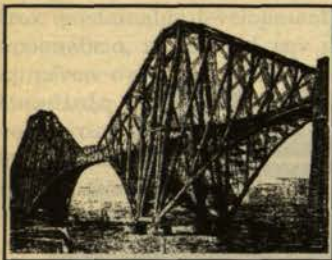


ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



των Κώστα Α. Συρμακέζη*,
και Γιώργου Κ. Μικρούδη**

ΕΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Τα έμπειρα συστήματα, όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια, εφαρμόζονται στις διάφορες επιστήμες και αναδεικνύονται σε εργαλεία πρώτης ποιότητας για την αντιμετώπιση των επί μέρους προβλημάτων. Στις πετυχημένες εφαρμογές τους θα πρέπει να συγκαταλεχθούν και αυτές οι οποίες αφορούν δομοστατικά προβλήματα, στην επιστήμη του πολιτικού μηχανικού. Οι εφαρμογές αυτές είναι σχετικά πρόσφατες, και υπάρχει ακόμα μακρύς δρόμος για τη βελτίωση και εξέλιξή τους. Γενικά, όμως, η εφαρμογή των έμπειρων συστημάτων έχει ήδη προχωρήσει αρκετά γρήγορα και με σχετική επιτυχία σε όλες τις κατευθύνσεις: και του σχεδιασμού των έργων, και της εκπαίδευσης, και της έρευνας.

Τα έμπειρα συστήματα (expert systems) είναι προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα οποία, χρησιμοποιώντας τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, είναι σε θέση να συμπεραστούν ουσιαστικά στον άνθρωπο (ή και να τον υποκαταστήσουν πλήρως) σε διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων (συναγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, παροχές συμβουλών, κλπ), οι οποίες, πέρα των μηχανιστικών υπολογισμών, απαιτούν συμπληρωματικά και παρεμβολή ειδικών γνώσεων, χρησιμοποίηση ευρετικών διαδικασιών και εμπειρικών μεθόδων, λήψεις αποφάσεων στρατηγικής κλπ. Ακόμη τα έμπειρα συστήματα έχουν τη δυνατότητα, αν τους ζητηθεί, να "αιτιολογήσουν" τους δικούς τους συλλογισμούς, κατά

τρόπο κατανοητό στον ερωτώντα. Δηλαδή, ένα έμπειρο σύστημα είναι ένα "νοήμον" πρόγραμμα που χρησιμοποιεί γνώση και επαγωγή για να επιλύσει προβλήματα που απαιτούν σημαντική ανθρώπινη εμπειρία για την επίλυσή τους.

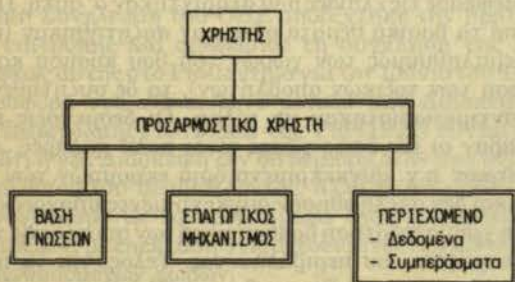
Για τον αναγνώστη που δεν είναι ιδιαίτερα εξοικειωμένος με το αντικείμενο, παρατίθενται μερικές γενικές πληροφορίες για τα έμπειρα συστήματα, τη δομή τους και τον τρόπο αξιοποίησής τους.

Ένα έμπειρο σύστημα, περιλαμβάνει τουλάχιστο δύο συνιστώσες: μια βάση γνώσεων και έναν επαγωγικό μηχανισμό (Σχήμα 1). Ο συνδυασμός της βάσης γνώσεων και του επαγωγικού μηχανισμού παράγει ένα έμπειρο σύστημα.

Η βάση γνώσεων (knowledge base) περιέχει ένα σύνολο από στοιχεία και ευρετικούς κανόνες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση του προβλήματος. Η γνώση που παρέχεται από τον ή τους εμπειρογνώμονες, περιλαμβάνει γεγονότα (facts) και κανόνες (rules). Τα γεγονότα αναπαριστούν περιγραφική γνώση (τι είναι γνωστό) και δημιουργούν, όλα μαζί, μία πραγματική βάση δεδομένων. Οι κανόνες αναπαριστούν διαδικαστική γνώση (τι πρέπει να γίνει με τα γεγονότα), καθώς επίσης και κανόνες κρίσης και πιθανού συλλογισμού.

Τα γνωστά στοιχεία καθώς και τα εξαγόμενα στοιχεία κατά τη διάρκεια μιας συνόδου (διάλογος χρήστη-υπολογιστή) κρατούνται συνήθως σε μία προσωρινή αποθήκη δεδομένων, καλούμενη περιεχόμενο (context). Τέτοια δεδομένα μπορεί να προέρχονται ή και να καταλήγουν σε εξωτερικές βάσεις δεδομένων, προγράμματα ανάλυσης / σχεδιασμού ή και συσκευές συλλογής δεδομένων.

Ο επαγωγικός μηχανισμός (inference engine) εξετάζει τα περιεχόμενα της βάσης γνώσεων και, χρησιμοποιώντας στρατηγικές ελέγχου (control strategies), συνδυάζει τους κανόνες της βάσης γνώσεων με το περιεχόμενο για να φτάσει σε μία λύση του προβλήματος. Ο επαγωγικός μηχανισμός περιλαμβάνει δηλαδή τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να παραχθούν νέες πληροφορίες από ήδη γνωστές, και εφαρμόζεται σύμφωνα με μία στρατηγική ε-



Σχήμα 1: Δομή ενός έμπειρου συστήματος.

(*) Ο Κ. Συρμακέζης, είναι Αναπληρωτής Καθηγητής στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

(**) Ο Γ. Μικρούδης είναι Ερευνητικός Συνεργάτης, στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

λέγχου, δηλαδή επιλογής των κανόνων που πρέπει να εφαρμοστούν και δοκιμασίας των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων.

