



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ**

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ  
ΔΡΑΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΩΝ ΑΠΟ  
Ο/Σ - ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΕΣΩ  
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ  
ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ ΜΥΣΤΑΚΙΔΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Στατικής**

**Ερευνητική ομάδα**

*Αντώνης Κανελλόπουλος, Πολ. Μηχ. ΕΜΠ., Δρ. Πολ. Μηχανικός ΕΤΗ Zurich*

*Ευάγγελος Μακρυκόστας, Πολ. Μηχανικός ΕΜΠ - Μελετητής*

*Ευριπίδης Μυστακίδης, Δρ. Πολ. Μηχανικός Α.Π.Θ., Επίκ. Καθηγητής Π.Θ.*

*Ευστάθιος Παπαγεωργίου, Πολ. Μηχανικός ΕΜΠ - Μελετητής*

*Παναγιώτης Παπακυριακόπουλος, Πολ. Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Πολ. Μηχανικός TU  
Braunschweig - Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ.*

**Βόλος, Αύγουστος 2002**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το παρόν ερευνητικό έργο επιχειρείται να παρουσιασθεί μια ολοκληρωμένη πρόταση για την αποτίμηση της αντοχής υφισταμένων δομημάτων σε σεισμική καταπόνηση και τη βελτίωση της συμπεριφοράς τους μέσω τεχνικών επεμβάσεων. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται τα παρακάτω :

### A) Σε σχέση με το δόμημα

- Γεωμετρική αποτύπωση των φερόντων στοιχείων του υφιστάμενου δομήματος καθώς και των λεπτομερειών όπλισης (διάταξη, διάμετρος, επικάλυψη) ως έχουν ή έλεγχος, και ενδεχομένως τροποποίηση, των διαθέσιμων σχεδίων.
- Γεωμετρική αποτύπωση ως έχουν ή έλεγχος, και ενδεχομένως τροποποίηση, των διαθέσιμων σχεδίων ως προς τη θέση και το μέγεθος των μόνιμων φορτίων που οφείλονται σε μη φέροντα στοιχεία (τοιχοποιίες, επικαλύψεις δαπέδων, μονώσεις, επενδύσεις κατακόρυφων επιφανειών κ.ά.).
- Προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών (σκυρόδεμα, χάλυβας οπλισμού)

### B) Σε σχέση με το Σεισμικό Κίνδυνο

- Εκτίμηση των χαρακτηριστικών της εδαφικής δόνησης στη θέση του δομήματος (υπό τη μορφή Φάσματος Απόκρισης) για σεισμούς με διάφορες Περιόδους Επαναφοράς, π.χ. 72, 225, 475, 975, 2475 χρόνια ή διάφορες πιθανότητες υπέρβασης μέσα σε ορισμένο χρονικό διάστημα, π.χ. 50 χρόνια. Έτσι, σεισμοί με τις παραπάνω Περιόδους Επαναφοράς έχουν πιθανότητες να συμβούν τουλάχιστον μία φορά μέσα σε διάστημα 50 χρόνων ίσες με 50%, 20%, 10%, 5% και 2% αντίστοιχα.

### Γ) Σε σχέση με το Στόχο της Σεισμικής Αποκατάστασης

- Καθορισμός των επιθυμητών επιπέδων επιτελεστικότητας του δομήματος για ένα ή περισσότερα (συνήθως μέχρι δύο) επίπεδα σεισμικού κινδύνου, π.χ. άμεση λειτουργικότητα μετά από ένα σεισμό με περίοδο επαναφοράς 72 χρόνια και εξασφάλιση από ανθρώπινες απώλειες για ένα σεισμό με περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια.  
Το στάδιο αυτό, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ισοδύναμο με τον καθορισμό της μέγιστης αποδεκτής Σεισμικής Διακινδύνευσης, είναι καθοριστικό για τη χάραξη της στρατηγικής της αποκατάστασης (έκταση και είδος επεμβάσεων) και απαιτεί ουσιαστικά συμμετοχή του Κυρίου του Έργου στη λήψη των σχετικών αποφάσεων ή τη θέσπιση από την αρμόδια Αρχή ειδικών κατά περίπτωση κριτηρίων.

