

# Επιλογή κατασκευαστικής μεθόδου Οδογέφυρας μεγάλου μήκους για διάφορες προτεραιότητες στα Κριτήρια συμμόρφωσης

## Selection of construction method for a long Highway Bridge with various priorities of compliance Criteria

Νικόλαος ΤΕΓΟΣ-Α<sup>1</sup>, Γεώργιος ΑΡΕΤΟΥΛΗΣ-Β<sup>2</sup>

*Λέξεις κλειδιά: οδογέφυρα, κατασκευαστική μέθοδος, πολυκριτηριακή ανάλυση, αισθητική*  
*Keywords: highway bridge, construction method, multicriteria analysis, aesthetics*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Κατά την Προκαταρκτική Μελέτη κάθε οδογέφυρας τίθεται το ερώτημα περί της επιλογής του κατά περίπτωση καταλληλότερου Είδους της γέφυρας. Το ερώτημα θεωρείται κρίσιμο, καθόσον η απάντησή του σχετίζεται όχι μόνο με την Οικονομικότητα της κατασκευής, αλλά και την ικανοποίηση πληθώρας άλλων κριτηρίων συμμόρφωσης. Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον καθορισμό ενός αξιόπιστου Συστήματος υποστήριξης αποφάσεων αναφορικά με το είδος των Οδογεφυρών. Στο πλαίσιο της Εργασίας αναφέρονται όλες οι σύγχρονες κατασκευαστικές μέθοδοι των οδογεφυρών, ενώ παράλληλα καθορίζονται όλα εκείνα τα Κριτήρια αξιολόγησης και συμμόρφωσης που διέπουν σήμερα το σχεδιασμό των γεφυρών. Τα κριτήρια κατόπιν εντάσσονται στην καταλληλότερη μέθοδο Πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου, με προσαρμοσμένες κάθε φορά προτεραιότητες (βάρη) κριτηρίων στις ειδικές συνθήκες κάθε έργου, δύναται να οδηγήσει στην κατά περίπτωση βέλτιστη επιλογή του είδους γέφυρας. Ως εφαρμογή αντιμετωπίζεται γέφυρα της Κρήτης με προτεραιότητα στο κριτήριο της Αισθητικής.

**ABSTRACT :** In the Preliminary Design Phase of a highway bridge project, a critical question arises concerning the selection of the most suitable bridge type. The answer is related not only to Cost-effectiveness, but also to the satisfaction of a number of conflicting compliance criteria. The current study is concerned with the development of a reliable Decision Support System with respect to that kind of selection. In the context of this study, all contemporary construction methods of concrete highway bridges are defined. Furthermore, certain compliance criteria governing the design of bridges are established and then incorporated within a Multicriteria analysis method. The implementation of this method, with criteria priorities (weights) adapted to the specific conditions of each examined bridge project, could lead to the optimal selection of bridge type. A bridge project in Crete is used as a case study, with priority given to the criterion of Aesthetics.

---

<sup>1</sup> Υποψήφιος Διδάκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., email: [tegnick@yahoo.gr](mailto:tegnick@yahoo.gr)

<sup>2</sup> Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., email: [garet@civil.auth.gr](mailto:garet@civil.auth.gr)

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σύγχρονες κατασκευαστικές μέθοδοι των οδογεφυρών είναι η Συμβατική (Χυτή επί τόπου), η Προκατασκευή, η Προώθηση, η Προβολοδόμηση και η Αυτοφερόμενου Προωθούμενου Μεταλλότυπου (Σταθόπουλος, 2002). Εκ των πέντε κατασκευαστικών μεθόδων οι οποίες απασχολούν την παρούσα εργασία, οι δύο, η Προκατασκευή και η Προώθηση αποδίδουν φέρον σύστημα φορέα επί εφεδράνων και ως εκ τούτου επιδέχονται αντισεισμική κάλυψη με σεισμική μόνωση, ενώ οι υπόλοιπες, δηλαδή η Συμβατική, η Προβολοδόμηση και η Αυτοφερόμενου Προωθούμενου Μεταλλότυπου επιδέχονται ως προς το φέρον σύστημά τους μονολιθικό αποτέλεσμα, γεγονός που τις εντάσσει σε πλεονεκτική θέση εν συσχετισμώ με την αιχμή της σημερινής Γεφυροποιίας, καθώς αυτή η αιχμή χαρακτηρίζεται από επιστροφή στη μονολιθικότητα (Pötzl and Schlaich, 1996, Τέγος κ.ά., 1999). Ο όρος αυτός σημαίνει τη μονολιθική σύνδεση του φορέα με τα μεσόβαθρα, με αρμούς μόνο στα ακρόβαθρα και ει δυνατόν απαλοιφή και αυτών (Pötzl, 1996). Οι μονολιθικές γέφυρες αποτελούν ανθεκτικότερες, αισθητικότερες και αντισεισμικότερες κατασκευές, αν και από την άλλη μεριά παρουσιάζουν μεγάλη ευπάθεια έναντι των λειτουργικών καταναγκασμών (συστολοδιαστολές) (Τέγος και Χαλάτης, 2003).

Παλαιότερα ως κύριο κριτήριο συμμόρφωσης για την επιλογή της βέλτιστης κατασκευαστικής μεθόδου θεωρούνταν το κριτήριο της Οικονομίας (Gavaise et al., 2005). Από την κατασκευή της Εγνατίας Οδού και εντεύθεν ωστόσο αρχίζουν να συνυπολογίζονται στη χώρα μας και άλλα κριτήρια, όπως της Ασφάλειας και της Αισθητικής, τουλάχιστον για την Υπερεθνική αυτή οδό αλλά και για τις Εθνικές οδούς. Τα τελευταία χρόνια διάφορες μέθοδοι Πολυκριτηριακής ανάλυσης, αλλά και ορισμένες άλλες παρεμφερείς (Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα κ.ά.), χρησιμοποιούνται διεθνώς για τη λήψη αποφάσεων, καθώς μέσω αυτών εξετάζονται και αξιολογούνται εναλλακτικές λύσεις για διάφορες περιπτώσεις καταλληλότητας τεχνικών έργων, μεταξύ των οποίων και οι γέφυρες.

Ειδικότερα, σε ό,τι αφορά τις εφαρμογές των ανωτέρω σε γέφυρες, οι Penadés-Plà et al. (2016) επιχειρούν μια ανασκόπηση των Πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης απόφασης που εφαρμόζονται στο βιώσιμο σχεδιασμό γεφυρών, ο οποίος συνυπολογίζει οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ο Farkas (2011) πραγματοποιεί μία πολυκριτηριακή σύγκριση τριών διαφορετικών τύπων γέφυρας με τη μέθοδο AHP, όχι όμως ως προς την κατασκευαστική τους μέθοδο αλλά ως προς το είδος του φέροντα οργανισμού τους. Ο Pan (2008) παρουσιάζει μια προσέγγιση για την επιλογή της καταλληλότερης κατασκευαστικής μεθόδου γέφυρας, με εφαρμογή της Πολυκριτηριακής μεθόδου fuzzy AHP. Την ίδια Πολυκριτηριακή μέθοδο προτείνουν και οι Chaphalkar and Shirke (2013) εν συνδυασμώ με μία δεύτερη, την fuzzy TOPSIS, επίσης για την επιλογή του είδους του φέροντος οργανισμού μιας γέφυρας, συγκρίνοντας κατόπιν τα αποτελέσματα των δύο Πολυκριτηριακών μεθόδων. Οι Otayek and Jrade (2016) προτείνουν για τη βελτιστοποίηση της επιλογής είδους φέροντος οργανισμού γέφυρας, ένα Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων το οποίο βασίζεται

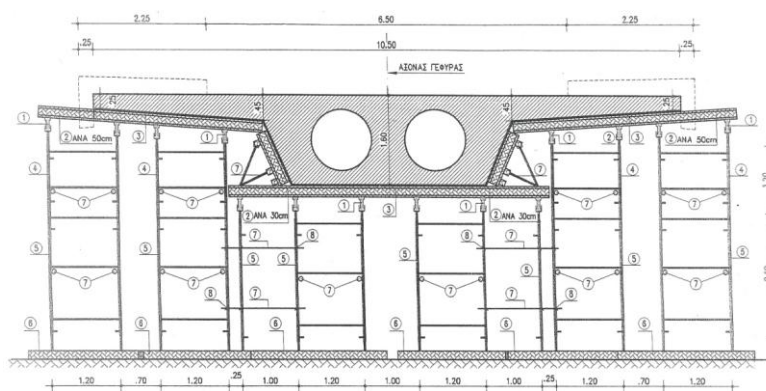
στη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και αξιοποιεί βάση δεδομένων από παλαιότερα έργα γεφυρών. Εν κατακλείδει, αναφέρεται η περίπτωση των Balali et al. (2014a) οι οποίοι παρουσιάζουν τη χρήση της Πολυκριτηριακής μεθόδου PROMETHEE για την επιλογή τόσο του κατάλληλου υλικού, όσο και της κατάλληλης κατασκευαστικής μεθόδου αλλά και του φέροντα οργανισμού μιας γέφυρας, μέσω μιας μελέτης περίπτωσης έργου.

