

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ  
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΙΣ  
ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΣΟΦΙΑ ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΥ**  
**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΜΠΙΣΚΙΝΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2018**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
 <u>ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ</u>	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
 1 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	
1.1 Σκυρόδεμα.....	7
1.2 Χαλύβδινος οπλισμός.....	13
1.3 Κατασκευαστικός χάλυβας και αγκύρια.....	14
1.4 Μη τσιμεντοειδή υλικά.....	15
 2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	
2.1 Πλαίσια από σκυρόδεμα.....	16
2.2 Δάπεδα από σκυρόδεμα.....	21
2.3 Δοκοί από σκυρόδεμα.....	31
 3 ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ	
3.1 Κατηγορίες προέντασης.....	36
3.2 Λεπτομέρειες προέντασης.....	37
 <u>ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ</u>	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	53
 4 ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ	
4.1 Γέφυρες με συμπαγές κατάστρωμα.....	56
4.2 Γέφυρες με δοκούς.....	60
4.3 Γέφυρες δοκών κιβωτιοειδούς διατομής.....	64
4.4 Γέφυρες διατομής μονής κιβωτιοειδούς κυψέλης.....	68
4.5 Καμπυλωτές γέφυρες κιβωτιοειδών δοκών.....	72
4.6 Γέφυρες μορφής σκάφης.....	73
4.7 Γέφυρες τμηματικής κατά μήκος κατασκευής.....	75
4.8 Καλωδιωτές γέφυρες.....	76
4.9 Ιδιαίτερες προκατασκευασμένες γέφυρες.....	77
4.10 Συστήματα οχετών και στοών.....	81
4.11 Επισκόπηση διακυμάνσεων ανοίγματος σε διαφορετικούς τύπους προκατασκευασμένων γεφυρών.....	83

5	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	
5.1	Γέφυρες απλής στήριξης.....	84
5.2	Γέφυρες απλής στήριξης με συνεχόμενη πλάκα.....	86
5.3	Ολόσωμες γέφυρες.....	88
5.4	Ολόσωμες γέφυρες χωρίς αρμούς.....	95
6	ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ.....	98
7	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗΣ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	104
7.1	Η Γέφυρα του Γυμνότοπου.....	104
7.2	Καθορισμός γενικών στοιχείων.....	107
7.3	Διαστασιολόγηση της γέφυρας και των δοκών της.....	108
7.4	Ιδιότητες υλικών.....	110
7.5	Επιβολή μόνιμων και κινητών φορτίων.....	112
7.6	Υπολογισμός προέντασης.....	115
7.7	Καθορισμός διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού.....	118
7.8	Συμπεριφορά ακραίας αριστερής δοκού.....	122
7.9	Συμπεριφορά τρίτης μεσαίας δοκού.....	125
7.10	Απορριφθέντα παραδείγματα δοκών.....	130
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	135
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	136

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αναμφίβολα, οι ρυθμοί ζωής είναι εξαιρετικά ραγδαίοι, με αποτέλεσμα την αναζήτηση εξίσου άμεσων τρόπων εκπλήρωσης των αναγκών σε κάθε τομέα. Προς επίτευξη του ιδανικού αποτελέσματος, παράγοντες όπως η **ταχύτητα** καλούνται να συνδυαστούν με την **ασφάλεια** και τη **διάρκεια στο χρόνο**.

Έτσι και στον τομέα της κατασκευής έργων υποδομής, και δη, δημόσιας χρήσης, το παραπάνω τρίπτυχο κρίνεται απολύτως αναγκαίο. Επομένως, όσο αυξάνονται οι κατασκευαστικές απαιτήσεις, αυξάνονται και οι κατασκευαστικές μελέτες που αναζητούν μεθόδους ικανές να ανταποκριθούν σε αυτές.

Κάτω από αυτές τις συνθήκες, αναπτύχθηκε η **μέθοδος της προκατασκευής** και διαδόθηκε εξαιρετικά άμεσα ανά τω κόσμω, γνωρίζοντας διαφορετική απήχηση από χώρα σε χώρα. Κάνοντας λόγο συγκεκριμένα για την προκατασκευή με **οπλισμένο σκυρόδεμα**, που αποτελεί θέμα έρευνας της παρούσας εργασίας, η ποικιλία στους τρόπους διεξαγωγής της μεθόδου βρήκει ανάλογα με τους ισχύοντες κανονισμούς κάθε χώρας και ηπείρου, καθώς και με τα επιμέρους του εκάστοτε έργου (τις κατασκευαστικές απαιτήσεις, τις κρατούσες συνθήκες κ.λπ)

Η μέθοδος της προκατασκευής εν γένει, εξελίσσεται διαρκώς, διατηρώντας αμείωτο το ενδιαφέρον Πολιτικών Μηχανικών, καθώς και επιστημόνων παρεμφερών κλάδων. Πρόκειται για ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον κεφάλαιο της συγκεκριμένης επιστήμης, γεγονός που αποτέλεσε έναυσμα για το ερευνητικό θέμα της εργασίας αυτής. Επίσης, έμφαση στον τομέα των **προκατασκευασμένων γεφυρών** δόθηκε χάριν στις εντυπωσιακές τεχνικές προκατασκευής που επιλέγονται προς ανέγερση των επιβλητικών αυτών οικοδομημάτων.

Για τη συμβολή στην περάτωση της Πτυχιακής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον εποπτεύοντα καθηγητή μου, **Δρ. Διονύσιο Μπισκίνη**, η πολύτιμη βοήθεια και συνέπεια του οποίου υπήρξαν καθοριστικοί παράγοντες στην άψογη συνεργασία μας για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, καθώς και το οικογενειακό μου περιβάλλον για τη συνεχή υποστήριξη.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όπως προκύπτει από τον τίτλο της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, βασικό θέμα της είναι η έρευνα στο θέμα της προκατασκευής κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και κυρίως των γεφυρών. Η συμπεριφορά από στατικής άποψης ενός ενδεικτικού προκατασκευασμένου μέλους γέφυρας, όπως μια δοκός, αναλύεται εμπειριστατωμένα με τη χρήση του εξειδικευμένου προγράμματος στη μέθοδο της προκατασκευής *PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies*.

Στο 1ο κεφάλαιο αναφέρεται η έννοια της προκατασκευής, συγκεκριμένα αυτής με οπλισμένο σκυρόδεμα, και εξετάζονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή.

Στο 2ο κεφάλαιο αναλύονται διάφοροι τύποι κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με προκατασκευή, ανάμεσά τους και οι προκατασκευασμένες δοκοί, αντικείμενο ανάλυσης του προγράμματος.

Στο 3ο κεφάλαιο περιγράφεται διεξοδικά η μέθοδος της προέντασης, που αποτελεί θεμελιώδη διαδικασία σε κατασκευή δομημένη από προκατασκευασμένα μέλη, εφόσον απαιτείται με βάση το στόχο της, που δεν είναι άλλος από την άρτια στατική και δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής.

Στο 4ο κεφάλαιο παρατίθενται διάφοροι τύποι προκατασκευασμένων γεφυρών από σκυρόδεμα, εξηγούνται οι λόγοι και οι συνθήκες που λαμβάνονται υπ' όψιν για την επιλογή τους και περιγράφεται συνοπτικά η φιλοσοφία γύρω από το αισθητικό τους αποτέλεσμα.

Στο 5ο κεφάλαιο εξετάζεται η ανάλυση δύο εκ των προκατασκευασμένων δοκών της γέφυρας του Γυμνότοπου: της δεξιάς ακραίας και της τρίτης ενδιάμεσης με χρήση του εξειδικευμένου στην προκατασκευή προγράμματος *PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies*, ενώ συνοπτικά περιγράφονται κάποια εναλλακτικά ή απορριπτέα παραδείγματα.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα στα πλαίσια της Εργασίας συνοψίζονται στο 6ο κεφάλαιο.

## **ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ως προκατασκευή ορίζεται η διαδικασία κατασκευής, η οποία λαμβάνει χώρα σε ειδικές εγκαταστάσεις, όπου διάφορα υλικά συναρμολογούνται μεταξύ τους για να σχηματίσουν τμήματα μιας τελικής εγκατάστασης. Γενικεύοντας, πρόκειται για μια κίνηση που απλουστεύει την κατασκευή, αυξάνοντας το ποσοστό εργασίας που ολοκληρώνεται πριν την ανέγερση.

Επιπλέον, η προκατασκευή θεωρείται ως η βιομηχανική παραγωγή δομημένου έργου, κατά την οποία η επιλογή της συσχέτισης δομικών στοιχείων στη βάση κοινής μονάδας εξασφαλίζει το μέτρο, ένα στοιχείο απαραίτητο για τη λειτουργικότητα της διαδικασίας που προσφέρει τη δυνατότητα της επανάληψης και συνεπώς της τυποποίησης των προκατασκευασμένων μελών μιας κατασκευής.

Εν προκειμένω, η προκατασκευή με οπλισμένο σκυρόδεμα είναι μία εξελιγμένη, σύγχρονη μέθοδος κατασκευής, που επιτρέπει την εξέλιξη και απλοποίηση της κατασκευής και διευκολύνει την εισαγωγή νέων μεθόδων και τεχνολογιών προς όφελος της μειωμένης απαίτησης σε χειρωνακτική εργασία. Ειδικά όμως στο οπλισμένο σκυρόδεμα, η προκατασκευή προϋποθέτει την επάρκεια γνώσης για τη στατική και δυναμική συμπεριφορά των προκατασκευασμένων έργων.

Μπορεί να υποστηριχθεί ότι τα προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα από την άποψη της βιωσιμότητας, όπως σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος παραγωγής, υψηλή θερμική μάζα, αντοχή στη φωτιά, ηχομονωτική ικανότητα, δυνατότητα ανακύκλωσης τσιμέντου και οπλισμών, ενώ μπορούν να συσκευάζονται επίπεδα για τη μεταφορά, καθώς επίσης και να σχεδιάζονται με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης. Οι κύριοι λόγοι της γενικότερης υπεροχής του οπλισμένου σκυροδέματος ως υλικό είναι οικονομικοί, μιας και πρόκειται για σχετικά φθηνό υλικό χωρίς μεγάλα έξοδα εφαρμογής. Υπάρχουν επίσης τεχνικοί λόγοι, δεδομένου ότι πρόκειται για εύπλαστο υλικό με μεγάλη ποιότητα μορφών, όπως ακόμη και ψυχολογικοί λόγοι, διότι η στερεότητα και ανθεκτικότητά του το καθιστούν αξιόπιστο.

Ορισμένα μειονεκτήματα της προκατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος εντοπίζονται στη μεταφορά και ανύψωση των προκατασκευασμένων στοιχείων, μιας και απαιτεί ειδικό μηχανικό και τεχνικό εξοπλισμό και αυτομάτως επιπλέον επένδυση κεφαλαίου, ενώ το βάρος και οι άλλες ιδιαιτερότητες δυσχεραίνουν την εργασία. Επίσης, η επένδυση προκειμένου να είναι οικονομικά αποσβέσιμη απαιτεί μεγάλη ποσότητα παραγωγής. Τέλος, τυποποίηση των διαστάσεων και μορφών μπορεί να

δημιουργεί ομοιομορφία ή και μονοτονία, που οι αρχιτέκτονες καλούνται να αντιμετωπίσουν.

Η σύνθεση της κατασκευής από έτοιμα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος μεταθέτει την επίλυση των ζητημάτων ελέγχου της ποιότητας από το εργοτάξιο στο εργοστάσιο, θέτει το πρόβλημα της αντοχής των προκατασκευασμένων στοιχείων κατά τη μεταφορά και τη συναρμολόγησή τους και απαιτεί επιπλέον μελέτη για τη συνδεσμολογία των στοιχείων, όπως και έρευνα των υλικών. Για παράδειγμα, επειδή η προκατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από μεμονωμένα στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους, ενδέχεται να έχει μικρότερη ακαμψία από την αντίστοιχη μονολιθική κατασκευή. Τα έργα προκατασκευής κατασκευάζονται σε 3 φάσεις: α) την παραγωγή των προκατασκευασμένων στοιχείων, β) τη μεταφορά τους στο χώρο του εργοταξίου και γ) τη συναρμολόγηση των στοιχείων και τη σύνδεσή τους με την θεμελίωση.

Η κλασική μέθοδος κατασκευής προϋποθέτει το μεγαλύτερο βαθμό ολοκλήρωσης της εργασίας στο εργοτάξιο. Ο εργοταξιακός σχεδιασμός στην πράξη όμως είναι χρονοβόρος λόγω της αβεβαιότητας του περιβάλλοντος και εκτελείται ανεπαρκώς. Η λύση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων εργοταξιακής κατασκευής είναι να ρυθμιστούν οι ροές υλικών, ώστε ένας ελάχιστος αριθμός δραστηριοτήτων να πραγματοποιείται επί τόπου. Εν μέρει, αυτός είναι και ο βασικός λόγος που προτιμάται η μέθοδος της προκατασκευής και προτυποποίησης σε ογκώδη έργα υποδομής.

# 1 ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

## 1.1 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται στην προκατασκευή είναι της υψηλότερης δυνατής ποιότητας, όσον αφορά στην αντοχή, αλλά και στην ανθεκτικότητα στο χρόνο. Η ουσία της πρότασης αποτυπώνεται στην εικόνα 1.1, όπου το σκυρόδεμα διανέμεται σε όλο το καλούπι, εξασφαλίζοντας μηδενικό διαχωρισμό και κυψελώσεις με την ελάχιστη δυνατή δόνηση.



*Εικ. 1.1: Ακριβής διανομή του σκυροδέματος σε τύπο. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Ωστόσο, αντιπαραβάλλουμε αυτή την άποψη με το σκυρόδεμα προκατασκευής που φαίνεται στην εικόνα 1.2, με σκοπό να ξεχωρίσουμε τις ζημιές που προκαλούνται στο εργοτάξιο από τα φυσικά ελαττώματα του εκάστοτε υλικού, τα οποία κατορθώνουν να ξεπεράσουν κάποιους κλάδους της βιομηχανίας. Χρησιμοποιώντας υλικά που έχουν περάσει επιτυχώς τη διαδικασία αυστηρών ποιοτικών ελέγχων, το τσιμέντο **ταχείας πήξεως** αναμιγνύεται με εξαιρετικής ποιότητας αδρανή, γνωστού σημείου προέλευσης και καθαρότητας, των οποίων οι παρτίδες και το εργοστασιακό μείγμα



συνδυάζονται ηλεκτρονικά, ώστε να παραχθεί σκυρόδεμα συγκεκριμένης λειτουργικότητας και αντοχής. Ακόμα και η προσθήκη μικροποσοτήτων καθαρού, ανακυκλώμενου σκυροδέματος, συνήθως από την περισσή παραγωγή του ίδιου του εργοστασίου, υπερρευστοποιητών και ποζολανικών υλικών (όπως κονία υψικαμίνου), δεν επηρεάζει τις προδιαγραφές. Για τους ανωτέρω λόγους, οι τυπικές αποκλίσεις που παρατίθενται και είναι μικρότερες από  $2 \text{ N/mm}^2$  θλιπτικής αντοχής σε κυβικό δοκίμιο σκυροδέματος 28 ημερών μεταξύ  $f_{cu}=50$  και  $80 \text{ N/mm}^2$ , δε θα μπορούσαν παρά να είναι ακριβείς.



*Εικ. 1.2: Προβλήματα συμπύκνωσης σε προκατασκευασμένο υποστύλωμα από σκυρόδεμα. ((Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Όταν προκατασκευάζουμε σε μια σύγχρονη εργοστασιακή μονάδα είναι αναγκαίο να καλύψουμε τη διττή προϋπόθεση: της σωστής λειτουργικότητας και της πρώιμης αντοχής. Συχνά το σκυρόδεμα παράγεται από μια αυτοματοποιημένη εργοστασιακή μονάδα μαζικής παραγωγής σε τύπους, μην αφήνοντας περιθώριο για εργοστασιακούς ελέγχους.

Οι προδιαγραφές του μείγματος δεν τροποποιούνται κατά την παραγωγή, εκτός αν συντρέχει σημαντικός λόγος. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκυρόδεμα κατηγορίας C40/50 ( $f_{cu}=40 \text{ N/mm}^2$ ) σε σκάλα, παρόλο που ένας τέτοιος σχεδιασμός απαιτεί χαμηλότερη αντοχή,  $f_{cu}=25 \text{ N/mm}^2$ . Για την παραγωγή βασικών μελών, όπως υποστυλώματα και δοκοί, το σκυρόδεμα μορφοποιείται μέσα σε καθαρό ατσάλι (κάποιες φορές σε ξυλότυπους για σκυρόδεμα, με ακρίβεια στη διατομή  $\pm 3\text{mm}$ , ή μικρότερη).

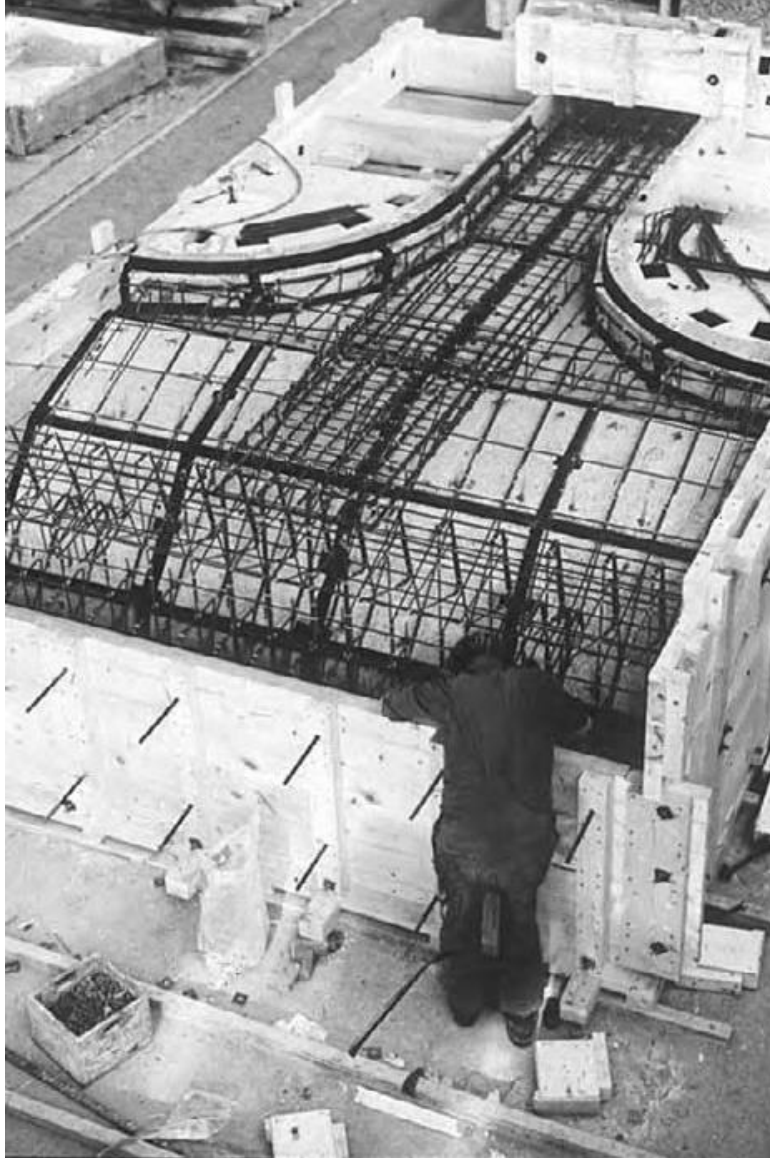
Η χρήση δονητών συμπίκνωσης (εικ. 1.3) ρυθμισμένων στη κατάλληλη ταλάντωση ανάλογα με το μέγεθος και το βάρος των γεμάτων καλουπιών, εξασφαλίζει τη σωστή συμπίκνωση για ειδικό βάρος περίπου  $2400\text{kg/m}^3$  (εξαιρούμενου του οπλισμού). Μετά την ολοκλήρωση της επιφάνειας, καταλήγει στο ελάχιστο πορώδες για μέγιστη ανθεκτικότητα. Οι αντοχές σκυροδέματος επινοήθηκαν για να καθορίσουν την ιδανική συμπεριφορά κάθε στοιχείου, για παράδειγμα τα μέλη σε κάμψη παράγονται σε κατηγορία σκυροδέματος C40, ενώ αυτά σε έντονη θλίψη παράγονται σε κατηγορία C50 (ή C60 αν προφορτίζονται.)



*Εικ. 1.3: Παραγωγή προκατασκευασμένων κατασκευαστικών μελών από σκυρόδεμα σε μεταλλότυπους. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Τα καινοτόμα μέλη, όπως η **πλάκα επένδυσης** σε προετοιμασία στην εικόνα 1.4, κατασκευάζονται σε ξυλότυπους ή σε τύπους από υαλοβάμβακα (υλικά που έχουν σαν βάση τους την **εποξεική ρητίνη** μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν μετά τη χρήση τους).

Παρόλο που το φινίρισμα επιφάνειας σε ξυλότυπο δεν είναι αντάξιο αυτού σε χάλυβα, είναι καλύτερο από αυτό της τάξης Β κατά την πρόταση 6.10.3 του κατασκευαστικού κώδικα BS8110. Η κατηγορία σκυροδέματος συνήθως είναι C40.

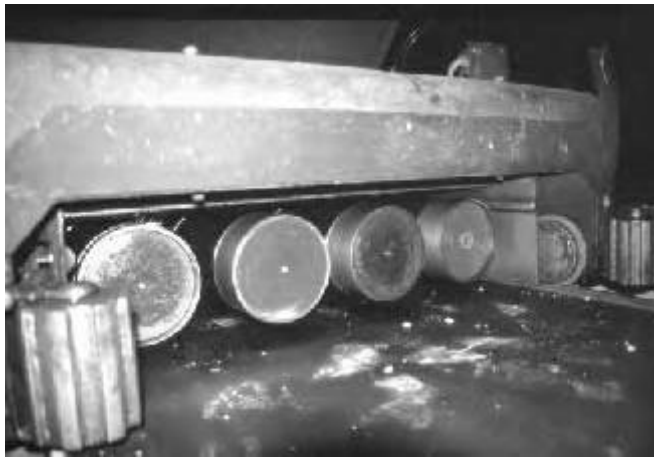


*Εικ. 1.4: Παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων πρόσοψης από σκυρόδεμα σε ξυλότυπο. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Το **μηχανικώς αντλούμενο σκυρόδεμα**, όπως προκύπτει και εξ’ ορισμού, διαχέεται σε μεταλλότυπους μέσω αντλιών για να πάρει το σχήμα που απαιτείται για τη χρήση που προορίζεται, κατά τη διαδικασία όπως αυτή φαίνεται στην εικόνα 1.5.



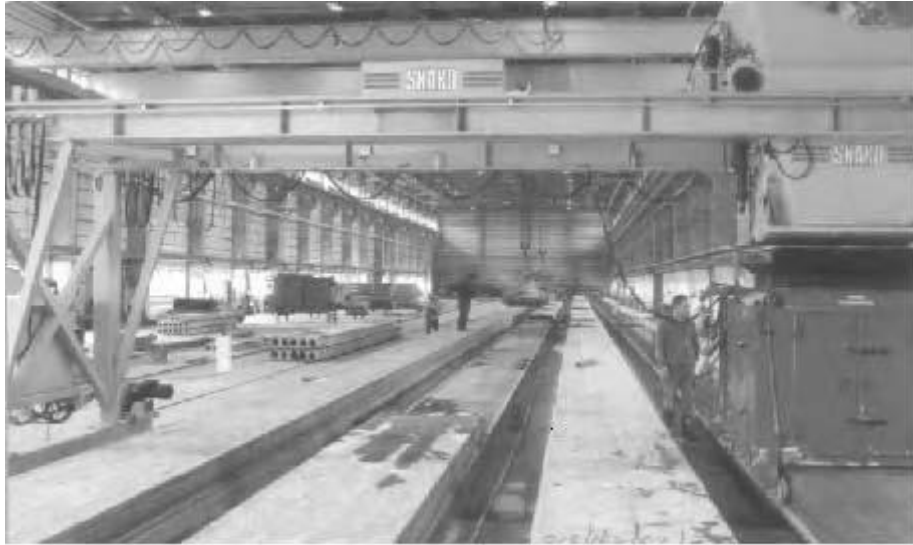
*Εικ. 1.5: Περιστρεφόμενες αρίδες(augers) προκαλούν δυναμική εξώθηση στο σκυροδέμα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*



*Εικ. 1.6: Κυλινδρικά μαντρέλια(mandrels) δημιουργούν κυκλικά κενά σε εξωθούμενες κενές πλάκες δαπέδου. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται για μέλη διαμορφούμενα με κλίση επιτυγχάνεται μέσω μιας μηχανής στερεοποίησης με μια σειρά από μικρά σφυριά. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή και ως μέθοδος της “διατμητικής κάμψης” (Εικ. 1.6). Για την εφαρμογή των δύο αυτών μεθόδων, πρέπει ο λόγος νερού/τσιμέντου να είναι περίπου 0.3. Τα αδρανή επιλέγονται προσεκτικά με έμφαση στην **κοκκομετρική διαβάθμιση**, δηλαδή στο σχήμα και μέγεθος των τραχέων αδρανών, κατά κανόνα κάτω των 14mm. Το σκυρόδεμα που παράγεται κατ’ αυτόν τον τρόπο, συνήθως προεντείνεται για μέλη σε κάμψη όπως πλάκες ορόφου (Εικ. 1.7), χωρίς να σημαίνει φυσικά πως η προένταση λαμβάνει χώρα μόνο σε αυτή τη μέθοδο. Επειδή το **προεντεταμένο σκυροδέμα** έχει σαν πλεονέκτημά του την αντοχή σε θλίψη λόγω

κάμψης, είναι επωφελές να χρησιμοποιήσουμε κατηγορίας C60, παρόλο που για άψογη γεωμετρία απαιτείται μόνο κατηγορίας C50.



*Εικ. 1.7: Εξώθηση προεντεταμένων κούφιων πλακών μεγάλου μήκους. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Κάθε παραγωγή τροποποιεί το μείγμα της ανάλογα με τις μεταβολές στις τοπικές προμήθειες. Η διαβάθμιση των λεπτόκοκκων αδρανών συνήθως αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο, κυρίως στα ξηρά μείγματα που χρησιμοποιούνται σε εξωθούμενο υπό κλίση σκυρόδεμα. Παρόλο που η χαρακτηριστική αντοχή των 28 ημερών πρέπει να επιτευχθεί κατά τη σχεδίαση, το βασικό στοιχείο ελέγχου του μείγματος σ' αυτό στο στάδιο είναι **η αντοχή του στην αφαίρεση του μεταλλότυπου (ή ξυλότυπου), ή στην περίπτωση του προεντεταμένου σκυροδέματος η αντοχή του στην πρώτη φόρτιση(=μεταφορά).**

Η αφαίρεση των τύπων και η αποφόρτιση του σκυροδέματος ολοκληρώνεται σε περίπου 18 ώρες. Πολλές μέθοδοι επίσπευσης της πρώιμης αντοχής σκυροδέματος περιλαμβάνουν τη χρήση τσιμέντου ταχείας πήξεως Portland, χημικούς επιταχυντές (δεν πρέπει να χρησιμοποιείται χλωρίδιο του ασβεστίου) και με εξωτερική θερμότητα, όπως συντήρηση με ατμό και θέρμανση με ηλεκτρικά μέσα.

Όταν προστίθεται επιτόπιο σκυρόδεμα στα προκατασκευασμένα μέλη για να διαμορφωθούν σύνθετες διατομές, πρέπει να υπολογίζονται οι σχετικές αντοχές και δυσκαμψίες των δύο υλικών με τη λεγόμενη **μέθοδο των σχετικών αναλογιών**. Οι πιο γνωστοί συνδυασμοί αντοχών επί τόπου κατασκευής-προκατασκευής είναι C25-C40 και C30-C50/C60.

## 1.2 Χαλύβδινος Οπλισμός

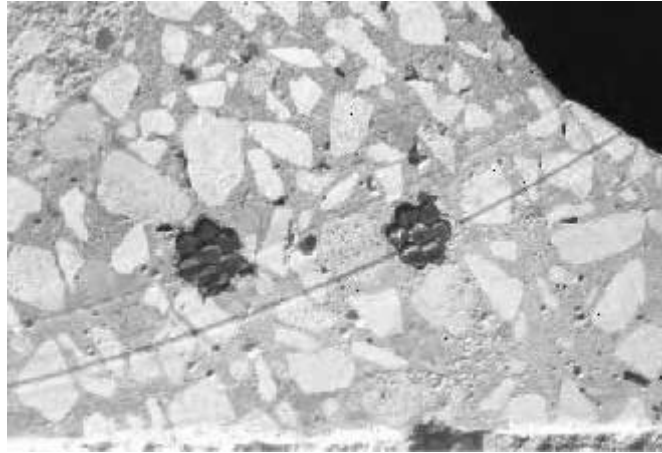
Τα προκατασκευασμένα μέλη από σκυρόδεμα μπορούν, αν κρίνεται απαραίτητο, να οπλιστούν βαριά, επειδή κατασκευάζονται οριζόντια. Ο βρετανικός κώδικας **BS8110** επιτρέπει να οπλιστεί πάνω από το 10% της εγκάρσιας διατομής, παρόλο που το συγκεκριμένο ποσοστό οπλισμού συναντάται σπάνια λόγω των υψηλών αντοχών σκυροδέματος.

**Ράβδοι θερμής εξέλασης με νευρώσεις** και υψηλή εφελκυστική αντοχή χρησιμοποιούνται στο 95% των περιπτώσεων, ακόμα και σε εγκάρσιους οπλισμούς, όπου συνήθως χρησιμοποιείται μαλακός χάλυβας. Η μικρή διαφορά στην τιμή σε σύγκριση με την πρόσθετη αντοχή, π.χ. 460 έναντι 250 N/mm<sup>2</sup>, και η ανάγκη για σταθερότητα της αγκύρωσης κατά τη συναρμολόγηση κλωβών, το καθιστά οικονομικότερο. Το δέσιμο του σύρματος παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια γύρω από τη νευρώδη ράβδο, κάνοντας τον κλωβό πιο στιβαρό. Ο μαλακός χάλυβας χρησιμοποιείται συχνά σε δομικά πλέγματα, επειδή είναι ευκολότερο το επιτόπιο κεφαλοδέσιμο. Οι πιο συνηθισμένες διαμέτρους είναι των 8mm και 10mm σε συνδετήρες υποστλωμάτων, 10 και 12mm σε συνδετήρες δοκών και σε άλλες κατανομές και 16, 20, 25, 32 και 40mm για το διαμήκη οπλισμό δοκών και υποστλωμάτων σε κάμψη.

**Συγκολλημένα δομικά πλέγματα οπλισμού** χρησιμοποιούνται σε επίπεδα μέλη όπως πλάκες και τοίχους. Συνίστανται επίσης για επί τόπου κατασκευαστικές επιστρώσεις σε πλάκες δαπέδου. Τα πλέον δημοφιλή σε επίπεδες πλάκες, τοιχία κ.λπ, είναι τα τετράγωνα πλέγματα **A142** και **A193** (καλώδια μεγέθους 6 και 7mm, αντίστοιχα, με ονομαστικό βήμα 200mm, το ίδιο για εγκάρσιο και διαμήκη οπλισμό). Αντίθετα, πλέγματα σε σχήμα μακρού υφάσματος ματιών C283 (καλώδια μεγέθους 6mm με ονομαστικό βήμα 100mm στον διαμήκη και 400mm στον εγκάρσιο) χρησιμοποιούνται συχνά σε μέλη με άνοιγμα μιας κατεύθυνσης όπως το κάτω πέλαμα πλάκας διατομής διπλού T. Για συνδυασμό καλωδίου και δικτυώματος, η χαρακτηριστική αντοχή είναι  $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$  και η τιμή σχεδιασμού  $f_d = \frac{f_y}{\gamma_m} = \frac{460}{1.05} = 438 \text{ N/mm}^2$ . Το μέτρο ελαστικότητας λαμβάνεται  $200 \text{ kN/mm}^2$ .

Στην **προένταση** χρησιμοποιούνται δύο βασικοί τύποι χάλυβα: 1) **απλό ή κατεργασμένο (ή με νευρώσεις) σύρμα** και 2) **ελικοειδές συρματόσχοινο (πλέξη) 7 συρμάτων**. Η εικόνα 1.8 παρουσιάζει συρματόσχοινο(τένοντα) διαμέτρου 12.5mm σε κενό μέλος δαπέδου. Παρατηρείται η εξαιρετική συμπύκνωση του σκυροδέματος γύρω από το συρματόσχοινο, παράγοντας ζωτικής σημασίας για τη σωστή διανομή της τάσης στο σκυρόδεμα. Η επιλογή του τένοντα αποτελεί συχνά ζήτημα της διάταξης των τενόντων και της ομοιόμορφης κατανομής της τάσης προέντασης σε μια διατομή. Δεν πρέπει να τοποθετούνται μεγάλοι τένοντες σε τοίχους λεπτής διατομής - προς αποφυγή τοπικών ρηγματώσεων και αστοχίας στο δέσιμο-, ενώ η επικάλυψη του τένοντα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της διαμέτρου. Γι' αυτό το λόγο σε

μεγαλύτερα μέλη ή εκεί όπου η τιμή της προέντασης είναι μεγάλη, προτιμάται η ελικοειδής πλέξη.



*Εικ. 1.8: Ελικοειδές συρματοσχοινο 7 συρμάτων σε κενό μέλος δαπέδου. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Υπάρχει μια μακροχρόνια απώλεια δύναμης σε όλους τους προεντεταμένους τένοντες, που λέγεται “χαλάρωση”. Σήμερα, οι τένοντες κατατάσσονται σε “**Τάξης 2:5 επί τοις εκατό της ήπιας χαλάρωσης**”, εννοώντας ότι η τελική τάση μετά από χαλάρωση 1000 ωρών αποτελεί το 95% της αρχικής.

### 1.3 Κατασκευαστικός χάλυβας και αγκύρια

Διατομές από **σιδηροκατασκευή** χρησιμοποιούνται σε πολλά είδη προκατασκευασμένων στοιχείων, κυρίως στις συνδέσεις. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν ορθογώνια τμήματα με ελάσματα και τετράγωνα τμήματα κενών πυρήνων, στέρα κυλινδρικά τμήματα, διαφράγματα και γωνίες, πλάκες και συγκολλημένα T κλπ. Δομικά μέλη, όπως συνεχείς δοκοί και υποστυλώματα, μπορούν να κατασκευαστούν μέσα σε μεταλλικά στοιχεία, ώστε να αυξήσουν την αντοχή στα σημεία όπου οι δυνατότητες του οπλισμένου σκυροδέματος εξαντλούνται.

**Χαλύβδινες διατομές με ελάσματα και επικλινείς ή επίπεδες πλάκες**, συγκολλούνται για να διαμορφώσουν χαλύβδινες συνδέσεις σε πολλές στηρίξεις, όπου η άμεση τριβή μεταξύ των επιφανειών σκυροδέματος πρέπει να αποφεύγεται. Τα ηλεκτρόδια συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται σε ενώσεις χάλυβα είναι κυρίως

εκείνα με κωδικό **E43**, αριθμός που αφορά τα όρια θραύσης του εναποτιθέμενου μετάλλου στον εφελκυσμό ( $430$  έως  $510 \text{ N/mm}^2$ ) και ελαστικότητα ( $360 \text{ N/mm}^2$ ), ενώ το όριο διαρροής συγκόλλησης είναι  $p_w = 215 \text{ N/mm}^2$ . Όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κατηγορίας 50, ο χάλυβας βαθμού ηλεκτροδίων E51 δίνει  $p_w = 255 \text{ N/mm}^2$ . Ισχύουν οι συνήθειες κανόνες για μήκος παράθεσης ( $4t_w$ ), πάχος λαιμού ( $0.7t_w$ ), γωνίες και τελειώματα ( $2t_w$ ), όπου  $t_w$  είναι το μήκος σκέλους. Οι συγκολλήσεις με ελάσματα χρησιμοποιούνται σπάνια, γιατί τα μήκη συγκόλλησης είναι μικρά.

Μαύρα βλήτρα κατηγορίας 4:6 (με όριο διαρροής σε εφελκυσμό  $p_y = 195 \text{ N/mm}^2$  και  $160 \text{ N/mm}^2$  σε διάτμηση) και 8:8 ( $p_y = 450:375$ ) χρησιμοποιούνται σε πολλές συνδέσεις. Υψηλής αντοχής βλήτρα τριβής χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιστάσεις, όπου η συνοχή και η ασφάλεια των συνδέσεων (μόνιμων και προσωρινών), που υλοποιούνται με συνήθη βλήτρα, είναι αμφίβολη.

#### 1.4 Μη τσιμεντοειδή υλικά

Τα **κονιάματα εποξειδικής βάσης** χρησιμοποιούνται για να φτιάξουν, είτε μερικώς είτε εξ' ολοκλήρου, συνδέσεις, όπου απαιτείται άμεση απόκτηση αντοχής, π.χ πάνω από  $40 \text{ N/mm}^2$  σε 2-3 ώρες. Βασικό μέλημα είναι να εξασφαλιστεί ότι αυτά τα υλικά δεν ξεπερνούν το χρόνο ανάλωσής τους και χρησιμοποιούνται σωστά στην εφαρμογή που απαιτούνται. Η θερμική διαστολή για τα εποξειδικά υλικά είναι επτά φορές μεγαλύτερη του σκυροδέματος, κάτι που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό. Οι επί τόπου εποξειδικές ενώσεις αποτελούνται από δύο υλικά: 1) την **εποξειδική ρητίνη** και 2) τους **στερεοποιητές**. Χρησιμοποιούνται περιστασιακά σαν ενέματα για πλήρωση ρωγμών ή για να αποκατασταθεί η εφελκυστική αντοχή. Η εποπτεία των κατασκευαστών πρέπει να είναι αυστηρή πάνω σ' αυτή τη διαδικασία.

Για μαλακά εφέδρανα, αντηρίδες κλπ χρησιμοποιούνται υλικά όπως το **νεοπρένιο**, **ελαστικά και υλικά σε μορφή μαστίχας**.



## 2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

### 2.1 Προκατασκευασμένα πλαίσια από σκυρόδεμα

Ο προκαταρκτικός δομοστατικός σχεδιασμός αναφέρεται από πολλούς του κλάδου σαν στάδιο όπου γίνεται η επιλογή του είδους του δομικού πλαισίου, που ταιριάζει στο σχήμα και στη λειτουργία ενός κτιρίου, παρά σαν πραγματικός σχεδιασμός. Η δημιουργία ενός **πλαισιακού συστήματος** προσφέρει δυνατότητα χρήσης μεγάλου χώρου, όπως π.χ στην εικόνα 2.1, όπου ο εσωτερικός διαχωρισμός θα μπορούσε να στηθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του εκάστοτε πελάτη. Το δομικό σύστημα που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση συχνά αναφέρεται σαν **σκελετός**, καθώς μοιάζει με σκελετό από κάπως μικρά, αλλά πολύ γερά δομικά στοιχεία **υποστυλωμάτων, δοκών, ορόφων, σκάλων** και κάποιες φορές **φέρωντων τοιγίων**.



