

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ  
ΑΤΤΙΚΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ  
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΤΑΪΚΟΥ ΖΩΗ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΙΣΑΑΚ ΒΡΥΖΙΔΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2023

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

---

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

---

ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

(Επιβλέπων)

---

ΙΣΑΑΚ ΒΡΥΖΙΔΗΣ

(Επιβλέπων)

---

ΔΡΙΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

(Εξεταστής)

---

## Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Στάικου Ζωή του Σπυρίδων, με αριθμό μητρώου 7019 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 πτυχίου μου».

Η Δηλούσα  
  
Στάικου Ζωή

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτου προβό στην παρουσίαση της έρευνάς μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα όλους όσους με βοήθησαν και συνέβαλλαν ουσιαστικά στην διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου, τον κ. Ισαάκ Βρυζίδη και τον κ. Κωνσταντίνο Ρεπαπή για την πολύτιμη και συνεχή τους βοήθεια, ως προς την καθοδήγηση αλλά και στήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν εξαρχής αναλαμβάνοντας την εργασία αυτή μαζί μου.

Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία LH Logismiki που μου έδωσε την ακαδημαϊκή έκδοση του στατικού προγράμματος Fespa.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και στις φίλες μου για την ενθάρρυνση και την υποστήριξη που είχα και έχω όλα αυτά τα χρόνια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εφαρμογή βιώσιμων λύσεων στον σχεδιασμό των κτιρίων αποτελεί ένα από τα βασικότερα ζητήματα στην σημερινή εποχή. Τα διαφορετικά δομικά στοιχεία, οι διαφορετικές προτιμήσεις των πελατών και των αρχιτεκτόνων, η ανάγκη για μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και ταυτόχρονα η ανάγκη για αντισεισμική θωράκιση των κτιρίων διαμορφώνουν ένα πολύπλοκο πλαίσιο μέσα στο οποίο λαμβάνονται αποφάσεις για τον σχεδιασμό τους. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες για την διαχείριση αυτής πολυπλοκότητας, οι οποίες βασίζονται στην πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση ανέδειξε την εφαρμογή πλήθους μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης στον σχεδιασμό κτιρίων, γεφυρών, σηράγγων, υδραυλικών υποδομών και συγκοινωνιακών έργων λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικά, οικονομικά, στατικά και κατασκευαστικά κριτήρια. Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου αξιολόγησης εναλλακτικών προτάσεων στο αρχικό στάδιο αντισεισμικού σχεδιασμού ενός κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη το κόστος, τον χρόνο κατασκευής, το αποτύπωμα του άνθρακα και την αντισεισμική ικανότητα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στην μέθοδο TOPSIS, ενώ οι βαρύτητες των κριτήριων εκτιμώνται με την μέθοδο WAP. Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε ένα οκταώροφο κτίριο συγκεκριμένων διαστάσεων, όπου τέσσερες εναλλακτικές επιλογές φέροντος οργανισμού από σκυρόδεμα και ένας από χάλυβα αξιολογήθηκαν. Η παρούσα μελέτη επιβεβαίωσε την χρησιμότητα της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων στην βελτίωση της διαδικασίας επιλογής και στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας εναλλακτικών αντισεισμικών δομοσταστικών λύσεων στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού.

## **ABSTRACT**

Implementing sustainable solutions in the building's design is one of the most critical issues in today's era. The different structural elements, the different preferences of clients and architects, the required reduction of the environmental footprint and the requirements of current seismic codes form a complex frame in which decisions are made for their design. Various methodologies have been developed to manage this complexity in recent years based on multi-criteria decision analysis. The literature review highlights the application of several multi-criteria analysis methods in the design of buildings, bridges, tunnels, hydraulic infrastructures and transportation infrastructure considering environmental, economic, static and construction criteria. This dissertation aims to develop a decision model applying to the early design stage for evaluating alternative structural proposals, considering cost, construction time, carbon footprint and seismic capacity. The proposed methodology is based on the TOPSIS method, while the criteria weights are estimated with the WAP method. The methodology was applied to an eight-story building with specific dimensions, considering four alternatives from reinforced concrete and one from a steel structure. The present study confirmed the usefulness of multi-criteria decision analysis in improving the selection process and assessing the sustainability of alternative structural solutions at the initial design stage.

## Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή .....	9
2	Πολύ-κριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού .....	11
2.1	Μεθοδολογία της πολύ-κριτήριας ανάλυσης .....	11
2.2	Εφαρμογές σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού .....	13
2.3	Μέθοδοι πολύ-κριτήριας ανάλυσης .....	16
2.3.1	AHP.....	16
2.3.2	TOPSIS .....	17
2.3.3	PROMETHEE.....	17
2.3.4	ELECTRE .....	17
2.3.5	COPRAS .....	17
2.3.6	DELPHI .....	18
2.4	Εφαρμογές στα κτίρια .....	18
2.4.1	Μελέτη αξιολόγησης υποστυλωμάτων ως προς την βιωσιμότητα .....	19
2.4.2	Αξιολόγηση κτίρια κατοικιών.....	21
2.4.3	Βιώσιμα κτίρια .....	22
3	Μελέτη Περίπτωσης .....	24
3.1	Γενικά Στοιχεία .....	24
3.2	Παραδοχές Προσομοίωσης – Υλικά .....	24
3.3	Φορτία .....	24
3.4	Φάσμα σχεδιασμού .....	24
3.5	Κατασκευή προσομοιώματος με το πρόγραμμα Fespa.....	25
3.5.1	Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα .....	25
3.5.2	Κτίριο από Δομικό Χάλυβα .....	26
3.6	Καθορισμός κριτηρίων για την αξιολόγηση των κατασκευών .....	26
3.6.1	Στατικά Κριτήρια με τη μέθοδο PUSHOVER.....	26
3.6.2	Τεχνικά Κριτήρια .....	34
3.6.3	Οικονομικά Κριτήρια.....	36
3.6.4	Περιβαλλοντικά Κριτήρια .....	41
4	Σχεδιασμός των Εναλλακτικών .....	44
5	Πολύ-κριτήρια Αξιολόγηση των Εναλλακτικών .....	50
5.1	Μοντέλο Ολικής Προτίμησης .....	50
5.1.1	Weights Assessment through Prioritizations (WAP).....	50

5.1.2	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)...	53
5.2	Αξιολόγηση των Εναλλακτικών.....	55
6	Συμπεράσματα .....	60
7	Βιβλιογραφία .....	63
	Παράρτημα Α.....	66
	Παράρτημα Β.....	88

## **Πίνακας Περιεχομένων Σχημάτων**

Σχήμα 2.1:	Η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολύ-κριτήριας ανάλυσης στην επίλυση συνεχών και διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων (Pardalos et al., 1995).....	12
Σχήμα 2.2:	Δέντρο απαιτήσεων, κριτηρίων και υπό-κριτηρίων μελέτης βιωσιμότητας στηλών (Pons & de la Fuente, 2013) .....	20
Σχήμα 3.1:	Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8,Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 1 .....	28
Σχήμα 3.2:	Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8,Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 2 .....	29
Σχήμα 3.3:	Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8,Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 3 .....	30
Σχήμα 3.4:	Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8,Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 4 .....	31
Σχήμα 3.5:	Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8,Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 5 .....	32
Σχήμα 3.6:	Δεδομένα Υλικών Κατασκευής (One Click LCA (2015). Helsinki: One Click LCA Ltd., n.d.).....	42
Σχήμα 3.7:	Δεδομένα Μεταφορικών Μέσων Υλικών (One Click LCA (2015). Helsinki: One Click LCA Ltd., n.d.) .....	43
Σχήμα 4.1:	Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 1 .....	45
Σχήμα 4.2:	Τρισδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 1 .....	45
Σχήμα 4.3:	Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 2 .....	46
Σχήμα 4.4:	Τρισδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 2 .....	46
Σχήμα 4.5:	Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 3 .....	47
Σχήμα 4.6:	Τρισδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 3 .....	47
Σχήμα 4.7:	Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 4 .....	48
Σχήμα 4.8:	Τρισδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 4 .....	48
Σχήμα 4.9:	Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 5 .....	49
Σχήμα 4.10:	Τρισδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 5 .....	49
Σχήμα 5.1:	Κατάταξη των κριτηρίων με την χρήση της μεθόδου WAP .....	56



## Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων

Πίνακας 2.1: Εφαρμογές Πολύ-κριτήριας Ανάλυσης ανά πεδίο εφαρμογής .....	15
Πίνακας 2.2: Κατηγορίες απαιτήσεων και τα αντίστοιχα κριτήρια για τα κτίρια κατοικιών ..	21
Πίνακας 2.3: Κατηγορίες απαιτήσεων και τα αντίστοιχα κριτήρια για τη βιωσιμότητα .....	22
Πίνακας 3.1: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις $a_g$ Εναλλακτικής 1 .....	32
Πίνακας 3.2: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις $a_g$ Εναλλακτικής 2 .....	33
Πίνακας 3.3: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις $a_g$ Εναλλακτικής 3 .....	33
Πίνακας 3.4: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις $a_g$ Εναλλακτικής 4 .....	33
Πίνακας 3.5: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις $a_g$ Εναλλακτικής 5 .....	33
Πίνακας 3.6: Χρόνοι αφαιρέσεις των ξυλοτύπων.....	35
Πίνακας 3.7: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 1 .....	37
Πίνακας 3.8: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 2 .....	37
Πίνακας 3.9: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 3 .....	38
Πίνακας 3.10: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 4 .....	39
Πίνακας 3.11: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 5 .....	39
Πίνακας 3.12: Γενικά αποτελέσματα ανθρακικού αποτυπώματος .....	43
Πίνακας 5.1: Δεδομένα προβλήματος – Πολυκριτηριακός πίνακας προβλήματος απόφασης.	56
Πίνακας 5.2: Πολυκριτήριος πίνακας και βαρύτητες κριτηρίων .....	57
Πίνακας 5.3: Κανονικοποίηση Πολυκριτηρίου Πίνακα .....	57
Πίνακας 5.4: Κανονικοποιημένος Πολυκριτήριος Πίνακας .....	57
Πίνακας 5.5: Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πολυκριτηρίου πίνακα - Προσδιορισμός θετικής & αρνητικής ιδεατής λύσης .....	58
Πίνακας 5.6: Υπολογισμός απόστασης από την θετική ιδεατή λύση .....	58
Πίνακας 5.7: Υπολογισμός απόστασης από την αρνητική ιδεατή λύση .....	58
Πίνακας 5.8: Υπολογισμός σχετικής εγγύτητας και κατάταξη εναλλακτικών .....	59

# 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, ο τομέας της αξιολόγησης και της επιλογής εναλλακτικών έργων ή προτάσεων σύμφωνα με πολλαπλά κριτήρια έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό με πλήθος εφαρμογών σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ένας από αυτούς τους τομείς είναι και αυτός του Πολιτικού Μηχανικού και κυρίως λόγω της ανάγκης για τον σχεδιασμό βιώσιμων λύσεων εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη ασφάλεια στις υποδομές. Διαφορετικά υλικά, νέες κατασκευαστικές τεχνολογίες, υψηλότερες αντισεισμικές απαιτήσεις συνθέτουν ένα πολύπλοκο πλαίσιο μέσα στο οποίο θα πρέπει να υλοποιείται ο σχεδιασμός των υποδομών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας για την αξιολόγηση εναλλακτικών προτάσεων αντισεισμικού σχεδιασμού στο αρχικό στάδιο της δομοστατικής μελέτης λαμβάνοντας υπόψη και κριτήρια πέρα από στατικά. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων, η οποία ασχολείται με την επιλογή της καταλληλότερης εναλλακτικής ως προς ορισμένα κριτήρια, τα οποία λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού, στα οποία εφαρμόζεται η μέθοδος της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, ενώ αναλύονται και ορισμένοι μέθοδοι της πολυκριτήριας ανάλυσης όπως είναι οι: AHP, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, COPRAS και DELPHI. Επιπλέον γίνεται αναφορά σε εφαρμογές σχετικές με τον αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας που δεν είναι άλλος από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων στα κτίρια.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται δεδομένα για τις εναλλακτικές της μελέτη περίπτωσης, ενώ περιγράφεται η διαδικασία βαθμολόγησης των εναλλακτικών στα κριτήρια. Ακόμη, γίνεται αναφορά στο στατικό πρόγραμμα Fespa που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό των κτιρίων καθώς και για την βαθμολόγηση των εναλλακτικών σε ορισμένα κριτήρια. Αναλυτική αναφορά σε αυτά γίνεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ο αντισεισμικός σχεδιασμός των εναλλακτικών κτιρίων με τη βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa. Σε αυτό το κεφάλαιο καθορίζονται τα δομικά στοιχεία των εναλλακτικών κτιρίων, όπως οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων/τοιχιών και ο σιδηρός οπλισμός για τα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, και οι διατομές για το κτίριο από χάλυβα ικανοποιώντας τις αντισεισμικές απαιτήσεις του ισχύοντος κανονισμού.

Το πέμπτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην περιγραφή της μεθοδολογίας για την πολυκριτήρια αξιολόγηση των εναλλακτικών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο ολικής προτίμησης για την αξιολόγηση και την κατάταξη των εναλλακτικών με τη χρήση των μεθόδων WAP (Weights Assessment through Prioritization method) και της TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). Η χρήση της μέθοδο WAP προτείνεται για την εκτίμηση της σχετικής σπουδαιότητας των κριτηρίων (βαρύτητες) και η μέθοδος TOPSIS για την τελική κατάταξη των κριτηρίων. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά οι μεθοδολογίες αυτές, ενώ παρουσιάζεται η εφαρμογή τους στην μελέτη περίπτωσης.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατίθενται όλα τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις και τις εφαρμογές των μεθόδων.

## **2 Πολύ-κριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού**

### **2.1 Μεθοδολογία της πολύ-κριτήριας ανάλυσης**

Η πολύ-κριτήρια ανάλυση αποφάσεων είναι ένας εξελισσόμενος χώρος της επιχειρησιακής ερευνάς, ο οποίος τις τελευταίες δεκαετίες έχει γνωρίσει ιδιαίτερη ανάπτυξη τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Βασικό ρολό στο να αναπτυχθεί αλλά και να διαδοθεί η πολύ-κριτήρια ανάλυση αποτέλεσε η εξακρίβωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και ιδιαίτερα σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν θα ήταν δυνατό να πραγματοποιούνται μέσω μιας μονοδιάστατης και μονόπλευρης ανάλυσης (Δούμπος & Ζοπουνίδης, 2004).

Στην προσπάθεια εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος καθώς και των κριτηρίων - παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της καταλληλότερης απόφασης, γεννάται ένα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο αποθαρρύνει τους αρμόδιους από την υιοθέτηση όλων αυτών των παραμέτρων στην διαδικασία της απόφασης. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση αυτών των παραμέτρων έτσι ώστε να επιτευχθεί η λήψη της απόφασης με ορθολογικό τρόπο (Δούμπος & Ζοπουνίδης, 2004).

Το βασικότερο αντικείμενο της πολύ-κριτήριας ανάλυσης αποφάσεων είναι η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος με χαρακτηριστικό γνώμονα την πραγματοποίηση της αναγκαίας σύνθεσης υπό το πρίσμα της πολιτικής λήψης αποφάσεων, καθώς και του συστήματος προτιμήσεων και αξιών –που πολλές φορές χρησιμοποιεί ο αποφασίζοντας συνειδητά ή ασυνειδητά– γεγονός που τη διαχωρίζει από άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις. Το χαρακτηριστικό αυτό, έχει ιδιαίτερη σημασία στο χώρο της λήψης αποφάσεων, αφού σκοπός του είναι η βέλτιστη αντιμετώπιση του προβλήματος που έχει ως τελικό αποδέκτη τον ίδιο αποφασίζοντα. (Δούμπος & Ζοπουνίδης, 2004).

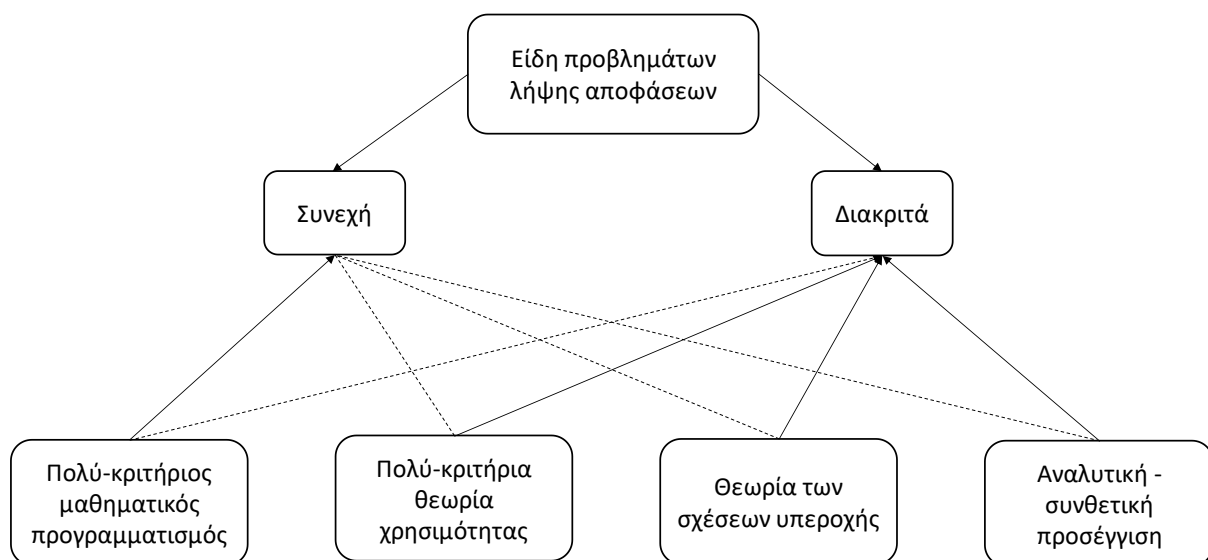
Ο τομέας της πολύ-κριτήριας ανάλυσης ποικίλει ως προς τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί εντός αυτού για την αντιμετώπιση προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Μεταξύ αυτών των προσεγγίσεων εντοπίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο στη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται, όσο και στη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξή τους. Αρκετοί ερευνητές του χώρου της πολύ-κριτήριας ανάλυσης έχουν προτείνει διάφορες ομαδοποιήσεις των μεθοδολογικών προσεγγίσεων της πολύ-κριτήριας ανάλυσης. Ένας από αυτούς ήταν και ο (Roy, 1985), ο οποίος πρότεινε μια ομαδοποίηση σε τρεις βασικές κατηγορίες λαμβάνοντας υπόψιν τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται:

- Προσεγγίσεις μοναδικής σύνθεσης των κριτηρίων αγνοώντας κάθε ασυγκριτικότητα μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων (unique synthesis criterion).
- Προσεγγίσεις βασιζόμενες στις σχέσεις υπεροχής έχοντας υπόψιν την πιθανή ασυγκριτικότητα μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων (outranking synthesis approach).
- Αλληλεπιδραστικές προσεγγίσεις (interactive local judgment approach).

Οι (Pardalos et al., 1995) πρότειναν μια εναλλακτική ομαδοποίηση των πολύ-κριτηριακών προσεγγίσεων, η οποία λαμβάνει υπόψη και τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η ανάπτυξή τους, παράλληλα με τη μορφή των υποδειγμάτων που αναπτύσσονται. Η ομαδοποίηση αυτή συμπεριλαμβάνει τις εξής τέσσερις κατηγορίες προσεγγίσεων:

- Πολύ-κριτήριος μαθηματικός προγραμματισμός (multiobjective mathematical programming).
- Πολύ-κριτήρια θεωρία χρησιμότητας (multiattribute utility theory).
- Θεωρία των σχέσεων υπεροχής (outranking relations).
- Αναλυτική – συνθετική προσέγγιση (preference disaggregation approach).

Στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί θα δούμε ότι μεταξύ των τεσσάρων αυτών βασικών προσεγγίσεων της πολύ-κριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, οι τρεις τελευταίες κατηγορίες προσεγγίσεων απευθύνονται στην αντιμετώπιση διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Παρόλα αυτά δε θα εστιάσουμε πιο αναλυτικά σε αυτές τις έννοιες.



Σχήμα 2.1: Η συμβολή των θεωρητικών ρευμάτων της πολύ-κριτήριας ανάλυσης στην επίλυση συνεχών και διακριτών προβλημάτων λήψης αποφάσεων (Pardalos et al., 1995)

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να διαπιστώσουμε σε ποια από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο Πολιτικός Μηχανικός εφαρμόζεται η μέθοδος της πολύ-κριτήριας ανάλυσης αποφάσεων. Μελέτες έχουν δείξει ότι έχει εκδηλωθεί μεγάλο ενδιαφέρον από διάφορους τομείς της κοινωνίας όσον αφορά τη βιωσιμότητα και το βιώσιμο σχεδιασμό προϊόντων. Οι υπεύθυνοι που συνδέονται με τη λήψη αποφάσεων ενθαρρύνονται όλο και περισσότερο να λάβουν υπόψιν τις κοινωνικές, οικονομικές αλλά και περιβαλλοντικές διαστάσεις της πραγματικότητας που συσχετίζονται με τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε ως κοινωνία. (Navarro et al., 2018).

Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων είναι εργαλεία ιδιαίτερης σημασίας, καθώς χρησιμεύουν στην αξιολόγηση λήψης αποφάσεων μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, έχοντας κατά νου τις διαφορετικές διαστάσεις ενός προβλήματος. Τα προβλήματα αυτά αποτελούνται από τέσσερις φάσεις. Συγκεκριμένα, το πρώτο που πρέπει να αξιολογηθεί είναι να καθοριστούν επακριβώς τα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Εν συνεχεία, για κάθε κριτήριο θα πρέπει να καθοριστούν συγκεκριμένα σταθμά. Μετά από αυτό, οι εναλλακτικές λύσεις αξιολογούνται μεμονωμένα σε σχέση με κάθε κριτήριο. Και τέλος, συγκεντρώνονται όλα τα αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψιν αυτό που ορίζεται για κάθε κριτήριο. (Navarro et al., 2018).

## 2.2 Εφαρμογές σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και τις βιβλιογραφικές έρευνες που έχουν γίνει, έχει διαπιστωθεί ότι έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μεθοδολογίες σε προβλήματα Πολιτικού Μηχανικού. Κάποιες από τις βασικότερες μεθόδους της πολύ-κριτήριας ανάλυσης που έχουν χρησιμοποιηθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα και θα μελετηθούν είναι οι εξής:

- AHP
- TOPSIS
- PROMETHEE
- ELECTRE
- COPRAS
- DELPHI

Οι μεθοδολογίες αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες κατηγορίες προβλημάτων που αντιμετωπίζει ένας Πολίτικός Μηχανικός, όπως είναι τα κτίρια, οι γέφυρες, οι υδραυλικές και ενεργειακές υποδομές, τα συστήματα μεταφορών κ.λπ. Παρακάτω, θα γίνει μια σύντομη

αναφορά κάποιων από αυτών των μεθόδων που προαναφέρθηκαν, ενώ θα εξεταστούν από την βιβλιογραφία μελέτες περιπτώσεις όπου εφαρμόστηκαν μέθοδοι πολύ-κριτήριας ανάλυσης πάνω στις κατηγορίες προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο Πολίτικος Μηχανικός.

Από μελέτες που έχουν γίνει, έχει διαπιστωθεί ότι στα κτίρια έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως οι μέθοδοι AHP, TOPSIS, ELECTRE και COPRAS. Με βάση τη βιβλιογραφική έρευνα, τη μέθοδο AHP έχουν χρησιμοποιήσει οι Pons και de la Fuente (2013) για τη μελέτη σχεδιασμού υποστυλωμάτων ενός κτιρίου, οι Terracciano et al. (2015) για τη χρήση εναλλακτικών δομικών υλικών καθώς και οι Pons και Aguado (2012), οι οποίοι ασχολήθηκαν με τον σχεδιασμό σχολείων. Τη μέθοδο TOPSIS έχουν χρησιμοποιήσει οι Jalaei et al. (2015) όσον αφορά εναλλακτικές λύσεις ανακατασκευής εγκαταλελειμμένων κτιρίων. Επιπλέον τη μέθοδο ELECTRE έχουν χρησιμοποιήσει οι Kamali et al. (2018) για κτίρια κατοικιών. Τέλος τη μέθοδο COPRAS έχουν χρησιμοποιήσει οι Zolfani et al., (2011a) σε συνδυασμό με τη μέθοδο AHP για την αξιολόγηση βιώσιμων κτιρίων.

Γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν αρκετές εφαρμογές πάνω στα κτίρια, όμως επειδή αυτό θα είναι το αντικείμενο μελέτης στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία θα αναλυθεί περισσότερο και πιο λεπτομερώς στην ενότητα 2.4.

Μια άλλη κατηγορία προβλημάτων που χρησιμοποιεί τις μεθόδους της πολύ-κριτήριας ανάλυσης είναι οι γέφυρες. Συγκεκριμένα από έρευνες που έχουν γίνει, έχει εξακριβωθεί ότι οι μέθοδοι AHP και PROMETHEE είναι ορισμένες από αυτές. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τη μέθοδο AHP έχουν χρησιμοποιήσει οι Yepes et al. (2015) για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού γεφυρών, ενώ τη μέθοδο PROMETHEE έχουν χρησιμοποιήσει οι Balali et al. (2014) και Chen (2014) σε αποφάσεις στην διαδικασία κατασκευής των γεφυρών.

Επιπλέον χρήση των μεθόδων αυτών έχει γίνει και σε υδραυλικές υποδομές. Βάσει μελέτης έχει διαπιστωθεί ότι οι μέθοδοι AHP, TOPSIS, ELECTRE έχουν χρησιμοποιηθεί σε υδραυλικές έργα. Συγκεκριμένα, οι O. Jaber και S. Mohsen (2001), και Tahmasebi Birgani & Yazdandoost (2018) έχουν χρησιμοποιήσει αντίστοιχα τη μέθοδο AHP στα συστήματα ύδρευσης και στην διαχείριση υδατικών πόρων, καθώς και οι Sun et al. (2013) στα φράγματα. Τη μέθοδο TOPSIS έχουν χρησιμοποιήσει οι O. Jaber και S. Mohsen, (2001) για την αξιολόγηση των συστημάτων διαχείρισης νερού. Τέλος τη μέθοδο ELECTRE χρησιμοποίησαν οι Martin et al. (2007) στα αστικά συστήματα ύδρευσης.

Μια ακόμα κατηγορία έργων που χρησιμοποιούνται αυτές οι μέθοδοι είναι οι ενεργειακές εγκαταστάσεις. Μελέτες έχουν δείξει ότι για τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι ενεργειακές εγκαταστάσεις έχουν χρησιμοποιηθεί οι τεχνικές AHP, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE και DELPHI. Συγκεκριμένα οι Cartelle Barros et al. (2015) έχουν χρησιμοποιήσει τη μέθοδο AHP για τη βιωσιμότητα διαφορετικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Τη μέθοδο TOPSIS χρησιμοποίησαν οι Gumus et al. (2016) για την αξιολόγηση των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής ενός αιολικού πάρκου. Οι Diakoulaki & Karangelis (2007) χρησιμοποίησαν τη τεχνική PROMETHEE για τον βιώσιμο ενεργειακό σχεδιασμό. Χρήση της μεθόδου ELECTRE έκαναν οι Fetanat & Khorasaninejad (2015) για την αξιολόγηση αιολικών πάρκων. Τέλος, σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές τη μέθοδο DELPHI έχουν χρησιμοποιήσει οι Rikkonen et al. (2019) όσον αφορά την ενέργεια.

Πέρα από τις κατηγορίες που αναφέραμε παραπάνω υπάρχουν και άλλες κατηγορίες οι οποίες συνοψίζονται μαζί με τα παραπάνω στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί:

Πίνακας 2.1: Εφαρμογές Πολύ-κριτήριας Ανάλυσης ανά πεδίο εφαρμογής

ΚΤΙΡΙΑ	Μελέτη βιωσιμότητας υποστυλωμάτων (Pons & de la Fuente, 2013), δομικά υλικά (Terracciano et al., 2015), σχολεία (Pons & Aguado, 2012), ανακατασκευή εγκαταλελειμμένων κτιρίων (Jalaei et al., 2015), κτίρια κατοικιών (Kamali et al., 2018), βιώσιμα κτίρια (Vilutiene et al., 2020; Zolfani et al., 2011b)
ΓΕΦΥΡΕΣ	Βελτίωση σχεδιασμού γεφυρών (Yepes et al., 2015), κατασκευή γεφυρών (Balali et al., 2014; Chen, 2014),
ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ	Συστήματα ύδρευσης και διαχείρισης νερού (O. Jaber & S. Mohsen, 2001; Tahmasebi Birgani & Yazdandoost, 2018), αξιολόγηση νερού των συστημάτων διαχείρισης (O. Jaber & S. Mohsen, 2001), αστικά συστήματα ύδρευσης (Martin et al., 2007)
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ	Βιωσιμότητα διαφορετικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας (Cartelle Barros et al., 2015), αιολικά πάρκα (Fetanat & Khorasaninejad, 2015; Gumus et al., 2016), βιώσιμο ενεργειακό



	σχεδιασμό (Diakoulaki & Karangelis, 2007), ενέργεια (Rikkonen et al., 2019)
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	Πεζοδρομία (Torres-Machí et al., 2015), τοποθεσία δρόμου (Zolfani et al., 2011a), αξιολόγηση εναλλακτικών συστημάτων μεταφορών (Awasthi et al., 2011)
ΑΛΛΑ	Σήραγγες (De la Fuente et al., 2017), κατασκευαστικά υλικά (Rochikashvili & Bongaerts, 2016), οικοδομικά έργα (Reyes et al., 2014)

### 2.3 Μέθοδοι πολύ-κριτήριας ανάλυσης

Στα περισσότερα προβλήματα, που αναπτυχθήκαν στην ενότητα 2.2, παρατηρήθηκε ότι χρησιμοποιήθηκε μια γκάμα από συγκεκριμένες μεθοδολογίες της πολύ-κριτήριας ανάλυσης. Σε αυτή την ενότητα δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των μεθοδολογιών αυτών που προαναφέρθηκαν στην ενότητα 2.2.

#### 2.3.1 AHP

Η μέθοδος AHP (Analytic Hierarchy Process) αναπτύχθηκε από τον Thomas L. Saaty τη δεκαετία του 1970 και έχει διαπιστωθεί ότι είναι η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδο για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος στον τομέα του Πολιτικού Μηχανικού (Forman & Gass, 2001). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε τρία βήματα:

- Στον τελικό στόχο ή το πρόβλημα προς επίλυση.
- Σε όλες τις πιθανές εναλλακτικές λύσεις.
- Στα κριτήρια με τα οποία θα αξιολογηθούν οι εναλλακτικές λύσεις.

Το AHP παρέχει ένα ορθολογικό πλαίσιο για μια απόφαση ποσοτικοποιώντας τα κριτήρια και τις εναλλακτικές επιλογές, ως συσχέτιση των στοιχείων αυτών ως προς τον συνολικό στόχο. Οι ενδιαφερόμενοι αξιολογούν τα κριτήρια σε ένα επίπεδο πραγματοποιώντας σύγκριση ανά ζεύγη, δηλαδή, το AHP μετατρέπει τις αξιολογήσεις σε αριθμούς, οι οποίοι μπορεί να συγκριθούν με όλα τα πιθανά κριτήρια. Αυτός είναι και ο λόγος που το AHP διακρίνεται από άλλες τεχνικές λήψης αποφάσεων.

### **2.3.2 TOPSIS**

Η μέθοδος TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) ανήκει στην οικογένεια της πολύ-κριτήριας ανάλυσης αποφάσεων, η οποία αρχικά αναπτύχθηκε από τους Ching-Lai Hwang και τον Yoon το 1981 (Hwang & Yoon, 1981). Είναι μια μέθοδος αντισταθμιστικής συνάθροισης που συγκρίνει ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων προσδιορίζοντας βάρη για κάθε κριτήριο και υπολογίζοντας τη γεωμετρική απόσταση μεταξύ κάθε εναλλακτικής με την ιδεατή εναλλακτική λύση (Zavadskas et al., 2006).

### **2.3.3 PROMETHEE**

Η μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Greco et al., 2005). Είναι μια τεχνική πολύ-κριτήριας ανάλυσης αποφάσεων ικανή να λαμβάνει υπόψιν τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά κριτήρια. Επιπλέον συγκρίνει εναλλακτικές λύσεις ιεράρχησης, με σκοπό να καθοριστεί η κυριαρχία όσον αφορά τα κριτήρια που έχουν επιλεγεί. Για τη χρήση της μεθόδου αυτής, πρέπει πρώτα να καθορίζεται σε κάθε κριτήριο η καμπύλη προτίμησης.

### **2.3.4 ELECTRE**

Η οικογένεια μεθόδων ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) είναι μια οικογένεια μεθόδων υποστήριξης της απόφασης, η οποία αναπτύχθηκε στην Ευρώπη στα τέλη του 1960, όπου οι εναλλακτικές συγκρίνονται κατά ζεύγη λαμβάνοντας υπόψιν μεμονωμένα κριτήρια. Η μέθοδος αυτή εισήχθη για πρώτη φορά από τον Bernard Roy και τους συνεργάτες του. Η οικογένεια των μεθόδων ELECTRE περιλαμβάνει την ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS και ELECTRE TRI, η κάθε μία από τις οποίες αναπτύχθηκε για την αντιμετώπιση προβλημάτων απόφασης με διαφορετικά χαρακτηριστικά (Figueira et al., 2005).

Τα βάρη κάθε κριτηρίου σε αυτή την περίπτωση θεωρούνται ως σημαντικοί συντελεστές και όχι σαν ποσοστά αντιστάθμισης των κριτηρίων. Στη συνέχεια, συγκρίνοντας τις υπό αξιολόγηση εναλλακτικές λύσεις και απορρίπτοντας τις επιλογές που κυριαρχούν ή υπερτερούν, η μέθοδος ELECTRE έχει ως αποτέλεσμα να καταλήξει σε ένα σύνολο μη κυριαρχούμενων εναλλακτικών λύσεων.

### **2.3.5 COPRAS**

Η μέθοδος COPRAS (Complex Proportional Assessment) θεσπίστηκε για πρώτη φορά το 1996 ως απόφαση για την επιλογή προτιμώμενης εναλλακτικής λύσης μεταξύ ενός συνόλου εύλογων λύσεων καθώς και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που έχει αναγνωριστεί

ευρέως (Invidiata et al., 2018). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την αντιστοίχιση συγκεκριμένων επιπέδων αβεβαιότητας στις τιμές των κριτηρίων, χρησιμοποιώντας θετικές και αρνητικές τιμές ανάλογα με το αν το κριτήριο θεωρείται ωφέλιμο ή δαπανηρό σε σχέση με τον επιθυμητό στόχο. Στη συνέχεια, η προτεραιότητα των εναλλακτικών λύσεων καθορίζεται με την αξιολόγηση της σχετικής (ή ποσοτικής) χρησιμότητας ως συνάρτηση των ωφέλιμων χαρακτηριστικών που εντοπίστηκαν στο προηγούμενο βήμα.

### **2.3.6 DELPHI**

Η μέθοδος DELPHI επινοήθηκε τη δεκαετία του 1950 από τους Olaf Helmer και Norman Dalkey της Rand Corporation (Dalkey & Helmer, 1963; Grime & Wright, 2016). Το όνομά της εμπνεύστηκε από το Μαντείο των Δελφών, σε μια ιέρεια γνωστή για τις προφητείες της. Η μέθοδος DELPHI είναι μια επαναληπτική διαδικασία, βασισμένη στην αρχή ότι οι αποφάσεις μιας δομημένης ομάδας εμπειρογνομόνων είναι ακριβέστερη από ό,τι μια ατομική ή μια μη δομημένη ομάδα. Η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλούς επαγγελματικούς τομείς, όπως η διαχείριση εγκαταστάσεων, η μηχανική, η υγειονομική περίθαλψη, η ενέργεια, η μεταποίηση και η εκπαίδευση (Vilutiene et al., 2020). Η μέθοδος αυτή επιδιώκει στο να συγκεντρώνει τις απόψεις ειδικών ομάδων μέσω ενός ερωτηματολογίου, χωρίς να χρειάζεται να συγκεντρωθούν οι συμμετέχοντες σε φυσικό χώρο, δεδομένου ότι οι απαντήσεις τους είναι ανώνυμες. Έτσι, οι συμμετέχοντες δε χρειάζεται να ανησυχούν για τις επιπτώσεις που θα έχουν οι απόψεις τους. Στη συνέχεια, τα ερωτηματολόγια αυτά επιστρέφονται στον διοργανωτή ο οποίος με τη σειρά του κατηγοριοποιεί τα σχόλια και ετοιμάζει αντίγραφα πληροφοριών, τα οποία αποστέλλονται σε κάθε συμμετέχοντα δίνοντάς του την δυνατότητα να τα ξανά σχολιάσει. Στο τέλος, αφού επιστραφούν όλα τα ερωτηματολόγια στον διοργανωτή, είναι στην κρίση του εάν είναι απαραίτητος άλλος ένας γύρος ερωτηματολογίων ή εάν τα αποτελέσματα επαρκούν και είναι έτοιμα για δημοσίευση. Οι γύροι μπορούν να επαναληφθούν όσες φορές χρειαστεί μέχρι να επιτευχθεί ο απαιτούμενος σκοπός.

