

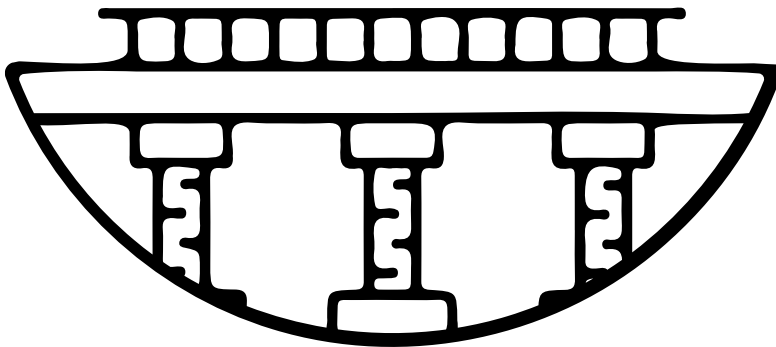


National
Technical
University of
Athens

Διπλωματική Εργασία με Θέμα:

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ
ΑΠΟ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗ ΜΕ ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΗΣΗ**

ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ



Επιβλέπων Καθηγητής: Ζέρης Χρήστος

ΑΘΗΝΑ - ΙΟΥΛΙΟΣ 2023



National
Technical
University of
Athens

Διπλωματική Εργασία με Θέμα:

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ
ΑΠΟ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗ ΜΕ ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΗΣΗ**

ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ζέρης Χρήστος

ΑΘΗΝΑ - ΙΟΥΛΙΟΣ 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας επιτυγχάνεται η ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου στην «Σχολή Πολιτικών Μηχανικών» του «Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου», γεγονός που αποτελούσε έναν από τους σημαντικότερους προσωπικούς στόχους μέχρι σήμερα.

Θα ήθελα λοιπόν, να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνδράμαν με τις γνώσεις και τις συμβουλές τους για την πραγματοποίηση αυτού του στόχου. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ Ζέρη Χρήστο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αλλά και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τα τέσσερα αδέρφια μου, την κοπέλα μου και τους φίλους μου, διότι χωρίς την υποστήριξη τους θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση αυτού του στόχου. Η στήριξή τους ήταν αδιαμφισβήτητα σημαντική καθ' όλη την διάρκεια του αγώνα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έπειτα από προσωπικό ενδιαφέρον για την εμβάθυνση στο προεντεταμένο σκυρόδεμα και στην τέχνη της γεφυροποιίας, προέκυψε η παρούσα διπλωματική εργασία. Στις σελίδες που θα ακολουθήσουν λοιπόν, θα γίνει η παρουσίαση της μελέτης και του σχεδιασμού για την λειτουργικότητα μίας σιδηροδρομικής προεντεταμένης γέφυρας.

Η γέφυρα που έχει επιλεγεί, αποτελείται από τρία ανοίγματα και κατασκευάζεται με την μέθοδο της προβολοδότησης. Επιπλέον, εδράζεται στα ακρόβαθρα με εφέδρανα, ενώ στα μεσόβαθρα η σύνδεση είναι μονολιθική. Στην παρούσα εργασία, η κατάσκευή της γέφυρας μελετάται σε δύο κύρια σενάρια. Αρχικά σε επιβολή φορτίων σε σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και έπειτα σε σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η ανάλυση του έργου μελέτης της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων «DIANA FEA».

Βασικός σκοπός της εργασίας αποτελεί η μελέτη και η παρατήρηση των παραμορφώσεων και των βελών του φορέα και η επιρροή του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης στο συγκεκριμένο έργο ανά φάση προβολοδότησης. Αυτά τα κομμάτια εξετάζονται και στα δύο προαναφερόμενα σενάρια κατασκευής.

ABSTRACT

After a personal interest in delving into prestressed concrete and the art of bridge construction, this thesis emerged. In the following pages, the study and design for the functionality of a railway prestressed bridge will be presented.

The bridge that has been chosen consists of three spans and is constructed using the cantilever method. In addition, it is based on the end piers with bearings, while on the middle piers the connection is monolithic. In this work, the construction of the bridge is studied in two scenarios. Initially in imposing loads on 14-day-old concrete and then on 28-day-old concrete. At this point it is worth mentioning that the analysis of the study project of this thesis was carried out with the finite element software «Diana Fea».

The main purpose of the work is the study and observation of the deformations and deflections of the carrier and the influence of creep and drying shrinkage in the specific project per precast construction phase. These pieces are considered in both of the aforementioned build scenarios.

Λέξεις Κλειδιά: Γεφυροποιία, Προεντεταμένο Σκυρόδεμα, Σιδηροδρομική Γέφυρας, Προέκταση, Ερπυσμός, Συστολή Ξήρανσης, Προβολοδότηση, Παραμορφώσεις, Τάνυση, Βέλη, Φάσεις Κατασκευής, Σχεδιασμός, Λειτουργικότητα, Πεπερασμένα Στοιχεία

A. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	σελ. 13
A.1. Ορισμός της Γέφυρας	13
A.2. Ιστορική Αναδρομή	13
A.3. Η Δομή της Γέφυρας	14
A.4. Δομή και Μεθοδολογία	14
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	σελ. 17
1.1. Ρηγμάτωση Οπλισμένου Σκυροδέματος	17
1.2. Η Φιλοσοφία της Προέντασης	17
1.3. Η Μέθοδος της Προβολοδόμησης	18
1.3.1. Ελέγχοι Ευστάθειας κατά την Κατασκευή	19
1.3.2. Κριτήρια Σχεδιασμού	20
1.3.3. Έλεγχος Βυθίσεων	21
1.4. Ανάλυση Ερπυσμού με Χρόνο-εξέλιξη	22
1.5. Συστολή του Σκυροδέματος	25
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ - ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	σελ. 27
2.1. Υλικά	27
2.1.1. Σκυρόδεμα	27
2.1.2. Χάλυβας Χαλαρού Οπλισμού	28
2.1.3. Χάλυβας Προέντασης	29
2.1.4. Σύστημα Προέντασης MK4	29
2.1.5. Συντελεστές Ασφαλείας Υλικών	31
2.2. Δράσεις Σχεδιασμού	31
2.2.1. Μόνιμα Φορτία	31
2.2.2. Κατασκευαστικά Φορτία	31
2.2.3. Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία	31
2.2.4. Φορτία Κυκλοφορίας	31
2.2.4.1. Κατακόρυφα φορτία - Πρότυπη Φόρτιση LM 71	31
2.2.4.2. Εκκεντρότητα Κατακορύφων Φορτίων	32
2.2.4.3. Διαμήκης Κατανομή Φορτίου ανά Τροχιά	32
2.2.5. Δυναμικά Φαινόμενα	33
2.2.6. Οριζόντια Φορτία	37
2.3. Προένταση	37
2.4. Συνδυασμοί Δράσεων	38
2.5. Υπολογισμός Ερπυσμού κατά EN1992-1-1	40
2.6. Συστολή του Σκυροδέματος	41
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	σελ. 45
3.1. Γενικά – Μέθοδος Κατασκευής	45
3.2. Διάταξη Ανοιγμάτων	46
3.3. Σχεδιασμός Διατομής	49
3.4. Τένοντες Προβόλων	50
3.5. Τένοντες Ανοίγματος	52

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ - ΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ	σελ. 57
4.1. Φορέας	57
4.2. Στηρίξεις	59
4.3. Μηχανικά χαρακτηριστικά Διατομών Καταστρώματος	60
4.4. Μηχανικά Χαρακτηριστικά Λοιπών Διατομών	61
4.5. Τένοντες Προέντασης	62
4.5.1. Τένοντες Προέντασης Μεσοβάθρο M-1	62
4.5.2. Τένοντες Προέντασης Μεσόβαθρο M-2	63
4.5.3. Τένοντες και Παρελκόμενα του Συστήματος MK4	63
4.6. Φάσεις Κατασκευής	65
4.7. Μη γραμμική Ανάλυση σε Φάσεις	68
4.8. Εξαγόμενες Πληροφορίες από Λογισμικό DIANA FEA	73
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ - ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΑΣΕΩΝ & ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	σελ. 85
5.1. Σενάριο A: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών	85
5.2. Σενάριο B: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 28 Ημερών	88
5.3. Σενάριο Γ: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών με Συνεκτίμηση της	91
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	σελ. 93
6.1. Σενάριο A: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών	93
6.2. Σενάριο B: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 28 Ημερών	96
6.3. Σενάριο Γ: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών με Συνεκτίμηση της	98
7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	σελ. 101
7.1. Σενάριο A: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών	101
7.2. Σενάριο B: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 28 Ημερών	105
7.3. Σενάριο Γ: Σκυρόδεμα Ηλικίας 14 Ημερών με Συνεκτίμηση της Ρηγμάτωσης	107
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ. 111
9. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	σελ. 123
10. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	σελ. 125
11. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	σελ. 126
12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	σελ. 130

A. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το έργο μελέτης της διπλωματικής εργασίας αποτελεί μια ευθύγραμμη συνεχής προεντεταμένη γέφυρα, η οποία κατασκευάζεται με την μέθοδο της προβολοδόμησης. Προτού όμως γίνει η απαραίτητη εμβάθυνση, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στον γενικότερο κλάδο της γεφυροποιίας και της ιστορίας της, ανά τους αιώνες.

A.1. Ορισμός της Γέφυρας

Η γέφυρα ορίζεται ως μία αρχιτεκτονική ή τεχνική κατασκευή με την οποία επιτυγχάνεται ζεύξη δύο ή περισσότερων σημείων, με σκοπό τη συνέχεια μιας γραμμής επικοινωνίας, όπως μιας οδού (οδική γέφυρα), ενός σιδηροδρόμου, μιας ροής πεζών ή ενός αγωγού, υπεράνω μεσολαβούντος εμποδίου (φυσικού ή τεχνητού). Μερικά από τα πιο συνήθη εμπόδια που γεφυρώνονται είναι υδάτινες επιφάνειες, άλλοι συγκοινωνιακοί άξονες, τεχνητές υδάτινες ροές, εδαφικές ταπεινώσεις κ.τ.λ.

A.2. Ιστορική Αναδρομή

Οι πρώτες γέφυρες εντοπίζονται στα Προϊστορικά χρόνια, όπου η ανάγκη για την προσπέραση μιας υδάτινης ροής-εμποδίου αποτελούσε σημαντικό πρόβλημα. Ο άνθρωπος αναγκάστηκε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα δημιουργώντας διάφορα περάσματα με δύο τρόπους. Ο πρώτος ήταν με την τοποθέτηση μεγάλων και επίπεδων λίθων πάνω από τις φυσικές ροές, ενώ στον δεύτερο τρόπο χρησιμοποιήθηκαν μεγάλοι κορμοί δέντρων, οι οποίοι γεφύρωναν μικρά ρεύματα. Και οι δύο τρόποι όμως παρείχαν περιορισμένες δυνατότητες.

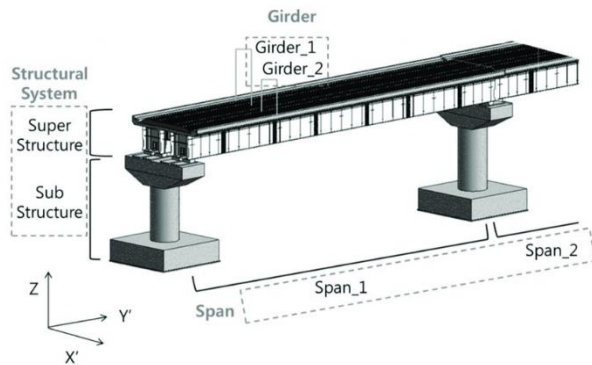
Οι άνθρωποι που ζούσαν στους λιμναίους οικισμούς αντιλήφθηκαν πρώτοι τη δυνατότητα που προσέφεραν τα φυσικά σχοινιά. Έτσι, ξεκίνησε η τοποθέτηση δύο ή περισσότερων κορμών δεμένων μεταξύ τους με σχοινιά, που έδινε αποτελεσματικότερη κατασκευή. Με την πλέξη αυτών των φυσικών σχοινιών οδηγήθηκαν στην κατασκευή των πρώτων κρεμαστών γεφυρών. Ο άνθρωπος της νεολιθικής εποχής πιστεύεται ότι το 4.000 π.Χ. ήταν ήδη ώριμος να μιμηθεί τα φυσικά τόξα. Έτσι, επεξεργάζεται μεγάλους λίθους και τους τοποθετεί σε μορφές τόξων.

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, το νέο υλικό στη γεφυροποιία είναι ο σίδηρος, αρχικά ως χυτοσίδηρος, αλλά στην πορεία ως χάλυβας. Οι πολύ υψηλές αντοχές του χάλυβα επέτρεψαν την κατάσκευή πολύ μεγάλων γεφυρών, ενώ η παράλληλη ανάπτυξη του σιδηροδρόμου αποτέλεσε σημαντική επίδραση στη γεφυροποιία.

Περίπου στο τέλος του 19^{ου} αιώνα και στις αρχές του 20^{ου} εμφανίστηκε το οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Το υλικό αυτό και η χρονικά παράλληλη εμφάνιση και εφεύρεσή του αυτοκινήτου έδωσαν νέες σημαντικές δυνατότητες κατασκευής γεφυρών. Παρ' όλα αυτά όμως, οι βασικοί τύποι γεφυρών δεν άλλαξαν, αλλά παρατηρείται μεγάλη ποικιλία στα υλικά και τις δυνατότητες τους, επιτρέποντας τη δημιουργία γεφυρών με άνοιγμα μεγαλύτερο του ενός χιλιομέτρου.

A.3. Η Δομή της Γέφυρας

Οι σύγχρονες γέφυρες αποτελούνται από τρία κύρια στοιχεία που τις συνθέτουν, το κατάστρωμα, ο φορέας και τα βάθρα. Το κατάστρωμα στηρίζεται στον φορέα της γέφυρας, που με τη σειρά του στηρίζεται στα βάθρα, αλλά πολλές φορές οι δύο αυτές δομές συμπίπτουν. Το κατάστρωμα είναι η κατασκευή που φέρει την κυκλοφορία, ενώ τα φορτία της κυκλοφορίας διαβιβάζονται μέσω του καταστρώματος στον φορέα που με τη σειρά του τα μεταφέρει στα βάθρα και εκείνα στο έδαφος.



Εικόνα 1: Η Δομή της Γέφυρας.

Η γέφυρα αποτελεί σημαντική προσφορά στον άνθρωπο, καθώς εξυπηρετεί τις κοινωνικές του ανάγκες, εξασφαλίζει την γρήγορη και ασφαλή μετακίνηση προσώπων και μεταφορά πραγμάτων μεταξύ περιοχών, ενώ παράλληλα συμβάλλει θετικά στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

A.4. Δομή και Μεθοδολογία

Στόχος της διπλωματικής είναι η εξέταση της επιρροής των ερπυστικών φαινομένων και του φαινομένου της συστολής ξηράνσεως σε όλη περίοδο της κατασκευής του έργου μελέτης. Η ανάλυση εφαρμόζεται σε δύο κατασκευαστικά σενάρια, τα οποία θα αναλυθούν εκτενέστερα στην συνέχεια. Επιπλέον, για την εκπόνηση της εργασίας έγινε η χρήση του λογισμικού «DIANA FEA» το οποίο αποτελεί ένα λογισμικό στον χώρο της επίλυσης ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων που κάνει βασική και προηγμένη ανάλυση διαφόρων δομών.

Στα πρώτα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας γίνεται αναφορά σε θεωρητικά στοιχεία, απαραίτητα για την πορεία της έρευνας, ενώ στη συνέχεια αναφέρονται οι παραδοχές του σχεδιασμού και η αναλυτική περιγραφή του έργου μελέτης. Επιπλέον, παρουσιάζεται εκτενώς η μόρφωση του προσομοιώματος, όπως ο σχεδιασμός των διατομών και του φορέα, ο σχεδιασμός χάραξης και εφαρμογής της προέντασης, η ρύθμιση των παραμέτρων για την μη γραμμική ανάλυση και τα χρονοδιαγράμματα των φάσεων και των συνδυασμών φορτίσεων.

Μετά την ανάλυση, γίνεται η επαλήθευση των αποτελεσμάτων και ο έλεγχος για πιθανές βελτιστοποιήσεις στο σύστημα. Επομένως, υπάρχει πλέον μία ολοκληρωμένη εικόνα για τα δια-

γράμματα τάσεων και παραμορφώσεων του έργου μελέτης της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται η ακριβή επιρροή των φαινομένων του ερπυσμού και συστολής ξήρανσης σε κάθε φάση κατασκευής του έργου και μελετάμε τα διαγράμματα των μετακινήσεων του φορέα.

Το πρόβλημα επιλύεται σε τρία σενάρια ανάλυσης και κατασκευής. Το πρώτο σενάριο αφορά την επιβολή φορτίων σε σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών, το δεύτερο σενάριο αφήνουμε το σκυρόδεμα να ωριμάσει έως τις 28 μέρες και το τρίτο και τελευταίο σενάριο αφορά την επιβολή φορτίων σε σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών συνεκτιμώντας όμως και το φαινόμενο της ρηγμάτωσης.

Στο τέλος της εργασίας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα σενάρια κατασκευής και ανάλυσης που μελετήθηκαν.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα αποτελούν κατασκευές στις οποίες εφαρμόζονται εξωτερικές θλιπτικές δυνάμεις με σκοπό να εξισορροπήσουν και να ξεπεράσουν τις εφελκυστηκές τάσεις. Οι τάσεις αυτές θα δημιουργηθούν λόγω αναπόφευκτων φορτίων, όπως τα φορτία βαρύτητας, του ανέμου αλλά και τα κινητά φορτία. Η προένταση του σκυροδέματος πραγματοποιείται πριν από την έναρξη λειτουργίας της κατασκευής.

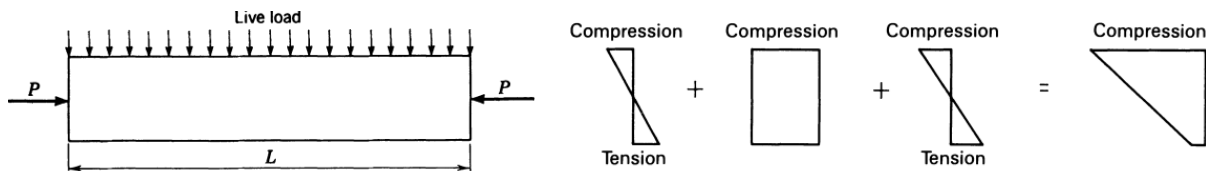
1.1. Ρηγμάτωση Οπλισμένου Σκυροδέματος

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του συμβατικά οπλισμένου σκυροδέματος είναι το γεγονός ότι παρουσιάζει ρωγμές εφελκυσμού, λόγω της κάμψης ακόμη και υπό τα φορτία εργασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα εξής:

- Ενθαρρύνεται η διάβρωση του χάλυβα και εμφανίζεται μείωση της υδατοστεγανότητας.
- Δημιουργούνται πιο εύκαμπτες κατασκευές με αρκετά προβλήματα συντήρησης, λόγω της αυξημένης παραμόρφωσης και των ρωγμών - μεγάλα βέλη κάμψης.
- Το σκυρόδεμα που φέρει ρωγμές παύει να συμβάλλει στην συνολική αντοχή και συνεπώς επιβαρύνει την κατασκευή με επιπρόσθετο βάρος. Παρατηρείται αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας οπλισμού.
- Καταπονείται σε μεγάλο βαθμό ο χαλαρός οπλισμός και έτσι καθορίζει και το πλάτος των ρωγμών - κίνδυνος κόπωσης.

1.2. Η Φιλοσοφία της Προέντασης

Η ανάγκη για τη «γεφύρωση» μεγαλύτερων ανοιγμάτων και μεγαλύτερη παραλαβή φορτίων φέρει την ιδέα της προέντασης, η οποία συμβάλλει ταυτόχρονα στην αποφυγή της ρηγμάτωσης και των επακόλουθων της. Η διατομή προφορτίζεται διασφαλίζοντας ότι θα εκμεταλλευτούμε όσο το δυνατόν περισσότερο τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Η εφαρμογή της προέντασης γίνεται πριν την έναρξη λειτουργίας της κατασκευής και πριν την εφαρμογή οποιαδήποτε κινητού φορτίου. Με τον τρόπο αυτό, ολόκληρη η διατομή βρίσκεται υπό θλίψη, δηλαδή αποφεύγεται η εμφάνιση εφελκυστικών τάσεων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.

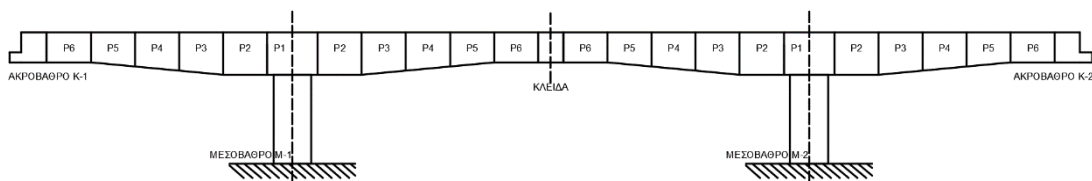


Εικόνα 2: Διατομή υπό Θλίψη λόγω Προέντασης και Διαγράμματα Τάσεων Διατομής ανά Στάδια.

1.3. Η μέθοδος της Προβολοδόμησης

Με την μέθοδο της προβολοδόμησης εννοούμε την κατασκευαστική διαδικασία όπου η κατασκευή ξεκινά από μία σταθερή βάση (μεσόβαθρο ή σώμα πακτώσεως) και συνεχίζει η συμμετρική προώθηση σε διαδοχικά στάδια (διακεκριμένα). Κατά την διάρκεια της διαδικασίας όλα τα στοιχεία της δόμησης στηρίζονται κατά κυρίως στην σταθερή βάση, χωρίς κάποια επιπρόσθετη στήριξη στο έδαφος.

Τα τμήματα προόδου της κατασκευής, ή αλλιώς σπόνδυλοι, έχουν συνήθως μήκη που ξεκινάνε από 3m και καταλήγουν 5m.

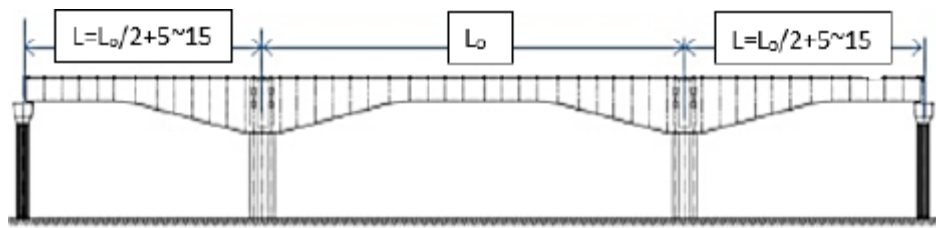


Εικόνα 3: Μέθοδος Προβολοδόμησης.

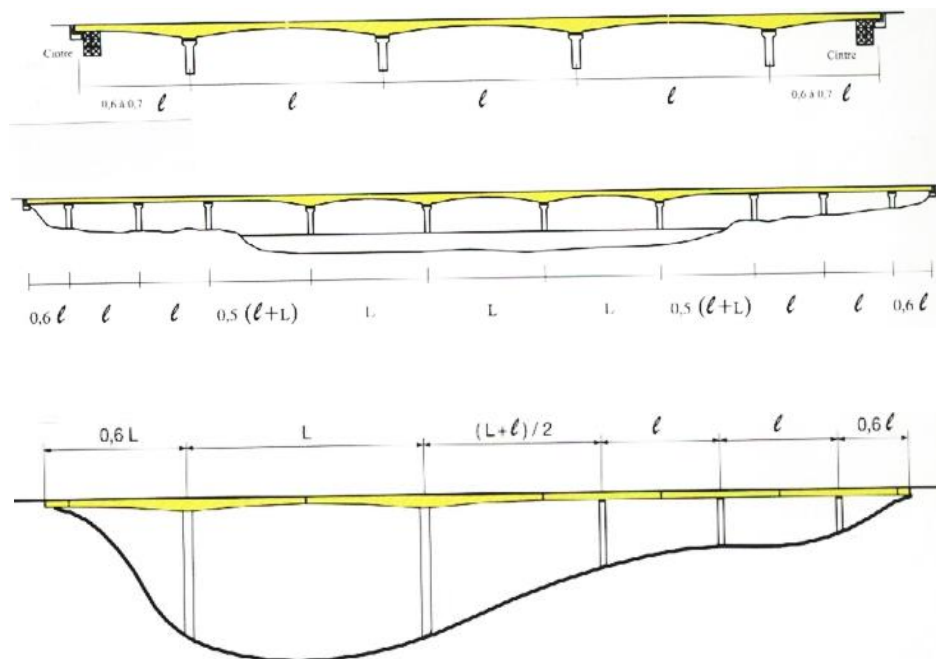
Η διαδικασία ξεκινάει από τις σταθερές βάσεις (μεσόβαθρα ή σώματα πακτώσεως), στις οποίες κατασκευάζονται συμμετρικά πρόβολοι ως το ακρόβαθρο και ως το μέσον του επόμενου ανοιγματος. Σε αυτό το σημείο, γίνεται χρήση φορείων (κινητοί ξυλότυποι) για την επί τοπου σκυροδέτηση των σπονδύλων. Μερικές φορές, μπορεί να χρησιμοποιηθούν προκατασκευασμένοι σπόνδυλοι.

Ο αμέσως επόμενος σπόνδυλος στηρίζεται στον προηγούμενο σπόνδυλο μέχρι να σκυροδετηθεί και να ενεργοποιηθεί η προέντασή του. Μόλις ολοκληρωθεί η συμμετρική προβολοδόμηση και οι τελευταίοι σπόνδυλοι κάθε πλευράς έχουν πλησιάσει μεταξύ τους, τότε σκυροδετείτε η κλειδα, η οποία φέρει και την αποκατάσταση της συνέχειας στο φορέα. Συνήθως, η μέθοδος της προβολοδόμησης εφαρμόζεται όταν η χρήση ικριωμάτων καλείται αδύνατη λόγω τοπογραφίας, ύψους και των συνθηκών του εδάφους και αποσκοπεί στην γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων.

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψιν ότι ο επαναληπτικός χαρακτήρας, ανά φάση των εργασιών στην ανωδομή και στο κατάστρωμα, είναι αυτός που θέτει την μέθοδο οικονομική σε γεφύρωση μεγάλων ανοιγμάτων (50m-60m, 70m-250m).



Εικόνα 4: Τυπική Διάταξη Ανοιγμάτων Προβολοδόμησης (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).



Εικόνα 5: Συνέχεια Τυπικής Διάταξης Ανοιγμάτων Προβολοδόμησης (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).

Σε κάθε ένα από τα βήματα προόδου της κατασκευής ελέγχονται οι διατομές, καθώς γίνονται διαδοχικές αλλαγές του στατικού συστήματος. Συγκεκριμένα, ανά φάση κατασκευής διαφέρουν η εξωτερική ένταση, ο αριθμός των τενόντων και οι δυνάμεις προεντάσεως, ο ερπυσμός, η συστολή ξηράσεως και οι παραμορφώσεις.

1.3.1 Έλεγχοι Ευστάθειας κατά την Κατασκευή

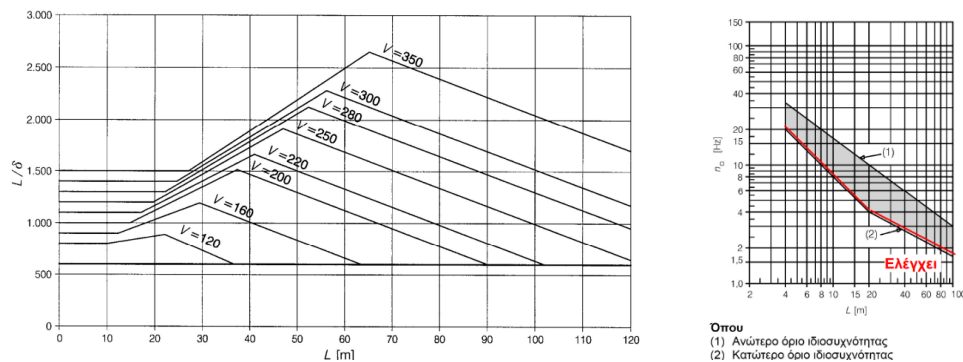
Με βάση τον κανονισμό EN1991.2, είναι υποχρεωτικοί ο έλεγχος και η εξασφάλιση της ευστάθειας των τμημάτων του συστήματος πριν από την αποκατάσταση της συνέχειας. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η δυσμενής φόρτιση, όπου αφορά:

- Μη ταυτόχρονη σκυροδέτηση των αντίστοιχων σπονδύλων
- Κατασκευαστικές ανακρίβειες (διαφορές βαρών ή μήκους προβόλων)
- Συνήθη φορτία σε εργοταξιακούς χώρους: αποθήκευση υλικών, φορτία μηχανημάτων, φορτία προσωπικού
- Ανεμοπίεση
- Τυχηματικές δράσεις

Η εξασφάλιση της συνέχειας επιτυγχάνεται με την αγκύρωση του καταστρώματος στα βάθρα με ράβδους αγκυρώσεως (περίπτωση εδράσεως με εφέδρανα) και τοποθέτηση προσωρινών στηρίξεων αν είναι αναγκαίο.

1.3.2 Κριτήρια Σχεδιασμού

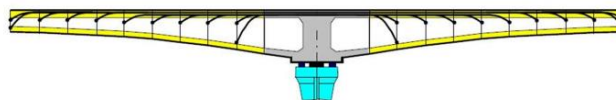
Περιορισμός βέλους κάμψης κατά EN 1990 και θεμελιώδους ιδιοσυχνότητας κατά EN 1991-2:



Γράφημα 1: Περιορισμός Βέλους Κάμψης κατά EN 1990 και Θεμελιώδους Ιδιοσυχνότητας κατά EN 1991-2.

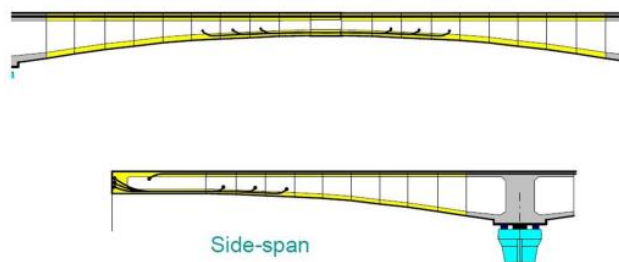
Η προένταση εφαρμόζεται με τέσσερις τύπους Τενόντων:

- Τένοντες Άνω Πέλματος (προβόλου): Παραλαμβάνουν τις προβολικές ροπές και αποτελούν τον σημαντικότερο οπλισμό. Διατάσσονται σε όλο το πλάτος της πλάκας κατάστρώματος και αγκυρώνονται στις θέσεις συμβολής κορμών και πλάκας.



Εικόνα 6: Τένοντες άνω πέλματος (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).

- Τένοντες Κάτω Πέλματος (ανοίγματος): Παραλαμβάνουν τις ροπές του ανοίγματος στο κάτω πέλμα μετά την αποκατάσταση της συνέχειας. Διατάσσονται στο κάτω πέλμα και αγκυρώνονται σε ειδικά σώματα αγκυρώσεως τα οποία κατασκευάζονται στη συμβολή κορμού και πλάκας πυθμένα.



Εικόνα 7: Τένοντες Κάτω Πέλματος (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).

- Τένοντες Συνεχείας: Χαρακτηρίζεται ως εφεδρική προένταση και προβλέπεται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα αν διαπιστωθούν σημαντικές παραμορφώσεις μετά την αποκατάσταση της συνέχειας.
- Εγκάρσιοι Τένοντες: Σε περιπτώσεις μεγάλου πλάτους καταστρώματος αναλαμβάνουν τις εγκάρσιες εντάσεις της πλάκας.

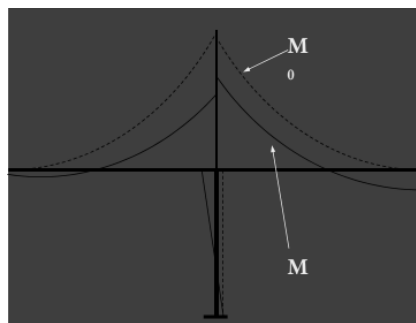
Είναι επιθυμητό η προένταση να είναι αυξημένη έτσι ώστε να αντισταθμίζει σε μεγάλο ποσοστό το ίδιο βάρος της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι ελαστικές και οι ερπυστικές παραμορφώσεις, μειώνεται η αβεβαιότητα της ερπυστικής ανακατανομής και περιορίζεται ο συνελκόμενος οπλισμός όπου απαιτείται για την εξασφάλιση περιορισμένης ρηγμάτωσης. Απαιτείται:

- Μηδενικός εφελκυσμός σε όλη την διατομή για τον συνδυασμό:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \rightarrow 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{όπου } \Psi_{2,i} = 0.5$$

- Οι εφελκυστικές τάσεις να περιορίζονται σε τιμές μικρότερες της μέσης εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ctm} για τον συνδυασμό:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \rightarrow 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{όπου } \Psi_{2,i} = 1$$

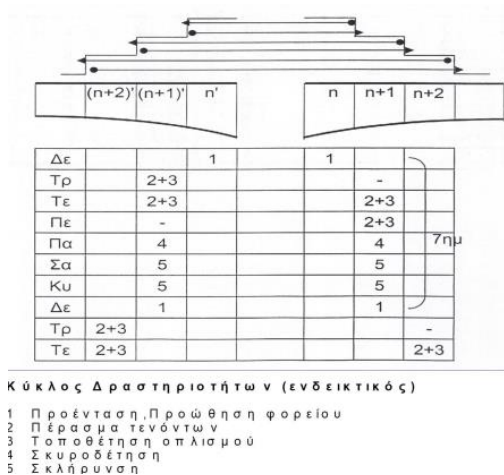


Εικόνα 8: Ανακατανομή της Έντασης λόγω Ερπυσμού (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).

1.3.3. Έλεγχος Βυθίσεων

Ο έλεγχος των αναπτυσσόμενων βυθίσεων σε κάθε στάδιο της κατασκευής είναι από τα κυριότερα ζητήματα κατά την κατασκευή. Στόχος είναι να συμπέφτουν οι στάθμες του καταστρώματος με τις αντίστοιχες στάθμες της συγκοινωνιακής μελέτης του έργου σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου σε κάθε φάση υπολογίζονται αντιβέλη λαμβάνοντας υπόψιν:

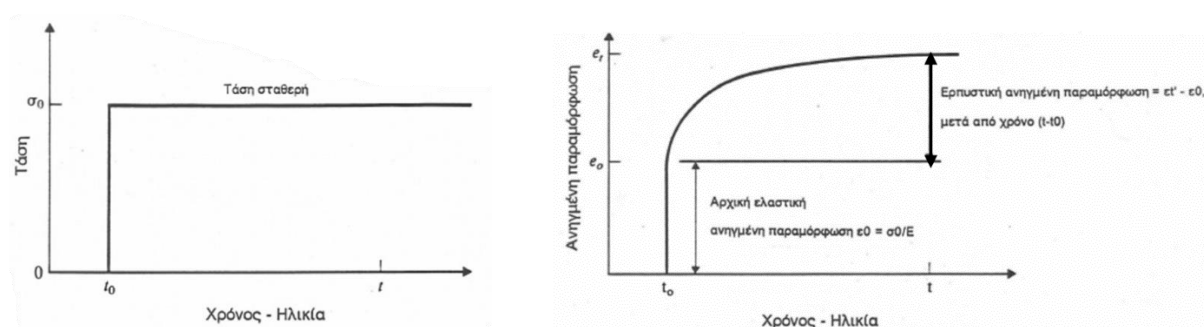
- το βέλος του φορείου λόγω του βάρους του σκυροδέματος
- τα Βέλη των προβόλων λόγω ίδιου βάρους, δυνάμεις προεντάσεως κ.λπ.
- την χρονική εξέλιξη των βελών πριν από την αποκατάσταση της συνέχειας



Εικόνα 9: Κύκλος Δραστηριοτήτων - Συμμετρική Προβολοδόμηση (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).

1.4. Ανάλυση Ερπυσμού με Χρόνο-εξέλιξη

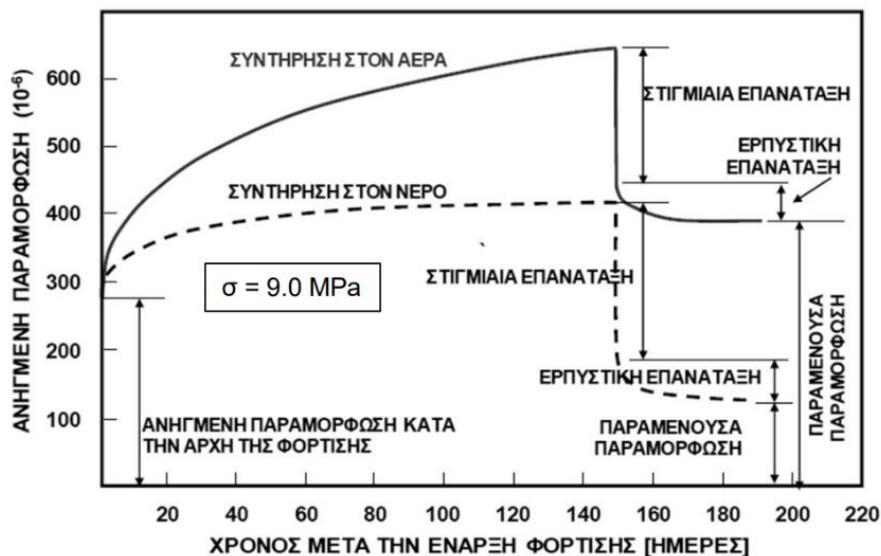
Το φαινόμενο της αύξησης των παραμορφώσεων του σκυροδέματος, υπό σταθερή τάση, μετά την αφαίρεση και άλλων χρονικά εξαρτώμενων παραμορφώσεων (συστολές), ονομάζεται ερπυσμός.



Γράφημα 2: Ηλικία Έργου υπό Σταθερή Τάση και Ανηγγεμένη Παραμόρφωση με Ηλικία Έργου υπό Σταθερή Τάση.

Χαρακτηριστικά συμπεριφοράς σκυροδέματος στο χρόνο υπό εφαρμοζόμενη φόρτιση:

- Ελαστική άμεση παραμόρφωση (σε δευτερόλεπτα)
- Χρόνια ερπυστική παραμόρφωση (ημέρες, μήνες, χρόνια)
- Ελαστική επανάταξη (σε δευτερόλεπτα)
- Ερπυστική επανάταξη
- Παραμένουσα παραμόρφωση



Γράφημα 3 Χαρακτηριστικά συμπεριφοράς σκυροδέματος

Ερπυστικές Παραμορφώσεις:

Περισσότερο ενδιαφέρον έχει η μελέτη των Ερπυστικών Παραμορφώσεων για τους πρώτους μήνες ή τα πρώτα χρόνια συνεχής φόρτισης, είτε η τελική τιμή της ερπυστικής παραμόρφωσης ($\varphi^* \epsilon_0$). Μετά την πάροδο των πρώτων είκοσι ετών συνεχούς φόρτισης, η αύξηση των ερπυστικών παραμορφώσεων είναι μηδαμινή. Συγκεκριμένα:

- Το 25% της $\varphi(t=20\text{έτη})$ προκύπτει στις 2 εβδομάδες
- Το 50% της $\varphi(t=20\text{έτη})$ προκύπτει στους 3 μήνες
- Το 75% της $\varphi(t=20\text{έτη})$ προκύπτει στον 1 χρόνο

Συνθήκες υπό τις οποίες μας απασχολούν οι ερπυστικές παραμορφώσεις:

- Στεγανές συνθήκες - βασικός ερπυσμός
- Συνθήκες στον αέρα με ταυτόχρονη ξήρανση
- Συνθήκες στο νερό με ταυτόχρονη διόγκωση
- Παράλληλη αύξηση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη διαστολή

Από τι εξαρτάται ο ερπυσμός;

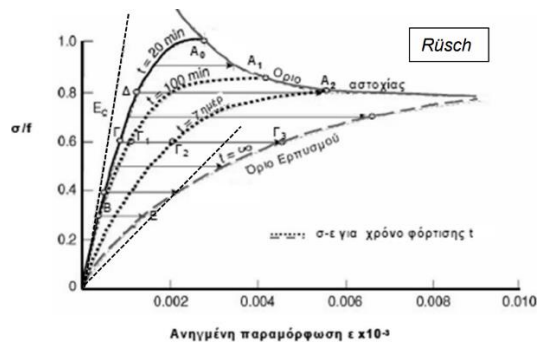
- Ηλικία ενάρξεως φόρτισης
- Διάρκεια φόρτισης
- Μέγεθος στοιχείου
- Σχετική υγρασία περιβάλλοντος
- Αντοχή σκυροδέματος
- Την σύνθεση του σκυροδέματος
- Τον τύπο του τσιμέντου
- Παραμέτρους σχεδιασμού, τύπος τσιμέντου στη σύνθεση

Πρακτικές συνέπειες ερπυσμού:

- Αύξηση παραμορφώσεων χωρίς αύξηση φορτίου
- Μείωση της δυνάμεως προντάσεως
- Άμβλυνση εντάσεως από επιβαλλόμενες παραμορφώσεις μακράς διάρκειας
- Ανακατανομές εντάσεως σε δομήματα των οποίων το στατικό σύστημα ή η διατομή αλλάζει (προβολοδομήσεις, φάσεις κατασκευής, κ.α.)

Πως μπορούμε να περιορίσουμε τις ερπυστικές παραμορφώσεις;

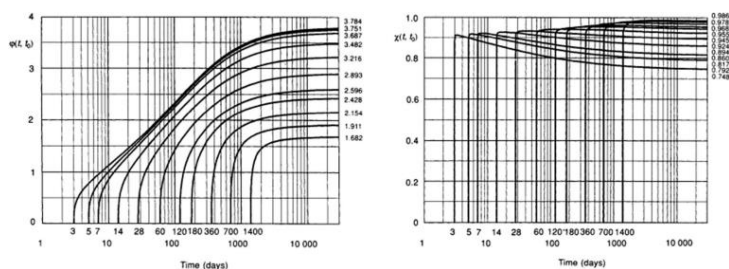
- Μελέτη σύνθεσης
- Μείωση τσιμέντο-πολτού
- Μείωση του λόγου νερού / τσιμέντο (N/T)
- Επιλογή χονδροκόκκων αδρανών
- Αύξηση αντοχής σκυροδέματος
- Αύξηση των διαστάσεων του στοιχείου
- Αύξηση χρόνου συντήρησης σε υγρό περιβάλλον (νερό, ατμός)
- Αύξηση σχετικής υγρασίας (όπου είναι εφικτό)
- Καθυστέρηση έναρξη της φόρτισης (ξεκαλούπωμα, τάνυση, κινητά)
- Καθυστέρηση εφαρμογής της τάνυσης και μείωση της εφαρμοζόμενης τάσης σ_{p0} μετά την μεταφορά της τάνυσης



Γράφημα 4 $\sigma - \epsilon$ υπό σταθερή τάση στο χρόνο

Μέτρο ελαστικότητας με μειωτικό συντελεστή (συντελεστής γήρατος κατά Τρόστ)

$$\bar{E}(t) = \frac{E_{cm}}{1 + \chi\phi(\tau, t)}, \chi = 0.80$$



Γράφημα 5 Συντελεστές ερπυσμού και γήρατος

1.5. Συστολή Του Σκυροδέματος

Συστολή ονομάζεται το φαινόμενο μείωσης του όγκου του σκυροδέματος χωρίς την εφαρμογή φορτίου που οφείλεται σε μεταβολή της υγρασίας στη μάζα του σκυροδέματος (λόγω περιβάλλοντος) και σε φυσικο-χημικές δράσεις στη μάζα του από την ενυδάτωση του τσιμέντου ή/και από περιβαλλοντικές δράσεις (CO_2).

Είδη Συστολής:

- Πρώιμη συστολή νωπού σκυροδέματος (πλαστική)
- Συστολή λόγω ενανθράκωσης
- Συστολή λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών (ΟΚΛ)
- Χημική και ενδογενής (αυτογενής) συστολή ε_{ca}
- Συστολή ξήρανσης ε_{cd}
- Κατά EN 1992-1-1 χρόνιες απώλειες: $\varepsilon_{cs}(t) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t)$

Πρώιμη Συστολή Νωπού Σκυροδέματος (πλαστική):

- Η συστολή που υφίσταται το σκυρόδεμα σε πλαστική κατάσταση >30 λεπτά έως <6 ώρες περίπου από την ανάμιξη και οφείλεται στην ταχεία απώλεια νερού από τα όρια λόγω εξάτμισης ή απορρόφησης από τους τύπους (ή τεχνητή απορρόφηση).
- Είναι συνήθως επιφανειακή και σπανίως διατρέχει την διατομή σε όλο της το πάχος, εκτός αν υπάρχει και θερμοκρασιακή ρηγμάτωση.
- Επηρεάζει την συνάφεια των άνω ράβδων αλλά δεν έχει συνήθως σοβαρές συνέπειες στην στατική συμπεριφορά της διατομής.
- Είναι πλέον συνήθης σε οριζόντιες επιφάνειες-πλάκες.
- Έχει αρνητικές συνέπειες στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και τη διάβρωση των οπλισμών.

