

**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ**  
**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

**ΦΟΡΕΑΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ:**

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ:**

ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΟΥ 28/12/2022 ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ  
ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΩΝ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΤΗΣ ΧΑΛΚΙΔΑΣ  
(STRONG VIBRATION MEASUREMENTS)

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ:**

ΣΑΛΟΝΙΚΙΟΣ Ν. ΘΩΜΑΣ, ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ, ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, ΔΡ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ  
ΜΟΡΦΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΕΝΤΕΤΑΛΜΕΝΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ, ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, ΔΡ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

**ΣΕ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ:**

ΘΕΟΔΟΥΛΙΔΗΣ ΝΙΚΟΣ, ΔΝΤΗΣ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, ΔΡ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΟΣ  
ΜΑΡΓΑΡΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ, ΔΝΤΗΣ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, ΔΡ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΟΣ  
ΜΑΚΡΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ, ΚΥΡΙΑ ΕΡΕΥΝΗΤΡΙΑ, ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, ΔΡ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ  
ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΔΝΤΗΣ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, ΔΡ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΟΣ  
ΛΕΚΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ, ΔΝΤΗΣ ΕΡΕΥΝΩΝ, ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ, ΔΡ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

**ΤΙΤΛΟΣ:**

ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΣΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΧΑΛΚΙΔΑΣ ΑΠΟ ΤΟ  
ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ 28/12/2022 (M4.8)

**ΤΕΥΧΟΣ:**

ΤΕΥΧΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΕΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ FOURIER  
*ΤΟ ΠΑΡΟΝ ΕΡΓΟ ΥΛΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΧΩΡΙΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ*

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2023**

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

## ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα ερευνητική αναφορά (report) προσδιορίζονται οι κύριες ιδοσυχνότητες της καλωδιωτής γέφυρας του Ευρίπου στην Χαλκίδα. Για τον σκοπό αυτό αξιοποιούνται οι καταγραφές του μόνιμου συστήματος ενοργάνωσης της γέφυρας οι οποίες γίνονται σε πραγματικό χρόνο (REAL-TIME) και αποθηκεύονται στο Κέντρο Δεδομένων (Data Center) του ΙΤΣΑΚ. Επίσης χρησιμοποιείται η καταγραφή του σεισμού της Χαλκίδας, M4.8, που συνέβη στις 28/12/2022. Για τις καταγραφές αυτές γίνεται ανάλυση τύπου Ταχέως Μετασχηματισμού Fourier (FFT) και προσδιορίζονται οι συχνότητες για τις οποίες εμφανίζεται έξαρση των τεταγμένων στα σχετικά γραφήματα. Στη συνέχεια αξιοποιείται το υπάρχων αναλυτικό προσομοίωμα (μοντέλο) της γέφυρας με επιφανειακά και γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία για το οποίο διενεργείται δυναμική ιδιομορφική ανάλυση. Οι αναλύσεις διενεργούνται προκειμένου να καθοριστούν οι ιδοσυχνότητες για τις οποίες ενεργοποιούνται τα μεγαλύτερα ποσοστά μάζας ήτοι οι κύριες ιδιοτιμές. Θεωρείται ότι το αναλυτικό προσομοίωμα προσεγγίζει με επαρκή ακρίβεια: α) την κατανομή της μάζας στην γέφυρα, β) τις γενικές διαστάσεις του φορέα της γέφυρας, γ) τις επιμέρους διατομές των δομικών μελών, δ) το μέτρο ελαστικότητας των υλικών δόμησης και ε) την διάταξη των φερόντων στοιχείων. Για τον λόγο αυτό οι μάζες και η δυσκαμψία του προσομοιώματος κρίνεται ότι έχουν ικανοποιητική ακρίβεια για την προσομοίωση της γέφυρας υπό φορτία που προκαλούν ταλαντώσεις για τις οποίες ο φέρων οργανισμός της παραμορφώνεται στην ελαστική περιοχή. Η εκτελούμενη ιδιομορφική ανάλυση θεωρείται ακριβής: i) στον καθορισμό του πλήθους των σημαντικών ιδιοτιμών, ii) στον καθορισμό της σχετικής ενεργοποιούμενης μάζας για κάθε ιδιομορφή και iii) στον καθορισμό της διεύθυνσης ιδιοταλάντωσης (κατεύθυνση κατά ή περί έναν από τους τρεις άξονες). Οι ιδιοτιμές που αντιστοιχούν σε ιδιομορφές, για τις οποίες ενεργοποιούνται τα μεγαλύτερα ποσοστά μάζας κατά την ανάλυση, καθορίζουν ποιες είναι οι κύριες ιδιομορφές και με βάση «κρίσης μηχανικού» (engineering judgment) προκύπτουν πορίσματα για την κατάσταση του έργου. Επιπλέον, επιχειρείται σύγκριση των ιδοσυχνοτήτων όπως προκύπτουν από τη σημερινή διάταξη των αισθητήρων με τις ιδιοτιμές (και τις αντίστοιχες ιδιομορφές) σε διαφορετικές χρονικές περιόδους λειτουργίας της Γέφυρας. Με τον τρόπο αυτό μπορεί κανείς να εντοπίσει διαφορές, οι οποίες όταν είναι σημαντικές πρέπει να ερμηνευτούν και να δώσουν την εικόνα της δομικής ακεραιότητας του φορέα. Το κατά πόσο διεγείρονται οι πρώτες ιδιομορφές που περιέχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά της ενεργού μάζας του φορέα, εξαρτάται φυσικά από το μέγεθος της διέγερσης της Γέφυρας. Όπως είναι γνωστό για τις ενόργανες μετρήσεις, με τη μεθοδολογία αυτή, είναι δυνατός ο καθορισμός των κύριων μέτρων συντήρησής της Γέφυρας με ολοκληρωμένο τρόπο, μιας και αποτελεί τη μόνιμη σύνδεση της Ηπειρωτικής χώρας με το Νησί της Ευβοίας. Η μέθοδος που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις όπου γίνεται ενοργάνωση κατασκευών για αναγνώριση δυναμικών ιδιοχαρακτηριστικών αλλά οι σχετικοί διαθέσιμοι πόροι είναι χαμηλοί. Είναι φυσικά γνωστό ότι υπάρχει μεγάλο πλήθος από προηγμένες υπολογιστικές μεθόδους και λογισμικά για την αναγνώριση των ιδιοχαρακτηριστικών των κατασκευών. Ωστόσο έχουν υψηλό υπολογιστικό κόστος και συνήθως απαιτείται και υψηλή σχετική οικονομική δαπάνη. Σημειώνεται επομένως ότι η περίπτωση εφαρμογής που παρουσιάζεται εδώ αποτελεί μία τεκμηρίωση της απλουστευμένης ιδιομορφικής αναγνώρισης. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες αναλύσεις χαμηλού προϋπολογισμού από το ΙΤΣΑΚ και αποτελεί μία οικονομική λύση για την λήψη του ιδιομορφικού αποτυπώματος των κατασκευών σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

# 1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗΣ

## 1.1 Γέφυρα [1]

Η υψηλή καλωδιωτή γέφυρα του Ευρίπου είναι τμήμα της οδικής παράκαμψης της Χαλκίδας, ενώνοντας τη Βοιωτική ακτή με την Ευβοϊκή. Έχει συνολικό μήκος 694.50m και ωφέλιμο πλάτος 12.60m. Η γέφυρα αποτελείται από τις προσβάσεις και το κεντρικό τμήμα. Οι γέφυρες πρόσβασης μήκους 4x35.875m (Βοιωτία) και 4x39.00m (Εύβοια), μορφώνονται με προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκούς διατομής διπλού ταυ και επί τόπου σκυροδετούμενη προεντεταμένη πλάκα κυκλοφορίας. Η υψηλή γέφυρα είναι μία από τις σημαντικότερες στην Ελλάδα και μία από τις μεγάλες του είδους στην Ευρώπη. Το κεντρικό τμήμα της γέφυρας έχει μήκος 395.00m με κεντρικό άνοιγμα 215.00m και δύο πλευρικά ανοίγματα των 90.00m, και ελεύθερο ύψος 35.51m. Τα στοιχεία του κεντρικού ανοίγματος επιτρέπουν τη διέλευση μεγάλων πλοίων από και προς τη Χαλκίδα. Το κατάστρωμα της γέφυρας είναι από σκυρόδεμα και αναρτάται με χαλύβδινα καλώδια από δύο πυλώνες ύψους περίπου 90m πάνω από τη θάλασσα. Η θεμελίωση των πυλώνων έγινε με σύστημα φρατοπασσάλων Φ120.

Το κεντρικό τμήμα όπως αναφέρθηκε αποτελείται από τρία ανοίγματα στηριζόμενα στα άκρα στα βάθρα M4 και M7 και αναρτώμενα από τις κεφαλές των πυλώνων M5 και M6 με καλώδια αναρτήσεως. Στις θέσεις στήριξης στα βάθρα M4 και M7 επιτρέπεται η κύλιση κατά την διαμήκη διεύθυνση ενώ κατά την εγκάρσια διεύθυνση οι στηρίξεις έχουν στα εν λόγω βάθρα είναι άρθρωση. Η ανάρτηση του καταστρώματος πραγματοποιείται με δύο επίπεδα καλωδίων, που συντρέχουν στις κεφαλές των πυλώνων. Οι πυλώνες αποτελούνται από δίστηλα πλαίσια και εδράζονται μέσω πασσάλων σε οφιολιθικό σύμπλεγμα ο ένας (M5, Βοιωτικός) και σε κρητιδικό ασβεστόλιθο ο άλλος (M6, Ευβοϊκός). Έχουν ύψος 88.35m (M5) και 84.26m (M6).

### 2.1.1 Κατάστρωμα

Το κατάστρωμα μορφώνεται ως πλάκα πάχους 0.45m, σταθερού καθ' όλο το μήκος της γέφυρας, πλην της περιοχής των πυλώνων M5 και M6, όπου αυξάνεται σε 0.75m. Η πλάκα είναι προεντεταμένη κατά την εγκάρσια διεύθυνση σε όλο το μήκος της γέφυρας. Διαμήκης προένταση εφαρμόζεται μόνο τοπικά στην περιοχή του μέσου της γέφυρας και στην περιοχή των μεταβατικών βάθρων. Η πλάκα κατά την διαμήκη διεύθυνση λειτουργεί ως απειρομήκης λωρίδα από καλώδια ενώ κατά την εγκάρσια διεύθυνση λειτουργεί ως αμφιέριστη δοκός. Το σκυρόδεμα του καταστρώματος είναι κατηγορίας B40, οι χαλαροί οπλισμοί St420 και οι προεντεταμένοι St 1670/1860.

### 2.1.2 Καλώδια αναρτήσεως

Είναι τύπου V.S.L αποτελούμενα από παράλληλα συρματόσχοινα ονομαστικής διαμέτρου 0.6'', κατηγορίας St 1670/1860, με βαφή μολύβδου. Τα καλώδια που καταλήγουν στα βάθρα M4 και M7 (καλώδια αντεπιστροφής) είναι αγκυρωμένα. Ο αριθμός των συρματόσχοινων κάθε καλωδίου καθορίζεται από την έντασή του. Οι διατομές των καλωδίων δεν είναι σταθερές, αυξάνονται όσο τα καλώδια αγκυρώνονται μακρύτερα από τους πυλώνες, και οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 9.8cm<sup>2</sup> και 28.0cm<sup>2</sup> (καλώδια αντεπιστροφής). Όλα τα καλώδια είναι επανατανύσιμα και ανταλλάξιμα. Η τάνυση των καλωδίων πραγματοποιείται από την κεφαλή του πυλώνα που είναι κοίλη (δυνατότητα διαδρομής 80mm). Η προστασία των καλωδίων εξασφαλίζεται με τσιμεντένεμα μέσα

σε σωλήνα πολυαιθυλενίου. Ο τελευταίος περιβάλλεται εξωτερικά με πλαστική επικάλυψη για προστασία από υπερϊώδη ακτινοβολία.

### *2.1.3 Πυλώνες*

Είναι ουσιαστικά δίστηλα πλαίσια από σκυρόδεμα κατηγορίας B45. Οι διαστάσεις τους μεταβάλλονται από 4.00x4.00x0.50m στη βάση, σε 2.50x2.50x0.40m στην κεφαλή. Ο οπλισμός τους είναι κάτω του 2%. Οι δύο στύλοι κάθε πυλώνα συνδέονται μεταξύ τους με δύο δίδυμα ζυγώματα, ένα κάτω από το κατάστρωμα και ένα κάτω από τις κεφαλές. Η κεφαλή του πυλώνα φέρει μία χαλύβδινη εσωτερική κατασκευή που παραλαμβάνει τα φορτία των καλωδίων και αναλαμβάνει τις οριζόντιες συνιστώσες τους, μεταφέροντας ταυτόχρονα τις κατακόρυφες στον περιβάλλοντα εξωτερικό μανδύα σκυροδέματος.

### *2.1.4 Θεμελίωση*

Η θεμελίωση των πυλώνων πραγματοποιήθηκε με 20 φρεατοπάσσλους Φ120, συζευγμένους στην κεφαλή τους με εσχάρα πεδιλοδοκών ύψους 5.00m. Οι πάσσλοι εδράζονται στο οφιολιθικό σύμπλεγμα προς την ηπειρωτική πλευρά (πυλώνας M5) και τον κρητιδικό ασβεστόλιθο στην άλλη (πυλώνας M6), έχοντας μήκη 30m και 15m αντίστοιχα. Η έδραση των πλευρικών ανοιγμάτων της κεντρικής γέφυρας επί των βάθρων M4 και M7 πραγματοποιείται με αμφιαρθρωτούς ελκυστήρες. Λόγω της αρνητικής αντίδρασης της γέφυρας επί των βάθρων, τα βάθρα προεντείνονται κατακορύφως και συρράπτονται προς το έδαφος με σύστημα μικροπασσάλων.

## **1.2 Σύστημα Ενοργάνωσης**

Το σύστημα ενοργάνωσης της γέφυρας αποτελείται από 36 κανάλια επιταχυνσιομέτρων από τα οποία τα εννέα βρίσκονται σε τρία τριαξονικά όργανα και τα υπόλοιπα σε μονοαξονικά. Την παρούσα περίοδο είναι σε λειτουργία 16 μονοαξονικά αισθητήρια τα οποία βρίσκονται στην ανωδομή της γέφυρας και ένα τριαξονικό αισθητήριο το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος του πυλώνα (επί πλακός στην στάθμη του εδάφους) ο οποίος κατασκευάστηκε προς την πλευρά της Βοιωτίας. Η μη λειτουργία 17 οργάνων οφείλεται σε βανδαλισμούς και κλοπές καλωδίων που έγιναν τα τελευταία έτη στην γέφυρα, γεγονός που δείχνει την αναγκαιότητα για τηλεπαρακολούθηση και καταγραφή με όργανα υψηλής ευκρίνειας στο κάτω μέρος της γέφυρας αλλά και στην ανωδομή, των διερχομένων πεζών και αυτοκινήτων. Η τηλεπαρακολούθηση κρίνεται αναγκαία λόγω της πολύ σημαντικής λειτουργίας της γνώσης του τύπου και του μεγέθους των διερχόμενων οχημάτων προς συσχετισμό με τις καταγραφές.

Τα 16 μονοαξονικά αισθητήρια στην ανωδομή της γέφυρας έχουν προσανατολισμό κατά την διαμήκη διεύθυνση του καταστρώματος “L” τα έξι, κατά την εγκάρσια διεύθυνση “T” τα επτά και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση “V” τα τρία.

Τα τέσσερα από τα έξι αισθητήρια τα οποία λειτουργούν κατά την διαμήκη “L” διεύθυνση βρίσκονται στην κορυφή του πυλώνα της Βοιωτίας τα δύο και στην κορυφή του πυλώνα της Εύβοιας τα άλλα δύο. Δύο από τα αισθητήρια της διαμήκους διεύθυνσης βρίσκονται στην συμβολή του πυλώνα της Ευβοίας με το κατάστρωμα της γέφυρας, από ένα σε κάθε πλευρά. Επίσης υπάρχει ένα έβδομο αισθητήριο της διαμήκους διεύθυνσης το οποίο βρίσκεται στο τριαξονικό αισθητήριο στην πλάκα επί του εδάφους στην πλευρά του πυλώνα Βοιωτίας.

