



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ 46 – ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ Τηλ. +30.2310476081 -4, Fax +30.2310476085

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΓΙΑ ΤΟΝ  
**ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ  
ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΟΥ ΕΥΡΙΠΟΥ:  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**



**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ**

**ΛΕΚΙΑΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

Δρ. Πολιτικός Μηχ. Α.Π.Θ., Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

**Θ Ε Σ Σ Α Λ Ο Ν Ι Κ Η 2 0 0 3**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ: ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Σύμφωνα με το παράρτημα της σύμβασης του ερευνητικού έργου:

**‘Διερεύνηση της Σεισμικής Συμπεριφοράς της  
Υψηλής Γέφυρας του Ευρίπου : Πειραματική και  
Αναλυτική Προσέγγιση’**

που ανατέθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) στο Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), το αντικείμενο του ερευνητικού προγράμματος ήταν:

1. Αναβάθμιση και πιθανή αναδιάταξη του υφιστάμενου συστήματος αισθητήρων (επιταχυνσιογράφων), με προτεραιότητα στα όργανα εδάφους, με στόχο την ακριβέστερη καταγραφή των εδαφικών διεγέρσεων.
2. Συλλογή, ταξινόμηση και επεξεργασία των καταγραφών της εδαφικής κίνησης και της αντίστοιχης απόκρισης της ανωδομής.
3. Πειραματική αποτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών του έργου (ιδιομορφές/ιδιοτιμές/αποσβέσεις) με κατάλληλη ανάλυση του συχνοτικού περιεχομένου των καταγραφών.
4. Κατάλληλη αναθεώρηση/βελτιστοποίηση αναλυτικών μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων της γέφυρας, μέσω της σύγκρισης των αναλυτικών και πειραματικών αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους-θεμελίωσης-ανωδομής με χρήση τόσο εξελιγμένων αλγορίθμων για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδαφικού υλικού σε δυναμικά φορτία όσο και εμπειρικών μεθόδων. Στην κατεύθυνση αυτή είναι δυνατή η αποτίμηση της επιρροής της θεμελίωσης και της χωρικής διαφοροποίησης στη μορφή και στην ένταση του διεγείροντος σεισμικού κραδασμού.

5. Επιλογή, από τη βάση δεδομένων που διαθέτει το Ι.Τ.Σ.Α.Κ., κατάλληλων πραγματικών καταγραφών ισχυρών καταστρεπτικών σεισμών, από περιοχές του Ελληνικού χώρου με παρόμοιο σεισμοτεκτονικό περιβάλλον με αυτό της γέφυρας.
6. Αναλυτικός υπολογισμός της δυναμικής απόκρισης της γέφυρας σε ισχυρούς σεισμούς, με χρήση των αναλυτικών μοντέλων του βήματος 4 και εν χρόνω ολοκλήρωση των επιταχυνσιογραφημάτων του βήματος 5.
7. Σύγκριση των αποτελεσμάτων του βήματος 6 με αυτά που προκύπτουν από το φάσμα που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό του έργου και κριτικός σχολιασμός τους.
8. Αξιολόγηση του βαθμού τρωτότητας της γέφυρας σε σχέση με τα εκάστοτε χαρακτηριστικά της αναμενόμενης εδαφικής διέγερσης.

**Κατά την διάρκεια του ερευνητικού έργου επιτελέστηκαν με  
συστηματικό τρόπο όλες οι προηγούμενες φάσεις. Έτσι  
συγκεκριμένα:**

Η Υψηλή Γέφυρα του Ευρίπου στο παρελθόν είχε δικτυωθεί με 38 (μέσος αριθμός ενοργάνωσης) αισθητήρες (επιταχυνσιόμετρα). Οι θέσεις των αισθητηρίων επιλέχτηκαν προσεκτικά και με τέτοιο τρόπο ώστε να απεικονίζουν, κατά τον πληρέστερο δυνατό τρόπο, την δυναμική συμπεριφορά της. Έξι (6) αισθητήρες ανίχνευσης της κατακόρυφης κίνησης και δύο (2) για την καταγραφή της εγκάρσιας, καταγράφουν την απόκριση στο μεσαίο άνοιγμα της γέφυρας, ενώ στον καθένα από τους δύο πυλώνες τοποθετήθηκαν κατάλληλα έξι (6) αισθητήρες. Υπάρχουν τέλος τέσσερις τριαξονικοί αισθητήρες, δύο (2) στη βάση του κάθε πυλώνα και δύο (2) ελευθέρου πεδίου, σε κάθε μία από της ακτές του πορθμού, όπως φαίνεται αναλυτικά στα σχέδια των τεχνικών εκθέσεων που υπεβλήθησαν.

