

## Μελεττικές και Κατασκευαστικές Προκλήσεις στο Τμήμα Παναγιά- Γρεβενά της Εγνατίας Οδού Design and Construction Challenges in the section Panagia- Grevena of Egnatia Odos

Θεόδωρος ΤΖΑΒΕΑΣ<sup>1</sup>, Κωνσταντίνος ΠΑΡΔΑΛΗΣ<sup>2</sup>

*Λέξεις κλειδιά: Εγνατία Οδός, γέφυρες, μηχανοποιημένες μέθοδοι κατασκευής, σεισμική ρροστασία, επιδιόρθωση*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Ο αυτοκινητόδρομος της Εγνατίας Οδού με μήκος 670 χιλιόμετρα εκτείνεται από το λιμάνι της Ηγουμενίτσας στα δυικά μέχρι τους Κήπους στα Ελληνοτουρκικά σύνορα ανατολικά. Πρόκειται για εξαιρετικά σύνθετο τεχνικά έργο εξ αιτίας του ιδιαίτερα δυσχερούς ανάγλυφου και των γεωτεχνικών προβλημάτων. Κατά την κατασκευή του έπρεπε επίσης να αντιμετωπισθούν σοβαρές περιβαλλοντικές δυσκολίες λόγω διέλευσης από πολλές, οικολογικά ευαίθητες περιοχές και αρχαιολογικούς χώρους. Αποτελεί μέρος του ευρύτερου Δι-Ευρωπαϊκού δικτύου και ένα από τα 14 έργα προτεραιότητας για την Ευρωπαϊκή Ένωση ηνών μελετάται και κατασκευάζεται με τις πιο σύγχρονες εθνικές και διεθνείς προδιαγραφές.

Στην εργασία περιγράφεται η φιλοσοφία που ακολουθήθηκε από τα αρχικά στάδια μέχρι την τελική έγκριση των μελετών των γεφυρών από σκυρόδεμα, καθώς και τους διάφορους τρόπους κατασκευής με μηχανοποιημένες μεθόδους που υιοθετήθηκαν στο τμήμα Παναγιά-Γρεβενά σε συνδυασμό με την μεθοδολογία αντιμετώπισης προβλημάτων που προέκυψαν κατά την κατασκευή. Δίνονται επίσης πληροφορίες από περιπτώσεις επισκευής δομικών στοιχείων των γεφυρών.

**ABSTRACT:** The Egnatia motorway running across northern Greece is an impressive project. Not only is it currently one of the most ambitious highway projects anywhere in the world, but also carving its way through Greece's mountainous backbone has brought many constructional challenges. The 4.6 billion euro 680km route, stretching from one side of the country to the other, is

---

<sup>1</sup> Πολιτικός Μηχανικός, Υπεύθυνος Μελετών Τεχνικών Κυρίως Άξονα & Κάθετων Αξόνων, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ, email: [tthzav@egnatia.gr](mailto:tthzav@egnatia.gr)

<sup>2</sup> Πολιτικός Μηχανικός, Δ/ντής Περιφερειακής Υπερρείας Γρεβενών, ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ, email: [kpard@egnatia.gr](mailto:kpard@egnatia.gr)

opening in stages as each section is completed. It is part of the Trans-European Road Network and is one of the 14 priority projects of the European Union, being one of the few Greek highways to be designed and built to full up-to-date international specifications.

In this paper the bridge inventory of a 36km section of motorway near completion from Panagia to Grevena in the Central Region, the design philosophy from the feasibility stage to the detailed design and construction, the procurement methods, and the technological advances implemented for earthquake resistant structures are presented. Case studies are also discussed stating the design and construction details, which lead to more durable low maintenance structures, structural concepts in reference to demanding ground conditions and site-specific requirements; also discussed are cases with structural deficiencies during the construction stage and the associated repair methods.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Εγνατία Οδός αποτελούσε για δεκαετίες ένα μεγάλο έργο για τη διασύνδεση της Ηπείρου, της Μακεδονίας και της Θράκης και την άρση της απομόνωσής τους. Η ένταξή της στα έργα προτεραιότητας των Διευρωπαϊκών Δικτύων Μεταφορών επισφράγισε την Ευρωπαϊκή διάστασή της ως συνδετήριας οδού των αγορών της Ανατολής με τα μεγάλα βιομηχανικά κέντρα της Δύσης. Ως συλλεκτήριος άξονας Πανευρωπαϊκών Διαδρόμων, που οδεύουν από Βορρά προς Νότο, αποκτά μεγάλη γεωστρατηγική σημασία για τα Βαλκάνια και τη Νοτιοανατολική Ευρώπη. Η Εγνατία Οδός για την κατασκευή και την ολοκλήρωση της έχει διασφαλισμένους πόρους και χρηματοδοτείται από:

■ Το Ελληνικό Δημόσιο (Εθνικοί πόροι)
■ Την Ευρωπαϊκή Ένωση (με ποσοστό 50%): Ταμείο Συνοχής, Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης, Διευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφορών
■ Την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων
■ Το Κοινωνικό Πλαίσιο Στήριξης

Ο αριθμός και το μέγεθος των τεχνικών που κατασκευάζονται, για την υλοποίηση του αυτοκινητοδρόμου, είναι πρωτοπορτακός για την χώρα. Περίπου 560 γέφυρες και μικρά τεχνικά με συνολικό μήκος 40 χιλιομέτρων περιλαμβάνονται στην χάραξη της οδού, η οποία διέρχεται από περιοχές υψηλής σεισμικότητας και σύνθετων γεωμορφολογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών, οδηγώντας στη μελέτη γεφυρών από σκυρόδεμα με μεγάλα συνολικά μήκη και επιμέρους ανοίγματα, ειδικές θεμελιώσεις, σύγχρονα συστήματα σεισμικής προστασίας και μεθόδους κατασκευής.



