

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ
ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΑΠΑΗΛΙΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2024

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

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
Κωνσταντίνος Ρεπαπής (Επιβλέπων)	
Νικόλαος Πνευματικός (Εξεταστής)	
Ισαακ Βρυζίδης (Εξεταστής)	

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Παπαηλιού Μαρία του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 18394134 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/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 Ιδρύματός.

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

Η Δηλούσα

Παπαηλιού Μαρία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην τρωτότητα των κατασκευών. Καταγράφει τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών, όπως η μεταβολή της θερμοκρασίας, η εναλλαγή υγρασίας και η διαβρωτική επίδραση ουσιών.

Αναλύει τη συμπεριφορά του χάλυβα και του σκυροδέματος υπό υψηλές θερμοκρασίες, τους μηχανισμούς διάβρωσης, τα είδη διάβρωσης και τις επιπτώσεις στις μεταλλικές κατασκευές και τα κτίρια.

Επισημαίνει τις αιτίες και τα είδη της διάβρωσης του χάλυβα και του σκυροδέματος, όπως η προσβολή από θεικές ενώσεις, η αλκαλοπυριτική αντίδραση και η ενανθράκωση. Αναλύει επίσης τα διάφορα είδη διάβρωσης, από την ομοιόμορφη μέχρι τη γαλβανική διάβρωση, και τις επιπτώσεις τους στις κατασκευές.

Εξετάζει την επίδραση των ακραίων καιρικών φαινομένων στις κατασκευές, όπως οι διαφορικές διαστολές και οι κύκλοι ψύξης-απόψυξης στο σκυρόδεμα.

Τέλος, αποτιμά την φέρουσα ικανότητα ενός κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα για διάφορες περιπτώσεις διάβρωσης του οπλισμού του. Μελετάται το κτίριο παρουσία και απουσία τοιχοποιίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ρεπαπή Κωνσταντίνο, που μου έδωσε την ευκαιρία να διερευνήσω ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και απόλυτα επίκαιρο ζήτημα των κατασκευών. Η καθοδήγησή του υπήρξε καθοριστική για την επιτυχή εκπόνηση της εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Ευχαριστίες	2
Κεφάλαιο 1	5
<u>ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ</u>	5
1.1 Ορισμός Κλίματος.....	5
1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα	6
1.3 Ορισμός Κλιματικής αλλαγής.....	7
1.4 Αίτια κλιματικής αλλαγής	8
1.5 Συνέπειες κλιματικής αλλαγής.....	9
1.6 Διεθνής νομοθεσία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.....	10
Κεφάλαιο 2	12
<u>ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ</u>	12
2.1 Αντοχή Σκυροδέματος.....	12
2.2 Αντοχή Χάλυβα.....	13
2.3 Ορισμός Ανθεκτικότητας.....	14
2.4 Ορισμός Χωρικής Ανθεκτικότητας	15
2.5 Ορισμός Αστικής Ανθεκτικότητας.....	16
2.6 Ανθεκτικότητα Δομικού Σκυροδέματος	16
2.7 Ανθεκτικότητα των Υποδομών	17
2.8 Ορισμός Κρίσιμων Υποδομών	18
Κεφάλαιο 3	19
<u>ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ</u>	19
3.1 Ορισμός Υπερθέρμανσης.....	19
3.2 Μεταφορά θερμότητας στις κατασκευές	23
3.3 Το Ο.Σ. υπό υψηλές θερμοκρασίες	26

3.4 Συμπεριφορά χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες	28
3.5 Διάβρωση Χάλυβα	29
3.6 Φθορά Σκυροδέματος.....	29
3.7 Ταχύτητα Διάβρωσης.....	30
3.8 Αίτια Διάβρωσης του Χάλυβα.....	31
3.9 Είδη Διάβρωσης.....	32
3.10 Ενανθράκωση σκυροδέματος	32
3.11 Επίδραση χλωριόντων	33
3.12 Ρηγμάτωση	34
3.13 Αλκαλοπυριτική Αντίδραση (ASR)	39
3.14 Φθορά λόγω των κύκλων πήξης – τήξης.....	40
3.15 Καταστροφές λόγω κλιματικής αλλαγής	44

Κεφάλαιο 4

48

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ

48

4.1 Σκοπός έρευνας	48
4.2 Λογισμικό Seisbuild	49
4.3 Ανελαστική στατική ανάλυση (pushover).....	53
4.4 Δεδομένα και παραδοχές στο υπό μελέτη κτίριο	55
5.5 Δοκιμές ελέγχου στο κτίριο χωρίς τοιχοποιία	57
5.6 Αναλύσεις στο κτίριο με πιλοτή	71

Κεφάλαιο 5

5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5

Βιβλιογραφία

5

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 3.1: Επώαση (Davoudi et al., 2009)	20
Σχήμα 3.2: Φούντωμα (Davoudi et al., 2009)	21
Σχήμα 3.3: Πλήρης ανάπτυξη (Davoudi et al., 2009)	22
Σχήμα 3.4: Καμπύλη T-t (Θωίδου & Φουτάκης, 2015)	24
Σχήμα 3.5: Η καμπύλη ISO 834 «θερμοκρασία αερίων» (Καλλιώρα & Πετράκου, 2011) 26	
Σχήμα 3.6: Απεικόνιση διείδυσης χλωριόντων (Hamin & Gurrán, 2009)	34
Σχήμα 3.7: Παράδειγμα ρωγμών πλαστικής συρρίκνωσης (McGranahan, Balk, & Anderson, 2007)	35
Σχήμα 3.8: Παράδειγμα ρωγμών συρρίκνωσης λόγω ξήρανσης (Bradley et al., 1999)	36
Σχήμα 3.9: Παράδειγμα θερμικής ρηγματώσεως (Baker et al., 2010)	37
Σχήμα 3.10: Παράδειγμα D-cracking (Gilmore & Clair, 2018)	38
Σχήμα 3.11: Παραδείγματα φθοράς από αλκαλοπυριτική αντίδραση (ASR) (Hamin & Gurrán, 2009)	39
Σχήμα 3.12: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα της συμπεριφοράς των διαφορετικών συνθέσεων σε συνθήκες ψύξης-απόψυξης. (Θωίδου & Φουτάκης, 2015)	41
Σχήμα 3.13: Παράδειγμα φθοράς από πήξη – τήξη σε δρόμους και καταστρώματα γεφυρών (Θωίδου & Φουτάκης, 2015; McGranahan et al., 2007)	42
Σχήμα 3.14: Συγκεντρωτική καταγραφή περιστατικών 1993-2018	47
Σχήμα 4.1: Προσομοίωση δοκού στο λογισμικό Seisbuild.	50
Σχήμα 4.2: Στόχοι Αποτίμησης ή Ανασχεδιασμού	51
Σχήμα 4.3: Κάτοψη των ορόφων του υπό μελέτη κτιρίου	56
Σχήμα 4.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση του εξεταζόμενου κτιρίου	57
Σχήμα 4.5: Ελαστικό Φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων	58
Σχήμα 4.6: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για το σεισμό σχεδιασμού	59
Σχήμα 4.7: Το κτίριο μετά την επιβολή του σεισμού σχεδιασμού	59
Σχήμα 4.8: Βλάβη σε μια δοκό του πρώτου ορόφου του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0.20g 60	

Σχήμα 4.9: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,20g.....	60
Σχήμα 4.10: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,158g και διάβρωση του οπλισμού του 5%	61
Σχήμα 4.11: Αστοχία μίας δοκού στον δεύτερο όροφο του κτιρίου με 5% διάβρωση του οπλισμού του	61
Σχήμα 4.12: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση 0,16g και 5% διάβρωση του	62
Σχήμα 4.13: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και διάβρωση του οπλισμού του 5%.....	62
Σχήμα 4.14: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση 0,141g και διάβρωση του οπλισμού του 10%	63
Σχήμα 4.15: Βλάβες στο κτίριο για εδαφική επιτάχυνση 0,141g και 10% διάβρωση του οπλισμού του	63
Σχήμα 4.16: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για το σεισμό σχεδιασμού και 10% διάβρωση του οπλισμού του	64
Σχήμα 4.17: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 10% διάβρωση του οπλισμού του	64
Σχήμα 4.18: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,120g και διάβρωση του οπλισμού του 15%	65
Σχήμα 4.19: Βλάβες στο κτίριο με εδαφική επιτάχυνση 0,120g και 15% διάβρωση του οπλισμού του	65
Σχήμα 4.20: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση 0,16g και 15% διάβρωση του οπλισμού.....	66
Σχήμα 4.21: Βλάβες στο κτίριο για εδαφική επιτάχυνση 0,16g και 15% διάβρωση του οπλισμού του	66
Σχήμα 4.22: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση του σεισμού 0,102g και 20% διάβρωση του οπλισμού	67
Σχήμα 4.23: Βλάβες στο κτίριο για εδαφική επιτάχυνση 0.102g και 20% διάβρωση του οπλισμού του	67
Σχήμα 4.24: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 20% διάβρωση του οπλισμού του	68

Σχήμα 4.25: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 20% διάβρωση του οπλισμού του	68
Σχήμα 4.26: Διάγραμμα διάβρωσης-σεισμικής επιτάχυνσης.....	70
Σχήμα 4.27: Απεικόνιση του υπό μελέτη κτιρίου.....	71
Σχήμα 4.28: Φάσμα σχεδιασμού του σεισμού.....	72
Σχήμα 4.29: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για τη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού.	72
Σχήμα 4.30: Το κτίριο υπό την επιβολή του σεισμού σχεδιασμού.....	73
Σχήμα 4.31: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,164g.....	73
Σχήμα 4.32: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,164g.....	74
Σχήμα 4.33: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,149g και 5% διάβρωση του οπλισμού του	74
Σχήμα 4.34: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,149g και 5% διάβρωση του οπλισμού του	75
Σχήμα 4.35: Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 5% διάβρωση του οπλισμού.....	75
Σχήμα 4.36: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 5% διάβρωση του οπλισμού του	76
Σχήμα 4.37: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,134g και 10% διάβρωση του οπλισμού του	76
Σχήμα 4.38: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,134g και 10% διάβρωση του οπλισμού του	77
Σχήμα 4.39: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 10% διάβρωση του οπλισμού του	77
Σχήμα 4.40: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 10% διάβρωση του οπλισμού του	78
Σχήμα 4.41: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,104g και 15% διάβρωση του οπλισμού του	78
Σχήμα 4.42: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,104g και διάβρωση του οπλισμού του 15%.....	79
Σχήμα 4.43: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και διάβρωση του οπλισμού του 15%	79

Σχήμα 4.44: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 15% διάβρωση του οπλισμού του	80
Σχήμα 4.45: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,090g και διάβρωση του οπλισμού 20%.....	80
Σχήμα 4.46: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,090g και διάβρωση του οπλισμού του 20%.....	81
Σχήμα 4.47: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και διάβρωση του οπλισμού του 20%	81
Σχήμα 4.48: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 20% διάβρωση του οπλισμού του	82
Σχήμα 4.49: Διάγραμμα διάβρωσης-σεισμικής επιτάχυνσης για το κτίριο με τοιχοποιία .	83

Κεφάλαιο 1

ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

Κλίμα ονομάζεται η μέση καιρική κατάσταση ή καλύτερα ο μέσος καιρός μιας περιοχής, που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων (Gilmore & Clair, 2018).

Ο κλιματικός ορισμός αναφέρεται στη μακροχρόνια παρατήρηση του καιρού σε μια συγκεκριμένη περιοχή του πλανήτη. Αυτός ο ορισμός είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας στατιστικής ανάλυσης, όπου συλλέγονται μετεωρολογικά δεδομένα, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, οι βροχοπτώσεις και άλλες μετρήσεις καιρού, κατά μήκος ενός εκτεταμένου χρονικού διαστήματος, συνήθως τουλάχιστον 30 ετών. Ο κλιματικός ορισμός επιτρέπει τη δημιουργία ενός πλαισίου για την κατανόηση των μακροπρόθεσμων μεταβολών στις καιρικές συνθήκες μιας περιοχής. Μέσω αυτής της ανάλυσης, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις εποχιακές και ετήσιες μεταβολές, τις τάσεις και τις πιθανές αλλαγές στο κλίμα, και να δημιουργήσουμε μια συνολική εικόνα των καιρικών προτύπων στην περιοχή (Hamin & Gurrán, 2009).

Αυτός ο κλιματικός ορισμός είναι θεμελιώδης για πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων της γεωργίας, της κατασκευής, της προστασίας του περιβάλλοντος και της αναπτυξιακής πολιτικής, καθώς επιτρέπει την καλύτερη προσαρμογή στις κλιματικές συνθήκες και την πρόβλεψη των αλλαγών που μπορεί να επηρεάσουν μια περιοχή στο μέλλον.

1.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΚΛΙΜΑ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα είναι πολλοί και ποικίλοι και περιλαμβάνουν τόσο φυσικούς όσο και ανθρωπογενείς παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες συνεργούν μεταξύ τους για να καθορίσουν το κλίμα μιας περιοχής. Εδώ είναι μια ανάλυση των κυριότερων παραγόντων (Davoudi et al., 2009):

1. **Ηλιακή Ακτινοβολία:** Η ενέργεια που λαμβάνει η Γη από τον ήλιο επηρεάζει τη θερμοκρασία και το κλίμα. Οι περιοχές που λαμβάνουν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία έχουν τάσεις για υψηλότερες θερμοκρασίες.
2. **Θάλασσες και Ωκεανοί:** Οι θάλασσες απορροφούν, αποθηκεύουν και απελευθερώνουν θερμότητα, επηρεάζοντας τη θερμοκρασία του αέρα και το κλίμα των παράκτιων περιοχών.
3. **Ατμόσφαιρα:** Ο σύνθετος αέρας της ατμόσφαιρας αλληλεπιδρά με την ηλιακή ακτινοβολία και τα αέρια με θέρμανση και ψύξη, προκαλώντας τα καιρικά φαινόμενα.
4. **Επιφάνεια Γης:** Το έδαφος, το νερό, οι πόλεις, τα δάση και άλλες επιφάνειες απορροφούν, αντανακλούν ή απελευθερώνουν θερμότητα, επηρεάζοντας τον τοπικό κλιματικό χαρακτήρα.
5. **Ανθρωπογενείς Δραστηριότητες:** Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών, η αστικοποίηση και οι βιομηχανικές εκπομπές αερίων, επηρεάζουν τις συνθήκες του κλίματος και προκαλούν την κλιματική αλλαγή.
6. **Ηλιοφανής Ακτινοβολία:** Η ακτινοβολία από τον ήλιο που ανακλάται από την επιφάνεια της Γης επηρεάζει τη θερμοκρασία και την κατανομή της θερμότητας σε διάφορες περιοχές.
7. **Πολιτικές και Οικονομικές Αποφάσεις:** Οι κυβερνητικές πολιτικές, όπως οι πρωτοβουλίες για τη μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου, επηρεάζουν το κλίμα σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι παραπάνω παράγοντες αλληλεπιδρούν σε ένα σύνθετο δίκτυο και διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό των κλιματικών συνθηκών σε κάθε περιοχή του πλανήτη. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων είναι κρίσιμη για την πρόβλεψη και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της στον πλανήτη και την ανθρώπινη κοινωνία.

1.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται στην μακροπρόθεσμη μεταβολή των κλιματικών συνθηκών στη Γη. Αυτή η μεταβολή περιλαμβάνει αλλαγές στη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις, τα κύματα ζέστης, τα κύματα κρύου, τα κλιματολογικά μοτίβα και τις καιρικές συνθήκες σε παγκόσμιο ή περιφερειακό επίπεδο. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να είναι φυσικές, ανθρωπογενείς ή συνδυασμός και των δύο (Markolfa et al., 2019).

Η κύρια ανησυχία σχετικά με την κλιματική αλλαγή είναι η αύξηση των επιπτώσεών της λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, κυρίως της καύσης ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Αυτές οι δραστηριότητες αυξάνουν το περιεχόμενο θερμοκηπίου αερίων στην ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το μεθάνιο (CH₄), τα οποία αυξάνουν το θερμοκήπιο και προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας της Γης (Gilmore & Clair, 2018).

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πολλαπλές και περιλαμβάνουν την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, τη συχνότερη εμφάνιση και ένταση καταιγίδων, τη σημαντική αύξηση των θερμοκυμάτων, τη μείωση του παγκόσμιου παγετώνα και πολλά άλλα. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή έχει επίπτωση στη βιοποικιλότητα, τη γεωργία, και την ανθρώπινη υγεία.

1.4 ΑΙΤΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η κλιματική αλλαγή προκαλείται από πολλούς παράγοντες, κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που αυξάνουν τις εκπομπές θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Οι κυριότερες αιτίες της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν (McGranahan et al., 2007):

1. **Καύση Ορυκτών Καυσίμων:** Η καύση πετρελαίου, φυσικού αερίου και άλλων ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και για την οδική κυκλοφορία, εκπέμπει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα.
2. **Αποψίλωση Δασών:** Η αποψίλωση των δασών για τη γεωργία, την εκμετάλλευση ξυλείας και την αστικοποίηση επηρεάζει τον κύκλο του άνθρακα και αυξάνει τις εκπομπές CO₂.
3. **Εκπομπές από τη βιομηχανία:** Οι βιομηχανικές δραστηριότητες που συνδέονται με την παραγωγή ενέργειας, την κατασκευή, την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων και τη μεταφορά εκπέμπουν θερμοκηπίων αέρια όπως το μεθάνιο και το άζωτο.
4. **Γεωργία και Κτηνοτροφία:** Οι πρακτικές γεωργίας και κτηνοτροφίας, καθώς και η αποθήκευση και διάθεση των αποβλήτων τους, μπορούν να προκαλέσουν εκπομπές μεθανίου και αυξημένες εκπομπές αμμωνίας, οι οποίες επηρεάζουν το κλίμα.
5. **Διαχείριση Αποβλήτων:** Η ανάθεση αποβλήτων, ειδικά η ανάθεση οργανικών αποβλήτων σε χωματερές, μπορεί να προκαλέσει την απελευθέρωση μεθανίου.
6. **Εκπομπές από τις θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές:** Οι εκπομπές από τα πλοία και τα αεροπλάνα συμβάλλουν στην αύξηση των εκπομπών αερίων με θερμοκήπιο.

Οι παραπάνω αιτίες επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθιστώντας την ατμόσφαιρα πιο θερμή και συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας της Γης, με σοβαρές συνέπειες για το κλίμα και το περιβάλλον.

1.5 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η κλιματική αλλαγή έχει ευρείες και σημαντικές συνέπειες σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής και του περιβάλλοντος. Ορισμένες από τις κυριότερες συνέπειες περιλαμβάνουν (Mehrotra et al., 2011):

1. **Αύξηση της Θερμοκρασίας:** Η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης οδηγεί σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών και ζέστης, με επικίνδυνες συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, τη γεωργία και το περιβάλλον.
2. **Αύξηση της στάθμης της Θάλασσας:** Η κλιματική αλλαγή συμβάλλει στην τήξη των πάγων και τη διαστολή του ύδατος, οδηγώντας σε αύξηση της στάθμης της θάλασσας, που απειλεί παράκτιες περιοχές και νησιά.
3. **Συχνότερες και Έντονες Καταιγίδες:** Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με συχνότερες και πιο έντονες καταιγίδες, που μπορούν να προκαλέσουν πλημμύρες, ερημοποίηση, κατολισθήσεις και άλλες φυσικές καταστροφές.
4. **Μείωση των Πόρων Νερού:** Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη διαθεσιμότητα του νερού, με μείωση των ποσοτήτων νερού σε πολλές περιοχές, προκαλώντας προβλήματα ύδρευσης και άρδευσης.
5. **Επιπτώσεις στη Γεωργία:** Οι αλλαγές στο κλίμα επηρεάζουν την παραγωγή τροφίμων και την γεωργία, με μείωση των αποδόσεων και αύξηση των αγροτικών προβλημάτων.
6. **Επιδράσεις στην Υγεία:** Οι υψηλές θερμοκρασίες και οι αλλαγές στο κλίμα συνδέονται με αυξημένο κίνδυνο για θερμοπληξία, αναπνευστικές ασθένειες και άλλα προβλήματα υγείας.
7. **Σημαντική Αύξηση των Κλιματικών Καταστροφών:** Οι φυσικές καταστροφές όπως οι τυφώνες, οι πλημμύρες και οι πυρκαγιές γίνονται πιο επικίνδυνες και εκτεταμένες λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της αλλαγής των κλιματολογικών μοτίβων.

8. **Απώλεια Βιοποικιλότητας:** Η κλιματική αλλαγή απειλεί τη βιοποικιλότητα με αλλαγές στα οικοσυστήματα και την εξαφάνιση ειδών.
9. **Επιδράσεις στην Οικονομία:** Η κλιματική αλλαγή έχει οικονομικές επιπτώσεις μέσω των ζημιών σε υποδομές, αγροτικές παραγωγές, την ασφαλιστική αγορά και την τουριστική βιομηχανία.
10. **Επιδράσεις στις Κοινότητες:** Οι ανθρώπινες κοινότητες, ιδιαίτερα οι ευάλωτες ομάδες, είναι επίσης επηρεασμένες από την κλιματική αλλαγή, με καταστροφή σπιτιών, απώλεια θέσεων εργασίας και κοινωνικές αναταραχές.

1.6 ΔΙΕΘΝΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η διεθνής νομοθεσία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής βασίζεται κυρίως σε δύο κύριες συμφωνίες και οργανισμούς (Horizon, 2020):

1. **Συμφωνία του Παρισιού (Paris Agreement):** Η Συμφωνία του Παρισιού, που υιοθετήθηκε το 2015 κατά τη διάρκεια της 21ης Διάσκεψης των Μερών της Συνθήκης-Πλαισίου των "Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC)," αποτελεί το κύριο διεθνές νομικό κείμενο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Στόχος της συμφωνίας είναι η περιορισμένη αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από 2°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, με προσπάθειες για να περιοριστεί στον 1,5°C. Η συμφωνία προβλέπει επίσης τη μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου και την προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
2. **Συνθήκη-Πλαίσιο των "Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC):** Η UNFCCC είναι η θεμελιώδης συνθήκη που δημιούργησε το πλαίσιο για τη διαχείριση της κλιματικής αλλαγής σε διεθνές επίπεδο. Πρωταρχικός στόχος της UNFCCC είναι η σταθεροποίηση των επιπέδων των εκπομπών θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και η επίτευξη αειφόρου ανάπτυξης. Πολλές διασκέψεις των

μερών της UNFCCC έχουν πραγματοποιηθεί προκειμένου να συζητηθούν και να εγκριθούν διάφορα πρότυπα και πρωτόκολλα για τη μείωση των εκπομπών.

Ορισμένοι σημαντικοί οργανισμοί και πρωτοβουλίες που δρουν στον τομέα της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), το Πρόγραμμα των "Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP), τη Διεθνή Ενέργεια και τον Οργανισμό για την Τροπική Δασοκομία (ITTO). Επίσης, πολλές χώρες δρουν ανεξάρτητα και αναπτύσσουν εθνικές πολιτικές και μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Κεφάλαιο 2

ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

2.1 ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η αντοχή του σκυροδέματος αποτελεί έναν καίριο παράγοντα στην ασφάλεια και την ανθεκτικότητα των κατασκευών, ειδικά όταν αντιμετωπίζουν διάφορες καταπονήσεις, όπως σεισμούς, ανέμους και φυσικές καταστροφές. Η αντοχή του σκυροδέματος αναφέρεται στην ικανότητά του να διατηρεί την ακεραιότητά του και τα φορτία που υποστηρίζει, ακόμα και υπό συνθήκες καταπόνησης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος περιλαμβάνουν την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται, τη σωστή σχεδίαση της κατασκευής, καθώς και τη τεχνική εκτέλεση. Ένας ισχυρός παράγοντας στην αντοχή του σκυροδέματος είναι η σωστή αναλογία και ποιότητα των συστατικών υλικών, όπως το σκυρόδεμα και ο χάλυβας.

Επίσης, η σωστή εφαρμογή της τεχνικής εκτέλεσης και η συντήρηση της κατασκευής είναι κρίσιμες. Τα σωστά συγκολλημένα στοιχεία και η επαρκής πυκνότητα του σκυροδέματος είναι απαραίτητα για την εξασφάλιση της αντοχής του.

Επιπλέον, η αντοχή του σκυροδέματος πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στις συνθήκες όπου βρίσκεται η κατασκευή. Για παράδειγμα, σε περιοχές με σεισμική δραστηριότητα, η αντοχή πρέπει να είναι υψηλή για να αντισταθεί στις σεισμικές δονήσεις.

Τέλος, η επαρκής συντήρηση και η πρόληψη των υποτροπών είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της αντοχής του σκυροδέματος στον χρόνο. Αυτό περιλαμβάνει την περιοδική επιθεώρηση και επισκευή των κατασκευών.

2.2 ΑΝΤΟΧΗ ΧΑΛΥΒΑ

Η αντοχή του χάλυβα αποτελεί έναν ζωτικής σημασίας παράγοντα σε πολλούς τομείς, όπως στην κατασκευή, τη μεταλλουργία, την αεροναυπηγική, την αυτοκινητοβιομηχανία και πολλούς άλλους. Η αντοχή του χάλυβα αναφέρεται στην ικανότητά του να αντέχει σε καταπονήσεις, πίεση, τάση, θερμοκρασία και άλλες δυνάμεις χωρίς να υποκύπτει σε αποτυχία.

Ο χάλυβας είναι ένας υλικός συνδυασμός σιδήρου και άνθρακα, ο οποίος ενισχύεται με πρόσθετες ενώσεις και επεξεργασίες για να επιτύχει τις επιθυμητές ιδιότητες αντοχής. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του χάλυβα περιλαμβάνουν τη σύστασή του, τη μεθοδολογία παραγωγής, τη θερμοκρασία επεξεργασίας και τη μηχανική επεξεργασία.

Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του χάλυβα περιλαμβάνουν (Bradley et al., 1999):

1. **Σύσταση του Χάλυβα:** Η σύσταση του χάλυβα περιλαμβάνει τα επίπεδα διαφορετικών στοιχείων και ενώσεων. Οι διάφοροι χημικοί συνδυασμοί επηρεάζουν τη σκληρότητα, την ελαστικότητα, την αντοχή στην κόπωση και άλλες ιδιότητες του χάλυβα.
2. **Θερμοκρασία Επεξεργασίας:** Η θερμοκρασία κατά τη διαδικασία παραγωγής επηρεάζει την κρυσταλλική δομή του χάλυβα και τη μικροδομή του. Η σωστή θερμοκρασία κατά την ψύξη και τη σκλήρυνση είναι ουσιώδης για την επίτευξη της απαιτούμενης αντοχής.
3. **Μηχανική Επεξεργασία:** Ο χάλυβας μπορεί να υποστεί διάφορες μηχανικές επεξεργασίες, όπως πρέσες, κυλινδρισμό και σφυρηλατήρια, προκειμένου να αποκτήσει τις απαιτούμενες ιδιότητες αντοχής.

