



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Αξιολόγηση Σεισμικής Τρωτότητας Υφιστάμενων Κτιρίων Αξιοποιώντας
Μεθόδους Πολυκριτηρίας Ανάλυσης.**

Συγγραφέας:
Αγγελική Πατούχα
ΑΜ: 18394148

Επιβλέποντες:
Ισαάκ Βρυζίδης, Επίκουρος Καθηγητής ΠΑΔΑ
Κωνσταντίνος Ρεπαπής, Καθηγητής ΠΑΔΑ

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Diploma Thesis

**Evaluation of Seismic Vulnerability of Existing Buildings utilizing Multi criteria
Analysis Methods.**

Author:

Angeliki Patoucha

Registration Number: 18394148

Supervisors:

Isaak Vryzidis, Assistant Professor, University of West Attica

Constantinos Repapis, Professor, University of West Attica

Athens, October 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΙΣΑΑΚ ΒΡΥΖΙΔΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής (Επιβλέπων)	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ, Καθηγητής (Επιβλέπων)	ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ, Καθηγητής (Εξεταστής)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αγγελική Πατούχα του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 18394148 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Η Δηλούσα
Αγγελική Πατούχα



Περίληψη

Η σεισμική τρωτότητα των υφιστάμενων κτιρίων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα τόσο για την πολιτεία όσο και για τους πολιτικούς μηχανικούς, καθώς συνδέεται άμεσα με την ασφάλεια των πολιτών και τη βιωσιμότητα των κατασκευών σε σειсмоγενείς περιοχές. Με δεδομένο ότι πολλές κατασκευές έχουν ανεγερθεί πριν από τη θέσπιση των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών, η αξιολόγηση της σεισμικής τους συμπεριφοράς είναι απαραίτητη. Ένα από τα βασικά θέματα που προκύπτουν αφορά την ανάγκη ενίσχυσης ή αναβάθμισής των κτιρίων αυτών. Αυτή η ανάγκη γίνεται πιο επιτακτική σε περιοχές με αυξημένη σεισμική δραστηριότητα, όπου η πολιτεία και οι μηχανικοί καλούνται να διασφαλίσουν ότι τα κτίρια είναι ανθεκτικά και ασφαλή σε μελλοντικούς σεισμούς.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγινε αρχικά βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθοδολογιών πολυκριτηριακής ανάλυσης και η αξιοποίηση τους σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού. Το αποτέλεσμα αυτής έδειξε την εφαρμογή πληθώρας μεθόδων σε σημαντικό αριθμό δομοστατικών, γεωτεχνικών, υδραυλικών και συγκοινωνιακών έργων.

Στην συνέχεια, αξιολογήθηκε η σεισμική τρωτότητα πέντε υφιστάμενων κτιρίων, με την εφαρμογή πρωτοβάθμιου ελέγχου σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνει ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). Ο πρωτοβάθμιος έλεγχος αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την ταχεία εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας των κτιρίων, επιτρέποντας τη βαθμολόγησή τους και την ένταξή τους σε κατηγορίες σεισμικού κινδύνου. Αυτή η διαδικασία αποσκοπεί στο να αναδείξει ποια κτίρια χρειάζονται άμεση ενίσχυση ή αναβάθμιση, ώστε να βελτιωθεί η αντισεισμική τους ικανότητα.

Επιπρόσθετα στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αξιοποίηση μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης για την αξιολόγηση κτιρίων μεταξύ τους ως προς την σεισμική τρωτότητα. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση των μεθόδων WAP (Weighted Aggregated Product) και PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), οι οποίες συνδυάστηκαν για την αξιολόγηση των πέντε κτιρίων που εξετάστηκαν, ενώ τον ρόλο του αποφασίζοντα έπαιξε ένας ειδικός μηχανικός αντισεισμικού σχεδιασμού.

Τα αποτελέσματα από τις δύο μεθόδους αξιολογήθηκαν και συγκρίθηκαν, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για την αξία της πολυκριτηριακής ανάλυσης στο συγκεκριμένο πρόβλημα.

Abstract

The seismic vulnerability of existing buildings is a critical issue for both the state and civil engineers, as it is directly related to the safety of citizens and the sustainability of structures in earthquake-prone areas. Given that many buildings were constructed before the establishment of modern seismic regulations, evaluating their seismic behavior is essential. One of the main issues that arise is the need to strengthen or upgrade these buildings. This need becomes more urgent in areas with increased seismic activity, where the state and engineers must ensure that buildings are resilient and safe in future earthquakes.

In this thesis, a literature review was initially conducted on multi-criteria analysis methodologies and their application to civil engineering problems. The outcome indicated the implementation of various methods in a significant number of structural, geotechnical, hydraulic, and transportation projects.

Subsequently, the seismic vulnerability of five existing buildings was assessed using a primary inspection according to the methodology recommended by the Earthquake Planning and Protection Organization. The primary inspection serves as an important tool for the rapid assessment of the seismic vulnerability of buildings, allowing their grading and categorization into seismic risk levels. This process aims to identify which buildings require immediate strengthening or upgrading to improve their seismic performance.

Additionally, this study explored the utilization of multi-criteria analysis methods for evaluating buildings against each other in terms of seismic vulnerability. Specifically, the WAP (Weighted Aggregated Product) and PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) methods were employed and combined to assess the five buildings under examination, with the decision-making role undertaken by an expert in seismic design.

The results from both methods were evaluated and compared, providing valuable insights into the significance of multi-criteria analysis for this particular issue.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Σχημάτων.....	9
Αλφαβητικό Ευρετήριο	10
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή	11
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Πολύ-κριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων σε Προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού.....	13
2.1 Μεθοδολογία της πολύ-κριτήριας ανάλυσης	13
2.2 Εφαρμογές σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού	16
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Αξιολόγηση Σεισμικής Τρωτότητας Υφιστάμενων Κτιρίων.....	20
3.1 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος.....	20
3.2 Η Ελληνική μέθοδος του ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ.....	22
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Αξιολόγηση Κτιρίων με την Μέθοδο του Πρωτοβάθμιου Ελέγχου του ΟΑΣΠ. 24	
4.1 Γενικά Στοιχεία.....	24
4.1.1 Κτίριο 1 ^ο	24
4.1.2 Κτίριο 2 ^ο	30
4.1.3 Κτίριο 3 ^ο	34
4.1.4 Κτίριο 4 ^ο	38
4.1.5 Κτίριο 5 ^ο	42
4.2 Δομική Βαθμολογία Κτιρίων.....	47
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Κατάταξη Εναλλακτικών ως προς την Σεισμική Τρωτότητα με Μεθόδους Πολυκριτήριας Ανάλυσης.....	52
5.1 Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	52
5.1.1 Weight Assessment through Prioritizations (WAP)	52
5.1.2 PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)..	55
5.2 Αξιολόγηση Εναλλακτικών.....	59
5.2.1 Δομή του Προβλήματος.....	59
5.2.2 Προσδιορισμός σχετικής σημαντικότητας κριτηρίων με την μέθοδο WAP.	63
5.2.3 Αξιολόγηση Εναλλακτικών με Εφαρμογή της Μεθόδου PROMETHEE II.	65
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	69
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....	71

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Εφαρμογή των μεθόδων στον δομοστατικό τομέα και τον βιώσιμο σχεδιασμό.	18
Πίνακας 2.2: Εφαρμογή των μεθόδων στον υδραυλικό και συγκοινωνιακό τομέα.	19
Πίνακας 2.3: Εφαρμογή μεθόδων στον ενεργειακό τομέα.....	19
Πίνακας 4.1: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Α.	27
Πίνακας 4.2 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.	27
Πίνακας 4.3 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.	28
Πίνακας 4.4 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.	28
Πίνακας 4.5 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.	28
Πίνακας 4.7 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.	32
Πίνακας 4.8 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.	32
Πίνακας 4.9 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.	33
Πίνακας 4.10 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου – Ενότητα Ε.....	33
Πίνακας 4.12 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.....	36
Πίνακας 4.13 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.	36
Πίνακας 4.14 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.	37
Πίνακας 4.15 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.	37
Πίνακας 4.16 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Α.....	39
Πίνακας 4.17 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.....	39
Πίνακας 4.18 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.	40
Πίνακας 4.19 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.	40
Πίνακας 4.20 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.	40
Πίνακας 4.22: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.	44
Πίνακας 4.23 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.	44
Πίνακας 4.24 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.	45
Πίνακας 4.25 : Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.	45
Πίνακας 4.26: Πίνακας Αρχικής Γενικής Δομικής Βαθμολογίας.....	47
Πίνακας 4.27 : Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 1.....	48

Πίνακας 4.28 : Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 2.....	48
Πίνακας 4.29 : Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 3.....	49
Πίνακας 4.30 : Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 4.....	49
Πίνακας 4.31 : Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 5.....	50
Πίνακας 4.32 : Κατάταξη κτιρίων.	51
Πίνακας 4.33 : Τελική κατάταξη κτιρίων σύμφωνα με την δομική βαθμολογία τους.	51
Πίνακας 5.1 : Κριτήρια αξιολόγησης τρωτότητας κτιρίων.	59
Πίνακας 5.2: Δομικός τύπος κτιρίων για οπλισμένο σκυρόδεμα.....	62
Πίνακας 5.3: Δεδομένα προβλήματος - Πολυκριτηριακός Πίνακας.	62
Πίνακας 5.4: Αποστάσεις μεταξύ εναλλακτικών.	65
Πίνακας 5.5: Πίνακας συνάρτησης προτίμησης.	67
Πίνακας 5.6: Σταθμισμένος Δείκτης προτίμησης.	67
Πίνακας 5.7: Ροές Υπεροχής.	68
Πίνακας 5.8: Τελική κατάταξη εναλλακτικών.	68

.....

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Περιγραφή Σταδίων Λήψης Αποφάσεων (Roy, 1895).....	14
Σχήμα 2.2: Ιεραρχική δομή των μεθόδων MCDM (Aruldoss κ.ά., 2013).	16
Σχήμα 3.1 : Εξέλιξη του αριθμού των σεισμών (M5+) παγκοσμίως από το 2000 έως το 2023.(<i>Number of Earthquakes Globally 2000-2023</i>)	21
Σχήμα 3.2 : Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας κατά (Ε.Α.Κ, 2000).	23
Σχήμα 4.2 : Όψη Α.....	25
Σχήμα 4.3 : Όψη Β.....	25
Σχήμα 4.4 : Κάτοψη τυπικού ορόφου.....	26
Σχήμα 4.5 : Πρόσοψη.....	26
Σχήμα 4.6 : Κρούση με γειτονικά κτίρια.....	29
Σχήμα 4.7 : Μη οριζόντια κανονικότητα.....	30
Σχήμα 4.8 : Όψη.....	30

Σχήμα 4.9 : Πρόσοψη.....	30
Σχήμα 4.10 : Κάτοψη τυπικού ορόφου.....	31
Σχήμα 4.11: Πρόσοψη.....	34
Σχήμα 4.12 : Όψη.....	34
Σχήμα 4.13 : Κάτοψη τυπικού ορόφου.....	35
Σχήμα 4.14 : Πρόσοψη.....	38
Σχήμα 4.15 : Κάτοψη τυπικού ορόφου.....	38
Σχήμα 4.16 : Κρούση γειτονικών κτιρίων.....	41
Σχήμα 4.17 : Εσοχές Α,Β και Γ.....	41
Σχήμα 4.18 : Πρόσοψη.....	42
Σχήμα 4.19 : Όψη.....	42
Σχήμα 4.20 : Κάτοψη τυπικού ορόφου.....	43
Σχήμα 4.21 : Εσοχές.....	46
Σχήμα 5.1: Κατάταξη προτεραιοτήτων.....	63
Σχήμα 5.2: Αξιολόγηση των Z_{min} και Z_{max} μεταξύ της 1 ^{ης} και της 2 ^{ης} κλάσης.....	64
Σχήμα 5.3: Αποτελέσματα για την σχετική σημασία των κριτηρίων του λογισμικού της μεθόδου WAP.	64
Σχήμα 5.4: Κοινό κριτήριο (Usual Criterion).....	66
Σχήμα 5.5: Κριτήριο V- Καμπύλης (V-shape).....	66

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας των κτιρίων απασχολεί ολοένα και περισσότερο τόσο την πολιτεία όσο και την επιστημονική κοινότητα. Η ασφάλεια των πολιτών και η διασφάλιση της βιωσιμότητας των δομικών κατασκευών σε σειсмоγενείς περιοχές αποτελεί προτεραιότητα για την κρατική διοίκηση, ενώ παράλληλα οι ερευνητές και οι πολιτικοί μηχανικοί καλούνται να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν αποτελεσματικές μεθόδους αξιολόγησης της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων. Ενδεικτικό της σημασίας των παραπάνω είναι ότι, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία πρόσφατης έρευνας, μόνο το 2021 καταγράφηκαν παγκοσμίως 2.206 σεισμοί με μέγεθος πέντε Ρίχτερ ή περισσότερο. Όπως αναφέρει η Ευρωπαϊκή Ένωση Αντισεισμικών Μηχανικών (ΕΑΕΕ), «οι σύγχρονες τεχνικές αξιολόγησης και ενίσχυσης κτιρίων αποτελούν βασικό εργαλείο για την αποτροπή καταστροφών από σεισμούς, ιδίως σε παλαιότερες κατασκευές που δεν ακολουθούν τους νεότερους κανονισμούς».

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην αξιολόγηση πέντε υφιστάμενων κτιρίων, με την εφαρμογή του πρωτοβάθμιου ελέγχου σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνει ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). Η μεθοδολογία που ακολουθεί ο ΟΑΣΠ για τη σεισμική αξιολόγηση κτιρίων αποτελείται από δύο βασικά στάδια: τον πρωτοβάθμιο και τον δευτεροβάθμιο έλεγχο. Ο πρωτοβάθμιος έλεγχος είναι μια γρήγορη και οικονομική διαδικασία αξιολόγησης που στοχεύει στον αρχικό εντοπισμό κτιρίων με αυξημένη σεισμική τρωτότητα, βασιζόμενος σε πληροφορίες όπως το έτος κατασκευής, η μελέτη κατασκευής, η γεωμορφολογία της περιοχής κ.α. Αν κριθεί αναγκαίο, ακολουθεί ο δευτεροβάθμιος έλεγχος, ο οποίος περιλαμβάνει πιο λεπτομερείς αναλύσεις, όπως μηχανικές δοκιμές και στατικές μελέτες. Στόχος του είναι η ακριβέστερη εκτίμηση της αντοχής του κτιρίου και η πρόταση ενισχυτικών μέτρων ή παρεμβάσεων.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων και την κατάταξη των εναλλακτικών όταν εμπλέκονται πολλαπλά και συχνά αντικρουόμενα κριτήρια. Στην συγκεκριμένα εργασία, αξιοποιήθηκαν οι μέθοδοι WAP και PROMETHEE για την σύγκριση κτιρίων ως προς την σεισμική τρωτότητα. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την ενσωμάτωση διαφόρων παραγόντων, όπως η κατασκευαστική ποιότητα, η ηλικία των κτιρίων, η γεωλογική θέση και οι προβλεπόμενοι σεισμικοί κίνδυνοι, προσφέροντας έναν διαφορετικό τρόπο αξιολόγησης.

Η δομή της εργασίας διαμορφώνεται ως εξής:

Στο 2^ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η πολύ-κριτήρια ανάλυση αποφάσεων και η εφαρμογή της σε προβλήματα πολιτικού μηχανικού, αναλύεται η μεθοδολογία και οι βασικές εφαρμογές της στον τομέα των δομικών έργων μέσα από βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Το 3^ο κεφάλαιο εστιάζει στην αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας, με ιδιαίτερη αναφορά στον πρωτοβάθμιο προσεισμικό έλεγχο και τη μέθοδο που προτείνει ο ΟΑΣΠ, αναλύοντας όλες τις ενότητες του προσεισμικού δελτίου.

Στο 4^ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η αξιολόγηση των πέντε κτιρίων με τη μέθοδο του πρωτοβάθμιου ελέγχου με συμπλήρωση των δελτίων για τα πέντε κτίρια, περιλαμβάνονται επίσης γενικά στοιχεία για την δομική βαθμολογία καθώς και η τελική βαθμολογία των κτιρίων για το αν χρήζουν περαιτέρω έλεγχο .

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται κατάταξη των κτιρίων με τη χρήση μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, αναλύονται οι μέθοδοι WAP και PROMETHEE, έπειτα αναλύεται η δομή του προβλήματος και πως προκύπτει η βαθμολογία για κάθε κριτήριο σύμφωνα με την γενική μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων, στη συνέχεια εξετάζεται ο προσδιορισμός του βάρους των κριτηρίων με την μέθοδο WAP και τέλος προκύπτει η τελική κατάταξη σύμφωνα με την επίλυση της PROMETHEE.

Στο 6^ο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των μεθόδων καθώς και προτάσεις για μελλοντικές έρευνες σχετικά με την σεισμική αξιολόγηση και την ανάγκη για αναλύσεις σε μεγαλύτερη κλίμακα για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Πολύ-κριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων σε Προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού

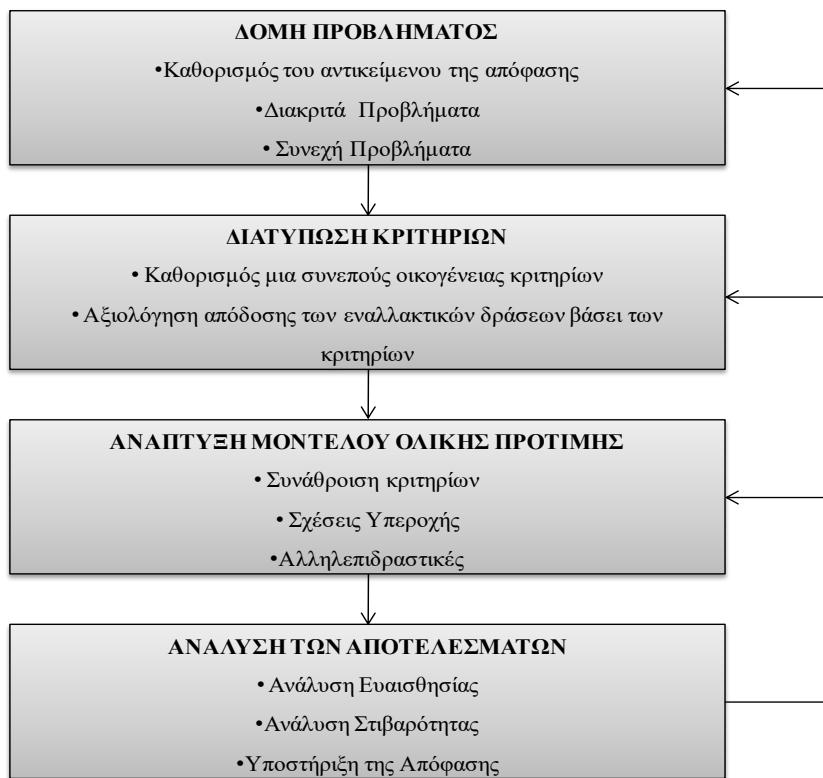
Η λήψη αποφάσεων είναι ένας βασικός παράγοντας για την επιτυχία σε οποιονδήποτε κλάδο, ειδικά στον τομέα του πολιτικού μηχανικού, ο οποίος για την κατασκευή έργων καλείται να διαχειριστεί μια τεράστια ποικιλία πληροφοριών και γνώσεων. Οι περισσότερες διαδικασίες και τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την κατασκευή ενός κτιρίου περιλαμβάνουν πολλές διαφορετικές εργασίες και απαιτήσεις όπου ο μηχανικός πρέπει να αντιμετωπίσει μέσω της λήψης αποφάσεων. Επομένως, η λήψη αποφάσεων σε αυτόν τον τομέα αποδεικνύεται μια επίπονη και δύσκολη διαδικασία. Για τους λόγους αυτούς έχει προκύψει η ανάγκη ενός μηχανισμού ικανού να βοηθήσει στον χαρακτηρισμό τέτοιων πολύπλοκων περιπτώσεων (Jato-Espino et al., 2014).

