

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

**Θεμιστοκλής Ν. Νικολαΐδης**

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών,  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάδα,  
e-mail: [think@civil.auth.gr](mailto:think@civil.auth.gr)

**Αθανάσιος Ντίνας**

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Ελλάδα  
e-mail: [aintinas@civil.auth.gr](mailto:aintinas@civil.auth.gr)

**Χαράλαμπος Κ. Μπανιωτόπουλος**

School of Civil Engineering, University of Birmingham  
B15 255 Birmingham, United Kingdom  
e-mail: [c.baniotopoulos@bham.ac.uk](mailto:c.baniotopoulos@bham.ac.uk)

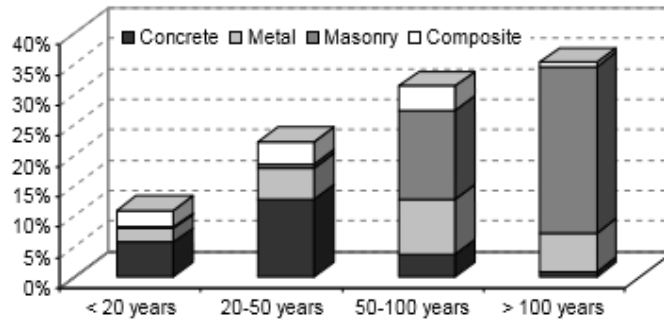
## 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία παρουσιάζεται η μεθοδολογία ελέγχου βιωσιμότητας του σχεδιασμού αποκατάστασης της χαλύβδινης σιδηροδρομικής γέφυρας στον Εχέδωρο ποταμό. Στην ανάλυση συσχετίζονται οι παράμετροι σχεδιασμού αποκατάστασης με τον αντίστοιχο μιας νέας χαλύβδινης γέφυρας ίδιου μήκους στην ίδια θέση του ποταμού, αντί της παλιάς γέφυρας. Τα κριτήρια που τίθενται αξιολογούν το υπόλοιπο του χρόνου ζωής της υφιστάμενης γέφυρας, τη φέρουσα ικανότητα, τις επιπτώσεις σε συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς δείκτες και βέβαια το τελικό κόστος του έργου. Ιδιαίτερα ο έλεγχος της φέρουσας ικανότητας λαμβάνεται κατ' εφαρμογή των συστάσεων και οδηγιών *Sustainable Bridges* που έχουν εκδοθεί υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Στην ανάλυση χρησιμοποιείται το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS για τον έλεγχο του συνολικού προσομοιώματος της γέφυρας, αλλά και για ειδικά μοντέλα ελέγχου λεπτομερειών σε κόπωση. Ο καθορισμός της περιβαλλοντικής επίδρασης γίνεται με τη χρήση γνωστών μεθοδολογιών ανάλυσης παραμέτρων του κύκλου ζωής της κατασκευής (LCA). Με τον τρόπο αυτόν η προτεινόμενη μεθοδολογία οδηγεί σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα για τον βαθμό βιωσιμότητας της αποκατάστασης των γεφυρών.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεταξύ των πρώτων κατασκευών χάλυβα ήταν οι σιδηροδρομικές γέφυρες, οι οποίες ξεκίνησαν να κατασκευάζονται από τα μέσα του 18ου αιώνα [2]. Από έρευνες που

διεξήχθησαν προέκυψε ότι το 75% των χαλύβδινων σιδηροδρομικών γεφυρών είναι άνω των 50 ετών και σχεδόν το 35% είναι άνω των 100 ετών (Σχ.1) [3].



Σχ. 1. Κατανομή ηλικίας σιδηροδρομικών γεφυρών στην Ευρώπη σε σχέση με το υλικό κατασκευής τους.