Η αντοχή του χάλυβα είναι κρίσιμη σε πολλές εφαρμογές, όπως στην κατασκευή γεφυρών, κτιρίων, πλοίων και αεροσκαφών.

2.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η ανθεκτικότητα είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται στη μηχανική και την κατασκευή για να περιγράψει την ικανότητα ενός υλικού ή ενός συστήματος να αντέχει και να αντιστέκεται σε διάφορες μορφές φορτίων, πίεσης, καταπονήσεων, θραύσης ή παρορμητικών δυνάμεων χωρίς να υποκύπτει σε αποτυχία. Συνοψίζει την ικανότητα ενός υλικού, μιας κατασκευής ή ενός συστήματος να διατηρεί τη δομή και τις λειτουργίες του υπό αντίξοες συνθήκες (Bradley et al., 1999).

Η ανθεκτικότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η σύνθεση του υλικού, η γεωμετρία της κατασκευής, οι εφαρμοζόμενοι φορείς, οι συνθήκες περιβάλλοντος, η θερμοκρασία, η υγρασία και άλλοι παράγοντες. Η ανθεκτικότητα μπορεί να εκτιμηθεί μέσω δοκιμών μοντέλων ανάλυσης και προσομοιώσεων, και πρέπει να είναι αρκετά υψηλή για να διασφαλίσει την ασφάλεια και τη μακροζωία μιας κατασκευής ή ενός συστήματος (Baker et al., 2010).

Ο όρος "ανθεκτικότητα" χρησιμοποιείται επίσης σε πολλούς άλλους τομείς εκτός της μηχανικής, όπως στη βιολογία, στην ιατρική και στην ψυχολογία, όπου περιγράφει την ικανότητα ενός οργανισμού ή ενός ατόμου να αντέχει στην ασθένεια, το άγχος ή άλλες πιέσεις.

2.4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σήμερα, ο όρος ανθεκτικότητα είναι καθημερινά παρόν στην επιστήμη του χώρου και λειτουργεί είτε ως συμπληρωματικός παράγοντας είτε παράλληλα με τη βιώσιμη ανάπτυξη. Επιπλέον, εισάγει νέες, πιο προοδευτικές προσεγγίσεις στη σχεδίαση και σκέψη, ξεπερνώντας παρωχημένες και συνηθισμένες πρακτικές (Θωίδου & Φουτάκης, 2015).

Σύμφωνα με τους (Καλλιώρα & Πετράκου, 2011) κατά τις περιόδους κρίσεων διαφόρων ειδών, που βρίσκονται στο αποκορύφωμά τους, είναι φυσιολογικό να εκδηλώνεται αβεβαιότητα λόγω των απρόβλεπτων κοινωνικών και οικονομικών αλλαγών. Στο πλαίσιο αυτό, προκύπτει το ερώτημα ποια μορφή ανθεκτικότητας είναι πλέον κατάλληλη και αναγκαία, καθώς κάθε χώρα ή περιοχή ενδέχεται να έχει διαφορετικές ανάγκες.

Σχετικά με τη χωρική μελέτη, η ανθεκτικότητα αντιπροσωπεύει τη διατήρηση της αρχικής κατάστασης ενός χώρου κατά τη διάρκεια εξωτερικών πιέσεων για αλλαγές σε κοινωνικό, οικονομικό και φυσικό επίπεδο. Μετά την αντιμετώπιση αυτών των πιέσεων, ο χώρος επιδιώκει να επαναφέρει τα προηγούμενα επίπεδα ή ακόμη και να επιτύχει μια καλύτερη κατάσταση, εκμεταλλευόμενος την αποκτηθείσα εμπειρία (Καυκαλάς κ.α., 2015).

Η χωρική ανθεκτικότητα μπορεί να διακριθεί σε περιφερειακή και τοπική. Ως περιφερειακή ανθεκτικότητα ορίζεται η ικανότητα επαναφοράς της αρχικής κατάστασης ενός συστήματος σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο μετά από ένα έντονο γεγονός και η ανάδειξη και ο προσδιορισμός εκείνων των χαρακτηριστικών που συντέλεσαν στην επίτευξη αυτής της επαναφοράς με επιτυχία. (Θωίδου & Φουτάκης, 2015). Εδώ η ανθεκτικότητα εξετάζεται με την παρακολούθηση τεσσάρων στοιχείων που αλληλεπιδρούν το ένα στο άλλο, αλληλοεξαρτούνται και, πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η αντίσταση, η ανάκαμψη, η ανανέωση και ο επαναπροσανατολισμός του συστήματος.

2.5 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στο πλαίσιο αυτό, η ανθεκτικότητα αποκτά ξεχωριστά χαρακτηριστικά λόγω της πολύπλοκης φύσης των αστικών συστημάτων. Κάθε διαταραχή επηρεάζει το αστικό περιβάλλον σε τέτοιο βαθμό που η επαναφορά του στην αρχική κατάσταση γίνεται εξαιρετικά δύσκολη. Οι πόλεις, λόγω φύσης, υφίστανται πιέσεις και διαταραχές που επηρεάζουν την κανονική λειτουργία τους (Markolfa et al., 2019). Ο έλεγχος και η αξιολόγηση αυτών των πιέσεων αναδεικνύουν την αστική ανθεκτικότητα. Συνεπώς, η αστική ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα των ατόμων, των επιχειρήσεων, αλλά και των κοινοτήτων και των οργάνων που απαρτίζουν μια πόλη, να προσαρμόζονται και να εξελίσσονται ανεξάρτητα από τις πιέσεις που υφίστανται. Η ενδυνάμωση της αστικής ανθεκτικότητας προκύπτει μέσω της κατανόησης της δομής και των συστημάτων της πόλης, καθώς και των διαρκών ή επικρατούντων πιέσεων που ενδέχεται να ασκηθούν και να εμφανιστούν.

2.6 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι κύριοι λόγοι για τη μείωση της ανθεκτικότητας μιας κατασκευής από σκυρόδεμα μπορούν να διακριθούν σε εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες, καθώς και σε τρεις κύριες κατηγορίες παραγόντων: φυσικούς, χημικούς και μηχανικούς. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τρία υγρά από τα οποία η ανθεκτικότητα ενός κτιρίου μπορεί να επηρεαστεί (Markolfa et al., 2019):

1. Το νερό.
2. Ο ατμοσφαιρικός αέρας (συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του άνθρακα).
3. Ειδικά χημικά στοιχεία που μπορεί να βρίσκονται στο περιβάλλον όπου βρίσκεται το σκυρόδεμα.

Η διαπερατότητα είναι η ικανότητα των ανωτέρω υγρών να εισέρχονται στο σκυρόδεμα και να μεταφέρονται μέσα σε αυτό. Αυτή η μεταφορά μπορεί να λάβει χώρα μέσω διάφορων μηχανισμών, όπως η ροή μέσω πορώδους μέσου, η διάχυση και η απορρόφηση.

Τρεις παράγοντες επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος (Baker et al., 2010):

1. Η παρουσία νερού.
2. Η ύπαρξη συνδεδεμένων πόρων στο υλικό.
3. Η έκθεση σε διαβρωτικό περιβάλλον.

Καθένας από αυτούς τους παράγοντες μπορεί να επιβραδύνει τη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος, ενώ η συνύπαρξή τους μπορεί να οδηγήσει στην επιτάχυνση της φθοράς της κατασκευής.

2.7 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Το κρίσιμο χαρακτηριστικό όσον αφορά την ανθεκτικότητα των υποδομών είναι πως σχεδιάζονται, κατασκευάζονται και λειτουργούν έτσι ώστε να προσαρμόζονται και να αντιμετωπίζουν τις διαρκώς εκπληκτικές κλιματικές συνθήκες. Αυτές οι υποδομές πρέπει, δηλαδή, να αντέχουν, να ανταποκρίνονται και να ανακάμπτουν γρήγορα από τις απρόβλεπτες κλιματικές παραμονές. Η διασφάλιση αυτής της ανθεκτικότητας είναι μια διαρκής διαδικασία που επεκτείνεται σε όλη τη διάρκεια ζωής μιας υποδομής και επικυρώνεται με την επίμονη προσπάθεια προστασίας από φυσικούς κινδύνους (όπως σεισμοί). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ενώ ο κίνδυνος από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μπορεί να μειωθεί, δεν μπορεί να εξαλειφθεί πλήρως.

2.8 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Οι κρίσιμες υποδομές αναφέρονται σε βασικά συστήματα και υποδομές που αποτελούν την πλέον απαραίτητη υποδομή για την καθημερινή λειτουργία ενός κράτους, μιας περιφέρειας ή μιας κοινότητας. Αυτές οι υποδομές είναι ζωτικές για την διατήρηση της ασφάλειας, της υγείας, της οικονομίας και του ευημερούς τρόπου ζωής των πολιτών. Οι κρίσιμες υποδομές περιλαμβάνουν συνήθως τους εξής τομείς (Hamin & Gurrán, 2009):

1. **Ενέργεια:** Συμπεριλαμβάνει τα δίκτυα παραγωγής, διανομής και αποθήκευσης ενέργειας, όπως το ηλεκτρικό δίκτυο, τα πετρελαϊκά και φυσικό αέριο πεδία.
2. **Μεταφορές:** Συμπεριλαμβάνει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι και τα αγαθά μετακινούνται, συμπεριλαμβανομένων των οδικών, σιδηροδρομικών, θαλάσσιων και αεροπορικών δικτύων.
3. **Νερό και Αποχέτευση:** Περιλαμβάνει τις υδρολογικές δομές, τις υδρεύσεις, τη διαχείριση των αποβλήτων και την προστασία των υδάτων.
4. **Υγεία:** Συμπεριλαμβάνει νοσοκομεία, κλινικές, εγκαταστάσεις υγείας και ό,τι συνδέεται με την παροχή υπηρεσιών υγείας.
5. **Εκπαίδευση:** Σχολεία, πανεπιστήμια και άλλες εκπαιδευτικές υποδομές.
6. **Τηλεπικοινωνίες:** Δίκτυα επικοινωνιών και ευρυζωνικές υπηρεσίες που επιτρέπουν την επικοινωνία.

Κεφάλαιο 3

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

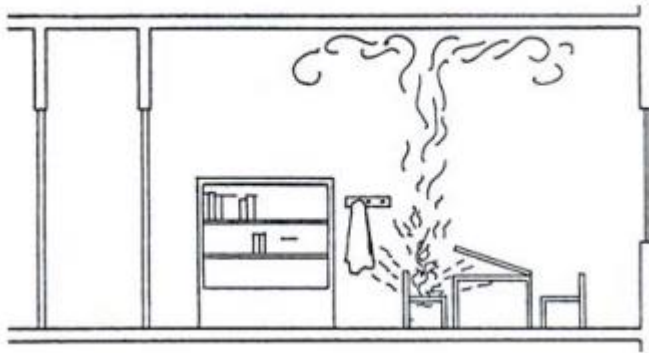
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Η υπερθέρμανση αναφέρεται στην κατάσταση όπου το σώμα ή ένα τμήμα του, όπως ένα όργανο ή μια ιστολογική περιοχή, έχει υψηλότερη θερμοκρασία από αυτήν που είναι φυσιολογική για τον οργανισμό. Η υπερθέρμανση μπορεί να οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες, όπως η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, η υπερβολική φυσιολογική δραστηριότητα, η έλλειψη υδροδότησης ή η αδυναμία του οργανισμού να αποτελέσει αποτελεσματική ψύξη (Mehrotra et al., 2011).

3.1.1 Οι 3 φάσεις μιας πυρκαγιάς

- **Η επώαση**

Μια φωτιά (ενδο-οικιακή) προκαλείται σε έναν χώρο όταν η ύλη που βρίσκεται μέσα σε αυτόν αποκτά επαρκή ποσότητα θερμικής ενέργειας. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω ενός αναμμένου τσιγάρου, μιας αναμμένης εστίας κουζίνας, ενός βραχυκυκλώματος ή ακόμα και μέσω αυτανάφλεξης του καυσίμου υλικού (υπό συγκεκριμένες συνθήκες). Οι κρίσιμοι παράγοντες για τη διαδικασία ανάφλεξης περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά της πηγής ενέργειας, το είδος και τις γεωμετρικές διαστάσεις των εκτεθειμένων καυσίμων υλικών και το χρονικό διάστημα που εκτίθενται στην πηγή ενέργειας. Μετά την αρχική ανάφλεξη, η φωτιά παράγει θερμική ενέργεια, μέρος της οποίας χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της καύσης. Το υπόλοιπο ποσό μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας και δια μεταφοράς σε άλλα υλικά, τα οποία θερμαίνονται και αναφλέγονται, συμβάλλοντας στην περαιτέρω εξάπλωση της φωτιάς. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το στάδιο της επώασης.

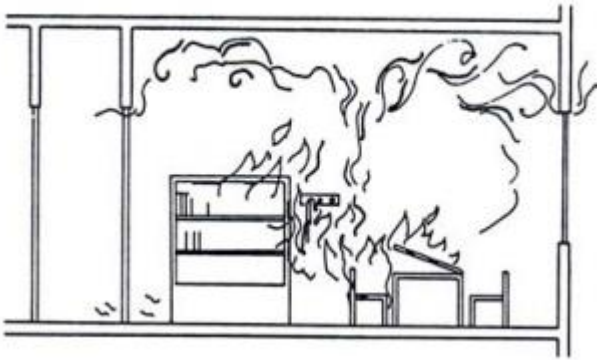


Σχήμα 3.1: Επώαση (Davoudi et al., 2009)

Η διαδικασία εκδήλωσης και εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς σε ένα πυροδιαμέρισμα εξαρτάται από:

- Τα χαρακτηριστικά του καυσίμου υλικού, όπως το μέγεθος, ο όγκος, το ύψος, η κατανομή, η στοίβαξη και οι ιδιότητες καύσης.
- Τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του πυροδιαμερίσματος.
- Το μέγεθος και το σχήμα του πυροδιαμερίσματος.
- Την ύπαρξη συστημάτων κατάσβεσης.

Κατά το στάδιο της επώασης, ένα στρώμα υπερθερμών αερίων συγκεντρώνεται κάτω από την οροφή και, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, μπορεί να προκαλέσει απότομη εξάπλωση της πυρκαγιάς σε μεγάλα μέρη του καυσίμου υλικού. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται "φούντωμα" (flash-over), είναι ορατό στο Σχήμα 3.2 και σηματοδοτεί τη μετάβαση από το στάδιο της επώασης στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης.



Σχήμα 3.2: Φούντωμα (Davoudi et al., 2009)

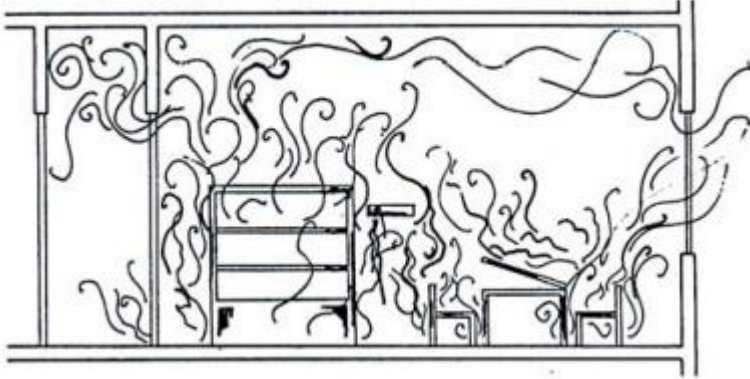
- **Η πλήρης ανάπτυξη**

Αυτό το στάδιο είναι κρίσιμης σημασίας για τη συμπεριφορά των φορέων μελών της κατασκευής, καθώς και για την εξάπλωση της πυρκαγιάς από πυροδιαμέρισμα σε πυροδιαμέρισμα, από όροφο σε όροφο ή και από κτίριο σε κτίριο. Τα χαρακτηριστικά του σταδίου αυτού εξαρτώνται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Ποσόν και είδος του καυσίμου υλικού στο πυροδιαμέρισμα.
- Πορώδες και σχήμα των κόκκων του καυσίμου υλικού.
- Στοίβαξη του καυσίμου υλικού στο πυροδιαμέρισμα.
- Ποσόν αέρα που διοχετεύεται μέσα στο πυροδιαμέρισμα στη μονάδα του χρόνου (αερισμός του πυροδιαμερίσματος).
- Γεωμετρία του πυροδιαμερίσματος.
- Θερμικές ιδιότητες των επιφανειών που περικλείουν το πυροδιαμέρισμα.

Οι πυρκαγιές σε στάδιο πλήρους ανάπτυξης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τις αερο-ελεγχόμενες και τις καυσιμο-ελεγχόμενες. Στην πρώτη κατηγορία, η καύση ελέγχεται από τον αερισμό του πυροδιαμερίσματος και δεν εξαρτάται σημαντικά από το ποσό και τον

τρόπο στοιβάξεως του καυσίμου υλικού, ενώ στη δεύτερη κατηγορία, η καύση ελέγχεται από το ποσόν του καυσίμου υλικού και είναι ουσιαστικώς ανεξάρτητη του αερισμού. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η πλήρης ανάπτυξη μιας φωτιάς.



Σχήμα 3.3: Πλήρης ανάπτυξη (Davoudi et al., 2009)

- **Η απόσβεση**

Στην περίπτωση της καυσιμο-ελεγχόμενης πυρκαγιάς, το τρίτο αυτό στάδιο ακολουθεί την πλήρη ανάπτυξη, όταν καεί το μεγαλύτερο μέρος του καυσίμου υλικού μέσα στο πυροδιαμέρισμα. Στην περίπτωση της αερο-ελεγχόμενης πυρκαγιάς, η απόσβεση ξεκινά όταν ο διατιθέμενος για την καύση αέρας μειωθεί κάτω από κάποιο όριο.

3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Η μεταφορά θερμότητας στις κατασκευές είναι η διαδικασία με την οποία η θερμότητα μετακινείται από ένα σημείο σε ένα άλλο εντός της κατασκευής. Αυτή η διαδικασία παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της θερμικής άνεσης εντός των κτιρίων και στην απόδοση των ενεργειακών συστημάτων.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι μεταφοράς θερμότητας στις κατασκευές (Mehrotra et al., 2011):

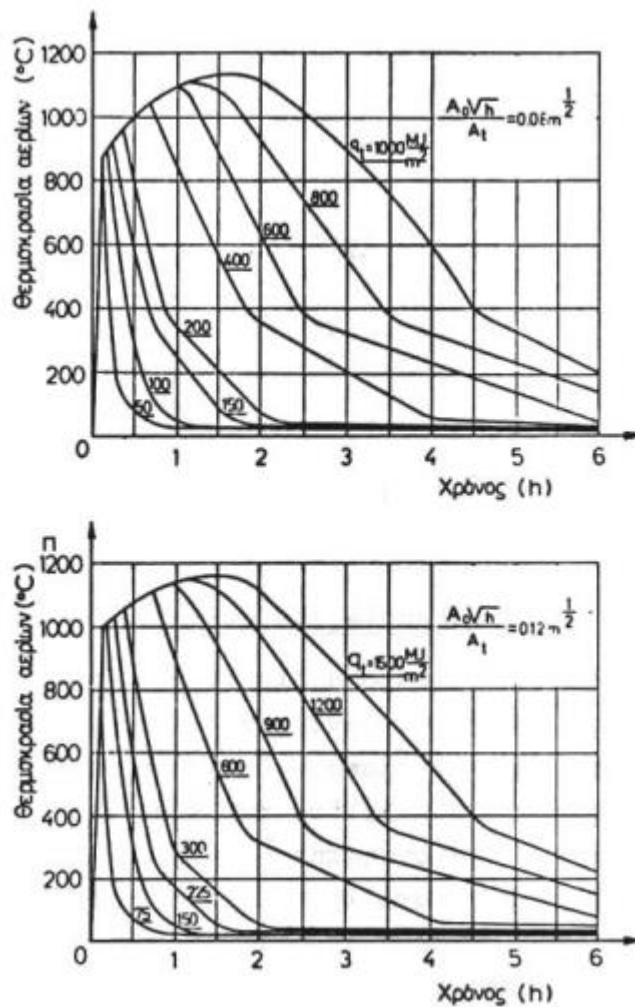
1. **Αγωγή:** Η μεταφορά θερμότητας μέσω της ουσίας του υλικού της κατασκευής. Αυτό συμβαίνει όταν οι μορφές θερμότητας διαδίδονται μέσα από το κατασκευαστικό υλικό, όπως το σκυρόδεμα ή το ξύλο. Η ταχύτητα αγωγής εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού.
2. **Ακτινοβολία:** Η μεταφορά θερμότητας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, όπως της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τον ήλιο. Αυτό είναι το πώς η θερμότητα μεταφέρεται από τον ήλιο στη γη και επηρεάζει τη θερμοκρασία των κτιρίων.

3.2.1 Καμπύλη θερμοκρασία αερίων

Ένα βασικό βήμα στη διαδικασία σχεδιασμού και αξιολόγησης κατασκευών για την αντοχή τους σε πυρκαγιές, είτε κατά την αξιολόγηση ενός κτιρίου που έχει υποστεί πυρκαγιά, είναι ο υπολογισμός των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στη μάζα των φερόντων στοιχείων. Για να βρεθούν αυτές οι θερμοκρασίες, απαιτείται η εκτίμηση της θερμοκρασίας των αερίων μέσα στο πυροδιαμέρισμα κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Κεντρική, λοιπόν, πληροφορία στη διαδικασία σχεδιασμού και αξιολόγησης είναι η κατανόηση της μεταβολής της θερμοκρασίας των αερίων σε σχέση με τον χρόνο μέσα σε ένα δεδομένο πυροδιαμέρισμα.

Για τα γνωστά χαρακτηριστικά καύσης της καυσίμου ύλης, η καμπύλη T-t μπορεί να υπολογιστεί μέσω των εξισώσεων ισορροπίας ενέργειας και μάζας στο πυροδιαμέρισμα. Φυσικά, πρέπει να ληφθούν υπόψη το μέγεθος, η γεωμετρία και ο αερισμός του πυροδιαμερίσματος, καθώς και οι θερμικές ιδιότητες των στοιχείων-επιφανειών που το περικλείουν.

Η εύρεση της καμπύλης T-t μέσω των δύο εξισώσεων ισορροπίας γίνεται με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού. Για παράδειγμα, ορισμένες τέτοιες "παραμετρικές" καμπύλες, βασισμένες σε παλαιότερες σουηδικές παρατηρήσεις, παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.4 ως δύο "οικογένειες" καμπυλών.



Σχήμα 3.4: Καμπύλη T-t (Θωίδου & Φουτάκης, 2015)

Κάθε οικογένεια καμπυλών αποτελείται από οκτώ καμπύλες, όπου καθεμιά αντιστοιχεί σε διαφορετική τιμή πυκνότητας καυσίμου φορτίου q_f . Όλες οι καμπύλες έχουν ισχύ για ένα πρότυπο πυροδιαμέρισμα το οποίο περικλείεται από επιφάνειες που αποτελούνται από ένα ιδεατό υλικό.

3.2.2 Καμπύλη ISO, Θερμοκρασία αερίων

Ο σχεδιασμός δομικών στοιχείων έναντι πυρκαγιάς σύμφωνα με τους Κανονισμούς των περισσότερων κρατών βασίζεται σε πειραματικά αποτελέσματα ανθεκτικότητας σε μια πρότυπη πυρκαγιά. Από τις διάφορες πρότυπες πυρκαγιές που υπάρχουν, η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη σήμερα είναι η ISO Standard 834.

Σε αυτήν την πρότυπη πυρκαγιά, τα δοκίμια εκτίθενται σε μια θερμοκρασία η οποία μεταβάλλεται με τον χρόνο σύμφωνα με τη σχέση:

$$T - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1), \quad (2.1)$$

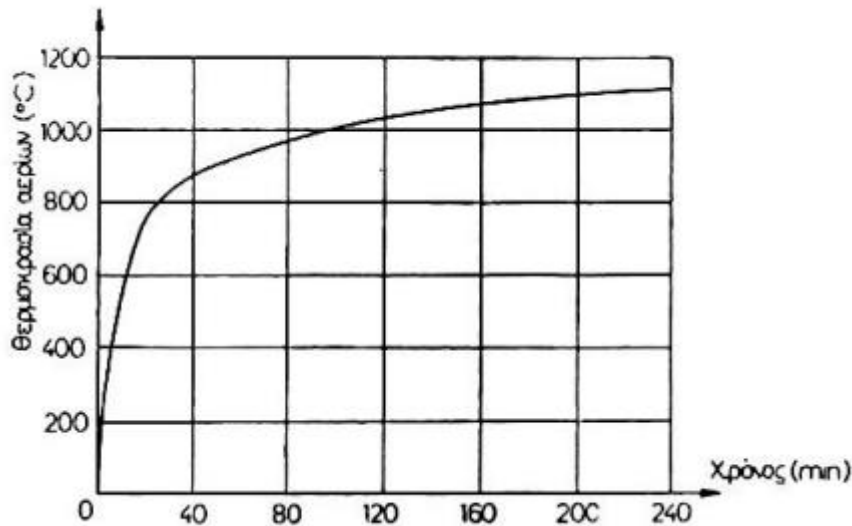
όπου:

- t : χρόνος [λεπτά]
- T : θερμοκρασία φούρνου τη χρονική στιγμή t [βαθμοί Κελσίου]
- T_0 : θερμοκρασία φούρνου τη χρονική στιγμή $t = 0$ [βαθμοί Κελσίου].

Παρόλο που η καμπύλη $T-t$ της ISO 834 (σύμφωνα με το Σχήμα 3.5) έχει αρκετά μειονεκτήματα, αποτελεί την περισσότερο χρησιμοποιούμενη σήμερα καμπύλη αυτού του είδους.

Υπενθυμίζεται ότι η καμπύλη ISO $T-t$ (και άλλες κανονιστικές) ισχύει μόνο για τον σχεδιασμό στοιχείων έναντι "πρότυπης" πυρκαγιάς, και όχι για την αποτίμηση της συμπεριφοράς καμένων κτιρίων και στοιχείων.

Ακόμα, επισημαίνεται ότι ακόμα και για τον σχεδιασμό, παρατηρούνται διαφορές (έως και έντονες) θερμοκρασιών του αέρα και της επιφάνειας των δοκιμίων μέσα στους φούρνους δοκιμών, οι οποίες εξαρτώνται και από το μέγεθος (φούρνου και δοκιμίου) και από τα θερμικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου.



Σχήμα 3.5: Η καμπύλη ISO 834 «θερμοκρασία αερίων» (Καλλιώρα & Πετράκου, 2011)

3.3 ΤΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Το οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελείται από το σκυρόδεμα και τον χαλύβδινο οπλισμό. Θεωρείται ένα από τα πιο κατάλληλα υλικά λόγω της εξαιρετικής συμπεριφοράς του σε συνθήκες φωτιάς. Το σκυρόδεμα δεν καίγεται, δεν διαδίδει τη φωτιά, δεν παράγει καπνό και τοξικά προϊόντα. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας στην εξωτερική επιφάνεια, το εσωτερικό κομμάτι του σκυροδέματος διατηρεί χαμηλή θερμοκρασία, προστατεύοντας τον οπλισμό για παρατεταμένο χρονικό διάστημα.