Στην παρούσα Εργασία λαμβάνεται υπόψιν πλειάδα κριτηρίων συμμόρφωσης, τα οποία αξιοποιούνται στο πλαίσιο εφαρμογής ενός προτεινομένου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την επιλογή κατασκευαστικής μεθόδου οδογέφυρας μεγάλου μήκους, το οποίο βασίζεται σε μια κατάλληλη για την περίπτωση μέθοδο Πολυκριτηριακής ανάλυσης. Εκτός των άλλων, επιχειρείται μια ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος καταλληλότητας επιλογής κατασκευαστικής μεθόδου, μέσω διαφόρων ιεραρχήσεων των προτεινομένων κριτηρίων συμμόρφωσης, με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων χρησίμων στους διαχειριστές και στους μελετητές των κατασκευών των γεφυρών.

## 2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΟΔΟΓΕΦΥΡΩΝ

### 2.1. Συμβατική (Χυτή επί τόπου)

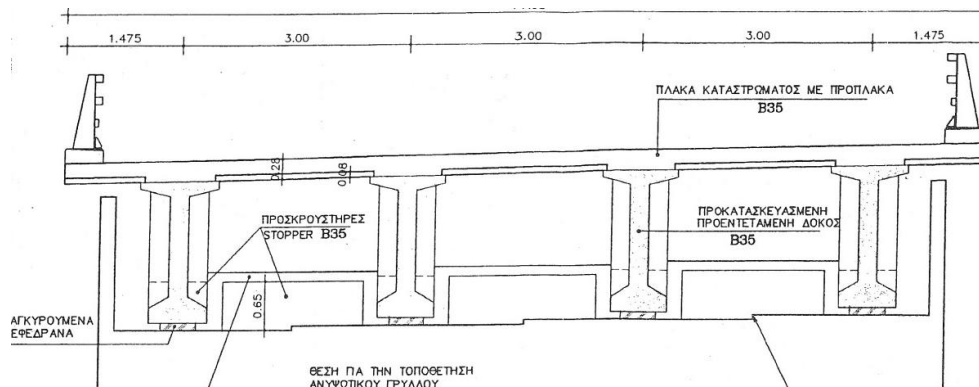
Πρόκειται για παραδοσιακή μέθοδο κατασκευής για γέφυρες μικρού ύψους, κάτω των 10 μ. Με τον όρο νοούνται οι χυτές γέφυρες επί ικριωμάτων που εδράζονται στο φυσικό έδαφος και δεν αναρτώνται. Σημειώνεται ωστόσο ότι χυτές επί τόπου είναι και οι Αυτοφερόμενοι προωθούμενου μεταλλότυπου, όπου όμως τα ικριώματα αναρτώνται από προϋπάρχοντα μέλη του συστήματος (βάθρα). Κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η απόκτηση μονολιθικού αποτελέσματος, το αισθητικό της αποτέλεσμα, καθώς και η οικονομικότητά της. Βασικό μειονέκτημά της αποτελεί η δυνατότητα εφαρμογής της μόνο για γέφυρες χαμηλού ύψους και για ποταμογέφυρες τους θερινούς μήνες. Τέλος, η Συμβατική μέθοδος παρουσιάζει τις χαμηλότερες αναλώσεις, συγκριτικώς με τις υπόλοιπες.



Σχήμα 1. Φορέας γέφυρας χυτός επί ικριωμάτων εδραζομένων στο έδαφος

## 2.2. Προκατασκευή

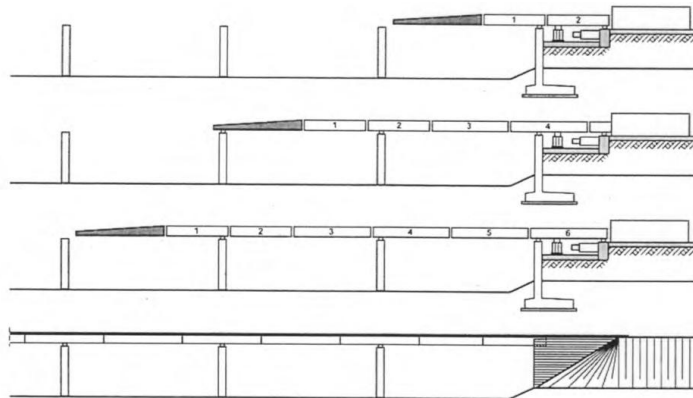
Κύριο χαρακτηριστικό της κατασκευαστικής μεθόδου είναι ότι η πλάκα καταστρώματος σκυροδετείται πάνω σε πρόπλακες που εμπεριέχουν τον οπλισμό. Το πεδίο εφαρμογής της Προκατασκευής είναι σε φατνώματα μήκους 30 έως 40 μ. Βασικά πλεονεκτήματα της Προκατασκευής είναι ότι πρόκειται για απλό και ταχύ τρόπο κατασκευής, όπως επίσης και το ελάχιστο ανά τ.μ. κόστος κατασκευής. Επιπρόσθετα, είναι εφαρμόσιμη για οποιοδήποτε ύψος. Από την άλλη, σημαντικά μειονεκτήματά της αποτελούν ο αυξημένος αριθμός εφεδράνων που απαιτεί και επακόλουθα το μεγάλο κόστος συντήρησής της, η χαμηλή αισθητική της, καθώς και το γεγονός ότι η εν λόγω μέθοδος δεν επιτρέπεται σε γέφυρες μεγάλης σπουδαιότητας. Όσον αφορά τις αναλώσεις υλικών της Προκατασκευής, αυτές είναι σε σκυρόδεμα: 0,50 έως 0,55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, σε χάλυβα: 100 έως 110 kg/m<sup>3</sup>, και σε προένταση: 20 έως 25 kg/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 2. Διατομή φορέα γέφυρας με προκατασκευασμένες δοκούς

## 2.3. Προώθηση

Σύμφωνα με τη μέθοδο της Προώθησης, το κατάστρωμα κατασκευάζεται κατά σπονδύλους πίσω από το ένα ακρόβαθρο και προωθείται ωθούμενο από προωθητήρες. Το οικονομικό πεδίο εφαρμογής της είναι σε μήκη γεφυρών 150-800 μ., ενώ τα φατνώματά της είναι μήκους 40 έως 60 μ. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός της δεν είναι πολύ ακριβός, κι έτσι η μέθοδος είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στους κατασκευαστές. Ως βασικά πλεονεκτήματά της αναφέρονται ο μειωμένος χρόνος κατασκευής (4 εργατοώρες / κ.μ. σκυροδέματος) που απαιτεί, καθώς και η αυξημένη αντοχή της σε απρόβλεπτα φορτία. Τα μειονεκτήματά της σχετίζονται με την υψηλή κατανάλωση χάλυβα προέντασης και εφεδράνων, αλλά και την ανέφικτη μονολιθική σύνδεση του φορέα με τα βάθρα. Οι αναλώσεις της μεθόδου σε σκυρόδεμα είναι: 0,25 + L/110 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (όπου L = μήκος φατνώματος), σε χάλυβα: 110 έως 120 kg/m<sup>3</sup> και σε προένταση: 12,5 + 0,5 L kg/m<sup>2</sup>.