Καθώς τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική αύξηση των απαιτήσεων φορτίου, αλλά και μέγιστης ταχύτητας των αμαξοστοιχιών, οι ανάγκες ασφαλέστερης εκτίμησης της εναπομένουσας διάρκειας ζωής των υφιστάμενων χαλύβδινων σιδηροδρομικών γεφυρών απαιτήσαν τη διαμόρφωση μιας πρότυπης διαδικασίας αξιολόγησης με στόχο την κάλυψη των μελλοντικών απαιτήσεων. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εισαγωγή μίας τέτοιας μεθοδολογίας αξιολόγησης της βιωσιμότητας των χαλύβδινων σιδηροδρομικών γεφυρών.

### 3. ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

Η υποδομή του σιδηροδρομικού δικτύου είναι εξαιρετικά σημαντική για ένα μέσο μεταφοράς σταθερής τροχιάς. Επομένως η μείωση των επιπτώσεων των σχετικών τεχνικών λεργων στο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία έχει εξαιρετική σημασία. Καθώς οι χαλύβδινες σιδηροδρομικές γέφυρες αποτελούν ένα κρίσιμο τμήμα της σιδηροδρομικής υποδομής, έχουν εκπονηθεί πολυάριθμες μελέτες σχετικά με τη βιωσιμότητα των γεφυρών τις τελευταίες δεκαετίες. Ορισμένες από αυτές τονίζουν τη σημασία της ανθεκτικότητας σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές κατευθυντήριες γραμμές προκειμένου να εξασφαλιστεί μεγάλη διάρκεια ζωής και να ελαχιστοποιηθούν οι απαιτήσεις επισκευής και συντήρησης. Άλλες μελέτες εστιάζουν στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατασκευής [1], [2]. Η σημασία του χάλυβα ως πλήρως ανακυκλωμένου υλικού δίνει ένα σαφές πλεονέκτημα σε σύγκριση με άλλα δομικά υλικά.

Όσον αφορά τη σιδηροδρομική υποδομή, οι ευρωπαϊκές σιδηροδρομικές γέφυρες είναι σχετικά παλιές. Προκειμένου αυτές οι γέφυρες να ανταποκριθούν στις σύγχρονες, αλλά και τις μελλοντικές απαιτήσεις σε φορτία και να μειώσουν πιθανές αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον και την κοινωνία, είναι απαραίτητη η αξιολόγησή τους στο πλαίσιο ανάλυσης με τη χρήση κριτήρια αειφορίας. Οι εκτιμήσεις αφορούν στην υπολειπόμενη ζωή σε κύκλους κόπωσης, την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας για τη δεδομένη κυκλοφοριακή ικανότητα, τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αξιολόγηση του συνολικού κόστους του έργου.

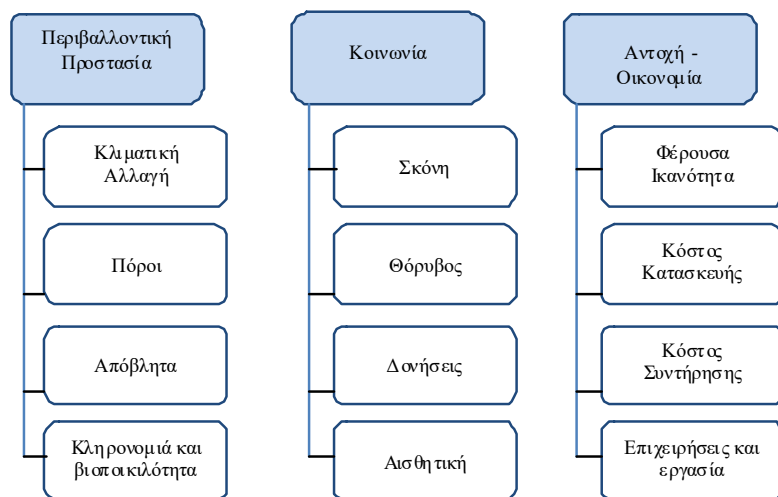
Ο καλύτερος τρόπος για τον προσδιορισμό των πραγματικών ιδιοτήτων μια τέτοιας υφιστάμενης γέφυρας είναι η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε υπό την αιγίδα της

Ευρωπαϊκής Επιτροπής με το όνομα Sustainable Bridges [5]. Τα μοντέλα αξιολόγησης της αειφορίας μιας κατασκευής μπορούν να είναι αναλυτικά ή σε μεγάλο βαθμό ποιοτικά. Η παρούσα εργασία τονίζει τις κύριες παραμέτρους βιωσιμότητας και προτείνει μια απλή μέθοδο για την αξιολόγηση και τη σύγκριση των επιπτώσεων στην αειφορία της αποκατάστασης μιας σιδηροδρομικής γέφυρας.