Παρόλα αυτά, το σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο υλικό και οι μηχανικές του ιδιότητες μπορούν να αλλάξουν δραματικά όταν εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Παρασκευάζεται από την ανάμιξη τσιμέντου, άμμου, νερού και αδρανών υλικών. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας, υπάρχουν αλλαγές στις θερμικές και μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος καθώς και στη μικροδομή του. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να είναι μη αναστρέψιμες, με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά η αντοχή του σκυροδέματος ακόμα και χωρίς εμφανή σημάδια ζημιάς.

Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αρχικά μόνο διόγκωση του υλικού, ενώ η εξάτμιση του ελεύθερου νερού στο εσωτερικό του συμβαίνει γύρω στους 100 – 140 βαθμούς Κελσίου. Στη συνέχεια, το χημικά δεσμευμένο νερό αρχίζει να εξατμίζεται μέχρι την θερμοκρασία των 800 βαθμών Κελσίου. Κατά τους 300 βαθμούς Κελσίου, το τσιμέντο αρχίζει να συρρικνώνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θλιπτική αντοχή του. Τέλος, στην περιοχή των 400 – 600 βαθμών Κελσίου, το υδροξύλιο του ασβεστίου διασπάται σε οξείδιο του ασβεστίου και νερό.

Η διάσπαση αυτή του ασβεστικού υλικού οδηγεί σε ακόμα μεγαλύτερη εξάτμιση του νερού και μπορεί να προκαλέσει αποφλοιώση του σκυροδέματος. Οι υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν επίσης τα αδρανή υλικά που περιέχει το σκυρόδεμα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση πυριτικών αδρανών, η μεταμόρφωση του α-χαλαζία σε β-χαλαζία συμβαίνει περίπου στους 575 βαθμούς Κελσίου, ενώ αν το σκυρόδεμα περιέχει ασβεστολιθικά αδρανή, η διάσπασή τους συμβαίνει στους 800 βαθμούς Κελσίου.

Όλες οι φυσικές και χημικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της αύξησης και της μείωσης της θερμοκρασίας εξαρτώνται από τον τύπο του τσιμέντου, τον τύπο των αδρανών υλικών και από τη συνοχή και αλληλεπίδραση των δύο. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι επίσης τα φορτία που δέχεται ο φορέας και τα επίπεδα υγρασίας στο εσωτερικό του. Είναι εμφανές ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων στις οποίες πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή.

Εκτός από τις χημικές αλλαγές στο σκυρόδεμα, υπάρχουν επίσης αλλαγές στα θερμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, μεταβάλλονται η πυκνότητα, η ειδική θερμότητα και η θερμική αγωγιμότητα του σκυροδέματος, ενώ μειώνεται η μέγιστη θλιπτική αντοχή του.

3.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η συμπεριφορά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες είναι ένα σημαντικό θέμα στη μηχανική και την βιομηχανία, καθώς ο χάλυβας χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευών, της αυτοκινητοβιομηχανίας και της ενέργειας. Η συμπεριφορά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, και μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής (Davoudi et al., 2009):

- **Συντελεστής Επιμήκυνσης:** Ο συντελεστής επιμήκυνσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που περιγράφει την επέκταση του χάλυβα κατά μήκος του όταν υπόκειται σε υψηλές θερμοκρασίες. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας, ο χάλυβας επιμηκώνεται, και ο συντελεστής επιμήκυνσης είναι ένας τρόπος για να μετρηθεί αυτή η επιμήκυνση.
- **Ισχύς Διατήρησης:** Ο χάλυβας διατηρεί τη μηχανική του αντοχή και σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό εξαρτάται από την κρυσταλλική δομή του χάλυβα και τον τύπο του. Ορισμένοι χάλυβες διατηρούν τη μηχανική τους ικανότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ άλλοι μπορεί να χάσουν αυτήν την ικανότητα πολύ γρήγορα.
- **Συμπεριφορά Κατά την Ψύξη:** Ο χάλυβας μπορεί να αλλάξει τη δομή του κατά την ψύξη από υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αναλλοίωτη μηχανική αντοχή ή ακόμα και σε στρέβλωση των κατασκευών.

3.5 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ

Η διάβρωση του χάλυβα αναφέρεται στην διαδικασία κατά την οποία ο χάλυβας υφίσταται φθορά και απώλεια της υλικής του δομής λόγω αντιδράσεων με το περιβάλλον, συνήθως με το νερό ή την υγρασία, και συχνά με οξυγόνο. Ο όρος "διάβρωση" χρησιμοποιείται κυρίως όταν αναφέρεται στη διαβρωτική επίδραση του νερού ή της υγρασίας στον χάλυβα.

Η διάβρωση μπορεί να οδηγήσει σε διάφορες μορφές φθοράς του χάλυβα, όπως τη σκουριά (οξειδωση), την κατάψυξη του χάλυβα (που προκαλείται από τον παγετό), τη διάβρωση από οξέα, και άλλες χημικές αντιδράσεις που προκαλούν απώλεια της αντοχής και της δομής του υλικού (Markolfa et al., 2019).

3.6 ΦΘΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η φθορά του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της υλικής του δομής λόγω των αντιδράσεών του με το περιβάλλον. Συμβαίνει συνήθως, όταν το νερό, τα χημικά, οι ατμοί ή άλλοι παράγοντες επιδρούν στην επιφάνεια του σκυροδέματος και προκαλούν αποδόμηση του υλικού (Mehrotra et al., 2011).

Μπορεί να εκδηλώνεται με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της εξόδου των ασταριών από την επιφάνειά του, της απώλειας της αντοχής, της αύξησης της πορώδους δομής, της καταστροφής της δομής του και άλλων επιπτώσεων στην ποιότητα και την αντοχή του.

3.7 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η ταχύτητα διάβρωσης αναφέρεται στον ρυθμό με τον οποίο το υλικό υφίσταται διάβρωση ή φθορά από εξωτερικούς παράγοντες, όπως το νερό, ο αέρας, οι χημικές ουσίες. Η ταχύτητα διάβρωσης εξαρτάται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους είναι (McGranahan et al., 2007):

1. **Είδος του υλικού:** Διάφορα υλικά διαφοροποιούν την αντοχή τους στη διάβρωση. Για παράδειγμα, ο χάλυβας μπορεί να διαβρώνεται γρήγορα από τη σκουριά, ενώ το αλουμίνιο είναι ανθεκτικό στην οξείδωση.
2. **Περιβαλλοντικές συνθήκες:** Η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση, ο αέρας και οι χημικοί παράγοντες στο περιβάλλον επηρεάζουν τη διάβρωση. Για παράδειγμα, το σκυρόδεμα σε υγρά και αλμυρά περιβάλλοντα μπορεί να υφίσταται ταχύτερη φθορά.
3. **Εκθέσεις σε χημικές ουσίες:** Κάποιες χημικές ουσίες μπορεί να προκαλέσουν γρήγορη διάβρωση. Για παράδειγμα, τα οξέα και τα αλκάλια μπορεί να διαβρώνουν τα υλικά.
4. **Σχεδιασμός και επεξεργασία των υλικών:** Οι μέθοδοι σχεδιασμού και επεξεργασίας των υλικών μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή τους στη διάβρωση. Για παράδειγμα, η προστασία με βαφές, επικαλύψεις ή καλή σχεδίαση μπορεί να μειώσει την ταχύτητα διάβρωσης.

3.8 ΑΙΤΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Οι αιτίες διάβρωσης του χάλυβα είναι πολλές και ποικίλες. Αυτές οι αιτίες μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση και απώλεια της υλικής δομής του χάλυβα. Κάποιες από τις κύριες αιτίες είναι: (Mehrotra et al., 2011)

1. **Ποιότητα Σκυροδέματος:** Η ποιότητα του σκυροδέματος στην οποία χρησιμοποιείται ο χάλυβας είναι κρίσιμη. Αν το σκυρόδεμα δεν είναι καλής ποιότητας, μπορεί να επιτρέψει στην υγρασία και τις επιβλαβείς ουσίες να διαπεράσουν το υλικό και να προκαλέσουν διάβρωση του χάλυβα.
2. **Προσβολή από θεικές ενώσεις:** Οι θεικές ενώσεις μπορεί να προκαλέσουν σκουριά (οξειδωση) του χάλυβα. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να προέλθουν από την ατμόσφαιρα, τα υπόγεια ύδατα ή από χημικά προϊόντα.
3. **Ενανθράκωση του σκυροδέματος:** Η ενανθράκωση σκυροδέματος είναι μια διαδικασία όπου ο άνθρακας αναμιγνύεται με το σκυρόδεμα, προκαλώντας διάβρωση του χάλυβα λόγω χημικών αντιδράσεων.
4. **Επίδραση χλωριόντων:** Τα χλωριοντικά άλατα, όπως το νάτριο και το χλώριο, μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση του χάλυβα, κυρίως σε περιβάλλοντα με υψηλή υγρασία.
5. **Αλκαλοπυριτική αντίδραση:** Αυτή η αντίδραση συμβαίνει όταν τα αλκάλια συναντούν τον πυρίτη στο σκυρόδεμα, έχει ως αποτέλεσμα τη ρηγμάτωσή του τελευταίου και συνεπώς τη διάβρωση του χάλυβα.
6. **Μεταφορά υγρασίας στις κατασκευές:** Η εισροή νερού μέσω ρωγμών ή άλλων αστοχιών στο σκυρόδεμα μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωση του χάλυβα.
7. **Ρωγμές:** Οι ρωγμές στο σκυρόδεμα μπορούν να επιτρέψουν την είσοδο νερού και επιβλαβών ουσιών, προκαλώντας διάβρωση του χάλυβα.

3.9 ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

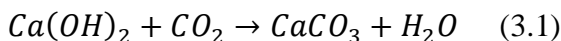
Η διάβρωση μπορεί να εμφανίζεται σε διάφορες μορφές, ανάλογα με την αιτία και τις συνθήκες που επιδρούν στο υλικό.

Οι τρεις βασικοί λόγοι διάβρωσης του χάλυβα είναι (Davoudi et al., 2009):

1. Ενανθράκωση του σκυροδέματος
2. Επίδραση χλωριόντων
3. Ρωγμές

3.10 ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η ενανθράκωση συμβαίνει όταν το CO_2 που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα διεισδύει στην επιφάνεια του σκυροδέματος και αντιδρά με το $Ca(OH)_2$ σχηματίζοντας $CaCO_3$ και νερό.



Το pH του σκυροδέματος είναι περίπου 12,5, που σημαίνει ότι οι ράβδοι στο εσωτερικό του βρίσκονται σε ένα υψηλά αλκαλικό περιβάλλον που τις προστατεύει από την οξείδωση. Η ενανθράκωση μειώνει την τιμή pH του σκυροδέματος σε μικρότερη από 9, λόγω της μείωσης του $Ca(OH)_2$. Αυτή η μείωση έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή του παθητικού στρώματος οξειδίων του σιδήρου γύρω από τις χαλύβδινες ράβδους και επομένως την έκθεσή τους σε διάβρωση. Η αντοχή των ράβδων μειώνεται, ενώ παράλληλα παρατηρείται αύξηση του όγκου τους, που οδηγεί σε εσωτερική καταπόνηση του σκυροδέματος. Η καταπόνηση αυτή εκδηλώνεται με τη μορφή ρωγμών ή ακόμα και θρυμματισμό του σκυροδέματος (Fuhaid & Niaz, 2022).

Η ενανθράκωση επιταχύνεται σημαντικά από διάφορους παράγοντες, όπως αστάθειες, κενά, κακή ποιότητα δόνησης, κ.λπ. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ενανθράκωση παραμένει αόρατη για πολλά χρόνια και μόνο όταν ο οπλισμός οξειδωθεί, παρατηρούνται αρχικά μικρές ρωγμές λόγω της αύξησης του όγκου του. Ένα έντονο γεγονός (όπως σεισμός ή κρούση) πολλές φορές αποκαλύπτει την κατάσταση οξείδωσης λόγω αποκολλήσεων. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα της ενανθράκωσης περιλαμβάνουν (Gilmore & Clair, 2018):

α) Η αυξημένη περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης.

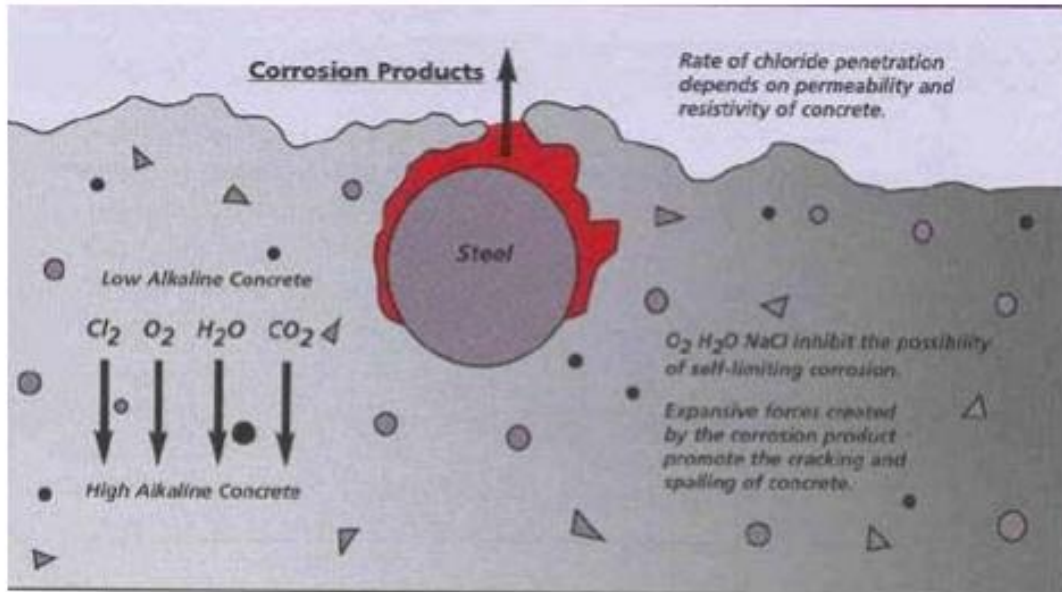
β) Η σχέση νερού προς τσιμέντο (W/Z): Το τσιμέντο χρειάζεται περίπου το 0.4 του βάρους του σε νερό, αλλά συχνά αυξάνεται αυτή η σχέση για εργασιμότητα, αφήνοντας πλεονάζον νερό που στη συνέχεια εξατμίζεται και αφήνει πόρους για την εμφάνιση της ενανθράκωσης.

γ) Η σχετική υγρασία του αέρα και η ποιότητα της επικάλυψης (Baker et al., 2010).

3.11 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ

Τα χλωριόντα μπορούν να διαπεράσουν το προστατευτικό στρώμα οξειδίων σιδήρου, που προστατεύει τις ράβδους από διάβρωση, όταν φτάνουν μέσω του νερού στους πόρους του σκυροδέματος. Τα ιόντα αυτά συναντώνται συχνότερα κοντά σε θαλάσσιες περιοχές.

Σημειώνεται ότι η ενανθράκωση και η διείσδυση των χλωριόντων δεν είναι ανεξάρτητες διαδικασίες. Στην πραγματικότητα, η ενανθράκωση επιταχύνει σημαντικά τη διείσδυση των χλωριόντων. Όταν το υδροξείδιο του ασβεστίου από τον στερεό ιστό του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, περιορίζει την ποσότητά τους και δεν τους επιτρέπει να φτάσουν με ευκολία στον οπλισμό. Ωστόσο, όταν το υδροξείδιο του ασβεστίου μετατραπεί σε ανθρακικό ασβέστιο λόγω της ενανθράκωσης, τα χλωριόντα που είχαν δεσμευτεί ελευθερώνονται και είναι διαθέσιμα για να επηρεάσουν το χάλυβα. Παράδειγμα επίδρασης χλωριόντων φαίνεται στο Σχήμα 3.6 (Horizon, 2020).



Σχήμα 3.6: Απεικόνιση διείσδυσης χλωριόντων (Hamin & Gurran, 2009)

3.12 ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος μπορεί να έχει έναν αριθμό αιτιών. Σε αυτό το έγγραφο θέλουμε να εστιάσουμε στους πιο κοινούς τύπους ρωγμών σε κατασκευές από σκυρόδεμα (Horizon, 2020).

Ρηγμάτωση πλαστικής συρρίκνωσης

Οι ρωγμές πλαστικής συρρίκνωσης συμβαίνουν λόγω της ταχύτατης απώλειας νερού από την επιφάνεια του σκυροδέματος πριν αυτό ωριμάσει. Αυτό συμβαίνει όταν το ποσοστό εξάτμισης της επιφανειακής υγρασίας του φρέσκου σκυροδέματος υπερβαίνει το ποσοστό που μπορεί να αντικαταστήσει το νερό που διαφεύγει κατά την εξίδρωση. Εφελκυστικές τάσεις αναπτύσσονται στο αδύναμο, πλαστικό σκυρόδεμα που ωριμάζει ως αποτέλεσμα του περιορισμού που προκαλείται από το σκυρόδεμα κάτω από το επιφανειακό στρώμα που ξηραίνεται. Οι ρωγμές πλαστικής συρρίκνωσης είναι συνήθως ρηχές από την φύση τους

και δεν διασταυρώνονται στην περίμετρο της πλάκας. Παράδειγμα πλαστικής συρρίκνωσης αποτελεί το Σχήμα 3.7 (McGranahan et al., 2007).

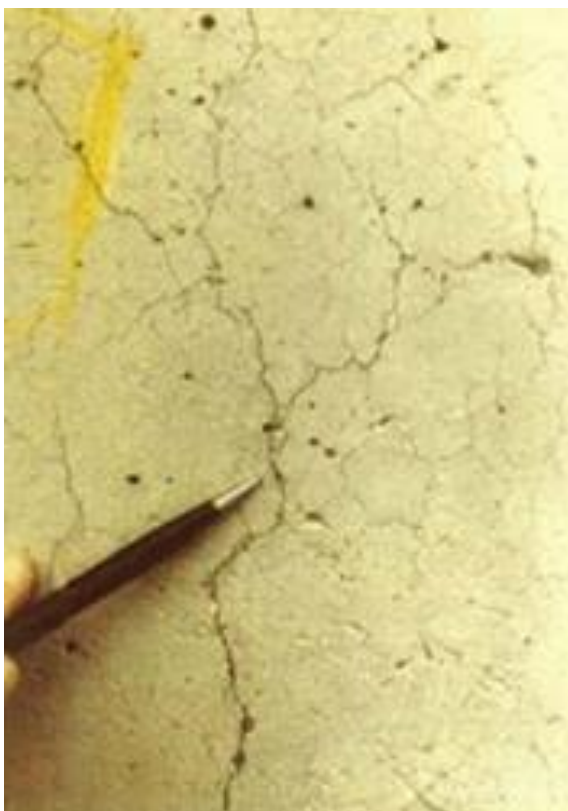


Σχήμα 3.7: Παράδειγμα ρωγμών πλαστικής συρρίκνωσης (McGranahan, Balk, & Anderson, 2007)

Ωστόσο, όπως κάθε ρωγμή, παρέχουν ένα πιθανό σημείο εισόδου για το νερό και τα χημικά στην δομή του σκυροδέματος και έτσι ένα σημείο εκκίνησης για την διαδικασία αποσάθρωσης.

Συρρίκνωση λόγω ξήρανσης

Καθώς σχεδόν κάθε σύνθεση σκυροδέματος περιέχει περισσότερο νερό από όσο χρειάζεται για να ενυδατωθεί το τσιμέντο, πολύ από το νερό που απομένει εξατμίζεται, προκαλώντας την συρρίκνωση του σκυροδέματος. Ο περιορισμός της συρρίκνωσης που παρέχεται από τη στρώση έδρασης, τον οπλισμό ή οποιοδήποτε άλλο τμήμα της κατασκευής, προκαλεί την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο ωριμασμένο σκυρόδεμα. Παράδειγμα ρωγμών συρρίκνωσης λόγω ξήρανσης φαίνεται στο Σχήμα 3.8 (McGranahan et al., 2007).



Σχήμα 3.8: Παράδειγμα ρωγμών συρρίκνωσης λόγω ξήρανσης (Bradley et al., 1999)

Ο περιορισμός από την συρρίκνωση λόγω ξήρανσης είναι η πιο κοινή αιτία ρηγματώσης του σκυροδέματος.

Θερμικές ρωγμές

Η θερμική ρηγμάτωση λαμβάνει χώρα όταν υπάρχει υπερβολική διαφορά θερμοκρασίας μέσα στην δομή του σκυροδέματος ή στα περίχωρά του. Αυτή η διαφορά στη θερμοκρασία προκαλεί μια μεγαλύτερη συστολή του ψυχρότερου μέρους επί των θερμότερων σημείων του σκυροδέματος, περιορίζοντας τη συστολή. Εάν ο περιορισμός προκαλέσει εφελκυστικές τάσεις που υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή του τοποθετημένου σκυροδέματος, θα προκληθούν θερμικές ρωγμές. Σε κάποιες κλιματικές ζώνες οι θερμικές ρωγμές μπορεί να προκληθούν ως αποτέλεσμα των διαφορών της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Κατά την διάρκεια της ημέρας οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν την θέρμανση και διόγκωση του σκυροδέματος. Την νύχτα η θερμοκρασία του αέρα πέφτει σημαντικά και οδηγεί σε συστολή της μάζας του σκυροδέματος. Αυτό μπορεί να προκαλέσει την ρηγμάτωση του σκυροδέματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9 (Hamin & Gurrin, 2009).



Σχήμα 3.9: Παράδειγμα θερμικής ρηγμάτωσης (Baker et al., 2010)

Λόγω της διόγκωσης και συστολής του σκυροδέματος σε διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας του αέρα, αυτές οι ρωγμές μπορεί να διευρυνθούν με την πάροδο του χρόνου.

D-cracking

Το D-cracking είναι μια μορφή ρηγμάτωσης λόγω του κύκλου πήξης – τήξης και συχνά παρατηρείται σε οδοστρώματα από σκυρόδεμα (συνήθως λαμβάνει χώρα ανάμεσα στους αρμούς). Η συσσώρευση νερού στην βάση του σκυροδέματος διαβρέχει μέχρι κορεσμού ολοκληρωτικά το αδρανές. Όταν αρχίσουν οι κύκλοι πήξης – τήξης το αδρανές ξεκινάει να ραγίζει όπως στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10: Παράδειγμα D-cracking (Gilmore & Clair, 2018)

Αυτή η διαδικασία συνήθως ξεκινάει από το βάθος της πλάκας και προοδευτικά ανεβαίνει στην επιφάνεια.

3.13 ΑΛΚΑΛΟΠΥΡΙΤΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ (ASR)

Η αλκαλοπυριτική αντίδραση (ASR) είναι η πιο κοινή μορφή χημικής αντίδρασης των αδρανών αλκαλικής βάσης (AAR) και μπορεί να προκαλέσει σοβαρή διόγκωση και ρηγματώση στο σκυρόδεμα, έχοντας ως αποτέλεσμα σοβαρά δομικά προβλήματα και μερικές φορές αναγκαία κατεδάφιση. Η ASR προκαλείται από την αντίδραση ανάμεσα στα αντιδρώντα μόρια πυριτικού συσσωματώματος και τα ιόντα υδροξυλίου του διαλύματος πόρων στο σκληρυμένο σκυρόδεμα.. Το προϊόν της αντίδρασης αυτής είναι ένα ζελατινώδες υλικό, που διογκώνεται όταν απορροφάται υγρασία και μπορεί να προκαλέσει διαστολή και ρωγμές σε κατασκευές από σκυρόδεμα. Για να πραγματοποιηθεί στο σκυρόδεμα επιβλαβής ASR, πρέπει να υπάρχουν τρεις συνθήκες: η υψηλή συγκέντρωση ιόντων υδροξυλίου στο διάλυμα πόρων του σκυροδέματος, αντιδραστικό πυριτικό αδρανές και διαθέσιμη υγρασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα φθοράς από αλκαλοπυριτική αντίδραση φαίνεται στο Σχήμα 3.11. Ο καλύτερος τρόπος για να αποφευχθεί η ASR είναι η χρήση μη δραστικών αδρανών, που δεν είναι πάντοτε διαθέσιμα (Ziehl & ElBatanouny, 2015).



Σχήμα 3.11: Παραδείγματα φθοράς από αλκαλοπυριτική αντίδραση (ASR) (Hamin & Gurrán, 2009)

3.14 ΦΘΟΡΑ ΛΟΓΩ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΝ ΠΗΞΗΣ – ΤΗΞΗΣ

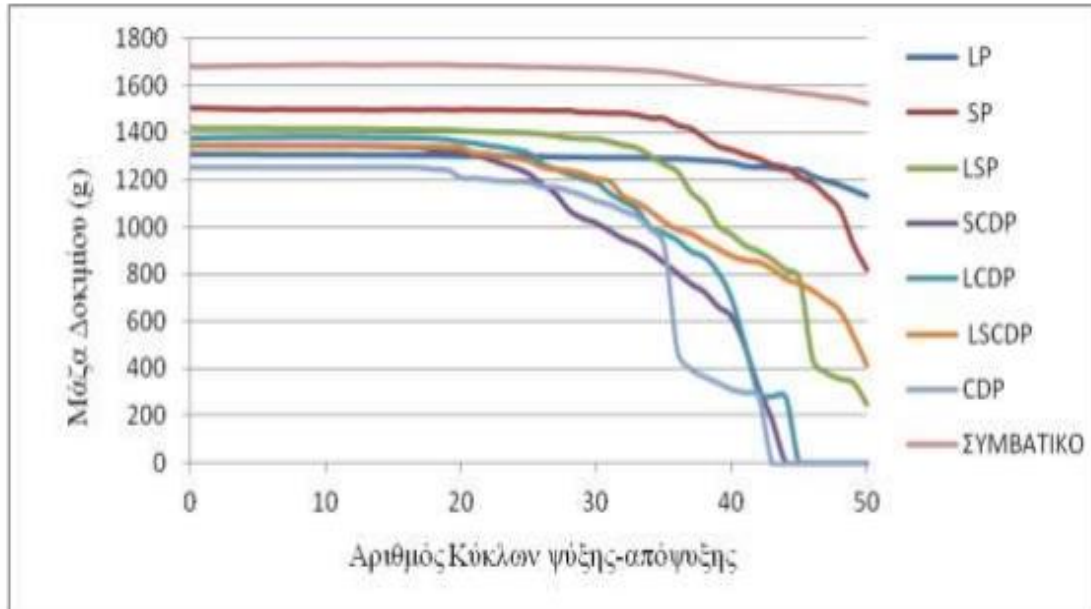
Το διαπερατό σκυρόδεμα αντιπροσωπεύει ουσιαστικά ένα είδος σκυροδέματος με συνεχή παρουσία κενών μέσα σε αυτό. Ο σχεδιασμός του γίνεται με την ελάχιστη χρήση τσιμεντόπαστας για την επικάλυψη των χονδρόκοκκων αδρανών, δίνοντας τη δυνατότητα στο διασυνδεδεμένο δίκτυο πόρων να επιτρέπει στο νερό να διαπερνά το υλικό σε πολύ υψηλότερο βαθμό σε σύγκριση με τα συμβατικά σκυροδέματα.

