



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην
κατασκευή κτιρίων: Μηχανικές ιδιότητες και ανάλυση
κύκλου ζωής**

Διπλωματική εργασία

ΤΟΥ

Φράγκου Χρύσανθου (Α.Μ.: 46145270)

Επιβλέποντες καθηγητές: Δρ. Χριστιάνα Παπαποστόλου, Δρ. Κοσμάς Καββαδίας



Αθήνα, Ιούλιος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη προς την οικογένειά μου και σε όλους όσους συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Καθώς προχωρούμε στη ζωή, αντιλαμβάνομαι ότι κάθε πρόοδος και κάθε επίτευγμα οφείλονται στη συνεχή αφοσίωση μας προς τους στόχους μας. Όπως λέει η παλιά φράση, 'ό,τι σπείρεις, θα θερίσεις', η συνεχής προσπάθεια έχει αποδώσει τους καρπούς της. Η υποστήριξη σας και οι συμβουλές σας μου έδωσαν την αυτοπεποίθηση και τη δύναμη να προχωρήσω στο επόμενο κεφάλαιο της ζωής μου. Σας ευχαριστώ για την αγάπη και την στήριξη, που αποτελούν το θεμέλιο για κάθε μου επιτυχία.

Υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατασκευή κτιρίων: Μηχανικές ιδιότητες και ανάλυση κύκλου ζωής

Διπλωματική εργασία
του
Φράγκου Χρύσανθου (Α.Μ.: 46145270)

Επιβλέποντες καθηγητές: Δρ. Χριστιάνα Παπαποστόλου, Δρ. Κοσμάς Καββαδίας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12^η Ιουλίου 2024

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

Δρ. Χριστιάνα
Παπαποστόλου

Δρ. Κοσμάς Καββαδίας

Δρ. Αντώνιος Νάζος

Αθήνα, Ιούλιος 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φράγκος Χρύσανθος του Σπυρίδωνος, με αριθμό μητρώου 46145270 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών

(Υπογραφή)



.....
Φράγκος Χρύσανθος

Περίληψη

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιείται ανασκόπηση της επίδρασης των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή και ιστορική αναδρομή της ενεργειακής τους απόδοσης. Παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση του κτιριακού αποθέματος και η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων κατοικιών στην Ελλάδα. Παράλληλα, συνιστώνται μέθοδοι βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης μέσω πρόσφατων προγραμμάτων αναβάθμισης και ανακαίνισης.

Εξετάζονται τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) και οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις, τα οποία επιδρούν σημαντικά στην κλιματική αλλαγή. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησής τους και οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την επόμενη δεκαετία.

Στην μελέτη επίσης παρουσιάζεται η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) των κτιρίων και των δομικών υλικών, οι προκλήσεις και αβεβαιότητες στην εφαρμογή της, και η ιστορική της εξέλιξη. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος, την ενσωματωμένη ενέργεια των δομικών υλικών, και τις μεθόδους μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα. Εξετάζονται και παρουσιάζονται τόσο τα συμβατικά όσο και τα οικολογικά, τα ανακυκλώσιμα αλλά και τα θερμομονωτικά οικοδομικά υλικά ως προς το περιβαλλοντικό αντίκτυπο τους.

Η έρευνα αυτή στοχεύει στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας των ανακυκλωμένων υλικών στην κατασκευή στην Ελλάδα. Μετά από μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση των διαθέσιμων ανακυκλωμένων υλικών και των μηχανικών τους ιδιοτήτων, επιλέχθηκαν τα καταλληλότερα για εφαρμογή σε ελληνικές συνθήκες. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη περίπτωσης σε ένα τυπικό ελληνικό κτίριο, όπου συγκρίθηκε η ενεργειακή απόδοση των ανακυκλωμένων υλικών με αυτή των συμβατικών. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση κύκλου ζωής μέχρι και τη φάση της παραγωγής, δηλαδή την εξόρυξη και τη μετατροπή των πρώτων υλών σε κατασκευαστικά υλικά, καθώς και μια εκτίμηση του κόστους παραγωγής τους, ώστε να αξιολογηθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους.

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενεργειακής μελέτης του κτιρίου, της ανάλυσης κύκλου ζωής των υλικών αυτών και της εκτίμησης κόστους της διαδικασίας, καταλήγοντας σε σημαντικά συμπεράσματα για την ενεργειακή βελτίωση και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κτιρίων. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι με τη χρήση των επιλεγμένων ανακυκλώσιμων υλικών μπορούμε να επιτύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας μειώνοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις κατά 3.75% και τις εκπομπές CO₂ κατά 3.78%. Όσον αφορά την ανάλυση κύκλου ζωής και την εκτιμώμενη κοστολόγηση των υλικών αυτών, τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση των εκπομπών κατά 15% στις περισσότερες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά μια αύξηση κόστους παραγωγής κατά 10%.

Λέξεις κλειδιά:

υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος, μηχανικές ιδιότητες, ανάλυση κύκλου ζωής, βιωσιμότητα δομικών υλικών.

Abstract

In the context of this dissertation, a review is conducted concerning the impact of buildings on climate change and the historical evolution of their energy performance. The current state of the building stock and the energy consumption of residential buildings in Greece are presented. Additionally, methods for improving energy efficiency through recent upgrade and renovation programs are recommended.

The study examines excavation, construction, and demolition waste (ECDW) and their environmental impacts, which significantly contribute to climate change. The advantages of their reuse and the European Union's targets for the next decade are discussed.

The dissertation also presents the Life Cycle Analysis (LCA) of buildings and construction materials, the challenges and uncertainties in its application, and its historical development. Special emphasis is placed on low environmental impact materials, the embodied energy of construction materials, and methods for reducing the carbon footprint. Both conventional and eco-friendly, recyclable, and thermal insulating building materials are examined and presented in terms of their environmental impact.

This research aims to evaluate the sustainability of recycled materials in construction in Greece. After an extensive literature review of the available recycled materials and their mechanical properties, the most suitable ones for application in Greek conditions were selected. Subsequently, a case study was conducted on a typical Greek building, comparing the energy performance of recycled materials with that of conventional ones. A life cycle analysis was then carried out up to the production phase, including the extraction and conversion of raw materials into construction materials, as well as an estimation of their production costs, to evaluate their environmental footprint.

Finally, the results of the building's energy study, the life cycle analysis of these materials, and the cost assessment of the process are presented, leading to significant conclusions about energy improvement and the reduction of the environmental footprint of buildings. The results indicate that using the selected recycled materials can achieve energy savings, reducing energy requirements by 3.75% and CO₂ emissions by 3.78%. Regarding the life cycle analysis and the estimated costing of these materials, the results showed a 15% reduction in emissions in most categories of environmental impacts but a 10% increase in production costs.

Keywords:

materials with low environmental footprint, mechanical properties, life cycle analysis, sustainability of structural materials.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
Περίληψη	5
Abstract.....	6
Κατάλογος Εικόνων.....	9
Κατάλογος Πινάκων	10
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	12
Κατάλογος Σχημάτων	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	14
1.1 Γενικά	14
1.2 Σκοπός Εργασίας.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Κτίρια και Ενεργειακή Απόδοση.....	16
2.1 Επίδραση των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή.....	16
2.2 Ιστορική αναδρομή ενεργειακής απόδοσης.....	17
2.3 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	17
2.4 Ελληνική Νομοθεσία	18
2.5 Υπάρχουσα κατάσταση κτιριακού αποθέματος και η ενεργειακή του απόδοση	19
2.6 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων κατοικιών στην Ελλάδα.....	20
2.7 Μέθοδοι για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων	22
2.8 Προγράμματα ενεργειακής αναβάθμισης και ανακαίνισης κατοικιών	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων	24
3.1 Ορισμός και περιγραφή των ΑΕΚΚ.....	24
3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ΑΕΚΚ.....	25
3.3 Πλεονεκτήματα από την επαναχρησιμοποίηση των δομικών υλικών.....	26
3.4 Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία	27
3.5 Εθνικό σχέδιο Δράσης για τις Πράσινες Δημόσιες Συμβάσεις.....	28
3.6 Αειφορική διαχείριση των επιπτώσεων των δομικών υλικών.....	28
3.7 Τι είναι η περιβαλλοντική δήλωση προϊόντος.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανάλυση κύκλου ζωής στα οικοδομικά υλικά	30
4.1 Ορισμός και περιγραφή της ΑΚΖ.....	30
4.2 Κτιριακά εργαλεία ΑΚΖ.....	31

4.3 Προκλήσεις και αβεβαιότητες στην εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στον σχεδιασμό κτιρίου.....	31
4.4 Σύντομη ιστορική αναδρομή ΑΚΖ.....	32
4.5 Κύκλος ζωής δομικών υλικών.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος.....	35
5.1 Σημασία των υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατασκευή και ανακαίνιση κτιρίων.....	35
5.2 Ενσωματωμένη ενέργεια δομικού υλικού.....	35
5.3 Ανάλυση και αξιολόγηση της ενσωματωμένης ενέργειας.....	36
5.4 Μείωση ενσωματωμένης ενέργειας σε κατασκευές.....	38
5.5 Μεθοδολογία υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα ενός κτιρίου.....	39
5.6 Κριτήρια επιλογής υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Οικοδομικά Υλικά.....	40
6.1 Ξύλο.....	41
6.2 Σκυρόδεμα.....	41
6.3 Βασικά Μέταλλα.....	43
6.3.1 Αλουμίνιο.....	43
6.3.2 Χάλυβας.....	44
6.3.3 Χαλκός.....	44
6.4 Γυαλί.....	45
6.5 Τσιμέντο.....	45
6.6 Γύψος.....	46
6.7 Γυψοσανίδα.....	47
6.8 Λίθοι.....	48
6.9 Κεραμικά.....	48
6.10 Θερμομονωτικά υλικά στην αγορά.....	49
6.11 Οικολογικά υλικά κατασκευής.....	51
6.12 Ανακυκλώσιμα υλικά κατασκευής, βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	52
6.13 Μηχανικές ιδιότητες ανακυκλώσιμων υλικών.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Μεθοδολογία.....	57
7.1 Προσεγγιστική μέθοδος.....	57
7.2 Κατασκευαστικό πρότυπο.....	59

7.3 Χαρακτηριστικά του κατασκευαστικά συμβατικού κτιρίου	60
7.4 Μελέτη Περίπτωσης: Ενεργειακή απόδοση και Ανάλυση κύκλου ζωής	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αποτελέσματα	67
8.1 Αποτελέσματα ανάλυσης ενεργειακής επίδοσης του κτιρίου με το λογισμικό ΚΕΝΑΚ. 67	
8.2 Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επιλεγμένων δομικών υλικών και εκτίμηση κόστους	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατασκευή κτιρίων: Μηχανικές ιδιότητες και ανάλυση κύκλου ζωής.....	91
Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά κτιρίου.....	91
Σκιάσεις 1 ^{ος} Όροφος.....	98
2 ^{ος} Όροφος	99
3 ^{ος} Όροφος	100
4 ^{ος} Όροφος	101
5 ^{ος} Όροφος	102
Θερμογέφυρες.....	103
1 ^{ος} Όροφος	103
2 ^{ος} Όροφος	104
3 ^{ος} Όροφος	105
4 ^{ος} Όροφος	106
5 ^{ος} Όροφος	107
Γενικά στοιχεία κτιρίου	108
Ποσοτικοποίηση των δομικών υλικών.....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΝΑΦΟΡΕΣ	115

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Ανθρακικό αποτύπωμα [66].	39
Εικόνα 2. Ξύλινη κατασκευή [70]	41
Εικόνα 3. Άοπλο σκυρόδεμα [72].....	41
Εικόνα 4. Οπλισμένο σκυρόδεμα [73].....	42
Εικόνα 5. Κούφωμα αλουμινίου [74].....	43
Εικόνα 6. Χάλυβας οπλισμού [75].....	44

Εικόνα 7. Σωληνώσεις χαλκού [77].....	44
Εικόνα 8. Ενεργειακό τζάμι με αόρατη μεμβράνη [78].....	45
Εικόνα 9. Τσιμέντο Portland [79].....	45
Εικόνα 10. Οικοδομικός γύψος [80].....	46
Εικόνα 11. Γυψοσανίδα οροφής [80].....	47
Εικόνα 12. Κατασκευή παραδοσιακής κατοικίας [69].....	48
Εικόνα 13. Κεραμικός τοίχος [82].....	48
Εικόνα 14. Κεραμίδια [83].....	49
Εικόνα 15. Κεραμικό πάτωμα [84].....	49
Εικόνα 16. Πετροβάμβακας [86].....	50
Εικόνα 17. Διογκωμένη πολυστερίνη [87].....	50
Εικόνα 18. Εξηλασμένη πολυστερίνη [88].....	50
Εικόνα 19. Αφρός πολουρεθάνης [89].....	51
Εικόνα 20. Πράσινη δόμηση [91].....	52
Εικόνα 21. Timbercrete τοίχος [132].....	53
Εικόνα 22. Ashcrete [133].....	54
Εικόνα 23. Ferrorock [135].....	55
Εικόνα 24. Τρισδιάστατη απεικόνιση του κατασκευαστικά συμβατικού κτιρίου, (αριστερά η πρόσοψη, δεξιά η πίσω όψη), (προσωπική εργασία).....	60
Εικόνα 25. Απεικόνιση συρόμενης πόρτας SL200 [151].....	91
Εικόνα 26. Απεικόνιση κεντρικής πόρτας εισόδου D75 (διαμέρισμα, ισόγειο) [153].....	92
Εικόνα 27. Απεικόνιση Παραθύρου W4750 [154].....	93

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Συνολικός αριθμός κτιρίων και χρήση για το 2015 [18].....	19
Πίνακας 2. Ενσωματωμένη Ενέργεια και Εκπομπές CO ₂ για Δομικά Υλικά [63].....	37
Πίνακας 3. Επισκόπηση προηγούμενων μελετών για ανακυκλωμένα υλικά και θερμικός χαρακτηρισμός [122].....	53
Πίνακας 4. Μηχανικές και θερμικές ιδιότητες πράσινων υλικών για τοιχοποιία δάπεδο και οροφή (προσωπική εργασία).....	56
Πίνακας 5. Σύγκριση παραμέτρων κατοικίας μεταξύ συμβατικού κτιρίου και Σενάριο 1.....	58
Πίνακας 6. Βήματα ελέγχου θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου.....	61

Πίνακας 7. Συμβατικά υλικά που αντικαταστάθηκαν από ανακυκλωμένα υλικά και χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη περίπτωσης	63
Πίνακας 8. Απαιτούμενες ποσότητες δομικών υλικών στο σύνολο του κτιρίου.....	65
Πίνακας 9. Εκτίμηση κόστους για κάθε υλικό για το σύνολο του κτιρίου.....	66
Πίνακας 10. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος (Υπάρχον κτίριο).....	68
Πίνακας 11. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών).....	69
Πίνακας 12. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (Υπάρχον κτίριο).....	70
Πίνακας 13. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών).....	71
Πίνακας 14. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας οροφής (Υπάρχον κτίριο)	72
Πίνακας 15. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας οροφής (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)	73
Πίνακας 16. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με εξωτερικό αέρα (Υπάρχον κτίριο)	74
Πίνακας 17. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με εξωτερικό αέρα (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)	75
Πίνακας 18. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο (Υπάρχον κτίριο).....	76
Πίνακας 19. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών).....	77
Πίνακας 20.Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής δοκού (Υπάρχον κτίριο)	78
Πίνακας 21. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής δοκού (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)	79
Πίνακας 22. Συγκριτικά αποτελέσματα της ανάλυσης του υπάρχον κτιρίου και του σεναρίου εναλλαγής των υλικών κατασκευής με εναλλακτικά στο λογισμικό KENAK.	80
Πίνακας 23. Σύγκριση λειτουργικού κόστους	80
Πίνακας 24. Εκτύπωση των αποτελεσμάτων του λογισμικού KENAK για το υπάρχον κτίριο.	81
Πίνακας 25. Εκτύπωση των αποτελεσμάτων του λογισμικού KENAK για το Σενάριο 1.	81
Πίνακας 26. Αποτελέσματα ανάλυσης κύκλου ζωής για τους εξεταζόμενους οπτόπλινθους..	84
Πίνακας 27. Αποτελέσματα ανάλυσης κύκλου ζωής για τους εξεταζόμενους τύπους τσιμέντου.	85
Πίνακας 28. Αποτελέσματα ανάλυσης κύκλου ζωής για τους εξεταζόμενους τύπους ασβεστοκονιάματος.....	86

Πίνακας 29. Αποτελέσματα ανάλυσης κύκλου ζωής για τους εξεταζόμενους τύπους ελαφροσκυροδέματος.....	88
Πίνακας 30. Χαρακτηριστικά συρόμενης πόρτας SL200 για το διαμέρισμα.....	91
Πίνακας 31. Διαστάσεις συρόμενης πόρτας SL200	92
Πίνακας 32. Χαρακτηριστικά παραθύρου και πόρτας (Μ.Θ.Χ.) SL200.....	93
Πίνακας 33. Χαρακτηριστικά παραθύρου και πόρτας SL200 για το διαμέρισμα	93
Πίνακας 34 Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, βόρεια όψη	94
Πίνακας 35. Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, ανατολική όψη.....	94
Πίνακας 36. Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, νότια όψη	95
Πίνακας 37. Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, δυτική όψη	95
Πίνακας 38. Οριζόντια αδιαφανή συμβατικών υλικών	96
Πίνακας 39. Συγκέντρωση ΑxUxb κατακόρυφων και οριζόντιων συμβατικών δομικών στοιχείων	96
Πίνακας 40. Σύγκριση U_m , U_{max} για τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας.....	97

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων κατοικιών για την χρονική περίοδο 2011-2020 [19].....	21
Διάγραμμα 2. Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων κατοικιών ανά κλιματική ζώνη και χρήση για την χρονική περίοδο 2011-2020 [19].....	22
Διάγραμμα 3. Σύγκριση συνολικού κόστους υλικών μεταξύ υπάρχον κτίριο και Σενάριο 1.	82
Διάγραμμα 4. Επιμέρους κόστη υλικών και ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό κόστος για το υπάρχον κτίριο.....	82
Διάγραμμα 5. Επιμέρους κόστη υλικών και ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό κόστος για το Σενάριο 1.	83
Διάγραμμα 6. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων οπτόπλινθων.....	84
Διάγραμμα 7. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων τύπων τσιμέντου.....	85
Διάγραμμα 8. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων τύπων ασβεστοκονιάματος.....	87
Διάγραμμα 9. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων τύπων ελαφροσκυροδέματος.....	88

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ από την καύση ενέργειας και τις βιομηχανικές διεργασίες και η ετήσια μεταβολή τους, 1900-2022 [1].....	16
Σχήμα 2. Κατανομή ανά ενεργειακή κατηγορία κτιρίων κατοικιών (2011-2020) [19]	20
Σχήμα 3. Παραγωγή αποβλήτων ανά οικονομική δραστηριότητα και νοικοκυριά, ΕΕ, 2020 [29].....	25
Σχήμα 4. Φάσεις μιας ΑΚΖ (ISO 14040, 1997) [43]	30
Σχήμα 5. Κύκλος ζωής δομικού υλικού [60]	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά ζητήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας σήμερα. Μία από τις βασικές αιτίες της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Το CO₂, το οποίο προέρχεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, αποτελεί ένα από τα κυριότερα αέρια που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα κτίρια συνιστούν σημαντικό παράγοντα στην κλιματική αλλαγή, καθώς συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές CO₂ μέσω της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, τα κτίρια αποτελούν τον μεγαλύτερο παράγοντα ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με ποσοστό που ανέρχεται στο 40% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης και συμβάλλουν στην παραγωγή περίπου 36% των συνολικών εκπομπών CO₂ [1].

Από την άλλη πλευρά στο πλαίσιο της κατασκευής, ανακαίνισης και κατεδάφισης κτιρίων, παράγονται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Η μη αποδοτική διαχείριση τους, μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα κτιριακά απόβλητα περιλαμβάνουν τόσο τα απόβλητα κατασκευής, όπως σκυρόδεμα, τούβλα, γυψοσανίδες και μέταλλα, όσο και τα απόβλητα κατεδάφισης, όπως ξύλα, γυψοσανίδες, γυαλί, μέταλλα και πλαστικά. Οι αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης των κτιριακών αποβλήτων είναι σημαντικές για τη μείωση της ανάγκης για αποτέφρωση και χωματερή, καθώς και για την αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους και των υδάτων.

Παράλληλα, η ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας και η έννοια της αειφορίας έχουν ενισχύσει την προσέγγιση για τη μείωση των κτιριακών αποβλήτων και την προαγωγή της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης υλικών. Η υιοθέτηση των υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατασκευή και ανακαίνιση κτιρίων έχει αποτελέσει μία από τις προσεγγίσεις για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και τη μείωση των εκπομπών CO₂. Η ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ) αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό εργαλείο για την υποστήριξη αποφάσεων που αφορούν την επιλογή αυτών των υλικών. Μέσω αυτής μπορούμε να αξιολογήσουμε το συνολικό κόστος και τις επιπτώσεις των υλικών από την εκμετάλλευση των πρώτων υλών, την παραγωγή, την εγκατάσταση, τη χρήση, τη συντήρηση και την απόρριψη τους. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να αναγνωρίσουμε τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη και κόστη κατά την επιλογή και τη χρήση των δομικών υλικών.

Τέλος, επιλέγοντας υλικά με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, μπορούμε να μειώσουμε την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές CO₂ και την επίδραση στην κλιματική αλλαγή. Μέσω αυτής της διαδικασίας, επιτυγχάνεται ένας ολοκληρωμένος και βιώσιμος σχεδιασμός κτιρίων, που στηρίζεται στην ενεργειακή απόδοση και τη διατήρηση του περιβάλλοντος για τις μελλοντικές γενιές.

