

## ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ (FUZZY LOGIC)

ΜΑΝΤΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ-ΓΕΩΡΓΙΟΣ

### *Περίληψη*

*Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας υφιστάμενων κατασκευών, μέσω του προσδιορισμού του βαθμού βλάβης τους από ενδεχόμενη σεισμική δόνηση με τη μέθοδο της ασαφούς λογικής (FUZZY LOGIC). Επίσης παρουσιάζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία η οποία χωρίζεται σε τέσσερα επίπεδα, ενώ διαδικασίες ασαφούς λογικής λαμβάνουν χώρα σε τρία στάδια. Καθορίζονται οι βασικές έννοιες των ασαφών συστημάτων: οι μεταβλητές, οι συναρτήσεις συμμετοχής, οι κανόνες, η μέθοδος αποσαφήνισης, και το σύστημα είναι έτοιμο για λειτουργία. Στο πρώτο στάδιο, χαρακτηριστικά του κτιρίου βοηθούν στον προσδιορισμό της κανονικότητας και του δείκτη συμπεριφοράς του και τα οποία με τη σειρά τους εισέρχονται στο δεύτερο στάδιο και χρησιμοποιούνται, μαζί με άλλες μεταβλητές για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών παραγόντων που μας δίνουν το βαθμό βλάβης στο τρίτο και τελευταίο στάδιο διαδικασίας ασαφούς λογικής.*

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

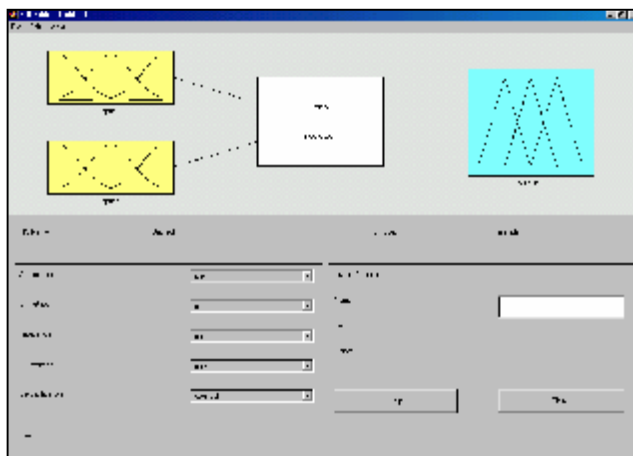
Η ασαφής λογική αποτελεί μια νέα μαθηματική διαδικασία η οποία προσεγγίζει την ανθρώπινη λογική και τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης, χρησιμοποιώντας ασαφείς έννοιες. Αυτό επιτυγχάνεται με την επινόηση των ασαφών συνόλων, οι συναρτήσεις συμμετοχής των οποίων δεν έχουν κατακόρυφα όρια αλλά περιέχουν κεκλιμένα και καμπυλόγραμμα τμήματα. Η διαδικασία εξαγωγής αποτελέσματος ενός ασαφούς συστήματος στηρίζεται στην χρήση ασαφών συμπερασματικών κανόνων, όμοιων με αυτούς που χρησιμοποιεί στον συλλογισμό του ο άνθρωπος [1].

Στην παρούσα εργασία οι μεταβλητές που υπεισέρχονται στον προσδιορισμό του βαθμού βλάβης, έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και του εδάφους. Το κενό της υποκειμενικής κρίσης του εκτιμητή πολιτικού μηχανικού η οποία οδηγεί σε αόριστα συμπεράσματα για τη κατάσταση ενός βλαμμένου κτιρίου έρχεται να καλύψει η προτεινόμενη μεθοδολογία. Σε αυτήν γίνεται ο διαχωρισμός προσδιορισμού των μεταβλητών σε τέσσερα επίπεδα ενώ διαδικασίες ασαφούς λογικής λαμβάνουν χώρα σε τρία στάδια. Συγκεκριμένες μεταβλητές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της κανονικότητας, του δείκτη συμπεριφοράς και του δείκτη φθοράς του κτιρίου και στη συνέχεια αυτές οι δύο μεταβλητές χρησιμοποιούνται ως εισερχόμενες, μαζί με άλλες που σχετίζονται τόσο με το κτίριο όσο και με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, για τον προσδιορισμό τεσσάρων γενικότερων εννοιών που μας δίνουν κάποια γενικότερη εικόνα για το κτίριο υπό μελέτη. Οι έννοιες αυτές είναι: i)Σεισμική επικινδυνότητα, ii)Αντοχή κατασκευής, iii)Κατασκευαστική Μορφή, iv)Κατάσταση Κατασκευής. Τέλος μέσω μιας τελευταίας διαδικασίας ασαφούς λογικής με εισερχόμενες μεταβλητές τις προαναφερθείσες και εξερχόμενη τον βαθμό βλάβης, γίνεται η αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια συνοπτική περιγραφή της μεθόδου της ασαφούς λογικής και της φιλοσοφίας των παραμέτρων που περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα λήψης αποφάσεων. Στο Κεφάλαιο 3 αναπτύσσεται η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτίμησης της σεισμικής ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών. Καθορίζονται οι μεταβλητές, οι συναρτήσεις συμμετοχής, οι κανόνες, η μέθοδος αποσαφήνισης και το σύστημα είναι έτοιμο για λειτουργία. Τέλος στο Κεφάλαιο 4 αναπτύσσονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη χρήση της μεθόδου.

