

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

ΔΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΡΑΝΤΣΕΣΚΑ ΦΕΡΑ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΠΑΧΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2023

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

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Επιβλέπων)	
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ (Εξεταστής)	
ΙΣΑΑΚ ΒΡΥΖΙΔΗΣ (Εξεταστής)	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Φραντσέσκα Φέρα του Σαϊμίρ, με αριθμό μητρώου 44546234 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 Ιδρύματος.

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

Η Δηλούσα



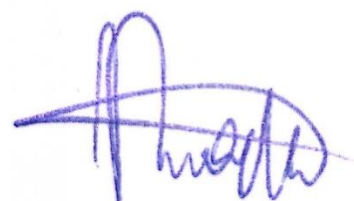
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος/η Παρασκευάς Παχνης του Σπυρίδων, με αριθμό μητρώου 44546540 φοιτητής 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 Ιδρύματος.

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

Ο Δηλών



Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και εξέταση της αντισεισμικής και παράλληλα ενεργειακής αναβάθμισης υφιστάμενων κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος. Αρχικά πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση με εκτενή αναφορά στους σεισμούς, το ιστορικό των σεισμών στον Ελλαδικό χώρο καθώς και τους αντίστοιχους κανονισμούς και πολιτικές. Έπειτα αναλύεται η ενεργειακή εικόνα των ελληνικών κατασκευών και φυσικά του αντίστοιχου θεσμικού πλαισίου. Επίσης γίνεται εκτενής αναφορά για τις μεθόδους σεισμικής ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος όπως για παράδειγμα μανδύες, ρητίνες, σεισμική μόνωση, FRP κ.α.). Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέθοδοι ενεργειακής αναβάθμισης μιας υφιστάμενης κατασκευής. Το τελικό μέρος εκθέτει μελέτη εφαρμογής σε απλό τυπικό υφιστάμενο κτίριο ενώ γίνεται ανάλυση του κτιρίου.

Οι κατασκευές και τα κτίρια αποτελούν έναν τομέα που ανήκει στην καθημερινότητα των ανθρώπων και αφορά ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής για λόγους στέγασης, εργασίας κ.α. Κτίρια όπως κατοικίες, εργασιακοί χώροι, σχολεία, δημόσια κτίρια κ.α. καταναλώνουν μεγάλα ποσοστά ενέργειας. Μάλιστα, η συνολική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων σε ετήσια βάση στην Ευρώπη αγγίζει το 40% ενώ οι ρύποι που εκπέμπονται αφορούν το 36%. Ως εκ τούτου, η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέση η Ευρωπαϊκή Ένωση: Να γίνει μια ήπειρος με μηδέν ανθρακικό αποτύπωμα έως το 2050. Συνεπώς, η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης είναι θέμα μείζονος σημασίας και ιδιαίτερα στα υφιστάμενα κτίρια.

Αναφορικά με την αντισεισμική αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων, η Ελλάδα αποτελεί μια σεισμογενή χώρα με αρκετούς καταστροφικούς σεισμούς στο παρελθόν. Η απώλεια ζών μαζί με τις ανυπολόγιστες καταστροφές οδήγησαν το Ελληνικό κράτος να αναπτύξει τον πρώτο αντισεισμικό κανονισμό το 1959 προκειμένου να ενισχύονται αντισεισμικά οι κατασκευές. Με το πέρασμα των ετών, οι αντισεισμικοί κανόνες εξελίχθηκαν περαιτέρω και ολοένα και εξελίσσονται. Σήμερα στην Ελλάδα οι ισχύοντες κανονισμοί (Ευρωκώδικας 8, ΚΑΝ.ΕΠΕ και ΕΑΚ2000) λαμβάνονται υπόψη τόσο για τη μελέτη νέων κατασκευών όσο και για την αναβάθμιση υφιστάμενων κατασκευών.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Κατάλογος Σχημάτων	9
Κατάλογος Πινάκων	11
1. Εισαγωγή	12
1.1 Γενικά.....	12
1.2 Δομή της Εργασίας	12
2. Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων	14
2.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Κτιρίων στην Ελλάδα.....	14
2.2 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων στην Ελλάδα και Χαρακτηριστικά Υφιστάμενων Κτιρίων 15	
2.3 Επιδράσεις Κτιρίων στο Περιβάλλον	20
2.4 Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης	25
2.5 Βιοκλιματικά Κτίρια.....	26
2.5.1 Τεχνικές	27
2.5.1.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	27
2.5.1.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα.....	28
2.6 Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).....	28
2.6.1 Τι είναι οι ΑΠΕ	29
2.6.1.1 Ηλιακή Ενέργεια.....	30
2.6.1.2 Αιολική Ενέργεια	32
2.6.1.3 Γεωθερμική Ενέργεια	34
2.6.1.4 Βιομάζα.....	35
2.6.2 Εφαρμογές ΑΠΕ στα Κτίρια	37

2.7	Λογισμικό 3DR KENAK	46
3.	Τεχνικές Ενίσχυσης Κτίριων έναντι Σεισμικών Δράσεων	48
3.1	Σεισμοί.....	48
3.2	Αντισεισμικοί Κανονισμοί.....	49
3.2.1	Σεισμοί στην Ελλάδα.....	49
3.2.2	Αντισεισμικοί Κανονισμοί	49
3.3	Αστοχίες και Έλεγχος στις Υφιστάμενες Κατασκευές Ο.Σ	52
3.3.1	Αστοχίες Υποστυλωμάτων	52
3.3.2	Αστοχίες σε Κόμβους Δοκών και Υποστυλωμάτων	56
3.3.3	Αστοχίες σε Τοιχία	59
3.3.4	Αστοχίες σε Δοκούς	60
3.3.5	Αστοχίες σε Πλάκες.....	61
3.4	Βασικές Κατευθύνσεις των Υφιστάμενων Αντισεισμικών Κανονισμών	62
3.5	Μέθοδοι Ενίσχυσης Δοκών, Υποστυλωμάτων και Τοιχίων.....	63
3.5.1	Αποτίμηση Υφιστάμενων Δομημάτων.....	63
3.5.2	Μέθοδοι Επισκευής και Αποκατάστασης Φερόντων Στοιχείων από ΟΣ	63
3.6	Υλικά Ενίσχυσης	70
3.6.1	Τσιμέντο	70
3.6.2	Κονίες	71
3.6.3	Αδρανή Υλικά.....	71
3.6.4	Χάλυβας.....	72
3.6.5	Ίνες Υάλου Υψηλής Αντοχής (Glass Fibres)	72
3.6.6	Πρόσθετα Βελτιωτικά για Κονιάματα και Σκυροδέματα.....	72
3.6.7	Εποξικές Ρητίνες	72
3.6.8	Έγχυτο Σκυρόδεμα Σταθερού Όγκου	72
3.6.9	Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα.....	73

3.6.10	Επικόλληση Ελασμάτων	73
4.	Ενεργειακή Μελέτη Περίπτωσης.....	74
4.1	Εισαγωγή.....	74
4.2	Εισαγωγή Χαρακτηριστικών Κτιρίου	75
4.3	Εισαγωγή αδιάφανων και διαφανών στοιχείων	75
4.4	Ορισμός Θερμικών Ζωνών.....	76
4.5	Εισαγωγή σκιάστρων.....	76
4.6	Στοιχεία Κελύφους	77
4.7	Τεχνικά Συστήματα.....	78
4.8	Σύστημα Θέρμανσης	78
4.9	Σύστημα Ψύξης	79
4.10	Σύστημα Παραγωγής και Διανομής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	79
4.11	Υπολογισμός Ενεργειακής Απόδοσης	80
4.12	Ενεργειακή Αναβάθμιση	81
4.12.1	Σενάριο 1ο: Επεμβάσεις στο κέλυφος, τα ανοίγματα και εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ZNX.	81
4.12.2	Αποτελέσματα Σεναρίου 1 Ενεργειακής Αναβάθμισης.....	83
4.12.3	Σενάριο 2ο: Επεμβάσεις στο κέλυφος, τα ανοίγματα και αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης.	84
4.12.4	Αποτελέσματα Σεναρίου 2 Ενεργειακής Αναβάθμισης.....	84
4.12.5	Σενάριο 3ο: Εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ZNX, αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης και συστήματος ψύξης.	85
4.12.6	Αποτελέσματα σεναρίου 3 ενεργειακής αναβάθμισης.	86
4.13	Οικονομοτεχνική ανάλυση	87
4.14	Συμπεράσματα ενεργειακής αναβάθμισης.....	88
	Πλεονεκτήματα Σεναρίου 1:	89

Μειονεκτήματα Σεναρίου 1:	89
Πλεονεκτήματα Σεναρίου 2:	89
Μειονεκτήματα Σεναρίου 2:	90
Πλεονεκτήματα Σεναρίου 3:	90
Μειονεκτήματα Σεναρίου 3:	90
5 Αντισεισμική Μελέτη Περίπτωσης	92
5.1 Προσομοίωση Υφιστάμενου Κτιρίου	92
5.1.1 Περιγραφή Κτιρίου	92
5.1.2 Εισαγωγή φερόντων στοιχείων με χρήση του Building Modeler	94
5.2 Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτιρίου	96
5.2.1 Αποτελέσματα Αποτίμησης	98
5.3 Ενίσχυση Υφιστάμενου Κτιρίου	101
5.3.1 Ενίσχυση Υποστυλωμάτων	102
5.3.2 Ενίσχυση δοκών	102
5.3.3 Αποτελέσματα Ενισχυμένου Κτιρίου	103
6 Συμπεράσματα	107
Βιβλιογραφία	109

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 2. 1: Συνολική Τελική Κατανάλωση (TFC) στην Ελλάδα για το έτος 2016 (Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, 2019)	15
Εικόνα 2. 2: Μέσος όρος ηλικίας κτίρια κατοικιών σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ-2011 (ΥΠΕΝ,2017)	18
Εικόνα 2. 3: Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων σε Ελλάδα και ΕΕ (Παπαμανώλης, 2015)	22
Εικόνα 2. 4: Παθητικά ηλιακά συστήματα (http://solaren.wikidot.com/sy2)	28
Εικόνα 2. 5: Εγκατεστημένα Φ/Β συστήματα σε χώρες του εξωτερικού (Βίσην & Vardar, 2018)	31
Εικόνα 2. 6: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β συστήματα (Βίσην & Vardar, 2018)	31
Εικόνα 2. 7: Οικιακό Φ/Β σύστημα συνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο (https://news.energysage.com/how-to-choose-the-best-solar-panel-for-you/)	32
Εικόνα 2. 8: Οικιακή ανεμογεννήτρια συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο (Predescu, 2016)	34
Εικόνα 2. 9: Οικιακό γεωθερμικό σύστημα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας κατοικίας (http://www.energysystems.gr/geothermia_meroi.php)	35
Εικόνα 2. 10: Από τη βιομάζα στη βιοενέργεια (http://www.agroenergy.gr/categories/βιομάζα)	37
Εικόνα 2. 11: Καταναλισκόμενη ενέργεια κτιρίων (έχοντας θερμομόνωση, με ελάχιστη θερμομόνωση, καθόλου θερμομόνωση και μέτρια θερμομόνωση) (Balaras, et al., 2005) ..	38
Εικόνα 2. 12: Φ/Β πλαίσια στη στέγη κτιρίου (https://selasenergy.gr/odigos_mikron_sustimaton.php)	39
Εικόνα 2. 13: Φ/Β πλαίσια στην όψη κτιρίου (https://www.decobook.gr/tehnika-arthra/oikologiki-domisi/441-2010-10-10-19-35-46)	40
Εικόνα 2. 14: Φ/Β σκίαστρα σε κτίριο (Τσούτσου & Γκούσκος, 2010).....	40
Εικόνα 2. 15: Σύστημα ηλιακού κλιματισμού (Τσούτσου & Γκούσκος, 2010).....	41
Εικόνα 2. 16: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε στέγη κτιρίου (EWEA, 2021).....	43
Εικόνα 2. 17: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε στέγη κτιρίου (EWEA, 2021).....	43
Εικόνα 2. 18: Καινοτομική ανεμογεννήτρια EOLI FPS για τις πόλεις (CORDIS, 2018).....	44
Εικόνα 2. 19: Οικιακό γεωθερμικό σύστημα (https://www.michanikos-online.gr)	45

Εικόνα 2. 20: Σύστημα καύσης βιομάζας (https://www.archdaily.com/933023/what-is-biomass-energy/5e3a11e13312fd0369000083-what-is-biomass-energy-phot)	46
Εικόνα 2. 21: Ταξινόμηση ενεργειακής απόδοσης Το A + είναι ενεργειακά αποδοτικό και το Η μη αποδοτικό	47
Εικόνα 3. 1: Τυπικοί βαθμοί βλαβών υποστυλωμάτων (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017)	53
Εικόνα 3. 2: Απόσπασμα πίνακα Π1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ περιγράφει τις βλάβες σε υποστυλώματα (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017).....	54
Εικόνα 3. 3: Καμπτική αστοχία υποστυλώματος (http://ecourses.dbnet.ntua.gr/9421.html)	55
Εικόνα 3. 4: Διατμητική αστοχία υποστυλώματος (http://ecourses.dbnet.ntua.gr/9420.html)	55
Εικόνα 3. 5: Καμπτοδιατμητική αστοχία με σύνθλιψη (Νικητόπουλος & Σταματόπουλος, 2012)	56
Εικόνα 3. 6: Αστοχία κόμβου μεταξύ υποστυλώματος και συντρέχουσες δοκούς (Γαρυφαλής, 2000)	57
Εικόνα 3. 7: Αστοχία εξωτερικού κόμβου και πρακτική απώλεια στήριξης (Γιαννόπουλος, 2005)	58
Εικόνα 3. 8: Αστοχία κόμβου και απώλεια περίσφιξης συνδετήρων λόγω τοποθέτησης υδρορροής εντός του υποστυλώματος (Γιαννόπουλος, 2005).....	59
Εικόνα 3. 9: Ψαθυρή βλάβη τοιχίων (http://teicm.panagor.com/files/ferousa/yliko/Sarigianni/7o_Mathima.pdf)	59
Εικόνα 3. 10: Καμπτικές βλάβες στις δοκούς (Δρίτσος, 2005).....	60
Εικόνα 3. 11: Διατμητική αστοχία δοκού (Δρίτσος, 2005).....	61
Εικόνα 3. 12: Αστοχία λόγω διάτρησης στο Piper’s Row Car Park, Wolverhampton, UK (Δημοσθένους , 2009)	61
Εικόνα 3. 13: Αποκατάσταση υποστυλώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής (Δρίτσος, 2005).....	65
Εικόνα 3. 14: Περίσφιξη υποστυλώματος με επικολλητά ελάσματα.....	66
Εικόνα 3. 15: Περίσφιξη υποστυλώματος με μεταλλικό μανδύα (Δρίτσος, 2007)	67
Εικόνα 3. 16: Περίσφιξη υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό (Δρίτσος, 2007)	67
Εικόνα 3. 17: Ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος, 2007)	68

Εικόνα 3. 18: Επισκευή δοκών και κλιμακοστασίου με αποκατάσταση ίσης νέας διατομής (Δρίτσος, 2005)	69
Εικόνα 3. 19: Ενίσχυση δοκού για αύξηση διάτμησης με την τεχνική του κλειστού μανδύα (Δρίτσος, 2005)	69

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Κτίρια μιας χρήσης στην Ελλάδα (ΥΠΕΝ, 2017)	17
Πίνακας 2.2: Περίοδος κατασκευής κτιρίων στην Ελλάδα (ΥΠΕΝ, National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings , 2017)	18
Πίνακας 2.3: Ποσοστά εγκατεστημένων ΑΠΕ σε κτίρια (ΥΠΕΝ, 2017) – Από το 2015 έως και το 2020 τα ποσοστά αφορούν προβλεπόμενα ποσοστά.....	19
Πίνακας 2.4: Συνεισφορά ΑΠΕ σε υφιστάμενα κτίρια (ΥΠΕΝ, 2017, ίδια επεξεργασία)	19
Πίνακας 2.5: Ενδεικτικές τιμές ενσωματωμένης ενέργειας σε δομικά υλικά και στοιχεία (Παπαμανώλης, 2015)	21
Πίνακας 2.6: Συνοπτική καταγραφή κυριότερων περιβαλλοντικών συνεπειών των κτιρίων (Παπαμανώλης, 2015)	24
Πίνακας 2.7: Ενεργειακές κλάσεις ανέμου (Hayter & Kandt, 2011)	42
Πίνακας 3.1: Μέρη Ευρωκώδικα 8 και ημερομηνίες έκδοσής τους (Φαρδής, 2004).....	51

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Πολλοί τομείς και ιδιαίτερα ο κατασκευαστικός τομέας επηρεάστηκε με την οικονομική κρίση με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ζήτηση για συντήρηση και αναβάθμιση υφιστάμενων κατασκευών. Παράλληλα με την οικονομική κρίση, επιδεινώθηκε και η κλιματική αλλαγή και ως εκ τούτου η ανάγκη για πράσινη ανάπτυξη οδήγησε στην ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων κατασκευών κυρίως κτιρίων με την ταυτόχρονη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Αποτελεί γεγονός πως σήμερα η αειφορία δεν δύναται να υπάρχει δίχως την ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων κατασκευών.

Επίσης, λόγω των ενεργειακών επιδοτήσεων που εντάχθηκαν στα πλαίσια της πράσινης ανάπτυξης στοχεύοντας στην αναβάθμιση του δομικού πλούτου της Ελλάδας, είναι σκόπιμο να εξετάζεται η στατική επάρκεια και κατάσταση του φέροντος οργανισμού των υπαρχόντων κτιρίων της χώρας. Αξίζει να αναφερθεί πως η φθορά που υφίσταται μια κατασκευή είναι αποτέλεσμα πολλαπλών παραγόντων όπως οι περιβαλλοντικές δράσεις, μη συντήρηση, φυσικά φαινόμενα όπως ο σεισμός κ.α.

Συνεπώς, η ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων είναι ένα ζήτημα μείζονος σημασίας ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους για την ανάληψη φορτίων που ενδέχεται να προκύψουν (σεισμικά φορτία, επιπρόσθετα κινητά φορτία κλπ.). Μάλιστα, κατασκευές οι οποίες χτίστηκαν προ το έτος 2000 πιθανώς να είναι ανεπαρκείς για διαφορετικούς λόγους.

1.2 Δομή της Εργασίας

Η εργασία χωρίζεται σε 5 κεφάλαια ενώ τα δεδομένα και βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας βασίζονται σε βιβλία, επιστημονικά άρθρα και περιοδικά, πειραματικές έρευνες και παλαιότερες διπλωματικές εργασίες καθώς και ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων.

Αναλυτικά το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται εκτενώς στην ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων, την υφιστάμενη ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στον Ελλαδικό χώρο, τα χαρακτηριστικά των κτιρίων καθώς και τις επιδράσεις των κτιρίων στο περιβάλλον. Επίσης γίνεται εκτενής αναφορά για τα κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας καθώς και τις έννοιες των βιοκλιματικών κτιρίων και τις βιοκλιματικές τεχνικές. Αναφορά γίνεται επίσης για τις

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς και οι εφαρμογές των ΑΠΕ στα κτίρια. Τέλος, παρουσιάζεται το λογισμικό ΚΕΝΑΚ που αφορά λογισμικό εκδομένο από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ) προκειμένου να γίνει προσομοίωση της ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίου.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στις τεχνικές ενίσχυσης κτιρίων έναντι σεισμικών δράσεων ήτοι στην αντισεισμική αναβάθμιση των κτιρίων. Παρουσιάζονται έννοιες όπως ο σεισμός καθώς και οι ιστορικοί σεισμοί που στιγμάτισαν την Ελλάδα. Αναφορά φυσικά γίνεται και για τους αντισεισμικούς κανόνες και για το πως εξελίχθηκαν στην ιστορία. Έπειτα γίνεται εκτενής αναφορά για τις αστοχίες των φερόντων στοιχείων (κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα) καθώς και τις μεθόδους ενίσχυσης των φερόντων στοιχείων που έχουν υποστεί βλάβη από διάφορες αιτίες ωστόσο κυρίως από σεισμικά φορτία.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί τη μελέτη περίπτωσης όπου γίνεται ανάλυση ενός κτιρίου όσον αφορά τις ενεργειακές του ανάγκες. Ως λογισμικό χρησιμοποιείται το ΚΕΝΑΚ εκδομένο από το ΤΕΕ. Το ΚΕΝΑΚ ουσιαστικά υποδεικνύει μέσω των δεδομένων που υποβάλει ο χρήστης τι ενεργειακές αναβαθμίσεις απαιτούνται να γίνουν σε ένα κτίριο προκειμένου να είναι ενεργειακά αποδεκτό.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της έρευνας.

2. Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων

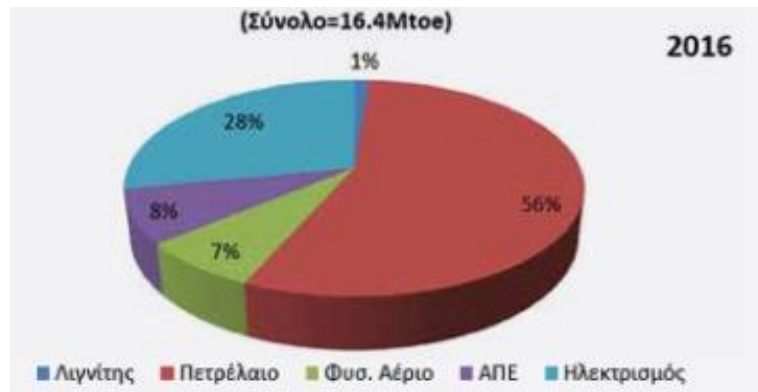
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση των κτιρίων στον ελλαδικό χώρο καθώς και οι ενεργειακές τους καταναλώσεις. Επίσης εκτίθεται και το Εθνικό Σχέδιο το οποίο αφορά στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων και τη μετατροπή τους σε κτίρια με σχεδόν μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα.

2.1 Υφιστάμενη Κατάσταση Κτιρίων στην Ελλάδα

Τα κτίρια σε παγκόσμιο επίπεδο, καταναλώνουν σήμερα περί 30-40% ενέργεια μετατρέποντας τα σε έναν από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας. Φυσικά αυτό έχει μεγάλες αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και εν κατακλείδι στον ίδιο τον άνθρωπο (Chel & Kaushik, 2017).

Ο αριθμός αυτός θα πρέπει να μειωθεί μέχρι το 2030 αφού η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανήγγειλε πως θα πρέπει να μειθούν οι περιβαλλοντικοί ρύποι κατά 55% σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του 1990. Μάλιστα, η Επιτροπή ανακοίνωσε πως για να μειωθεί το ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης θα πρέπει άμεσα να γίνει εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) ακόμη και σε οικιακό/κτιριακό επίπεδο. Οι ΑΠΕ συμβάλλουν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης από συμβατικά καύσιμα και το ποσοστό ενέργειας που μπορεί να καλύψουν σε κτιριακό επίπεδο είναι 32% (European Comission, 2021).

Σύμφωνα με την Αξαρχλή (2001), στη χώρα μας, η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ χαρακτηρίζεται ως αμέτρητη διότι διαθέτει ένα πλούσιο καθώς και αξιόλογο ενεργειακό δυναμικό από τον ήλιο και τον αέρα (ηλιακή και αιολική ενέργεια) καθώς και γεωθερμική ενέργεια. Η εκμετάλλευση των «ελληνικών ΑΠΕ», μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κτιρίων και φυσικά των ανθρώπων. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια που διαθέτει η Ελλάδα μπορεί να καλύψει έως και το 1/3 των ενεργειακών αναγκών (Αξαρχλή, 2001). Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση τελικών καυσίμων στην Ελλάδα για το έτος 2016.



Εικόνα 2. 1: Συνολική Τελική Κατανάλωση (TFC) στην Ελλάδα για το έτος 2016 (Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας, 2019)

2.2 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων στην Ελλάδα και Χαρακτηριστικά Υφιστάμενων Κτιρίων

Τα κτίρια αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι από την καθημερινότητα όλων των ανθρώπων ενώ ο χρόνος παραμονής εντός των κτιρίων είναι μεγάλος. Κατοικίες, χώροι εργασίας, δημόσια κτίρια και εκπαιδευτικά ιδρύματα καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Άλλωστε δεν είναι τυχαίο πως στην Ευρώπη τα κτίρια είναι υπεύθυνα για το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και 36% για τους ρύπους που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Επομένως, η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων παίζει ρόλο μείζονος σημασίας προκειμένου να επιτευχθούν οι ενεργειακοί στόχοι που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση ήτοι «η Ευρώπη να αποτελέσει μια ήπειρο με μηδέν ανθρακικό αποτύπωμα έως το 2050». Συνεπώς, η μείωση την ενεργειακής κατανάλωσης σε υφιστάμενα αλλά νεόκτιστα κτίρια ώστε να μειωθεί το ανθρακικό αποτύπωμα είναι σημαντικό ώστε να υπάρξει ένα καλύτερο περιβάλλον και συνθήκες ζωής για την ανθρωπότητα.

Σύμφωνα με το (ΚΑΠΕ, 2012) η μέση ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης έχουν σχετικά μειωθεί με τις αντίστοιχες καταναλώσεις του της δεκαετίας του '90 ωστόσο η μείωση αυτή δεν επαρκεί και θα πρέπει να εφαρμοστούν πιο αυστηρά μέτρα. Χώρες της Μεσογείου όπως η Ελλάδα και η Ιταλία θα πρέπει να έχουν λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις και συνεπώς καταναλώσεις λόγω των ευνοϊκών καιρικών συνθηκών. Παρόλα αυτά, κατά τους χειμερινούς μήνες, οι θερμικές ανάγκες των δύο χωρών αγγίζουν το 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Εν συνεχεία, προκειμένου να λειτουργήσουν οικιακές συσκευές, η ενέργεια που απαιτείται είναι περίπου 20% ενώ 35% του γενικού συνόλου χρησιμοποιεί πετρέλαιο ως καύσιμο. Εξήντα τέσσερα τοις εκατό (64%)

των κατοικιών είναι αυτόνομες για σκοπούς θέρμανσης έχοντας ως κύριο καύσιμο το πετρέλαιο (25%) ακολουθούμενο από το ρεύμα (12%), και τελευταία τα καυσόξυλα (18%) (ΚΑΠΕ, 2012).

Διακρίνει κανείς πως το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών καταναλώσεων προέρχεται από το δομημένο περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα από τα κτίρια. Τα κτίρια όπως αναφέρθηκε υπάρχουν ώστε να ικανοποιήσουν τις βασικές ανάγκες των ανθρώπων ήτοι ανάγκες βιοτικές (στέγη, τροφή, θέρμανση). Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι τα κτίρια έχουν μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Παπαμανώλης, 2015).

Το κτιριακό απόθεμα στην Ελλάδα αποτελείται ως επί το πλείστο από κατοικίες και πολλά κτίρια που ανήκουν στον τριτογενή τομέα όπως για παράδειγμα ξενοδοχεία. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ και την απογραφή που έγινε το 2011 τα υφιστάμενα κτίρια στην Ελλάδα ανέρχονται στα 4.105.637 κτίρια. Από όλα τα κτίρια τα 3.775.848 (92,0%) είναι μίας χρήσης και 329.789 (8,0%) είναι μικτής χρήσης. Ο πίνακας 2.1 παραθέτει τα κτίρια μίας χρήσης ανά χρήση και ανά περιοχή. Τα νοικοκυριά χρησιμοποιούν το 83,68% του κτιριακού αποθέματος (72% σε σχέση με την επιφάνεια του δαπέδου), το οποίο δείχνει πόσο σημαντικό είναι για την εξασφάλιση εξοικονόμησης ενέργειας βάσει της εθνικής στρατηγικής (ΥΠΕΝ, 2017).

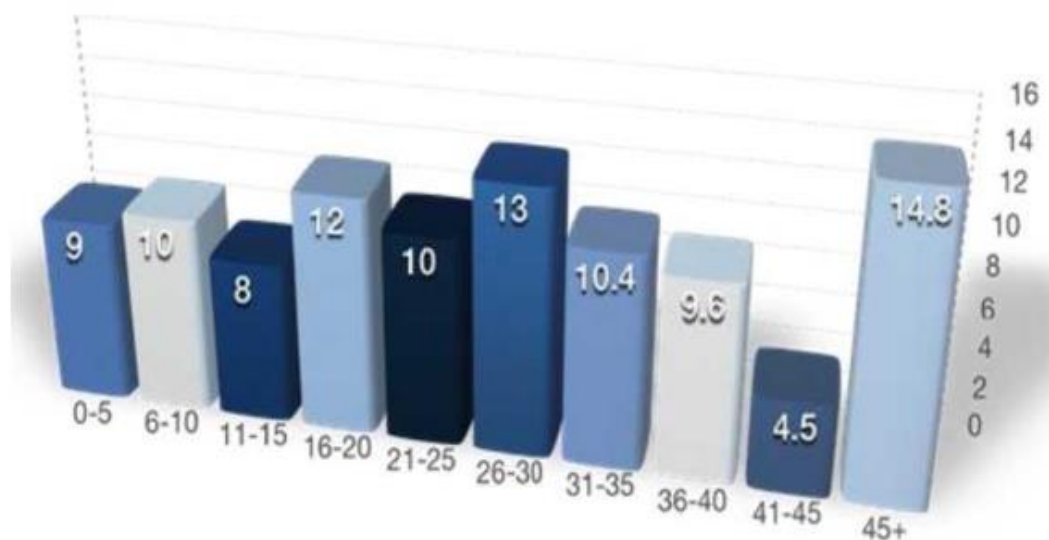
Πίνακας 2.1: Κτίρια μιας χρήσης στην Ελλάδα (ΥΠΕΝ, 2017)

Description	Single use buildings																			
	Total number of single use buildings	Use of buildings																Total number of single use buildings		
		Residential building	%	Church, monastery	%	Hotel	%	Factory, workshop	%	School building	%	Shop - Offices	%	Car park	%	Hospital, clinic, etc.	%		Other use	%
GREECE TOTAL	3 775 848	2 990 324	79.2	47 872	1.3	34 736	0.9	30 731	0.8	19 474	0.5	153 510	4.1	16 982	0.4	1 749	0.0	480 500	12.7	100.0
EASTERN MACEDONIA AND THRACE	263 167	187 310	71.2	1 723	0.7	1 024	0.4	1 739	0.7	1 577	0.6	9 995	3.8	1 142	0.4	125	0.0	58 532	22.2	100.0
CENTRAL MACEDONIA	533 601	404 726	75.8	3 040	0.6	2 743	0.5	5 629	1.1	2 888	0.5	19 645	3.7	2 860	0.5	287	0.1	91 783	17.2	100.0
WEST MACEDONIA	132 823	88 508	66.6	1 778	1.3	316	0.2	962	0.7	950	0.7	4 094	3.1	1 766	1.3	57	0.0	34 392	25.9	100.0
EPIRUS	166 715	126 302	75.8	3 399	2.0	1 145	0.7	1 075	0.6	1 139	0.7	5 678	3.4	489	0.3	51	0.0	27 437	16.5	100.0
THESSALY	325 750	246 990	75.8	2 861	0.9	2 322	0.7	2 358	0.7	1 556	0.5	12 377	3.8	689	0.2	132	0.0	56 465	17.3	100.0
CONTINENTAL GREECE	280 277	229 363	81.8	4 308	1.5	1 677	0.6	2 426	0.9	1 298	0.5	9 070	3.2	694	0.2	89	0.0	31 352	11.2	100.0
IONIAN ISLANDS	133 501	103 780	77.7	1 840	1.4	4 557	3.4	756	0.6	523	0.4	6 740	5.0	1 190	0.9	39	0.0	14 076	10.5	100.0
WESTERN GREECE	281 266	229 541	81.6	4 012	1.4	1 046	0.4	1 777	0.6	1 572	0.6	9 596	3.4	463	0.2	112	0.0	33 147	11.8	100.0
PELOPONNESE	334 089	267 128	80.0	6 843	2.0	2 459	0.7	2 638	0.8	1 629	0.5	9 849	2.9	1 350	0.4	99	0.0	42 094	12.6	100.0
ATTICA	696 847	624 278	89.6	3 098	0.4	1 293	0.2	7 126	1.0	3 454	0.5	35 545	5.1	1 447	0.2	470	0.1	19 936	2.9	100.0
NORTH AEGEAN	147 898	113 483	76.7	3 059	2.1	1 998	1.4	961	0.6	602	0.4	6 168	4.2	1 585	1.1	73	0.0	19 969	13.5	100.0
SOUTH AEGEAN	205 206	150 638	73.4	6 352	3.1	8 946	4.4	1 221	0.6	770	0.4	11 808	5.8	2 834	1.4	101	0.0	22 536	11.0	100.0
CRETE	274 908	218 277	79.4	5 559	2.0	5 210	1.9	2 063	0.8	1 516	0.6	12 945	4.7	443	0.2	114	0.0	28 781	10.5	100.0

Μεγάλος αριθμός κτιρίων στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί πριν από τη δεκαετία του 1980 και ως εκ τούτου δεν χαρακτηρίζονται ενεργειακά αφού δεν διαθέτουν θερμομόνωση. Ειδικά, 704.340 κτίρια κατασκευάστηκαν μεταξύ του 1971-1980 (17,2%), 639.475 κτίρια κατασκευάστηκαν από το 1961 έως το 1970 (15,6%) και 573.250 (14%) κατασκευάστηκαν από το 1946-1960. Κανείς μπορεί να διακρίνει πως το ελληνικό κτιριακό απόθεμα είναι αρκετά μεγάλο με απουσία θερμομόνωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα συγκεκριμένα κτίρια να χρησιμοποιούν μεγάλα ποσά ενέργειας προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες των χρηστών (θέρμανση κυρίως) (ΚΕΝΑΚ, 2017). Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει την περίοδο κατασκευής κτιρίων στην Ελλάδα.

