

Επιρροή του στόχου σχεδιασμού στο συνολικό κόστος κτιρίων Ο/Σ – Εξέταση εναλλακτικών σεισμικών σεναρίων

Γρηγόριος Μανούκας

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΑΠΘ, grman7@otenet.gr

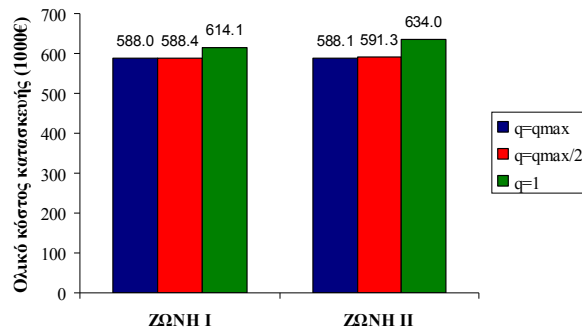
Εκτενής περίληψη

Σύμφωνα με τη φιλοσοφία του αντισεισμικού σχεδιασμού με βάση την επίδοση ή την επιτελεσματικότητα (Performance Based Design), ο ιδιοκτήτης, σε συνεργασία με το μελετητή ενός υπό κατασκευή κτιρίου, θα πρέπει να καθορίσει το στόχο (ή τους στόχους) σχεδιασμού, δηλαδή ένα προκαθορισμένο επίπεδο σεισμικής επίδοσης για ένα συγκεκριμένο επίπεδο σφοδρότητας σεισμικής διέγερσης. Η υιοθέτηση ενός χαμηλού στόχου σχεδιασμού, που οδηγεί και σε αντιστοίχως χαμηλή αντοχή σχεδιασμού, μειώνει το κόστος κατασκευής και περιορίζει τις διαστάσεις των δομικών στοιχείων συμβάλλοντας στην καλύτερη αισθητική και λειτουργικότητα των κτιρίων. Την ίδια ώρα όμως, τα καθιστά εύαλота αν κατά τη διάρκεια ζωής τους πληγούν από ένα σφοδρό σεισμό ανάλογο του σεισμού σχεδιασμού. Στην περίπτωση αυτή αναμένονται σοβαρές βλάβες τόσο στα φέροντα, όσο και στα μη φέροντα δομικά στοιχεία, πράγμα που συνεπάγεται και την ανάλογη οικονομική επιβάρυνση (κόστος επισκευών, διατάραξη ομαλής λειτουργίας κλπ.). Μικρότερης έκτασης βλάβες είναι πιθανό να εμφανιστούν ακόμα και σε πιο ασθενείς σεισμούς που μπορεί να πλήξουν ένα κτίριο αρκετές φορές κατά τη διάρκεια ζωής του. Επιπλέον, σε πολύ ισχυρούς σεισμούς που υπερβαίνουν το σεισμό σχεδιασμού, υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν μη επιδιορθώσιμες βλάβες, χωρίς να μπορεί να αποκλειστεί ακόμα και το ενδεχόμενο κατάρρευσης. Έτσι, πέρα από τις βαριές οικονομικές επιπτώσεις, τίθεται εν αμφιβόλω και η στοιχειώδης κοινωνική απαίτηση για προστασία της ανθρώπινης ζωής. Από την άλλη, η υιοθέτηση ενός υψηλότερου στόχου σχεδιασμού αυξάνει το κόστος κατασκευής, ελαχιστοποιεί όμως τις πιθανές οικονομικές απώλειες εξαιτίας μελλοντικών σεισμών. Κατά συνέπεια, δεν είναι σαφές ποιος στόχος σχεδιασμού είναι πιο οικονομικός σε μακροπρόθεσμη βάση.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής του επιπέδου της αντοχής σχεδιασμού στο συνολικό κόστος (κόστος κατασκευής + σεισμικές απώλειες) κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος που υπόκεινται σε εναλλακτικά σεισμικά σενάρια. Για το σκοπό αυτό γίνεται καταρχάς ανάλυση και διαστασιολόγηση μιας σειράς πολυώροφων πλαισιακού τύπου κτιρίων σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, για δύο επίπεδα σεισμικής διέγερσης που αντιστοιχούν στις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I και II της ελληνικής επικράτειας. Κάθε κτίριο διαστασιολογείται για τρεις διαφορετικές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q , ουσιαστικά δηλαδή για τρία διαφορετικά επίπεδα αντοχής σχεδιασμού. Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται οι τιμές q_{max} , $q_{max}/2$ και 1, όπου q_{max} η μέγιστη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς που προδιαγράφεται στον Ευρωκώδικα 8. Επισημαίνεται ότι ανεξαρτήτως της τιμής του q , η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση τις απαιτήσεις για υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας, ενώ εφαρμόζονται και οι αρχές του ικανοτικού σχεδιασμού. Συνολικά, μελετώνται 6 κτιριακά προσομοιώματα (3 τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς x 2 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας).