Το διαπερατό σκυρόδεμα ανήκει σε μια εντελώς διαφορετική κατηγορία από τα συμβατικά σκυροδέματα, και ως αποτέλεσμα, τα φυσικά του χαρακτηριστικά διαφέρουν σημαντικά. Αποτελείται από τσιμέντο Πόρτλαντ, χονδρόκοκκα αδρανή, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα αδρανή, πρόσμικτα και νερό, με τη βέλτιστη αναλογία να εξαρτάται από τη φύση των αδρανών και τις απαιτήσεις εφαρμογής. Η συνδυαστική παρουσία αυτών των συστατικών οδηγεί στην παραγωγή ενός σκληρυμένου υλικού με πόρους που συνδέονται μεταξύ τους και κυμαίνονται σε μέγεθος από 2 έως 8 χιλιοστά, επιτρέποντας την εύκολη διέλευση του νερού.

Το διαπερατό σκυρόδεμα βρίσκει εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως σε χώρους στάθμευσης, υπαίθριες πλατείες εμπορικών κέντρων, δάπεδα θερμοκηπίων, ελαφροβαρείς δομικούς τοίχους, πεζοδρόμια, τοίχους, δάπεδα, αεροδρόμια, χώρους αποθήκευσης λάσπης, συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας, και άλλα. Παρόλο που το υψηλό ποσοστό πόρων του μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένες αντοχές, το διαπερατό σκυρόδεμα εξακολουθεί να έχει μεγάλη χρησιμότητα σε ειδικές εφαρμογές όπου απαιτείται μη οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τα οικοδομικά υλικά όσον αφορά τη χρήση τους είναι το υψηλό πορώδες. Αυτή η ιδιότητα, ενώ αντιπροσωπεύει μειονέκτημα στην παραγωγή συμβατικού σκυροδέματος, αποτελεί βασικό πλεονέκτημα για τη δημιουργία διαπερατού σκυροδέματος. Το υψηλό ποσοστό πορώδους στα ανακυκλωμένα οικοδομικά υλικά κυμαίνεται στο εύρος 3-12%, ενώ για τα φυσικά υλικά είναι συνήθως 0.5-1%. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στην ύπαρξη τσιμεντοκονίας στην επιφάνεια των ανακυκλωμένων υλικών, η οποία δημιουργεί αδύνατα σημεία στα ανακυκλωμένα

σκυροδέματα και συμβάλλει στην ενανθράκωση της τσιμεντόπαστας με την πάροδο του χρόνου. Συγκεντρωτικό Διάγραμμα της συμπεριφοράς των διαφορετικών συνθέσεων σε συνθήκες ψύξης-απόψυξης φαίνεται στο Σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα της συμπεριφοράς των διαφορετικών συνθέσεων σε συνθήκες ψύξης-απόψυξης. (Θωΐδου & Φουτάκης, 2015)

Ωστόσο, παρατηρείται ικανοποιητική δυνατότητα αντικατάστασης των φυσικών αδρανών με σκυρία χάλυβα στα διαπερατά σκυροδέματα, προκειμένου να επιτευχθούν ιδιότητες αντίστοιχες ή ακόμη και καλύτερες από εκείνες των φυσικών αδρανών. Ωστόσο, η αντικατάσταση μέρους των αδρανών με φυσικά υλικά μπορεί να μειώσει αυτά τα προβλήματα. Επιπλέον, η σκυρία συνεισφέρει στο υψηλό ποσοστό πορώδους των σκυροδεμάτων.

Συνολικά, τα διαπερατά σκυροδέματα μελετώνται για την αντοχή τους σε θερμοκρασιακές αλλαγές, καθώς και για την εξέλιξη των ιδιοτήτων τους κατά τη διάρκεια κύκλων ψύξης και απόψυξης.

Σε ψυχρά κλίματα η φθορά σε οδοστρώματα από σκυρόδεμα, τοίχους αντιστήριξης, καταστρώματα γεφυρών και κιγκλιδώματα που οφείλεται στους κύκλους πήξης – τήξης είναι μια από τις μεγαλύτερες αιτίες για εργασίες επισκευής και συντήρησης. Τα μόρια του

νερού είναι πολύ μικρά και επομένως ικανά να διεισδύσουν ακόμα και στους πιο λεπτούς πόρους και τριχοειδή του σκυροδέματος. Όταν το νερό εισέλθει στο σύστημα τριχοειδών και το παγώσει θα διογκωθεί και θα διαστείλει τον πόρο ή την κοιλότητα του σκυροδέματος ασκώντας υδραυλική πίεση που παράγεται από την διόγκωση (Markolfa et al., 2019). Αυτή η πίεση θα διευρύνει σιγά, σιγά – σε διάστημα πολλαπλών κύκλων – τους πόρους ή τα τριχοειδή. Μόλις το νερό στους πόρους τηχθεί θα προχωρήσει βαθύτερα στο σκυρόδεμα όπου η διαδικασία θα επαναληφθεί όταν το νερό παγώσει ξανά και ούτω καθεξής. Οι φθορές που δημιουργούνται στο σκυρόδεμα από τους κύκλους πήξης – τήξης είναι συνήθως ρωγμές και αποφλοιώσεις του σκυροδέματος, εξαιτίας της προοδευτικής διόγκωσης της τσιμεντόπαστας. Το φαινόμενο του κύκλου πήξης-τήξης αυξάνεται δραστικά όταν η υγρασία και τα αντιψυκτικά άλατα – που χρησιμοποιούνται στην συντήρηση των δρόμων – είναι παρόντα, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη αποφλοίωση της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η αποφλοίωση και ρηγμάτωση του σκυροδέματος θα εκθέσει στο τέλος τον οπλισμό στην διάβρωση εξαιτίας των χλωριδίων και της διείσδυσης νερού (Hamin & Gurrin, 2009). Χαρακτηριστικό παράδειγμα φθοράς από πήξη-τήξη σε δρόμο υπάρχει στο Σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Παράδειγμα φθοράς από πήξη – τήξη σε δρόμους και καταστρώματα γεφυρών (Θωίδου & Φουτάκης, 2015; McGranahan et al., 2007)

Οι κύκλοι ψύξης-απόψυξης στο σκυρόδεμα, ειδικότερα στα οδοστρώματα, αναφέρονται στις κυκλικές διαδικασίες κατά τις οποίες το υλικό υποστηρίζει διαδοχικές περιόδους ψύξης

και απόψυξης. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επηρεάσει τα μηχανικά και θερμικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Ας εξετάσουμε πώς: (Watkiss et al., 2018)

1. **Επίδραση στην Αντοχή:** Οι ακανόνιστοι κύκλοι ψύξης-απόψυξης μπορούν να δημιουργήσουν εσωτερικές τάσεις στο σκυρόδεμα λόγω της ανισότητας της θερμοκρασίας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της αντοχής του υλικού.
2. **Επίπτωση της Ανθεκτικότητας στη Ρήξη:** Οι άνισοι ρυθμοί ψύξης-απόψυξης μπορεί να προκαλέσουν ρήξεις στο σκυρόδεμα, επηρεάζοντας την ανθεκτικότητά του στη ρήξη.
3. **Διαρροή Υγρασίας:** Οι διαδοχικοί κύκλοι ψύξης-απόψυξης μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στην κατάσταση της υγρασίας στο εσωτερικό του σκυροδέματος.

Πρόληψη και Αντιμετώπιση:

1. **Ελεγχόμενη Διαδικασία:** Η εφαρμογή ελεγχόμενων διαδικασιών ψύξης-απόψυξης με τη χρήση κατάλληλων εξοπλισμών μπορεί να μειώσει τις ανισότητες στη θερμοκρασία.
2. **Υπεύθυνος Σχεδιασμός:** Ο σχεδιασμός των κυκλοφοριακών στρωμάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη την επίδραση της θερμοκρασίας και τη δυνατότητα διενέργειας ελεγχόμενων διαδικασιών.
3. **Κατάλληλο Υλικό:** Η επιλογή υλικών που παρουσιάζουν καλή απόκριση στις διακυμάνσεις θερμοκρασίας μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις.

Συνολικά, οι συνθέσεις διαπερατού σκυροδέματος αποτελούν επιλογή για περιοχές με έντονες θερμοκρασιακές αλλαγές. Συγκεκριμένα, στη Βόρεια Ελλάδα, όπου υπάρχει πληθώρα φυσικών αδρανών όπως ποταμίσια αλλά και θραυστά ασβεστολιθικά, και όπου παρατηρούνται έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, προτείνεται η χρήση συνθέσεων διαπερατού σκυροδέματος με φυσικά αδρανή αντί για παραπροϊόντα. Ωστόσο, σε περιοχές της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδος, όπου η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων είναι πολύ μικρή και οι θερμοκρασιακές μεταβολές πιο ήπιες, μπορούν να ενσωματωθούν στις

συνθέσεις διαπερατού σκυροδέματος παραπροϊόντα και οικοδομικά απόβλητα για εξοικονόμηση των φυσικών πρώτων υλών. Το διαπερατό σκυρόδεμα είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις αυτών των θερμοκρασιακών μεταβολών, παρέχοντας ένα βιώσιμο και αποτελεσματικό κατασκευαστικό υλικό.

3.15 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΛΟΓΩ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

1. **Σιδηροδρομικό δίκτυο Μαλαισίας:** Η Μαλαισία έχει βιώσει αυξημένες ποσότητες βροχής λόγω της κλιματικής αλλαγής, η οποία έχει οδηγήσει σε σοβαρές πλημμύρες και εκτεταμένες ζημιές στις σιδηροδρομικές υποδομές. Οι πλημμύρες μπορούν να οδηγήσουν στην καταστροφή των ρευμάτων των σιδηροδρόμων, της στροφών και των γεφυρών.
2. **Κατεδάφιση της παράκτιας σιδηροδρομικής γραμμής στο Dawlish της Αγγλίας:** Η αλλαγή του κλίματος μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της στάθμης της θάλασσας και σε συχνότερες ή πιο έντονες καταιγίδες, που εν τέλει επηρεάζουν τη σταθερότητα των σιδηροδρομικών γραμμών που βρίσκονται κοντά στην ακτή.
3. **Κατάρρευση της γέφυρας Hassanabad στο Hunza Valley του Πακιστάν:** Οι πλημμύρες που προκάλεσαν αυτή την καταστροφή μπορεί να οφείλονται σε αυξημένες ποσότητες βροχής λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η αστάθεια του εδάφους και οι υψηλές ροές των ποταμών μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές στις γέφυρες.
4. **Κατάρρευση του φράγματος El Guamito (Βενεζουέλα):** Η αλλαγή του κλίματος συνδέεται με αυξημένη ένταση των βροχοπτώσεων, οι οποίες μπορεί να υπερβούν τις δυνατότητες απορροής των φραγμάτων, οδηγώντας σε καταστροφικές καταρρακτώδεις εκρήξεις.

5. **Παγετόνας των Ιμαλαίων στη βόρεια πολιτεία Ουταραχάντ στην Ινδία:** Το λιώσιμο του πάγου προκαλεί αυξημένες ποσότητες νερού, οι οποίες μπορεί να ξεπεράσουν τις χωρητικότητες των φραγμάτων, δημιουργώντας πλημμύρες.
6. **Κατάρρευση των φραγμάτων Edenville και Sanford στο Mid-Michigan, ΗΠΑ:** Οι αλλαγές στα κλιματικά μοτίβα μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη ποσότητα βροχής, που μπορεί να υπερβεί τις δυνατότητες απορροής των φραγμάτων, προκαλώντας σοβαρές καταστροφές.
7. **Πλημμύρα στην Μάνδρα:** Στις 15 Νοεμβρίου του 2017, η Μάνδρα βίωσε μια από τις πλέον τραγικές στιγμές της πρόσφατης ιστορίας της. Με χείμαρρους να καταπλακώνουν την πόλη και την περιοχή γύρω της, η λάσπη και τα υπολείμματα έφτασαν ακόμα και δύο μέτρα ψηλότερα από το έδαφος, προκαλώντας τον θάνατο είκοσι τεσσάρων ανθρώπων και αμέτρητων ζώων, ενώ πολλοί άλλοι τραυματίστηκαν και αγνοούνταν. Οι υλικές ζημιές ήταν καταστροφικές, με πολλά σπίτια, κτίρια και υποδομές να καταστρέφονται ή να υποστούν σοβαρές ζημιές. Ήταν μια ημέρα που σημάδεψε τη Μάνδρα και τους κατοίκους της για πάντα, αναδεικνύοντας την ανάγκη για βελτίωση των υποδομών και την προετοιμασία για παρόμοιους κινδύνους στο μέλλον.
8. **Η φονική πυρκαγιά που ξέσπασε στη Δυτική και Ανατολική Αττική της Ελλάδας το καλοκαίρι του 2018:** Η φωτιά ξέσπασε στις 23 Ιουλίου 2018 και ήταν μία από τις πιο θανατηφόρες φωτιές στην ιστορία της Ελλάδας. Οι πρώτες αναφορές καταγράφηκαν στο Μάτι, μια περιοχή κοντά στην Αθήνα. Η έκταση της φωτιάς ήταν τεράστια και εξαπλώθηκε με γρήγορο ρυθμό λόγω των ισχυρών ανέμων που πνέανε εκείνη την ημέρα. Πολλοί άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, ενώ πολλοί άλλοι τραυματίστηκαν σοβαρά. Εκατοντάδες σπίτια καταστράφηκαν ολοσχερώς, ενώ η φωτιά προκάλεσε τεράστιες υλικές ζημιές και στην περιοχή. Οι αρχές αντιμετώπισαν δυσκολίες στην κατάσβεση της φωτιάς λόγω του ανεμοστρόβιλου που δημιουργήθηκε και της έντονης θερμότητας που επικρατούσε εκείνες τις ημέρες. Η καταστροφή αυτή προκάλεσε έντονη θλίψη και ανησυχία τόσο στην Ελλάδα όσο και σε διεθνές επίπεδο.
9. **Το συμβάν στη Χαλκιδική το καλοκαίρι του 2019,** όταν μια ισχυρή καταιγίδα έπληξε την περιοχή, προκαλώντας σοβαρές ζημιές και ανθρώπινες απώλειες. Η

καταιγίδα συνοδευόταν από κεραυνούς, ισχυρούς ανέμους και έντονη βροχόπτωση. Οι ισχυροί άνεμοι ξήλωσαν δέντρα, κατέστρεψαν οχήματα και καταστράφηκαν πολλά κτίρια. Η καταιγίδα προκάλεσε επίσης τον θάνατο αρκετών ανθρώπων και πολλοί άλλοι τραυματίστηκαν. Οι επιπτώσεις της καταιγίδας ήταν σοβαρές και οι αρχές εργάστηκαν επίπονα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων και την αποκατάσταση της περιοχής.

10. **Κυκλώνας Ιανός:** Ο κυκλώνας Ιανός ήταν ένας ισχυρός τροπικός κυκλώνας που επηρέασε την Ελλάδα το Νοέμβριο του 2020. Ήταν ένας από τους ισχυρότερους κυκλώνες που έχουν πλήξει τη χώρα τα τελευταία χρόνια. Ο κυκλώνας Ιανός προκάλεσε ισχυρούς ανέμους, έντονη βροχόπτωση και σφοδρές καταιγίδες σε πολλές περιοχές της Ελλάδας, ειδικά στα δυτικά και βόρεια της χώρας. Οι επιπτώσεις του κυκλώνα ήταν σοβαρές, προκαλώντας πλημμύρες, κατολισθήσεις εδάφους και καταστροφές σε πολλές περιοχές. Σπίτια και επιχειρήσεις πλημμύρισαν, ενώ πολλοί δρόμοι και γέφυρες καταστράφηκαν από τις ισχυρές ροές του νερού. Υπήρξαν ακόμη και αναφορές για αγνοούμενα άτομα ενώ αρκετοί άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους ή τραυματίστηκαν. Οι αρχές της χώρας και οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης αντιμετώπισαν μεγάλες προκλήσεις στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων του κυκλώνα Ιανός και στην παροχή βοήθειας στους πληγέντες. Η κατάσταση απαιτούσε συντονισμένες δράσεις και την υποστήριξη της διεθνούς κοινότητας. Μετά από την πέραση του κυκλώνα, η διαδικασία αποκατάστασης και ανοικοδόμησης ξεκίνησε, με τον στόχο την αποκατάσταση των ζημιών και την επαναφορά των πληγέντων περιοχών στη φυσιολογική λειτουργία.

Στο **Error! Reference source not found.** παρουσιάζεται μια καταγραφή περιστατικών στον ελλαδικό χώρο κατά τις χρονολογίες 1993-2018.

	Ημερομηνία	Τόπος	Πλήθος δηλωθεισών ζημιών	Ποσό απαίτησης (€)	Αιτία ζημιάς
1	20 Νοεμβρίου 1993	Αττική	358	4.554.600	Βροχοπτώσεις
2	31 Μαΐου 1994	Αττική	138	1.577.523	Βροχοπτώσεις
3	21 Οκτωβρίου 1994	Αττική / Ελλάδα	1.159	26.077.872	Βροχοπτώσεις
4	6 Οκτωβρίου 1996	Αττική	48	653.353	Βροχοπτώσεις
5	30 Νοεμβρίου 1996	Θράκη	40	876.478	Βροχοπτώσεις
6	12 Ιανουαρίου 1997	Αττική / Ελλάδα	311	6.909.486	Βροχοπτώσεις
7	26 Μαρτίου 1998	Αττική / Ελλάδα	1.704	6.023.074	Βροχοπτώσεις
8	7 Σεπτεμβρίου 1999	Αττική	9.480	110.934.694	Σεισμός
9	8 Ιουλίου 2002	Αττική / Ελλάδα	1.350	28.621.262	Βροχοπτώσεις
10	13 Φεβρουαρίου 2004	Αττική / Ελλάδα	646	2.409.739	Χιονοπτώσεις
11	17 Σεπτεμβρίου 2004	Θεσσαλονίκη	387	2.841.395	Βροχοπτώσεις
12	5 Νοεμβρίου 2004	Αττική / Ελλάδα	209	1.930.133	Βροχοπτώσεις
13	Ιούλιος - Αύγουστος 2007	Αττική / Ελλάδα	232	5.656.344	Δασικές πυρκαγιές
14	7 Δεκεμβρίου 2008	Αττική / Ελλάδα	891	23.339.100	Ταραχές
15	Αύγουστος 2009	Αττική	227	4.095.910	Δασικές πυρκαγιές
16	10 Φεβρουαρίου 2012	Αττική	302	25.189.835	Ταραχές
17	22 Φεβρουαρίου 2013	Αττική	765	5.286.423	Βροχοπτώσεις
18	22 Νοεμβρίου 2013	Ρόδος	93	3.441.998	Βροχοπτώσεις
19	26 Ιανουαρίου 2014	Κεφαλονιά	415	7.824.348	Σεισμός
20	24 Οκτωβρίου 2014	Αττική	1.170	4.296.297	Βροχοπτώσεις
21	20-23 Οκτωβρίου 2015	Αττική/Ελλάδα	1.065	10.933.233	Βροχοπτώσεις
22	17 Νοεμβρίου 2015	Λευκάδα	177	2.822.889	Σεισμός
23	21 Ιουλίου 2017	Κως	140	9.512.499	Σεισμός
24	26 Οκτωβρίου 2017	Κρήτη	141	5.240.193	Βροχοπτώσεις
25	15 Νοεμβρίου 2017	Δυτική Αττική	326	12.303.663	Βροχοπτώσεις
26	23 Ιουλίου 2018	Αττική	1.083	36.009.746	Δασικές πυρκαγιές
27	27-30 Σεπτεμβρίου 2018	Αττική / Ελλάδα	1.148	7.042.149	Βροχοπτώσεις / Ανεμοστρόβιλος
28	26 Οκτωβρίου 2018	Ζάκυνθος	101	2.400.969	Σεισμός

Σχήμα 3.14: Συγκεντρωτική καταγραφή περιστατικών 1993-2018

Πηγή http://www1.eaee.gr/sites/default/files/oikmel_natcat_1993_2018_gr.pdf

Αυτές οι περιγραφές ενισχύουν την ιδέα ότι η κλιματική αλλαγή συνδέεται άμεσα με τις καταστροφικές επιπτώσεις στις υποδομές, καθιστώντας σημαντική τη λήψη μέτρων για την προστασία και την προετοιμασία αυτών των υποδομών από τις δυσμενείς επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος.

Κεφάλαιο 4

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ

4.1 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την φέρουσα ικανότητα μιας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος είναι η διάβρωση των οπλισμών. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η ποιότητα των υλικών, η φθορά τους με τον χρόνο, αλλά και οι αρχικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες, όπως η επικάλυψη του οπλισμού, επηρεάζουν σημαντικά τον βαθμό διάβρωσης που θα υποστεί μια κατασκευή με τον χρόνο. Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επιρροή της διάβρωσης των οπλισμών στην φέρουσα ικανότητα ενός υφιστάμενου κτιρίου. Το κτίριο που επιλέγεται είναι ένα τυπικό υφιστάμενο κτίριο της δεκαετίας του 1970. Αποτιμάται η φέρουσα ικανότητά του, μέσω ανελαστικών αναλύσεων, στην περίπτωση που δεν υπάρχει διάβρωση στους οπλισμούς και για διάφορες τιμές ποσοστού διάβρωσης, ώστε να φανεί η επιρροή της διάβρωσης και να αναγνωρισθούν οι ανεπάρκειες που θα πρέπει να αποκατασταθούν και να επισκευαστούν.

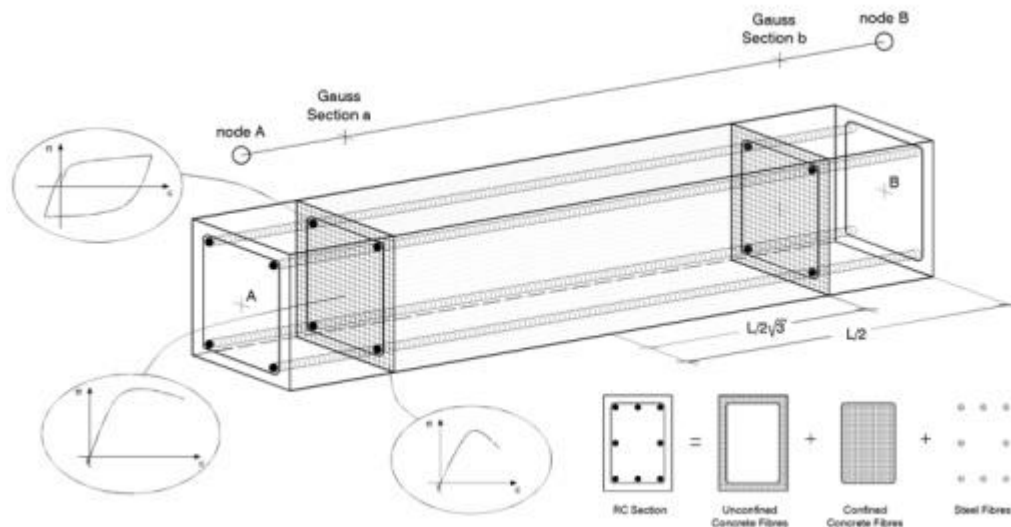
Το υφιστάμενο κτίριο είναι ένα τυπικό πενταώροφο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος της δεκαετίας του 1970, μελετημένο σύμφωνα με τους παλαιούς κανονισμούς εκείνης της περιόδου. Το ύψος των ορόφων είναι 3.0 m. Υπάρχουν 2 ανοίγματα στην μικρή διεύθυνση, μήκους 5.0 m και τρία ανοίγματα (4.5 m, 6.0 m και 4.5 m) στην μεγάλη διεύθυνση. Τα υποστυλώματα στο ισόγειο έχουν διαστάσεις 40x40, 45x30, 35x45 και 50x50, ενώ στους ανώτερους ορόφους μειώνονται σε 35x35, 40x30, 30x40 και 45x45. Το ποσοστό των οπλισμών είναι περίπου στο 1%. Οι δοκοί σε όλους τους ορόφους είναι διαστάσεων 20/60. Το πάχος των πλακών είναι 15 cm. Το σκυρόδεμα είναι B225 και ο χάλυβας οπλισμού ποιότητας St III.

4.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SEISMOBUILD

Το λογισμικό Seismobuild επιλέχθηκε για την προσομοίωση της κατασκευής και την διεξαγωγή των ανελαστικών αναλύσεων με σκοπό την σεισμική αποτίμηση του κτιρίου, διερευνώντας την επιρροή της διάβρωσης των οπλισμών.

Το SeismoBuild είναι ένα πρόγραμμα γνωστό για την προσομοίωση τρισδιάστατων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος υπό συνθήκες στατικής και δυναμικής φόρτισης, με μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό των γεωμετρικών μη γραμμικοτήτων και της ανελαστικότητας των υλικών. Η ικανότητα του λογισμικού να μοντελοποιεί με ακρίβεια τη μετάβαση των δομικών στοιχείων σε πλαστική κατάσταση συμβάλλει σημαντικά στην πιστότητα των προσομοιώσεων. Η ολοκληρωμένη σειρά τρισδιάστατων στοιχείων, αναπαραστάσεων τομών, σκευασμάτων σκυροδέματος και χάλυβα, μαζί με περιβλήματα που αποτελούνται από ενισχυμένα με ίνες πολυμερή, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα αυτών των προσομοιώσεων.

Το SeismoBuild είναι εξοπλισμένο για να μοντελοποιεί τόσο στατικά φορτία, που περιλαμβάνουν δυνάμεις και μετατοπίσεις που είτε είναι σταθερές είτε μεταβλητές με την πάροδο του χρόνου. Το λογισμικό υποστηρίζει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένης της μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης και της ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του SeismoBuild είναι η θεώρηση των γεωμετρικών μη γραμμικοτήτων ή των επιδράσεων δεύτερης τάξης. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η αναπαράσταση μιας δοκού.



Σχήμα 4.1: Προσομοίωση δοκού στο λογισμικό SeisMobuild.