## **2.4 Εφαρμογές στα κτίρια**

Σκοπός αυτής της ενότητας αλλά και στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι να διαπιστωθεί μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση πως εφαρμόζεται η μέθοδος της πολύ-κριτήριας ανάλυσης στα κτίρια. Συγκεκριμένα, θα αναλυθούν ορισμένες μελέτες περίπτωσης απαντώντας στα ερωτήματα: ποιες είναι κατηγορίες προβλημάτων που χρησιμοποιούνται; ποιες μέθοδοι αξιοποιήθηκαν; ποιες οι εναλλακτικές και κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν;

#### **2.4.1 Μελέτη αξιολόγησης υποστυλωμάτων ως προς την βιωσιμότητα**

Οι Pons και de la Fuente (2013) ασχολήθηκαν με την αξιολόγηση υποστυλωμάτων διαφορετικής διατομής και τύπου λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια βιωσιμότητας με την μέθοδο της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας (ΑΗΡ). Τα υποστυλώματα είναι δομικά στοιχεία που δέχονται φορτία από τους ορόφους μιας κατασκευής και τα μεταφέρουν στα θεμέλιά της. Σε κτίρια κατοικιών που είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα υποστυλώματα αποτελούν το 10% έως το 25% του συνόλου κατανάλωσης του σκυροδέματος και του χάλυβα. Επομένως τα υποστυλώματα δεν έχουν πρωταρχική σημασία μόνο για τη δομική λειτουργικότητα και την ασφάλεια αλλά και την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος υπό την προϋπόθεση ότι έχουν σχεδιαστεί με την κατάλληλη γεωμετρία, έχουν χρησιμοποιηθεί τα καταλληλά υλικά και έχει χρησιμοποιηθεί η σωστή διαδικασία κατασκευής.

Στην σημερινή εποχή το οπλισμένο σκυρόδεμα και τα συστατικά του έχουν βελτιωθεί σημαντικά με αποτέλεσμα να έχουμε γρήγορη σκλήρυνση αλλά και σκυροδέματα υψηλής αντοχής με ελαφρώς αυξημένο κόστος σε σύγκριση με σκυροδέματα χαμηλής και μέσης αντοχής. Οι βελτιώσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα:

1. Υποστυλώματα με μικρότερη διατομή και ιδιά ή ακόμα μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά σκυροδέματα. Αυτό επιτρέπει ένα πιο βέλτιστο αποτέλεσμα ως προς τον διαθέσιμο χώρο κτιρίων, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας σε πόλεις υψηλής πυκνότητας με περιορισμένη επιφάνεια διαθέσιμη για κατασκευή. Επιπλέον, τα υποστυλώματα λεπτότερης διατομής καταναλώνουν λιγότερο υλικό, γεγονός που αντισταθμίζει την αύξηση του κόστους τους σε σύγκριση με τα παραδοσιακά σκυροδέματα.
2. Αυξημένη απόδοση εργασίας και κατά συνέπεια χαμηλότερος χρόνος κατασκευής, ο οποίος μειώνει τις συνέπειες στο κοινωνικό σύνολο κατά την διάρκεια των εργασιών.

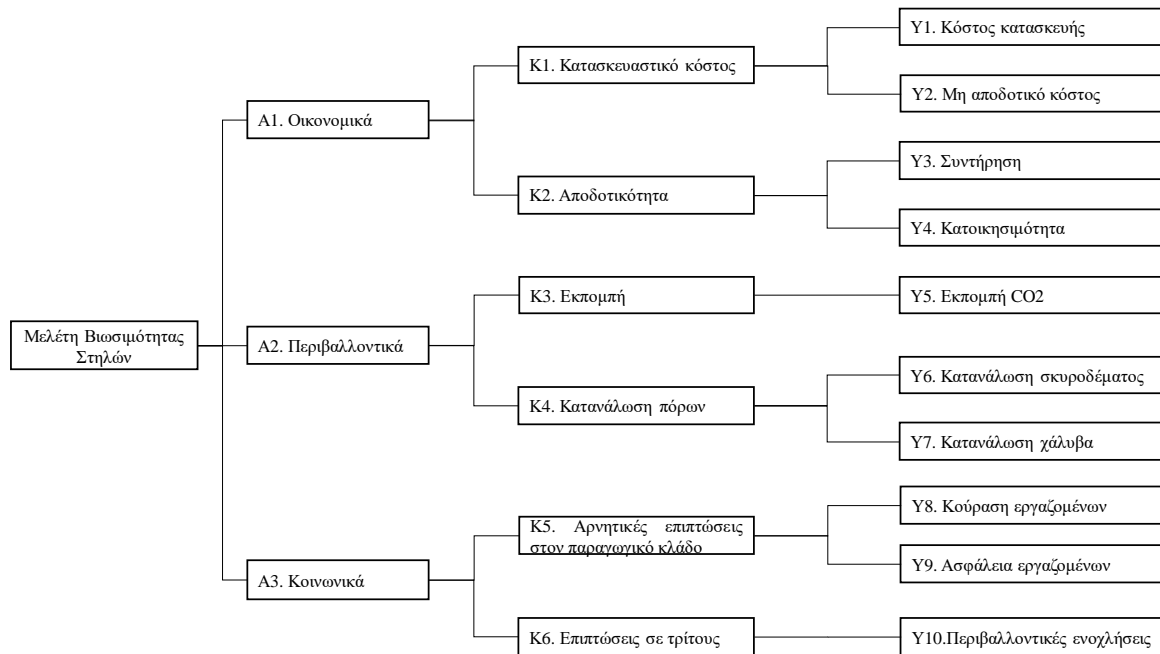
Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε διαπιστώθηκε ότι το ερευνητικό έργο είναι βασισμένο σε ένα δέντρο απαιτήσεων που ενσωματώνει μεροληπτικούς και όχι αλληλεξαρτωμένους δείκτες, με τους οποίους οι ερευνητές μπορούν να αξιολογήσουν διαφορετικές εναλλακτικές υποστυλωμάτων.

Οι πιο σημαντικές απαιτήσεις για υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι:

- A1. Οικονομικές (50%),
- A2. Περιβαλλοντικές (33%) και

- A3. Κοινωνικές (17%)

Στο Σχήμα 2.2 ακολουθεί ένα συνοπτικό σχεδιάγραμμα των απαιτήσεων, των κριτηρίων και των υπό-κριτηρίων για την αξιολόγηση των υποστυλωμάτων ως προς την βιωσιμότητα.



Σχήμα 2.2: Δέντρο απαιτήσεων, κριτηρίων και υπό-κριτηρίων μελέτης βιωσιμότητας στηλών (Pons & de la Fuente, 2013)

A: Απαιτήσεις

K: Κριτήρια

Y: Υπό-κριτήρια

### Εναλλακτικές Προτάσεις

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ευρύ και αντιπροσωπευτικό φάσμα εναλλακτικών στηλών προς την αξιολόγηση τους έγιναν οι εξής εναλλακτικές κατηγοριοποιήσεις:

E1. Το σχήμα της διατομής

- Τετραγωνικό (Sq.: Square)
- Κυλινδρικό (Ci.: Circular)

E2. Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος στις 28 ημέρες που λαμβάνεται σε κυλινδρικά δείγματα

- 25 N/mm<sup>2</sup>
- 50 N/mm<sup>2</sup>
- 70 N/mm<sup>2</sup>

### E3. Συστήματα συμπίεσης σκυροδέματος

- Αυτοσυμπυκνούμενο (SC: Self-Compacting)
- Δονούμενο (V: Vibrated)

Η ανάλυση ανέδειξε ότι τα υποστυλώματα που κατασκευάζονται από αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα έχουν μεγαλύτερο δείκτη βιωσιμότητας από τις κολώνες που κατασκευάζονται από δονούμενο σκυρόδεμα.

#### 2.4.2 Αξιολόγηση κτίρια κατοικιών

Οι Kamali et al. (2018) ασχολήθηκαν με κτίρια κατοικιών χρησιμοποιώντας τις μεθόδους ELECTRE σε συνδυασμό με την AHP. Συγκεκριμένα τα βάρη των κριτηρίων αξιολόγησης καθορίστηκαν μέσω μιας ομαδικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων με τη βοήθεια της AHP και στη συνέχεια τα σχόλια των ειδικών αναλυτήκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ELECTRE. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι κατασκευές κτιρίων κατοικιών με μεθόδους εκτός εργοταξίου, δηλαδή οι αρθρωτές/σπονδυλωτές κατασκευές θέλουν ιδιαίτερη προσοχή. Ωστόσο η απόδοση της βιωσιμότητας των αρθρωτών κτιρίων σπάνια έχει διερευνηθεί μέσω μιας προοπτικής που αφορά τον κύκλο ζωής του. Τα σχόλια των ειδικών αναλυτήκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ELECTRE, η οποία κατέταξε τα κτίρια κατοικιών με βάση τρεις βασικές κατηγορίες απαιτήσεων:

- A1. Οικονομικές
- A2. Περιβαλλοντικές
- A3. Κοινωνικές

Για κάθε κατηγορία απαιτήσεων έχουμε και τα αντίστοιχα κριτήρια βιωσιμότητας που εφάρμοσαν οι ειδικοί όσον αφορά τα κτίρια κατοικιών. Στον Πίνακα 2.2 συνοψίζονται περιγραφικά τα κριτήρια της κάθε κατηγορίας απαιτήσεων

Πίνακας 2.2: Κατηγορίες απαιτήσεων και τα αντίστοιχα κριτήρια για τα κτίρια κατοικιών

A1. Οικονομικές	A2. Περιβαλλοντικές	A3. Κοινωνικές
K1. Χρόνος σχεδίασης και κατασκευής	K6. Επιλογή τόπου	K11. Υγεία, άνεση & ευεξία των ενοίκων
K2. Κόστος σχεδίασης και κατασκευής	K7. Εναλλακτικές μεταφορές	K12. Αισθητικές επιλογές & ομορφιά κτιρίου
K3. Λειτουργικό κόστος	K8. Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	K13. Υγεία και ασφάλεια εργατικού δυναμικού
K4. Κόστος συντήρησης	K9. Διαχείριση των αποβλήτων	K14. Κοινωνική αναστάτωση
K5. Κόστους τέλους ζωής	K10. Εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου	K15. Προσιτότητα

Όταν χρησιμοποιείται προφορική κλίμακα για την αξιολόγηση των κριτηρίων είναι δύσκολο να καθοριστούν προτιμήσεις μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η μέθοδος μπορεί να επιλύσει το πρόβλημα συσσωρεύοντας μικρές διαφορές στη βαθμολογία μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών προτάσεων σε σχέση με το κάθε κριτήριο αξιολόγησης. Επομένως μπορεί να υπάρχουν διακριτές σχέσεις υψηλότερης κατάταξης μεταξύ των διαφορετικών εναλλακτικών. Στη μέθοδο ELECTRE τα σύνολα συμφωνίας και ασυμφωνίας παράγονται για να σχηματίσουν υψηλότερη κατάταξη σχέσης μεταξύ των εναλλακτικών. Στην πραγματικότητα τα σύνολα συμφωνίας και ασυμφωνίας αντιπροσωπεύουν το επίπεδο ικανοποίησης και δυσαρέσκειας ενός συμμετέχοντα στην ερευνά λήψης αποφάσεων.

### 2.4.3 Βιώσιμα κτίρια

Οι Jalaei et al. (2015) ασχολήθηκαν με τα βιώσιμα κτίρια μέσω της μεθόδου TOPSIS. Το πιο κρίσιμο μέρος σε αυτή τη μελέτη είναι η επιλογή και η διάταξη των κριτηρίων και των χαρακτηριστικών που επηρεάζουν την επιλογή βιώσιμων υλικών για τα κτιριακά έργα. Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι οι παράμετροι αειφορίας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες απαιτήσεων:

- A1. Περιβαλλοντικές
- A2. Οικονομικές
- A3. Κοινωνικές

Κάθε μια από αυτές τις απαιτήσεις περιλαμβάνει κάποια κριτήρια και κάποια υποκριτήρια τα οποία έχουν αξιολογηθεί από τους εμπειρογνώμονες. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις, τα κριτήρια και τα υπό-κριτήρια αξιολόγησης της βιωσιμότητας.

Πίνακας 2.3: Κατηγορίες απαιτήσεων και τα αντίστοιχα κριτήρια για τη βιωσιμότητα

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΥΠΟ-ΚΡΙΤΗΡΙΑ
A1. Περιβαλλοντικές	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Υπερθέρμανση του πλανήτη
		Καταστροφή του όζοντος
		Ευτροφισμός
	Ενέργεια και ατμόσφαιρα	Ελάχιστη ενεργειακή απόδοση
		Κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του κτιρίου
		Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

	Υλικά και πόροι	Ανανεώσιμα υλικά	
		Ανακυκλώσιμα υλικά	
Α2. Οικονομικές	Κόστος	Κόστος πόρων και υλικών	
		Εργατικό κόστος	
		Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	
	Χρόνος	Χρόνος κατασκευής	
	Κατασκευαστικά θέματα	Κατασκευασιμότητα	
		Ευκαμψία	
Διαθεσιμότητα υλικών και εξοπλισμού			
Α3. Κοινωνικές	Σχεδιασμός και αρχιτεκτονική	Φυσικός φωτισμός και θεά	
		Παραγωγικότητα	
		Φυσικός χώρος και απόδοση	
		Ζητήματα αισθητικής και αρχιτεκτονικής	
	Εσωτερικό περιβάλλον κατοικίας	Άνεση εσωτερικού περιβάλλοντος	
		Υλικά χαμηλών εκπομπών:	Κόλλες και στεγνωτικά
			Χρώματα και επιστρώσεις
			Συστήματα δαπέδων
Φωτισμός και φυσική άνεση			

### Εναλλακτικές Προτάσεις

Ο σχεδιαστής στην ανάλυση του έπρεπε να επιλέξει και να αποφασίσει για τα βιώσιμα υλικά και εξαρτήματα που παρέχονται από διαφορετικούς προμηθευτές και να δημιουργήσει εναλλακτικές λύσεις για το τρέχον κτίριο. Τα υλικά και τα εξαρτήματα αυτά αφορούν:

- E1: Πόρτες
- E2: Παράθυρα
- E3: Στέγες
- E4: Οροφές
- E5: Τοίχους
- E6: Δάπεδα



### 3 Μελέτη Περίπτωσης

#### 3.1 Γενικά Στοιχεία

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση δυο κτιρίων κατοικιών ή γραφείων που διαφοροποιούνται ως προς το υλικό κατασκευής τους. Η κατασκευή του πρώτου κτιρίου της μελέτης έχει γίνει με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ η κατασκευή του δεύτερου κτιρίου έχει γίνει από φέροντα οργανισμό δομικού χάλυβα. Οι διαστάσεις και των δυο κτιρίων είναι 20m x 15m.

Τα κτίρια αναπτύσσεται σε 8 επίπεδα. Αποτελούνται από ισόγειο και 7 ορόφους με συνολικό ύψος κτιρίου 24m (ο κάθε όροφος έχει μικτό ύψος 3m).

Η θεμελίωση και των δυο κτιρίων είναι εξολοκλήρου κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα.

#### 3.2 Παραδοχές Προσομοίωσης – Υλικά

Οι παραδοχές των υλικών έγιναν σύμφωνα με τους Σύγχρονους Κανονισμούς. Για την κατασκευή με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30 και χάλυβας οπλισμού B500, ενώ για την κατασκευή με φέροντα οργανισμό από δομικό χάλυβα χρησιμοποιήθηκε δομικός χάλυβας S235.

#### 3.3 Φορτία

Τα φορτία και των δυο κτιρίων είναι κοινά. Τα φορτία της επικάλυψης είναι ίσα με  $2.0 \text{ kN/m}^2$  ομοίως και τα κινητά φορτία. Επιπλέον το φορτίο της εξωτερικής τοιχοποιίας είναι ίσο με  $3.6 \text{ kN/m}^2$  (ανά  $\text{m}^2$  ύψους), ενώ το φορτίο της εσωτερικής τοιχοποιίας λαμβάνεται ως ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο σε όλες τις πλάκες. Για σεισμική ζώνη II το φορτίο χιονιού είναι ίσο με  $0.8 \text{ kN/m}^2$

#### 3.4 Φάσμα σχεδιασμού

Τα κτίρια ανταποκρίνονται σύμφωνα με τον EC8 – Αντισεισμικός Κανονισμός

##### Σεισμική Δράση

- Σεισμικής ζώνης: I
- Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση: 0.16g,
- Σπουδαιότητας κτιρίου: II (για συνήθη κτίρια)
- Συντελεστής σπουδαιότητας I: 1.00

## Παράμετροι Φάσματος

- Φάσμα: Φάσμα σχεδιασμού
- Τύπος εδάφους: II
- Συντελεστής εδάφους S: 1.20
- Συντελεστής απόσβεσης: 5%

### **3.5 Κατασκευή προσομοιώματος με το πρόγραμμα Fespa**

Η επίλυση και των δυο φορέων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Fespa. Το λογισμικό Fespa είναι ένα διεθνώς αναγνωρισμένο και εξελιγμένο λογισμικό τρισδιάστατης ανάλυσης δομικών στοιχείων. Το γραφικό του περιβάλλον είναι εύκολο στη χρήση προσφέροντας παράλληλα εξελιγμένες υπολογιστικές τεχνικές σε προσομοιώματα μεγάλης κλίμακας. Χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταλλικών κατασκευών, σύμμεικτων κατασκευών καθώς και κατασκευών από ξυλεία.

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το συγκεκριμένο λογισμικό είναι τα εξής:

- Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι πλήρως βασισμένα με τους διεθνείς κανονισμούς.
- Υπάρχει δυνατότητα παραμετροποίησης των δομικών στοιχείων και των παραμέτρων έτσι ώστε η προσομοίωση να είναι η βέλτιστη δυνατή.
- Απεικόνιση μοντέλου σε 3D μορφή για επιπλέον έλεγχο.

#### **3.5.1 Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα**

Στην Ελλάδα το συνηθέστερο δομικό υλικό είναι αυτό του οπλισμένου σκυροδέματος, καθώς παράγεται στην Ελλάδα - είναι δηλαδή εγχώριο προϊόν - σε καλύτερη τιμή σε σχέση με άλλα δομικά υλικά. Βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι το τελικό προϊόν είναι μονολιθικό σε αντίθεση με το δομικό χάλυβα όπου οι συνδέσεις του γίνονται στο εργοτάξιο.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, όπως φαίνεται και από το στατικό πρόγραμμα η κατασκευή αποτελείται από 5 υποστυλώματα στη διεύθυνση X και από 4 υποστυλώματα στην διεύθυνση Y. Η δε απόστασή μεταξύ των ανοιγμάτων είναι 5.

00 m και προς τις δυο διευθύνσεις. Το κτίριο αποτελείται από ίδιες δοκούς διαστάσεων 30/60 όπου  $b = 0.30$  m και  $h = 0.60$  m, ενώ οι πλάκες σε όλους τους ορόφους έχουν ίδιο πάχος ίσο με 0.14 m.

### **3.5.2 Κτίριο από Δομικό Χάλυβα**

Όπως και στο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα έτσι και στο δομικό χάλυβα η κατασκευή αποτελείται από 5 υποστυλώματα στη διεύθυνση X και από 4 υποστυλώματα στην διεύθυνση Y και η απόστασή μεταξύ των ανοιγμάτων είναι 5.00 m και προς τις δύο διευθύνσεις.

Για τα μέλη χρησιμοποιήθηκαν πρότυπες διατομές. Όλα τα μέλη συνδέθηκαν με κοχλιωτές συνδέσεις σε όλους τους αρμούς και η συναρμολόγηση τους θα γίνει στο εργοτάξιο. Οι διατομές που θα χρησιμοποιηθούν για τα διάφορα μέλη είναι οι εξής:

- Υποστυλώματα: HEB
- Δοκοί: IPE
- Κατακόρυφοι διαγώνιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας: SHS

Για την μεταλλική κατασκευή χρησιμοποιήθηκε δομικός χάλυβας S235 ενώ για τις πλάκες σε όλους τους ορόφους χρησιμοποιήθηκε οπλισμένο σκυρόδεμα C25/30.

### **3.6 Καθορισμός κριτηρίων για την αξιολόγηση των κατασκευών**

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία και τις βιβλιογραφικές έρευνες που έχουν γίνει, πολλοί ερευνητές όπως οι Kamali et al. (2018) και Vilutiene et al. (2020) έχουν ασχοληθεί με κριτήρια που αφορούν την αξιολόγηση μιας κατασκευής. Τα κριτήρια αυτά όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα αφορούν θέματα όπως είναι τα οικονομικά, τα τεχνικά, τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά. Εν συνεχεία θα γίνει αναλυτική αναφορά των κριτηρίων αυτών.

#### **3.6.1 Στατικά Κριτήρια με τη μέθοδο PUSHOVER**

Όλοι οι σύγχρονοι κανονισμοί, όπως ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών (Ευρωκώδικας 8, 2004), τα πρότυπα του Αμερικανικού συλλόγου πολιτικών μηχανικών για τη σεισμική αποκατάσταση υπαρχουσών κατασκευών (ASCE, 2007) και ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ., 2012) προτείνουν ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα μιας κατασκευής θα πρέπει να προσδιορίζεται μέσω μιας στατικής ανελαστικής ανάλυσης (Pushover). (*LH Λογισμική (2013), Pushover Θεωρητικά Στοιχεία, Αθήνα., n.d.*)

Η μέθοδος αυτή έχει μια σειρά στόχων:

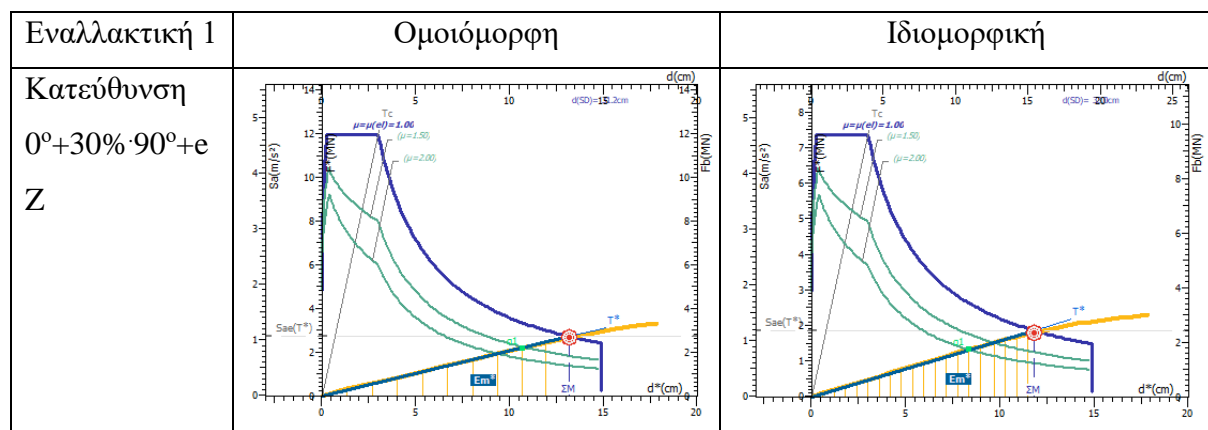
- Τη δημιουργία της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη γραμμική σχέση μεταξύ του οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης κορυφής.

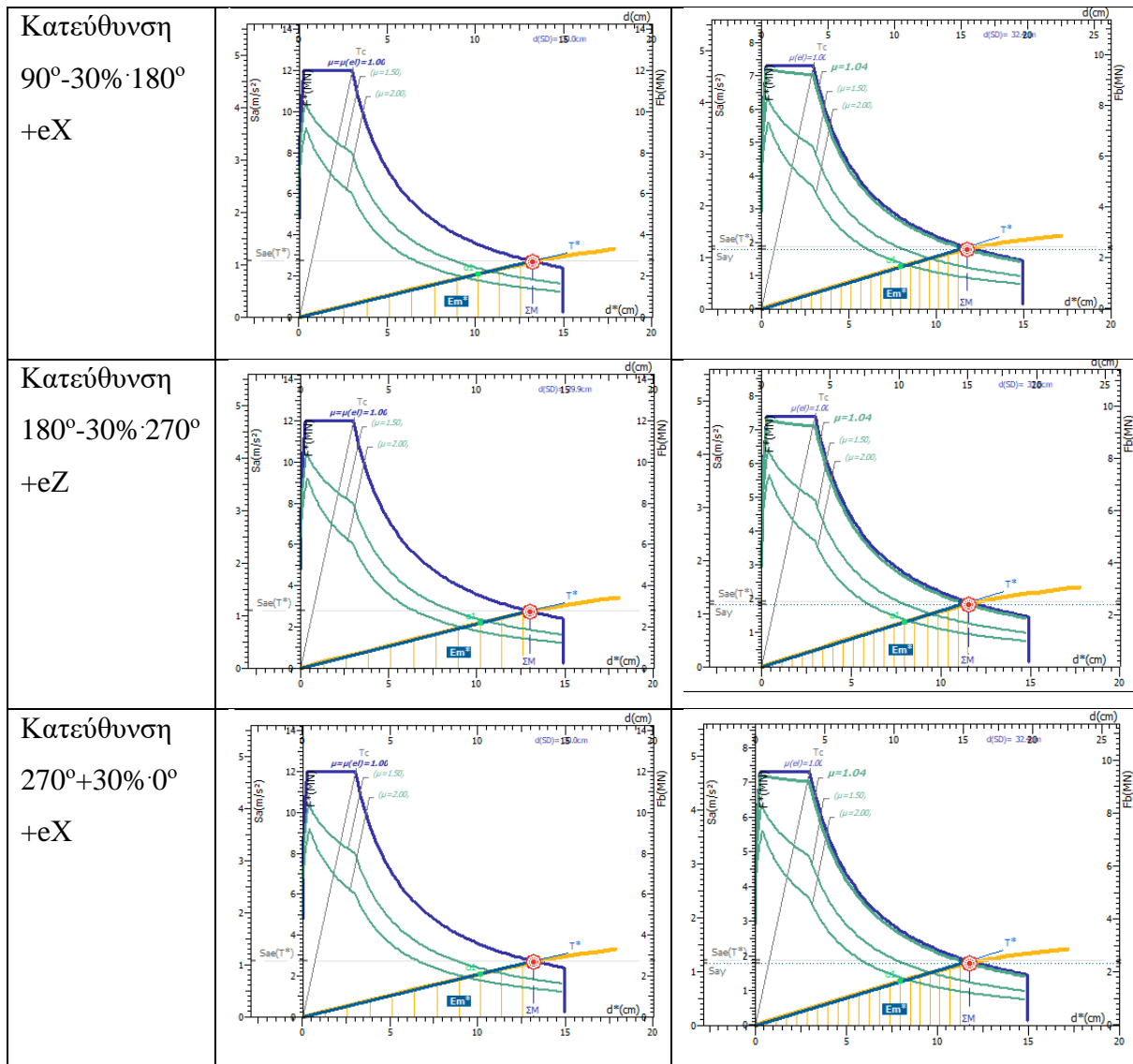
- Την ύπαρξη επαρκούς υπεραντοχής στο κτίριο, η οποία προκύπτει από τον λόγο  $\frac{a_u}{a_1}$  όπου  $a_u$ : μηχανισμός κατάρρευσης και  $a_1$ : 1<sup>η</sup> διαρροή
- Την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των μελών ως προς τη εμφάνιση των πλαστικών αρθρώσεων. Μέσα από αυτή την παρακολούθηση επιτυγχάνεται η σωστή αποτύπωση των ζημιών της κατασκευής. (*LH Λογισμική (2013), Pushover Θεωρητικά Στοιχεία, Αθήνα., n.d.*)

Αξίζει να σημειωθεί πως η χρήση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover) μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε νέα όσο και σε υφιστάμενα κτίρια. Σε νέα κτίρια επιδιώκεται η χάραξη της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής και ο προσδιορισμός του λόγου  $\frac{a_u}{a_1}$ , ενώ σε παλιές κατασκευές που ανασχεδιάζονται, κύριος στόχος είναι η χάραξη της καμπύλης αντίστασης και βάσει αυτής ο προσδιορισμός του σημείου επιτελεστικότητας.

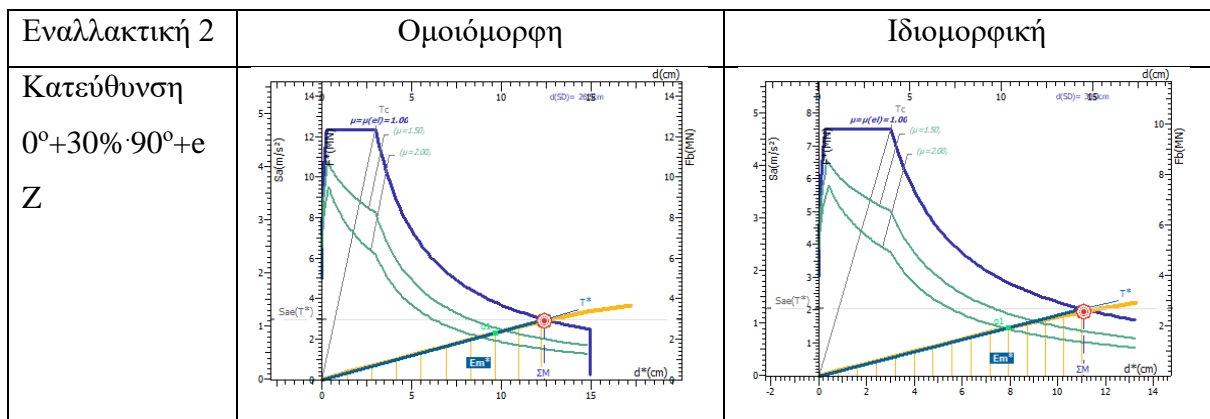
Στην παρούσα εργασία, πρόκειται για κτίρια που αφορούν νέα μελέτη. Όλα τα αποτελέσματα έχουν προκύψει από το στατικό πρόγραμμα Fespa με χρήση ανελαστικής στατικής ανάλυσης (PushOver). Επιπλέον οι παραδοχές μελέτης και των πέντε εναλλακτικών είναι οι ίδιες και αναγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α. Για το κάθε κτίριο πραγματοποιούνται ανελαστικές στατικές αναλύσεις με δύο κατανομές οριζόντιας φόρτισης, ομοιόμορφη και ιδιομορφική. Κάθε κτίριο φορτίζεται στις 4 κατευθύνσεις. Από τις αναλύσεις προκύπτει η καμπύλη αντίστασης και το διάγραμμα απαίτησης – ικανότητας για κάθε περίπτωση. Ελέγχεται η επάρκεια της κατασκευής για την στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και υπολογίζεται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που μπορεί να αντέξει η κατασκευή.

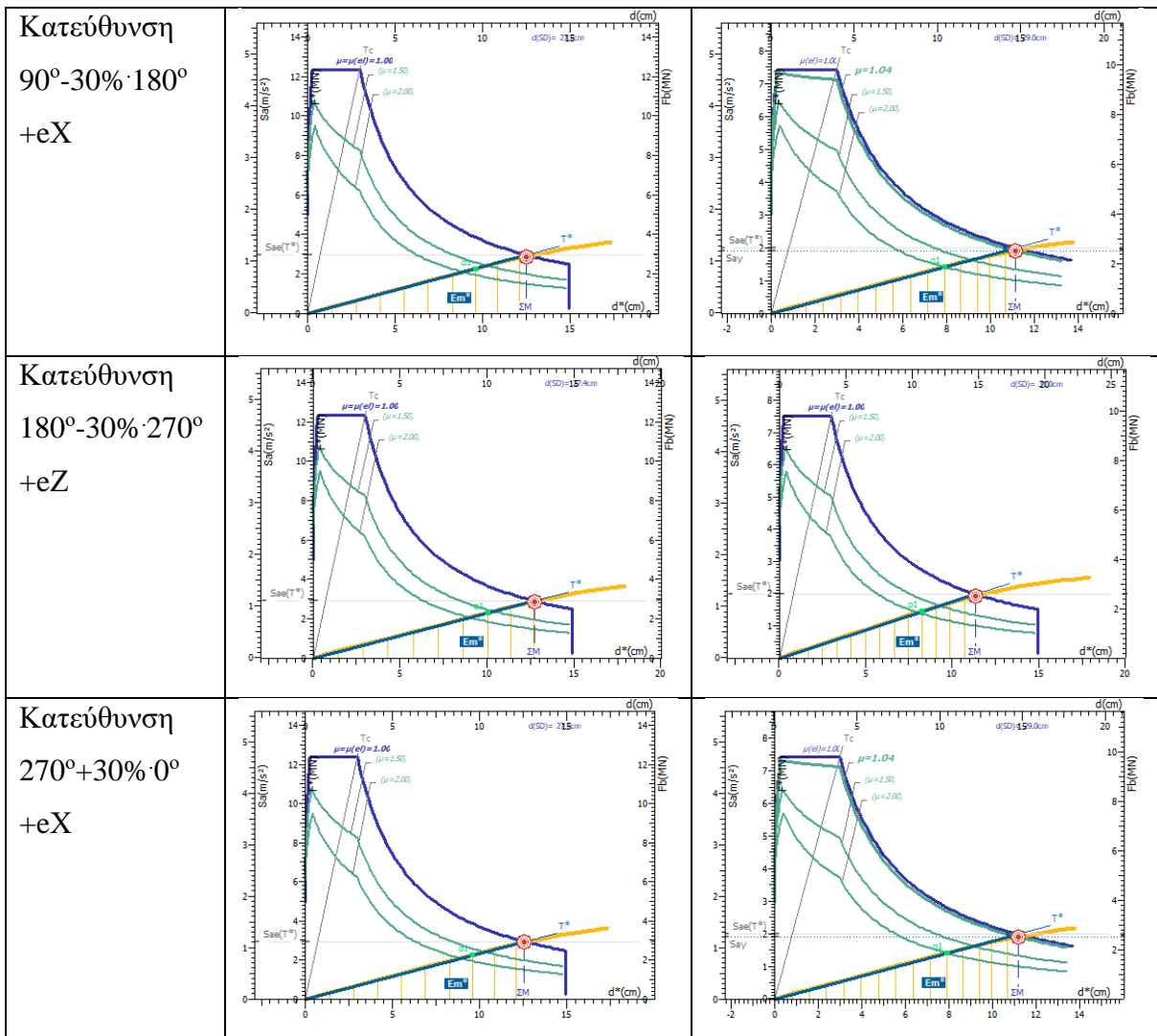
Σε αυτή την υπό ενότητα όπως φαίνεται και στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 3.1 έως 08) φαίνονται τα διαγράμματα απαίτησης – ικανότητας για ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή για κάθε εναλλακτική αντίστοιχα και για τις τέσσερις κατευθύνσεις.