Μια από τις σημαντικότερες περιοχές της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού στις οποίες τα έμπειρα συστήματα μπορούν ουσιαστικά να βοηθήσουν, είναι και η περιοχή του αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών. Μια περιοχή στην οποία, μόλις τα τελευταία χρόνια άρχισε να γίνεται διεθνώς προσπάθεια εφαρμογής τους. Η χρησιμοποίηση στην πράξη ενός τέτοιου έμπειρου συστήματος, επιτυγχάνει μια ουσιαστική υποστήριξη τόσο του πολιτικού μηχανικού στη φάση της αντισεισμικής μελέτης, όσο της συνεργασίας πολιτικού μηχανικού και αρχιτέκτονα κατά τη φάση της επιλογής του κατάλληλου από αντισεισμική άποψη φέροντα οργανισμού ενός κτιρίου. Προς την κατεύθυνση αυτή στρέφονται και οι ερευνητικές προσπάθειες των συγγραφέων, η περιγραφή των οποίων αποτελεί και το αντικείμενο της δημοσίευσης αυτής.

Η ερευνητική προσπάθεια ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών

Εδώ και δύο χρόνια περίπου οι συγγραφείς του παρόντος έχουν αρχίσει, μέσα στα πλαίσια της γενικότερης ερευνητικής δραστηριότητας του Εργαστηρίου Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών του ΕΜΠ, μια συστηματική προσπάθεια σχετικής έρευνας, προσαρμοσμένης στις γνωστές ιδιοτυπίες τις οποίες το αντισεισμικό πρόβλημα εμφανίζει για τα ελληνικά δεδομένα. Η έρευνα αυτή έχει ως κύριο στόχο την παραγωγή κατάλληλων για τον μηχανικό της πράξης έμπειρων συστημάτων, ανεξάρτητων και συνεργαζόμενων μεταξύ τους, τα οποία θα "ελέγχουν" τόσο το γενικό πρόβλημα της επιτυχούς μόρφωσης του φέροντα οργανισμού ενός κτιρίου (π.χ. κατάλληλες θέσεις τοιχωμάτων, υποστυλωμάτων, περιορισμός των σχετικών στροφών ορόφων, κλπ.), όσο και ειδικότερα προβλήματα, όπως π.χ. το συγκεκριμένο των απαιτήσεων αρχιτεκτονικής-στατικής μελέτης με γνώμονα τη βελτιστή αντισεισμική συμπεριφορά της κατασκευής, την αναζήτηση της αιτιολόγησης τύπων βλαβών σε τοιχοποιίες ή τοιχοπληρώσεις, κλπ. Στη δημοσίευση αυτή περιγράφονται τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα των προπαθειών της ερευνητικής ομάδας, γύρω από το πρόβλημα. Συγκεκριμένα, περιγράφονται τρία έμπειρα συστήματα, τα οποία ήδη αναπτύσσονται, και τα οποία είναι τα εξής:

- ERDES (Earthquake Resistant Design Expert System) για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (φάσεις προμελέτης, κύριας μελέτης, λειτουργίας της κατασκευής).
- DASCAN (Designing with Architectural and Structural CONstraints) για τον ταυτόχρονο αρχιτεκτονικό και στατικό αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών (φάση προμελέτης).
- MASCON (MASonry CONSultant) για την αναγνώριση των αιτίων υποβάθμισης τοιχοποιιών.

Από τα τρία αυτά έμπειρα συστήματα το ERDES είναι γενικότερο, ενώ τα άλλα αναπτύσσονται με την προοπτική, σε αρχικό στάδιο να συνεργάζονται με το ERDES, και στη τελική τους μορφή να ενοποιηθούν μαζί του σε ένα μεγαλύτερο σύστημα-σύμβουλο αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών. Και τα τρία προγράμματα αναπτύσσονται σε γλώσσα PROLOG. Η ανάπτυξη των υπόψη έμπειρων συστημάτων ακολουθεί τη δόκιμη διεθνώς μεθοδολογία, σύμφωνα με την οποία κατασκευάζεται καταρχήν ένα πρωτότυπο σύστημα (prototype) με τις βασικές λειτουργίες και ένα υποσύστημα των γνώσεων του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια το πρωτότυπο δοκιμάζεται σε πραγματικές συνθήκες. Ακολούθως, με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών, βελτιώνονται οι μέθοδοι αναπαράστασης των γνώσεων και εξαγωγής συμπερασμάτων. Τέλος αναπτύσσεται το τελικό έμπειρο σύστημα, το οποίο εμπεριέχει μια πλήρη βάση γνώσεων, ενώ διαθέτει τη δυνατότητα να εμπλουτίζεται και να εξελίσσεται συνεχώς.

Τα έμπειρα αυτά συστήματα αναπτύσσονται με βάση τις απαιτήσεις των νέων Ευρωπαϊκών Κωδίκων (Σχέδια για τον Αντισεισμικό Υπολογισμό των Κατασκευών EC8, για τις τοιχοποιίες, EC6, κλπ.) προκειμένου να είναι και μακροπρόθεσμα χρησιμοποιήσιμα από τους Έλληνες και Ευρωπαίους μηχανικούς.

