

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ & ΠΡΟΒΟΛΟΔΟΜΟΥΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ

X. Μαραβέας, Κ. Τασιούλη και Ζ. Φασουλάκης

X. ΜΑΡΑΒΕΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε.- Σύμβουλοι Μηχανικοί

Αθήνα, Ελλάδα

e-mail: c.maraveas@maraveas.gr

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία παρουσιάζει μία τεχνικοοικονομική σύγκριση μεταξύ σύμμικτης προωθούμενης και προεντεταμένης προβολοδομούμενης γέφυρας επί ενός συγκεκριμένου πραγματικού παραδείγματος που είναι η νέα γέφυρα επί του ποταμού Αχελώου. Η γέφυρα έχει ανοίγματα 47,50m – 80m – 47,50m και διατομή συνολικού πλάτους 15,50μ, ο δε φέρων οργανισμός είναι επί εφεδράνων υψηλής απόσβεσης (HDRB) σε όλες τις στηρίξεις. Οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι ανομοιομορφες με αποτέλεσμα το ένα ακρόβαθρο και το ένα μεσόβαθρο να θεμελιώνονται με επιφανειακή θεμελίωση ενώ τα υπόλοιπα επί πασσάλων. Παρουσιάζεται η σύγκριση των προϋπολογισμών των συγκρινόμενων εναλλακτικών γεφυρών, οι φάσεις κατασκευής κάθε τύπου γέφυρας και τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα υλοποίησης, ο απαιτούμενος εξοπλισμός και τεχνογνωσία όπως και άλλες παράμετροι που μπορεί να επηρεάσουν την απόφαση για επιλογή συγκεκριμένου συστήματος κατασκευής. Περαιτέρω, χρήσιμα σχόλια ως προς παραμέτρους που επηρεάζουν σημαντικά στη λήψη των σχετικών αποφάσεων και παράμετροι που επηρεάζουν σημαντικά το κόστος εξηγούνται διεξοδικά.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η νέα γέφυρα ανήκει στον υπό μελέτη οδικό άξονα Αστακός - Ιόνια Οδός, με αναθέτουσα Αρχή την Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας του ΥΠΟ.ΜΕ.ΔΙ, και εξασφαλίζει τη διέλευση της κυκλοφορίας υπεράνω του ποταμού Αχελώου. Ο ποταμός Αχελώος είναι ο δεύτερος σε μήκος ποταμός της Ελλάδας και το πλάτος του στη θέση του τεχνικού είναι περίπου 70μ. Η ροή του ποταμού είναι συνεχής καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, με βάθος ροής περίπου 6μ. Το ανάγλυφο της περιοχής είναι πεδινό και η περιοχή γεωλογικά συνίσταται από διαφορετικούς σχηματισμούς στις δύο όχθες του ποταμού. Συγκεκριμένα στην ανατολική όχθη συναντάται κυρίως ασβεστόλιθος ενώ στη δυτική όχθη εδαφικοί σχηματισμοί άμμου και αργίλου. Ο άξονας της οδού στη θέση του τεχνικού βρίσκεται οριζοντιογραφικά σε ευθυραμμία και τέμνει υπό γωνία 65° τον άξονα του ποταμού. Μηκοτομικά η ερυθρά της οδού βρίσκεται σε τμήμα κοίλου κυκλικού τόξου ακτίνας 6000μ και σε σχέση με το φυσικό έδαφος είναι υπερυψωμένη κατά περίπου 8μ. Η διατομή στη θέση του τεχνικού έχει πλάτος 15,50μ εκ των οποίων τα 11,50μ καταλαμβάνονται από

το οδόστρωμα και τα υπόλοιπα από τις πλευρικές διαμορφώσεις. Λόγω της συνεχούς ροής του ποταμού, η τοποθέτηση βάθρων εντός της κοίτης του ποταμού καθώς και η σκυροδέτηση πλάκας καταστρώματος επί τόπου με χρήση ξυλότυπου επί συμβατικών ικριωμάτων ήταν απαγορευτική με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση γέφυρας τριών ανοιγμάτων 47,50m–80m–47,50m και χρήση μηχανοποιημένων μεθόδων κατασκευής.

