

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτελεί η βαθμονόμηση της προτεινόμενης από τον ΟΑΣΠ διαδικασίας προσεισμικού ελέγχου των κατασκευών, η διερεύνηση της αξιοπιστίας εφαρμογής της και η διατύπωση προτάσεων για πιθανή ολοκλήρωση ή/και τροποποίηση της. Συγκεκριμένα η παρούσα έρευνα περιλαμβάνει την εφαρμογή της μεθοδολογίας της πρώτης φάσης του προσεισμικού ελέγχου της τρωτότητας των δημοσίων κτιρίων (Επίπεδο Α -Ταχύς Οπτικός Έλεγχος) σε συγκεκριμένες κατασκευές της περιοχής των Αθηνών, οι οποίες υπέστησαν βλάβες διαφόρου βαθμού και έκτασης από τον σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999. Συλλέχθηκαν στοιχεία από 681 κατασκευές της ευρύτερα πλειόσειστης περιοχής των Αθηνών από τις οποίες 457 αφορούν σε κατασκευές με δομικό σύστημα από ωπλισμένο σκυρόδεμα (ΩΣ) και 224 από φέρουσα τοιχοποιία (ΦΤ), στις περιοχές με την μεγαλύτερη πυκνότητα βλαβών, όπως οι περιοχές Άνω Λιοσίων, Μενιδίου, Ν. Φιλαδέλφειας, Ν. Κηφισιάς. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας του Ταχέως Οπτικού Ελέγχου (ΤΟΕ) αφορούσε σε κατασκευές οι οποίες:

- υπέστησαν ολική ή τμηματική κατάρρευση ('καταρρεύσεις'),
- παρουσίασαν σημαντικό βαθμού βλάβες στο δομικό σύστημα ('κόκκινες'),
- παρουσίασαν μέσου βαθμού βλάβες στο δομικό σύστημα ή/και εκτεταμένες βλάβες στις τοιχοπληρώσεις ('κίτρινες'),
- εμφάνισαν πρακτικά ασήμαντες βλάβες ή δεν εμφάνισαν καμία βλάβη ('πράσινες').

Προκειμένου να επιτευχθεί αυξημένη αξιοπιστία της βαθμονόμησης και να απομονωθούν επιμέρους παράγοντες οι οποίοι δεν είναι δυνατόν να αποτιμηθούν στα πλαίσια εφαρμογής της παρούσας μεθοδολογίας, όπως η εδαφική επιτάχυνση ή οι τοπικές εδαφικές συνθήκες στην θέση των κατασκευών, εφαρμόστηκε η διαδικασία του ΤΟΕ σε **ομάδες γειτονικών οικοδομικών τετραγώνων** στις οποίες υπήρχαν κατασκευές σε όλο το εύρος του φάσματος των βλαβών. Κατασκευές οι οποίες περιλαμβάνουν κατά το δυνατόν τις επιμέρους διαφοροποιήσεις μεταξύ των δομικών συστημάτων και εμφανίζουν τα στοιχεία – συντελεστές βαθμονόμησης τα οποία εισάγονται στην διαδικασία προσεισμικού ελέγχου όπως :

- Η χρήση της κατασκευής (είδος χρήσης και αριθμός χρηστών).
- Η μορφή και είδος του δομικού συστήματος.
- Το έτος και ο κανονισμός αντισεισμικού σχεδιασμού(έτος σταθμός).
- Τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά(μαλακός όροφος, κοντά υποστυλώματα, τοιχοποιίες πληρώσεως, μη κανονικότητες κ.λπ.).

