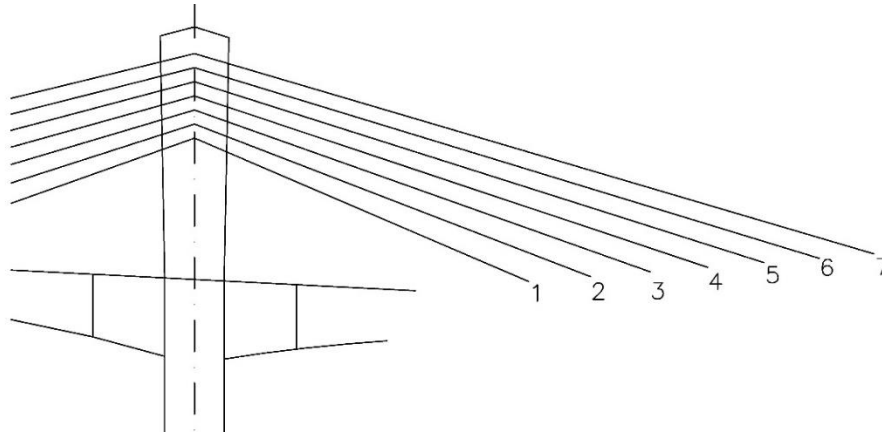
Σχήμα 46 Η διατομή βάθρου σταθμών +38.50 (P1) και +35.00 (P2) (αριστερά) και η διατομή σταθμών +9.80 (P1) και +8.00 (P2) (δεξιά)



Σχήμα 47 Διατομές βάσης (αριστερά) και κορυφής (δεξιά) των πυλώνων

## 2.4. Εξωράχιοι τένοντες (extradosed)

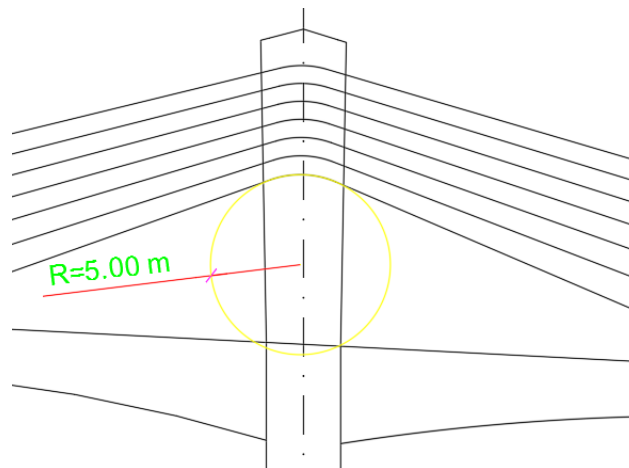
Σε κάθε μεσόβαθρο αντιστοιχεί ένα ζεύγος 7 εξωράχιων τενόντων. Οι τένοντες διέρχονται ενιαίοι από τους πυλώνες μέσω διάταξης σέλας που αποτελείται από δύο χαλύβδινες σωλήνες. Κατά την διάρκεια των φάσεων κατασκευής και ειδικότερα των τανύσεων, επιτρέπεται η ολίσθηση των τενόντων στη σέλα, ενώ προκειμένου οι τένοντες και οι λοιπές διατάξεις να είναι αντικαταστάσιμες, η σέλα δεν ενεματώνεται. Η γεωμετρία υπό μορφή συντεταγμένων, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.6. Η παράμετρος X (m) χρησιμοποιείται για την οριζόντια απόσταση της τομής της άνω ίνας καταστρώματος με τον αναρτήρα έως τον άξονα του μεσοβάθρου. Η παράμετρος Y (m) χρησιμοποιείται για την κατακόρυφη απόσταση της σέλας κάθε αναρτήρα έως την άνω ίνα του καταστρώματος.



Σχήμα 48 Αρίθμηση εξωράχιων τενόντων

Αναρτήρας	Βάθρο P1				Βάθρο P2			
	Άνοιγμα 1		Άνοιγμα 2		Άνοιγμα 2		Άνοιγμα 3	
	X (m)	Y (m)	X	Y	X	Y	X	Y
7	48.74	14.41	59.21	14.41	59.21	14.41	48.74	14.41
6	44.29	13.51	53.28	13.51	53.28	13.51	44.29	13.51
5	39.85	12.61	47.37	12.61	47.37	12.61	39.85	12.61
4	35.41	11.71	41.47	11.71	41.47	11.71	35.41	11.71
3	30.98	10.81	35.58	10.81	35.58	10.81	30.98	10.81
2	26.57	9.91	29.72	9.91	29.72	9.91	26.57	9.91
1	22.17	9.01	23.88	9.01	23.88	9.01	22.17	9.01

Πίνακας 17 Γεωμετρία εξωράχιων τενόντων



Σχήμα 49 Ακτίνα καμπυλότητας σέλας (βάσει ΡΤΙ)

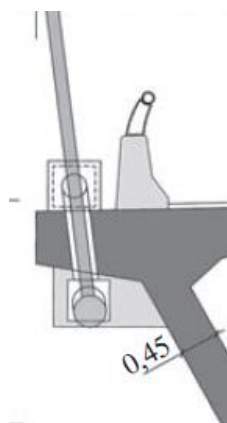
Όσον αφορά την αντιδιαβρωτική προστασία που εφαρμόζεται, κάθε συρματόσχοινο είναι γαλβανισμένο, καλυμμένο με αντιδιαβρωτικό και έχει περίβλημα πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας. Μεταξύ της αγκύρωσης στο κατάστρωμα και της σέλας, ο τένοντας διαθέτει επιπλέον περίβλημα πολυαιθυλενίου, ενώ σε όλο το μήκος του περιβάλλεται από κερί.

### 3. Μόρφωση προσομοιώματος

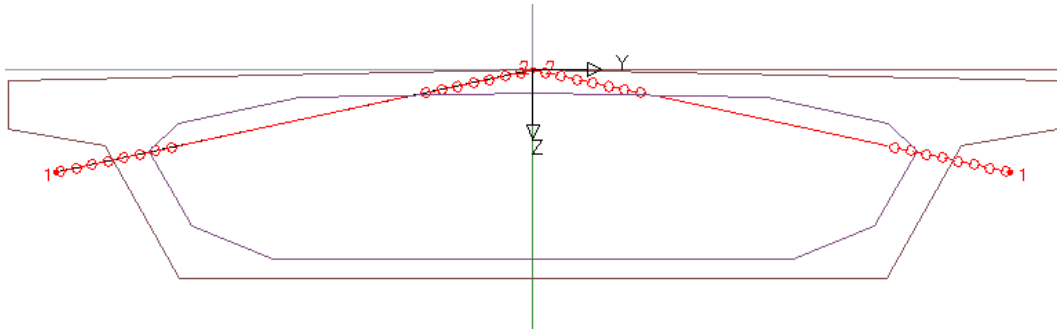
#### 3.1. Φορέας

Για την ανάλυση της γέφυρας χρησιμοποιείται το λογισμικό SOFiSTiK. Η προσομοίωση του καταστρώματος και των πυλώνων γίνεται με χρήση γραμμικών στοιχείων με δεδομένη μεταβλητή διατομή τύπου eccentric beam.

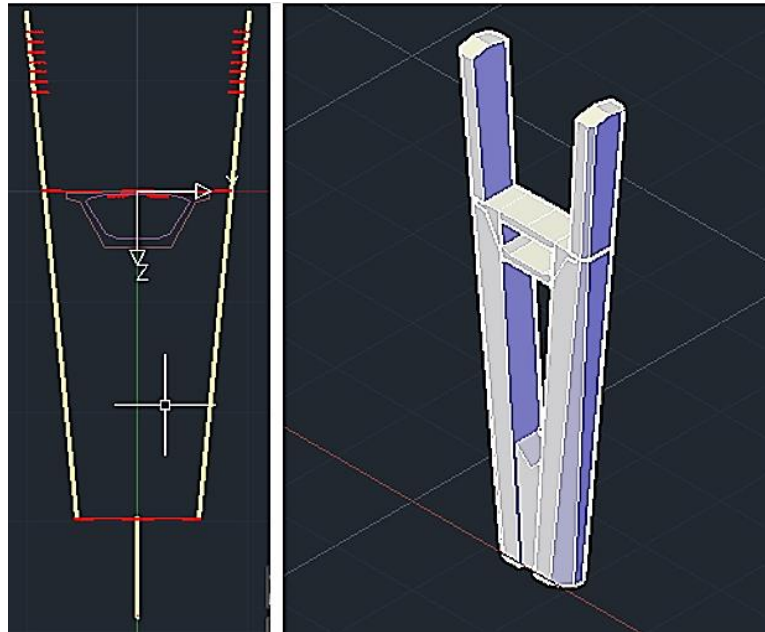
Όσον αφορά το κατάστρωμα, σαν σημείο αναφοράς ορίζεται το μέσον της άνω ίνας της διατομής. Προσομοιώνεται με γραμμικά στοιχεία· μήκος κάθε στοιχείου είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το μήκος κάθε σπονδύλου. Τα στοιχεία, κατανέμονται σε αριθμημένες ομάδες (groups), ούτως ώστε να εντάσσονται στο μοντέλο ανάλογα με την φάση κατασκευής. Η χάραξη των εξωτερικών και εξωράχιων τενόντων, γίνεται με τεθλασμένη γραμμή, θεωρώντας τις σέλες εκτροπής εγγεγραμμένους κύκλους με ανάλογη ακτίνα καμπυλότητας σε κάθε θλάση, σύμφωνα με την §5.10.7 του EN1992.1. Επίσης, οι εξωράχιοι τένοντες συνδέονται με τον άξονα του καταστρώματος με άκαμπτους συνδέσμους (constraints), στην θέση όπου θεωρητικά βρίσκονται σώματα αγκυρώσεως. Ομοίως γίνεται και η σύνδεση βάρου και καταστρώματος.



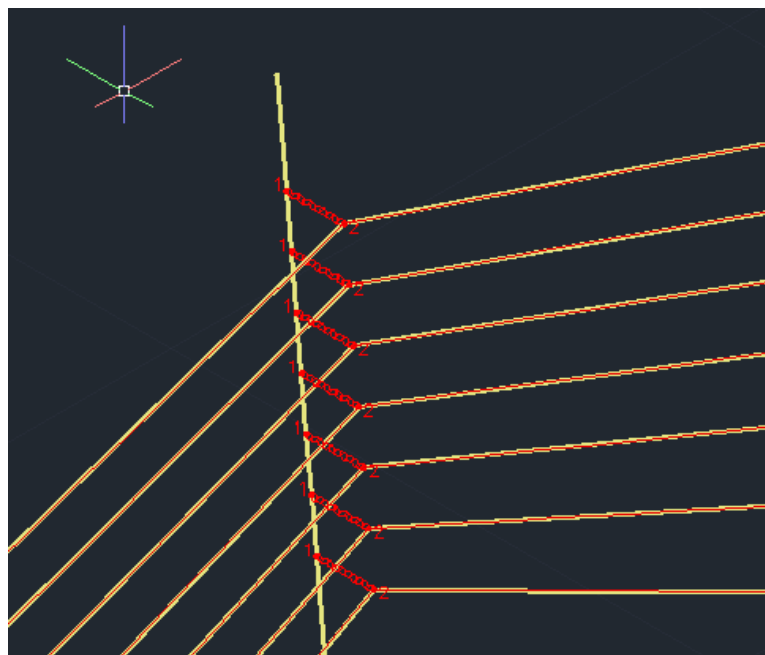
Σχήμα 50 Θέση αγκύρωσης εξωράχιου τένοντα κάτω από το φτερό



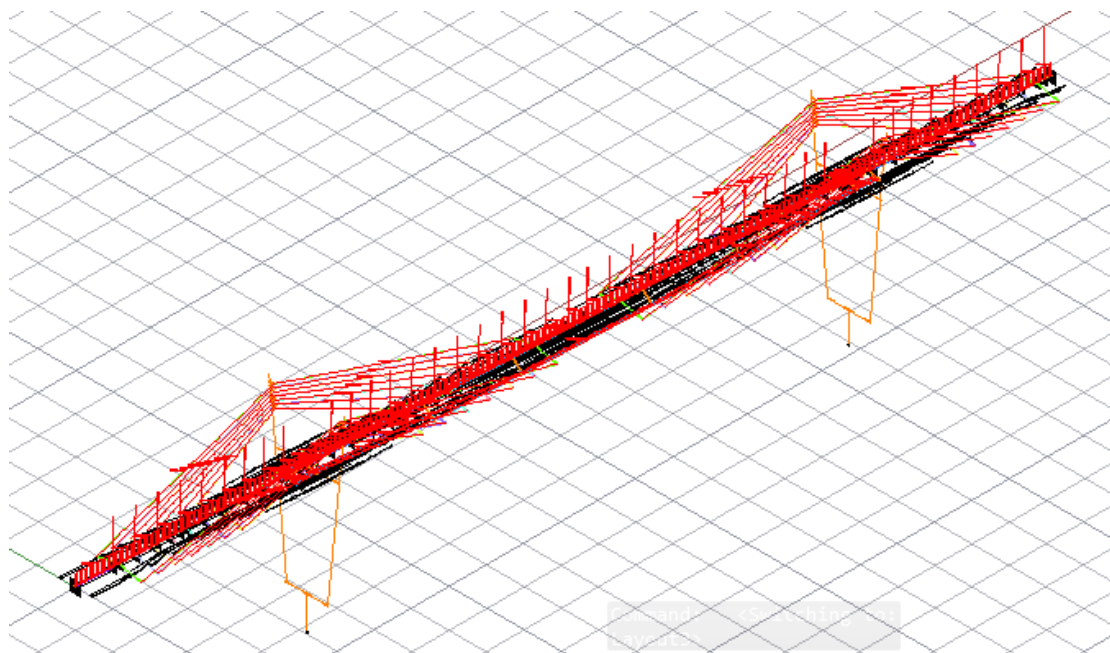
Σχήμα 51 Θέσεις αγκύρωσης εξωράχιων τενόντων στο προσομοίωμα



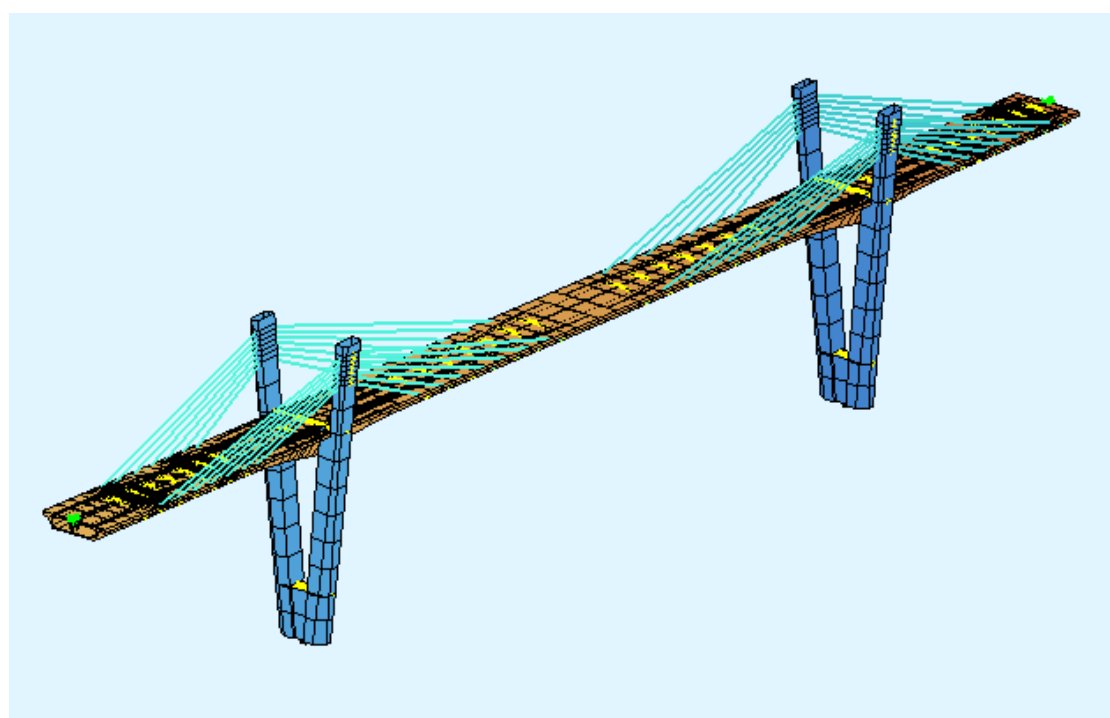
Σχήμα 52 Προσομοίωση βάθρου με γραμμικά στοιχεία και άκαμπτους συνδέσμους



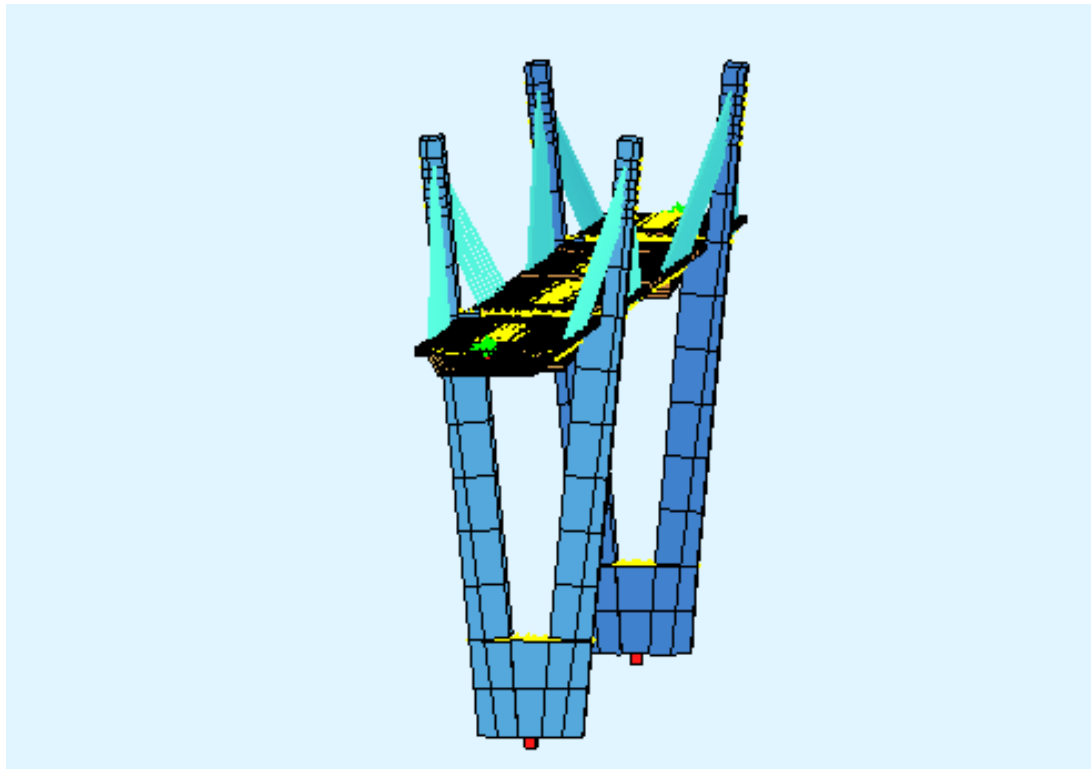
Σχήμα 53 Σύνδεση αναρτήρων και πυλώνων στην θέση της σέλας



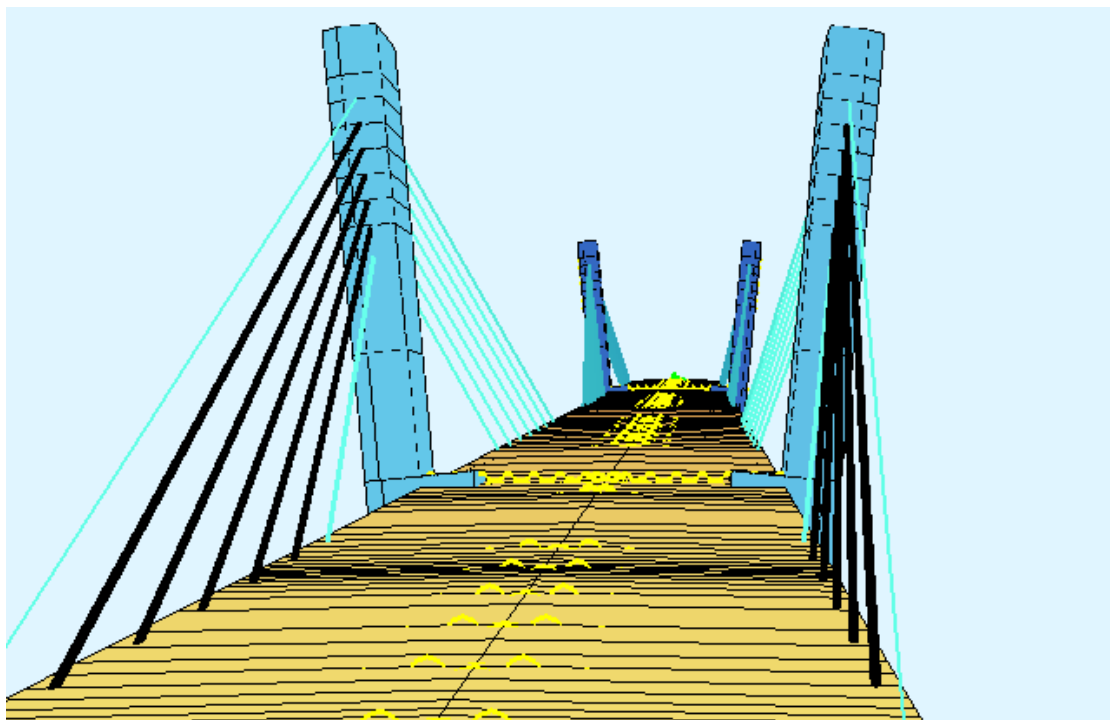
Σχήμα 54 Αξονομετρικό του προσομιώματος



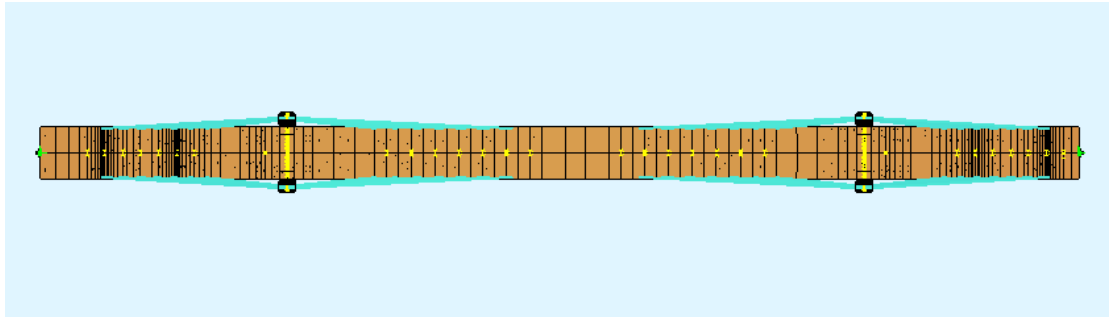
Σχήμα 55 Τρισδιάστατη άποψη του προσομιώματος (1)



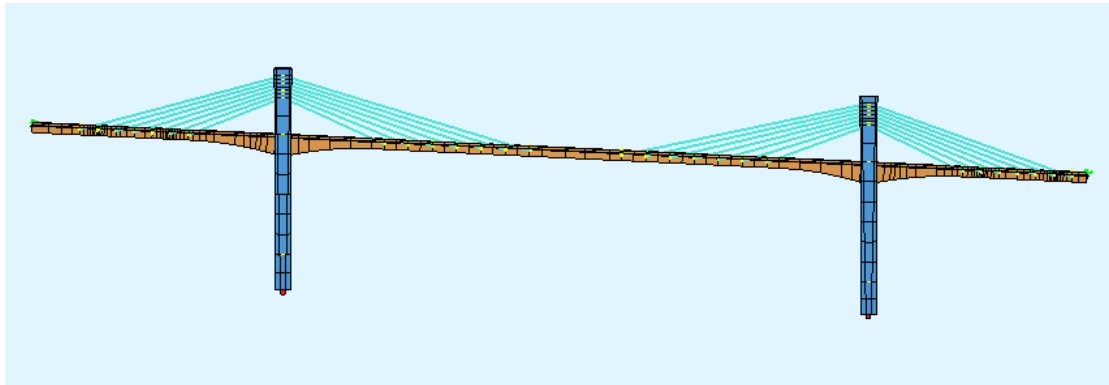
Σχήμα 56 Τρισδιάστατη άποψη του προσομοιώματος (2)



Σχήμα 57 Τρισδιάστατη άποψη του προσομοιώματος (3)



Σχήμα 58 Κάτοψη του προσομοιώματος



Σχήμα 59 Όψη του προσομοιώματος

### 3.2. Στηρίξεις

Τα δύο βάθρα προσομοιώνονται ως πακτωμένα στο έδαφος. Όσον αφορά τα άκρα των προβόλων και τα πρόσθετα τμήματα E-1 και E-2, εδράζονται στα ακρόβαθρα μέσω εφεδράνων. Η στήριξη ορίζεται ως κύλιση με πλήρη δέσμευση μόνον του κατακόρυφου βαθμού ελευθερίας (κατά z) και ελατήρια με σταθερά  $K_{x,y}=15.000 \text{ kN/m}$  στις οριζόντιες διευθύνσεις x και y. Δεδομένου ότι η στήριξη είναι σημειακή, προστίθεται ένα στροφικό ελατήριο με σταθερά  $K_{\phi}=50.000 \text{ kN/rad}$ , που προσομοιώνει το ζεύγος δυνάμεων που παρέχουν τα εφέδρανα και ανθίσταται σε ενδεχόμενη στρέψη της ανωδομής.

### 3.3. Εγκάρσια συμπεριφορά φορέα

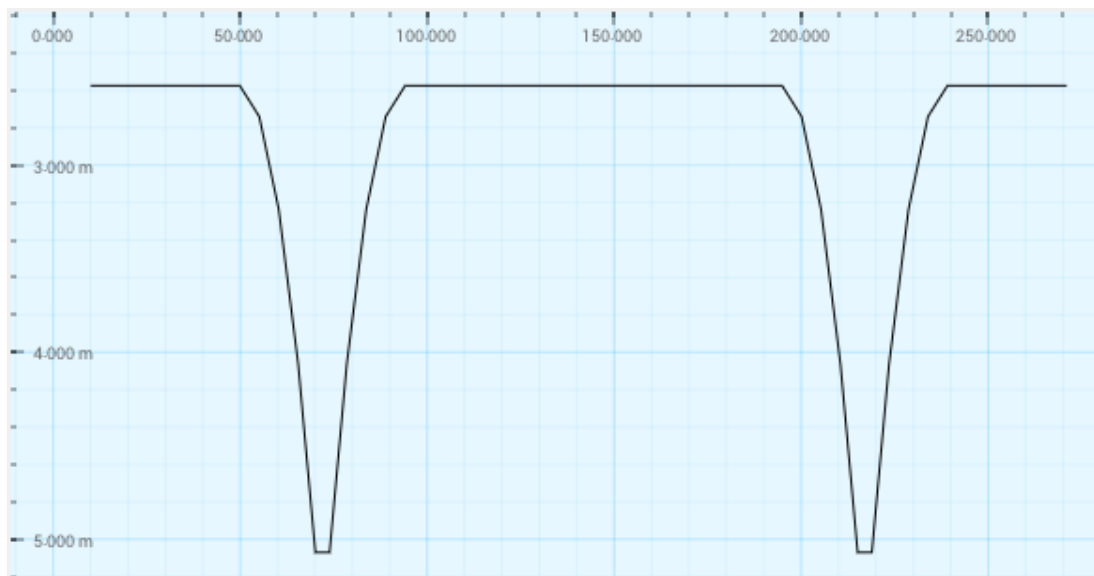
Παρότι το προσομοίωμα αποτελείται από γραμμικά και όχι επιφανειακά στοιχεία, λαμβάνει μερικώς υπόψη και την εγκάρσια συμπεριφορά της διατομής. Συγκεκριμένα, από τα φορτία οδικής κυκλοφορίας μεταβιβάζονται στο γραμμικό



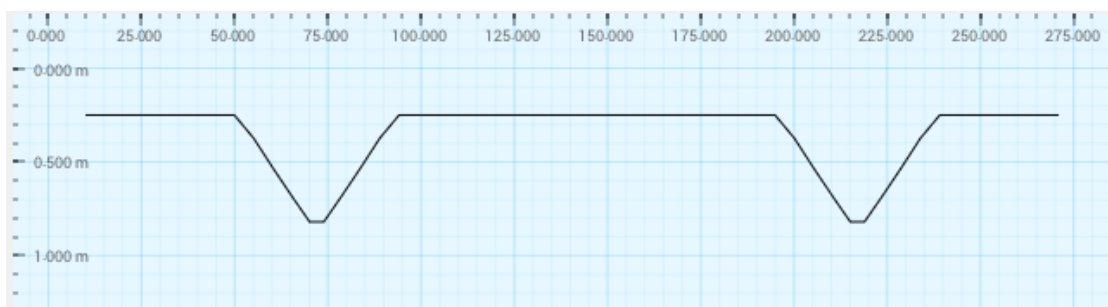
φορέα τόσο τα κατακόρυφα φορτία, όσο και στρεπτικές ροπές που προκαλούνται από την εκκεντρότητα των φορτίων αυτών.

### 3.4. Μηχανικά χαρακτηριστικά διατομών καταστρώματος

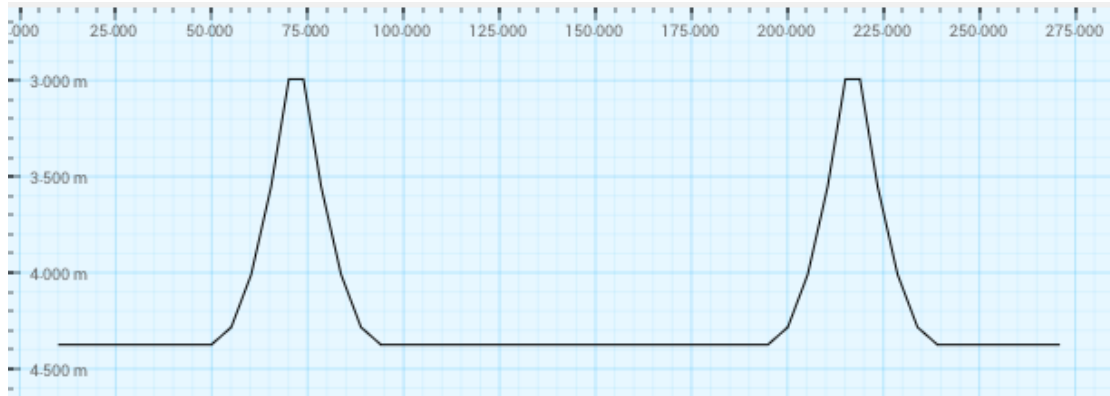
Η γεωμετρία της διατομής εισάγεται στο πρόγραμμα με τη βοήθεια τριών μεταβλητών κατά μήκος. Συγκεκριμένα εισάγονται η μεταβλητή  $H$  με το συνολικό ύψος της διατομής, η μεταβλητή  $D$  με το πάχος της κάτω πλάκας και η μεταβλητή  $S$  προς διατήρηση σταθερού πλάτους της κάτω πλάκας της διατομής.



Σχήμα 60 Μεταβολή του συνολικού ύψους διατομής ( $H$ ) κατά μήκος



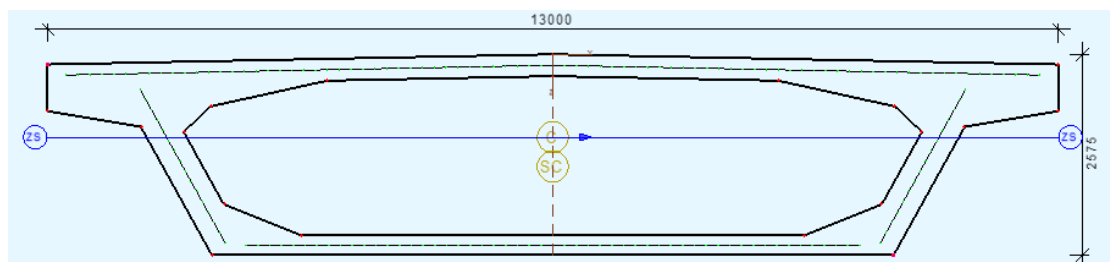
Σχήμα 61 Μεταβολή του πάχους της κάτω πλάκας ( $D$ ) κατά μήκος



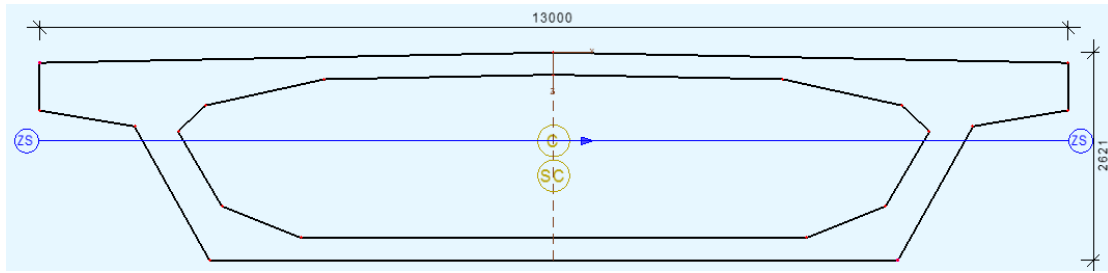
Σχήμα 62 Μεταβλητή  $S$  προς διατήρηση σταθερού πλάτους κάτω πλάκας

Διατομή	$h$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$z$ (m)	$I_y$ (m <sup>4</sup> )	$W_{άνω}$ (m <sup>3</sup> )	$W_{κάτω}$ (m <sup>3</sup> )
1	2.575	10.030	1.063	8.665	8.151	5.731
2	2.621	10.380	1.114	9.470	8.501	6.284
3	2.675	10.780	1.172	10.419	8.890	6.932
4	2.740	11.257	1.238	11.542	9.323	7.684
5	3.236	12.972	1.556	18.962	12.186	11.287
6	3.571	13.697	1.738	24.531	14.114	13.383
7	3.843	14.267	1.885	29.615	15.711	15.125
8	4.063	14.718	2.004	34.109	17.020	16.566
9	4.282	15.060	2.113	38.754	18.341	17.867
10	4.600	15.543	2.270	46.005	20.267	19.745
11	4.634	15.595	2.290	46.832	20.451	19.980
12	5.070	16.233	2.499	57.883	23.162	22.514

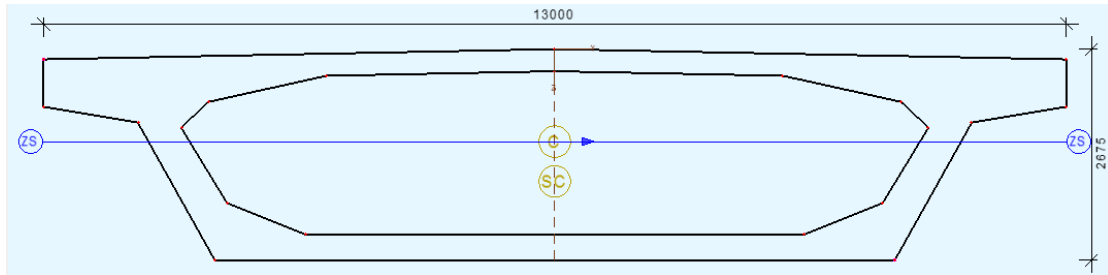
Πίνακας 18 Μηχανικά χαρακτηριστικά διατομών καταστρώματος



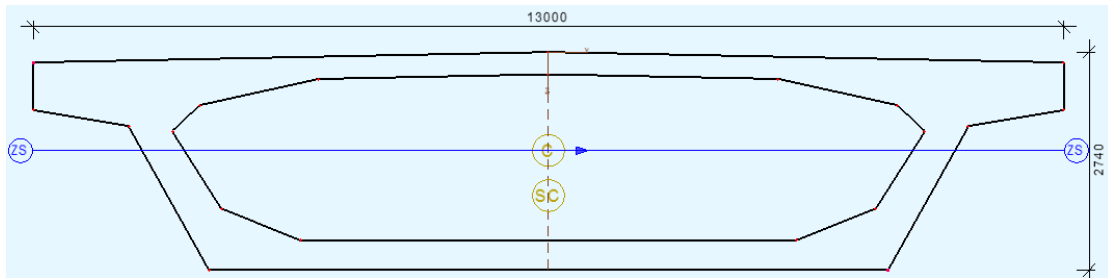
Σχήμα 63 Διατομή καταστρώματος 1 (μέσου)



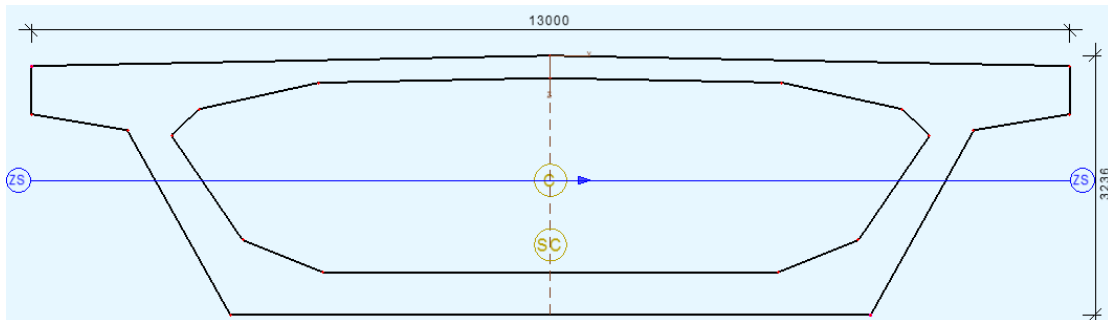
Σχήμα 64 Διατομή καταστρώματος 2



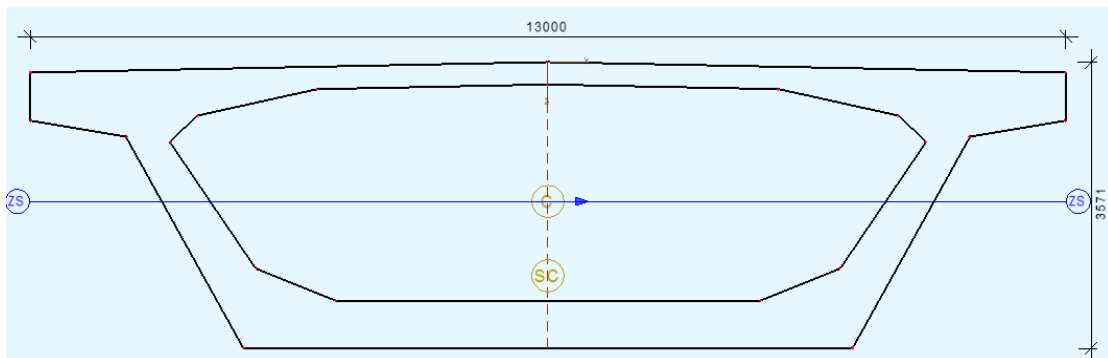
Σχήμα 65 Διατομή καταστρώματος 3



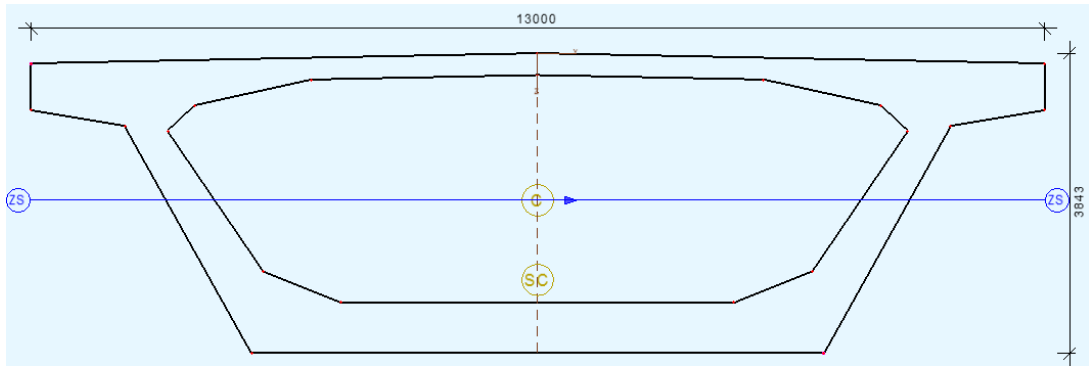
Σχήμα 66 Διατομή καταστρώματος 4



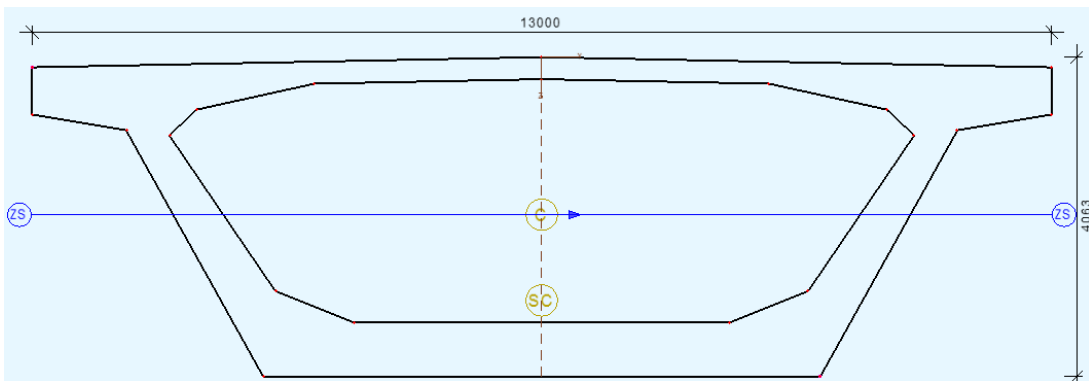
Σχήμα 67 Διατομή καταστρώματος 5



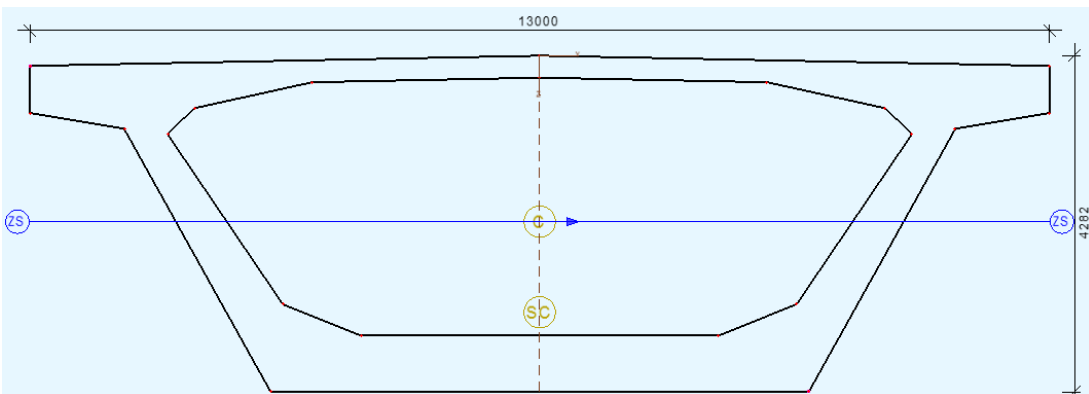
Σχήμα 68 Διατομή καταστρώματος 6



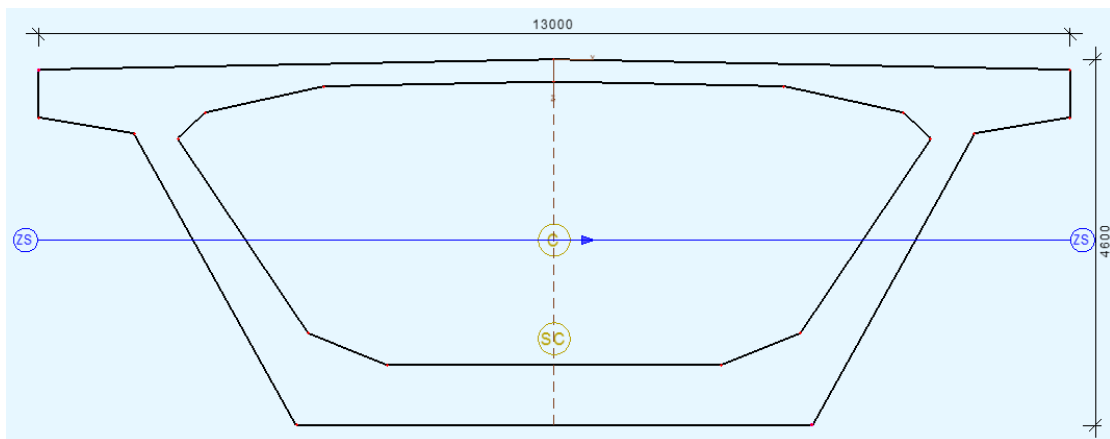
Σχήμα 69 Διατομή καταστρώματος 7



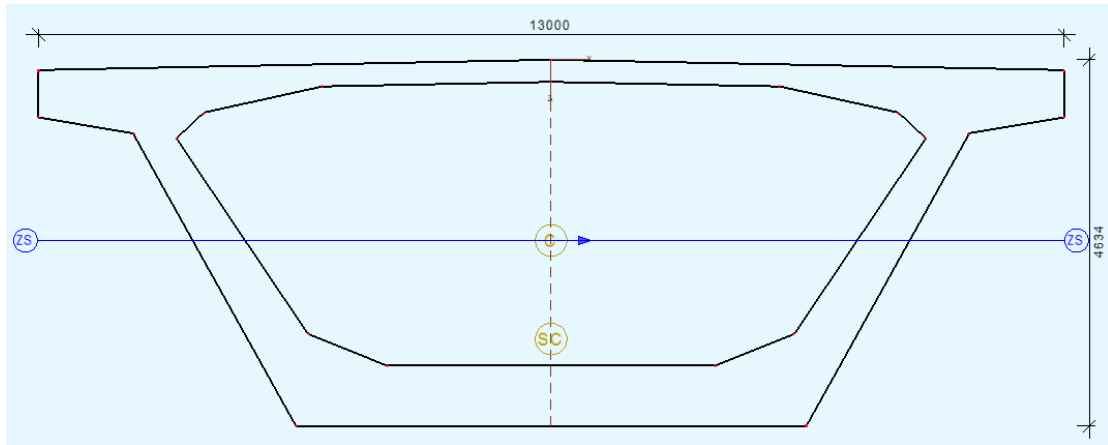
Σχήμα 70 Διατομή καταστρώματος 8



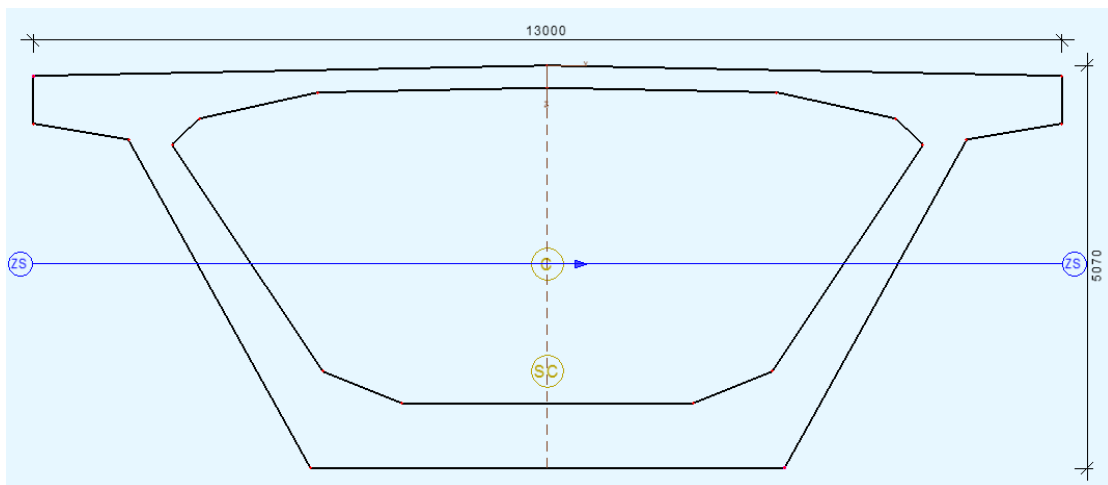
Σχήμα 71 Διατομή καταστρώματος 9



Σχήμα 72 Διατομή καταστρώματος 10



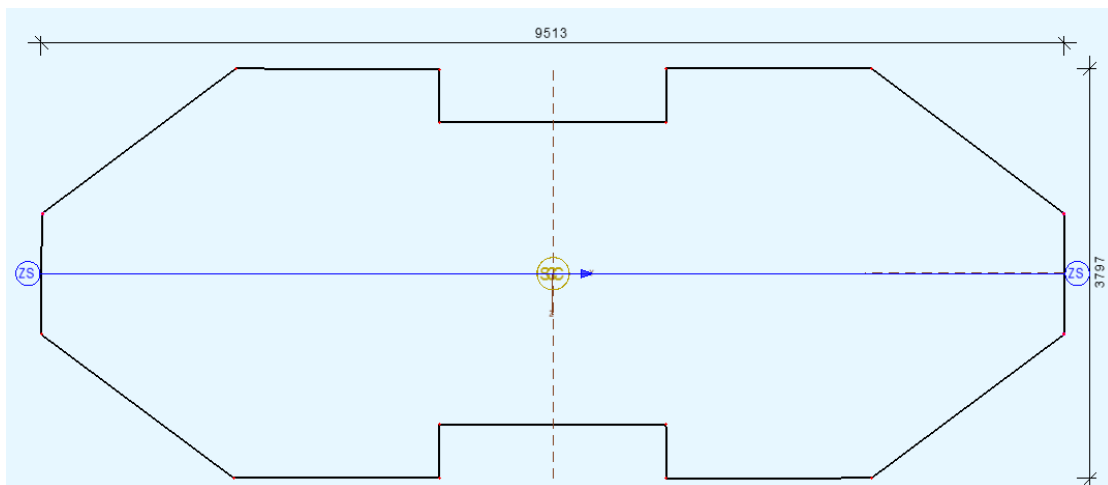
Σχήμα 73 Διατομή καταστρώματος 11



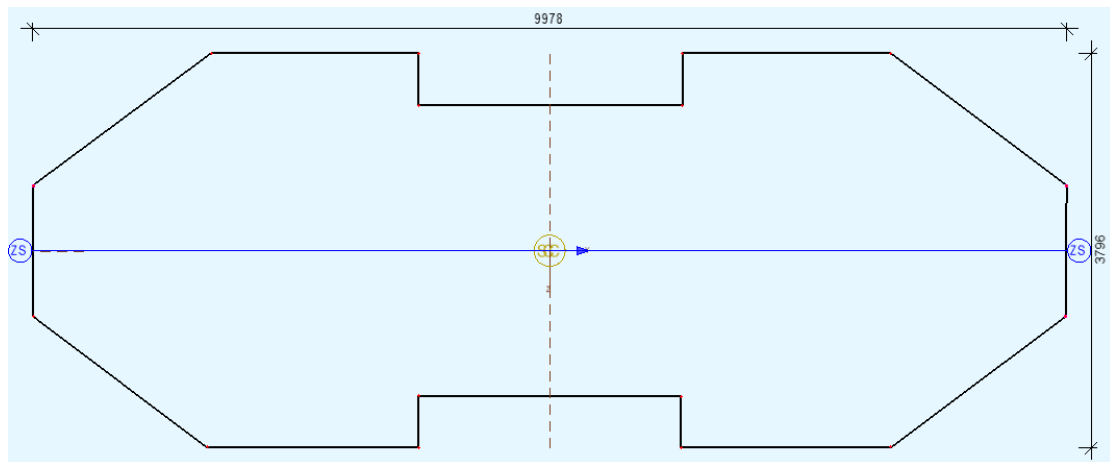
Σχήμα 74 Διατομή καταστρώματος 12

### 3.5. Μηχανικά χαρακτηριστικά λοιπών διατομών

#### 3.5.1. Διατομές βάσης βάθρων



Σχήμα 75 Διατομή βάσης του βάθρου P1

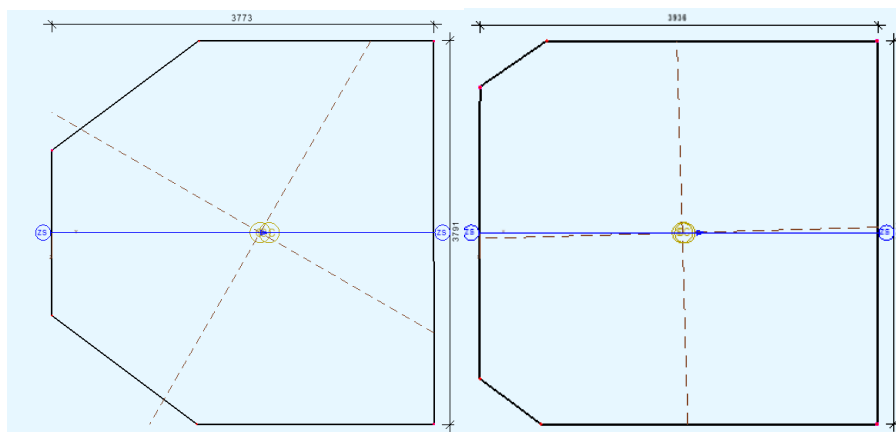


Σχήμα 76 Διατομή βάσης του βάθρου P2

Βάθρο	A (m <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (m <sup>4</sup> )
P1	29.172	26.924	187.295
P2	31.030	28.773	227.720

Πίνακας 19 Μηχανικά χαρακτηριστικά διατομών βάσης βάθρων

### 3.5.2. Διατομές βάθρων στην «διχάλα»

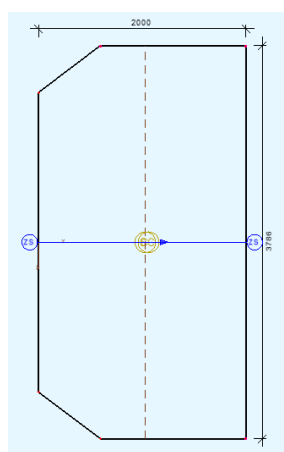


Σχήμα 77 Διατομή βάσης και σύνδεσης με την ανωδομή κάθε κλάδου της διχάλας

Διατομή	A (m <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (m <sup>4</sup> )
κάτω	12.739	13.345	13.316
άνω	14.608	16.918	18.308

Πίνακας 20 Μηχανικά χαρακτηριστικά διατομών διχάλας

### 3.5.3. Διατομή πυλώνων



Σχήμα 78 Διατομή βάσης πυλώνων

Διατομή	A (m <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> (m <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (m <sup>4</sup> )
κάτω	7.301	8.220	2.339

Πίνακας 21 Μηχανικά χαρακτηριστικά διατομής βάσης πυλώνων

## 3.6. Εσωτερικοί και εξωράχιοι τένοντες

### 3.6.1. Κατάλογοι τενόντων

Η γέφυρα σχεδιάζεται με δύο κατηγορίες τενόντων, τους τένοντες προβόλου ή άνω πέλματος και τους τένοντες ανοίγματος ή κάτω πέλματος.