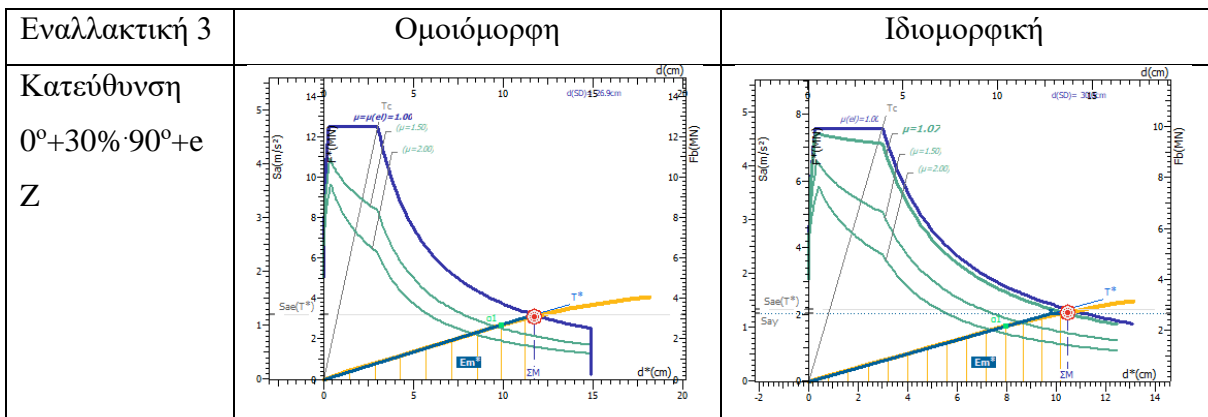


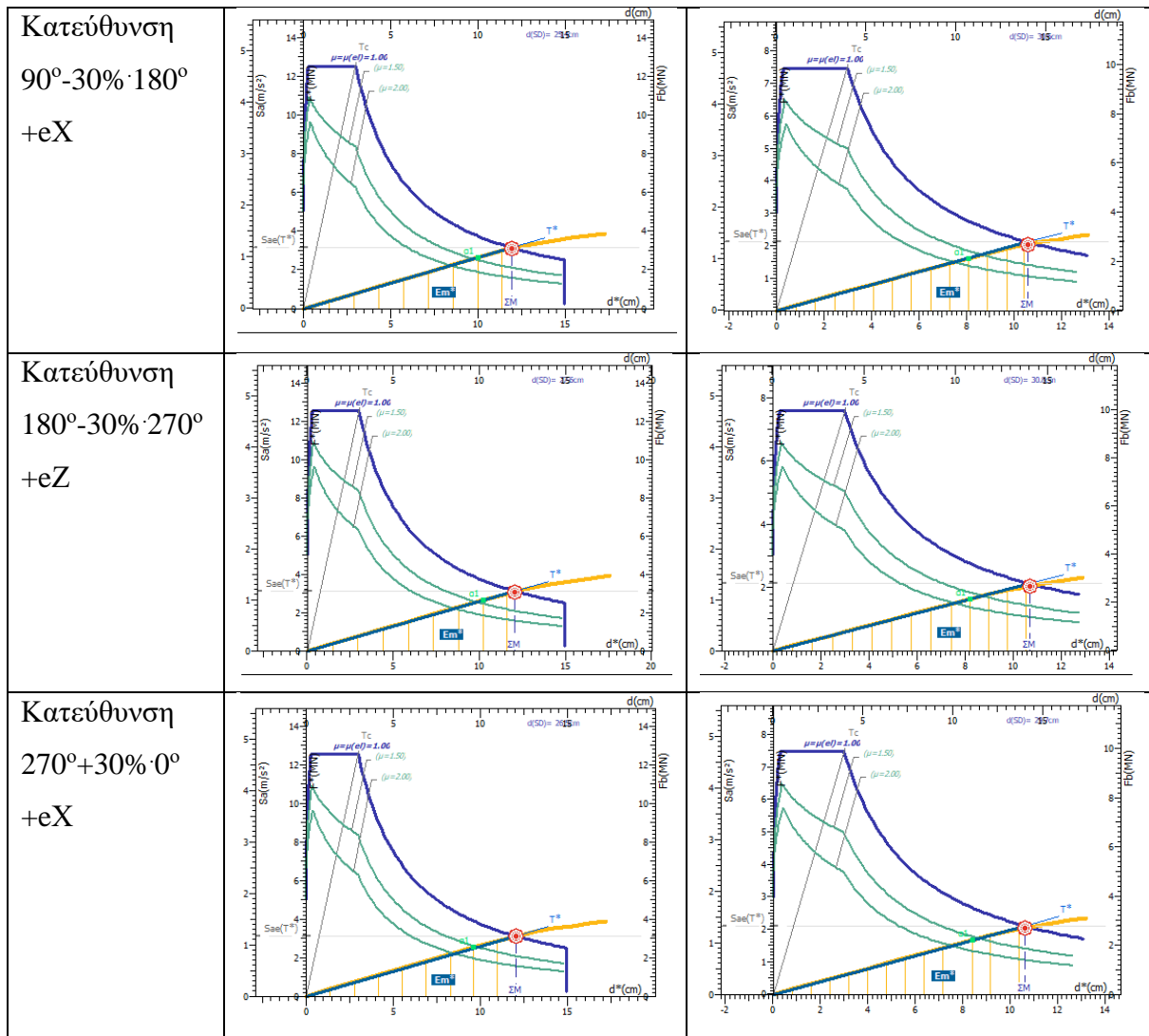
Σχήμα 3.1: Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικονότητας [EC8, Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 1



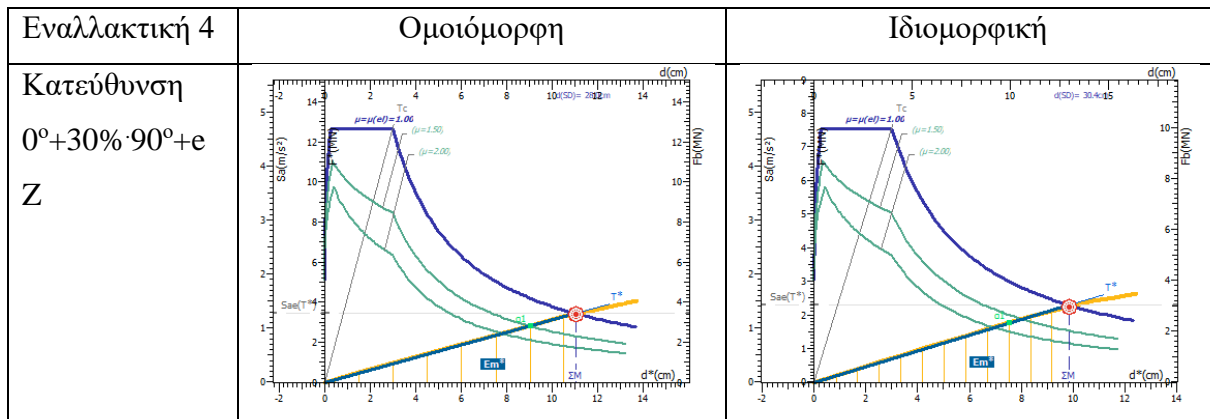


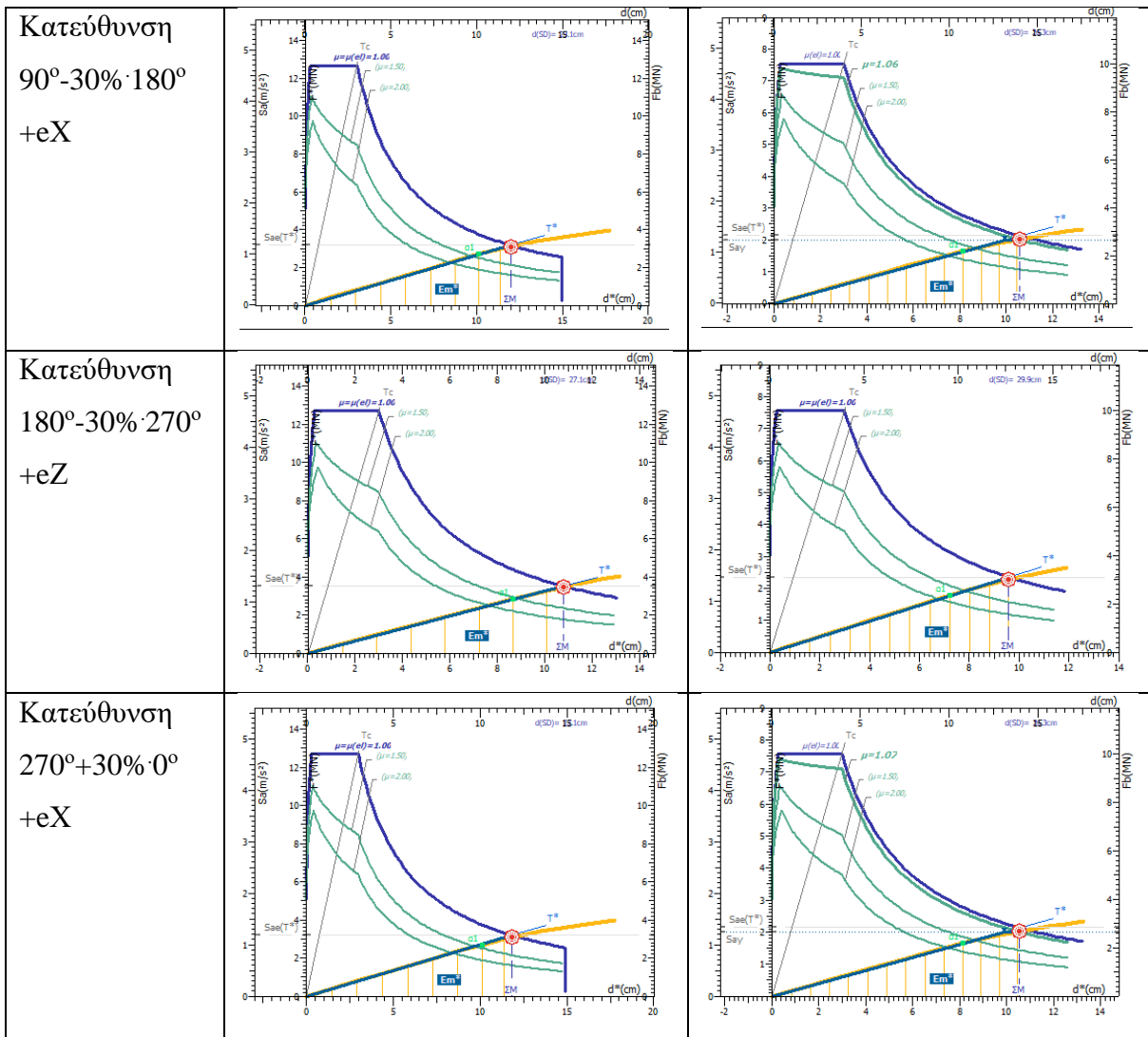
Σχήμα 3.2: Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας [EC8, Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 2



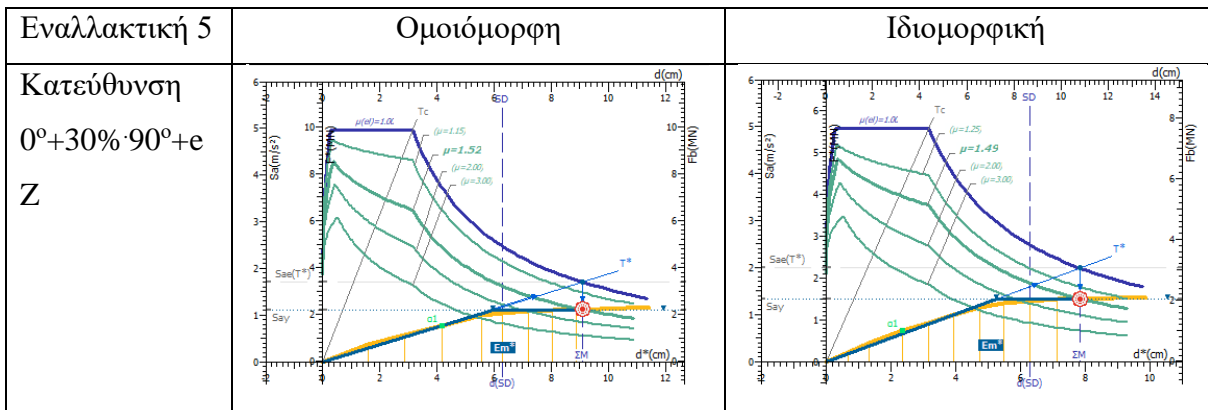


Σχήμα 3.3: Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8, Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 3

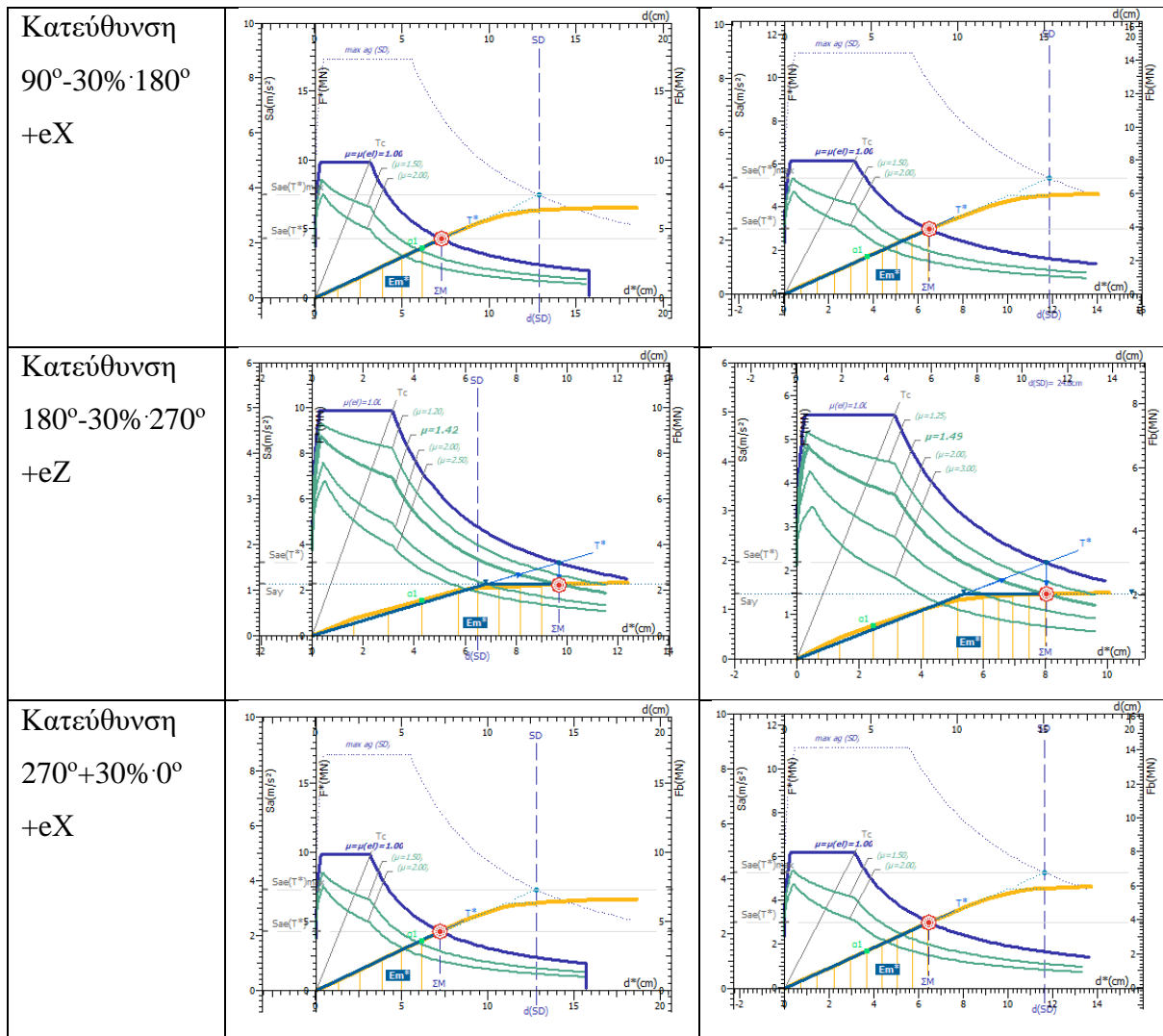




Σχήμα 3.4: Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8, Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 4







Σχήμα 3.5: Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας [EC8, Παρ. Β] SD, Εναλλακτικής 5

Επιπλέον για κάθε διάγραμμα απαίτησης – ικανότητας προέκυψαν και οι αντίστοιχες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις  $a_g$ . Στο Παράρτημα Α φαίνεται αναλυτικά η διαδικασία της επίλυσης από το στατικό πρόγραμμα Fespa. Από το πρόγραμμα προέκυψαν οι τιμές που φαίνονται στους Πίνακες 3.1 έως Πίνακα 3.5

Πίνακας 3.1: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις  $a_g$  Εναλλακτικής 1

Εναλλακτική 1	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική
Κατεύθυνση $0^\circ+30^\circ\cdot 90^\circ$ +eZ	0.359 g	0.327 g
Κατεύθυνση $90^\circ-30^\circ\cdot 180^\circ$ +eX	0.346 g	0.319 g
Κατεύθυνση $180^\circ-30^\circ\cdot 270^\circ$ +eZ	0.351 g	0.321 g
Κατεύθυνση $270^\circ+30^\circ\cdot 0^\circ$ +eX	0.347 g	0.319 g

Πίνακας 3.2: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις ag Εναλλακτικής 2

Εναλλακτική 2	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική
Κατεύθυνση $0^{\circ}+30\% \cdot 90^{\circ} +eZ$	0.326 g	0.314 g
Κατεύθυνση $90^{\circ}-30\% \cdot 180^{\circ} +eX$	0.327 g	0.301 g
Κατεύθυνση $180^{\circ}-30\% \cdot 270^{\circ} +eZ$	0.330 g	0.318 g
Κατεύθυνση $270^{\circ}+30\% \cdot 0^{\circ} +eX$	0.336 g	0.300 g

Πίνακας 3.3: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις ag Εναλλακτικής 3

Εναλλακτική 3	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική
Κατεύθυνση $0^{\circ}+30\% \cdot 90^{\circ} +eZ$	0.348 g	0.332 g
Κατεύθυνση $90^{\circ}-30\% \cdot 180^{\circ} +eX$	0.325 g	0.330 g
Κατεύθυνση $180^{\circ}-30\% \cdot 270^{\circ} +eZ$	0.349 g	0.334 g
Κατεύθυνση $270^{\circ}+30\% \cdot 0^{\circ} +eX$	0.336 g	0.322 g

Πίνακας 3.4: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις ag Εναλλακτικής 4

Εναλλακτική 4	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική
Κατεύθυνση $0^{\circ}+30\% \cdot 90^{\circ} +eZ$	0.383 g	0.354 g
Κατεύθυνση $90^{\circ}-30\% \cdot 180^{\circ} +eX$	0.297 g	0.287 g
Κατεύθυνση $180^{\circ}-30\% \cdot 270^{\circ} +eZ$	0.379 g	0.355 g
Κατεύθυνση $270^{\circ}+30\% \cdot 0^{\circ} +eX$	0.299 g	0.287 g

Πίνακας 3.5: Μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις ag Εναλλακτικής 5

Εναλλακτική 5	Ομοιόμορφη	Ιδιομορφική
Κατεύθυνση $0^{\circ}+30\% \cdot 90^{\circ} +eZ$	0.113 g	0.130 g
Κατεύθυνση $90^{\circ}-30\% \cdot 180^{\circ} +eX$	0.281 g	0.289 g
Κατεύθυνση $180^{\circ}-30\% \cdot 270^{\circ} +eZ$	0.109 g	0.335 g
Κατεύθυνση $270^{\circ}+30\% \cdot 0^{\circ} +eX$	0.278 g	0.284 g

### **3.6.2 Τεχνικά Κριτήρια**

#### **Χρόνος Κατασκευής**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θεωρήθηκε ότι και στα δυο κτίρια η θεμελίωση είναι η ίδια επομένως δε θα ληφθεί υπόψιν. Σε αυτή την υπό ενότητα θα αναλυθούν βήμα-βήμα οι εργασίες φάσεων κατασκευής ανέγερσης των σκελετών των κτιρίων.

#### **3.6.2.1 Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα**

Περιγραφή εργασιακών φάσεων ανέγερσης ισογείου.

- 1<sup>η</sup> Εργασία: Καλούπωμα υποστυλωμάτων και τοποθέτηση σιδήρων οπλισμού (3 ημέρες)
- 2<sup>η</sup> Εργασία: Σκυροδέτηση υποστυλωμάτων (1 ημέρα + 12 ημέρες\*)
- 3<sup>η</sup> Εργασία: Αφαίρεση ξυλοτύπου (Ξεκαλούπωμα) (1 ημέρα)
- 4<sup>η</sup> Εργασία: Καλούπωμα δοκών και πλακών και τοποθέτηση σιδήρων οπλισμού αντίστοιχα (5 ημέρες)
- 5<sup>η</sup> Εργασία: Σκυροδέτηση δοκών και πλακών (1 ημέρα + 12 ημέρες\*)
- 6<sup>η</sup> Εργασία: Αφαίρεση ξυλοτύπου (Ξεκαλούπωμα) (1 ημέρα)

Αφού έχουν ολοκληρωθεί όλες οι εργασιακές φάσεις κατασκευής του ισογείου, προκύπτει ότι συνολικά απαιτούνται 36 ημέρες για την ολοκλήρωσή του. Ομοίως ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τους υπόλοιπους ορόφους. Επομένως, για τον υπολογισμό ολόκληρου του κτιρίου χρειάζονται  $36 \text{ ημέρες} \times 7 \text{ ορόφους} = 252 \text{ ημέρες}$ , δηλαδή, για την κατασκευή ολόκληρου του σκελετού του κτιρίου χρειάζονται περίπου 8.5 μήνες.

### **ΣΗΜΕΙΩΣΗ**

Σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 §20.3.3.1 τα ικριώματα ή οι ξυλότοιχοι επιτρέπεται να αφαιρούνται μόνο όταν το σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί επαρκώς. Το σκυρόδεμα θεωρείται επαρκώς συμπαγές όταν το δομικό στοιχείο έχει αναπτύξει τέτοια αντοχή, ώστε να μπορεί να παραλάβει με την απαιτούμενη ασφάλεια όλα τα κατά τον χρόνο της αφαίρεσης των ξυλοτύπων ή ικριωμάτων επιβαλλόμενα φορτία.

Ιδιάζουσα προσοχή επιβάλλεται για τα δομικά στοιχεία, τα οποία αμέσως μετά την αφαίρεση των ξυλοτύπων παραλαμβάνουν σχεδόν το σύνολο των φορτίων του υπολογισμού.

Επιπλέον, εάν η εξέλιξη της σκλήρυνσης δεν παρακολουθείται με δοκίμια, οι ξυλότυποι δεν θα μπορούν να αφαιρεθούν πριν από τις ημέρες που δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 3.6 και οι οποίες θεωρούνται βασικές τιμές χρόνου αφαίρεσης.

Πίνακας 3.6: Χρόνοι αφαίρεσης των ξυλότυπων

Στοιχεία Κατασκευής	Τύπος Τσιμέντου	
	I	II
Πλευρικά δοκών, πλακών, υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων	2ημ	3ημ
Ξυλότυποι δοκών - πλακών	5ημ	8ημ
Ξυλότυποι δοκών - πλακών ανοίγματος > 5 m	10ημ	16ημ
Υποστυλώματα ασφαλείας (βοηθητικά) δοκών και πλακών ανοίγματος > 5 m	28ημ	28ημ

Τέλος, οι ξυλότυποι των υποστυλωμάτων και των τοιχωμάτων πρέπει να αφαιρούνται πριν τους ξυλότυπους των δοκών και των πλακών.

### 3.6.2.2 Κτίριο από Δομικό Χάλυβα

Για την ανέγερση της κατασκευής από δομικό χάλυβα, τα μεταλλικά στοιχεία κατασκευάστηκαν στο εργοστάσιο και εν συνεχεία μεταφέρθηκαν στο εργοτάξιο. Την χρονική περίοδο όπου θα αρχίσει η κατασκευή τους στο εργοστάσιο, θα ξεκινήσουν και οι διαδικασίες εκσκαφής για τη θεμελίωση στο εργοτάξιο. Η ανέγερση του κτιρίου θα γίνει από έναν τηλεσκοπικό γερανό. Αφού γίνει η ανέγερση των υποστυλωμάτων, θα συνδεθούν οι δοκοί και οι διαγώνιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας και θα γίνει έλεγχος ότι όλα τα μέλη της κατασκευής είναι οριζόντια ή κατακόρυφα. Σε περίπτωση που τα μέλη της κατασκευής δεν είναι οριζόντια ή κατακόρυφα, θα γίνει προσαρμογή τους μέσω των συνδέσμων δυσκαμψίας. Η επόμενη φάση της κατασκευής είναι η τοποθέτηση των προκατασκευασμένων πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με αυτή την διαδικασία γίνεται η ολοκλήρωση της κατασκευής ενός τυπικού ορόφου. Ακριβώς τα ίδια βήματα θα ακολουθηθούν για την κατασκευή και των υπολοίπων ορόφων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο χρόνος αποπεράτωσης μιας μεταλλικής κατασκευής είναι ταχύτερος έως και **40%** συγκριτικά με μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ σε περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας έργου η διαδικασία λήξης του έργου είναι ακόμα ταχύτερη.

Για την ανέγερση μια μεταλλικής κατασκευής ο μελετητής και ο κατασκευαστής θα πρέπει να ακολουθούν τις σχετικές οδηγίες των προδιαγραφών και πιο συγκεκριμένα σε ότι αφορά την ανέγερση της κατασκευής καθώς και τις μεθόδους ασφάλειας και υγιεινής θα πρέπει να τηρείται σύμφωνα το ευρωπαϊκό πρότυπο EN1090.

Επομένως, για τον υπολογισμό ολόκληρου του κτιρίου χρειάζονται περίπου 8.5 μήνες x 40% = 3.5 μήνες, δηλαδή, 105 μέρες περίπου.

### **3.6.3 Οικονομικά Κριτήρια**

#### **Κόστος Κατασκευής**

Ο υπολογισμός του κόστους κατασκευής των κτιρίων περιορίζεται στον υπολογισμό του φέροντος οργανισμού. Αυτό σημαίνει πως δε θα υπολογιστεί το κόστος της εκσκαφής, της τοιχοποιίας και των λοιπών μερών της κατασκευής, καθώς θα θεωρηθούν ίδια και για τις δυο κατασκευές. Αναλυτικά, για την κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα το κόστος κατασκευής θα είναι το κόστος του σκυροδέματος και του οπλισμού που απαιτήθηκε για την ανέγερση της κατασκευής, ενώ στην περίπτωση της κατασκευής από δομικό χάλυβα το κόστος θα είναι αυτό των μεταλλικών μελών που απαιτήθηκε για την ανέγερσή της. Οι τιμές των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν δεν είναι οι απόλυτες αλλά οι χαρακτηριστικές καθώς επηρεάζονται από την τοπική αγορά.

- Για σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30: 70 €/m<sup>3</sup> (Υλικά), 6 €/m<sup>3</sup> (Αντλία Σκυροδέματος), 70 €/m<sup>3</sup> (Εργατικά)
- Για χάλυβα οπλισμού B500: 0.94 €/kg (Υλικά), 0.14 €/kg (Εργατικά)
- Για ξυλότυπους συνήθων χυτών κατασκευών: 13 €/m<sup>2</sup> (Υλικά + Εργατικά)
- Για δομικό χάλυβα S235: 2.80 €/kg (Υλικά + Εργατικά)
- Για λαμαρίνα πλάκας: 3.80 €/kg (Υλικά + Εργατικά)

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 3.7 έως Πίνακας 3.11) που ακολουθούν με τη βοήθεια του excel έγιναν αναλυτικά οι υπολογισμοί κοστολόγησης ανέγερσης σκελετού κτιρίων και για τις πέντε (5) εναλλακτικές λύσεις.

<u>Εναλλακτική 1:</u> Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση τετραγωνικών υποστυλωμάτ ων διαστάσεων 50x50.	<i>Πίνακας 3.7: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 1</i>	
	ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (m <sup>3</sup> )	610.00
	ΒΑΡΟΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (kg)	48522.70
	ΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΥΛΟΤΥΠΟΥ (m <sup>2</sup> )	4316.40
	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25/30 (€/m <sup>3</sup> )	ΥΛΙΚΑ + ΑΝΤΛΙΑ ΕΡΓΑΤΙΚΑ 76.00 70.00
	ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ B500 (€/kg)	ΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑΤΙΚΑ 0.94 0.14
	ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ (€/m <sup>2</sup> )	ΥΛΙΚΑ & ΕΡΓΑΤΙΚΑ 13.00
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (€)	89060.00 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (€)	52404.52 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΥΛΟΤΥΠΟΥ (€)	56113.20 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ 197.577,72 €</b>		
<u>Εναλλακτική 2:</u> Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτ ων διαστάσεων 30/100/30/100.	<i>Πίνακας 3.8: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 2</i>	
	ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (m <sup>3</sup> )	630.95
	ΒΑΡΟΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (kg)	54019.75
		4479.6

	ΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΞΥΛΟΥ		
	(m <sup>2</sup> )		
	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25/30 (€/m <sup>3</sup> )	ΥΛΙΚΑ + ΑΝΤΛΙΑ	76.00
		ΕΡΓΑΤΙΚΑ	70.00
	ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ B500 (€/kg)	ΥΛΙΚΑ	0.94
		ΕΡΓΑΤΙΚΑ	0.14
	ΞΥΛΟΥ	ΥΛΙΚΑ & ΕΡΓΑΤΙΚΑ	13.00
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (€)		92.118,70 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (€)		58.341,33 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΞΥΛΟΥ (€)		58.234,80 €
	<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ</b>		<b>208.694,83 €</b>
<u>Εναλλακτική 3:</u>	<i>Πίνακας 3.9: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 3</i>		
<u>Κτίριο από</u>	ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (m <sup>3</sup> )		637.60
<u>Οπλισμένο</u>	ΒΑΡΟΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (kg)		49675.3
<u>Σκυρόδεμα με</u>	ΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΞΥΛΟΥ (m <sup>2</sup> )		4529.2
<u>τοποθέτηση</u>	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25/30 (€/m <sup>3</sup> )	ΥΛΙΚΑ + ΑΝΤΛΙΑ	76.00
<u>πλευρικών</u>		ΕΡΓΑΤΙΚΑ	70.00
<u>τοιχωμάτων</u>	ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ B500 (€/kg)	ΥΛΙΚΑ	0.94
<u>διαστάσεων</u>		ΕΡΓΑΤΙΚΑ	0.14
<u>200/30 και</u>	ΞΥΛΟΥ	ΥΛΙΚΑ & ΕΡΓΑΤΙΚΑ	13.00
<u>30/200.</u>	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (€)		93089.60 €

	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (€)	53649.32 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΞΥΛΟΤΥΠΟΥ (€)	58879.60 €
	<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ</b>	<b>205618.52 €</b>
<u>Εναλλακτική 4:</u>	<i>Πίνακας 3.10: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 4</i>	
<u>Κτίριο από</u> <u>Οπλισμένο</u> <u>Σκυρόδεμα με</u> <u>τοποθέτηση</u> <u>γωνιακών</u> <u>υποστυλωμάτ</u> <u>ων διαστάσεων</u> <u>30/100/30/100,</u> <u>τοιχωμάτων</u> <u>διαστάσεων</u> <u>150/30,</u> <u>30/150, 170/30</u> <u>και</u> <u>τετραγωνικών</u> <u>υποστυλωμάτ</u> <u>ων διαστάσεων</u> <u>50x50.</u>	ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (m <sup>3</sup> )	656.65
	ΒΑΡΟΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (kg)	55011.85
	ΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΞΥΛΟΤΥΠΟΥ (m <sup>2</sup> )	4691.6
	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25/30 (€/m <sup>3</sup> )	ΥΛΙΚΑ + ΑΝΤΛΙΑ 76.00 ΕΡΓΑΤΙΚΑ 70.00
	ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ B500 (€/kg)	ΥΛΙΚΑ 0.94 ΕΡΓΑΤΙΚΑ 0.14
	ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ (€/m <sup>2</sup> )	ΥΛΙΚΑ & ΕΡΓΑΤΙΚΑ 13.00
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (€)	95870.90 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (€)	59412.80 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΞΥΛΟΤΥΠΟΥ (€)	60990.80 €
		<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ</b>
<u>Εναλλακτική 5:</u>	<i>Πίνακας 3.11: Κοστολόγηση Ανέγερσης Σκελετού Κτιρίου Εναλλακτικής 5</i>	
<u>Κτίριο από</u> <u>Δομικό</u> <u>Χάλυβα με</u>	ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (m <sup>3</sup> )	335.90
	ΒΑΡΟΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	11054.50



τοποθέτηση υποστυλωμάτ ων ΗΕΒ, δοκών ΙΡΕ, κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους SHS και πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος.	(kg)		
	ΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΞΥΛΟΥΠΟΥ (m <sup>2</sup> )		2399.45
	ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ (kg)		178802.60
	ΒΑΡΟΣ ΛΑΜΑΡΙΝΑΣ (kg)		6.07
	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25/30 (€/m <sup>3</sup> )	ΥΛΙΚΑ + ΑΝΤΛΙΑ ΕΡΓΑΤΙΚΑ	76.00 70.00
	ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ B500 (€/kg)	ΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑΤΙΚΑ	0.94 0.14
	ΞΥΛΟΥΠΟΣ (€/m <sup>2</sup> )	ΥΛΙΚΑ & ΕΡΓΑΤΙΚΑ	13.00
	ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ S235 (€/kg)	ΥΛΙΚΑ & ΕΡΓΑΤΙΚΑ	2,8
	ΛΑΜΑΡΙΝΑ (€/kg)	ΥΛΙΚΑ & ΕΡΓΑΤΙΚΑ	3,8
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (€)		49041.40 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (€)		11938.86 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΞΥΛΟΥΠΟΥ (€)		31192.85 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ (€)		500647.28 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΑΜΑΡΙΝΑΣ (€)		23.05 €
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΡΑΝΟΥ (€)		5600.00 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ</b>		<b>598443.44 €</b>	

### **3.6.4 Περιβαλλοντικά Κριτήρια**

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μέχρι και σήμερα εξακολουθεί να είναι ένα μείζον πρόβλημα της παγκόσμιας περιβαλλοντικής κλιματικής αλλαγής και κρίσης. Τα κτίρια είναι υπεύθυνα για το 40% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με ένα ποσοστό της τάξεως του 25 με 30% να αφορά τις ανάγκες ενέργειας ενός κτιρίου και ένα ποσοστό της τάξεως του 10% περίπου να προέρχεται από τη διαδικασία και τα υλικά κατασκευής του.

Εστιάζοντας κανείς στο 10%, θα διακρίνει ότι η παραγωγή CO<sub>2</sub> συναντάται στα δύο άκρα της διάρκειας ζωής ενός κτιρίου, δηλαδή, πριν καταστεί λειτουργικό και αφού σταματήσει να είναι. Στη πρώτη περίπτωση συμπεριλαμβάνεται η εξόρυξη, η παραγωγή, η μεταφορά και η τοποθέτηση της εγκατάστασης των υλικών της κατασκευής, ενώ στη δεύτερη περίπτωση συμπεριλαμβάνεται η κατεδάφιση, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των υλικών κατασκευής όπως είναι ο χάλυβας και το σκυρόδεμα.

Αν κάτσει κανείς και αναρωτηθεί θα διαπιστώσει ότι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του χάλυβα είναι μεγαλύτερο από αυτό του σκυροδέματος αφού περίπου το 7% των εκπομπών του CO<sub>2</sub> προέρχεται από τις χαλυβουργίες ενώ μόλις το 5% από την παραγωγή τσιμέντου. Η αλήθεια είναι ότι τα ποσοστά αυτά φαντάζονται μικρά, όχι όμως αν σκεφτούμε ότι ένας τόνος υλικού αντιπροσωπεύει σχεδόν ένα τόνο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Γι' αυτό αλώςτε και γίνονται συνεχής βελτιώσεις και εξελίξεις στη μέθοδο της παραγωγικής διαδικασίας.

Όσον αφορά την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση, ο χάλυβας είναι ένα υλικό εύκολα ανακυκλώσιμο που διατηρεί τις ιδιότητές του όσες φορές και αν ανακυκλωθεί. Επιπλέον, είναι εφικτό να παραχθεί δομικός χάλυβας με ποσοστό ανακυκλώσιμου υλικού πάνω από 95% και στο τέλος της ζωής του να ανακυκλωθεί πλήρως, σε αντίθεση με το σκυρόδεμα το οποίο επαναχρησιμοποιείται ως υλικό χαμηλότερης ποιότητας από το αρχικό μόλις στο 75%.

Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτό ότι ο χάλυβας είναι το πιο ανακυκλώσιμο υλικό κατασκευής, και με το πέρασ των χρόνων θα κατέχει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της βιωσιμότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για την εύρεση του αποτυπώματος άνθρακα χρησιμοποιήθηκε το περιβαλλοντικό λογισμικό One Click LCA. Το One Click LCA (2015) είναι ένα εύκολο και αυτοματοποιημένο λογισμικό που αξιολογεί τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου και μας δίνετε η δυνατότητα να μειώσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των έργων. (*One Click LCA (2015). Helsinki: One Click LCA Ltd., n.d.*)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με τη βοήθεια του περιβαλλοντικού προγράμματος One Click LCA (2015) για τις εναλλακτικές τις παρούσας εργασίας βρήκαμε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα άνθρακα που θα έχει η κάθε κατασκευή ξεχωριστά μέχρι την ανέγερση του σκελετού του κτιρίου. (One Click LCA (2015). Helsinki: One Click LCA Ltd., n.d.)







Για κάθε εναλλακτική στο περιβαλλοντικό πρόγραμμα εισήγαμε από το στατικό πρόγραμμα Fespa τα αποτελέσματα που μας έδωσε για κάθε εναλλακτική ξεχωριστά. Συγκεκριμένα χρειάστηκε ο όγκος του σκυροδέματος ( $m^3$ ) και το βάρος του σιδηρού οπλισμού (kg). Στο Παράρτημα Β φαίνονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο πρόγραμμα.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις εναλλακτικές σκυρόδεμα 60% ανακυκλώσιμο και δομικός χάλυβας 100% ανακυκλώσιμος. (βλ. Σχήμα 3.6)

The screenshot displays two material data entry windows from the One Click LCA software. The left window is for 'Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30 (3600/4400 PSI) with CEM III/A, 60% GGBS content (280 kg/m<sup>3</sup>; 18.7 lbs/ft<sup>3</sup> total cement)'. It includes 'Add to input' and 'Add to compare' buttons, and a 'Show empty rows' link. Below the title is a 'General information' section with 'Country' set to 'Greece' and 'Material type' as 'Ready-mix concrete for foundations and internal walls'. A list of expandable sections follows: 'Datapoint background information', 'Description', 'Technical characteristics', 'Environmental profile', 'Default scenarios and assumptions', and 'Other'. The right window is for 'Steel sheets, generic, 100% recycled content, S235, S275 and S355'. It also has 'Add to input' and 'Add to compare' buttons and a 'Show empty rows' link. Its 'General information' section shows 'Country' as 'Greece' and 'Material type' as 'Structural steel and steel profiles'. It features the same list of expandable sections as the concrete window.

Σχήμα 3.6: Δεδομένα Υλικών Κατασκευής (One Click LCA (2015). Helsinki: One Click LCA Ltd., n.d.)