Η επεξεργασία των στοιχείων αφορούσε σε αναλυτική στατιστική επεξεργασία της Δομικής Βαθμολογίας (ΔΒ) των επιμέρους ομάδων κατασκευών και σύγκριση των αποτελεσμάτων από την αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας ως προς τον εμφανισθέντα βαθμό βλάβης. Συσχετίζεται η Δομική Βαθμολογία εκτός από τον βαθμό βλάβης και με τα βασικά χαρακτηριστικά της κατηγοριοποίησης του δομικού συστήματος. Παρουσιάζονται ιστογράμματα κατανομής της βαθμολογίας συναρτήσει των βασικών παραγόντων διαμόρφωσης της (ΑΒΣΚ, ΤΣΣ, κ.λπ.) όπως αυτοί περιλαμβάνονται και ποσοτικοποιούνται στην προτεινόμενη από τον ΟΑΣΠ διαδικασία του ΤΟΕ. Διερευνάται η επιρροή ενός εκάστου των επιμέρους συντελεστών στην τελική διαμόρφωση της τιμής του κριτηρίου επιτυχίας (ΔΒ=;) και συγκρίνονται τα αποτελέσματα ως προς την τιμή της ΔΒ=2, η οποία έχει προταθεί να αποτελέσει το κριτήριο επιτυχίας για την απαλλαγή ή τον περαιτέρω έλεγχο της κατασκευής. Παράλληλα παρουσιάζονται ιστογράμματα κατανομής της δομικής βαθμολογίας συναρτήσει των επικρατέστερων συνδυασμών των επιμέρους παραμέτρων για κατασκευές με καταρρεύσεις και σημαντικό βαθμό βλάβης καθώς επίσης και αποτελέσματα από την κατανομή του βαθμού βλάβης (τρωτότητα) σε συνάρτηση με τα επιμέρους δομικά χαρακτηριστικά και με το έτος κατασκευής.

Επιπρόσθετα στα πλαίσια της παρούσας έρευνας δημιουργήθηκε για πρώτη φορά στην χώρα μας και παραδίδεται προς αξιοποίηση μία σημαντική βάση δεδομένων με στοιχεία ε-

φαρμογής του Ταχέως Οπτικού Ελέγχου, σε κατασκευές οι οποίες υπέστησαν έντονη σεισμική δράση και παρουσίασαν σχετικά προβλήματα φέρουσας ικανότητας σε διάφορους βαθμούς και έκταση.

Τα βασικότερα συμπεράσματα σχετικά με την εφαρμοσιμότητα της μεθοδολογίας του ΤΟΕ, τα προβλήματα τα οποία παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή της, και την παρεχόμενη αξιοπιστία πρόβλεψης συνοψίζονται στα εξής:

α. Η συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων για την εφαρμογή της διαδικασίας του α' επιπέδου προσεισμικού ελέγχου (ΤΟΕ) στις περισσότερες από τις περιπτώσεις των κατασκευών δεν παρουσίασε ιδιαίτερα σημαντικά προβλήματα. Ο απαιτούμενος χρόνος για την εφαρμογή της μεθόδου προκύπτει ανάλογος με το μέγεθος της κατασκευής και την δυσκολία εντοπισμού των (κατακορύφων κυρίως) στοιχείων του δομικού συστήματος. Ο απαιτούμενος χρόνος κυμάνθηκε κατά μέσο όρο σε 1.5 – 2.5 ώρες ανά κατασκευή.

β. Δημιουργείται προβληματισμός κατά τη συμπλήρωση των εντύπων του ΤΟΕ όσον αφορά σε ορισμένες περιπτώσεις κατασκευών δομημένων την χρονική περίοδο 1986 – 1987 για τον χρησιμοποιηθέντα κανονισμό σχεδιασμού. Στις περιπτώσεις αυτές προκειμένου να ενταχθεί η κατασκευή στην αντίστοιχη κατηγορία οφείλεται να αναζητούνται και πρόσθετα στοιχεία από τα οποία θα μπορούσε να προκύψει με σχετική αξιοπιστία η αντίστοιχη ταξινόμηση.

γ. Ιδιαίτερη δυσκολία παρουσιάζεται κατά την κατάταξη των κατασκευών στις κατηγορίες ΩΣ2 (κτίριο με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα ΩΣ) και ΩΣ3 (κτίριο με μικτό φέροντα οργανισμό από ΩΣ με επαρκή τοιχώματα ΩΣ ώστε να απαλλάσσεται του Αντισεισμικού Υπολογισμού σύμφωνα με τις διατάξεις του ΒΔ/59). Όπου όμως, προκειμένου να είναι δυνατή η κατάταξη στην κατηγορία ΩΣ3 απαιτείται η διακρίβωση όχι μόνο του αριθμού των τοιχωμάτων αλλά και των πλήρων διαστάσεων τους γεγονός το οποίο στις περισσότερες από τις κατασκευές δεν προσδιορίζεται εύκολα.