Βάθρο P-1			Χάλυβας: Y1860		επτάκλιωνα (S7)	
			Συρματόσχοινα:		A (cm <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (kN)
Αριθ.	Τάνυση	Σπόνδυλος ανοίγματος 1	Σπόνδυλος ανοίγματος 2	Τένοντας X2 <sup>12</sup>	A (cm <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (kN)
1	Μονόπλευρη	0	0	12 Φ0.62 <sup>13</sup>	18	2346
2	Μονόπλευρη	0	0	12 Φ0.62"	18	2346
3	Μονόπλευρη	1	1	12 Φ0.62"	18	2346
4	Μονόπλευρη	1	1	12 Φ0.62"	18	2346
5	Μονόπλευρη	2	2	12 Φ0.62"	18	2346

<sup>12</sup> Σε κάθε διατομή υπάρχουν δύο, συμμετρικοί ως προς τον άξονα, εσωτερικοί τένοντες

<sup>13</sup> Ισχύει 1 in = 2.54 cm, συνεπώς 0.62 in = 1.57 cm

6	Μονόπλευρη	2	2	12 Φ0.62"	18	2346
7	Αμφίπλευρη	3	3	12 Φ0.62"	18	2346
8	Αμφίπλευρη	3	3	12 Φ0.62"	18	2346
9	Αμφίπλευρη	5	5	12 Φ0.62"	18	2346
10	Αμφίπλευρη	6	6	12 Φ0.62"	18	2346
11	Αμφίπλευρη	7	7	12 Φ0.62"	18	2346
12	Αμφίπλευρη	7	7	12 Φ0.62"	18	2346
13	Αμφίπλευρη	8	8	12 Φ0.62"	18	2346
14	Αμφίπλευρη	8	8	12 Φ0.62"	18	2346
15	Αμφίπλευρη	E1	8	12 Φ0.62"	18	2346
16	Αμφίπλευρη	E1	9	12 Φ0.62"	18	2346
17	Αμφίπλευρη	E1	10	12 Φ0.62"	18	2346
13'	Μονόπλευρη	-	8-9	12 Φ0.62"	18	2346
13''	Μονόπλευρη	-	10-11	12 Φ0.62"	18	2346
34	Μονόπλευρη	-	2-5	9 Φ0.62"	13.5	1759
35	Μονόπλευρη	-	2-5	9 Φ0.62"	13.5	1759
36	Μονόπλευρη	2-5	-	9 Φ0.62"	13.5	1759
37	Μονόπλευρη	2-7	-	9 Φ0.62"	13.5	1759
37'	Μονόπλευρη	8-E1	-	9 Φ0.62"	13.5	1759

Πίνακας 22 Κατάλογος τενότων προβόλου (άνω) του βάθρου P1

Βάθρο P-2		Χάλυβας:		Υ1860		
		Συρματόσχοινα:		επτάκλιωνα (S7)		
Αριθ.	Τάνυση	Σπόνδυλος ανοίγματος 2	Σπόνδυλος ανοίγματος 3	Τένοντας Χ2	A (cm <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (kN)
1	Μονόπλευρη	0	0	12 Φ0.62"	18	2346
2	Μονόπλευρη	0	0	12 Φ0.62"	18	2346
3	Μονόπλευρη	1	1	12 Φ0.62"	18	2346
4	Μονόπλευρη	1	1	12 Φ0.62"	18	2346
5	Μονόπλευρη	2	2	12 Φ0.62"	18	2346
6	Μονόπλευρη	2	2	12 Φ0.62"	18	2346
7	Αμφίπλευρη	3	3	12 Φ0.62"	18	2346
8	Αμφίπλευρη	3	3	12 Φ0.62"	18	2346



9	Αμφίπλευρη	5	5	12 Φ0.62"	18	2346
10	Αμφίπλευρη	6	6	12 Φ0.62"	18	2346
11	Αμφίπλευρη	7	7	12 Φ0.62"	18	2346
12	Αμφίπλευρη	7	7	12 Φ0.62"	18	2346
13	Αμφίπλευρη	8	8	12 Φ0.62"	18	2346
14	Αμφίπλευρη	8	8	12 Φ0.62"	18	2346
15	Αμφίπλευρη	8	8	12 Φ0.62"	18	2346
16	Αμφίπλευρη	9	E2	12 Φ0.62"	18	2346
17	Αμφίπλευρη	10	E2	12 Φ0.62"	18	2346
13'	Μονόπλευρη	8-9	-	12 Φ0.62"	18	2346
13''	Μονόπλευρη	10-11	-	12 Φ0.62"	18	2346
34	Μονόπλευρη	2-5	-	9 Φ0.62"	13.5	1759
35	Μονόπλευρη	2-5	-	9 Φ0.62"	13.5	1759
36	Μονόπλευρη	-	2-5	9 Φ0.62"	13.5	1759
37	Μονόπλευρη	-	2-7	9 Φ0.62"	13.5	1759

Πίνακας 23 Κατάλογος τενόντων προβόλου (άνω) του βάρου P2

Άνοιγμα 2 (μεσαίο)				Χάλυβας: Y1860		
				Συρματόσχοινα: επτάκλιωνα (S7)		
Αριθ.	Τάνυση	Σπόνδυλος αγκύρωσης	Σπόνδυλος αγκύρωσης	Τένοντας Χ2	A (cm <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (kN)
20	Μονόπλευρη	5	5	12 Φ0.62"	18	2346
22	Μονόπλευρη	6	6	12 Φ0.62"	18	2346
23	Μονόπλευρη	6	6	12 Φ0.62"	18	2346
24	Μονόπλευρη	7	7	12 Φ0.62"	18	2346
25	Μονόπλευρη	7	7	12 Φ0.62"	18	2346
26	Μονόπλευρη	8	8	12 Φ0.62"	18	2346
27	Μονόπλευρη	8	8	12 Φ0.62"	18	2346
28	Μονόπλευρη	9	9	12 Φ0.62"	18	2346
29	Μονόπλευρη	9	9	12 Φ0.62"	18	2346
30	Μονόπλευρη	10	10	12 Φ0.62"	18	2346
31	Μονόπλευρη	10	10	12 Φ0.62"	18	2346
32	Μονόπλευρη	11	11	12 Φ0.62"	18	2346

33	Μονόπλευρη	11	11	12 Φ0.62"	18	2346
36	Μονόπλευρη	0 (ανοιγ. 1)	0 (ανοιγ. 3)	12 Φ0.62"	18	1759
37	Μονόπλευρη	0 (ανοιγ. 1)	0 (ανοιγ. 3)	12 Φ0.62"	18	1759
38	Μονόπλευρη	0 (ανοιγ. 1)	0 (ανοιγ. 3)	12 Φ0.62"	18	1759
39	Μονόπλευρη	0 (ανοιγ. 1)	0 (ανοιγ. 3)	12 Φ0.62"	18	1759




Πίνακας 24 Κατάλογος τενόντων ανοίγματος (κάτω)

Εξωράχιοι τένοντες –τάνυση αμφίπλευρη					
Πυλώνες 1 & 2		Χάλυβας:		Y1770	
		Συρματόσχοινα:		επτάκλινα (S7)	
Αρίθμηση	Σπόνδυλος αγκύρωσης ακραίου ανοιγ.	Σπόνδυλος αγκύρωσης μεσαίου ανοιγ.	Αριθμός συρματοσχ.	A (cm <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (kN)
1	4	4	27 Φ0.62"	40.5	3600
2	4	5	27 Φ0.62"	40.5	3600
3	5	6	27 Φ0.62"	40.5	3600
4	6	7	27 Φ0.62"	40.5	3600
5	6	8	27 Φ0.62"	40.5	3600
6	7	9	27 Φ0.62"	40.5	3600
7	8	10	27 Φ0.62"	40.5	3600

Πίνακας 25 Κατάλογος εξωράχιων τενόντων

### 3.6.2. Ενδεικτικές διατομές τενόντων και αναρτήρων

Για την κατασκευή χρησιμοποιείται οποιοδήποτε σύστημα προέντασης του εμπορίου. Παρατίθενται ενδεικτικά οι διατομές των τενόντων από το σύστημα της εταιρίας DYWIDAG:

Διατομή	Τένοντες	Θέσεις συρματοσχ. (S7)
	34 έως 37	9
	1 έως 17 20 έως 33	12
	36 έως 39 (εξωτερικοί) Αναρτήρες	27

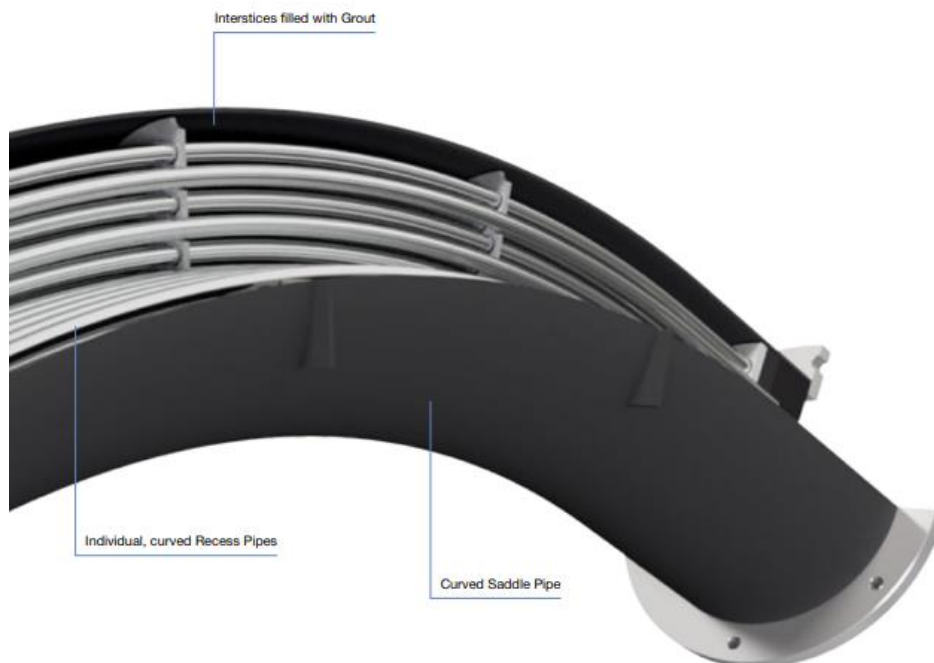
Πίνακας 26 Ενδεικτικές διατομές τενόντων



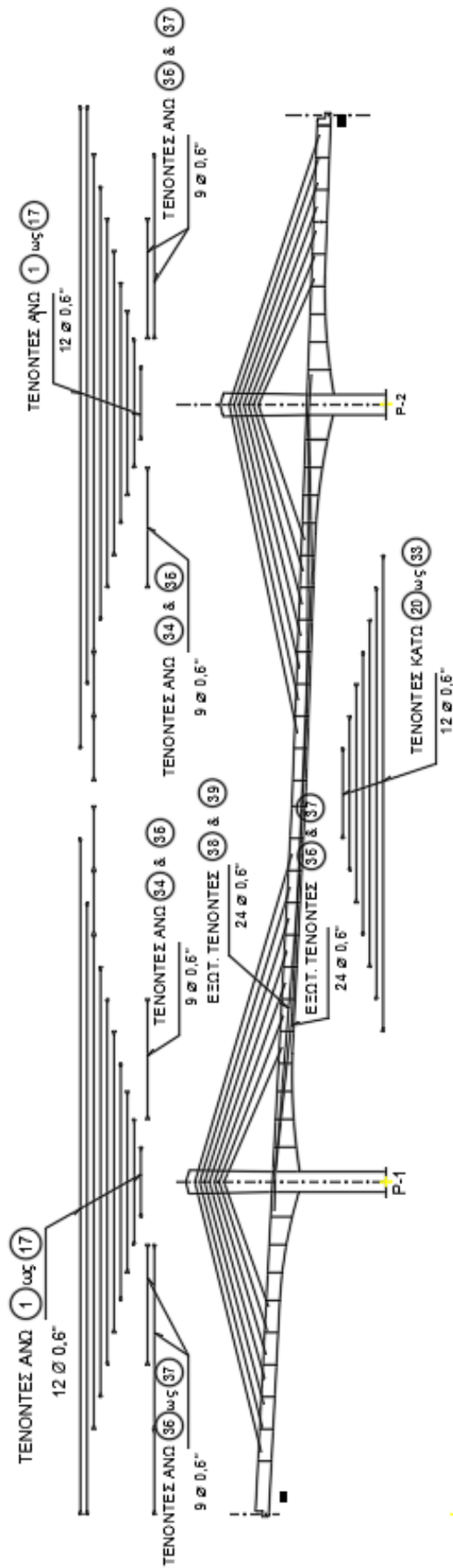
Σχήμα 79 Ενδεικτική διάταξη αγκύρωσης εσωτερικού τένοντα



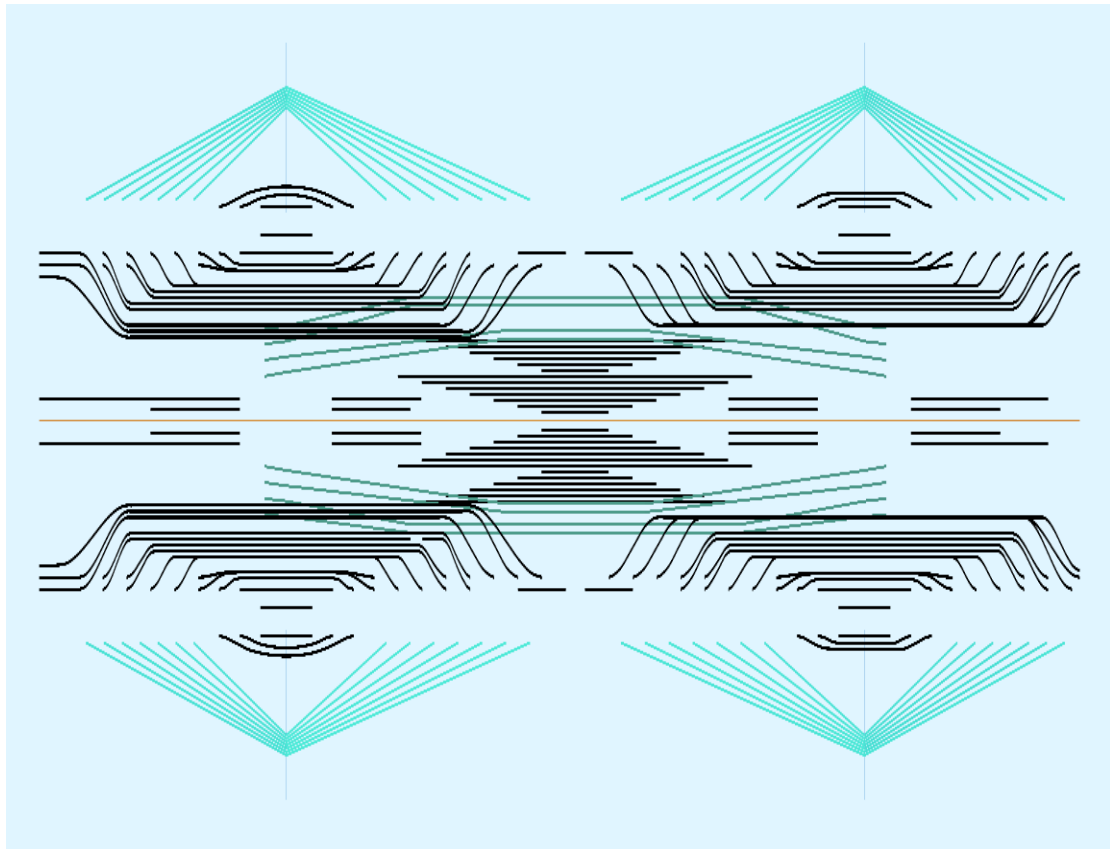
Σχήμα 80 Ενδεικτική διάταξη μάτισης τενόντων (coupler)



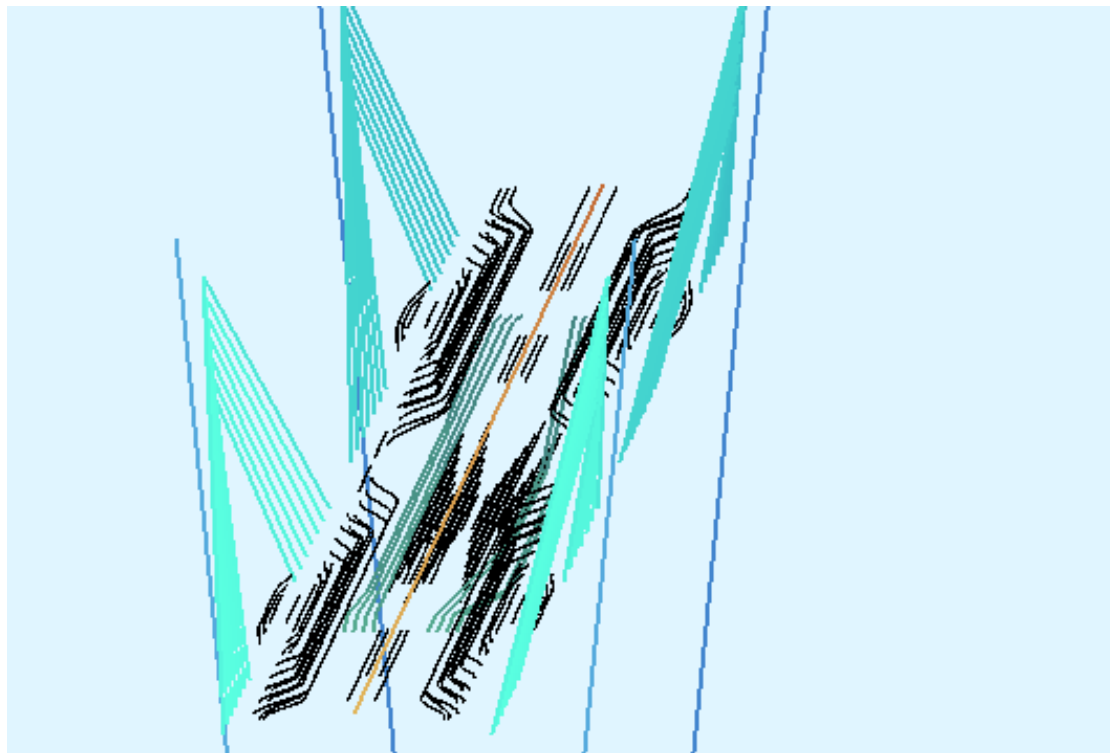
Σχήμα 81 Ενδεικτική διάταξη σέλας των πυλώνων από κεκκαμένη χαλυβδοσωλήνα



Σχήμα 82 Το σύνολο των τενόντων στην όψη της γέφυρας



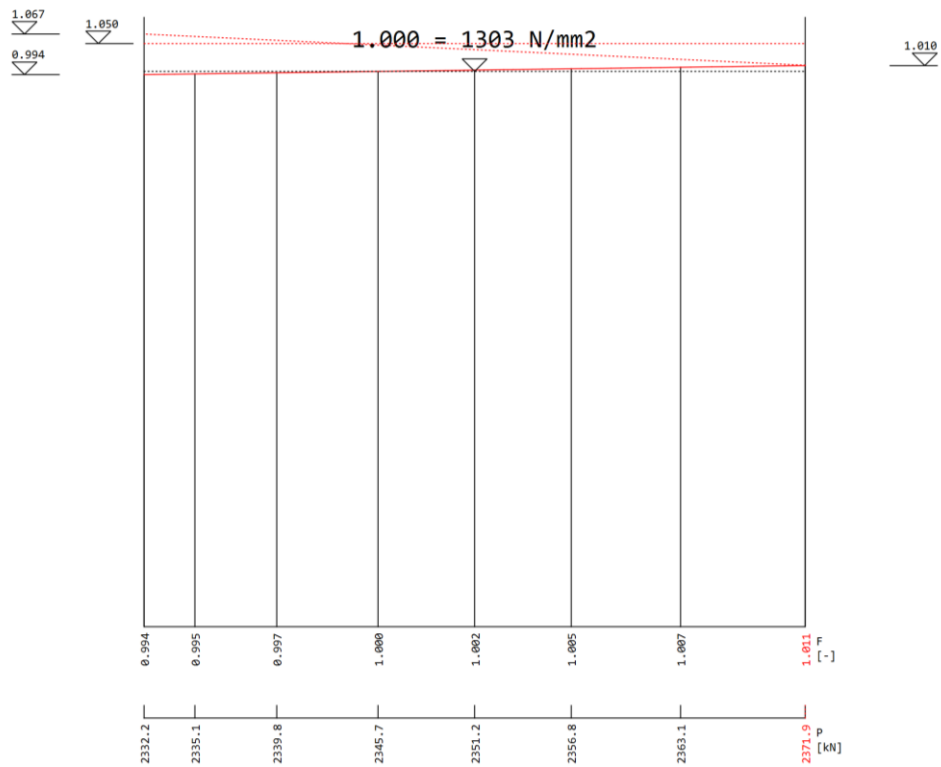
Σχήμα 83 Κάτοψη των τενόντων (παραμορφωμένη κλίμακα)



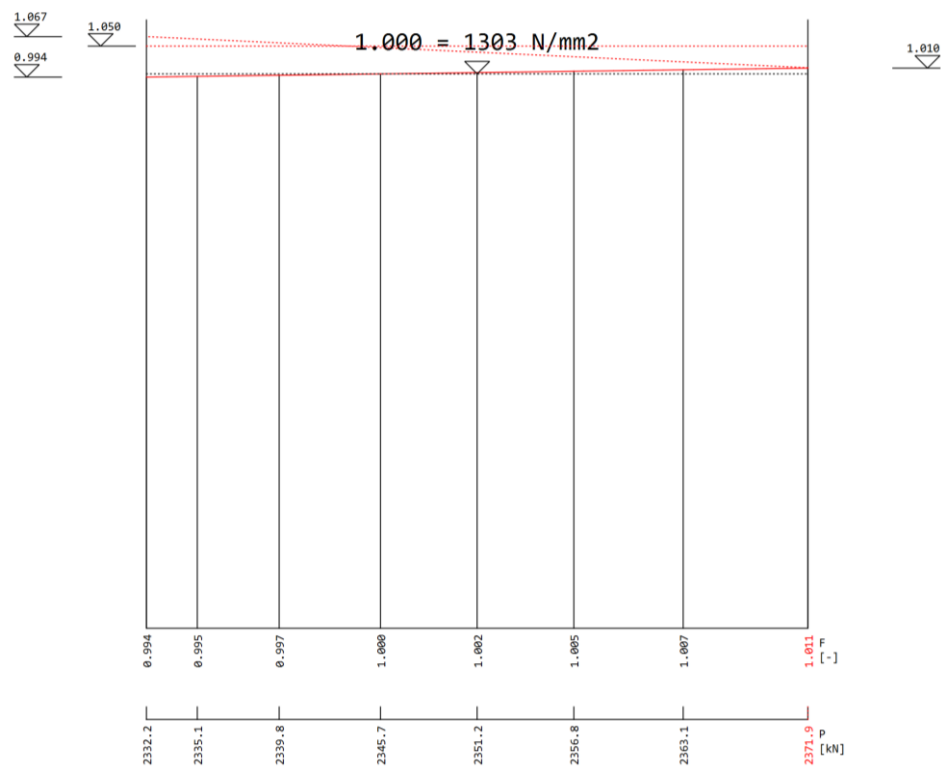
Σχήμα 84 Απεικόνιση των τενόντων στο προσομοίωμα

### 3.6.3. Διαγράμματα μειώσεων τενόντων

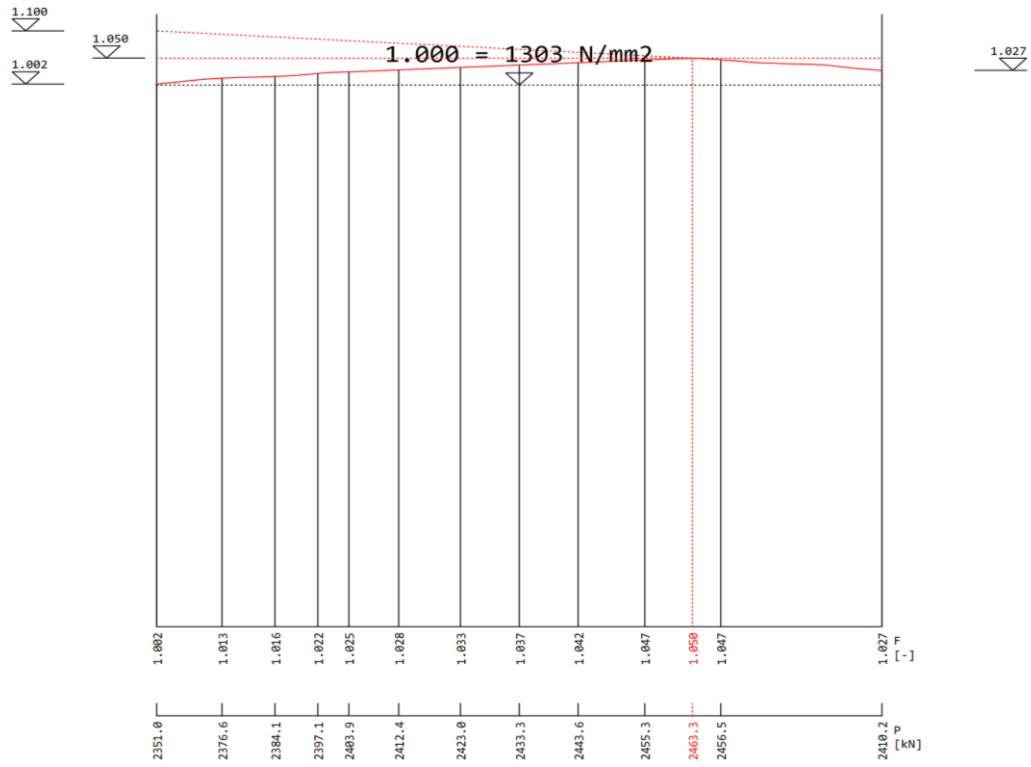
#### 3.6.3.1. Διαγράμματα μειώσεων άνω τενόντων



