

Κατασκευή γεφυρών από προκατασκευασμένες δοκούς στην Εγνατία Οδό

Δέσποινα Ταταμίδου & Θεοδοσία Τζουμάκη



Σύνδος
Δεκέμβριος 2020

**Κατασκευή Γεφυρών από Προκατασκευασμένες Δοκούς στην Εγνατία
Οδό**

Δέσποινα Ταταμίδου & Θεοδοσία Τζουμάκη

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Φανή Αντωνίου

Δημήτριος Κωνσταντινίδης

Κωνσταντίνος Αναγνωστόπουλος

Σίνδος

Δεκέμβριος 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ABSTRACT.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1. Αντικείμενο Εργασίας.....	11
1.2. Σκοπός Εργασίας.....	12
1.3. Μεθοδολογία.....	13
1.4. Δομή Εργασίας.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ	
3.1. Μηχανοποιημένες Μέθοδοι Κατασκευής Γεφυρών.....	18
3.1.1. Μέθοδος Προβολοδόμησης.....	19
3.1.2. Μέθοδος Σταδιακής Προώθησης.....	20
3.1.3 Μέθοδος Προωθούμενων – Αυτοφερούμενων Δοκών.....	21
3.2. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών.....	22
3.2.1. Κατηγορίες Προκατασκευασμένων Δοκών.....	24
3.2.1.1. Τυποποιημένες Προκατασκευασμένες Δοκοί.....	25
3.2.1.2. Προσαρμοσμένες Προκατασκευασμένες Δοκοί.....	25
3.2.2. Πλεονεκτήματα της Μεθόδου.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ	
4.1. Ηνωμένο Βασίλειο	
4.1.1. Μέθοδος προκατασκευασμένων δοκών.....	26
4.1.2. Εξέλιξη της τυποποίησης γεφυρών από προκατασκευασμένες δοκούς.....	29
4.2. Γερμανία	
4.2.1 Μέθοδος προκατασκευασμένων δοκών.....	29
4.2.2 Εξέλιξη της τυποποίησης γεφυρών από προκατασκευασμένες δοκούς.....	30
4.3. Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	
4.3.1. Μέθοδος προκατασκευασμένων δοκών.....	31
4.3.2 Εξέλιξη της τυποποίησης γεφυρών από προκατασκευασμένες δοκούς.....	31

4.4. Νέα Ζηλανδία	
4.4.1. Μέθοδος προκατασκευασμένων δοκών.....	33
4.4.2. Εξέλιξη της τυποποίησης γεφυρών από προκατασκευασμένες δοκούς.....	33
4.5. Αυστραλία	
4.5.1. Μέθοδος προκατασκευασμένων δοκών.....	36
4.5.2. Εξέλιξη της τυποποίησης γεφυρών από προκατασκευασμένες δοκούς.....	36
4.6. Κίνα	
4.6.1. Μέθοδος προκατασκευασμένων δοκών.....	37
4.6.2. Εξέλιξη της τυποποίησης γεφυρών από προκατασκευασμένες δοκούς.....	38
4.7. Συγκεντρωτική Αξιολόγηση της Τυποποίησης των Προκατασκευασμένων Δοκών στο Εξωτερικό.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Η ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΓΕΦΥΡΕΣ ΤΗΣ	
5.1. Η Εγνατία οδός.....	41
5.2. Οι Γέφυρες της Εγνατίας οδού.....	43
5.2.1. Μέθοδοι Κατασκευής Γεφυρών Εγνατίας οδού.....	47
5.2.2. Συλλογή Δεδομένων Γεφυρών της Εγνατίας οδού με την Μέθοδο των Προκατασκευασμένων Δοκών.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials - Αμερικανική Ένωση Κρατών και Εθνικών Οδών

ABC: U.S. Accelerated Bridge Construction - Επιταχυνόμενη Κατασκευή των Γεφυρών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής

BDS: Bridge Data Systems - Οδηγός Συστήματος Δεδομένων Γεφυρών

DfMA: Design for Manufacture and Assembly - Σχεδιασμός για Κατασκευή και Συναρμολόγηση

FHWA: Federal Highways Administration - Ομοσπονδιακή διοίκηση των Αυτοκινητοδρόμων

MoW: Ministry of Works - Υπουργείο Έργων της Νέας Ζηλανδίας

PCI: Precast/Prestressed Concrete Institute - Ινστιτούτο

Προκατασκευασμένου/Προεντεταμένου Σκυροδέματος

PreCoBeam: Prefabricated Composite Beam

RFCS: Research Fund for Coal and Steel - Ταμείο Έρευνας για τον Άνθρακα και τον Χάλυβα

VFT: Verbund-Fertigteil-Träger

Η.Π.Α.: Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1. Μέθοδος Προβολοδόμησης
- Εικόνα 2. Μέθοδος Σταδιακής Προώθησης
- Εικόνα 3. Μέθοδος Προωθούμενων – Αυτοφερούμενων Δοκών
- Εικόνα 4. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών
- Εικόνα 5. Διατομές Τυποποιημένων Προκατασκευασμένων Δοκών (Bourne, 2015)
- Εικόνα 6. Διατομή “Banagher W Beam”
- Εικόνα 7. Διατομή “Banagher MY Beam”
- Εικόνα 8. Ο Αυτοκινητόδρομος της Εγνατίας οδού
- Εικόνα 9. Γέφυρα Κρυσταλλοπηγής
- Εικόνα 10. Γέφυρα Μεγαλορέματος
- Εικόνα 11. Γέφυρα Αράχθου
- Εικόνα 12. Γέφυρα Γ2
- Εικόνα 13. Γέφυρα Βοτανοσίου
- Εικόνα 14. Γέφυρα Μετσοβίτικου ποταμού
- Εικόνα 15. Κατανομή των Γεφυρών της Εγνατίας Οδού αναλόγως το μήκος (Konstantinidis & Antoniou, 2010)
- Εικόνα 16. Κατανομή Κόστους των Γεφυρών της Εγνατίας Οδού (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005)
- Εικόνα 17. Κόστος Κατασκευής των Γεφυρών της Εγνατίας Οδού (Έτος Βάσης Α' τρίμηνο 2005 χωρίς ΦΠΑ) (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Διατομές προκατασκευασμένων δοκών ανά μήκος ανοίγματος στο Ηνωμένο Βασίλειο (Kim et al., 2016)

Πίνακας 2. Διατομές προκατασκευασμένων δοκών ανά μήκος ανοίγματος στο Ηνωμένο Βασίλειο (Gray et al., 2003)

Πίνακας 3. Μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την κατασκευή των γεφυρών της Εγνατίας οδού (Πανέτσος, 2009)

Πίνακας 4. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών στις Η.Π.Α. (PCI, 2011)

Πίνακας 5. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών στη Νέα Ζηλανδία (Rogers, 2016)

Πίνακας 6. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών στη Νέα Ζηλανδία (Gray et al., 2003)

Πίνακας 7. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών ανά μήκος ανοίγματος στην Αυστραλία (Gray et al., 2003)

Πίνακας 8. Συγκεντρωτικός πίνακας τυποποίησης των προκατασκευασμένων δοκών στο εξωτερικό

Πίνακας 9. Μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την κατασκευή των γεφυρών της Εγνατίας οδού (Πανέτσος, 2009)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικός πίνακας Γεφυρών από Προκατασκευασμένες Δοκούς της Εγνατίας Οδού

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακας 10. Κατηγορία Δοκών μορφής “I”

Πίνακας 11. Κατηγορία Δοκών μορφής “Bulb-Tee”

Πίνακας 12. Κατηγορία Δοκών μορφής “T”

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Κατασκευαστικά στοιχεία των 51 γεφυρών της Εγνατίας Οδός Α.Ε.

Σχήμα 2. Μήκη Δοκών ανά Άνοιγμα

Σχήμα 3. Ύψη Δοκών

Σχήμα 4. Πάχη Κορμών Δοκών

Σχήμα 5. Κατηγορία Δοκών μορφής "I"

Σχήμα 6. Κατηγορία Δοκών μορφής "Bulb-Tee"

Σχήμα 7. Κατηγορία Δοκών μορφής "T"

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας, η ανταγωνιστικότητα στον κατασκευαστικό τομέα, καθώς και οι απαιτήσεις των κατασκευαστών, οδηγούν στην εξέλιξη των τεχνολογιών και των τεχνογνωσιών. Η γεφυροποιία αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του συνόλου αυτού στον χώρο των υποδομών, ακόμα από τα προϊστορικά χρόνια. Βασικός συντελεστής στην κατασκευή των γεφυρών αποτελεί η μέθοδος που επιλέγεται για την ανέγερση τους. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι και, αναλόγως των προϋποθέσεων κάθε έργου, επιλέγεται αυτή που, όχι μόνο θα συνεισφέρει στην καλύτερη λειτουργία κάθε γέφυρας, αλλά και που θα προσφέρει τεχνοοικονομικότερη λύση. Μία από τις μηχανοποιημένες μεθόδους κατασκευής γεφυρών, η οποία λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων της χαρακτηρίζεται μία από τις πλέον βέλτιστες, οικονομικές και λειτουργικές επιλογές είναι αυτή των προκατασκευασμένων δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Με τη συμβολή της τυποποίησης στα τεχνικά έργα, αναβαθμίζονται οι επιδόσεις τους, προσδίδοντας τους καλύτερη ποιότητα αντοχής και λειτουργίας με μειωμένες δαπάνες. Για το λόγο αυτό, πάρθηκε η απόφαση να ερευνηθεί περαιτέρω η τυποποίηση στην ανέγερση γεφυρών, κατά πόσο δηλαδή έχει γίνει εφαρμογή της στα δομικά στοιχεία αυτών και πιο συγκεκριμένα στις προκατασκευασμένες δοκούς.

Στην παρούσα εργασία, αρχικά, μελετήθηκε η ανέγερση των γεφυρών ανά τον κόσμο με τη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών. Εν συνεχεία, τα στάδια εξέλιξης της τυποποίησης αυτών. Ταυτοχρόνως, αναλύθηκαν εκτενέστερα τα δομικά χαρακτηριστικά των προκατασκευασμένων δοκών ορισμένων γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα της Εγνατίας οδού και κατά πόσο είναι εφικτή η τυποποίηση αυτών. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν, ομαδοποιήθηκαν και παρουσιάστηκαν σε πίνακες και στην συνέχεια συσχετίστηκαν μεταξύ τους. Τέλος, για την έκβαση των συμπερασμάτων τα δεδομένα αναλύθηκαν ενδελεχώς, καταλήγοντας στην ενθάρρυνση της χρήσης και παράλληλα τυποποίησης των δοκών της μεθόδου προκατασκευής σε χώρες όπου δεν έχει καθιερωθεί.

ABSTRACT

The continuous needs of the society, the competitiveness in the construction sector, as well as the requirements of the manufacturers, have led to the development of technologies and the expertise in that department. Bridge construction has been an integral part of this industry in the field of infrastructure, since the prehistoric times. A key factor in the construction of bridges is the chosen method for their construction.

There are several methods from which the constructor can choose. Depending on the conditions of each project, the most suitable is chosen. Not only the method that contributes to the better operation of each bridge, but also the one that will offer a more techno-economical solution. The mechanized method of prefabricated reinforced concrete beams is characterized as one of the most optimal, economical and functional option.

With the contribution of standardization to the technical projects, their performance is upgraded, giving them better quality of durability and operation with reduced costs. For that reason, it was decided to further investigate the standardization in the construction of bridges. More specifically whether prefabricated beams have been standardized.

In this thesis, initially the construction of bridges around the world with the method of prefabricated beams was studied. Next, the development of beam standardization in each chosen country was analyzed. At the same time, information from bridges on Egnatia Odos was collected and then the structural characteristics of the used prefabricated beams were analyzed to come to a conclusion about the possibility of beam standardization in future bridge construction. Finally, the data were correlated, resulting in the encouragement of the use and standardization of precast beams in countries where it has not been established.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο Εργασίας

Οι γέφυρες αποτελούν μία από τις κυριότερες κατασκευές ενός οδικού δικτύου. Η κυριότητα τους ήταν και συνεχίζεται να είναι εμφανής κατά την πάροδο των χρόνων, με την πρώτη εμφάνιση τους να χρονολογείται περί τον 13 αιώνα π.Χ. Οι πρώτες γέφυρες είχαν ως κύρια υλικά κατασκευής τους το ξύλο και την πέτρα. Μετέπειτα, ο σίδηρος, λόγω των ιδιοτήτων του, επέφερε τη δυνατότητα κατασκευής μεγαλύτερων γεφυρών. Παρόλα αυτά, η εξέλιξη της γεφυροποιίας δεν σταμάτησε εκεί, καθώς και από τις αρχές του 20ου αιώνα μ.Χ. ξεκίνησε η εμφάνιση των πρώτων γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ακόμα και σήμερα, οι ιδιότητες και τα προτερήματα του σκυροδέματος το καθιστούν το επικρατέστερο υλικό κατασκευής των γεφυρών. Σημαντικός παράγοντας της επικράτειας αυτής είναι τα προερχόμενα υλικά του οπλισμένου σκυροδέματος, τα οποία θεωρούνται ευεύρετα, κάτι που συνεπάγεται στο χαμηλό κόστος κατασκευής των έργων. Παράλληλα, στις περιπτώσεις όπου συνδυάζεται με τον χάλυβα, το σκυρόδεμα προσφέρει υψηλή αντοχή, τόσο εφελκυστική όσο και θλιπτική. Επίσης, είναι ανθεκτικό στην επιφανειακή φθορά και στη φωτιά, ένα πλεονέκτημα που το καθιστά κατάλληλο για τις υποβρύχιες κατασκευές. Η κατασκευαστική βιομηχανία, εκμεταλλεόμενη όλων αυτών των τεχνικών χαρακτηριστικών που προσδίδονται στην κατασκευή των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά και σε όλα τα τεχνικά έργα, έχει πληθώρα επιλογών στον σχεδιασμό, όχι μόνο από την πλευρά της λειτουργικότητας, αλλά και από την πλευρά της αισθητικής, αφού υπάρχει ευελιξία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.

Όπως σε κάθε τεχνικό έργο, έτσι και στην κατασκευή μιας γέφυρας, το πρωταρχικό στάδιο αυτής είναι η διεκπεραίωση όλων των απαραίτητων και απαιτούμενων μελετών. Αυτές οι μελέτες είναι η Τοπογραφική Μελέτη, η Γεωλογική – Γεωφυσική Μελέτη, η Γεωτεχνική Έρευνα – Μελέτη, οι Μελέτες Συγκοινωνιακών Έργων, οι Ειδικές Αρχιτεκτονικές Μελέτες, οι Στατικές Μελέτες, οι Υδραυλικές Μελέτες, οι Ηλεκτρομηχανολογικές Μελέτες και, τέλος, η Περιβαλλοντική Μελέτη. Εκτός των μελετών αυτών, αναγκαία είναι επίσης και τα Τεύχη Δημοπράτησης, δηλαδή το Σχέδιο και Φάκελος Ασφάλειας & Υγείας (ΣΑΥ - ΦΑΥ). Ένας από τους βασικότερους παράγοντες στο σχεδιασμό των γεφυρών, αν όχι ο βασικότερος, είναι ο οικονομικός. Τα κριτήρια τα οποία επηρεάζουν το κόστος της κατασκευής ποικίλουν. Όπως αναφέρεται σε μία Αμερικάνικη έρευνα των Ketchum et al. (2004), το μοναδιαίο κόστος (κόστος ανά τετραγωνικό πόδι ή τετραγωνικό μέτρο περιοχής καταστρώματος) μιας γέφυρας εξαρτάται από το μήκος του κάθε ανοίγματος της, τα δομικά της υλικά, το ύψος, τις περιβαλλοντικές συνθήκες του εργοταξίου, τα υλικά της θεμελίωσης κ.λπ. Επιπρόσθετα, στην έρευνα γίνεται

λόγος για ακόμα μία σημαντική μεταβλητή, η οποία επιδρά στο κόστος κατασκευής της γέφυρας, που είναι ο αντισεισμικός σχεδιασμός. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει σεισμική κίνηση του εδάφους, η σχέση του κόστους – μεγέθους των σεισμικών φορτίων είναι αναλογική. Όμοίως, τέτοιου είδους αναλογική σχέση βρίσκεται και ανάμεσα της κατασκευαστικής απόδοσης και του κόστους της ανέγερσης (Ketchum et al., 2004). Όπως έχει προαναφερθεί, τα μήκη των ανοιγμάτων μίας γέφυρας συντελούν σε μεγάλο βαθμό στο κόστος κατασκευής της. Πιο συγκεκριμένα, ο Benaim (2008), υπογραμμίζει πως οι λεπτομέρειες που αφορούν το κατάστρωμα, όπως για παράδειγμα το πάχος του, επηρεάζουν σε σημαντικό επίπεδο τον τελικό προϋπολογισμό της κατασκευής.

Συνοψίζοντας, οι γέφυρες αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της κοινωνίας και για την ανέγερση τους είναι απαραίτητο να γίνουν μια σειρά από μελέτες και ταυτόχρονα να λαμβάνεται υπόψη το διατιθέμενο κεφάλαιο. Έχοντας ως γνώμονα τα παραπάνω, η εργασία αυτή πραγματεύεται μία από τις μηχανοποιημένες μεθόδους κατασκευής γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα, αυτή των προκατασκευασμένων δοκών και κατά πόσο η βιομηχανοποίηση αυτή συντελεί στην επίτευξη, όχι μόνο μιας λειτουργικής, αλλά και παράλληλα οικονομικής κατασκευής. Για την διεξαγωγή αυτής, συλλέχθηκαν στοιχεία δοκών από κατασκευασμένες γέφυρες με τη μέθοδο αυτή από χώρες του εξωτερικού με ανεπτυγμένο κατασκευαστικό τομέα. Ταυτόχρονα, διερευνήθηκαν αρκετές από τις γέφυρες του μεγαλύτερου αυτοκινητόδρομου της Ελλάδος, την Εγνατία οδό. Για την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας της τυποποίησης της συγκεκριμένης μεθόδου, συγκρίθηκαν τα πορίσματα που αποκομίστηκαν από τις επιμέρους μελέτες.

1.2. Σκοπός Εργασίας

Η τυποποίηση των στοιχείων των κατασκευών έχει συμβάλει στην αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη κατασκευή των έργων και με το πέρασμα των χρόνων έχουν αποδειχθεί τα σημαντικά προτερήματά της. Η χρήση της έχει εδραιωθεί σε όλους τους τομείς των κατασκευών, όπως και στη γεφυροποιία. Εφαρμογή αυτής γίνεται σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, είτε με εκτεταμένη χρήση, είτε όχι. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η προώθηση της τυποποίησης των μορφών των διατομών των δοκών στην κατασκευή των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα με την μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών.

1.3. Μεθοδολογία

Για την έκβαση της έρευνας στην παρούσα εργασία ήταν αναγκαίο να συγκεντρωθεί το απαραίτητο υλικό. Αρχικά, έγινε η απαιτούμενη βιβλιογραφική έρευνα για την διεξαγωγή της οποίας συλλέχθηκαν επιστημονικά βιβλία, άρθρα και ιστοσελίδες σχετικά με τις μεθόδους κατασκευής των γεφυρών, την ανέγερση αυτών με την μηχανοποιημένη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών, την τυποποίηση και τελικώς την εφαρμογή του συνδυασμού τους σε γέφυρες ανά τον κόσμο. Στην συνέχεια, τα δεδομένα που αντλήθηκαν, μελετήθηκαν και αναλύθηκαν διεξοδικά για την συγγραφή της πτυχιακής εργασίας. Ταυτοχρόνως, για να εξεταστεί η χρήση της μηχανοποιημένης μεθόδου προκατασκευασμένων δοκών από σπλισμένο σκυρόδεμα και στην Ελλάδα, επιλέχθηκε να μελετηθούν οι μέθοδοι με τις οποίες κατασκευάστηκαν οι γέφυρες στον αυτοκινητόδρομο της Εγνατίας οδού. Σε πρώτο στάδιο παρουσιάστηκαν οι γενικές πληροφορίες σχετικά με την οδό, τα τεχνικά έργα σε αυτή και κυρίως οι γέφυρες της. Στο επόμενο στάδιο, έγινε λεπτομερής ανασκόπηση των δεδομένων κάποιων γεφυρών που ανεγέρθηκαν με τη μηχανοποιημένη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών. Αμέσως μετά, παρουσιάστηκαν τα σχεδιαστικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δοκών από σπλισμένο σκυρόδεμα σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα (Παράρτημα Ι). Για την αποτελεσματικότερη και ακριβέστερη ανάλυση των στοιχείων, τα δεδομένα αυτά διαχωρίστηκαν σε τρεις επιμέρους πίνακες σύμφωνα με το σχήμα της διατομής κάθε δοκού, δηλαδή μορφής “I”, μορφής “Bulb-Tee” και μορφής “T”. Για την έκβαση των συμπερασμάτων δημιουργήθηκαν διαγράμματα τα οποία και αναλύθηκαν εκτενέστερα. Εν κατακλείδι, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα από την έρευνα για την χρήση της μηχανοποιημένης μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών σε γέφυρες από σπλισμένο σκυρόδεμα σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και στην περίπτωση της Εγνατίας οδού στην Ελλάδα και κατά πόσο έχει τυποποιηθεί ή υπάρχει δυνατότητα τυποποίησης της μεθόδου και παρουσιάστηκαν τα τελικά συμπεράσματα.