δ. Στις 457 κατασκευές με δομικό σύστημα από ωπλισμένο σκυρόδεμα παρατηρείται σημαντική διασπορά των τιμών της Δομικής Βαθμολογίας, οι οποίες κυμαίνονται στο διάστημα $\Delta B = -1.0 \div 3.5$. Παρατηρούνται τιμές του $\Delta B > 2.5$ να αντιστοιχούν σε κατασκευές οι οποίες κατέρρευσαν ή παρουσίασαν σοβαρές βλάβες αλλά και τιμές $\Delta B < 2.0$ σε κατασκευές χωρίς ή με μικρό βαθμό βλάβης. Όμως είναι εμφανής και σαφής η μετακίνηση των επιμέρους 'νεφών' κατασκευών προς τα αριστερά (μικρότερες τιμές της ΔΒ) ανάλογα με τον εμφανιζόμενο βαθμό βλάβης.

ε. Το 83% των κατασκευών με δομικό σύστημα ωπλισμένο σκυρόδεμα, οι οποίες υπέστησαν ολική ή μερική κατάρρευση, παρουσίασε δομική βαθμολογία $\Delta B < 2.0$ με μέσο όρο $\Delta B_m = 0.88$. Η διερεύνηση των επιμέρους τροποποιητικών συντελεστών στις κατασκευές οι οποίες παρά την κατάρρευση τους εμφάνισαν δομική βαθμολογία $\Delta B > 2.0$ προσδιόρισε σαν κύριο αίτιο της υψηλής τιμής της ΔΒ την τιμή της Αρχικής Βασικής Βαθμολογίας Σεισμικού Κινδύνου (ΒΒΣΚ), σε συνδυασμό με τις μικρές τιμές των επιμέρους συντελεστών μείωσης (ΤΣΣ) οι οποίοι αντιστοιχούσαν στις κατασκευές αυτές.

στ. Η δομική βαθμολογία των 201 κατασκευών οι οποίες παρουσίαζαν σημαντικές βλάβες στο δομικό τους σύστημα κυμάνθηκε επίσης μεταξύ των τιμών $-1.0 \div 3.0$ με διαφοροποιημένα όμως ποσοστά ως προς τις αντίστοιχες με κατάρρευση, αφού ποσοστό 67% παρουσίασε τιμές $\Delta B < 2.0$ και 36% τιμές μεγαλύτερες ή ίσες του 2.0. Παρατηρείται αυξημένη τιμή του μέσου όρου για την κατηγορία των κατασκευών αυτών ($\Delta B_m = 1.46$) αλλά μεγαλύτερη διασπορά των τιμών του ΔΒ ως προς τις αντίστοιχες τιμές για την ομάδα των κατασκευών με καταρρεύσεις. Και στην ομάδα των κατασκευών αυτών η διερεύνηση των επιμέρους παραμέτρων οι οποίες διαμόρφωσαν τον δείκτη ΔΒ με υψηλές σχετικά τιμές προσδιόρισε σαν κύριο αίτιο την αρχική υψηλή τιμή της Βασικής Βαθμολογίας σε συνδυασμό με την μικρή μείωση της από την ανυπαρξία ελεύθερου ισογείου (pilotis) ή κοτών υποστυλωμάτων.

ζ. Για τις κατασκευές με εκτεταμένες βλάβες στα μη φέροντα δομικά στοιχεία ή/και μικρού βαθμού βλάβες στο δομικό τους σύστημα (κίτρινες), η διακύμανση της ΔΒ καλύπτει το πεδίο τιμών από $-1.0 \div 2.5$ με το 54% των κατασκευών αυτών να παρουσιάζει τιμές $\Delta B \leq 2.0$, ενώ το 82% να παρουσιάζει δείκτη δομικής βαθμολογίας $1.0 \leq \Delta B \leq 2.5$. Περιοχή βαθμολογίας όπου οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές εμφανίζουν σημαντική συγκέντρωση. Ο μέσος όρος της δομικής βαθμολογίας για τις κατασκευές αυτές ($\Delta B_m = 1.49$) παρουσιάζει περίπου την αυτή τιμή με τις αντίστοιχες κατασκευές με βλάβες στο δομικό σύστημα, όμως εμφανίζεται αυξημένη τιμή του συντελεστή διασποράς και της τυπικής απόκλισης.