**Σχήμα 1.** Ο άξονας του αυτοκινητοδρόμου

Ολόκληρη η Εγνατία χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πιο φιλόδοξα έργα σε παγκόσμια κλίμακα όχι μόνο λόγω του μεγάλου μήκους της αλλά κυρίως λόγω της πρόκλησης που έφερε σε μελητημικό και κατασκευασικό επίπεδο υλοποιώντας μια χάραξη που διέρχεται μέσα από ένα δύσκολο τοπογραφικό ανάγλυφο στο οποίο έπρεπε να τηρηθούν πιστά οι περιβαλλοντικοί όροι (π.χ. προστασία δασών και άγριας ζωής σε περιοχές όπως η Πίνδος, ο Νέστος, το Βέρμιο, ο Αλιάκμονας), ενώ παράλληλα έπρεπε να κατασκευαστεί ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών έργων, σεράγγων και γεφυρών, πρωτοπορητικών για τα ελληνικά δεδομένα. Οι γέφυρες συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο κατασκευασικό και επιστημονικό ενδιαφέρον. Εξαιτίας της ποικιλίας του εδαφικού ανάγλυφου το οποίο διασχίζει ο δρόμος και σε συνδυασμό με την ανάγκη τήρησης περιβαλλοντικών όρων χρητάστηκε να κατασκευαστούν σημαντικά τεχνικά έργα με ιδιαίτερες τεχνικές δυσκολίες των οποίων ε μελέτη, κατασκευή αλλά και γενικότερα η διαχείριση τους αποτέλεσε μία ιδιαίτερη πρόκληση, πρωτόγνωρη για τα Ελληνικά δεδομένα.

## **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΕΦΥΡΩΝ**

Ο τρόπος που σχεδιάζουμε και μελετάμε τις γέφυρες δείχνουν την φιλοσοφία σχεδιασμού με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τεχνικών σε συνάρτηση με την αισθητική, τον όγκο, τη στατικότητα. Στο αρχικό στάδιο και κατά την προετοιμασία του γενικού σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω γενικές θεωρήσεις:

- Λειτουργικότητα, απλές και φυσικές κόρμες, αισθητικά ευχάριστες που προσαρμόζονται στο περιβάλλον και ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις σε αυτό.

- Βελτιστοποίηση του κόστους έτσι ώστε να προκύπτει μία αποτελεσματική λύση τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.
- Συνεχείς φορείς και υπερστατικά συστήματα για την ελαχιστοποίηση της χρήσης εφεδράνων και αρμών. Κανονικά σταυικά συστήματα όπου είναι δυνατό.
- Εξέταση, ανιμετώπιση και περιορισμός των κινδύνων που σχετίζονται με θέματα Υγιεινής και Ασφάλειας, στη διάρκεια της κατασκευής.
- Κατάλληλες προβλέψεις επισκεψιμότητας των δομικών στοιχείων για την διευκόλυνση της επιθεώρησης και συντήρησης τους.
- Ιδιαίτερη προσοχή στις λεπτομέρειες των δομικών στοιχείων και την επιλογή υλικών και αντοχών που συνεισφέρουν στην επιμήκυνση του χρόνου ζωής των τεχνικών (η απαίτηση για τον χρόνο ζωής κατά τη μελέτη είναι τα 120 χρόνια).

Στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις συγκρίνονται και εξετάζονται με οικονομοτεχνικά κριτήρια λαμβάνοντας υπόψη τα σχεικά κατασκευασικά κόστη και την πιο αποτελεσματική κατασκευασική μέθοδο, όπου μαζί με την εκτίμηση για το συνολικό κόστος στην διάρκεια ζωής του έργου<sup>3</sup> ολοκληρώνει την παραπάνω εργασία. Το γενικό πλαίσιο με τις απαιτήσεις του ΚτΕ<sup>4</sup> περιγράφονται σε ένα πλήρες κείμενο που προετοιμάστηκε από την Εγνατία Οδό ΑΕ (ΕΟΑΕ) με τίτλο Οδηγίες Σχεδιασμού Μελετών Έργων Οδοποιίας (ΟΣΜΕΟ). Συντάχθηκε αρχικά το 1998 και ακολούθησαν τρεις αναθεωρήσεις ενώ προετοιμάζεται η επόμενη ώστε να είναι συμβατό με το νέο κανονιστικό πλαίσιο και τις νέες θεωρήσεις ακολουθώντας την παγκόσμια τεχνογνωσία και περιλαμβάνοντας την μέχρι σήμερα εμπειρία από την μελέτη και κατασκευή του συνόλου σχεδόν του έργου.

Σεισμικός κίνδυνος: είναι γνωστό ότι το Β.Αιγαίο και οι γύρω περιοχές όπως επίσης και η δυικές ακτές κατά μήκος του Ιονίου θεωρούνται από τις πιο ενεργές σεισμικά περιοχές παγκοσμίως. Σύμφωνα με τον Νέο Ανισεισμικό Κανονισμό (NEAK) η Ελλάδα υποδιαιρείται σε τρεις σεισμικές ζώνες Ι,ΙΙ,ΙΙΙ με σεισμική επιτάχυνση 0,16g, 0,24g, 0,36g αντίστοιχα. Ο αυτοκινητόδρομος δέχεται διαμέσου των ζωνών Ι & ΙΙ οδηγώντας, σε συνδυασμό με τις τοπογραφικές και εδαφικές ιδιαιτερότητες, σε πάρα πολλές τεχνικές προκλήσεις στη φάση της μελέτης του έργου. Ιδιαίτερα για τις σημαντικές γέφυρες του αυτοκινητοδρόμου ο συντελεστής σπουδατότητας που λαμβάνεται υπόψη είναι 1,3. Ο αντισεισμικός έλεγχος γίνεται κυρίως με γραμμικές ελαστικές μεθόδους. Συνήθως με βάση την πλασιμότητα του συστήματος, θεωρούμε μία ιμμή για τον συντελεστή