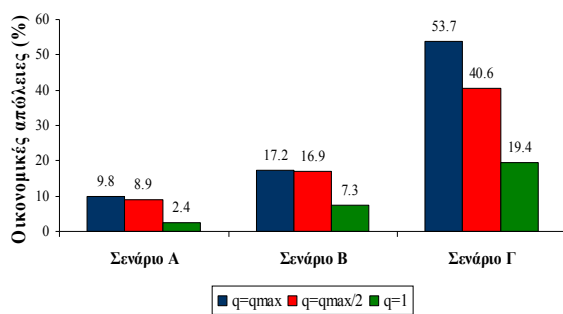
Με βάση τις απαιτούμενες ποσότητες των υλικών και στατιστικά στοιχεία κόστους που συλλέχθηκαν από κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάστηκαν στη Θεσσαλονίκη τα τελευταία χρόνια,

υπολογίζεται το κόστος κατασκευής του φέροντα οργανισμού κάθε κτιρίου. Στη συνέχεια, με την παραδοχή ότι το κόστος κατασκευής για $q = q_{\max}$ στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I ανέρχεται στα 700 €/m², υπολογίζεται και το ολικό κόστος κατασκευής (Σχ. 1). Όπως φαίνεται, η επιβάρυνση που προκύπτει από την υιοθέτηση της τιμής $q = q_{\max}/2$ έναντι της συνήθους στην πράξη $q = q_{\max}$ είναι αμελητέα, ενώ για $q = 1$ η επιβάρυνση δεν ξεπερνά το 8% στη δυσμενέστερη περίπτωση.

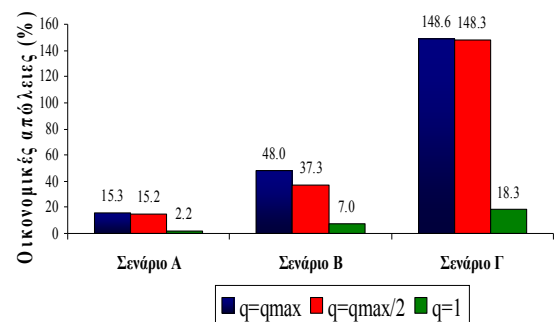


Σχ. 1 Ολικό κόστος κατασκευής κτιρίων

Επιπλέον, τα 6 κτίρια αναλύονται με ανελαστική δυναμική ανάλυση για 4 τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα που αναπτύχθηκαν από το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών και θεωρούνται αντιπροσωπευτικά των σεισμικών διεγέρσεων του ελληνικού χώρου. Τα επιταχυνσιογραφήματα κλιμακώνονται με τη βοήθεια κατάλληλων τροποποιητικών συντελεστών έτσι, ώστε η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση να ανταποκρίνεται σε τρία εναλλακτικά σεισμικά σενάρια (Α, Β και Γ) που αντιστοιχούν σε πιθανότητες υπέρβασης 50%, 10% και 2% σε 50 έτη. Τα μεγέθη απόκρισης των κτιρίων - και συγκεκριμένα οι γωνιακές παραμορφώσεις των ορόφων - συσχετίζονται με τα αναμενόμενα επίπεδα βλάβης και τις αντίστοιχες οικονομικές απώλειες μέσω σχέσεων που είναι διαθέσιμες στη διεθνή βιβλιογραφία. Τελικά, για κάθε κτίριο και για κάθε σενάριο υπολογίζονται οι οικονομικές απώλειες (εκπεφρασμένες ως ποσοστό του ολικού κόστους κατασκευής) λαμβάνοντας υπόψη το κόστος επισκευής των ζημιών, τις απώλειες περιεχομένων, το κόστος μετεγκατάστασης και το κόστος ενοικίων για το διάστημα που αναμένεται να παραμείνει κάθε κτίριο εκτός λειτουργίας (Σχ. 2 - 3).