Αυτογενής Συστολή και Συστολή Ξήρανσης:

- Αυτογενής: Προκύπτει κατά την νεαρή ηλικία, εφόσον δεν υπάρχει δυνατότητα πρόσδοσης νερού από το περιβάλλον στη μάζα του ενυδατωμένου πηγματος, όπου υπάρχουν πάντοτε άδεια τριχοειδή λόγω χημικής συστολής του τσιμεντοπολτού. Εξαρτάται από το λόγο N/T και είναι δυσμενέστερη σε συνθέσεις έλλειψης νερού (χαμηλός N/T, σκυροδέματα υψηλής θλιπτικής αντοχής)
- Συστολή Ξήρανσης: Κατά την φάση της σκλήρυνσης και σε βάθος χρόνου, δημιουργείται ένα πολύπλοκο σύστημα μηνίσκων στην μάζα. Το νερό από τα τριχοειδή του σκυροδέματος σταδιακά εξέρχεται προς το περιβάλλον και δημιουργούνται δυνάμεις στα τριχοειδή που προκαλούν συμπίεση του υλικού.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

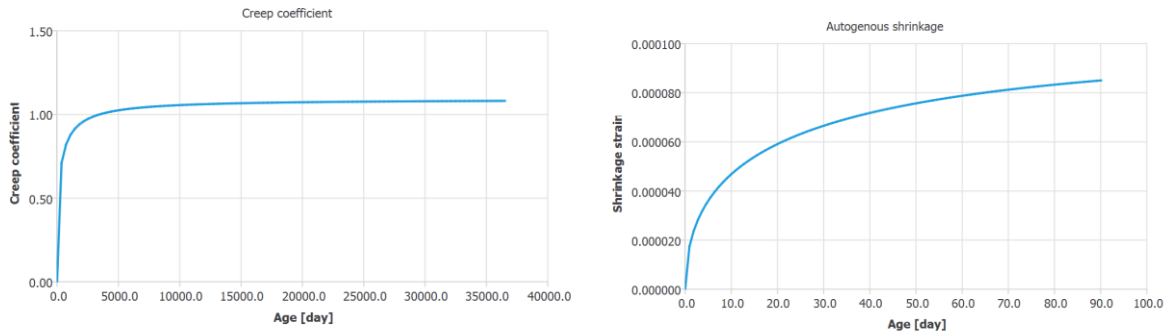
ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2.1. Υλικά

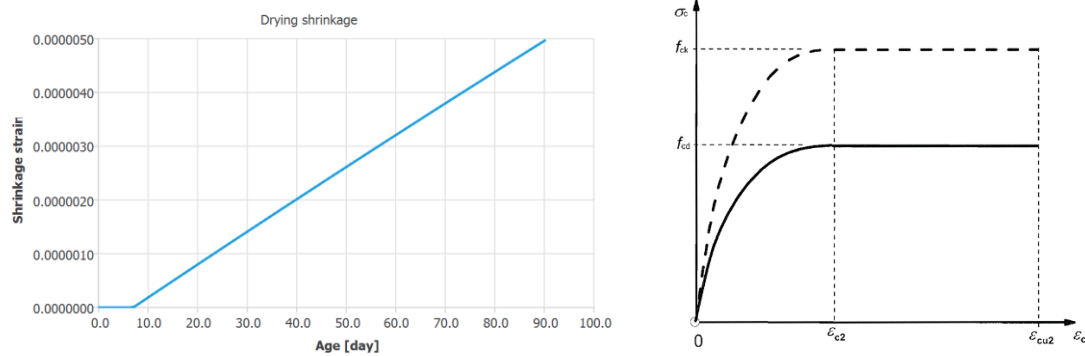
2.1.1. Σκυρόδεμα - Χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα C50/60 κανονικού βάρους (κανονικό σκυρόδεμα ή αλλιώς normal weight concrete) με λατομικά αδρανή που έχουν προέλθει από ασβεστολιθικά πετρώματα. Τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος λήφθηκαν από τον κανονισμό σχεδιασμού για κατασκευές από σκυρόδεμα «FIB» του έτους 2010.

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	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2)}$ \leq C50/60 $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10))$ $>$ C50/60
$f_{ctk,0,05}$ (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	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{ctk,0,95}$ (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	$f_{ctk,0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 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)
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	see Figure 3.2 $\epsilon_{c1}^{(f_{ck})} = 0,7 \cdot f_{cm}^{0,21} \leq 2,8$ (‰)
ϵ_{cu1} (‰)	3,5								3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu1}^{(f_{ck})} = 2,8 + 27((98 - f_{ck})/100)^4$
ϵ_{c2} (‰)	2,0								2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c2}^{(f_{ck})} = 2,0 + 0,085((f_{ck} - 50)^{0,53})$
ϵ_{cu2} (‰)	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu2}^{(f_{ck})} = 2,6 + 35((90 - f_{ck})/100)^4$
n	2,0								1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	1,4	for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4((90 - f_{ck})/100)^4$
ϵ_{c3} (‰)	1,75								1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{c3}^{(f_{ck})} = 1,75 + 0,55((f_{ck} - 50)/40)$
ϵ_{cu3} (‰)	3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\epsilon_{cu3}^{(f_{ck})} = 2,6 + 35((90 - f_{ck})/100)^4$

Πίνακας 1: Μηχανικά Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος (πιν. 3.1 EN1992.1.1).



Γράφημα 6: Συντελεστής Ερπυσμού - Creep Coefficient και Αυτογενής Συστολή - Autogenous Shrinkage.



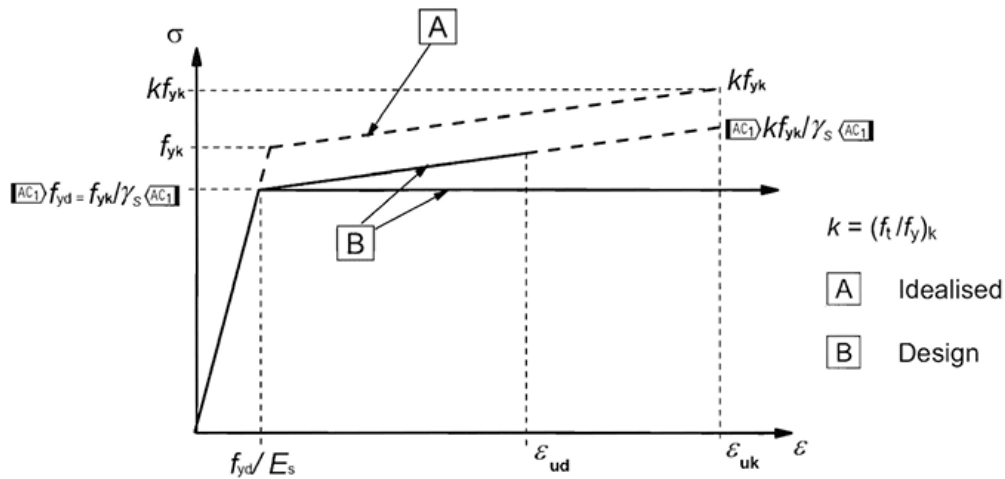
Γράφημα 7: Συστολή Ξήρανσης - Drying Shrinkage και Παραβολικό-Ορθογωνικό Διάγραμμα σ-ε, σκυρόδεμα υπό θλίψη (σχ.3.3 EN1992.1.1).

2.1.2. Χάλυβας χαλαρού σπλισμού - Χάλυβας ποιότητας B500 B

- Χαρακτηριστικό Όριο Διαρροής $f_{yk}=500 \text{ MPa}$
- Μέτρο Ελαστικότητας $E_s = 200 \text{ GPa}$
- Ειδικό Βάρος $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$

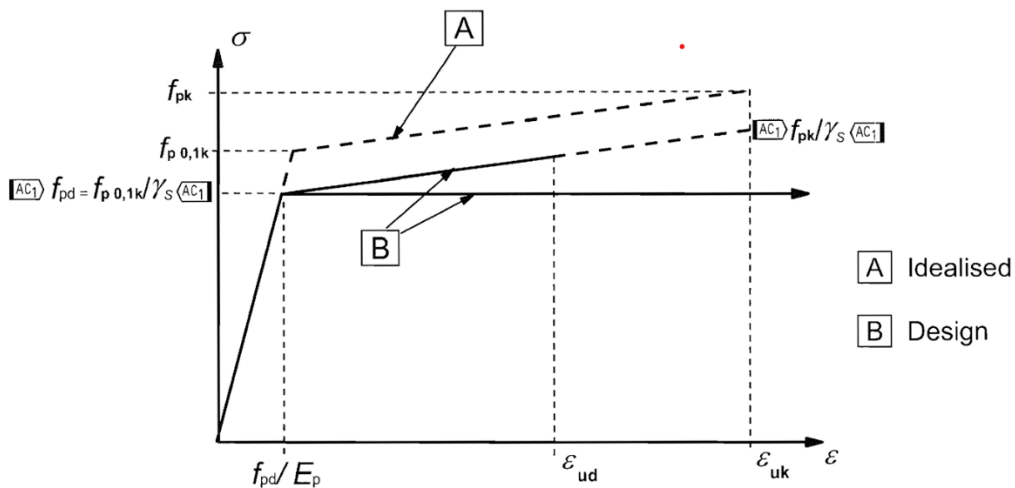
Product form	Bars and de-coiled rods			Wire Fabrics			Requirement or quantile value (%)
Class	A	B	C	A	B	C	-
Characteristic yield strength f_{yk} or $f_{0.2k}$ (MPa)	400 to 600						5,0
Minimum value of $k = (f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Characteristic strain at maximum force, ϵ_{sk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Bendability	Bend/Rebend test			-			
Shear strength	-			0,3 A f_{yk} (A is area of wire)			Minimum
Maximum deviation from nominal mass (individual bar or wire) (%)	Nominal bar size (mm) ≤ 8 > 8			$\pm 6,0$ $\pm 4,5$			5,0

Πίνακας 2: Ιδιότητες Χάλυβα (πιν. C.1 EN1992.1.1).



Γράφημα 8: Εξιδανικευμένο διάγραμμα (A) και διάγραμμα σχεδιασμού (B) τάσης παραμόρφωσης για χάλυβα χαλαρού σπλισμού(Εφελκυσμός και θλίψη) (σχ.3.8 EN1992.1.1).

2.1.3. Χάλυβας Προέντασης - Οι τένοντες που χρησιμοποιούνται αποτελούνται από επτάκλινα συρματόσχοινα (S7) χαμηλής χαλάρωσης ($p_{1000} = 2.5\%$)



Γράφημα 9: Εξιδανικευμένο Διάγραμμα (A) και Διάγραμμα Σχεδιασμού (B) Τάσης Παραμόρφωσης για Χάλυβα Προέντασης (Εφελκυσμός και θλίψη) (σχ.3.10 EN1992.1.1).

2.1.4. Σύστημα Προέντασης MK4

Τύπος Συρμ/νου	Κανονισμός	f_{pk}	Διάμετρος [mm]	Διατομή [mm ²]	Βάρος [g/m]	Ελάχιστο Φορτίο Θραύσης F_{pk} [kN]	Χαλάρωση σε 1000h 70% F_{pk}	Αντοχή διαρροής 0,1% παραμόρφωση [kN]
0,6" (15mm)	prEN-10138-3	1860 Mpa	15,2	140	1095	260	2,5%	224
	ASTM A416M-99	270 ksi	15,24	140	1102	260,7	2,5%	234,6
	BS 5896:1980	1770 Mpa	15,7	150	1180	265	2,5%	225
	prEN-10138-3	1860 Mpa	16	150	1170	279	2,5%	240
0,5" (13mm)	ASTM A416M-99	270 ksi	12,7	98,71	775	183,7	2,5%	165,3
	BS 5896:1980	1860 Mpa	12,9	100	785	186	2,5%	158
	prEN-10138-3	1860 Mpa	13	100	781	186	2,5%	160

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά Συρματόσχοινων Προέντασης (πιν.1 Σύστημα προέντασης MK4).

Τύπος Συρμ/νου	Κανονισμός	Αρχική Δύναμη Τάνυσης P ₀ [kN]		
		ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 2	ΕΗΕ 98	BS 5400-4
0,6" (15mm)	prEN-10138-3	190,4	195,0	182,0
	ASTM A416M-99	195,5	195,5	182,5
	BS 5896:1980	191,3	198,8	185,5
	prEN-10138-3	204,0	209,3	195,3
0,5" (13mm)	ASTM A416M-99	137,8	137,8	128,6
	BS 5896:1980	134,3	139,5	130,2
	prEN-10138-3	136,0	139,5	130,2

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Συρματοσχοίνων Προέντασης (πιν.2 Σύστημα προέντασης MK4).

Συρμ/νο	Τένοντας	Σωλήνας	
		ο Εσωτερική [mm]	ο Εξωτερική [mm]
Συρματόσχοινο 15mm (0,6")	4	51	56
	5		
	7	62	67
	9	72	77
	12	85	90
	15	90	95
	19	100	105
	24	110	115
	27	120	125
	31		
37	130	137	

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά συρματοσχοίνων προέντασης (πιν.3 Σύστημα προέντασης MK4)

- Μέτρο ελαστικότητας $E_s=195 \text{ GPa}$
- Συντελεστή τριβής $\mu=0,25$
- Αθέλητη γωνία εκτροπής $\beta = \frac{0,003^\circ}{m}$
- Ολίσθηση σφήνας κατά την αγκύρωση $\delta=0,00\text{mm}$
- Τάση διαρροής χάλυβα $f_{p01k} = 1674 \text{ MPa}$
- Εφελκυστική αντοχή χάλυβα $f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$

2.1.5. Συντελεστές Ασφαλείας Υλικών

Καταστάσεις σχεδιασμού		γ_c (σκυρόδεμα)	γ_s (χάλυβας οπλισμού)	γ_s (χάλυβας προέντασης)
ΟΚΑ	Παροδικές κ' μόνιμες	1.50	1.15	1.15
	Τυχηματικές	1.2	1.00	1.00
ΟΚΛ		1.00	1.00	1.00

Πίνακας 6: Συντελεστές Ασφαλείας Υλικών.

2.2. Δράσεις Σχεδιασμού

2.2.1. Μόνιμα φορτία - Στα μόνιμα φορτία που λαμβάνονται υπόψιν στον σχεδιασμό αποτελούν τα ίδια βάρη των μελών της κατασκευής, τα οποία υπολογίζονται βάση του ειδικού βάρους κάθε υλικού.

- Ωπλισμένο σκυρόδεμα $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Άοπλο σκυρόδεμα $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$
- Χαλαρός χάλυβας $\gamma = 78.50 \text{ kN/m}^3$
- Χάλυβας προέντασης $\gamma = 78.50 \text{ kN/m}^3$

2.2.2. Κατασκευαστικά φορτία - Κατά την κατασκευή δρα στον φορέα κατασκευαστικό φορτίο λόγω του βάρους του φορτίου των σπονδύλων. Το φορτίο αυτό δρα ως κατακόρυφο συγκεντρωμένο στο μισό το μήκος του τελευταίου σπόνδουλου. Επιπλέον δρα κατασκευαστικό επιφανειακό φορτίο επί των προβόλων.

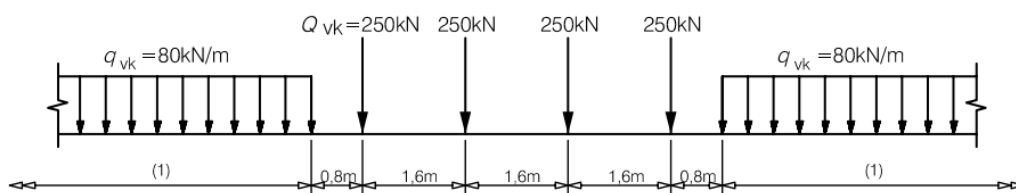
Συγκεκριμένα: $Q_{t,1} = 500 \text{ kN}$ και $Q_{t,2} = 17 \text{ k kN/m}^2$

2.2.3. Πρόσθετα μόνιμα φορτία - Ως πρόσθετα μόνιμα υπολογίζονται τα φορτία των στηθαίων και τα φορτία του υποστρώματος του σιδηρόδρομου τα οποία έχουν κοινό ειδικό βάρος $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

2.2.4. Φορτία Κυκλοφορίας για Σιδηροδρομικές Γέφυρες

2.2.4.1. Κατακόρυφα Φορτία - Πρότυπη Φόρτιση LM 71

Σύμφωνα με το κεφ.6 EN1991.2 χρησιμοποιήθηκε η πρότυπη φόρτιση LM 71 (Load Model 71), η οποία αφορά κανονική κυκλοφορία σιδηροδρομικών συρμών.



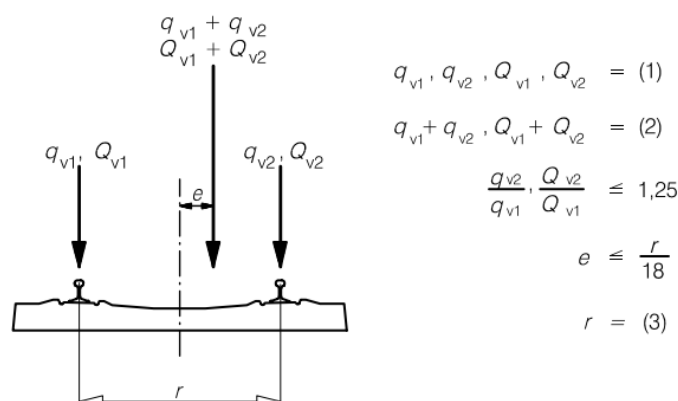
Εικόνα 10: Πρότυπη Φόρτιση LM 71(εικ.6.1 EN1991.2).

Οι χαρακτηριστικές τιμές ίσως θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή α σε σιδηροδρομικές γραμμές όπου προβλέπεται κυκλοφορία αποκλίνουσα της κανονικής.

Τιμές συντελεστή α : 0,75 - 0,83 - 0,91 - 1,00 - 1,10 - 1,21 - 1,33 - 1,46

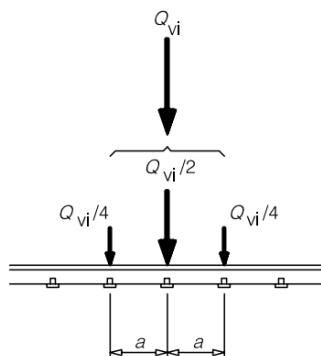
Επιλεγμένος συντελεστής $\alpha=1,00$ Κανονική κυκλοφορία

2.2.4.2. Εκκεντρότητα κατακόρυφων φορτίων - Η επίδραση της πλευρικής μετατόπισης της συνισταμένης των κατακόρυφων φορτίων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε κάθε σιδηροδρομική γραμμή, θεωρώντας αναλογία 1,25:1,00 στα φορτία τροχού των δύο αξόνων.



Εικόνα 11: Εκκεντρότητα Κατακόρυφων Φορτίων (εικ.6.3 EN1991.2).

2.2.4.3. Διαμήκης κατανομή συγκεντρωμένου φορτίου ανά τροχιά - Πραγματοποιείται κατανομή του φορτίου του τροχού σε τρία επιμέρους σημεία στήριξης επί της τροχιάς:



Εικόνα 12: Διαμήκης Κατανομή Συγκεντρωμένου Φορτίου ανά Τροχιά (εικ.6.4 EN1991.2).

2.2.5. Δυναμικά Φαινόμενα

Παράγοντες που επηρεάζουν την δυναμική συμπεριφορά:

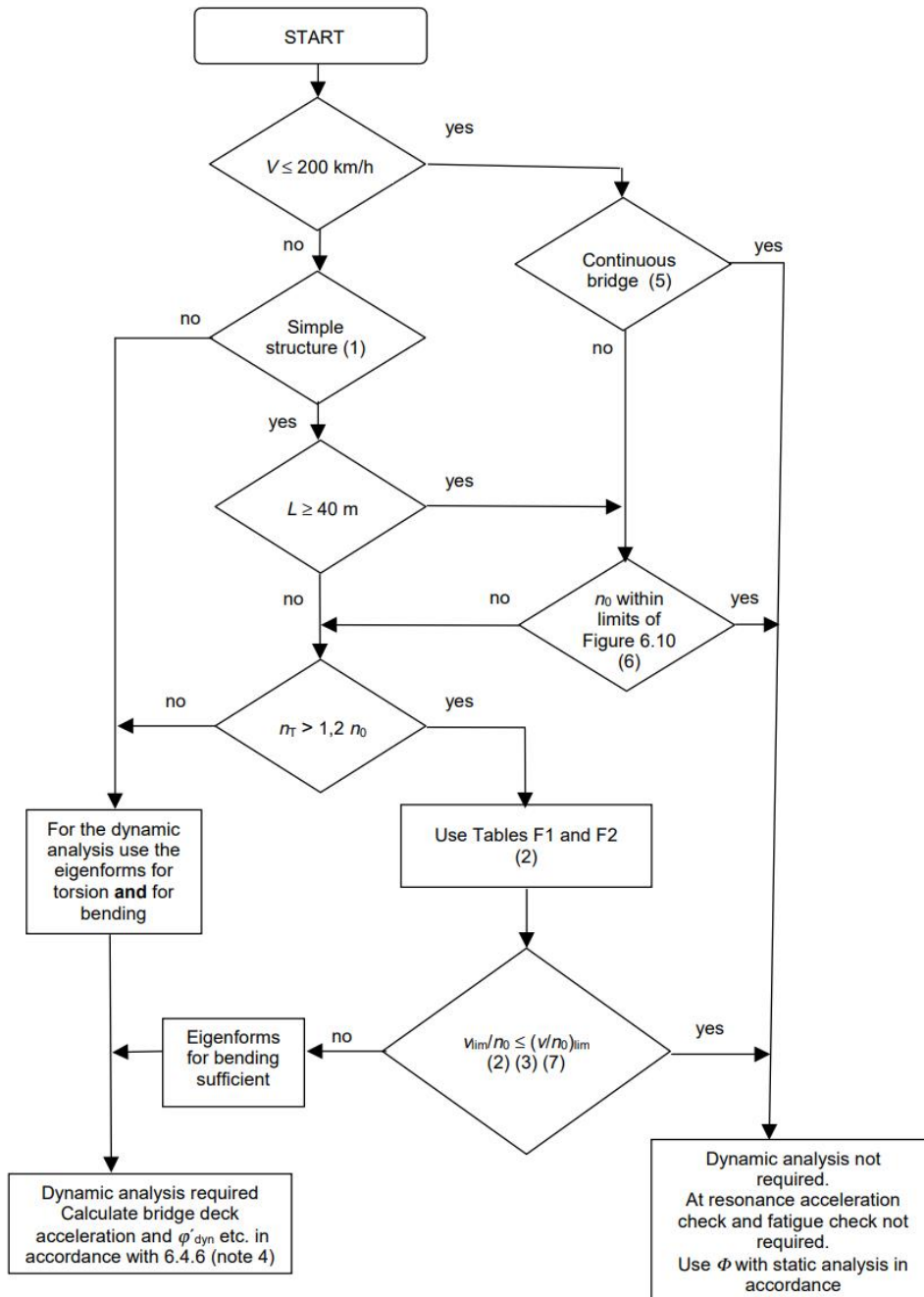
- Ταχύτητα διέλευσης συρμών
- Τα μήκη ανοιγμάτων του φορέα και τα αντίστοιχα μήκη των γραμμών επιρροής τους
- Η μάζα της κατασκευής
- Οι ιδιοσυχνότητες της καθολικής κατασκευής, αλλά και των επιμέρους στοιχείων της
- Ο αριθμός των αξόνων, των φορτίων αξόνων και η απόσταση μεταξύ αυτών
- Η απόσβεση της κατασκευής
- Τυχών κατακόρυφες ανωμαλίες στις σιδηροτροχιές
- Η ταλαντούμενη/μη ταλαντούμενη μάζα και τα χαρακτηριστικά αποσβεστήρων των συρμών
- Η παρουσία των στηρίξεων της πλάκας του καταστρώματος και των σιδηροτροχών
- Οι ατέλειες των συρμών
- Τα δυναμικά χαρακτηριστικά της σιδηροτροχιάς (*έρμα, στρωτήρες, κ.λπ.*)

Απαίτηση για στατική ή δυναμική ανάλυση:

Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα ροής, καθορίζεται το αν απαιτείται δυναμική ανάλυση. Στην περίπτωση όπου δεν θα απαιτηθεί δυναμική ανάλυση, θα πρέπει να γίνει στατική ανάλυση με τα προσομοιώματα φόρτισης που περιεγράφηκαν προηγουμένως, πολλαπλασιάζοντας τα αποτελέσματα της με τον δυναμικό συντελεστή Φ .

Στην περίπτωση όπου απαιτείται δυναμική ανάλυση, τα αποτελέσματά της συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της στατικής, πολλαπλασιαζόμενα με τον συντελεστή Φ . Σύμφωνα με τα δυσμενέστερα, γίνεται ο σχεδιασμός της γέφυρας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής, δεν απαιτείται δυναμική ανάλυση, αφού έχουμε συνεχή ανοίγματα και η μέγιστη ταχύτητα δεν ξεπερνά τα 200km/h. Συνεπώς, θα πολλαπλασιάσουμε τα αποτελέσματα της στατικής ανάλυσης με τον δυναμικό συντελεστή Φ .



Εικόνα 13: Διάγραμμα Ροής για το αν απαιτείται Δυναμική Ανάλυση (εικ.6.9 EN1991.2).

Δυναμικός Συντελεστής Φ :

Με τον δυναμικό συντελεστή Φ , λαμβάνονται υπόψη οι δυναμικές προσαυξήσεις των τάσεων και των δονήσεων της κατασκευής, χωρίς να υπολογίζει φαινόμενα συντονισμού.

- Τροχιά με προσεκτική συντήρηση: $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,82$ με $1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$

- Τροχιά με κανονική συντήρηση: $\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73$ με $1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$

Καθοριστικό μήκος L_Φ :

Επειδή οι δυναμικοί συντελεστές L_{ϕ} υπολογίζονται για αμφιέριστους φορείς, το καθοριστικό μήκος μας δίνει την δυνατότητα εφαρμογής των συντελεστών σε δομικά στοιχεία με διαφορετικές στατικές συνθήκες. Σύμφωνα με τον πίνακα του Ευρωκώδικα:

- Κύριες δοκοί:

$$L_m = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} = 25,67m$$

$$n = 3 \rightarrow k = 1,3 \rightarrow L_{\phi} = k * L_m = 33,37m < \max L_i (i = 1,2,3) = L_2 = 35m$$

$$\text{Πρέπει όμως } L_{\phi} \geq \max L_i (i = 1,2,3) = L_2 = 35m$$

$$\text{Επομένως τίθεται } L_{\phi} = 35m$$

- Κατάστρωμα από σκυρόδεμα και έρμα:

$$L_{\phi} = 3L_i = 3 * 21 = 63m, \quad \text{όπου λήφθηκε το μικρότερο άνοιγμα ως δυσμενέστερο.}$$

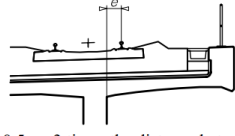
$$\text{Συνεπώς για τροχιά με κανονική συντήρηση προκύπτει: } \Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{35-0,2}} + 0,73 = 1,108 \approx 1,1$$

Case	Structural element	Determinant length L_{ϕ}
Steel deck plate: closed deck with ballast bed (orthotropic deck plate) (for local and transverse stresses)		
	Deck with cross girders and continuous longitudinal ribs:	
1.1	Deck plate (for both directions)	3 times cross girder spacing
1.2	Continuous longitudinal ribs (including small cantilevers up to 0,50 m) ^a	3 times cross girder spacing
1.3	Cross girders	Twice the length of the cross girder
1.4	End cross girders	3.6m ^b
	Deck plate with cross girders only:	
2.1	Deck plate (for both directions)	Twice cross girder spacing + 3 m
2.2	Cross girders	Twice cross girder spacing + 3 m
2.3	End cross girders	3.6m ^b
Steel grillage: open deck without ballast bed ^b (for local and transverse stresses)		
3.1	Rail bearers: - as an element of a continuous grillage - simply supported	3 times cross girder spacing Cross girder spacing + 3 m
3.2	Cantilever of rail bearer ^a	3.6m
3.3	Cross girders (as part of cross girder/ continuous rail bearer grillage)	Twice the length of the cross girder
3.4	End cross girders	3.6m ^b

^a In general all cantilevers greater than 0,50 m supporting rail traffic actions need a special study in accordance with 6.4.6 and with the loading agreed with the relevant authority specified in the National Annex.

^b It is recommended to apply Φ_3 .

Πίνακας 7: Καθοριστικός συντελεστής L_{ϕ} (πιν.6.2 EN1991.2).

Case	Structural element	Determinant length L_{Φ}
Concrete deck slab with ballast bed (for local and transverse stresses)		
4.1	Deck slab as part of box girder or upper flange of main beam - spanning transversely to the main girders - spanning in the longitudinal direction - cross girders - transverse cantilevers supporting railway loading	3 times span of deck plate 3 times span of deck plate Twice the length of the cross girder  - $e \leq 0,5$ m: 3 times the distance between the webs - $e > 0,5$ m: ^a Figure 6.11 - Transverse cantilever supporting railway loading
4.2	Deck slab continuous (in main girder direction) over cross girders	Twice the cross girder spacing
4.3	Deck slab for half through and trough bridges: - spanning perpendicular to the main girders - spanning in the longitudinal direction	Twice span of deck slab + 3m Twice span of deck slab
4.4	Deck slabs spanning transversely between longitudinal steel beams in filler beam decks	Twice the determinant length in the longitudinal direction
4.5	Longitudinal cantilevers of deck slab	- $e \leq 0,5$ m: $3,6m^b$ - $e > 0,5$ m: ^a
4.6	End cross girders or trimmer beams/trimmer girders	$3,6m^b$
^a In general all cantilevers greater than 0,50 m supporting rail traffic actions need a special study in accordance with 6.4.6 and with the loading agreed with the relevant authority specified in the National Annex. ^b It is recommended to apply Φ_2		
NOTE For Cases 1.1 to 4.6 inclusive L_{Φ} is subject to a maximum of the determinant length of the main girders.		

Πίνακας 8: Καθοριστικός συντελεστής L_{Φ} (πιν.6.2 EN1991.2) (Συνέχεια).

Case	Structural element	Determinant length L_{Φ}								
Main girders										
5.1	Simply supported girders and slabs (including steel beams embedded in concrete)	Span in main girder direction								
5.2	Girders and slabs continuous over n spans with $L_m = 1/n (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$ (6.6)	$L_{\Phi} = k \times L_m$, (6.7) but not less than $\max L_i (i = 1, \dots, n)$ <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>$n = 2$</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>≥ 5</td> </tr> <tr> <td>$k = 1,2$</td> <td>$1,3$</td> <td>$1,4$</td> <td>$1,5$</td> </tr> </table>	$n = 2$	3	4	≥ 5	$k = 1,2$	$1,3$	$1,4$	$1,5$
$n = 2$	3	4	≥ 5							
$k = 1,2$	$1,3$	$1,4$	$1,5$							
5.3	Portal frames and closed frames or boxes: - single-span - multi-span	Consider as three-span continuous beam (use 5.2, with vertical and horizontal lengths of members of the frame or box) Consider as multi-span continuous beam (use 5.2, with lengths of end vertical members and horizontal members)								
5.4	Single arch, archrib, stiffened girders of bowstrings	Half span								
5.5	Series of arches with solid spandrels retaining fill	Twice the clear opening								
5.6	Suspension bars (in conjunction with stiffening girders)	4 times the longitudinal spacing of the suspension bars								
Structural supports										
6	Columns, trestles, bearings, uplift bearings, tension anchors and for the calculation of contact pressures under bearings.	Determinant length of the supported members								

Πίνακας 9: Καθοριστικός συντελεστής L_{Φ} (πιν.6.2 EN1991.2) (Συνέχεια).

2.2.6. Οριζόντια Φορτία - Στην παρούσα διπλωματική δεν εμπεριέχεται καμπύλη ή χάραξη της σιδηρογραμμής και για τον λόγο αυτό δεν θα αποτελέσουν παράγοντα προς διερεύνηση οι φυγόκεντρες δυνάμεις και οι περαιτέρω οριζόντιες δυνάμεις, όπως οι δυνάμεις καθοδήγησης των σιδηροτροχιών, οι δυνάμεις έλξης-πρόσφυσης, οι διαμήκεις δυνάμεις πέδησης-επιτάχυνσης και οι πλευρικές δυνάμεις του ανέμου.

2.3. Προένταση

Επειδή η δύναμη προεντάσεως είναι μεταβλητή, κατά μήκος του τένοντα, ήταν απαραίτητος ο έλεγχος των επιτρεπόμενων τάσεων στα τανυόμενα άκρα αλλά και στο πέρας επιρροής της ολισθήσεως. Οι μειώσεις της δύναμης οφείλονται στην εκκεντρότητα της χάραξης, στην τριβή και στην ολίσθηση των σφηνών κατά την αγκύρωση.

Η δύναμη του τένοντα σε κάθε θέση του διαγράμματος μειώσεων μετά το πέρας επιρροής της ολισθήσεως υπολογίζεται ως εξής:

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

Υπολογισμός του πέρατος ολισθήσεως: $\chi_o = -\frac{1}{k_x} \ln \left(1 - \sqrt{\frac{k_x * \delta}{\epsilon_{p0}}} \right)$

Επιτρεπόμενες τάσεις

Τανυόμενο άκρο:

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

όπου $k_5 = 0.8$ και $k_6 = 0.9$

Πέρας ολισθήσεως: $\sigma_p^* \leq \min(k_7 * f_{p,k}; k_8 * f_{p,0.1k})$, όπου $k_7 = 0.75$ και $k_8 = 0.85$

Χρόνιες απώλειες στο προεντεταμένο σκυρόδεμα

Στις χρόνιες απώλειες περιλαμβάνονται οι απώλειες λόγω ερπυσμού, συστολής ξηράνσεως και χαλάρωσης των τενόντων υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία. Σύμφωνα με την σχέση 5.46 του EN1992-1-1 υπολογίζονται οι χρόνιες απώλειες ως εξής:

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p * \Delta P_{c+s+r} = A_p * \frac{\epsilon_{cs} E_p + 0.8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} * \varphi(t, t_0) * \sigma_{c, QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} * A_p * \left(\frac{1}{A_c} + \frac{y_c^2}{I_c} \right) * (1 + 0.8 \varphi(t, t_0))}$$

όπου φ είναι ο συντελεστής ερπυσμού σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t .

2.4. Συνδυασμοί Δράσεων

Οριακή κατάσταση αστοχίας - Συνδυασμοί δράσεων
Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα:

- Παροδικές καταστάσεις ή καταστάσεις διάρκειας:

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

- Τυχηματικές καταστάσεις:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} (\text{ή } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i \rightarrow 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Σεισμικός συνδυασμός: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \rightarrow 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας - Συνδυασμοί δράσεων
Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα:

- Χαρακτηριστικός συνδυασμός: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \rightarrow 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
- Συχνός συνδυασμός: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \rightarrow 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$
- Ημιμόνιμος συνδυασμός: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \rightarrow 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$

όπου:

$G_{k,j}$: χαρακτηριστική τιμή μονίμων δράσεων

P : χαρακτηριστική τιμή της προέντασης

$Q_{k,1}$: χαρακτηριστική τιμή επικρατέστερης μεταβλητής δράσης

$Q_{k,j}$: χαρακτηριστική τιμή λοιπών μεταβλητών δράσεων

A_d : τιμή σχεδιασμού τυχηματικής δράσης

A_{Ed} : τιμή σχεδιασμού σεισμικής δράσης

$\gamma_{G,j}$: επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για μόνιμη δράση j

γ_P : επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για την προένταση

$\gamma_{Q,i}$: επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για την μεταβλητή δράση i

$\Psi_{0,i} \Psi_{1,i} \Psi_{2,i}$: συντελεστές συνδυασμού μεταβλητών δράσεων

Actions		ψ_0	ψ_1	$\psi_2^{2)}$
Individual components of traffic actions ⁵⁾	LM 71	0,80	¹⁾	0
	SW/0	0,80	¹⁾	0
	SW/2	0	1,00	0
	Unloaded train	1,00	–	–
	HSLM	1,00	1,00	0
	Traction and braking Centrifugal forces Interaction forces due to deformation under vertical traffic loads	Individual components of traffic actions in design situations where the traffic loads are considered as a single (multi-directional) leading action and not as groups of loads should use the same values of ψ factors as those adopted for the associated vertical loads		
	Nosing forces	1,00	0,80	0
	Non public footpaths loads	0,80	0,50	0
	Real trains	1,00	1,00	0
	Horizontal earth pressure due to traffic load surcharge Aerodynamic effects	0,80	¹⁾	0

Εικόνα 14: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες.

Main traffic actions (groups of loads)	gr11 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 1 with max. longitudinal	0,80	0,80	0
	gr12 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 2 with max. transverse			
	gr13 (Braking/traction)	Max. longitudinal			
	gr14 (Centrifugal/nosing)	Max. lateral			
	gr15 (Unloaded train)	Lateral stability with "unloaded train"			
	gr16 (SW/2)	SW/2 with max. longitudinal			
	gr17 (SW/2)	SW/2 with max. transverse	0,80	0,70	0
	gr21 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 1 with max. longitudinal			
	gr22 (LM71 + SW/0)	Max. vertical 2 with max transverse			
	gr23 (Braking/traction)	Max. longitudinal			
	gr24 (Centrifugal/nosing)	Max. lateral			
	gr26 (SW/2)	SW/2 with max. longitudinal			
	gr27 (SW2)	SW/2 with max. transverse	0,80	0,60	0
	gr31 (LM71 + SW/0)	Additional load cases			

Εικόνα 15: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες (Συνέχεια).

Other operating actions	Aerodynamic effects	0,80	0,50	0
	General maintenance loading for non public footpaths	0,80	0,50	0
Wind forces ²⁾	F_{Wk}	0,75	0,50	0
	F_{Wp}	1,00	0	0

Table continued on next page

Εικόνα 16: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες (Συνέχεια).

Table continued from previous page				
Thermal actions ³⁾	T_k	0,60	0,60	0,50
Snow loads	$Q_{s,k}$ (during execution)	0,8	-	0
Construction loads	Q_c	1,0	-	1,0
1) 0,8 if 1 track only is loaded 0,7 if 2 tracks are simultaneously loaded 0,6 if 3 or more tracks are simultaneously loaded. 2) When wind forces act simultaneously with traffic actions, the wind force $\psi_6 F_{w,k}$ should be taken as no greater than $F_{w,k}^*$ (see EN 1991-1-4). See A2.2.4(4). 3) See EN 1991-1-5. 4) If deformation is being considered for Persistent and Transient design situations, ψ_5 should be taken equal to 1,00 for rail traffic actions. For seismic design situations, see Table A2.5. 5) Minimum coexistent favourable vertical load with individual components of rail traffic actions (e.g. centrifugal, traction or braking) is 0,5LM71, etc.				

Εικόνα 17: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες (Συνέχεια).

2.5. Υπολογισμός Ερπυσμού κατά EN1992-1-1

Ο υπολογισμός των ερπυστικών παραμορφώσεων γίνεται με την παραδοχή του γραμμικού ερπυσμού σύμφωνα με το EN 1992-1-1 αφού έχουμε φροντίσει οι θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα να μην ξεπερνούν την τιμή του $0,45f_{ck}(t_0)$

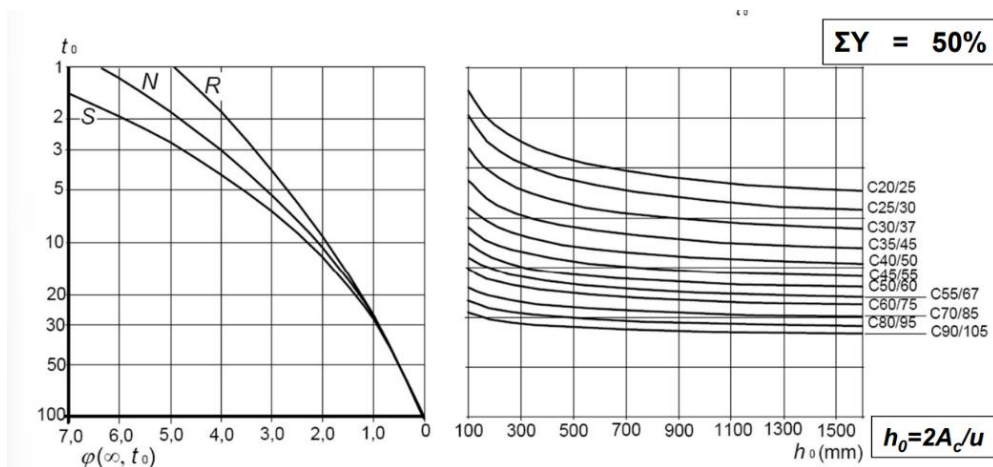
Γραμμική σχέση $\sigma_c - \varepsilon_c$ με ένα ισοδύναμο εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας, εξαρτώμενο και από το χρόνο φόρτισης - γραμμικός ερπυσμός:

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{\hat{E}_c(t, t_0)} = \frac{\sigma_c}{E_{ctm}(t, t_0)} (1 + \chi\varphi(t, t_0)) \rightarrow \varepsilon_c(\infty, t_0) = \chi\varphi(\infty, t_0) * \frac{\sigma_c(t_0)}{E_{ctm}(t_0)}$$

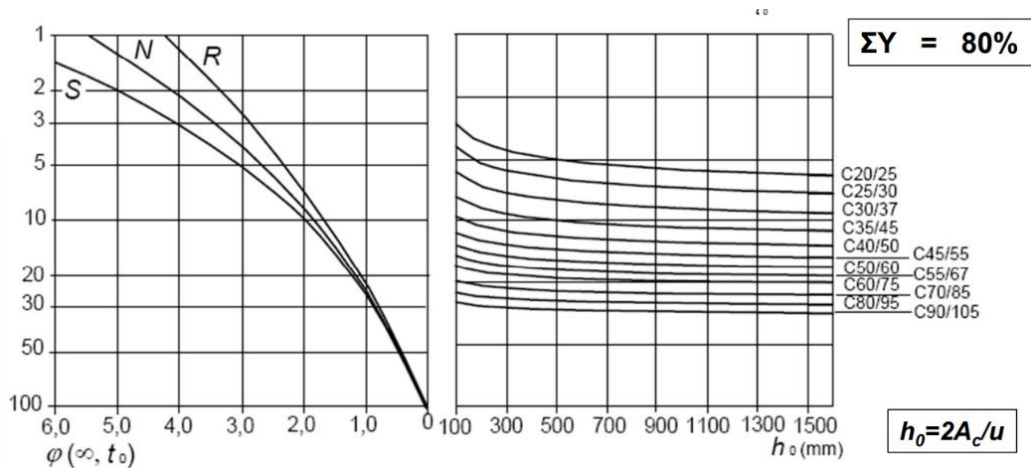
Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας: $E_{ctm}(t_0) = 1.05E_{cm}(t_0)$

t_0 : ηλικία σκυροδέματος κατά την επιβολή της προέντασης συνήθως και με την αφαψίδωση

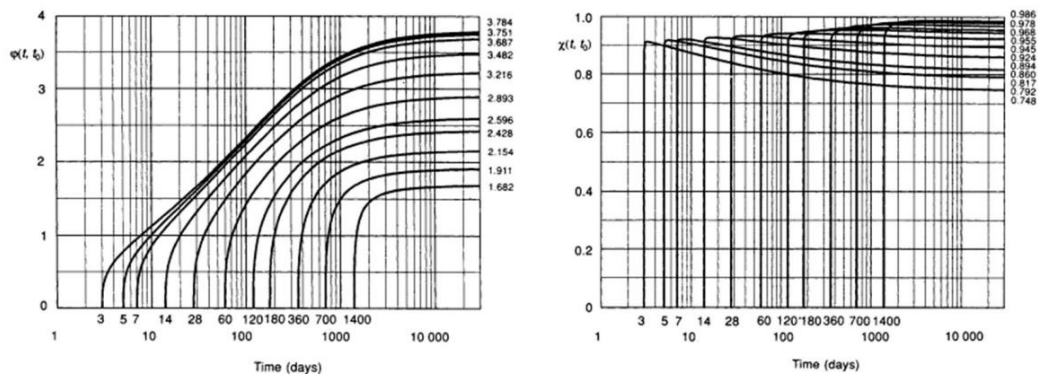
$\sigma_c(t_0)$: σταθερή τάση κατά την επιβολή της προέντασης



Γράφημα 10: Συντελεστής $\varphi(\infty, t_0)$ για SY 50%.