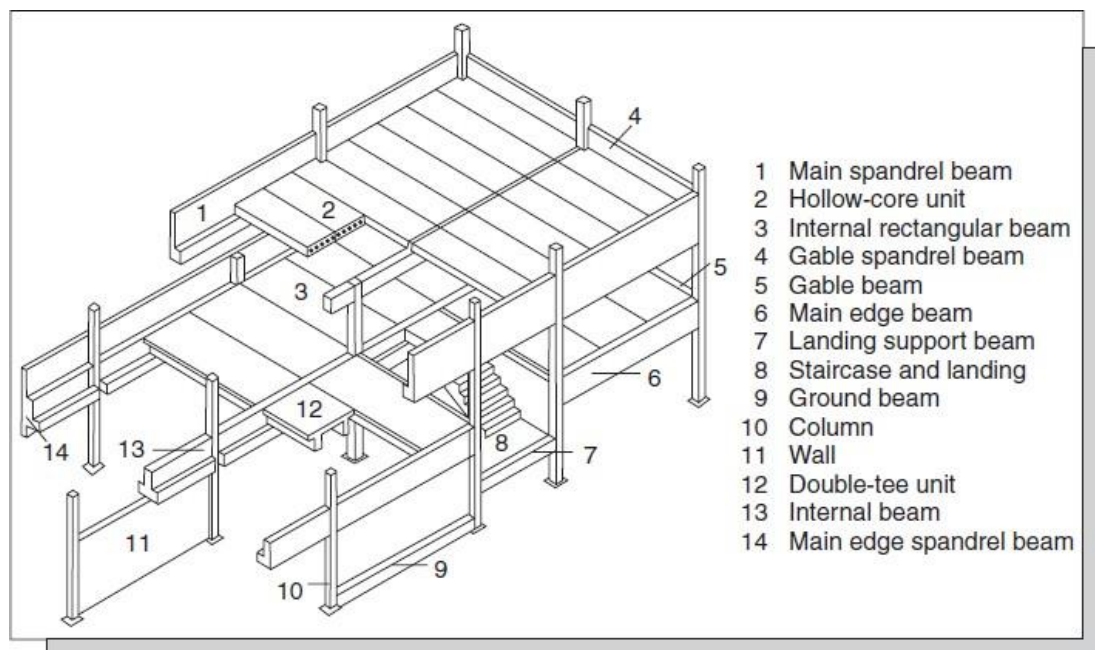
*Εικ. 2.1: Προκατασκευασμένη πλαισιακή κατασκευή που παρουσιάζει μεγάλα ανεμπόδιστα κενά προς όφελος κατασκευής, εργατών αλλά και πελατών. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Ασφαλώς, η πλαισιακή κατασκευή θα μπορούσε να κατασκευαστεί με επιτόπου σκυρόδεμα και χρήση μεταλλότυπου, αλλά εδώ θα εστιάσουμε μόνο στην περίπτωση του προκατασκευασμένου σκυροδέματος.

Τα βασικά προκατασκευασμένα δομικά μέλη μιας κατασκευής φαίνονται στην εικόνα 2.2. Να σημειωθεί ότι οι κύριες συνδέσεις σχεδιάζονται και κατασκευάζονται

σαν “**αρθρωτοί σύνδεσμοι**” και, επομένως, όλα τα οριζόντια μέλη (πλάκες, σκάλες, δοκοί) έχουν απλή στήριξη. Όσον αφορά τη σχεδιαστική και κατασκευαστική λιτότητα, αποτελεί σταθερά την πλέον προτιμώμενη επιλογή, ωστόσο σε σεισμικές ζώνες οι συνδέσεις θα πρέπει να είναι δύσκαμπτες και με μεγάλη ικανότητα παραμόρφωσης.

Τα κατακόρυφα μέλη (τοιχώματα, υποστυλώματα) μπορούν να σχεδιαστούν σαν συνεχή. Τα δύσκαμπτα μέλη σύνδεσης, όπως τα τοιχώματα, σχεδιάζονται είτε σαν ένα στοιχείο με ύψος όσο του ορόφου, που το καθένα συγκρατεί τον όροφο που του αντιστοιχεί, είτε σαν ένα συνεχές στοιχείο που συγκρατεί όλους τους ορόφους, λειτουργώντας σαν ψηλός κατακόρυφος πρόβολος.



Εικ. 2.2: Λεπτομέρειες στο εσωτερικό μιας προκατασκευασμένης πλαισιακής κατασκευής. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

Οι αποστάσεις μεταξύ υποστυλωμάτων και κατ’ επέκταση τα μήκη δοκών, κυμαίνονται από 6m έως 12m, αναλόγως με το φορτίο του ορόφου και τη χρήση για την οποία προορίζεται. Στα πολύοροφα κτίρια στάθμευσης, όπου προβλέπεται συγκεκριμένο βάρος οχημάτων, είναι περίπου 16m. Στην εικόνα 2.3 φαίνεται ένα κτίριο όπου οι προκατασκευασμένοι τοίχοι θα μπορούσαν να είναι αυτονόητη επιλογή και όλα τα τοιχώματα είναι φέροντα και στηρίζουν πλάκες ορόφων με άνοιγμα μιας κατεύθυνσης. Υπάρχει λιγότερη αρχιτεκτονική ελευθερία συγκριτικά με το πλαισιακό σύστημα.



*Εικ. 2.3: Φέροντα τοιχώματα με κενές πλάκες ορόφων πλάτους 3.6m Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

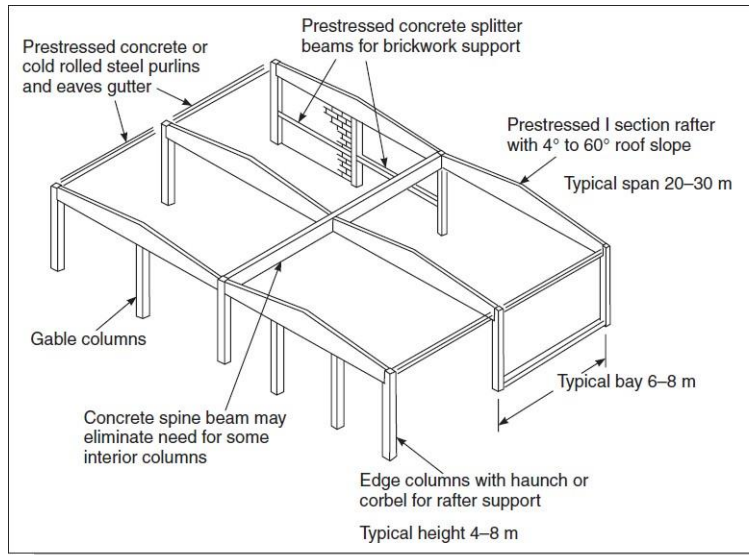
Ένα σύστημα με **φέροντα τοιχώματα** ίσως είναι πιο οικονομικό και σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να οικοδομείται γρηγορότερα, ειδικά εάν οι εξωτερικοί τοίχοι είναι εξοπλισμένοι με θερμομόνωση και διακοσμητικό φινίρισμα από κατασκευής. Αξιόλογο παράδειγμα αυτού αποτελεί η εικόνα 2.4. Οι αποστάσεις μεταξύ των τοιχωμάτων μπορούν να είναι περίπου 6m για ξενοδοχεία, σχολεία, γραφεία και κατοικίες και 10-15m για εμπορικά κέντρα. Κατ’ αυτήν την περιγραφή, το συγκεκριμένο δομικό σύστημα φαίνεται σαν κάτι απλό, στην πραγματικότητα όμως είναι αρκετά περίπλοκο να αναλυθεί, επειδή τα τοιχώματα σχεδιάζονται με πολύ μεγάλη δυσκαμψία, μολονότι οι μεταξύ τους σύνδεσμοι είναι εύκαμπτοι. Η διαφοροποιημένη κινητικότητα ανάμεσα στα πετάσματα των τοιχωμάτων και ανάμεσα σε τοίχους και πατώματα έχει προκαλέσει σημαντικές δυσκολίες στη συντήρηση για διάρκεια ζωής πέραν των 25 ετών, οδηγώντας συχνά σε κατάρρευση του υδατοστεγούς μανδύα και κατά συνέπεια να κρίνονται ακατάλληλα κτίρια, που εντούτοις, από δομοστατικής άποψης είναι επαρκή.



*Εικ. 2.4: Εξωτερική πρόσοψη κτιρίου με φέροντα τοιχώματα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Μια τρίτη κατηγορία προκατασκευασμένου κτιρίου είναι τα **πλαίσια μορφής “Π”**, που χρησιμοποιούνται για βιομηχανικά κτίρια και αποθήκες, όπου απαιτούνται ελεύθερα ανοίγματα μήκους 25 έως 40m (εικόνες 2.5 και 2.6). Παρόλο που τα πλαίσια Π σχεδόν πάντα χρησιμοποιούνται σε μονώροφα κτίρια, όμως παραδόξως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στη διαμόρφωση του φορέα της στέγης σε πλαίσιακό σύστημα.

Αυτός ο τύπος είναι αρκετά απλός και, πραγματικά, έχει μια απολύτως στοιχειώδη σχεδίαση, η οποία προβλέπει ότι οι στρέψεις λόγω κάμψης στο άκρο κάθε ξύλινης δοκού -που μπορούμε να υποθέσουμε ότι πάντα θα προκαλούν ρωγμώδη βλάβη στην προεξοχή του εφεδράνου- ικανοποιούνται εισάγοντας έναν εύκαμπτο οπλισμό (π.χ νεοπρένιο) στο εφέδρανο. Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, οι αρθρωτές συνδέσεις μεταξύ των δοκών και των υποστυλωμάτων, είναι η προτιμώμενη επιλογή, μιας και σχεδιάζονται και κατασκευάζονται εύκολα. Όμως τα υποστυλώματα πρέπει να σχεδιάζονται σαν πρόβολοι που αντιστέκονται στις ροπές, κάτι που μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα σε κάποιες κατασκευές.



Εικ. 2.5: Περιγραφική απεικόνιση κτιρίου από προκατασκευασμένο πλαίσιο. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)



Εικ. 2.6: Παράδειγμα προκατασκευασμένου πλαισίου μορφής “Π”. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

## 2.2 Προκατασκευασμένα δάπεδα από σκυρόδεμα

Η χρήση προκατασκευασμένων δαπέδων από σκυρόδεμα προσφέρει μια οικονομική και ευέλικτη μέθοδο κατασκευής. Παγκοσμίως, περί του 50% των δαπέδων που χρησιμοποιούνται σε εμπορικά κέντρα και κατοικίες, είναι από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Προσφέρει παράλληλα υψηλή αισθητική και προνομιακό κόστος περισσότερο από τις παραδοσιακές μεθόδους, όπως δάπεδα από επί τόπου κατασκευασμένο σκυρόδεμα, σύνθετο οπλισμένο σκυρόδεμα και ξύλινα δάπεδα. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα ειδών επίστρωσης δαπέδων, διατεθειμένα να δώσουν την πιο οικονομική λύση για όλα τα φορτία και τα ανοίγματα. Τα δάπεδα διαθέτουν την υψηλότερη κατασκευαστική αισθητική με το χαμηλότερο βάρος και μπορεί να χρησιμοποιηθούν **με ή χωρίς δομικές επικαλύψεις, μη δομικά φινιρίσματα, όπως ψηφίδες, διαμόρφωση με γρανίτη, ή με υπερυψωμένα ξύλινα πατώματα.**

Τα προκατασκευασμένα δάπεδα από σκυρόδεμα προσφέρουν τον ακόλουθο συνδυασμό προνομίων:

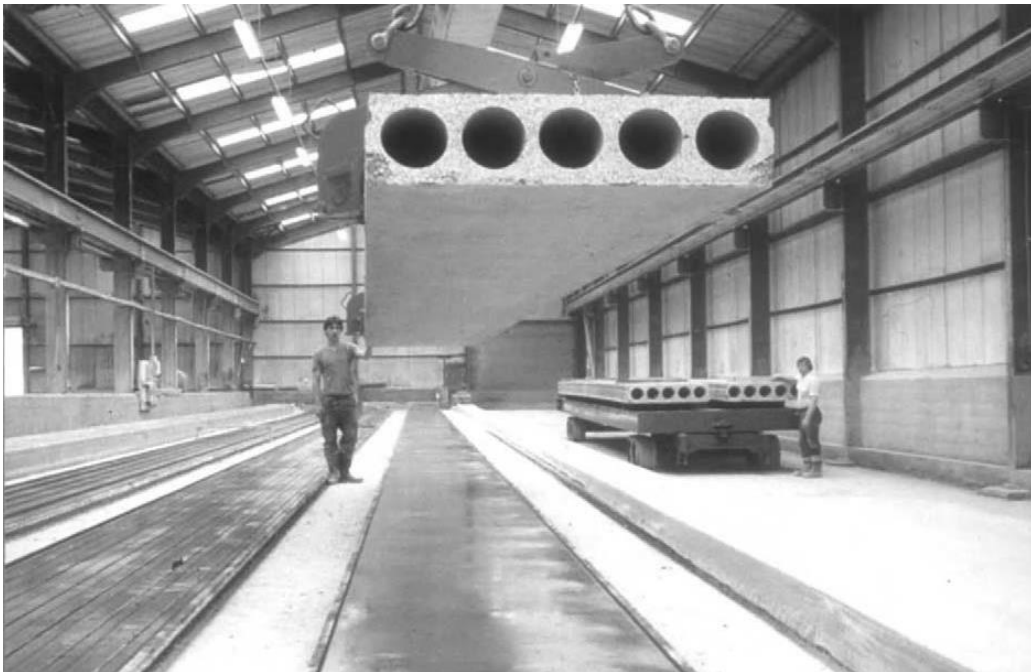
1. Παραγωγή μελών υψηλής αντοχής και μεγάλης διάρκειας εκτός εγκαταστάσεων και
2. Άμεση επί τόπου ανέγερση δαπέδων μεγάλου ανοίγματος

Η εικόνα 2.7 παρουσιάζει δάπεδα μήκους 12m × 12m πλάτος με ένα μέλος να τοποθετείται κάθε 10 με 15 λεπτά, σαν να καλυπτόταν μια περιοχή μεγέθους όσο ένα γήπεδο ποδοσφαίρου σε διάστημα 15 ημερών. Κάθε όχημα μεταφέρει περίπου 20 τόνους, σχεδόν 6 μέλη, και κατά προσέγγιση οι δείκτες ανέγερσης μειώνονται περισσότερο λόγω των προβλημάτων που προκαλούν τα οχήματα όταν εισέρχονται μέσα στο εργοτάξιο, παρά κατά την ανέγερση των μελών. Τα συγκεκριμένα μέλη ονομάζονται **πλάκες με κενά**. Η εικόνα 2.8 δείχνει τη στιγμή όπου ένα τέτοιο μέλος ανυψώνεται από το πεδίο κατασκευής του.

Εν συνεχεία, το ίδιο βάρος μιας πλάκας με κενά είναι περίπου το 1/2 μιας συμπαγούς πλάκας ίδιου πάχους. Τα παχύτερα κενά μέλη, όπως αυτά των 730mm, που φαίνονται στην εικόνα 2.9, έχουν κενό λόγο πιο κοντά στο 60%. Μέλη τέτοιου πάχους ανταποκρίνονται σε περιορισμένο αγοραστικό κοινό, ενώ τα πιο γνωστά πάχη κυμαίνονται από 150 έως 300mm. Τα περισσότερα από αυτά έχουν πλάτος 600-1200mm, παρόλο που στην εικόνα 2.3 διακρίνονται μέλη πλάτους 11 ποδιών (3.66m).



Εικ. 2.7: Πλάκες κενών δαπέδων (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)



Εικ. 2.8: Ανύψωση πλάκας με κενά από χαλύβδινο πεδίο κατασκευής, (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)



Εικ. 2.9: Κενά μέλη δαπέδου πάχους 700 mm. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

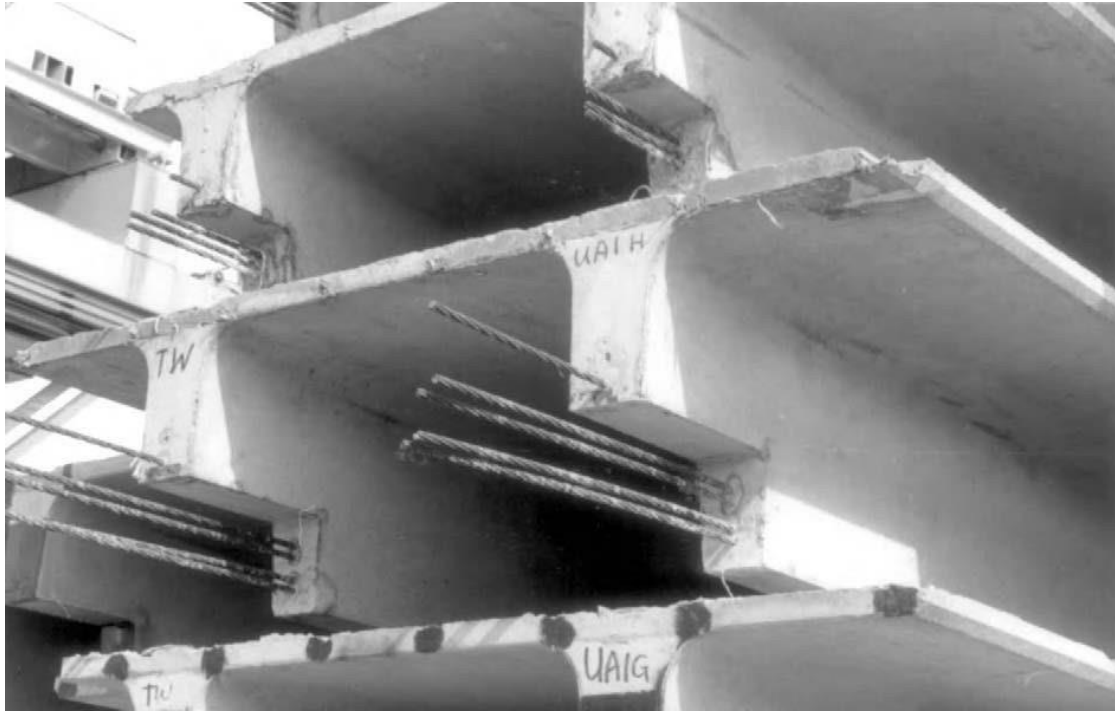
Οι πλάκες με κενά αναπτύχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1950, όπου οι τεχνικές της κατά μήκους προέντασης και μηχανικής παραγωγής σκυροδέματος αναπτύσσονταν από εταιρείες όπως η *Spiroll* στις Ηνωμένες Πολιτείες και η *Roth* στην Ευρώπη. Οι μηχανικοί του προκατασκευασμένου σκυροδέματος συνέχισαν να βελτιστοποιούν τη διατομή των μελών, με κορυφαία την περίφημη αυτή του “διπλό T”, καταφέροντας ακόμα μεγαλύτερα ανοίγματα και μειώνοντας τη μάζα, συγκριτικά με τις πλάκες με κενά. Ένα μέλος διατομής διπλού T παρουσιάζεται στην εικόνα 2.10, πάχους 1.2m και ανοίγματος 39.0m. Μολονότι κάποια σημεία στη λεπτομέρεια των διπλών T ποικίλουν από χώρα σε χώρα, ο φορέας περιλαμβάνει δύο συμπαγείς κορμούς, με ενισχυμένη αντοχή, ενωμένους με μια σχετικά λεπτή αναχίλωση για ευστάθεια.





Εικ. 2.10: Πλάκες διατομής διπλού T σε ένα κέντρο συνεδριάσεων στο Missouri (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται **τένοντες παραβολικής διάταξης** για ομαλή κατανομή προέντασης σε φορείς μεγάλου ανοίγματος, καθώς καταπονούνται σε εφελκυσμό. Προφίλ τέτοιας διατομής παρουσιάζεται στην εικόνα 2.11, ενώ τα χαρακτηριστικά πλάτη είναι από 2.4 έως 3.0m και τα πάχη κυμαίνονται από 400 σε 1200mm. Ο λόγος κενών είναι περίπου 70%, επιτρέποντας την παρουσία φορέα που γεφυρώνει μεγαλύτερα ανοίγματα και με μικρότερο βάρος. Ο ρυθμός ανέγερσης είναι παρεμφερής με αυτόν των κενών φορέων, αλλά τα περισσότερα δάπεδα διατομής διπλού T απαιτούν επί τόπου κατασκευασμένη επικάλυψη με ένα πλέγμα οπλισμού, συνεπώς μειώνεται το συνολικό κέρδος που προσφέρουν τα μεγαλύτερα ανοίγματα και το μειωμένο βάρος.

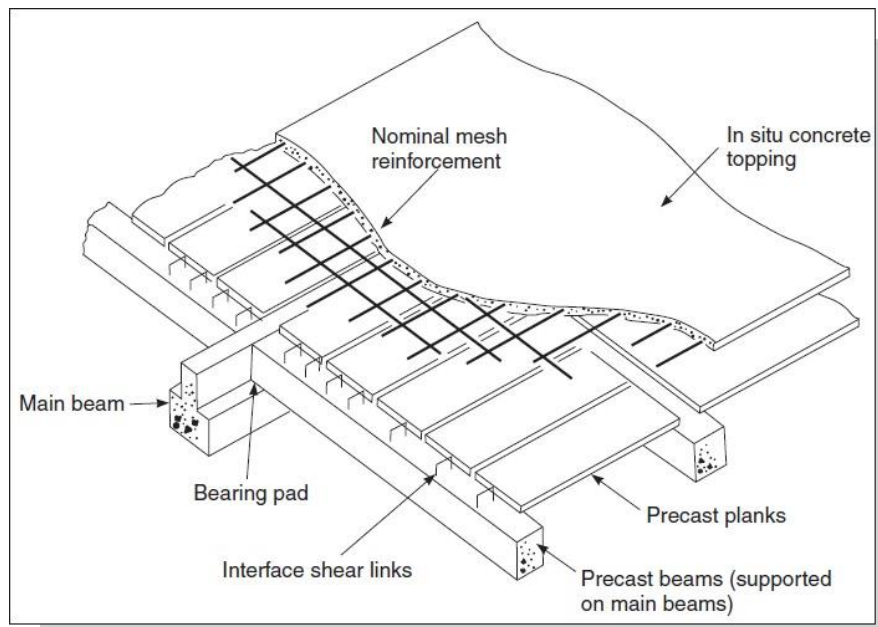


*Εικ. 2.11: Προφίλ άκρου διατομής διπλού T -ο μισός σύνδεσμος χρησιμεύει στην ανύψωση της στάθμης έδρασης και στη μείωση του πάχους κατασκευής, (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)*

Τόσο τα δάπεδα από κενούς φορείς όσο και τα διπλού T περιορίζονται, ασφαλώς, όσον αφορά το οικονομικό, σε σχέδιο ορθογωνικού σχήματος. Είναι δυνατό να φτιάξουμε φορείς με τραπεζοειδή ή με άκρα μεγάλου πέλματος, ώστε να εφαρμόζουν σε κάναβο κτιρίων, όμως οι λεπτομέρειές τους θα ήταν δύσκολες και οικονομικά ασύμφορες. Κάποιες εταιρείες παραθέτουν προσαύξηση 20-50% στην παραγωγή ιδιαίτερων φορέων. Μια μέθοδος προκατασκευασμένης επίστρωσης που επιτρέπει μη ορθογωνική διάταξη, είναι **η σύνθετη δοκός με δάπεδο πρόπλακας**, που φαίνεται στην εικόνα 2.12. Πρόκειται για ένα τριτοβάθμιο σύστημα κατά το οποίο παράγεται ένα σύνθετο δάπεδο, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.13, ενώ οι βασικές δοκοί (από οπλισμένο σκυρόδεμα, προκατασκευή, χάλυβα κλπ) στηρίζουν δοκούς μεγάλου ανοίγματος, οπλισμένες ή προεντεταμένες ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες της κατασκευής.



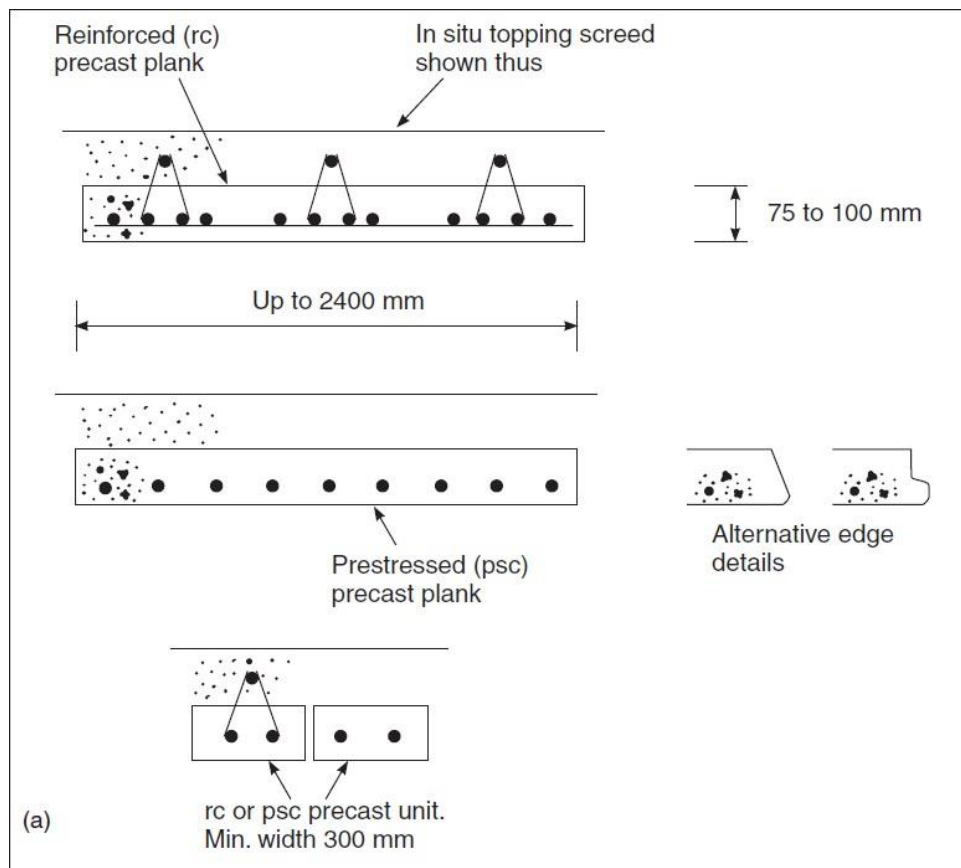
Εικ. 2.12: Σύνθεση δαπέδου από δοκό και πρόπλακα υπό κατασκευή,  
(Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)



Εικ. 2.13: Σύνθετο δάπεδο από δοκό και πρόπλακες, αποτελούμενο από δοκούς,  
προκατασκευασμένα μέλη οροφής και επί τόπου κατασκευασμένες επικαλύψεις.  
(Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

Αυτές οι δοκοί φέρουν πρόπλακες προκατασκευασμένου σκυροδέματος που μορφοποιούνται για να εφαρμόζονται σε μη ορθογωνικές διατάξεις κτιρίων, ακόμα και καμπύλες. (σ.σ. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε στο πέδιλο των πυλώνων της γέφυρας “Χαρίλαος Τρικούπης” (Ρίου-Αντιρρίου)). Η παραγωγή των προπλακών σε ένα εύρος καλουπιών διαφορετικού μεγέθους είναι σχετικά οικονομική, ενώ συνηθίζεται να εφαρμόζεται πάνω στο δάπεδο μια επικάλυψη, που οπλίζεται χρησιμοποιώντας ένα πλέγμα. Η τελική μορφή του δαπέδου που κατασκευάζεται, μοιάζει με δάπεδο διατομής διπλού T από καλούπι κι έχει τον ίδιο λόγο κενών της τάξης του 70%, αλλά ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται το καθένα σχεδιάζεται ειδικά για να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις της εκάστοτε κατασκευής.

Οι πρόπλακες που περιγράφονται παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απομονώσουν τις δοκούς, δημιουργώντας συνεχή ανοίγματα μεταξύ τοιχοποιιών από τούβλο, χάλυβα ή δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος. Η εγκάρσια διατομή των σύνθετων προπλακών παρουσιάζεται στην εικόνα 2.14α. Για να επιταχύνουμε το ρυθμό ανέγερσης, οι πλάκες πρέπει να έχουν πλάτος έως 3m (τα συνήθη είναι 1.2 και 2.4m). Το δάπεδο που προκύπτει είναι ιδανικό για να δημιουργήσει το ίδιο συνεχή δάπεδα και δοκούς, επειδή όπως φαίνεται στην εικόνα 2.14β το άνω τμήμα των δοκών μπορεί να διαμορφωθεί με κυκλικά βλήτρα, ώστε να δημιουργηθεί μια σύνθετη δοκός.



Εικ. 2.14α: Προφίλ (διατομής) σύνθετου δαπέδου από πρόπλακες. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

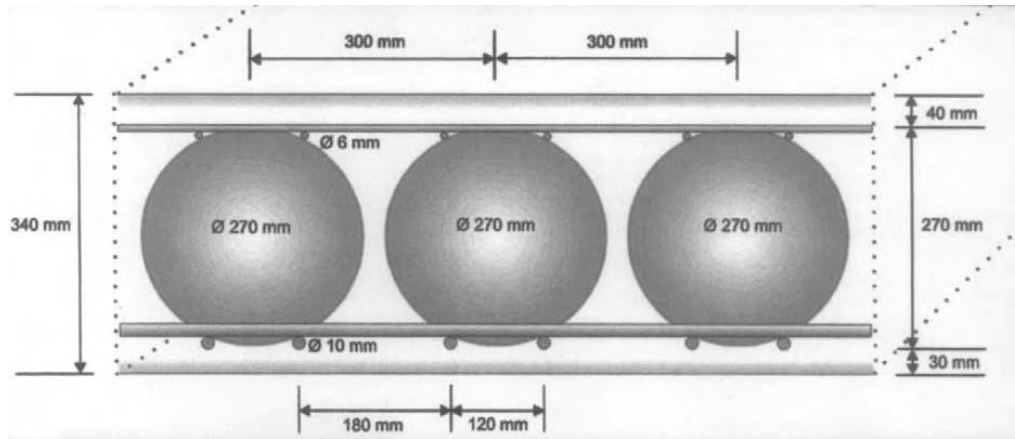


Εικ.2.14β: Πρακτική διάταξη επίστρωσης σύνθετου δαπέδου από πρόπλακες. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

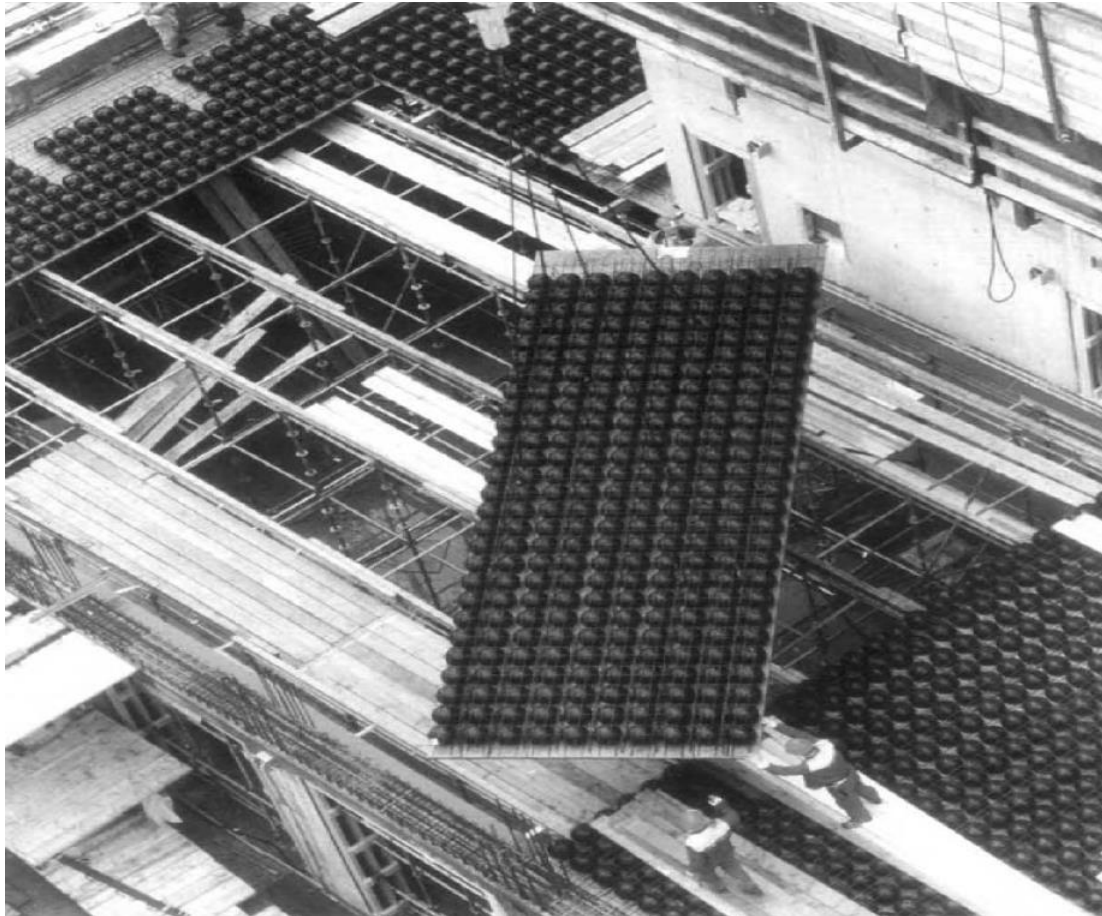
Τα σώματα πλήρωσης ελαφρού βάρους (π.χ συμπακνωμένο πολυστυρένιο) μερικές φορές τοποθετούνται στο άνω τμήμα των προπλακών για να μειώσουν το βάρος περίπου στο 25%, παρόλα αυτά, τα σώματα για εξοικονόμηση βάρους κοστίζουν παραπάνω από το σκυρόδεμα που αντικαθιστούν. Είναι σχετικά εύκολο να διαμορφώσουμε υπερμεγέθη κενά σε τέτοιο δάπεδο και να προσθέσουμε οπλισμό κατά την κατασκευή στο εργοτάξιο.

Η παραλλαγή σ' αυτό το θέμα εύστοχα ονομάστηκε **δάπεδο φυσαλίδων**, που φαίνεται στην εικόνα 2.15α, όπου πλαστικές σφαίρες (περίπου στο μέγεθος μπάλας ποδοσφαίρου) αποτελούν το μέσον εξοικονόμησης βάρους. Οι εν λόγω σφαίρες στήνονται στο εργοστάσιο μεταξύ δύο στρώσεων από συγκολλημένο μεταλλικό οπλισμό, ο κλωβός του οποίου κατασκευάζεται ρομποτικά. Παράγεται μια λεπτή οροφή από σκυρόδεμα στο εργοστάσιο και οι μονάδες μεταφέρονται με φορτηγά στο εργοτάξιο. Οι προκατασκευασμένες μονάδες δαπέδου παράγονται σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθών, με το μεγαλύτερο να είναι περίπου 6×3m, ζυγίζοντας μόλις 2.2 τόνους στο γάντζο του γερανού.

Η εικόνα 2.15β αποτυπώνει την ανύψωση μεγάλων πλακών δαπέδου στο *Millennium Tower*, του Ρότερνταμ, το 2000. Το πάχος του δαπέδου είναι ειδικά σχεδιασμένο να εξυπηρετεί τις απαιτήσεις της κατασκευής, αφού το δάπεδο μπορεί να σχεδιαστεί σαν συνεχές με την προσθήκη επί τόπου οπλισμού στο άνω τμήμα (και στο κάτω κάποιες φορές) πριν την επί τόπου σκυροδέτηση. Τα μεγάλα κενά στις διατομές των πλακών συνήθως αποφεύγονται, κάτι που βέβαια αφήνεται στην κρίση του μελετητή.



Εικ. 2.15α: Εγκάρσια διατομή χαρακτηριστικού δαπέδου με πλήρωση από φουσαλίδες.  
(Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)



Εικ. 2.15β: Δάπεδο φουσαλίδας ανελκόμενο στο Millennium Tower του Ρόττερνταμ  
(Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

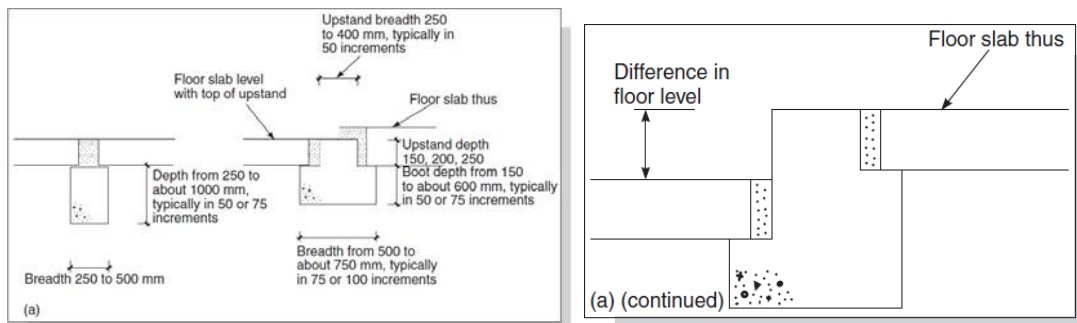
Καθένα από τα συστήματα κατασκευής που παρουσιάζονται παραπάνω, έχουν διαδοχικά αναδείξει τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα στη χρήση των προκατασκευασμένων δαπέδων από σκυρόδεμα, έναντι ανταγωνιστών όπως τα ξύλινα ή τα επί τόπου κατασκευασμένα δάπεδα. Τα προνόμια της προκατασκευής είναι:

1. Να παράγει μονάδες με εύκολο και οικονομικό τρόπο
2. Να ανελκύει το δάπεδο όσο πιο ασφαλή και άμεσα γίνεται
3. Να δημιουργεί ένα κατασκευαστικά ολοκληρωμένο προκατασκευασμένο δάπεδο και
4. Να χρησιμοποιεί την ελάχιστη δυνατή ποσότητα επί τόπου οπλισμού και σκυροδέματος

Ωστόσο, τα προνόμια αυτά αναμετρώνται με άλλα κριτήρια, που εξαρτώνται από την πρόσβαση στο εργοτάξιο, τις σχεδιαστικές απαιτήσεις της κατασκευής, τη διασύνδεση με άλλες αγορές, τη διαθεσιμότητα ακριβού ή φθηνού εργατικού δυναμικού, τις απαιτήσεις συντήρησης, κ.λπ. Συνεπώς, οι ειδικοί πρέπει να εξετάζουν όλες τις διαθέσιμες επιλογές.

## 2.3 Δοκοί από σκυρόδεμα

Οι δοκοί είναι τα κύρια οριζόντια φέροντα μέλη στις πλαισιακές κατασκευές. Είναι εξ' ορισμού μικρά, σχετικά, τμήματα πολύ ανθεκτικά σε **κάμψη (τυπικά 300-800kNm)** και σε **διάτμηση (100-500kN)**. Σε μια κατασκευή από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα, θα κληθούν κάποια στιγμή να υποστηρίξουν μόνες τους το ίδιο βάρος των πλακών του δαπέδου και συνεπώς θα πρέπει να είναι ικανές να αντισταθούν σε πιθανούς συνδυασμούς φορτίων που φέρει το προκατασκευασμένο οικοδόμημα. Εάν φερ' ειπείν υπάρχει στρέψη, στο πρώιμο στάδιο κατασκευής όλες οι μονάδες δαπέδου τοποθετούνται στη μία πλευρά της δοκού. Αυτό προϋποθέτει να αφήνεται περιθώριο και στη σχεδίαση της δοκού και στις ακραίες συνδέσεις των υποστλωμάτων.



Εικ. 2.16: Τύποι δοκών. (α) Εσωτερικές ορθογωνικής διατομής και ανεστραμμένους. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

Οι δοκοί χωρίζονται σε δύο διακριτές κατηγορίες, τις **εξωτερικές** και τις **εσωτερικές**. Οι εσωτερικές δοκοί φορτίζονται συμμετρικά, π.χ οι πλάκες δαπέδων εδράζονται και στα δύο άκρα των δοκών, και συνεπώς η δοκός είναι συμμετρική στην εγκάρσια διατομή της, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.16α. Το ελάχιστο πάχος ώστε να αυξηθεί ο ελεύθερος χώρος πάνω από το άνω τμήμα και να περιοριστεί η βύθιση της δοκού, ή το πάχος “κάτω περυγίου” που ορίζεται στην εικόνα, αποτελεί συχνά περιοριστικό κριτήριο. Γι' αυτό το λόγο, οι εσωτερικές δοκοί συχνά προεντείνονται για να μεγιστοποιήσουν την κατασκευαστική τους απόδοση. Για να ελαχιστοποιήσουμε το κάτω πέλμα, μέρος της δοκού ενδέχεται να ενσωματωθεί στο εσωτερικό της πλάκας δαπέδου, δημιουργώντας δοκό διατομής υποτιθέμενου “**ανεστραμμένου T**”. Οι εσωτερικές δοκοί συνήθως σχεδιάζονται σύνθετα, με την πλάκα δαπέδου να λειτουργεί σαν θλιβόμενο πέλμα.



