

# Έμπειρο Σύστημα Βαθμονόμησης Αντισεισμικού Σχεδιασμού Κατασκευών

**Γ.Δ. ΜΑΝΩΛΗΣ**  
Καθηγητής Α.Π.Θ.

**Ι.Ε. ΑΒΡΑΜΙΔΗΣ**  
Καθηγητής Α.Π.Θ.

**Α.Σ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ**  
Μαθηματικός Α.Π.Θ.

## Περίληψη

Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται ένα υβριδικό έμπειρο σύστημα (PADEX) για τον προκαταρκτικό αντισεισμικό σχεδιασμό πολυώροφων κτιρίων, σύμφωνα με τον ΕΑΚ (1992). Το PADEX είναι ένα διαλογικό πρόγραμμα βασισμένο σε μια βάση γνώσης που έχει ενσωματωμένη την εμπειρία του αντισεισμικού σχεδιασμού, κωδικοποιημένη, ώστε να μπορεί να γίνεται αντιληπτή από τον υπολογιστή. Είναι γραμμένο σε Turbo Prolog. Το σύστημα αυτό κρίνει ως ένα βαθμό την επάρκεια ενός φορέα σύμφωνα με τα κριτήρια του αντισεισμικού σχεδιασμού. Βρίσκει τα αδύνατα σημεία του φέροντος οργανισμού και προτείνει τρόπους για τη βελτίωση της αντισεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής. Το PADEX έχει, επίσης, τη δυνατότητα προσωρινής εξόδου σε αλγοριθμικό πρόγραμμα για τη διενέργεια υπολογισμών και επιστροφής στο σύστημα για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τέλος, βαθμολογεί συνολικά την προτεινόμενη λύση. Η βαθμολογία αυτή δεν είναι απόλυτη, αλλά δίνει μία καλή προσέγγιση της επάρκειας του φορέα από αντισεισμική άποψη. Σημειώνεται πως το βάρος της αποδεικτικής διαδικασίας παραμένει ευθύνη του μελετητή και πως το έμπειρο σύστημα δεν μπορεί να αντικαταστήσει την εμπειρία του μηχανικού.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρ' όλο που η ανάπτυξη της επιστήμης της Τεχνητής Νοημοσύνης (Τ/Ν) και η ταυτόχρονη εκπόνηση Εμπειρών Συστημάτων (Ε/Σ) έχουν πλέον συμπληρώσει εικοσαετία [1, 2], η εφαρμογή τους στο γνωστικό πεδίο των κατασκευών είναι χρονολογικά πολύ πιο πρόσφατη [3, 4]. Επιπλέον, η ανάγκη δημιουργίας Ε/Σ, που να επικουρούν τον πολιτικό μηχανικό στον κύκλο ανάλυσης-σχεδιασμού τεχνικών έργων, παραμένει επιτακτική [5] και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου απαιτείται σημαντική εμπειρία από μέρος του μελετητή. Μια τέτοια κατηγορία έργων είναι οι αντισεισμικές κατασκευές, είτε αυτές αφορούν σε κτιριακούς φορείς είτε σε φορείς ειδικού τύπου (γέφυρες, καμινάδες κ.λπ.) [6], όπου αφ' ενός υπάρχει σύγκλιση των γνωστικών αντικειμένων της Μηχανικής των Κατασκευών, της Γεωτεχνικής Μηχανικής καθώς και της Γεωλογίας και της Σεισμικής Μηχανικής, και αφ' ετέρου υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σε όλα τα βήματα που αφορούν στον αντισεισμικό τους σχεδιασμό (μέγεθος σεισμού, εδαφικές επιταχύνσεις, επίδραση του εδάφους, επιθυ-

μητός συντελεστής ασφάλειας της κατασκευής, επιλογή δομικού συστήματος κ.λπ.).

Η Τ/Ν είναι ένας τομέας της Πληροφορικής με κύριο αντικείμενο την ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων που προσομοιώνουν την ανθρώπινη νοημοσύνη. Τρεις είναι οι κυριότεροι κλάδοι του τομέα της Τ/Ν: η επεξεργασία φυσικών γλωσσών, η ρομποτική και τα Ε/Σ.

Τα Ε/Σ είναι προγράμματα που χρησιμοποιούν ένα σύνολο γνώσεων και κανόνων για την επίλυση προβλημάτων σε ένα συγκεκριμένο πεδίο της ανθρώπινης γνώσης και κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, διαγνωστικά και συνθετικά. Τα διαγνωστικού τύπου Ε/Σ χρησιμοποιούνται π.χ. στη διάγνωση του βαθμού βλάβης των κτιρίων καθώς και των αιτιών που προκάλεσαν τις βλάβες. Τα συνθετικού τύπου Ε/Σ χρησιμοποιούνται για την επιλογή της καταλληλότερης λύσης μεταξύ περισσότερων πιθανών λύσεων βάσει κάποιου προδιαγραφέντος στόχου.

Ένα Ε/Σ αποτελείται από τη βάση γνώσης, από το μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων και από το περιβάλλον χρήσης, δηλαδή τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ χρήστη και υπολογιστικού συστήματος. Ένα Ε/Σ μπορεί να προγραμματισθεί σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού, είναι όμως προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί κάποια από τις λογικές γλώσσες Τ/Ν, όπως είναι η LISP και η PROLOG.

### 1.1. Τα Ε/Σ στον τομέα των κατασκευών

Τα πεδία εφαρμογής Ε/Σ στην επιστήμη του πολιτικού μηχανικού είναι πολλά, αντικατοπτρίζοντας κατά κάποιο τρόπο και την ευρύτητα του πεδίου δράσης των πολιτικών μηχανικών. Γενικά, τα Ε/Σ είναι αποτελεσματικά σε περιοχές όπου η εμπειρία και η κρίση παίζουν μεγάλο ρόλο, ενώ ταυτόχρονα η ύπαρξη διαφορετικών αποδεκτών λύσεων είναι πιθανή.

Όσον αφορά στον τομέα των κατασκευών, οι εφαρμογές των Ε/Σ βρίσκονται στις εξής βασικές περιοχές [4-10]:

α) Σχεδιασμός δομικών έργων, όπως π.χ. κτιρίων, γεφυρών, θεμελιώσεων κ.λπ.

- β) Στατική και δυναμική ανάλυση δομικών φορέων.
- γ) Σύνθεση και μηχανικές ιδιότητες δομικών υλικών, όπως το σκυρόδεμα, διάφορα μέταλλα, το έδαφος κ.λπ.
- δ) Έλεγχος επάρκειας βάσει των υφισταμένων κανονισμών, όπως του κτιριοδομικού ή του αντισεισμικού κανονισμού.
- ε) Θέματα πρακτικής τεχνικής, όπως συντήρηση και έλεγχος κατασκευών.

Η χρησιμότητά τους αφορά κυρίως σε προβλήματα που δεν επιδέχονται επίλυση με αμιγείς αλγοριθμικές μεθόδους και των οποίων η αντιμετώπιση απαιτεί την εμπειρία και την κρίση ενός πεπειραμένου μηχανικού. Εκείνες τις διαδικασίες, που σήμερα εκτελεί ένας μελετητής, προσπαθεί να υλοποιήσει προγραμματιστικά ένα Ε/Σ σχεδιασμού.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας των Ε/Σ σε προβλήματα αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών είναι σχετικά περιορισμένη, όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική έρευνα [5-10]. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει ως ένα βαθμό το Ε/Σ PADEX για την αξιολόγηση του αντισεισμικού σχεδιασμού των δομικών κατασκευών.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το PADEX είναι ένα Ε/Σ που κρίνει την επάρκεια της προτεινόμενης λύσης σε προβλήματα που αντιμετωπίζει ο μελετητής-μηχανικός κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό και την ανάλυση των κατασκευών. Τέτοια προβλήματα είναι π.χ. η μόρφωση του φέροντος οργανισμού μιας αντισεισμικής κατασκευής, η προσομοίωσή του σε υπολογιστικό μοντέλο, ο τρόπος όπλισης ενός δομικού στοιχείου κ.ά.