2.1 Μεθοδολογία της πολύ-κριτήριας ανάλυσης

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων είναι ένας πολύ γνωστός και καλά ανεπτυγμένος κλάδος της επιχειρησιακής έρευνας που περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές και μαθηματικά εργαλεία, τα οποία όλα διευκολύνουν την ανάλυση και την επιλογή εναλλακτικών λύσεων λήψης αποφάσεων έναντι των προκαθορισμένων κριτηρίων. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι πρόκειται για έναν διεπιστημονικό κλάδο που βασίζεται όχι μόνο στα μαθηματικά, αλλά εκμεταλλεύεται επίσης τη θεωρία των οικονομικών και της πληροφορικής (Ogrodnik, 2019).

Πρόκειται για μια διαδικασία λήψης απόφασης με σκοπό την επιλογή μιας λύσης από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών, εισάγοντας περισσότερα του ενός κριτήρια η ανάλυση γίνεται πιο ρεαλιστική ως προς την απεικόνιση του πραγματικού προβλήματος. Η λήψη απόφασης γίνεται από τον αποφασίζοντα ο οποίος συγκρίνει και αξιολογεί τις εναλλακτικές λύσεις. Είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία δεν έχει ως αποτέλεσμα βέλτιστες λύσεις και αποφάσεις αλλά ικανοποιητικές λύσεις που ανταποκρίνονται στην πολιτική που διέπει τον κάθε αποφασίζοντα.

Όσο αφορά την μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης και τα στάδια λήψης αποφάσεων, υπάρχει μια πληθώρα προσεγγίσεων με πιο δημοφιλή αυτή του (Roy & Vincke, 1981), ο οποίος παρουσίασε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο αντιμετώπισης πολύπλοκων προβλημάτων λήψης αποφάσεων (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Περιγραφή Σταδίων Λήψης Αποφάσεων (Roy, 1995)

Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει 4 στάδια όπως φαίνονται και παραπάνω:

- 1^ο Στάδιο: Δομή του προβλήματος
- 2^ο Στάδιο: Διατύπωση κριτηρίων
- 3^ο Στάδιο: Ανάπτυξη του μοντέλου ολικής προτίμησης
- 4^ο Στάδιο: Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τους (Roy & Vincke, 1981) γενικά σε ένα πρόβλημα απόφασης εξετάζεται ένα σύνολο εναλλακτικών δράσεων A , μεταξύ των οποίων επιλέγεται, είτε μια δράση που θεωρείται «η καλύτερη», είτε ένα υποσύνολον δράσεων που θεωρούνται «καλές», είτε κατατάσσονται οι δράσεις από την «καλύτερη» στη «χειρότερη». Ο καθορισμός του συνόλου A των εναλλακτικών δραστηριοτήτων προέρχεται από ένα Διακριτό ή Συνεχές σύνολο. Τα Διακριτά σύνολα διακρίνονται σε προβλήματα:

- Επιλογής (choice)
- Κατάταξης (ranking)
- Ταξινόμησης (sorting, classification, discrimination)
- Περιγραφής (description)

Τα τελευταία 25 χρόνια οι μέθοδοι ΠΑ (Πολυκριτηριακής Ανάλυσης) παρουσιάζουν σημαντικές βελτιώσεις που αντικατοπτρίζονται από την πρόοδο των τεσσάρων θεωρητικών τάσεων (Siskos & Spyridakos, 1999):

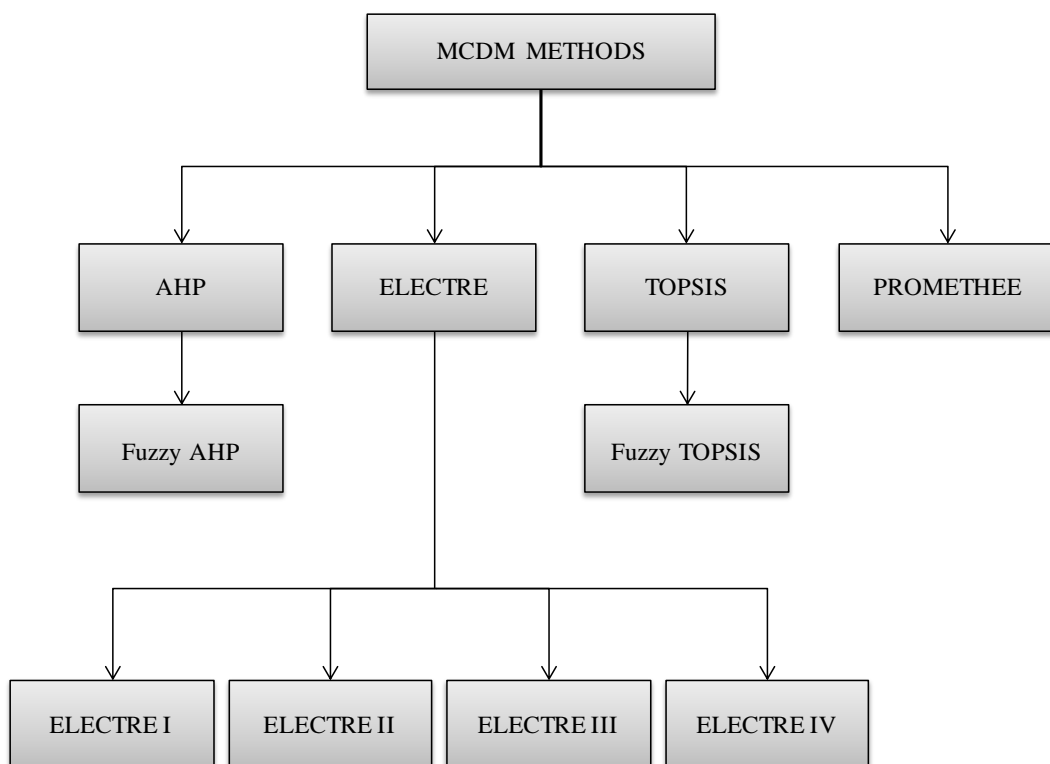
- Συστήματα Αξιών (Value Systems): Αμερικανική Σχολή (Keeney et al. 1977) κ.α. Στοχεύει στην κατασκευή ενός συστήματος αξίας που παρέχει έναν ποσοτικό τρόπο που οδηγεί τον λήπτη της απόφασης στην τελική του επιλογή.
- Σχέσεις Υπέροχης (Outranking Relations): Γαλλική ή Ευρωπαϊκή Σχολή (Roy, 2005; Roy & Vanderpooten, 1997; Roy & Vincke, 1981). Στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της μη-συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων.
- Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση (Disaggregation-Aggregation Approach): Στοχεύει στην ανάλυση της συμπεριφοράς του λήπτη αποφάσεων και τον τρόπο αντίληψης του. Με τη χρήση επαναληπτικών διαδικασιών, αναλύονται και στη συνέχεια συντίθεται σε ένα σύστημα αξιών όλες οι παράμετροι του προβλήματος και η μέθοδος κρίσης του λήπτη αποφάσεων.
- Πολυκριτήρια Βελτιστοποίηση (Multiobjective Optimization Approach): (Jaszkiewicz & Słowiński, 1995; Siskos & Despotis, 1989). Αποτελεί μια επέκταση του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Στοχεύει στην επίλυση προβλημάτων όπου δεν υπάρχουν διακριτές εναλλακτικές επιλογές και οι στόχοι είναι περισσότεροι του ενός (Συνεχή Προβλήματα).

Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων είναι εργαλεία ιδιαίτερης σημασίας, καθώς χρησιμεύουν για την αξιολόγηση στη λήψη αποφάσεων μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές διαστάσεις ενός προβλήματος. Σκοπός του κεφαλαίου είναι να εστιάσουμε στα προβλήματα του πολιτικού μηχανικού και πως αυτά αντιμετωπίζονται με τις διάφορες μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης. Κάποιες από τις βασικότερες μεθόδους που συχνά χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση κτιρίων και θα μελετηθούν στη συγκεκριμένη διπλωματική είναι οι εξής:

- AHP (Analytical Hierarchy Process):
- ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality):
- PROMETHEE
- TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)
- COPRAS (Complex Proportional Assessment)
- DELPHI

2.2 Εφαρμογές σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού

Η σύγχρονη κοινωνία απαιτεί οι κατασκευές να επιδεικνύουν μεγαλύτερα επίπεδα ανθεκτικότητας, ειδικά στους σεισμούς, αλλά και να ακολουθούν ένα πιο βιώσιμο σχεδιασμό. Η βιωσιμότητα ειδικά στο τομέα του πολιτικού μηχανικού είναι ζωτικής σημασίας μιας και σχεδιάζονται κατασκευές μακράς διάρκειας, οι οποίες δύναται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις σε μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως γέφυρες και φράγματα. Συνεπώς κατά την εξέταση του σχεδιασμού θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι τρεις πυλώνες της βιωσιμότητας (το περιβάλλον, η οικονομία και η κοινωνία), οι οποίοι έχουν συχνά αντικρουόμενα συμφέροντα (Navarro Martínez et al, 2018). Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης δίνουν την δυνατότητα να βελτιωθεί η διαδικασία λήψης αποφάσεων και να αξιολογηθούν οι εναλλακτικές δομικές λύσεις σε πρώιμο στάδιο σχεδιασμού του κτιρίου. Μέσα από βιβλιογραφικές έρευνες έχει διαπιστωθεί, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ότι στα κτίρια έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως οι μέθοδοι AHP, ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS.



Σχήμα 2.2: Ιεραρχική δομή των μεθόδων MCDM (Aruldoss κ.ά., 2013).

Τα τελευταία χρόνια όλο και αυξάνονται οι δημοσιευμένες εργασίες που σχετίζονται με τις θεωρητικές μεθόδους λήψης αποφάσεων που εφαρμόζονται στην αξιολόγηση προβλημάτων πολιτικού μηχανικού. Ενδεικτικά κατά την τριετία 2015-2017, διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των δημοσιεύσεων σχετικά με τις μεθόδους MCDM (Multi-Criteria Decision Making) αυξήθηκε κατά 56 τοις εκατό, ενώ

συγκεκριμένα για την εφαρμογή των μεθόδων σε προβλήματα πολιτικού μηχανικού οι δημοσιεύσεις αυξήθηκαν κατά 41 τοις εκατό (Zavadskas et al. 2018).

Όσον αφορά τα κτίρια και την βιωσιμότητα, οι (Milošević et al, 2020) χρησιμοποίησαν την μέθοδο AHP για την αξιολόγηση επαναχρησιμοποίησης βιομηχανικών κτιρίων, οι (Pons & Aguado, 2012) για την αξιολόγηση τεχνολογιών σχεδιασμού σχολείων, την μέθοδο TOPSIS χρησιμοποίησαν, οι (Jalaei et al., 2015) για την επιλογή συστατικών για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων, ενώ την μέθοδο ELECTRE οι (Kamali et al., 2018) για την αξιολόγηση απόδοσης βιωσιμότητας κτιρίων κατοικιών. Επιπλέον την μέθοδο PROMETHEE επέλεξαν για την επιλογή κτιριακών μέτρων για χαμηλότερη εκπομπή άνθρακα οι (Chen & Pan, 2016). Συνδυασμό των μεθόδων TOPSIS και ELECTRE χρησιμοποίησαν οι (Formisano & Mazzolani, 2015) με σκοπό την επιλογή βέλτιστης λύσης για τη σεισμική επισκευή υφιστάμενων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος, αλλά και για την υπερύψωση υφιστάμενων τοιχοποιιών. Για την εκτίμηση των ιδιοτήτων ενός φρέσκου και σκληρυμένου σκυροδέματος ενσωματώνοντας διάφορες ποσότητες κεραμικών απορριμμάτων χρησιμοποίησαν οι (Rashid et al., 2017) συνδυάζοντας τις μεθόδους AHP και TOPSIS. Τέλος την μέθοδο DELPHI χρησιμοποίησαν οι (Vilutiene et al, 2020) για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας εναλλακτικών δομικών λύσεων ενός κτιρίου.

Μια άλλη κατηγορία που έχουν εφαρμοστεί οι παραπάνω μέθοδοι είναι οι γέφυρες. Ο (Pan, 2008) χρησιμοποίησε την μέθοδο AHP για την επιλογή κατάλληλης μεθόδου κατασκευής γεφυρών, ενώ οι (Jia et al., 2018) χρησιμοποίησαν την TOPSIS για την επιλογή μεθόδου Επιταχυνόμενης Κατασκευής Γεφυρών (ABC). Για την επίλυση υδραυλικών προβλημάτων, οι (Alhumaid et al., 2018) χρησιμοποίησαν τις μεθόδους AHP, PROMETHEE II για την αξιολόγηση διαφορετικών επιλογών αποστράγγισης όμβριων σε αστικές περιοχές ξηρών εδαφών και οι (de la Fuente et al., 2016) την μέθοδο AHP για την αξιολόγηση συστημάτων αγωγών αποχέτευσης. Στον συγκοινωνιακό τομέα οι (Tille & Dumont, 2003) σύγκριναν τέσσερις εναλλακτικούς σχεδιασμούς δρόμων χρησιμοποιώντας την μέθοδο ELECTRE III, ενώ οι (Roy & Hugonnard, 1982) ανέπτυξαν και εφάρμοσαν τη μέθοδο ELECTRE IV για την κατάταξη δώδεκα έργων για την επέκταση του μετρό του Παρισιού. Τέλος την μέθοδο AHP επέλεξαν οι (Tabucanon & Lee, 1995) για την αξιολόγηση έργων βελτίωσης αγροτικών αυτοκινητόδρομων στην Κορέα.

Οι ενεργειακές υποδομές είναι μια ακόμη σημαντική κατηγορία στον τομέα του πολιτικού μηχανικού, σε αυτόν τον κλάδο έχουν ασχοληθεί οι (Diakoulaki & Karangelis, 2007) χρησιμοποιώντας την μέθοδο PROMETHEE για την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων στον κλάδο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με την αιολική ενέργεια ασχολήθηκαν οι (Gumus et al., 2016) χρησιμοποιώντας την μέθοδο TOPSIS και οι (Wu et al., 2020) χρησιμοποιώντας την μέθοδο PROMETHEE για την επιλογή τοποθεσίας υπεράκτιων σταθμών αιολικής ενέργειας. Τέλος χρήση της μεθόδου AHP έκαναν οι (Azizkhani et al., 2017) για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής,

ενώ οι (Rikkonen et al., 2019) ασχολήθηκαν με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιώντας την μέθοδο DELPHI.

Εκτός από τις προαναφερόμενες κατηγορίες στις οποίες γίνεται χρήση των μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης, υπάρχουν πολλές ακόμα μιας και το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού ασχολείται με τομείς που εξυπηρετούν το κοινωνικό σύνολο.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνεται αναλυτικά η βιβλιογραφική ανασκόπηση για προβλήματα πολιτικού μηχανικού σε όλους τους προαναφερόμενους τομείς.

Πίνακας 2.1: Εφαρμογή των μεθόδων στον δομοστατικό τομέα και τον βιώσιμο σχεδιασμό.

Συγγραφέας	Έτος	Τομέας Εφαρμογής	Μέθοδος Εφαρμογής
Milošević	2020	Επαναχρησιμοποίηση βιομηχανικών κτιρίων	AHP
Jalaei et al.	2015	Κατάλληλη επιλογή συστατικών για βιώσιμο σχεδιασμό	TOPSIS
Pons & Aguado	2012	Σχεδιασμός Σχολείων	AHP
Kamali et al.	2018	Αξιολόγηση απόδοσης βιωσιμότητας κτιρίων κατοικιών	ELECTRE
Chen & Pan.	2016	Επιλογή κτιριακών μέτρων για χαμηλότερη εκπομπή άνθρακα	PROMETHEE
Formisano & Mazzolani.	2015	Επιλογή βέλτιστης λύσης για τη σεισμική επισκευή υφιστάμενων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος, υπερύψωση υφιστάμενων τοιχοποιιών.	TOPSIS, ELECTRE
Rashid et al.	2017	Εκτίμηση ιδιοτήτων φρέσκου και σκληρυμένου σκυροδέματος	AHP, TOPSIS
Vilutiene et al.	2020	Αξιολόγηση της βιωσιμότητας εναλλακτικών δομικών λύσεων ενός κτιρίου	DELPHI
Pan	2008	Κατασκευή γεφυρών	AHP
Jia et al.	2018	Επιταχυνόμενη Κατασκευή Γεφυρών (ABC)	TOPSIS

Πίνακας 2.2: Εφαρμογή των μεθόδων στον υδραυλικό και συγκοινωνιακό τομέα.

Συγγραφέας	Έτος	Τομέας Εφαρμογής	Μέθοδος Εφαρμογής
De la Fuente et al.	2016	Συστήματα αγωγών αποχέτευσης	AHP
Alhumaid et al.	2018	Αποστράγγιση όμβριων σε αστικές περιοχές ξηρών εδαφών	AHP, PROMETHEE II
Roy & Hugonnard	1982	Αξιολόγηση έργων για την επέκταση του μετρό του Παρισιού	ELECTRE IV
Tabucanon & Lee	1995	Εναλλακτικός σχεδιασμός δρόμων	AHP
Tille & Dumont	2003	Έργα βελτίωσης αγροτικών αυτοκινητόδρομών στην Κορέα	ELECTRE III

Πίνακας 2.3: Εφαρμογή μεθόδων στον ενεργειακό τομέα.