Στο στάδιο της προμελέτης διερευνήθηκαν δύο εναλλακτικοί τρόποι γεφύρωσης του υδραυλικού κωλύματος για την διαμόρφωση του καταστρώματος και για την ίδια διάταξη βάθρων. Η πρώτη λύση είναι η κατασκευή προεντεταμένου συνεχούς καταστρώματος μορφής κιβώτιου με τη μέθοδο της προβολοδόμησης και η δεύτερη είναι η κατασκευή σύμμικτου συνεχούς καταστρώματος με τη μέθοδο της σταδιακής προώθησης. Μεταξύ των δύο επιλέχτηκε από τη Δημόσια Αρχή η κατασκευή γέφυρας με τη μέθοδο της προβολοδόμησης.

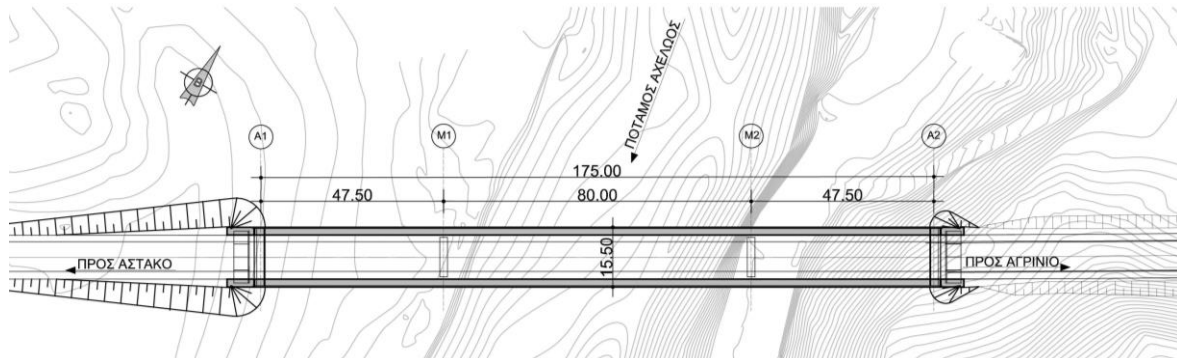


Φωτ. 1: (α)Θέση του νέου τεχνικού και (β) η διατομή του ποταμού στη θέση του τεχνικού