<sup>3</sup> Whole life cost assessment

<sup>4</sup> Κύριος του Έργου

μετελαστικής συμπεριφοράς, βάση και της εγκυκλίου Ε39/99<sup>5</sup> και τα ικανοτικά μηγέθη προσδιορίζονται με φασμαϊκή ιδιομορφική ανάλυση με βάση ένα μειωμένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού αποδεχόμενοι το γεγονός ότι τα δομικά στοιχεία της γέφυρας υπόκεινται σε παραμορφώσεις πέραν της ελαστικής περιοχής (δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα βάθρα). Η χρήση Υδραυλικών Συστημάτων Εμπλοκής<sup>6</sup> σε μεγάλου μήκους τεχνικά, δημιουργώντας προσωρινές δεσμεύσεις σε κρίσιμες θέσεις, στη φάση της σεισμικής διέγερσης κυρίως, οδηγεί στην εκμετάλλευση της άριστης συμπεριφοράς των υπερστατικών συστημάτων. Το κανονιστικό πλαίσιο όσον αφορά τον αντισεισμικό σχεδιασμό των τεχνικών συμπληρώνεται από τον Ευρωκώδικα 8 αλλά και τον AASHTO 2000 όσον αφορά σε θέματα μελέτης και εκτέλεσης δοκιμών εφεδράνων, αποσβεστήρων, υδραυλικών συστημάτων εμπλοκής κλπ.

### **Η ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΜΕΓΑΛΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΓΡΕΒΕΝΑ-ΠΑΝΑΓΙΑ ΜΗΚΟΥΣ 36χλμ.**

Η κατασκευή αυτού του τμήματος, συνολικού μήκους 36χλμ., ξεκίνησε το 2005 με προϋπολογισμό 520<sup>7</sup> εκ.ευρώ και πλησιάζει στην ολοκλήρωση και παράδοση του συνόλου του έργου σε κυκλοφορία. Περτλαμβάνει σημαντικό αριθμό δίδυμων σηράγγων και γεφυρών λόγω του δύσκολου τοπογραφικού ανάγλυφου και συγκεκριμένους περιορισμούς προερχόμενους από τις απαιτήσεις για την προστασία της άγριας πανίδας αφού στην ευρύτερη περιοχή είναι υπό προστασία η καφέ αρκούδα. Επιβαλλόμενοι περιορισμοί των επιπτώσεων στο περιβάλλον όπως για παράδειγμα οι σχετιζόμενες εργασίες με την κατασκευή των θεμελιώσεων των γεφυρών (π.χ. οδοί πρόσβασης, διευρυμένα δάπεδα εργασίας), οδήγησαν στην υιοθέτηση μεγάλων ανοιγμάτων όπου αυτό ήταν δυνατό καθώς επίσης και μηχανοποιημένες μεθόδους κατασκευής χρησιμοποιώντας βαρέως τύπου εξοπλισμό για την ολοκλήρωση της κατασκευής τεχνικών (βλ. Πίνακα 1 παρακάτω). Έτσι σχεδιάστηκαν τεχνικά με μεγάλα επιμέρους ανοίγματα (100 έως 160μ.) μη την μέθοδο (για την κατασκευή του φορέα) της

---

<sup>5</sup> Εγκύκλιος με οδηγίες για τον αντισεισμικό σχεδιασμό γεφυρών

<sup>6</sup> Shock Transmission Units ή Lock up Devices

<sup>7</sup> Προϋπολογισμός μελέτης χωρίς ΦΠΑ



Σχήμα 2. Το τμήμα Γρεβενά - Παναγιά

προβολοδόμησης<sup>8</sup> και μεσαίου μεγέθους ανοίγματα (της τάξης των 35 με 38μ) με προκατασκευασμένες δοκούς προεντεταμένες με μετένταση ή εφαρμογή προέντασης σε κλίνη.

Πίνακας 1. Οι μεγάλες γέφυρες του τμήματος Παναγιά-Γρεβενά

Γέφυρα	Μέγιστο Άνοιγμα (μ)	Αριθμός Ανοιγμάτων	Συνολικό Μήκος (μ)	Μεγ. Ύψος Βάθρου(μ)	Μέθοδος Κατασκευής
G2(Κριάσα)	160	3	349	60	Προβολοδόμηση
G3(4.1.3)	144	3	326	45	
G1 Βενέϊκος	120	5	636	65	
G4(4.1.2)	120	3	292	45	
G2(4.1.3)	101,5	5	426	42	
Γρεβενιώτικος	100	10	920	40	
G3(4.1.2)	38	5	190	38	Προκατασκευασμένες Δοκοί
G1(4.1.1)	37,5	9	335	34	
G6(4.1.2)	36,5	4	146	38	
G3(4.1.1)	36	6	216	42	
G4(4.1.2)	35,5	4	142	35	

Το τμήμα αυτό της Εγνατίας με κωδικό αναφοράς 4.1 υποδιαιρείται σε τέσσερα υποτμήματα για λόγους διαχείρισης των μελετών (4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.45) και πέντε εργολαβίες για λόγους διαχείρισης των κατασκευασικών συμβάσεων. Τρεις κατασκευασικές εταιρείες συμμετείχαν στην υλοποίηση του έργου οπότε η τιποποίηση διαφόρων λεπτομερειών κατά τη φάση εκπόνησης της μελέτης αλλά

<sup>8</sup> Τμηματική κατασκευή σπονδύλων με επί τόπου σκυροδέτηση, συμμετρική ή ασύμμετρη κατασκευή προβόλων

και στη διάρκεια της κατασκευής ήταν ιδιαίτερης σημασίας. Η χάραξη διέρχεται από ορεινή περιοχή, με πυκνή βλάστηση και σύνθετη γεωλογία. Οι θεμελιώσεις των γεφυρών κατασκευάζονται σε μία ποικιλία εδαφικών σχεματισμών και τύπων βραχώμαζας. Η πολυπλοκότητα των εδαφικών συνθηκών σε συνδυασμό με τον περιορισμένο χώρο σε περιοχές με απότομα πρανή και τα σημαντικά φορτία οδηγούν στην επιλογή θεμελιώσεων τύπου φρεάτων πάκτωσης και πασσάλων ως βέλτστη λύση για τις μεγάλες γέφυρες.