## 4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ

### 4.1 Γενικές αρχές

Οι δείκτες βιωσιμότητας για τις χαλύβδινες γέφυρες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις γενικά αποδεκτές κατηγορίες επιπτώσεων: α) επιπτώσεις στο περιβάλλον, β) επιπτώσεις στην κοινωνία και γ) επιπτώσεις στην οικονομία (βλ. Σχ. 2).



Σχ. 2. Δείκτες βιωσιμότητας σχεδιασμού χαλύβδινων γεφυρών.

### 4.2 Επιπτώσεις από την ανέγερση χαλύβδινων γεφυρών στο περιβάλλον

Ο παράγοντας της κλιματικής αλλαγής αντιπροσωπεύεται σε μια κατασκευή από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που απαιτήθηκαν για να δομηθεί και διατηρηθεί, από τη χρήση και τη διαχείριση των πρώτων υλών και την αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας. Η κατάληψη γεωργικής, η χρήση του νερού, η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και βιοποικιλότητας είναι περισσότερο ποιοτικοί παράγοντες.

### 4.3 Επιπτώσεις κατασκευής χαλύβδινων γεφυρών στην κοινωνία

Οι επιπτώσεις στην κοινωνία αφορούν στα επίπεδα του παραγόμενου θορύβου κατά την ανέγερση, κατεδάφιση ή συντήρηση, τις εκπομπές σκόνης και τις κάθε είδους εκρήξεις,

δονήσεις ή ταλαντώσεις. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθούν τα επίπεδα και η συχνότητα των επιπτώσεων αυτών στο εγγύς περιβάλλον. Επίσης σημαντικά θέματα αποτελούν η αισθητική και η λειτουργικότητα μιας κατασκευής.

#### **4.4 Επιπτώσεις κατασκευής χαλύβδινων γεφυρών στην οικονομία**

Ο χρόνος ζωής μια χαλύβδινης δικτυωτής σιδηροδρομικές γέφυρας συνήθως περιορίζεται από την αντίσταση στην κόπωση, αλλά και σε φέρουσα ικανότητα. Η εκτίμηση της υπολειπόμενης ζωής σε κόπωση είναι κρίσιμη όταν πρέπει να αποφασιστεί η αποκατάσταση ή η αντικατάσταση μιας γέφυρας. Το κόστος κατασκευής ως μια από τις κύριες οικονομικές επιπτώσεις μιας κατασκευής περιλαμβάνει το κόστος υλικών, το κόστος εργασίας και τη μεταφορά υλικών και εργαζομένων. Στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος κατασκευής και συντήρησης και να μεγιστοποιηθούν οι δυνατότητες οικονομικής ανάπτυξης μιας περιοχής από την κατασκευή μιας γέφυρας.

#### **4.5 Συνδυασμός ποσοτικών παραγόντων δεικτών βιωσιμότητας**

Προκειμένου να επιτευχθεί μια συνολική βαθμολογία βιωσιμότητας, πρέπει να συνδυαστεί κάθε επιμέρους ποσοτικός παράγοντας με τους υπόλοιπους, διαδικασία καθόλου απλή καθώς κάθε δείκτης μετράται σε διαφορετικές μονάδες. Για το λόγο αυτό στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται ένα «σχετικό» κριτήριο βιωσιμότητας και όχι ένα απόλυτο. Με την προσέγγιση αυτή, τα σχήματα με τις υψηλότερες τιμές ενός δείκτη βαθμολογούνται χαμηλότερα και αντίστροφα. Οι βαθμολογίες πολλαπλασιάζονται με συντελεστές στάθμισης με βάση το ελεγχόμενο θέμα της βιωσιμότητας και τον αριθμό δεικτών ανά θέμα.