Συγγραφέας	Έτος	Τομέας Εφαρμογή	Μέθοδος Εφαρμογής
Diakoulaki & Karangelis	2007	Ηλεκτρική Ενέργεια	PROMETHEE
Gumus et al.	2016	Αιολική Ενέργεια	TOPSIS
Azizkhani et al.	2017	Φωτοβολταϊκοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής	AHP
Rikkonen et al.	2019	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	DELPHI
Wu et al.	2020	Υπεράκτιοι σταθμοί αιολικής ενέργειας	PROMETHEE

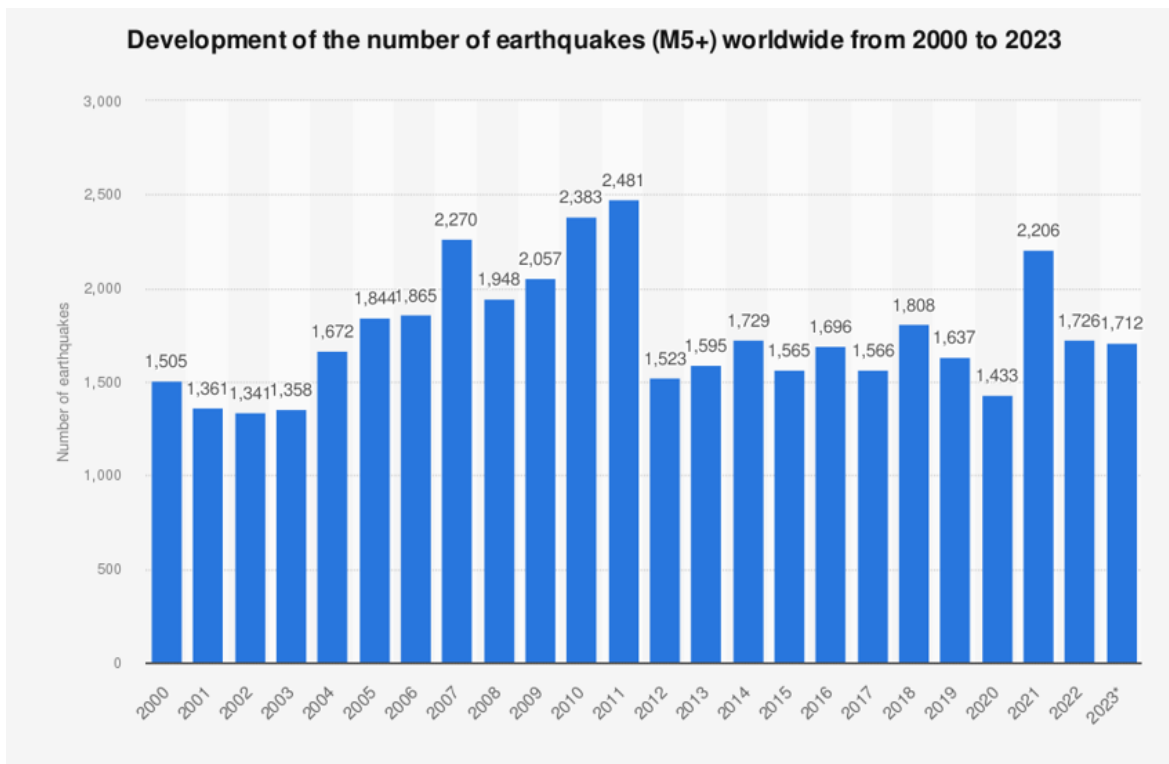
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Αξιολόγηση Σεισμικής Τρωτότητας Υφιστάμενων Κτιρίων.

Ο όρος «σεισμική τρωτότητα» ορίζεται ως η ευαισθησία ενός πληθυσμού κτιρίων να υποστεί ζημιά λόγω σεισμικής κίνησης του εδάφους. Το περιφερειακό πλαίσιο αξιολόγησης σεισμικής τρωτότητας είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο για τις κυβερνήσεις και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων για τη βέλτιστη κατανομή των πόρων και τον μετριασμό των συνεπειών των σεισμών. Οι υπάρχουσες μέθοδοι εκτίμησης τρωτότητας ποικίλλουν με διαφορετικές παραδοχές, για παράδειγμα, ποσοτικοποίηση του σεισμικού κινδύνου, εκτίμηση τρωτότητας κτιρίου και τύπο κτιρίου. Υπάρχει μια αυξανόμενη έρευνα για την ανάπτυξη τεχνικών εκτίμησης σεισμικής τρωτότητας (Alam et al., 2012). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί διεθνώς και κυρίως στην Ελλάδα.

3.1 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος.

Συμφώνα με στατιστικά πρόσφατης μελέτης, το 2021 καταγράφηκαν συνολικά 2.206 σεισμοί μεγέθους πέντε Ρίχτερ και άνω σε όλο τον κόσμο (Σχήμα 3.1). Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την εύρεση της πηγής και την καταγραφή των σεισμών έχει βελτιωθεί από τον 20ο αιώνα, παρόλα αυτά η ικανότητα των επιστημόνων να προβλέπουν τους σεισμούς εξακολουθεί να είναι πολύ περιορισμένη. Οι μεγάλοι σεισμοί έχουν γενικά ως αποτέλεσμα υψηλότερους αριθμούς νεκρών σε αναπτυσσόμενες χώρες ή χώρες όπου οι οικοδομικοί κώδικες είναι λιγότερο αυστηροί. Πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Ιαπωνίας, της Χιλής, των Ηνωμένων Πολιτειών και της Νέας Ζηλανδίας, πρωτοστάτησαν στην πολιτική και την επιστήμη για τους σεισμούς.

Η τραγική απώλεια ανθρώπινων ζωών δεν είναι η μόνη σημαντική αρνητική επίδραση των σεισμών, ένας αριθμός σεισμών έχει προκαλέσει ζημιές αξίας δισεκατομμυρίων δολαρίων σε υποδομές και ιδιωτικές περιουσίες. Το υψηλό κόστος των ζημιών στους σεισμούς της Fukushima και του Christchurch του 2011 στην Ιαπωνία και τη Νέα Ζηλανδία αντίστοιχα δείχνει ότι ακόμη και οι πλούσιες, ανεπτυγμένες χώρες που έχουν εμπειρία στην αντιμετώπιση των σεισμών δεν είναι καλά εξοπλισμένες όταν χτυπούν οι μεγάλοι σεισμοί.



Σχήμα 3.1: Εξέλιξη του αριθμού των σεισμών (M5+) παγκοσμίως από το 2000 έως το 2023. (Number of Earthquakes Globally 2000-2023)

Αποτέλεσμα όσων αναφέρονται παραπάνω είναι να δημιουργηθεί η ανάγκη για προσεισμικό έλεγχο των κτιρίων και κυρίως των κτιρίων δημόσιας και κοινωφελούς χρήσης όπως νοσοκομεία, σχολεία, κτίρια διοίκησης, τηλεπικοινωνίας, παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας, πυροσβεστικοί σταθμοί, κ.ά. Η εκτίμηση της σεισμικής ασφάλειας ενός κτιρίου αποτελεί δύσκολο εγχείρημα καθώς υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων. Μερικοί από αυτούς είναι:

- Έτος κατασκευής
- Η μελέτη του κτιρίου
- Η εφαρμογή της μελέτης στην κατασκευή
- Υλικά κατασκευής
- Το αναμενόμενο μέγεθος του σεισμικού κινδύνου κ.α.

Για μια πρώτη καταγραφή και ταχεία αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας των κτιρίων διενεργείται ο Ταχύς Οπτικός Έλεγχος (T.O.E).

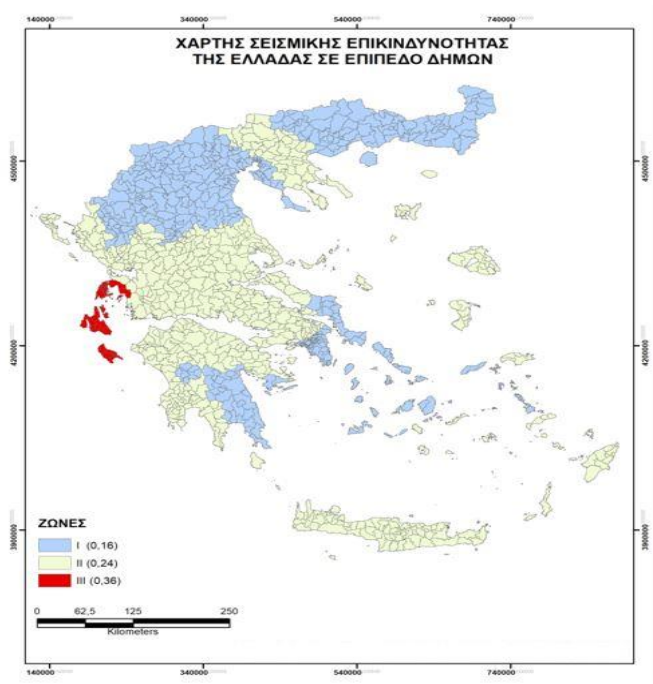
Στις Η.Π.Α το 1988 η Federal Emergency Management Agency (FEMA), πρότεινε την αρχική μεθοδολογία του ταχύ οπτικού ελέγχου, η οποία αναθεωρήθηκε το 2002 για να ενσωματώσει τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις. Πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένη και η Ελλάδα χρησιμοποιούν την ίδια μεθοδολογία με την FEMA με σχετικές τροποποιήσεις που αφορούν τις συνθήκες δόμησης των κτιρίων κάθε χώρας (Harirchian et al., 2020).

3.2 Η Ελληνική μέθοδος του ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ

Στην Ελλάδα, το θέμα του προσεισμικού ελέγχου των Δημόσιας και κοινωφελούς χρήσης κτιρίων ετέθη το 1997 (λίγο μετά την εφαρμογή του Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού) με την Εγκύκλιο 53 του ΥΠΕΧΩΔΕ με θέμα «Σχεδιασμός Έκτακτης Ανάγκης για κοινωφελή κτίρια σε επίπεδο Νομού». Παράλληλα, τον ίδιο χρόνο, το ΥΠΕΧΩΔΕ ανέθεσε στον ΟΑΣΠ την επεξεργασία σχετικού κανονιστικού πλαισίου. Ο Τ.Ο.Ε (Ταχύς Οπτικός Έλεγχος) διεξάγεται από διμελείς επιτροπές μηχανικών, οι οποίοι για κάθε στατικώς ανεξάρτητο κτίριο που ελέγχεται συμπληρώνουν ένα έντυπο, το Δελτίο Προσεισμικού Έλεγχου Κτιρίων. Τα στοιχεία του δελτίου κατανέμονται σε 5 ενότητες:

- **ΕΝΟΤΗΤΑ Α:** Περιλαμβάνει στοιχεία για την ταυτότητα του κτιρίου, όπως η περιφερειακή και η δημοτική ενότητα της Ελλάδας στην οποία βρίσκεται, η πλήρης ταχυδρομική του διεύθυνση, η γεωγραφική του θέση με βάση της συντεταγμένες φ, λ (WGS84), η χρήση του και ο μέγιστος αριθμός προσώπων που συναθροίζονται σε αυτό.
- **ΕΝΟΤΗΤΑ Β:** Περιλαμβάνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως ο αριθμός υπόγειων και υπέργειων οροφών συμπεριλαμβανομένου του ισογείου, η επιφάνεια κάλυψης ορόφου και ολόκληρου του κτιρίου. Καταγράφεται η χρονική περίοδος της αρχικής μελέτης του κτιρίου (αν υπάρχει) ή της κατασκευής του (αν δεν έχει βρεθεί η μελέτη), ανεξάρτητα από μελλοντικές παρεμβάσεις. Δηλαδή, πριν το 1959, μεταξύ 1959 και 1984, μεταξύ 1985 και 1994, και από το 1995 και μετά. Σημειώνεται επίσης η διαθεσιμότητα μελέτης (συνήθως στα αρχεία των πολεοδομικών υπηρεσιών ή στα αρχεία του ιδιοκτήτη), και η σπουδαιότητα του κτιρίου κατά Ε.Α.Κ.-2000 όπως αναθεωρήθηκε με το ΦΕΚ Β' 270/16.03.2010 και σύμφωνα με τη σημερινή του χρήση.

- **ΕΝΟΤΗΤΑ Γ:** Περιλαμβάνει σεισμολογικά και γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής, Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.ΑΚ.-2000 όπως τροποποιήθηκε σύμφωνα με το ΦΕΚ Β' 1154/12.08.2003 με βάση το πεδίο 2 (Δημοτική Ενότητα), και την Κατηγορία Εδάφους κατά Ε.ΑΚ.-2000.



Σχήμα 3.2: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας κατά (Ε.Α.Κ, 2000).

- **ΕΝΟΤΗΤΑ Δ:** Αφορά τον δομικό τύπο του κτιρίου. Ο δομικός τύπος του εξεταζόμενου κτιρίου καθορίζεται γενικά από το υλικό και την περιγραφή του φέροντα οργανισμού του και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις από τον κανονισμό βάσει του οποίου σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε. (Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, κτίρια με προκατασκευασμένο πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία, μεταλλικές κατασκευές).
- **ΕΝΟΤΗΤΑ Ε:** Σε αυτή την ενότητα καταγράφονται χαρακτηριστικά σχετικά με την τρωτότητα του κτιρίου. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: εφαρμογή αντισεισμικού κανονισμού, αν έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής χρήσης του κτιρίου, προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, κακή κατάσταση λόγω έλλειψης συντήρησης, κακοτεχνιών, καθιζήσεων, κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια, μαλακός όροφος, κανονικότητα διάταξης τοιχοστρώσης, μεγάλο ύψος, κανονικότητα σε ύψος και οριζόντια, ενδεχόμενο στρέψης και η ύπαρξη κοντών υποστυλωμάτων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία συμπληρώθηκε το δελτίο πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου για πέντε υφιστάμενα κτίρια με δομικό τύπο μόνο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Αξιολόγηση Κτιρίων με την Μέθοδο του Πρωτοβάθμιου Ελέγχου του ΟΑΣΠ.

4.1 Γενικά Στοιχεία

Στην παρούσα διπλωματική αξιολογήθηκαν με την μέθοδο του πρωτοβάθμιου προσεισμικού έλεγχου πέντε πολυκατοικίες από την περιοχή του Ζωγράφου στην Αττική. Οι πολυκατοικίες επιλέχθηκαν τυχαία, μέσα από τις οικοδομικές άδειες τους διαπιστώθηκε ότι και οι πέντε χτίστηκαν το διάστημα 1965-1975. Ο φέρων οργανισμός για όλες τις πολυκατοικίες είναι από σπλισμένο σκυρόδεμα. Αρχικά διενεργήθηκε ο ταχύς οπτικός έλεγχος με την συμπλήρωση του αντιστοίχου δελτίου. Τα δελτία συμπληρώθηκαν με την βοήθεια σχεδίων και φωτογραφιών. Τα κενά τα οποία δεν έχουν συμπληρωθεί αφορούν στοιχεία για τα όποια δεν υπάρχουν ή δεν βρέθηκαν πληροφορίες.

4.1.1 Κτίριο 1^ο

Το κτίριο χτίστηκε το 1965, αποτελείται από 4 ορόφους και 1 υπόγειο. Παρακάτω φαίνονται φωτογραφίες από όλες τις όψεις του κτιρίου, η κάτοψη ενός τυπικού ορόφου και μια τομή ή όψη και τέλος το δελτίο προσεισμικού ελέγχου.



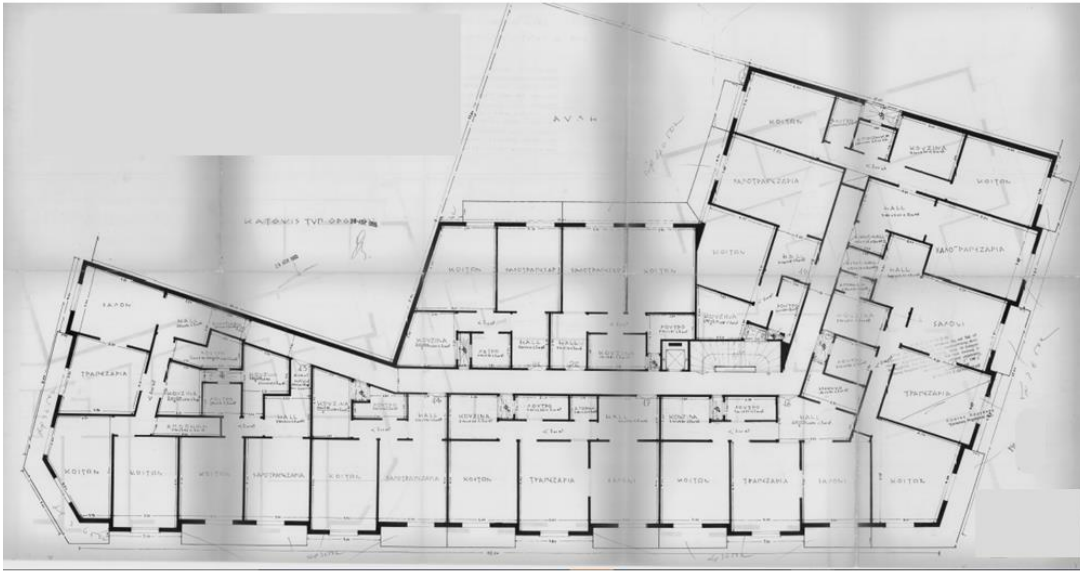
Σχήμα 4.1: Πρόσοψη.



Σχήμα 4.2: Όψη Α.



Σχήμα 4.3: Όψη Β.



Σχήμα 4.4: Κάτοψη τυπικού ορόφου.



Σχήμα 4.5: Πρόσοψη.