1.4. Δομή Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο αντικείμενο, τον σκοπό και την μεθοδολογία της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική έρευνα που διεξήχθη για την συγγραφή. Κατόπιν, δίνονται πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή γεφυρών από σπλισμένο σκυρόδεμα με την μέθοδο προκατασκευασμένων δοκών και την τυποποίηση, στα κεφάλαια 3 και 4 αντιστοίχως. Στο επόμενο κεφάλαιο παρατίθενται, για την κάθε χώρα που έχει επιλεγεί, το επίπεδο

χρήσης της μεθόδου και το ποσοστό τυποποίησης των δοκών. Επακολούθως, γίνεται ιστορική αναδρομή για την Εγνατία οδό και διερευνώνται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευασμένων γεφυρών με την μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών. Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση των στοιχείων που συλλέχθηκαν και τέλος στο όγδοο καταγράφονται τα σχετικά συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για τη συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών έγινε εκτενής βιβλιογραφική έρευνα στο διαδίκτυο, και συγκεκριμένα στις βάσεις δεδομένων των www.ascelibrary.org, www.scholar.google.com, www.researchgate.net, www.sciencedirect.com και www.taylorandfrancis.com. Για την εύρεση των σχετικών άρθρων και συγγραμμάτων περί του θέματος της εργασίας έγινε διεξοδική αναζήτηση με την χρήση λέξεων-κλειδιά, όπως “bridge construction”, “precast beams”, “standardization” κ.ά. Κύριος παράγοντας της επιλογής των επιστημονικών δημοσιεύσεων αποτέλεσε η ημερομηνία έκδοσής τους, η οποία κυμαινόταν κατά βάση από το 2000 και έπειτα, για την παρουσίαση μίας σύγχρονης σκοπιάς του επιλεγμένου θέματος. Ταυτοχρόνως, έγινε έρευνα και σε επιστημονικά βιβλία με αντικείμενο τον σχεδιασμό και την κατασκευή γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ξεκινώντας από το κεφάλαιο της μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών, αρχικά γίνεται μια περιληπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών των μηχανοποιημένων μεθόδων κατασκευής γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα, δηλαδή αυτών της προβολοδόμησης, της σταδιακής προώθησης και των προωθούμενων - αυτοφερούμενων δοκών. Οι πληροφορίες για τις μεθόδους αυτές αντλήθηκαν από το Fib Bulletin No. 9 (2000), καθώς επίσης από το βιβλίο του Leonhardt (1979) και το άρθρο του Rosignoli (2000). Στη συνέχεια, έγινε μακροσκελής αναζήτηση στα άρθρα των Ma & Low (2014), Bourne (2015), Tomek (2017), Lu et al. (2018), στο βιβλίο του Benaim (2008) και τέλος, στο Fib Bulletin No. 9 (2000).

Μετά την παράθεση των πληροφοριών των μηχανοποιημένων μεθόδων, ακολούθησε η διερεύνηση της ανέγερσης γεφυρών με τη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα ανά τον κόσμο. Κατά τη διάρκεια της έρευνας, παρατηρήθηκε πως η μέθοδος αυτή συναντάται σε πληθώρα έργων στο εξωτερικό. Για μία αντικειμενική και εμπεριστατωμένη μελέτη επιλέχθηκαν χώρες στις οποίες γίνεται εκτενής έως και μοναδική χρήση της μεθόδου άλλα και χώρες, όπου, παρά τον ανεπτυγμένο κατασκευαστικό τους κλάδο, η μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών έχει εκλείψει. Σε πρώτο επίπεδο αντλήθηκαν οι

απαραίτητες πληροφορίες από την Ευρώπη και συγκεκριμένα από το Ηνωμένο Βασίλειο, σχετικά με την μέθοδο προκατασκευής από τα επιστημονικά άρθρα των Kim et al. (2016), των Gray et al. (2003) και του Bourne (2015), όπως επίσης και από την ιστοσελίδα μίας από τις πρωτοπόρες εταιρίες προκατασκευής από σκυρόδεμα, τη Banagher Precast Concrete Ltd. Στο άρθρο των Kim et al. (2016) γίνονται αναφορές και στον τομέα της τυποποίησης, καθώς και σε αυτό των Tan et al. (2014). Η δεύτερη χώρα αναφοράς ήταν η Γερμανία, για την οποία κάνουν λόγο στα άρθρα τους ο Hanswille (2008), οι Ralls et al. (2005), ο Hällmark (2012) και οι Su et al. (2019). Συνεχίζοντας στην Βόρεια Αμερική και συγκεκριμένα στις Ηνωμένες Πολιτείες (Η.Π.Α), αναλύθηκαν τα άρθρα του Hällmark (2012), των Gray et al. (2003), των Aktan et al. (2013), καθώς επίσης αντλήθηκαν σημαντικές πληροφορίες και από την επίσημη ιστοσελίδα του Ινστιτούτου Προκατασκευασμένου/Προεντεταμένου Σκυροδέματος της Αμερικής. Επιπλέον, σχετικά με την τυποποίηση των διατομών των δοκών στην Αμερική, κάνουν λόγο στο άρθρο τους οι Grubb et al. (2015). Κατόπιν, στην Νέα Ζηλανδία εξετάστηκαν τα επιστημονικά δημοσιεύματα του Rogers (2016), των Gray et al. (2003) και των Tan et al. (2014). Επακολούθως, στην περίπτωση της Αυστραλίας, διερευνήθηκαν τα άρθρα του Rapattoni (2015), του Connal (2002), των Gray et al. (2003) και των Tan et al. (2014). Τέλος, για την ολοκλήρωση της έρευνας σχετικά με την ανέγερση γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα με την χρήση της μηχανοποιημένης μεθόδου προκατασκευασμένων δοκών και την τυποποίηση αυτών ανά τον κόσμο, μελετήθηκε η προκατασκευή και η τυποποίηση των γεφυρών στην Κίνα, με τα σχετικά δημοσιεύματα των Li et al. (2000), Fu et al. (2014), Dai et al. (2016), Yan et al. (2015) και Su et al. (2019).

Συνεχίζοντας τη διεξαγωγή της έρευνας για τη μελέτη της χρήσης της μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών, όπως επίσης και την τυποποίηση αυτών στην Ελλάδα, επιλέχθηκε η Εγνατία οδός. Η Εγνατία οδός είναι ένα έργο τεραστίου ενδιαφέροντος, μιας και είναι ο μεγαλύτερος αυτοκινητόδρομος στην Ελλάδα και διαθέτει σημαντικό αριθμό γεφυρών, όπως επίσης και άλλων τεχνικών έργων. Πρωτίστως, έγινε ιστορική αναφορά για την οδό με στοιχεία που αντλήθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα της Εγνατία Οδός Α.Ε. (www.egnatia.eu), καθώς και από τη δημοσίευση των Λαμπρόπουλος κ.ά. (2005). Έπειτα, έγινε μία γενική παρουσίαση των γεφυρών της Εγνατίας, με δεδομένα από τους Konstantinidis & Antoniou (2010), Antoniou & Marinelli (2020), Konstantinidis (2003) και Λαμπρόπουλος κ.ά. (2005). Σε αυτή παρατίθενται οι μεγαλύτερες γέφυρες και στην συνέχεια μία σχηματική κατανομή των γεφυρών αναλόγως των μηκών τους. Μελετώντας τα προαναφερθέντα επιστημονικά άρθρα, όπως και το άρθρο του Πανέτσος (2009), παρατηρήθηκε η χρήση πληθώρας σύγχρονων

μεθόδων κατασκευής. Για τις μεθόδους αυτές έγινε μία σύντομη περιγραφή των χαρακτηριστικών τους, όπως επίσης και για τα μήκη ανοιγμάτων για τα οποία χρησιμοποιήθηκε η καθεμία. Έπειτα, παρουσιάζονται σημαντικές πληροφορίες του κόστους κατασκευής των γεφυρών. Για κάθε μέθοδο κατασκευής επισημάνθηκαν αρχικά τα ποσοστά των κοστών, ανάλογα με την κατηγορία αυτών και έπειτα έγινε αναφορά στο κόστος κατασκευής ανά τετραγωνικό μέτρο τη χρονική περίοδο του 2005. Στην συνέχεια του κεφαλαίου, απομονώθηκαν τα δεδομένα από 51 γέφυρες κατασκευασμένες από σπλισμένο σκυρόδεμα με τη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών του Κεντρικού και Ανατολικού τομέα της Εγνατίας. Αρχικά, παρουσιάζοντας σχετικά διαγράμματα, σχολιάστηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεφυρών συνολικά. Στη συνέχεια, αυτές κατατάχθηκαν σε τρεις κατηγορίες αναλόγως των διατομών τους και αναλύθηκαν εκτενέστερα τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τους, δηλαδή τα ύψη, τα πλάτη και τα πάχη των πελμάτων τους, καθώς και τα πάχη των κορμών τους. Στις κατηγορίες συμπεριλήφθηκαν ακόμα και ο κλάδος στον οποίο ανήκει κάθε γέφυρα, ο αριθμός των δοκών και των ανοιγμάτων, καθώς επίσης και το μήκος ανοίγματος της κάθε δοκού.

Μετά το πέρας της εύρεσης και ανάλυσης των απαραίτητων πληροφοριών για την ανέγερση των γεφυρών με τη μηχανοποιημένη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών, αρχικά ανά τον κόσμο και στη συνέχεια για τις γέφυρες που έχουν ήδη κατασκευασθεί στην Εγνατία οδό, έγινε η διεξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων για ότι αφορά την προκατασκευή και τυποποίηση στον τομέα της γεφυροποιίας.

Με τον όρο τυποποίηση χαρακτηρίζεται η εκτεταμένη χρήση διαδικασιών και στοιχείων, στα οποία υπάρχει σχετική απλότητα, επανάληψη και ιστορικό επιτυχών εφαρμογών. Η τυποποίηση στις κατασκευές των έργων καθορίζεται απόλυτα από τους κανονισμούς που έχουν τεθεί σε κάθε χώρα, αναλόγως των αναγκών της καθεμίας. Επίσης, ορισμένες φορές, τυποποιημένες διεργασίες και προϊόντα, λόγω της αποτελεσματικότητάς τους, αναγνωρίζονται ακόμη και σε διεθνές επίπεδο και, εφόσον πληρούν τις προϋποθέσεις των άλλων χωρών, υιοθετούνται από αυτές. Με την πάροδο των χρόνων, η εφαρμογή της τυποποίησης απέκτησε σημαντικό ενδιαφέρον, με εκθετικό τον αριθμό των ερευνών και των δημοσιεύσεων περί αυτής, με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστών (Gibb & Isack, 2001).

Οι συμβατικές κατασκευαστικές μέθοδοι, αποδεδειγμένα, δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στην ταχεία ανάπτυξη των υποδομών σε παγκόσμιο επίπεδο. Από τη μία πλευρά, η κύρια πρόκληση για τους κατασκευαστές είναι τα κλιμακούμενα κόστη εργασίας και τα υλικά. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει η απαίτηση των πολιτών για έγκαιρη παράδοση των

έργων. Για την υλοποίηση των δύο αυτών σημαντικών συντελεστών, η λύση βρίσκεται στην χρήση τυποποιημένων συστημάτων με προκατασκευασμένα στοιχεία.

Η συμβολή της τυποποίησης στην προκατασκευή οδηγεί στην οικονομικότερη ανέγερση των κατασκευών (Tan et al., 2014). Σύμφωνα με την άποψη των Rwamamara et al. (2010), η τυποποίηση ενός στοιχείου θεμελίωσης της γέφυρας συνεπάγεται περίπου στη μείωση των εργασιακών κοστών για την ενίσχυση των θεμελίων κατά 50%. Οι επαναλαμβανόμενες χρήσεις ενός σχεδιασμένου προτύπου βελτιώνουν την παραγωγικότητα των εργασιών κατά 40%. Επιπροσθέτως, η τυποποίηση στην προκατασκευή προσφέρει αύξηση της παραγωγής με μειωμένα απόβλητα, αυτοματοποίηση, ενισχυμένη ασφάλεια, βελτιωμένη ποιότητα και βιωσιμότητα (Antonίου & Marinelli, 2020). Οι Κύριοι των Έργων αναγνωρίζουν τα οφέλη της, αφού επενδύουν σε καλούπια και εγκαταστάσεις, τα οποία έχουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης (Tan et al., 2014).

Στο επιστημονικό τους άρθρο, οι Rwamamara et al. (2010), παρουσιάζουν τα βαρυσήμαντα προτερήματα της τυποποίησης, μέσω της έρευνας που πραγματοποίησαν στις γέφυρες που κατασκευάστηκαν από την Σουηδική Κυβέρνηση, με σκοπό τη μεταφορά του Ευρωπαϊκού δρόμου E4 περιμετρικά μιας μεγάλης πόλης. Για το έργο αυτό, απαιτούταν η ανέγερση 115 γεφυρών στο χρονικό διάστημα των 5 ετών. Αναλύοντας τα στοιχεία που προσκόμισαν, κατέληξαν στο συμπέρασμα πώς οι γέφυρες αυτές θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Στην συνέχεια, θα τυποποιούνταν οι διαδικασίες και τα κατασκευαστικά τους στοιχεία και θα εφαρμόζονταν στην κάθε ομάδα. Στην περίπτωση τυποποίησης της θεμελίωσης, θα υπήρχε η πιθανότητα εξοικονόμησης περισσότερων από 22 εργασιακών εβδομάδων στο εργοτάξιο και περίπου 50% του αναμενόμενου κόστους εργασίας.

Συμπερασματικά, ο βέλτιστος σχεδιασμός κατασκευών είναι αυτός που τυποποιείται, επειδή προσφέρει σημαντικά οφέλη στην ανέγερση. Η τυποποίηση, σε συνδυασμό με την προκατασκευή, δίνει τη δυνατότητα μαζικών και οικονομικότερων κατασκευών, σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται η τυποποίηση της μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών σε γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα και η χρήση της ανά τον κόσμο, αλλά και στον μεγαλύτερο αυτοκινητόδρομο της Ελλάδος, την Εγνατία οδό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ

Όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά από τους Ma & Low (2014), οι γέφυρες αποτελούν την εικόνα των περιοχών, των πόλεων και των χωρών στις οποίες αυτές βρίσκονται. Η πολύτιμη χρησιμότητα τους γίνεται εμφανής από τα αρχαία ακόμη χρόνια, όπου οι άνθρωποι κατασκεύασαν τις πρώτες γέφυρες, με σκοπό να επικοινωνούν μεταξύ τους οι γειτονικές περιοχές. Αξιοσημείωτο είναι ότι, ακόμη και πολλούς αιώνες αργότερα, πολλές από αυτές όχι μόνο έχουν επιβιώσει, αλλά και έχουν χαρακτηριστεί ως σύμβολα των καλύτερων, ευγενέστερων και ομορφότερων γεφυρών που έχουν κατασκευαστεί. Μέχρι τις αρχές του 2ου παγκοσμίου πολέμου, η γεφυροποιία βρισκόταν στην χρυσή εποχή της. Αμέσως μετά τον πόλεμο όμως, το μεγαλύτερο ποσοστό των υπαρχόντων γεφυρών καταστράφηκε ολοσχερώς. Οι τότε μηχανικοί αναγκάστηκαν να ανακατασκευάσουν τις γέφυρες αυτές με έναν πολύ σημαντικό περιορισμό, διότι οι πόροι που είχαν στην διάθεση τους ήταν λιγοστοί. Αυτό το μειονέκτημα του προέτρεψε να ανακαλύψουν νέους τρόπους ανεγέρσεως των γεφυρών, με αποτέλεσμα να επιτευχθεί ο στόχος τους. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία 60 χρόνια αυτός ο κατασκευαστικός τομέας έχει εξελιχθεί ραγδαία. Τρανό παράδειγμα αυτής της προόδου των έργων είναι ο σχεδιασμός των κατασκευών με νέες και σύγχρονες μορφές, όπως καλωδιωτές γέφυρες, γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα κ.ά.

Για την ανέγερση μιας γέφυρας λαμβάνονται υπόψιν διάφοροι παράγοντες, ανάλογα πάντα με τις απαιτήσεις του κάθε έργου. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες είναι η μέθοδος κατασκευής που θα επιλεγεί για την κατασκευή της γέφυρας. Όπως έχει ειπωθεί από τον στρατιωτικό μηχανικό και αρχιτέκτονα Marcus Vitruvius Pallio, ο οποίος υπηρετούσε υπό τον Ιούλιο Καίσαρα, η τέχνη του έργου χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές αρχές, την ασφάλεια, την λειτουργικότητα και την κομψότητα της κατασκευής (Fib Bulletin No. 9, 2000). Με την πάροδο των χρόνων, το σημαντικό αυτό απόφθεγμα δεν έπαψε να ισχύει. Το εύρος των κριτηρίων που κάθε φορά ο εκάστοτε μηχανικός καλείται να εξετάσει για την ορθότερη επιλογή της μεθόδου κατασκευής είναι τεράστιο. Πιο συγκεκριμένα, το συνολικό μήκος της γέφυρας, η διάταξη των ανοιγμάτων της, το ύψος από το φυσικό έδαφος, όπως επίσης και το ανάγλυφό του, η αισθητική, το διαθέσιμο οικονομικό κεφάλαιο, η διαθεσιμότητα και το κόστος των υλικών και του εξοπλισμού, η διαθέσιμη εμπειρία και τέλος, οι τυχούσες συμβατικές δεσμεύσεις που υπάρχουν, είναι ορισμένα από τα κριτήρια αυτά. Αφού ο μηχανικός σε πρώτο στάδιο συλλέξει τις απαραίτητες πληροφορίες και τις μελετήσει διεξοδικά, στην συνέχεια, με γνώμονα φυσικά και την εμπειρογνωμοσύνη του, επιλέγει την καταλληλότερη και λειτουργικότερη μέθοδο για την κατασκευή της γέφυρας. Οι μέθοδοι κατασκευής χωρίζονται

σε δύο κατηγορίες, τις συμβατικές και τις μηχανοποιημένες. Οι μηχανοποιημένες μέθοδοι, οι οποίες εξετάζονται στην παρούσα εργασία, αποτελούν την πιο σύγχρονη λύση ανέγερσης γεφυρών και είναι τέσσερις, η μέθοδος της προβολοδόμησης, η μέθοδος της σταδιακής προώθησης, η μέθοδος των προωθούμενων – αυτοφερούμενων δοκών και τέλος, η μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών.

3.1. Μηχανοποιημένες Μέθοδοι Κατασκευής Γεφυρών

3.1.1. Μέθοδος Προβολοδόμησης

Η πρωτεύουσα χρήση της μηχανοποιημένης μεθόδου κατασκευής γεφυρών, της προβολοδόμησης γινόταν σε ποταμογέφυρες, οι οποίες είχαν μεγάλα μήκη ανοιγμάτων. Με το πέρασμα των χρόνων βρέθηκε τρόπος να ανεγείρονται συνεχείς δύσκαμπτες γέφυρες με παράλληλα πέλματα και πολλά ανοίγματα (Leonhardt, 1979). Η μέθοδος αυτή αφορά γέφυρες συνολικού μήκους μεγαλύτερου των 200 μέτρα, με ανοίγματα από 50 έως 200 μέτρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα μήκη ανοιγμάτων μπορεί να είναι μικρότερα των 50 μέτρων, αλλά σε άλλες να φτάνουν τα 300 μέτρα (Fib Bulletin No. 9, 2000). Σύμφωνα με τους Tegos & Aretoulis (2019), τα μήκη ανοίγματος κυμαίνονται από 50-240 μέτρα. Η μέθοδος αυτή προσφέρει μονολιθική σύνδεση μεταξύ του καταστρώματος και των βάθρων της γέφυρας. Είναι η μοναδική που αναπτύσσεται συμμετρικά περί τον άξονα των βάθρων και όχι από το ένα ακρόβαθρο της στο άλλο. Γενικά, η μέθοδος της προβολοδόμησης είναι από τις δημοφιλέστερες, για το λόγο ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε δύσκολες τοπογραφικά και γεωμορφολογικά περιοχές, καθώς και για τη σχέση κόστους – αποδοτικότητας της (Fib Bulletin No. 9, 2000). Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής τη σε περιπτώσεις ανέγερσης κυρτών γεφυρών. Βασικά μειονεκτήματά της, όμως, είναι η ακριβή κατασκευή των 2 βάσεων που είναι απαραίτητες για την προώθηση των μερών της, καθώς επίσης και η απαίτηση μεγάλης εμπειρίας του υπεύθυνου μηχανικού στον τομέα της ανέγερσης γεφυρών με τη μέθοδο της προβολοδόμησης, ώστε η σύνδεση των 2 προβόλων να είναι επιτυχής. Τέλος, κρίνεται σημαντικό να τονιστεί η ιδιαίτερη προσοχή που χρειάζεται να δοθεί στην ακριβή προεκτίμηση των παραμορφώσεων λόγω φορτίου και ερπυσμού, με αποτέλεσμα την κατάλληλη υπερύψωση στους προβόλους (Leonhardt, 1979).



Εικόνα 1. Μέθοδος Προβολοδόμησης

3.1.2. Μέθοδος Σταδιακής Προώθησης

Σύμφωνα με τον Rosignoli (2000), στη μηχανοποιημένη μέθοδο της σταδιακής προώθησης δεν υπάρχει περιορισμός ως προς το μήκος και το πλάτος των γεφυρών, με τα μήκη των ανοιγμάτων να κυμαίνονται μεταξύ των 40–65 μέτρα. Σε αυτά τα μήκη ανοίγματος συμφωνούν και οι Tegos & Aretoulis (2019), οι οποίοι αναφέρονται σε μήκη από 40 έως 60 μέτρα. Επίσης, στην έρευνά τους κάνουν λόγο ότι η μέθοδος αυτή είναι η καταλληλότερη όταν πρόκειται για περιπτώσεις όπου το συνολικό μήκος της γέφυρας είναι μεταξύ των 150-180 μέτρων. Η διαδικασία της σταδιακής προώθησης απαιτεί την χρήση ειδικού εξοπλισμού, τους προωθητήρες. Αυτοί τοποθετούνται στα ακρόβαθρα της υπο κατασκευής γέφυρας, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να τοποθετηθούν και στο πρώτο μεσόβαθρο αυτής. Στην συνέχεια, κατασκευάζεται η ανωδομή της γέφυρας πίσω από το ακρόβαθρο και προωθείται κατά μήκος του ανοίγματος. Όπως και η μηχανοποιημένη μέθοδος της προβολοδόμησης, έτσι και η μέθοδος της σταδιακής προώθησης κρίνεται κατάλληλη για περιπτώσεις καμπύλων γεφυρών, σε αντίθεση όμως με την πρώτη, είναι απίθανο να επιτευχθούν με αυτή τη μέθοδο μονολιθικές συνδέσεις μεταξύ του καταστρώματος και των βάθρων. Επιπροσθέτως, ως μειονέκτημα συγκαταλέγεται η ανάγκη μεγάλων ποσοτήτων χάλυβα και εδράνων. Η ανέγερση με τη μέθοδο αυτή προσδίδει μεγάλη αντοχή στην κατασκευή, δεν έχει υψηλό κόστος και απαιτεί ελάχιστες εργατώρες (Tegos & Aretoulis, 2019), παρόλα αυτά όμως, έχει αυξημένες

απαιτήσεις ως προς δύο κύριους παράγοντες, δηλαδή τις εξειδικευμένες γνώσεις του ανθρώπινου δυναμικού και τον απαιτούμενο εξοπλισμό (Fib Bulletin No. 9, 2000).



