

# Σύνθεση Ειδικών Κατασκευών Σκυροδέματος

**8. Αποτίμηση & Δομική Αναβάθμιση Υφιστάμενων Γεφυρών**

Τηλέμαχος Παναγιωτάκος

# Αναβάθμιση Γέφυρας Σελινούντα

Πρώτη εφαρμογή στην Ελλάδα των παρακάτω τεχνικών αναβάθμισης

- Αντικατάσταση υφιστάμενων εφεδράνων με Εφέδρανα Σεισμικής Μόνωσης για μείωση σεισμικών απαιτήσεων
- Εξωτερική Προένταση για ανάληψη πρόσθετων φορτίων λόγω κατά πλάτος επέκτασης του φορέα
- Αντικατάσταση μεταβατικού επιχώματος με Ελαφρύ Επίχωμα EPS για μείωση σεισμικών ωθήσεων πίσω από τα ακρόβαθρα

## Φορείς Υλοποίησης

- Στατική μελέτη: DENCO Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.  
DENCO Στατικές Μελέτες Ι.Κ.Ε.
- Έλεγχος μελέτης: SETEC ΤΡΙ / SALFO SA
- Κατασκευή έργου: ΑΚΤΩΡ Α.Ε.

## Κανονιστικό πλαίσιο

- Συνδυασμός Ευρωκωδίκων και DIN



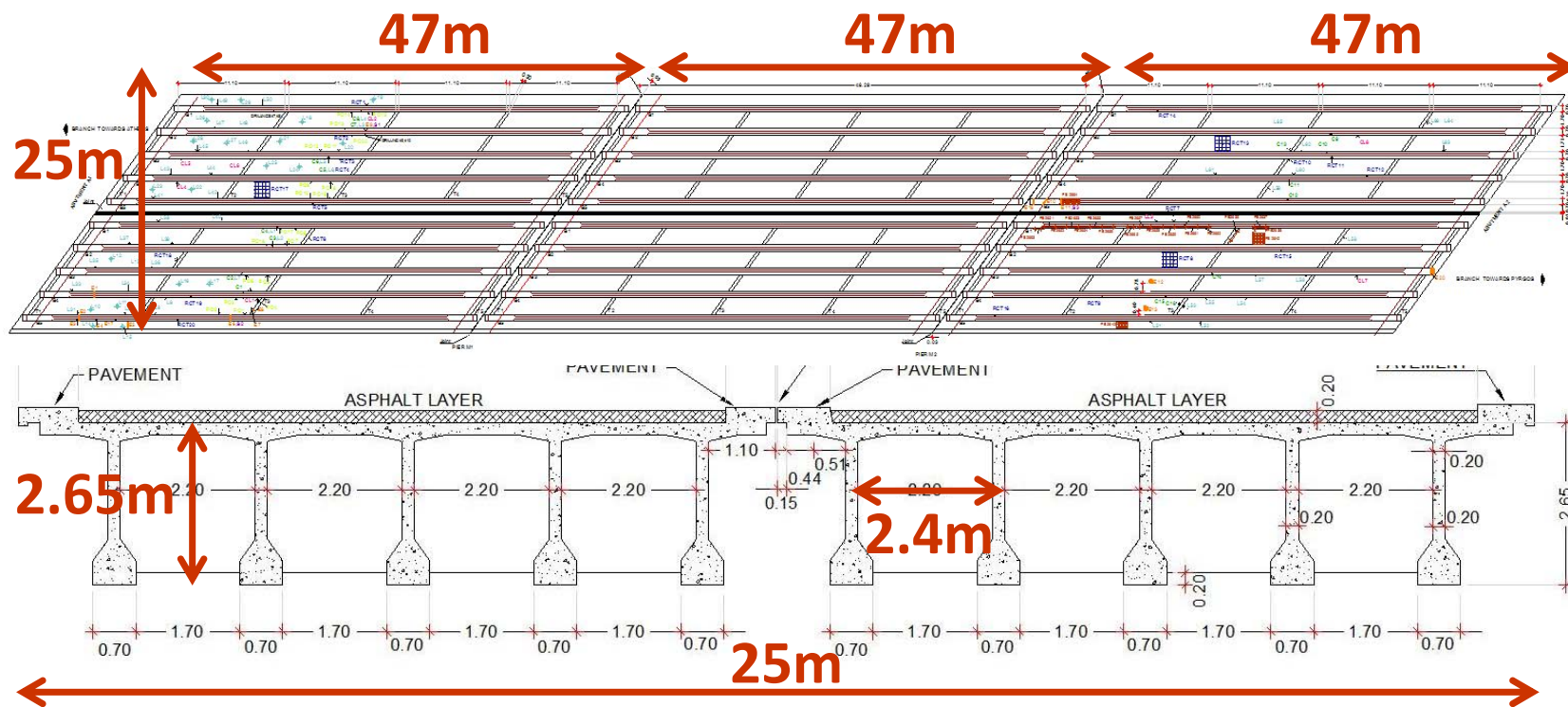
## Περιγραφή Υφιστάμενης Γέφυρας

- Γεφύρωση π. Σελινούντα (ΚΟΠΑ)
- Δύο κλάδοι πλάτους 13m
- Τρία αμφιέριστα ανοίγματα 47m
- Συνολικό μήκος 141m
- Μελέτη 1967  
Κανετάκης - Αλεξόπουλος - Ασημάκης
- Κατασκευή 1969



## Διερευνητικές Εργασίες: Γεωμετρική Αποτύπωση

- Φορέας 10 επιτόπου χυτών πλακοδοκών
- Τρία ανοίγματα 47m+47m+47m, έδραση σε εφέδρανα neoprene



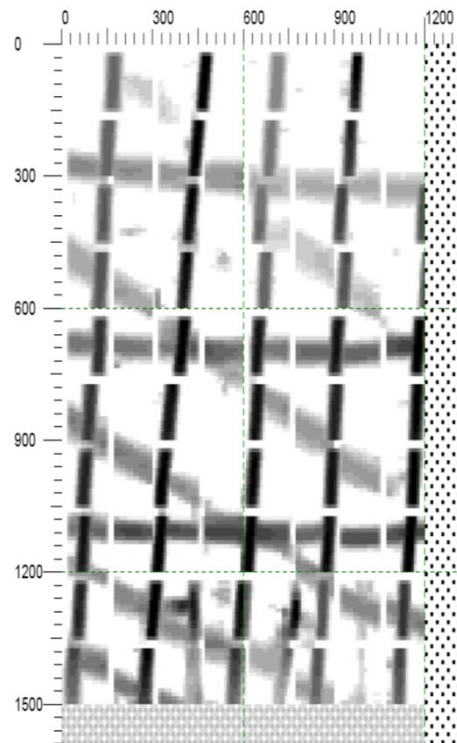
## Διερευνητικές Εργασίες: Γεωτεχνικές Έρευνες

- Γεωτρήσεις σε 10 θέσεις
- Επιτόπου δοκιμές (SPT) και εργαστηριακές δοκιμές
- Εύρεση βάθους θεμελίωσης με γεωτρήσεις διαμέσου των βάθρων
  - Θεμελίωση σε μεγάλο βάθος 8~10m εντός στρώσης χαλίκων