Γράφημα 11: Συντελεστής $\varphi(\infty, t_0)$ για $\Sigma Y 80\%$.



Γράφημα 12: Συντελεστές Ερπυσμού και Γήρατος (2).

2.6 Συστολή του Σκυροδέματος

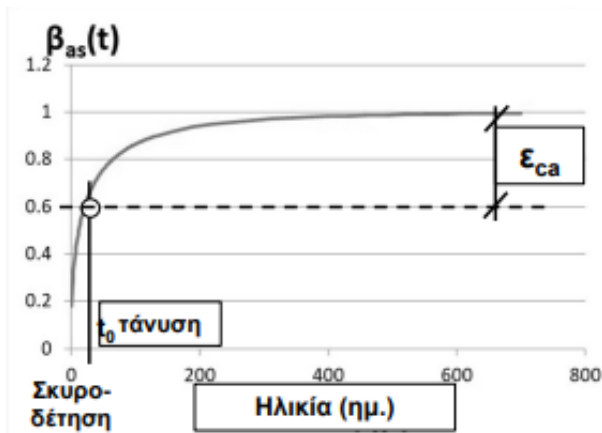
Κατά EN 1992-1-1 χρόνιες απώλειες: $\varepsilon_{cs}(t) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t)$

Η αυτογενής συστολή $\varepsilon_{ca}(t)$ εκφράζεται ως μία χρονοσυνάρτηση $\beta_{ds}(t)$ του % της συστολής σε άπειρο χρόνο $\varepsilon_{ca}(\infty)$ (όπου t μέρες από την σκυροδέτηση).

Δηλαδή:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{ds}(t) * \varepsilon_{ca}(\infty)$$

$$\beta_{ds}(t) = 1 - e^{-0.2\sqrt{t}} \text{ και } \varepsilon_{ca}(\infty) = 2.5 * (f_{ck} - 10) * 10^{-6} \text{ (MPa)}$$



Γράφημα 13 Χρονοσυνάρτηση $\beta_{as}(t)$ (EN1992-1-1)

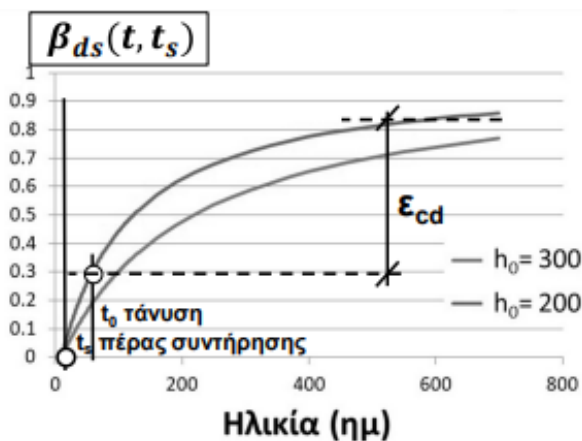
Υπολογισμός Αυτογενής συστολής $\varepsilon_{cd}(t)$ κατά EN1992-1-1

Η συστολή $\varepsilon_{cd}(t)$ εκφράζεται ως μία χρονοσυνάρτηση $\beta_{as}(t)$ του % της ανεμπόδιστης συστολής σε άπειρο χρόνο $\varepsilon_{ca}(\infty)$ (όπου t μέρες από την λήξη συντήρησης).

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{as}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0}$$

$$\beta_{as}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}}$$

για $t \rightarrow \infty, \beta_{as} \rightarrow 1.0$



Γράφημα 14 Χρονοσυνάρτηση $\beta_{ds}(t)$ (EN1992-1-1)

$f_{ct}/f_{ct,med}$ (MPa)	Σχετική Υγρασία (σε ποσοστό %)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0.62	0.58	0.49	0.30	0.17	0.00
40/50	0.48	0.46	0.38	0.24	0.13	0.00
60/75	0.38	0.36	0.30	0.19	0.10	0.00
80/95	0.30	0.28	0.24	0.15	0.08	0.00
90/105	0.27	0.25	0.21	0.13	0.07	0.00

Πίνακας 10 Τιμές ονομαστικής ανεμπόδισης συστολής ξήρανσης $\varepsilon_{cd,0}$ σε % για το σκυρόδεμα με τσιμέντο CEM κατηγορίας N

k_h : συντελεστής που εξαρτάται από το ονομαστικό πάχος $h_e = 2A_c/u$ (mm) σύμφωνα με τον Πίνακα 2

Πίνακας 2 - Τιμές k_h

h_e	k_h
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

Πίνακας 11 k_h : συντελεστής που εξαρτάται από το ονομαστικό πάχος $k_h = 2A_c/u$ (mm)

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

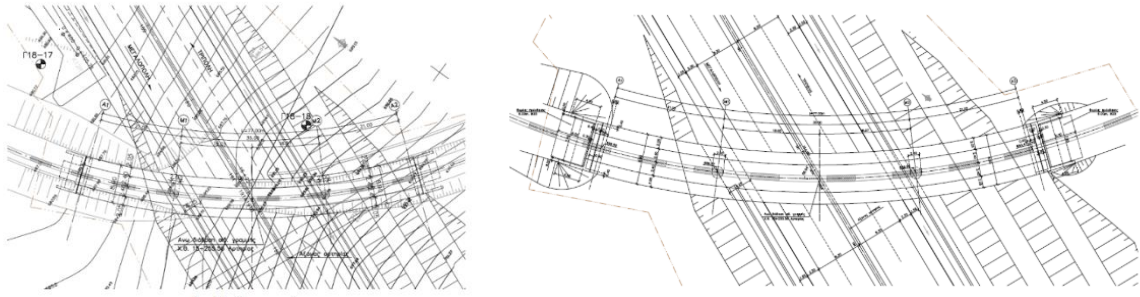
3.1. Γενικά - Μέθοδος Κατασκευής

Το παρών έργο μελέτης αφορά μια καμπύλη συνεχή γέφυρα τριών ανοιγμάτων (21,5m, 41m και 21,5m) και συνολικού μήκους 84 μέτρων. Αποτελεί γέφυρα άνω διάβασης στην οποία διέρχεται μονή σιδηροδρομική γραμμή, ενώ κατά μήκος της γέφυρας η κλίση είναι ανοδική. Η συγκεκριμένη γέφυρα διασχίζει τον αυτοκινητόδρομο Τρίπολης-Καλαμάτας στη χιλιομετρική θέση Χ.Θ. 15+255 με ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση 5,63m από την επιφάνεια κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου. Ο κύριος φορέας αποτελείται από προκατασκευασμένους σπονδύλους κιβωτιοειδούς διατομής και τα μεσόβαθρα αποτελούν μονόστυλα κυκλικά βάθρα και συνδέονται μονολιθικά με τον κύριο φορέα. Η σύνδεση με τα ακρόβαθρα γίνεται με εφέδρανα αριθμού 3 ανά ακρόβαθρο.

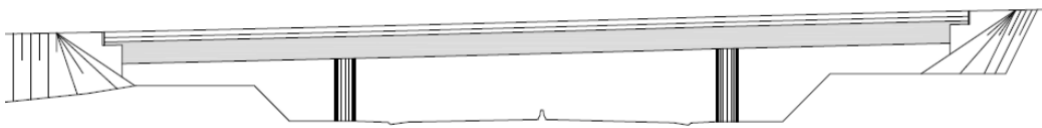
Το τεχνικό έργο θεμελιώνεται σε μεμονωμένα πέδιλα πάνω σε ασβεστόλιθο Πίνδου ο οποίος ακολουθεί μίας επιφανειακής στρώσης (τριών μέτρων) αργιλώδης άμμου με χαλίκια. Η γέφυρα θεωρείται εκ παραδοχής ευθύγραμμη και οριζόντια.



Εικόνα 18: Η Γέφυρα στον Αυτοκινητόδρομο Τρίπολης - Καλαμάτας.



Εικόνα 19: Τοπογραφικό Διάγραμμα και Κάτοψη Καμπύλης Χάραξης Γέφυρας.

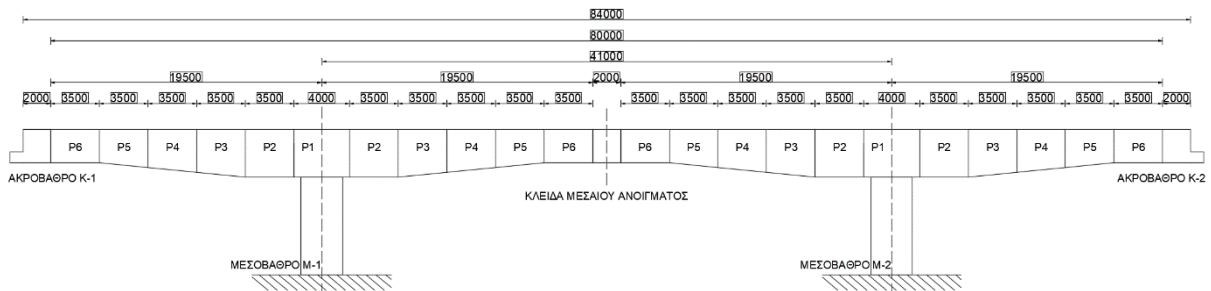


Εικόνα 20: Όψη Γέφυρας.

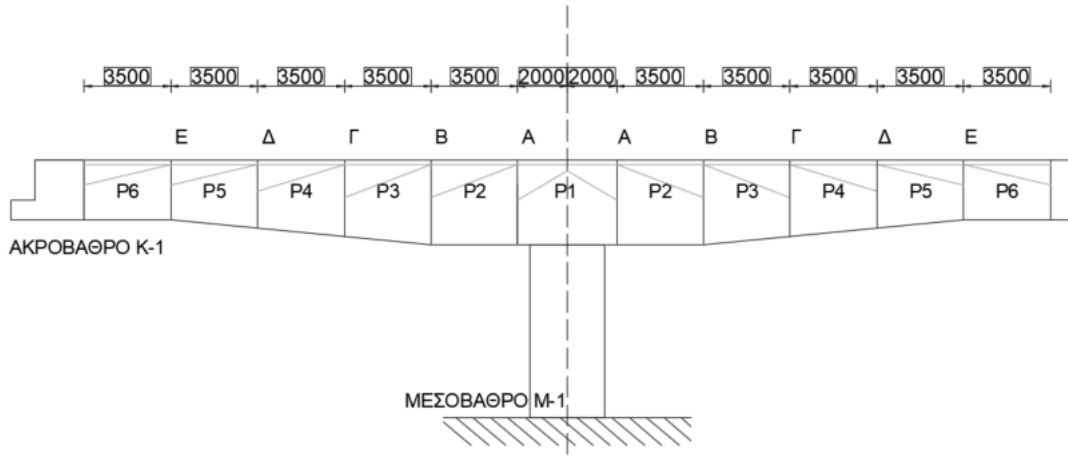
3.2. Διάταξη Ανοιγμάτων

Η ανωδομή αποτελείται από προκατασκευασμένους σπονδύλους των 3.5 μέτρων που τοποθετούνται με την μέθοδο της προβολοδόμησης με την χρήση φορείων. Το κεντρικό άνοιγμα έχει μήκος $L_o = 41m$ ενώ τα ακραία ανοίγματα ικανοποιούν σύμφωνα με τον κανόνα

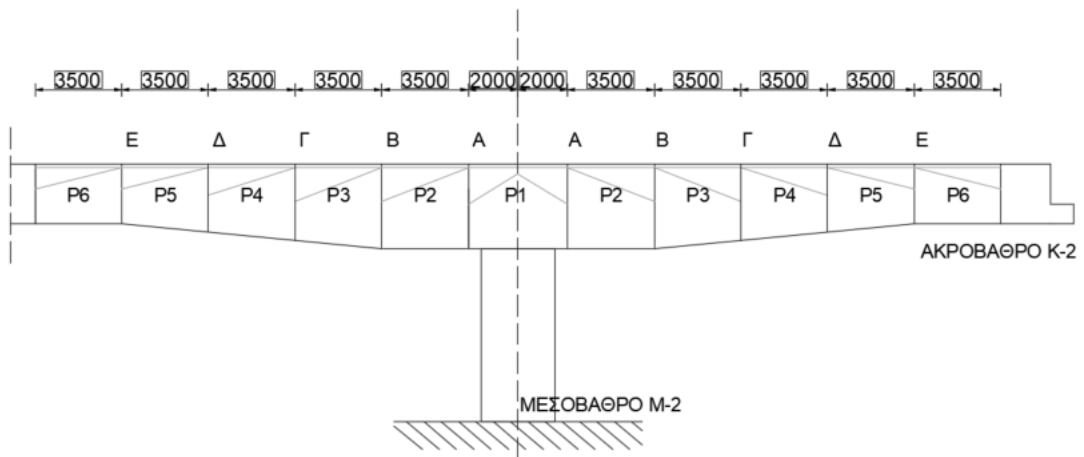
$$L = L_o/2 + 5 \div 15m = 21.5m$$



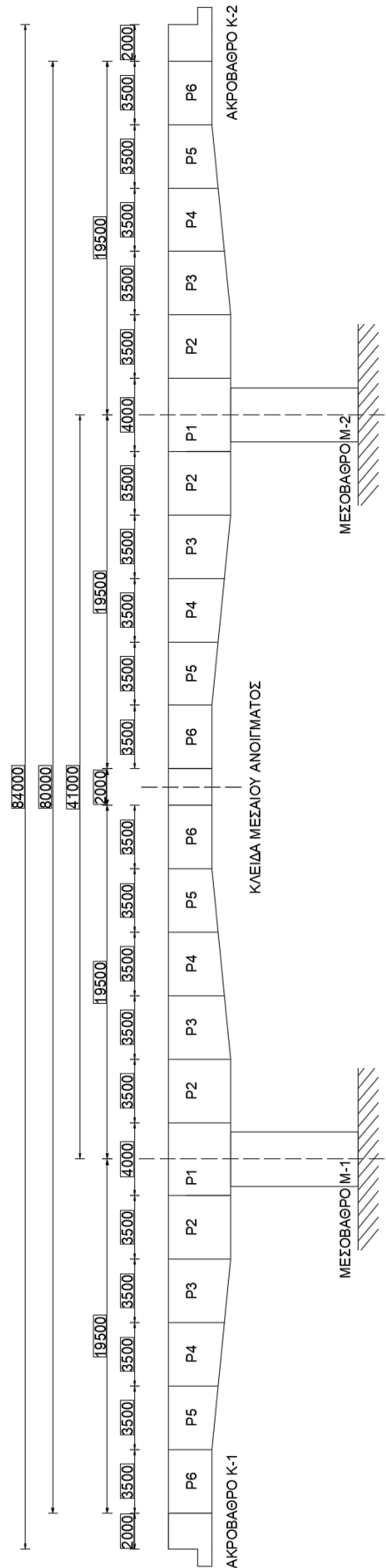
Εικόνα 21: Έργο Μελέτης - Γέφυρα Τριών Ανοιγμάτων.



Εικόνα 22: Όψη Μεσοβάθρου Μ-1.



Εικόνα 23: Όψη Μεσοβάθρου Μ-2.

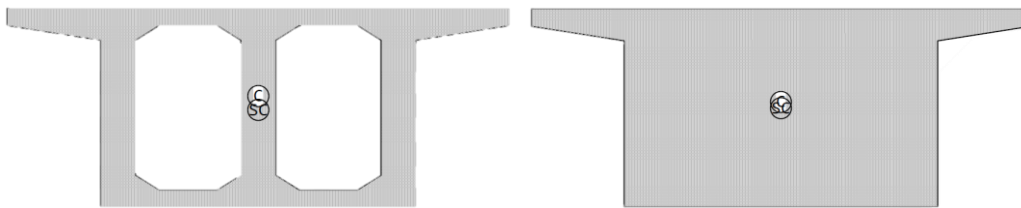


Εικόνα 24: Έργο Μελέτης - Γέφυρα Τριών Ανοιγμάτων.

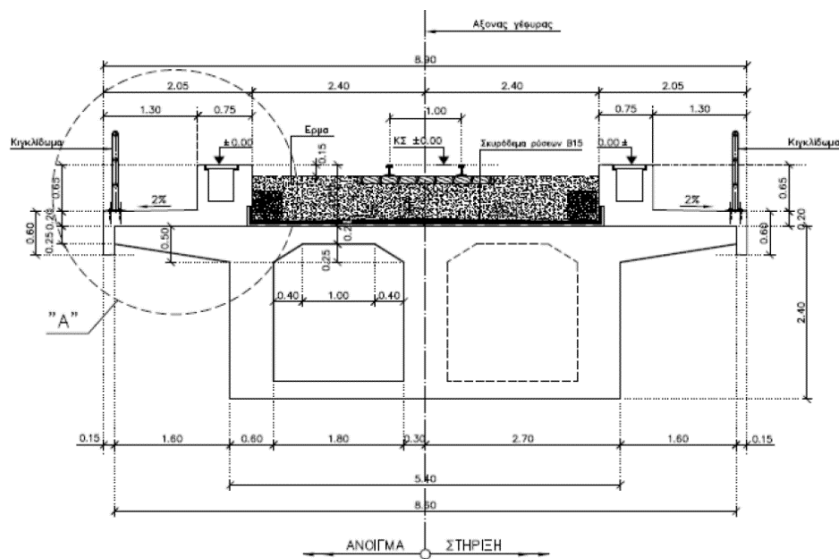
3.3. Σχεδιασμός Διατομής

Στις περιοχές των στηρίξεων, στα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα, η κιβωτοειδής διατομή είναι συμπαγής και στις υπόλοιπες περιοχές αποτελείται από 3 κορμούς και δύο οπές. Συγκεκριμένα, η διατομή “γεμίζει” έως και 1,5m πέρα των ακροβάθρων και 2m εκατέρωθεν των μεσοβάθρων.

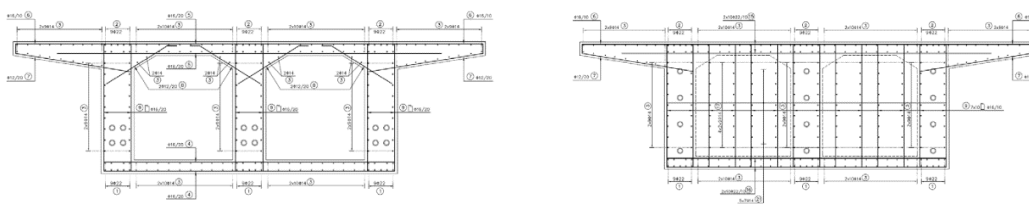
Η διατομή έχει σταθερό ύψος 3,4 μέτρα και λόγο $D/L = 3/39 = 1/13$.



Εικόνα 25: Διατομή Ανωδομής με Οπές και Διατομή Ανωδομής Συμπαγής.

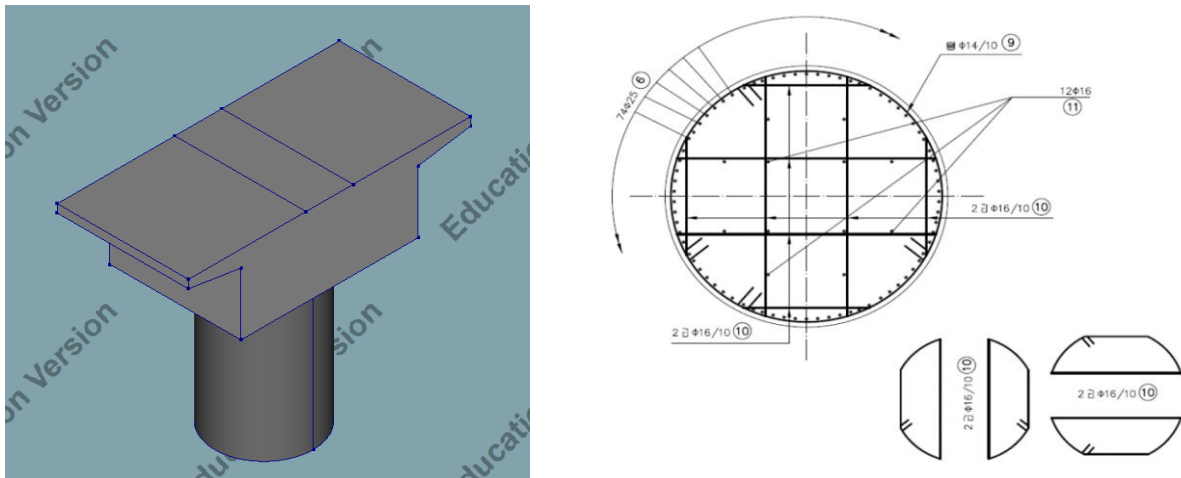


Εικόνα 26: Διατομή Καταστρώματος - Οδοποιίας.



Εικόνα 27: Οπλισμός Διατομής στο Ανοιγμα και Οπλισμός Διατομής στην Στήριξη.

Μεσόβαθρα κυκλικής διατομής διαμέτρου τριών μέτρων και ύψους επτά μέτρων.
Χάλυβας χαλαρού σπλισμού: B500C



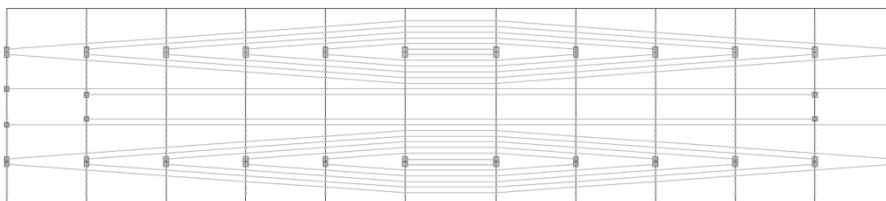
Εικόνα 28: Τρισδιάστατη Απεικόνιση Μονλιθικού Κόμβου-Μεσόβαθρο και Οπλισμός Διατομής Μεσοβάθρου.

3.4. Τένοντες Προβόλων

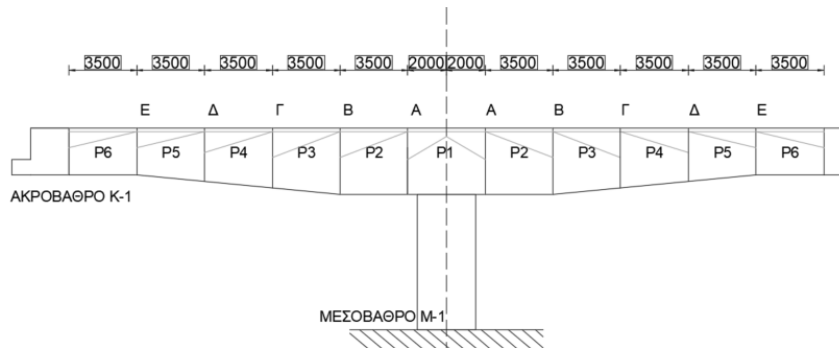
Η προένταση εφαρμόζεται σε όλο το μήκος της γέφυρας με συνολικά ενενήντα έξι προβολικούς τένοντες σε όλο το φορέα. Η τάνυση είναι αμφίπλευρη και η γενική διάταξη των τενόντων είναι στο άνω πέλμα του κιβωτίου με αγκύρωση ανά σπόνδυλο στους κορμούς, κυρίως στο ύψος του κέντρου βάρους της διατομής.

Η προένταση εφαρμόζεται με τένοντες συμμετρικά ανά σπόνδυλο και κατά την διεύθυνση του προβόλου, αλλά και εγκάρσια αυτού. Οι δυνάμεις προεντάσεως:

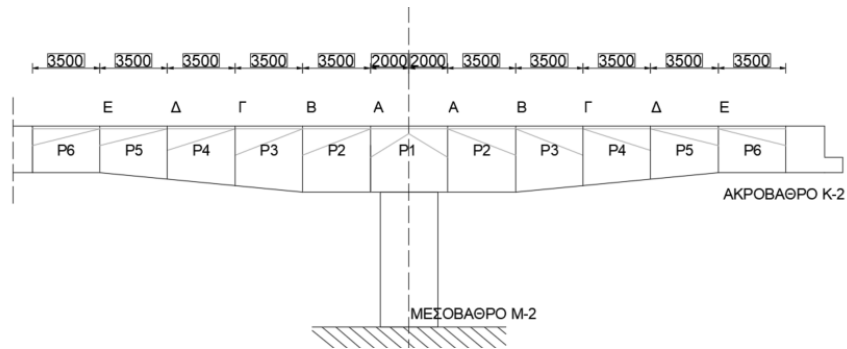
- Η τάνυση εφαρμόζεται σε ομάδες ανά σπόνδυλο με δυνάμεις των 2632,5 kN και 3037.5 kN (ανά τένοντα) ανάλογα τον σπόνδυλο.
- Η τάνυση των 2632.5 kN αποτελείται από τένοντα με 13 συρματόσχοινα εμβαδού 19.5 cm^2 ενώ η τάνυση των 3037.5 kN αποτελείται από τένοντα με 15 συρματόσχοινα εμβαδού 22.5 cm^2 .



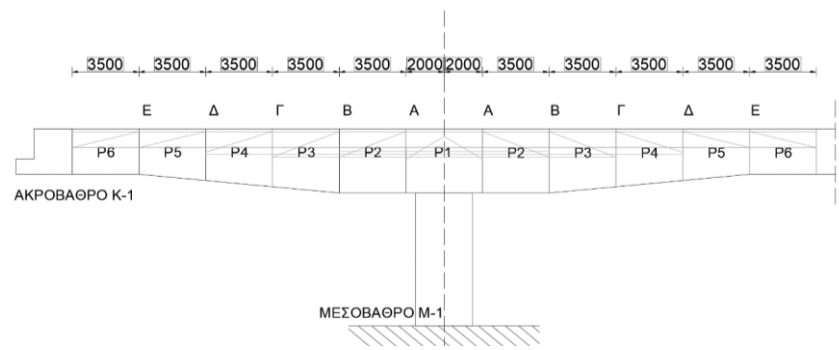
Εικόνα 29: Χάραξη Άνω Τενόντων σε Κάτοψη.



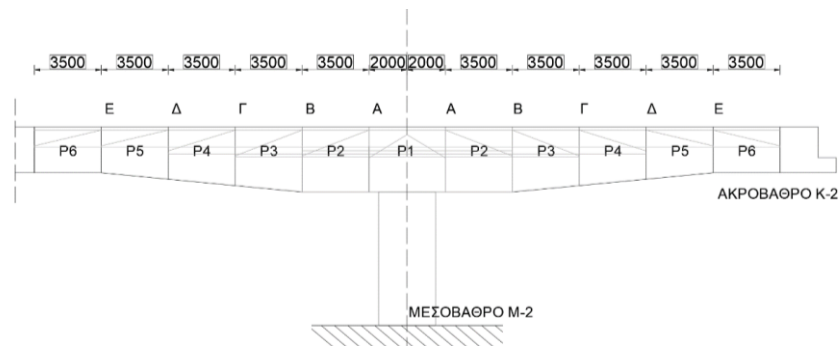
Εικόνα 30: Χάραξη Ανω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-1).



Εικόνα 31: Χάραξη Ανω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-2).



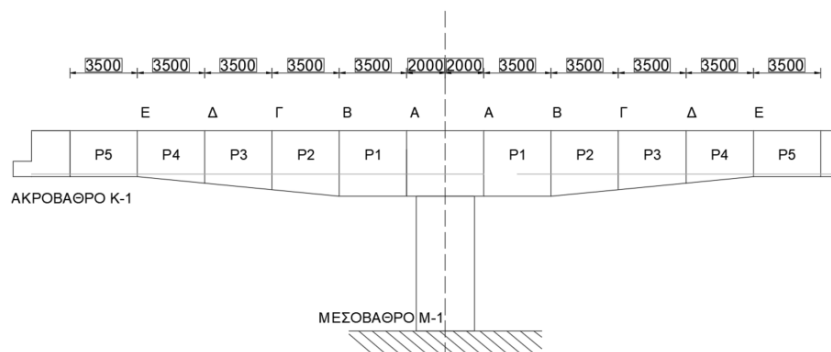
Εικόνα 32: Χάραξη Κεντρικών Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-1).



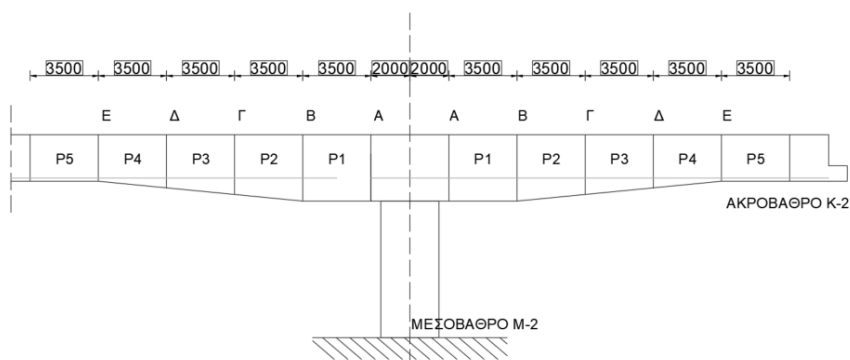
Εικόνα 33: Χάραξη Κεντρικών Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-2).

3.5. Τένοντες Ανοίγματος (Κάτω)

Μετά την σκυροδέτηση του τελευταίου σπόνδυλου (κλειδας) αποκαθίσταται η συνέχεια του φορέα και ενεργοποιούνται οι κάτω τένοντες προέντασης. Αυτοί παραλαμβάνουν τους εφελκυσμούς στην κάτω ίνα του κιβωτίου στο κεντρικό άνοιγμα του καθολικού φορέα. Για να παραληφθούν οι εντάσεις μετά την αποκατάσταση της συνέχειας, χρησιμοποιούνται συνολικά σε όλο το φορέα στο κάτω μέρος της διατομής 27 τένοντες. Η τάνυση εφαρμόζεται σε ομάδες των 3 τενόντων με δύναμη 3037.5 kN ανά τένοντα.



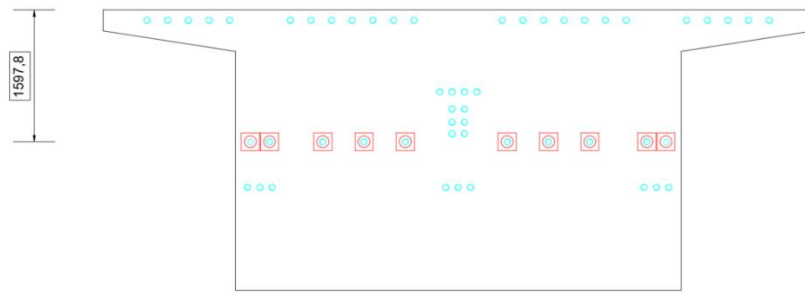
Εικόνα 34: Χάραξη Κάτω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-1).



Εικόνα 35: Χάραξη Κάτω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-2).

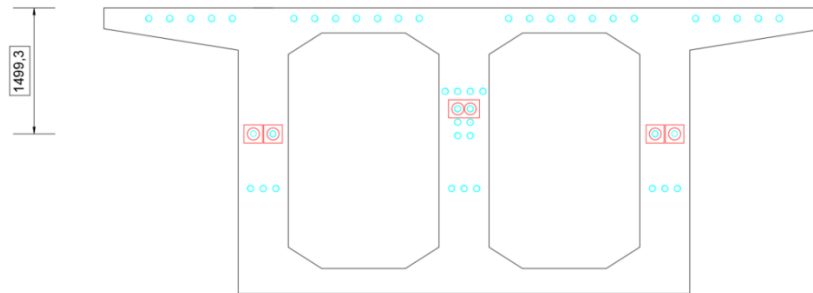
Γενικά:

- Οι τένοντες αποτελούνται από επτάκλινα συρματοσχοίνα ονομαστικής διαμέτρου $\Phi = 16\text{mm}$, επιφάνειας $A_p = 150\text{mm}^2$
- Μέτρο ελαστικότητας $E_s = 195\text{ GPa}$
- Συντελεστή τριβής $\mu = 0,25$
- Αθέλητη γωνία εκτροπής $\frac{\beta = 0,003}{m}$
- Ολίσθηση σφήνας κατά την αγκύρωση $\delta = 0,00\text{mm}$ (παραδοχή)
- Τάση διαρροής χάλυβα $f_{p01k} = 1670\text{ MPa}$
- Εφελκυστική αντοχή χάλυβα $f_{pk} = 1860\text{ MPa}$



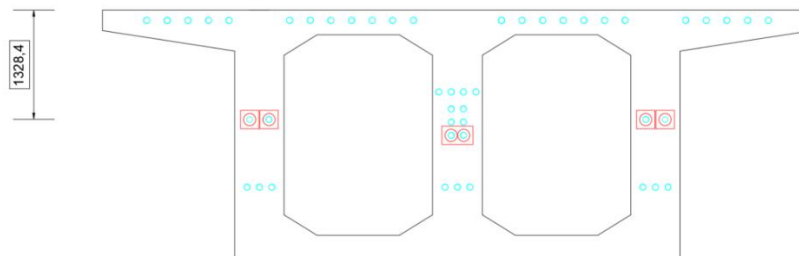
- ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ Ρ-1
- Διερχόμενος τένοντα προέντασης
 - ⊗ Αγκύρωση τένοντα προέντασης

Εικόνα 36: Διατομή Σπονδύλου Ρ-1.



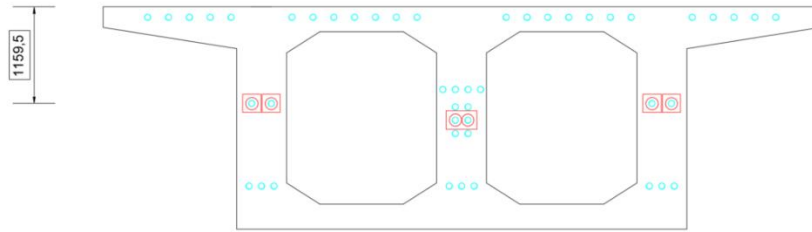
- ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ Ρ-2
- Διερχόμενος τένοντα προέντασης
 - ⊗ Αγκύρωση τένοντα προέντασης

Εικόνα 37: Διατομή Σπονδύλου Ρ-2.



- ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ Ρ-3
- Διερχόμενος τένοντα προέντασης
 - ⊗ Αγκύρωση τένοντα προέντασης

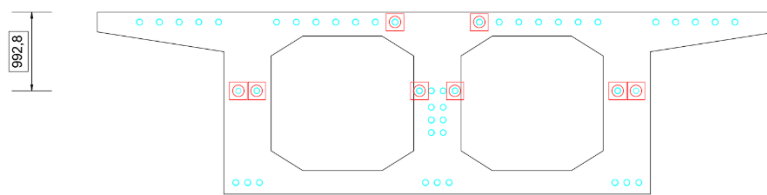
Εικόνα 38: Διατομή Σπονδύλου Ρ-3.



ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ Ρ-4

- Διερχόμενος τένοντας προέντασης
- ⊗ Αγκύρωση τένοντα προέντασης

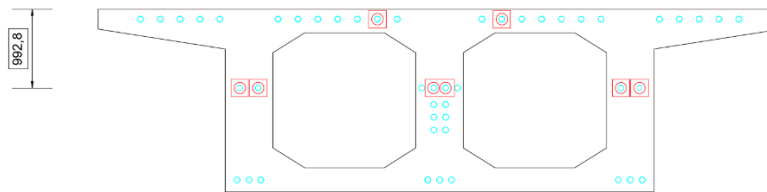
Εικόνα 39: Διατομή Σπονδύλου Ρ-4.



ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ Ρ-5

- Διερχόμενος τένοντας προέντασης
- ⊗ Αγκύρωση τένοντα προέντασης

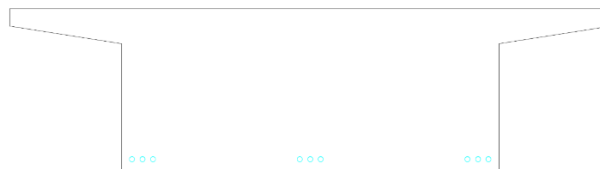
Εικόνα 40: Διατομή Σπονδύλου Ρ-5.



ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ Ρ-6

- Διερχόμενος τένοντας προέντασης
- ⊗ Αγκύρωση τένοντα προέντασης

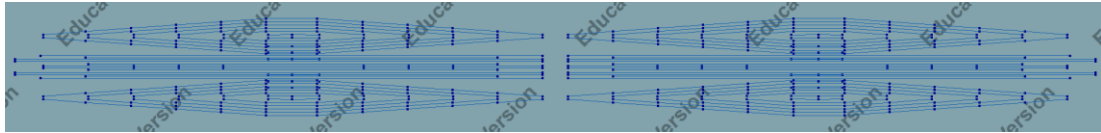
Εικόνα 41: Διατομή Σπονδύλου Ρ-6.



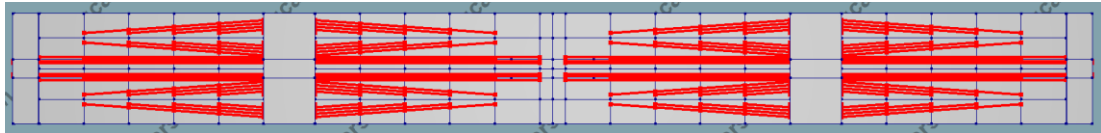
ΣΠΟΝΔΥΛΟΣ - ΚΛΕΙΔΑ Ρ-7

- Διερχόμενος τένοντας προέντασης
- ⊗ Αγκύρωση τένοντα προέντασης

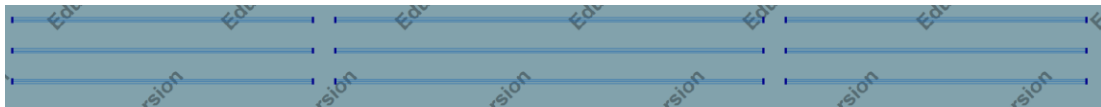
Εικόνα 42: Διατομή Σπονδύλου-κλειδας Ρ-7.



Εικόνα 43: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Προβολικών Τενόντων.



Εικόνα 44: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Προβολικών Τενόντων.



Εικόνα 45: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Τενόντων Ανοίγματος.



Εικόνα 46: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Τενόντων Ανοίγματος.



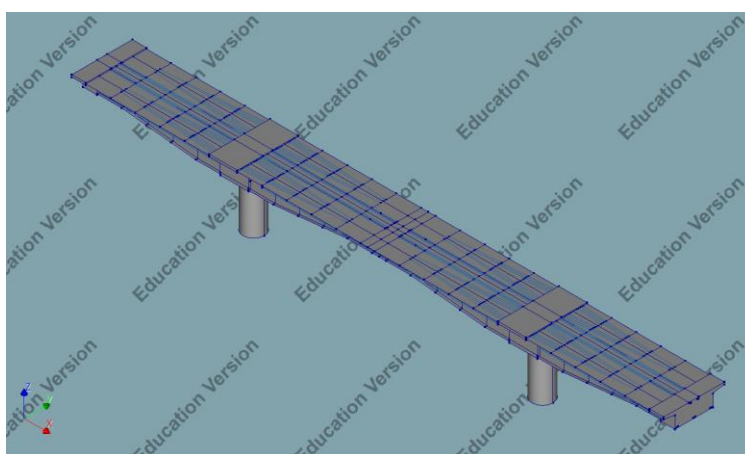
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

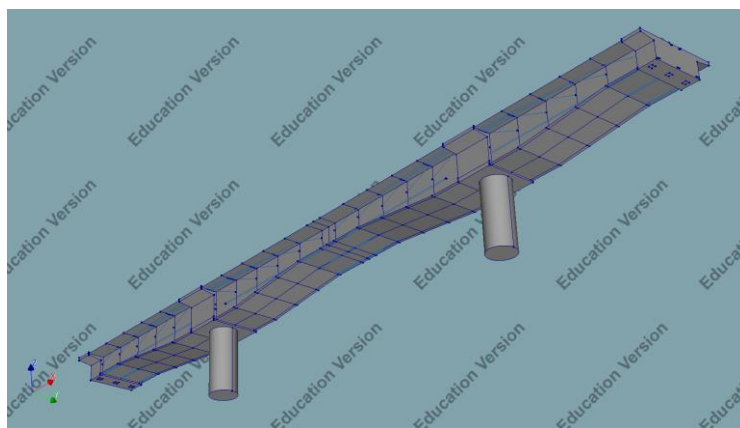
4.1. Φορέας

Η γέφυρα που μελετάται στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζει αλλαγές στην διατομή της κατά μήκος της και συγκεκριμένα σε όλο το μήκος της είναι κιβωτοειδής διατομή με τομές με εξαίρεση τις θέσεις των στηρίξεων της (ακρόβαθρα και μεσόβαθρα) όπου είναι κιβωτοειδής συμπαγής.

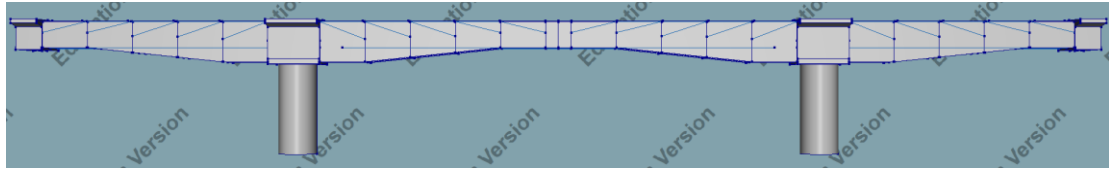
Στην τελική προσομοίωση του έργου χρησιμοποιήθηκαν 3D συμπαγή στοιχεία (Solid Elements) για την μοντελοποίηση των μεσοβάθρων και των συμπαγών διατομών του κύριου φορέα, και επιφανειακά στοιχεία 2D (Regular curved shells) για την μοντελοποίηση της κιβωτοειδούς διατομής με τις οπές (πέλματα και κορμοί).



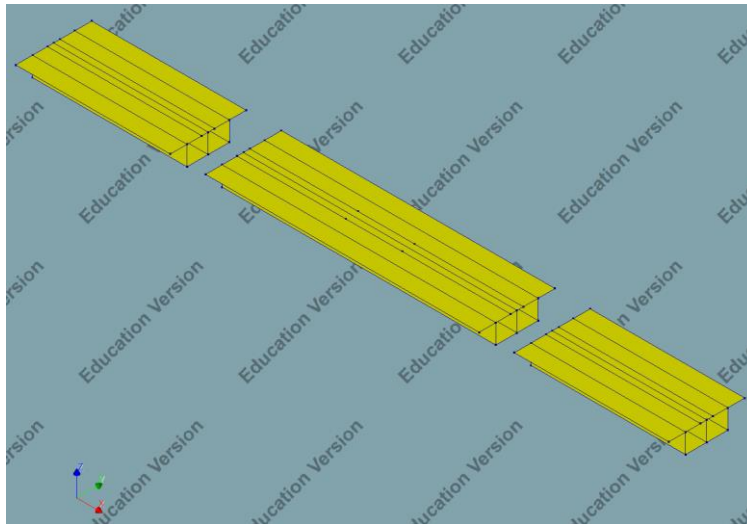
Εικόνα 47: Προσομοίωση Έργου Μελέτης στο Λογισμικό DIANA FEA (Upper Projection).



Εικόνα 48: Προσομοίωση Έργου Μελέτης στο Λογισμικό DIANA FEA (Below Perspective Projection).



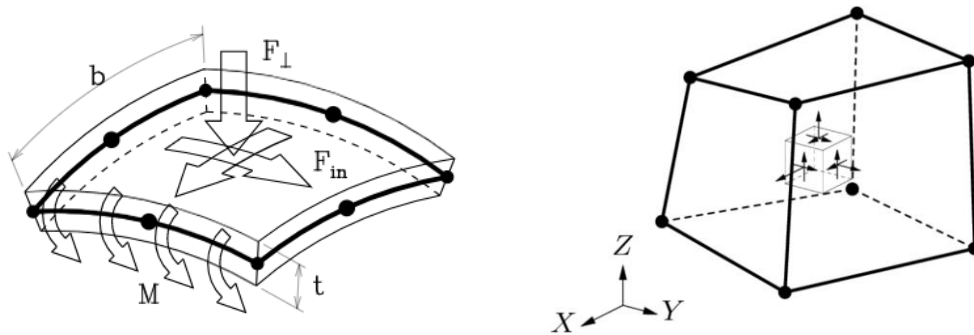
Εικόνα 49: Προσομοίωση Έργου Μελέτης στο Λογισμικό DIANA FEA (Πλάγια Όψη).