## **5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΧΕΔΩΡΟΥ**

Η μέθοδος αξιολόγησης της βιωσιμότητας των γεφυρών που περιγράφηκε παραπάνω εφαρμόστηκε ως παράδειγμα στην περίπτωση της ιστορικής σιδηροδρομικής γέφυρας του Ποταμού Εχεδώρου στην Ελλάδα η οποία ανακατασκευάστηκε το 1946 [4]. Τα δύο εναλλακτικά σχέδια που προτείνονται είναι είτε η ενίσχυση της παλαιάς γέφυρας προκειμένου να διευρυνθεί η εναπομένουσα διάρκεια ζωής της, είτε να κατεδαφιστεί η παλαιά γέφυρα και να κατασκευαστεί μια νέα γέφυρα με ένα παρόμοιο συγκοινωνιακό σχεδιασμό.

### **5.1 Γενική περιγραφή υφιστάμενης σιδηροδρομικής γέφυρας**

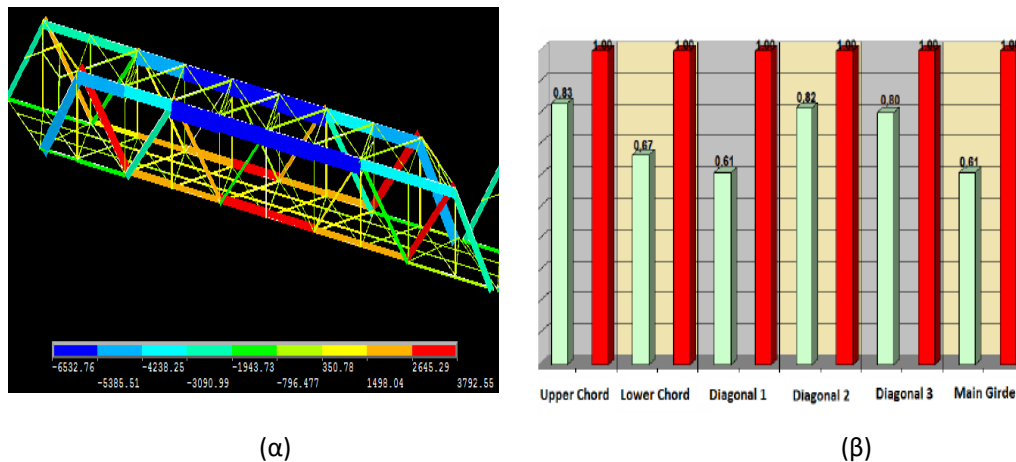
Η γέφυρα του ποταμού Εχεδώρου υπήρξε μία σημαντική υποδομή του σιδηροδρομικού δικτύου της Ελλάδας (βλ. Φωτ. 1a). Η γέφυρα είναι χαλύβδινη με άνω δικτυωτές δοκούς (Φωτ.1b) και συναρμολογήθηκε με την τεχνική των ηλώσεων. Η γενική κατάστασή της είναι καλή, με ορισμένα μόνο προβλήματα διάβρωσης που εντοπίζονται στις συνδέσεις και στα δευτερεύοντα δομικά στοιχεία και μπορούν σχετικά εύκολα να επιδιορθωθούν.