Κατά τη διάρκεια του ερευνητικού έργου έγινε διεξοδική διερεύνηση τόσο της Ελληνικής όσο και της διεθνούς αγοράς για αναβάθμιση της ικανότητας ανάλυσης (resolution) των εδαφικών οργάνων καταγραφής του σεισμικού κραδασμού. Η ερευνητική ομάδα κατέληξε στην προμήθεια οργάνων με δυνατότητα ανάλυσης τουλάχιστον 19 bits για να είναι σε θέση να αποτυπώνουν με ακρίβεια ασθενείς σεισμικές διεγέρσεις μικρού πλάτους ταλάντωσης. Με αυτό τον τρόπο το δίκτυο

μπορεί να παρέχει ακριβέστερες πληροφορίες και θα είναι έτοιμο και ευαίσθητο για καταγραφή σεισμών από το κοντινό ή μακρινό πεδίο.

Επίσης λήφθηκαν μέτρα για την προστασία του δικτύου έναντι της υγρασίας και των έντονων μαγνητικών πεδίων τα οποία υπάρχουν λόγω της γειννίασης με ηλεκτροφόρα καλώδια της Δ.Ε.Η.. Επιπροσθέτως, αφαιρέθηκαν τα καλώδια από τα φρεάτια των πυλώνων και από διάφορα διακλαδωτικά κιβώτια, για να διεξαχθεί επί τόπου έλεγχος όλων των συνδεσμολογιών, ακόμη και αυτών των βυσμάτων που συνδέουν τα καλώδια με τα αισθητήρια. Μετά την επισκευή έγινε επανέλεγχος όλου του δικτύου για να διαπιστωθεί η καλή του λειτουργία. Έγιναν οι απαραίτητες ενέργειες για τον καθαρισμό των καναλιών, δια μέσου των οποίων περνούν τα καλώδια από διάφορα σκουπίδια.

Στην κύρια καταγραφική μονάδα (master console) και στην πρώτη καταγραφική βαθμίδα (master module) έχει τοποθετηθεί δορυφορικός χρόνος (GPS). Ο χρόνος αυτός είναι σε μορφή κώδικα BCD 8421 και διοχετεύεται σ'όλες τις καταγραφικές βαθμίδες όλων των μονάδων. Ο χρόνος GPS δεν αναιρεί το χρόνο που είναι τοποθετημένος σε κάθε βαθμίδα (modulo), απλώς αποτυπώνεται σαν δεύτερος χρόνος - στο κάτω μέρος της καταγραφής - πάντα σε μορφή κώδικα. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται κοινός χρόνος έναρξης καταγραφής στα διάφορα κανάλια του καταγραφικού συστήματος

*Κατά την διάρκεια του 2002 πραγματοποιήθηκε αγορά νέου εξοπλισμού για την αναβάθμιση των αισθητηρίων του εδάφους με στόχο την ακριβέστερη καταγραφή των εδαφικών διεγέρσεων. Συγκεκριμένα τοποθετήθηκε εντός του πυλώνα της Ευβοϊκής ακτής καταγραφική μονάδα με δυνατότητα υποδοχής 12 αισθητήρων επιτάχυνσης ικανή να συνδεθεί σε εξωτερικά τριαξονικά ή μονοαξονικά επιταχυνσιόμετρα. Ο καταγραφέας της έχει κάρτα μνήμης 32 MB, με δυνατότητα για να δεχθεί modem και GPS. Οι τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί:*

**Πιν. 1 Τεχνικές προδιαγραφές συστήματος ενοργάνωσης (Altus K2)**

<b>SENSOR:</b>	
Type	Uniaxial Force Balance Accelerometer, External
Full scale range	$\pm 2$ g
Natural Frequency	50 Hz
Damping	70 % Critical
Dynamic Range	▣ 135 dB 0.01 to 50 Hz > 145 db 0.01 to 20 Hz
<b>DATA ACQUISITION:</b>	
Dynamic range	108 dB @ 200 sps
Frequency response	DC to 80 Hz @ 200 sps
Resolution	19-bit resolution @ 200 sps
Input range	$\pm 2.5$ V
Anti-Alias Filter	Brickwall FIR filter. Cut-off at 80 % of output Nyquist 120 dB down at output Nyquist
<b>TRIGGER:</b>	
Type	IIR Bandpass filter
Trigger Bandwith	0.1 Hz – 12.5 Hz
Channel Triggering	Independent threshold for all channels
Trigger Threshold	Selectable from 0.01% to 100% of full scale
De-Trigger Threshold	Selectable from 0.01% to 100% of full scale
<b>STORAGE:</b>	
Type	20 Mbyte RAM Flash memory, Fully compliant PCMCIA storage system
<b>ENVIRONMENT:</b>	
Operating Temperature	- 20° to 70° C
Humidity	0 – 100 % RH