1.2 Σκοπός Εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση της βιωσιμότητας των ανακυκλωμένων υλικών στην κατασκευή στην Ελλάδα. Υπάρχουν πολλές ερευνητικές εργασίες όπου αναλύουν την βιωσιμότητα της χρήσης απορριμμάτων ειδικά των ΑΚΚ (Απόβλητα Κατασκευών και Κατεδαφίσεων) ως υποκατάστατο των παραδοσιακών υλικών αναδεικνύοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, λίγες έρευνες αναφέρονται στα μηχανικά χαρακτηριστικά και αναλύουν τα αποτελέσματα αυτών των υλικών σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή σε ένα κτίριο. Η παρούσα διπλωματική περιλαμβάνει την ενεργειακή αξιολόγηση κάποιων κατασκευαστικών λύσεων που έχουν σχεδιαστεί με χρήση ανακυκλωμένων υλικών και συγκρίνει την ενεργειακή απόδοση τους καθώς και το ανθρακικό αποτύπωμα αυτών των λύσεων με συμβατικές λύσεις, προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί το δυναμικό ενεργειακής απόδοσης των ανακυκλωμένων υλικών και να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

Η δομή της εργασίας έχει ως ακολούθως:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται στην επίδραση των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή και στην ιστορική αναδρομή της ενεργειακής τους απόδοσης. Εξετάζονται η ευρωπαϊκή και ελληνική νομοθεσία, η υφιστάμενη κατάσταση του κτιριακού αποθέματος γενικά και συγκεκριμένα η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων κατοικιών στην Ελλάδα. Έπειτα αναλύονται οι μέθοδοι βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης αλλά και τα προγράμματα ενεργειακής αναβάθμισης και ανακαίνισης κατοικιών που τρέχουν αυτή την περίοδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Σε αυτό το κεφάλαιο, ορίζονται και περιγράφονται τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ). Εξετάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους και τα πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης δομικών υλικών. Παρουσιάζεται η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και η αειφορική διαχείριση των δομικών υλικών, καθώς και η έννοια της περιβαλλοντικής δήλωσης προϊόντος (Environmental Product Declaration, EPD).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει την έννοια και την εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ). Παρουσιάζονται τα κτιριακά εργαλεία ΑΚΖ, οι προκλήσεις και οι αβεβαιότητες στην εφαρμογή της στον σχεδιασμό κτιρίων, καθώς και μια ιστορική αναδρομή της ΑΚΖ, καθώς επίσης εξετάζεται και ο κύκλος ζωής γενικά των δομικών υλικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αυτό το κεφάλαιο αναλύει τη σημασία των υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατασκευή και ανακαίνιση κτιρίων. Εξετάζεται η ενσωματωμένη ενέργεια των δομικών υλικών, οι μέθοδοι μείωσής της και η μεθοδολογία υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα ενός κτιρίου. Παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλογής υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τα οικοδομικά υλικά που χρησιμοποιούνται συνηθώς σε μια κατασκευή κατοικίας όπως ξύλο, σκυρόδεμα, χάλυβα, τσιμέντο, χαλκό, γυαλί κλπ. Αναλύονται τα θερμομονωτικά υλικά που κυκλοφορούν στην αγορά, τα οικολογικά υλικά κατασκευής και τα ανακυκλώσιμα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων τους.

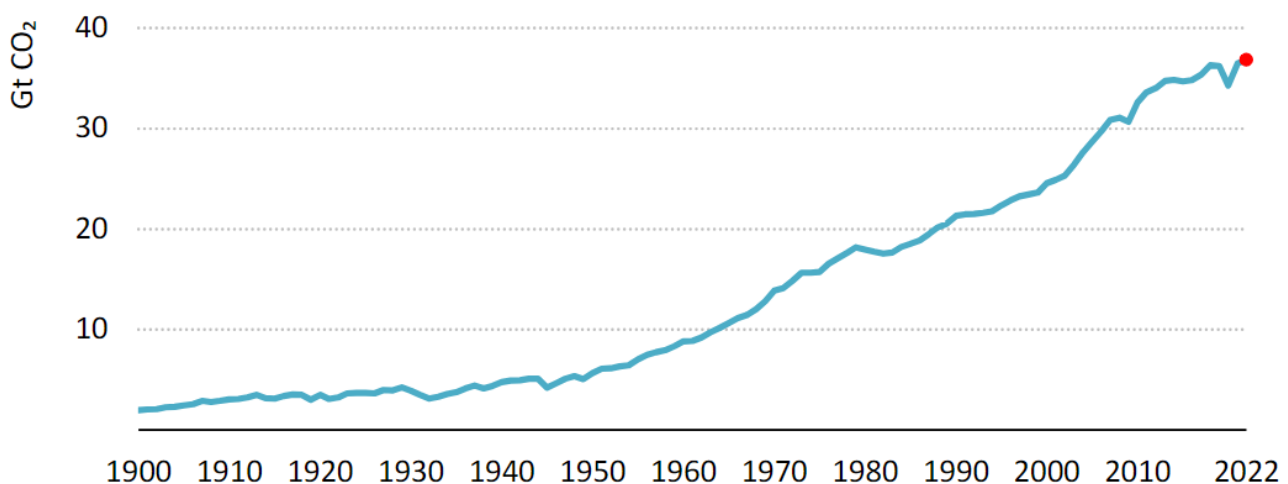
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τη μεθοδολογία της έρευνας. Εξετάζεται η προσεγγιστική μέθοδος, καταγράφεται το πιο συνηθισμένο μοντέλο κατασκευής στην Ελλάδα και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του κτιρίου αναφοράς. Παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης που αναλύει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου αναφοράς με χρήση υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος και

συγκρίνεται με συμβατικά υλικά.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης ενεργειακής επίδοσης του κτιρίου με τη χρήση του λογισμικού KENAK και τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κύκλου ζωής των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, συγκριτικά με τα τυπικά υλικά.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Στο τελικό κεφάλαιο, συνοψίζονται τα βασικά ευρήματα της έρευνας και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Κτίρια και Ενεργειακή Απόδοση

2.1 Επίδραση των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα φυσικό φαινόμενο που υφίσταται εδώ και εκατομμύρια χρόνια στη Γη. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει αρνητικά το κλίμα του πλανήτη μας και έχουν επιταχύνει την κλιματική αλλαγή τους τελευταίους αιώνες. Οι πρώτες ενδείξεις της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής οφείλονται στην επανάσταση της βιομηχανικής εποχής. Από τον 18ο αιώνα και μετά, η χρήση ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας (κάρβουνο), το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο για την ενέργεια, τη βιομηχανική παραγωγή και τις μεταφορές αυξήθηκε σημαντικά. Αυτή η αύξηση των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων, ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), έχει οδηγήσει σε συσσώρευση αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα και στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Οι περισσότερες επιστημονικές μελέτες και αναφορές καταδεικνύουν ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή έχει ενταθεί ιδιαίτερα κατά τον 20ο και 21ο αιώνα. Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (Δ.Ο.Ε.) οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με την ενέργεια αυξήθηκαν κατά 0.9% ή 321 εκατ. τόνους το 2022.



Σχήμα 1. Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ από την καύση ενέργειας και τις βιομηχανικές διεργασίες και η ετήσια μεταβολή τους, 1900-2022 [1]

Συγκεκριμένα οι εκπομπές από την καύση ενέργειας αυξήθηκαν κατά 423 Mt, ενώ οι εκπομπές από βιομηχανικές διεργασίες μειώθηκαν 102 Mt. Από τις 321 Mt CO₂ αύξησης οι 55 Mt αποδίδονται στην ψύξη και στην θέρμανση. Κατ' εξαίρεσίν της περιόδου της πανδημίας Covid 19, οι εκπομπές συνεχίστηκαν με μικρότερο ρυθμό να αυξάνονται παραπάνω από τα προπανδημικά επίπεδα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 [2].

Ο τομέας των κτιρίων αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον πλανήτη μας. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία, το 2021, περίπου το ένα τρίτο των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών οφείλεται άμεσα ή έμμεσα στον τομέα αυτόν. Πιο συγκεκριμένα, το 8% σχετίζεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων στα κτίρια, ενώ το 19% προέρχεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας που χρησιμοποιείται σε αυτά. Επιπλέον, το 6% σχετίζεται με την κατασκευή των κτιρίων από τσιμέντο, χάλυβα και αλουμίνιο.

Τα παραπάνω στοιχεία υποδεικνύουν την έντονη επίδραση που έχουν οι κτιριακές δραστηριότητες στην ανθρώπινη επικράτεια και την ανάγκη για περαιτέρω προσπάθειες και μέτρα προς τη μείωση των εκπομπών αυτών [3].

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) και στην Ελλάδα, η κατανάλωση ενέργειας από τα κτίρια αποτελεί ένα ενδιαφέρον ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (40% & 43% αντίστοιχα) και συνεπώς συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές αυτές προέρχονται από διάφορες δραστηριότητες που σχετίζονται με τα κτίρια, όπως η κατασκευή, η χρήση, η ανακαίνιση και η κατεδάφιση τους. Ενόψει της ανάγκης για βιώσιμη ανάπτυξη, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια μπορεί να αποτελέσει μέσο για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να συμβάλει στην επίτευξη των φιλόδοξων στόχων για την ουδετερότητα του άνθρακα έως το 2050, που έχουν καθοριστεί στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία [1], [4].

2.2 Ιστορική αναδρομή ενεργειακής απόδοσης

Η προώθηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ευρώπη ξεκίνησε το 1970 λόγω της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης που αντιμετώπιζε κόσμος. Οι σημαντικές ελλείψεις πετρελαίου και οι αυξημένες τιμές των ορυκτών καυσίμων ανέγειραν την ανάγκη για μείωση της κατανάλωσης και την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Παράλληλα ξεκίνησε να ενισχύεται η περιβαλλοντική ανησυχία έχοντας επίγνωση των επιπτώσεων της κατανάλωσης ενέργειας στην ατμόσφαιρα και στο κλίμα. Έτσι η ενεργειακή βελτίωση των κτιρίων αναγνωρίστηκε ως ένας τρόπος για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [5].

2.3 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Τη δεκαετία του 1990, η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε σε εφαρμογή σειρά οδηγιών όπου αφορούσαν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και τις ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση και ψύξη. Με την πάροδο του χρόνου, πολλές οδηγίες έχουν αναθεωρηθεί, παρακάτω ακολουθούν οι πιο σημαντικές:

- Οδηγία 93/76/ΕΟΚ του 1993: αφορά τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, που ενσωματώθηκε στο εθνικό μας δίκαιο με Κοινή Υπουργική Απόφαση το 1998. Απαιτούσε από τα κράτη μέλη να θεσπίσουν ελάχιστα πρότυπα απόδοσης για νέα κτίρια και κτίρια που υποστήριζαν μεγάλες ανακαινίσεις [6].
- Οδηγία 2002/91/ΕΚ του 2002 (τροποποίηση της παραπάνω οδηγίας). Περιλάμβανε τις αρχές για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων [7].

Μετά το 2002, η Ευρωπαϊκή Ένωση έλαβε περαιτέρω μέτρα. Οι σημαντικότερες πρωτοβουλίες ήταν:

- Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ (Energy Performance of Buildings Directive): Η οδηγία εισήγαγε υποχρεωτικές μακροπρόθεσμες στρατηγικές ανακαίνισης για τα κράτη μέλη. Ενίσχυσε τις απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και θέσπισε έννοιες, όπως η ενεργειακή επίδοση των κτιρίων, η ενεργειακή επιθεώρηση, και οι ελάχιστες απαιτήσεις για την απόδοση των κτιρίων. Προβλέπει επίσης την επιβολή ενεργειακών πιστοποιητικών κτιρίων. Ο στόχος για τα κράτη μέλη είναι να επιτύχουν έως το 2050 έναν κτιριακό τομέα με υψηλή ενεργειακή απόδοση και απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές. Συγκεκριμένα να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας κατά 20% έως το 2020 [8].
- Η Οδηγία 2018/844/ΕΕ (τροποποίηση της παραπάνω οδηγίας): Η οδηγία αυτή αποτελεί μέρος της "Καθαρής Ενέργειας για όλους την Ευρώπη" πρωτοβουλίας και επιδιώκει την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Θεσπίζει πρότυπα για την ενεργειακή ανακαίνιση των υφιστάμενων κτιρίων και περαιτέρω βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση των νέων κτιρίων. Στόχος η μείωση των εκπομπών τουλάχιστον 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 1990 και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε 32.5%. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να προτείνουν εθνικούς στόχους για την ενέργεια και το κλίμα για την περίοδο 2021-2030 [9].

Τον Ιούλιο του 2021 έγινε αναθεώρηση της παραπάνω οδηγίας. Στόχος ήταν η μείωση της πρωτογενούς και τελικής ενέργειας σε 39% και 36% αντίστοιχα έως το 2030. Ενώ το Μάιο του 2022 εξαιτίας του πολέμου Ρωσίας - Ουκρανίας γίνεται η δευτερη αναθεώρηση, έτσι ώστε να αυξηθούν οι στόχοι μείωσης κατανάλωσης πρωτογενούς και τελικής ενέργειας αντιστοίχως σε τουλάχιστον 41% και 39% έως το 2030 [10].

Οι συγκεκριμένες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα και τη νομοθεσία που εφαρμόζεται. Ορισμένες χώρες έχουν θέσει πιο αυστηρούς στόχους και προτείνουν πιο προηγμένες λύσεις για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων από άλλες.

2.4 Ελληνική Νομοθεσία

Στην Ελλάδα, η νομοθεσία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων ακολούθησε την ευρωπαϊκή πορεία. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά νομοθετήματα:

- Π.Δ. της 1.6/1979 (ΦΕΚ 362/Δ` 4.7.1979) : Εισήχθη ο Κανονισμός θερμομόνωσης Κτιρίου (Κ.Θ.Κ.), όπου θέσπισε τις πρώτες απαιτήσεις για την θερμομόνωση των κτιρίων. Περιλάμβανε τις απαιτήσεις για τη μόνωση των εξωτερικών τοιχωμάτων, των οροφών καθώς και τη χρήση θερμοπροσώπων σε κτίρια [11].
- Υ.Α. 21475/4707/1998 (ΦΕΚ 880/Β` 19.8.1998) : Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με τον καθορισμό μέτρων και όρων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων [12].
- Υ.Α. Δ6/Β/14826/2008 (ΦΕΚ 1122/Β` 17.6.2008): Πρωτοβουλίες που αποσκοπούν στην αύξηση της αποδοτικότητας ενέργειας και στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε δημόσιες δομές και εγκαταστάσεις. Υποχρεωτική έκδοση Κανονισμού ενεργειακής απόδοσης (Κ.Εν.Α.Κ.) [13].

- Ν. 4122/2013 (ΦΕΚ 42/Α` 19.2.2013): Μέτρα που αποβλέπουν στη συμμόρφωση με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, καθώς και άλλες αντίστοιχες νομικές διατάξεις, με στόχο την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων [14].
- Υ.Α. οικ. 2618/2014 (ΦΕΚ 2945/Β` 3.11.2014): Έγκριση κανονιστικού πλαισίου για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.. Παράλληλα εγκρίνεται το πρόγραμμα "εξοικονομώ κατ' οίκον" και το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) [15].
- Υ.Α. ΔΕΠΕΑ/οικ.178581/2017 (ΦΕΚ 2367/Β` 12.7.2017): Αυτή η απόφαση θεσπίζει τις βασικές αρχές και ορίζει τις προϋποθέσεις και τους όρους για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων [16].
- Ν. 4843/2021 (ΦΕΚ 193/Α' 20.10.2021): Εφαρμογή νέων ευρωπαϊκών κανονισμών και οδηγιών για την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια, την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον ανταγωνισμό στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με συμπερίληψη επείγουσών διατάξεων [17].

2.5 Υπάρχουσα κατάσταση κτιριακού αποθέματος και η ενεργειακή του απόδοση

Σύμφωνα με την έκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής για την ανακαίνιση του κτιριακού αποθέματος, το κτιριακό απόθεμα (για το έτος 2015) αποτελείται κυρίως από κτίρια κατοικιών κατά 95.4% το υπόλοιπο ποσοστό αφορούν τριτογενής κτίρια όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

ΧΡΗΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ – ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ	
Κατοικίες	4.631.528
ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ	
Ξενοδοχεία και εστιατόρια	24,109
Σχολεία και εκπαιδευτικά ιδρύματα	19,167
Γραφεία και άλλα κτίρια	53,064
Νοσοκομεία και κλινικές	38,664
Εμπορικά καταστήματα	65,957
Αποθήκες	20,374
Ψυκτικές αποθήκες	308
Τριτογενής τομέας	221,643
ΣΥΝΟΛΟ	4.853.172

Πίνακας 1. Συνολικός αριθμός κτιρίων και χρήση για το 2015 [18]

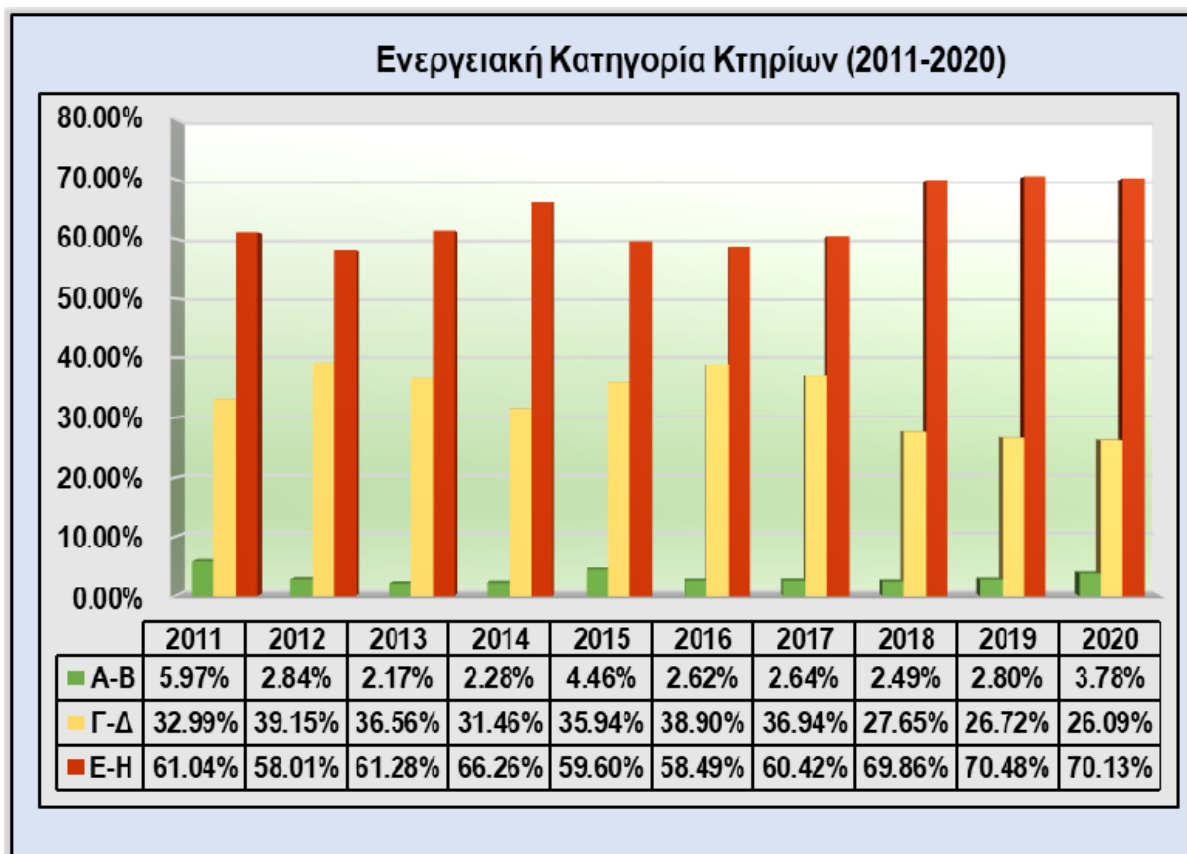
Σύμφωνα με τα δεδομένα, περίπου το 55,7% των σπιτιών χτίστηκαν πριν το 1980, πριν εφαρμοστεί ο ΚΘΚ (Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων) και γι' αυτό δεν έχουν καμία θερμική μόνωση. Το 42,7% αποτελούν τα κτίρια που χτίστηκαν μέχρι το 2010

και προβλέπεται μερική εφαρμογή συστημάτων θερμομόνωσης. Επιπλέον, μόνο το 1,6% των σπιτιών χτίστηκε μετά το 2010, δηλαδή μετά την εφαρμογή του ΚΕΝΑΚ.

Η περίοδος κατασκευής ενός κτιρίου συσχετίζεται και με το πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ). Η πρόσφατη τροποποίηση του νόμου απαιτεί πλέον όλα τα κτίρια που πωλούνται ή ενοικιάζονται να διαθέτουν πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα κίνητρο για την ανάπτυξη νέων τρόπων κατασκευής και τη χρήση υλικών και συστημάτων για την βελτίωση μιας κατοικίας ενεργειακά [18].