Τα δύο από τα έξι αισθητήρια τα οποία λειτουργούν στην εγκάρσια “T” διεύθυνση βρίσκονται από

ένα στις κορυφές των δύο πυλώνων της γέφυρας. Τα άλλα δύο εγκάρσια αισθητήρια βρίσκονται στο σημείο σύνδεσης των δύο πυλώνων με το κατάστρωμα της γέφυρας. Ένα ακόμη εγκάρσιο αισθητήριο βρίσκεται στην μέση του καταστρώματος και το έκτο εγκάρσιο αισθητήριο βρίσκεται στην πλάκα του καταστρώματος και ανάντη του ακραίου αρμού προς την πλευρά της Εύβοιας. Επίσης υπάρχει ένα όγδοο αισθητήριο της εγκάρσιας διεύθυνσης το οποίο βρίσκεται στο τριαξονικό αισθητήριο στην πλάκα επί του εδάφους στην πλευρά του πυλώνα Βοιωτίας.

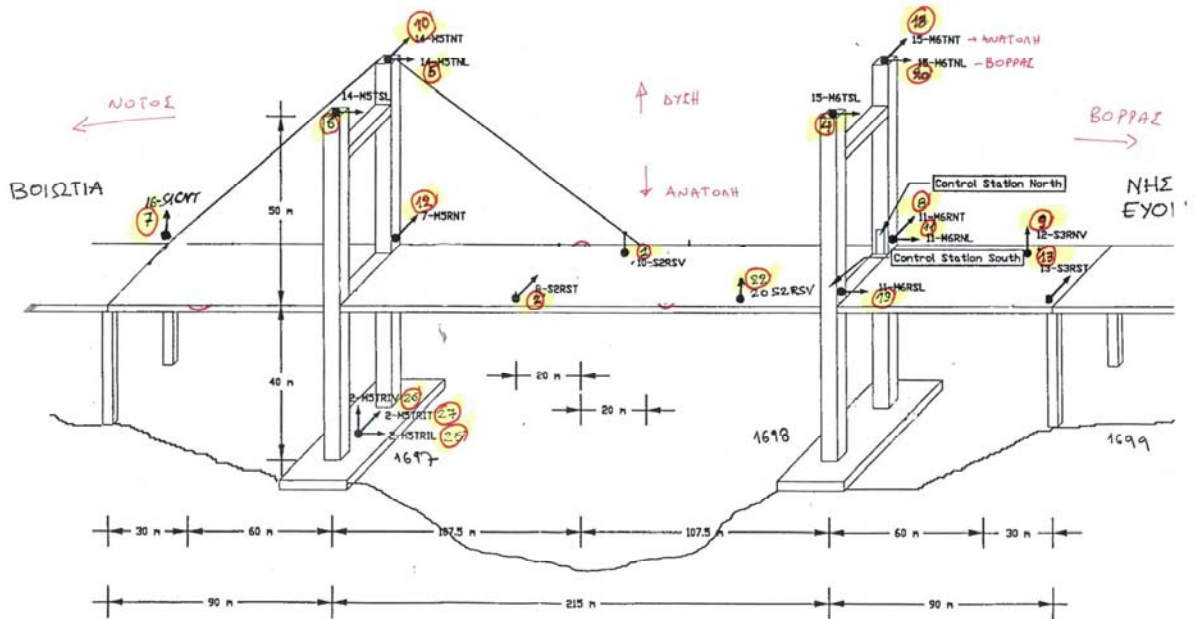
Τα τρία κατακόρυφα αισθητήρια βρίσκονται ένα στο ακραίο άνοιγμα της γέφυρας, προς την πλευρά της Εύβοιας και δύο στο κεντρικό άνοιγμα της γέφυρας. Επίσης υπάρχει ένα τέταρτο αισθητήριο της κατακόρυφης διεύθυνσης το οποίο βρίσκεται στο τριαξονικό αισθητήριο στην πλάκα επί του εδάφους στην πλευρά του πυλώνα Βοιωτίας.

Όλα τα αισθητήρια (μονοαξονικά και τριαξονικά) είναι κατασκευή της εταιρείας Kinemetrics [2]. Συνδέονται σε κεντρική καταγραφική μονάδα με ρυθμό καταγραφής 200sps (Hz), συνεχώς επί 24ώρου βάσεως. Η κεντρική καταγραφική μονάδα είναι το Dolomite+ της Kinemetrics επίσης. Δέχεται έως 36 κανάλια και είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες. Το εν λόγω σύστημα είναι 24-bit και έχει δυνατότητα καταγραφής 1, 10, 20, 50, 100, 200, 250, 500, 1000, 2000, 5000 sps.



Σχήμα 1: Κονσόλα κεντρικής καταγραφικής μονάδας, παρόμοιος τύπος με την οποία βρίσκεται στο έργο και μπαταρίες οι οποίες λειτουργούν κατά την διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος η οποίες επαναφορτίζουν με την αποκατάσταση της ρευματοδότησης (αριστερά). Υποδοχείς καναλιών (δεξιά). [2]

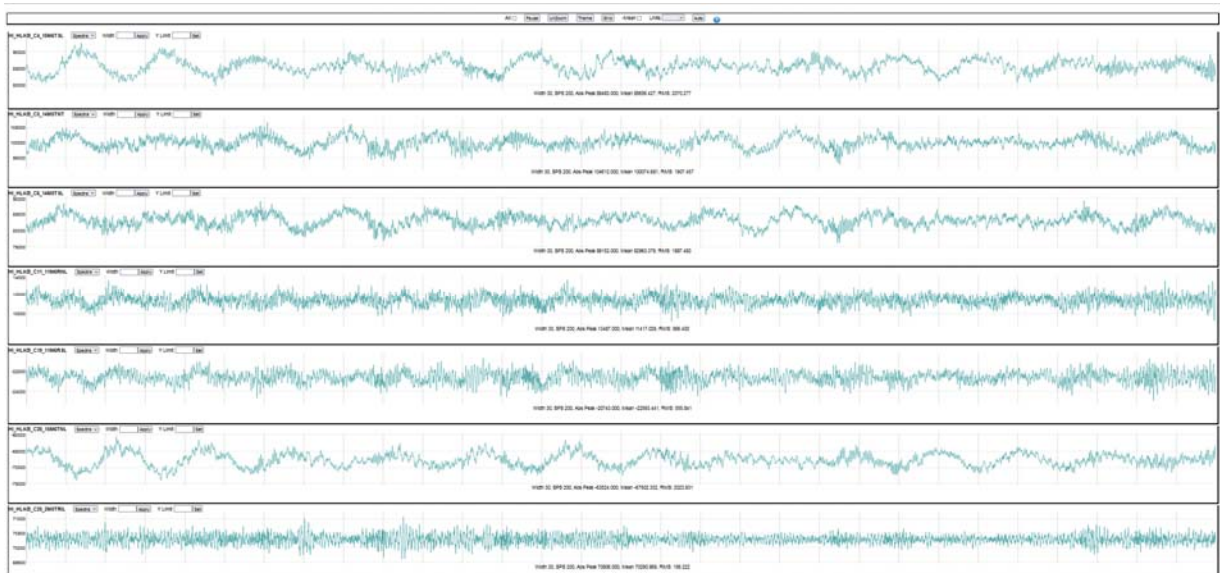
Ο έλεγχος των καταγραφών, ο προγραμματισμός και η ρύθμιση των οργάνων είναι δυνατός από τις εγκαταστάσεις του ΙΤΣΑΚ καθώς το σύστημα είναι συνδεδεμένο διαδικτυακά με αποθηκευτική μονάδα και με τους υπολογιστές του Ινστιτούτου.



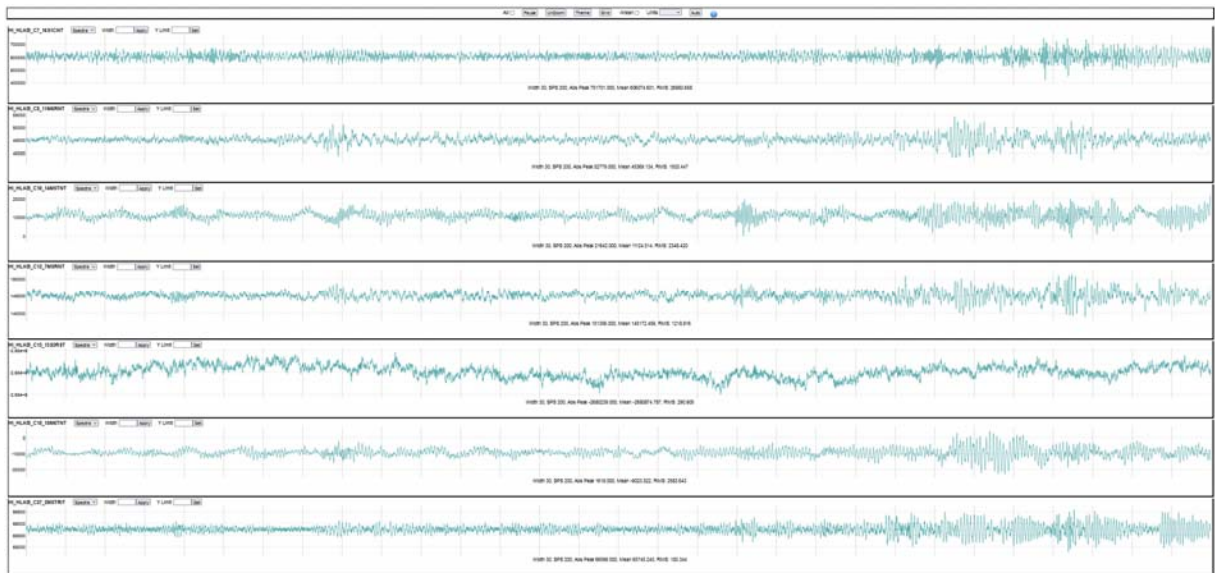
Σχήμα 2: Σκαρίφημα της Καλωδιωτής Γέφυρας της Χαλκίδας με την διάταξη των αισθητήρων. Από τα 36 όργανα που τοποθετήθηκαν αρχικά στη γέφυρα, την παρούσα περίοδο λειτουργούν τα 19.

## 2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΤΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥΣ

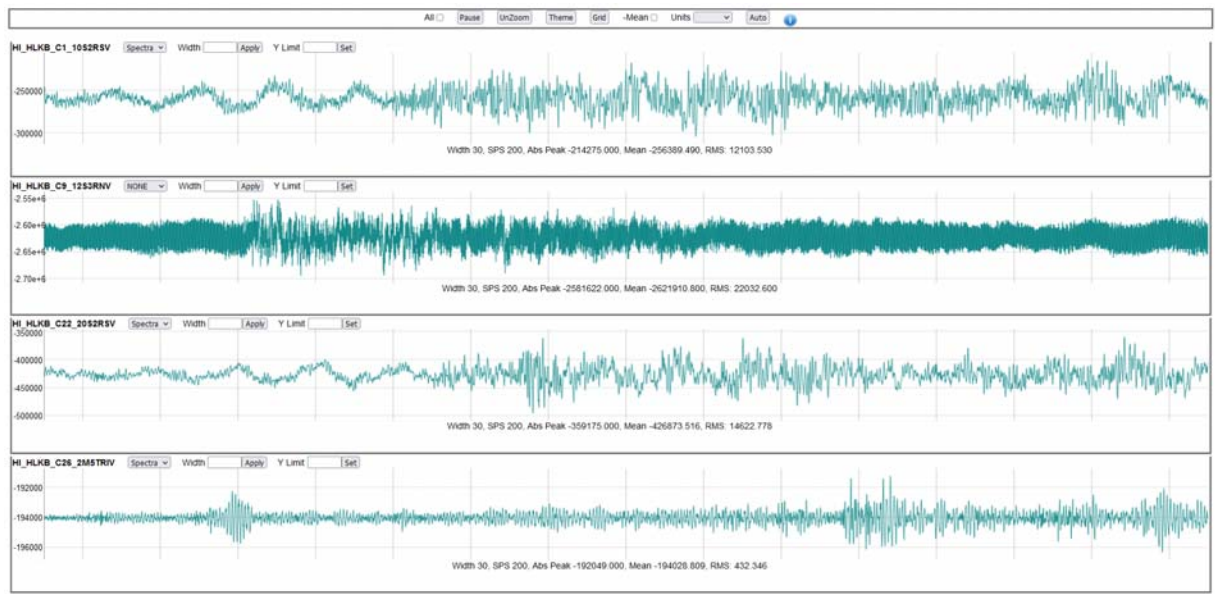
Όπως ήδη αναφέρθηκε το σύστημα ενοργάνωσης συλλέγει καταγραφές της απόκρισης της γέφυρας σε περιβαλλοντικές, σεισμικές δράσεις αλλά και σε δράσεις από κυκλοφορία οχημάτων συνεχώς. Από τις εν λόγω διεγέρσεις προκύπτουν τα δυναμικά ιδιοχαρακτηριστικά της. Στις επόμενες εικόνες δίνονται οι κυματομορφές ταλάντωσης για του αισθητήρες στην διαμήκη διεύθυνση, στην εγκάρσια διεύθυνση και στην κατακόρυφη διεύθυνση.



Σχήμα 3: Χρονοϊστορίες καταγραφής διαρκούς μικροδιέγερσης κατά την διαμήκη "L" διεύθυνση της γέφυρας.

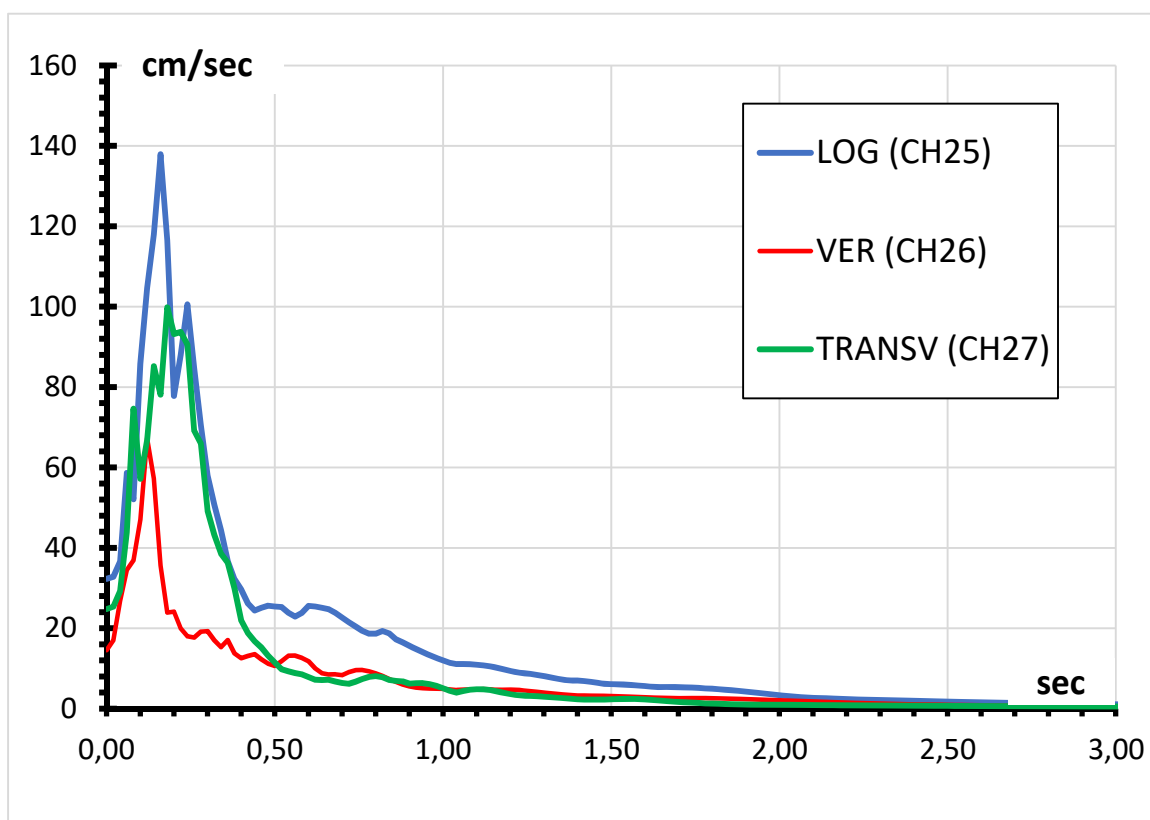


Σχήμα 4: Χρονοϊστορίες καταγραφής διαρκούς μικροδιέγερσης κατά την εγκάρσια “Τ” διεύθυνση της γέφυρας.



Σχήμα 5.1: Χρονοϊστορίες καταγραφής διαρκούς μικροδιέγερσης κατά την κατακορυφή “V” διεύθυνση.