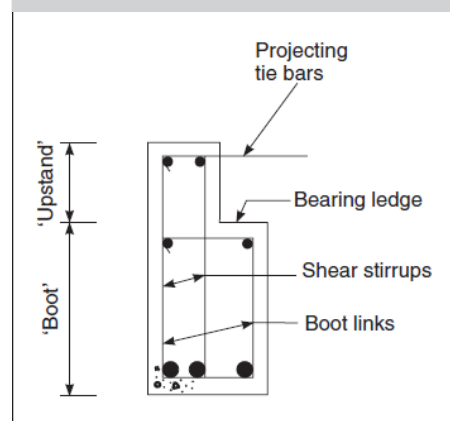
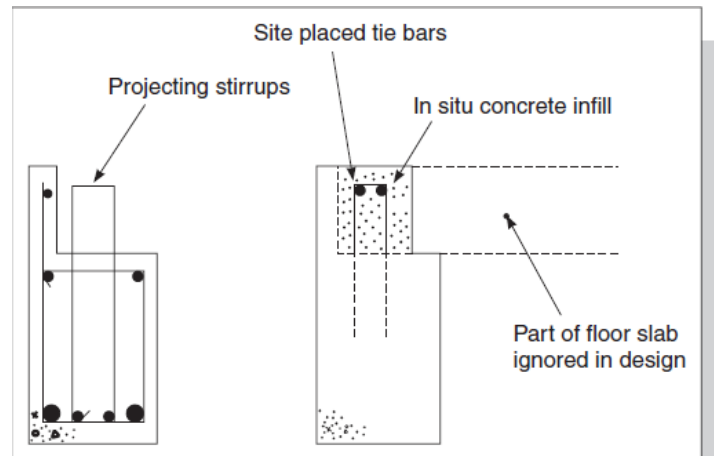


όμως για λόγους όμοιους με τους παραπάνω, σπάνια απαιτείται κάτι τέτοιο στην περίπτωση των εξωτερικών.

Οι εξωτερικές -ως προς το σημείο έδρασης- δοκοί φορτίζονται εκ φύσεως ασύμμετρα. Ας πάρουμε ως παράδειγμα τη δοκό διατομής **παχέως τυμπάνου** της εικόνας 2.17, όπου η στρέψη θα προκύψει όταν οι πλάκες δαπέδου καθίσουν στο άκρο του εφεδράνου, επειδή η πορεία δράσης του φορτίου δε συμπίπτει με το σημείο διάτμησης της δοκού. Συνεπώς η στρέψη πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στη σχεδίαση.



Εικ.2.17: Ακραία δοκός παχέως τυμπάνου προς υποστήριξη πλάκας διατομής διπλού T.



Εικ. 2.18: Ακραίες δοκοί διατομής L-μονολιθικής στήριξης (πάνω) και απλής στήριξης (κάτω).

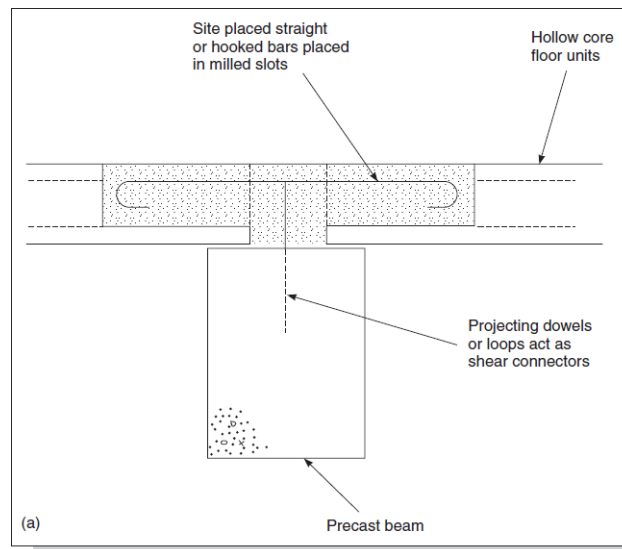
(Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

Οι ακραίες δοκοί σχήματος L υποστηρίζουν μη συμμετρικά φορτία πλάκας. Το τμήμα της δοκού που υποστηρίζει την πλάκα ονομάζεται **“μπότα”** και το κύριο πλέγμα είναι η **“προεξοχή”**.

Υπάρχουν δύο τύποι ακραίων δοκών, που φαίνονται στην εικόνα 2.18. Στο πρώτο, (κάτω) μέρος της διατομής είναι μια πλατιά προεξοχή, ενώ στο δεύτερο, μια στενή μπότα παρέχει ένα μόνιμο καλούπι και θεωρείται μονολιθικό με την επί τόπου σκυροδέτηση στα άκρα της πλάκας (πάνω).

Στις δοκούς σχήματος I, το ελάχιστο επιτρεπτό πλάτος της προεξοχής πρέπει να είναι περίπου  $b_w=150-175\text{mm}$ . Το προεξέχον πλάτος είναι το άθροισμα του ονομαστικού μήκους έδρασης της πλάκας (75mm), της καθορισμένης ανοχής (10mm) και του καθαρού ανοίγματος για επί τόπου σκυροδέτηση (50mm) και ως αποτέλεσμα προκύπτει ο αριθμός 135mm. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το ελάχιστο πλάτος μιας δοκού τύπου I θεωρείται  $b= 300\text{mm}$ . Το προκατασκευασμένο πλάτος της προεξοχής στις δοκούς δεύτερου τύπου είναι 75-100mm, και το ελάχιστο εύρος προσεγγιστικά 250mm. Το ελάχιστο ύψος διατομής συνήθως προσδιορίζεται από το μέγεθος του συνδέσμου στο άκρο της δοκού και θα μπορούσε να ισούται με το πάχος της πλάκας ( $h_s$ ) συν το ελάχιστο ύψος της μπότας των 150 mm.

Οι **οπλισμένες δοκοί με προκατασκευή** συχνά δρουν σύνθετα με τις πλάκες, με την εισαγωγή διατμητικών συνδέσμων σε κατάλληλα σημεία και με επιτόπου σκυροδέτηση. Στην εικόνα 2.19 παρουσιάζονται τυπικές λεπτομέρειες. Είναι σύνηθες, αλλά όχι υποχρεωτικό, να σχεδιάζονται σύνθετα μόνο οι εσωτερικές δοκοί, μιας και έχει παρατηρηθεί ανάγκη αύξησης της αντοχής των ακραίων δοκών κατ' αυτόν τρόπο.



Εικ. 2.19: Σημείο επαφής οπλισμού διάτμησης σε σύνθετες δοκούς. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE STRUCTURES”, Kim S. Eliot)

### 3. ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ

Ως προένταση ορίζεται η διαδικασία επιβολής θλιπτικών δυνάμεων σε μία κατασκευή σκυροδέματος πριν την επιβολή εξωτερικών φορτίων σε αυτή. Σκοπός της διαδικασίας είναι ο μηδενισμός ή σημαντική μείωση των εφελκυστικών τάσεων στο σκυρόδεμα, που θα προκληθούν από τα εξωτερικά φορτία. Ο σκοπός αυτός οφείλει να επιτευχθεί χωρίς να αυξάνονται οι θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα σε επίπεδο μεγαλύτερο από το επιτρεπόμενο.

Οι θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα θα πρέπει να ελέγχονται τακτικά μέσα στην “ιστορία της κατασκευής” για τυχόν υπέρβαση των καθορισμένων από τους κανονισμούς επιτρεπόμενων τάσεων θλίψης και εφελκυσμού αντίστοιχα.

Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται η **χάραξη των τενόντων**, ο **εξοπλισμός προέντασης** που **απαρτίζεται από τους σωλήνες περιβολής** για την προστασία των συρματόσχοινων, τη **σταθερή σύνδεσή τους** και την **αγκύρωσή τους**.



Εικ. 3.1: Εξοπλισμός προέντασης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

### 3.1 Κατηγορίες προέντασης

Η προένταση διακρίνεται σε κατηγορίες ανάλογα με:

- ✓ την κατάσταση του σκυροδέματος τη στιγμή της διαδικασίας,
- ✓ την πλευρά από την οποία γίνεται η τάνυση και
- ✓ το βαθμό προέντασης.

Ως προς την κατάσταση του σκυροδέματος έχουμε τις εξής κατηγορίες:

- Τάνυση γάλυβα μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος: Οι τένοντες βρίσκονται ελεύθεροι εντός των σωλήνων περιβολής τους και αγκυρώνονται στα άκρα του φορέα. Μετά την τάνυση και σφήνωση των τενόντων πραγματοποιείται τσιμεντένεση εντός των σωλήνων περιβολής.
- Τάνυση γάλυβα πριν την χύτευση του σκυροδέματος (σε προεντεταμένη κλίνη): Εδώ οι τένοντες δεν έχουν σωλήνες περιβολής, τανύονται πριν την χύτευση του σκυροδέματος και αγκυρώνονται σε σταθερά εξωτερικά στοιχεία αγκύρωσης. Μετά τη χύτευση και σκλήρυνση του σκυροδέματος απελευθερώνονται οι εξωτερικές αγκυρώσεις και η δύναμη προέντασης μεταφέρεται στο σκυρόδεμα μέσω συνάφειας τένοντα-σκυροδέματος.

Ως προς την πλευρά από την οποία γίνεται η τάνυση έχουμε:

- Μονόπλευρη προένταση για μήκη τενόντων έως ~40m.
- Αμφίπλευρη προένταση για μεγαλύτερα μήκη τενόντων.

Ως προς το βαθμό προέντασης:

- Πλήρης προένταση, όταν αποκλείεται η εμφάνιση εφελκυστικών τάσεων στο σκυρόδεμα σε οποιαδήποτε φάση της “ιστορίας της κατασκευής”.
- Περιορισμένη προένταση, όταν επιτρέπονται εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα, αλλά όχι μεγαλύτερες από την εφελκυστική του αντοχή.
- Μερική προένταση, όταν για τα μόνιμα φορτία οι εφελκυστικές τάσεις περιορίζονται μέχρι την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, αλλά για κάποιες σπανιότερες φορτίσεις (π.χ μέγιστο κινητό φορτίο) αναπτύσσονται μεγαλύτερες εφελκυστικές τάσεις, τις οποίες παραλαμβάνει χαλαρός οπλισμός.

### 3.2 Λεπτομέρειες προέντασης

Εφόσον η διαδικασία της προέντασης αποτελεί βασική παράμετρο στη στατική και δυναμική συμπεριφορά των προκατασκευασμένων μελών, δίνεται μεγάλη προσοχή στην εφαρμογή της. Στη συγκεκριμένη παράγραφο εξετάζονται οι λεπτομέρειες που αφορούν τη χρήση του εξοπλισμού της και τις απώλειές της.

Αναφορικά με τη **χάραξη των τενόντων προέντασης**:

- Μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή καμπύλη (δηλαδή με μεταβλητή εκκεντρότητα  $e_0$  του τένοντα προέντασης κατά μήκος του φορέα).
- Η καμπύλη χάραξη είναι γενικά πιο αποδοτική και επιπλέον ακολουθεί το διάγραμμα ροπών κάμψης λόγω κατακόρυφων φορτίων.

Όσον αφορά την **επικάλυψη των τενόντων**, οφείλει να εξασφαλίζεται επικάλυψη τουλάχιστον ίση με τη διάμετρο των σωλήνων και όχι μικρότερη των 4-5cm, ανάλογα με τη διαβρωτική επίδραση του περιβάλλοντος.

Ένα **σύστημα προέντασης** αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

1. Αγκυρώσεις: **Ενεργές** (σε άκρο όπου γίνεται τάνυση του χάλυβα) και **νεκρές** (σε άκρο που δε γίνεται τάνυση).
2. Γρύλοι προέντασης: Εμφελκούν και επιμηκύνουν τους τένοντες, συνήθως πρόκειται για υδραυλικούς γρύλους.
3. Σωλήνες περιβολής τενόντων. Προστατεύουν τους τένοντες από τη διάβρωση που προκαλεί η επαφή με το τσιμέντο.
4. Ράβδοι/σύρματα των τενόντων: Τοποθετούνται μέσα στους σωλήνες περιβολής.
5. Σύστημα τσιμεντένεσης τενόντων: Η τσιμεντένεση πραγματοποιείται μετά την επιβολή της προέντασης.

Όπως είναι φυσικό παρατηρούνται **απώλειες προέντασης**, καθώς η αρχική δύναμη προέντασης μειώνεται αμέσως μετά τη στιγμή της επιβολής της και συνεχίζει να μειώνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι απώλειες αυτές διακρίνονται σε **άμεσες** και **χρόνιες**, με τις πρώτες να οφείλονται σε τριβές, στην ολίσθηση στο σημείο αγκύρωσης και στην ελαστική βράχυνση του σκυροδέματος, και τις δεύτερες σε συστολή λόγω ξήρανσης, ερπυσμό και σε χαλάρωση του χάλυβα προέντασης.

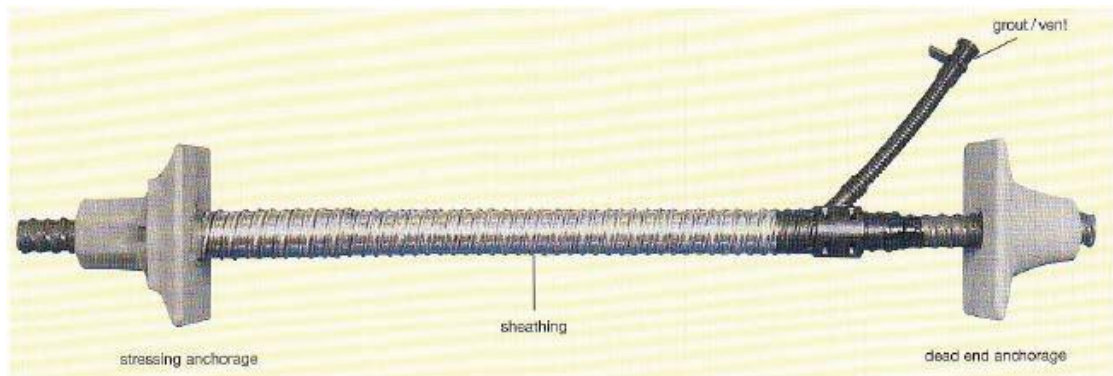
Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα να ελέγχονται οι τάσεις στις διατομές σκυροδέματος με μειωμένη τιμή της δύναμης προέντασης. Η μείωση αυτή εξαρτάται από τη στιγμή για την οποία γίνεται ο έλεγχος των τάσεων σε μια διατομή. Για παράδειγμα, για έλεγχο τάσεων αμέσως μετά την επιβολή της προέντασης, η μείωση οφείλεται μόνο στις στιγμιαίες απώλειες, που σε συνήθη έργα είναι της τάξεως του 8-10% της δύναμης προέντασης, ενώ για έλεγχο τάσεων σε “άπειρο χρόνο”, η μείωση

επηρεάζεται τόσο από τις στιγμιαίες, όσο και από τις χρόνιες απώλειες, που σε συνήθη έργα οι δεύτερες ανάγονται σε ποσοστό 10-12%.

Ακολουθούν εικόνες που περιγράφουν αναλυτικά τη βασική διαδικασία της προέντασης:



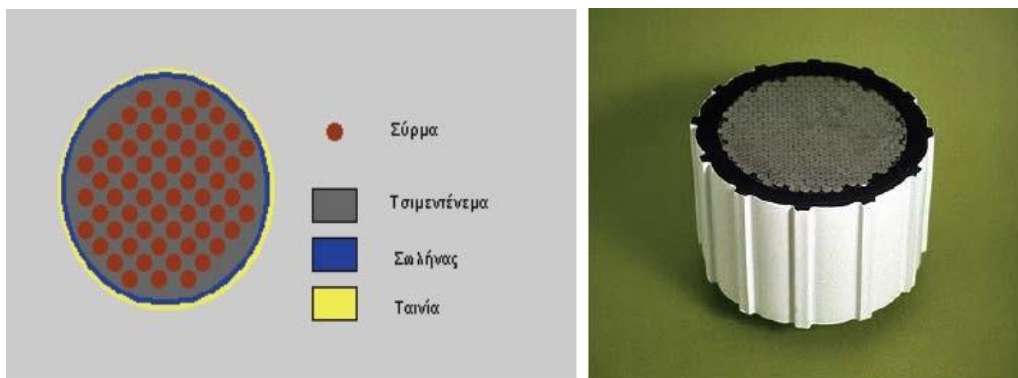
Εικ. 3.2: Σωλήνες περιβολής τενόντων. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



Εικ. 3.3: Χάλυβας προέντασης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



Εικ. 3.4: Συρματόσχοινα (Τένοντες). (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



Εικ. 3.5: Εγκάρσιες τομές καλωδίων αναρτημένων γεφυρών. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)





Εικ. 3.6: Τένοντες.

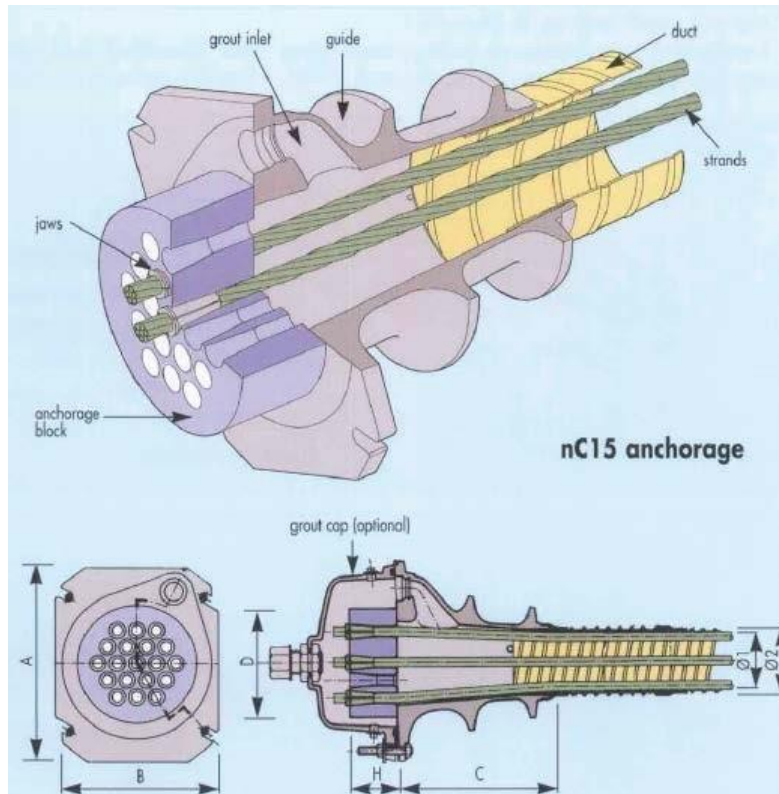


Εικ. 3.7: Προωθητής.

(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



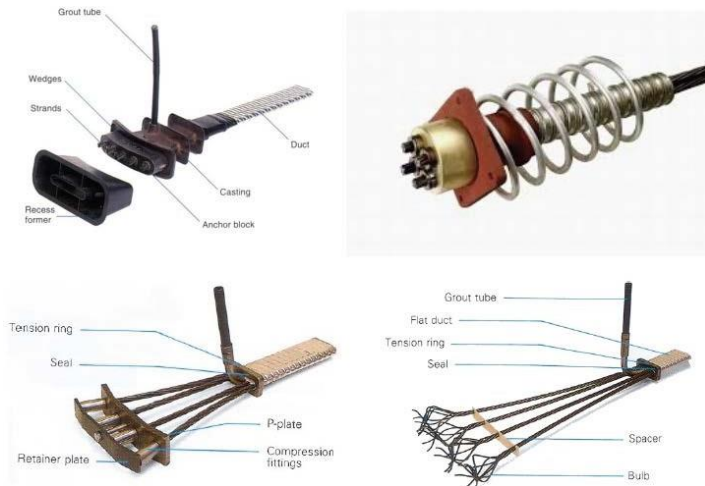
Εικ. 3.8: Συστήματα αγκύρωσης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



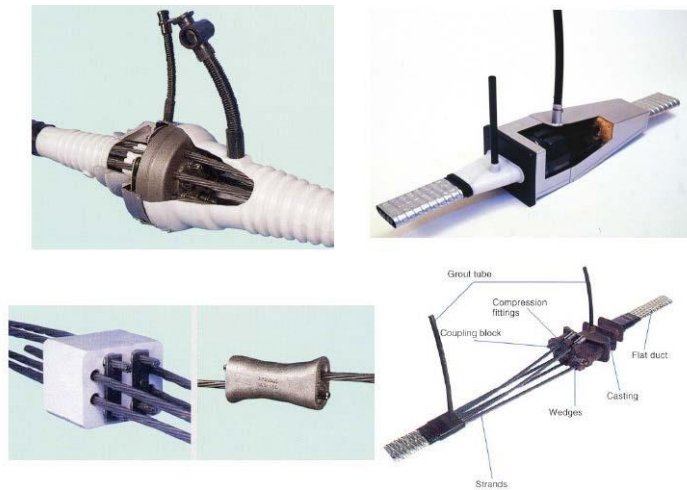
Εικ. 3.9: Εγκάρσια τομή τένοντα στο σημείο της αγκύρωσης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



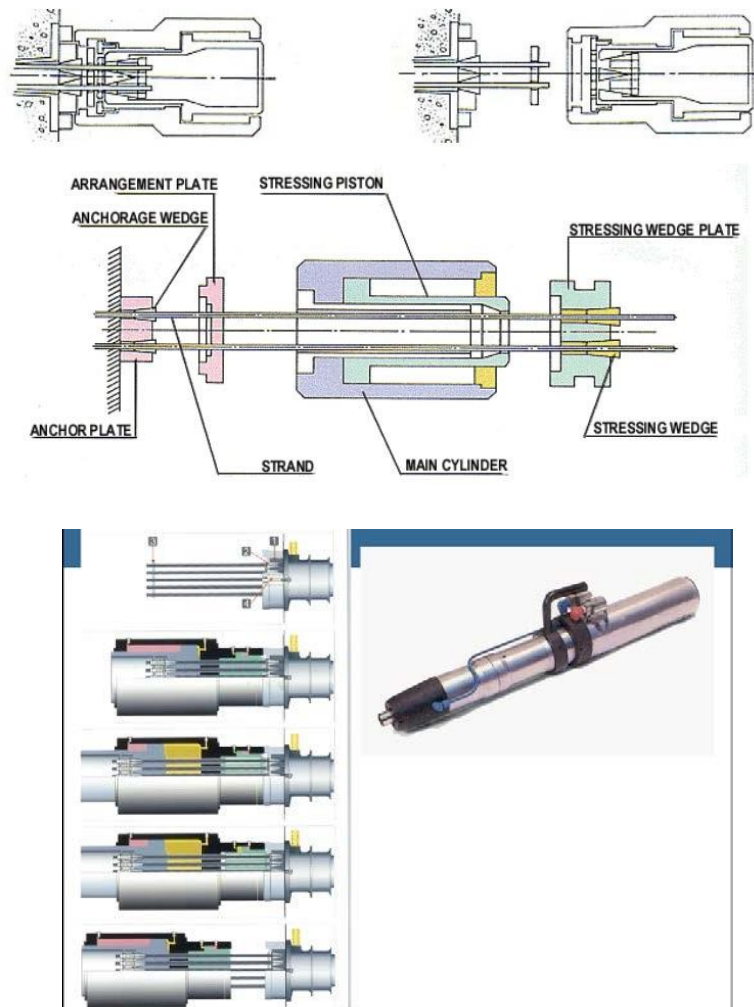
Εικ. 3.10: Πλάκα αγκύρωσης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



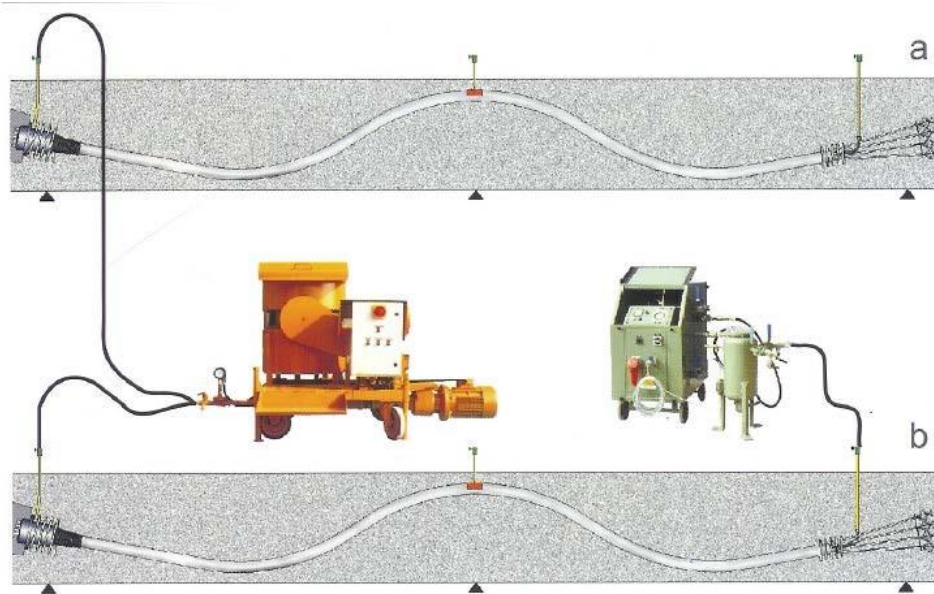
Εικ. 3.11: Ακραίες (νεκρές) αγκυρώσεις. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



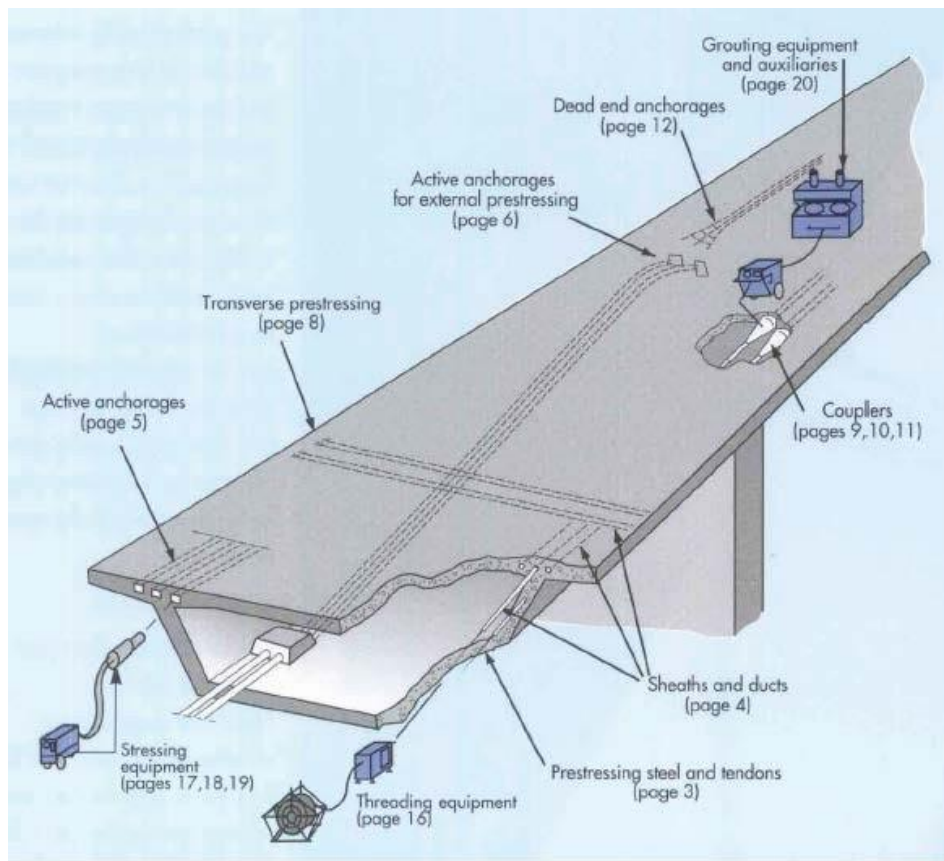
Εικ. 3.12: Συστήματα ένωσης μάτισης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



Εικ. 3.13: Μηχανή τάνσης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



Εικ. 3.14: Διαδικασία τιμεντένεσης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



Εικ. 3.15: Προεντεταμένη πλάκα καταστρώματος. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

### Διαδικασία προέντασης



Εικ. 3.16: Τένοντες στο στάδιο της τάνυσης. (Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

Η διαδικασία κατασκευής μιας προκατασκευασμένης δοκού σε προεντεταμένη κλίση εξελίσσεται στα ακόλουθα στάδια:

1. Τοποθέτηση χαλαρού οπλισμού, όπου τοποθετούμε το διαμήκη οπλισμό και τους συνδετήρες που θα δώσουν το σχήμα της δοκού (στην περίπτωση μας διατομής τύπου Ι).



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 2 Τοποθέτηση συρματόσχοινων.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 3. Κόψιμο συρματόσχοινων από το σημείο προεξοχής τους από την δοκό.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

4. Τοποθέτηση κλωβού στην κλίση.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

5. Τοποθέτηση συρματόσχοινων στις αγκυρώσεις.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)



## 6. Προένταση συρματόσχοινων.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 7. Σκυροδέτηση δοκού.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 8. Χαλάρωση αγκυρώσεων.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 9. Άνοιγμα κλίνης.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 10. Αφαίρεση δοκού από τον ξυλότυπο.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 11. Μεταφορά της δοκού στο σημείο προσωρινής αποθήκευσης.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 12. Κάλυψη τενόντων στα άκρα της δοκού.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 13. Τοποθέτηση δοκού στη γέφυρα.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## 14. Σκυροδέτηση καταστρώματος.



(Πηγή: “ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”, Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών)

## ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γέφυρες και οι οδογέφυρες είναι ένα σημαντικό τμήμα στα πλαίσια της διαδικασίας κατασκευής. Οι περισσότερες αναφορές σχετικά με τις εφαρμογές και τους κανονισμούς επί του σχεδιασμού και της εκτέλεσης, εστιάζουν γενικότερα σε πιο εντυπωσιακά έργα με μεγάλα ακραία ανοίγματα και δυσμενείς συνθήκες κατά την εκτέλεση. Ωστόσο, το μεγαλύτερο πλήθος γεφυρών αφορά κοινότυπες γέφυρες πάνω από **αυτοκινητόδρομους, σιδηρόδρομους και διελεύσεις υδάτων**. Χαρακτηρίζονται από μικρότερα ανοίγματα, περιορισμό της παρεμπόδισης κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της κατασκευής και, πάνω απ' όλα, από τον οικονομικό παράγοντα. Εδώ ακριβώς έγκειται η ύψιστη σημασία της προκατασκευής: **σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, ταχύτητα κατασκευής, αποφυγή ικριωμάτων, προαγωγή της εκβιομηχανισμένης παραγωγής**, κτλ. Βέβαια, το γνωστικό πεδίο τόσο των αρχών, όσο και των μελετητών πάνω στην προκατασκευή σύγχρονων γεφυρών, συχνά είναι περιορισμένο, με συνέπεια να παρατηρείται πλήθος αμφισβητήσεων με έμφαση στην αισθητική, τις δυνατότητες εξειδίκευσης και τις καινοτομίες. Όπως θα δούμε παρακάτω, ο όρος “προκατασκευασμένες γέφυρες” χρησιμοποιείται για το είδος των γεφυρών που κατασκευάστηκαν σε προσωρινά προκατασκευαστικά εργοτάξια.

Η κατασκευή και η εφαρμογή προκατασκευασμένων γεφυρών διαφέρουν κατά πολύ από χώρα σε χώρα: σε κάποιες όπως το Βέλγιο, ο Καναδάς, η Ιταλία, η Ισπανία, η Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, οι Ηνωμένες Πολιτείες κλπ, η προκατασκευή στις γέφυρες χρησιμοποιείται κατά κόρον, τη στιγμή που σε άλλες χώρες η μέθοδος είναι ελάχιστα διαδεδομένη ή ακόμα δε χρησιμοποιείται καν. Βέβαια, σε χώρες μακρινών ηπείρων, όπως για παράδειγμα στην Κίνα, γίνεται συχνή εφαρμογή της μεθόδου, χωρίς όμως επαρκή γνώση.

Η ανάπτυξη της μεθόδου οφείλεται κυρίως στη βιομηχανία προκατασκευής σε συνεργασία με δημοσιευμένα επιστημονικά συγγράμματα. Αρχικά, τα έργα βασίζονταν σε συστήματα δοκών με επί τόπου κατασκευή καταστρώματος σε καλούπι. Αργότερα, η εξέλιξη της μεθόδου οδήγησε σε πιο ολοκληρωμένα συστήματα προκατασκευής, όπως τις δοκούς κιβωτιοειδούς διατομής. Πρόσφατες εξελίξεις πλέον εστιάζουν σε:

- περισσότερη έμφαση στην αισθητική του έργου,
- μέλη μεγαλύτερου μεγέθους και βάρους,
- περιπτώσεις όπου απαιτείται ειδική αντιμετώπιση,
- συνολική προσφορά έργων, στα οποία ο υπεύθυνος επί της προκατασκευής είναι υπεύθυνος και για ολόκληρο το οικοδόμημα.

Η εξέλιξη στους γερανούς, παρουσιάζομενη ως σημείο εκκίνησης και συγκέντρωσης μεθόδων γενικότερα, συν την αύξηση του μήκους και της χωρητικότητας προς φόρτωση των οχημάτων μεταφοράς, έχουν προκαλέσει γιγαντιαία αύξηση δυνατοτήτων στην προκατασκευή, τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής σκοπιάς. Όλο αυτό έχει οδηγήσει στην ύπαρξη προκατασκευασμένων οικοδομημάτων που άνετα εκτείνονται σε περισσότερο από 10m.

Η πρόοδος που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην κατασκευή του εγκάρσιου τμήματος του καταστρώματος, χρησιμοποιώντας αντηριδωτά ικριώματα και εξαρτήματα κατά την προκατασκευή γενικότερα, έχουν καταστήσει δυνατή τη δημιουργία πολύ φαρδιών καταστρωμάτων με υψηλής αισθητικής δοκούς κιβωτιοειδούς μονοκυψελωτής διατομής.

Οι γέφυρες με προκατασκευασμένες δοκούς είναι οι πλέον κατάλληλες για μεσαία ανοίγματα, σε περιπτώσεις όπου η εφαρμογή των κλασικών ικριωμάτων στο έδαφος συναντά εμπόδια είτε είναι απρόσιτη οικονομικά και όπου η επίσπευση της ανέγερσης θεωρείται κρίσιμη:

- υδάτινο κώλυμα(=εμπόδιο),
- σιδηρόδρομος,
- επαρχιακές οδοί και αυτοκινητόδρομοι σε χρήση.

Η προκατασκευή παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, περισσότερα από τη συνήθη κατασκευή γεφυρών. Έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα βιομηχανικών προσεγγίσεων και ευνοϊκού εργασιακού περιβάλλοντος, προστατευμένου από δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Εδώ και πολλά χρόνια, το αντικείμενο έχει εναρμονιστεί με τις βασικές αρχές και μεθόδους που στοχεύουν στην τελειοποίηση της ποιότητας των προϊόντων προκατασκευής. Κάθε ομάδα μηχανημάτων έχει ένα σύστημα αυτοελέγχου, που καθορίζει τις λειτουργικές διαδικασίες και τα τμήματα εσωτερικής επιθεώρησης και ελέγχου. Μεταξύ των πολλών πλεονεκτημάτων, τα παρακάτω αφορούν συγκεκριμένα την κατασκευή γέφυρας:

- ποιότητα και ομοιομορφία στην αντοχή του σκυροδέματος,
- μέλη με περίτεχνα σχήματα, σχεδιασμένα να αποκομίσουν το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος από τα υλικά και την προκατασκευή. Απαιτούν τη χρήση σχετικά πολυσύνθετων καλουπιών, αλλά ταυτόχρονα επιτρέπουν να επιτευχθεί μια εμφάνιση υψηλής ποιότητας με σεβασμό στο σχήμα, την υφή, την ελευθερία διαστάσεων κλπ,
- απουσία κουραστικών και επιβραδυντικών ικριωμάτων,

- μειωμένος χρόνος κατασκευής λόγω του γεγονότος ότι τα προκατασκευασμένα μέλη κατασκευάζονται στο εργοστάσιο παράλληλα με τη θεμελίωση και τις άλλες επιτόπιες προπαρασκευαστικές εργασίες.

Ωστόσο, οι προκατασκευασμένες γέφυρες δέχονται κριτική ως προς:

- ✓ Τη γνώμη που εκλαμβάνεται από κάποιες περιπτώσεις, κατά τις οποίες η κατασκευή είναι αδιάφορη και άσχημη.
- ✓ Τον υπερβολικό αριθμό εγκάρσιων αρμών σε παλιότερες εφαρμογές, ειδικά στις κοιλαδογέφυρες, που προκαλεί βλάβες και προβλήματα στην συντήρηση.

Ένα άλλο ζήτημα αφορά την αποτελεσματικότητα της μεταφοράς των διατμητικών τάσεων στη σύνδεση του επί-τόπου κατασκευασμένου σκυροδέματος με τα στοιχεία προκατασκευής.

Στόχο της παρούσας ενότητας αποτελεί η λεπτομερή επισκόπηση των διαθέσιμων τρόπων αντιμετώπισης και εφαρμογών παγκοσμίως και των πρόσφατων εξελίξεων στον κλάδο των προκατασκευασμένων γεφυρών. Βάσει των παραπάνω, δίνεται η δυνατότητα στις αρχές και στους μελετητές να διαμορφώσουν μια ρεαλιστική άποψη για τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής και να ξεφύγουν από τυχόν εναπομείνουσες προκαταλήψεις.



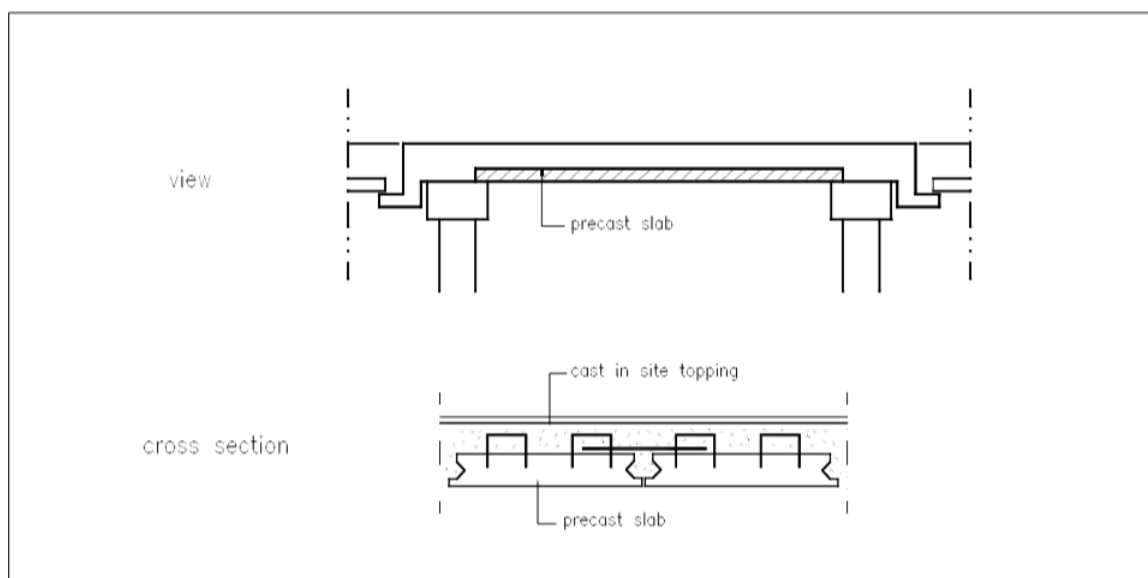
## 4. ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

### 4.1 Γέφυρες με συμπαγές κατάστρωμα

Τα καταστρώματα μικρής γέφυρας μπορούν να κατασκευαστούν με προκατασκευασμένα τεμάχια σε συνδυασμό με επί τόπου σκυροδέτηση, προσαρμοσμένα μαζί, σαν μια σύνθετη δομή. Η φύση της αντιμετώπισης αυτής οδηγεί σε βαριές, αλλά εύκολες στην ανέγερση κατασκευές. Γι' αυτό το λόγο, συνεχίζει να ισχύει για βραχύ-και σε κάποιες περιπτώσεις μεσαίου-ανοίγματος γέφυρες.

Για μικρά ανοίγματα περίπου 8 με 13m, μπορεί να επιλεγεί ως λύση μια **συμπαγής πλακοδοκός**. Η προκατασκευασμένη πλάκα έχει προσαρμοζόμενο πλάτος, για παράδειγμα 1200mm και πάχος από 150 έως 350mm. Οι πλάκες τοποθετούνται δίπλα-δίπλα και η κατασκευαστική επικάλυψη, κυμαινόμενη από 150 έως 200mm, κατασκευάζεται επί τόπου.