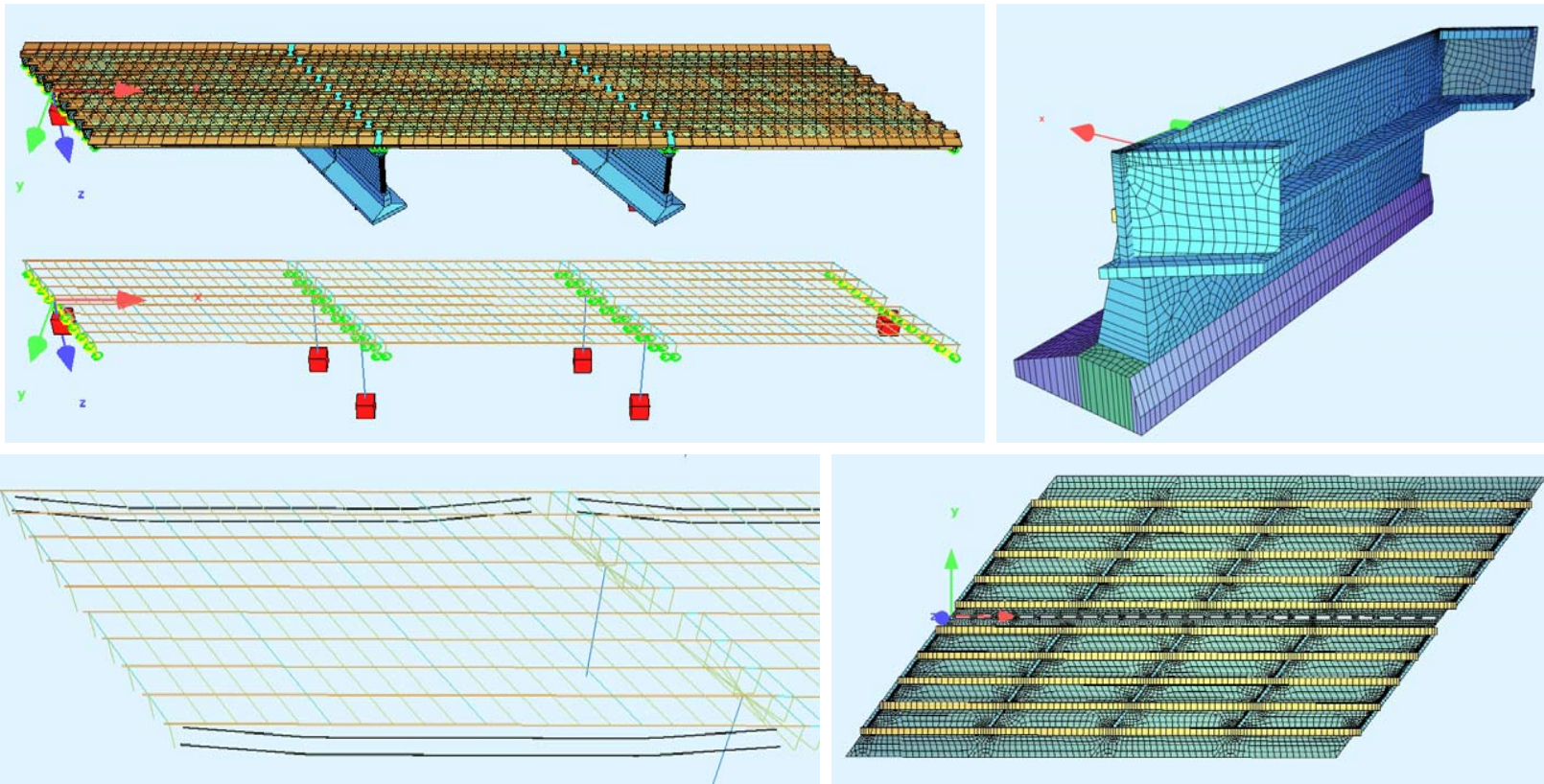
## Διερευνητικές Εργασίες: Υλικά

- Εκτίμηση αντοχής σκυροδέματος
- Εύρεση ποσότητας και διάταξης οπλισμών / προέντασης
- Εκτίμηση ανθεκτικότητας σκυροδέματος και χάλυβα



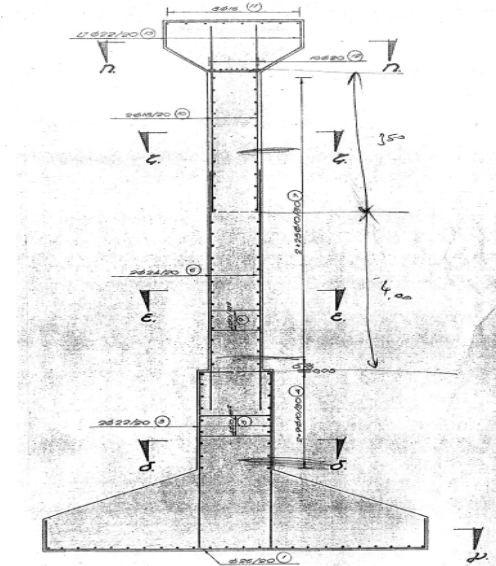
## Αποτίμηση Επάρκειας: Ανάλυση

- Ραβδωτό προσομοίωμα εσχάρας δοκών
- Τοπικά προσομοιώματα πεπερασμένων στοιχείων



## Αποτίμηση Επάρκειας: Μεσόβαθρα / Εφέδρανα

- Εφέδρανα εντελώς ανεπαρκή για σεισμικά φορτία
- Μεγάλες μεταφερόμενες δυνάμεις στα μεσόβαθρα
- Ανεπαρκής οπλισμός στην σύνδεση με το θεμέλιο σε μεγάλο βάθος ~8m



⇒ **ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ  
ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ ΜΕ  
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ**