Με αυτό τον τρόπο αναβαθμίζεται το εδαφικό δίκτυο της Γέφυρας, μπορεί να ανταποκριθεί στις σύγχρονες απαιτήσεις και υπάρχει η δυνατότητα για πρόσθετα αισθητήρια που μπορούν να τοποθετηθούν σε πρόσθετες θέσεις για να βελτιώσουν τα διάφορα μοντέλα αναγνώρισης ιδιομορφών. Ακόμη έγινε προμήθεια νέων σύγχρονων αισθητηρίων και καλωδίου σύνδεσης για να χρησιμοποιηθούν σε πρόσθετες θέσεις μέτρησης στο κατάστρωμα της Γέφυρας. Η προμήθεια και η εγκατάσταση-λειτουργία έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος.

Λόγω των συχνών προβλημάτων με την τροφοδοσία του συστήματος (μπαταρίες παροχή Δ.Ε.Η. κ.λ.π.) μελετήθηκε από τους τεχνικούς του Εργαστηρίου του ΙΤΣΑΚ, στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος, ένα νέο ασφαλέστερο σύστημα τροφοδοσίας που παρέχει προστασία έναντι των συχνών διακοπών του ρεύματος στη περιοχή του έργου.

Για την πραγματοποίηση επικοινωνίας της πρόσθετης εγκατεστημένης καταγραφικής μονάδας K2, μέσω σταθερής τηλεφωνικής γραμμής με το ΙΤΣΑΚ, για παρακολούθηση καλής λειτουργίας και συλλογής δεδομένων, το εργαστήριο του ΙΤΣΑΚ κατασκεύασε ειδική συσκευή. Η συσκευή αυτή αποτελείται από MODEM ROBOTICS, ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ 12Volts και θύρα διασύνδεσης. Η ειδική αυτή συσκευή συνδέθηκε εξωτερικά με την καταγραφική μονάδα K2 μέσω θύρας RS232. Τέλος τοποθετήθηκαν παράμετροι όπως ορίζει η κατασκευάστρια εταιρία πετυχαίνοντας άριστη επικοινωνία.

Ήδη μέσα στο 2003 το νέο σύστημα κατέγραψε την ακολουθία των σεισμών των Ψαχνών Ευβοίας, όπως φαίνεται αναλυτικά στη τρίτη και τελική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος.

Τα ελεύθερα κανάλια από την εδαφική καταγραφική μονάδα (soil console) χρησιμοποιήθηκαν για να δεχθούν πρόσθετους αισθητήρες στα ακρόβαθρα του κύριου φορέα.

Ακόμη εντοπίστηκε με το νέο σύστημα ικανός αριθμός σεισμών από κοντινά ρήγματα, πράγμα το οποίο κατά τη κρίση της ερευνητικής ομάδας καθιστά απαραίτητη την επέκταση-πύκνωση του εδαφικού δικτύου καταγραφής υψηλής ανάλυσης, στην ευρύτερη περιοχή της Γέφυρας.

Το πλήθος των καταγραφών, με τα νέα συστήματα που τοποθετήθηκαν στη γέφυρα εμπλούτισαν τη τράπεζα δεδομένων που διαθέτει το ΙΤΣΑΚ με δεδομένα που αφορούν στη δυναμική απόκριση ειδικών έργων στον Ελληνικό χώρο. Τα στοιχεία αυτά θα είναι χρήσιμα σε πολλά αντίστοιχα έργα που κατασκευάστηκαν ή κατασκευάζονται στην Ελλάδα. Κατά την διάρκεια του ερευνητικού προγράμματος κατεγράφησαν 21 σημαντικά σεισμικά συμβάντα, πολύ περισσότερα από ό,τι αναμενόταν.

Κατά τη διάρκεια του ερευνητικού προγράμματος υπολογίσθηκαν από τις ληφθείσες πειραματικές μετρήσεις τα δυναμικά χαρακτηριστικά της γέφυρας και αναγνωρίσθηκαν τα ιδιομορφικά χαρακτηριστικά του φορέα με βάση την καταγραφή της απόκρισής του σε πραγματικά σεισμικά συμβάντα, χρησιμοποιώντας ειδική μεθοδολογία αναγνώρισης συστήματος.