Εικόνα 2. Μέθοδος Σταδιακής Προώθησης

3.1.3. Μέθοδος Προωθούμενων – Αυτοφερούμενων Δοκών

Η μηχανοποιημένη μέθοδος των προωθούμενων – αυτοφερούμενων δοκών ή αλλιώς «άνοιγμα – άνοιγμα» μπορεί να επιλεγεί για την ανέγερση γεφυρών με ποικιλία στο συνολικό μήκος αυτής. Πρόκειται για ένα σύστημα που αποτελείται από ένα ζεύγος δικτυωτών ή ολόσωμων κυρίων δοκών, ένα ζεύγος δικτυωτών δοκών έδρασης (κονσόλες), διαδοκίδες στήριξης, διατάξεις αναρτήσεων και συμπληρωματικές διατάξεις και συστήματα. Για την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση του συστήματος αυτού απαιτείται αρκετός χώρος και οι δαπάνες είναι μεγάλες. Σε αντίθεση με το μειονέκτημα αυτό, η μέθοδος των προωθούμενων – αυτοφερούμενων δοκών στις γέφυρες μεγάλου μήκους προσφέρει το πλεονέκτημα της δυνατότητας ολοκλήρωσης των εργασιών ανέγερσης σε μικρό χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με το Fib Bulletin No. 9 (2000), το μήκος των ανοιγμάτων κυμαίνεται μεταξύ των 30–60 μέτρων, αλλά συνήθως η μέθοδος αυτή επιλέγεται για μήκη ανοιγμάτων από 40 έως 50 μέτρα. Σε αυτή την παραδοχή συμφωνούν και οι Tegos & Aretoulis (2019), οι οποίοι, ακόμη, επισημαίνουν ότι η μηχανοποιημένη μέθοδος των προωθούμενων – αυτοφερούμενων δοκών έχει κοινά στοιχεία με τη μηχανοποιημένη μέθοδο της σταδιακής προώθησης. Όπως στη μέθοδο της

προβολοδόμησης, όπου επιτυγχάνεται μονολιθικότητα στη σύνδεση του καταστρώματος και των εδράνων, έτσι και στην περίπτωση αυτή είναι πιθανό να επιτευχθεί. Παράλληλα, για τις περιπτώσεις κατασκευής γεφυρών με μεγάλη κυρτότητα, αναφέρουν ότι η μέθοδος αυτή δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί. Στα πλεονεκτήματά της προσθέτουν, επίσης, την ταχεία ανέγερση γεφυρών με μεγάλο συνολικό μήκος, τη δυνατότητα κατασκευής των δοκών ενός ανοίγματος στο χρονικό διάστημα των 2 εβδομάδων και τέλος, την καταλληλότητα της μεθόδου αυτής όταν το υψόμετρο είναι υψηλό.



Εικόνα 3. Μέθοδος Προωθούμενων – Αυτοφερούμενων Δοκών

3.2. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

Η χρήση της μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών από σπλισμένο σκυρόδεμα είναι ευρέως διαδεδομένη, καθώς αποτελεί μία επαναλαμβανόμενη διαδικασία με την δυνατότητα ελέγχου της ποιότητας της κατασκευής και την ταχεία ολοκλήρωση της (Benaim, 2008). Αρχικά, οι δοκοί κατασκευάζονται στα εργοστάσια και μεταφέρονται στα εργοτάξια, με συνήθεις γερανούς. Στην συνέχεια, τοποθετούνται στο κατάστρωμα με δύο μεθόδους, είτε με γερανό, είτε με προώθηση της προκατασκευασμένης δοκού (Ma & Low, 2014). Σε περιπτώσεις μεγάλων γεφυρών κρίνεται σκόπιμο οικονομικά η εγκατάσταση εργοστασίου προκατασκευής στην τοποθεσία του εργοταξίου (Leonhardt, 1979). Όπως αναφέρεται στο Fib Bulletin No. 9 (2000), τα μήκη ανοιγμάτων των προκατασκευασμένων και προεντεταμένων δοκών φτάνουν

τα 30 μέτρα, ενώ στις περιπτώσεις μετέντασης είναι από 30 έως 50 μέτρα. Σε εξειδικευμένες μελέτες, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω. Συμφωνία περί των μηκών ανοιγμάτων εκφράζουν και οι Tegos & Aretoulis (2019), οι οποίοι κάνουν λόγο για μήκη από 30 έως 40 μέτρα. Όπως και στις μηχανοποιημένες μεθόδους της προβολοδόμησης και της σταδιακής προώθησης, έτσι και στη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα, η εφαρμογή σε γέφυρες με κυρτό σχεδιασμό μπορεί να επιτευχθεί. Επιπρόσθετα, η μέθοδος αυτή θεωρείται λειτουργική λόγω του αντισεισμικού σχεδιασμού της, ενώ ταυτόχρονα γίνονται προσπάθειες για την αποκατάσταση των μονολιθικών συνδέσεων. Τέλος, ως μειονεκτήματα θεωρούνται ο αυξημένος αριθμός των εδράνων, το υψηλό κόστος συντήρησης των κατασκευασμένων γεφυρών με τη μέθοδο αυτή, καθώς επίσης και η μη δυνατότητα κατασκευής γεφυρών με προηγμένο σχεδιασμό, δηλαδή η χαμηλή αισθητική που προσδίδει στο περιβάλλον.



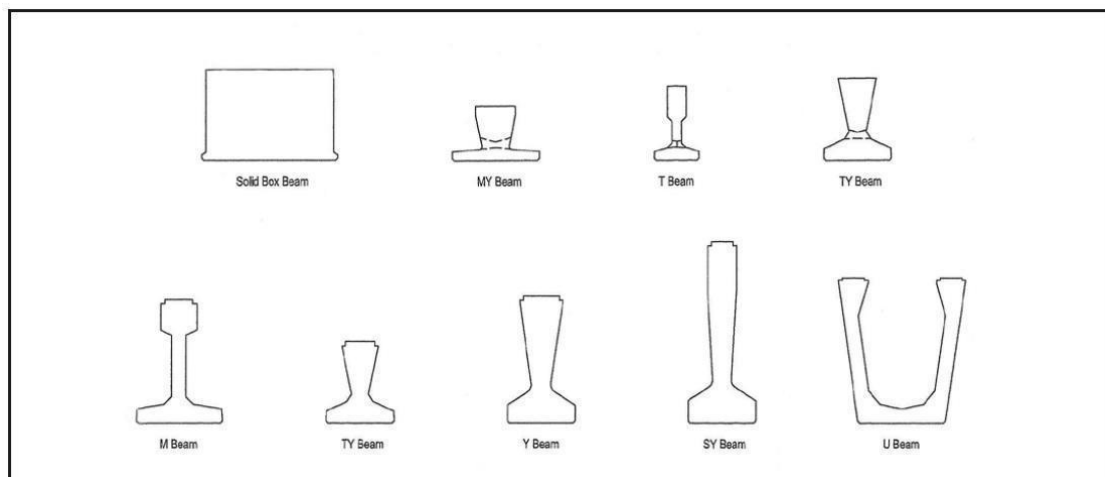
Εικόνα 4. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

3.2.1. Κατηγορίες Προκατασκευασμένων Δοκών

3.2.1.1. Τυποποιημένες Προκατασκευασμένες Δοκοί

Οι τυποποιημένες προκατασκευασμένες δοκοί κατασκευάζονται σε εργοστάσια και ανεγείρονται με την χρήση συνήθων γερανών (Bourne, 2015). Όπως αναφέρει ο Benaim (2008), επιλέγονται για μήκη ανοιγμάτων μικρότερων των 30 μέτρων, με ορισμένες περιπτώσεις να φτάνουν τα 40 μέτρα. Στην επιστημονική του έρευνα ο Bourne (2015) ορίζει τα μέτρα των τυπικών μηκών ανοιγμάτων από 5 έως 40 μέτρα. Επιπλέον, θεωρεί ότι οι δοκοί αυτής της μορφής είναι κατάλληλες για γέφυρες μικρών έως μεσαίων μηκών ανοιγμάτων, όπου η τοποθεσία τους είναι προσβάσιμη λόγω του χαμηλού υψομέτρου, χωρίς όμως να υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ικριωμάτων. Τέλος, οι Ma & Low (2014) στη επιστημονική μελέτη τους παραθέτουν τις μορφές των δοκών, στις οποίες τα μήκη κυμαίνονται μεταξύ των 6–60 μέτρα.

Οι μορφές των διατομών των τυποποιημένων προκατασκευασμένων δοκών σύμφωνα με το δημοσίευμα του Bourne (2015) παρατίθενται στην Εικόνα 5. Αναφορικά με αυτές, στο Ηνωμένο Βασίλειο, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στην Νοτιοανατολική Ασία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες οι δοκοί μορφής “ανεστραμμένο T”, “I”, “M”, “Y” και “U”, ενώ σε άλλες χώρες έχουν αναπτυχθεί και άλλοι τύποι τυποποιημένων προκατασκευασμένων δοκών, όπως στην περίπτωση της Αυστραλίας (“Super-Tee” δοκός) (Benaim, 2008).



Εικόνα 5. Διατομές Τυποποιημένων Προκατασκευασμένων Δοκών (Bourne, 2015)

3.2.1.2. Προσαρμοσμένες Προκατασκευασμένες Δοκοί

Οι προσαρμοσμένες προκατασκευασμένες δοκοί δεν κατασκευάζονται στα εργοστάσια αλλά σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους κοντά στα εργοτάξια. Σύμφωνα με τον Benaim (2008), η κύρια μορφή διατομής των δοκών είναι η “Τ”, με κάποιες εξαιρέσεις σε σημαντικές γέφυρες που έχουν χρησιμοποιηθεί προσαρμοσμένης διατομής “U” δοκοί. Τα μήκη ανοιγμάτων των γεφυρών είναι από 25–45 μέτρα. Αντίστοιχα, ο Bourne (2015) εκτός αυτών των δύο μορφών διατομής δοκών, αναφέρει στο επιστημονικό του άρθρο και τη δοκό μορφής “I”, καθώς και ότι τα μήκη είναι από 30 έως 60 μέτρα. Επίσης, κάνει λόγο ότι οι προσαρμοσμένες προκατασκευασμένες δοκοί αποτελούν καλύτερη λύση σε περιπτώσεις που οι γέφυρες έχουν μεγαλύτερα μήκη ανοιγμάτων, σε σχέση με τις τυποποιημένες δοκούς, και τέλος πως είναι οι καταλληλότερες όταν πρόκειται για γέφυρες χαμηλού ύψους με εύκολη πρόσβαση.

3.2.2. Πλεονεκτήματα της Μεθόδου

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η μηχανοποιημένη μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών στις γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι απεριόριστα. Για την ορθότερη επισκόπηση τους, διαχωρίζονται επιμερώς σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αντιπροσωπεύει την πλευρά των πολιτών και του περιβάλλοντος και η δεύτερη την πλευρά της ίδιας της κατασκευής, των εργαζομένων και των Κυρίων των Έργων.

Ξεκινώντας με την πρώτη κατηγορία, η ανέγερση μιας γέφυρας, καθώς και η συντήρηση της έχει αρκετές επιπτώσεις στην κοινωνία. Αρχικά, στο στάδιο της κατασκευής και πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια των εργασιών, είναι απαραίτητη η απαγόρευση της κυκλοφορίας στους συνδεδεμένους με τη γέφυρα δρόμους, το οποίο έχει ως επακόλουθο την αύξηση της κίνησης και τη δυσφορία των πολιτών. Ο θυμός και το άγχος που προκαλούνται σε αυτούς είναι οι προφανείς συνέπειες. Εκτός όμως από το αντίκτυπο που έχει στην ψυχολογία των κατοίκων, επιπρόσθετα, η απαγόρευση της κυκλοφορίας λόγω των εργασιών τους επηρεάζει και στον οικονομικό τομέα, αφού τους αναγκάζει να επιλέξουν άλλη διαδρομή, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου. Στη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών, ωστόσο, δίνεται η δυνατότητα πραγματοποίησης των εργασιών αυτών σε ώρες με μειωμένη κινητικότητα και επιπλέον η δυνατότητα ταχείας εγκατάστασης των δοκών στα βάθρα, λόγω της κατασκευής των στοιχείων των γεφυρών εκτός του εργοταξίου (Tomek, 2017). Σε ότι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η μέθοδος προσφέρει μειωμένη παραγωγή υλικών αποβλήτων, σκόνης, θορύβου και ενεργειακών κοστών, καθώς επίσης και ελάττωση της μόλυνσης του νερού και του αέρα (Lu et al., 2018).

Στη δεύτερη κατηγορία των πλεονεκτημάτων, δηλαδή από την πλευρά της κατασκευής και των συντελεστών της, η μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών από σπλισμένο σκυρόδεμα θεωρείται η ιδανική επιλογή. Αρχικά, οι φορές όπου απαιτείται η χρήση ικριωμάτων είναι ελάχιστες, κάτι το οποίο επιφέρει αύξηση στα ποσοστά ασφάλειας και μείωση στο ποσοστό των εργατικών ατυχημάτων (Ma & Low, 2014). Επιπρόσθετα, η παραγωγή των δοκών πραγματοποιείται στο εργοστάσιο, όπου σημαίνει ότι ελέγχεται η σύσταση του μίγματος του σκυροδέματος, η διαδικασία δόνησης και τέλος η σωστή σκλήρυνση, με αποτέλεσμα την επίτευξη της αυξημένης αντοχής του (Tomek, 2017). Ταυτόχρονα με τις δοκούς, κατασκευάζονται και τα βάθρα των γεφυρών, κάτι το οποίο συντελεί στην επίτευξη του συντονισμού των εργασιών, όπως επίσης και στην εξοικονόμηση χρόνου της ολοκλήρωσης αυτών (Ma & Low, 2014). Επιπλέον, οι εργασίες μπορούν να γίνουν σε ελεγχόμενες καιρικές συνθήκες (Lu et al., 2018). Τέλος, η υψηλότερη ποιότητα των υλικών που επιτυγχάνεται, βελτιώνει τη διάρκεια ζωής της κατασκευής και προσδίδει σε αυτή την απαίτηση σποραδικής συντήρησης. Από οικονομικής άποψης, η μηχανοποιημένη μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών θεωρείται η ιδανική λύση, ειδικά σε περιπτώσεις όπου κρίνονται αναγκαίες οι μεγάλες ποσότητες παραγωγής δοκών και η επαναλαμβανόμενη διαδικασία εργασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

4.1. Ηνωμένο Βασίλειο

4.1.1. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η ανέγερση των γεφυρών με τον παραδοσιακό τρόπο, δηλαδή η χυτή επί τόπου, χαρακτηρίζεται αναποτελεσματική και επικίνδυνη. Για το λόγο αυτό, έγιναν αρκετές δοκιμές για την παραγωγή των δομικών στοιχείων εκτός του σημείου κατασκευής των γεφυρών. Έτσι, η μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών από σπλισμένο σκυρόδεμα επιλέγεται από τους μηχανικούς πάνω από 50 χρόνια. Η εκτεταμένη χρήση των προκατασκευασμένων δοκών στην ανέγερση γεφυρών οδήγησε στη δημιουργία όχι μόνο ποικίλων σχημάτων διατομών, αλλά και διαφόρων σχεδιαστικών χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα τα πάχη των κορμών, τα ύψη κλπ. Σύμφωνα με μία επιστημονική έρευνα, η οποία είχε ως κριτήρια τη δημοτικότητα και τις απαιτήσεις καταλληλότητας κάθε προκατασκευασμένης δοκού, στο Ηνωμένο Βασίλειο κυριαρχούν 6 τύποι διατομών, οι οποίες καταγράφονται στον Πίνακα 1. Όπως είναι φανερό, υπάρχει ποικιλία στα σχήματα των

διατομών των δοκών και τα μήκη ανοίγματος ξεκινούν από τα 4 μ. και φτάνουν έως τα 45. Για τα μήκη ανοίγματος από 4-18 μέτρα επιλέγονται διατομές μορφής “TY” και “Ανεστραμμένου T”, για μήκη από 14-34 μέτρα επιλέγονται διατομές μορφής “Y”, “M” και “U”. Τέλος, η διατομές δοκών μορφής “SY” επιλέγονται για τα μεγαλύτερα μήκη ανοιγμάτων, δηλαδή από 27 έως 45 μέτρα (Kim et al., 2016).

Πίνακας 1. Διατομές προκατασκευασμένων δοκών ανά μήκος ανοίγματος στο Ηνωμένο Βασίλειο (Kim et al., 2016).

Σχήμα διατομής δοκού	Μήκος ανοίγματος (m)
TY	4 - 17.5
ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ T	5 - 17
Y	14 - 31
M	16 - 30
U	14 - 34
SY	27 - 45

Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας, με ελάχιστες διαφοροποιήσεις, καταλήγουν στα αντίστοιχα μήκη ανοιγμάτων των γεφυρών, με μία αντίστοιχη επιστημονική έρευνα των Gray et al., η οποία πραγματοποιήθηκε το 2003. Οι διατομές των δοκών που αναφέρονται στη έρευνα αυτή καταγράφονται στον Πίνακα 2, όπως επίσης και τα μήκη των ανοιγμάτων όπου εφαρμόζονται. Όπως αναφέρεται στους Kim et al. (2016), έτσι και σε αυτή την έρευνα, για ανοίγματα μέχρι 17 μέτρα επιλέγονται οι διατομές δοκών με μορφή “TY” και “Ανεστραμμένο T”. Για μήκη μεταξύ των 12-34 μέτρων, τα επιλεγόμενα σχήματα διατομών είναι τα “M”, “Y” και “U”. Τέλος, για μήκη ανοιγμάτων από 24 έως 40 μέτρων, η επιλογή βρίσκεται στις δοκούς διατομής “SY”.

Πίνακας 2. Διατομές προκατασκευασμένων δοκών ανά μήκος ανοίγματος στο Ηνωμένο Βασίλειο (Gray et al., 2003).

Σχήμα διατομής δοκού	Μήκος ανοίγματος (m)
TY	< 17
ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ T	< 17
M	16 - 29.5

Υ	12 - 31
U	12 - 34
SY	24 - 40

Παρά τη συμφωνία των δύο αυτών ερευνών, υπάρχουν και κάποιες διαφορετικές κατατάξεις των διατομών ανά άνοιγμα, όπως αναφέρεται στον Bourne (2015). Συγκεκριμένα, οι δοκοί με σχήματα διατομής “M”, “MY”, “T”, “TY” επιλέγονται για μικρότερα μήκη ανοιγμάτων, δηλαδή από 5 έως 25 μέτρα. Οι δοκοί με σχήματα διατομών “TY”, “Y”, “SY” και “U” επιλέγονται για μεγαλύτερα μήκη ανοιγμάτων, δηλαδή από 15 έως 35 μέτρα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνουν τα 40 μέτρα.

Αξιοσημείωτη είναι η καινοτομία στην κατασκευή προκατασκευασμένων δοκών μίας από τις πρωτοπόρες εταιρίες στην προκατασκευή από σκυρόδεμα σε Ιρλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο. Η Banagher Precast Concrete Ltd. σχεδίασε και παρουσίασε το 2005 τη δοκό “Banagher W Beam”, η οποία είναι κατάλληλη για γέφυρες με μεγάλα μήκη ανοιγμάτων, τα οποία φτάνουν τα 50 μέτρα. Το 2007 εμφάνισε στην αγορά τη δοκό “Banagher MY Beam” ή αλλιώς “Green Beam”, η οποία είναι κατάλληλη για μικρότερα μήκη ανοίγματος, που φτάνουν μέχρι τα 19 μέτρα. Στις παρακάτω εικόνες, Εικόνα 6 και Εικόνα 7 παρουσιάζονται οι διατομές των δοκών “Banagher W Beam” και “Banagher MY Beam” αντιστοίχως.



Εικόνα 6. Διατομή “Banagher W Beam”



Εικόνα 7. Διατομή “Banagher MY Beam”

4.1.2. Εξέλιξη της Τυποποίησης Γεφυρών από Προκατασκευασμένες

Δοκούς

Σε ότι αφορά την τυποποίηση στην κατασκευή των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα με τη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι Kim et al. (2016) αναφέρουν ότι κίνητρο για την έρευνά τους σχετικά με τα τυποποιημένα προκατασκευασμένα στοιχεία ήταν η “Επιταχυνόμενη Κατασκευή των Γεφυρών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής” (U.S. Accelerated Bridge Construction, “ABC”), η οποία κάνει εκτεταμένη χρήση ποικίλων τέτοιων στοιχείων. Υπογραμμίζουν, όμως, ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο η εφαρμογή αυτών είναι περιορισμένη σε συγκεκριμένους τύπους, και πιο συγκεκριμένα στα προκατασκευασμένα δοκάρια και βάθρα. Αυτή η επιστημονική τους έρευνα βασίζεται στη γενική ιδέα της φιλοσοφίας του “Σχεδιασμός για Κατασκευή και Συναρμολόγηση” (Design for Manufacture and Assembly, “DfMA”), που έχει αναπτυχθεί από μηχανικούς στο Μάντσεστερ της Αγγλίας και έχει ως στόχο την απλοποίηση και τυποποίηση των κατασκευών. Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός της είναι η ευκολότερη διαδικασία κατασκευής, ώστε να διευκολύνει και την συναρμολόγηση της. Επιπροσθέτως, στοχεύει στη μείωση του κόστους της κατασκευής και των εργατωρών παραγωγής δοκών. Παρουσιάζουν εκτενέστερα αυτά τα κριτήρια και παράλληλα αναλύουν την καταλληλότητα τους, προτρέποντας τη μελλοντική χρήση τυποποιημένων προκατασκευασμένων στοιχείων στις γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα του Ηνωμένου Βασιλείου.