Οι παρακάτω πίνακες συμπληρώθηκαν με οπτικό έλεγχο, την βοήθεια των σχεδίων και την θεωρία του πρωτοβάθμιου ελέγχου που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι Ενότητες Α και Β αναφέρονται στην ταυτότητα του κτιρίου και στα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Τα στοιχεία ταυτότητας του κτιρίου πρέπει να συμπληρώνονται ώστε αυτό να προσδιορίζεται με ακρίβεια και να είναι δυνατός ο εντοπισμός του εφόσον απαιτηθεί περαιτέρω έλεγχος. Καταγράφονται επίσης στοιχεία που δίνουν τη μορφή του κτιρίου, τη σπουδαιότητά του, καθώς και τα στοιχεία των ελεγκτών μηχανικών. Οι Ενότητες Γ, Δ και Ε αναφέρονται στα σεισμολογικά και γεωλογικά στοιχεία της περιοχής (Ενότητα Γ), στο Δομικό Τύπο του κτιρίου (Ενότητα Δ) και στα Στοιχεία τρωτότητας, δηλαδή στα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου που επηρεάζουν τη σεισμική ικανότητά του (Ενότητα Ε). Αν κατά τη συμπλήρωση του εντύπου ορισμένα στοιχεία δεν είναι πλήρως γνωστά και βασίζονται

στην εκτίμηση του ελέγχοντος, η αβεβαιότητα για τα στοιχεία αυτά, πρέπει να υποδηλώνεται με έναν αστερίσκο (*) δίπλα στο αντίστοιχο Χ.

Πίνακας 4.1: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Α.

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ			
1.	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΑΤΤΙΚΗΣ	
2.	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΖΩΓΡΑΦΟΥ	
3.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ:	Τ.Κ.:	
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ φ:	λ:	
4.	ΟΝΟΜΑ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ	Τηλ:
5.	ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΙΔΙΩΤΙΚΗ	
6.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ:		
7.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ:		
8.	ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ:		
9.	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΥ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
10.	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΩΠΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΑΘΡΟΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΜΕΧΡΙ 10	10 – 100 X > 100

Πίνακας 4.2: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.

ΕΝΟΤΗΤΗ Β: ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				
11.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΡΟΦΩΝ: 4	ΥΠΟΓΕΙΩΝ: 1		
12.	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ:	691,15 m²		
13.	ΟΛΙΚΗ ΔΟΜΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ:	2764,6 m²		
14.	ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:	1965		
15.	ΕΤΟΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ:			
16.	ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ Η ΜΕΛΕΤΗ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
17.	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Η ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
18.	ΕΧΕΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΕΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
19.	ΕΧΕΙ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΕΙ / ΕΝΙΣΧΥΘΕΙ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
20.	ΑΝ ΝΑΙ ΓΙΑ ΠΟΙΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΠΟΤΕ:			
21.	ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ-2000	Σ1	Σ2 X	Σ3 Σ4
22.	ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ:			

Πίνακας 4.3: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ				
25. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ.–2000 (σύμφωνα με τροπ. 2003)				
I X	II	III		
26. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά το χρόνο μελέτης του Κτιρίου				
Πριν το 1995	I X	II	III	
Μεταξύ 1995 και 2003	I	II	III	IV
Μετά το 2004	I	II	III	
27. Κατηγορία Εδάφους κατά Ε.Α.Κ. - 2000				
A	B X	Γ	Δ	X
Άγνωστη κατηγορία εδάφους:				

Πίνακας 4.4: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
28. Δομικός τύπος του κτιρίου (Σύμφωνα με το συνημμένο πίνακα 1)			
ΟΣα X	ΟΣβ	ΟΣγ	
ΠΟΣ1	ΠΟΣ2		
ΑΤ	ΔΤ	ΟΤ	ΕΤ
ΧΛ1α	ΧΛ1β	ΧΛ2α	ΧΛ2β

Πίνακας 4.5: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	
(Σημειώστε με X τις θετικές απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα)	
29. Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό	
30. Έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της χρήσης	
31. Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις	
32. Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων	
33. Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια	X
34. Μαλακός όροφος	
35. Μη κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	

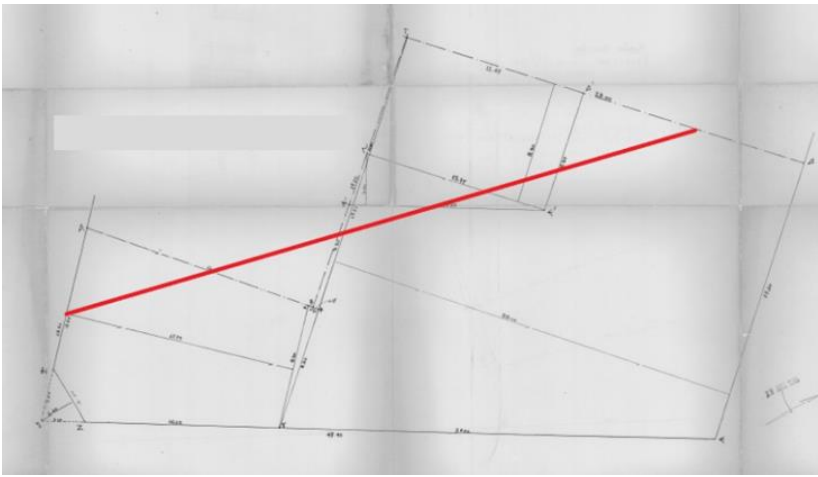
36. Μεγάλο ύψος	
37. Μη κανονικότητα καθ' ύψος	
38. Οριζόντια μη κανονικότητα	X
39. Ενδεχόμενο στρέψης	
40. Κοντά υποστυλώματα	

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα υπάρχει κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια, μιας και σε κτίρια με ανισόσταθμες πλάκες υπάρχει πιθανότητα εμβολισμού των υποστυλωμάτων του ενός κτιρίου από τις πλάκες του άλλου.



Σχήμα 4.6: Κρούση με γειτονικά κτίρια.

Η οριζόντια μη κανονικότητα, φαίνεται και από την κάτοψη του κτιρίου (Σχήμα 4.4), όπου έχουμε μια κάτοψη με πολύπλοκο σχήμα, αλλά και από την παρακάτω εικόνα στην οποία η νοητή ευθεία που συνδέει δυο σημεία του σχήματος μπορεί να τμήσει την περίμετρο του κτιρίου.



Σχήμα 4.7: Μη οριζόντια κανονικότητα.

4.1.2 Κτίριο 2^ο

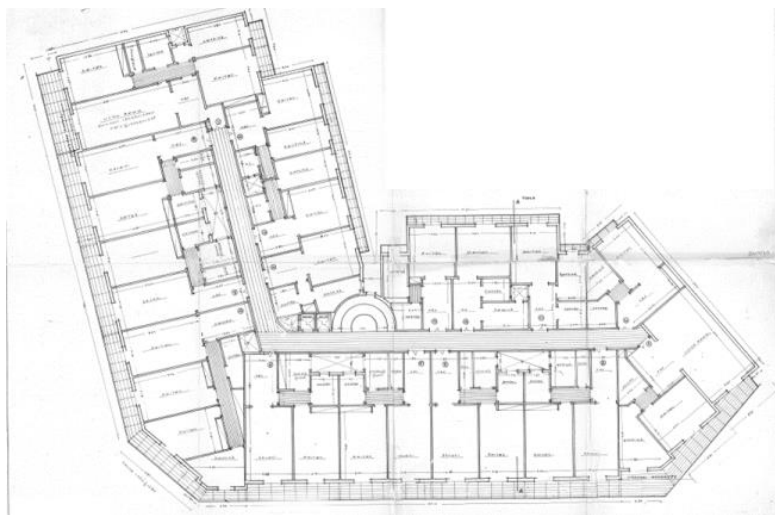
Το κτίριο χτίστηκε το 1975, αποτελείται από 6 ορόφους (ισόγειο και 5 ορόφους άνωθεν) και 2 υπόγεια. Παρακάτω φαίνονται φωτογραφίες από όλες τις όψεις του κτιρίου, η κάτοψη ενός τυπικού ορόφου και μια τομή ή όψη και τέλος το δελτίο προσεισμικού ελέγχου.



Σχήμα 4.8: Όψη.



Σχήμα 4.9: Πρόσοψη.



Σχήμα 4.10: Κάτοψη τυπικού ορόφου.

Πίνακας 4.6: Δελτίο Προσεισμικού -Ενότητα Α.

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ			
1.	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΑΤΤΙΚΗΣ	
2.	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΖΩΓΡΑΦΟΥ	
3.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ:		Τ.Κ:
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	φ:	λ:
4.	ΟΝΟΜΑ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ	Τηλ:
5.	ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΙΔΙΩΤΙΚΗ	
6.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ:		
7.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ:		
8.	ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ:		
9.	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΥ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
10.	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΩΠΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΑΘΡΟΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΜΕΧΡΙ 10	10 – 100 X > 100

Πίνακας 4.7: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.

ΕΝΟΤΗΤΗ Β: ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				
11.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΡΟΦΩΝ: 6	ΥΠΟΓΕΙΩΝ: 2		
12.	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ: 922,00 m²			
13.	ΟΛΙΚΗ ΔΟΜΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ: 5743,00 m²			
14.	ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: 1975			
15.	ΕΤΟΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ:			
16.	ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ Η ΜΕΛΕΤΗ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
17.	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Η ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
18.	ΕΧΕΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΕΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
19.	ΕΧΕΙ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΕΙ / ΕΝΙΣΧΥΘΕΙ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
20.	ΑΝ ΝΑΙ ΓΙΑ ΠΟΙΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΠΟΤΕ:			
21.	ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.-2000	Σ1	Σ2 X	Σ3 3
22.	ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ:			Σ4

Πίνακας 4.8: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ				
25. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ.-2000 (σύμφωνα με τροπ. 2003)				
I X	II	III		
26. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά το χρόνο μελέτης του Κτιρίου				
Πριν το 1995	I X	II	III	
Μεταξύ 1995 και 2003	I	II	III	IV
Μετά το 2004	I	II	III	
27. Κατηγορία Εδάφους κατά Ε.Α.Κ. - 2000				
A	B X	Γ	Δ	X
Άγνωστη κατηγορία εδάφους:				

Πίνακας 4.9: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
28. Δομικός τύπος του κτιρίου (Σύμφωνα με το συνημμένο πίνακα 1)			
ΟΣα	X	ΟΣβ	ΟΣγ
ΠΟΣ1		ΠΟΣ2	
ΑΤ	ΔΤ	ΟΤ	ΕΤ
ΧΛ1α	ΧΛ1β	ΧΛ2α	ΧΛ2β

Πίνακας 4.10: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου – Ενότητα Ε.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	
(Σημειώστε με X τις θετικές απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα)	
29. Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό	
30. Έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της χρήσης	
31. Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις	
32. Κακή κατάσταση λόγω ελλειπών συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων	
33. Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια	
34. Μαλακός όροφος	
35. Μη κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	
36. Μεγάλο ύψος	X
37. Μη κανονικότητα καθ' ύψος	X
38. Οριζόντια μη κανονικότητα	X
39. Ενδεχόμενο στρέψης	
40. Κοντά υποστυλώματα	

Κτίρια με φέρων οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα θεωρούνται ότι έχουν μεγάλο ύψος όταν υπερβαίνουν τους πέντε ορόφους, το κτίριο έχει 6 ορόφους, επιπλέον σημειώθηκε X η μη κανονικότητα καθ' ύψος καθώς το κτίριο παρουσιάζει εσοχή (δηλαδή όροφος με εμβαδόν κάτοψης μικρότερος του 70% του εμβαδού των υπόλοιπων ορόφων). Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε εμβαδόν εσοχής ίσο με $E = 645 \text{ m}^2 < 3227 \text{ m}^2$.

Η οριζόντια μη κανονικότητα, φαίνεται και από την κάτοψη του κτιρίου (Σχήμα 4.10), όπου έχουμε μια κάτοψη με πολύπλοκο σχήμα, αλλά και στην οποία η νοητή ευθεία που συνδέει δυο σημεία του σχήματος μπορεί να τμήσει την περίμετρο του κτιρίου.

4.1.3 Κτίριο 3^ο

Το κτίριο χτίστηκε το 1969, αποτελείται από 5 ορόφους (ισόγειο και 4 ορόφους άνωθεν) και 1 υπόγειο. Παρακάτω φαίνονται φωτογραφίες από όλες τις όψεις του κτιρίου, η κάτοψη ενός τυπικού ορόφου και μια τομή ή όψη και τέλος το δελτίο προσεισμικού ελέγχου.



Σχήμα 4.11: Πρόσοψη.



Σχήμα 4.12: Όψη.



Σχήμα 4.13: Κάτοψη τυπικού ορόφου.

Πίνακας 4.11: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Α

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ			
1.	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΑΤΤΙΚΗΣ	
2.	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΖΩΓΡΑΦΟΥ	
3.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ:		Τ.Κ:
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	φ:	λ:
4.	ΟΝΟΜΑ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ	Τηλ:
5.	ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΙΔΙΩΤΙΚΗ	
6.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ:		
7.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ:		
8.	ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ:		
9.	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΥ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
10.	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΩΠΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΑΘΡΟΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΜΕΧΡΙ 10	10 – 100 X
			> 100

Πίνακας 4.12: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.

ΕΝΟΤΗΤΗ Β: ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				
11.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΡΟΦΩΝ: 5	ΥΠΟΓΕΙΩΝ: 1		
12.	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ: 281,30 m²			
13.	ΟΛΙΚΗ ΔΟΜΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ: 1625,80 m²			
14.	ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: 1969			
15.	ΕΤΟΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ:			
16.	ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ Η ΜΕΛΕΤΗ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
17.	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Η ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
18.	ΕΧΕΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΕΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
19.	ΕΧΕΙ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΕΙ / ΕΝΙΣΧΥΘΕΙ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
20.	ΑΝ ΝΑΙ ΓΙΑ ΠΟΙΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΠΟΤΕ:			
21.	ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.-2000	Σ1	Σ2 X	Σ3 Σ4
22.	ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ:			

Πίνακας 4.13: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ				
25. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ.-2000 (σύμφωνα με τροπ. 2003)				
I X	II	III		
26. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά το χρόνο μελέτης του Κτιρίου				
Πριν το 1995	I X	II	III	
Μεταξύ 1995 και 2003	I	II	III	IV
Μετά το 2004	I	II	III	
27. Κατηγορία Εδάφους κατά Ε.Α.Κ. - 2000				
A	B X	Γ	Δ	X
Άγνωστη κατηγορία εδάφους:				

Πίνακας 4.14: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
28. Δομικός τύπος του κτιρίου (Σύμφωνα με το συνημμένο πίνακα 1)			
ΟΣα	X	ΟΣβ	ΟΣγ
ΠΟΣ1		ΠΟΣ2	
ΑΤ		ΔΤ	ΟΤ
			ΕΤ
ΧΛ1α		ΧΛ1β	ΧΛ2α
			ΧΛ2β

Πίνακας 4.15: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	
(Σημειώστε με X τις θετικές απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα)	
29. Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό	
30. Έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της χρήσης	
31. Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις	
32. Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων	
33. Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια	X
34. Μαλακός όροφος	
35. Μη κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	
36. Μεγάλο ύψος	
37. Μη κανονικότητα καθ' ύψος	
38. Οριζόντια μη κανονικότητα	
39. Ενδεχόμενο στρέψης	
40. Κοντά υποστυλώματα	

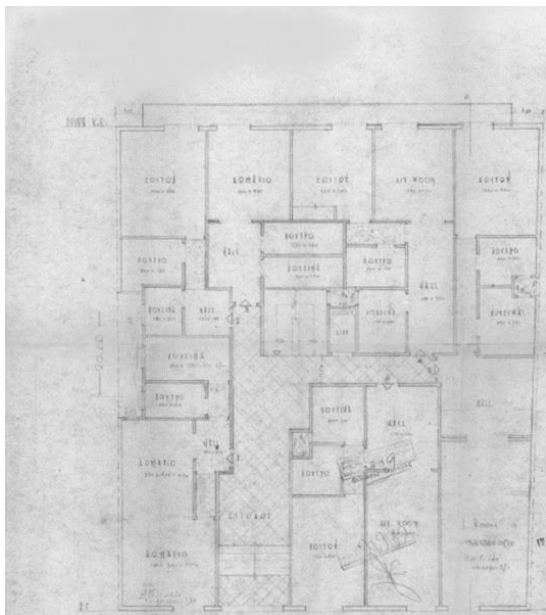
Υπάρχει κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια, μιας και σε κτίρια με ανισόσταθμες πλάκες υπάρχει πιθανότητα εμβολισμού των υποστυλωμάτων του ενός κτιρίου από τις πλάκες του άλλου (Σχήμα 4.12).

4.1.4 Κτίριο 4^ο

Το κτίριο χτίστηκε το 1969, αποτελείται από 5 ορόφους (ισόγειο και 4 ορόφους άνωθεν) και 1 υπόγειο. Παρακάτω φαίνονται φωτογραφίες από όλες τις όψεις του κτιρίου, η κάτοψη ενός τυπικού ορόφου και μια τομή ή όψη και τέλος το δελτίο προσεισμικού ελέγχου.



Σχήμα 4.14: Πρόσοψη.



Σχήμα 4.15: Κάτοψη τυπικού ορόφου.

Πίνακας 4.16: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Α.