Για την προσομοίωση της δομικής συμπεριφοράς στο SeisMoBuild, το λογισμικό χρησιμοποιεί μια προσέγγιση μοντελοποίησης ινών, όπου κάθε διατομή διακρίνεται σε μεμονωμένες ίνες. Αυτές οι ίνες χαρακτηρίζονται από μονοαξονικές σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης, που διευκολύνουν την ενσωμάτωση των αποκρίσεων τομής για να εξαχθεί η συνολική συμπεριφορά των στοιχείων δοκού-υποστυλώματος. Ο βέλτιστος αριθμός ινών που απαιτείται για την επίτευξη λεπτομερούς και ακριβούς αναπαράστασης των κατανομών τάσης-παραμόρφωσης εντός της διατομής ενός στοιχείου επηρεάζεται από το γεωμετρικό σχήμα του στοιχείου, τις ιδιότητες του υλικού και την έκταση της ανελαστικότητας που εμφανίζεται. Συνήθως, συνιστώνται τουλάχιστον 150 ίνες για να εξασφαλιστεί επαρκής διακριτοποίηση στην προσομοίωση, ένα πρότυπο που υπογραμμίζει την πληρότητα της δομικής ανάλυσης που διευκολύνει το SeisMoBuild.

Στο υπολογιστικό μοντέλο, η θεμελίωση αναπαρίσταται μέσω της εφαρμογής άκαμπτων συνθηκών στήριξης, υποδηλώνοντας μια αμελητέα παρουσία ουσιαστικών διαφορικών κινήσεων. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία για την εξαγωγή των συντελεστών περιορισμού, εξάγοντας αυτές τις τιμές από τους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς εντός των διατομών (Wisam, 2019).

4.2.1 Στόχοι Επιτελεστικότητας

Οι στόχοι επιτελεστικότητας αποτελούν ένα πλαίσιο διπλού άξονα, που συνδυάζει το επίπεδο απόδοσης με εκτιμήσεις σεισμικής δραστηριότητας για μια "αποδεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτιρίου" (σενάριο σχεδιασμού σεισμού). Ποσοτικοποιείται δηλαδή, η πιθανότητα υπέρβασης των καθορισμένων σεισμικών ορίων εντός ενός τυποποιημένου κύκλου ζωής 50 ετών, κατηγοριοποιώντας τα πιθανά αποτελέσματα που κυμαίνονται από Περιορισμένες βλάβες έως Σχεδόν κατάρρευση, με σχετικά ποσοστά πιθανότητας από 2% έως πάνω από 90%.

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζονται οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού, που συσχετίζουν τα επίπεδα απόδοσης του φορέα με τις καταστάσεις δομικών ζημιών που ορίζονται σε τρία διακριτά σημεία αναφοράς: Περιορισμένες βλάβες (A), Σημαντικές Βλάβες (B) και Οιονεί Κατάρρευση (C). Η στάθμη Περιορισμένες βλάβες (A), όπως ορίζεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., προβλέπει την αδιάλειπτη λειτουργικότητα του κτιρίου κατά τη διάρκεια και μετά το σεισμικό γεγονός, εκτός μικρών εξαιρέσεων, με πιθανότητα για μικρές δομικές ρωγμές. Η στάθμη Σημαντικές Βλάβες (B), σύμφωνα με τις ίδιες κατευθυντήριες γραμμές, προϋποθέτει ότι το σεισμικό συμβάν μπορεί να προκαλέσει επισκευάσιμες δομικές βλάβες χωρίς να οδηγήσει σε θανάτους, σοβαρούς τραυματισμούς ή σημαντική βλάβη στο περιεχόμενο του κτιρίου.

Πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός ενός κύκλου συμβατικής ζωής 50 ετών	Στάθμη επιτελ. φέροντος οργανισμού		
	Περιορισμένες Βλάβες	Σημαντικές Βλάβες	Οιονεί Κατάρρευση
2%	<input type="checkbox"/> A0	<input type="checkbox"/> B0	<input type="checkbox"/> C0
5%	<input type="checkbox"/> A1+	<input type="checkbox"/> B1+	<input type="checkbox"/> C1+
10%	<input type="checkbox"/> A1	<input checked="" type="checkbox"/> B1	<input type="checkbox"/> C1
20%	<input type="checkbox"/> A2+	<input type="checkbox"/> B2+	<input type="checkbox"/> C2+
30%	<input type="checkbox"/> A2	<input type="checkbox"/> B2	<input type="checkbox"/> C2
50%	<input type="checkbox"/> A3+	<input type="checkbox"/> B3+	<input type="checkbox"/> C3+
70%	<input type="checkbox"/> A3	<input type="checkbox"/> B3	<input type="checkbox"/> C3
90%	<input type="checkbox"/> A4+	<input type="checkbox"/> B4+	<input type="checkbox"/> C4+
>90%	<input type="checkbox"/> A4	<input type="checkbox"/> B4	<input type="checkbox"/> C4

Σχήμα 4.2: Στόχοι Αποτίμησης ή Ανασχεδιασμού

Η στάθμη Οιονεί Κατάρρευση (C), όπως ερμηνεύεται από το ΚΑΝ.ΕΠΕ., προβλέπει εκτεταμένες και κρίσιμες βλάβες στη δομική ακεραιότητα, αν και το κτίριο εξακολουθεί να είναι ικανό να αντέξει κατακόρυφα φορτία για μια μετασεισμική διάρκεια. Αυτή η κατάσταση δεν εγγυάται πρόσθετα περιθώρια ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής δομικής αστοχίας.

Για το εξεταζόμενο κτίριο, ο στόχος αποτίμησης ορίζεται στο Επίπεδο Επιδόσεων Σημαντικές Βλάβες (B1), με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε διάστημα 50 ετών.

4.3 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER)

Οι συνδυασμοί φορτίων που επιλέχθηκαν για ανάλυση περιλαμβάνουν μια ποικιλία σεναρίων, ενσωματώνοντας ιδιόμορφες μετατοπίσεις μαζί με παραλλαγές στα φορτία κατεύθυνσης X και Y.

Το αποτέλεσμα οποιασδήποτε στατικής ανελαστικής ανάλυσης εκδηλώνεται με τη μορφή μιας καμπύλης αντίστασης, η οποία οριοθετεί τη σχέση μεταξύ της συνολικής διάτμησης στη βάση και της πλευρικής μετατόπισης ενός καθορισμένου σημείου εντός της κατασκευής, που αναφέρεται ως "κόμβος ελέγχου". Η αξιολόγηση των επιπέδων απόδοσης, είτε πρόκειται για Περιορισμένες Βλάβες μετά τον σεισμό, Σημαντικές Βλάβες ή Οιονεί Κατάρρευση, πραγματοποιείται αντιπαραθέτοντας την ικανότητα, όπως προκύπτει από την καμπύλη ανελαστικής στατικής ανάλυσης, έναντι της απαίτησης που περιγράφεται από το ελαστικό φάσμα απόκρισης με απόσβεση 5%. Η σύγκριση αυτή απαιτεί την εξέταση των μετατοπίσεων στον «κόμβο ελέγχου», σε ευθυγράμμιση με τις διατάξεις της ενότητας 5.7.4.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Αυτές οι μετατοπίσεις ισοδυναμούν με εκείνες ενός ανάλογου συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας, που χαρακτηρίζεται από μια ιδιοπερίοδο, η οποία αντικατοπτρίζει τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο του οικοδομήματος υπό τις εξονυχιστικές σεισμικές συνθήκες με προσαρμογές που γίνονται για να εξαχθεί η μετατόπιση που αντιστοιχεί στην ελαστοπλαστική απόκριση. Οι στόχοι μετατόπισης που επιτυγχάνονται πρέπει να ευθυγραμμίζονται με τα κριτήρια ελέγχου που οριοθετούνται από το ΚΑΝ.ΕΠΕ., περιλαμβάνοντας τόσο ψαθυρά (διάτμηση) όσο και πλάστιμα (κάμψη) όρια συμπεριφοράς, τα οποία εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών ιδιοτήτων της διατομής, της κάμψης στοιχείων, την αλληλεπίδραση μεταξύ διάτμησης και αξονικών δυνάμεων και τη μείωση της αντοχής/ δυσκαμψίας που αποδίδεται στις απαιτήσεις πλαστιμότητας και την υστέρηση των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, λαμβάνοντας υπόψη τη μη γραμμικότητα του υλικού.

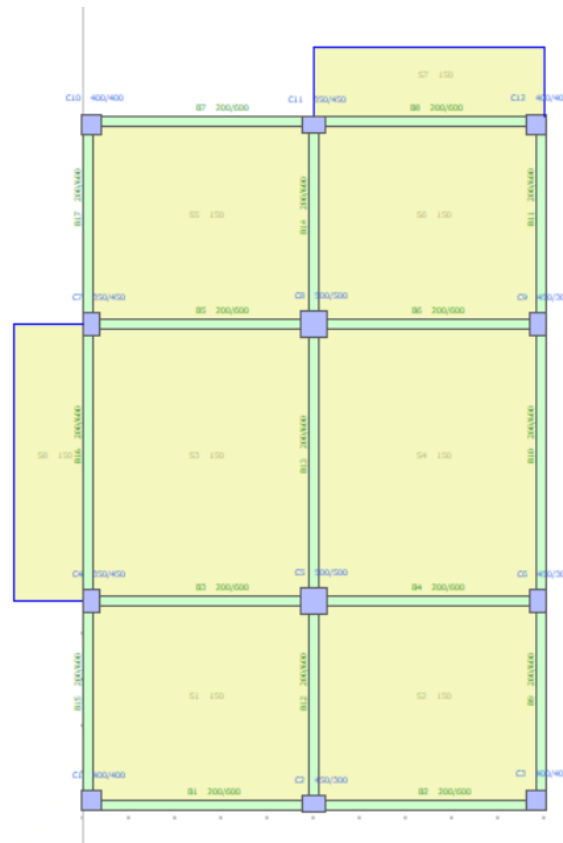
Όσον αφορά τα κριτήρια συμμόρφωσης, η τήρηση των καθιερωμένων απαιτήσεων ελέγχου διαπιστώνεται μέσω της επιλογής κατάλληλων σεισμικών ενεργειών, αναλυτικών μεθοδολογιών, πρωτοκόλλων επαλήθευσης και λεπτομερειών για τα διάφορα υλικά που αποτελούν το κτίριο. Αυτή η συμμόρφωση επαληθεύεται με την υποβολή της κατασκευής στο πλήρες φάσμα των σεισμικών δυνάμεων, όπως ορίζεται στις ενότητες 2.2, 4.4.1.2 και 4.4.1.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., κατά τη σχετική περίοδο επαναφοράς.

Γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ «πλάστιμων» και «ψαθυρών» δομικών στοιχείων, καθώς και μεταξύ κυρίων και δευτερευόντων σεισμικών στοιχείων. Τα δευτερεύοντα σεισμικά στοιχεία υποβάλλονται σε έλεγχο με βάση τα ίδια σεισμικά κριτήρια με τα κύρια αντίστοιχά τους, αν και με λιγότερο αυστηρές προδιαγραφές σχετικά με τις ικανότητές τους. Για τον προσδιορισμό της αντοχής των στοιχείων χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές των υλικών καθώς πραγματοποιούνται ανελαστικές αναλύσεις. Για τις μέσες τιμές των υλικών λαμβάνονται οι ερήμην τιμές που αναφέρει ο ΚΑΝΕΠΕ.

4.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΙΡΙΟ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η διαδικασία προσομοίωσης, η υιοθετηθείσα μεθοδολογία αξιολόγησης καθώς και οι θεμελιώδεις προϋποθέσεις στις οποίες βασίζεται η δομική προσομοίωση στο λογισμικό SeismoBuild.

1. Ελλείπει πρωτότυπων δεδομένων σχετικά με τις συνθήκες του εδάφους και τον θεμελιώδη σχεδιασμό από τα αρχεία σχεδιαγράμματος της κατασκευής, έγιναν συμπερασματικές υποθέσεις για τη στατική εκτίμηση. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων είναι ικανοποιητική, ενημερώνοντας έτσι την επιλογή της αναλυτικής μεθοδολογίας και τον προσδιορισμό των τιμών των συντελεστών ασφαλείας, σύμφωνα με τις διατάξεις που ορίζονται στην ενότητα 4.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.
2. Το έδαφος ταξινομήθηκε ως Τύπου Β, χαρακτηριζόμενο είτε από εξαιρετικά κατακερματισμένο βράχο είτε από εδαφικές συνθέσεις μηχανικά ανάλογες με κοκκώδεις ουσίες. Το κτίριο θεωρήθηκε πακτωμένο στην βάση του.
3. Σχετικά με τα δομικά στοιχεία, παρατηρήθηκε ότι οι διατομές των υποστυλωμάτων ποικίλλουν εντός καθορισμένων ορίων διαστάσεων, με ένα υπολογισμένο ποσοστό του διαμήκους οπλισμού να εμπίπτει σε καθορισμένα ελάχιστα και μέγιστα όρια.
4. Σε ό,τι αφορά τις δοκούς και τις πλάκες, παρατηρείται ότι οι δοκοί τηρούν κατά κύριο λόγο ομοιόμορφα πρότυπα διαστάσεων. Μέσα στις δοκούς, οι διαμήκεις οπλισμοί είναι τοποθετημένοι στο κεντρικό τμήμα και οι μισοί κάμπτονται στα άκρα. Αντίθετα, για ο διατμητικός οπλισμός αποτελείται από συνδετήρες και τις κεκαμμένες ράβδους. Στους οπλισμούς των πλακών, χρησιμοποιείται μια τυποποιημένη προσέγγιση, με τον οπλισμό να χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη διάμετρο. Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η κάτοψη των ορόφων του κτιρίου.



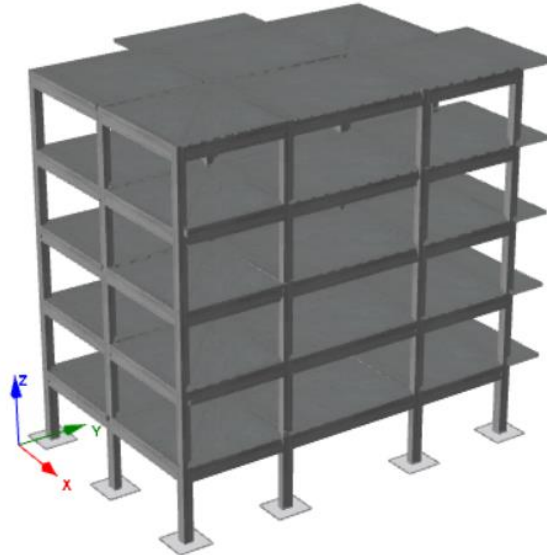
Σχήμα 4.3: Κάτοψη των ορόφων του υπό μελέτη κτιρίου

5. Το κτίριο ανήκει στην κατηγορία κατασκευών χαμηλής πλαστιμότητας (κτίρια κατασκευασμένα προ του 1985), τα οποία αναμένεται να έχουν κατώτερη υστερητική συμπεριφορά. Για αυτό τον λόγο στις παραμέτρους στοχευόμενης μετακίνησης επιλέγεται ο δομικός τύπος 1.
6. Στον τομέα της δομικής φόρτισης:
 - Φορτία δοκού: Λαμβάνεται υπόψη μια συστοιχία πρόσθετων μόνιμων φορτίων δοκού (G'), που εκτείνονται από 0,00 έως 8,64 kN/m², καλύπτοντας τη μεταβλητότητα των επιβαλλόμενων φορτίων σε διαφορετικές διαμορφώσεις δοκών.
7. Φορτία
 - Μόνιμα φορτία: Περιλαμβάνει το βάρος της πλάκας (G) στα 3,75 kN/m², μαζί με πρόσθετα μόνιμα φορτία για πλάκες (G') που κυμαίνονται από 1,50 έως 2,00 kN/m².

- Κινητά φορτία (Q): Προδιαγράφεται ομοιόμορφη εφαρμογή $2,00 \text{ kN/m}^2$ για πλάκες και $5,00 \text{ kN/m}^2$ προβόλους.
- Συντελεστής ασφαλείας φορτίων Φορτίου: Συντελεστής 1,00 αποδίδεται σε μόνιμα φορτία, ενώ μειωμένος συντελεστής 0,30 εφαρμόζεται στα κινητά φορτία.

4.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

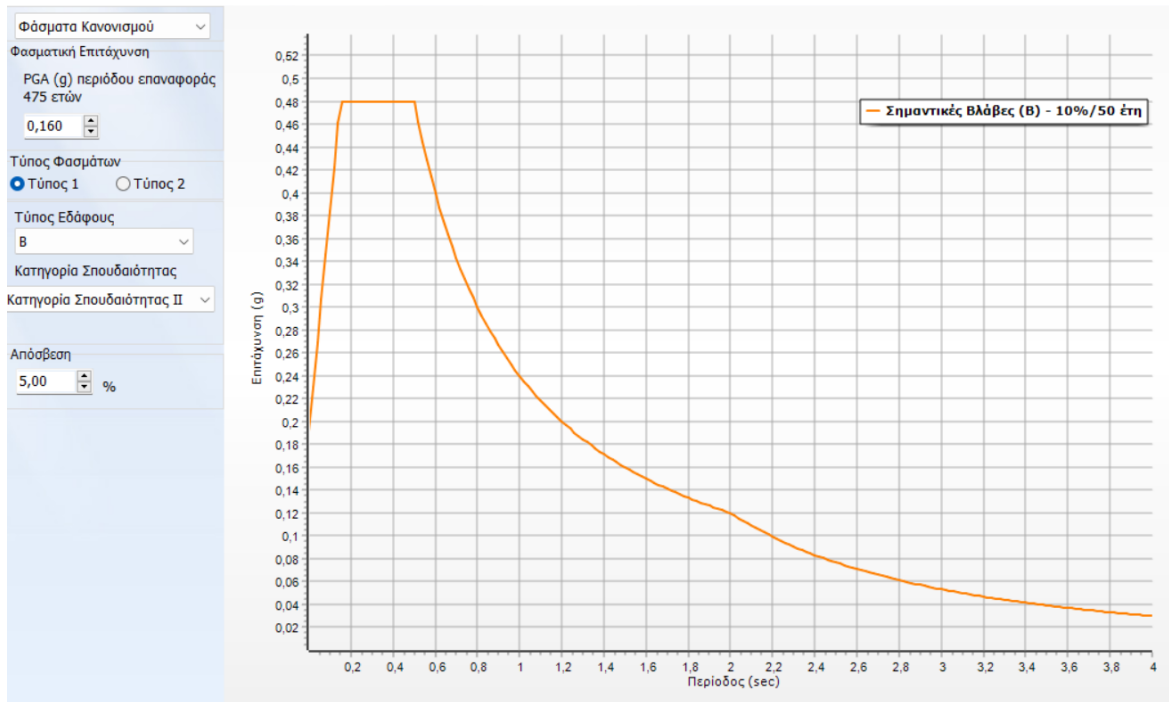
Η τρέχουσα δοκιμή εμβαθύνει στην αξιολόγηση του δομικού τμήματος του κτιρίου απουσίας στοιχείων τοιχοποιίας, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις επιπτώσεις της διάβρωσης του οπλισμού, στην στιβαρότητα και τη σεισμική του ικανότητα. Βρίσκεται για κάθε ποσοστό διάβρωσης του οπλισμού η αντοχή του κτιρίου, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται για κάθε περίπτωση διάβρωσης οι αναμενόμενες βλάβες. Το Σχήμα 4.4 απεικονίζει μια τρισδιάστατη απεικόνιση του υπό μελέτη κτιρίου.



Σχήμα 4.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση του εξεταζόμενου κτιρίου

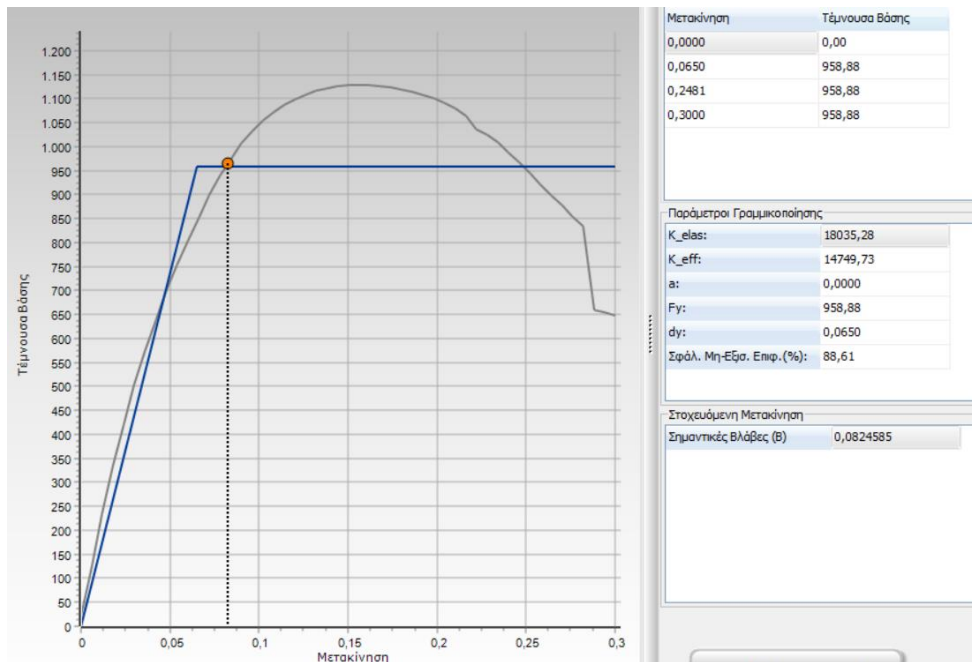
4.5.1 Εύρεση της αντοχής του κτιρίου απουσία διάβρωσης

Το κτίριο ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z1, συνεπώς η εδαφική επιτάχυνση αναφοράς είναι 0,16g. Αρχικά, εξετάζουμε την αντοχή του κτιρίου στη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού. Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται το φάσμα σχεδιασμού του σεισμού.



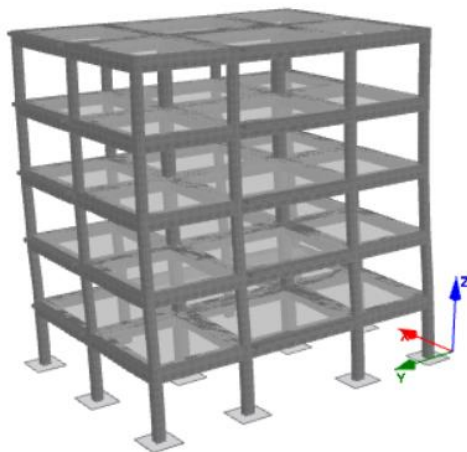
Σχήμα 4.5: Ελαστικό Φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων

Το Σχήμα 4.6 απεικονίζει την καμπύλη αντίστασης του κτιρίου στο σεισμό με εδαφική επιτάχυνση 0.16g. Πρόκειται για ένα διάγραμμα που παριστάνει τη μέγιστη μετακίνηση που αναμένεται να αναπτυχθεί όταν επιβληθεί στην κατασκευή ο σεισμός σχεδιασμού.



Σχήμα 4.6: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για το σεισμό σχεδιασμού

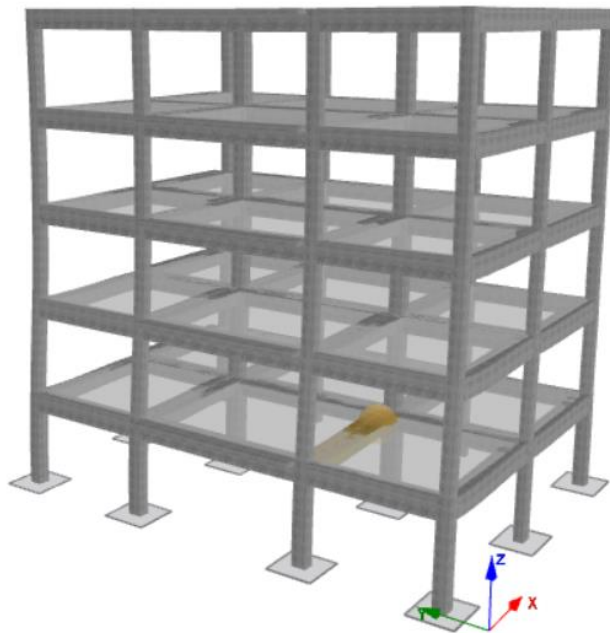
Για την στοχευόμενη μετακίνηση, για στάθμη επιτελεστικότητας B1, η κατασκευή δεν υφίσταται καμία βλάβη για εδαφική επιτάχυνση σεισμού 0,16g, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7.



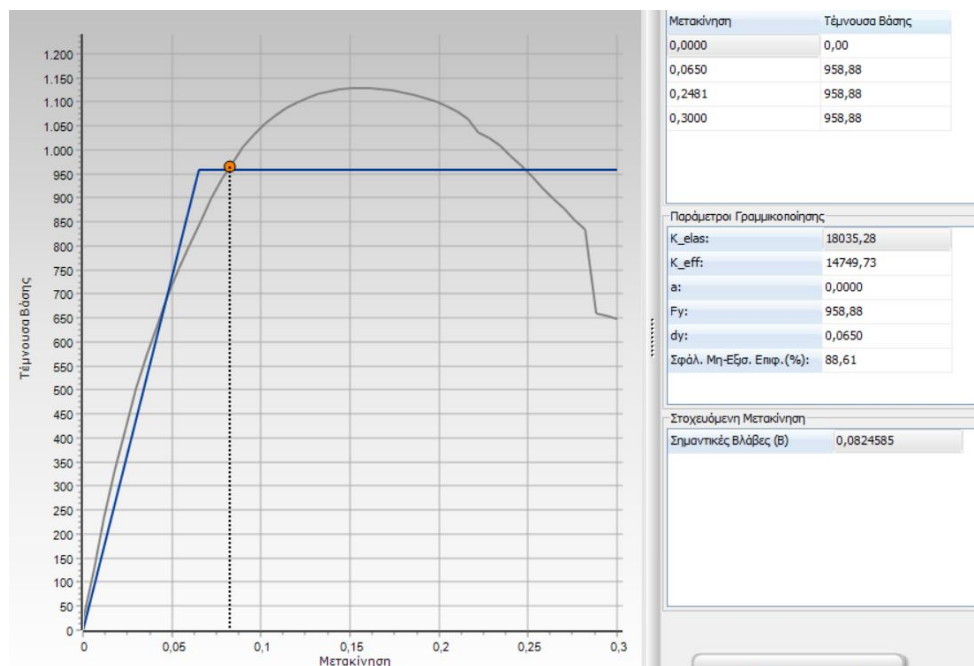
Σχήμα 4.7: Το κτίριο μετά την επιβολή του σεισμού σχεδιασμού

Εφόσον δεν σημειώνεται καμία δομική αστοχία στο κτίριο για την επιτάχυνση σχεδιασμού του, εκτελούνται οι απαραίτητες δοκιμές για την εύρεση της αντοχής του απουσία διάβρωσης του οπλισμού του. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν αστοχία του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση 0,20 g. Ορατή απόδειξη αποτελεί η βλάβη σε μια δοκό του πρώτου

ορόφου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για τη δεδομένη σεισμική επιτάχυνση.



