

Συμπεριφορά γέφυρας στη Θεσσαλία σε περιβάλλον πολλαπλής διακινδύνευσης

Σωτηρία Στεφανίδου

Δρ.Πολ.Μηχ, Ερευνήτρια, ΑΠΘ
Μέλος Εκτελεστικής Επιτροπής ETAM

Σέξτος Αναστάσιος

Καθηγητής, University of Bristol

Κάππος Ανδρέας

Καθηγητής, Khalifa University, UAE

- **Βλάβες σε γέφυρες** : Σημαντικές άμεσες και έμμεσες οικονομικές απώλειες και κοινωνικές επιπτώσεις.
- Στην Ελλάδα : Περιορισμένες **σεισμικές** βλάβες, αυξανόμενης συχνότητας και έντασης οι βλάβες και αστοχίες σε νεόδμητες γέφυρες λόγω **ακραίων καιρικών φαινομένων**. (Καλαμπάκα 2016, Χανιά2019, Ιανός 2022, κ.α.).
- Στην παρούσα εργασία:
 - ✓ Παρουσιάζεται υλικό από την **επιθεώρηση γεφυρών** μετά το σεισμό $M_w 6.3$ του Μαρτίου 2021 στη Θεσσαλία.
 - ✓ **Αποτίμηση** τυπικής ποταμογέφυρας επαρχιακού δικτύου στην οποία διαπιστώθηκε ότι, σε μικρό διάστημα μετά το σεισμό έλαβαν χώρα ισχυρές βροχοπτώσεις που είχαν ως αποτέλεσμα σημαντικές πλημμύρες στην περιοχή.
 - ✓ Σχολιασμός επιρροής της **συνεκτίμησης της υποσκαφής** της θεμελίωσης στη **σεισμική τρωτότητα** γεφυρών από Ο/Σ.

Βλάβες σε γέφυρες μετά το σεισμό της Θεσσαλίας το 2021

■ Γέφυρα στο Δαμάσι



Ποταμογέφυρα Ο/Σ, προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκοί απλά εδραζόμενες (ελαστομεταλλικά εφέδρανα) σε πολύστυλα κυλινδρικά βάρθρα και δοκό έδρασης ορθογωνικής διατομής

➡ Προσωρινά μέτρα : Διακοπή κυκλοφορίας

Βλάβες

- Βλάβες στους αρμούς λόγω αστοχίας επιχώματος πρόσβασης & καθιζήσεις.
- Σεισμικές μετακινήσεις στη διαμήκη δν/ση : Αστοχία κιγκλιδωμάτων
- Μικρές έως μεσαίες βλάβες



Βλάβες σε γέφυρες μετά το σεισμό της Θεσσαλίας το 2021

■ Γέφυρα στο Βλαχογιάννι



- Κατάστρωμα Ο/Σ, τοιχωματικά βάρθρα, μεταλλικά εφεδράνα

➡ Προσωρινά μέτρα : Διακοπή κυκλοφορίας

Βλάβες

- Βλάβες στους αρμούς λόγω αστοχίας επιχώματος πρόσβασης & καθιζήσεις.
- Σεισμικές μετακινήσεις στη διαμήκη δν/ση : Μετακίνηση μεταλλικών εφεδράνων
- Μικρές έως μεσαίες βλάβες



- Εύρος Ρωγμών > 2~3 cm



Βλάβες σε γέφυρες μετά το σεισμό της Θεσσαλίας το 2021

■ Γέφυρα στην Πηνειάδα (περιοχή Φαρκαδόνας)



- **Νέος κλάδος**
 - Χωρίς σεισμικές βλάβες
 - Υποσκαφή μεσοβάθρων



- **Παλιός κλάδος**

Υποσκαφή ?