## 2. Η ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

Ένας μαθηματικός τρόπος αναπαράστασης των ασαφών εννοιών ο οποίος θα μπορούσε να γίνει κατανοητός από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, προτείνεται για πρώτη φορά από τον ιρανό επιστήμονα υπολογιστών Lofti Zadeh το 1965 στην εργασία ‘Fuzzy Sets’ (Journal of Information and Control). Ο Zadeh αποκάλυψε την προσέγγισή του αυτή στο πρόβλημα,



Fuzzy Logic (ασαφή λογική). Το καινούργιο που έδωσε η ασαφής λογική είναι ότι ικανοποίησε την ανάγκη για μια μαθηματική διαδικασία που θα πλησίαζε τη λογική του ανθρώπου. Είναι γνωστό ότι η δυαδική λογική είναι εντελώς τεχνητή αφού δεν υπάρχει τίποτα στη φύση, και ιδιαίτερα στην ανθρώπινη φύση, που να είναι απόλυτα αληθές ή απόλυτα ψευδές. Για να εφαρμοστεί η μεθοδολογία χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού FUZZY LOGIC η οποία περιέχεται στο πρόγραμμα MATLAB.

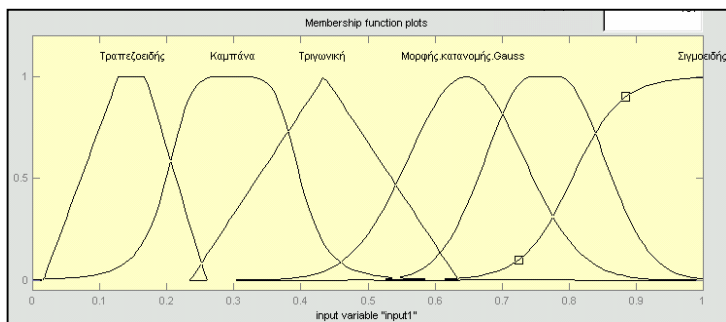
Σχ.1 Επιφάνεια Εργασίας του Fuzzy Logic.

Στο σχήμα 1 φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του προγράμματος, στην οποία γίνονται όλες οι εισαγωγές δεδομένων. Οι βασικές έννοιες της ασαφούς λογικής στις οποίες στηρίζεται η μεθοδολογία είναι: i) Συνάρτηση Συμμετοχής, ii) Έκφραση μεταβλητών με ασαφή σύνολα, iii) Ασαφείς συμπερασματικοί κανόνες, και iv) Μέθοδοι αποσαφήνισης. Παρακάτω αναπτύσσονται οι έννοιες αυτές [1], [9].

Στο σχήμα 1 φαίνεται η επιφάνεια εργα-

### 2.1 Συνάρτηση Συμμετοχής

Σε αντίθεση με την κλασσική θεωρία συνόλων κατά την οποία ένα αντικείμενο είτε ανήκει σ'ένα σύνολο, είτε όχι, χωρίς να υπάρχει μέση κατάσταση, στην θεωρία των ασαφών συνόλων το ποσοστό συμμετοχής ενός αντικειμένου στο κάθε σύνολο καθορίζεται με την συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_A(x)$ , η οποία ορίζεται στο διάστημα  $[0,1]$ . Όσο μικρότερη τιμή



Σχ.2 Διάφορες μορφές συναρτήσεων Συμμετοχής.