Συμπερασματικά, με τα στοιχεία των προαναφερθέντων επιστημονικών μελετών, παρατηρείται συμφωνία στη μορφή των διατομών των δοκών ανά μήκος ανοίγματος, με σχετικά ελάχιστες διαφοροποιήσεις. Αυτό φανερώνει τη δυνατότητα τυποποίησης των προκατασκευασμένων δοκών των γεφυρών. Οι πρώτες προσπάθειες έχουν ήδη γίνει, με τυποποιημένες τις μορφές “Ανεστραμμένο T”, “M”, “U” και “Y” με μήκη ανοιγμάτων που κυμαίνονται μεταξύ 12–40 μ., όπως αναφέρεται στη δημοσίευση των Tan et al. (2014).

4.2. Γερμανία

4.2.1. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

Περίπου το 75% των γεφυρών στη Γερμανία έχουν μήκη ανοιγμάτων, τα οποία φτάνουν έως τα 35 μ. (Hanswille, 2008). Η μηχανοποιημένη μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών επιλέγεται σπάνια, αφού μόνο το 15% των γεφυρών έχει κατασκευασμένων με τον τρόπο αυτό. Οι περιπτώσεις στις οποίες εφαρμόζεται είναι μόνο όταν υπάρχει η απαίτηση για γρήγορη

κατασκευή με μειωμένη συμφόρηση στους δρόμους ή όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ικριωμάτων. Επιπροσθέτως, οι δοκοί με διατομή μορφής “I” απαγορεύονται λόγω της συσσώρευσης των αλάτων, αλλά και των περιττωμάτων πουλιών στην άνω επιφάνεια της κάτω φλάντζας. Αυτός ο περιορισμός τους οδήγησε στην επιλογή των δοκών με διατομή μορφής “T” (Ralls et al., 2005).

Η ανάγκη ολοκλήρωσης των έργων σε συγκεκριμένα χρονικά όρια, η αυξημένη κίνηση κατά την ανέγερση αλλά και τη συντήρηση των γεφυρών, καθώς και τα προβλήματα στους αυτοκινητοδρόμους ταχείας κυκλοφορίας, τα τελευταία χρόνια ώθησαν τη Γερμανία στην κλιμακούμενη χρήση της μεθόδου. Στην έρευνα “PreCoBeam” (Prefabricated Composite Beam) που διεξήχθη υπό την αιγίδα του “Ταμείου Έρευνας για τον Άνθρακα και τον Χάλυβα” (Research Fund of Coal and Steel, “RFCS”), αναπτύχθηκε η μέθοδος “VFT” (Verbund-Fertigteil-Träger), με σκοπό την ελάττωση του χρόνου ανέγερσης και την επίτευξη υψηλότερου επιπέδου κατασκευής (Hällmark, 2012). Οι προκατασκευασμένοι δοκοί που εφαρμόζονται με τη μέθοδο αυτή ονομάζονται “Verbund-Fertigteil-Träger – Walzträger im Beton” (VFT – WIB). Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για σύγχρονες προκατασκευασμένες δοκούς διατομής μορφής “T” και τοποθετούνται, κατά κύριο λόγο, σε γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων που κυμαίνονται από 10 έως 20 μέτρα, ενώ σπανίως σε μήκη που φτάνουν έως 30 μέτρα (Su et al., 2019).

4.2.2. Εξέλιξη της Τυποποίησης Γεφυρών από Προκατασκευασμένες

Δοκούς

Από το 2003 οι κατασκευές των υποδομών στη Γερμανία γίνονται με βάση τους κανονισμούς των Ευρωκώδικων. Από το ξεκίνημα της κατασκευής γεφυρών στους αυτοκινητοδρόμους ταχείας κυκλοφορίας υιοθετήθηκαν τυποποιημένες απλές δοκοί, κυρίως σε οδογέφυρες και κοιλαδογέφυρες. Η εξέλιξη, όμως, της οικονομίας, η μορφολογία του εδάφους, καθώς και η δυνατότητα σχεδιασμού χωρίς αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς αποτέλεσαν ανασταλτικό παράγοντα για την επιλογή της μηχανοποιημένης μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών σε γέφυρες μικρών και μεσαίων μηκών ανοιγμάτων (Su et al., 2019). Γενικά, σε ότι αφορά την τυποποίηση των προκατασκευασμένων δοκών παρατηρείται ότι δεν αποτελεί δημοφιλή επιλογή και δεν υπάρχουν αρκετές σχετικές αναφορές.

4.3. Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής

4.3.1. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

Η επικρατέστερη μηχανοποιημένη μέθοδος κατασκευής γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα στις Η.Π.Α. είναι η μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών (Hällmark, 2012), η εφαρμογή της οποίας ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1940. Μία από τις πρώτες μορφές διατομής που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η κιβωτιοειδής, η οποία εφαρμοζόταν σε γέφυρες με μικρά μήκη ανοιγμάτων. Μέχρι τα τέλη του 1950 είχαν δημιουργηθεί δοκοί διατομής μορφής “I”, οι οποίες ήταν οι καταλληλότερες για την ανέγερση των γεφυρών με μεγαλύτερα ανοίγματα.

Η “Ομοσπονδιακή Διοίκηση των Αυτοκινητοδρόμων” (Federal Highways Administration, “FHWA”) με τη δημοσίευση της με τίτλο “Connection Details for Prefabricated Bridge Elements and Systems” (FHWA 2009), τονίζει το θεμελιώδη ρόλο της προκατασκευής των δομικών στοιχείων και συστημάτων για την πρακτική της επιτάχυνσης της κατασκευής των γεφυρών. Ταυτοχρόνως, πολλές Πολιτείες είχαν υιοθετήσει τη μέθοδο αυτή, με αποτέλεσμα την επιλογή της επιτόπου κατασκευής των δοκών να γίνεται όλο και πιο σπάνια.

Σύμφωνα με τους Gray et al. (2003), οι διατομές των προκατασκευασμένων δοκών στις Η.Π.Α. είναι οι “I”, οι “Bulb-Tee” (δοκοί μορφής “I”), οι ανεστραμμένες “U”, οι “Box beams” (κιβωτιοειδούς μορφής) και οι “FM” δοκοί και χρησιμοποιούνται σε γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων από 15 έως 50 μέτρα. Επακολούθως, στη επιστημονική μελέτη των Aktan et al. (2013) παρατηρείται ότι γίνεται αύξηση κατά 30 μέτρα στα μήκη ανοιγμάτων, συγκεκριμένα αυτά φτάνουν από 40 μέχρι 80 μέτρα. Οι καθιερωμένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών που εφαρμόζονται στις Η.Π.Α. είναι οι “I”, οι “Bulb-Tee”, οι “NU”, οι “I”, οι κιβωτιοειδούς μορφής, καθώς και οι προκατασκευασμένες δοκοί με συνδεδεμένα κομμάτια.

Στην επίσημη σελίδα του Ινστιτούτου Προκατασκευασμένου/Προεντεταμένου Σκυροδέματος (Precast/Prestressed Concrete Institute, “PCI”) της Αμερικής αναφέρεται πως η μέθοδος αυτή με τα τωρινά δεδομένα εφαρμόζεται κυρίως σε γέφυρες μεσαίων και μεγάλων μηκών ανοιγμάτων, και πιο συγκεκριμένα έως τα 64 μέτρα.

4.3.2. Εξέλιξη της Τυποποίησης Γεφυρών από Προκατασκευασμένες

Δοκούς

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής έχουν αναγνωριστεί τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση της προκατασκευής στον κατασκευαστικό τομέα και έχουν προχωρήσει ήδη

στην τυποποίηση κάποιων διατομών των δοκών. Η κάθε Πολιτεία, ανάλογα με τις ανάγκες της, επιλέγει διαφορετικές διατομές. Οι μηχανικοί συμβουλεύονται την “Αμερικανική Ένωση Κρατικών Εθνικών Οδών και Μεταφορών” (American Association of State Highway and Transportation Officials, “AASHTO”), η οποία είναι υπεύθυνη για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την συντήρηση της πλειονότητας των γεφυρών στις Η.Π.Α. Στις δημοσιεύσεις της η “AASHTO” κάνει αναφορά στις τυποποιημένες διαδικασίες κατασκευής, καθώς και στις τυποποιημένες μορφές διατομών των προκατασκευασμένων δοκών. Αρχικά, οι πρώτες μορφές τυποποιημένων προκατασκευασμένων δοκών ήταν οι λεγόμενοι “AASHTO I” δοκοί (τύποι I – VI). Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν και τυποποιήθηκαν οι δοκοί “Bulb-Tee”, όπου είναι διαφοροποιημένης μορφής δοκοί “I” με μεγαλύτερα άνω πέλματα και μικρότερο βάρος, που είναι καταλληλότερες για μεγαλύτερα μήκη ανοιγμάτων γεφυρών (Grubb et al., 2015). Το ελάχιστο μήκος ανοίγματος είναι από 20 μέτρα περίπου και το μέγιστο δεν ξεπερνάει τα 50 μέτρα. Οι τυποποιημένες διατομές των δοκών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Όπως είναι φανερό, στις Η.Π.Α. έχουν τυποποιηθεί 4 μορφές διατομών προκατασκευασμένων δοκών, όπου κάθε μία από αυτές έχει παραλλαγές. Πιο συγκεκριμένα, οι δοκοί με μορφή διατομής “Box” εφαρμόζονται σε γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων που ξεκινούν από 20 και φτάνουν έως τα 36 μέτρα. Οι δοκοί μορφής “Bulb-Tee” χρησιμοποιούνται για μήκη ανοιγμάτων από 29 έως 47 μέτρα. Οι δοκοί μορφής “AASHTO I” για μήκη ανοιγμάτων μεταξύ 17-46 μέτρα και τέλος, οι δοκοί μορφής “U” για μήκη από 24 έως 41 μέτρα. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται αναλυτικά οι διατομές των δοκών που χρησιμοποιούνται, καθώς επίσης και τα μήκη ανοιγμάτων όπου εφαρμόζονται (PCI, 2011).

Πίνακας 4. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών στις Η.Π.Α. (PCI, 2011)

Σχήμα διατομής δοκού	Μήκος ανοίγματος (m)
Box 48 II	23 – 30
Box 48 III	26 – 35
Box 48 IV	27 – 36
Box 36 II	20 – 24
Box 36 III	23 – 27
Box 36 IV	24 – 29
Bulb-Tee 54	29 – 38
Bulb-Tee 63	32 – 43
Bulb-Tee 72	36 – 47
AASHTO I II	17 – 23
AASHTO I III	21 – 30
AASHTO I IV	30 – 38
AASHTO I V	36 – 43

AASHTO I VI	40 – 46
U 40	24 – 32
U 54	29 – 37
U 66G5	32 – 40
U 78G5	33 - 41

4.4. Νέα Ζηλανδία

4.4.1. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

Η Βιομηχανία των προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα για την ανέγερση των γεφυρών στη Νέα Ζηλανδία αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο. Ήδη από το 1950, από όπου και ξεκίνησε η χρήση της, η μηχανοποιημένη μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών στην κατασκευή των γεφυρών διαδίδεται και εξελίσσεται συνεχώς.

Στην Νέα Ζηλανδία διατίθεται ο “Οδηγός Δόμησης του Συστήματος Δεδομένων Γεφυρών” (Bridge Data System, “BDS”), στον οποίο είναι καταγεγραμμένες 17 τύποι μορφών διατομών προκατασκευασμένων δοκών. Ο Rogers (2016) στην επιστημονική του έρευνα ομαδοποίησε τις δοκούς σε 7 κατηγορίες, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και την χρήση τους. Αναφέρει επίσης ότι οι πιο τακτά χρησιμοποιούμενες δοκοί από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι αυτές με μορφή “διπλού κυλινδρικού κενού” (Double hollow core), μορφή “I”, μορφή “Log”, μορφή “U” και άλλες.

4.4.2. Εξέλιξη της Τυποποίησης Γεφυρών από Προκατασκευασμένες Δοκούς

Σχεδόν παράλληλα με τις πρώτες χρήσεις της μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών στην ανέγερση των γεφυρών στη Νέα Ζηλανδία, έγινε και η αρχή της τυποποίησής τους. Το “Υπουργείο Έργων της Νέας Ζηλανδίας” (Ministry of Works, “MoW”) παρενέβη στη δημοσίευση του πρώτου εγχειρίδιου των γεφυρών τη δεκαετία του 1970, στο οποίο εμπεριείχονταν οι πρώτες τυποποιημένες μορφές διατομών των δοκών. Με την πάροδο των χρόνων, ακόμα περισσότερα εγχειρίδια εκδόθηκαν για τη μηχανοποιημένη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών, αφού πρόκειται για τη κύρια μέθοδο που επιλέγεται στην ανέγερση των γεφυρών. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι μορφές διατομών των τυποποιημένων προκατασκευασμένων δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως επίσης και τα μήκη των ανοιγμάτων όπου εφαρμόζονται, όπως καταγράφονται από τον Rogers (2016), στο

δημοσίευσμά του. Αναφέρει 6 μορφές διατομών, οι οποίες εφαρμόζονται σε γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων από 6 έως 30 μέτρα. Πιο συγκεκριμένα, στη Νέα Ζηλανδία συναντάται η διατομή μορφής “Log”, που επιλέγεται σε μικρά μήκη ανοιγμάτων, από 6-12 μέτρα. Για γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων από 12-14 μέτρα επιλέγεται η διατομή μορφής “Double hollow core”, παρόλα αυτά όμως, σε αυτή την περίπτωση μπορεί να εφαρμοστεί και η δοκός με μορφή διατομής “I”, η οποία είναι κατάλληλη για μήκη ανοιγμάτων που κυμαίνονται από 12 έως 24 μέτρα. Αμέσως επόμενη είναι η δοκός με μορφή διατομής “U”, που χρησιμοποιείται σε μήκη ανοιγμάτων μεταξύ 16-26 μέτρα. Τέλος, για μεγαλύτερα μήκη ανοιγμάτων στις γέφυρες προτιμώνται οι δοκοί μορφής “Single hollow core”, οι οποίες εφαρμόζονται σε μήκη που φτάνουν μέχρι τα 25 μέτρα, καθώς επίσης και οι δοκοί με διατομή μορφής “Super-Tee”, που θεωρούνται οι καταλληλότερες σε περιπτώσεις μηκών από 20 έως και τα 30 μέτρα.

Πίνακας 5. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών στη Νέα Ζηλανδία (Rogers, 2016)

Σχήμα διατομής δοκού	Μήκος ανοίγματος (m)
Log	6 - 12
I	12 - 24
Single hollow core	< 25
Double hollow core	12 - 14
U	16 – 26
Super-Tee	20 - 30

Στην επιστημονική έρευνα που πραγματοποίησαν οι Gray et al. (2003), γίνεται αναφορά πώς οι τυποποιημένες προκατασκευασμένες δοκοί εφαρμόζονται σε γέφυρες με μήκος ανοίγματος από 6 έως 32 μέτρα. Στον Πίνακα 6 παρατίθενται αναλυτικά οι μορφές των διατομών των δοκών, όπως και τα μήκη ανοιγμάτων όπου εφαρμόζονται. Πιο συγκεκριμένα, κάνουν λόγο για τις δοκούς με μορφές διατομών “Single hollow core”, “Double hollow core” και “Triple hollow core” πώς είναι κατάλληλες όταν πρόκειται για γέφυρες με μικρά σχετικά μήκη ανοιγμάτων, δηλαδή από 8-14 μέτρα, 6-18 μέτρα και 6-10 μέτρα αντιστοίχως. Έπονται οι δοκοί με μορφές διατομών “I” και “U”, οι οποίες εφαρμόζονται σε μήκη ανοιγμάτων που κυμαίνονται από 12-32 μέτρα και 16-26 μέτρα αντιστοίχως.

Πίνακας 6. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών στη Νέα Ζηλανδία (Gray et al., 2003)

Σχήμα διατομής δοκού	Μήκος ανοίγματος (m)
Single hollow core	8 - 14
Double hollow core	6 - 18
Triple hollow core	6 - 10
I	12 - 32
U	16 - 26

Στα δύο αυτά επιστημονικά άρθρα παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των επιλογών στα μήκη ανοίγματος, καθώς επίσης και στο σχήμα των διατομών των δοκών. Αναλυτικότερα, ξεκινώντας από το παλαιότερο άρθρο και συγκρίνοντας το με το νεότερο, στο δημοσίευμα των Gray et al. (2003), δεν υπάρχει αναφορά στις μορφές διατομών “Log” και “Super-Tee”, καθώς επίσης, στο δημοσίευμα του Rogers (2016) δεν υπάρχει αναφορά στη μορφή διατομής “Triple hollow core”. Τα μήκη ανοιγμάτων ανά δοκό διαφέρουν ως προς τα μέτρα εφαρμογής τους. Παρατηρείται ότι στο πιο πρόσφατο δημοσίευμα, υπάρχει αύξηση του μήκους ανοίγματος κατά 10 περίπου μέτρα στη δοκό μορφής “Single hollow core”. Στη δοκό μορφής “Double hollow core” υπάρχει μείωση των μέτρων του πεδίου εφαρμογής της. Επιπροσθέτως, στη δοκό μορφής “I” φαίνεται να χρησιμοποιείται σε μήκη ανοίγματος έως και 24 μέτρα στην πιο πρόσφατη έρευνα, και να μην προτιμάται για ανοίγματα που φτάνουν τα 32 μέτρα, όπως αναφέρεται στους Gray et al. (2003). Τέλος, και τα δύο επιστημονικά δημοσιεύματα συμφωνούν απόλυτα σε ότι αφορά τη χρήση της δοκού με διατομή μορφής “U”, όπου αυτή γίνεται σε μήκη ανοιγμάτων από 16 έως 26 μέτρα.

Συμπερασματικά, είναι αυταπόδεικτο πως στη Νέα Ζηλανδία έχει γίνει ήδη τυποποίηση στις προκατασκευασμένες δοκούς. Όπως παρουσιάζουν και οι Tan et al. (2014) στο άρθρο τους, η τυποποίηση έχει εφαρμοστεί σε δοκούς για γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων από 6 έως 32 μέτρα και μορφών διατομών “Voided” (Hollow), “U”, “I” και “Super-Tee”.

4.5. Αυστραλία

4.5.1. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

Η Αυστραλία διαθέτει ένα από τα μεγαλύτερα οδικά δίκτυα, με περίπου 37.000 γέφυρες, οι οποίες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ηπείρους έχουν σχετικά μικρότερα μήκη ανοιγμάτων, κατά την άποψη του Rapattoni (2015). Πιο συγκεκριμένα, το 95% των γεφυρών έχει μήκη ανοιγμάτων μικρότερα των 40 μέτρων και το 80% μικρότερα των 20 μέτρων. Η επιλογή των μικρών μηκών ανοιγμάτων έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους κατασκευής, σε αναβαθμίσεις που αφορούν την ασφάλεια, καθώς και σε χαμηλότερη περιβαλλοντική επιρροή.

Σε ότι αφορά τις μορφές των διατομών των δοκών, οι Αυστραλοί σε κάθε Πολιτεία χρησιμοποιούσαν ποικίλους τύπους. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η δοκός μορφής “T” οδήγησαν στην εξέλιξη της σε “Super-Tee”, η οποία σε μικρό χρονικό διάστημα έγινε η πρώτη επιλογή, με το ποσοστό χρήσης της να φτάνει το 85%. Η δοκός αυτή διαθέτει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής, αφού χρησιμοποιείται σε γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων από 10 έως 38 μέτρα, σε αντίθεση με την προηγούμενη μορφή της, όπου έφτανε μέχρι τα 19 μέτρα (Rapattoni, 2015). Σε μία παλαιότερη επιστημονική αναφορά του, ο Connal (2002), κάνει λόγο για τη χρήση των προκατασκευασμένων δοκών αυτών για μήκη ανοιγμάτων που κυμαίνονται από 18 έως 35 μέτρα. Τέλος, στις περιπτώσεις που το μήκος φτάνει μέχρι τα 20 μέτρα, γενικώς προτιμάται η δοκός με διατομή μορφής “Hollow core” (Voided), ενώ η χρήση των δοκών με διατομή μορφής “I” έχει εκλείψει και θεωρούνται πλέον ξεπερασμένες (Gray et al., 2003).

4.5.2. Εξέλιξη της Τυποποίησης Γεφυρών από Προκατασκευασμένες

Δοκούς

Παρότι η Βιομηχανία των γεφυρών της Αυστραλίας δεν είναι αρκετά ανεπτυγμένη, οι κρατικές οδικές αρχές έκαναν σοβαρές προσπάθειες για να επιτευχθεί ένα υψηλό επίπεδο τυποποίησης. Οι πρώτες τυποποιημένες διατομές των προκατασκευασμένων δοκών ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1950 για μήκη ανοιγμάτων γεφυρών από 6 μέχρι 19 μέτρα (Rapattoni, 2015). Οι Tan et al. (2014) στο άρθρο τους κάνουν αναφορά στην τυποποίηση για μήκη ανοιγμάτων από 6 έως 32 μέτρα στις δοκούς με διατομές μορφής “Hollow core”, “Super-Tee” και “I”. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι μορφές των διατομών των δοκών που έχουν τυποποιηθεί στην Αυστραλία, καθώς επίσης και τα μήκη εφαρμογής τους, σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο των Gray et al. (2003). Σε αυτό, γίνεται λόγος για 4 τυποποιημένες δοκούς. Πιο συγκεκριμένα,

για γέφυρες με μικρά σχετικά μήκη ανοιγμάτων, τα οποία φτάνουν έως τα 17 μέτρα, προτιμώνται δοκοί μορφής “Hollow core” (Voided). Για μήκη ανοιγμάτων έως και 27 μέτρα, κρίνονται κατάλληλες οι δοκοί με διατομή μορφής “Voided box”. Τέλος, στις περιπτώσεις ανέγερσης γεφυρών με μήκη ανοιγμάτων από 18 έως και 35 μέτρα, επιλέγονται οι δοκοί μορφής “Super-Tee” & “Tee-Roff” και “I”, αναλόγως των απαιτήσεων.