Το PADEX είναι σε θέση να ενσωματώνει μεγάλο μέρος της γνώσης ενός ειδικού, να δικαιολογεί τα αποτελέσματα, στα οποία καταλήγει με ευρετικές μεθόδους, και να εκτελεί απλούς αλλά ουσιώδεις υπολογισμούς. Το PADEX εκπονήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού Turbo Prolog [11, 12] που δίνει ικανοποιητική ευελιξία και καλύτερο προγραμματιστικό έλεγχο.

Οι βασικές γνώσεις, που περιέχει το PADEX, ταυτίζονται με τις βασικές αρχές του Νέου Αντισεισμικού Κανονισμού [13], αλλά μπορεί να ενσωματωθεί και οποιοσδήποτε άλλος κανονισμός (όπως ο Ευρωκώδικας 8). Το σύστημα έχει σχεδιασθεί κυρίως για τον έλεγχο πολυωρόφων κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Βέβαια, αυτό που χρειάζεται ο μελετητής μηχανικός σε τελική ανάλυση είναι ο συνδυασμός ενός αλγοριθμικού συστήματος υπολογισμού με ένα έμπειρο σύστημα σχεδιασμού, δηλαδή ένα μικτό (υβριδικό) ολοκληρωμένο σύστημα, που να συνδυάζει ανάλυση και σύνθεση. Αυτός είναι και ο απώτερος σκοπός της ερευνητικής προσπάθειας πάνω στο Ε/Σ PADEX, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Επίσης, ένας

μακροπρόθεσμος στόχος της ανάπτυξης του Ε/Σ είναι και η αυτόματη αναγνώριση της κάτοψης του κτιρίου, ώστε να μην επικουρείται η διαδικασία αυτή από τις απαντήσεις του χρήστη.

## 3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ PADEX

Το PADEX, όπως και κάθε Ε/Σ, αποτελείται από τη βάση γνώσης, τον επαγωγικό μηχανισμό και το περιβάλλον εργασίας.

### 3.1. Βάση γνώσης

Η βάση γνώσης περιέχει κωδικοποιημένη γνώση και εμπειρία εκφρασμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία της από τον επαγωγικό μηχανισμό. Αποτελείται από τα γεγονότα-ερωτήσεις και τα επεξηγηματικά σχόλια καθώς και από τους κανόνες που περιέχουν τον “τρόπο σκέψης” του Ε/Σ. Η βάση γνώσης εμπεριέχει ορισμένες από τις βασικές αρχές του σύγχρονου αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών, με απώτερο στόχο τη σταδιακή ενσωμάτωση όλων των διατάξεων [14-16]. Το “γεγονός” είναι το μικρότερο λογικό συστατικό που αντιπροσωπεύει τη γνώση. Στο PADEX το γεγονός είναι εκφρασμένο με ερωτήσεις που επιδέχονται απλές απαντήσεις της μορφής ΝΑΙ-ΟΧΙ-ΔΕΝ ΞΕΡΩ-ΓΙΑΤΙ. Οι ερωτήσεις είναι διατυπωμένες με συντομία αλλά και σαφήνεια, ώστε να μη δημιουργούν ασάφειες στο χρήστη. Επιπλέον, στο κάτω μέρος της οθόνης υπάρχουν για κάθε ερώτηση και διευκρινιστικά σχόλια. Κάθε γεγονός-ερώτηση βαθμολογείται θετικά ή αρνητικά, ανάλογα με τη θετική ή αρνητική συνεισφορά του εν λόγω κριτηρίου στην αντισεισμική απόκριση του κτιρίου. Κάθε απάντηση, που δίνει ο χρήστης, βαθμολογείται με έναν αριθμό (θετικό ή αρνητικό), όπως έχει οριστεί στην βάση γνώσης, που είναι το αλγεβρικό άθροισμα των βαθμών όλων των επιμέρους απαντήσεων.

Πολλές φορές, όταν η βαθμολογία είναι αρνητική, το PADEX κάνει περαιτέρω ερωτήσεις προτείνοντας στον χρήστη τρόπους βελτίωσης της λύσης του, ενώ ταυτόχρονα μειώνει ή επαυξάνει τη βαθμολογία.

Η εκλογή της κατάλληλης βαθμολόγησης κάθε κριτηρίου και η αμοιβαία σχέση τους είναι ίσως το πιο δύσκολο έργο κατά το σχεδιασμό της βάσης γνώσης.

Ο χρήστης μπορεί να εισάγει την αβεβαιότητα διαλέγοντας την απάντηση “δεν ξέρω”. Η αβεβαιότητα εισάγεται στο σύστημα με την παράλειψη του σχετικού κανόνα που βαθμολογείται με μηδέν.

Για την καλύτερη αντιμετώπιση του θέματος και τον εντοπισμό των περιοχών, όπου παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα προβλήματα στην προτεινόμενη λύση, έγινε ο διαχωρισμός των ελέγχων στις ακόλουθες ομάδες [13]:

**1η Ομάδα: Έλεγχος της μορφής του κτιρίου σε κάτοψη**

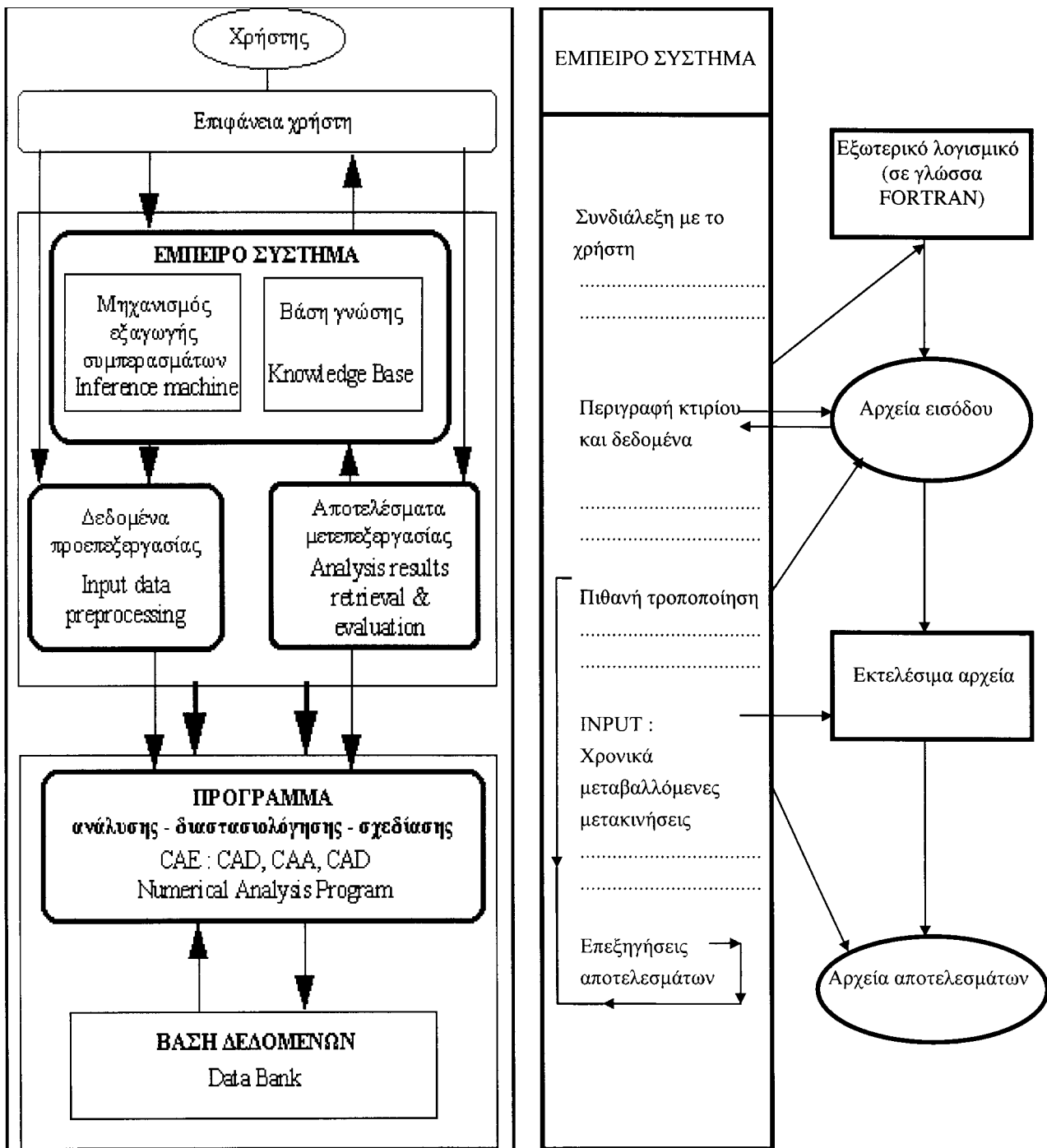
Η πλάκα κάθε ορόφου πρέπει να έχει κατάλληλη μορφή, ώστε να εξασφαλίζεται η διαφραγματική λειτουργία. Πρέπει, λοιπόν, να αποφεύγονται επιμήκεις κατόψεις, κατόψεις μορφής “Γ, Τ, Π” κ.λπ. Επίσης, πρέπει να αποφεύγονται μεγάλες εσοχές που δημιουργούν ασθενείς περιοχές στο διάφραγμα καθώς και μεγάλες οπές μέσα στο σώμα της κάτοψης.