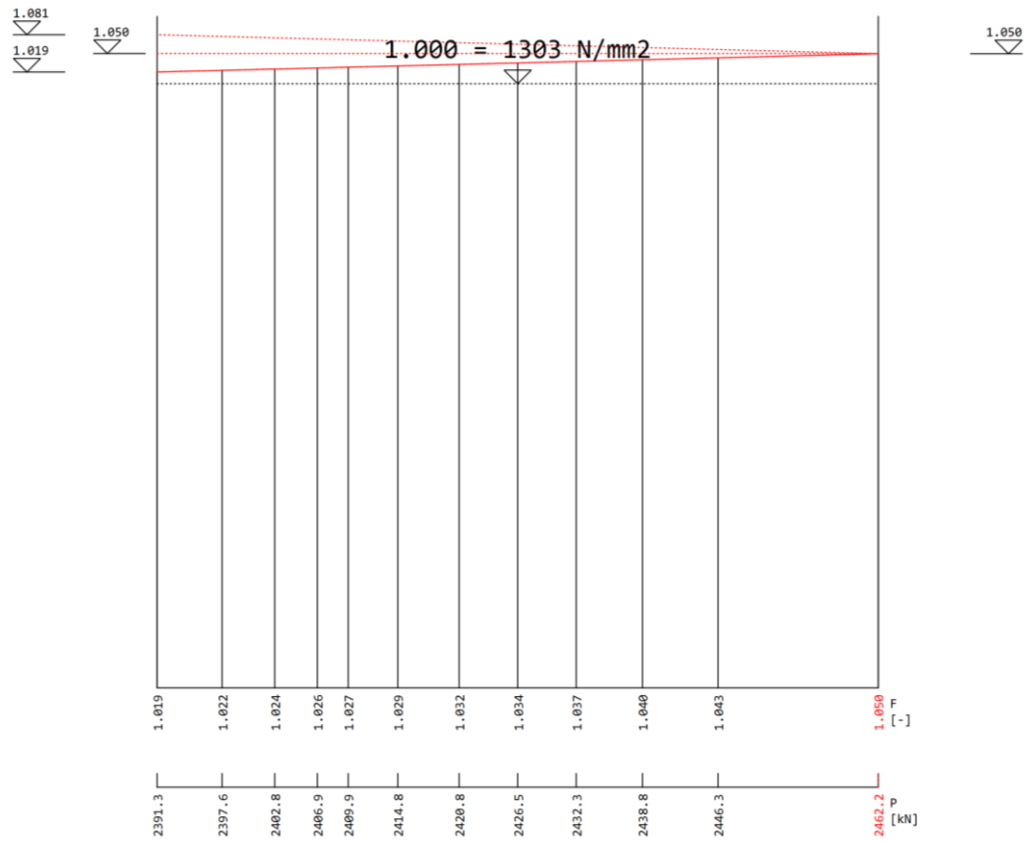
Σχήμα 85 Μειώσεις τένοντα 1



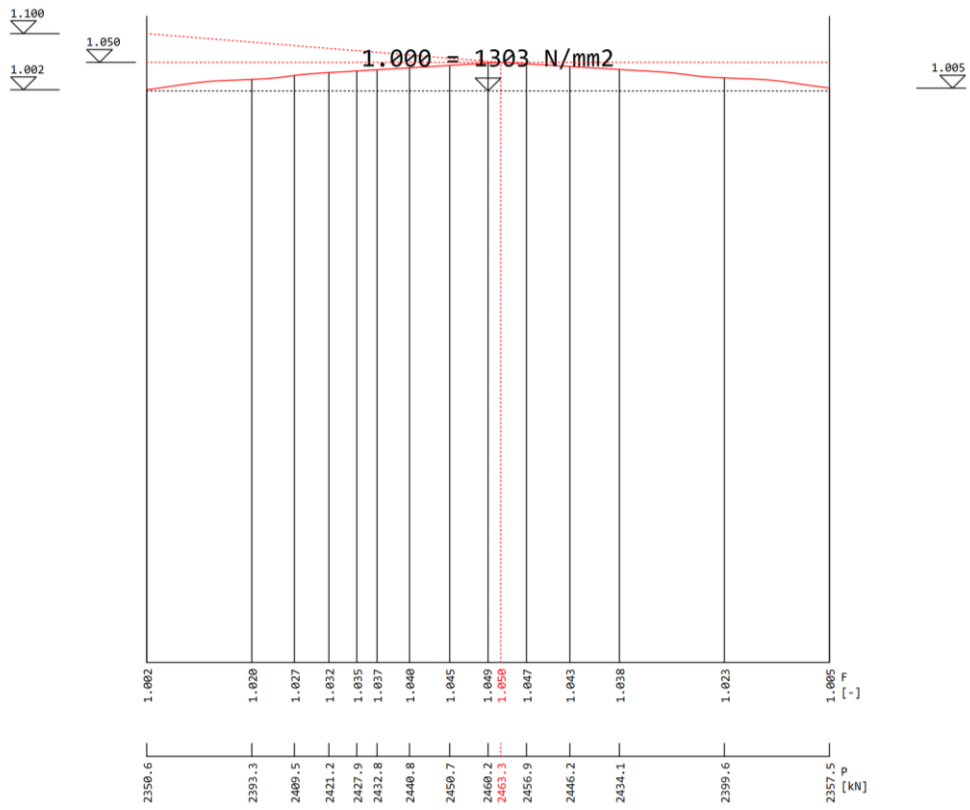
Σχήμα 86 Μειώσεις τένοντα 2



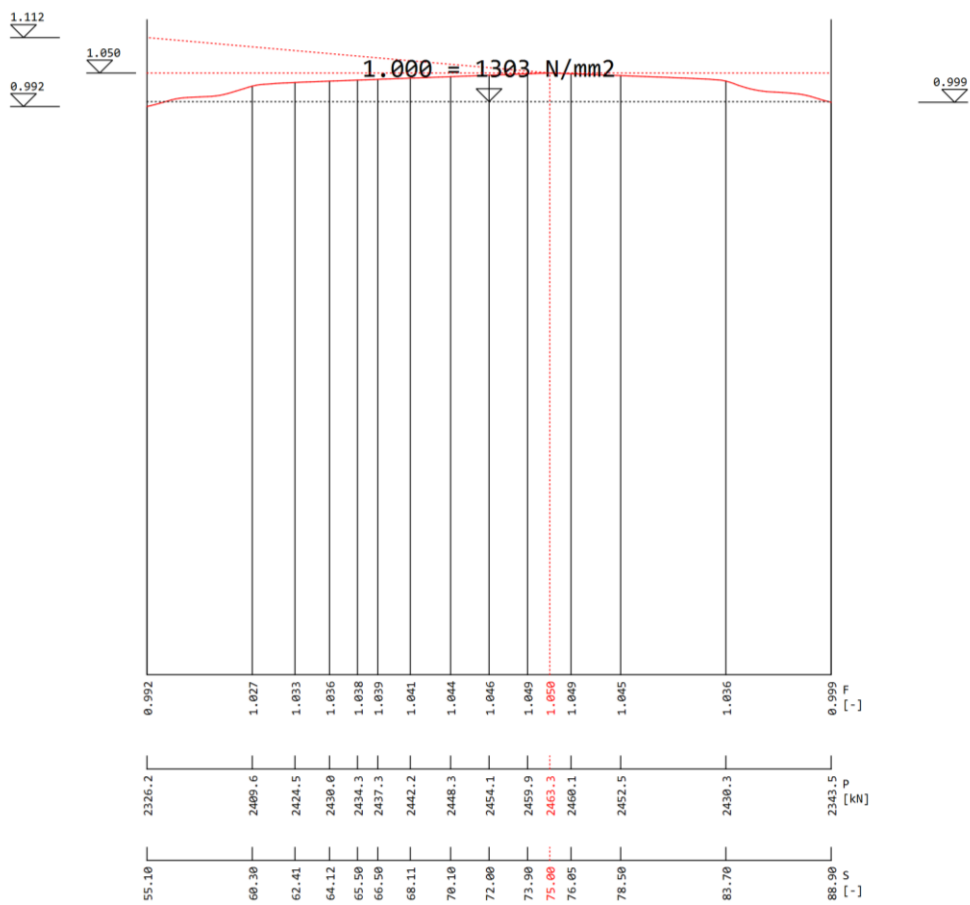
Σχήμα 87 Μειώσεις τένοντα 3



Σχήμα 88 Μειώσεις τένοντα 4

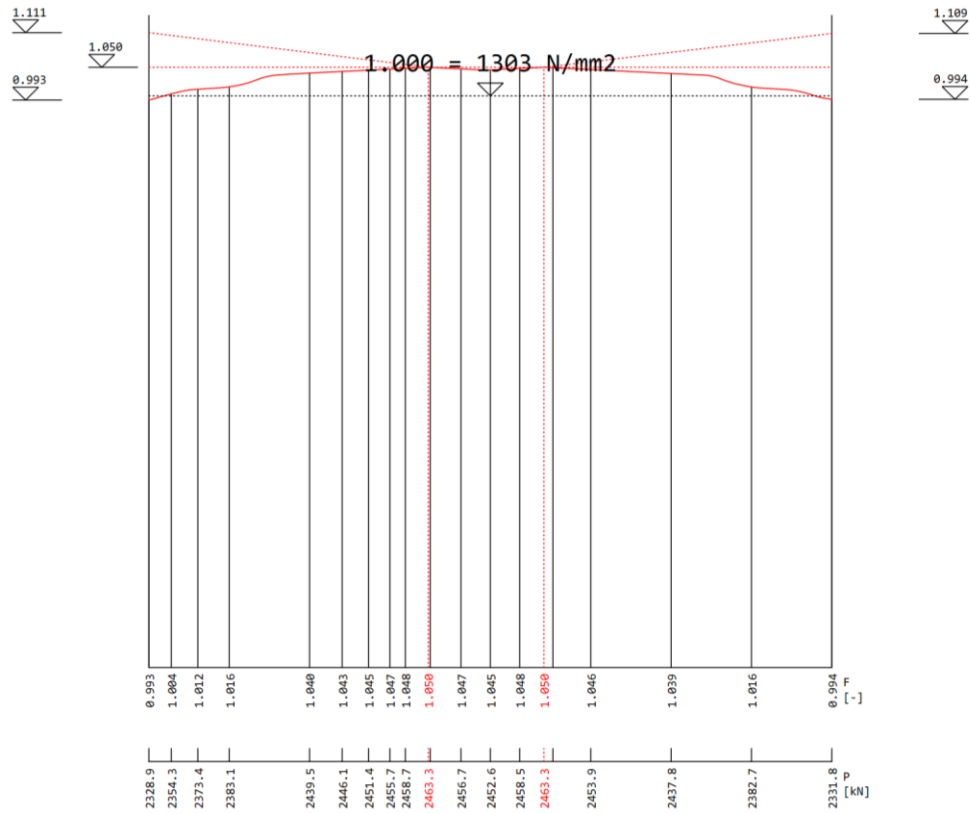


Σχήμα 89 Μειώσεις τένοντα 5

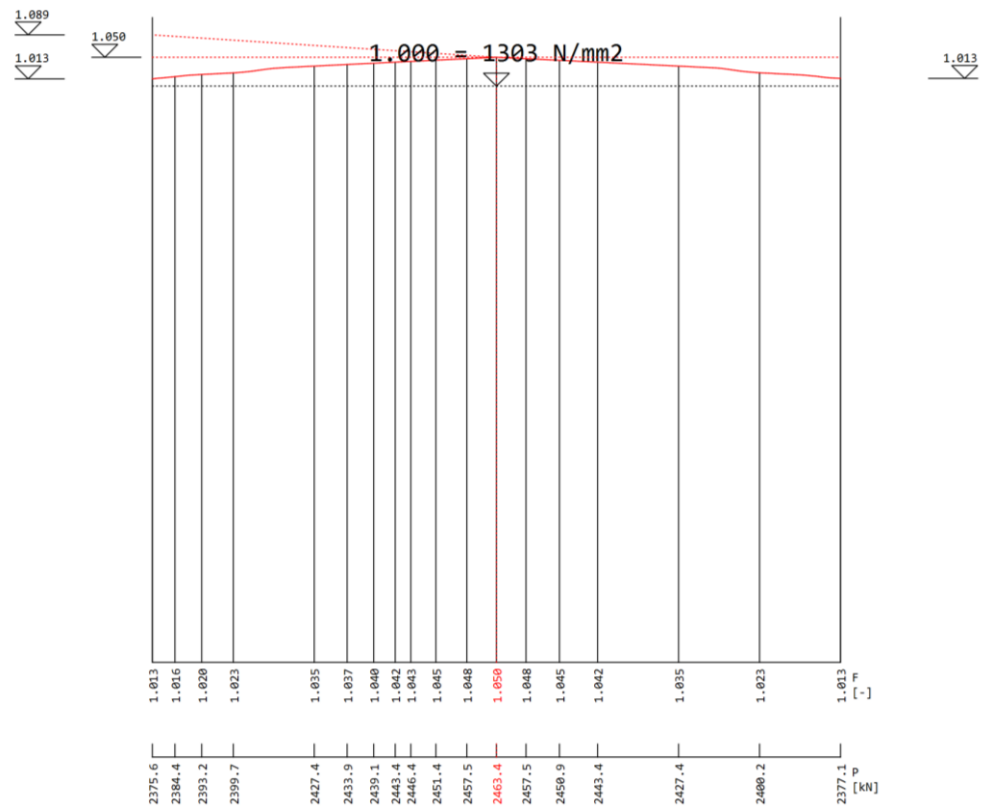


Σχήμα 90 Μειώσεις τένοντα 6

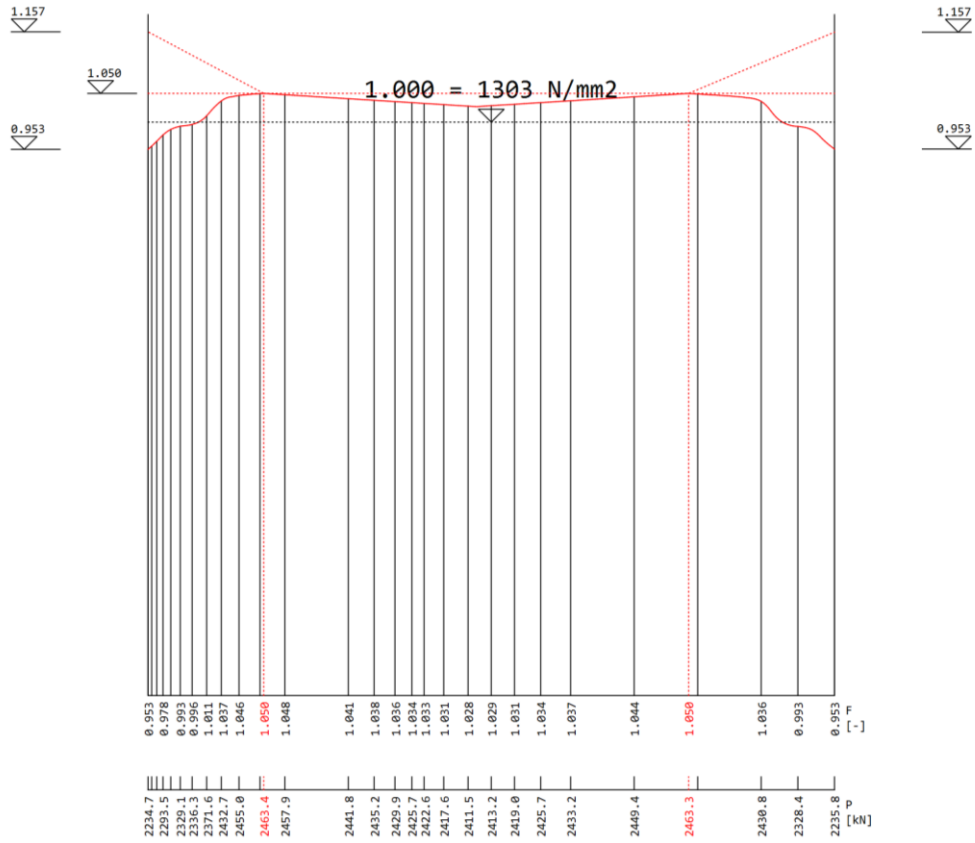




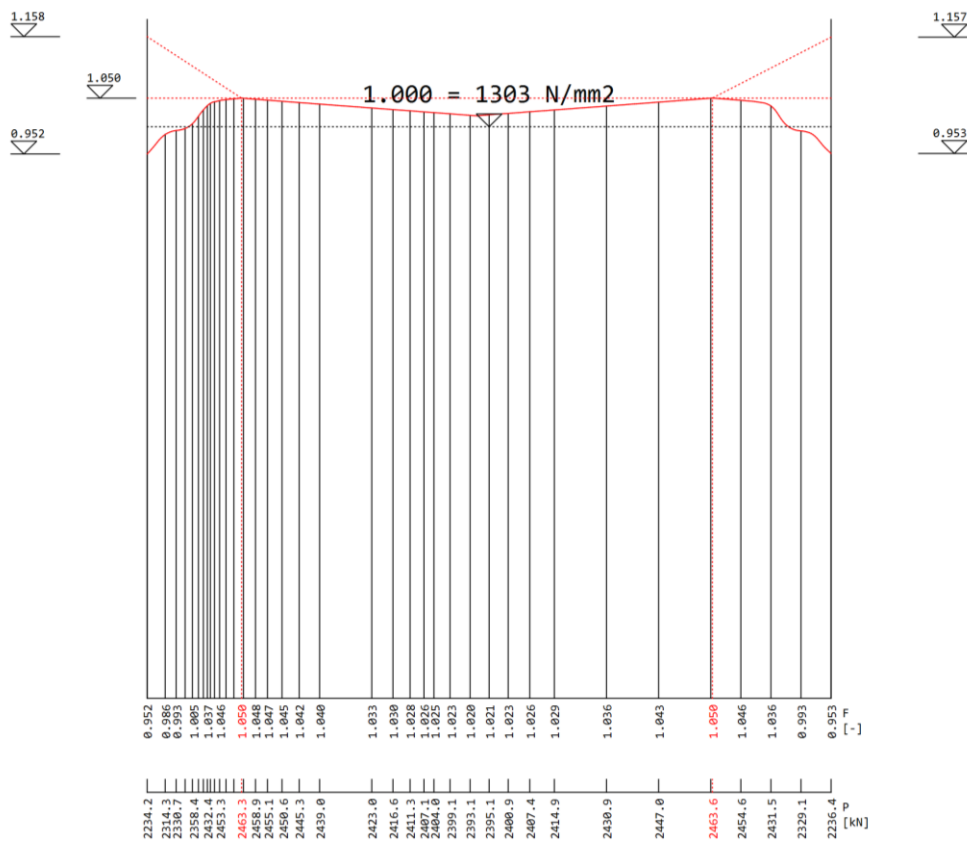
Σχήμα 91 Μειώσεις τένοντα 7



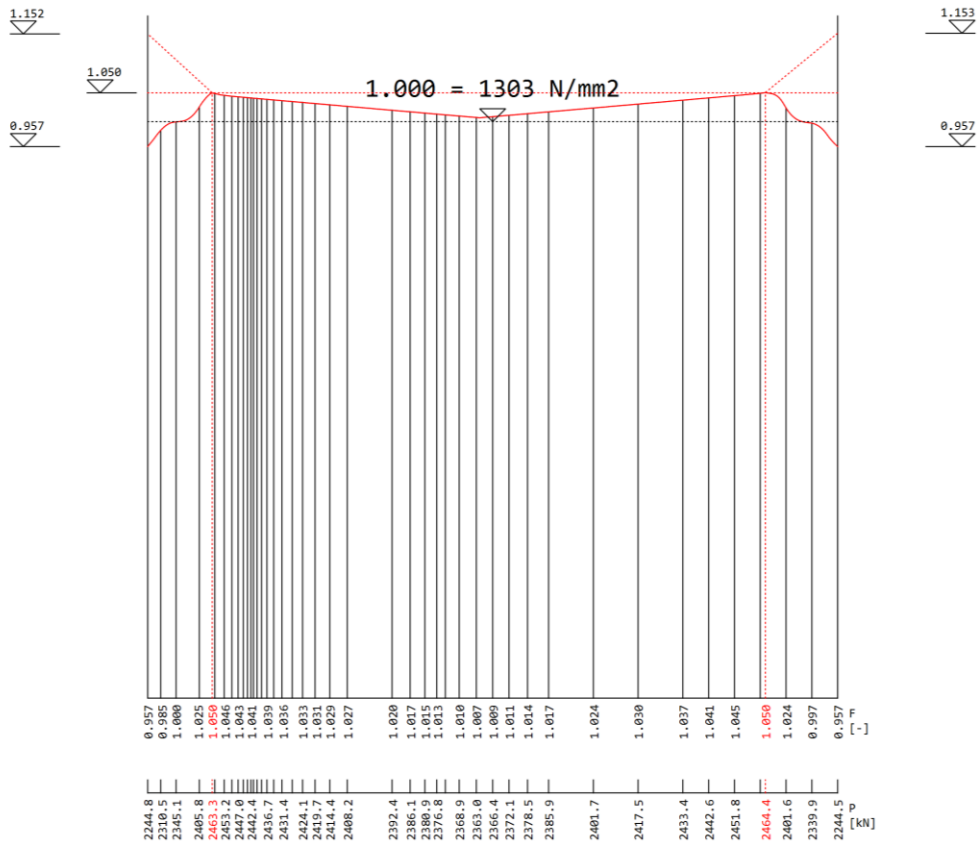
Σχήμα 92 Μειώσεις τένοντα 8



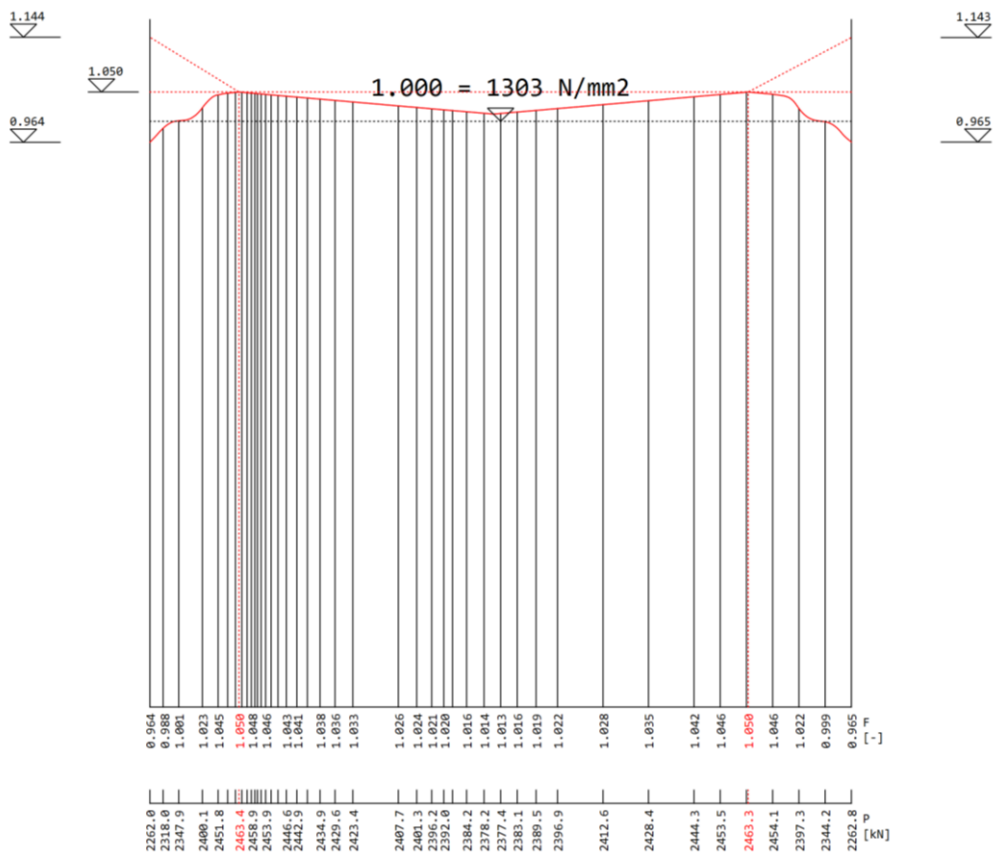
Σχήμα 93 Μειώσεις τένοντα 9



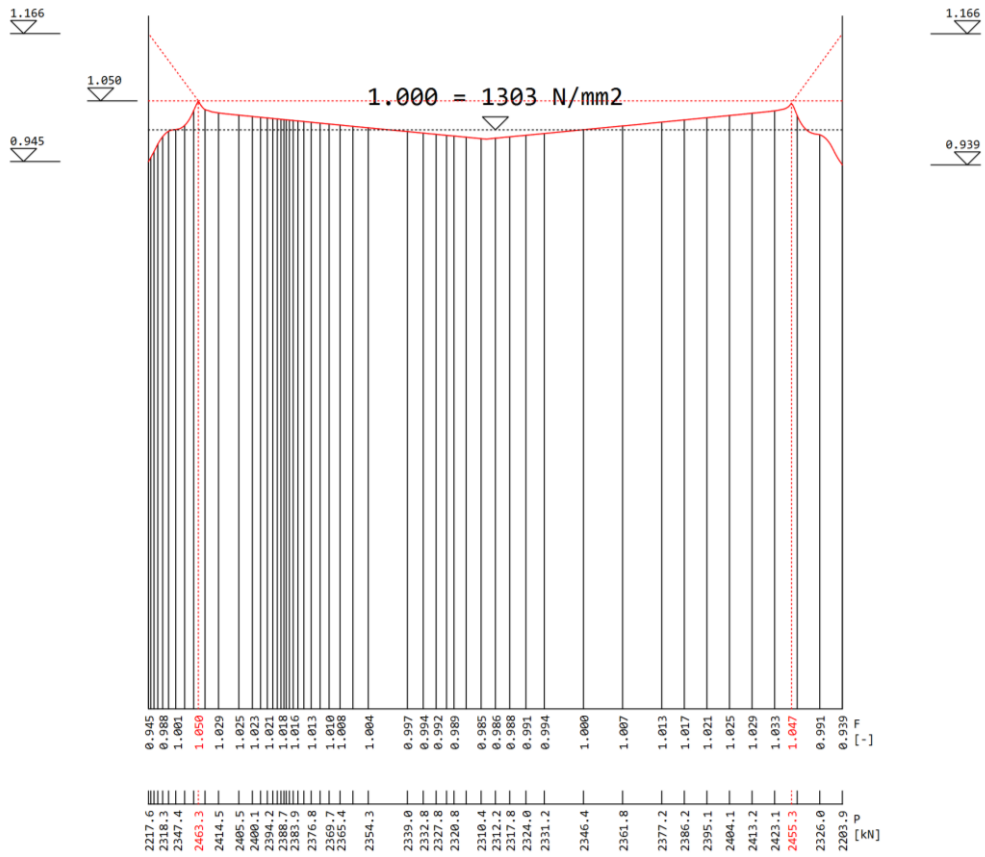
Σχήμα 94 Μειώσεις τένοντα 10



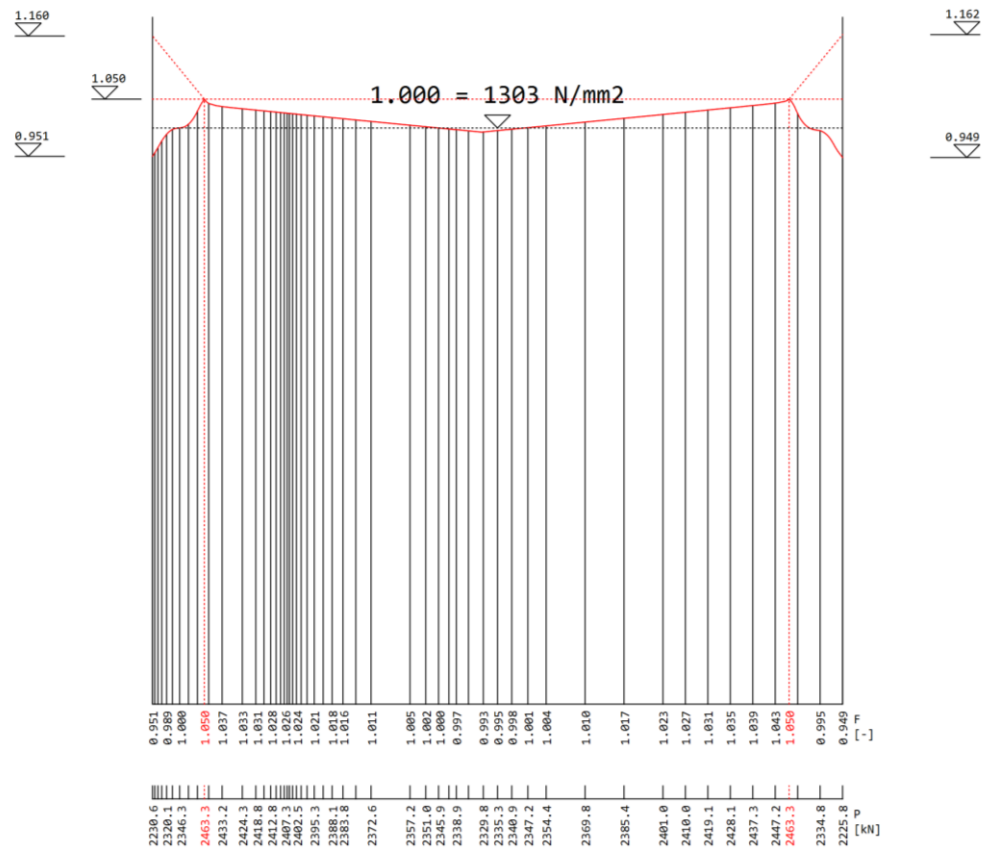
Σχήμα 95 Μειώσεις τένοντα 11



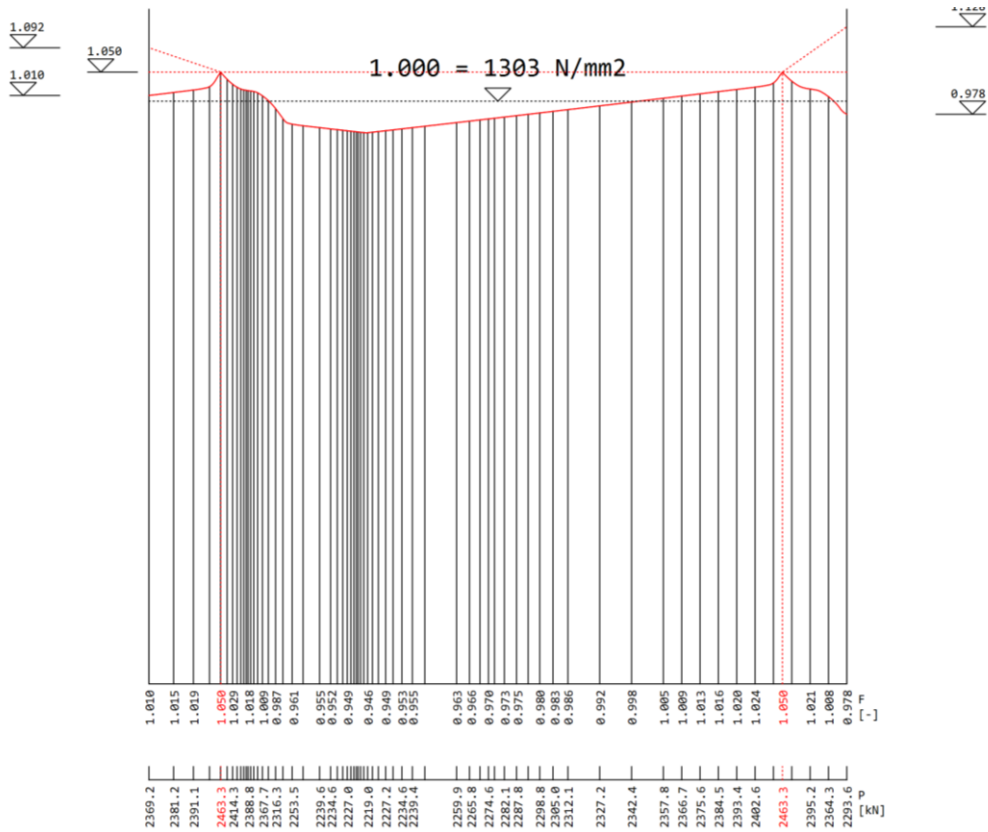
Σχήμα 96 Μειώσεις τένοντα 12



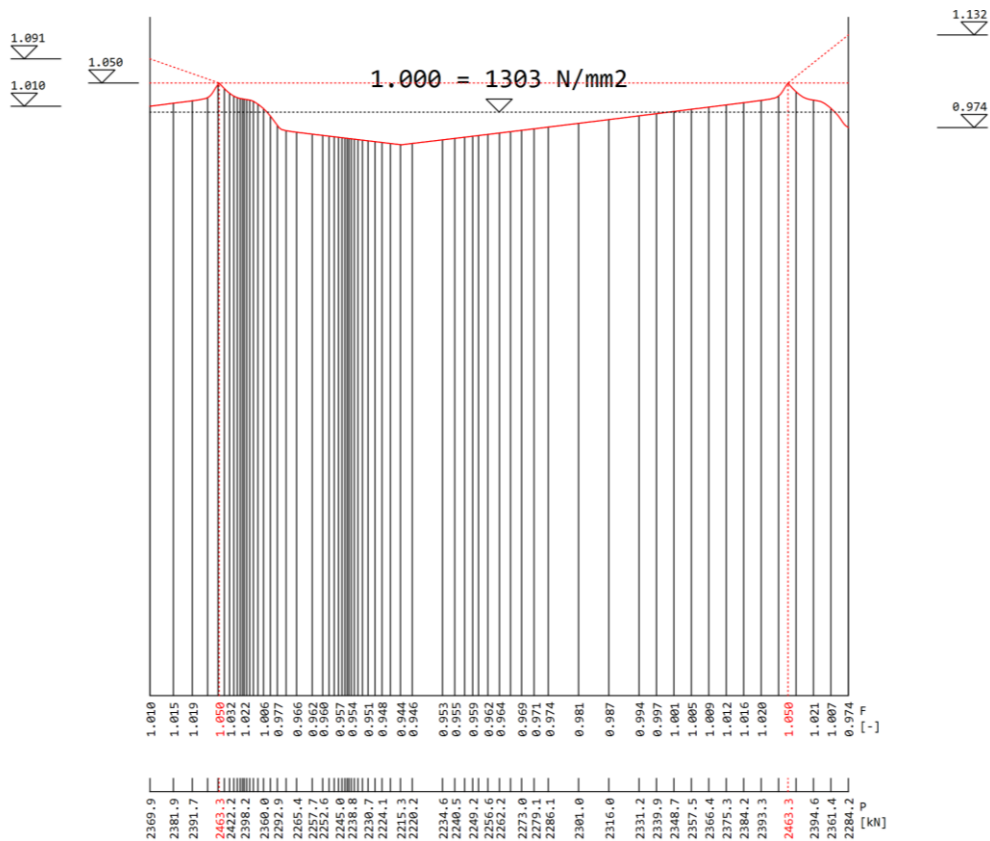
Σχήμα 97 Μειώσεις τένοντα 13



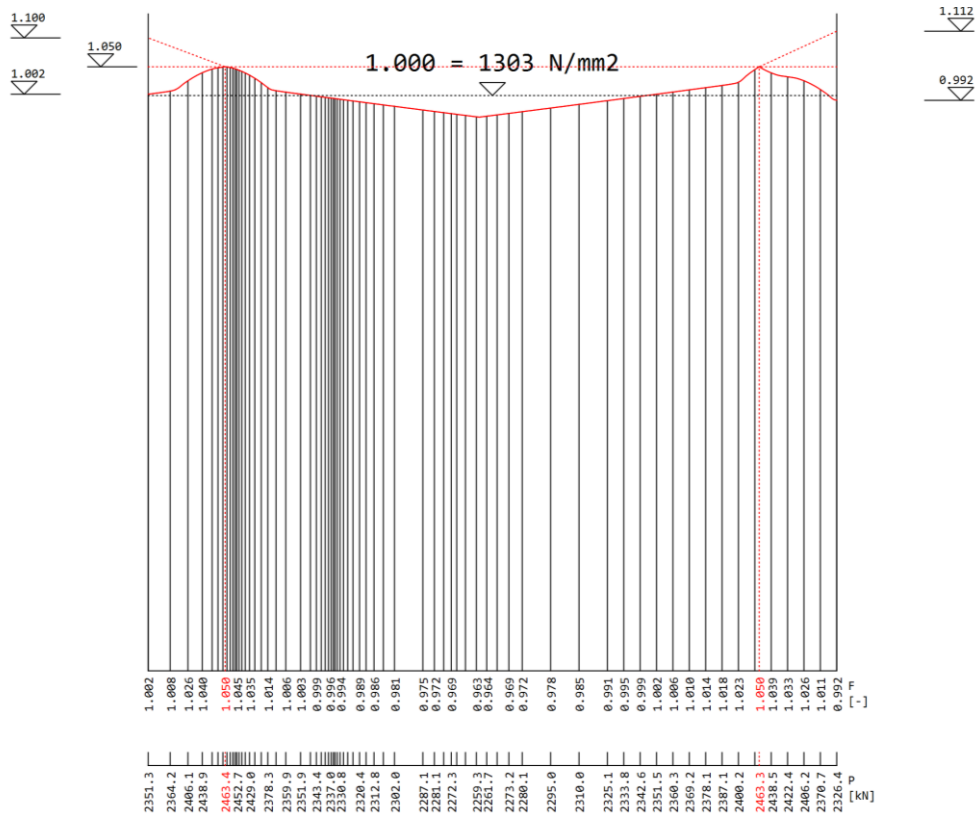
Σχήμα 98 Μειώσεις τένοντα 14



Σχήμα 99 Μειώσεις τένοντα 15

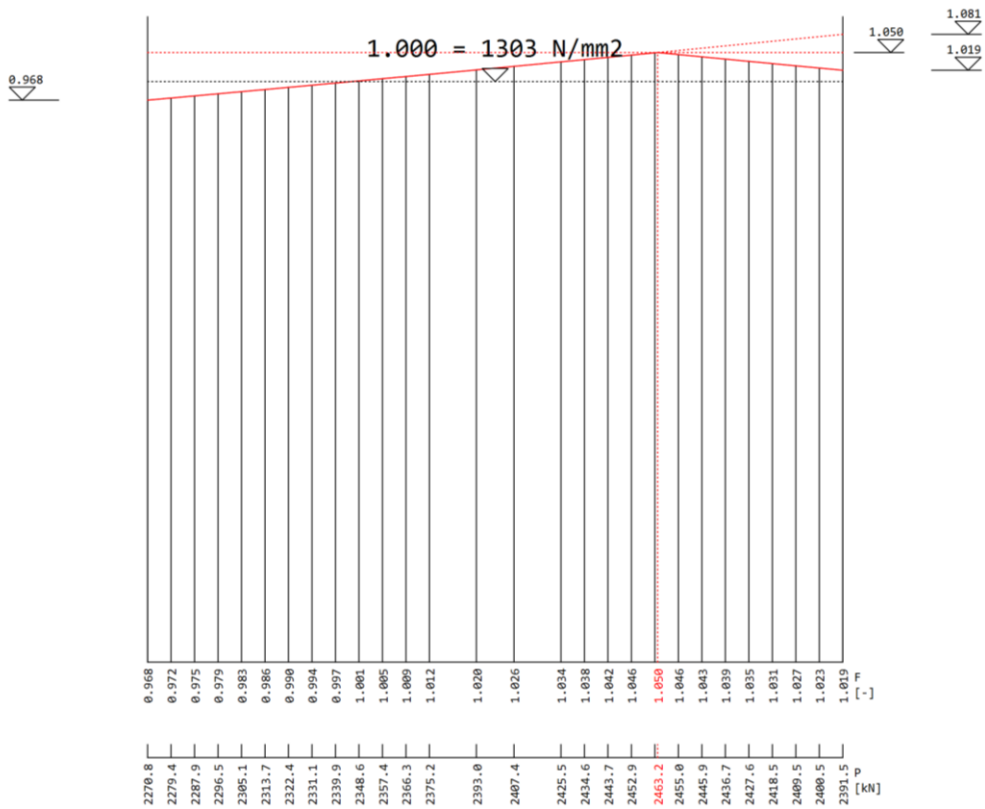


Σχήμα 100 Μειώσεις τένοντα 16

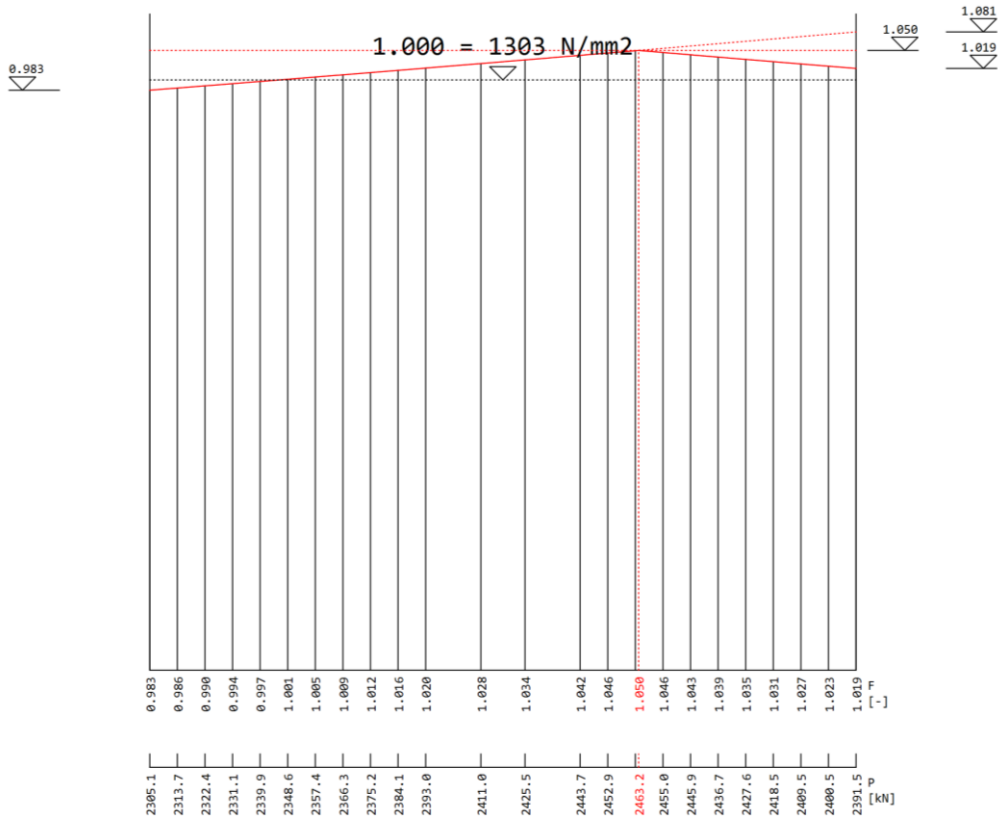


Σχήμα 101 Μειώσεις τένοντα 17

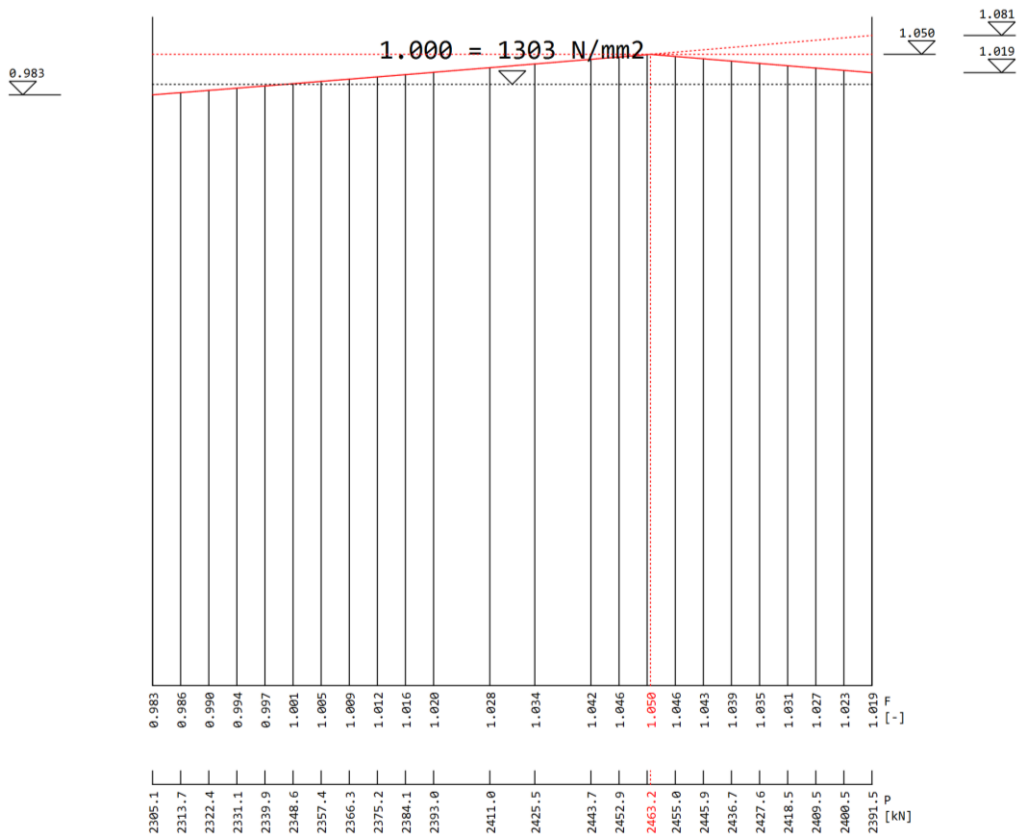
### 3.6.3.2. Διαγράμματα μειώσεων κάτω τενόντων



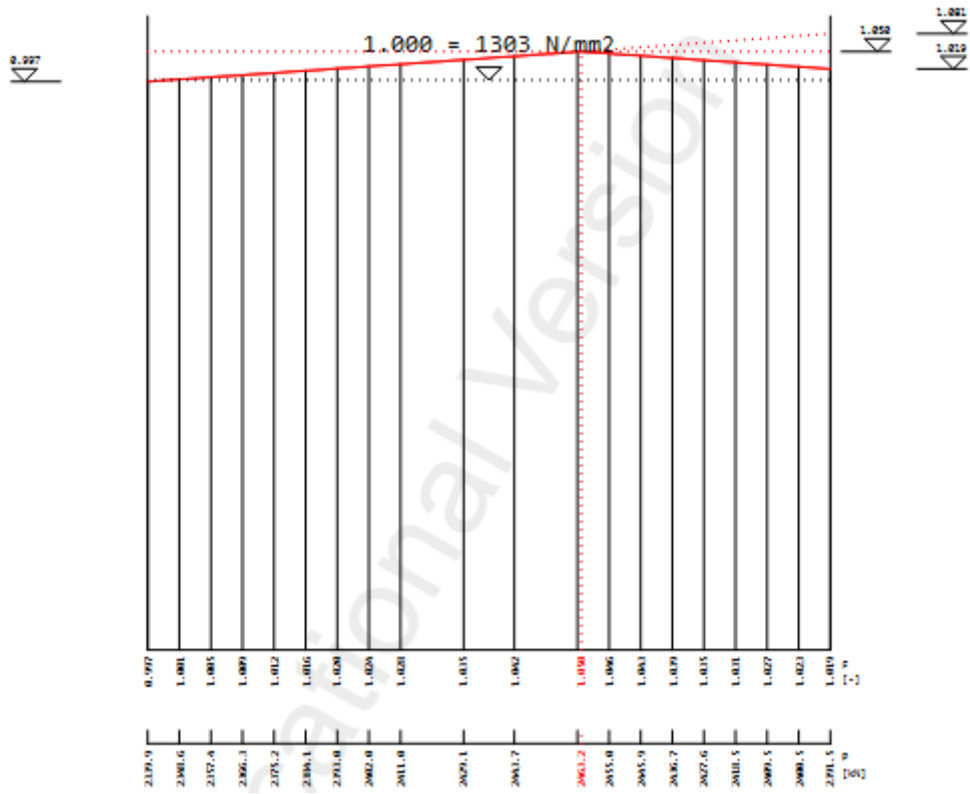
Σχήμα 102 Μειώσεις τένοντα 20



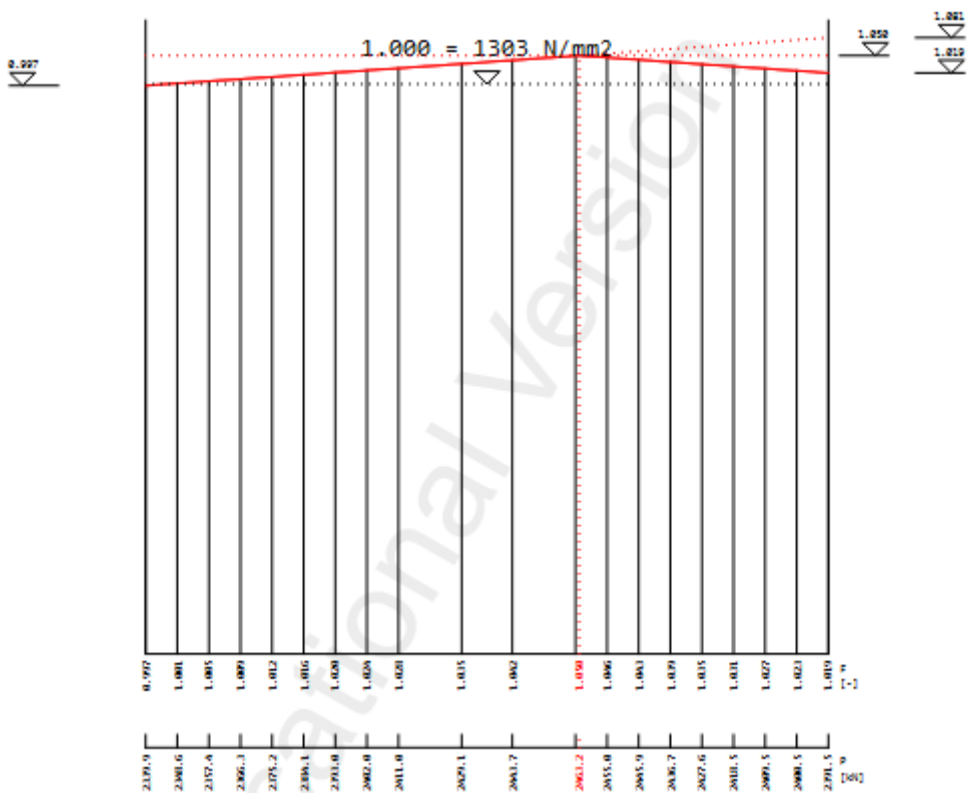
Σχήμα 103 Μειώσεις τένοντα 22



Σχήμα 104 Μειώσεις τένοντα 23

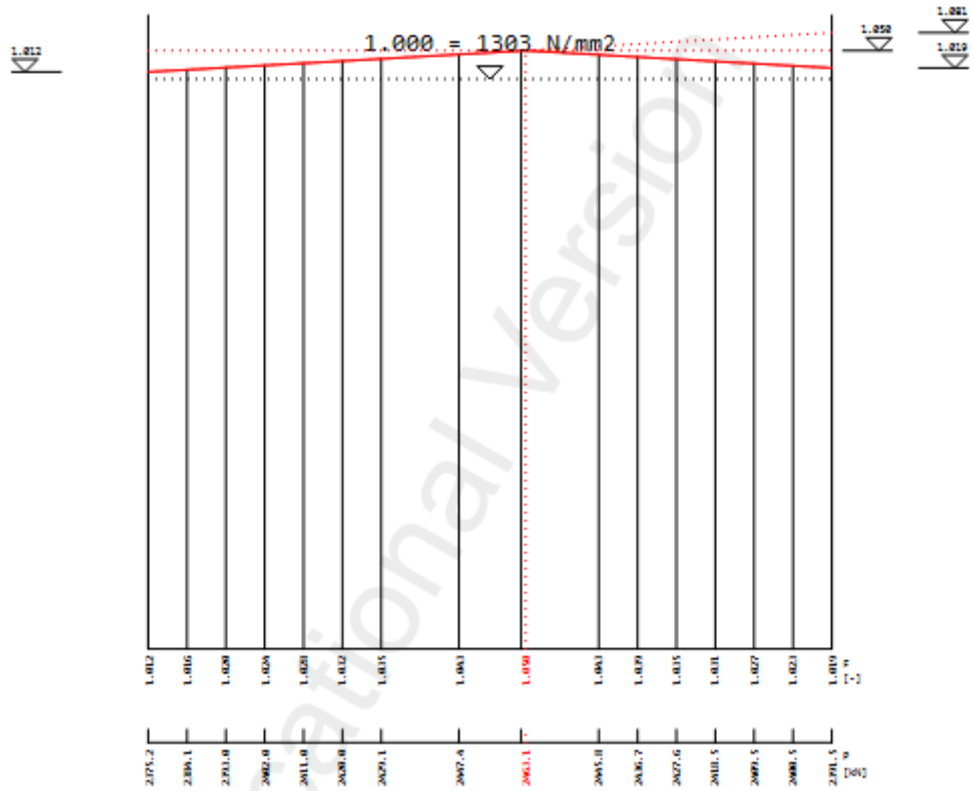


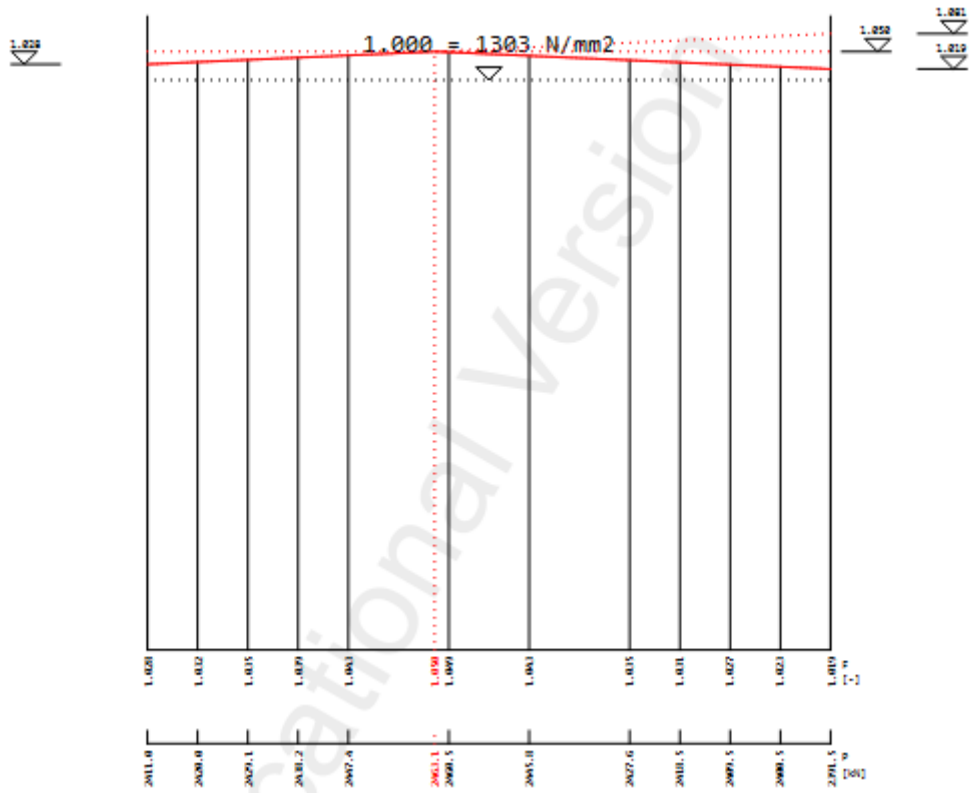
Σχήμα 105 Μειώσεις τένοντα 24



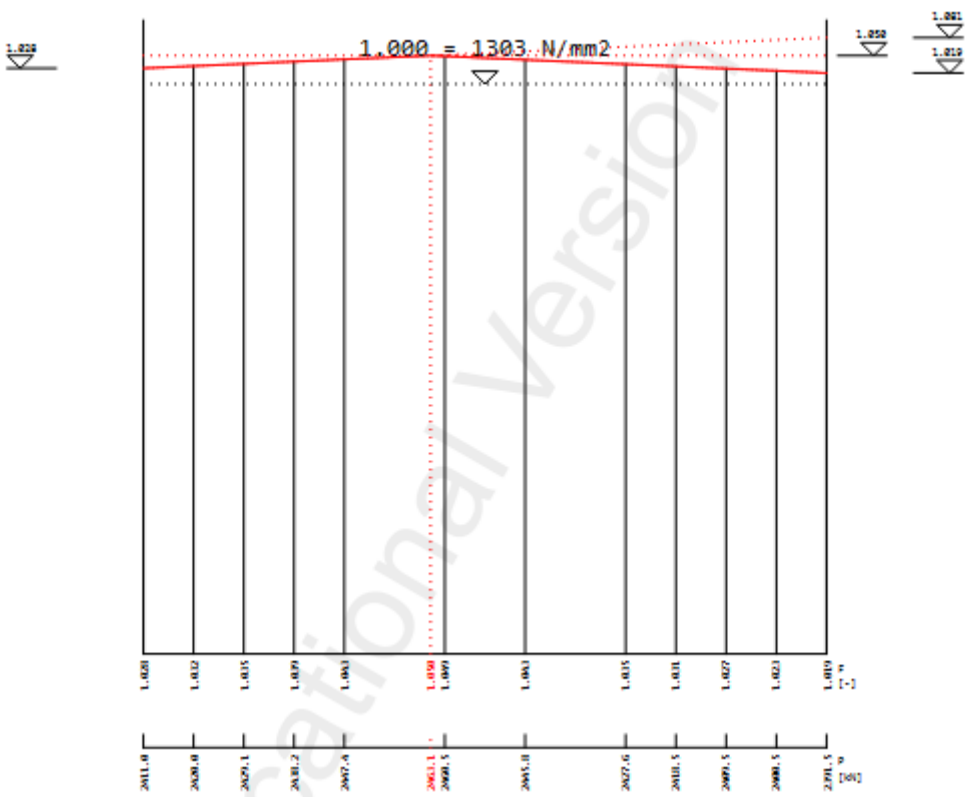
Σχήμα 106 Μειώσεις τένοντα 25



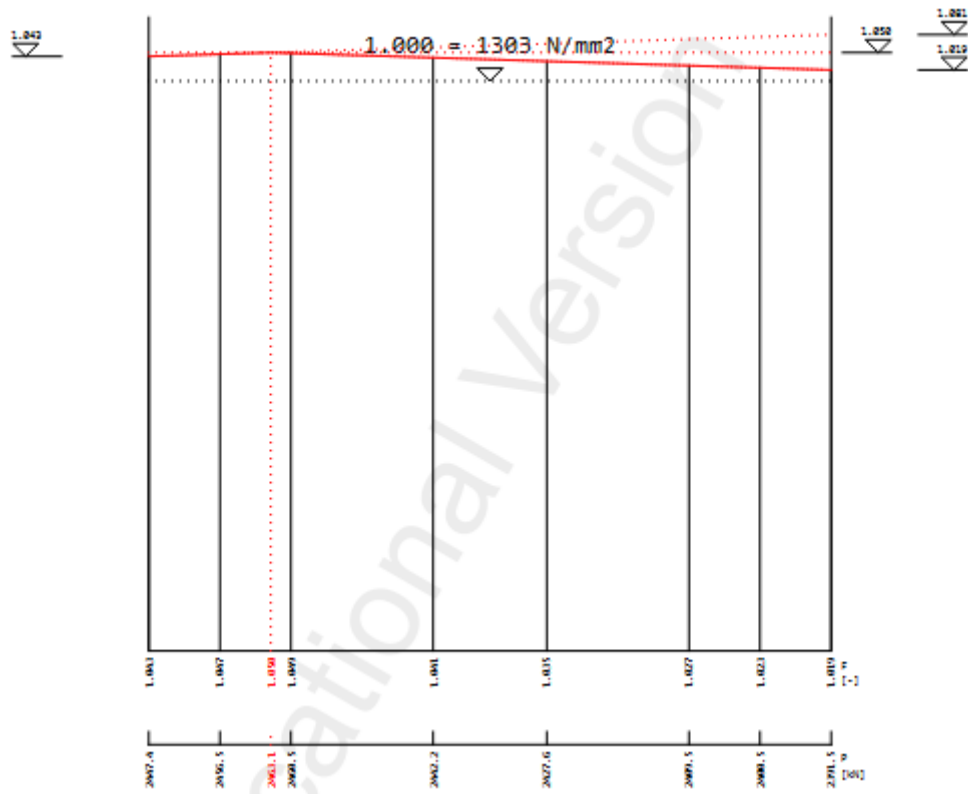




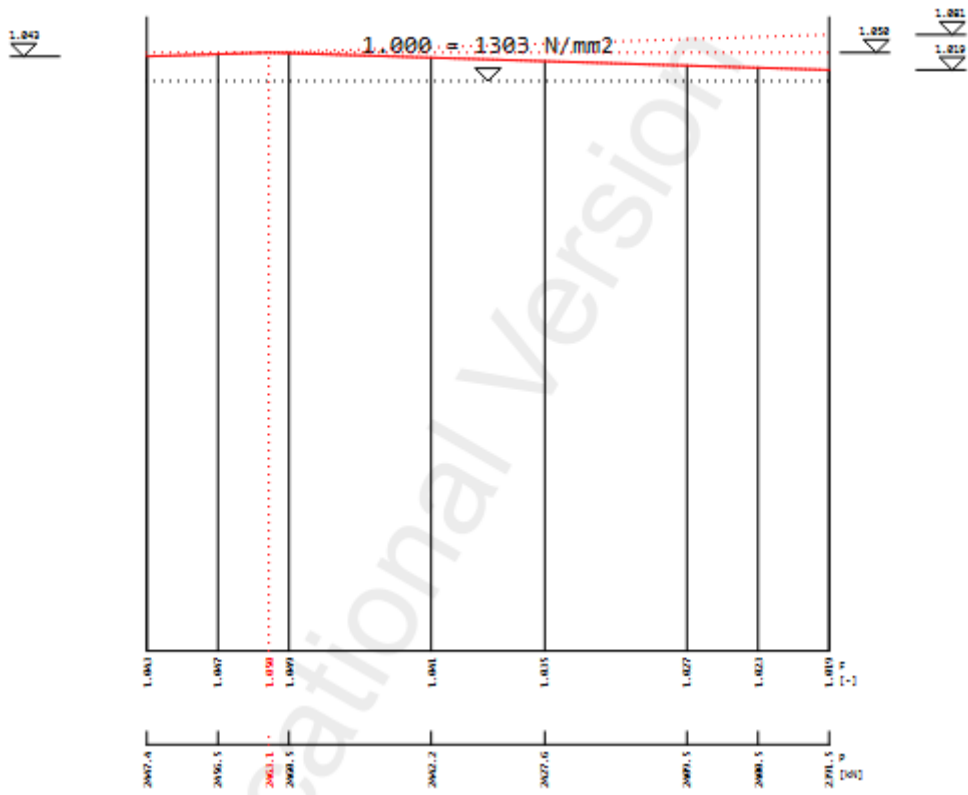
Σχήμα 109 Μειώσεις τένοντα 28



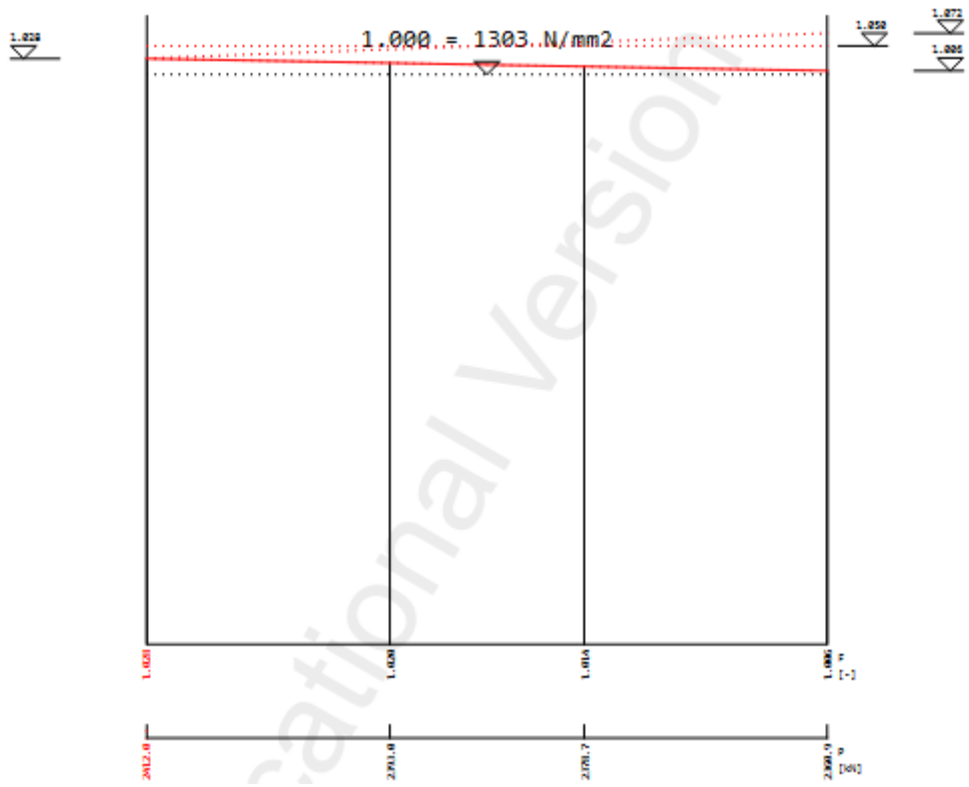
Σχήμα 110 Μειώσεις τένοντα 29



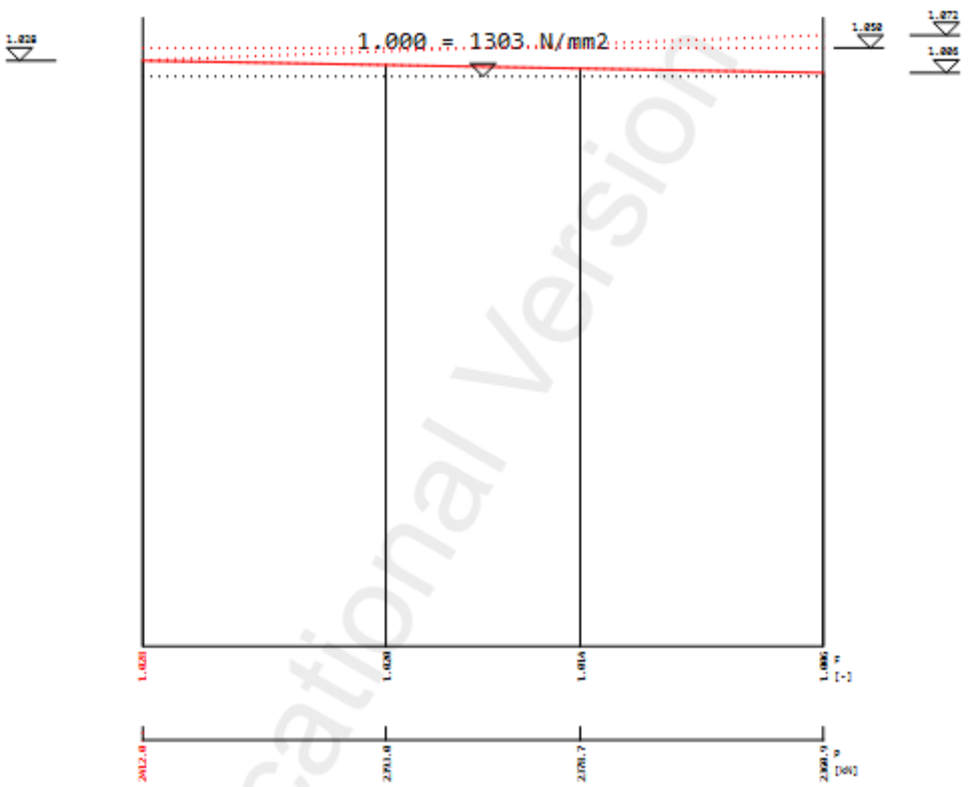
Σχήμα 111 Μειώσεις τένοντα 30



Σχήμα 112 Μειώσεις τένοντα 31



Σχήμα 113 Μειώσεις τένοντα 32



Σχήμα 114 Μειώσεις τένοντα 33

### 3.7. Φάσεις κατασκευής

Οι φάσεις κατασκευής ακολουθούν τους τυπικούς κανόνες της προβολοδόμησης. Μεταξύ κάθε φάσης σκυροδέτησης, λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα συστολής ξήρανσης, χαλάρωσης και ερπυσμού που ήδη έχουν αρχίσει να εκδηλώνονται. Συγκεκριμένα:

1	• ανέγερση ακροβάθρων
	• ανέγερση μεσοβάθρων P-1 & P-2
	• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών
2	• κατασκευή κεφαλών μεσοβάθρων
	• ανέγερση πυλώνων P-1 & P-2
	• συναρμολόγηση δίδυμων φορείων σε P-1 & P-2
	• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών
3	• σκυροδέτηση σπονδύλων 0
	• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση
	• προώθηση φορείων
	• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών
4	• σκυροδέτηση σπονδύλων 1
	• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση
	• προώθηση φορείων
	• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών
5	• σκυροδέτηση σπονδύλων 2
	• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση
	• προώθηση φορείων
	• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών
6	• σκυροδέτηση σπονδύλων 3
	• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση
	• προώθηση φορείων
	• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών
7	• σκυροδέτηση σπονδύλων 4
	• τάνυση αναρτήρων 1

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προώθηση φορείων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλων 5</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• τάνυση αναρτήρων 2</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προώθηση φορείων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλων 6</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• τάνυση αναρτήρων 3</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προώθηση φορείων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλων 7</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• τάνυση αναρτήρων 4</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προώθηση φορείων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλων 8</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• τάνυση αναρτήρων 5</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• κατασκευή πρόσθετων τμημάτων E-1 &amp; E-2 επί ικριωμάτων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ολοκλήρωση ανοιγμάτων 1 &amp; 3 - στήριξη στα ακρόβαθρα</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προώθηση φορείων μόνο στο άνοιγμα 1</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλων 9</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• τάνυση αναρτήρων 6</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προώθηση φορείων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλων 10</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• τάνυση αναρτήρων 7</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προώθηση φορείων</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλων 11</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών (άνω) τενόντων και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• σκυροδέτηση σπονδύλου 12 (κλείδας)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης</li> </ul>
16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εσωτερικών τενόντων κάτω πέλματος και ενεμάτωση</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης υφιστάμενων μελών</li> </ul>
17	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προένταση εξωτερικών τενόντων κάτω πέλματος</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης</li> </ul>
18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• επιβολή πρόσθετων μονίμων</li> </ul>
19	<ul style="list-style-type: none"> <li>• απόδοση στην κυκλοφορία</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ερπυσμός, συστολή ξήρανσης 30.000 ημερών</li> </ul>