Από τις ανωτέρω καταγραφές προκύπτουν οι κύριες ιδιοσυχνότητες της γέφυρας με την μέθοδο του ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT). Επίσης αξιοποιούνται οι ιδιομορφικές αναλύσεις του προσομοιώματος της γέφυρας με πεπερασμένα στοιχεία. Το προσομοίωμα δημιουργήθηκε και βαθμονομήθηκε με βάση καταγραφές της απόκρισης της γέφυρας σε περιβαλλοντικές διεγέρσεις κατά την περίοδο 1998 – 1999. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η εξακρίβωση της μεταβολής των δυναμικών ιδιοχαρακτηριστικών της τα τελευταία 25 έτη και η απόδοσή τους σε προβλήματα δομικών μελών, χαλαρώσεων ή παθολογίας.



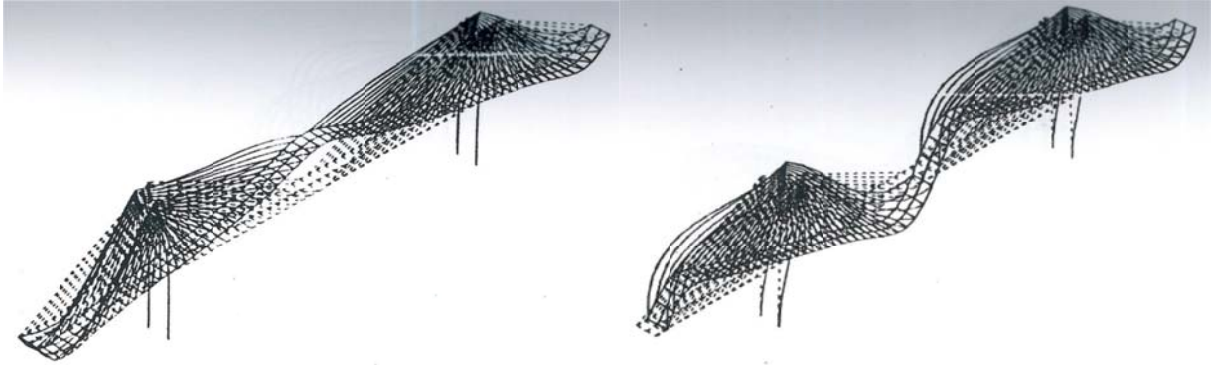
Σχήμα 5.2, Φάσματα απόκρισης της σεισμικής διέγερσης για τον σεισμό της Χαλκίδας, M4.8, 28/12/2022. Τα φάσμα κατασκευάστηκαν από τις καταγραφές τριαξονικού επιταχυνσιμέτρου το οποίο βρίσκεται στον κεφαλόδεσμο των πασσάλων στο υψηλό βάθρο, προς την πλευρά της Βοιωτίας.

Πίνακας 1: Ιδιοτιμές γέφυρας από καταγραφές την παρούσα περίοδο και από βαθμονομημένο προσομοίωμα της περιόδου 1998-1999.

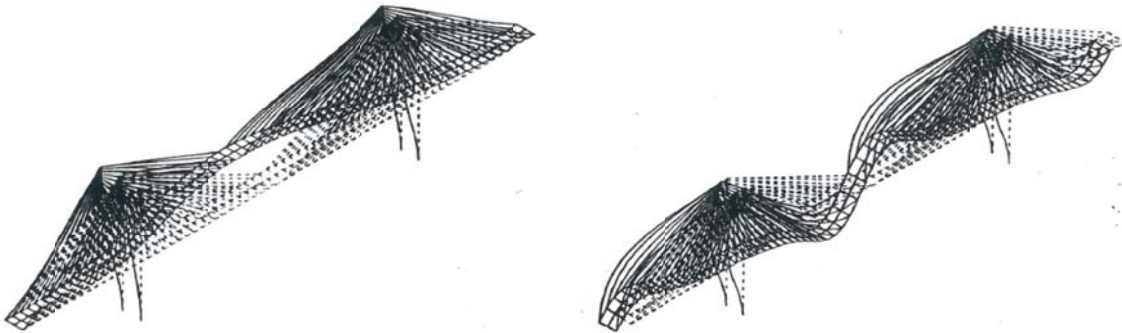
| ΑΑ /<br>#Ιδιομορφής | Διεύθυνση          | Ιδιοτιμές από<br>προσομοίωμα 1998-99 [1]<br>(Hz) / Mass Part. Factor% | Ιδιοτιμές από<br>καταγραφές θορύβου<br>2022 (Hz) | Ιδιοτιμές από<br>σεισμό M4.8<br>28/12/2022 (Hz) |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 / 2               | Z-Z Κατακόρυφη “V” | 0.3648 / 4.14%                                                        | -                                                | -                                               |
| 1 / 2               | X-X Διαμήκης “L”   | 0.3947 / 34.08%                                                       | 0.3961                                           | 0.4394531                                       |
| 2 / 3               | Y-Y Εγκάρσια “T”   | 0.4713 / 56.40%                                                       | 0.5859                                           | 0.5249023                                       |
| 3 / 4               | X-X Διαμήκης “L”   | 0.5595 / 55.04%                                                       | 0.7813                                           | 0.6713867                                       |
| 4 / 11              | Z-Z Κατακόρυφη “V” | 0.9429 / 25.88%                                                       | 0.9766 ή 1.1719                                  | 0.8544922                                       |
| 5 / 25              | Y-Y Εγκάρσια “T”   | 1.6795 / 10.62%                                                       | 1.7578                                           | 1.8188488                                       |

Στην τελευταία στήλη του Πίνακα 1, η συσχέτιση δεν έχει ολοκληρωθεί αλλά δίνεται για λόγους πληρότητας.

Αναφέρεται ότι οι παραπάνω τιμές του Πίνακα 1 ενδέχεται να μεταβληθούν καθώς επίκειται η εφαρμογή προηγμένων μεθόδων ανάλυσης και μετεπεξεργασίας των καταγραφών. Ακολουθώς δίνονται οι ιδιομορφές του αναλυτικού προσομοιώματος [1], [3], οι οποίες αντιστοιχούν στον δεύτερο αριθμό της πρώτης στήλης του Πίνακα 1.

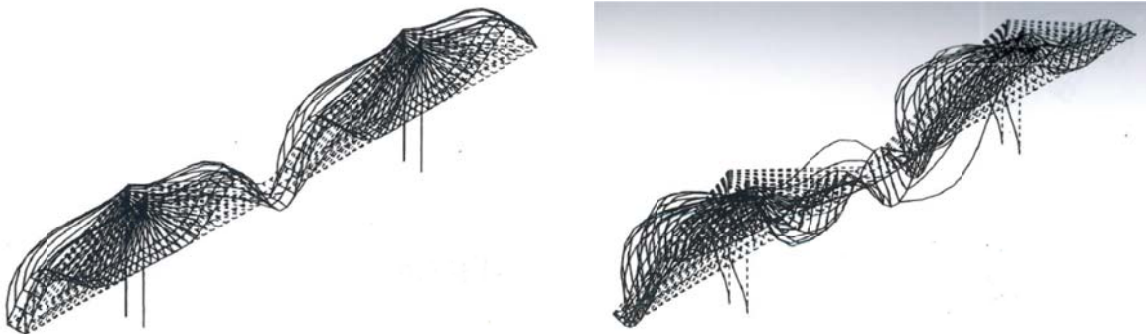


Σχήμα 6α: Αναλυτική ιδιομορφή #1, (V), κατά Z-Z. Σχήμα 6β: Αναλυτική ιδιομορφή #2, διαμήκης (L), X-X.



Σχήμα 6γ: Αναλυτική ιδιομορφή #3, εγκάρσια (T), κατά Y-Y.

Σχήμα 6δ: Αναλυτική ιδιομορφή #4, διαμήκης (L), κατά X-X.



Σχήμα 6ε: Αναλυτική ιδιομορφή #11, κατακόρυφη (V), κατά Z-Z.

Σχήμα 6στ: Αναλυτική ιδιομορφή #25, εγκάρσια (T), κατά Y-Y.

### 3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καλωδιωτή γέφυρα της Χαλκίδας παραδόθηκε στην κυκλοφορία τον Ιούλιο του 1993. Το έργο βρίσκεται σε θέση με πολλές δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις οι οποίες δρουν αθροιστικά τα τριάντα περίπου έτη της λειτουργίας του. Το πρώτο σύστημα ενοργάνωσης εγκαταστάθηκε το 1992 με χρηματοδότηση του ΥΠΕΧΩΔΕ και ήταν πρωτοπόρο για την εποχή του με τηλεμετρική παρακολούθηση. Η τότε εγκατάσταση έγινε και με τη συνεργασία του μελετητή του έργου κ. Σταθόπουλου Σταμάτιου, με τον οποίο η συνεργασία συνέχισε με τη μορφή ενημέρωσης πάνω σε κρίσιμες μετρήσεις και αποτελέσματα. Για την δομική παρακολούθηση του έργου δεν έχει γίνει κάποια επίσημη ανάθεση από τον αρμόδιο φορέα διαχείρισής του. Κατά το έτος 2012 με την αλλαγή του συστήματος ενοργάνωσης και την ουσιαστική του αναβάθμιση έγιναν στο πλαίσιο της συντήρησης από ιδιώτη μετρήσεις με δίκτυο παραμορφωσιμέτρων και LVDT εκτενείς μετρήσεις μετακινήσεων στο κατάστρωμα και στους πυλώνες. Τα αποτελέσματα τέθηκαν υπόψη του αρμόδιου Υπουργείου μέσω της Εταιρείας ΔΟΜΗ Α.Ε. Η μόνη προσπάθεια δυναμικού συστηματικού ελέγχου του έργου γίνεται από το ΙΤΣΑΚ μέσω του συστήματος ενοργάνωσης το οποίο εγκαταστάθηκε το 1992, έχει αναβαθμιστεί δύο κυρίως φορές και παρακολουθείται από ερευνητές του ΙΤΣΑΚ χωρίς καμία χρηματοδότηση. Αναφέρεται ότι σύμφωνα με τις σύγχρονες βέλτιστες πρακτικές, για τα συστήματα ενοργάνωσης, χρειάζονται επισκέψεις στο έργο, δοκιμαστικές φορτίσεις με πρότυπο όχημα και εκτενείς αναλύσεις των καταγραφών και του προσομοιώματος της γέφυρας με υψηλές απαιτήσεις σε προσωπικό και χρόνο.

Το σύστημα ενοργάνωσης δίνει αρκετές χρήσιμες πληροφορίες για την απόκριση της γέφυρας. Σύμφωνα με την διεθνή πρακτική [4], [5], [6], εκτός από το υπάρχον σύστημα ενοργάνωσης, το οποίο είναι λειτουργικό, χρειάζονται έλεγχοι και σε άλλα σημεία της γέφυρας τα οποία είναι κρίσιμα για την ασφάλεια. Ειδικότερα αναφέρονται οι έλεγχοι του προεντεταμένου σκυροδέματος των καταστροφμάτων, των καλωδίων ανάρτησης, της δύναμης που παραλαμβάνουν, των πυλώνων και της ιδιαίτερα κρίσιμης θέσης συμβολής των καλωδίων ανάρτησης στις κεφαλές τους. Οι έλεγχοι αυτοί σε συνδυασμό με την εκπόνηση ενός συνδυασμένου και κατάλληλα σχεδιασμένου προγράμματος μετρήσεων θα δώσουν την ακριβή κατάσταση της κατασκευής και θα προκύψουν τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν και οι εργασίες αποκατάστασης που πρέπει να γίνουν για την βελτίωση της βιωσιμότητας και λειτουργικότητάς της.

Σύμφωνα με την επεξεργασία των μετρήσεων, που λήφθηκαν την παρούσα περίοδο, προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για την ευκαμψία της γέφυρας. Η ποσοτικοποίηση της ευκαμψίας σε ειδικότερους όρους, συμβατούς με την επιστήμη του μηχανικού και τις διεθνείς μεθόδους συντήρησης μεγάλων έργων κρίνεται αναγκαία για την ασφάλεια της γέφυρας. Με μία ομάδα κατάλληλα συνδυασμένων ελέγχων θα είναι δυνατή η κατάταξη των επεμβάσεων, με βάση κριτήρια σημασίας και επικινδυνότητας καθώς επίσης και οικονομική αποτίμηση προκειμένου να αποφασιστεί ο βέλτιστος βαθμός επέμβασης τόσο για την ασφάλεια όσο και για την οικονομία του έργου.

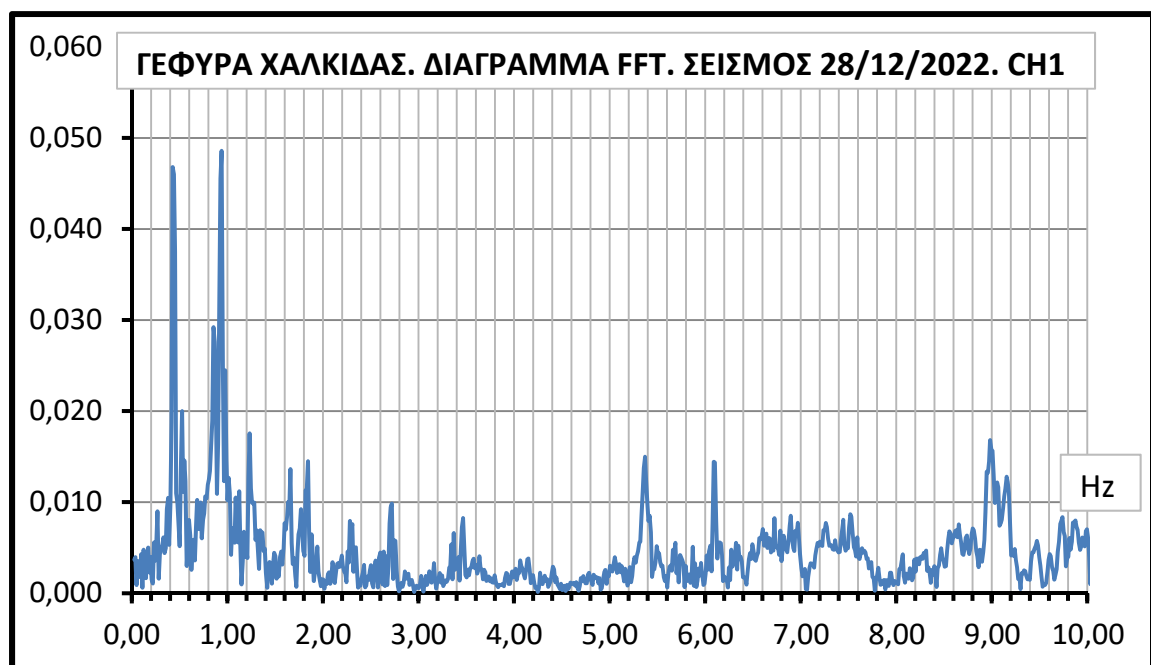
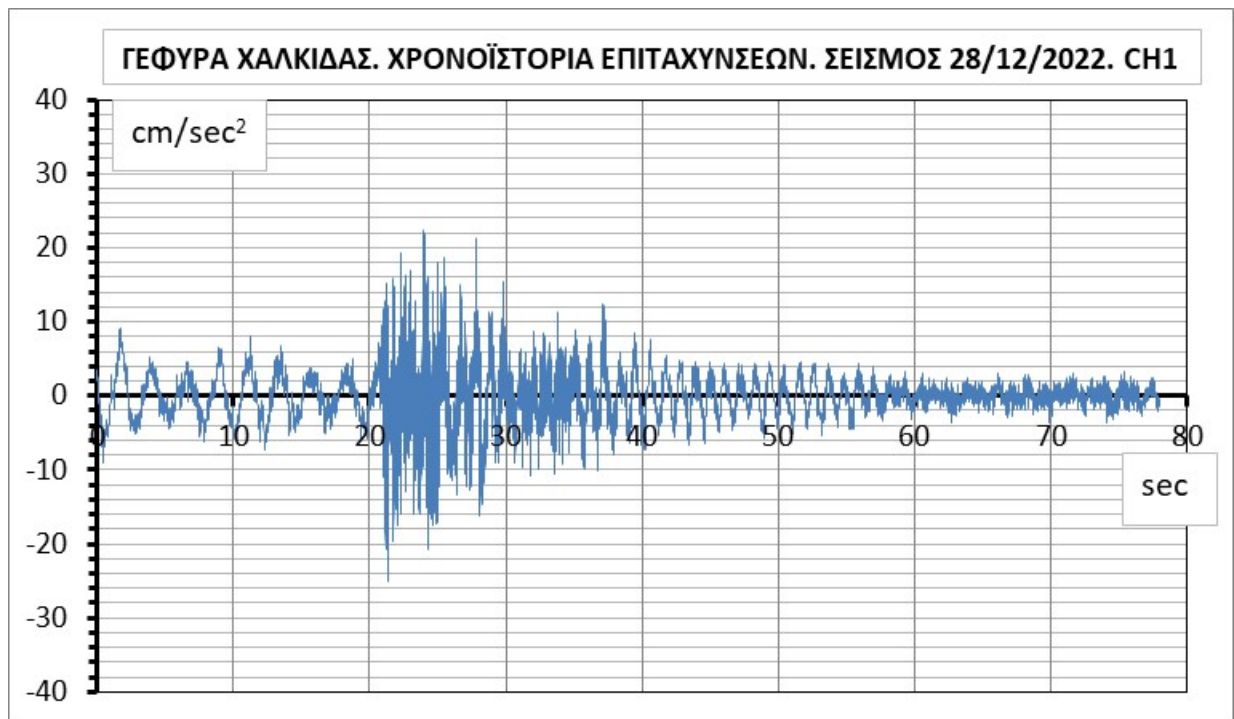
Την παρούσα περίοδο έχει εκκινήσει στο ΙΤΣΑΚ λεπτομερέστερη επεξεργασία των καταγραφών που συλλέγονται από τα όργανα τα οποία είναι εν λειτουργία προς αποτίμηση των ευρημάτων αύξησης της ευκαμψίας της γέφυρας και των καθορισμό των αιτίων εμφάνισής τους.