ο έμπειρος πολιτικός μηχανικός ή που ορίζεται μέσα σε οδηγίες. Με άλλα λόγια η ακριβής οριοθέτηση τέτοιων εννοιών είναι υποκειμενική και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, δηλαδή είναι ασαφείς έννοιες. Η αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής στα κλασσικά σύνολα (crisp sets) παίρνει μόνο δύο τιμές, μηδέν και ένα. Στο σχήμα 2 φαίνονται οι διάφορες μορφές συναρτήσεων συμμετοχής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγραφθούν οι

έχει το  $\mu$  τόσο λιγότερο ανήκει στο ασαφές σύνολο και αντίστροφα. Για παράδειγμα αν στη μεταβλητή 'ρωγμή' δώσουμε τις διαβαθμίσεις 'μικρή', 'μέτρια', 'μεγάλη', τότε μια τυχαία ρωγμή μπορεί να ανήκει κατά 60% στην κατηγορία 'μέτρια' και 40% στην κατηγορία 'μεγάλη' ανάλογα με τη ποσοτικοποίηση που κάνει

μεταβλητές του συστήματος. Προτιμότερο είναι να χρησιμοποιούνται οι τριγωνικές και οι τραπεζοειδείς, οι οποίες δίνουν αρκετά ακριβή αποτελέσματα [7],[9], [11].

## 2.2 Έκφραση Μεταβλητών με Ασαφή Σύνολα

Σε ένα σύστημα λήψης αποφάσεων ασαφούς λογικής κάθε μεταβλητή περιγράφεται με έναν αριθμό ασαφών συνόλων. Σε μορφή γραφήματος, τα σύνολα αυτά παριστάνονται με τις συναρτήσεις συμμετοχής τους στον x-άξονα, το πεδίο τιμών του οποίου εξυπηρετεί την έκφραση της κάθε μεταβλητής, ενώ στον y-άξονα όλων των γραφημάτων παριστάνεται ο βαθμός συμμετοχής του κάθε συνόλου στο εύρος [0,1]. Τα πεδία τιμών των μεταβλητών μπορεί να είναι αριθμητικά αλλά τις περισσότερες φορές αυτά είναι φραστικά (π.χ μικρή, μέτρια, μεγάλη). Σε αυτή τη περίπτωση επιτυγχάνεται μια σχετική ποσοτικοποίηση των γλωσσολογικών εννοιών. Αν για παράδειγμα ορίσουμε τη μεταβλητή 'ρωγμές' σε ένα σύνολο [0,1], η τιμή 0 αντιστοιχεί σε καθόλου ρωγμές ενώ η 1 σε πολύ μεγάλες ρωγμές, [7], [9], [10], [11].

## 2.3 Ασαφείς Συμπερασματικοί Κανόνες (“if-then” rules)

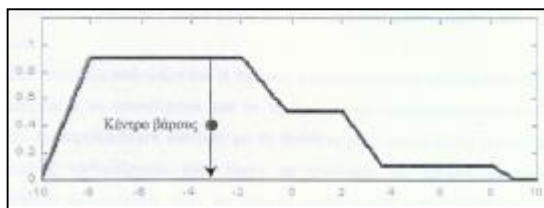
Η ασαφής λογική, ως τεχνική λήψης απόφασης, χρησιμοποιεί κανόνες συμπερασματολογίας όμοιους με αυτούς που χρησιμοποιούνται από ανθρώπους στην καθημερινή τους ζωή. Οι κανόνες αυτοί, των οποίων ο σκοπός είναι να ομοιάσουν στον ανθρώπινο συλλογισμό είναι της βασικής μορφής “if-then” , δηλαδή:

**Εάν** (if) το σέρβις είναι καλό και (and) το φαγητό νόστιμο, **τότε** (then) το φιλοδώρημα είναι μεγάλο.

Το “service” και το “φαγητό” ορίζονται σαν εισοδοί ή εισερχόμενα στοιχεία ενώ το “φιλοδώρημα” σαν έξοδος ή εξερχόμενο στοιχείο. Πρέπει να τονιστεί ότι ο αριθμός των εισερχόμενων και εξερχόμενων μεταβλητών είναι συνήθως μεγαλύτερος ανάλογα με τις ανάγκες του υπό επεξεργασία προβλήματος. Οι παραπάνω εκφράσεις είναι γνωστοί στη βιβλιογραφία σαν ασαφείς κανόνες ή ασαφείς κανόνες ελέγχου. Οι κανόνες καθορίζονται έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να μετατρέψει οποιαδήποτε εισερχόμενη τιμή σε κάποιο αποτέλεσμα, καλύπτοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς δεδομένων-αποτελεσμάτων. Έτσι παρέχεται μια μέθοδος εξαγωγής συμπερασμάτων από ανακριβή ή ασαφή δεδομένα [7], [9].