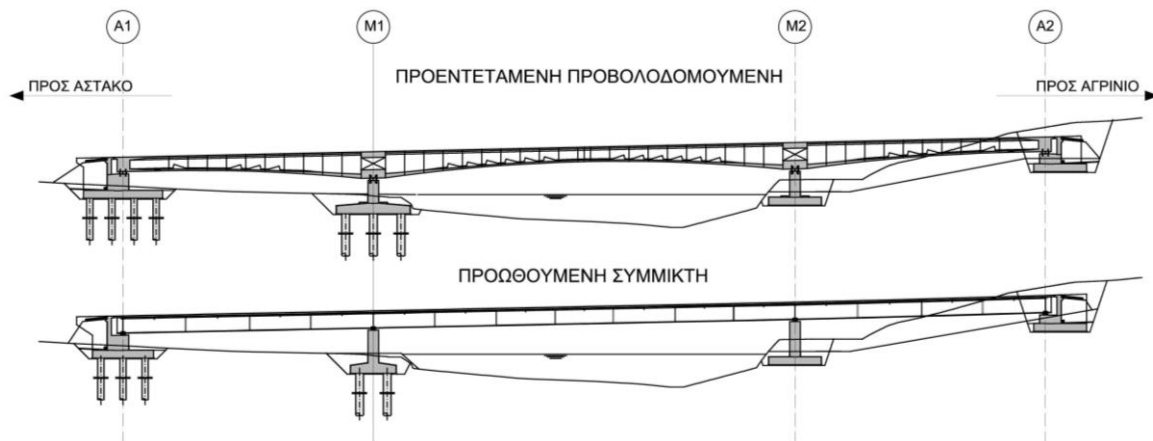
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Στην πρώτη λύση ο φορέας του καταστρώματος της γέφυρας είναι προεντεταμένος, προβολοδομοούμενος και έχει διατομή κιβωτοειδή, με πλευρικούς προβόλους, σταθερού εξωτερικού πλάτους 14.80 μ. Το ύψος των ζυγμάτων μεταβάλλεται από 5.00 μ στη γένεση (κεφαλή) σε 2.75 μ στην κλείδα. Περισσότερες πληροφορίες για τη λύση αυτή (που ήταν και η τελικά επιλεγείσα) υπάρχουν στο [1]. Στην δεύτερη λύση η διατομή του καταστρώματος αποτελείται από τέσσερις χαλύβδινες δοκούς μορφής διπλού ταυ και σταθερού ύψους 3,00μ. Η κάθε κύρια δοκός αποτελείται από 15 σπονδύλους ενωμένους με προεντεταμένες κοχλιωτές συνδέσεις. Στην εγκάρσια διεύθυνση οι δοκοί συνδέονται ανά περίπου 11.5μ με εγκάρσια δικτυώματα. Στο άνω πέλμα μορφώνεται διάφραγμα με αντιανέμιους συνδέσμους. Η πλάκα καταστρώματος είναι σταθερού εξωτερικού πλάτους 14.80μ και πάχους 30cm και συνδέεται με τις κύριες δοκούς με διατμητικούς ήλους. Η κύριες δοκοί μορφώνονται με ελάσματα συγκολλημένα εργοστασιακά και το μήκος τους δεν υπερβαίνει τα 14m. Τα υπόλοιπα μέλη του καταστρώματος μορφώνονται από πρότυπες διατομές γωνιακών. Ο φορέας του καταστρώματος, στην περίπτωση της προεντεταμένης γέφυρας εδράζεται στα μεσόβαθρα και στα ακρόβαθρα μέσω δύο εφεδράνων υψηλής απόσβεσης (HDRB) $\xi=16\%$, τύπου ALGA HDH 1200/144 και στην περίπτωση της σύμμικτης μέσω τεσσάρων εφεδράνων υψηλής απόσβεσης (HDRB) $\xi=16\%$, τύπου ALGA HDH 800/112. Η θεμελίωση, στην περίπτωση της προεντεταμένης γέφυρας, του ακροβάθρου A1 γίνεται με 16 πάσσαλους διαμέτρου $D=120\text{εκ}$ και μήκους $L=31\text{μ}$. Το μεσόβαθρο M1 θεμελιώνεται σε 12 πάσσαλους διαμέτρου $D=150\text{εκ}$ και μήκους $L=37\text{μ}$. Το μεσόβαθρο M2 και το ακροβάθρο A2 θεμελιώνονται σε επιφανειακή

θεμελίωση διαστάσεων 10μ x 15μ. Στο σχεδιασμό της θεμελίωσης στην περίπτωση της σύμμικτης γέφυρας οι αντιδράσεις στη θεμελίωση για τα μόνιμα φορτία είναι κατά 40% μικρότερα από της προεντατεμένης γέφυρας και στη οριακή κατάσταση αστοχίας κατά 30% μικρότερα. Επιπλέον κατά τις φάσεις κατασκευής της προβολοδομούμενης γέφυρας η θεμελίωση θα πρέπει να παραλάβει εκτός από τα κατακόρυφα φορτία και σημαντικές ροπές που προκύπτουν από την οριακή κατάσταση στατικής ισορροπίας λόγω της ασύμμετρης κατανομής των μόνιμων φορτίων και τη δυσμενή κατανομή των κινητών φορτίων εξοπλισμού και ανέμου καθώς και από τις τυχηματικές καταστάσεις απώλειας φορείου ή νωπού σκυροδέματος. Οι παράγοντες αυτοί οδήγησαν σε μείωση των διαστάσεων θεμελίωσης κατά 30% περίπου.