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

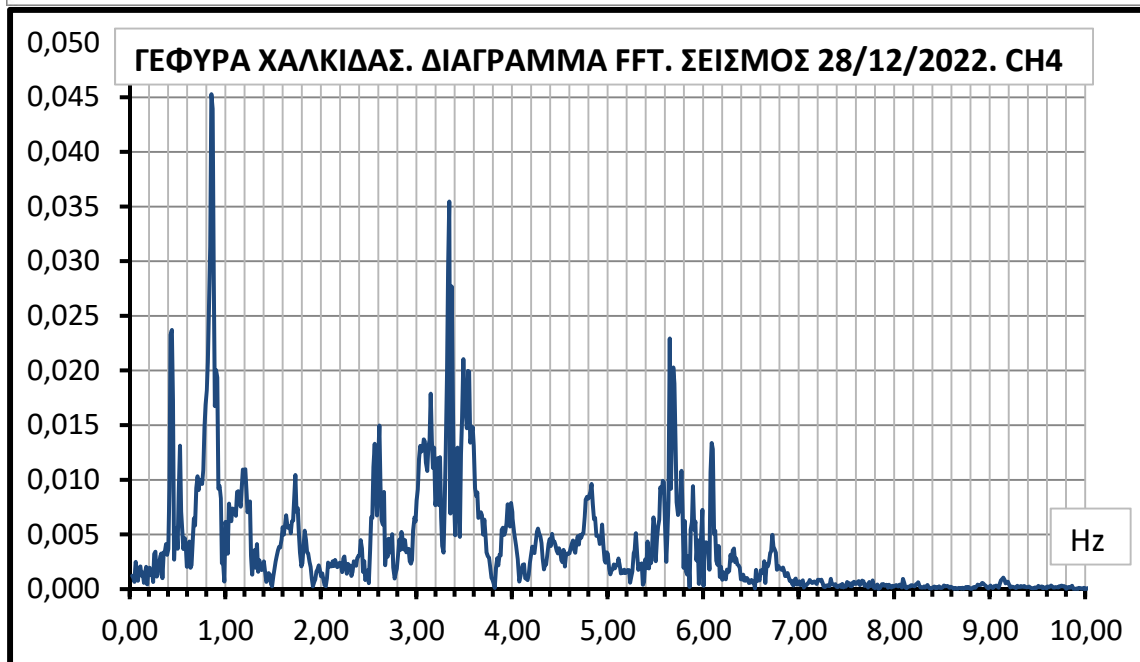
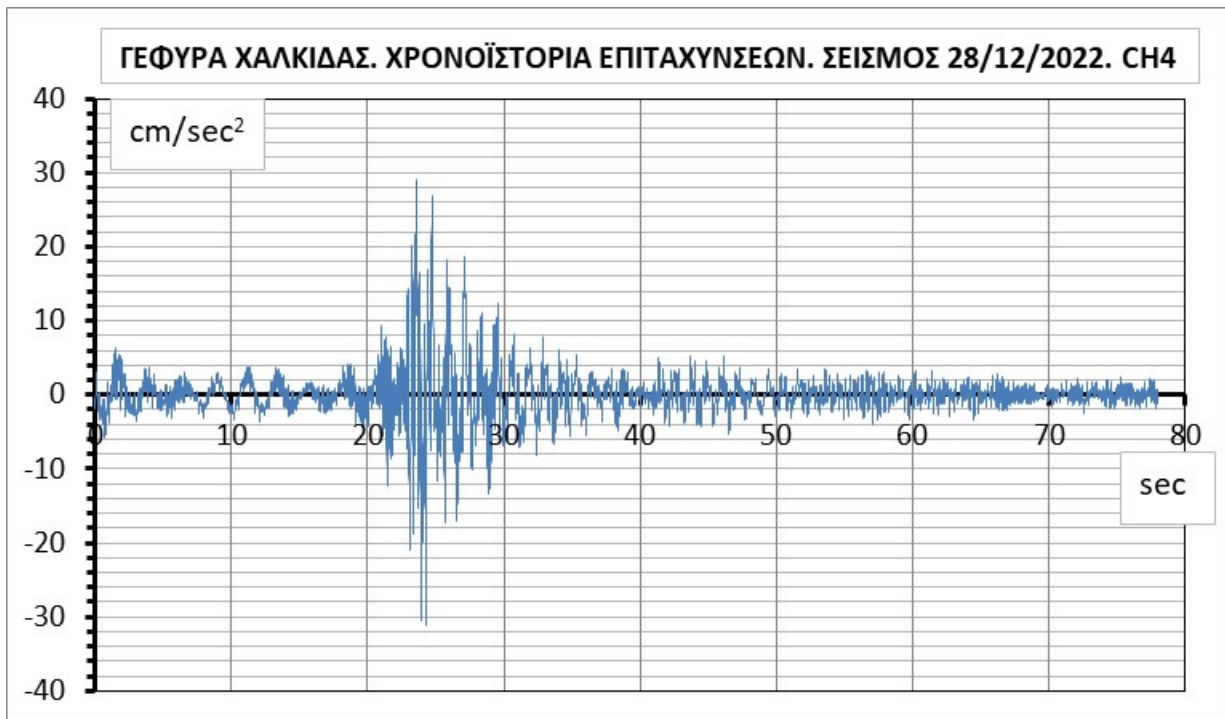
ιδιομορφών ταλάντωσης της κατασκευής. Για την τεκμηρίωση των προκαταρκτικών αυτών συμπερασμάτων θα πρέπει στα πλαίσια της μελλοντικής έρευνας να χρησιμοποιηθούν και αναλυτικές μέθοδοι προσομοίωσης της επιρροής της τοπικής γεωλογίας στη σεισμική κίνηση καθώς επίσης και να εκπονηθούν επιτόπου διερευνήσεις της επίδρασης της τοπικής γεωλογίας.

#### 4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

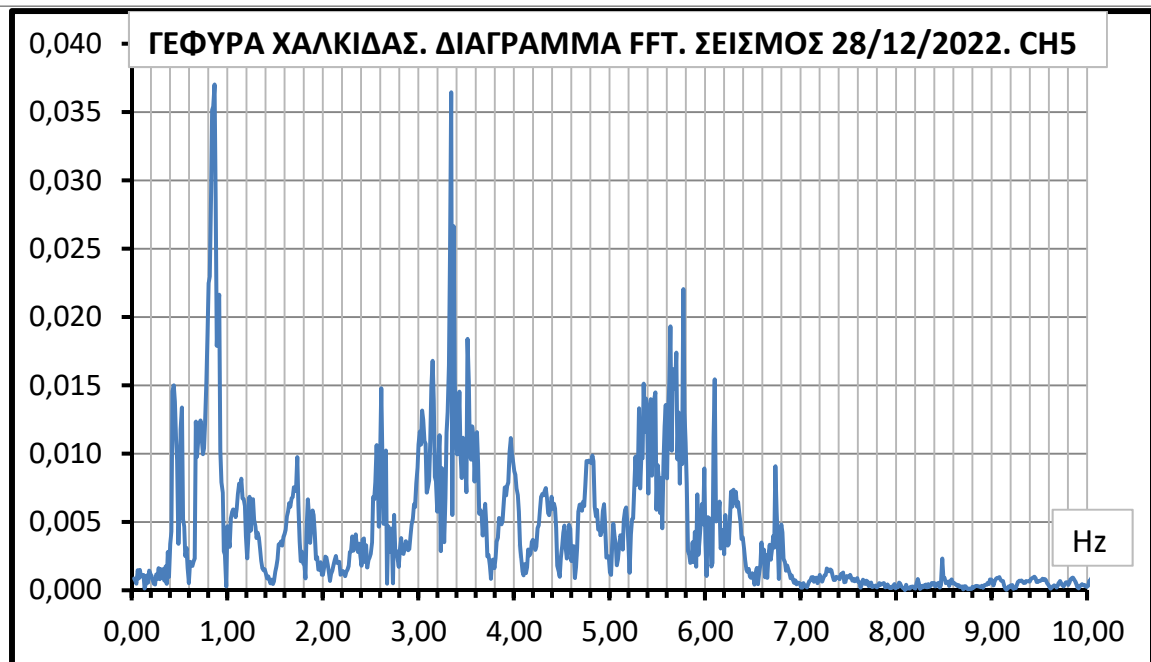
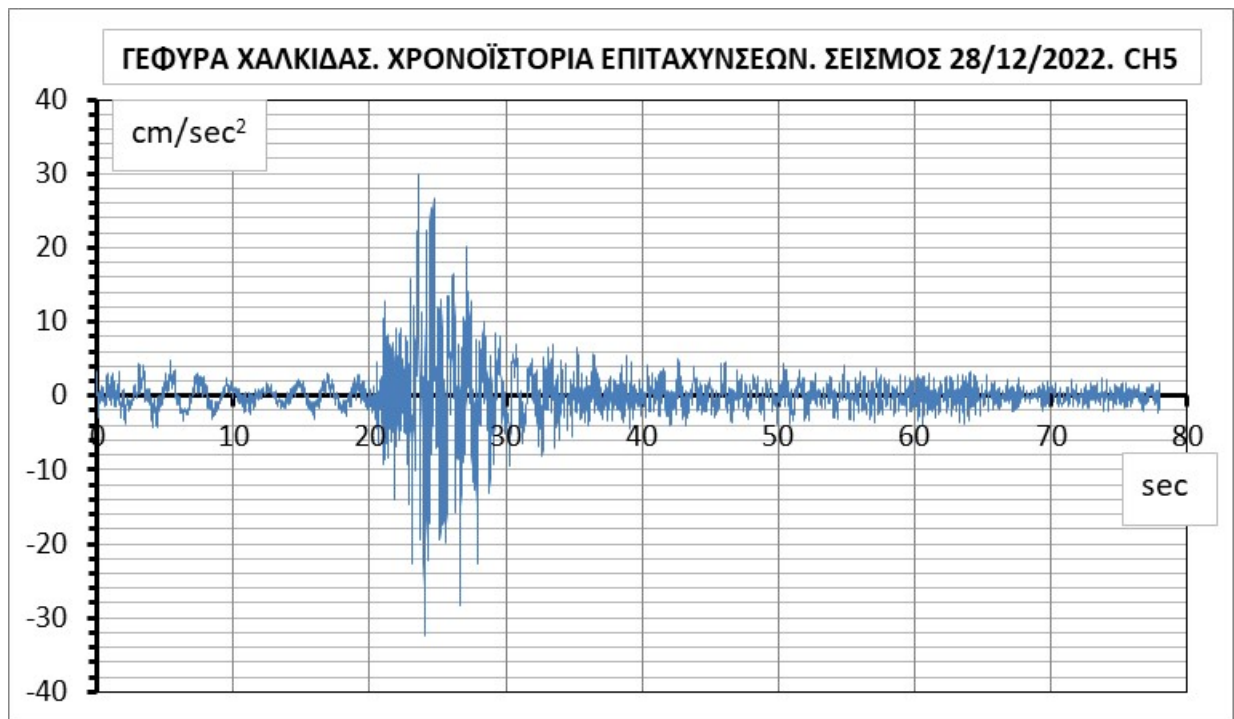
1. Ταλασλίδης Δ. Ανάπτυξη – Επέκταση – Λειτουργία και αξιοποίηση των καταγραφών του ειδικού δικτύου επιταχυνσιογράφων της υψηλής γέφυρας Χαλκίδας. Ερευνητικό Πρόγραμμα. ΙΤΣΑΚ 1997.
2. Kinemetrics, Inc. Rock Dolomite Central Recording System. Supplemental Mamual. Document 300718. May 2009.
3. Λεκίδης Β., Καρακώστας Χ., Παπαϊωάννου Χ., Σαλονικιός Θ., Μακάριος Τ. Αξιοποίηση Μετρητικών Δεδομένων της Γέφυρας της Χαλκίδας στο Πλαίσιο Προγραμμάτων Συντήρησης του Έργου. 3ο ΠΣΑΜΤΣ, Αθήνα, 5-7 Νοεμβρίου 2008.
4. Salonikios T., Theodoulidis N., Zacharopoulou G.. “Seismic response evaluation of monuments based on ambient vibrations: the case studies of a Byzantine basilica and an Ottoman bath in Thessaloniki (Greece)” Journal of Seismology, Springer, DOI 10.1007/s10950-020-09906-7, 2020.
5. Salonikios T., Morfidis K., Theodoulidis N. Study on the Influence of Structural Interventions to Monuments Based on In-Situ Ambient Vibration Measurements at Matsopoulos Mill, Trikala, Greece. International Journal of Masonry Research and Innovation. 2022\_IJMRI-100430. Finally accepted for publication. 2022.
6. Salonikios T., Kolotsios G. Evaluation of EC8 Part II Provisions for Bridges with Wall-Like Piers Through the Utilization of Experimental Data. Structural Engineering International. DOI: 10.1080/10168664.2022.2060899.