Παράλληλα με την ανάπτυξη των τριών συγκεκριμένων προγραμμάτων, οι συγγραφείς προχωρούν και σε μια γενικότερη μακροπρόθεσμη οργάνωση της σχετικής υποδομής. Χαρακτηριστικά δείγματα της προσπάθειας αυτής είναι:

- α) Το βιβλίο των συγγραφέων "Εφαρμογή των Έμπειρων Συστημάτων στις Κατασκευές" [1], το οποίο εκδόθηκε από το ΤΕΕ, και στο οποίο παραπέμπεται ο αναγνώστης για ειδικότερες πληροφορίες γύρω από το αντικείμενο της παρούσας δημοσίευσης.
- β) Το εκπαιδευτικό-ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο "Χρησιμοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Έμπειρων Συστημάτων για την Παραγωγή Βελτιωμένων Μεθόδων Ανάλυσης Κατασκευών Πολιτικού Μηχανικού", το οποίο ήδη ολοκληρώθηκε στο ΕΜΠ με ευθύνη τους, με χρηματοδότηση της ΕΟΚ, και στο οποίο 20 πολιτικοί μηχανικοί είχαν την ευκαιρία, μέσα από ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα 250 ωρών, να εξοικειωθούν σε σημαντικό βαθμό γύρω από το αντικείμενο.
- γ) Το εκπαιδευτικό-ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο "Βελτιωμένος Αντισεισμικός Σχεδιασμός των Κατασκευών με Παράλληλη Χρήση Έμπειρων Συστημάτων από Πολιτικούς Μηχανικούς και Αρχιτέκτονες", το οποίο βρίσκεται εν εξελίξει στο ΕΜΠ με ευθύνη τους, με χρηματοδότηση της ΕΟΚ, και στο οποίο 15 πολιτικοί μηχανικοί, αρχιτέκτονες και μαθηματικοί έχουν την ευκαιρία, μέσα από ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα 300 ωρών, να εξοικειωθούν σε σημαντικό βαθμό γύρω από το αντικείμενο.
- δ) Η σειρά διπλωματικών εργασιών τελειοφοιτών οπουδαστών του τομέα Δομοστατικής γύρω από τα σχετικά με την ερευνητική προσπάθεια αντι-

κείμενα. Εν προκειμένω αναφέρονται οι διπλωματικές εργασίες των κ.κ. Ε.Ρουβά, και Γ.Τσακαλία, που βρίσκονται σε άμεση σχέση με την ανάπτυξη των συστημάτων MASCON, και DASCON αντίστοιχα.

ε) Η περιοδική παρουσίαση του συντελούμενου ερευνητικού έργου. Έχουν ήδη γίνει σχετικά δύο ανακοινώσεις, μία στο 10ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, στη Ρόδο (Οκτώβριος 91) [2], μια ακόμη ανακοίνωση στο 10ο Παγκόσμιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής, στη Μαδρίτη (Ιούλιος 1992) [3].

Στη συνέχεια, δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των συνιστωσών των τριών έμπειρων συστημάτων που αναπτύσσονται από την ερευνητική ομάδα.

MASCON - ΕΜΠΕΙΡΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΑΙΤΙΩΝ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Το MASCON είναι ένα πρόγραμμα Η/Υ το οποίο θα έχει τη δυνατότητα να "σκέφτεται" γύρω από τα αίτια υποβάθμισης της λειτουργικότητας ή/και φέρουσας ικανότητας ενός φέροντος τοίχου ή μιας τοιχοπλήρωσης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση του προγράμματος, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ως συμβουλές προς τον χρήστη, και όχι ως τελεσιδικές αποφάσεις. Ως υποβάθμιση νοείται η ύπαρξη ρωγμών ή ασυνχειών, τοπικές ή ολικές καταρρεύσεις, και γενικότερα οτιδήποτε έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της λειτουργικότητας ή/και φέρουσας ικανότητας της τοιχοποιίας. Ο στόχος του έμπειρου συστήματος είναι διπλός. Αφενός να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τα αίτια που οδήγησαν στην υποβάθμιση του τοίχου, και αφετέρου να προβλέπει τον κίνδυνο υποβάθμισής του στο μέλλον, έστω και αν πρόκειται για "υγιή" σήμερα τοίχο. Ανεξαρτήτως στόχου, το πρόγραμμα είναι σε θέση να κάνει προτάσεις για βελτίωση της κατάστασης της τοιχοποιίας και να εξηγήσει τη διάγνωση ή τις προτάσεις του σε κάθε τους στάδιο.

Στο παρόν πρώτο στάδιο ανάπτυξης του πρωτότυπου συστήματος MASCON, θεωρείται, χάριν απλότητας, μόνο το φαινόμενο της ανάπτυξης ρωγμών σε μια τοιχοποιία στο επίπεδό της. Ακόμα, γίνεται η παραδοχή ότι από τη μορφή και τη διάταξη των ρωγμών που εμφανίζονται μπορούμε να αποφανθούμε για τα αίτια που τις προκάλεσαν. Έτσι, στο πρωτότυπο αυτό αντιμετωπίζεται ο πρώτος στόχος του προγράμματος, η αναγνώριση των αιτιών υποβάθμισης, καταβάλλεται όμως φροντίδα τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την επίτευξη του δεύτερου στόχου, αργότερα, την πρόβλεψη δηλαδή του βαθμού υποβάθμισης της τοιχοποιίας.

Για την ευκολότερη διατύπωση των εμπειρικών κανόνων που αφορούν την τοιχοποιία, ένας τοίχος χωρίζεται στα τμήματα του Σχήματος 2 (Αριστερά, Κέντρο, Δεξιά και Πάνω, Μέση, Κάτω). Οι ρωγμές που είναι δυνατό να εμφανιστούν σε ένα τμήμα του τύπου χωρίζονται σε επτά διακριτούς τύπους. Επιπλέον γίνεται η παραδοχή ότι, σε κάθε τμήμα του τοίχου ένας είναι

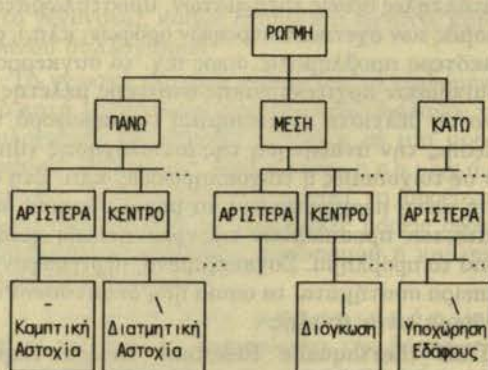
	ΑΡΙΣΤΕΡΑ	ΚΕΝΤΡΟ	ΔΕΞΙΑ
ΠΑΝΩ			
ΜΕΣΗ			
ΚΑΤΩ			

Σχήμα 2: Τμήματα τοιχοποιίας.