## 2.4 Μέθοδοι Αποσαφήνισης

Τα συστήματα ασαφούς λογικής έχουν σαν αποτέλεσμα ασαφή σύνολα. Το σαφές αποτέλεσμα που επιζητείται προκειμένου να είναι κατανοήσιμο και χρήσιμο στο χρήστη του προγράμματος, επιβάλλει την εφαρμογή κάποιας διαδικασίας ‘αποσαφήνισης’ κατά την οποία η ασαφής καμπύλη που προέκυψε μετατρέπεται σε μια και μόνη αριθμητική τιμή. Κάποιες από αυτές τις μεθόδους είναι: i) Μέθοδος μέγιστης συμμετοχής (σημείο με τη μέγιστη συμμετοχή), ii) Μέθοδος κεντροειδούς (σημείο κέντρου βάρους της συνολικής συνάρτησης συμμετοχής), σχ.3, iii) Μέθοδος μέσης τιμής με βαρύτητα. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί στην προτεινόμενη μεθοδολογία είναι η δεύτερη αφού είναι η πιο πολυχρησιμοποιημένη και η καλύτερη από φυσική άποψη [7], [9].



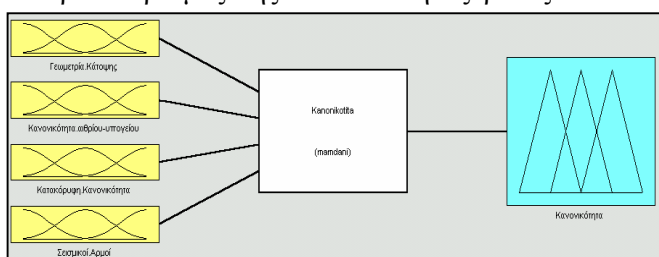
Σχ.3 Μέθοδος προσδιορισμού κέντρου βάρους.

### 3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός βλάβης μιας κατασκευής εκτελούνται διαδικασίες ασαφούς λογικής σε τρία στάδια. Χρησιμοποιούνται στο τελικό στάδιο γενικότερες έννοιες όπως ‘Σεισμική Επικινδυνότητα’, ‘Αντοχή Κατασκευής’, ‘Κατασκευαστική Μορφή’ και ‘Κατάσταση Κατασκευής’. Για τον προσδιορισμό όμως των μεταβλητών αυτών, απαιτούνται τόσο χαρακτηριστικά του κτιρίου όσο και του εδάφους. Τρία από αυτά όμως, η κανονικότητα, ο δείκτης συμπεριφοράς  $q$  και ο δείκτης φθοράς αποτελούν από μόνοι τους παράγοντες οι οποίοι εξαρτώνται από πιο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Προηγείται λοιπόν ένα στάδιο επεξεργασίας των μεταβλητών αυτών, εφαρμόζοντας ένα σύστημα ασαφούς λογικής [2], [9].

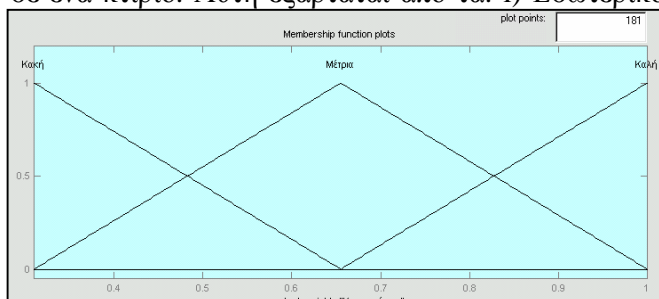
#### 3.1 Προσδιορισμός Κανονικότητας

Ο προσδιορισμός της κανονικότητας βασίζεται σε εννιά μεταβλητές, οι οποίες ομαδοποιούνται μεταξύ τους για την ταχύτερη επεξεργασία από το πρόγραμμα.



Σχ.4 Στάδιο προσδιορισμού κανονικότητας.

σε ένα κτίριο. Αυτή εξαρτάται από τα: i) Εσωτερικό



Σχ.5 Μεταβλητή ‘Κανονικότητα’-Ασαφή Σύνολα.