**Σχήμα 3.** Διαδοχικά στάδια εφαρμογής της κατασκευαστικής μεθόδου της Προώθησης

#### 2.4. Προβολοδόμηση

Η κατασκευαστική μέθοδος της Προβολοδόμησης περιλαμβάνει φορέα μεταβλητού πάχους, καθώς και μονολιθική σύνδεση φορέα – μεσοβάθρων, ενώ ο απαιτούμενος εξοπλισμός της αποτελείται από δύο φορεία μήκους 5 μ. έκαστο. Το πεδίο εφαρμογής της έχει ως κάτω όριο κεντρικού ανοίγματος τα 70-80 μ., ενώ ως άνω όριο τα 240 μ. Ουσιώδη πλεονεκτήματα της Προβολοδόμησης αποτελούν η πλήρης ανεξαρτητοποίηση της κατασκευής από το τοπογραφικό υπόβαθρο και η τυποποίηση της μεθόδου, χάρη στην οποία επιτυγχάνεται μειωμένο κόστος εργασίας. Από την άλλη, ως κύριο μειονέκτημά της μπορεί να θεωρηθεί το γεγονός ότι απαιτείται μεγάλη εμπειρία και ετοιμότητα για την επιτυχή ένωση των δύο απέναντι ημιπροβόλων, διαδικασία που αν αποτύχει, ενέχει βαρύτερες συνέπειες για την ασφάλεια του συνόλου του έργου. Οι αναλώσεις της σε σκυρόδεμα είναι:  $0,40 + 0,0035L \text{ m}^3/\text{m}^2$ , σε χάλυβα: 110 έως  $130 \text{ kg/m}^3$ , ενώ σε προένταση:  $28 + 0,25L \text{ kg/m}^2$ , (όπου  $L$  = μήκος φατνώματος).



**Σχήμα 4.** Εφαρμογή της Προβολοδόμησης στη γέφυρα Μετσοβίτικου της Εγνατίας

## 2.5. Αυτοφερόμενου Προωθούμενου Μεταλλότυπου

Πρόκειται για κατασκευαστική μέθοδο νέας γενιάς, σύμφωνα με την οποία η κατασκευή πραγματοποιείται φάτνωμα προς φάτνωμα με σκυροδέτηση επί μεταλλότυπου αναρτημένου από προωθούμενο σταδιακώς φορείο. Η μέθοδος του Αυτοφερόμενου Προωθούμενου Μεταλλότυπου είναι ανταγωνιστική της Προώθησης και το πεδίο εφαρμογής της είναι σε μήκη φάτνωμάτων από 30 έως 60 μ. Ένα βασικό χαρακτηριστικό της είναι η εφικτή μονολιθική σύνδεση φορέα – μεσοβάθρων. Άλλα πλεονεκτήματα που διαθέτει η μέθοδος είναι η ταχεία παραγωγή γεφυρών μεγάλου μήκους, αλλά και το γεγονός ότι είναι εφικτή για μεγάλα ύψη. Στον αντίποδα, μειονεκτήματά της αποτελούν ο βαρύς και δαπανηρός εξοπλισμός ο οποίος απαιτείται, όπως επίσης και η αρκετά χρονοβόρα εγκατάσταση και διάλυση του απαιτούμενου φορείου. Σε ό,τι αφορά τις αναλώσεις της μεθόδου, αυτές είναι, σε σκυρόδεμα: 0,65 έως 0,70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, σε χάλυβα: 110 έως 120 kg/m<sup>3</sup>, ενώ σε προένταση: 35 kg/m<sup>2</sup>.



Σχήμα 5. Κατασκευή γέφυρας με τη μέθοδο Αυτοφερόμενου Προωθούμενου Μεταλλότυπου

## 3. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η επιλογή της βέλτιστης κατασκευαστικής μεθόδου μιας οδογέφυρας προϋποθέτει τη στήριξη σε κάποια δεδομένα του προβλήματος τα οποία κατά περίπτωση, άλλα μεν χαρακτηρίζονται ως πρωτεύουσας σημασίας και άλλα ως δευτερευούσης. Τα δεδομένα αυτά γενικώς αφορούνε μεγέθη γεωμετρικά όπως π.χ. μήκος γέφυρας και ύψος από το φυσικό έδαφος κλπ, θέματα αναγλύφου, θέματα ποιότητας εδάφους θεμελίωσης, τοπικά αντισεισμικά δεδομένα, σπουδαιότητα οδικού άξονα όπου εντάσσεται η γέφυρα (αν είναι Επαρχιακή, Εθνική ή Υπερεθνική οδός) κ.ά. Επιπλέον, στα δεδομένα μπορούν να ενταχθούν και ειδικές απαιτήσεις του Κυρίου του έργου αναφορικάς με την εθνική άμυνα, τη συντόμευση του χρόνου παράδοσης του έργου, καθώς και πιθανές ειδικότερες απαιτήσεις αισθητικής που πρέπει αυτό να πληροί κ.ά. Τα κυριότερα από τα αναγκαία δεδομένα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τη διαδικασία

επιλογής της βέλτιστης λύσης για την κατασκευή μιας οδογέφυρας, δίνονται αναλυτικά στο Υπόμνημα του Σχήματος 1, στην παράγραφο 5.1. Εξυπακούεται ότι οι 22 περιπτώσεις Δεδομένων που δίνονται στο προαναφερθέν Υπόμνημα δε δύνανται να συνυπάρχουν όλα σε ένα εξεταζόμενο πρόβλημα, αλλά ενεργοποιούνται κάθε φορά μόνο εκείνα που έχουν σχέση με αυτό.

#### **4. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ**

Μέχρι σήμερα διάφοροι ερευνητές ασχολήθηκαν αποκλειστικά με το ζήτημα του κόστους ορισμένων εκ των πέντε ειδών γεφυρών, υπηρετώντας μόνο το κριτήριο της οικονομίας και αξιοποιώντας στοιχεία από γέφυρες της Εγνατίας Οδού (Φραγκάκης και Λαμπρόπουλος, 2004, Αντωνίου κ.ά., 2016). Στην παρούσα Εργασία αξιοποιείται πλειάδα Κριτηρίων συμμόρφωσης όπως: η Κατασκευασσιμότητα, η Ασφάλεια, η Ανθεκτικότητα, η Οικονομία, η Λειτουργικότητα, η Αισθητική και η Ένταξη στο Περιβάλλον. Σύντομες διευκρινίσεις περί της εννοίας και του περιεχομένου εκάστου εκ των Κριτηρίων συμμόρφωσης δίνεται παρακάτω.

##### **Κατασκευασσιμότητα**

Με τον όρο νοείται η ευχέρεια της κατασκευής ενός τεχνικού έργου, πράγμα που δεν είναι καθόλου αυτονόητο, καθόσον υπάρχουν και λύσεις ακόμη και μη κατασκευάσιμες σε ορισμένες περιπτώσεις έργων. Ενίοτε πάντως, λύσεις οικονομικώς ασύμφορες χαρακτηρίζονται καταχρηστικώς και αυτές ως μη κατασκευάσιμες. Στην παρούσα Εργασία, το συγκεκριμένο κριτήριο χρησιμοποιείται ως «υπερκριτήριο», έχοντας ξεχωριστή σημασία εν σχέσει με τα υπόλοιπα κριτήρια, κατά τη διαδικασία εφαρμογής του προτεινόμενου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.

##### **Ασφάλεια**

Υπό τον όρο Ασφάλεια νοείται αφενός η κανονιστικώς προκύπτουσα, εν προκειμένω για μια γέφυρα, στην οποία πρέπει να προστίθεται και η προκύπτουσα από την υπερστατικότητα υπερασφάλεια. Στις σεισμοπαθείς χώρες ως ασφάλεια εννοείται κυρίως η αντισεισμική.

