

## Η Αξιοποίηση της Προέντασης χωρίς συνάφεια στον Περιορισμό των Σεισμικών Μετακινήσεων, καθώς και της Παραμένουσας Παραμόρφωσης

**Όλγα Μαρκογιαννάκη**

*Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Α.Π.Θ., omarkogiannaki@civil.auth.gr*

**Ιωάννης Τέγος**

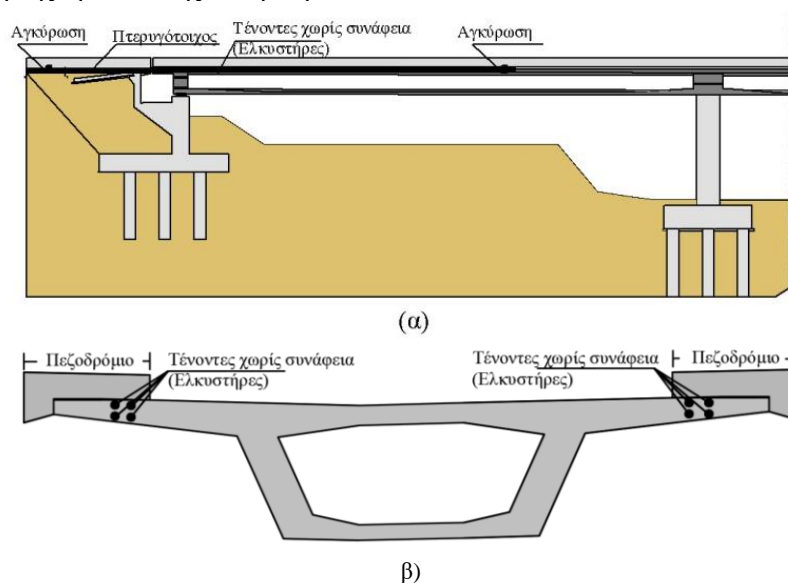
*Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ., itegos@civil.auth.gr*

### Εκτενής περίληψη

Εν γένει η προένταση χωρίς συνάφεια αξιοποιείται για να προσδώσει αντιφορτία σε οριζόντιους φορείς σε νέες γέφυρες και για την άμεση ενίσχυση δομικών στοιχείων σε υφιστάμενες κατασκευές. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας προτείνεται και εξετάζεται αναλυτικά η δυνατότητα αξιοποίησης της προέντασης αυτού του είδους κατά καινοτόμο τρόπο στον περιορισμό των σεισμικών μετακινήσεων, καθώς και της μετά το σεισμό παραμένουσας παραμόρφωσης στα βάθρα των γεφυρών. Κατά το σχεδιασμό των πλαστίμων γεφυρών με βάση τις μετακινήσεις, τα βάθρα αναμένεται να αναπτύξουν υψηλή ανελαστική παραμόρφωση υπό μεγάλες σεισμικές καταπονήσεις. Η ανελαστική απόκριση των βάθρων οδηγεί σε αντίστοιχα μεγάλες τιμές παραμενουσών μετακινήσεων στο τέλος ενός σεισμικού γεγονότος. Η παραμένουσα μετακίνηση στα βάθρα έχει δυσμενείς συνέπειες στα βάθρα, με κύρια την ανάπτυξη ανεπιθύμητων ρωγμών στους κορμούς των βάθρων καθώς και μόνιμες καμπτικές καταπονήσεις λόγω των φαινομένων δευτέρας τάξης (P-δ). Για παράδειγμα, στο σεισμό του Kobe(1995) αρκετά βάθρα γεφυρών με λόγο παραμένουσας παραμόρφωσης μεγαλύτερο του 1.75% κρίθηκαν κατεδαφιστέα λόγω του μεγάλου κόστους αποκατάστασής των βλαβών τους (Hashimoto, Fujino, & Abe, 2005). Τα μεγάλα εύρη ρωγμών των βάθρων έχουν ως αποτέλεσμα τον άμεσο κίνδυνο διάβρωσης των οπλισμών, οπότε η αποκατάστασή τους είναι απαραίτητη για την αξιόπιστη απόκριση του φέροντος οργανισμού των γεφυρών σε μελλοντικούς σεισμούς(Andisheh, Scott, & Palermo, 2016). Σε πολλές περιπτώσεις όμως το κόστος αποκατάστασης είναι υψηλό, κυρίως σε περιπτώσεις έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος, (Humphreys et al., 2007) με αποτέλεσμα να αναζητούνται λύσεις ώστε να περιορίζεται η ανάπτυξη μεγάλου εύρους ρωγμών λόγω των παραμενουσών μετακινήσεων.