Για τη μεταφορά των υλικών χρησιμοποιήθηκε μπετονιέρα (concrete mixer truck, appr. 8 m<sup>3</sup>, 100% fill rate) και φορτηγό με τρέιλερ (trailer combination, 40 ton capacity, 100% fill rate) (βλ. Σχήμα 3.7)

Trailer combination, 40 ton capacity, 100% fill rate   <small>Show empty rows</small>	Concrete mixer truck, appr. 8 m <sup>3</sup> , 100% fill rate   <small>Show empty rows</small>
<p><b>General information</b></p> <p>Country: Europe </p> <p>Material type: Transport of goods, Road</p> <p><b>Datapoint background information</b></p> <p>EPD program: One Click LCA</p> <p>Year: 2016</p> <p>Data source: LCA for European transportation based on VTTs Lipasto, OneClickLCA 2017</p> <p>Upstream database: ecoinvent</p> <p><b>Description</b></p> <p><b>Technical characteristics</b></p> <p>Available units: tonkm</p> <p><b>Environmental profile</b></p>	<p><b>General information</b></p> <p>Country: Europe </p> <p>Material type: Transport of goods, Road</p> <p><b>Datapoint background information</b></p> <p>EPD program: One Click LCA</p> <p>Year: 2016</p> <p>Data source: LCA for European transportation based on VTTs Lipasto, OneClickLCA 2017</p> <p>Upstream database: ecoinvent</p> <p><b>Description</b></p> <p><b>Technical characteristics</b></p> <p>Available units: tonkm</p> <p><b>Environmental profile</b></p>

Σχήμα 3.7: Δεδομένα Μεταφορικών Μέσων Υλικών (One Click LCA (2015). Helsinki: One Click LCA Ltd., n.d.)

Αφού έγιναν οι αναλύσεις του προγράμματος προέκυψε ένα γενικό αποτέλεσμα (Total) το οποίο σχετίζεται με την παγκόσμια υπερθέρμανση (Global Warming). Στον Πίνακα 3.12 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα του προγράμματος.

Πίνακας 3.12: Γενικά αποτελέσματα ανθρακικού αποτυπώματος

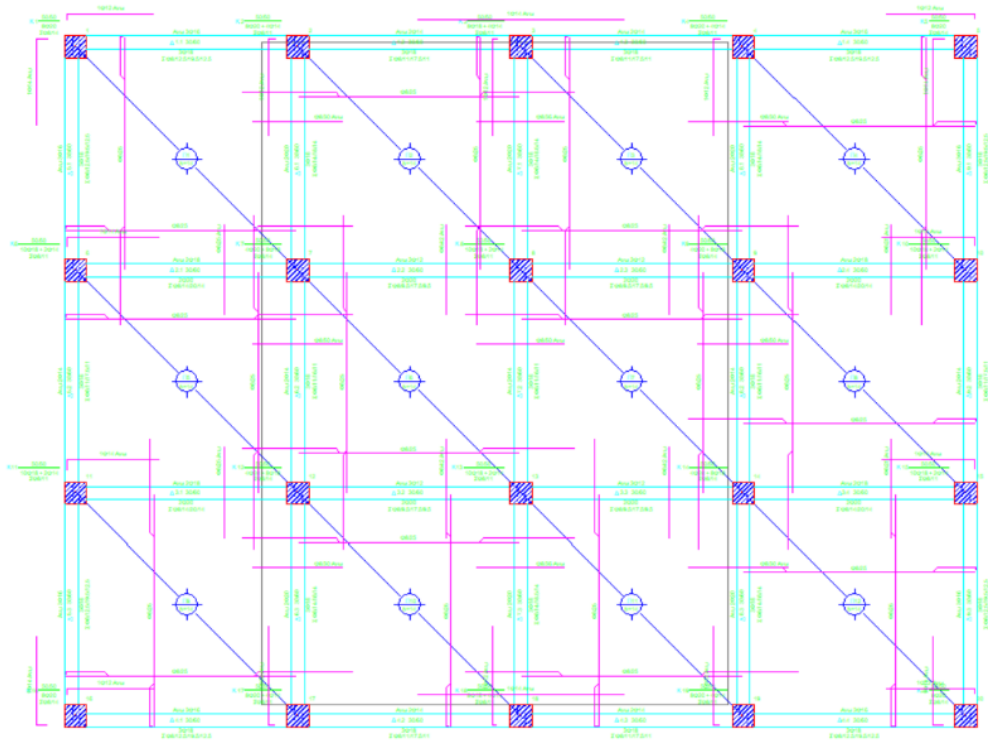
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΓΕΝΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO <sub>2</sub> e)
E1	1.48 x 10 <sup>5</sup>
E2	1.57 x 10 <sup>5</sup>
E3	1.53 x 10 <sup>5</sup>
E4	1.62 x 10 <sup>5</sup>
E5	6.59 x 10 <sup>4</sup>

## 4 Σχεδιασμός των Εναλλακτικών

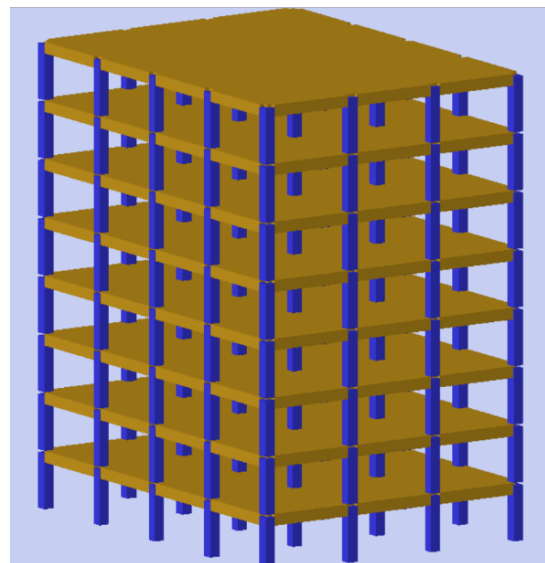
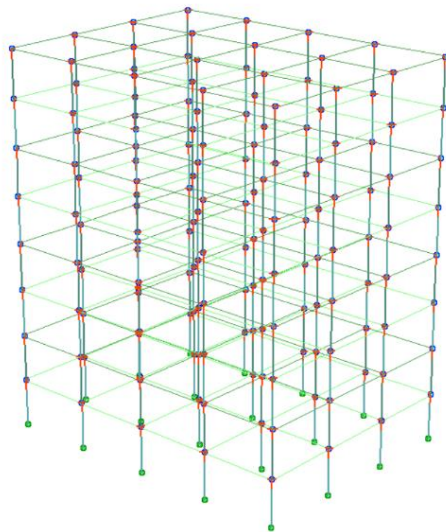
Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται ο σχεδιασμός της κατασκευής με εναλλακτικές μεθόδους με τη βοήθεια του στατικού προγράμματος Fespa. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η κάτοψη του κτιρίου η οποία είναι ίδια για όλους τους ορόφους. Ομοίως το ίδιο παρατηρούμε και για τις υπόλοιπες εναλλακτικές λύσεις αντίστοιχα (βλ. Σχήματα 4.3 έως 4.9). Το κτίριο 1 είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα με τετραγωνικά υποστυλώματα. Το κτίριο 2 είναι όμοιο με το κτίριο 1 ωστόσο τα γωνιακά υποστυλώματα έχουν μορφή Γ και διατομή 30/100/30/100. Το κτίριο 3 είναι όπως το κτίριο 1 αλλά τοποθετείται σε κάθε πλευρά του κτιρίου ένα τοίχωμα 200/30. Το κτίριο 4 έχει τετραγωνικά υποστυλώματα, γωνιακά υποστυλώματα μορφής Γ και διατομής 30/100/30/100, ένα τοίχωμα διαστάσεων 200/30 σε κάθε περιμετρική πλευρά και επιπλέον δύο τοιχώματα με ισχυρό άξονα στην διεύθυνση X εσωτερικά του κτιρίου. Τέλος, το κτίριο 5 είναι μεταλλική κατασκευή με υποστυλώματα ΗΕΒ, δοκοί διατομής ΙΡΕ 500 και ΙΡΕ550, κατακόρυφοι χιαστί σύνδεσμοι διατομής SHS60x8 και πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος.

Στο στατικό πρόγραμμα εισήγαμε αρχικά τα υποστυλώματα, όπου και στις δύο διευθύνσεις η απόστασή τους είναι ανά 5.0 m. Στη συνέχεια επιλέχθηκαν δοκάρια διαστάσεων 30/60 για τις εναλλακτικές 1, 2, 3 και 4 ενώ για την εναλλακτική 5 επιλέχθηκαν δοκοί διατομής ΙΡΕ 500 και ΙΡΕ550. Επιπλέον στην εναλλακτική 5 τοποθετήθηκαν στον ασθενή άξονα και κατακόρυφοι χιαστί σύνδεσμοι διατομής SHS60x8 (βλ. Σχήμα 4.10).

Εναλλακτική 1: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση τετραγωνικών υποστυλωμάτων διαστάσεων 50x50.

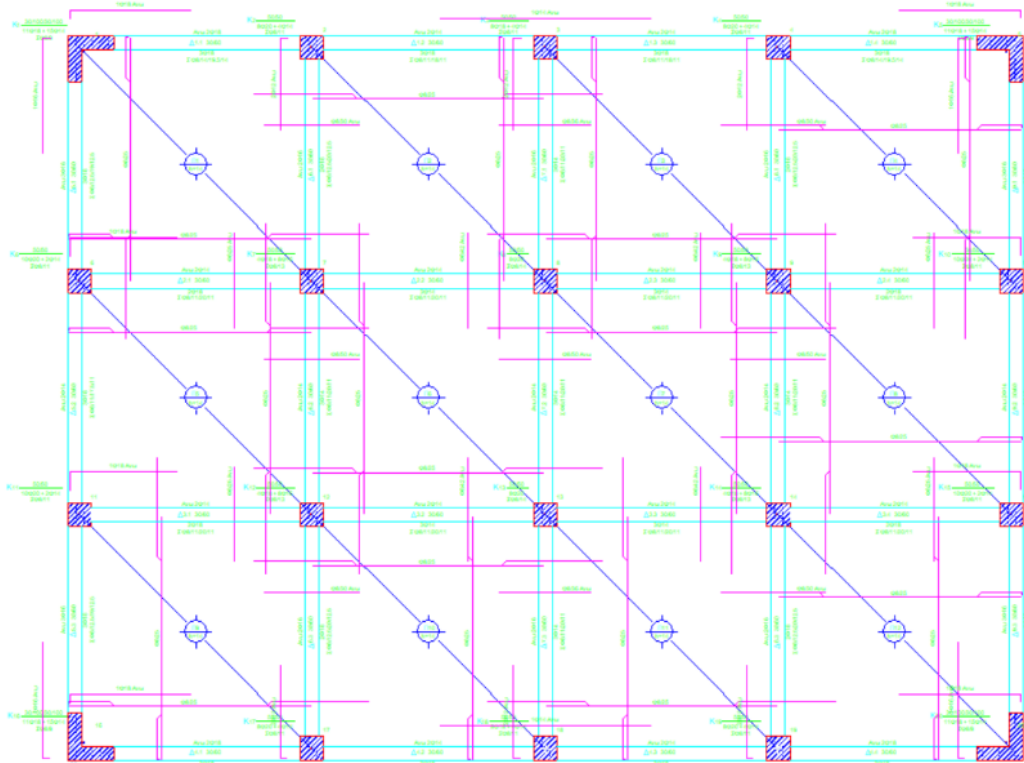


Σχήμα 4.1: Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 1

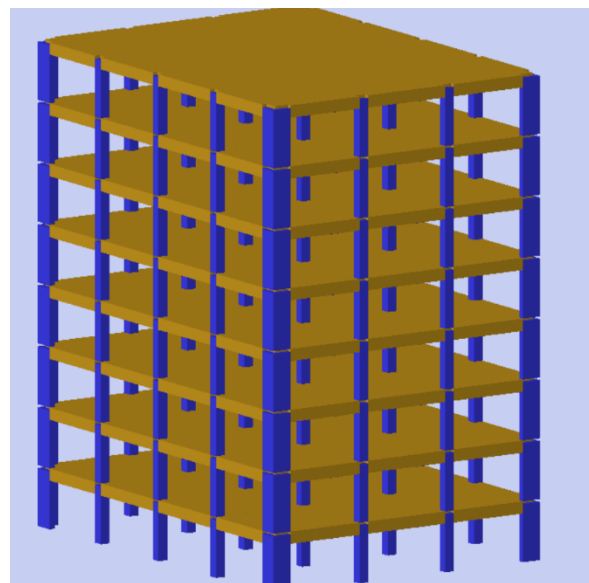
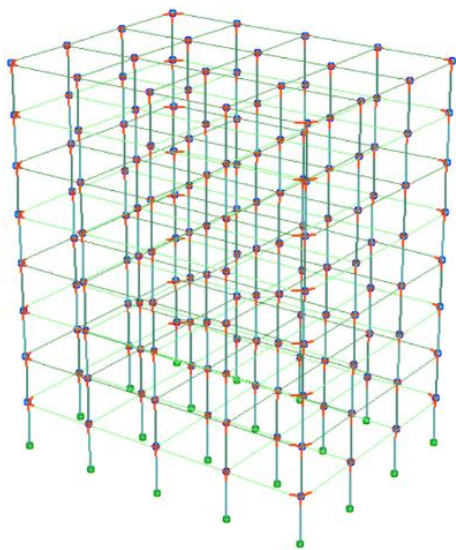


Σχήμα 4.2: Τριδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 1

*Εναλλακτική 2*: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100.

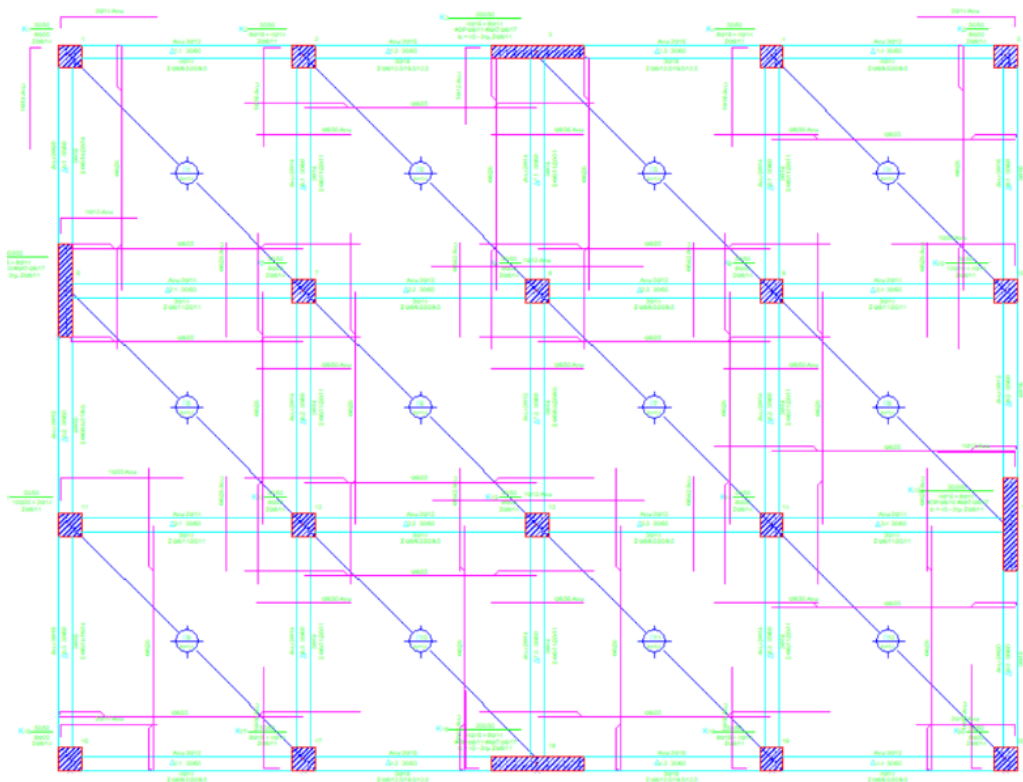


Σχήμα 4.3: Κάτοψη στατικού μοντέλου *Εναλλακτικής 2*

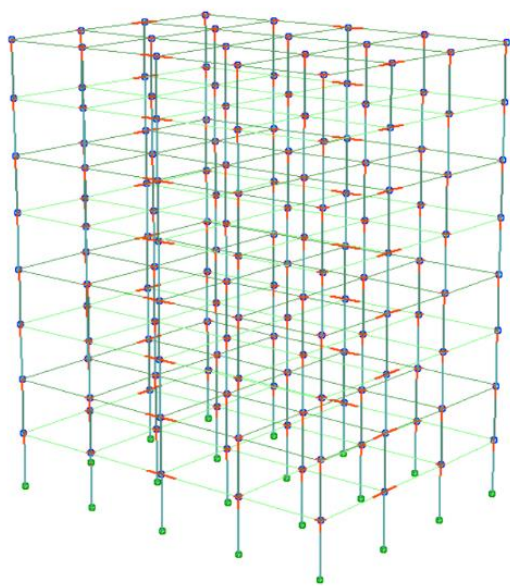


Σχήμα 4.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση *Εναλλακτικής 2*

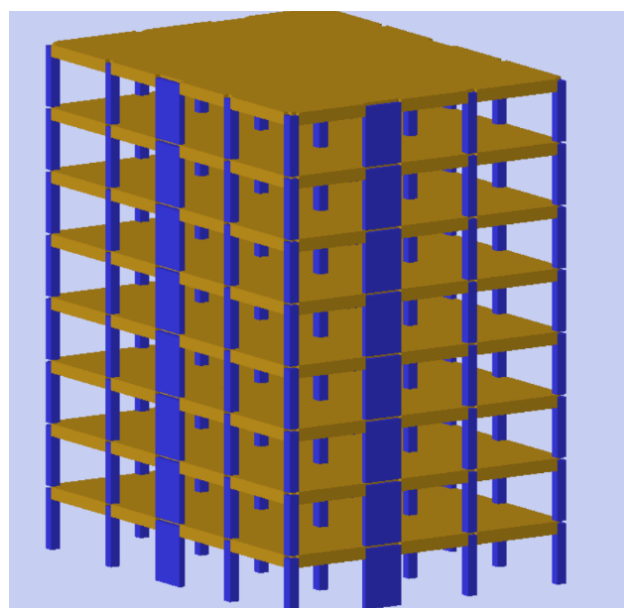
*Εναλλακτική 3:* Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση πλευρικών τοιχωμάτων διαστάσεων 200/30 και 30/200.



Σχήμα 4.5: Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 3

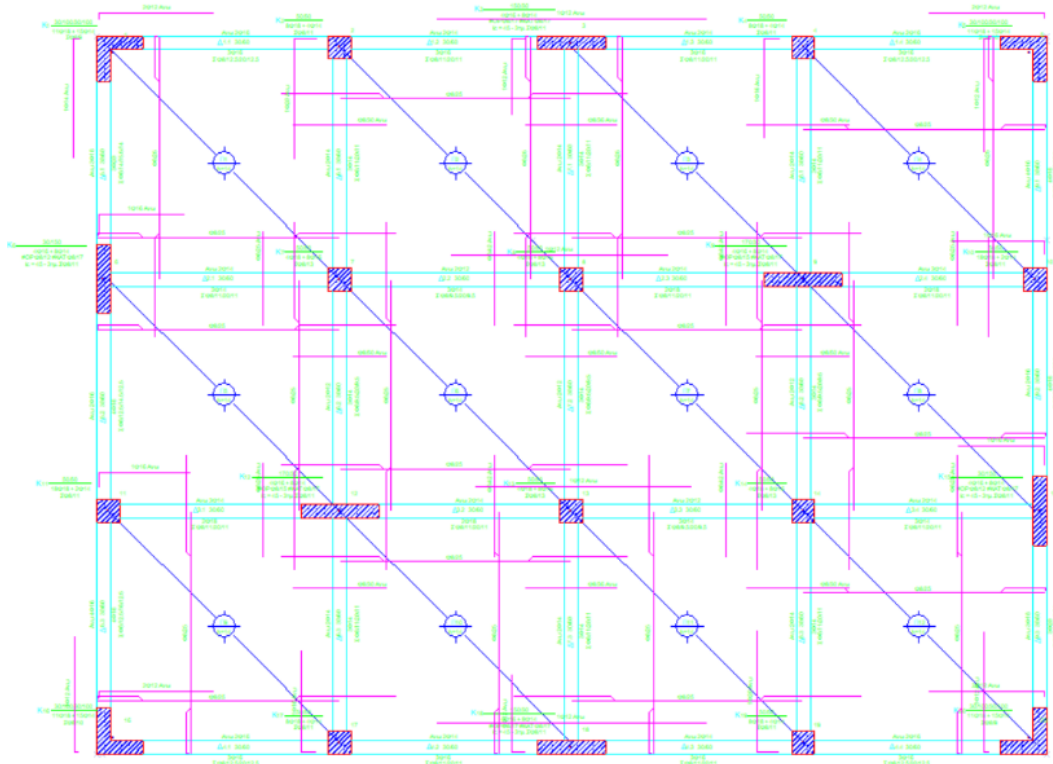


Σχήμα 4.6: Τριδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 3

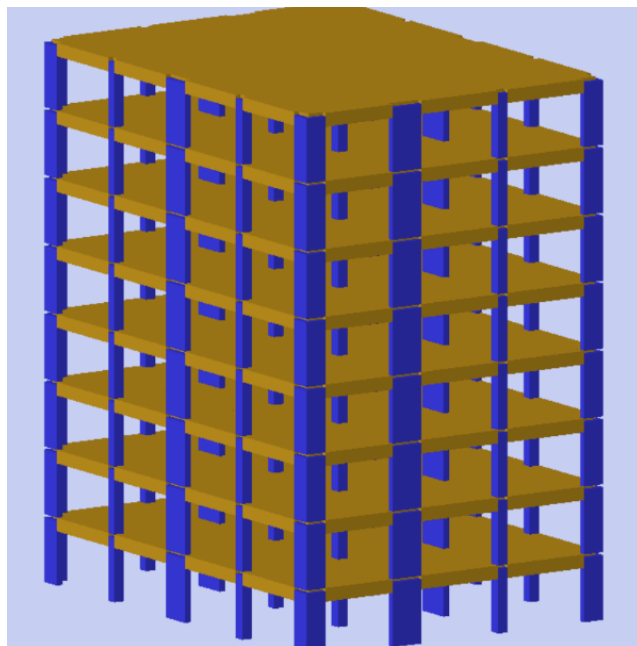
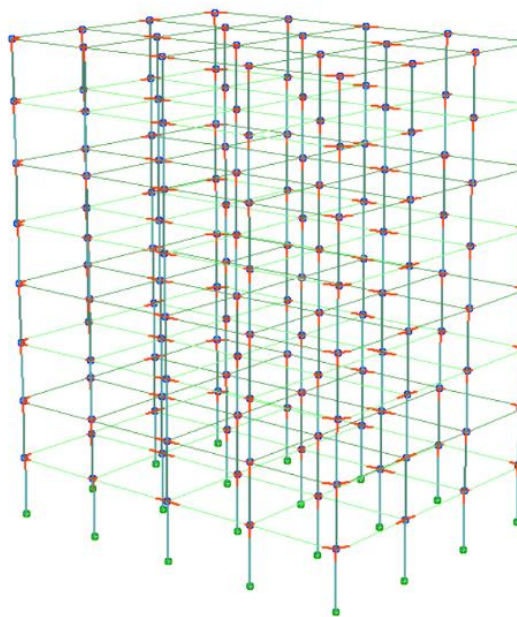




Εναλλακτική 4: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100, τοιχωμάτων διαστάσεων 150/30, 30/150, 170/30 και τετραγωνικών υποστυλωμάτων διαστάσεων 50x50.

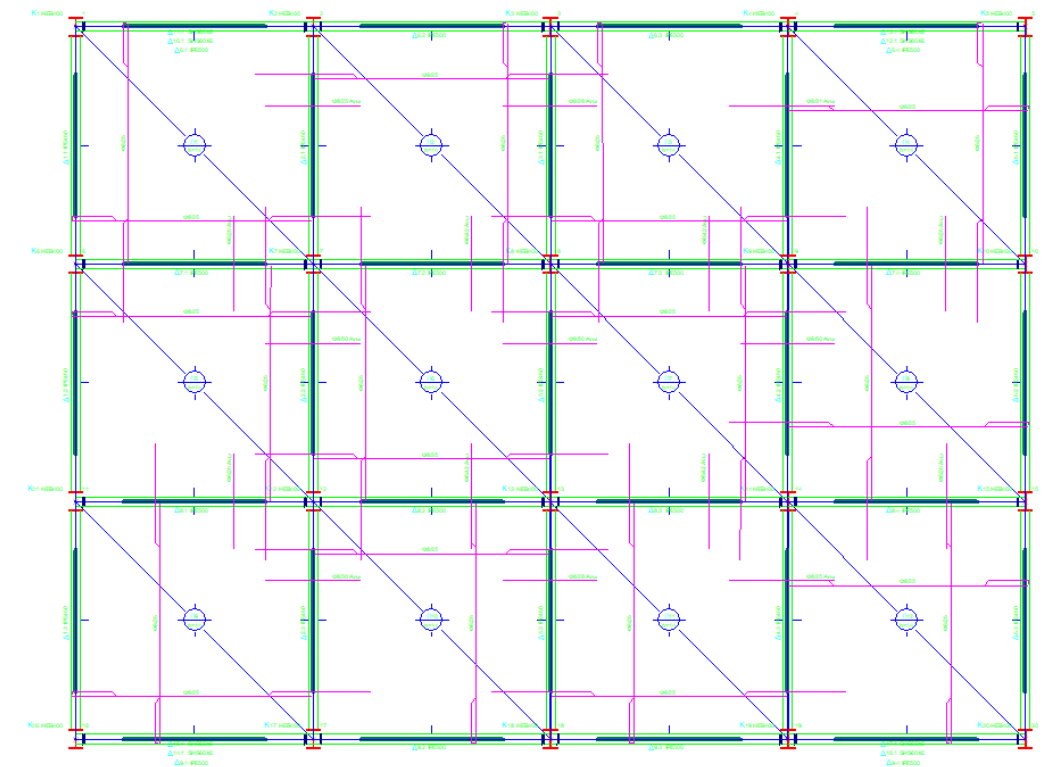


Σχήμα 4.7: Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 4

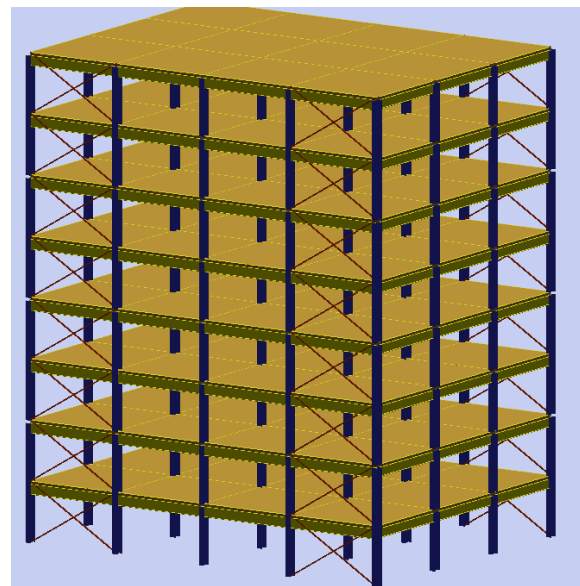
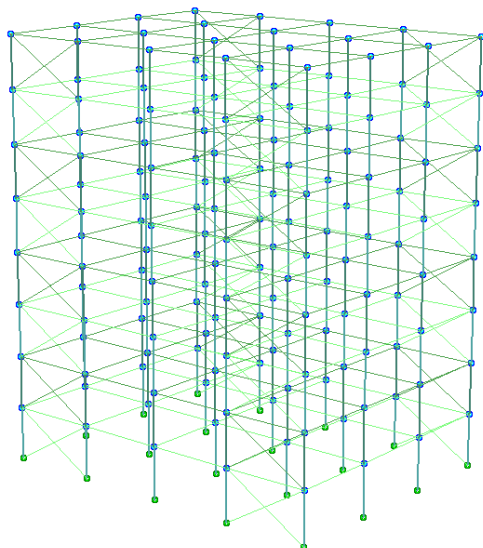


Σχήμα 4.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 4

Εναλλακτική 5: Κτίριο από Δομικό Χάλυβα με τοποθέτηση υποστρωμάτων ΗΕΒ, δοκών ΙΡΕ, κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους SHS και πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος.



Σχήμα 4.9: Κάτοψη στατικού μοντέλου Εναλλακτικής 5



Σχήμα 4.10: Τρισδιάστατη απεικόνιση Εναλλακτικής 5

## 5 Πολύ-κριτήρια Αξιολόγηση των Εναλλακτικών

### 5.1 Μοντέλο Ολικής Προτίμησης

Στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιηθεί η εφαρμογή της μεθόδου WAP και TOPSIS στο υπό μελέτη πρόβλημα απόφασης, εφαρμόζοντας στην TOPSIS τα βάρη που θα προκύψουν από την WAP. Για να πραγματοποιήσουμε αυτό το εγχείρημα θα χρησιμοποιήσουμε τη μεθοδολογία των μεθόδων σύμφωνα με τους ερευνητές (Tsotsolas et al., 2019; Roszkowska, n.d.)

#### 5.1.1 Weights Assessment through Prioritizations (WAP)

Η μέθοδος WAP έχει αναπτυχθεί από τους Tsotsolas et al. (2019), στόχος των οποίων ήταν να επικεντρωθούν στην παρουσίαση της αξιολόγησης των βαρών μέσω της μεθόδου προτεραιότητας (WAP), η οποία αποτελεί μια ειδική ολοκληρωμένη εφαρμογή της μεθόδου Robust Simos. Η μέθοδος WAP αφενός εμπλουτίζει τις προνομιακές πληροφορίες που χρησιμοποιούνται με φιλικό και ολοκληρωμένο τρόπο από τον αποφασίζοντα, ενώ από την άλλη οδηγεί στην εκτίμηση των βαρών με μεγαλύτερη ευστάθεια. Η ιδέα της διαδικασίας της WAP θα αναλυθεί παρακάτω σε βήματα σύμφωνα με τους ερευνητές (Spyridakos et al., 2022).

#### Βήμα 1

Οι εμπειρογνώμονες ταξινομούν τα χαρακτηριστικά κατά σειρά και ένα αντίστοιχο σύνολο χαρακτηριστικών κατά ζεύγος, σχετικά με τη σημασία τους σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Τα χαρακτηριστικά σύμφωνα με την κατάταξή τους ταξινομούνται από τα πιο σημαντικά στα λιγότερο σημαντικά και ταξινομούνται σε  $s$  κατηγορίες (ή αλλιώς κλάσεις με  $s \leq n$ ). Κάθε κατηγορία περιλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό ή ένα σύνολο κριτηρίων αντίστοιχα.

#### Βήμα 2

Το βασικότερο σημείο της μεθόδου WAP είναι η χρήση των δεικτών  $z$  για κάθε ζεύγος διαδοχικών χαρακτηριστικών ή σύνολο χαρακτηριστικών αντίστοιχα που ικανοποιούν τον ακόλουθο τύπο:

$$\frac{P_r}{P_{r+1}} = z_r, \text{ για } r = 1, \dots, s - 1$$

Όπου  $s$  είναι ο αριθμός των κλάσεων σχετικής σπουδαιότητας για τα κριτήρια  $z \geq 1$ .

Η μέθοδος WAP δεν απαιτεί τον ακριβή προσδιορισμό των δεικτών  $z$  αλλά ένα εύρος  $[z_{\min r}, z_{\max r}]$ , όπου η τιμή  $z_r$  μπορεί να ποικίλει. Για δυο διαδοχικά χαρακτηριστικά ή σύνολα

χαρακτηριστικών (π.χ.:  $g_r, g_{r+1}$ ), η περιοχή  $[z_{minr}, z_{maxr}]$  προσδιορίζεται έτσι ώστε  $z_{minr} \leq z_r \leq z_{maxr}$ .

Προκειμένου οι ειδικοί να διευκολυνθούν στην εύρεση αυτού του εύρους χρησιμοποιούνται οπτικές διαδραστικές τεχνικές. Μέσω αυτής της προσέγγισης ζητείται από τον αποφασίζοντα να ταξινομήσει τα “n” χαρακτηριστικά σε “s” τάξεις ( $s \leq n$ ) και να προσδιορίσει τιμές για τους δείκτες  $z_{minr}$  και  $z_{maxr}$  ( $r = 1, 2, \dots, s-1$ ). Οι γραμμές κύλισης χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στην απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ δυο διαδοχικών χαρακτηριστικών ή συνόλων κριτηρίων. Οι τιμές  $z_{minr}$  και  $z_{maxr}$  υπολογίζονται αυτόματα και παρουσιάζονται με ράβδους και μοναδικές ετικέτες.

Έχοντας λοιπόν αναγνωρίσει το  $z_{minr}$  και  $z_{maxr}$  για όλα τα ζεύγη των διαδοχικών κατηγοριών με τη επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού και τεχνικών για την εκτίμηση των ελάχιστων και μέγιστων τιμών των βαρών. Τα  $2n$  προβλήματα βελτιστοποίησης που δίνονται παρακάτω, χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των διανυσμάτων του βάρους για την μεγιστοποίηση και την ελαχιστοποίηση των βαρών των κριτηρίων:

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

Υπόκεινται σε:

- $p_i - p_{i+1} = 0$   
Εάν το  $g_{i+1}$  ακολουθείται από  $g_i$  και  $g_{i+1}$  ανήκει στην ίδια κατηγορία σπουδαιότητας ( $r$ ) με το  $g_i$
- ή  $p_i - p_{i+1} \geq z_{minr}, p_i - p_{i+1} \leq z_{maxr}$   
Εάν το  $g_i$  ακολουθείται από  $g_{i+1}$ ,  $g_i$  ανήκει στην πιο σημαντική κατηγορία σπουδαιότητας ( $r$ ) και το  $g_{i+1}$  ανήκει στην κατηγορία ( $r + 1$ ),

- $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1,$
- $p_1 \geq 0, p_2 \geq 0, p_n \geq 0$

Οι λύσεις που θα προκύψουν από τα παραπάνω γραμμικά προγράμματα θα οδηγήσουν στον προσδιορισμό των ελάχιστων και μέγιστων τιμών των βαρών των κριτηρίων στις λύσεις υπερ-πολύεδρο (άπειρες λύσεις).

### Βήμα 3.

Η ευστάθεια του εκτιμώμενου υπερ-πολύεδρου υπολογίζεται μέσω της χρήσης δυο δεικτών.

Ο πρώτος τύπος δείκτη που χρησιμοποιείται είναι το εύρος μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων τιμών των βαρών των κριτηρίων για κάθε κριτήριο, καθώς αυτές οι τιμές υπολογίζονται για κάθε κορυφή του υπερ-πολυέδρου.

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

Όπου  $n$  είναι ο αριθμός των χαρακτηριστικών,  $m$  ο αριθμός των κορυφών του υπερ-πολυέδρου και  $p_{ij}$  είναι το βάρος της ιδιότητας  $i$  της κορυφής  $j$ .

Ο δεύτερος δείκτης που χρησιμοποιείται αντιπροσωπεύει την κανονικοποιημένη τυπική απόκλιση των διαφορετικών λύσεων που αντιστοιχούν στις κορυφές υπερ-πολυέδρων, όπου η τιμή 1 αντιστοιχεί σε ένα ευσταθές προτεινόμενο μοντέλο. Αυτός ο κανονικοποιημένος δείκτης ονομάζεται μέσος δείκτη ευστάθειας (**Average Stability Index**).

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

Όπου  $n$  είναι ο αριθμός των χαρακτηριστικών και  $m$  ο αριθμός των κορυφών του υπερ-πολυέδρου.

Επιπλέον, για το σύνολο των διανυσμάτων βάρους  $2n$ , εκτιμάται το βαρύκεντρο. Εάν οι τιμές του βαρύκεντρου θεωρούνται ικανοποιητικές από τον αποφασίζοντα μαζί με το επίπεδο ευστάθειας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διάνυσμα για τα βάρη στην ανάλυση TOPSIS. Ειδικότερα, υπάρχουν δυο κύριες δυνατότητες που παρέχει η προτεινόμενη προσέγγιση. Η πρώτη επικεντρώνεται στην ενημέρωση ή τροποποίηση συγκεκριμένων αρχικών προτιμήσεων, όπως οι τιμές του  $Z_{\min}$  και  $Z_{\max}$  ή στην κατάταξη των κριτηρίων ενώ η δεύτερη αφορά την ανατροφοδότηση αξιοποιώντας αλλά εργαλεία για την ανάλυση ευστάθειας του υπερπολυέδρου λύσεων.

### 5.1.2 Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Η μέθοδος TOPSIS έχει αναπτυχθεί από τους Hwang και Yoon (1981). Η ιδέα της κλασικής διαδικασίας της TOPSIS θα αναλυθεί παρακάτω σε βήματα.

#### Βήμα 1. Κατασκευή του πίνακα αποφάσεων και προσδιορισμός του βάρους των κριτηρίων

Έστω  $X = (x_{ij})$  ένας πίνακας αποφάσεων και  $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]$  ένα διάνυσμα βάρους, όπου  $x_{ij} \in R$ ,  $w_j \in R$  και  $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$

Τα κριτήρια των συναρτήσεων μπορεί να είναι: συναρτήσεις οφέλους ή συναρτήσεις κόστους.