**2η Ομάδα: Έλεγχος της μορφής του κτιρίου σε τομή**

Δεν πρέπει να εμφανίζεται απότομη μεταβολή του κτιρίου καθ’ ύψος.

**3η Ομάδα: Έλεγχος του φέροντος οργανισμού σε κάτοψη**

Επιδιώκεται η συμμετρική διάταξη των πιο δύσκαμπτων κατακορύφων στοιχείων κοντά στην περίμετρο, για να ελαχι-



Σχήμα 1: Σχηματική παράσταση Ε/Σ.  
Figure 1: Expert System flowchart.

στοποιείται η στρεπτική παραμόρφωση του κτιρίου. Πρέπει να εξασφαλίζεται η πλαισιακή λειτουργία υποστυλωμάτων και δοκών και να διατάσσονται επαρκή τοιχώματα και στις δύο διευθύνσεις.

#### 4η Ομάδα: Έλεγχος φέροντος οργανισμού σε τομή

Η κατανομή της δυσκαμψίας των κατακόρυφων στοιχείων με το ύψος πρέπει να είναι συνεχής και κανονική. Πρέπει να αποφεύγεται η απότομη μεταβολή της δυσκαμψίας (μαλακοί όροφοι) ή της αντοχής (ασθενείς όροφοι), τα φυτευτά υποστυλώματα, η σύζευξη ισχυρών δοκών με ασθενείς στύλους, οι βραχείες δοκοί, τα κοντά υποστυλώματα κ.λπ.

#### 5η Ομάδα: Έλεγχος κατανομής των μαζών

Επιδιώκονται η ομοιόμορφη κατανομή των μαζών σε κάτοψη και τομή, καθώς και η αποφυγή συγκέντρωσης μεγάλων μαζών στους ανώτερους ορόφους.

#### 6η Ομάδα: Έλεγχος τοιχοποιιών

Παρ' όλο που δε λαμβάνεται υπόψη η συμμετοχή των τοιχοποιιών στον αντισεισμικό υπολογισμό, εν τούτοις είναι σκόπιμο να ελέγχεται ποιοτικά η συνεισφορά τους στη συμπεριφορά του φορέα, όπως π.χ. όταν υπάρχει συγκέντρωση τοιχοποιιών σε τμήμα της κάτοψης ή απότομη μεταβολή τους από όροφο σε όροφο.

#### 7η Ομάδα: Έλεγχος θεμελίωσης

Πρέπει να επιδιώκεται η μονολιθικότητα της θεμελίωσης, μέσω της οποίας εισάγεται η σεισμική ενέργεια στο κτίριο. Εφιστάται η προσοχή του μελετητή στην αλλαγή του εδαφικού υλικού, στην ανισοσταθμία της θεμελίωσης και στην ανάγκη ύπαρξης ισχυρών συνδετηρίων δοκών.

#### 8η Ομάδα: Έλεγχος λοιπών χαρακτηριστικών

Ελέγχεται η ύπαρξη αρμού, όταν υπάρχουν γειτονικά κτίρια, λόγω της πιθανότητας εμβολισμού υποστυλωμάτων του ενός κτιρίου από πλάκες του άλλου και αντιστρόφως.

#### 9η Ομάδα: Προκαταρκτικός έλεγχος

Περιέχει ερωτήσεις γενικής σημασίας για την αντισεισμική ασφάλεια της κατασκευής. Ο χρήστης παροτρύνεται να επιλέγει αυτόν τον έλεγχο, πριν αρχίσει οποιαδήποτε άλλη επιμέρους ενέργεια.

### 3.2. Επαγωγικός μηχανισμός

Με αυτόν επιτυγχάνονται όλες οι "σκέψεις" που θέλουμε να κάνει το σύστημα. Εδώ βρίσκεται η "γραμματική" του Ε/Σ και είναι το πιο περίπλοκο και πιο δύσκολο από πλευράς προγραμματισμού τμήμα του συστήματος. Όλη η βάση γνώσης πρέπει να υπακούει στους κανόνες της "γραμματικής"

αυτής. Το σύνολο των αναπτυχθεισών ευρετικών και αλγοριθμικών ρουτινών διασυνδέονται μεταξύ τους σε πλήρη λειτουργική σύνθεση, ώστε να επιτευχθεί η διαχείριση της εξειδικευμένης γνώσης που υπάρχει στη βάση γνώσης. Η παραγωγή συλλογισμών γίνεται σύμφωνα με τη μαθηματική λογική. Μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής ή ψευδής. Ένας κανόνας στο PADEX είναι μια λογική συνάρτηση που αποτελείται από έναν αριθμό γεγονότων ή υποκανόνων. Οι λογικοί τελεστές είναι: AND, OR, NOT, E\_AND. Ο λογικός τελεστής E\_AND συνδέει δύο γεγονότα. Τα δύο αυτά γεγονότα είναι πάντα ερωτήσεις και το αποτέλεσμα της σύζευξης αυτής πρέπει να είναι πάντα TRUE (αληθές), για να μπορέσει να προχωρήσει το πρόγραμμα [11].

Εκτός, όμως, από τους απλούς κανόνες που συνδυάζονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν πιο σύνθετους κανόνες, υπάρχει μια ειδική κατηγορία κανόνων που λέγονται state rules.

Οι κανόνες αυτοί είναι ίδιας ακριβώς δομής με τους κοινούς κανόνες, με μόνη διαφορά είναι ότι ελέγχονται εσωτερικά, κάθε φορά που ο χρήστης δίνει νέες πληροφορίες στο σύστημα (π.χ. απάντηση σε μια ερώτηση) [12].

### 3.3. Μηχανισμός επικοινωνίας

Ο μηχανισμός επικοινωνίας του χρήστη με το σύστημα περιλαμβάνει παράθυρα, συρόμενα μενού επιλογής κ.λπ. Ο επαγωγικός μηχανισμός και ο μηχανισμός επικοινωνίας (το περιβάλλον εργασίας) ενεργοποιούνται ταυτόχρονα, διέπονται από τις ίδιες αρχές, συνεργάζονται μεταξύ τους και αποτελούν το κέλυφος του συστήματος. Το PADEX είναι ένα διαλογικό πρόγραμμα με επιφάνεια χρήσης ιδιαίτερα εύχρηστη και κατανοητή.