Σχ. 1: Κάτοψη του τεχνικού



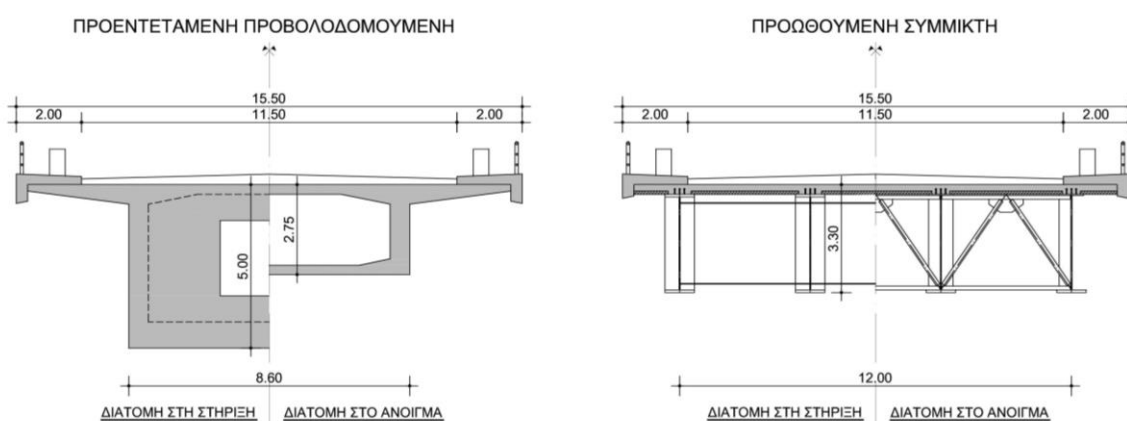
Σχ. 2: Κατά μήκος τομές των δύο εναλλακτικών λύσεων

4. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ-ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή του προεντατεμένου φορέα γίνεται με τη μέθοδο της συμμετρικής προβολοδόμησης (ανά πυλώνα) με επί τόπια σκυροδέτηση των σπονδύλων. Στην προμελέτη έγινε η παραδοχή χρήσης συνολικά δύο φορείων προβολοδόμησης. Πρώτα κατασκευάζεται ο πρόβολος του βάθρου M1 στη συνέχεια του βάθρου M2 και μετά ακολουθεί το κλείσιμο του μεσαίου ανοίγματος, στη συνέχεια του δεξιά ανοίγματος και τέλος του αριστερά. Λόγω του ότι το κατάστρωμα στην τελική κατάσταση εδράζεται επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων η συγκράτηση των προβόλων (μονολιθική σύνδεση) αποκαταστάθηκε με ειδικό σχεδιασμό των εφεδράνων, ώστε να μπορούν να παραλάβουν εφελκυσμούς και να δεσμεύουν τις οριζόντιες μετακινήσεις, και τοποθέτηση μεταλλικού

ικριώματος με γρύλλους που να παραλαμβάνουν τα θλιπτικά φορτία. Ο κύκλος κατασκευής κάθε σπονδύλου διαρκεί 7ημέρες και ο χρόνος κατασκευής κάθε τμήματος αποκατάστασης συνέχειας του καταστρώματος 14 ημέρες. Η συνολική διάρκεια κατασκευής του φορέα της γέφυρας προκύπτει 195 ημέρες. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται συνοπτικά το χρονοδιάγραμμα σταδίων κατασκευής με την αρίθμηση 103-125 και 127-149 να αντιστοιχεί στους επιμέρους σπονδύλους της προβολοδόμησης και την αρίθμηση 101-103, 125-127, 149-151 αντιστοιχεί στα τμήματα αποκατάστασης συνέχειας. Ο χρόνος αναφέρεται σε ημέρες.

Η κατασκευή του σύμμικτου φορέα γίνεται με τη μέθοδο της σταδιακής προώθησης από το ακρόβαθρο Α1. Τόσο στα ακρόβαθρα όσο και στα μεσόβαθρα κατά τις φάσεις κατασκευής θα υπάρχουν τοποθετημένα μεταλλικά κυλίστρα. Για τη μείωση του μήκους του προβόλου κατά τη φάση της προώθησης τοποθετείται μεταλλικό ρύγχος προώθησης. Η διαδικασία της προώθησης περιλαμβάνει 7 σταδιακές προωθήσεις με μέγιστη διαδρομή 47,5μ. Οι επιμέρους προωθήσεις φαίνονται στο σχήμα 5. Αφού ο μεταλλικός φορέας τοποθετηθεί στην τελική του θέση τοποθετούνται φέρουσες πρόπλακες. Στην συνέχεια σκυροδετούνται πρώτα τα ακραία τμήματα μήκους 23,8μ και το κεντρικό μήκους 45,3μ και στο τέλος τα τμήματα στην περιοχή των μεσοβάθρων. Με εκτίμηση μέγιστης στιγμιαίας ταχύτητας προώθησης 1m/min για επτά στάδια προώθησης η συνολική διάρκεια ολοκλήρωσης του μεταλλικού φορέα εκτιμάται 115 ημέρες, και συνολικά περί τις 145 ημέρες.