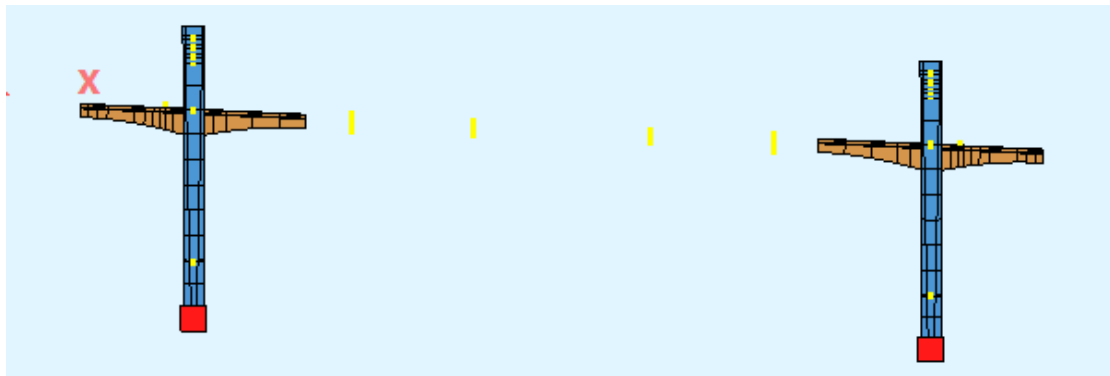
Πίνακας 27 Φάσεις κατασκευής



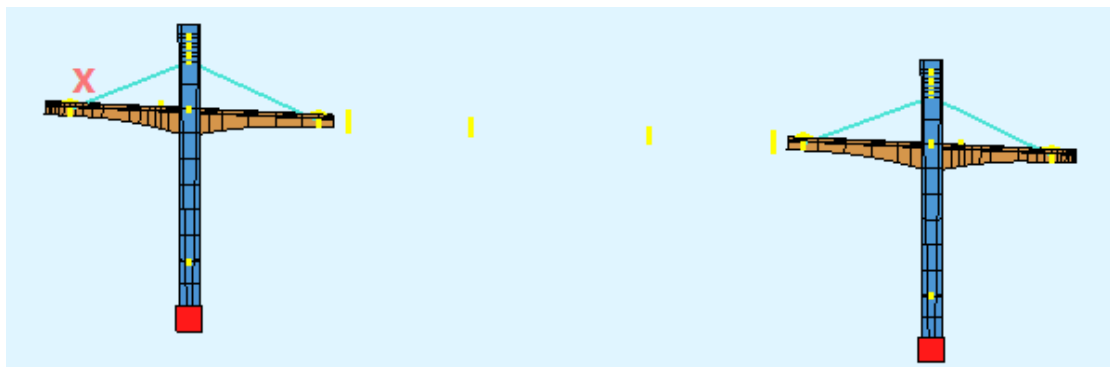
Σχήμα 115 Απεικόνιση φάσης 4



Σχήμα 116 Απεικόνιση φάσης 5



Σχήμα 117 Απεικόνιση φάσης 6

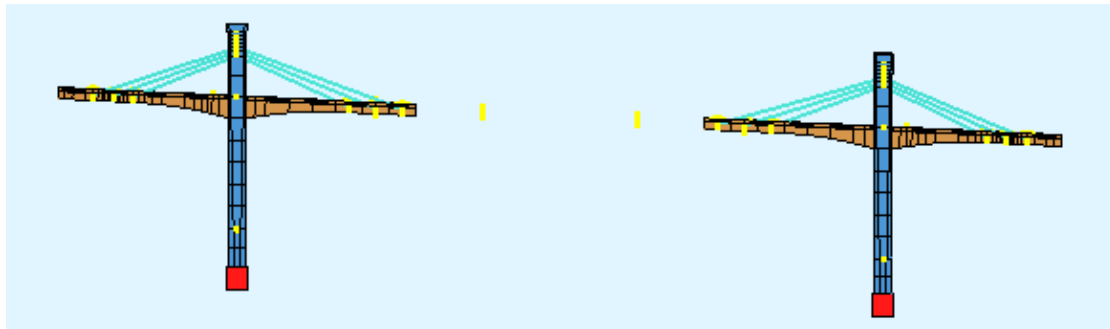


Σχήμα 118 Απεικόνιση φάσης 7



Σχήμα 119 Απεικόνιση φάσης 8

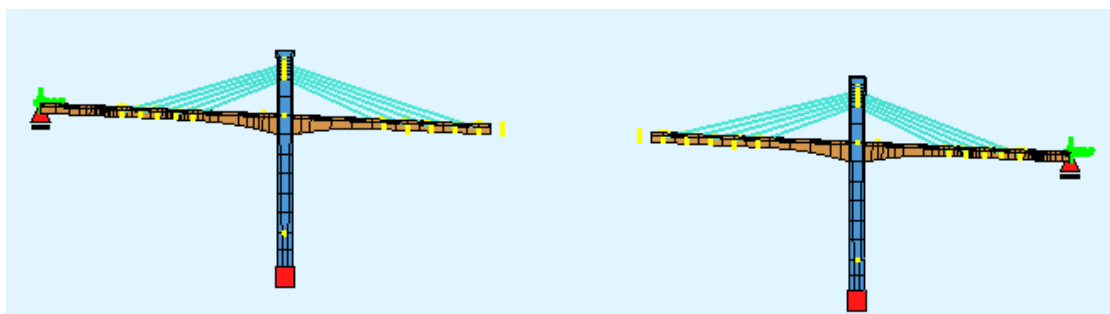




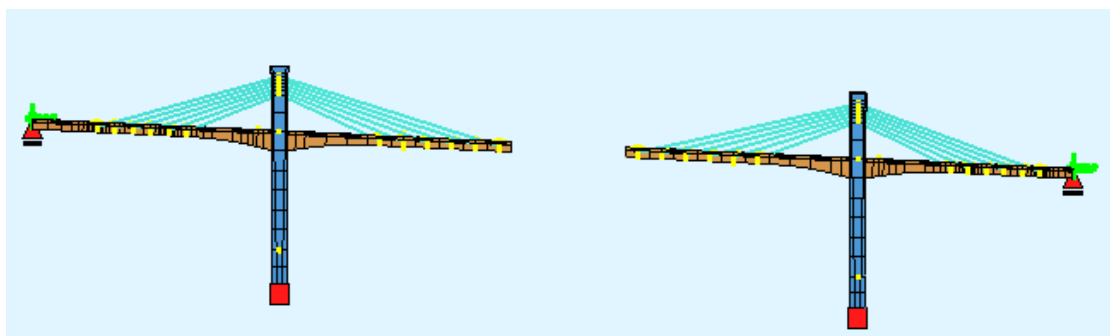
Σχήμα 120 Απεικόνιση φάσης 9



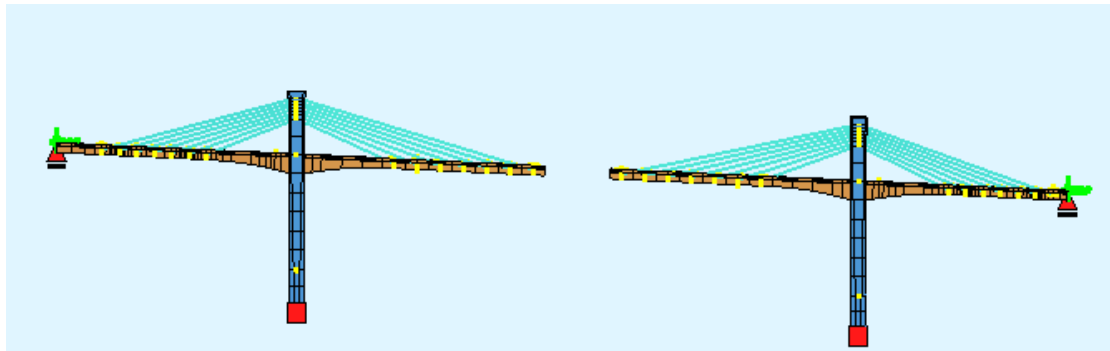
Σχήμα 121 Απεικόνιση φάσης 10



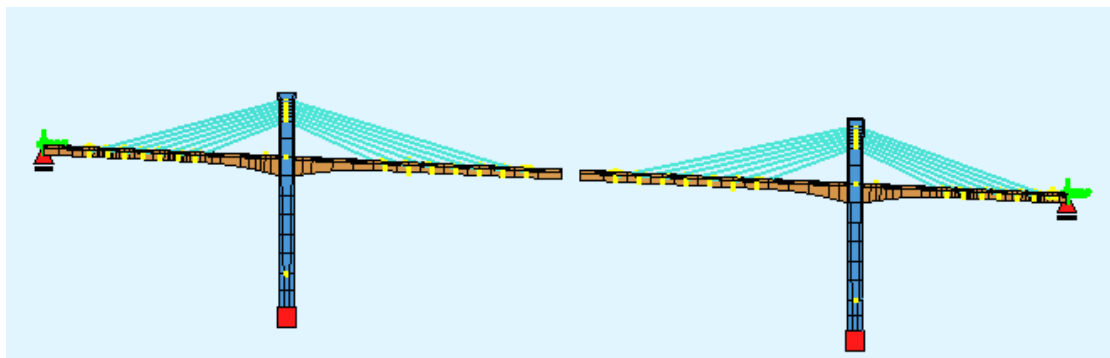
Σχήμα 122 Απεικόνιση φάσης 11 – Στήριξη στα ακρόβαθρα (αλλαγή στατικού συστήματος)



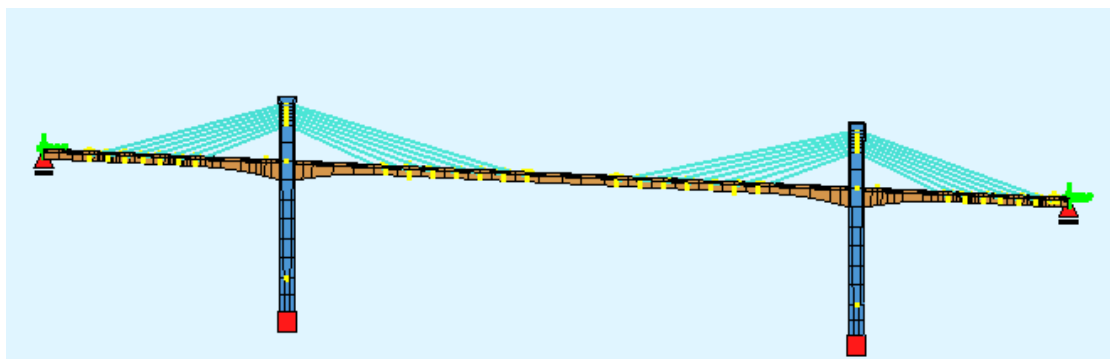
Σχήμα 123 Απεικόνιση φάσης 12



Σχήμα 124 Απεικόνιση φάσης 13



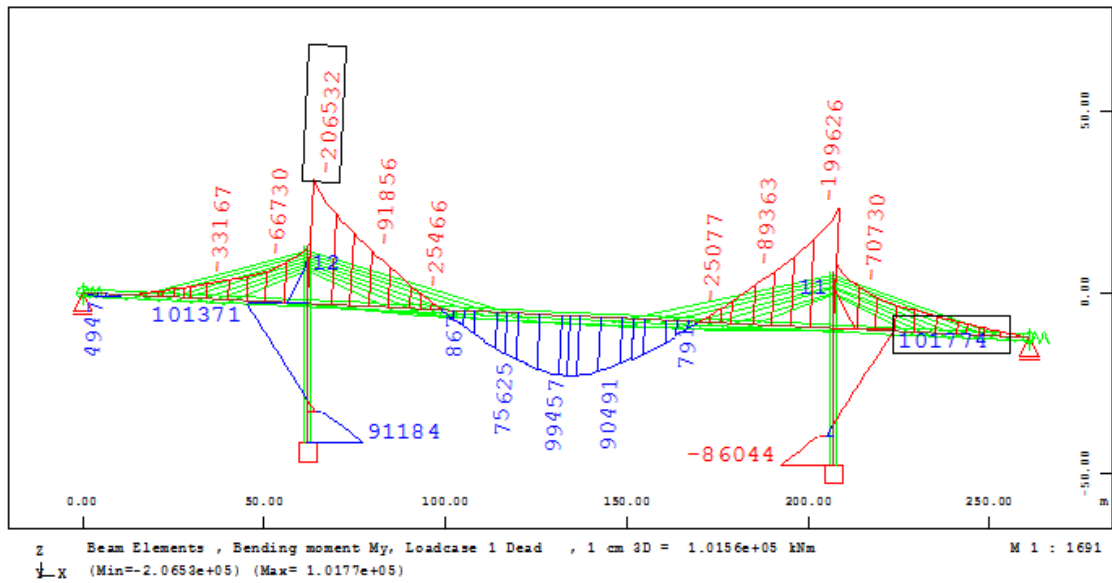
Σχήμα 125 Απεικόνιση φάσης 14



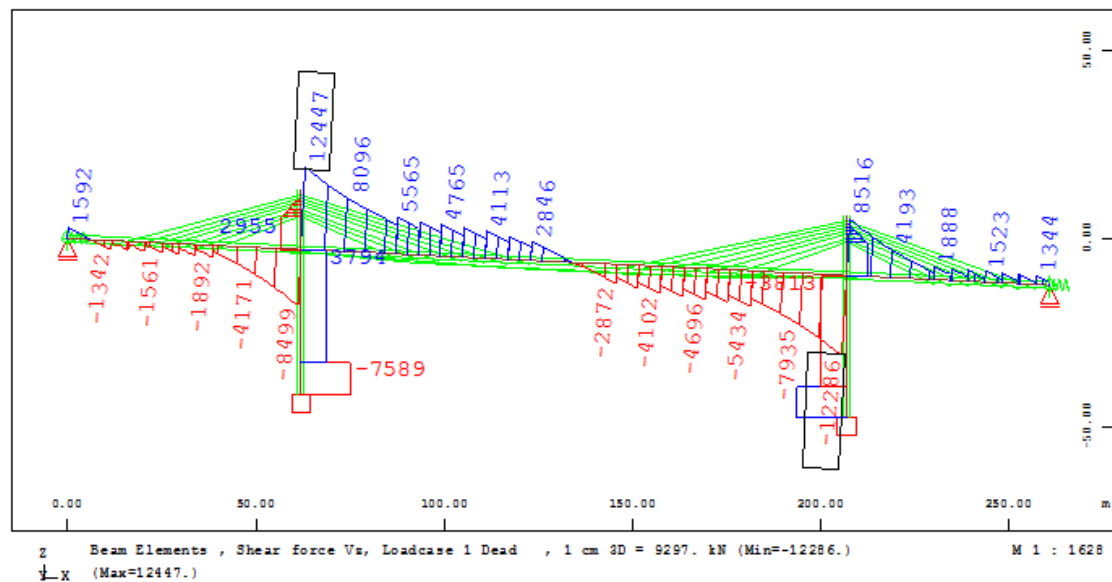
Σχήμα 126 Απεικόνιση φάσης 15 - Αποκατάσταση της συνέχειας

## 4. Εντατικά μεγέθη

### 4.1. Εντατικά μεγέθη στον τελικό φορέα - Ίδια βάρη

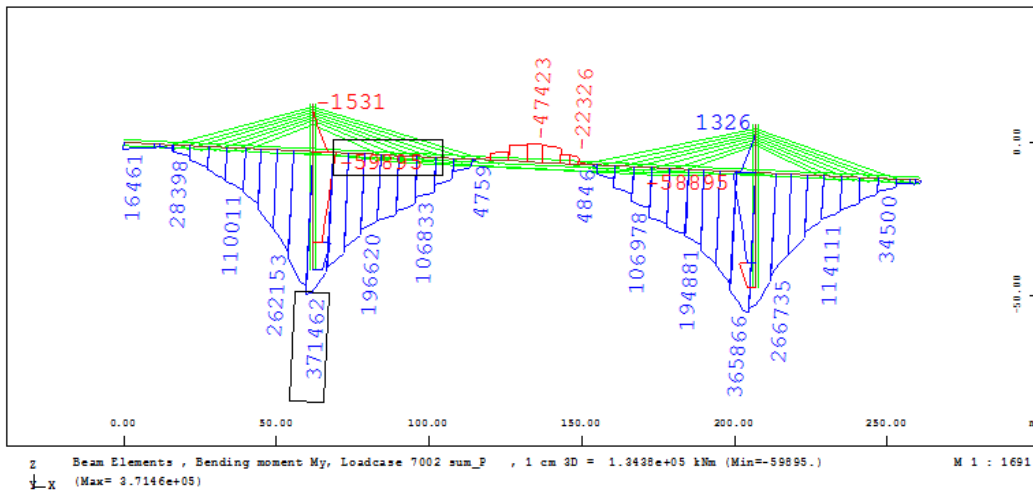


Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

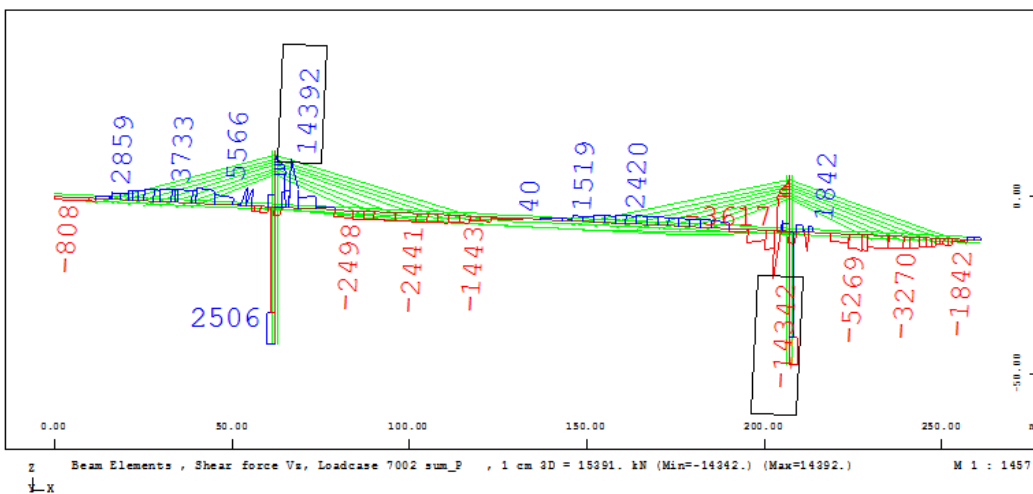


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

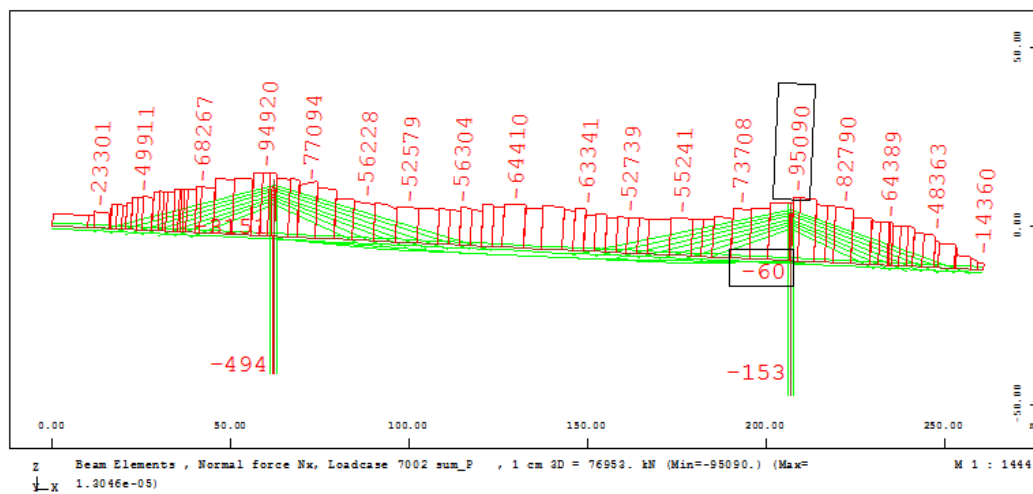
## 4.2. Εντατικά μεγέθη στον τελικό φορέα – Άθροισμα εσωτερικής προέντασης



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

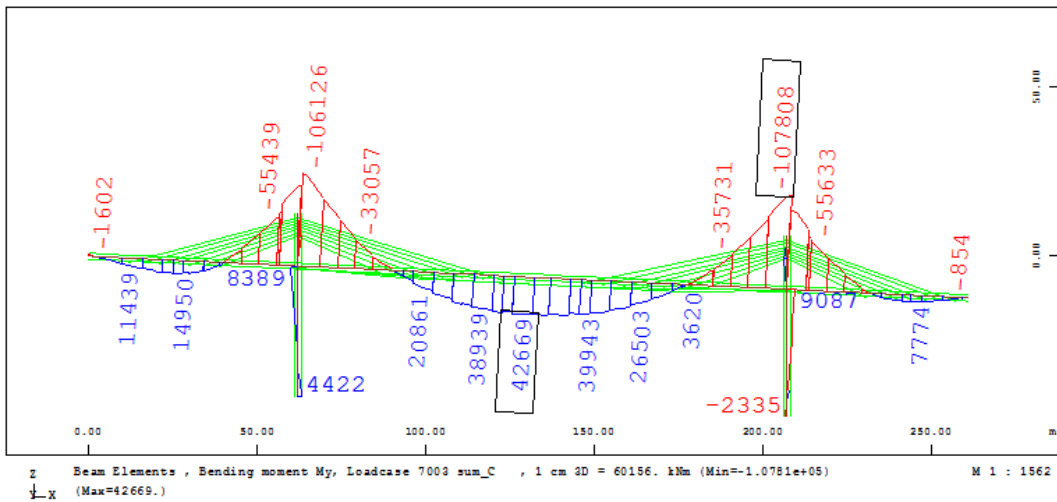


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

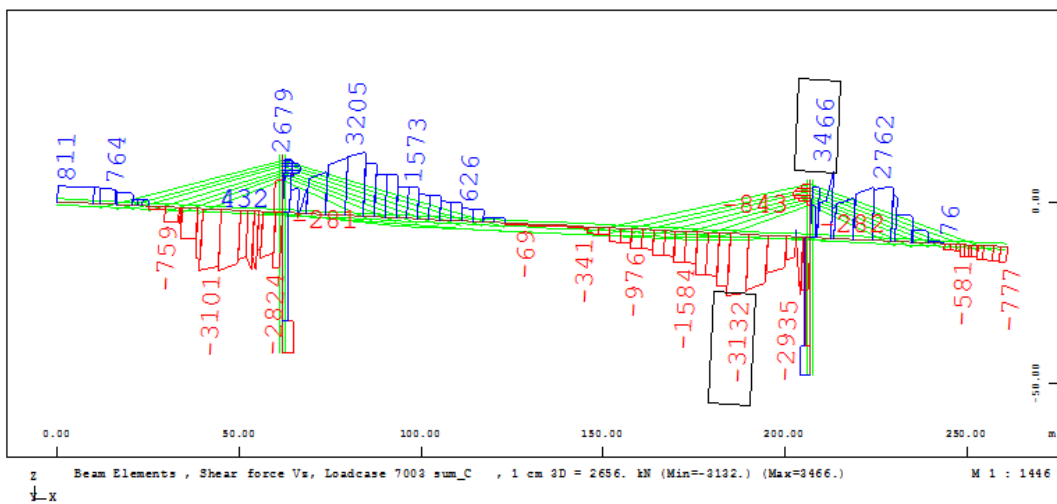


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

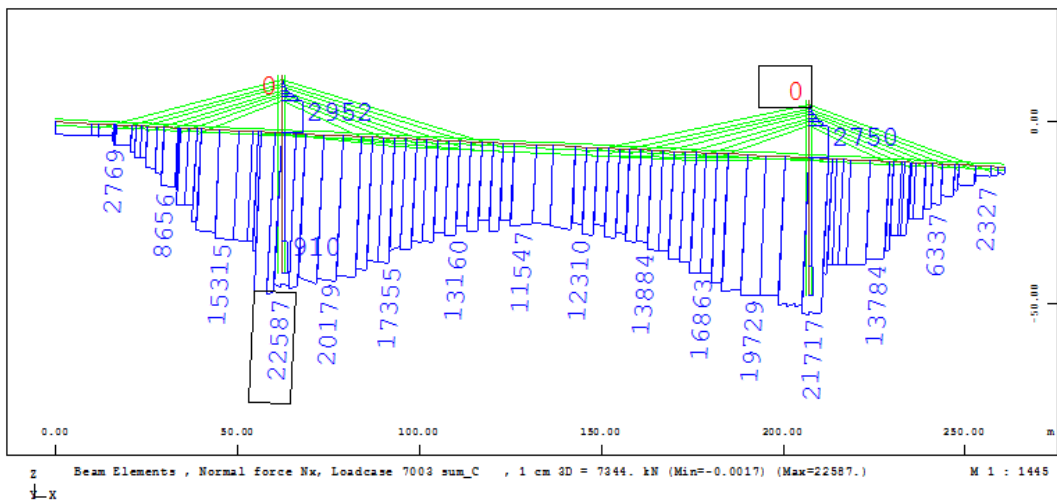
### 4.3. Εντατικά μεγέθη στον τελικό φορέα – Άθροισμα χρόνιων απωλειών



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

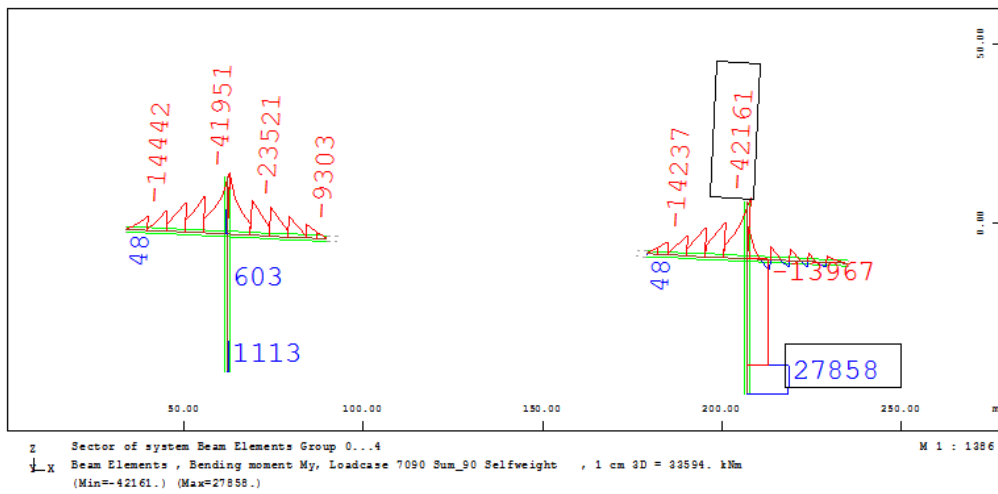


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

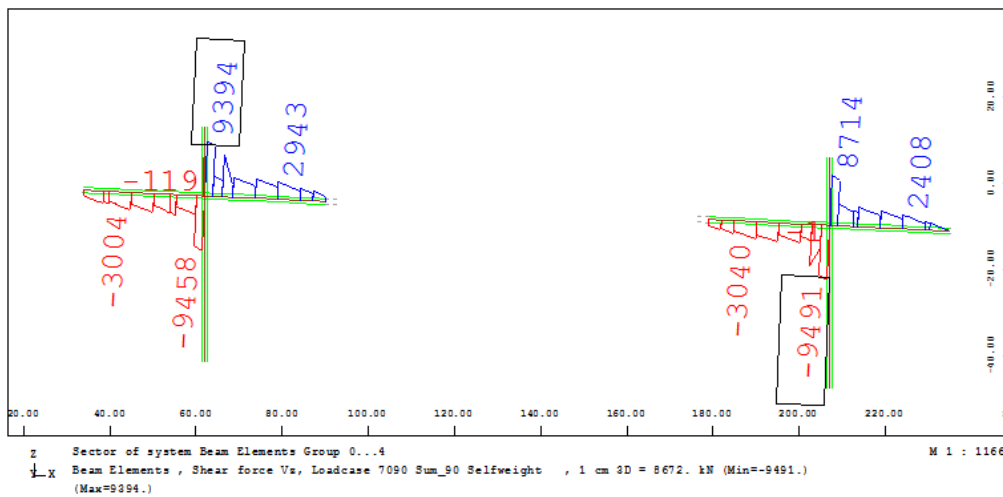


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

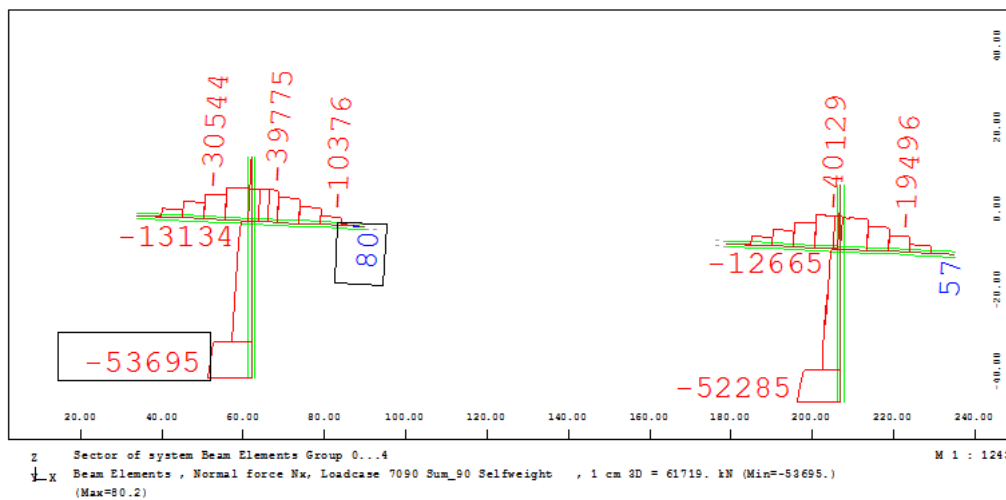
4.4. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 90 (πριν την τάνυση των αναρτήρων 1)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

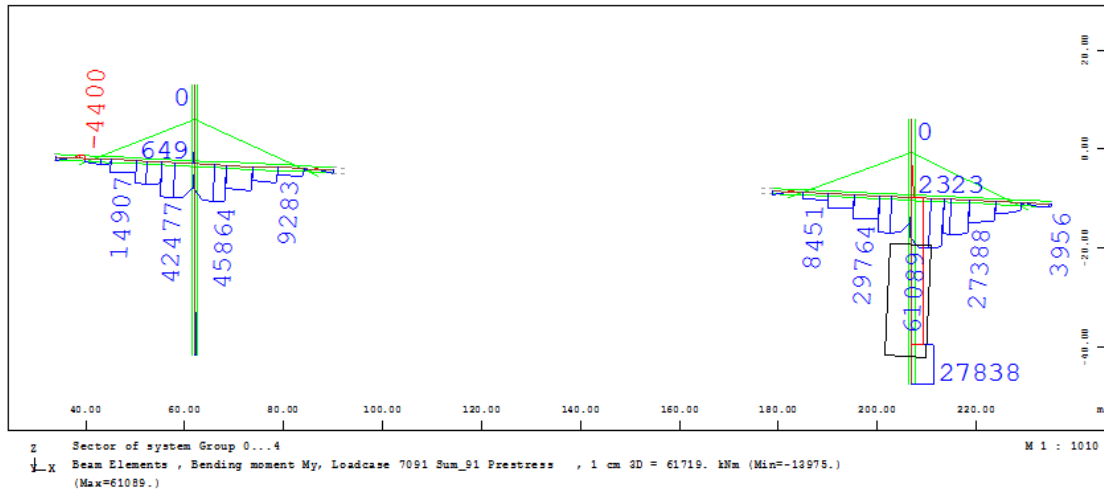


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

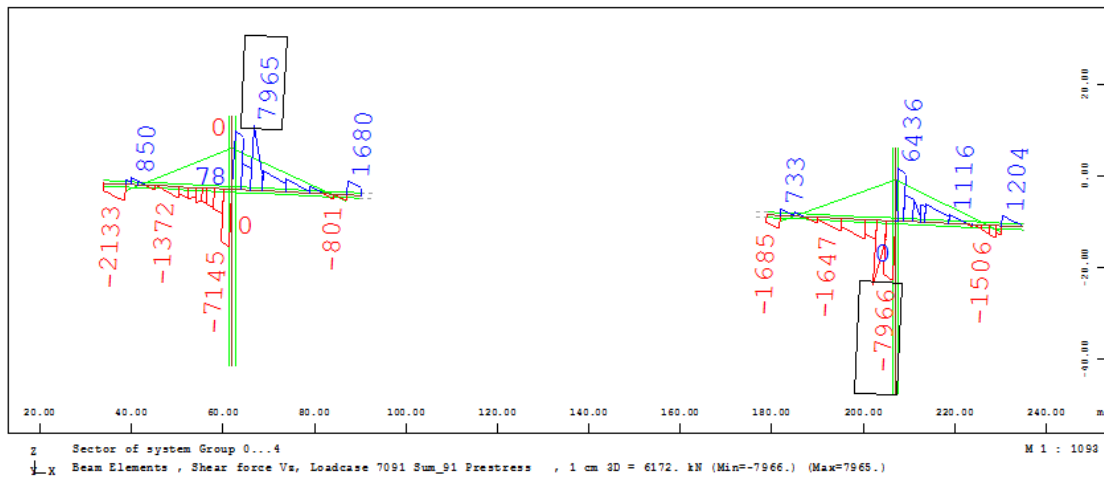


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

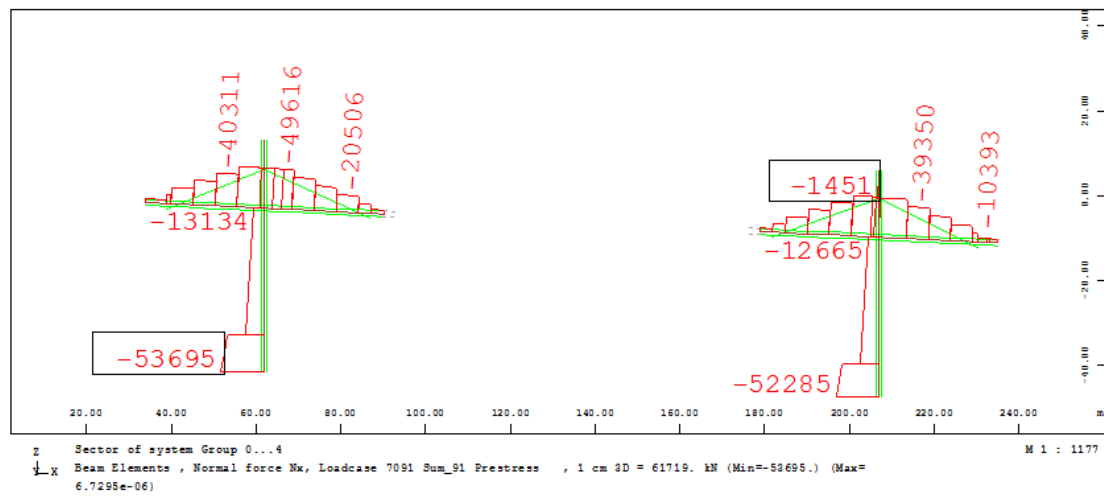
4.5. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 91 (τάνυση αναρτ. 1)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

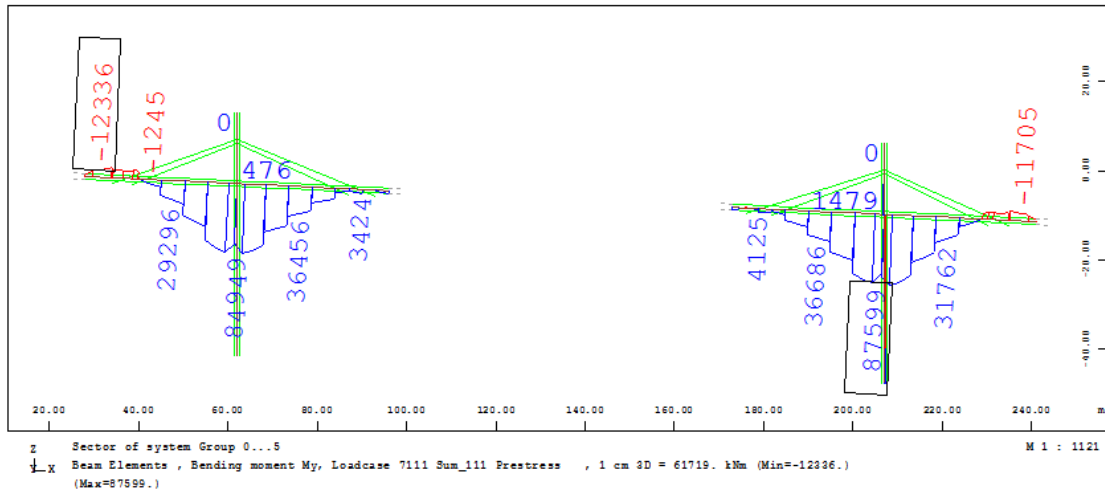


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

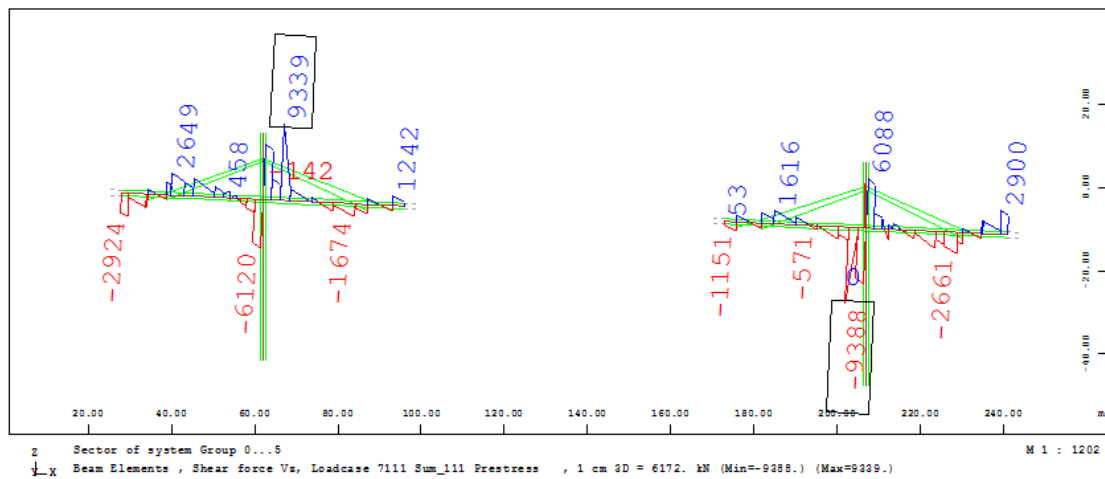


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

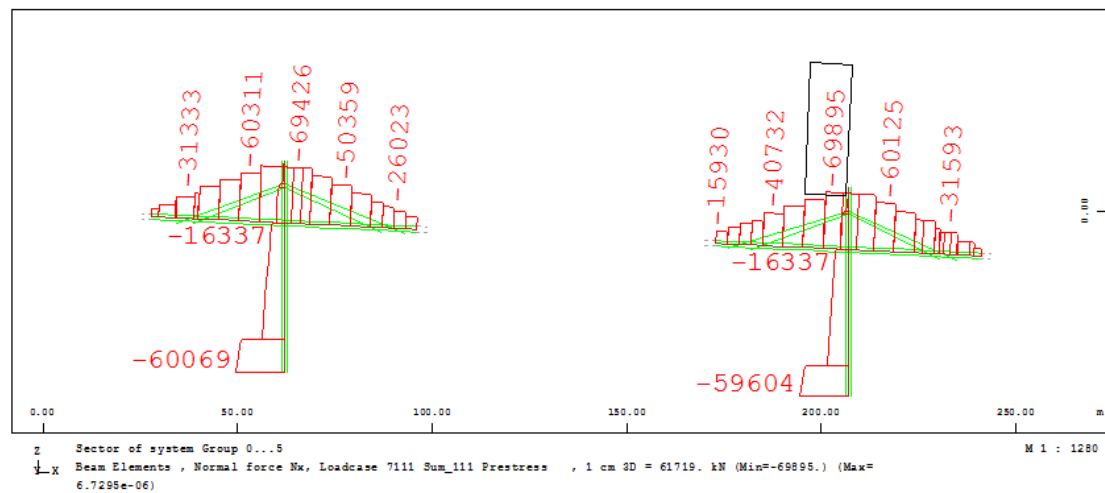
4.6. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 101 (τάνυση αναρτ. 2)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)



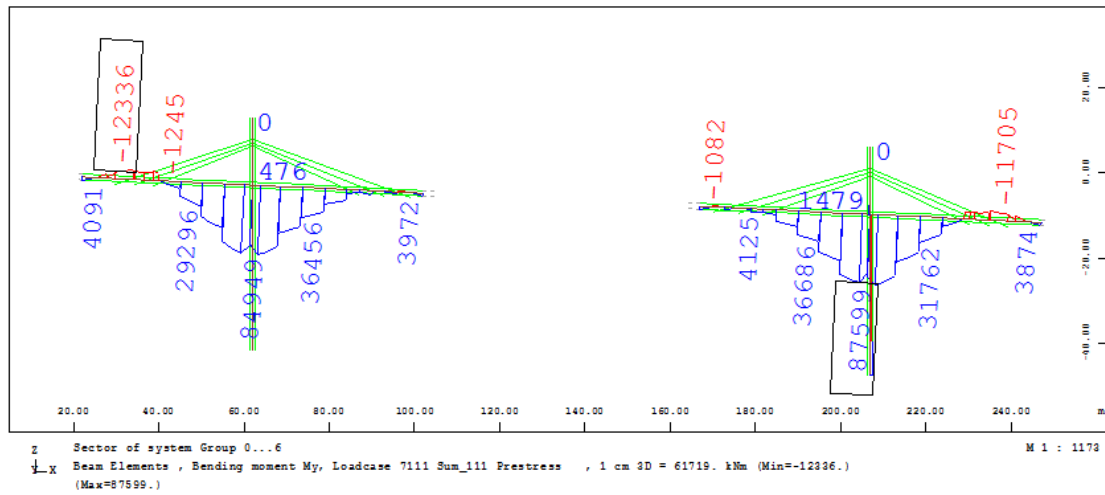
Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)



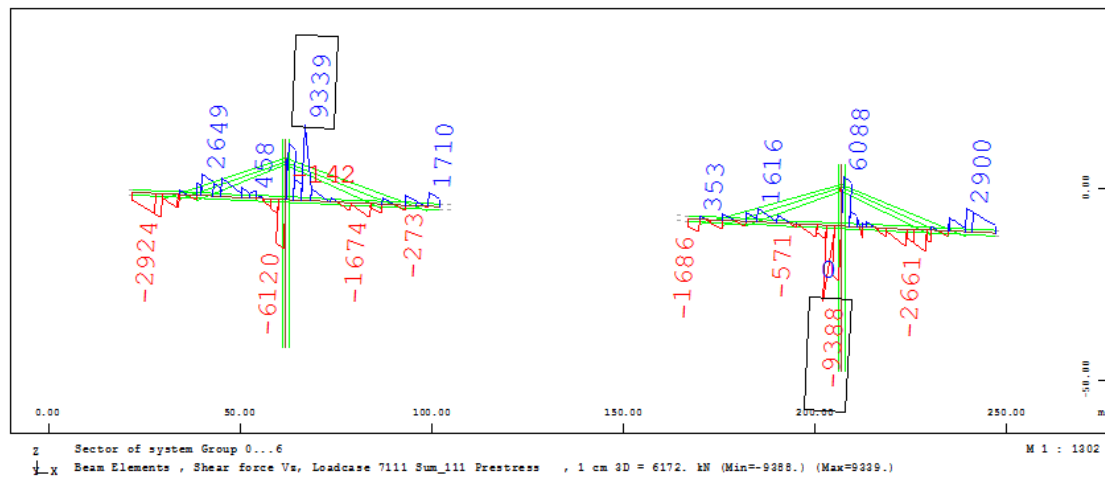
Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)



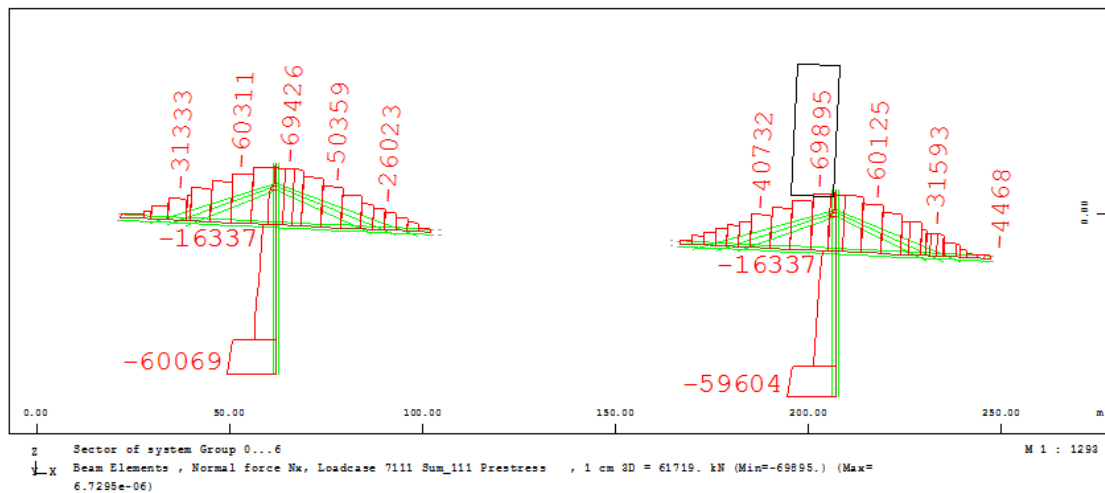
#### 4.7. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 111 (τάνυση αναρτ. 3)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

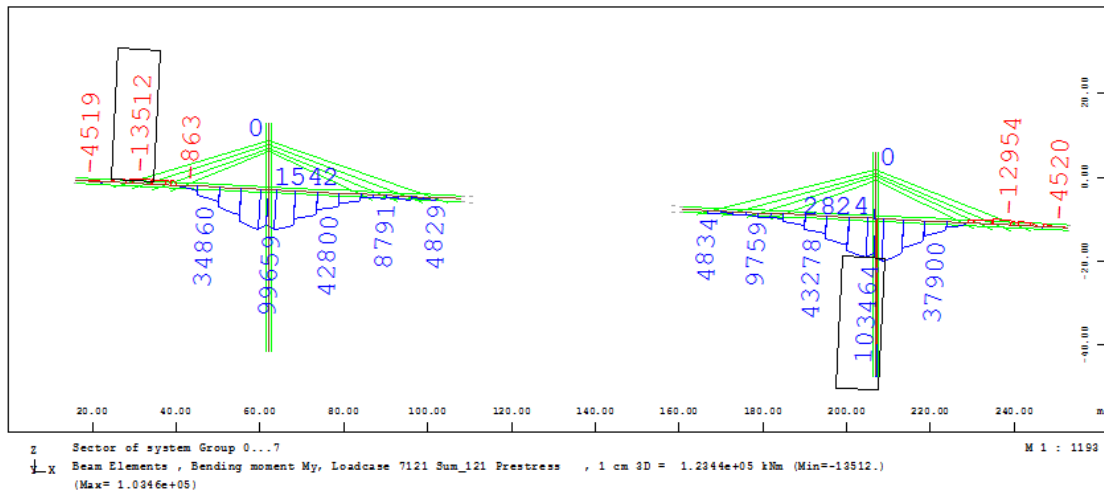


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

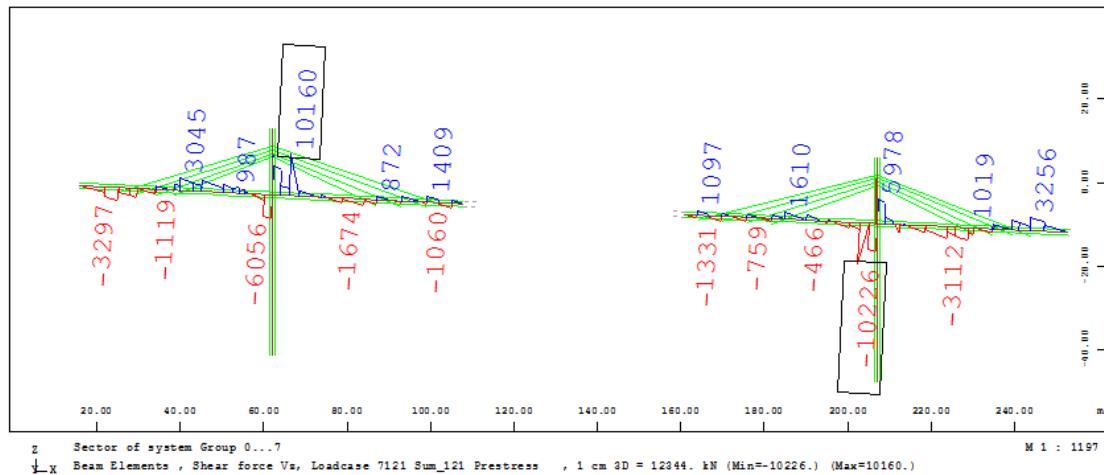


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

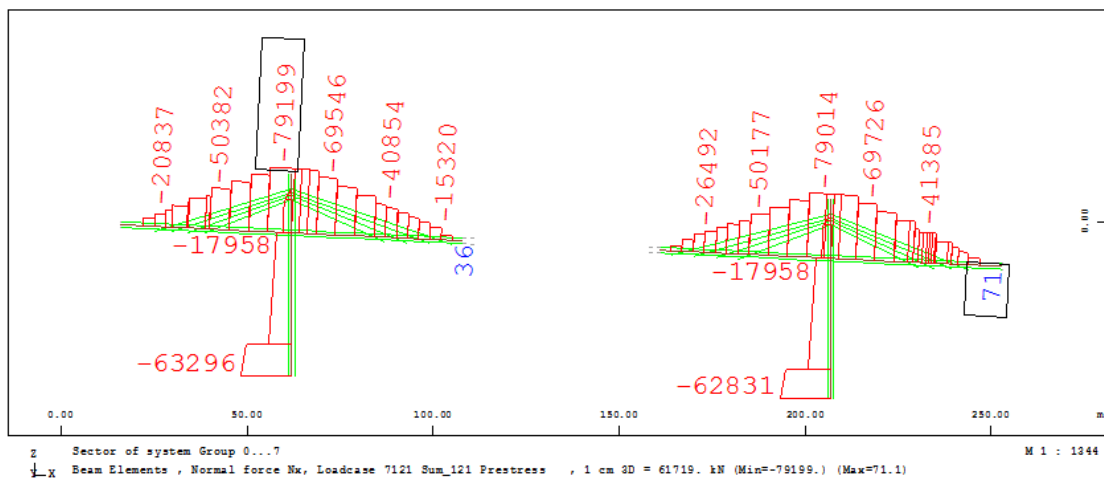
4.8. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 121 (τάνυση αναρτ. 4)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

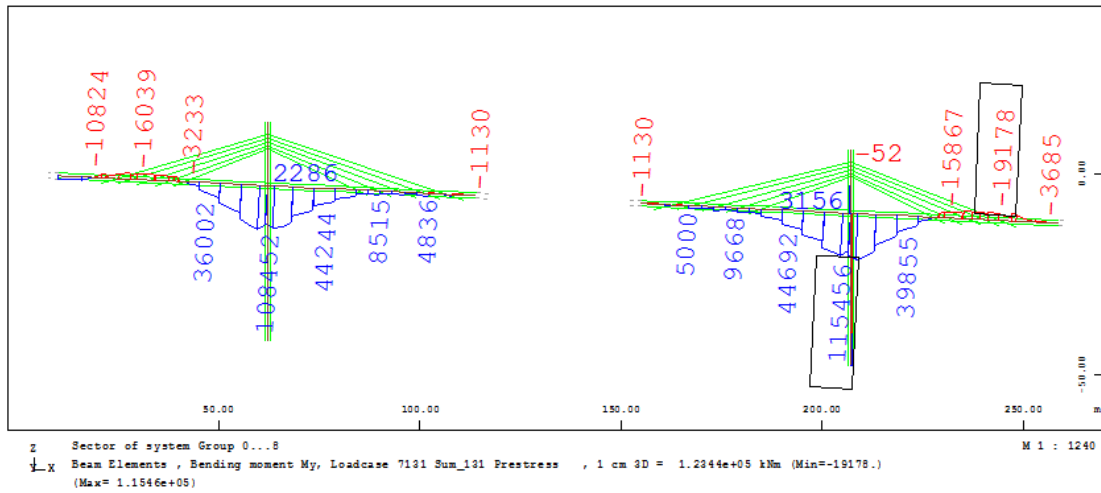


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

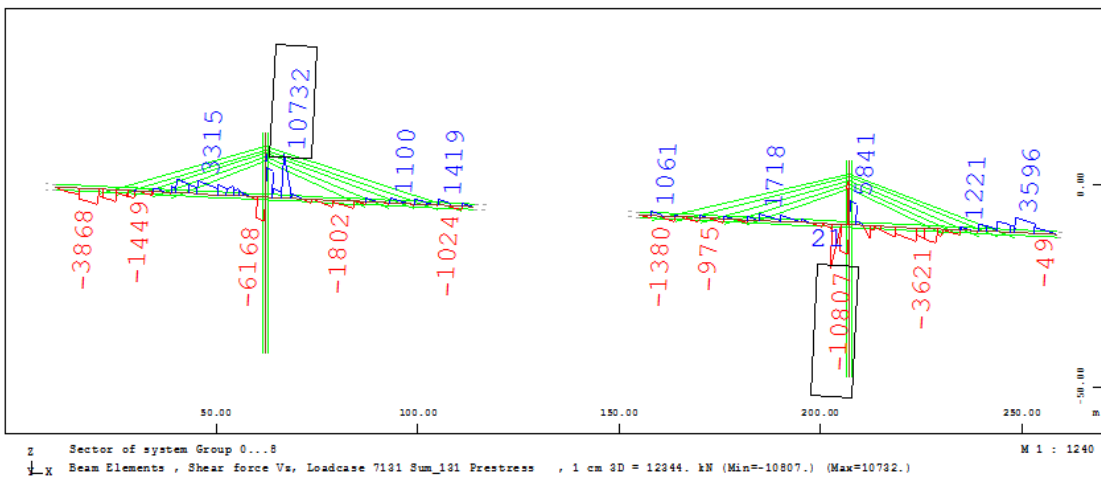


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

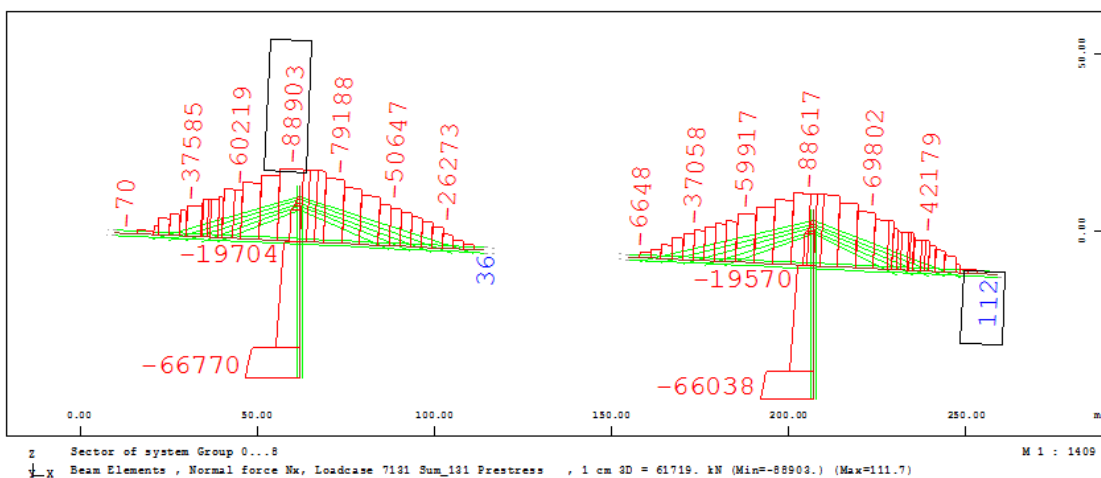
4.9. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 131 (τάνυση αναρτ. 5)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