### 3.4. Μερικά χαρακτηριστικά του PADEX

Το PADEX διαθέτει μηχανισμό επεξηγήσεων. Όταν ο χρήστης επιλέξει τη λέξη "ΓΙΑΤΙ", τότε το πρόγραμμα θα εμφανίσει το λόγο, για τον οποίο έκανε την ερώτηση, και τον κανόνα, τον οποίο ελέγχει μέσω αυτής. Αυτό βοηθά το χρήστη να κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος και τη σημασία του συγκεκριμένου κριτηρίου στην αντισεισμική συμπεριφορά του φορέα που έχει σχεδιάσει. Ακόμη, είναι δυνατή η προσωρινή έξοδος από το κέλυφος για τη διενέργεια υπολογισμών, χρησιμοποιώντας ένα εξωτερικό πρόγραμμα γραμμένο σε κάποια συμβατική γλώσσα προγραμματισμού [16]. Έτσι μπορεί να τρέξει, π.χ. μία ρουτίνα, για να υπολογίσει το συντελεστή δυσκαμψίας, χωρίς να διακοπεί η διαδικασία ελέγχου μιας κατασκευής.

Ο διάλογος του χρήστη με το PADEX γίνεται, για να ελεγχθεί η αντισεισμική συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου κάθε φορά κτιρίου. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια του διαλόγου, το PADEX δεν ξεχνά τις απαντήσεις

που δόθηκαν στις προηγούμενες ερωτήσεις. Αν ένα κομμάτι ενός κανόνα είναι μια ερώτηση που έχει ήδη απαντηθεί, τότε η προηγούμενη απάντηση χρησιμοποιείται από το σύστημα αυτομάτως. Ο μικρός σε μέγεθος πυρήνας του PADEX (συμπεριλαμβανομένης της μηχανής εξαγωγής συμπερασμάτων) έχει σχεδιασθεί να παίρνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία από τη λεπτομερειακή βάση γνώσης. Το PADEX μπορεί να ενσωματώσει ποικίλες εξωτερικές εντολές και διεργασίες σε κάθε κύριο μενού του. Οι διεργασίες μπορούν να υλοποιηθούν σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού ή με οποιοδήποτε εργαλείο που υποστηρίζεται από το πρωτόκολλο του PADEX για την είσοδο και έξοδο των δεδομένων. Οι ρουτίνες, που εκτελούν υπολογισμούς έξω από το περιβάλλον του PADEX, μπορούν να σχεδιασθούν είτε ως διαλογικές ρουτίνες, που χρειάζονται την απόκριση του χρήστη, είτε ως αδιαφανείς διεργασίες.

### 3.5. Κλείσιμο των εργασιών

Οι εργασίες (οι απαντήσεις που έχει ως τώρα δώσει ο χρήστης) μπορούν να αποθηκευθούν σε ένα αρχείο για μελλοντική ανάκτηση.

## 4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Ο τρόπος, με τον οποίο λειτουργεί το PADEX, είναι ο εξής: Ο χρήστης επιλέγει να αρχίσει ένα διάλογο για ένα συγκεκριμένο κτίριο κάθε φορά. Από το κεντρικό μενού συνεπώς επιλέγει “Νέο κτίριο”. Εμφανίζεται τότε το μενού επιλογής κατηγορίας ελέγχου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να κάνει προκαταρκτικό έλεγχο του κτιρίου, γενικό έλεγχο ή και επιμέρους ελέγχους κατά την προσωπική του κρίση. Οι επιμέρους κατηγορίες είναι αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω, π.χ. έλεγχος μορφής σε κάτοψη, έλεγχος θεμελίωσης κ.λπ. Ο χρήστης εισάγει πληροφορίες για το κτίριο με τη μορφή απαντήσεων στις σχετικές ερωτήσεις που θέτει το πρόγραμμα.

Αφού επιλεγεί η επιθυμητή κατηγορία ελέγχου, το Ε/Σ αρχίζει να θέτει ερωτήματα σχετικά με τα δεδομένα του κτιρίου που είναι σημαντικά για την αντισεισμική συμπεριφορά του.

Το Ε/Σ ρωτά με σκοπό να πάρει απαντήσεις προς αξιολόγηση βάσει των κανόνων της βάσης γνώσης του. Οι κανόνες αυτοί είναι φτιαγμένοι, ώστε ο καθένας να έχει το δικό του ειδικό βάρος. Το ειδικό αυτό βάρος είναι ένας ακέραιος αριθμός που αντανακλά τη σημασία του συγκεκριμένου κανόνα στην αντισεισμική συμπεριφορά του κτιρίου. Έτσι δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στους κανόνες εκείνους που θεωρούνται ότι έχουν μεγαλύτερη σημασία για τον αντισεισμικό σχεδιασμό του κτιρίου. Οι επιμέρους βαθμοί μπορεί να είναι και αρνητικοί, εάν από τον συγκεκριμένο κανόνα γνώσης προκύπτει ότι ο φορέας έχει κάποιο σοβαρό ελάττωμα.

Στο τέλος του ελέγχου κάθε κατηγορίας, το σύστημα δίνει μια βαθμολογία του κτιρίου για την κατηγορία που ελέγχεται. Η βαθμολογία αυτή είναι το άθροισμα των επιμέρους βαρών των κανόνων της κατηγορίας που εξετάζεται. Αν έχει επιλεγεί ο γενικός έλεγχος του κτιρίου, τότε ο διάλογος συνεχίζεται για όλες τις κατηγορίες των επιμέρους χαρακτηριστικών και η βαθμολογία αναφέρεται συνολικά στο κτίριο. Η τελική βαθμολογία προκύπτει ως σταθμισμένο σύνολο των βαθμών που έδωσε το Ε/Σ σε κάθε επιμέρους ερώτηση σε απόλυτο αριθμό και ως ποσοστό (%) της μέγιστης βαθμολογίας. Η συνολική βαθμολογία του κτιρίου, παρ’ ότι δεν είναι απόλυτη, δίνει ωστόσο μία καλή εικόνα για το πόσο σωστά από αντισεισμική άποψη σχεδιάστηκε το κτίριο που μελετάται.

Το Ε/Σ είναι έτσι διαρθρωμένο, ώστε να επιτρέπει την εισαγωγή της αβεβαιότητας στις απαντήσεις του χρήστη.

Έτσι, όταν ο χρήστης απαντά σε κάποια ερώτηση “δεν ξέρω”, τότε το βάρος αυτού του κανόνα θεωρείται μηδέν, δεν λαμβάνεται δηλαδή υπόψη στην τελική βαθμολογία. Παρουσιάζεται, όμως, ως ποσοστό των κανόνων που ελέγχθηκαν.

Παραδείγματα κανόνων, γεγονότων και κειμένων αξιολόγησης δίνονται στον πίνακα 1. Στο τέλος του ελέγχου κάθε κατηγορίας, ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να δει πώς έφθασε το πρόγραμμα στην τελική βαθμολογία. Αν επιλέξει “ναι”, τότε παρουσιάζεται το τμήμα της βάσης γνώσης αυτής της κατηγορίας σε φυσική γλώσσα, ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος κατά τον οποίο λειτουργήσε ο επαγωγικός μηχανισμός. Τα τρία γεγονότα, που παίρνουν τη χαμηλότερη βαθμολογία, εμφανίζονται στο τέλος ενός κανόνα αξιολόγησης ως οδηγό για πιθανές βελτιώσεις του αρχικού σχεδιασμού από το χρήστη. Το πρόγραμμα PADEX επιτρέπει την έξοδο σε αλγοριθμικού τύπου προγράμματα (είτε ειδικευμένα σε συγκεκριμένους υπολογισμούς είτε γενικού τύπου, όπως το ETABS [17]). Η δυνατότητα αυτή βρίσκεται υπό συνεχή διεύρυνση και εξέλιξη.