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ			
1.	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΑΤΤΙΚΗΣ	
2.	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΖΩΓΡΑΦΟΥ	
3.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ:		Τ.Κ.:
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ φ:		λ:
4.	ΟΝΟΜΑ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ	Τηλ:
5.	ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΙΔΙΩΤΙΚΗ	
6.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ:		
7.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ:		
8.	ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ:		
9.	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΥ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
10.	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΩΠΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΑΘΡΟΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΜΕΧΡΙ 10	10 – 100 X > 100

Πίνακας 4.17: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β

ΕΝΟΤΗΤΗ Β: ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				
11.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΡΟΦΩΝ: 5	ΥΠΟΓΕΙΩΝ: 1		
12.	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ: 346 m²			
13.	ΟΛΙΚΗ ΔΟΜΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ: 1729.04 m²			
14.	ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: 1969			
15.	ΕΤΟΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ:			
16.	ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ Η ΜΕΛΕΤΗ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
17.	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Η ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
18.	ΕΧΕΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΕΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
19.	ΕΧΕΙ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΕΙ / ΕΝΙΣΧΥΘΕΙ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
20.	ΑΝ ΝΑΙ ΓΙΑ ΠΟΙΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΠΟΤΕ:			
21.	ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ-2000	Σ1	Σ2 X	Σ3 Σ4
22.	ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ:			

Πίνακας 4.18: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ				
25. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ.-2000 (σύμφωνα με τροπ. 2003)				
I X	II	III		
26. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά το χρόνο μελέτης του Κτιρίου				
Πριν το 1995	I X	II	III	
Μεταξύ 1995 και 2003	I	II	III	IV
Μετά το 2004	I	II	III	
27. Κατηγορία Εδάφους κατά Ε.Α.Κ. - 2000				
A	B X	Γ	Δ	X
Άγνωστη κατηγορία εδάφους:				

Πίνακας 4.19: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
28. Δομικός τύπος του κτιρίου (Σύμφωνα με το συνημμένο πίνακα 1)			
ΟΣα X	ΟΣβ	ΟΣγ	
ΠΟΣ1	ΠΟΣ2		
ΑΤ	ΔΤ	ΟΤ	ΕΤ
ΧΛ1α	ΧΛ1β	ΧΛ2α	ΧΛ2β

Πίνακας 4.20: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	
(Σημειώστε με X τις θετικές απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα)	
29. Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό	
30. Έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της χρήσης	
31. Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις	
32. Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων	
33. Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια	X
34. Μαλακός όροφος	
35. Μη κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	
36. Μεγάλο ύψος	

37. Μη κανονικότητα καθ' ύψος	X
38. Οριζόντια μη κανονικότητα	
39. Ενδεχόμενο στρέψης	
40. Κοντά υποστυλώματα	

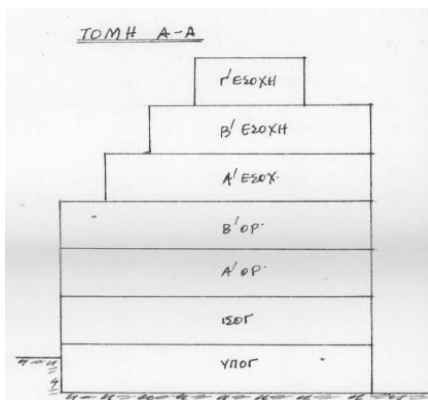
Υπάρχει κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια, μιας και σε κτίρια με ανισόσταθμες πλάκες υπάρχει πιθανότητα εμβολισμού των υποστυλωμάτων του ενός κτιρίου από τις πλάκες του άλλου (Σχήμα 4.16).



Σχήμα 4.16: Κρούση γειτονικών κτιρίων.

Σημειώθηκε X η μη κανονικότητα καθ' ύψος καθώς το κτίριο παρουσιάζει εσοχές (δηλαδή ορόφους με εμβαδόν κάτοψης μικρότερους του 70% του εμβαδού των υπόλοιπων ορόφων). Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε εμβαδόν:

- Α εσοχή $E = 303,50 \text{ m}^2 < 726,60 \text{ m}^2$.
- Β εσοχή $E = 261,00 \text{ m}^2 < 726,60 \text{ m}^2$.
- Γ εσοχή $E = 126,54 \text{ m}^2 < 726,60 \text{ m}^2$.



Σχήμα 4.17: Εσοχές Α,Β και Γ.

4.1.5 Κτίριο 5^ο

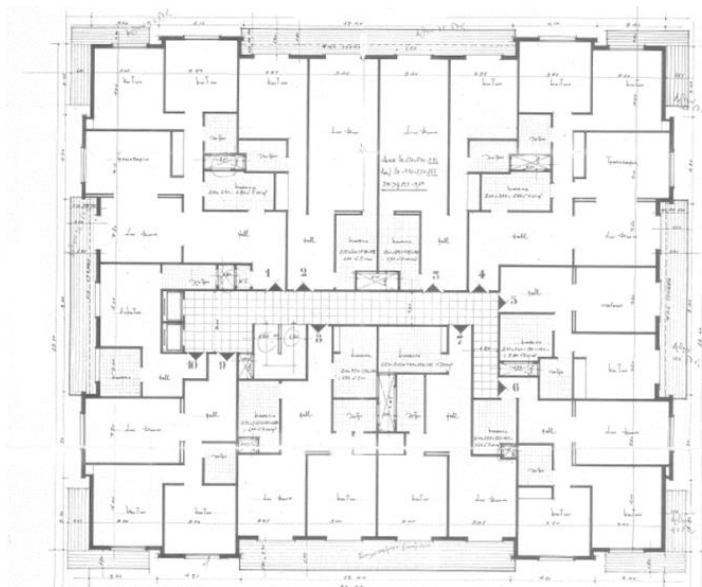
Το κτίριο χτίστηκε το 1965, αποτελείται από 5 ορόφους (ισόγειο και 4 ορόφους άνωθεν) και 1 υπόγειο. Παρακάτω φαίνονται φωτογραφίες από όλες τις όψεις του κτιρίου, η κάτοψη ενός τυπικού ορόφου και μια τομή ή όψη και τέλος το δελτίο προσεισμικού ελέγχου.



Σχήμα 4.18: Πρόσοψη.



Σχήμα 4.19: Όψη.



Σχήμα 4.20: Κάτοψη τυπικού ορόφου.

Πίνακας 4.21: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Α.

ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ			
1.	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΑΤΤΙΚΗΣ	
2.	ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:	ΖΩΓΡΑΦΟΥ	
3.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ:		Τ.Κ:
	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	φ:	λ:
4.	ΟΝΟΜΑ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑ	Τηλ:
5.	ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ:	ΙΔΙΩΤΙΚΗ	
6.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΗΣΤΗ:		
7.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ:		
8.	ΑΡΜΟΔΙΟΣ ΦΟΡΕΑΣ:		
9.	ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΠΟΥ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
10.	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΩΠΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΑΘΡΟΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΜΕΧΡΙ 10	10 – 100 X > 100

Πίνακας 4.22: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Β.

ΕΝΟΤΗΤΗ Β: ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				
11.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΡΟΦΩΝ: 5	ΥΠΟΓΕΙΩΝ: 1		
12.	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΟΨΗΣ: 1424,5 m²			
13.	ΟΛΙΚΗ ΔΟΜΗΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ: 6910 m²			
14.	ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: 1965			
15.	ΕΤΟΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ:			
16.	ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ Η ΜΕΛΕΤΗ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
17.	ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Η ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ:	ΝΑΙ X	ΟΧΙ	
18.	ΕΧΕΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΕΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
19.	ΕΧΕΙ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΕΙ / ΕΝΙΣΧΥΘΕΙ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ:	ΝΑΙ	ΟΧΙ X	
20.	ΑΝ ΝΑΙ ΓΙΑ ΠΟΙΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΠΟΤΕ:			
21.	ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΤΑ Ε.Α.Κ.-2000	Σ1	Σ2 X	Σ3 Σ4
22.	ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ:			

Πίνακας 4.23: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Γ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ: ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ				
25. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ.-2000 (σύμφωνα με τροπ. 2003)				
I X	II	III		
26. Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά το χρόνο μελέτης του Κτιρίου				
Πριν το 1995	I X	II	III	
Μεταξύ 1995 και 2003	I	II	III	IV
Μετά το 2004	I	II	III	
27. Κατηγορία Εδάφους κατά Ε.Α.Κ. - 2000				
A	B X	Γ	Δ	X
Άγνωστη κατηγορία εδάφους:				

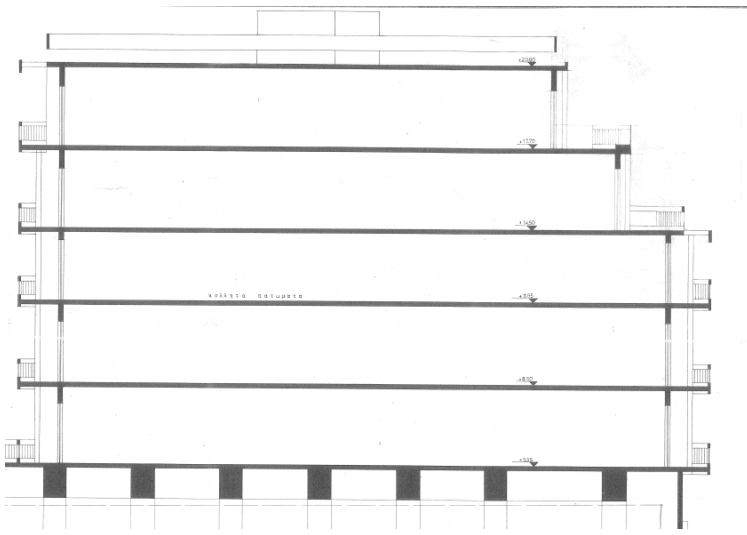
Πίνακας 4.24: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Δ.

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ: ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
28.	Δομικός τύπος του κτιρίου (Σύμφωνα με το συνημμένο πίνακα 1)		
ΟΣα	X	ΟΣβ	ΟΣγ
ΠΟΣ1	ΠΟΣ2		
ΑΤ	ΔΤ	ΟΤ	ΕΤ
ΧΛ1α	ΧΛ1β	ΧΛ2α	ΧΛ2β

Πίνακας 4.25: Δελτίο Προσεισμικού Ελέγχου - Ενότητα Ε.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	
(Σημειώστε με X τις θετικές απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα)	
29. Χωρίς αντισεισμικό κανονισμό	
30. Έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της χρήσης	
31. Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις	
32. Κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης/κακοτεχνιών/καθιζήσεων	
33. Κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια	
34. Μαλακός όροφος	
35. Μη κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	
36. Μεγάλο ύψος	
37. Μη κανονικότητα καθ' ύψος	X
38. Οριζόντια μη κανονικότητα	
39. Ενδεχόμενο στρέψης	
40. Κοντά υποστυλώματα	

Σημειώθηκε X η μη κανονικότητα καθ' ύψος καθώς το κτίριο παρουσιάζει εσοχές (δηλαδή ορόφους με εμβαδόν κάτοψης μικρότερους του 70% του εμβαδού των υπόλοιπων ορόφων).



Σχήμα 4.21: Εσοχές.

4.2 Δομική Βαθμολογία Κτιρίων.

Μετά την συμπλήρωση των δελτίων (ενότητες Α έως Ε), ακολουθεί ο υπολογισμός της δομικής βαθμολογίας των κτιρίων σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Η αντιστοίχιση των στοιχείων του Πίνακα με τα Πεδία του Δελτίου γίνεται στη δεύτερη στήλη του πίνακα. Για κάθε κτίριο επιλέγεται ένας συγκεκριμένος πίνακας, ανάλογα τον δομικό τύπο του κτιρίου. Στη συνέχεια, επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές, ξεκινώντας από την βασική βαθμολογία. Σημειώνεται ένας μόνο συντελεστής για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας και ένας για την κατηγορία εδάφους. Για τα πεδία 25 έως 34 επιλέγονται οι συντελεστές για τους οποίους οι απαντήσεις στην Ενότητα Ε του Δελτίου ήταν θετικές (X). Επίσης επιλέγεται μόνο ένας συντελεστής για τον αριθμό των χρηστών που συναθροίζονται στο κτίριο. Για την ένταση λειτουργίας ο συντελεστής καθορίζεται με βάση την «ένταση» χρήσης του κτιρίου, δηλαδή πόσο μέρος του 24ώρου χρησιμοποιείται το κτίριο, ανεξαρτήτως του αριθμού των χρηστών. Έτσι για χρήσεις πολύ υψηλής έντασης (π.χ. ένα νοσοκομείο που λειτουργεί όλο το 24ώρο) προβλέπεται μηδενικός συντελεστής, ενώ για χρήσεις μικρής έντασης (π.χ. ένα εμπορικό κατάστημα δεν λειτουργεί όλο το 24ώρο) προβλέπονται θετικοί συντελεστές που αυξάνουν την βαθμολογία, μειώνοντας την τρωτότητα και τον βαθμό προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο του κτιρίου. Για κατοικίες προβλέπεται συντελεστής 0,2 και εκτιμάται ότι για τα τουριστικά καταλύματα (ενοικιαζόμενα δωμάτια/διαμερίσματα) θα πρέπει να εφαρμοσθεί η ίδια τιμή λόγω παρόμοιας «έντασης» χρήσης. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις προβλέπεται συντελεστής 0,5. Στην τελευταία γραμμή αθροίζονται οι επιλεγμένοι συντελεστές και προκύπτει η γενική (δομική) βαθμολογία του κτιρίου.

Πίνακας 4.26: Πίνακας Αρχικής Γενικής Δομικής Βαθμολογίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΡΧΙΚΗΣ, ΓΕΝΙΚΗΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑΣ (ΑΔΒ)														
ΠΕΔΙΟ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΙΔΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΝΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥ					ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ				ΧΑΛΥΒΑΙΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ			
ΔΕΔΟΤΑ		ΟΣα	ΟΣβ	ΟΣγ	ΠΟΣ1	ΠΟΣ2	ΤΑ	ΤΔ	ΤΟ	ΤΕ	ΧΑ1α	ΧΑ1β	ΧΑ2α	ΧΑ2β
12	Βασική Βαθμολογία, αναλόγως ΔΤ	6,0	7,0	8,0	5,0	6,5	5,5	6,5	7,0	6,5	10,0	10,0	7,0	9,0
10	Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι	-0,5	-1,0	-0,5	-0,5	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
10	Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ ή ΙΙΙ	-1,5	-1,5	-1,0	-1,0	-1,5	-1,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
11	Έδαφος κατηγορίας Β (για αποδεδειγμένως Α-0,1)	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
11	Έδαφος κατηγορίας Γ ή Δ	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
11,13	Έδαφος Γ ή Δ και άνω των 5 ορόφων	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
11	Έδαφος κατηγορίας Χ	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
25	Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0,5					-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
26	Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1,0	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
27	Κακή κατάσταση	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
28	Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0,5			-0,5	-0,5								
29-35	PILOTIS ή/και κοντά υποστυλώματα	-1,5	-0,5	-0,5	-0,5									
30	Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0,5												
31	Μεγάλο ύψος	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0				-1,0
32	Μη κανονικότητα σε τομή	-1,0	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
33	Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1,0	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
34	Στρέψη (έντονη)	-0,5	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
5,9	Ένταση λειτουργίας (0 έως 1,2)													
9	Αριθμός χρηστών <=9	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
9	Αριθμός χρηστών 10-99	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
9	Αριθμός χρηστών >=100	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
ΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ (α,β)														

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι δομικές βαθμολογίες των κτιρίων. Εφόσον όλα τα κτίρια έχουν φέρον οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και η μελέτη/κατασκευή τους έχει γίνει πριν τον αντισεισμικό κανονισμό του 1985 συμπληρώνεται μόνο ο πρώτος πίνακας (ΟΣα) με βασική βαθμολογία 6.

Πίνακας 4.27: Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 1.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΤΙΡΙΟ 1ο
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως ΔΤ	6,0
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I	-0,5
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένως A-0,1)	-0,3
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0,5
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1,0
Κακή κατάσταση	-0,5
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0,5
PILOTIS ή/και κοντά υποστυλώματα	-1,5
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0,5
Μεγάλο ύψος	-1,0
Μη κανονικότητα σε τομή	-1,0
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1,0
Στρέψη (έντονη)	-0,5
Ένταση λειτουργίας (0 έως 1,2)	0,5
Αριθμός χρηστών 10-99	-0,4
ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	3,8

Πίνακας 4.28: Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 2.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΤΙΡΙΟ 2ο
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως ΔΤ	6,0
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I	-0,5
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένως A-0,1)	-0,3
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0,5
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1,0
Κακή κατάσταση	-0,5
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0,5
PILOTIS ή/και κοντά υποστυλώματα	-1,5
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0,5
Μεγάλο ύψος	-1,0
Μη κανονικότητα σε τομή	-1,0
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1,0
Στρέψη (έντονη)	-0,5
Ένταση λειτουργίας (0 έως 1,2)	0,5
Αριθμός χρηστών 10-99	-0,4
ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	2,8

Πίνακας 4.29: Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 3.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΤΙΡΙΟ 3ο
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως ΔΤ	6,0
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I	-0,5
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένως A-0,1)	-0,3
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0,5
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1,0
Κακή κατάσταση	-0,5
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0,5
PILOTIS ή/και κοντά υποστυλώματα	-1,5
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0,5
Μεγάλο ύψος	-1,0
Μη κανονικότητα σε τομή	-1,0
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1,0
Στρέψη (έντονη)	-0,5
Ένταση λειτουργίας (0 έως 1,2)	0,5
Αριθμός χρηστών 10-99	-0,4
ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	4,8

Πίνακας 4.30: Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 4.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΤΙΡΙΟ 4ο
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως ΔΤ	6,0
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I	-0,5
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένως A-0,1)	-0,3
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0,5
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1,0
Κακή κατάσταση	-0,5
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0,5
PILOTIS ή/και κοντά υποστυλώματα	-1,5
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0,5
Μεγάλο ύψος	-1,0
Μη κανονικότητα σε τομή	-1,0
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1,0
Στρέψη (έντονη)	-0,5
Ένταση λειτουργίας (0 έως 1,2)	0,5
Αριθμός χρηστών 10-99	-0,4
ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	3,8

Πίνακας 4.31: Δομική Βαθμολογία - Κτίριο 5.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΤΙΡΙΟ 5ο
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως ΔΤ	6,0
Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I	-0,5
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένους A-0,1)	-0,3
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0,5
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1,0
Κακή κατάσταση	-0,5
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0,5
PILOTIS ή/και κοντά υποστυλώματα	-1,5
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0,5
Μεγάλο ύψος	-1,0
Μη κανονικότητα σε τομή	-1,0
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1,0
Στρέψη (έντονη)	-0,5
Ένταση λειτουργίας (0 έως 1,2)	0,5
Αριθμός χρηστών 10-99	-0,4
ΔΟΜΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	4,3

Η αρχική αξιολόγηση σύμφωνα με το Δ.Ε.ΔΟ.Τ.Α. δεν μπορεί να δώσει τελική απόφαση για την κατάσταση του κτιρίου, δηλαδή δεν ταξινομεί τα κτίρια σε «επαρκή», «ανεπαρκή», «ακατάλληλα», «επικίνδυνα» κ.λπ., λόγω της χαμηλής αξιοπιστίας της. Αντίθετα, τα κτίρια ταξινομούνται σε κατηγορίες προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο, δηλαδή για δευτεροβάθμιο έλεγχο, ο οποίος είναι πιο λεπτομερής και εκτεταμένος, και ως εκ τούτου πιο αξιόπιστος. Βάσει των αποτελεσμάτων του δευτεροβάθμιου ελέγχου, μπορεί να αποφασιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και ασφάλεια αν απαιτείται εκπόνηση μελέτης για τη στατική και αντισεισμική επάρκεια με το ερώτημα της ενδεχόμενης επισκευής και ενίσχυσης. Για τους σκοπούς του συγκεκριμένου νόμου, υπάρχουν τρεις κατηγορίες κατάταξης:

- Υ: Υψηλή προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου
- Μ: Μέση προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου
- Χ: Χαμηλή προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου.

Η κατάταξη ενός κτιρίου σε μια κατηγορία βασίζεται στη συνολική δομική βαθμολογία του ($\tau\beta$), σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.32: Κατάταξη κτιρίων.