ο κυρίαρχος τύπος ρωγμής ο οποίος και τίθεται υπό εξέταση. Οι βασικές (δυνατές) ρωγμές που μπορούν να εμφανιστούν σε κάθε τμήμα καθορίζονται ως εξής:

1. Τύπος /
2. Τύπος \
3. Τύπος Δ
4. Τύπος V
5. Τύπος X
6. Κάθετες |
7. Οριζόντιες --

Τα παραπάνω θεωρούνται ως το σύνολο των πληροφοριών που προσφέρει ο χρήστης οι οποίες και του ζητούνται από το σύστημα σταδιακά, ανάλογα με τις ανάγκες της αποδεικτικής διαδικασίας. Η διάγνωση των αιτιών υποβάθμισης της τοιχοποιίας προκύπτει από το συνδυασμό των πληροφοριών αυτών με τις γνώσεις που είναι αποθηκευμένες στη βάση γνώσεων του συστήματος. Ως πρώτη προσέγγιση για την αναπαράσταση της διαθέσιμης γνώσης χρησιμοποιείται ένα σύστημα βασισμένο σε κανόνες της μορφής "ΑΝ συνθήκες ΤΟΤΕ συμπεράσματα".



Σχήμα 3: Ενδεικτική αναπαράσταση γνώσεων στο MASCON.

Δημιουργείται έτσι μια βάση εμπειρικών κανόνων που, σε δεύτερη προσέγγιση, μπορεί να οργανωθεί με τη βοήθεια ενός συστήματος ιεραρχικής αναπαράστασης των γνώσεων. Αυτή η οργάνωση στηρίζεται στην ύπαρξη ομάδων ρωγμών με κοινά χαρακτηριστικά και κοινά αίτια, π.χ., εφελκυστικές ρωγμές. Έτσι, ξεκινώντας από τις πραγματικές ρωγμές και κατατάσσοντας

τις σε μια από αυτές τις κατηγορίες μπορούμε να προσδιορίσουμε το αίτιο που τις προκάλεσε συναρτήσει των υπολοίπων χαρακτηριστικών τους, π.χ., θέση στον τοίχο, προσανατολισμός, πάχος, βάθος, κλπ. Με την παρατήρηση αυτή καταλήγουμε σε ένα σύστημα αναπαράστασης της γνώσης με τη μορφή ιεραρχικού δέντρου, που κάθε κόμβος του αντιπροσωπεύει μια ορισμένη κατηγορία και κάθε κλαδί του τις ιδιότητες που απαιτούνται για τη μετάβαση από τον ένα κόμβο του δέντρου στον άλλο. Η μορφή του είναι παρόμοια με ένα γενεαλογικό δέντρο στο οποίο κάθε κόμβος έχει μόνο ένα γονέα, όπως π.χ. στο Σχήμα 3.

Για το έμπειρο σύστημα αυτό έχει ήδη διαμορφωθεί ένα πρωτότυπο πρόγραμμα σε γλώσσα PROLOG, με το οποίο ελέγχονται η βάση γνώσεων και η μέθοδος αναπαράστασης. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του σε πραγματικές τοιχοποιίες θα δοθούν σε επόμενη δημοσίευση.

Μια περισσότερο πολύπλοκη αναπαράσταση από αυτήν του Σχήματος 3, θα έπρεπε να λαμβάνει υπόψη της και την πιθανή πολλαπλότητα χαρακτηριστικών ή μορφών ρωγμών, επιτρέποντας την ύπαρξη περισσότερων του ενός γονέα για κάθε κόμβο. Κάτι τέτοιο όμως αποτελεί επόμενο στάδιο εξέλιξης του MASCON, κατά το οποίο θα διερευνηθεί ακριβώς η δυνατότητα τέτοιων εναλλακτικών σχημάτων αναπαράστασης της γνώσης.

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Είναι ήδη γνωστό ότι η ορθότερη διάταξη των στοιχείων του φέροντα οργανισμού, βοηθάει την καλύτερη συμπεριφορά του κτιρίου σε έναν ισχυρό σεισμό, πολλές φορές πολύ περισσότερο από μία σχολαστική δυναμική ανάλυση του αφηρημένου μαθηματικού μοντέλου, ιδίως μάλιστα όταν αυτή δεν βασίζεται σε μια τέτοια σωστή διάταξη. Τα τελευταία χρόνια ο ορθολογικός αντισεισμικός σχεδιασμός των κτιρίων κινείται συστηματικά προς την κατεύθυνση αυτή της σωστής επιλογής του κατάλληλου φέροντα οργανισμού κτιρίου, με στόχο τη βελτιστοποίηση του συστήματος ανάληψης των σεισμικών φορτίων.

Η συστηματική όμως πρακτική εφαρμογή αυτής της γενικής αρχής, παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες αφού απαιτεί βαθιά γνώση των θεμελιωδών κανόνων που διέπουν τη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών, καθώς και εμπειρία σχεδιασμού από τον μελετητή. Είναι λοιπόν ιδιαίτερα χρήσιμο να υπάρχει ένα πρακτικό εργαλείο που θα βοηθήσει τον σχεδιασμό του φέροντα οργανισμού του κτιρίου με βάση αυτές τις αρχές: βοήθεια ουσιαστική για τον έμπειρο μελετητή, αλλά και προστασία για τον άπειρο που παραμένει αβοήθητος και εκτεθειμένος στο κίνδυνο να προχωρήσει αβασάνιστα με την όποια λύση προκύψει από ένα πακέτο υπολογισμού με H/Y, χωρίς προηγούμενα να εφαρμόσει τις θεμελιώδεις αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού και χωρίς κατόπιν να επιδιώξει τη βελτίωση της λύσης του.