2.6 Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων κατοικιών στην Ελλάδα

Βάσει των διαθέσιμων πληροφοριών από το ΣΕΠΔΕΜ (Σώμα Επιθεώρησης Περιβάλλοντος, Δόμησης, Ενέργειας και Μεταλλείων), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, τα περισσότερα κτίρια έχουν χαμηλή ενεργειακή απόδοση και υψηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς αναφέρετε ότι για την χρονική περίοδο 2011-2020 το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων (69.49%) κατατάσσεται στην ενεργειακή κλάση E-H. Η ενεργειακή κλάση ενός κτιρίου αναφέρεται στο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης του και της ενεργειακής κατανάλωσής του. Οι κατηγορίες από την A (υψηλή ενεργειακή απόδοση, χαμηλή κατανάλωση) έως την H (χαμηλή ενεργειακή απόδοση, υψηλή κατανάλωση) αντιπροσωπεύουν το εύρος από τα πιο ενεργειακά αποδοτικά κτίρια έως τα λιγότερο αποδοτικά [19].



Σχήμα 2. Κατανομή ανά ενεργειακή κατηγορία κτιρίων κατοικιών (2011-2020) [19]

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε, ότι οι υφιστάμενες κατασκευές που έχουν κατασκευαστεί με χαμηλή ενεργειακή απόδοση διατηρούνται και δεν αντικαθίστανται συχνά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στον αργό ρυθμό οικοδόμησης και στο γεγονός ότι η αναβάθμιση των κτιρίων για να επιτευχθεί καλύτερη ενεργειακή απόδοση μπορεί να μην είναι οικονομικά βιώσιμη ή λόγω άλλων πρακτικών περιορισμών.

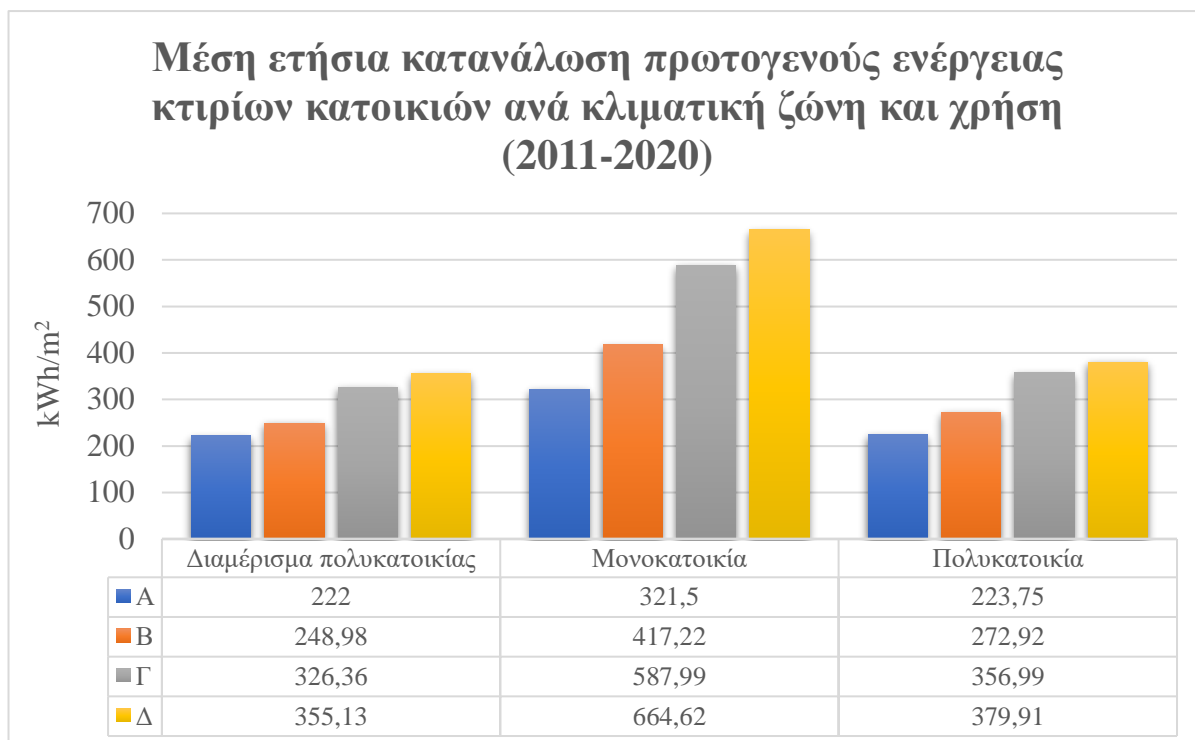
Ο χαμηλός ρυθμός οικοδόμησης μπορεί να αποδοθεί σε ορισμένους πιθανούς λόγους, συμπεριλαμβανομένων:

- Οικονομικά κίνητρα: Κατασκευαστές, επενδυτές και αρχιτέκτονες αντιμετώπιζαν περιορισμένη οικονομική κίνηση ή αβεβαιότητα, καθιστώντας πιο δύσκολη την επένδυση σε κτίρια με υψηλή απόδοση ενέργειας. Το υψηλό κόστος κατασκευής ή αναβάθμισης των κτιρίων αποτελούσε εμπόδιο.
- Έλλειψη πολιτικής υποστήριξης: Η έλλειψη ισχυρής πολιτικής υποστήριξης και κανονισμών για την ενεργειακή απόδοση στην οικοδομική βιομηχανία μείωσε το κίνητρο για την κατασκευή και την αναβάθμιση τους.
- Έλλειψη ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης: Η έλλειψη ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης σχετικά με την αξία της ενεργειακής απόδοσης και της αειφορίας μείωσε τη ζήτηση για κτίρια με υψηλή ενεργειακή απόδοση.

Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση σε ένα σπίτι, παρατηρούμε από το Σχήμα 3, ότι η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση. Επιπλέον, οι μονοκατοικίες αποτελούν τα πιο ενεργοβόρα κτίρια με μέση ετήσια κατανάλωση 448.53 kWh/m², ενώ τα κτίρια πολυκατοικιών έχουν μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας 271.67 kWh/m². Μελετώντας τις μέσες ετήσιες καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας των κατοικιών ανά κλιματική ζώνη, σύμφωνα με το Σχήμα 4, παρατηρούμε ότι οι μονοκατοικίες στις κλιματικές ζώνες Γ και Δ έχουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση (αντίστοιχα 587.99 kWh/m² και 664.62 kWh/m²) [19].



Διάγραμμα 1. Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων κατοικιών για την χρονική περίοδο 2011-2020 [19]



Διάγραμμα 2. Μέση ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτηρίων κατοικιών ανά κλιματική ζώνη και χρήση για την χρονική περίοδο 2011-2020 [19]

2.7 Μέθοδοι για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων

Το Μάιο του 2022, η επιτροπή του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, κρίνοντας επιτακτική ανάγκη την ενεργειακή απ' εξαρτοποίηση της από την Ρωσία, αναθεώρησε τους στόχους της για το έτος 2030. Με δεδομένο πως οι ευρωπαίοι πολίτες ξοδεύουν μεγάλα ποσά για την θέρμανση – ψύξη των σπιτιών τους, ανακοίνωσε την νέα στρατηγική που έχει σκοπό τον διπλασιασμό των ποσοστών ανακαινίσεων των κατοικιών κατά την διάρκεια των επόμενων 10 ετών [20]. Η στρατηγική αυτή, αναγκάζει τα υφιστάμενα κτίρια να έχουν τα ελάχιστα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης, προωθεί βιώσιμα δομικά προϊόντα και υπηρεσίες με νέα υλικά και φυσικές λύσεις και επανεξετάζει τη νομοθεσία σχετικά με την εμπορία των υλικών αυτών με έμφαση στην ανακύκλωση.

Υπάρχουν διάφορα μέτρα για να επιτευχθεί η απόδοση ενεργειακής κλάσης A+B. Ορισμένα από αυτά περιλαμβάνουν [21]:

1. **Θερμομόνωση:** Η προσθήκη ή βελτίωση της μόνωσης του κτιρίου, όπως η μόνωση των τοίχων, των οροφών και των πατωμάτων, μπορεί να μειώσει τις απώλειες θερμότητας και να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση.
2. **Αντικατάσταση κουφωμάτων:** Η αντικατάσταση παλαιών κουφωμάτων με νέα, αποδοτικά και μονωτικά κουφώματα μπορεί να μειώσει τις απώλειες θερμότητας.
3. **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Η εγκατάσταση συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως φωτοβολταϊκά ή ηλιακοί θερμοσίφωνες, μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας και να παράγει καθαρή ενέργεια.
4. **Αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης:** Η αντικατάσταση παλαιών ή μη αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης με πιο αποδοτικές εναλλακτικές

λύσεις, όπως αντλιών θερμότητας ή κλιματιστικών μονάδων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και να βελτιώσει την απόδοση του κτιρίου.

5. **Αυτοματισμός και έλεγχος:** Η εγκατάσταση αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου για τη θέρμανση, τον φωτισμό και τον κλιματισμό, όπως έξυπνες θερμοστατικές βαλβίδες ή συστήματα αυτοματισμού της ενεργειακής διαχείρισης, μπορεί να βελτιώσει τον έλεγχο και την αποτελεσματικότητα των ενεργειακών συστημάτων του κτιρίου.
6. **Ανανέωση φωτισμού:** Αυτό περιλαμβάνει την αντικατάσταση παλαιών λαμπτήρων με πιο αποδοτικές εναλλακτικές, όπως οι λαμπτήρες LED.

2.8 Προγράμματα ενεργειακής αναβάθμισης και ανακαίνισης κατοικιών

Όσον αφορά τα νοικοκυριά, το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) προβλέπει την ανακαίνιση τουλάχιστον 600.000 κατοικιών έως το 2030. Αυτή την περίοδο έχουν επιδοτηθεί και βρίσκονται σε εξέλιξη 4 προγράμματα που προωθούν την ενεργειακή αναβάθμιση κατοικιών [22]:

Εξοικονομώ κατ' οίκον 2023: είναι το πρώτο πρόγραμμα επιδότησης για ενεργειακή αναβάθμιση κατοικιών που θεσπίστηκε από την Πολιτεία και προκηρύσσεται με διάφορες παραλλαγές από το 2009 [23]. Οι επιλέξιμες δαπάνες που μπορούν να επιδοτηθούν είναι:

- αντικατάσταση κουφωμάτων τοποθέτηση
- αναβάθμιση θερμομόνωσης
- αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης / ψύξης
- σύστημα ζεστού νερού με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- άλλες παρεμβάσεις (σύστημα διαχείρισης Smart home)

Εξοικονομώ - Ανακαινίζω για Νέους: προσφέρει σε νέους ηλικίας 18 έως 39 ετών την ευκαιρία να βελτιώσουν ενεργειακά και να ανανεώσουν τις κατοικίες τους [24].

-Το «**Εξοικονομώ**» Μέσω του προγράμματος, παρέχονται επιδοτήσεις για παρεμβάσεις ενεργειακής εξοικονόμησης, όπως αντικατάσταση κουφωμάτων, θερμομόνωση, συστήματα θέρμανσης και ψύξης, συστήματα παροχής ζεστού νερού χρήσης και smarthome. Το πρόγραμμα καλύπτει ένα μέρος του κόστους των ενεργειακών παρεμβάσεων, από 45% έως 90%, ενώ το υπόλοιπο ποσό μπορεί να καλυφθεί μέσω άτοκου δανείου. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους νέους να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση των κατοικιών τους με μικρότερο οικονομικό βάρος και να συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος.

-Το «**Ανακαινίζω**» περιλαμβάνει παρεμβάσεις ανακαίνισης, όπως ανακαίνιση χώρων μπάνιου και κουζίνας, αντικατάσταση πόρτας εισόδου, αντικατάσταση και επισκευή ηλεκτρολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων αλλά και πατωμάτων. Το πρόγραμμα καλύπτει έως και το 30% του ποσού των επιλέξιμων παρεμβάσεων ανακαίνισης (δηλαδή έως 3.000 ευρώ) ενώ το υπόλοιπο ποσό μπορεί να καλυφθεί από χαμηλότοκο δάνειο έως 7.000 ευρώ.

Ανακυκλώνω - Αλλάζω Θερμοσίφωνα: Μέσω του προγράμματος, αναμένεται ότι 120.000 νοικοκυριά στην Ελλάδα θα επωφεληθούν από επιδότηση για την

αντικατάσταση παλαιών και ενεργοβόρων ηλεκτρικών θερμοσιφώνων με σύγχρονους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Αυτό θα έχει θετικές επιπτώσεις τόσο για τα νοικοκυριά όσο και για το περιβάλλον, καθώς αναμένεται να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ κατά τουλάχιστον 200.000 τόνους ετησίως. Επιπλέον, προβλέπεται ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση νερού θα μειωθεί κατά περίπου 65% [25].

Φωτοβολταϊκά στη Στέγη: το πρόγραμμα προωθεί την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην οροφή των κατοικιών. Παρέχει επιδοτήσεις και χρηματοδοτική στήριξη για την αγορά και την εγκατάσταση τους. Υποχρεώνει τις κατοικίες να κάνουν εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού μαζί με την μπαταρία. Η συνολική επιδότηση όλου του συστήματος μπορεί να αγγίξει τα 16.000 ευρώ [26].

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων δεν περιορίζεται μόνο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂. Πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη τα απόβλητα που προκύπτουν από τις διαδικασίες κατασκευής, ανακαίνισης και κατεδάφισης. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δομικών αποβλήτων, όπως αυτά που προκύπτουν από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις, είναι σημαντικές. Επομένως, είναι κρίσιμο να εξεταστούν πρακτικές επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης των δομικών υλικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων

3.1 Ορισμός και περιγραφή των ΑΕΚΚ

Τα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ) ορίζονται στην ευρωπαϊκή νομοθεσία, σύμφωνα με το Κεφάλαιο 17 του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων (Απόφαση 2001/118/Ε.Κ.) ως τα υλικά που προκύπτουν από κατασκευές, αποσυνδεθέντα κτίρια και έργα, καθώς και από εργασίες εκσκαφής του εδάφους [27].

Βασικοί τομείς παραγωγής οικοδομικών αποβλήτων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής [28]:

- Παραγωγή οικοδομικών αποβλήτων από πρώτη ύλη:

Αυτός ο τομέας αφορά την παραγωγή αποβλήτων κατά την επεξεργασία της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται για την κατασκευή υλικών και εξαρτημάτων για τον τομέα των κατασκευών. Παραδείγματα αποβλήτων που παράγονται σε αυτόν τον τομέα περιλαμβάνουν ανεπιθύμητα ή ακατάλληλα υλικά, εκτός προδιαγραφών παραγωγής, καθώς και περιττά ή περιθωριακά υλικά.

- Κατασκευή ενός έργου:

Κατά την κατασκευή ενός έργου, παράγονται οικοδομικά απόβλητα ως αποτέλεσμα της απόβλητης υλικοτεχνικής διαδικασίας. Αυτά τα απόβλητα περιλαμβάνουν σκυρόδεμα, τούβλα, πλακάκια, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, χώματα και πέτρες, μεταξύ άλλων. Η κατηγοριοποίηση και διαχείριση αυτών των αποβλήτων είναι σημαντική για την αειφόρο διαχείριση των κατασκευαστικών έργων.

- Συντήρηση:
- Κατά τη διάρκεια της συντήρησης κτιρίων, υποδομών και εγκαταστάσεων, παράγονται επίσης οικοδομικά απόβλητα. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν υλικά

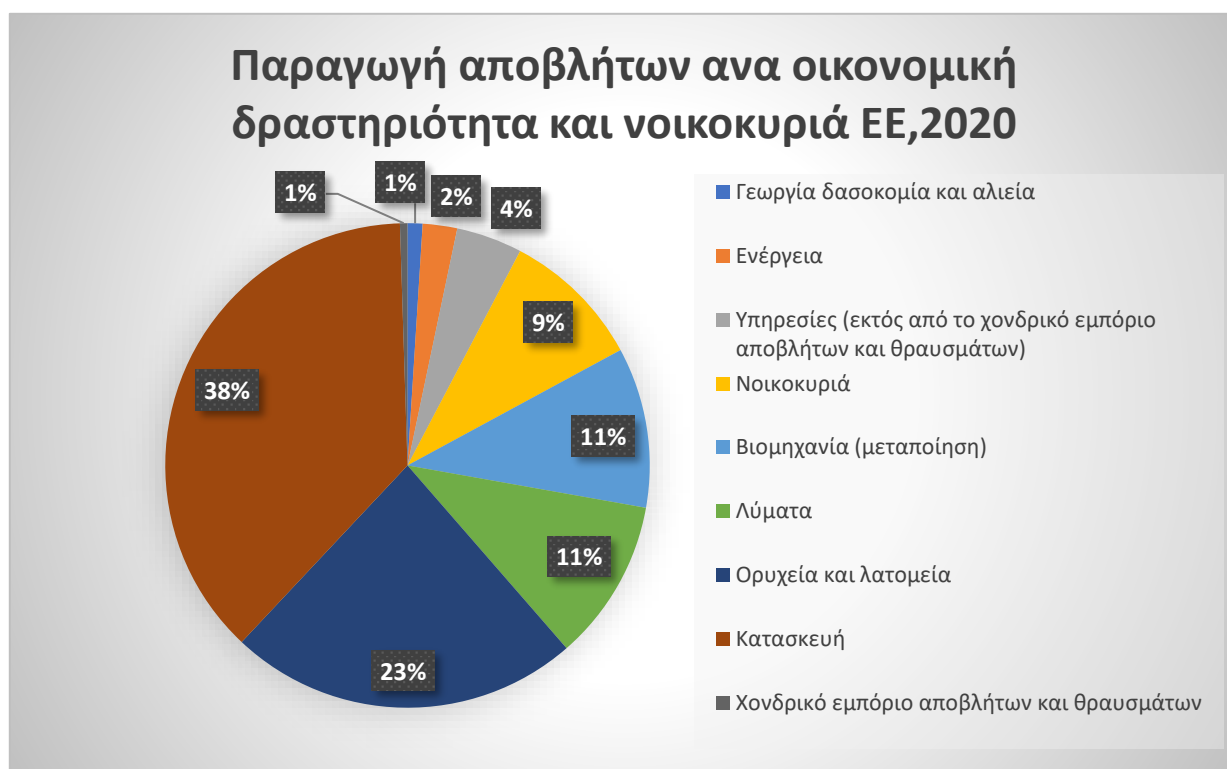
που αποσυνδέονται, αντικαθίστανται ή αναβαθμίζονται κατά τη διαδικασία της συντήρησης, όπως πλακάκια, μοκέτες, μονωτικά υλικά, ηλεκτρολογικά εξαρτήματα κ.λπ.

- Κατεδάφιση:

Η κατεδάφιση κτιρίων και κατασκευών προκαλεί την παραγωγή μεγάλου όγκου οικοδομικών αποβλήτων. Κατά την κατεδάφιση, απομακρύνονται και διαχωρίζονται υλικά όπως τούβλα, μπετόν, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, πλαστικά, μονωτικά υλικά και άλλα. Η κατηγοριοποίηση και αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων κατεδάφισης είναι σημαντική για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και την αποκατάσταση της περιοχής.

3.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ΑΕΚΚ

Τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΚΚ) αντιπροσωπεύουν πάνω από το ένα τρίτο όλων των αποβλήτων που παράγονται στην Ευρώπη (Σχήμα 3) [28]. Γι' αυτό, σύμφωνα με την οδηγία – πλαίσιο, αποτελούν ροή αποβλήτων προτεραιότητας [30].



Σχήμα 3. Παράγωγη αποβλήτων ανά οικονομική δραστηριότητα και νοικοκυριά, ΕΕ, 2020 [29]

Στην Ελλάδα τα ορυχεία και τα λατομεία και ο τομέας των κατασκευών παρήγαγαν το 50% των αποβλήτων εκ των οποίων το 65% τα διέθεταν επί ή εντός του εδάφους [31]. Η παρούσα κατάσταση ανέγειρε την ανάγκη προώθησης σειράς μέτρων από τις κυβερνήσεις και τους τοπικούς διαχειριστές, με στόχο την ανάκτηση και διαχείριση αυτών των υλικών. Η εθνική νομοθεσία που συμπεριλαμβάνει τα ΑΕΚΚ παρουσιάζεται σε διαφορετικές κατηγορίες καλύπτοντας διαφορετικές πτυχές της διαχείρισης τους (Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων, Εναλλακτική Διαχείριση, Πολεοδομική νομοθεσία

κ.λπ.) [32], [33], [34]. Οι επιπτώσεις από την ανεξέλεγκτη απόρριψη τους συμπεριλαμβάνει τα εξής [35]:

- ✓ Οπτική ρύπανση
- ✓ Αισθητική υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος
- ✓ Κίνδυνος τραυματισμού
- ✓ Δυσκολία διέλευσης πεζών και οχημάτων
- ✓ Παραγωγή σκόνης – αέρια ρύπανση
- ✓ Ρύπανση επιφανειακών υδάτων
- ✓ Ρύπανση υπόγειων υδάτων
- ✓ Έμφραξη φρεατίων-συμβολή σε φαινόμενα πλημμυρών
- ✓ Ρύπανση εδάφους μέσω διαδικασιών εκχύλισης

3.3 Πλεονεκτήματα από την επαναχρησιμοποίηση των δομικών υλικών

- Μείωση της ανάγκης για νέους χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων: Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χώρου και τη δυνατότητα εκμετάλλευσης των εκτάσεων για άλλες χρήσεις.
- Μείωση της ανεξέλεγκτης απόρριψης απορριμμάτων: Συμβολή στη μείωση της ανεξέλεγκτης απόρριψης απορριμμάτων σε διάφορα μέρη, όπως ρέματα και άλλες φυσικές περιοχές.
- Μείωση των αερίων ρύπων: Μείωση της παραγωγής αερίων ρύπων, όπως το CO₂, που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανάγκης για εξαγωγή πρώτων υλών και μεταφορά νέων υλών σε μεγάλες αποστάσεις.
- Εξοικονόμηση ενέργειας: Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των δομικών υλικών συνεπάγεται την εξοικονόμηση ενέργειας που θα απαιτούνταν για την εξόρυξη και παραγωγή νέων πρώτων υλών. Έτσι, μειώνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την ενεργειακή διαδικασία παραγωγής.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας: Δημιουργεί ένα νέο τεχνολογικό κλάδο, τη βιομηχανία ανακύκλωσης, προσφέροντας θέσεις εργασίας και συμβάλλοντας στην αύξηση του ΑΕΠ της χώρας.
- Οικονομικά οφέλη: Οδηγεί σε εξοικονόμηση χρημάτων, καθώς μειώνεται το κόστος του έργου. Η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών επιτρέπει την προτίμηση οικονομικώς πιο φθηνών εναλλακτικών λύσεων, ενώ η παραγωγή φθηνών αδρανών υλικών μέσω της ανακύκλωσης μειώνει τις συνολικές δαπάνες.
- Περιβαλλοντική συνείδηση και ανάπτυξη κοινωνίας: Συμβάλλει στη δημιουργία μιας νέας περιβαλλοντικής συνείδησης στην κοινωνία. Η εφαρμογή της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης αντικατοπτρίζει την προσήλωση στην αειφόρο ανάπτυξη και στην προστασία του περιβάλλοντος.
- Αποφυγή εργασιών εκσκαφής: Επιτρέπει την αποφυγή εργασιών εκσκαφής σε αγροτικές ή δασικές περιοχές και την εκμετάλλευση υπαρχουσών πόρων.
- Εφαρμογή της αρχής "ο ρυπαίνων πληρώνει": Μέσω κατάλληλων πολιτικών και μέτρων, οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις που ανακυκλώνουν και επαναχρησιμοποιούν τα δομικά υλικά αναλαμβάνουν την ευθύνη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της αποκατάστασης τυχόν ζημιών [36].