Ακολουθεί μία λεπτομερής περιγραφή των τεχνικών στοιχείων ορισμένων χαρακτηριστικών γεφυρών ώστε να δοθεί μία εικόνα για τις θεωρήσεις που έγιναν στη φάση μελέτης και τις κατασκευασικές μεθόδους που υιοθετήθηκαν για την ολοκλήρωση της κατασκευής των τεχνικών και την επίτευξη των στόχων του χρονοδιαγράμματος.

### ΓΕΦΥΡΑ Γ1 π.ΒΕΝΕΤΙΚΟΥ

Η γέφυρα φέρει τον αυτοκινητόδρομο πάνω από απότομη κοιλάδα του π.Βενέικου. Η όλη κατασκευή χωροθετείται στο νότιο τμήμα της κοιλάδας που γεφυρώνει και αποτελείται από δύο ανηξάρτητες κοιλαδογέφυρες, μία ανά κλάδο. Οι δύο αυτές κοιλαδογέφυρες (αριστερός και δεξιός κλάδος) έχουν διαφορετικά μήκη (531,10 & 636,20μ. αντίστοιχα), γεγονός που οφείλεται στην απόκλιση της χάραξης μεταξύ τους και στην τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής. Η παρουσία του Βενέτικου ποταμού οδηγεί σε ανοίγματα που φτάνουν τα 120 μέτρα. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αποτελεί η διαφοροποίηση των διατομών των βάθρων η χρήση και των ιριών τύπων<sup>9</sup> θημελίωσης και η ασύμμητη προβολοδόμηση.



Σχήμα 3. Άποψη της γέφυρας

<sup>9</sup> Επιφανειακή/Πάσσαλοι/Φρέατα Πάκτωσης

Η γέφυρα αποτελείται από μονοκυψελωτή κιβωτιοειδή διατομή από προεντεταμένο σκυρόδεμα που κατασκευάζεται με την μέθοδο της προβολοδόμησης και με μονολιθική σύνδεση με όλα τα μεθόβαθρα. Το ύψος της κιβωτιοειδούς διατομής κυμαίνεται από 7 μέτρα στις σέσεις των μεθοβάθρων έως 2.80 μέτρα στο μέσον του ανοίγματος και στα ακρόβαθρα. Τα μεθόβαθρα κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα και έχουν διατομή είτε κοίλη ορθογωνική είτε διατομή αποτελούμενη από δίδυμες ορθογωνικές λεπίδες. Το ύψος των μεσοβάθρων κυμαίνεται από 25 έως 64 μέτρα πάνω από τη στάθμη του εδάφους.

Η ευκαμψία των υψηλών μεθοβάθρων μειώνει τη δημιουργία τάσεων στον φορέα του καταστρώματος από μετακινήσεις του καταστρώματος. Η μονολιθική σύνδεση που επιτυγχάνεται μεταξύ φορέα ανωδομής και μεθοβάθρων αποτελεί πλεονέκτημα τόσο για την φάση κατασκευής όσο και για την φάση συντήρησης της κατασκευής μιας και δεν γίνεται χρήση μονίμων εφεδράνων στις σέσεις των βάθρων. Στα ακρόβαθρα επιτρέπεται η διαμήκης μετακίνηση του καταστρώματος έτσι ώστε να μειώνονται οι επιπτώσεις του σεισμού. Χρησιμοποιούνται εφέδρανα τύπου rot<sup>10</sup> με ελευθερία μετακίνησης και στην εγκάρσια και στην διαμήκη διεύθυνση<sup>11</sup>. Εγκάρσια μετακίνηση του καταστρώματος δεν επιτρέπεται στα ακρόβαθρα. Ελαστομερείς προσκρουστήρες (buffers) που τοποθετούνται κατακόρυφα μεταξύ της κιβωτιοειδούς διατομής και της υποδομής ανθίστανται στις δυνάμεις<sup>12</sup> που γεννιούνται από την σεισμική καταπόνηση. Η προεινόμενη διάταξη διασφαλίζει την αποφυγή ανασηκώματος των εφεδράνων. Ειδικά διαμορφωμένοι χώροι στα ακρόβαθρα επιτρέπουν την εύκολη επιθεώρηση την συντήρηση και την αντικατάσταση των εφεδράνων, προσκρουστήρων και αρμών μετακίνησης. Οι εδαφικές συνθήκες των επιφανειακών στρώσεων στη σέση της γεφύρωσης δεν επιτρέπουν επιφανειακή θεμελίωση των βάθρων τη γέφυρας. Επομένως οι τύποι θεμελίωσης που προτείνονται στην μελέτη είναι είτε θεμελίωση με φρεατοπασσάλους και κεφαλοδέσμους, είτε θεμελίωση με φρέατα μεγάλης διαμέτρου με έμπηξη στην υγρή βραχώμαζα. Η επιλογή του τύπου της θεμελίωσης ανά βάθρο γίνεται με βάση το πάχος της άνω εδαφικής στρώσης, την κλίση της επιφανείας του εδάφους, το βαθμό επανεπίχωσης, τον ελεύθερο χώρο στη σέση του βάθρου, η δυνατότητα πρόσβασης του εξοπλισμού διάτρησης των πασσάλων, κλπ. Χαρακτηριστικές είναι οι διαστάσεις του φρέατος του μεθοβάθρου M1 με διάμετρο 10μ κατ βάθος 33μ.