Ακολούθησε αναθεώρηση και βελτιστοποίηση αναλυτικών μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων της γέφυρας αξιοποιώντας τις συγκρίσεις με την

πραγματική απόκριση. Διερευνήθηκε αναλυτικά η συμπεριφορά της γέφυρας σε πραγματικούς σεισμούς. Έγινε ανάλυση της χρονικής απόκρισης του φορέα για μικρής έντασης σεισμική διέγερση από μέση απόσταση, και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις καταγραφείσες τιμές σε διάφορα σημεία της γέφυρας. Διαπιστώθηκε ικανοποιητική συμφωνία των δύο προσεγγίσεων, όσον αφορά τη διάρκεια και τις μέγιστες τιμές της απόκρισης. Μελετήθηκε επίσης και η συμπεριφορά της γέφυρας για έναν πραγματικό ισχυρό σεισμό, με χαρακτηριστικά ανάλογα αυτών που αναμένονται στη θέση του έργου.

Όσον αφορά την επιρροή της τοπικής γεωλογίας στη σεισμική κίνηση, αυτή αφορά κυρίως το βάθος M5 όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ενισχύσεις για μεγαλύτερο εύρος περιόδων, γεγονός που σχετίζεται ποιοτικά και με τις υπάρχουσες γεωλογικές και γεωτεχνικές πληροφορίες για την περιοχή

Η επιρροή της τοπικής γεωλογίας στη σεισμική κίνηση δεν φαίνεται να επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της σεισμικής απόκρισης της γέφυρας και αντιστρόφως διότι η όποια ενίσχυση της σεισμικής κίνησης παρατηρείται σε συχνότητες μεγαλύτερες από εκείνες των 10 πρώτων ιδιομορφών ταλάντωσης της κατασκευής. Για την τεκμηρίωση των προκαταρκτικών αυτών συμπερασμάτων θα πρέπει στα πλαίσια της μελλοντικής έρευνας να χρησιμοποιηθούν και αναλυτικές μέθοδοι προσομοίωσης της επιρροής της τοπικής γεωλογίας στη σεισμική κίνηση.

Από τις μέχρι σήμερα διερευνήσεις, η γέφυρα του Ευρίπου δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερα τρωτή από σεισμικές διεγέρσεις μέσης απόστασης, καθόσον στις περισσότερες περιπτώσεις το συχνοτικό τους περιεχόμενο είναι υψηλό, μακριά από τις πρώτες ιδιομορφές της γέφυρας. Το συμπέρασμα αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία για το έργο, λόγω της γειννίας του με το γνωστό ρήγμα της Αταλάντης, πιθανή πηγή ισχυρών σεισμών.

Τόσο οι διεξαχθείσες αναλύσεις, όσο και οι καταγραφές της χρονικής απόκρισης του φορέα, καταδεικνύουν ότι δεν είναι δυνατή η ακριβής περιγραφή της σεισμικής επιπόνησης για κατασκευές μεγάλης (> 1,5 sec) περιόδου, κάνοντας χρήση μόνο φασμάτων απόκρισης της σεισμικής διέγερσης. Για τον λόγο αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη μελέτη-ανάλυση ευκάμπτων κατασκευών, όταν αυτή γίνεται μόνο με χρήση της μεθόδου της φασματικής απόκρισης. Θα ήταν επιθυμητή, καθώς συσσωρεύεται συνεχώς νέα γνώση και ιδιαίτερα για τον σχεδιασμό ειδικών έργων, η ανάπτυξη φασμάτων σχεδιασμού κατασκευών αντιπροσωπευτικών των

σεισμικών διεγέρσεων από κοντινά πεδία (near field), καθώς και από μέσες και μακρινές αποστάσεις.

Με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του προγράμματος είναι δυνατή η εφαρμογή μεθόδων αναγνώρισης βλαβών για την υπόψη γέφυρα με ουσιαστική συνεισφορά στην έγκαιρη συντήρηση και θωράκιση του έργου από μελλοντικές σεισμικές καταπονήσεις. Η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε από την ερευνητική ομάδα μπορεί να εφαρμοσθεί και σε άλλες μεγάλες γέφυρες του άξονα της Εγνατίας οδού, του ΠΑΘΕ ή του άξονα της Δυτικής Ελλάδας, με σημαντικά οφέλη για τη διαχείριση σημαντικών γεφυρών του Ελληνικού χώρου.