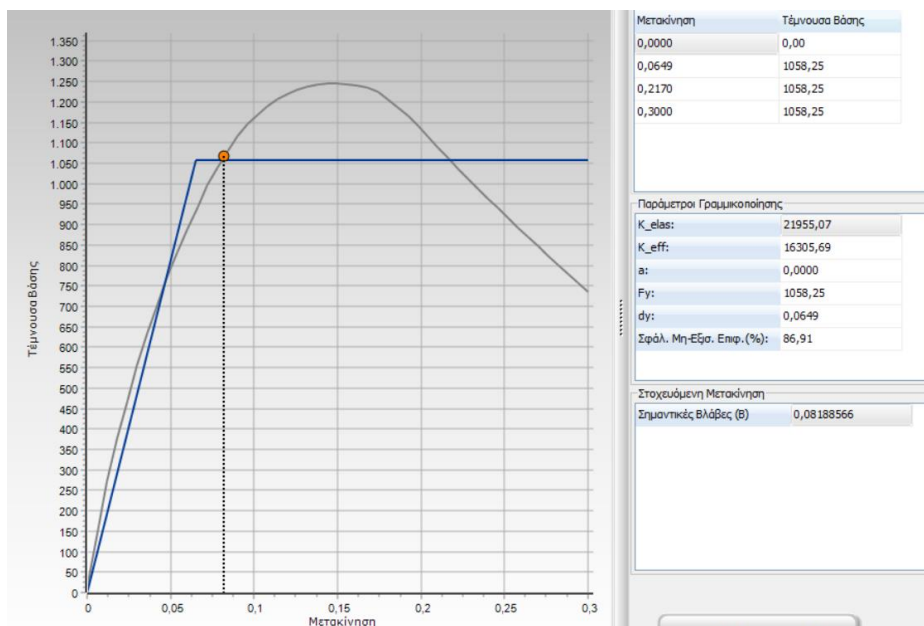
Σχήμα 4.8: Βλάβη σε μια δοκό του πρώτου ορόφου του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0.20g



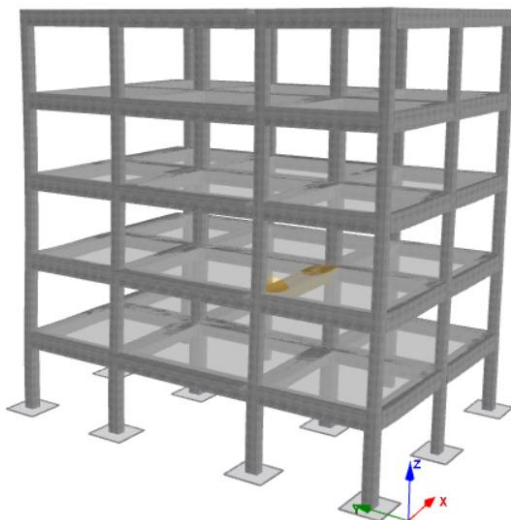
Σχήμα 4.9: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,20g

4.5.2 Διάβρωση του οπλισμού 5%

Μια κλιμάκωση της διάβρωσης του οπλισμού στο 5% έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε 0,158 g για την οποία το κτίριο παρουσιάζει την πρώτη ανεπάρκεια, συνοδευόμενη από βλάβη σε δοκό στον δεύτερο όροφο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.11. Αυτή η μείωση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης με κλιμακούμενη διάβρωση υπογραμμίζει μια επιδείνωση της δομικής ακεραιότητας, επηρεάζοντας έτσι τη σεισμική ικανότητα του κτιρίου. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση για την οποία το κτίριο δεν παρουσιάζει ανεπάρκειες είναι 0,157g. Στο Σχήμα 4.10 φαίνεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και η στοχευόμενη μετακίνηση για την επιτάχυνση 0,158g.

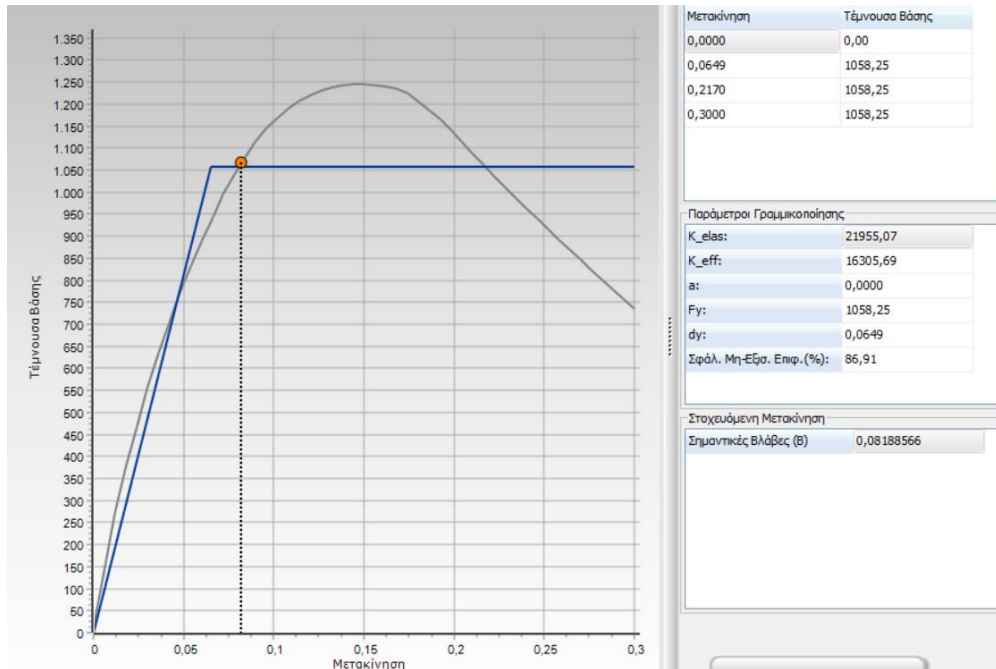


Σχήμα 4.10: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,158g και διάβρωση του οπλισμού του 5%

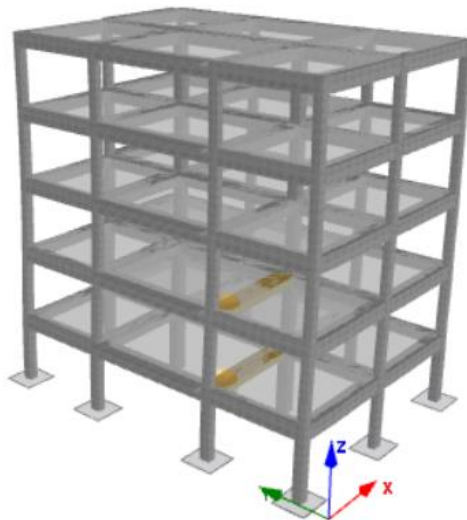


Σχήμα 4.11: Αστοχία μίας δοκού στον δεύτερο όροφο του κτιρίου με 5% διάβρωση του οπλισμού του

Διάβρωση 5% και εδαφική επιτάχυνση 0,16g, δηλαδή η επιτάχυνση σχεδιασμού, έχουν ως αποτέλεσμα βλάβες σε μία δοκό του πρώτου ορόφου και μία του δεύτερου. Η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και η στοχευόμενη μετακίνηση για τον συγκεκριμένο σεισμό φαίνεται στο Σχήμα 4.12. Στο Σχήμα 4.13 παρουσιάζονται οι βλάβες στο κτίριο.



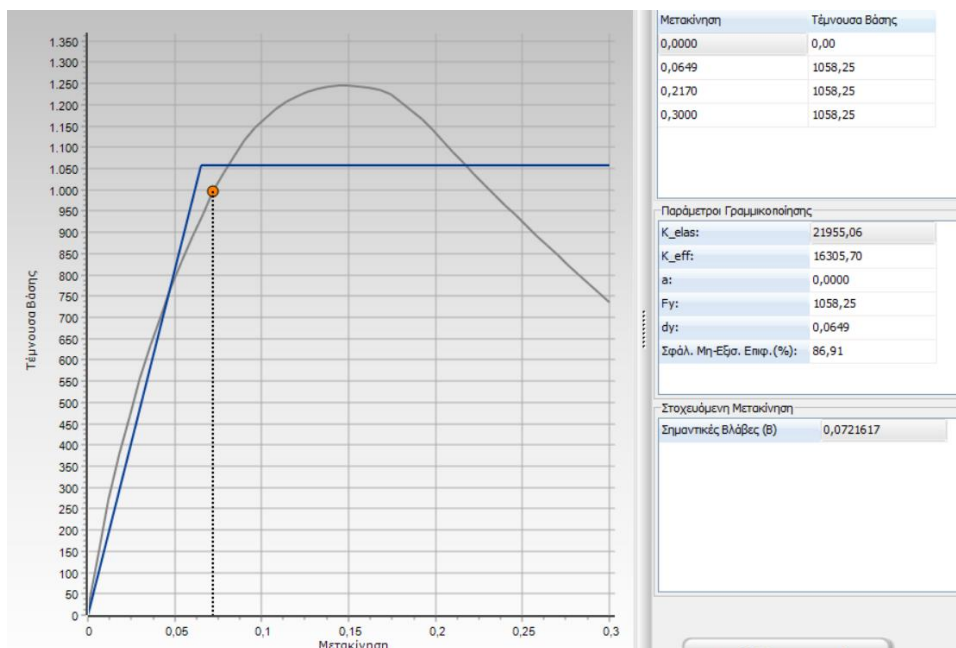
Σχήμα 4.12: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση 0,16g και 5% διάβρωση του



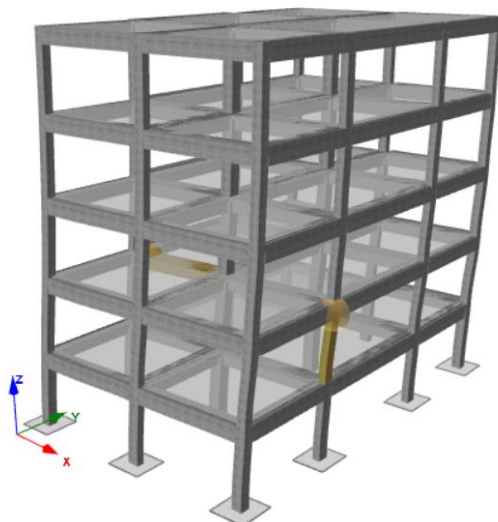
Σχήμα 4.13: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και διάβρωση του οπλισμού του 5%

4.5.3 Διάβρωση του οπλισμού 10%

Περαιτέρω αύξηση της διάβρωσης στο 10% οδηγεί σε μείωση της ικανότητας του κτιρίου, με την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση να μειώνεται σε 0,140 g, ενώ για μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0,141 g παρουσιάζονται οι πρώτες βλάβες σε μια δοκό και ένα υποστύλωμα στον δεύτερο όροφο. Στο Σχήμα 4.13 απεικονίζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για το συγκεκριμένο τύπο διάβρωσης, ενώ στο Σχήμα 4.14 φαίνονται οι αστοχίες των μελών για μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0,141 g.

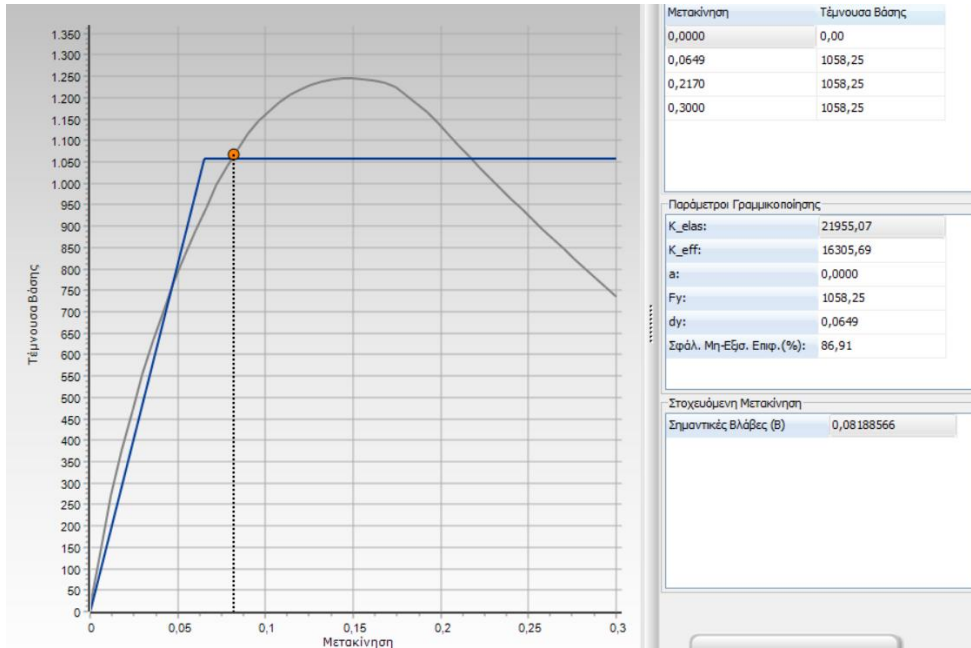


Σχήμα 4.14: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση 0,141g και διάβρωση του οπλισμού του 10%

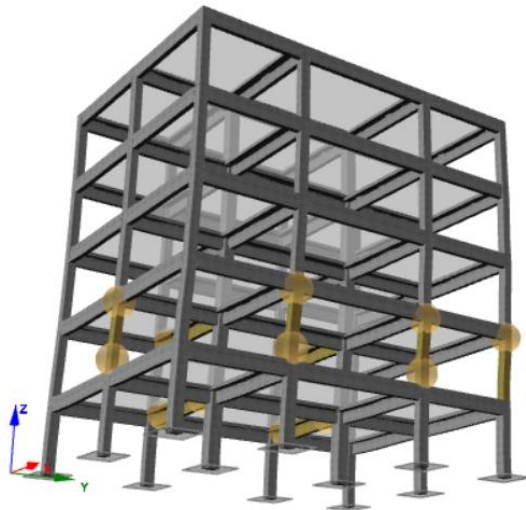


Σχήμα 4.15: Βλάβες στο κτίριο για εδαφική επιτάχυνση 0,141g και 10% διάβρωση του οπλισμού του

Η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για το σεισμό σχεδιασμού και 10% διάβρωση του οπλισμού του απεικονίζεται στο Σχήμα 4.15. Στο Σχήμα 4.16 είναι εμφανής η εκτεταμένη εξάπλωση των βλαβών στους δύο πρώτους ορόφους του κτιρίου για τη συγκεκριμένη σεισμική επιτάχυνση (0.16g). Ειδικότερα, αστοχούν δύο δοκοί του πρώτου ορόφου, 2 δοκοί και πέντε υποστυλώματα του δεύτερου.



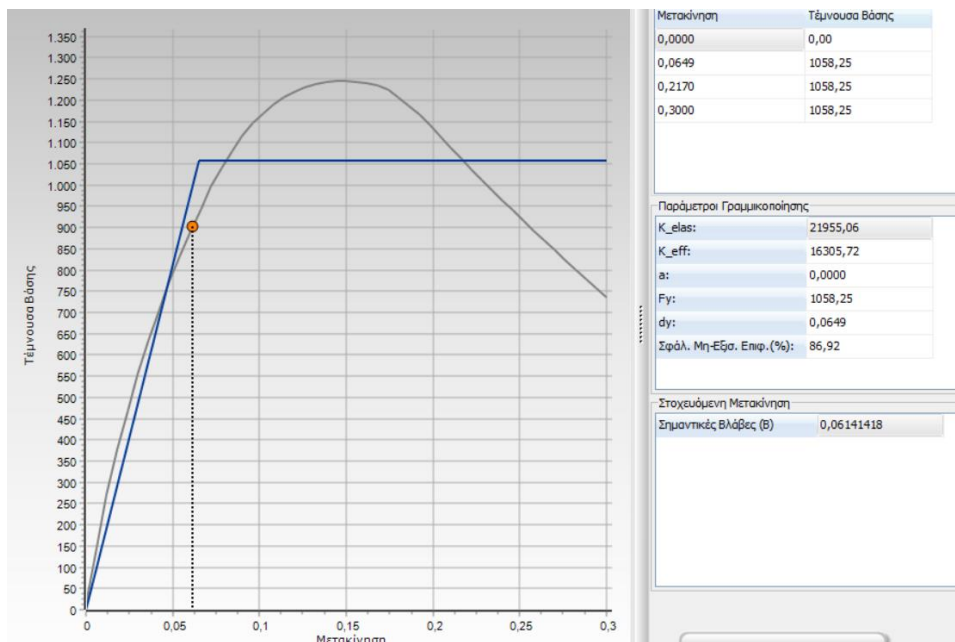
Σχήμα 4.16: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για το σεισμό σχεδιασμού και 10% διάβρωση του οπλισμού του



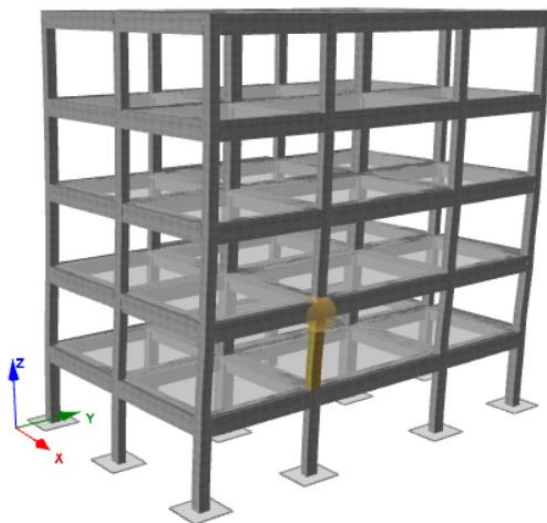
Σχήμα 4.17: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 10% διάβρωση του οπλισμού του

4.5.4 Διάβρωση του οπλισμού 15%

Σε αύξηση της διάβρωσης στο 15%, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση μειώνεται περαιτέρω στα 0,119g, ενώ για επιτάχυνση 0,120g παρουσιάζονται οι πρώτες βλάβες σε ένα υποστύλωμα του δεύτερου ορόφου. Στο Σχήμα 4.17 παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και η στοχευόμενη μετακίνηση για σεισμό με εδαφική επιτάχυνση 0,120g, ενώ οι βλάβες είναι ορατές στο Σχήμα 4.18. Αυτή η μείωση αποδεικνύει την προοδευτική εξασθένηση της δομικής αντοχής και μια αυξημένη ευαισθησία σε σεισμικές διαταραχές, ακόμη και σε μέτρια επίπεδα διάβρωσης.

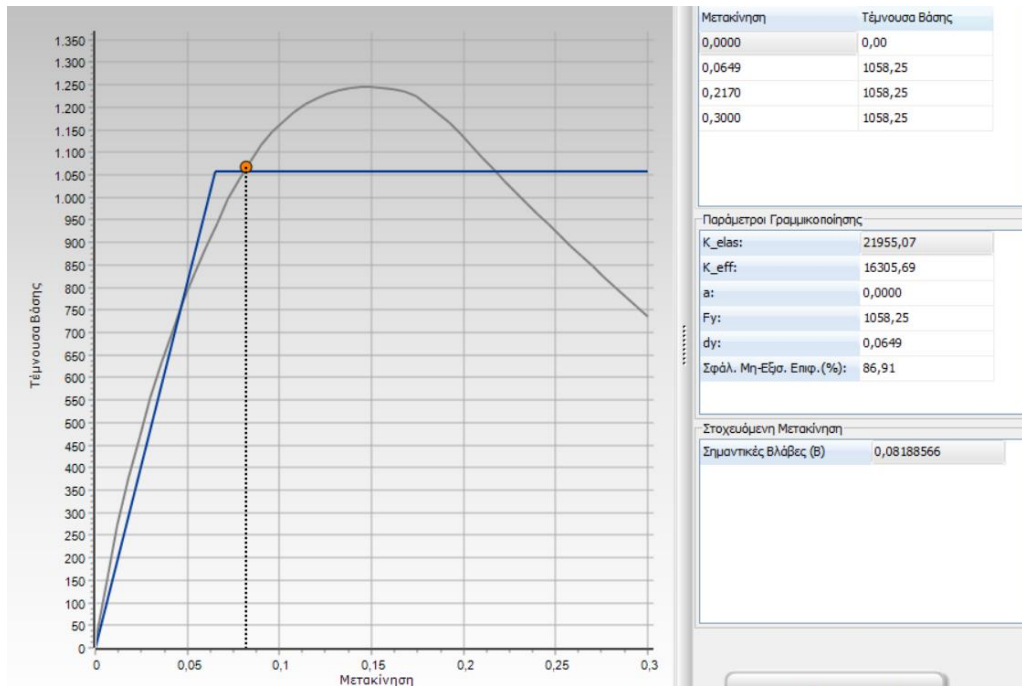


Σχήμα 4.18: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,120g και διάβρωση του οπλισμού του 15%

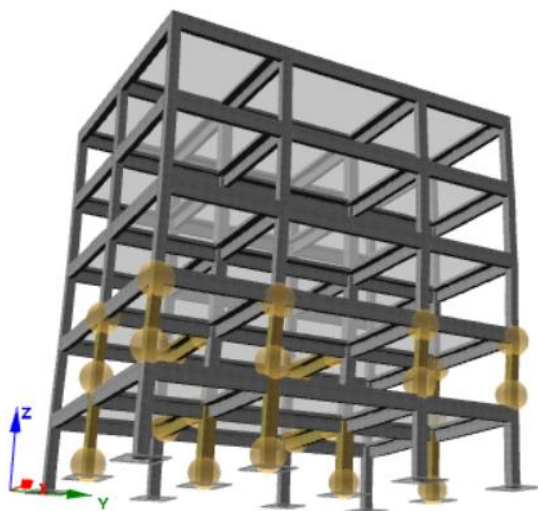


Σχήμα 4.19: Βλάβες στο κτίριο με εδαφική επιτάχυνση 0,120g και 15% διάβρωση του οπλισμού του

Η εφαρμογή του σεισμού σχεδιασμού επιφέρει ιδιαίτερα δυσμενείς συνέπειες στη δομική ακεραιότητά του κτιρίου, παρουσιάζοντας εκτεταμένες βλάβες στους δύο πρώτους ορόφους. Στην στοχευόμενη μετακίνηση για σεισμό με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.16g αστοχούν δύο δοκοί και πέντε υποστυλώματα στον πρώτο όροφο, καθώς και δύο δοκοί και έξι υποστυλώματα στον δεύτερο όροφο. Στα σχήματα Σχήμα 4.19 και Σχήμα 4.20 φαίνονται η καμπύλη ικανότητας και η στοχευόμενη μετακίνηση για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και οι βλάβες αντίστοιχα.



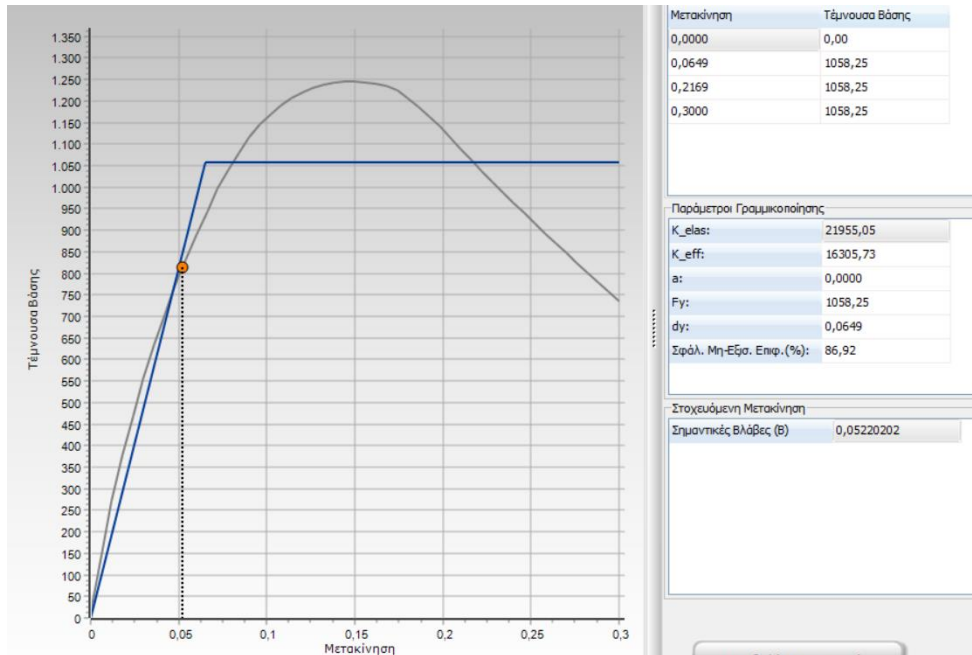
Σχήμα 4.20: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση 0,16g και 15% διάβρωση του οπλισμού



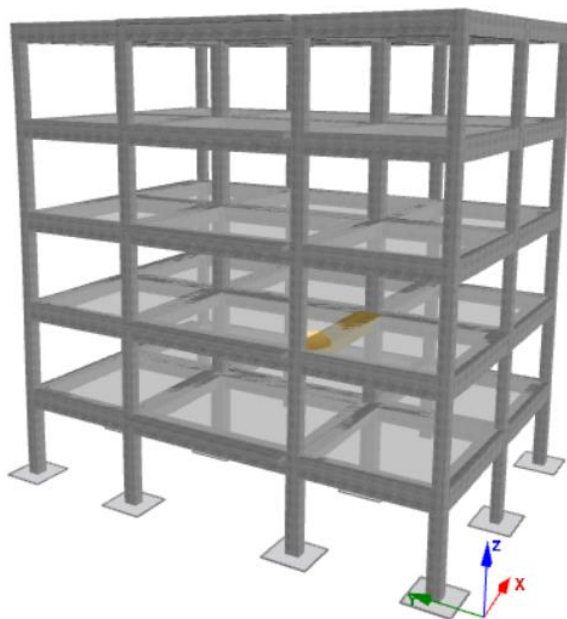
Σχήμα 4.21: Βλάβες στο κτίριο για εδαφική επιτάχυνση 0,16g και 15% διάβρωση του οπλισμού του

4.5.5 Διάβρωση του οπλισμού 20%

Το σενάριο γίνεται όλο και πιο επικίνδυνο καθώς η διάβρωση φτάνει το 20%, με την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση για την οποία δεν παρουσιάζονται ανεπάρκειες να πέφτει στα 0,101g, ενώ για επιτάχυνση 0,102 g παρουσιάζονται οι πρώτες βλάβες σε μια δοκό του δεύτερου ορόφου. Η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και οι αντίστοιχες βλάβες παρουσιάζονται στα σχήματα Σχήμα 4.21 και Σχήμα 4.22.