3.4 Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία

Το Νοέμβριο του 2018, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την μακροπρόθεσμη στρατηγική της με στόχο καθαρών μηδενικών εκπομπών για το 2050, ενώ τον Δεκέμβριο του 2019 παρουσίασε την "Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία" ή αλλιώς "Green Deal".

Η Πράσινη Συμφωνία αποτελεί ουσιαστικό μέρος της στρατηγικής της ΕΕ για την επίτευξη των στόχων των "Ηνωμένων Εθνών για το 2030" και της "Ατζέντας 2030 για την Αειφόρο Ανάπτυξη". Ο βασικός στόχος αυτού του νέου πλαισίου πολιτικής είναι να προωθήσει την ανάπτυξη πρωτοπόρων αγορών για προϊόντα που είναι κλιματικά ουδέτερα και κυκλικά, τόσο εντός όσο και εκτός της ΕΕ. Σύμφωνα με την "Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία", η στρατηγική για την κυκλική οικονομία θα περιλαμβάνει μια πολιτική για την προώθηση "βιώσιμων προϊόντων" με βάση τον κυκλικό σχεδιασμό, χρησιμοποιώντας μια κοινή μεθοδολογία και αρχές. Θα δοθεί προτεραιότητα στη μείωση και την επαναχρησιμοποίηση των υλικών πριν από την ανακύκλωσή τους. Επίσης, θα προωθηθούν νέα επιχειρηματικά μοντέλα και θα καθοριστούν ελάχιστες απαιτήσεις για την πρόληψη της κυκλοφορίας επιβλαβών προϊόντων για το περιβάλλον στην αγορά της ΕΕ. Επιπλέον, θα ενισχυθεί η διευρυμένη ευθύνη των παραγωγών.

Έτσι, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποσκοπεί στην προώθηση μιας οικονομίας που θα λαμβάνει υπόψη την αειφορία και την προστασία του περιβάλλοντος, ενισχύοντας την ανακύκλωση και τη χρήση κυκλικών πρακτικών, ενώ παράλληλα θα ενθαρρύνει την ανάπτυξη καινοτόμων κλάδων και αγορών για τα βιώσιμα προϊόντα [37].

Με αφορμή τα παραπάνω τον Μάρτιο 2020 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το νέο Σχέδιο Δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κυκλική οικονομία, που αποτελεί έναν από τους κύριους πυλώνες της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Στην Ελλάδα τον Νοέμβριο του 2021, συγκεκριμενοποιείται μετά από αναθεωρήσεις το νέο Σχέδιο Δράσης για την κυκλική οικονομία και περιλαμβάνει [38] :

1. Προώθηση παραγωγής και βιομηχανίας με βιώσιμους προσανατολισμούς, όπως ο σχεδιασμός με γνώμονα το περιβάλλον, η πιστοποίηση βιωσιμότητας, η συνεργασία σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, και οικονομικά κίνητρα όπως φορολογικές απαλλαγές.
2. Προώθηση βιώσιμης κατανάλωσης μέσω πράσινων δημόσιων συμβάσεων, υπηρεσιών επισκευής και επαναχρησιμοποίησης.
3. Μείωση των αποβλήτων με την αύξηση της αξίας τους, μέσω χρηματοδοτικών προγραμμάτων πρόληψης και της δημιουργίας θεσμικού πλαισίου για την πρόληψη.
4. Οριζόντιες δράσεις που περιλαμβάνουν τη δημιουργία εθνικού παρατηρητηρίου, εθελοντικών συμφωνιών, συντονιστικών οργάνων και την ανάπτυξη δεικτών.
5. Προσέγγιση συγκεκριμένων προϊόντων που πρέπει να αντιμετωπιστούν προτεραιότητα, όπως πλαστικά προϊόντα, μπαταρίες και οχήματα.

3.5 Εθνικό σχέδιο Δράσης για τις Πράσινες Δημόσιες Συμβάσεις

Σε εθνικό επίπεδο οι πράσινες δημόσιες συμβάσεις νομοθετούνται με απόφαση υπ' αριθμό ΥΠΕΝ/ΔΕΠΕΑ/17836/125 που δημοσιεύθηκε το Φεβρουάριο 2023 και αφορά το "Πρόγραμμα χρηματοδότησης για την Ενεργειακή Αναβάθμιση Δημοσίων Κτιρίων".

Οι Πράσινες Δημόσιες Συμβάσεις αναφέρονται στη διαδικασία με την οποία οι δημόσιες αρχές επιδιώκουν να συνάψουν συμβάσεις για αγαθά, υπηρεσίες και έργα που έχουν μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με εναλλακτικές λύσεις με την ίδια λειτουργικότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι δημόσιες αρχές επιλέγουν να αγοράσουν προϊόντα, υπηρεσίες και έργα που έχουν λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής τους.

Ο στόχος είναι να χρησιμοποιηθεί η αγοραστική δύναμη των δημόσιων αρχών και φορέων, που αποτελούν τους μεγαλύτερους αγοραστές αγαθών, υπηρεσιών και έργων, για την προμήθεια των φιλικών προϊόντων. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να συνεισφέρουν στην επίτευξη εθνικών και διεθνών στόχων βιωσιμότητας και περιβαλλοντικής πολιτικής σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Οι στόχοι αυτοί συνδέονται με την ορθή διαχείριση των πόρων μέσω της βιώσιμης κατανάλωσης και παραγωγής αγαθών στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, καθώς και με την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και τη μείωση των επιπτώσεών της [39].

3.6 Αειφορική διαχείριση των επιπτώσεων των δομικών υλικών

Όπως ήδη επισημάνθηκε, η σύνδεση των δομικών υλικών με περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελεί θέμα ζωτικής σημασίας. Τα κριτήρια που παρουσιάζονται προσφέρουν στους αγοραστές και στους προμηθευτές επιλογές για την αξιολόγηση των συγκεκριμένων επιπτώσεων και την επιλογή δομικών στοιχείων με χαμηλότερες επιπτώσεις. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάθεση περιλαμβάνουν τα εξής, ταξινομημένα με βάση τη φιλοδοξία και την τεχνική πολυπλοκότητα [40]:

1. **Ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ):** Ολοκλήρωσης μιας αναλυτικής αξιολόγησης των επιπτώσεων κύκλου ζωής των κυριότερων δομικών στοιχείων. Στο πλαίσιο αυτού του κριτηρίου, οι προμηθευτές πρέπει να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής των δομικών στοιχείων.
2. **Περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων (EPD):** Λαμβάνεται υπόψη οι περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων. Κατά την εφαρμογή του κριτηρίου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η συνολική ποσότητα εκπομπών ισοδύναμων CO₂ (δυναμικού θερμοκηπίου) που σχετίζονται με τα κυριότερα δομικά στοιχεία.
3. **Απαίτηση για χρήση ανακυκλώσιμων και επαναχρησιμοποιήσιμων υλικών:** Ο κάθε προμηθευτής πρέπει να προτείνει υλικά που ικανοποιούν κατ' ελάχιστο το πρότυπο όσον αφορά την ποσότητα υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν, ειδικά για το σκυρόδεμα και το κέλυφος.
4. **Απαίτηση για μείωση των εκπομπών κατά τη μεταφορά βαρέων υλικών:** Το κριτήριο ανταμείβει την σωστή επιλογή του τρόπου μεταφοράς των βαρέων δομικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή, έχοντας υπόψη την ελαχιστοποίηση των εκπομπών CO₂.

Η χρήση αυτών των κριτηρίων παρέχει τη δυνατότητα ολοκληρωμένης αξιολόγησης του κύκλου ζωής των υλικών, επιτρέποντας στους προμηθευτές και τις ομάδες σχεδιασμού να προβαίνουν σε αποφάσεις για τυχόν βελτιώσεις. Η σταδιακή εφαρμογή περιβαλλοντικών κριτηρίων στις δημόσιες συμβάσεις αναμένεται να συμβάλει στα παρακάτω:

- Στη μείωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής επίπτωσης, συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Στην ελάττωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.
- Στη συμβολή για την αειφόρο και αποδοτική χρήση των φυσικών πόρων και της ενέργειας. Στην προώθηση της καινοτομίας και της ανταγωνιστικότητας.
- Στην εξοικονόμηση δημόσιων πόρων, λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό κόστος των προϊόντων και υπηρεσιών κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής τους.
- Στην προώθηση της ζήτησης για δευτερογενή υλικά, ενισχύοντας την εθνική επιχειρηματικότητα, τις περιβαλλοντικές τεχνολογίες, τις υπηρεσίες επισκευής και ανακύκλωσης, καθώς και τον κυκλικό τρόπο παραγωγής και κατανάλωσης αντί του γραμμικού μοντέλου.
- Στην ενίσχυση της κοινωνικής ευαισθητοποίησης για θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, στην προώθηση και επέκταση του μοντέλου προμηθειών και στον ιδιωτικό τομέα.

3.7 Τι είναι η περιβαλλοντική δήλωση προϊόντος

Η περιβαλλοντική δήλωση προϊόντος (Environmental Product Declaration, EPD) παρέχει μια εξαντλητική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Τα EPDs παρέχουν διαφανείς, συγκρίσιμες και επαληθευμένες πληροφορίες σχετικά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του προϊόντος, από τη φάση της εξόρυξης των πρώτων υλών έως την τελική απόρριψή τους. Αυτές οι πληροφορίες παράγονται σύμφωνα με διεθνή πρότυπα όπως το ISO 14025 και το EN 15804 [41].

Η επαλήθευση των EPDs από ανεξάρτητους φορείς ενισχύει την αξιοπιστία τους και τα καθιστά αναγνωρισμένες πηγές πληροφοριών για τη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική φιλικότητα των προϊόντων. Είναι χρήσιμα εργαλεία για μελετητές και κατασκευαστές, καθώς και για τους τελικούς χρήστες των κατασκευών. Επιπλέον, συμμετέχουν σε περιβαλλοντικά πιστοποιητικά συστήματα όπως το LEED, το BREEAM, το Ecolabel κ.λπ., παρέχοντας ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στον κατασκευαστικό κλάδο που επιδιώκει την πράσινη δόμηση.

Σε γενικές γραμμές, η δημιουργία EPD παρέχει οφέλη για τις εταιρείες, καθώς τους επιτρέπει να παρέχουν διαφανείς πληροφορίες σχετικά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των προϊόντων τους και να ενισχύουν την εικόνα τους ως περιβαλλοντικά υπεύθυνες επιχειρήσεις. Στις παγκόσμιες αγορές, ιδίως στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες, το EPD θεωρείται η διεθνής πρότυπη αναφορά για την αξιολόγηση και την επικοινωνία της περιβαλλοντικής απόδοσης ενός προϊόντος. Πλέον, όλο και περισσότερα κράτη και οργανισμοί που ρυθμίζουν το διεθνές εμπόριο απαιτούν την υποβολή κάποιου είδους περιβαλλοντικής δήλωσης (EPD) [42].

Αρχικά, καθορίζονται ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής της ανάλυσης. Αυτό συμπεριλαμβάνει την καθορισμένη επιθυμητή έκβαση της μελέτης και τον προσδιορισμό των στοιχείων που θα εξεταστούν. Έπειτα, δημιουργείται η απογραφή του κύκλου ζωής, όπου συλλέγονται και αναλύονται τα σχετικά δεδομένα για την προέλευση, την παραγωγή, τη χρήση και την απόρριψη του προϊόντος ή της διεργασίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η αξιολόγηση των επιπτώσεων, όπου τα δεδομένα αναλύονται και εκτιμώνται για να αξιολογηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε διάφορες κατηγορίες, όπως οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, η κατανάλωση ενέργειας και οι πόροι που χρησιμοποιούνται. Τέλος, γίνεται η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όπου αξιολογούνται οι επιπτώσεις και εξάγονται συμπεράσματα για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του προϊόντος ή της διεργασίας [44].

4.2 Κτιριακά εργαλεία ΑΚΖ

Τα εργαλεία ανάλυσης κύκλου ζωής των κτιρίων διαιρούνται σε τρία επίπεδα αξιολόγησης, με κάθε επίπεδο να επικεντρώνεται σε διαφορετική πτυχή [45]:

- I. Αξιολόγηση υλικού: Σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται εργαλεία που αξιολογούν τα μεμονωμένα δομικά υλικά. Αυτά τα εργαλεία, όπως το Gabi, το SimaPro, το Gemis και άλλα, παρέχουν μέσα αξιολόγησης για τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή [46], [47], [48].
- II. Αξιολόγηση κατασκευής κατά τον κύκλο ζωής του κτιρίου: Σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται εργαλεία που αξιολογούν το κτίριο από τη φάση του σχεδιασμού έως τη φάση της κατεδάφισης. Αυτά τα εργαλεία, όπως το Athena, το Envest, το BEES και άλλα, επικεντρώνονται στη λήψη αποφάσεων που επηρεάζουν την κατασκευή και τη λειτουργία του κτιρίου [49], [50], [51].
- III. Αξιολόγηση του κτιρίου με έμφαση στη διαχείριση: Σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται εργαλεία που προσφέρουν ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κατασκευών, με έμφαση στη διαχείριση τους. Παραδείγματα αυτών των εργαλείων είναι τα συστήματα αξιολόγησης όπως το LEED, το BREEAM, το GBTool και άλλα, τα οποία βασίζονται σε συγκεκριμένα κριτήρια για την ολοκληρωμένη διαχείριση των κτιρίων [52], [53], [54].

4.3 Προκλήσεις και αβεβαιότητες στην εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στον σχεδιασμό κτιρίου

Ο τομέας των κατασκευών αντιμετωπίζει προκλήσεις κατά την εφαρμογή της Α.Κ.Ζ. λόγω των πολλών αβεβαιοτήτων που παρουσιάζει. Ένα πρώτο σημείο δυσκολίας είναι η μακρά διάρκεια ζωής των κτιρίων, που συχνά υπερβαίνει τα 50 έτη, καθιστώντας προβληματική την εκτίμηση της χρήσης και της διαχείρισης τους μετά το τέλος τους. Επιπλέον, η σύνθεση των κτιρίων από πολλά υλικά, με τις πολύπλοκες σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους κατά την κατασκευή, καθώς και οι επισκευές, αλλαγές και αντικαταστάσεις που απαιτούνται κατά τη διάρκεια ζωής τους, αποτελούν πρόκληση για την Α.Κ.Ζ. στα κτίρια. Επιπλέον, η μοναδικότητα κάθε κτιρίου και η ανάγκη για εξατομικευμένες διαδικασίες επεξεργασίας, καθώς και η απαίτηση εισαγωγής πλήθους αρχικών δεδομένων για την αξιόπιστη αξιολόγηση, προκαλούν προβλήματα. Τέλος, οι πολλαπλοί φορείς που εμπλέκονται στον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη διαχείριση ενός κτιρίου, προσθέτουν περαιτέρω πολυπλοκότητα στη διαδικασία.

Όλα αυτά απαιτούν στρατηγική προσέγγιση και ανάπτυξη ειδικευμένων μεθοδολογιών για την αποτελεσματική εφαρμογή της Α.Κ.Ζ. στον κτηριοδομικό σχεδιασμό [55].

4.4 Σύντομη ιστορική αναδρομή ΑΚΖ

Η χρήση της αξιολόγησης του κύκλου ζωής ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης ξεκίνησε στη δεκαετία του 1960 με διάφορους τρόπους και ονόματα. Αρχικά υπήρχε μια συγχυτική ομοιότητα στους όρους που αντιπροσώπευαν διάφορα επίπεδα και τύπους μελέτης, ειδικά στη βιβλιογραφία της δεκαετίας του 1990. Ωστόσο, ο όρος "αξιολόγηση του κύκλου ζωής" υιοθετήθηκε για να αντιπροσωπεύσει τις περιβαλλοντικές μελέτες του κύκλου ζωής. Η ιδέα του κύκλου ζωής αποδίδεται στην αμυντική βιομηχανία των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης των συστημάτων. Η πρώτη εμφάνιση της ΑΚΖ στη σύγχρονη περιβαλλοντική αντίληψη ήταν σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από την Coca-Cola για την αναλυτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της συσκευασίας των προϊόντων από τη στιγμή της παραγωγής έως τον τελικό καταναλωτή. Αρχικά, η έμφαση ήταν κυρίως στη μείωση των στερεών αποβλήτων και όχι στις περιβαλλοντικές εκπομπές ή την ενεργειακή χρήση. Στη δεκαετία του 1990, δημοσιεύτηκαν πολλές μελέτες κύκλου ζωής και αυξήθηκε το ενδιαφέρον του κοινού για το θέμα. Διεθνείς οργανισμοί όπως η Εταιρεία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (SETAC) και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος διοργάνωσαν εργαστήρια και εξέδωσαν κατευθυντήριες γραμμές για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής. Πραγματοποιήθηκαν επίσης προσπάθειες τυποποίησης της μεθοδολογίας της ΑΚΖ, με τη δημοσίευση κατευθυντήριων γραμμών από διάφορες χώρες και οργανισμούς. Όλα αυτά συνέβαλαν στην ανάπτυξη και εξέλιξη της ΑΚΖ ως εργαλείου για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη λήψη περιβαλλοντικών αποφάσεων σε διάφορους τομείς, όπως οι βιομηχανίες και οι υπηρεσίες [56]. Την ίδια δεκαετία ξεκίνησε να αναπτύσσεται στον κατασκευαστικό τομέα με έμφαση κυρίως στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και την μείωση των εκπομπών CO₂. Οργανισμοί και προγράμματα αναπτύχθηκαν για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης και την πιστοποίηση των κτιρίων.

Υπάρχουν αρκετές διαδεδομένες και αξιόπιστες εφαρμογές ΑΚΖ που αφορούν τον τομέα των κατασκευών. Ορισμένες από αυτές περιλαμβάνουν:

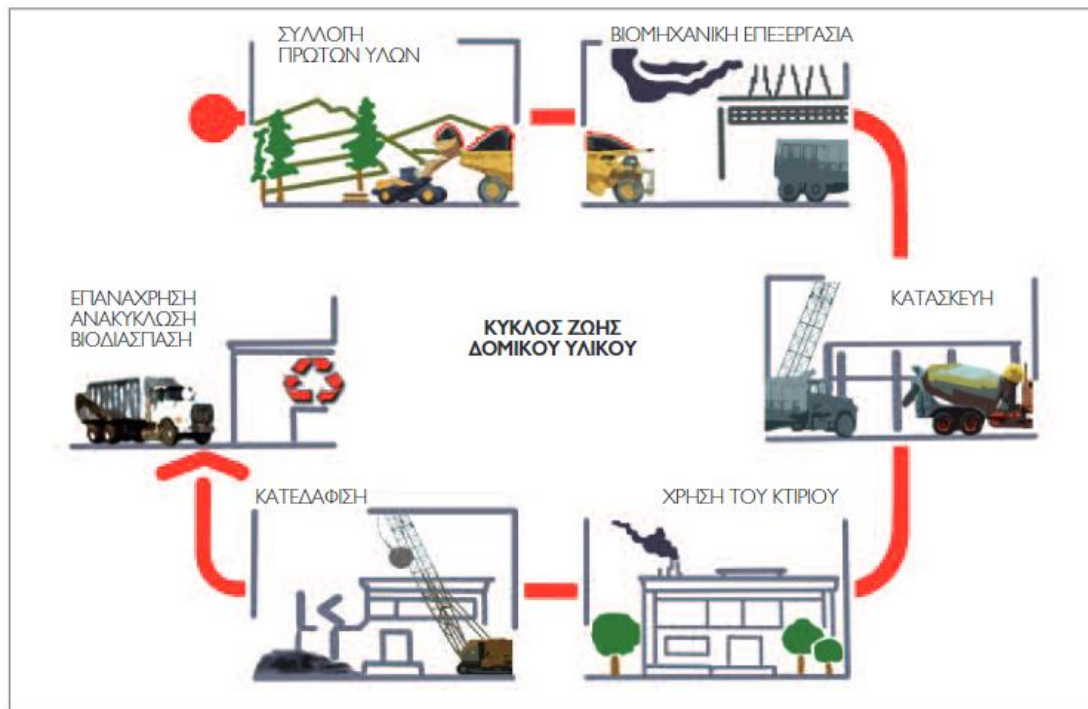
- **Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM):** Το BREEAM είναι ένα σύστημα αξιολόγησης περιβαλλοντικής απόδοσης για κτίρια. Χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές χώρες και αξιολογεί τα κτίρια βάσει πολλών παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής απόδοσης, της χρήσης νερού, της υλικολογικής απόδοσης και της ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος [53].
- **Leadership in Energy and Environmental Design (LEED):** Το LEED είναι ένα σύστημα πιστοποίησης και αξιολόγησης περιβαλλοντικής απόδοσης για κτίρια. Αναπτύχθηκε από το Αμερικανικό Συμβούλιο Πράσινης Κατασκευής (USGBC) και εστιάζει σε πτυχές όπως η ενεργειακή απόδοση, η χρήση νερού, η χρήση υλικών και η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος [52].
- **Green Star:** Το Green Star είναι ένα αυστραλιανό σύστημα πιστοποίησης που αξιολογεί την περιβαλλοντική απόδοση των κτιρίων. Βασίζεται σε παραμέτρους

όπως η ενεργειακή απόδοση, η χρήση νερού, η ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, η διαχείριση αποβλήτων και η καινοτομία [57].