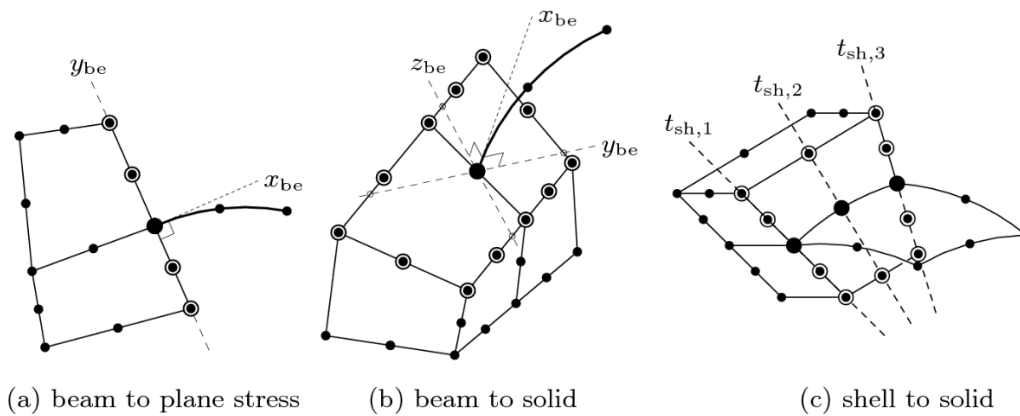
Εικόνα 50: Χρήση Επιφανειακών Στοιχείων στην Ανωδομή του Έργου Μελέτης (Regular Curved Shells).



Εικόνα 51: Χρήση Τρισδιάστατων Συμπαγών Στοιχείων στο Έργο Μελέτης (Solid Elements).



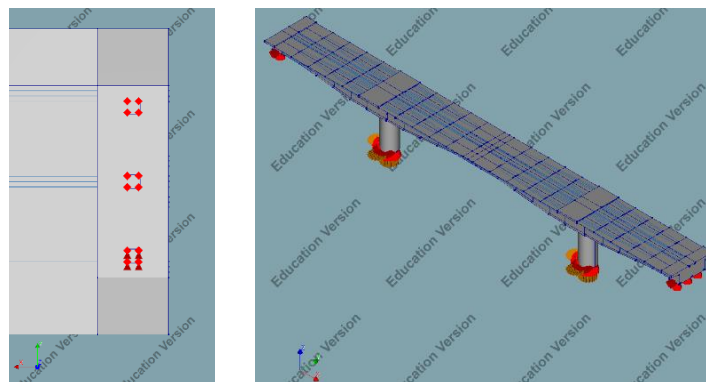
Εικόνα 52: Επιφανειακά Στοιχεία - Regular Curved Shells και Συμπαγή Τρισδιάστατα Στοιχεία - Solid Elements.



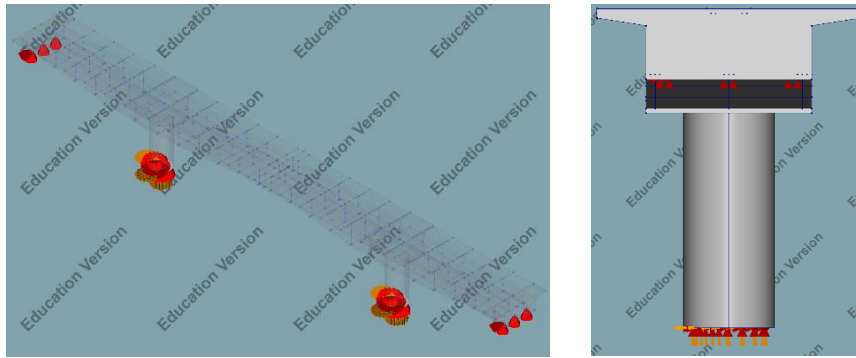
Εικόνα 53: Αυτόματη Ένωση Διαφορετικών Στοιχείων - Automatic Tying.

4.2. Στηρίξεις

Ο φορέας πακτώνεται στις βάσεις των μεσοβάθρων και στα ακρόβαθρα εδράζεται μέσω τριών εφεδράνων. Τα δύο εκ των τριών εφεδράνων δεσμεύουν την κατακόρυφη μετακίνηση (άξονας Z) μόνο, ενώ το τρίτο εφέδρανο δεσμεύει την κατακόρυφη μετακίνηση (άξονας Z) και τις οριζόντιες μετακινήσεις (άξονας X, Y).



Εικόνα 54: Εφέδρανα Έδρασης στα Ακρόβαθρα K-1, K-2 (Κάτοψη) και Σύστημα Στηρίξεων του Φορέα.



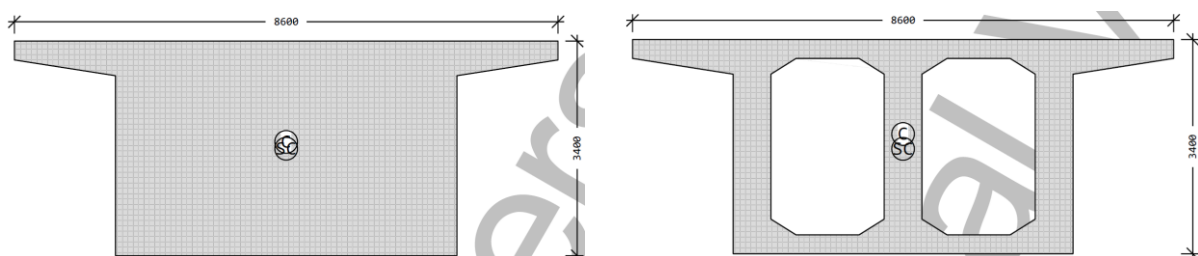
Εικόνα 55: Σύστημα Στηρίξεων του Φορέα και Σύστημα Στηρίξεων του Φορέα (Οψη).

4.3. Μηχανικά Χαρακτηριστικά Διατομής Καταστρώματος

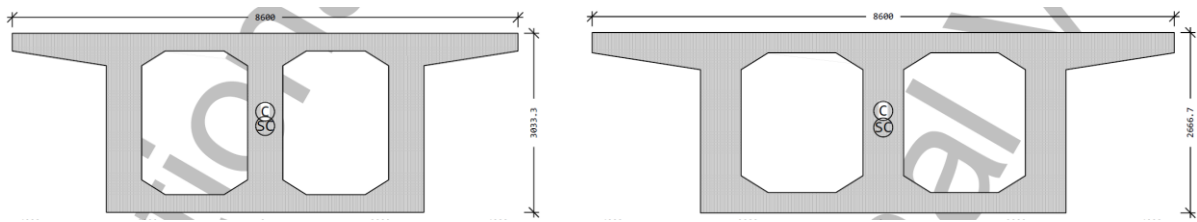
Στην φάση P-3, P-4 και P-5 μειώνεται γραμμικά το ύψος των κορμών της διατομής καταστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, στην φάση P-3, από 3.4 μέτρα συνολικό ύψος διατομής καταστρώματος καταλήγει σε 3 μέτρα, ενώ στην φάση P-4 από 3 μέτρα μειώνεται σε 2.6 μέτρα και στην φάση P-5 από 2.6 καταλήγει σε 2.3 μέτρα. Στην φάση 6 έχει σταθερό ύψος κορμών και συνεπώς σταθερό συνολικό ύψος διατομής στα 2.3 μέτρα. Η κλειδα στην φάση P-7 είναι συμπαγής διατομή ύψους στα 2.3 μέτρα.

Διατομή	h(m)	A(m ²)	z(m)	I _y (m ⁴)	1/W _{άνω} (m ³)	1/W _{κάτω} (m ³)
1	3.4	19.72	1.5978	20.49	0.06798	0.09542
2	3.4	10.04	1.4993	14.4	0.1238	0.2346
3	3.033	9.38	1.328	10.074	0.1418	0.2497
4	2.667	8.72	1.1595	7.698	0.1655	0.2795
5	2.3	8.06	0.9928	5.242	0.1997	0.3211
6	2.3(συμπαγής)	13.78	1.0581	6.562	0.1363	0.1672

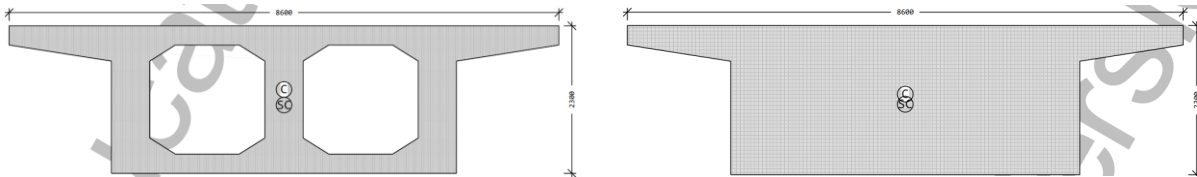
Πίνακας 12: Μηχανικά Χαρακτηριστικά Διατομών Καταστρώματος.



Εικόνα 56: Διατομή Καταστρώματος 1: Συμπαγής Διατομή και Διατομή Καταστρώματος 2: Διατομή με Διάκενα P-2, P-3.



Εικόνα 57: Διατομή Καταστρώματος 3: Ενδιάμεση Διατομή με Διάκενα P-3 και Διατομή Καταστρώματος 4: Ενδιάμεση Διατομή με Διάκενα στην P-4.

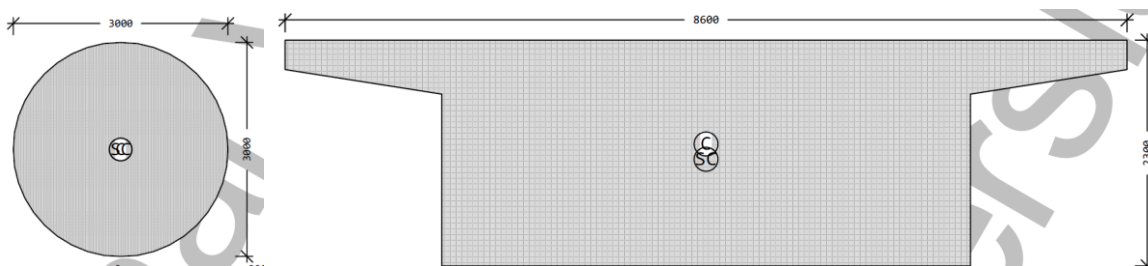


Εικόνα 58: Διατομή Καταστρώματος 5: Διατομή με Διάκενα P-5, P-6 και Διατομή 6: Διατομή Κλειδας Συμπαγής P-7.

4.4. Μηχανικά Χαρακτηριστικά Λοιπών Διατομών

Διατομή	h(m)	A(m ²)	z(m)	I _y (m ⁴)	1/W _{άνω} (m ³)	1/W _{κάτω} (m ³)
7	3	7	'center'	3.976	0.1916	237.5
8	2.3	13.78	1.0581	6.562	0.1363	0.1672

Πίνακας 13: Μηχανικά Χαρακτηριστικά Λοιπών Διατομών.



Εικόνα 59: Συμπαγής Διατομή 7: Μεσοβάθρου και Συμπαγής Διατομή 8: Ακροβάθρων.

4.5. Τένοντες Προέντασης

4.5.1. Τένοντες Προέντασης Μεσόβαθρο M-1

Μεσόβαθρο M-1			Χάλυβας:		Υ1860	
Αριθμός ζεύγους	Είδος τάνυσης	Σπόνδυλος ακραίου ανοίγματος	Συρματόσχοινα:		Επτάκλινα (S7)	
			Σπόνδυλος κεντρικού ανοίγματος	Άθροισμα καλωδίων ανά ζεύγος	Αθροιστικό Εμβαδών $A(cm^2)$	Αρχική δύναμη τανύσεως $P_o (kN)$
1	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
2	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
3	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
4	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
5	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
6	Αμφίπλευρη	2	2	30	45	3037.5
7	Αμφίπλευρη	2	2	30	45	3037.5
8	Αμφίπλευρη	2	2	30	45	3037.5
9	Αμφίπλευρη	3	3	30	45	3037.5
10	Αμφίπλευρη	3	3	30	45	3037.5
11	Αμφίπλευρη	3	3	30	45	3037.5
12	Αμφίπλευρη	4	4	26	39	2632.5
13	Αμφίπλευρη	4	4	26	39	2632.5
14	Αμφίπλευρη	4	4	26	39	2632.5
15	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
16	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
17	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
18	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
19	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
20	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
21	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
22	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
23	Αμφίπλευρη	6	6	30	45	3037.5
24	Αμφίπλευρη	6	6	30	45	3037.5

Πίνακας 14: Κατάλογος Ζευγών Προβολικών Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-1).

Μεσόβαθρο M-1			Χάλυβας:		Υ1860	
Αριθμός τριάδας	Είδος τάνυσης	Σπόνδυλος ακραίου ανοίγματος	Συρματόσχοινα:		Επτάκλινα (S7)	
			Σπόνδυλος κεντρικού ανοίγματος	Άθροισμα καλωδίων ανά τριάδα	Αθροιστικό Εμβαδών $A(cm^2)$	Αρχική δύναμη τανύσεως $P_o (kN)$
1	Αμφίπλευρη	Ακρόβαθρο Κ1	1	45	67.5	3037.5
2	Αμφίπλευρη	Ακρόβαθρο Κ1	1	45	67.5	3037.5
3	Αμφίπλευρη	Ακρόβαθρο Κ1	1	45	67.5	3037.5

Πίνακας 15: Κατάλογος Κάτω Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-1).

4.5.2. Τένοντες Προέντασης Μεσόβαθρο M-2

Μεσόβαθρο M-1			Χάλυβας:		Υ1860	
Αριθμός ζεύγους	Είδος τάνυσης	Σπόνδυλος ακραίου ανοίγματος	Συρματόσχοινα:		Επτάκλινα (S7)	
			Σπόνδυλος κεντρικού ανοίγματος	Άθροισμα καλωδίων ανά τριάδα	Αθροιστικό Εμβαδών $A(cm^2)$	Αρχική δύναμη τανύσεως $P_o (kN)$
1	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
2	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
3	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
4	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
5	Αμφίπλευρη	1	1	26	39	2632.5
6	Αμφίπλευρη	2	2	30	45	3037.5
7	Αμφίπλευρη	2	2	30	45	3037.5
8	Αμφίπλευρη	2	2	30	45	3037.5
9	Αμφίπλευρη	3	3	30	45	3037.5
10	Αμφίπλευρη	3	3	30	45	3037.5
11	Αμφίπλευρη	3	3	30	45	3037.5
12	Αμφίπλευρη	4	4	26	39	2632.5
13	Αμφίπλευρη	4	4	26	39	2632.5
14	Αμφίπλευρη	4	4	26	39	2632.5
15	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
16	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
17	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
18	Αμφίπλευρη	5	5	26	39	2632.5
19	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
20	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
21	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
22	Αμφίπλευρη	6	6	26	39	2632.5
23	Αμφίπλευρη	6	6	30	45	3037.5
24	Αμφίπλευρη	6	6	30	45	3037.5

Πίνακας 16: Κατάλογος Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-2).

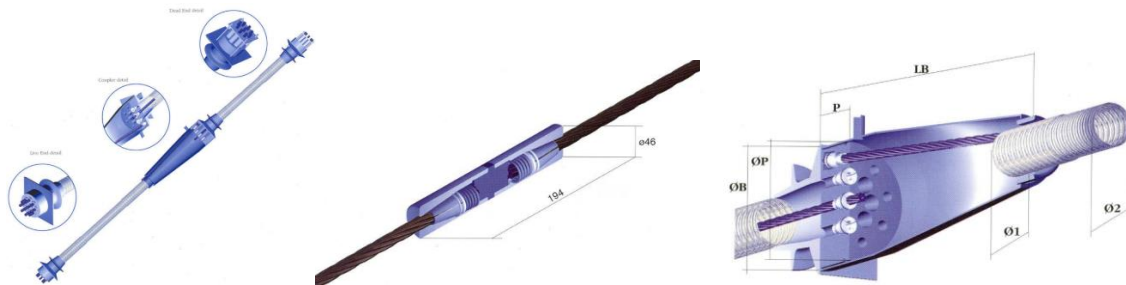
Μεσόβαθρο M-2			Χάλυβας:		Υ1860	
Αριθμός Τριάδας	Είδος Τάνυσης	Σπόνδυλος Ακραίου Ανοίγματος	Συρματόσχοινα:		Επτάκλινα (S7)	
			Σπόνδυλος Κεντρ. Ανοίγματος	Άθροισμα Καλωδίων ανά Τριάδα	Αθροιστικό Εμβαδών $A(cm^2)$	Αρχική Δύναμη Τανύσεως $P_o (kN)$
1	Αμφίπλευρη	Ακρόβαθρο K1	1	45	67.5	3037.5
2	Αμφίπλευρη	Ακρόβαθρο K1	1	45	67.5	3037.5
3	Αμφίπλευρη	Ακρόβαθρο K1	1	45	67.5	3037.5

Πίνακας 17: Κατάλογος Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-2).

Μεσόβαθρο M-1 και M-2			Χάλυβας:		Υ1860	
Αριθμός τριάδας	Είδος τάνυσης	Σπόνδυλος Ανοίγματος M-1	Συρματόσχοινα:		Επτάκλινα (S7)	
			Σπόνδυλος Ανοίγματος M-2	Άθροισμα καλωδίων ανά τριάδα	Αθροιστικό Εμβαδών $A(cm^2)$	Αρχική δύναμη τανύσεως $P_o (kN)$
1	Αμφίπλευρη	2	2	45	67.5	3037.5
2	Αμφίπλευρη	2	2	45	67.5	3037.5
3	Αμφίπλευρη	2	2	45	67.5	3037.5

Πίνακας 18: Κατάλογος Τενόντων Προέντασης Κεντρικού Ανοίγματος.

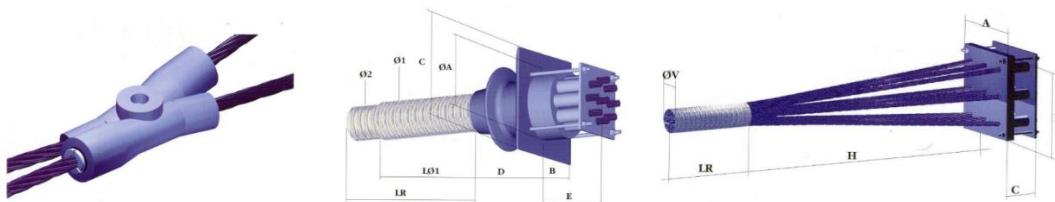
4.5.3. Τένοντες και Παρελκόμενα του Συστήματος ΜΚ4



Εικόνα 60: Ενεργή Κινητή Αγκύρωση, Επιμηκυντήρας (Μούφα), Ενδεικτικός Επιμηκυντήρας (Μούφα) τύπου MCU και Ενδεικτικός Επιμηκυντήρας (Μούφα) τύπου MCB.



Εικόνα 61: Ενδεικτικός Συμβατικός Σωλήνας, Ενδεικτικός Σωλήνας τύπου PE και Ενδεικτική Ενεργή Κινητή Αγκύρωση τύπου MSA.



Εικόνα 62: Ενδεικτική Ενεργή Κινητή Αγκύρωση τύπου MUT, Ενδεικτική Νεκρή Σταθερή Αγκύρωση τύπου MPT και Ενδεικτική Νεκρή Σταθερή Αγκύρωση τύπου MPSB.

4.6. Φάσεις Κατασκευής

Φάση 0

- Σκυροδέτηση - ανέγερση ακροβάθρων K-1, K-2
- Σκυροδέτηση – ανέγερση μεσοβάθρων M-1, M-2

Φάση 1

- Σκυροδέτηση σπόνδυλου P-1
- Προένταση άνω και κεντρικών τενόντων και ενεμάτωση
- Προώθηση φορέων
- Έναρξη επίδρασης ερπυσμού

Φάση 2

- Σκυροδέτηση σπόνδυλου P-2
- Προένταση άνω και κεντρικών τενόντων και ενεμάτωση
- Προώθηση φορέων
- Ερπυσμός υφιστάμενων

Φάση 3

- Σκυροδέτηση σπόνδυλου P-3
- Προένταση άνω και κεντρικών τενόντων και ενεμάτωση
- Προώθηση φορέων
- Ερπυσμός υφιστάμενων

Φάση 4

- Σκυροδέτηση σπόνδυλου P-4
- Προένταση άνω και κεντρικών τενόντων και ενεμάτωση
- Προώθηση φορέων
- Ερπυσμός υφιστάμενων

Φάση 5

- Σκυροδέτηση σπόνδυλου P-5
- Προένταση άνω και κεντρικών τενόντων και ενεμάτωση
- Προώθηση φορέων
- Ερπυσμός υφιστάμενων

Φάση 6

- Σκυροδέτηση σπόνδυλου P-6
- Προένταση άνω και κεντρικών τενόντων και ενεμάτωση
- Ερπυσμός υφιστάμενων

Φάση 7

- Σκυροδέτηση κλείδας
- Προένταση κάτω και κεντρικών τενόντων και ενεμάτωση
- Ερπυσμός υφιστάμενων
- Επιβολή πρόσθετων μονίμων φορτίων
- Απόδοση στην κυκλοφορία

Φάση 8

- Απόδοση στην κυκλοφορία

ΦΑΣΗ	1	2	3	4	5	6	7	8
Start steps	14	28	42	56	70	84	98	188
Time steps	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.5(180)	0.5 (252)

Πίνακας 19: Σενάριο 14ων Ημερών: Start Steps, Time Steps.

ΦΑΣΗ	1	2	3	4	5	6	7	8
Start steps	28	56	84	108	136	164	198	282
Time steps	0.25 (16)0.5 (48)	0.25 (16)0.5 (48)	0.25 (16)0.5 (48)	0.5(56)	0.25 (16) 0.5 (48)	0.25 (16) 0.5 (48)	1(90)	0.5(56)

Πίνακας 20: Σενάριο 28 Ημερών: Start Steps, Time Steps.

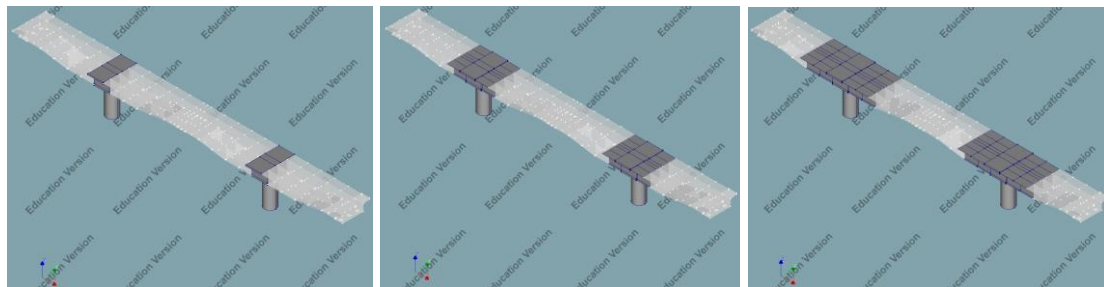
- Στις φάσεις 1-7 ενεργοποιούνται ανά φάση οι προεντάσεις. Το μεγάλο κατασκευαστικό φορτίο μετακινείται στην επόμενη φάση και στις προηγούμενες μένει ένα μικρό κατασκευαστικό φορτίο.
- Στην φάση 7 γίνεται η αποκατάσταση της συνέχειας, ενεργοποιούνται όλες οι προεντάσεις και έχουμε το βαρύ κατασκευαστικό φορτίο (ΜΚ 7) στην κλειδα (σπόνδυλος ένωσης).
Στο υπόλοιπο κατάστρωμα έχουμε ΟΛΑ τα μικρά κατασκευαστικά φορτία (φάσεις 1-6) και τα πρόσθετα μόνιμα σε όλο το κατάστρωμα. (διαρκεί 90 μέρες μέχρι την επόμενη φάση).
- Στην φάση 8 φεύγουν όλα τα κατασκευαστικά, μένουν τα πρόσθετα μόνιμα, όλη η προένταση και μπαίνουν τα φορτία κυκλοφορίας.

ΦΑΣΗ	ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ	ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΟΝΙΜΟ	ΜΕΓΑΛΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ	ΜΙΚΡΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ	ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ	ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ
1	OK	-	ΜΚ1	-	PR 1	-
2	OK	-	ΜΚ2	Μικρό Κ 1	PR 1+2	-
3	OK	-	ΜΚ3	Μικρό Κ 1+2	PR 1+2+3	-
4	OK	-	ΜΚ4	Μικρό Κ 1+2+3	PR 1+2+3+4	-
5	OK	-	ΜΚ5	Μικρό Κ 1+2+3+4	PR 1+2+3+4+5	-
6	OK	-	ΜΚ6	Μικρό Κ 1+2+3+4+5	PR 1+2+3+4+5+6	-
7	OK	OK	ΜΚ7	Μικρό Κ 1+2+3+4+5+6	PR 1+2+3+4+5+6+7	-
8	OK	OK	-	-	OK	OK

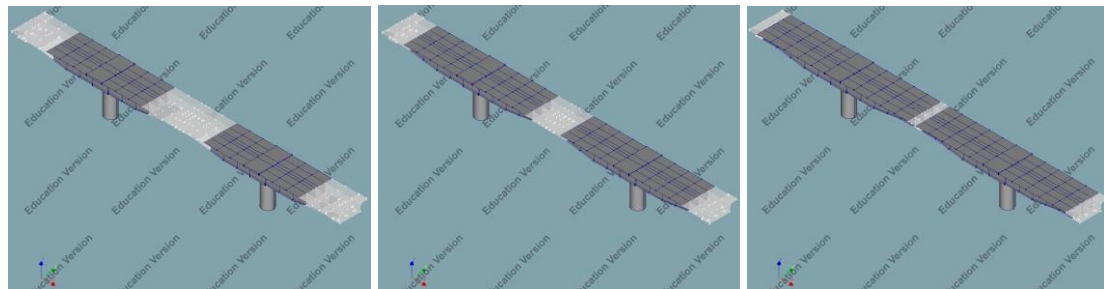
Πίνακας 21: Φάσεις Κατασκευής και Συνδυασμοί Δράσεων.

	Construct... Loads P2	Construct... Loads P3	Construct... Loads P4	Construct... Loads P5	Construct... Loads P6	Construct... Loads P1	Selfweight	Prostheta monima_1	Prostheta monima_2	Prostheta monima_3	Prostheta monima_4	Prostheta monima_5	Prostheta monima_6	Prostheta monima_7	PR 1	PR 2	PR 3	PR 4	PR 5	PR 6	PR 7	Construct... Loads P7	Foras Kykloforias	Cons Loads B P1	Cons Loads B P2	Cons Loads B P3	Cons Loads B P4	Cons Loads B P5	Cons Loads B P6
Load combination 1						1	1																						
Load combination 2	1						1																1						
Load combination 3	1						1																1	1					
Load combination 4		1					1																1	1	1				
Load combination 5			1				1																1	1	1	1			
Load combination 6				1			1																1	1	1	1	1	1	
Load combination 7						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1	1	1	1	1	1	1	1
PR 1															1														
PR 2																1													
PR 3																	1												
PR 4																		1											
PR 5																			1										
PR 6																				1									
PR 7																					1								
Load combination 8						1	1	1	1	1	1	1	1	1									1						

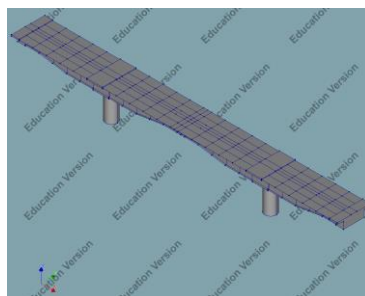
Πίνακας 22 Φάσεις κατασκευής και συνδυασμοί δράσεων (2)



Εικόνα 63 Φάση 1: Σπόνδυλος P-1, Φάση 2: Σπόνδυλος P-2 και Φάση 3: Σπόνδυλος P-3.



Εικόνα 64 Φάση 4: Σπόνδυλος P-4, Φάση 5: Σπόνδυλος P-5 και Φάση 6: Σπόνδυλος P-6



Εικόνα 65 Φάση 7: Κλείδα - Αποκατάσταση συνέχειας.

4.7. Μη Γραμμική Ανάλυση σε Φάσεις - *Phased Non Linear Analysis*

Για να καταφέρουμε να μελετήσουμε το πρόβλημα με λεπτομέρεια και να συνδυάσουμε και να συνυπολογίσουμε τις φάσεις κατασκευής, το φαινόμενο του ερπυσμού και το φαινόμενο της συστολής του σκυροδέματος, εφαρμόζουμε μη γραμμική ανάλυση σε φάσεις (*Phased non Linear Ana-lysis*) με χρονοεξέλιξη.

Η επιβολή των φορτίων και των προεντάσεων γίνεται με χρονικές παραμέτρους και βήματα (*start steps* και *time steps*), τα οποία χρονικά βήματα, *time steps*, πρέπει να είναι μικρών απόστασεων, ώστε να έχουμε λεπτομέρεια στα αποτελέσματα αλλά και να υπάρξει επαρκής σύγκλιση της ανάλυσης. Η σύγκλιση της ανάλυσης είναι απαραίτητη προκειμένου τα αποτελέσματα που θα λάβουμε είναι αληθή και ρεαλιστικά.

Επιπλέον, για την επίτευξη σύγκλισης της ανάλυσης απαιτείται επαρκής γεωμετρική διακριτοποίηση (*mesh*).

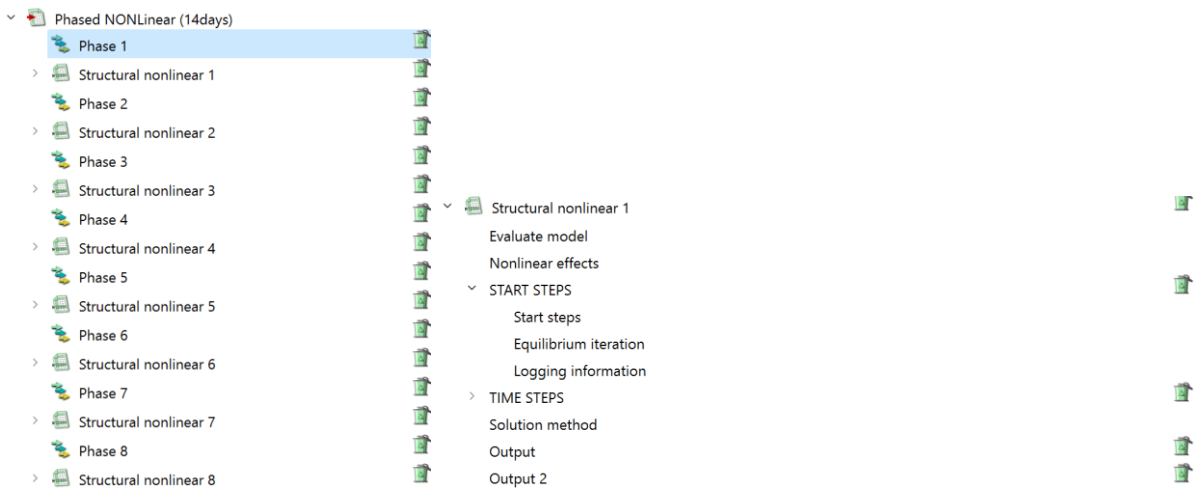
Για την επίλυση της ανάλυσης πραγματοποιούνται επαναλήψεις (*equilibrium iteration*) με την μέθοδο *Newton - Raphson* ως προς τις μετακινήσεις και τις δυνάμεις μέχρι να συγκλίνει.

ΦΑΣΗ	1	2	3	4	5	6	7	8	
Start Steps	14	28	42	56	70	84	98	188	
Time Steps	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.25(8) 0.5(24)	0.5(180)	0.5(28)

Πίνακας 23: Σενάριο 14ων Ημερών: *Start Steps, Time Steps*.

ΦΑΣΗ	1	2	3	4	5	6	7	8
Start Steps	28	56	84	112	140	168	196	286
Time Steps	0.25 (16)0.5(48)	0.25 (16)0.5 (48)	0.25 (16)0.5 (48)	0.5(56)	0.25 (16) 0.5 (48)	0.25 (16) 0.5 (48)	1(90)	0.5(56)

Πίνακας 24: Σενάριο 28 Ημερών: *Start Steps, Time Steps*.



Εικόνα 66: Μη γραμμική Ανάλυση σε Φάσεις - Structural nonlinear phased analysis (Diana Fea).

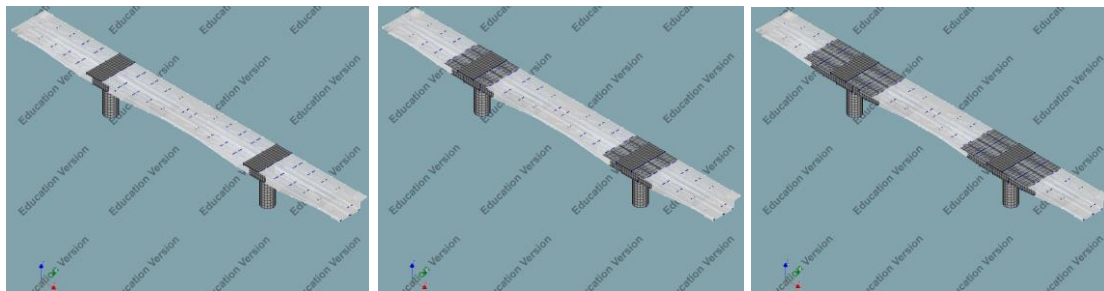
	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
Shapes								
Anw Pelma_s							✓	✓
Kastr_1		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kastr_2			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kastr_3				✓	✓	✓	✓	✓
Kastr_4					✓	✓	✓	✓
Kastr_5						✓	✓	✓
Katw Pelma_s								
Kormoi_1		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kormoi_2			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kormoi_3				✓	✓	✓	✓	✓
Kormoi_4					✓	✓	✓	✓
Kormoi_5						✓	✓	✓
Kormoi_s							✓	✓
Mesovathro	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pelmata_1		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pelmata_2			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pelmata_3				✓	✓	✓	✓	✓
Pelmata_4					✓	✓	✓	✓
Pelmata_5						✓	✓	✓
Shapes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
Pelmata_2			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pelmata_3				✓	✓	✓	✓	✓
Pelmata_4					✓	✓	✓	✓
Pelmata_5						✓	✓	✓
Shapes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Shapes 1				✓				
Shapes 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
kivotio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reinforcement sets								
Prestress Kalodia P1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prestress Kalodia P2		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prestress Kalodia P3			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prestress Kalodia P4				✓	✓	✓	✓	✓
Prestress Kalodia P5					✓	✓	✓	✓
Prestress Kalodia P6						✓	✓	✓
Prestress Kalodia P7							✓	✓
Prestress Kalodia P7 1							✓	✓
Geometry support sets								
Phase 7							✓	✓
Supports Mesobathra	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

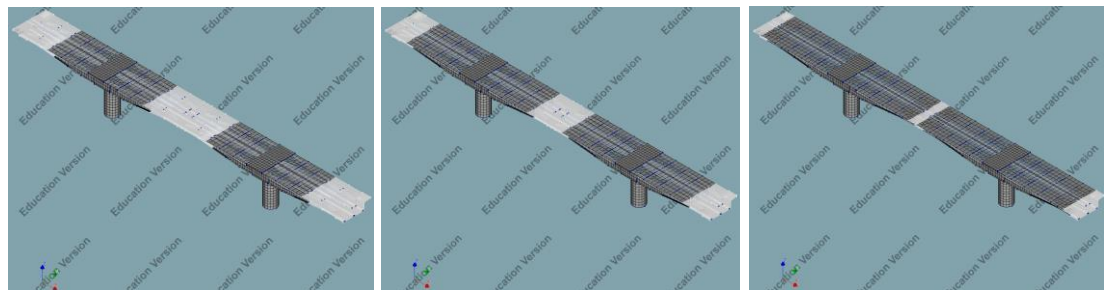
Εικόνα 67: Φάσεις Ανάλυσης (Diana Fea).

Reinforcement sets														
Prestress Kalodia P1	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress
Prestress Kalodia P2	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress
Prestress Kalodia P3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress
Prestress Kalodia P4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress
Prestress Kalodia P5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	Prestress
Prestress Kalodia P6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	Prestress
Prestress Kalodia P7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	Prestress
Prestress Kalodia P7 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	<input checked="" type="checkbox"/>	Prestress	Prestress
Support sets														
Phase 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Supports Mesobathra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

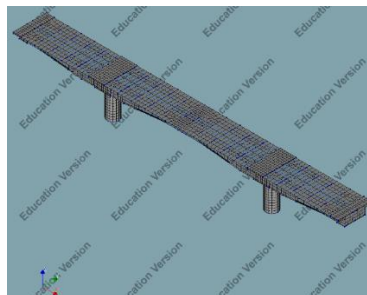
Εικόνα 68: Φάσεις Ανάλυσης (Diana Fea).



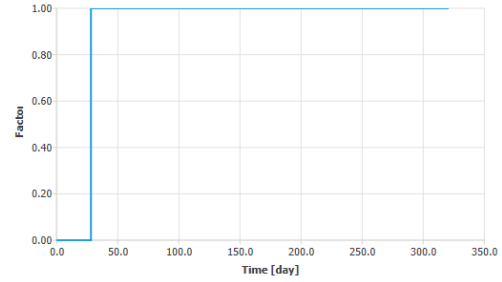
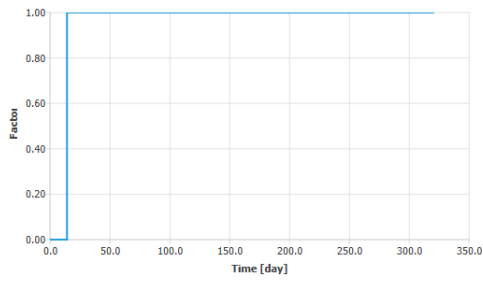
Εικόνα 69: Φάση 1: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-1, Φάση 2: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-2 και Φάση 3: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-3.



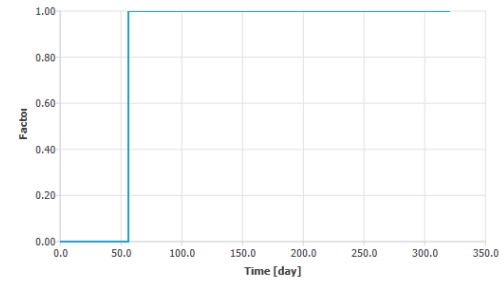
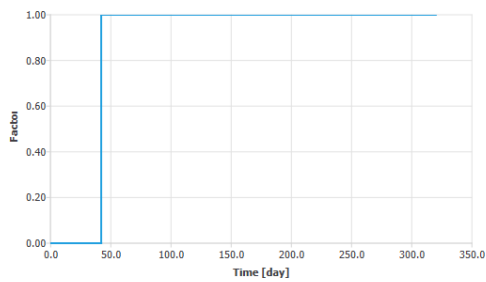
Εικόνα 70: Φάση 4: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-4, Φάση 5: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-5 και Φάση 6: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-6.



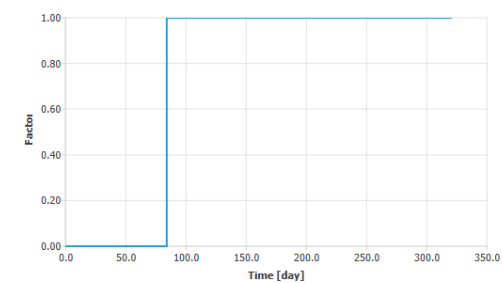
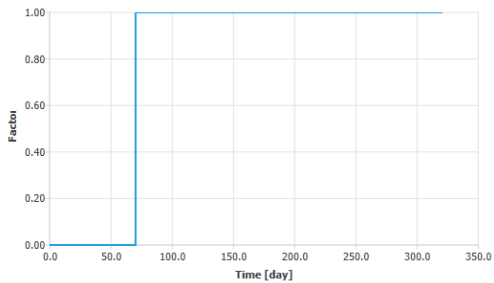
Εικόνα 71: Φάση 7: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-7.



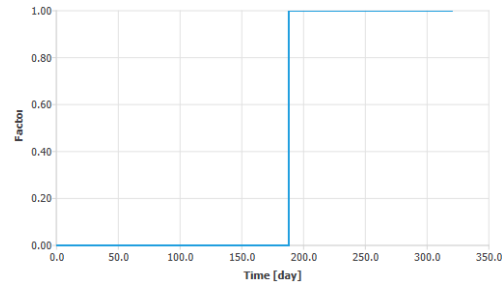
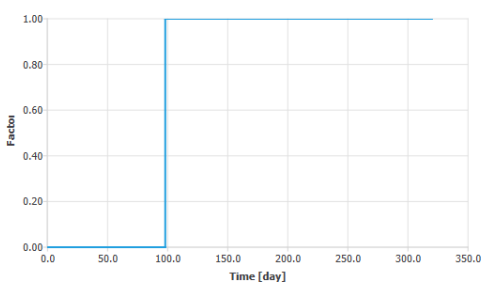
Γράφημα 15: Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 1 και PR 1, Χρονοεξέλιξη των Load combination 2 και PR 2 (Diana Fea).



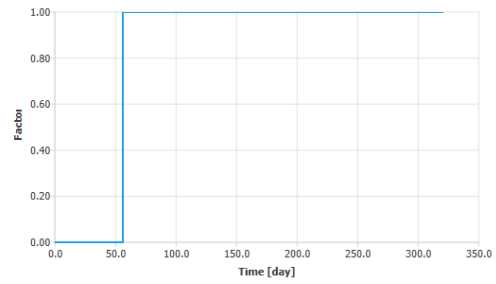
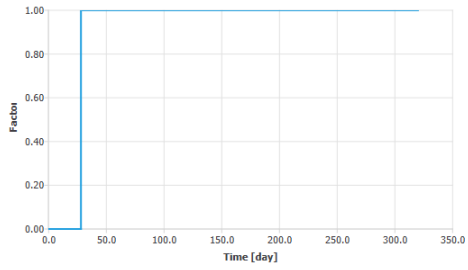
Γράφημα 16: Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 3 και PR 3, Χρονοεξέλιξη των Load combination 4 και PR 4.



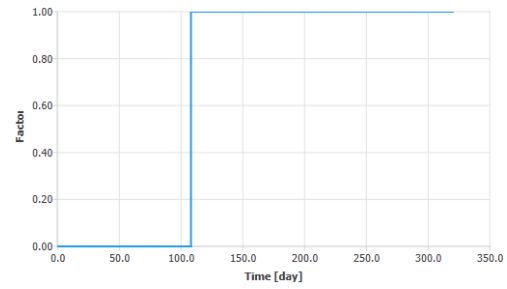
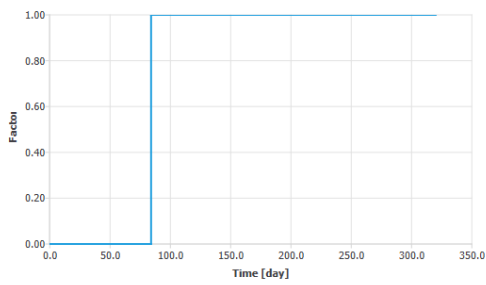
Γράφημα 17: Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 5 και PR 5, Χρονοεξέλιξη των Load combination 6 και PR 6.



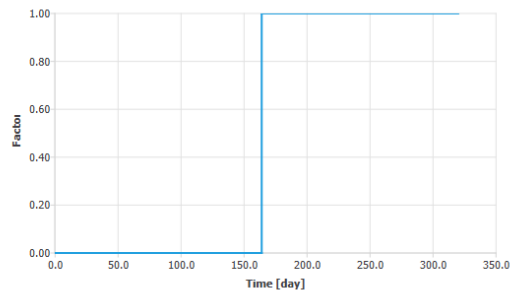
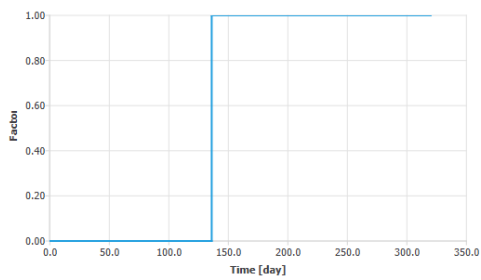
Γράφημα 18 Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 7 και PR 7, Χρονοεξέλιξη των Load combination 8.



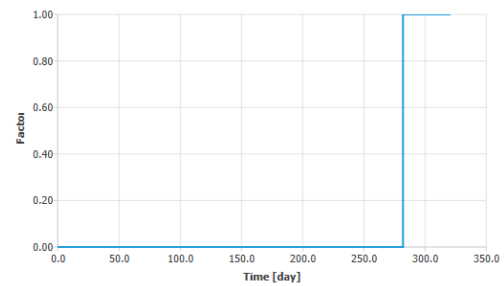
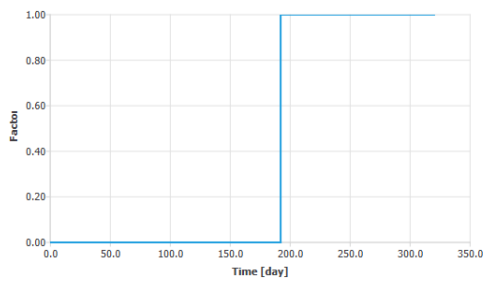
Γράφημα 19: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 1 και PR 1, Χρονοεξέλιξη των Load combination 2 και PR 2.