Βλάβες λόγω έντονα **διαβρωτικού** περιβάλλοντος (αποφλοιώση σκυροδέματος, αποκάλυψη, διάβρωση οπλισμών)



- Ποταμογέφυρα Ο/Σ, προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκοί επί ελαστομεταλλικών εφεδράνων, παλιός κλάδος : πολύστυλα μεσόβθρα (4 κυλινδρικά βάθρα) νέος κλάδος : μονόστυλα κυλινδρικά

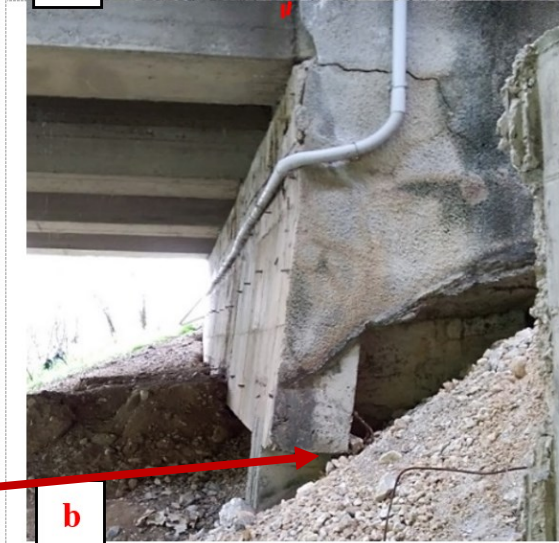


Βλάβες σε γέφυρες μετά το σεισμό της Θεσσαλίας το 2021

Βλάβες

- Μεσαίες έως εκτενείς βλάβες στο **ακρόβαθρο**. Σώμα ακροβάθρου και θεμελίωση: **ρηγματώσεις και στροφή**
- Μεσαίες έως εκτενείς βλάβες στα **εφέδρανα**. **Διατμητικές παραμορφώσεις**, αστοχία σε μία περίπτωση

Υποσκαφή ?