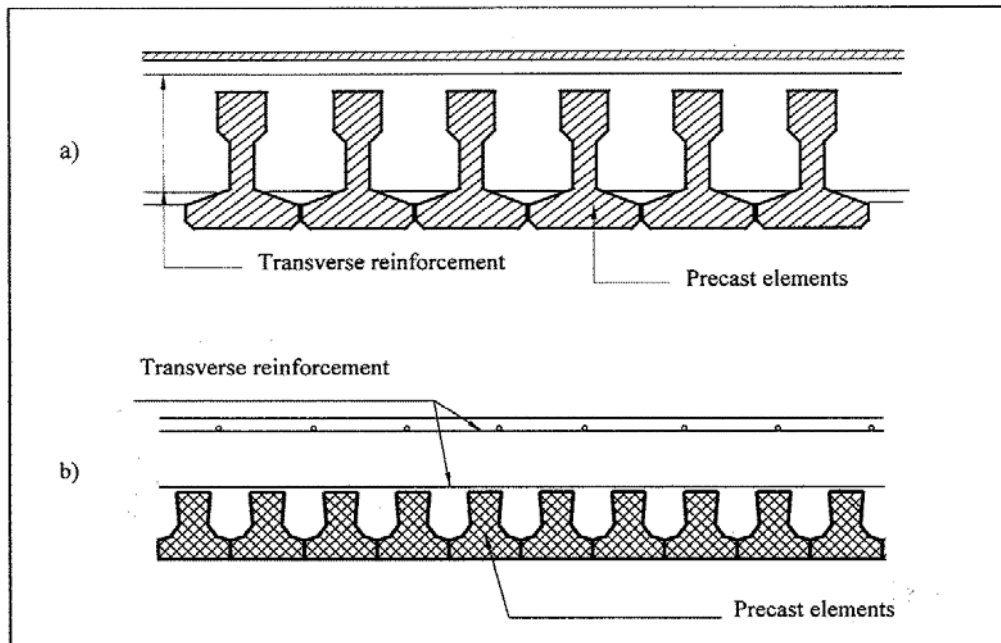
Οι προκατασκευασμένες πλάκες είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους προεντεταμένες και οι ράβδοι που προεξέχουν εξασφαλίζουν μια καλή σύνδεση με την κατασκευαστική επικάλυψη. Οι προσόψεις των κατά μήκος αρμών των πλακών δίνονται με μια επίσης κατά μήκος σχισμή, ώστε να “κλειδώσουν” στη διατομή. Το άκρο της γέφυρας, τυπικά, ολοκληρώνεται με την επί τόπου σκυροδέτηση ενός τμήματος μαζί με την επικάλυψη.



(Πηγή: “*PRECAST CONCRETE BRIDGES*”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Σε μια πιο εξειδικευμένη τεχνική, το κατάστρωμα συγκροτείται από **δοκούς σχήματος I, ανεστραμμένου T ή βαρείς συνδέσμους διπλού ταυ**, τοποθετημένους δίπλα-δίπλα και συνδεδεμένους με μια επί τόπου κατασκευασμένη επικάλυψη και σκυροδέτηση. Η πρόσθετη όπλιση του επί τόπου κατασκευασμένου μέρους συνιστά μια εγκάρσια όπλιση μεταξύ των κενών μέσα στο δίκτυο των δοκών και μια όπλιση πάνω από την επιφάνεια των δοκών. Το σύστημα αυτό είναι κατάλληλο για γέφυρες με μήκος ανοίγματος κατά προσέγγιση από 6 έως 20m. Το άκρο της γέφυρας μπορεί να υλοποιηθεί με μια προκατασκευη πλευρικά της διατομής ή με επί τόπου κατασκευή μιας πλάκας με προβολοδόμηση.

Η εικόνα 4.1 δείχνει συστήματα που χρησιμοποιούνται στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ολλανδία, την Ισπανία κλπ. Τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι γέφυρες μεγάλου βάρους, αλλά πολύ ανθεκτικές.



(Πηγή: "PRECAST CONCRETE BRIDGES", state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



(Πηγή: “*PRECAST CONCRETE BRIDGES*”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

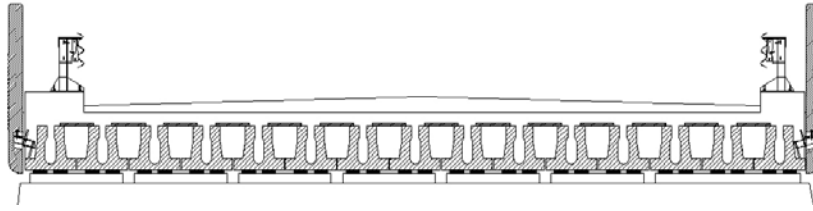


Εικ. 4.1: Προκατασκευασμένη πλάκα με επί τόπου πλήρωση. (Πηγή: “*PRECAST CONCRETE BRIDGES*”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

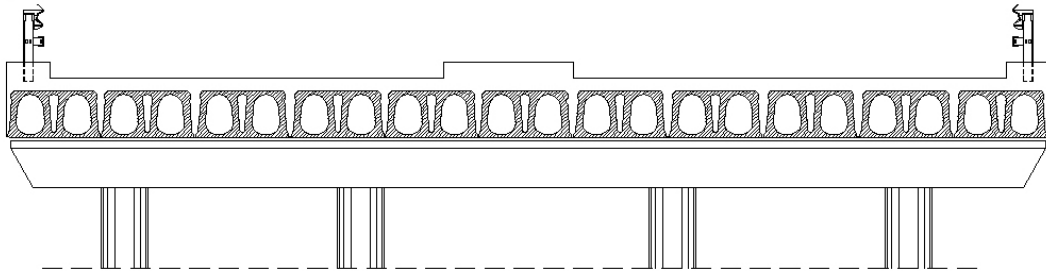
Μια νέα σειρά από προκατασκευασμένα προεντεταμένα μέλη μέχρι 1.0m ύψους και προσαρμοζόμενου πλάτους έως 1.2m στην παρούσα φάση παράγονται στην Ιταλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία με μηχανήματα έκχυσης σκυροδέματος σε κατασκευαστικές κλίνες μεγάλου μήκους. Οι εικόνες 4.2, 4.3 και 4.4 παρουσιάζουν τομές και παραδείγματα από γέφυρες μεταβλητών ανοιγμάτων, αποτελούμενες από δοκούς σκυροδέματος, με διατομή **ανεστραμμένου διπλού T** ή **μέλη κιβωτιοειδούς κυψέλης**, όμοια με πλάκες με κενά για γέφυρες με μήκος ανοίγματος μεταξύ 12 και 20m.

Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η δυνατότητα μαζικής παραγωγής, ο περιορισμένος εργασιακός φόρτος στο εργοστάσιο, η χαρακτηριστική μηχανική παραγωγή κούφιας πλακών. Οι γέφυρες πολλών ανοιγμάτων μπορούν να

σχεδιαστούν με πλήρη ή μερική συνέχεια καταστρώματος και με πιθανές εγκάρσιες δοκούς στις στηρίξεις και στα μέσα των ανοιγμάτων.



Εικ. 4.2: Εγκάρσια τομή γέφυρας με ζυγώματα τύπου ανεστραμμένου διπλού T. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



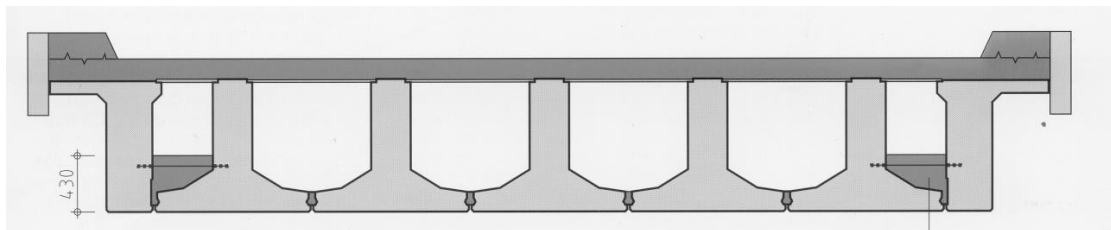
Εικ. 4.3: Εγκάρσια τομή γέφυρας με κιβωτιοειδείς προκατασκευασμένες πλάκες. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



Εικ. 4.4: Παραδείγματα γεφυρών με ζυγώματα τύπου ανεστραμμένου διπλού T. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

## 4.2 Γέφυρες με δοκούς

Οι γέφυρες με μεγάλα ζυγώματα αποτελούν τη βασική μέθοδο στην προκατασκευασμένη γεφυροποιία από τη δεκαετία του '60 και έπειτα. Το κατάστρωμα της γέφυρας συγκροτείται από αρκετές **δοκούς τύπου ανεστραμμένου T ή I**, τοποθετημένες σε συγκεκριμένη απόσταση. Τις δοκούς ενώνει μια **εγκάρσια διαφραγματική δοκός (διαδοκίδα)** σε κάθε στήριξη και μερικές φορές επιπλέον στη μέση του ανοίγματος, κάτι που εξαρτάται από το μήκος. Μετά το στήσιμο των δοκών και την τοποθέτηση των διαδοκίδων, η πλάκα του καταστρώματος κατασκευάζεται επί τόπου, συχνότερα με στεγανωτικό στόκο από σκυρόδεμα, που τοποθετείται πάνω σε μια εγκοπή στην άκρη των δοκών. Η άκρη των δοκών διαθέτει οπλισμό που προεξέχει για τη σύνδεση με την πλάκα του καταστρώματος. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται και για απλή στήριξη, αλλά και για συνεχείς γέφυρες. Το σύστημα με δοκούς ανεστραμμένου T είναι κατάλληλο για ανοίγματα που αγγίζουν το μήκος 15 με 45m (Εικ. 4.5 και 4.6). Το σύστημα αυτό επιτρέπει την κατασκευή γεφυρών με κλειστό το τμήμα του φορέα ανωδομής στο κάτω πέλμα των δοκών.



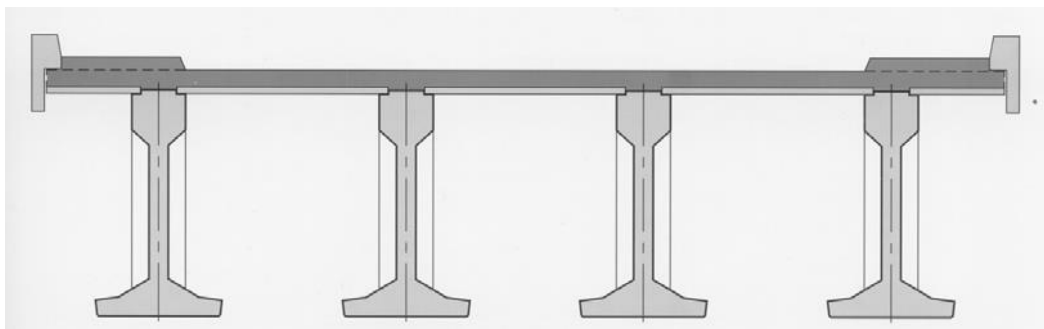
Τεχνική για να αυξηθεί η αντίσταση σε πλευρική σύγκρουση

Εικ. 4.5: Εγκάρσια τομή γέφυρας με δοκούς τύπου ανεστραμμένου T. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



Σχ. 4.6: Παράδειγμα οδογέφυρας πολλαπλών ανοιγμάτων με δοκούς τύπου ανεστραμμένου T. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Το σύστημα γέφυρας με δοκούς I είναι κατάλληλο για ανοίγματα μήκους μεταξύ σχεδόν 15 και 50m. Η απόσταση μεταξύ των μελών ποικίλει, συναρτήσσει του απαιτούμενου ανοίγματος/ισχύοντος φορτίου. Στις εικόνες 4.7-4.12 παρατίθενται παραδείγματα γεφυρών από δοκούς τύπου I σε διάφορες χώρες.



Εικ. 4.7: Εγκάρσια τομή γέφυρας με δοκούς σχήματος I. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



*Εικ. 4.8: Γέφυρα αυτοκινητοδρόμου υπό κατασκευή με προκατασκευασμένες δοκούς. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 4.9: Γέφυρα με ζυγώματα κατά την κατασκευή της πάνω από αυτοκινητόδρομο χωρίς παρεμπόδιση της κυκλοφορίας. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 4.10: Γέφυρα με δοκούς τύπου I πάνω από υδάτινο κώλυμα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 4.11: Προκατασκευασμένη γέφυρα πάνω από υδάτινο κώλυμα με πολυγωνικό κατά μήκος προφίλ διατομής. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*





*Εικ. 4.12: Δοκός τύπου I κατά την ανύψωσή της. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

### **4.3 Γέφυρες δοκών κιβωτιοειδούς διατομής**

Το σύστημα αποτελείται από προεντεταμένες **δοκούς μορφής κιβωτίου**. Το κατάστρωμα της γέφυρας συγκροτείται από μια **σειρά κιβωτιοειδών δοκών**, τοποθετημένων δίπλα-δίπλα ή σε μικρή απόσταση. Μετά την ανύψωση, το εργοτάξιο περιορίζεται στην πλήρωση των κατά μήκος αρμών και την κατόπιν φόρτιση της γέφυρας. Ο λόγος λυγηρότητας είναι της τάξεως του 30, ωστόσο, έχουν ήδη κατασκευαστεί ανοίγματα 50m με κιβωτιοειδείς δοκούς ύψους 1.5m. Για συνδέσεις επί τόπου κατασκευασμένων διατομών στο άκρο, κατασκευές αρμών, διαμορφωτές κλπ, διατίθενται προεξέχουσα ενίσχυση στο εσωτερικό των δοκών.



*Εικ. 4.13: Δοκός κιβωτιοειδούς μορφής. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

Το παρακάτω σύστημα χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην Αυστραλία για γέφυρες με άνοιγμα περίπου 45m και τα μέλη αποκαλούνται **δοκοί τέλειου T**. Στην κατασκευή καταστρωμάτων χρησιμοποιείται επίσης μια **δοκός κιβωτιοειδούς διατομής με αναχίλωση(πατούρα)**. Λεπτομέρειες σχετικά με τα στοιχεία, την ανέγερση και τις ολοκληρωμένες γέφυρες δίνονται στις εικόνες 4.14, 4.15 και 4.16.



*Εικ. 4.14: Δοκοί τέλειου T στον χώρο προσωρινής αποθήκευσης και κατά την ανύψωσή τους, πριν από τη συναρμογή τους με το κατάστρωμα της γέφυρας. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



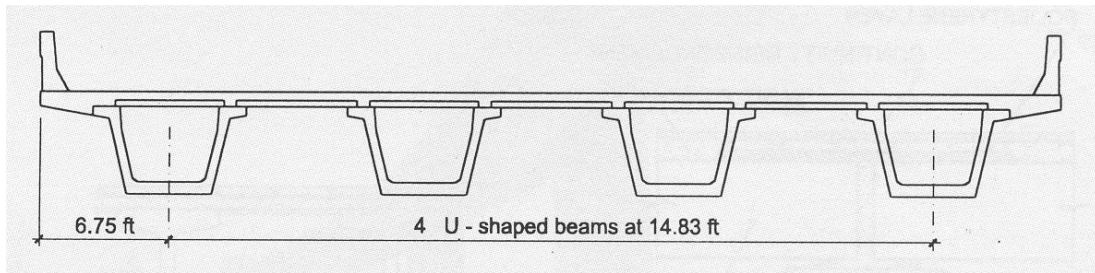
*Εικ. 4.15: Παράδειγμα γέφυρας δοκών τέλειου T, Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

Μια διαφορετική εκδοχή δοκών κιβωτιοειδούς διατομής χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο αναχίλωμα στο κάτω μέρος. Το σύστημα έχει επινοηθεί για γέφυρες με κλειστό υποκατάστρωμα. Η επί τόπου κατασκευή της άνω πλάκας γίνεται με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και για γέφυρες από δοκούς τυπικής κιβωτιοειδούς διατομής.



*Εικ. 4.16: Παράδειγμα δοκών κιβωτιοειδούς διατομής με αναχίλωση κάτω μέρους για γέφυρες με κλειστό υποκατάστρωμα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

Μια τρίτη εναλλακτική τεχνική για κιβωτιοειδείς δοκούς αποτελείται από προκατασκευασμένα **στοιχεία μορφής U**, που τοποθετούνται κάτω από κατάστρωμα προκατασκευασμένων πλακών και ολοκληρώνονται με μια επί τόπου κατασκευαστική επικάλυψη, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.17.



Εικ. 4.17: Προκατασκευασμένα μέλη σχήματος U με επιτόπια κατασκευή πλάκας καταστρώματος. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



Εικ. 4.18: Γέφυρα με δοκούς μορφής U κατά την ανέγερσή της. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



*Εικ. 4.19: Ανέγερση γέφυρας διπλής λωρίδας κιβωτιοειδούς διατομής. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

Η εικόνα 4.19 παρουσιάζει έναν συνδυασμό διαμήκων δοκών κιβωτιοειδούς διατομής και εγκάρσιων αμφιπροέχοντων τμημάτων για την κατασκευή του καταστρώματος.

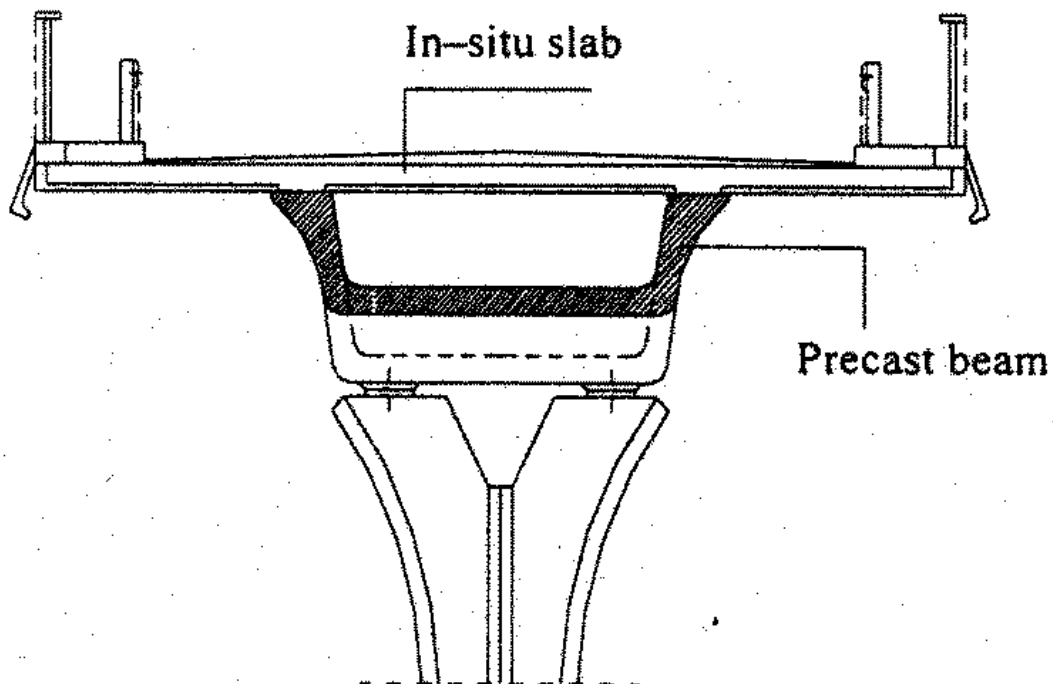
#### **4.4 Γέφυρες διατομής μονής κιβωτιοειδούς κυψέλης**

Στο πέρασμα των τελευταίων δεκαετιών, αναπτύχθηκαν νέα συστήματα για μεγάλα ανοίγματα και σύνθετες γέφυρες, ιδιαίτερα στην Ισπανία. Η γέφυρα *απαρτίζεται* από μια μεγάλη δοκό τραπεζοειδούς διατομής με προβολοδόμηση ή υποστηρικτική πλάκα καταστρώματος κατασκευασμένη επί τόπου. Οι γέφυρες μπορούν να σχεδιαστούν σαν ολόσωμες κατασκευές, με ανοίγματα από 90m και πάνω. Για λόγους χειρισμού και μετακίνησης, το μέγεθος των δοκών μονής κυψέλης περιορίζεται χονδρικά στα 45m. Όταν απαιτούνται μεγάλου μήκους ανοίγματα, η γέφυρα κατασκευάζεται με διαφορετικές δοκούς, που την κάνουν ολόσωμη με φόρτιση κατόπιν σκυροδέτησης της κατασκευής. Οι δοκοί συνήθως τοποθετούνται πάνω σε προσωρινές στηρίξεις και αργότερα συνδέονται μεταξύ τους. Πρόκειται για μια μη διακοπτόμενη διαδικασία κατασκευής, κατά την οποία κάθε φάση πρέπει να εκτελείται προσεκτικά.

Η κατασκευή υπολογίζεται να *απαρτίζεται* από προκατασκευασμένα ή επί τόπου κατασκευασμένα μέλη σκυροδέματος, καθιστώντας εύκολη τη συντήρηση ακόμα και σε δυσμενείς συνθήκες.

Μετά την ανέγερση, οι προεντεταμένες δοκοί με προκατασκευή μπορεί να χρειάζονται πρόσθετη φόρτιση με καλώδια για προένταση κατόπιν σκυροδέτησης. Οι πρόσθετοι τένοντες προέντασης μπορούν να τοποθετηθούν είτε εντός της εγκάρσιας τομής της δοκού, είτε εξωτερικά αυτής. Στις συνδέσεις μεταξύ των δοκών χρησιμοποιούνται επίσης προφορισμένες ράβδοι.

Αυτό το είδος γεφυρών μπορεί να αποτελείται από πιο σύνθετο τρόπο δομής προκατασκευασμένων γεφυρών, αλλά το σύστημα επιτρέπει την κατασκευή μεγαλύτερων ανοιγμάτων από αυτά με κλασικές δοκούς (είτε με απλής στήριξης, είτε μονολιθικής). Μέχρι τώρα έχουν κατασκευαστεί αρκετές γέφυρες με ανοίγματα που κυμαίνονται μεταξύ 50 και 90m.



Εικ. 4.20: Εγκάρσια τομή σε γέφυρα κιβωτιοειδούς διατομής μονής κυψέλης. (Πηγή: "PRECAST CONCRETE BRIDGES", state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Το εν προβόλω τμήμα του καταστρώματος κατασκευάζεται είτε επί τόπου μαζί με την υπόλοιπη πλάκα καταστρώματος, είτε διαμορφώνεται με προκατασκευασμένες πλάκες, που υποστηρίζονται από προκατασκευασμένα χιαστί μέλη από σκυρόδεμα ή

χαλύβδινα δικτυώματα. Οι ακόλουθες εικόνες παρουσιάζουν παραδείγματα από γέφυρες κιβωτιοειδούς διατομής μονής κυψέλης.



*α. Πλάκα εν προβόλω*

*β. Πλάκα σε υποστήριγμα*

*Εικ. 4.21: Παραδείγματα από γέφυρες κιβωτιοειδούς διατομής μονής κυψέλης. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 4.22: Γέφυρες κιβωτιοειδούς διατομής μονής κυψέλης με προκατασκευασμένο κατάστρωμα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 4.23: Γέφυρα κιβωτιοειδούς διατομής μονής κυψέλης με εν προβόλο πλάκα καταστρώματος. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

Οι προκατασκευασμένες γέφυρες μονής κιβωτιοειδούς διατομής με καμπύλο υποκατάστρωμα είναι όμοιες με τις συνήθεις γέφυρες μονής κιβωτιοειδούς διατομής, μόνο που οι δοκοί κατασκευάζονται σε ειδικά καλούπια για να επιτευχθεί το καμπύλο σχήμα. Κανονικά, η προφόρτιση δε χρησιμοποιείται και αντικαθίσταται από φόρτιση κατόπιν κατασκευής, ώστε να εναρμονιστεί στην καμπυλωτή διαμόρφωση. Οι γέφυρες μονής κιβωτιοειδούς διατομής με καμπύλο υποκατάστρωμα συνήθως κατασκευάζονται με δομική συνέχεια και ανοίγματα που μπορεί να φτάσουν πάνω από 50m.



*Εικ. 4.24: Προκατασκευασμένη γέφυρα κιβωτιοειδούς διατομής μονής κυψέλης με μεσόβαθρο μορφής V και μεταβλητό ύψος καταστρώματος. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*





*Εικ. 4.25: Προκατασκευασμένη γέφυρα κιβωτιοειδούς διατομής μονής κυψέλης με μεταβλητό ύψος και πλάκα εν προβόλω. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

#### **4.5 Καμπυλωτές γέφυρες κιβωτιοειδών δοκών**

Από το 1995 οι προεντεταμένες δοκοί κιβωτιοειδούς διατομής έχουν αναπτυχθεί από ειδικούς στην προκατασκευή για να ανταπεξέλθουν στις αυξανόμενες απαιτήσεις προς επίτευξη βελτιωμένης αισθητικής. Η δυστρεψία των δοκών κιβωτιοειδούς μορφής ταιριάζει πολύ σε γέφυρες με διαμήκη καμπυλότητα. Προς το παρόν η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στην Ισπανία, την Ολλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Η ακτίνα ποικίλει από 200m μέχρι το ελάχιστο 100m. Κατά την παραγωγή, η δύναμη εκτροπής των τενόντων παραλαμβάνεται από έναν ειδικό εξοπλισμό που συνδέεται στη βάση του καλουπιού.



*Εικ. 4.26: Καμπύλα ζυγώματα κιβωτιοειδούς δοκού και γέφυρα πάνω από μετρό. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 4.27: Γέφυρες ανωδιάβασης με καμπύλες δοκούς κιβωτιοειδούς διατομής. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

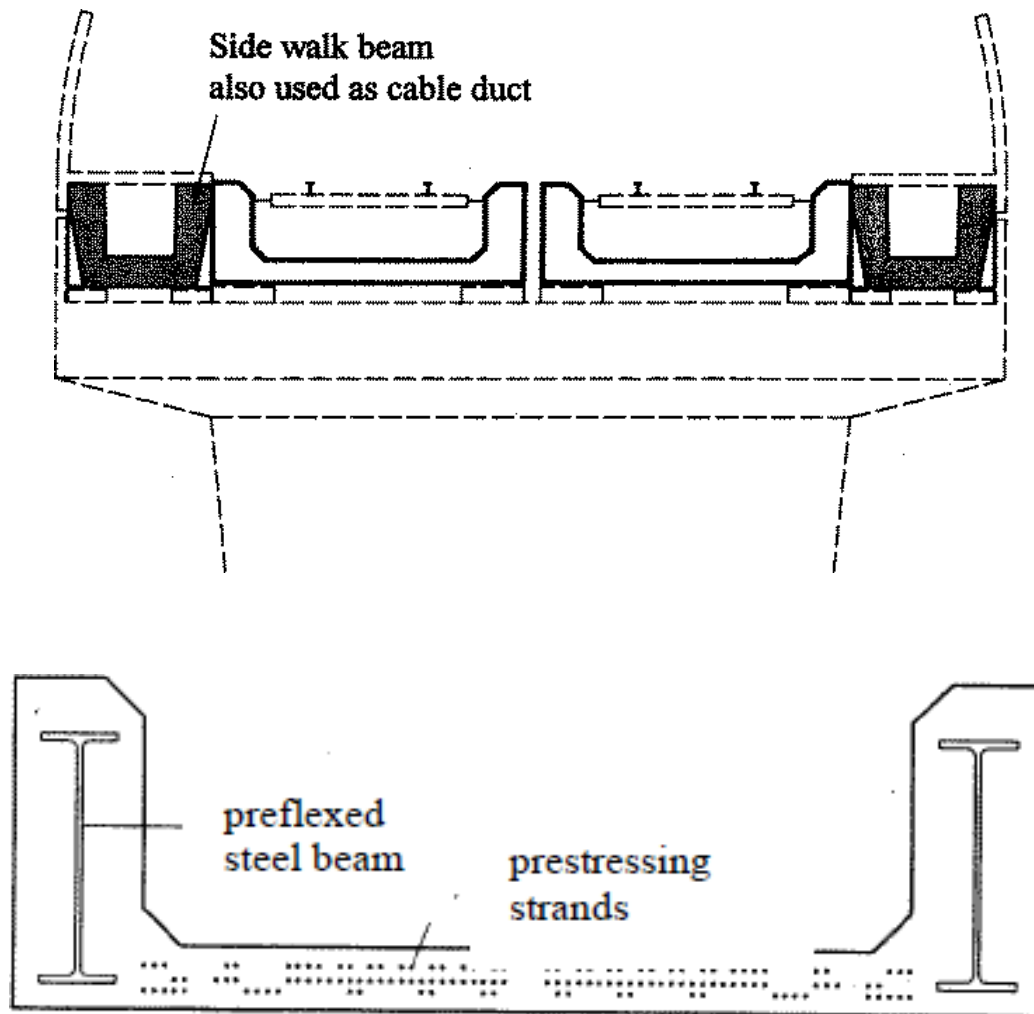


*Εικ. 4.28: Παραδείγματα προκατασκευασμένων καμπύλων γεφυρών. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

#### **4.6 Γέφυρες μορφής σκάφης**

Νέοι τύποι καταστρωμάτων που χαρακτηρίζονται από μικρό κατασκευαστικό ύψος και πάχος διατομής, έχουν αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία για την κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών στο Βέλγιο, που φιλοξενούν τους νέους συρμούς μεγάλης ταχύτητας.

Τα μέλη σκαφοειδούς μορφής είναι κατά βάση σύνθετες κατασκευές με χαλύβδινο προφίλ διατομής στα άκρα. Η κάτω πλάκα των μελών είναι προεντεταμένη με μεγάλο αριθμό συρματόσχοινων. Οι προκαμπυλωμένες διατομές χάλυβα πιέζονται προς τα κάτω πριν την κατασκευή της κάτω πλάκας. Μετά τη στερεοποίηση σκυροδέματος της κάτω πλάκας, στην οποία βρίσκονται τα αναχειλώματα των χαλύβδινων ράβδων, οι κατακόρυφες δυνάμεις που δρουν πάνω σ' αυτές απελευθερώνονται και η δύναμη προέντασης εφαρμόζεται σταδιακά.



(Πηγή: "PRECAST CONCRETE BRIDGES", state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



*Εικ. 4.29: Γέφυρες σκαφοειδούς μορφής για σιδηροδρομική γραμμή. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

Ένα άλλο παράδειγμα γέφυρας σε μορφή σκάφης δίνεται στην εικόνα 4.29 και αφορά ένα σιδηρόδρομο σε κοιλαδογέφυρα. Οι γραμμές καθίστανται στο βάθος του κοιλώματος, επιτρέποντας έτσι μια κομψότερη σχεδίαση για το έργο. Έχουν επίσης κατασκευαστεί ελάχιστες γέφυρες σκαφοειδούς μορφής σε σχηματισμό αψίδας.

#### **4.7 Γέφυρες τμηματικής κατά μήκος κατασκευής**

Τα προκατασκευασμένα τμήματα καταστρώματος χρησιμοποιούνται τακτικά στην προβολοδόμηση για γέφυρες μεγάλου ανοίγματος. Τα τμήματα περιλαμβάνουν το συνολικό πλάτος της γέφυρας και το μήκος των μελών είναι ανάλογο με το βάρος τους και τα μέσα μεταφοράς και ανύψωσης. Τα μεγάλα τμήματα προκατασκευάζονται συνήθως στις εγκαταστάσεις, υπάρχουν ωστόσο αξιόλογα παραδείγματα μεγάλων γεφυρών με προκατασκευασμένα τμήματα εργοστασιακής παραγωγής (Εικ. 4.30 και 4.31). Για μικρότερα έργα, όπως για παράδειγμα κοιλαδογέφυρες εντός αστικού κέντρου, τα τμήματα συχνά κατασκευάζονται σε μόνιμα προκατασκευαστικά εργοστάσια. Ένα από τα πλεονεκτήματα έγκειται στη μεγάλη γραμμή παραγωγής. Στο μεγαλύτερο μέρος της η ανέγερση ολοκληρώνεται πάνω σε ένα προσωρινό κρύωμα και, μετά την πλήρωση των εγκάρσιων αρμών, τα μέλη τανύζονται στη διαμήκη διεύθυνση.



Εικ. 4.30: Διαχωρισμένη γέφυρα για πρόσβαση σε σιδηρόδρομο. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



Εικ. 4.31: Γέφυρες με προκατασκευασμένα τμήματα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Κατά την ανέγερση γέφυρας με προκατασκευή, κάποιες φορές χρησιμοποιούνται επιπλέον διαμήκη τμήματα. Αφορά απλές ή κιβωτιοειδείς δοκούς για γέφυρες μεγάλου ανοίγματος, με αρκετά προκατασκευασμένα τμήματα εξαιτίας των περιορισμών στη μεταφορά και την ανύψωση. Τα τμήματα συναρμολογούνται επί τόπου κατόπιν τάνυσης πριν την ανέγερση. Παραδείγματα τέτοιων γεφυρών δίνονται ήδη στις εικόνες 4.24 και 4.25.

#### 4.8 Καλωδιωτές γέφυρες

Κατά την κατασκευή γέφυρας με προκατασκευή, είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε καλώδια για να καταφέρουμε μεγαλύτερα ανοίγματα. Ανοίγματα μήκους έως 400m μπορούν να επιτευχθούν με **προκατασκευασμένα καταστρώματα** σε καλωδιωτές γέφυρες.

Τα προκατασκευασμένα καταστρώματα μπορούν να σχεδιαστούν για **δύο σειρές καλωδίων με μια κιβωτιοειδή δοκό** κάτω από κάθε σειρά. Είναι επίσης εφικτό να σχεδιάσουμε ένα κατάστρωμα με **μονή σειρά καλωδίων κιβωτιοειδών δοκών**

μονής ή διπλής κυψέλης, συνδεόμενες μέσω μια εγκάρσια δοκού σε κάθε αγκύρωση των καλωδίων. Για μικρότερα ανοίγματα, έως 120m, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλοι τύποι προκατασκευασμένων γεφυρών.



Εικ. 4.32: Προκατασκευασμένη καλωδιωτή γέφυρα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

#### 4.9 Ιδιαίτερες προκατασκευασμένες γέφυρες

Επιπρόσθετα στις τυπικά λιγότερο ή περισσότερο καθιερωμένες γέφυρες, παρατηρείται ανάπτυξη ως προς τις μοναδικές ιδέες, που αφορούν τη σχεδίαση συγκεκριμένων γεφυρών.

- **Τοξωτές γέφυρες**

Γέφυρες σε πυκνοκατοικημένες περιοχές συχνά σχεδιάζονται με ιδιαίτερη προσοχή στην αισθητική εικόνα και παράδοση. Τα ακόλουθα παραδείγματα παρουσιάζουν τον τρόπο με τον οποίο το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα έχει ανταποκριθεί στις απαιτήσεις. Στην εικόνα 4.33 το **κεντρικό τόξο κατασκευάστηκε από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής.**



Εικ. 4.33 και 4.34: Προκατασκευασμένες τοξωτές γέφυρες. (Πηγή: “*PRECAST CONCRETE BRIDGES*”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))



Εικ. 4.35: Καμπύλες δοκοί γέφυρας. (Πηγή: “*PRECAST CONCRETE BRIDGES*”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

- **Γέφυρες με μεταβλητό ύψος**

Οι παρακάτω εικόνες απεικονίζουν παραδείγματα από μοναδικά σχεδιασμένες γέφυρες, δομημένες με προκατασκευασμένες δοκούς από σκυρόδεμα και κατάστρωμα που κατασκευάστηκε επί τόπου. Οι δοκοί μορφοποιήθηκαν μέσα σε καλούπια, φτιαγμένα ειδικά για το συγκεκριμένο έργο.



*Εικ. 4.36: Προκατασκευασμένη γέφυρα με μεταβλητό ύψος κατασκευής. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 4.37: Προκατασκευασμένη γέφυρα με καμπύλες δοκούς. Η κατασκευή των ακροβάθρων έλαβε χώρα επί τόπου με λιθοδομή και υποστηρίζεται από την αναχίλωση στο κάτω μέρος της προκατασκευασμένης δοκού. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



- **Γέφυρες διώρυγας**

Αρκετά παραδείγματα γεφυρών διώρυγας έχουν κατασκευαστεί με προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, όπως αυτό της εικόνας 4.38.



Εικ. 4.38: Γέφυρα διώρυγας. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

- **Πεζογέφυρες**

Υπάρχουν πολλά αξιόλογα δείγματα από προκατασκευασμένες πεζογέφυρες, από μικρά μέχρι μεγάλα ανοίγματα.



Εικ. 4.39: Καλωδιωτές πεζογέφυρες. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

- **Γέφυρες με ιδιαίτερους βιομηχανικούς στόχους**

Οι προκατασκευασμένες δοκοί χρησιμοποιούνται επίσης ως μάντες μεταφοράς και για άλλες χρήσεις.



*Εικ. 4.40: Γέφυρα ως μάντας μεταφοράς. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

#### **4.10 Συστήματα οχετών και στοών**

Υπάρχουν διάφοροι τύποι προκατασκευασμένων οχετών. Οι πιο κλασσικοί από αυτούς είναι οι **κιβωτιοειδούς μορφής**, οι οποίοι συχνά προτιμώνται για μικρές υπόγειες διαβάσεις και σήραγγες.



Εικ. 4.41: Παραδείγματα οχετών κιβωτιοειδούς μορφής υπογείων διαβάσεων γέφυρας. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Ένα άλλο είδος αφορά τους **θολωτούς οχετούς ή στοές**. Οι στοές απαρτίζονται από **καμπύλες ή πολυγωνικές** οδηγήτριες κατασκευές διαφορετικών τύπων, που χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες ανάλογα με τη λειτουργικότητα του σχεδίου τους:

- I. Ένα τόξο σε απλή στήριξη πάνω σε δύο πλευρικά τοιχώματα που ενώνονται από μια κάτω πλάκα.
- II. Ένα τόξο σε απλή στήριξη πάνω σε δύο πλευρικά τοιχώματα που στηρίζονται πάνω σε δύο απομονωμένες βάσεις.
- III. Θολωτή κατασκευή με δύο μέλη, κοινώς γνωστές ως τριαρθρωτές. Οι συνδέσεις στις θεμελιώσεις είναι μονή άρθρωση και το θεμέλιο μπορεί να είναι κοιτόστρωση ή βάση.
- IV. Θολωτή κατασκευή ενός στοιχείου, που μπορεί να παραμείνει σταθερό πάνω στα θεμέλια ή διαρθρωτά.

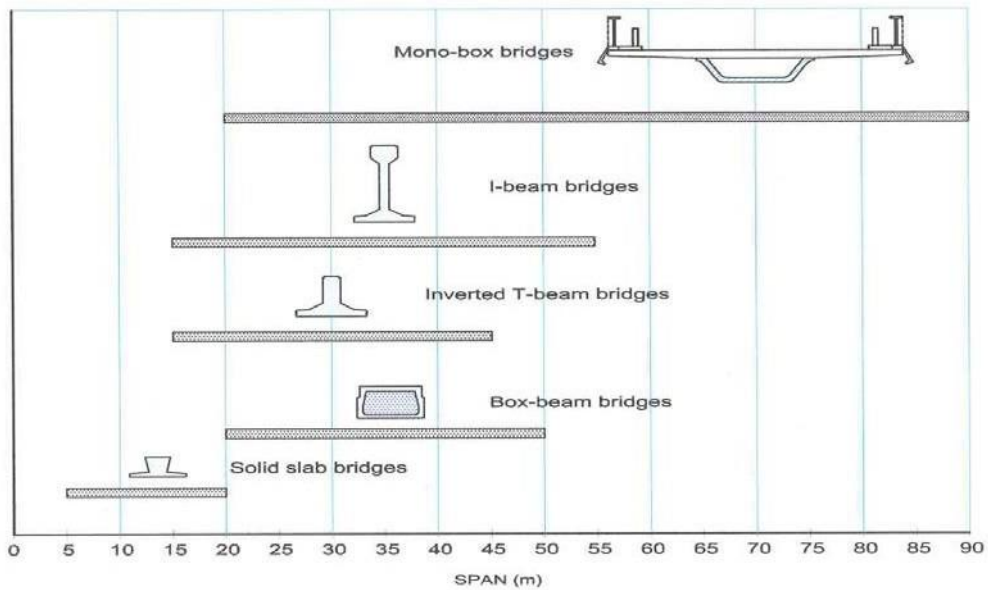
Τα τόξα εν γένει έχουν ορθογωνική διατομή, αλλά για μεγάλα ανοίγματα ( $L > 10\text{m}$ ) συνήθως διαθέτουν εσωτερικές ενισχύσεις. Στην περίπτωση των στοών δύο μελών, η στήριξη στους αρμούς μπορεί να ενισχυθεί με μερικούς τοίχους, ώστε να δώσουν περισσότερο ελεύθερο ύψος.