- Ενεργειακά πιστοποιητικά: Πολλές χώρες έχουν αναπτύξει τα δικά τους ενεργειακά πιστοποιητικά συστήματα που αξιολογούν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τον Ευρωπαϊκό Δείκτη Απόδοσης Κτιρίου (EPBD) και τον Αυστραλιανό Δείκτη Απόδοσης Κτιρίου (NABERS)[58], [59].
- WELL Building Standard: Ο WELL Building Standard επικεντρώνεται στην προαγωγή της υγείας και της ευεξίας των χρηστών των κτιρίων. Αξιολογεί πτυχές όπως η ποιότητα του αέρα, η φυσική φωτισμός, η ποιότητα του νερού και η υγεία των εργαζομένων [60].

4.5 Κύκλος ζωής δομικών υλικών

Ο κύκλος ζωής ενός δομικού υλικού (βλέπε Σχήμα 5.) αναφέρεται στις διάφορες φάσεις που περνάει από την παραγωγή του μέχρι την απόσυρση ή ανακύκλωσή του. Περιλαμβάνει διάφορα στάδια, όπως την εξόρυξη των πρώτων υλικών, την κατασκευή, τη χρήση και συντήρηση του υλικού, την απόσυρση και ανακύκλωση ή απόρριψη του υλικού.



Σχήμα 5. Κύκλος ζωής δομικού υλικού [60]

Συγκεκριμένα, ο κύκλος ζωής ενός υλικού που προορίζεται για τη δόμηση περιλαμβάνει τις εξής φάσεις [61], [62]:

1. **Συλλογή / Εξόρυξη**: Σε αυτήν τη φάση γίνεται η συλλογή των πρώτων υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή του οικοδομικού υλικού. Αυτά μπορεί να

είναι ορυκτά, φυτικά ή ζωικά υλικά. Για παράδειγμα, η συλλογή ξύλου από δάση ή την εξόρυξη πέτρας από λατομεία.

2. **Βιομηχανική παραγωγή / Επεξεργασία:** Σε αυτήν τη φάση τα συλλεγμένα υλικά υπόκεινται σε βιομηχανικές διεργασίες και επεξεργασία για να μετατραπούν σε τελικό οικοδομικό υλικό. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες όπως κοπή, τυποποίηση, διαμόρφωση και επεξεργασία με χρήση ειδικών μηχανημάτων ή χημικών διεργασιών. Για παράδειγμα, η επεξεργασία του σιδήρου για την παραγωγή χαλύβδινων δομικών υλικών.
3. **Κατασκευή:** Σε αυτήν τη φάση γίνεται η κατασκευή του οικοδομικού έργου, που περιλαμβάνει την εγκατάσταση, συναρμολόγηση και τοποθέτηση του οικοδομικού υλικού. Αυτή η φάση περιλαμβάνει επίσης τη χρήση άλλων επιπλέον υλικών, όπως συστήματα στήριξης ή ενισχύσεων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την κατασκευή των τοίχων, των οροφών, των οδοστρωμάτων κλπ.
4. **Χρήση της κατασκευής:** Αυτή είναι η περίοδος κατά την οποία το οικοδομικό υλικό χρησιμοποιείται για τον αρχικό σκοπό του. Μπορεί να διαρκέσει από μερικά χρόνια έως αιώνες, ανάλογα με τον τύπο του οικοδομικού υλικού και την εφαρμογή του. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη χρήση των κτιρίων από κατοίκους, επιχειρήσεις ή δημόσιες υπηρεσίες.
5. **Κατεδάφιση:** Σε αυτήν τη φάση γίνεται η απόσυρση και αφαίρεση του οικοδομικού υλικού από τον χώρο κατασκευής, περιλαμβανομένης της κατεδάφισης του κτιρίου ή του έργου. Αυτό μπορεί να γίνει για να κατασκευαστεί κάτι νέο στον ίδιο χώρο ή για την αποκατάσταση του χώρου. Κατά την κατεδάφιση, το οικοδομικό υλικό αφαιρείται με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του ή την ανακύκλωσή του. Ανάλογα με την κατάσταση και τη φύση του υλικού, μπορεί να ανακυκλωθεί για την παραγωγή νέων προϊόντων, να υποστεί βιοδιάσπαση για την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος ή να επαναχρησιμοποιηθεί σε άλλα έργα.
6. **Επαναχρησιμοποίηση:** Κάποια υλικά μπορούν να αποσυναρμολογηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε άλλα έργα χωρίς να υποστούν καταστροφή. Για παράδειγμα, μετά την κατεδάφιση ενός κτιρίου, ορισμένα από τα οικοδομικά υλικά όπως ξύλο, πόρτες, παράθυρα, μπορούν να απομονωθούν και να χρησιμοποιηθούν ξανά σε άλλα κτίρια.
7. **Ανακύκλωση:** Κάποια υλικά μπορούν να υποστούν ανακύκλωση για την παραγωγή νέων προϊόντων. Κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης, το οικοδομικό υλικό υποβάλλεται σε επεξεργασία και απομονώνονται οι χρήσιμες πρώτες ύλες για την παραγωγή νέων προϊόντων. Για παράδειγμα, μπορούν να ανακυκλωθούν μέταλλα από οικοδομικά υλικά για την παραγωγή νέων μεταλλικών προϊόντων.
8. **Βιοδιάσπαση:** Κάποια υλικά μπορούν να υποστούν βιοδιάσπαση ή αποτέφρωση για την αποκατάσταση της φύσης ή για την παραγωγή ενέργειας. Για παράδειγμα, ορισμένα βιοδιασπώμενα υλικά όπως ξύλο ή οργανικά υλικά μπορούν να υποστούν φυσική αποσύνθεση ή αποτέφρωση για την επιστροφή των θρεπτικών ουσιών στο έδαφος ή για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος

5.1 Σημασία των υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατασκευή και ανακαίνιση κτιρίων

Τα υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι υλικά που έχουν σχεδιαστεί και παράγονται με την προοπτική να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, δηλαδή το συνολικό αντίκτυπο που έχουν στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Τα υλικά αυτά έχουν σημαντική συνεισφορά στην κατασκευή και ανακαίνιση των κτιρίων από περιβαλλοντική αλλά και οικονομική άποψη.

Οι λόγοι που αυτά τα υλικά είναι σημαντικά περιλαμβάνουν :

1. Μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης: Τα υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος συχνά παρουσιάζουν καλύτερη θερμομόνωση και σφράγιση, βοηθώντας στη μείωση της απώλειας ενέργειας και της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων.
2. Βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος: Υλικά όπως οι φυσικοί μονωτές και οι φιλικές προς το περιβάλλον χημικές ουσίες μειώνουν την εκπομπή τοξικών αερίων και επιφανειακών ρύπων, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του αέρα και την υγεία των επισκεπτών και των κατοίκων του κτιρίου.
3. Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου: Τα υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος συνήθως παράγονται με λιγότερη ενέργεια και λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή τους, σε σύγκριση με παραδοσιακά υλικά. Αυτό συμβάλλει στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος του κτιρίου και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.
4. Αειφορική χρήση πόρων: Πολλά υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος προέρχονται από ανακυκλωμένα υλικά ή από βιώσιμες πηγές. Η χρήση αυτών των υλικών συμβάλλει στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με την εξόρυξη και την κατανάλωση πρώτων υλών.

Η ανάλυση του ανθρακικού αποτυπώματος καθώς και της ενσωματωμένης ενέργειας ενός υλικού και, συνεπώς, ενός κτιρίου, σε συνδυασμό με την αξιολόγηση του κύκλου ζωής τους, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχουν τα κτίρια μακροπρόθεσμα.

5.2 Ενσωματωμένη ενέργεια δομικού υλικού

Η ενέργεια που ενσωματώνεται σε ένα υλικό υπολογίζεται ως το σύνολο των ενεργειακών απαιτήσεων του από τη στιγμή που συλλέγονται οι πρώτες ύλες του, τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται ως προϊόν, τη μεταφορά του στην αγορά, την ενσωμάτωσή του στην κατασκευή, τη συντήρησή του κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του και τη διάσπαση του μέσω ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης. Η έννοια της ενσωματωμένης ενέργειας αναφέρεται επίσης ως κρυφό κόστος ενέργειας, καθώς προκύπτει από διαδικασίες παραγωγής που δεν είναι πάντα εμφανείς. Υπολογίζεται ότι η έμμεση κατανάλωση ενέργειας, που ονομάζεται και γκρίζα ή αφανής ενέργεια, αποτελεί τα δύο τρίτα της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουμε.

Η ενσωματωμένη ενέργεια μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες:

- Αρχική ενσωματωμένη ενέργεια, αναφέρεται στην ενέργεια που απαιτείται για να κατασκευαστεί ένα κτίριο.
- Δεύτερη κατηγορία είναι η ενέργεια συντήρησης ενός κτιρίου, που περιλαμβάνει την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη συντήρηση, επισκευή, ανανέωση και αντικατάσταση κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Ωστόσο, λόγω της αβεβαιότητας σχετικά με τη χρήση, αυτή η ενέργεια λαμβάνεται υπόψη ανά περίπτωση [63].

5.3 Ανάλυση και αξιολόγηση της ενσωματωμένης ενέργειας

Η ανάλυση και αξιολόγηση της ενσωματωμένης ενέργειας ενός κτιρίου βασίζεται σε συλλογές δεδομένων που περιέχουν μέσες τιμές ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή των υλικών, είτε με βάση το βάρος είτε με βάση τον όγκο. Αυτά τα δεδομένα έχουν αναπτυχθεί από ανεξάρτητους φορείς, όπως το "University of Bath Embodied Energy & Carbon Material Inventory". Τα πιο κοινά αποδεκτά εργαλεία για την ανάλυση και αξιολόγηση της ενσωματωμένης ενέργειας ενός υλικού περιλαμβάνουν το "SBTool" του "UK Code for Sustainable Homes" και το "LEED" του "U.S. Green Building Council". Αυτά τα εργαλεία ποσοτικοποιούν την ενσωματωμένη ενέργεια, λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς παράγοντες. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες για τον προσδιορισμό της ενσωματωμένης ενέργειας, οι οποίες διαφέρουν στους μετασχηματισμούς της ενέργειας και στον τρόπο αξιολόγησης των ενεργειακών αναγκών των ροών. Ορισμένες μεθοδολογίες ποσοτικοποιούν τις ενεργειακές ανάγκες ως "αέρια του θερμοκηπίου", ενώ άλλες τις αξιολογούν ως καύσιμα ή/και σε καθαρά οικονομικά στοιχεία. Οι μέθοδοι διαφέρουν επίσης ανάλογα με το εξεταζόμενο σύστημα.

Ο προσδιορισμός της ενσωματωμένης ενέργειας βασίζεται σε συγκεκριμένες μετρικές, όπως οι MJ/kg (ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλού προϊόντος) και οι tCO₂/kg (τόνοι διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλού προϊόντος). Ωστόσο, η μετατροπή από MJ σε tCO₂ δεν είναι απόλυτη λόγω των διαφορετικών εκπομπών CO₂ ανάλογα με τον τύπο ενέργειας και την παραγωγική διαδικασία. Η ενσωματωμένη ενέργεια είναι ένα υποκειμενικό μέγεθος που εξαρτάται από την παραγωγή και τη χρήση του υλικού. Επομένως, η χρήση μόνο πινάκων για τον προσδιορισμό της ενσωματωμένης ενέργειας δεν είναι επαρκής για να βγουν σωστά συμπεράσματα, καθώς συχνά χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες υλικών με υψηλή ενσωματωμένη ενέργεια (όπως το αλουμίνιο) και μεγάλες ποσότητες υλικών με χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια (όπως το σκυρόδεμα). Για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα, απαιτείται να γίνει σύγκριση της κάλυψης συγκεκριμένων αναγκών. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ενεργειακές συμπεριφορές των κατασκευαστικών μελών κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής του κτιρίου. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση των ενεργειακών επιδόσεων και την αντίληψη των διαφορετικών μεθόδων και τεχνικών που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή, συντήρηση και ανακαίνιση του κτιρίου. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, μπορεί να γίνει σύγκριση και αξιολόγηση της ενσωματωμένης ενέργειας για να προκύψουν αξιόπιστα αποτελέσματα [63].

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας 2. με τις τιμές της ενσωματωμένης ενέργειας και των εκπομπών CO₂ για τα κυριότερα δομικά υλικά [64].

Υλικό	Ενσωματωμένη Ενέργεια (MJ/kg)	CO ₂ (gCO ₂ /kg)
Τσιμέντο	0,42	159
Τσιμεντόπλινθοι	1	119
Σκυρόδεμα	0,9-1	123
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	1,6-1,9	
Πέτρα	0,79	45
Σχιστόλιθος	0,1-1	6
Ωμόπλινθοι	0,006	
Οπτόπλινθοι διάτρητοι	1,6	300
Ασβέστης	4,3-5	
Ασβεστόλιθος	0,3	
Ασβεστοκονίαμα	1,9	271
Ακατέργαστη Ξυλεία	2,5	
Ξύλο	10	281
Τούβλο	2,5	240
Κεραμίδια	1,9-3,3	329
Αλουμίνιο	232	8240
Αλουμίνιο (ανακυκλωμένο)	8,1	
Χάλυβας	32	474
Χάλυβας (ανακυκλωμένος)	8,9	
Γυαλί	15,9	850
Υαλοπίνακας	5,4	1300
Αφρώδες γυαλί	67	3689
Ορείχαλκος	62	
Χαλκός	70,6	2600
PVC	70	2043
Λαμαρίνα	32,4	
Γύψος	1,8	120
Γυψοσανίδα	4,4	380
Αδρανή υλικά	0,1	
Άμμος	0,005	
Φελλός	3,9	
Λινόλεουμ	25	
Μάρμαρο	2	116
Διογκωμένη πολυστερίνη	100,2	1914
Εξηλασμένη πολυστερίνη	67,2	
Υαλοβάμβακας	39,4	2130
Πετροβάμβακας	16,8	1050
Πολυουρεθάνη	90	3480
Περλίτης	10	
Ξυλόμαλλο	19,9	
Αχυρόμπαλες	0,24	-
Κυτταρίνη	0,9-3,2	
Ορυκτόμαλλο	15,9	1042
Συνθετικό Καουτσουκ	110	
Πλαστικά χρώματα	98,1	

Πίνακας 2. Ενσωματωμένη Ενέργεια και Εκπομπές CO₂ για Δομικά Υλικά [63]

Στην Ελλάδα, δεν υπάρχει πλήρης εθνική βάση δεδομένων για τους συντελεστές ενσωματωμένης ενέργειας των υλικών. Γίνονται μελέτες για τη συμπλήρωση των κενών γνώσεων, εστιάζοντας στην ενέργεια που χρησιμοποιείται για να παραχθούν δημοφιλή δομικά υλικά, όπως τούβλα, τσιμέντο και σκυρόδεμα. Μελετώνται στο πεδίο των εγκαταστάσεων παραγωγής για να συλλεχθούν δεδομένα για την ενεργειακή κατανάλωση και τα υλικά παραγωγής, προκειμένου να υπολογιστούν οι συντελεστές ενσωματωμένης ενέργειας από την πρώτη φάση έως την παραγωγή τους. Παραδείγματα περιλαμβάνουν έτοιμο σκυρόδεμα, πήλινα τούβλα, εξηλασμένη πολυστερίνη και θερμικά συστήματα παραγωγής. Με την πάροδο του χρόνου, τα δεδομένα από τοπικές εγκαταστάσεις παραγωγής θα εμπλουτιστούν, ειδικά όταν οι περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων γίνουν πιο δημοφιλείς [65].

5.4 Μείωση ενσωματωμένης ενέργειας σε κατασκευές

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες βασικές αρχές για τη μείωση της ενσωματωμένης ενέργειας, προκειμένου να αποφευχθεί η σπατάλη και να επιτευχθεί η βιώσιμη κατασκευή:

- i. Επιλογή κατασκευών που προσαρμόζονται στις πραγματικές ανάγκες, αποφεύγοντας υπερβολικές διαστάσεις και χρησιμοποιώντας ελαχιστοποίηση υλικών.
- ii. Σχεδιασμός με βάση την επιλογή υλικών με μακρά διάρκεια ζωής, που μπορούν να επισκευάζονται αντί να απορρίπτονται και μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωση κατά τη διάρκεια ζωής του κτιρίου.
- iii. Αξιοποίηση υλικών από την αποδόμηση υφιστάμενων κτιρίων και ενσωμάτωσή τους στην κατασκευή νέων έργων.
- iv. Χρήση υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν ή επαναχρησιμοποιηθούν εύκολα μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους και τοποθέτησή τους με τρόπο που να επιτρέπει την εύκολη διάχυση.
- v. Επιλογή υλικών που παράγονται τοπικά, προκειμένου να μειωθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις των μεταφορών.
- vi. Επιλογή κατάλληλων υλικών με βάση τις πληροφορίες από σχετικούς πίνακες, που παρέχουν πληροφορίες για την ενσωματωμένη ενέργεια.
- vii. Αποφυγή απορρίψεων υλικών και χρήση όλων των υλικών που φθάνουν στο έργο, προκειμένου να αποφευχθεί η σπατάλη.

5.5 Μεθοδολογία υπολογισμού του αποτυπώματος άνθρακα ενός κτιρίου



Εικόνα 1. Ανθρακικό αποτύπωμα [66].

Το ανθρακικό αποτύπωμα αναφέρεται στο συνολικό ποσό διοξειδίου του άνθρακα και άλλων θερμοκηπιακών αερίων που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας διαδικασίας ή προϊόντος [66]. Μετρίεται σε γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλοβατώρα παραγωγής ($\text{gCO}_2\text{-e/kWh}$), λαμβάνοντας υπόψη το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) των άλλων θερμοκηπιακών αερίων. Τα αέρια θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), έχουν διαφορετική ικανότητα θέρμανσης του πλανήτη.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα ότι ένας τόνος μεθανίου έχει το ίδιο αποτέλεσμα με 25 τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Για να ληφθεί υπόψη αυτή η διαφορά, τα αέρια που εκπέμπονται μετατρέπονται σε ισοδύναμες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2e), επιτρέποντας έτσι την έκφραση τους ως ένας μοναδικός αριθμός που αντιπροσωπεύει τον συνολικό αντίκτυπο από όλες τις πηγές [66].

Το αποτύπωμα άνθρακα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε διάφορα στάδια της κατασκευής και λειτουργίας κτιρίων:

Δημιουργία πρώτης ύλης: Περιλαμβάνει την εξόρυξη και την παραγωγή υλικών όπως τσιμέντο, χάλυβα, γυψοσανίδες κ.ά. Οι εργατώρες που απαιτούνται για την παραγωγή των υλικών, δηλαδή η χρήση μηχανημάτων και εξοπλισμού κατά την παραγωγή, μπορεί να συνεισφέρει στις εκπομπές CO_2 λόγω της καύσης καυσίμων.

Μεταφορά: Αφορά τη μεταφορά των υλικών από τον τόπο παραγωγής τους στην βασική επιχείρηση, μετά στους διάφορους καταναλωτές και τέλος στον τόπο κατασκευής του κτιρίου. Οι μεταφορικές δραστηριότητες συνεπάγονται καύσιμα και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα μεταφορικά μέσα καθώς και από τη συντήρησή τους, φθορές των ελαστικών, μηχανημάτων κ.ά.

Κατασκευή: Κατά την κατασκευή του κτιρίου, απαιτείται ενέργεια για τη λειτουργία μηχανημάτων, εργαλείων και εξοπλισμού, όπως γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος κ.ά. Η καύση καυσίμων από αυτά τα μηχανήματα μπορεί να προκαλέσει εκπομπές CO_2 .

Χρήση: Περιλαμβάνει την ενεργειακή κατανάλωση κατά την καθημερινή λειτουργία του κτιρίου, όπως η θέρμανση, η ψύξη, η φωτισμός και οι ηλεκτρικές συσκευές. Οι εκπομπές CO_2 προκύπτουν από την καύση καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας.

Αποδόμηση: Αναφέρεται στη διαδικασία αποκατάστασης και απόσυρσης του κτιρίου στο τέλος του κύκλου ζωής του. Συμπεριλαμβάνει την απομάκρυνση των υλικών και την διάθεσή τους, με συνακόλουθες εκπομπές CO_2 από τη μεταφορά και επεξεργασία των αποβλήτων.