Βλάβες σε γέφυρες μετά το σεισμό της Θεσσαλίας το 2021

- **Γέφυρα στην Πηνειάδα (περιοχή Φαρκαδόνας)**

- ο Πλημμύρα 23/03

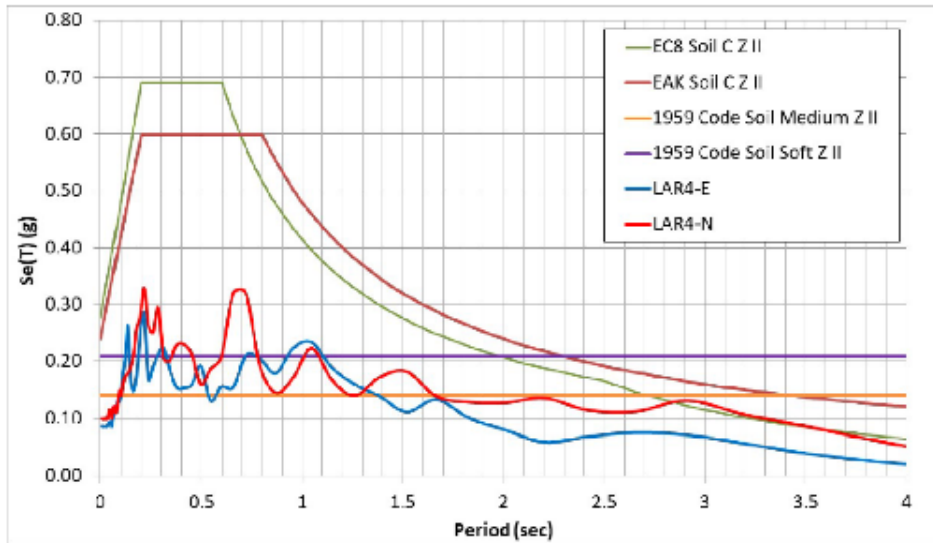


➔ Προσωρινά μέτρα : Περιορισμός ταχύτητας κυκλοφορίας από 90 σε 40 km/h

Βλάβες σε γέφυρες μετά το σεισμό της Θεσσαλίας το 2021

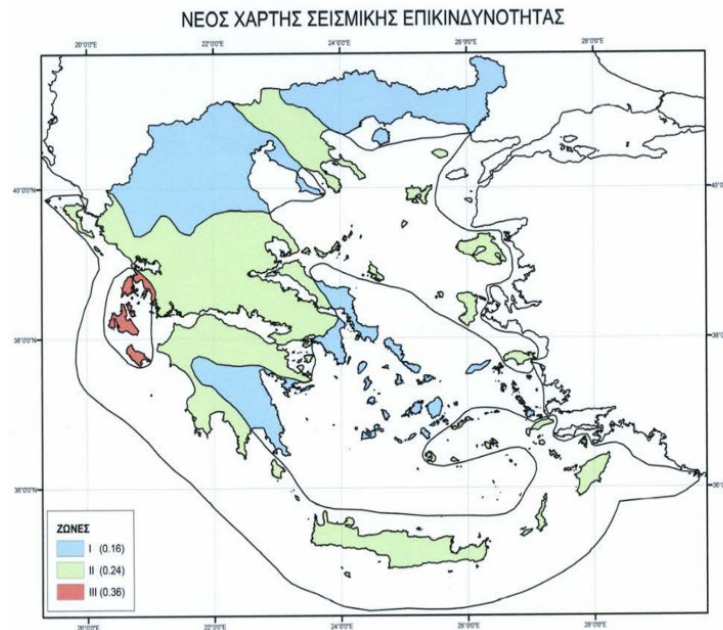
■ Γέφυρα στην Πηνειάδα (περιοχή Φαρκαδόνας)

Περιβάλλον πολλαπλής διακινδύνευσης Σεισμός 03/03



ΙΤΣΑΚ-ΟΑΣΠ, Δ.Π.Θ., Ε.Τ.Α.Μ. (2022) Σεισμική ακολουθία Θεσσαλίας, Μάρτιος 2021, Τεχνική Έκθεση, Μάργαρης, Β., Κλήμης, Ν., Σέξτος, Α. (επιμέλεια), DOI: 10.13140/RG.2.2.33758.51527

- Καταγραφή δικτύου ΙΤΣΑΚ στο παλιό νοσοκομείο Λάρισας είναι περίπου ίση με 0.1g.
- Η επιτάχυνση στην επικεντρική περιοχή κοντά στο ρήγμα είναι της τάξης του 0.18g ~ 0.20g



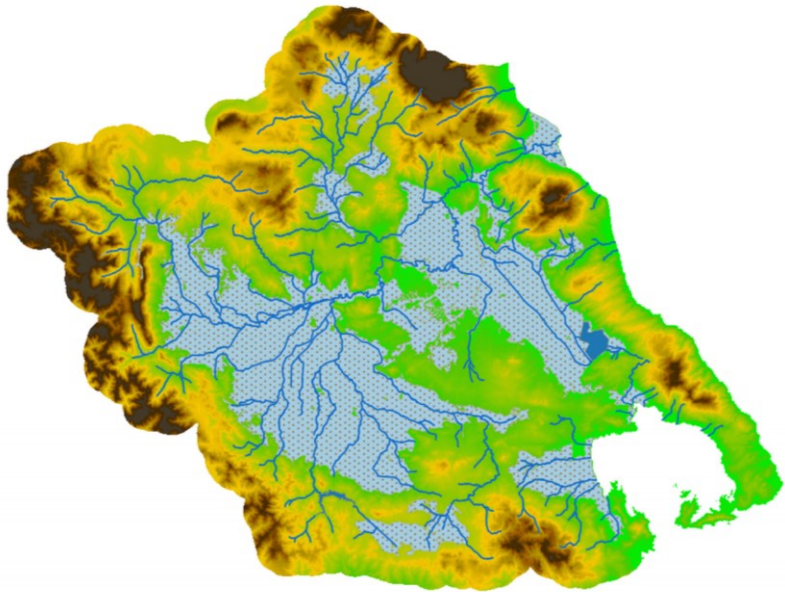
- ✓ Η περιοχή που επλήγη ανήκει κυρίως στη ζώνη II (0.24g)
- ✓ Σεισμός μικρότερος του σχεδιασμού, περίοδο επαναφοράς μικρότερη από $T=475$ χρόνια

Βλάβες σε γέφυρες μετά το σεισμό της Θεσσαλίας το 2021

■ Γέφυρα στην Πηνειάδα (περιοχή Φαρκαδόνας)