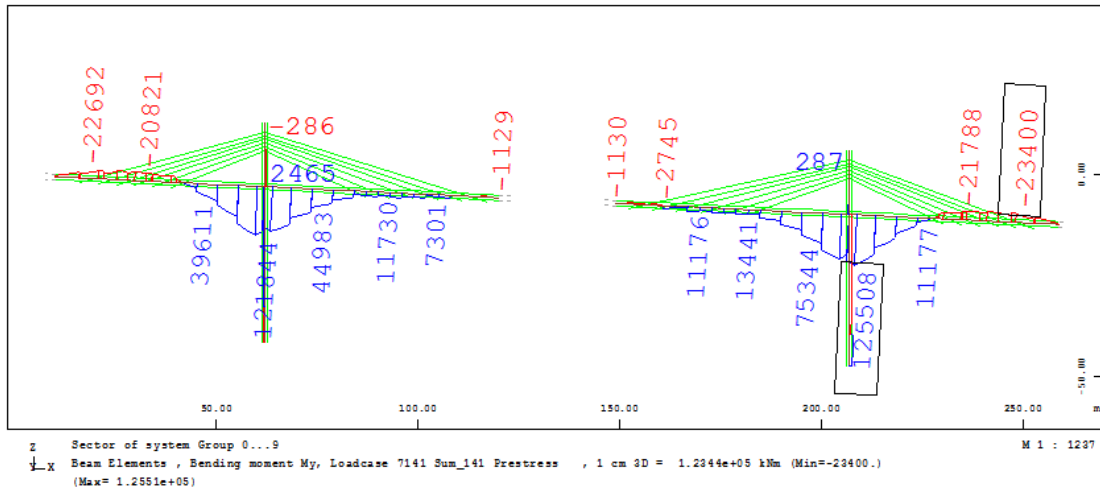


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

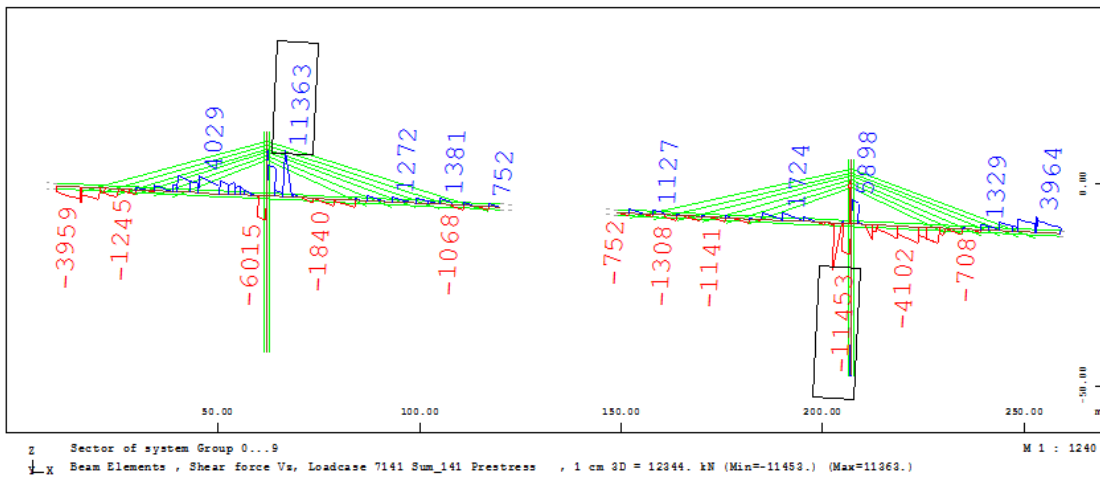


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

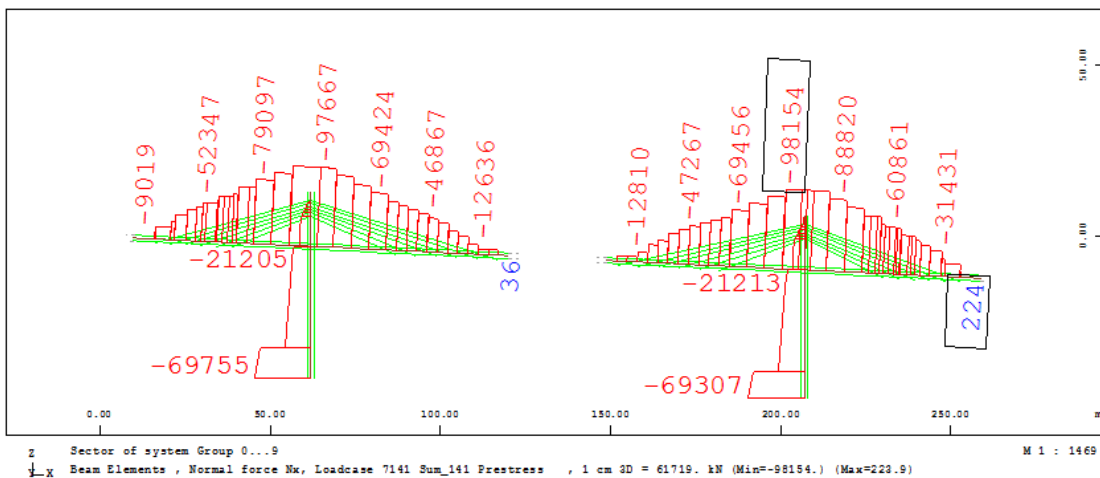
4.10. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 141 (τάνυση αναρτήρων 6)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

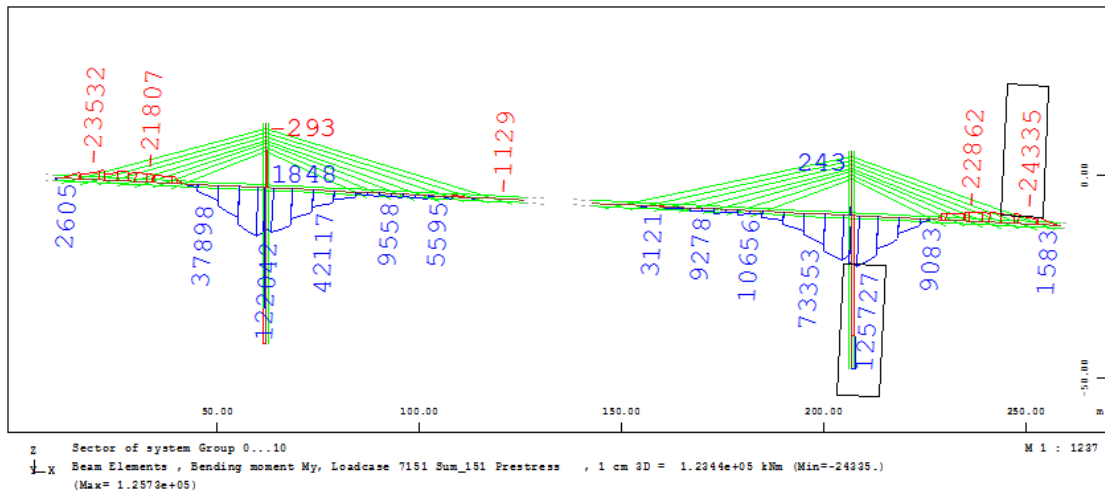


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

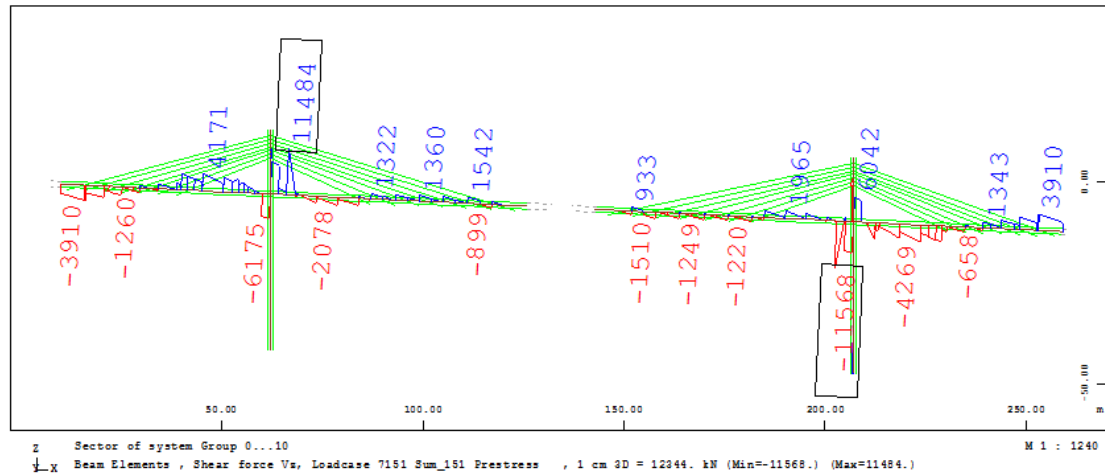


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

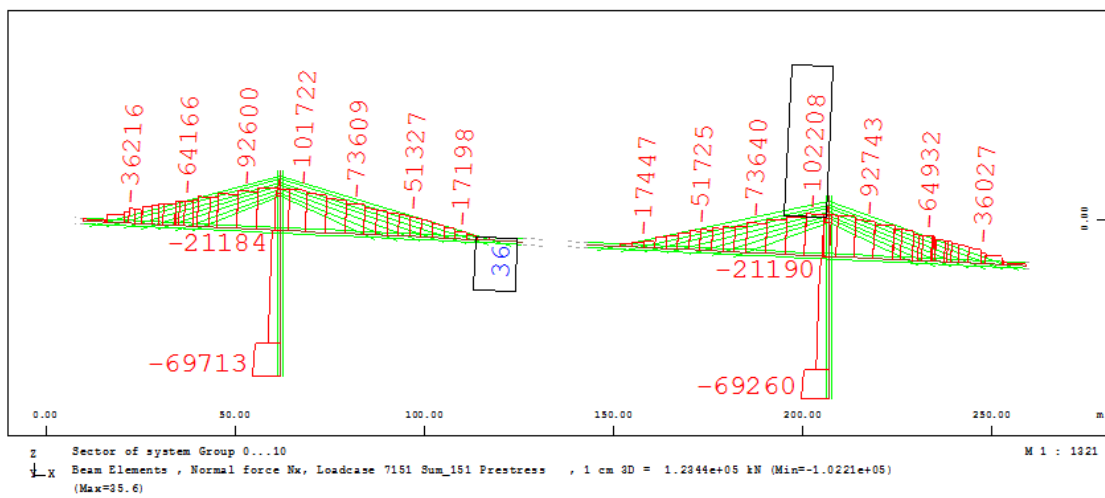
4.11. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 151 (τάνυση αναρτήρων 7)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

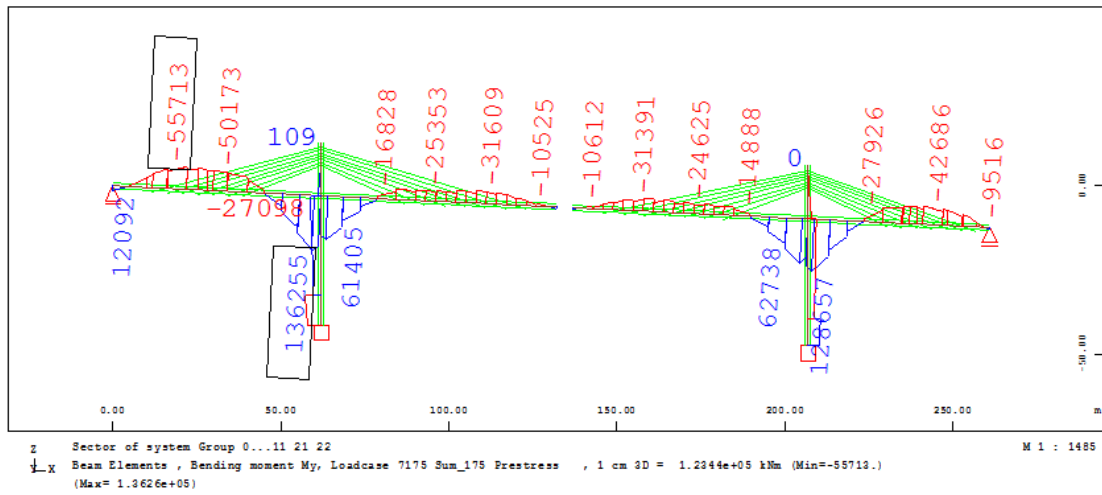


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

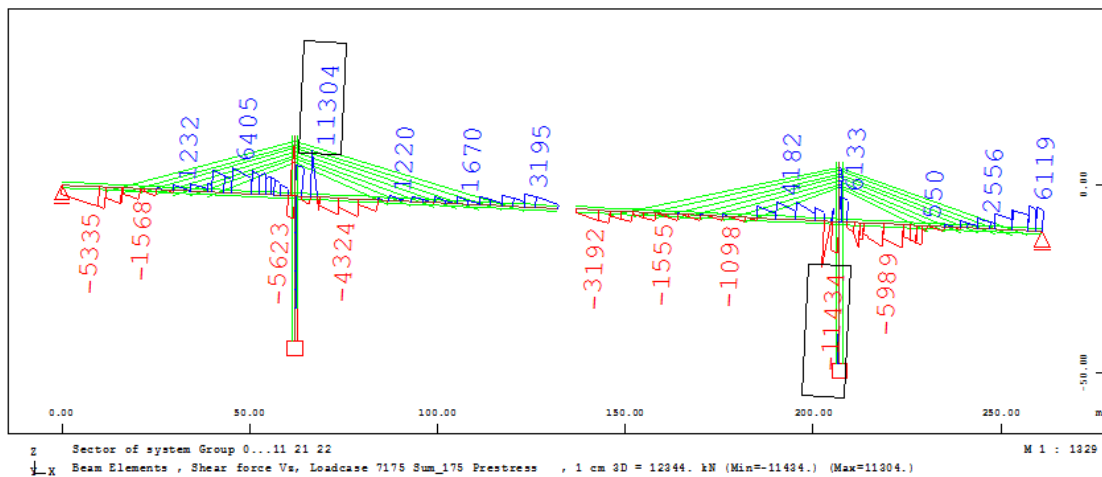


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

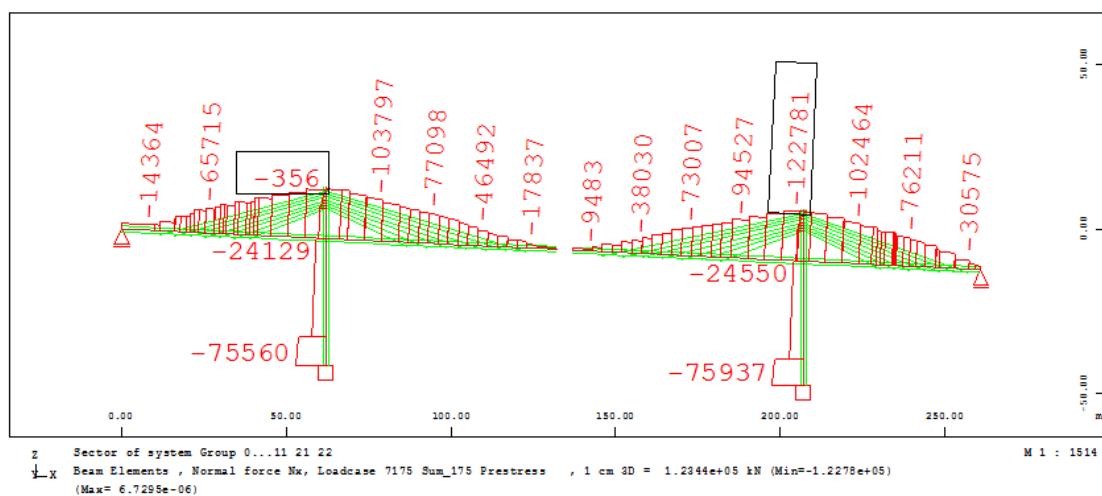
#### 4.12. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 175 (πριν την αποκατάσταση της συνέχειας)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

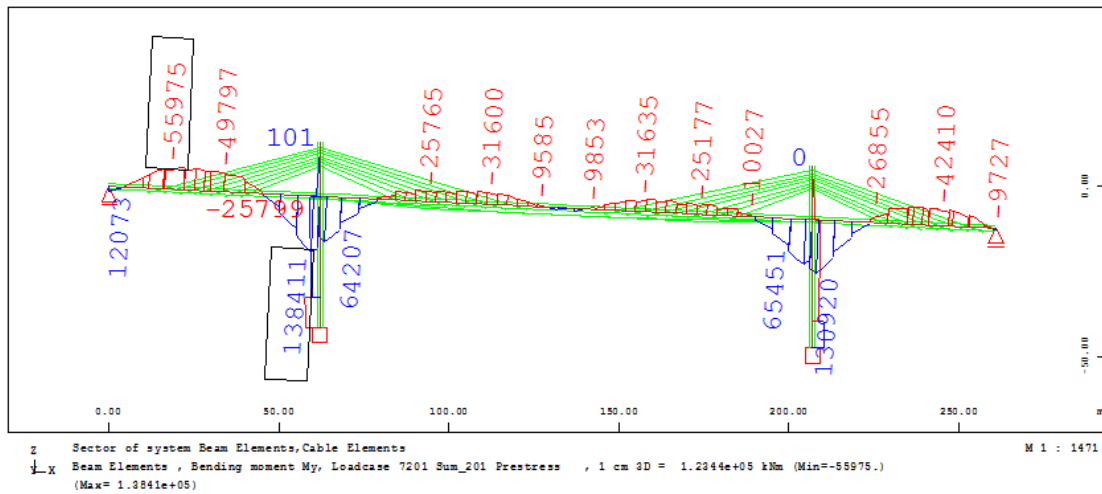


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

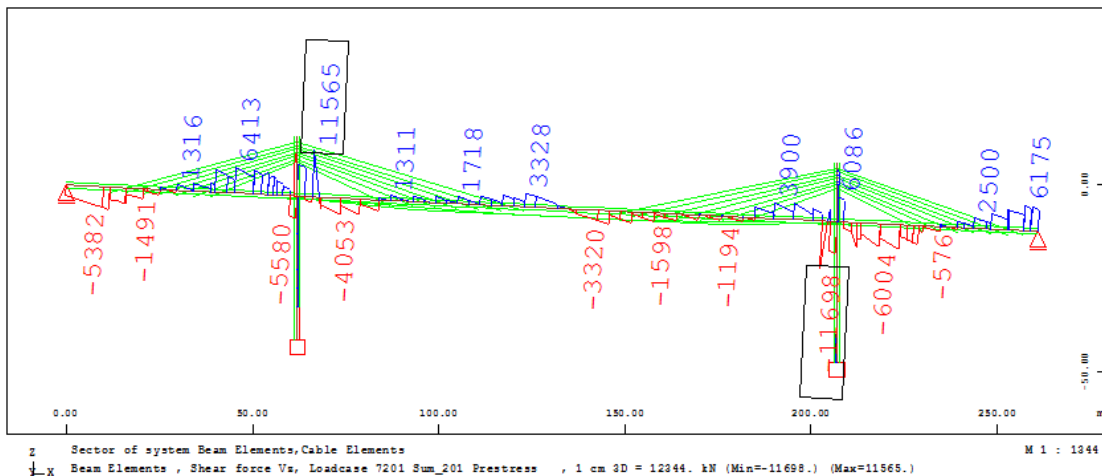


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

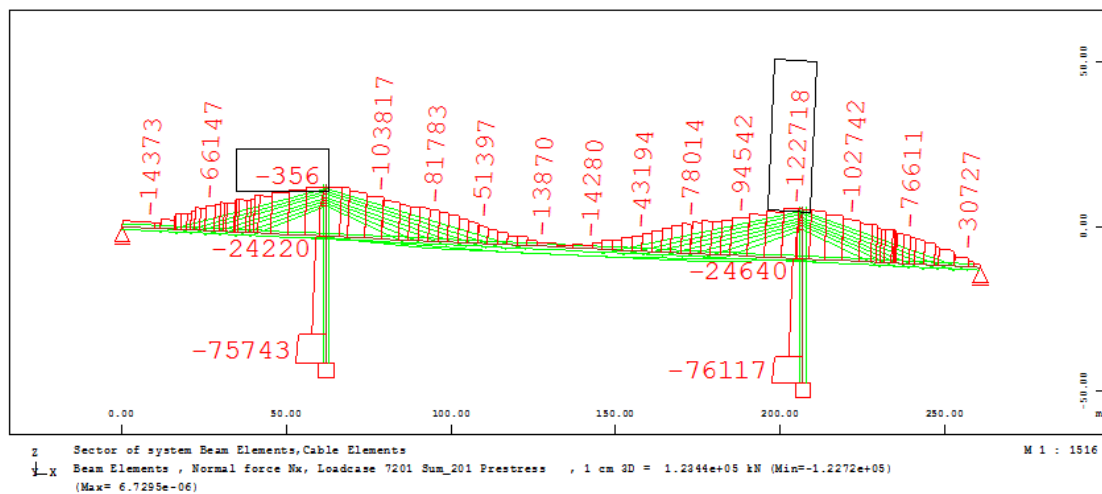
4.13. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 201 (μετά την αποκατάσταση της συνέχειας)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

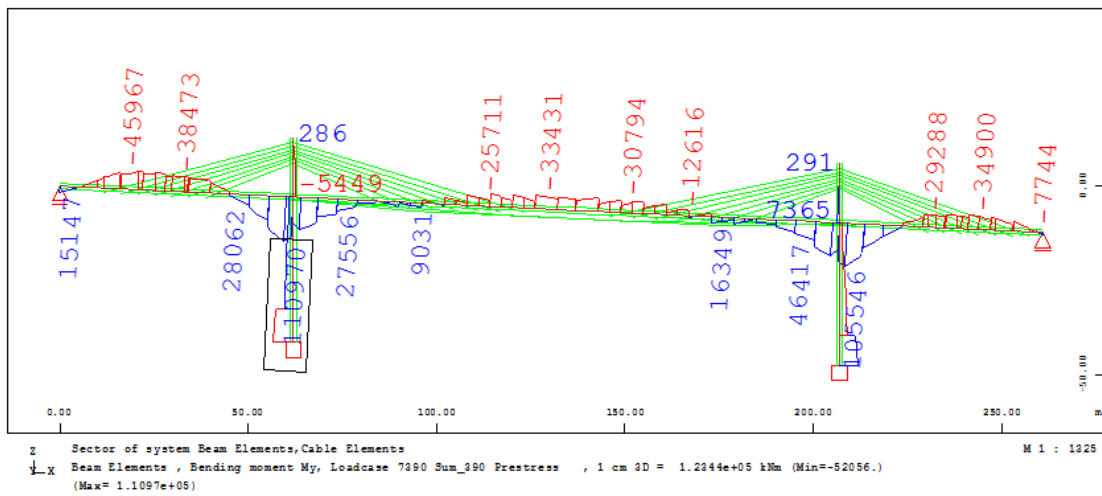


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

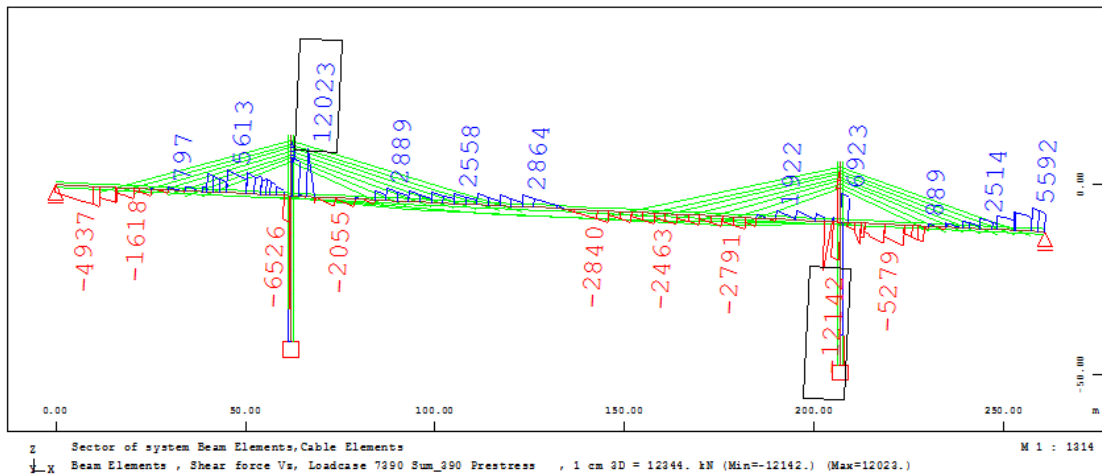


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

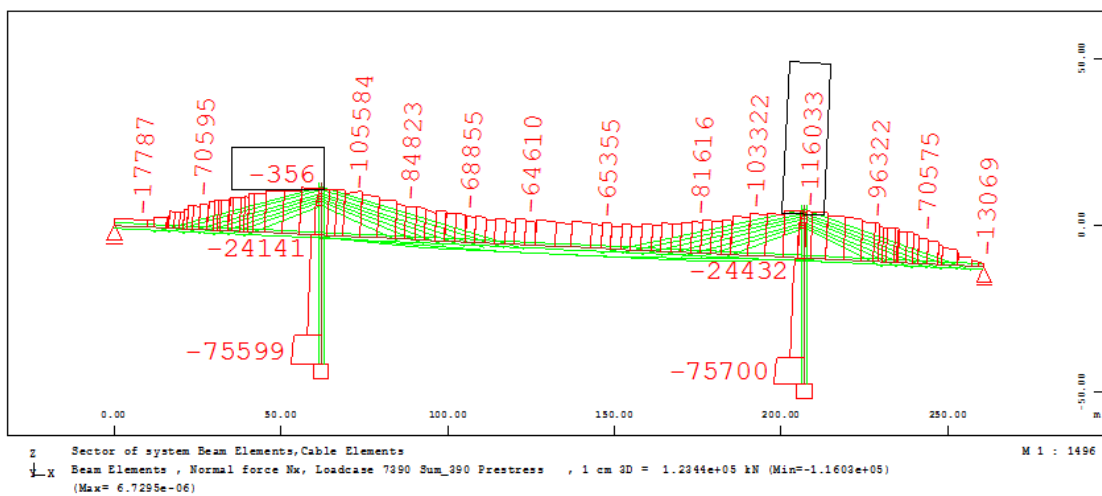
#### 4.14. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 390 (ολοκλήρωση προέντασης ανοίγματος)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)



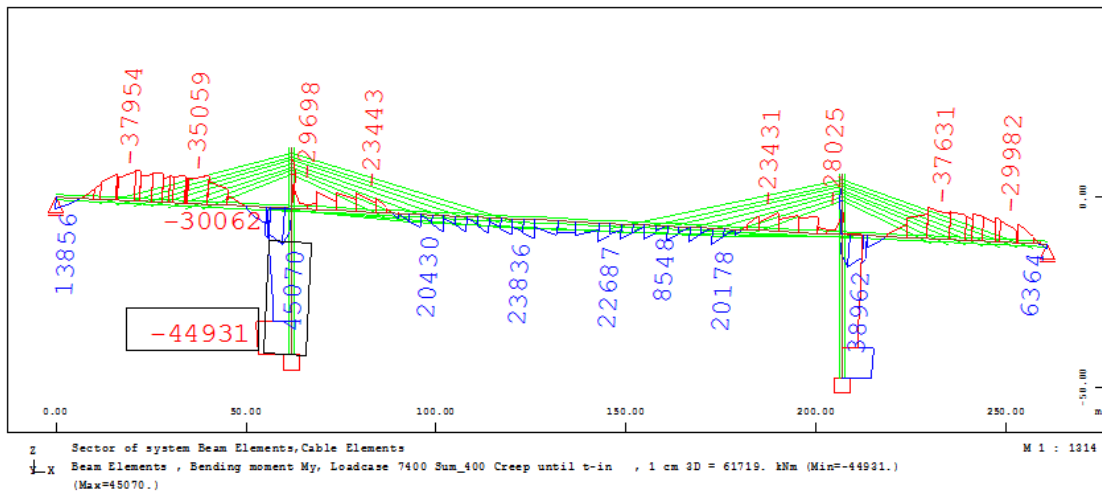
Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)



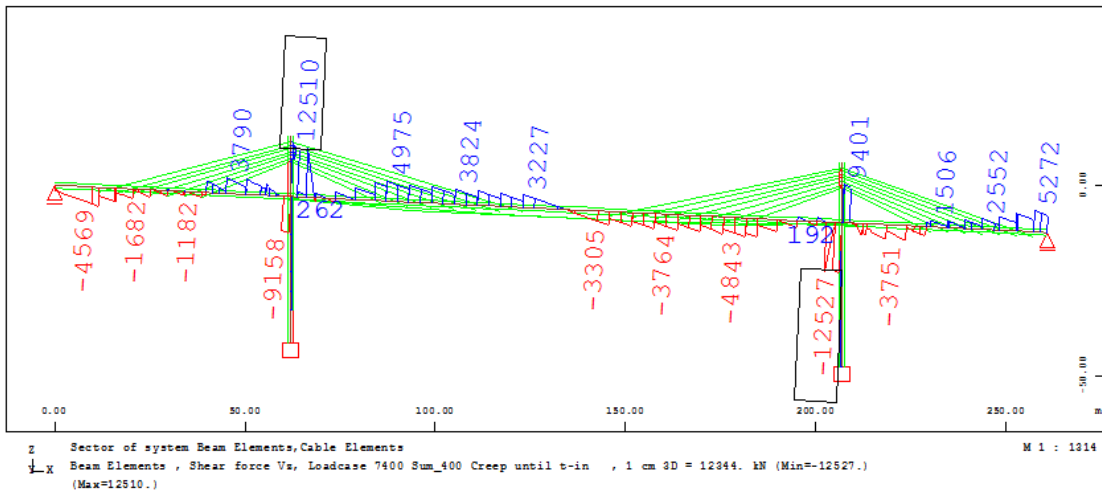
Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)



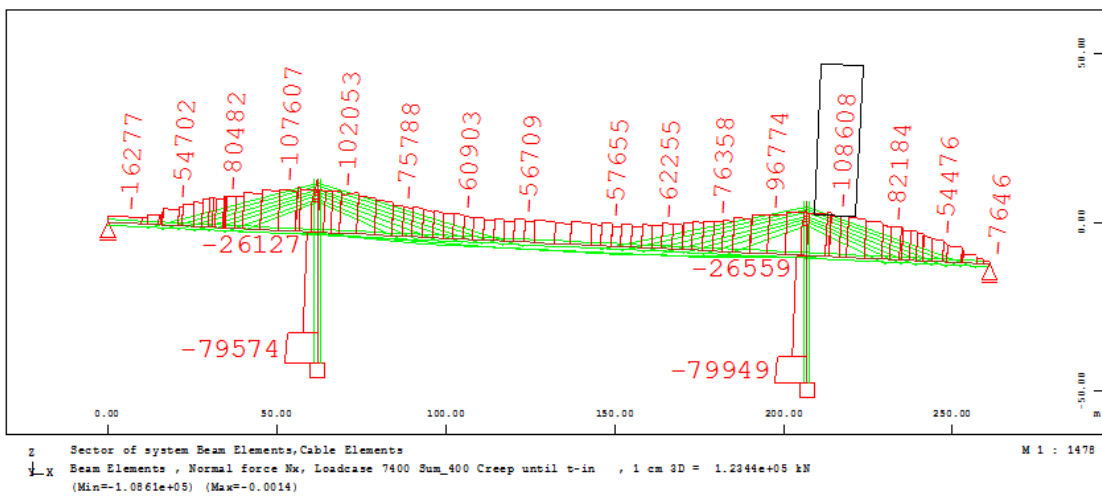
4.15. Άθροισμα εντάσεων μέχρι την φάση 400 (απώλειες προέντασης άπειρου χρόνου)



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

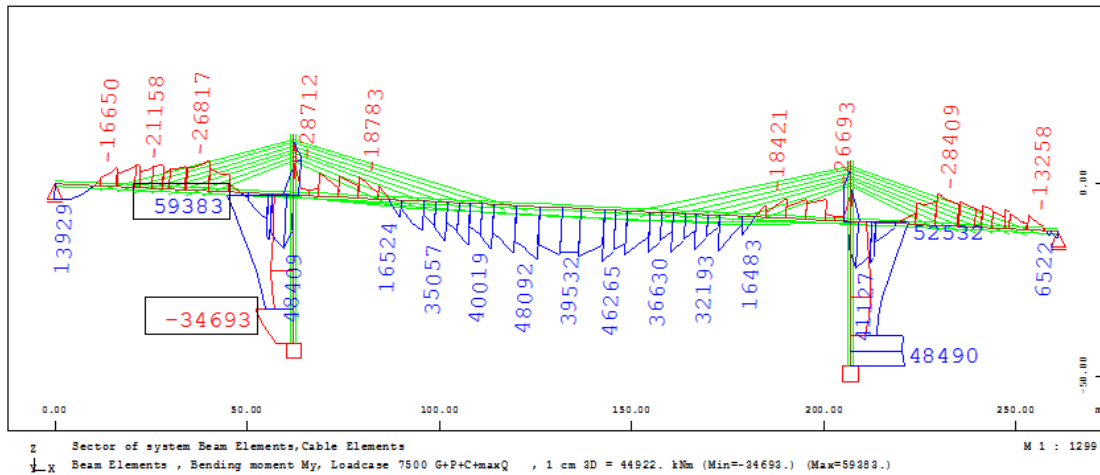


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

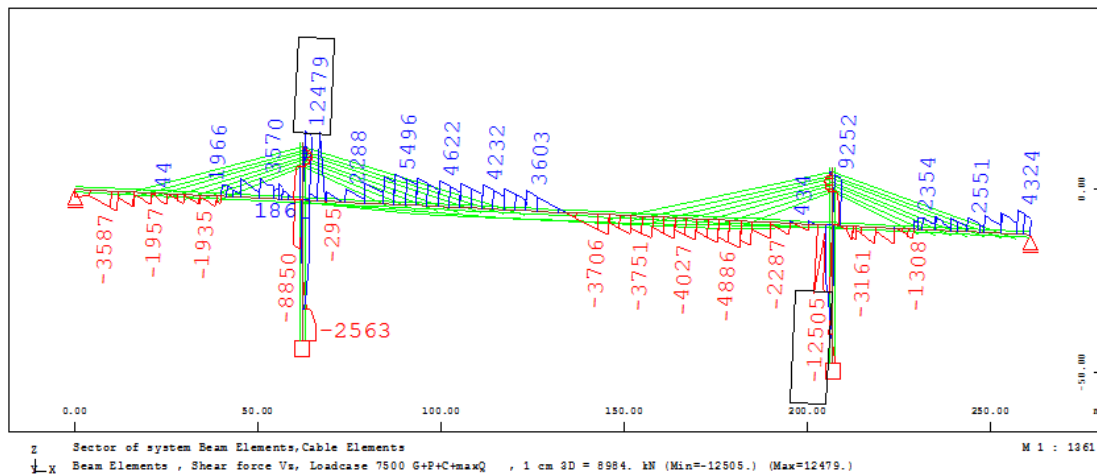


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

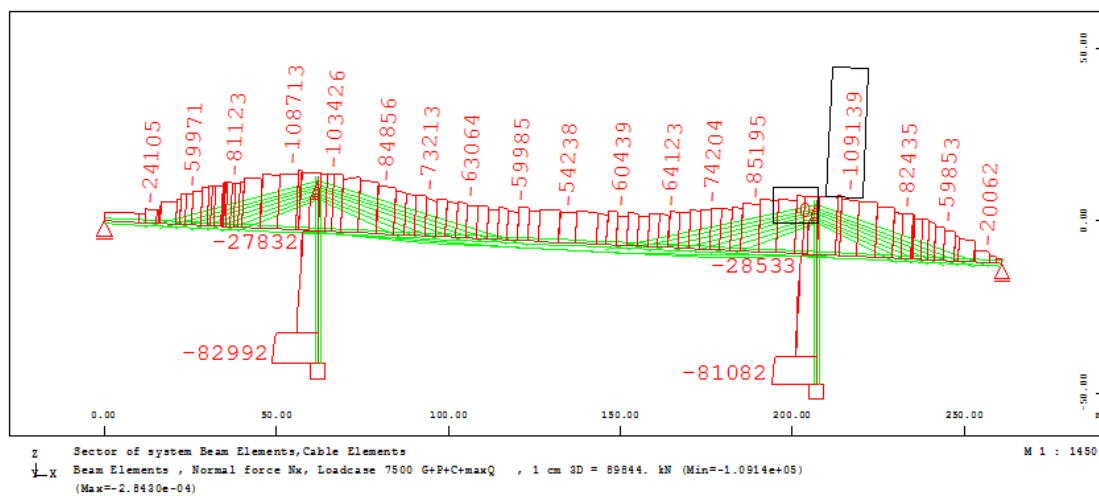
#### 4.16. Εντατικά μεγέθη χαρακτηριστικού συνδυασμού Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή ανοίγματος



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

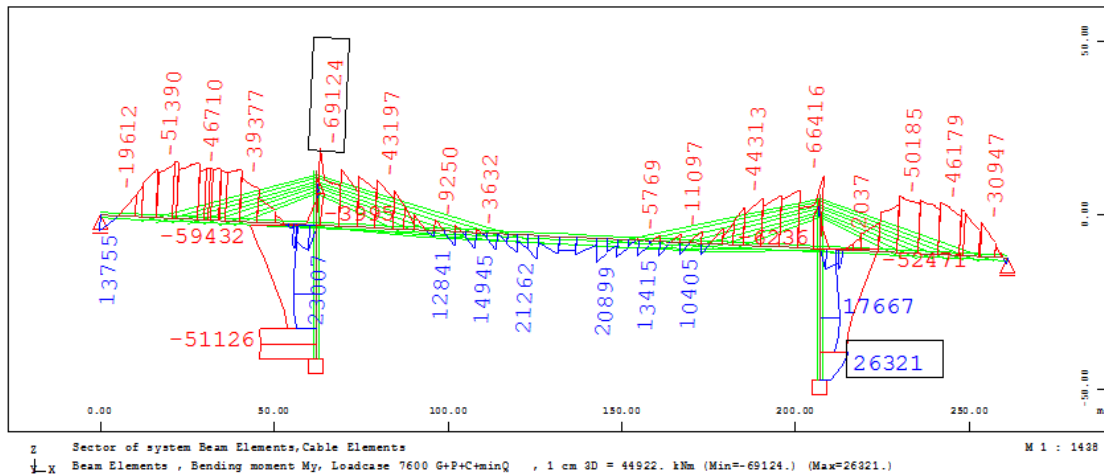


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

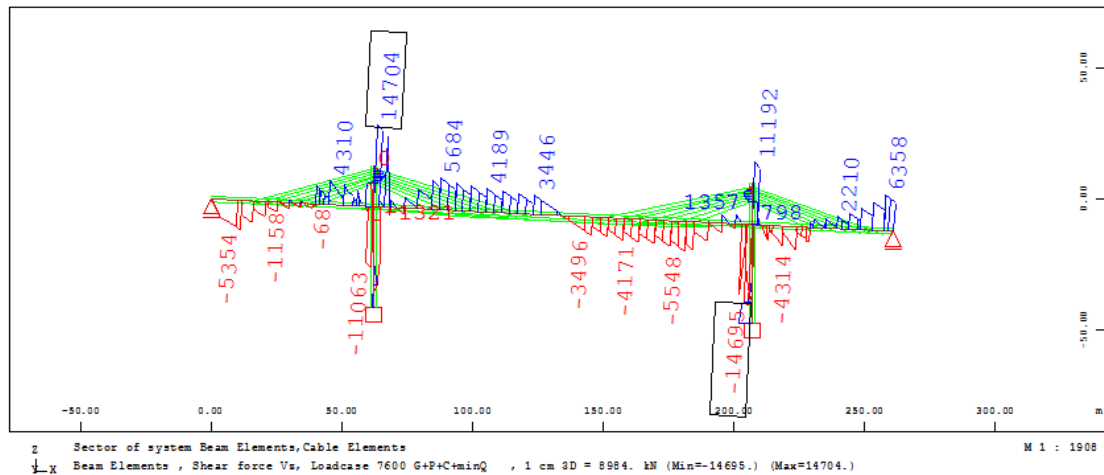


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

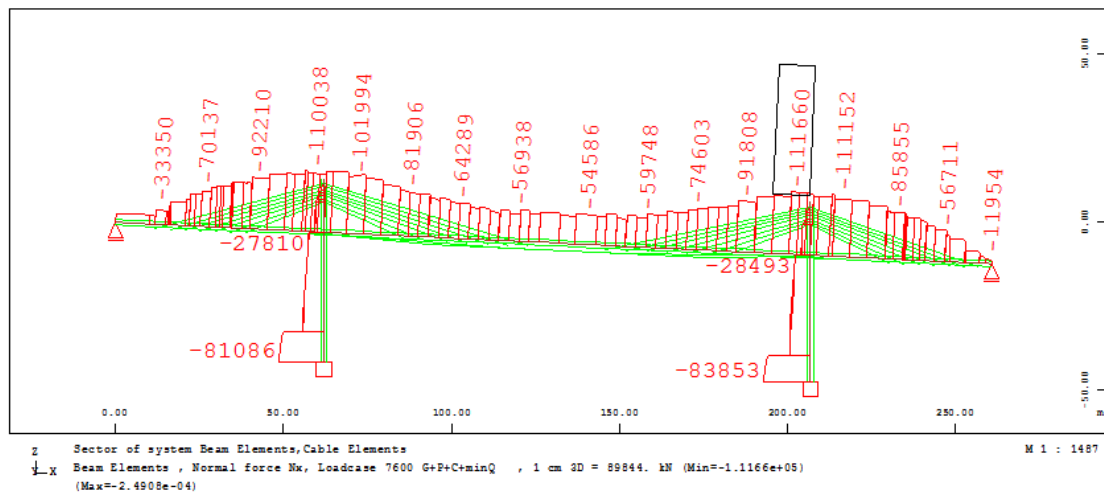
#### 4.17. Εντατικά μεγέθη χαρακτηριστικού συνδυασμού Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή στηρίξεως



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

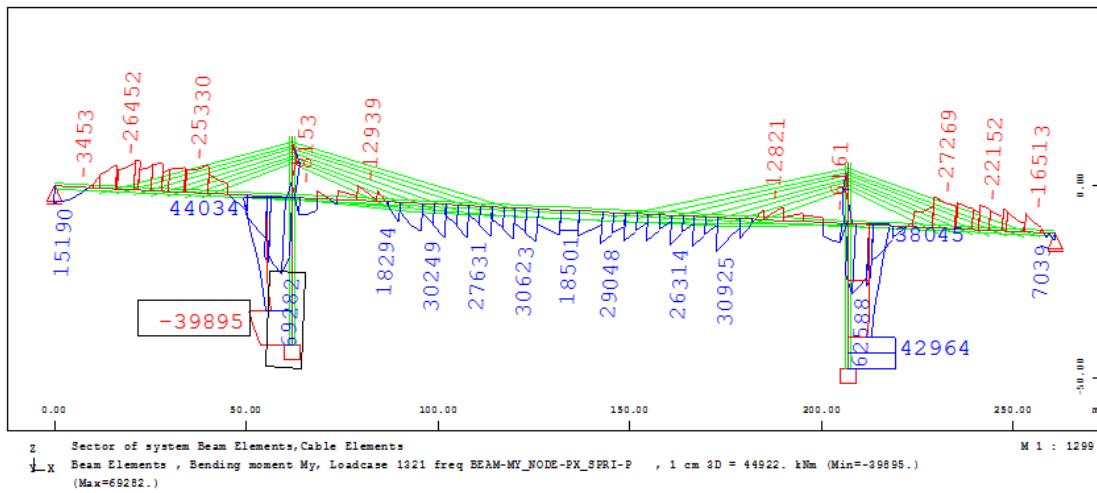


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

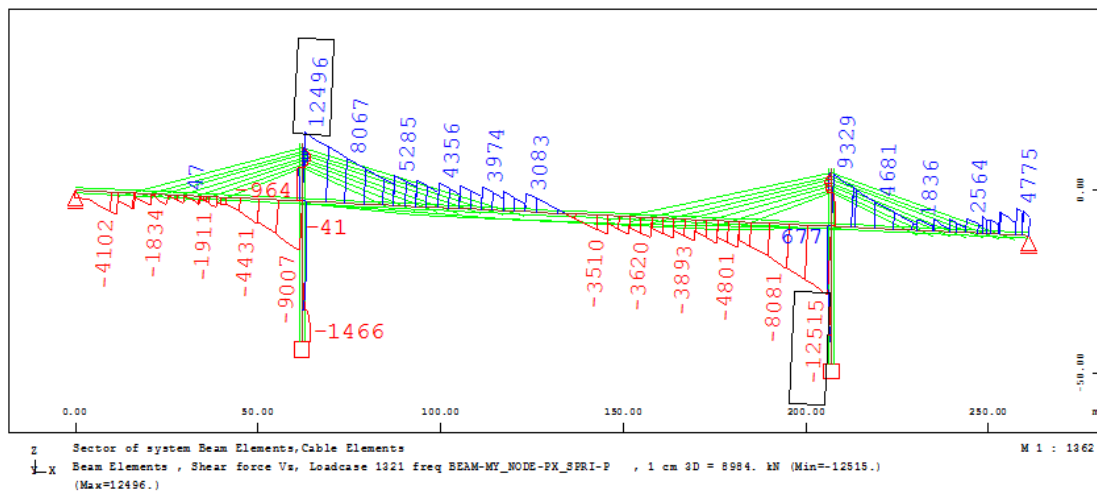


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

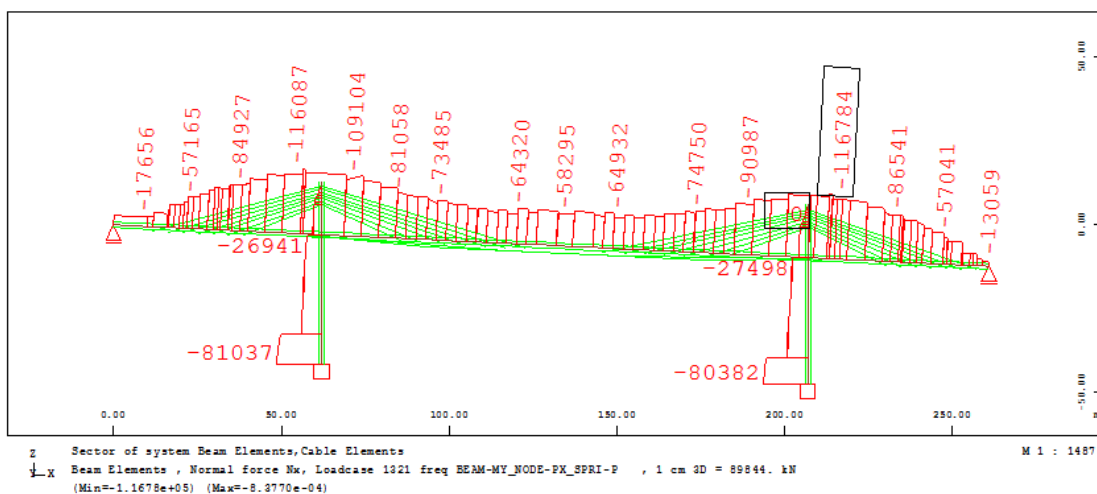
#### 4.18. Εντατικά μεγέθη συχνού συνδυασμού Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή ανοίγματος



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

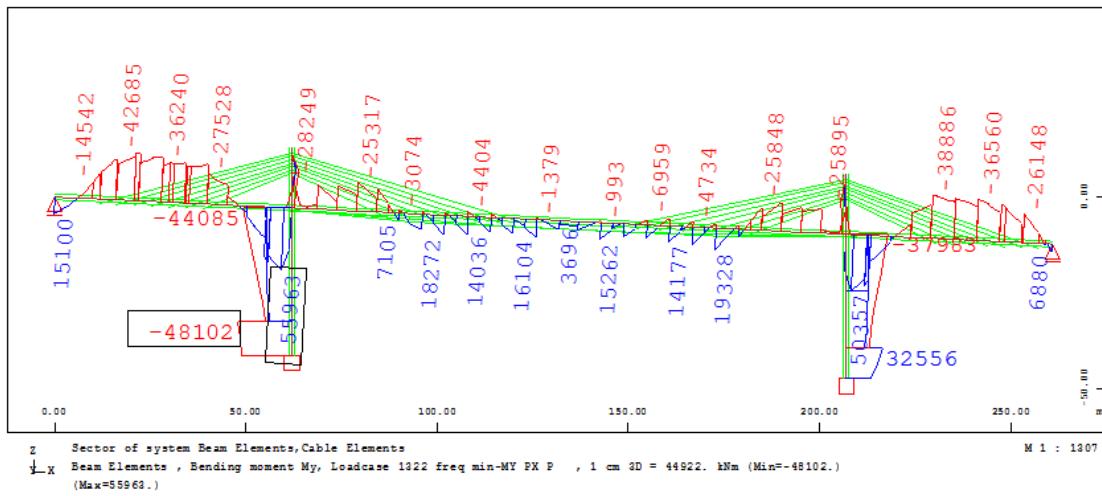


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

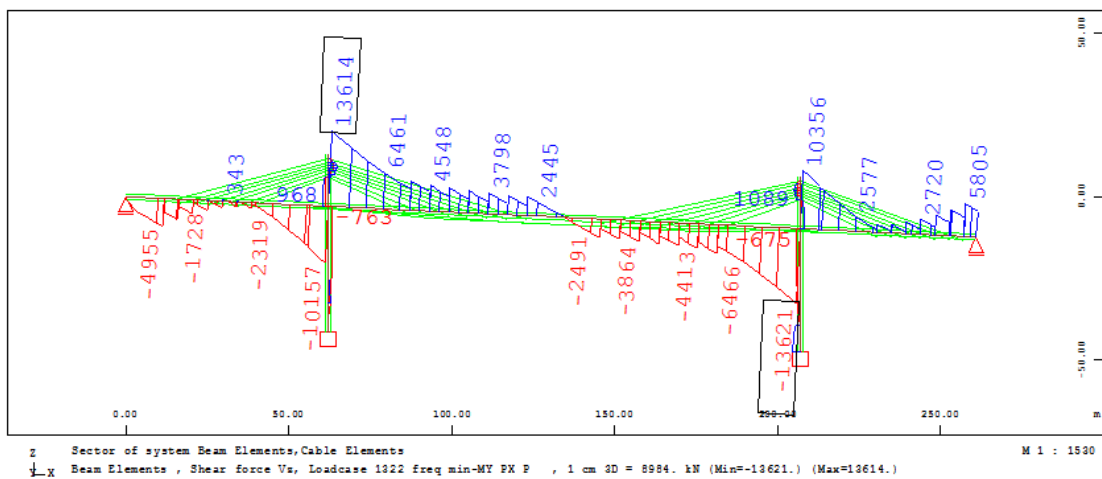


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

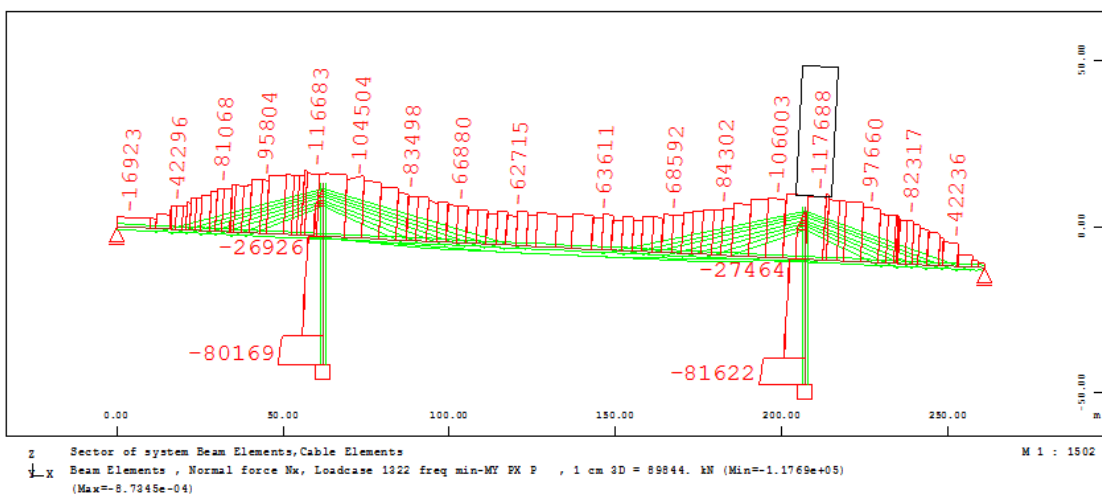
#### 4.19. Εντατικά μεγέθη συχνού συνδυασμού Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή στηρίξεως