Φωτ. 1. Φωτογραφική αποτύπωση της γέφυρας Εχεδώρου α) εξωτερική άποψη, β) εσωτερική άποψη

## 5.2 Ανάλυση φέρουσας ικανότητας αστοχίας και κόπωσης υφιστάμενης γέφυρας

Προκειμένου να καθοριστούν ρεαλιστικοί παράγοντες ασφαλείας εξετάζεται η δομική συμπεριφορά της σε κρίσιμες φορτιστικές καταστάσεις, Ο.Κ.Λ. και Ο.Κ.Α. [6], [7]. Η γέφυρα στο σύνολο της (Σχ. 4α) ελέγχεται με ένα μοντέλο 3-D πεπερασμένων στοιχείων (Σχ. 3α) και με ένα πιο ακριβές μοντέλο διακριτοποίησης κάθε κρίσιμης λεπτομέρειας με τη χρήση του λογισμικού ANSYS. Τα μοντέλα φορτίων που χρησιμοποιούνται εδώ είναι δράσεις που ορίζονται στην παράγραφο 6.2 του EN-1991-2. Η αστοχία από κόπωση ελέγχεται τόσο για κύρια μέλη της γέφυρας, όσο και για συνδέσεις, καθώς αναμένεται να παρουσιαστεί λόγω της επαναλαμβανόμενης φόρτισης σε επίπεδα χαμηλότερα από το φορτίο σχεδιασμού (Σχ. 4β). Χρησιμοποιώντας την παρουσιαζόμενη εδώ μέθοδο αποτίμησης μπορεί να εκτιμηθεί η κυκλοφοριακή φόρτιση ανά ημέρα δίνοντας ως αποτέλεσμα την υπόλοιπη διάρκεια ζωής της γέφυρας.

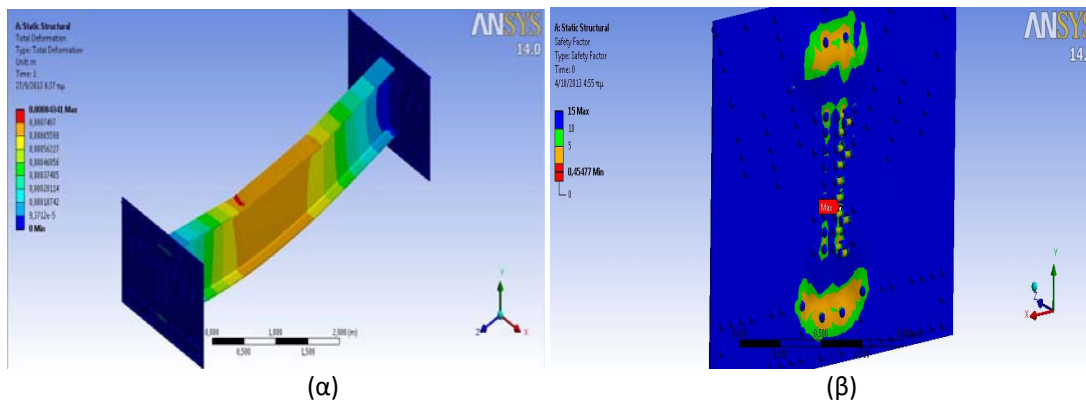


Σχ. 3. (α) Αξονικές δυνάμεις μελών δικτυωτής δοκού (β) και αντίστοιχη αποτίμηση φέρουσας ικανότητας.

## 5.3 Λεπτομέρειες προετοιμασίας συνδυασμού δεικτών βιωσιμότητας

Προκειμένου να εκτιμηθούν τα πλεονεκτήματα του εργαλείου αξιολόγησης, περιγράφονται δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις. Η 1<sup>η</sup> περιλαμβάνει τη συντήρηση της

παλαιάς γέφυρας προκειμένου να διατηρηθεί η μελλοντική κυκλοφορία και τα φορτία άξονα. Οι εκτιμήσεις σχετικά με την εναπομένουσα διάρκεια ζωής σε κόπωση, και η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας γίνονται χρησιμοποιώντας τα ήδη περιγραφέντα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων.



Σχ. 4. (α) Αναπτυσσόμενες τάσεις αστοχίας κρίσιμου μέλους φορέα (β) και αποτίμηση υπολοίπου χρόνου ζωής σύνδεσης μέσα από την ανάλυση αστοχίας σε κόπωση.