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται επιστημονικές έρευνες διεθνώς για την εισαγωγή κατάλληλων μηχανισμών στο φέροντα οργανισμό των γεφυρών για τον περιορισμό των σεισμικών μετακινήσεων καθώς και των παραμενουσών παραμορφώσεων. Στην κατεύθυνση αυτή έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικά βήματα στην έρευνα για την αξιοποίηση της προέντασης σε νέου τύπου αντισεισμικά συστήματα (Buckle et al., 2006; Davis, Janes, Eberhard, & Stanton, 2012). Ένας τρόπος αξιοποίησης της προέντασης είναι η παρέμβαση στα βάθρα των γεφυρών. Συγκεκριμένα, έχει προταθεί η χρήση μερικώς προεντεταμένου σκυροδέματος στα βάθρα για τη μείωση των παραμενουσών μετακινήσεων (Hui-li, Guang-qi, & Si-feng, 2014; Mahin, Sakai, & Jeong, 2005;) και η χρήση κατακόρυφων τενόντων χωρίς συνάφεια αποβλεπόντων στην άμεση αντισεισμική ενίσχυση των μεσοβάθρων, είτε μέσω ενεργούς περίσφιξης με προεντεταμένα καλώδια (Walsh & Kurama, 2009) είτε με εξωτερική κατακόρυφη προένταση που λειτουργεί ως μηχανισμός επαναφοράς(Kwan & Billington, 2003). Είναι δυνατόν όμως η προένταση χωρίς συνάφεια να αξιοποιηθεί και στο κατάστρωμα για τη μείωση των σεισμικών μετακινήσεων και κατ' επέκταση των παραμενουσών

μετακινήσεων. Τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί από τους συγγραφείς της παρούσας διερευνήσεις στην κατεύθυνση αυτή (Ο. G. Markogiannaki & Tegos, 2015) για την ενίσχυση υφιστάμενων γεφυρών. Οι τέσσερις ομάδες τενόντων τοποθετούνται ανά δύο συμμετρικά στα δύο άκρα του φορέα, παράλληλα κατά τη διαμήκη διεύθυνση του φορέα και κάθε ομάδα αγκυρώνεται αφενός στο εσωτερικό του ακραίου ανοίγματος και αφετέρου στον αντίστοιχο περυγότοιχο του ακροβάθρου (Σχ. 1), δημιουργούμενου ενός μηχανισμού θλιπτήρων – ελκυστήρων (Ο. Markogiannaki & Tegos, 2012). Η περιβολή των τενόντων από σωλήνα πολυαιθυλενίου εμποδίζει τη συνάφεια με το σκυρόδεμα της διατομής του φορέα και αποτρέπει την ενσωμάτωση των τενόντων στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης. Έχει διαπιστωθεί ότι μέσω του εν λόγω μηχανισμού θλιπτήρων-ελκυστήρων, ο οποίος δρα ως διπλής ενέργειας μηχανισμός χαλιναγώγησης του φορέα, η δραστική μείωση των μετακινήσεων που επιτυγχάνεται είναι πολύ υψηλή για μικρές διατομές τενόντων με αποτέλεσμα το κόστος της επέμβασης να είναι πολύ μικρό σε σχέση με το αντίστοιχο που απαιτείται για την εφαρμογή της προέντασης στα βάρθρα.



Σχ. 1 Ενδεικτικά Σχέδια Τενόντων χωρίς συνάφεια α) Κατά μήκος τομή, β) Εγκάρσια τομή φορέα (τένοντες στο φορέα)

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτελούν η διερεύνηση της αποδοτικότητας της μεθόδου στη μείωση των σεισμικών μετακινήσεων αλλά και των παραμενουσών παραμορφώσεων στα βάρθρα, μετά από ένα ισχυρό σεισμό. Επίσης, πραγματοποιείται και η συγκριτική παρουσίαση της αποτελεσματικότητας των δύο εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης της προέντασης αφενός στα βάρθρα και αφετέρου στο κατάστρωμα. Ο υπό διερεύνηση προτεινόμενος μηχανισμός λειτουργεί όπως προαναφέρθηκε σαν ένα σύστημα θλιπτήρων – ελκυστήρων που αποσκοπεί στην χαλιναγώγηση των σεισμικών μετακινήσεων. Καθώς όμως στις κρίσιμες θέσεις των ακραίων αρμών της γέφυρας ο εγκιβωτισμός των δεσμών, ώστε να ανταποκριθούν σε ρόλο θλιπτήρων, είναι δυνατόν να δημιουργήσει μεγάλες απαιτήσεις εξασφάλισης έναντι λυγισμού, κρίθηκε σκόπιμη η μεταβίβαση του ρόλου των θλιπτήρων σε ταυόμενους ελκυστήρες, τους οποίους αποτελούν οι τένοντες χωρίς συνάφεια, ούτως ώστε με την ελάττωση της αρχικής εφελκυστικής τάσης να παράγονται αποτελέσματα λειτουργίας θλιπτήρων. Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του μηχανισμού σε διάφορα συστήματα μονολιθικών γεφυρών. Κατά τη διερεύνηση πραγματοποιήθηκε πλήθος παραμετρικών ανελαστικών αναλύσεων χρονοϊστορίας. Οι παράμετροι υπό διερεύνηση περιελάμβαναν (i) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά γεφυρών, (ii)