---

<sup>10</sup> Κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού 920 τόνοι

<sup>11</sup> Συνολική μετακίνηση 850 mm

<sup>12</sup> Οριζόντιο φορτίο σχεδιασμού 450 τόνοι



Η τεχνική προβολοδόμησης στην οποία βασίστηκε η μελέτη είναι η συμμετρική προένταση με ασύμμετρους προβόλους. Η μελέτη λαμβάνει υπόψη της την μη αντισταθμιζόμενη ροπή που προκύπτει από το βάρος του σκυροδετεμένου τμήματος, το βάρος του φορείου κατά μέγιστο 700 KN, την εκκεντρότητα του φορείου αλλά και την κρίσιμη σέση του κινητού φορτίου με μέγιστη  $u_m$  ή 1.5 KN/m<sup>2</sup>, θεωρώντας ότι όλα αυτά τα φορτία δρουν ταυτοχρόνως. Η μη αντισταθμιζόμενη ροπή βελτιστοποιείται εισάγοντας άνισα μήκη τμημάτων σκυροδέτησης και από τις δύο πλευρές του μεθοβάθρου. Το μέγιστο μήκος τμήματος που χρησιμοποιήθηκε είναι 5.0 μέτρα με βάρος 160 τόνων. Ο κύκλος της κατασκευής εντός τμήματος θεωρήθηκε στη μελέτη ότι θα είναι 7 ημέρες, έτσι ο κύκλος της τάνυσης θα γίνεται κάθε 3,5 ημέρες με εναλλαγή σε κάθε πλευρά. Στη διάρκεια της κατασκευής με βάση τη σύνθεση του σκυροδέματος και την χρήση υπερρρευστουοτητή επιτεύχθηκαν οι απαιτούμενες ελάχιστες για την τάνυση των τενόντων, αντοχές<sup>13</sup> σκυροδέματος εντός 48 ωρών. Η μείωση του χρόνου για την ολοκλήρωση της επιβολής της προέντασης σε συνδυασμό με την χρησιμοποίηση ιριών φορείων(ζεύγη) και την τροποποίηση των φάσεων φάτασκευής σε σχέση με αυτές που είχαν θεωρηθεί στη μελέτη οδήγησε στην ολοκλήρωση της κατασκευής της γέφυρας ιρις μήνες νωρίτερα από το αρχικό χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου.

Η μελέτη βασίζεται στην σκυροδέτηση του καταστρώματος αρχικά σε υψηλότερη μηκοιομικά σέση έτσι ώστε να είναι δυνατός σε μεταγενέστερο στάδιο ο υποβιβασμός και η έδραση στα ακρόβαθρα αφού διασφαλιστεί η συνέχεια του καταστρώματος μέσα από την προένταση του κάτω πέλματος. Αυτή η διάταξη ελαττοποιεί τις απαιτήσεις προέντασης υπό συνθήκες λειτουργίας της γέφυρας. Έτσι η επιπλέον προένταση που υπάρχει στην πρώτη διατομή μετά το διάφραγμα, οφειλόμενη σε παρασιυικές επιδράσεις, χρησιμοποιείται για να μειωθεί η προένταση στο κάτω πέλμα της διατομής. Η ροπή που αναπτύσσεται στο βάθρο λόγω του υποβιβασμού του καταστρώματος συνεπάγεται πολύ μικρή αύξηση της έντασης ενώ παράλληλα η ευεργετική της επίδραση στο μέσον του ανοίγματος είναι σημαντική.

## ΓΕΦΥΡΑ ΓΡΕΒΕΝΙΩΤΙΚΟΥ

Η γέφυρα εξασφαλίζει τη διέλευση της Εγνατίας Οδού πάνω από την κοιλάδα του Γρεβενιώικου ποταμού και είναι ορατή από την πόλη των Γρεβενών. Είναι μία από τις μεγαλύτερες γέφυρες του αυτοκινητοδρόμου με δύο ανεξάρτητους

<sup>13</sup> 40MPa σύμφωνα με το DIN 4227, για δοκίμιο που διατηρείται σε συνθήκες κατασκευής του έργου

κλάδους μήκους 920 μ. έκαστος, χωρίς ενδιάμεσο αρμό. Το ιππικό άνοιγμα είναι 100 μ., τα ακραία ανοίγματα είναι της τάξης των 80μ., το μέγιστο ύψος των βάρων είναι 48 μ. και κατασκευάσθηκε με τη μέθοδο της προβολοδόμησης. Χαρακτηριστικό τεχνολογικό σιτοιχείο της γέφυρας είναι ότι σε επιλεγμένες σέσεις μεταξύ γέφυρας και βάρων έχουν εγκατασταθεί ειδικές υδραυλικές συσκευές εμπλοκής, οι οποίες έπεται από συγκεκριμένο όριο δύναμης λειτουργούν σαν υδραυλικοί αποσβεστήρες. Τα τρία ενδιάμεσα βάρη (M4, M5, M6) είναι μονολιθικά συνδεδεμένα με τον φορέα. Τα δύο