Πίνακας 7. Τυποποιημένες διατομές προκατασκευασμένων δοκών ανά μήκος ανοίγματος στην Αυστραλία (Gray et al., 2003)

Σχήμα διατομής δοκού	Μήκος ανοίγματος (m)
Hollow core (Voided)	< 17
Voided box	< 27
Super-Tee & Tee-Roff	18 - 35
I	18 - 35

Όπως παρατηρείται μεταξύ των δύο επιστημονικών άρθρων των Tan et al. (2014) και Gray et al. (2003), στο νεότερο δεν υπάρχει αναφορά της δοκού με διατομή μορφής “Voided box”. Επίσης, υπάρχει υψηλό ποσοστό συμφωνίας σε ότι αφορά όχι μόνο για τα μήκη ανοιγμάτων στις προαναφερθέντες δημοσιεύσεις, αλλά και για τις διατομές που έχουν τυποποιηθεί, με τους Tan et al. (2014) να κάνουν μία πιο γενική αναφορά. Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα άρθρα, παρατηρείται ότι έχει επικρατήσει η μορφή “Super-Tee” ως κύρια διατομή στη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών και η χρήση αυτής εφαρμόζεται σε γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων από 18 έως 35 μέτρα.

4.6. Κίνα

4.6.1. Μέθοδος Προκατασκευασμένων Δοκών

Όπως και στις περισσότερες χώρες, έτσι και στην Κίνα υπάρχουν δύο κώδικες σχεδιαστικών προδιαγραφών, σύμφωνα με τους οποίους γίνεται η κατασκευή των γεφυρών. Οι δύο αυτοί κώδικες διαχωρίζονται ανάλογα με τον τύπο του τεχνικού έργου, δηλαδή ανάμεσα στις σιδηροδρομικές γέφυρες και στις γέφυρες των αυτοκινητοδρόμων (Li et al., 2000). Γενικά, το μεγαλύτερο ποσοστό των γεφυρών έχει κατασκευαστεί με μικρά και μεσαία μήκη ανοιγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, έχει καταγραφεί πώς το 91% των γεφυρών των αυτοκινητοδρόμων έχει ανεγερθεί με τέτοιου είδους ανοίγματα (Fu et al., 2014).

Κατά την άποψη των Dai et al. (2016), οι κύριες μέθοδοι κατασκευής των δοκών των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η επιτόπια κατασκευή, η ανέγερση μέσω κινητής κατασκευής και η προκατασκευή. Συγκριτικά με τις δύο πρώτες, η προκατασκευή υπερέχει, αφού προσφέρει πιο αξιόπιστο ποιοτικό έλεγχο στην παραγωγή, καθώς και ταχύτερη πρόοδο κατασκευής. Επίσης, είναι ο οικονομικότερος τρόπος κατασκευής των γεφυρών και συμπερασματικά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως βέλτιστη μέθοδος.

Οι κύριες διατομές είναι οι δοκοί μορφής “Hollow plate”, οι δοκοί μορφής “T” και οι δοκοί μορφής “Box”, σύμφωνα με το δημοσίευμα των Li et al. (2000). Στις ίδιες δοκούς αναφέρονται και οι Fu et al. (2014) στην πιο πρόσφατη επιστημονική τους έρευνα. Οι Yan et al. (2015) επισημαίνουν ότι οι δοκοί με διατομή μορφής “Box” χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε σιδηροδρομικές γέφυρες υψηλών ταχυτήτων. Το τυπικό μήκος ανοίγματος αυτών είναι τα 32 μέτρα σε απλά στηριζόμενες δοκούς και τα 40 έως 100 μέτρα σε συνεχόμενες. Για μήκη ανοίγματος μικρότερα από 22 μέτρα προτιμώνται δοκοί μορφής “Voided”, ενώ για μήκη μεγαλύτερων των 25 μέτρων κρίνονται κατάλληλες οι δοκοί μορφής “T” (Li et al., 2000).

4.6.2. Εξέλιξη της Τυποποίησης Γεφυρών από Προκατασκευασμένες

Δοκούς

Παράλληλα με την εξέλιξη των αυτοκινητοδρόμων, ξεκίνησε και η τυποποίηση στις προκατασκευασμένους δοκούς των γεφυρών (Li et al., 2000). Η τυποποίηση δεν σταμάτησε εκεί, αφού αποτέλεσε βασική μέθοδο κατασκευής στις σιδηροδρομικές γέφυρες υψηλών ταχυτήτων, όπου αξιοσημείωτο είναι να αναφερθεί πώς η Κίνα καταλαμβάνει την πρώτη θέση. Πιο συγκεκριμένα, το 95% αυτών είναι κατασκευασμένο με τυποποιημένες, απλά στηριζόμενες δοκούς με μικρά μήκη ανοιγμάτων, με χαρακτηριστικά παραδείγματα στα οποία τα μήκη κυμαίνονται μεταξύ των 20 έως 40 μέτρων (Dai et al., 2016). Συμπερασματικά, από τις επιστημονικές αναφορές των Li et al. (2000), καθώς και των Dai et al. (2016), η διατομή μορφής “Box” για μήκος ανοίγματος 32 μέτρα έχει τυποποιηθεί και αποτελεί επιλογή κατασκευής του 90% των σιδηροδρομικών γεφυρών υψηλών ταχυτήτων.

Παρά την εκτεταμένη χρήση των τυποποιημένων προκατασκευασμένων δοκών, υπάρχει περιθώριο βελτιστοποίησης. Όπως αναφέρουν οι (Su et al., 2019), τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των δοκών που χρησιμοποιούνται στην Κίνα είναι αρκετά συντηρητικά και έχουν την δυνατότητα αναβάθμισης.

4.7. Συγκεντρωτική Αξιολόγηση της Τυποποίησης των

Προκατασκευασμένων Δοκών στο Εξωτερικό

Η επιλογή των χωρών του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γερμανίας, των Η.Π.Α., της Νέας Ζηλανδίας, της Αυστραλίας και της Κίνας έγινε λόγω του κύριου ρόλου τους στον κατασκευαστικό τομέα. Η χρήση της μηχανοποιημένης μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών στις γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει εφαρμοστεί σε όλες αυτές τις χώρες, με διαφορετική όμως εξέλιξη στην καθεμία. Ξεκινώντας την έρευνα από το Ηνωμένο Βασίλειο, μία χώρα στην οποία που παρότι έχει γίνει τυποποίηση, παρατηρείται ποικιλία με ελάχιστες διαφορές ανάμεσα στις μορφές των διατομών των δοκών των γεφυρών και κρίνεται δυνατή η περαιτέρω ανάπτυξη της. Η εφαρμογή της μεθόδου είναι μέτρια και γίνεται σε μήκη ανοιγμάτων από 12 έως 40 μέτρα. Οι διατομές που έχουν τυποποιηθεί είναι αυτές των μορφών “Ανεστραμμένο Τ”, “Μ”, “U” και “Υ”. Ο κανονισμός σύμφωνα με τον οποίο γίνονται οι κατασκευές στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι ο “DfMA”. Συνεχίζοντας, στη Γερμανία ενώ έχει γίνει εφαρμογή τυποποιημένων προκατασκευασμένων δοκών, με την εξέλιξη της οικονομίας της χώρας, αποκτήθηκε η δυνατότητα μεγαλύτερων δαπανών για την ανέγερση των γεφυρών και έτσι η μέθοδος της προκατασκευής θεωρήθηκε ξεπερασμένη. Παρόλα αυτά, οι τυποποιημένες προκατασκευασμένες δοκοί χρησιμοποιούνταν σε περιπτώσεις όπου τα μήκη ανοιγμάτων ξεκινούσαν από 10 και έφταναν έως τα 30 μέτρα και οι διατομές που εφαρμόζονταν ήταν μορφής “Τ”. Τέλος, οι κατασκευές στην Γερμανία γίνονται σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες. Σε αντίθεση με τις δύο Ευρωπαϊκές χώρες, στις Ηνωμένες Πολιτείες η τυποποίηση έχει κυρίαρχη θέση και φυσικά είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες κάθε Πολιτείας, για αυτό και οι τυποποιημένες δοκοί καλύπτουν μεγάλο εύρος μηκών ανοιγμάτων, το οποίο βρίσκεται μεταξύ των 20 και 50 μέτρων. Οι μορφές των διατομών που επιλέγονται είναι οι δοκοί μορφής “Bulb-Tee”, “Box”, “I” και “U”. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η ανέγερση των τεχνικών έργων βασίζεται στους κανονισμούς του “AASHTO”. Σε ότι αφορά την τυποποίηση της μηχανοποιημένης μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών στις γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως στις Η.Π.Α., έτσι και στις περιπτώσεις της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας, επικρατεί η ίδια νοοτροπία, δηλαδή οι έννοιες της προκατασκευής και της τυποποίησης είναι αλληλένδετες. Πιο αναλυτικά, στη χώρα της Νέας Ζηλανδίας η κατασκευή των γεφυρών γίνεται αποκλειστικά με τη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών σε μήκη ανοιγμάτων από 6 έως 32 μέτρα. Η κατασκευή γίνεται σύμφωνα με τα ειδικά εγχειρίδια τυποποίησης και οι μορφές των διατομών των δοκών είναι “Voided”, “U”, “I” και “Super-Tee”. Στη γειτονική χώρα της Νέας Ζηλανδίας, την Αυστραλία, συναντάται και εκεί

αποκλειστική χρήση της μεθόδου με τυποποιημένες προκατασκευασμένες δοκούς, με τις κατασκευές να γίνονται σύμφωνα με τα εγχειρίδια τυποποίησης και οι γέφυρες να έχουν παρόμοια μήκη ανοίγματος, δηλαδή από 6 έως 35 μέτρα. Επιπρόσθετα, οι δοκοί αυτές είναι των μορφών διατομής “Hollow”, “Super-Tee” και “I”. Η έρευνα ολοκληρώνεται με τη χώρα της Κίνας, η οποία κατέχει την πρώτη θέση στις κατασκευές των γεφυρών παγκοσμίως. Γίνεται υψηλή χρήση της μεθόδου των τυπικών προκατασκευασμένων δοκών, με μορφές διατομής “Voided”, “Box” και “I” για γέφυρες με μήκη ανοιγμάτων, τα οποία κυμαίνονται μεταξύ των 20 έως 40 μέτρων. Όπως και στις περιπτώσεις της Νέας Ζηλανδίας και της Αυστραλίας, έτσι και στην Κίνα, τα τεχνικά έργα γίνονται με βάση τους κανονισμούς που υπάρχουν στα εγχειρίδια τυποποίησης. Συμπερασματικά, κοινά χαρακτηριστικά όλων των προαναφερθέντων χωρών αποτελεί η εφαρμογή των τυποποιημένων προκατασκευασμένων δοκών σε γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα, σε μικρά έως μεσαία μήκη ανοιγμάτων, καθώς και ότι η ανέγερση αυτών γίνεται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς της κάθε χώρας. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά της κάθε χώρας.

Πίνακας 8. Συγκεντρωτικός πίνακας τυποποίησης των προκατασκευασμένων δοκών στο εξωτερικό

Χώρα	Μήκη (m)	Διατομές	Εφαρμογή Μεθόδου	Κανονισμός / Τεχνική
Ηνωμένο Βασίλειο	12 - 40	Ανεστραμμένο “T”, “M”, “U”, “Y”	Μέτρια χρήση	DfMA
Γερμανία	10 - 30	“T”	Ελάχιστη χρήση	Ευρωκώδικες
Η.Π.Α.	20 - 50	“Bulb-Tee”, “Box”, “I”, “U”	Υψηλή χρήση	AASHTO
Νέα Ζηλανδία	6 - 32	“Voided”, “U”, “I”, “Super-Tee”	Αποκλειστική χρήση	Εγχειρίδια τυποποίησης
Αυστραλία	6 - 35	“Hollow”, “Super-Tee”, “I”	Αποκλειστική χρήση	Εγχειρίδια τυποποίησης
Κίνα	20 - 40	“Voided”, “Box”, “T”	Υψηλή χρήση	Εγχειρίδια τυποποίησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Η ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΓΕΦΥΡΕΣ ΤΗΣ

5.1. Η Εγνατία Οδός

Η ιστορία της Εγνατίας οδού έχει ως αφετηρία τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία. Η κατασκευή της ξεκίνησε περί το 146 με 120 π.Χ. από τον Ρωμαίο ανθύπατο Γναίο Εγνατίου, από τον οποίο πήρε και την ονομασία της. Οι κατασκευαστικές της προδιαγραφές ήταν παρόμοιες αυτών της Μεγάλης Βρετανίας, της Ιταλίας και της Ισπανίας, σύμφωνα με το χωρίο του Στράβωνα. Τότε, με την ονομασία “*via Egnatia*”, υπερπόντια προέκταση της “*via Traiana*” διαμέσου του λιμένα της Γναφιάς, αποτελούσε τον έναν από τους δύο πιο σημαντικούς δρόμους που συνέδεε τη Ρώμη με την Κωνσταντινούπολη. Διαπερνούσε την Ελλάδα από το Δυρράχιο, το Λυχνιδό, την Ηράκλεια, την Πέλλα, τη Θεσσαλονίκη, την Αμφίπολη, τους Φιλίππους, το Τόπειρο, τη Μαξιμιανούπολη και την Τραϊανούπολη. Ήταν, επίσης, αυτή που συνέδεε την Αδριατική με τον Εύξεινο Πόντο. Παρότι αρχικά κατασκευάστηκε για στρατιωτικούς σκοπούς, η χρήση της μετέπειτα γενικεύτηκε με κυριότερο σκοπό το εμπόριο.

Η Εγνατία οδός αποτελεί έργο μεγάλης σημασίας τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη. Ο σκοπός της να ενώσει την Ανατολή με τη Δύση και την Ευρωπαϊκή Ένωση με τις γειτονικές χώρες, την έθεσαν συλλεκτήρια οδό των Πανευρωπαϊκών Διαδρόμων IV (Βιέννη – Θεσσαλονίκη), IX (Ελσίνκι – Αλεξανδρούπολη) και X (Βερολίνο – Θεσσαλονίκη). Παράλληλα, βρίσκεται ανάμεσα στα 14 έργα προτεραιότητας των Διευρωπαϊκών Δικτύων Μεταφορών, καθώς συντελεί καθοριστικό παράγοντα στη διακίνηση του εμπορίου. Επίσης, έχει τεράστια πολιτική και γεωστρατηγική σημασία.

Οι προσπάθειες ένταξης της Εγνατίας οδού σε κάποιο χρηματοδοτούμενο πρόγραμμα ξεκίνησαν από το 1970. Τότε, δόθηκε η ιδέα δημιουργίας της “Εγνατία Οδός Α.Ε”, η οποία φέρει πρότυπα που είχαν δοκιμαστεί σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Παράλληλα, έγιναν ενέργειες και για την κατασκευή έργων σε προβληματικές περιοχές της Ελλάδος από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., χωρίς όμως να ολοκληρωθούν λόγω έλλειψης χρηματοδότησης. Έπειτα από 24 χρόνια, το 1994, η Εταιρεία Halliburton Brown & Root (σημερινή ονομασία KBR) ορίστηκε ως Σύμβουλος Διαχείρισης του Έργου (Project Manager) και ανέλαβε την περάτωση των μη τετελεσμένων έργων. Σήμερα, η Εγνατία Οδός Α.Ε. έχει αναλάβει εξ’ ολοκλήρου τη λειτουργία και την συντήρηση της Εγνατίας οδού. Επιπρόσθετα, μελετά και κατασκευάζει τμήματα των 9 κάθετων αξόνων που συνδέουν τη Βαλκανική και τη Νοτιοανατολική Ευρώπη με την Εγνατία οδό, τα λιμάνια του Αιγαίου και τα αεροδρόμια της Βόρειας Ελλάδας.

Η Εγνατία οδός είναι έργο μεγάλης κλίμακας με μήκος 670 χλμ. και εκτείνεται από την Ηγουμενίτσα του Νομού Θεσπρωτίας έως του Κήπους στα Ελληνοτουρκικά σύνορα του Έβρου.

Συνδέει τα σύνορα Αλβανίας, Π.Γ.Δ.Μ., Βουλγαρίας και Τουρκίας. Επίσης, συνδέεται με τα λιμάνια Ηγουμενίτσας, Θεσσαλονίκης, Καβάλας και Αλεξανδρούπολης και με τα αεροδρόμια των Ιωαννίνων, της Καστοριάς, της Κοζάνης, της Θεσσαλονίκης, της Καβάλας και της Αλεξανδρούπολης. Πρόκειται για έναν κλειστό αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων ανά κλάδο, με διαχωριστική νησίδα και δεξιά Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (Λ.Ε.Α.) και πλάτος καταστρώματος 24,5 μ. Σύμφωνα με τον Κωνσταντινίδη (2008), το πλάτος του καταστρώματος μειώνεται στα 22 μ. στα δυσχερή μέρη και το τμήμα Κλειδί – Λαγκαδάς έχει τρεις λωρίδες κυκλοφορίας. Λόγω του ανάγλυφου και των γεωλογικών προβλημάτων της Ελλάδας, κρίθηκε ζωτικής σημασίας η κατασκευή, κατά μήκος της οδού, 1856 τεχνικών έργων, τα οποία έχουν μελετηθεί για ελάχιστη διάρκεια ζωής 120 χρόνων (Λαμπρόπουλος κ.α., 2005). Στην Εικόνα 8 παρουσιάζονται αναλυτικά τα τμήματα του ολοκληρωμένου αυτοκινητόδρομου της Εγνατίας οδού, τα τμήματα αυτού τα οποία βρίσκονται υπό κατασκευή, υπό ένταξη, καθώς και υπό σχεδιασμό.

Από το συνολικό μήκος του άξονα, το 7% απαρτίζεται από 73 διπλές οδικές σήραγγες συνολικού μήκους 100 χλμ. και κόστος κατασκευής 1800 εκατομμυρίων ευρώ. Η μέθοδος της διάτρησης (Bored Tunnels) χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των περισσότερων σηράγγων (96 χλμ. μονού κλάδου), ενώ για των υπολοίπων (4 χλμ. μονού κλάδου) η μέθοδος της εκσκαφής και επανεπίκωσης (Cut & Cover). Αξιοσημείωτες είναι οι σήραγγες:

- 1) Δρίσκου, μήκους 4,6 χλμ.,
- 2) Μετσόβου, μήκους 3,5 χλμ.,
- 3) Δωδώνης, μήκους 3,36 χλμ.,
- 4) Σ10 Καστανιά, μήκους 2,22 χλμ. και
- 5) Ανήλιου, μήκους 2,10 χλμ.

Εκτός των τεχνικών έργων της Εγνατίας, η Εγνατία Οδός Α.Ε. συγκαταλέγει στα έργα της την αποκατάσταση των ζημιών και τις ανεγέρσεις έργων τεχνικών υποδομών και περιβάλλοντος σε 21 νησιά των Κυκλάδων, στη Θεσσαλονίκη και στην Χαλκιδική. Στη Θεσσαλονίκη, επιπλέον, έχει συμβάλει στην αναβάθμιση τμημάτων της Περιφερειακής Οδού και στο εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο. Τα τελευταία χρόνια δραστηριοποιείται και σε έργα του εξωτερικού.



Εικόνα 8. Ο Αυτοκινητόδρομος της Εγνατίας Οδού

5.2. Οι Γέφυρες της Εγνατίας Οδού

Σε μία επιστημονική τους έρευνα, οι Konstantinidis & Antoniou (2010) αναφέρουν ότι η Εγνατία οδός αποτελείται από 646 γέφυρες, ολικού μήκους 42 χλμ., με ανεξάρτητους φορείς ανά κλάδο κυκλοφορίας. Από αυτές, οι 119 είναι δίδυμες (2*119) και οι υπόλοιπες 408 μονές ενιαίου καταστρώματος που φέρουν την Εγνατία και άνω διαβάσεις που φέρουν τοπικές οδούς. Σε μία πιο πρόσφατη έρευνα, οι Antoniou & Marinelli (2020) επισημαίνουν ότι η Εγνατία οδός διαθέτει 919 γέφυρες από σκυρόδεμα. Η κατασκευή τους άρχισε το 1998 και ολοκληρώθηκε το 2015, σύμφωνα με Γερμανικές προδιαγραφές αυτοκινητοδρόμων και συγκεκριμένα τους κώδικες DIN 4227, DIN 1045, DIN 1055, DIN 1072 και DIN 4014. Επίσης οι μηχανικοί πήραν υπόψιν τον Ελληνικό Κώδικα Οπλισμένου Σκυροδέματος (2000), τον Αντισεισμικό Κώδικα (2000) και τον Ευρωκώδικα 8. Συγκροτούν το 6% του οδικού άξονα και 12% του συνόλου του κόστους. Σύμφωνα με τον Konstantinidis (2003), τα τελικά σχέδια εγκρίνονται από εξωτερικούς συμβούλους με βάση το σύστημα ελέγχου κατηγορίας 3 (CAT 3 check) του Ηνωμένου Βασιλείου. Για την ανέγερση όλων των γεφυρών, εκτός της χαλύβδινης γέφυρας της Ποτίδαιας στην Χαλκιδική, χρησιμοποιήθηκε είτε οπλισμένο είτε προεντεταμένο σκυρόδεμα. Με τον τρόπο αυτό, επιτεύχθηκε η σωστή κατασκευή και συντήρηση των γεφυρών, με το ελάχιστο δυνατό κόστος (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005).