Η βοήθεια αυτή, αφορά κυρίως τις επιλογές και τη βελτιστοποίηση του φέροντα οργανισμού κτιρίου για την καλύτερη αντισεισμική λειτουργία της κατασκευής.

Στη συνέχεια, περιγράφεται ακριβώς ο τρόπος με τον οποίο η βοήθεια αυτή παρέχεται μέσω κατάλληλων έμπειρων συστημάτων: ένα πρόγραμμα προμελέτης, το DASCON, και ένα γενικότερο πρόγραμμα αντισεισμικού σχεδιασμού, το ERDES.

DASCON - ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

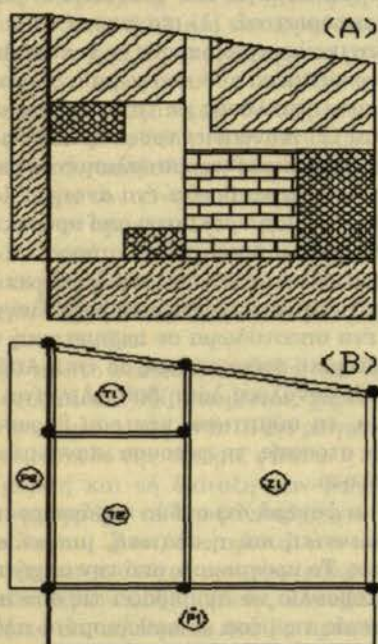
Το DASCON είναι ένα έμπειρο σύστημα που περιέχει μια βάση γνώσεων εφοδιασμένη με αρχιτεκτονικούς και στατικούς - αντισεισμικούς κανόνες και διαδικασίες, και ένα μηχανισμό που μπορεί να χειρίζεται αυτές τις γνώσεις με ένα παραγωγικό τρόπο, προσφέροντας συνθέσεις και συμβουλές, αξιολογώντας και διαλέγοντας εναλλακτικές λύσεις ενός προβλήματος σχεδιασμού φέροντος οργανισμού κτιρίου.

Μοναδικό απαραίτητο εισαγόμενο στοιχείο είναι ένα "προσχέδιο αρχιτεκτονικού", δηλαδή ένα σχέδιο που, για κάθε όροφο του κτιρίου, περιλαμβάνει το περίγραμμα, την τοιχοποιία, τις χρήσεις των χώρων και άλλα τέτοια στοιχεία. Το DASCON αναλαμβάνει την πρωτοβουλία και παράγει ένα ξυλότυπο ο οποίος έχει τα εξής χαρακτηριστικά: (1) ικανοποιεί τους θεμελιώδεις αρχιτεκτονικούς περιορισμούς (π.χ. κανένα υποστύλωμα δεν περνάει μέσα από κούφωμα) εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα της λύσης με τις κατόψεις όλων των ορόφων, και (2) ικανοποιεί τους θεμελιώδεις στατικούς - αντισεισμικούς κανόνες του οπλισμένου σκυροδέματος (π.χ. αποκλείεται να βρεθεί ένα άνοιγμα 15 μέτρα). Η προτεινόμενη λύση προκύπτει από προσεκτική αξιολόγηση κάθε χώρου όπου πιθανά μπορεί να μπει ένα υποστύλωμα. Αξιολόγηση που περιλαμβάνει λεπτομερείς αρχιτεκτονικές συναρτήσεις που βαθμολογούν κάθε θέση (π.χ. ένα υποστύλωμα σε περιμετρική γωνία, μέσα σ'ένα εξωτερικό τοίχο πάχους 35 cm). Από στατική άποψη, κάθε συνολική λύση βαθμολογείται ως προς τη συμμετρία, τη σύμπτωση κέντρου βάρους - κέντρου ελαστικής στροφής, τη φέρουσα ικανότητα και την οικονομικότητα.

Γίνεται φανερό, ότι οι δύο παράμετροι σχεδιασμού, η αρχιτεκτονική και η στατική, μπορεί και να είναι αντίρροπες. Το πρόγραμμα, από την αρχή αναλαμβάνει την πρωτοβουλία να συμβιβάζει τις δύο παραμέτρους σταθμίζοντάς τις μέσα σε καθορισμένα πλαίσια. Ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να του ζητήσει να προχωρήσει σε μια λύση που θα αξιολογηθεί από το DASCON σαν καλύτερη από την προηγούμενη, ή να το κατευθύνει προς μια λύση περισσότερο της αρεσκείας του δίνοντας στο DASCON τις γενικές απαιτήσεις του από τη συγκεκριμένη κατασκευή, (π.χ., ότι θέλει να δώσει λιγότερο ή περισσότερο βάρος στον Αντισεισμικό, στον Οικονομικό ή τον Αρχιτεκτονικό παράγοντα, ή σε ποιά αρχιτεκτονική απαίτηση δίνει αυτός μεγαλύτερη βαρύτητα).

Λειτουργία του DASCON

Η βάση γνώσεων του DASCON, περιλαμβάνει πλαίσια γνώσεων με κανόνες που συνδέονται με συναρτήσεις βάρους, τους Ενεργούς Δείκτες. Οι Ενεργοί Δείκτες διατάσσονται σε επίπεδα, από το πρώτο των 4-5 πολύ ενδεικτικών ως το τελευταίο που περιέχει δείκτες που αφορούν σε λεπτομέρειες και παρέχονται στο χρήστη αν αυτός το ζητήσει. Οι Ενεργοί Δείκτες εμφανίζονται δίνοντας εκτιμήσεις για το σύνολο του σχεδίου αλλά και για οποιοδήποτε τμήμα του, μέχρι τη μικρότερη λεπτομέρεια. Για παράδειγμα: Η ιεράρχηση των χώρων είναι ένας σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού: αν π.χ. η εμφάνιση της κρέμασης μιας δοκού σε ένα τοίχο του σαλονιού είναι σχεδόν απαγορευτική (με βαθμό, έστω, -8), η εμφάνιση μιας δοκού στην κουζίνα είναι σίγουρα λιγότερο ενοχλητική, (με βαθμό, έστω, -5). Αυτοί οι βαθμοί, τα βάρη, υπολογίζονται με βάση την ανθρώπινη γενική κρίση και διαίσθηση. Το DASCON έχει εξ' ορισμού τιμές βάρους για όλους τους κανόνες, όμως, ορισμένα από αυτά τα βάρη, ο χρήστης μπορεί να τα μετατρέψει ανάλογα με τις δικές του αντιλήψεις, αλλάζοντας έτσι τη συλλογιστική πορεία του DASCON, το οποίο οδηγείται προς νέα μονοπάτια λύσεων, με βάση τις υποδείξεις του μελετητή.