Διαβάσεις πολλαπλών τόξων μπορούν να επιτευχθούν δημιουργώντας δύο στοές που να μοιράζονται την ίδια βάση ή τοίχωμα.



Εικ. 4.42: Τοξωτή κατασκευή με προκατασκευή. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

#### 4.11 Επισκόπηση διακυμάνσεων ανοίγματος σε διαφορετικούς τύπους προκατασκευασμένων γεφυρών



Εικ. 4.43: Επισκόπηση διακυμάνσεων ανοίγματος προκατασκευασμένων γεφυρών. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

## 5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 5.1 Γέφυρες απλής στήριξης

Κατά την πρώτη περίοδο κατασκευής προκατασκευασμένων γεφυρών, θεωρείτο λογικό να κατασκευάζονται καταστρώματα γέφυρας σαν απλά στηριζόμενες κατασκευές με εγκάρσιους αρμούς στα μεσαία ανοίγματα και ενδιάμεσα των ακραίων ανοιγμάτων και των αντρεισμάτων. Οι δοκοί τοποθετούνταν κανονικά πάνω σε εφέδρανα -ένα σε κάθε άκρη της δοκού- και οι αρμοί διαστασιολογούνταν, μεριμνώντας να επιτρέπεται θερμική κίνηση των καταστρωμάτων. Στις γέφυρες απλής στήριξης επίσης επιτρέπεται να δέχονται παραμορφώσεις, οφειλόμενες σε ερπυσμό και συστολή ξήρανσης.

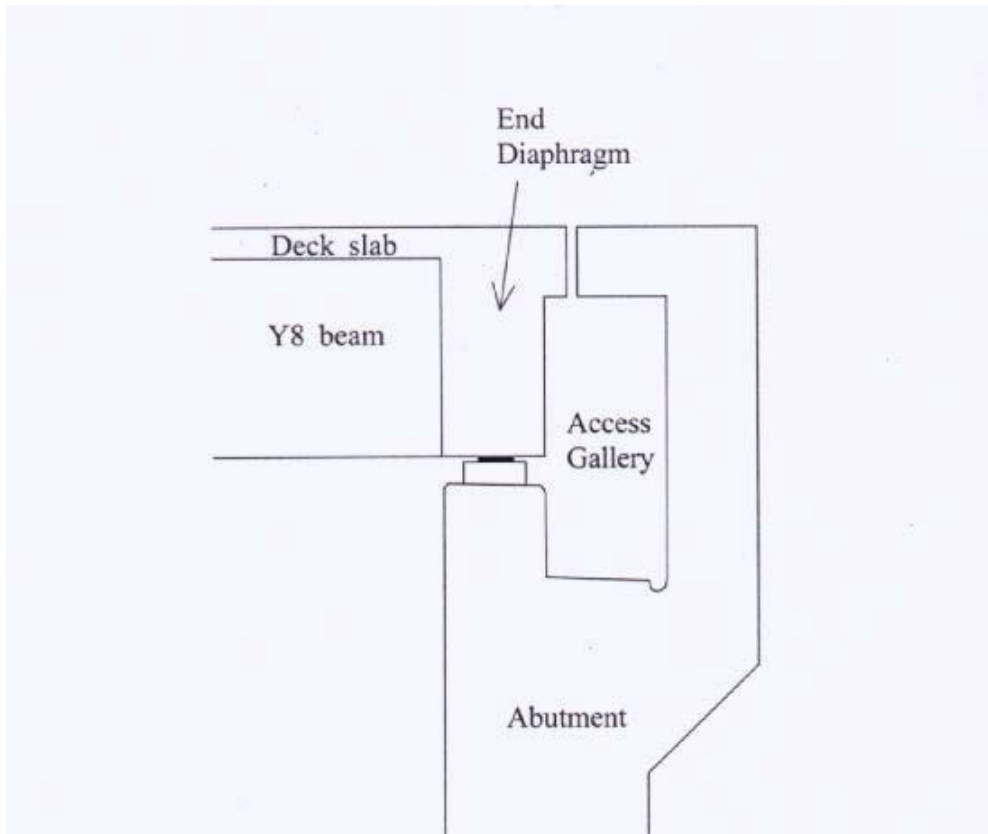
Πολλές χιλιάδες γεφυρών έχουν κατασκευαστεί κατ' αυτόν τον τρόπο και ακόμα συμπεριφέρονται πολύ καλά. Οι βασικές παράμετροι της υψηλής τους ανθεκτικότητας είναι οι εξής:

- Η υψηλή αντοχή του σκυροδέματος, στην τάξη των 45/50 Μρα σε κύλινδρο και ο χαμηλός λόγος νερού/τσιμέντου.
- Η προένταση με προφορτισμένους τένοντες.
- Η ποιότητα εκτέλεσης, όσον αφορά την επικάλυψη του οπλισμού.

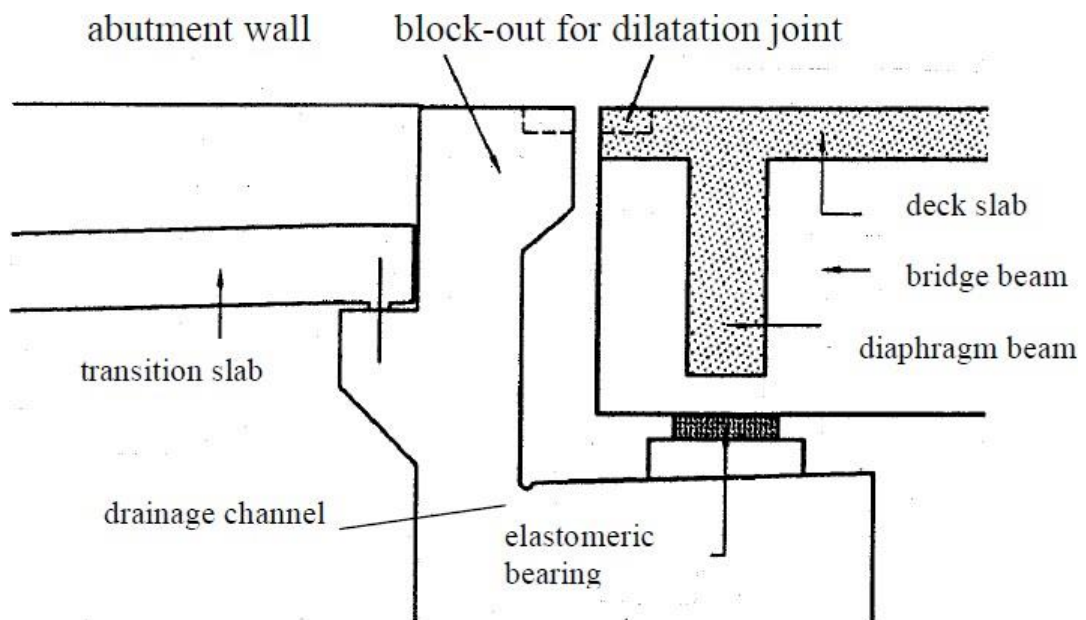
Μολονότι οι ίδιες οι δοκοί έχουν αποδειχτεί αποτελεσματικές, υπάρχουν μειονεκτήματα από κατασκευής στα συστήματα καταστρώματος απλής στήριξης. Σε κάθε άκρο δοκού απαιτούνται εφέδρανα. Είναι ακριβά και μερικές φορές χρειάζονται αντικατάσταση. Ωστόσο, τα βασικά προβλήματα με τα καταστρώματα απλών στηρίξεων πηγάζουν από την παρουσία διογκώμενων αρμών, και είναι η μακροχρόνια έκθεση στην ύπαρξη αλατιού προς αποπάγωση και η καταπόνηση από τα κινητά φορτία. Η καλή πληροφόρηση ως προς τις στηρίξεις στα βάθρα και στα αντρείσματα, θα μπορούσε να καθυστερήσει τη φθορά μελών και εφεδράνων από σκυρόδεμα, για παράδειγμα:

- Δυνατότητα ελέγχου και αντικατάστασης εφεδράνων.(Εικ. 5.1)
- Εγκατάσταση στραγγιστικών καναλιών προς απομάκρυνση υδάτων.(Εικ. 5.2)

Ωστόσο, είναι προφανές πως η σωστότερη τεχνική για να προλάβουμε τα παραπάνω προβλήματα έγκειται στην αποφυγή των εγκάρσιων αρμών εντός του καταστρώματος, είτε από συστήματα ολόσωμων καταστρωμάτων ή ολόσωμες γέφυρες.



Εικ. 5.1: Δυνατότητα ελέγχου με στοά πρόσβασης. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

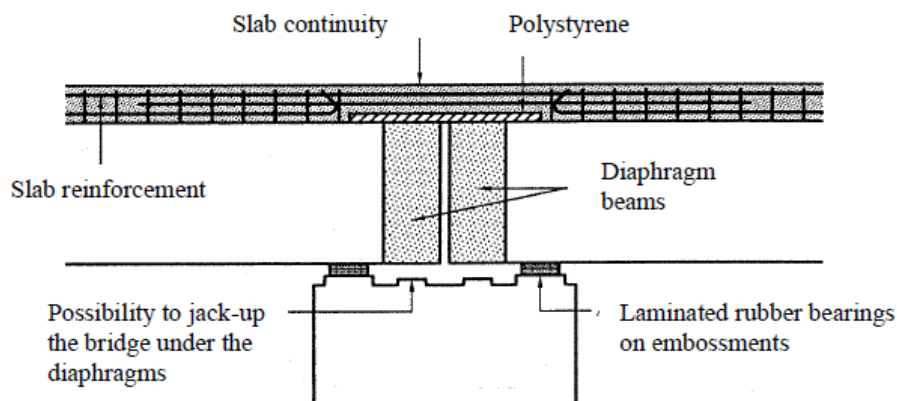


Εικ. 5.2: Λεπτομέρεια στήριξης και ακρόβαθρου. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

## 5.2 Γέφυρες απλής στήριξης με συνεχόμενη πλάκα

Η μερική συνέχεια είναι μια μέθοδος που παρέχει συνέχεια μόνο στην πλάκα καταστρώματος, οι δοκοί σχεδιάζονται με απλή στήριξη. Αυτό σημαίνει πως δεν μπορεί να προκύψει διανομή δράσεων από κατακόρυφα φορτία μεταξύ των διαδοχικών ανοιγμάτων. Αυτό ισχύει σε όλα τα κατακόρυφα φορτία, συμπεριλαμβανομένων του ίδιου βάρους και των κινητών φορτίων.

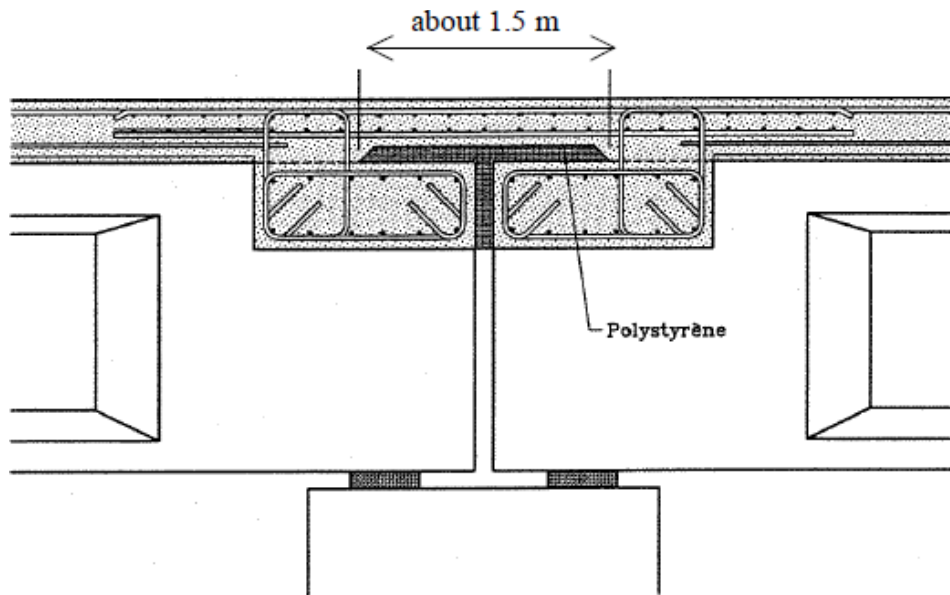
Για παροχή μερικής συνέχειας ανάμεσα στη δοκό και το καταστρώμα πλάκας χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι. Στην πρώτη μέθοδο, η συνέχεια περιορίζεται μόνο στην πλάκα. Οι δοκοί στήνονται κατά το συμβατικό τρόπο πάνω σε ξεχωριστά εφέδρανα. Για να επιτραπεί κάμψη, η πλάκα καταστρώματος διαχωρίζεται από τις δοκούς υποστήριξης πάνω από ένα μήκος της τάξεως του 1.5m από επίστρωση παραμορφούμενου υλικού, για παράδειγμα εκτεταμένο πολυστυρένιο (φελιζόλ). Οι εικόνες 5.3 και 5.4 παρουσιάζουν δύο εναλλακτικές εκτελέσεις.



Εικ. 5.3: Μερική συνέχεια καταστρώματος-λεπτομέρεια τύπου 1: συνεχόμενες διαχωρισμένες πλάκες. (Πηγή: "PRECAST CONCRETE BRIDGES", state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Τυπικά χαρακτηριστικά:

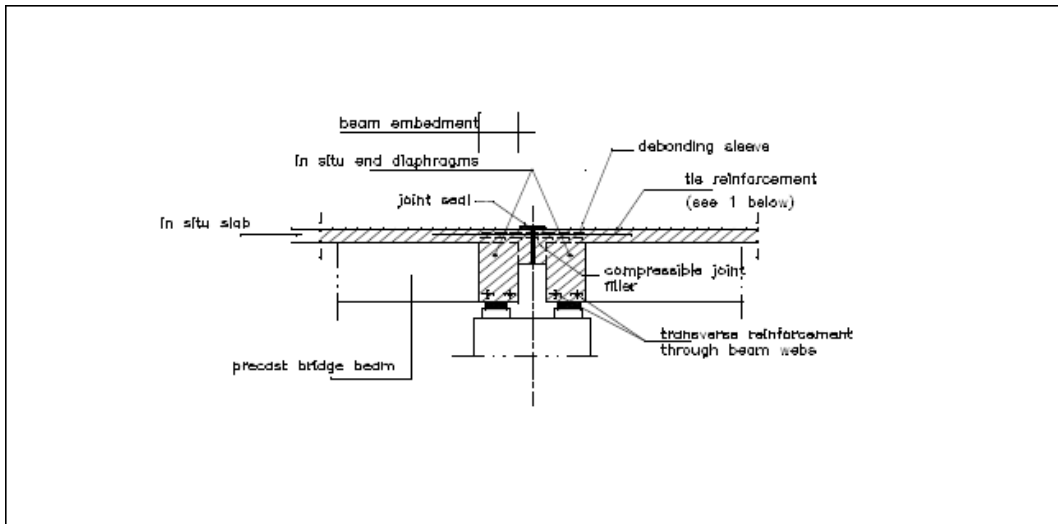
1. Για κάθε άνοιγμα παρέχονται ξεχωριστά εφέδρανα και διαφράγματα.
2. Η πλάκα καταστρώματος διαχωρίζεται από τις δοκούς υποστήριξης πάνω από ένα μικρό μήκος, ώστε να παρέχει ευκαμψία στη στροφή των στηρίξεων.
3. Δεν υπάρχει συνέχεια οπλισμού μεταξύ των άκρων των δοκών, ενώ υπάρχει συνέχεια ροπών ανάμεσα στα ανοίγματα μόνο για τα κινητά φορτία.



Εικ. 5.4: Μερική συνέχεια-λεπτομέρεια τύπου 1: παραλλαγή λύσης. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Κατά τη δεύτερη τεχνική, τα καταστρώματα γέφυρας σχεδιάζονται και κατασκευάζονται κατά τον συνήθη τρόπο για γέφυρες απλής στήριξης μεταβλητού ανοίγματος, με λεπτότερες διαδοκίδες στα άκρα των δοκών. Όπως και κατά τον τύπο 1, τα άκρα των δοκών στηρίζονται πάνω σε δύο παράλληλες σειρές εφεδράνων πάνω στα βάθρα. Ράβδοι διαμήκους οπλισμού ενσωματώνονται στο μέσο πάχος της πλάκας για να συνδέσουν τις πλάκες πάνω από το βάθρο, αποκλείοντας εκτεταμένες μετακινήσεις στο επίπεδο του καταστρώματος και επιτρέποντας τη χρήση μιας άρθρωσης ενσωματωμένης στο κατάστρωμα για στροφή. Προς διευκόλυνση αυτής της στροφής, οι πείροι απαγκιστρώνονται σε συγκεκριμένο μήκος από τις δύο πλευρές της σύνδεσης. Ομοίως, ελαχιστοποιείται το πάχος πλάκας και διαδοκίδα για να δώσει μεγαλύτερη ευκαμψία και δυνατότητα στροφής. Κάτω από τη σύνδεση με πείρους και πάνω από αυτήν, απλώνεται ένας συμπιεστός αρμόστοκος.





Εικ. 5.5: Μερική συνέχεια-λεπτομέρεια τύπου 2: συνδεδεμένη πλάκα καταστρώματος. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Τυπικά χαρακτηριστικά:

1. Ο οπλισμός στο μέσο πάχος της πλάκας σταματάει πάνω από ένα μικρό μήκος σε κάθε πλευρά της άρθρωσης, επιτρέποντας έτσι τη σχετική στροφή δύο διαδοχικών ανοιγμάτων. Δεν υπάρχει ροπή συνέχειας ανάμεσα στα ανοίγματα.
2. Οι πλάκες από τα ανοίγματα διαχωρίζονται με τη χρήση συμπιεστού αρμόστοκου, αλλά η διαδικασία αδιαβροχοποίησης και κάλυψης του καταστρώματος είναι συνεχείς και πάνω από την άρθρωση προϋποτίθενται ειδικές στεγανώσεις για διπλή προστασία.
3. Σε κάθε άνοιγμα χρειάζονται χωριστά εφέδρανα και διαδοκίδες(διαφράγματα) στα άκρα.

Οι μέθοδοι 1 και 2 είναι απλά συστήματα που προβλέπονται σε ολόσωμα καταστρώματα απλής στήριξης με τον ελάχιστο επιπλέον σχεδιασμό και κόπο κατασκευής.

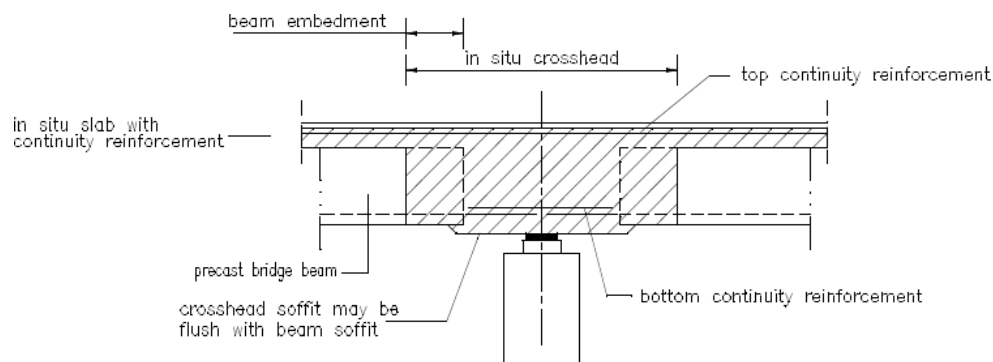
### 5.3 Ολόσωμες γέφυρες

Οι γέφυρες μεταβλητού ανοίγματος με μηχανική συνέχεια ανάμεσα σε διπλανά ανοίγματα πραγματοποιούνται με την ολοκλήρωση των κεφαλοδοκών υπό οπλισμένο σκυρόδεμα. Η κατασκευή ολοκληρώνεται σε δύο βήματα:

- Στο πρώτο βήμα, οι δοκοί στηρίζονται σε απλή στήριξη και φέρουν το ίδιο βάρος τους συν το φορτίο που τους επιβάλλει ο ξυλότυπος και το υγρό σκυρόδεμα κατά την κατασκευή της πλάκας.
- Στο δεύτερο βήμα, μετά την στερεοποίηση της επί τόπου σκυροδέτησης, η κατασκευή γίνεται ολόσωμη, αλλά μόνο για πρόσθετο μόνιμο φορτίο και για κινητό φορτίο.

Επιπλέον εδώ, υπάρχουν διαφορετικές τεχνικές για την επίτευξη της συνέχειας.

- Σε μια πρώτη τεχνική, οι δοκοί στηρίζονται σε προσωρινά ικριώματα. Τα άκρα της δοκού με προεξέχοντα καλώδια και επιπλέον οπλισμό, ενσωματώνονται τελικώς σε μια κάπως φαρδιά επιτόπια κεφαλοδοκό βάρους καίριας σημασίας, κατασκευασμένη στην κορυφή του βάρους. Ο διαμήκης άνω οπλισμός τοποθετείται στην πλάκα καταστρώματος. Το κατάστρωμα της γέφυρας οπλίζεται κατά την εγκάρσια διεύθυνση, είτε με μετένταση, είτε με χαλαρό οπλισμό. Η κεφαλοδοκός στηρίζεται πάνω σε μια σειρά εφεδράνων τοποθετημένα στο κέντρο του βάρους.



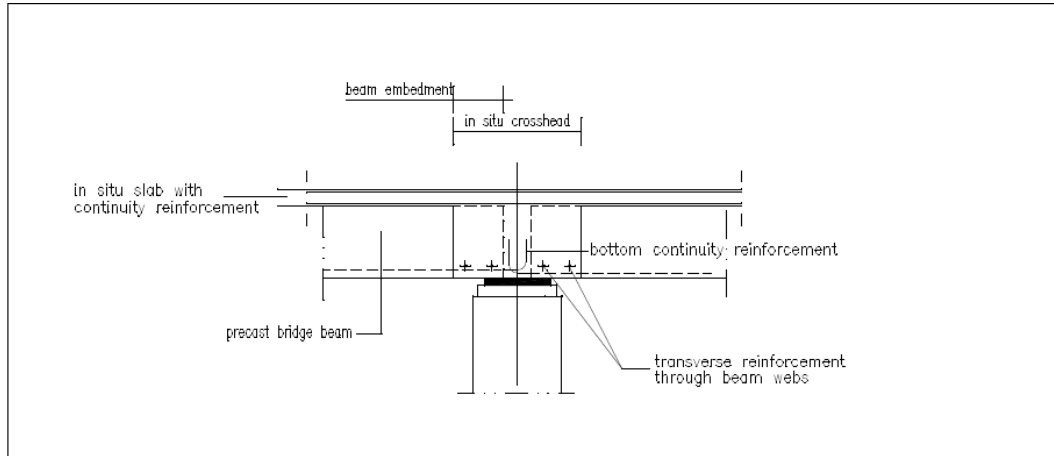
Εικ. 5.6: Πλήρης συνέχεια καταστρώματος-λεπτομέρεια τύπου 3: φαρδιά επιτόπια κεφαλοδοκός. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Παρόλο που είναι πιο σύνθετη στη σχεδίαση και πιο ακριβή στην κατασκευή από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο, η συνέχεια του τύπου 3 προσφέρει περισσότερα πλεονεκτήματα.

- ✓ Η καμπύλη οριζοντιογραφία της γέφυρας μπορεί εύκολα να προβλεφθεί μεταβάλλοντας το πλάτος της επιτόπιας κεφαλοδοκού, ώστε να διαμορφώσει ένα τραπέζιο. Αυτό επιτρέπει τη χρήση προκατασκευασμένων δοκών ίδιου μήκους για κάθε άνοιγμα.

- ✓ Οι διαφοροποιημένες κλίσεις της γέφυρας αντιμετωπίζονται, καμπυλώνοντας τις επιφάνειες της επιτόπιας κεφαλοδοκού πάνω και κάτω της γέφυρας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το απαιτούμενο αυξημένο πάχος της πλάκας στο μεσαίο άνοιγμα για να δεχτεί την κατακόρυφη καμπυλότητα πάνω από τις συνεχόμενες προκατασκευασμένες δοκούς, μπορεί να περιορισθεί.
  - ✓ Απαιτείται μόνο μια μονή κεντρική σειρά εφεδράνων. Αυτό αμέσως μειώνει στο μισό τον αριθμό των εφεδράνων σε σχέση με την κατασκευή απλής στήριξης, μολονότι το μέγεθος κάθε εφεδράνου θα αυξηθεί.
  - ✓ Τα βάθρα είναι πιο στενά, όχι μόνο εξαιτίας της μονής σειράς εφεδράνων, αλλά κυρίως επειδή αφαιρείται η σπουδαιότητα των μόνιμων και κινητών φορτίων που εφαρμόζεται στα βάθρα από την έκκεντρη θέση των εφεδράνων.
  - ✓ Τα βάθρα δε χρειάζονται μεγάλο πλάτος. Η κεφαλοδοκός βάρου μπορεί να σχεδιαστεί για να επιτρέπει το απαιτούμενο πλάτος κατάστρωμα με προβολοδόμηση έξω από το βάθρο. Αυτό επίσης παρέχει περαιτέρω μείωση στον αριθμό των εφεδράνων.
- Στη δεύτερη λύση, οι προεντεταμένες δοκοί στηρίζονται προσωρινά στην κορυφή των βάθρων. Η επιτόπια κεφαλοδοκός πάνω από το βάθρο κατασκευάζεται έπειτα ανάμεσα και γύρω από τις δοκούς πάνω από πλάτος περίπου 1m και στις δύο πλευρές. Ωστόσο, η κεφαλή είναι στενότερη αυτής του τύπου 3, λόγω του μικρού κενού μεταξύ των δοκών. Το ίδιο αυτό μικρό κενό καθιστά δυσκολότερη την υλοποίηση του οπλισμού κάτω πέλματος μεταξύ των δοκών. Η διαμήκης συνέχεια και πάλι πραγματοποιείται εύκολα με οπλισμό άνω πέλματος στην ολόσωμη σύνθετη πλάκα καταστρώματος. Μέρος του διαμήκη οπλισμού κάτω πέλματος της κεφαλοδοκού διέρχεται μέσα από οπές στα άκρα των δοκών.

Μετά την πήξη του σκυροδέματος κεφαλοδοκού οι δύο σειρές προσωρινών εφεδράνων αφαιρούνται για να μεταφέρουν την αντίδραση της στήριξης στην κεντρική σειρά των εφεδράνων. Κάποιες λύσεις χρησιμοποιούν ένα ευρύ μονό μόνιμο εφέδρανο από καουτσούκ, το οποίο δρα σαν στήριξη και για τις δύο δοκούς.

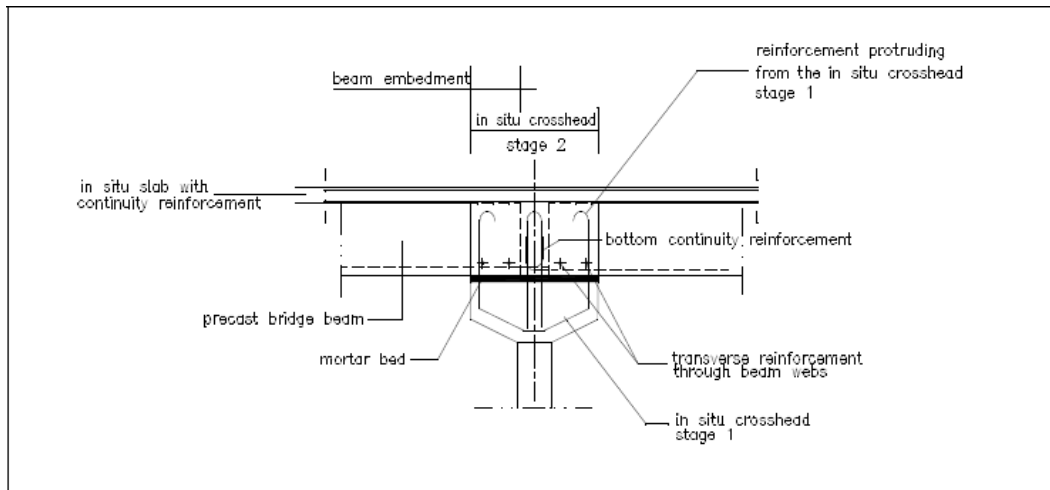


Εικ. 5.7: Πλήρης συνέχεια-λεπτομέρεια τύπου 4: στενή επιτόπια αναπόσπαστη κεφαλοδοκός. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Αυτός ο τύπος συνέχειας είναι σχετικά πιο εύκολος στην κατασκευή από τον 3ο. Το σπουδαιότερο πλεονέκτημα έγκειται στην ευκολία με την οποία στήνουμε τις δοκούς απευθείας πάνω στο βάθρο. Εντούτοις, η ικανοποιητική σύνδεση ανάμεσα στον οπλισμό κάτω πέλματος είναι δύσκολη.

- Η τρίτη τεχνική είναι μια παραλλαγή των 3 και 4 και η κεφαλοδοκός κατασκευάζεται σε δύο στάδια. Η κεφαλοδοκός έχει μεγαλύτερο ύψος από τις κύριες δοκούς και το κάτω τμήμα κατασκευάζεται πρώτο για να στηρίξει αυτές, συνήθως πάνω σε λεπτές στρώσεις κονιάματος. Σε ένα δεύτερο βήμα, η ολοκληρωμένη κεφαλοδοκός κατασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο, όπως περιγράφηκε για τον τύπο 3.

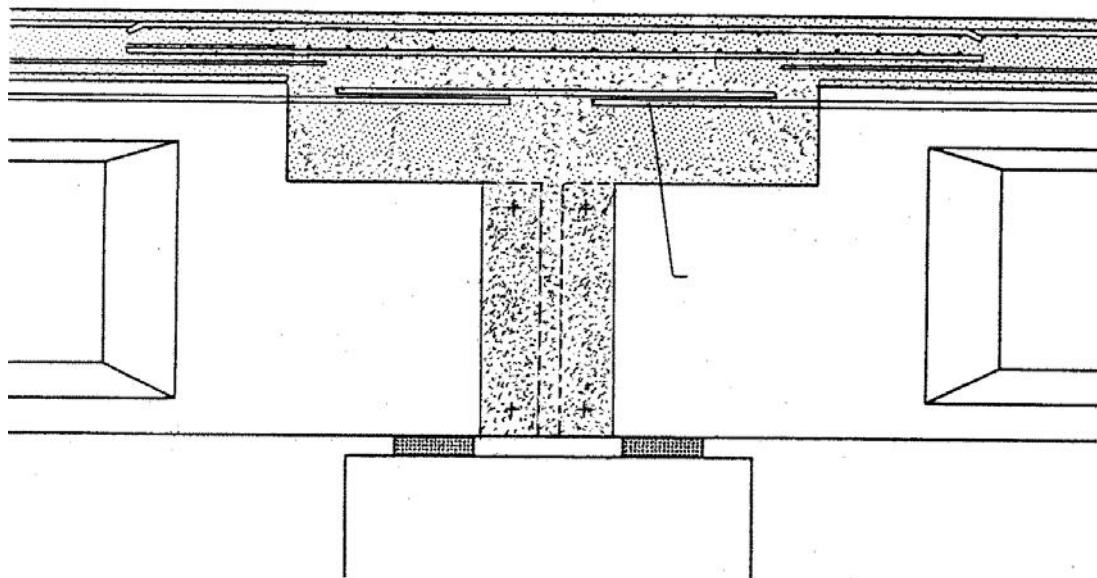
Το πλεονέκτημα αυτού του είδους συνέχειας είναι η πλήρης κατάργηση των προσωρινών εφεδράνων. Το μειονέκτημα έγκειται στο μεγάλο μέγεθος της κεφαλοδοκού κάτω από τις δοκούς, και στις δύο περιπτώσεις για αισθητικούς λόγους, όπως και στο σεβασμό στο ελεύθερο ύψος. Η συνέχεια τύπου 5 επίσης μελετάται σαν πλαισιωτή κατασκευή σε περίπτωση που τα βάθρα συνδέονται μονολιθικά με το κατάστρωμα. Ωστόσο είναι επίσης δυνατόν να προβλεφθεί ένα εφέδρανο ανάμεσα στην κεφαλοδοκό και το βάθρο.



Εικ. 5.8: Πλήρης συνέχεια καταστρώματος-λεπτομέρεια τύπου 5: κεφαλοδοκός κατασκευασμένη σε δύο στάδια. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Εκτός των τεχνικών που περιγράφονται παραπάνω, η πλήρης συνέχεια των προκατασκευασμένων γεφυρών μπορεί να πραγματοποιηθεί και με συστήματα προέντασης μετά την τοποθέτηση.

- Υπάρχουν ακόμα άλλες πιθανές παραλλαγές των τεχνικών 3 και 4, όπου η συνέχεια δημιουργείται από μάτιση οπλισμού σε μονολιθικά τμήματα στην κορυφή των δοκών και γεμίζοντας με σκυρόδεμα ανάμεσα στα ακραία τμήματα.



Εικ. 5.9: Πλήρης συνοχή-διαφορετική λύση με μάτιση συγκόλλησης άνω οπλισμού. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

## Παραδείγματα ολόσωμων προκατασκευασμένων γεφυρών



*Εικ. 5.10: Λεπτομέρεια πλήρους συνέχειας με επιτόπια κατασκευασμένη κεφαλοδοκό. (Πηγή: "PRECAST CONCRETE BRIDGES", state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 5.11: Ολόσωμη γέφυρα με προκατασκευασμένες ορθογώνιες δοκούς. (Πηγή: "PRECAST CONCRETE BRIDGES", state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 5.12: Ολόσωμη γέφυρα με προκατασκευασμένες δοκούς τύπου I. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 5.13: Ολόσωμη γέφυρα με προκατασκευασμένες δοκούς μορφής I. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 5.14: Ολόσωμη προκατασκευασμένη γέφυρα κιβωτιοειδών δοκών με προκατασκευασμένα βάθρα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 5.15: Συνεχής προκατασκευασμένη γέφυρα κιβωτιοειδούς δοκού. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*

#### **5.4 Ολόσωμες γέφυρες χωρίς αρμούς**

Οι ολόσωμες γέφυρες αυτής της κατηγορίας σχεδιάζονται χωρίς αρμούς, τόσο στα μεσαία ανοίγματα, όσο και μεταξύ των ακραίων ανοιγμάτων και των αντερσειμάτων. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τους ποικίλους τύπους αναπόσπαστων αντερσειμάτων και τη σχεδιαστική τους διαδικασία.

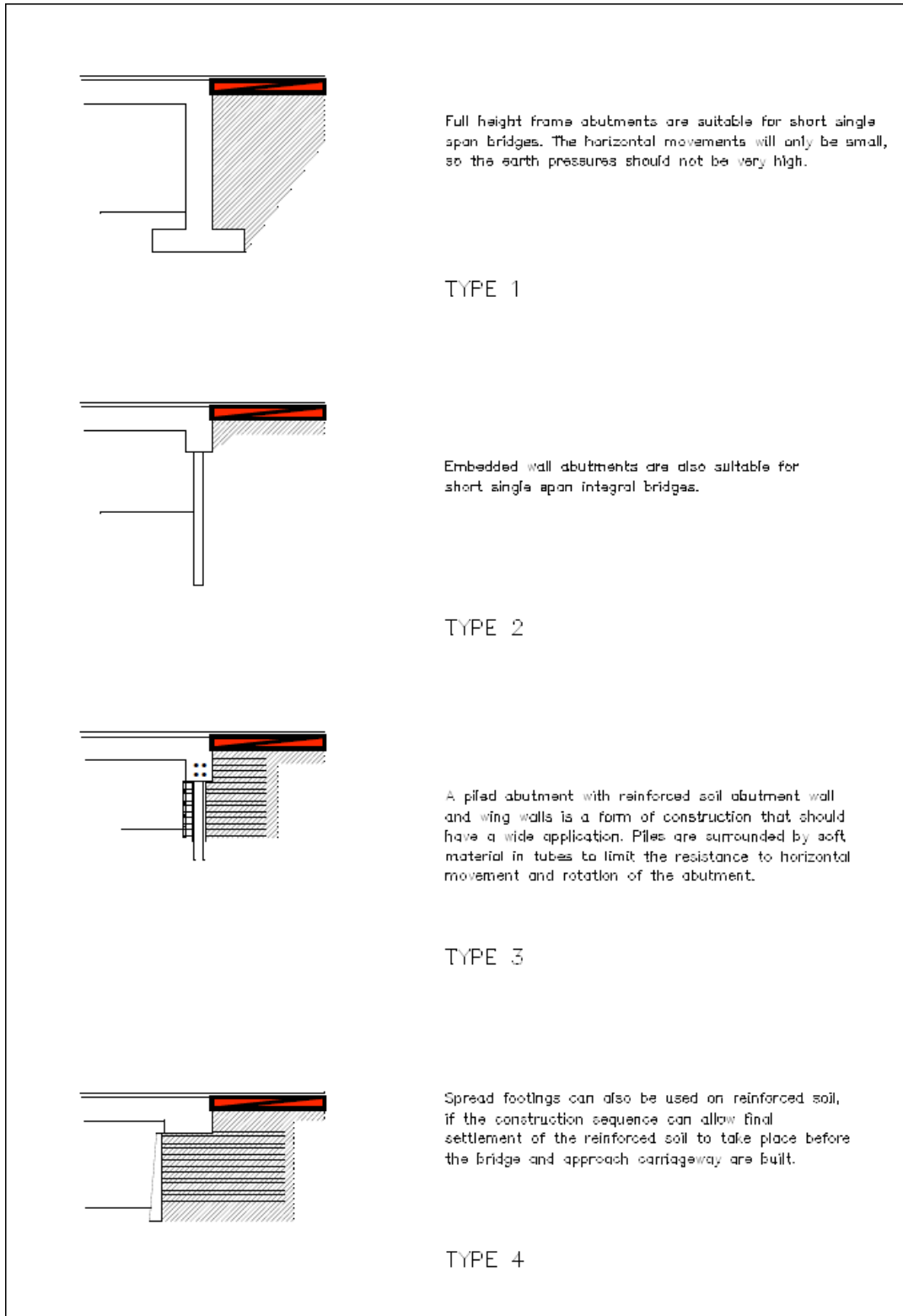
Ακριβώς όπως οι συνεχείς γέφυρες μπορούν να κατασκευαστούν με πέλματα στις ενδιάμεσες στηρίξεις, το ίδιο δυνατό είναι να προβλέψουμε τέτοια πέλματα στα



αντερείσματα χωρίς αρμούς. Αυτός ο τύπος κατασκευής αναφέρεται σαν ημι-ολόσωμες γέφυρες. Ταιριάζει ιδιαίτερα σε γέφυρες με προφορτισμένες δοκούς εφόσον τα εφάδρανα αποκλείουν τα προβλήματα που σχετίζονται με τη συνέχεια ροπών και την περιστροφή λόγω ερπυσμού και θερμικών επιδράσεων.

Τα αντερείσματα των ολόσωμων γεφυρών προσκολλώνται στη γέφυρα και οφείλουν να ακολουθούν τις οριζόντιες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας της. Τα αντερείσματα πρέπει να σχεδιάζονται για να επιτρέπουν σ' αυτήν την κίνηση να συμβεί και ταυτόχρονα να είναι ικανή να αντισταθεί στις κυκλοφοριακές φορτίσεις. Κατά τον ίδιο τρόπο, όπως στις κλασσικές γέφυρες με παραδοσιακά σταθερά αντερείσματα, η σχεδίαση των αναπόσπαστων αντερεισμάτων για γέφυρες προκατασκευασμένων προφορτισμένων δοκών επίσης απαιτεί ειδικές μελέτες, οι οποίες όμως δεν απαιτούνται σε ολόσωμες γέφυρες, όπου χρησιμοποιούνται άλλοι κανόνες κατασκευής.

Διάφοροι τύποι ολόσωμων και μερικώς ολόσωμων αντερεισμάτων μπορούν να εφαρμοστούν. Κάποιες χώρες προτείνουν ένα όριο στο συνολικό μήκος και κλίση των γεφυρών που σχεδιάζονται ακέραια ( Ηνωμένο Βασίλειο-μέγιστο συνολικό μήκος=60m, μέγιστη κλίση=30° ). Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι ολόσωμες γέφυρες έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί επιτυχώς με συνολικά μήκη περισσότερο από 200m.