Ως παράδειγμα αναφέρεται εδώ η δυνατότητα δημιουργίας συνθετικών επιταχυνσιογραφήματων με δεδομένα γενικά στοιχεία που αφορούν σε σεισμούς του ελλαδικού χώρου.

Οι βασικές πληροφορίες αντλούνται από τον NEAK [13], η δε μεθοδολογία, που διέπει τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα, μπορεί να βρεθεί στην ευρύτερη βιβλιογραφία, όπως π.χ. [18].

Τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα δυναμικής ανάλυσης για τον υπολογισμό της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου που ήδη αναλύεται από το PADEX.

Στο σχήμα 2 φαίνεται ένα τέτοιο τεχνητό επιταχυνσιογράφημα με τα εξής σεισμολογικά δεδομένα:

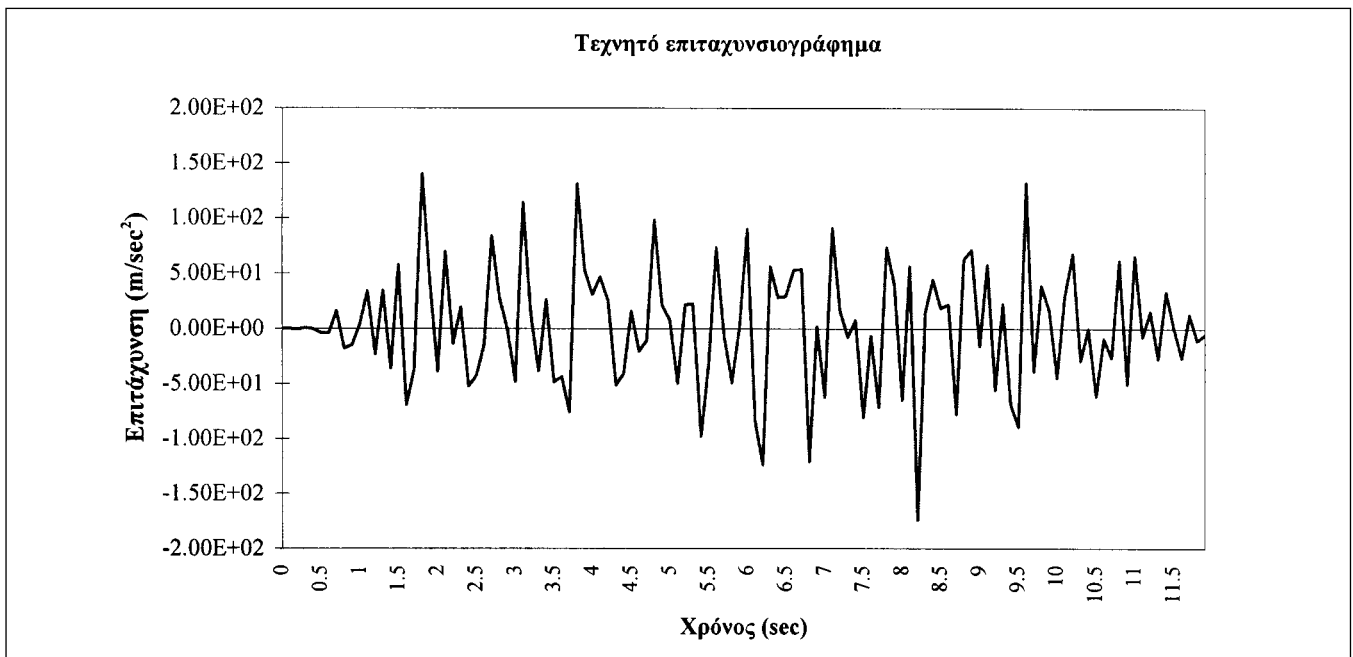
Η διάρκεια του τεχνητού επιταχυνσιογραφήματος είναι 12 sec με χρονικό βήμα 0.1 sec. Το φάσμα σχεδιασμού, από το

Πίνακας 1: Παραδείγματα από τον κώδικα του PADEX.  
Table 1: Examples from PADEX.

<b>1. Απλοί κανόνες</b>	fact(18,-2, «υπάρχουν βραχείες δοκοί»).
FORMAT: Rule (RULE_NUMBER, FACT_THAT_RESULTS, CONDITION, MARK).	fact(19,1, «έως 2 ανά όροφο»).
Rule (1,1 e_and(e_and(and(fact(2),fact(57)), and(fact(3),fact(61))), e_and(and(fact(4),fact(56)), and(fact(5),fact(6))))),1).	FORMAT: note(NOTE_NUMBER, TEXT).
<b>2. State rules</b>	note(13, «Επαρκή θεωρούνται τοιχία που ικανοποιούν τη σχέση $\alpha < 0.6$ όπου $\alpha = H \cdot \sqrt{\Sigma(G+P)/\Sigma(EI)}$ [πρόσθετες διατάξεις 1984]»).
FORMAT: state_rule(RULE_NUMBER, TRIGGER CONDITION, MARK).	note(14, «Περιμετρικά τοιχία συμβάλλουν στην αύξηση της δυστρεψιάς του κτιρίου και είναι επιθυμητά»).
state_rule(1, and(or(not(fact(13)), not(fact(12))), fact(40),-5).	note(15, «Η δυστρεψία θεωρείται επαρκής όταν ισχύει $RW/RP > 0.4$ βλ. Ε.Α.Κ. 4.1.4.2.β(3).»).
<b>3. Γεγονότα και σημειώσεις</b>	note(16, «Η συμμετρικότητα αποτελεί σημαντική προϋπόθεση καλής αντισεισμικής συμπεριφοράς»)
FORMAT: fact(FACT_NUMBER, MARK, TEXT).	note(18, «Βραχείες δοκοί θεωρούνται εκείνες με μήκος μικρότερο από το 3-πλάσιο του ύψους τους και είναι επιρρεπείς σε ψαθυρή θραύση»).
fact(10,0, «ΕΛΕΓΧΟΣ Φ.Ο. ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ»).	<b>4. Evaluation</b>
fact(13,6, «υπάρχουν επαρκή τοιχία κατά X και κατά Ψ»).	FORMAT: evaluation(RULE_NUMBER_TO_EVALUATE, LOWER BOUND,UPPER BOUND,EVALUATION TEXT).
fact(14,3, «υπάρχουν τοιχία κατά μήκος της περιμέτρου της κάτοψης ή κοντά σ' αυτήν κατά X και κατά Ψ»).	evaluation(1,0,30, «Η μορφή του κτιρίου σε κάτοψη παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα»).
fact(15,5, «η διάταξη των τοιχωμάτων προσδίδει επαρκή δυστρεψία στο κτίριο; »).	evaluation(1,31,60, «Η μορφή του κτιρίου σε κάτοψη παρουσιάζει κάποια προβλήματα»).
fact(16,3, «τα φέροντα στοιχεία είναι τοποθετημένα σχεδόν συμμετρικά στην κάτοψη»).	evaluation(1,61,100, «Η μορφή του κτιρίου σε κάτοψη έχει σε γενικές γραμμές καλή αντισεισμική συμπεριφορά»).
fact(17,-3, «τα φέροντα στοιχεία παρουσιάζουν έντονη ασυμμετρία στην κάτοψη»).	