Γράφημα 20: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 3 και PR 3, Χρονοεξέλιξη των Load combination 4 και PR 4.



Γράφημα 21: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 5 και PR 5, Χρονοεξέλιξη των Load combination 6 και PR 6.



Γράφημα 22: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 7 και PR 7, Χρονοεξέλιξη των Load combination 8.

4.8. Εξαγόμενες Πληροφορίες από το Λογισμικό DIANA FEA

Material: C50/60

Name	C50/60
Material class	Concrete design codes
Material model	Eurocode 2 EN 1992-1-1
Color	grey
Aspect	Creep, Shrinkage
Concrete	EN1992
Concrete type	Normal weight
Concrete class	C50/60
Aggregate type	Limestone
Cement type	Class N
Young's modulus E _{cm}	3355.01 kN/cm ²
Poisson ratio nu _c	0.2
Thermal expansion coefficient alpha _t	1e-05
Density rho	3.21502e-18 kNday ² /cm ⁴
Mean uniaxial tensile strength f _{ctm}	0.407163 kN/cm ²
Mean compressive strength f _{cm}	5.8 kN/cm ²
Creep coefficient	<p>0 0 365 0.710103 730 0.819896 1095 0.878292 1460 0.915411 1825 0.9413 2190 0.960455 2555 0.97523 2920 0.986985 3285 0.996567 3650 1.00453 4015 1.01126 4380 1.01701 4745 1.022 5110 1.02636 5475 1.0302 5840 1.03361 6205 1.03667 6570 1.03941 6935 1.0419 7300 1.04416 7665 1.04622 8030 1.04811 8395 1.04985 8760 1.05145 9125 1.05294 9490 1.05432 9855 1.0556 10220 1.0568 10585 1.05792 10950 1.05897 11315 1.05996 11680 1.06089 12045 1.06177 12410 1.0626 12775 1.06338 13140 1.06412 13505 1.06482 13870 1.06549 14235 1.06613 14600 1.06673 14965 1.06731 15330 1.06786 15695 1.06839 16060 1.06889 16425 1.06938 16790 1.06984 17155 1.07028 17520 1.07071 17885 1.07112 18250 1.07151 18615 1.07189 18980 1.07225 19345 1.07261 19710 1.07294 20075 1.07327 20440 1.07359 20805 1.07389 21170 1.07419 21535 1.07447 21900 1.07475 22265 1.07501 22630 1.07527 22995 1.07552 23360 1.07577 23725 1.076 24090 1.07623 24455 1.07646 24820 1.07667 25185 1.07688 25550 1.07709 25915 1.07728 26280 1.07748 26645 1.07767 27010 1.07785 27375 1.07803 27740 1.0782 28105 1.07837 28470 1.07853 28835 1.0787 29200 1.07885 29565 1.07901 29930 1.07916 30295 1.0793 30660 1.07945 31025 1.07958 31390 1.07972 31755 1.07985 32120 1.07998 32485 1.08011 32850 1.08024 33215 1.08036 33580 1.08048 33945 1.0806 34310 1.08071 34675 1.08082 35040 1.08093 35405 1.08104 35770 1.08114 36135 1.08125 36500 1.08135 day</p>
Autogenous shrinkage	<p>1.15741e-05 6.80182e-08 0.910011 1.73693e-05 1.82001 2.3648e-05 2.73001 2.81403e-05 3.64001 3.17216e-05 4.55001 3.47285e-05 5.46001</p>

	<p>3.73329e-05 6.37001 3.9636e-05 7.28001 4.17036e-05 8.19001 4.3581e-05 9.10001 4.5301e-05 10.01 4.68883e-05 10.92 4.83618e-05 11.83 4.97367e-05 12.74 5.10251e-05 13.65 5.2237e-05 14.56 5.33805e-05 15.47 5.44627e-05 16.38 5.54895e-05 17.29 5.64659e-05 18.2 5.73963e-05 19.11 5.82846e-05 20.02 5.91341e-05 20.93 5.99478e-05 21.84 6.07283e-05 22.75 6.1478e-05 23.66 6.21989e-05 24.57 6.28929e-05 25.48 6.35619e-05 26.39 6.42072e-05 27.3 6.48304e-05 28.21 6.54327e-05 29.12 6.60153e-05 30.03 6.65792e-05 30.94 6.71256e-05 31.85 6.76552e-05 32.76 6.81689e-05 33.67 6.86676e-05 34.58 6.91519e-05 35.49 6.96226e-05 36.4 7.00802e-05 37.31 7.05253e-05 38.22 7.09586e-05 39.13 7.13804e-05 40.04 7.17914e-05 40.95 7.21919e-05 41.86 7.25824e-05 42.77 7.29633e-05 43.68 7.3335e-05 44.59 7.36977e-05 45.5 7.4052e-05 46.41 7.4398e-05 47.32 7.4736e-05 48.23 7.50665e-05 49.14 7.53895e-05 50.05 7.57055e-05 50.96 7.60146e-05 51.87 7.63171e-05 52.78 7.66132e-05 53.69 7.6903e-05 54.6 7.71869e-05 55.51 7.7465e-05 56.42 7.77375e-05 57.33 7.80045e-05 58.24 7.82662e-05 59.15 7.85229e-05 60.06 7.87745e-05 60.97 7.90214e-05 61.88 7.92635e-05 62.79 7.95012e-05 63.7 7.97344e-05 64.61 7.99633e-05 65.52 8.01881e-05 66.43 8.04088e-05 67.34 8.06256e-05 68.25 8.08386e-05 69.16 8.10478e-05 70.07 8.12534e-05 70.98 8.14554e-05 71.89 8.1654e-05 72.8 8.18493e-05 73.71 8.20412e-05 74.62 8.223e-05 75.53 8.24156e-05 76.44 8.25983e-05 77.35 8.27779e-05 78.26 8.29547e-05 79.17 8.31286e-05 80.08 8.32998e-05 80.99 8.34683e-05 81.9 8.36341e-05 82.81 8.37974e-05 83.72 8.39582e-05 84.63 8.41165e-05 85.54 8.42725e-05 86.45 8.4426e-05 87.36 8.45773e-05 88.27 8.47264e-05 89.18 8.48732e-05 90.09 8.50179e-05 day</p>
Drying shrinkage	<p>1.15741e-05 0 0.910011 0 1.82001 0 2.73001 0 3.64001 0 4.55001 0 5.46001 0 6.37001 0 7.28001 1.73128e-08 8.19001 7.35492e-08 9.10001 1.29743e-07 10.01 1.85894e-07 10.92 2.42003e-07 11.83 2.98068e-07 12.74 3.54092e-07 13.65 4.10073e-07 14.56 4.66011e-07 15.47 5.21908e-07 16.38 5.77762e-07 17.29 6.33573e-07 18.2 6.89343e-07 19.11 7.4507e-07 20.02 8.00755e-07 20.93 8.56398e-07 21.84 9.11999e-07 22.75 9.67558e-07 23.66 1.02308e-06 24.57 1.07855e-06 25.48 1.13398e-06 26.39 1.18938e-06 27.3 1.24473e-06 28.21 1.30003e-06 29.12 1.3553e-06 30.03 1.41053e-06 30.94 1.46571e-06 31.85 1.52085e-06 32.76 1.57595e-06 33.67 1.63101e-06 34.58 1.68603e-06 35.49 1.741e-06 36.4 1.79594e-06 37.31 1.85083e-06 38.22 1.90569e-06 39.13 1.9605e-06 40.04 2.01527e-06 40.95 2.07e-06 41.86 2.12469e-06 42.77 2.17933e-06 43.68 2.23394e-06 44.59 2.28851e-06 45.5 2.34303e-06 46.41 2.39751e-06 47.32 2.45196e-06 48.23 2.50636e-06 49.14 2.56072e-06 50.05 2.61504e-06 50.96 2.66933e-06 51.87 2.72357e-06 52.78 2.77777e-06 53.69 2.83193e-06 54.6 2.88604e-06 55.51 2.94012e-06 56.42 2.99416e-06 57.33 3.04816e-06 58.24 3.10212e-06 59.15 3.15604e-06 60.06 3.20992e-06 60.97 3.26375e-06 61.88 3.31755e-06 62.79 3.37131e-06 63.7 3.42503e-06 64.61 3.47871e-06 65.52 3.53235e-06 66.43 3.58594e-06 67.34 3.6395e-06 68.25 3.69302e-06 69.16 3.7465e-06 70.07 3.79994e-06 70.98 3.85334e-06 71.89 3.9067e-06 72.8 3.96003e-06 73.71 4.01331e-06 74.62 4.06655e-06 75.53 4.11975e-06 76.44 4.17292e-06 77.35 4.22604e-06 78.26 4.27913e-06 79.17 4.33218e-06 80.08 4.38518e-06 80.99 4.43815e-06 81.9 4.49108e-06 82.81 4.54397e-06 83.72</p>

	4.59682e-06 84.63 4.64963e-06 85.54 4.70241e-06 86.45 4.75514e-06 87.36 4.80784e-06 88.27 4.8605e-06 89.18 4.91311e-06 90.09 -** CE°J'EG.G"14 BE°DB'DF.G"5 **-4.96569e-06 day
Compression curve	Eurocode 2 EN 1992-1-1
Strain at maximum stress	0.002
Strain at ultimate stress	0.0035
Young's modulus at 0.4*compressive strength	2955.7 kN/cm ²
Confinement model	No increase
Ambient temperature	20 °C
Notional size of member h	153.048 cm
Relative ambient humidity RH in %	80
Creepn	True
Concrete age at loading	14 day
Shrinn	True
Concrete age at end of curing period	7 day

Πίνακας 25: Concrete C50/60 (Diana Fea).

edit material
×

Name

Aspects to include

- Total Strain crack model
- Shrinkage
- Damping
- Additional dynamic 3D line mass
- Creep
- Young hardening concrete
- Additional dynamic surface mass
- Strength reduction

✓ Eurocode 2 EN1992-1-1

Concrete type

Concrete class*

Aggregate type

Cement type

Model parameters

Young's modulus E_{cm}

Poisson ratio nu_c

Thermal expansion coefficient alpha_t

Density rho

Mean uniaxial tensile strength f_{ctm}

Mean compressive strength f_{cm}

Creep coefficient

Autogenous shrinkage

Drying shrinkage

✓ Compressive behavior

✓ Creep and shrinkage

Close

Help

✓ Creep and shrinkage

Ambient temperature

Notional size of member h*

Relative ambient humidity RH in %*

Concrete age at loading*

Concrete age at end of curing period*

Εικόνα 72: Concrete C50/60 (Diana Fea).

Material: Prestress

Name	Prestress
Material class	Reinforcements
Material model	Linear elasticity
Color	slateblue
Young's modulus	19500 kN/cm ²

Πίνακας 26: Prestress Material (Diana Fea).

Geometry shapes

The model consists of the following shapes, reinforcements, piles and interfaces:

Element geometries

Geometry: Anw Pelma 3-5

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	30 cm
Element x axis	1 0 0

Πίνακας 27 Geometry: Anw Pelma 3-5 (Diana Fea)

Geometry: Katw Pelma

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	30 cm
Element x axis	1 0 0

Πίνακας 28 Geometry: Katw Pelma (Diana Fea)

Geometry: Kormoi

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	60 cm
Element x axis	1 0 0

Πίνακας 29 Geometry: Kormoi (Diana Fea)

Geometry: kormos akraios_s_d

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	380 cm
Element x axis	1 0 0

Πίνακας 30 Geometry: kormos akraios_s_d (Diana Fea)

Geometry: kormos akraios_s_a

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	380 cm
Element x axis	1 0 0

Πίνακας 31 kormos akraios_s_a (Diana Fea)

Geometry: kormos kentrikos_s

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	100 cm
Element x axis	1 0 0

Πίνακας 32 kormos kentrikos_s (Diana Fea)

Geometry: Kivotio

Name	Value
Geometry class	Solids
Geometry model	Regular structural solids elements

Πίνακας 33 Geometry: Kivotio (Diana Fea)

Geometry: Katw Pelma 3

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	30 cm
Element x axis	1 0 -0.104743

Πίνακας 34 Geometry: Katw Pelma 3 (Diana Fea)

Geometry: Katw Pelma 4

Name	Value
Geometry class	Sheets
Geometry model	Regular curved shell elements
Thickness	30 cm
Element x axis	1 0 0.104743

Πίνακας 35 Geometry: Katw Pelma 4 (Diana Fea)

Geometry: 0.6*13

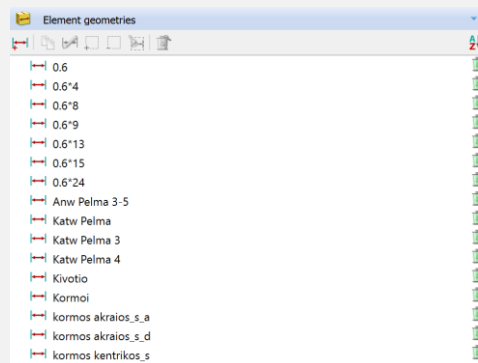
Name	Value
Geometry class	Reinforcement lines
Geometry model	Bar reinforcements
Reinforcement type	Embedded
Cross-section input	Cross-section
Cross-section area of bar	19.5 cm ²

Πίνακας 36 Geometry: 0.6*13 (Diana Fea)

Geometry: 0.6*15

Name	Value
Geometry class	Reinforcement lines
Geometry model	Bar reinforcements
Reinforcement type	Embedded
Cross-section input	Cross-section
Cross-section area of bar	22.5 cm ²

Πίνακας 37 Geometry: 0.6*15 (Diana Fea)



Εικόνα 73 Γεωμετρίες στοιχείων (Diana Fea)

Mesh Sets

Name	# Elements	Material	geometry	Data
Anw Pelma_a_p10	57	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_d_p6	57	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Katw Pelma_a_p10	48	C50/60	Katw Pelma	
Katw Pelma_d_p6	54	C50/60	Katw Pelma	
Anw Pelma_a_p14	52	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_d_p12	52	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_a_p18	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_d_p18	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_a_p22	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_d_p24	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_a_p26	56	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_d_p30	59	C50/60	Anw Pelma 3-5	
kormos_m_a_p26	18	C50/60	Kormoi	
kormos_a_a_p26	18	C50/60	Kormoi	
kormos_d_a_p26	18	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p26	18	C50/60	Kormoi	
kormos_m_d_p30	18	C50/60	Kormoi	
kormos_a_d_p30	18	C50/60	Kormoi	
Kivotio	1196	C50/60	Kivotio	
Kormos p1a1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p1a2	30	C50/60	Kormoi	
kormos p1a3	30	C50/60	Kormoi	
kormos p1d1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p1d2	30	C50/60	Kormoi	
kormos p1d3	30	C50/60	Kormoi	
Anw Pelma_d_p29	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
kormos_d_d_p29	18	C50/60	Kormoi	
Anw Pelma_d_p11	57	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_a_p15	57	C50/60	Anw Pelma 3-5	
kormos p1d6	30	C50/60	Kormoi	
Anw Pelma_a_p31	59	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_d_p23	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
kormos_d_a_p29	18	C50/60	Kormoi	
Anw Pelma_a_p23	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
kormos_m_d_p33	18	C50/60	Kormoi	
kormos_a_d_p33	18	C50/60	Kormoi	
kormos_a_a_p29	18	C50/60	Kormoi	
Anw Pelma_d_p17	52	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Anw Pelma_a_p27	40	C50/60	Anw Pelma 3-5	
kormos_m_a_p29	18	C50/60	Kormoi	
kormos p1d5	30	C50/60	Kormoi	
Anw Pelma_a_p19	52	C50/60	Anw Pelma 3-5	
kormos p1d4	30	C50/60	Kormoi	

Katw Pelma_d_p11	54	C50/60	Katw Pelma	
kormos p1a5	30	C50/60	Kormoi	
Katw Pelma_a_p15	54	C50/60	Katw Pelma	
kormos p1a4	30	C50/60	Kormoi	
Kormos p1a2	30	C50/60	Kormoi	
Kivotio 1	1099	C50/60	Kivotio	
Akrobathro 1	183	C50/60	Kivotio	
Akrobathro 2	183	C50/60	Kivotio	
kormos_s_akraios_d	6	C50/60	kormos akraios_s_d	
kormos_s_akraios_a	6	C50/60	kormos akraios_s_a	
kormos_s_kentrikos	6	C50/60	kormos kentrikos_s	
Katw Pelma_s	20	C50/60	Katw Pelma	
Anw Pelma_s	28	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Mesobathro 1	252	C50/60_28ri	Kivotio	
Mesobathro 2	288	C50/60_28ri	Kivotio	
kormos_s_kentrikos_1	6	C50/60	kormos kentrikos_s	
kormos_s_akraios_a_1	6	C50/60	kormos akraios_s_a	
kormos_s_akraios_d_1	6	C50/60	kormos akraios_s_d	
Anw Pelma_s_1	28	C50/60	Anw Pelma 3-5	
Katw Pelma_s_1	20	C50/60	Katw Pelma	
kormos p2a1_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2a2_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2a3_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2d1_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2d2_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2d3_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2d6_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2a6_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2a4_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2d4_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2d5_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos p2a5_1	30	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_1_1	17	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_2_1	16	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_3_1	16	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_4_1	17	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_5_1	16	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_6_1	16	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_7_1	17	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_8_1	17	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_9_1	16	C50/60	Kormoi	

kormos_d_d_p50_12_1	16	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_10_1	17	C50/60	Kormoi	
kormos_d_d_p50_11_1	17	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp60_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp61_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp62_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp63_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp64_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp65_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp1_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp2_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp3_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp6_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp4_1	13	C50/60	Kormoi	
kormos_d_dp5_1	13	C50/60	Kormoi	
Sheet 1	64	C50/60	Katw Pelma 3	
Sheet 2	64	C50/60	Katw Pelma 4	
Sheet 3	64	C50/60	Katw Pelma 3	
Sheet 4	64	C50/60	Katw Pelma 4	
Sheet 5	64	C50/60	Katw Pelma 3	
Sheet 6	64	C50/60	Katw Pelma 4	
Sheet 7	64	C50/60	Katw Pelma 3	
Sheet 8	64	C50/60	Katw Pelma 4	
Sheet 9	64	C50/60	Katw Pelma 3	
Sheet 10	64	C50/60	Katw Pelma 4	
Sheet 11	64	C50/60	Katw Pelma 3	
Sheet 12	64	C50/60	Katw Pelma 4	
Sheet 13	66	C50/60	Katw Pelma	
Sheet 14	66	C50/60	Katw Pelma	
Sheet 15	66	C50/60	Katw Pelma	
Sheet 16	66	C50/60	Katw Pelma	

Πίνακας 38 Διακριτοποίηση στοιχείων - Mesh Sets (Diana Fea)

Reinforcements

Name	# Reinforcements	Material	Geometry	Data
Prestress Kalodia P1	20	Prestress	0.6*13	
Prestress Kalodia P2	12	Prestress	0.6*15	
Prestress Kalodia P5	16	Prestress	0.6*13	
Prestress Kalodia P6	16	Prestress	0.6*13	
Prestress Kalodia P4	12	Prestress	0.6*13	
Prestress Kalodia P3	12	Prestress	0.6*15	
Prestress Kalodia P7	27	Prestress	0.6*13	
Prestress Kalodia P7 1	8	Prestress	0.6*13	

Πίνακας 39 Οπλισμοί - Reinforcements (Diana Fea)

Geometry support sets

Phase 7

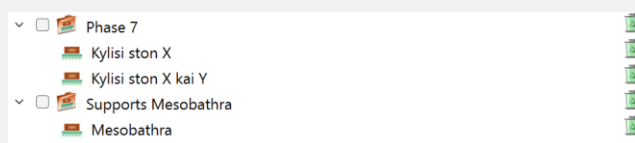
Name	Target	Translation	Rotation
Kylisi ston X	SURFAC	Y,Z	
Kylisi ston X kai Y	SURFAC	Z	

Πίνακας 40 Supports sets phase 7 (Diana Fea)

Supports Mesobathra

Name	Target	Translation	Rotation
Mesobathra	SURFAC	X,Y,Z	X,Y,Z
Name	Value		
Support name	Mesobathra		
Surfaces	face of "Mesobathro 1" (2119.76, 9.8437, -290),face of "Mesobathro 2" (6219.76, 9.8437, -290)		
Coordinate system	1 2		
Fixed translations	1 1 1		
Fixed rotations	1 1 1		
Name	Value		
Support name	Kylisi ston X		
Surfaces	face of "Akrobathro 1" (47.0571, -207.057, 520),face of "Akrobathro 2" (8247.06, -207.057, 520)		
Coordinate system	1 2		
Fixed translations	0 1 1		
Fixed rotations	0 0 0		
Name	Value		
Support name	Kylisi ston X kai Y		
Surfaces	face of "Akrobathro 1" (47.0571, 212.943, 520),face of "Akrobathro 1" (47.0571, 2.94292, 520),face of "Akrobathro 2" (8247.06, 2.94292, 520),face of "Akrobathro 2" (8247.06, 212.943, 520)		
Coordinate system	1 2		
Fixed translations	0 0 1		
Fixed rotations	0 0 0		

Πίνακας 41 Supports sets Mesobathra (Diana Fea)



Εικόνα 74 Στηρίξεις - Supports (Diana Fea)

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΑΣΕΩΝ & ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σε όλες τις φάσεις κατασκευής ελέγχονται οι τάσεις των διατομών να είναι μέσα στα όρια του κανονισμού υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας. Οι θλιπτικές τάσεις δεν επιτρέπεται να υπερβαίνουν το 45% της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος ($f_{ck}=50 \text{ MPA}$) ή το 60% με παραδοχή μη γραμμικού ερπυσμού. Οι εφελκυστικές τάσεις περιορίζονται σε τιμές μικρότερες της μέσης εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος ($f_{ctm}=4.1 \text{ MPA}$).

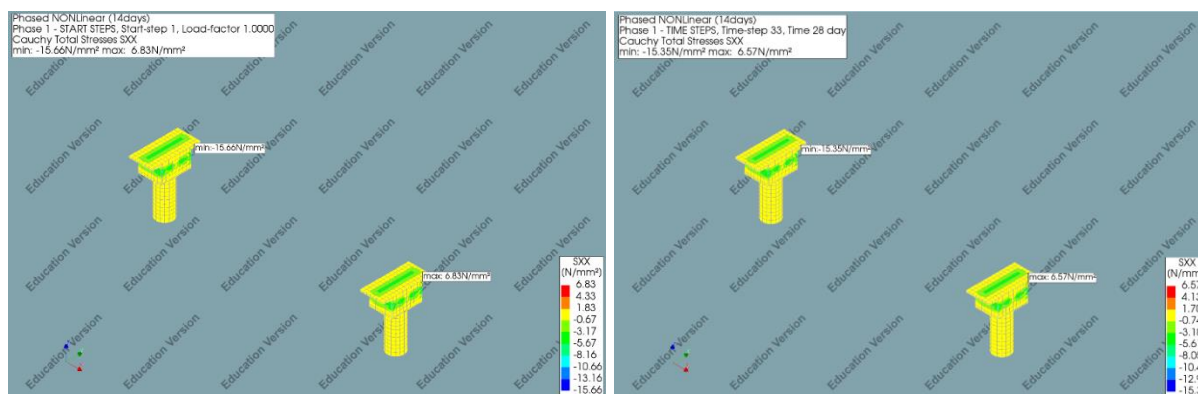
Στην περίπτωση μας:

$$\sigma_1 \text{ θλιβόμενη ίνα : } \sigma_1 \geq -22.5 \text{ MPA} \text{ ή } \sigma_1 \geq -30 \text{ MPA}$$

$$\sigma_2 \text{ εφελκυστική ίνα : } \sigma_2 \leq 4.1 \text{ MPA}$$

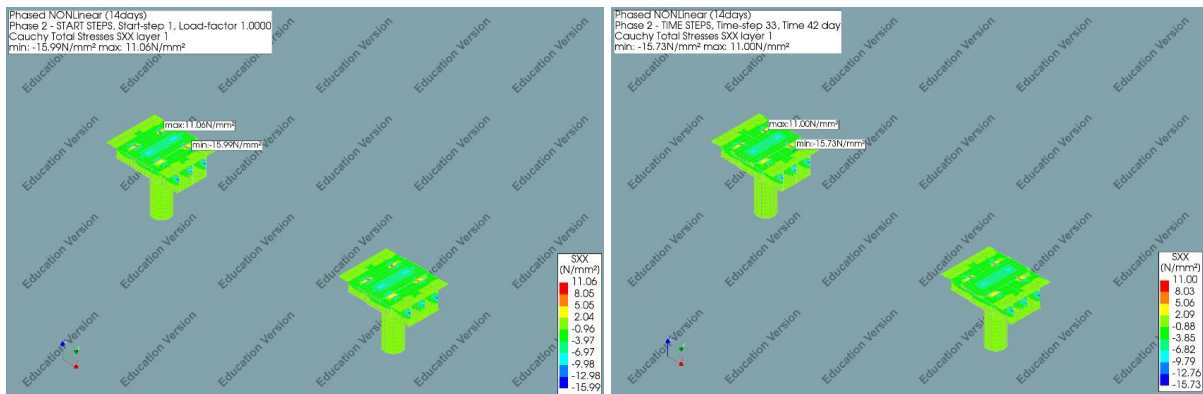
5.1. Σενάριο A: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών

ΦΑΣΗ 1



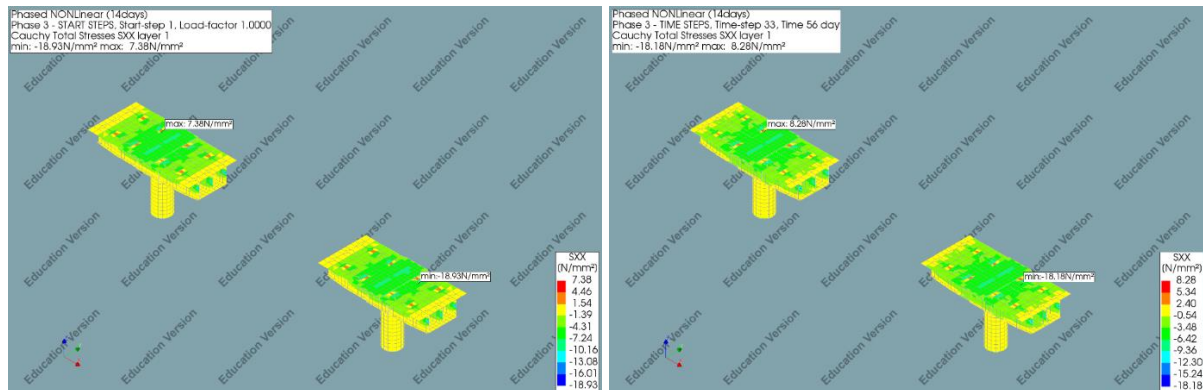
Γράφημα 23: Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 33 time 28 day - Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.

ΦΑΣΗ 2



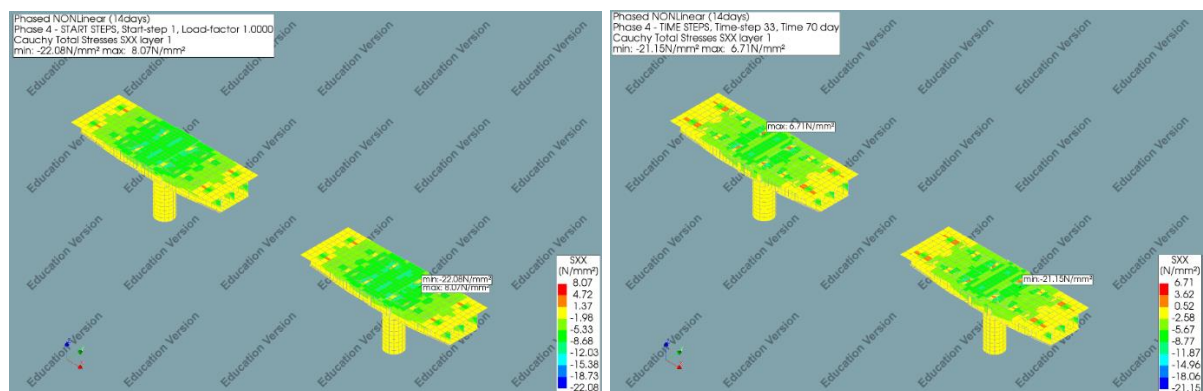
Γράφημα 24 Τάσεις SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 2 Time-step 33 time 42 day - Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.

ΦΑΣΗ 3



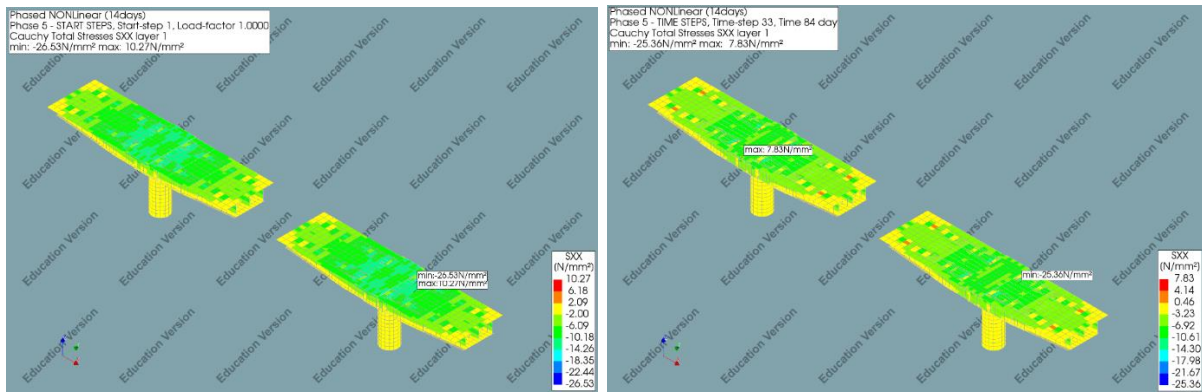
Γράφημα 25 Τάσεις SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 3 Time-step 33 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 4



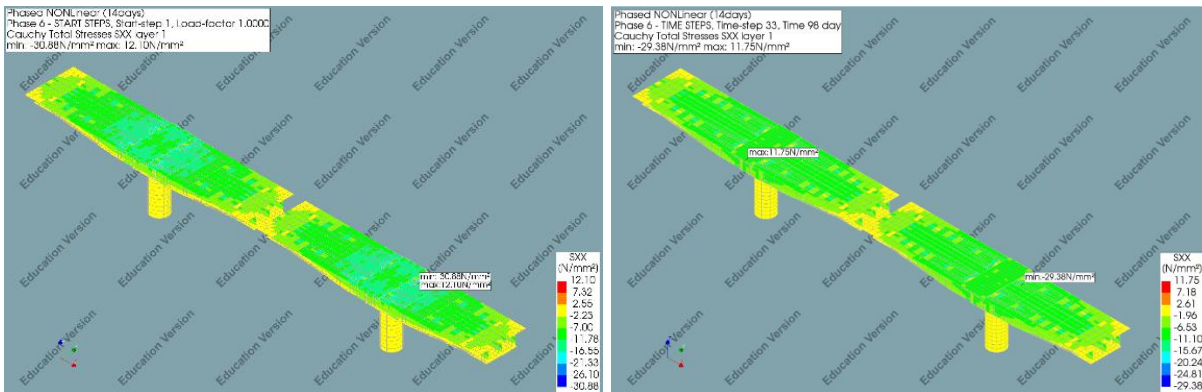
Γράφημα 26 Τάσεις SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 4 Time-step 33 time 70 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.

ΦΑΣΗ 5



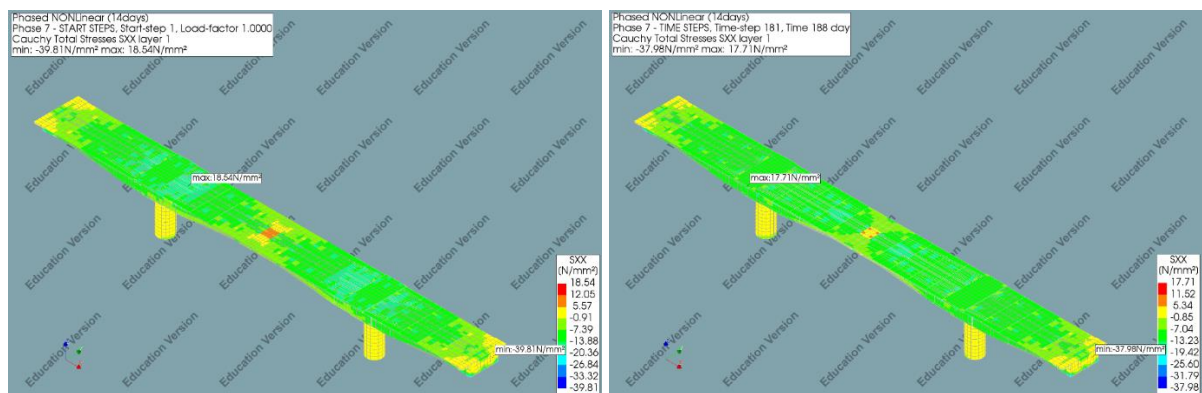
Γράφημα 27 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 33 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 6



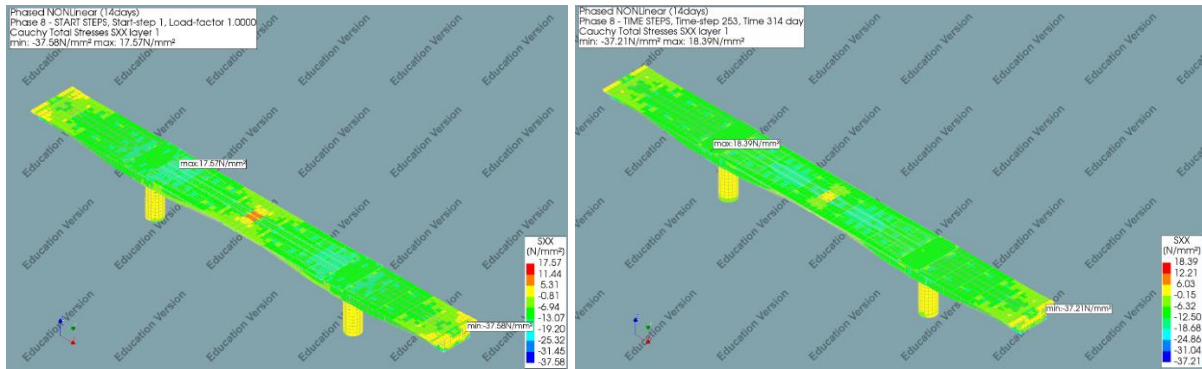
Γράφημα 28 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 33 time 98 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 29 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 181 time 188 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

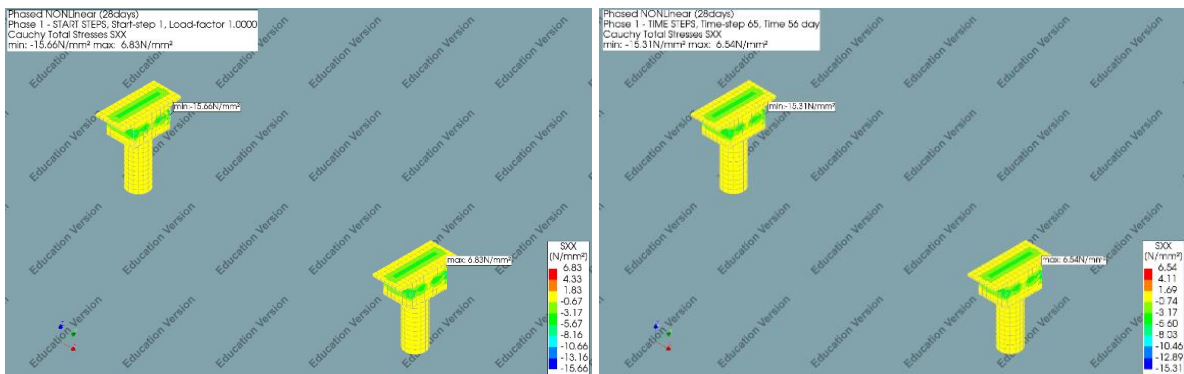
ΦΑΣΗ 8



Γράφημα 30 Τάσεις SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 8 Time-step 253 time 314 day - Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

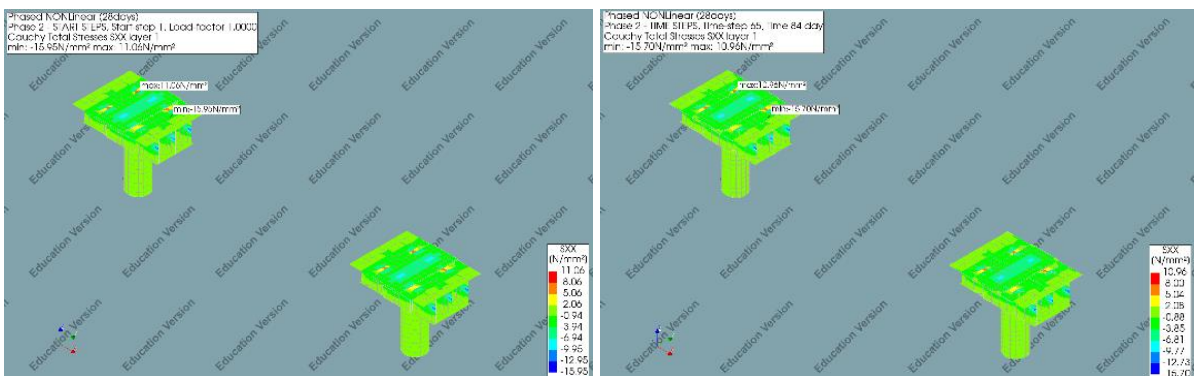
5.2. Σενάριο Β: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 28 Ημερών

ΦΑΣΗ 1



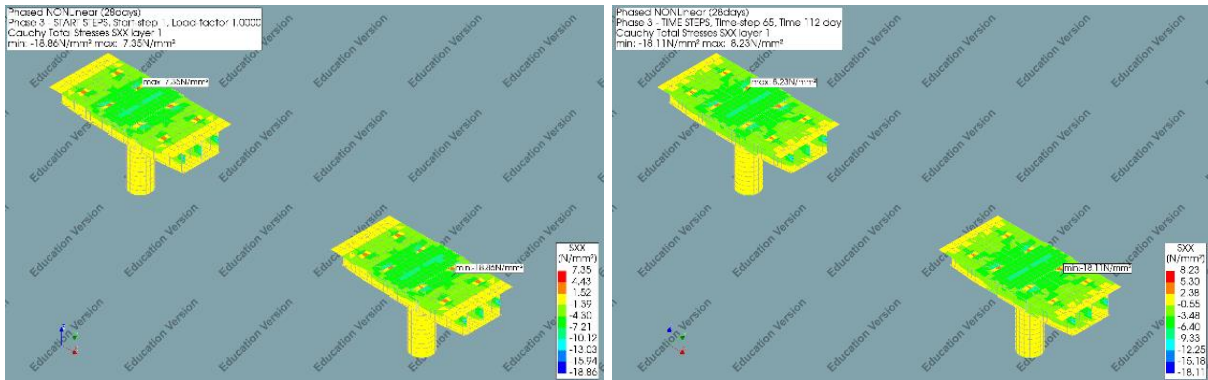
Γράφημα 31 Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 65 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 2



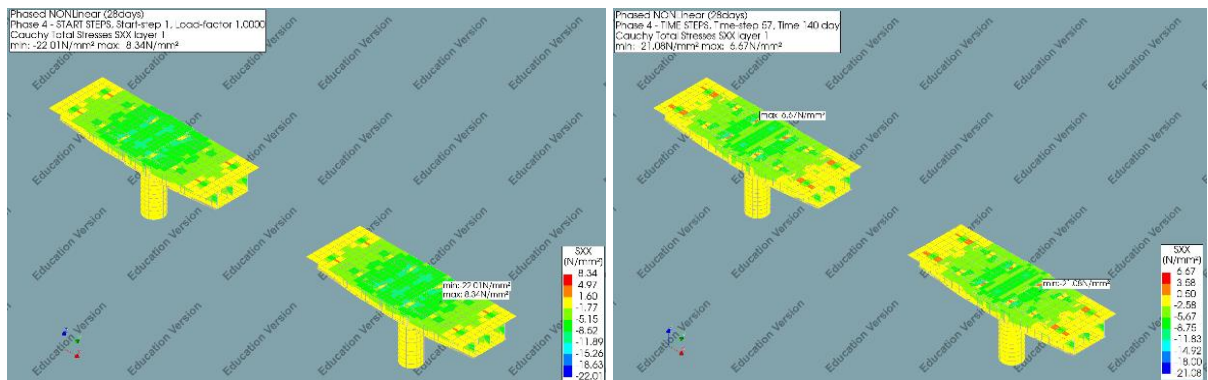
Γράφημα 32 Τάσεις SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 2 Time-step 65 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 3



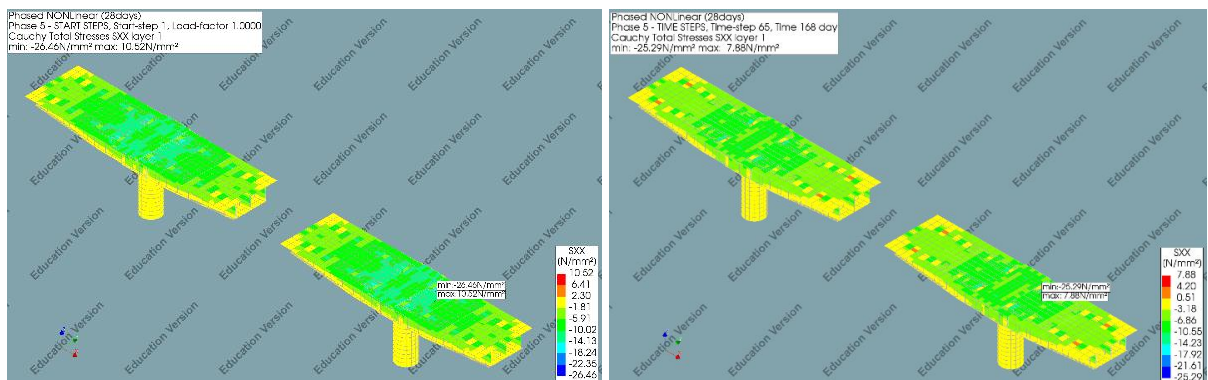
Γράφημα 33 Τάσεις SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 3 Time-step 65 time 112 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 4



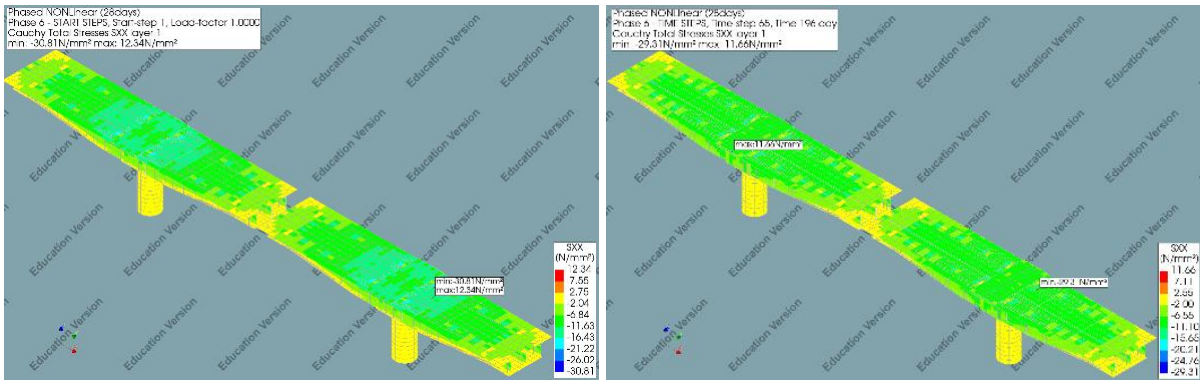
Γράφημα 34 Τάσεις SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 4 Time-step 57 time 140 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 5



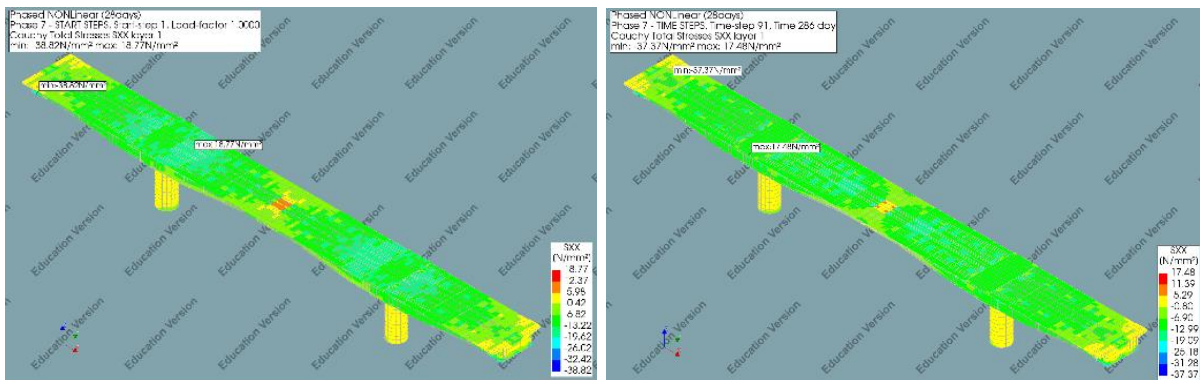
Γράφημα 35 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 65 time 168 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 6