##### **Ανθεκτικότητα**

Ως τέτοια νοείται η ελαχιστοποίηση των αναγκών συντήρησης στο χρόνο ζωής του έργου. Στην περίπτωση των γεφυρών, οι ανάγκες συντήρησης συνδέονται με τη χρησιμοποίηση εφεδράνων, αρμών και σεισμικών αποσβεστήρων.

##### **Οικονομία**

Το κριτήριο αποδίδει την επιδιωκόμενη μείωση του κόστους, χωρίς όμως εκπτώσεις στη διαχείριση των υπολοίπων κριτηρίων. Διευκρινίζεται ότι ο όρος περιλαμβάνει δύο εκδοχές: Η πρώτη σχετίζεται μόνο με το κόστος κατασκευής

(βραχυπρόθεσμη), ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει πέραν τούτου και το κόστος συντήρησης στο χρόνο ζωής του έργου. Στο πλαίσιο της Εργασίας, εννοείται κυρίως το κόστος κατασκευής, μολονότι είναι γνωστό ότι ενίοτε το κόστος συντήρησης αγγίζει το κόστος κατασκευής.

### **Λειτουργικότητα**

Η συνήθης έννοια της λειτουργικότητας συνδέεται με την ποιότητα της κυκλοφορίας (κυκλοφοριακή άνεση), ωστόσο εδώ ως Λειτουργικότητα νοείται η επάρκεια ανταπόκρισης του φέροντος οργανισμού έναντι των καταναγκασμών (συστολοδιαστολών καταστρώματος) στην κατάσταση λειτουργίας της γέφυρας. Σημειώνεται ότι η χρησιμοποίηση εφεδράνων αποτελεί τη βέλτιστη αντιμετώπιση του προβλήματος της λειτουργικότητας.

### **Αισθητική**

Η Αισθητική στον τομέα των Γεφυρών περιλαμβάνει καθιερωμένους κανόνες που σχετίζονται με γεωμετρικές επιλογές, οι οποίες προσπαθούν να συμβιβάσουν την ασφάλεια και τις γεωμετρικές αναλογίες που προάγουν την αισθητική του αποτελέσματος. Ενδεικτικώς αναφέρονται: Όλα τα μεσόβαθρα πρέπει να διαθέτουν το ίδιο πλάτος, η μεταβλητότητα του ύψους των διατομών του φορέα (μορφή τόξου) αξιολογείται θετικώς, κ.ά.

### **Ένταξη στο Περιβάλλον**

Η ποιότητα και συνεπώς η καθοριζόμενη βαρύτητα της Ένταξης στο Περιβάλλον έχει μεγάλη συγγένεια με την αισθητική, αλλά δεν αποδίδεται από αυτήν. Η υπάρχουσα αρχιτεκτονική παράδοση, καθώς και το γύρωθεν της γέφυρας τοπίο επηρεάζουν την επιλογή του φορέα και οδηγούν τις επιλογές της γεωμετρίας σε εναρμόνιση με αυτά. Επιπλέον, η έννοια της Ένταξης στο Περιβάλλον συμπεριλαμβάνει την κατά το δυνατόν μικρότερη αλλοίωση του τοπίου και επιβάρυνση του περιβάλλοντος στην περιοχή, από το έργο της γέφυρας.

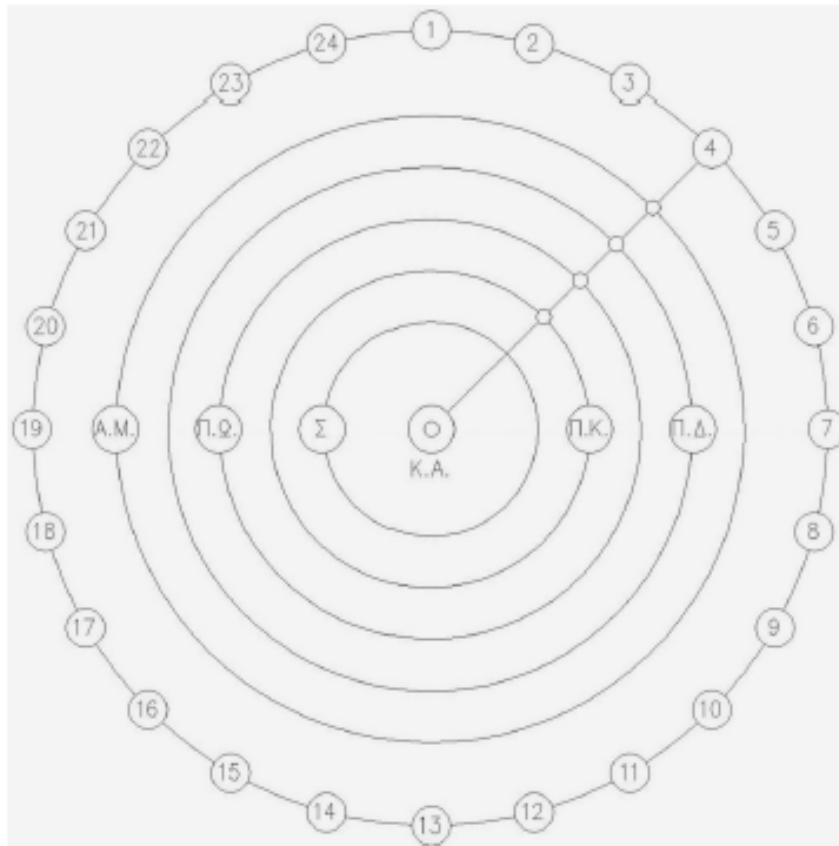
## **5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

### **5.1. Η Κατασκευασιμότητα ως πρώτο Κριτήριο συμμόρφωσης της επιλογής**

Η διαδικασία εφαρμογής του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) για την επιλογή κατασκευαστικής μεθόδου γέφυρας εκκινεί εύλογα από τον εντοπισμό, με βάση τα Δεδομένα του προβλήματος, των λύσεων οι οποίες ανταποκρίνονται στο «υπερκριτήριο» της Κατασκευασιμότητας. Τούτο αποτελεί το πρώτο στάδιο της ολοκληρωμένης αντιμετώπισης του προβλήματος μέσω του ΣΥΑ, και ακολουθεί το δεύτερο στάδιο της εφαρμογής της Πολυκριτηριακής ανάλυσης ώστε να προκύψει η βέλτιστη επιλογή λύσης.

Για τις ανάγκες του εντοπισμού των δυνατών με βάση την Κατασκευασιμότητα λύσεων, προτείνεται το Σχήμα 6. Αυτό εμπεριέχει αφενός κατάλληλο Διάγραμμα





### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- (Κ.Α.) Κέντρο Αποφάσεων, (Σ.) Συμβατική (Χυτή επί τόπου), (Π.Κ.) Προκατασκευή,  
 (Π.Ω.) Προώθηση, (Π.Δ.) Προβολοδόμηση, (Α.Μ.) Αυτοφερόμενος Προωθ. Μεταλλότυπος  
 ① Μήκος γέφυρας, ② Καμπυλότητα γέφυρας εν κατόψει, ③ Ύψος από φυσικό έδαφος < 10m, ④ Ύψος από φυσικό έδαφος > 10m, ⑤ Διάβαση κοιλάδας, ⑥ Διάβαση ποταμού χαμηλής στάθμης τους θερινούς μήνες, ⑦ Διάβαση ποταμού μονίμως υψηλής στάθμης (εκβολές), ⑧ Δυνατότητα πυκνής εγκατάστασης μεσοβάθρων, ⑨ Δυνατότητα αραιάς εγκατάστασης μεσοβάθρων (πυκνότητα < 60m), ⑩ Δυνατότητα πολύ αραιάς εγκατάστασης μεσοβάθρων (πυκνότητα > 60m), ⑪ Επαρχιακή οδός, ⑫ Εθνική οδός, ⑬ Υπερεθνική οδός, ⑭ Σεισμικότητα I, ⑮ Σεισμικότητα II, ⑯ Σεισμικότητα III, ⑰ Σεισμική μόνωση, ⑱ Πιθανότητα Ρευστοποίησης, ⑲ Διασταύρωση με Σεισμικό ρήγμα, ⑳ Επιζητούμενη ταχύτητα κατασκευής, ㉑ Διαθέσιμος εξοπλισμός, ㉒ Ανάγκες εθνικής άμυνας, ㉓, ㉔ Υποδηλώνουν άλλα δεδομένα