Σχήμα 4: (Α) Δεδομένα (Β) Λύση που έχει βρει το DASCON.

Και για το έμπειρο σύστημα DASCON έχει αναπτυχθεί ένα πρωτότυπο πρόγραμμα σε γλώσσα PROLOG μέσα στα πλαίσια της προαναφερθείσης διπλωματικής εργασίας. Το πρόγραμμα αυτό δέχεται σαν είσοδο το αρχιτεκτονικό σχέδιο ενός κτιρίου και παράγει εναλλακτικά στατικά συστήματα (ξυλοτύπους) από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Δια-

θέτει μια βάση με γνώσεις στατικής και αρχιτεκτονικής. Οι γνώσεις αυτές είναι δυνατό να τροποποιούνται από τον χρήστη αλλά και από το ίδιο το σύστημα, προσαρμοζόμενες έτσι στις απαιτήσεις και την οπτική γωνία του συγκεκριμένου χρήστη αλλά και στα ξεχωριστά δεδομένα του κάθε κτιρίου. Έχει την ικανότητα να χειρίζεται τις γνώσεις του και να προσφέρει έτοιμες λύσεις στον μελετητή, αλλά μπορεί και να συνεργαστεί μαζί του συμπληρώνοντας ή αξιολογώντας δικές του επιλογές. Έχει ακόμη την ικανότητα να επεξηγή την πορεία των συλλογισμών του, καθώς και να σχολιάζει τις προτεινόμενες από τον χρήστη λύσεις. Τέλος, τα αποτελέσματα του πρωτοτύπου αυτού, μετά από έλεγχο, βρέθηκαν απόλυτα ικανοποιητικά, και το κυριότερο, επιβεβαίωσαν όλες τις στρατηγικές επιλογές που έγιναν κατά τον προσχεδιασμό του.

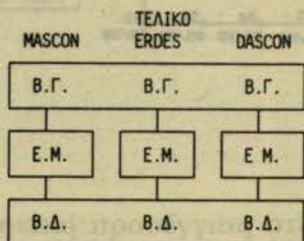
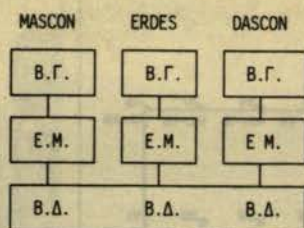
ERDES - ΕΜΠΕΙΡΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ

Ο κύριος στόχος του ERDES είναι η δημιουργία ενός προγράμματος-έμπειρου συμβούλου για τον μελετητή, πολιτικό μηχανικό ή αρχιτέκτονα, σε θέματα αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών. Μακροπρόθεσμα, το πρόγραμμα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε φάση του κύκλου ζωής μιας κατασκευής: προμελέτη-σύλληψη, τελική μελέτη, κατασκευή και λειτουργία. Αυτός ο στόχος υποβοηθείται με την ανάπτυξη και άλλων μικρότερων έμπειρων συστημάτων, τα οποία αργότερα θα μπορούν να συνεργαστούν ή να ενσωματωθούν στο ERDES, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Ο κύριος κορμός του προγράμματος έχει ήδη αναπτυχθεί από τους συγγραφείς του παρόντος και αφορά κυρίως τη μόρφωση του φέροντα οργανισμού της κατασκευής σύμφωνα με τις αρχές του αντισεισμικού σχεδιασμού.

Ακολουθώντας τη γενική μεθοδολογία ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων, αναπτύχθηκε καταρχήν ένα πρωτότυπο πρόγραμμα-σκελετός του τελικού συστήματος, το οποίο περιέχει τις βασικές λειτουργίες του ERDES και ένα κλάσμα της τελικής βάσης γνώσεων, το οποίο όμως επιτρέπει τον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος και των παραδοχών του.

Δομή και λειτουργία του προγράμματος

Το ERDES έχει δύο κύριες λειτουργίες: σύνθεση-παραγωγή λύσεων και ανάλυση-αξιολόγηση. Η λειτουργία της σύνθεσης, είναι η βασική λειτουργία σχεδιασμού του προγράμματος και εφαρμόζεται σε διάφορα στάδια της μελέτης για την παραγωγή λύσεων. Η λειτουργία της ανάλυσης υπεισέρχεται μετά την παραγωγή μιας βασικής λύσης μέσω σύνθεσης. Αξιολογεί την εκάστοτε λύση που προκύπτει από τη σύνθεση ή που προτείνεται από τον μελετητή, και δίνει διάφορα ενδεικτικά μεγέθη της αντισεισμικής συμπεριφοράς και εκτιμήσεις κόστους. Έτσι, ο μελετητής μπορεί να εκτιμήσει την σχετική αξία κάθε λύσης και να επιλέξει εκείνη που προ-



Σχήμα 5: Συνεργασία έμπειρων συστημάτων και ERDES.

σφέρει τον βέλτιστο συνδυασμό κόστους και αντίσταση σε σεισμό.