Περιβάλλον πολλαπλής διακινδύνευσης Πλημμύρα 23/03

- Περιοχή στις ζώνες δυνητικά **υψηλού** κινδύνου πλημμύρας



- Μελέτη σχεδίου για τη λεκάνη απορροής προκύπτει πως για τη συχνή πλημμύρα (T=50χρόνια) το νερό ξεπερνάει τα όρια της κοίτης (δυσμενέστερο για 100 και 1000 χρόνια)
- Με βάση δεδομένα βροχοπτώσεων σε μετεωρολογικούς σταθμούς του ΕΑΑ (Πλατανούλια, Τρίκαλα) τις ημέρες της πλημμύρας και τις προηγούμενες, τα χιλιοστά βροχής ήταν αθροιστικά άνω των 100mm.
- Δεν υπάρχει η πληροφορία του χρόνου βροχόπτωσης για υδρολογική ανάλυση.
- Αναμενόμενη παροχή αιχμής είναι 950~1250 m³/sec για T=50~100 έτη
- Η υπέρβαση της κοίτης του ποταμού είναι σχεδόν βέβαιη ακόμα και για βροχοπτώσεις που συμβαίνουν συχνά στη διάρκεια ζωής του έργου, η συγκεκριμένη βροχόπτωση μπορεί να θεωρηθεί μικρότερη από αυτή του σχεδιασμού (περίοδος επαναφοράς T<100 έτη).

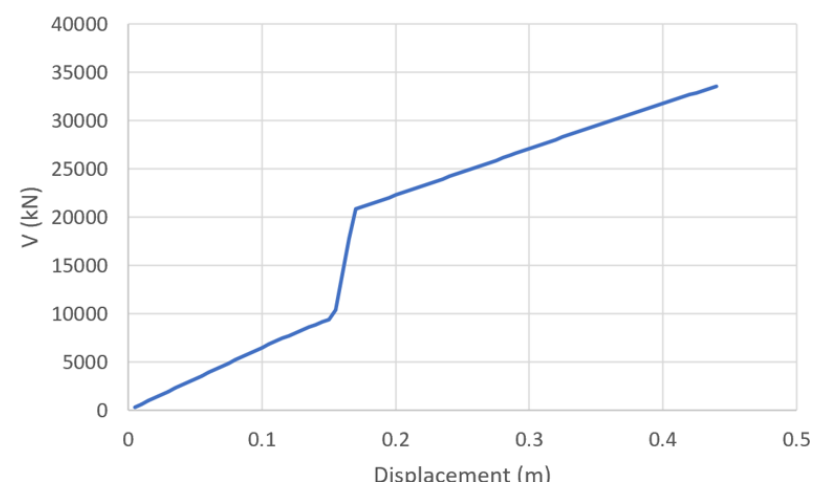
Χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας που προέκυψαν και διατίθενται για το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και την Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2018

Σεισμική συμπεριφορά γέφυρας Πηνειάδας

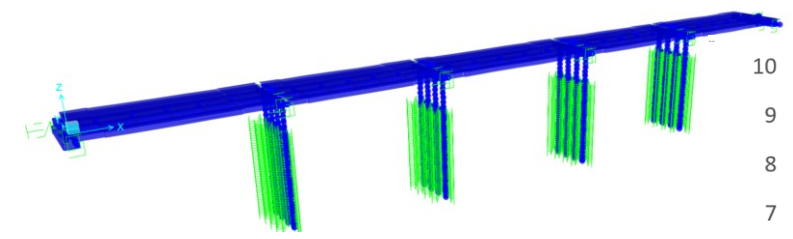
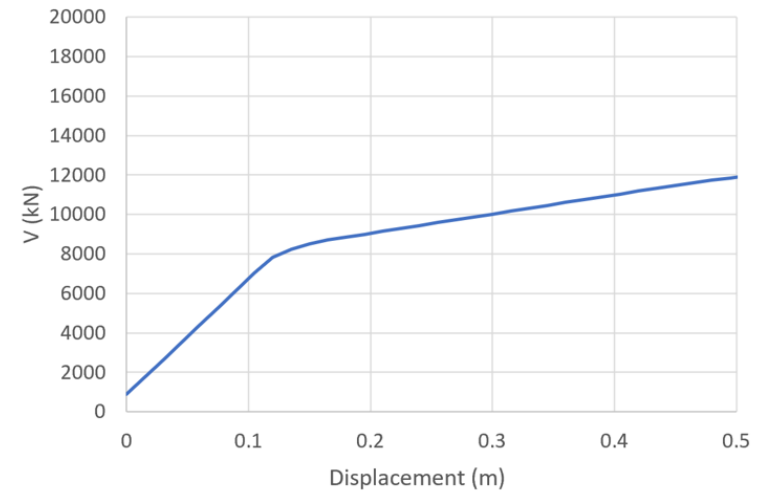