Πίνακας 2.2: Περίοδος κατασκευής κτιρίων στην Ελλάδα (ΥΠΕΝ, National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings , 2017)

Description	Total number of buildings	Construction period of building														Total number of buildings				
		Before 1970	%	1971-1980		1981-1985		1986-1990	%	1991-1995	%	1996-2000	%	2001-2005	%		2006 onwards	%	Under construction	%
GREECE TOTAL	4 105 637	1 691 432	41.2	704 340	17.2	402 368	9.8	316 799	7.7	259 394	6.3	254 797	6.2	237 460	5.8	186 861	4.6	52 186	1.3	100.0
EASTERN MACEDONIA AND THRACE	286 365	135 062	47.2	48 185	16.8	22 727	7.9	16 599	5.8	15 406	5.4	15 655	5.5	16 741	5.8	12 849	4.5	3 141	1.1	100.0
CENTRAL MACEDONIA	600 436	226 942	37.8	113 242	18.9	59 756	13.3	47 070	7.8	39 756	6.6	38 120	6.3	38 073	6.3	31 124	5.2	6 353	1.1	100.0
WEST MACEDONIA	142 816	58 619	41.0	26 279	18.4	13 093	5.2	9 181	6.4	7 042	4.9	15 438	10.8	6 690	4.7	4 842	3.4	1 632	1.1	100.0
EPIRUS	176 352	74 686	42.4	33 705	19.1	18 508	13.5	12 907	7.3	9 677	5.5	8 870	5.0	8 718	4.9	7 705	4.4	1 576	0.9	100.0
THESSALY	342 557	163 279	47.7	64 162	18.7	31 878	9.3	21 832	6.4	16 661	4.9	15 030	4.4	14 476	4.2	11 600	3.4	3 589	1.0	100.0
CONTINENTAL GREECE	302 172	124 269	41.1	50 602	16.7	33 564	11.1	24 614	8.1	19 613	6.5	17 550	5.8	15 870	5.3	12 343	4.1	3 747	1.2	100.0
IONIAN ISLANDS	140 810	65 863	46.8	16 530	11.7	12 067	3.5	11 599	8.2	8 840	6.3	8 302	5.9	8 208	5.8	7 621	5.4	1 780	1.3	100.0
WESTERN GREECE	303 064	122 797	40.5	56 645	18.7	31 663	10.4	24 362	8.0	19 490	6.4	18 018	5.9	14 628	4.8	11 474	3.8	3 987	1.3	100.0
PELOPONNESE	355 761	172 596	48.5	50 001	14.1	32 951	5.3	25 882	7.3	19 693	5.5	17 843	5.0	17 654	5.0	15 329	4.3	3 812	1.1	100.0
ATTICA	783 752	231 875	29.6	163 074	20.8	90 833	11.6	72 863	9.3	60 653	7.7	57 801	7.4	55 942	7.1	38 055	4.9	12 656	1.6	100.0
NORTH AEGEAN	153 957	90 310	58.7	16 396	10.6	11 122	7.2	8 849	5.7	7 358	4.8	6 648	4.3	6 091	4.0	5 362	3.5	1 821	1.2	100.0
SOUTH AEGEAN	219 681	87 132	39.7	27 109	12.3	19 841	5.3	18 908	8.6	16 938	7.7	16 262	7.4	15 574	7.1	12 987	5.9	4 930	2.2	100.0
CRETE	297 914	138 002	46.3	38 410	12.9	24 365	8.2	22 133	7.4	18 267	6.1	19 210	6.4	18 795	6.3	15 570	5.2	3 162	1.1	100.0



Εικόνα 2. 2: Μέσος όρος ηλικίας κτίρια κατοικιών σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ-2011 (ΥΠΕΝ, 2017)

Η διαχείριση ΑΠΕ στην Ελλάδα στον κτιριακό τομέα είναι σχετικά πρόσφατη αφού εφαρμόζεται την τελευταία 15ετία. Το ΥΠΕΝ (2017) αναφέρει πως οι ΑΠΕ περιλαμβάνουν

κυρίως την εγκατάσταση Φ/Β πανελών, ηλιακούς θερμοσίφωνες για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης όπως και κλιματιστικά και γεωθερμικά συστήματα. Ο πίνακας που παρουσιάζεται παρακάτω εμφανίζει τα ποσοστά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που έχουν εγκατασταθεί από το 2005 έως το 2020.

Πίνακας 2.3: Ποσοστά εγκατεστημένων ΑΠΕ σε κτίρια (ΥΠΕΝ, 2017) – Από το 2015 έως και το 2020 τα ποσοστά αφορούν προβλεπόμενα ποσοστά

(%)	2005	2010	2015	2020
Κατοικίες	15	17	22	27
Εμπορικά κτίρια	10	14	27	39

Από τον Πίνακα 2.3 παρατηρεί κανείς πως το ποσοστό εκμετάλλευσης των ΑΠΕ ολοένα και αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Έτσι μέρος των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων καλύπτεται από τις ΑΠΕ. Ο πίνακας 2.4 υποδεικνύει κάποια παραδείγματα υφιστάμενων κτιρίων τα οποία θα αναβαθμιστούν ή αναβαθμίστηκαν με ΑΠΕ.

Πίνακας 2 4: Συνεισφορά ΑΠΕ σε υφιστάμενα κτίρια (ΥΠΕΝ, 2017, ίδια επεξεργασία)

Κτίριο	Συνεισφορά ενέργειας από ΑΠΕ
Δημαρχείο Φαρσάλων	76,7 kWh/m ²
Πολιτιστικό Κέντρο Φαρσάλων	42,9 kWh/m ²
9 ^ο Λύκειο Αμαρουσίου, Αθήνα	79 kWh/m ²
4 ^ο Δημοτικό Σχολείο Θεσσαλονίκης	71 kWh/m ²
Δημόσια Βιβλιοθήκη Λουτρακίου	16,6kWh (γεωθερμικές αντλίες)

2.3 Επιδράσεις Κτιρίων στο Περιβάλλον

Αποτελεί γεγονός πως οι κατασκευές συμβάλλουν στο ανθρακικό αποτύπωμα λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, η κατανάλωση φυσικών πόρων (π.χ. λιγνίτης) και ως εκ τούτου η καύση τους εκπέμπει ρύπους. Έτσι, τα κτίρια εκπέμπουν ρύπους κατά την κατασκευή τους, τη λειτουργία τους και κατά την κατεδάφιση τους.

Στάδιο Κατασκευής

Κατά το στάδιο κατασκευής μιας κατασκευής ή ενός κτιρίου, απαιτούνται πολυσύνθετες εργασίες όπως για παράδειγμα εκσκαφές, τοιχοποιίες βαφές κλπ. Μέρος των εργασιών αποτελούν μέρος βιομηχανικών δραστηριοτήτων και συνοδεύονται από αντίστοιχες περιβαλλοντικές συνέπειες. Πιο συγκεκριμένα, η πλειονότητα των δομικών υλικών αποτελούνται από φυσικές ύλες οι οποίες παίρνονται από τη φύση και έτσι μειώνονται οι πρώτες ύλες. Παράλληλα, για την παραγωγή δομικών υλικών απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας ενώ ταυτόχρονα παράγονται ρύποι και θόρυβος. Συνεπώς, γενικά οι οικοδομικές εργασίες διαταράσσουν το τοπικό κλίμα αλλά και το μικροκλίμα και αλλοιώνουν και το υδρολογικό δίκτυο μιας περιοχής. Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει μια ποικιλία οικοδομικών υλικών και τους αντίστοιχους ρύπους που εκπέμπουν κατά τη χρήση τους.

Πίνακας 2.5: Ενδεικτικές τιμές ενσωματωμένης ενέργειας σε δομικά υλικά και στοιχεία (Παπαμανώλης, 2015)

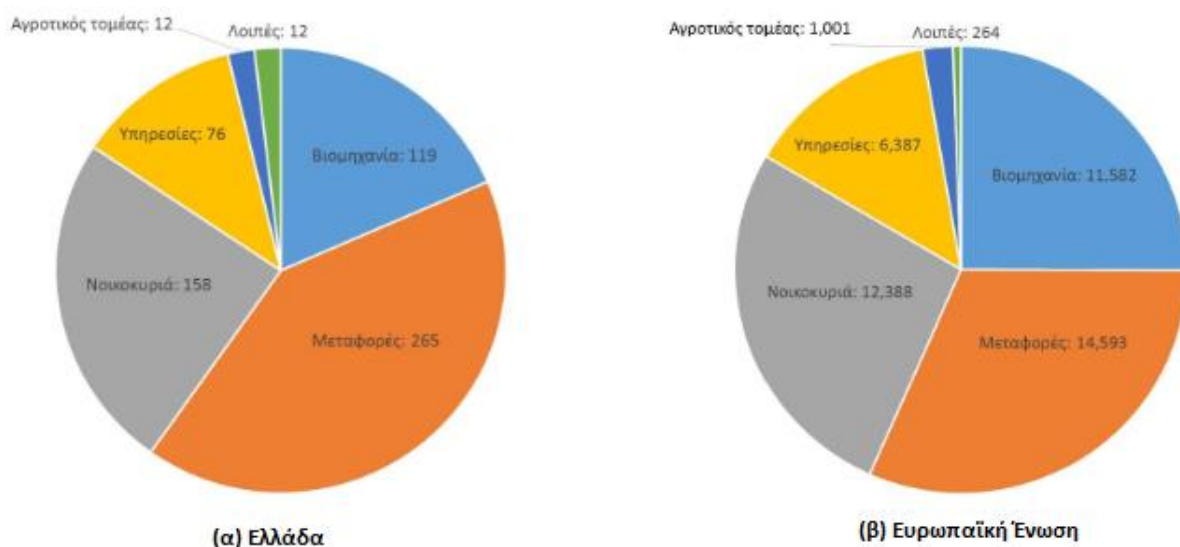
Υλικό	Πυκνότητα (kg/m ³)	Ενσωματωμένη Ενέργεια (MJ/kg)	Εκπομπές CO ₂ (kgCO ₂ /kg)
Αμμοχάλικο	2,240	0,083	0,0048
Τσιμέντο	2,400	1,11	0,159
Κοινά τούβλα	1,700	3	0,24
Τσιμεντόλιθοι	1,450	0,67	0,073
Τούβλα από <u>ελαφροπετόν</u>	750	3,5	0,3
Ασβεστολιθικά τούβλα	2,180	0,85	
Μάρμαρο	2,500	2	0,116
Τσιμεντοκονία		1,33	0,208
Χάλυβας	7,800	20,1	1,37
Ανοξείδωτος χάλυβας	7,850	56,7	6,15
Ξυλεία	480-720	10	0,72
<u>Αντικολλητή ξυλεία</u>		12	0,87
Υαλοβάμβακας	12	28	1,35
<u>Πετροβάμβακας</u>	24	16,8	1,05

Αλουμίνιο	2,700	155	8,24
Άσφαλτος		51	0,38-0,43
MDF	680-760	11	0,72
Κόντρα πλακέ	540-700	15	1,07
Γυψοσανίδες	800	6,75	0,38
Σίδηρος	7,870	25	1,91
Χαλκός	8,600	42	2,6
Κεραμικά		29	1,51
Ελαιοχρώματα		97	3,13

Στάδιο Λειτουργίας

Κατά το στάδιο λειτουργίας κτιρίων και κατασκευών, εκπέμπονται μεγάλα ποσά ρύπων λόγω της χρήσης τους. Το στάδιο αυτό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα διότι η λειτουργία των κτιρίων έχει μεγάλη διάρκεια (σε σύγκριση με την κατασκευή και την κατεδάφιση τους). Έτσι, κατά τη λειτουργία τους τα κτίρια και οι κατασκευές χρησιμοποιούν μεγάλα ποσά ενέργειας προκειμένου να λειτουργήσουν αλλά και να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες των χρηστών. Συνεπώς αυξάνονται οι περιβαλλοντικοί ρύποι.

Στον Ελλαδικό χώρο, τα κτίρια είναι υπεύθυνα για το 1/3 των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και για το 36% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Επίσης, ο κατασκευαστικός τομέας αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς τομείς της οικονομίας της για την οικονομία της Ελλάδας (ΥΠΕΝ, 2017). Μάλιστα, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει άνω του 35% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας και περίπου το 25% του γλυκού νερού και 70% ηλεκτρική ενέργεια. Η παρακάτω εικόνα εξεικονίζει την κατανομή των τελικών ενεργειακών καταναλώσεων ανά τομέα στη χώρα μας (α) και στην ΕΕ (β).



Εικόνα 2. 3: Κατανομή ενεργειακών καταναλώσεων σε Ελλάδα και ΕΕ (Παπαμανώλης, 2015)

Από την Εικόνα διακρίνεται πως η συνολική ενεργειακή κατανάλωση αφορά ένα πολύ σημαντικό ποσοστό και συνεπώς τα κτίρια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους εχθρούς του περιβάλλοντος κατά το στάδιο της λειτουργίας τους.

Στάδιο Κατεδάφισης

Το στάδιο κατεδάφισης είναι το τελευταίο στάδιο ζωής μιας κατασκευής ενώ και αυτό συμβάλλει στις περιβαλλοντικές αρνητικές συνέπειες. Στις πιο σημαντικές συνέπειες συγκαταλέγονται η ελευθέρωση σκόνης και θορύβου κατά τη διάρκεια της κατεδάφισης καθώς και τους ρύπους που εκπέμπουν τα μηχανήματα κατεδάφισης κατά τη λειτουργία τους.

Εν συνεχεία, τα κατεδαφιστέα υλικά που προκύπτουν δημιουργούν περιβαλλοντικά απόβλητα αφού στην Ελλάδα, η ανακύκλωση «μπαζών» ακόμη δεν ακολουθείται πιστά παρόλο που έχουν δημιουργηθεί αρκετά κέντρα ανακύκλωσης κατεδαφιστέων υλικών. Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει συνοπτικά τις κυριότερες περιβαλλοντικές συνέπειες κτιρίων και για τα τρία προαναφερθέντα στάδια.

Πίνακας 2.6: Συνοπτική καταγραφή κυριότερων περιβαλλοντικών συνεπειών των κτιρίων (Παπαμανώλης, 2015)

Στάδιο Ζωής κτιρίου	Κατασκευή	Λειτουργία	Κατεδάφιση
Συνέπειες	Κατανάλωση φυσικών πόρων & ενέργειας για παραγωγή υλικών και στοιχείων	Κατανάλωση ενέργειας για ρύθμιση συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος	Κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία μηχανημάτων κατεδάφισης
	Εκπομπές ρύπων	Κατανάλωση ενέργειας για λειτουργία μηχανημάτων	Εκπομπές ρύπων στο εργοτάξιο
	Μεταφορά δομικών υλικών και στοιχείων	Εκπομπές ρύπων από τις δραστηριότητες που φιλοξενεί	Θόρυβος από εργασίες κατεδάφισης
	Κατανάλωση ενέργειας για λειτουργία μηχανημάτων στο εργοτάξιο	Θόρυβος από δραστηριότητες εντός κτιρίου	Μεταφορά και απόρριψη μπαζών
	Θόρυβος από κατασκευαστικές εργασίες	Αλλοίωση του μικροκλίματος της περιοχής	Εκ νέου αλλοίωσης του μικροκλίματος της περιοχής
	Αλλοίωση τοπίου		
	Επίδραση στη χλωρίδα και πανίδα		

2.4 Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης

Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ που αφορά στην Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (άρθρο 9) αναφέρει πως «τα κτίρια καταναλώνουν ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας προκαλώντας αρνητικές επιδράσεις ως προς το περιβάλλον». Έτσι, η Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Ένωση δημιούργησε την Οδηγία 2010/31/ΕΕ προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ ώστε να διασφαλιστεί ο ενεργειακός εφοδιασμός, τη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης καθώς και του κόστους ενέργειας (ΥΠΕΝ, 2017).

Για την επιτυχία της Κοινοτικής Οδηγίας έχουν παρουσιαστεί πλήθος διατάξεων αναφορικά με τη μείωση της χρήσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα καθώς και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Στην χώρα μας η Οδηγία 2010/31/ΕΕ ενσωματώθηκε με το Ν. 4122/2013 «Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις».

Το άρθρο 2, παρ. 2 της Οδηγίας και αντίστοιχα το άρθρο 2 παρ. 5 του Ν. 4122/2013 ορίζει ως κτίριο μηδενικής κατανάλωσης «κτίριο με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, προσδιοριζόμενη σύμφωνα με τη μεθοδολογία υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας και αντιστοίχως του άρθρου 3 του Νόμου. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται πρέπει να καλύπτεται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου» (Βουλή των Ελλήνων, 2013).

Τα κτίρια με σχεδόν μηδενική κατανάλωση διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά (cres.gr, 2021):

- Δομικά στοιχεία με υψηλές ενεργειακές προδιαγραφές.
- Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις ιδιαίτερα υψηλής ενεργειακής απόδοσης.
- Σημαντικό μερίδιο της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων θα καλύπτεται από ΑΠΕ σε τοπικό επίπεδο (εκτενής αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο).

2.5 Βιοκλιματικά Κτίρια

Υφιστάμενα κτίρια τα οποία ανανεώνονται ενεργειακά χαρακτηρίζονται ως βιοκλιματικά. Επίσης, τα νεόκτιστα κτίρια τα οποία χτίζονται με βάση την ενεργειακή απόδοση τους χαρακτηρίζονται και εκείνα ως βιοκλιματικά. Επομένως, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αφορά στο σχεδιασμό κατασκευής και λαμβάνει υπόψη το κλίμα της κάθε περιοχής έχοντας ως στόχο την εξασφάλιση της θερμικής και οπτικής άνεσης καθώς και της ποιότητας του αέρα στον εσωτερικό χώρο. Ο σχεδιασμός όμως θα πρέπει να γίνεται με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας με την ταυτόχρονη αξιοποίηση περιβαλλοντικών πηγών όπως αέρα, ήλιο, άνεμο νερό και έδαφος. Μια βιοκλιματική κατασκευή μπορεί να συντελέσει στη μείωση χρήσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό κτιρίων. Βιοκλιματικές τεχνικές για τη θερμική προστασία του κελύφους ενός κτιρίου είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τεχνικές και συστήματα φυσικού δροσισμού και φυσικού φωτισμού κλπ. (cres.gr, 2021).

Σε χώρες μεσογειακές όπως είναι η Ελλάδα, η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από καταγραφές είναι της τάξης του 30% σε σύγκριση με συμβατικά κτίρια ενώ συγκρίνοντας με κτίρια παλαιότερα χωρίς μόνωση, η αντίστοιχη εξοικονόμηση ενέργειας ανέρχεται σε ποσοστό του 80% (cres.gr, Βιοκλιματικός Σχεδιασμός, 2021).

Είναι σημαντικό να τονισθεί πως ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εξαρτάται από το τοπικό κλίμα μιας περιοχής. Οι βασικές αρχές που στηρίζεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι (cres.gr, Βιοκλιματικός Σχεδιασμός, 2021):

- *Προστασία των κτιρίων θερμικά καθόλα τη διάρκεια του έτους με τη χρήση κατάλληλων διεργασιών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου και των ανοιγμάτων.*
- *Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προκειμένου να θερμανθούν τα κτίρια κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς και φυσικό φωτισμό καθόλα τη διάρκεια του έτους. Προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει οι χώροι ενός κτιρίου να είναι προσανατολισμένοι προς τα νότια ενώ παθητικά ηλιακά συστήματα θα συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία (φυσικό σύστημα θέρμανσης).*

- Προστασία των κατασκευών κατά τους θερινούς μήνες μέσω συστημάτων σκίασης αλλά και κατάλληλης κατασκευής του κελύφους.
- Μείωση της θερμότητας που συσσωρεύεται εντός του κτιρίου κατά τους θερινούς μήνες μέσω κατάλληλων τεχνικών παθητικού δροσισμού όπως για παράδειγμα είναι ο φυσικός αερισμός τις νυχτερινές ώρες.
- Εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού καθώς και ελέγχου της φωτεινής ακτινοβολίας για επαρκή κατανομή του φωτός στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Βελτίωση του εξωτερικού κλίματος εφαρμόζοντας τις παραπάνω τεχνικές.

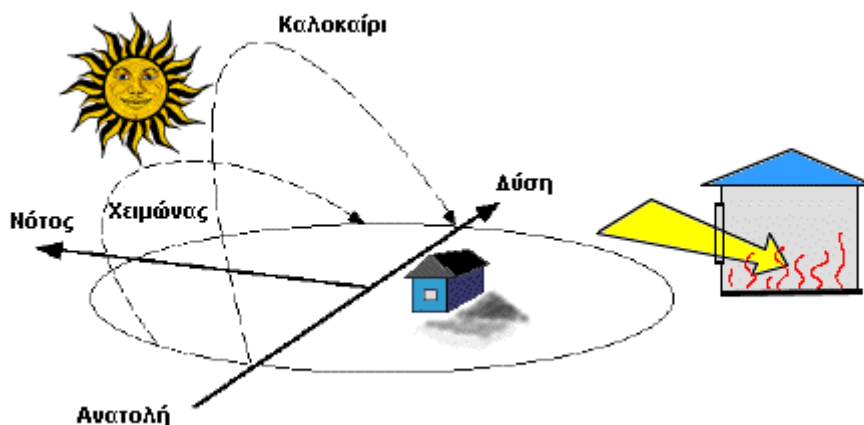
2.5.1 Τεχνικές

Σκοπός του παρόντος υποκεφαλαίου είναι η εκτενής παρουσίαση των βιοκλιματικών τεχνικών που εφαρμόζονται σε κτίρια ώστε να μετατραπούν σε βιοκλιματικές.

2.5.1.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Σύμφωνα με τον Μαρκάκη (2010) τα παθητικά ηλιακά συστήματα δίδουν σε μια κατασκευή ή ένα κτίριο τη θέρμανση και το δροσισμό μέσω φυσικών πηγών ενέργειας προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών. Για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία και ο άνεμος είναι ΑΠΕ που εκμεταλλεύονται τα παθητικά ηλιακά συστήματα. Στοιχεία απορρόφησης ενέργειας είναι επίσης η βλάστηση, ο εξωτερικός αέρας, οι υγρές επιφάνειες καθώς και ο ουρανός τα οποία συντελούν θετικά στα παθητικά συστήματα. Γενικά, τα παθητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τις φυσικές πηγές ενέργειας ενώ ο προσανατολισμός και η γεωμετρία του κτιρίου παίζουν ρόλο μείζονος σημασίας. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα έχουν την ικανότητα να συγκεντρώνουν, να αποθηκεύουν, να μεταδίδουν καθώς και να διαχύουν θερμότητα μέσα σε ένα χώρο.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αφορούν δομικά στοιχεία τα οποία είναι σχεδιασμένα κατάλληλα και συνδεδεμένα μεταξύ τους προκειμένου να εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια για σκοπούς θέρμανσης και φυσικού φωτισμού. Προκειμένου ένα παθητικό σύστημα να λειτουργήσει σωστά θα πρέπει το κτίριο να έχει έναν κατάλληλο σχεδιασμό. Αυτό σημαίνει πως το κέλυφος του κτιρίου θα πρέπει να έχουν τη μέγιστη ηλιακή συλλογή, τη μέγιστη θερμοχωρητικότητα και να έχει ελάχιστες θερμικές απώλειες (Μαρκάκη, 2010). Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τα παθητικά ηλιακά συστήματα.



Εικόνα 2. 4: Παθητικά ηλιακά συστήματα (<http://solaren.wikidot.com/sy2>)

2.5.1.2 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα δύναται να αξιοποιήσουν την ηλιακή ενέργεια ώστε να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες των εσωτερικών χώρων μιας κατασκευής. Έτσι, τα ενεργειακά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και έπειτα τη μεταφέρουν σε μορφή θερμότητας σε ζεστό νερό χρήσης, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Από τις πιο διαδομένες μορφές ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες για να παράγουν ζεστό νερό (ΚΑΠΕ, 2021).

Αναφορικά με το ζεστό νερό χρήσης, ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ΖΝΧ είναι οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης θερμότητας και οι σωληνώσεις τους. Τεχνικά, η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη ενώ η συλλεγμένη θερμότητα συλλέγεται και μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Συνηθίζεται οι συλλέκτες να τοποθετούνται στις στέγες των κτιρίων έχοντας νότιο προσανατολισμό με κλίση έως 60° ως προς τον ορίζοντα ώστε να μεγιστοποιείται το ποσό συλλογής ηλιακής ενέργειας (ΚΑΠΕ, Ενεργητικά Ηλιακά, 2021).

2.6 Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Σκοπός του παρόντος υποκεφαλαίου είναι η παρουσίαση των ΑΠΕ και η ενσωμάτωση τους σε κτιριακό/οικιακό επίπεδο. Η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα κτίρια αποτελούν πλέον πραγματικότητα και η εφαρμογή τους δύναται να μειώσει τις περιβαλλοντικές συνέπειες με ταυτόχρονη ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών των χρηστών των κτιρίων.

2.6.1 Τι είναι οι ΑΠΕ

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας νοούνται οι ενεργειακές πηγές οι οποίες βρίσκονται στη φύση και είναι ανεξάντλητες. Οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια πριν στραφεί στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον ενώ η σωστή αξιοποίηση τους μπορεί να μετατρέψει μια χώρα σε ενεργειακά ανεξάρτητη προσφέροντας πολλαπλά πλεονεκτήματα στις αυξήσεις της οικονομίας της χώρας και ενίσχυση του ενεργειακού της εφοδιασμού. Το σημαντικό είναι ότι βελτιώνουν την ποιότητα του περιβάλλοντος, αυξάνουν το βιοτικό επίπεδο και ταυτόχρονα μειώνουν τις ενεργειακές καταναλώσεις από συμβατικά καύσιμα (allaboutenergy, 2021). Οι μορφές ΑΠΕ είναι οι εξής:

- Ηλιακή ενέργεια (ενεργητικά, παθητικά ηλιακά συστήματα, φωτοβολταϊκά συστήματα).
- Αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες – οικιακές).
- Υδραυλική ενέργεια.
- Γεωθερμική ενέργεια.
- Βιομάζα.
- Κυματική ενέργεια.

Οι ΑΠΕ διαθέτουν πληθώρα πλεονεκτημάτων :

- Είναι θεωρητικά ανεξάντλητες.
- Μειώνεται η εξάρτηση από συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Αυξάνουν την ενεργειακή ανεξαρτησία μιας χώρας.
- Οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος διότι είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες. Συνεπώς, καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο και ταυτόχρονα ανακουφίζεται το σύστημα υποδομής ενώ μειώνονται και οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δυνατότητα επιλογής κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες των χρηστών (για παράδειγμα ηλιακή ενέργεια για θερμότητα και αιολική ενέργεια για ηλεκτρισμό).
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος το οποίο δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.

- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.
- Αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο.
- Φιλικές στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Τα μειονεκτήματα τα οποία δυσχεραίνουν την αξιοποίηση των ΑΠΕ καθώς και την ταχεία τους ανάπτυξη έχουν ως εξής:

- Λόγω του διεσπαρμένου δυναμικού της καθίσταται δύσκολο να συγκεντρωθεί μεγάλο μέγεθος ισχύος προκειμένου να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί.
- Διαθέτουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και προκειμένου να υπάρχει μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρατηρούνται αρκετές διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα τους που μπορεί να έχουν μεγάλη διάρκεια και να απαιτείται εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών και μέθοδοι αποθήκευσης που είναι δαπανηροί.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος παραμένει ακόμα υψηλό σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.

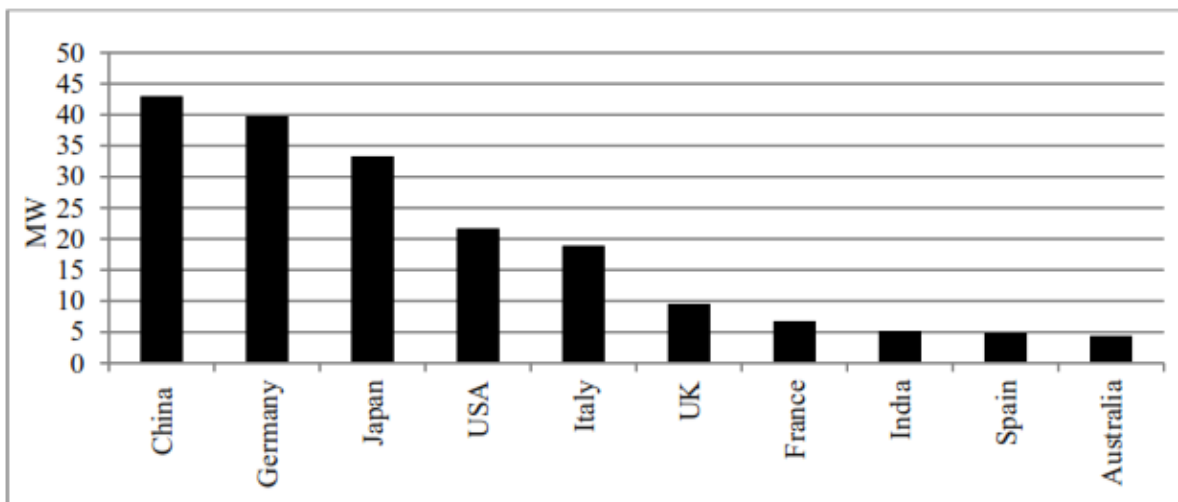
Η παρούσα εργασία αναφέρεται εκτενώς μόνο στην ηλιακή, αιολική και γεωθερμική ενέργεια καθώς και τη βιομάζα αφού οι ΑΠΕ που μελετώνται αφορούν τον κτιριακό τομέα.

2.6.1.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια διαθέτει τεράστια ποσά ενέργειας τα οποία όταν αξιοποιηθούν μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει αυξηθεί κατά πολύ με αποτέλεσμα να μειώνεται η χρήση συμβατικών καυσίμων. Αυτό έχει ως θετική συνέπεια τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων ως προς το περιβάλλον συμβάλλοντας θετικά στην κλιματική κρίση που η γη βιώνει (Biçen & Vardar, 2018).

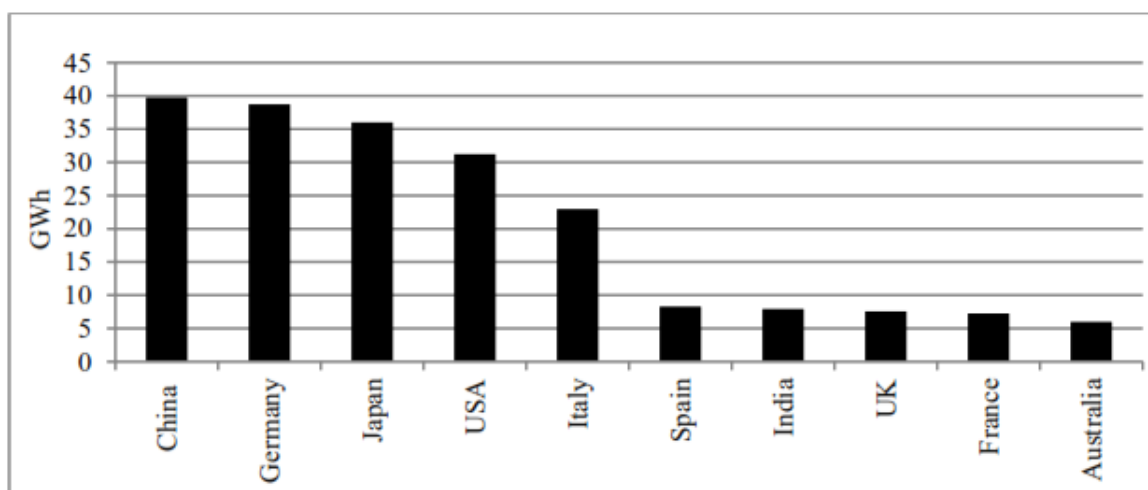
Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο βασικούς τρόπους, τις θερμικές και φωτοβολταϊκές (Φ/Β) εφαρμογές. Αρχικά, οι θερμικές εφαρμογές αφορούν τη συλλογή ηλιακής ενέργειας με σκοπούς παραγωγής θερμότητας (ήτοι ζεστό νερό και ατμός). Η Φ/Β εφαρμογή αναφέρεται στα Φ/Β συστήματα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να

μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό. Η παρακάτω εικόνα εικονίζει τη χρήση Φ/Β συστημάτων για το 2015 σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο.



Εικόνα 2. 5: Εγκατεστημένα Φ/Β συστήματα σε χώρες του εξωτερικού (Bizen & Vardar, 2018)

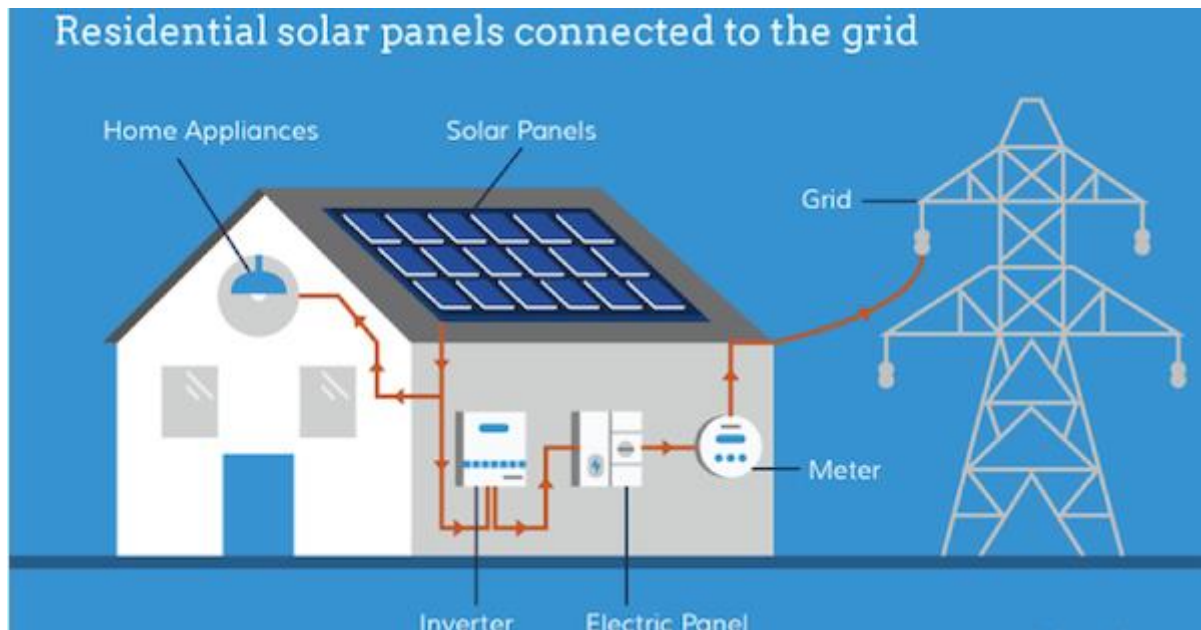
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα για τις χώρες της Εικόνας 2.5 διαφαίνονται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2. 6: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β συστήματα (Bizen & Vardar, 2018)

Η εφαρμογή Φ/Β συστημάτων πρωτοπαρουσιάστηκε τη δεκαετία του 1940 σε διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ. Η χρήση τους μείωσε το κόστος παραγωγής ενέργειας ανά Watt σε μόλις \$4 από \$300 που ήταν αρχικά. Παρά το γεγονός πως τα Φ/Β συστήματα τοποθετούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, τα τελευταία 15 χρόνια παρατηρούνται και σε οικιακό επίπεδο κυρίως σε στέγες κτιρίων αλλά και σε εξωτερικά τοιχεία. Στην Ελλάδα ο μέσος όρος ηλιοφάνειας είναι περίπου 2700 ώρες και συνεπώς η Ελλάδα θα μπορούσε να

ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές τις ανάγκες μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας (allaboutenergy.gr, Ηλιακή ενέργεια, 2021).



Εικόνα 2. 7: Οικιακό Φ/Β σύστημα συνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο (<https://news.energysage.com/how-to-choose-the-best-solar-panel-for-you/>)

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- Μηδενική ρύπανση στο περιβάλλον.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία.
- Απεξάρτηση από τροφοδοσία καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας μέσω μπαταριών.
- Δυνατότητα επέκτασης.
- Μηδενικό κόστος παραγωγής ενέργειας με ελάχιστη συντήρηση.

Ωστόσο υπάρχουν και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα της:

- Υψηλό κόστος παραγωγής.
- Έλλειψη επιδοτήσεων.
- Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης δημιουργούνται προβλήματα.