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
$\tau\beta. \leq 4.0$	Y
$4.0 < \tau\beta. < 5.5$	M
$\tau\beta. \geq 5.5$	X

Η υψηλότερη τρωτότητα και κίνδυνος (δηλαδή χαμηλότερη βαθμολογία) συνεπάγονται και υψηλότερη κατηγορία προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο.

Για τα κτίρια που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική έχουμε την εξής κατάταξη:

Πίνακας 4.33: Τελική κατάταξη κτιρίων σύμφωνα με την δομική βαθμολογία τους.

ΚΤΙΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ
1	3,8	Y
2	2,8	Y
3	4,8	M
4	3,8	Y
5	4,3	M

Σύμφωνα με τον πίνακα τελικής κατάταξης δομικής βαθμολογίας κτιρίων, όπως αξιολογήθηκαν με το σύστημα Δ.Ε.ΔΟ.Τ.Α., προκύπτει ότι τρία από τα πέντε κτίρια κατατάσσονται στην κατηγορία υψηλής προτεραιότητας ελέγχου (Y) με βαθμολογίες 3,8, 2,8 και 3,3, ενώ τα υπόλοιπα δύο κτίρια κατατάσσονται στη μεσαία προτεραιότητα ελέγχου (M) με βαθμολογίες 4,8 και 4,3. Αυτό δείχνει ότι η πλειονότητα των κτιρίων χρειάζεται άμεση και προσεκτική εξέταση λόγω της υψηλής τους τρωτότητας, ενώ τα υπόλοιπα χρήζουν μεν ελέγχου, αλλά με χαμηλότερη προτεραιότητα.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Κατάταξη Εναλλακτικών ως προς την Σεισμική Τρωτότητα με Μεθόδους Πολυκριτήριας Ανάλυσης.

5.1 Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε την μέθοδο WAP για τον υπολογισμό του βάρους κάθε κριτηρίου, τα βάρη θα μας βοηθήσουν να έχουμε μια κατάταξη προτίμησης των κριτηρίων, καθώς και την μέθοδο PROMETHEE από την οποία θα προκύψει η τελική αξιολόγηση των εναλλακτικών.

5.1.1 Weight Assessment through Prioritizations (WAP)

Οι (Tsotsolas et al., 2019) , βασιζόμενοι στη μέθοδο Robust Simos, μια πολυκριτηρία τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των βαρών κριτηρίων σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων, ανέπτυξαν την μέθοδο WAP (Weights Assessment through Prioritizations). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ιεράρχηση των κριτηρίων από τους χρήστες με βάση τη σημαντικότητά τους και κατόπιν χρησιμοποιεί έναν μαθηματικό τύπο για τον υπολογισμό των βαρών. Η προσέγγιση του Τσοτσολά δίνει έμφαση στη σαφή και δομημένη διαδικασία που βοηθά τους χρήστες να εκφράσουν τις προτιμήσεις τους με μεγαλύτερη ακρίβεια, μειώνοντας την υποκειμενικότητα και ενισχύοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων στην ανάλυση λήψης αποφάσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα της WAP σύμφωνα με τους ερευνητές.

Στάδιο 1^ο

Σε αυτό το στάδιο οι αποφασίζοντες κατατάσσουν τα n κριτήρια του προβλήματος σε s κατηγορίες (όπου $s \leq n$) από το πιο σημαντικό στο λιγότερο σημαντικό. Είναι αναμενόμενο η σπουδαιότητα κάποιων κριτηρίων να είναι ισάξια και επομένως να τοποθετηθούν στην ίδια κατηγορία, κατά συνέπεια μια κατηγορία μπορεί να περιέχει παραπάνω από ένα κριτήριο.

Στάδιο 2^ο

Ένα βασικό σημείο της μεθόδου WAP αποτελούν οι δείκτες z . Μετά την αρχική κατάταξη, ο Αποφασίζων καλείται να συγκρίνει τα διαδοχικά κριτήρια με ζεύγη. Συγκρίνει το πιο σημαντικό κριτήριο του ζεύγους με το λιγότερο σημαντικό και εκφράζει τη σχετική σημασία τους με τη μορφή ενός λόγου, που ονομάζεται δείκτης Z_r .

$$\frac{p_r}{p_{r+1}} = Z_r, \text{ για } r = 1, 2, \dots, s - 1$$

Όπου s είναι ο αριθμός των κατηγοριών σπουδαιότητας των κριτηρίων, $Z_r \geq 1$ και p_r, p_{r+1} είναι τα βάρη των κριτηρίων στις κατηγορίες r και $r+1$ αντίστοιχα.

Η μέθοδος WAP δεν απαιτεί τον ακριβή υπολογισμό των δεικτών z , αλλά πρέπει να εκφραστεί με μορφή εύρους $[Z_{minr}, Z_{maxr}]$, μέσα στο οποίο μπορεί να κυμαίνεται η τιμή του Z_r . Για δύο διαδοχικά κριτήρια ή ομάδα κριτηρίων (π.χ.: g_r, g_{r+1}), η περιοχή $[Z_{minr}, Z_{maxr}]$ προσδιορίζεται έτσι ώστε $Z_{minr} \leq Z_r \leq Z_{maxr}$.

Για να διευκολυνθούν οι ειδικοί στην αναζήτηση αυτού του εύρους, αξιοποιούνται οπτικές διαδραστικές τεχνικές. Μέσω αυτής της προσέγγισης, ζητείται από τον αποφασίζοντα να ταξινομήσει τα “ n ” χαρακτηριστικά σε “ s ” κατηγορίες ($s \leq n$) και να καθορίσει τιμές για τους δείκτες Z_{minr} και Z_{maxr} ($r = 1, 2, \dots, s-1$). Οι γραμμές κύλισης χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν την απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ δύο διαδοχικών χαρακτηριστικών ή συνόλων κριτηρίων. Οι τιμές Z_{minr}, Z_{maxr} υπολογίζονται αυτόματα και απεικονίζονται με ράβδους και μοναδικές ετικέτες.

Αφού αναγνωριστούν τα Z_{minr} και Z_{maxr} για όλα τα ζεύγη των διαδοχικών κατηγοριών, εφαρμόζονται μέθοδοι γραμμικού προγραμματισμού και τεχνικές για την εκτίμηση των ελάχιστων και μέγιστων τιμών των βαρών. Τα 2n προβλήματα βελτιστοποίησης που παρατίθενται παρακάτω, χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των διανυσμάτων βάρους, με σκοπό τη μεγιστοποίηση και ελαχιστοποίηση των βαρών των κριτηρίων:

$$\text{Min } p_i \text{ και Max } p_i, \text{ για } i = 1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

Υπό τους περιορισμούς:

- $p_i - p_{i+1} = 0$
Εάν το κριτήριο g_{i+1} ανήκει στην ίδια κατηγορία σπουδαιότητας με το g_i .
- $p_i - p_{i+1} - z_{minr} \geq 0, p_i - p_{i+1} - z_{maxr} \leq 0$
Ένα το κριτήριο g_{i+1} ανήκει σε διαφορετική κατηγορία σπουδαιότητας με το g_i .
- $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1,$
- $p_1 \geq 0, p_2 \geq 0, p_n \geq 0$

Οι απαντήσεις που θα προκύψουν από τα παραπάνω γραμμικά προγράμματα θα καταλήξουν στον καθορισμό των ελάχιστων και μέγιστων τιμών των βαρών των κριτηρίων στις λύσεις του υπέρ-πολύεδρου (άπειρες λύσεις).

Στάδιο 3^ο

Δύο δείκτες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της σταθερότητας του εκτιμώμενου υπέρ-πολύεδρου. Καθώς οι τιμές αυτές εκτιμώνται για κάθε κορυφή του υπέρ-πολύεδρου, ο πρώτος δείκτης είναι η διαφορά μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων τιμών των βαρών για κάθε κριτήριο.

$$\mu_i = (\max(p_{ij}) - \min(p_{ij})), \text{ για } i = 1, 2, \dots, n \text{ και } j = 1, 2, \dots, m \quad (5.3)$$

Όπου n είναι ο αριθμός των χαρακτηριστικών, m ο αριθμός των κορυφών του υπέρ-πολύεδρου, και p_{ij} είναι το βάρος του κριτηρίου i της κορυφής j .

Ο δεύτερος δείκτης που χρησιμοποιείται εκφράζει την κανονικοποιημένη τυπική απόκλιση των διαφορετικών λύσεων που αντιστοιχούν στις κορυφές του υπέρ-πολύεδρου, με την τιμή 1 να υποδηλώνει ένα σταθερό προτεινόμενο μοντέλο. Αυτός ο κανονικοποιημένος δείκτης ονομάζεται Μέσος Δείκτης Σταθερότητας (Average Stability Index) (Grigoroudis & Siskos, 2002), (Hurson & Siskos, 2014)

$$ASI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(m(\sum_{j=1}^m (p_i^j))^2) - (\sum_{j=1}^m p_i^j)^2}}{m\sqrt{(n-1)}} \quad (5.4)$$

Όπου n είναι ο αριθμός των κριτηρίων και m είναι ο αριθμός των κορυφών του υπέρ-πολύεδρου.

Επιπλέον, εκτιμάται το βαρύκεντρο για το σύνολο των διανυσμάτων βάρους $2n$. Αν ο Αποφασίζων θεωρεί τις τιμές του βαρύκεντρου ικανοποιητικές, μαζί με το επίπεδο σταθερότητας, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάρη για τα αντίστοιχα κριτήρια. Διαφορετικά, ο Αποφασίζων επικεντρώνεται στην ενημέρωση ή την αλλαγή συγκεκριμένων αρχικών προτιμήσεων, όπως οι τιμές Z_{minr} και Z_{maxr} ή η κατάταξη των κριτηρίων.

5.1.2 PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)

Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) είναι μια πολυκριτηριακή μέθοδος λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε από τους Jean-Pierre Brans, Bertrand Mareschal, και Philippe Vincke το 1982 και βελτιώθηκε περαιτέρω το 1986. Η PROMETHEE χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και κατάταξη εναλλακτικών λύσεων με βάση πολλαπλά κριτήρια, και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου τα κριτήρια είναι αντιφατικά ή έχουν διαφορετική σημασία. Βασικά χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι τα εξής:

- **Θεωρία Υπεροχής:** Η PROMETHEE βασίζεται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής, η οποία αναλύει τις προτιμήσεις μεταξύ ζευγών εναλλακτικών λύσεων.
- **Διμερείς Συγκρίσεις:** Η μέθοδος πραγματοποιεί συγκρίσεις μεταξύ δύο εναλλακτικών για κάθε κριτήριο, επιτρέποντας στον λήπτη αποφάσεων να εκφράσει τις προτιμήσεις του.
- **Προσαρμοστικότητα:** Η PROMETHEE μπορεί να διαχειριστεί τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά δεδομένα, καθιστώντας την ευέλικτη και κατάλληλη για πολλαπλές εφαρμογές.
- **Διαφάνεια και Ευκολία Κατανόησης:** Μια από τις κύριες αρετές της είναι ότι η λογική της είναι εύκολα αντιληπτή από τους χρήστες, γεγονός που καθιστά τη μέθοδο κατάλληλη για τη λήψη αποφάσεων σε πολύπλοκα περιβάλλοντα.

Η PROMETHEE ακολουθεί τα παρακάτω στάδια (Brans & Mareschal, 2005)

Στάδιο 1^ο: Υπολογισμός Βαρών κριτηρίων.

Οι περιπτώσεις για τον υπολογισμό των βαρών είναι οι εξής:

- i) Οι τιμές καθορίζονται από τον χρήστη που χειρίζεται το συγκεκριμένο ζήτημα.
- ii) Όλα τα βάρη έχουν ίσες τιμές μεταξύ τους.
- iii) Εφαρμόζεται μια μέθοδος που υπολογίζει τα βάρη για τα αντίστοιχα κριτήρια.

Ισχύει ο περιορισμός:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (5.5)$$

Όπου w_j το βάρος του j -οστού κριτηρίου.

Στάδιο 2^ο: Υπολογισμός Συνάρτησης προτίμησης (Preference function).

Η PROMETHEE χρησιμοποιεί το γενικευμένο κριτήριο για να εκφράσει την αξία που αποδίδει ο διαχειριστής του προβλήματος στη διαφορά $g_j(a) - g_j(b)$ για το κριτήριο j στο ζεύγος ενεργειών (a, b) . Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνάρτησης προτίμησης:

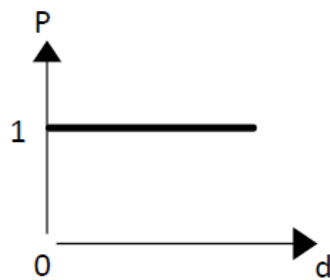
$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \forall (a, b) \in A \quad (5.6)$$

Όπου:

- $d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b)$
- $0 \leq P_j(a, b) \leq 1$
- $P_j(a, b) = 0$, όταν $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$

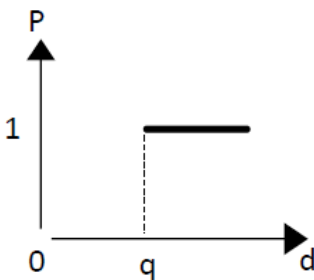
Στην περίπτωση που $g_j(a) - g_j(b) > 0$ τότε γίνεται η επιλογή της συνάρτησης από τον αναλυτή. Έχουμε έξι γενικευμένα κριτήρια, μέσω των οποίων εκφράζονται οι προτιμήσεις.

1. Κοινό κριτήριο (Usual)



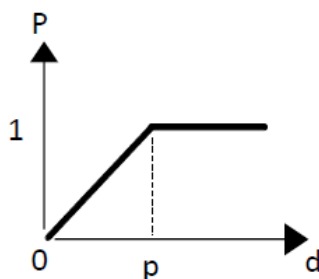
$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$$

2. Κριτήριο Καμπύλης U-shape



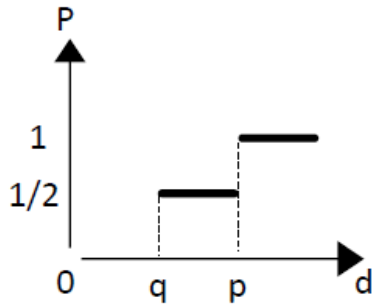
$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases}$$

3. Κριτήριο Καμπύλης V-shape



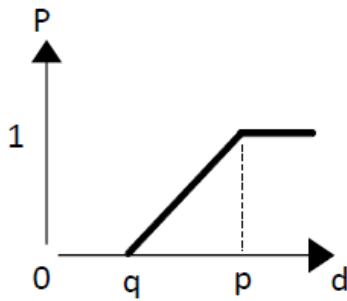
$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ \frac{d}{p}, & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$$

4.Κριτήριο Επιπέδων (level)



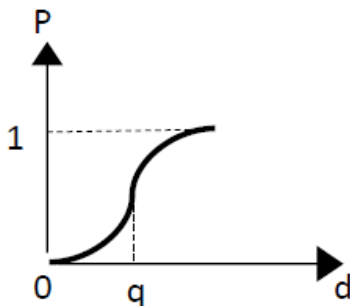
$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$$

5.Κριτήριο V- καμπύλης με κατώφλι αδιαφορίας (Linear)



$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$$

6.Κριτήριο Gauss



$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}}, & d > 0 \end{cases}$$

Στάδιο 3^ο: Υπολογισμός του πολυκριτηρίου δείκτη προτίμησης

Ο δείκτης αυτός δηλώνει τον συνολικό βαθμό προτίμησης της δράσης a σε σύγκριση με την δράση b.

Για κάθε ζεύγος δράσεων (a,b) ισχύει το εξής:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^n w_j p_j(a, b) \tag{5.7}$$

Όπου w_j : βάρος j -οστού κριτηρίου.

$P_j(a, b)$: Αποτέλεσμα συνάρτησης προτίμησης για το j -οστό κριτήριο μεταξύ των δράσεων a, b .

Στάδιο 4^ο: Υπολογισμός ροών υπεροχής

- Θετική ροή (positive outranking flow):

$$\varphi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (5.8)$$

- Αρνητική ροή (negative outranking flow):

$$\varphi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (5.9)$$

- Καθαρή ροή (net outranking flow):

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (5.10)$$

Όπου n το πλήθος των εναλλακτικών υπό αξιολόγηση. Η θετική ροή $\varphi^+(a)$ δείχνει την υπεροχή της εναλλακτικής a έναντι των υπολοίπων εναλλακτικών, ενώ η αρνητική ροή $\varphi^-(a)$ αναπαριστά την υπεροχή των υπολοίπων εναλλακτικών έναντι της a . Η καθαρή ροή $\varphi(a)$ είναι η διαφορά της θετικής με την αρνητική ροή και αποδίδει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την εναλλακτική a σε σχέση με τις άλλες.

Στάδιο 5^ο: Κατάταξη

- Μερική κατάταξη των δράσεων μέσω PROMETHEE I
 - ✓ Πλήρης κατάταξη ($Z1$) ως προς τις θετικές ροές.
 - ✓ Πλήρης κατάταξη ($Z2$) ως προς τις αρνητικές ροές.
- Πλήρης κατάταξη των δράσεων μέσω PROMETHEE II
 - ✓ Πλήρης κατάταξη ($Z = Z1 \cap Z2$) ως προς τις καθαρές ροές.

5.2 Αξιολόγηση Εναλλακτικών

Σε αυτή την ενότητα παραθέτονται σε έναν πολυκριτηριακό πίνακα τα δεδομένα του προβλήματος (εναλλακτικές, κριτήρια), ο υπολογισμός της σχετικής σημασίας (βάρη) των κριτηρίων με την μέθοδο WAP, καθώς και η δομική αξιολόγηση για τα πέντε κτίρια του κεφαλαίου 3 με την μέθοδο PROMETHEE II.

5.2.1 Δομή του Προβλήματος

Σκοπός της εφαρμογής της μεθόδου είναι να αξιολογηθεί η σεισμική τρωτότητα πέντε κτιρίων βάσει έξι διαφορετικών κριτηρίων. Τα κριτήρια αξιολόγησης δεν είναι όλα ισοβαρή μεταξύ τους. Κατόπιν διαβούλευσης με τον αποφασίζοντα που στην συγκεκριμένη διπλωματική έπαιξε ένας ειδικός μηχανικός αντισεισμικού σχεδιασμού, αποδόθηκαν τιμές οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες του προβλήματος.