Επιπλέον, στις διαδικασίες κατασκευής και αποδόμησης του κτιρίου, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι εκπομπές από τα οχήματα που χρησιμοποιούν οι εργάτες για να μεταβούν στην εργασία τους. Οι εκπομπές CO_2 από αυτά τα οχήματα συνδέονται με την καύση καυσίμων κατά τη διάρκεια των μετακινήσεών τους.

Το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα μιας κατασκευής που υπολογίζεται από το λίκνο ως τον τάφο, αποτελείται κατά 20% από το ενσωματωμένο αποτύπωμα (embodied) και κατά 80% από το λειτουργικό αποτύπωμα (operational). Το ενσωματωμένο αποτύπωμα αναφέρεται στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτει κατά την δόμηση της κατασκευής, από τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τις κατασκευαστικές λειτουργίες. Από την άλλη, το λειτουργικό αποτύπωμα αφορά την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από τις λειτουργίες του κτιρίου που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια ζωής του [69].

5.6 Κριτήρια επιλογής υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος

Κατά την επιλογή υλικών με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, υπάρχουν διάφορα κριτήρια που μπορούν να ληφθούν υπόψη. Ορισμένα από τα κύρια κριτήρια περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Ενεργειακή απόδοση: Υλικά που απαιτούν λιγότερη ενέργεια για την παραγωγή τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά την παραγωγή ή την επιλογή υλικών με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση σε σύγκριση με τα συμβατικά υλικά.
2. Ανθρακικό αποτύπωμα: Υλικά με χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, προσδιορίζοντας το ανθρακικό αποτύπωμα τους. Αυτό μπορεί να συμπεριλαμβάνει την αξιολόγηση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά την παραγωγή, την μεταφορά και τη χρήση των υλικών.
3. Ανακύκλωση και ανανεώσιμες πηγές: Υλικά που προέρχονται από ανακυκλωμένα υλικά. Αυτό μειώνει την κατανάλωση πρωτογενών πόρων και την εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
4. Υγεία και ασφάλεια: Υλικά που δεν περιέχουν επικίνδυνες ουσίες, όπως τοξικά χημικά, διοξίνες ή βαρέα μέταλλα. Επιλογή γίνεται επίσης σε υλικά που δεν απελευθερώνουν επιβλαβείς ατμόσφαιρες εντός του κτιρίου.
5. Μακροπρόθεσμη αντοχή και ανθεκτικότητα: Υλικά που έχουν μακροζωία και απαιτούν λιγότερη συντήρηση ή αντικατάσταση. Αυτό μειώνει την ανάγκη για συχνή επισκευή ή ανανέωση και συμβάλλει στη μείωση των αποβλήτων.
6. Πιστοποίηση και πρότυπα: Αξιολόγηση με βάση την συμμόρφωση των υλικών με πιστοποιητικά και πρότυπα βιωσιμότητας, όπως το LEED ή το BREEAM, που προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη και την αειφορία στην κατασκευή και ανακαίνιση κτιρίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Οικοδομικά Υλικά

Το κτιριακό σύνολο είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από διάφορα δομικά υλικά. Αυτά τα υλικά αποτελούν τη βάση κάθε κατασκευής και καθορίζουν την αντοχή, την ασφάλεια και την αισθητική του κτιρίου. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξετάσουμε διάφορες κατηγορίες οικοδομικών υλικών που χρησιμοποιούνται κυρίως σε μια κατοικία στην Ελλάδα, καθώς και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

6.1 Ξύλο



Εικόνα 2. Ξύλινη κατασκευή [70]

Το ξύλο αποτελείται από ίνες κυτταρίνης που είναι συνδεδεμένες με λιγνίτη, παρουσιάζοντας ινώδη δομή. Παρά τα πολλά εναλλακτικά συστήματα δόμησης με ξύλο, οι κατασκευαστές αντιμετωπίζουν προβλήματα όπως η αυξανόμενη τιμή και η μη ικανοποιητική ποιότητα του ξύλου στην αγορά. Η αυξανόμενη οικολογική ευαισθησία έχει επίσης επηρεάσει τη χρήση του ξύλου, με προτίμηση για άλλα υλικά. Παρ' όλα αυτά, το ξύλο παραμένει ανανεώσιμο υλικό με ελάχιστη

επεξεργασία για χρήση. Οι οικολογικοί παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όπως η προέλευση, η παραγωγή, ο τύπος επεξεργασίας και η μεταφορά του ξύλου. Εντούτοις, παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς λόγω της οργανικής αποσύνθεσης και της ανισοτροπίας του. Το πρόβλημα της αποψίλωσης των δασών έχει αλλοιώσει τα δασικά οικοσυστήματα, αλλά πρόσφατα οι οικολογικές οργανώσεις και οι δασολόγοι προωθούν την αειφόρο διαχείριση των δασών. Η πιστοποίηση με τον οργανισμό FSC παρέχει εγγύηση ότι το ξύλο προέρχεται από αειφόρα δασικά οικοσυστήματα [70].

Το ξύλο έχει πολλές βασικές εφαρμογές σε ένα κτίριο, είτε ως κατασκευαστικό υλικό, είτε ως διακοσμητικό στοιχείο. Η ευελιξία και η ποικιλία των χρήσεων του, καθιστούν το ξύλο ένα πολύ δημοφιλές και ευρέως αποδεκτό δομικό υλικό.

Ορισμένες από τις βασικές εφαρμογές του ξύλου είναι οι εξής:

- Κορμοί και δοκοί: Αποτελούν τη βασική υποστήριξη της κύριας δομικής σκελετικής δομής ενός κτιρίου, παρέχοντας ανθεκτικότητα και σταθερότητα.
- Οροφές και πατώματα: Δημιουργούν ανθεκτικές και αισθητικά ελκυστικές επιφάνειες για την κίνηση και την χρήση των χώρων.
- Κουφώματα: Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή παραθύρων, πορτών και παραθύρων μπαλκονιών, προσφέροντας θερμομόνωση, ηχομόνωση και αισθητική που συνδυάζεται με διάφορα αρχιτεκτονικά στυλ.
- Επενδύσεις και εσωτερική διακόσμηση: Προσδίδουν ζεστασιά και φυσική αίσθηση στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, χρησιμοποιώντας το ξύλο για επενδύσεις τοίχων, οροφών και δαπέδων. Επίσης, χρησιμοποιείται για κατασκευή επίπλων, ραφιών και άλλων διακοσμητικών στοιχείων.

6.2 Σκυρόδεμα



Εικόνα 3. Άοπλο σκυρόδεμα [72]

Το "άοπλο" σκυρόδεμα ή αλλιώς μπετόν, ξεκίνησε να εφαρμόζεται στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Πρόκειται για ένα δομικό υλικό που αποτελείται από την ανάμειξη τριών βασικών συστατικών: τσιμέντου, αδρανών υλικών και νερού. Ο σκοπός της ανάμειξης αυτών των υλικών είναι να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές και ανθεκτικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή διάφορων δομικών στοιχείων. Το τσιμέντο αποτελεί το δεσμευτικό συστατικό του σκυροδέματος.

Σκληραίνει και προσκολλά τα άλλα συστατικά με την προσθήκη νερού, μια διαδικασία που ονομάζεται υδροσκήρυνση. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία μιας συμπαγούς και ανθεκτικής μάζας. Τα αδρανή υλικά, όπως η άμμος και το χαλίκι, παρέχουν τον όγκο και την αντοχή στο σκυρόδεμα. Το νερό χρησιμεύει ως διάλυμα για την ενεργοποίηση του τσιμέντου και τη διεξαγωγή της διαδικασίας υδροσκήρυνσης, καθώς επίσης βοηθά στην ευκολότερη ανάμειξη και εφαρμογή του σκυροδέματος.

Οι ισχύοντες κανονισμοί καθορίζουν το είδος του τσιμέντου, την αναλογία των αδρανών υλικών και την κοκκομετρική κατηγορία του, ανάλογα με το έργο στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν [71], [72]. Το άοπλο σκυρόδεμα βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων, όπως τσιμεντόλιθοι, τσιμεντόπλακες επίστρωσης, κράσπεδα, κεραμίδια κ.ά. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ως χυτό υλικό σε εφαρμογές όπως το μωσαϊκό, επιστρώσεις υπόγειων χώρων, σκυρόδεμα καθαριότητας, υπόβαση πεζοδρομίων κ.ά.



Εικόνα 4. Οπλισμένο σκυρόδεμα [73]

Το "Οπλισμένο" σκυρόδεμα, ξεκίνησε να εφαρμόζεται το 1950, είναι το σκυρόδεμα που ενισχύεται με χαλύβδινο σκελετό. Ο χάλυβας ή αλλιώς ασάλι λειτουργεί ως οπλισμός, και μαζί με το σκυρόδεμα σχηματίζουν ένα ενιαίο σώμα, γνωστό ως οπλισμένο σκυρόδεμα. Για την διαδικασία σκλήρυνσης εισάγονται χαλύβδινοι ράβδοι στον νωπό σκυρόδεμα, το τσιμέντο προσκολλάται στον χάλυβα σκληραίνεται και γίνεται ένα ενιαίο σώμα. Ο χάλυβας αναλαμβάνει τα εφελκυστικά φορτία, ενώ το σκυρόδεμα

αντέχει στα θλιπτικά φορτία [71], [73].

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σκυροδέματος, παρατηρούνται κυρίως κατά τη διάρκεια της εξόρυξης και ειδικότερα από την ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του. Για παράδειγμα, για την παραγωγή ενός τόνου τσιμέντου απαιτούνται χιλιάδες κιλά αδρανών υλικών και εκατομμύρια Βtu ενέργειας. Τα αδρανή υλικά που απαρτίζουν το σκυρόδεμα μπορούν να αντικατασταθούν από εναλλακτικά υλικά, με στόχο τη μείωση της εξάντλησης των φυσικών πόρων και την ευκολότερη ανακύκλωσή τους. Αυτά τα υλικά μπορούν να περιλαμβάνουν τέφρα, σκωρία υφικαμίνου, ανακυκλωμένα ελαστικά, γυαλί κ.ά. Επιπλέον λόγω της απόστασης μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής και της τοποθεσίας της κατασκευής, η μεταφορά του σκυροδέματος απαιτεί σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Το σκυρόδεμα δυστυχώς δεν ανακυκλώνεται σε μεγάλες ποσότητες και μεγάλο μέρος από αυτό απορρίπτεται σε χωματερές. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι περίπου 50.000.000 τόνοι σκυροδέματος απορρίπτονται κάθε χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Μόνο μικρό ποσοστό από αυτό ανακυκλώνεται ή επαναχρησιμοποιείται [70].

Τέλος, ως ένα από τα πιο θερμοχωρητικά υλικά κατασκευής, αποτελεί σημαντική πηγή αποθήκευσης θερμότητας για τα κτήρια στο ελληνικό κλίμα. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να γίνεται πάντα εξωτερική μόνωση. Οι θερμικές ιδιότητες του σκυροδέματος εξαρτώνται από τα αδρανή υλικά που περιλαμβάνει και την πυκνότητά του. Το άοπλο ή ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα, με μέση πυκνότητα 1800 - 2200 kg/m³, παρουσιάζει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 1,15 - 1,65 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ και ειδική θερμοχωρητικότητα 1000 J/(kg·K). Αντίστοιχα, το οπλισμένο σκυρόδεμα με 1%

σίδηρο και πυκνότητα 2300 kg/m^3 έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 2,30 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ και ειδική θερμοχωρητικότητα $1000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ [71].

6.3 Βασικά Μέταλλα

Τα μέταλλα μπορούν να ενσωματωθούν σε διάφορες κατασκευές, καθώς αντικαθιστούν το ξύλο με τους εξής τρόπους:

- Έχουν ομοιόμορφη συμπεριφορά σε όλες τις κατευθύνσεις, αντίθετα με το ξύλο.
- Παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή από το ξύλο σε μηχανικές φορτίσεις.
- Μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε σχήματα και διαστάσεις.
- Είναι υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν.

Παραδείγματα ορισμένων μετάλλων που χρησιμοποιούνται συχνά και έχουν οικολογική συμπεριφορά περιλαμβάνουν:

6.3.1 Αλουμίνιο



Εικόνα 5. Κούφωμα αλουμινίου [74]

Το αργίλιο, ή αλουμίνιο (Al), προέρχεται από το ορυκτό υλικό τον βωξίτη και αποτελεί το τρίτο χημικό στοιχείο με τη μεγαλύτερη ποσότητα στη Γη, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Στον οικοδομικό τομέα, χρησιμοποιούνται κράματα αλουμινίου που περιέχουν μαγγάνιο, μαγνήσιο, πυρίτιο, κασσίτερο και χαλκό. Αυτά τα κράματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μεταλλικών φύλλων, ταινιών, ελασμάτων και διαφόρων προφίλ. Επίσης, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κουφωμάτων, στοιχείων στήριξης και επένδυσης όψεων, ελαφρών διαχωριστικών τοίχων και

επικαλύψεων στεγών. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ως προστατευτικά περιβλήματα για ασφαλικά ή συνθετικά υλικά, ως φράγματα υδρατμών και ως πρώτη ύλη για αναλώσιμα είδη και εξοπλισμό (π.χ. βίδες, ήλοι, σύρματα, χειρολαβές, κιγκλιδώματα).

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του αλουμινίου, η εξόρυξη και η επεξεργασία του βωξίτη απαιτούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας καθώς επίσης προκαλούν ρύπανση του αέρα, των υδάτων και συμβάλουν στην αλλοίωση του τοπίου. Για την παραγωγή ενός τόνου αλουμινίου απαιτούνται 72.500 kWh ενέργειας, ενώ για τον σίδηρο απαιτούνται 7.000 kWh και για τον χαλκό 15.000 kWh . Κατά την παραγωγή ενός κιλού αλουμινίου, απελευθερώνονται σημαντικές ποσότητες ρύπων, όπως 16 kg CO , μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και φθόριο, τα οποία είναι υψηλά τοξικά. Παρά τις προσπάθειες για συγκέντρωση και ανακύκλωση αυτών των ρύπων, η απελευθέρωσή τους παραμένει ανησυχητική.

Το αλουμίνιο είναι ένα ανακυκλώσιμο υλικό που μπορεί να ανακυκλωθεί σε ποσοστό 85% όσον αφορά την οικοδομική δραστηριότητα. Ωστόσο, το ανακυκλωμένο αλουμίνιο υποβαθμίζεται σταδιακά στην ποιότητά του, καθώς σε κάθε κύκλο ανακύκλωσης προστίθενται ξένες ουσίες που είναι δύσκολο να διαχωριστούν από το χρησιμοποιημένο αλουμίνιο. Η διαδικασία της ανακύκλωσής του απαιτεί σημαντική ενέργεια [69][74].

6.3.2 Χάλυβας



Εικόνα 6. Χάλυβας οπλισμού
[75]

Ο χάλυβας είναι ένα δομικό υλικό με ευρεία εφαρμογή λόγω του μικρού λόγου βάρους-αντοχής, των μεγάλων αντοχών, της ελατότητας και της ολκιμότητάς του. Ωστόσο, ο χάλυβας παρουσιάζει μειονεκτήματα, καθώς χάνει το μεγαλύτερο μέρος των αντοχών του κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και οξειδώνεται υπό μεικτές περιβαλλοντικές συνθήκες. Συνήθως χρησιμοποιείται για την κατασκευή κιγκλιδωμάτων, διακοσμητικών στοιχείων, οπλισμένου σκυροδέματος, φορέων και ειδικών μεταλλικών κατασκευών [55], [75].

Επιπλέον, ο ελαφρύς χάλυβας, που είναι ένα κράμα χάλυβα, χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση του ξύλου σε οικοδομικές κατασκευές επειδή προσφέρει γρήγορη κατασκευή και υψηλή αντοχή.

Ωστόσο, παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα όπως είναι η υψηλή θερμοαγωγιμότητα, δημιουργεί θερμικές γέφυρες και απαιτεί σημαντική ενέργεια για τη ψύξη και θέρμανση των κτιρίων. Επιπλέον, η παραγωγή και ανακύκλωση του χάλυβα συνεπάγονται με μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια και προκαλούν μεγάλη μόλυνση κατά τη διάρκεια της παραγωγής του. Σε σύγκριση με άλλα δομικά υλικά, έχει χαμηλότερη ενεργειακή απαίτηση ανά κιλό υλικού και είναι ευρέως επαναχρησιμοποιήσιμος, αν και σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με το αλουμίνιο [68].

6.3.3 Χαλκός



Εικόνα 7. Σωληνώσεις χαλκού
[77]

Η χρήση του χαλκού ως πρώτη ύλη στα σκεύη, στα όπλα και στα εργαλεία έχει καταγραφεί από την προϊστορία. Ο χαλκός διακρίνεται για την χαρακτηριστική μεταλλική του λάμψη. Σήμερα, από τον χαλκό παράγονται κράματα όπως ο μπρούτζος και ο ορείχαλκος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, όπως σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα (πηνία και ηλεκτρομαγνήτες), στην κατασκευή σωληνώσεων και στις στέγες. Μια αξιοσημείωτη ιδιότητα του χαλκού είναι η ικανότητά του να αντιμετωπίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τον χαλκό ιδανικό για την κατασκευή σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται για τη

μεταφορά πόσιμου νερού. Ωστόσο η παρουσία αλάτων χαλκού στο νερό του δικτύου ύδρευσης μπορεί να προκαλέσει δυσφορία, ανωμαλίες και ακόμη φλεγμονές στο πεπτικό σύστημα. Γενικά αποτελεί ανακυκλώσιμο υλικό και η διαδικασία ανακύκλωσής του είναι οικονομικά εφικτή με χαμηλό κόστος [76], [77].

6.4 Γυαλί



Εικόνα 8. Ενερειακό τζάμι με αόρατη μεμβράνη [78]

Το γυαλί είναι ένα άμορφο, σκληρό και εύθραυστο υλικό, ανθεκτικό στην προσβολή χημικών ενώσεων. Διαθέτει δύο σημαντικά χαρακτηριστικά που προσφέρουν πολλά οφέλη στην κτηριακή κατασκευή. Αφενός, επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στα κτήρια, ενώ αποτρέπει την απώλεια θερμικής ενέργειας, καθώς είναι διαφανές στην ηλιακή ακτινοβολία και αδιαφανές στη θερμική ακτινοβολία εσωτερικά. Αφετέρου, παρέχει οπτική επαφή μεταξύ διαφορετικών χώρων, επιτρέποντας τη θέα και την αίσθηση επικοινωνίας ανάμεσα τους, παρά την φυσική τους διαχωριστική φύση [71], [78].

Το χαλαζιακό γυαλί είναι ένα είδος γυαλιού που χρησιμοποιείται στον κατασκευαστικό τομέα και παράγεται από χαλαζιακή άμμο. Τα βασικά συστατικά είναι το διοξείδιο του πυριτίου (σε ποσοστό 70%), οξείδιο του ασβεστίου (σε ποσοστό 14%) και οξείδιο του νατρίου. Το βασικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που σχετίζεται με το γυαλί είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας κατά την παραγωγή του, καθώς και η μεγάλη ενέργεια που συνήθως απαιτείται για τη μεταφορά του. Εκτιμάται ότι για κάθε τόνο γυαλιού που παράγεται, εκπέμπεται περίπου ένας τόνος CO₂, ενώ η μεταφορά του προκαλεί επιπλέον έναν τόνο CO₂ λόγω του ότι η παραγωγή του συνήθως γίνεται σε απόσταση από τον τόπο χρήσης του. Αν και το γυαλί είναι υλικό που μπορεί να ανακυκλωθεί, η ανακύκλωσή του οδηγεί σε παραγωγή υλικού χαμηλότερης ποιότητας. Παρόλα αυτά, η ανακύκλωση του συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος και στη μείωση των απορριμμάτων. Στην Ολλανδία, σχεδόν όλο το παραγόμενο γυαλί ανακυκλώνεται, είτε για την παραγωγή γυαλιού χαμηλότερης ποιότητας είτε ως αδρανή υλικά για την αντικατάσταση φυσικών αδρανών υλικών σε μίγματα σκυροδέματος ή ασφάλτου. Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των γυάλινων μπουκαλιών και βαζών ελαχιστοποιεί τα απορρίμματα συσκευασίας. Η ανακύκλωση του γυαλιού έχει επίσης συμβάλει στην ανάπτυξη νέων οικονομικών τομέων και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Σήμερα, υπάρχουν πολλά σημεία συλλογής γυαλιού σε δημόσιους χώρους και λειτουργούν μονάδες επεξεργασίας για το χρησιμοποιημένο γυαλί[55], [70].

6.5 Τσιμέντο



Εικόνα 9. Τσιμέντο Portland [79]

Το τσιμέντο ανήκει στα κονιάματα . Ο όρος "κονία" αναφέρεται σε υλικά που μπορούν να είναι σε στερεή μορφή, όπως το τσιμέντο ή ο γύψος, ή σε πολτώδη μορφή, όπως ο ασβεστοπολτός (σοβάς). Όταν αναμειγνύονται με την κατάλληλη ποσότητα νερού, αποκτούν πλαστικότητα και μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές. Επιπλέον, έχουν την ικανότητα να συνδέουν αδρανή υλικά, όπως άμμο, χαλίκια και σκύρο. Τα κονιάματα μπορούν να πετρώσουν και να πήξουν λόγω χημικών μετατροπών.