Οι δύο λειτουργίες μπορούν να εκτελεστούν και ανεξάρτητα η μια από την άλλη, σε διαφορετικές φάσεις της μελέτης. Με αυτό το τρόπο, όταν χρησιμοποιηθεί το ERDES σε φάση προμελέτης, η μεν σύνθεση λειτουργεί με σκοπό να προτείνει λύσεις η δε ανάλυση με στόχο να τις αξιολογήσει, ενώ σε φάση τελικής μελέτης ή ελέγχου μιας υπάρχουσας κατασκευής αδρανοποιείται η σύνθεση και λειτουργεί μόνο η ανάλυση-αξιολόγηση.

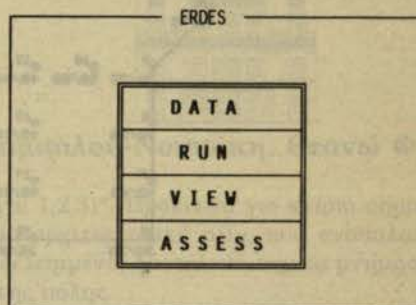
Και οι δύο λειτουργίες ανάλυσης και σύνθεσης του συστήματος βασίζονται σε μια διαγραμματική αναπαράσταση γνώσεων. Η βάση γνώσεων περιέχει διάφορες βάσεις κανόνων και ξεχωριστά πλαίσια γνώσεων, που αντιστοιχούν σε διάφορες βαθμίδες-επίπεδα λεπτομέρειας του σχεδιασμού. Κάθε επίπεδο λεπτομέρειας θεωρείται ως ένα διάγραμμα από αλληλοσυσχετιζόμενες μονάδες κανόνων, η κάθε μία από τις οποίες επιλύει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα του σχεδιασμού. Ο επαγωγικός μηχανισμός καλεί το κατάλληλο διάγραμμα για το τρέχον πρόβλημα και παράγει / αξιολογεί μία λύση. Για την υλοποίηση των ανωτέρω το ERDES βασίζεται στους Ελληνικούς καθώς και τους Ευρωπαϊκούς Αντισεισμικούς κανονισμούς (EC8), αλλά και σε πρακτικούς κανόνες από την εμπειρία μελετητών στον αντισεισμικό σχεδιασμό.

Παράδειγμα λειτουργίας

Η λειτουργία του προγράμματος ακολουθεί τη σειρά (1) Εισαγωγή δεδομένων, (2) Επίλυση, (3) Αξιολόγηση. Ο χρήστης επιλέγει τις επί μέρους λειτουργίες με τη βοήθεια καταλόγων (μενού).

Τα απαραίτητα δεδομένα για το πρόγραμμα είναι καταρχήν τα γενικά στοιχεία της μελέτης του κτιρίου όπως, αριθμός ορόφων, σεισμικός συντελεστής, ύψη και είδος ορόφων, ποιότητα σκυροδέματος, και φορτία ορόφων. Επίσης, στη φάση αυτή ανάπτυξης του προ-

τύπου ERDES, δίνονται οι πιθανές θέσεις υποστυλωμάτων ανά στάθμη, η θέση προκαθορισμένων τοιχωμάτων (π.χ. πυρήνας), το περίγραμμα της κάτοψης, και το περίγραμμα οπών στη κάτοψη (π.χ. φωταγωγοί). Όλα αυτά τα στοιχεία δίνονται υπό τη μορφή γεγονότων της PROLOG με τη βοήθεια κειμενογράφου (editor) μετά από την επιλογή του μενού, "DATA" (εισαγωγή δεδομένων), (Σχήμα 6).



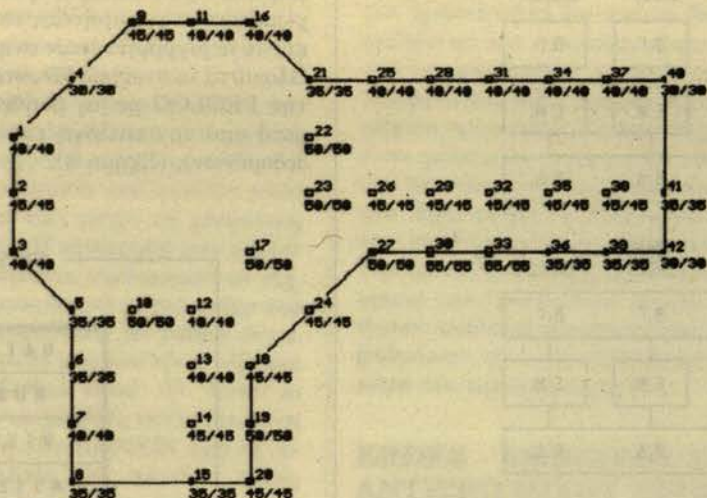
Σχήμα 6: Βασικό μενού του ERDES.

Με την επιλογή "RUN" (επίλυση), εκτελείται ακαριαία το στάδιο της σύνθεσης. Με δεδομένες τις πιθανές θέσεις (κέντρο βάρους) των υποστυλωμάτων, γίνεται η κατανομή των φορτίων στα υποστυλώματα. Δημιουργείται ένας ιδεατός κανάβος, με τέσσερις το πολύ πλευρές συντρέχουσες σε κάθε υποσύλωμα (για τα περιμετρικά και τα γωνιακά είναι αντίστοιχα τρία ή δύο), και λαμβάνονται υπόψη οι σχετικές επιφάνειες επιρροής στο υποσύλωμα των γειτονικών περιοχών του κανάβου. Ακολουθεί η προδιαστασιολόγηση που γίνεται με κριτήρια την ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων σε όλα τα υποστυλώματα και τη σύμπτωση του κέντρου ελαστικής στροφής (Κ.Ε.Σ.) με το κέντρο βάρους (Κ.Β.) της κάτοψης. Η επίλυση του κτιρίου, στο πρωτότυπο σύστημα ERDES γίνεται, κυρίως για λόγους ταχύτητας υπολογισμού με τη μέθοδο αντισεισμικού υπολογισμού, του μονορόφου κτιρίου, κατά Ρουσόπουλο "4". Στο τελικό ERDES προβλέπεται η δυνατότητα επιλογής επίλυσης και με ακριβέστερη μέθοδο. Τέλος οι αρχικές διαστάσεις των υποστυλωμάτων διορθώνονται μετά από έλεγχο σε αξονικό φορτίο και κάμψη κατά τις δύο διευθύνσεις σεισμού, και, αν το επιλέξει ο χρήστης, προστίθενται τοιχεία σε κατάλληλες θέσεις υποστυλωμάτων ώστε να επέλθει σύμπτωση Κ.Β.-Κ.Ε.Σ.