Οι 6 μεγαλύτερες γέφυρες είναι:

1) Η γέφυρα Κρυσταλλοπηγής, με μήκος δεξιού κλάδου 850 μ. και αριστερού 640 μ., αριθμό ανοιγμάτων 10+10 (αριστερός και δεξιός κλάδος) και μέγιστο ύψος μεσοβάθρων 30 μ. Κατασκευάστηκε με τη μέθοδο των προωθούμενων ικριωμάτων,



Εικόνα 9. Γέφυρα Κρυσταλλοπηγής

2) Η γέφυρα Μεγαλορέματος, με μήκος δεξιού κλάδου 484 μ. και αριστερού 473 μ., αριθμό ανοιγμάτων 11+11 (αριστερός και δεξιός κλάδος) και μέγιστο ύψος μεσοβάθρων 32 μ. Κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της σταδιακής προώθησης,



Εικόνα 10. Γέφυρα Μεγαλορέματος

3) Η γέφυρα Αράχθου, μήκος δεξιού και αριστερού κλάδου 1.036 μ., αριθμό ανοιγμάτων 8+8 (αριστερός και δεξιός κλάδος), μέγιστο πλάτος ανοίγματος 142 μ. και μέγιστο ύψος μεσοβάθρων 30 μ. Κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της προβολοδόμησης,



Εικόνα 11. Γέφυρα Αράχθου

4) Η γέφυρα Γ2 (Καστανιά Κοζάνης), με μήκος δεξιού και αριστερού κλάδου 456 μ., αριθμό ανοιγμάτων 5, μέγιστο πλάτος ανοίγματος 107 μ. και μέγιστο ύψος μεσοβάθρων 94 μ. Κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της προβολοδόμησης,



Εικόνα 12. Γέφυρα Γ2

5) Η γέφυρα Βοτονοσίου, με μήκος δεξιού κλάδου: 477,20 μ. και αριστερού 490,50 μ., αριθμό ανοιγμάτων 3+3 (αριστερός και δεξιός κλάδος), μέγιστο πλάτος ανοίγματος 230 μ., το

οποίο είναι ένα από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη κρίνοντας από τη μέθοδο κατασκευής (Konstantinidis, 2003) και μέγιστο ύψος μεσοβάθρων 53,30 μ. Κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της συμμετρικής προβολοδόμησης,



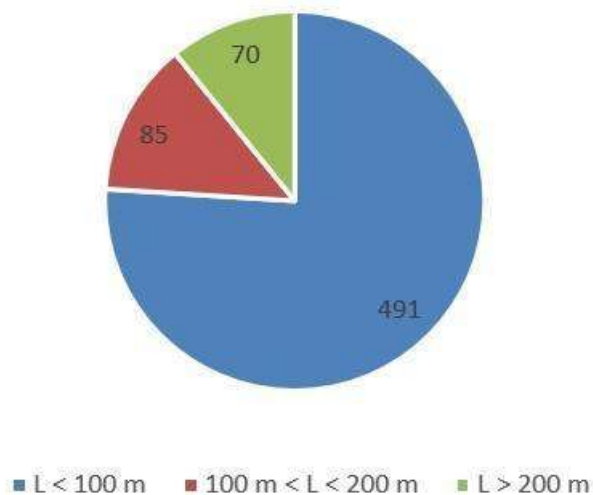
Εικόνα 13. Γέφυρα Βοτανοσίου

6) Η γέφυρα Μετσοβίτικου ποταμού, με μήκος δεξιού κλάδου 536,99 μ. και αριστερού 537,65 μ., αριθμό ανοιγμάτων 4+4 (αριστερός και δεξιός κλάδος), μέγιστο πλάτος ανοίγματος 235 μ. και μέγιστο ύψος μεσοβάθρων 110 μ. Κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της προβολοδόμησης.



Εικόνα 14. Γέφυρα Μετσοβίτικου ποταμού

Σχετικά με το μήκος των γεφυρών της Εγνατίας οδού, παρακάτω στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται η κατανομή των γεφυρών σε τρία τμήματα, αναλόγως του συνολικού τους μήκους (Konstantinidis & Antoniou, 2010).



Εικόνα 15. Κατανομή των Γεφυρών της Εγνατίας Οδού αναλόγως το μήκος (Konstantinidis & Antoniou, 2010)

5.2.1. Μέθοδοι Κατασκευής Γεφυρών Εγνατίας Οδού

Στον αυτοκινητόδρομο της Εγνατίας οδού χρησιμοποιήθηκαν αρκετές από τις σύγχρονες μεθόδους κατασκευής γεφυρών. Στον Πίνακα 9 αναφέρονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του αυτοκινητόδρομου, τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών, καθώς επίσης και ο αριθμός των γεφυρών που κατασκευάστηκαν με την κάθε μέθοδο, σύμφωνα με την επιστημονική έρευνα του Πανέτσος (2009). Είναι προφανές ότι η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή των συμβατικών ικριωμάτων, που εφαρμόζεται σε μικρά ύψη βάθρων. Οι μέθοδοι της σταδιακής προώθησης και των προωθούμενων φορείων προτιμώνται σε περιπτώσεις όπου η πρόσβαση των γερανών κρίνεται επικίνδυνη, με το μέγιστο μήκος ανοίγματος να φτάνει μέχρι τα 55 μέτρα. Η μέθοδος της επιτόπου προβολοδόμησης είναι η καταλληλότερη όταν ζητείται σημαντική μείωση των βάθρων και αύξηση του μήκους ανοίγματος για ειδικές περιπτώσεις, όπως αυτή των φαραγγιών. Σημαντικό είναι να τονιστεί πως υπάρχει και η μέθοδος της προκατασκευασμένης προβολοδόμησης, η οποία όμως δεν χρησιμοποιείται από την Εγνατία Οδός Α.Ε., διότι δεν τηρεί τις προδιαγραφές του Γερμανικού κανονισμού (Konstantinidis, 2003). Για γέφυρες με μεσαίου μήκους ανοίγματα, η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι αυτή των προκατασκευασμένων δοκών από οπλισμένο

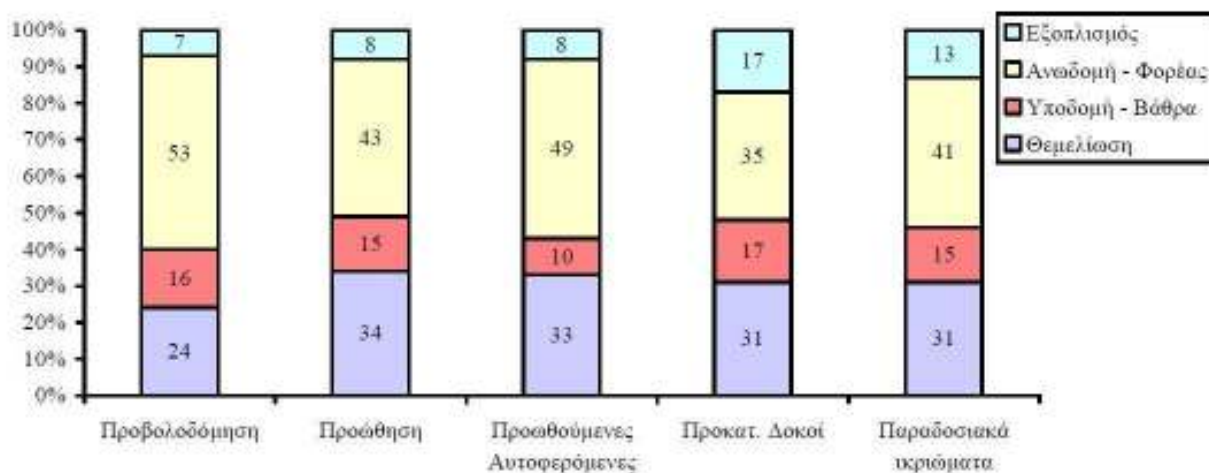
σκυρόδεμα. Η κατασκευή των δοκών των γεφυρών όπου ανεγείρονται με τη μέθοδο αυτή γίνεται επιτόπου στο εργοτάξιο και τοποθετούνται μέσω κινητών γερανών στο κατάστρωμα. Τα βάθρα σε συνδυασμό με ρουλεμάν και ειδικές κεφαλές βοηθούν στην στήριξη των δοκών (Konstantinidis & Antoniou, 2010).

Πίνακας 9. Μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την κατασκευή των γεφυρών της Εγνατίας οδού (Πανέτσος, 2009)

Μέθοδος	Μέγιστο Μήκος Ανοίγματος (m)	Μέγιστο Ύψος Βάθρου (m)	Αριθμός κατασκευασμένων γεφυρών (κλάδου)
Προβολοδόμηση	250	100	42
Σταδιακή προώθηση	45,5	27	8
Πρωθούμενο φορείο	55	30	2
Προκατασκευασμένες δοκοί	43	61	98
Συμβατικό ικρίωμα	65	17	194

Όπως σε κάθε κατασκευαστικό τομέα, έτσι και στον τομέα της γεφυροποιίας, ένας από τους κυριότερους παράγοντες, αν όχι ο κυριότερος, είναι αυτός του κόστους κατασκευής. Στην περίπτωση της Εγνατίας οδού, το κόστος κατασκευής αντιπροσωπεύει περίπου το 80% του συνολικού κόστους ολόκληρου του έργου. Η έννοια του κόστους είναι αλληλένδετη με τον τύπο του τεχνικού, τη μέθοδο κατασκευής του φορέα, την τοπογραφία της περιοχής, τις συνθήκες θεμελίωσης, τη σεισμικότητα και τη σπουδαιότητα της κάθε γέφυρας. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν άμεσα το κόστος και καθορίζουν εάν αυτό θα είναι υψηλό ή χαμηλό. Τρανό παράδειγμα για τον υπολογισμό του κόστους κατασκευής σε σχέση με την τοπογραφία είναι πως στα πεδινά τμήματα το κόστος είναι σημαντικά χαμηλότερο σε αντίθεση με τα ορεινά τμήματα, όπου η κατασκευή μεγάλων γεφυρών και άλλων έργων, καθώς επίσης και η λήψη μέτρων σταθεροποίησης του εδάφους συνεπάγονται με υψηλές δαπάνες. Σε μία μελέτη, η οποία διεξήχθη με στοιχεία από 141 γέφυρες της Εγνατία Οδός Α.Ε., παρουσιάζονται τα κόστη κατασκευής των γεφυρών αυτών, ανάλογα με τη μέθοδο που ανεγέρθηκαν. Τα βασικά κόστη που συντέλεσαν στη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων ήταν τέσσερα. Ξεκινώντας από την θεμελίωση, λήφθηκε υπόψιν το κόστος για τα βάθρα και τα ακρόβαθρα, τα μόνιμα και τα προσωρινά έργα, η προστασία και η σταθεροποίηση των πρανών, η βελτίωση του εδάφους, των χωματουργικών, καθώς και το κόστος όλων των υπολοίπων απαραίτητων εργασιών, προκειμένου να υπάρχει ασφαλής πρόσβαση των εργατών και όλων των εργαζομένων επί του

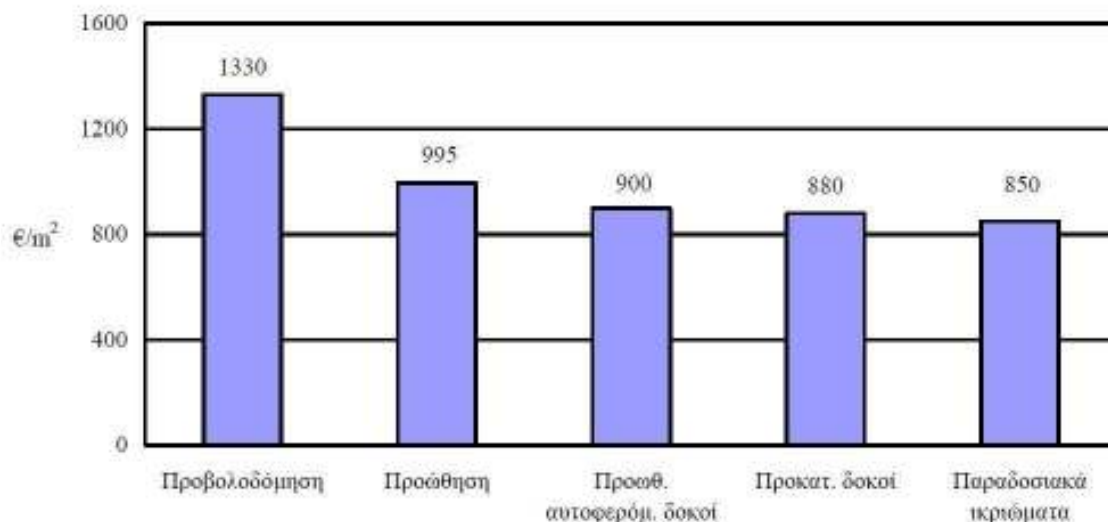
έργου στην θέση κατασκευής του. Συνεχίζοντας την κατασκευή της γέφυρας, λήφθηκε υπόψιν το κόστος κατασκευής της υποδομής και συγκεκριμένα των βάθρων και των ακρόβαθρων, όπως επίσης και της ανωδομής. Τέλος, σημαντικός παράγοντας που συντέλεσε στο συνολικό κόστος της κατασκευής ήταν αυτός του εξοπλισμού, η ποσότητα δηλαδή των εφεδράνων, των αρμών συστήματος αποχέτευσης και αποστράγγισης, των στηθαίων ασφαλείας, της στεγάνωσης και των ασφαλικών στρώσεων. Στη Εικόνα 16 παρουσιάζεται αναλυτικά ο μέσος όρος του κόστους ανά κατηγορία και μέθοδο κατασκευής των γεφυρών, σύμφωνα με τους Λαμπρόπουλος κ.ά. (2005). Είναι προφανές πώς το μεγαλύτερο ποσοστό κόστους ανήκει στην κατηγορία της ανωδομής, δηλαδή του φορέα της γέφυρας. Αμέσως μετά, ακολουθεί το κόστος της θεμελίωσης και τέλος, το κόστος της υποδομής και του εξοπλισμού, στα οποία όμως οι τιμές των ποσοστών διαφέρουν ελάχιστα.



Εικόνα 16. Κατανομή Κόστους των Γεφυρών της Εγνατίας Οδού (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005)

Σε ότι αφορά το κόστος κατασκευής των γεφυρών στον αυτοκινητόδρομο της Εγνατίας οδού, επισυνάπτεται η Εικόνα 17, η οποία παρουσιάζει τον ενδεικτικό πίνακα των τιμών ανά τετραγωνικό μέτρο για την κατασκευή των γεφυρών αναλόγως την κάθε μέθοδο (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005). Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε στο Α' τρίμηνο του έτους 2005. Η πιο ακριβή μηχανοποιημένη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της προβολοδόμησης, με κόστος 1330€ ανά τετραγωνικό μέτρο. Αμέσως μετά, στη δεύτερη θέση βρίσκεται η μέθοδος της σταδιακής προώθησης, με κόστος 995€ ανά τετραγωνικό μέτρο. Τέλος, ακολουθούν οι μέθοδοι των προωθούμενων – αυτοφερούμενων δοκών, των

προκατασκευασμένων δοκών και των παραδοσιακών ικριωμάτων με τιμές 900€, 880€ και 850€ αντιστοίχως (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005).



Εικόνα 17. Κόστος Κατασκευής των Γεφυρών της Εγνατίας Οδού (Έτος Βάσης Α' τρίμηνο 2005 χωρίς ΦΠΑ) (Λαμπρόπουλος κ.ά., 2005)

5.2.2. Συλλογή Δεδομένων Γεφυρών της Εγνατίας Οδού με την Μέθοδο Προκατασκευασμένων Δοκών

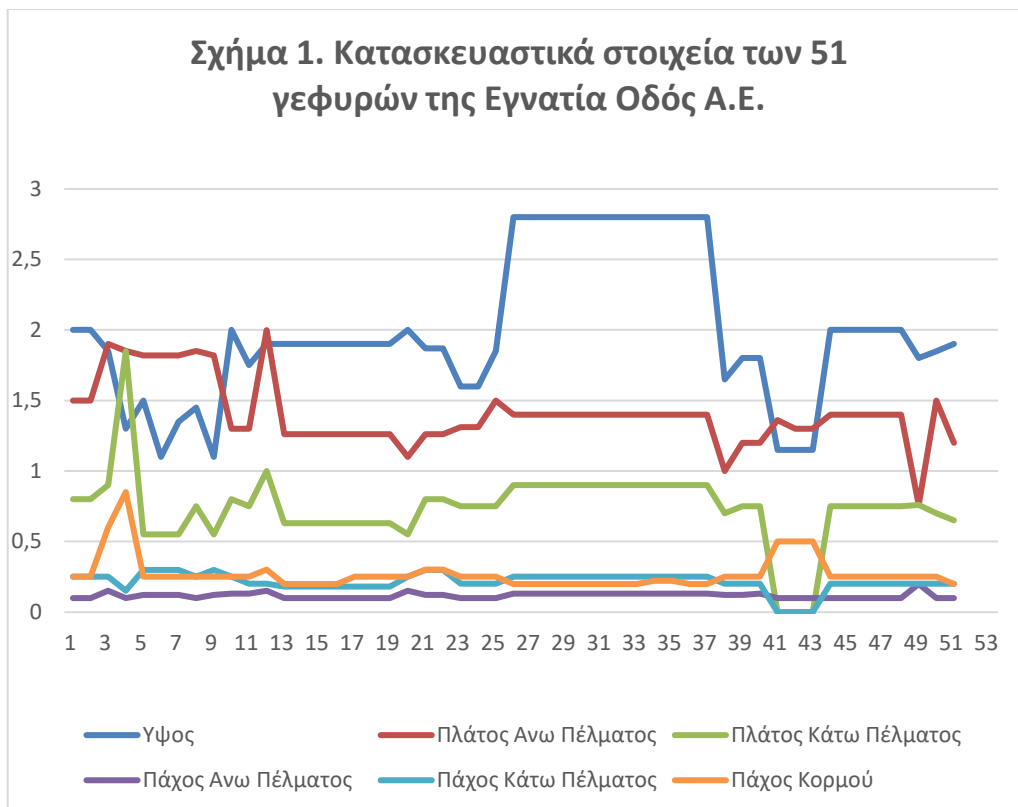
Στην παρούσα εργασία συλλέχθηκαν, από το αρχείο της Εγνατία Οδός Α.Ε., τα τεχνικά στοιχεία γεφυρών που βρίσκονται στην Εγνατία οδό, η οποία θεωρείται έργο ζωτικής σημασίας όχι μόνο για την Ελλάδα, αλλά και για τις Ευρωπαϊκές χώρες. Οι γέφυρες αυτές έχουν κατασκευαστεί με τη μηχανοποιημένη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών από σπλισμένο σκυρόδεμα. Μελετήθηκαν και τελικώς, αναλύθηκαν τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των προκατασκευασμένων δοκών 43 γεφυρών του Κεντρικού και Ανατολικού τομέα της Εγνατία οδού, ώστε να ερευνηθεί εάν έχει γίνει τυποποίηση σε αυτές και στην περίπτωση που δεν έχει συμβεί, κατά πόσο θα ήταν εφικτή. Ορισμένες από αυτές τις γέφυρες, όμως, αποτελούνται από αριστερό και δεξιό κλάδο, με αποτέλεσμα το σύνολο των γεφυρών να φτάνει τις 51 γέφυρες. Επιπρόσθετα, ο συνολικός αριθμός των δοκών είναι 1474. Αρχικά, για κάθε δοκό σημειώθηκε το ύψος της, τα άνω και κάτω πάχη και πλάτη των πελμάτων της και για κάθε γέφυρα το πλήθος των δοκών της, ο αριθμός και τα μήκη των ανοιγμάτων της, καθώς και ο κλάδος στον οποίο ανήκει. Στη συνέχεια, τα στοιχεία αυτά καταχωρήθηκαν σε πίνακες και διαχωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες. Αναλόγως των μορφών των διατομών τους, οι δοκοί αυτές

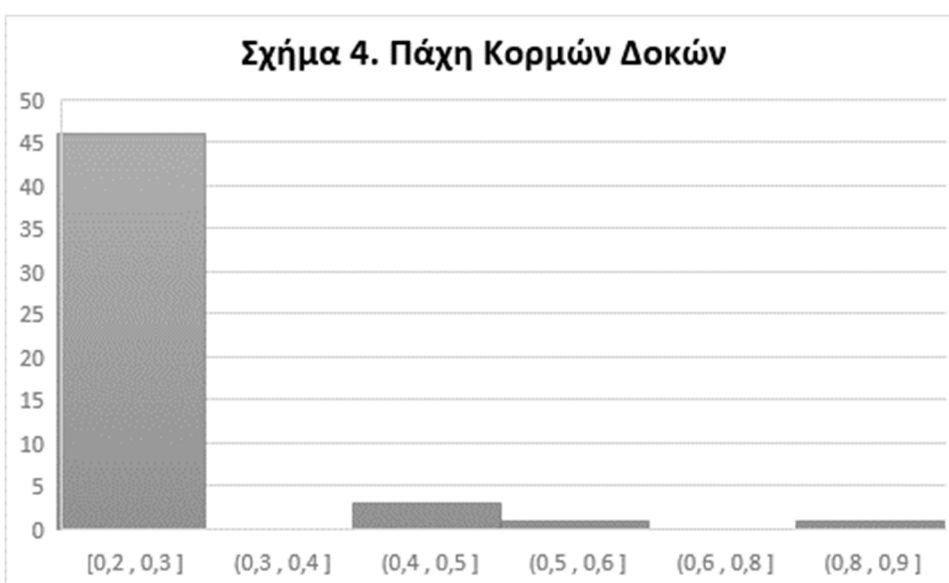
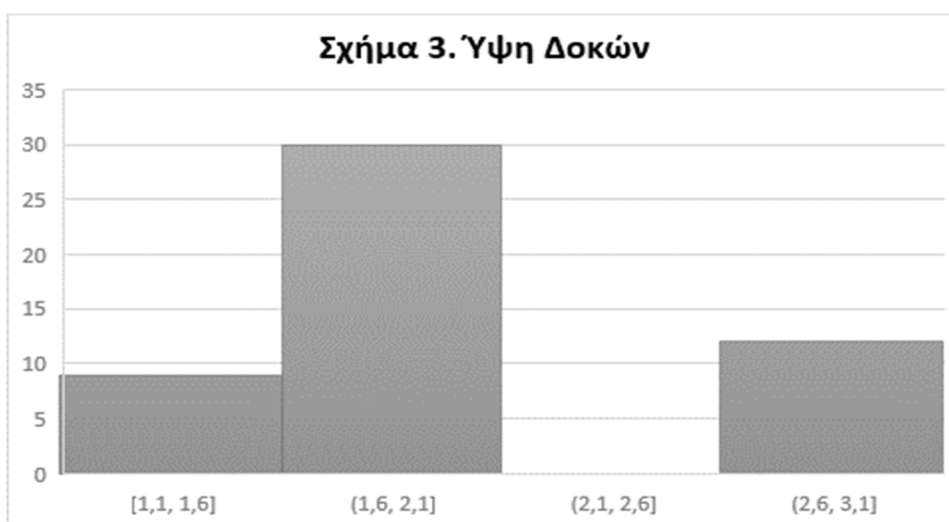
κατηγοριοποιήθηκαν σε μορφής “I”, μορφής “Bulb-Tee” και μορφής “T”. Πιο αναλυτικά, ο διαχωρισμός έγινε με γνώμονα το σχήμα της κάθε δοκού. Οι δοκοί μορφής “I” είναι αυτές των οποίων τα πέλματα είναι ορθογωνικά και τα πλάτη των άνω και κάτω πελμάτων δεν διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ τους. Ενώ οι δοκοί μορφής “Bulb-Tee” μοιάζουν με τις δοκούς μορφής “I”, αυτό που τις διαφοροποιεί είναι πως τα πέλματα σε αυτή την περίπτωση δεν έχουν ορθογωνικό σχήμα και συνήθως, τα πλάτη των κάτω πελμάτων έχουν σημαντική διαφορά με αυτά των άνω. Τέλος, στις δοκούς μορφής “T” δεν υφίστανται τα κάτω πέλματα των δοκών. Τα συγκετρωτικά στοιχεία των γεφυρών της Εγνατίας οδού κατασκευασμένων με τη μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα καταγράφηκαν σε έναν γενικό πίνακα, όπου παρατίθενται στο Παράρτημα Ι. Στο Παράρτημα ΙΙ παρουσιάζονται οι τρεις κατηγορίες των δοκών σε πίνακες, δηλαδή ο Πίνακας 11, στον οποίο ανήκουν 12 γέφυρες που κατασκευάστηκαν με προκατασκευασμένες δοκούς μορφής “I”, ο Πίνακας 12 με 25 γέφυρες κατασκευασμένες με δοκούς μορφής “Bulb-Tee” και ο Πίνακας 13 με 2 γέφυρες κατασκευασμένες με δοκούς μορφής “T”.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ