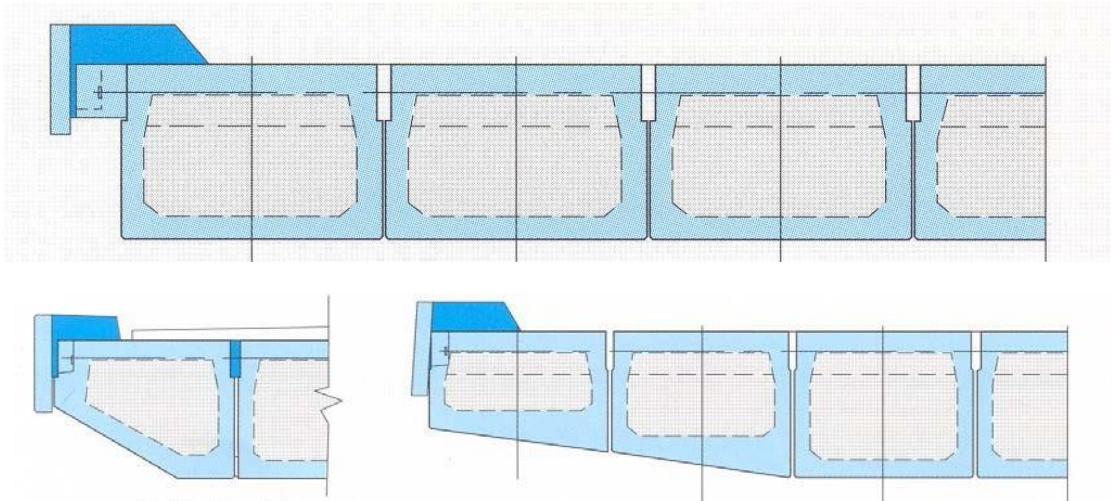
Εικ. 5.16: Τύποι ακέραιων αντερσιμάτων. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

## 6. ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ

Η αισθητική εμφάνιση μιας γέφυρας είναι ένας βασικός παράγοντας, που πρέπει να ληφθεί υπόψη από την αρχή του έργου. Αναφορικά με τις εργασίες κατασκευής εν γένει, το περίγραμμα της γέφυρας βασίζεται στις συνολικές της διαστάσεις, με άλλα λόγια, στην πρώτη εικόνα που εκλαμβάνει ένας παρατηρητής τοποθετημένος σε απόσταση. Το περίγραμμα χαρακτηρίζεται κυρίως από την ομαλότητα του διαμήκους προφίλ διατομής, τη μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος και γενική αρμονία των απεμπλακόμενων γραμμών, την ενσωμάτωση του έργου στο περιβάλλον κτλ.

Ο συνήθης λόγος λυγηρότητας των γεφυρών με χρήση προκατασκευασμένων προφορτισμένων δοκών, οδηγεί κάποιες φορές σε αύξηση του πάχους του καταστρώματος, κάνοντάς το πιο παχύ από ότι αυτό στις γέφυρες συνεχούς πλάκας, ειδικά στην περίπτωση των στατικά ανεξάρτητων ανοιγμάτων. Στα πρώτα στάδια εμφάνισης των προκατασκευασμένων γεφυρών, όπου οι απαιτήσεις ήταν μεγάλες, η εικόνα των γεφυρών δεν ήταν τόσο σημαντική. Ωστόσο, τη δεκαετία του '80 η κατάσταση άλλαξε και οι προκατασκευασμένες γέφυρες δέχτηκαν κριτική για έλλειψη κομψότητας συγκριτικά με εκείνες που κατασκευάζονταν επί τόπου, ειδικά σε περιόδους μεγάλου ανταγωνισμού. Επιπλέον, για ένα παρόμοιο ελεύθερο ύψος, το πρόσθετο πάχος επηρεάζει τον όγκο επιχωμάτων στην πρόσβαση για τη γέφυρα. Σήμερα, υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι να ξεπεράσουμε αυτό το πρόβλημα:

- Σχεδιασμός γέφυρας με περισσότερες και λεπτότερες δοκούς μειώνοντας τη μεταξύ τους απόσταση, κάτι που φυσικά θα επηρεάσει το συνολικό κόστος του έργου.
- Δημιουργία της γέφυρας με λόγο λυγηρότητας κάτω του 30, αντίστοιχο των κλασικών γεφυρών με πλάκα.
- Δυνατότητα κατασκευής της γέφυρας με λεπτότερες τις ακραίες δοκούς, κυρίως στην περίπτωση των γεφυρών με κιβωτιοειδείς δοκούς.
- Κατασκευαστική συνέχεια, ώστε να μειωθεί το πάχος του καταστρώματος, όμοιο με αυτό στις επί τόπου κατασκευασμένες γέφυρες.
- Συνδυασμός προφόρτισης στο εργοστάσιο και κατόπιν προέντασης στο εργοτάξιο, για δυνατότητα μείωσης του ύψους κατασκευής.
- Χρήση σκυροδέματος υψηλής αντοχής, πάνω από 100 MPa κυλινδρικού δοκιμίου, επιτρέπει την κατασκευή προκατασκευασμένων μελών μικρότερης διατομής χωρίς μείωση της φέρουσας ικανότητάς τους.



Εικ. 6.1: Τρεις εναλλακτικές λύσεις για τα άκρα γεφυρών με κιβωτιοειδείς δοκούς. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Τα προκατασκευασμένα μέλη που έχουν υποστεί προφόρτιση, υπόκεινται σε κυρτότητα που ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος προφόρτισης και τη διάρκεια παραμονής τους στο χώρο αποθήκευσης του εργοστασίου.

Μετά την ανέγερση, αυτές οι παραμορφώσεις επανέρχονται μερικώς από την επί τόπου κατασκευή της πλάκας καταστρώματος και από άλλα μόνιμα φορτία. Εδώ μάλιστα, το πρόβλημα δε θα έπρεπε να υφίσταται, από τη στιγμή που υπάρχουν πολλοί κατάλληλοι τρόποι αντιμετώπισης για να παρακαμφθεί.



Εικ. 6.2: Ατέλειες διαμήκους προφίλ διατομής γέφυρας λόγω καμπυλότητας των ανεξάρτητων προφορτισμένων(δοκών) ανοιγμάτων γέφυρας. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))

Χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα μέτρα:

- a) Προφίλ διατομής άκρων, όπου το άκρο μιας γέφυρας καθορίζει το περίγραμμα της κατασκευής, εφόσον αποτελεί το πιο εμφανές κομμάτι του καταστρώματος. Την όψη της γέφυρας χαρακτηρίζουν η αρχιτεκτονική του σχήματός της, η επιφάνεια στο τελειώμά της και το χρώμα της.
- b) Διαφορετικό ύψος του διαμήκους προφίλ διατομής της γέφυρας, παρόλο που εφαρμόζεται λιγότερο προς το παρόν
- c) Αρχιτεκτονική στην περιοχή των εφεδράνων, η οποία επίσης μπορεί να βελτιώσει ιδιαίτερα την όψη μιας γέφυρας, ειδικότερα σε αστικές περιοχές.

Η υλοποίηση των κατά μήκος καμπύλων γεφυρών με προκατασκευή είναι πιο δύσκολη από την επί τόπου κατασκευή, εκτός αν τοποθετήσουμε τις προκατασκευασμένες δοκούς σε ένα πολύγωνο που ακολουθεί καμπύλη πορεία, όταν όμως πρόκειται για μεγάλη ακτίνα καμπυλότητας. Υπάρχουν βέβαια σήμερα προκατασκευασμένες καμπύλες προεντεταμένες κιβωτιοειδείς δοκοί με ακτίνα μικρότερη των 120m.



*Εικ. 6.3: Προκατασκευασμένη γέφυρα με χρωματιστό άκρο και μαρκαρισμένο παραπέτασμα. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 6.4: Προκατασκευασμένη γέφυρα με καμπύλες δοκούς και διαμόρφωση του άκρου της διατομής. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 6.5: Σιδηροδρομική κοιλαδογέφυρα με προκατασκευασμένα προφορτισμένα εσωτερικά στοιχεία. Τα βάθρα και οι κεφαλοδοκοί προκατασκευάζονται από βιομηχανικό μπετό. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



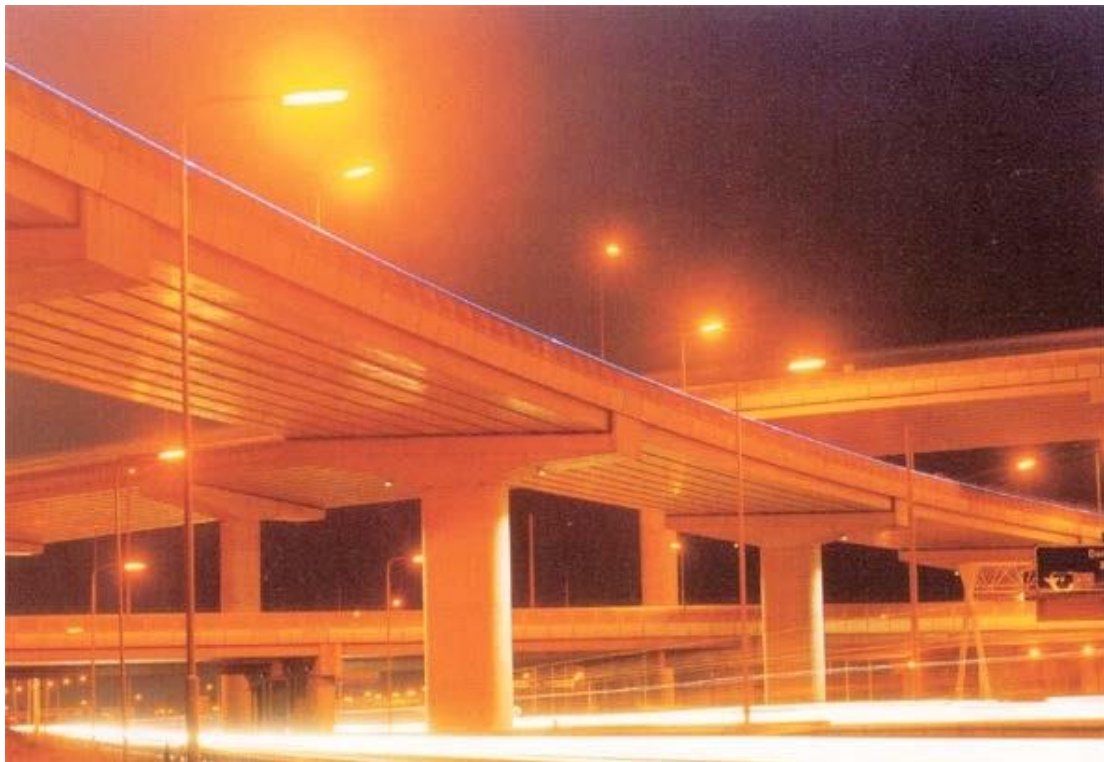
*Εικ. 6.6: Προκατασκευασμένη γέφυρα με προφίλ καμπύλου άκρου. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 6.7: Κοιλαδογέφυρα από βιομηχανικό μπετόν. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 6.8: Μακρά προκατασκευασμένη γέφυρα υπεράνω ποταμού. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



*Εικ. 6.9: Καμπύλες προκατασκευασμένες γέφυρες κιβωτιοειδών δοκών σε διασταύρωση αυτοκινητοδρόμων. (Πηγή: “PRECAST CONCRETE BRIDGES”, state- of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29))*



## 7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗΣ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την καλύτερη δυνατή προσομοίωση σχεδιασμού και ανάλυσης μιας πραγματικής προκατασκευασμένης, προεντεταμένης δοκού, χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα αμερικανικών προδιαγραφών, απόλυτα εξειδικευμένο στο συγκεκριμένο αντικείμενο, το **PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies**. Η γέφυρα εξετάζεται είναι αυτή του Γυμνότοπου, μία εκ των γεφυρών της Ιόνιας Οδού. Ξεκινώντας από τον καθορισμό των διαστάσεων της γέφυρας και των δύο δοκών που μελετώνται (πρόκειται για την **ακραία αριστερή** και την **τρίτη ενδιάμεση** ενός τυπικού ανοίγματος) για να ακολουθήσει ο καθορισμός υλικών, των μόνιμων και κινητών φορτίων, καθώς και διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός, με τελικό στάδιο τις λεπτομέρειες ανύψωσης του φορέα από το εργοτάξιο προκατασκευής και την τοποθέτησή του στο σώμα της γέφυρας. Ακολουθεί περιγραφή της γέφυρας και αναλυτικά τα βήματα του προγράμματος.

#### 7.1 Η Γέφυρα του Γυμνότοπου

Η **γέφυρα του Γυμνότοπου** περιλαμβάνεται στο αυτοτελές οδικό τμήμα Φιλιππιάδας (οικισμός Καμπής) – Πέρδικας του αυτοκινητόδρομου «Ιόνια Οδός» και είναι η δεύτερη μεγαλύτερη γέφυρα από τις 8 του συγκεκριμένου οδικού δικτύου, με πρώτη αυτή του Τσαγκαρόπουλου, που βρίσκεται στα όρια των νομών Πρεβέζης και Ιωαννίνων. Το τμήμα δόθηκε στην κυκλοφορία την 22<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2017, έχει συνολικό μήκος 37km και συνδέει την Ιόνια με την Εγνατία Οδό, μειώνοντας το χρόνο ταξιδιού από 1 ώρα σε 20-30 λεπτά. Με **μήκος 252m** και μέγιστο **ύψος 30m**, κατασκευάστηκε με **προκατασκευασμένες δοκούς** και **πρόπλακες**. Διαθέτει **7 ανοίγματα μήκους 36m** και **6 μεσόβαθρα**. Κάθε κλάδος με **πλάτος 13,26m** διαθέτει **2 λωρίδες κυκλοφορίας και ΛΕΑ(Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης)**.

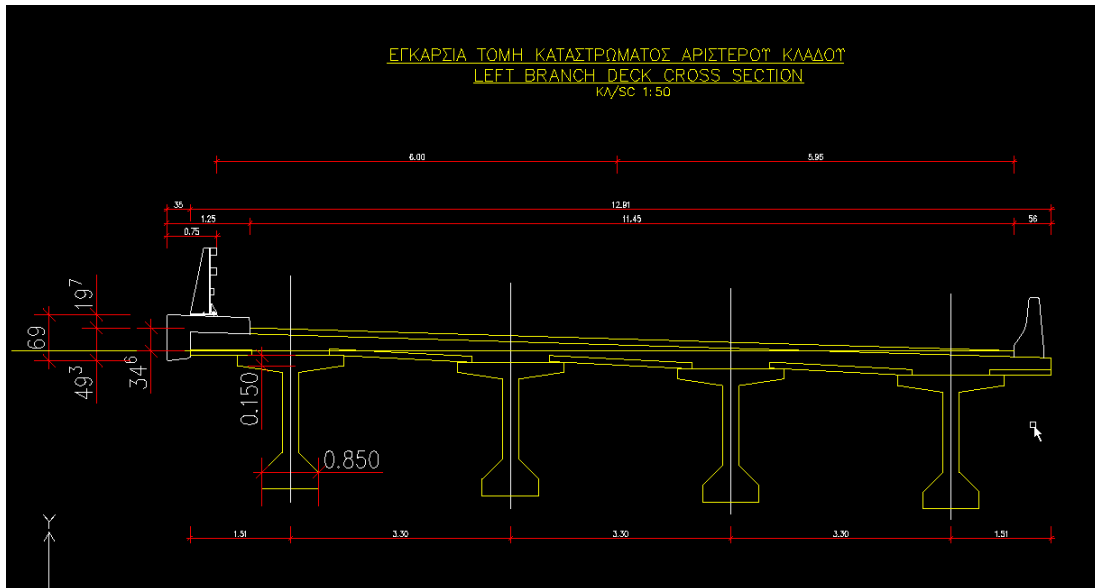


Εικ. 7.1: Ολοκλήρωση εργασιών κατασκευής πλάκας καταστρώματος στον πρώτο κλάδο – Διακρίνονται οι προκατασκευασμένες δοκοί που θα τοποθετηθούν στο δεύτερο. (Πηγή: [www.neaodos.gr](http://www.neaodos.gr))



Εικ. 7.2α: Επιτόπου σκυροδέτηση με οπλισμό του άνω τμήματος του καταστρώματος της γέφυρας Γυμνότοπου. (Πηγή: [www.e-oikodemos.gr](http://www.e-oikodemos.gr))

Εικ. 7.2b Η κατασκευή της γέφυρας κατά το στάδιο της ολοκλήρωσης των βάθρων. (Πηγή: [www.foniagroti.gr](http://www.foniagroti.gr))



Εικ. 7.3: Εγκάρσια τομή καταστρώματος αριστερού κλάδου σε σχέδιο του προγράμματος Autocad. (αρχείο Δρ. Διον. Ε. Μπισκίνη)



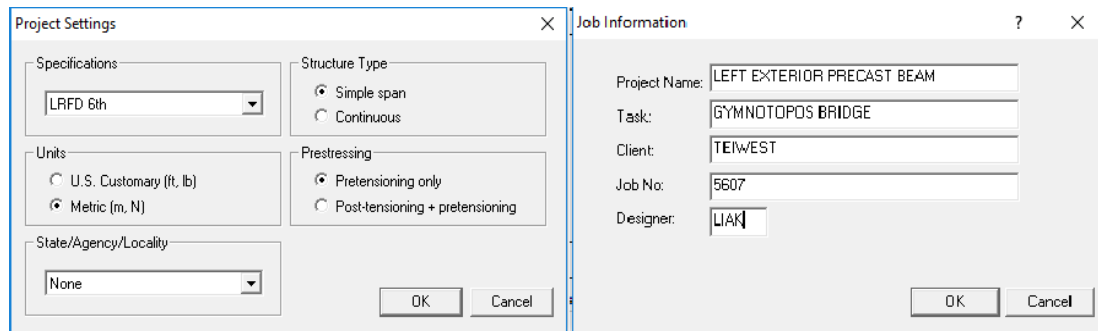
Εικ. 7.4: Η γέφυρα Γυμνότοπου μετά την περάτωση των εργασιών κατασκευής του φορέα. (Πηγή: “Αετός των Τζουμέρκων”, [www.voreini.gr](http://www.voreini.gr))



*Εικ. 7.5: Η γέφυρα μετά την περάτωση όλων των εργασιών. (Πηγή: [www.agriniopress.gr](http://www.agriniopress.gr))*

## **7.2 Καθορισμός γενικών στοιχείων**

Αρχικά, απαιτείται η εισαγωγή των βασικών στοιχείων που απαιτούνται για τη λεπτομερή αναφορά της μελέτης που εκτελείται, καθώς επίσης και η επιλογή του συστήματος μονάδων που θα χρησιμοποιηθεί, αλλά και το σύστημα φόρτισης. Στα πλαίσια της έρευνας επιλέχθηκε η **προένταση πριν τη σκλήρυνση σκυροδέματος (=pretensioning only)**, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.6.



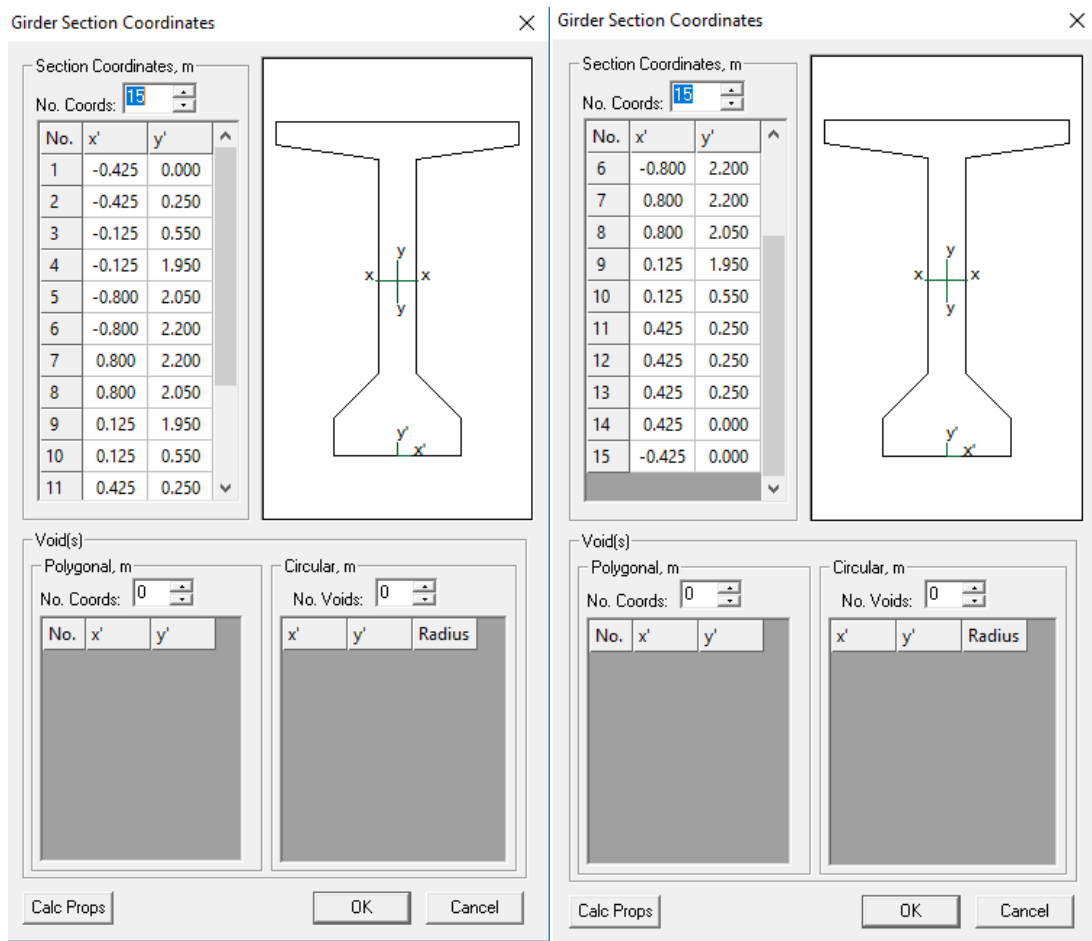
(7.6α)

(7.6β)

Εικ. 7.6α: Επιλογή μονάδων και είδους προέντασης. Εικ. 7.6β: Εισαγωγή στοιχείων μελέτης. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

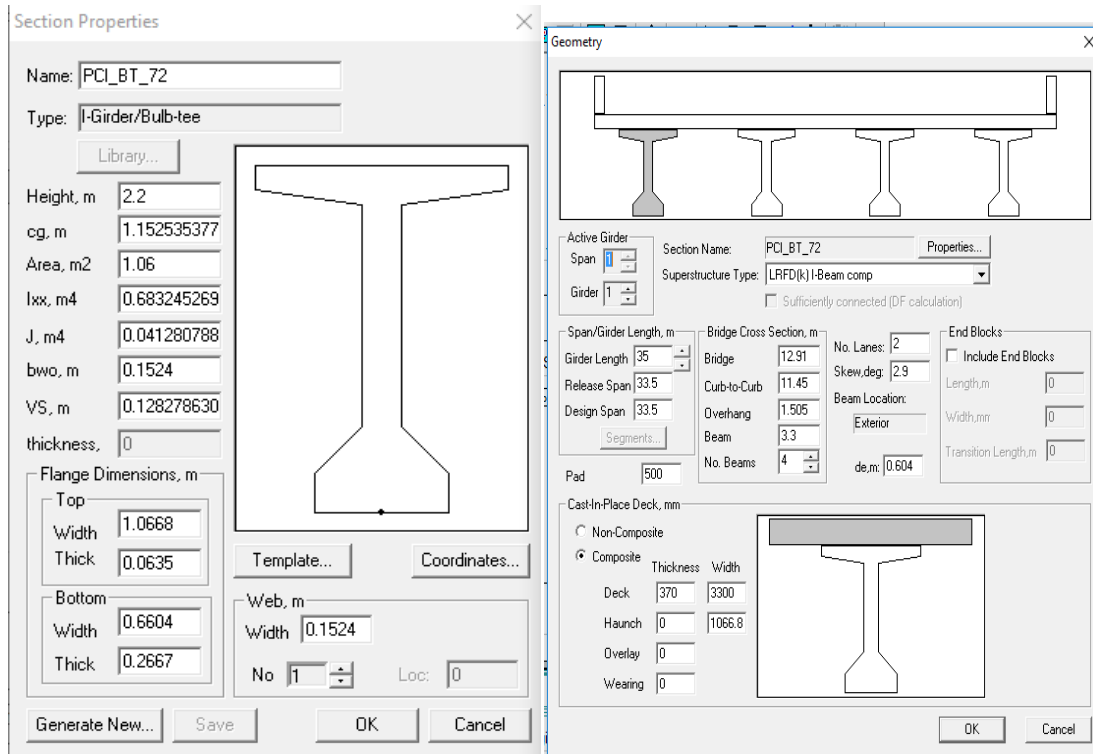
### 7.3 Διαστάσεις της γέφυρας και της δοκού

Στο συγκεκριμένο στάδιο εισάγονται οι πραγματικές διαστάσεις της γέφυρας και της προκατασκευασμένης δοκού που εξετάζεται. Όπως φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες, το συνολικό μήκος της δοκού, οι διαστάσεις της, καθώς και τα στοιχεία που γίνονται ορατά μέσω της εγκάρσιας τομής του καταστρώματος, εισάγονται σε μέτρα, ενώ τα μέρη του καταστρώματος που κατασκευάζονται επί τόπου πάνω στην δοκό, διαστασιολογούνται σε χιλιοστά του μέτρου. Το ύψος διατομής της δοκού είναι **2.2m**, το συνολικό της μήκος **35m**, ενώ το εδραζόμενο μήκος της **33.5m**.



Εικ. 7.7: Εισαγωγή συντεταγμένων προς καθορισμό των διαστάσεων της διατομής.  
(Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Εισάγονται οι συντεταγμένες των σημείων που ορίζουν το περίγραμμα της δοκού και κατόπιν επιλέγεται η εντολή “**Calc Props**”, που βρίσκεται στο κάτω αριστερό μέρος της καρτέλας στην εικόνα 7.7. Μετά την εντολή αυτή εμφανίζονται οι διατάσεις της δοκού με τη μορφή που απεικονίζονται στην εικόνα 7.8α. Στην εικόνα 7.8β παρουσιάζονται οι διαστάσεις που αφορούν τα μέλη που συνθέτουν το κατάστρωμα της γέφυρας.



7.8α

7.8β

Εικ. 7.8α: Διαστάσεις και επιλογή ακραίας αριστερής δοκού. - Εικ. 7.8β: Διαστάσεις διατομής της γέφυρας. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

## 7.4 Ιδιότητες υλικών

Στην εν λόγω καρτέλα εισάγονται τα χαρακτηριστικά των υλικών. Στοιχεία όπως η **χαρακτηριστική αντοχή** του σκυροδέματος της δοκού και του σκυροδέματος της πλάκας καταστρώματος, καθώς και ο τύπος τενόντων για προένταση πριν τη σκλήρυνση σκυροδέματος (pretensioning strand), αλλά και για προένταση μετά τη σκλήρυνση (post-tensioning strand) τελικά δε χρησιμοποιήθηκε, καθώς και το όριο διαρροής του διαμήκους σπλισμού και του εγκάρσιου (χαλαρός σπλισμός). Το σκυρόδεμα που επιλέχθηκε είναι κατηγορίας **C35/45** και απαντάται συχνά σε προεντεταμένες δοκούς γέφυρας. Η διαδικασία παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην ακόλουθη εικόνα.

**Materials** [X]

**Concrete**

	$f'_c$ MPa	$f'_{ci}$ MPa	Density kg/m <sup>3</sup>	Normal Weight	Lightweight Sand	All	
Beam:	35	29.75	2402.8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Stress Limits...
Deck:	27.579		2402.8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mc <sub>r</sub> Factors...
							Fr Factors...

**Modulus of Elasticity,  $E_c$**

Compute per Spec Eq.

Beam:  $E_c$  Factor: 33 wc,kg/m<sup>3</sup>: 2402.8

Deck:  $E_c$  Factor: 33 wct,kcf: 2402.8

Compute using HS formula

Specify (MPa)

Beam:  $E_{ci}$ : 27457.13  $E_c$ : 29781.43

Deck:  $E_{ci}$ : 26436.41

**Restraining Moment:**

Continuity, days: 20

Cast deck, days: 20

Beam: e-su: 600

v-ult: 2

Deck: e-su: 600

**Pretensioning Strand:**

Strand type: 5: 0.6 in 270 ksi Low-Relax

Losses:

Compute

Specify (%): Rel: 10

Fin: 25

Ld Fact (K): 1.6 Lt Fact: 60

**Post-Tensioning Strand Type:**

Strand Type: 5: 0.6 IN 270 KSI Low-Relax

Losses:

Compute

Specify (%): Rel: 5

Fin: 15

**P/S Loss Computation Method**

Standard Specs

LRFD 3rd edition

LRFD 6th edition detailed

LRFD 6th edition approximate

Parameters...

**Rebar,  $f_y$ , MPa**

Stirrups:  Gr 60

specify: 500

Longitudinal:  Gr 60

specify: 500

OK Cancel

Εικ. 7.9: Παράθεση ιδιοτήτων των υλικών. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)



## 7.5 Επιβολή μόνιμων και κινητών φορτίων

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό των μόνιμων και κινητών φορτίων που δρούν στην ολόσωμη κατασκευή που μελετάμε. Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 7.10 που ακολουθεί, το πρόγραμμα μάς επιτρέπει να ορίσουμε -όσον αφορά τα μόνιμα φορτία- τη θέση τυχόν ενδιάμεσων διαδοκίδων κατά μήκος του ανοίγματος, το φορτίο που επιφέρουν τα στηθαία ανά μέτρο μήκους του ανοίγματος, καθώς και το φορτίο επικάλυψης καταστρώματος επίσης ανά μέτρο μήκους της δοκού, (π.χ. υλικά ασφαλιτοστρώσης).

Ως προς τον καθορισμό των κινητών φορτίων, τοποθετήθηκαν τα δύο βαρέα οχήματα κατά **DINFB101**, τα χαρακτηριστικά των οποίων έπρεπε να εισαχθούν στο πρόγραμμα, καθώς αυτό από καταβολής του υποστηρίζει μόνο τα οχήματα των Αμερικανικών Κανονισμών.

Ο κανονισμός **DINFB101**, (DIN-Fachbericht 101) με τίτλο ‘**Δράσεις σε γέφυρες**’ καταρτίστηκε από τη γερμανική επιτροπή κανονισμών δόμησης ( NABau), ομάδα εργασίας 00.92.00 της θεματικής περιοχής 00 ‘Συντονισμός’ σε συνδυασμό με τους κανονισμούς ‘Γέφυρες από σκυρόδεμα’, ‘Χαλύβδινες γέφυρες’ καθώς επίσης και ‘Σύμμικτες γέφυρες’ με πρωτοβουλία του Υπουργού Συγκοινωνιών, Κατασκευών και Οικισμού της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας. Αυτό έγινε με σκοπό να εφαρμοστεί στην κατασκευή των γεφυρών, το τεχνολογικό επίπεδο που επιτεύχθηκε με την εναρμόνιση των ευρωπαϊκών κανονισμών με βάση τα ψηφισθέντα ευρωπαϊκά σχέδια κανονισμών (Vornormen) και τα αντίστοιχα εθνικά κείμενα εφαρμογής (NAD) στην Γερμανία. Τις εργασίες επιμελήθηκε η αρμόδια συντονιστική επιτροπή ΚΟΑ 07.1 ‘Γέφυρες’ της επιτροπής κανονισμών δόμησης (NABau) στο DIN.

Το σύνολο των ευρωπαϊκών κανονισμών που ελήφθησαν υπόψη για την σύνταξη του κανονισμού DIN-Fachbericht 101 "**Δράσεις σε γέφυρες**", βασισμένο στον DIN V ENV 1991-1, περιλαμβάνει αποσπάσματα από τους παρακάτω κανονισμούς:

**DIN V ENV 1991-1: 1995-12 Ευρωκώδικας 1:** Βασικές αρχές σχεδιασμού της φέρουσας κατασκευής και δράσεις σε φέρουσες κατασκευές – Μέρος 1: Βασικές αρχές σχεδιασμού της φέρουσας κατασκευής. Γερμανική έκδοση ENV 1991-1:1994

**DIN V ENV 1991-3: 1996-08 Ευρωκώδικας 1:** Βασικές αρχές σχεδιασμού της φέρουσας κατασκευής και δράσεις σε φέρουσες κατασκευές – Μέρος 3: Κινητά φορτία σε γέφυρες. Γερμανική έκδοση ENV 1991-3:1995, συμπεριλαμβανομένης της ‘Οδηγίας για την εφαρμογή του DIN V ENV 1991-3’.

**DIN 1055-1: 2002-06:** "Δράσεις σε φέρουσες κατασκευές – Μέρος 1: Ειδικά βάρη και βάρη ανά μονάδα επιφανείας δομικών υλικών, δομικών στοιχείων και αποθηκευμένων υλικών .

**DIN 1055-7: 2002-11:** "Δράσεις σε φέρουσες κατασκευές – Μέρος 7:

Θερμοκρασιακές δράσεις. Ο υπόψη κανονισμός DIN-Fachbericht 101 "**Δράσεις σε γέφυρες**" καταρτίστηκε με σκοπό, να συμπεριληφθούν οι διάφορες διατάξεις σε ένα συνεκτικό εγχειρίδιο.

**Συνδυασμοί δράσεων**

(1)P Για κάθε κρίσιμη φόρτιση πρέπει η τιμή σχεδιασμού των καταπονήσεων λόγω δράσεων ( $E_d$ ) να υπολογίζεται με συνδυασμό των συντελεστών δράσεων οι οποίες δρουν ταυτόχρονα ως εξής:

α) **Μόνιμες και παροδικές καταστάσεις:**

Τιμές σχεδιασμού των δεσποζουσών δράσεων και οι τιμές συνδυασμού των προσθέτων δράσεων.

β) **Τυχηματικές καταστάσεις:**

Τιμές σχεδιασμού μόνιμων δράσεων μαζί με την συχνή τιμή της δεσπόζουσας μεταβλητής δράσης και τις οιονεί μόνιμες τιμές των επιπλέον μεταβλητών δράσεων και την τιμή σχεδιασμού μιας τυχηματικής δράσης.

γ) **Κατάσταση λόγω Σεισμού:**

Χαρακτηριστικές τιμές των μόνιμων δράσεων μαζί με οιονεί - μόνιμες τιμές των επιπλέον μεταβλητών δράσεων και την τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης.

(2)P Όταν σε μια φόρτιση η δεσπόζουσα δράση δεν είναι προφανής, τότε θα πρέπει κάθε μεταβλητή δράση να εξετάζεται κατά σειρά ως δεσπόζουσα.

Η παρούσα έκδοση (2003 ) του κανονισμού DIN-Fachbericht 101 “Δράσεις σε γέφυρες” αντικαθιστά την έκδοση 2001.

Στις παρακάτω εικόνες διακρίνονται τα βάρη του άξονα κάθε οχήματος σε KN, η απόσταση μεταξύ των αξόνων, καθώς και το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο που υπάρχει στην υπολογιστική λωρίδα.

Loads

Dead Load, non-composite

Self-weight multiplier:  (default=1.0)

Diaphragms:

Locations:  L/4  L/3  L/2  Other:  m

Wt,kN:  kN

Other uniform dead load:  kN/m/beam

Restraining Moment

Ignore

Compute:

Dead Load, composite

Barriers

Constant:  kN/m/beam

Variable:

Distrib Method:

No. Barriers:

Barrier wt:  kN/m/each

Future Wearing Surface

Constant:  kN/m/beam

Variable:  kN/m<sup>2</sup>/beam

Distrib Method:

Other Uniform:  kN/m/beam

Live Load

Vehicle 1

Include LL Multiplier:  Properties...

ID:  DLA/Impact:

Compute

Specify:

Vehicle 2

Include LL Multiplier:  Properties...

ID:  DLA/Impact:

Compute:

Specify:

Combine Vehicles 1 and 2 by:

Adopt Governing Results

LRFD 4.6.2.2.5 (Vehicle 2 is Overload)

Do Not Combine Vehicle Results

Pedestrian:  kN/m/beam

Deflection Criteria

1/800

1/1000

User-Defined

1/

Live Load DF

Compute

Specify:

DF-M:  lanes

DF-V:  lanes

DF-F:  lanes

(7.10a)

Vehicle Properties

Vehicle Name:

Truck

No. Axles:

Axle Weight,kN		Axle Spacing,m	
Axle	Weight	Axles	Min. Max.
1	35.58E	1-2	4.2672 4.2672

Tandem

Include Tandem

Axle Weights,kN	
Axle 1:	240
Axle 2:	240

Axle Spacing,m

Lane Load

Uniform,kN/m:  P-moment,kN:  P-shear,kN:

Combine (LRFD or Std Specs)

(Truck+Lane) OR (Tandem + Lane)  Truck OR Tandem OR Lane

Library... Save OK Cancel

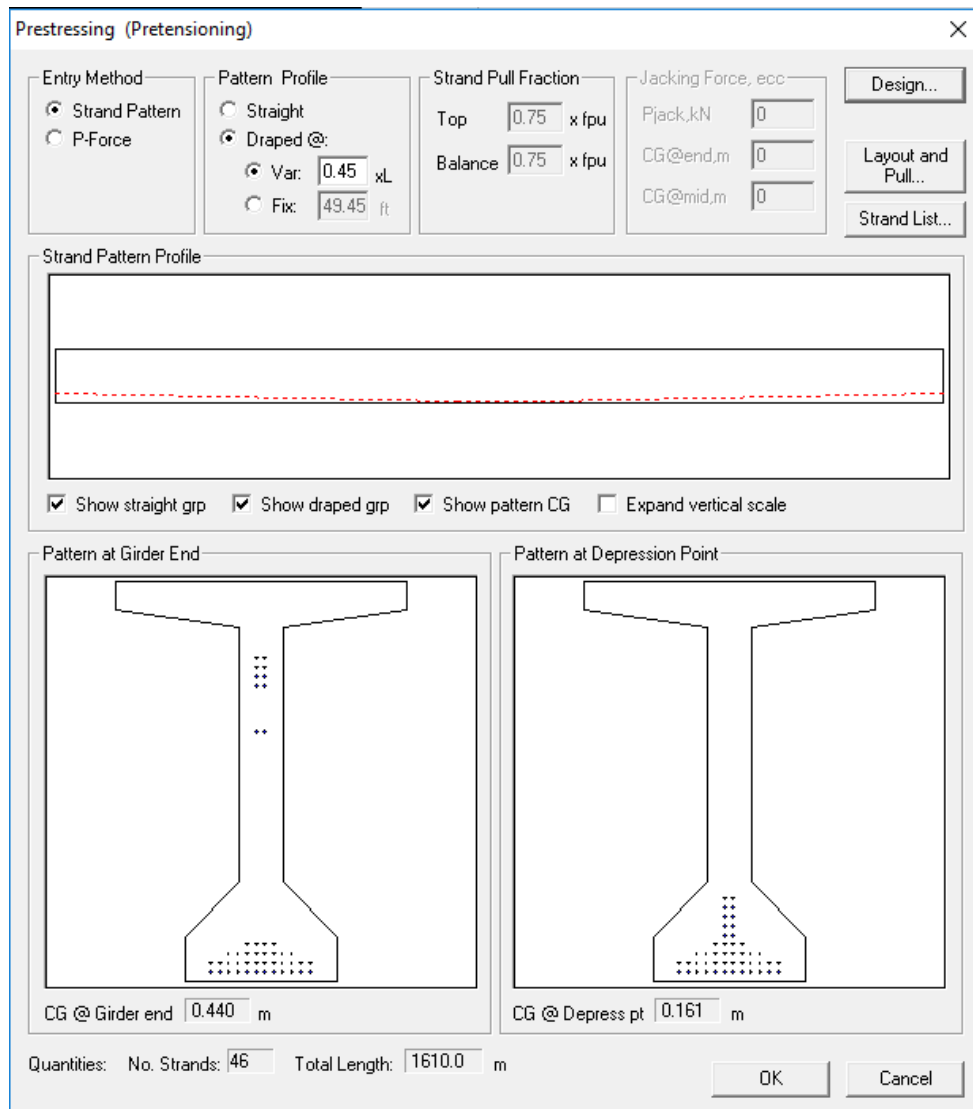
(7.10b)

(7.10c)

Εικ. 7.10a, 7.10b, 7.10c: Καθορισμός μόνιμων και κινητών φορτίων. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

## 7.6 Υπολογισμός προέντασης

Πρόκειται για το σημαντικότερο στάδιο διαστασιολόγησης του φορέα και αφορά στην αντοχή του σε κάμψη. Σύμφωνα με το πρόγραμμα, μάς δίνεται η δυνατότητα να ορίσουμε τη διάταξη των τενόντων, επιλέγοντας ανάμεσα σε **ευθύγραμμη (straight)** και **παραβολική (draped) χάραξη**. Τα χαρακτηριστικά τους προκύπτουν άμεσα από τις διαστάσεις της κατασκευής, τα υλικά και τον καθορισμό μόνιμων και κινητών φορτίων. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διάταξη των τενόντων, που προκύπτει επιλέγοντας την εντολή **“Design”**: αριστερά η διάταξη στο τέλος του φορέα και δεξιά η διάταξη στο μέσο του ανοίγματος, καθώς επίσης και ο αριθμός των συρματόσχοινων (**No. Strands: 46**), αλλά και το συνολικό μήκος συρματόσχοινου που χρησιμοποιείται στην δοκό (**Total Length: 1610m**).