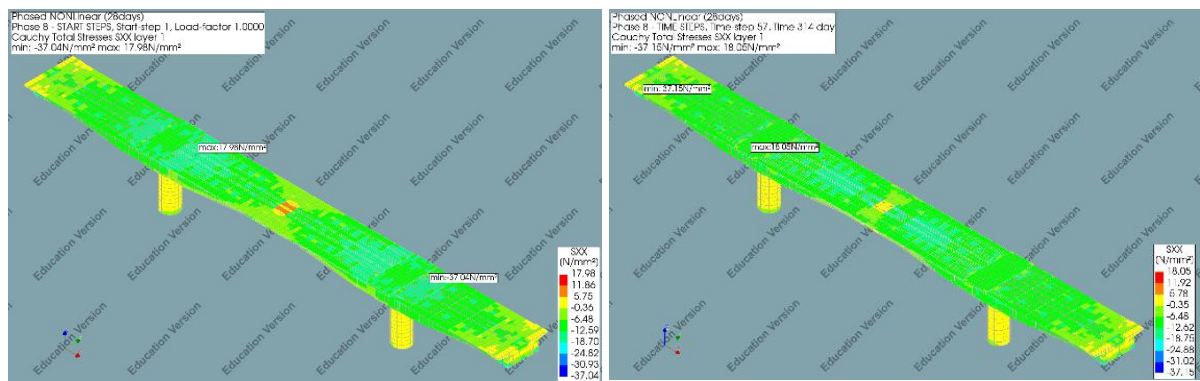
Γράφημα 36 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 65 time 196 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 37 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 91 time 286 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

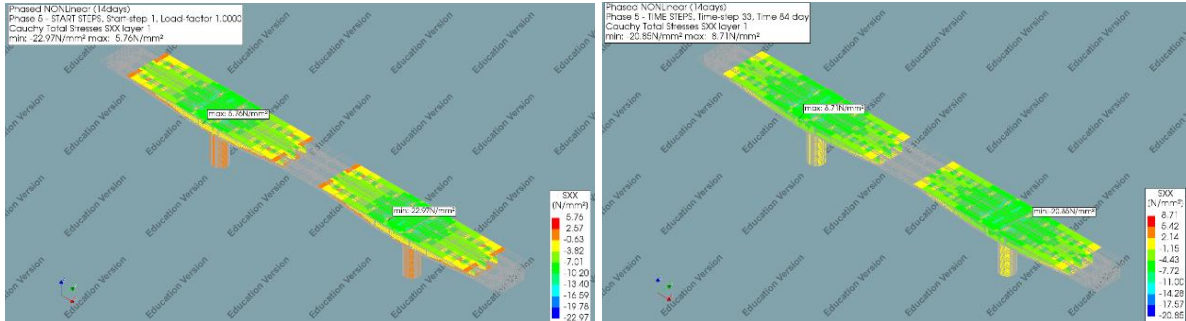
ΦΑΣΗ 8



Γράφημα 38 Τάσεις SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 8 Time-step 57 time 314 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

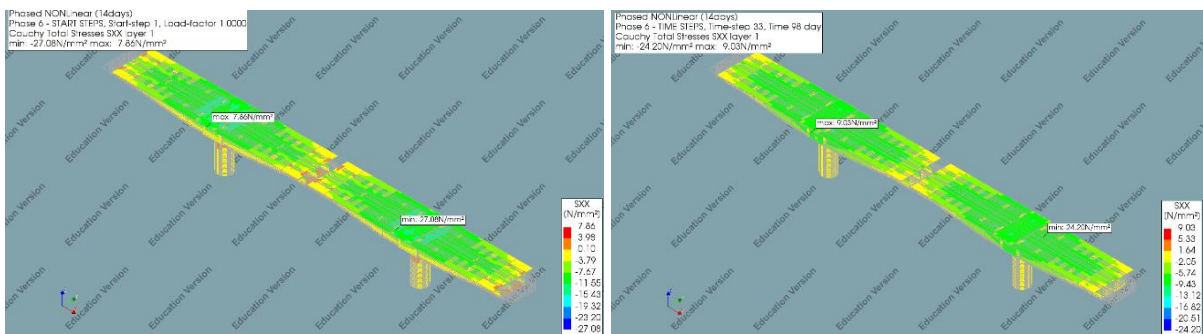
5.3. Σενάριο Γ: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών Με Συνεκτίμηση Της Ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 5



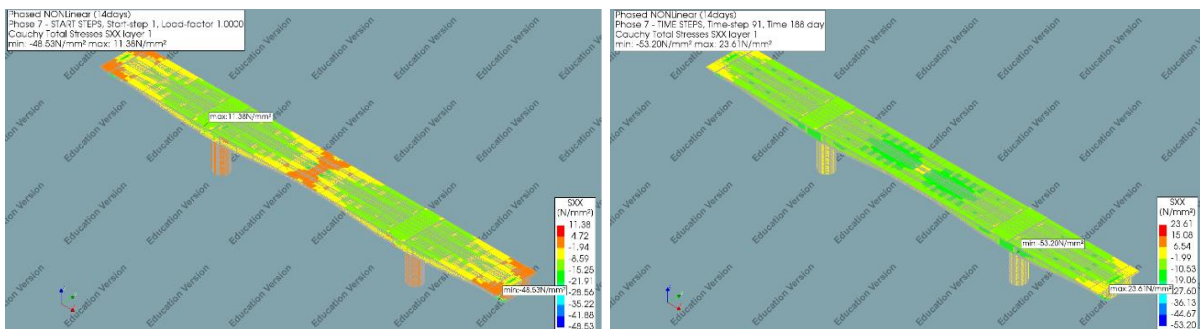
Γράφημα 39 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 33 time 84 day– Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 6



Γράφημα 40 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 33 time 98 day– Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 7



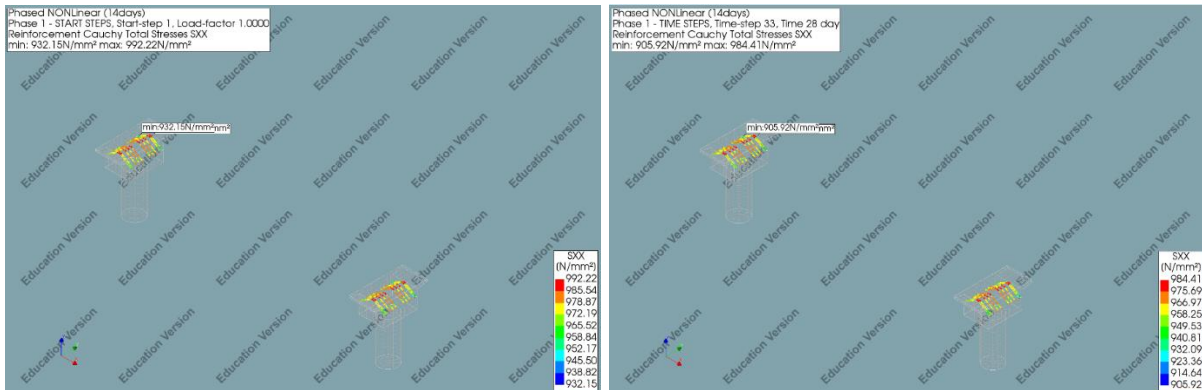
Γράφημα 41 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 91 time 188 day– Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΣΕΩΝ ΤΕΝΟΝΤΩΝ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

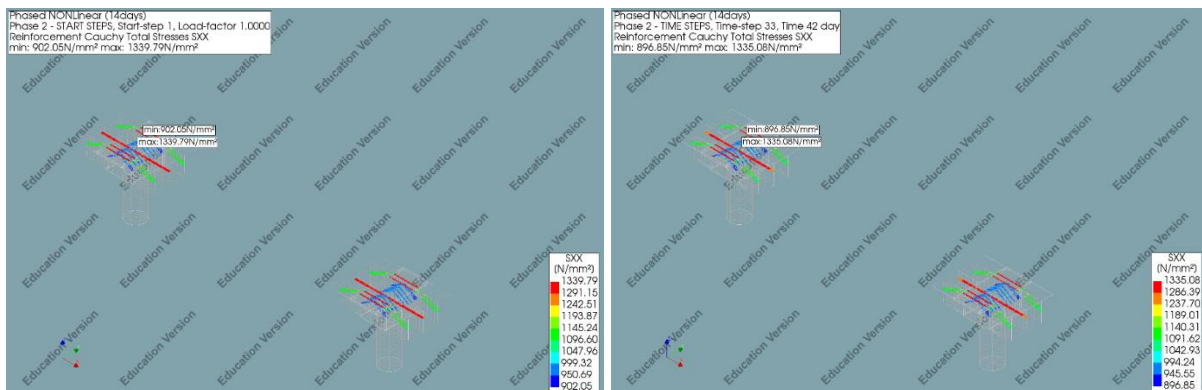
6.1. Σενάριο A: Το Σκυρόδεμα φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών

ΦΑΣΗ 1



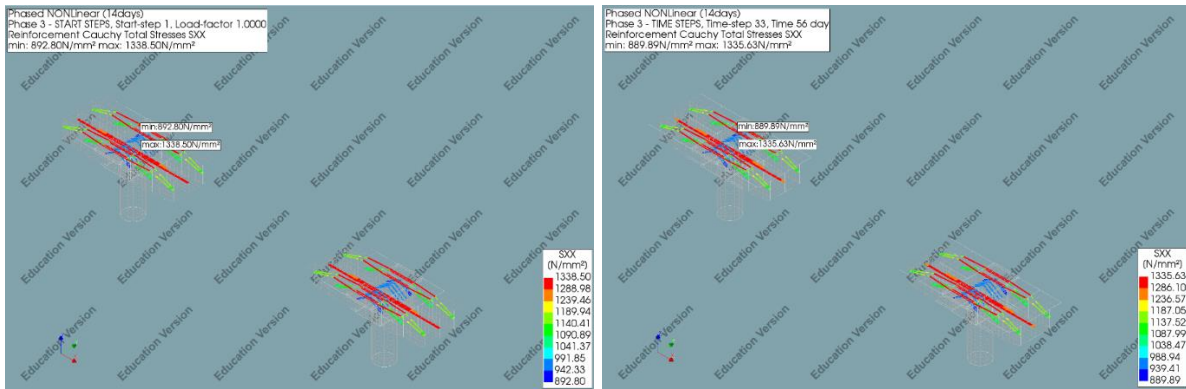
Γράφημα 42 Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 33 time 28 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 2



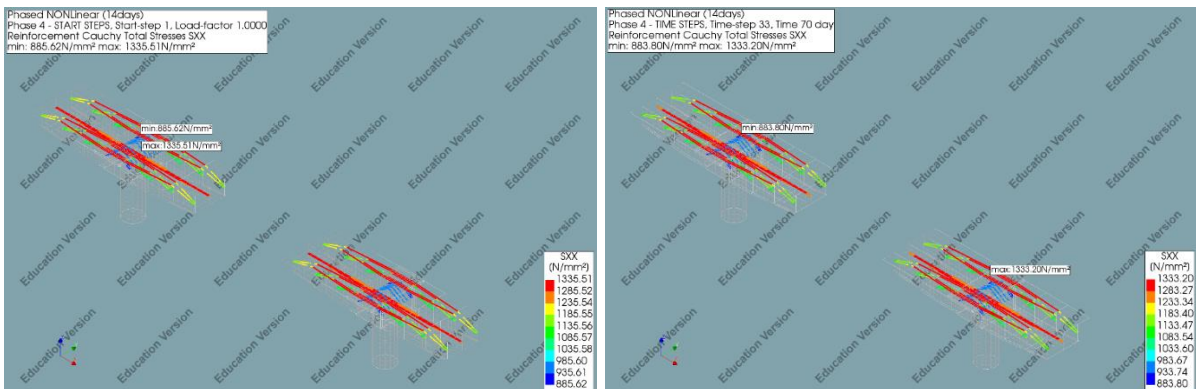
Γράφημα 43 Τάσεις SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 2 Time-step 33 time 42 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 3



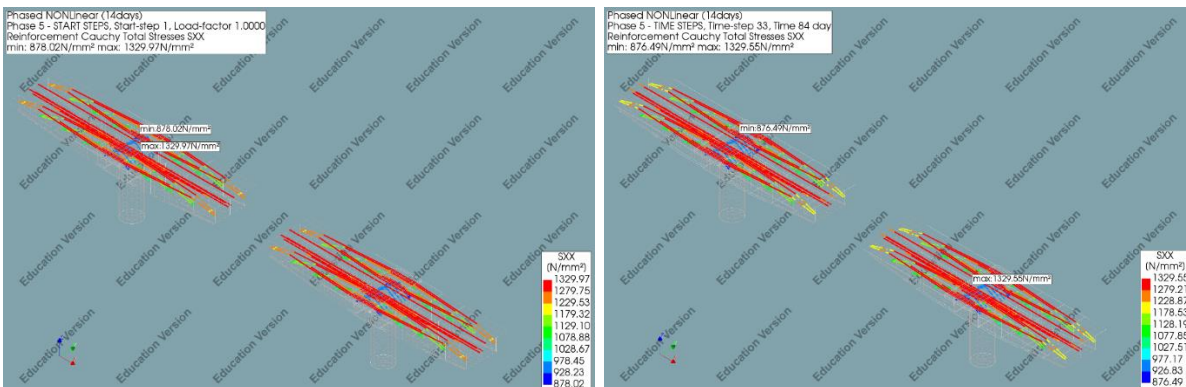
Γράφημα 44 Τάσεις SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 3 Time-step 33 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 4



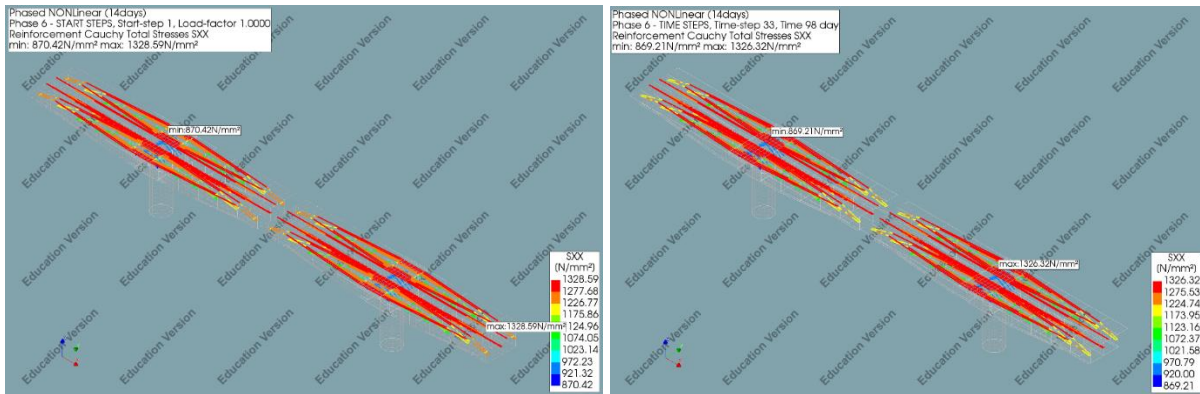
Γράφημα 45 Τάσεις SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 4 Time-step 33 time 70 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 5



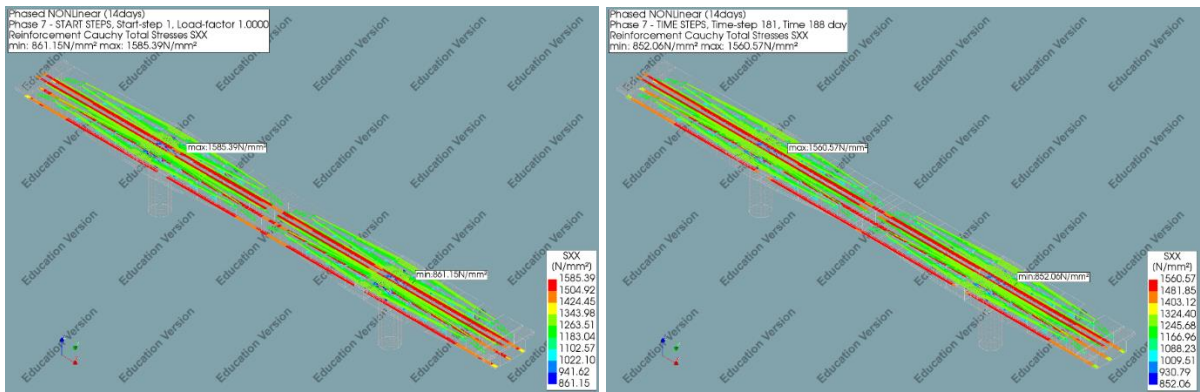
Γράφημα 46 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 33 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 6



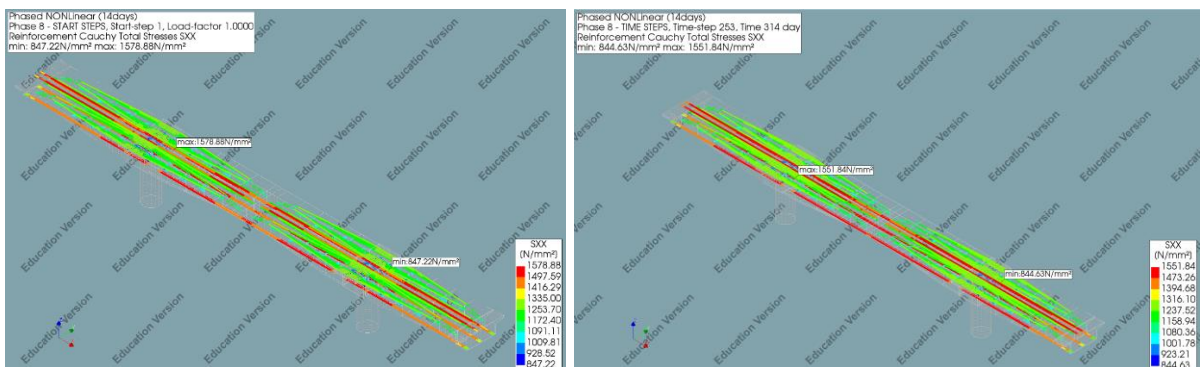
Γράφημα 47 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 33 time 98 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 48 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 181 time 188 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

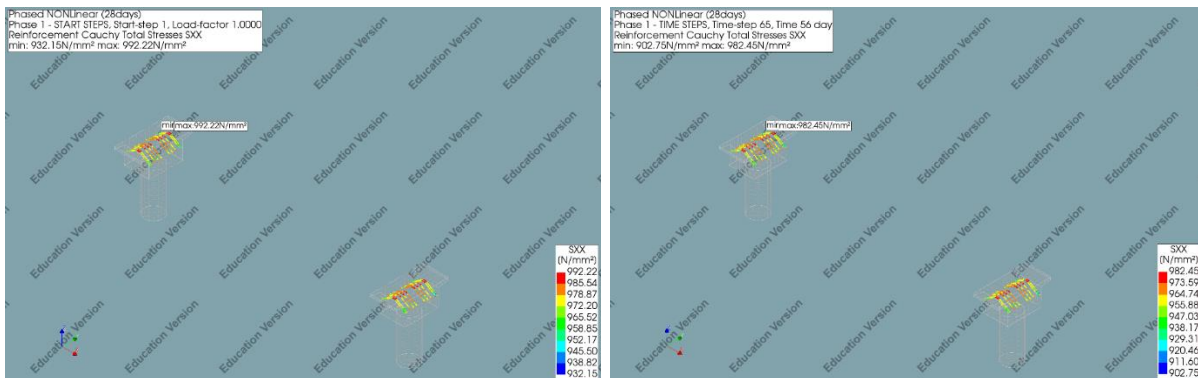
ΦΑΣΗ 8



Γράφημα 49 Τάσεις SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 8 Time-step 245 time 310 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

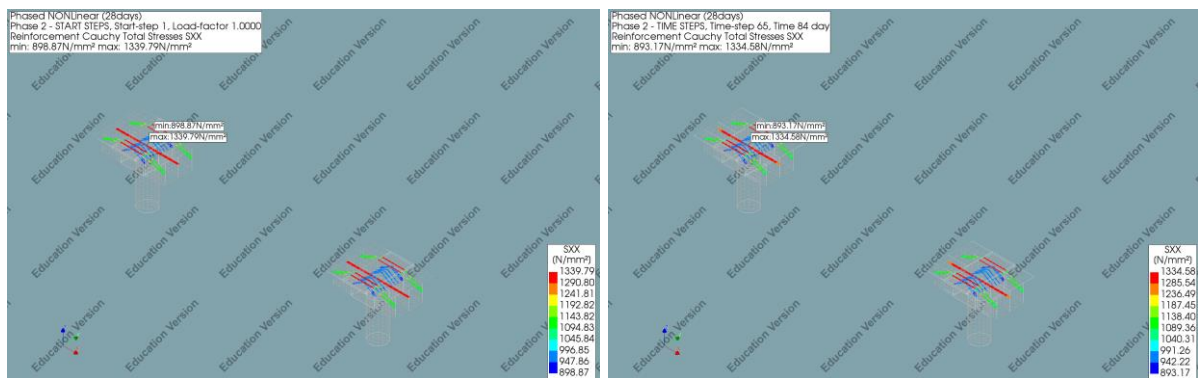
6.2. Σενάριο Β: Το Σκυρόδεμα φορτίζεται σε Ηλικία 28 Ημερών

ΦΑΣΗ 1



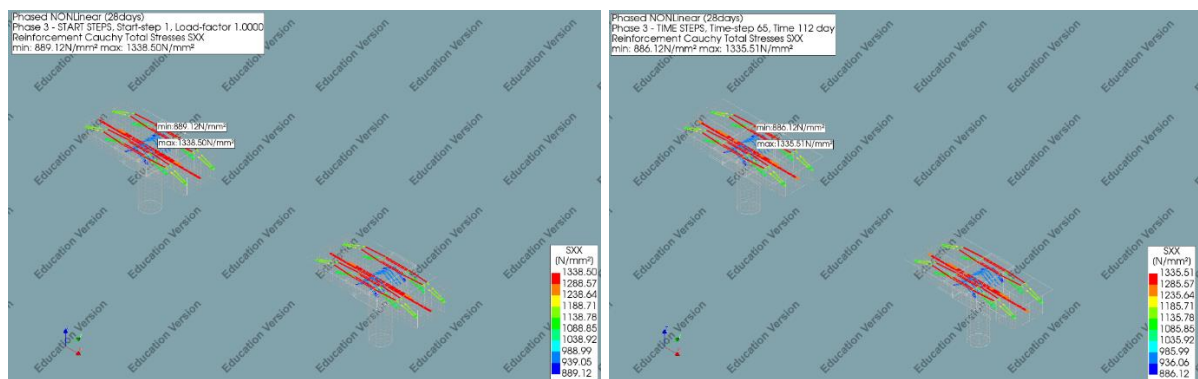
Γράφημα 50 Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 65 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 2



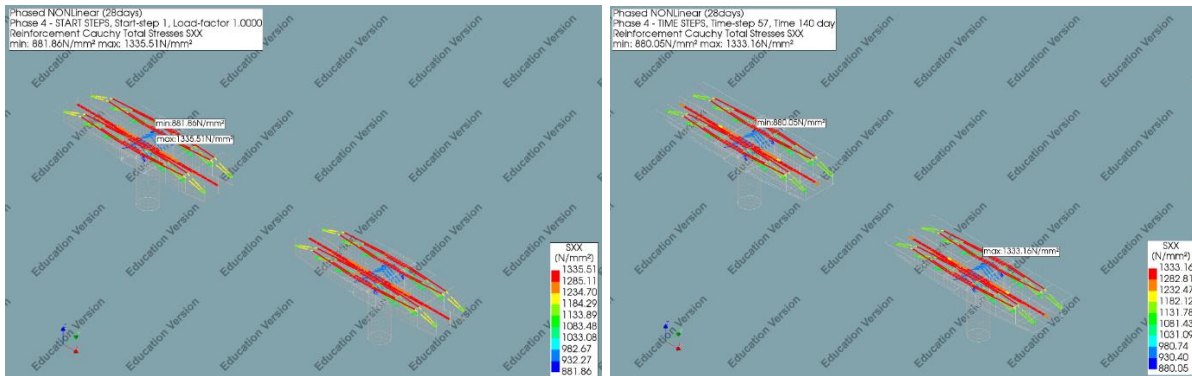
Γράφημα 51 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 2 Time-step 65 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 3



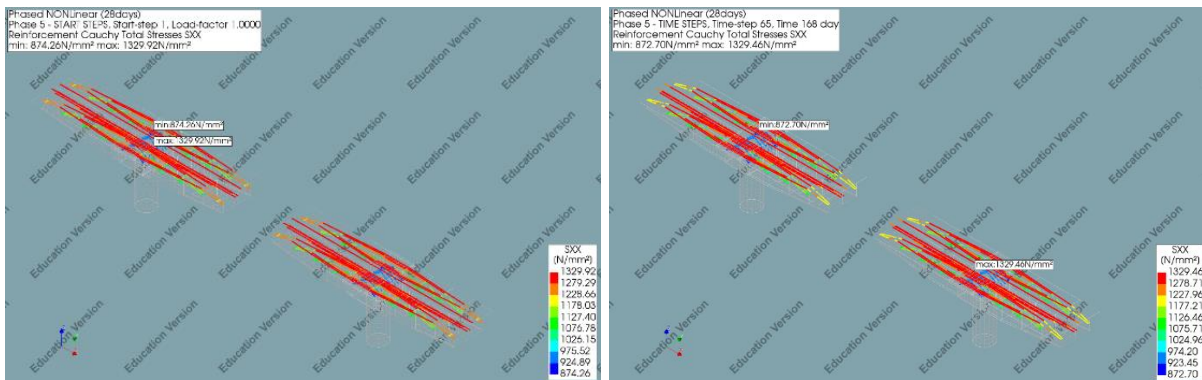
Γράφημα 52 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 3 Time-step 65 time 112 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 4



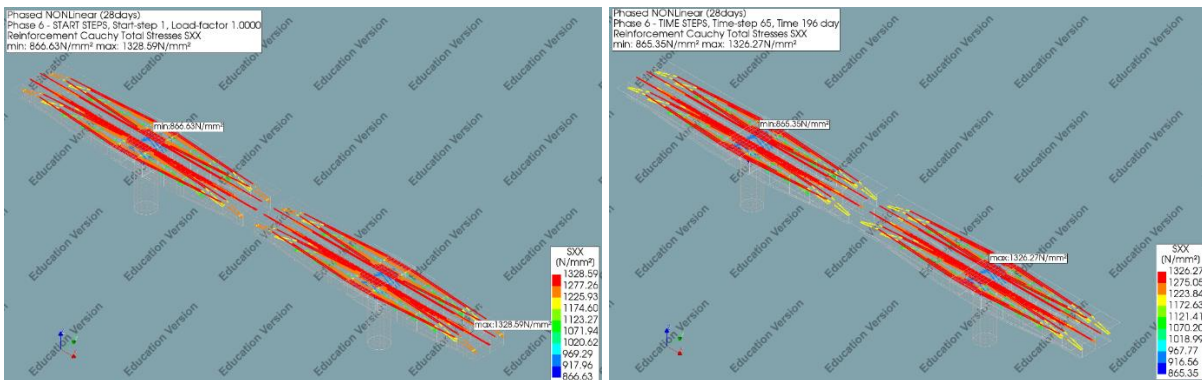
Γράφημα 53 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 4 Time-step 57 time 140 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 5



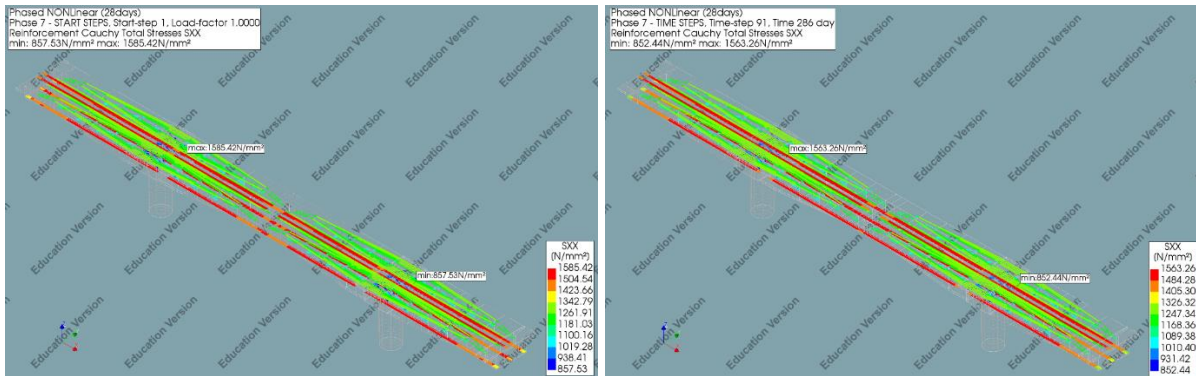
Γράφημα 54 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 5 Time-step 65 time 168 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 6



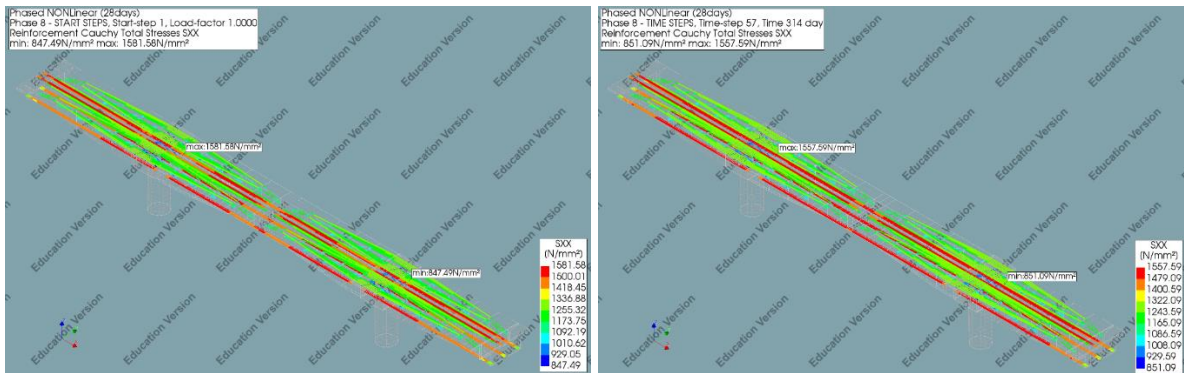
Γράφημα 55 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 6 Time-step 65 time 196 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 56 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 7 Time-step 91 time 286 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

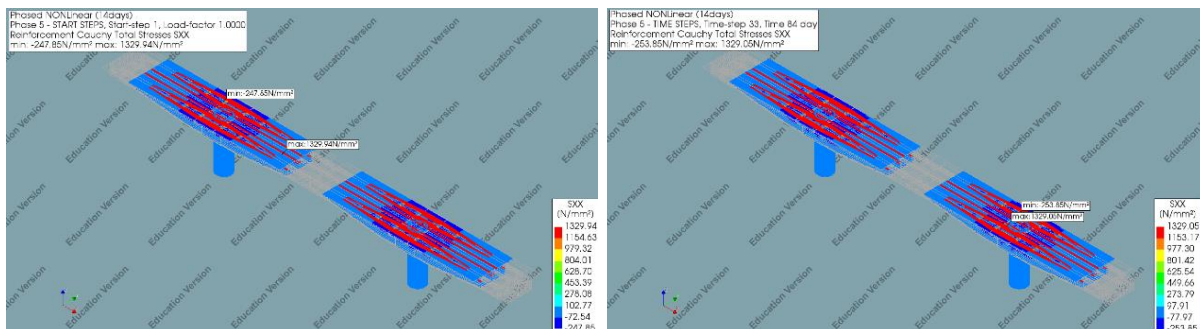
ΦΑΣΗ 8



Γράφημα 57 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 8 Time-step 57 time 314 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

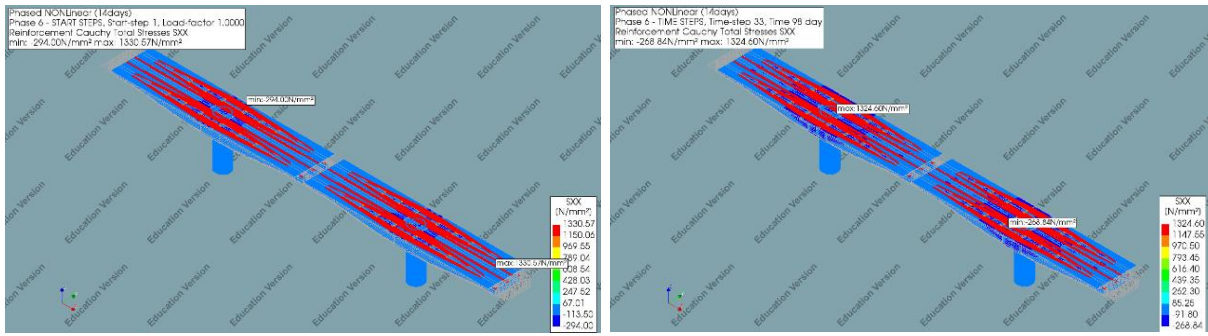
6.3. Σενάριο Γ: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών με Συνεκτίμηση της Ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 5



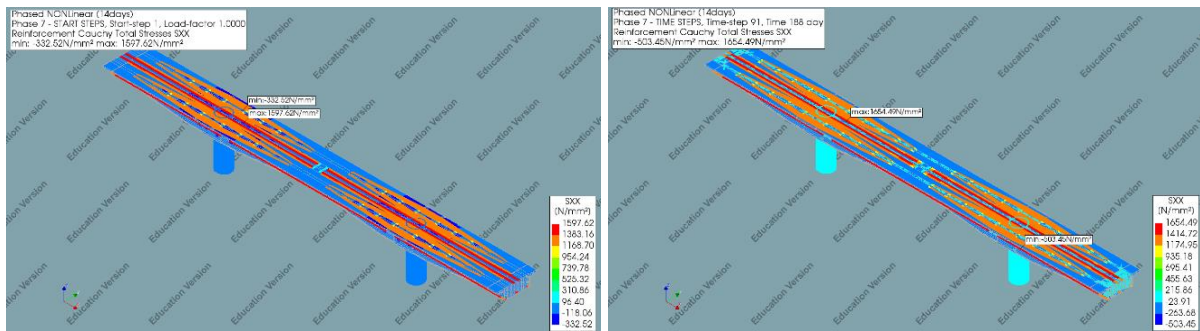
Γράφημα 58 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 2 Time-step 33 time 84 day-

ΦΑΣΗ 6

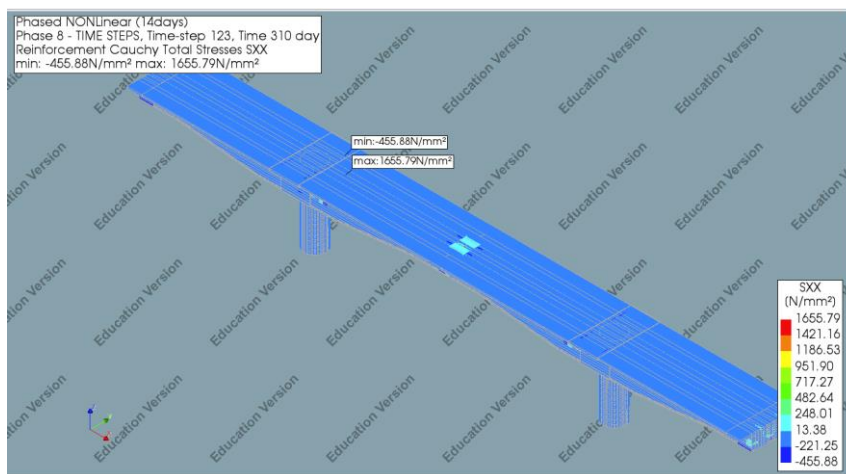


Γράφημα 59 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 6 Time-step 33 time 98 day– Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

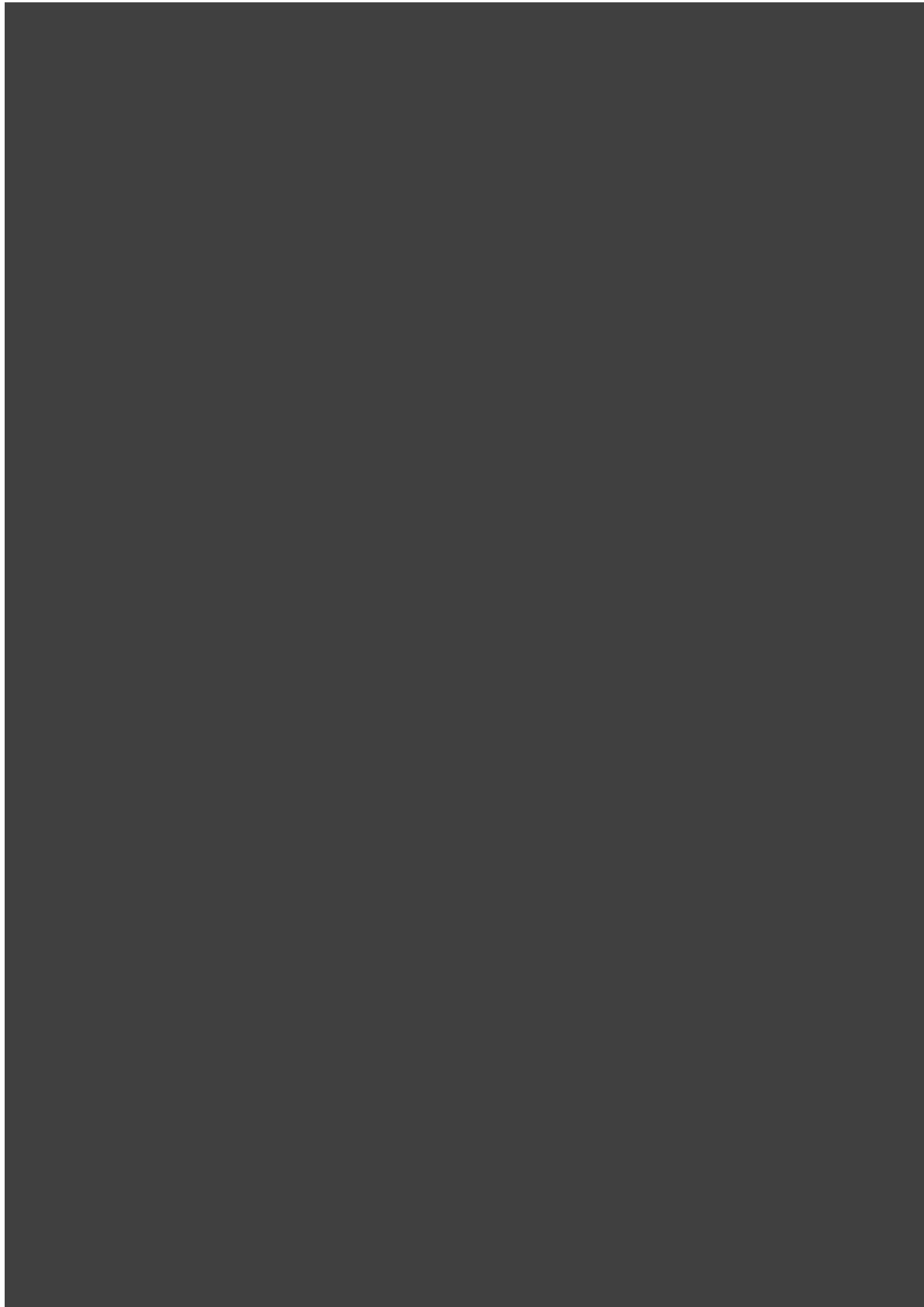
ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 60 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 7 Time-step 91 time 188 day– Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης



Γράφημα 61 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 8 Time-step 123 time 310– Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

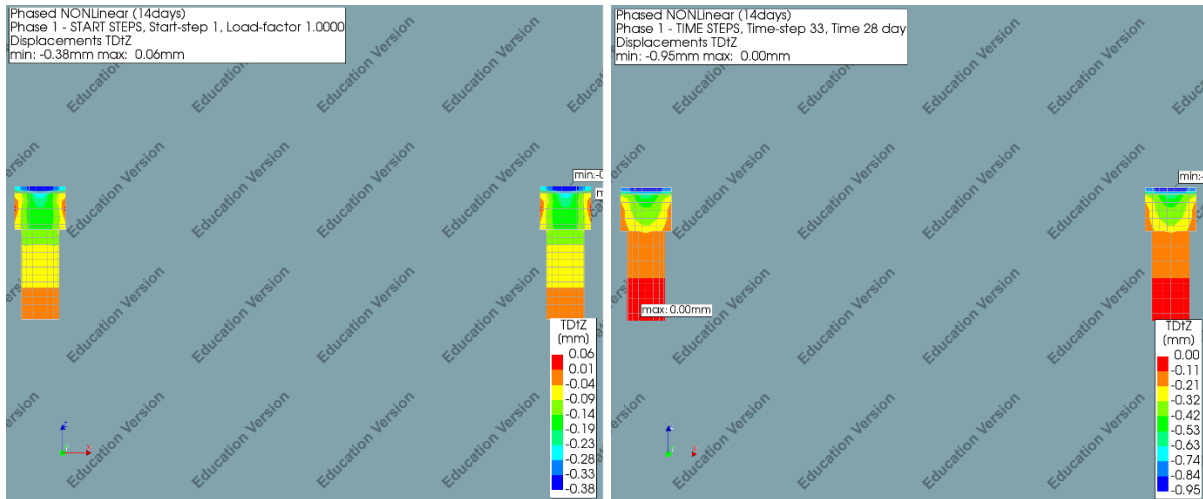


7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

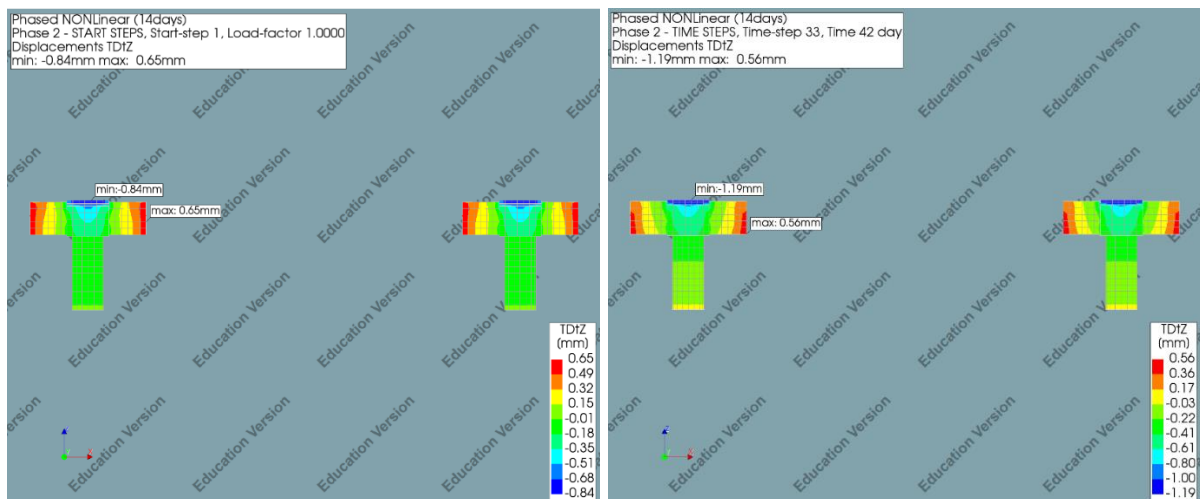
7.1 Σενάριο A: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών

ΦΑΣΗ 1



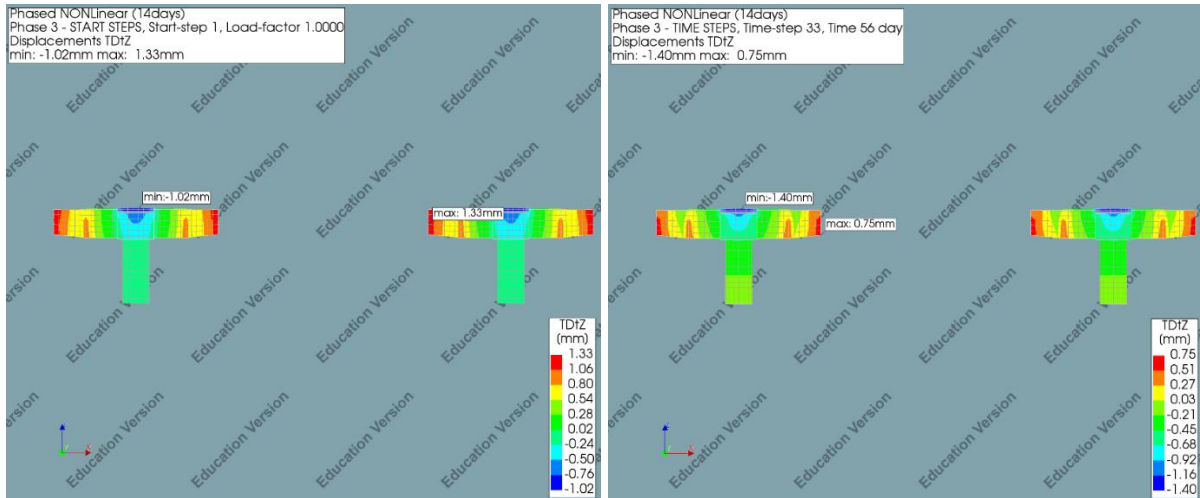
Γράφημα 62 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 1 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 1 Time-step 33 time 28 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 2



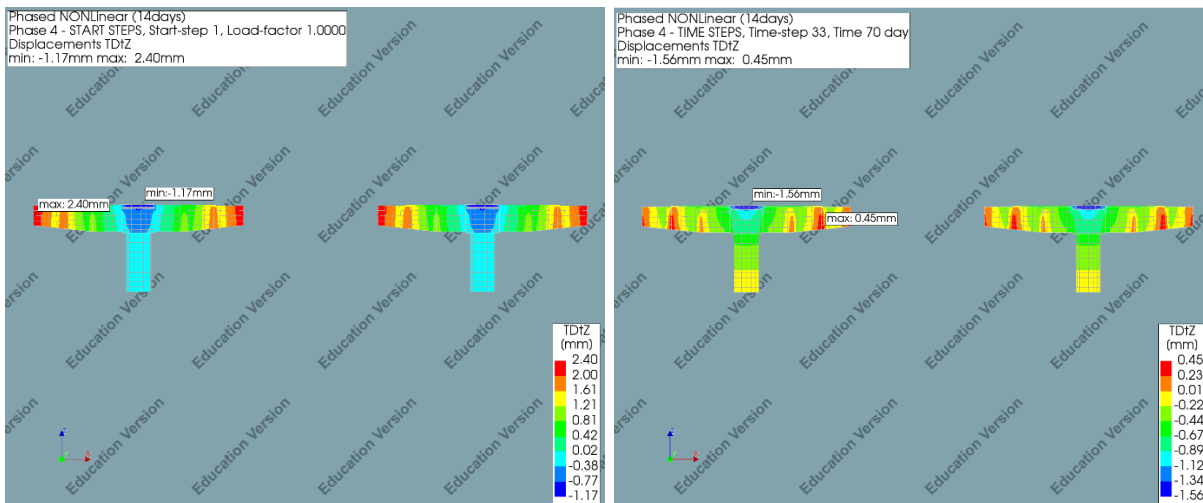
Γράφημα 63 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Time-step 33 time 42 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 3



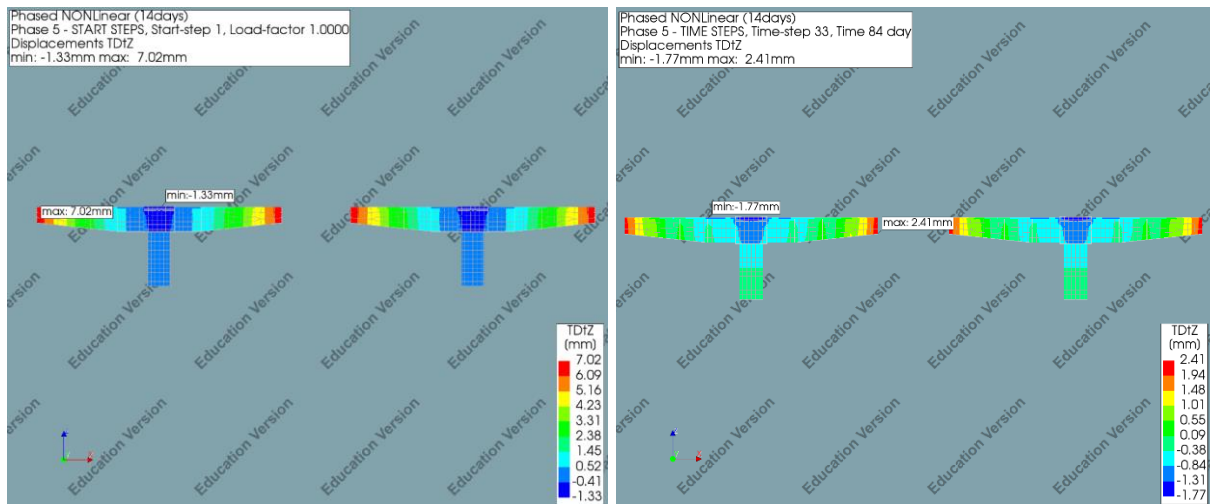
Γράφημα 64 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 3 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 3 Time-step 33 time 56 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 4



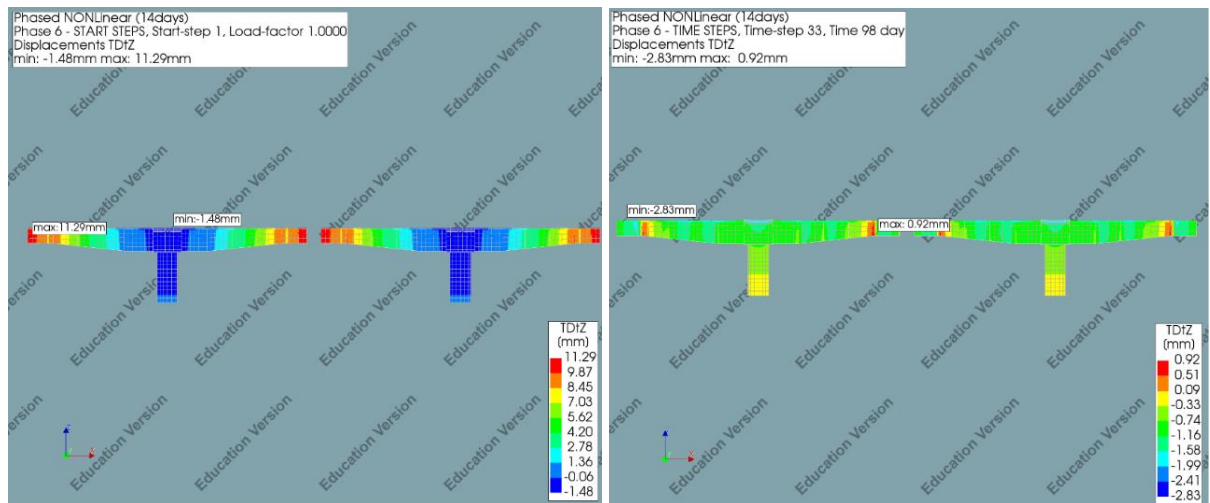
Γράφημα 65 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 4 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 4 Time-step 33 time 70 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 5



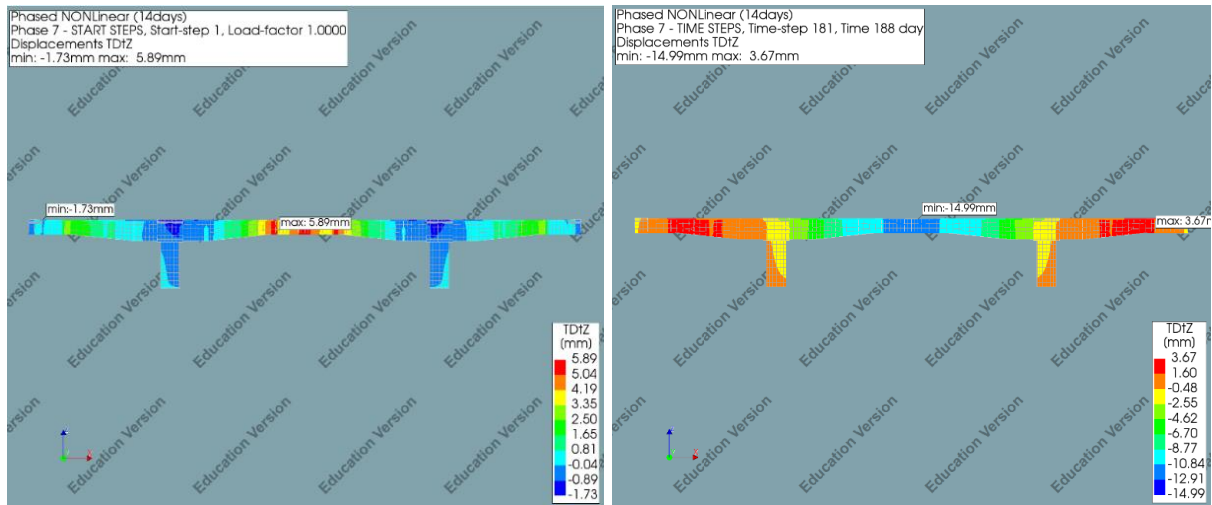
Γράφημα 66 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 5 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 5 Time-step 33 time 84 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 6



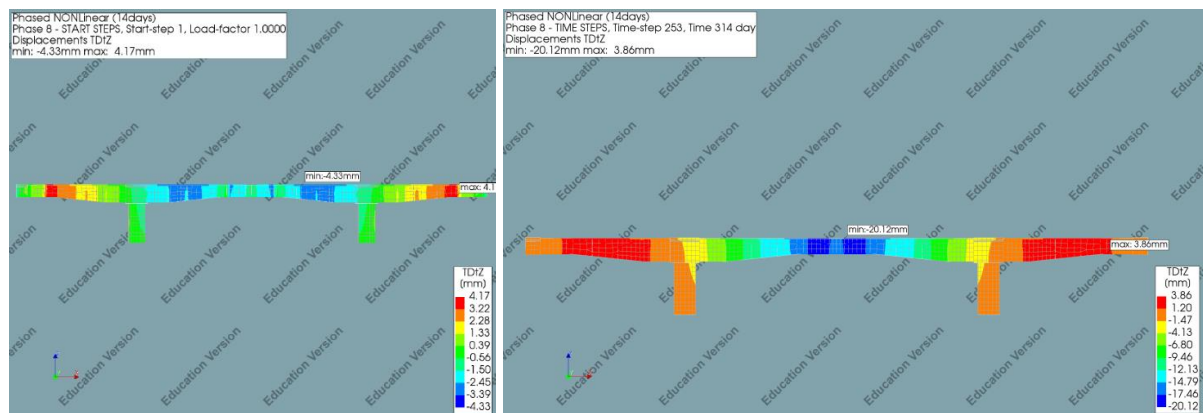
Γράφημα 67 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Time-step 33 time 98 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 68 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Time-step 33 time 188 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

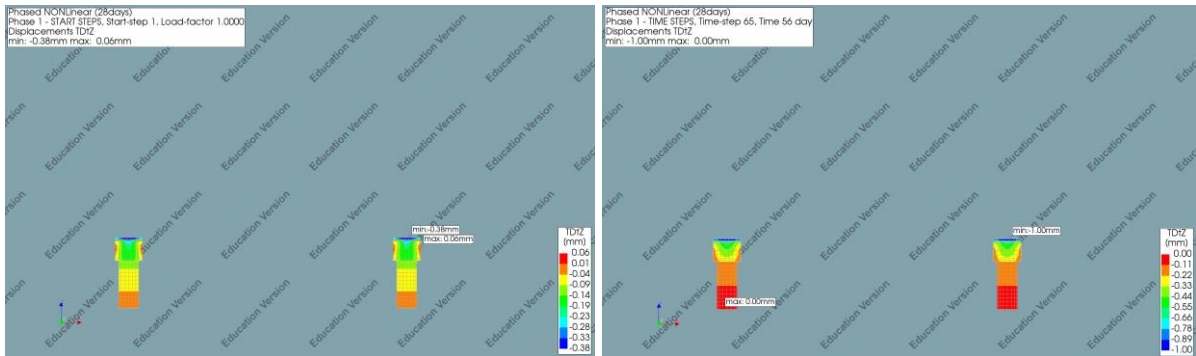
ΦΑΣΗ 8



Γράφημα 69 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 245 time 314 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών

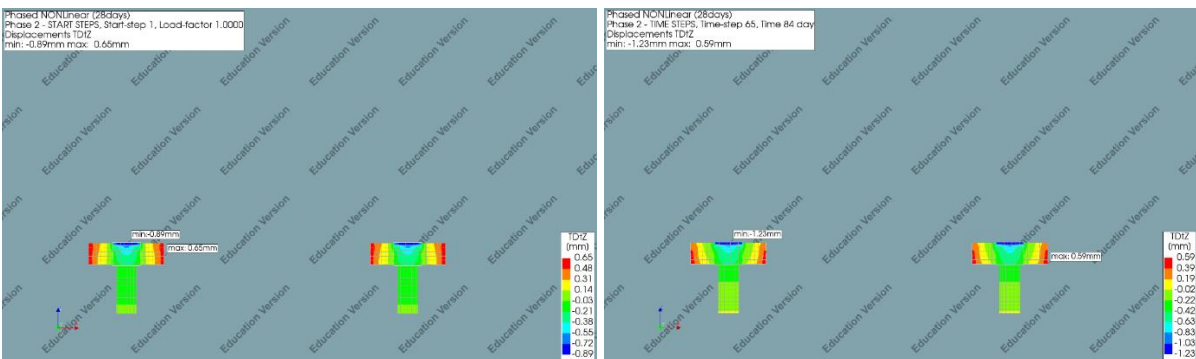
7.2 Σενάριο Β: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 28 Ημερών

ΦΑΣΗ 1



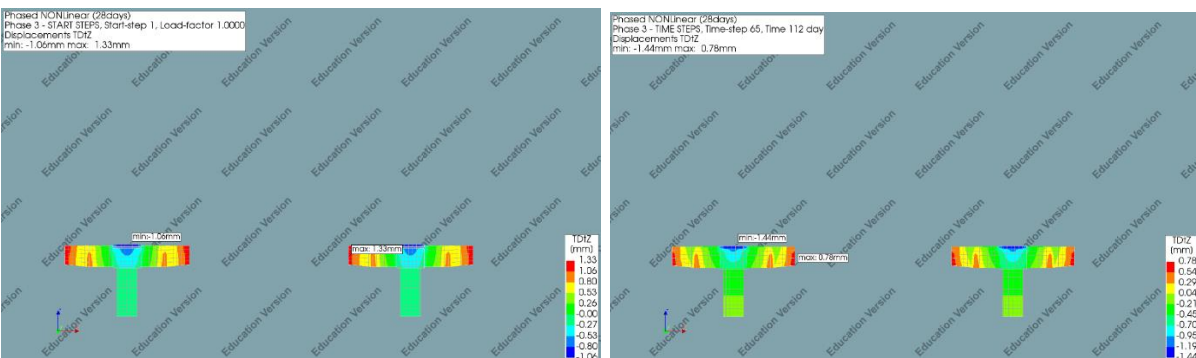
Γράφημα 70 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 1 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 1 Time-step 65 time 56 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 2



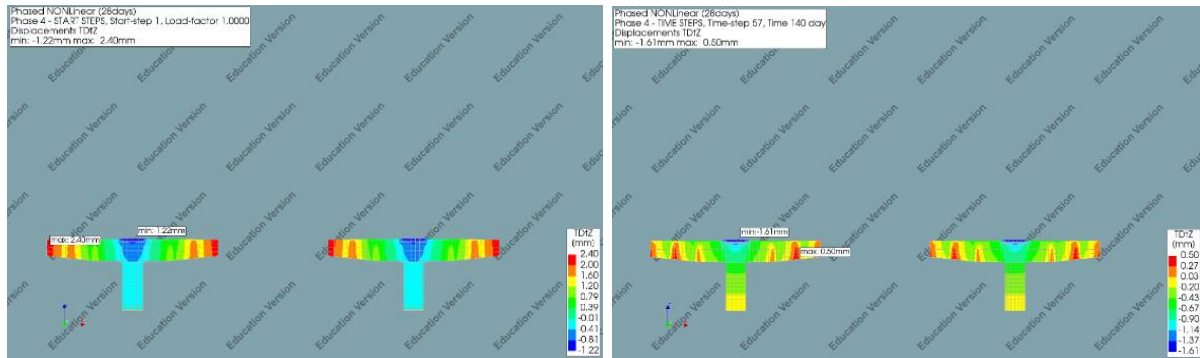
Γράφημα 71 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Time-step 65 time 84 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 3



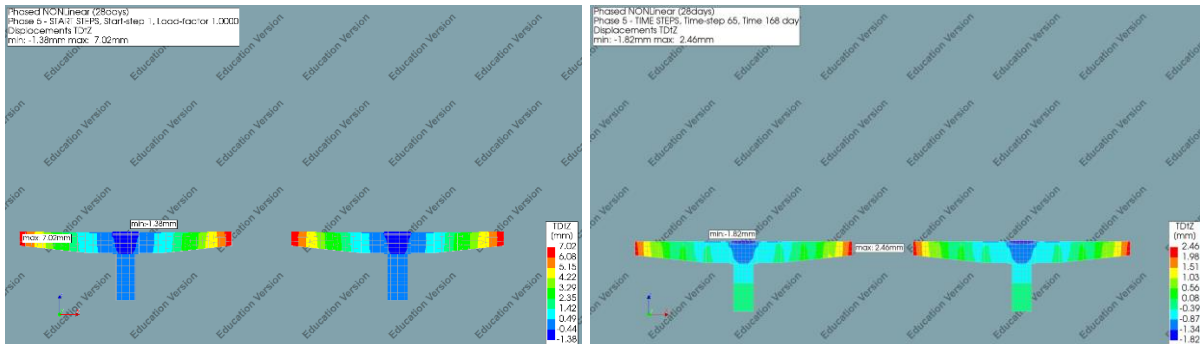
Γράφημα 72 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 3 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 3 Time-step 65 time 112 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 4



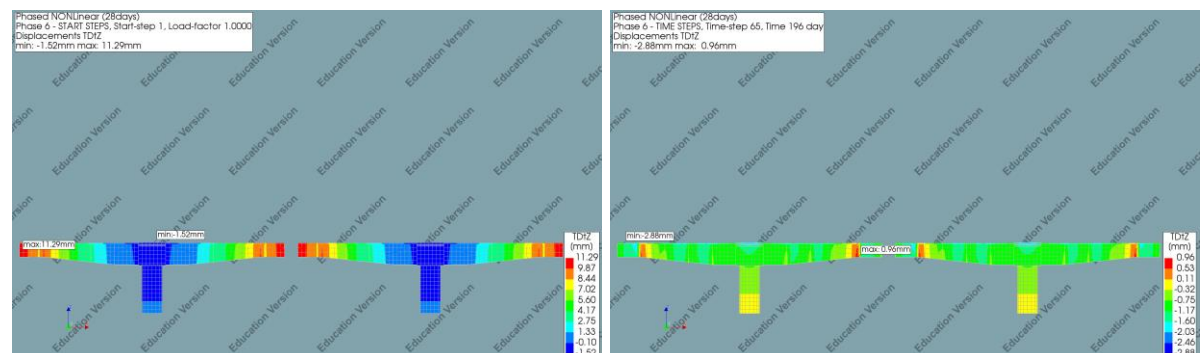
Γράφημα 73 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 4 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 4 Time-step 57 time 140 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 5



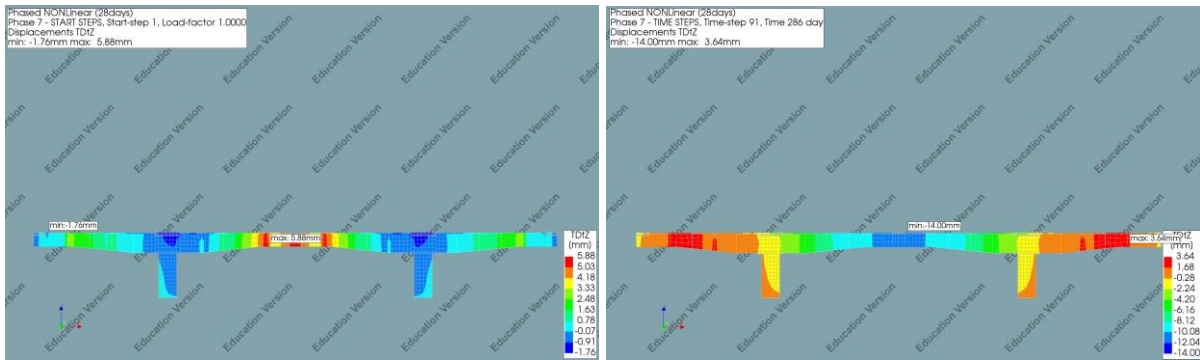
Γράφημα 74 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 5 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 5 Time-step 65 time 168 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 6



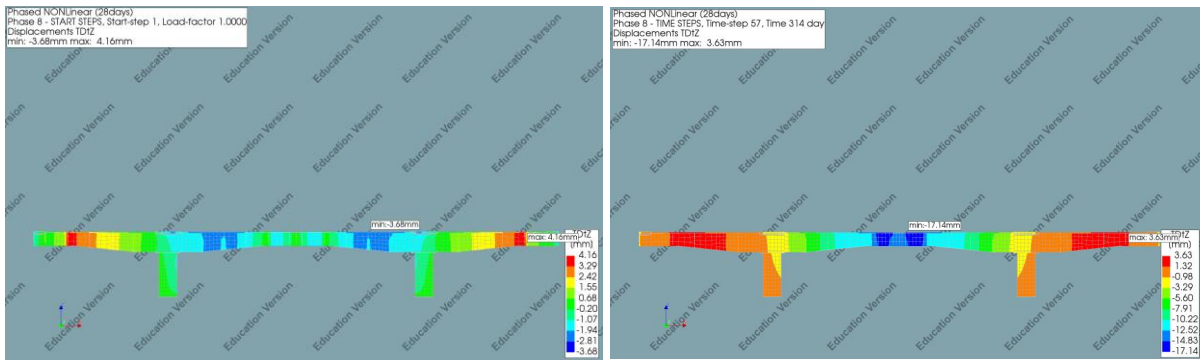
Γράφημα 75 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Time-step 65 time 196 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 76 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Time-step 91 time 286 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

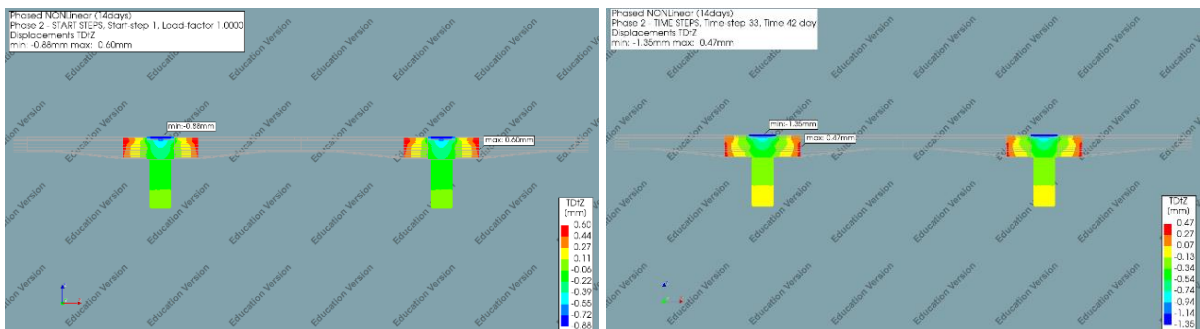
ΦΑΣΗ 8



Γράφημα 77 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 57 time 314 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

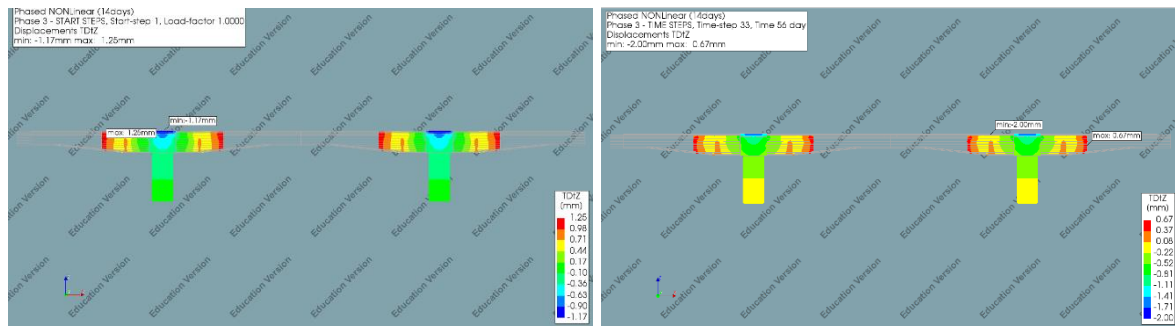
7.3 Σενάριο Γ: Το Σκυρόδεμα Φορτίζεται σε Ηλικία 14 Ημερών με Συνεκτίμηση της Ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 2



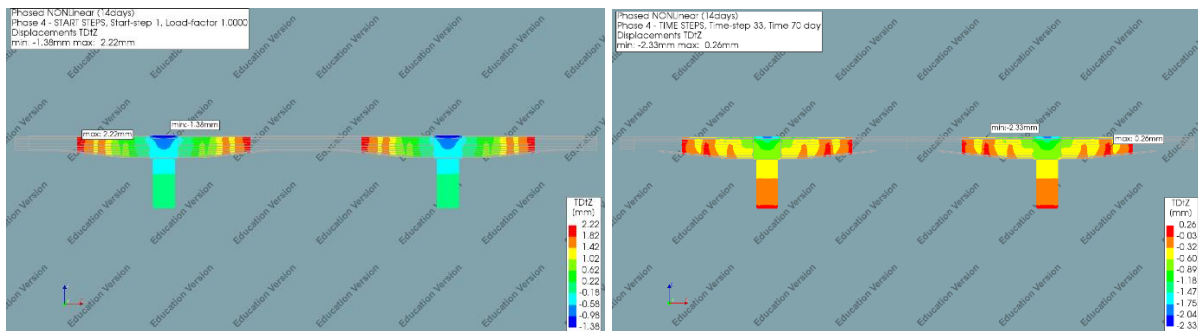
Γράφημα 78 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Time-step 33 time 42 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 3



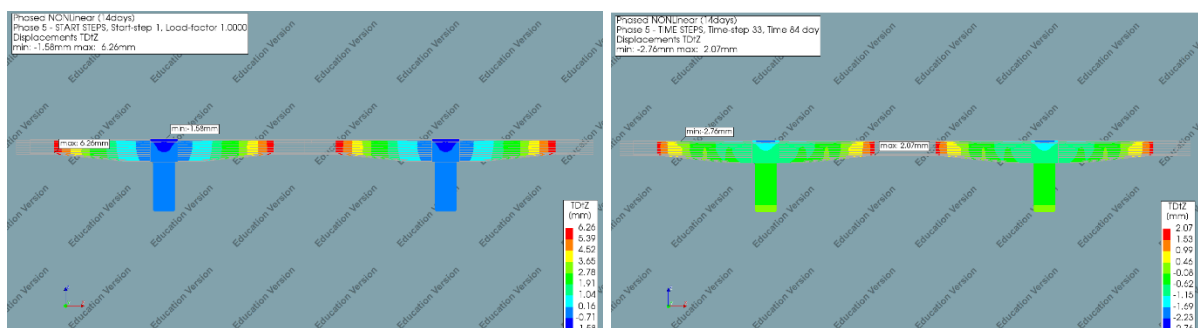
Γράφημα 79 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 3 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 3 Time-step 33 time 56 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 4



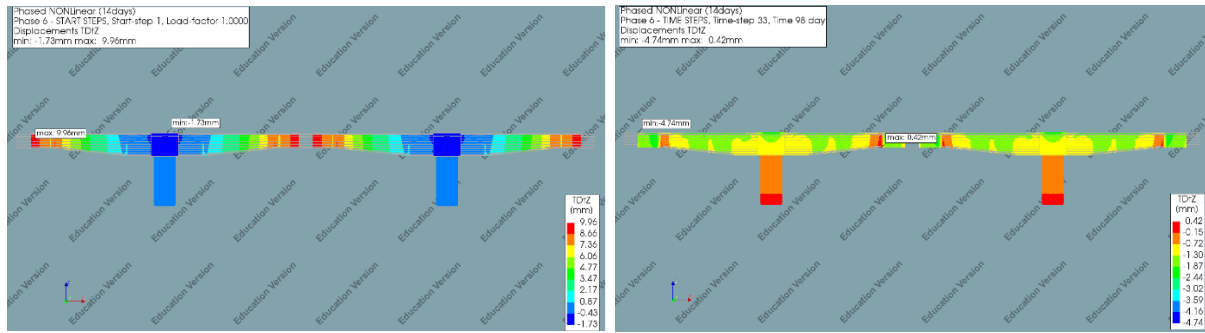
Γράφημα 80 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 4 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 4 Time-step 33 time 70 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 5



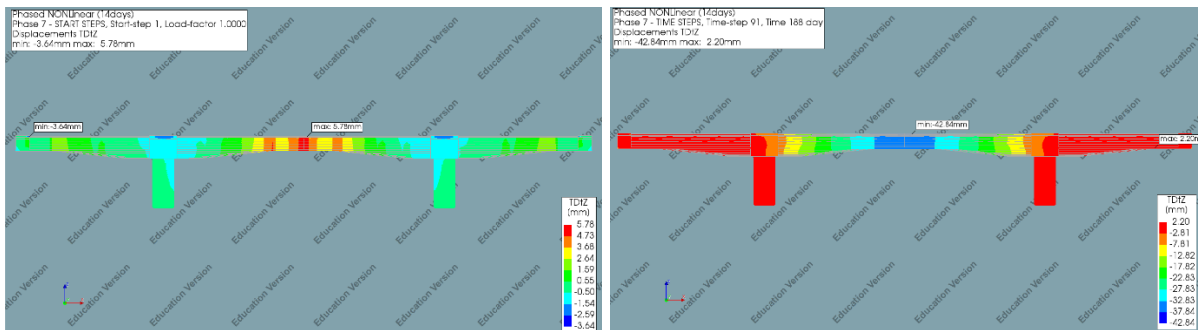
Γράφημα 81 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Time-step 33 time 42 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης

ΦΑΣΗ 6



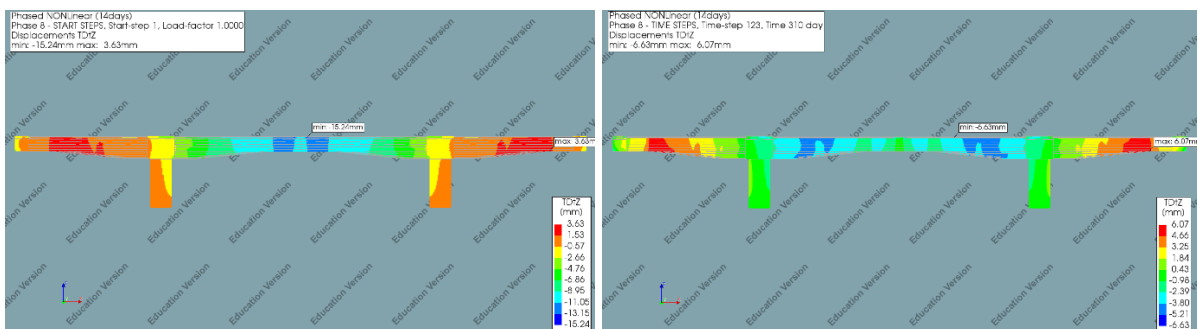
Γράφημα 82 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Time-step 33 time 98 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγμάτωσης

ΦΑΣΗ 7



Γράφημα 83 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Time-step 91 time 188 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγμάτωσης

ΦΑΣΗ 8



Γράφημα 84 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 123 time 310 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγμάτωσης

**Να αναφερθεί ότι μικροί και σημειακοί εφελκυσμοί δεν μας προβληματίζουν διότι χρζίζου αναλυτικότερης μελέτης και αντιμετώπισης και δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα της εργασίας.



8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τρία σενάρια κατασκευής της συγκεκριμένης γέφυρας μέσω του λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων DIANA FEA. Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να συμπεριλάβουμε στην ανάλυση το φαινόμενο του ερπυσμού, της συστολής ξηράνσεως και της ρηγμάτωσης και να παρατηρήσουμε την επιρροή τους στις τελικές μετακινήσεις του φορέα σε κάθε φάση κατασκευής του.

Το πρώτο σενάριο αφορά την επιβολή φορτίων σε σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών, το δεύτερο σενάριο αφήνουμε το σκυρόδεμα να ωριμάσει έως τις 28 μέρες και το τρίτο και τελευταίο σενάριο αφορά σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών συνεκτιμώντας όμως και το φαινόμενο της ρηγμάτωσης.

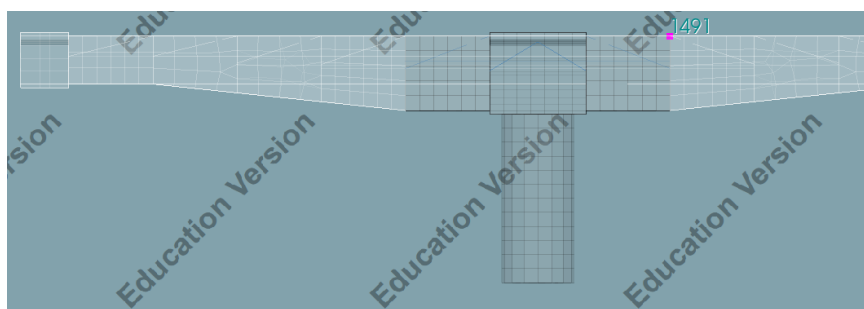
Από τα διαγράμματα παραμορφώσεων κατά την ολοκλήρωση της ανάλυσης την 314^η μέρα παρατηρείται μικρότερες κατακόρυφες παραμορφώσεις κατά 14.8 % εάν θεωρηθεί ότι αφήνεται το σκυρόδεμα να ωριμάσει έως τις 28 μέρες σε σχέση με το 14^{ωv} ημερών. (Γράφημα 97 και Γράφημα 98)

Έχουν επιλεγεί έξι κόμβοι του φορέα σε χαρακτηριστικά σημεία για να παρατηρηθούν οι επιδράσεις του ερπυσμού και της συστολής σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο αλλά και τις διαφορές των σεναρίων μέχρι την 314^η μέρα όπου έχουν ολοκληρωθεί όλες οι αναλύσεις. Αναμενόμενο ήταν η μεγαλύτερη ωρίμανση του σκυροδέματος να επιδράσει θετικά στις παραμορφώσεις των στοιχείων. Συγκεκριμένα και στους άνω τρεις κόμβους παρατηρήσαμε από 13.99% μέχρι 15.92% μείωση στις συνολικές κατακόρυφες παραμορφώσεις.

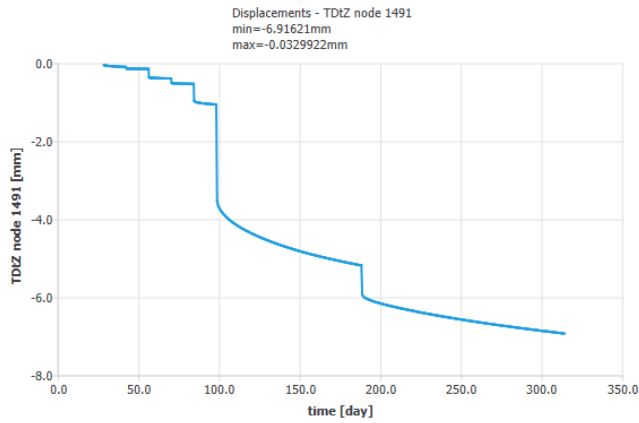
Οι κόμβοι 1491 (άνω πέλμα) και 1612 (κάτω πέλμα) βρίσκονται στον σπόνδυλο P-2, ο οποίος ενεργοποιείται στην δεύτερη φάση κατασκευής.

Η δεύτερη φάση ενεργοποιείται την 28^η μέρα για το σενάριο A και Γ, ενώ την 56^η μέρα για το σενάριο B. Το στοιχείο φορτίζεται πρώτη φορά σε ηλικία 14^{ωv} ημερών στο σενάριο A και Γ και σε ηλικία 28^ο ημερών στο σενάριο B.

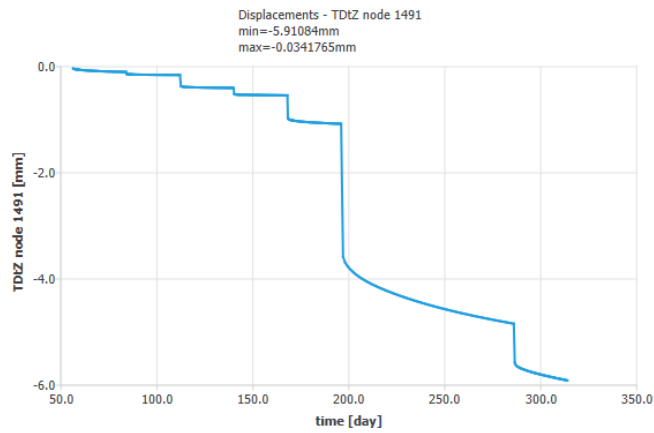
Παρατηρούμε ότι στο σενάριο A έχουμε κατακόρυφες παραμορφώσεις που κυμαίνονται από -6.916 χιλιοστά έως -0.033 χιλιοστά, ενώ στο σενάριο B από -5.91 χιλιοστά έως -0.0342 χιλιοστά. Παρατηρείται μείωση 13.99% των συνολικών κατακόρυφων παραμορφώσεων εφαρμόζοντας στην κατασκευή το σενάριο B έναντι του A.



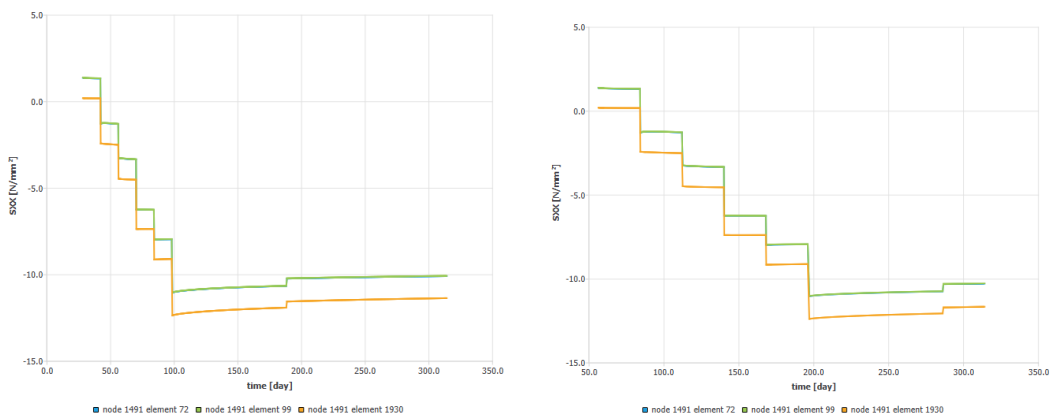
Εικόνα 75: Κόμβος 1491 του σπονδύλου P-2 (άνω πέλμα).



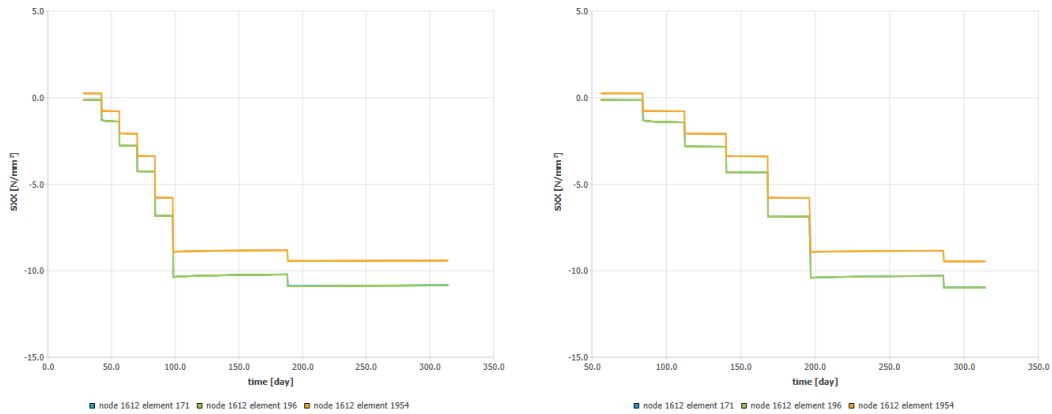
Γράφημα 85: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1491 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.



Γράφημα 86: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1491 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.



Γράφημα 87: Γράφημα τάσεων σκυροδέματος SXX σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 1491 (άνω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

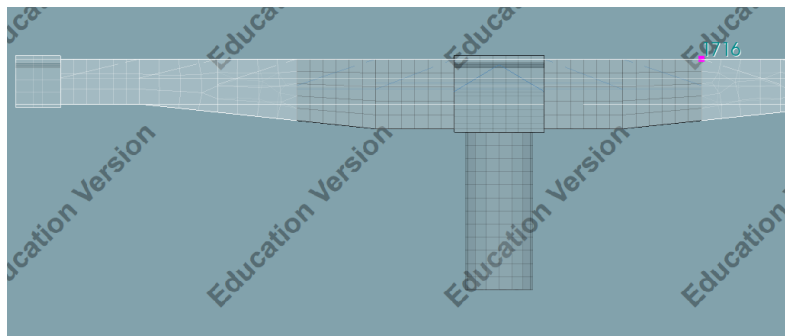


Γράφημα 88: Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος SXX κάτω πέλματος σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 1612 (κάτω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

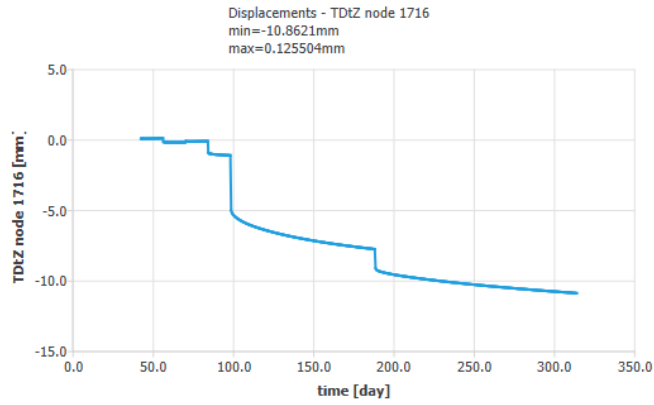
Οι κόμβοι 1716 (άνω πέλμα) και 4777 (κάτω πέλμα) βρίσκονται στον σπόνδυλο P-3 ο οποίος ενεργοποιείται στην τρίτη φάση κατασκευής.

Η τρίτη φάση ενεργοποιείται την 42^η μέρα για το σενάριο A και Γ, ενώ την 84^η μέρα για το σενάριο B. Το στοιχείο φορτίζεται πρώτη φορά σε ηλικία 14^{ωv} ημερών στο σενάριο A και Γ και σε ηλικία 28^{ωv} ημερών στο σενάριο B.

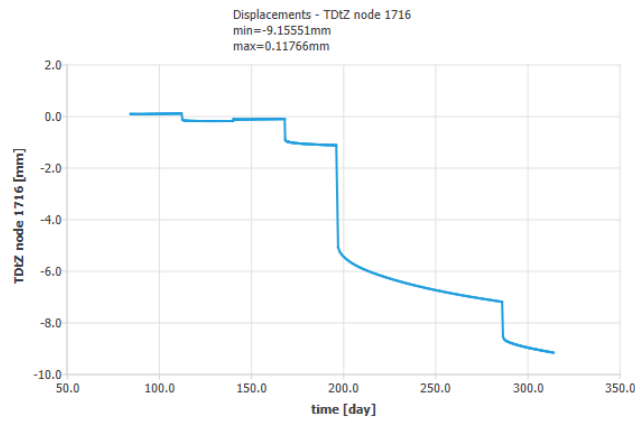
Παρατηρούμε ότι στο σενάριο A έχουμε κατακόρυφες παραμορφώσεις που κυμαίνονται από -10.862 χιλιοστά έως +0.1255 χιλιοστά, ενώ στο σενάριο B από -9.155 χιλιοστά έως +0.1118 χιλιοστά. Παρατηρείται μείωση 15.6% των συνολικών κατακόρυφων παραμορφώσεων εφαρμόζοντας στην κατασκευή το σενάριο B έναντι του A.