οποίο προέρχεται το επιταχυνσιογράφημα, έχει κατώτερο και ανώτερο όριο συχνότητας 0.20 Hz και 25 Hz, αντιστοίχως. Οι συντελεστές απόσβεσης του εδάφους (για το διπλό φίλτρο Kanai - Tajimi) είναι  $\zeta_g = 0.59$  και  $\zeta_f = 1.0$ , η δε ιδιοσυχνότητα του εδαφικού στρώματος είναι  $\omega_g = 3.47$  Hz και της βάσης του είναι  $\omega_f = 0.5$  Hz. Επιπλέον, η πυκνότητα φασματικής

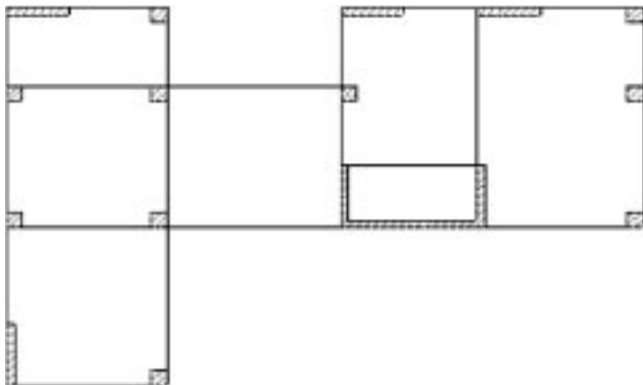
ισχύος για λευκό θόρυβο είναι  $S_0 = 70 \text{ cm}^2/\text{sec}^3$  καθώς και  $t_1 = 1.8 \text{ sec}$ ,  $t_2 = 8.4 \text{ sec}$  είναι οι χρόνοι ανόδου και καθόδου, και  $\beta = 0.167$  είναι ο συντελεστής περιβάλλουσας της χρονικής μεταβολής του παραπάνω φάσματος. Αυτές οι τιμές υπολογίζονται κατά τη διάρκεια του σχετικού ελέγχου στο PADEX.



Σχήμα 2: Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα.  
Figure 2: Artificial accelerogram.

#### 4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟ PADEX

Το σχήμα 3 απεικονίζει την κάτοψη ενός κτιρίου, που ελέγχθηκε από το PADEX, για να προσδιορισθεί η επάρκειά του σε σεισμικά φορτία.

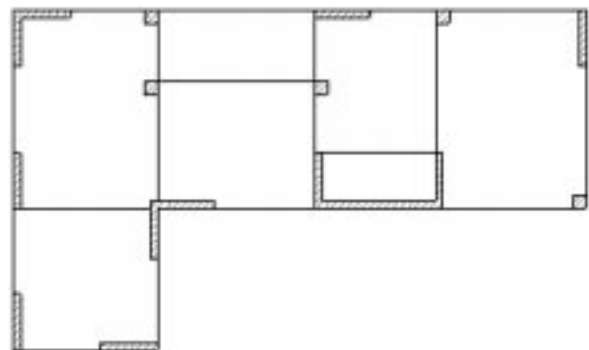


Σχήμα 3: Κάτοψη κτιρίου που ελέγχεται από το PADEX.  
Figure 3: Building plan view checked by PADEX.

Στο σχήμα 4 φαίνεται μία βελτιωμένη εκδοχή τής υπό μελέτη κάτοψης, όπως προέκυψε από έναν πρώτο διάλογο με το Ε/Σ.

Στο σχήμα 5(α) φαίνονται η βαθμολογία της κάτοψης που ελέγχθηκε, το ποσοστό των κανόνων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι χειρότεροι βαθμοί. Αυτοί μπορεί να αποτελέσουν οδηγούς για τη βελτίωση του αρχικού σχεδίου. Εάν

ενεργοποιηθεί η επιλογή “γιατί”, τότε οι εξηγήσεις, που παρέχει το σύστημα, φαίνονται στο σχήμα 5(β), ενώ στο σχήμα 5(γ) φαίνεται η βαθμολογία που δίνει το PADEX για τη βελτιωμένη κάτοψη.



Σχήμα 4: Βελτιωμένη κάτοψη.  
Figure 4: Improved plan view.

#### 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία δίνει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην αξιολόγηση του προκαταρκτικού σχεδιασμού ενός πολυώροφου κτιρίου με βάση τα κριτήρια αποδεκτής αντισεισμικής συμπεριφοράς.

Στη σημερινή φάση, το Ε/Σ PADEX λειτουργεί αφ’ ενός ως ένα λογικό εργαλείο και αφ’ ετέρου ως διαχειριστής τόσο αριθμητικών όσο και λογικών (μη αριθμητικών) δεδομένων. Το Ε/Σ χρησιμεύει ως βοηθητικό μέσο σχεδιασμού, επιτρέ-

- > Υπάρχουν τοιχία κατά μήκος της περιμέτρου της κάτοψης ή κοντά σ' αυτήν κατά X και κατά Y; Όχι
- > Η διάταξη των τοιχωμάτων προσδίδει επαρκή δυστρεψία στο κτήριο; Όχι
- > Τα φέροντα στοιχεία είναι τοποθετημένα σχεδόν συμμετρικά στην κάτοψη; Ναι
- > Υπάρχουν βραχείες δοκοί; Όχι

Η βαθμολογία της κατηγορίας

ΕΛΕΓΧΟΣ Φ.Ο. ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ είναι -9 (Πεδίο τιμών: [-19, 19]) (26%)

Χρησιμοποιήθηκε το 100% των σχετικών με το αντικείμενο κανόνων

Χειρότεροι Βαθμοί

Βαθμός -6 Υπάρχουν επαρκή τοιχία κατά X και κατά Y

Βαθμός -3 Υπάρχουν τοιχία κατά μήκος της περιμέτρου της κάτοψης ή κοντά σ' αυτήν κατά X και κατά Y

Βαθμός -5 Η διάταξη των τοιχωμάτων προσδίδει επαρκή δυστρεψία στο κτήριο

Θέλεις να δεις τι εξέτασα για να βγάλω τη βαθμολογία;

**1. Ναι 2. Όχι Esc**

Σημείωση: Βραχείες δοκοί θεωρούνται εκείνες με μήκος μικρότερο από το 3-πλάσιο του ύψους των και είναι επιρρεπείς σε ψαθυρή θραύση.

- > Υπάρχουν τοιχία κατά μήκος της περιμέτρου της κάτοψης ή κοντά σ' αυτήν κατά X και κατά Y; Όχι

Εξέτασα την κατηγορία ΕΛΕΓΧΟΣ Φ.Ο. ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ με την ομάδα ελέγχων (3)

ΟΜΑΔΑ (3): ΕΛΕΓΧΟΣ Φ.Ο. ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ

- Υπάρχουν επαρκή τοιχία κατά X και κατά Y;
- Υπάρχουν τοιχία κατά μήκος της περιμέτρου της κάτοψης ή κοντά σ' αυτήν κατά X και κατά Y;
- Η διάταξη των τοιχωμάτων προσδίδει επαρκή δυστρεψία στο κτήριο;
- Τα φέροντα στοιχεία είναι τοποθετημένα σχεδόν συμμετρικά στην κάτοψη;
- OXI -- >
- Τα φέροντα στοιχεία παρουσιάζουν έντονη ασυμμετρία στην κάτοψη;
- Υπάρχουν βραχείες δοκοί;
- NAI -- >
- Έως 2 ανά όροφο;

Θέλεις να δεις τι εξέτασα για να βγάλω τη βαθμολογία;

**1. Ναι 2. Όχι Esc**

Σημείωση: Βραχείες δοκοί θεωρούνται εκείνες με μήκος μικρότερο από το 3-πλάσιο του ύψους των και είναι επιρρεπείς σε ψαθυρή θραύση.