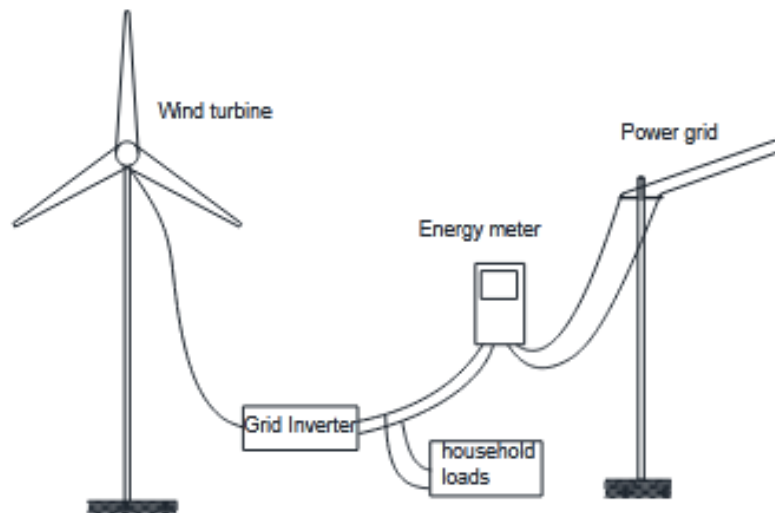
2.6.1.2 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια έπεται από την ηλιακή ακτινοβολία μέσω της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της γης. Πιο συγκεκριμένα, προκαλείται μετακίνηση σημαντικών μαζών του

αέρα από μια περιοχή σε άλλη προκαλώντας τον άνεμο. Η αιολική ενέργεια είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, είναι φιλική ως προς το περιβάλλον και είναι θεωρητικά ανεξάντλητη. Εκτιμάται πως αν υπήρχε η δυνατότητα με τη σημερινή τεχνολογία να εκμεταλλευτεί όλο το αιολικό δυναμικό της γης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα κάλυπτε όλη τη γη (allaboutenergy.gr, Αιολική ενέργεια, 2021).

Η Ελλάδα διαθέτει ένα πλούσιο αιολικό δυναμικό ενώ η εκμετάλλευση της δύναται να οδηγήσει την Ελλάδα σε ενεργειακή ανάπτυξη. Το πρώτο αιολικό πάρκο που δημιουργήθηκε στη χώρα μας ήταν στο νησί της Κύθου το έτος 1982. Σήμερα, έχουν δημιουργηθεί αντίστοιχα πάρκα στα νησιά Άνδρο, Λήμνο, Λέσβο, Χίο, Κρήτη καθώς και την Εύβοια. Η ισχύς της κάθε εγκατάστασης είναι πάνω από 30MW. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από «καθαρά» καύσιμα με θετικές συνέπειες ως προς το περιβάλλον και περιορισμός της ρύπανσης καθώς και τη δημιουργία πολλών θέσεων εργασίας. Υπολογίζεται πως για κάθε νέο MW αιολικής ενέργειας δημιουργούνται δεκατέσσερις νέες θέσεις εργασίας. Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα, τα συστήματα αιολικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες) διαθέτουν μειονεκτήματα όπως θόρυβος από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών, η οπτική/αισθητική του τοπίου, σπάνιες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στο ραδιόφωνο, την τηλεόραση και γενικά τις τηλεπικοινωνίες και πρόσκρουση πουλιών στα πτερύγια των ανεμογεννητριών (allaboutenergy.gr, Αιολική ενέργεια, 2021).

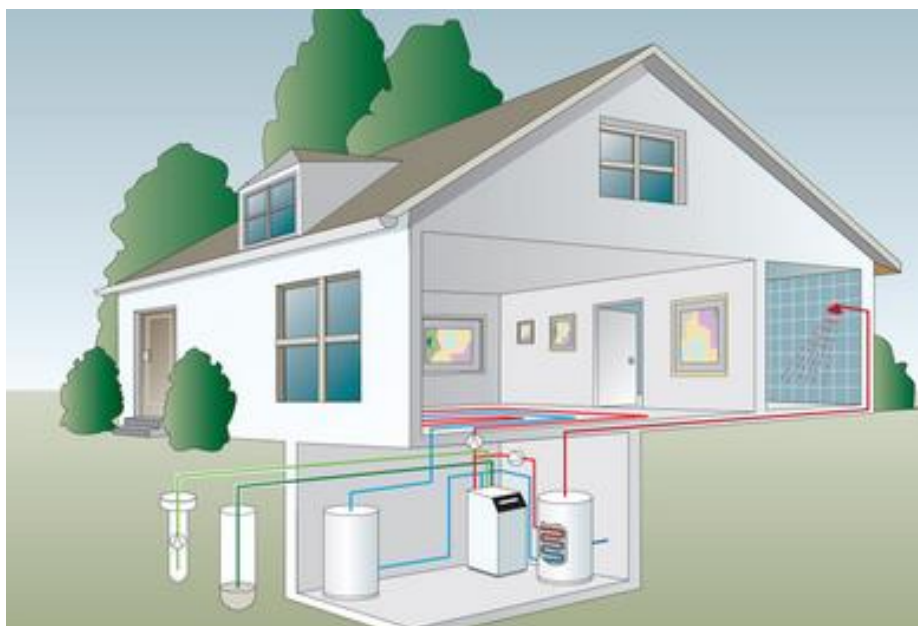
Αναφορικά, με τις ανεμογεννήτριες σε οικιακό επίπεδο, η ισχύς τους είναι της τάξης των 400W έως 20kW ανάλογα με την ποσότητα του ηλεκτρισμού που χρειάζεται. Μια τυπική ανεμογεννήτρια μπορεί να παράγει περίπου 11,000kWh/έτος δηλαδή 911kWh ανά μήνα (.energy.gov, 2021). Η Εικόνα 2.8 απεικονίζει τη γενική διάταξη μιας οικιακής ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 2. 8: Οικιακή ανεμογεννήτρια συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο (Predescu, 2016)

2.6.1.3 Γεωθερμική Ενέργεια

Ο όρος γεωθερμική ενέργεια ή γεωθερμία νοεί τη φυσική θερμική ενέργεια η οποία πηγάζει από το εσωτερικό της γης σε μορφή νερού, ατμού, αερίου κ.α. και χαρακτηρίζεται ως μια ήπια και ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Σύμφωνα με τον Μαρκάκη (2010) η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί μέσω γεωθερμικών συστημάτων. Αναλόγως τη μορφή ενέργειας (νερό, ατμό, αέριο), η πίεση διαφέρει. Για παράδειγμα εάν η ενέργεια αφορά νερό τότε εκείνο είναι το οποίο καθορίζει την πίεση της ενέργειας. Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας δύναται να προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα, για παράδειγμα η διαθεσιμότητα της ενέργειας καθόλα τη διάρκεια της ημέρας και του χρόνου αφού η γεωθερμική ενέργεια δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες και είναι φιλική ως προς το περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά έχουν γενικά χαμηλό κόστος και δεν παράγουν επικίνδυνους ρύπους. Ειδικά τα οικιακά γεωθερμικά συστήματα έχουν την ικανότητα να διαθέτουν ψύξη και θέρμανση σε εσωτερικούς χώρους. Εφόσον συνδυαστούν με συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού τότε οι ενεργειακές ανάγκες του χώρου καλύπτονται με ακόμη λιγότερη ενεργειακή κατανάλωση.



Εικόνα 2. 9: Οικιακό γεωθερμικό σύστημα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας κατοικίας
(http://www.energysystems.gr/geothermia_merol.php)

2.6.1.4 Βιομάζα

Η βιομάζα χαρακτηρίζεται ως μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία προέχεται από οργανική ύλη όπως είναι τα ζωικά απόβλητα και τα δασικά υπολείμματα και φυτά. Η βιομάζα χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας, η οποία ενέργεια είναι δεσμευμένη με τις φυτικές ουσίες. Η βιομάζα χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια και θεωρείται ως μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Οι ύλες καύσης προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο ενώ τα υγρά απόβλητα καθώς και το μεγαλύτερο μέρος των αστικών αποβλήτων δύναται να μετατραπούν σε ενέργεια (allaboutenergy.gr, Βιομάζα, 2021).

Η βιομάζα ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια σε δευτερογενή φάση. Πιο συγκεκριμένα, η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε βιομάζα (στα φυτά) μέσω της φωτοσύνθεσης. Σε συνδυασμό με το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται η βιομάζα. Από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης της βιομάζας είναι η ανανεωσιμότητα καθώς και η καύση της δεν παράγει οικολογικά και περιβαλλοντικά απόβλητα (allaboutenergy.gr, Βιομάζα, 2021).

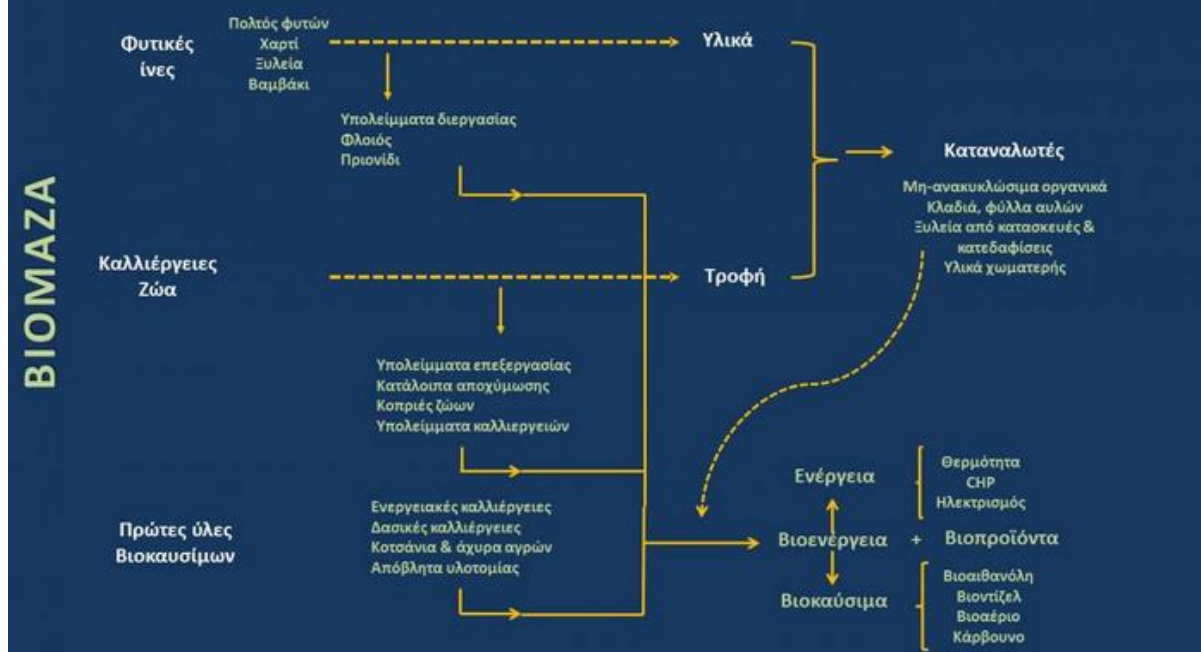
Επιπλέον πλεονεκτήματα:

- Μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση της.
- Δεν επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αυτό διότι κατά την καύση οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα δεσμεύονται από τα φυτά.
- Η ελάχιστη ύπαρξη θείου συνεισφέρει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου το οποίο είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Αν η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας τότε δύναται να συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή αυξάνει την απασχόληση σε αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών, τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών συμβάλλοντας στην κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη τις περιοχής.

Μειονεκτήματα:

- Δυσχεραίνεται η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας υγρασίας.
- Δυσκολεύεται η συνεχής τροφοδοσία λόγω της εποχιακής παραγωγής τις βιομάζας.
- Απαιτείται υψηλό κόστος εξοπλισμού λόγω των σύγχρονων και βελτιωμένων τεχνολογικών μετατροπής βιομάζας σε ενέργεια.

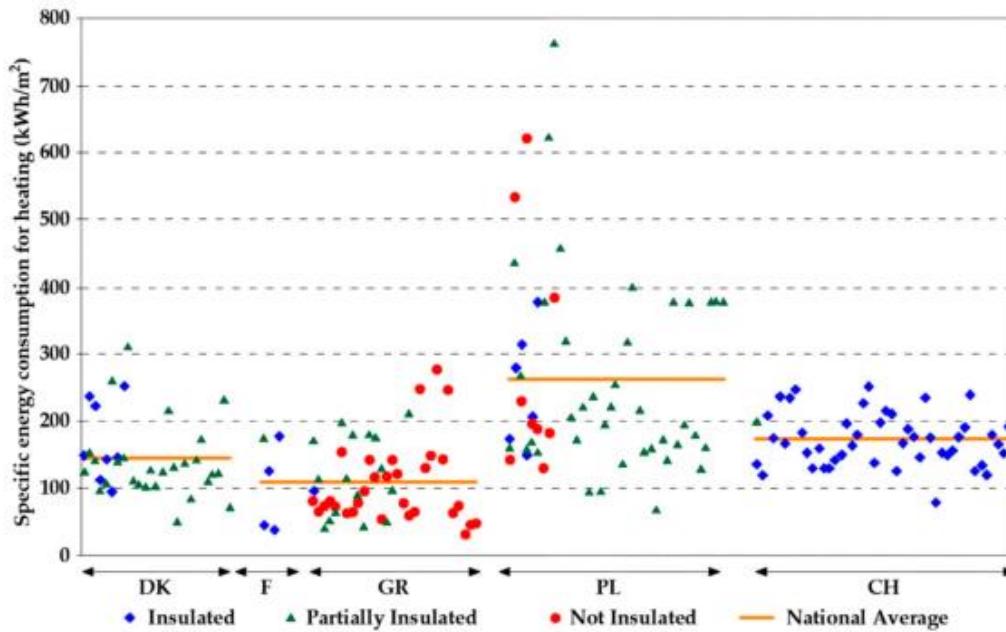
ΑΠΟ ΤΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΗ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ



Εικόνα 2. 10: Από τη βιομάζα στη βιοενέργεια (<http://www.agroenergy.gr/categories/βιομάζα/>)

2.6.2 Εφαρμογές ΑΠΕ στα Κτίρια

Σκοπός του παρόντος υποκεφαλαίου είναι η εκτενής αναφορά της εφαρμογής των ΑΠΕ σε κτίρια. Οι εφαρμογές ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα στοχεύουν στη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή αποτέλεσμα τις εκτεταμένης χρήσης ενέργειας. Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών σε κτιριακό επίπεδο μπορεί να προσδώσει μόνο καθαρή μορφή ενέργειας. Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει την καταναλισκόμενη ενέργεια κτιρίων τα οποία διαθέτουν θερμομόνωση (μπλε κουκίδα), με ελάχιστη θερμομόνωση (πράσινη κουκίδα) και χωρίς θερμομόνωση (κόκκινη κουκίδα).



Εικόνα 2. 11: Καταναλισκόμενη ενέργεια κτιρίων (έχοντας θερμομόνωση, με ελάχιστη θερμομόνωση, καθόλου θερμομόνωση και μέτρια θερμομόνωση) (Balaras, et al., 2005)

Αρχικά γίνεται παρουσίαση της εφαρμογής ηλιακών συστημάτων στα κτίρια. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με τη χρήση Φ/Β συστημάτων ενώ η εγκατάσταση τις θεωρείται πλέον επιτακτική ανάγκη προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέση η Ευρωπαϊκή Ένωση για το κλίμα. Η εγκατάσταση των Φ/Β σε κτίρια και κυρίως στο αστικό περιβάλλον αποτελεί μια πραγματικότητα αφού αποτελεί μια τεχνολογία συνεχώς αναπτυσσόμενη. Η εκμετάλλευση των ΑΠΕ συνδυαστικά με τις τεχνολογικές εξελίξεις δύναται να δώσουν μέγιστη ενεργειακή απόδοση. Ιδιαίτερα τα Φ/Β συστήματα μπορούν να προσδώσουν σε ένα κτίριο πολλαπλά οφέλη ενώ ταυτόχρονα είναι ανθεκτικά και εύχρηστα. Τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν με τρεις εναλλακτικούς τρόπους οι οποίοι είναι οι εξής (pure-eie.com, 2009):

- Ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων τις στέγες κτιρίων. Αποτελεί την πιο διαδομένη εφαρμογή και η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων γίνεται στη στέγη των κτιρίων είτε απευθείας πάνω στη στέγη είτε πάνω στο οικοδομικό υλικό για παράδειγμα στα κεραμίδια.
- Ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων τις προσόψεις κτιρίων. Παρά το γεγονός ότι τα Φ/Β πλαίσια δεν έχουν ιδιαίτερη αισθητική, μπορούν να διαμορφωθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάζουν στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου. Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται τις εξωτερικές όψεις τις κτιρίου και

προσφέρουν εκτός από συλλογή ηλιακής ενέργειας, θερμική προστασία, μόνωση, προστασία από τον ήλιο και προστασία από το θόρυβο.

- Σκίαστρα. Τα Φ/Β σκίαστρα εκτός του ότι προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας προσφέρουν και επαρκή σκίαση τις εσωτερικούς χώρους κτιρίων. Τα ημιπερατά αυτά πλαίσια επιτρέπουν τον προσδιορισμό του βαθμού διαφάνειας αναλόγως το βαθμό σκίασης που απαιτείται. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα τις συγκεκριμένης εφαρμογής είναι ότι η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης τις επιτρέπει τη μεγιστοποίηση τις παραγόμενης ενέργειας.



Εικόνα 2. 12: Φ/Β πλαίσια στη στέγη κτιρίου (https://selasenergy.gr/odigos_mikron_sustimaton.php)

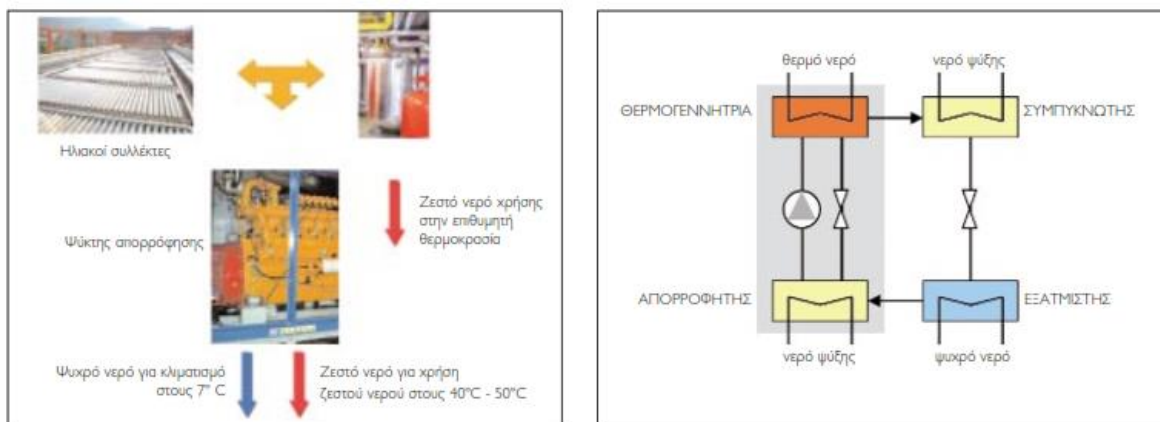


Εικόνα 2. 13: Φ/Β πλαίσια στην όψη κτιρίου (<https://www.decobook.gr/tecnica-arthra/oikologiki-domisi/441-2010-10-10-19-35-46>)



Εικόνα 2. 14: Φ/Β σκίαστρα σε κτίριο (Τσούτσου & Γκούσκος, 2010)

Μια ακόμη ηλιακή εφαρμογή που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια είναι εκείνη του ηλιακού κλιματισμού. Η χρήση κλιματιστικών σε Μεσογειακές χώρες τις η Ελλάδα και η Ιταλία είναι μεγάλη ιδιαίτερα κατά τις θερινούς μήνες όπου οι θερμοκρασίες αγγίζουν ακόμη και τις +40°C. Λόγω της αυξημένης χρήσης τους, το ηλεκτρικό φορτίο αυξάνεται αρνητικές συνέπειες ως προς το περιβάλλον και φυσικά μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις για τους χρήστες. Ο ηλιακός κλιματισμός δύναται να μειώσει τη χρήση των κλιματιστικών μέσω της ηλιακής ενέργειας αφού διαθέτει θερμωθούμενο ψύκτη ο οποίος μετατρέπει με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας κλιματιζόμενο αέρα (Τσούτσου & Γκούσκος, 2010). Η παρακάτω Εικόνα απεικονίζει ένα σύστημα ηλιακού κλιματισμού.



Εικόνα 2. 15: Σύστημα ηλιακού κλιματισμού (Τσούτσου & Γκούσκος, 2010)

Συνεχίζοντας, παρουσιάζεται η αιολική ενέργεια στα κτίρια. Τις αναφέρθηκε και προηγουμένως, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας δύναται να προσδώσει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ένα κτίριο ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενη από συμβατικά καύσιμα. Μια οικιακή ανεμογεννήτρια πριν εγκατασταθεί θα πρέπει να μελετάται ώστε να διαπιστώνεται εφόσον ο άνεμος στη συγκεκριμένη περιοχή επαρκεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς της αιολικής ενέργειας μπορεί να καταταχθεί σε επτά κατηγορίες ενώ αναλόγως την κάθε περιοχή διατίθενται χάρτες απεικονίζοντας τα φορτία ανέμου. Μέσω των χαρτών αυτών κανείς μπορεί να υπολογίσει την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να προσλάβει μια οικιακή ανεμογεννήτρια (Hayter & Kandt, 2011). Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τις επτά ενεργειακές κλάσεις του ανέμου.

Πίνακας 2.7: Ενεργειακές κλάσεις ανέμου (Hayter & Kandt, 2011)

<u>Κλάση Ανέμου</u>	<u>Περιγραφή Κλάσης</u>	Ταχύτητα Ανέμου στα 50m (m/s)
1	Ανεπαρκής	<5.6
2	Οριακή	5.6-6.4
3	Σχεδόν οριακή	6.5-7.0
4	Καλή	7.0-7.5
5	Άριστα	7.5-8.0
6	Εξαιρετική	8.0-8.8
7	Εκλεκτή	>8.8

Οι ανεμογεννήτριες που είθισται να τοποθετούνται σε κτίρια είναι οριζοντίου άξονα (*Horizontal axis wind turbines - HAWT*) όμως τα τελευταία χρόνια ολοένα και αυξάνεται η χρήση ανεμογεννητριών με κάθετο άξονα (*Vertical axis wind turbines VAWT*) (CTCN, 2021). Οι οικιακές ανεμογεννήτριες μπορούν να είναι συνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο ενώ αν δεν είναι συνδεδεμένες απαιτούν ως συμπληρωματικό μηχάνημα μια μπαταρία ώστε να αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια που έχει παραχθεί από την ανεμογεννήτρια (CTCN, 2021).

Οι οικιακές ανεμογεννήτριες συνοδεύονται από μετατροπείς ισχύος προκειμένου να μετατρέψουν την παραγόμενη ενέργεια σε εναλλασσόμενο ρεύμα ώστε να είναι συμβατό με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο, με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι ανεμογεννήτριες δύναται να παράγουν απευθείας εναλλασσόμενο ρεύμα και συνεπώς δεν απαιτούνται μετατροπείς (CTCN, 2021).

Θα πρέπει οι κτιριακές ανεμογεννήτριες να είναι φιλικές ως προς το περιβάλλον ενώ η αρχιτεκτονική σχεδίαση τους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο αφού επηρεάζει την αισθητική του τοπίου. Επίσης, λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, διάφορα μειονεκτήματα τα οποία συνόδευαν τις ανεμογεννήτριες όπως για παράδειγμα ο θόρυβος που πρόκυπτε από τη λειτουργία των πτερυγίων έχουν εξελιχθεί. Παράλληλα, η τεχνολογική πρόοδος έχει μειώσει τα έξοδα συντήρησης των ανεμογεννητριών (*predictive maintenance*) (EWEA, 2021).



Εικόνα 2. 16: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε στέγη κτιρίου (EWEA, 2021)



Εικόνα 2. 17: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε στέγη κτιρίου (EWEA, 2021)

Πληθώρα επιστημόνων επιχειρήσαν να εκτιμήσουν το δυναμικό παραγωγής της αιολικής ενέργειας σε διάφορους αστικούς χώρους χρησιμοποιώντας την ετήσια μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου και το τυπικό ύψος εγκατάστασης ως αναφορά (Drew, et al., 2013). Τα αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν πως οι ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας αποδίδουν καλύτερα στα περίχωρα των πόλεων όπου η ροή του ανέμου δεν επηρεάζεται από τα υψηλά κτίρια. Παρόλα αυτά, λιγосτές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί οπότε υπάρχει περιορισμένη

βιβλιογραφία. Η ιδανική μέθοδος για την εκτίμηση του τοπικού μοτίβου ροής αέρα πάνω από τα κτίρια θα απαιτούσε να εκτελούνται μετρήσεις επί τόπου, όπως γίνεται για τα αιολικά πάρκα. Πρόκειται για μια δαπανηρή μέθοδο, η οποία δεν δικαιολογείται ακόμη ως προς την αναμενόμενη απόδοση της αστικής αιολικής ενέργειας (Stathopoulos, et al., 2018).

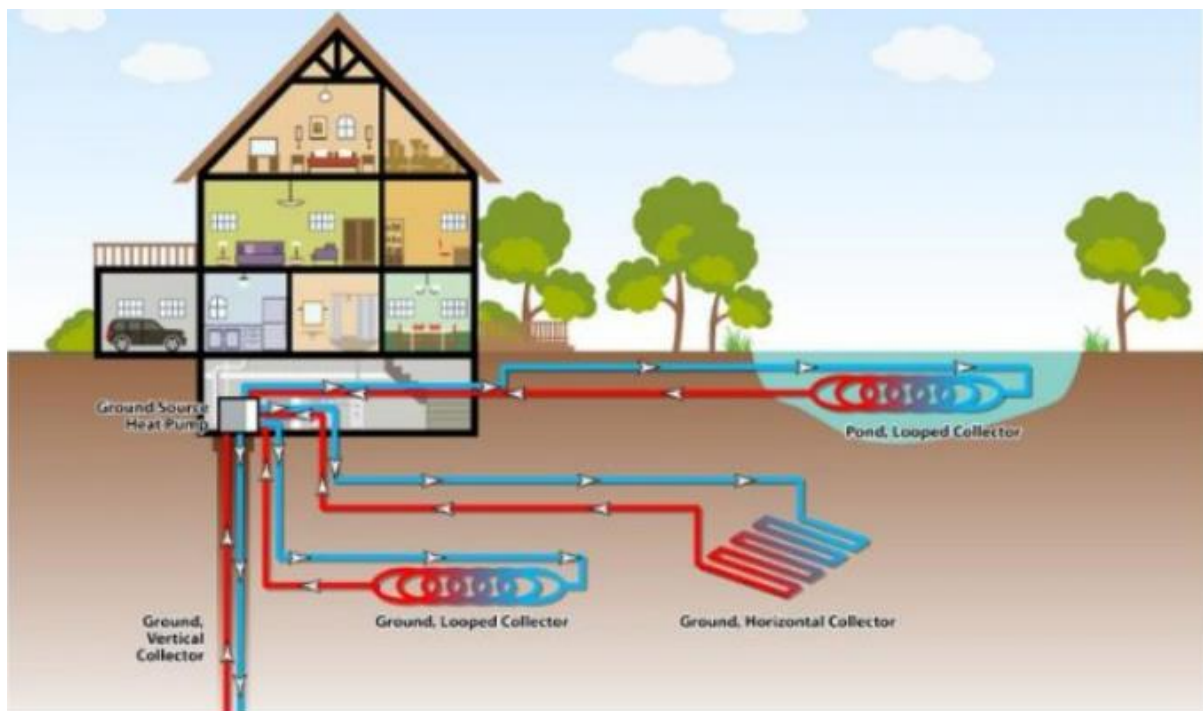
Έχοντας ως βάση την κλιματική αλλαγή μέσω του Ευρωπαϊκού προγράμματος για την ενέργεια και το περιβάλλον *Horizon 2020*, κατασκευάστηκε μια ανεμογεννήτρια η EOLI FPS με γεωμετρία κάθετου άξονα (VAWT). Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια μπορεί να παράγει ενέργεια ακόμα και με μικρή ροή ανέμου. Για να συλληφθεί ο αέρας, ο εσωτερικός μηχανισμός της ανεμογεννήτριας δημιουργεί στροβίλους οι οποίοι αυξάνουν τη δυναμική του αέρα. Συνεπώς, προκύπτει επαρκής ενέργεια ενώ παράλληλα το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ασφαλές, αθόρυβο, χωρίς δονήσεις και ταιριάζει στο αστικό τοπίο (CORDIS, 2018).



Εικόνα 2. 18: Καινοτομική ανεμογεννήτρια EOLI FPS για τις πόλεις (CORDIS, 2018)

Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια μπορεί να προσφέρει στον καταναλωτή ενέργεια με κόστος 0,05€/ κιλοβατώρα (kWh). Έχοντας ως σύγκριση το τρέχον ευρωπαϊκό μέσο κόστος (0,21€/kWh) για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η εξοικονόμηση του πελάτη ανέρχεται στα 110,250€ ετησίως (για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 9922 kWh/έτος). Ένας μεμονωμένος στρόβιλος EOLI FPS μπορεί να παράγει 5250 kWh ανά έτος εμποδίζοντας έτσι την ετήσια εκπομπή 1,5 τόνων CO₂ στο περιβάλλον. Επιπλέον, το EOLI FPS είναι ασφαλές και φιλικό προς τα πουλιά λόγω του ειδικού προστατευτικού που διαθέτει (CORDIS, 2018).

Αναφορικά με τα γεωθερμικά συστήματα σε οικιακό επίπεδο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ενέργεια προέρχεται από τα στρώματα της γης ενώ οι γεωθερμικοί πόροι μπορεί να βρίσκονται αρκετά χιλιόμετρα κάτω από το έδαφος. Πρακτικά, η θερμοκρασία 3m κάτω από την επιφάνεια της γης διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία της τάξεως των 10-16°C. Με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί και να παρέχει θέρμανση και ψύξη στα κτίρια. Οι αντλίες διατηρούν σταθερή τη θερμοκρασία της γης ως μέσο ανταλλαγής της θερμότητας (Hayter & Kandt, 2011).

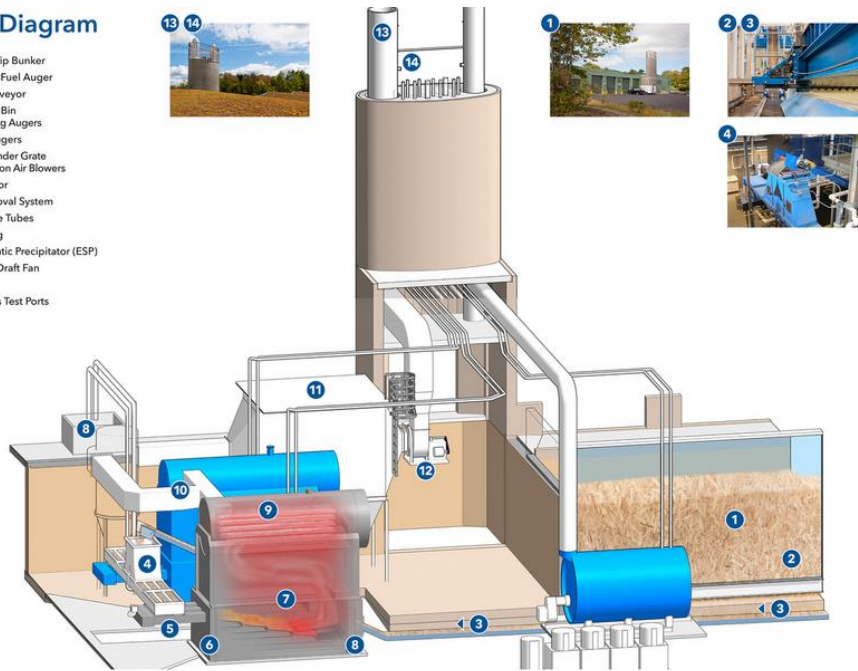


Εικόνα 2. 19: Οικιακό γεωθερμικό σύστημα (<https://www.michanikos-online.gr>)

Τέλος, η βιομάζα αφορά μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, φιλική ως προς το περιβάλλον διότι προέρχεται από το ίδιο το περιβάλλον. Ο κόσμος κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα κάλυπτε τις ενεργειακές του ανάγκες κυρίως από τη βιομάζα η οποία ήταν άμεσα διαθέσιμη (Τσούτσου & Γκούσκος, 2010). Η βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως σε αγροτικές περιοχές και μέσω ενός κεντρικού συστήματος θέρμανσης το γνωστό *pellet*. Η καύση βιομάζας υπερτερεί έναντι των συμβατικών μορφών καυσίμου αφού είναι φιλικά προς το περιβάλλον, ανεξάντλητα και οικονομικά (Τσούτσου & Γκούσκος, 2010). Η καύση της βιομάζας παράγει ρύπους ωστόσο είναι πολύ λιγότερη σε σύγκριση με την καύση άλλων συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο, λιγνίτης κ.α.).

Plant Diagram

- 1 Wood Chip Bunker
- 2 Traveling Fuel Auger
- 3 Chip Conveyor
- 4 Metering Bin & Metering Augers
- 5 Stoker Augers
- 6 Over & Under Grate
Combustion Air Blowers
- 7 Combustor
- 8 Ash Removal System
- 9 Boiler Fire Tubes
- 10 Breeching
- 11 Electrostatic Precipitator (ESP)
- 12 Induced Draft Fan
- 13 Stacks
- 14 Emissions Test Ports



Εικόνα 2. 20: Σύστημα καύσης βιομάζας (<https://www.archdaily.com/933023/what-is-biomass-energy/5e3a11e13312fd0369000083-what-is-biomass-energy-phot>)

2.7 Λογισμικό 3DR KENAK

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό 3DR KENAK της 3DR Engineering Software Ltd, η οποία ιδρύθηκε το 2010 και σήμερα αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εταιρίες ανάπτυξης και εμπορίας τεχνικού λογισμικού στην Ελλάδα. Το λογισμικό του KENAK βασίζει τη μεθοδολογία του στο λογισμικό TEE KENAK του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΕΕ), και μελετά την ενεργειακή απόδοση υφιστάμενων κτιρίων. Το KENAK εφαρμόζει όλα τα απαραίτητα στοιχεία μέσω αλγορίθμων για να υπολογισθεί η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων στην Ελλάδα, έχοντας ως βάση τη μεθοδολογία των Ευρωπαϊκών Προτύπων όπως είναι για παράδειγμα ΕΛΟΤ EN ISO 13790 όπως και επίσης τα σχετικά εθνικά πρότυπα και τις αντίστοιχες τεχνικές οδηγίες του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ 20701-1/2017: Αναλυτικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης). Το KENAK για να μπορέσει να εκδώσει την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου, θα πρέπει τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιρίου να είναι διαθέσιμα. Επίσης, θα πρέπει να διατίθεται και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων (KENAK, 2017).