η. Οι τιμές της ΔΒ για τις 94 κατασκευές χωρίς βλάβες (πράσινες) κυμαίνονται από $-1.0 \div 3.5$ με το μεγαλύτερο όμως ποσοστό των κατασκευών να έχει τιμή του $\Delta B \geq 2.0$. Συγκεκριμένα το 71% των κατασκευών παρουσίασε $\Delta B \geq 2.0$ ενώ το υπόλοιπο 29% $\Delta B < 2.0$. Εκτός από την αύξηση της τιμής του μέσου όρου του ΔΒ ($\Delta B_m = 1.89$) είναι εμφανής επίσης η μικρή σχετικά τιμή της διασποράς και της τυπικής απόκλισης στις κατασκευές του δείγματος.

θ. Από την κατανομή της δομικής βαθμολογίας σε συνάρτηση με τον βαθμό βλάβης σε 281 κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα οι οποίες είχαν πλαισιωτό δομικό σύστημα παρουσιάζεται ποσοστό 78% (218 κατασκευές) με $\Delta B \leq 2$ και σημαντική συγκέντρωση κυρίως στις τιμές $\Delta B = 1.5$ και 2.5. Παρατηρείται αύξηση της μέσης τιμής της δομικής βαθμολογίας (ΔB_m) των επιμέρους ομάδων κατασκευών ανάλογα με τον βαθμό βλάβης.

ι. Στην ομάδα των 176 κατασκευών με δυαδικό μικτό δομικό σύστημα είναι περισσότερο εμφανής η διαφοροποίηση στην μέση τιμή της δομικής βαθμολογίας ανάλογα με τον βαθμό βλάβης από ότι στην περίπτωση των κατασκευών με πλαισιωτό δομικό σύστημα όπου παρουσιάζεται ποσοστό 80% (140 κατασκευές) με $\Delta B \leq 2$. Εξαιρέση αποτελεί η ομάδα κατασκευών με σημαντικό βαθμό βλάβης (κόκκινες) όπου η μέση τιμή της ΔΒ παρουσιάζεται αναλογικά σημαντικά αυξημένη ($\Delta B_m = 1.35$) σε σχέση με την κατηγορία κατασκευών με λιγότερες βλάβες (κίτρινες).

ια. Για τις περιπτώσεις των κατασκευών με ισόγειο χωρίς ΤΠ (pilotis) τα επιμέρους ποσοστά του ΔΒ αντιστοιχούσαν σε κατασκευές με $\Delta B < 2$ σε ποσοστό 92%. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε τιμές του δείκτη δομικής βαθμολογίας $\Delta B \geq 2.0$ αντιστοιχούν κατασκευές χωρίς τοιχοποιίες πλήρωσεως στο ισόγειο (Pilotis) οι οποίες δεν εμφάνισαν βλάβες στο δομικό τους σύστημα, γεγονός το οποίο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως επιτυχής τιμή συνδυασμού μεταξύ ΑΒΣΚ και του αντίστοιχου ΤΣΣ.

ιβ. Με παρόμοια επιτυχία του συνδυασμού τιμών μεταξύ ΑΒΣΚ και του αντίστοιχου ΤΣΣ μπορούν να θεωρηθούν και τα αποτελέσματα για τις 28 κατασκευές με κοντά υποστυλώματα, αφού για $\Delta B \geq 2$ δεν εντοπίστηκαν κατασκευές με βλάβες στα στοιχεία του δομικού τους συστήματος.

ιγ. Για τις κατασκευές με μη κανονικότητα καθ' ύψος ο δείκτης ΔΒ κυμάνθηκε στο διάστημα $-1.0 - 3.5$ με τους μικρότερους βαθμούς να αντιστοιχούν σε κατασκευές οι οποίες κατέρρευσαν ή με βαριές βλάβες στο δομικό σύστημα. Και για την περίπτωση αυτή είναι εμφανής η ικανοποίηση της επιλογής του κριτηρίου επιτυχίας ($\Delta B = 2.0$) αφού $\Delta B > 2.0$ παρουσιάζει το 2.7% των κατασκευών με καταρρεύσεις (1 κατασκευή στις 37) και το 1.3% των κατασκευών με βλάβες στο ΔΣυ (1 κατασκευή σε σύνολο 76). Παρόμοια επιτυχή αποτελέσματα κατανομή της δομικής βαθμολογίας σε συνάρτηση με τον βαθμό βλάβης παρουσίασαν και οι 101 κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα με οριζόντια μη κανονικότητα όπου δομική βαθμολογία > 2.0 παρουσιάζει 1 μόνο κατασκευή με κατάρρευση (ποσοστό 2.8%) και καμία με βλάβες στο δομικό σύστημα. Ικανοποιητική απόδοση του κριτηρίου επιτυχίας εμφάνισαν τα αποτελέσματα από την επεξεργασία της δομικής βαθμολογίας σε 171 κατασκευές ωπλισμένου σκυροδέματος οι οποίες εμφάνισαν κρούση σε γειτονικά κτίρια.