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

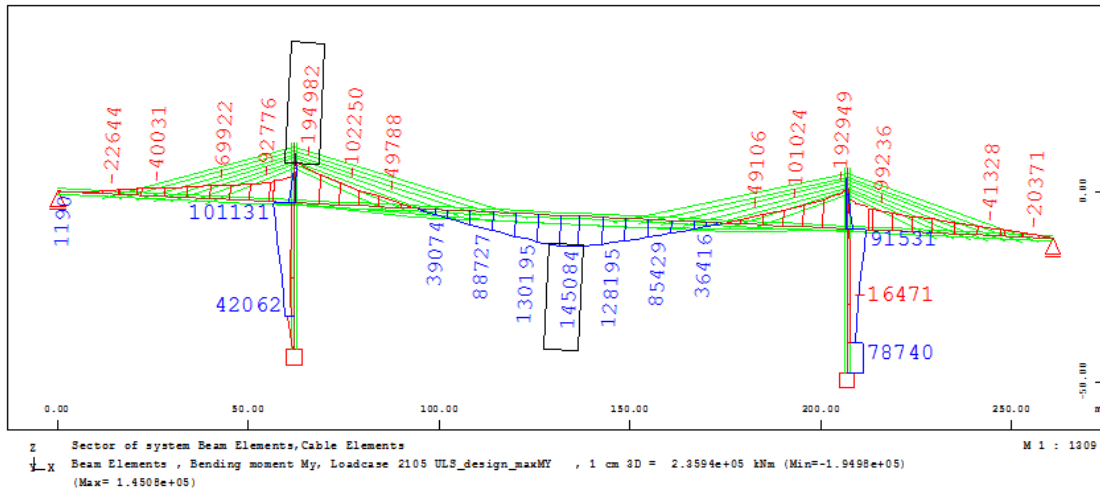


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

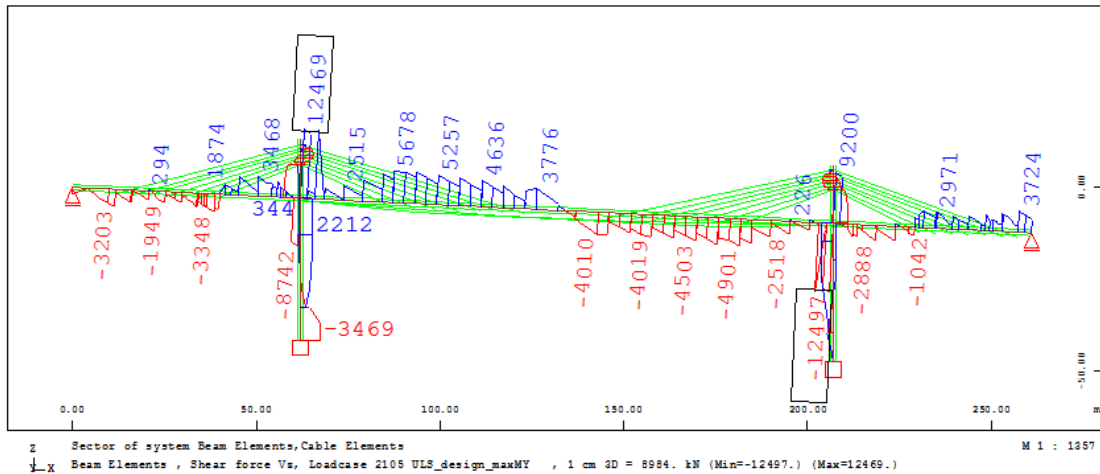


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

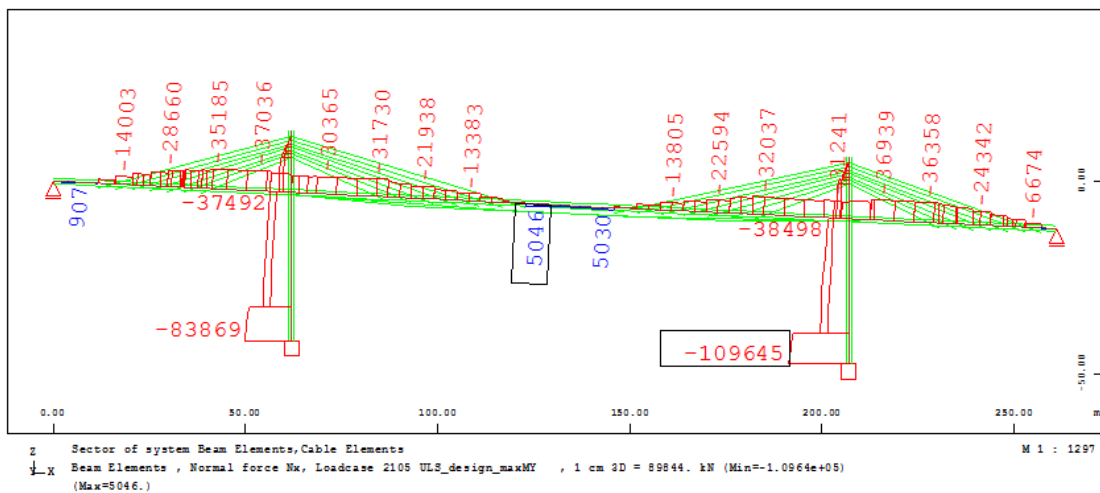
#### 4.20. Εντατικά μεγέθη συνδυασμού Ο.Κ.Α. για μέγιστη ροπή ανοίγματος



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)

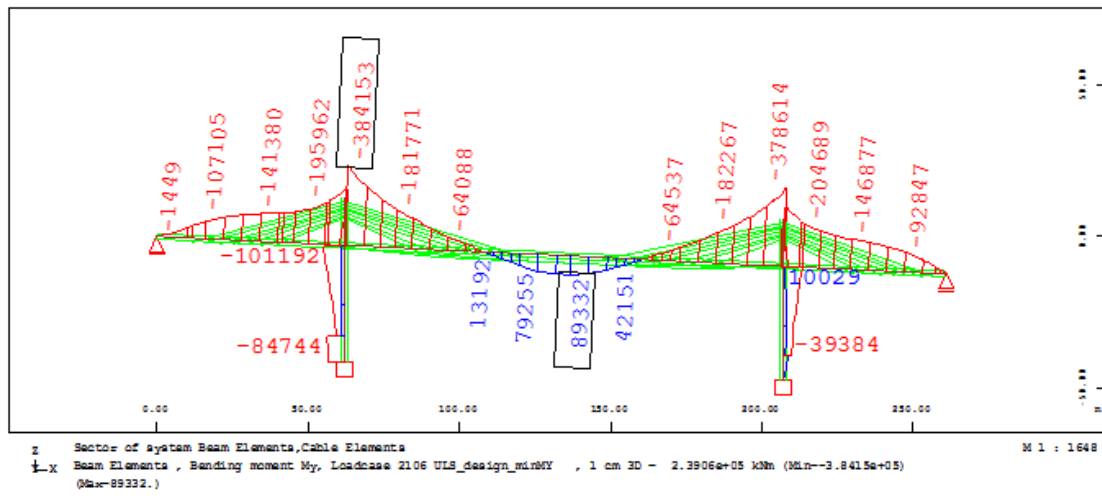


Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)

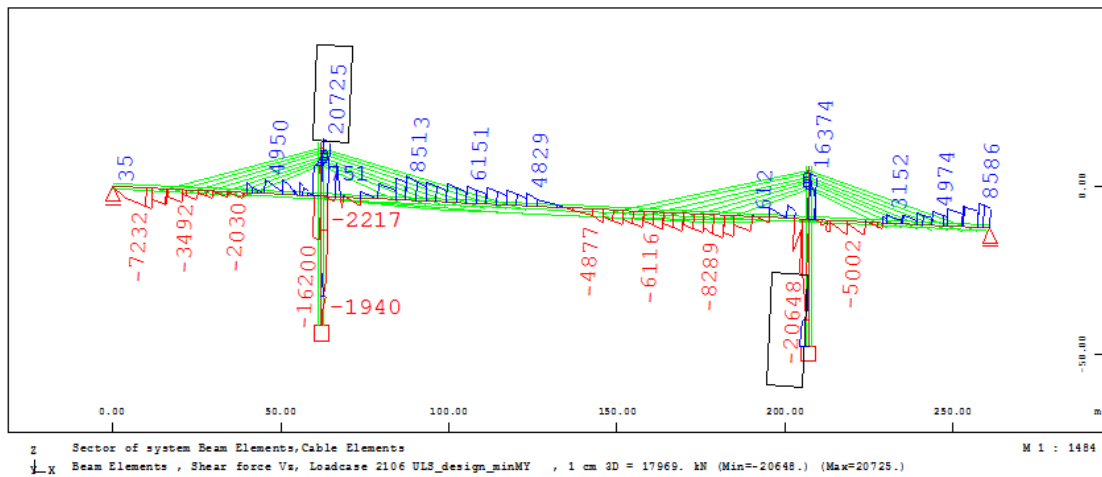


Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

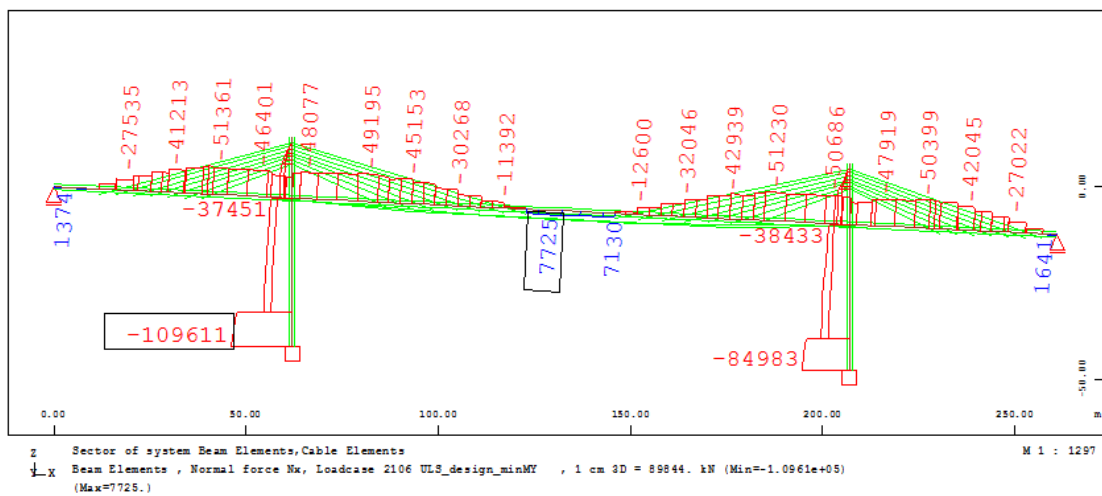
#### 4.21. Εντατικά μεγέθη συνδυασμού Ο.Κ.Α. για μέγιστη ροπή στηρίξεως



Διάγραμμα καμπτικών ροπών  $M_y$  (kNm)



Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων  $V_z$  (kN)



Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων  $N_x$  (kN)

## 5. Έλεγχοι

### 5.1. Έλεγχος τάσεων Ο.Κ.Λ.

Ελέγχονται οι τάσεις άνω και κάτω ίνας του κιβωτίου σε κάθε φάση κατασκευής και υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό Ο.Κ.Λ. Στόχος είναι ο περιορισμός των εφελκυστικών τάσεων σε τιμές μικρότερες της μέσης εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος ( $f_{ctm}=3.5 \text{ MPa}$ ). Επίσης, οι θλιπτικές τάσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 45% της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος ( $f_{ck}=40 \text{ MPa}$ ) ή το 60% με παραδοχή μη γραμμικού ερπυσμού. Επομένως ελέγχονται τα εξής:

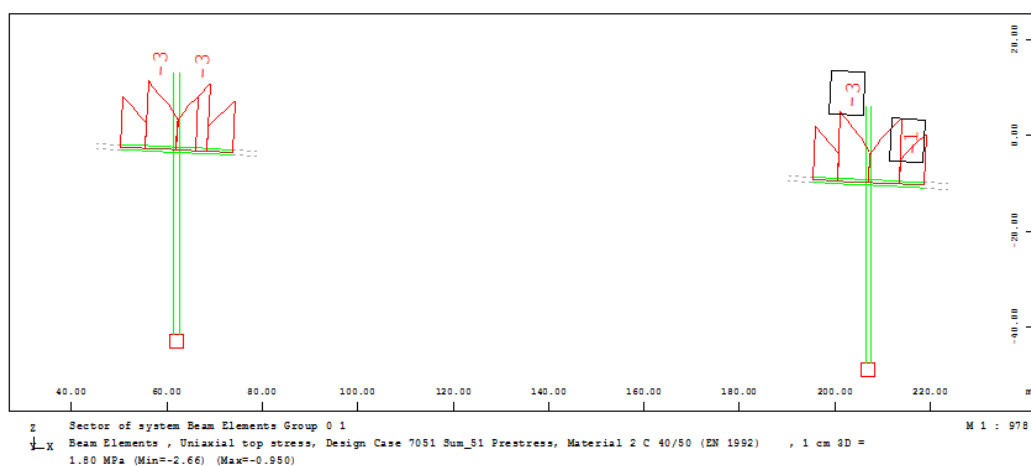
$$\sigma_1 \geq -18 \text{ MPa} \quad \text{ή} \quad \sigma_1 \geq -24 \text{ MPa}$$

όπου  $\sigma_1$  η πλέον θλιβόμενη ίνα. Ομοίως πρέπει:

$$\sigma_2 \leq 3.5 \text{ MPa}$$

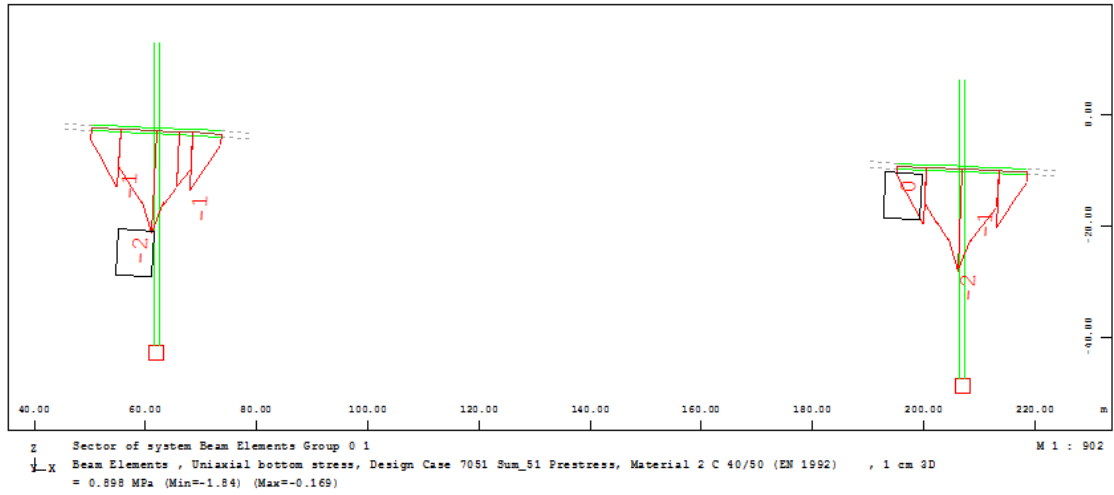
όπου  $\sigma_2$  η πλέον εφελκυσόμενη ίνα.

### Φάση 4



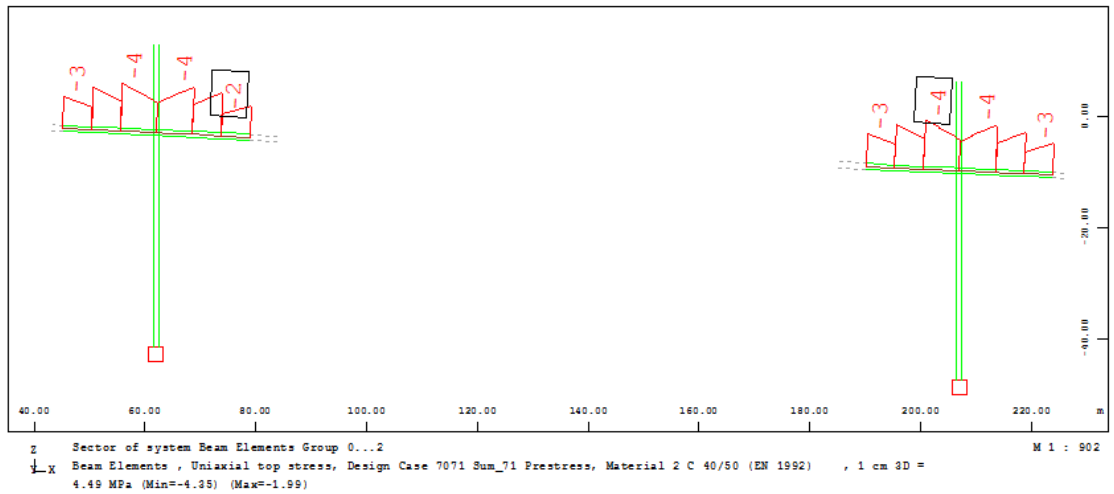
Τάσεις άνω ίνας (MPa)



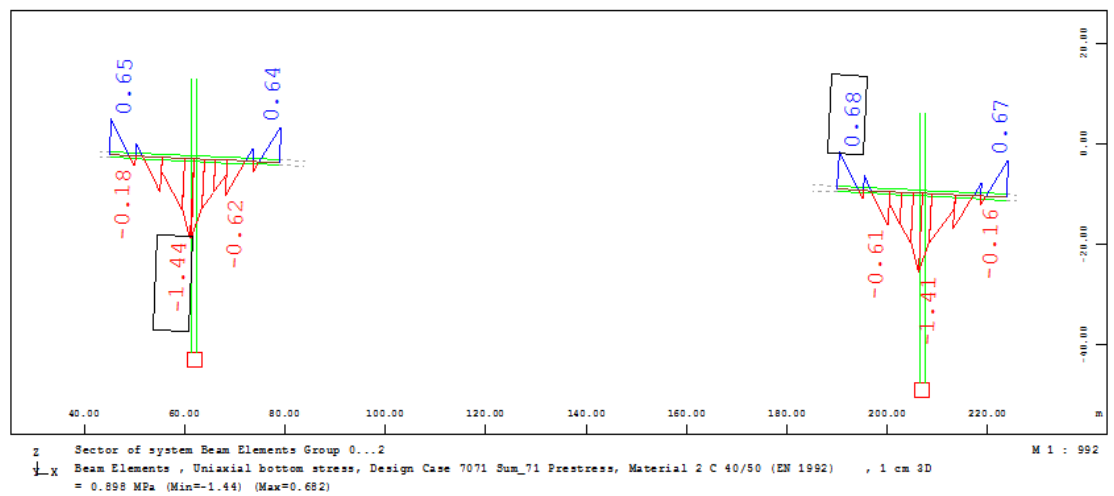


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

Φάση 5

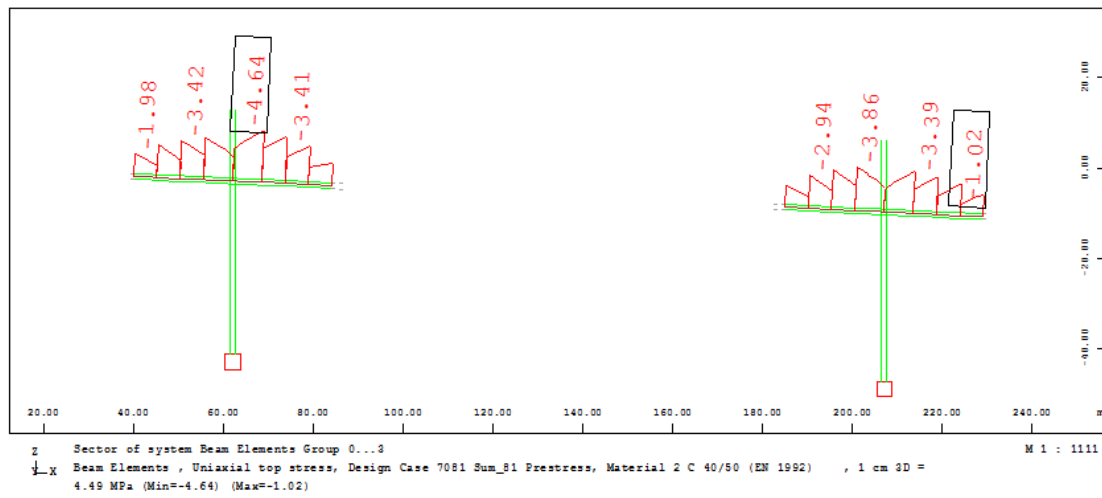


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

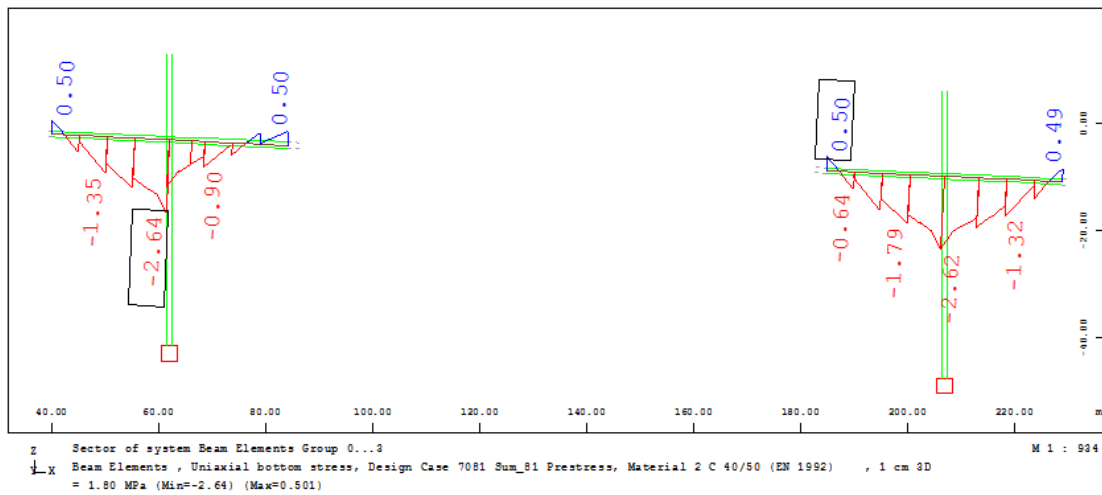


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

## Φάση 6

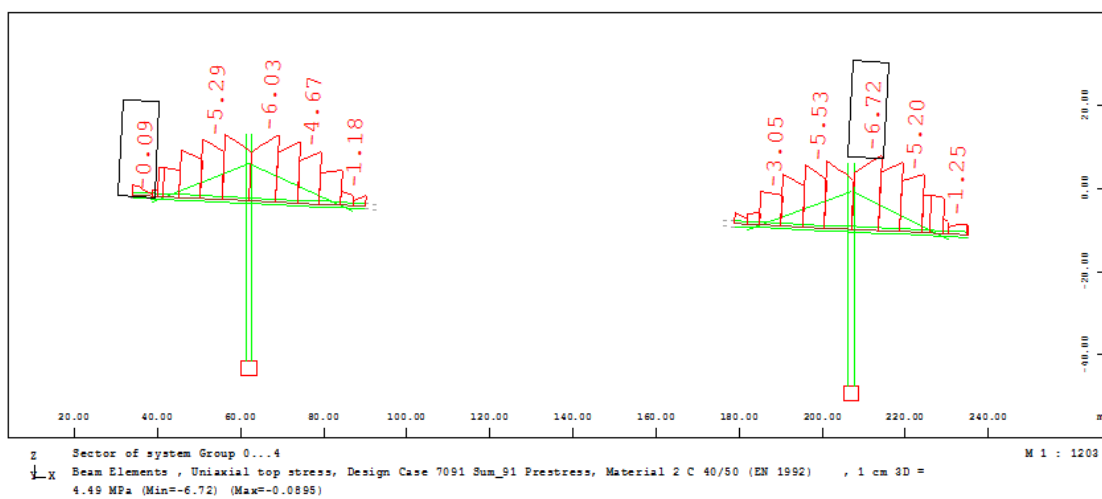


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

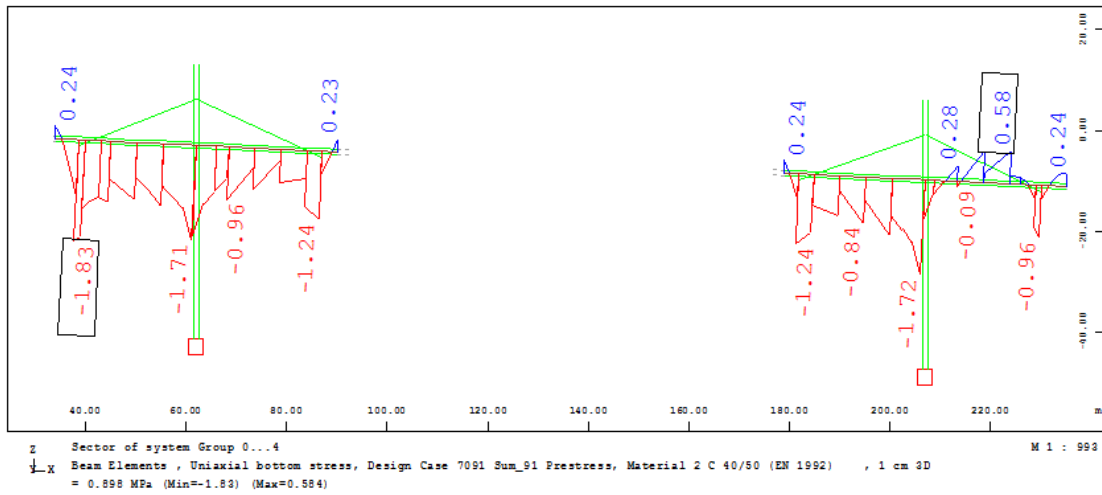


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

## Φάση 7

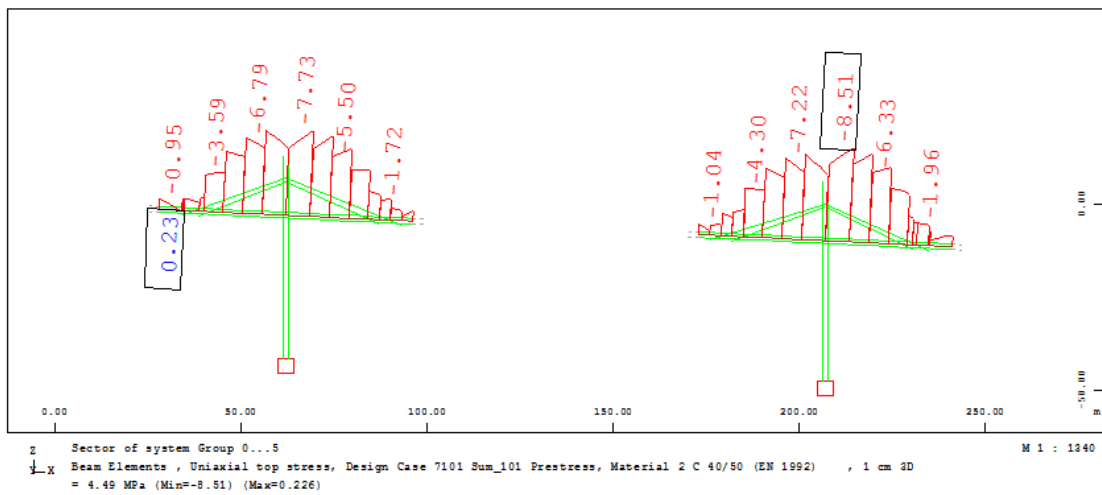


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

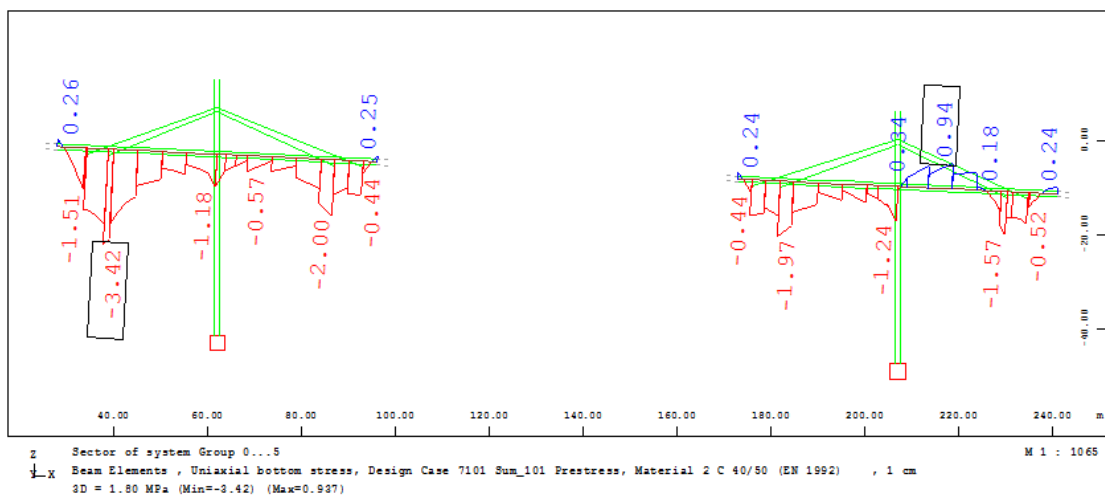


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

Φάση 8

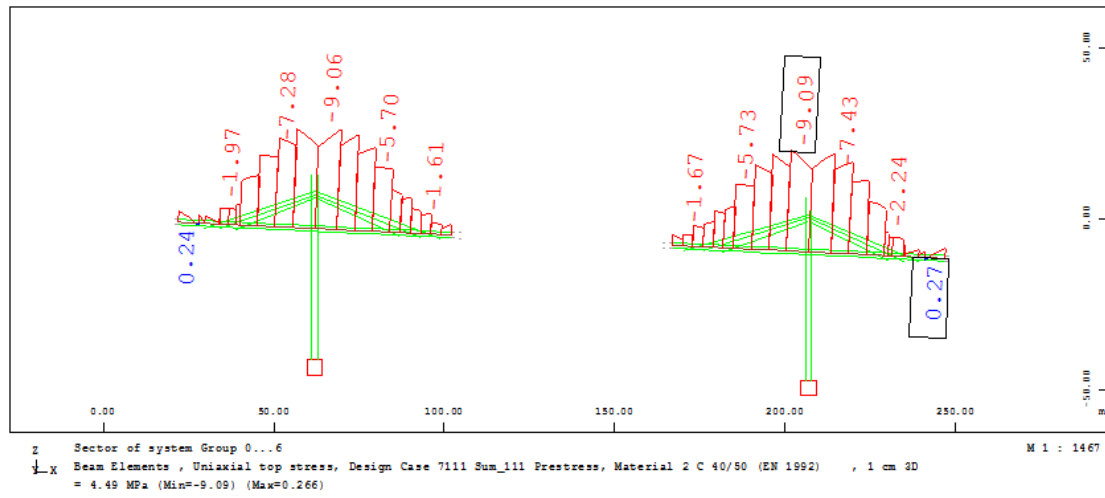


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

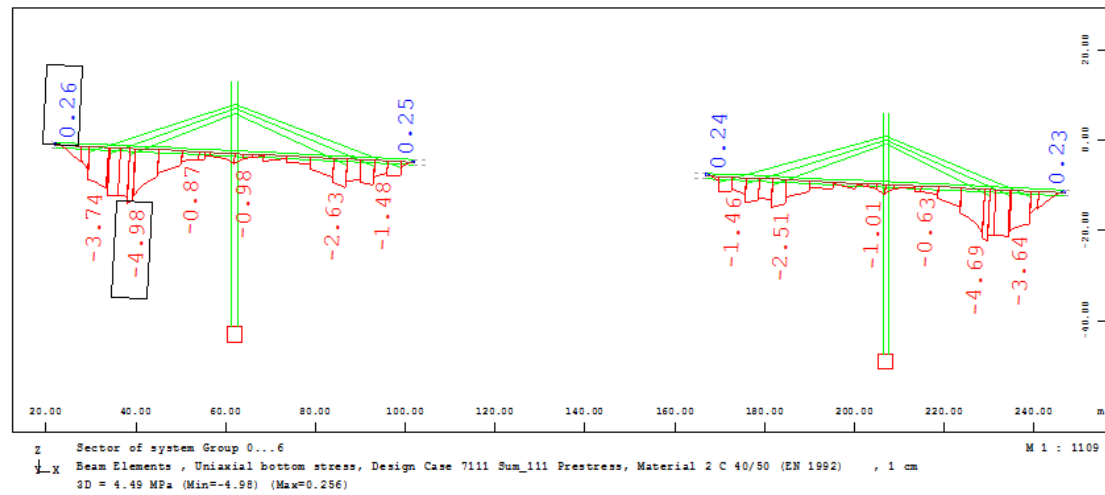


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

## Φάση 9

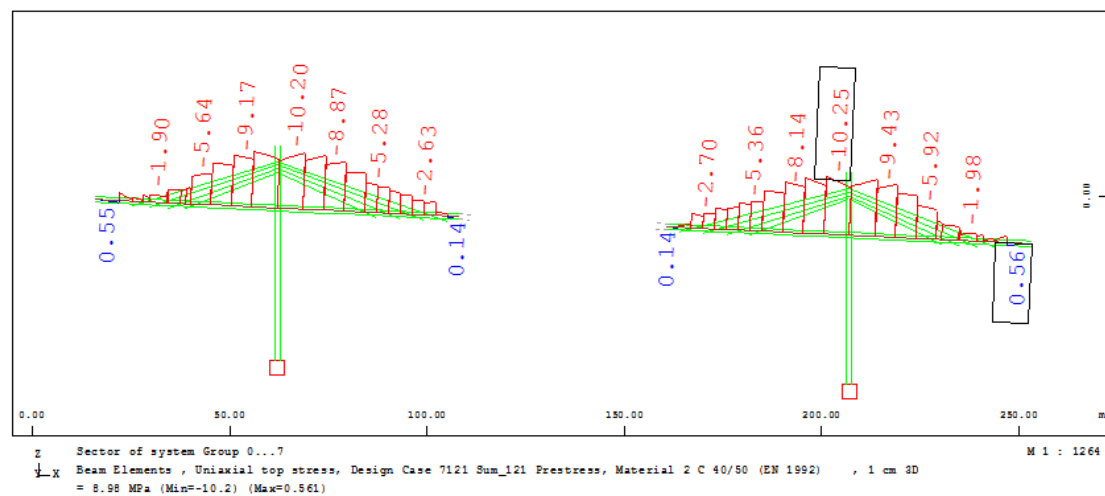


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

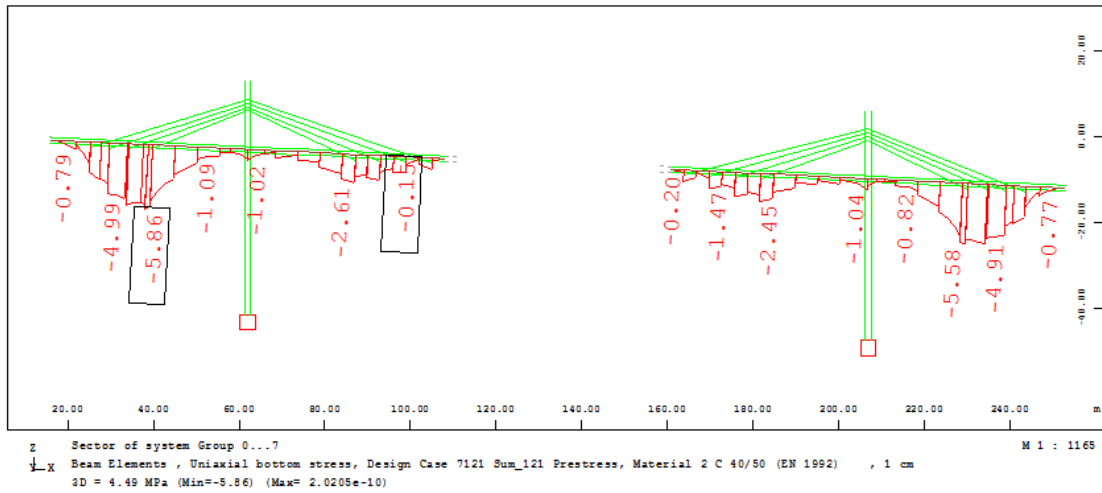


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

## Φάση 10

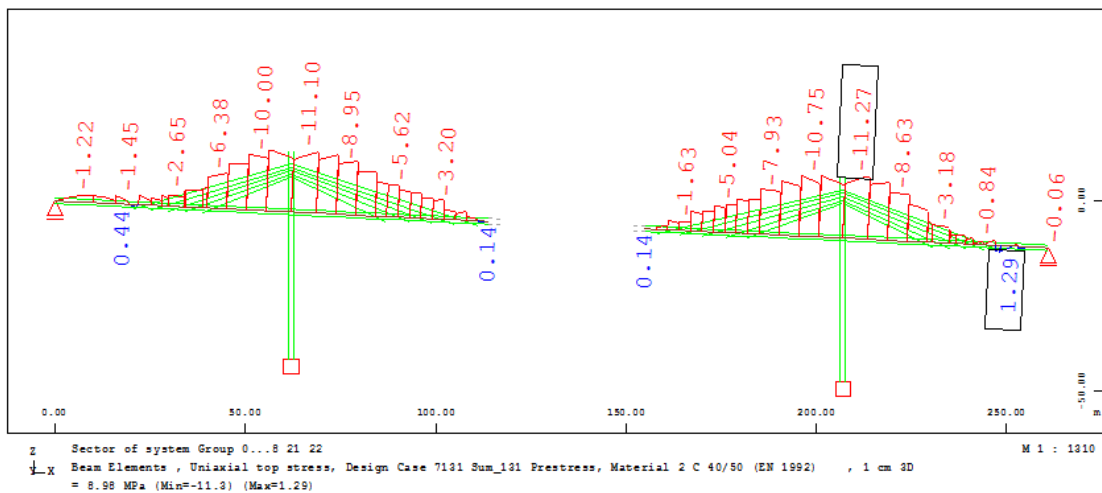


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

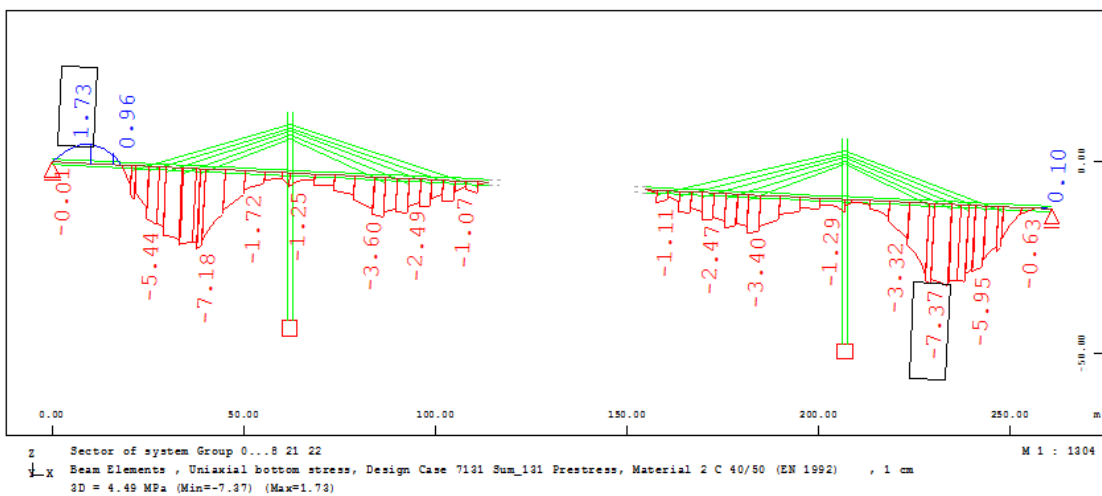


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

Φάση 11

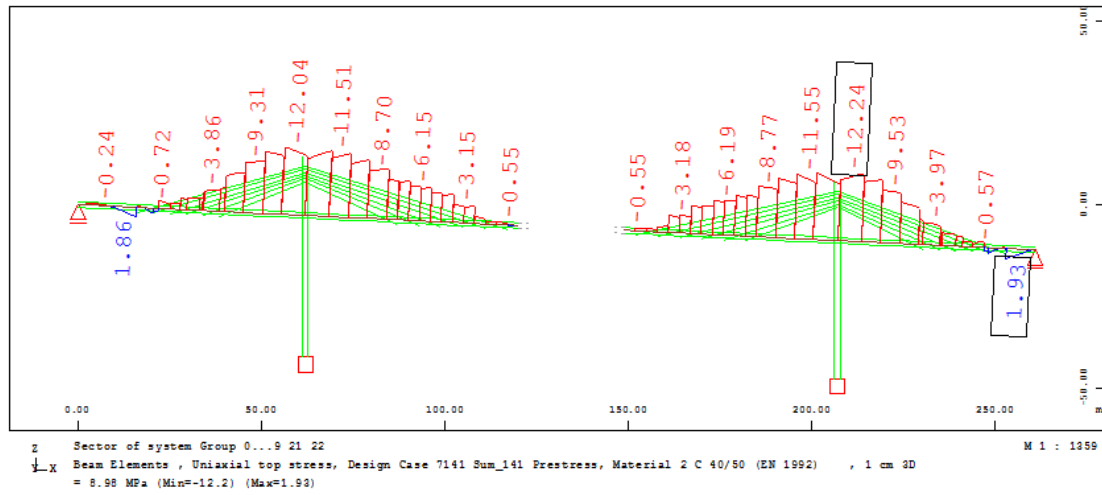


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

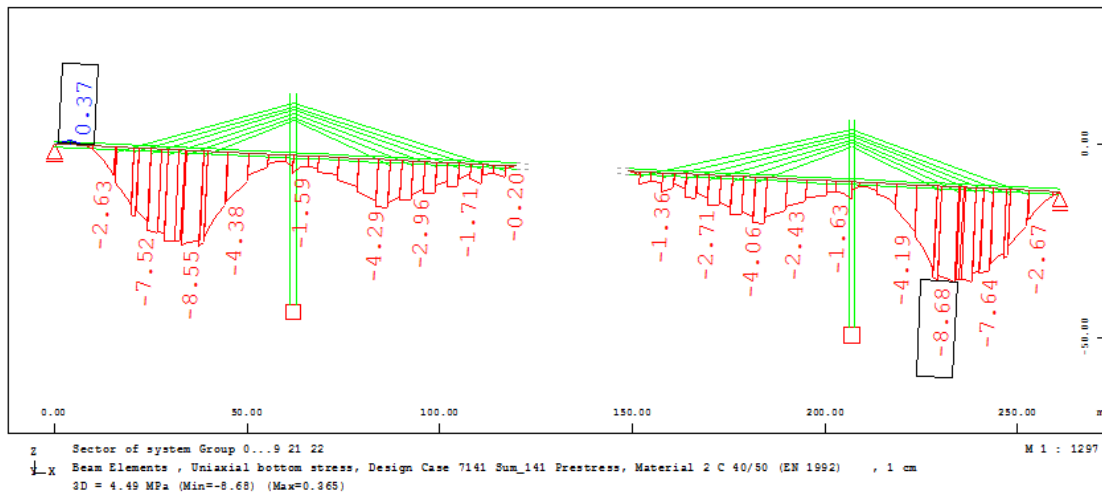


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

## Φάση 12

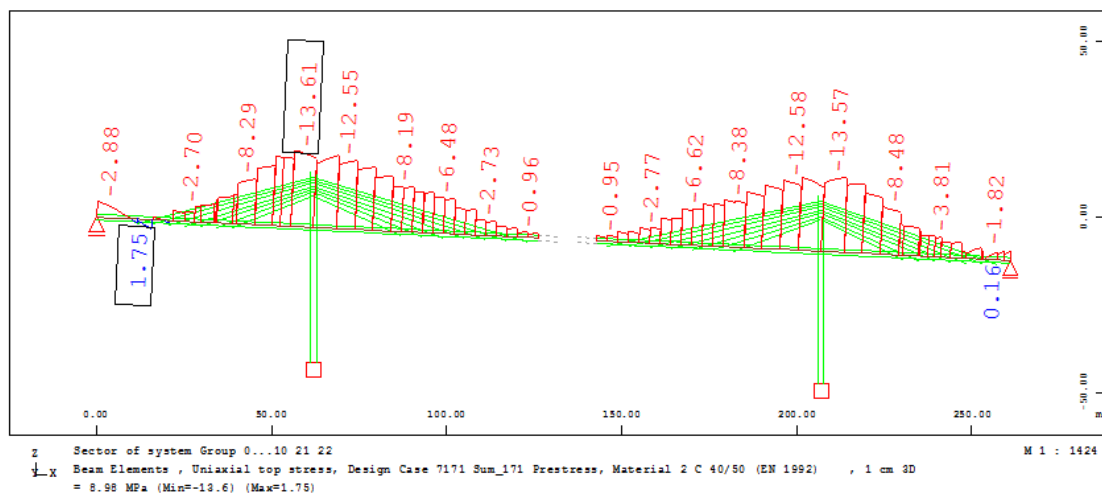


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

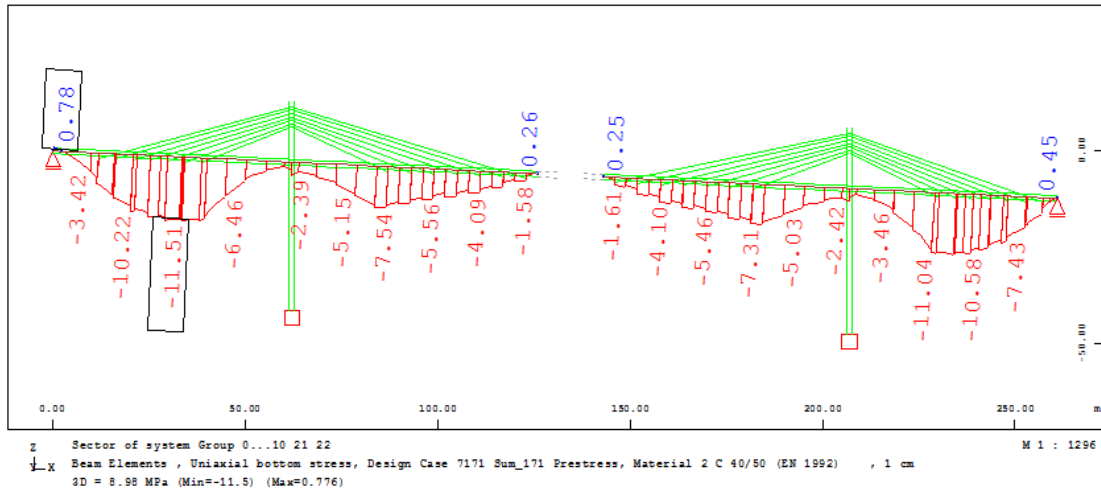


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

## Φάση 13

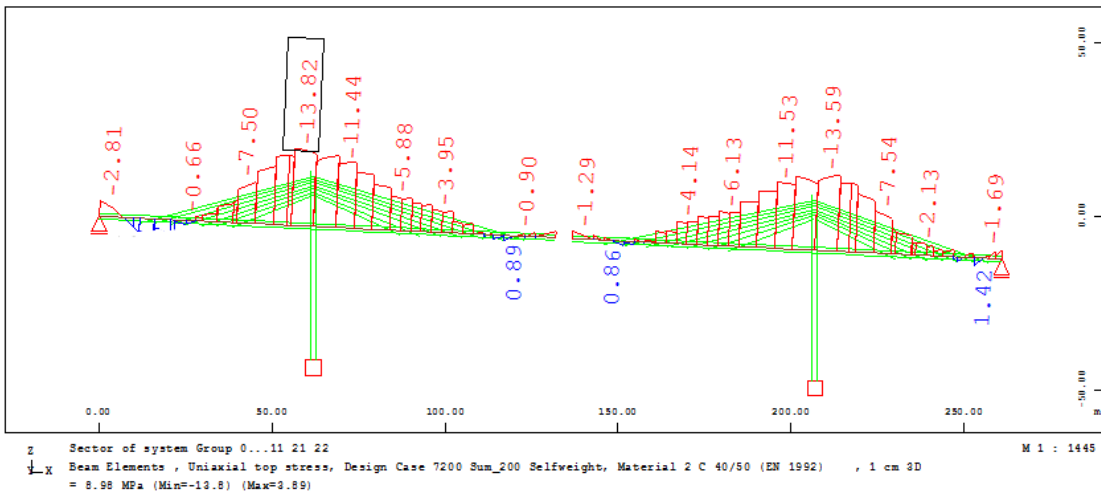


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

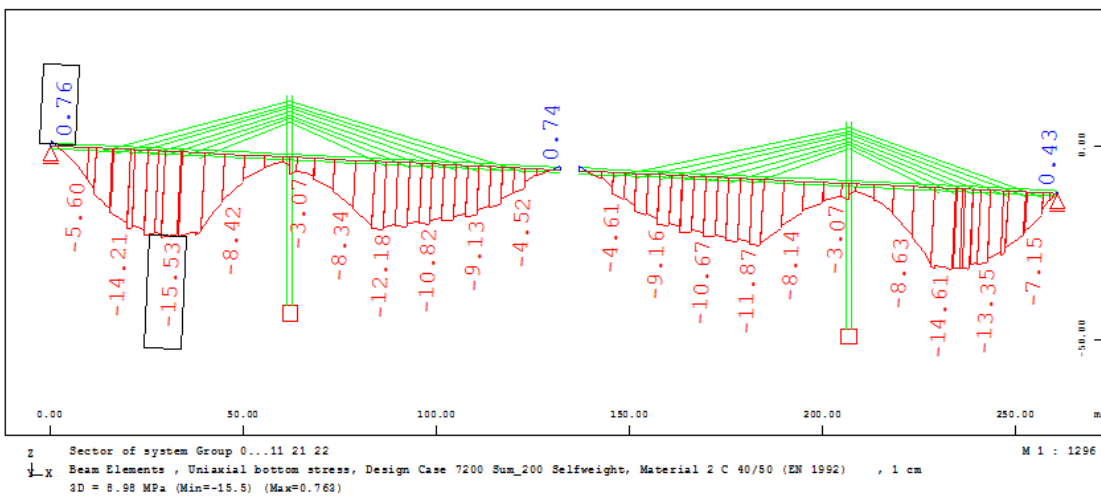


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

Φάση 14

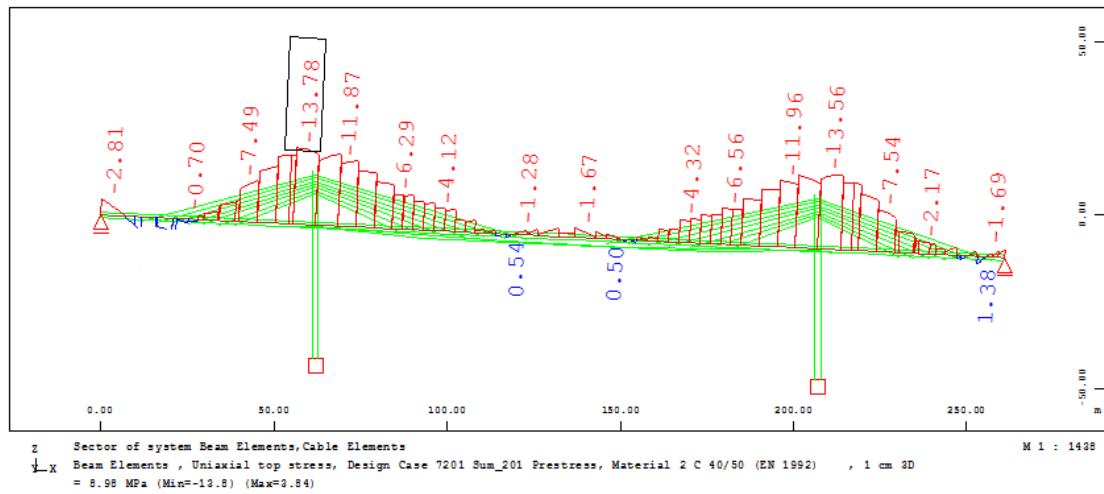


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

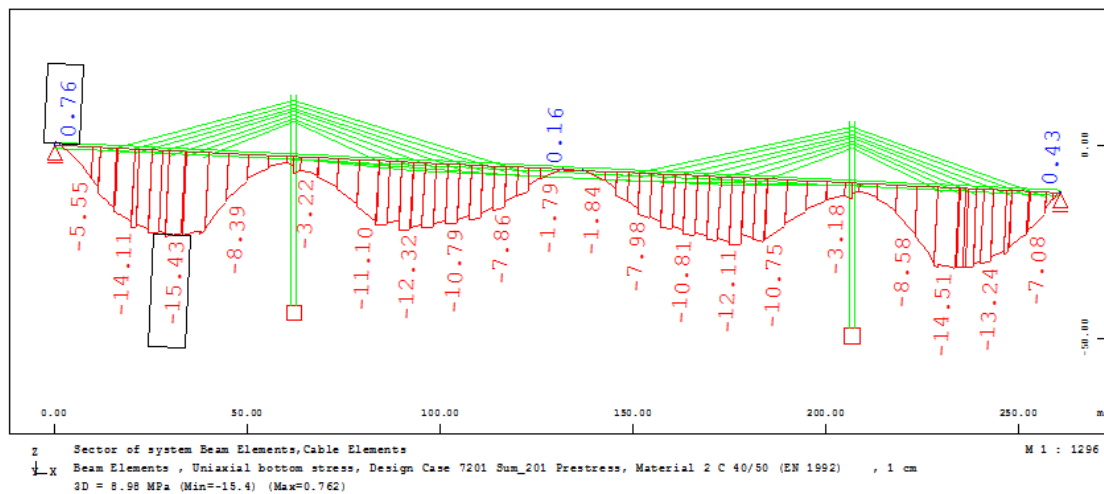


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

### Φάση 15 (μετά την σκυροδέτηση της κλείδας)

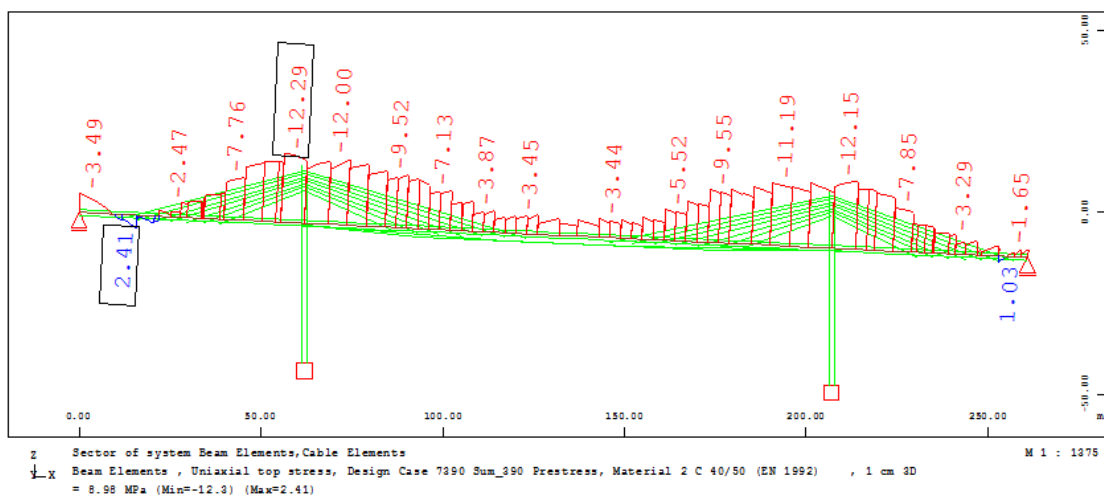


Τάσεις άνω ίνας (MPa)