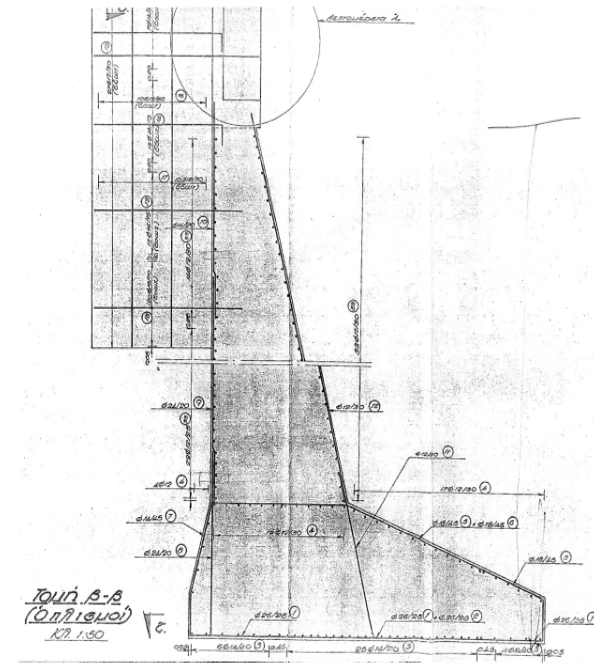




## Αποτίμηση Επάρκειας: Ακρόβαθρα

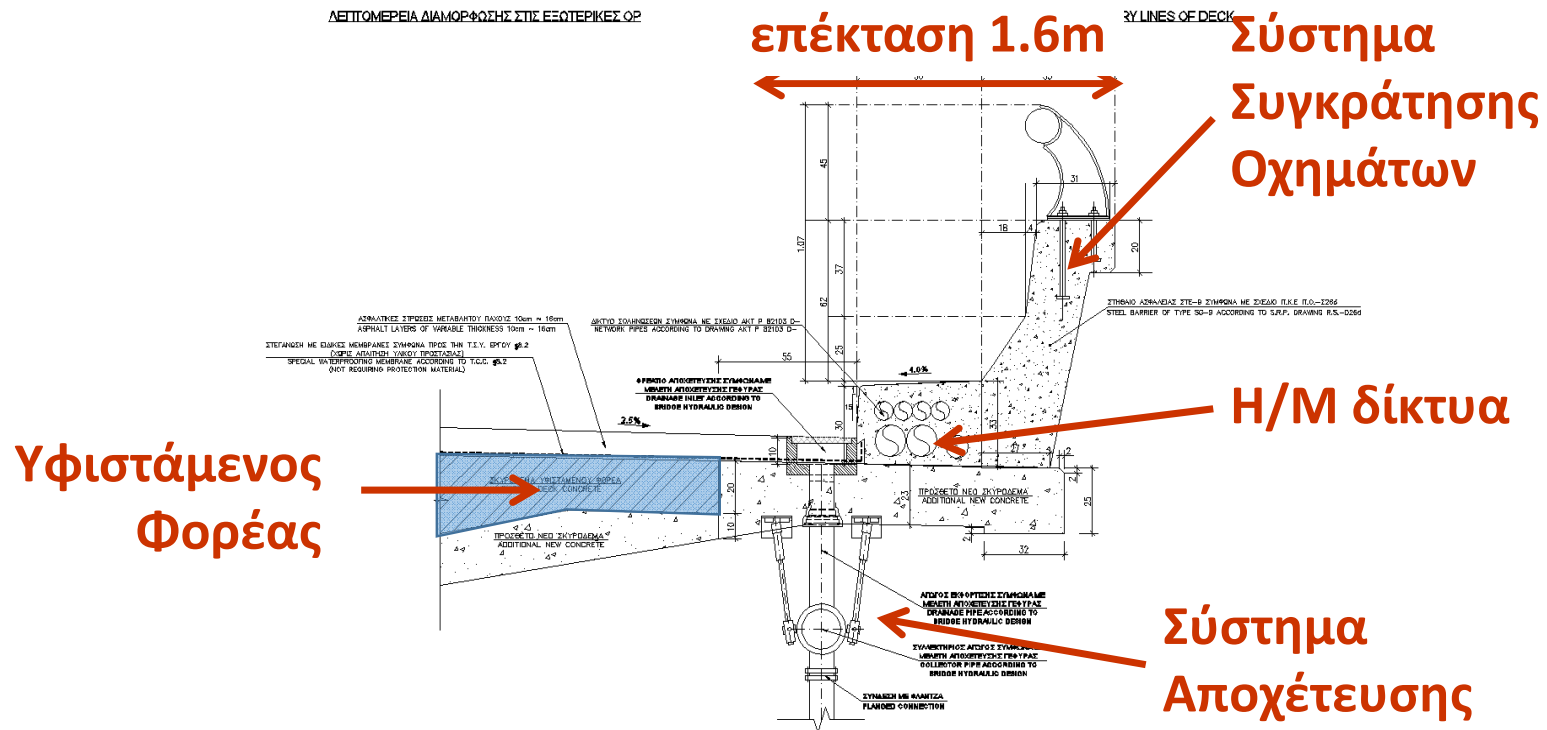
- Μεγάλες ασκούμενες δυνάμεις από τις ωθήσεις γαιών ύψους ~15m
- Υπέρβαση επιτρεπόμενης εκκεντρότητας στο πέδιλο
- Ανεπαρκής οπλισμός στην σύνδεση με το θεμέλιο σε μεγάλο βάθος ~8m

⇒ **ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ  
ΜΕΡΟΥΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ  
ΜΕ ΕΛΑΦΡΥ ΕΠΙΧΩΜΑ  
ΑΠΟ EPS**



# Αποτίμηση Επάρκειας: Φορέας ανωδομής

- Ανεπαρκής οπλισμός διάτμησης και προένταση εξωτ. δοκών  
⇒ **ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ και ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP)**

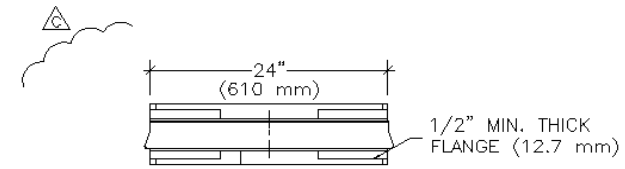


## Σύνοψη Επεμβάσεων

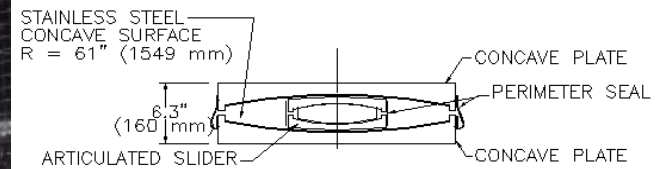
- Αντικατάσταση εφεδράνων με εφέδρανα σεισμικής μόνωσης
- Σύνδεση ανεξαρτήτων ανοιγμάτων φορέα με πλάκες συνέχειας
- Σύνδεση ανεξαρτήτων κλάδων φορέα με στοιχεία Ο/Σ
- Αντικατάσταση τμήματος του επιχώματος με EPS
- Εφαρμογή εξωτερικής προέντασης στις εξωτερικές δοκούς
- Ενίσχυση του φορέα σε κάμψη και διάτμηση με σύνθετα υλικά

# Σεισμική Μόνωση: Εφέδρανα Τριπλού FPS

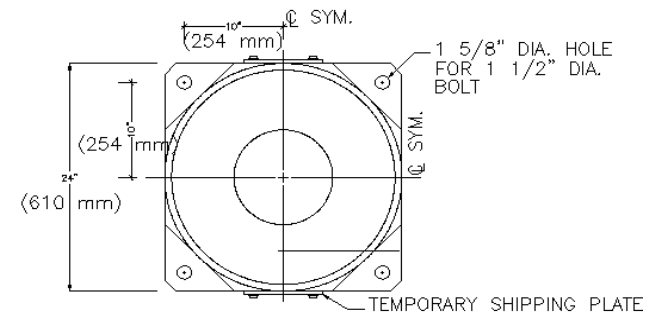
- Ισοδύναμος συντ. τριβής:  $\mu=0.09$
- Ισοδύναμη ακτίνα καμπυλότητας:  $R=2.9m$