Κριτήρια αξιολόγησης ορίστηκαν η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, η κατηγορία εδάφους, η σεισμική τρωτότητα, η ένταση λειτουργίας, ο αριθμός χρηστών και ο δομικός τύπος των κτιρίων. Στο πολυκριτηριακό αυτό πρόβλημα η μοντελοποίηση των κριτηρίων έγινε με μια διαφορετική προσέγγιση σε σχέση με αυτή που ακολουθεί ο ΟΑΣΠ.

Πίνακας 5.1: Κριτήρια αξιολόγησης τρωτότητας κτιρίων.

Κριτήρια	Περιγραφή
<i>CR1:</i> Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	Κατά Ε.ΑΚ.-2000 όπως τροποποιήθηκε σύμφωνα με το ΦΕΚ Β΄ 1154/12.08.2003 με βάση το πεδίο 2 (Δημοτική Ενότητα). Χωρίζει τη χώρα σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με βάση την αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση που θα μπορούσε να συμβεί σε περίπτωση σεισμού.
<i>CR2:</i> Κατηγορία Εδάφους	Κατά Ε.ΑΚ.-2000 ,το έδαφος μιας περιοχής κατηγοριοποιείται σε πέντε κύριες κατηγορίες με βάση τις γεωτεχνικές του ιδιότητες και τη συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων.
<i>CR3:</i> Σεισμική Τρωτότητα	Χαρακτηριστικά σχετικά με την τρωτότητα του κτιρίου όπως η εφαρμογή αντισεισμικού κανονισμού, προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, κακή κατάσταση, κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια , μαλακός όροφος, κανονικότητα διάταξης τοιχόστρωσης, μεγάλο ύψος, κανονικότητα σε ύψος και οριζόντια, ενδεχόμενο στρέψης και η ύπαρξη κοντών υποστυλωμάτων
<i>CR4:</i> Ένταση Λειτουργίας	«Ένταση» χρήσης του κτιρίου, δηλαδή πόσο μέρος του 24ώρου χρησιμοποιείται το κτίριο, ανεξαρτήτως του αριθμού των χρηστών. Έχουμε υψηλή, μέση και μικρή ένταση. Κτίρια μικρής έντασης (π.χ. κατοικίες) μειώνουν την τρωτότητα.
<i>CR5:</i> Αριθμός Χρηστών	Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ατόμων που χρησιμοποιούν ή διαμένουν σε ένα κτίριο, τόσο αυξάνεται και η σεισμική του τρωτότητα.
<i>CR6:</i> Δομικός Τύπος	Αναφέρεται στα υλικά και τους εφαρμοσθέντες κανονισμούς κατά την περίοδο μελέτης/κατασκευής των κτιρίων.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή και οι συναρτήσεις προτίμησης των κριτηρίων αξιολόγησης. Η συνάρτηση προτίμησης μετατρέπει την διαφορά των εκτιμήσεων δυο εναλλακτικών σε ένα βαθμό προτίμησης για ένα συγκεκριμένο κριτήριο (εξίσωση (5.6)). Η τιμή που ορίζει την απόκλιση μεταξύ δύο εναλλακτικών ώστε να προκύπτει αδιαφορία ή προτίμηση λέγεται κατώφλι.

❖ Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας

Έχουμε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας Ζώνη I (0,16g), Ζώνη II (0,24g), Ζώνη III (0,36g), κατά Ε.ΑΚ. 2000. Οι ζώνες αυτές αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα σεισμικής επικινδυνότητας, με τη Ζώνη I να έχει τη χαμηλότερη επικινδυνότητα και τη Ζώνη 3 την υψηλότερη. Ενδεικτικά, η ζώνη 1 περιλαμβάνει περιοχές όπως η Θράκη, ορισμένα τμήματα της κεντρικής και ανατολικής Μακεδονίας, τμήματα της κεντρικής και νοτιοανατολικής Αττικής. Στη ζώνη 2 ανήκουν περιοχές όπως η βόρεια Αττική, η Κρήτη, η βόρεια και κεντρική Πελοπόννησος, η κεντρική Στερεά Ελλάδα και μέρος της Θεσσαλίας. Τέλος η ζώνη 3 περιλαμβάνει τα Ιόνια νησιά (όπως η Κεφαλονιά, η Ζάκυνθος και η Λευκάδα) και τμήματα της δυτικής Στερεάς Ελλάδας.

❖ Κατηγορία Εδάφους

Η κατηγορία εδάφους στον Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000) είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών, καθώς το έδαφος επηρεάζει τον τρόπο που διαδίδονται τα σεισμικά κύματα και επομένως τον σεισμικό κίνδυνο για τα κτίρια. Ο ΕΑΚ κατατάσσει τα εδάφη σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τις γεωτεχνικές και γεωλογικές ιδιότητες τους. Έχουμε πέντε κατηγορίες εδαφών:

- I. Κατηγορία Εδάφους Α (Βραχώδη και Σκληρά Εδάφη)
- II. Κατηγορία Εδάφους Β (Μέτρια Σκληρά Εδάφη)
- III. Κατηγορία Εδάφους Γ (Μαλακά Εδάφη)
- IV. Κατηγορία Εδάφους Δ (Πολύ Μαλακά Εδάφη)
- V. Κατηγορία Εδάφους Χ (Τεχνητά Εδάφη)

Μαλακότερα εδάφη τείνουν να αυξάνουν τη σεισμική επιτάχυνση, γι' αυτό και σε περιοχές με μαλακό έδαφος απαιτούνται επιπλέον μέτρα ενίσχυσης και μεγαλύτερα αντισεισμικά προσαρτήματα.

❖ Σεισμική Τρωτότητα

Η σεισμική τρωτότητα αποτελεί ξεχωριστή και ιδιαίτερα σημαντική ενότητα στον πρωτοβάθμιο έλεγχο με την μέθοδο του ΟΑΣΠ (Κεφάλαια 3.2,4.2). Η σεισμική τρωτότητα εξαρτάται από κάποιους παράγοντες μέσα από τους οποίους προκύπτει και η βαθμολογία για το συγκεκριμένο κριτήριο αξιολόγησης. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό
- Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα
- Κακή κατάσταση
- Κρούση με γειτονικά κτίρια
- PILOTIS ή/και κοντά υποστυλώματα
- Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη
- Μεγάλο ύψος
- Μη κανονικότητα σε τομή
- Μη κανονικότητα σε κάτοψη
- Στρέψη (έντονη)

Θεωρητικά ένα κτίριο που διαθέτει όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα βαθμολογηθεί πολύ χαμηλά καθώς συνδυάζει πολλούς παράγοντες που αυξάνουν δραματικά τον κίνδυνο αστοχίας σε σεισμούς. Η προσέγγιση σε αυτό το κριτήριο είναι διαφορετική από αυτή που ακολουθείται στην περίπτωση του πρωτοβάθμιου έλεγχου με τη μέθοδο του ΟΑΣΠ, κατά την οποία κάθε παράμετρος τρωτότητας λειτουργεί αφαιρετικά από μια αρχική βαθμολογία.

❖ Ένταση Λειτουργίας

Για την ένταση λειτουργίας ο συντελεστής καθορίζεται βάσει την «ένταση» χρήσης του κτιρίου, δηλαδή πόσο μέρος του 24ώρου χρησιμοποιείται το κτίριο, ανεξαρτήτως του αριθμού των χρηστών. Έτσι για χρήσεις πολύ υψηλής έντασης (π.χ. ένα νοσοκομείο που λειτουργεί όλο το 24ώρο) προβλέπεται μηδενικός συντελεστής, ενώ για χρήσης μικρής έντασης (π.χ. ένα εμπορικό κατάστημα δεν λειτουργεί όλο το 24ώρο) προβλέπονται θετικοί συντελεστές που αυξάνουν την βαθμολογία, μειώνοντας την τρωτότητα και τον βαθμό προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο του κτιρίου. Ο βαθμός προτίμησης μεταξύ 2 κτιρίων με μικρή ένταση λειτουργίας και υψηλής έντασης αντίστοιχα είναι μεγαλύτερος έναντι 2 κτιρίων με ένταση μεσαία και υψηλή αντίστοιχα.

❖ Αριθμός Χρηστών

Ο αριθμός των χρηστών επηρεάζει τη δομική βαθμολογία ενός κτιρίου μέσα από την αυξημένη καταπόνηση, τις απαιτήσεις ασφάλειας και τη γενικότερη ανθεκτικότητα του κτιρίου στις καθημερινές φορτίσεις και σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Όσο μεγαλύτερο αριθμό χρηστών εξυπηρετεί ένα κτίριο τόσο χαμηλότερο βαθμό προτίμησης θα έχει σε σύγκριση με ένα κτίριο με μικρότερο αριθμό χρηστών.

❖ Δομικός Τύπος

Ο δομικός τύπος ενός κτιρίου αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη δομική του βαθμολογία. Στην διπλωματική αυτή εστίασαμε σε κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και ο διαχωρισμός για την βαθμολογία τους αφορά τους εφαρμοσθέντες κανονισμούς κατά την περίοδο μελέτης/κατασκευής. Έτσι έχουμε:

Πίνακας 5.2: Δομικός τύπος κτιρίων για οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΟΣα	Οπλισμένο σκυρόδεμα, παλαιότερα	Κτίρια μέχρι το 1985 (Α/Σ'59, Κ/Σ'54)
ΟΣβ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, νεότερα	Κτίρια περιόδου 1986 έως 1995/2000 (Α/Σ'59 με πρόσθετα άρθρα του Α/Σ'85, Κ/Σ'54)
ΟΣγ	Οπλισμένο σκυρόδεμα, σύγχρονα	NEAK, NEΚΟΣ Σύγχρονοι Κανονισμοί

Επομένως τα παλιότερα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα λαμβάνουν χαμηλότερο βαθμό προτίμησης σε σχέση με τα νεότερα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στην εργασία αυτή μελετηθήκαν πέντε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή της Αττικής, η μελέτη/κατασκευή τους χρονολογείται μεταξύ 1965 και 1975. Σύμφωνα με τα στοιχεία που συγκεντρωθήκαν στο Κεφάλαιο 4, τα πέντε αυτά κτίρια αποτελούν τις εναλλακτικές του προβλήματος.

Πίνακας 5.3: Δεδομένα προβλήματος - Πολυκριτηριακός Πίνακας.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ					
	g1.Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	g2.Κατηγορία Εδάφους	g3.Σεισμική Τρωτότητα	g4.Ένταση Λειτουργίας	g5.Αριθμός Χρηστών	g6.Δομικός Τύπος
a.KT1	ZΩNH 1	B	1,5	Μεσαία	Αριθμός χρηστών 10-99	ΟΣα
b.KT2	ZΩNH 1	B	2,5	Μεσαία	Αριθμός χρηστών 10-99	ΟΣα
c.KT3	ZΩNH 1	B	0,5	Μεσαία	Αριθμός χρηστών 10-99	ΟΣα
d.KT4	ZΩNH 1	B	1,5	Μεσαία	Αριθμός χρηστών 10-99	ΟΣα
e.KT5	ZΩNH 1	B	1,0	Μεσαία	Αριθμός χρηστών 10-99	ΟΣα

5.2.2 Προσδιορισμός σχετικής σημαντικότητας κριτηρίων με την μέθοδο WAP.

Όπως είδαμε και στην παραπάνω ενότητα λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των κριτηρίων, δημιουργήθηκε ο πολυκριτηριακός (Πίνακας 5.3.) Η ταξινόμηση των κριτηρίων για τον προσδιορισμό της σχετικής τους σημαντικότητας έγινε με την βοήθεια λογισμικού. Αρχικά με την βοήθεια του ειδικού αποφασίζοντα κατατάχτηκαν τα κριτήρια από το σημαντικότερο στο λιγότερο σημαντικό και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οπτικά οι αποστάσεις για τα Z_{min} και Z_{max} μεταξύ των κριτηρίων. Το κριτήριο 3 (Σεισμική Τρωτότητα) θεωρείται το σημαντικότερο έναντι των υπολοίπων, ακολουθεί το κριτήριο 6 (Δομικός Τύπος), έπειτα τα κριτήρια 1 (Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας) και 2 (Κατηγορία εδάφους) με ισοδύναμη βαρύτητα και τέλος τα κριτήρια 4 (Ένταση Λειτουργίας) και 5 (Αριθμός Χρηστών) πάλι με ισοδύναμη βαρύτητα.

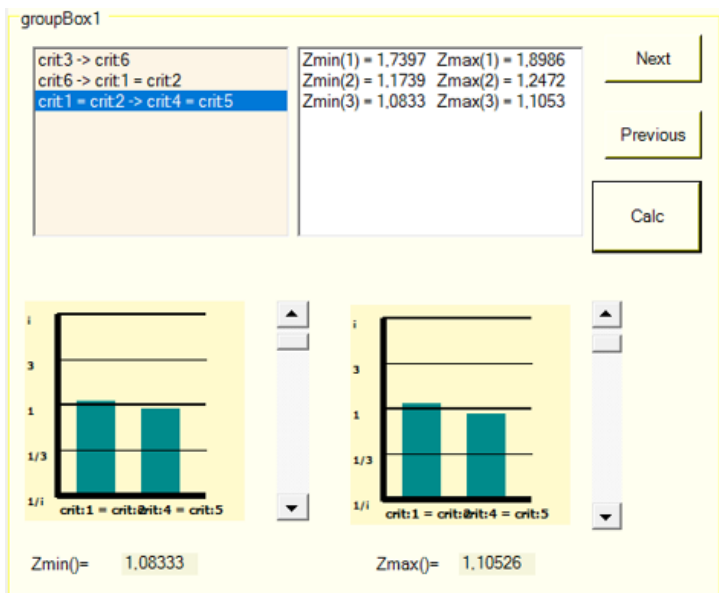
1. Criteria
Number of Criteria: 6 Accept

2. Priorities - Ranking
crit:6 2 Accept Ranking

N..	Crit./WC	Rank
0	crit:1	3
1	crit:2	3
2	crit:3	1
3	crit:4	4
4	crit:5	4
5	crit:6	2

Σχήμα 5.1: Κατάταξη προτεραιοτήτων.

Προσδιορίζοντας οπτικά τις αποστάσεις μπορεί να υπολογιστεί πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 3 από το κριτήριο 6, πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 6 έναντι των κριτηρίων 1 και 2 και τέλος πόσο πιο σημαντικά είναι τα κριτήρια 1 και 2 έναντι των κριτηρίων 4 και 5. Έτσι έχοντας δημιουργήσει 3 εύρη μέσα στο πρόγραμμα από Z_{min} και Z_{max} , κατατάξαμε τα 6 κριτήρια σε 5 κλάσεις, όπως φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Αξιολόγηση των Zmin και Zmax μεταξύ της 1^{ης} και της 2^{ης} κλάσης.

Εισάγοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα, το πρόγραμμα υπολογίζει τα βάρη (τιμή Mid) των κριτηρίων, στο Σχήμα 5.3 βλέπουμε πιο αναλυτικά σε μια διάταξη οθόνης, τα αποτελέσματα που παρέχονται από την εφαρμογή WAP μετά την εισαγωγή των δεδομένων.



Σχήμα 5.3: Αποτελέσματα για την σχετική σημασία των κριτηρίων του λογισμικού της μεθόδου WAP.

5.2.3

Αξιολόγηση Εναλλακτικών με Εφαρμογή της Μεθόδου PROMETHEE II.

Χρησιμοποιούμε την PROMETHEE II, καθώς θέλουμε πλήρη κατάταξη των εναλλακτικών. Έχουμε 5 εναλλακτικές και 6 κριτήρια αξιολόγησης. Με χρήση του excel και λαμβάνοντας υπόψη τον Πίνακα 5.3 και τον τύπο (5.6, βρίσκουμε τις αποστάσεις για κάθε εναλλακτική.

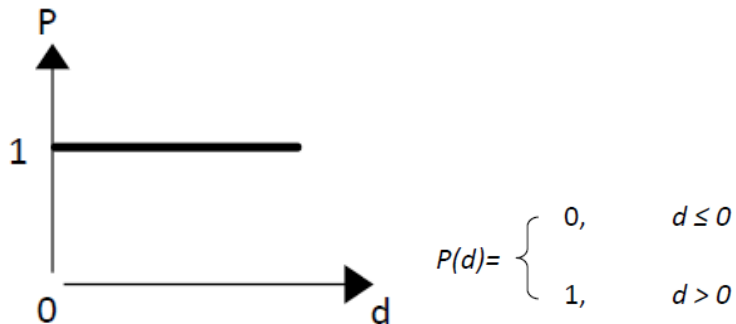
$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (5.11)$$

$$P_j(a, b) = 0, \text{ όταν } g_j(a) - g_j(b) \leq 0 \quad (5.12)$$

Πίνακας 5.4: Αποστάσεις μεταξύ εναλλακτικών.

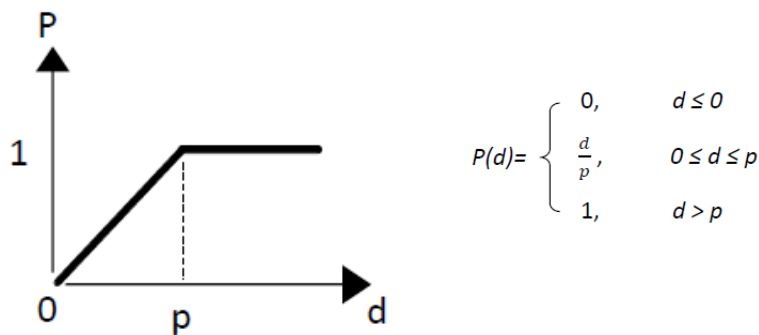
Αποστάσεις	g1.Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	g2.Κατηγορία Εδάφους	g3.Σεισμική Τρωτότητα	g4.Ένταση Λειτουργίας	g5.Αριθμός Χρηστών	g6.Δομικός Τύπος
d(a,b)	0	0	1,0	0	0	0
d(a,c)	0	0	-1,0	0	0	0
d(a,d)	0	0	0,0	0	0	0
d(a,e)	0	0	-0,5	0	0	0
d(b,a)	0	0	-1,0	0	0	0
d(b,c)	0	0	-2,0	0	0	0
d(b,d)	0	0	-0,5	0	0	0
d(b,e)	0	0	-1,5	0	0	0
d(c,a)	0	0	1,0	0	0	0
d(c,b)	0	0	2,0	0	0	0
d(c,d)	0	0	1,0	0	0	0
d(c,e)	0	0	0,5	0	0	0
d(d,a)	0	0	0,0	0	0	0
d(d,b)	0	0	1,0	0	0	0
d(d,c)	0	0	-1,0	0	0	0
d(d,e)	0	0	-0,5	0	0	0
d(e,a)	0	0	0,5	0	0	0
d(e,b)	0	0	1,5	0	0	0
d(e,c)	0	0	-0,5	0	0	0
d(e,d)	0	0	0,5	0	0	0

Τα κριτήρια 1,2,4,5 και 6 είναι κοινά κριτήρια. Αν η διαφορά d μεταξύ των δύο εναλλακτικών είναι μηδενική (δηλαδή, είναι ίσες), τότε ο βαθμός προτίμησης είναι 0. Αν υπάρχει οποιαδήποτε διαφορά, ο βαθμός προτίμησης είναι 1.