Δώσε την κατηγορία που σε ενδιαφέρει ΕΛΕΓΧΟΣ Φ.Ο. ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ

- > Υπάρχουν επαρκή τοιχία κατά X και κατά Y; Ναι
- > Υπάρχουν τοιχία κατά μήκος της περιμέτρου της κάτοψης ή κοντά σ' αυτήν κατά X και κατά Y; Ναι
- > Η διάταξη των τοιχωμάτων προσδίδει επαρκή δυστρεψία στο κτήριο; Ναι
- > Τα φέροντα στοιχεία είναι τοποθετημένα σχεδόν συμμετρικά στην κάτοψη; Ναι
- > Υπάρχουν βραχείες δοκοί; Όχι

Η βαθμολογία της κατηγορίας

ΕΛΕΓΧΟΣ Φ.Ο. ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ είναι 19 (Πεδίο τιμών: [11-19, 19]) (100%)

Χρησιμοποιήθηκε το 100% των σχετικών με το αντικείμενο κανόνων

Χειρότεροι Βαθμοί

Θέλεις να δεις τι εξέτασα για να βγάλω τη βαθμολογία;

**1. Ναι 2. Όχι Esc**

Σημείωση: Βραχείες δοκοί θεωρούνται εκείνες με μήκος μικρότερο από το 3-πλάσιο του ύψους των και είναι επιρρεπείς σε ψαθυρή θραύση.

Σχήμα 5: α) Αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης από το PADEX. β) Οθόνη με ενεργοποιημένη την επιλογή "γιατί" και γ) Αξιολόγηση της βελτιωμένης κάτοψης από το PADEX.

Figure 5: a) Evaluation of proposed solution by PADEX. b) Screen with "why" command activated and c) Evaluation of improved plan view by PADEX.



ποντας στο μηχανικό να βρίσκει το βαθμό επάρκειας του προκαταρκτικού αντισεισμικού σχεδιασμού ενός φορέα και να πληροφορείται τρόπους, με τους οποίους μπορεί να βελτιώσει το φορέα που έχει σχεδιάσει.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ευθύνη της τελικής, σωστής αντισεισμικής μελέτης βαρύνει τον ίδιο το μελετητή, διότι το Ε/Σ δεν μπορεί να αντικαταστήσει την εμπειρία και τη γνώση του μηχανικού.

Το PADEX είναι ένα ανοικτό σύστημα και περαιτέρω βελτιώσεις του μπορεί να γίνουν σε πολλούς τομείς. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η διεύρυνση των δυνατοτήτων συνεργασίας του Ε/Σ με ένα γενικό πρόγραμμα στατικής/δυναμικής ανάλυσης έτσι, ώστε τα δεδομένα να λαμβάνονται με ακρίβεια από το αλγοριθμικό λογισμικό και να ελέγχονται στη συνέχεια από το Ε/Σ. Στο στάδιο υλοποίησης βρίσκεται η σύνδεση του PADEX με το πρόγραμμα λογισμικού ETABS [17], που βασίζεται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Επίσης, υπάρχει ήδη συνεργασία με ειδικά πακέτα λογισμικού για διάφορους επιμέρους υπολογισμούς (τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα, φάσματα, δυσκαμψίες δομικών στοιχείων κ.λπ.). Με τον τρόπο αυτόν αμβλύνεται ο βαθμός υποκειμενικής εκτίμησης του χρήστη που ενυπάρχει τώρα σε ορισμένες απαντήσεις του.

Τέλος, βελτιώσεις μπορούν να γίνουν και στο θέμα της αυτόματης αναγνώρισης σχεδίων από το Ε/Σ, ώστε η διαδικασία, κατά την οποία δίδονται σχετικά στοιχεία από το χρήστη, να συντομευτεί στο ελάχιστο δυνατό.

Η βάση γνώσης μπορεί να επεκταθεί εύκολα και σε άλλες κατηγορίες ελέγχων, όπως έλεγχος επαρκούς διαθέσιμης πλαστιμότητας σε συγκεκριμένα δομικά στοιχεία. Μπορεί, επίσης, να γίνει μεγαλύτερη εξειδίκευση στις ήδη υπάρχουσες κατηγορίες ελέγχου.

Στο παρόν στάδιο ανάπτυξης όπου βρίσκεται το PADEX, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως προϊόν εμπορικής χρήσης αλλά ως συμβουλευτικό βοήθημα.

Κατά κύριο λόγο, το PADEX εξυπηρετεί διδακτικούς σκοπούς και έχει ήδη αρχίσει να χρησιμοποιείται με επιτυχία μέσα στο πλαίσιο μαθήματος μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Συρμακέζης Κ. και Μικροδής Γ., “**Εφαρμογή των Εμπειρών Συστημάτων σε Προβλήματα Κατασκευών**”, Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., Αθήνα 1991.
2. Δουκίδη Γ. και Αγγελίδης Μ., “**Τεχνητή Νοημοσύνη**”, Ι. Σιδέρης, Αθήνα, 1992.
3. Αβραμίδης Ι., “Εμπειρα Συστήματα στις δομικές κατασκευές”, διάλεξη στην επιστημονική ημερίδα “**Εφαρμογές Εμπειρών Συστημάτων**” της Ελληνικής Εταιρίας Επιστημόνων Η/Υ και Πληροφορικής, Αθήνα, 24 Απριλίου 1991.
4. Αβραμίδης Ι., “Εμπειρα Συστήματα στη μελέτη των δομικών κατασκευών”, **Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Περιοχή Α**, Τόμος 13/4, 159-172, 1993.
5. Maher, M.L., Editor, “**Expert Systems for Civil Engineers: Techniques and Applications**”, ASCE Publication, New York, 1987.
6. Maher, M.L., Editor, “Expert Systems for structural engineering”, **Journal of Computation in Civil Engineering, ASCE**, Vol. 1, 270-283, 1987.
7. Berrais, A. and Watson, A.S., “Expert systems for seismic engineering: the state of the art”, **Engineering Structures**, Vol. 15, 147-154, 1993.
8. Shwe, T.T. and Adeli, H., “AI and CAD for earthquake damage evaluation”, **Engineering Structures**, Vol. 15, 315-319, 1993.
9. Adeli, H., Editor, “**Expert Systems in Construction and Structural Engineering**”, Chapman and Hall, London 1988.
10. Osborn, K., “Using knowledge-based techniques in systems for structural design”, **Computers and Structures**, Vol. 40, 1203-1211, 1991.
11. Borland International, “**Turbo Prolog, Owner’s Manual**”, Scotts Valley, California 1986.
12. Townsend C., “**Εισαγωγή στη Turbo Prolog**”, Εκδόσεις Παρατηρητής, Αθήνα, 1990.
13. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, **NEAK** 1992.
14. Avramidis, I.E., Manolis, G.D. and Andreadakis, M.G., “PADEX - A preliminary antiseismic design expert system”, **Computing in Civil and Building Engineering**, P.J. Pahl and H. Werner, Balkema, Rotterdam, Vol. 1, 215-220, 1995.
15. Ιωαννίδης Ν., διπλωματική εργασία “**Ανάπτυξη βάσης γνώσεων ενός Εμπειρικού Συστήματος**”, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1995.
16. Avramidis, I.E., Manolis, G.D. and Andreadakis, M.G., “Preliminary Antiseismic Design of Buildings Using an Expert System”, **Proceedings 2<sup>nd</sup> National Congress on Computational Mechanics**, Vol. 1, 51-58, Technical University of Crete, Chania, Crete, June 26-28, 1996.
17. Wilson E.L., Hollings J.P. and Dovey H.H., “**ETABS, Three-Dimensional Analysis of Building Systems**”, EERC Report No 75-13, University of California at Berkeley Publication, 1975.
18. Juhn G., Manolis G.D. & Constantinou M.C., “Stochastic response of secondary systems in base-isolated structures”, **Probabilistic Engineering Mechanics**, Vol. 7, 91-102, 1992.

### Γ.Δ. Μανώλης,

Καθηγητής Α.Π.Θ., Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κατασκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, 540 06 Θεσσαλονίκη.

### Ι.Ε. Αβραμίδης,

Καθηγητής Α.Π.Θ., Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κατασκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, 540 06 Θεσσαλονίκη.