ELEVATION



SECTION

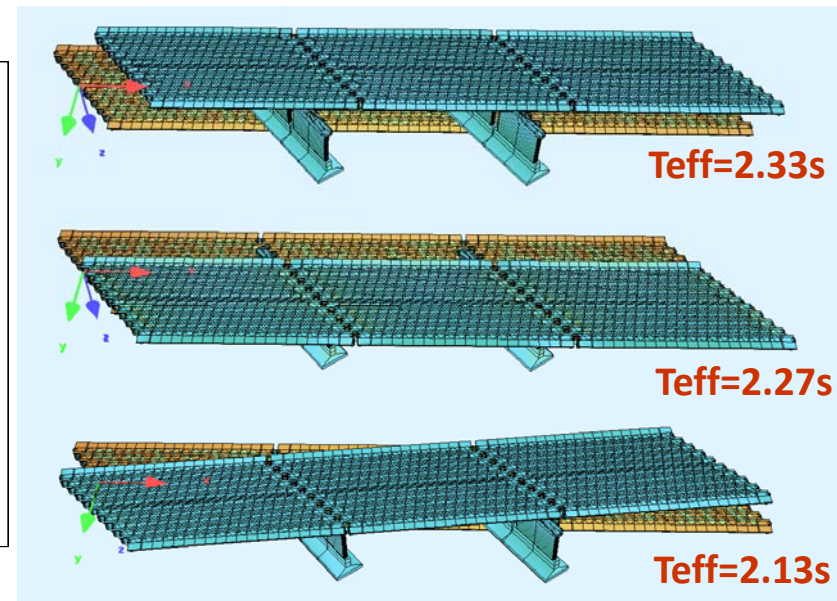
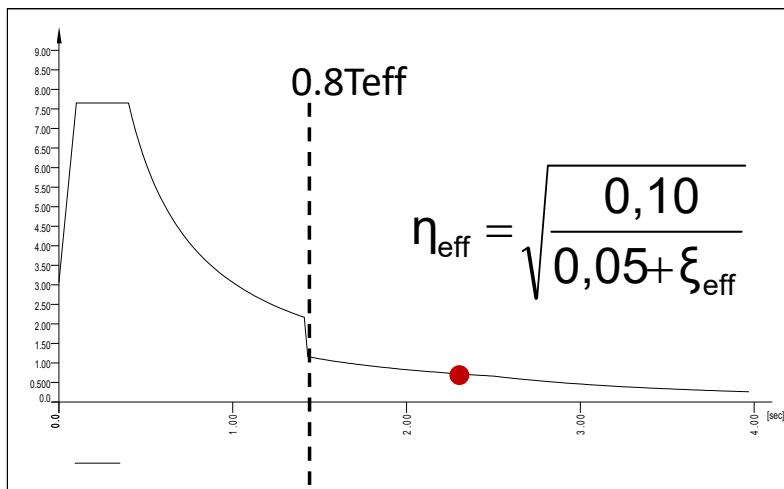


PLAN VIEW

# Σεισμική Μόνωση: Ανάλυση

## Δυναμική φασματική ανάλυση

- Σύμφωνα με «Οδηγίες για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση»
- Ισοδύναμη γραμμική δυσκαμψία εφεδράνων  $K_{\text{eff}}$
- Απομείωση φάσματος για  $T > 0.8T_{\text{eff}}$  λόγω αυξημένης απόσβεσης  $\xi_{\text{eff}}$
- Ανάλυση κάτω ορίου:  $T_{\text{eff}} = 2.3\text{s}$ ,  $\xi_{\text{eff}} = 35\%$
- Ανάλυση άνω ορίου:  $T_{\text{eff}} = 1.4\text{s}$ ,  $\xi_{\text{eff}} = 50\%$



# Ενοποίηση κλάδων - ανοιγμάτων

## Σύνδεση κλάδων με λωρίδες ανά 2.0m

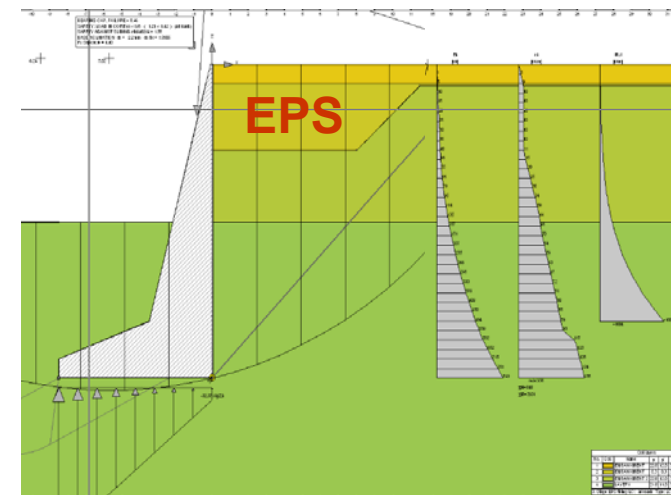
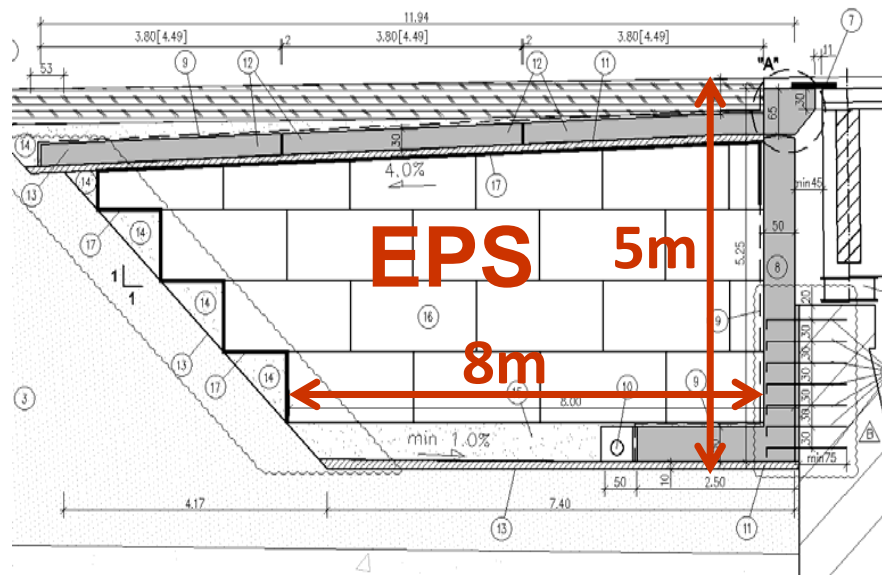


# Αντικατάσταση επιχώματος με EPS

- Κατηγορία EPS150 κατά EN14933
- Βάρος 30kg/m<sup>3</sup> ⇒ Αμελητέες ωθήσεις
- Πλάκα προστασίας 30cm, C20/25
- Μεμβράνη χημικής προστασίας

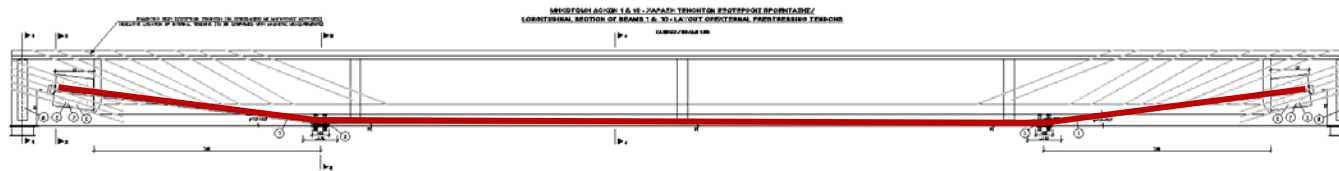
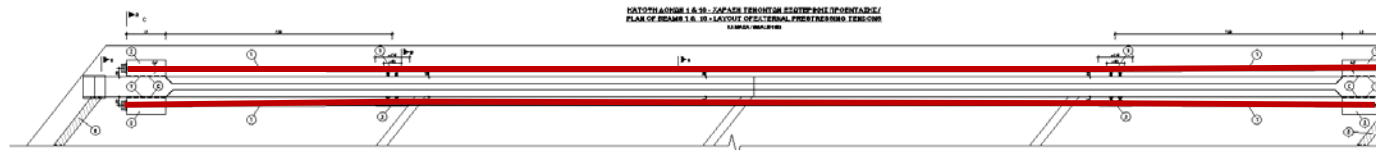


ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ 1-1 ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ  
LONGITUDINAL SECTION 1-1 OF FINAL STATE IN ONE TRAFFIC DIRECTION  
ΚΛΙΚΑΚΑ / SCALE 1:50



# Εξωτερική προένταση: Χάραξη

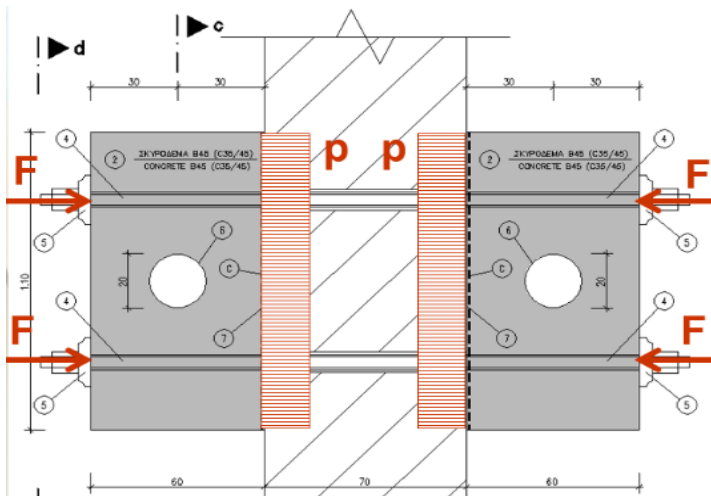
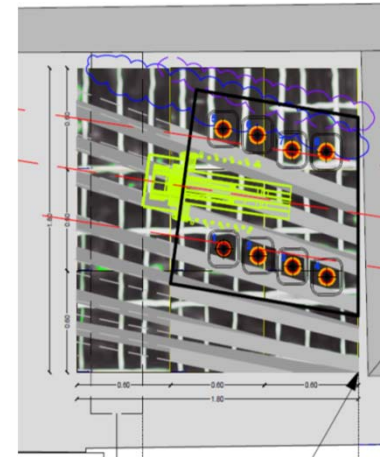
Δύο τένοντες ΕΧ-66 Υ1860, τραπεζοειδούς χάραξης



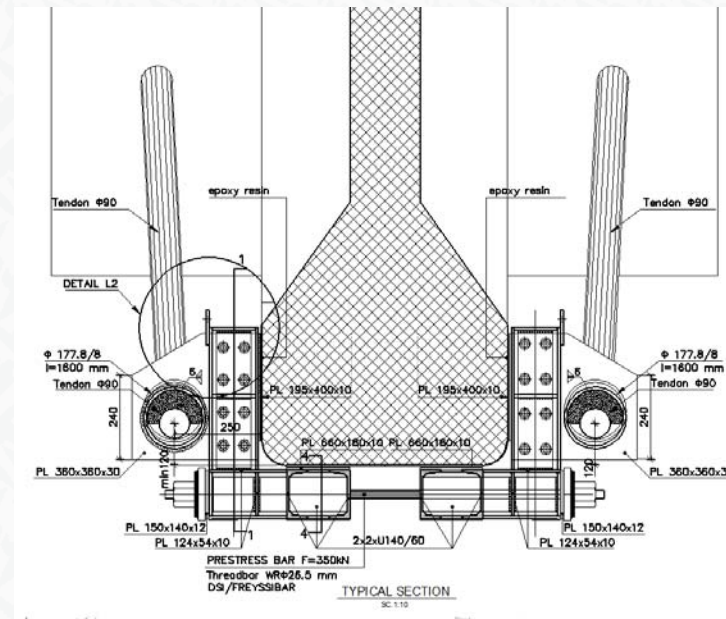
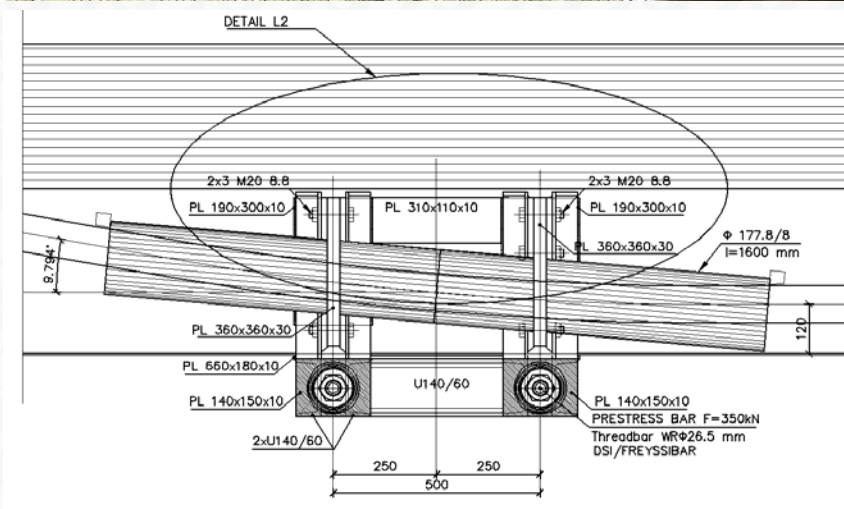


# Εξωτερική προένταση: Σώματα αγκύρωσης

Οκτώ προεντεταμένες ράβδοι  $\Phi 46$  Y1050



# Εξωτερική προένταση: Στοιχεία Εκτροπής



## Ενίσχυση με FRP: Κύριες δοκοί



## Ενίσχυση με FRP: Πλάκα φορέα



## Συμπεράσματα

- Περιορισμός των επεμβάσεων μόνο στην ανωδομή
  - Καμία επέμβαση στην θεμελίωση
- Σημαντικό οικονομικό όφελος σε σχέση με την κατασκευή εξ' ολοκλήρου νέου ή τμηματικά νέου τεχνικού
- Περιορισμός κινδύνων κατά την εκτέλεση εργασιών άνωθεν του ποταμού
- Ελήφθησαν μέτρα για την βελτίωση της ανθεκτικότητας και κατά συνέπεια του χρόνου ζωής του τεχνικού

# Δομική Αναβάθμιση Άνω Διαβάσεων Αιγίου

Υφιστάμενες Άνω Διαβάσεις A294 (Χ.Θ. 88+083.97), A296 (Χ.Θ. 88+812.43) και A297 (Χ.Θ. 89+293.50) του αυτοκινητόδρομου ΕΚΠΠΤ της Ολύμπιας Οδού

Πρώτη εφαρμογή στην Ελλάδα των διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε γέφυρες

## Φορείς Υλοποίησης

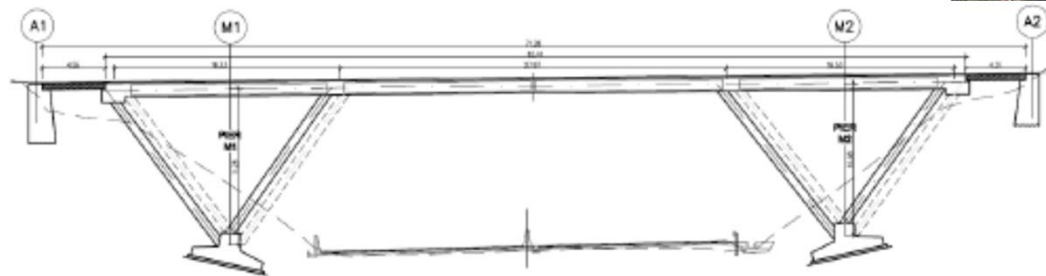
- Στατική μελέτη: DENCO Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.  
DENCO Στατικές Μελέτες Ι.Κ.Ε.
- Έλεγχος μελέτης: SETEC TPI / SALFO SA
- Κατασκευή έργου: ΑΚΤΩΡ Α.Ε.