Το τσιμέντο παρασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1756 από τον Άγγλο μηχανικό John Smeaton. Ανακάλυψε ότι μίγματα αργιλικού πετρώματος και ασβεστόλιθου μπορούν να παράγουν υδραυλική κονία. Η βιομηχανία παραγωγής του τσιμέντου Portland ξεκίνησε το 1824 από τον Άγγλο Joseph Aspdin. Σήμερα, το μείγμα τροφοδοσίας θερμαίνεται σε περιστροφική κάμινο που λειτουργεί συνεχώς στους 1500°C. Το υλικό

που προκύπτει από την κάμινο, γνωστό ως όστρακα ή κλίνκερ, αποθηκεύεται και αλέθεται για να παρασκευαστεί το τσιμέντο πριν χρησιμοποιηθεί. Τα τσιμέντα αυτά είναι υψηλής αντοχής και ταχείας σκλήρυνσης και περιέχουν αυξημένη ποσότητα οξειδίου του ασβεστίου. Έχουν αλεσθεί σε μικρότερη κοκκομετρία και η όπτηση των πρώτων υλών γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Οι επιπτώσεις του τσιμέντου στο περιβάλλον είναι οι εξής:

- Το τσιμέντο έχει υψηλή ενέργεια, περιεκτικότητα (1000 έως 1500 kWh/t).
- Οι πρώτες ύλες του, ασβεστόλιθος και άργιλος, εξάγονται με ανατινάξεις από λατομεία και προκαλούν ηχορύπανση και εκπομπή σκόνης. Απαιτείται αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος μετά την εξόρυξη.
- Τα ορυκτά που περιέχονται στις πρώτες ύλες μπορεί να περιέχουν βαρέα μέταλλα, με το χρώμιο (VI) να είναι ειδικά επικίνδυνο. Η σκόνη του τσιμέντου είναι επιβλαβής και απαιτούνται μέτρα προστασίας κατά τη χρήση.
- Οι εκπομπές καυσαερίων κατά την παραγωγή του τσιμέντου επηρεάζουν το περιβάλλον, με σημαντικό ποσοστό στις βιομηχανικές εκπομπές σε ορισμένες περιοχές. Για παράδειγμα στη Γερμανία αποτελεί το 17% των βιομηχανικών εκπομπών ενώ 3% των συνολικών εκπομπών καυσαερίων [71], [79].

6.6 Γύψος



Εικόνα 10. Οικοδομικός γύψος [80]

Η γύψος, χημική ένωση με τύπο $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ανήκει στην κατηγορία των εβαποριτών και αποτελεί λατομικό ορυκτό με κρυσταλλική δομή. Οι κρύσταλλοί της μπορούν να είναι πλακώδεις, πρισματικοί ή βελονοειδείς, και συνήθως έχουν διαφανές ή λευκό χρώμα. Χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή ποικίλων τεχνητών οικοδομικών υλικών. Ανάμεσα σε αυτά, ξεχωρίζουν οι γυψοσανίδες, που μπορούν να ενισχυθούν με διάφορες φυτικές ή ζωικές ίνες, πλίνθοι γύψου, διάφορα κονιάματα, επιχρίσματα και διακοσμητικά είδη. Αυτά τα προϊόντα καλύπτουν ένα

ευρύ φάσμα αναγκών στον κλάδο της οικοδομής. Η γύψος παράγεται σε 3 κατηγορίες, φυσική, συνθετική, και γύψο REA.

Φυσική γύψος: Τα φυσικά ιζήματα της γύψου τεμαχίζονται σε μικρά κομμάτια και υποβάλλονται σε θέρμανση, με σκοπό την απομάκρυνση του κρυσταλλικού νερού. Όταν η θερμοκρασία φτάσει έως τους 66°C , παράγεται γύψος. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, παράγεται ανυδρίτης γύψος, ο οποίος χρησιμοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου. Μετά τη θέρμανση, τα κομμάτια γύψου αλέθονται. Η διαθεσιμότητα φυσικής γύψου είναι περιορισμένη λόγω του δαπανηρού κόστους εξόρυξής της. Για αυτόν τον λόγο, η αγορά έχει στραφεί ιδίως τα τελευταία χρόνια προς τη βιομηχανική παραγωγή συνθετικής γύψου.

Συνθετική γύψος: Παράγεται από φωσφορικά πετρώματα και υδροχλωρικό οξύ. Αυτή η μορφή γύψου περιέχει βαρέα μέταλλα και παρουσιάζει αυξημένες εκπομπές ραδονίου. Είναι σημαντικό να αποφεύγεται η χρήση της στον τομέα της οικοδομής, παρά το χαμηλό κόστος που μπορεί να παρουσιάζει.

Γύψος REA: Παράγεται από την αποθέωση των καυσαερίων που εκπέμπονται κατά τη λειτουργία των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Κατά τη διαδικασία αυτή, το διοξείδιο

του θείου που περιέχεται στα καυσαέρια απορροφάται μέσω της χρήσης ασβεστίου. Το αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι ο γύψος REA, ο οποίος είναι ακίνδυνος για τον χρήστη και το περιβάλλον.

Οι περιβαλλοντικές ιδιότητες παρουσιάζονται παρακάτω:

- Έχουν σχετικά χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια.
- Ελάχιστη ποσότητα αποθεμάτων φυσικού γύψου. Η διαθεσιμότητα και η επάρκεια του γύψου REA εξαρτώνται από τον ρυθμό εκσυγχρονισμού των βιομηχανικών μονάδων που καίνε υδρογονάνθρακες, καθώς και από το μέλλον της καύσης υδρογονανθράκων που τείνουν να αντικατασταθούν από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Τα προϊόντα γύψου είναι ανακυκλώσιμα, όταν προέρχονται από φυσική γύψο ή γύψο REA.
- Η εξόρυξη του ανυδρίτη προκαλεί ηχορύπανση και απελευθερώνει σκόνη και αέριους ρύπους, επομένως απαιτούνται μέτρα προστασίας για τους εργαζομένους και δέσμευση των εκπομπών.

Η διάκριση μεταξύ συνθετικής γύψου, φυσικής γύψου και γύψου REA δεν είναι εύκολη. Όταν χρησιμοποιείται φυσική γύψος ή γύψος REA ως πρώτη ύλη, τα προϊόντα που παράγονται είναι απολύτως καθαρά και φιλικά προς το περιβάλλον και την υγεία των χρηστών τους [71], [80].

6.7 Γυψοσανίδα



Εικόνα 11. Γυψοσανίδα οροφής [80]

Η γυψοσανίδα αποτελεί ιδανική επιλογή για τη διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων, είτε πρόκειται για κατοικίες είτε για επαγγελματικούς χώρους. Αποτελείται από ειδική σύνθεση γύψου και πετρελαιμένου χαρτιού, προσφέροντας λεία επιφάνεια. Ιδανική για τη δημιουργία ψευδοροφών, τοίχων που λειτουργούν ως διαχωριστικά και για επενδύσεις τοίχων. Επίσης, χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση και κάλυψη κατασκευαστικών ατελειών, δημιουργώντας ένα ομοιόμορφο και αισθητικά ευχάριστο αποτέλεσμα.. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ειδικές κατασκευές, όπως ράφια, βιβλιοθήκες και καμπύλες κατασκευές. Η ελαφρότητα και η ευκολία τοποθέτησης της γυψοσανίδας την καθιστούν ιδανική, εξαλείφοντας την ανάγκη για χτίσιμο και σοβάτισμα. Μεταξύ των γυψοσανίδων μπορεί να τοποθετηθεί μόνωση για βελτίωση της θερμομόνωσης και της ηχομόνωσης, ενώ επίσης μπορούν να περάσουν σωλήνες και καλώδια, προσφέροντας ένα καθαρό και επιμελημένο αποτέλεσμα. Ενδεικτικές τιμές περιβαλλοντικού αποτυπώματος: παραγωγή CO₂ = 0,39 (KgCO₂ eq) / Kg και E. E. = 6,75 MJ / Kg [55], [81].

6.8 Λίθοι



Εικόνα 12. Κατασκευή παραδοσιακής κατοικίας [69]

Η πέτρα αποτελεί το παλαιότερο υλικό κατασκευής, χρησιμοποιούμενο από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Προέρχεται από τη γη και μπορεί να βρίσκεται είτε διάσπαρτη στο έδαφος είτε εξορύσσεται από λατομεία. Η πέτρα διατίθεται σε ποικίλους τύπους και σχήματα και μπορεί να υποστεί ελάχιστη ή αρκετή επεξεργασία. Έχει εξαιρετική ικανότητα ηχομόνωσης και θερμομόνωσης, μειώνοντας την ανάγκη για ενέργεια και δημιουργώντας ιδανικές κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό των κτηρίων. Επιπλέον, η πέτρα προσφέρει αντοχή σε καταπονήσεις και αντισεισμική προστασία, ενώ το

κόστος συντήρησής της είναι ελάχιστο. Εξαιτίας της φυσικής της προέλευσης, οι πέτρινες κατασκευές αποτελούν φυσικές λύσεις και συμβάλλουν στη βιοκλιματική ισορροπία. Οι δομικοί λίθοι χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες.

- a) Οι πυριγενείς πέτρες, όπως ο γρανίτης, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές και σκληρές.
- b) Οι ιζηματογενείς πέτρες, όπως ο ασβεστόλιθος, είναι λιγότερο ανθεκτικές από τις πυριγενείς πέτρες.
- c) Οι μεταμορφωσιγενείς πέτρες, όπως το μάρμαρο, είναι εξαιρετικά ανθεκτικές, αν και λιγότερο από τις πυριγενείς πέτρες.

Οι λίθοι έχουν πολλές διαφορετικές εφαρμογές στην κατασκευή και χρησιμοποιούνται ευρέως ως φέροντες οργανισμοί, δάπεδα ή διακοσμητικά στοιχεία. Με τη φύση τους, οι λίθοι προσδίδουν αντοχή και αξιοπιστία στις κατασκευές, καθιστώντας τις μακροχρόνιες και ανθεκτικές στο πέρασμα του χρόνου. Ωστόσο, η χρήση των λίθων συνεπάγεται οικολογικές προκλήσεις. Η μεταφορά τους απαιτεί μεγάλη ενέργεια και συνεπάγεται εκπομπές αερίων, ενώ η εξόρυξή τους οδηγεί στη μη αναστρέψιμη καταστροφή του τοπίου. Η έντονη εκμετάλλευση του τοπίου για την εξόρυξη λίθων συνήθως αφήνει ένα άγονο τοπίο, αδύνατο να αποκατασταθεί στην αρχική του κατάσταση [70].

6.9 Κεραμικά

Τα προϊόντα κεραμουργίας παράγονται από αργιλώδες χώμα, γνωστό ως πηλός. Η ποιότητα και το είδος του κεραμικού προϊόντος, όπως οι οπτόπλινθοι, οι πορσελάνες και τα πυρότουβλα, καθορίζονται από την είδος της αργίλου, την κοκκομετρική σύνθεση του πηλού, τη θερμοκρασία όπτησης και ειδικές προσμίξεις. Τα δομικά προϊόντα κεραμουργίας περιλαμβάνουν οπτόπλινθους (τούβλα), κεραμίδια, πλακάκια δαπέδων και πεζοδρομίων, κεραμικούς σωλήνες, ειδικά προϊόντα και διακοσμητικά αντικείμενα [71].



Εικόνα 13. Κεραμικός τοίχος [82]

Η παραγωγή κεραμικών τούβλων για τοιχοποιία απαιτεί υψηλή ενέργεια, καθώς το υλικό πρέπει να θερμανθεί σε υψηλές θερμοκρασίες (1000-1500 °C) για αρκετές ώρες. Η παραγωγή των τούβλων απαιτεί περίπου 2MJ/Kg ενέργειας, με το μεγαλύτερο μέρος να χρησιμοποιείται για την όπτηση των υλικών. Κατά τη διαδικασία όπτησης, υπάρχει περιβαλλοντικό κόστος καθώς απελευθερώνονται οργανικά υπολείμματα και θειικές ενώσεις που περιέχονται στην άργιλο.

Αυτές οι εκπομπές περιλαμβάνουν διοξείδιο του θείου και διοξείδιο του άνθρακα, και εισέρχονται στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, η ανάμειξη της αργίλου με άσβεστο πριν από την όπτηση μπορεί να μειώσει αυτές τις εκπομπές [70], [82].



Εικόνα 14. Κεραμίδια [83]

Τα κεραμίδια είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα υλικά για τη στέγαση. Κατασκευάζονται από παχύ πηλό, με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άργιλο από τον πηλό των οπτόπλινθων. Αυτό τους προσδίδει μεγαλύτερη ευκαμψία για να λαμβάνουν το επιθυμητό σχήμα και να αντέχουν στις ατμοσφαιρικές μεταβολές [71], [83].



Εικόνα 15. Κεραμικό πάτωμα [84]

Οι κεραμικές πλάκες και πλακίδια χρησιμοποιούνται για την επένδυση δαπέδων, πεζοδρομίων και τοίχων, εσωτερικά και εξωτερικά. Κατασκευάζονται σε διάφορες διαστάσεις, σχέδια και χρώματα, με τη σύνθεση της πρώτης ύλης να προσαρμόζεται στα ανάλογα προϊόντα και στη χρήση τους. Για παράδειγμα, για την κατασκευή λευκών πλακιδίων ή πλακιδίων πορσελάνης χρησιμοποιείται λευκός πηλός που δεν περιέχει οξείδια σιδήρου και χρωστικές ουσίες.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές ιδιότητες [71], [84]:

- Γενικά εμπεριέχουν σχετικά χαμηλή ενέργεια. Μεταφέρονται σε μικρές αποστάσεις.
- Ο πηλός είναι άφθονος και απαιτείται αποκατάσταση των χώρων εξόρυξης.
- Η ανακύκλωση είναι δυνατή και γίνεται μετατροπή σε κεραμάλευρο.
- Είναι φυσικά προϊόντα, εκτός από αυτά που περιέχουν επιβλαβή συνθετικά υλικά.
- Κατά την όπτηση, εκπέμπονται επιβλαβείς ουσίες που απειλούν τη βλάστηση.
- Χρησιμοποιούνται φίλτρα, έλεγχος εκπομπών και κατάλληλοι καταλύτες για τη μείωση των εκπομπών.

6.10 Θερμομονωτικά υλικά στην αγορά

Τα θερμομονωτικά υλικά αποτελούν ζωτικό στοιχείο στην κατασκευή, προκειμένου να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη λειτουργία των κτιρίων. Αυτά τα υλικά συμβάλλουν στη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της θερμικής φόρτωσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες μονώσεων: οι φυτικές, οι ζωικές και οι ορυκτές. Στις ορυκτές υπάγονται: ο βερμικουλίτης ($\lambda = 0,07 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), το διογκωμένο γυαλί ($\lambda = 0,04 - 0,06 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), ο περλίτης ($\lambda = 0,05 - 0,07 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), ο ορυκτοβάμβακας ($\lambda = 0,045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) κ.α.. Ωστόσο, παρά την παρουσία του χαμηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας κατά την παραγωγή τους, με αποτέλεσμα να τα κάνει ασύμφωρα [71]. Τα πιο γνωστά θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στη μόνωση τοίχων, δαπέδων και οροφών είναι τα εξής:

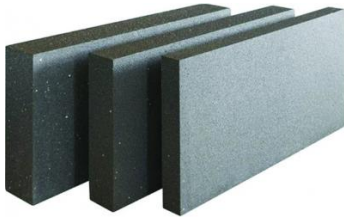
Πετροβάμβακας



Εικόνα 16. Πετροβάμβακας [86]

Η προέλευση του πετροβάμβακα πηγάζει από ένα μείγμα πετρωμάτων, όπως άστριοι, δολομίτες και ανακυκλωμένοι λίθοι. Ανήκει στην κατηγορία των ορυκτών μονωτικών υλικών και είναι τα πιο διαδεδομένα μονωτικά προϊόντα στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα, έχει γίνει ευρέως χρησιμοποιούμενο θερμομονωτικό υλικό, ειδικά σε ολοκληρωμένα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης κτιρίων. Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ο πετροβάμβακας εμπεριέχει υψηλή ενσωματωμένη ενέργεια σε σύγκριση με υπόλοιπες ορυκτές μονώσεις, εξαιτίας της διαδικασίας εξόρυξής του. Προέρχεται από άφθονους φυσικούς πόρους αλλά δεν μπορεί να ανακυκλωθεί. Τα απόβλητα απορρίπτονται ως απλά οικοδομικά απορρίμματα. Το πέτρωμα των μονώσεων πετροβάμβακα δεν προκαλεί κινδύνους για την υγεία, αλλά χρειάζεται προσοχή όταν υπάρχουν συγκολλητικές ύλες που αναμιγνύονται σε αυτές. Η μακροχρόνια έκθεση στις ίνες πετροβάμβακα μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του πνεύμονα. Ωστόσο έχει καλή θερμική αγωγιμότητα ($\lambda=0,04 \text{ W/(mK)}$), εμφανίζει μικρή αντίσταση στη διάχυση υδρατμών ($\mu=1.4$), παρουσιάζει καλές ηχομονωτικές ιδιότητες και αντίσταση στην πυρκαγιά καθώς ανήκει στην κατηγορία ορυκτών υλικών [85], [86].

Διογκωμένη πολυστερίνη



Εικόνα 17. Διογκωμένη πολυστερίνη [87]

Η διογκωμένη πολυστερίνη αποτελεί το πιο διαδεδομένο θερμομονωτικό υλικό στην Ελλάδα, κυρίως λόγω του μικρού κόστους της. Το υλικό αυτό αποτελείται κατά κύριο λόγο από πολυστερίνη (1,5 έως 2%) και αέρα (98 ή 98,5%), ανάλογα με την πυκνότητά της, και παράγεται μέσω της διόγκωσης πολυμερισμένου στυρολίου. Παρ' όλα αυτά, η διογκωμένη πολυστερίνη έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως η χαμηλή πυραντοχή και η ευαισθησία της σε οργανικούς διαλύτες [87].

Κυκλοφορεί στην αγορά ως πλάκες και χρησιμοποιείται σε διάφορες κατασκευές, όπως τοίχοι, τοιχία, πλάκες σκυροδέματος και υπόγεια, αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό της χρησιμοποιείται σε δώματα, τοίχους και πατώματα.

Εξηλασμένη πολυστερίνη



Εικόνα 18. Εξηλασμένη πολυστερίνη [88]

Η εξηλασμένη πολυστερίνη αποτελεί ένα θερμομονωτικό υλικό με διαφορές από τη διογκωμένη πολυστερίνη μόνο στην διαδικασία παραγωγής. Ωστόσο, η σύνθεσή της παραμένει ίδια. Εξίσου, διαθέτει αυξημένη αντοχή στη συμπίεση και στην απορρόφηση υγρασίας σε σύγκριση με τη διογκωμένη πολυστερίνη. Η ειδική διαδικασία εξέλασης προσδίδει αυτές τις ιδιότητες, καθώς και το χαρακτηριστικό χρώμα (πράσινο, γαλάζιο, κίτρινο). Στην αγορά, η εξηλασμένη πολυστερίνη παρουσιάζεται ως πλάκες με διάφορες πυκνότητες, διαθέτοντας επίπεδη ή ανάγλυφη επιφάνεια για καλύτερη πρόσφυση του επιχρίσματος, και

μπορεί να έχει επικάλυψη ή ψηφίδας στη μία πλευρά. Χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές, όπως το σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης κτιρίων, και στην παραγωγή ελαφροσκυροδέματος που είναι κατάλληλο για δάπεδα, οροφές και δεξαμενές κολύμβησης. Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η παραγωγή της εξηλασμένης πολυστερίνης συνδέεται με μία πτυχή της ρύπανσης, προκειμένου να εξαχθεί πετρέλαιο και να παρασκευαστούν ενδιάμεσα προϊόντα στην πετρελαϊκή βιομηχανία. Επίσης, υπάρχει η εκπομπή τοξικών πτητικών αερίων, όπως χλωροφθοράνθρακες (CFC), πεντανίου και στυρενίου, που είναι επιβλαβή για το περιβάλλον και την υγεία. Επίσης, κατά την πυρκαγιά, δημιουργούνται τοξικά βρωμιούχα αέρια. Η εξηλασμένη πολυστερίνη προέρχεται από μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με την κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή της να είναι υψηλή. Παρά ταύτα, μπορεί να ανακυκλωθεί σε ποσοστό 20% της αρχικής ύλης, ενώ ενσωματώνεται επίσης σε φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα τσιμέντου. Τα στάδια με το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό φορτίο είναι αυτά της εξόρυξης των πρώτων υλών, της παραγωγής και της διατήρησής της [88].

Αφρός πολυουρεθάνης



Εικόνα 19. Αφρός πολυουρεθάνης [89]

Ο αφρός πολυουρεθάνης παρασκευάζεται με τη χρήση καταλυτών και προωθητικών μέσων, δημιουργώντας έναν σκληριοποιημένο αφρό. Στην αγορά, το προϊόν παρουσιάζεται σε δύο μορφές. Αρχικά, σε μορφή αφρού μέσω επί τόπου ψεκασμού, για να εφαρμοστεί σε κυλινδρικές, σφαιρικές και καμπύλες επιφάνειες, καθώς και σε σκληρές πλάκες που κατασκευάζονται στο εργοστάσιο και έπειτα επιφανειακά επιστρώνονται με αδιαβροχοποιημένο χαρτί, πολλαπλών στρωμάτων ή φύλλων αλουμινίου. Επιπλέον, το υλικό χρησιμοποιείται για την μόνωση σωληνώσεων μέσω ειδικά διαμορφωμένων κογχυλιών [89].

6.11 Οικολογικά υλικά κατασκευής

Τα νέα οικολογικά δομικά υλικά αποτελούν μια σημαντική πρωτοβουλία προς την μείωση του αντικτύπου της κατασκευαστικής βιομηχανίας στο περιβάλλον. Ωστόσο, όπως και με οποιοδήποτε άλλο υλικό, πρέπει να αξιολογηθούν προσεκτικά οι θετικές και αρνητικές πτυχές τους.