**Σχήμα 6.** Διάγραμμα επιλογής εφικτών κατασκευαστικών μεθόδων με βάση τα Δεδομένα και Υπόμνημα συμβολισμών

περιφερειών έξι ομοκέντρων κύκλων των οποίων το κέντρο ονομάζεται Κέντρο Αποφάσεων, και αφετέρου συνημμένο Υπόμνημα που περιλαμβάνει το σύνολο των Δεδομένων που είναι δυνατόν να εμφανιστούν εν γένει στα διάφορα προβλήματα επιλογής κατασκευαστικής μεθόδου και αναφέρονται στην Παράγραφο 3. Στην εξωτερική εκ των έξι περιφερειών του Διαγράμματος σημειώνονται 22 παραπεμπτικοί αριθμοί σε ισαπέχοντα μεταξύ τους σημεία, που αντιστοιχούν στα ισάριθμα δεδομένα του Υπομνήματος. Οι πέντε εσωτερικές περιφέρειες κύκλων εκπροσωπούν τις πέντε κατασκευαστικές μεθόδους που εφαρμόζονται στη σύγχρονη Γεφυροποιία, και συγκεκριμένα με φορά εκ των έσω προς τα έξω: τη Συμβατική (Χυτή επί τόπου), την Προκατασκευή, την Προώθηση, την Προβολοδόμηση και την Αυτοφερόμενου Προωθούμενου Μεταλλότυπου.

Η χρήση του Διαγράμματος είναι απλή και περιλαμβάνει τον εντοπισμό των σημείων στην εξωτερική περιφέρεια που αντιστοιχούν στα Δεδομένα του υπό έρευνα προβλήματος, το σύνολο των οποίων αποτελεί πάντοτε υποσύνολο των 22 δεδομένων του Υπομνήματος. Κατόπιν, τα εν λόγω σημεία (Δεδομένα του προβλήματος) συνδέονται με το Κέντρο των Αποφάσεων μέσω ισάριθμων επιβατικών ακτίνων, και σημειώνονται τα σημεία τομής αυτών μόνο με εκείνες τις εσωτερικές περιφέρειες που εκπροσωπούν κατασκευαστικές μεθόδους που είναι συμβατές με τα εν λόγω Δεδομένα. Εν συνεχεία, εντοπίζονται οι περιφέρειες στις οποίες εμφανίζεται αριθμός σημείων τομής ίσος με εκείνον των Δεδομένων του υπό μελέτη προβλήματος, οπότε οι εφαρμόσιμες λύσεις αντιστοιχούν στις περιφέρειες που ικανοποιούν αυτό το επίταγμα. Κατασκευαστικές μέθοδοι που αντιστοιχούν σε περιφέρειες με αριθμό σημείων τομής μικρότερο του αριθμού των Δεδομένων του προβλήματος απορρίπτονται ως μη ικανοποιούσες το «υπερκριτήριο» της Κατασκευασιμότητας. Για την καλύτερη κατανόηση δίνεται το εξής παράδειγμα: Σε ένα πρόβλημα επιλογής στο οποίο περιλαμβάνεται το Δεδομένο υπ' αριθμόν 4 (ύψος γέφυρας από το φυσικό έδαφος ανώτερο των 10 μ.), το σημείο τομής της αντίστοιχης επιβατικής ακτίνας του Δεδομένου με την περιφέρεια της Συμβατικής μεθόδου κατασκευής, δε σημειώνεται, καθότι η συγκεκριμένη μέθοδος δεν είναι συμβατή με το εν λόγω Δεδομένο.

## **5.2. Βασικές αρχές της Πολυκριτηριακής μεθόδου PROMETHEE**

Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) προτάθηκε από τον J.P. Brans το 1982 και επεκτάθηκε περαιτέρω από τους Brans and Vincke (1985) και Brans et al. (1986), ως μία πολυκριτηριακή μέθοδος σχέσεων υπεροχής. Η PROMETHEE, με ευρεία χρήση σε πολλούς τομείς επιστημονικού και οικονομικού ενδιαφέροντος, μεταξύ των οποίων και στα τεχνικά έργα, έχει ως σκοπό την κατάταξη ενός πεπερασμένου συνόλου εναλλακτικών δράσεων μέσω της αξιολόγησής τους με διάφορα κριτήρια, συχνά αντικρουόμενα μεταξύ τους (Behzadian et al., 2010). Η εν λόγω μέθοδος περιλαμβάνει διάφορες παραλλαγές για την αντιμετώπιση διαφορετικών προβλημάτων απόφασης (PROMETHEE I, II, III, κ.ά.). Σύμφωνα με τη μέθοδο PROMETHEE, μέσω των ανά ζεύγος συγκρίσεων της ανταπόκρισης των εναλλακτικών λύσεων ως προς κάθε κριτήριο, αρχικά δομούνται δυαδικές σχέσεις

υπεροχής για την αναπαράσταση των προτιμήσεων του λήπτη της απόφασης. Στη συνέχεια, οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν η μερική κατάταξη (PROMETHEE I), η πλήρης κατάταξη (PROMETHEE II) και η ανά σταθερά διαστήματα κατάταξη (PROMETHEE III) του πεπερασμένου συνόλου των εναλλακτικών λύσεων (Tzeng and Huang, 2011). Ως εκ τούτου, η μέθοδος κατατάσσει τις εναλλακτικές λύσεις από την καλύτερη στη χειρότερη με βάση τις προτιμήσεις του λήπτη της απόφασης. Ειδικότερα η εφαρμογή της PROMETHEE II, που απασχολεί την παρούσα Εργασία, απαιτεί δύο επιπλέον τύπους πληροφοριών: τα βάρη των κριτηρίων και τη συνάρτηση προτιμήσεων για κάθε κριτήριο (Balali et al., 2014b). Τα βήματα της μεθόδου γίνονται πιο κατανοητά μέσω της εφαρμογής της στη Μελέτη περίπτωσης.

### **5.3. Ιεράρχηση Κριτηρίων συμμόρφωσης**

Τα αναφερθέντα ανωτέρω Κριτήρια συμμόρφωσης εν γένει δε χρησιμοποιούνται ως ισότιμα, αλλά κατά κανόνα ιεραρχούνται κατά περίπτωση. Αυτό βεβαίως αντανακλάται στα διάφορα βάρη (προτεραιότητες) με τα οποία τα κριτήρια εμφανίζονται στην εφαρμογή της Πολυκριτηριακής ανάλυσης. Τονιστέον ότι τα κριτήρια με μικρότερο βάρος από άλλα δε σημαίνει ότι έχουν υποστεί έκπτωση στην ποιότητά τους. Π.χ. εάν δοθεί προτεραιότητα στο κριτήριο της Αισθητικής, τούτο δε σημαίνει ότι υποτιμάται το κριτήριο Ασφαλείας με συνέπεια το έργο να μην έχει το επίπεδο ασφάλειας που προδιαγράφεται από τους Κανονισμούς.

Εξυπακούεται ότι κατά την ιεράρχηση είναι δυνατόν να δοθεί ισότιμο προβάδισμα σε δύο ή ακόμη και σε τρία από τα κριτήρια ταυτόχρονα. Εκείνο, όμως, που πρέπει να αποκλειστεί, εφόσον προβλέπεται πολυκριτηριακή ανάλυση του προβλήματος είναι η ισοτιμία όλων των κριτηρίων, καθόσον τότε δε θα είχε νόημα αυτή. Υπάρχει πάντως μία περίπτωση η οποία θα μπορούσε να διεκδικήσει την ισοτιμία στην ικανοποίηση των κριτηρίων συμμόρφωσης και αυτή είναι η επίτευξη της απόλυτης μονολιθικότητας στο αποτέλεσμα της κατασκευής, κάτι που εξηγεί την έκρηξη επικαιρότητας που αυτή εμφανίζει στη σύγχρονη Γεφυροποιία (Pötzl, 1996). Βεβαίως το εφικτό μιας μονολιθικής λύσης υπάρχει μόνον όταν ικανοποιείται το κριτήριο της Λειτουργικότητας, όπως αυτό εννοείται στην Παράγραφο 4.