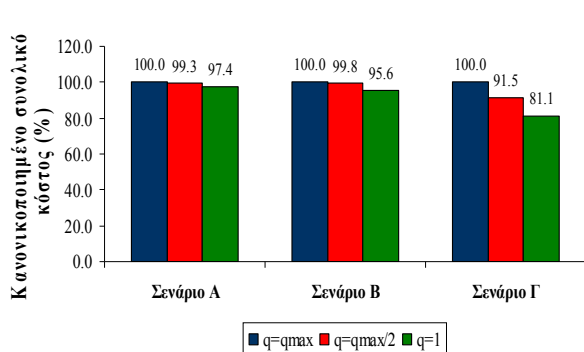


Σχ. 2 Οικονομικές απώλειες λόγω σεισμού (% του κόστους κατασκευής) για τη ζώνη I

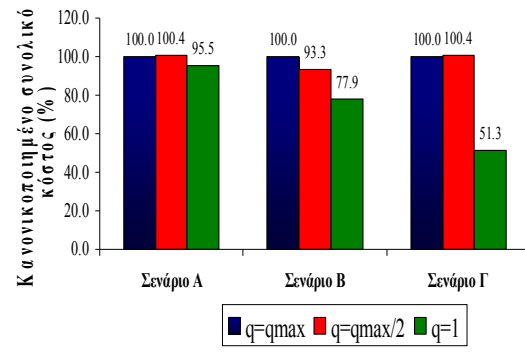


Σχ. 3 Οικονομικές απώλειες λόγω σεισμού (% του κόστους κατασκευής) για τη ζώνη II

Το συνολικό κόστος υπολογίζεται ως άθροισμα του ολικού κόστους κατασκευής και των οικονομικών απωλειών. Στη συνέχεια το συνολικό κόστος κάθε κτιρίου κανονικοποιείται ως προς το συνολικό κόστος του κτιρίου που σχεδιάστηκε με $q = q_{\max}$ για κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας (Σχ. 4 - 5). Όπως φαίνεται, οι τρεις εναλλακτικοί σχεδιασμοί είναι περίπου ισοδύναμοι από οικονομική άποψη για το σεισμικό σενάριο Α, καθώς και για το σεισμικό σενάριο Β στη ζώνη Ι. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις όμως, είναι σαφής η υπεροχή του σχεδιασμού για $q = 1$, δηλαδή για ελαστική συμπεριφορά υπό το σεισμό σχεδιασμού, καθώς οδηγεί σε μείωση του συνολικού κόστους που μπορεί να αγγίξει το 50%.



Σχ. 4 Κανονικοποιημένο συνολικό κόστος για τη ζώνη Ι



Σχ. 5 Κανονικοποιημένο συνολικό κόστος για τη ζώνη ΙΙ

Βιβλιογραφία

- CEN (2004), "Eurocode 2. Design of concrete structures – Part 1–1: General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1)", Brussels.
- CEN (2004), "Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1)", Brussels.
- Comerio, M. C. and Blecher H. E. (2010), "Estimating downtime from data on residential buildings after the Northridge and Loma Prieta earthquakes", *Earthquake Spectra*, Vol. 26, No. 4, pp. 951-965.
- Δημητρακόπουλος, Η. και Κάππος, Α. (2008), "Προσδιορισμός Βέλτιστης Στάθμης Προσεισμικής Ενίσχυσης με Κριτήριο το Κόστος 'Συμβατικού' Κύκλου Ζωής", Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, Νοέμβριος 2008, Άρθρο 2014.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1992), "A Benefit–Cost Model for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA 227, Federal Emergency Management Agency - Building Seismic Safety Council, Washington DC.
- Ghobarah, A. (2004) "On drift limits associated with different damage levels", *Proceedings of International Workshop on Performance-Based Seismic Design: Concepts and Implementation*, Bled, Slovenia, pp. 321-332.
- Lagaros, N., Fotis, A. and Krikos, S. (2006), "Assessment of seismic design procedures based on the total cost", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 35, pp. 1381-1401.
- Manoukas, G. and Athanatopoulou, A. (2014), "Full and Partial Seismic Protection: Influence of Design Objective on Construction Cost of Buildings", *Proceedings of the 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Istanbul, Turkey, August 2014, Paper No 983.