Το λογισμικό χρησιμοποιείται για σκοπούς ενεργειακής επιθεώρησης και τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης καθώς και της ενεργειακής ταξινόμησης των κτιρίων προκειμένου να εκδοθεί πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ-EPB). Το πιστοποιητικό είναι υποχρεωτικό για σχεδόν όλους τους τύπους κτιρίων όταν πωλούνται ή ενοικιάζονται. Οι τάξεις ταξινόμησης των κτιρίων έχουν ως εξής (ΚΕΝΑΚ, 2017):



Εικόνα 2. 21: Ταξινόμηση ενεργειακής απόδοσης Το A + είναι ενεργειακά αποδοτικό και το Η μη αποδοτικό

3. Τεχνικές Ενίσχυσης Κτίριων έναντι Σεισμικών Δράσεων

3.1 Σεισμοί

Ο όρος «σεισμός» είναι γνωστός και ως «σεισμική δόνηση» και χαρακτηρίζεται από μια αισθητή και χωρίς σαφής προειδοποίηση δόνηση της επιφάνειας του φλοιού της γης λόγω των απότομων και απρόβλεπτων μετακινήσεων των μαζών της. Αποτέλεσμα αυτών των μετακινήσεων είναι τα σεισμικά κύματα, τα οποία αφορούν ουσιαστικά την ενέργεια που δημιουργείται από τις τεκτονικές πλάκες. Έτσι, τα σεισμικά κύματα είναι ταλαντώσεις και δύναται να προκαλέσουν ανυπολόγιστες συνέπειες, από υλικές ζημιές και δυστυχώς απώλεια ζωών. Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, και εκδηλώνεται χωρίς καμία προειδοποίηση, δεν μπορεί να αποτραπεί και παρά τη μικρή διάρκεια του μπορεί να προκαλέσει σοβαρούς τραυματισμούς και απώλειες. Συνεπώς δεν δύναται να προβλεφθούν αλλά ούτε και να ελεγχθούν (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1999).

Ωστόσο, οι επιπτώσεις των σεισμών μπορούν να περιοριστούν με τη μείωση της τρωτότητας των ανθρώπων. Πιο αναλυτικά, η μείωση της τρωτότητας αφορά την εφαρμογή κανονισμών και μέτρων έναντι του σεισμού. Συγκεκριμένα, κατασκευές και υποδομές, επιβάλλεται να πληρούν ένα κατώτερο επίπεδο ασφαλείας ώστε να είναι σεισμικά θωρακισμένες. Αυτό φυσικά σημαίνει πως οι υφιστάμενοι σεισμικοί κανονισμοί θα πρέπει συνεχώς να εξελίσσονται επιστημονικά και τεχνολογικά ώστε να βασίζονται σε ρεαλιστικά χαρακτηριστικά. Εν συνεχεία, οι θεμελιώδεις απαιτήσεις των αντισεισμικών κανονισμών για τις κατασκευές και γενικά για τις υποδομές θα πρέπει να έχουν ως κύριο στόχο τη μη κατάρρευση των κατασκευών, οι ζημιές δε να είναι όσο το δυνατό λιγότερες ενώ θα πρέπει να συνεχίζουν τη λειτουργικότητα τους ύστερα από ένα σεισμικό γεγονός (Μπουκουβάλας & Παπαδημητρίου, 2010).

Αναφορικά με την Ελλάδα, η γεωγραφική θέση και η γεωλογική μορφολογία της χαρακτηρίζονται ως σεισμογενή. Η χώρα μας κατέχει την πρώτη θέση σεισμικότητας στην Ευρώπη και 6^η παγκοσμίως έπειτα από την Ιαπωνία, της Νέες Εβρίδες, τα νησιά του Σολομώντα και τη Χιλή. Ιστορικά, η Ελλάδα έχει δυστυχώς βιώσει πολλάκις σεισμούς με τεράστιες κοινωνικές και οικονομικές καταστροφές καθώς και απώλεια ζωών.

3.2 Αντισεισμικοί Κανονισμοί

3.2.1 Σεισμοί στην Ελλάδα

Από την πρόσφατη ιστορία, ένας σεισμός που ταρακούνησε την Ελλάδα, ήταν εκείνος του 1923 με επίκεντρο το Λουτράκι και την Κόρινθο, με μέγεθος 6,3R. Ο σεισμός της Κορίνθου ισοπέδωσε κυριολεκτικά την πόλη προκαλώντας το θάνατο σε 20 ανθρώπους. Η σφοδρότητα του σεισμού ήταν τόση ώστε να προκληθούν τεράστιες και ανυπολόγιστες υλικές ζημιές που χαρακτηρίστηκαν δυσανάλογες με το μέγεθος του σεισμού. Η αιτία για τις ζημιές αυτές ήταν η κακή ποιότητα των κατασκευών στις πόλεις Κόρινθο και Λουτράκι (Παπαφωτίου, 2002)

Ο σεισμός του 1928 (26-06-1928) στη Ρόδο μεγέθους 8,0R ταρακούνησε το Ηράκλειο Κρήτης, τη Μικρά Ασία και την Αίγυπτο ενώ έγινε αισθητός και στην Ανατολική Ιταλία. Οι νεκροί έφτασαν τους 12 ενώ 3.200 σπίτια κατέρρευσαν και 550 έπαθαν ολοσχερή καταστροφή. Ακόμη και ο Αρχάγγελος καταστράφηκε ολοσχερώς. Στη Λάρισα, το 1941, σεισμική δόνηση με μέγεθος 6,3R ταρακούνησε την πόλη, σπέρνοντας το θάνατο σε 40 άτομα ενώ οι καταστροφές που προκλήθηκαν ήταν εκατοντάδες. Μάλιστα κτίρια όπως ξενοδοχεία, τράπεζες, νοσοκομεία, σχολεία καθώς και κατοικίες κατέρρευσαν ολοσχερώς (Δανδιλιάκης, 2020). Ένα από τα πιο θανατηφόρα σεισμικά γεγονότα ήταν ο σεισμός του 1953 που έλαβε μέρος στα Επτάνησα. Πιο συγκεκριμένα η Κεφαλονιά, η Ζάκυνθος και η Ιθάκη βίωσαν το σεισμό πολύ έντονα αφού το μέγεθος του (7,5R) έσπειρε το θάνατο σε 455 ανθρώπους, προκάλεσε 2.412 τραυματισμούς και 21 άτομα αγνοούνταν. Ακολούθησαν παραπάνω από 145 μετασεισμοί. Οι καταστροφές που σημειώθηκαν ήταν τόσο εκτεταμένες που οι κάτοικοι των νησιών αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τον τόπο τους προκειμένου να είναι ασφαλής. Στο σύνολο καταστράφηκαν πάνω από 27.500 κατοικίες ενώ καταστράφηκαν ολοσχερώς μνημεία μοναδικής κληρονομιάς. Μάλιστα, στη Ζάκυνθο εκδηλώθηκε πυρκαγιά με αποτέλεσμα να καούν μοναδικά μνημεία όπως η Παναγία η Φανερωμένη και το Μέγαρο της Δημόσιας Βιβλιοθήκης όπου φυλάσσονταν χιλιάδες τόμοι βιβλίων, χειρόγραφων και κειμηλίων (Κουτσαδέλης, 2014).

3.2.2 Αντισεισμικοί Κανονισμοί

Οι σεισμοί που έλαβαν μέρος στην Ελλάδα κατά το πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα αποτέλεσαν ορόσημο για τη σύνταξη ενός αντισεισμικού κανονισμού ο οποίος θα προστάτευε όχι μόνο τις υποδομές αλλά κυρίως τις ανθρώπινες ζωές. Έτσι, συντάχθηκε ο πρώτος αντισεισμικός

κανονισμός υπό την ονομασία «Αντισεισμικός Οικοδομικός Κανονισμός Κορίνθου-Λουτρακίου». Συντάχθηκε με γνώμονα το σεισμό του Λουτρακίου και της Κορίνθου (1923) και ο κανονισμός συμπεριλάμβανε σεισμικές δράσεις οι οποίες δρούσαν κατακόρυφα και οριζόντια εφαρμοζόμενες στο κέντρο της αντίστοιχης μάζας (Δουδούμης, 2018).

Έπειτα, με αφορμή το σεισμό της Λάρισας, ο αντισεισμικός κανονισμός του 1923 επεκτάθηκε και η εφαρμογή του αντισεισμικού κανονισμού στην περιοχή της Λάρισας ήταν υποχρεωτικός. Ο σεισμός δε του 1953 (Σεισμός των Επτανήσων) ωθεί την τότε κυβέρνηση της Ελλάδος να δημοσιεύσει τον Αντισεισμικό Κανονισμό Οικοδομικών Έργων (ΕΑΚ) το 1959. Η δημοσίευση του συγκεκριμένου κανονισμού έπαυε την ισχύ όλων των προγενέστερων αντισεισμικών κανονισμών ενώ ο συγκεκριμένος κανονισμός εφαρμόζεται πλέον σε όλη την επικράτεια (Νούκου, 2018).

Έτσι, από το 1959, ο πρώτος αντισεισμικός κανονισμός στην Ελλάδα αποτελεί πραγματικότητα. Οι περιοχές της Ελλάδας κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ήτοι, ασθενώς (I), μετρίως (II) και ισχυρώς (III) σεισμόπληκτες ενώ τα εδάφη κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες, ήτοι, μικρής (α), μέτριας (β), μεγάλης (γ) και εξαιρετικής (δ) επικινδυνότητας. Εν κατά κλείδι, ο αντισεισμικός κανονισμός του 1959 (ΕΑΚ-1959) συμβάδιζε με τις αρχές των προηγούμενων διεθνών κανονισμών της εκείνης (Δουδούμης, 2018).

Μεταγενέστεροι σεισμοί όπως εκείνοι του 1968 στον Άγιο Ευστράτιο και το 1978 στη Θεσσαλονίκη έθεσαν τις βάσεις ώστε να τροποποιηθεί ο ΕΑΚ του 1959. Ριζικές αλλαγές στην αντισεισμική πολιτική ακολούθησαν με αποτέλεσμα τον εκσυγχρονισμό του υφιστάμενου αντισεισμικού κανονισμού. Σταθμός ενός ακόμη εκσυγχρονισμού του αντισεισμικού κανονισμού ήταν ο σεισμός του 1981 που εκδηλώθηκε στα νησιά Αλκυονίδες του Κορινθιακού κόλπου (μεγέθους 6,7R) (Δουδούμης, 2018).

Οι σεισμοί που έλαβαν μέρος στην Ελλάδα τον 20^ο αιώνα εξέλιξαν τον αντισεισμικό κανονισμό και ως εκ τούτου οι νέες κατασκευές ήταν ισχυρότερες συγκριτικά με του παρελθόντος. Το 1992 συντάχθηκε ο Νέος Αντισεισμικός Κανονισμός (ΝΕΑΚ) 1992 λαμβάνοντας υπόψη και τις μέχρι τότε διεθνείς εξελίξεις. Ο ΝΕΑΚ τέθηκε σε υποχρεωτική εφαρμογή το 1995 και σε συνδυασμό με τον ΝΕΚΟΣ που είχε ήδη τεθεί σε εφαρμογή το 1991 βελτίωσαν καθοριστικά τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών (Δουδούμης, 2018).

Ο σεισμός της Πάρνηθας που έλαβε χώρα στις 07/09/1999 με μέγεθος 5,9R χαρακτηρίστηκε ως έναν από τους καταστροφικότερους σεισμούς που είχε βιώσει η Ελλάδα έως τότε. Χιλιάδες κτίρια κατέρρευσαν ενώ 143 άτομα έχασαν τη ζωή τους. Ο συγκεκριμένος σεισμός αναθεώρησε τον τότε ΝΕΑΚ ώστε να γίνει συμβατός με τους Ευρωκώδικες EC7 και EC8. Η αναθεωρημένη μορφή του, είναι γνωστή ως ΕΑΚ2000 τέθηκε σε υποχρεωτική εφαρμογή το 2001 και ισχύει μέχρι και σήμερα με τις εν τω μεταξύ ενημερώσεις του (Δανδιλιάκης, 2020).

Ο Ευρωκώδικας 8 (EN-1998) «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών» συνδέεται άμεσα με τους κανονισμούς του ΕΑΚ2000 αφού ο ΕΑΚ είναι προσαρμοσμένος στις σύγχρονες τεχνικές και επιστημονικές αντιλήψεις του Ευρωπαϊκού χώρου. Ο Ευρωκώδικας 8 όμως αφορά μόνο διατάξεις για τη μελέτη έργων σε σεισμικές περιοχές, που ισχύουν πρόσθετα και συμπληρωματικά με τις διατάξεις των άλλων σχετικών Ευρωκωδίκων (ΕΚ1 έως 7). Όπως και με τον ΕΑΚ 2000, ο ΕΚ8 απαγορεύει οποιαδήποτε αλλαγή στα φέροντα ή μη φέροντα στοιχεία (π.χ., τις τοιχοπληρώσεις) έργων που έχουν μελετηθεί και σχεδιασθεί με αυτόν, χωρίς κατάλληλη αιτιολόγηση και έλεγχος, ακόμα και αν η αλλαγή αυξάνει τη φέρουσα ικανότητα. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα μέρη του Ευρωκώδικα 8 (Φαρδής, 2004).

Πίνακας 3.1: Μέρη Ευρωκώδικα 8 και ημερομηνίες έκδοσής τους (Φαρδής, 2004)

Μέρος ΕΚ8	Τίτλος	Διάθεση από CEN
1: EN1998-1	Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις, κανόνες για κτίρια	12/2004
2: EN1998-2	Γέφυρες	11/2005
3: EN1998-3	Αποτίμηση και ενίσχυση κτιρίων	6/2005
4: EN1998-4	Σιλό, δεξαμενές, αγωγοί	7/2006
5: EN1998-5	Θεμελιώσεις, αντιστηρίξεις, γεωτεχνικά θέματα	11/2004
6: EN1998-6	Πύργοι, ιστοί, καπνοδόχοι	6/2005

Το πρώτο μέρος του Ευρωκώδικα 8 δίδει τις γενικές απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς και τους κανόνες καθορισμού της σεισμικής δράσης για το σχεδιασμό οποιουδήποτε τύπου έργου. Σημαντικό είναι όμως πως δίδει τα κριτήρια συμμόρφωσης καθώς και τους ειδικούς

κανόνες για κτίρια κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο ή φέρουσα τοιχοποιΐα, σύμμικτα (από χάλυβα και σκυρόδεμα), όπως και για κτίρια με σεισμική μόνωση. Άλλος ένας κανονισμός που ισχύει στην Ελλάδα είναι ο Κανονισμός Επεμβάσεων γνωστός και ως ΚΑΝ.ΕΠΕ ο οποίος σκοπεύει στη θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κατασκευών και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους όπως και επίσης για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές και ενισχύσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017).

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ αναφέρει ότι οι ελάχιστες υποχρεωτικές απαιτήσεις της φέρουσας ικανότητας θα πρέπει να ικανοποιούνται από τις υφιστάμενες κατασκευές ωστόσο μπορεί να είναι μειωμένες σε σύγκριση με τις προβλέψεις των ισχυόντων κανονισμών σχεδιασμού νέων δομημάτων κατά τη διάρκεια της απότμησης. Επίσης, οι υποχρεωτικές ελάχιστες απαιτήσεις θα πρέπει να ικανοποιούνται πριν και μετά την επέμβαση και καθορίζονται σε σχέση με το είδος του δομήματος, τη χρήση του, το χρόνο κατασκευής του καθώς και τους ισχύοντες τότε κανονισμούς (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017).

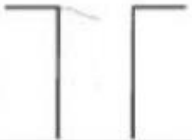
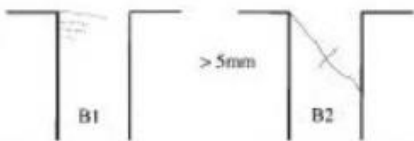
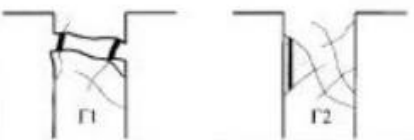
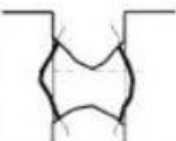
3.3 Αστοχίες και Έλεγχος στις Υφιστάμενες Κατασκευές Ο.Σ

Οι αστοχίες που δύναται να υπάρξουν σε ένα κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος μπορούν να λάβουν μέρος σε όλα τα φέροντα στοιχεία ήτοι υποστυλώματα, δοκούς, τοιχοποιίες, πλάκες ακόμα και τα θεμέλια. Παρακάτω αναλύονται εκτενώς οι βλάβες διαφόρων φερόντων στοιχείων.

3.3.1 Αστοχίες Υποστυλωμάτων

Οι αστοχίες ή βλάβες σε υποστυλώματα αποτελούν μια από τις πιο συχνές αστοχίες των συγκεκριμένων δομικών στοιχείων. Αφορούν μείζονος σημασίας βλάβες αφού τα υποστυλώματα δύναται να καταρρεύσουν τμηματικά αλλά και ολικά. Μαζί με τις δοκούς, τα υποστυλώματα αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου ή μιας κατασκευής διότι μεταφέρουν τα φορτία προς τα θεμέλια. Έτσι, τα υποστυλώματα λειτουργούν ως αρωγοί για την ομαλή λειτουργία της κατασκευής έναντι σε όλων των ειδών φορτία συμπεριλαμβανομένων και των σεισμικών. Τα υποστυλώματα αποτελούν στοιχεία τα οποία καταπονούνται περισσότερο από όλα τα στοιχεία και οποιαδήποτε βλάβη ή αστοχία θα πρέπει αφενός να ελέγχεται και αφετέρου να επισκευάζεται προκειμένου να αποφευχθεί περαιτέρω καταστροφή. Οι κατηγορίες των βλαβών χαρακτηρίζονται με

γνώμονα τον τυπικό βαθμό της βλάβης (Νικητόπουλος & Σταματόπουλος, 2012). Η Εικόνα 3.1 απεικονίζει τους τυπικούς βαθμούς βλαβών σε υποστυλώματα σύμφωνα με τον (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017) ενώ η Εικόνα 3.2 απεικονίζει απόσπασμα του πίνακα Π1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ, ο οποίος περιγράφει τις βλάβες σε υποστυλώματα.

Περιγραφή της βλάβης	Ελαφρές βλάβες	A	 $< 2\text{mm}$	$d=0$
		B	 $> 5\text{mm}$ $< 3\text{mm}$	$d \ll$
Επιρροή στην ασφάλεια του συνόλου	Σοβαρές	Γ	 $d < 1\%$	$d < 1\%$
	Βαρύς	Δ ή Δ/Ε	 Λυγισμός ή και θραύση ράβδων, άνοιγμα ή και θραύση συνδετήρων	$d > 2\%$

Εικόνα 3. 1: Τυπικοί βαθμοί βλαβών υποστυλωμάτων (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017)

Τυπ. Βαθμός	Περιγραφή βλάβης
A	Ελαφρές καμπτικές (καθόλου διατμ.) βλάβες. Απλές, μεμονωμένες ρωγμές περίπου κάθετες στον άξονα του στοιχείου, < 2mm, απουσία λοξών ρωγμών
A/B	Ελαφρές καμπτικές ή διατμητικές βλάβες. 1. Ρωγμές (μάλλον πολλαπλές) περίπου κάθετες στον άξονα του στοιχείου (<2mm), λοξές ρωγμές (<1mm). Απουσία εμφανών μόνιμων μετακινήσεων ή λυγισμού. Απουσία αποφλοιώσης. 2. Μέτριες ρωγμές περίπου κάθετες στον άξονα του στοιχείου (3÷5mm), λοξές ρωγμές (1÷2mm). Απουσία εμφανών μόνιμων μετακινήσεων ή λυγισμού. Μικρή αποφλοιώση.
B	Σοβαρές καμπτικές/μέτριες διατμητικές βλάβες. Ρωγμές περίπου κάθετες στον άξονα του στοιχείου (>5mm), λοξές ρωγμές (<3mm). Απουσία μετακινήσεων ή λυγισμού. Αποφλοιώση.
Γ/Δ	Σοβαρές έως βαριές βλάβες. 1. Καμπτικές. Λυγισμός ράβδων και αποφλοιώση, αποδιοργάνωση πυρήνα ή έντονη διαμπερής ρηγματώση, με ολίσθηση, ή μόνιμη μετακίνηση των άκρων 1÷2% l. 2. Διατμητικές. Εντονες λοξές ρωγμές (>3mm), μάλλον πολλαπλές, χιαστί ή απλώς διαγώνιες, μικρές αλλά αισθητές μόνιμες μετακινήσεις των άκρων του στοιχείου.
Δ (ή Δ/Ε)	Πλήρης αστοχία, απώλεια στοιχείου. Λυγισμός ή/και θραύση ράβδων, ή άνοιγμα (ή θραύση) συνδ/ρων, ή ρωγμή >10mm, ή μόνιμη μετακίνηση των άκρων >2% l (συμπεριλαμβανομένης και της ενδεχόμενης ολίσθησης).

Εικόνα 3. 2: Απόσπασμα πίνακα Π1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ περιγράφει τις βλάβες σε υποστυλώματα (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017)

Αναφορικά με τις καμπτικές βλάβες (Α), αυτές διαφαίνονται στη βάση αλλά και στην κορυφή των υποστυλωμάτων. Σε μικρά αξονικά φορτία, οι βλάβες έχουν εικόνα οριζόντιας καμπτικής ρωγμής λόγω διαρροής του χάλυβα λόγω εφελκυσμού.



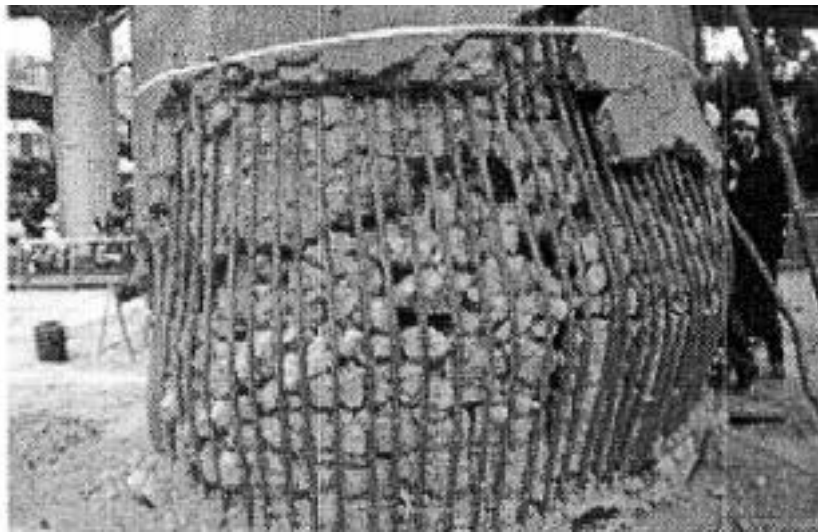
Εικόνα 3. 3: Καμπτική αστοχία υποστυλώματος (<http://ecourses.dbnet.ntua.gr/9421.html>)

Οι διατμητικές βλάβες ήτοι A/B διαφαίνονται εκεί που υπάρχει μεγαλύτερη διατμητική αδυναμία δηλαδή στο μέσο του υποστυλώματος. Διαθέτουν ψαθυρή μορφή ενώ θεωρούνται σοβαρές βλάβες έχοντας λοξές ρωγμές και αντίστροφη φορά. Αιτία πρόκλησης τους είναι η χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος και η έλλειψη ή ανεπάρκεια διατμητικού οπλισμού.



Εικόνα 3. 4: Διατμητική αστοχία υποστυλώματος (<http://ecourses.dbnet.ntua.gr/9420.html>)

Οι βλάβες με καμπτοδιατμητικό χαρακτήρα διακρίνονται κατά τη δράση κάμψης και διάτμησης στο υποστύλωμα. Οι καμπτοδιατμητικές βλάβες έχουν ως αποτέλεσμα να διογκωθεί το σκυρόδεμα και να υπάρχει διαρροή ή θραύση των συνδετήρων στην πάσχουσα περιοχή. Μερικές φορές παρατηρείται λυγισμός των διαμήκων ραβδών. Οι βλάβες αυτές οφείλονται στην ανεπαρκή διατομή του υποστυλώματος, στην ανεπαρκή περίσφιγξη, στη χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος καθώς και συνδυασμός των παραπάνω. Αυτά συντελούν στη μείωση της ακαμψίας του υποστυλώματος με αποτέλεσμα τα κατακόρυφα φορτία να μη μπορούν να κατευθυνθούν προς τα θεμέλια της κατασκευής.



Εικόνα 3. 5: Καμπτοδιατμητική αστοχία με σύνθλιψη (Νικητόπουλος & Σταματόπουλος, 2012)

3.3.2 Αστοχίες σε Κόμβους Δοκών και Υποστυλωμάτων

Μια άλλη αστοχία η οποία παρατηρείται συχνά είναι εκείνη μεταξύ των υποστυλωμάτων και των δοκών (κόμβους). Αυτές οι αστοχίες οφείλονται στους εξής παρακάτω λόγους (Γαρυφαλής, 2000):

- Απουσία σχεδιασμού των κόμβων λόγω ανεπάρκειας ή και έλλειψης παλαιών κατασκευών. Κακή σκυροδέτηση ή και κακή συμπύκνωση του σκυροδέματος εξαιτίας του ότι οι κόμβοι είναι μια περιοχή συνωστισμού πολλών οπλισμών.
- Έλλειψη συνδετήρων με συνέπεια το λυγισμό των διαμήκων ραβδών των υποστυλωμάτων, την αποφλοίωση του σκυροδέματος, τη διατμητική αστοχία του κόμβου.

- *Ανεπαρκές μήκος αγκύρωσης διαμήκων ραβδών δοκών με αποτέλεσμα την απώλεια πρόσφυσης αυτών με συνέπεια να επιδρά αρνητικά στην αντοχή, τη δυσκαμψία και την απορρόφηση ενέργειας κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση.*
- *Ανεπαρκές μήκος αγκύρωσης και μήκος μάτισης διαμήκων ραβδών των υποστυλωμάτων με αποτέλεσμα την ολίσθηση αυτών και την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των υποστυλωμάτων.*

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει το μέγιστο βαθμό βλάβης (ήτοι ολική κατάρρευση) που έχει υποστεί ένας εξωτερικός κόμβος σε ένα κτίσμα δύο ορόφων. Κανείς μπορεί να διακρίνει πως ο κόμβος βρίσκεται σε πλήρη αστοχία ήτοι το υποστύλωμα έχει αποκολληθεί πλήρως από τις δοκούς του κόμβου, συνεπώς ο κόμβος έχει αστοχήσει. Έπειτα διακρίνεται και έλλειψη συνδετήρων που απαιτούνται περιμετρικά του υποστυλώματος στο σημείο του κόμβου. Τέλος, αιτία της αστοχίας ήταν το λύγισμα του διαμήκη σπλισμού του υποστυλώματος (Γαρυφαλής, 2000).



Εικόνα 3. 6: Αστοχία κόμβου μεταξύ υποστυλώματος και συντρέχουσες δοκούς (Γαρυφαλής, 2000)

Οι (Kim & La Fave, 2008) μελέτησαν το κομβικό σημείο μεταξύ δοκών και υποστυλωμάτων και κατέληξαν ότι οι κόμβοι επηρεάζονται άμεσα από διατμητικά φορτία. Από τη μελέτη τους κατέληξαν στα εξής:

- Η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος, ο οπλισμός της δοκού, οι συνδετήρες του κόμβου, η επίπεδη γεωμετρία του κόμβου, η μη επίπεδη γεωμετρία κόμβου και η εκκεντρότητα στον κόμβο αφορούν τις πιο σημαντικές παραμέτρους σε σχέση με άλλες για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής του κόμβου.
- Το αξονικό φορτίο αφορά τη πιο σημαντική παράμετρο προσδιορισμού της διατμητικής δύναμης που αναπτύσσονται στον κόμβο.
- Αύξηση των τιμών των παραμέτρων θλιπτικής δύναμης σκυροδέματος, ο οπλισμός της δοκού, η επίπεδη γεωμετρία του κόμβου και η μη επίπεδη γεωμετρία του κόμβου οδηγεί στην αύξηση της διατμητικής τάσης και διατμητικής παραμόρφωσης το κόμβου. Η αύξηση των συνδετήρων στον κόμβο αυξάνει τη διατμητική ακαμψία του ενώ αύξηση της εκκεντρότητας στον κόμβο μειώνει τη διατμητική ακαμψία.

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν τις αστοχίες σε κόμβους ανάμεσα σε υποστυλώματα και δοκούς.



Εικόνα 3. 7: Αστοχία εξωτερικού κόμβου και πρακτική απώλεια στήριξης (Γιαννόπουλος, 2005)



Εικόνα 3. 8: Αστοχία κόμβου και απώλεια περίσφιξης συνδετήρων λόγω τοποθέτησης υδρορροής εντός του υποστυλώματος (Γιαννόπουλος, 2005)

3.3.3 Αστοχίες σε Τοιχία

Τα τοιχία είναι εξίσου σημαντικά φέροντα στοιχεία σε μια κατασκευή αφού συμπληρώνουν το συνολικό σκελετό. Οποιαδήποτε αστοχία παρατηρηθεί σε τοιχία θα πρέπει να ελέγχεται και να επισκευάζεται άμεσα αφού η αμέλεια τους θεωρείται άκρως επικίνδυνη. Αστοχίες σε τοιχία παρατηρούνται ύστερα από σεισμικά γεγονότα ενώ η μορφή τους είθισται να είναι καμπτική και διατμητική (ψαθυρή δηλαδή αστοχία). Μια ψαθυρή βλάβη διαφαίνεται στην Εικόνα 3. 9.



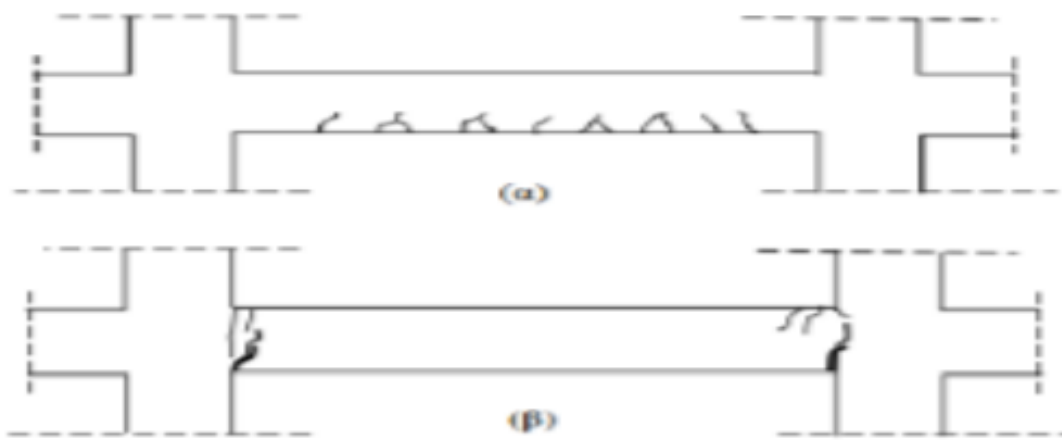
Εικόνα 3. 9: Ψαθυρή βλάβη τοιχίων (http://teicm.panaqop.com/files/ferousa/yliko/Sariqianni/7o_Mathima.pdf)

Αστοχίες σε τοιχία προκαλούνται από ενδογενής και εξωγενής παράγοντες. Αναφορικά με τους ενδογενείς, αυτοί σχετίζονται με κακή ποιότητα δομικών υλικών, λανθασμένη μελέτη, κακή κατασκευή κ.α. Οι εξωγενείς από την άλλη σχετίζονται με τυχηματικές δράσεις π.χ.

πυρκαγιά ή σεισμός. Άλλες αιτίες είναι περιβαλλοντικές όπως είναι η καθίζηση του εδάφους (Σαρηγιάννη, 2020).

3.3.4 Αστοχίες σε Δοκούς

Αστοχίες σε δοκούς παρατηρούνται κυρίως έπειτα από σεισμούς ή δρώντα κατακόρυφα φορτία. Οι αστοχίες αυτές είναι σαφώς επικίνδυνες ωστόσο σε λιγότερο βαθμό σε σύγκριση με αυτών των υποστυλωμάτων διότι δεν επηρεάζουν την ευστάθεια μιας κατασκευής. Οι αστοχίες δύναται να είναι καμπτικές ή διατμητικές ενώ η συχνότερη αστοχία είναι η εγκάρσια καμπτική ρωγμή που προκαλείται από σεισμό (Δρίτσος, 2005).



Εικόνα 3. 10: Καμπτικές βλάβες στις δοκούς (Δρίτσος, 2005)

Οι καμπτικές ρωγμές εμφανίζονται κυρίως στα σημεία στήριξης των δοκών. Αυτό είναι ανεπιθύμητο διότι οι ρωγμές αυτές είναι ψαθυρές. Διατμητικές βλάβες εμφανίζονται επίσης έπειτα από τη συγκέντρωση μεγάλων φορτίων σε ένα συγκεκριμένο σημείο της δοκού. Ο λόγος εμφάνισης των καμπτικών ρωγμών είναι η έλλειψη διατμητικού σπλισμού και ανάρτησης. Ωστόσο, ο υφιστάμενος αντισεισμικός κανονισμός προβλέπει αυτές τις αστοχίες και επομένως κατά τη διάρκεια της μελέτης υπολογίζονται οι μέγιστες ροπές που μπορούν να προκληθούν στα σημεία στήριξης (Μανίκας, 2018).



Εικόνα 3. 11: Διατμητική αστοχία δοκού (Δρίτσος, 2005)

3.3.5 Αστοχίες σε Πλάκες

Η αστοχία των πλακών είναι δευτερευούσης σημασίας διότι δεν επιδρά στην ευστάθεια της κατασκευής. Οι πλάκες δεν επηρεάζονται από σεισμικά γεγονότα και οι αστοχίες τους οφείλονται από επέκταση βλαβών άλλων δομικών στοιχείων. Για παράδειγμα, οι πλάκες μπορούν να αστοχήσουν λόγω εγκάρσιων ρωγμών προκαλούμενες σε δοκούς λόγω σεισμού. Ωστόσο, μια σοβαρή βλάβη που μπορεί να συμβεί είναι η καθίζηση των υποστυλωμάτων και το φαινόμενο *punching shear* ήτοι διάτρηση. Η διάτρηση λαμβάνει μέρος όταν η πλάκα εδράζεται απευθείας στο υποσύλωμα δίχως την παρουσία δοκών (Δρίτσος, 2005).



Εικόνα 3. 12: Αστοχία λόγω διάτρησης στο Piper's Row Car Park, Wolverhampton, UK (Δημοσθένους, 2009)

3.4 Βασικές Κατευθύνσεις των Υφιστάμενων Αντισεισμικών Κανονισμών

Σήμερα, αποτελεί κοινή αντίληψη πως όλες οι νέες αλλά και υφιστάμενες κατασκευές έχουν τη δυνατότητα να μελετηθούν ή να ανασχεδιασθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούν τα αντισεισμικά κριτήρια με επιτυχία. Ένα από τα πιο σημαντικά αντισεισμικά κριτήρια είναι η αποφυγή κατάρρευσης της κατασκευής λόγω μεγάλης σεισμικής δράσης. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο του σεισμού είναι απρόβλεπτο αλλά οι υφιστάμενοι κανονισμοί προβλέπουν και την πιθανότητα κατάρρευσης και έτσι η πιθανότητα να καταρρεύσει μια κατασκευή είναι μικρή (ΕΑΚ, 2000).

Επίσης κοινή αντίληψη από τους μελετητές μηχανικούς αλλά και τους ισχύοντες κανονισμούς είναι ότι ιδιαίτερα για τις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος δεν είναι οικονομικά εφικτό να αποκτηθεί πλήρης αντισεισμική επάρκεια που να μην επιτρέπει την ύπαρξη ζημιών όπως είναι οι ρηγματώσεις που δύναται να λάβουν μέρος σε περίπτωση μεγάλου σεισμού. Έτσι, σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000, *«η πιθανότητα υπέρβασης 50% (μεγίστη ανεκτή) σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς 70 ετών, ενώ η πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 475 ετών»*. Σαφώς και παίζει ρόλο βέβαια η πιθανότητα από τη σεισμικότητα ή το σεισμικό κίνδυνο της περιοχής που γίνεται το έργο. Έτσι, οι κατασκευές θα πρέπει να σχεδιάζονται ή να ανασχεδιάζονται με γνώμονα τη μείωση της πιθανότητας της κατάρρευσης που θα είχε ως συνέπεια την απώλεια ανθρώπινων ζωών.