Ένα από τα δεδομένα το οποίο διευκολύνει δραστικά την ιεράρχηση μεταξύ των κριτηρίων και θέτει κάποια τάξη στη διαδικασία είναι η Σπουδαιότητα του οδικού άξονα στον οποίο εντάσσεται η υπό επιλογήν γέφυρα, καθώς είναι φυσικό σε μία Επαρχιακή γέφυρα π.χ. εν γένει να επικρατεί το κριτήριο της Οικονομίας, σε μία Εθνική το δίδυμο της Ασφάλειας και της Ανθεκτικότητας και σε μία Υπερεθνική το τρίδυμο της Ασφάλειας, Ανθεκτικότητας και Αισθητικής. Πιο συγκεκριμένα, στον Πίνακα 1 δίνονται για τις τρεις περιπτώσεις Σπουδαιότητας οδού (Επαρχιακή, Εθνική, Υπερεθνική) οι ιεραρχήσεις των Κριτηρίων συμμόρφωσης, καθώς και τα αντίστοιχα βάρη των Κριτηρίων σε καθεμία περίπτωση. Αυτά προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Goal Programming με χρήση του λογισμικού LINDO, αξιοποιώντας αριθμητικές τιμές ιεράρχησης της σχετικής σημασίας των Κριτηρίων για τις τρεις περιπτώσεις Σπουδαιότητας οδού. Αυτές

αποκτήθηκαν με τη βοήθεια καταλλήλου ερωτηματολογίου που απευθύνθηκε σε κορυφαίους μελετητές και κατασκευαστές έργων γεφυροποιίας. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε σε μια κλίμακα με άριστα το 100 να βαθμολογηθούν κατά περίπτωση τα Κριτήρια συμμόρφωσης, ώστε να προκύψει η ποσοτική ιεράρχηση αυτών. Με βάση τις αποκτηθείσες τιμές καθορίστηκαν οι σχέσεις που περιγράφουν τις αποστάσεις των βαρών των κριτηρίων, για τις ανάγκες της Goal Programming.

**Πίνακας 1.** Ιεραρχίες και βάρη Κριτηρίων ανάλογα με την Σπουδαιότητα οδού

Επαρχιακές οδοί		Εθνικές οδοί		Υπερεθνικές οδοί	
Ιεράρχ. Κριτηρίων	Βάρη	Ιεράρχ. Κριτηρίων	Βάρη	Ιεράρχ. Κριτηρίων	Βάρη
1. Οικονομία	0,24	1. Ασφάλεια	0,22	1. Ανθεκτικότητα	0,24
2. Ασφάλεια	0,23	2. Ανθεκτικότητα	0,21	2. Ασφάλεια	0,24
3. Ανθεκτικότητα	0,22	3. Οικονομία	0,18	3. Αισθητική	0,16
4. Λειτουργ/τα	0,12	4. Αισθητική	0,15	4. Ένταξη Περιβ.	0,14
5. Αισθητική	0,10	5. Ένταξη Περιβ.	0,15	5. Οικονομία	0,12
6. Ένταξη Περιβ.	0,09	6. Λειτουργ/τα	0,09	6. Λειτουργ/τα	0,10

Οι τιμές που αναφέρονται σε αυτήν τη «δογματική» κατηγοριοποίηση των βαρών των κριτηρίων εκφράζει προδήλως μέσες ή συνήθεις καταστάσεις. Ωστόσο επιδέχεται αναπροσαρμογής ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπου διέρχεται η οδός και ευρίσκεται η γέφυρα. Οπότε, σε περιπτώσεις περιοχών φυσικού κάλλους για παράδειγμα, είναι δυνατόν να αποκτήσουν μεγαλύτερο βάρος η Αισθητική και η Ένταξη στο Περιβάλλον, παραβλεπομένης της τυχόν αυξησέως του κόστους κατασκευής του έργου.

## 6. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ (CASE STUDY)

### 6.1. Δεδομένα του προβλήματος και εφικτές λύσεις

Ως Μελέτη περίπτωσης (Case study) έχει επιλεγεί η Γέφυρα Γ4 του Βόρειου Άξονα Κρήτης (BOAK) που ευρίσκεται στο τμήμα Γούρνες – Χερσόνησος του Νομού Ηρακλείου, και η οποία έχει μελετηθεί από το μελετητή Δρ. Πολιτικό Μηχανικό Η. Παπαδόπουλο του γραφείου μελετών ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε. της Θεσσαλονίκης. Η Γέφυρα άρχισε να κατασκευάζεται το 2017 με τη μέθοδο της Προβολοδόμησης και διαθέτει τα εξής Δεδομένα: (1) έχει μήκος 440 μ., (4) έχει μέγιστο ύψος από το φυσικό έδαφος 30 μ., (5) είναι κοιλαδογέφυρα, (8) υπάρχει δυνατότητα πυκνής εγκατάστασης μεσοβάθρων, (12) διαθέτει Σπουδαιότητα Εθνικής οδού, (15) η Σεισμικότητα της περιοχής είναι Κατηγορίας II, και (21) διατίθεται ο αντίστοιχος εξοπλισμός για όλες τις κατασκευαστικές μεθόδους, Σχήμα 6. Αναφέρεται επίσης ότι η Γέφυρα ευρίσκεται σε περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, και αυτός είναι ο λόγος που οδήγησε σε προτεραιότητα στα κριτήρια της Αισθητικής και της Ένταξης στο Περιβάλλον, κάτι που αποτυπώνεται και στην εφαρμογή της Πολυκριτηριακής ανάλυσης.

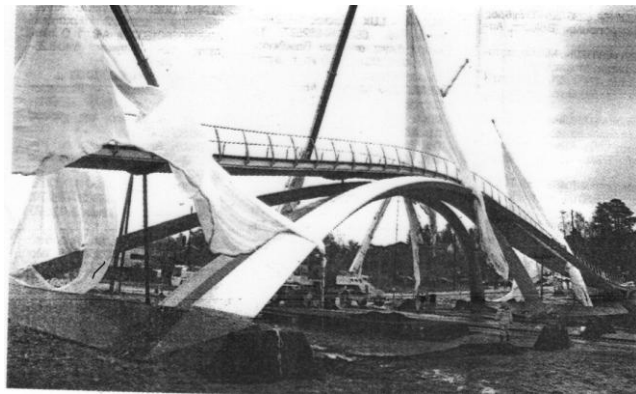
Για τον εντοπισμό των εφικτών από τις πέντε δυνατές λύσεις – κατασκευαστικές μεθόδους, γίνεται χρήση του Διαγράμματος του Σχήματος 6, της Παραγράφου 5.1. Σ' αυτό θα πρέπει να χαραχθούν από το Κέντρο Αποφάσεων 7 ακτίνες προς τους αντίστοιχους προς τα άνωθεν Δεδομένα αριθμούς της εξωτερικής περιφέρειας και να σημειωθούν τα σημεία τομής τους με τις πέντε εσωτερικές περιφέρειες (κατασκευαστικές μεθόδους). Ωστόσο από τις 7 ακτίνες, στο Σχήμα 6 έχει χαραχθεί για λόγους απλοποίησης μόνο η μία που είναι καθοριστική για τη λύση του προβλήματος. Και χαρακτηρίζεται έτσι επειδή δεν ενεργοποιείται το σημείο τομής αυτής της ακτίνας με την εσωτερική περιφέρεια που εκπροσωπεί τη Συμβατική (Χυτή επί τόπου) κατασκευή, γεγονός που οφείλεται στο μεγάλο ύψος (>10 μ.) της Γέφυρας από το έδαφος. Ως εκ τούτου, η λύση αυτή απορρίπτεται. Καθεμία από τις υπόλοιπες 6 ακτίνες των αντιστοιχών Δεδομένων ενεργοποιεί το σύνολο των εσωτερικών περιφερειών, άρα δεν είναι καθοριστικές για τη λύση του προβλήματος, όπερ σημαίνει ότι, βάσει των οικείων Δεδομένων, όλες οι κατασκευαστικές λύσεις θα ήταν εφικτές. Εν κατακλείδι, από το πρώτο στάδιο του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων προέκυψαν ως κατασκευαστικά εφικτές λύσεις: η Προκατασκευή, η Προώθηση, η Προβολοδόμηση και η Αυτοφερόμενου Προωθούμενου Μεταλλότυπου.