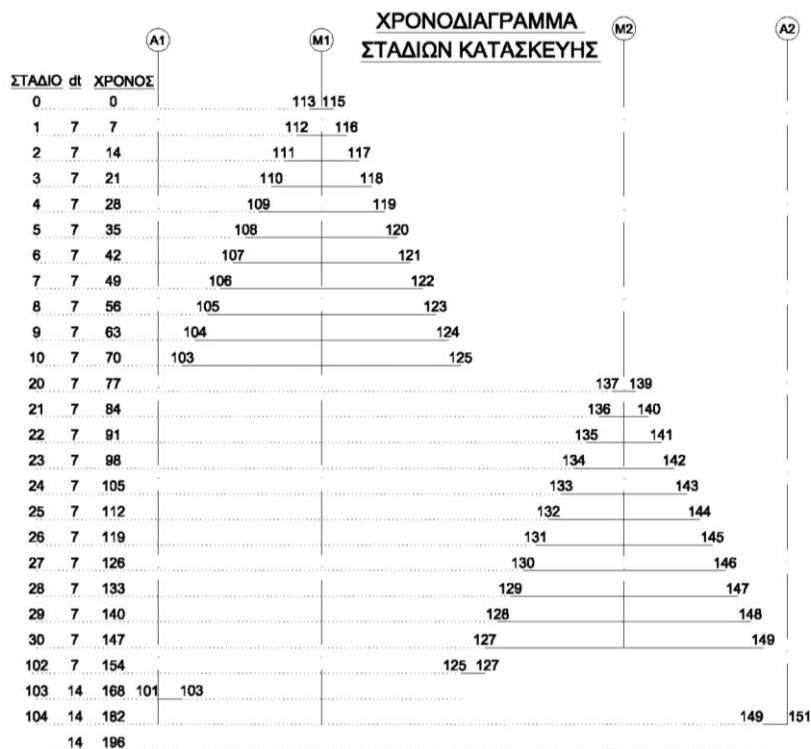


Σχ. 3: Διατομές των δύο εναλλακτικών λύσεων

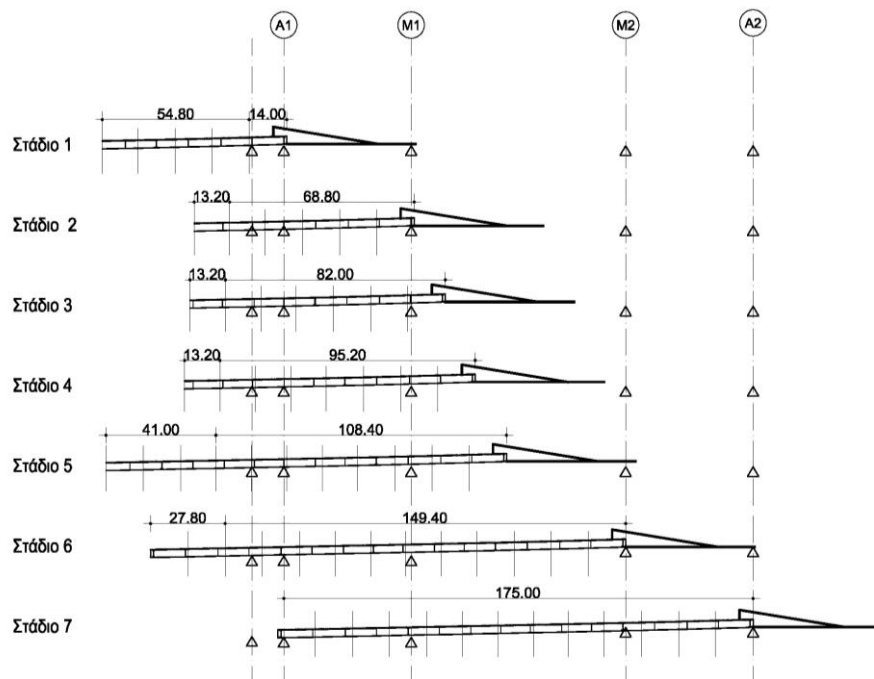
5. ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