#### Βήμα 2. Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα αποφάσεων.

Αυτό το βήμα μετατρέπει την κλίμακα στα επιμέρους κριτήρια σε μία κλίμακα όπου είναι δυνατές οι συγκρίσεις μεταξύ αυτών. Και αυτό γιατί τα διαφορετικά κριτήρια συνήθως μετρούνται σε διαφορετικές μονάδες με αποτέλεσμα οι βαθμολογίες στον πίνακα αξιολόγησης  $X$  να πρέπει να κανονικοποιηθούν. Η κανονικοποίηση των τιμών μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν από τους πολλούς γνωστούς τυποποιημένους τύπους. Μερικές από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους υπολογισμού της κανονικοποιημένης τιμής  $n_{ij}$  είναι οι ακόλουθες:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}$$

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} & \text{αν } C_i \text{ είναι μια συνάρτηση οφέλους} \\ \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} & \text{αν } C_i \text{ είναι μια συνάρτηση κόστους} \end{cases}$$

Για  $i=1, \dots, m$  και  $j=1, \dots, n$ .

#### Βήμα 3. Υπολογισμός σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα αποφάσεων.

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη τιμή  $v_{ij}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$v_{ij} = w_j n_{ij} \text{ όπου } i = 1, \dots, m \text{ και } j = 1, \dots, n$$

Όπου  $w_j$  είναι το βάρος του κριτηρίου.  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

#### Βήμα 4. Προσδιορισμός διανυσμάτων θετικών και αρνητικών ιδανικών λύσεων.

Για να υπολογιστούν τα διανύσματα που αναπαριστούν την υποθετική θετική ιδεατή λύση  $A^+$  (κριτήρια θετικής επίδρασης) και την υποθετική αρνητική ιδεατή λύση  $A^-$  (κριτήρια αρνητικής επίδρασης).

Η ιδανική θετική λύση είναι αυτή που μεγιστοποιεί τα κριτήρια οφέλους και ελαχιστοποιεί τα κριτήρια κόστους ενώ η αρνητική ιδανική λύση είναι αυτή που μεγιστοποιεί τα κριτήρια κόστους και ελαχιστοποιεί τα κριτήρια οφέλους.

- Η θετική ιδανική λύση  $A^+$  έχει τη μορφή:

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \left( (max_i v_{ij} | j \in I), (min_i v_{ij} | j \in J) \right)$$

- Η αρνητική ιδανική λύση  $A^-$  έχει τη μορφή:

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \left( (min_i v_{ij} | j \in I), (max_i v_{ij} | j \in J) \right)$$

Όπου το I συνδέεται με τα κριτήρια οφέλους και το J με τα κριτήρια κόστους.

$i=1, \dots, m$  και  $j=1, \dots, n$ .

#### Βήμα 5. Υπολογισμός αποστάσεων.

Στη μέθοδο TOPSIS μπορεί να εφαρμοστεί ένας αριθμός μετρήσεων απόστασης (βλ. (Kahraman et al., 2007)).

Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από τη θετική ιδανική λύση δίνεται από τη σχέση:

$$d_i^+ = \left( \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^p \right)^{1/p}, i = 1, 2, \dots, m.$$

Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την αρνητική ιδανική λύση δίνεται από τη σχέση:

$$d_i^- = \left( \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^p \right)^{1/p}, i = 1, 2, \dots, m.$$

Όπου  $p \geq 1$ . Για  $p=2$  έχουμε την πιο σύνηθες Ευκλείδεια παράμετρο.

$$d_i^+ = \left( \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right), i = 1, 2, \dots, m.$$

$$d_i^- = \left( \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right), i = 1, 2, \dots, m.$$

#### Βήμα 6. Υπολογισμός της σχετικής εγγύτητας στη θετική ιδανική λύση

Η σχετική εγγύτητα της  $i$  εναλλακτικής  $A_j$  ως προς το  $A^+$  ορίζεται από τη σχέση:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

Όπου  $0 \leq R_i \leq 1$ , για  $i = 1, 2, \dots, m$ .

#### Βήμα 7. Κατάταξη σειράς προτίμησης ή επιλογή εναλλακτικής που είναι πλησιέστερη στο 1.

Ένα σύνολο εναλλακτικών που μπορεί να ταξινομηθεί με τη φθίνουσα σειρά της τιμής του  $R_i$

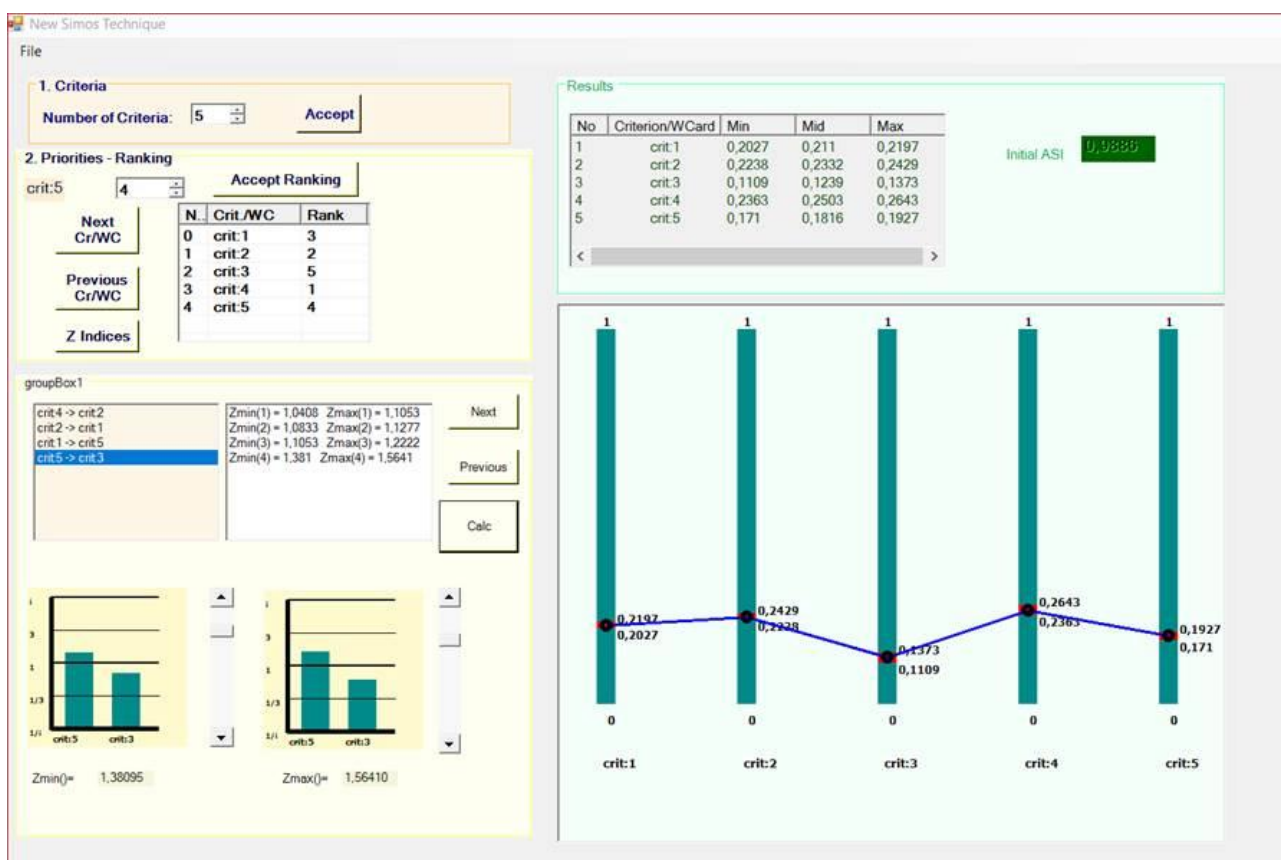
### 5.2 Αξιολόγηση των Εναλλακτικών

Χρησιμοποιώντας ως μέθοδο υπολογισμού των βαρών των κριτηρίων τη μέθοδο WAP, η κατάταξη των κριτηρίων με τη συγκεκριμένη μέθοδο έγινε με τη βοήθεια του αντίστοιχου προγράμματος. Ο αποφασίζων, στο πρώτο στάδιο κατέταξε τα κριτήρια από το σημαντικότερο στο λιγότερο σημαντικό και στην συνέχεια προσδιόρισε οπτικά τις αποστάσεις για τα  $Z_{\min}$  και  $Z_{\max}$  μεταξύ των κριτηρίων. Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζονται οι προτιμήσεις του αποφασίζοντας ως προς τα βάρη. Το κριτήριο 4 (κόστος) θεωρείται το σημαντικότερο έναντι των υπολοίπων και ακολουθεί το κριτήριο 2 (επιτάχυνση αντοχής). Επομένως, προσδιορίζοντας οπτικά τις αποστάσεις μπορεί να υπολογιστεί πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 2 από το κριτήριο 4, καθώς και πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 2 έναντι του 1 και πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 1 έναντι του 5 και τέλος πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 5 έναντι του 3. Έτσι, έχοντας δημιουργήσει τέσσερα εύρη μέσα στο πρόγραμμα από  $Z_{\min}$  και  $Z_{\max}$ , κατατάξαμε τα 5 κριτήρια σε 5 κλάσεις. Τέλος, τρέξαμε στο πρόγραμμα όλα τα δεδομένα που προαναφέραμε και προέκυψαν τα βάρη των κριτηρίων όπως φαίνονται και στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί.



Πίνακας 5.1: Δεδομένα προβλήματος – Πολυκριτηριακός πίνακας προβλήματος απόφασης

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
	1	2	3	4	5
	ΒΑΡΟΣ (ton)	ΕΠΙΤΑΧΥ ΝΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ $a_g$	ΧΡΟΝΟΣ (days)	ΚΟΣΤΟΣ €	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO <sub>2</sub> e)
E1	2650,36	0,319	255	197.577,72 €	1,48E+02
E2	2742,10	0,300	255	208.694,89 €	1,57E+02
E3	2782,87	0,322	255	205.618,52 €	1,53E+02
E4	2823,65	0,287	255	216.274,50 €	1,62E+02
E5	2069,32	0,109	105	598.443,44 €	6,59E+01



Σχήμα 5.1: Κατάταξη των κριτηρίων με την χρήση της μεθόδου WAP

Με τη βοήθεια του excel και έχοντας λάβει υπόψη τα αποτελέσματα των βαρών που προέκυψαν από το πρόγραμμα (βλ. Σχήμα 5.1), πραγματοποιήθηκε η ανάλυση TOPSIS με βάση τον πολυκριτηριακό πίνακα, ώστε να προκύψει η τελική αξιολόγηση για τις πέντε εναλλακτικές. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5.2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή TOPSIS έχοντας κατατάξει την κάθε εναλλακτική και προσδιορίζοντας τα βάρη των κριτηρίων με τη μέθοδο WAP.

Πίνακας 5.2: Πολυκριτήριος πίνακας και βαρότητες κριτηρίων

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
	1	2	3	4	5
	ΒΑΡΟΣ (ton)	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ag	ΧΡΟΝΟΣ (days)	ΚΟΣΤΟΣ €	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO <sub>2</sub> e)
E1	2650,36	0,319	255	197.577,72 €	1,48E+02
E2	2742,10	0,300	255	208.694,89 €	1,57E+02
E3	2782,87	0,322	255	205.618,52 €	1,53E+02
E4	2823,65	0,287	255	216.274,50 €	1,62E+02
E5	2069,32	0,109	105	598.443,44 €	6,59E+01
<b>ΒΑΡΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ</b>	0,211	0,2332	0,1239	0,2503	0,1816

Πίνακας 5.3: Κανονικοποίηση Πολυκριτήριου Πίνακα

**ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (1/2)**

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
	1	2	3	4	5
	ΒΑΡΟΣ (ton)	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ag	ΧΡΟΝΟΣ (days)	ΚΟΣΤΟΣ €	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO <sub>2</sub> e)
E1	7024391,05	0,102	65025	39.036.955.440,40 €	2,19E+04
E2	7519111,85	0,090	65025	43.553.557.112,11 €	2,46E+04
E3	7744391,14	0,104	65025	42.278.975.766,99 €	2,34E+04
E4	7972995,58	0,082	65025	46.774.659.350,25 €	2,62E+04
E5	4282072,94	0,012	11025	358.134.550.879,03 €	4,34E+03
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	34542962,57	0,390	271125	529.778.698.548,78 €	100548,81

Πίνακας 5.4: Κανονικοποιημένος Πολυκριτήριος Πίνακας

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
	1	2	3	4	5
	ΒΑΡΟΣ (ton)	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ag	ΧΡΟΝΟΣ (days)	ΚΟΣΤΟΣ €	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO <sub>2</sub> e)
E1	0,451	0,511	0,490	0,271	0,467
E2	0,467	0,481	0,490	0,287	0,495
E3	0,473	0,516	0,490	0,282	0,483
E4	0,480	0,460	0,490	0,297	0,511
E5	0,352	0,175	0,202	0,822	0,208

Πίνακας 5.5: Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πολυκριτήριου πίνακα - Προσδιορισμός θετικής & αρνητικής ιδεατής λύσης

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
	1	2	3	4	5
	ΒΑΡΟΣ (ton)	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ag	ΧΡΟΝΟΣ (days)	ΚΟΣΤΟΣ €	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO2e)
E1	0,095	0,119	0,061	0,068	0,085
E2	0,098	0,112	0,061	0,072	0,090
E3	0,100	0,120	0,061	0,071	0,088
E4	0,101	0,107	0,061	0,074	0,093
E5	0,074	0,041	0,025	0,206	0,038
Θετική Ιδεατή Λύση	0,074	0,120	0,025	0,068	0,038
Αρνητική Ιδεατή Λύση	0,101	0,041	0,061	0,206	0,093

Πίνακας 5.6: Υπολογισμός απόστασης από την θετική ιδεατή λύση

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ					ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΘΕΤΙΚΗ ΙΔΕΑΤΗ
	1	2	3	4	5	
	ΒΑΡΟΣ (ton)	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ag	ΧΡΟΝΟΣ (days)	ΚΟΣΤΟΣ €	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO2e)	
E1	0,00044	0,00000	0,00127	0,00000	0,00221	0,00392
E2	0,00058	0,00007	0,00127	0,00001	0,00272	0,00466
E3	0,00066	0,00000	0,00127	0,00001	0,00249	0,00443
E4	0,00073	0,00017	0,00127	0,00004	0,00303	0,00525
E5	0,00000	0,00633	0,00000	0,01900	0,00000	0,02533

Πίνακας 5.7: Υπολογισμός απόστασης από την αρνητική ιδεατή λύση

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ					ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΙΔΕΑΤΗ
	1	2	3	4	5	
	ΒΑΡΟΣ (ton)	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ag	ΧΡΟΝΟΣ (days)	ΚΟΣΤΟΣ €	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (ton CO2e)	
E1	0,00004	0,00615	0,00000	0,01900	0,00006	0,02526
E2	0,00001	0,00509	0,00000	0,01796	0,00001	0,02307
E3	0,00000	0,00633	0,00000	0,01825	0,00003	0,02461
E4	0,00000	0,00442	0,00000	0,01727	0,00000	0,02169
E5	0,00073	0,00000	0,00127	0,00000	0,00303	0,00504

Πίνακας 5.8: Υπολογισμός σχετικής εγγύτητας και κατάταξη εναλλακτικών

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΓΓΥΤΗΤΑ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ
E1	0,866	1
E2	0,832	3
E3	0,848	2
E4	0,805	4
E5	0,166	5

## **6 Συμπεράσματα**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση του επιστημονικού πεδίου της αξιολόγησης εναλλακτικών μεθόδων για την ανέγερση ενός κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα και ενός κτιρίου από δομικό χάλυβα με προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Στις εν λόγω κατασκευές από το στατικό πρόγραμμα προσδιορίστηκαν τα φορτία που καταπονούν το φορέα στις οριακές καταστάσεις αστοχίας. Σύμφωνα με την μελέτη που διενεργήθηκε προέκυψαν πέντε εναλλακτικές λύσεις, τέσσερις από την ανάλυση του οπλισμένου σκυροδέματος και μια από την ανάλυση του δομικού χάλυβα.

### **Οπλισμένο Σκυρόδεμα**

E1: Κτίριο με τοποθέτηση τετραγωνικών υποστυλωμάτων διαστάσεων 50x50.

E2: Κτίριο με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100.

E3: Κτίριο με τοποθέτηση πλευρικών τοιχωμάτων διαστάσεων 200/30 και 30/200.

E4: Κτίριο με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100, τοιχωμάτων διαστάσεων 150/30, 30/150, 170/30 και τετραγωνικών υποστυλωμάτων διαστάσεων 50x50.

### **Δομικός Χάλυβας**

E5: Κτίριο με τοποθέτηση υποστυλωμάτων HEB, δοκών IPE, κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους SHS και πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος.

#### **A. Στατικά Κριτήρια με την ανάλυση Pushover**

Από τα αποτελέσματα των στατικών αναλύσεων οι πέντε εναλλακτικές λύσεις που προέκυψαν είναι ασφαλείς, αφού σχεδιάστηκαν για να πληρούν τις απαιτήσεις των κανονισμών των Ευρωκώδικων. Στον Πίνακα 5.1 που έχει συγκεντρωτικά όλα τα δεδομένα, παρατηρούμε ότι το βάρος της κατασκευής από δομικό χάλυβα είναι μικρότερο σε σχέση με το βάρος της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η επιτάχυνση αντοχής του οπλισμένου σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του δομικού χάλυβα.

#### **B. Τεχνικά Κριτήρια – Χρόνος Κατασκευής**

Ο χρόνος αποπεράτωσης της κατασκευής και η ανέγερσή της είναι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, διότι ο ένας παράγοντας επηρεάζει τον άλλον. Αξίζει να σημειωθεί

ότι ο χρόνος αποπεράτωσης μια μεταλλικής κατασκευής είναι κατά 40% ταχύτερος σε σχέση με μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, γεγονός που επηρεάζει σε μεγάλο ποσοστό το τελικό κόστος της κατασκευής.

#### Γ. Οικονομικά Κριτήρια – Κόστος Κατασκευής

Ο υπολογισμός του κόστους κατασκευής, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.6.3, περιορίζεται μόνο στον υπολογισμό του φέροντος οργανισμού. Σύμφωνα με τους πίνακες Πίνακας 3.7 έως Πίνακας 3.11 παρατηρούμε ότι το κόστος κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι χαμηλότερο σε σχέση με αυτό του δομικού χάλυβα. Παρ' όλα αυτά, και έχοντας ως γνώμονα την παράμετρο του χρόνου, όπως προ αναφέρθηκε παραπάνω, κοστολογικά είναι προτιμότερη η κατασκευή από δομικό χάλυβα.

#### Δ. Περιβαλλοντικά Κριτήρια

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το περιβαλλοντικό πρόγραμμα βλ. Πίνακας 3.12 παρατηρούμε ότι το περιβαλλοντικό ανθρακικό αποτύπωμα του χάλυβα είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό του οπλισμένου σκυροδέματος. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.6.4 ο χάλυβας είναι ένα υλικό εύκολα ανακυκλώσιμο που διατηρεί τις ιδιότητές του όσες φορές και αν ανακυκλωθεί, καθώς μπορεί να παραχθεί δομικός χάλυβας με ποσοστό ανακυκλώσιμου υλικού πάνω από 95% και στο τέλος της ζωής του να ανακυκλωθεί πλήρως, σε αντίθεση με το σκυρόδεμα το οποίο επαναχρησιμοποιείται ως υλικό χαμηλότερης ποιότητας από το αρχικό μόλις στο 75%.

Έτσι λοιπόν γίνεται αντιληπτό ότι ο χάλυβας είναι το πιο ανακυκλώσιμο υλικό κατασκευής, και με το πέρασ των χρόνων θα κατέχει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της βιωσιμότητας.

Τέλος, πραγματοποιώντας τη δική μας μελέτη περίπτωσης έγινε ταξινόμηση των κριτηρίων από το πιο σημαντικό στο λιγότερο σημαντικό:

- Στην 1<sup>η</sup> θέση επιλέχθηκε το κριτήριο 4 (κόστος κατασκευής)
- Στην 2<sup>η</sup> θέση επιλέχθηκε το κριτήριο 2 (επιτάχυνση αντοχής)
- Στην 3<sup>η</sup> θέση επιλέχθηκε το κριτήριο 1 (βάρος κατασκευής)
- Στην 4<sup>η</sup> θέση επιλέχθηκε το κριτήριο 5 (αποτύπωμα άνθρακα)
- Στην 5<sup>η</sup> θέση επιλέχθηκε το κριτήριο 3 (χρόνος κατασκευής)

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο TOPSIS σε συνδυασμό με τα βάρη που προέκυψαν από τη μέθοδο WAP από τον πολυκριτηριακό πίνακα προέκυψε ότι:

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

## 7 Βιβλιογραφία

- Awasthi, A., Chauhan, S., & Omrani, H. (2011). Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems. *Expert Syst. Appl.*, *38*, 12270–12280.
- Balali, V., Mottaghi, A., Shoghli, O., & Golabchi, M. (2014). Selection of Appropriate Material, Construction Technique, and Structural System of Bridges by Use of Multi-Criteria Decision-Making Method. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, *2431*, 78–87.
- Cartelle Barros, J. J., Lara Coira, M., de la Cruz López, M. P., & del Caño Gochi, A. (2015). Assessing the global sustainability of different electricity generation systems. *Energy*, *89*(C), 473–489.
- Chen, T.-Y. (2014). The extended linear assignment method for multiple criteria decision analysis based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Applied Mathematical Modelling*, *38*(7), 2101–2117.
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. *Management Science*, *9*(3), 458–467.
- De la Fuente, A., Blanco, A., Armengou, J., & Aguado, A. (2017). Sustainability based-approach to determine the concrete type and reinforcement configuration of TBM tunnels linings. Case study: Extension line to Barcelona Airport T1. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *61*, 179–188.
- 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.
- Fetanat, A., & Khorasaninejad, E. (2015). A novel hybrid MCDM approach for offshore wind farm site selection: A case study of Iran. *Ocean & Coastal Management*, *109*, 17–28.
- Figueira, J., Salvatore, G., & Matthias, E. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (G. Salvatore, Ed.).
- Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The Analytic Hierarchy Process—An Exposition. *Operations Research*, *49*(4), 469–486.
- Greco, S., Ehrgott, M., & Figueira, J. (2005). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*.
- Grime, M. M., & Wright, G. (2016). Delphi Method. In *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online* (pp. 1–6). John Wiley & Sons, Ltd.
- 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.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*.
- Invidiata, A., Lavagna, M., & Ghisi, E. (2018). Selecting design strategies using multi-criteria decision making to improve the sustainability of buildings. *Building and Environment*, *139*, 58–68.
- 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.
- Kahraman, C., Büyüközkan, G., & Ateş, N. Y. (2007). A two phase multi-attribute decision-making approach for new product introduction. *Information Sciences*, *177*(7), 1567–1582.
- 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.



- LH Λογισμική (2013), *Pushover Θεωρητικά Στοιχεία*, Αθήνα. (n.d.). <https://www.lhlogismiki.gr/wp-content/uploads/2014/02/Fespushover.pdf>
- Martin, C., Ruperd, Y., & Legret, M. (2007). Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 338–349.
- Navarro, I., Martí-Albiñana, J., & Yepes, V. (2018, November 20). *MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES IN CIVIL ENGINEERING EDUCATION FOR SUSTAINABILITY*.
- O. Jaber, J., & S. Mohsen, M. (2001). Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan. *Desalination*, 136(1), 83–92.
- One Click LCA (2015). *Helsinki: One Click LCA Ltd.* (n.d.). <https://www.oneclicklca.com/>
- Pardalos, P. M., Siskos, Y., & Zopounidis, C. (1995). *Advances in Multicriteria Analysis*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- 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.
- Pons, O., & de la Fuente, A. (2013). Integrated sustainability assessment method applied to structural concrete columns. *Construction and Building Materials*, 49, 882–893.
- Reyes, J. P., San-José, J. T., Cuadrado, J., & Sancibrian, R. (2014). Health & Safety criteria for determining the sustainable value of construction projects. *Safety Science*, 62, 221–232.
- 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.
- Rochikashvili, M., & Bongaerts, J. C. (2016). Multi-criteria Decision-making for Sustainable Wall Paints and Coatings Using Analytic Hierarchy Process. *Energy Procedia*, 96, 923–933.
- Roszkowska, E. (n.d.). *MULTI-CRITERIA DECISION MAKING MODELS BY APPLYING THE TOPSIS METHOD TO CRISP AND INTERVAL DATA*. 31.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*.
- Spyridakos, A., Alexakis, D. E., Vryzidis, I., Tsotsolas, N., Varelidis, G., & Kagiara, E. (2022). Waste Classification of Spent Refractory Materials to Achieve Sustainable Development Goals Exploiting Multiple Criteria Decision Aiding Approach. *Applied Sciences*, 12(6), Article 6.
- Sun, X., Ning, P., Tang, X., Yi, H., Li, K., Zhou, L., & Xu, X. (2013). Environmental risk assessment system for phosphogypsum tailing dams. *TheScientificWorldJournal*, 2013, 680798.
- Tahmasebi Birgani, Y., & Yazdandoost, F. (2018). An Integrated Framework to Evaluate Resilient-Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique. *Water Resources Management*, 32(8), 2817–2835.
- Terracciano, G., Di Lorenzo, G., Formisano, A., & Landolfo, R. (2015). Cold-formed thin-walled steel structures as vertical addition and energetic retrofitting systems of existing masonry buildings. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19(7), 850–866.
- Torres-Machí, C., Chamorro, A., Pellicer, E., Yepes, V., & Videla, C. (2015). Sustainable Pavement Management: Integrating Economic, Technical, and Environmental Aspects in Decision Making. *Transportation Research Record*, 2523(1), 56–63.
- 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.
- 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.

- Yepes, V., García-Segura, T., & Moreno-Jiménez, J. M. (2015). A cognitive approach for the multi-objective optimization of RC structural problems. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(4), 1024–1036.
- Zavadskas, E. K., Zalarevicius, A., & Antucheviciene, J. (2006). Evaluation of Ranking Accuracy in Multi-Criteria Decisions. *Informatika*, 17(4), 601–618.
- Zolfani, S., Rezaeiniya, N., Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2011a). *Forest roads locating based on AHP and CO-PRAS-G methods: An empirical study based on Iran*, *E&M*. 14, 6–21.
- Zolfani, S., Rezaeiniya, N., Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2011b). *Forest roads locating based on AHP and CO-PRAS-G methods: An empirical study based on Iran*, *E&M*. 14, 6–21.
- Δούμπος, Μ., & Ζοπουνίδης, Κ. (2004). Λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια: Μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες, μεθοδολογία και εφαρμογές. In Ε. Γρηγορούδης, Μ. Δούμπος, Κ. Ζοπουνίδης, & Ν. Φ. Ματσατσίνης (Eds.), *Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις και Εφαρμογές* (pp. 11–44). Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

# Παράρτημα Α

Στο Παράρτημα Α θα αναλυθούν όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το στατικό τεύχος του πρόγραμμα Fespa με τη μέθοδο επίλυσης Pushover.

Οι παραδοχές μελέτης και των πέντε εναλλακτικών είναι οι ίδιες και αναγράφονται παρακάτω:

## ➤ Παραδοχές μελέτης αποτίμησης Φ.Ι.

- Παραδοχές μελέτης αποτίμησης Φ.Ι.

<p><b>[1] Νέα υλικά</b></p> <p>Σκυρόδεμα C25/30  Χάλυβας οπλισμού B500C  Κατηγορία έκθεσης [XC3]  Δομικός χάλυβας S235  Δομική Ξυλεία  Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας <math>f_k</math> 3,13 MPa  Χαρακτηριστική διατμητική αντοχή τοιχοποιίας <math>f_{tk0}</math> 0,20 MPa</p> <p><b>[2] Μόνιμα φορτία</b></p> <p>Ειδικό βάρος σκυροδέματος 25.0 kN/m<sup>3</sup>  Ειδικό βάρος χάλυβα 78.5 kN/m<sup>3</sup>  Δρομικής πληνθοδομής 2.1 kN/m<sup>2</sup>  Μπατικής πληνθοδομής 3.6 kN/m<sup>2</sup>  Επικόλληση πλακών γενικά 1.2 kN/m<sup>2</sup>  Επικόλληση κλιμάκων 2.5 kN/m<sup>2</sup>  Επικόλληση δώματος/Στέγης 2.0 kN/m<sup>2</sup>  Ειδικό βάρος γαών 20.0 kN/m<sup>3</sup>  Ειδικό βάρος Δομικής Ξυλείας 3.5 kN/m<sup>3</sup></p>	<p><b>[6] Παράμετροι φάσματος</b></p> <p>Εθνικό προσάρτημα Z1  Σεισμική ζώνη II  Σπουδαιότητα II  Κατακόρυφη συνιστώσα  Τύπος ελαστικού φάσματος B  Εδαφικός τύπος T<sub>B</sub>=0,15  Ιδιοπερίοδοι φάσματος T<sub>C</sub>=0,50  Συντ. απόσβεσης  Συντελεστής τοπογραφίας</p> <p>GR (Ελλάς)  <math>\alpha_{vGR} = 0,144</math>  <math>\gamma_I = 1,00</math>  OXI  1  S = 1,20  T<sub>D</sub>=2,50  <math>\xi = 5,00\%</math>  S<sub>T</sub> = 1,00</p> <p><b>[6.1] Μη γραμμική ανάλυση pushover</b></p> <p>Κατανομή φόρτισης Ομοιόμορφη  Συντ. συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης  Τυχηματική εκκεντρότητα  Ιδιομορφική  30,0%  Μόνο στην εγκάρσια διεύθυνση</p> <p><b>[6.2] Στάθμες επιτελεστικότητας</b></p> <p>Περιορισμός βλαβών DL P<sub>DLR</sub>=50,0% <math>\gamma_I \alpha_{GR} = 0,09</math>  Σημαντικές βλάβες SD P<sub>SDR</sub>=10,0% <math>\gamma_I \alpha_{GR} = 0,16</math>  Οισει κατάρρευση NC P<sub>NCR</sub>=2,0% <math>\gamma_I \alpha_{GR} = 0,28</math></p>
<p><b>[3] Μεταβλητά φορτία</b></p> <p>Δάπεδα κατοικιών-γραφείων 2.0 kN/m<sup>2</sup>  Δάπεδα και κλιμάκ. καταστημάτων 5.0 kN/m<sup>2</sup>  Κλιμάκων κατοικίας-γραφείων 3.5 kN/m<sup>2</sup>  Δάπεδα εξωστών 5.0 kN/m<sup>2</sup>  Δάπεδα χώρων στάθμευσης 5.0 kN/m<sup>2</sup>  Δώμα / Στέγη (μη βατή) 0.5 kN/m<sup>2</sup></p>	<p><b>[7] Υφιστάμενα υλικά</b></p> <p>Επίπεδο γνώσης σκυροδέματος (Σ.Α.Δ.)  Μέση τιμή αντοχής σκυροδέματος K<sub>L2</sub>-Iκον/κή  <math>f_{c,m} = 22,5</math> MPa  Συντ. εμπιστοσύνης-ασφαλείας C<sub>F</sub>=1,20 <math>\gamma'_{c} = 1,30</math></p> <p>Επίπεδο γνώσης χάλυβα (Σ.Α.Δ.)  Μέση τιμή αντοχής χάλυβα K<sub>L2</sub>-Iκον/κή  <math>f_{y,m} = 460,0</math> MPa  Μέση τιμή αντοχής χάλυβα συνδετήρων <math>f_{yw,m} = 460,0</math> MPa  Συντ. εμπιστοσύνης-ασφαλείας C<sub>F</sub>=1,20 <math>\gamma'_{s} = 1,15</math></p> <p>Επίπεδο γνώσης τοιχοποιίας (Σ.Α.Δ.)  Μέση θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας <math>f_{m}</math> K<sub>L2</sub>-Iκονοποιητική  4,17 MPa  Μέση διατμητική αντοχή τοιχοποιίας <math>f_{vm0}</math> 0,27 MPa</p>
<p><b>[4] Συντελεστές ασφαλείας φορτίων-νέων υλικών</b></p> <p>Μόνιμα φορτία <math>\gamma_G = 1,35</math>  Μεταβλητά φορτία <math>\gamma_Q = 1,50</math>  Σκυροδέματος <math>\gamma_C = 1,50</math>  Συντελεστής θλιπτικής αντοχής <math>\alpha_{cc} = 0,85</math>  Χάλυβα οπλισμού <math>\gamma_S = 1,15</math>  Δομικός χάλυβας <math>\gamma_{M2} = 1,25</math>  Συντ. υπεραντοχής δομικού χάλυβα <math>\gamma_{M0} = 1,00</math> <math>\gamma_{M1} = 1,00</math>  Δομική Ξυλεία <math>\gamma_{M0} = 1,25</math>  <math>\gamma_{M1} = 1,50</math>  Ινοπλισμένα πολυμερή FRP <math>\gamma_D = 1,50</math>  Συντ. οισει μόνιμων δράσεων <math>\gamma_{sd} \gamma_{g,q}</math> <math>\gamma_E = 1,000</math>  Συνδυασμοί EC0 (6.10a)+(6.10b) <math>\xi = 0,85</math></p>	<p><b>[8] Πρότυπα κ' Εθνικά προσάρτηματα (ΕΛΟΤ)</b></p> <p>Βάσεις σχεδιασμού EN1990 2002  Δράσεις στους φορείς EN1991-1 2002  Κανονισμός Σκυροδέματος EN1992-1 2004  Κανονισμός κατασκευών από Χάλυβα EN1993-1 2006  Κανονισμός κατασκευών από τοιχοποιία EN1996-1 2006  Γεωτεχνικός Σχεδιασμός EN1997-1 2004  Αντισεισμικός Κανονισμός EN1998-1,5 2004  Προσθήκες - Εισαχύσεις - Αποτίμηση EN1998-3 2005  KAN.ΕΠΕ ΦΕΚ 2984/2017  Απατήσεις μελετών σεισμοπληκτων ΦΕΚ 455/Β/2014  Επεμβάσεις σε υφιστάμενα κτίρια ΦΕΚ 3508/2016</p>
<p><b>[5] Έδαφος</b></p> <p>Μέθοδος υπολογισμού Απλοποιημένη μεθ.  Δείκτης εδάφους <math>K_v = 60000,00</math> kN/m<sup>3</sup>  Επιπερόμενη τάση <math>\sigma_{en} = 250,00</math> kN/m<sup>2</sup>  Γωνία τριβής στη βάση θεμελίου <math>\delta = 30,00</math> [°]  Συντελεστές ασφαλείας (Ολισθήση) Στατικά <math>\gamma_{RH} = 1.10</math>  Σεισμικά <math>\gamma_{RH} = 1.00</math>  Συντελεστές ασφαλείας (Φέρουσα Ικανότητα) Στατικά <math>\gamma_{RV} = 1.40</math>  Σεισμικά <math>\gamma_{RV} = 1.00</math></p>	<p><b>[9] Προβλέψεις</b></p> <p>Καθ' Ύψος ΜΗΔΕΝ(0)  Κατ' Επέκταση 0</p>

- Φορτίσεις & Συνδυασμοί φορτίσεων στο κτίριο

Πίνακας φορτίσεων

A/A	Όνομα	Συντομογραφία
Φ1	Μόνιμα φορτία	G
Φ2	Κινητά φορτία	Q
Φ3	Κινητά Α'	QA
Φ4	Κινητά Β'	QB
Φ5	Κινητά C'	QC
Φ6	Κινητά D'	QD
Φ7	Κινητά E'	QE
Φ8	[G+ψ2xQ]	[G+ψ2xQ]

Συνδυασμοί δράσεων

A/A	Περιγραφή συνδυασμού	Σε περιβάλλουσα	Έλεγχος αστοχίας	Έλεγχος ρηγμάτωσης	Περιορισμός τάσεων	Έλεγχος βέλους
ΣΦ1	1.35G+1.05Q	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ2	1.35G+1.05QA	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ3	1.35G+1.05QB	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ4	1.35G+1.05QC	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ5	1.35G+1.05QD	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ6	1.35G+1.05QE	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ7	1.15G+1.50Q	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ8	1.15G+1.50QA	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ9	1.15G+1.50QB	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ10	1.15G+1.50QC	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ11	1.15G+1.50QD	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ12	1.15G+1.50QE	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
ΣΦ13	1.00G+1.00Q	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι
ΣΦ14	1.00[G+ψ2xQ]	Όχι	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι

Εναλλακτική 1: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση τετραγωνικών υποστυλωμάτων διαστάσεων 50x50.