Έτσι, η ικανότητα των κατασκευών να αντέχουν κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής δόνησης αποτελεί τη λεγόμενη ενδοσιμότητα του κτιρίου ή πλαστιμότητα ή πλαστικότητα. Οι πιο κοινές και σημαντικές ιδιότητες οι οποίες σχετίζονται με τη μελέτη και τη σχεδίαση κατασκευών είναι οι δυναμικές φορτίσεις (κυρίως σεισμικές), η δυναμική απόκριση ήτοι δυσκαμψία, περίοδος και απόσβεση καθώς και η πλαστιμότητα-ενδοσιμότητα. Οι αντισεισμικοί κανονισμοί έχουν πλέον εισάγει στην ανάλυση τους και τη διαστασιολόγηση των κατασκευών που περιλαμβάνει δυναμικές ελαστικές αναλύσεις, ισοδύναμη στατική ανάλυση, στατική ανελαστική μη γραμμική ανάλυση (*pushover analysis*) και τη δυναμική μη γραμμική ανάλυση (*time-history analysis*).

3.5 Μέθοδοι Ενίσχυσης Δοκών, Υποστυλωμάτων και Τοιχίων

Στο παρόν υποκεφάλαιο δίδονται κατευθύνσεις για τις μεθόδους ενίσχυσης δομικών στοιχείων για υφιστάμενες κατασκευές σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Αρχικά ωστόσο θα πρέπει να γίνεται αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής ώστε να κατατοπιστούν οι βλάβες ή οι περιοχές που πρέπει να γίνει η ενίσχυση.

3.5.1 Αποτίμηση Υφιστάμενων Δομημάτων

Σύμφωνα με τον (ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017) η αποτίμηση των υφιστάμενων δομημάτων ακολουθεί τα εξής βήματα ήτοι συλλογή στοιχείων ήτοι έρευνα του ιστορικού δομήματος, ανάλυση και έλεγχος οριακών καταστάσεων. Έτσι, σκοπός της αποτίμησης ενός υφιστάμενου δομήματος είναι η εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας του και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελαχίστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που επιβάλλονται από τους ισχύοντες κανονισμούς. Προκειμένου να εκτιμηθεί η διαθέσιμη φέρουσα ικανότητα του δομήματος θα πρέπει να λαμβάνονται υποχρεωτικώς υπόψη και στοιχεία που έχουν προκύψει από την έρευνα του ιστορικού. Έτσι, ο μελετητής μηχανικός επιβάλλεται να προγραμματίσει και να επιβλέψει μια σειρά διερευνητικών εργασιών προκειμένου να τεκμηριώσει και να αιτιολογήσει τις παραδοχές στις οποίες θα βασισθεί η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης. Οι βλάβες σε ένα υφιστάμενο δόμημα μπορεί να οφείλονται σε οποιεσδήποτε δράσεις του παρελθόντος, προβλεπόμενες ή και όχι από τους κανονισμούς.

3.5.2 Μέθοδοι Επισκευής και Αποκατάστασης Φερόντων Στοιχείων από ΟΣ

Στο παρόν υποκεφάλαιο δίδονται οι τρόποι και οι μέθοδοι καθώς και οι τεχνικές που εφαρμόζονται προκειμένου να επισκευαστούν και να ενισχυθούν φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος όπως είναι τα υποστυλώματα, οι πλάκες, οι δοκοί και τοιχία.. Πραγματοποιείται εκτενής αναφορά για την αποτελεσματικότητα της εκάστοτε τεχνικής καθώς και ποια είναι τα κυριότερα εμπόδια που προκύπτουν κατά την εφαρμογή της κάθε τεχνικής.

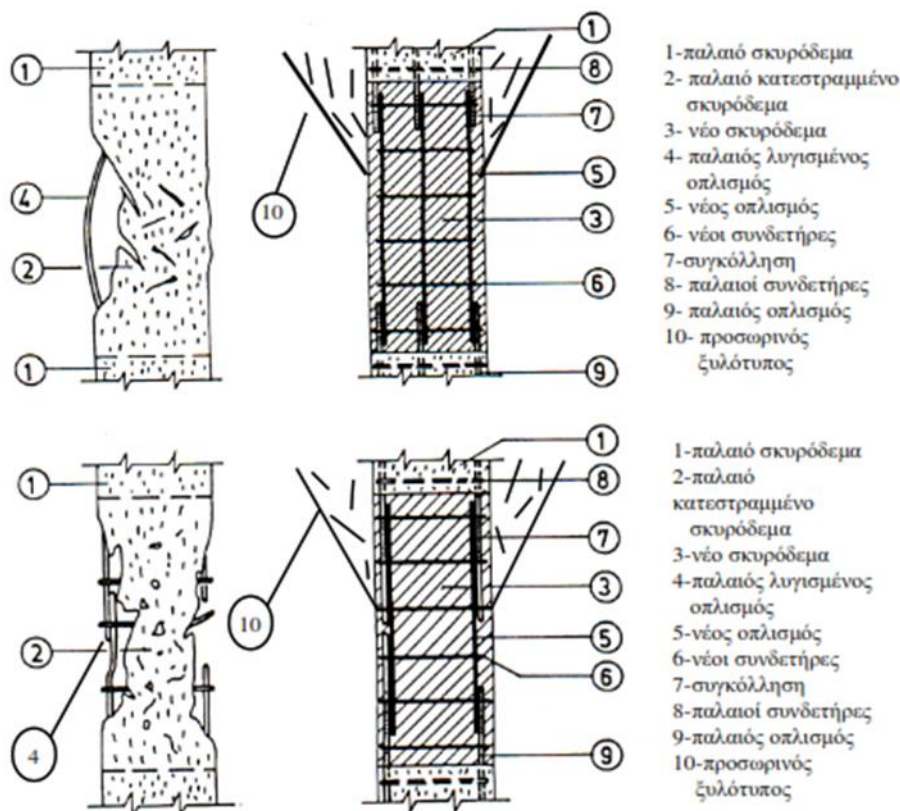
Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως αφορούν ένα από τα πιο κύρια φέροντα στοιχεία μιας κατασκευής αφού είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά των φορτίων στα θεμέλια. Σε χώρες σεισμογενείς όπως είναι η Ελλάδα, θα πρέπει τα υποστυλώματα να σχεδιάζονται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τα σεισμικά φορτία. Έτσι, σε περιπτώσεις όπου τα υποστυλώματα υποστούν βλάβες θα πρέπει να γίνει άμεση αποκατάσταση ή επισκευή προκειμένου τα στοιχεία να διαθέτουν φέρουσα ικανότητα (Δρίτσος, 2005).

Έτσι, τα υποστυλώματα δύναται να ενισχυθούν με διάφορες μεθόδους όπως είναι τα επισκευαστικά κονιάματα και τοπικές αποκαταστάσεις. Σε περίπτωση όπου η βλάβη είναι ελαφριά και δεν έχει παρατηρηθεί αποδιοργάνωση του περισφιγμένου υποστυλώματος και ο σιδηρός οπλισμός δεν έχει υποστεί λυγισμό εφαρμόζονται ρητιενέσεις ή κονιάματα. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται όταν οι ρηγματώσεις των υποστυλωμάτων χαρακτηρίζονται ως επιφανειακές.

Τα πιο κοινά κονιάματα που χρησιμοποιούνται για τέτοιου είδους βλάβες είναι τα ρητινοκονιάματα και αυτό διότι θεωρούνται κατάλληλα για αποφλοιώσεις μικρού πάχους. Σε περιπτώσεις όπου οι αποφλοιώσεις έχουν μεγαλύτερο πάχος τότε εφαρμόζονται κονιάματα μη συρρικνούμενα με βάση το τσιμέντο.

Σε περίπτωση όπου η βλάβη του υποστυλώματος είναι μεγαλύτερη (σοβαρή και επικίνδυνη βλάβη) τότε γίνεται τοπική αποκατάσταση του υποστυλώματος. Η αποκατάσταση γίνεται με διατομή ίση ήτοι καθαίρεση του βλαμμένου τμήματος και αποκατάσταση. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τη μέθοδο τοπικής αποκατάστασης. Κανείς μπορεί να διακρίνει την πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στη βλαβείσα περιοχή καθώς και τον λυγισμό των διαμήκων ράβδων οπλισμού όπως και επίσης και διάρρηξη των συνδετήρων (UNIDO/UNDP, 1983).



Εικόνα 3. 13: Αποκατάσταση υποστυλώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείας περιοχής (Δρίτσος, 2005)

Τα βήματα της αποκατάστασης έχουν ως εξής (Δρίτσος, 2005):

- Καθαίρεση καθώς και απομάκρυνση κάθε υλικού σκυροδέματος σε μήκος υποστυλώματος μεγαλύτερο από αυτό της βλαβείας περιοχής και καλό καθαρισμό.
- Απομάκρυνση συνδετήρων της περιοχής.
- Κόψιμο των τμημάτων των διαμήκων ραβδών που έχουν λυγίσει.
- Ηλεκτροσυγκόλληση νέων τμημάτων διαμήκων ραβδών.
- Τοποθέτηση νέων πυκνών συνδετήρων.
- Σκυροδέτηση του καθαιρεθέντος τμήματος.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως για να θεωρείται η αποκατάσταση επιτυχής, θα πρέπει ο ξυλότυπος του υποστυλώματος να καταλήγει προς την πάνω πλευρά μέσα σε μια χοάνη. Η χοάνη ουσιαστικά επιτρέπει τη σωστή σκυροδέτηση καθώς και καλύτερη συμπίκνωση του φρέσκου σκυροδέματος. Φυσικά, κατά την αποκατάσταση θα πρέπει να γίνεται πλήρης αποφόρτιση της περιοχής και προσεκτική υποστήλωση των δοκών που διαπερνάνε τη συγκεκριμένη περιοχή. Μετά την επισκευή η προσωρινή υποστήλωση απομακρύνεται.

Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων τώρα, χωρίζεται σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά στην αύξηση της διατομής του υφιστάμενου υποστυλώματος ενώ η δεύτερη κατηγορία αφορά στην τεχνική της περίσφιξης. Για την πρώτη κατηγορία νέες στρώσεις σκυροδέματος τοποθετούνται στο υποστυλωμα όπως και νέος σιδηρός οπλισμός. Κανείς μπορεί να φανταστεί ότι το υποστυλωμα έχει τυλιχθεί από ένα μανδύα.

Αναφορικά με την εξωτερική περίσφιξη, είθισται να χρησιμοποιείται όταν υπάρχει απαίτηση για αύξηση της πλαστιμότητας και αύξηση της θλιπτικής αντοχής. Επίσης εφαρμόζονται όταν απαιτείται αύξηση της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος.

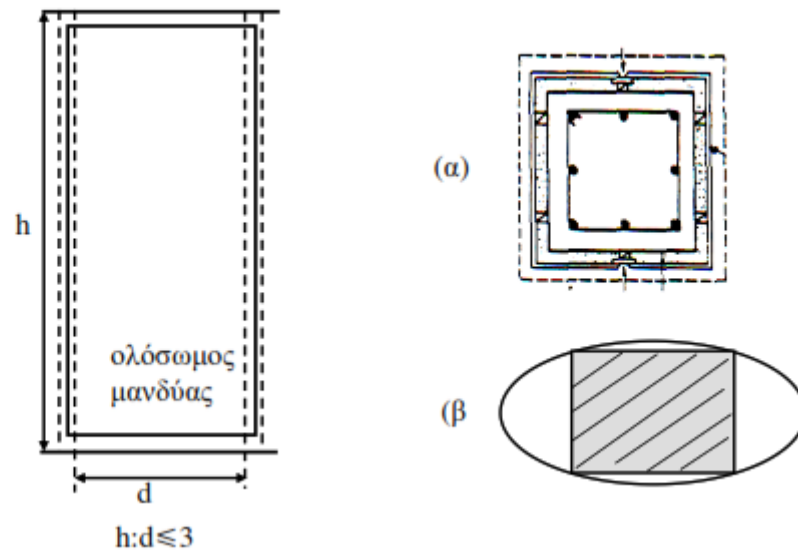


Εικόνα 3. 14: Περίσφιξη υποστυλώματος με επικολητά ελάσματα

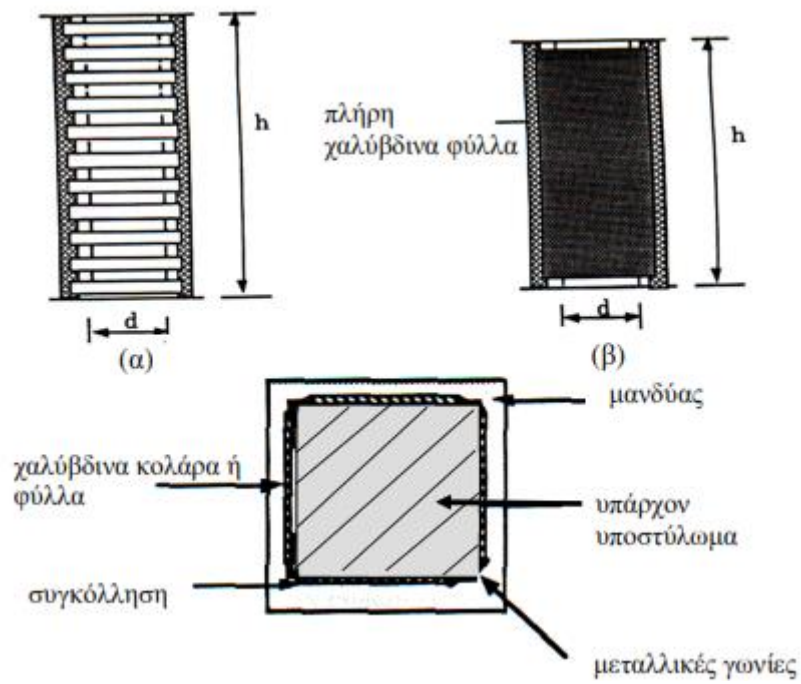
Η ενίσχυση με περίσφιξη γίνεται με τη χρήση ενός από τα παρακάτω (Frangoy, et al., 1993):

- Επικολητά κολάρα με μεταλλικά ελάσματα πάχους 1-2mm ή λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή (Fiber Reinforced Polymers).
- Προεντεταμένα κολάρα από χάλυβα ή FRP's με τη μορφή ταινιών πακεταρίσματος ή
- Με ολόσωμο μανδύα από χάλυβα (φύλλα) ή FPR's το οποίο είναι επικολητό στις πλευρές του υποστυλώματος.
- Εφαρμογή μεταλλικού κλωβού με χρήση κατακόρυφων μεταλλικών γωνιακών ελασμάτων ή και οριζόντια μεταλλικά κολάρα.

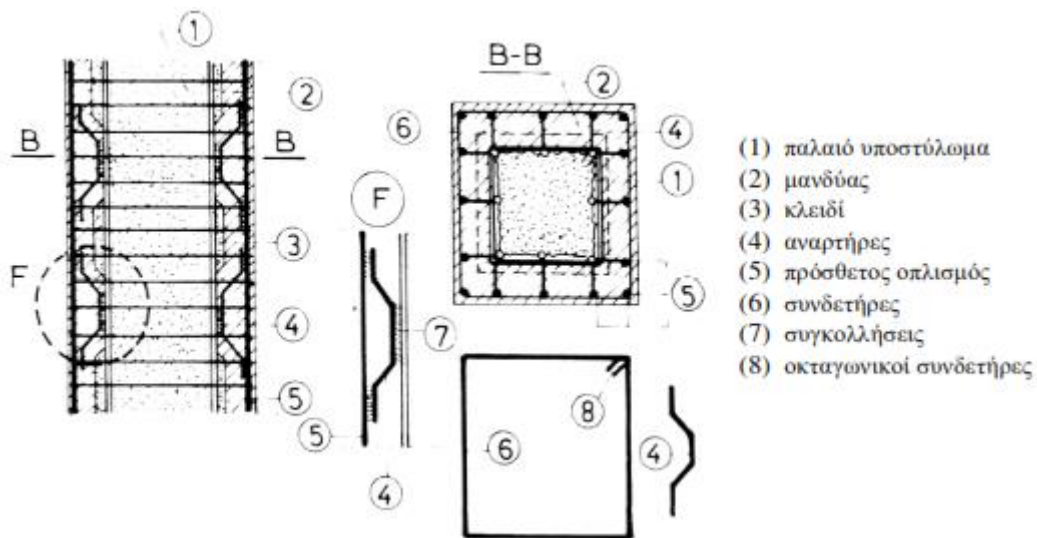
Οι παρακάτω εικόνες απεικονίζουν τις προαναφερθέν μεθόδους περίσφιξης.



Εικόνα 3. 15: Περίσφιξη υποστυλώματος με μεταλλικό μανδύα (Δρίτσος, 2007)



Εικόνα 3. 16: Περίσφιξη υποστυλώματος με μεταλλικό κλωθό (Δρίτσος, 2007)

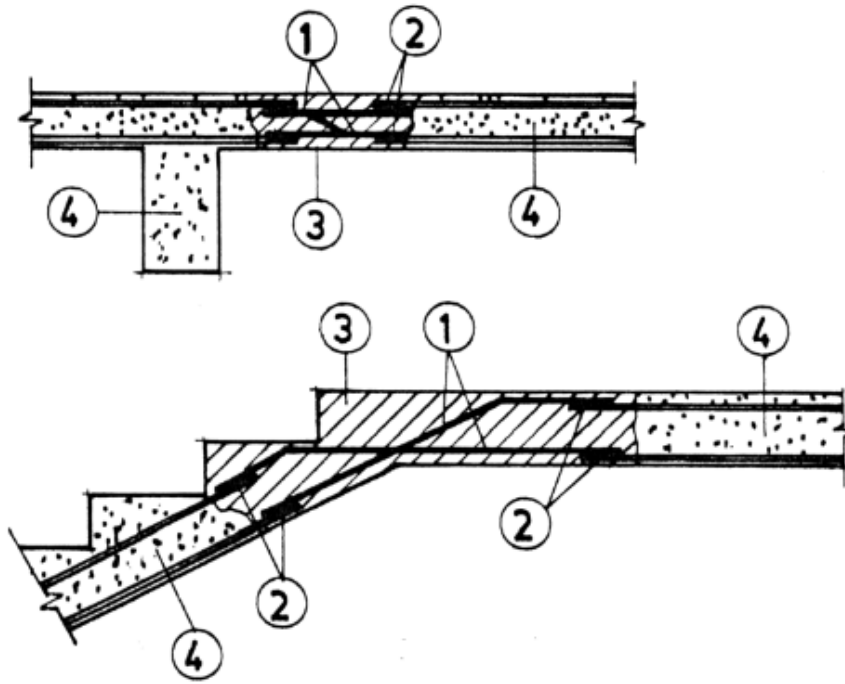


Εικόνα 3. 17: Ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος, 2007)

Δοκοί και Πλάκες

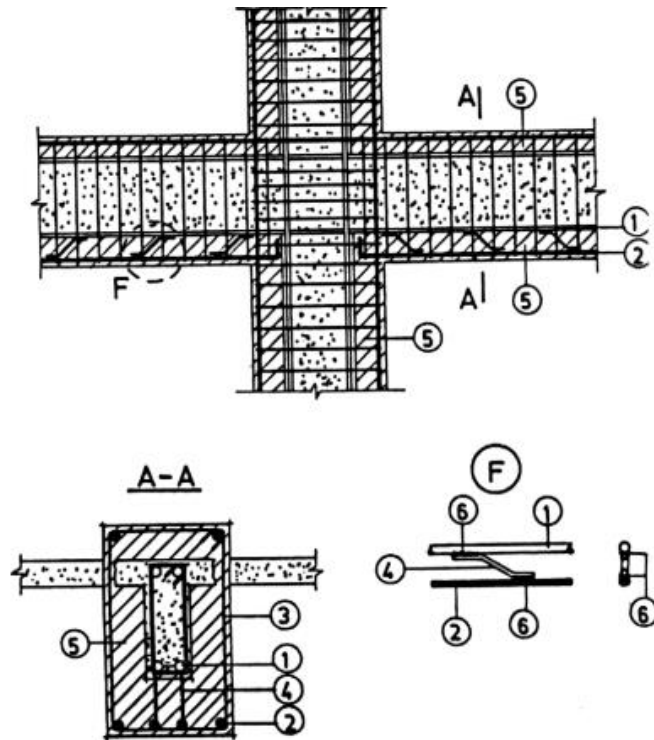
Η επισκευή και ενίσχυση δοκών και πλακών πραγματοποιείται συνήθως με ρητιενέσεις καθώς και επισκευαστικά κονιάματα σε περιπτώσεις που οι βλάβες είναι ελαφριές. Όμως όταν η βλαβείσα περιοχή είναι σοβαρή τότε θα πρέπει να γίνει αποκατάσταση της διατομής με νέα ίση διατομή (UNIDO/UNDP, 1983). Στόχος της ενίσχυσης δοκών και πλακών είναι η αύξηση της καμπτικής ή διατμητικής αντοχής τους. Προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της καμπτικής αντοχής, νέες στρώσεις σκυροδέματος εφαρμόζονται στη βλαβείσα περιοχή. Θα πρέπει να αναφερθεί πως το παλιό σκυρόδεμα συνδέεται με το νέο μέσω διατμητικών συνδέσμων. Οι διατμητικοί σύνδεσμοι είθισται να είναι χαλύβδινα βλήτρα ή ηλεκτροσυγκολλήσεις νέων και παλαιών ράβδων οπλισμού. Ωστόσο προτιμάται η χρήση βλήτρων διότι δεν επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του χάλυβα (Dritsos, 1995).

Για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών και πλακών χρησιμοποιούνται μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτή η μέθοδος θεωρείται αποτελεσματική διότι αυξάνει τη διατομή του στοιχείου μέσω εφαρμογής νέου σκυροδέματος. Οι νέοι διαμήκεις οπλισμοί οι οποίοι εφαρμόζονται αυξάνουν την καμπτική αντοχή διότι τοποθετούνται περιμετρικά του στοιχείου (Dritsos, 1995).



1. πρόσθετοι οπλισμοί, 2. συγκολλήσεις, 3. νέο σκυρόδεμα, 4. υφιστάμενη κατασκευή

Εικόνα 3. 18: Επισκευή δοκών και κλιμακοστασίου με αποκατάσταση ίσης νέας διατομής (Δρίτσος, 2005)



1. παλιός οπλισμός, 2. πρόσθετος οπλισμός, 3. πρόσθετοι συνδετήρες, 4. ράβδοι συνδέσεως, 5. μανδύας σκυροδέματος, 6. συγκόλληση.

Εικόνα 3. 19: Ενίσχυση δοκού για αύξηση διάτμησης με την τεχνική του κλειστού μανδύα (Δρίτσος, 2005)

Τοιχία

Αναφορικά με τα τοιχία, αυτά επισκευάζονται με παρόμοιο τρόπο με αυτών των υποστυλωμάτων. Μάλιστα, η ενίσχυση ή επισκευή τους θεωρείται μείζονος σημασίας αφού είναι κρίσιμα στοιχεία στον αντισεισμικό ανασχεδιασμό. Έτσι, όταν οι βλάβες θεωρούνται ελαφριές τότε η επισκευή των τοιχιών γίνεται με ρητιενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα. Σε περιπτώσεις σοβαρών βλαβών, γίνεται τοπική αποκατάσταση της περιοχής.

Αναφορικά με τις ενισχύσεις τοιχιών, γίνεται με δύο βασικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος σχετίζεται με την τεχνική της περίσφιξης και ο δεύτερος με την τεχνική του μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος, 2005). Ο τρόπος της περίσφιξης είναι ίδιος με εκείνου των υποστυλωμάτων ωστόσο λόγω του ότι τα τοιχία δύναται να έχουν μεγάλες πλευρές η μέθοδος αυτή δεν προτιμάται αφού δεν είναι αξιόλογη. Όμως η τεχνική του μανδύα ειδικά με ινοπλισμένα πολυμερή σε συνδυασμό με μεταλλικό κλωβό αποτελεί μια λύση αξιόλογη και υπάρχει ευκολία στην εφαρμογή. Ο μανδύας μπορεί να αυξήσει τη διατμητική και καμπτική αντοχή των τοιχιών (Δρίτσος, 2005).

3.6 Υλικά Ενίσχυσης

Τα υλικά ενίσχυσης δομικών μελών κυμαίνονται από σκυρόδεμα και κονίες έως χάλυβες και αδρανή υλικά. Παρακάτω γίνεται ανάλυση των υλικών που δύναται να εφαρμοστούν για τις επισκευές και ενισχύσεις φερόντων στοιχείων.

3.6.1 Τσιμέντο

Σύμφωνα με τους (Τσίμας & Τσιβιλής, 2001) το τσιμέντο ορίζεται ως «*«η υδραυλική κονία (συνδετική ύλη), ήτοι ένα λεπτοαλεσμένο ανόργανο υλικό, το οποίο όταν αναμειχθεί με νερό, σχηματίζει μια πάστα, που λόγω των αντιδράσεων ενυδάτωσης πήζει και σκληρύνεται έχοντας έκτοτε την ικανότητα να διατηρεί τις αντοχές της και στη σταθερότητα της ακόμα και κάτω από το νερό»*».

Για την ποιότητα του τσιμέντου ο ΕΛΟΤ έχει υιοθετήσει το Πρότυπο EN 197-1 «Τσιμέντο-Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα» το οποχάλιο είναι συμβατό με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς (CEM) (Ταταγιώτη, 2011).

Το πιο σύνηθες είδος τσιμέντου που βρίσκει κανείς στην αγορά είναι το *Portland Cement* και αφορά ένα υδραυλικό υλικό. Τα δύο τρίτα του βάρους του αποτελείται από πυριτικό

τριασβέστιο και πυριτικό διασβέστιο ενώ το υπόλοιπο ένα τρίτο αποτελείται από αργλικές και σιδηραργλικές φάσεις. Το τσιμέντο διαθέτει κύρια και δευτερεύοντα συστατικά όπως και πρόσθετα και θειικό ασβέστιο. Τα κυριότερα συστατικά του τσιμέντου *Portland* είναι το κλίνκερ (K), η κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων (S), τα ποζολανικά υλικά φυσικά (P) ή τεχνητά (Q), οι τέφρες πυριτικές (V) ή ασβεστιτικές (W), ο ψημένος σχιστόλιθος (T), ο ασβεστόλιθος (L) και η πυριτική παιπάλη (D) (Μοροπούλου & Λαμπρόπουλος, 2020).

Το τσιμέντο *Portland* διαθέτει θλιπτική αντοχή τριών κατηγοριών που είναι η εξής (ΕΛΟΤ EN 196-1, 2001):

- 32.5 N/mm².
- 42.5 N/mm².
- 52.5 N/mm².

3.6.2 Κονίες

Οι κονίες αφορούν υλικά τα οποία εφαρμόζονται για σκοπούς ενίσχυσης, επισκευής αλλά και αποκατάστασης βλαβών σε φέροντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Έχουν υψηλό κόστος ωστόσο διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα ώστε να παραβλέπετε το κόστος. Επίσης, απαιτείται μόλις μια μικρή ποσότητα κονίας για την επισκευή και η προστασία που προσδίδει το συγκεκριμένο υλικό είναι μεγάλη. Υπάρχουν δύο είδη κονιών, τα πολυμερή κονιάματα (για μικρές βλάβες όπως αποφλοιώσεις) και εκείνα με βάση το τσιμέντο (για σοβαρές βλάβες) (Δρίτσος, 2007).

3.6.3 Αδρανή Υλικά

Τα αδρανή υλικά αφορούν υλικά είτε λίθινα είτε φυσικά είτε και βιομηχανικά τα οποία εφαρμόζονται σε κατασκευές με αυτούσιο ή συγκολλητικό τρόπο. Τα αδρανή υλικά αναλόγως τη φύση τους χωρίζονται σε φυσικά, τεχνητά, συλλεκτικά ή ανακυκλωμένα. Μερικά αδρανή είναι η άμμος, η αμμοκονία, το χαλίκι κ.α. Ονομάζονται αδρανή διότι όταν αναμειγνύονται με τσιμέντο ή άλλο δομικό υλικό δεν συμμετέχουν ενεργά στην τήξη του μίγματος. Χρησιμοποιούνται για την επισκευή και αποκατάσταση της στατικής επάρκειας μιας κατασκευής (ΤΕΕ, 2020).

3.6.4 Χάλυβας

Ο χάλυβας χρησιμοποιείται για την επισκευή και αποκατάσταση βλαβών φερόντων στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος. Οι κύριοι χάλυβες που χρησιμοποιούνται είναι ο σιδηρός οπλισμός σκυροδέματος, ο μορφοχάλυβας, τα λεπτά χαλυβοελάσματα, τα δομικά πλέγματα και οι κοχλιωτοί σφικκτήρες (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1999).

3.6.5 Ίνες Υάλου Υψηλής Αντοχής (Glass Fibres)

Οι ίνες γυαλιού αποτελούν σύνθετα υλικά πρώτης γενιάς και χρησιμοποιούνται επιτυχώς μέχρι και σήμερα. Αφορούν ενισχυτικές ίνες από σύνθετα πολυμερικής μήτρας. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι τα οξείδια πυριτίου, ασβεστίου, βορίου, αλουμινίου κλπ. Οι ίνες γυαλιού χαρακτηρίζονται ως ένα από τα πιο οικονομικά ενισχυτικά υλικά και δύναται να εφαρμοστούν σε σαθρές επιφάνειες. Τέλος, λόγω της χαμηλής τους τιμής και της υψηλής αντοχής τους προτιμώνται σε σύγκριση με άλλα επισκευαστικά υλικά (Κουφουδάκης, 2012).

3.6.6 Πρόσθετα Βελτιωτικά για Κονιάματα και Σκυροδέματα

Τα πρόσθετα βελτιωτικά υλικά χρησιμοποιούνται σε κονιάματα και σκυροδέματα προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή του τσιμέντου. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία βελτιωτικών προϊόντων όπως είναι τα πλαστικοποιητικά, επιταχυντικά πήξεως, επιβραδυντικά πήξεως, αερακτικά και τα στεγανοποιητικά (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1999).

3.6.7 Εποξικές Ρητίνες

Οι εποξικές ρητίνες χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση ρωγμών σε φέροντα στοιχεία σκυροδέματος. Το υλικό αυτό επαναφέρει την αρχική φέρουσα ικανότητα του στοιχείου πριν τη ρηγμάτωση. Οι εποξικές ρητίνες αποτελούνται από τη ρητίνη και το σκληρυντή ενώ η ανάμειξη αυτών των δύο δημιουργούν την εποξική ρητίνη η οποία εφαρμόζεται στις ρωγμές (Αδράσκελα, 2015).

3.6.8 Έγχυτο Σκυρόδεμα Σταθερού Όγκου

Το έγχυτο σκυρόδεμα εφαρμόζεται σε δομικά στοιχεία τα οποία μπορούν να διεισδύσουν σε χονδρά αδρανή υλικά ή σε επιφάνειες όπου το σκυρόδεμα μπορεί να σταθεί επιτόπου όπως για παράδειγμα το επάνω πέλμα των δοκών ή πλακών ή ακόμα και για να καλύψει τυχόν πρόσθετο οπλισμό ενίσχυσης. Ωστόσο δεν μπορεί να εφαρμοστεί κάτω από τα πέλματα δοκών ή πλακών αφού απαιτείται συγκεκριμένη προετοιμασία (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1999).

3.6.9 Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα

Η συγκεκριμένη τεχνική είναι γνωστή και ως *gunite* και είναι μια ακριβή μέθοδος σε σχέση με άλλες μεθόδους ενίσχυσης και επισκευής φερόντων στοιχείων. Το κόστος της μεθόδου καλύπτει σχεδόν το 30% του συνολικού κόστους επεμβάσεων μιας κατασκευής. Όμως διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα όπως υψηλή θλιπτική αντοχή, πολύ καλή πρόσφυση και η διαδικασία της εγκατάστασης μπορεί να πλησιάσει και δυσπρόσιτες θέσεις αφού το μηχάνημα είναι κινητό. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η τεχνική (Καρέλα, et al., 2001).

Η όλη διαδικασία αφορά την εκτόξευση σκυροδέματος λεπτής διαβάθμισης αδρανών. Το μείγμα του σκυροδέματος αποτελείται από τσιμέντο, λεπτόκοκκα αδρανή και νερό όμως μπορεί να περιέχει και πρόσθετα βελτιωτικά υλικά όπως ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικάμινων, οξείδια του πυριτίου και βελτιωτικά όπως και χαλύβδινες ή πλαστικές ίνες (Δρίτσος, 2007).

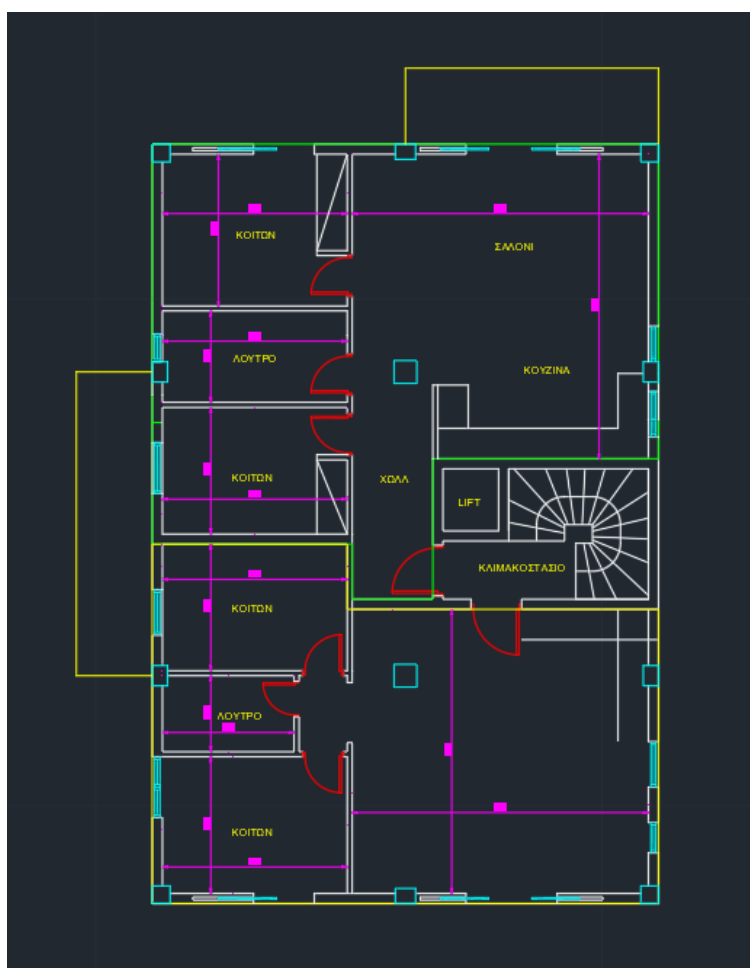
3.6.10 Επικόλληση Ελασμάτων

Η επικόλληση ελασμάτων γίνεται με τη χρήση εποξειδικής ρητίνης στο φέρον στοιχείο το οποίο παρουσιάζει βλάβη. Συνήθως αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε κόμβους μεταξύ υποστυλωμάτων και δοκών. Το πάχος των ελασμάτων δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 15mm ενώ τα ελάσματα θα πρέπει να είναι εύκαμπτα ώστε να προσδίδουν ομοιογένεια σε σύγκριση με τη βλαβείσα περιοχή (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1999).