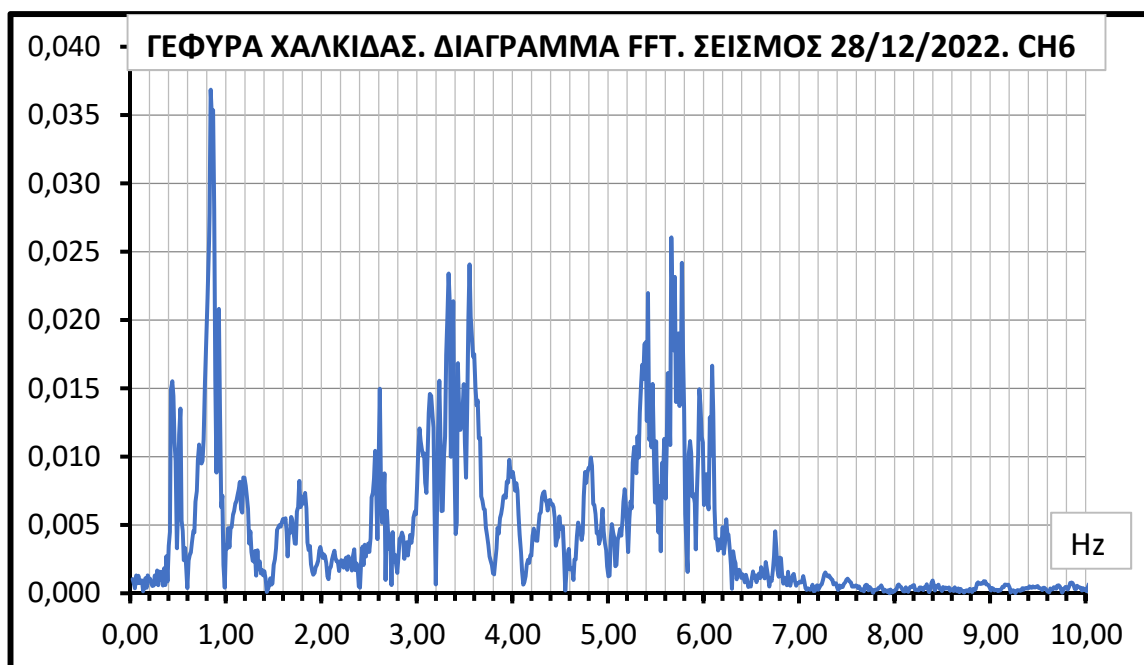
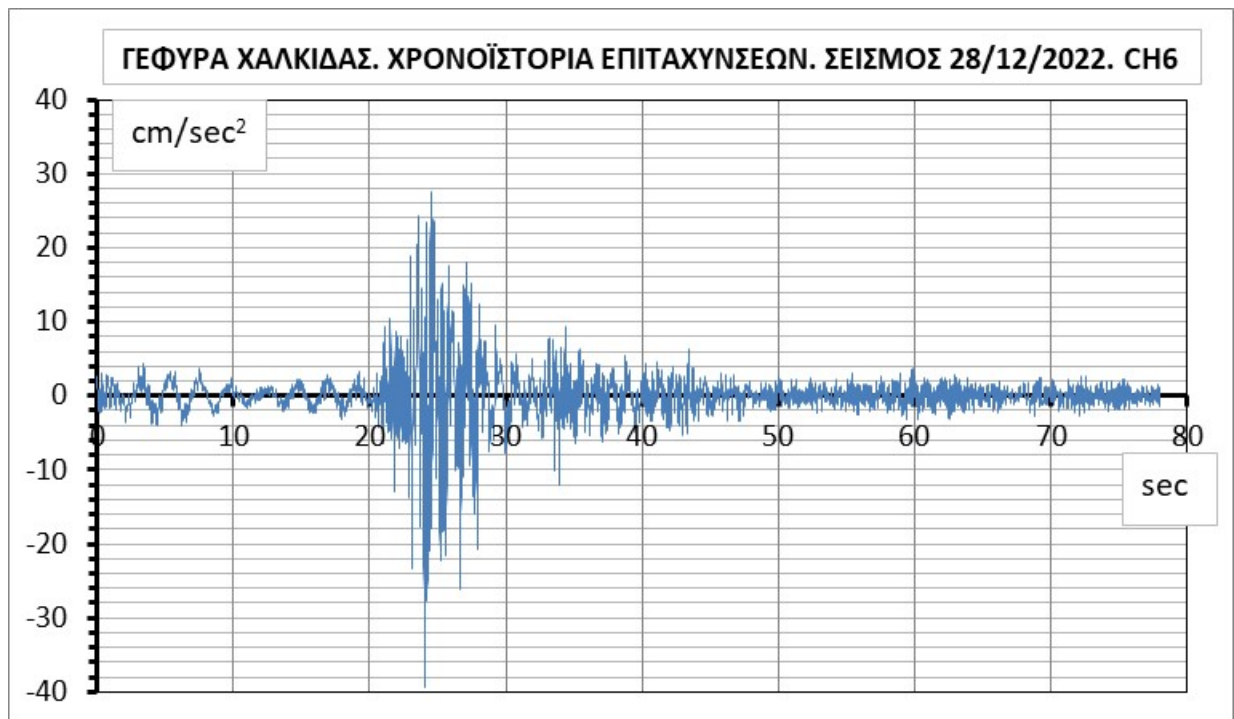
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH1 (channel 1) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH1. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.439453, 0.524902, 0.854492, 0.939941, 1.232910, 1.660156, 1.843262 (Hz).



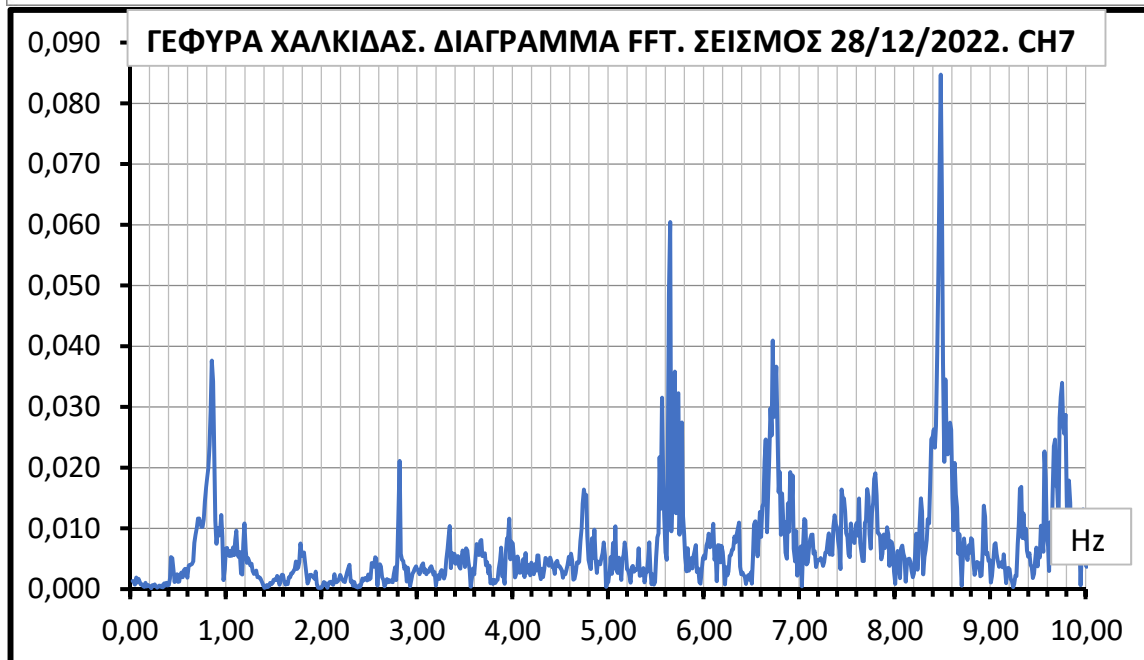
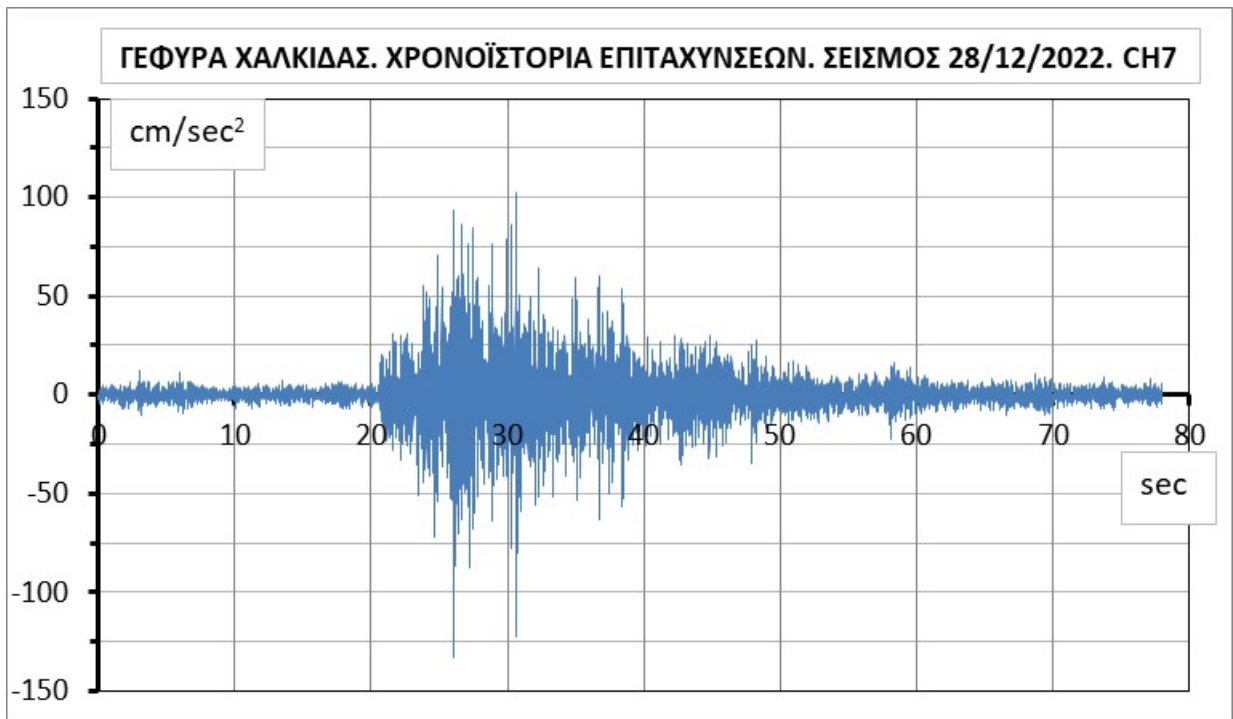
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH4 (channel 4) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH4. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.439453, 0.524902, 0.854492, 1.208496, 1.73339800, 2.61230500, 3.34472700 (Hz)



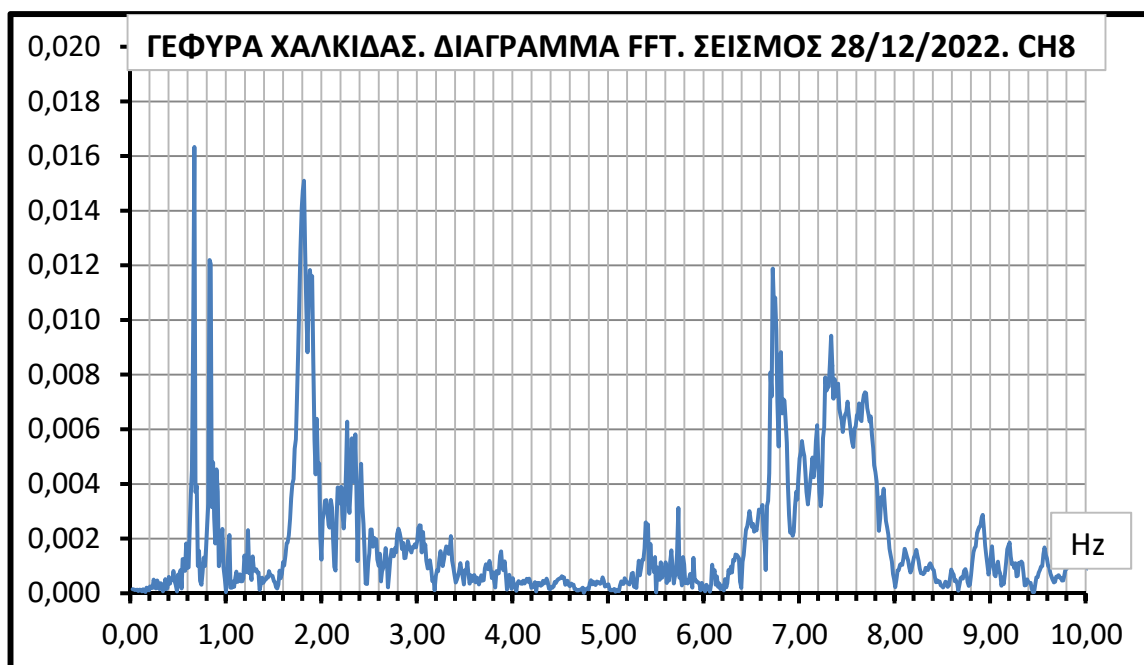
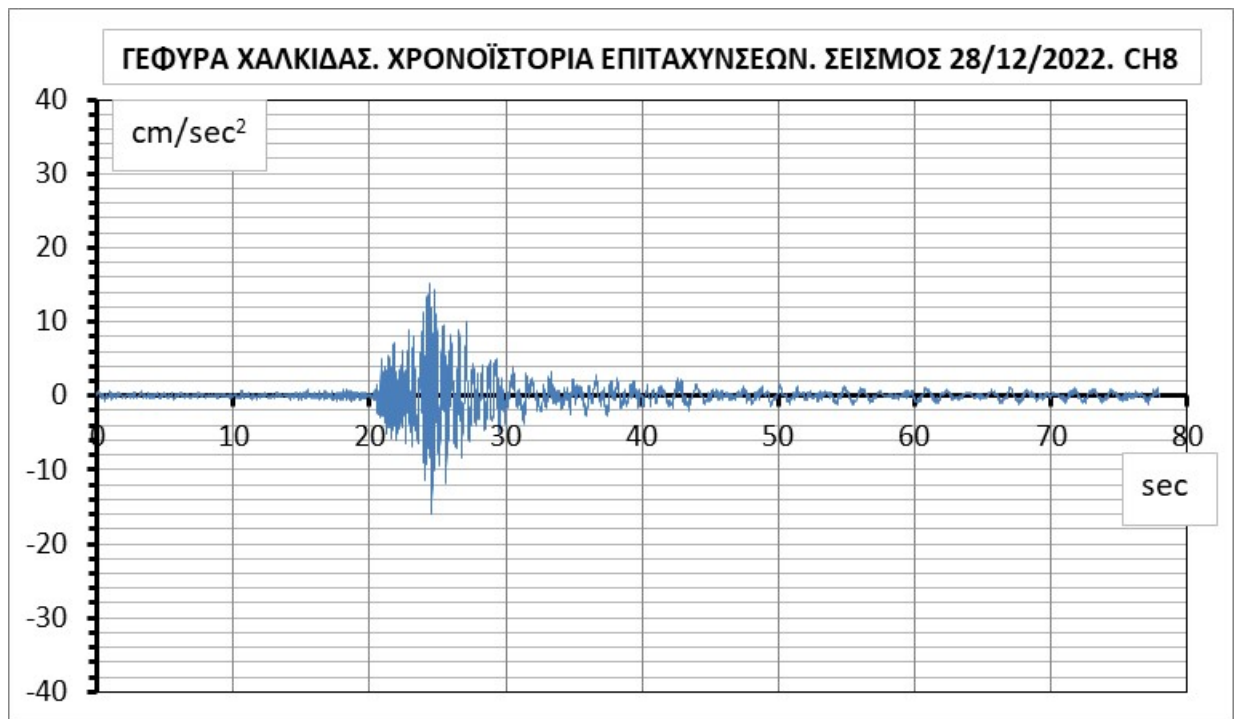
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH5 (channel 5) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH5. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.439453, 0.524902, 0.8666992, 1.1230470, 1.73339800, 2.6123050, 3.3447270 (Hz)