ιδ. Από την διαμόρφωση της δομικής βαθμολογίας σε συνάρτηση με τους επικρατέστερους

συνδυασμούς των επιμέρους παραμέτρων συντελεστών τόσο για τις κατασκευές με καταρρεύσεις όσο και για τις περιπτώσεις με σημαντικές βλάβες στο δομικό τους σύστημα, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σαφής συνδυασμός ο οποίος θα μπορούσε να θεωρηθεί ως καθοριστικός για την συμπεριφορά των κατασκευών αυτών. Όμως είναι εμφανής η επικράτηση των συνδυασμών με:

- ταυτόχρονη ύπαρξη μαλακού ορόφου – κακής μορφολογίας καθ' ύψος
- ταυτόχρονη ύπαρξη μαλακού ορόφου – οριζόντιας μη κανονικότητας
- ταυτόχρονη ύπαρξη μαλακού ορόφου – κοντών υποστρωμάτων

ιε. Από την διερεύνηση της τρωτότητας (βαθμού βλάβης) των κατασκευών σε συνάρτηση με τα επιμέρους δομικά χαρακτηριστικά τους παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό σε καταρρεύσεις παρουσιάστηκε σε κατασκευές με δυαδικό δομικό (70%) σύστημα, ενώ για τις κατασκευές με πλαισιωτό δομικό σύστημα το αντίστοιχο ποσοστό αφορούσε σε κατασκευές με βαριές βλάβες (κόκκινες). Μεγάλα ποσοστά σε καταρρεύσεις παρατηρούνται και κατασκευές με ισόγειο χωρίς ΤΠ (pilotis), (50%) για κατασκευές με οριζόντια μη κανονικότητα (39%) και μη κανονικότητα καθ' ύψος (38%).

ιστ. Από τα αποτελέσματα της δομικής τρωτότητας για 214 κατασκευές σε συνάρτηση με το έτος κατασκευής (κριτήριο αναφοράς ο χρησιμοποιηθείς αντισεισμικός κανονισμός) και τον βαθμό βλάβης τον οποίο εμφάνισαν, είναι εμφανής η συγκέντρωση της πλειοψηφίας των κατασκευών με καταρρεύσεις ή μεγάλου βαθμού και έκτασης βλάβες του δομικού συστήματος σε αυτές που σχεδιάστηκαν πριν την ισχύ της τροποποίησης του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1985, έτος το οποίο θεωρείται στην χρησιμοποιηθείσα μεθοδολογία ως έτος σταθμός.

ιζ. Η εφαρμογή του ΤΟΕ σε 224 κατασκευές με δομικό σύστημα από φέρουσα τοιχοποιία παρουσίασε σημαντική συγκέντρωση της δομικής βαθμολογίας των κατασκευών που κατέρρευσαν στο πεδίο τιμών $\Delta B=1.0$ & 1.5 . Γεγονός το οποίο οφείλεται τόσο στην τιμή της Αρχικής Βασικής Βαθμολογίας κυρίως όμως στις ελάχιστες διαφοροποιήσεις των τροποποιητικών συντελεστών για την κατηγορία των κατασκευών αυτών. Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι στο υπόψη στατιστικό δείγμα η συντριπτική πλειοψηφία (203 κατασκευές, ποσοστό 91%) αφορούσε σε κατασκευές οι οποίες υπέστησαν κατάρρευση και οι οποίες είχαν δομικό σύστημα από φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, κυρίως λιθοδομή χωρίς διαζώματα ή διαφράγματα (κατηγορία ΑΤ).