τοιχωμάτων στο ισόγειο της οικοδομής. Έπειτα αυτές οι τρεις μεταβλητές χρησιμοποιούνται ως εισερχόμενες, μαζί με την μεταβλητή ‘Σεισμικοί Αρμοί’ (η οποία εκφράζει την ύπαρξη τους ή όχι), σε ένα σύστημα ασαφούς λογικής και προσδιορίζεται έτσι η κανονικότητα. Στα σχήματα 4 και 5 φαίνεται διαγραμματικά η πορεία προσδιορισμού της κανονικότητας και οι συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε διαβάθμιση της μεταβλητής αυτής, [4].

ούνται μεταξύ τους για την ταχύτερη επεξεργασία από το πρόγραμμα. Αρχικά προσδιορίζουμε τη γεωμετρία της κάτοψης με τη βοήθεια των μεταβλητών: i) Συμμετρία Κάτοψης, ii) Επίμηκες της Κάτοψης, iii) Στένωση της Κάτοψης. Έπειτα η επόμενη μεταβλητή μας δείχνει την

επίδραση των αίθριων και του υπογείου Αίθριο, ii) Εκκεντρότητα αίθριου, iii) Ύπαρξη Υπογείου και iv) Εκκεντρότητα μεταξύ κέντρου βάρους και κέντρου δυσκαμψίας ορόφου σε κάτοψη. Έπειτα υπολογίζουμε τη μεταβλητή ‘Κατακόρυφη Κανονικότητα’ η οποία εξαρτάται από: i) Κανονικότητα καθ’ ύψος, δηλαδή την υψομετρική διαφορά μεταξύ των ορόφων) και την ii) Ασυνέχεια των

#### 3.2 Προσδιορισμός Δείκτη Συμπεριφοράς $q$

Ο προσδιορισμός του δείκτη συμπεριφοράς  $q$  είναι δυνατόν να γίνει με έναν εμπειρικό και με έναν πιο λεπτομερή τρόπο, ανάλογα με τα στοιχεία που διαθέτουμε. Και οι δύο τρόποι έχουν αναπτυχθεί σε δύο ανεξάρτητες μεταξύ τους διαδικασίες ασαφούς λογικής, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσφέροντας τον αντίστοιχο βαθμό ακρίβειας [5], [6].

##### 3.2.1 Ακριβής Υπολογισμός του δείκτη $q$

Στη περίπτωση που διαθέτουμε λεπτομερή χαρακτηριστικά του κτιρίου μπορούμε να προσδιορίσουμε την εξερχόμενη αυτή μεταβλητή, σε ένα στάδιο ασαφούς λογικής, με βάση

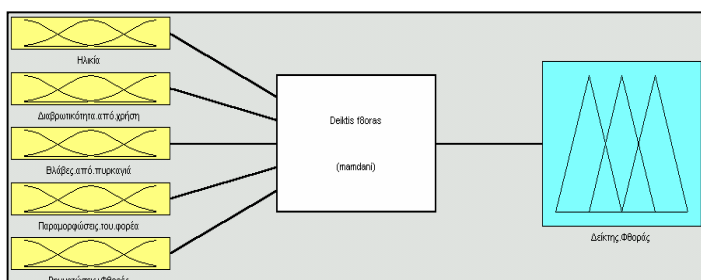
τις εισερχόμενες μεταβλητές: i) Πλαστιμότητα υποστυλωμάτων, ii) Ικανοτικές απαιτήσεις (λόγους ροπών και τεμνουσών), iii) Κανονικότητα (Δίνοντας τις γενικές περιπτώσεις ‘κακή’, ‘μέτρια’, ‘καλή’) iv) Υπεραντοχές της κατασκευής.

### 3.2.2 Εμπειρικός Υπολογισμός του δείκτη q

Ελλείψει ακριβών υπολογισμών του κτιρίου καταφεύγουμε στον εμπειρικό προσδιορισμό της εξερχόμενης αυτής μεταβλητής, πάλι με ένα στάδιο ασαφούς λογικής, βασιζόμενοι στα εισερχόμενα στοιχεία: i) Επίδραση των τοιχοπληρώσεων (ευμενής, δυσμενής) και ii) Ηλικία της κατασκευής, η οποία φανερώνει τον κανονισμό που έχει χρησιμοποιηθεί και κατά συνέπεια και την τιμή του q που έχει υποτεθεί.

### 3.3 Προσδιορισμός Δείκτη Φθοράς

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται στο επόμενο επίπεδο από μόνος του για τον προσδιορισμό της ‘Κατάστασης Κατασκευής’.