Αναλύοντας την κατασκευή των γεφυρών στο μεγαλύτερο αυτοκινητόδρομο της Ελλάδος, δηλαδή την Εγνατία οδό και σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν παραπάνω, παρατηρείται ότι η χρήση της μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών δεν αποτέλεσε την πρώτη επιλογή στην ανέγερση τους. Στις περιπτώσεις, όμως, των γεφυρών μεσαίων ανοιγμάτων αποτέλεσε πρωτεύουσα επιλογή. Εξετάζοντας τα δεδομένα, παρατηρείται ότι οι διαστάσεις όλων των τεχνικών χαρακτηριστικών έχουν ελάχιστες διακυμάνσεις μεταξύ τους. Αναλυτικότερα, ξεκινώντας από το Σχήμα 1, παρουσιάζονται συνολικά όλα τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των διατομών των δοκών. Κάνοντας μία γενική εποπτεία, γίνεται αντιληπτό πώς υπάρχουν σχετικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των τιμών, όμως σε αρκετά σημαντικό ποσοστό οι τιμές παραμένουν σταθερές. Πιο συγκεκριμένα, σε πολλές περιπτώσεις, τα πάχη των άνω και κάτω πελμάτων, καθώς και τα πάχη των κορμών των δοκών παραμένουν σταθερά, δηλαδή οι ίδιες τιμές αντιστοιχούν σε παραπάνω από μία γέφυρες. Συνεχίζοντας στο Σχήμα 2, παρουσιάζονται τα μήκη των δοκών ανά άνοιγμα στον οριζόντιο άξονα και το πλήθος των γεφυρών στον κάθετο. Η κατηγοριοποίηση έγινε ανά 7 μέτρα και παρατηρείται ότι οι τιμές βρίσκονται μεταξύ των 10–50 μέτρα, δηλαδή έχουν επιλεχθεί για γέφυρες με μικρά έως μεσαία μήκη ανοίγματος. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα ύψη των

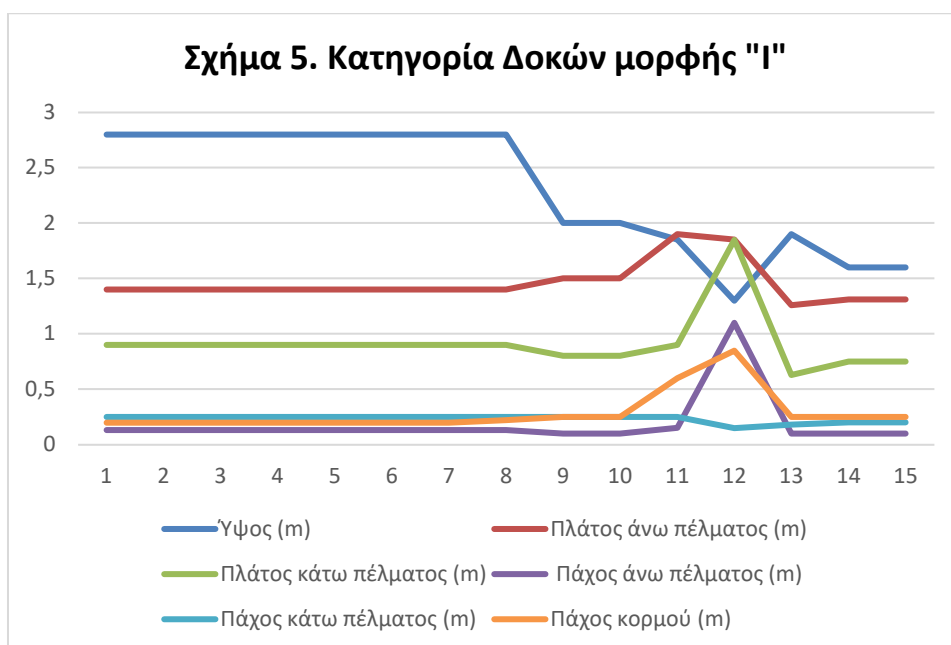
δοκών στον οριζόντιο άξονα και το πλήθος των γεφυρών στον κάθετο. Η κατηγοριοποίηση έγινε ανά 0,50 μέτρα και οι τιμές βρίσκονται μεταξύ του 1 και των 3 μέτρων, με την πλειοψηφία των δοκών να έχουν ύψος από 1,6–2,1 μέτρα. Επίσης, μεταξύ των τιμών 2,1-2,6 μέτρων δεν υπάρχει κάποια καταγραφή γέφυρας με αυτά τα ύψη. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα πάχη των κορμών των δοκών στον οριζόντιο άξονα και το πλήθος των γεφυρών στον κάθετο. Όλες οι καταγραφές βρίσκονται μεταξύ των τιμών 0,2-0,3 μέτρα, πλην ελάχιστων εξαιρέσεων, οι οποίες είναι 2 γέφυρες που ξεπερνούν την τιμή των 0,5 μέτρων.



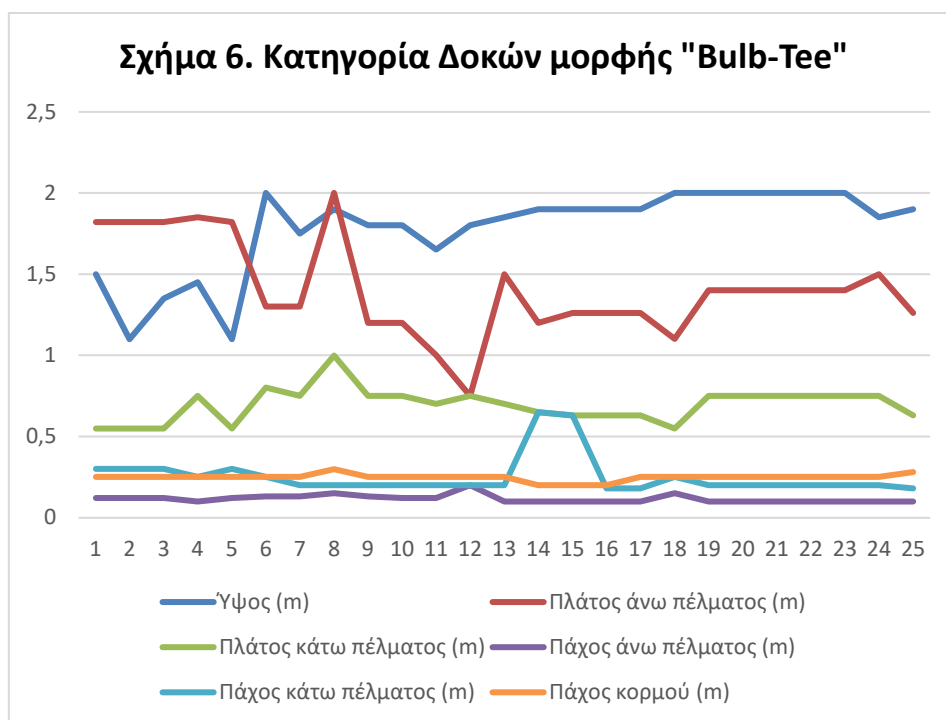


Η ανάλυση των δεδομένων των γεφυρών της Εγνατίας οδού συνεχίστηκε με την σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών των προκατασκευασμένων δοκών για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες αυτών. Για αρχή, πραγματοποιήθηκε μία αρχική προεπισκόπηση της συνολικής εικόνας αυτών και έπειτα, λεπτομερείς συγκρίσεις μεταξύ συγκεκριμένων στοιχείων. Έγινε σύγκριση μεταξύ των πλατών των άνω και κάτω πελμάτων των δοκών.

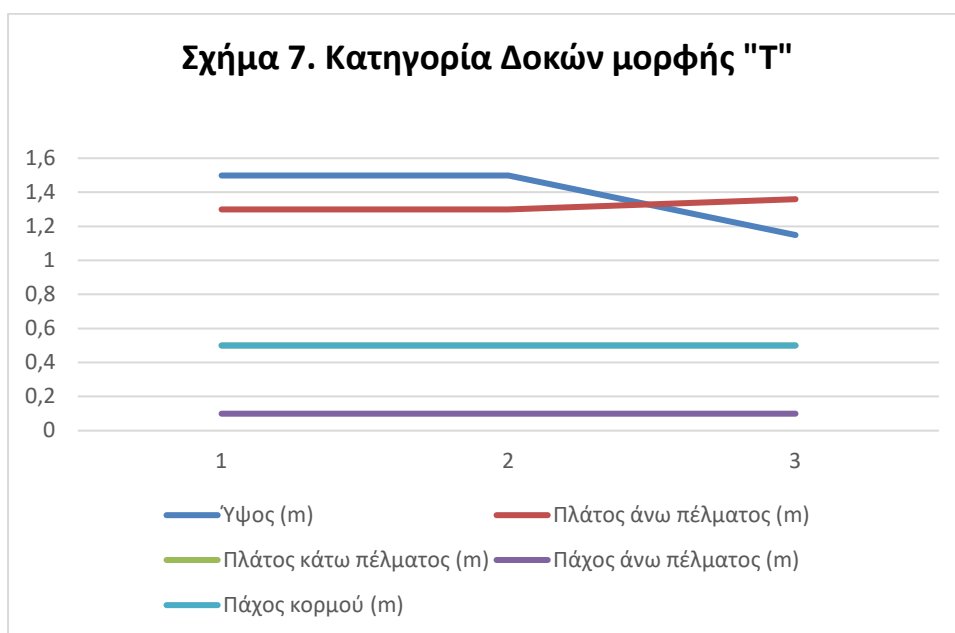
Στην κατηγορία των προκατασκευασμένων δοκών μορφής "I" κατατάχθηκαν 15 γέφυρες, των οποίων τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται αναλυτικά στο Σχήμα 5. Γενικά, παρατηρείται σταθερότητα μεταξύ των τιμών όλων των χαρακτηριστικών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι 9 από τις 15 γέφυρες παρουσιάζουν ίδιες τιμές, οι 3 έχουν ελάχιστες διακυμάνσεις και οι υπόλοιπες 3 μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις. Εξετάζοντας μεμονωμένα τις τιμές των πλατών και παχών των άνω και κάτω πελμάτων των δοκών, σημειώνεται και εδώ ότι υπάρχει κατά κύριο λόγο σχετική σταθερότητα μεταξύ τους. Ειδικότερα, η τιμή των πλατών των πελμάτων στις 9 από τις 15 γέφυρες είναι στα 1,4 μέτρα για τα άνω πέλματα και στα 0,9 μέτρα για τα κάτω, ενώ στις υπόλοιπες υπάρχουν διαφοροποιήσεις, οι οποίες όμως δεν είναι μεγάλες και αφορούν λιγότερες από τις μισές γέφυρες κατασκευασμένες με δοκούς μορφής "I". Όσον αφορά τα πάχη των πελμάτων, και στα άνω και στα κάτω πέλματα οι τιμές παραμένουν σταθερές, με εξαίρεση μία γέφυρα.



Στην κατηγορία των προκατασκευασμένων δοκών μορφής "Bulb-Tee" κατατάχθηκαν 25 γέφυρες, των οποίων τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται αναλυτικά στο Σχήμα 6. Γενικά, σε αυτή την κατηγορία σημειώνεται ανομοιομορφία μεταξύ όλων των τιμών. Παρόλα αυτά, στις περιπτώσεις των τιμών των παχών των άνω και κάτω πελμάτων, όπως και στα πάχη των κορμών, παρατηρείται σχετική σταθερότητα. Επιπρόσθετα, στις 6 από τις 25 γέφυρες οι τιμές όλων των χαρακτηριστικών είναι ίδιες. Εξετάζοντας μεμονωμένα τις τιμές των πλατών των άνω και κάτω πελμάτων των δοκών, οι 14 από τις 25 γέφυρες είναι φανερό ότι βρίσκονται σε ένα σταθερό επίπεδο, όμως στις υπόλοιπες 11, η διακύμανση μεταξύ των τιμών τους είναι ξεκάθαρη. Πιο συγκεκριμένα, οι σταθερές τιμές για τα πλάτη των άνω πελμάτων των δοκών ξεκινούν από τα 1,25 μέτρα και δεν ξεπερνούν τα 2 μέτρα, ενώ παράλληλα οι τιμές των πλατών των κάτω πελμάτων κυμαίνονται μεταξύ των 0,5-0,75 μέτρων. Αναφορικά για την περίπτωση των παχών των άνω και κάτω πελμάτων υπάρχει μεγαλύτερη σταθερότητα. Οι 13 από τις 25 γέφυρες έχουν όμοιες τιμές. Ειδικά, στα πάχη των κάτω πελμάτων υπάρχει διακύμανση μεταξύ των 0,2-0,3 μέτρων, ενώ οι σταθερές τιμές των παχών των άνω πελμάτων βρίσκονται στα 0,1 μέτρα, με την εξαίρεση των τιμών σε 3 γέφυρες που είναι 0,12 μέτρα.



Στην κατηγορία των προκατασκευασμένων δοκών μορφής "T" είναι αξιοσημείωτο ότι κατατάχθηκαν μόνο 3 γέφυρες από τις συνολικές 50, των οποίων τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται αναλυτικά στο Σχήμα 7. Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι 2 από τις 3 έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά και τα μόνα χαρακτηριστικά που διαφέρουν στην τρίτη είναι το ύψος και το πλάτος του άνω πέλματος της. Αναλυτικότερα, για την πρώτη και δεύτερη γέφυρα, η τιμή των υψών των δοκών είναι 1,5 μέτρα και στην τρίτη 1,15 μέτρα. Οι τιμές των πλατών των 2 πρώτων είναι 1,3 μέτρα, ενώ στην τρίτη γέφυρα διαφέρει ελάχιστα, με την τιμή να φτάνει τα 1,36 μέτρα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μηχανοποιημένη μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών στην ανέγερση των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα προσφέρει αξιόλογα και ωφέλιμα λειτουργικά στοιχεία, όχι μόνο στον οικονομικό τομέα αλλά και στον τομέα της ποιότητας της κατασκευής. Κύρια απαίτηση της σημερινής κοινωνίας αποτελεί η ταχεία ολοκλήρωση, όχι μόνο της ανέγερσης, αλλά και της συντήρησης των γεφυρών. Η μέθοδος της προκατασκευής σε συνδυασμό με την τυποποίηση των διατομών των δοκών, έχουν τη δυνατότητα να επιτυγχάνουν το υψηλότερο επίπεδο απόδοσης. Η αποδοτικότητα αυτή έχει αναγνωριστεί σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο και για το λόγο αυτό γίνεται εκτεταμένη χρήση της μεθόδου.

Έχοντας υπόψιν τα προαναφερθέντα, στην παρούσα εργασία έγινε ενδελεχής έρευνα σχετικά με τη χρήση της μεθόδου των προκατασκευασμένων δοκών και την τυποποίηση αυτών σε παγκόσμιο επίπεδο. Πιο αναλυτικά, ξεκινώντας την ανάλυση από την Ευρώπη, τα οφέλη του συνδυασμού αυτού στην κατασκευή των γεφυρών δεν είχαν αναγνωριστεί. Ακόμη και σε χώρες με ανεπτυγμένο το επίπεδο του κατασκευαστικού τομέα, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γερμανία, η μέθοδος της προκατασκευής δεν αποτελούσε κυρίαρχη επιλογή των κατασκευαστών. Στην περίπτωση της πρώτης χώρας, η ανέγερση των γεφυρών με τη μέθοδο αυτή γίνεται με διαφορετικές διατομές δοκών, οι οποίες έχουν ελάχιστες διαφοροποιήσεις μεταξύ τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μεγάλη ποικιλία στις διατομές των δοκών και στα μήκη ανοιγμάτων, χωρίς όμως την τυποποίηση αυτών. Στην περίπτωση της δεύτερης χώρας, γίνεται περιορισμένη έως μηδενική χρήση της μεθόδου στο παρελθόν, με συνέπεια να έχει φτάσει στο σημείο περιθωριοποίησής της. Με το πέρασμα των χρόνων, όμως, έγιναν αντιληπτά τα πλεονεκτήματα του συνδυασμού της προκατασκευής και τυποποίησης των δομικών στοιχείων και έχουν γίνει οι πρώτες επιστημονικές δημοσιεύσεις σχετικά με τις προσπάθειες εξέλιξης της τυποποίησης των προκατασκευασμένων δοκών. Από την άλλη πλευρά, στις Η.Π.Α., την Αυστραλία, την Νέα Ζηλανδία και την Κίνα με τις πρώτες κιόλας χρήσεις των προκατασκευασμένων δοκών στις γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα, κατέφυγαν στην τυποποίηση τους επικυρώνοντας έτσι τα οφέλη της.

Ολοκληρώνοντας την έρευνα για την προκατασκευή και τυποποίηση σε παγκόσμιο επίπεδο, αποφασίστηκε να μελετηθούν τα κατασκευαστικά στοιχεία των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Εγνατία οδό. Η επιλογή του αυτοκινητοδρόμου αυτού έγινε εξαιτίας της ζωτικής σημασίας που έχει στην Ελλάδα, αλλά και στην Ευρώπη. Αρχικά, συλλέχθηκαν και εξετάστηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά κατασκευής 51 γεφυρών από το αρχείο της Εγνατία Οδός Α.Ε. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της έρευνας. Τα στοιχεία αυτά καταγράφηκαν σε έναν γενικό πίνακα, όπου παρατίθενται στο Παράρτημα I και έπειτα, διαχωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το σχήμα των διατομών τους, όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα II και πιο αναλυτικά, στην κατηγορία δοκών με μορφή "I" στον Πίνακα 11, στην κατηγορία δοκών με μορφή "Bulb-Tee" στον Πίνακα 12 και στην κατηγορία δοκών με μορφή "T" στον Πίνακα 13, ώστε να γίνει πιο εύκολη και παράλληλα πιο διεξοδική η ανάλυσή τους. Ξεκινώντας με τη γενική ανάλυση των δοκών, τεκμηριώνεται πώς η μηχανοποιημένη μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών εφαρμόστηκε σε γέφυρες με μικρά έως μεσαία ανοίγματα. Επίσης, παρατηρήθηκε η ύπαρξη σχετικά μικρών διαφοροποιήσεων, χωρίς όμως η γενική

εικόνα των τιμών να είναι ανομοιόμορφη. Συνεχίζοντας με την ανάλυση των δεδομένων των διαχωρισμένων γεφυρών, παρατηρείται η προτίμηση των κατασκευαστών στις δοκούς με διατομές μορφής “I” και “Bulb-Tee”, ενώ η χρήση των δοκών με διατομή μορφής “T” γίνεται μόνο σε 3 γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παίρνοντας υπόψιν τις τιμές στην κατηγορία των δοκών μορφής “I”, παρατηρείται ότι οι τιμές στο μεγαλύτερο εύρος τους παρουσιάζουν σταθερότητα, το οποίο υποδεικνύει τη δυνατότητα τυποποίησης των προκατασκευασμένων δοκών. Στην κατηγορία των δοκών μορφής “Bulb-Tee”, στην οποία κατατάχθηκε ο μεγαλύτερος αριθμός των εξετασθέντων γεφυρών της Εγνατίας οδού, παρατηρούνται υψηλότερες διακυμάνσεις μεταξύ των τιμών των δομικών χαρακτηριστικών. Παρόλα αυτά, όμως, οι τιμές δεν έχουν μεγάλες διαφορές, κάτι το οποίο καθιστά εφικτή και εδώ την τυποποίηση στις δοκούς μορφής “Bulb-Tee”. Τελειώνοντας την ανάλυση με την τρίτη κατηγορία των δοκών, αυτή της μορφής “T”, παρατηρείται σχεδόν πλήρης συμφωνία μεταξύ των τιμών σε όλα τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση αυτή, είναι προφανής και αυταπόδεικτη η δυνατότητα τυποποίησης των δοκών με τη μορφή αυτή. Συμπερασματικά, με την ολοκλήρωση της ανάλυσης και τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων, είναι φανερό πώς στο γενικό σύνολο των προκατασκευασμένων δοκών των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα της Εγνατίας οδού, διαφοροποιούνται ελάχιστα οι τιμές των διαστάσεων των διατομών των δοκών. Αυτό καθιστά, σε μεγάλο βαθμό, εφικτή την τυποποίηση τους. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγει και η επιστημονική έρευνα των Antoniou & Marinelli (2020), όπου προτείνονται και τυπικές διατομές των δοκών. Αξιοσημείωτη είναι η αναφορά τους σχετικά με κάποιες συμβάσεις όπου υπήρχε ρήτρα για τουλάχιστον δύο σχηματισμούς διατομών. Ως επακόλουθο των συμβάσεων αυτών, είναι προφανές ότι όχι μόνο δεν υπήρξε απόπειρα τυποποίησης των δοκών, αλλά και δεν υπήρχε σταθερότητα στις τιμές των δομικών χαρακτηριστικών τους. Με απλά λόγια δεν επιτεύχθηκε το υψηλότερο επίπεδο στην ποιότητα του σχεδιασμού και τη λειτουργία της κατασκευής.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η μηχανοποιημένη μέθοδος των προκατασκευασμένων δοκών είναι υπεράριθμα. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, επιτυγχάνεται υψηλά επίπεδα ασφάλειας και ταχύτητας. Στις περιπτώσεις μεγάλων ποσοτήτων δοκών και επαναλαμβανομένων διαδικασιών χαρακτηρίζεται ως η πιο οικονομική λύση. Με το πέρας της ανέγερσης, η κατασκευή έχει μεγαλύτερη αντοχή, το οποίο συνεπάγεται στη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ευκολότερης συντήρησης της. Κάνοντας τυποποίηση στις δοκούς, προσδίδονται επιπλέον προτερήματα στην κατασκευή, δηλαδή γίνεται οικονομικότερη, λειτουργικότερη και παραγωγικότερη. Συγκρίνοντας, τελικώς, τις διατομές

των προκατασκευασμένων δοκών, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στις υπόλοιπες χώρες, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι πιο κοινά χρησιμοποιούμενες δοκοί είναι αυτές με μορφή “T”, “Super-Tee”, “I”, “U” και “Hollow core” (Voided). Εξισώνοντας, λοιπόν τις παραπάνω πληροφορίες είναι φανερό πως η τυποποίηση στις προκατασκευασμένες δοκούς για την ανέγερση γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων και είναι εφικτό να εφαρμοσθεί σε διάφορων μορφών διατομές δοκών, τόσο στην Ευρώπη, καθώς και σε μελλοντικά έργα στην Ελλάδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Antoniou F., Marinelli M., 2020, *Proposal for the Promotion of Standardization of Precast Beams in Highway Concrete Bridges*, *Frontiers in Built Environment*. Διαθέσιμο σε: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2020.00119/full>

Bridge Beam Manual, Banagher Precast Concrete, Διαθέσιμο σε: <https://banagherprecast.com/>

Benaim R., 2008, *The Design of Prestressed Concrete Bridges*, Taylor & Francis Group.