4. Ενεργειακή Μελέτη Περίπτωσης

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό υπολογίζεται η ενεργειακή απόδοση μίας τυπικής πενταώροφης πολυκατοικίας κατασκευής του 1960 στο κέντρο της Αθήνας και προτείνονται παρεμβάσεις για την ενεργειακή της αναβάθμιση με χρήση του λογισμικού έκδοσης ενεργειακών πιστοποιητικών 3DR KENAK. Η πολυκατοικία βρίσκεται στη ζώνη Β. Για την καλύτερη προσέγγιση της, δημιουργήθηκε η κάτοψη τυπικού ορόφου της, με χρήση του λογισμικού AutoCAD, η οποία παρατίθεται παρακάτω:



Εικόνα 4. 1: Κάτοψη τυπικού ορόφου

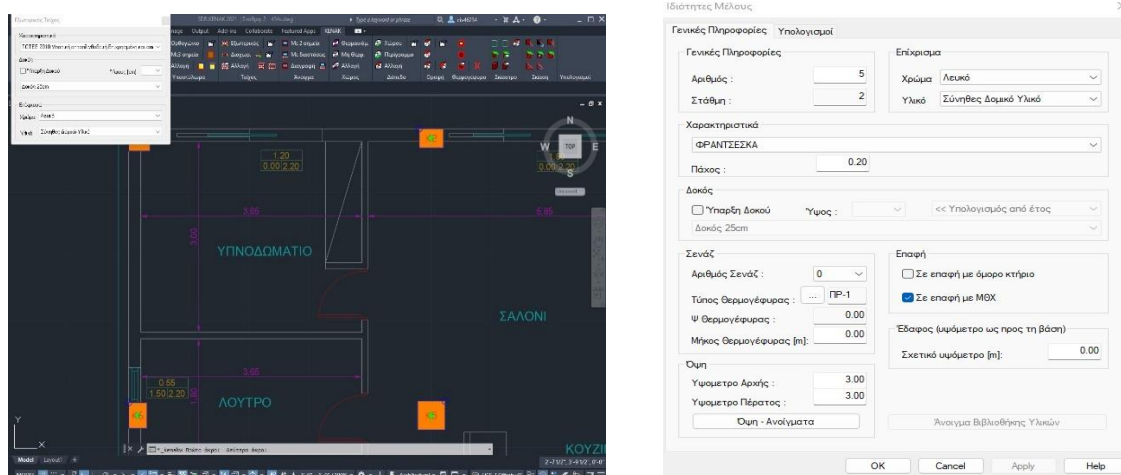
Το 3DR KENAK χρησιμοποιεί τον ίδιο υπολογιστικό πυρήνα με το teekenak και καλύπτει τις ανάγκες έκδοσης ενεργειακών πιστοποιητικών και υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων. Εκτός από την έκδοση του ενεργειακού πιστοποιητικού, είναι εφικτή η εξαγωγή αρχείου xml για την εισαγωγή του στο λογισμικό teekenak.

4.2 Εισαγωγή Χαρακτηριστικών Κτιρίου

Για την ενεργειακή κατάταξη της κατοικίας, εισάχθηκαν αρχικά στο πρόγραμμα τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και συγκεκριμένα ο αριθμός σταθμών, τα ύψη των σταθμών καθώς και το πάχος πλάκας κάθε στάθμης. Οι συντελεστές απορροφητικότητας και εκπομπής υπολογίστηκαν αυτόματα από το 3DR KENAK βάσει της κατηγορίας του κτηρίου και βάσει του τύπου των διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων. Επιπλέον, εισήχθη η κάτοψη του κτηρίου σε μορφή dwg.

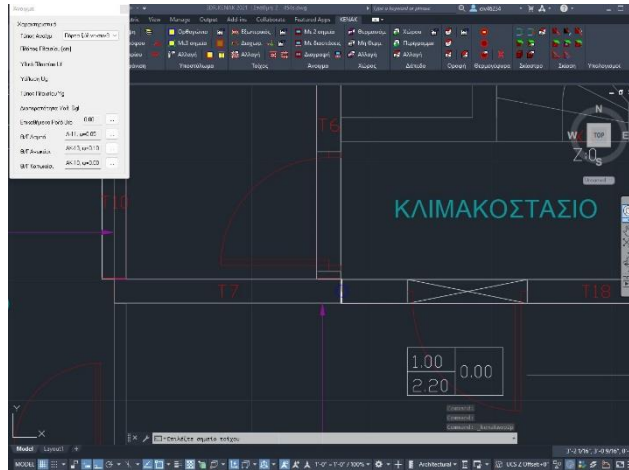
4.3 Εισαγωγή αδιάφανων και διαφανών στοιχείων

Στο βήμα αυτό εισάγονται τα υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα και η τοιχοποιία σε όλες τις εξωτερικές πλευρές του κτιρίου καθώς και εσωτερικά οι τοίχοι που είναι σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο (κλιμακοστάσιο). Χρησιμοποιείται μπατική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη και από τις δύο πλευρές, χωρίς θερμομόνωση. Στη συνέχεια οι τοίχοι διαχωρίζονται σε εξωτερικούς, σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο (ΜΘΧ) και σε επαφή με όμορο κτίριο/διαμέρισμα.



Εικόνα 4. 2: Εισαγωγή τοιχοποιίας και ορισμός επαφής τοίχων

Στη συνέχεια ορίζεται η γεωμετρία των διαφανών στοιχείων του κτιρίου (ανοίγματα). Τα κουφώματα που εισήχθησαν αποτελούνται από ξύλινο πλαίσιο και μονό υαλοπίνακα ενώ το υλικό για τις εξωτερικές πόρτες είναι ξύλινο – συνθετικό.



Εικόνα 4. 3: Εισαγωγή ανοιγμάτων

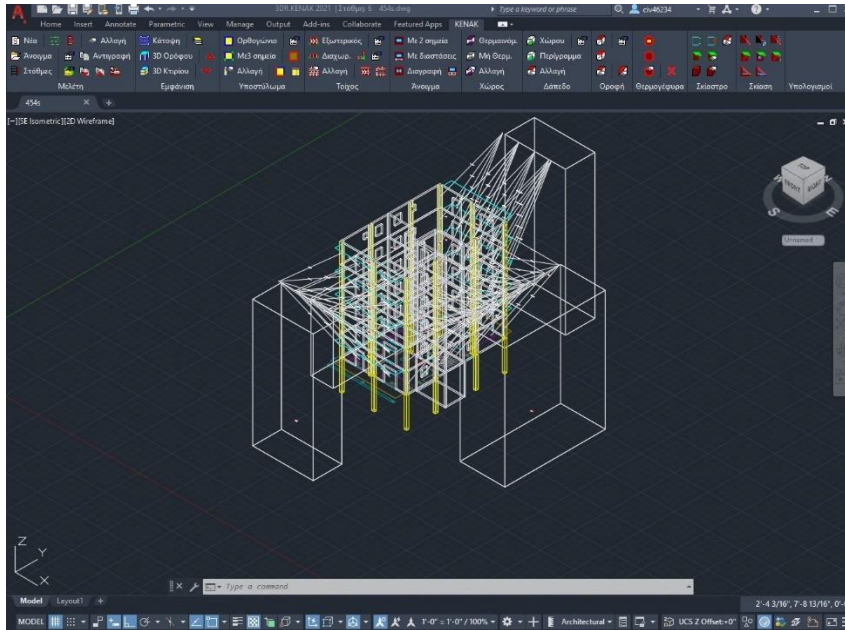
Ακολούθως, εισήχθησαν στοιχεία για το δάπεδο και για την οροφή του κτηρίου, τα οποία προκύπτουν από τις δύο πλάγιες όψεις που δόθηκαν παραπάνω.

4.4 Ορισμός Θερμικών Ζωνών

Στο επόμενο βήμα ορίστηκε μία μόνον, κοινή θερμική ζώνη, καθώς η ενεργειακή αναβάθμιση που πραγματοποιείται αφορά όλο το κτίριο και όχι μόνο ένα διαμέρισμα, άρα υπάρχει ένα κοινό ενεργειακό προφίλ χρηστών του κτηρίου και τεχνικά συστήματα τα οποία λειτουργούν σε όλο το κτίριο

4.5 Εισαγωγή σκιάστρων

Αρχικώς σε αυτό το βήμα θα ορίσουμε τον προσανατολισμό του βορρά και στη συνέχεια θα εισάγουμε τους προβόλους των εξωστών καθώς και τα γειτονικά κτίρια, στοιχεία τα οποία δημιουργούν σκιά στους τοίχους και στα ανοίγματα του κτιρίου και μειώνουν τα ηλιακά κέρδη του. Τέλος το πρόγραμμα θα υπολογίσει τις σκιάσεις που δημιουργούν τα σκιάστρα εφόσον ορίσουμε ποια στοιχεία σκιάζουν.



Εικόνα 4. 4: Σκιάσεις κτιρίου

4.6 Στοιχεία Κελύφους

Βάσει των παραπάνω στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη και τον προσανατολισμό του κτηρίου, την απορροφητικότητα των δομικών στοιχείων και το τυχόν ηλιακό κέρδος, υπολογίστηκαν ο συντελεστής θερμοπερατότητας και οι θερμικές απώλειες του κτηρίου. Τα αποτελέσματα υπολογίζονται για κάθε διαφορετικό μέρος του κελύφους και ανά θερμική ζώνη.

Φύλλο Υπολογισμός [Επιβάρωση] - franky

Αρχείο | Επιβάρωση | Σενάριο | Υπολογισμός | Αποτελέσματα | Έλεγχος Όρων | Επιβάρωση

Επιβάρωση μελέτη

Κτίριο

Αδιαφανείς Επιφάνειες | Σε επαφή με το έδαφος | Διαφανείς Επιφάνειες | Παθητικά Ηλιακά | Διαχωριστικές Επιφάνειες

Τύπος	Περιγραφή	Προσανατολισμός	Γωνία κλίσης	Εμβαδόν	U [W/m ² K]	g	ε	Flou_h	Flou_c	Fov_h	Fov_c	Flu_h	Flu_c
Τόπος	T2325	300.7	90	6.12	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1726	120.7	90	3.34	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1625	120.7	90	10.95	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1525	210.7	90	9.39	1.9	0.30	0.80	0.97	0.98	0.73	0.62	1.00	1.00
Τόπος	T1425	210.7	90	10.73	1.9	0.30	0.80	0.97	0.98	0.73	0.62	1.00	1.00
Τόπος	T1325	300.7	90	11.47	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T825	300.7	90	7.80	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T425	120.7	90	4.24	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1125	300.7	90	11.47	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T325	120.7	90	11.85	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T225	30.66	90	9.39	1.9	0.30	0.80	0.89	0.84	0.73	0.72	1.00	1.00
Τόπος	T125	30.66	90	10.73	1.9	0.30	0.80	0.89	0.84	0.73	0.72	1.00	1.00
Τόπος	T2325	300.7	90	6.12	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1725	120.7	90	3.34	1.9	0.30	0.80	0.83	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1625	120.7	90	10.95	1.9	0.30	0.80	0.83	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1525	210.7	90	9.39	1.9	0.30	0.80	0.76	0.91	0.73	0.62	1.00	1.00
Τόπος	T1425	210.7	90	10.73	1.9	0.30	0.80	0.76	0.91	0.73	0.62	1.00	1.00
Τόπος	T1325	300.7	90	11.47	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T825	300.7	90	7.80	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T425	120.7	90	4.24	1.9	0.30	0.80	0.83	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1125	300.7	90	11.47	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T325	120.7	90	11.85	1.9	0.30	0.80	0.83	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T225	30.66	90	9.39	1.9	0.30	0.80	0.84	0.77	0.73	0.72	1.00	1.00
Τόπος	T125	30.66	90	10.73	1.9	0.30	0.80	0.84	0.77	0.73	0.72	1.00	1.00
Τόπος	T2224	300.7	90	6.12	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1724	120.7	90	3.34	1.9	0.30	0.80	0.51	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1624	120.7	90	10.95	1.9	0.30	0.80	0.51	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1524	210.7	90	9.39	1.9	0.30	0.80	0.51	0.84	0.73	0.62	1.00	1.00
Τόπος	T1424	210.7	90	10.73	1.9	0.30	0.80	0.51	0.84	0.73	0.62	1.00	1.00
Τόπος	T1324	300.7	90	11.47	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T824	300.7	90	7.80	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T424	120.7	90	4.24	1.9	0.30	0.80	0.51	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T1124	300.7	90	11.47	1.9	0.30	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Τόπος	T224	120.7	90	11.85	1.9	0.30	0.80	0.51	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00

Um = 0.00 = Umax = 0.00

Εικόνα 4. 5: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας για τις αδιαφανείς επιφάνειες

Στη συνέχεια παρατίθενται οι υπολογισμοί για τις διαφανείς επιφάνειες της κατοικίας, οι οποίοι βασίζονται στους συντελεστές θερμοπερατότητας αυτών των επιφανειών και του ηλιακού θερμικού κέρδους.

Υλικό Πλαισίου:	Ξύλινο Πλαίσιο σκληρής ξυλείας μέσου πάχους πλαισίου-κάσας 5cm	
Υαλίωση:	U _g =5.7	
Τύπος Πλαισίου:	Υ _g =0.06 , Ξύλινο Πλαίσιο,Χωρίς επίστρωση χαμηλής εκπομπής	
Διαπερατότητα Υαλοπίνακα:	G _g =0.77 , Μονός υαλοπίνακας	
Εξώφυλλο/Επικαθήμενο Ρολό:	U _{fb} =0 , Χωρίς Ρολό	
Θερμογέφυρα Λαμπί:	Λ-11, ψ=0.05	
Θερμογέφυρα Ανωκάσι:	AK-13, ψ=0.1	Θερμογέφυρα Κατωκάσι: AK-10, ψ=0

Εικόνα 4. 6: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας για τις διαφανείς επιφάνειες

4.7 Τεχνικά Συστήματα

Στο βήμα αυτό εισήχθησαν δεδομένα που αφορούν στα εγκατεστημένα τεχνικά συστήματα (θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, ZNX, αερισμού).

4.8 Σύστημα Θέρμανσης

Όλο το κτίριο θερμαίνεται από έναν κεντρικό λέβητα πετρελαίου ισχύος 120kW με βαθμό απόδοσης 80%. Το δίκτυο διανομής του συστήματος θέρμανσης οδεύει σε εσωτερικούς χώρους ή έως 20% σε εξωτερικούς χώρους, χωρίς να φέρει θερμομόνωση, συνεπώς υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα ο βαθμός απόδοσης του που είναι ίσος με 0,86. Τα θερμαντικά σώματα της κατοικίας θεωρήθηκε ότι έχουν βαθμό απόδοσης 85%

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση εισήχθη η περίοδος του έτους κατά την οποία υπάρχει ανάγκη θέρμανσης. Η περίοδος αυτή ορίστηκε από τον Νοέμβριο μέχρι και τον Απρίλιο.

Θεώρηση) για Υπολογισμοί Αποτελέσματα Έλεγχος Θερμ. Επάρκειας

Θέρμανση Ψύξη ΖΝΧ Ηλεκτρ. Συλλέκτης Ύγραση Κλιματιστική Μονάδα

Ύπαρξη Συστήματος Θέρμανσης

Παραγωγή

Είδος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	Βαθμιαίος Βαθμός Απόδοσης	Συντελεστής Υπερβαστ.	Συντελεστής	Β. Ανά	CDP	Jan	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Συνήθης	Πετρέλαιο Θέρμανσης	120	0.80	125%	Καλή	0.71	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Δίκτυο Διανομής

Τύπος	Ισχύς	Χώρος διέλευσης	Μόνωση δικτύου	Θερμ. Προσαγωγή	Β. Απόδ.	Μόνωση
Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	96	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	Χωρίς μόνωση	Εξωτερικό	0.86	
Αεραγωγοί						

Τερματικές μονάδες

Τύπος	Χώρος εγκατάστασης	Λειτουργία	Σύστημα	Θερμοκρασία Μέσου	Τοποθέτηση	Βαθμός Απόδοσης
Θερμαντικά σώματα	Ύψος <4m	Διακοσμημένη	Εκτός Ισορροπίας	90-70°C	Εξωτερικό τοίχο	0.951

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αριθμός	Ισχύς(kW)
Κυκλοφορητές	1	0.02

Εικόνα 4. 7: Υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης

4.9 Σύστημα Ψύξης

Ανάγκες ψύξης σημειώνονται από τον Μάιο μέχρι και το Οκτώβριο. Το κτίριο ψύχεται με 2 air condition σε κάθε διαμέρισμα συνολικής ισχύος 6,2kW δηλαδή 62kW συνολικά με βαθμό απόδοσης 1. Το δίκτυο διανομής του συστήματος ψύξης οδεύει σε εσωτερικούς χώρους και σε ποσόστωση μικρότερη του 20% εξωτερικούς χώρους, χωρίς να φέρει θερμομόνωση, συνεπώς έχει βαθμό απόδοσης 0,95. Οι τοπικές αντλίες θερμότητας του κτιρίου υπολογίζεται ότι έχουν βαθμό απόδοσης 93%.

Θεώρηση) για Υπολογισμοί Αποτελέσματα Έλεγχος Θερμ. Επάρκειας

Θέρμανση Ψύξη ΖΝΧ Ηλεκτρ. Συλλέκτης Ύγραση Κλιματιστική Μονάδα

Ύπαρξη Συστήματος Ψύξης

Παραγωγή

Είδος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	Β. Απόδ.	EER	Jan	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Με φρέονιο μέσο τον αέρα μετά το 2001	Ηλεκτρικός	62	1	2.50	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0
					0	0	0	0							0	0
					0	0	0	0							0	0
					0	0	0	0							0	0

Δίκτυο Διανομής

Τύπος	Ισχύς	Χώρος διέλευσης	Μόνωση δικτύου	Β. Απόδοσης	Μόνωση
Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου	62	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	Χωρίς μόνωση	0.955	
Αεραγωγοί					

Τερματικές μονάδες

Τύπος	Λειτουργία	Σύστημα	Βαθμός Απόδοσης
Τοπικές αντλίες θερμότητας	Διακοσμημένη	Εκτός Ισορροπίας	0.93084

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αριθμός	Ισχύς(kW)

Εικόνα 4. 8: Υφιστάμενο σύστημα ψύξης

4.10 Σύστημα Παραγωγής και Διανομής Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)

Οι ανάγκες Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) του κτιρίου καλύπτονται από ηλεκτρικούς θερμαντήρες ισχύος 4kW έκαστος με βαθμό απόδοσης 1.

Το δίκτυο διανομής του συστήματος οδεύει σε εσωτερικούς χώρους ή έως 20% σε εξωτερικούς χώρους, χωρίς να φέρει θερμομόνωση, συνεπώς έχει βαθμό απόδοσης 1. Το σύστημα αποθήκευσης των ZNX (τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας) προκύπτει ότι έχει βαθμό απόδοσης 98%.

πιθώρηση)

άρια Υπολογισμοί Αποτελέσματα Έλεγχος Θερμ. Επάρκειας

Θέρμανση Ψύξη ZNX Ηλεκτρικός Συλλέκτης Ύγραση Κλιματιστική Μονάδα

Ύψαρη Συστήματος ZNX

Παραγωγή

Τύπος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	Β. Απόδ.	Jan	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας	Ηλεκτρισμός	40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Δίκτυο διανομής

Τύπος	Ανακλιπορσία	Μήκος δικτύου	Μόνωση δικτύου	Χώρος διέλευσης	Β. Απόδ.
Άμεση κατανάλωση	0%	Τοπικό	Χωρίς μόνωση	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε ε	1

Σύστημα αποθήκευσης

Τύπος	Τοποθέτηση	Β. Απόδ.
Τοπικός ηλεκτρικός θερμαντήρας	σε εσωτερικό χώρο	0.98

Βοηθητικές μονάδες

Τύπος	Αριθμός	Ισχύς(kW)

Εικόνα 4. 9: Υφιστάμενο σύστημα παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής ZNX

4.11 Υπολογισμός Ενεργειακής Απόδοσης

Κατόπιν εισαγωγής των δομικών χαρακτηριστικών της κατοικίας και των θερμικών τους χαρακτηριστικών, υπολογίζεται η απαιτούμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση, για ένα κτίριο αναφοράς και για το εξεταζόμενο κτίριο. Ο ενεργειακός επιθεωρητής έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει διαφορετικά σενάρια με παρεμβάσεις στο κέλυφος ή στα τεχνικά συστήματα της κατοικίας για να εκτιμηθεί η επίδραση στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Τα σενάρια αυτά οδηγούν σε διαφορετικές επιλογές για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου, επιλογές οι οποίες μπορούν να εκτιμηθούν τόσο ως προς την ενεργειακή τους απόδοση όσο και ως προς το κόστος τους. Ενδεικτικά, το λογισμικό διαθέτει τη δυνατότητα υπολογισμού κόστους κάθε παρέμβασης στο κέλυφος ή στα τεχνικά συστήματα. Επιπλέον, αναφέρεται ότι σε περίπτωση όπου δεν είναι γνωστά όλα τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου κτηρίου, αυτά μπορούν να υπολογιστούν κατά προσέγγιση από το 3DR KENAK βάσει της χρονολογίας κατασκευής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένας εγκατεστημένος λέβητας πετρελαίου για τον οποίο δεν είναι γνωστός ο βαθμός απόδοσης ή δομικά στοιχεία των οποίων δεν είναι γνωστοί οι συντελεστές θερμοπερατότητας και θερμοχωρητικότητας.

Συνολικά, ο ενεργειακός επιθεωρητής μπορεί να εξετάσει τρία σενάρια παρεμβάσεων για την ενεργειακή αναβάθμιση του εξεταζόμενου κτηρίου. Παρακάτω παρατίθενται οι υπολογισμοί για το κτίριο αναφοράς και για το εξεταζόμενο κτίριο.



Εικόνα 4. 10: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση

Από την επεξεργασία των παραπάνω υπολογίζεται η τιμή της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, για την ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου σε μία εκ των διαθέσιμων ενεργειακών κατηγοριών. Το υφιστάμενο κτίριο υπολογίζεται ότι κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Η, καθώς η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ισούται με 460.30 kWh/m²

4.12 Ενεργειακή Αναβάθμιση

Κατόπιν υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης της κατοικίας εξετάστηκαν παρεμβάσεις για την ενεργειακή της αναβάθμιση. Οι παρεμβάσεις αυτές υπολογίστηκαν τόσο για το κέλυφος του κτηρίου όσο και για τα εγκατεστημένα τεχνικά συστήματα. Σκοπός τέτοιων παρεμβάσεων είναι η μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας για τη διατήρηση των υφιστάμενων συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό της κατοικίας η οποία μπορεί να επιτευχθεί τόσο μέσα από τη μείωση των θερμικών απωλειών όσο και μέσα από τη βελτίωση της απόδοσης των τεχνικών συστημάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σενάρια παρέμβασης που μελετήθηκαν.

4.12.1 Σενάριο 1ο: Επεμβάσεις στο κέλυφος, τα ανοίγματα και εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ΖΝΧ.

Η πρώτη παρέμβαση που εξετάζεται είναι η αντικατάσταση δομικών στοιχείων του κελύφους του κτηρίου, η προσθήκη θερμομόνωσης και η αντικατάσταση των διαφανών επιφανειών, προκειμένου να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες. Στη συνέχεια γίνεται και η εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ΖΝΧ.

Εξετάζεται η προσθήκη θερμομόνωσης στις αδιαφανείς επιφάνειες, δηλαδή στους τοίχους, στην οροφή και στο δάπεδο της κατοικίας, οι οποίες βρίσκονται σε άμεση επαφή με τον αέρα ή το έδαφος. Στις επιφάνειες αυτές υπολογίστηκαν στα προηγούμενα βήματα σημαντικές θερμικές απώλειες. Επιπλέον, εξετάζεται η αντικατάσταση όλων των διαφανών επιφανειών της κατοικίας, τα οποία βρίσκονται σε άμεση επαφή με τον εξωτερικό αέρα. Για την κατάδειξη της ανάγκης της ενεργειακής αναβάθμισης, θεωρήθηκε ότι το υφιστάμενο κτίριο διαθέτει ξύλινα κουφώματα με μονό υαλοπίνακα και οι τοίχοι δεν διαθέτουν θερμομόνωση.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των προτεινόμενων δομικών στοιχείων του κελύφους της κατοικίας θεωρείται πως θα είναι μικρότερος από τους μέγιστους συντελεστές του πίνακα Γ2 του ΚΕΝΑΚ. Πιο συγκεκριμένα, επελέγησαν κατά ΚΕΝΑΚ συντελεστές θερμοπερατότητας $0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ για την τοιχοποιία, $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$ για το δάπεδο και την οροφή και $2.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ για τα ανοίγματα.

Επιπλέον εγκαθίσταται ηλιακός συλλέκτης κενού συνολικής ισχύος 22 kW με κλίση 45 μοίρες και προσανατολισμό κατά τον νότο ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν περισσότερα ηλιακά κέρδη.

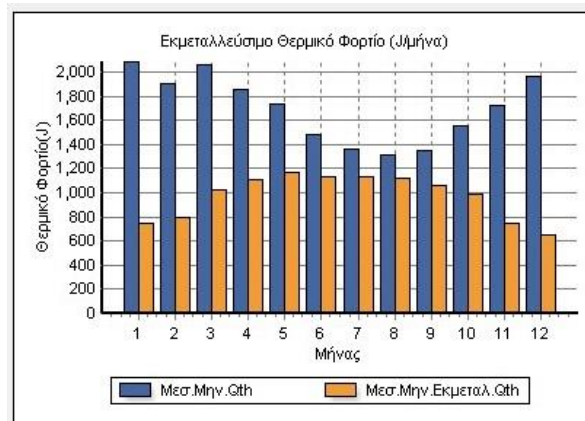
Τύπος	Θέρμανση	ZNK	Συν. α	Συν. β	Επιφάνεια (m ²)	Προσανατολισμός(deg)	Κλίση(deg)	Σκίαση	Κόστος /m ²
Κενού	Οχι	Ναι	0.369		22	N	45	1	300

Υπολογισμοί Ηλι.Συλ.

Αποτελέσματα:

Ετήσιο Ποσοστό Κάλυψης ZNK: 59.98%

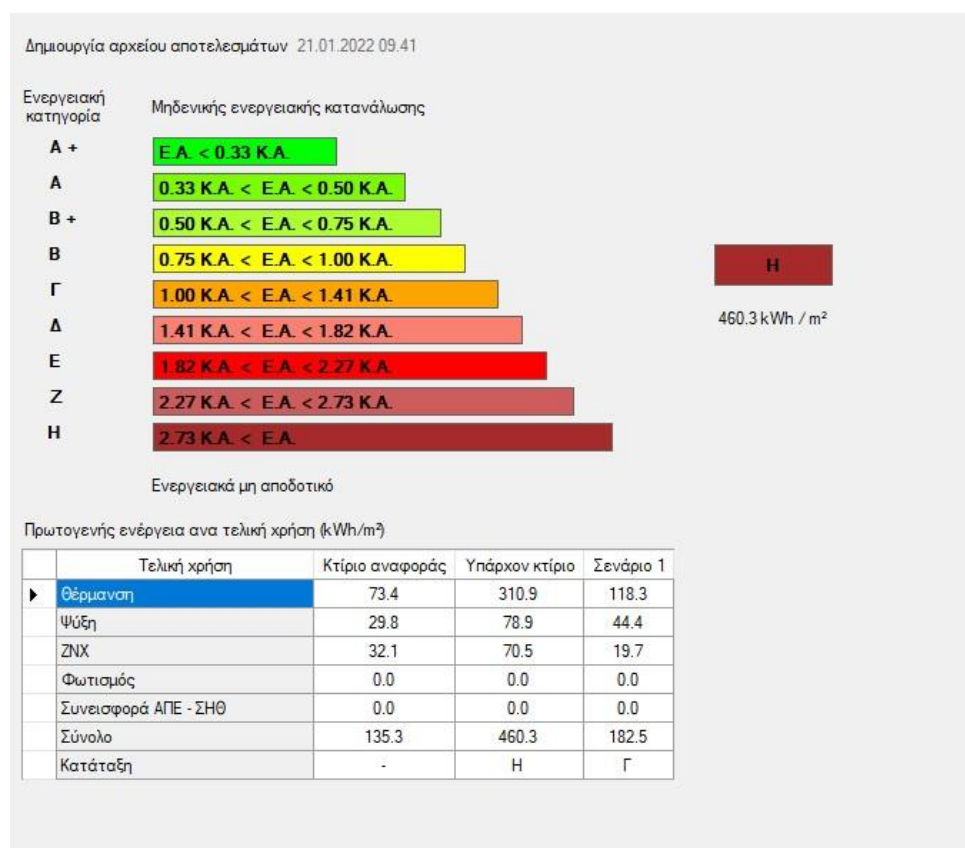
Ποσοστό Ηλιακής Αξιοποίησης: 30.85%



Εικόνα 4. 11: Εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ZNK.

4.12.2 Αποτελέσματα Σεναρίου 1 Ενεργειακής Αναβάθμισης

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, η πολυκατοικία κατόπιν εκτέλεσης των εξεταζόμενων παρεμβάσεων αναβαθμίζεται ενεργειακά και κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Γ. Η αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης είναι σημαντική, καθώς το υφιστάμενο κτίριο πριν από τις παρεμβάσεις είχε καταταγεί στην ενεργειακή κατηγορία Η. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης προκύπτει από τον υπολογισμό της νέας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του υφιστάμενου κτηρίου και του κτηρίου αναφοράς η οποία μειώνεται από 460.30 kWh/m² σε 182.50 kWh/m². Τα αναλυτικά αποτελέσματα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Εχουμε δηλαδή μια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 277.80 kWh/m², δηλαδή 60.40%.



Εικόνα 4. 12: Αναλυτικά αποτελέσματα σεναρίου 1 ενεργειακής αναβάθμισης.

4.12.3 Σενάριο 2ο: Επεμβάσεις στο κέλυφος, τα ανοίγματα και αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης.

Στο σενάριο 2 γίνεται προσθήκη θερμομόνωσης και η αντικατάσταση των κουφωμάτων με τις ίδιες προδιαγραφές όπως στο σενάριο 1.

Εξετάζεται επίσης η αντικατάσταση του υφιστάμενου λέβητα πετρελαίου θέρμανσης ο οποίος είναι έχει βαθμό απόδοσης 80%, με έναν καινούριο λέβητα φυσικού αερίου, ισχύος 80kW, με βαθμό απόδοσης 96% και μόνωση δικτύου ίση με την ακτίνα των σωλήνων, ο οποίος πληροί τις απαιτήσεις του κανονισμού οικολογικού σχεδιασμού θερμαντήρων χώρου και θερμαντήρων συνδυασμένης λειτουργίας.

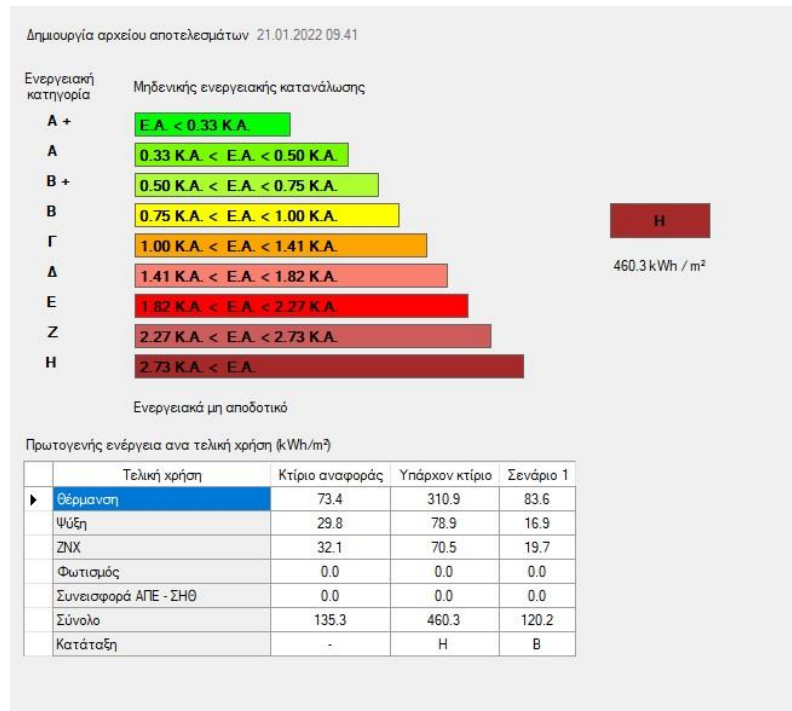
Θέρμανση Ψύξη ΖΝΧ Ηλεκτρικός Συλλέκτης Ύγραση Κλιματιστική Μονάδα							
<input checked="" type="checkbox"/> Ύπαρξη Συστήματος Θέρμανσης							
Παραγωγή							
Τύπος	Είδος	Πηγή ενέργειας	Ισχύς (kW)	Θεωρητικός Βαθμός Απόδοσης	Συντελεστής Υπερβασ		
Λέβητας	Με ενεργειακή σήμανση	Φυσικό αέριο	80	0.96	100%		
Δίκτυο Διανομής							
Τύπος	Ισχύς	Χώρος διέλευσης	Μόνωση δικτύου	Θερμ. Προσαγωγής	Β. Απόδ.	Μόνωση	Κός
Δίκτυο διανομής θερμού μέσου	96	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς	Μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνων	>60oC	0.86		
Τερματικές μονάδες							
Τύπος	Χώρος εγκατάστασης	Λειτουργία	Σύστημα	Θερμοκρασία Μέσου	Τοποθέτηση	Βαθμός Απόδοσης	Κόστος
Θερμολογικά σώματα	Ύψος < 4m	Συνεχής	Ισορροπημένο	90-70oC	Σε εσωτερικό ταίιο	1	
Βοηθητικές μονάδες							
Τύπος	Αριθμός	Ισχύς(kW)					
Κυκλιφορητές	1	0.02					

Εικόνα 4. 13: Αντικατάσταση λέβητα πετρελαίου

4.12.4 Αποτελέσματα Σεναρίου 2 Ενεργειακής Αναβάθμισης

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, η πολυκατοικία κατόπιν εκτέλεσης των εξεταζόμενων παρεμβάσεων αναβαθμίζεται ενεργειακά και κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία Β. Η αναβάθμιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένου ότι το υφιστάμενο κτίριο είναι κατηγορίας Η. Επίσης παρατηρούμε ότι το σενάριο 2 αναβαθμίζει το κτίριο κατά μία κατηγορία παραπάνω από το 1ο σενάριο.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης προκύπτει από τον υπολογισμό της νέας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του υφιστάμενου κτηρίου και του κτηρίου αναφοράς η οποία μειώνεται από 460.30 kWh/m² σε 120.20 kWh/m². Έχουμε δηλαδή μια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 340.1 kWh/m², δηλαδή 73.10%. Παρακάτω φαίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα.



Εικόνα 4. 14: Αναλυτικά αποτελέσματα σεναρίου 2 ενεργειακής αναβάθμισης.

4.12.5 Σενάριο 3ο: Εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ZNX, αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης και συστήματος ψύξης.

