

## Διερεύνηση της ανελαστικής απόκρισης κτηρίων από ΟΣ τύπου πιλοτής

**Χρήστος Ζέρης**

*Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π., zeris@central.ntua.gr*

**Alessandro Scodeggio**

*Πολιτικός Μηχανικός Un. di Pavia, Υποψήφιος Διδάκτωρ ΕΜΠ, alessandro.scodeggio@gmail.com*

### Εκτενής περίληψη

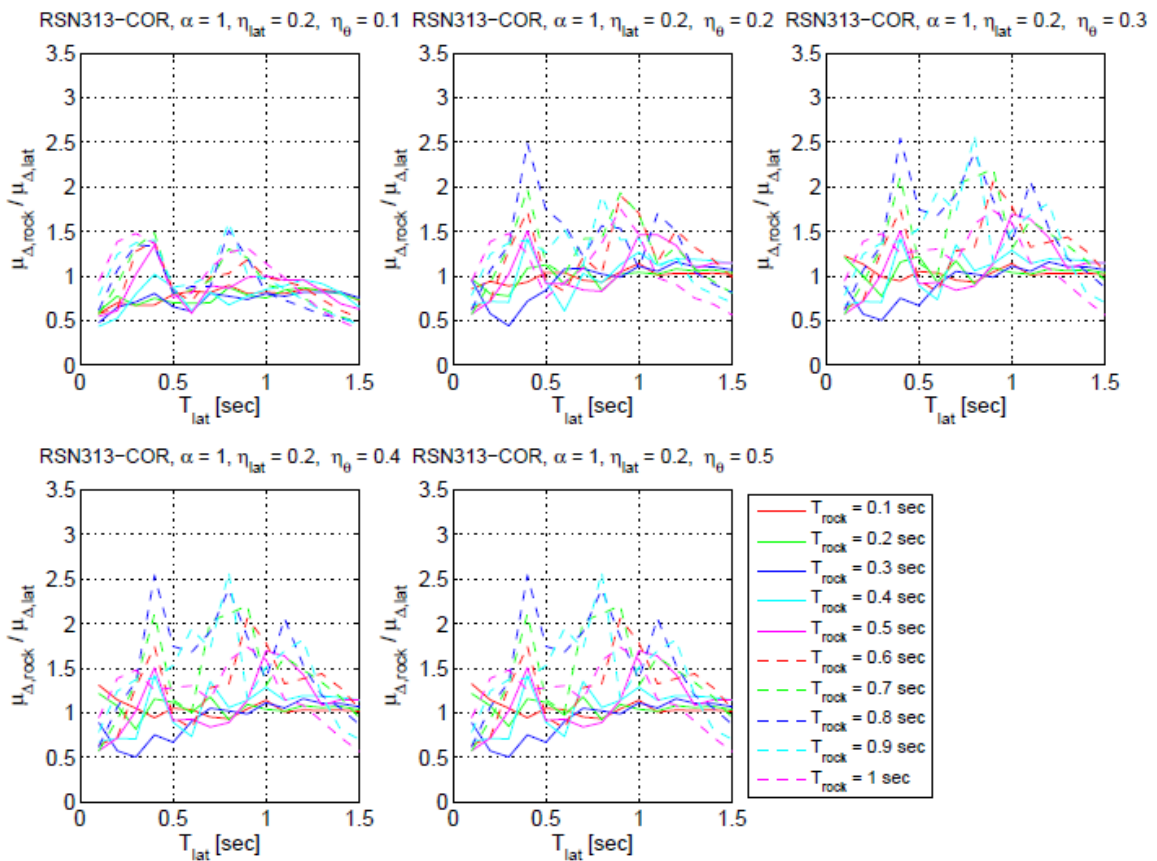
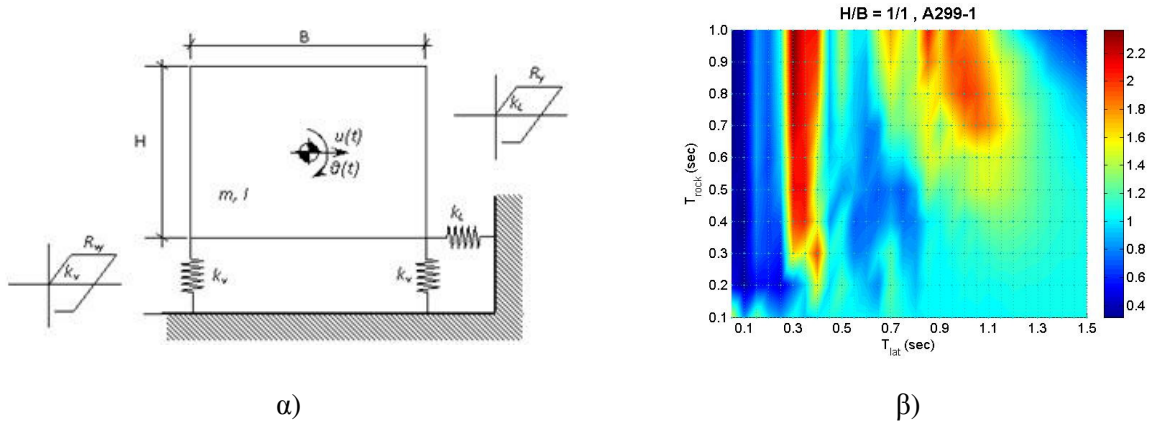
Ο σύγχρονος αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ) λαμβάνει υπόψη τη μη γραμμική απόκριση της κατασκευής με συνεπακόλουθη αύξηση της πλαστιμότητας του φορέα και των επί μέρους δομικών στοιχείων. Η απαιτούμενη αυτή πλαστιμότητα (καθολική και τοπική) τηρείται έμμεσα σε αποδεκτά επίπεδα με την κατάλληλη επιλογή του μειωτικού συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  και αποδίδεται από την κατασκευή με κατάλληλη όπλιση και τους ικανοτικούς ελέγχους (EN 1998-1, 2004). Η σχέση μεταξύ της καθολικής πλαστιμότητας εγκάρσιων μετατοπίσεων  $\mu_s$  και του  $q$  προϋποθέτει την εκτίμηση της ανελαστικής συμπεριφοράς του φορέα, προσομοιούμενου με τη μορφή απλοποιημένου ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή υπό εδαφική διέγερση και την αποτίμηση των αντίστοιχων ανελαστικών φασμάτων απόκρισης (Bertero et al., 1978).