Bourne S., 2015, *Best Construction Methods for Concrete Bridge Decks – Cost Data*, The Concrete Society.

Connal J., 2002, *Developments for Short to Medium Span Bridges in Australia*, *Structural Engineering International*, Vol. 1, 18-20.

Dai G., Su M., Chen F., 2016, *Design and Construction of Simple Beam Bridges for High-Speed Rails in China: Standardization and Industrialization*, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, Vol. 11, 274-282. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/313459210_Design_and_Construction_of_Simple_Beam_Bridges_for_High-Speed_Rails_in_China_Standardization_and_Industrialization

Dr. Aktan H., Dr. Attanayake U., 2013, *Improving Bridges with Prefabricated Precast Concrete Systems*, Western Michigan University.

Engineering excellence in bridge construction and heavy lifting, KB Vorspann-Technik. Διαθέσιμο σε: <http://www.kb-vt.com/index.php?id=290>

Fu M., Liu Y., Li N., Zhang Z., Siviero E., 2014, *Application of Modern Timber Structure in Short and Medium Span Bridges in China*, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Vol. 1, 72-80.

Gibb A., Isack F., 2001, *Client Drivers for Construction Projects: Implications for Standardization*, *Engineering, Construction and Architectural Management*, Blackwell Science Ltd, Vol. 1, 46-58.

Gray A., Gaby P., Brown G., Kirkcaldie D., Cato R., Sweetman P., 2003, *New Standard Precast Concrete Bridge Beams*, Transfund New Zealand.

Grubb M., Wilson K., White C., Nickas W., 2015, *Load and Resistance Factor Design (LRFD) For Highway Bridge Superstructures - Reference Manual*, FHWA - US Department of Transportation. Διαθέσιμο σε: <http://www.nhi.fhwa.dot.gov/training/nhistore.aspx>

Guidance for Good Bridge Design, Fib Bulletin No.9 (2000).

Hällmark R, 2012, *Prefabricated Composite Bridges - a Study of Dry Deck Joints*, Luleå University of Technology.

Hanswille G., 2008, *Composite Bridges in Germany Designed According to Eurocode 4-2*, International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete, 391-405.

Ketchum M, Chang V., Shantz T., 2004, *Influence of Design Ground Motion Level on Highway Bridge Costs*, Pacific Earthquake Engineering Research (Peer) Center.

Kim M.K., McGovern S., Belsky M., Middleton C., Brilakis I., 2016, *A Suitability Analysis of Precast Components for Standardized Bridge Construction in the UK*, Elsevier Ltd., 188-195.

Konstantinidis D., 2003, *Design of Egnatia motorway bridges*, fib-Symposium Concrete Structures in Seismic Regions, Athens, Volume: paper no. 244. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/264975422_Design_of_Egnatia_motorway_bridges

Konstantinidis D., Antoniou F., 2010, *Egnatia Motorway Concrete Bridges*, 17th Symposium on progress of research on Quebec bridges, Volume: 6.1–6.14. Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/264972166_Egnatia_Motorway_Concrete_Bridges

Leonhardt F., 1979, *Ολόσωμες Κατασκευές Τόμος 6. Ολόσωμες Γέφυρες*, Χ. Γκιουρδάς & Σια Ε.Ε.

Li G., Xiao R., 2000, *Bridge Design Practice in China*, CRC Press LLC.

Lu W., Chen K., Xue F., Pan W., 2018, *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd., Vol. 201, 236-245.

Ma J., Low S., 2014, *Bridge Engineering Handbook, Second Edition*, Taylor & Francis Group.

Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), 2011, *Bridge Design Manual, 3rd Edition*. Διαθέσιμο σε: https://www.pci.org/PCI_Docs/Design_Resources/Transportation_Resources/BDM_Design_Charts.pdf

Ralls M. L., Tang B., Bhidé S., Brecto B., Calvert E., Capers H., Dorgan D., Matsumoto E., Napier C., Nickas W., Russell H., 2005, *Prefabricated Bridge Elements and Systems in Japan and Europe*, Federal Highway Administration.

Rapattoni F., 2015, *Short-Span Bridges – Leading Australian Innovations*, 17th Congress of IABSE, Chicago.

Rogers R. A., 2016, *Assessing Pre-Tensioned Reinforcement Corrosion within the New Zealand Concrete Bridge Stock*, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Auckland.

Rosignoli M., 2000, *Thrust and Guide Devices for Launched Bridges*, Journal of Bridge Engineering.

Rwamamara R, Simonsson P., Ojanen J., 2010, *Advantages of Industrialized Methods Used in Small Bridge Construction*, Proceedings IGLC, Technion, Haifa, Israel, 569-579.

Su M., Dai G., Marx S., Liu W., Zhang S., 2019, A Brief Review of Developments and Challenges for High-speed Rail Bridges in China and Germany, Taylor & Francis Group, 160-166.

Tan G. E., Ong B. T., Ong C. Y., Choong K. K., 2014, *Development and Standardisation of New Precast Concrete Open Spandrel Arch Bridge System*, IABSE Madrid Symposium Report, Vol. 102, 799-806.

Tomek R., 2017, *Advantages of precast concrete in highway infrastructure construction*, Creative Construction Conference 2017, Primosten, Croatia, 176–180.

Yan B., Dai G.-L., Hu N., 2015, *Recent Development of Design and Construction of Short Span High-Speed Railway Bridges in China*, Elsevier Ltd, Cambridge, 707-717.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Εγνατία Οδός Α.Ε., <https://www.egnatia.eu/>

Κωνσταντινίδης Γ., 2008, *Σύστημα Διαχείρισης Μελετών στην Εγνατία Οδό*, Διήμερο Συμπόσιο για την Τυποποίηση, ΤΕΕ, Αθήνα Διαθέσιμο σε: http://library.tee.gr/digital/m2351/m2351_konstantinidis.pdf

Λαμπρόπουλος Σ., Αντωνίου Φ., Μαράβας Α., Κωνσταντινίδης Δ., 2005, *Διαχείριση Κόστους και Χρόνου Κατασκευής Μεγάλων Τεχνικών Έργων στην Εγνατία Οδό*, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος. Διαθέσιμο σε: http://library.tee.gr/digital/m2070/m2070_lambropoulos.pdf

Πανέτσος Π., 2009, *Σύστημα Συντήρησης Γεφυρών της Εγνατίας Οδού*, Ημερίδα Αντισεισμικής Προστασίας Γεφυρών, Θεσσαλονίκη. Διαθέσιμο σε: <https://docplayer.gr/4896162-Systiua-syntirisis-gefyron-tisegnatias-egnatiasodoy.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικός πίνακας Γεφυρών από Προκατασκευασμένες Δοκούς της Εγνατίας Οδού

A/A	Τομέας	Κλάδος	Αριθμός Αν/των	Αρ. Δοκών ανά άνοιγμα	Μήκος Δοκού (1 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (2 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (3 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (4 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (5 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (6 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (7 ^{ου} ανοίγματος)	Ύψος	Πλάτος Άνω Πέλματος	Πλάτος Κάτω Πέλματος	Πάχος Άνω Πέλματος	Πάχος Κάτω Πέλματος	Πάχος Κορμού	Συνολικός Αριθμός Δοκών
1	Κ	Ε	3	12	16,72	31,23	16,72					2	1,5	0,8	0,1	0,25	0,25	36
2	Κ	Ε	7	12	13,05	35,56	35,56	35,56	35,56	35,56	13,05	2	1,5	0,8	0,1	0,25	0,25	84
3	Κ	Δ	4	8	18,746	36	39,5	17,75				1,85	1,9	0,9	0,15	0,25	0,6	32
4	Κ	Ε	3	14	28,67	28,67	28,67					1,3	1,85	1,85	0,1	0,15	0,85	42
5	Κ	Ε	3	14	29,9	29,9	29,9					1,5	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25	42
6	Κ	Ε	3	14	19,92	19,92	19,92					1,1	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25	42
7	Κ	Ε	3	14	27,3	27,3	27,3					1,35	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25	42
8	Κ	Ε	2	14	22,5	22,5						1,45	1,85	0,75	0,1	0,25	0,25	28
9	Κ	Ε	3	14	19,92	19,92	19,92					1,1	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25	42
10	Κ	Ε	5	14	35	35	35	35	35			2	1,3	0,8	0,13	0,25	0,25	70
11	Κ	Ε	1	5	34,18							1,75	1,3	0,75	0,13	0,2	0,25	5
12	Α	Ε	1	6	37,6							1,9	2	1	0,15	0,2	0,3	6
13	Α	Ε	4	10	33,85	33,85	33,85	33,85				1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,2	40
14	Α	Δ	5	5	25	38,75	38,75	38,75	25			1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,2	25
15	Α	Α	4	5	38,75	38,75	38,75	25				1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,2	20
16	Α	Ε	4	10	34	34	34	34				1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,2	40
17	Α	Ε	3	10	34	34	34					1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,25	30
18	Α	Ε	6	10	34	34	34	34	34	34		1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,25	60
19	Α	Ε	5	10	34	34	34	34	34			1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,25	50
Κ: Κεντρικός Α: Ανατολικός Ε: Ενιαίος Δ: Δεξιός Α: Αριστερός																		

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικός πίνακας Γεφυρών από Προκατασκευασμένες Δοκούς της Εγνατίας Οδού (συνεχίζεται)

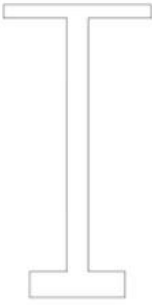
A/A	Τομέας	Κλάδος	Αριθμός Αν/των	Αρ. Δοκώνανά άνοιγμα	Μήκος Δοκού (1 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (2 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (3 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (4 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (5 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (6 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (7 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (8 ^{ου} -9 ^{ου} ανοίγματος)	Ύψος	Πλάτος Άνω Πέλματος	Πλάτος Κάτω Πέλματος	Πάχος Άνω Πέλματος	Πάχος Κάτω Πέλματος	Πάχος Κορμού	Συνολικός Αριθμός Δοκών
20	A	Δ	7	5	28,8	30	30	30	30	30	30		2	1,1	0,55	0,15	0,25	0,25	40
21	A	Ε	1	5	36,7								1,87	1,26	0,8	0,12	0,3	0,3	5
22	A	Ε	1	5	36,7								1,87	1,26	0,8	0,12	0,3	0,3	5
23	A	Ε	1	6	35,7								1,6	1,31	0,75	0,1	0,2	0,25	6
24	A	Ε	1	6	35,27								1,6	1,31	0,75	0,1	0,2	0,25	6
25	A	Ε	3	12	34,53	34,53	34,53						1,85	1,5	0,75	0,1	0,2	0,25	36
26	A	Δ	4	4	43	43	43	43					2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	16
27	A	A	4	4	43	43	43	43					2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	16
28	A	Δ	4	4	43	43	43	43					2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	16
29	A	A	4	4	43	43	43	43					2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	16
30	A	Δ	2	4	44	44							2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	8
31	A	A	2	4	44	44							2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	8
32	A	Δ	3	4	42	42	42						2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	12
33	A	A	2	4	42	42	42						2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	8
34	A	Δ	9	4	35,3	35,3	35,3	42,8	42,8	42,8	35,3	23,55	2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,22	36
35	A	A	7	4	23,55	35,3	35,3	44,3	44,3	44,3	35,3		2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,22	28
36	A	Δ	4	4	35,3	44,3	44,3	35,3					2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	16
37	A	A	4	4	35,3	44,3	44,3	35,3					2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2	16
38	A		3	6	19,65	32,6	19,65						1,65	1	0,7	0,12	0,2	0,25	18
39	A	Ε	2	14	35	35							1,8	1,2	0,75	0,12	0,2	0,25	28
Κ: Κεντρικός Α: Ανατολικός Ε: Ενιαίος Δ: Δεξιός Α: Αριστερός																			

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικός πίνακας Γεφυρών από Προκατασκευασμένες Δοκούς της Εγνατίας Οδού (συνεχίζεται)

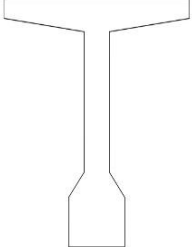
A/A	Τομέας	Κλάδος	Αριθμός Αν/των	Αρ. Δοκών ανά άνοιγμα	Μήκος Δοκού (1 ^{ου} ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (2ου ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (3ου ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (4ου ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (5ου ανοίγματος)	Μήκος Δοκού (6 ^{ου} -13 ^{ου} ανοίγματος)	Ύψος	Πλάτος Άνω Πέλματος	Πλάτος Κάτω Πέλματος	Πάχος Άνω Πέλματος	Πάχος Κάτω Πέλματος	Πάχος Κορμού	Συνολικός Αριθμός Δοκών
40	A	E	1	12	31,5						1,8	1,2	0,75	0,13	0,2	0,25	12
41	A	E	1	20	31,41						1,15	1,36	0	0,1	-	0,5	20
42	A	E	1	5	31,41						1,15	1,3	0	0,1	-	0,5	5
43	A	E	1	5	31,41						1,15	1,3	0	0,1	-	0,5	5
44	A	E	1	12	32,8						2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25	12
45	A	E	5	12	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5		2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25	60
46	A	E	1	12	35,84						2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25	12
47	A	E	2	12	35,5	35,5					2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25	24
48	A	E	1	12	35,84						2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25	12
49	A	E	13	14	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	1,8	0,76	0,76	0,2	0,2	0,25	182
50	A	E	1	6	36,44						1,849	1,5	0,7	0,1	0,2	0,25	6
51	A	E	4	12	36,8	36,8	36,8	36,8			1,9	1,2	0,65	0,1	0,2	0,2	48
Κ: Κεντρικός Α: Ανατολικός Ε: Ενιαίος Δ: Δεξιός Α: Αριστερός																	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακας 11. Κατηγορία Δοκών μορφής "I"

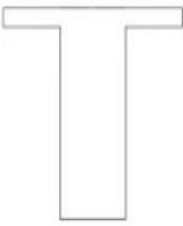
	Κλάδος	Αριθμός δοκών (τιμχ)	Αριθμός ανοιγμάτων	Ύψος (m)	Πλάτος άνω πέλματος (m)	Πλάτος κάτω πέλματος (m)	Πάχος άνω πέλματος (m)	Πάχος κάτω πέλματος (m)	Πάχος κορμού (m)
1η Χαραδρογέφυρα	δεξιός	4	4	2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2
1η Χαραδρογέφυρα	αριστερός	4	4	3	1	0,9	0,13	0,25	0,2
2η Χαραδρογέφυρα	δεξιός	4	4	3	1	0,9	0,13	0,25	0,20
2η Χαραδρογέφυρα	αριστερός	4	4	3	1	0,9	0,13	0,25	0,2
3η Χαραδρογέφυρα	δεξιός	4	2	3	1	0,9	0,13	0,25	0,2
3η Χαραδρογέφυρα	αριστερός	4	2	3	1	0,9	0,13	0,25	0,2
4η Χαραδρογέφυρα	αριστερός	4	2	2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,2
5η Χαραδρογέφυρα	αριστερός	4	7	2,8	1,4	0,9	0,13	0,25	0,22
T2	ενιαίος	12	3	2	1,5	0,8	0,1	0,25	0,25
T4	ενιαίος	12	7	2	1,5	0,8	0,1	0,25	0,25
TE7	δεξιός	8	4	1,85	1,9	0,9	0,15	0,25	0,6
T2 Τάφρος Λαγκαδά	ενιαίος	14	3	1,3	1,85	1,85	1,1	0,15	0,85
T6	ενιαίος	10	6	1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,25
A.Δ. 20	Ενιαίος	6	1	1,6	1,31	0,75	0,1	0,2	0,25
A.Δ. 21	Ενιαίος	6	1	1,6	1,31	0,75	0,1	0,2	0,25

Πίνακας 12. Κατηγορία Δοκών μορφής “Bulb-Tee”

	Κλάδος	Αριθμός δοκών (τμχ)	Αριθμός ανοιγμάτων	Ύψος (m)	Πλάτος άνω πέλματος (m)	Πλάτος κάτω πέλματος (m)	Πάχος άνω πέλματος (m)	Πάχος κάτω πέλματος (m)	Πάχος κορμού (m)
T3 Ρέμα Μπογδάνα	ενιαίος	14	3	1,5	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25
T4	ενιαίος	14	3	1,1	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25
T5 Ρέμα Κολχικού	ενιαίος	14	3	1,35	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25
T6 Ρέμα Δρακοντίου	ενιαίος	14	2	1,45	1,85	0,75	0,1	0,25	0,25
T7 Ρέμα Νύμφης	ενιαίος	14	3	1,1	1,82	0,55	0,12	0,3	0,25
T5 Γέφυρα Διαβολορέματος	ενιαίος	14	5	2	1,3	0,8	0,13	0,25	0,25
T6	ενιαίος	5	1	1,75	1,3	0,75	0,13	0,2	0,25
T7	ενιαίος	6	1	1,9	2	1	0,15	0,2	0,3
Αρδευτική Τάφρος	ενιαίος	12	1	1,8	1,2	0,75	0,13	0,2	0,25
G2 Γέφυρα Ξεριά	ενιαίος	14	2	1,8	1,2	0,75	0,12	0,2	0,25
T9	ενιαίος	6	3	1,65	1	0,7	0,12	0,2	0,25
T18 Γέφυρα Κομπάτου	ενιαίος	14	13	1,8	0,75	0,75	0,2	0,2	0,25
Γέφυρα Τρελοχειμάρρου	Γέφυρα Εθν. οδού	6	1	1,85	1,5	0,7	0,1	0,2	0,25
Γέφυρα Λουτρού	ενιαίος	12	4	1,9	1,2	0,65	0,1	0,65	0,2
T2	ενιαίος	10	4	1,9	1,26	0,63	0,1	0,63	0,2
Χ.Θ. 6+550	ενιαίος	10	4	1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,2
T8	ενιαίος	10	5	1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,25
T11 Γέφυρα Στρυμόνα	δεξιός	5	8	2	1,1	0,55	0,15	0,25	0,25
Γέφυρα Κοπτέρου	ενιαίος	12	1	2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25

Γέφυρα Κόσσυνθου	ενιαίος	12	5	2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25
Γέφυρα Σέλερου	ενιαίος	12	1	2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25
ΤΕ 518 Γέφυρα Χαλκορέματος	ενιαίος	12	2	2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25
ΤΕ 527 Γέφυρα Σουνίου	ενιαίος	12	1	2	1,4	0,75	0,1	0,2	0,25
Χ.Θ. 1+100	ενιαίος	12	3	1,85	1,5	0,75	0,1	0,2	0,25
T3	ενιαίος	10	3	1,9	1,26	0,63	0,1	0,18	0,28

Πίνακας 13. Κατηγορία Δοκών μορφής “Τ”

	Κλάδος	Αριθμός δοκών (τιμχ)	Αριθμός ανοιγμάτων	Ύψος (m)	Πλάτος άνω πέλματος (m)	Πλάτος κάτω πέλματος (m)	Πάχος άνω πέλματος (m)	Πάχος κορμού (m)
Γέφυρα ΟΣΕ	δεξιός	5	1	1,5	1,3	0	0,1	0,5
Γέφυρα ΟΣΕ	αριστερός	5	1	1,5	1,3	0	0,1	0,5
Γέφυρα ΟΣΕ	ενιαίος	20	1	1,15	1,36	0	0,1	0,5