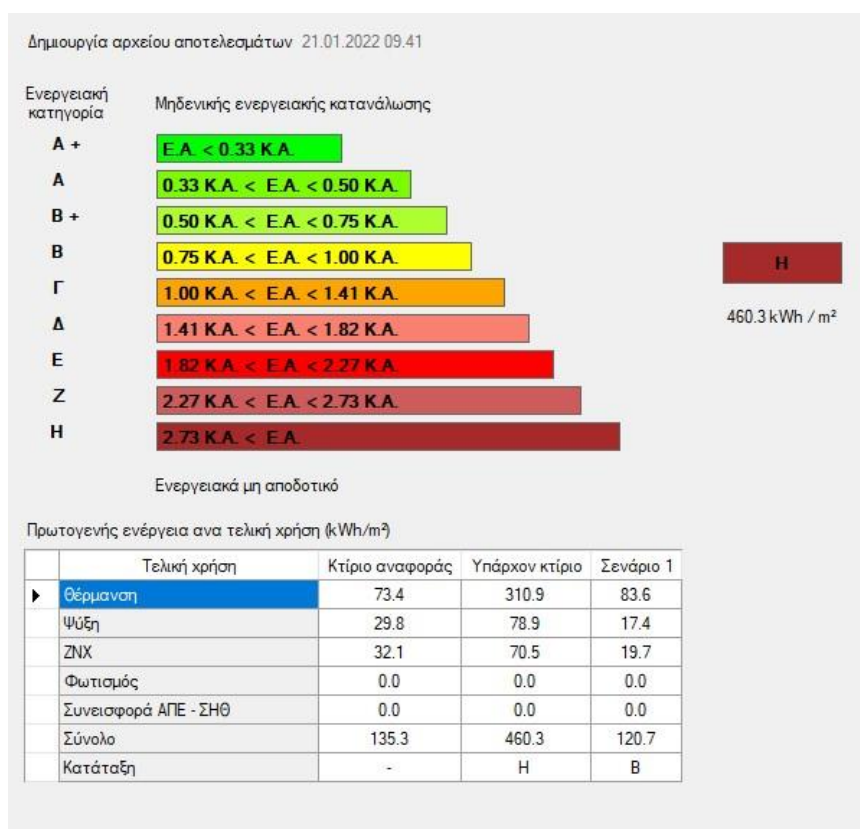
Στο σενάριο αυτό γίνεται η εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ZNX με τις ίδιες προδιαγραφές όπως στο 1ο σενάριο, και αντικατάσταση του παλιού λέβητα πετρελαίου με κεντρικό λέβητα φυσικού αερίου όπως στο σενάριο 2.

Εξετάζεται επίσης η αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος ψύξης που αποτελείται από δύο air condition σε κάθε διαμέρισμα με νέα air condition inverter, συνολικά 3 σε κάθε διαμέρισμα, δύο των 9.000 BTU και ένα των 12.000 BTU ενεργειακής κλάσης A++ και βαθμό EER ίσο με 6,4.

4.12.6 Αποτελέσματα σεναρίου 3 ενεργειακής αναβάθμισης.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, η πολυκατοικία κατόπιν εκτέλεσης των παρεμβάσεων του σεναρίου 3 αναβαθμίζεται ενεργειακά και κατατάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία B. Παρατηρούμε οι παρεμβάσεις του σεναρίου 3 αναβαθμίζουν το κτίριο στην ίδια κατηγορία με το σενάριο 2 και μία κατηγορία παραπάνω από το σενάριο 1.

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας σε αυτή την περίπτωση μειώνεται από 460.30 kWh/m² σε 120,70 kWh/m². Έχουμε δηλαδή μια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ίση με 339,60 kWh/m², δηλαδή 73,80%. Παρακάτω φαίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα.



Εικόνα 4. 15: Αναλυτικά αποτελέσματα σεναρίου 3 ενεργειακής αναβάθμισης.

4.13 Οικονομοτεχνική ανάλυση

Παρακάτω γίνεται μία κατά προσέγγιση οικονομοτεχνική ανάλυση για το κάθε σενάριο.
Σενάριο 1ο: Επεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου, αλλαγή κουφωμάτων και εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ΖΝΧ.

Συνολική επιφάνεια θερμομόνωσης: 1143,71 m²

Τιμή θερμομόνωσης: 40€/ m²

Κόστος θερμομόνωσης κτιρίου: 45.748,40€

Συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων: 89,95 m²

Τιμή ενεργειακών κουφωμάτων: 400€/ m²

Κόστος ενεργειακών κουφωμάτων: 35.980,00€

Συνολική επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών: 22 m²

Κόστος ηλιακού συλλέκτη: 300€/ m²

Κόστος εγκατάστασης ηλιακού συλλέκτη: 6.600,00€

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1: 88.328,40€

Σενάριο 2ο: Επεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου, αλλαγή κουφωμάτων και εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ΖΝΧ.

Στο σενάριο 2 παραμένει το κόστος θερμομόνωσης (45.748,40€) και αντικατάστασης κουφωμάτων (35.980,00€) και προστίθεται το κόστος εγκατάστασης κεντρικού λέβητα φυσικού αερίου κόστους περίπου 7500€.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2: 89.228,40€

Σενάριο 3ο: Εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για ΖΝΧ και αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης και ψύξης.

Στο σενάριο 3 έχουμε το κόστος για την εγκατάσταση του ηλιακού συλλέκτη (6.600,00€) και το κόστος εγκατάστασης του λέβητα φυσικού αερίου (7500€), καθώς επίσης και το

κόστος αντικατάστασης των air condition που κοστίζουν περίπου 450€ το καθένα. Συνολικά εγκαθίστανται 30 air-condition, άρα το κόστος τους είναι 13.500€.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3: 27.600,00€

4.14 Συμπεράσματα ενεργειακής αναβάθμισης

Αρχικά εισήχθησαν τα στοιχεία μιας πενταώροφης πολυκατοικίας, τοποθεσία, χρήση, παλαιότητα, η κάτοψη αυτού και ορίστηκαν τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών του. Έπειτα εισήχθησαν δεδομένα τα οποία αφορούν στα εγκατεστημένα στην κατοικία τεχνικά συστήματα, όπως θέρμανση, ΖΝΧ, ψύξη κ.α..

Για την ενεργειακή κατάταξη της πολυκατοικίας, το λογισμικό ορίζει ένα κτίριο αναφοράς, το οποίο έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το μελετώμενο κτίριο και αθροίζει τις καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση. Κατόπιν, γίνεται σύγκριση των υφιστάμενων καταναλώσεων με αυτές του κτηρίου αναφοράς.

Τέλος, προτείνονται τρία σενάρια παρεμβάσεων, τόσο στα δομικά στοιχεία του κελύφους (θερμομόνωση και κουφώματα) όσο και στα εγκατεστημένα τεχνικά συστήματα, τηρώντας πιστά τις απαιτήσεις του νέου ΚΕΝΑΚ. Το λογισμικό αθροίζει τις αναμενόμενες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας έτσι ώστε να κατατάξει την κατοικία σε νέα βελτιωμένη ενεργειακή κατηγορία.

Παρακάτω συγκρίνονται τα σενάρια ενεργειακής αναβάθμισης που προτάθηκαν, σχετικά με την ενεργειακή τους κατάταξη και το κόστος τους.

	Σενάριο 1 (Θερμομόνωση- κουφώματα – ηλιακός)	Σενάριο 2 (Θερμομόνωση- κουφώματα – φυσικό αέριο)	Σενάριο 3 (Ηλιακός – φυσικό αέριο – air condition)
Κατάταξη	Γ	B	B
Κόστος (€)	88.328,40	89.228,40	27.600,00

Πλεονεκτήματα Σεναρίου 1:

- 1) Η αναβάθμιση της ενεργειακής κατάταξης του κτιρίου από Η σε Γ κατηγορία θεωρείται υψίστης σημασίας.
- 2) Η θερμομόνωση του κελύφους και η αντικατάσταση κουφωμάτων είναι οι σημαντικότερες παρεμβάσεις ώστε να μειωθούν κατά το δυνατό περισσότερο οι θερμικές απώλειες του κτιρίου. Συνεπώς μειώνεται και ο χρόνος λειτουργίας των τεχνικών συστημάτων για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης χωρίς να γίνει καν αντικατάσταση των συστημάτων αυτών.
- 3) Εφόσον μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας των τεχνικών συστημάτων μειώνεται αυτόματα και το λειτουργικό κόστος του κτιρίου. Συνεπώς το κόστος της επένδυσης θα λειτουργήσει θετικά με το πέρασμα του χρόνου.
- 4) Γίνεται εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για ΖΝΧ, η οποία είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Συνεπώς μειώνεται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Μειονεκτήματα Σεναρίου 1:

- 1) Η θερμομόνωση του κελύφους του κτιρίου αλλά κυριότερα η αντικατάσταση των ξύλινων κουφωμάτων με ενεργειακά έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος με αποτέλεσμα να αυξάνεται κατά πολύ το συνολικό κόστος του Σεναρίου 1.
- 2) Τα Σενάρια 2 και 3 αναβαθμίζουν το κτίριο κατά μία κατηγορία παραπάνω από το Σενάριο 1.

Πλεονεκτήματα Σεναρίου 2:

- 1) Το Σενάριο 2 αναβαθμίζει το κτίριο στη κατηγορία Β, δηλαδή 5 κατηγορίες πράγμα που αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα.
- 2) Όπως και στο Σενάριο 1 η θερμομόνωση του κελύφους και η αλλαγή κουφωμάτων μειώνουν κατά πολύ τις θερμικές απώλειες του κτιρίου και μειώνουν τον χρόνο λειτουργίας των τεχνικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.
- 3) Συνεπώς μειώνονται οι απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης, άρα και το λειτουργικό κόστος του κτιρίου, πράγμα που θα λειτουργήσει θετικά μετά την απόσβεση του κόστους επένδυσης.
- 4) Το φυσικό αέριο κοστίζει λιγότερο από το πετρέλαιο, είναι συνεχώς διαθέσιμο λόγω συνεχούς παροχής και οι καυστήρες φυσικού αερίου είναι νέας γενιάς άρα έχουν μεγαλύτερη απόδοση.
- 5) Οι εκπομπές ρύπων μειώνονται καθώς η καύση του φυσικού αερίου επιβαρύνει την ατμόσφαιρα κατά πολύ λιγότερο από τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα. Επίσης όπως προαναφέρθηκε λόγω της μόνωσης του κελύφους μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης, πράγμα που επίσης μειώνει την εκπομπή ρύπων.

Μειονεκτήματα Σεναρίου 2:

- 1) Δεν γίνεται χρήση κάποιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας όπως στην περίπτωση του Σεναρίου 1.
- 2) Δεν γίνεται θερμομόνωση του κελύφους και αντικατάσταση κουφωμάτων με αποτέλεσμα να μην μειώνονται καθόλου οι θερμικές απώλειες του κτιρίου και οι θερμικές απαιτήσεις να παραμένουν ίδιες.
- 3) Το κόστος επένδυσης είναι ξανά υψηλό λόγω κυρίως της μόνωσης του κελύφους και της αλλαγής κουφωμάτων. Μάλιστα επειδή η εγκατάσταση φυσικού αερίου κοστίζει περισσότερο σε σχέση με την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών όπως στο Σενάριο 1, το κόστος επένδυσης είναι το υψηλότερο από τα 3 σενάρια.
- 4) Λόγω της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης, το κόστος φυσικού αερίου έχει εκτοξευθεί το τελευταίο διάστημα με αποτέλεσμα η εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου να μην αποτελεί πλέον την ιδανικότερη λύση. Το κόστος βέβαια του φυσικού αερίου παραμένει έως και σήμερα μικρότερο του πετρελαίου θέρμανσης.

Πλεονεκτήματα Σεναρίου 3:

- 1) Το Σενάριο 3 αναβαθμίζει το κτίριο στην κατηγορία B όπως και στο Σενάριο 2.
- 2) Γίνεται χρήση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας μέσω των ηλιακών συλλεκτών που καλύπτουν τις ανάγκες για ΖΝΧ τους θερμούς μήνες του χρόνου.
- 3) Το κόστος επένδυσης είναι το χαμηλότερο από τα 3 σενάρια και μάλιστα με μεγάλη διαφορά.
- 4) Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η αντικατάσταση του λέβητα πετρελαίου θέρμανσης με λέβητα φυσικού αερίου νέας γενιάς έχει πολλά πλεονεκτήματα καθώς μειώνονται οι εκπομπές ρύπων, το κόστος λειτουργίας και αυξάνεται η απόδοση του συστήματος θέρμανσης.
- 5) Τα air condition που εγκαθίστανται με τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν μειώνουν επίσης το κόστος λειτουργίας καθώς είναι ενεργειακής κλάσης A++ και διαθέτουν δυνατότητα οικονομικής λειτουργίας χωρίς όμως να μειώνεται η απόδοσή τους.

Μειονεκτήματα Σεναρίου 3:

- 1) Δεν γίνεται μόνωση του κελύφους και αλλαγή κουφωμάτων και συνεπώς δεν μειώνονται οι θερμικές απώλειες και οι απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου.

- 2) Λόγω των μεγάλων θερμικών απωλειών του κτιρίου το λειτουργικό κόστος θα παραμείνει αρκετά υψηλό παρόλο που το κόστος επένδυσης είναι αρκετά χαμηλό δεδομένου ότι η αναβάθμιση αφορά 10 διαμερίσματα.
- 3) Λόγω των υψηλών απαιτήσεων θέρμανσης έχουμε και μεγάλες ποσότητες ρύπων επιβαρυντικών για την ατμόσφαιρα.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση υπάρχουν θετικά και αρνητικά πράγματα που δεν κάνει εύκολη την επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης.

Υπάρχει πάντα η δυνατότητα συνδυασμού όλων των παραπάνω παρεμβάσεων ώστε να έχουμε την μέγιστη δυνατή αναβάθμιση και τις λιγότερο δυνατές ενεργειακές απαιτήσεις και θερμικές απώλειες. Μια τέτοια επιλογή όμως παρόλο που θα μείωνε δραματικά το κόστος λειτουργίας του κτιρίου θα εκτόξευε το κόστος επένδυσης.

Οποιοδήποτε σενάριο επιλεγεί ο στόχος της παρούσας πτυχιακής δεν είναι άλλος από την ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου το οποίο διαθέτει ένα ενεργειακό προφίλ ίδιο με το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων του κέντρου της Αθήνας αλλά και της Ελλάδας γενικότερα. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται καθώς οι παρεμβάσεις που προτάθηκαν μειώνουν κατά μεγάλο ποσοστό το ανθρακικό αποτύπωμα του εξεταζόμενου κτιρίου και κατ' επέκταση αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα στην καταπολέμηση της κλιματικής κρίσης.

5 Αντισεισμική Μελέτη Περίπτωσης

5.1 Προσομοίωση Υφιστάμενου Κτιρίου

Στο κεφάλαιο αυτό υπολογίζεται η συμπεριφορά του υφιστάμενου κτιρίου στο σεισμό σε σχέση με τις ισχύουσες προδιαγραφές του αντισεισμικού κανονισμού και προτείνονται παρεμβάσεις για την αντισεισμική του αναβάθμιση με χρήση του λογισμικού SeismoBuild της SeismoSoft. Για την αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου εφαρμόζεται στατική ανελαστική ανάλυση (Pushover) κατά την οποία επιβάλλεται οριζόντιο σεισμικό φορτίο το οποίο αυξάνεται σταδιακά έως ότου αστοχήσει το κτίριο.

5.1.1 Περιγραφή Κτιρίου

Το κτίριο που μελετάται είναι ένα τυπικό κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα το οποίο έχει ανεγερθεί την δεκαετία του 1960. Συνεπώς έχει σχεδιαστεί με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 (ΕΑΚ-1959). Αποτελείται από 5 ορόφους (pilotis και 4 ορόφους) με ύψος 3.00 m και εμβαδό 150 m² ο κάθε όροφος.

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

ΦΟΡΤΙΑ:

1. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

1.1 Μόνιμα

- Ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος : 25.00 KN/m³
- Ίδιο βάρος δομικού χάλυβα : 78.50 KN/m³
- Επικάλυψη δαπέδων & εσωτερικά χωρίσματα : 1.00 KN/m³
- Δρομικές οπτοπλινθοδομές : 2.10 KN/m³
- Μπατικές οπτοπλινθοδομές : 3.60 KN/m³
- Επικάλυψη δώματος : 2.00 KN/m³

1.2 Κινητά

- Δαπέδων γενικώς : 2.00 KN/m³
- Δαπέδων εξωστών : 5.00 KN/m³

- Δαπέδων δώματος : 1.00 KN/m³

2. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

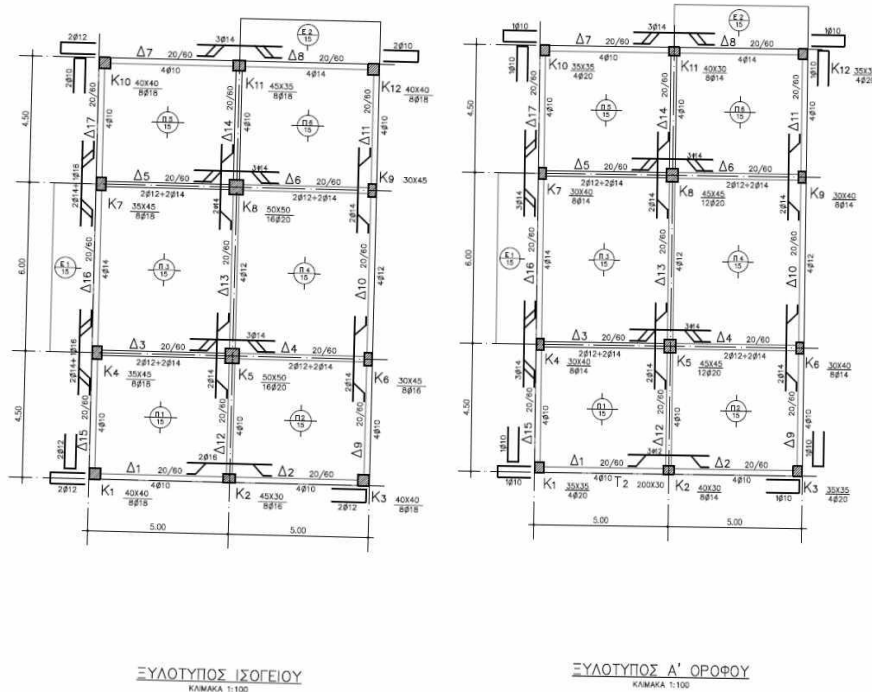
2.1 ΣΕΙΣΜΟΣ (Σύμφωνα με τον ΕΑΚ)

- Σεισμική επιτάχυνση εδάφους : $\alpha=0.16$
- Κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας εδάφους : B

ΥΛΙΚΑ:

- Ποιότητα σκυροδέματος : B160
: $f_{ck} = 9 \text{ MPa}$
: $f_{cm} = 13 \text{ MPa}$
- Χάλυβας οπλισμού : STI (S220)
: $f_{ym} = 280 \text{ MPa}$
: $f_{yk} = 240 \text{ MPa}$

Παρακάτω φαίνεται ο ξυλότυπος ισογείου και τυπικού ορόφου του εξεταζόμενου κτιρίου.

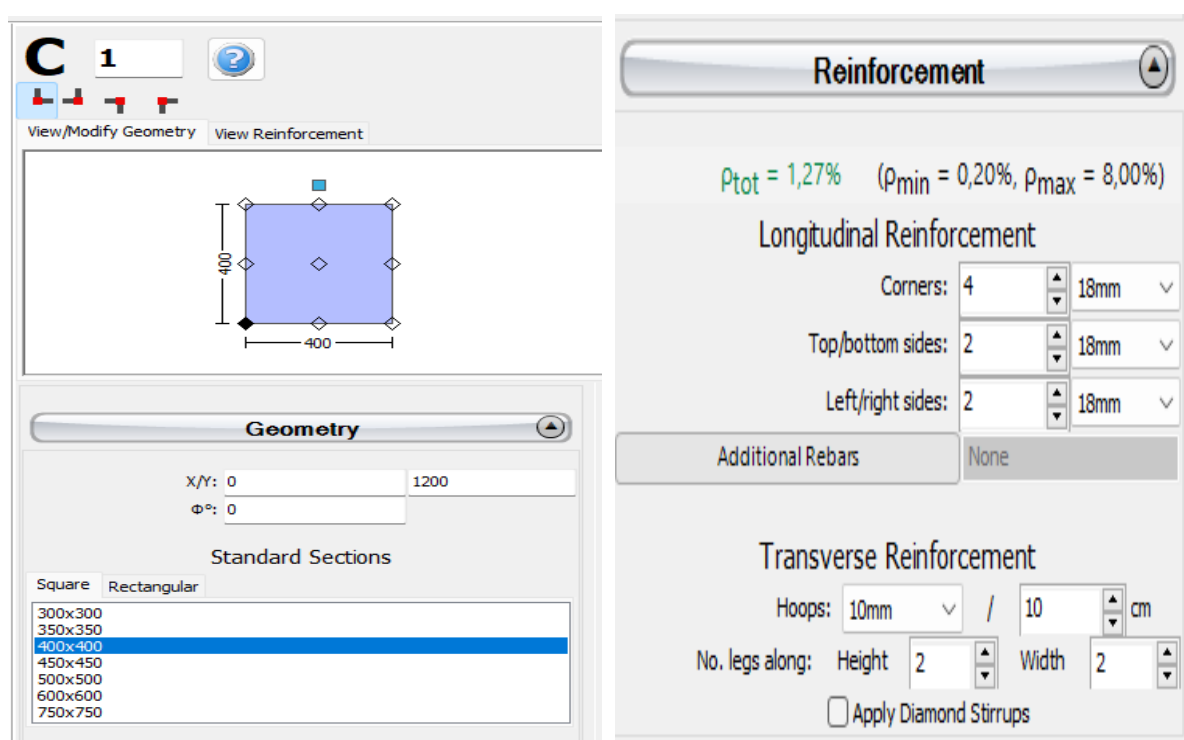


Εικόνα 5. 1: Σχέδια ξυλοτύπων ισογείου και τυπικού ορόφου

5.1.2 Εισαγωγή φερόντων στοιχείων με χρήση του Building Modeler

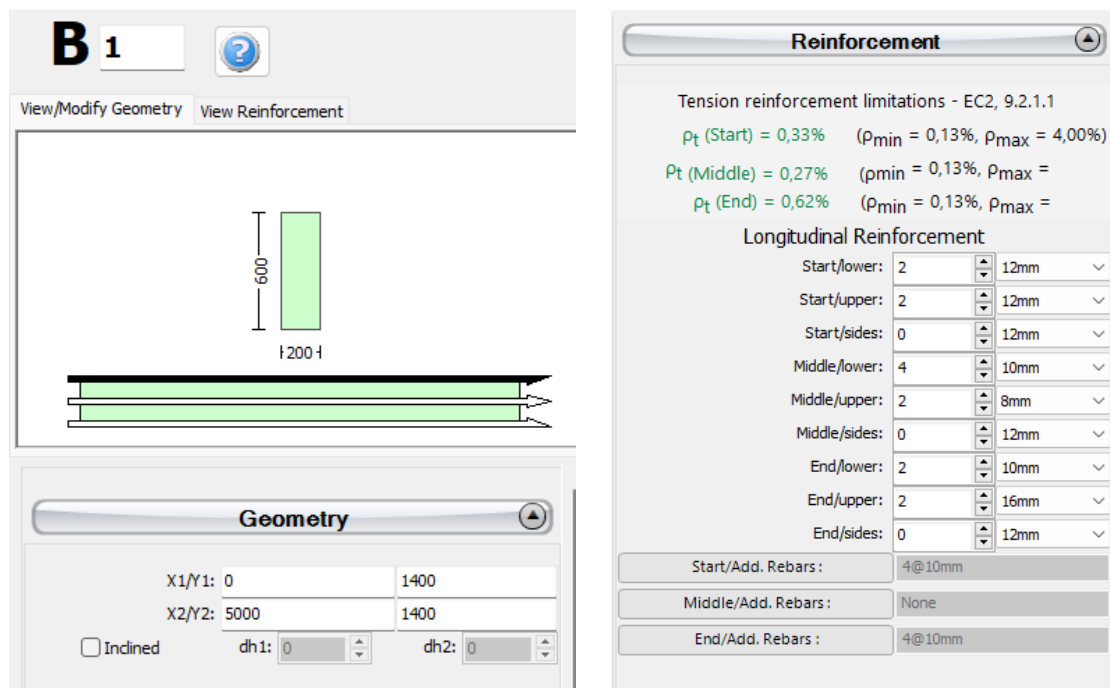
Με χρήση του εργαλείου building modeler του SeisMobuild εισάγεται αρχικά dwg αρχείο των ξυλοτύπων του κάθε ορόφου το οποίο θα λειτουργήσει ως οδηγός στην εισαγωγή των φερόντων στοιχείων του κτιρίου.

1ο βήμα είναι η εισαγωγή των υποστυλωμάτων στη σωστή θέση όπως αυτή ορίζεται από το dwg αρχείο και στη συνέχεια η τροποποίηση της γεωμετρίας και του οπλισμού των υποστυλωμάτων.



Εικόνα 5. 2: Εισαγωγή υποστυλωμάτων και οπλισμός τους

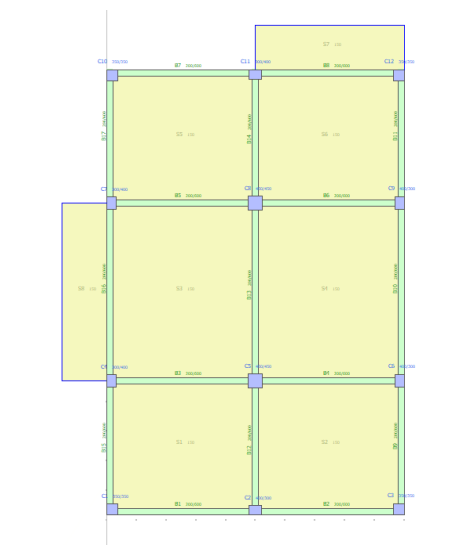
2ο βήμα είναι η εισαγωγή των δοκών και στη συνέχεια η τροποποίηση της γεωμετρίας και του οπλισμού των δοκών όπως αυτός έχει καταγραφεί στο αρχείο excel.



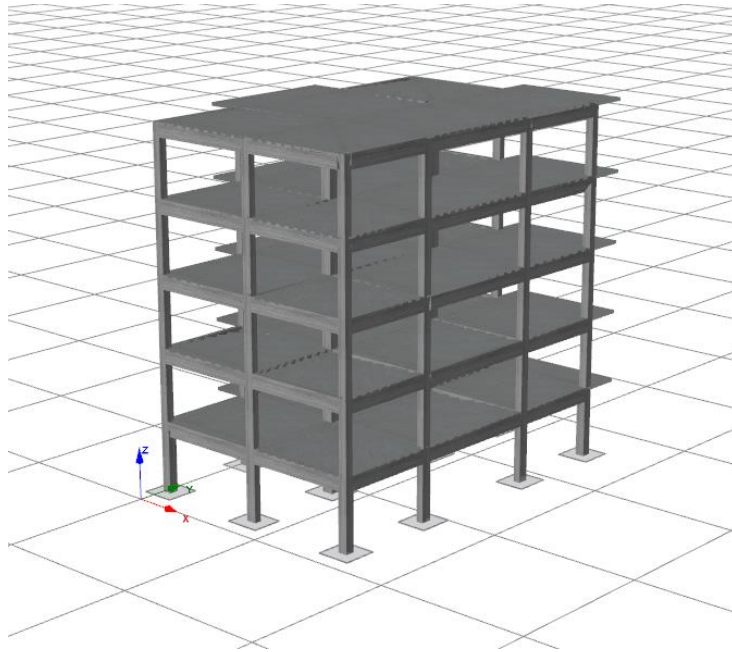
Εικόνα 5. 3: Εισαγωγή δοκών και οπλισμός τους

3ο βήμα είναι η εισαγωγή των πλακών και του οπλισμού τους.

Πλέον έχει διαμορφωθεί πλήρως ο στατικός φορέας του υφιστάμενου κτιρίου και έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 5. 4: Στατικός φορέας τυπικού ορόφου



Εικόνα 5. 5: Στατικός φορέας σε 3D

5.2 Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτιρίου

Προτού ξεκινήσει η ανάλυση πρέπει να οριστούν κάποιες παράμετροι οι οποίες αναφέρονται στην στοχευόμενη μετακίνηση. Αρχικά επιλέγονται οι στάθμες επιτελεστικότητας, δηλαδή η επιθυμητή συμπεριφορά για συγκεκριμένο σεισμό. Συγκεκριμένα επιλέγονται:

- Η στάθμη επιτελεστικότητας A2, όπου με 30% πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών του κτίσματος έχουμε περιορισμένες βλάβες στα στοιχεία του φέροντος οργανισμού και αμελητέες μετακινήσεις με περίοδο επαναφοράς τα 135 έτη.
- Η στάθμη επιτελεστικότητας B1, όπου με 10% πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών του κτίσματος έχουμε σημαντικές βλάβες στα στοιχεία του φέροντος και μέτριου μεγέθους μόνιμες μετακινήσεις με περίοδο επαναφοράς τα 475 έτη.

Greek Interventions Code. Table 2-1: Assessment or Redesign Objectives

Probability of exceedance of seismic action within a conventional life cycle of 50 years	Target Building Performance Levels		
	Damage Limitation	Significant Damage	Near Collapse
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 checked="" 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

Εικόνα 5. 6: Στάθμες επιτελεσιμότητας

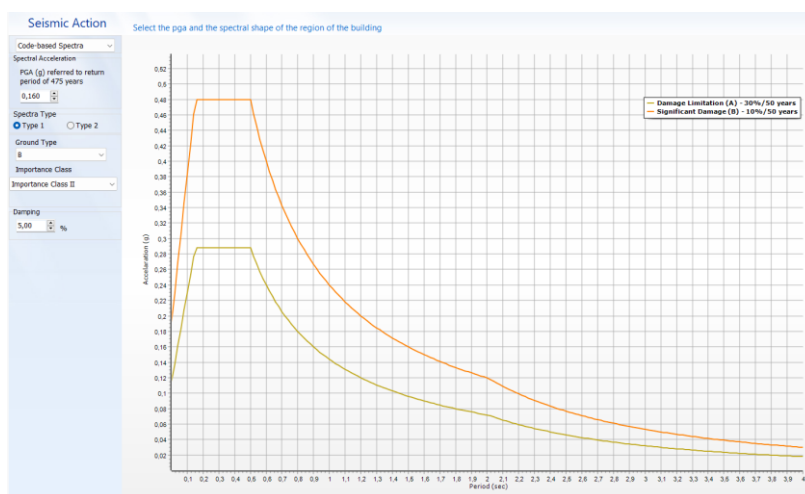
Σχετικά με τη σεισμική δράση επιλέγεται το ελαστικό φάσμα βάση του ΚΑΝ.ΕΠΕ Code-Based Spectra, φασματική επιτάχυνση PGA 0.16g τύπος φάσματος 1, κατηγορία εδάφους B, κατηγορία σπουδαιότητας II και απόσβεση 5%.

Η Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) επιλέγεται Ικανοποιητική (Sufficient DRL).

Ορίζεται ο τύπος του κτιρίου (Structural Type) σε Τύπο Κτιρίου 1 στον οποίο περιλαμβάνονται οι φορείς χαμηλής πλαστικότητας όπως κτίρια πριν το 1985, τα οποία έχουν μικρότερη υστερητική συμπεριφορά από τα κτίρια τύπου 2.

Τέλος ορίζονται τα κριτήρια καμπτικής αστοχίας (παραμόρφωση στροφής χορδής) και διατμητικής αστοχίας ως τα κριτήρια επιτελεσιμότητας με βάση τα οποία θα ελεγχθεί η κατασκευή.

Παρακάτω φαίνεται το ελαστικό φάσμα ΚΑΝ.ΕΠΕ.

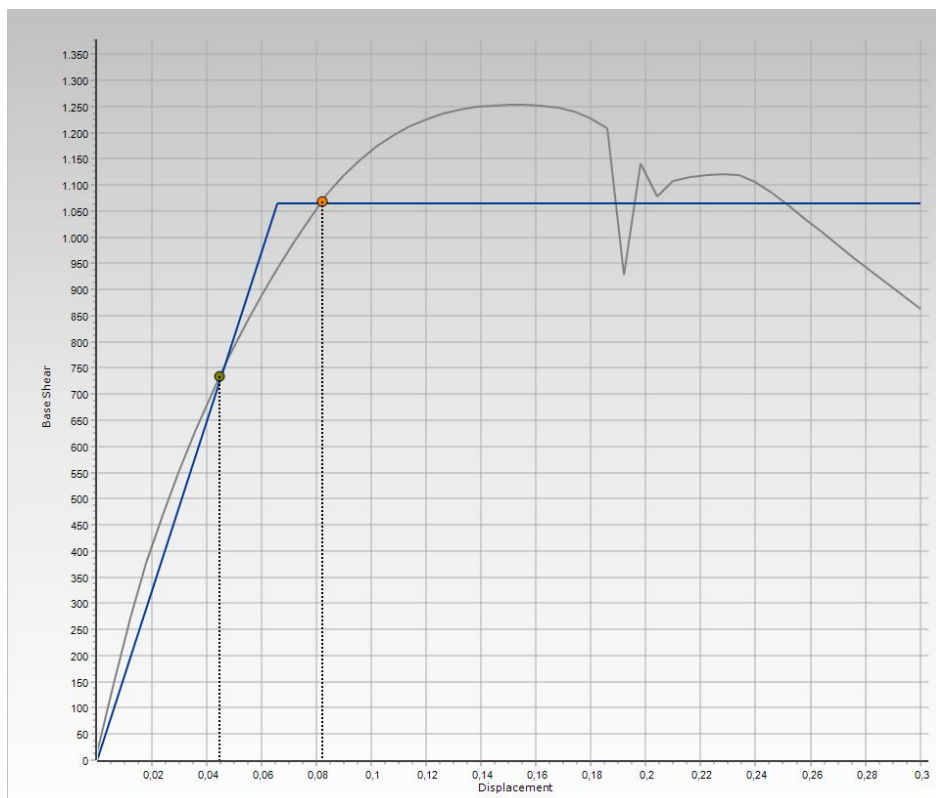


Εικόνα 5. 7: Ελαστικό φάσμα για τις δύο επιλεγμένες στάθμες επιτελεσιμότητας

5.2.1 Αποτελέσματα Αποτίμησης

Πραγματοποιήθηκαν μη γραμμικές στατικές αναλύσεις (pushover). Τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης φαίνονται στην παρακάτω καμπύλη Ικανότητας ή καμπύλη Αντίστασης (Capacity Curve), με τα δύο σημεία που επισημαίνονται να αντιστοιχούν στις μετακινήσεις των σταθμών επιτελεσματικότητας που επιλέχθηκαν παραπάνω.