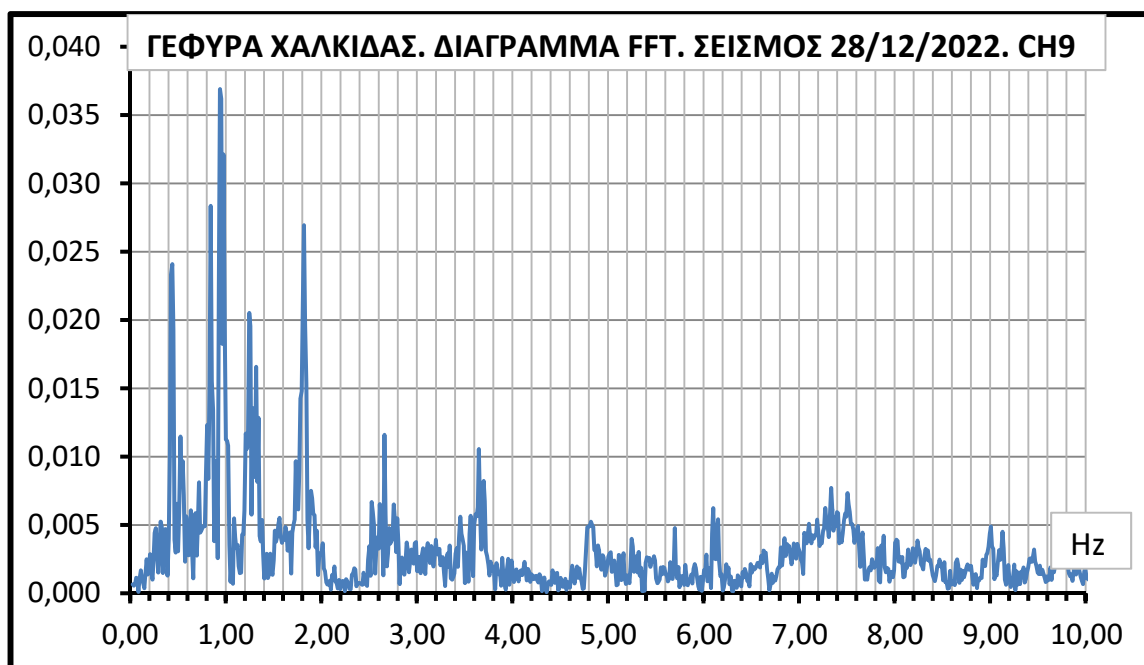
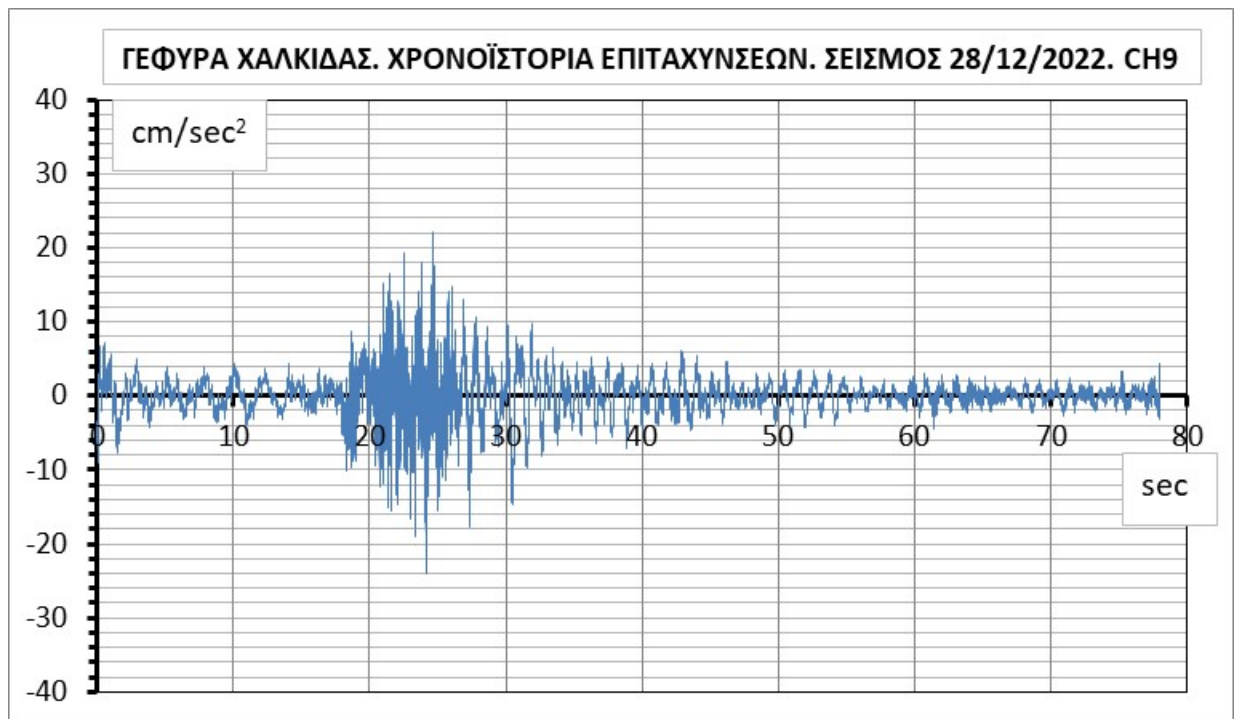
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH6 (channel 6) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχύως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH6. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.439453, 0.524902, 0.8422852, 1.1474610, 1.7700200, 2.6123050, 3.3325200, 3.5522460 (Hz)



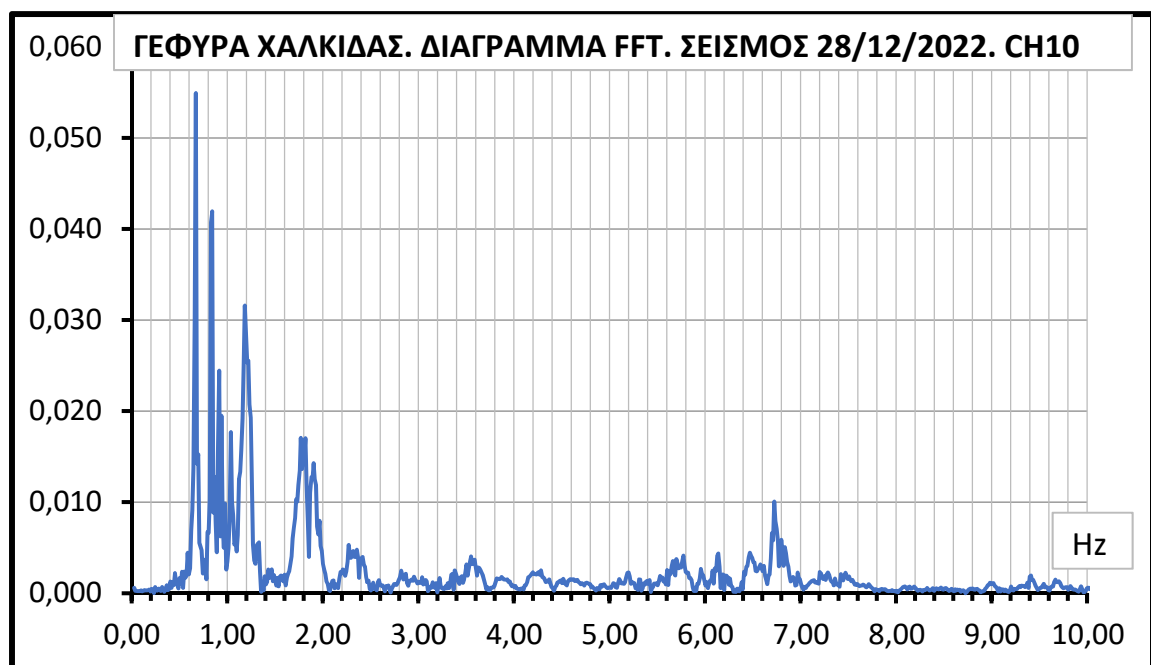
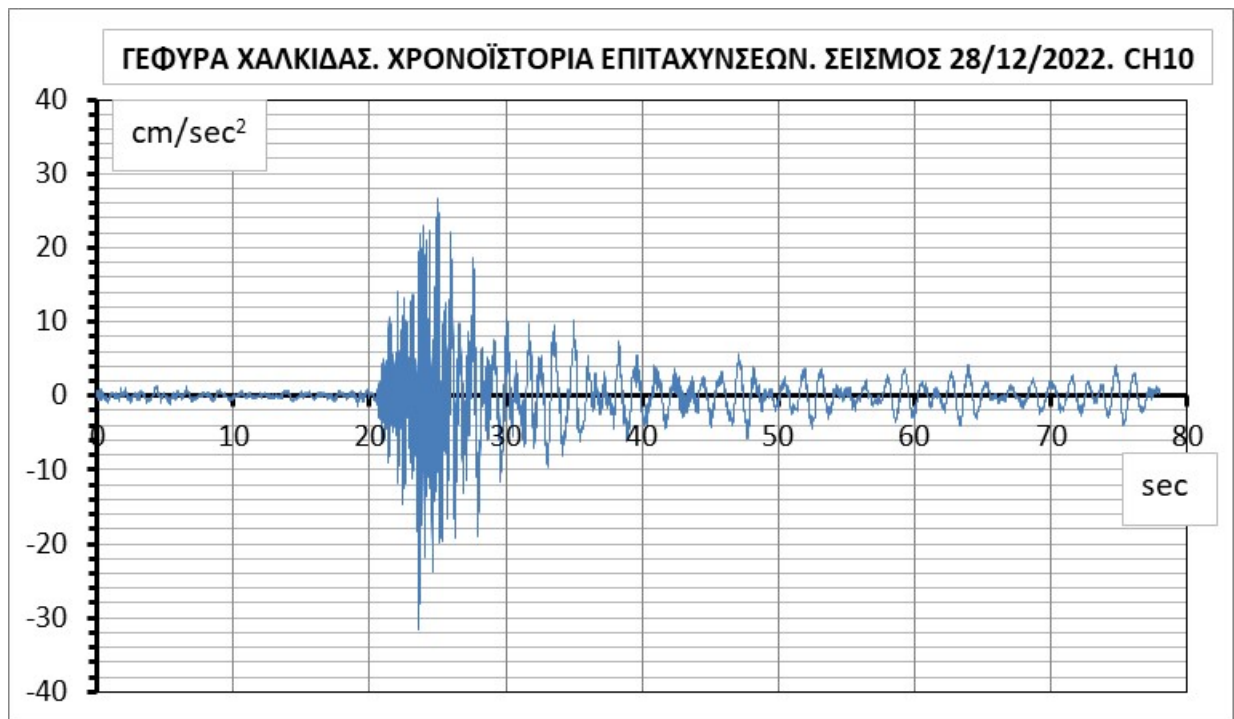
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH7 (channel 7) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH7. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.439453, 0.8544922, 1.1962890, 1.7822270, 2.8198240 (Hz)



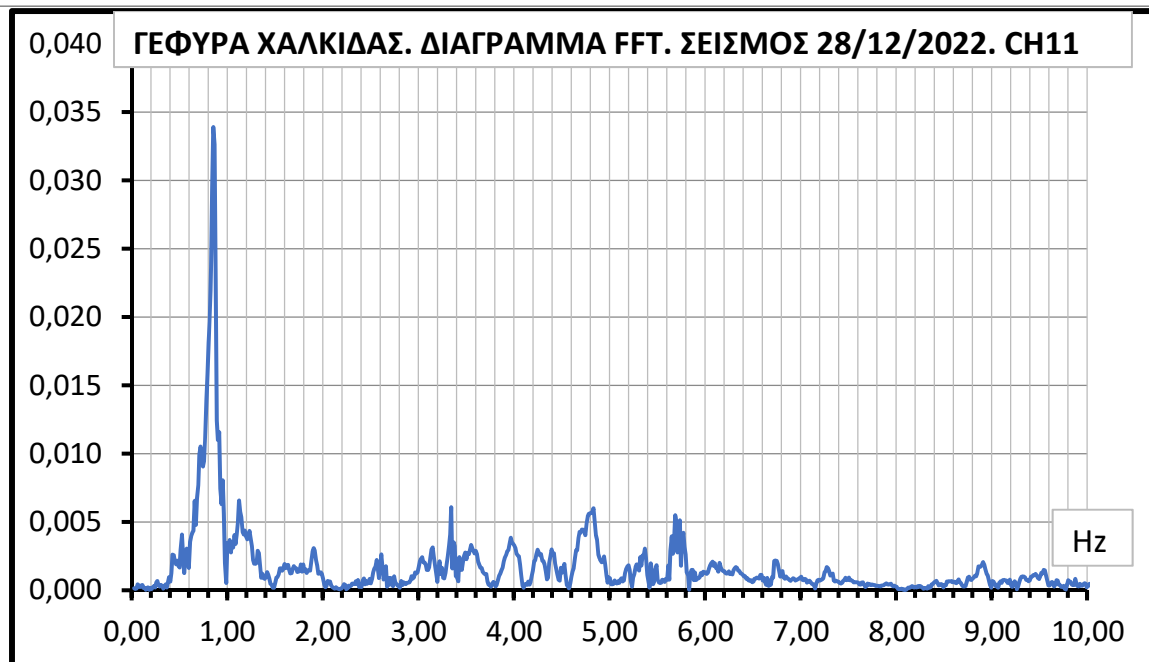
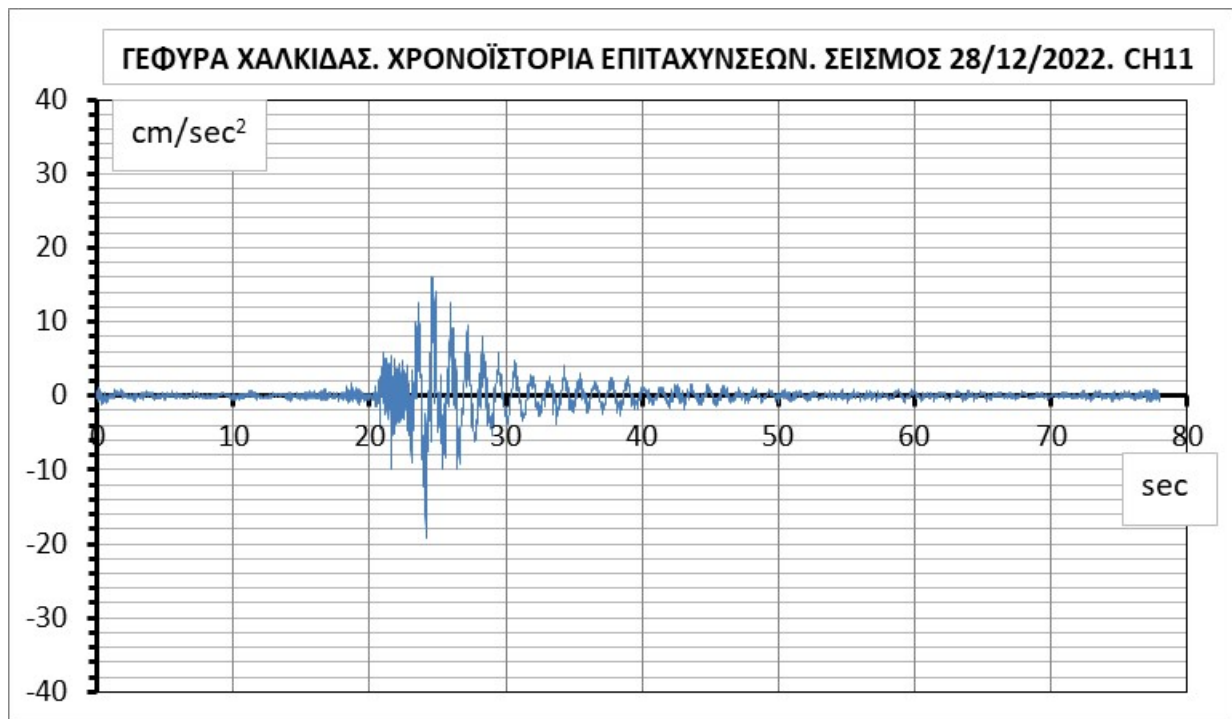
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH8 (channel 8) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH8. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.6713867, 0.8422852, 1.2329100, 1.818848, 2.3559570 (Hz)