Η 2<sup>η</sup> περιλαμβάνει την κατεδάφιση της παλαιάς γέφυρας και την κατασκευή μιας νέας στο ίδιο σημείο. Για λόγους απλότητας, η γεωμετρία και ο τύπος της νέας γέφυρας είναι τα ίδια με την υπάρχουσα γέφυρα. Λόγω των νέων τεχνολογιών και των ιδιοτήτων των υλικών, το συνολικό βάρος της νέας γέφυρας εκτιμάται στο 92% του συνολικού βάρους της παλαιάς. Η νέα γέφυρα έχει σχεδιαστεί με διάρκεια ζωής 100 ετών, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, ενώ οι δείκτες βιωσιμότητας των συστημάτων περιβάλλοντος και κοινωνίας αξιολογούνται με βάση το συνολικό βάρος των δομικών υλικών.

#### 5.4 Λεπτομέρειες ανάλυσης συνδυασμένων δεικτών βιωσιμότητας

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τα αποτελέσματα της εκτίμησης βιωσιμότητας για τις δύο λύσεις όπου και τα τρία συστήματα (περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία) έχουν τον ίδιο συντελεστή στάθμισης (Πιν. 1 και Σχ. 6α).

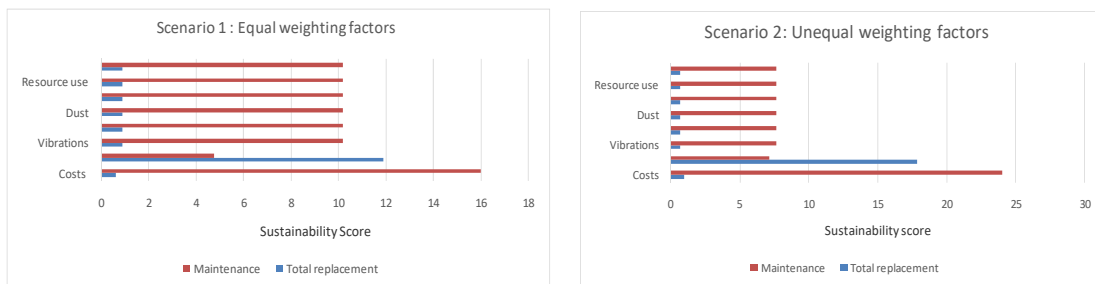
Indicators	Maintenance				Total replacement			
	Quantity	Weight Factor	Normalised score	Weighting score	Quantity	Weight Factor	Normalised score	Weighting score
<b>Environment</b>								
climate change	445,963	0,111	92,000	10,212	5128,574	0,111	8,000	0,888
resource energy	4955,144	0,111	92,000	10,212	56984,151	0,111	8,000	0,888
waste	3,152	0,111	92,000	10,212	36,249	0,111	8,000	0,888
<b>Society</b>								
Dust	24775,718	0,111	92,000	10,212	284920,757	0,111	8,000	0,888
Noise	24775,718	0,111	92,000	10,212	284920,757	0,111	8,000	0,888
Vibrations	24775,718	0,111	92,000	10,212	284920,757	0,111	8,000	0,888
<b>Economics</b>								
fatigue life	40,000	0,167	28,571	4,757	100,000	0,167	71,429	11,893
costs	50734,477	0,167	96,154	16,010	1268361,920	0,167	3,846	0,640
			<b>Total score:</b>	<b>82,039</b>			<b>Total score:</b>	<b>17,861</b>

Πιν. 1. Αποτέλεσμα ανάλυσης βιωσιμότητας γέφυρας με χρήση συντελεστών ίσων βαρών (Σενάριο 1).