Σχήμα 5.4: Κοινό κριτήριο (Usual Criterion).

Το 3^ο κριτήριο είναι κριτήριο V- καμπύλης (V-shape). Ο βαθμός προτίμησης αυξάνεται γραμμικά από το 0 έως το 1, ανάλογα με την τιμή της διαφοράς d , και φτάνει στο 1 όταν το d υπερβαίνει το κατώφλι προτίμησης p . Αν η διαφορά είναι μικρότερη από το κατώφλι, η προτίμηση είναι ανάλογη του d/p . Όπου κατώφλι προτίμησης $p = 4$.



Σχήμα 5.5: Κριτήριο V- Καμπύλης (V-shape).

Πίνακας 5.5: Πίνακας συνάρτησης προτίμησης.

Συνάρτηση Προτίμησης	g1.Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	g2.Κατηγορία Εδάφους	g3.Σεισμική Τρωτότητα	g4.Ένταση Λειτουργίας	g5.Αριθμός Χρηστών	g6.Δομικός Τύπος
P(a,b)	0	0	0,25	0	0	0
P(a,c)	0	0	0,00	0	0	0
P(a,d)	0	0	0,00	0	0	0
P(a,e)	0	0	0,00	0	0	0
P(b,a)	0	0	0,00	0	0	0
P(b,c)	0	0	0,00	0	0	0
P(b,d)	0	0	0,00	0	0	0
P(b,e)	0	0	0,00	0	0	0
P(c,a)	0	0	0,25	0	0	0
P(c,b)	0	0	0,50	0	0	0
P(c,d)	0	0	0,25	0	0	0
P(c,e)	0	0	0,13	0	0	0
P(d,a)	0	0	0,00	0	0	0
P(d,b)	0	0	0,25	0	0	0
P(d,c)	0	0	0,00	0	0	0
P(d,e)	0	0	0,00	0	0	0
P(e,a)	0	0	0,13	0	0	0
P(e,b)	0	0	0,38	0	0	0
P(e,c)	0	0	0,00	0	0	0
P(e,d)	0	0	0,13	0	0	0

Πολλαπλασιάζοντας το βάρος του κριτηρίου (Σχήμα 5.3) με τον Πίνακα 5.5, προκύπτει ο Πίνακας 5.6 με τον σταθμισμένο δείκτη προτίμησης, τύπος (5.7).

Πίνακας 5.6: Σταθμισμένος Δείκτης προτίμησης.

Σταθμισμένος Δείκτης Προτίμησης	g1.Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	g2.Κατηγορία Εδάφους	g3.Σεισμική Τρωτότητα	g4.Ένταση Λειτουργίας	g5.Αριθμός Χρηστών	g6.Δομικός Τύπος
$\pi(a,b)$	0	0	0,076	0	0	0
$\pi(a,c)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(a,d)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(a,e)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(b,a)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(b,c)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(b,d)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(b,e)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(c,a)$	0	0	0,076	0	0	0
$\pi(c,b)$	0	0	0,152	0	0	0
$\pi(c,d)$	0	0	0,076	0	0	0
$\pi(c,e)$	0	0	0,038	0	0	0
$\pi(d,a)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(d,b)$	0	0	0,076	0	0	0
$\pi(d,c)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(d,e)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(e,a)$	0	0	0,038	0	0	0
$\pi(e,b)$	0	0	0,114	0	0	0
$\pi(e,c)$	0	0	0,000	0	0	0
$\pi(e,d)$	0	0	0,038	0	0	0

Ως τελευταίο βήμα υπολογίζεται η καθαρή ροή αξιοποιώντας τους τύπους (5.8)(5.9)(5.10) και με αυτόν τον τρόπο βρίσκουμε το τελικό αποτέλεσμα από το οποίο προκύπτει και η τελική κατάταξη των εναλλακτικών.

Πίνακας 5.7: Ροές Υπεροχής.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	Φ+	Φ-	Φ
a.KT1	0,01900	0,04750	-0,03
b.KT2	0,00000	0,10450	-0,10
c.KT3	0,0855	0	0,09
d.KT4	0,0190	0,0285	-0,01
e.KT5	0,0475	0,0095	0,04

Πίνακας 5.8: Τελική κατάταξη εναλλακτικών.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ
ΚΤΙΡΙΟ 1	4
ΚΤΙΡΙΟ 2	5
ΚΤΙΡΙΟ 3	1
ΚΤΙΡΙΟ 4	3
ΚΤΙΡΙΟ 5	2

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα η PROMETHEE II, αποδεικνύει ότι το κτίριο με τις λιγότερες τρωτότητες είναι το κτίριο 3, πράγμα που επιβεβαιώνεται και με την μέθοδο του ΟΑΣΠ, επομένως η ιεράρχηση των κριτηρίων και τα βάρη τους επιλέχθηκαν σωστά.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της σεισμικής τρωτότητας πέντε υφιστάμενων κτιρίων στην περιοχή της Αττικής με την μέθοδο του Πρωτοβάθμιου προσεισμικού έλεγχου που προτείνει ο ΟΑΣΠ και στην συνέχεια η αξιοποίηση μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης για την σύγκριση των κτιρίων ως προς την σεισμική τρωτότητα τους. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι η μέθοδος WAP για τον υπολογισμό της σχετικής σπουδαιότητας των κριτηρίων και η μέθοδος PROMETHEE II για την τελική κατάταξη.

Η Πολύ-κριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων, όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα κεφάλαια, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την αντιμετώπιση προβλημάτων λήψης αποφάσεων στον τομέα του Πολιτικού Μηχανικού, όπου συνήθως συνυπάρχουν πολλαπλά κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη ταυτόχρονα. Στα κεφάλαια που προηγήθηκαν και μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης διαπιστώθηκε ότι η πολυκριτήρια ανάλυση παρέχει ένα συστηματικό πλαίσιο που επιτρέπει στους μηχανικούς να εξετάσουν ταυτόχρονα τεχνικά και ποιοτικά κριτήρια. Σκοπός ήταν να μοντελοποιήσουμε τα κριτήρια χρησιμοποιώντας την PROMETHEE με μια διαφορετική σκοπιά από την «αφαιρετική» μέθοδο των συντελεστών του ΟΑΣΠ.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, εφαρμόστηκε αρχικά η μέθοδος του πρωτοβάθμιου προσεισμικού ελέγχου, που είναι γνωστή στην ελληνική βιβλιογραφία από το ΥΠΕΧΩΔΕ και τον ΟΑΣΠ. Ο πρωτοβάθμιος έλεγχος αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για τον αρχικό εντοπισμό των κτιρίων που παρουσιάζουν υψηλή σεισμική τρωτότητα, αλλά και για τον προγραμματισμό πιο λεπτομερών ελέγχων ή παρεμβάσεων.

Στην έρευνα αξιολογήθηκαν συγκεκριμένα κτίρια με βάση τη δομική τους κατάσταση, το έτος κατασκευής τους, λαμβάνοντας υπόψη και τη γεωγραφική τους θέση. Η ανάλυση με μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης έδειξε ότι η ιεράρχηση των κτιρίων που απαιτείται πιο λεπτομερείς έλεγχοι μπορεί να υποστηριχτεί σημαντικά από αυτά τα εργαλεία, καθώς συγκρίνει τις εναλλακτικές μεταξύ τους σε όλα τα επιμέρους κριτήρια.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου με βάση τον οπτικό έλεγχο σύμφωνα με τον ΟΑΣΠ (Πίνακας 4.32) έδωσε την κατάταξη ως προς ποιο κτίριο εμφανίζει τις λιγότερες τρωτότητες και συνεπώς την προτεραιότητα για περαιτέρω έλεγχο για επέμβαση ή ενίσχυση του κτιρίου.

- Στην 1^η θέση κατατάσσεται το κτίριο 3.
- Στην 2^η θέση κατατάσσεται το κτίριο 5.
- Στην 3^η θέση κατατάσσονται τα κτίρια 1 και 4.
- Στην 4^η θέση κατατάσσεται το κτίριο 2.

Εφαρμόζοντας την μέθοδο PROMETHEE II σε συνδυασμό με τα βάρη που προέκυψαν από τη μέθοδο WAP από τον πολυκριτηριακό πίνακα (Πίνακας 5.8) προέκυψε ότι:

- Η εναλλακτική E3 έρχεται πρώτη στην κατάταξη.
- Η εναλλακτική E5 έρχεται δεύτερη στην κατάταξη.
- Η εναλλακτική E4 έρχεται τρίτη στην κατάταξη.
- Η εναλλακτική E1 έρχεται τέταρτη στην κατάταξη.
- Η εναλλακτική E2 έρχεται πέμπτη στην κατάταξη.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μεθόδων βλέπουμε ότι και με τις δύο μεθόδους το κτίριο 3 είναι το κτίριο με την καλύτερη βαθμολογία ενώ το κτίριο 2 αυτό με την χαμηλότερη. Στην δεύτερη θέση έχουμε το κτίριο 5. Η διαφορά των μεθόδων παρατηρείται στην 3^η και 4^η θέση, όπου ο Πρωτοβάθμιος έλεγχος κατατάσσει τα κτίρια 1 και τα 4 στην ίδια θέση, ενώ η PROMETHEE εντοπίζει διαφορές μεταξύ τους.

Εν κατακλείδι, επιβεβαιώνεται η χρησιμότητα των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης σε προβλήματα πολιτικού μηχανικού και στην συγκεκριμένη περίπτωση στο πρόβλημα που αφορά την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας των κτιρίων.

Κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας αρχικά θα πρέπει να είναι η ανάλυση περισσότερων κτιρίων με διαφορετικό δομικό τύπο, σε διαφορετικές περιοχές, κατασκευασμένα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και με διαφορές ως προς την ένταση λειτουργίας και τον μέγιστο αριθμό ατόμων που συναθροίζονται σε αυτά αξιοποιώντας τις μεθόδους αυτές.

Ακόμη, προτείνεται ως πεδίο μελλοντικής έρευνας ο έλεγχος καταλληλότητας των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόβλημα αυτό και η αξιοποίηση μεθόδων που ανήκουν στην κατηγορία των αναλυτικών μοντέλων αποφάσεων όπως είναι η Θεωρία Πολυκριτήριας Χρησιμότητας, οι μέθοδοι UTA, η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία, κ.α.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

E.A.K. (2000). *Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός*, ΟΑΣΠ, Αθήνα.

Alam, N., Alam, M. S., & Tesfamariam, S. (2012). Buildings' seismic vulnerability assessment methods: A comparative study. *Natural Hazards*, 62(2), 405–424.

<https://doi.org/10.1007/s11069-011-0082-4>

Alhumaid, M., Ghumman, A. R., Haider, H., Al-Salamah, I. S., & Ghazaw, Y. M. (2018).

Sustainability Evaluation Framework of Urban Stormwater Drainage Options for Arid

Environments Using Hydraulic Modeling and Multicriteria Decision-Making. *Water*, 10(5),

Article 5. <https://doi.org/10.3390/w10050581>

Azizkhani, M., Vakili, A., Noorollahi, Y., & Naseri, F. (2017). Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1198–1206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.103>

Brans, J.-P., & Mareschal, B. (2005). Promethee Methods. Στο J. Figueira, S. Greco, & M. Ehrogott (Επιμ.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (σσ. 163–186). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_5

Chen, L., & Pan, W. (2016). BIM-aided variable fuzzy multi-criteria decision making of low-carbon building measures selection. *Sustainable Cities and Society*, 27, 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.008>

de la Fuente, A., Pons, O., Josa, A., & Aguado, A. (2016). Multi-Criteria Decision Making in the sustainability assessment of sewerage pipe systems. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4762–4770. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.002>

Diakoulaki, D., & Karangelis, F. (2007). Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716–727. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.007>

- Formisano, A., & Mazzolani, F. M. (2015). On the selection by MCDM methods of the optimal system for seismic retrofitting and vertical addition of existing buildings. *Computers & Structures*, *159*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2015.06.016>
- Grigoroudis, E., & Siskos, Y. (2002). Preference disaggregation for measuring and analysing customer satisfaction: The MUSA method. *European Journal of Operational Research*, *143*(1), 148–170. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00332-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00332-0)
- Gumus, S., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2016). Intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making framework based on life cycle environmental, economic and social impacts: The case of U.S. wind energy. *Sustainable Production and Consumption*, *8*, 78–92. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.06.006>
- Harirchian, E., Lahmer, T., Buddhiraju, S., Mohammad, K., & Mosavi, A. (2020). Earthquake Safety Assessment of Buildings through Rapid Visual Screening. *Buildings*, *10*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/buildings10030051>
- Hurson, C., & Siskos, Y. (2014). A synergy of multicriteria techniques to assess additive value models. *European Journal of Operational Research*, *238*(2), 540–551. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.047>
- Jalaei, F., Jrade, A., & Nassiri, M. (2015). *Integrating decision support system (DSS) and building information modeling (BIM) to optimize the selection of sustainable building components*. *20*, 399–420.
- Jaszkiewicz, A., & Słowiński, R. (1995). The Light Beam Search—Outranking Based Interactive Procedure for Multiple-Objective Mathematical Programming. Στο P. M. Pardalos, Y. Siskos, & C. Zopounidis (Επιμ.), *Advances in Multicriteria Analysis* (σσ. 129–146). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2383-0_9
- Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., & Canteras-Jordana, J. C. (2014). A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction*, *45*, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.013>

- Jia, J., Ibrahim, M., Hadi, M., Orabi, W., & Xiao, Y. (2018). Multi-Criteria Evaluation Framework in Selection of Accelerated Bridge Construction (ABC) Method. *Sustainability*, *10*(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su10114059>
- Kamali, M., Hewage, K., & Milani, A. S. (2018). Life cycle sustainability performance assessment framework for residential modular buildings: Aggregated sustainability indices. *Building and Environment*, *138*, 21–41. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.019>
- Keeney, R. L., Raiffa, H., & Bell, D. E. (1977). *Conflicting Objectives in Decisions*. John Wiley & Sons. <https://iiasa.dev.local/>
- Milošević, D. M., Milošević, M. R., & Simjanović, D. J. (2020). Implementation of Adjusted Fuzzy AHP Method in the Assessment for Reuse of Industrial Buildings. *Mathematics*, *8*(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/math8101697>
- Navarro Martínez, I., Martí Albiñana, J. V., & Yepes Piqueras, V. (2018). *MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES IN CIVIL ENGINEERING EDUCATION FOR SUSTAINABILITY*. 9798–9807. <https://doi.org/10.21125/iceri.2018.0813>
- Number of earthquakes globally 2000-2023*. (χ.χ.). Statista. Ανακτήθηκε 17 Νοέμβριος 2024, από <https://www.statista.com/statistics/263105/development-of-the-number-of-earthquakes-worldwide-since-2000/>
- Ogrodnik, K. (2019). Multi-Criteria Analysis of Design Solutions in Architecture and Engineering: Review of Applications and a Case Study. *Buildings*, *9*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/buildings9120244>
- Pan, N.-F. (2008). Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method. *Automation in Construction*, *17*(8), 958–965. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.03.005>
- Pons, O., & Aguado, A. (2012). Integrated value model for sustainable assessment applied to technologies used to build schools in Catalonia, Spain. *Building and Environment*, *53*, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.007>

- Rashid, K., Razzaq, A., Ahmad, M., Rashid, T., & Tariq, S. (2017). Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate. *Construction and Building Materials*, *154*, 829–840. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.219>
- Rikkonen, P., Tapio, P., & Rintamäki, H. (2019). Visions for small-scale renewable energy production on Finnish farms – A Delphi study on the opportunities for new business. *Energy Policy*, *129*, 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.004>
- Roy, B. (2005). Paradigms and Challenges. Στο J. Figueira, S. Greco, & M. Ehrogott (Επιμ.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (σσ. 3–24). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_1
- Roy, B., & Hugonnard, J. C. (1982). Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research Part A: General*, *16*(4), 301–312. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(82\)90057-7](https://doi.org/10.1016/0191-2607(82)90057-7)
- Roy, B., & Vanderpooten, D. (1997). An overview on “The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works”. *European Journal of Operational Research*, *99*(1), 26–27. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00379-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00379-7)
- Roy, B., & Vincke, P. (1981). Multicriteria analysis: Survey and new directions. *European Journal of Operational Research*, *8*(3), 207–218. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(81\)90168-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(81)90168-5)
- Siskos, J., & Despotis, D. K. (1989). A DSS oriented method for multiobjective linear programming problems. *Decision Support Systems*, *5*(1), 47–55. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(89\)90027-4](https://doi.org/10.1016/0167-9236(89)90027-4)
- Siskos, Y., & Spyridakos, A. (1999). Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives. *European Journal of Operational Research*, *113*(2), 236–246. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00213-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00213-6)
- Tabucanon, M. T., & Lee, H.-M. (1995). Multiple criteria evaluation of transportation system improvement projects: The case of Korea. *Journal of Advanced Transportation*, *29*(1), 127–143. <https://doi.org/10.1002/atr.5670290110>

- Tille, M., & Dumont, A.-G. (Επιμ.). (2003). Methods of multicriteria decision analysis within the road projects like an element of the sustainability. *Proceedings of the 3rd STRC Swiss Transport Research*. 3rd STRC Swiss Transport Research Conference.
- Tsotsolas, N., Spyridakos, A., Siskos, E., & Salmon, I. (2019). Criteria weights assessment through prioritizations (WAP) using linear programming techniques and visualizations. *Operational Research*, 19(1), 135–150. <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0280-7>
- Vilutiene, T., Kumetaitis, G., Kiaulakis, A., & Kalibatas, D. (2020). Assessing the Sustainability of Alternative Structural Solutions of a Building: A Case Study. *Buildings*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/buildings10020036>
- Wu, Y., Tao, Y., Zhang, B., Wang, S., Xu, C., & Zhou, J. (2020). A decision framework of offshore wind power station site selection using a PROMETHEE method under intuitionistic fuzzy environment: A case in China. *Ocean & Coastal Management*, 184, 105016. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105016>
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Vilutiene, T., & Adeli, H. (2018). Sustainable Decision-Making in Civil Engineering, Construction and Building Technology. *Sustainability*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su10010014>