Το στάδιο της σύνθεσης καταλήγει προτείνοντας, σύμφωνα με την επιλογή του χρήστη, μία από τέσσερις δυνατές λύσεις:

- (1) μόνο τετράγωνα υποστυλώματα
- (2) μόνο ορθογωνικά υποστυλώματα
- (3) τετράγωνα υποστυλώματα και περιμετρικά τοιχώματα
- (4) ορθογωνικά υποστυλώματα και περιμετρικά τοιχώματα

Με την επιλογή "ASSESS" (Αξιολόγηση), το ERDES προχωράει στο στάδιο της αξιολόγησης των λύσεων.



Σχήμα 7: Αποτελέσματα του ERDES.

Ετσι, βαθμολογεί την εκάστοτε λύση ως προς την οικονομικότητα, την αναμενόμενη συμπεριφορά του φέροντα οργανισμού σε σεισμό, και την απλότητα-κομψότητα της διάταξης των στοιχείων του φέροντα οργανισμού. Για την οικονομικότητα, συγκρίνονται ο συνολικός όγκος σκυροδέματος, το συνολικό βάρος οπλισμών, η συνολική επιφάνεια ξυλοτύπου, κλπ. Για την αναμενόμενη συμπεριφορά του κτιρίου σε σεισμό, συγκρίνονται οι μέγιστες μετατοπίσεις και η στροφή του κτιρίου, η συνολική ακαμψία του κτιρίου, η ομοιομορφία των τάσεων των υποστλωμάτων λόγω αξονικών φορτίων, και η μέση απόσταση του κέντρου ελαστικής στροφής και κέντρου βάρους των ορόφων. Τέλος η αξιολόγηση της απλότητας-κομψότητας του κτιρίου, η οποία γίνεται με κάποιο είδος βαθμολόγησης, αποδίδει την έννοια του κατά πόσο η διάταξη των στοιχείων του φέροντα οργανισμού είναι τέτοια, ώστε να είναι άμεσα κατανοητή η ροή των φορτίων μέσα σε αυτόν, και κατά συνέπεια να διευκολύνεται η "δαισθητική" κατανόηση και η πρόβλεψη της απόκρισης της κατασκευής σε σεισμό. Π.χ., η ύπαρξη φυτευτών υποστλωμάτων, όπως και η απόκλιση της θέσης των υποστλωμάτων από πιθανές θέσεις επιπέδων πλαισίων υποβαθμίζουν την απλότητα.

Τέλος, με την επιλογή "VIEW" (αποτελέσματα), ο μελετητής μπορεί να δει γραφικά στην οθόνη το σχέδιο της δεδομένης λύσης, ή να εξετάσει αναλυτικά τα αποτελέσματα (Σχήμα 7).

Αλλά η πραγματική χρησιμότητα του ERDES φαίνεται μετά το σημείο αυτό, αφού ο μελετητής έχει πλέον τη δυνατότητα να εξετάσει σε ελάχιστο χρόνο πιθανά σενάρια και εναλλακτικές λύσεις. Ετσι, π.χ. αλλάζοντας τη θέση ή καταργώντας κάποιο υποστώμα, μπορεί να δει αμέσως τα αποτελέσματα της επιλογής του σε όλη την κατασκευή, καθώς και την αξιολόγηση του φέροντα ορ-

γανισμού από το ERDES. Αυτή η άσκηση δίνει τη δυνατότητα στον πολιτικό μηχανικό ή τον αρχιτέκτονα να διερευνήσει εναλλακτικές διατάξεις του φέροντα οργανισμού και να επιλέξει μια "βέλτιστη" λύση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η εφαρμογή των έμπειρων συστημάτων σε προβλήματα αντισεισμικού σχεδιασμού είναι μια νέα τεχνική που προσφέρει στον μηχανικό, όχι μόνο την δυνατότητα ενός βελτιωμένου αντισεισμικού σχεδιασμού, αλλά και εναλλακτικές λύσεις με κριτήριο την καλύτερη συμπεριφορά του κτιρίου σε σεισμό, καθώς επίσης και μεγαλύτερη οικονομία στο κόστος του κτιρίου. Ελπίζεται, ότι μακροπρόθεσμα, η χρήση των έμπειρων συστημάτων, όπως τα MASCON, DASCAN και ERDES, από τους μελετητές θα οδηγήσει σε περισσότερο αξιόπιστο αντισεισμικό σχεδιασμό, και συνεπώς γενικότερα σε βελτίωση της ασφάλειας των κατασκευών στη χώρα μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κ.Α. Συρμακέζης, Γ. Κ. Μικρούδης "Εφαρμογή των Έμπειρων Συστημάτων στις κατασκευές" Εκδόσεις ΤΕΕ, 1992.
2. Κ. Α. Συρμακέζης, Γ. Κ. Μικρούδης "Έμπειρο Σύστημα για την Επιλογή του Κατάλληλου από Αντισεισμική Αποψη Φέροντα Οργανισμού Κτιρίου" 10ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρόδος, Οκτώβριος 1991, σ.219-227.
3. Syrmakizis C.A., Mikroudou G. K. "An Expert System for Earthquake Resistant Design of Buildings", 10th European Conference on Earthquake Engineering, Madrid, July 1992.
4. Α. Ρουσόπουλος, "Αντισεισμικές Κατασκευές", Αθήνα, 1956.