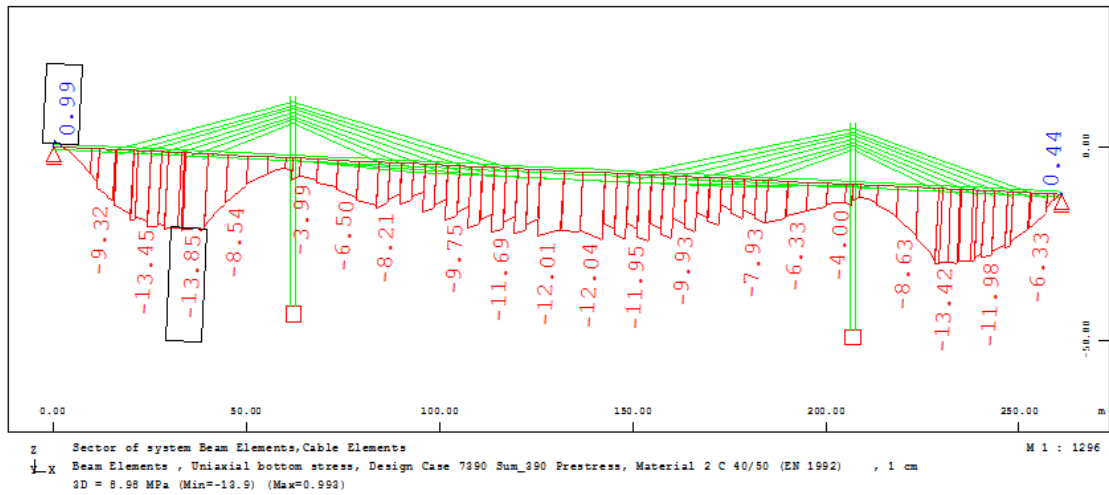
Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

### Φάση 17 (μετά την αποκατάσταση συνέχειας και προένταση ανοίγματος)



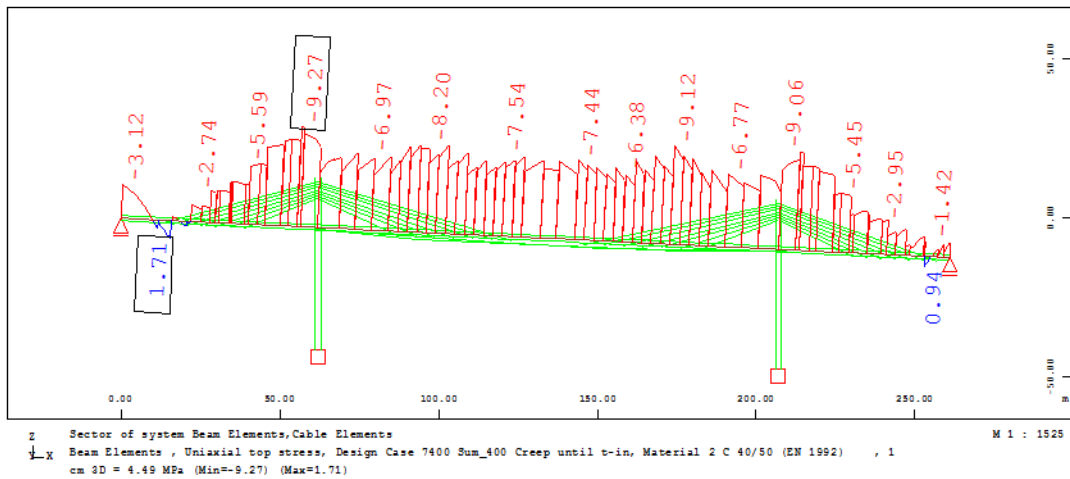
Τάσεις άνω ίνας (MPa)



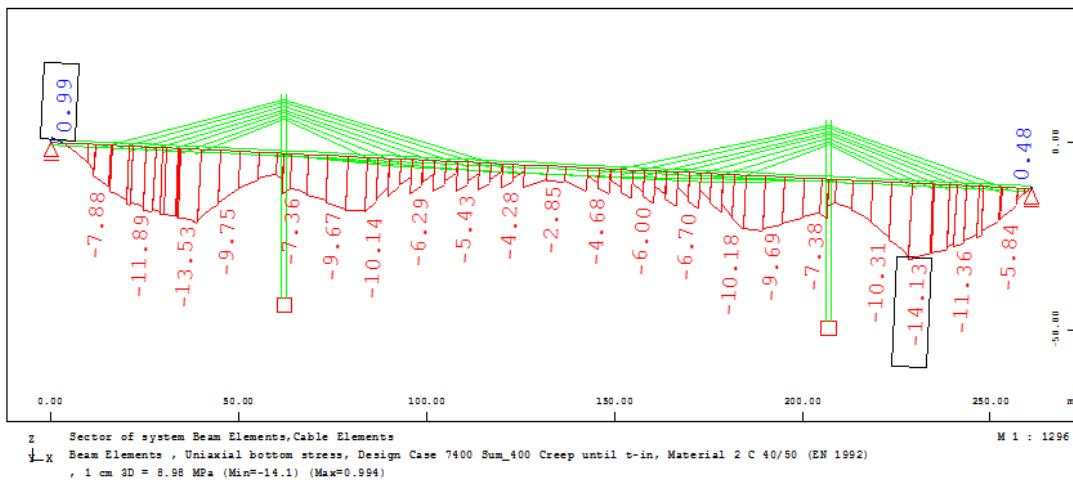


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

Τάσεις με απώλειες προέντασης άπειρου χρόνου

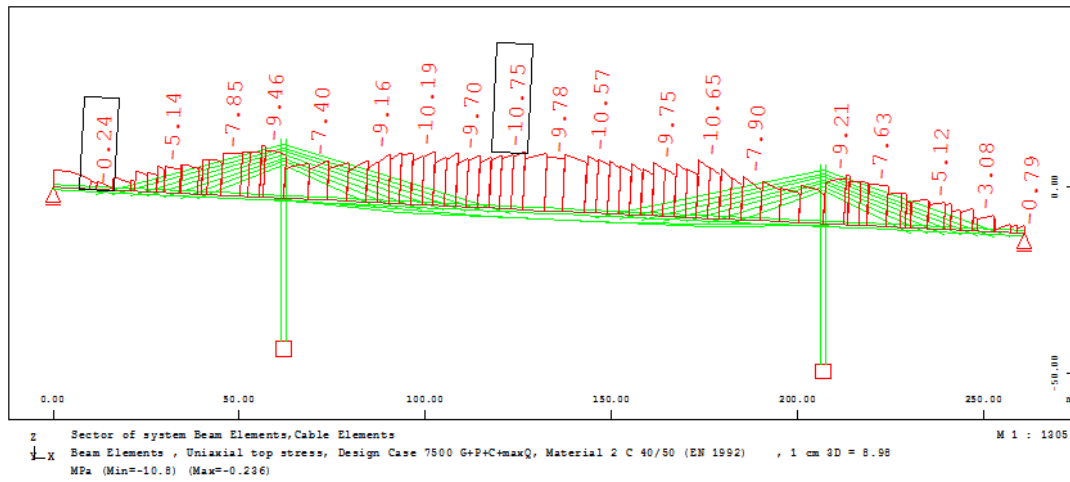


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

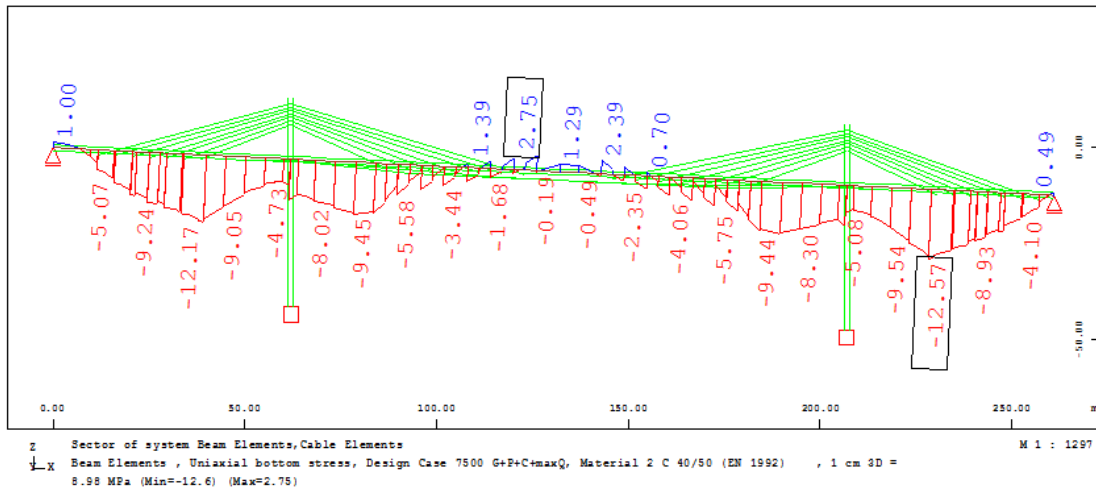


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

Τάσεις υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή ανοίγματος

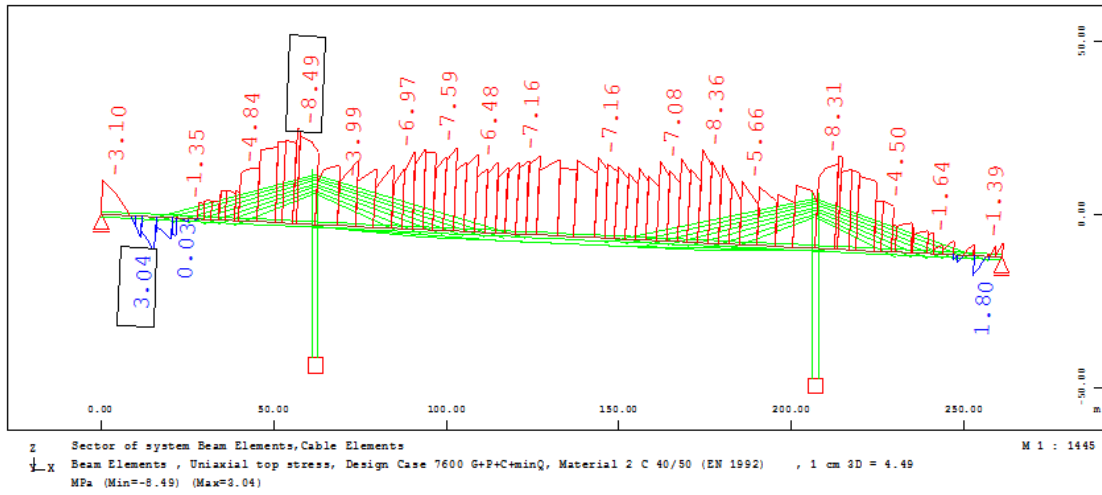


Τάσεις άνω ίνας (MPa)

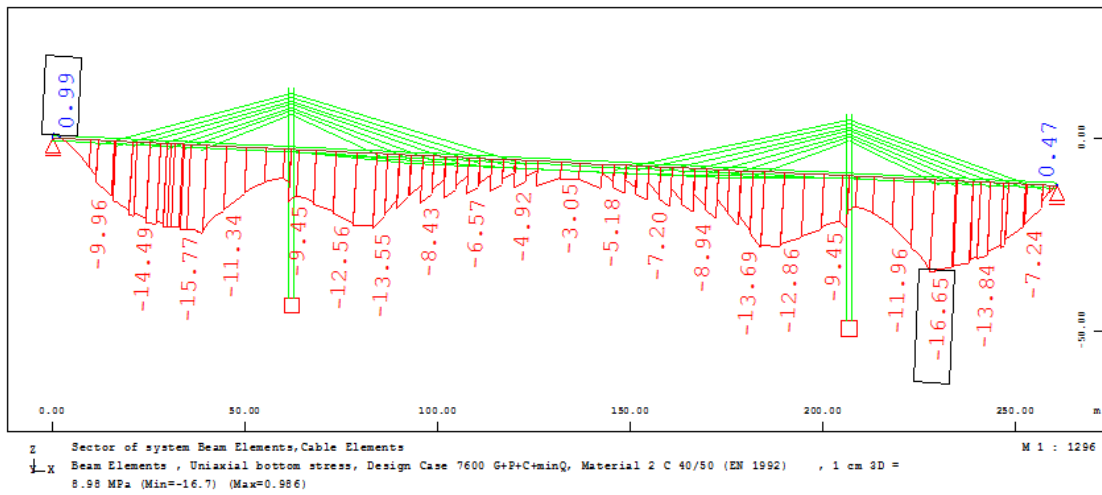


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

Τάσεις υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή στηρίξεως



Τάσεις άνω ίνας (MPa)

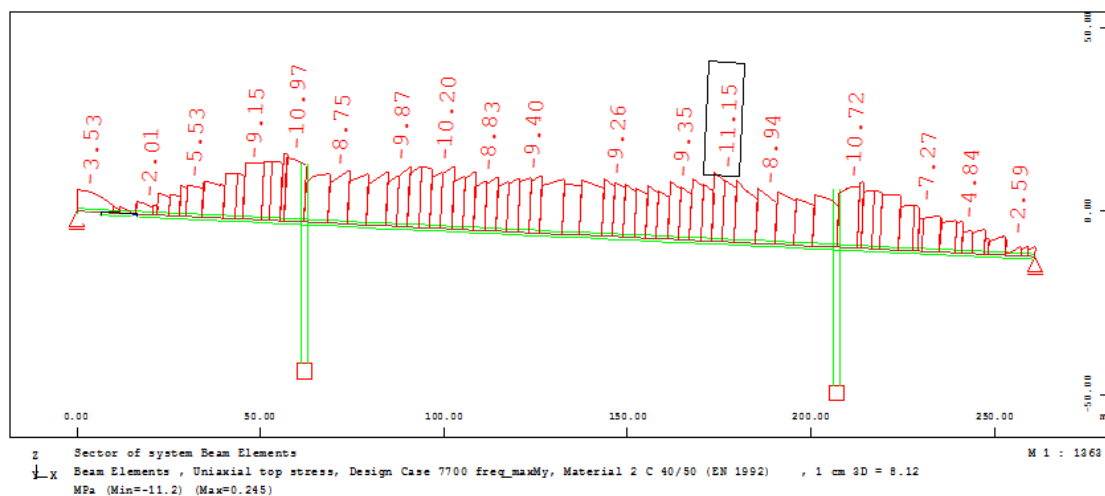


Τάσεις κάτω ίνας (MPa)

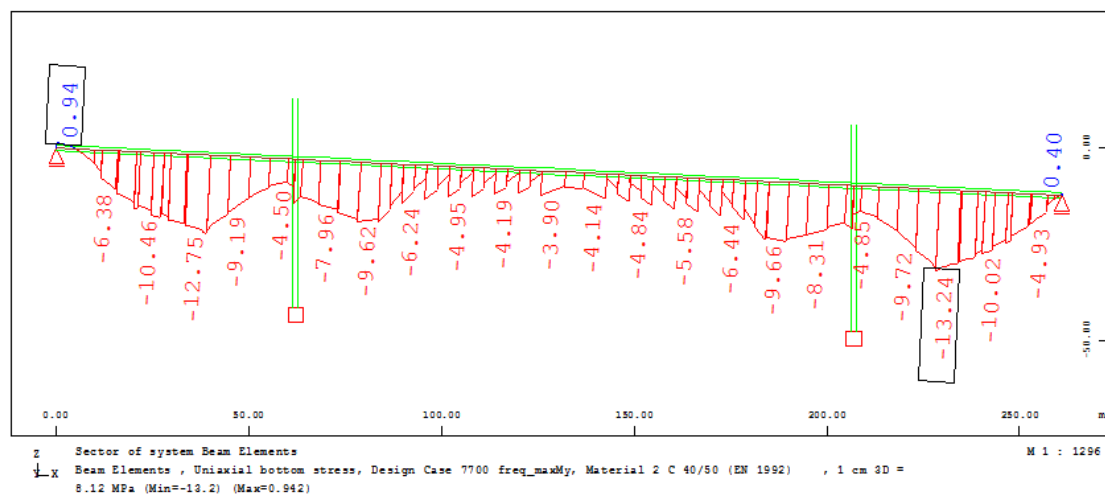
## 5.2. Έλεγχος κόπωσης

### 5.2.1. Σκυροδέμα

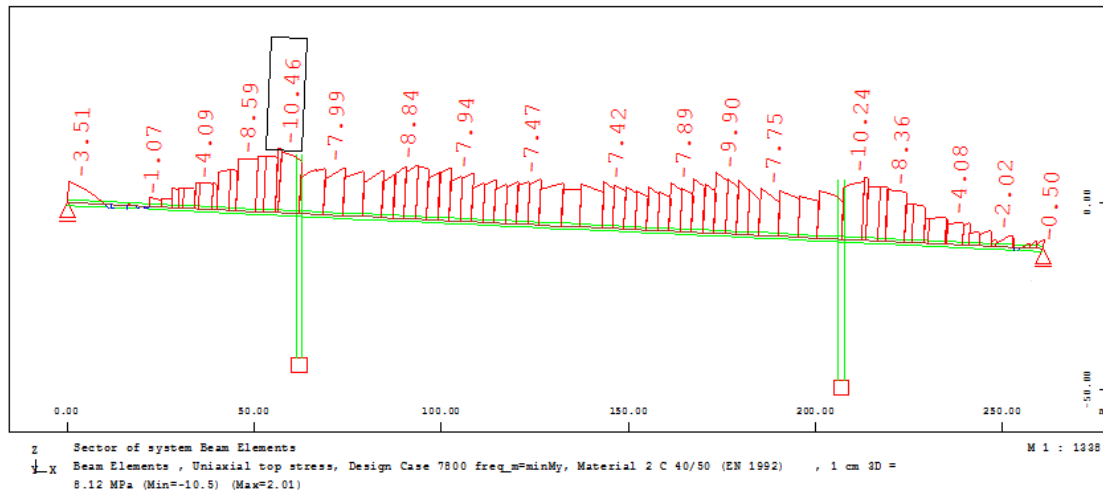
Ελέγχεται ο μη εφελκυσμός των ακραίων ινών του σκυροδέματος σε επίπεδο τάσεων. Στην περίπτωση αυτή, σύμφωνα με την §6.8.3 (g) του EN1992-2, η κόπωση των μελών προεντεταμένου σκυροδέματος δεν εξετάζεται περαιτέρω.



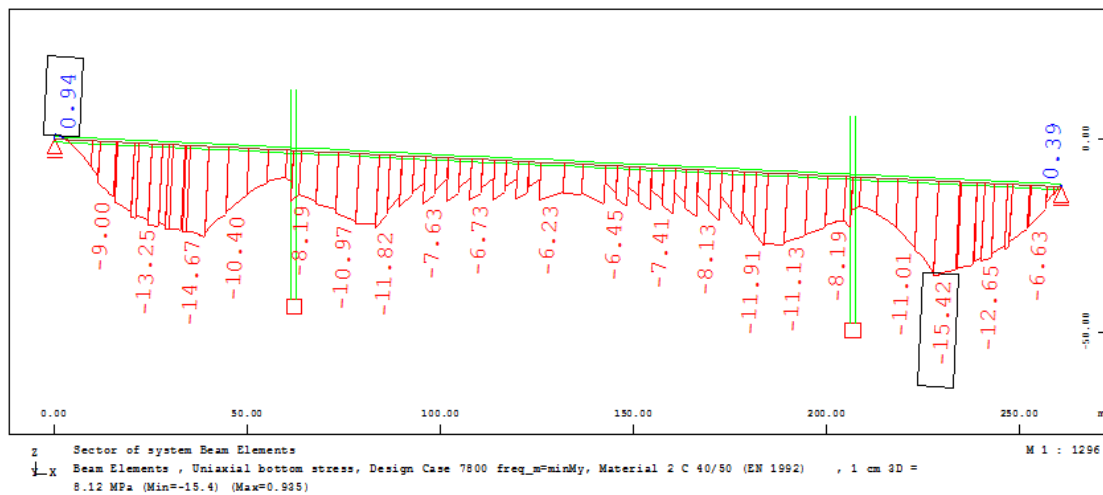
Σχήμα 127 Τάσεις άνω ίνας (MPa) από τον συχνό συνδυασμό Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή ανοίγματος



Σχήμα 128 Τάσεις κάτω ίνας (MPa) από τον συχνό συνδυασμό Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή ανοίγματος



Σχήμα 129 Τάσεις άνω ίνας (MPa) από τον συχνό συνδυασμό Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή στηρίξεως



Σχήμα 130 Τάσεις κάτω ίνας (MPa) από τον συχνό συνδυασμό Ο.Κ.Λ. για μέγιστη ροπή στηρίξεως

### 5.2.2. Εξωτερικοί τένοντες (εντός του ύψους του κιβωτίου)

Οι εξωτερικοί κάτω τένοντες της ανωδομής, βρίσκονται στο σύνολό τους εντός του ύψους της διατομής. Σύμφωνα με την §6.8.4 του EN1992.1, στην περίπτωση αυτή, οι εξωτερικοί τένοντες απαλλάσσονται από έλεγχο κόπωσης.

### 5.2.3. Εξωράχιοι τένοντες (extradosed)

Όσον αφορά τους αναρτήρες, έχουν προενταθεί με δύναμη που αντιστοιχεί στο 50% της εφελκυστικής τους αντοχής. Κατά την διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας, η δύναμη κάθε εξωράχιου τένοντα μεταβάλλεται. Σε αυτό συμβάλλει η διαρκής αλλαγή στατικού συστήματος κατά την ανέγερση και οι δυσμενείς φορτίσεις ανάλογα με την θέση των κινητών πάνω στο κατάστρωμα. Βάσει αυτών προκύπτει

ένα εύρος τάσεων, το οποίο όσον αφορά την φάση λειτουργίας πρέπει να περιοριστεί σε λιγότερο από 100 MPa, ενώ γενικά πρέπει να ικανοποιείται μία από τις απαιτήσεις που τέθηκαν στο κεφάλαιο 4.4.3.

Παρατίθενται αποτελέσματα μεταβολής δυνάμεων και τάσεων για τους αναρτήρες 1, 4 και 7 του πυλώνα 1 καθώς και ο έλεγχος.

MPa	Τένοντας		Τένοντας 1	
	Άνοιγμα		Άνοιγμα 1	Άνοιγμα 2
	σ <sub>χαρακτ.κόπωσης_min</sub>		694.80	744.79
	σ <sub>χαρακτ.κόπωσης_max</sub>		704.06	759.82
Έλεγχος $\sigma < f_a$	Εύρος τάσεων Δσ		9.26	15.04
	f <sub>a</sub> (Japanese Specs)		1779.24	1711.06
	f <sub>a</sub> (SÉTRA)		1605.40	1422.24
	< 0.6*f <sub>pu</sub>		1062.00	1062.00

Τένοντας 4		Τένοντας 7	
Άνοιγμα 1	Άνοιγμα 2	Άνοιγμα 1	Άνοιγμα 2
801.00	793.32	922.20	890.71
812.03	813.15	938.42	910.09
11.03	19.82	16.22	19.38
1758.33	1654.54	1697.09	1659.82
1536.69	1327.28	1395.55	1334.86
1062.00	1062.00	1062.00	1062.00

Πίνακας 28 Εύρος και έλεγχος τάσεων αναρτήρων 1,4 & 7

P-1		Άνοιγμα 1	Άνοιγμα 2
A/A	Φάση	Τένοντας 1 (25.2/27.7m)	
90	Σπόνδυλοι 4	89.81	121.01
90	Τάνυση αναρτήρα 1	3600.00	3600.00
91	Προένταση	3517.73	3555.21
95	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3497.81	3539.74
100	Σπόνδυλοι 5	3605.83	3646.35
101	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 2	3420.55	3463.34
105	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3399.34	3441.63
110	Σπόνδυλοι 6	3522.37	3564.01
111	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 3	3328.54	3371.11
115	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3307.90	3349.99
120	Σπόνδυλοι 7	3428.78	3470.91
121	Τάνυση αναρτήρα 4	3230.78	3274.01
121	Προένταση	3230.78	3274.01
125	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3209.05	3252.56
130	Σπόνδυλοι 8 (ολοκλήρωση ανοίγ. 1)	3303.13	3385.89
131	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 5	3156.90	3197.32
135	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3138.84	3180.28
140	Σπόνδυλος 9 (μόνο στο άνοιγ. 2)	3216.10	3304.04
141	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 6	3073.52	3124.36
145	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3053.42	3108.95
170	Σπόνδυλος 10 (μόνο στο άνοιγ. 2)	3100.17	3202.56
171	Τάνυση αναρτήρα 7	2963.28	3035.65
171	Προένταση	2963.28	3035.65
172	Ερπυσμός-Χαλάρωση	2948.20	3024.49
174	Σπόνδυλος 11 (μόνο στο άνοιγ. 2)	3043.30	3159.11
175	Προένταση	3043.30	3159.14
185	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3049.70	3163.29

200	Σπόνδυλος 12 (κλείδα)	3052.59	3170.43
400	Ερπυσμός-Χαλάρωση 30000 d.	2815.33	3018.34
Συνδυασμοί	P <sub>Ο.Κ.Α._min</sub>	3797.60	4068.95
	P <sub>Ο.Κ.Α._max</sub>	3925.76	4279.51
	P <sub>χαρακτ. Ο.Κ.Λ. min</sub>	2813.04	3014.04
	P <sub>χαρακτ. Ο.Κ.Λ. max</sub>	2907.97	3170.01
	P <sub>χαρακτ. κόπωσης_min</sub>	2813.93	3016.38
	P <sub>χαρακτ. κόπωσης_max</sub>	2851.44	3077.28

Πίνακας 29 Μεταβολή δυνάμεων (kN) αναρτήρα 1 (P1) κατά τις φάσεις κατασκευής και σε Ο.Κ.Λ & Ο.Κ.Α.

P-1		Άνοιγμα 1	Άνοιγμα 2
A/A	Φάση	Τένοντας 4 (38.6/45.7m)	
120	Σπόνδυλοι 7	131.49	185.75
121	Τάνυση αναρτήρα 4	3600.00	3600.00
121	Προένταση	3511.12	3493.34
125	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3487.46	3462.82
130	Σπόνδυλοι 8 (ολοκλήρωση ανοίγ. 1)	3629.76	3696.58
131	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 5	3433.76	3393.53
135	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3415.73	3371.30
140	Σπόνδυλος 9 (μόνο στο άνοιγ. 2)	3549.43	3594.61
141	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 6	3349.89	3289.07
145	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3330.02	3266.86
170	Σπόνδυλος 10 (μόνο στο άνοιγ. 2)	3447.53	3489.62
171	Τάνυση αναρτήρα 7	3249.41	3190.99
171	Προένταση	3249.41	3190.99
172	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3235.53	3178.36
174	Σπόνδυλος 11 (μόνο στο άνοιγ. 2)	3398.36	3454.87
175	Προένταση	3398.35	3454.92
185	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3419.39	3484.16

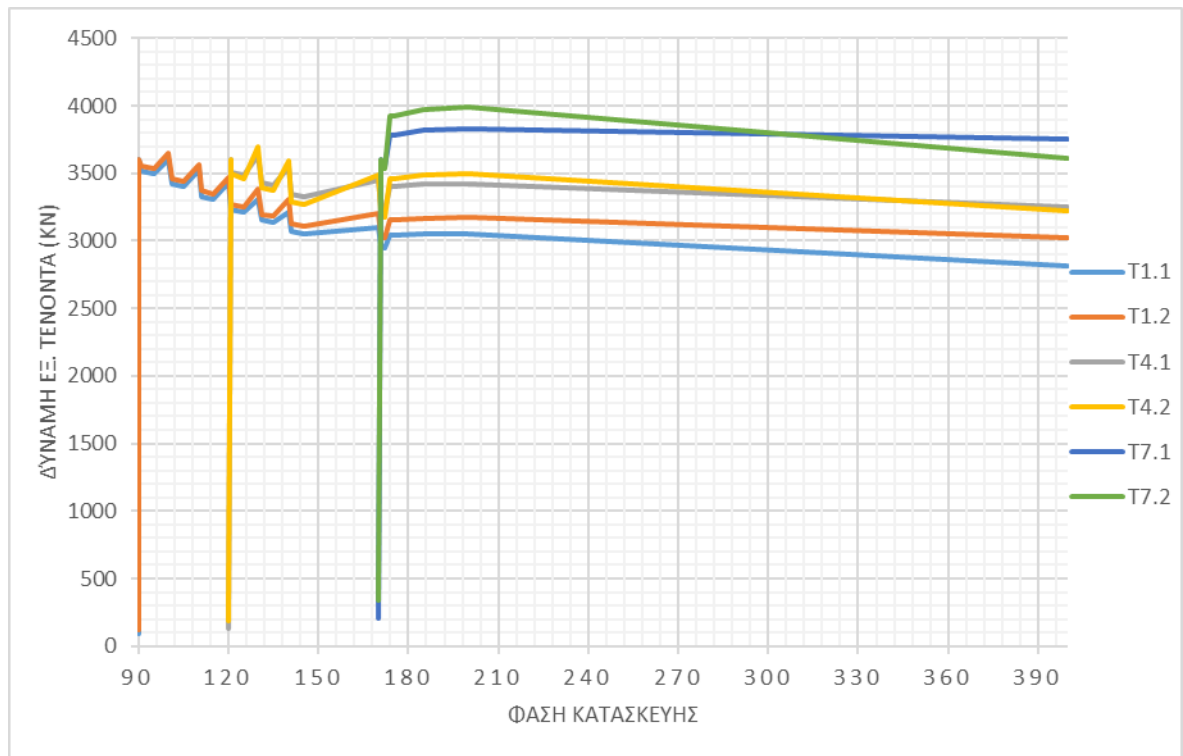


200	Σπόνδυλος 12 (κλείδα)	3424.07	3495.59
400	Ερπυσμός-Χαλάρωση 30000 d	3248.13	3217.84
Συνδυασμοί	O.K.A._min	4374.01	4329.27
	O.K.A._max	4529.22	4606.24
	Χαρακτ. O.K.Λ. min	3240.00	3206.87
	Χαρακτ. O.K.Λ. max	3354.98	3412.03
	Χαρακτ.κόπωσης_min	3244.04	3212.96
	Χαρακτ.κόπωσης_max	3288.72	3293.25

Πίνακας 30 Μεταβολή δυνάμεων (kN) αναρτήρα 4 (P1) κατά τις φάσεις κατασκευής και σε O.K.Λ. & O.K.A.

P-1		Άνοιγμα 1	Άνοιγμα 2
A/A	Φάση	Τένοντας 7 (52.1/63.9m)	
170	Σπόνδυλος 10 (μόνο στο άνοιγ. 2)	206.615	337.408
171	Τάνυση αναρτήρα 7	3600.000	3600.000
171	Προένταση	3566.793	3547.410
172	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3558.610	3534.440
174	Σπόνδυλος 11 (μόνο στο άνοιγ. 2)	3783.110	3921.150
175	Προένταση	3783.110	3920.755
185	Ερπυσμός-Χαλάρωση	3821.517	3974.034
200	Σπόνδυλος 12 (κλείδα)	3827.828	3985.896
400	Ερπυσμός-Χαλάρωση 30000 d	3750.637	3615.238
Συνδυασμοί	O.K.A._min	5015.991	4855.116
	O.K.A._max	5234.983	5125.106
	Χαρακτ. O.K.Λ. min	3715.549	3596.382
	Χαρακτ. O.K.Λ. max	3877.765	3796.375
	Χαρακτ.κόπωσης_min	3734.899	3607.374
	Χαρακτ.κόπωσης_max	3800.593	3685.854

Πίνακας 31 Μεταβολή δυνάμεων (kN) αναρτήρα 7 (P1) κατά τις φάσεις κατασκευής και σε O.K.Λ. & O.K.A.



Σχήμα 131 Μεταβολή δυνάμεων αναρτήρων κατά τις φάσεις κατασκευής

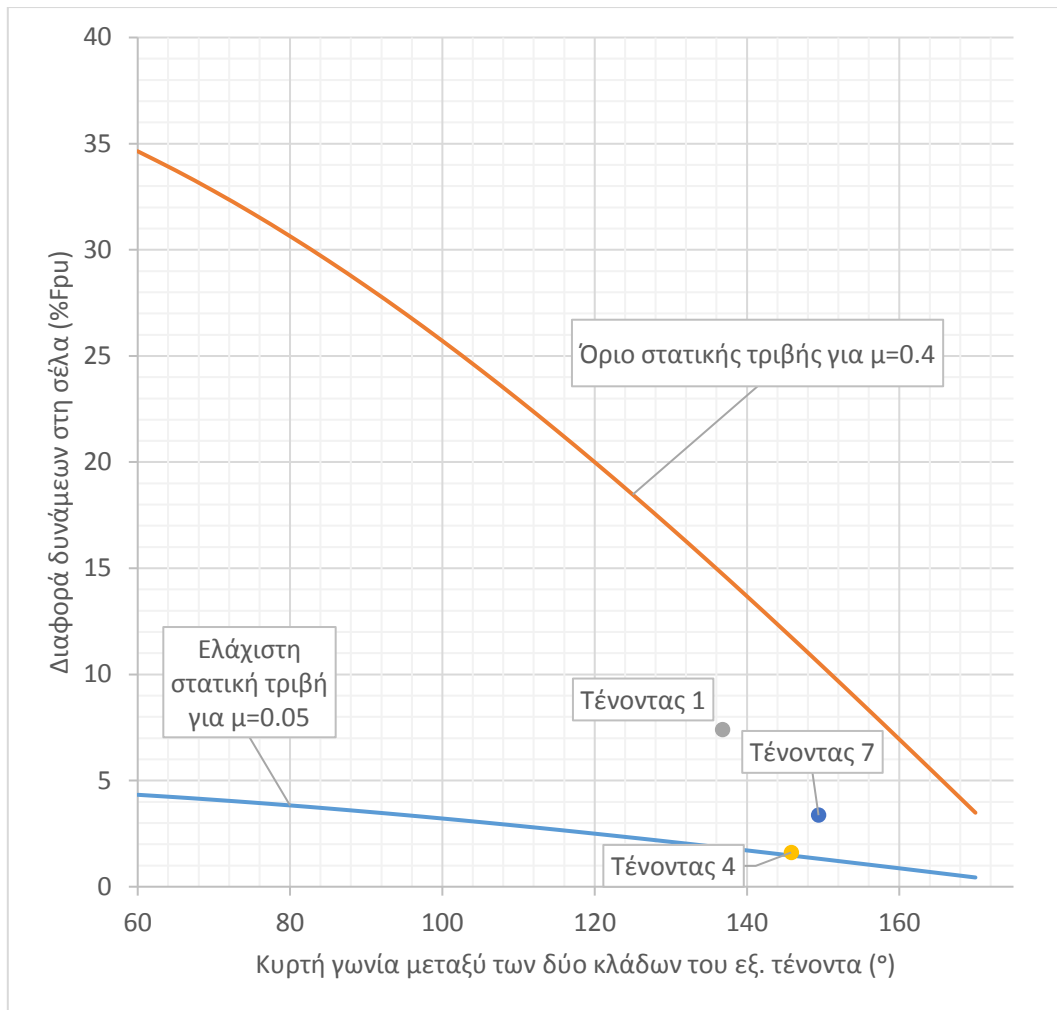
### 5.3. Έλεγχος μη ολίσθησης τενόντων στις σέλες

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.7 του Μέρους Α' του παρόντος, πρέπει οι διαφορές δυνάμεων μεταξύ των κλάδων του ενιαίου τένοντα σε κάθε σέλα να μην ξεπερνούν την διατιθέμενη τριβή, η οποία καθορίζεται τόσο από τον συντελεστή τριβής, όσο και από την κατακόρυφη αντίδραση από την σέλα. Ο έλεγχος αυτός, αφορά τόσο τις ενδιάμεσες φάσεις κατασκευής, όσο και κάθε συνδυασμό της Ο.Κ.Α. και Ο.Κ.Λ. Εν προκειμένω, υπολογίζονται οι διαφορές δυνάμεων για τους τένοντες 1, 4 & 7, και κατόπιν υπολογίζεται ο απαιτούμενος συντελεστής τριβής.

A/A	Φάση	Τένοντας 1	Τένοντας 4	Τένοντας 7
90	Σπόνδυλοι 4	31	-	-
90	Τάνυση αναρτήρα 1	0	-	-
91	Προένταση	37	-	-
95	Ερπυσμός-Χαλάρωση	42	-	-
100	Σπόνδυλοι 5	41	-	-
101	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 2	43	-	-

105	Ερπυσμός-Χαλάρωση	42	-	-
110	Σπόνδυλοι 6	42	-	-
111	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 3	43	-	-
115	Ερπυσμός-Χαλάρωση	42	-	-
120	Σπόνδυλοι 7	42	54	-
121	Τάνυση αναρτήρα 4	43	0	-
121	Προένταση	43	18	-
125	Ερπυσμός-Χαλάρωση	44	25	-
130	Σπόνδυλοι 8 (ολοκλήρωση ανοίγ. 1)	83	67	-
131	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 5	40	40	-
135	Ερπυσμός-Χαλάρωση	41	44	-
140	Σπόνδυλος 9 (μόνο στο άνοιγ. 2)	88	45	-
141	Προένταση και τάνυση αναρτήρα 6	51	61	-
145	Ερπυσμός-Χαλάρωση	56	63	-
170	Σπόνδυλος 10 (μόνο στο άνοιγ. 2)	102	42	131
171	Τάνυση αναρτήρα 7	72	58	0
171	Προένταση	72	58	19
172	Ερπυσμός-Χαλάρωση	76	57	24
174	Σπόνδυλος 11 (μόνο στο άνοιγ. 2)	116	57	138
175	Προένταση	116	57	138
185	Ερπυσμός-Χαλάρωση	114	65	153
200	Σπόνδυλος 12 (κλείδα)	118	72	158
400	Ερπυσμός-Χαλάρωση 30000 d.	203	30	135
Συνδυασμοί	$\Delta P_{O.K.A.}_{min}$	271	45	161
	$\Delta P_{O.K.A.}_{max}$	354	77	110
	$\Delta P_{\text{Χαρακτ. O.K.A. min}}$	201	33	119
	$\Delta P_{\text{Χαρακτ. O.K.A. max}}$	262	57	81
	$\Delta P_{\text{Χαρακτ. κόπωσης}_{min}}$	202	31	128
	$\Delta P_{\text{Χαρακτ. κόπωσης}_{max}}$	226	5	115
$\Delta P_{max}$		354	77	161

Πίνακας 32 Διαφορές δυνάμεων εξωράχιων τενόντων από άνοιγμα 1 σε άνοιγμα 2



Σχήμα 132 Όρια και απαίτηση τριβής ανά τένοντα

$\phi$	$\Delta P$	(%) $f_{pu}$	$\gamma$	$\mu$
136.8	354	7.41	1.5	0.201
145.8	77	1.61	1.5	0.054
149.4	161	3.37	1.5	0.128

Πίνακας 33 Υπολογισμός απαιτούμενου συντελεστή τριβής  $\mu$  για τους τένοντες 1, 4 & 7

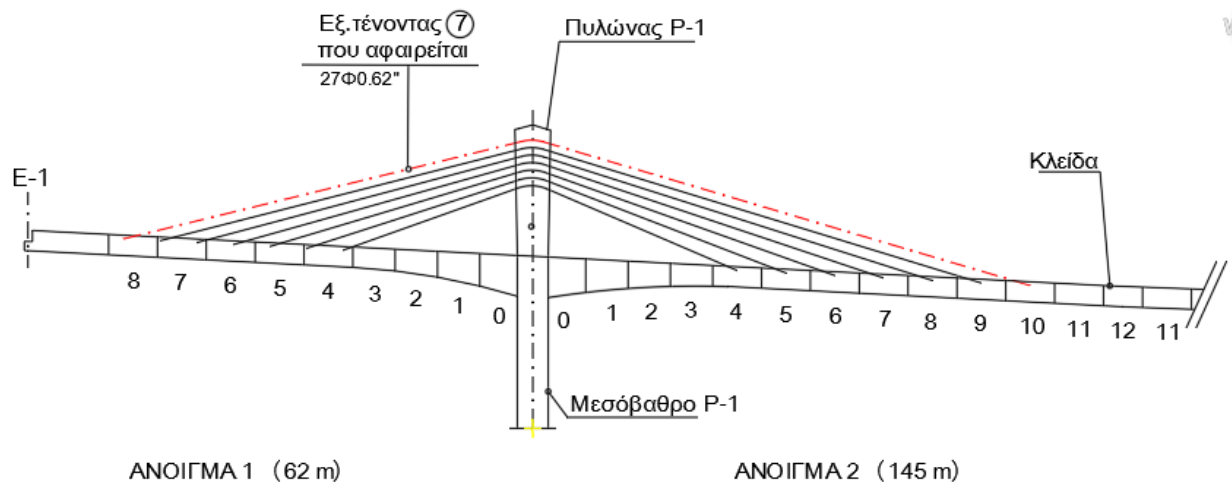
Από το ανωτέρω σχήμα και πίνακα προκύπτει πως μεγαλύτερη απαίτηση τριβής έχει ο τένοντας 1. Η απαίτηση αυτή, είναι εντός των εφικτών ορίων συντελεστή τριβής βάσει της Fib και πρέπει να τεκμηριωθεί εργαστηριακά, πριν την κατασκευή.

## 6. Περίπτωση απώλειας εξωράχιου τένοντα

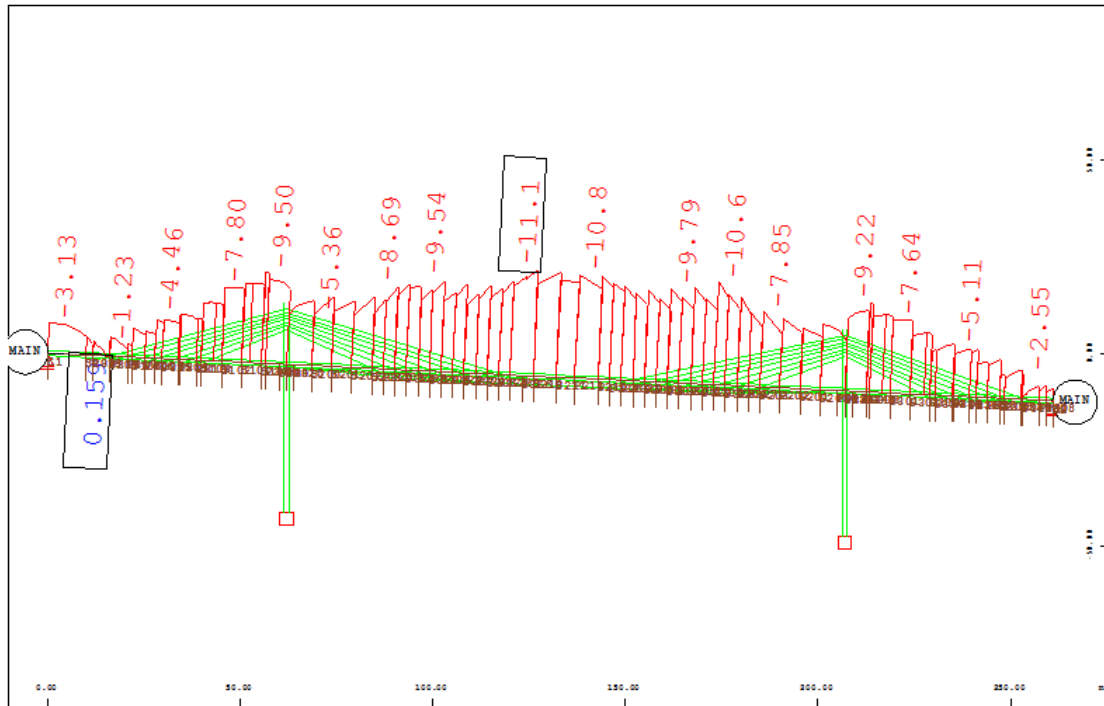
Γενικά, αποτελεί αρχή σχεδιασμού των καλωδιωτών κατασκευών η διατήρηση της φέρουσας ικανότητας σε περίπτωση απώλειας ενός αναρτήρα. Λεπτομερέστερα, μία γέφυρα πρέπει να μπορεί να φέρει μέρος των κινητών της φορτίων ακόμη κι αν χάσει έναν από τους αναρτήρες της. Ομοίως, σε περίπτωση ταυτόχρονης απώλειας δύο αναρτήρων, πρέπει να διαθέτει επαρκή φέρουσα ικανότητα για ένα μικρότερο μέρος των κινητών. Η συνθήκη αυτή, είναι απαραίτητη ούτως ώστε να είναι εφικτή και η αντικατάσταση ενός αναρτήρα.

Στις extradosed γέφυρες, λόγω της χρήσης σέλας εκτροπής για την διέλευση των τενόντων από τους πυλώνες, η απώλεια του ενός κλάδου εξωράχιου τένοντα, έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια ολόκληρου του τένοντα.

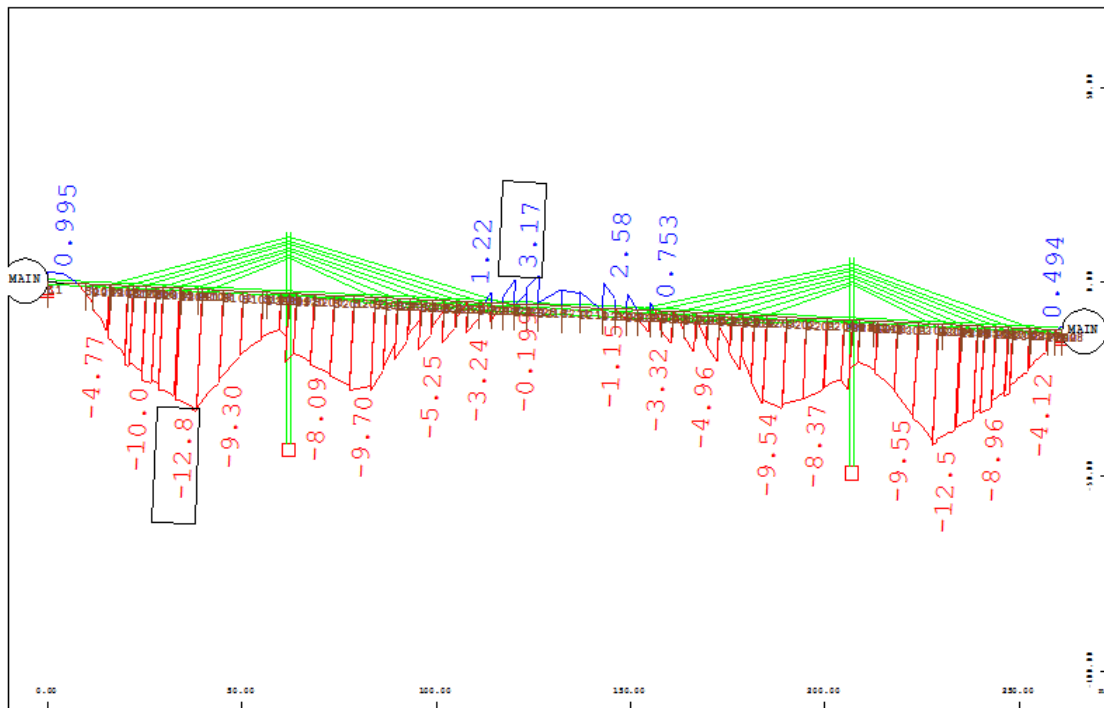
Εν προκειμένω, μελετάται η περίπτωση απώλειας του τένοντα 7 του ενός σκέλους του πυλώνα P1. Παρατηρείται μη υπέρβαση των επιτρεπομένων τάσεων και άρα μη αστοχία, σύμφωνα με την απαίτηση που διατυπώθηκε ανωτέρω. Τα διαγράμματα παρατίθενται.