Ο προϋπολογισμός των τεχνικών εκτιμήθηκε για εργασίες που περιγράφονται στα Ενιαία Τιμολόγια, ως αναπροσαρμόστηκαν με το ΦΕΚ 363B'/19-02-2013, καθώς και για νέες τιμές που εκτιμήθηκαν όπως προκύπτουν από την αγορά ή και προηγούμενη αντίστοιχη εφαρμογή. Κοινές εργασίες και στα δύο τεχνικά είναι οι εκσκαφές, η κατασκευή μεταβατικών έργων μετά της μεταφοράς τους καθώς και η κατασκευή των θεμελιώσεων (περιλαμβανομένων των δοκιμαστικών φορτίσεων πασσάλων) και των βάθρων. Οι δύο εναλλακτικές λύσεις διαφέρουν κυρίως ως προς τα υλικά των φορέων του καταστρώματος και των εξοπλισμό των φάσεων κατασκευής. Η σύγκριση αυτή αναφέρεται στον προϋπολογισμό δημοπράτησης και όχι στο πραγματικό κόστος κατασκευής που μπορεί να διαφοροποιείται σημαντικά (διαφορετικές εκπτώσεις ανάλογα την επιλεγείσα λύση). Σε συνέχεια παρουσιάζονται το κόστος και οι αντίστοιχες ποσότητες των εργασιών που είναι καθοριστικές για τη διαμόρφωση του συνολικού προϋπολογισμού. Ειδικά αξίζει να

αναφερθεί ότι για την προεντεταμένη γέφυρα στην τιμή του σκυροδέματος του καταστρώματος περιέχεται και η τιμή του φορείου προβολοδόμησης όπως προδιαγράφεται στο σχετικό άρθρο του ενιαίου τιμολογίου. Επίσης η τιμή των εφεδράνων, διαμορφώθηκε από την εταιρεία ΕΛΕΜΚΑ Α.Ε, καθώς δεν προδιαγράφεται αντίστοιχη εργασία στο τιμολόγιο μελετών. Ειδικά για την περίπτωση της προεντεταμένης γέφυρας περιέχεται σε αυτή την τιμή και η ειδική διαμόρφωση τους για να περιορίζονται οι οριζόντιες μετακινήσεις και να μπορούν να παραλάβουν εφελκυσμό, όπως απαιτείται κατά τις φάσεις κατασκευής για τη συγκράτηση των προβόλων. Τα ενιαία τιμολόγια των έργων οδοποιίας δεν προδιαγράφουν το δομικό χάλυβα ούτε και το κόστος της βαφής, με αποτέλεσμα οι τιμές να προκύπτουν απευθείας από προμηθευτές. Στη μέθοδο της προώθησης οι εργασίες κατασκευής, εισκόμησης και αποκόμισης ρύγχους και του εξοπλισμού προώθησης, τα κύλιστρα, το φορείο επιθεώρησης καθώς και η διαμόρφωση της περιοχής αποθήκευσης δοκών, τοποθέτησης εξοπλισμού προώθησης και γενικότερα του ευρύτερου χώρου, δεν μπορούν να προεκτιμηθούν επαρκώς σε επίπεδο δημοπράτησης του έργου καθώς εξαρτώνται από τον εξοπλισμό που διαθέτει ο ανάδοχος κατασκευής του έργου. Τέλος το σύστημα βαφής των μεταλλικών διατομών θα ακολουθεί το ευρωπαϊκό πρότυπο EN ISO 12944:1998, για διάρκεια βαφής > 15 έτη και διαβρωτικό περιβάλλον κατηγορίας C4. Με βάση αυτό προτείνεται να εφαρμοστούν 3 συνολικά στρώσεις βαφής (δύο εσωτερικές εποξειδικές στρώσεις και μια πολυουραιθανική εξωτερικά), συνολικού πάχους 280 μm το κόστος των οποίων έχει προκύψει επίσης από προμηθευτές.