## **6.2. Η σημασία της Αισθητικής στη Γεφυροποιία**

Παρόλο που δεν είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί λογικά η αισθητική, εντούτοις η αλληλεπίδραση ανάμεσα στις τεχνικές και στις αισθητικές πλευρές μιας γέφυρας δείχνει ότι η αισθητική καθορίζεται από κάποια κριτήρια. Αυτό σημαίνει ότι πράγματι μπορούν να υπάρξουν οδηγίες για καλό κατασκευαστικό σχεδιασμό. Ως σημαντικότερα κριτήρια αισθητικής για το σχεδιασμό των γεφυρών αναφέρονται: Οι όψεις των γεφυρών πρέπει να είναι συμβατές με το περιβάλλον, αλλά και από μόνες τους να προκαλούν αισθητική ικανοποίηση. Το περιβάλλον εδώ εννοείται, ότι αποτελείται από τα στοιχεία του χώρου και του χρόνου. Το στοιχείο του χώρου αναφέρεται στον χαρακτήρα και την κλίμακα του τοπίου και της τοπογραφίας, ενώ το στοιχείο του χρόνου στην ιστορία και στην τοπική παράδοση της κατασκευής γεφυρών, όπως επίσης και στη στάθμη της τεχνολογίας και του πολιτιστικού επιπέδου (Χαλάτης, 1998).

Υπολογίζεται ότι τα πρόσθετα έξοδα για να βελτιωθεί το αισθητικό αποτέλεσμα μιας γέφυρας κυμαίνονται από 5 μέχρι 20% πάνω από τη λιγότερο δαπανηρή λύση (Χαλάτης, 1998). Σε πολλές περιπτώσεις η πίεση για μείωση του κόστους κατασκευής έχει οδηγήσει σε μη ικανοποιητικές αισθητικά γέφυρες. Από την άλλη, το ενδιαφέρον ορισμένων Υπευθύνων για την αισθητική των γεφυρών τους οδήγησε κατά καιρούς να αναθέσουν σε Αρχιτέκτονες ίσους ή μεγαλύτερους ρόλους από τους Πολιτικούς μηχανικούς σε διαγωνισμούς για σχεδιασμό γεφυρών. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, όπου οι πρώτοι θέλησαν να καλύψουν και το ρόλο των δευτέρων χωρίς να υπάρχουν οι απαιτούμενες προϋποθέσεις, τα αποτελέσματα ήταν ατυχή. Ως χαρακτηριστική περίπτωση αναφέρεται η προ ετών κατασκευασθείσα γέφυρα στη Νορβηγία με σχέδια του Λεονάρντο Ντα Βίντσι, η οποία παρουσιάζει ένα τελείως αεροδυναμικό ύψος στο σχέδιό της και υποτείθεται

ότι προηγείτο της εποχής του σχεδιασμού της. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της αισθητικής της είναι πολύ κατώτερα των προσδοκιών, Σχήμα 7.



**Σχήμα 7.** Η γέφυρα που κατασκευάστηκε στη Νορβηγία με σχέδια του Ντα Βίντσι

### **6.3. Εφαρμογή Πολυκριτηριακής μεθόδου PROMETHEE**

Το δεύτερο στάδιο εφαρμογής του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για τη Μελέτη περίπτωσης αφορά την Πολυκριτηριακή ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε μέσω της μεθόδου PROMETHEE II. Όσον αφορά την απόδοση βαρών στα Κριτήρια για τις ανάγκες της μεθόδου, σημειώνεται ότι δε χρησιμοποιήθηκαν αυτά που αναφέρονται στην Παράγραφο 5.3. και αφορούν μέσες περιπτώσεις έργων, καθώς η εν λόγω Γέφυρα θεωρήθηκε ειδική περίπτωση έργου. Ως εκ τούτου, εφαρμόστηκε εκ νέου από τους συγγραφείς της Εργασίας η μέθοδος Goal Programming με το λογισμικό LINDO. Στα πλαίσια της εφαρμογής της αναπροσαρμόστηκαν τα βάρη των έξι Κριτηρίων, υπέρ της Αισθητικής και της Ένταξης στο Περιβάλλον, λόγω του φυσικού κάλλους της περιοχής στην οποία εντάσσεται το έργο. Τα εξειδικευμένα αυτά βάρη των Κριτηρίων για τις ανάγκες της Μελέτης περίπτωσης φαίνονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Ειδική ιεράρχηση και βάρη Κριτηρίων για την περίπτωση του Case study

<b>Ιεράρχηση Κριτηρίων</b>	<b>Βάρη</b>
1. Αισθητική	0,21
2. Ένταξη στο Περιβάλλον	0,20
3. Ασφάλεια	0,20
4. Ανθεκτικότητα	0,19
5. Οικονομία	0,13
6. Λειτουργικότητα	0,07

Για την εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE II, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό “Visual PROMETHEE”. Κατά τον καθορισμό των ιδιοτήτων των κριτηρίων, επιλέχθηκε αυτά να είναι ποιοτικά (qualitative) και να χρησιμοποιούν την κλίμακα 1-9 για την αξιολόγηση των Λύσεων, έτσι ώστε να μπορούν να αποτυπωθούν ακόμη και οι μικρότερες διαφοροποιήσεις ως προς το βαθμό ικανοποίησής τους. Όσον αφορά τη Συνάρτηση Προτιμήσεων (Preference Function), επιλέχθηκε για όλα τα κριτήρια η Κανονική κατανομή (Usual), χωρίς δηλαδή κατώφλια, καθώς όλα τα κριτήρια είναι ποιοτικά. Ακολούθως, έλαβε χώρα η αξιολόγηση των τεσσάρων κατασκευαστικών μεθόδων ως προς κάθε κριτήριο, (Πίνακας 3), αξιοποιώντας τα αποτελέσματα ερωτηματολογίου προς τους επαΐοντες των γεφυρών που αναφέρονται στην Παράγραφο 5.3.

**Πίνακας 3.** Αξιολόγηση εναλλακτικών κατασκευαστικών λύσεων ως προς κάθε κριτήριο

Λύσεις / Κριτήρια	Αισθητική	Περιβ.	Ασφάλ.	Ανθεκτ.	Οικονομία	Λειτουργ.
Προκατασκευή	3	4	5	3	9	9
Προώθηση	5	5	6	5	7	8
Προβολοδόμηση	9	8	7	8	3	5
Αυτοφ. Μετάλ/που	7	6	7	6	5	7

Με χρήση των παραπάνω δεδομένων εφαρμόστηκε η PROMETHEE II, αποδίδοντας τη θετική ροή (Phi+), την αρνητική ροή (Phi-) και την καθαρή ροή (Phi) καθεμίας κατασκευαστικής λύσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 4.** Θετική, Αρνητική, Καθαρή ροή και Κατάταξη κάθε κατασκευαστικής λύσης

Κατασκ. Λύσεις / Ροές	Phi+	Phi-	Phi	Κατάταξη
Προκατασκευή	0,2007	0,7993	-0,5987	<b>4</b>
Προώθηση	0,4002	0,5998	-0,1996	<b>3</b>
Προβολοδόμηση	0,7324	0,2007	0,5318	<b>1</b>
Αυτοφ/νου Προωθ/νου Μεταλλότυπου	0,5998	0,3333	0,2664	<b>2</b>