➤ Μη γραμμική ανάλυση (PushOver)

- Δεδομένα φάσματος απόκρισης

Ελαστικό Φάσμα Ευρωκώδικα Se(T) (EN1998-1)

Σεισμική ζώνη	: I		
	Πιθανότητα υπέρβασης στα 50 έτη P [%]	Περίοδος επαναφοράς T <sub>E</sub> [έτη]	σ <sub>g</sub> [g]
Τιμές αναφοράς (R)	10.0%	475.0	0.16
DL (A)	50.0%	72.1	<b>0.09</b>
SD (B)	10.0%	474.6	<b>0.16</b>
HC (Γ)	2.0%	2474.9	<b>0.28</b>

$$\alpha_g = \alpha_{gR} \left( \frac{T}{T_R} \right)^{1/k} = \alpha_{gR} \left( \frac{T}{475} \right)^{1/3.0}$$

Συντελεστής τοπογραφικής ενίσχυσης S <sub>t</sub>	: 1.00	Εδαφικός τύπος	: B	Συντελεστής εδάφους S	= 1.20
Συνιστώσα φάσματος [g]	TB [sec]	TC [sec]	TD [sec]		
Οριζόντια	0.15	0.50	2.50		

- Δεδομένα Pushover

Δεδομένα Pushover: (Με έλεγχο μετατοπίσεων)

Ελάχιστος αριθμός εσπειρητικών βημάτων	=	120
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων	=	100
Κόμβος ελέγχου	=	K 13(7)
Μέγιστη Μετατόπιση Εξώθησης [m]	=	0.72000E+00
Ενεργές τοιχοπληρώσεις	:	Όχι
Προσομοίωμα τοιχοπληρώσεων	:	Μόνο θλιβόμενη διαγώνιος
Φαινόμενα P-Δ	:	Ναι

Καμπύλη Ικανότητας (Pushover) (M= 0)

Δεδομένα Διαγράμματος Απαίτησης-Ικανότητας

Μέθοδος Υπολογισμού Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Μέθοδος ελαστικού φάσματος απαίτησης
Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Ναι
Υπολογισμός α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub>	:	Ναι
Υπολογισμός ADRS	:	Ναι
Κόμβος ελέγχου	:	K 13(7)

➤ Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας

→ Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

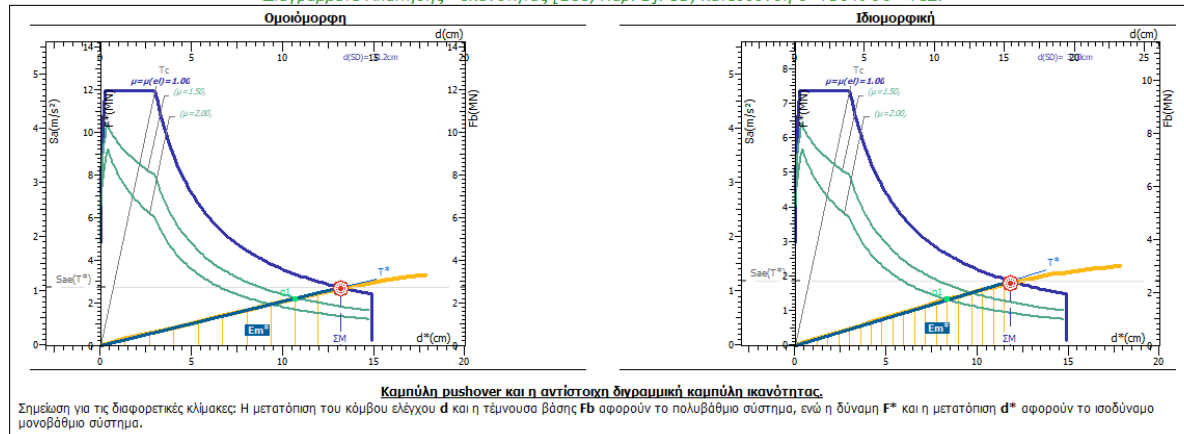
- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Απαίτησης – Ικανότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας SD

<b>1. Στοχευόμενη μετακίνηση dt</b>			
<b>X:</b>	<b>+15.4cm</b>	$0^\circ\text{-}30^\circ\text{-}270^\circ +eZ, \text{Ισομορφική}$	<b>Z:</b>
	<b>-15.4cm</b>	$180^\circ\text{-}30^\circ\text{-}270^\circ -eZ, \text{Ισομορφική}$	<b>+15.4cm</b>
			$90^\circ\text{-}30^\circ\text{-}180^\circ -eX, \text{Ισομορφική}$
			$270^\circ\text{-}30^\circ\text{-}180^\circ +eX, \text{Ισομορφική}$
<b>2. Στοχευόμενη πλαστικότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s) =$	1.93	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστικότητας	$q_u (=q_n) =$	1.04	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστικότητας	$\max \mu_d =$	1.04	
		$0^\circ\text{-}30^\circ\text{-}270^\circ -eZ, \text{Ισομορφική}$	
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστικότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u =$	1.39	$q_s =$ 1.89
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q =$	$q_u \cdot q_s =$	<b>2.63</b>
			$180^\circ\text{-}30^\circ\text{-}90^\circ -eZ, \text{Ομοιομορφή}$
<b>4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_s =$	$\mu_d / q_u =$	<b>1.00</b>
	$= 1.04 / 1.04 =$		$270^\circ\text{-}30^\circ\text{-}180^\circ -eX, \text{Ισομορφική}$
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{max} = 1</math></b>			
	$\max a_g (SD) =$	<b>0.319</b>	$90^\circ\text{-}30^\circ\text{-}0^\circ -eX, \text{Ισομορφική}$
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$	$\max T_R = (0.319/0.160)^{3.0} \cdot 475 =$ <b>3769 έτη</b> > 475 (ok) <span style="float:right">[EC8-2 (A.3)]</span>	
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-50/\max T_R}$	$=$	<b>1.32%</b> < 10% (ok) <span style="float:right">[EC8-1§2.1(1)]</span>
Στόχοι που κοινοποιούνται:	<b>B1 : P(SD) &lt; 10%</b> και <b>B2 : P(SD) &lt; 50%</b>	<span style="float:right">[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]</span>	

→ Στάθμη SD

Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση  $0^\circ\text{-}30^\circ\text{-}90^\circ +eZ$ .



**1.** Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_s$ .

$m^* = 2547.4 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_y}{F_y^*}$$

$m^* = 1570.0 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.30$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{13.20 \text{cm}}{1.06 \cdot 10^7 \text{cm/s}^2}} = 2.21 \text{s}$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{11.81 \text{cm}}{1.19 \cdot 10^7 \text{cm/s}^2}} = 1.98 \text{s}$

$S_{ay} > S_{se}(T^*) \therefore q_s = q_u = R = 1$

$q_s = 1.00$

**2.** Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu_s$ .

$\mu_s = 1.00$

$$T^* \geq T_c = 0.50 \text{s} \therefore \mu_s = q_u$$

$\mu_s = 1.00$

**3.** Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .

$dy^* = 2 \left( 13.20 \text{cm} \cdot \frac{17873.3 \text{cm} \cdot \text{kN}}{2707.08 \text{kN}} \right) = 13.20 \text{cm}$

$$dy^* = 2 \left( 11.81 \text{cm} \cdot \frac{11015.3 \text{cm} \cdot \text{kN}}{1865.47 \text{kN}} \right) = 11.81 \text{cm}$$

$C_1 = \mu_s / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$C_1 = \mu_s / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.06 \text{m/s} \cdot \left[ \frac{2.21 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 13.20 \text{cm}$

$d_{el}^* = 1.19 \text{m/s} \cdot \left[ \frac{1.98 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 11.81 \text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 13.20 \text{cm} = 13.20 \text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 11.81 \text{cm} = 11.81 \text{cm}$

$dy = 13.20 \text{cm}$ ,  $dt = 13.20 \text{cm}$

$dy = 15.39 \text{cm}$ ,  $dt = 15.39 \text{cm}$

**4.** Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_s$  για  $\lambda_{\max} = 1$  και επιτελεστικότητα SD.

$\max a_s = 0.359 \geq 0.160$  (ok)

$\max a_s = 0.327 \geq 0.160$  (ok)

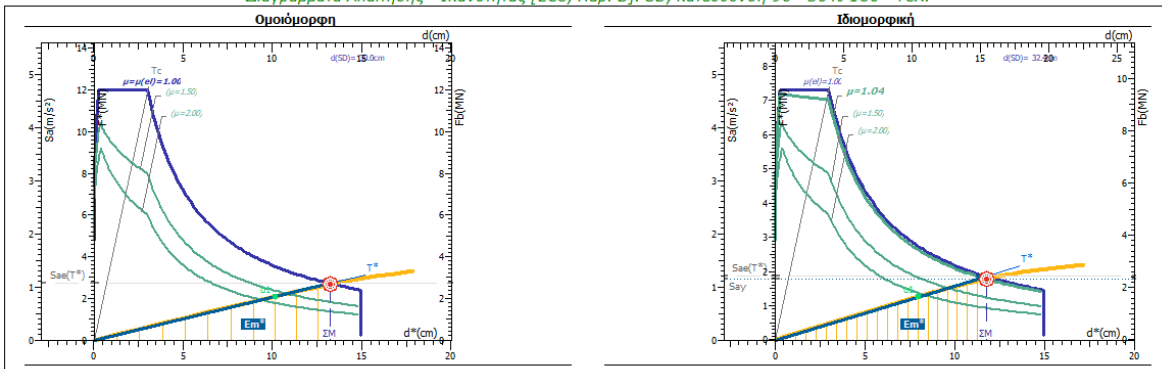
**5.** Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{1.06 \text{m/s}^2}{0.86 \text{m/s}^2} = 1.24$

$q_s = q_u = \frac{S_a}{S_{a1}} \geq 1.0$

$q_s = \frac{1.19 \text{m/s}^2}{0.85 \text{m/s}^2} = 1.40$

**Διαγράμματα Ανάιτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 90°-30%-180° +eX.**



**Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη δυναμική καμπύλη ικανότητας.**

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοβάθμιο σύστημα.

**1.** Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_s$ .

$m^* = 2547.4 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_y}{F_y^*}$$

$m^* = 1551.0 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.31$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{13.21 \text{cm}}{1.06 \cdot 10^7 \text{cm/s}^2}} = 2.21 \text{s}$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{11.30 \text{cm}}{1.15 \cdot 10^7 \text{cm/s}^2}} = 1.97 \text{s}$

$S_{ay} > S_{se}(T^*) \therefore q_s = q_u = R = 1$

$q_s = q_u = R = \frac{S_{se}(T^*)}{S_{ay}}$

$q_s = \frac{1.20 \text{m/s}^2}{1.15 \text{m/s}^2} \therefore q_s = 1.04$

$q_s = 1.00$

**2.** Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu_s$ .

$\mu_s = 1.00$

$$T^* \geq T_c = 0.50 \text{s} \therefore \mu_s = q_u$$

$\mu_s = 1.04$

**3.** Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .

$dy^* = 2 \left( 13.21 \text{cm} \cdot \frac{17873.3 \text{cm} \cdot \text{kN}}{2706.99 \text{kN}} \right) = 13.21 \text{cm}$

$$dy^* = 2 \left( 11.76 \text{cm} \cdot \frac{10912.0 \text{cm} \cdot \text{kN}}{1786.23 \text{kN}} \right) = 11.30 \text{cm}$$

$C_1 = \mu_s / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$C_1 = \mu_s / A_u = 1.04 / 1.04 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.06 \text{m/s} \cdot \left[ \frac{2.21 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 13.21 \text{cm}$

$d_{el}^* = 1.20 \text{m/s} \cdot \left[ \frac{1.97 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 11.73 \text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 13.21 \text{cm} = 13.21 \text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 11.73 \text{cm} = 11.73 \text{cm}$

$dy = 13.21 \text{cm}$ ,  $dt = 13.21 \text{cm}$

$dy = 14.81 \text{cm}$ ,  $dt = 15.38 \text{cm}$

**4.** Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_s$  για  $\lambda_{\max} = 1$  και επιτελεστικότητα SD.

$\max a_s = 0.346 \geq 0.160$  (ok)

$\max a_s = 0.319 \geq 0.160$  (ok)

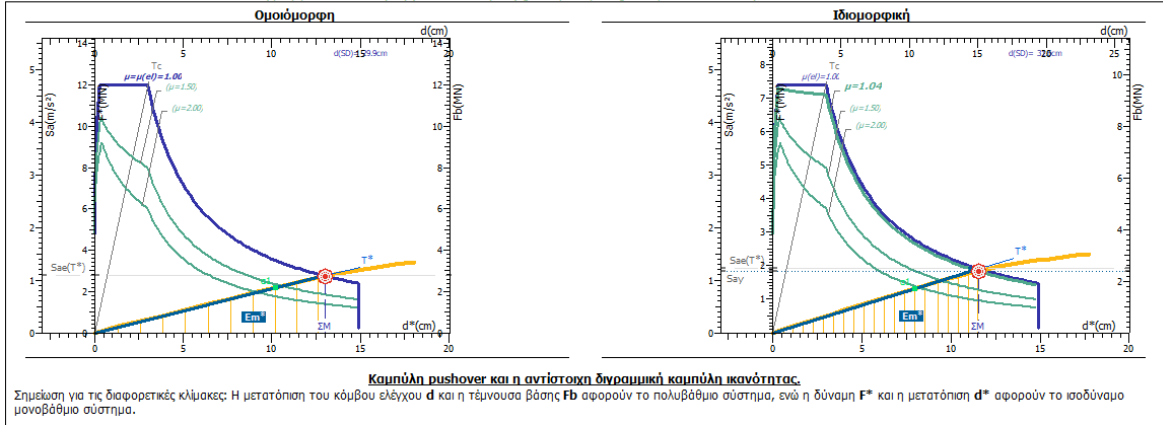
**5.** Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{1.06 \text{m/s}^2}{0.83 \text{m/s}^2} = 1.28$

$q_s = q_u = \frac{S_a}{S_{a1}} \geq 1.0$

$q_s = \frac{1.15 \text{m/s}^2}{0.82 \text{m/s}^2} = 1.40$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 180°-30%-270° +eZ.



**1. Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .**

$m^* = 2547.4tn, \Gamma = 1.00$   $\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \phi_i^2} = \frac{d}{\sigma^*} = \frac{F_c}{F^*}$   $m^* = 1570.0tn, \Gamma = 1.30$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{12.97cm}{1.08 \cdot 10^{-7}cm/s^2}} = 2.18s$   $T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{Fy^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}^*}}$   $T^* = 2n \sqrt{\frac{11.11cm}{1.17 \cdot 10^{-7}cm/s^2}} = 1.94s$

$S_{ay} > S_{ay}(T^*) \therefore q_u \equiv q_1 \equiv R = 1$   $q_u \equiv q_1 \equiv R = \frac{S_{ay}(T^*)}{S_{ay}}$

$q_u = 1.00$   $q_u = \frac{1.21m/s^2}{1.17m/s^2} \therefore q_u = 1.04$

---

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu$ .**

$\mu_u = 1.00$   $T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_u = q_u$   $\mu_u = 1.04$

---

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .**

$dy^* = 2 \left( 12.97cm - \frac{17873.3cm \cdot kN}{2755.56kN} \right) = 12.97cm$   $dy^* = 2 \left( 11.49cm - \frac{10886.4cm \cdot kN}{1834.6kN} \right) = 11.11cm$

$C_1 \equiv \mu_u / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$   $C_1 \equiv \mu_u / q_u = 1.04 / 1.04 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.08m/s^2 \cdot \left[ \frac{2.18s}{2n} \right]^2 = 12.97cm$   $d_{el}^* = 1.21m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.94s}{2n} \right]^2 = 11.55cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 12.97cm = 12.97cm$   $dt^* = 1.00 \cdot 11.55cm = 11.55cm$

$dy = 12.97cm, dt = 12.97cm$   $dy = 14.47cm, dt = 15.05cm$

---

**4. Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_s$  για  $\lambda_{\max} = 1$  και επιτελεστικότητα SD.**

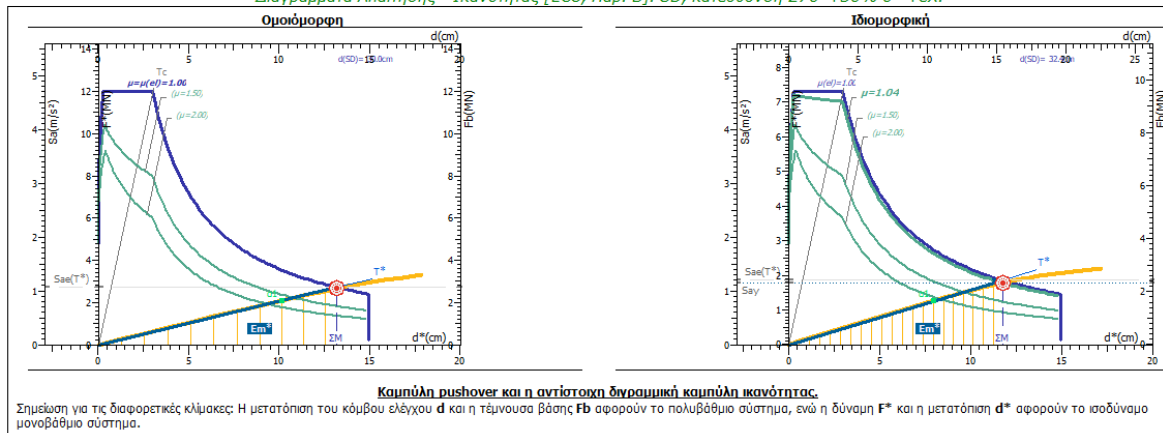
$\max q = 0.351 \geq 0.160$  (ok)  $\max q = 0.321 \geq 0.160$  (ok)

---

**5. Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .**

$q_s = \frac{1.08m/s^2}{0.86m/s^2} = 1.26$   $q_s \equiv q_u = \frac{S_{ay}}{S_{a1}} \geq 1.0$   $q_s = \frac{1.17m/s^2}{0.85m/s^2} = 1.38$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 270°+30%-0° +eX.



**1.** Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_s$ .

$m^* = 2547.4 \text{ tn}$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F_c^*}$$

$m^* = 1551.0 \text{ tn}$ ,  $\Gamma = 1.31$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{13.14 \text{ cm}}{1.07 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}^2}} = 2.20 \text{ s}$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}^*}}$$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{11.27 \text{ cm}}{1.15 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}^2}} = 1.97 \text{ s}$

$S_{ay} > S_{sd}(T^*) \therefore q_d = q_s = R = 1$

$$q_d = q_s = R = \frac{S_{sd}(T^*)}{S_{ay}}$$

$q_d = \frac{1.20 \text{ m/s}^2}{1.15 \text{ m/s}^2} \therefore q_d = 1.04$

**2.** Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu_s$ .

$\mu_s = 1.00$

$$T^* \geq T_c = 0.50 \text{ s} \therefore \mu_d = q_d$$

$\mu_s = 1.04$

**3.** Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .

$dy^* = 2 \left( 13.14 \text{ cm} - \frac{17873.3 \text{ cm} \cdot \text{kN}}{2720.36 \text{ kN}} \right) = 13.14 \text{ cm}$

$$dy^* = 2 \left( 11.76 \text{ cm} - \frac{10940.6 \text{ cm} \cdot \text{kN}}{1786.23 \text{ kN}} \right) = 11.27 \text{ cm}$$

$C_1 = \mu_d / q_d = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$$C_1 = \mu_d / q_d = 1.04 / 1.04 = 1.00$$

$d_{st}^* = 1.07 \text{ m/s}^2 \cdot \left[ \frac{2.20 \text{ s}}{2\pi} \right]^2 = 13.14 \text{ cm}$

$$d_{st}^* = 1.20 \text{ m/s}^2 \cdot \left[ \frac{1.97 \text{ s}}{2\pi} \right]^2 = 11.72 \text{ cm}$$

$dt^* = 1.00 \cdot 13.14 \text{ cm} = 13.14 \text{ cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 11.72 \text{ cm} = 11.72 \text{ cm}$

$dy = 13.14 \text{ cm}$ ,  $dt = 13.14 \text{ cm}$

$dy = 14.77 \text{ cm}$ ,  $dt = 15.36 \text{ cm}$

**4.** Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_s$  για  $\lambda_{max} = 1$  και επηρεαστικότητα  $SD$ .

$\max a_s = 0.347 \geq 0.160$  (ok)

$\max a_s = 0.319 \geq 0.160$  (ok)

**5.** Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{1.07 \text{ m/s}^2}{0.83 \text{ m/s}^2} = 1.29$

$$q_s = \frac{S_a}{S_{a1}} \geq 1.0$$

$q_s = \frac{1.15 \text{ m/s}^2}{0.82 \text{ m/s}^2} = 1.40$

Εναλλακτική 2: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100.

➤ Μη γραμμική ανάλυση (PushOver)

- Δεδομένα φάσματος απόκρισης

Ελαστικό Φάσμα Ευρωκώδικα  $S_e(T)$  (EN1998-1)

Σεισμική ζώνη		: I	
	Πιθανότητα υπέρβασης στα 50 έτη P [%]	Περίοδος επαναφοράς $T_L$ [έτη]	$\sigma_g$ [/]
Τιμές αναφοράς (R)	10.0%	475.0	0.16
DL (A)	50.0%	72.1	0.09
SD (B)	10.0%	474.6	0.16
NC (Γ)	2.0%	2474.9	0.28

$a_g = a_{gR} \left( \frac{T}{T_R} \right)^{1/k} = a_{gR} \left( \frac{T}{475} \right)^{1/3.0}$

Συντελεστής τοπογραφικής ενίσχυσης $S_t$		: 1.00		Εδαφικός τύπος		: B		Συντελεστής εδάφους $S$		: 1.20	
Συνιστώσα φάσματος		TB		TC		TD					
[/]		[sec]		[sec]		[sec]					
Οριζόντια		0.15		0.50		2.50					

- Δεδομένα Pushover

Δεδομένα Pushover: (Με έλεγχο μετατοπίσεων)

Ελάχιστος αριθμός επαυξητικών βημάτων	=	120
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων	=	100
Κόμβος ελέγχου	=	K 8(7)
Μέγιστη Μετατόπιση Εξώθησης [m]	=	0.72000E+00
Ενεργές τοιχοπληρώσεις	:	Όχι
Προσομοίωμα τοιχοπληρώσεων	:	Μόνο θλβόμενη διαγώνιος
Φαινόμενα P-Δ	:	Ναι

Καμπύλη Ικανότητας (Pushover) (M= 0)

Δεδομένα Διαγράμματος Απαίτησης-Ικανότητας

Μέθοδος Υπολογισμού Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Μέθοδος ελαστικού φάσματος απαίτησης
Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Ναι
Υπολογισμός $a_{1/a1}$	:	Ναι
Υπολογισμός ADRS	:	Ναι
Κόμβος ελέγχου	:	K 8(7)



➤ Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας

→ Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

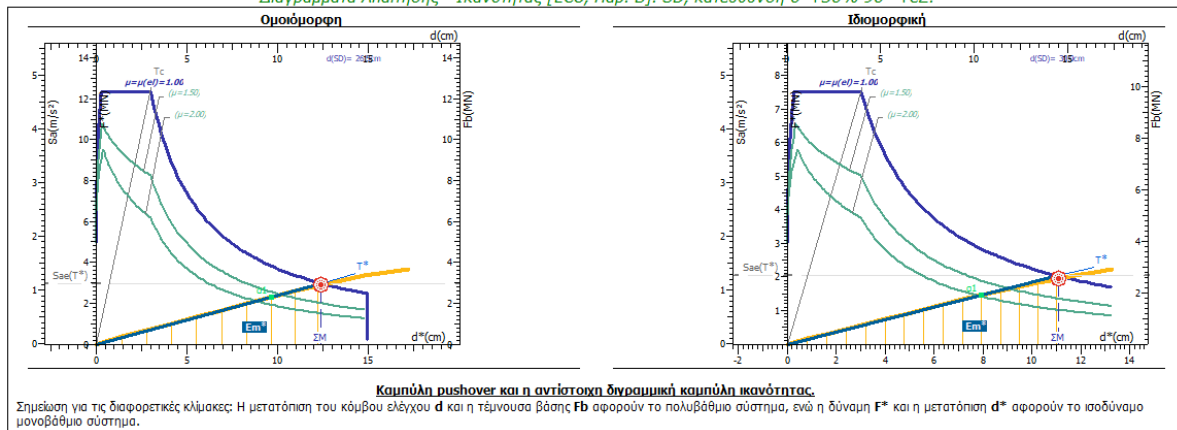
- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Απαίτησης – Ικανότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας SD

<b>1. Στοχευόμενη μετακίνηση <math>\Delta t</math></b>			
<b>X:</b>	<b>+14.8cm</b>	$0^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{-eZ, Ισομορφική}$	<b>Z:</b>
	<b>-14.8cm</b>	$180^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{-eZ, Ισομορφική}$	<b>+14.7cm</b>
			<b>-14.7cm</b>
			$90^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX, Ισομορφική}$
			$270^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX, Ισομορφική}$
<b>2. Στοχευόμενη πλαστικότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s)$	=	1.86
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστικότητας	$q_d (=q_n)$	=	1.04
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστικότητας	$\max \mu_d$	=	1.04
			$90^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX, Ισομορφική}$
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς <math>q</math> (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστικότητας $q_d (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_y)$	$q_d$	=	1.29
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q$	=	$q_d \cdot q_s = 2.46$
			$180^\circ\text{-}30\%\text{-}90^\circ\text{-eZ, Ομοιομορφή}$
<b>4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1$	=	$\mu_d / q_d = 1.00$
	$= 1.04 / 1.04$		$270^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX, Ισομορφική}$
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{\max} = 1</math></b>			
	$\max a_g(SD)$	=	0.300
			$270^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX, Ισομορφική}$
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k}$	$\therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$	[EC8-2 (A.3)]
	$\max T_R(SD) = (0.300/0.160)^{3.0} \cdot 475$	=	3145 έτη > 475 (ok)
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-50/3145}$	=	1.58% < 10% (ok)
			[EC8-1 §2.1(1)]
Στόχοι που κατονομάζονται:	<b>B1</b> : $P(SD) < 10\%$	και	<b>B2</b> : $P(SD) < 50\%$
			[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

→ Στάθμη SD

Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση  $0^\circ\text{-}30\%\text{-}90^\circ\text{-eZ}$ .



**1. Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .**

$m^* = 2630.1tn$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F^*}$$

$m^* = 1600.0tn$ ,  $\Gamma = 1.31$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{12.39cm}{1.13 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 2.08s$

$$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{11.06cm}{1.27 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 1.85s$

$S_{ay} > S_{ae}(T^*) \therefore q_u = q_{in} = R = 1$

$q_u = 1.00$

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu$ .**

$\mu_u = 1.00$

$$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$$

$\mu_u = 1.00$

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .**

$dy^* = 2 (12.39cm - \frac{18453.3cm \cdot kN}{2977.97kN}) = 12.39cm$

$$dy^* = 2 (d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*})$$

$C_1 = \mu_u / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$C_1 = \mu_u / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.13m/s^2 \cdot \left[ \frac{2.08s}{2n} \right]^2 = 12.39cm$

$$d_{el}^* = S_e(T^*) \left[ \frac{T^*}{2n} \right]^2$$

$dt^* = 1.00 \cdot 12.39cm = 12.39cm$

$dt^* = \mu_d / q_u \cdot d_{el}^*$

$dy = 12.39cm$ ,  $dt = 12.39cm$

$dy = 11.06cm$ ,  $dt = 11.06cm$

$dy = 14.47cm$ ,  $dt = 14.47cm$

**4. Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_u$  για  $\lambda_{max} = 1$  και επιτελεστικότητα  $SD$ .**

$\max q = 0.326 \geq 0.160$  (ok)

$\max q = 0.314 \geq 0.160$  (ok)

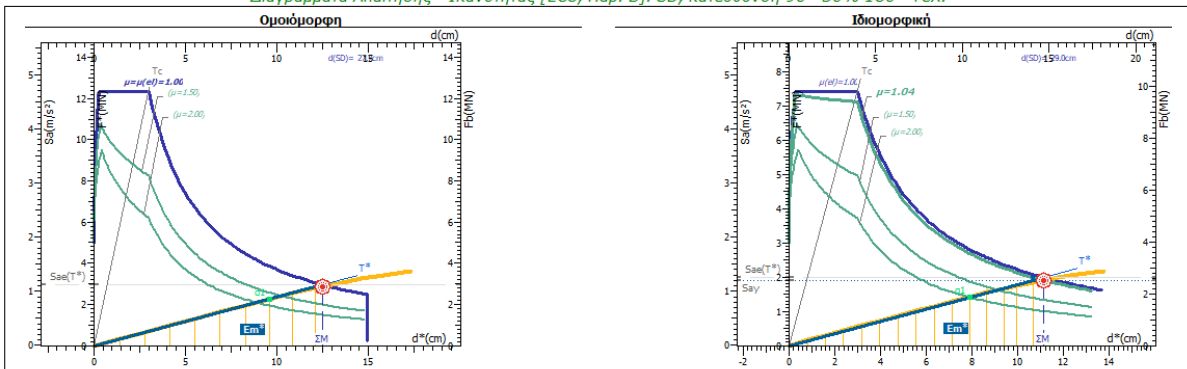
**5. Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .**

$q_s = \frac{1.13m/s^2}{0.88m/s^2} = 1.28$

$q_s = q_u = \frac{S_{a_u}}{S_{a_i}} \geq 1.0$

$q_s = \frac{1.27m/s^2}{0.92m/s^2} = 1.39$

**Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β].  $SD$ , κατεύθυνση  $90^\circ$ - $30\%$ - $180^\circ$  + $eX$ .**



**Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη γραμμική καμπύλη ικανότητας.**

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάση  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοβάθμιο σύστημα.

**1. Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .**

$m^* = 2630.1tn$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F^*}$$

$m^* = 1582.2tn$ ,  $\Gamma = 1.32$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{12.47cm}{1.13 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 2.09s$

$$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{10.65cm}{1.21 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 1.86s$

$S_{ay} > S_{ae}(T^*) \therefore q_u = q_{in} = R = 1$

$q_u = q_{in} = R = \frac{S_{ae}(T^*)}{S_{ay}}$

$q_u = \frac{1.26m/s^2}{1.21m/s^2} \therefore q_u = 1.04$

$q_u = 1.00$

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu$ .**

$\mu_u = 1.00$

$$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$$

$\mu_u = 1.04$

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .**

$dy^* = 2 (12.47cm - \frac{18453.3cm \cdot kN}{2959.40kN}) = 12.47cm$

$$dy^* = 2 (d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*})$$

$C_1 = \mu_u / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$C_1 = \mu_u / q_u = 1.04 / 1.04 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.13m/s^2 \cdot \left[ \frac{2.09s}{2n} \right]^2 = 12.47cm$

$$d_{el}^* = S_e(T^*) \left[ \frac{T^*}{2n} \right]^2$$

$dt^* = 1.00 \cdot 12.47cm = 12.47cm$

$dt^* = \mu_d / q_u \cdot d_{el}^*$

$dy = 12.47cm$ ,  $dt = 12.47cm$

$dy = 10.65cm$ ,  $dt = 11.11cm$

$dy = 14.03cm$ ,  $dt = 14.65cm$

**4. Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_u$  για  $\lambda_{max} = 1$  και επιτελεστικότητα  $SD$ .**

$\max q = 0.337 \geq 0.160$  (ok)

$\max q = 0.301 \geq 0.160$  (ok)

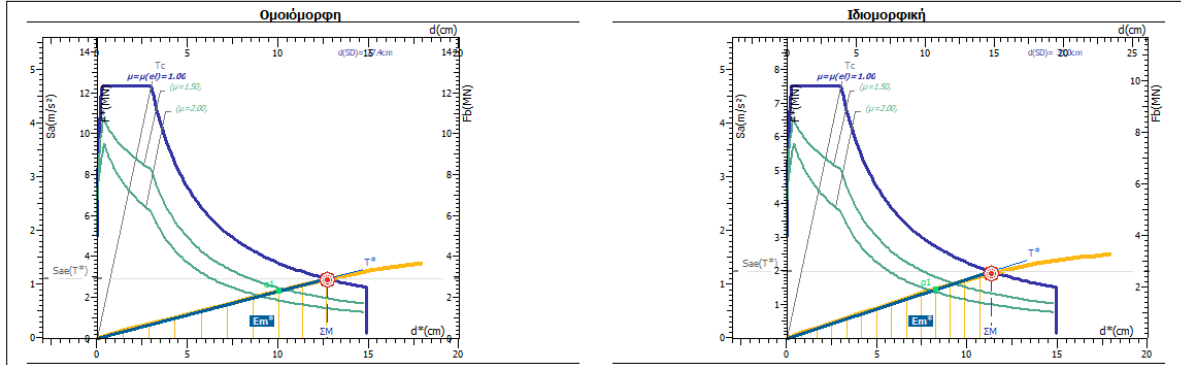
**5. Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .**

$q_s = \frac{1.13m/s^2}{0.86m/s^2} = 1.30$

$q_s = q_u = \frac{S_{a_u}}{S_{a_i}} \geq 1.0$

$q_s = \frac{1.21m/s^2}{0.90m/s^2} = 1.34$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β], SD, κατεύθυνση 180°-30%-270° +eZ.



Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη δυναμική καμπύλη ικανότητας.

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοβάθμιο σύστημα.

1.

Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .

$m^* = 2630.1tn, \Gamma = 1.00$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{12.73cm}{1.10 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 2.13s$   
 $q_u = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$$

$m^* = 1600.0tn, \Gamma = 1.31$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{11.31cm}{1.24 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.90s$   
 $q_u = 1.00$

2.

Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu$ .

$\mu_u = 1.00$

$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$

$\mu_u = 1.00$

3.

Στοχευόμενη μετατόπιση  $d_t$ .

$d_y^* = 2 \left( 12.73cm - \frac{18453.3cm \cdot 4kN}{2900.08kN} \right) = 12.73cm$

$C_1 = \mu_u / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.10m/s \cdot \left[ \frac{2.13s}{2n} \right]^2 = 12.73cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 12.73cm = 12.73cm$

$dy = 12.73cm, dt = 12.73cm$

$d_y^* = 2 \left( d_m^* \cdot \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$

$C_1 = \mu_d / q_u$

$d_{el}^* = S_e(T^*) \cdot \left[ \frac{T^*}{2n} \right]^2$

$dt^* = \mu_d / q_u \cdot d_{el}^*$

$dy = \Gamma \cdot d_y^*, dt = \Gamma \cdot dt^*$

$d_y^* = 2 \left( 11.31cm - \frac{11225.8cm \cdot 4kN}{1984.79kN} \right) = 11.31cm$

$C_1 = \mu_u / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.24m/s \cdot \left[ \frac{1.90s}{2n} \right]^2 = 11.31cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 11.31cm = 11.31cm$

$dy = 14.81cm, dt = 14.81cm$

4.

Μέγιστη επιτάχυνση  $a_s$  για  $\lambda_{max} = 1$  και επιπεδικότητα SD.

$\max q = 0.330 \geq 0.160$  (ok)

$\max q = 0.318 \geq 0.160$  (ok)

5.

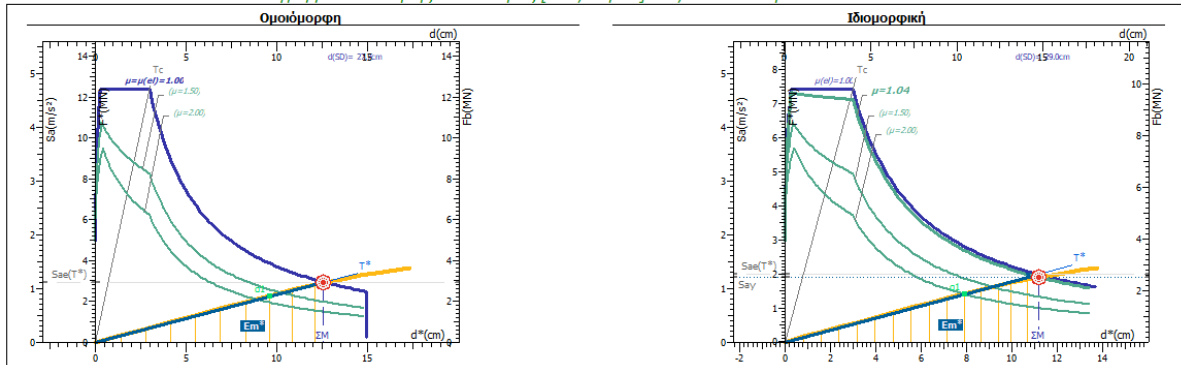
Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{1.10m/s^2}{0.88m/s^2} = 1.25$

$q_s = q_u = \frac{S_a}{S_{a1}} \geq 1.0$

$q_s = \frac{1.24m/s^2}{0.92m/s^2} = 1.35$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β], SD, κατεύθυνση 270°+30%-0° +eX.



Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη δυναμική καμπύλη ικανότητας.

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοβάθμιο σύστημα.

**1. Μάζα m\* και περίοδος T\* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q<sub>s</sub>.**

$m^* = 2630.1 \text{tn}, \Gamma = 1.00$   $\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F_{cR}}$   $m^* = 1582.2 \text{tn}, \Gamma = 1.32$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{12.56 \text{cm}}{1.12 \cdot 10^{-4} \text{cm/s}^2}} = 2.11 \text{s}$   $T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d y^*}{F_y}} = 2\pi \sqrt{\frac{d y^*}{S_{ay}}}$   $T^* = 2\pi \sqrt{\frac{10.71 \text{cm}}{1.21 \cdot 10^{-4} \text{cm/s}^2}} = 1.87 \text{s}$

$S_{ay} > S_{aR}(T^*) \therefore q_u = q_n = R = 1$   $q_u = q_n = R = \frac{S_{aR}(T^*)}{S_{ay}}$

$q_s = 1.00$   $q_u = \frac{1.26 \text{m/s}^2}{1.21 \text{m/s}^2} \therefore q_u = 1.04$

---

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ<sub>0</sub>.**

$\mu_0 = 1.00$   $T^* \geq T_c = 0.50 \text{s} \therefore \mu_0 = q_u$   $\mu_0 = 1.04$

---

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.**

$d y^* = 2 \left( 12.56 \text{cm} - \frac{18453.3 \text{cm} \cdot \text{kN}}{2938.10 \text{kN}} \right) = 12.56 \text{cm}$   $d y^* = 2 \left( 11.22 \text{cm} - \frac{11220.4 \text{cm} \cdot \text{kN}}{1913.18 \text{kN}} \right) = 10.71 \text{cm}$

$C_1 = \mu_u \lambda_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$   $C_1 = \mu_u \lambda_u = 1.04 / 1.04 = 1.00$

$d_{dR}^* = 1.12 \text{m/s}^2 \cdot \left[ \frac{2.11 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 12.56 \text{cm}$   $d_{dR}^* = 1.26 \text{m/s}^2 \cdot \left[ \frac{1.87 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 11.15 \text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 12.56 \text{cm} = 12.56 \text{cm}$   $dt^* = 1.00 \cdot 11.15 \text{cm} = 11.15 \text{cm}$

$dy = 12.56 \text{cm}, dt = 12.56 \text{cm}$   $dy = 14.12 \text{cm}, dt = 14.70 \text{cm}$

$d y^* = \Gamma \cdot d y^*, dt = \Gamma \cdot dt^*$

---

**4. Μέγιστη επιτάχυνση max a<sub>s</sub> για λ<sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.**

$\max q = 0.336 \geq 0.160$  (ok)  $\max q = 0.300 \geq 0.160$  (ok)

---

**5. Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.**

$q_s = \frac{1.12 \text{m/s}^2}{0.86 \text{m/s}^2} = 1.29$   $q_s = q_u = \frac{S_{aR}}{S_{d1}} \geq 1.0$   $q_s = \frac{1.21 \text{m/s}^2}{0.90 \text{m/s}^2} = 1.34$

Εναλλακτική 3: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση πλευρικών τοιχωμάτων διαστάσεων 200/30 και 30/200.