## Κανονιστικό πλαίσιο

- Συνδυασμός Ευρωκωδίκων, ΚΑΝ.ΕΠΕ. και DIN

# Περιγραφή Υφιστάμενων Τεχνικών

- 3 Άνω Διαβάσεις υφιστάμενης Εθνικής Οδού Κορίνθου-Πάτρας
- Στατικό σύστημα τύπου άντωσης στην διαμήκη διεύθυνση, δίστυλο πλαίσιο στην εγκάρσια διεύθυνση
- Επιφανειακή θεμελίωση



# Περιγραφή Υφιστάμενων Τεχνικών

- Φορέας καταστρώματος: προεντεταμένη πλάκα με κενά
- Μήκος φορέα: 62.40m~75.55m (κύριο τμήμα)  
πλάτος φορέα: 9.65m  
ύψος διατομής: 1.00m~1.12m
- Συμπαγείς διαδοκίδες στις θέσεις που συντρέχουν τα ζεύγη των στύλων
- Μελέτη-Κατασκευή 1969~1971 (Οδομηχανική)
- Κινητά φορτία κλάσης 30T
- Σεισμικότητα  $\varepsilon=0.08$





# Γενική Κατάσταση Τεχνικών

- Γενικά καλή κατάσταση (~45 ετών)
- Επισκευάσιμες βλάβες:
  - απόμιξη σκυροδέματος
  - τοπική διάβρωση οπλισμών
  - ελλιπής στεγάνωση πλάκας καταστρώματος  
(παρατηρήθηκε ποσότητα νερού εντός των κυκλικών κενών)
  - ελλιπής αποστράγγιση οδοστρώματος



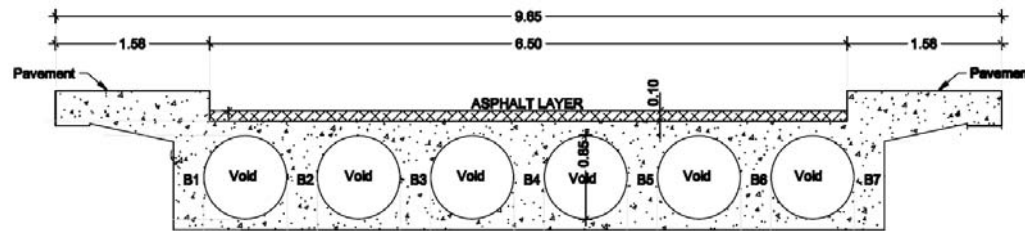
# Απαιτήσεις έργου

- Υφιστάμενη Ε.Ο. τμήμα της χάραξης του νέου αυτοκινητόδρομου ΕΚΠΠΤ της Ολύμπιας Οδού
- Αυξημένα κινητά φορτία (κλάση 60/30 DIN 1072)
- Αυξημένη σεισμικότητα + εγγύτητα σε ρήγματα (PGA 0.31g~0.36g)
- Λειτουργία Ε.Ο. κατά την διάρκεια των εργασιών
- Αυξημένες απαιτήσεις ανθεκτικότητας

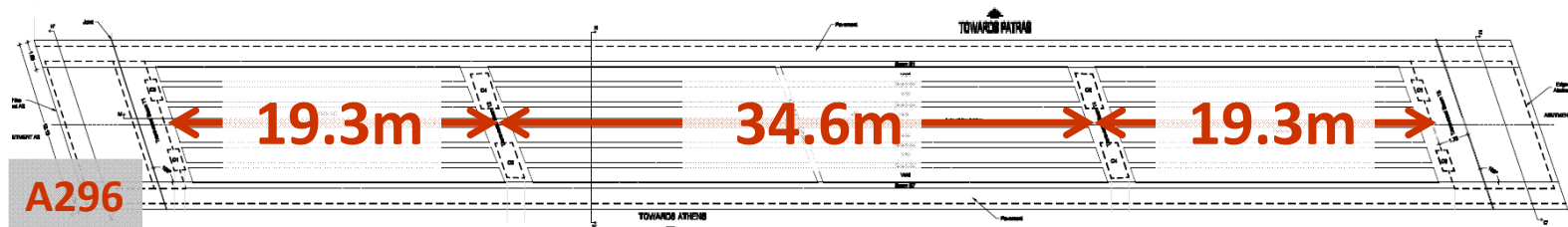
# Διερευνητικές Εργασίες

## Γεωμετρική αποτύπωση:

- Φορέας καταστρώματος: προεντεταμένη πλάκα με κυκλικά κενά τριών ανοιγμάτων



- Τρία ανοίγματα (κύριος φορέας) + 2 μικρά αμφιέριστα ανοίγματα



# Διερευνητικές Εργασίες

## Προσδιορισμός γεωμετρίας και ιδιοτήτων υλικών:

- Δοκιμές σκυροδέματος: μέση αντοχή, ενανθράκωση, χλωριόντα κλπ
- Αποκάλυψη οπλισμού / δοκίμια οπλισμού: θέση και διάμετρος οπλισμού, μέση αντοχή, κατάσταση διάβρωσης
- Αποκάλυψη αγκυρώσεων τενόντων: πλήθος & τύπος τενόντων
- Μαγνητοσκοπήσεις: θέση και διάμετρος οπλισμών, χάραξη τενόντων



# Αποτίμηση Υφιστάμενης Κατάστασης

- Ανάλυση υπό σεισμικά φορτία με την μέθοδο μη γραμμικής στατικής ανάλυσης (pushover) σύμφωνα με τον EN 1998-3 (με αξιοποίηση στοιχείων από τις διερευνητικές εργασίες και από τις αρχικές μελέτες για όσα ήταν διαθέσιμα)



- Έλεγχος επάρκειας έναντι καμπτικής μορφής αστοχίας σε όρους στρωφών χορδής.
- Έλεγχος επάρκειας έναντι διατμητικής μορφής αστοχίας σε όρους τέμνουσας δύναμης
- Έλεγχοι θεμελίων και εδάφους

# Αποτίμηση Υφιστάμενης Κατάστασης

- Καμπτική και διατμητική ανεπάρκεια διαδοκίδων καταστρώματος
- Μικρή διατμητική ανεπάρκεια κεντρικού ανοίγματος φορέα καταστρώματος
- Διατμητική ανεπάρκεια στην βάση των στύλων των μεσοβάθρων
- Υπέρβαση επιτρεπόμενης εκκεντρότητας φόρτισηςπέδλων θεμελίωσης
- Ανεπάρκεια εδάφους θεμελίωσης έναντι ολίσθησης μορφής κύκλου
- Ανεπάρκεια αρμών συστολοδιαστολής

# Λύση Αποκατάστασης / Ενίσχυσης

## Πλεονεκτήματα διατήρησης τεχνικών:

- Ταχύτητα ολοκλήρωσης εργασιών
- Οικονομία έναντι της καθαίρεσης και ανακατασκευής
- Μικρότερη όχληση της κυκλοφορίας στην υφιστάμενη Ε.Ο.
- Διατήρηση δομικής κληρονομιάς της περιοχής (τοπόσημο)