○ Καμπύλη αντίστασης

Pushover Longitudinal Direction

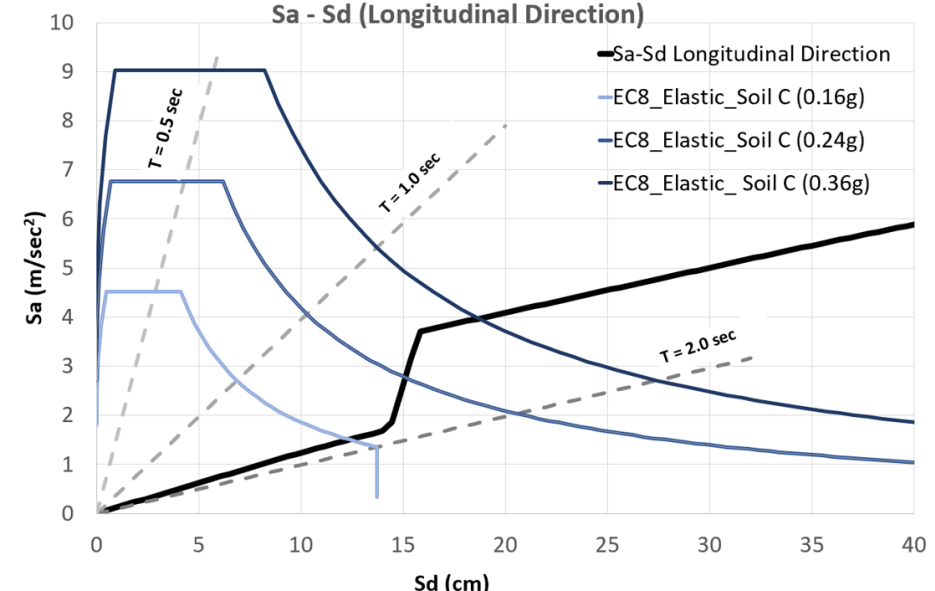


Pushover Transverse Direction

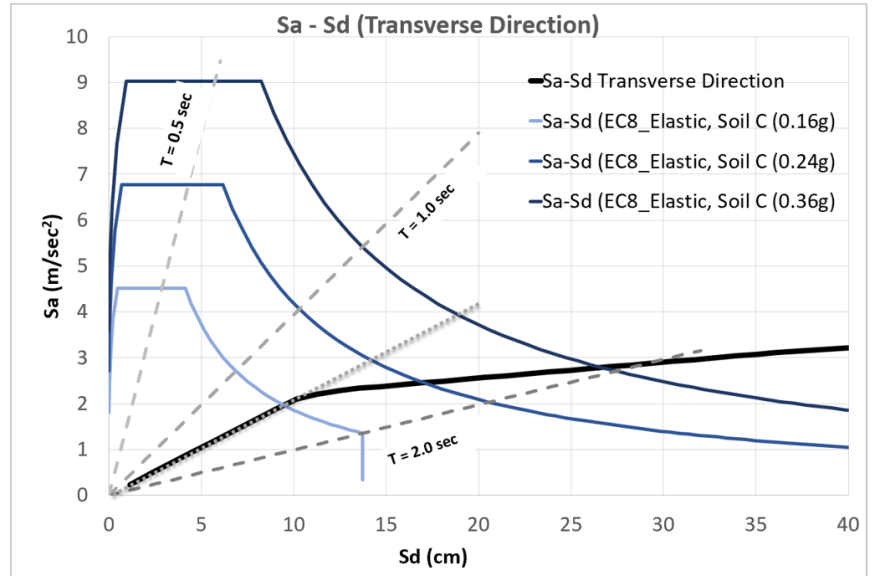


$T_x = 1.95\text{sec}$, $T_y = 1.85\text{sec}$

Sa - Sd (Longitudinal Direction)



Sa - Sd (Transverse Direction)



Μεθοδολογία προσδιορισμού τρωτότητας γεφυρών λαμβάνοντας υπόψη τη θεμελίωση ως κρίσιμη συνιστώσα