Οι καθαρές ροές των εφικτών κατασκευαστικών λύσεων που προέκυψαν από την εφαρμογή της Πολυκριτηριακής μεθόδου, αποδίδουν την τελική τους κατάταξη. Σύμφωνα με αυτήν, την πρώτη θέση κατέχει η Προβολοδόμηση, η οποία αποτελεί συνεπώς και την επιλεγθείσα μέθοδο για την κατασκευή της εν λόγω Γέφυρας.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Εργασία καταγίνεται με ένα ιδιαίτερα πρακτικής σημασίας θέμα, όπως είναι η επιλογή της κατάλληλης κατασκευαστικής μεθόδου οδογέφυρας μεγάλου μήκους. Προτείνεται μία συστηματική διαδικασία η οποία, αξιοποιώντας τα εκάστοτε



δεδομένα του προβλήματος και χρησιμοποιώντας ως «υπερκριτήριο» συμμόρφωσης της Κατασκευασιμότητα, εντοπίζει σε πρώτη φάση από τις πέντε σύγχρονες μεθόδους κατασκευής εκείνες που είναι εφικτές. Κατόπιν, με βάση έξι κριτήρια συμμόρφωσης οι αρχικά επιλεγείσες λύσεις αξιολογούνται και μη τη βοήθεια Πολυκριτηριακής ανάλυσης ιεραρχούνται, οπότε προκύπτει η ζητούμενη. Ως κυριότερα συμπεράσματα της Εργασίας αναφέρονται τα εξής:

1) Τα κριτήρια συμμόρφωσης πρέπει να προσαρμόζονται στην Σπουδαιότητα της οδού στην οποία εντάσσεται η προς επιλογή γέφυρα. Τούτο σημαίνει ότι εν γένει ισχύουν διαφορετικές προτεραιότητες στα κριτήρια συμμόρφωσης για τις Επαρχιακές, τις Εθνικές και τις Υπερεθνικές οδούς.

2) Οι μονολιθικές γέφυρες συγκεντρώνουν αναφορικός με την πληρέστερη ικανοποίηση των κριτηρίων συμμόρφωσης τα περισσότερα πλεονεκτήματα, εν αντιθέσει με τις προκατασκευασμένες γέφυρες οι οποίες, με εξαίρεση το κριτήριο της οικονομίας αλλά και της ταχύτητας κατασκευής, βρίσκονται στους αντίποδες.

3) Η οικονομία και η αισθητική δε μπορούν να βελτιωθούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη, και για ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων οι δύο στόχοι συνδέονται πολύ στενά μεταξύ τους.

4) Μολονότι η αισθητική αναφέρεται στην ωραιότητα αυτής καθεαυτής της γέφυρας και στην επίδρασή της στο περιβάλλον, η διαχείρισή της αποτελεί αποκλειστικώς αρμοδιότητα του Πολιτικού μηχανικού, καθόσον το σύνολον του έργου ταυτίζεται με το φέροντα οργανισμό του.

5) Όπως προέκυψε από την εφαρμογή της στο εξεταζόμενο πρόβλημα, η Πολυκριτηριακή μέθοδος PROMETHEE αποδεικνύεται ένα πολύ ικανοποιητικό εργαλείο που μπορεί να ενταχθεί αποτελεσματικά σε ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, ώστε το τελικό αποτέλεσμα της απόφασης να προκύπτει όχι διαισθητικώς ή εμπειρικώς, αλλά αριθμητικώς μέσω μαθηματικών διεργασιών.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Balali, V., Mottaghi, A., Shoghli, O. & Golabchi, M., “Selection of Appropriate Material, Construction Technique, and Structural System of Bridges by Use of Multicriteria Decision-Making Method”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2431 (2014a) 79-87.

Balali, V., Zahraie, B. & Roozbahani, A., “A Comparison of AHP and PROMETHEE Family Decision Making Methods for Selection of Building Structural System”. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 2, No. 5 (2014b) 149-159.

Behzadian, M., Kazemzadeh, R., Albadvi, A. & Aghdasi, M., “PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications”. *European Journal of Operational Research*, Vol. 200, No. 1 (2010) 198-215.

Brans, J.P. & Vincke, P., “A preference ranking organization method: The Promethee method for multiple criteria decision making”. *Management Science*, Vol. 31, No. 6 (1985) 647-656.



Brans, J.P., Vincke, P. & Mareschal, B., "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method". *European Journal of Operational Research*, Vol. 24, No. 2 (1986) 228–238.

Chaphalkar, N.B. & Shirke, P., "Application of Multi-criteria Decision Making techniques for bridge construction". *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 8 (2013) 3617-3626.

Farkas, A., "Multi-Criteria Comparison of Bridge Designs". *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 8, No. 1 (2011) 173-191.

Gavaise, E., Papaefthimiou, K., Tzaveas, T., Stylianidis, K. & Tegos, I., "The problem of minimum cost for structural members of earthquake resistant bridges", in *Proceedings of the 5th International Conference on Earthquake Resistant Engineering Structures (ERES V)*, Skiathos, Greece (2005).

Otayek, E. & Jrade, A., "Optimization for Bridge Type Selection using Artificial Neural Networks", in *Proceedings of the CSCE 2016 Annual Conference*, London, Canada, June 1-4 (2016).

Pan, N.F., "Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method". *Automation in Construction*, Vol. 17, No. 8 (2008) 958-965.

Penadés-Plà, V., García-Segura, T., Martí, J.V. & Yepes, V., "A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design". *Sustainability 2016*, Vol. 8, No. 12 (2016) 1295.

Pötzl, M., "Robust Bridges - Proposals for Increasing the Integrated Quality" (in German), Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, Germany (1996).

Pötzl, M. & Schlaich, J., "Robust Concrete Bridges without Bearings and Joints". *Structural Engineering International*, Vol. 6, No. 4 (1996) 266-268.

Tzeng, G.H. & Huang, J.J., "Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications", Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, USA (2011).

Αντωνίου, Φ., Κωνσταντινίδης, Δ. & Αρετούλης, Γ., «Προεκτίμηση Κόστους και Απαιτούμενων Ποσοτήτων Υλικών για την Κατασκευή Άνω Διαβάσεων», *Πρακτικά 17ου Πανελληνίου Συνεδρίου Σκυροδέματος: Κατασκευές από Σκυρόδεμα*, Θεσσαλονίκη, 10-12 Νοεμβρίου (2016).

Σταθόπουλος, Σ., «Μέθοδοι κατασκευής γεφυρών», *ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. - 12.12.2002*, Ειδική Έκδοση (2002).

Τέγος, Ι., Μοσχονάς, Ι. & Τσιτώτας, Μ., «Κριτήρια αξιολογήσεως στατικών συστημάτων γεφυρών», *Πρακτικά 13ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος*, Ρέθυμνο, Οκτώβριος (1999), Τόμ. 1, 292-304.

Τέγος, Ι. & Χαλάτης, Ν., «Γέφυρες από σκυρόδεμα υψηλού βαθμού μονολιθικότητας», *Πρακτικά 14<sup>ου</sup> Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος*, Κως, Οκτώβριος (2003), Τόμ. Γ', 449-467.

Φραγκάκης, Ν. & Λαμπρόπουλος, Σ., «Μέθοδος ταχείας εκτίμησης ποσοτήτων εργασιών και προϋπολογισμού δαπάνης οδικών γεφυρών από σκυρόδεμα». *Επιστημονική Έκδοση Τ.Ε.Ε., Θέματα Πολιτικού Μηχανικού και Τοπογράφου Μηχανικού*, Τόμος 24, No. 1-3 (2004) 141-154.

Χαλάτης, Ν., «Αισθητική – Προσαρμογή στο Περιβάλλον», *Πρακτικά Επιστημονικής Διημερίδας ΕΠΕΣ και "Εγνατία Οδός Α.Ε.": Προβλήματα Σχεδιασμού Οδογεφυρών*, Θεσσαλονίκη, 26-27 Φεβρουαρίου (1998).