## Προκλήσεις – Δυσκολίες:

- Διατρήσεις σκυροδέματος μεγάλου πάχους (έως 1.6m)
- Διατήρηση ανέπαφου υφιστάμενου οπλισμού και τενόντων
- Ποικιλία εργασιών
- 1<sup>η</sup> Εφαρμογή στην Ελλάδα του EN 1998-3 / ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε γέφυρες

# Λύση Αποκατάστασης / Ενίσχυσης

## Τροποποίηση στατικού συστήματος και ενίσχυση:

- Μεταφορά τμήματος του σεισμικού φορτίου σε νέα ακρόβαθρα
- Ενίσχυση ανεπαρκών υφιστάμενων δομικών στοιχείων
- Ενίσχυση εδάφους

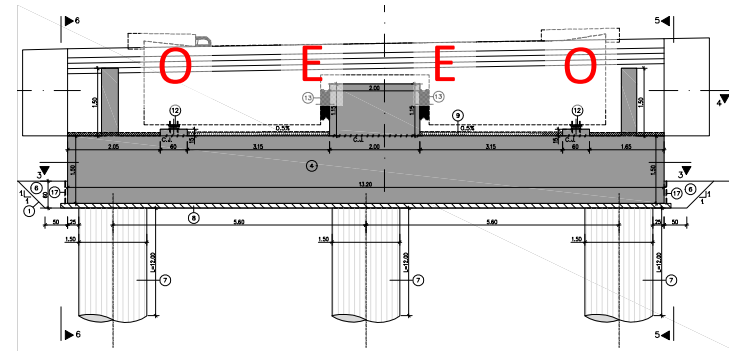
## Εφαρμογή:

- Ανάλυση υπό σεισμικά φορτία του ενισχυμένου φορέα με την μέθοδο μη γραμμικής στατικής ανάλυσης (pushover) σύμφωνα με τον EN 1998-3
- Οι μελέτες πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 2013 και 2015 και η επεμβάσεις μεταξύ 2014 και σήμερα



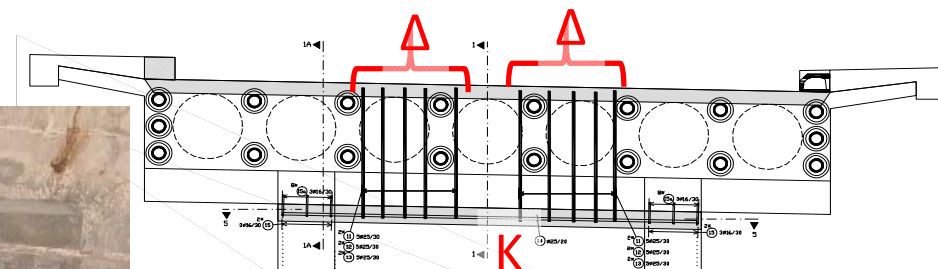
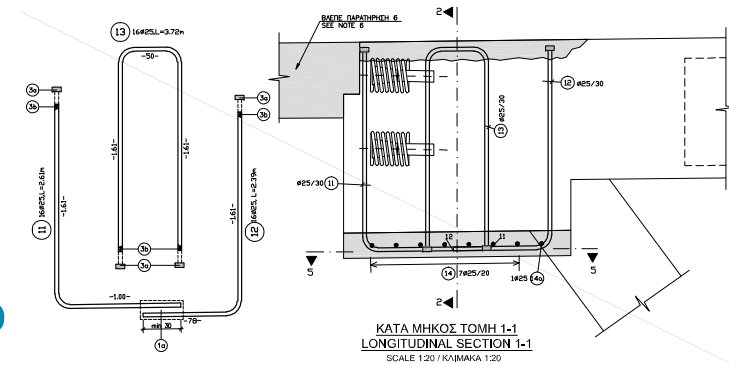
# Νέα ακρόβαθρα και ακραία ανοίγματα

- Νέα ακρόβαθρα θεμελιωμένα σε μονή σειρά πασσάλων
- Νέα ακραία ανοίγματα συμπαγούς διατομής με μονολιθική σύνδεση με τον κύριο φορέα
- Μεταφορά εγκάρσιων δυνάμεων μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων σε κατακόρυφη διάταξη (δέσμευση μετακίνησης)
- Μεταφορά κατακόρυφων δυνάμεων με εφέδρανα πλήρους ολίσθησης στην οριζόντια διεύθυνση



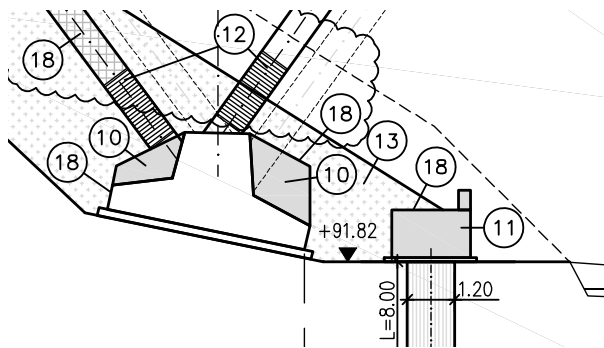
# Ενίσχυση διαδοκίδων κύριου τμήματος

- Καμπτική ενίσχυση με ράβδους οπλισμού ενσωματούμενων σε πρόσθετο τμήμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0.20m στο κάτω πέλμα
- Διατμητική ενίσχυση με κατακόρυφες ράβδους μέσω οπών και σύνδεση τους με ρητίνη



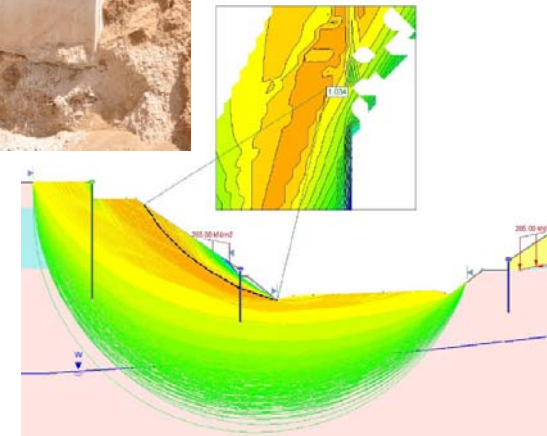
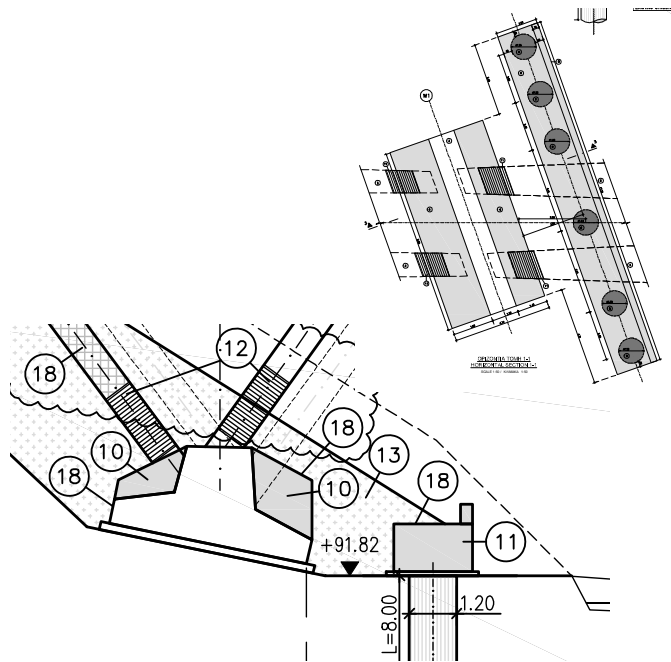
# Ενίσχυση πέδινων θεμελίωσης και εδάφους θεμελίωσης