**Σχήμα 4.** Άποψη της γέφυρας Γρεβενιώτικου

γεωτονικά βάρη M3 & M7 συνδέονται με εφέντρα ολίθησης και Συσκευές Δυναμικής Εμπλοκής (ΣΔΕ, Shock Transmission Units) σε κάθε βάρη με φορτο-ικανότητα 1500 KN τα οποία στο σεισμό «μπλοκάρουν» στην διαμήκη διεύθυνση κατανέμοντας έτσι την σεισμική ένταση σε μεγαλύτερο αριθμό βάρων κατά τη διαμήκη έννοια. Τα υπόλοιπα 4 μεθόβαρα και τα δύο ακρόβαρα είναι εφοδιασμένα με εφέντρα ολίσησης τύπου Pot με ελεύθερη κίνηση για στατικά και δυναμικά φορτία στη διαμήκη διεύθυνση. Σε όλα τα μεθόβαρα που δεν είναι μονολιθικά με τον φορέα αλλά και στα ακρόβαρα προβλέπονται σεισμικοί σύνδεσμοι (ειδικά εφέντρα τύπου Pot) τα οποία δεσμεύουν την κίνηση του φορέα κατά την εγκάρσια διεύθυνση και παραλαμβάνουν ένα φορτίο της τάξης των 10 MN. Η θεμελίωση των βάρων γίνεται με πασσάλους διαμέτρου 1,5μ βάθους 20μ. Η επιβεβαίωση των χαρακτηρισικών σχεδιασμού των ΣΔΕ ελέγχθηκαν με βάση δοκιμές που έγιναν σε μία συσκευή στα εργαστήρια της προμηθευτικής εταιρείας βάση των απαιτήσεων που περιλαμβάνονταν στα συμβαικά τηύχη (σύμφωνα και με τις οδηγίες του AASHTO 2000):

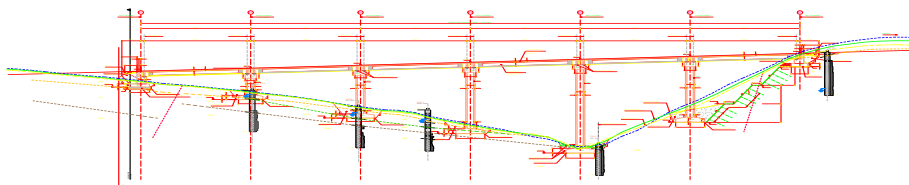
- *Δοκιμή χαμηλής ταχύτητας:* Επιβάλλεται μέγιστη ανακυκλιζόμενη μετακίνηση (τριγωνικής μορφής)  $\pm 25\text{mm}$ , με χαμηλή ταχύτητα. Η δύναμη που αναπτύσσεται δεν θα πρέπει να ξεπερνάει την ιμή των 200KN.
- *Δοκιμή ρροσομοίωστς κρουστικού και σταθερού φορτίου:* Επιβάλλεται εφελκυστικό φορτίο ίσο με την δύναμη που έχει καθοριθθεί θιε ν μελέτη μέσα σε χρόνο 0.5s. Η δύναμη διατηρείται για 5s. Στο τέλος των 5s Επιβάλλεται θλιπτικό φορτίο με ιμή ίση με του εφελκυστικού μέσα σε

χρόνο 1s. Η δύναμη διατηρείται για 5s. Η μετακίνηση κατά τη διάρκεια επιβολής του φορτίου δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 10mm ενώ κατά τη διάρκεια του σταθερού φορτίου την τιμή των 13mm.

- Δοκμή υψηλής ταχύτητας: Η ΣΔΕ δοκιμάζεται για το μέγθτο θλιπτικό και εφελκυστικό φορτίο σε υψηλές ταχύτητες (1, 70 και 140mm/s). Η αναπτυσσόμενη αντίδραση θα πρέπει να παραμένει σταθερή και να βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ 1500-1725KN.

## ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται πέντε γέφυρες με ανοίγματα από 35,5 έως 38μ. Οι δοκοί είναι προκατασκευασμένες στο εργοτάξιο και προεντεταμένες σε κλίση ή με εφαρμογή μετέντασης. Πάνω από τα βάθρα προβλέπονται πλάκες συνέχειας έχοντας έτσι συνεχές κατάστρωμα με αρμούς μόνο στις σέσεις των ακροβάθρων. Η γεωμορφολογία στις σέσεις των τεχνικών (απότομες χαράδρες) και οι χρονικοί περιορισμοί για την επίτευξη των προσεσμιών ολοκλήρωσης της κατασκευής των τεχνικών οδήγησε στη χρήση ιριών διαφορετικών αυτοφερόμενων φορέων καθέλκυσης δοκών στις 4 από τις 5 περιπτώσεις, για 280 δοκούς ύψους 2-2,20μ με βάρος από 100-120 τόνους. Γερανοί χρησιμοποιήθηκαν μόνο στην περίπτωση περιορισμένου ύψους μεταξύ ερυθράς και φυσικού εδάφους.



Σχήμα 5. Γπική δάταξη γέφυρας με προκατασκευασμένες δοκούς

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι φορέων. Στον πρώτο τύπο το φορείο είχε μήκος περί τα 112μ στηριζόμενο σε ιριες σέσεις σε προσωρινούς μεταλλικούς πύργους στις κεφαλές των μεσοβάθρων, με βάρος περίπου 120 τόνους. Το φορείο κτνείται επάνω σε προσωρινές μεταλλικές ράγες στους κεφαλοδέσμους των βάθρων παραλαμβάνοντας τις δοκούς είτε από τον χώρο σκυροδέτησης πίσω από το ακρόβαθρο, είτε κάτω από το μεσαίο άνοιγμα της γέφυρας και τοποθετώντας τις δοκούς στην τελική τους θέση ολοκληρώνεται η

διαδικασία<sup>14</sup>. Η φάση κατασκευή-τοποθέτηση των δοκών περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- 1<sup>η</sup> Ημέρα – πρωί: i. Τοποθέτηση του κλωβού οπλισμού εντός του μεταλλότυπου  
ii. Τάνυση των συρματόσχοινων  
iii. Σκυροδέτηση της δοκού (δομητές μάζας και επιφανειακοί)  
iv. Εφαρμογή ατμού για την διαδικασία ωρίμανσης
- 2<sup>η</sup> Ημέρα – μεσημέρι: i. Έλεγχος αντοχής δοκιμίου >32MPa ελαχ.  
ii. Χαλάρωση και κοπή συρματόσχοινων.  
iii. Καθέλκυση της δοκού προς την τελική σέση.