Και τα τρία συστήματα (περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία) έχουν τον ίδιο συντελεστή στάθμισης. Επίσης, όλοι οι δείκτες για κάθε σχήμα είναι ίσοι. Η συντήρηση για την απόφαση αυτή είναι μακράν η πλέον βιώσιμη λύση. Η συνολική βαθμολογία της συντήρησης είναι 82.039, ενώ η συνολική αντικατάσταση βαθμολογήθηκε μόνο με 17.861. Όσον αφορά στο θέμα του περιβάλλοντος και της κοινωνίας, η συντήρηση είναι σαφώς πιο βιώσιμη από τη συνολική αντικατάσταση με συνολική βαθμολογία 30.636 έναντι 2.664 και στα δύο θέματα. Το ίδιο ισχύει και για την οικονομία, καθώς η συντήρηση είναι πιο βιώσιμη από την ολική αντικατάσταση. Όσον αφορά στην κληρονομιά και τη βιοποικιλότητα, πρέπει να τονίσουμε τη σημασία της διατήρησης της παλαιάς σιδηροδρομικής γέφυρας. Η γέφυρα έχει μια σημαντική ιστορική τοπική κοινωνία. Αντίθετα, από την άποψη της αισθητικής, ο νέος σχεδιασμός γέφυρας ικανοποιεί τις απαιτήσεις της λειτουργικότητας των τελευταίων ευρωπαϊκών κατευθυντήριων γραμμών.

Indicators	Maintenance				Total replacement			
	Quantity	Weight Factor	Normalised score	Weighting score	Quantity	Weight Factor	Normalised score	Weighting score
<b>Environment</b>								
climate change	445,963	0,083	92,000	7,667	5128,574	0,083	8,000	0,667
resource energy	4955,144	0,083	92,000	7,667	56984,151	0,083	8,000	0,667
waste	3,152	0,083	92,000	7,667	36,249	0,083	8,000	0,667
<b>Society</b>								
Dust	24775,718	0,083	92,000	7,667	284920,757	0,083	8,000	0,667
Noise	24775,718	0,083	92,000	7,667	284920,757	0,083	8,000	0,667
Vibrations	24775,718	0,083	92,000	7,667	284920,757	0,083	8,000	0,667
<b>Economics</b>								
fatigue life	40,000	0,250	28,571	7,143	100,000	0,250	71,429	17,857
costs	50734,477	0,250	96,154	24,038	1268361,920	0,250	3,846	0,962
			<b>Total score:</b>	<b>77,181</b>			<b>Total score:</b>	<b>22,819</b>

Πιν. 2. Αποτέλεσμα ανάλυσης βιωσιμότητας γέφυρας με χρήση ανισοβαρών συντελεστών (Σενάριο 2).



(α)

(β)

Σχ. 6. Σύγκριση βιωσιμότητας κάθε δείκτη για α) ίσους (Σενάριο 1) και β) άνισους συντελεστές στάθμισης (Σενάριο 2).