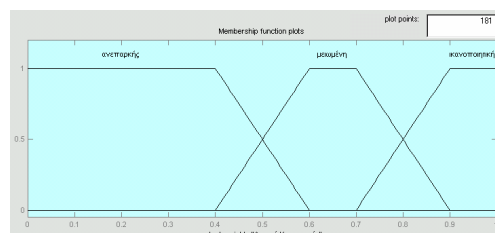
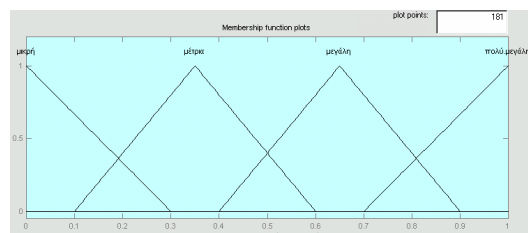
Οι εισερχόμενες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να τον υπολογίσουμε είναι: i) Ηλικία κατασκευής, ii) Διαβρωτικότητα που προκύπτει από τη χρήση, iii) Τυχόν βλάβες από πυρκαγιά, iv) Παραμορφώσεις του φορέα, v) Ρηγματώσεις και φθορές. Το σχ.6 δείχνει διαγραμματικά τις ει-

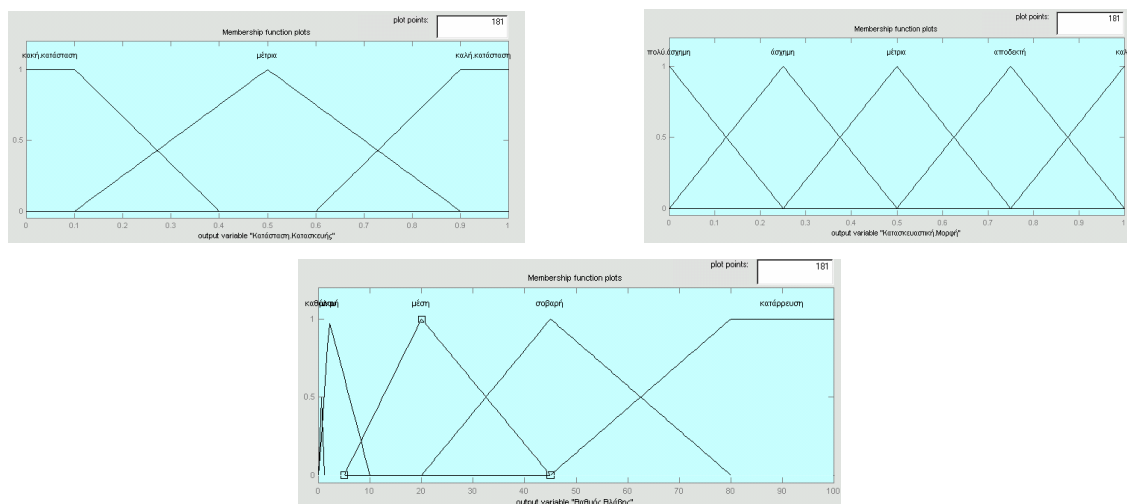
Σχ.6 Διάγραμμα προσδιορισμού δείκτη φθοράς. Εισερχόμενες και την εξερχόμενη μεταβλητή [4].

### 3.4 Γενίκευση του Συστήματος

Έχοντας πλέον υπολογίσει αυτές τις τρεις μεταβλητές, ακολουθεί το επόμενο στάδιο στο οποίο ως εισερχόμενες μεταβλητές χρησιμοποιούνται: i) Εδαφική Κίνηση, ii) Χαρακτηριστικά εδάφους, iii) Κανονικότητα, iv) Δείκτης Συμπεριφοράς, v) Ύψος Υποστυλωμάτων (ύπαρξη ή όχι κοντών υποστυλωμάτων), vi) Δείκτης φθοράς και vii) Συντήρηση κατασκευής. Από τις μεταβλητές αυτές, οι (i), (ii) χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί η ‘Σεισμική Επικινδυνότητα’, οι (iii), (iv), (v), (vi) για την ‘Αντοχή Κατασκευής’, οι (iii), (v) για την ‘Κατασκευαστική Μορφή’ και τέλος οι (vi), (vii) για την ‘Κατάσταση της κατασκευής’, βλ. σχ.7, [2], [3], [8].

Τέλος για τον προσδιορισμό του βαθμού βλάβης, αυτές οι τέσσερις μεταβλητές χρησιμοποιούνται ως εισερχόμενες και εφαρμόζεται το τελευταίο στάδιο ασαφούς λογικής.