➤ Μη γραμμική ανάλυση (PushOver)

- Δεδομένα φάσματος απόκρισης

Ελαστικό Φάσμα Ευρωκώδικα Se(T) (EN1998-1)

Σεισμική ζώνη	: I		
	Πιθανότητα υπέρβασης στα 50 έτη P [%]	Περίοδος επαναφοράς TL [έτη]	α <sub>s</sub> [g]
Τιμές αναφοράς (R)	10.0%	475.0	0.16
DL (A)	50.0%	72.1	0.09
SD (B)	10.0%	474.6	0.16
NC (Γ)	2.0%	2474.9	0.28

$\alpha_y = \alpha_{yR} \left( \frac{T}{T_R} \right)^{1/k} = \alpha_{yR} \left( \frac{T}{475} \right)^{1/3.0}$

Συντελεστής τοπογραφικής ενίσχυσης St : 1.00      Εδαφικός τύπος : B      Συντελεστής εδάφους S = 1.20

Συνιστώσα φάσματος [g]	TB [sec]	TC [sec]	TD [sec]
Οριζόντια	0.15	0.50	2.50

- Δεδομένα Pushover

Δεδομένα Pushover: (Με έλεγχο μετατοπίσεων)

Ελάχιστος αριθμός ελαστικών βημάτων	=	120
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων	=	100
Κόμβος ελέγχου	=	K 8(7)
Μέγιστη Μετατόπιση Εξώθησης [m]	=	0.72000E+00
Ενεργές τοιχοπληρώσεις	:	Όχι
Προσομοίωμα τοχοπληρώσεων	:	Μόνο θλαβόμενη διαγώνιος
Φαινόμενα P-Δ	:	Ναι

**Καμπύλη Ικανότητας (Pushover) (M= 0)**

Δεδομένα Διαγράμματος Απαιτήσης-Ικανότητας

Μέθοδος Υπολογισμού Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Μέθοδος ελαστικού φάσματος απαίτησης
Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Ναι
Υπολογισμός α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub>	:	Ναι
Υπολογισμός ADRS	:	Ναι
Κόμβος ελέγχου	:	K 8(7)

➤ Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας

→ Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

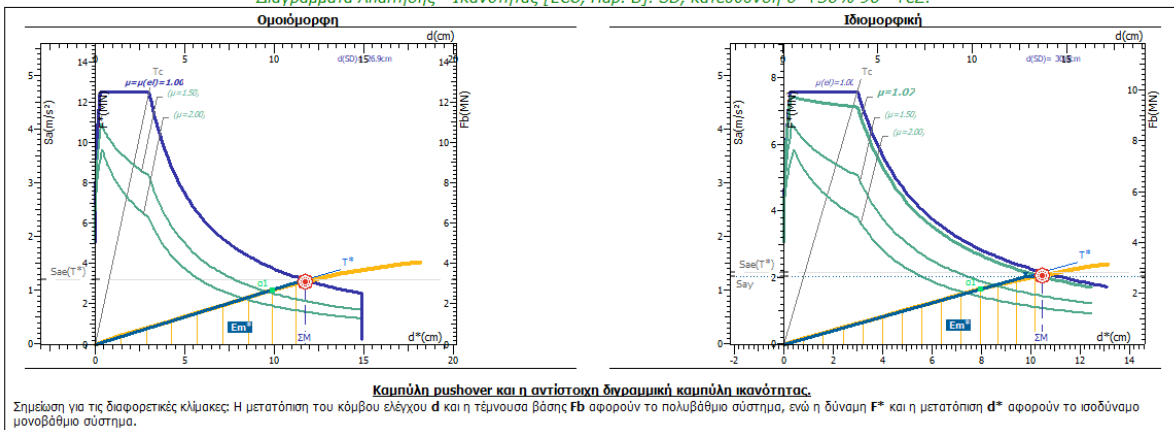
- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Απαίτησης – Ικανότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας SD

<b>1. Στοχευόμενη μετακίνηση <math>d_t</math></b>			
<b>X:</b>	<b>+13.9cm</b> <b>-14.0cm</b>	$0^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{-eZ}$ , <i>Ισομορφική</i> $180^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{+eZ}$ , <i>Ισομορφική</i>	<b>Z:</b>
			<b>+14.0cm</b> <b>-14.1cm</b>
			$90^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX}$ , <i>Ισομορφική</i> $270^\circ\text{+}30\%\text{-}0^\circ\text{-eX}$ , <i>Ισομορφική</i>
<b>2. Στοχευόμενη πλαστικότητα (για ανασχεδιασμό)</b>			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s)$	=	1.75
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστικότητας	$q_u (=q_n)$	=	1.07
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστικότητας	$\max \mu_d$	=	1.07
			$0^\circ\text{-}30\%\text{-}270^\circ\text{+eZ}$ , <i>Ισομορφική</i>
<b>3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς <math>q</math> (για αποτίμηση)</b>			
Πλαστικότητα $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u$	=	1.35
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q$	=	$q_u \cdot q_s = 2.31$
			$270^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX}$ , <i>Ομοιομορφή</i>
<b>4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]</b>			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1$	=	$\mu_d / q_u = 1.00$
			$270^\circ\text{-}30\%\text{-}180^\circ\text{-eX}$ , <i>Ισομορφική</i>
<b>5. Ικανότητα επιτάχυνσης για <math>\lambda_{max} = 1</math></b>			
	$\max a_g(SD)$	=	0.322
			$270^\circ\text{+}30\%\text{-}0^\circ\text{+eX}$ , <i>Ισομορφική</i>
<b>6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]</b>			
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k}$	$\therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$	[EC8-2 (A.3)]
	$\max T_R(SD) = (0.322/0.160)^{3.0} \cdot 475$	=	3867 έτη > 475 (ok)
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-T_L/\max T_R}$	=	1.28% < 10% (ok)
Στόχοι που ικανοποιούνται:	<b>B1</b> : $P(SD) < 10\%$	και	<b>B2</b> : $P(SD) < 50\%$
			[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

→ Στάθμη SD

Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση  $0^\circ\text{+}30\%\text{-}90^\circ\text{+eZ}$ .



**1. Μάζα m\* και περίοδος T\* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q<sub>u</sub>.**

$m^* = 2662.7\text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.00$   $m^* = 1614.2\text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.31$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{11.73\text{cm}}{1.20 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 1.97\text{s}$   $T^* = 2\pi \sqrt{\frac{9.82\text{cm}}{1.26 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 1.75\text{s}$

$S_{ay} > S_{ac}(T^*) \therefore q_u = q_{u1} = R = 1$   $q_u = q_{u1} = R = \frac{S_{ac}(T^*)}{S_{ay}}$

**q<sub>u</sub> = 1.00** **q<sub>u</sub> = 1.07**

---

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ<sub>l</sub>.**

$\mu_l = 1.00$   $\mu_l = 1.07$

$T^* \geq T_c = 0.50\text{s} \therefore \mu_l = q_{u1}$

---

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.**

$dy^* = 2 \left( 11.73\text{cm} \cdot \frac{18682.5\text{cm} \cdot \text{kN}}{3185.0\text{kN}} \right) = 11.73\text{cm}$   $dy^* = 2 \left( 10.16\text{cm} \cdot \frac{10685.6\text{cm} \cdot \text{kN}}{2032.67\text{kN}} \right) = 9.82\text{cm}$

$C_1 = \mu_l / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$   $C_1 = \mu_l / q_u = 1.07 / 1.07 = 1.00$

$d_{dt}^* = 1.20\text{m/s} \cdot \left[ \frac{1.97\text{s}}{2\pi} \right]^2 = 11.73\text{cm}$   $d_{dt}^* = 1.34\text{m/s} \cdot \left[ \frac{1.75\text{s}}{2\pi} \right]^2 = 10.46\text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 11.73\text{cm} = 11.73\text{cm}$   $dt^* = 1.00 \cdot 10.46\text{cm} = 10.46\text{cm}$

$dy = 11.73\text{cm}$ , **dt = 11.73cm**  $dy = 12.83\text{cm}$ , **dt = 13.68cm**

---

**4. Μέγιστη επιτάχυνση max a<sub>s</sub> για λ<sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.**

**max q = 0.348** ≥ 0.160 (ok) **max q = 0.332** ≥ 0.160 (ok)

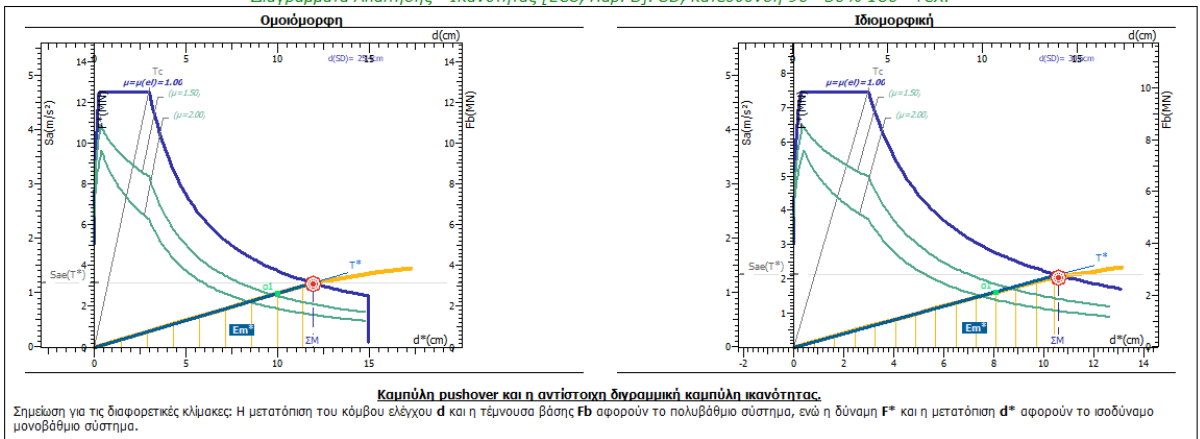
---

**5. Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.**

$q_s = \frac{1.20\text{m/s}^2}{1.01\text{m/s}^2} = 1.19$   $q_s = \frac{1.26\text{m/s}^2}{1.02\text{m/s}^2} = 1.23$

$q_s = q_u = \frac{S_{a1}}{S_{a2}} \geq 1.0$

**Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β], SD, κατεύθυνση 90°-30%-180° +εχ.**



**1. Μάζα m\* και περίοδος T\* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q<sub>u</sub>.**

$m^* = 2662.7\text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.00$   $m^* = 1590.2\text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.32$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{11.91\text{cm}}{1.18 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 2.00\text{s}$   $T^* = 2\pi \sqrt{\frac{10.57\text{cm}}{1.33 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 1.77\text{s}$

$S_{ay} > S_{ac}(T^*) \therefore q_u = q_{u1} = R = 1$   $q_u = q_{u1} = R = 1$

**q<sub>u</sub> = 1.00** **q<sub>u</sub> = 1.00**

---

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ<sub>l</sub>.**

$\mu_l = 1.00$   $\mu_l = 1.00$

$T^* \geq T_c = 0.50\text{s} \therefore \mu_l = q_{u1}$

---

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.**

$dy^* = 2 \left( 11.91\text{cm} \cdot \frac{18682.5\text{cm} \cdot \text{kN}}{3138.19\text{kN}} \right) = 11.91\text{cm}$   $dy^* = 2 \left( 10.57\text{cm} \cdot \frac{11157.6\text{cm} \cdot \text{kN}}{2110.47\text{kN}} \right) = 10.57\text{cm}$

$C_1 = \mu_l / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$   $C_1 = \mu_l / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{dt}^* = 1.18\text{m/s} \cdot \left[ \frac{2.00\text{s}}{2\pi} \right]^2 = 11.91\text{cm}$   $d_{dt}^* = 1.33\text{m/s} \cdot \left[ \frac{1.77\text{s}}{2\pi} \right]^2 = 10.57\text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 11.91\text{cm} = 11.91\text{cm}$   $dt^* = 1.00 \cdot 10.57\text{cm} = 10.57\text{cm}$

$dy = 11.91\text{cm}$ , **dt = 11.91cm**  $dy = 13.96\text{cm}$ , **dt = 13.96cm**

---

**4. Μέγιστη επιτάχυνση max a<sub>s</sub> για λ<sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.**

**max q = 0.325** ≥ 0.160 (ok) **max q = 0.330** ≥ 0.160 (ok)

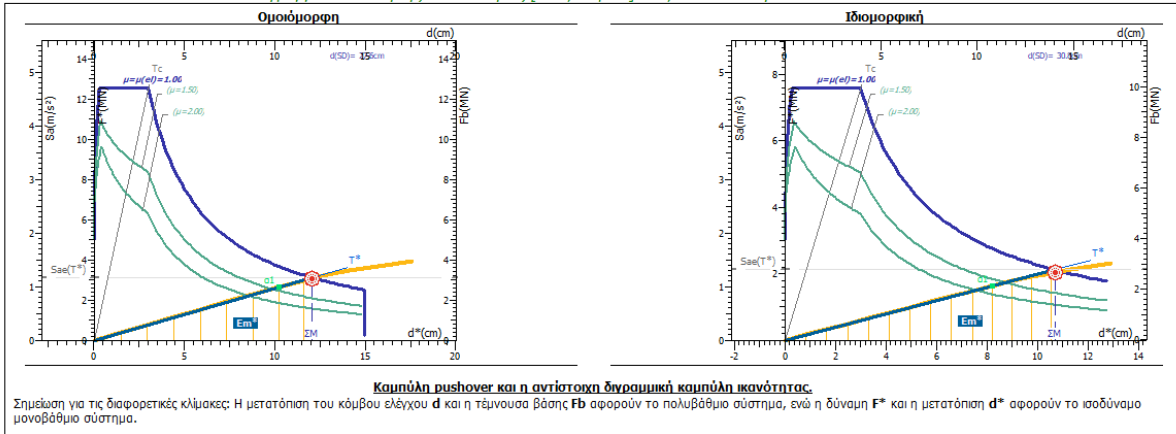
---

**5. Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.**

$q_s = \frac{1.18\text{m/s}^2}{0.98\text{m/s}^2} = 1.20$   $q_s = \frac{1.33\text{m/s}^2}{1.02\text{m/s}^2} = 1.30$

$q_s = q_u = \frac{S_{a1}}{S_{a2}} \geq 1.0$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 180°-30%-270° +eZ.



**1.** Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .

$m^* = 2662.7tn$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$$

$m^* = 1614.2tn$ ,  $\Gamma = 1.31$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{12.03cm}{1.17 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 2.02s$

$$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{10.70cm}{1.31 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.79s$

$q_u = 1.00$

$S_{ay} > S_{ae}(T^*) \therefore q_u \equiv q_u \equiv R = 1$

$q_u = 1.00$

**2.** Παράγοντας στοιχειώμενης πλαστιμότητας  $\mu$ .

$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$

$\mu = 1.00$

**3.** Στοιχειώμενη μετατόπιση  $dt$ .

$dy^* = 2 \left( d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$

$dy^* = 2 \left( 10.70cm - \frac{11325.8cm \cdot kN}{2117.70kN} \right) = 10.70cm$

$C_1 \equiv \mu_d / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$C_1 \equiv \mu_d / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{el}^* = 1.17m/s \cdot \left[ \frac{2.02s}{2n} \right]^2 = 12.03cm$

$d_{el}^* = 1.31m/s \cdot \left[ \frac{1.79s}{2n} \right]^2 = 10.70cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 12.03cm = 12.03cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 10.70cm = 10.70cm$

$dy = 12.03cm$ ,  $dt = 12.03cm$

$dy = 13.99cm$ ,  $dt = 13.99cm$

**4.** Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_g$  για  $\lambda_{max} = 1$  και επιτελεσιτικότητα SD.

$\max q = 0.349 \geq 0.160$  (οκ)

$\max q = 0.334 \geq 0.160$  (οκ)

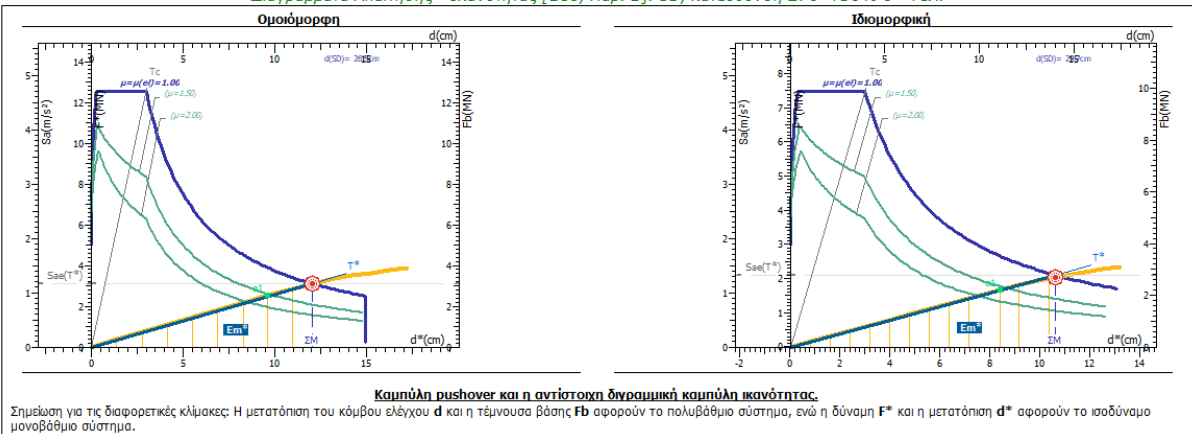
**5.** Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{1.17m/s^2}{1.00m/s^2} = 1.17$

$q_s \equiv q_u = \frac{S_{ae}}{S_{ay}} \geq 1.0$

$q_s = \frac{1.31m/s^2}{1.02m/s^2} = 1.29$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 270°+30%-0° +eX.



1. Μάζα m* και περίοδος T* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q <sub>u</sub> .	
$m^* = 2662.7tn, \Gamma = 1.00$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{12.01cm}{1.17 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 2.01s$ $q_u = 1.00$	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F_c^*}$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$ $S_{ay} > S_{ay}(T^*) \therefore q_u = q_u = R = 1$
$m^* = 1590.2tn, \Gamma = 1.32$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{10.61cm}{1.32 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.78s$ $q_u = 1.00$	$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$
2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ <sub>d</sub> .	
$\mu_d = 1.00$	$\mu_d = 1.00$
3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.	
$dy^* = 2(12.01cm - \frac{18682.5cm \cdot kN}{3110.80kN}) = 12.01cm$ $C_1 = \mu_d / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$ $d_{dt}^* = 1.17m/s \cdot \left[ \frac{2.01s}{2n} \right]^2 = 12.01cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 12.01cm = 12.01cm$ $dy = 12.01cm, dt = 12.01cm$	$dy^* = 2(10.61cm - \frac{11157.6cm \cdot kN}{2103.80kN}) = 10.61cm$ $C_1 = \mu_d / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$ $d_{dt}^* = 1.32m/s \cdot \left[ \frac{1.78s}{2n} \right]^2 = 10.61cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 10.61cm = 10.61cm$ $dy = 14.00cm, dt = 14.00cm$
4. Μέγιστη επιτάχυνση max a <sub>s</sub> για λ <sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.	
$max q = 0.336 \geq 0.160 (ok)$	$max q = 0.322 \geq 0.160 (ok)$
5. Παράγοντας υπερανόχης q <sub>s</sub> .	
$q_s = \frac{1.17m/s^2}{0.95m/s^2} = 1.23$	$q_s = \frac{1.32m/s^2}{1.05m/s^2} = 1.25$

**Εναλλακτική 4:** Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100, τοιχωμάτων διαστάσεων 150/30, 30/150, 170/30 και τετραγωνικών υποστυλωμάτων διαστάσεων 50x50.

➤ **Μη γραμμική ανάλυση (PushOver)**

- Δεδομένα φάσματος απόκρισης

**Ελαστικό Φάσμα Ευρωκώδικα Se(T) (EN1998-1)**

Σεισμική ζώνη	: 1		
Τιμές αναφοράς (R)	Πιθανότητα υπέρβασης στα 50 έτη P [%]	Περίοδος επαναφοράς T <sub>R</sub> [έτη]	σ <sub>g</sub> [g]
DL (A)	10.0%	475.0	0.16
SD (B)	50.0%	72.1	0.09
NC (Γ)	10.0%	474.6	0.16
	2.0%	2474.9	0.28

$a_g = a_{gR} \left( \frac{T}{T_R} \right)^{1/k} = a_{gR} \left( \frac{T}{475} \right)^{1/3.0}$

Συντελεστής τοπογραφικής ενίσχυσης S <sub>t</sub>	: 1.00	Εδαφικός τύπος	: B	Συντελεστής εδάφους S	= 1.20
Συνιστώσα φάσματος [g]	TB [sec]	TC [sec]	TD [sec]		
Οριζόντια	0.15	0.50	2.50		

- Δεδομένα Pushover

**Δεδομένα Pushover: (Με έλεγχο μετατοπίσεων)**

Ελάχιστος αριθμός ελαστικών βημάτων	=	120
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων	=	100
Κόμβος ελέγχου	=	K 13(7)
Μέγιστη Μετατόπιση Εξώθησης [m]	=	0.72000E+00
Ενεργές τοιχοπληρώσεις	:	Όχι
Προσομοίωμα τοιχοπληρώσεων	:	Μόνο θλιβόμενη διαγώνιος
Φαινόμενα P-Δ	:	Ναι

**Καμπύλη Ικανότητας (Pushover) (M= 0)**

**Δεδομένα Διαγράμματος Απαίτησης-Ικανότητας**

Μέθοδος Υπολογισμού Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Μέθοδος ελαστικού φάσματος απαίτησης
Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Ναι
Υπολογισμός α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub>	:	Ναι
Υπολογισμός ADRS	:	Ναι
Κόμβος ελέγχου	:	K 13(7)



➤ Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας

→ Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

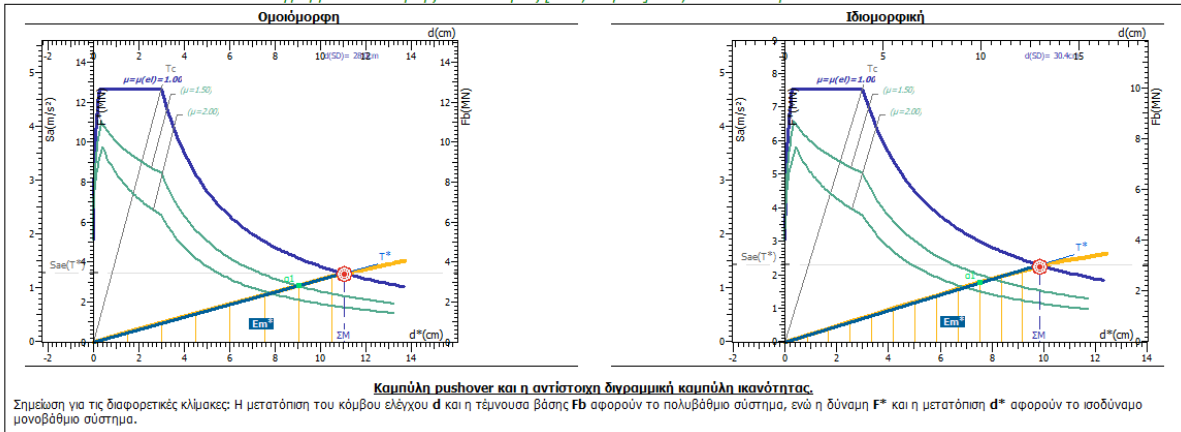
- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Απαιτήσης – Ικανότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας SD

1. Στοχευόμενη μετακίνηση dt			
X:	+12.9cm -12.9cm	0°+30%·90° +eZ, Ισομορφική 180°-30%·270° -eZ, Ισομορφική	Z: +14.0cm -13.9cm
2. Στοχευόμενη πλαστικότητα (για ανασχεδιασμό)			
Περίοδος μονοβάθμιο συστήματος	T*(s) =	1.77	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστικότητας	q <sub>U</sub> (=q <sub>n</sub> ) =	1.08	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστικότητας	max μ <sub>d</sub> =	1.08	270°-30%·180° -eX, Ισομορφική
3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)			
Πλαστικότητα q <sub>U</sub> (=q <sub>n</sub> ) και υπεραντοχής q <sub>S</sub> (=q <sub>U</sub> )	q <sub>U</sub> =	1.27	q <sub>S</sub> = 1.65
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	min q =	q <sub>U</sub> · q <sub>S</sub> =	2.10
4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	max C <sub>1</sub> =	μ <sub>d</sub> / q <sub>U</sub> =	1.08 / 1.08 = 1.00
5. Ικανότητα επέκτασης για λmax = 1			
	max q <sub>S</sub> (SD) =	0.272	270°+30%·0° -eX, Ισομορφική
6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]			
Περίοδος επαναφοράς SD	max T <sub>R</sub> (SD) = (0.272/0.160) <sup>3.0</sup> · 475 =	2337 έτη	> 475 (ok)
	max T <sub>R} = (max q<sub>S</sub> / q<sub>SR</sub>)<sup>k</sup> · T<sub>LR}</sub></sub>		[EC8-2 (A.3)]
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	p(SD) = 1 - e <sup>-50/2337</sup> =	2.12%	< 10% (ok)
			[EC8-1§2.1(1)]
Στόχοι που κανονοποιούνται:	B1 : P(SD) < 10%	και	B2 : P(SD) < 50%
			[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

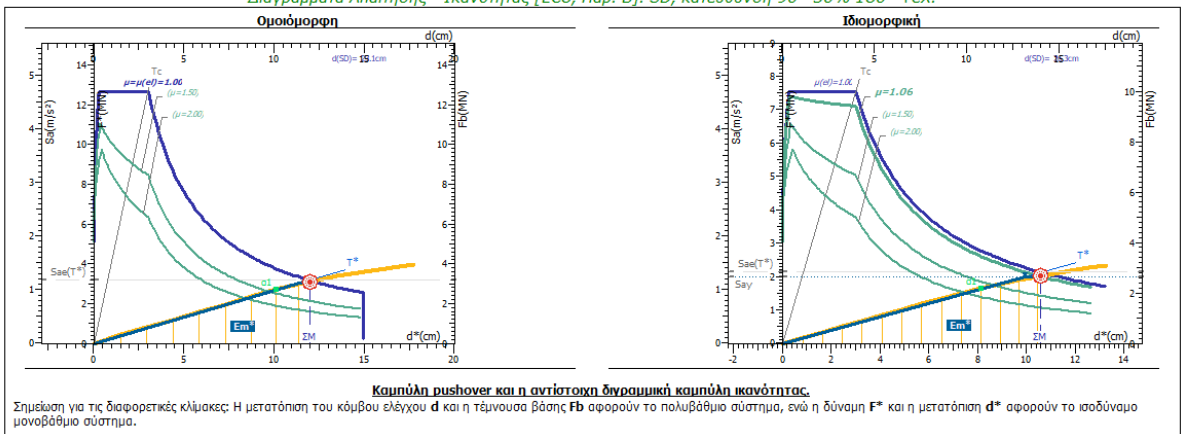
→ Στάθμη SD

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β], SD, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



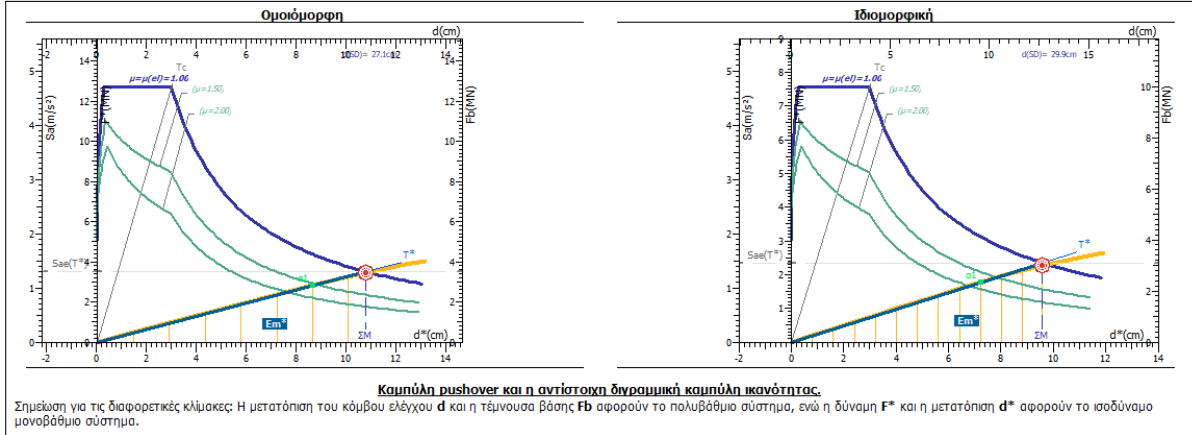
<b>1. Μάζα m* και περίοδος T* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q<sub>u</sub>.</b>	
$m^* = 2697.1tn, \Gamma = 1.00$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{11.03cm}{1.27 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.85s$ $q_u = 1.00$	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F^*}$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$ $S_{ay} > S_{ae}(T^*) \therefore q_u = q_b = R = 1$
$m^* = 1607.6tn, \Gamma = 1.32$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{9.81cm}{1.43 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.65s$ $q_u = 1.00$	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F^*}$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$ $S_{ay} > S_{ae}(T^*) \therefore q_u = q_b = R = 1$
<b>2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ<sub>d</sub>.</b>	
$\mu_d = 1.00$	$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$
<b>3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.</b>	
$dy^* = 2 \left( 11.03cm - \frac{18923.2cm \cdot kN}{3432.47kN} \right) = 11.03cm$ $C_1 = \mu_d / A_b = 1.00 / 1.00 = 1.00$ $d_{el}^* = 1.27m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.85s}{2n} \right]^2 = 11.03cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 11.03cm = 11.03cm$ $dy = 11.03cm, dt = 11.03cm$	$dy^* = 2 \left( 9.81cm - \frac{11279.0cm \cdot kN}{2298.56kN} \right) = 9.81cm$ $C_1 = \mu_d / A_b = 1.00 / 1.00 = 1.00$ $d_{el}^* = 1.43m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.65s}{2n} \right]^2 = 9.81cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 9.81cm = 9.81cm$ $dy = 12.94cm, dt = 12.94cm$
<b>4. Μέγιστη επιτάχυνση max a<sub>s</sub> για λ<sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.</b>	
$max q = 0.383 \geq 0.160 (ok)$	$max q = 0.354 \geq 0.160 (ok)$
<b>5. Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.</b>	
$q_s = \frac{1.27m/s^2}{1.04m/s^2} = 1.22$	$q_s = q_u = \frac{S_a}{S_{a,c}} \geq 1.0$
$q_s = \frac{1.43m/s^2}{1.11m/s^2} = 1.29$	$q_s = q_u = \frac{S_a}{S_{a,c}} \geq 1.0$

**Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 90°-30%-180° +eX.**



<b>1. Μάζα m* και περίοδος T* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q<sub>u</sub>.</b>	
$m^* = 2697.1tn, \Gamma = 1.00$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{11.95cm}{1.17 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 2.00s$ $q_u = 1.00$	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F^*}$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$ $S_{ay} > S_{ae}(T^*) \therefore q_u = q_b = R = 1$
$m^* = 1608.9tn, \Gamma = 1.32$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{9.94cm}{1.25 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.77s$ $q_u = 1.06$	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_c}{F^*}$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$ $q_u = q_b = R = \frac{S_{ae}(T^*)}{S_{ay}}$
<b>2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ<sub>d</sub>.</b>	
$\mu_d = 1.00$	$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$
<b>3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.</b>	
$dy^* = 2 \left( 11.95cm - \frac{18923.2cm \cdot kN}{3167.36kN} \right) = 11.95cm$ $C_1 = \mu_d / A_b = 1.00 / 1.00 = 1.00$ $d_{el}^* = 1.17m/s^2 \cdot \left[ \frac{2.00s}{2n} \right]^2 = 11.95cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 11.95cm = 11.95cm$ $dy = 11.95cm, dt = 11.95cm$	$dy^* = 2 \left( 10.43cm - \frac{10958.7cm \cdot kN}{2008.36kN} \right) = 9.94cm$ $C_1 = \mu_d / A_b = 1.06 / 1.06 = 1.00$ $d_{el}^* = 1.33m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.77s}{2n} \right]^2 = 10.57cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 10.57cm = 10.57cm$ $dy = 13.15cm, dt = 13.99cm$
<b>4. Μέγιστη επιτάχυνση max a<sub>s</sub> για λ<sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.</b>	
$max q = 0.297 \geq 0.160 (ok)$	$max q = 0.287 \geq 0.160 (ok)$
<b>5. Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.</b>	
$q_s = \frac{1.17m/s^2}{1.00m/s^2} = 1.18$	$q_s = q_u = \frac{S_a}{S_{a,c}} \geq 1.0$
$q_s = \frac{1.25m/s^2}{1.03m/s^2} = 1.21$	$q_s = q_u = \frac{S_a}{S_{a,c}} \geq 1.0$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 180°-30%-270° +eZ.



**1.** Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_s$ .

$m^* = 2697.1 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.00$   $\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$   $m^* = 1607.6 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.32$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{10.79 \text{cm}}{1.30 \cdot 10^3 \text{cm/s}^2}} = 1.81 \text{s}$   $T^* = 2\pi \sqrt{\frac{9.59 \text{cm}}{1.46 \cdot 10^3 \text{cm/s}^2}} = 1.61 \text{s}$

$q_s = 1.00$   $q_s = 1.00$

---

**2.** Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu_s$ .

$\mu_s = 1.00$   $T^* \geq T_c = 0.50 \text{s} \Rightarrow \mu_s = q_s$   $\mu_s = 1.00$

---

**3.** Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .

$dy^* = 2 \left( 10.79 \text{cm} \cdot \frac{18923.2 \text{cm} \cdot \text{kN}}{3507.8 \text{kN}} \right) = 10.79 \text{cm}$   $dy^* = 2 \left( 9.59 \text{cm} \cdot \frac{11279.0 \text{cm} \cdot \text{kN}}{2352.9 \text{kN}} \right) = 9.59 \text{cm}$

$C_1 = \mu_s / q_s = 1.00 / 1.00 = 1.00$   $C_1 = \mu_s / q_s = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{d^*} = 1.30 \text{m/s}^2 \cdot \left[ \frac{1.81 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 10.79 \text{cm}$   $d_{d^*} = 1.46 \text{m/s}^2 \cdot \left[ \frac{1.61 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 9.59 \text{cm}$

$dt^* = 1.00 \cdot 10.79 \text{cm} = 10.79 \text{cm}$   $dt^* = 1.00 \cdot 9.59 \text{cm} = 9.59 \text{cm}$

$dy = 10.79 \text{cm}$ ,  $dt = 10.79 \text{cm}$   $dy = 12.64 \text{cm}$ ,  $dt = 12.64 \text{cm}$

---

**4.** Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_s$  για  $\lambda_{\max} = 1$  και επιπεδοτικότητα SD.

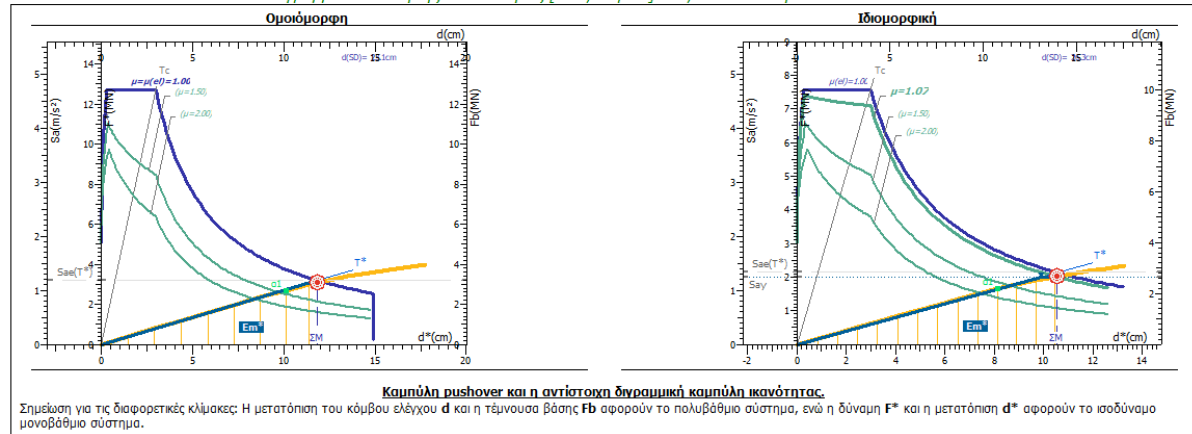
$\max q = 0.379 \geq 0.160$  (ok)  $\max q = 0.355 \geq 0.160$  (ok)

---

**5.** Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{1.30 \text{m/s}^2}{1.04 \text{m/s}^2} = 1.24$   $q_s = q_u \cdot \frac{S_a}{S_{a,u}} \geq 1.0$   $q_s = \frac{1.46 \text{m/s}^2}{1.11 \text{m/s}^2} = 1.32$

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 270°+30%-0° +eX.