Αντίστοιχο αποτέλεσμα προκύπτει και με το σενάριο 2 (Πιν. 2 και Σχ. 6β). Η αποκατάσταση είναι προτιμότερη με βάση τα κριτήρια βιώσιμου σχεδιασμού από την ολική αντικατάσταση. Όσον αφορά στο θέμα του περιβάλλοντος και της κοινωνίας, η συντήρηση είναι προτιμότερη από τη συνολική αντικατάσταση.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σήμερα σε όλο την υφήλιο και ιδιαίτερα στην Ευρώπη, η χαλύβδινες κατασκευές όπως οι είναι δείγματος χάριν οι σιδηροδρομικές γέφυρες, προσεγγίζουν στο όριο ζωής τους. Τα συνεχώς αυξανόμενα σιδηροδρομικά φορτία και οι μελλοντικές απαιτήσεις καθιστούν την εκτίμηση της βιωσιμότητας των γεφυρών επείγουσα, οπότε η χρήση ανάλυσης με κριτήρια βιώσιμου σχεδιασμού είναι απαραίτητη προκειμένου να ικανοποιηθούν οι μελλοντικές απαιτήσεις. Η παρούσα εργασία ενσωματώνει τις τελευταίες κατευθυντήριες οδηγίες και παρουσιάζει μια απλή, αλλά τελεσφόρα μέθοδο η οποία συνδυάζει τόσο τα ποιοτικά, όσο και τα ποσοτικά κριτήρια βιώσιμου σχεδιασμού στην αξιολόγηση των χαλύβδινων σιδηροδρομικών.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ARVA C., AMIRI A, VASSIE P “A new method for evaluating the sustainability of bridges”, ICE 2015, Structures and Buildings, volume 168, Issue SB6, pages 441-453, June 2015.
- [2] BUTH E., Truss Bridge Retrofit Railings”, Project Summary Report, O-4419-S Retrofit Railing for Existing Truss Bridges, Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, 2004.
- [3] DINAS A., NIKOLAIDIS N. Th., BANIOPOULOS C. C., “Sustainable Restoration Criteria of a Historical Steel Railway Bridge”, Proceeding of SBE16, Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale, 17-19 Oct. 2016, Thessaloniki, Greece”, PROENV391247, Procedia Environmental Sciences, Science Direct, Elsevier, pp.578-585, 11 April, 2017.
- [4] DINAS ATHANASIOS, “Analysis and Evaluation of the Restoration Design of an Existing Steel Truss Railway Bridge Under Sustainable Criteria ” Diploma Thesis, Institute of Metal Structures, School of Civil Engineering, Aristotle University of Greece, Oct. 2016.
- [5] GUIDELINE FOR LOADS AND RESISTANCE, “SUSTAINABLE BRIDGES – ASSESMENT OF EXISTING EUROPEAN RAILWAY BRIDGES – ADVISES ON THE USE OF ADVANCED METHODS”, Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), COWI A/S 2007.
- [6] NIKOLAIDIS Th., KONTIS A., BANIOPOULOS C. C. “On the sustainable restoration design of a historical steel truss railway”, *CESARE,14, Civil Engineering for Sustainability and Resilience International Conference*, Amman, Jordan, 24-27 April 2014.
- [7] NIKOLAIDIS Th., BANIOPOULOS C.C. “On the Restoration of a Historical Steel Railway Bridge by Means of a Sustainability Design Method,” 8th SBIC, Istanbul, 2015.



## **ANALYSIS OF SUSTAINABLE RESTORATION DESIGN CRITERIA OF AN EXISTING STEEL RAILWAY BRIDGE**

Themistoklis Nikolaidis  
Dr. Ing., Institute of Metal Structures,  
Department of Civil Engineering, A.U.Th., Thessaloniki, Greece,  
e-mail: [think@civil.auth.gr](mailto:think@civil.auth.gr)

Athanasios Dinas  
Dipl.Civil Engineer  
Department of Civil Engineering, A.U.Th., Thessaloniki, Greece,  
e-mail: [aintinas@civil.auth.gr](mailto:aintinas@civil.auth.gr)

Charalampos Baniotopoulos  
School of Civil Engineering, University of Birmingham  
B15 255 Birmingham, United Kingdom  
e-mail: [c.baniotopoulos@bham.ac.uk](mailto:c.baniotopoulos@bham.ac.uk)

### **SUMMARY**

The present paper describes a methodology to evaluate the sustainability of existing steel bridges. This method is applied to a case study for the restoration design of the old steel truss Echedoros River Railway Bridge. An intervention on an existing bridge can be characterized as sustainable if the design considerations include critical sustainability assessments. The present case study is compared to other relevant assessments of the option of a new steel bridge that could be constructed for the same total span. Assessments concern remaining fatigue life, estimation of its structural resistance for the traffic capacity, identification of the environmental impacts of the structural solutions and evaluation of the total cost of the project. In the present work the structural analysis was performed using a finite element scheme for the overall bridge. In addition, several finite element analysis models of critical details have been studied. The verification of the design parameters adopted, i.e. loads and resistance assessment is mainly based on the ‘Sustainable Bridges’ Guidelines recently published by the European Commission. The estimation of the environmental impacts of the structural solutions according to life cycle principles is based on the use of known LCA tools. The approach with the individual impacts combined to produce an overall sustainability score for the design option was also highlighted. This way, the proposed methodology leads to more accurate assessment of the sustainability of existing steel bridges.