Σχήμα 6. Φορείο καθέλκυσης δοκών μήκους 112μ.

Επανάληψη της διαδικασίας για την επόμενη δοκό σε καθημερινή βάση. Για την επίτευξη του προγράμματος καθοριστικό παράγοντα έπαιξε πέρα από την διαδικασία ωρίμανσης και η σύνθεση του σκυροδέματος (κατηγορία αντοχής B35) με τη χρήση υπερρευστουοποιητή. Για το 70% περίπου των δοκών η διαδικασία τάνυσης ολοκληρώθηκε εντός 20 ωρών περίπου επιτυγχάνοντας αντοχές από 32-34MPa (συνθήκες ωρίμανσης δοκιμίων όμοιες με αυτές της δοκού). Είσι η κατασκευή και τοποθέτηση των δοκών στον ένα κλάδο γέφυρας 4 ανοιγμάτων ολοκληρώθηκε σε διάστημα 30 ημερών.

Μία διαφορετική διάταξη του εξοπλισμού μικρότερου μεγέθους και διαφορεικής λειτουργίας χρησιμοποιήθηκε σε άλλη περίπτωση γέφυρας.

---

<sup>14</sup> Η διαδικασία αναφέρεται σε προένταση σε κλίνη



**Σχήμα 7.** Εναλλακτική διάταξη αυτομηταφερόμενου φορείου

Σε αυτή την περίπτωση το φορείο είχε μικρότερο μήκος καλύπτοντας ένα άνοιγμα μόνο και στηριζόμενο σε 2 μόνο βάθρα και κινείται μόνον όταν το προηγούμενο άνοιγμα έχει ολοκληρωθεί μαζί με τα διαφράγματα, πρόπλακες και πλάκα καταστρώματος. Οι προεντεταμένες δοκοί μεταφέρονται με μηχανοκίνητα μέσα («ελέφαντες») οι οποίοι ιροφοδοιού ν το φορείο για την τελική τους τοποθέτηση όπως φαίνεται στις παραπάνω φωτογραφίες.

## **ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Κατά τη σκυροδέτηση του 1ου σπονδύλου στη βάση γέφυρας, παρουστάστικε πρόβλημα κακής συμπίκνωσης του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν σημαντικά κενά και κυνέλες, ιδιαίτερα ορατά στην επιφάνεια της λεπίδας, αλλά και εκκινόμενα στο εσωτερικό της μέχρι βάθους που σε ορισμένες σέσεις ξεπερνούσε και τα 20cm. Επίσης πέραν των κενών, υπήρχαν και περιοχές με εμφανώς κακή συμπίκνωση.



**Σχήμα 8.** Περιοχή βλάβης της δατομής

Ήταν σαφές ότι ο συνδυασμός των πυκνών στρώσεων οπλισμού (τριπλές σειρές διαμήκων οπλισμών Φ32 και εγκάρσιοι οπλισμοί Φ25/100mm) με την κακή εργασιμότητα/ρευστότητα του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε, δεν επέτρεψαν την επαρκή συμπύκνωση, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τα κενά και οι περιοχές απόμιξης που προαναφέρθηκαν. Με βάση τα ανωτέρω ευρήματα προκύπτει ότι η φέρουσα ικανότητα του 1<sup>ου</sup> σπονδύλου, υου είναι και ιδιαίτερα κρίσιμος, δεδομένου ότι βρίσκεται σε κατεξοχήν περιοχή πιθανής πλαστικής αρθρώσεως λόγω σεισμού, είναι απομειωμένη, τόσο λόγω της μειωμένης διατομής σκυροδέματος, όσο και λόγω της μειωμένης συνάφειας των οπλισμών. Για τον έλεγχο της αντοχής του σκυροδέματος, τόσο στις προβληματικές περιοχές, όσο και στο σύνολο του βάθρου και της έκτασης των κενών/κοιλοτήτων/φωλεών στο εσωτερικό των λεπίδων προτάθηκαν οι εξής έλεγχοι:

- Πυρηνοληψίες τόσο στεν προβληματική λεπίδα, όσο και στην άλλη, για τον έλεγχο αντοχής σκυροδέματος και την εξέταση της κατάστασης του εσωτερικού της λεπίδας μέχρι το βάθος στο οποίο θα αποκοπεί ο πυρήνας (περίπου στα 50cm)
- Μη-κατασιροφιφές δοκιμές (π.χ. κρουσιμέτρηση ή υπέρηχοι), που θα συμπληρώσουν τις πυρηνοληψίες (και βάσει αυτών θα βαθμονομηθούν), οι οποίες θα δώσουν μια πληρέστηρη ητιόνα της κατανομής των αντοχών στη λεπίδα
- Μη-κατασιροφιφές δοκιμές κρουσικής αντίλησης (impact echo) ή υπερήχων, οι οποίες θα εντοπίσουν τυχόν εσωτερικά κενά/σπηλαιώσεις (σε βάθος δηλαδή πέραν των 20 περίπου εκ. στο οποίο εκτείνονται τα ορατά κενά).

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών για την αποκατάσταση της βλάβης έγιναν τα εξής:

- Περιμετρική καθαίρεση του υγιούς σκυροδέματος, με υδροβολή μέχρι την αποκάλυψη της δεύτερης σειράς του οπλισμού, πλην των προβληματικών περιοχών όπου η καθαίρεση γίνηται σε πλήρες βάθος 25cm ή και περισσότερο, εφόσον απαιτείται.