Μελέτες κτιριακών συστημάτων σχετικά δύσκαμπτης ανωδομής, όπως π.χ., τα ακανονικά τοιχοπληρωμένα πλαίσια επί ανοικτού («μαλακού») ισογείου – τα λεγόμενα και συστήματα πιλοτής, έχουν αστοχήσει επανειλημμένα σε πρόσφατους σεισμούς (Lekidis et al., 1999, Karakostas et al., 2005), με τρόπο που να καταδεικνύει τη σημαντική συνεισφορά του λικνισμού της ανωδομής στα υποστυλώματα του ισογείου (Zeris, 2015). Ως εκ τούτου, τέτοια συστήματα, είτε υφιστάμενα είτε σχεδιασμένα σύμφωνα με τους νέους Κανονισμούς, χρήζουν πλέον εξειδικευμένου σχεδιασμού που να λαμβάνει υπόψη το λικνισμό.

Δημοσιευμένες αναλύσεις απλών άκαμπτων δυναμικών συστημάτων με ταυτόχρονη μετατόπιση και ανατροπή και με ενδεχόμενη αποκόλληση του θεμελίου, καταδεικνύουν ότι η συνδυασμένη απόκριση σε εδαφική διέγερση δημιουργεί πρόσθετες απαιτήσεις στη συνολική συμπεριφορά του συστήματος, ειδικά σε περιπτώσεις χαμηλών ιδιοπεριόδων ή/και υψηλής αναλογίας ύψους προς πλάτος του ταλαντωτή. Επί πλέον, τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών αποδεικνύουν και την ενδεχόμενη ευμενή δράση της μη γραμμικότητας του συστήματος λόγω μερικής αποκόλλησης του θεμελίου, υπό τον όρο ότι δεν υπερβαίνεται ένα κρίσιμο όριο αστάθειας και ολικής ανατροπής του συστήματος (Psycharis et al., 1983, Makris et al., 1998, 1999, 2000, 2001, 2003). Τα συστήματα αυτά, βέβαια, δεν είναι σε θέση να προσομοιώσουν τα φαινόμενα που επηρεάζουν το ισόγειο της πιλοτής.

Αντίθετα με την παραπάνω θεώρηση, στην παρούσα διερευνώνται απλοποιημένα επίπεδα συστήματα άκαμπτης ανωδομής τα οποία εδράζουν επί μη γραμμικών στοιχείων στο ισόγειο, ώστε να προσομοιάζουν την αναμενόμενη μη γραμμική απόκριση κτηρίων ΟΣ μορφής πιλοτής. Μορφώνονται και διερευνώνται δύο προσομοιώματα του λικνιζόμενου ταλαντωτή (Σχήμα 1α): α) MOD1. Γραμμικοί και μη γραμμικοί ταλαντωτές τριών βαθμών ελευθερίας με εύρος δυναμικών χαρακτηριστικών (αρχική ιδιοπερίοδος, αντοχή) κατά την κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση και β) MOD2. Κτίρια πιλοτής με ακριβή προσομοίωση των υποστυλωμάτων, σχεδιασμένα κατά EN 1992-1-1 (2004) και

1998-1 (2004), όπου ενσωματώνεται επί πλέον με το προηγούμενο προσομοίωμα και η ταυτόχρονη επαλληλία στην απόκριση, της αξονικής και εγκάρσιας αντοχής και δυσκαμψίας, που απαντάται σε υποστυλώματα από ΟΣ. Όλες οι αναλύσεις προγραμματίστηκαν στην πλατφόρμα OpenSees.



Σχ. 1 Απόκριση του ταλαντωτή MOD1, καταγραφή A299-1 (Πάρνηθα, 1999) και  $H/B = 1/1$  για εύρος  $T_{lat}$  και  $T_{rock}$ : α) ο ταλαντωτής. β) λόγος μέγιστης εγκάρσιας παραμόρφωσης του ισογείου υπό συζευγμένη και υπό εγκάρσια μόνον απόκριση (ελαστικός ταλαντωτής) και γ) αντιστοίχως, λόγος μέγιστης πλαστιμότητας  $\mu_{\delta}$  στην οροφή ισογείου (ανελαστικός ταλαντωτής με  $\eta_{lat} = 0.2$ , διάφορα  $\eta_{\theta}$ ).

Υπολογίζεται για κάθε περίπτωση η συζευγμένη εγκάρσια και λικνιστική απόκριση και συγκρίνεται με τις αντίστοιχες απαιτήσεις για εγκάρσια μόνον απόκριση όπου αγνοούνται τα φαινόμενα λικνισμού, σύμφωνα με τη συμβατική φασματική ανάλυση. Έτσι, εξάγονται αντίστοιχα ελαστικά και