**1. Μάζα m\* και περίοδος T\* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q<sub>u</sub>.**

$m^* = 2697.1tn, \Gamma = 1.00$   $m^* = 1608.9tn, \Gamma = 1.32$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F}{F^*}$$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{11.84cm}{1.19 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.99s$   $T^* = 2n \sqrt{\frac{9.89cm}{1.25 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.77s$

$$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$S_{ay} > S_{sd}(T^*) \therefore q_u = q_{u1} = R = 1$   $q_u = q_{u1} = R = \frac{S_{sd}(T^*)}{S_{ay}}$

$q_u = 1.00$   $q_u = \frac{1.33m/s^2}{1.25m/s^2} \therefore q_u = 1.07$

---

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ<sub>d</sub>.**

$\mu_d = 1.00$   $\mu_d = 1.07$

$$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$$


---

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.**

$dy^* = 2 \left( 11.84cm \cdot \frac{18923.2cm \cdot kN}{3196.14kN} \right) = 11.84cm$   $dy^* = 2 \left( 10.44cm \cdot \frac{11059.5cm \cdot kN}{2011.65kN} \right) = 9.89cm$

$C_1 = \mu_d / q_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$   $C_1 = \mu_d / q_u = 1.07 / 1.07 = 1.00$

$d_{d1}^* = 1.19m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.99s}{2n} \right]^2 = 11.84cm$   $d_{d1}^* = 1.33m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.77s}{2n} \right]^2 = 10.53cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 11.84cm = 11.84cm$   $dt^* = 1.00 \cdot 10.53cm = 10.53cm$

$dy = 11.84cm, dt = 11.84cm$   $dy = 13.08cm, dt = 13.94cm$

$$dy^* = \Gamma \cdot dy^*, dt = \Gamma \cdot dt^*$$


---

**4. Μέγιστη επιτάχυνση max a<sub>s</sub> για λ<sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.**

$max a_s = 0.299 \geq 0.160$  (ok)  $max a_s = 0.287 \geq 0.160$  (ok)

---

**5. Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.**

$q_s = \frac{1.19m/s^2}{1.00m/s^2} = 1.18$   $q_s = \frac{1.25m/s^2}{1.03m/s^2} = 1.21$

$$q_s = q_{u1} = \frac{S_a}{S_{a1}} \geq 1.0$$

Εναλλακτική 5: Κτίριο από Δομικό Χάλυβα με τοποθέτηση υποστυλωμάτων ΗΕΒ, δοκών ΙΡΕ, κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους SHS και πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος.

➤ Μη γραμμική ανάλυση (PushOver)

- Δεδομένα φάσματος απόκρισης

Ελαστικό Φάσμα Ευρωκώδικα Se(T) (EN1998-1)

Σεισμική ζώνη	: I		
	Πιθανότητα υπέρβασης στα 50 έτη P [%]	Περίοδος επαναφοράς T <sub>r</sub> [έτη]	α <sub>g</sub> [g]
Τιμές αναφοράς (R)	10.0%	475.0	0.16
DL (A)	50.0%	72.1	0.09
SD (B)	10.0%	474.6	0.16
HC (Γ)	2.0%	2474.9	0.28

$\alpha_g = \alpha_{gR} \left( \frac{T}{T_R} \right)^{1/k} = \alpha_{gR} \left( \frac{T}{475} \right)^{1/3.0}$

Συντελεστής τοπογραφικής ενίσχυσης S <sub>t</sub>	: 1.00	Εδαφικός τύπος	: B	Συντελεστής εδάφους S	= 1.20
Συνιστώσα φάσματος [g]	TB [sec]	TC [sec]	TD [sec]		
Οριζόντια	0.15	0.50	2.50		

- Δεδομένα Pushover

Δεδομένα Pushover: (Με έλεγχο μετατοπίσεων)

Ελάχιστος αριθμός επαιζητικών βημάτων	=	120
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων	=	100
Κόμβος ελέγχου	=	K 8(7)
Μέγιστη Μετατόπιση Εξώθησης [m]	=	0.72000E+00
Ενεργές τοχοπληρώσεις	=	Όχι
Προσομοίκια τοχοπληρώσεων	=	Μόνο θλιβόμενη διαγώνιος
Φαινόμενα P-Δ	=	Ναι

**Καμπύλη Ικανότητας (Pushover) (M= 0)**

Δεδομένα Διαγράμματος Απαιτήσης-Ικανότητας

Μέθοδος Υπολογισμού Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Μέθοδος ελαστικού φάσματος απαίτησης
Υπολογισμός Στοχευόμενης Μετακίνησης	:	Ναι
Υπολογισμός α <sub>u</sub> /α <sub>1</sub>	:	Ναι
Υπολογισμός ADRS	:	Ναι
Κόμβος ελέγχου	:	K 8(7)

➤ Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας

→ Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

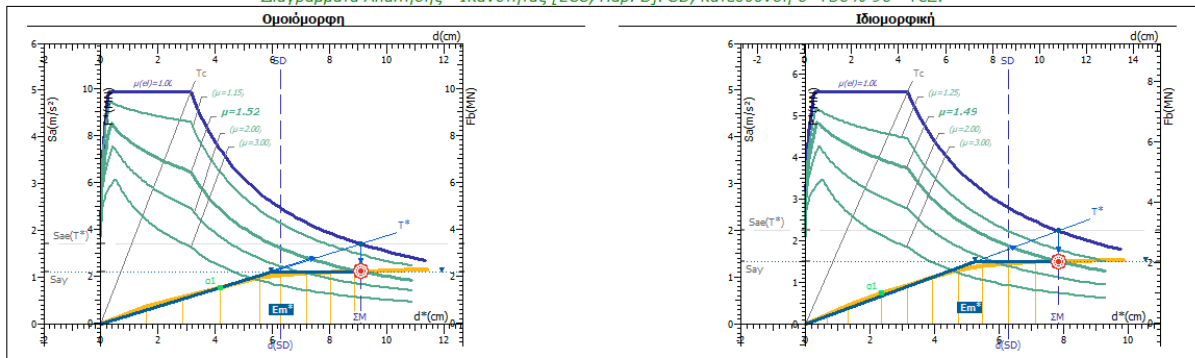
- Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Απαίτησης – Ικανότητας

Στάθμη επιτελεστικότητας SD

1. Στοχευόμενη μετακίνηση dt			
X:	+10.9cm -11.0cm	$0^\circ-30^\circ-270^\circ -eZ$ , Ισομορφική $180^\circ-30^\circ-270^\circ +eZ$ , Ισομορφική	Z: +8.3cm -8.4cm
2. Στοχευόμενη πλαστικότητα (για ανασχεδιασμό)			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s)$	=	1.45
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστικότητας	$q_u (=q_n)$	=	1.52
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστικότητας	$\max \mu_d$	=	1.52
$0^\circ+30^\circ-90^\circ +eZ$ , Ομοιόμορφη			
3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)			
Πλαστικότητα $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u$	=	1.07
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q$	$q_u \cdot q_s$	= 1.42
$180^\circ+30^\circ-90^\circ -eZ$ , Ομοιόμορφη			
4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1$	=	$\mu_d / q_u$
	= 1.00 / 1.00	=	1.00
$270^\circ-30^\circ-180^\circ -eX$ , Ισομορφική			
5. Ικανότητα επιτάχυνσης για $\lambda_{\max} = 1$			
	$\max a_g(SD)$	=	0.108
$180^\circ+30^\circ-90^\circ -eZ$ , Ομοιόμορφη			
6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]			
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max a_g / a_{GR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k}$	$\therefore \max T_R = (\max a_g / a_{GR})^k \cdot T_{LR}$	[EC8-2 (A.3)]
	$\max T_R(SD) = (0.108/0.160)^{3.0} \cdot 475$	=	145 έτη < 475 !
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P = 1 - e^{-T_L/\max T_R}$		[EC8-1§2.1(1)]
Στόχος που ικανοποιείται:	$P(SD) = 1 - e^{-50/145}$	=	29.19% > 10% !
	$B2 : P(SD) < 50\%$		[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

→ Στάθμη SD

Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση  $0^\circ+30^\circ-90^\circ +eZ$ .



Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη διγραμμική καμπύλη ικανότητας.

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου d και η τέμνουσα βάσης Fb αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη F\* και η μετατόπιση d\* αφορούν το ισοβάθμιο μονοβάθμιο σύστημα.

**1.** Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .

$m^* = 1987.2tn$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_y}{F_y^*}$$

$m^* = 1123.1tn$ ,  $\Gamma = 1.38$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{5.97cm}{1.13 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 1.45s$

$$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{5.25cm}{1.34 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 1.24s$

$q_u = \frac{1.72m/s^2}{1.13m/s^2} \therefore q_u = 1.52$

$$q_u = q_{u1} = R = \frac{S_{ax}(T^*)}{S_{ay}}$$

$q_u = \frac{2.00m/s^2}{1.34m/s^2} \therefore q_u = 1.49$

**2.** Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu_d$ .

$\mu_d = 1.52$

$$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$$

$\mu_d = 1.49$

**3.** Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .

$dy^* = 2 \left( 8.88cm \cdot \frac{13214.1cm \cdot kN}{2240.52kN} \right) = 5.97cm$

$$dy^* = 2 \left( 7.83cm \cdot \frac{7849.8cm \cdot kN}{1508.56kN} \right) = 5.25cm$$

$C_1 = \mu_d / A_u = 1.52 / 1.52 = 1.00$

$$C_1 = \mu_d / A_u = 1.49 / 1.49 = 1.00$$

$d_{d1}^* = 1.72m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.45s}{2n} \right]^2 = 9.09cm$

$$d_{d1}^* = S_u(T^*) \cdot \left[ \frac{T^*}{2n} \right]^2$$

$d_{d1}^* = 2.00m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.24s}{2n} \right]^2 = 7.81cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 9.09cm = 9.09cm$

$$dt^* = \mu_d / A_u \cdot d_{d1}^*$$

$dt^* = 1.00 \cdot 7.81cm = 7.81cm$

$dy = 5.97cm$ ,  $dt = 9.09cm$

$dy = 7.23cm$ ,  $dt = 10.75cm$

**4.** Μέγιστη επιτάχυνση  $max a_s$  για  $\lambda_{max} = 1$  και επιτελεστικότητα  $SD$ .

$max q = 0.113 < 0.160$  (!)

$max q = 0.130 < 0.160$  (!)

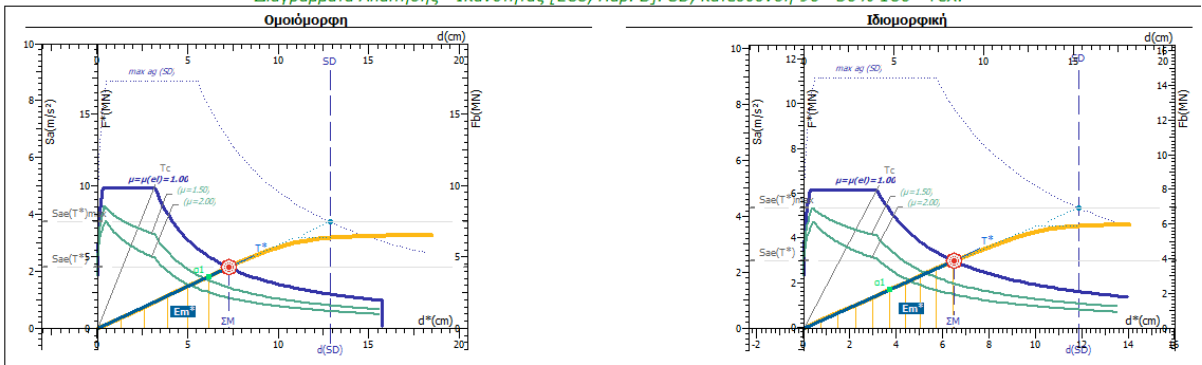
**5.** Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{1.13m/s^2}{0.79m/s^2} = 1.43$

$$q_s = q_u = \frac{S_{ax}}{S_{ay}} \geq 1.0$$

$q_s = \frac{1.34m/s^2}{0.68m/s^2} = 1.99$

**Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. B]. SD, κατεύθυνση 90°-30%-180° +eX.**



**Καυήλη pushover και η αντίστοιχη δυναμική καυήλη ικανότητας.**

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελάγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοβάθμιο σύστημα.

**1.** Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .

$m^* = 1987.2tn$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_y}{F_y^*}$$

$m^* = 1247.7tn$ ,  $\Gamma = 1.29$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{7.21cm}{2.16 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 1.15s$

$$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{6.45cm}{2.42 \cdot 10^{-2}cm/s^2}} = 1.03s$

$q_u = 1.00$

$$S_{ay} > S_{ax}(T^*) \therefore q_u = q_{u1} = R = 1$$

$q_u = 1.00$

**2.** Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu_d$ .

$\mu_d = 1.00$

$$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$$

$\mu_d = 1.00$

**3.** Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .

$dy^* = 2 \left( 7.21cm \cdot \frac{15492.0cm \cdot kN}{4295.46kN} \right) = 7.21cm$

$$dy^* = 2 \left( 6.45cm \cdot \frac{9727.2cm \cdot kN}{3015.59kN} \right) = 6.45cm$$

$C_1 = \mu_d / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$$C_1 = \mu_d / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$$

$d_{d1}^* = 2.16m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.15s}{2n} \right]^2 = 7.21cm$

$$d_{d1}^* = S_u(T^*) \cdot \left[ \frac{T^*}{2n} \right]^2$$

$d_{d1}^* = 2.42m/s^2 \cdot \left[ \frac{1.03s}{2n} \right]^2 = 6.45cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 7.21cm = 7.21cm$

$$dt^* = \mu_d / A_u \cdot d_{d1}^*$$

$dt^* = 1.00 \cdot 6.45cm = 6.45cm$

$dy = 7.21cm$ ,  $dt = 7.21cm$

$dy = 8.34cm$ ,  $dt = 8.34cm$

**4.** Μέγιστη επιτάχυνση  $max a_s$  για  $\lambda_{max} = 1$  και επιτελεστικότητα  $SD$ .

$max q = 0.281 \geq 0.160$  (ok)

$max q = 0.289 \geq 0.160$  (ok)

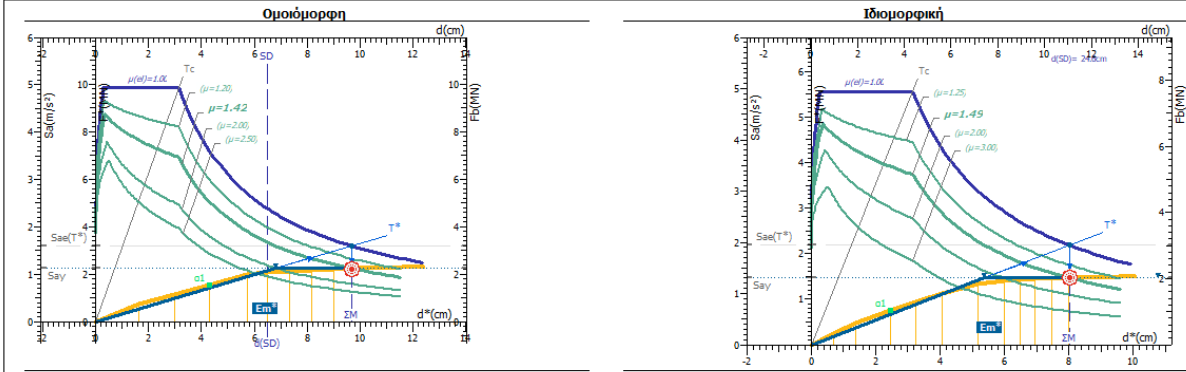
**5.** Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .

$q_s = \frac{2.16m/s^2}{1.83m/s^2} = 1.18$

$$q_s = q_u = \frac{S_{ax}}{S_{ay}} \geq 1.0$$

$q_s = \frac{2.42m/s^2}{1.38m/s^2} = 1.75$

Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 180°-30%-270° +eX.



Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη γραμμική καμπύλη ικανότητας.

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοβάθμιο σύστημα.

**1. Μάζα  $m^*$  και περίοδος  $T^*$  μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας  $q_u$ .**

$m^* = 1987.2 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$$

$m^* = 1123.1 \text{tn}$ ,  $\Gamma = 1.38$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{6.80 \text{cm}}{1.13 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 1.54 \text{s}$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F y^*}} = 2\pi \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}^*}}$$

$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{5.38 \text{cm}}{1.31 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 1.27 \text{s}$

$q_u = \frac{1.61 \text{m/s}^2}{1.13 \text{m/s}^2} \therefore q_u = 1.42$

$$q_u \equiv q_n \equiv R = \frac{S_{ax}(T^*)}{S_{ay}}$$

$q_u = \frac{1.95 \text{m/s}^2}{1.31 \text{m/s}^2} \therefore q_u = 1.49$

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας  $\mu_u$ .**

$\mu_u = 1.42$

$$T^* \geq T_c = 0.50 \text{s} \therefore \mu_u = q_u$$

$\mu_u = 1.49$

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση  $dt$ .**

$dy^* = 2 \left( 9.85 \text{cm} \cdot \frac{14548.9 \text{cm} \cdot \text{kN}}{2253.77 \text{kN}} \right) = 6.80 \text{cm}$

$$dy^* = 2 \left( 8.00 \text{cm} \cdot \frac{7801.9 \text{cm} \cdot \text{kN}}{1470.33 \text{kN}} \right) = 5.38 \text{cm}$$

$C_1 \equiv \mu_u / q_u = 1.42 / 1.42 = 1.00$

$$C_1 \equiv \mu_u / q_u = 1.49 / 1.49 = 1.00$$

$d_{el}^* = 1.61 \text{m/s}^2 \cdot \left[ \frac{1.54 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 9.67 \text{cm}$

$$d_{el}^* = 1.95 \text{m/s}^2 \cdot \left[ \frac{1.27 \text{s}}{2\pi} \right]^2 = 8.01 \text{cm}$$

$dt^* = 1.00 \cdot 9.67 \text{cm} = 9.67 \text{cm}$

$$dt^* = 1.00 \cdot 8.01 \text{cm} = 8.01 \text{cm}$$

$dy = 6.80 \text{cm}$ ,  $dt = 9.67 \text{cm}$

$dy = 7.41 \text{cm}$ ,  $dt = 11.02 \text{cm}$

**4. Μέγιστη επιτάχυνση  $\max a_u$  για  $\lambda_{\max} = 1$  και επιτελεστικότητα SD.**

$\max a_u = 0.109 < 0.160$  (l)

$\max a_u = 0.335 \geq 0.160$  (ok)

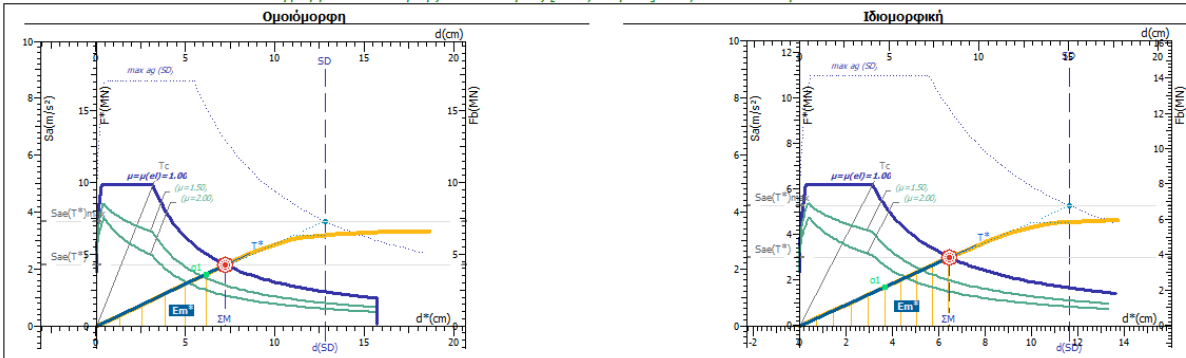
**5. Παράγοντας υπεραντοχής  $q_s$ .**

$q_s = \frac{1.13 \text{m/s}^2}{0.79 \text{m/s}^2} = 1.44$

$$q_s \equiv q_u = \frac{S_a}{S_{a1}} \geq 1.0$$

$q_s = \frac{1.31 \text{m/s}^2}{0.68 \text{m/s}^2} = 1.94$

Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 270°+30%-0° +eX.



Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη γραμμική καμπύλη ικανότητας.

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου  $d$  και η τέμνουσα βάσης  $F_b$  αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη  $F^*$  και η μετατόπιση  $d^*$  αφορούν το ισοβάθμιο σύστημα.

**1. Μάζα m\* και περίοδος T\* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q<sub>u</sub>.**

$m^* = 1987.2tn, \Gamma = 1.00$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{7.22cm}{2.16 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.15s$

$q_u = 1.00$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_y}{F_y^*}$$

$$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$$

$$S_{ay} > S_{ay}(T^*) \therefore q_u = q_u \equiv R = 1$$

$m^* = 1247.7tn, \Gamma = 1.29$

$T^* = 2n \sqrt{\frac{6.47cm}{2.41 \cdot 10^7 cm/s^2}} = 1.03s$

$q_u = 1.00$

---

**2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ<sub>u</sub>.**

$\mu_u = 1.00$

$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_u = q_u$

$\mu_u = 1.00$

---

**3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.**

$dy^* = 2 \left( 7.22cm \cdot \frac{15492.0cm \cdot kN}{4294.13kN} \right) = 7.22cm$

$C_1 \equiv \mu_u / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{dt}^* = 2.16m/s \cdot \left[ \frac{1.15s}{2n} \right]^2 = 7.22cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 7.22cm = 7.22cm$

$dy = 7.22cm, dt = 7.22cm$

$$dy^* = 2 \left( d_m^* \cdot \frac{E_{m^*}}{F_{y^*}} \right)$$

$$C_1 \equiv \mu_u / q_u$$

$$d_{dt}^* = S_{ay}(T^*) \left[ \frac{T^*}{2n} \right]^2$$

$$dt^* = \mu_u / q_u \cdot d_{dt}^*$$

$$dy = \Gamma \cdot dy^*, dt = \Gamma \cdot dt^*$$

$dy^* = 2 \left( 6.47cm \cdot \frac{9727.2cm \cdot kN}{3006.91kN} \right) = 6.47cm$

$C_1 \equiv \mu_u / A_u = 1.00 / 1.00 = 1.00$

$d_{dt}^* = 2.41m/s \cdot \left[ \frac{1.03s}{2n} \right]^2 = 6.47cm$

$dt^* = 1.00 \cdot 6.47cm = 6.47cm$

$dy = 8.36cm, dt = 8.36cm$

---

**4. Μέγιστη επιτάχυνση max a<sub>u</sub> για λ<sub>max</sub> = 1 και επιτελεστικότητα SD.**

$\max q = 0.278 \geq 0.160$  (ok)

**Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.**

$$q_s = q_u = \frac{S_{ay}}{S_{a1}} \geq 1.0$$

$\max q = 0.284 \geq 0.160$  (ok)

$q_s = \frac{2.41m/s^2}{1.38m/s^2} = 1.74$

---

**5.**

$q_s = \frac{2.16m/s^2}{1.84m/s^2} = 1.18$

**Παράγοντας υπεραντοχής q<sub>s</sub>.**

$$q_s = q_u = \frac{S_{ay}}{S_{a1}} \geq 1.0$$

$q_s = \frac{2.41m/s^2}{1.38m/s^2} = 1.74$



## Παράρτημα Β

Στο Παράρτημα Β θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το περιβαλλοντικό πρόγραμμα One Click LCA.

Στο πρόγραμμα για κάθε εναλλακτική λύση καθορίστηκαν τα υλικά της κατασκευής και μετέπειτα εισήχθησαν το βάρος του σιδηρού οπλισμού καθώς και ο όγκος του σκυροδέματος. Επιπλέον καθορίστηκε το μεταφορικό μέσο που θα μεταφέρει τα υλικά. Αφού έγιναν οι αναλύσεις του προγράμματος προέκυψε ένα γενικό (Total) αποτέλεσμα το οποίο σχετίζεται με την παγκόσμια υπερθέρμανση (Global Warming).

*Εναλλακτική 1:* Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση τετραγωνικών υποστρωμάτων διαστάσεων 50x50.

**Building materials** > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Material: Filter: Country: Filter: Data source: Filter: Type: Filter: Upstream: Filter: CO2e: Filter: Unit: Filter: Properties: Filter: Save

Start typing or click the arrow

**3. Horizontal structures: beams, floors and roofs** 148 Tons CO<sub>2e</sub> - 100 %

Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof Create a group Move materials Add to compare (1)

Start typing or click the arrow

Resource	Quantity	CO <sub>2e</sub>	Comment	Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers
Steel sheets, generic, 100% recycle ?	48522.70 kg	48t - 32%		1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined
Ready-mix concrete, normal strength ?	610 m3	100t - 68%		1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined

4. Other structures and materials - out of scope - Add to scope

5. External areas and site elements - out of scope - Add to scope

6. Building technology - out of scope - Add to scope

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.7.2, Database version: 7.6

Βοήθεια

**Building materials** > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Material: Filter: Country: Filter: Data source: Filter: Type: Filter: Upstream: Filter: CO2e: Filter: Unit: Filter: Properties: Filter: Save

Start typing or click the arrow

Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers	Service life	Localisation	Repairyear (B3)	Wastage	EOL Process	Reused material
1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined	As building	X Greece IEA2019 None		3.3 %	Steel recycling	<input type="checkbox"/> Change -
1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined	As building	X Greece IEA2019 None		4 %	Concrete crushed to	<input type="checkbox"/> Change -

7.2, Database version: 7.6

Βοήθεια

**Results**

**Building life-cycle carbon footprint for Level(s) in compliancy with EN 15978** [Download Results Summary](#)

Incomplete lifecycle according to Level(s) definitions (Draft Beta v1.0)

Result category	Global warming kg CO <sub>2</sub> e	Biogenic carbon storage kg CO <sub>2</sub> e bio
A1-A3 Construction Materials	1,24E5	0E0
A4 Transportation to site	1,21E4	
A5 Construction/installation process	5,37E3	
B1 Use phase		Hide empty
B3 Repair	0E0	
B4-B5 Material replacement and refurbishment	0E0	
B6 Energy consumption		Hide empty
B7 Water use		Hide empty
C1-C4 End of life	6,75E3	
D External impacts (not included in totals)	-2,22E4	
<b>Total</b>	<b>1,48E5</b>	<b>0E0</b>

Εναλλακτική 2: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση γωνιακών υποστλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100.

**Building materials** > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Material: Filter, Country: Filter, Data source: Filter, Type: Filter, Upstream: Filter, CO<sub>2</sub>e: Filter, Unit: Filter, Properties: Filter, Save

Internal walls and non-bearing structures [Create a group](#) [Move materials](#) [Add to compare \(1\)](#)

Start typing or click the arrow

**3. Horizontal structures: beams, floors and roofs** 157 Tons CO<sub>2</sub>e - 100 %

Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof [Create a group](#) [Move materials](#) [Add to compare \(1\)](#)

Start typing or click the arrow

Resource	Quantity	CO <sub>2</sub> e	Comment	Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers
Steel sheets, generic, 100% recycle	54019.75 kg	53t - 34%		1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined
Ready-mix concrete, normal strength	630.95 m <sup>3</sup>	103t - 66%		1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined

4. Other structures and materials - out of scope - [Add to scope](#)

5. External areas and site elements - out of scope - [Add to scope](#)

6. Building technology - out of scope - [Add to scope](#)

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.7.2, Database version: 7.6 [Βοήθεια](#)

Building materials > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Clear Filter Filter Filter Filter Filter Filter Filter Filter Filter Filter Save

Workflow

Guidance

Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers	Service life	Localisation	Repairyear (B3)	Wastage	EOL Process	Reused material
1.3.1 Ground floor slab	370	Trailer combination, 40	Not defined	✓ Greece IEA2019	None	3.3 %	Steel recycling	<input type="checkbox"/>
1.1 Foundations (substructure)	60	Concrete mixer truck	Not defined	✓ Greece IEA2019	None	4 %	Concrete crushed to	<input type="checkbox"/>

7.2, Database version: 7.6

Βοήθεια

Results

Building life-cycle carbon footprint for Level(s) in compliancy with EN 15978 [Download Results Summary](#)

Incomplete lifecycle according to Level(s) definitions (Draft Beta v1.0)

Result category	Global warming kg CO <sub>2</sub> e	Biogenic carbon storage kg CO <sub>2</sub> e bio
A1-A3 Construction Materials	1,31E5	0E0
A4 Transportation to site	1,26E4	
A5 Construction/installation process	5,68E3	
B1 Use phase		Hide empty
B3 Repair	0E0	
B4-B5 Material replacement and refurbishment	0E0	
B6 Energy consumption		Hide empty
B7 Water use		Hide empty
C1-C4 End of life	7,14E3	
D External impacts (not included in totals)	-2,3E4	
<b>Total</b>	<b>1,57E5</b>	0E0

Workflow

Guidance

Εναλλακτική 3: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση πλευρικών τοιχωμάτων διαστάσεων 200/30 και 30/200.

Building materials > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Material: Filter, Country: Filter, Data source: Filter, Type: Filter, Upstream: Filter, CO2e: Filter, Unit: Filter, Properties: Filter, Save

Saved successfully. Since last edit, Global warming reduced by 3 186 kg CO2e, or -2.035 %

### 3. Horizontal structures: beams, floors and roofs

153 Tons CO2e - 100 %

Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof Create a group Move materials Add to compare (1)

Start typing or click the arrow

Resource	Quantity	CO2e	Comment	Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers
Steel sheets, generic, 100% recycle	49675.30 kg	49t - 32%		1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined
Ready-mix concrete, normal strength	637.60 m3	105t - 68%		1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined

4. Other structures and materials - out of scope - Add to scope

5. External areas and site elements - out of scope - Add to scope

6. Building technology - out of scope - Add to scope

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.7.2, Database version: 7.6

Βοήθεια

Building materials > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Material: Filter, Country: Filter, Data source: Filter, Type: Filter, Upstream: Filter, CO2e: Filter, Unit: Filter, Properties: Filter, Save

Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers	Service life	Localisation	Repair/year (B3)	Wastage	EOL Process	Reused material
1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined	As building	X Greece IEA2019 None	3.3 %	Steel recycling	<input type="checkbox"/>	Change
1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined	As building	X Greece IEA2019 None	4 %	Concrete crushed to	<input type="checkbox"/>	Change

7.2, Database version: 7.6

Βοήθεια

### Results

#### Building life-cycle carbon footprint for Level(s) in compliancy with EN 15978

Incomplete lifecycle according to Level(s) definitions (Draft Beta v1.0)

Result category	Global warming kg CO2e	Biogenic carbon storage kg CO2e bio
A1-A3 Construction Materials	1,28E5	0E0
A4 Transportation to site	1,26E4	
A5 Construction/installation process	5,58E3	
B1 Use phase		
B3 Repair	0E0	
B4-B5 Material replacement and refurbishment	0E0	
B6 Energy consumption		
B7 Water use		
C1-C4 End of life	7,02E3	
D External impacts (not included in totals)	-2,32E4	
<b>Total</b>	<b>1,63E5</b>	<b>0E0</b>

Εναλλακτική 4: Κτίριο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τοποθέτηση γωνιακών υποστυλωμάτων διαστάσεων 30/100/30/100, τοιχωμάτων διαστάσεων 150/30, 30/150, 170/30 και τετραγωνικών υποστυλωμάτων διαστάσεων 50x50.

Building materials > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Material: Filter, Country: Filter, Data source: Filter, Type: Filter, Upstream: Filter, CO2e: Filter, Unit: Filter, Properties: Filter, Save

3. Horizontal structures: beams, floors and roofs 162 Tons CO<sub>2</sub>e - 100 %

Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof Create a group Move materials Add to compare (1)

Start typing or click the arrow

Resource	Quantity	CO <sub>2</sub> e	Comment	Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers
Steel sheets, generic, 100% recycle	55011.85 kg	54t - 33%		1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined
Ready-mix concrete, normal strength	656.65 m <sup>3</sup>	108t - 67%		1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined

4. Other structures and materials - out of scope - Add to scope

5. External areas and site elements - out of scope - Add to scope

6. Building technology - out of scope - Add to scope

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.7.2, Database version: 7.6

Βοήθεια

Building materials > Energy consumption, annual > Water consumption, annual > Construction site operations > Calculation period > Emissions and removals > Building area

Material: Filter, Country: Filter, Data source: Filter, Type: Filter, Upstream: Filter, CO2e: Filter, Unit: Filter, Properties: Filter, Save

Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers	Service life	Localisation	Repair/year (B3)	Wastage	EOL Process	Reused material
1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined	As building	X Greece IEA2019 None	3.3 %	Steel recycling	<input type="checkbox"/>	Change
1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined	As building	X Greece IEA2019 None	4 %	Concrete crushed to	<input type="checkbox"/>	Change

7.2, Database version: 7.6

Βοήθεια

Results

Building life-cycle carbon footprint for Level(s) in compliancy with EN 15978 [Download Results Summary](#)

Incomplete lifecycle according to Level(s) definitions (Draft Beta v1.0)

Result category	Global warming kg CO <sub>2</sub> e	Biogenic carbon storage kg CO <sub>2</sub> e bio
A1-A3 Construction Materials	1,35E5	0E0
A4 Transportation to site	1,31E4	
A5 Construction/installation process	5,87E3	
B1 Use phase		Hide empty
B3 Repair	0E0	Details
B4-B5 Material replacement and refurbishment	0E0	Details
B6 Energy consumption		Hide empty
B7 Water use		Hide empty
C1-C4 End of life	7,38E3	Details
D External impacts (not included in totals)	-2,39E4	Details
<b>Total</b>	<b>1,82E5</b>	<b>0E0</b>

Εναλλακτική 5: Κτίριο από Δομικό Χάλυβα με τοποθέτηση υποστυλωμάτων ΗΕΒ, δοκών ΙΡΕ, κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους SHS και πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος.

Columns and load-bearing vertical structures [Create a group](#) [Move materials](#) [Add to compare \(1\)](#)

**Building materials** > Energy consumption, annual Water consumption, annual Construction site operations > Calculation period Emissions and removals > Building area

Clear Material Country Data source Type Upstream CO2e Unit Properties Save

Saved successfully. Since last edit, Global warming reduced by 95 839 kg CO2e, or -59.241 %

**3. HORIZONTAL STRUCTURES: BEAMS, FLOORS AND ROOFS** 66 Tons CO2e - 100 %

Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof [Create a group](#) [Move materials](#) [Add to compare \(1\)](#)

Start typing or click the arrow

Resource	Quantity	CO2e	Comment	Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers
Steel sheets, generic, 100% recycle	11054.50 kg	11t - 17%		1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined
Ready-mix concrete, normal strength	335.90 m3	55t - 83%		1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined

4. Other structures and materials - out of scope - [Add to scope](#)

5. External areas and site elements - out of scope - [Add to scope](#)

6. Building technology - out of scope - [Add to scope](#)

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.7.2, Database version: 7.6

[Βοήθεια](#)

---

**Building materials** > Energy consumption, annual Water consumption, annual Construction site operations > Calculation period Emissions and removals > Building area

Clear Material Country Data source Type Upstream CO2e Unit Properties Save

**Building Parts** Transport, kilometers Transport, leg 2, kilometers Service life Localisation Repair/year (B3) Wastage EOL Process Reused material

Building Parts	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers	Service life	Localisation	Repair/year (B3)	Wastage	EOL Process	Reused material
1.3.1 Ground floor slab	370 Trailer combination, 40	Not defined	As building	✓ Greece IEA2019 None		3.3 %	Steel recycling	<input type="checkbox"/> Change
1.1 Foundations (substructure)	60 Concrete mixer truck	Not defined	As building	✓ Greece IEA2019 None		4 %	Concrete crushed to	<input type="checkbox"/> Change

7.2, Database version: 7.6

[Βοήθεια](#)

Results

Building life-cycle carbon footprint for Level(s) in compliancy with EN 15978 [Download Results Summary](#)

Incomplete lifecycle according to Level(s) definitions (Draft Beta v1.0)

Result category	Global warming kg CO <sub>2</sub> e	Biogenic carbon storage kg CO <sub>2</sub> e bio
A1-A3 Construction Materials	5,39E4	0E0
A4 Transportation to site	6,44E3	
A5 Construction/installation process	2,47E3	
B1 Use phase		
B3 Repair	0E0	
B4-B5 Material replacement and refurbishment	0E0	
B6 Energy consumption		
B7 Water use		
C1-C4 End of life	3,09E3	
D External impacts (not included in totals)	-1,22E4	
<b>Total</b>	<b>6,59E4</b>	<b>0E0</b>

Workflow  
Guidance