Bridge Specific Fragility Analysis

Διαθέσιμη αντίσταση

- Διαθ. αντίσταση Κρίσιμων Συνιστωσών: Βάθρα, Εφέδρανα, Ακρόβαθρα, Θεμελίωση
- Επιλογή παραμέτρου βλάβης (EDP – μετακίνηση στο σημείο ελέγχου)
- Ορισμός τιμών κατωφλίου (LS thresholds - LS1, LS2, LS3, LS4)
- LS για βάθρα και θεμελίωση: Καμπύλη Ικανότητας / Pushover Analysis (d_1, d_2, d_3, d_4)
- LS για βάθρα και ακρόβαθρα: Stefanidou & Karpos, 2017 (d_1, d_2, d_3, d_4)



Σεισμική απαίτηση

- 3d Ανελαστικό προσομοίωμα
- Επιλογή επιταχυνσιογραφημάτων (0.1~1g)
- Μικραυξητική δυναμική ανάλυση (Enhanced IDA – Multiple Stripe Analysis)
- Σεισμική απαίτηση στα σημεία ελέγχου (d_1, d_2, d_3, d_4)



Αβεβαιότητες

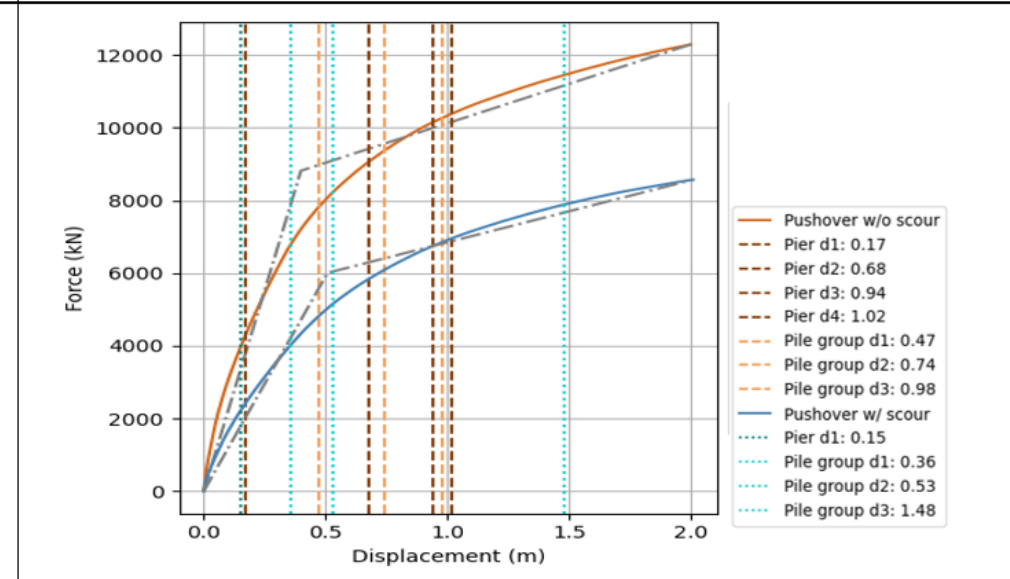
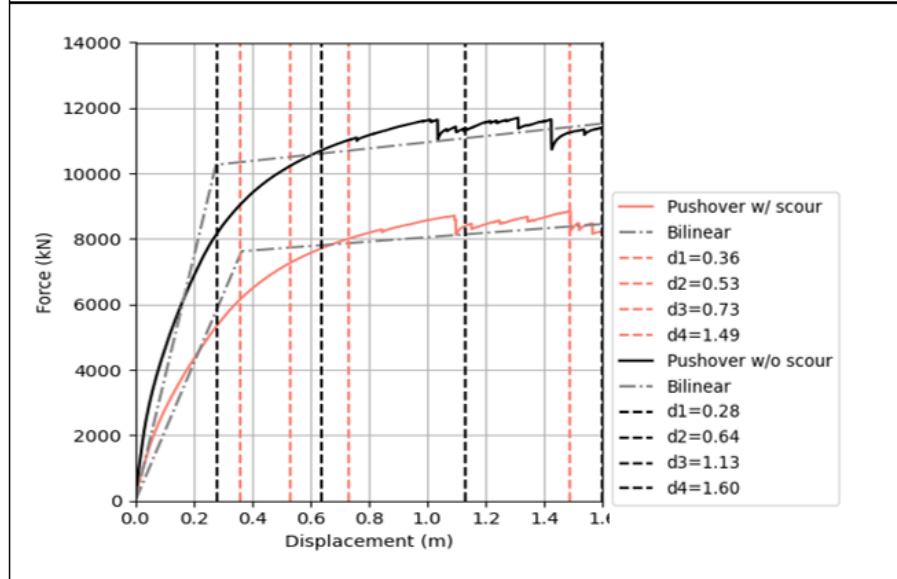
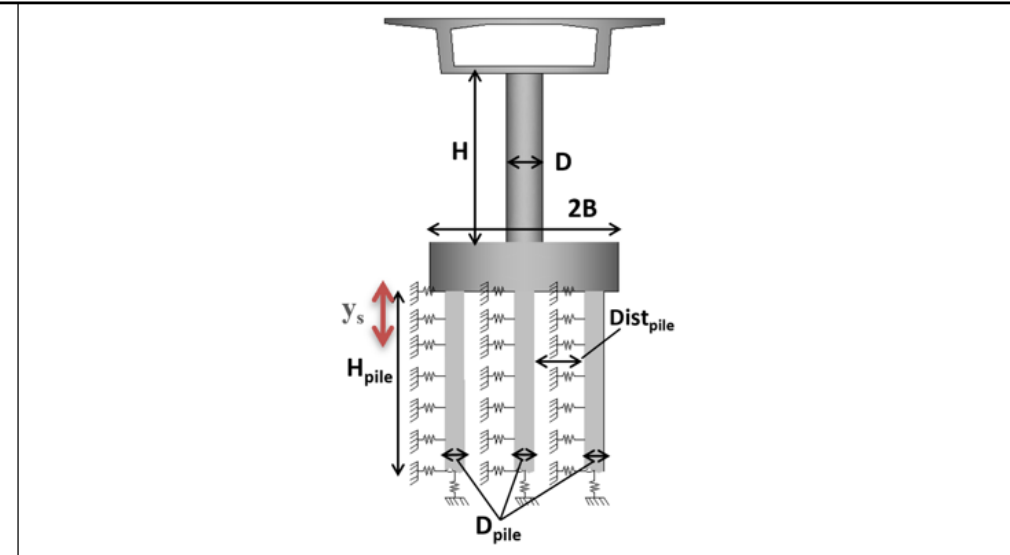
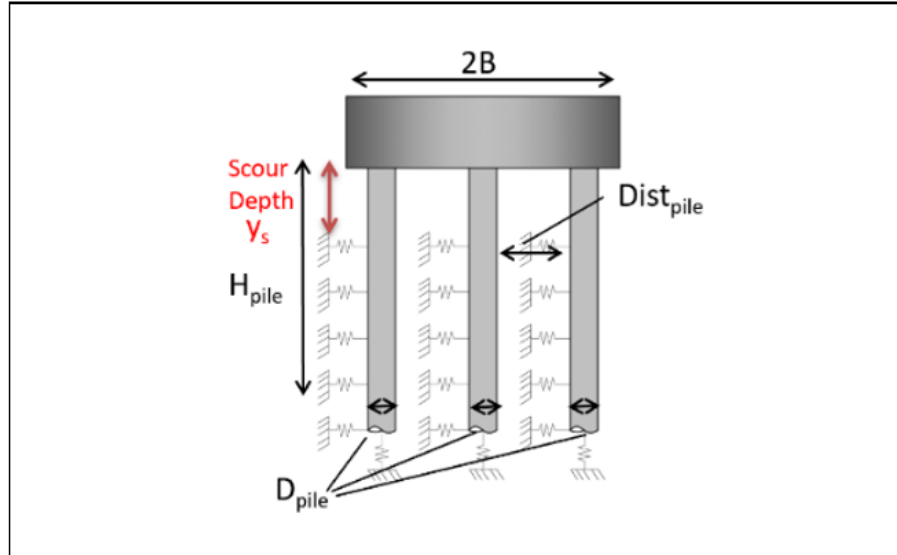
- LHS : Δειγματοληψία για τον προσδιορισμό των αβεβαιοτήτων
- Αβεβαιότητες στη διαθέσιμη αντίσταση και στη σεισμική απαίτηση.
- Αβεβαιότητες στον ορισμό των σταθμών βλάβης (LS).
- Συνολική αβεβαιότητα: $\beta_{tot} = \sqrt{\beta_C^2 + \beta_D^2 + \beta_{LS}^2}$