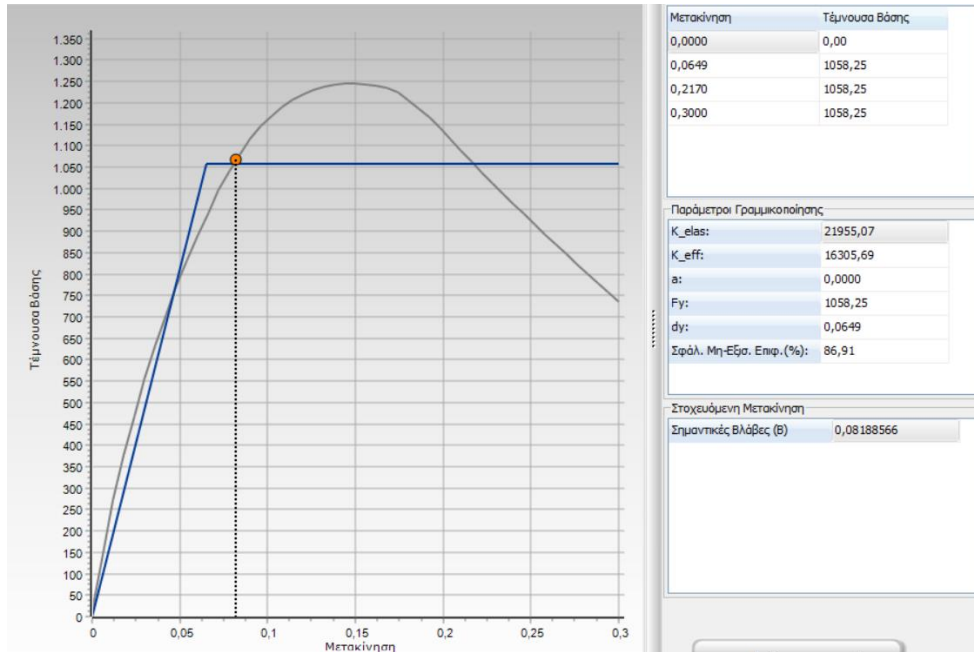


Σχήμα 4.22: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για εδαφική επιτάχυνση του σεισμού 0,102g και 20% διάβρωση του οπλισμού

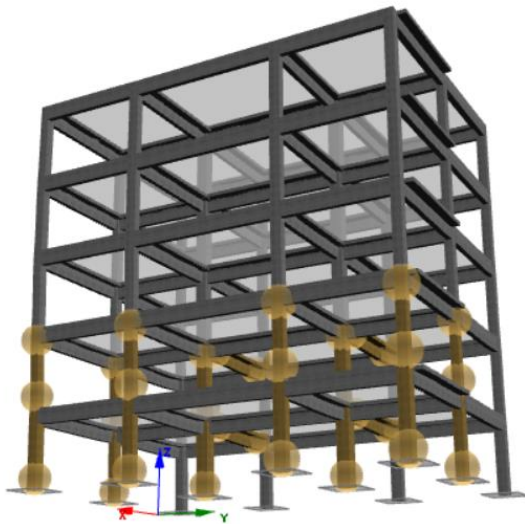


Σχήμα 4.23: Βλάβες στο κτίριο για εδαφική επιτάχυνση 0.102g και 20% διάβρωση του οπλισμού του

Η επιβολή της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού στο κτίριο με διάβρωση του οπλισμού του κατά 20% έχει ως αποτέλεσμα την αστοχία δύο δοκών και οκτώ υποστυλωμάτων τόσο στον πρώτο όροφο όσο και στον δεύτερο. Στα σχήματα Σχήμα 4.23 και Σχήμα 4.24 φαίνονται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου με την αντίστοιχη στοχευόμενη μετακίνηση και οι βλάβες.



Σχήμα 4.24: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 20% διάβρωση του οπλισμού του



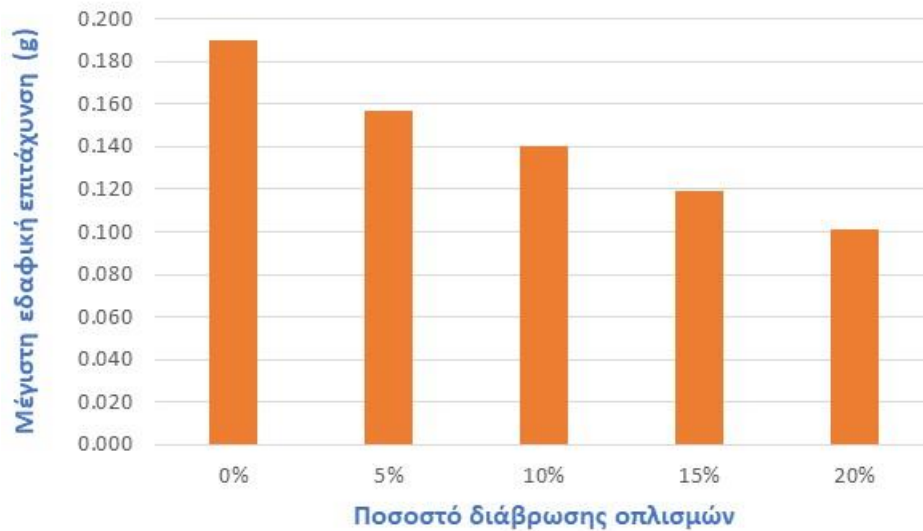
Σχήμα 4.25: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 20% διάβρωση του οπλισμού του

4.5.6 Συμπεράσματα Αναλύσεων

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων σημειώνονται οι εξής παρατηρήσεις:

- **Πρωτογενής Δομή (0,190g)** : Εντοπίζεται το σημείο αναφοράς που δείχνει την ανθεκτικότητα του κτιρίου απουσία διάβρωσης. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που μπορεί να αντέξει η κατασκευή είναι καθοριστική για τη διάκριση των αρχικών στατικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της.
- **5% Διάβρωση (0,157g)**: Αυτή η παρατήρηση υπογραμμίζει τη συμπεριφορά του κτιρίου με μικρή διάβρωση. Μια αξιοσημείωτη πτώση στη σεισμική ανθεκτικότητα υποδηλώνει την έναρξη της επίδρασης της διάβρωσης στην δομική ακεραιότητα.
- **10% Διάβρωση (0,140g)**: Με αυξημένο επίπεδο διάβρωσης, υπάρχει μια σημαντική μείωση στην ικανότητα της κατασκευής να αντέχει τις σεισμικές δυνάμεις, όπως αντανακλάται από την περαιτέρω μειωμένη μέγιστη επιτάχυνση.
- **15% Διάβρωση (0,119g)**: Η κλιμάκωση της σοβαρότητας της διάβρωσης συνεχίζει να θέτει σε κίνδυνο τη σεισμική απόκριση του κτιρίου, όπως αποδεικνύεται από τη μειωμένη σεισμική ανθεκτικότητα.
- **20% Διάβρωση (0,101g)**: Σε αυτή τη μείωση, η σεισμική ανθεκτικότητα της κατασκευής διακυβεύεται σημαντικά, με ένα επίπεδο διάβρωσης 20% που οδηγεί σε σημαντική μείωση της μέγιστης επιτάχυνσης που μπορεί να αντέξει η κατασκευή.

Στο Σχήμα 4.26 φαίνεται το διάγραμμα διάβρωσης-σεισμικής επιτάχυνσης, που φανερώνει τη συνεχώς μειούμενη επιτάχυνση που μπορεί να αντέξει η κατασκευή υπό διάβρωση.

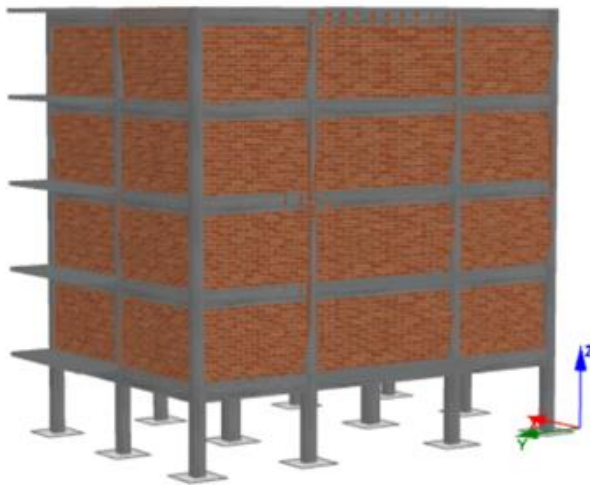


Σχήμα 4.26: Διάγραμμα διάβρωσης-σεισμικής επιτάχυνσης

Η ανάλυση διευκρινίζει μια έντονη συσχέτιση μεταξύ της προοδευτικής διάβρωσης του οπλισμού και της εξασθενημένης σεισμικής ευρωστίας του κτιρίου. Είναι προφανώς σαφές ότι η διάβρωση επηρεάζει αρνητικά τόσο τη δομική ανθεκτικότητα όσο και την αντοχή των στοιχείων του κτιρίου, αυξάνοντας την πιθανότητα σημαντικής βλάβης σε κάποιο σεισμικό γεγονός.

4.6 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΠΙΛΟΤΗ

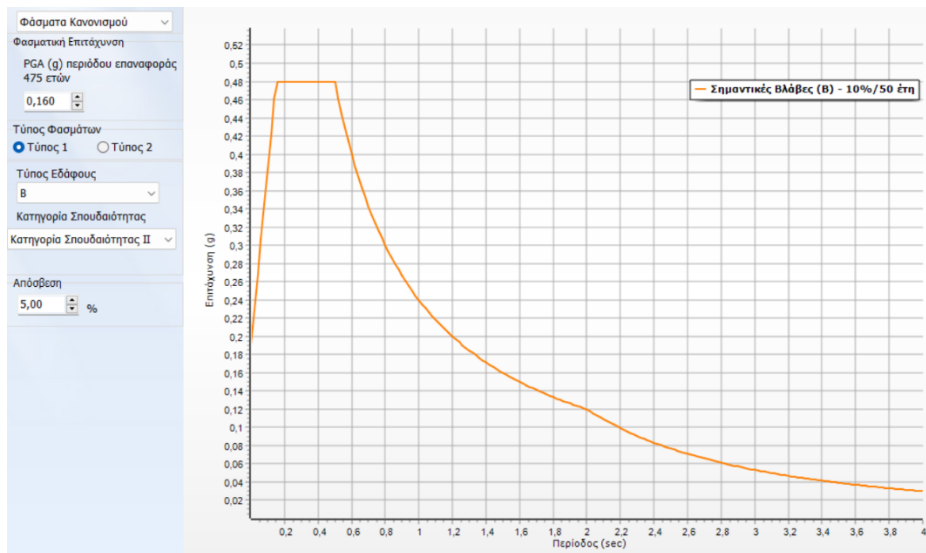
Στην παρούσα ενότητα δίνονται τα αποτελέσματα από τις ανελαστικές αναλύσεις στο κτίριο με πιλοτή, δηλαδή τοιχοποιία σε όλους τους ορόφους εκτός του ισογείου. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για την εύρεση της αντοχής του κτιρίου απουσία διάβρωσης του οπλισμού του, με διάβρωση 5%, 10%, 15% και 20%. Δίνεται σε διάγραμμα η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου για κάθε περίπτωση μελέτης, καθώς και οι βλάβες που προκύπτουν κάθε φορά. Στο Σχήμα 4.27 φαίνεται το κτίριο όπου γίνονται οι δοκιμές.



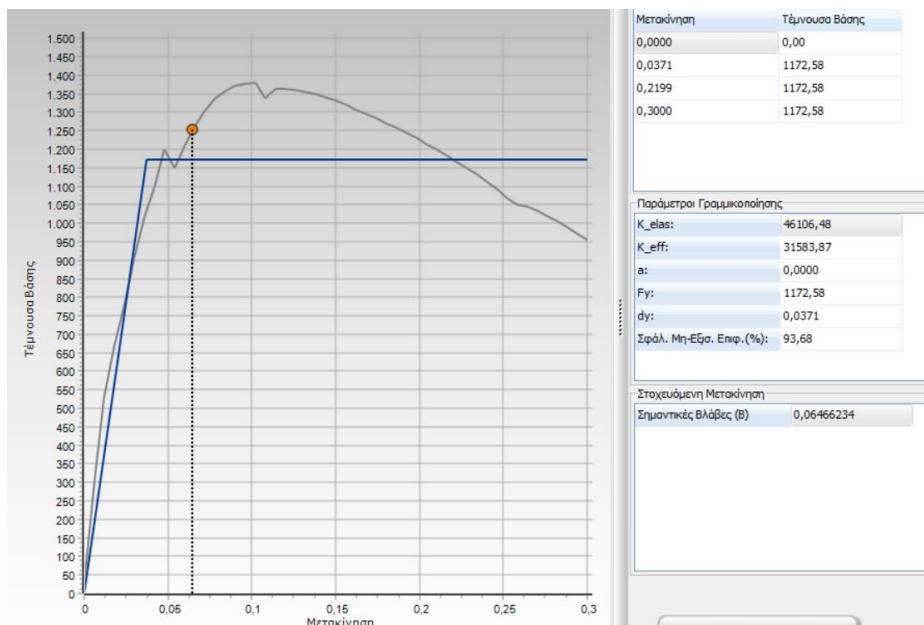
Σχήμα 4.27: Απεικόνιση του υπό μελέτη κτιρίου

4.6.1 Εύρεση της αντοχής του κτιρίου απουσία διάβρωσης

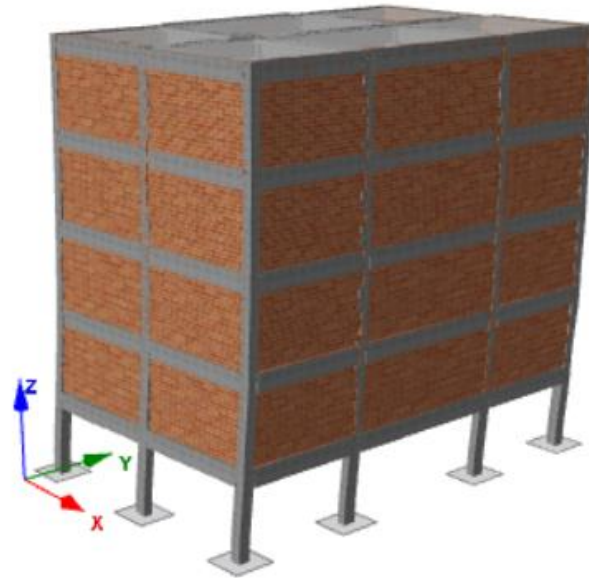
Η πρώτη δοκιμή στο κτίριο γίνεται με το φάσμα σχεδιασμού, δηλαδή εδαφική επιτάχυνση 0,16g. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δεν υπάρχουν αστοχίες στα δομικά μέλη του κτιρίου. Στα σχήματα Σχήμα 4.28, Σχήμα 4.29, Σχήμα 4.30 αποτυπώνονται το φάσμα σχεδιασμού, η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και η στοχευόμενη μετακίνηση για τη συγκεκριμένη επιτάχυνση και το κτίριο μετά τη δράση του σεισμού.



Σχήμα 4.28: Φάσμα σχεδιασμού του σεισμού

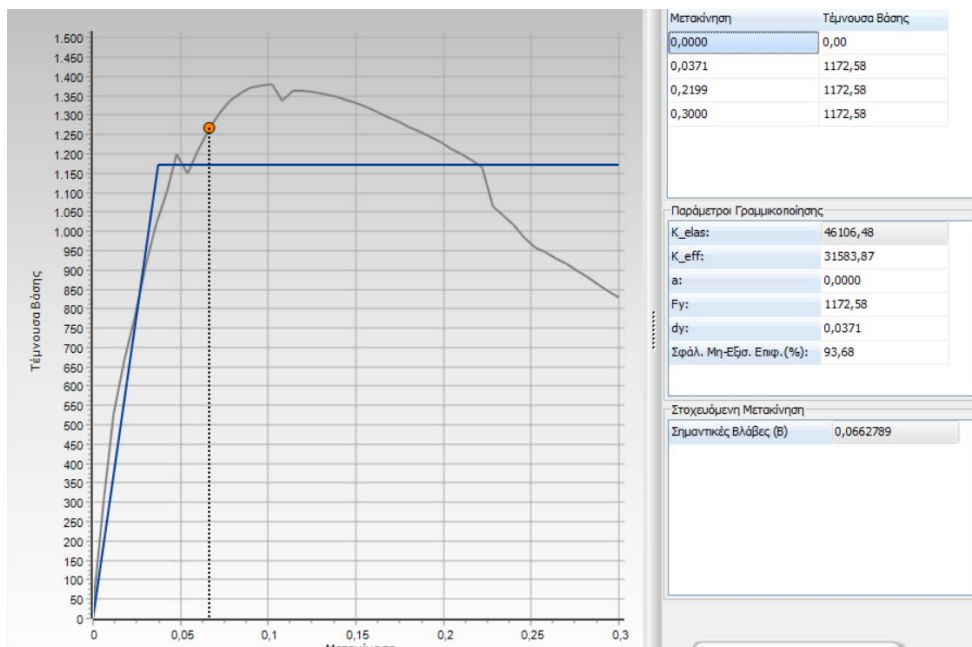


Σχήμα 4.29: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για τη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού

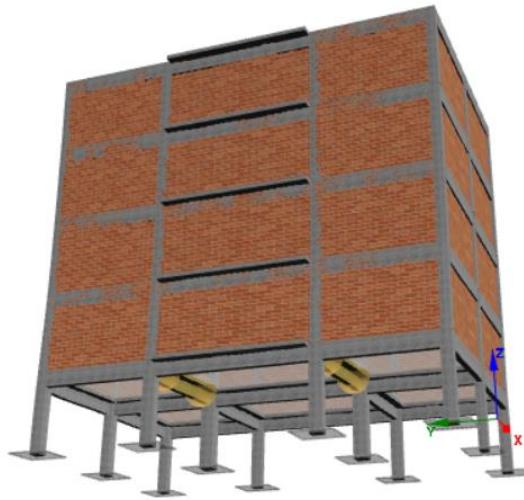


Σχήμα 4.30: Το κτίριο υπό την επιβολή του σεισμού σχεδιασμού

Ελλείψει ευδιάκριτων δεικτών διάβρωσης η κατασκευή εμφανίζει μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στα 0,163g, ενώ για επιτάχυνση 0,164 g παρουσιάζονται οι πρώτες βλάβες σε ένα ζεύγος δοκών στην στάθμη του ισογείου. Αυτή η ένδειξη χρησιμεύει ως απόδειξη της ευαισθησίας του σε σεισμικές δυνάμεις σχετικά μικρού μεγέθους. Η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου φαίνεται στο Σχήμα 4.31, ενώ στο Σχήμα 4.32 παρουσιάζονται οι βλάβες των μελών για την επιτάχυνση 0.164g.



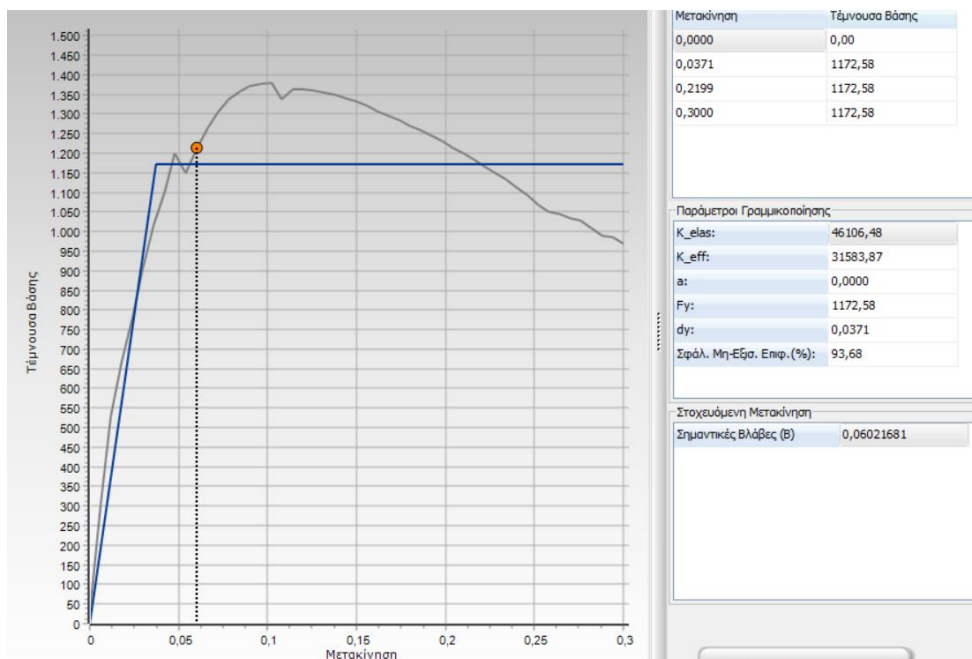
Σχήμα 4.31: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,164g



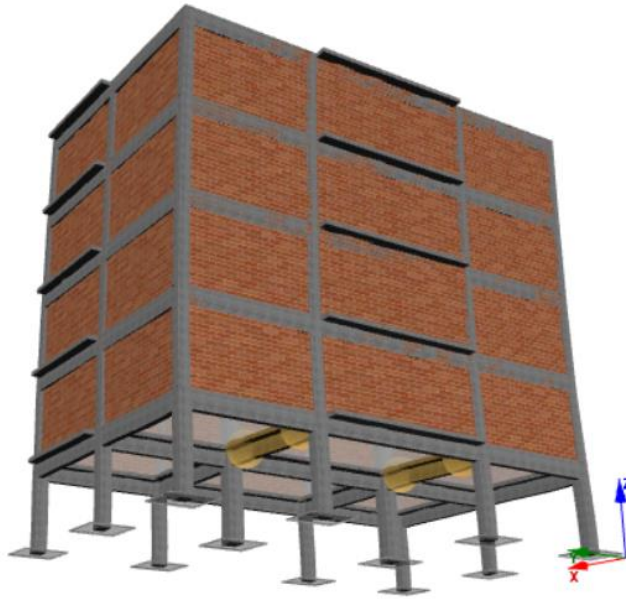
Σχήμα 4.32: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,164g

4.6.2 Διάβρωση του οπλισμού 5%

Η κλιμάκωση της διάβρωσης σε όριο 5% οδηγεί σε μείωση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης στα 0,148g, ενώ για επιτάχυνση 0,149g παρουσιάζονται στο κτίριο οι πρώτες βλάβες σε δύο δοκούς του ισογείου. Σημειώνεται ήδη κλονισμός της δομικής ακεραιότητας με την αύξηση της διάβρωσης και επιβεβαιώνεται η επιβλαβής επίδραση της τελευταίας στη δομική ολότητα του κτιρίου. Στα σχήματα Σχήμα 4.33 και Σχήμα 4.34 φαίνονται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και οι βλάβες στις δοκούς για σεισμική επιτάχυνση 0.149g.

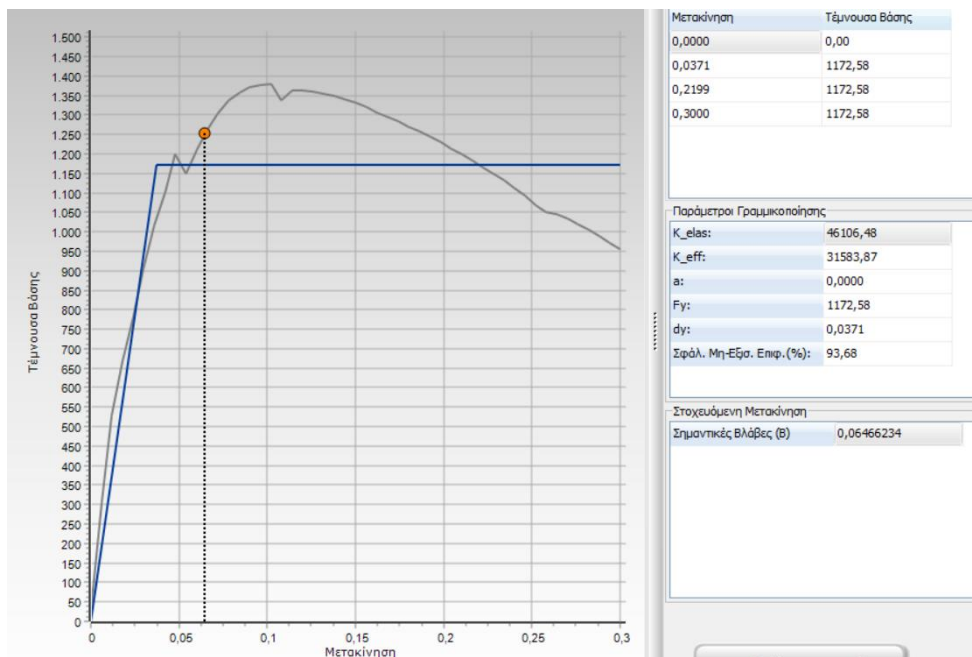


Σχήμα 4.33: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,149g και 5% διάβρωση του οπλισμού του

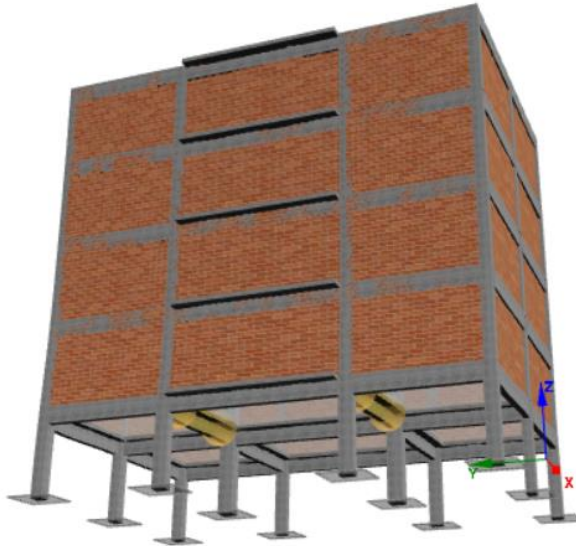


Σχήμα 4.34: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,149g και 5% διάβρωση του οπλισμού του

Με την επιβολή της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού (0,16g) στο κτίριο με 5% διάβρωση του οπλισμού του δεν παρατηρείται εξάπλωση των βλαβών σε περισσότερα μέλη. Οι αστοχίες περιορίζονται στις δύο δοκούς του πρώτου ορόφου, όπως και με την επιβολή της 0.149g. Στα σχήματα Σχήμα 4.35 και Σχήμα 4.36 φαίνονται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και οι αστοχίες των μελών για σεισμική επιτάχυνση 0,16g.