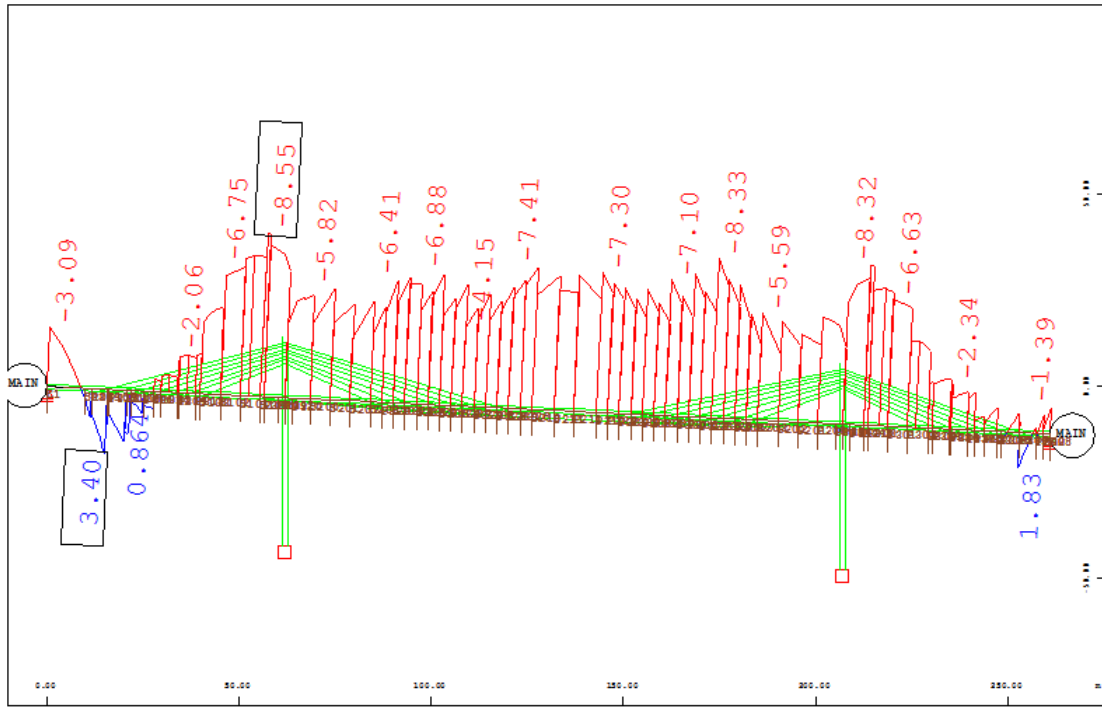
Σχήμα 133 Όψη γέφυρας με επισήμανση του αφαιρούμενου τένοντα



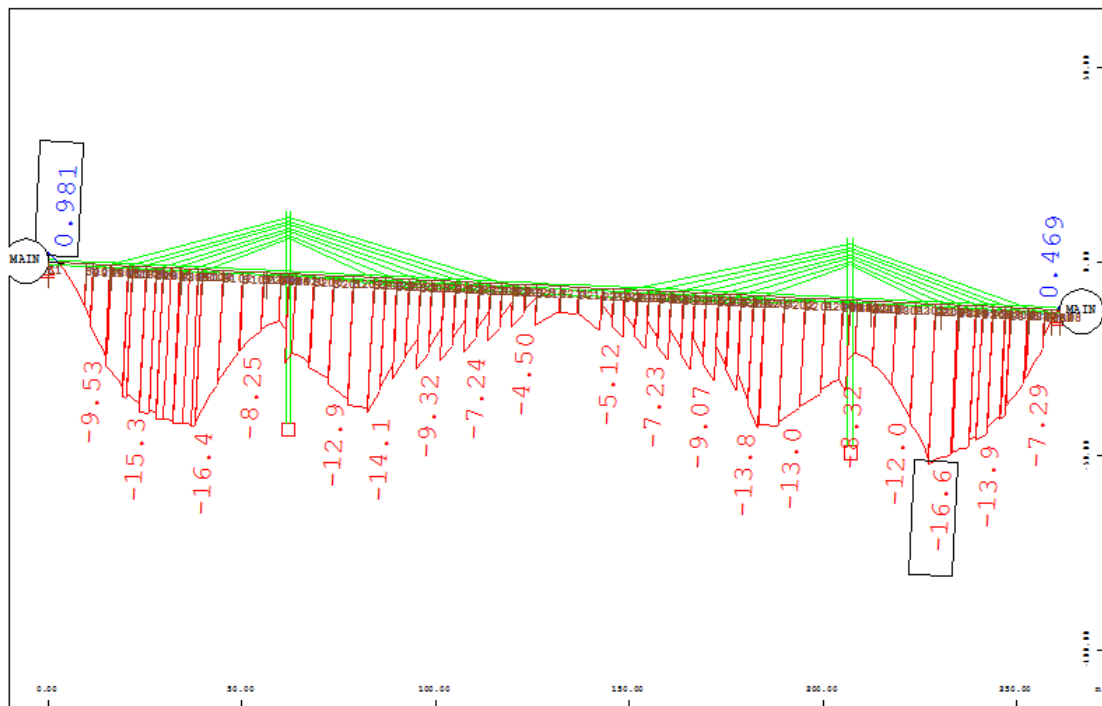
Σχήμα 134 Τάσεις άνω ίνας υπό καθεστώς απώλειας τένοντα (χαρακτ. συνδ. για  $Q_{Mmax}$ )



Σχήμα 135 Τάσεις κάτω ίνας υπό καθεστώς απώλειας τένοντα (χαρακτ. συνδ. για  $Q_{Mmax}$ )



Σχήμα 136 Τάσεις άνω ίνας υπό καθεστώς απώλειας τένοντα (χαρ. συνδ.  $Q_{Mmin}$ )

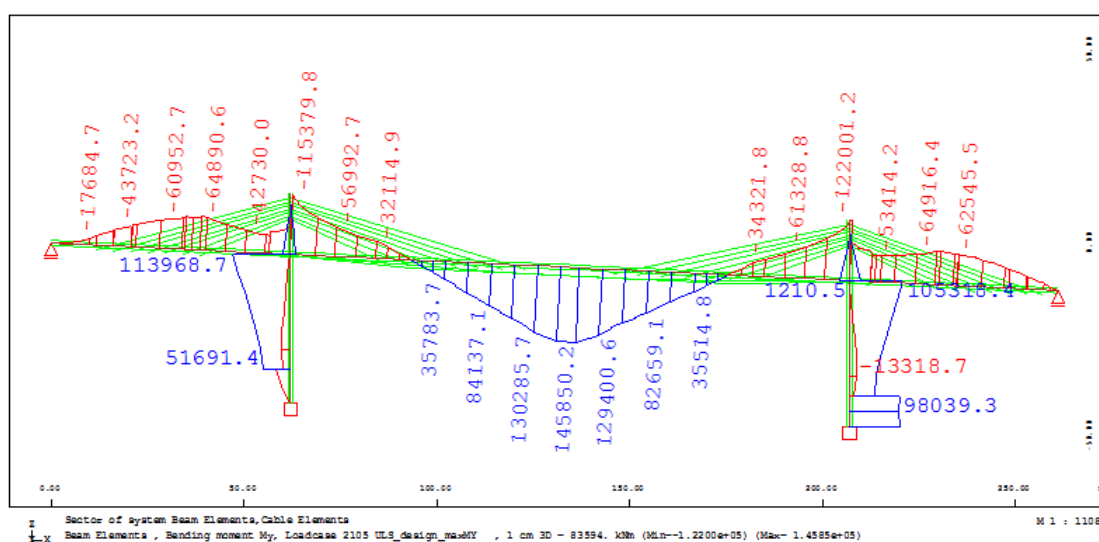


Σχήμα 137 Τάσεις κάτω ίνας υπό καθεστώς απώλειας τένοντα (χαρ. συνδ.  $Q_{Mmin}$ )

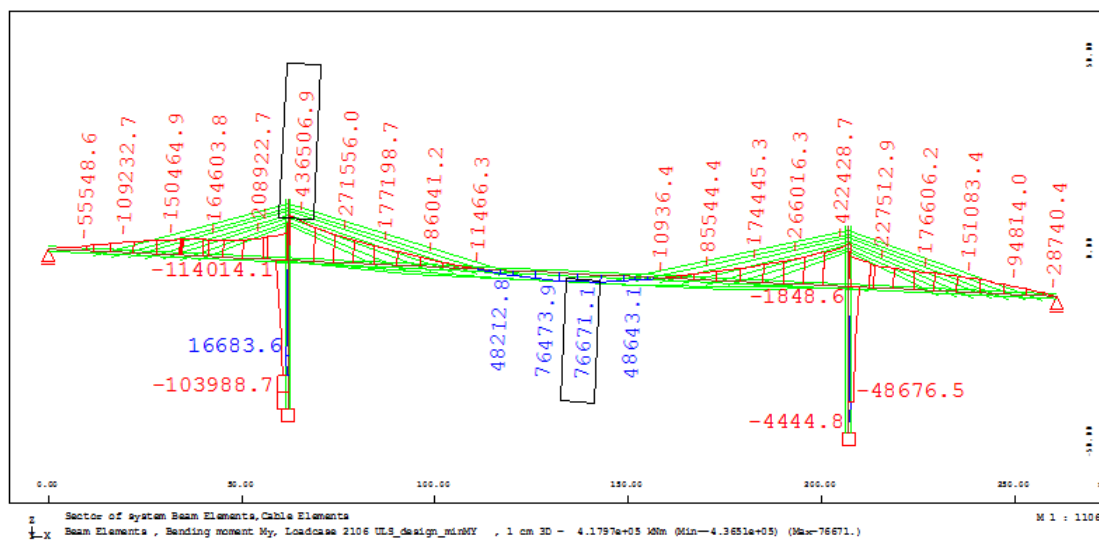
## 7. Σχεδιασμός διατομής (Ο.Κ.Α.)

Γίνεται υπολογισμός της επάρκειας της διατομής έναντι κάμψης και διάτμησης βάσει του συνδυασμού αστοχίας της Ο.Κ.Α. Υπολογίζεται και ο αναγκαίος οπλισμός βάσει των EN1992-1 και EN1992-2.

### 7.1. Σχεδιασμός έναντι κάμψης

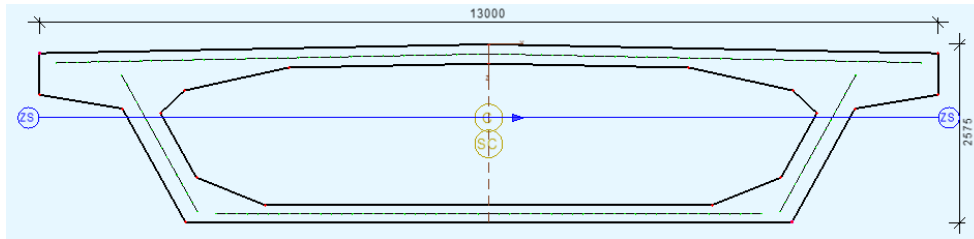


Σχήμα 138 Καμπτικές ροπές Ο.Κ.Α. (kNm) για μεγιστοποίηση στο άνοιγμα

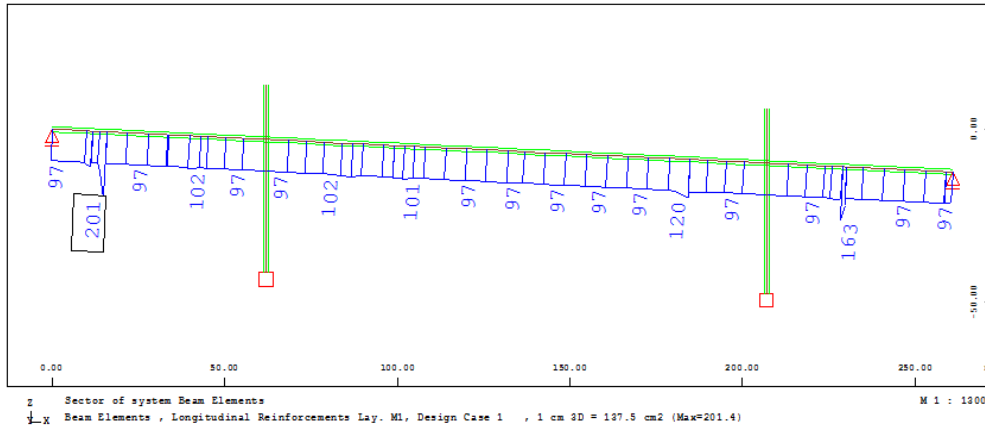


Σχήμα 139 Καμπτικές ροπές Ο.Κ.Α. (kNm) για μεγιστοποίηση στη στήριξη

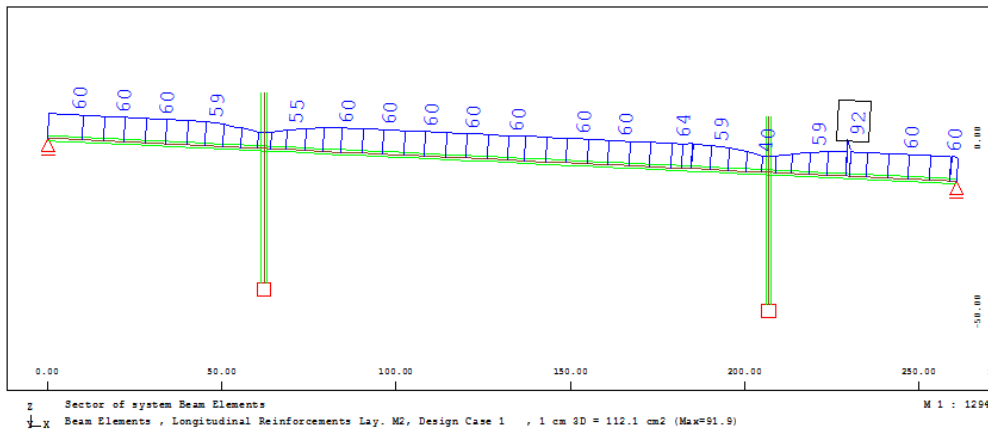




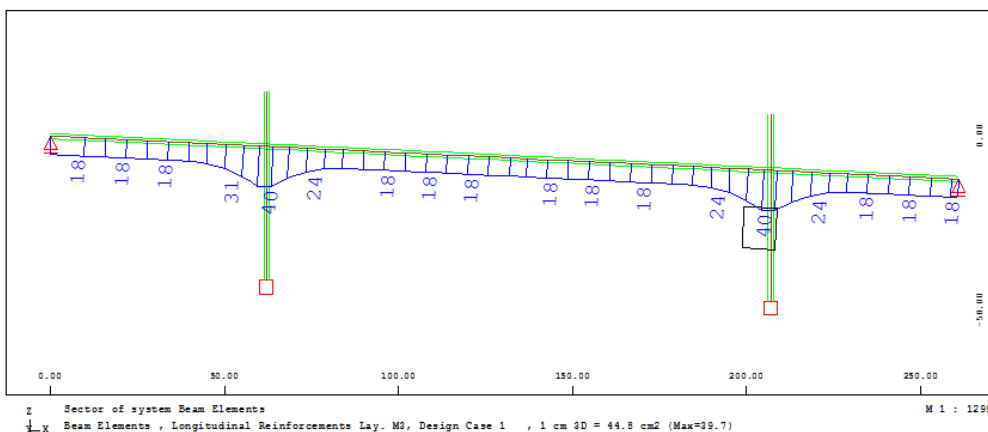
Σχήμα 140 Ενδεικτικές στρώσεις οπλισμού για τον υπολογισμό



Σχήμα 141 Διαμήκης οπλισμός άνω πλάκας  $A_{s,top}$  ( $cm^2/m$ )

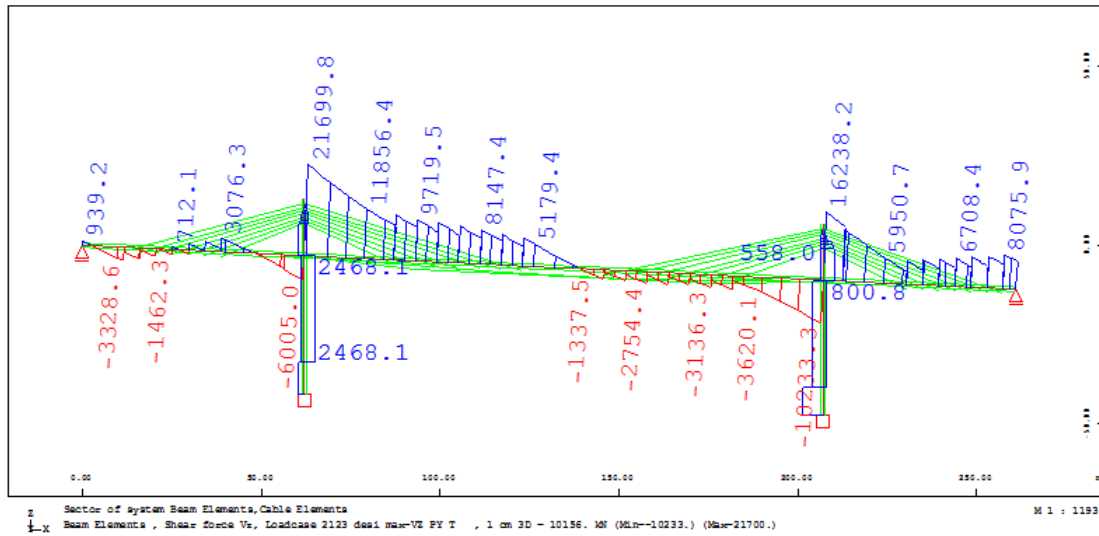


Σχήμα 142 Διαμήκης οπλισμός κάτω πλάκας  $A_{s,bottom}$  ( $cm^2/m$ )

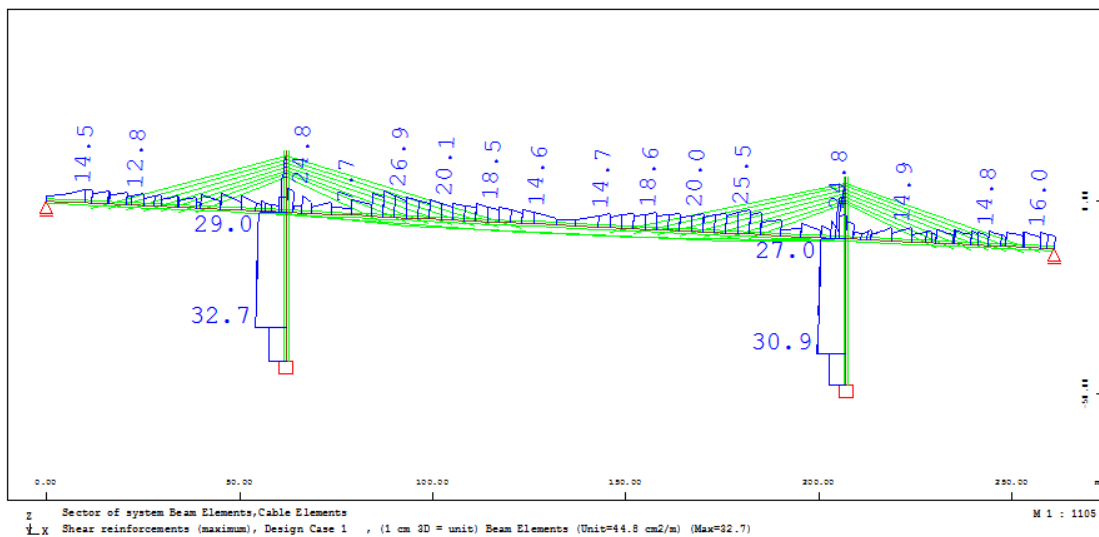


Σχήμα 143 Διαμήκης οπλισμός κορμού  $A_{s,web}$  ( $cm^2/m$ )

## 7.2. Σχεδιασμός έναντι διάτμησης



Σχήμα 144 Τέμνουσες Ο.Κ.Α.  $V_z$  (kN)

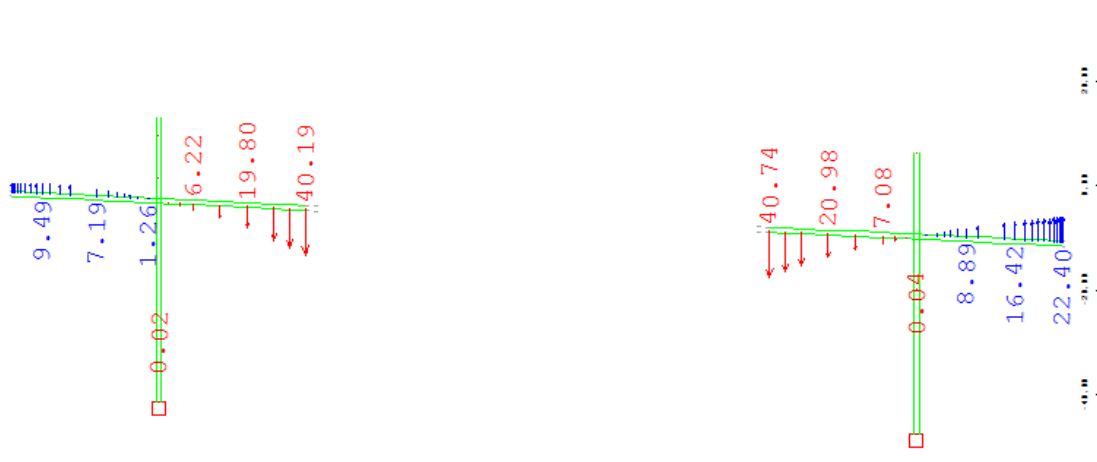


Σχήμα 145 Εγκάρσιος σπλισμός μεμονωμένου κορμού  $A_w$  (cm<sup>2</sup>/m)

## 8. Διάγραμμα αντιβελών

Από την επαλληλία των βελών κάθε σπουνδύλου σε κάθε φάση κατασκευής με αντίθετο πρόσημο, προκύπτει το διάγραμμα αντιβελών. Σκοπός των επιβαλλόμενων αντιβελών, είναι η σύμπτωση των σταθμών του καταστρώματος με την ερυθρά της συγκοινωνιακής μελέτης σε φάση απόδοσης στην κυκλοφορία και ερπυσμού 10.000 ημερών. Τα υπολογιζόμενα αντιβέλη, προσδίδονται στην ανωδομή με κατάλληλη ρύθμιση της κλίσης του φορείου σκυροδέτησης.

Χάρis στην λεπτομερή προσομοίωση κάθε φάσης κατασκευής και των ενδιάμεσων χρόνιων απωλειών, είναι εφικτή η κατασκευή του διαγράμματος αξιοποιώντας τα επιμέρους βέλη κάμψεως, όπως αυτά που ενδεικτικά παρατίθενται.



Σχήμα 146 Ενδεικτικά βέλη (mm) πριν την τάνυση του πρώτου εξωράχιου τένοντα



Σχήμα 147 Ενδεικτικά βέλη (mm) μετά την τάνυση του πρώτου εξωράχιου τένοντα

## 9. Φωτογραφικό υλικό



Εικόνα 27 Ακρόβαθρο E2 υπό κατασκευή



Εικόνα 28 Φορείο σκυροδέτησης σπονδύλων



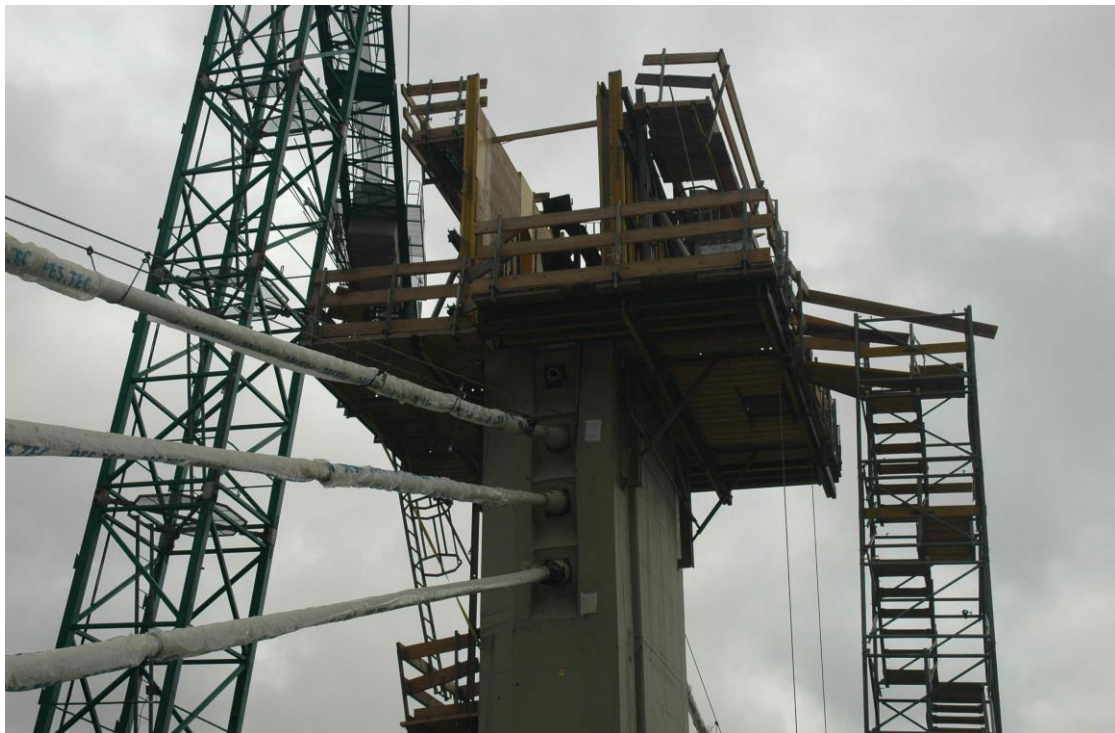
Εικόνα 29 Κατασκευή βάθρου P1



Εικόνα 30 Κατασκευή σπονδύλων 0



Εικόνα 31 Διάταξη αγκύρωσης εξ. τένοντα πάνω από το φτερό της διατομής



Εικόνα 32 Πυλώνας υπό κατασκευή και οι τρεις πρώτοι εξ. Τένοντες



Εικόνα 33 Πυλώνας υπό κατασκευή



Εικόνα 34 Βάθρο P1



Εικόνα 35 Πριν την αποκατάσταση της συνέχειας (1)



Εικόνα 36 Πριν την αποκατάσταση της συνέχειας (2)





Εικόνα 37 Η γέφυρα ολοκληρωμένη (1)



Εικόνα 38 Η γέφυρα ολοκληρωμένη (2)



Εικόνα 39 Πυλώνες και εξωράχιοι τένοντες



Εικόνα 40 Διέλευση από την γέφυρα



# Παράρτημα

## Κατάλογος εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΚΟΡΜΟΥΣ ΣΤΟ ΘΙΒΕΤ .....	16
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ FORTH (1890), ΣΚΩΤΙΑ.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 3 Η ΓΕΦΥΡΑ FORTH ΛΙΓΟ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ .....	18
ΕΙΚΟΝΑ 4 Η ΠΡΩΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΑΠΟ Ω.Σ. ΣΤΟ ΣΑΖΕΛΕ (1875), ΓΑΛΛΙΑ .....	18
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΓΕΦΥΡΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΡΕΙΧΕ (1933), ΒΡΑΖΙΛΙΑ .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΚΡΑΙΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΕΠΙ ΙΚΡΙΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΡΕΙΧΕ .....	20
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΗΣΗ ΕΝ ΕΞΕΛΙΞΕΙ ΣΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΡΕΙΧΕ .....	20
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΓΕΦΥΡΑ ΝΙΒΕΛΥΝΓΕΝ (1953), ΓΕΡΜΑΝΙΑ .....	21
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΓΕΦΥΡΑ ΜΑΡΑΚΑΙΒΟ (1962), ΒΕΝΕΖΟΥΕΛΑ .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΓΕΦΥΡΑ ΝΕΥ ΗΟΕΧΣΤ ΣΤΗΝ ΦΡΑΝΚΦΟΥΡΤΗ (1973), ΓΕΡΜΑΝΙΑ .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΓΕΦΥΡΑ ΒΑΡΤΟΝ ΚΡΕΕΚ (1991), ΤΕΞΑΣ.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΓΕΦΥΡΑ ΓΑΝΤΕΡ (1980), ΕΛΒΕΤΙΑ .....	23
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΠΡΟΠΛΑΣΜΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΕΧΤΡΑΔΟΣΕΩΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΟΥ ΜΑΤΗΝΑΤ (1982).....	24
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΓΕΦΥΡΑ ΒΛΥΕΒΑΥ (1994), ΙΑΠΩΝΙΑ.....	24
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΓΕΦΥΡΑ ΣΑΙΝΤ-ΡΕΜΥ (1996), ΓΑΛΛΙΑ.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΓΕΦΥΡΑ ΣΥΝΝΙΒΕΡΓ (1998), ΕΛΕΤΙΑ .....	25
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΓΕΦΥΡΑ ΚΙΣΟ (2001), ΙΑΠΩΝΙΑ.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΠΡΟΒΟΛΟΙ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ .....	29
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΠΡΟΒΟΛΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΚΛΕΙΔΑΣ.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΦΟΡΕΙΟ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ .....	30
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΔΙΑΔΟΚΙΔΑ ΜΕ ΑΝΘΡΩΠΟΘΥΡΙΔΑ ΔΙΕΛΕΥΣΕΩΣ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΓΕΦΥΡΑ ΣΥΝΝΙΒΕΡΓ ΣΤΗΝ ΕΛΒΕΤΙΑ .....	41
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΣΥΝΗΘΕΣ ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΕΝΟ ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΟ ΚΑΙ ΣΦΗΝΑ (DYWIDAG) .....	48
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΟ ΜΕ ΕΠΙΔΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΦΗΝΑ (DYWIDAG) .....	48
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	55
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΝΑΡΙΩΝ ΝΗΣΩΝ.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΑΚΡΟΒΑΘΡΟ Ε2 ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ .....	171
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΦΟΡΕΙΟ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ .....	171
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΘΡΟΥ Ρ1 .....	172
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΠΟΝΔΥΛΩΝ 0 .....	172
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΕΕ. ΤΕΝΟΝΤΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΦΤΕΡΟ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ .....	173
ΕΙΚΟΝΑ 32 ΠΥΛΩΝΑΣ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΠΡΩΤΟΙ ΕΕ. ΤΕΝΟΝΤΕΣ.....	173
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΠΥΛΩΝΑΣ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	174
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΒΑΘΡΟ Ρ1 .....	174
ΕΙΚΟΝΑ 35 ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (1).....	175
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (2).....	175
ΕΙΚΟΝΑ 37 Η ΓΕΦΥΡΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ (1) .....	176
ΕΙΚΟΝΑ 38 Η ΓΕΦΥΡΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ (2) .....	176
ΕΙΚΟΝΑ 39 ΠΥΛΩΝΕΣ ΚΑΙ ΕΞΩΡΑΧΙΟΙ ΤΕΝΟΝΤΕΣ.....	177
ΕΙΚΟΝΑ 40 ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΦΥΡΑ .....	177

## Κατάλογος πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ (M) ΓΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥΣ ΤΕΝΟΝΤΕΣ (ΠΙΝ. 5.1 EN1992.2 §5.10.5.2) ...	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΚΤΙΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΣΕΛΑΣ ΓΙΑ ΧΑΛΥΒΑ Υ1770.....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (ΠΙΝ. 3.1 EN1992.1.1).....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ (ΠΙΝ. C.1 EN1992.1.1) .....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΑΛΥΒΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΕΩΣ.....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΟΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ.....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΕΙΔΙΚΑ ΒΑΡΗ ΥΛΙΚΩΝ .....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ (ΠΙΝ. 4.1 EN1991.2) .....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΟΔΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (ΠΙΝ. 4.2 EN1991.2) .....	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 ΦΟΡΤΙΑ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ 1 .....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ 1 .....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 ΘΕΣΕΙΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΕΠΙ ΤΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΡΟΧΟΥ .....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 15 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΔΡΑΣΕΩΝ ΟΔΟΓΕΦΥΡΩΝ (ΠΙΝ. A2.1 EN1990).....	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 16 ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΥΨΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ.....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 17 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΕΞΩΡΑΧΙΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ .....	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 18 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ .....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 19 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΒΑΣΗΣ ΒΑΘΡΩΝ .....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 20 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΔΙΧΑΛΑΣ .....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 21 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΒΑΣΗΣ ΠΥΛΩΝΩΝ .....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 22 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΒΟΛΟΥ (ΑΝΩ) ΤΟΥ ΒΑΘΡΟΥ P1 .....	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 23 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΒΟΛΟΥ (ΑΝΩ) ΤΟΥ ΒΑΘΡΟΥ P2 .....	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 24 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ (ΚΑΤΩ).....	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 25 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΩΡΑΧΙΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ .....	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 26 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ .....	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 27 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 28 ΕΥΡΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑΡΤΗΡΩΝ 1,4 & 7 .....	157
ΠΙΝΑΚΑΣ 29 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ (KN) ΑΝΑΡΤΗΡΑ 1 (P1) ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΕ Ο.Κ.Λ & Ο.Κ.Α.....	159
ΠΙΝΑΚΑΣ 30 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ (KN) ΑΝΑΡΤΗΡΑ 4 (P1) ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΕ Ο.Κ.Λ. & Ο.Κ.Α.....	160
ΠΙΝΑΚΑΣ 31 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ (KN) ΑΝΑΡΤΗΡΑ 7 (P1) ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΕ Ο.Κ.Λ. & Ο.Κ.Α.....	160
ΠΙΝΑΚΑΣ 32 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΕΞΩΡΑΧΙΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 1 ΣΕ ΑΝΟΙΓΜΑ 2.....	162
ΠΙΝΑΚΑΣ 33 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ Μ.....	163

## Κατάλογος σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ ΚΙΣΟ (2001) .....	26
ΣΧΗΜΑ 2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΤΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΒΟΛΟΥ .....	27
ΣΧΗΜΑ 3 ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΗΣΗ .....	28
ΣΧΗΜΑ 4 ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΩΜΑΤΟΣ ΠΑΚΤΩΣΕΩΣ .....	28
ΣΧΗΜΑ 5 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΡΘΡΩΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΡΟΒΟΛΩΝ.....	29
ΣΧΗΜΑ 6 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΗΣΗΣ .....	31
ΣΧΗΜΑ 7 ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕΣΩ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ, ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΣΤΟ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟ.....	31
ΣΧΗΜΑ 8 ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟΥ.....	32
ΣΧΗΜΑ 9 ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΔΙΑΔΟΚΙΔΕΣ .....	34
ΣΧΗΜΑ 10 ΤΕΝΟΝΤΕΣ ΠΡΟΒΟΛΟΥ Η ΑΝΩ ΠΕΛΜΑΤΟΣ.....	35
ΣΧΗΜΑ 11 ΤΕΝΟΝΤΕΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ Η ΚΑΤΩ ΠΕΛΜΑΤΟΣ.....	35
ΣΧΗΜΑ 12 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΣΕ ΚΙΒΩΤΙΟΕΙΔΗ ΔΙΑΤΟΜΗ.....	36
ΣΧΗΜΑ 13 ΜΕΛΗ ΑΨΙΔΑΣ .....	38
ΣΧΗΜΑ 14 ΔΙΑΤΟΜΗ ΓΕΦΥΡΑΣ TROIS BASSINS ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΡΕΪΝΙΟΝ (ΜΕΓΙΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 126 Μ) ΜΕ ΛΟΓΟ $D/L=1/30$ ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΙ $1/50$ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ.....	40
ΣΧΗΜΑ 15 ΔΙΑΤΟΜΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΙΣΟ (ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ 275 Μ) ΜΕ ΛΟΓΟ $D/L=1/29$ ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΙ $1/69$ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ.....	40
ΣΧΗΜΑ 16 ΔΙΑΤΟΜΗ ΓΕΦΥΡΑΣ SUNNIBERG .....	41
ΣΧΗΜΑ 17 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΟΡΦΕΣ ΒΑΘΡΩΝ ΚΑΙ ΠΥΛΩΝΩΝ .....	42
ΣΧΗΜΑ 18 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΤΟΜΗ ΕΞΩΡΑΧΙΟΥ ΤΕΝΟΝΤΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ (DYWIDAG) .....	43
ΣΧΗΜΑ 19 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΣΕΛΑΣ (DYWIDAG) .....	44
ΣΧΗΜΑ 20 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕΛΑΣ (DYWIDAG) .....	44
ΣΧΗΜΑ 21 ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΠΥΛΩΝΑ.....	46
ΣΧΗΜΑ 22 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΚΤΙΝΩΤΗΣ (ΑΝΩ), ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΑΡΠΑΣ (ΜΕΣΩΝ) ΚΑΙ ΜΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ (ΚΑΤΩ).....	47
ΣΧΗΜΑ 23 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ (ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΤΟΜΗ) .....	49
ΣΧΗΜΑ 24 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΡΙΒΗΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ .....	52
ΣΧΗΜΑ 25 ΤΟΜΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ .....	56
ΣΧΗΜΑ 26 ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	57
ΣΧΗΜΑ 27 ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟ-ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Σ-Ε, ΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ (ΣΧ. 3.3 EN1992.1.1) .....	59
ΣΧΗΜΑ 28 ΕΞΙΔΑΝΙΚΕΥΜΕΝΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Σ-Ε (Α) ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (Β) ΧΑΛΥΒΑ ΧΑΛΑΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΚΑΙ ΘΛΙΨΗ (ΣΧ. 3.8 EN1992.1.1) .....	60
ΣΧΗΜΑ 29 ΕΞΙΔΑΝΙΚΕΥΜΕΝΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Σ-Ε (Α) ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (Β) ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΕΩΣ (ΣΧ. 3.10 EN1992.1.1).....	60
ΣΧΗΜΑ 30 ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΕΖΟΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ EN1991.2 .....	63
ΣΧΗΜΑ 31 ΔΙΑΤΑΞΗ ΛΩΡΙΔΩΝ ΔΕΞΙΑ, ΟΠΟΥ LANE 10 Η ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΑ ΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΗ .....	64
ΣΧΗΜΑ 32 ΔΙΑΤΑΞΗ ΛΩΡΙΔΩΝ ΑΡΙΣΤΕΡΑ, ΟΠΟΥ LANE 20 Η ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΑ ΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΗ.....	65
ΣΧΗΜΑ 33 ΟΨΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ 1 ΜΕ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ .....	72
ΣΧΗΜΑ 34 ΟΨΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ 2Α ΜΕ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ .....	73
ΣΧΗΜΑ 35 ΟΨΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ 2Β ΜΕ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ .....	73
ΣΧΗΜΑ 36 ΟΨΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ 3 ΜΕ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ .....	74
ΣΧΗΜΑ 37 ΔΙΑΤΟΜΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΜΕ $D/L=1/56$ .....	76
ΣΧΗΜΑ 38 ΔΙΑΤΟΜΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΗΝ ΣΤΗΡΙΞΗ (ΠΑΡΕΙΑ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ) ΜΕ $D/L=1/29$ .....	77
ΣΧΗΜΑ 39 ΘΕΣΕΙΣ ΑΝΘΡΩΠΟΘΥΡΙΔΩΝ ΣΤΙΣ ΔΙΑΔΟΚΙΔΕΣ .....	78
ΣΧΗΜΑ 40 ΔΙΑΔΟΚΙΔΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ.....	78
ΣΧΗΜΑ 41 ΔΙΑΔΟΚΙΔΑ ΑΝΕΥ ΑΝΘΡΩΠΟΘΥΡΙΔΑΣ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΚΡΟΒΑΘΡΟΥ .....	79
ΣΧΗΜΑ 42 ΟΨΕΙΣ ΒΑΘΡΩΝ.....	79
ΣΧΗΜΑ 43 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ.....	80
ΣΧΗΜΑ 44 ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΒΑΣΗΣ ΒΑΘΡΩΝ .....	80
ΣΧΗΜΑ 45 ΔΙΑΤΟΜΗ ΒΑΘΡΩΝ ΣΤΙΣ ΣΤΑΘΜΕΣ +8.80 (P1) ΚΑΙ +8.00 (P2) .....	80
ΣΧΗΜΑ 46 Η ΔΙΑΤΟΜΗ ΒΑΘΡΟΥ ΣΤΑΘΜΩΝ +38.50 (P1) ΚΑΙ +35.00 (P2) (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ Η ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΑΘΜΩΝ +9.80 (P1) ΚΑΙ +8.00 (P2) (ΔΕΞΙΑ) .....	81
ΣΧΗΜΑ 47 ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΒΑΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΚΟΡΥΦΗΣ (ΔΕΞΙΑ) ΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ.....	81
ΣΧΗΜΑ 48 ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΕΞΩΡΑΧΙΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ .....	82
ΣΧΗΜΑ 49 ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΣΕΛΑΣ (ΒΑΣΕΙ ΡΤΙ).....	82

ΣΧΗΜΑ 50 ΘΕΣΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΕΞΩΡΑΧΙΟΥ ΤΕΝΟΝΤΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΦΤΕΡΟ.....	83
ΣΧΗΜΑ 51 ΘΕΣΕΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΕΞΩΡΑΧΙΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ.....	84
ΣΧΗΜΑ 52 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΑΘΡΟΥ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΚΑΜΠΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ.....	84
ΣΧΗΜΑ 53 ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΑΡΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΠΥΛΩΝΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΣΕΛΑΣ.....	84
ΣΧΗΜΑ 54 ΑΞΟΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ.....	85
ΣΧΗΜΑ 55 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ (1).....	85
ΣΧΗΜΑ 56 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ (2).....	86
ΣΧΗΜΑ 57 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ (3).....	86
ΣΧΗΜΑ 58 ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ.....	87
ΣΧΗΜΑ 59 ΟΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ.....	87
ΣΧΗΜΑ 60 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (H) ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ.....	88
ΣΧΗΜΑ 61 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΠΛΑΚΑΣ (D) ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ.....	88
ΣΧΗΜΑ 62 ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ S ΠΡΟΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΚΑΤΩ ΠΛΑΚΑΣ.....	89
ΣΧΗΜΑ 63 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 1 (ΜΕΣΟΥ).....	89
ΣΧΗΜΑ 64 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 2.....	90
ΣΧΗΜΑ 65 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 3.....	90
ΣΧΗΜΑ 66 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 4.....	90
ΣΧΗΜΑ 67 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 5.....	90
ΣΧΗΜΑ 68 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 6.....	90
ΣΧΗΜΑ 69 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 7.....	91
ΣΧΗΜΑ 70 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 8.....	91
ΣΧΗΜΑ 71 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 9.....	91
ΣΧΗΜΑ 72 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 10.....	91
ΣΧΗΜΑ 73 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 11.....	92
ΣΧΗΜΑ 74 ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 12.....	92
ΣΧΗΜΑ 75 ΔΙΑΤΟΜΗ ΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΡΟΥ P1.....	92
ΣΧΗΜΑ 76 ΔΙΑΤΟΜΗ ΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΡΟΥ P2.....	93
ΣΧΗΜΑ 77 ΔΙΑΤΟΜΗ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΩΔΟΜΗ ΚΑΘΕ ΚΛΑΔΟΥ ΤΗΣ ΔΙΧΑΛΑΣ.....	93
ΣΧΗΜΑ 78 ΔΙΑΤΟΜΗ ΒΑΣΗΣ ΠΥΛΩΝΩΝ.....	94
ΣΧΗΜΑ 79 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΕΝΟΝΤΑ.....	98
ΣΧΗΜΑ 80 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΑΤΙΣΗΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ (COUPLER).....	98
ΣΧΗΜΑ 81 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΕΛΑΣ ΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΠΟ ΚΕΚΚΑΜΕΝΗ ΧΑΛΥΒΔΟΣΩΛΗΝΑ.....	98
ΣΧΗΜΑ 82 ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΟΨΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ.....	99
ΣΧΗΜΑ 83 ΚΑΤΟΨΗ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ (ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΚΛΙΜΑΚΑ).....	100
ΣΧΗΜΑ 84 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ.....	100
ΣΧΗΜΑ 85 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 1.....	101
ΣΧΗΜΑ 86 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 2.....	101
ΣΧΗΜΑ 87 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 3.....	102
ΣΧΗΜΑ 88 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 4.....	102
ΣΧΗΜΑ 89 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 5.....	103
ΣΧΗΜΑ 90 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 6.....	103
ΣΧΗΜΑ 91 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 7.....	104
ΣΧΗΜΑ 92 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 8.....	104
ΣΧΗΜΑ 93 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 9.....	105
ΣΧΗΜΑ 94 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 10.....	105
ΣΧΗΜΑ 95 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 11.....	106
ΣΧΗΜΑ 96 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 12.....	106
ΣΧΗΜΑ 97 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 13.....	107
ΣΧΗΜΑ 98 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 14.....	107
ΣΧΗΜΑ 99 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 15.....	108
ΣΧΗΜΑ 100 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 16.....	108
ΣΧΗΜΑ 101 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 17.....	109
ΣΧΗΜΑ 102 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 20.....	109
ΣΧΗΜΑ 103 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 22.....	110
ΣΧΗΜΑ 104 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 23.....	110
ΣΧΗΜΑ 105 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 24.....	111
ΣΧΗΜΑ 106 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 25.....	111

ΣΧΗΜΑ 107 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 26 .....	112
ΣΧΗΜΑ 108 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 27 .....	112
ΣΧΗΜΑ 109 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 28 .....	113
ΣΧΗΜΑ 110 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 29 .....	113
ΣΧΗΜΑ 111 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 30 .....	114
ΣΧΗΜΑ 112 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 31 .....	114
ΣΧΗΜΑ 113 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 32 .....	115
ΣΧΗΜΑ 114 ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΝΟΝΤΑ 33 .....	115
ΣΧΗΜΑ 115 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 4 .....	118
ΣΧΗΜΑ 116 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 5 .....	119
ΣΧΗΜΑ 117 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 6 .....	119
ΣΧΗΜΑ 118 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 7 .....	119
ΣΧΗΜΑ 119 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 8 .....	119
ΣΧΗΜΑ 120 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 9 .....	120
ΣΧΗΜΑ 121 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 10 .....	120
ΣΧΗΜΑ 122 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 11 – ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΤΑ ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ (ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ).....	120
ΣΧΗΜΑ 123 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 12 .....	120
ΣΧΗΜΑ 124 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 13 .....	121
ΣΧΗΜΑ 125 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 14 .....	121
ΣΧΗΜΑ 126 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΣΗΣ 15 - ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ .....	121
ΣΧΗΜΑ 127 ΤΑΣΕΙΣ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (ΜΡΑ) ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΧΝΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ Ο.Κ.Λ. ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ .....	155
ΣΧΗΜΑ 128 ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (ΜΡΑ) ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΧΝΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ Ο.Κ.Λ. ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ .....	155
ΣΧΗΜΑ 129 ΤΑΣΕΙΣ ΑΝΩ ΙΝΑΣ (ΜΡΑ) ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΧΝΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ Ο.Κ.Λ. ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ ΣΤΗΡΙΞΕΩΣ .....	156
ΣΧΗΜΑ 130 ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ (ΜΡΑ) ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΥΧΝΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ Ο.Κ.Λ. ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ ΣΤΗΡΙΞΕΩΣ .....	156
ΣΧΗΜΑ 131 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΝΑΡΤΗΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	161
ΣΧΗΜΑ 132 ΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΤΡΙΒΗΣ ΑΝΑ ΤΕΝΟΝΤΑ.....	163
ΣΧΗΜΑ 133 ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΑΦΑΙΡΟΥΜΕΝΟΥ ΤΕΝΟΝΤΑ.....	164
ΣΧΗΜΑ 134 ΤΑΣΕΙΣ ΑΝΩ ΙΝΑΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΕΝΟΝΤΑ (ΧΑΡΑΚΤ. ΣΥΝΔ. ΓΙΑ $Q_{MMAX}$ ) .....	165
ΣΧΗΜΑ 135 ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΕΝΟΝΤΑ (ΧΑΡΑΚΤ. ΣΥΝΔ. ΓΙΑ $Q_{MMAX}$ ) .....	165
ΣΧΗΜΑ 136 ΤΑΣΕΙΣ ΑΝΩ ΙΝΑΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΕΝΟΝΤΑ (ΧΑΡΑΚΤ. ΣΥΝΔ. $Q_{MIN}$ ) .....	166
ΣΧΗΜΑ 137 ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΙΝΑΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΤΕΝΟΝΤΑ (ΧΑΡΑΚΤ. ΣΥΝΔ. $Q_{MIN}$ ).....	166
ΣΧΗΜΑ 138 ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ Ο.Κ.Α. (κNm) ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ ΑΝΟΙΓΜΑ .....	167
ΣΧΗΜΑ 139 ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ Ο.Κ.Α. (κNm) ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗ ΣΤΗΡΙΞΗ .....	167
ΣΧΗΜΑ 140 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ .....	168
ΣΧΗΜΑ 141 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΝΩ ΠΛΑΚΑΣ $A_{S,ΤΟΡ}$ (cm <sup>2</sup> /M) .....	168
ΣΧΗΜΑ 142 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΤΩ ΠΛΑΚΑΣ $A_{S,ΒΟΤΤΟΜ}$ (cm <sup>2</sup> /M) .....	168
ΣΧΗΜΑ 143 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΟΡΜΟΥ $A_{S,WEB}$ (cm <sup>2</sup> /M) .....	168
ΣΧΗΜΑ 144 ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ Ο.Κ.Α. $V_z$ (κN) .....	169
ΣΧΗΜΑ 145 ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΚΟΡΜΟΥ $A_w$ (cm <sup>2</sup> /M) .....	169
ΣΧΗΜΑ 146 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΒΕΛΗ (mm) ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΑΝΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΕΞΩΡΑΧΙΟΥ ΤΕΝΟΝΤΑ.....	170
ΣΧΗΜΑ 147 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΒΕΛΗ (mm) ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΤΑΝΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΕΞΩΡΑΧΙΟΥ ΤΕΝΟΝΤΑ .....	170





## Βιβλιογραφία

1. EN 1990:2002. *Ευρωκώδικας 0: Βάσεις σχεδιασμού*. CEN-European Committee for Standardization.
2. EN 1991.1.6:2005. *Ευρωκώδικας 1: Δράσεις στους φορείς. Μέρος 1.6: Γενικές δράσεις – Δράσεις κατά την κατασκευή*. CEN-European Committee for Standardization.
3. EN 1991.2:2003. *Ευρωκώδικας 1: Δράσεις στους φορείς. Μέρος 2: Φορτία κυκλοφορίας γεφυρών*. CEN-European Committee for Standardization.
4. EN 1992.1.1:2004. *Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Μέρος 1.1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια*. CEN-European Committee for Standardization.
5. EN 1992.2:2005. *Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Μέρος 2: Γέφυρες από ωπλισμένο σκυρόδεμα-κανόνες σχεδιασμού και λεπτομερειών*. CEN-European Committee for Standardization.
6. SÉTRA: *Design guide-Prestressed concrete bridges built using the cantilever method*. 2003.
7. Fib Bulletin 30: *Acceptance of stay cable systems using prestressing steels*. 2005
8. Leonhardt, F.: *Ολόσωμες κατασκευές - 6. Ολόσωμες γέφυρες*. Εκδόσεις Γκίουρδας, 1979.
9. Τέγος, Ι.: *Ολόσωμες γέφυρες-Πανεπιστημιακές παραδόσεις*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2007.
10. Τάσιος, Θ. Π., Γιαννόπουλος, Π.Ι., Τρέζος, Κ. Γ., Τσουκαντάς, Σ. Γ.: *Προεντεταμένο σκυρόδεμα*. Εκδόσεις Συμμετρία, 1995.

11. Καραγιάννης, Χ. Γ.: *Σχεδιασμός κατασκευών από Προεντεταμένο Σκυρόδεμα*. Εκδόσεις Σοφία, 2015.
12. Menn, C.: *Prestressed Concrete Bridges*. Birkhäuser, 1990.
13. Mermigas, K. K.: *Behaviour and design of Extradosed Bridges*. University of Toronto, MSc Thesis, 2008.
14. El Shenawy, E. A.: *Form finding for Cable-Stayed and Extradosed Bridges*. University of Berlin, PhD Thesis, 2012.
15. Benjumea, J., Chio, G., Maldonado, E.: *Structural behavior and design criteria of extradosed bridges: general insight and state of the art*. Revista Ingenieria de Construcción, 2010.
16. Bujnak, J., Odrobinak, J., Vican, J.: *Extradosed Bridge-Theoretical and Experimental Verification*. Elsevier, 2013.
17. Stefanowski, T., Supel, P., Trochymiak, W.: *Analysis of Changes of Forces and Normal Stress in Extradosed Tendons of the MS-3B Bridge Located on the Ring Road in Ostróda*. EDP Sciences, 2018.
18. Dolinajova, K., Moravcik, M.: *Monitoring and Numerical Analysis of Construction Stages on the Bridge Realized by the Free Cantilever Method*. Elsevier, 2013.
19. Bouassida, Y., et al.: *Bridge Design to Eurocodes - Worked examples*. JRC European Commission, 2012.
20. Llombart, J. A., Revoltós, J., Fernández, J.: *Teror Viaduct in Gran Canaria Island, Spain*. Structural Engineering International (IABSE), 1/2014.
21. Markelj, V.: *The first Extradosed Bridge in Slovenia*. Structural Engineering International (IABSE), 4/2010.