### Δ) Σε σχέση με την (διαπιστωμένη ή εκτιμώμενη) ελαττωματική συμπεριφορά του δομήματος

- Εποπτικός εντοπισμός των ασθενών σημείων και των αδυναμιών του δομήματος με επί τόπου εξέταση της κατάστασής του σε συνδυασμό με εξέταση και αξιολόγηση των πληροφοριών της αποτύπωσης και των ιδιοτήτων των υλικών.
- Εκτέλεση απλοποιημένων υπολογισμών για την εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς και την επαλήθευση του εποπτικού ελέγχου. Περαιτέρω

επισήμανση των μελών στα οποία ο λόγος απαιτούμενη προς διαθέσιμη αντοχή προσεγγίζει ή υπερβαίνει το 1,0.

E) Σε σχέση με τον έλεγχο της συμπεριφοράς του δομήματος μετά την επέμβαση

- Πρώτη προσέγγιση στον καθορισμό των επεμβάσεων μετά από εξέταση εναλλακτικών λύσεων για τη βελτίωση της συμπεριφοράς του δομήματος.
- Κατάλληλη μοντελοποίηση του φέροντος οργανισμού για τη δημιουργία της καμπύλης ικανότητας του δομήματος, δηλ. της καμπύλης Τέμνουσα Βάσης προς Μετακίνηση του Κέντρου Βάρους της οροφής. Η καμπύλη αυτή αποδίδει τη μη γραμμική στατική συμπεριφορά του δομήματος για βαθμιαία αυξανόμενο φορτίο (pushover) και προκύπτει μέσω μιας ακολουθίας διαδοχικών γραμμικών αναλύσεων. Κάθε μία απ' αυτές τις γραμμικές αναλύσεις εκτελείται για μία βαθμίδα φορτίου, η κατανομή του οποίου προσομοιώνει τη σεισμική δράση και το μέγεθός του είναι τόσο μόνο, ώστε η καταπόνηση που αναπτύσσεται σε κάποιο στοιχείο ή στοιχεία να φτάνει στα όρια της αντοχής τους με αποτέλεσμα τη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στα σημεία αυτά και τη μείωση της συνολικής ακαμψίας του δομήματος. Η επόμενη ανάλυση εκτελείται για μια νέα βαθμίδα φορτίου αλλά σε τροποποιημένο στατικό σύστημα λόγω των πλαστικών αρθρώσεων που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο βήμα. Η διαδικασία για τη δημιουργία της καμπύλης ικανότητας του δομήματος ολοκληρώνεται όταν το πλήθος των τοπικών αστοχιών οδηγήσει το δόμημα σε ολική αστοχία.
- Εκτίμηση, με βάση την καμπύλη ικανότητας του δομήματος, το Φάσμα Απόκρισης Επιταχύνσεων και τεσσάρων διορθωτικών συντελεστών της Μετακίνησης Στόχου (Μέθοδος Συντελεστή Μετακίνησης).
- Έλεγχος αν οι παραμορφώσεις και οι αντοχές των μελών του φέροντος οργανισμού (περιλαμβανομένου και του εδάφους) ικανοποιούν τα κριτήρια αποδοχής για το συγκεκριμένο επίπεδο επιτελεστικότητας του δομήματος. Τα κριτήρια αποδοχής δίνονται στα εγχειρίδια εφαρμογής της μεθόδου (FEMA 273, FEMA 356).
- Εάν τα κριτήρια αποδοχής ικανοποιούνται η επέμβαση θεωρείται επιτυχής.
- Εάν τα κριτήρια αποδοχής δεν ικανοποιούνται γίνεται κατάλληλη τροποποίηση/συμπλήρωση του σχήματος της επέμβασης και η διαδικασία E) επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Η παραπάνω μεθοδολογία εκτίθεται διεξοδικά στην τελική έκθεση του ερευνητικού έργου, με ιδιαίτερη έμφαση στην παρουσίαση των μεθόδων προσδιορισμού των ιδιοτήτων του σκυροδέματος και του χάλυβα ως έχουν στο κτίριο και στην ανάπτυξη του τρόπου εκτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης, ο οποίος συμπληρώνεται με επεξηγηματικά παραδείγματα.