Σχ. 7 Συναρτήσεις συμμετοχής των μεταβλητών ‘Σεισμική Επικινδυνότητα’, ‘Κατασκευαστική Μορφή’, ‘Αντοχή Κατασκευής’, ‘Κατάσταση Κατασκευής’ και ‘Βαθμός Βλάβης’.

#### 4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Για να γίνει η παραπάνω μεθοδολογία κατανοητή, γίνεται ένα παράδειγμα ενός παλαιού κτιρίου. Ο προσδιορισμός για κάθε εισερχόμενη παράμετρο περιλαμβάνει την εκτίμηση μιας τιμής περιγραφής της.

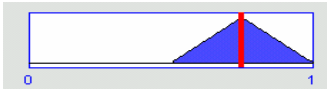


Παρατηρήθηκε ένας φέροντας οργανισμός σχετικά συμμετρικός και ορθογωνίου σχήματος κάτοψης έχοντας χαρακτηριστικά μορφής Γ. Ήταν αρκετά μακρόστενη ενώ η στένωση περιοριζόταν στο άκρο. Στο κέντρο, υπήρχε εσωτερικό αίθριο διαστάσεων ενός κανονικού δωματίου, ενώ το υπόγειο περιοριζόταν κάτω από το χώρο της κουζίνας. Από τα σχέδια θα μπορούσε να παρατηρήσει κανείς, ότι η εκκεντρότητα του κέντρου βάρους της κατασκευής ήταν γύρω στο 20% του αθροίσματος των πλευρών της κάτοψης. Ο όροφος του σπιτιού έχει το ίδιο ύψος με το ισόγειο ενώ τα τοιχώματα συνεχίζονται καθ’όλο το ύψος του κτίσματος ενώ δεν υπάρχουν σεισμικοί αρμοί. Το κτίριο χρονολογείται από το 1960. Δεν χρησιμοποιούνται σε αυτό χημικές διαβρωτικές ουσίες και δεν έχει βλάβες από πυρκαγιά, έχει όμως αναπτύξει πολύ μικρή κλίση ως προς την κατακόρυφο. Τέλος οι επικαλύψεις και οι επιστρώσεις παρουσιάζουν εμφανή σημεία φθοράς που δεν φθάνουν όμως μέχρι τον οπλισμό, γεγονός που οφείλεται στην έλλειψη συντήρησης. Η πλαστιμότητα των υποστυλωμάτων είναι σχετικά μικρή, ενώ το κτίριο δεν ικανοποιεί τις ικανοτικές απαιτήσεις. Το κτίσμα βρίσκεται στον Πύργο Ηλείας, δηλαδή στα σύνορα των Ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας III και IV. Το έδαφος είναι κατηγορίας Γ.

Παρακάτω ακολουθούν οι τιμές που δίνουμε σε κάθε μεταβλητή καθώς και τα αποτελέσματα των διαδικασιών ασαφούς λογικής με τα διαγράμματα της αποσαφήνισης με την μέθοδο του κεντροειδούς, όπως αναπτύχθηκε παραπάνω.

#### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑΣ

|                                 |      | Γεωμετρία Κάτοψης |  |
|---------------------------------|------|-------------------|--|
| Συμμετρία Κάτοψης               | 0,94 | 0,839             |  |
| Επίμηκες Κάτοψης                | 0,91 |                   |  |
| Στένωση Κάτοψης                 | 0,98 |                   |  |
| Κανονικότητα αίθριου - υπογείου |      |                   |  |