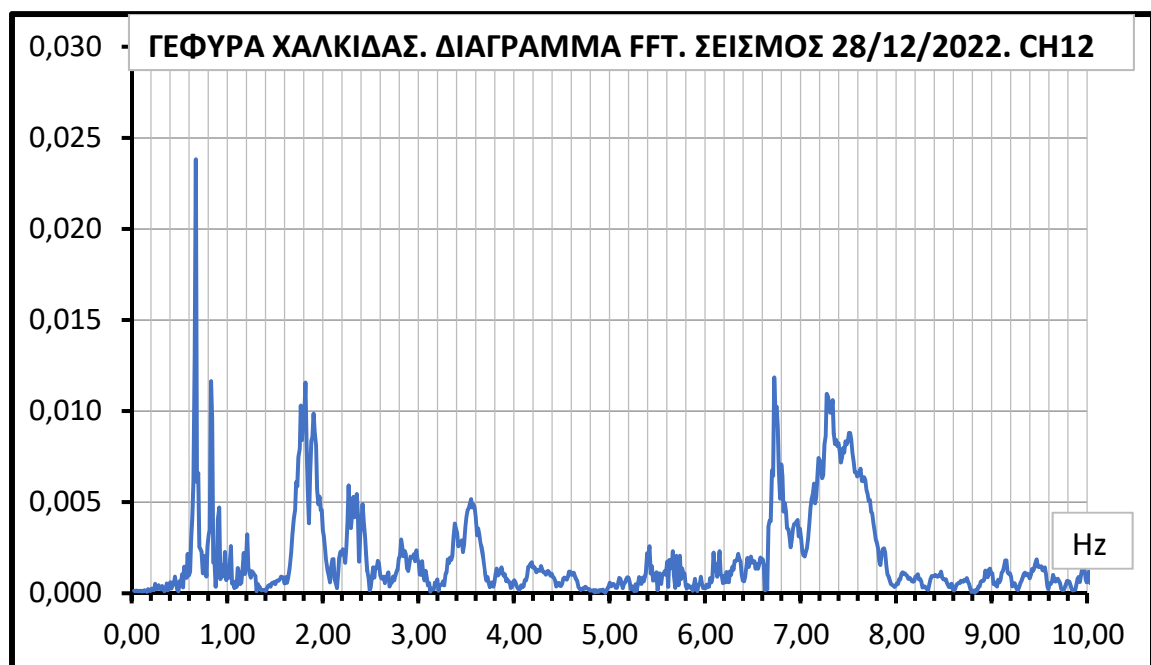
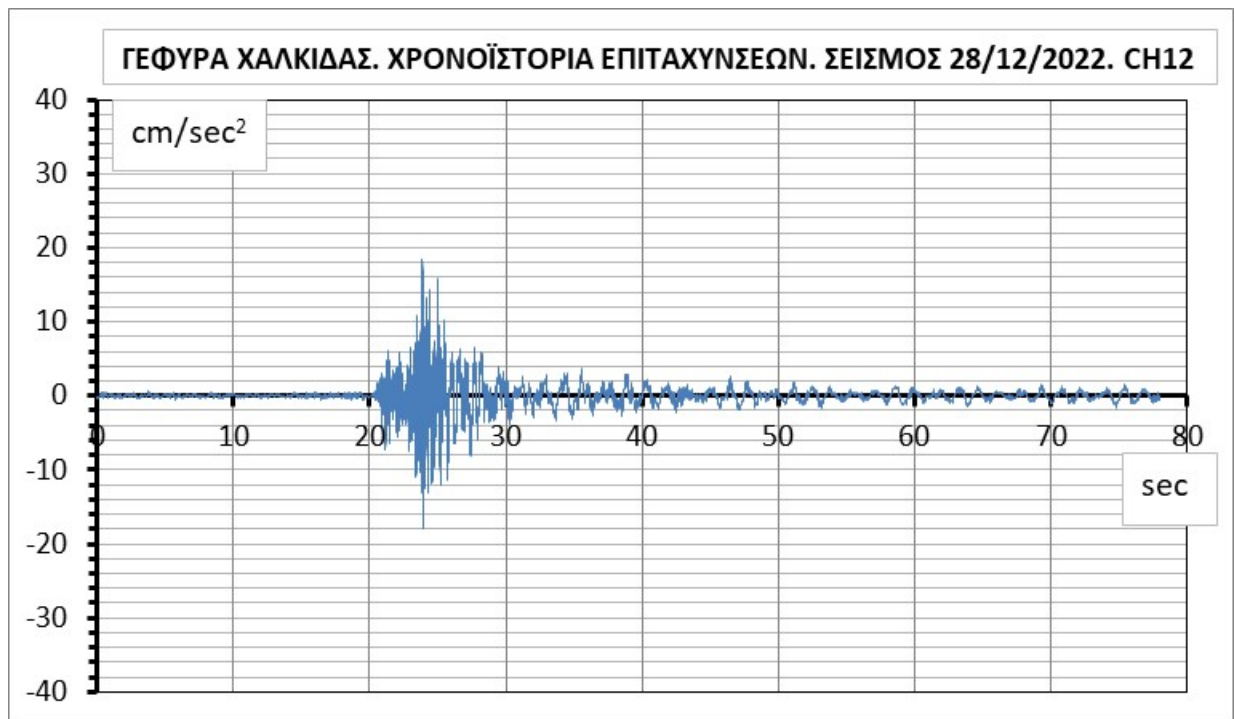
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH9 (channel 9) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH9. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.4394531, 0.5249023, 0.8422852, 0.9399414, 1.2451170, 1.818848, 2.6611330 (Hz)



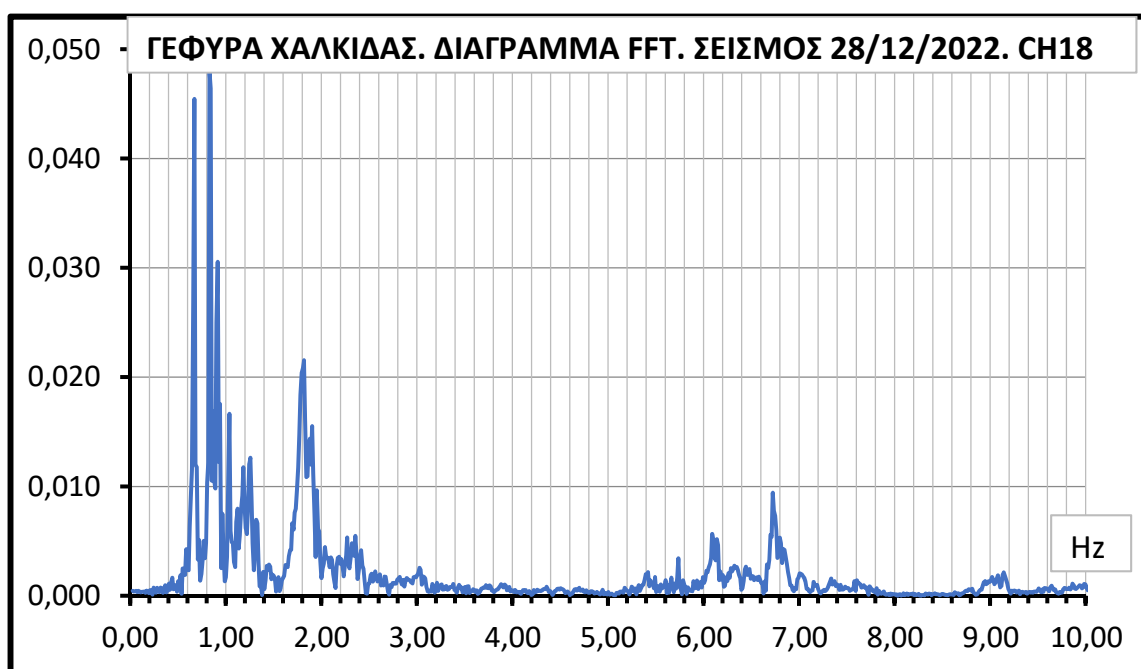
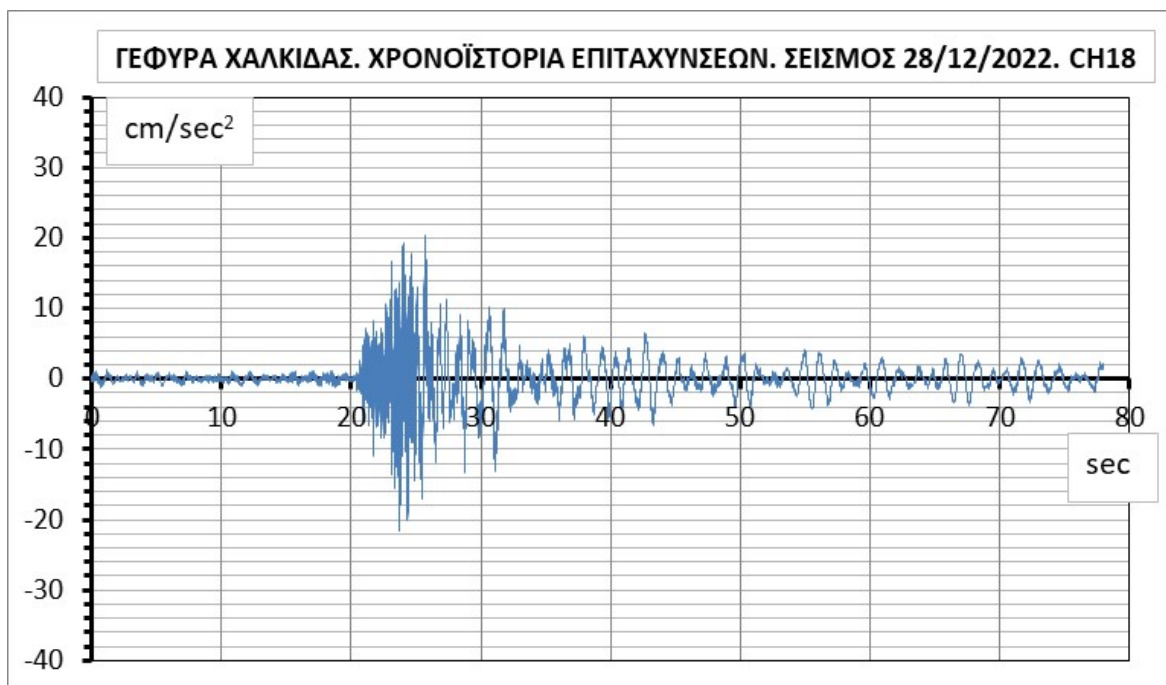
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH10 (channel 10) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH10. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.6713867, 0.8422852, 0.9155273, 1.0375980, 1.1840820, 1.8188480 (Hz)



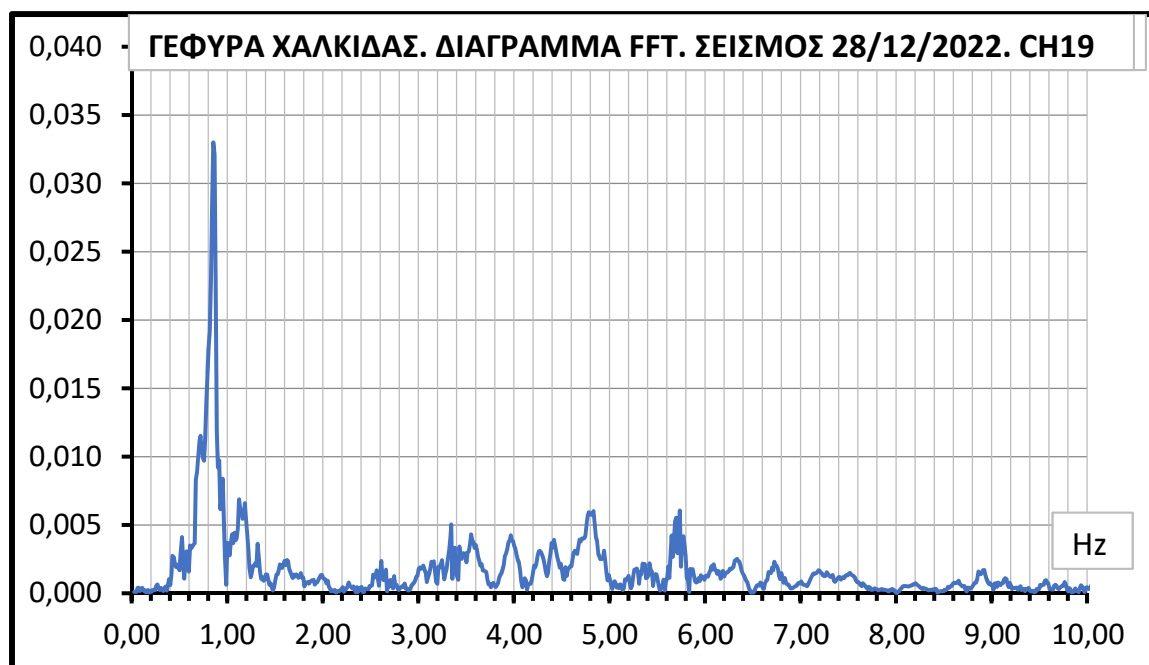
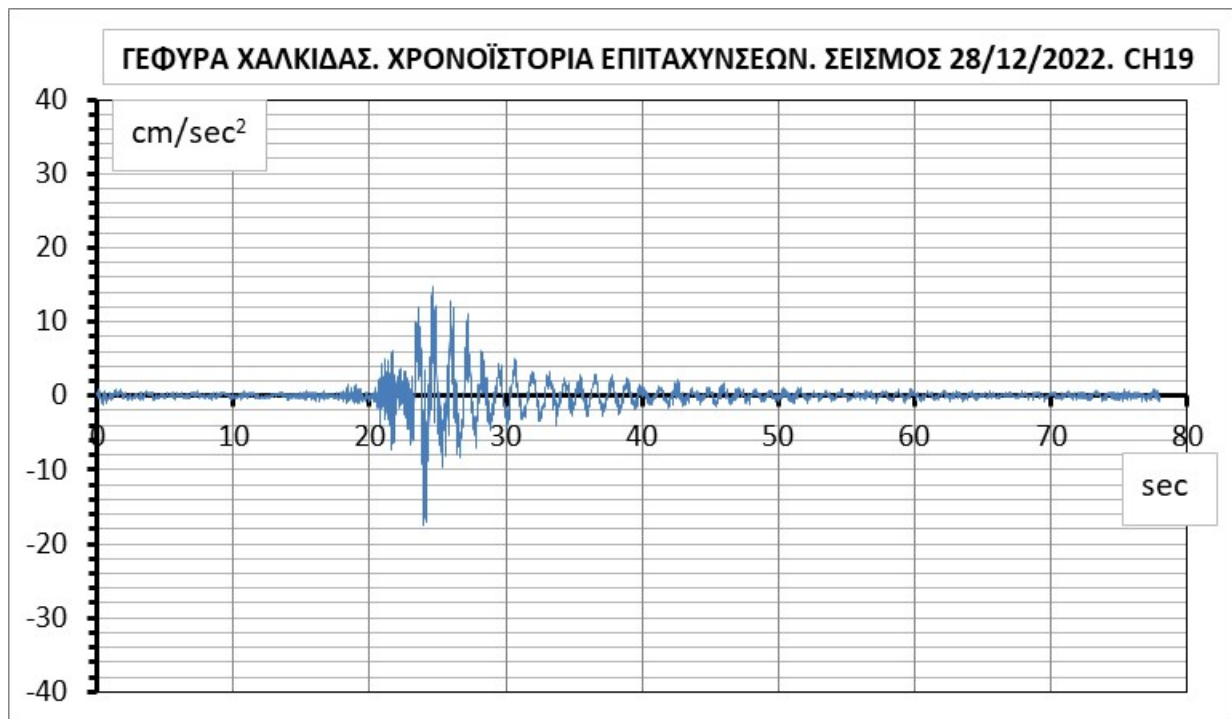
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH11 (channel 11) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχύως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH11. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.8544922, 1.1230470(Hz)



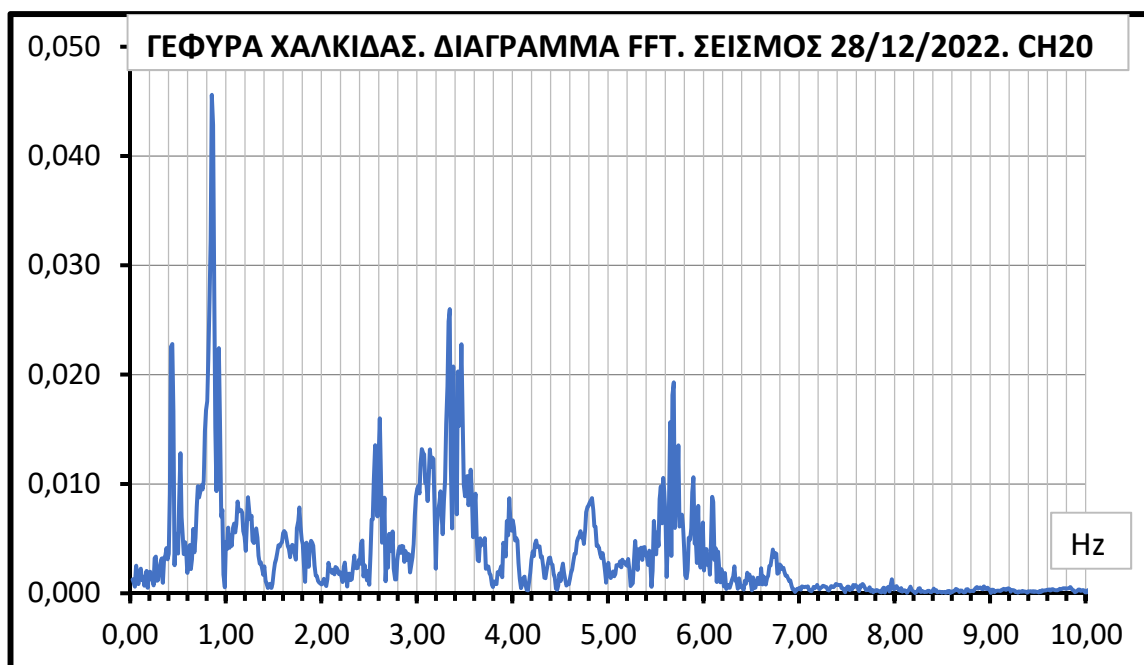
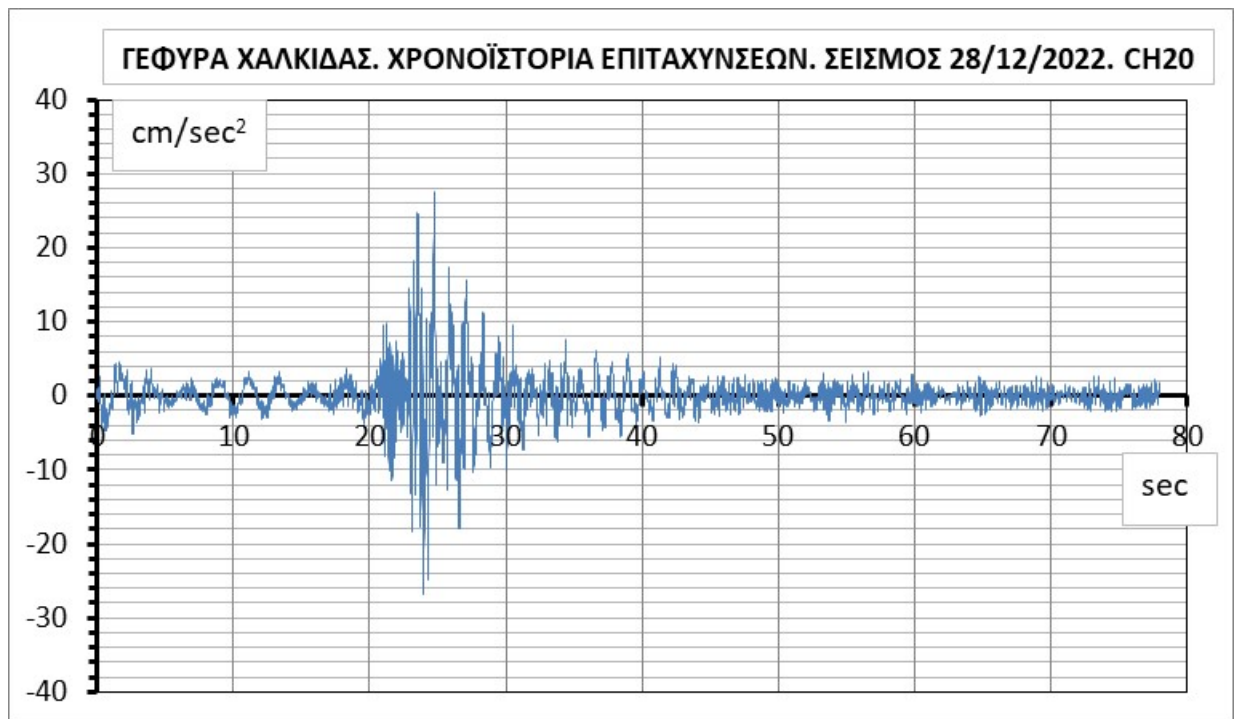
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH12 (channel 12) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH12. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.6713867, 0.8300781, 0.9155273, 1.8188489, 1.9042970, 2.2705080(Hz)