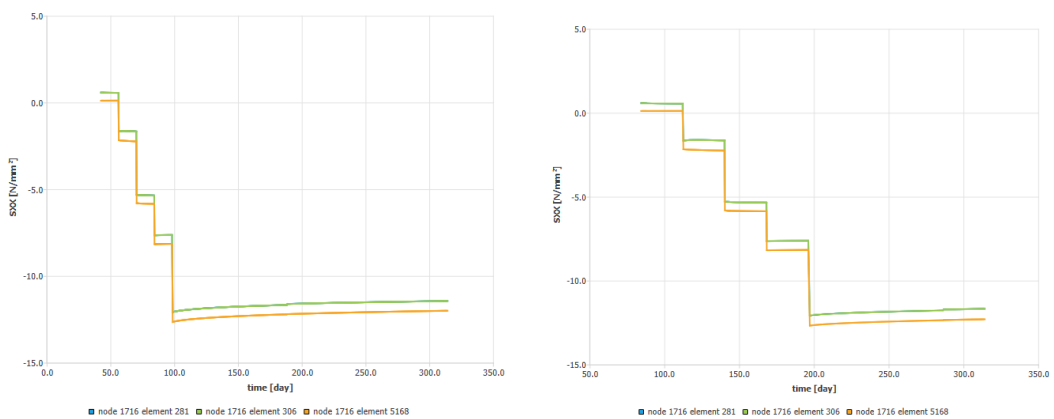
Εικόνα 76: Κόμβος 1716 του σπονδύλου P-3 (άνω πέλμα).



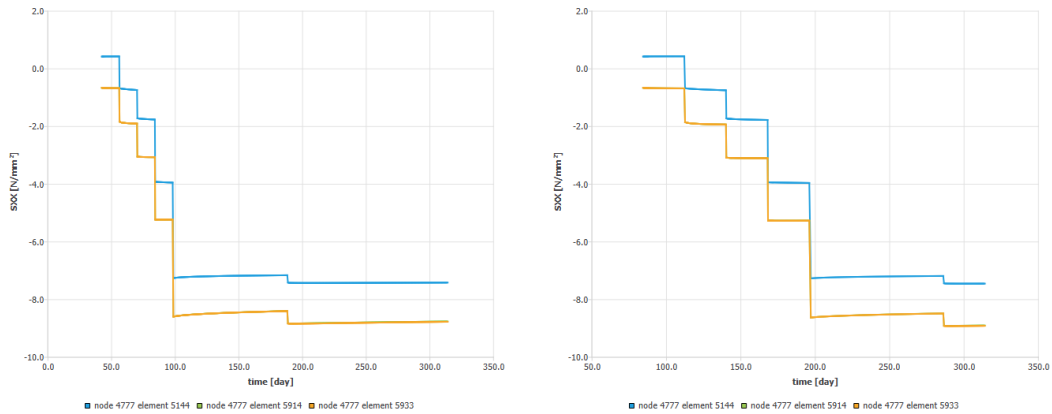
Γράφημα 89: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1716 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.



Γράφημα 90: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1716 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.



Γράφημα 91: Γράφημα τάσεων SXX σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 1716 (άνω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

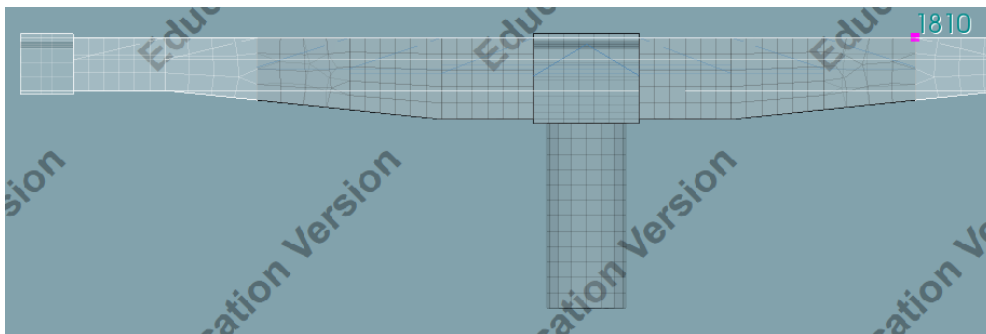


Γράφημα 92 Γράφημα τάσεων SXX σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 4777(κάτω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών

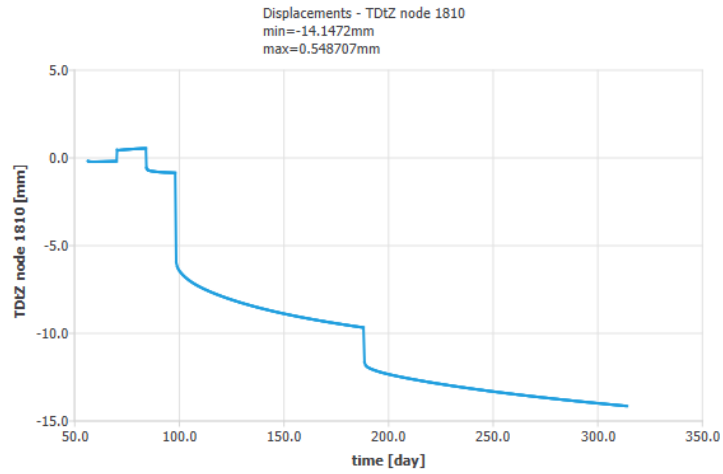
Οι κόμβοι 1810 (άνω πέλμα) και 5123 (κάτω πέλμα) βρίσκονται στον σπόνδυλο P-4, ο οποίος ενεργοποιείται στην τέταρτη φάση κατασκευής.

Η τρίτη φάση ενεργοποιείται την 56^η μέρα για το σενάριο A και Γ, ενώ την 112^η μέρα για το σενάριο B. Το στοιχείο φορτίζεται πρώτη φορά σε ηλικία 14^{ων} ημερών στο σενάριο A και Γ και σε ηλικία 28^{ων} ημερών στο σενάριο B.

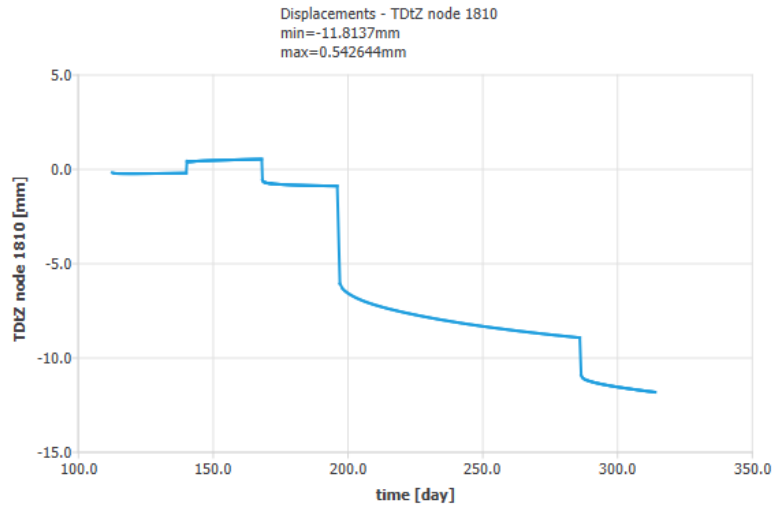
Παρατηρούμε ότι στο σενάριο A έχουμε κατακόρυφες παραμορφώσεις που κυμαίνονται από -14.15 χιλιοστά έως +0.55 χιλιοστά, ενώ στο σενάριο B από -11,82 χιλιοστά έως +0.543 χιλιοστά. Παρατηρείται μείωση 15.92% των συνολικών κατακόρυφων παραμορφώσεων εφαρμόζοντας στην κατασκευή το σενάριο B έναντι του A.



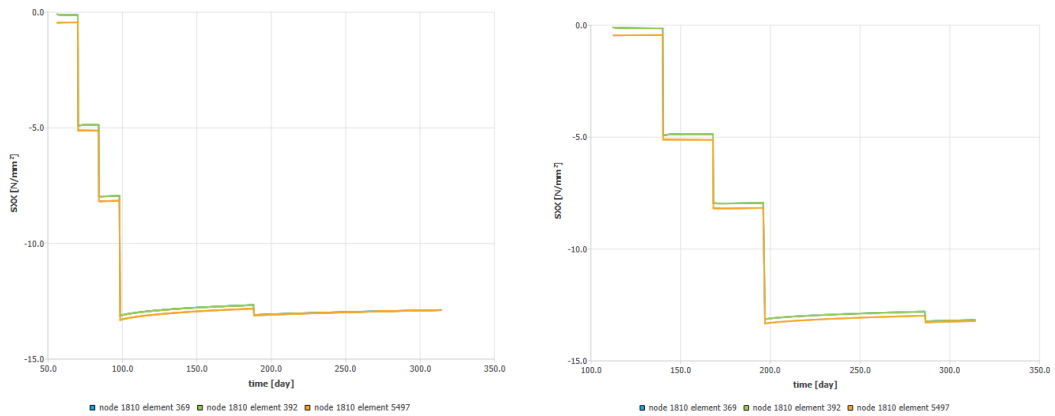
Εικόνα 77: Κόμβος 1810 του σπονδύλου P-4 (άνω πέλμα).



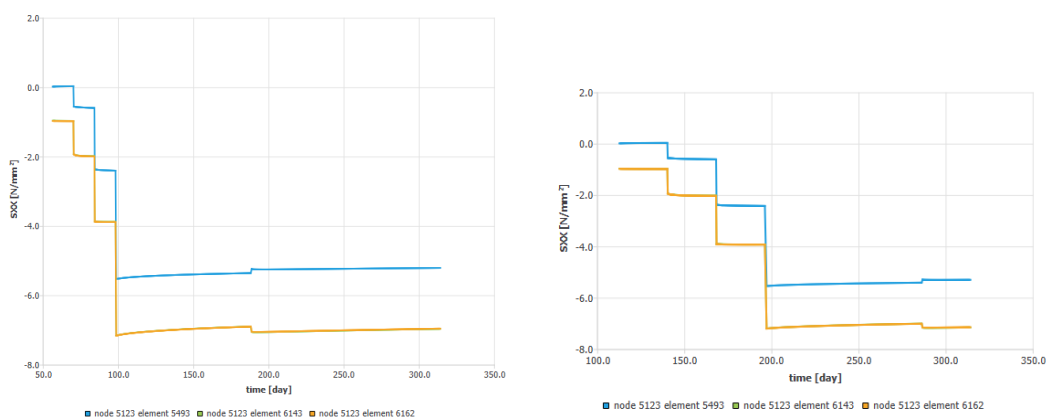
Γράφημα 93: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1810 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.



Γράφημα 94: Μετακινήσεις κόμβου 1810 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

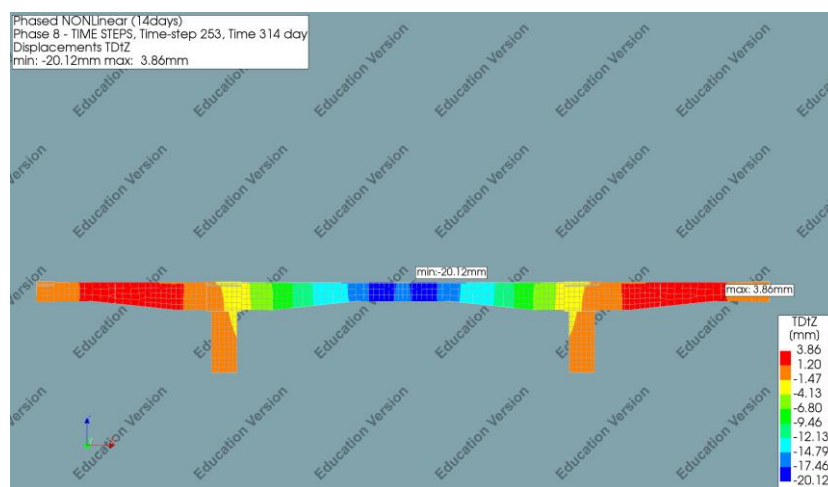


Γράφημα 95: Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος SXX σε συνάρτηση με τον χρόνο στον κόμβο 1810 (άνω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.



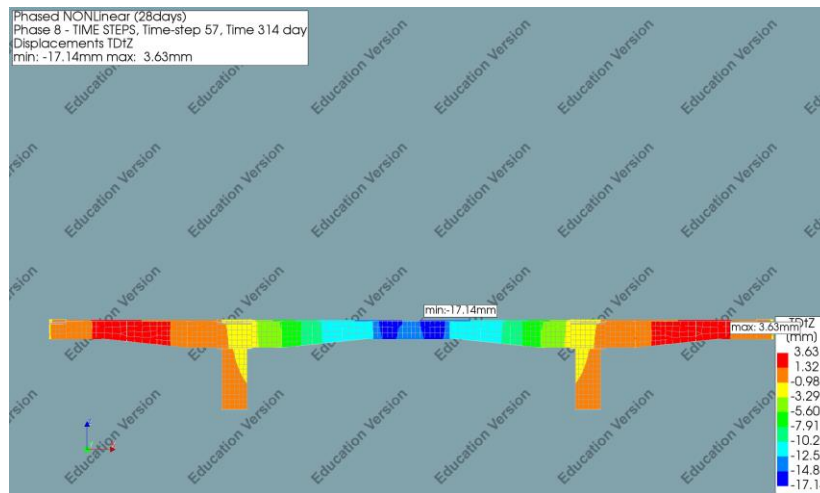
Γράφημα 96: Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος S_{XX} σε συνάρτηση με τον χρόνο στον κόμβο 5123 (κάτω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

Παρατηρούμε ότι την 314^η ημέρα το σενάριο με το σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών παρουσιάζει συνολικές κατακόρυφες παραμορφώσεις μέγιστες 3.86 χιλιοστά και ελάχιστες -20.12 χιλιοστά ενώ στο άνοιγμα -17.46 χιλιοστά.



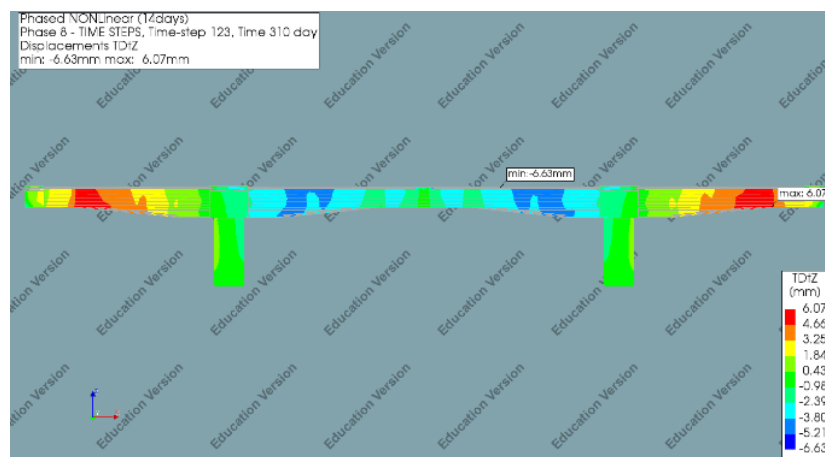
Γράφημα 97: Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 245 time 314 day, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.

Παρατηρούμε ότι την 314^η ημέρα το σενάριο με το σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών παρουσιάζει συνολικές κατακόρυφες παραμορφώσεις μέγιστες 3.63 χιλιοστά και ελάχιστες -17.14 χιλιοστά ενώ στο άνοιγμα -14.83 χιλιοστά.



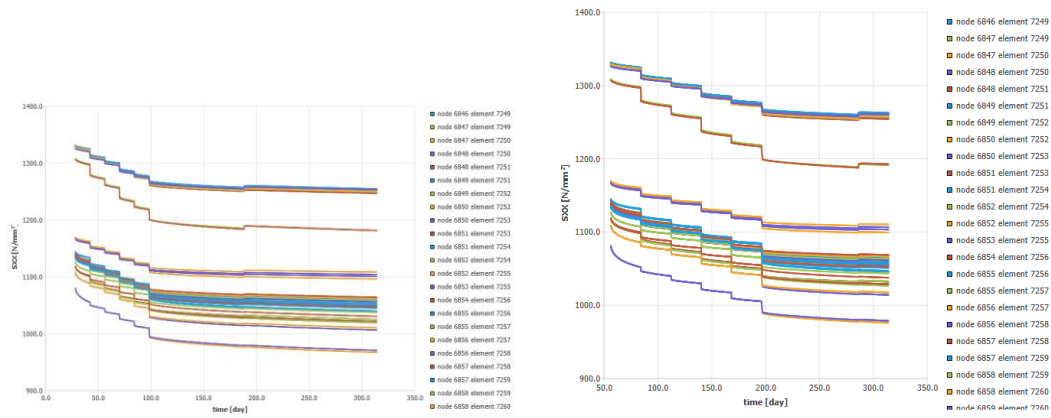
Γράφημα 98: Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 57 time 314 day, Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

Παρατηρούμε ότι την 314^η ημέρα το σενάριο με το σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση της ρηγμάτωσης παρουσιάζει συνολικές κατακόρυφες παραμορφώσεις μέγιστες 6.07 χιλιοστά και ελάχιστες -6.63 χιλιοστά ενώ στο άνοιγμα -3.80 χιλιοστά.

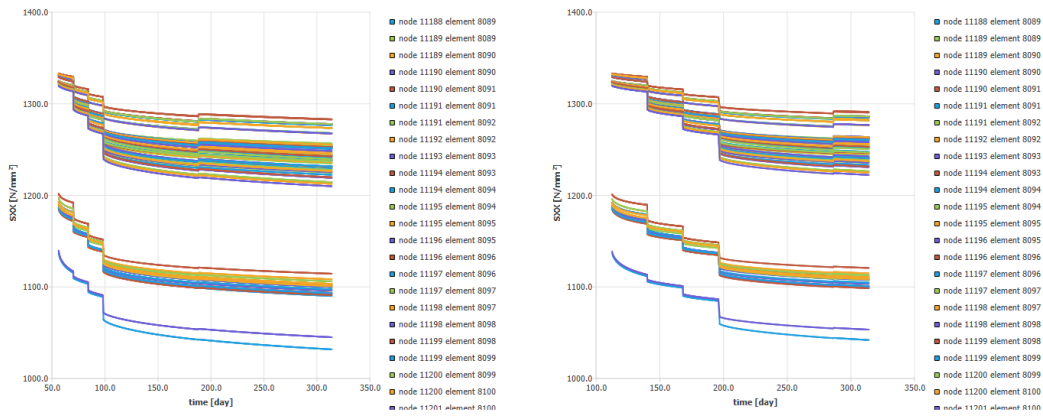


Γράφημα 99: Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 123 time 310 day, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγμάτωσης.

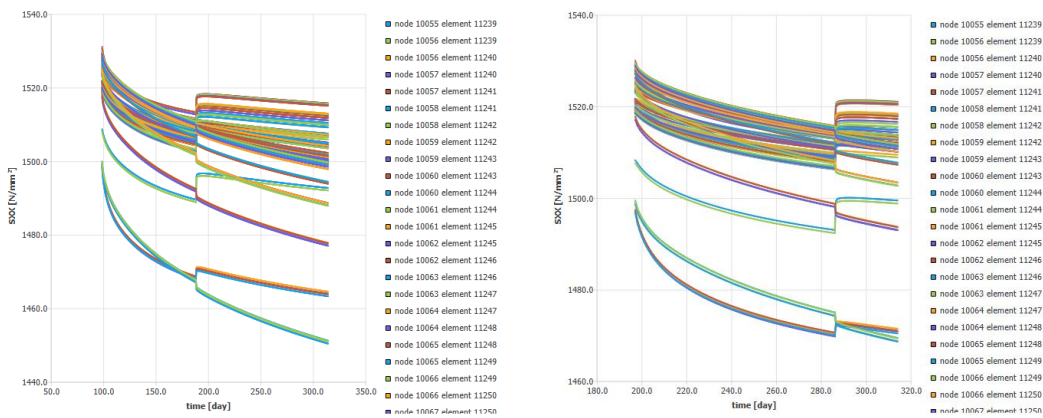
Τέλος παρατηρούμε τα διαγράμματα των τάσεων των τενόντων προέντασης. Την στιγμή της αποκατάστασης της συνέχειας (έβδομη φάση) οι προβολικοί τένοντες (άνω) χάνουν απότομα τάση καθώς γίνεται ανακατανομή της έντασης και έχουν ενεργοποιηθεί οι κάτω τένοντες στα ανοίγματα (Βλέπε γράφημα 100 και γράφημα 101). Οι κάτω τένοντες των ανοιγμάτων παρουσιάζουν απότομη αύξηση τάσης την 8^η φάση η οποία οφείλετε στην επιβολή των φορτίων κυκλοφορίας (Βλέπε γράφημα 102 και γράφημα 103).



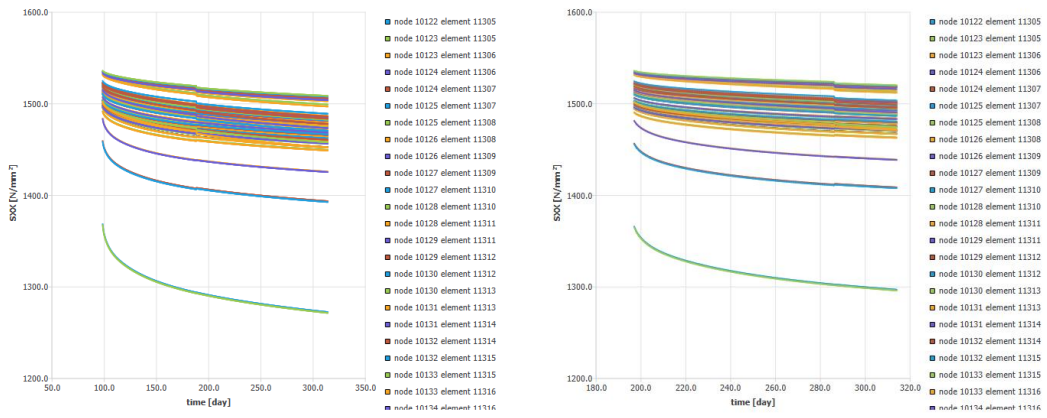
Γράφημα 100: Διάγραμμα τάσεων SXX τένοντα 16 σπόνδυλου P-2 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14^{ων} ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.



Γράφημα 101: Διάγραμμα τάσεων SXX τένοντα 116 σπόνδυλου P-4 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.



Γράφημα 102: Διάγραμμα τάσεων SXX τένοντα 95 κεντρικού ανοίγματος κάτω σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.



Γράφημα 103: Διάγραμμα τάσεων S_{XX} τένοντα 96 ακραίου ανοίγματος κάτω σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

9. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η Δομή της Γέφυρας.....	14
Εικόνα 2: Διατομή υπό Θλίψη λόγω Προέντασης και Διαγράμματα Τάσεων Διατομής ανά Στάδια.....	18
Εικόνα 3: Μέθοδος Προβολοδόμησης.....	18
Εικόνα 4: Τυπική Διάταξη Ανοιγμάτων Προβολοδόμησης (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).....	19
Εικόνα 5: Συνέχεια Τυπικής Διάταξης Ανοιγμάτων Προβολοδόμησης (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).....	19
Εικόνα 6: Τένοντες άνω πέλματος (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).....	20
Εικόνα 7: Τένοντες Κάτω Πέλματος (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).....	20
Εικόνα 8: Ανακατανομή της Έντασης λόγω Ερπυσμού (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).....	21
Εικόνα 9: Κύκλος Δραστηριοτήτων - Συμμετρική Προβολοδόμηση (Σημειώσεις Ι.Σιγάλα).....	22
Εικόνα 10: Πρότυπη Φόρτιση LM 71(εικ.6.1 EN1991.2).....	32
Εικόνα 11: Εκκεντρότητα Κατακόρυφων Φορτίων (εικ.6.3 EN1991.2).....	32
Εικόνα 12: Διαμήκης Κατανομή Συγκεντρωμένου Φορτίου ανά Τροχιά (εικ.6.4 EN1991.2).....	32
Εικόνα 13: Διάγραμμα Ροής για το αν απαιτείται Δυναμική Ανάλυση (εικ.6.9 EN1991.2).....	34
Εικόνα 14: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες.....	39
Εικόνα 15: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες (Συνέχεια).....	39
Εικόνα 16: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες (Συνέχεια).....	39
Εικόνα 17: EN 1990 Παράρτημα Α2-Εφαρμογή για Σιδηροδρομικές Γέφυρες (Συνέχεια).....	40
Εικόνα 18: Η Γέφυρα στον Αυτοκινητόδρομο Τρίπολης - Καλαμάτας.....	45
Εικόνα 19: Τοπογραφικό Διάγραμμα και Κάτοψη Καμπύλης Χάραξης Γέφυρας.....	46
Εικόνα 20: Όψη Γέφυρας.....	46
Εικόνα 21: Έργο Μελέτης - Γέφυρα Τριών Ανοιγμάτων.....	46
Εικόνα 22: Όψη Μεσοβάθρου Μ-1.....	47
Εικόνα 23: Όψη Μεσοβάθρου Μ-2.....	47
Εικόνα 24: Έργο Μελέτης - Γέφυρα Τριών Ανοιγμάτων.....	48
Εικόνα 25: Διατομή Ανωδομής με Οπές και Διατομή Ανωδομής Συμπαγής.....	49
Εικόνα 26: Διατομή Καταστρώματος - Οδοποιίας.....	49
Εικόνα 27: Οπλισμός Διατομής στο Άνοιγμα και Οπλισμός Διατομής στην Στήριξη.....	49
Εικόνα 28: Τρισδιάστατη Απεικόνιση Μονλιθικού Κόμβου-Μεσόβαθρο και Οπλισμός Διατομής Μεσοβάθρου.....	50
Εικόνα 29: Χάραξη Άνω Τενόντων σε Κάτοψη.....	50
Εικόνα 30: Χάραξη Άνω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-1).....	51
Εικόνα 31: Χάραξη Άνω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-2).....	51
Εικόνα 32: Χάραξη Κεντρικών Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-1).....	51
Εικόνα 33: Χάραξη Κεντρικών Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-2).....	51
Εικόνα 34: Χάραξη Κάτω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-1).....	52
Εικόνα 35: Χάραξη Κάτω Τενόντων σε Τομή κατά Μήκος (Μεσόβαθρο Μ-2).....	52
Εικόνα 36: Διατομή Σπονδύλου Ρ-1.....	53
Εικόνα 37: Διατομή Σπονδύλου Ρ-2.....	53
Εικόνα 38: Διατομή Σπονδύλου Ρ-3.....	53
Εικόνα 39: Διατομή Σπονδύλου Ρ-4.....	54
Εικόνα 40: Διατομή Σπονδύλου Ρ-5.....	54
Εικόνα 41: Διατομή Σπονδύλου Ρ-6.....	54
Εικόνα 42: Διατομή Σπονδύλου-κλείδας Ρ-7.....	54
Εικόνα 43: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Προβολικών Τενόντων.....	55
Εικόνα 44: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Προβολικών Τενόντων.....	55

Εικόνα 45: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Τενόντων Ανοίγματος.	55
Εικόνα 46: Στιγμιότυπο από το Λογισμικό DIANA: Συνολική Χάραξη Τενόντων Ανοίγματος.	55
Εικόνα 47: Προσομοίωση Έργου Μελέτης στο Λογισμικό DIANA FEA (Upper Projection).	57
Εικόνα 48: Προσομοίωση Έργου Μελέτης στο Λογισμικό DIANA FEA (Below Perspective Projection).	57
Εικόνα 49: Προσομοίωση Έργου Μελέτης στο Λογισμικό DIANA FEA (Πλάγια Όψη).	58
Εικόνα 50: Χρήση Επιφανειακών Στοιχείων στην Ανωδομή του Έργου Μελέτης (Regular Curved Shells).	58
Εικόνα 51: Χρήση Τρισδιάστατων Συμπαγών Στοιχείων στο Έργο Μελέτης (Solid Elements).	58
Εικόνα 52: Επιφανειακά Στοιχεία - Regular Curved Shells και Συμπαγή Τρισδιάστατα Στοιχεία - Solid Elements.	59
Εικόνα 53: Αυτόματη Ένωση Διαφορετικών Στοιχείων - Automatic Tyings.	59
Εικόνα 54: Εφέδρανα Έδρασης στα Ακρόβαθρα Κ-1, Κ-2 (Κάτοψη) και Σύστημα Στηρίξεων του Φορέα.	59
Εικόνα 55: Σύστημα Στηρίξεων του Φορέα και Σύστημα Στηρίξεων του Φορέα (Όψη).	60
Εικόνα 56: Διατομή Καταστρώματος 1: Συμπαγής Διατομή	60
Εικόνα 57: Διατομή Καταστρώματος 3: Ενδιάμεση Διατομή με Διάκενα P-3.	61
Εικόνα 58: Διατομή Καταστρώματος 5: Διατομή με Διάκενα P-5, P-6 και Διατομή 6: Διατομή Κλείδας Συμπαγής P-7.	61
Εικόνα 59: Συμπαγής Διατομή 7: Μεσοβάθρου και Συμπαγής Διατομή 8: Ακροβάθρων.	61
Εικόνα 60: Ενεργή Κινητή Αγκύρωση, Επιμηκυντήρας (Μούφα), Ενδεικτικός Επιμηκυντήρας (Μούφα) τύπου MCU και Ενδεικτικός Επιμηκυντήρας (Μούφα) τύπου MCB.	64
Εικόνα 61: Ενδεικτικός Συμβατικός Σωλήνας, Ενδεικτικός Σωλήνας τύπου PE	64
Εικόνα 62: Ενδεικτική Ενεργή Κινητή Αγκύρωση τύπου MUT, Ενδεικτική Νεκρή Σταθερή Αγκύρωση τύπου MPT	64
Εικόνα 63 Φάση 1: Σπόνδυλος P-1, Φάση 2: Σπόνδυλος P-2 και Φάση 3: Σπόνδυλος P-3.	67
Εικόνα 64 Φάση 4: Σπόνδυλος P-4, Φάση 5: Σπόνδυλος P-5 και Φάση 6: Σπόνδυλος P-6.	67
Εικόνα 65 Φάση 7: Κλείδα - Αποκατάσταση συνέχειας.	67
Εικόνα 66: Μη γραμμική Ανάλυση σε Φάσεις - Structural nonlinear phased analysis (Diana Fea).	69
Εικόνα 67: Φάσεις Ανάλυσης (Diana Fea).	69
Εικόνα 68: Φάσεις Ανάλυσης (Diana Fea).	70
Εικόνα 69: Φάση 1: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-1, Φάση 2: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-2.	70
Εικόνα 70: Φάση 4: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-4, Φάση 5: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-5.	70
Εικόνα 71: Φάση 7: Διακριτοποιημένος Σπόνδυλος P-7.	70
Εικόνα 72: Concrete C50/60 (Diana Fea).	75
Εικόνα 73 Γεωμετρίες στοιχείων (Diana Fea).	78
Εικόνα 74 Στηρίξεις - Supports (Diana Fea).	82
Εικόνα 75: Κόμβος 1491 του σπονδύλου P-2 (άνω πέλμα).	111
Εικόνα 76: Κόμβος 1716 του σπονδύλου P-3 (άνω πέλμα).	113
Εικόνα 77: Κόμβος 1810 του σπονδύλου P-4 (άνω πέλμα).	115

10. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μηχανικά Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος (πιν. 3.1 EN1992.1.1).	27
Πίνακας 2: Ιδιότητες Χάλυβα (πιν. C.1 EN1992.1.1).	28
Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά Συρματοσχοίνων Προέντασης (πιν.1 Σύστημα προέντασης MK4).	29
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Συρματοσχοίνων Προέντασης (πιν.2 Σύστημα προέντασης MK4).	30
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά συρματοσχοίνων προέντασης (πιν.3 Σύστημα προέντασης MK4)	30
Πίνακας 6: Συντελεστές Ασφαλείας Υλικών.	31
Πίνακας 7: Καθοριστικός συντελεστής L_{ϕ} (πιν.6.2 EN1991.2).....	35
Πίνακας 8: Καθοριστικός συντελεστής L_{ϕ} (πιν.6.2 EN1991.2) (Συνέχεια).....	36
Πίνακας 9: Καθοριστικός συντελεστής L_{ϕ} (πιν.6.2 EN1991.2) (Συνέχεια).....	36
Πίνακας 10 Τιμές ονομαστικής ανεμπόδιστης συστολής ξήρανσης $\epsilon_{cd,0}$ σε %0 για το σκυρόδεμα με τσιμέντο CEM κατηγορίας N.....	43
Πίνακας 11 kh : συντελεστής που εξαρτάται από το ονομαστικό πάχος $kh = 2Acu$ (mm)	43
Πίνακας 12: Μηχανικά Χαρακτηριστικά Διατομών Καταστρώματος.....	60
Πίνακας 13: Μηχανική Χαρακτηριστικά Λοιπών Διατομών.	61
Πίνακας 14: Κατάλογος Ζευγών Προβολικών Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-1).	62
Πίνακας 15: Κατάλογος Κάτω Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-1).	62
Πίνακας 16: Κατάλογος Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-2).....	63
Πίνακας 17: Κατάλογος Τενόντων Προέντασης (Μεσόβαθρο M-2).....	63
Πίνακας 18: Κατάλογος Τενόντων Προέντασης Κεντρικού Ανοίγματος.....	63
Πίνακας 19: Σενάριο 14ων Ημερών: Start Steps, Time Steps.....	66
Πίνακας 20: Σενάριο 28 Ημερών: Start Steps, Time Steps.	66
Πίνακας 21: Φάσεις Κατασκευής και Συνδυασμοί Δράσεων.	67
Πίνακας 22 Φάσεις κατασκευής και συνδυασμοί δράσεων (2).....	67
Πίνακας 23: Σενάριο 14ων Ημερών: Start Steps, Time Steps.....	68
Πίνακας 24: Σενάριο 28 Ημερών: Start Steps, Time Steps.	68
Πίνακας 25: Concrete C50/60 (Diana Fea).....	75
Πίνακας 26: Prestress Material (Diana Fea).....	76
Πίνακας 27 Geometry: Anw Pelma 3-5 (Diana Fea)	76
Πίνακας 28 Geometry: Katw Pelma (Diana Fea)	76
Πίνακας 29 Geometry: Kormoi (Diana Fea).....	76
Πίνακας 30 Geometry: kormos akraios_s_d (Diana Fea)	76
Πίνακας 31 kormos akraios_s_a (Diana Fea).....	77
Πίνακας 32 kormos kentrikos_s (Diana Fea).....	77
Πίνακας 33 Geometry: Kivotio (Diana Fea)	77
Πίνακας 34 Geometry: Katw Pelma 3 (Diana Fea)	77
Πίνακας 35 Geometry: Katw Pelma 4 (Diana Fea)	77
Πίνακας 36 Geometry: 0.6*13 (Diana Fea).....	78
Πίνακας 37 Geometry: 0.6*15 (Diana Fea).....	78
Πίνακας 38 Διακριτοποίηση στοιχείων - Mesh Sets (Diana Fea).....	81
Πίνακας 39 Οπλισμοί - Reinforcements (Diana Fea).....	81
Πίνακας 40 Supports sets phase 7 (Diana Fea)	82
Πίνακας 41 Supports sets Mesobathra (Diana Fea)	82

11. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Περιορισμός Βέλους Κάμψης κατά EN 1990 και Θεμελιώδους Ιδιοσυχνότητας κατά EN 1991-2.	20
Γράφημα 2: Ηλικία Έργου υπό Σταθερή Τάση και Ανηγμένη Παραμόρφωση με Ηλικία Έργου υπό Σταθερή Τάση.	22
Γράφημα 3 Χαρακτηριστικά συμπεριφοράς σκυροδέματος	23
Γράφημα 4 $\sigma - \epsilon$ υπό σταθερή τάση στο χρόνο.....	24
Γράφημα 5 Συντελεστές ερπυσμού και γήρατος.....	24
Γράφημα 6: Συντελεστής Ερπυσμού - Creep Coefficient και Αυτογενής Συστολή - Autogenous Shrinkage.....	28
Γράφημα 7: Συστολή Ξήρανσης - Drying Shrinkage και Παραβολικό-Ορθογωνικό Διάγραμμα $\sigma-\epsilon$	28
Γράφημα 8: Εξιδανικευμένο διάγραμμα (A) και διάγραμμα σχεδιασμού (B) τάσης παραμόρφωσης για χάλυβα χαλαρού σπλισμού(Εφελκυσμός και θλίψη) (σχ.3.8 EN1992.1.1).	29
Γράφημα 9: Εξιδανικευμένο Διάγραμμα (A) και Διάγραμμα Σχεδιασμού (B) Τάσης Παραμόρφωσης για Χάλυβα Προέντασης (Εφελκυσμός και θλίψη) (σχ.3.10 EN1992.1.1). ..	29
Γράφημα 10: Συντελεστής $\varphi(\infty, t_0)$ για ΣΥ 50%.....	40
Γράφημα 11: Συντελεστής $\varphi(\infty, t_0)$ για ΣΥ 80%.....	41
Γράφημα 12: Συντελεστές Ερπυσμού και Γήρατος (2).....	41
Γράφημα 13 Χρονοσυνάρτηση β_{dst} (EN1992-1-1)	42
Γράφημα 14 Χρονοσυνάρτηση β_{dst} (EN1992-1-1)	42
Γράφημα 15: Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 1.....	71
Γράφημα 16: Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 3.....	71
Γράφημα 17: Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 5.....	71
Γράφημα 18 Σενάριο 14 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 7.....	71
Γράφημα 19: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 1.....	72
Γράφημα 20: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 3.....	72
Γράφημα 21: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 5.....	72
Γράφημα 22: Σενάριο 28 ημερών: Χρονοεξέλιξη των Load combination 7.....	72
Γράφημα 23: Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 33 time 28 day - Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.	85
Γράφημα 24 Τάσεις SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 2 Time-step 33 time 42 day - Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.	86
Γράφημα 25 Τάσεις SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 3 Time-step 33 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	86
Γράφημα 26 Τάσεις SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 4 Time-step 33 time 70 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών.	86
Γράφημα 27 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 33 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	87
Γράφημα 28 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 33 time 98 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	87
Γράφημα 29 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 181 time 188 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	87
Γράφημα 30 Τάσεις SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 8 Time-step 253 time 314 day - Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	88
Γράφημα 31 Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 65 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	88

Γράφημα 32 Τάσεις SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 2 Time-step 65 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	88
Γράφημα 33 Τάσεις SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 3 Time-step 65 time 112 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	89
Γράφημα 34 Τάσεις SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 4 Time-step 57 time 140 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	89
Γράφημα 35 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 65 time 168 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	89
Γράφημα 36 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 65 time 196 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	90
Γράφημα 37 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 91 time 286 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	90
Γράφημα 38 Τάσεις SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 8 Time-step 57 time 314 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	90
Γράφημα 39 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 33 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης	91
Γράφημα 40 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 33 time 98 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης	91
Γράφημα 41 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 91 time 188 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης.....	91
Γράφημα 42 Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 33 time 28 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	93
Γράφημα 43 Τάσεις SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 2 Time-step 33 time 42 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	93
Γράφημα 44 Τάσεις SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 3 Time-step 33 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	94
Γράφημα 45 Τάσεις SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 4 Time-step 33 time 70 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	94
Γράφημα 46 Τάσεις SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 5 Time-step 33 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	94
Γράφημα 47 Τάσεις SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 6 Time-step 33 time 98 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	95
Γράφημα 48 Τάσεις SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 7 Time-step 181 time 188 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	95
Γράφημα 49 Τάσεις SXX Φάση 8 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 8 Time-step 245 time 310 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών	95
Γράφημα 50 Τάσεις SXX Φάση 1 Start-step 1, Τάσεις SXX Φάση 1 Time-step 65 time 56 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	96
Γράφημα 51 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 2 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 2 Time- step 65 time 84 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	96
Γράφημα 52 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 3 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 3 Time- step 65 time 112 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.....	96
Γράφημα 53 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 4 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 4 Time- step 57 time 140 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	97
Γράφημα 54 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 5 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 5 Time- step 65 time 168 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	97
Γράφημα 55 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 6 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 6 Time- step 65 time 196 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	97
Γράφημα 56 Τάσεις τενόντων SXX Φάση 7 Start-step 1, Τάσεις τενόντων SXX Φάση 7 Time- step 91 time 286 day- Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών	98

Γράφημα 81 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 2 Time-step 33 time 42 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώση.....	108
Γράφημα 82 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 6 Time-step 33 time 98 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης.....	109
Γράφημα 83 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 7 Time-step 91 time 188 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης.....	109
Γράφημα 84 Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Start-step 1, Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 123 time 310 day – Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών με συνεκτίμηση ρηγματώσης.....	109
Γράφημα 85: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1491 σε συνάρτηση με το χρόνο,.....	112
Γράφημα 86: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1491 σε συνάρτηση με το χρόνο,....	112
Γράφημα 87: Γράφημα τάσεων σκυροδέματος SXX σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 1491 (άνω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	112
Γράφημα 88: Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος SXX κάτω πέλματος σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 1612 (κάτω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	113
Γράφημα 89: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1716 σε συνάρτηση με το χρόνο,....	114
Γράφημα 90: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1716 σε συνάρτηση με το χρόνο,....	114
Γράφημα 91: Γράφημα τάσεων SXX σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 1716 (άνω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	114
Γράφημα 92 Γράφημα τάσεων SXX σκυροδέματος σε συνάρτηση με το χρόνο στον κόμβο 4777(κάτω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.....	115
Γράφημα 93: Κατακόρυφες παραμορφώσεις κόμβου 1810 σε συνάρτηση με το χρόνο,....	116
Γράφημα 94: Μετακινήσεις κόμβου 1810 σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	116
Γράφημα 95: Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος SXX σε συνάρτηση με τον χρόνο στον κόμβο 1810 (άνω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	116
Γράφημα 96: Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος SXX σε συνάρτηση με τον χρόνο στον κόμβο 5123 (κάτω πέλμα), Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	117
Γράφημα 97: Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 245 time 314 day,	117
Γράφημα 98: Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 57 time 314 day, Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.....	118
Γράφημα 99: Κατακόρυφες παραμορφώσεις Φάση 8 Time-step 123 time 310 day,	118
Γράφημα 100: Διάγραμμα τάσεων SXX τένοντα 16 σπόνδυλου P-2 σε συνάρτηση με το χρόνο,	119
Γράφημα 101: Διάγραμμα τάσεων SXX τένοντα 116 σπόνδυλου P-4 σε συνάρτηση με το χρόνο,	119
Γράφημα 102: Διάγραμμα τάσεων SXX τένοντα 95 κεντρικού ανοίγματος κάτω σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	119
Γράφημα 103: Διάγραμμα τάσεων SXX τένοντα 96 ακραίου ανοίγματος κάτω σε συνάρτηση με το χρόνο, Σκυρόδεμα ηλικίας 14 ημερών και Σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.	120

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. EN 1990:2002. Ευρωκώδικας 0: Βάσεις σχεδιασμού
2. EN 1991.1.6:2005. Ευρωκώδικας 1: Δράσεις στους φορείς. Μέρος 1.6: Γενικές δράσεις – Δράσεις κατά την κατασκευή.
3. EN 1991.2:2003. Ευρωκώδικας 1: Δράσεις στους φορείς. Μέρος 2: Φορτία κυκλοφορίας γεφυρών.
4. EN 1992.1.1:2004. Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Μέρος 1.1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια.
5. EN 1992.2:2005. Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Μέρος 2: Γέφυρες από ωπλισμένο σκυρόδεμα-κανόνες σχεδιασμού και λεπτομερειών.
6. Leonhardt, F.: Ολόσωμες γέφυρες. Εκδόσεις Γκίουρδας, 1979.
7. Τέγος, Ι.: Ολόσωμες γέφυρες-Πανεπιστημιακές παραδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2007.
8. Τάσιος, Θ. Π., Γιαννόπουλος, Π.Ι., Τρέζος, Κ. Γ., Τσουκαντάς, Σ. Γ.: Προεντεταμένο σκυρόδεμα. Εκδόσεις Συμμετρία, 1995
9. Καραγιάννης, Χ. Γ.: Σχεδιασμός κατασκευών από Προεντεταμένο Σκυρόδεμα. Εκδόσεις Σοφία, 2015
10. Chai, S., *Finite Element Analysis for Civil Engineering with DIANA Software*.
11. N Krishna, R., *Prestressed-concrete*.
12. AGhali, RFavre, & MEIbadry. (2002). *Concrete Structures: Stresses and Deformations, Third Edition*.
13. Libby, J. R. (1990). Modern Prestressed Concrete. In *Modern Prestressed Concrete*. Springer US.
14. Benaim, R. (2008). *The Design of Prestressed Concrete Bridges: Concepts and principles*.
15. Prab, B., Thomas J., M., & Ban Seng, C. (2014). *Reinforced Concrete Design to Eurocodes 4th Edition*.
16. Raymond Ian, G., Neil Colin, M., & Gianluca, R. (2017). *Design of Prestressed Concrete to Eurocode 2 Second Edition*.