### Α.Σ. Παναγιώτου,

Μαθηματικός, υποψήφια διδάκτωρ, Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κατασκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, 540 06 Θεσσαλονίκη.

Extended summary

# A Hybrid Expert System for Preliminary Antiseismic Design

**G.D. Manolis**  
Professor A.U.TH.

**I.E. Avramidis**  
Professor A.U.TH.

**A.S. Panagiotou**  
Mathematician

## Abstract

*This work presents a new and rational approach to the evaluation of the preliminary design of a multi-storey building in terms of acceptable earthquake-resistant behavior. This has been achieved by integrating conventional design code provisions with an expert system to serve as a design aid that allows an engineer to investigate the adequacy of his preliminary design under earthquake-induced loads and to be informed of ways for improving it. In its present role, the PADEX expert system acts as a reasoning tool on one hand and as a manipulator of both numerical and non-numerical data on the other hand. In addition, PADEX has been linked with special purpose computer programs so that it is possible to obtain quantitative information regarding the building's dynamic response. Finally, PADEX is an open system and further improvements can be realized through verification studies for establishing confidence levels in the entire methodology.*

## 1. INTRODUCTION

Although the development of artificial intelligence and expert systems is well into its second decade [1-10], applications to structural engineering, and more precisely, to the analysis-design cycle, are rather recent. Furthermore, the earthquake-resistant design of buildings and other types of structures stands to gain from the use of expert systems because of the uncertainty associated with ground motions and their effects on a structure, the various choices available for forming the load-bearing part of the structure, the combinations associated with non-symmetric buildings and difficulties inherent in a realistic dynamic analysis.

Currently used design methods require a complete, certain and well structured knowledge of the problem. In reality, however, some of the knowledge about the design problem is uncertain, fuzzy, or unknown. Material properties, construction quality, loading conditions, and site conditions are a few such examples. Design codes assume worst-case scenarios and cover the uncertain and unknown conditions by assigning a factor of safety. Expert system technology has the capability of using ill-structured, incomplete, uncertain,

fuzzy, or unknown data and generating satisfactory solutions. Furthermore, expert systems can capture expert designers' experience, include knowledge of the domain from the literature, and represent all the qualitative information in modular format that is easy to modify. This ability has the potential of including the experience-based judgment of construction and maintenance professionals into the design. The user can interact with the expert system and verify the accuracy of the encoding of this knowledge into the system. A system user can inquire about the answers the expert system gives and see the reasoning behind those answers.

A successful earthquake-resistant design presupposes a correct arrangement of the load bearing elements within the building. This fact has been borne to a large extent by post-reconnaissance field work following major earthquakes. A poor structural design (irregular floor plans with wings and/or openings, lack of cores or inappropriate arrangement of shear walls, soft stories, short columns, etc.) leads to a pronounced building response during an earthquake that is difficult or impossible to correct. A rational design cannot be accomplished through purely algorithmic approaches and requires an additional feeling of how a building behaves that is based on practical experience and on an in-depth understanding of how a structure responds to both gravity and dynamic loads. An expert system incorporating experience-based knowledge and aided by numerical methodologies for a quantitative description of the structural response under earthquakes is a valuable design tool for both novices and mature engineers.

In what follows, the methodology behind the prototype expert system, PADEX, for the preliminary antiseismic design of multi-storey buildings is developed. The use of PADEX is illustrated by including the results of a typical user session. Finally, since PADEX is an open-ended system under continuous development, the paper concludes by outlining plans for future expansion.

## 2. METHODOLOGY

The methodology behind PADEX can be broken down into three basic parts, namely the selection of key elements governing earthquake resistant design, the development of the expert system component, plus the establishment of links with conventional numerical analysis programs.

The point of reference in PADEX is the Greek Antiseismic Code (NEAK 1992), although any similar code (such as Eurocode 8) can be used. We focus on reinforced concrete buildings higher than three stories whose adequacy is checked against rules formulated in the following basic areas:

1. Building shape in plan (horizontal) views.
2. Building shape along vertical cross-sections.
3. Load-bearing frame plan view.
4. Load-bearing frame cross-section.
5. Building mass distribution.
6. Masonry wall topology.
7. Building foundation and ground properties.
8. Other features of the building.

As far as building shapes are concerned we distinguish two basic ones, namely simple and composite shapes. Architectural considerations invariably lead to composite shapes that are difficult to analyze in terms of their structural (both static and dynamic) behavior. Irregularities in the plan view violate two basic assumptions inherent in earthquake-resistant design, namely:

1. The in-plane rigid-body behavior of each storey floor, which can be described by two translational degrees and one rotational degree of freedom.
2. The lack of any stress concentration effects along the smooth contour of the floor.

If these assumptions can no longer be preserved, then recourse must be made to a very detailed (and difficult to set up) model of the structure with a corresponding increase in computational cost.

The configuration of the building along its height is also a crucial item. For instance, if the ratio of height to base  $h/b$  exceeds four, second order phenomena (such as P-D effects) occur that lead to additional vibrations in the moments at the joints. Optimal vertical configurations that may not always be realized in practice due to various constraints are ones with a gentle tapering of ratio  $h/b$  with increasing height.

The load-bearing part of a conventional building consists of columns, beams, plates and shear walls. The optimal arrangement of these stiffness-providing elements, and especially of the shear walls, is probably the only means available to the engineer for overcoming shortcomings caused by complicated architectural design. The basic philosophy behind an

optimal stiffness distribution is that there should be a symmetrical arrangement of columns and shear walls in a plan and no discontinuities along the height.

Other building features that must be considered are:

1. The smooth distribution of mass along the height and across the floors, since abrupt mass concentrations cause an undesirable shock-like dynamic response.
2. The use of masonry infill walls or panels, which add to the building frame's stiffness and thus influence the building behavior.
3. Abrupt changes in story heights must be avoided, since this results in the formation of soft stories and/or short columns.

Finally, it is desirable to use raft foundations, or to use connector beams in the case of spread footings, so as to force a diaphragm-type behavior for the foundation. Pile foundations are necessary in the case of soft, saturate soils. Also, it is desirable for the soil subgrade to be as uniform as possible and to avoid designing variable-level foundations. The above considerations help in minimizing relative motions of the foundations and non-uniform earthquake-induced ground motions.

The above key considerations that appear in all seismic design codes are formulated in terms of rules and form the kernel of the knowledge base of PADEX. The classification of a building as adequate or inadequate is based on quantification of the degree to which the building's design satisfies these rules.

## 3. EXAMPLE CONSULTATION SESSION

The design depicted in fig. 3 was checked using PADEX so as to determine its adequacy in sustaining earthquake-induced loads. A possible improved design can be seen in fig. 4. Computer generated screens by PADEX regarding the various subsessions are given in fig.5.

Finally, PADEX can exit into algorithmic-type programs, perform numerical computations and re-enter into the E/S domain, as shown in fig. 1. An example of this capability is the synthetic accelerogram given in fig. 2, where all necessary data have been drawn from the earthquake design code.

## 4. CONCLUSIONS

This work presents a new and more rational approach for evaluating the preliminary design of a multistorey building in terms of acceptable earthquake-resistant behavior. This has been achieved by integrating conventional design code pro-

visions with an expert system to serve as a design aid that allows an engineer to investigate the adequacy of his preliminary design to earthquake-induced loads and to be informed of ways for improving it.

The PADEX expert system is under continuous development through incorporation of more rules from the Greek Antiseismic Code and new outlets to numerical programs are also being established.

---

**G.D. Manolis,**

Professor A.U.TH., Department of Civil Engineering, Division of Structural Engineering, 540 06 Thessaloniki.

**I.E. Avramidis,**

Professor A.U.TH., Department of Civil Engineering, Division of Structural Engineering, 540 06 Thessaloniki.

**A.S. Panagiotou,**

Mathematician, Department of Civil Engineering, Division of Structural Engineering, 540 06 Thessaloniki.