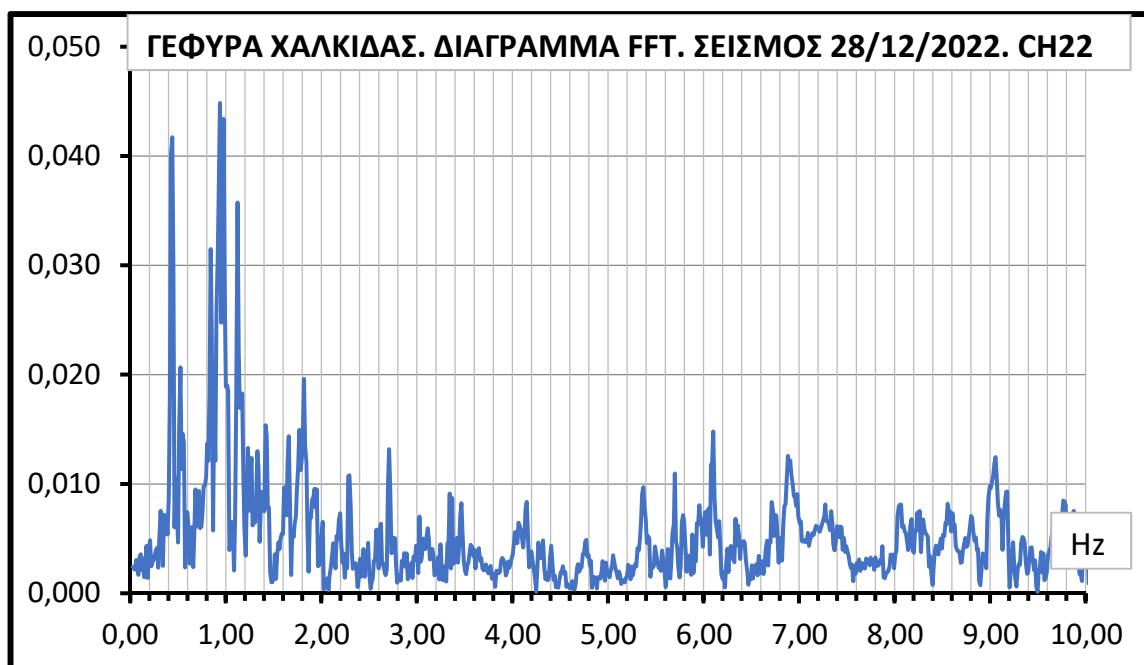
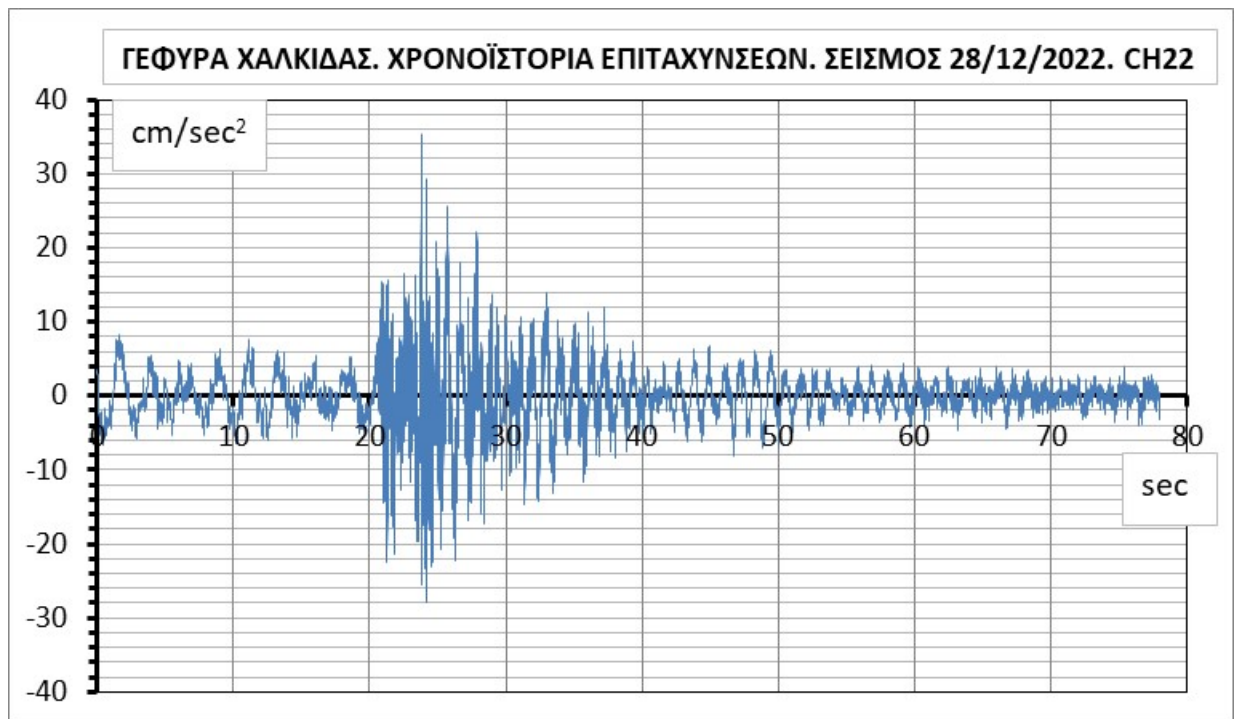
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH18 (channel 18) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH18. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.6713867, 0.8300781, 0.9155273, 1.0375980, 1.2573240, 1.8188480, 1.9042970, 2.2705080(Hz)



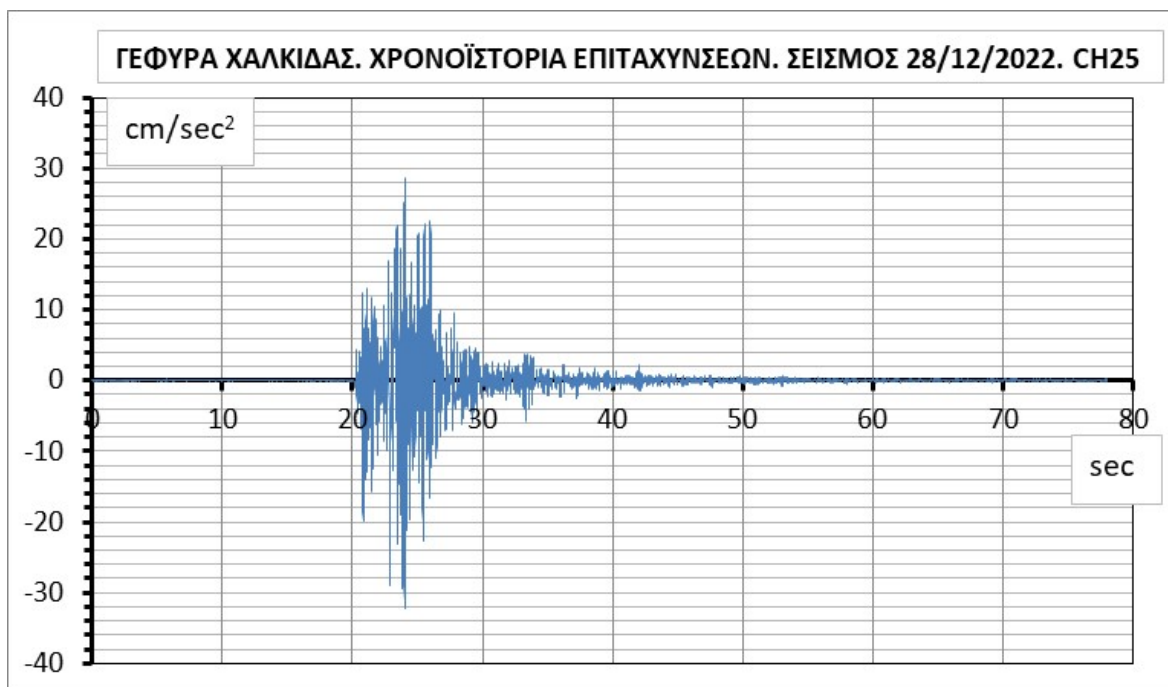
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH19 (channel 19) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH19. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.6103516, 0.8544922, 1.1230470 (Hz)



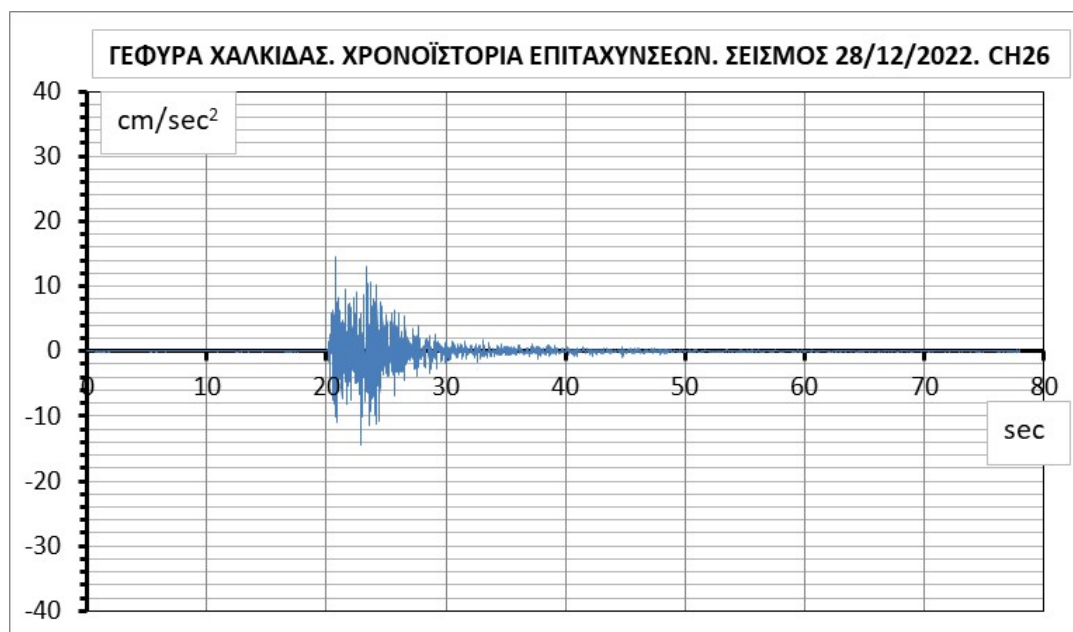
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH20 (channel 20) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH20. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.4394531, 0.5249023, 0.8544922, 1.2329100, 1.7700200, 2.6123050 (Hz)



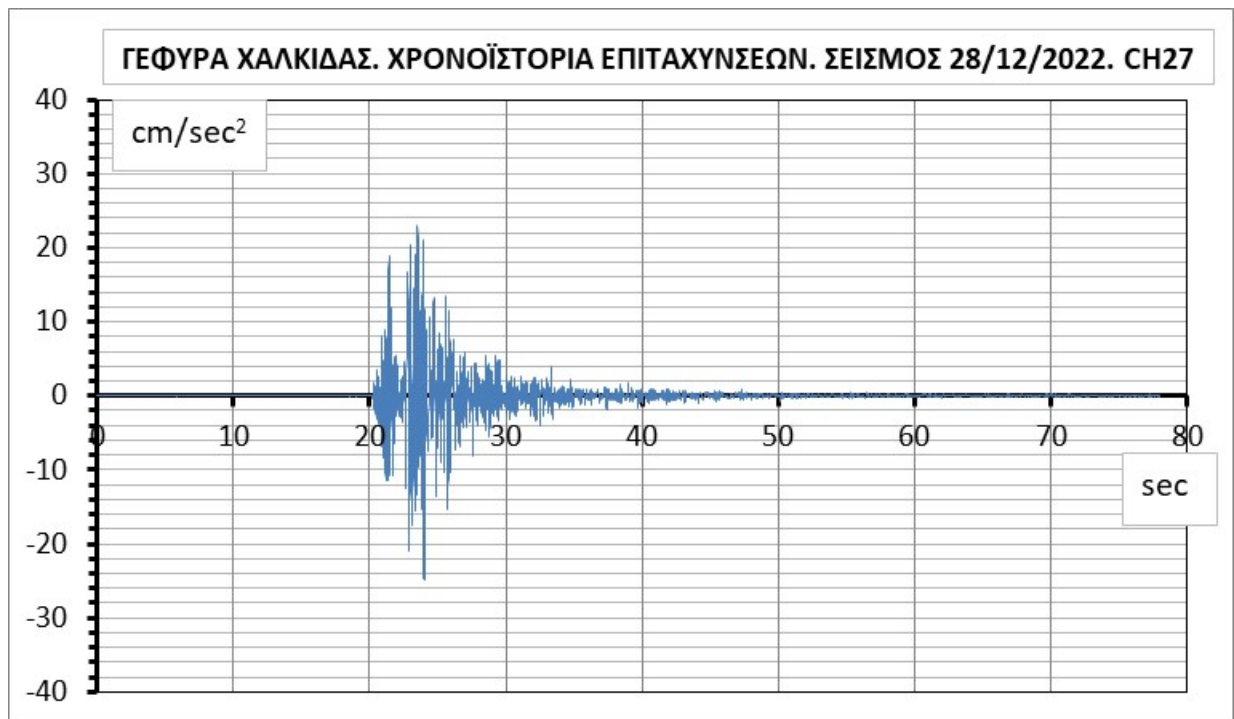
Καταγραφή του σεισμού M4.8, της 28/12/2022, στην Χαλκίδα από το κανάλι στην ανωδομή της γέφυρας CH22 (channel 22) το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2. Στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ανάλυση ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) για την καταγραφή του σεισμού από το κανάλι της ανωδομής CH22. Διακρίνονται οι ιδιοτιμές 0.4394531, 0.5249023, 0.8422852, 0.9399414, 1.1230470, 1.4282230, 1.6601560, 1.81884880, 2.2949220 (Hz)



Καταγραφή του σεισμού στη στάθμη του εδάφους, στον κεφαλόδεσμο των πασάλων του βάθρου προς την πλευρά της Βοιωτίας. Διαμήκης διεύθυνση.



Καταγραφή του σεισμού στη στάθμη του εδάφους, στον κεφαλόδεσμο των πασάλων του βάθρου προς την πλευρά της Βοιωτίας. Κατακόρυφη διεύθυνση.



Καταγραφή του σεισμού στη στάθμη του εδάφους, στον κεφαλόδεσμο των πασάλων του βάθρου προς την πλευρά της Βοιωτίας. Εγκάρσια διεύθυνση.