Στη συνέχεια δίνονται οδηγίες για τη χάραξη μιας στρατηγικής επεμβάσεων, αρχίζοντας με τον εντοπισμό των ασθενών σημείων του δομήματος και ολοκληρώνοντας με μια συνοπτική περιγραφή ορισμένων κατηγοριών επεμβάσεων. Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση της Μεθόδου του Συντελεστή Μετακίνησης, η οποία επεκτείνεται στη διερεύνηση της εφαρμοσιμότητας της μεθόδου και στην Ελλάδα λαμβάνοντας υπόψη τις χαρακτηριστικές ιδιότητες επιλεγμένων επιταχυνσιογραφημάτων του ελληνικού χώρου. Προϊόν αυτής της διεξοδικής έρευνας

είναι μια πρόταση για τροποποίηση του τύπου με τον οποίο υπολογίζεται ο διορθωτικός συντελεστής C1 της μεθόδου.

Για την πρακτική εφαρμογή της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης παρατίθεται μια λεπτομερής ανάπτυξη των αρχών που διέπουν τη μοντελοποίηση των υφισταμένων κατασκευών από σκυρόδεμα, τόσο στο σύνολο του φορέα όσο και σε τοπικό επίπεδο μέλους. Τα στοιχεία που παρέχονται για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των μελών χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο των κριτηρίων αποδοχής, τα οποία εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην προσομοίωση της θεμελίωσης και στην επιρροή του συστήματος θεμελίωση-έδαφος στη σεισμική συμπεριφορά του δομήματος.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την εφαρμογή της μεθόδου σε πραγματικές κατασκευές.

Από την ανάπτυξη και την εφαρμογή της μεθόδου της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης προκύπτουν τα εξής :

- Η μέθοδος έχει αναπτυχθεί για τον έλεγχο της συμπεριφοράς υφισταμένων κτιρίων πριν και μετά τις επεμβάσεις, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και σε νέα κτίρια.
- Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί και σε γέφυρες.
- Η εφαρμογή της μεθόδου δεν είναι απλή και απαιτεί υψηλό επίπεδο γνώσεων τόσο στη δυναμική των κατασκευών όσο και στη μηχανική των υλικών.
- Εφόσον υιοθετηθεί η εφαρμογή της μεθόδου θα πρέπει να προβλεφθεί και ένας κατάλληλος μηχανισμός ελέγχου της μελέτης από άτομα του αυτού τουλάχιστον επιπέδου με τον μελετητή.
- Λόγω του ότι η τεχνολογία των επεμβάσεων εξελίσσεται και αναπτύσσεται συνεχώς, ο μελετητής θα πρέπει να γνωρίζει σε βάθος την τεχνολογία των προτεινομένων επεμβάσεων και να συνοδεύει τη μελέτη του από αναλυτικές κατασκευαστικές οδηγίες και προδιαγραφές.
- Η εφαρμογή της μεθόδου, συγκρινόμενη με τις παραδοσιακά ακολουθούμενες πρακτικές επεμβάσεων, συνεπάγεται εν γένει υψηλότερο κόστος μελέτης και, τουλάχιστον σε περιοχές με υψηλή σεισμικότητα, υψηλότερο κόστος και για την υλοποίηση των επεμβάσεων.

Αυτή όμως η αύξηση του κόστους μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι με τη νέα μεθοδολογία το κόστος εξαρτάται άμεσα από το επιλεγόμενο (πολλές φορές) υψηλότερο επίπεδο επιτελεσματικότητας και σε κάθε περίπτωση η αύξηση του κόστους εξισορροπείται από το γεγονός ότι οι παραδοσιακές πρακτικές δεν παρέχουν την ίδια ελεγχόμενη ποιότητα αποτελέσματος ως προς την επιθυμητή επιτελεσματικότητα του δομήματος. Αν, επιπροσθέτως, ληφθεί υπόψη η επιρροή της μεθόδου επέμβασης που εφαρμόστηκε και στην έκταση των πιθανών βλαβών που θα προκαλέσει ένας μελλοντικός σεισμός, η οικονομική σύγκριση αποβαίνει υπέρ της νέας πρακτικής.