|   |       |  |
|---|-------|--|
| Εσωτερικό Αίθριο                            | 0,97  |  |
| Εκκεντρότητα Αίθριου                        | 1     |  |
| Εκκεντρότητα κ.β.-κέντρου δυσκαμψίας ορόφου | 0,94  |  |
| Ύπαρξη Υπογείου                             | 1,02  |  |
| <b>Κατακόρυφη Κανονικότητα</b>              |       |  |
| Κανονικότητα καθ' ύψος                      | 0,91  |  |
| Ασυνέχεια τοιχωμάτων στο ισόγειο            | 1     |  |
| <b>ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ</b>                         |       |  |
| Γεωμετρία Κάτοψης                           | 0,839 |  |
| Κανονικότητα αίθριου - υπογείου             | 0,836 |  |
| Κατακόρυφη Κανονικότητα                     | 0,906 |  |
| Σεισμικοί Αρμοί                             | 0,98  |  |
| <b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΦΘΟΡΑΣ</b>          |       |  |
| <b>ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ</b>                       |       |  |
| Ηλικία                                      | 0,8   |  |
| Διαβρωτικότητα από χρήση                    | 1     |  |
| Βλάβες από πυρκαγιά                         | 0,8   |  |
| Παραμορφώσεις του φορέα                     | 0,74  |  |
| Ρηγματώσεις και φθορές                      | 0,89  |  |
| <b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ q</b>  |       |  |
| <b>ΔΕΙΚΤΗΣ q</b>                            |       |  |
| Πλαστιμότητα                                | 120   |  |
| Ικανοτικές απαιτήσεις ροπών                 | 80    |  |
| Ικανοτικές απαιτήσεις τεμνουσών             | 50    |  |
| Κανονικότητα                                | 110   |  |
| Υπεραντοχές                                 | 50    |  |
| <b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΒΛΑΒΗΣ</b>          |       |  |
| <b>Σεισμική Επικινδυνότητα</b>              |       |  |
| Εδαφική Κίνηση                              | 0,8   |  |
| Εδαφικά Χαρακτηριστικά                      | 4,5   |  |
| <b>Αντοχή Κατασκευής</b>                    |       |  |
| Κανονικότητα                                | 0,656 |  |
| Δείκτης Συμπεριφοράς q                      | 1,5   |  |
| Ύψος υποστλωμάτων                           | 0,3   |  |
| Δείκτης Φθοράς                              | 0,466 |  |
| <b>Κατασκευαστική Μορφή</b>                 |       |  |

|  |              |   |
|--|--------------|---|
| Ύψος Υποστλωμάτων<br>Κανονικότητα      | 0,3<br>0,656 | 0,75<br>  |
| Δείκτης Φθοράς<br>Συντήρηση Κατασκευής | 0,466<br>1   | 0,219<br> |
| <b>ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ</b>                   |              |   |
|  |              | 65,9%<br> |

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η κατάστρωση μεθοδολογίας για την αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας κατασκευών, βασισμένη στην ασαφή λογική, στην οποία και έγινε μια σύντομη αναφορά. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ασαφής λογική μπορεί να έχει πολλές εφαρμογές στον τομέα του πολιτικού μηχανικού, διότι έχει την ικανότητα να προσεγγίζει την ανθρώπινη λογική και κρίση.

Η μεθοδολογία συμπεριφέρεται αρκετά καλά, δίνοντας ορθά αποτελέσματα σε υπάρχοντα κτίρια, των οποίων ο βαθμός βλάβης είναι γνωστός εκ των προτέρων, αν και δεν έχει γίνει ρύθμιση των παραμέτρων της. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με εφαρμογή της μεθοδολογίας σε πλήθος κτισμάτων και σύγκριση των αποτελεσμάτων ώστε να εκμηδενιστεί η απόκλιση πραγματικών και υπολογισμένων αριθμητικών δεδομένων.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Ασαφής Λογική**, Νικόλαος Αμπαζής, σελ. 24-30.
2. **Σεισμική Αποτίμηση των Κατασκευών**, Α. Κάππος, ΚΤΙΡΙΟ, Τεύχος 132, 2001.
3. **Αποτίμηση Ικανότητας Υφιστάμενων Κατασκευών με βάση την Ασαφή Λογική**, Α. Λαμπαδάρης, Μ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Πατρών, 2002.
4. **Αποτίμηση Σεισμικών βλαβών**, Επισκευές και Ενισχύσεις Κτιρίων Ο.Σ., Διδακτικό Βοήθημα Ε.Α.Π., σελ. 89-101, 2002.
5. **Αδημοσίευτο Κείμενο**, Μ.Χρονόπουλος.
6. **Αδημοσίευτο Κείμενο**, Θ. Τάσιος.
7. **Fuzzy Logic toolbox - a tutorial**, The Mathworks, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), 2002.
8. **Earthquake Damage Assessment Based on Fuzzy Logic and Neural Networks**, Mauricio Sanchez-Silva and Libardo G., Earthquake Spectra, Vol.17, No.1, pp.89-112, 2001.
9. **Fuzzy Logic Control of Bridge Structures using Intelligent Semi-Active Seismic Isolation Systems**, Michael D. Symans and Steven W. Kelly, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol 28, pp. 37-60, 1999.
10. **Concrete bridge deterioration diagnosis using fuzzy inference system**, Z. Zhao, C. Chen, Advances in Engineering Software, Vol.32, pp. 317-325, 2000.
11. **Fuzzy information processing in seismic hazard analysis and decision making**, W. M. Dong, et al., Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.6, No4, pp.220-226, 1987.