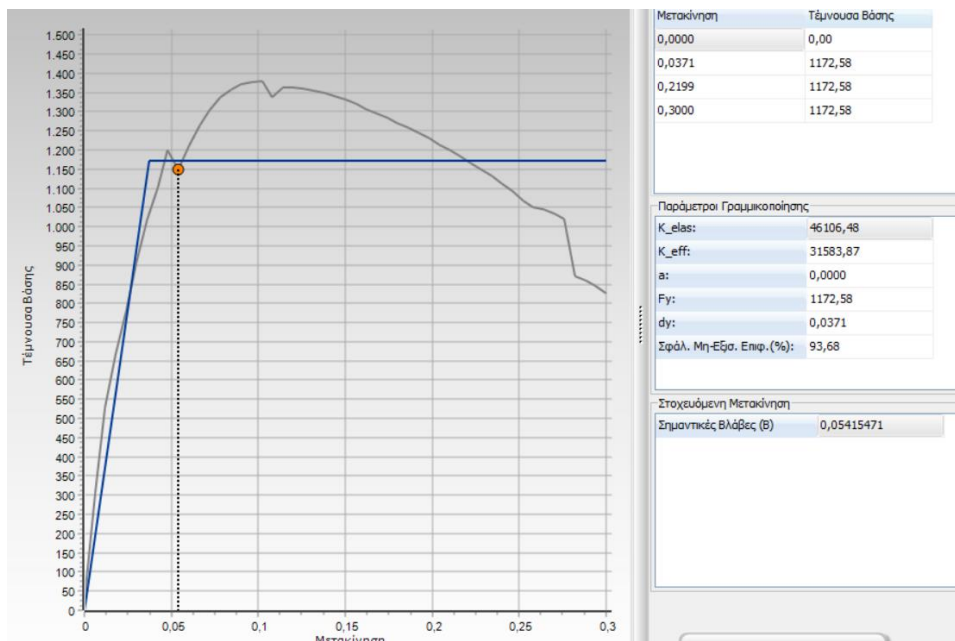
Σχήμα 4.35: Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 5% διάβρωση του οπλισμού



Σχήμα 4.36: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 5% διάβρωση του οπλισμού του

4.6.3 Διάβρωση του οπλισμού 10%

Η ενίσχυση της διάβρωσης στο όριο 10% προκαλεί μείωση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης στα 0,133g, ενώ για επιτάχυνση 0,134g παρατηρούνται οι πρώτες βλάβες σε δύο δοκούς και σε ένα υποστύλωμα του ισογείου. Η εκδήλωση βλαβών σε βασικά δομικά στοιχεία, όπως τα υποστυλώματα, υποδηλώνει μια σημαντική υποβάθμιση της συνολικής αντοχής του κτιρίου. Η καμπύλη ικανότητας για τη συγκεκριμένη σεισμική επιτάχυνση δίνεται στο Σχήμα 4.37 ενώ στο Σχήμα 4.38 παρουσιάζονται οι αστοχίες των μελών.

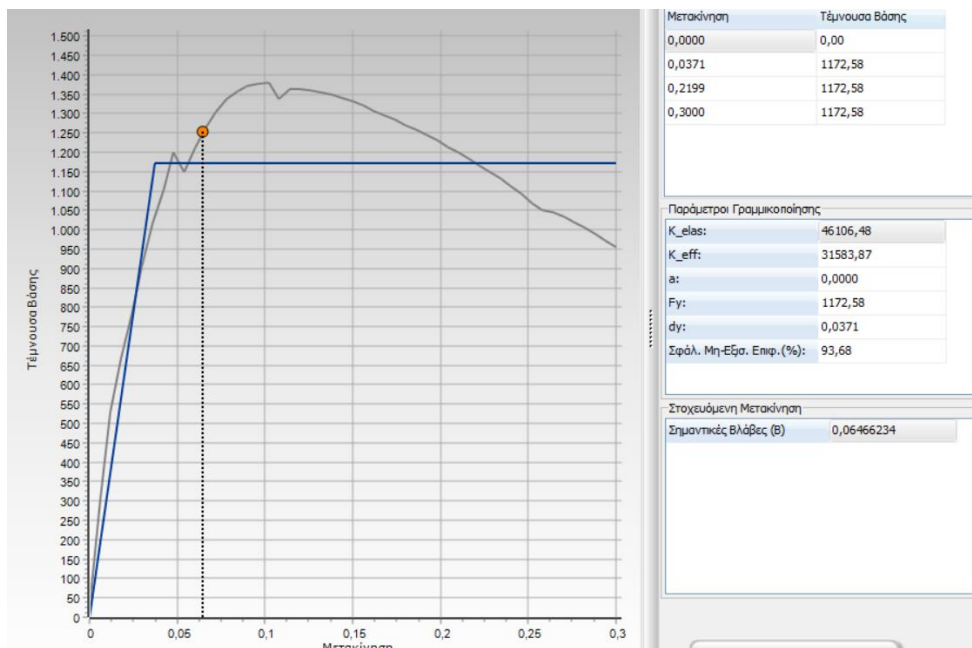


Σχήμα 4.37: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,134g και 10% διάβρωση του οπλισμού του

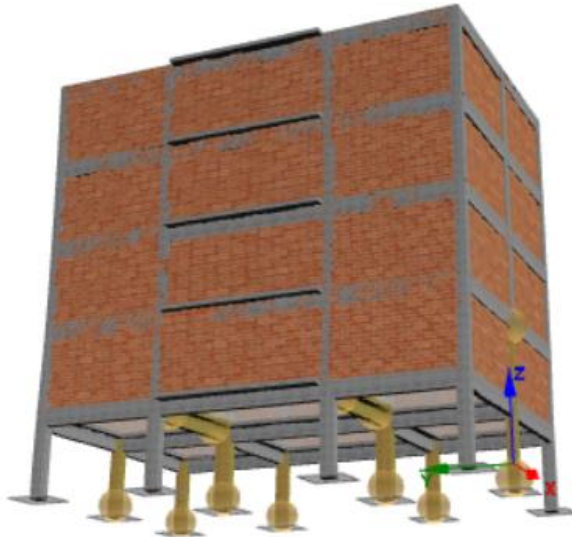


Σχήμα 4.38: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,134g και 10% διάβρωση του οπλισμού του

Ιδιαίτερα εκτεταμένες είναι οι βλάβες στο κτίριο όταν υπόκειται στη σεισμική επιτάχυνση 0.16g, καθιστώντας σαφή τον κίνδυνο λειτουργίας του όπως και την ελλιπή ασφάλεια των κατοίκων. Δύο δοκοί και επτά υποστυλώματα του στην κατώτερη στάθμη, καθώς και δύο υποστυλώματα στην δεύτερη στάθμη παρουσιάζουν σημαντικές βλάβες. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στα σχήματα Σχήμα 4.39 και Σχήμα 4.40, όπου υπάρχει η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για τη δεδομένη επιτάχυνση και οι αντίστοιχες βλάβες.



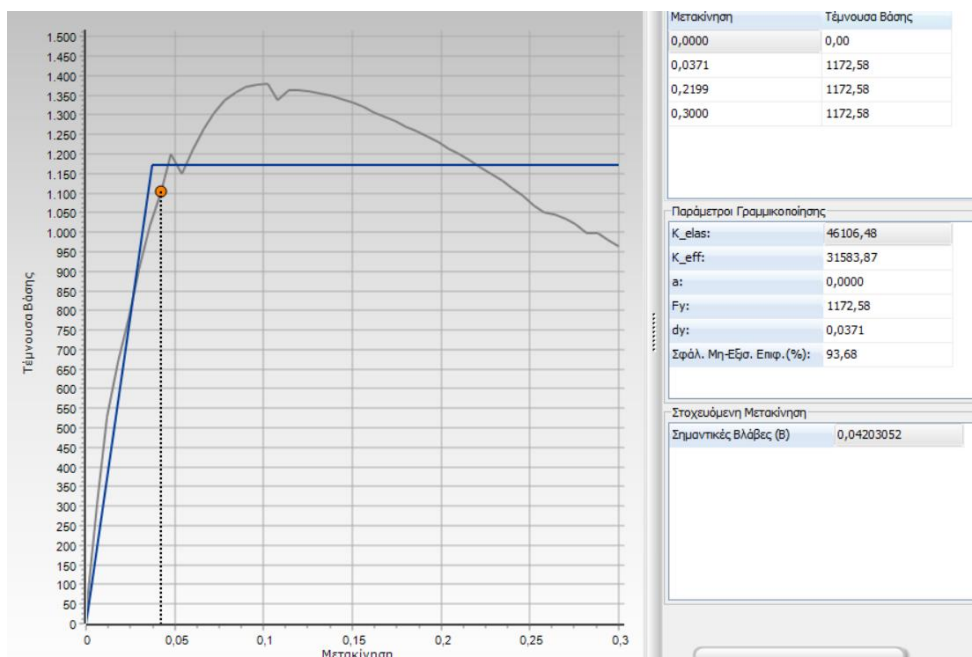
Σχήμα 4.39: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 10% διάβρωση του οπλισμού του



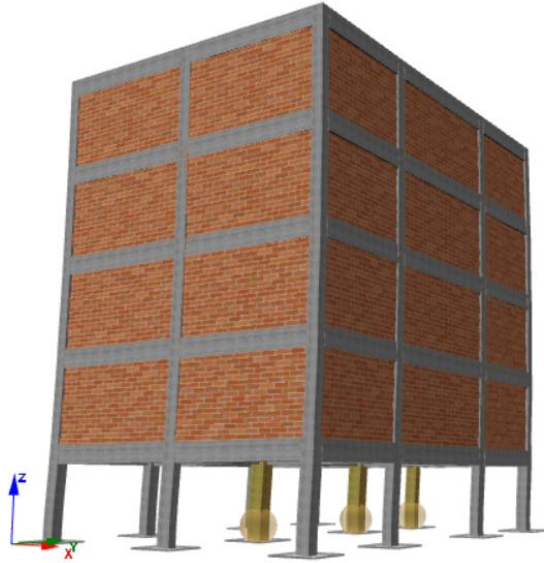
Σχήμα 4.40: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 10% διάβρωση του οπλισμού του

4.6.4 Διάβρωση του οπλισμού 15%

Η αύξηση της διάβρωσης στο 15% περιορίζει την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση για την οποία δεν παρατηρούνται βλάβες σε 0,103g, ενώ για επιτάχυνση 0,104 g παρατηρούνται βλάβες σε τρία υποστυλώματα του ισογείου. Αυτό το σενάριο τονίζει τον κίνδυνο που ενέχει η διάβρωση για τη δομική σταθερότητα. Στο Σχήμα 4.41 απεικονίζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για το συγκεκριμένο σεισμό, ενώ στο Σχήμα 4.42 φαίνονται οι αντίστοιχες βλάβες στα δομικά μέλη του κτιρίου.

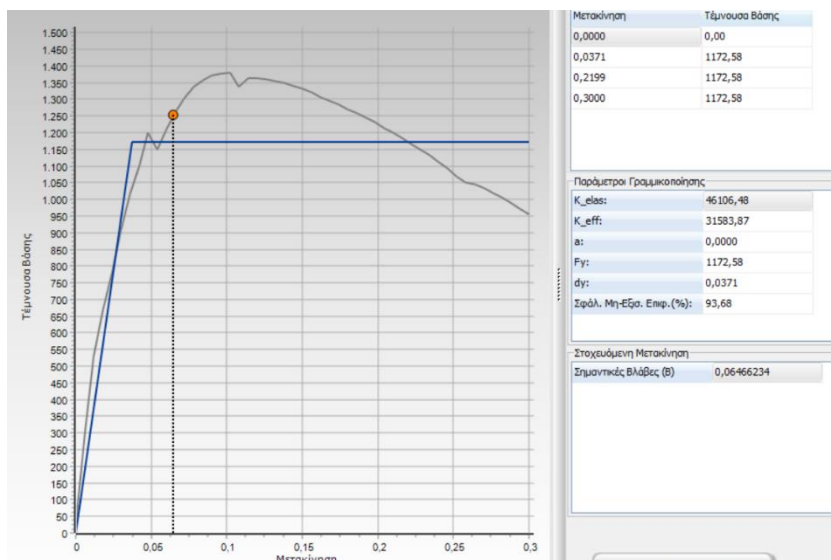


Σχήμα 4.41: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,104g και 15% διάβρωση του οπλισμού του

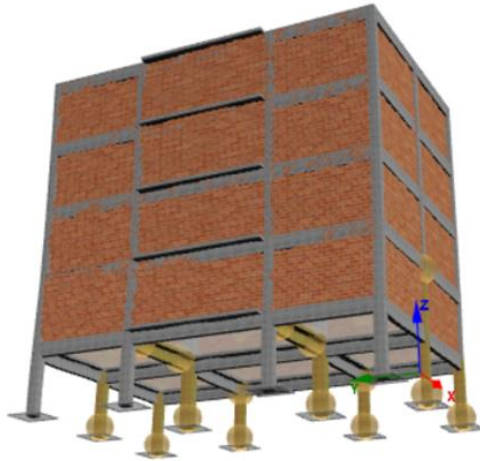


Σχήμα 4.42: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,104g και διάβρωση του οπλισμού του 15%

Το κτίριο με 15% διάβρωση του οπλισμού και σεισμική επιτάχυνση 0,16g παρουσιάζει ιδιαίτερα σημαντικές βλάβες στο σύνολό του. Η αστοχία δύο δοκών και οκτώ υποστυλωμάτων στο ισόγειο, όπως και η βλάβη σε πέντε υποστυλώματα της δεύτερης στάθμης υποδηλώνουν αξιοσημείωτη απώλεια της στιβαρότητας και ανθεκτικότητας του κτιρίου στο συγκεκριμένο σεισμό. Στο Σχήμα 4.43 παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g. Στο Σχήμα 4.44 φαίνονται οι βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού.



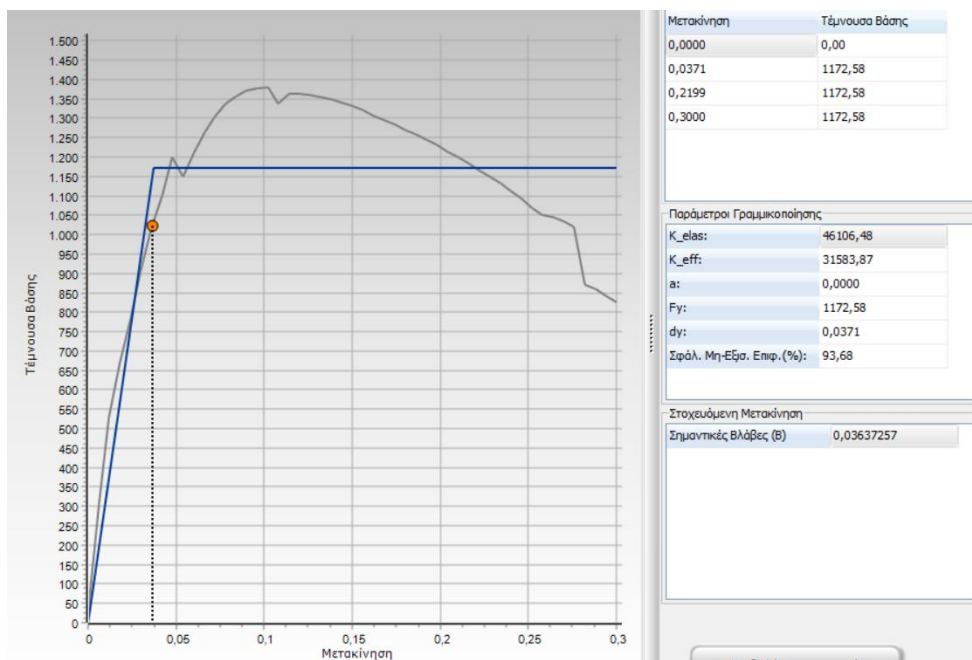
Σχήμα 4.43: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και διάβρωση του οπλισμού του 15%



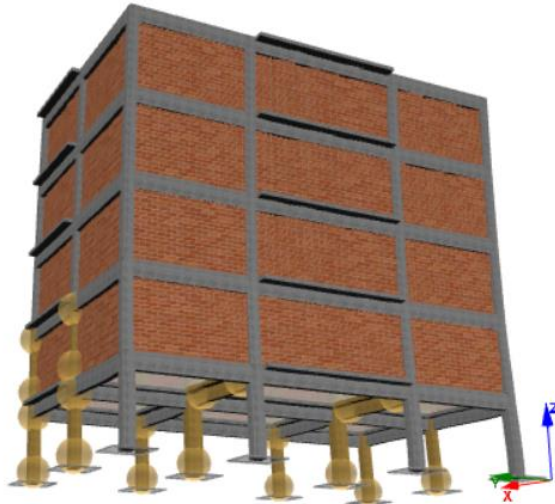
Σχήμα 4.44: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 15% διάβρωση του οπλισμού του

4.6.5 Διάβρωση του οπλισμού 20%

Η πρόοδος σε επίπεδο διάβρωσης 20% μειώνει περαιτέρω την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση για την οποία δεν παρατηρούνται βλάβες σε 0,089g, ενώ για επιτάχυνση 0,090 g παρατηρούνται οι πρώτες βλάβες σε τέσσερα υποστυλώματα και ένα ζεύγος δοκών στο ισόγειο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.46. Η εκτεταμένη φθορά των δομικών στοιχείων υπογραμμίζει μια αξιοσημείωτη μείωση του σεισμικού σθένους, υποδηλώνοντας μια κλιμακούμενη ευαισθησία σε επακόλουθες σεισμικές διαταραχές. Η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,090g φαίνεται στο Σχήμα 4.45.



Σχήμα 4.45: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου για σεισμική επιτάχυνση 0,090g και διάβρωση του οπλισμού 20%



Σχήμα 4.48: Βλάβες στο κτίριο για σεισμική επιτάχυνση 0,16g και 20% διάβρωση του οπλισμού του

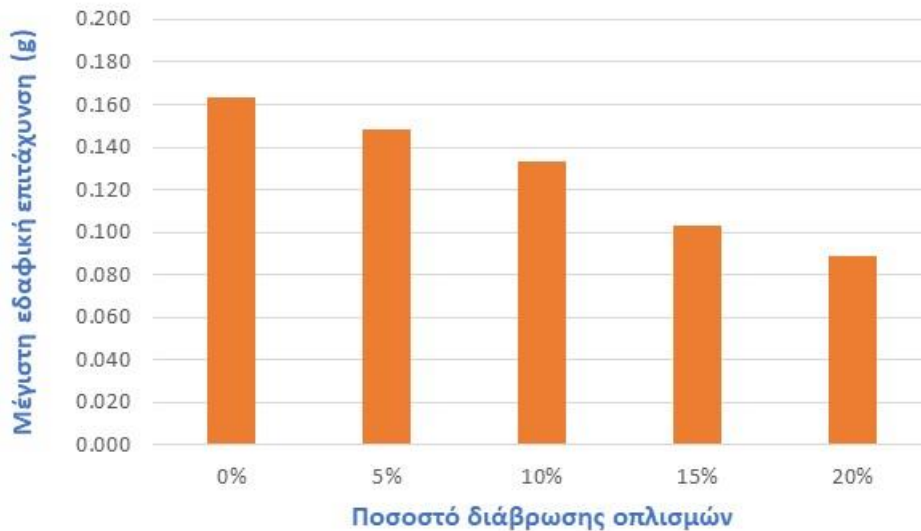
4.6.6 Συμπεράσματα έρευνας

Η μελέτη του κτιρίου παρουσία τοιχοποιίας και πιλοτής δίνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- **Πρωτογενής δομή (0,163g):** Εντοπίζεται η αντοχή του κτιρίου στην περίπτωση που δεν λαμβάνεται διάβρωση των οπλισμών.
- **5% Διάβρωση (0,148g):** Η ανάλυση αυτή δίνει μια πρώτη εικόνα της συμπεριφοράς του κτιρίου σε σεισμό, με την παραδοχή ενός σχετικά μικρού ποσοστού διάβρωσης του οπλισμού του. Παρατηρείται πτώση της αντοχής του κτιρίου κατά 10% περίπου, καθιστώντας, από αυτό το στάδιο κιάλας, απαραίτητη την παρακολούθηση της επάρκειας των δομικών μελών.
- **10% Διάβρωση (0,133g):** Αύξηση της διάβρωσης του οπλισμού στο 10% επιφέρει ακόμα μικρότερη τιμή σεισμικής επιτάχυνσης για την αντοχή του κτιρίου. Η ανθεκτικότητα κλονίζεται περαιτέρω, καθώς οι βλάβες στα μέλη της κατασκευής εξαπλώνονται.
- **15% Διάβρωση (0,103g):** Αξιοσημείωτη είναι η πτώση της σεισμικής επιτάχυνσης, σε σχέση με το προηγούμενο ποσοστό δοκιμής (10%). Η ικανότητα του κτιρίου να ανταπεξέλθει σε σεισμική δόνηση μεγαλύτερη από 0,104g επιβεβαιώνει τη δυσμενή κατάσταση των μελών του λόγω της διάβρωσης του οπλισμού.

- **20% Διάβρωση (0,089g):** Η τιμή της επιτάχυνσης που μπορεί το κτίριο να αντέξει έχει πλέον μειωθεί σημαντικά. Οι εκτεταμένες βλάβες στα δομικά μέλη καθιστούν ανεπαρκή την ασφάλεια των ενοίκων.

Στο Σχήμα 4.49 παρουσιάζεται ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα της σεισμικής επιτάχυνσης του κτιρίου για τα διάφορα ποσοστά διάβρωσης του οπλισμού.



Σχήμα 4.49: Διάγραμμα διάβρωσης-σεισμικής επιτάχυνσης για το κτίριο με τοιχοποιία

Η παρατηρούμενη κλιμάκωση της απομείωσης των θεμελιωδών δομικών στοιχείων υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη για ολοκληρωμένες αξιολογήσεις της δομικής ακεραιότητας και τη δυνατότητα σεισμικών βελτιώσεων για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας του κτιρίου και την προστασία των ενοίκων του.

Κεφάλαιο 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ευρήματα αυτής της έρευνας υπογραμμίζουν τον κρίσιμο ρόλο που παίζει η σωστή κατασκευή, τηρώντας τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, όπως οι επικαλύψεις του οπλισμού καθώς και η συντήρηση στην αύξηση της σεισμικής στιβαρότητας των κατασκευών. Επισημαίνει την επιτακτική ανάγκη για έγκαιρη υιοθέτηση δομικών οχυρωματικών μέτρων για την αντιμετώπιση των αδυναμιών των δομικών στοιχείων, διασφαλίζοντας έτσι τη μακροζωία των κατασκευών έναντι των σεισμικών γεγονότων.

Η έρευνα τονίζει τις επιπτώσεις των σοβαρών μετεωρολογικών γεγονότων στα κτίρια, όπως η ενανθράκωση, οι κύκλοι ψύξης-απόψυξης στο σκυρόδεμα και η διάβρωση του οπλισμού και, προτείνει προληπτικές στρατηγικές και λύσεις για την αντιμετώπιση των πιθανών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής σε δομημένα περιβάλλοντα. Τονίζει την κρίσιμη ανάγκη για προληπτικά και διορθωτικά μέτρα για την ανακούφιση των τρωτών σημείων των κατασκευών.

Εξετάζεται ένα υφιστάμενο τυπικό κτίριο της δεκαετίας του 1970 για το οποίο αποτιμάται η φέρουσα ικανότητα του μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων. Εξετάζεται το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις και το αντίστοιχο κτίριο με τοιχοπληρώσεις σε όλες τις στάθμες εκτός του ισογείου (πilotή). Για κάθε ένα από τα δύο κτίρια εξετάζεται η περίπτωση απουσίας διάβρωσης των οπλισμών και διάβρωση σε ποσοστά 5%, 10%, 15% και 20%. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όπως είναι αναμενόμενο, το κτίριο με pilotή παρουσιάζει ανεπάρκειες για μικρότερη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση συγκριτικά με το κτίριο χωρίς τοιχοπληρώσεις, αναδεικνύοντας την δυσμενή συμπεριφορά των κτιρίων με pilotή.
- Η παρουσία διάβρωσης στους οπλισμούς του κτιρίου χωρίς τοιχοπληρώσεις προκαλεί μείωση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης από 20% έως 50%, για ποσοστά διάβρωσης 5% έως 20%.
- Η παρουσία διάβρωσης στους οπλισμούς του κτιρίου με pilotή προκαλεί μείωση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης από 10% έως 45%, για ποσοστά διάβρωσης 5% έως 20%.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υπογραμμίζουν την ύψιστη σημασία της διεξαγωγής τακτικών αξιολογήσεων της δομικής υγείας και της ανάληψης απαραίτητων διορθωτικών ενεργειών για την ενίσχυση της αντισεισμικής αντοχής των κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των αυξανόμενων απαιτήσεων συντήρησης. Η υιοθέτηση τέτοιων μέτρων κρίνεται απαραίτητη για τη διατήρηση της δομικής ευρωστίας και τη διασφάλιση της ασφάλειας των κατοίκων σε περίπτωση σεισμικών συμβάντων.

Βιβλιογραφία

- Fuhaid, A.F.A.; & Niaz, A. (2022). Carbonation and Corrosion Problems in Reinforced Concrete Structures. *Buildings* 2022, 12, 586.
- Baker, C., Chapman, L., Quinn, A., & Dobney, K. (2010). Climate change and the railway industry: a review. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 224(3), σσ. 519-528.
- Bradley, N., Leopold, A., Ross, J., & Huffaker, W. (1999). Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(17), σσ. 9701-9704.
- Davoudi, S., Crawford, J., & Mehmood, A. (2009). *Planning for Climate Change: Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners*. Earthscan: London, UK.
- Gilmore, A., & Clair, S. (2018). Budgeting for climate change: Obstacles and opportunities at the US state level. *Clim. Policy*, 18, σσ. 729-741.
- Hamin, E., & Gurrán, N. (2009). Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia. *Habitat International*, 33(3), σσ. 238-245.
- Markolf, S., Hoehne, C., Fraser, A., Chester, M., & Underwood, S. (2019). Transportation resilience to climate change and extreme weather events. *Beyond risk and robustness. Transp. Policy* 2019, 74, σσ. 144-186.
- McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human settlements in Low Elevation Coastal Zones'. *Environment & Urbanization*, 19(1), σσ. 17-37.
- Mehrotra, S., Lefevre, B., Zimmerman, R., Gerçek, H., Jacob, H., & Srinivasan, S. (2011). *Climate change and urban transportation systems*. Cambridge University Press.
- Watkins, P., Troeltzsch, J., & McGlade, K. (2018). *The Economic Cost of Climate Change in Europe Synthesis Report on COACCH Interim Results*.

Wisam Amer Aules (2019). *Behavior of Non-Ductile Slender Reinforced Concrete Columns Retrofit by CFRP Under Cyclic Loading*. Portland State University.

Ziehl, P. & ElBatanouny, M. (2015). Acoustic Emission and Related Non-Destructive Evaluation Techniques in the Fracture Mechanics of Concrete (Second Edition). *Low-level acoustic emission in the long-term monitoring of concrete*, σσ. 205-224.

Θωίδου, Ε., & Φουτάκης, Δ. (2015). Μητροπολιτικές περιοχές και δημόσιος χώρος : Ανθεκτικότητα και μετάβαση μέσα απο το παράδειγμα των κοινωτικών κήπων. *Έκδοση επιστημών του χώρου*, σσ. 55-67.

Καλλιώρα, Δ., & Πετράκου, Γ. (2011). Industrial Growth, Economic Integration and Structural Change: Evidence from the EU New Member-States Regions. *Annals of Regional Science* (45), σσ. 667-680.

Καυκαλάς, Γ., Βιτοπούλου, Α., Γεμενετζή, Γ., & Γιαννακού, Α. (2015). *Η αστική αναγέννηση και αναζωογόνηση ως απόκριση στην αστική αλλαγή*.