ανελαστικά φάσματα σε εγκάρσια μετακίνηση και ανατροπή υπό σεισμική διέγερση, με χρήση Ελληνικών καταγραφών, αλλά για συζευγμένη απόκριση, που προσομοιώνουν καλύτερα την απόκριση των κτιρίων πιλοτής. Η διερεύνηση καλύπτει ένα μεγάλο εύρος των παραμέτρων του ταλαντωτή, που είναι: ο γεωμετρικός λόγος ύψος προς πλάτος της ανωδομής ( $H/B$ ), η εγκάρσια και λικνιστική ιδιοπερίοδος  $T_{lat}$ , και  $T_{rock}$  και οι ανηγμένες αντοχές  $\eta_{lat}$ ,  $\eta_{rock}$  (ανηγμένη αντοχή διαρροής σε εγκάρσια και λικνιστική απόκριση προς τη μέγιστη αδρανειακή δύναμη και ροπή του άκαμπτου ταλαντωτή). Επί πλέον, στους κτιριακούς φορείς, πρόσθετες παράμετροι είναι: η κατηγορία πλαστιμότητας σχεδιασμού και η αρχική αξονική καταπόνηση των υποστυλωμάτων ( $v_d$ ).

Με βάση τον υπολογισμό της απόκρισης των ταλαντωτών καταδεικνύεται η επιρροή της ταυτόχρονης δράσης της αυξημένης ανατροπής λόγω λικνιστικής συζευγμένης απόκρισης, στους κρίσιμους δείκτες σχεδιασμού (όπως ελαστική παραμόρφωση, εγκάρσια πλαστιμότητα  $\mu_\delta$  κ.ά), όπου, παρατηρείται ότι για συγκεκριμένες ιδιοπεριόδους και ανηγμένες αντοχές, τα εν λόγω μεγέθη διπλασιάζονται σε σχέση με τα αντίστοιχα που προκύπτουν όταν ο λικνισμός αγνοείται (Σχ. 1β, 1γ), σύμφωνα με την συμβατική φασματική πρόβλεψη σχεδιασμού.

### Βιβλιογραφία

- EN1992-1-1 Ευρωκώδικας 2. Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα. Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, CEN, Βρυξέλλες, 2004.
- EN1998-1-1 Ευρωκώδικας 8. Σχεδιασμός κατασκευών για σεισμό. Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, CEN, Βρυξέλλες, 2004.
- Bertero, V.V., Mahin, S.A., and Herrera, R. A., (1978), “Aseismic design implications of near-fault San Fernando earthquake records”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 31-42
- Psycharis I.N. and Jennings P.C., (1983), “Rocking of slender rigid bodies allowed to uplift”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 11, pp. 57–76.
- Karakostas, C., Lekidis, V., Makarios, T., Salonikios, T., Sous, I., and Demosthenous, M., (2005), Seismic response of structures and infrastructure facilities during the Lefkada, Greece earthquake of 14/8/2003, *Engineering Structures*, 27, 213-227.
- Lekidis, V., Karakostas, Ch., Dimitriu, P., Margaritis, V., Kalogeras, I., and Theodulidis, N., (1999), The Aigio (Greece) seismic sequence of June 1995: Seismological, strong-motion data and effects of the earthquake on structures, *Journal of Earthquake Engineering*, 3, 349-380.
- Makris, N., and S. P. Chang. (1998). “Effect of damping mechanisms on the response of seismically isolated structures”. PEER-98/06. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Makris, N. and Zhang, J. (1999), “Response and Overturning of Anchored Equipment under Seismic Excitation”, Report No. PEER-98/05, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Makris, N. and Roussos Y., (2000), “Rocking Response of Rigid Blocks under Near-Source Ground Motions”, *Géotechnique*, 50,3, pp. 243-62.
- Makris, N. and Konstantinidis, D. (2001). “The Rocking Spectrum and the Shortcomings of Design Guidelines”. Report No. PEER-01/07, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA.
- Makris, N. and Konstantinidis, D. (2003), “The Rocking Spectrum and the Limitations of Practical Design Methodologies”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, 2, pp. 265-289.
- Zeris C., (2015), Seismic Response of Rocking Oscillators on a Soft Storey: Elastic Response. *Journal of Structural Engineering*, ASCE. 2014; and Erratum.