**Σχήμα 9.** Αποκάλυψη σπλισμών με την υδροβολή (αρ.), Αποκατάσταση διατομής (δεξιά)

- Σταδιακή καθύψος έκχυση, μέσω ειδικών ανοιγμάτων (‘παραθύρων’), επισκευασικού κονιάματος τύπου EMACO S66, μέχρι την εξωτερική επιφάνεια της λεπίδας, δηλαδή χωρίς αύξηση της διατομής (χωρίς πρόθετο μανδύα).
- Το μέτρο ελασικότητας του κονιάματος έχει παραπλήσιο μέτρο ελασικότητας με του υαλιού σκυροδέματος (B35) του βάθρου.
- Χρησιμοποιείται πλέγμα καννάβου 10 x 10cm, σε απόσταση 2cm από το καλούπι για αντίσταση στη διόγκωση του κονιάματος.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ΕΟΑΕ διαχειρίστηκε επιτυχώς τη μελέτη, την κατασκευή και τη λειτουργία του μεγάλου και τεχνικά δυσχερούς έργου της Εγνατίας Οδού. Εξ αρχής αναγνώρισε τη σημασία και τις δυσκολίες της διαχείρισης των μελετών και ερευνών και προχώρησε σε σειρά κατνοτόμων δράσεων. Οι δράσεις αυτές συνέβαλαν στη δημιουργία ενός συστήματος ικανού να διαχειριστεί αποτελεσματικά το μοναδικό για τα ελληνικά δεδομένα όγκο μελετών. Το ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης που εφαρμόθηκε συνέβαλε στην ποιικλή αναβάθμιση των μελετών με άμεσο θετικό αποτέλεσμα τον περιορισμό των δυσκολιών στην κατασκευή του αυτοκινητόδρομου. Επιπλέον, συνέβαλε στη βέλτιστη αξιοποίηση της διασέσιμης εθνικής και ευρωπαϊκής εμπειρίας και τεχνογνωσίας, στην αναβάθμιση των ελληνικών μελετητικών γραφείων και στην εφαρμογή προηγμένων τηχικών στη χώρα μας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το γεγονός ότι για τις 11 μεγάλες γέφυρες του τμήματος, που αναφέρονται στην εργασία, δεν προέκυψαν, από πλευράς αναδόχων κατασκευής, αττήματα για σημαντικές τροποποιήσεις των

μελετών λόγω προβλημάτων κατασκευασιμότητας ή ασυμβατότητας με κατασκευασικό εξοπλισμό και αλληλουχία εργασιών κατασκευής παρά το ότι οι μελέτες ολοκληρώθηκαν πριν από την εγκατάσταση των αναδόχων κατασκευής.

Οι δυνατότητες που υπάρχουν στην τεχνολογία σκυροδέματος τόσο όσον αφορά στις μελέτες σύντηξης για την κατασκευή των έργων όσο και στα υλικά επιδιόρθωσης βλαβών που προκύπτουν κατά την κατασκευή, οδηγούν σε αποτελεσματική αντιμετώπιση κρίσιμων θεμάτων στην διαχείριση της κατασκευής. Η χρησιμοποίηση σύγχρονων μηχανικών αντισεισμικής προστασίας των τεχνικών έργων σε συνδυασμό με τις δυνατότητες των προγραμμάτων ανάλυσης διευκολύνει τον σχεδιασμό και τη μελέτη πολύπλοκων συστημάτων και δίνει ώθηση για τον καθορισμό νέων ορίων στην γεφυροποιία και την δημιουργία νέων προκλήσεων για τον μηχανικό.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή μηχανοποιημένων μεθόδων κατασκευής γεφυρών από σκυρόδεμα, σε σχέση με την μέθοδο της προβολοδόμησης και την τοποθέτηση προκατασκευασμένων δοκών σε υψηλές γέφυρες είναι ενθαρρυντικά τόσο όσον αφορά στην πολύτιμη εμπειρία που έχει αποκτηθεί σε επίπεδο μελέτης και κατασκευής όσο και στην προοπτική εφαρμογής σε μελλοντικά έργα με επιτυχή αποτελέσματα.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] AASHTO, Shock Transmission Units, Section 32, The American Association of State Highway and Transportation Officials, Inc., Washington D.C., Interim report 2002.
- [2] Abeyinghe R.S., Gavaise E., Rosignoli M. and Tzaveas Th., “Push over analysis of inelastic seismic behaviour of Greveniotikos Bridge, Journal of Bridge Engineering, ASCE, 2002, 2, No. 2, 1-12.
- [3] CEN Techn. Comm. 250 / SC8, Eurocode 8: Design provision for earthquake resistance of structures – Part 2: Bridges (ENV 1998-1-2) CEN, Brussels, 1995.
- [4] Neville, A.M. (1997) *Properties of Concrete* (4th and Final Edition), Longman.
- [5] Penelis G.G. and A.J. Kappos (1997), “Earthquake-resistant Concrete Structures”, E & FN SPON (Chapman & Hall), London.
- [6] Tzaveas Th., Gavaise E., Earthquake Resistant Post Tensioned Bridges in Egnatia Motorway and Repair Cases, in Proceedings of the 12<sup>th</sup> International



Conference «Structural Faults & Repair 2008» Edinburgh, UK, June 10-12, 2008.

- [7] Δρίτσος, Σ.Η. (2000) «Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα», Πάτρα.
- [8] Ε39/99, Οδηγίες για τον Ανισεισμικό Σχεδιασμό Γεφυρών, Αθήνα, 1999.
- [9] Νέος Ελληνικός Ανισεισμικός Κανονισμός (Ν.Ε.Α.Κ), Αθήνα, 2000.
- [10] ΟΣΜΕΟ – Οδηγίες Σχεδιασμού Έργων Οδοποιίας, ΕΟΑΕ, Θεσσαλονίκη 2002.