Σχ. 4: Χρονοδιάγραμμα κατασκευής με συμμετρική προβολοδόμηση



Σχ. 5: Στάδια κατασκευής με τη μέθοδο της προώθησης

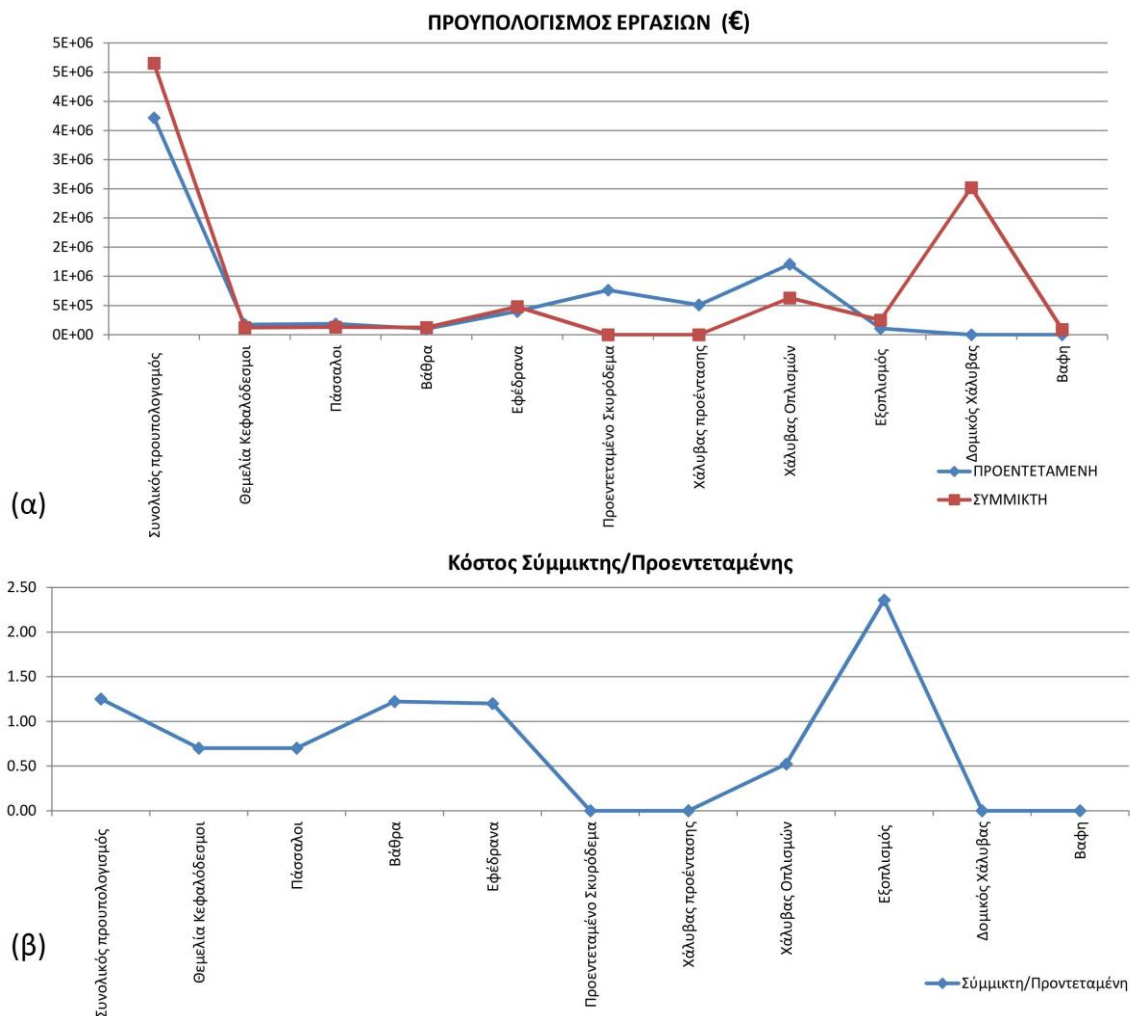
Κόστος Εργασιών (€)	Προεντεταμένη	Σύμμικτη
Θεμέλια/Κεφαλόδεσμοι	173305	121313
Πάσσαλοι	186440	130508
Βάθρα	99942	122216
Εφέδρανα	400000	480000
Προεντεταμένο Σκυρόδεμα	764400	-
Χάλυβας Προέντασης	510000	-
Χάλυβας Οπλισμών	1207500	630000
Δομικός Χάλυβας	-	2520000
Βαφή μεταλλικών	-	90000
Εξοπλισμός κατασκευής	106000	250000
Σύνολο	3716830	4652051