Εικ. 7.11: Διάταξη τενόντων. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Με την επιλογή “**Layout and Pull Fraction**” προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες, όπου παρατίθενται ο **συνολικός επιτρεπόμενος αριθμός (capacity)** των τενόντων σε κάθε **επίπεδο (level)** κατά μήκος της δοκού, το **πλήθος των τενόντων (quantity)** που απαιτείται για την κατασκευή, καθώς επίσης και η **θέση των τενόντων καθ’ ύψος της δοκού (elevation)**.

Strand Pattern Layout and Pull Fraction

Strand Pull Fraction  
 Top:  x fpu      Balance:  x fpu

Pattern at Beam End

Straight Group:				Draped Group:			
Lev	C...	Qty	Elev,m	Lev	C...	Qty	Elev,m
20	2		1.016	20	2		1.016
19	2		0.965	19	2		0.965
18	2		0.914	18	2		0.914
17	2		0.864	17	2		0.864
16	2		0.813	16	2		0.813
15	2		0.762	15	2		0.762
14	2		0.711	14	2		0.711
13	2		0.660	13	2		0.660
12	2		0.610	12	2		0.610
11	2		0.559	11	2		0.559
10	2		0.508	10	2		0.508
9	2		0.457	9	2		0.457
8	2		0.406	8	2		0.406
7	2		0.356	7	2		0.356
6	2		0.305	6	2		0.305
5	2		0.254	5	2		0.254
4	4	2	0.203	4	2	2	0.203
3	8	6	0.152	3	2	2	0.152
2	12	10	0.102	2	2	2	0.102
1	12	10	0.051	1	2	2	0.051

Pattern at Drape Point

Draped Group:			
Lev	C...	Qty	Elev,m
20	2		0.000
19	2		0.000
18	2		0.000
17	2		0.000
16	2		0.000
15	2		0.762
14	2		0.711
13	2		0.660
12	2		0.610
11	2		0.559
10	2		0.508
9	2	2	0.457
8	2	2	0.406
7	2	2	0.356
6	2	2	0.305
5	2	2	0.254
4	2	2	0.203
3	2	2	0.152
2	2	2	0.102
1	2	2	0.051

Edit Template...    Clear Pattern    OK    Cancel

Strand Pattern Layout and Pull Fraction

Strand Pull Fraction  
 Top:  x fpu      Balance:  x fpu

Pattern at Beam End

Straight Group:				Draped Group:			
Lev	C...	Qty	Elev,m	Lev	C...	Qty	Elev,m
35	2		1.778	35	2	2	1.778
34	2		1.727	34	2	2	1.727
33	2		1.676	33	2	2	1.676
32	2		1.626	32	2	2	1.626
31	2		1.575	31	2		1.575
30	2		1.524	30	2		1.524
29	2		1.473	29	2		1.473
28	2		1.422	28	2		1.422
27	2		1.372	27	2	2	1.372
26	2		1.321	26	2		1.321
25	2		1.270	25	2		1.270
24	2		1.219	24	2		1.219
23	2		1.168	23	2		1.168
22	2		1.118	22	2		1.118
21	2		1.067	21	2		1.067
20	2		1.016	20	2		1.016
19	2		0.965	19	2		0.965
18	2		0.914	18	2		0.914
17	2		0.864	17	2		0.864
16	2		0.813	16	2		0.813
15	2		0.762	15	2		0.762

Pattern at Drape Point

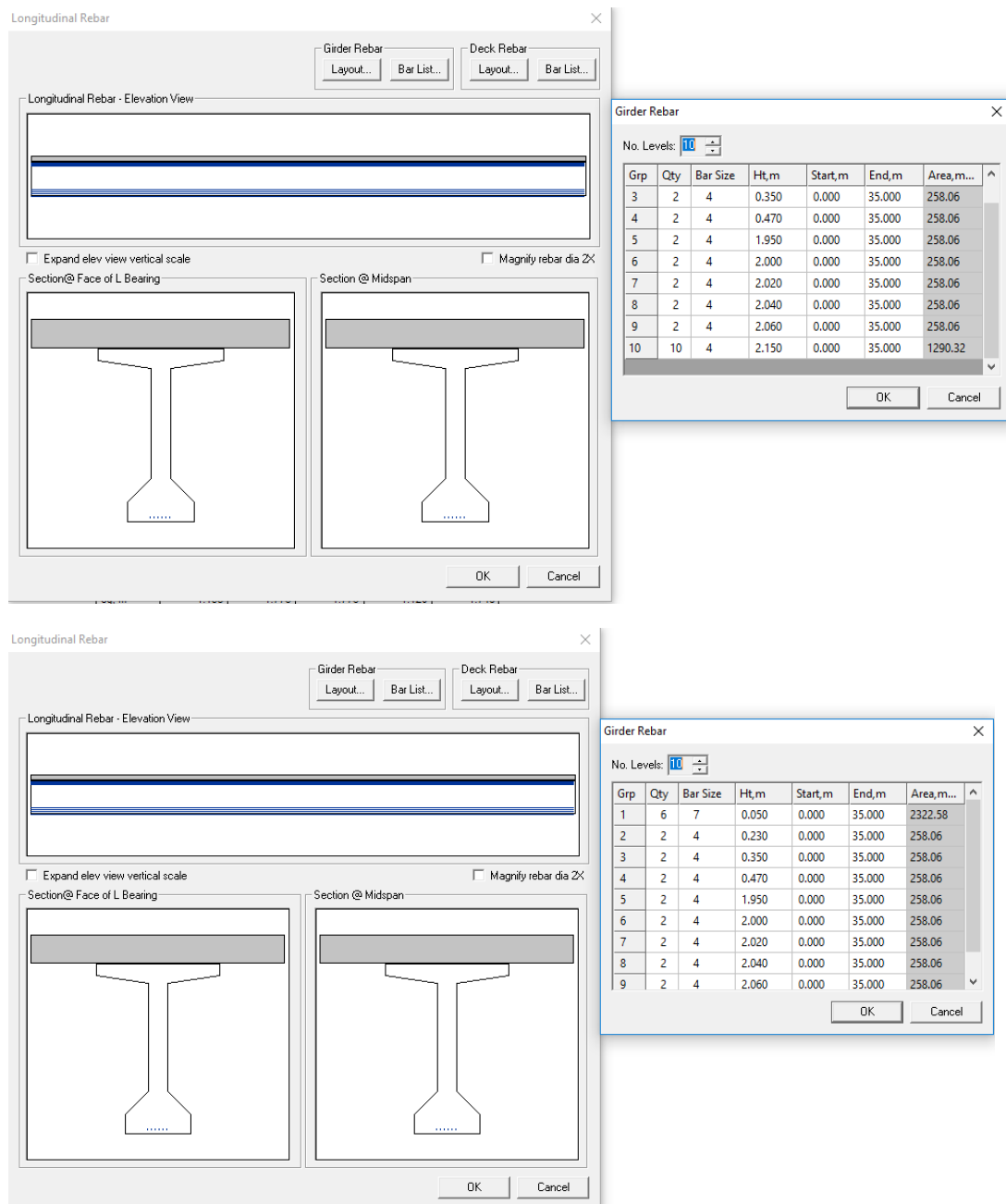
Draped Group:			
Lev	C...	Qty	Elev,m
35	2		0.000
34	2		0.000
33	2		0.000
32	2		0.000
31	2		0.000
30	2		0.000
29	2		0.000
28	2		0.000
27	2		0.000
26	2		0.000
25	2		0.000
24	2		0.000
23	2		0.000
22	2		0.000
21	2		0.000
20	2		0.000
19	2		0.000
18	2		0.000
17	2		0.000
16	2		0.000
15	2		0.762

Edit Template...    Clear Pattern    OK    Cancel

Εικ. 7.12: Πίνακας με τη διάταξη των τενόντων. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

## 7.7 Καθορισμός διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού

Στην παρούσα καρτέλα εισάγονται τα στοιχεία των ράβδων που αποτελούν το διαμήκη οπλισμό της δοκού (χαλαρός οπλισμός), σημαντική προϋπόθεση για την αντοχή του φορέα σε κάμψη, καθώς επίσης και των συνδετήρων για την αντοχή του σε διάτμηση. Οι οπλισμοί επιλέχθηκαν αξιοποιώντας στοιχεία από μελέτες παρόμοιων προκατασκευασμένων δοκών, με στόχο την εξασφάλιση της απαραίτητης αντοχής κατά τους ελέγχους που παρουσιάζονται στις παραγράφους 7.8 και 7.9.



Εικ. 7.13a, 7.13b: Καθορισμός στοιχείων των ράβδων διαμήκους οπλισμού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

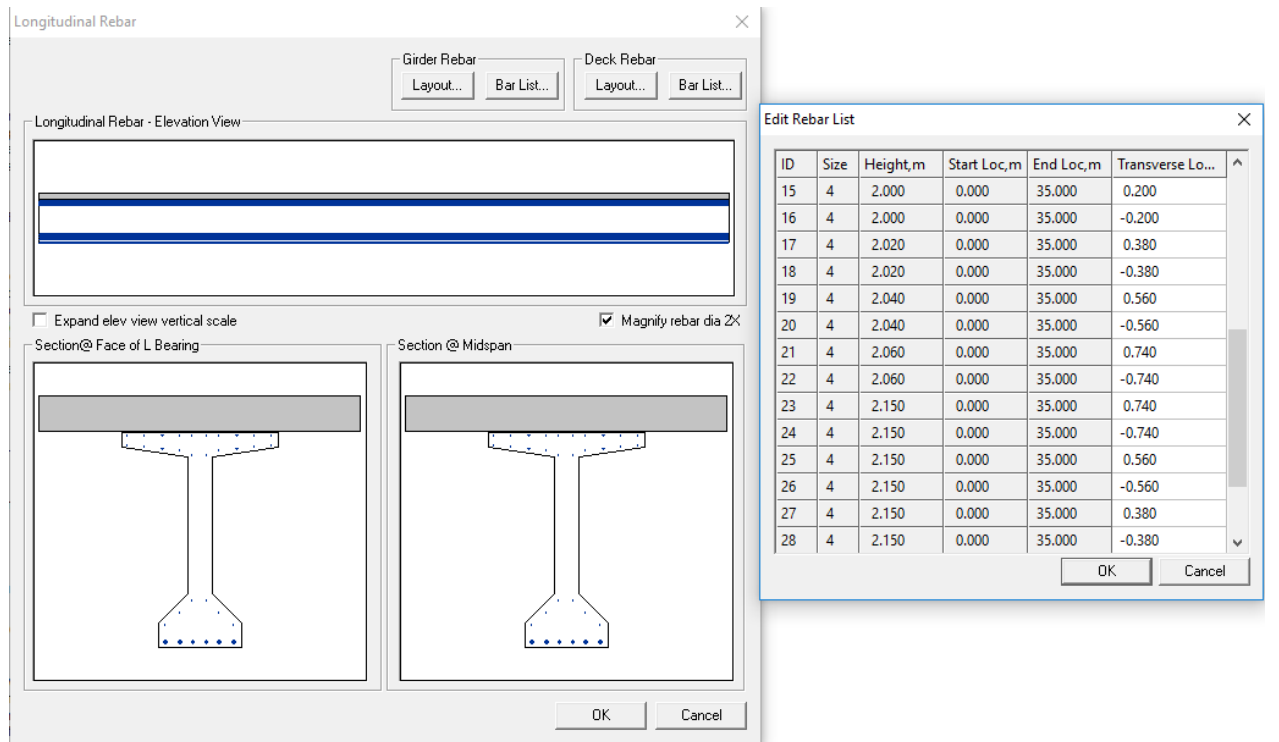
**Layout:** Επιλέγοντας το κουμπί αυτό, εμφανίζεται πίνακας, τα στοιχεία του οποίου καθορίζουν τη διάταξη των ράβδων στη δοκό, όπου:

1. No. Levels: Επιλέγεται ο αριθμός των επιπέδων που απαρτίζονται από τις ράβδους.
2. Qty (Quantity): Στην παρούσα στήλη παρατίθεται η ποσότητα ράβδων που τοποθετούνται σε κάθε επίπεδο της δοκού.
3. Bar size: Η στήλη αυτή ορίζει το μέγεθος των ράβδων που απαρτίζουν το εκάστοτε επίπεδο.
4. Ht,m(Height): Πρόκειται για το ύψος από το κατώτερο σημείο της δοκού έως τη θέση των ράβδων.
5. Start,m: Εδώ ορίζεται η θέση αρχής της κάθε ράβδου κατά τη διαμήκη έννοια της δοκού.
6. End,m: Αντίστοιχα ορίζεται η θέση τέλους της κάθε ράβδου.
7. Area,mm<sup>2</sup>: Πρόκειται για το εμβαδόν του οπλισμού στο εκάστοτε επίπεδο. Προκύπτει από τη διάμετρο της ράβδου και το πλήθος των ράβδων στο συγκεκριμένο επίπεδο.

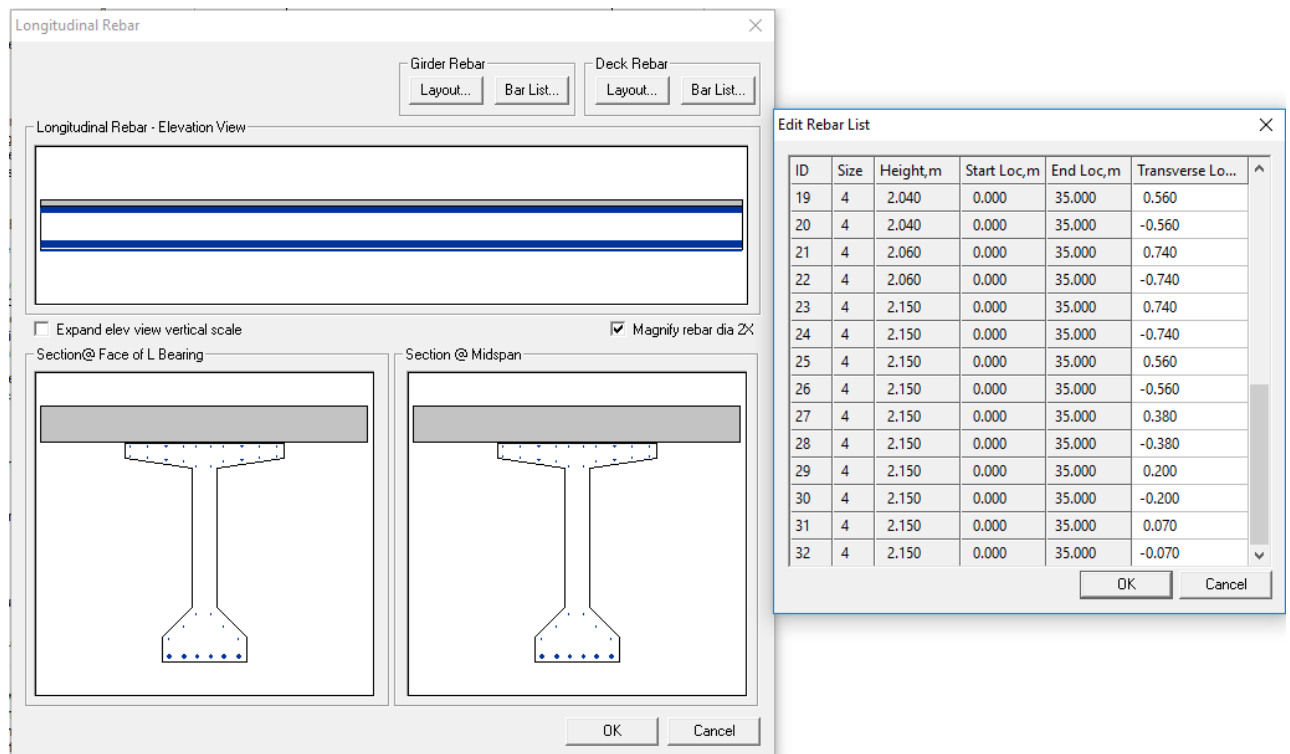
ID	Size	Height,m	Start Loc,m	End Loc,m	Transverse Lo...
1	7	0.050	0.000	35.000	0.070
2	7	0.050	0.000	35.000	-0.070
3	7	0.050	0.000	35.000	0.200
4	7	0.050	0.000	35.000	-0.200
5	7	0.050	0.000	35.000	0.350
6	7	0.050	0.000	35.000	-0.350
7	4	0.230	0.000	35.000	0.350
8	4	0.230	0.000	35.000	-0.350
9	4	0.350	0.000	35.000	0.200
10	4	0.350	0.000	35.000	-0.200
11	4	0.470	0.000	35.000	0.070
12	4	0.470	0.000	35.000	-0.070
13	4	1.950	0.000	35.000	0.070
14	4	1.950	0.000	35.000	-0.070

(7.14a)





(7.14b)

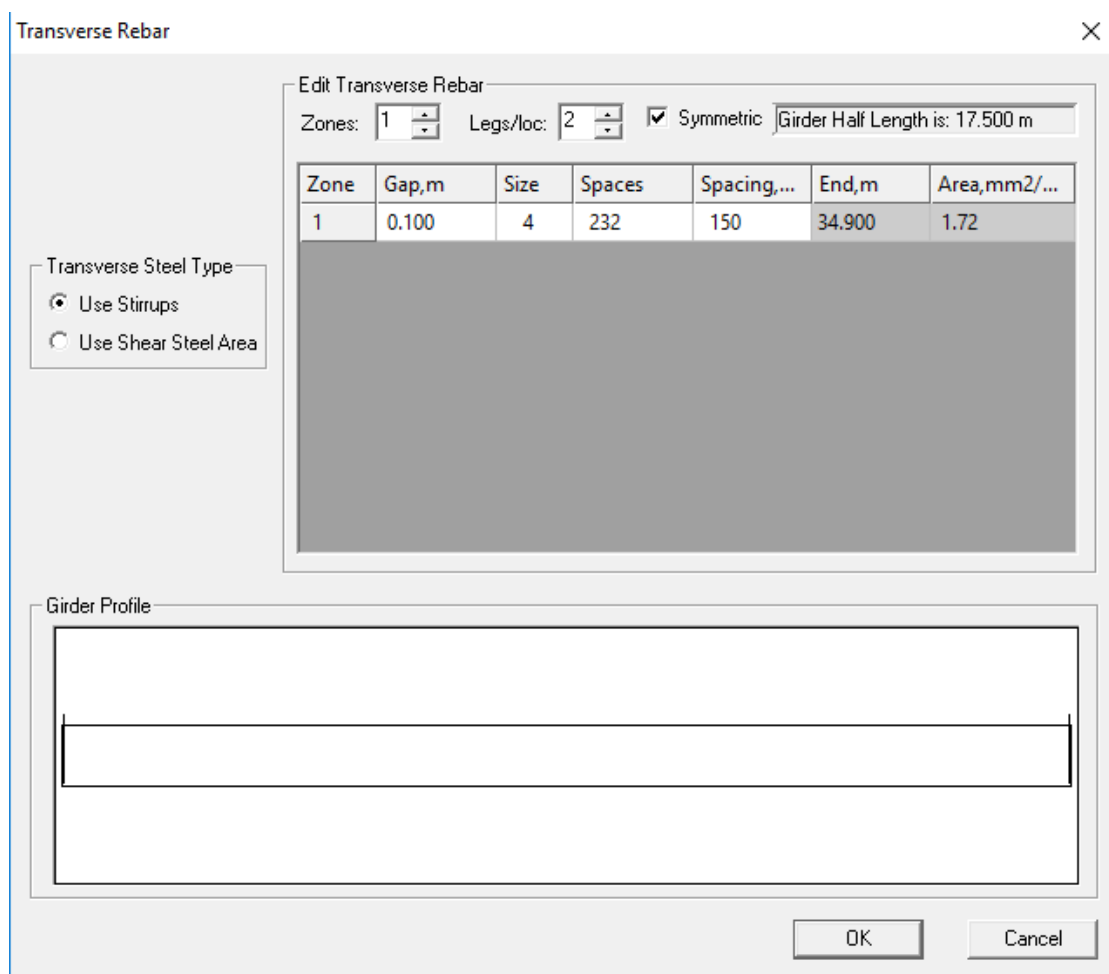


(7.14c)

Εικ. 7.14a, 7.14b, 7.14c: Κατανομή του διαμήκου οπλισμού στο εσωτερικό της δοκού.  
(Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

**Bar List:** Επιλέγοντας “Bar List” εμφανίζεται πίνακας, που περιλαμβάνει τα στοιχεία διάταξης ράβδου προς ράβδο, όπου:

1. ID: Η σειρά της κάθε ράβδου.
2. Size: Το μέγεθός της.
3. Height, m: Η κατά άξονα  $y'y$  απόσταση από το χαμηλότερο σημείο τη δοκού.
4. Start Loc, m: Το σημείο που αρχίζει η ράβδος.
5. End Loc, m: Το σημείο που τελειώνει η ράβδος.
6. Transverse Loc, m: Η κατά άξονα  $x'x$  απόσταση από το κέντρο βάρους της δοκού.



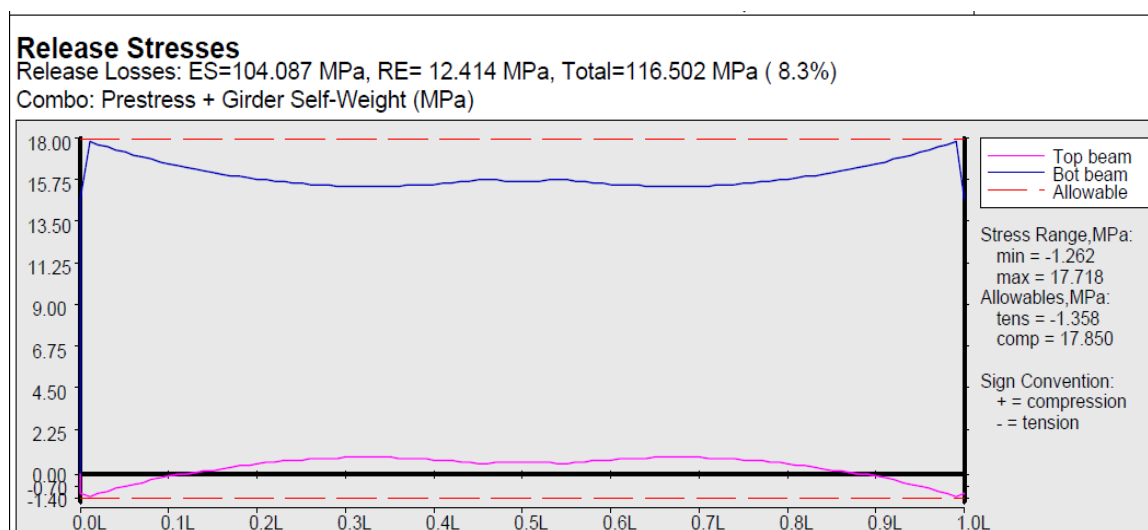
Εικ. 7.15: Καθορισμός εγκάρσιου οπλισμού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

## 7.8 Συμπεριφορά ακραίας αριστερής δοκού

Η σωστή επιλογή των διαστάσεων και του σκυροδέματος της δοκού που θα εφαρμοστεί στη γέφυρα που μελετάται, κρίνεται εκ του αποτελέσματος. Πιο συγκεκριμένα, τα διαγράμματα τάσεων συναρτήσει μήκους της δοκού, που προκύπτουν έχοντας ληφθεί υπ' όψιν τα δεδομένα (προένταση, οπλισμός, κατηγορία σκυροδέματος, διαστάσεις δοκού, φορτία) που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα, παρουσιάζουν τις τάσεις που δρουν στο άνω και κάτω πέλμα κατά μήκος της δοκού, καθώς επίσης και τις επιτρεπόμενες τάσεις.

Μέσα από δοκιμές που βασίζονται στην αλλαγή των δεδομένων, πραγματοποιήθηκε επιλογή των στοιχείων εκείνων, με τη χρήση των οποίων επιτεύχθηκαν τα επιθυμητά αποτελέσματα για την ασφάλεια της κατασκευής.

Στο διάγραμμα 7.16 φαίνονται οι άμεσες απώλειες προέντασης λόγω ελαστικής βράχυνσης του σκυροδέματος (**ES=104.087MPa**), αυτές λόγω χαλάρωσης του χάλυβα προέντασης (**RE=12.414MPa**) και οι συνολικές απώλειες, το άθροισμα δηλαδή των δύο αυτών (**Total=116.502MPa**). Ο έλεγχος έγινε λαμβάνοντας υπ' όψιν φορτίο λόγω προέντασης και ίδιο βάρος της δοκού και έλαβε χώρα αμέσως μετά την επιβολή της προέντασης. Το ποσοστό απωλειών είναι 8.3% της αρχικής δύναμης προέντασης. Στο διάγραμμα επίσης σημειώνονται οι τάσεις που αναπτύσσονται στο κάτω πέλμα της δοκού (**θλιπτικές**) και στο πάνω πέλμα (**εφελκυστικές ή ελαφρώς θλιπτικές**), καθώς και οι επιτρεπόμενες τάσεις σε θλίψη και εφελκυσμό. Όπως φαίνεται, οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι σε όλο το μήκος της δοκού εντός των ορίων.

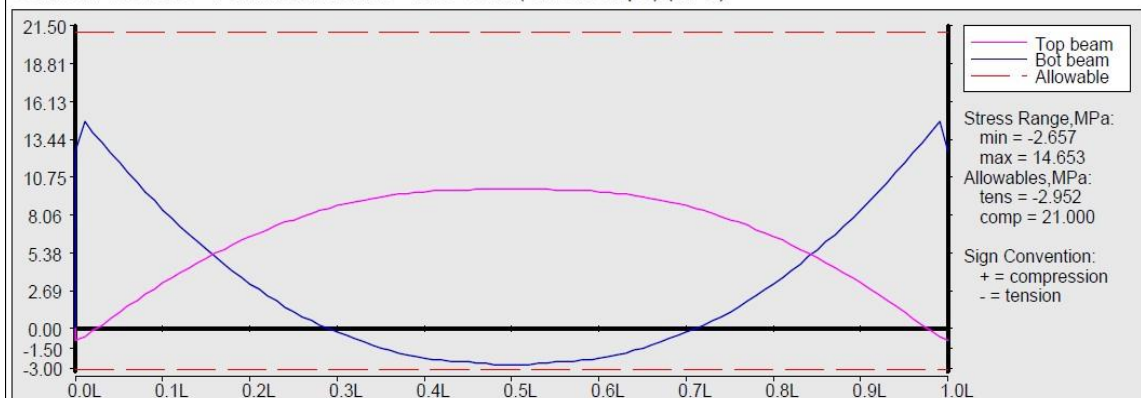


Εικ. 7.16: Διάγραμμα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (άμεσες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

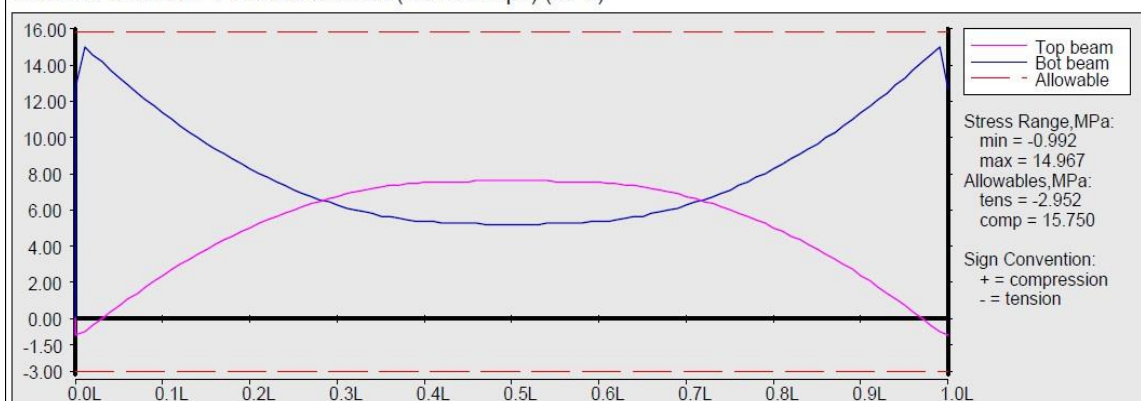
Στη συνέχεια παρατίθενται δύο διαγράμματα, στα οποία φαίνονται οι χρόνιες απώλειες προέντασης λόγω ελαστικής βράχυνσης του σκυροδέματος (**ES=104.087MPa**), αυτές λόγω χαλάρωσης του χάλυβα προέντασης (**RE=18.771MPa**), λόγω συστολής ξήρανσης σκυροδέματος (**SH=39.645MPa**), οι οφειλόμενες σε ερπυσμό του σκυροδέματος (**CR=128.814MPa**) και τέλος, το άθροισμα των παραπάνω (**TOTAL=291.317MPa**). Με εξαίρεση την ελαστική βράχυνση, που αποτελεί άμεση επίδραση, οι υπόλοιπες αιτίες απωλειών εξαρτώνται από το χρόνο ελέγχου. Για το πρώτο διάγραμμα ο έλεγχος έγινε λαμβάνοντας υπ' όψιν φορτίο λόγω προέντασης, μόνιμα και κινητά φορτία, ενώ για το δεύτερο, φορτίο λόγω προέντασης και μόνιμα φορτία. Και στα δύο διαγράμματα σημειώνονται οι θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις στα πέλματα της δοκού (άνω και κάτω πέλμα), καθώς και οι επιτρεπόμενες, όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα. Και εδώ διακρίνεται πως οι αναπτυσσόμενες τάσεις βρίσκονται εντός ορίων σε όλο το μήκος της δοκού.

### Final Stresses

Final losses: ES=104.087 MPa, RE= 18.771 MPa, SH= 39.645 MPa, CR=128.814 MPa, Total=291.317 MPa (20.9%)  
 Combo: Prestress + Permanent Loads + Live Load (+M envelope) (MPa)



Combo: Prestress + Permanent Loads (+M envelope) (MPa)

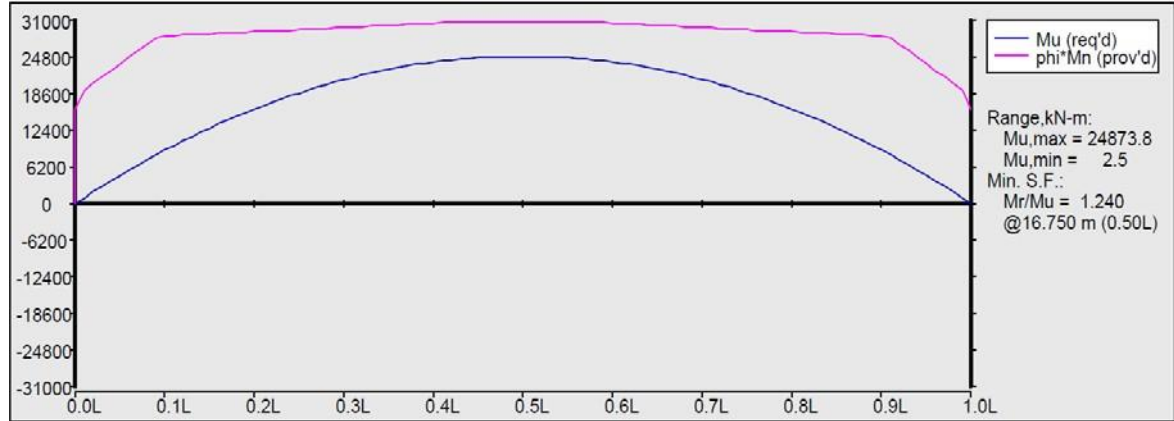


Εικ. 7.17: Διαγράμματα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (χρόνιες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Το διάγραμμα 7.18 αφορά την αντοχή της δοκού σε κάμψη, όπου παρουσιάζονται οι **καμπτικές ροπές** κατά μήκος της δοκού. Στο υπόμνημα σημειώνονται η μέγιστη ροπή κάμψης, η ελάχιστη και ο λόγος της αντοχής προς την μέγιστη ροπή. Όπως διακρίνεται, οι ροπές βρίσκονται εντός ορίων καθ' όλο το μήκος της δοκού.

### Flexural Strength

Combo: Flexural strength (+M envelope) (kN-m)

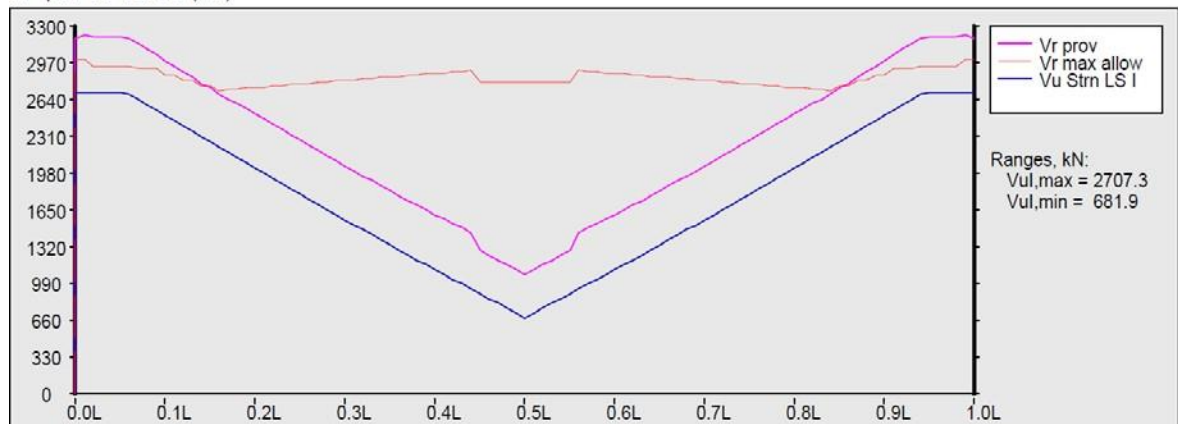


Εικ. 7.18: Διάγραμμα καμπτικών ροπών κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Το διάγραμμα 7.19 αφορά την αντοχή της δοκού σε διάτμηση, εξετάζοντας τις **τέμνουσες δυνάμεις** που ασκούνται σε όλο το μήκος της. Πιο συγκεκριμένα, προβάλλονται οι τέμνουσες αντοχής και καταπόνησης κατά μήκος της δοκού. Στο υπόμνημα του διαγράμματος σημειώνονται η μέγιστη και η ελάχιστη τέμνουσα δύναμη. Όπως διακρίνεται, οι τέμνουσες δυνάμεις βρίσκονται εντός ορίων καθ' όλο το μήκος της δοκού. Σημειώνεται ότι απαιτήθηκαν αρκετά βήματα αλλαγής του εγκάρσιου οπλισμού μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

### Vertical Shear Strength

$V_r = \phi V_n$  vs.  $V_u$  (kN)



Εικ. 7.19: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

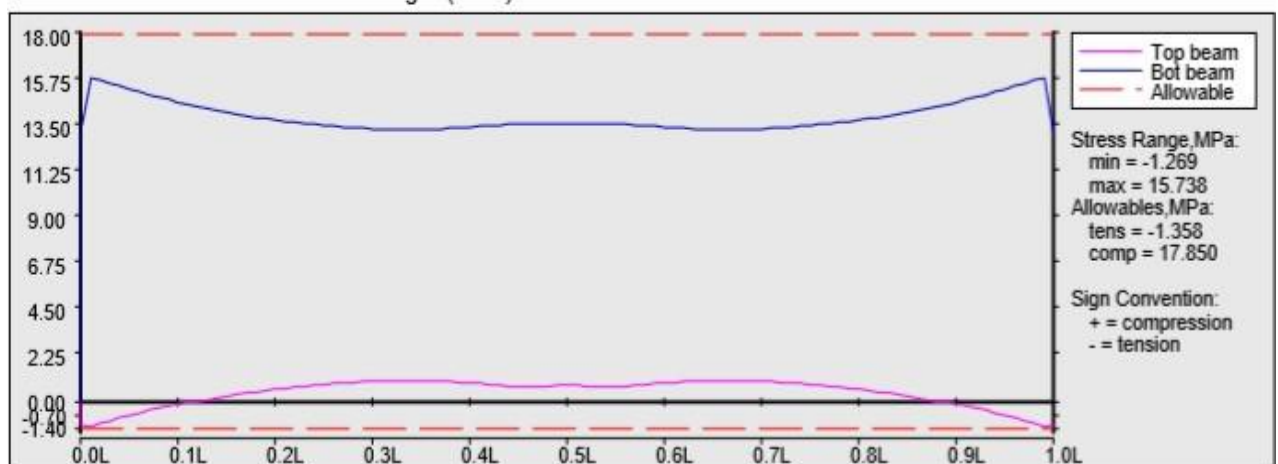
## 7.9 Συμπεριφορά ενδιάμεσης δοκού (3ης από αριστερά)

Κάθε δοκός της γέφυρας καταπονείται διαφορετικά ανάλογα με τη θέση της, συνεπώς θεωρείται αναγκαία η μελέτη μιας ακραίας και μιας ενδιάμεσης δοκού. Η εισαγωγή των δεδομένων του μοντέλου γίνεται σύμφωνα με τις καρτέλες που παραθέσαμε σε προηγούμενη παράγραφο, που περιγράφει τα διάφορα στάδια για την ακραία δοκό και οι αλλαγές έγκεινται μόνο στον καθορισμό της θέσης της και στην επιβολή μόνιμων φορτίων, καθώς η παρούσα δεν καταπονείται από το βάρος των στηθαίων, αντίθετα με την ακραία. Για τους ανωτέρω λόγους, κατά την προένταση το πρόγραμμα προβλέπει 6 τένοντες λιγότερους από ότι στην ακραία δοκό (40 έναντι 46).

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται οι άμεσες απώλειες προέντασης λόγω βράχυνσης του σκυροδέματος ( $ES=91.269\text{MPa}$ ) και το ποσοστό απωλειών, που ανάγεται στο 7.4% της αρχικής δύναμης προέντασης, τιμές που διαφέρουν λίγο από τις αντίστοιχες της ακραίας δοκού λόγω ελαφρώς διαφορετικής τοποθέτησης τενόντων. Οι απώλειες λόγω χαλάρωσης του χάλυβα παραμένουν ίδιες, λόγω ίδιας αρχικής τάσης προέντασης (75% της μέγιστης τάσης). Όπως στο αντίστοιχο διάγραμμα της ακραίας δοκού, έτσι και εδώ, οι αναπτυσσόμενες τάσεις παραμένουν εντός ορίων σε όλο το μήκος της και, πιο συγκεκριμένα, οι θλιπτικές τάσεις απέχουν περισσότερο από τις επιτρεπόμενες συγκριτικά με την ακραία δοκό. Οι εφελκυστικές έχουν ίδιες τιμές και στις δύο δοκούς.