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ



Εικόνα 5. 8: Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή κατά διεύθυνση Χ

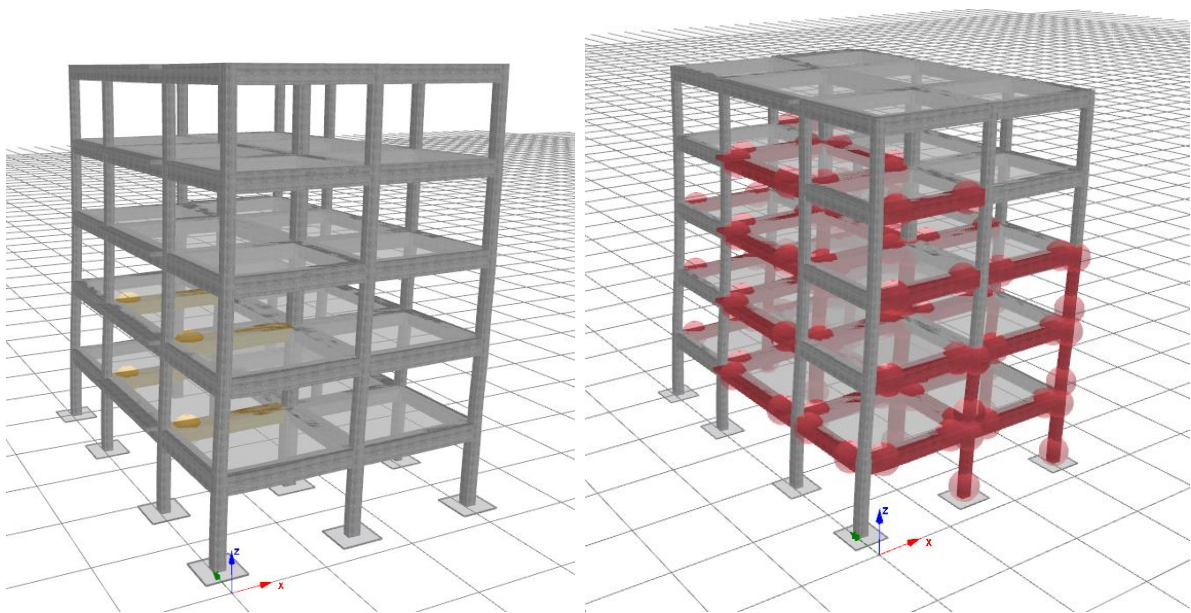
Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear	K_elas:	21911,44
0,0000	0,00	K_eff:	16228,07
0,0656	1065,23	a:	0,0000
0,1891	1065,23	Fy:	1065,23
0,3000	1065,23	dy:	0,0656
		Unbalanced Area Error(%):	85,11

Εικόνα 5. 9: Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση
Περιορισμένες Βλάβες	0.045
Σημαντικές Βλάβες	0.082

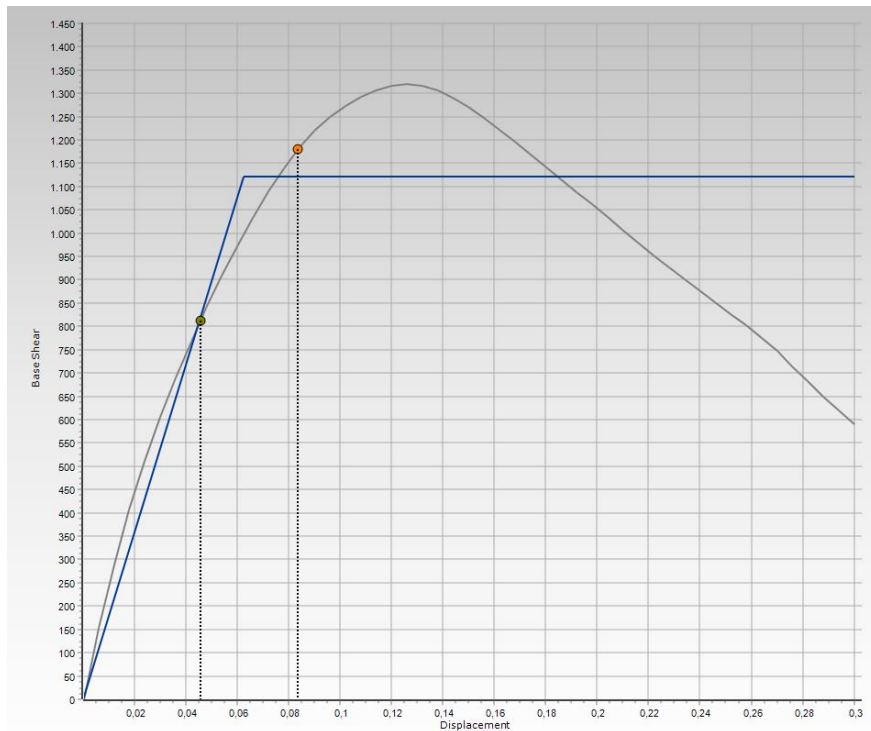
Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατίθενται παραπάνω η τέμνουσα διαρροής του κτιρίου είναι $F_y = 1065.23 \text{ kN}$ ενώ η μετακίνηση διαρροής είναι $\delta_y = 0.0656 \text{ m}$

Στις Περιορισμένες Βλάβες το κτίριο παρουσιάζει παραμορφώσεις σε δοκούς του 1ου και του 2ου ορόφου, στις οποίες έχουν δημιουργηθεί πλαστικές αρθρώσεις στο ένα άκρο της δοκού και παρατηρείται διαρροή. Διατμητική αστοχία παρατηρείται και στις δύο στάθμες επιτελεστικότητας και αφορά τις περισσότερες δοκούς του 1ου, 2ου, 3ου και 4ου ορόφου καθώς και σχεδόν τα μισά υποστυλώματα του 1ου και του 2ου ορόφου.



Εικόνα 5. 10: Αριστερά: Διαρροή λόγω κάμψης για στάθμη επιτελεστικότητας A2, Δεξιά αστοχία λόγω διάτμησης για στάθμη επιτελεστικότητας B1

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ



Εικόνα 5. 11: Καμπύλη ικανότητας κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή κατά διεύθυνση Υ

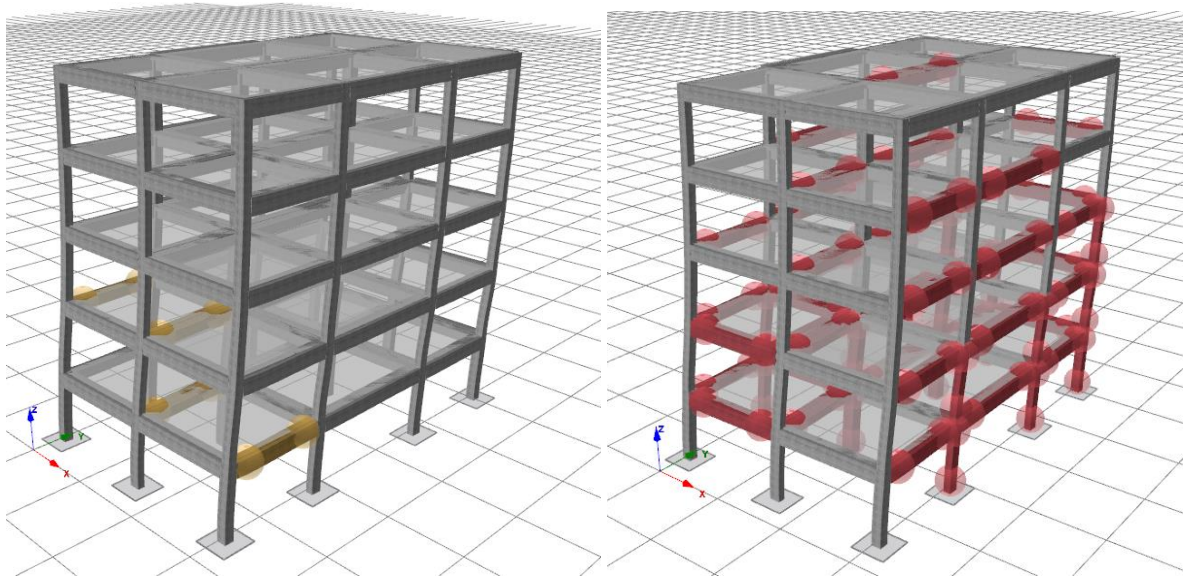
Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear	Parameter	Value
0,0000	0,00	K _{elas} :	27472,68
0,0623	1121,78	K _{eff} :	18001,09
0,1846	1121,78	a:	0,0000
0,3000	1121,78	F _y :	1121,78
		d _y :	0,0623
		Unbalanced Area Error(%):	85,39

Εικόνα 5. 12: Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση
Περιορισμένες Βλάβες	0.0456
Σημαντικές Βλάβες	0.0836

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατίθενται παραπάνω η τέμνουσα διαρροής του κτιρίου είναι $F_y = 1121.78 \text{ kN}$ ενώ η μετακίνηση διαρροής είναι $\delta y = 0.0623 \text{ m}$

Στις Περιορισμένες Βλάβες το κτίριο παρουσιάζει παραμορφώσεις σε δοκούς του 1ου και του 2ου ορόφου, στις οποίες έχουν δημιουργηθεί πλαστικές αρθρώσεις στα δύο άκρα της δοκού και παρατηρείται διαρροή. Διατμητική αστοχία παρατηρείται και στις δύο στάθμες επιτελεσματικότητας και αφορά τις περισσότερες δοκούς σε όλους τους ορόφους καθώς και σχεδόν τα μισά υποστυλώματα του 1ου, 2ου ορόφου και 3ου ορόφου.



Εικόνα 5. 13: Αριστερά: Διαρροή λόγω κάμψης για στάθμη επιτελεσματικότητας A2, Δεξιά αστοχία λόγω διάτμησης για στάθμη επιτελεσματικότητας B1

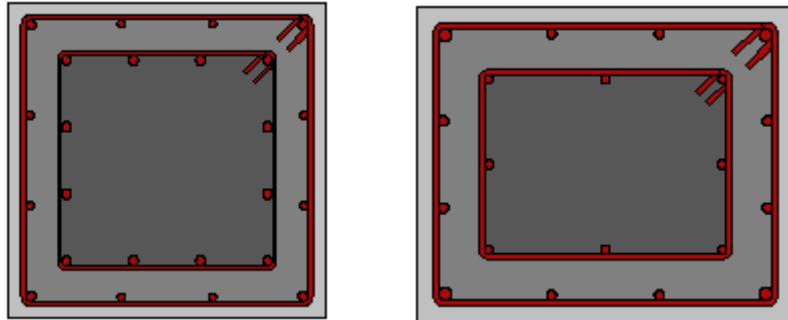
Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και για τις άλλες μη γραμμικές στατικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τριγωνική κατανομή της σεισμικής φόρτισης.

5.3 Ενίσχυση Υφιστάμενου Κτιρίου

Τα αποτελέσματα της αποτίμησης του υφιστάμενου κτιρίου καταστούν αναγκαία την ενίσχυση του καθώς παρατηρούνται σημαντικές βλάβες στα περισσότερα στοιχεία του φέροντος οργανισμού. Η μέθοδος ενίσχυσης που επιλέχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ενίσχυση με χρήση μανδυνών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

5.3.1 Ενίσχυση Υποστυλωμάτων

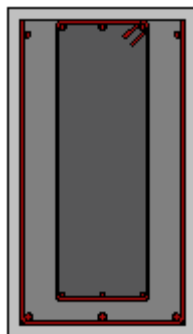
Για τις ενισχύσεις στα υποστυλώματα χρησιμοποιήθηκε περιμετρικός μανδύας 10cm (κατηγορία σκυροδέματος C25/30), και τοποθετήθηκαν συνδετήρες $\Phi 10/10$. Ο κύριος οπλισμός υποστυλωμάτων είναι 4 $\Phi 20$ στις γωνίες των διατομών (κατηγορίας χάλυβα οπλισμού B500) και $\Phi 16$ ενδιάμεσος διαφορετικός σε ποσότητα σε κάθε περίπτωση ανάλογα τη γεωμετρία του κάθε υποστυλώματος.



Εικόνα 5. 14: Διατομές ενισχυμένων υποστυλωμάτων με μανδύες από Ω.Σ.

5.3.2 Ενίσχυση δοκών

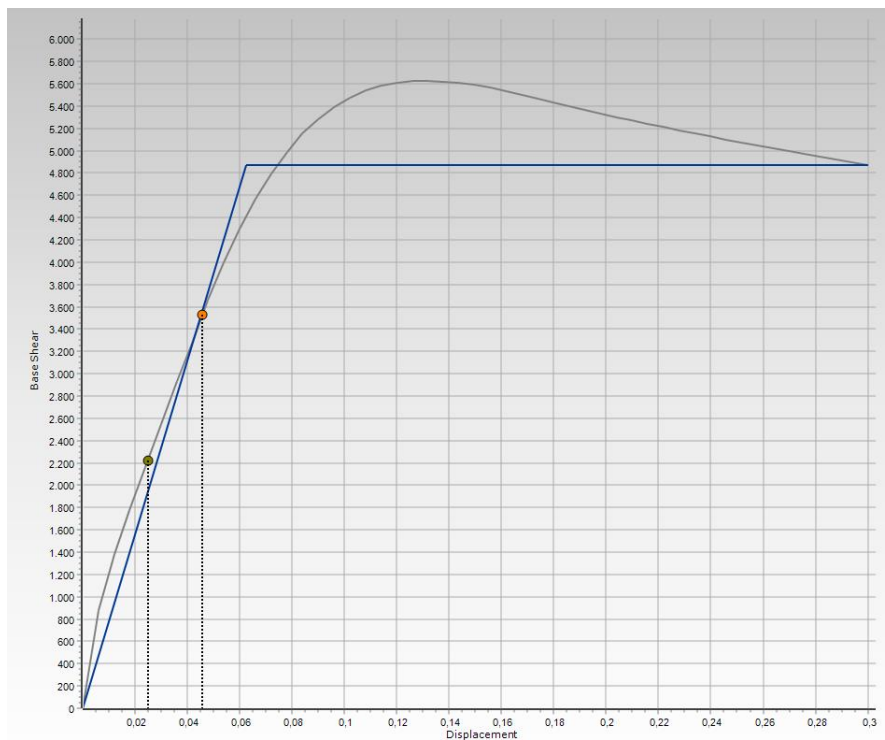
Για τις ενισχύσεις των δοκών χρησιμοποιήθηκε ανοιχτού τύπου μανδύας καθώς δεν είναι εφικτή η θραύση των πλακών άνω από τις προς ενίσχυση δοκούς. Τοποθετήθηκε μανδύας 10 cm (κατηγορία σκυροδέματος C25/30), και συνδετήρες $\Phi 10/15$. Ο οπλισμός των δοκών είναι $\Phi 14$ κάτω και $\Phi 12$ άνω.



Εικόνα 5. 15: Διατομές ενισχυμένων δοκών με μανδύες από Ω.Σ.

5.3.3. Αποτελέσματα Ενισχυμένου Κτιρίου

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ



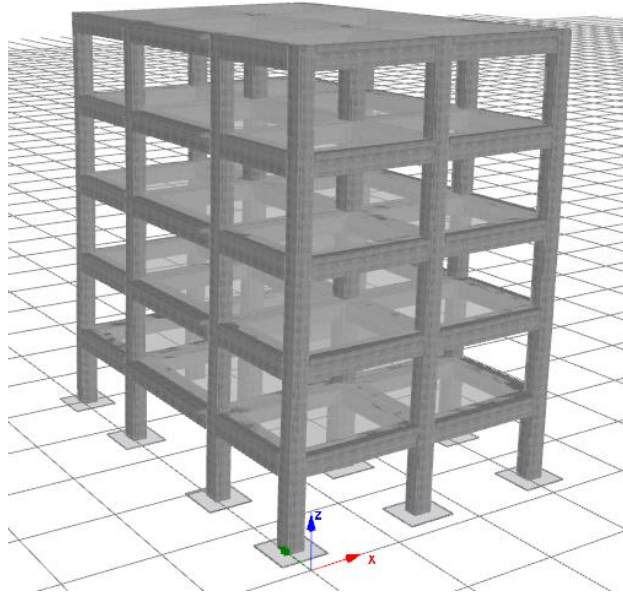
Εικόνα 5. 16: Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου κτιρίου για ομοιόμορφη κατανομή κατά διεύθυνση Χ

Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear	Parameter	Value
0,0000	0,00	K_elas:	145218,89
0,0625	4873,34	K_eff:	77938,50
0,3000	4873,34	a:	0,0000
0,3000	4873,34	Fy:	4873,34
		dy:	0,0625
		Unbalanced Area Error(%):	92,63

Εικόνα 5. 17: Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

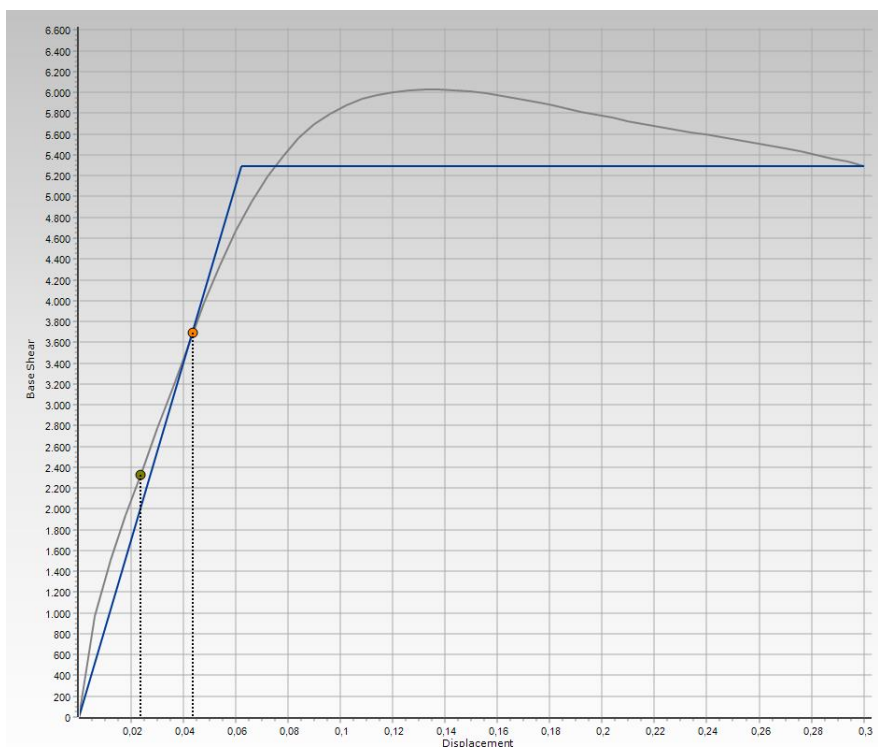
Στάθμη επιτελεσματικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση
Περιορισμένες Βλάβες	0.0250
Σημαντικές Βλάβες	0.0458

Η στοχευόμενη μετακίνηση για στάθμη επιτελεστικότητας B (Σημαντικές Βλάβες), είναι 0.0458 m ενώ η μετακίνηση αστοχίας είναι 0.0625 m. Συνεπώς το κτίριο παρουσιάζει επάρκεια. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι 4873.34 kN. Δεν παρατηρείται καμία αστοχία των στοιχείων για τα επιλεγμένα κριτήρια ελέγχου άρα επαληθεύεται η επάρκεια του κτιρίου.



Εικόνα 5. 18: Φέρουσα ικανότητα κτιρίου για στάθμες επιτελεστικότητας A2 και B1

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y



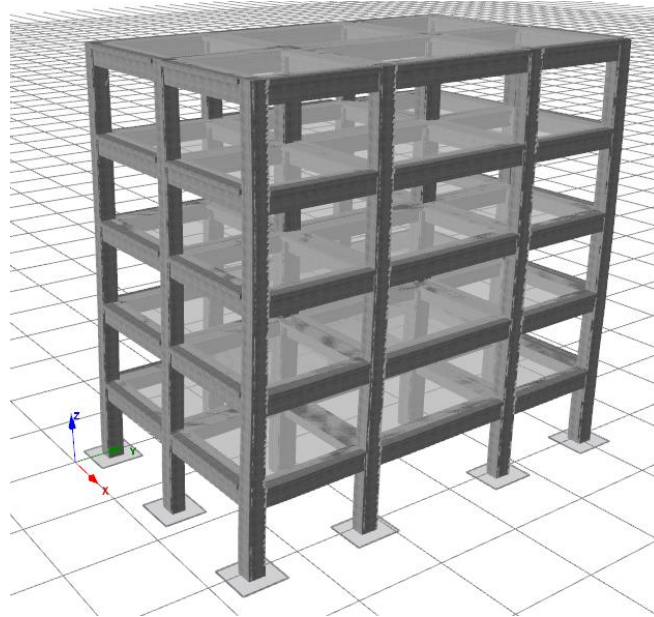
Εικόνα 5. 19: Καμπύλη ικανότητας ενισχυμένου κτιρίου με ομοιόμορφη κατανομή κατά διεύθυνση Y

Idealized Curve		Linearization Data	
Displacement	Base Shear	Parameter	Value
0,0000	0,00	K_elas:	163249,01
0,0622	5293,72	K_eff:	85117,67
0,3000	5293,72	a:	0,0000
0,3000	5293,72	Fy:	5293,72
		dy:	0,0622
		Unbalanced Area Error(%):	91,50

Εικόνα 5. 20: Στοιχεία διγραμμικής καμπύλης

Στάθμη επιτελεστικότητας	Στοχευόμενη μετακίνηση
Περιορισμένες Βλάβες	0.0237
Σημαντικές Βλάβες	0.0437

Η στοχευόμενη μετακίνηση για στάθμη επιτελεστικότητας B (Σημαντικές Βλάβες), είναι 0.0437 m ενώ η μετακίνηση αστοχίας είναι 0.0622 m. Συνεπώς το κτίριο παρουσιάζει επάρκεια. Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι 5293.72 kN. Δεν παρατηρείται καμία αστοχία των στοιχείων για τα επιλεγμένα κριτήρια ελέγχου άρα επαληθεύεται η επάρκεια του κτιρίου.



Εικόνα 5. 21: Φέρουσα ικανότητα κτιρίου για στάθμες επιτελεστικότητας A2 και B1

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται από όλες τις αναλύσεις που απαιτούνται σύμφωνα με τον κανονισμό, για ομοιόμορφη και τριγωνική κατανομή των σεισμικών φορτίων.

6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν εις βάθος δύο αντικείμενα ήτοι ενεργειακή αναβάθμιση και αντισεισμική αναβάθμιση κτιρίων. Αποτελεί γεγονός πως σήμερα πληθώρα κτιρίων στην Ελλάδα δεν διαθέτουν την απαραίτητη ενεργειακή και αντισεισμική προστασία με αποτέλεσμα τα κτίρια αυτά να χαρακτηρίζονται ως απειλή για δύο κύριους λόγους. Ο πρώτος λόγος σχετίζεται με τον κίνδυνο κατάρρευσης κτιρίων που δύναται να έχουν υποστεί βλάβη από παλαιότερους σεισμούς και δεν έχουν επισκευαστεί. Ο δεύτερος λόγος αφορά το ανθρακικό αποτύπωμα που αφήνουν τα Ελληνικά κτίρια στο περιβάλλον. Μάλιστα πλειονότητα των υφιστάμενων κτιρίων έχουν χτιστεί πριν από το 1980 που σημαίνει ότι δεν διαθέτουν την απαραίτητη μόνωση, αυξάνοντας αυτόματα τις ενεργειακές ανάγκες των χρηστών.

Σκοπός της διπλωματικής είναι η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου που μελετήθηκε ως προς την ενεργειακή και αντισεισμική του συμπεριφορά, καθώς και η πρόταση παρεμβάσεων που μπορούν να υλοποιηθούν ώστε το ενισχυμένο πλέον κτίριο να πληροί τις προδιαγραφές των τωρινών ισχυόντων κανονισμών.

Πιο συγκεκριμένα κατά την ενεργειακή αποτίμηση το κτίριο βρέθηκε να είναι σε κατάταξη Η (η κατώτερη) πράγμα που σημαίνει ότι το κτίριο έχει μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις λόγω των συστημάτων που χρησιμοποιεί (θέρμανσης, ψύξης κλπ.), καθώς και μεγάλες θερμικές απώλειες λόγω κακής έως και ανύπαρκτης στεγανότητας της κατασκευής.

Προτάθηκαν λοιπόν παρεμβάσεις όπως εξωτερική θερμομόνωση, αντικατάσταση κουφωμάτων με πιστοποιημένα ενεργειακά κουφώματα και αλλαγή συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ΖΝΧ, με χρήση του λογισμικού TEE KENAK, με αποτέλεσμα την αναβάθμιση του κτιρίου και την κατάταξη του σε κατηγορία Γ και Β σε κάθε σενάριο αντίστοιχα. Τέλος έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας και το κόστος των παρεμβάσεων.

Όσον αφορά το αντισεισμικό μέρος της διπλωματικής, έγινε η προσομοίωση του φέροντος οργανισμού του εξεταζόμενου κτιρίου με χρήση του λογισμικού Seismobuild της Seismosoft, και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής με τη μέθοδο ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover), σύμφωνα με τις αρχές του Κανονισμού Επεμβάσεων (KAN.ΕΠΕ). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μεγάλο μέρος των

φερόντων στοιχείων αστοχεί για τις δύο επιλεγθείσες Στάθμες Επιτελεστικότητας A2 και B1 όπως ήταν άλλωστε και αναμενόμενο.

Στη συνέχεια έγινε ενίσχυση των υποστυλωμάτων και των δοκών με τη χρήση μανδυνών από ΩΣ. Αρχικά έγινε ενίσχυση μόνο των υποστυλωμάτων των δύο κατώτερων ορόφων όπου παρουσιαζόταν και το μεγαλύτερο πρόβλημα με αποτέλεσμα όμως όχι τη λύση αλλά τη μεταφορά του προβλήματος στους ανώτερους ορόφους, συνεπώς κρίθηκε ότι η ενίσχυση θα πρέπει να αφορά όλα τα υποστυλώματα. Τέλος έγινε η αποτίμηση του νέου ενισχυμένου φορέα κατά η οποία έδειξε ότι το κτίριο πλέον επαρκεί.

Βιβλιογραφία

.energy.gov, 2021. *Installing and Maintaining a Small Wind Electric System*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.energy.gov/energysaver/installing-and-maintaining-small-wind-electric-system>

allaboutenergy.gr, 2021. *Αιολική ενέργεια*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.allaboutenergy.gr/AiolikiEnergeia.html>

allaboutenergy.gr, 2021. *Βιομάζα*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.allaboutenergy.gr/Biomaza.html>

allaboutenergy.gr, 2021. *Ηλιακή ενέργεια*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: www.allaboutenergy.gr/HliakiEnergeia.html

allaboutenergy, 2021. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>

Balaras, C., Drousa, K., Dascalaki, E. & Kontoyiannidis, S., 2005. Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy Buildings*, pp. 429-442.

Biçen, T. & Vardar, A., 2018. A Research on Solar Based Renewable Energy Production. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, pp. 59-68.

Chel, A. & Kaushik, G., 2017. In the present day, the dwelling and habitat are invariably linked to making buildings as comfortable and convenient possible all over the world. The building sector is growing at a rapid pace by investing 30–40% of total global basic resources. The pre. *Alexandria Engineering Journal*, pp. 1-15.

CORDIS, 2018. *Roof top wind turbine for urban areas*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://cordis.europa.eu/article/id/244881-wind-turbine-for-city-rooftops>

cres.gr, 2021. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.cres.gr/energyhubforall/3.1.html>

cres.gr, 2021. *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm

CTCN, 2021. *Building-integrated wind turbines*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.ctc-n.org/technologies/building-integrated-wind-turbines>

Drew, D., Barlow, J. & Cockerill, T., 2013. Estimating the potential yield of small wind turbines in urban areas: A case study for Greater London, UK. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, pp. 104-111.

Dritsos, S., 1995. Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Greece. *Journal of Structural Engineering*, 22(1), pp. 11-22.

European Commission, 2021. *2030 climate & energy framework*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

EWEA, 2021. *Wind Energy: The Facts*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: www.windenergy-the-facts.org

Frangoy, M., Pilakoutas, K. & Dritsos, S., 1993. *Repair/strengthening of columns by a simple localized strengthening technique*. Edinburgh, s.n.

Hayter, S. & Kandt, A., 2011. *Renewable Energy Applications for Existing Buildings*. Maggiore, NREL, pp. 1-17.

Kim, J. & La Fave, J., 2008. *Joint shear behavior prediction in RC beam-column connections subjected to seismic lateral loading*. Beijing, s.n.

Koufoudakis, A., 2012. *Repair & Rehabilitation of Concrete Structures with the use of FRP*. Guildford: University of Surrey .

Predescu, M., 2016. Economic evaluation of small wind turbines and hybrid systems for residential use: The case of Romania. *R. bras. Planej. Desenv., Curitiba*, pp. 185-197.

pure-eie.com, 2009. *Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα σε κτίρια. Τεχνικός οδηγός και παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών*, s.l.: www.pure-eie.com.

Stathopoulos, T. και συν., 2018. Urban wind energy: Some views on potential and challenges. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, pp. 146-157.

UNIDO/UNDP, 1983. *Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings. Project RER/79/015, Austria : Building Construction under Seismic Conditions in the Balkan Region*.

Αδράσκελα, Π., 2015. *Επισκευή αποσπασμένων επιφανειών σκυροδέματος δομικών στοιχείων κτιρίων με σύνθετα υλικά*. Αθήνα: ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας .

Αξαρή , Κ., 2001. *Ενεργειακός Σχεδιασμός και Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων - Γενικές Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού* , Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.

Βουλή των Ελλήνων, 2013. *ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4122 Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις*. Αθήνα: Εφημερίς της Κυβερνήσεως .

Γαρυφαλής, Α., 2000. *Βλάβες σε κόμβους οπλισμένου σκυροδέματος, αίτια εμφάνισης αυτών και μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης των αντοχών*. Πάτρα, Πολυτεχνείο Πάτρας.

Γιαννόπουλος, Ι., 2005. *Βλάβες από το Σεισμό της Αθήνας 1999*. Αθήνα: Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ.

Δανδιλιάκης, Β., 2020. *Σχεδιασμοί Ελλάδας - Ιαπωνίας - ΗΠΑ: Συγκριτική εξέλιξη και κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες αποτελεσματικότητας*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://greenapple.gr/2020/12/06/αντισεισμικοί-κανονισμοί-και-σχεδια/> [Πρόσβαση 05 10 2021].

Δημοσθένους , Μ., 2009. *Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία*, Θεσσαλονίκη: Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΚΑΚ).

Δουδούμης, Ι., 2018. *Η Εξέλιξη των Αντισεισμικών Κανονισμών και ο Ρόλος του Σεισμού της Θεσσαλονίκης το 1978*. Θεσσαλονίκη, 16th European Conference on Earthquake Engineering.

Δρίτσος, Σ., 2005. *Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα*. 3η επιμ. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.

Δρίτσος, Σ., 2007. *Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών από ΟΣ. Διαδικασίες - Τεχνικές και Διαστασιολόγηση*. 3 επιμ. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.

ΕΑΚ, 2000. *Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΦΕΚ218Β/20-12/1999*, Αθήνα: ΟΑΣΠ.

ΕΛΟΤ EN 196-1, 2001. *Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου – Μέρος 1 : Προσδιορισμός αντοχών*, Αθήνα : ΤΕΕ.

ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017. *Κανονισμός Επεμβάσεων. 2η Αναθεώρηση*, Αθήνα: ΟΑΣΠ.

ΚΑΠΕ, 2012. s.l.: ΚΑΠΕ.

ΚΑΠΕ, 2021. *Ενεργητικά Ηλιακά*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_active_solar.htm

Καρέλα, Ν., Δρίτσος, Σ., Ματζιάρης, Π. & Καμπιτάκη, Μ., 2001. *Τεχνικές αποκατάστασης κτιρίων στην Πάτρα μετά το Σεισμό του 1993*. Θεσσαλονίκη, s.n.

ΚΕΝΑΚ, 2017. *Σχέδιο Κανονισμού για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα των Κτιρίων - ΚΕΝΑΚ*, Αθήνα : ΤΕΕ.

Κουτσαδέλης, Κ., 2014. *Οι σεισμοί του 1953 στα νησιά του Ιονίου*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.kathimerini.gr/society/487971/oi-seismoi-toy-1953-sta-nisia-toy-ionioy/>

[Πρόσβαση 02 10 2021].

Μανίκας, Π., 2018. *Βλάβες σε δομικά και μη δομικά στοιχεία από σεισμό. Τύποι και παράγοντες που επηρεάζουν τα κτίρια*. Αθήνα: ΕΚΠΑ, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μαρκάκη, Ζ., 2010. *Βιοκλιματικός και Οικολογικός Σχεδιασμός Κτιρίων*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. .

Μοροπούλου, Α. & Λαμπρόπουλος, Κ., 2020. *Τσιμέντο και Σκυρόδεμα, Δομικά Υλικά. Διδακτικές Σημειώσεις 9ου εξαμήνου*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Μπουκουβάλας, Γ. & Παπαδημητρίου, Α., 2010. *Ευρωκώδικας EC-8, Αντισεισμικός Σχεδιασμός Φερουσών Κατασκευών, Μέρος 1: Σεισμικές Δράσεις*, Τρίπολη: ΤΕΕ Τρίπολης.

Νικητόπουλος, Γ. & Σταματόπουλος, Ι., 2012. *Επισκευή και ενίσχυση υποστυλωμάτων με παραδοσιακές μεθόδους*. Πειραιάς: Εργασία Εξαμήνου. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. ΤΕΙ Πειραιά.

Νούκου, Π., 2018. *Η εξέλιξη των Αντισεισμικών Κανονισμών στην Ελλάδα σε συνάρτηση με τα σεισμικά γεγονότα και τις επιπτώσεις αυτών στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον, στη δημόσια υγεία και στην οικονομική ζωή*. Αθήνα: ΕΚΠΑ.

Παπαζάχος, Α. & Παπαζάχου, Γ., 1999. *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ζήτη.

Παπαμανώλης, Ν., 2015. *Κτίριο και Περιβάλλον*. σ.Ι.:Πολυτεχνείο Κρήτης.

Παπαφωτίου, Α., 2002. *Σεισμοί και κατασκευές στην Κορινθία – Ιστορική Αναδρομή*. Κόρινθος : ΙΔΙΩΤΙΚΗ.

Σαρηγιάννη, Α., 2020. *Βλάβες Τοιχοποιίας*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών : ΕΜΠ.

Σαρηγιάννη, Α., χ.χ. *Βλάβες Τοιχοποιίας*. Σέρρες: ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας.

Ταταγιώτη, Δ., 2011. *Μελέτη του χρόνου ζωής κατασκευών από σπλισμένο σκυρόδεμα υπό εναλλασσόμενες διαβρωτικές συνθήκες*. ΕΜΠ: Αθήνα.

ΤΕΕ, 2020. *Επισκευαστικά Κονιάματα*. [Ηλεκτρονικό] Available at:

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko6.1.htm

[Πρόσβαση 01 07 2021].

Τσίμας, Σ. & Τσιβιλής, Σ., 2001. *Επιστήμη και Τεχνολογία του Τσιμέντου*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.

Τσούτσου, Θ. & Γκούσκος, Ζ., 2010. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι εφαρμογές τους στον κτιριακό τομέα*, Αθήνα: ktirio.gr.

ΥΠΕΝ, 2017. Αθήνα:.

ΥΠΕΝ, 2017. *National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings*, Αθήνα: ΥΠΕΝ.

ΥΠΕΧΩΔΕ, 1999. *Συνοπτικές Οδηγίες για την Επισκευή Φέροντος Οργανισμού Κτιρίων από ΟΣ*, Αθήνα : ΥΠΕΧΩΔΕ.

Φαρδής, Μ., 2004. *Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 1998-1:2004 - Ευρωκώδικας 8: "Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών - Μέρος 1 Γενικοί Κανονισμοί, Σεισμικές Δράσεις, Κανόνες για Κτίρια"*, Πάτρα : Πανπιστήμιο Πάτρας.