Πιν 1: Προϋπολογισμός κύριων εργασιών σε ευρώ

6. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο προϋπολογισμός δημοπράτησης της προεντεταμένης γέφυρας είναι μικρότερος κατά 75% από αυτόν της σύμμικτης (Πίνακας 1). Στη διαμόρφωση όμως του προϋπολογισμού της σύμμικτης γέφυρας εμπεριέχονται περισσότερες παράμετροι με αβεβαιότητα (τιμή του χάλυβα και κόστος εξοπλισμού) που εξαρτώνται από τον κατασκευαστή και τη χρονική περίοδο. Εκτός από το αρχικό κόστος, το κόστος συντήρησης της προβολοδομούμενης

γέφυρας εκτιμήθηκε μειωμένο. Για την σύμμικτη γέφυρα προβληματική είναι η συντήρηση της επιφάνειας μεταξύ των μεταλλικών δοκών με τη πλάκα σκυροδέματος. Δεδομένων των εν γένει αδυναμιών των αρμοδίων φορέων να διεξάγουν συστηματικές επιθεωρήσεις και να βρίσκουν χρηματοδότηση για επισκευές είναι σαφώς ένα μειονέκτημα. Όσον αφορά τον χρόνο κατασκευής η κατασκευή της σύμμικτης γέφυρας απαιτεί μικρότερο χρόνο άλλα δεν έχουν ληφθεί υπόψη ο χρόνος που προαπαιτείται για την εργοστασιακή κατασκευή και προετοιμασία των μεταλλικών μελών καθώς και η δυνατότητα του κατασκευαστή να εφαρμόσει προβολοδόμηση με περισσότερα από δύο φορεία. Περαιτέρω αξιολογήθηκε ότι ο εξοπλισμός προώθησης είναι πιο ειδικός και ενδεχόμενα μη άμεσα διαθέσιμος. Έτσι επιλέχθηκε η λύση της προβολοδομούμενης γέφυρας από προεντεταμένο σκυρόδεμα [1].



Σχ. 6: α) Προϋπολογισμός, β) Σύγκριση κόστους κατασκευής των δύο εναλλακτικών.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Maraveas, C., Tasiouli, K., Miamis, K., The new, balanced cantilever, bridge over Acheloos river in Greece, Paper No. 76, Concrete 2013 – 26th Conference of Concrete Institute of Australia, Queensland, Australia, 2013.

COMPOSITE & CANTILEVER CAST BRIDGE COMPARED TECHNO-ECONOMICALLY

C. Maraveas, K. Tasiouli και Z. Fasoulakis

C. MARAVEAS PARTNERSHIP-Consulting Engineers

Athens, Greece

e-mail: c.maraveas@maraveas.gr

SUMMARY

The paper presents a techno-economic comparison between a steel composite bridge constructed by incremental launching method and a symmetric balanced cantilever concrete bridge over the river Acheloos in Greece. The topology and geology of the region posed several challenges regarding the selection of the structural system and the construction method. The bridge has three spans of length 47.5m – 80m – 47.5m and the deck is supported exclusively on high damping rubber bearings, due to the poor geotechnical / foundation conditions, which differed considerably among the piers. The initial estimated cost, the construction time schedule and equipment as well as the technical “know-how” are presented in this paper. The main factors that influence the final decision and the cost are explained thoroughly.