### Release Stresses

Release Losses:  $ES= 91.269\text{ MPa}$ ,  $RE= 12.414\text{ MPa}$ ,  $Total=103.684\text{ MPa}$  ( 7.4%)  
 Combo: Prestress + Girder Self-Weight (MPa)

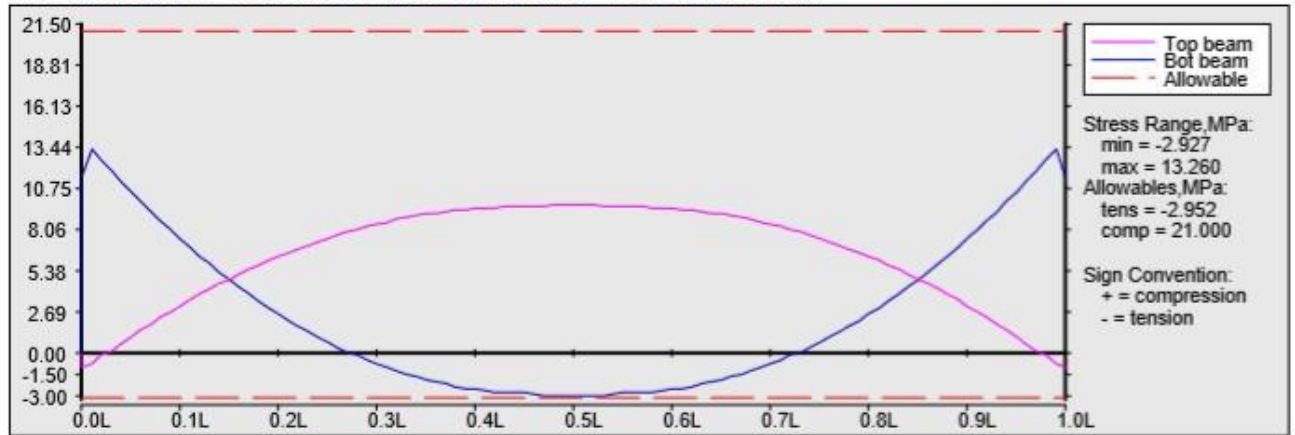


Εικ. 7.20: Διάγραμμα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (άμεσες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

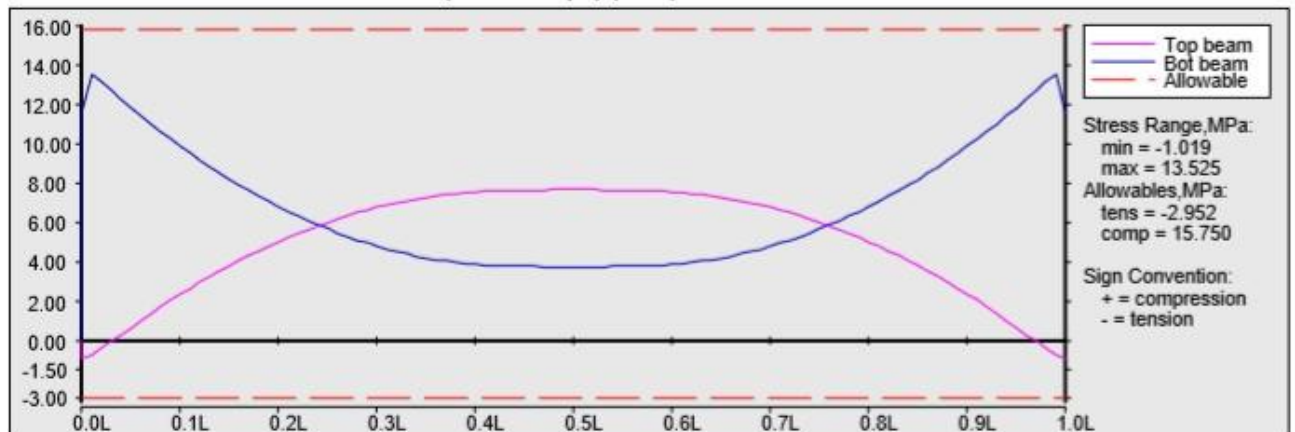
Οι τιμές των αναπτυσσόμενων τάσεων παραμένουν παρόμοιες με αυτές τις ακραίες δοκού και βρίσκονται εντός ορίων καθ' όλο το μήκος της δοκού.

### Final Stresses

Final losses: ES= 91.269 MPa, RE= 21.664 MPa, SH= 39.645 MPa, CR=106.230 MPa, Total=258.808 MPa (18.5%)  
 Combo: Prestress + Permanent Loads + Live Load (+M envelope) (MPa)



Combo: Prestress + Permanent Loads (+M envelope) (MPa)

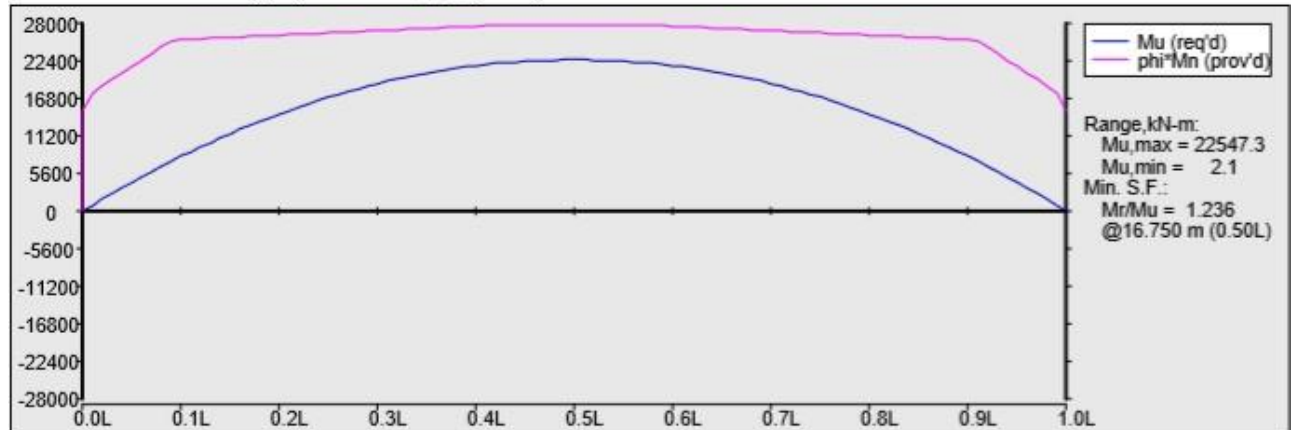


Εικ. 7.21: Διαγράμματα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (χρόνιες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Από το διάγραμμα **καμπτικών ροπών**, προκύπτει πως οι ροπές που δρουν κατά μήκος της δοκού είναι εντός των ορίων, συνεπώς και η παρούσα δοκός έχει ικανοποιητική αντοχή σε κάμψη.

## Flexural Strength

Combo: Flexural strength (+M envelope) (kN-m)

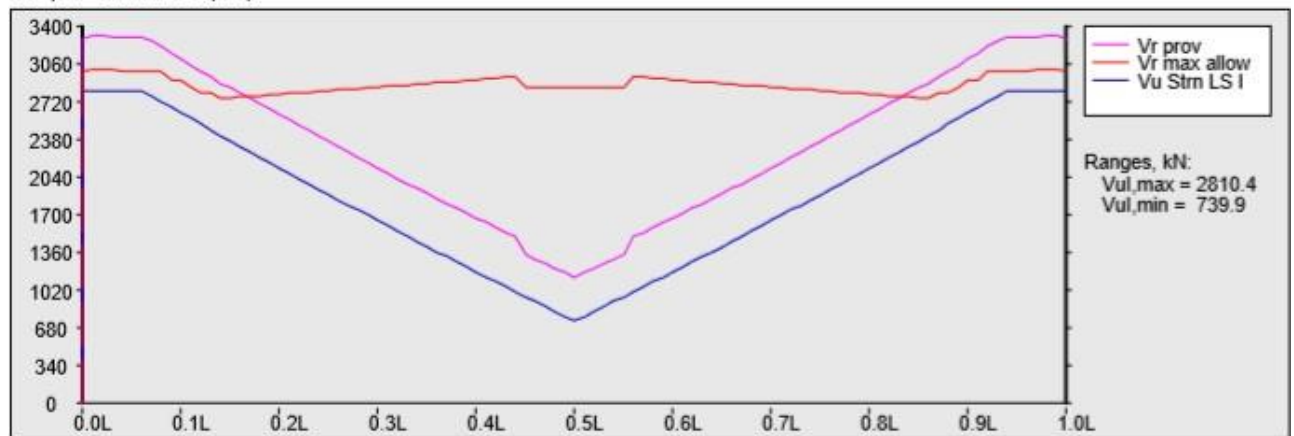


Εικ. 7.22: Διάγραμμα καμπτικών ροπών κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Εξετάζοντας τη διατμητική αντοχή της δοκού, παρατηρείται ότι και σε αυτή τη δοκό η καταπόνηση είναι μικρότερη απ' την αντοχή. Σημειώνεται ότι ο εγκάρσιος οπλισμός είναι ο ίδιος με αυτόν της ακραίας δοκού.

## Vertical Shear Strength

$V_r = \phi V_n$  vs.  $V_u$  (kN)



Εικ. 7.23: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Εναλλακτικά, μπορεί στη συγκεκριμένη γέφυρα να εφαρμοστεί δοκός με ύψος διατομής **2.0m** (αντί για **2.2m**) και κατηγορία σκυροδέματος **C40/50** (αντί για **C35/45**). Παραθέτοντας τα διαγράμματα που προκύπτουν από τη μελέτη της εν λόγω δοκού, παρατηρούνται ελάχιστες αλλαγές, που κρίνονται αμελητέες.

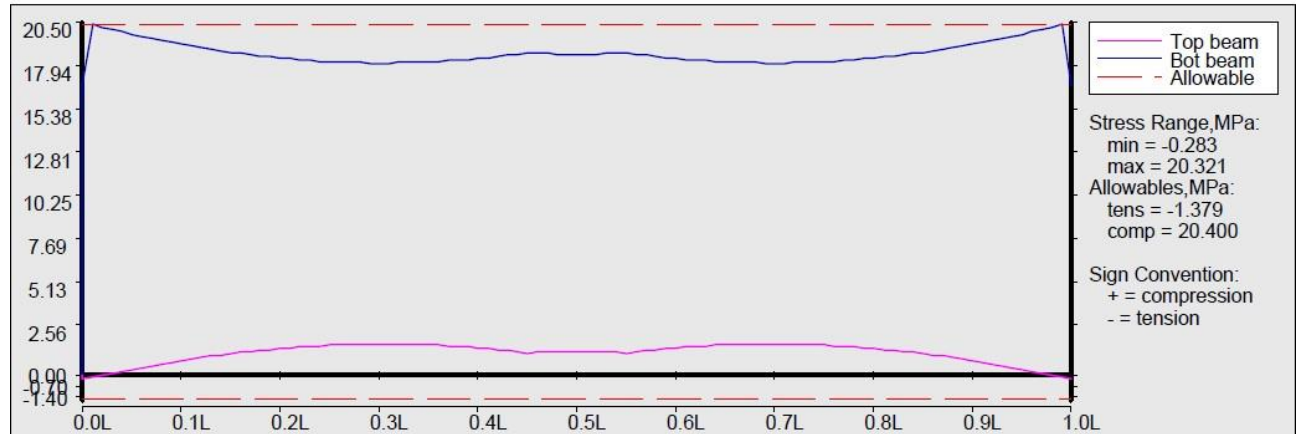
Εξετάζοντας τις καμπύλες των τάσεων κατά μήκος της δοκού, παρατηρείται ίδια κατανομή θλιπτικών τάσεων και στις δύο δοκούς, ενώ διαφέρουν ως προς την



κατανομή των εφελκυστικών, καθώς στη δεύτερη δοκό οι ελάχιστη τιμή βρίσκεται κοντά στο μηδέν. Πάρα ταύτα, και στις δύο περιπτώσεις οι αναπτυσσόμενες τάσεις βρίσκονται εντός ορίων καθ' όλο το μήκος της δοκού.

### Release Stresses

Release Losses: ES=111.559 MPa, RE= 12.414 MPa, Total=123.973 MPa ( 8.9%)  
 Combo: Prestress + Girder Self-Weight (MPa)

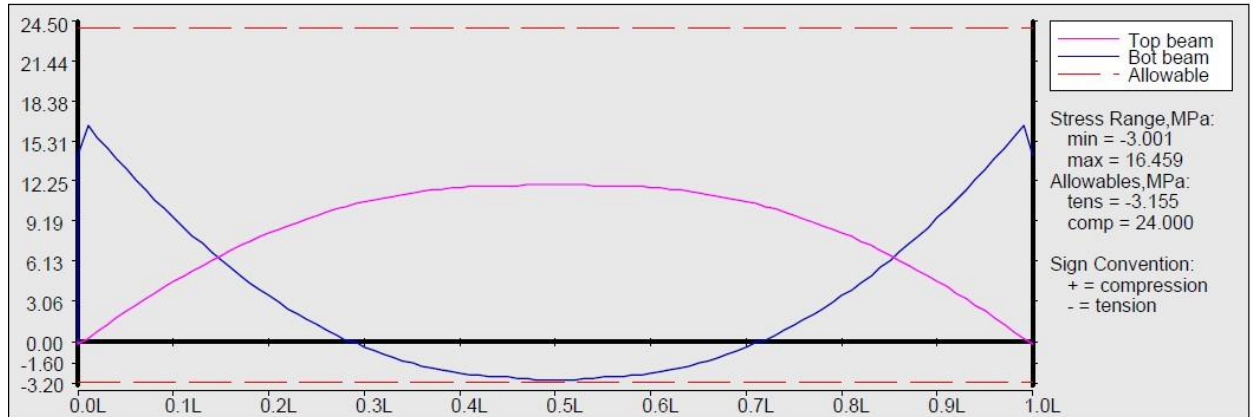


Εικ. 7.24: Διάγραμμα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (άμεσες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

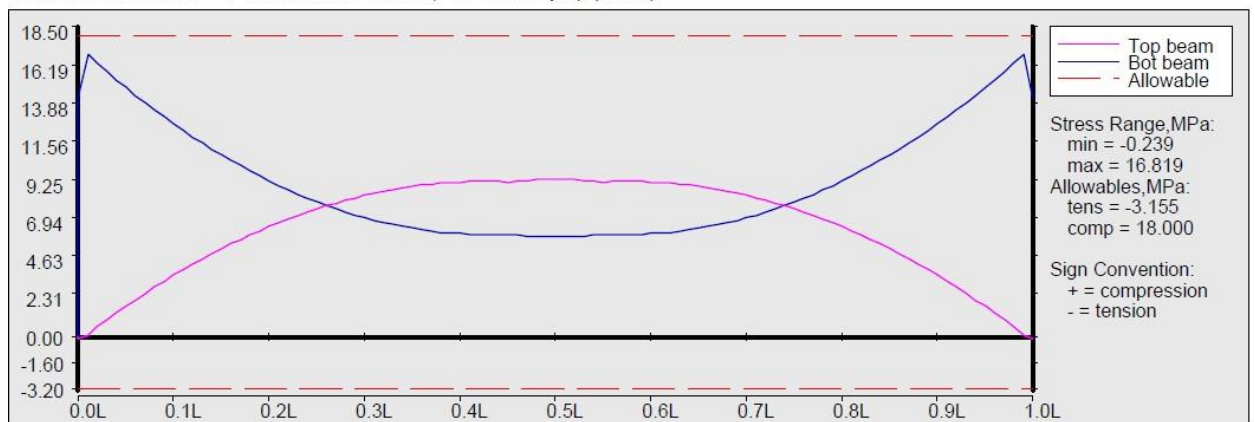
Στα διαγράμματα χρόνιων απωλειών με προένταση και επιβολή μόνιμων και κινητών και φορτίων που ακολουθούν, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά με τις αναπτυσσόμενες τάσεις να βρίσκονται εντός ορίων σε όλο το μήκος της δοκού.

**Final Stresses**

Final losses: ES=111.559 MPa, RE= 16.530 MPa, SH= 39.645 MPa, CR=151.223 MPa, Total=318.957 MPa (22.8%)  
 Combo: Prestress + Permanent Loads + Live Load (+M envelope) (MPa)



Combo: Prestress + Permanent Loads (+M envelope) (MPa)

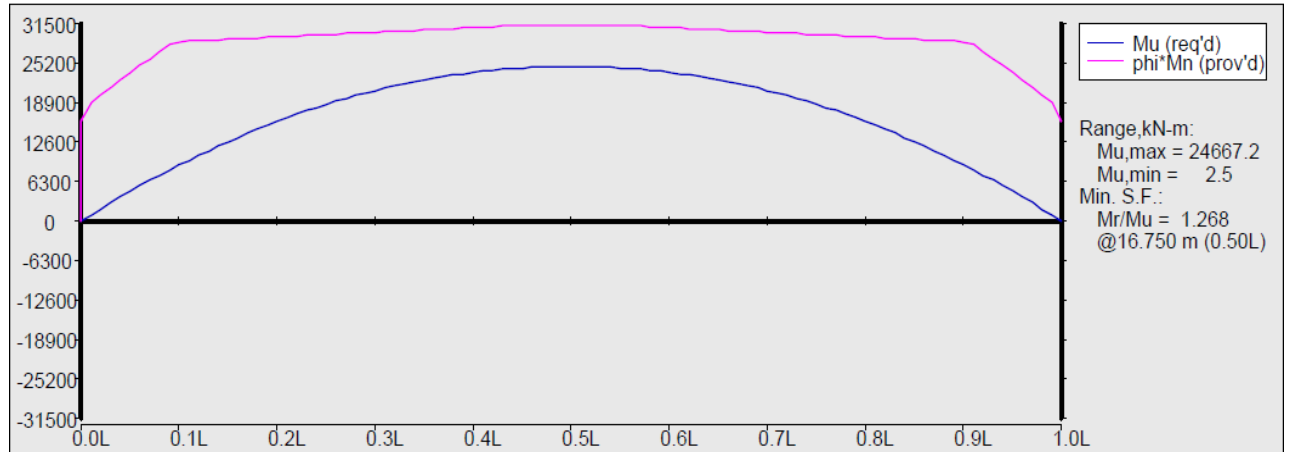


Εικ. 7.25: Διαγράμματα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (χρόνιες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Το διάγραμμα **καμπτικών ροπών** που ακολουθεί, παρουσιάζει ελάχιστες διαφορές από το αντίστοιχο της προηγούμενης δοκού. Η μέγιστη τιμή ροπής είναι ελάχιστα μειωμένη, ενώ η ελάχιστη τιμή της και ο λόγος της διαθέσιμης αντοχής σε κάμψη προς τη μέγιστη ροπή έχουν αυξηθεί, όπως σημειώνεται στο υπόμνημα και βρίσκονται εντός ορίων σε όλο το μήκος της δοκού. Εντός των ορίων βρίσκεται και η καταπόνηση σε διάτμηση, όπως φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα (Εικ.:7.27). Σημειώνεται ότι και σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος εγκάρσιος οπλισμός, όπως και στη δοκό ύψους 2.2m.

## Flexural Strength

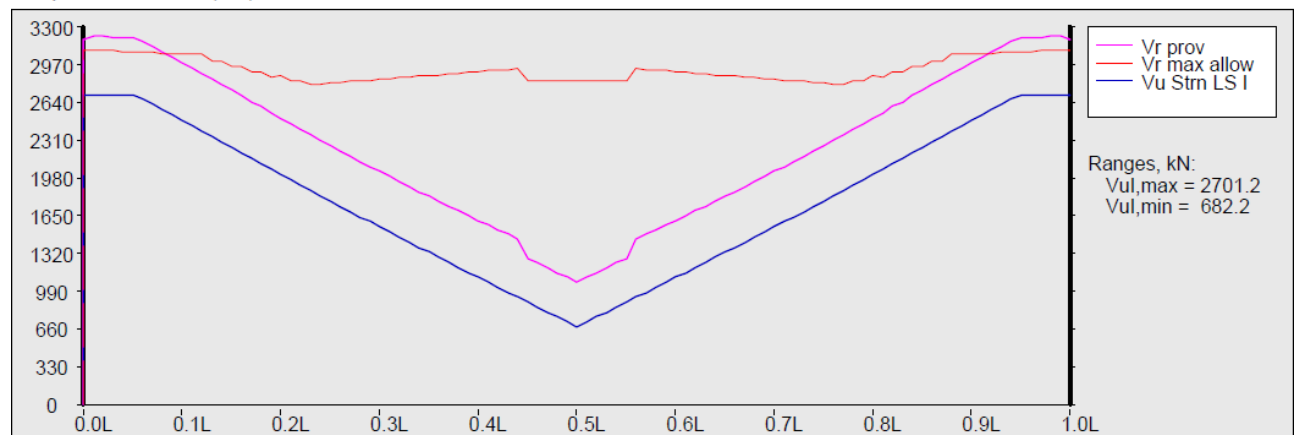
Combo: Flexural strength (+M envelope) (kN-m)



Εικ. 7.26: Διάγραμμα καμπτικών ροπών κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

## Vertical Shear Strength

$V_r = \phi \cdot V_n$  vs.  $V_u$  (kN)



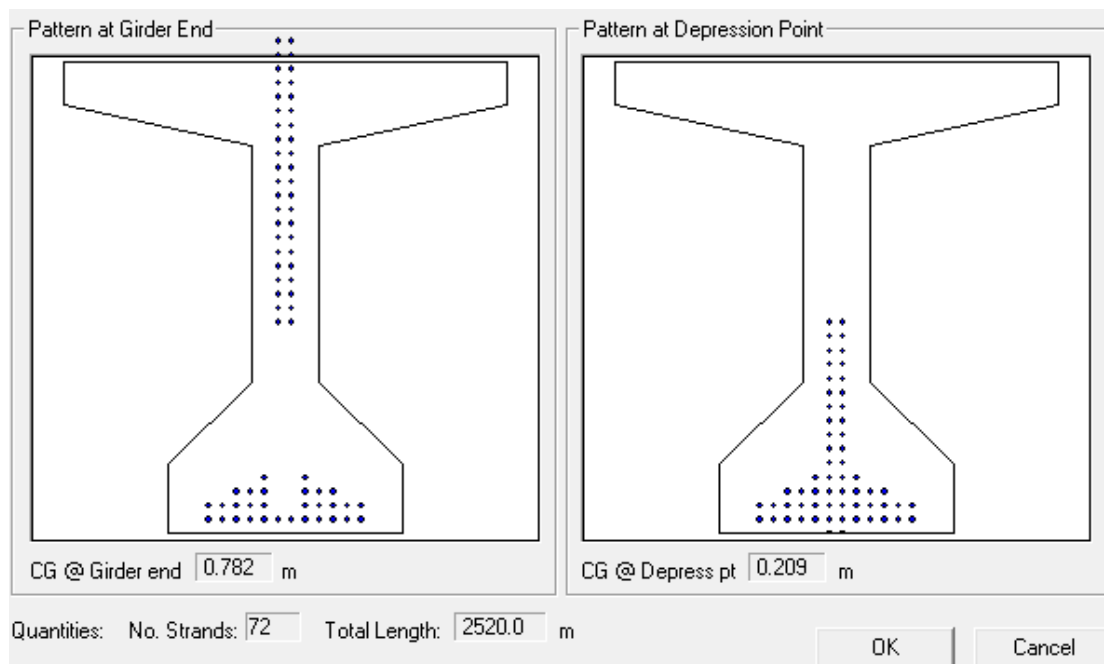
Εικ. 7.27 Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

## 7.10 Απορριφθέντα παραδείγματα δοκών

Μέχρι την κατάληξη σε δοκό, της οποίας τα χαρακτηριστικά δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα στα διαγράμματα τάσεων και ροπών, προηγήθηκε αποκλεισμός

διάφορων δοκών. Τα μεγέθη που τροποποιούνται είναι οι διαστάσεις της διατομής (κυρίως το **ύψος**) και η **κατηγορία σκυροδέματος**.

Μία από τις δοκούς που μελετήθηκαν ήταν αυτή με ύψος διατομής **1.7m** και κατηγορία σκυροδέματος **C40/50**. Ενδεικτικά, παρατίθεται η διάταξη τενόντων προς σύγκρισή της με την επίσης εξωτερική δοκό, ύψους 2.2m και κατηγορίας σκυροδέματος C35/45. Παρατηρείται αύξηση των τενόντων κατά περίπου 60% του αριθμού που προβλέπεται για την επιλεγείσα δοκό (72 έναντι 46) και η διάταξη στο τέλος του φορέα προκύπτει προβληματική, γεγονός που καθιστά την κατασκευή της δοκού πιθανόν ανέφικτη.



Εικ. 7.28: Διάταξη των τενόντων σε ακραία δοκό ύψους 1.7m και σκυροδέματος C40/50. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

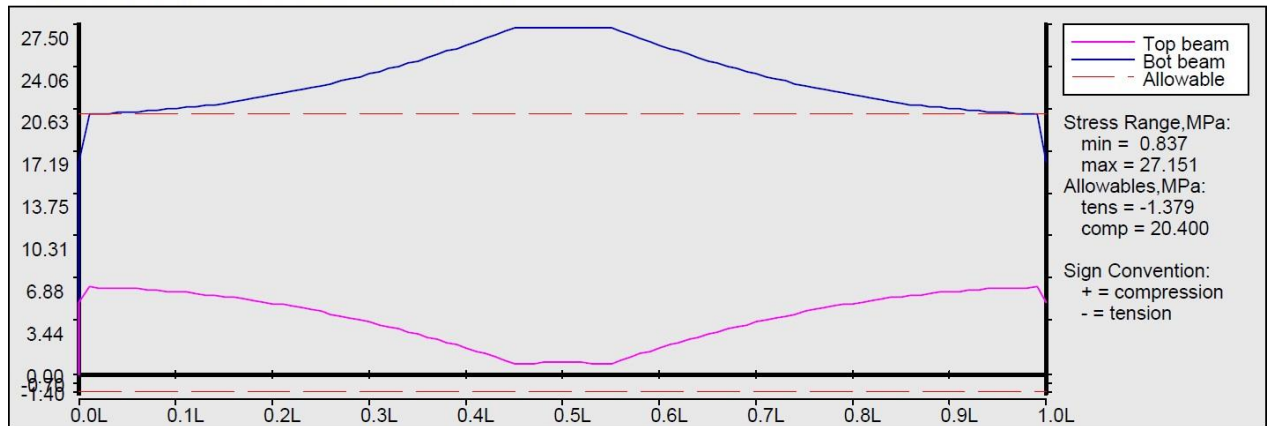
Ακολουθούν τα διαγράμματα προς σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της δοκού που επιλέχθηκε.

Στο διάγραμμα 7.29 παρουσιάζεται η σύγκριση μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων, αμέσως μετά την επιβολή της προέντασης. Οι **θλιπτικές τάσεις** που αναπτύσσονται στο κάτω μέρος της δοκού, υπερβαίνουν σημαντικά την επιτρεπόμενη τάση, ιδιαιτέρως στο ενδιάμεσο του μήκους. Οι τάσεις που αναπτύσσονται στο πάνω μέρος της δοκού είναι παντού εντός των ορίων.

### Release Stresses

Release Losses: ES=159.717 MPa, RE= 12.414 MPa, Total=172.131 MPa (12.3%)

Combo: Prestress + Girder Self-Weight (MPa)

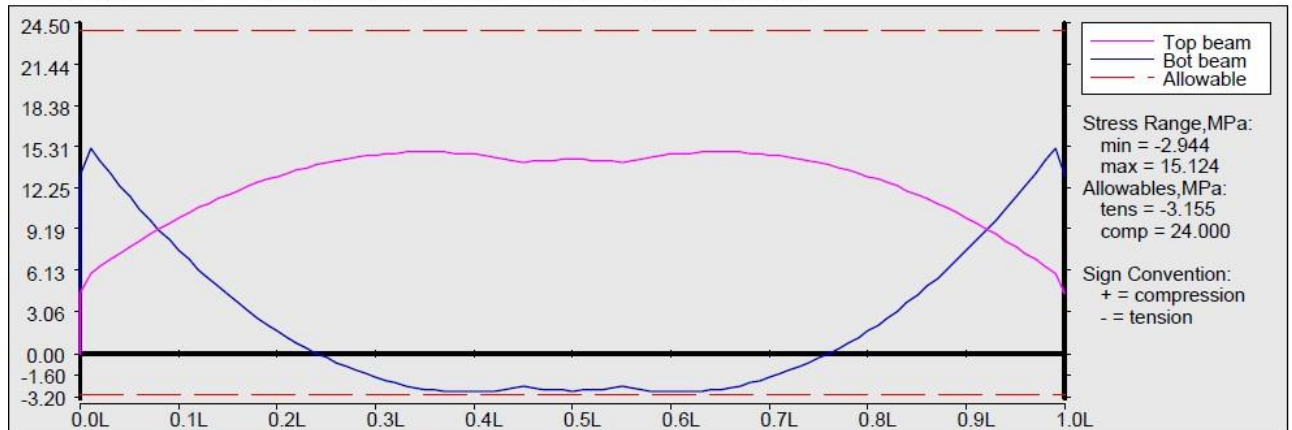


Εικ. 7.29: Διάγραμμα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (άμεσες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

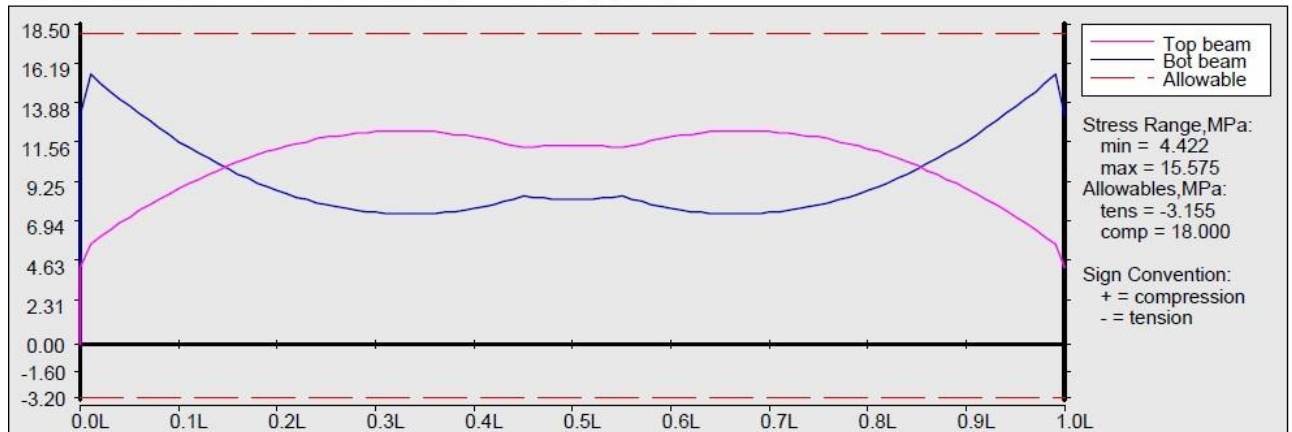
Στα διαγράμματα 7.30 παρατίθενται οι έλεγχοι τάσεων για χρόνιες απώλειες προέντασης. Για το πρώτο διάγραμμα ο έλεγχος έγινε λαμβάνοντας υπ' όψιν φορτίο λόγω προέντασης, μόνιμα και κινητά φορτία, ενώ για το δεύτερο, φορτίο λόγω προέντασης και μόνιμα φορτία. Και στους δύο συνδυασμούς φορτίων οι αναπτυσσόμενες τάσεις βρίσκονται εντός ορίων καθ' όλο το μήκος της δοκού. Ωστόσο, αυτό δεν έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς η συγκεκριμένη δοκός ύψους 1.7m δεν καλύπτει τον έλεγχο τάσεων κατά την αρχική επιβολή της προέντασης και επομένως απορρίπτεται.

### Final Stresses

Final losses: ES=159.717 MPa, RE= 6.340 MPa, SH= 39.645 MPa, CR=224.729 MPa, Total=430.431 MPa (30.8%)  
 Combo: Prestress + Permanent Loads + Live Load (+M envelope) (MPa)



Combo: Prestress + Permanent Loads (+M envelope) (MPa)

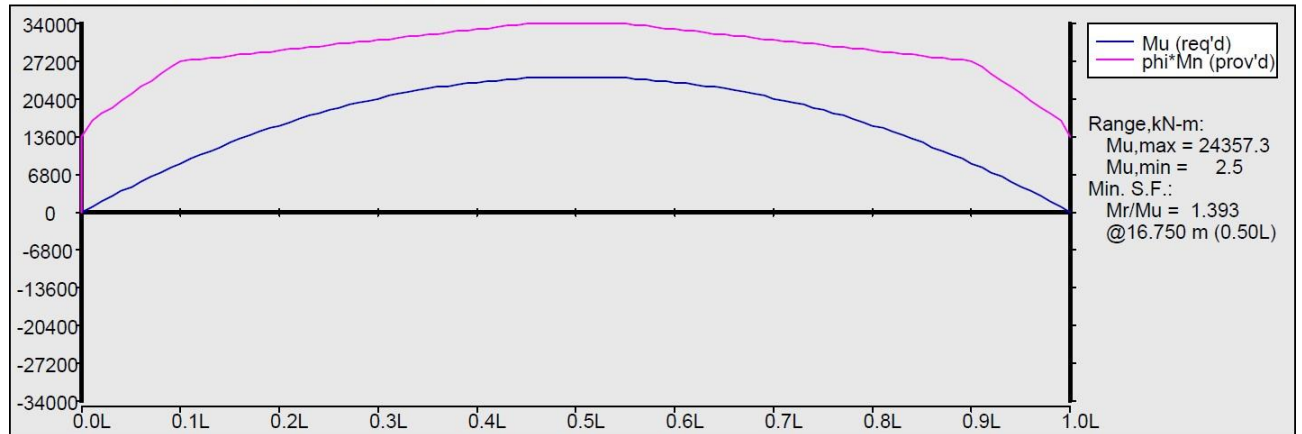


Εικ. 7.30: Διαγράμματα μέγιστων και επιτρεπόμενων τάσεων κατά μήκος της δοκού (χρόνιες απώλειες). (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Στο διάγραμμα **καμπτικών ροπών** που ακολουθεί, παρατηρείται πως οι τιμές τους βρίσκονται εντός ορίων καθ' όλο το μήκος. Το ίδιο ισχύει και για τις τέμνουσες δυνάμεις, ωστόσο στα άκρα της δοκού η αντοχή είναι οριακά μεγαλύτερη απ' την καταπόνηση.

## Flexural Strength

Combo: Flexural strength (+M envelope) (kN-m)

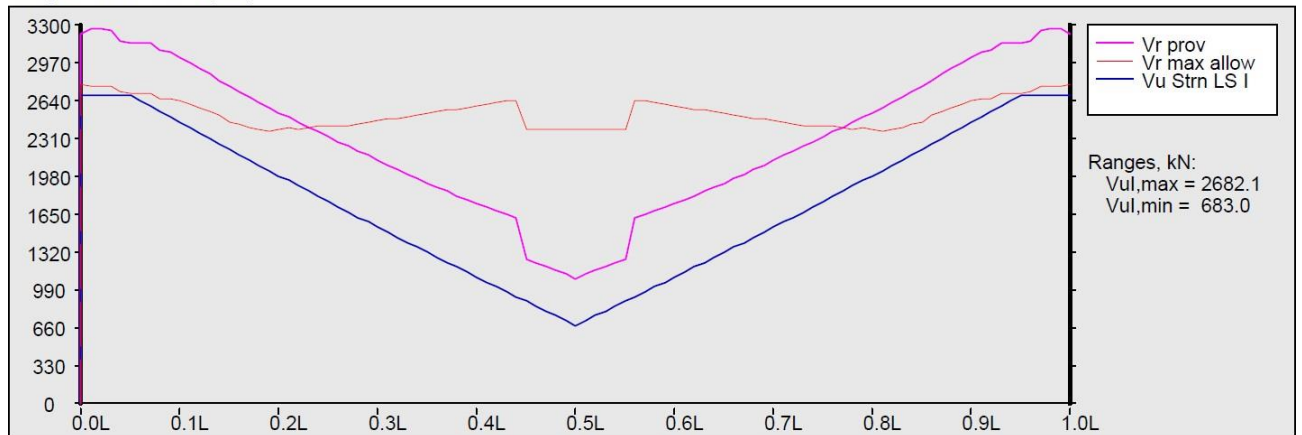


Εικ. 7.31: Διάγραμμα καμπτικών ροπών κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

Το διάγραμμα **τεμνουσών δυνάμεων** υπολείπεται αναλογικότητας, όπως προκύπτει από τη σύγκρισή του με το αντίστοιχο της επιλεγείσας δοκού.

## Vertical Shear Strength

$Vr = \phi * Vn$  vs.  $Vu$  (kN)



Εικ. 7.32: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων κατά μήκος της δοκού. (Πηγή: PSBeam 4.53 Demonstration, Eriksson Technologies, Inc)

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η οικοδομική τεχνολογία υποχρεωτικά ακολουθεί την πορεία των ραγδαίων ρυθμών της καθημερινότητας και την επιτακτική ανάγκη του ανθρώπου για οικοδομήματα ογκώδη, ασφαλή, υψηλής αισθητικής και με τον ελάχιστο δυνατό χρόνο ανέγερσης. Η μόνη κατασκευαστική μέθοδος που δύναται να ανταποκριθεί πλήρως σε τέτοιες απαιτήσεις είναι αυτή της προκατασκευής.

Στην παρούσα εργασία παρατέθηκαν τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην προκατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς επίσης και κάποιοι τύποι προκατασκευασμένων κατασκευών. Τα μέλη αυτά κατασκευάζονται, είτε σε βιομηχανικές μονάδες κατασκευής, είτε σε χώρους του εργοταξίου και, με την ολοκλήρωσή τους, μεταφέρονται στο σημείο του έργου και ενσωματώνονται.

Επιπλέον μελετήθηκαν τύποι προκατασκευασμένων γεφυρών και παρατέθηκαν τα στοιχεία τους που αφορούν την επιλογή κάθε τύπου ανάλογα με τις κρατούσες συνθήκες και τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε έργου, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως υπάρχει μεγάλη ποικιλία στην κατηγορία αυτή. Σημαντική παράμετρος αποτελεί και η αισθητική τους.

Τέλος, έγινε ανάλυση προκατασκευασμένης δοκού με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού με σκοπό την επιλογή της κατάλληλης δοκού για τη γέφυρα της Ιονίας Οδού, αυτή του Γυμνότοπου. Η δοκός που επιλέχθηκε κατόπιν αρκετών δοκιμών έχει ύψος διατομής **2.2m** και κατηγορία σκυροδέματος **C35/45**.

Τα κριτήρια που πληρούσε για να επιλεγεί, ήταν ο έλεγχος τάσεων και φέρουσας ικανότητας της δοκού, μέσω της μελέτης των κατάλληλων διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα που εξετάστηκαν ήταν 5 και αφορούσαν α) τις μέγιστες και επιτρεπόμενες τάσεις συναρτήσει μήκους της δοκού για άμεσες απώλειες της προέντασης, β) τις μέγιστες και επιτρεπόμενες τάσεις για τελικές απώλειες με συνδυασμό προέντασης, μόνιμων και κινητών φορτίων γ) για τελικές απώλειες με συνδυασμό προέντασης και μόνιμων φορτίων, δ) καμπτικές ροπές και ε) τέμνουσες δυνάμεις. Παρατηρήθηκε πως οι μέγιστες τάσεις ήταν εντός ορίων των επιτρεπόμενων τάσεων καθ' όλο το μήκος της δοκού, ενώ συγκριτικά με τα απορριφθέντα παραδείγματα δοκών, η κατανομή των τάσεων της επιλεγείσας ήταν ομαλή.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

1. Δρ. Διονύσιος Ε. Μπισκίνης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος «ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑ: ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ-ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ»
2. Δρ. Διονύσιος Ε. Μπισκίνης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος «ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΪΑ: ΕΙΔΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ»
3. Δρ. Διονύσιος Ε. Μπισκίνης Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος «ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑ: ΜΟΝΙΜΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ»
4. F. Leonhardt «ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ - 6. ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ»
5. DIN-Fachbericht 101 «ΔΡΑΣΕΙΣ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ»
6. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Γενική Διεύθυνση Συγκοινωνιών Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας «ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ DIN-FACHBERICHT ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ»
7. Ε. Μπούσιας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών-Εργαστήριο Κατασκευών «ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ»
8. Ελληνικός Κανονισμός Προκατασκευής, ΦΕΚ 1517 Δ/27.07.1999, (1999), Μέρος Β, «ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ»

### Αγγλική

1. Kim S. Elliott (2002) «PRECAST CONCRETE STRUCTURES»
2. state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 27) «SEISMIC DESIGN OF PRECAST CONCRETE BUILDING STRUCTURES»
3. state-of-art-report, fib ceb-fip (bulletin 29) (2004) «PRECAST CONCRETE BRIDGES»
4. guide to good practice, fib ceb-fip (bulletin 43) (2008) «STRUCTURAL CONNECTIONS FOR PRECAST CONCRETE BUILDINGS»
5. Ballard, Glenn & Howell, Greg (1998). «WHAT KIND OF PRODUCTION IS CONSTRUCTION?»
6. Bernstein, M. Harvey, Gudge, E. John, Laquidara-Carr, Donna (2011). «PREFABRICATION AND MODULARIZATION: INCREASING PRODUCTIVITY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY»
7. Thoering, Hans-Erich (1977). «PREFABRICATED BUILDINGS IN DEVELOPING COUNTRIES»
8. Eriksson Technologies, Inc. (2000-2015) «PS BEAM 4.53 Demonstration»