Καμπύλες Τρωτότητας

- Τρωτότητα συνιστωσών
- Σύνδεση συνιστωσών σε σειρά ή παράλληλη $\max_{i=1}^n [P(F_i)] \leq P(F_{system}) \leq 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(F_i)]$
- Τρωτότητα συστήματος γέφυρας

Μεθοδολογία προσδιορισμού τρωτότητας γεφυρών λαμβάνοντας υπόψη τη θεμελίωση ως κρίσιμη συνιστώσα

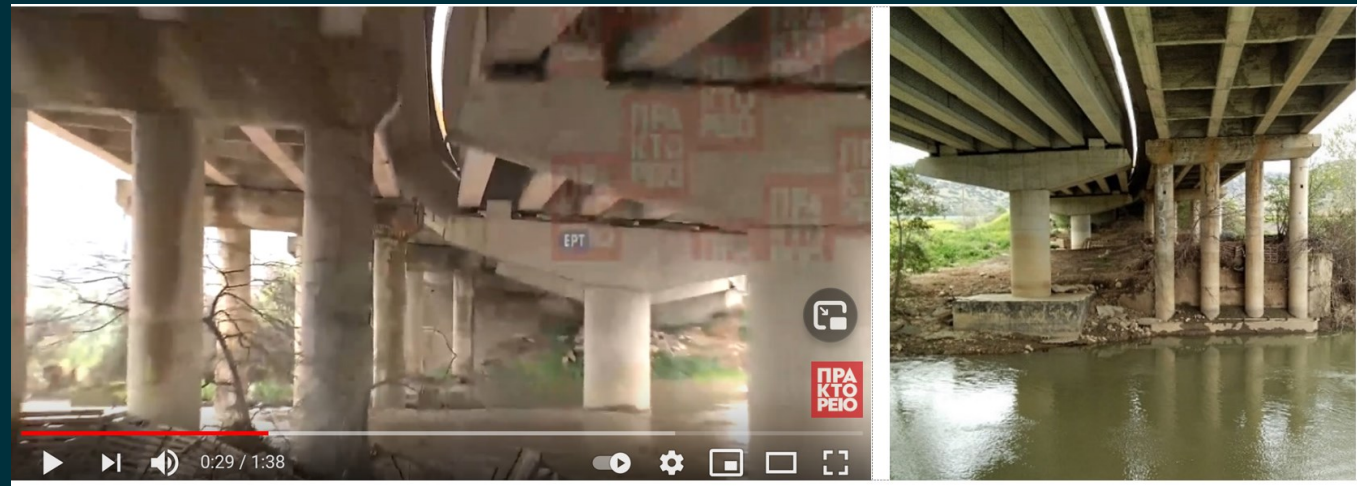


Συμπεράσματα

- ✓ Βλάβες γέφυρας σε περιβάλλον **πολλαπλής διακινδύνευσης**, ήτοι βλάβες από σεισμό και πλημμύρα η οποία έλαβε χώρα λίγες ημέρες μετά τη σεισμική ακολουθία και χωρίς να έχουν γίνει επεμβάσεις αποκατάστασης
- ✓ Παρά το γεγονός ότι ο σεισμός δεν είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές βλάβες τόσο στην ανωδομή (κατάστρωμα) όσο και στις κρίσιμες για την αντισεισμική συμπεριφορά συνιστώσες (βάθρα, ακρόβαθρα, εφέδρανα), οι βλάβες που καταγράφηκαν είχαν ως αποτέλεσμα σε ορισμένες περιπτώσεις τη διακοπή της κυκλοφορίας, μετά από την πλημμύρα, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την υποσκαφή της θεμελίωσης διαταράσσοντας τη μετασεισμική λειτουργικότητα του οδικού δικτύου

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

Q & A



Η πρώτη συγγραφέας έχει πάρει χρηματοδότηση από :

Η παρούσα έρευνα συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση Μεταδιδασκτόρων ερευνητών/ερευνητριών - Β' Κύκλος» (MIS-5033021), που υλοποιεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ).



Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού,
Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