- Αύξηση πάχους πελμάτων πέδινων με πρόσθετο σκυρόδεμα συνδεδεμένο με το υφιστάμενο με οπλισμούς μέσω ρητίνης



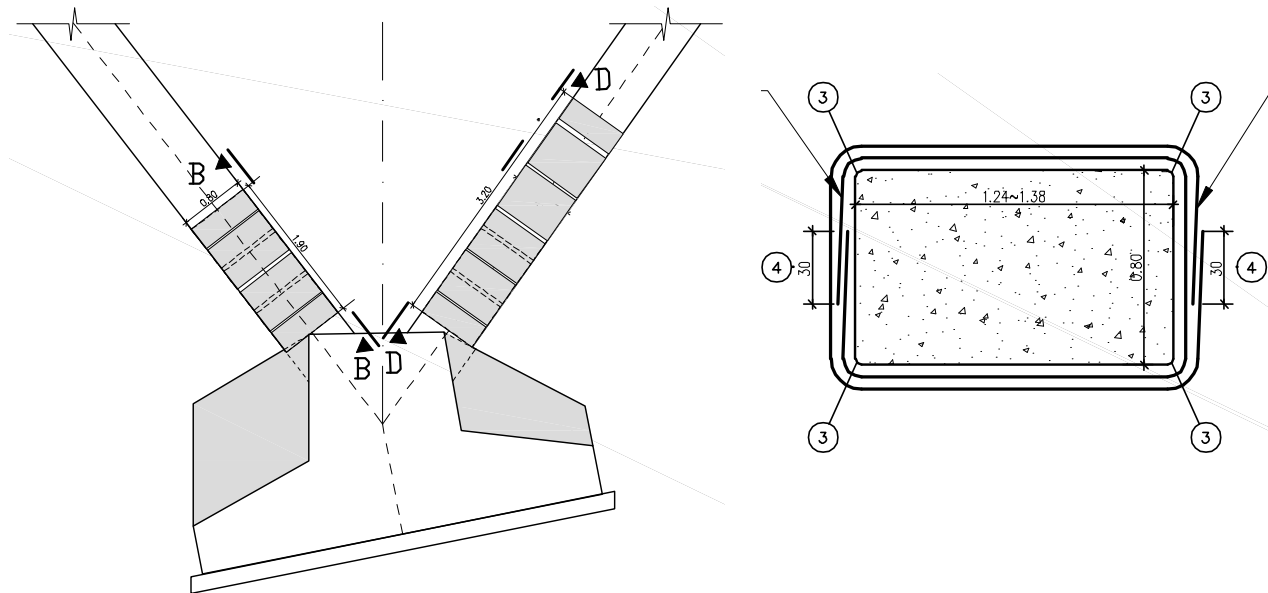
# Ενίσχυση πέδινων θεμελίωσης και εδάφους θεμελίωσης

- Ενίσχυση του εδάφους θεμελίωσης έναντι ολίσθησης μορφής κύκλου με κατασκευή πασσαλότοιχου ικανού βάθους και πυκνότητας πασσάλων



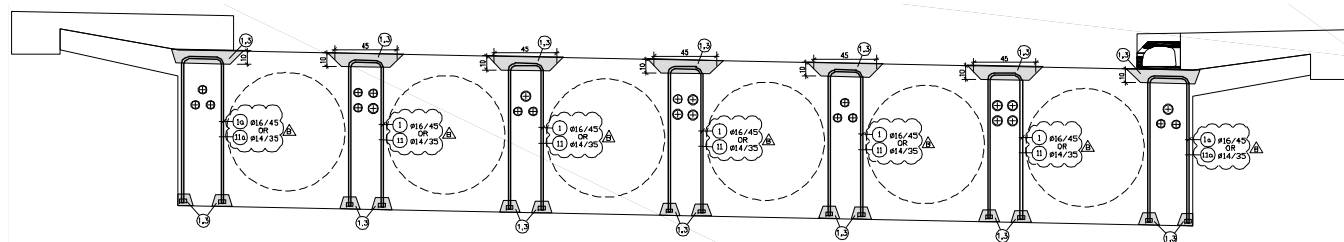
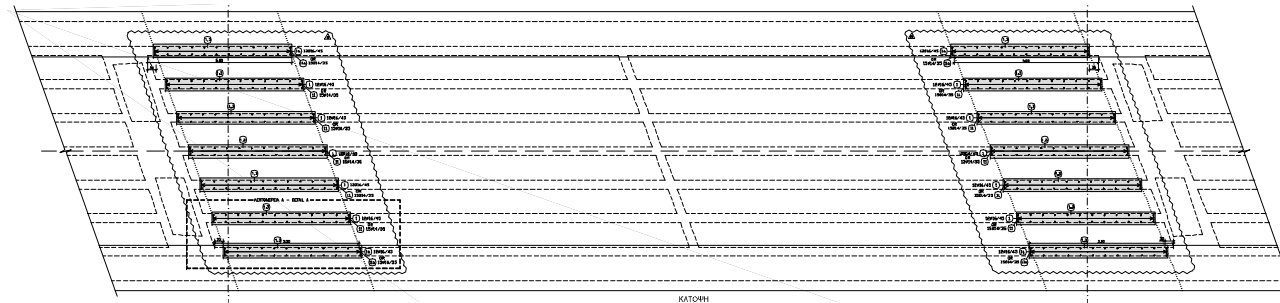
# Ενίσχυση στύλων μεσοβάθρων

- Διατμητική ενίσχυση διατομής στύλων μεσοβάθρων με 2 στρώσεις υφασμάτων οπλισμένων πολυμερών (FRP)



# Ενίσχυση φορέα καταστρώματος

- Διατμητική ενίσχυση φορέα καταστρώματος λόγω (μικρής) διατμητικής ανεπάρκειας υπό στατικά φορτία (κινητά)



# Γενικές επεμβάσεις

- Νέα στεγάνωση φορέα καταστρώματος
- Αποχέτευση καταστρώματος (ενσωμάτωση νέου καναλιού υδροσυλλογής στο πεζοδρόμιο και τοποθέτηση υδρορροών)
- Αποκατάσταση τοπικών βλαβών (απόμιξη κλπ)
- Προστασία ράβδων οπλισμού με αναστολέα διάβρωσης, βαφή στοιχείων σκυροδέματος, διπλή ασφαλική επάλειψη για τμήματα υπό επίχωση
- Αντικατάσταση στηθαίων ασφαλείας



# Συμπεράσματα

- Ολοκληρωμένη λύση αποκατάστασης / διατήρησης υφιστάμενων γεφυρών
- Αποφυγή της χρονοβόρας και πιο ακριβής λύσης της καθαίρεσης και ανακατασκευής
- Διατήρηση κυκλοφορίας στην υφιστάμενη Ε.Ο. κατά την κατασκευή
- 1<sup>η</sup> Εφαρμογή στην Ελλάδα του EN 1998-3 / ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε γέφυρες
- Υλοποίηση των επεμβάσεων και ενισχύσεων από εγχώριο δυναμικό