διαφορετικές διατομές τενόντων και (iii) διάφορες σεισμικότητες, ώστε να προκύψει μια ακριβής εικόνα της αποδοτικότητας του προτεινόμενου μηχανισμού σεισμικής ανάλυσης. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό OpenSees (F. McKenna, 2005), όπου δημιουργήθηκαν τα μοντέλα των πεπερασμένων στοιχείων των εξετασθεισών γεφυρών.

Τα αποτελέσματα της διερεύνησης έδειξαν ότι οι παραμένουσες μετακινήσεις είναι δυνατόν να μειωθούν σημαντικά με τη χρήση τενόντων χωρίς συνάφεια χαλιναγωγούντων κατά το σεισμό στο φορέα των γεφυρών. Η αύξηση της διατομής των τενόντων έχει σημαντική επιρροή στο μέγεθος των παραμορφώσεων. Αντίστοιχα επηρεάζουν και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γεφυρών στην αποτελεσματικότητα του μηχανισμού. Σε όλες τις αναλύσεις παρατηρήθηκε ελαστική απόκριση των τενόντων έναντι των σεισμικών καταπονήσεων. Εξαιρούνται η αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μηχανισμού ανάλυσης, η απλότητα του, η υψηλή αξιοπιστία, και τέλος η οικονομικότητα του. Ιδιαίτερως, λόγω της υψηλής ανασχετικότητας που προσφέρει ο μηχανισμός ενδείκνυται για γέφυρες με βάρθα μεγάλου ύψους, στις οποίες οι σεισμικές μετακινήσεις είναι πολύ υψηλές και ο έλεγχός τους με τα ισχύοντα συμβατικά μέσα έχει πολύ υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης..

## Βιβλιογραφία

- Andisheh, K., Scott, A., & Palermo, A. (2016), "Seismic Behavior of Corroded RC Bridges : Review and Research Gaps", *International Journal of Corrosion Volume*.
- Buckle, I., Friedland, I., Mander, J., Geoffrey, M., Nutt, R., & Power, M. (2006). "Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures : Part 1 – Bridges. Technology", *FHWA*
- Davis, P. M., Janes, T. M., Eberhard, M. O., & Stanton, J. F. (2012). "Unbonded Pre-Tensioned Columns for Bridges in Seismic Regions".
- F. McKenna, G. L. F. (2005), "Open System for Earthquake Engineering Simulation Pacific Earthquake Engineering Research Center", Version 2.4.0.
- Hashimoto, S., Fujino, Y., & Abe, M. (2005), "Damage Analysis of Hanshin Expressway Viaducts during 1995 Kobe Earthquake . II : Damage Mode of Single Reinforced Concrete Piers", *Journal of Bridge Engineering*, 10(February), 54–60.
- Hui-li, W., Guang-qi, F., & Si-feng, Q. (2014), "Hysteretic Behavior of Prestressed Concrete Bridge Pier with Fiber Model", *The Scientific World Journal*.
- Humphreys, M., Setunge, S., Fenwick, J., & Alwi, S. (2007), "Strategies for Minimising the Whole of Life Cycle Cost of Reinforced Concrete Bridge Exposed to Aggressive", In *Second International Conference on Quality Chain Management*. Stockholm.
- Kwan, W., & Billington, S. L. (2003), "Unbonded Posttensioned Concrete Bridge Piers . I : Monotonic and Cyclic Analyses" *Journal of Bridge Engineering*, 8(April), 92–101.
- Mahin, S., Sakai, J., & Jeong, H. (2005), "Use of Partially Prestressed Reinforced Concrete Columns to Reduce Post-Earthquake Residual Displacements of Bridges" In *Fifth National Seismic Conference on Bridges & Highways*. San Fransisco, CA.
- Markogiannaki, O. G., & Tegos, I. (2015), "Seismic Retrofitting of R / C Bridges with the use of Unbonded Tendons", *5th ECCOMAS Thematic Conference of Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*.
- Markogiannaki, O., & Tegos, I. (2012), "Seismic retrofit of bridges through the external installation of a new type restraining system." In *15WCEE*. Lisbon.
- Walsh, K. Q., & Kurama, Y. C. (2009), "Behavior and Design of Unbonded Post-Tensioning Strand / Anchorage Systems for Seismic Applications".