Πολλοί είναι οι παράμετροι που πρέπει να ελεγχθούν για να πιστοποιηθεί η οικολογική τους συμπεριφορά. Για παράδειγμα, στα θετικά ανήκει το γεγονός ότι συμβάλουν στη μείωση του CO₂ που παράγεται κατά την παραγωγή τους, καθώς είτε απαιτούν λιγότερη ενέργεια κατά την παραγωγή τους είτε αποθηκεύουν CO₂ κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Επιπλέον πολλά από αυτά τα υλικά έχουν υψηλότερη θερμική απόδοση, βοηθώντας στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων. Ωστόσο κάποια οικολογικά υλικά, όπως το ξύλο και άλλα φυσικά υλικά που προέρχονται από δασικούς πόρους, μπορεί να οδηγήσουν σε αποψίλωση των δασών και εξάντληση των φυσικών πόρων αν δεν χρησιμοποιούνται βιώσιμα. Επίσης, άλλες ιδιότητες όπως η τοξικότητα, ο χρόνος ζωής και η ικανότητα βιοδιάσπασης δεν έχουν αναφερθεί στις έρευνες για όλα τα υλικά. Είναι σημαντικό να εξεταστούν αυτές οι πτυχές προκειμένου να εκτιμηθεί ολοκληρωμένα ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος τους και να διασφαλιστεί η βιωσιμότητά τους στο μέλλον.

Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι: άχυρο, βαμβάκι, καλαμιές, μπαμπού, φύλλα ανανά, μαλλί προβάτου, ροκανίδι, φελός, πηλός, μικύλλιο, ίνες καλαμποκιού, alpha, ξύλου, κάνναβης (κενάφ), κοκκοφοίνικα, κυτταρίνης, λιναριού υφασμάτων, ξυλλόμαλου, υπολείμματα από βαμβάκι, φοινικέλαιου, κατάλοιπα υποδημάτων κ.ά. Συνοπτικά η μη ευρεία χρήση τέτοιων υλικών μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη ευαισθητοποίησης και γνώση για την ύπαρξη τους, το υψηλό κόστος συγκριτικά με άλλα διαθέσιμα υλικά και την προτίμηση για παραδοσιακά λόγω της ελλιπούς εξοικείωσης με τα νέα υλικά, μερικά σχετικά γνωστά οικολογικά υλικά είναι τα εξής [90]:



Εικόνα 20. Πράσινη δόμηση [91]

- Ecopanelly
- Hofatex
- Biofiber
- Icynene
- Oriented Strand Board (OSB)
- Ytong
- Linoleum
- Hemp crete, canabest
- Rammed earth
- Ethylene-vinyl acetate (EVA)
- Cob

6.12 Ανακυκλώσιμα υλικά κατασκευής, βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η διαχείριση των Α.Ε.Κ.Κ. αποτελεί μια κρίσιμη πτυχή της βιώσιμης οικοδομής και της προστασίας του περιβάλλοντος. Στην Ελλάδα, το κόστος διαχείρισης αυτών των αποβλήτων κυμαίνεται από 0.20 € έως 29,55 € χωρίς να περιλαμβάνεται το κόστος μεταφοράς από το σημείο παραγωγής προς το περιβάλλον διαχείρισης [91]. Τα πιο συνηθισμένα προϊόντα που προκύπτουν μετά την ανακύκλωση τους είναι τα υλικά οδοποιίας 3Α, τα σκύρα, το χαλίκι, το γαρμπίλι, η άμμος, το καθαρό χώμα, το χώμα επιχώσεων και τα κεραμικά υλικά επιχώσεων [92].

Παρόλα αυτά έχουν διενεργηθεί αρκετές μελέτες που επικεντρώνονται στη δημιουργία νέων ανακυκλώσιμων υλικών, που συνδυάζουν απόβλητα για να βελτιώσουν τις φυσικές, μηχανικές ή χημικές τους ιδιότητες και να τα καταστήσουν χρήσιμα σε διάφορες εφαρμογές. Για παράδειγμα, σε γύψους και σοβάδες, υπάρχουν μελέτες που επικεντρώνονται στην ενσωμάτωση απορριμμάτων χαρτιού [93], φελλού [90-91], υφαντικών ινών [96], ξύλου [97], φλοιού ρυζιού [98], πριονιδιού [99], ίνες από άχυρο [100], ίνες φοίνικα [101], ίνες κάνναβης [102], γραφίτης [103], δέρμα [104], κεραμικά [92],[101], γύψο[106], ορυκτές ίνες [107] και πλαστικά [108]. Σχετικά με την ενσωμάτωση ανακυκλωμένων υλικών σε κονιάματα τσιμέντου ή ασβέστη, υπάρχουν μελέτες που αναλύουν την προσθήκη απορριμμάτων από πολυμερικές ίνες [109], [110], ανακυκλωμένα αδρανή [111], κεραμικά [112], ορυκτοβάμβακα [113], [114], [115], υφαντικές ίνες [116], ίνες γυαλιού [117], ανακυκλωμένη κυτταρίνη [118], [119] και φυτικές ίνες [120], [121].

Πέρα από τα πιθανά τεχνικά οφέλη, η επαναχρησιμοποίηση υλικών μειώνει την ποσότητα της πρώτης ύλης που απαιτείται και συνεπώς οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση του κόστους παραγωγής. Ταυτόχρονα, μειώνει την ποσότητα αποβλήτων που καταλήγουν στα σκουπίδια και συνεπώς συμβάλλει στην αειφορία του περιβάλλοντος [122]. Επομένως, η αντικατάσταση των παραδοσιακών υλικών με ανακυκλωμένα υλικά είναι μια σημαντική πρακτική για την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Έτος	Απόβλητα	Συνδετικό υλικό	Εφαρμογή	Θερμική Αγωγιμότητα [W/mK] (% προσηθέμενου αποβλήτου)	Θλιπτική αντοχή [Μρα] (% προσηθέμενου αποβλήτου)
2015 [123]	Άχυρο σιταριού και κριθαριού	Γύψος, τσιμέντο, χάρμα	Τούβλο	0.31 (3% άχυρο σιταριού) 0.314 (3% άχυρο κριθαριού)	-
2017 [124]	Καοτσούκ	Τσιμέντο	Τοιχοποιία	0.8 (20% απόβλητα) 0.65 (37% απόβλητα)	15.4 (20% καοτσούκ) 6.7 (37% rubber)
2018 [125]	Τέφρα ζαχαροκάλαμου, φλοιού ρυζιού	Αργίλος	Τούβλο	0.35 (15% SBA) 0.37 (15% RHA)	5.01 (15% SBA) 5.53 (15% RHA)
2018 [126,127]	Γυαλί	Αργίλος	Τούβλο	0.59 (25% απόβλητα)	12.56 (25% γυαλί)
2018 [128]	Διογκωμένη, Εξηλασμένη πολυστερίνη	Γύψος	Σοβάς επίχρισμα	0.23 (2% Δ.Π.) 0.29 (2% Ε.Π.)	2.74 (2% Δ.Π.) 5.59 (2% Ε.Π.)
2019 [129]	Διογκωμένη, Εξηλασμένη πολυστερίνη	Γύψος	Γυψοσανίδα	0.16 (3% Δ.Π. + 1% Ε.Π.) 0.15 (2% Δ.Π. + 3% Ε.Π.)	3.56 (3% Δ.Π. + 1% Ε.Π.) 3.28 (2% Δ.Π. + 3 Ε.Π.)
2019 [130]	Γυαλί	Γύψος	Προκατασκευασμένα στοιχεία, επίχρισμα	0.28 (70% απόβλητα) 0.31 (100% απόβλητα)	8.7 (70% απόβλητα) 10.2 (100% απόβλητα)
2019 [131]	Διογκωμένη πολυστερίνη	Γύψος	Γυψοσανίδα	0.3 (2% Δ.Π.)	2.35 (2% Δ.Π.)
2020 [132]	Κεραμικά, Διογκωμένη πολυστερίνη	Γύψος	Ογκόλιθοι	0.28 (75% KEP + 2/3 Δ.Π)	0.95 (75% KEP + 2/3 Δ.Π.)
2021 [133]	Κόκκους φελού	Τσιμέντο	Μη φέρον στοιχείο	0.15 (30% απόβλητα + 3% σκωρία)	-

Πίνακας 3. Επισκόπηση προηγούμενων μελετών για ανακυκλωμένα υλικά και θερμικός χαρακτηρισμός [122]

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι έρευνες επικεντρώνονται στη δημιουργία νέων βιώσιμων υλικών με βελτιωμένη θερμική συμπεριφορά, με σκοπό να βελτιώσουν την θερμική απόδοση των κτιρίων. Παρακάτω παρουσιάζονται διάφορες μελέτες που εστιάζουν στην εξέλιξη υλικών που προέρχονται από ανακυκλώσιμα υλικά και παρουσιάζουν βελτιωμένη θερμική ικανότητα.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα είδη υλικών που αναπτύχθηκαν περισσότερο και προκύπτουν από ανακυκλώσιμα και δευτερογενή υλικά.

Timbercrete:



Εικόνα 21. Timbercrete τοίχος [132]

Το Timbercrete αναπτύχθηκε στην Αυστραλία με εφευρέτη τον Peter Collier, είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον υλικό κατασκευής, που παράγεται από ένα μείγμα από πριονιού και σκυροδέματος. Επαναχρησιμοποιεί απόβλητα προϊόντα και αντικαθιστά ορισμένα ενεργειακά επιβαρυμένα στοιχεία του συμβατικού σκυροδέματος. Μέχρι σήμερα, το timbercrete έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τούβλων, τμημάτων, πάνελ και πλακιδίων, και μπορεί να δημιουργήσει μια μεγάλη ποικιλία μεγεθών, χρωμάτων, σχημάτων και υφών. Το υλικό αποθηκεύει τον άνθρακα στο κτήριο και αντισταθμίζει τις εκπομπές που απελευθερώνονται από τα ρυπογόνα

οχήματα. Είναι ελαφρύτερο από το σκυρόδεμα και διαθέτει εξαιρετική θερμική μόνωση, κάνοντάς το ιδανικό υλικό για αειφόρα κτιριακά έργα. Το Timbercrete έχει χρησιμοποιηθεί επίσης στην κατασκευή σπιτιών και κατοικιών. Τα συστατικά που το αποτελούν είναι τα απορρίμματα ξύλου, κονίαμα άμμος και δεσμευτικά μη τοξικά πρόσθετα για τη μείωση της ιξώδους. Τα Χαρακτηριστικά του είναι τα εξής :

Η πυκνότητα του κυμαίνεται από 900 Kg/m³ έως 1500 Kg/m³. Η αντοχή του σε φορτίο κυμαίνεται από 5 MPa έως 15 MPa. Το Timbercrete είναι ανθεκτικό, καθώς η σφαίρα δεν έχει καταφέρει να διεισδύσει μέσα από ένα τούβλο πάχους 200 mm. Η θερμική αγωγιμότητα του είναι από 0,234 έως 0,391 W/mK ανάλογα με την πυκνότητα, είναι επίσης 2.5 φορές πιο ελαφρύ από το σκυρόδεμα και τον πηλό. Διαθέτει υψηλή αντοχή στη φωτιά, ένα τούβλο πάχους 19 εκατοστών μπορεί να υπερτερήσει στην αντοχή σε πυρότητα σε σύγκριση με συμβατικά τούβλα, πηλό, ξύλο και χάλυβα. Το Timbercrete είναι λιγότερο πορώδες από τα τούβλα σκυροδέματος και δεν διαβρώνεται. Επιπλέον, έχει καλύτερη ικανότητα να απορροφά ή να ανακλά ήχους σε σύγκριση με τα εν αεριζόμενα τούβλα. Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα, υπάρχουν και μερικές προκλήσεις: Η διαδικασία ανάμιξης του Timbercrete δεν είναι τόσο καλά καθορισμένη όπως του σκυροδέματος, οδηγώντας σε κακό έλεγχο ποιότητας. Επιπλέον το ξύλο από απόβλητα μπορεί να επηρεάσει την υγεία αν αναμιχθεί με άλλα χημικά που δεν προορίζονται να συνδυαστούν, όπως η φορμαλδεΐδη [134], [135].

AshCrete:



Εικόνα 22. Ashcrete [133]

Το Ashcrete είναι φιλικό προς το περιβάλλον οικοδομικό υλικό που παράγεται από μίγμα ιπτάμενης τέφρας, βορικού άλατος, τέφρας πυθμένα και ένωσης χλωρίου. Περίπου το 93% των υλικών είναι ανακυκλώσιμα, κάνοντας το φιλικό προς το περιβάλλον. Το Ashcrete προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Πρώτον, η

αντοχή του είναι εξαιρετική, καθώς τα λεπτά σωματίδια ιπτάμενης τέφρας και οι ποζολανικές τους ιδιότητες μειώνουν τη ρηγμάτωση και αιμορραγία του φρέσκου σκυροδέματος, κάνοντάς το πιο ανθεκτικό από το συμβατικό. Δεύτερον, έχει υψηλή αντοχή σε επιθετικά στοιχεία, όπως οξύ και φωτιά. Τρίτον, είναι οικονομικό, αφού παράγεται κυρίως από ιπτάμενη τέφρα, μειώνοντας το συνολικό κόστος σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Τέταρτον, είναι φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς έχει χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια και μπορεί να παγιδεύσει το CO₂ από τον αέρα, βοηθώντας στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος, συνεισφέρει στην εξοικονόμηση νερού, αφού απαιτεί μικρότερες ποσότητες νερού για την έναρξη της διαδικασίας σκλήρυνσης σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα.

Ωστόσο, το ashcrete έχει και μερικά μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Καταρχάς, παρουσιάζει αργή ανάπτυξη δύναμης σε σύγκριση με το κανονικό σκυρόδεμα λόγω της παρουσίας ιπτάμενης τέφρας στο μείγμα, με αποτέλεσμα να παρατείνεται η περίοδος κατασκευής ενός έργου. Δεύτερον, το ashcrete έχει εποχικούς περιορισμούς, καθώς είναι ευαίσθητο σε χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης, αυξάνοντας σημαντικά τον χρόνο πήξης και την αντοχή. Έτσι, η χρήση ιπτάμενης τέφρας το χειμώνα δεν είναι επιθυμητή και απαιτεί μεγαλύτερη

περιεκτικότητα αέρα από το συμβατικό σκυρόδεμα. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η βιωσιμότητά του, καθώς περιέχει ένωση χλωρίου, η οποία είναι επικίνδυνη [136].

Ferrock:



Εικόνα 23. Ferrock [135]

Το Ferrock είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον δομικό υλικό που αποτελεί υποκατάστατο του τσιμέντου. Η παραγωγή του βασίζεται κυρίως σε ανακυκλωμένα υλικά, όπως απόβλητα σκόνης χάλυβα και πυρίτιο από αλεσμένο γυαλί. Η σκόνη χάλυβα αντιδρά με διοξείδιο του άνθρακα για να παράγει ανθρακικό σίδηρο, ο οποίος, μετά τη στερεοποίηση, μετατρέπεται σε ferrock. Η διαδικασία σκλήρυνσης λαμβάνει χώρα όταν το μείγμα της σκόνης χάλυβα και του διοξειδίου του πυριτίου αναμιγνύεται με σιδηρούχο πέτρωμα και νερό και εκτίθεται σε υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα. Η αντοχή του ferrock είναι πενταπλάσια από αυτή του σκυροδέματος που παρασκευάζεται από συνηθισμένο τσιμέντο Portland. Επίσης, παρουσιάζει μεγαλύτερη ευελιξία και είναι ικανό να αντέξει μεγαλύτερες τάσεις συμπίεσης λόγω σεισμικών δυνάμεων σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Περίπου το 95% των συστατικών του ferrock αποτελείται από ανακυκλωμένα υλικά, κάτι που το καθιστά περιβαλλοντικά φιλικό.

Επιπλέον, απορροφά διοξείδιο του άνθρακα κατά την παραγωγή του, ενώ παράλληλα αντισταθμίζει τις εκπομπές αυτού του αερίου. Το Ferrock χρησιμοποιείται ευρέως σε πλάκες, τούβλα, πεζοδρόμια, πλακόστρωτα, κυματοθραύστες, τοίχους και προτείνεται ιδιαίτερα για πιλοτικά έργα εντός θαλάσσιων περιβαλλόντων. Παρ' όλα αυτά, η παραγωγή του μπορεί να περιορίζεται λόγω της διαθεσιμότητας των υλικών, καθιστώντας την χρήση του πιο κατάλληλη για μικρά έργα [137], [138].

6.13 Μηχανικές ιδιότητες ανακυκλώσιμων υλικών

Τα υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος δεν είναι απαραίτητα υλικά που Έχουν χρησιμοποιηθεί και ανακυκλωθεί στην κατασκευή. Παρόλο που πραγματοποιήθηκε έρευνα για την εύρεση τέτοιων υλικών, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχουν στην αγορά, καθώς συνήθως η ανακύκλωσή τους μειώνει τις μηχανικές ιδιότητες που είχαν ως αρχικά υλικά. Συγκεκριμένα, τα υλικά που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα έχουν ως επί το πλείστον καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Στο πλαίσιο της έρευνας, εντοπίστηκαν, συγκρίθηκαν και επιλέχθηκαν τα παρακάτω υλικά, αξιολογώντας τις μηχανικές τους ιδιότητες: την αντοχή τους σε θλίψη, κάμψη και θραύση, την απορρόφηση νερού και την θερμική αγωγιμότητα για την καταλληλότητά τους ακολουθώντας την νομοθεσία για τα κονιάματα την παραγωγή τύπων τσιμέντου, σκυροδέματος και οπτοπλινθοδομών [139], [140], [141] (βλέπε πίνακα 4).

A/A	Έτος Δημοσίευσης	Εφαρμογή Υλικού	Προσθηθένιο Υλικό	Ποσοστό Προσθηθένιου Υλικού %	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Αντοχή σε θλίψη Ρ MPa	Θερμική Αγωγιμότητα λ W/(mK)	Απορροφητικότητα %
1	2018	Τούβλο	Τέφρα από φλοιό ρυζιού	15	587.5	5.53	0.35	35
2	2023	Τούβλο	Ίνες πριονιδιών	15	1550	4.64	0.29	17.65
3	2020	Τούβλο	Ponceblos (ελαφρόπετρα)	92	370	2	0.12	-
4	2019	Τούβλο	Χαρτί	20	683	4.2	0.097	112
5	2023	Τούβλο	Λάσπη (αστικά λύματα)	20	1780	-	0.29	15.67
6	2017	Τσιμεντοκονίαμα	Γυαλί	100	1725	59	0.81	197
7	2023	Τσιμεντοκονίαμα	Κουκούτσι ελιάς	5	1527.78	33	0.87	49.43
8	2023	Τσιμεντοκονίαμα	Ανακυκλωμένη αιθάλη (ελαστικά από scraap)	14.57	1779	37.3	1.079	260
9	2020	Τσιμεντοκονίαμα	Ηφαιστιακά αδρανή	0.1	1171.88	0.4	0.179	-
10	2021	Τσιμεντοκονίαμα	Φελλός & Σκωρία	30	846	2.92	0.15	108
11	2023	Τσιμεντοκονίαμα	PET	50	1483	19.47	0.482	45
12	2022	Ελαφροσκυρόδεμα	Βιομηχανικά απόβλητα (τέφρας & μάρμαρο)	15 & 15	425	20.4	0.21	40
13	2019	Ελαφροσκυρόδεμα	αφρόδης γυαλού & περλίτη	0.6	1000	15	0.29	20
14	2023	Ελαφρομετετόν	Σκόνη από φύλλα γυαλιού	20	1286	8.3	0.32	42
15	2023	Ελαφρομετετόν	Βιομηχανικά & γεωργικά απόβλητα	40	1178	7.01	0.29	26
16	2023	Ελαφρομετετόν	Σκόνη σκυροδέματος & σκωρία υψικάμενου	20	517	2.19	0.102	48.9
17	2017	Ασβεστοκονίαμα	Κέλυφος φυστικού & γύψος	20	732.53	2.15	0.233	5.5
18	2022	Ασβεστοκονίαμα	Σκόνη από τούβλα, ασβέστη και γύψος	43.3/11.67/23.33	1319	11.93	-	26.72
19	2021	Ασβεστοκονίαμα	Σκόνη από κεραμίδια	30	1600	7	0.7	14

Πίνακας 4. Μηχανικές και θερμικές ιδιότητες πράσινων υλικών για τοιχοποιία δάπεδο και οροφή (προσωπική εργασία)

Γενικά, στα περισσότερα δομικά υλικά επιδιώκουμε μικρή απορρόφηση νερού, χαμηλό πορώδες προκειμένου να αποφεύγονται οι ρωγμές, αλλά αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες αλλά και το υλικό. Όσον αφορά τα "πράσινα" τσιμεντοκονιάματα, οι έρευνες τείνουν να αναμειγνύουν ως πρόσθετο υλικό την ανακυκλωμένη ιπτάμενη τέφρα και τα ελαφρά αδρανή, λόγω της πορώδους φύσης τους και των χαμηλών μηχανικών απαιτήσεων. Στο κομμάτι του σοβατίσματος, υπάρχουν πολλές έρευνες που εξετάζουν διάφορες μεθόδους και υλικά. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου σοβατίσματος εξαρτάται από τις απαιτήσεις του έργου, όπως η επιθυμητή αντοχή ή η βελτίωση της μόνωσης. Ανάλογα με τη χρήση και τις συγκεκριμένες ανάγκες, μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ διαφόρων τύπων, όπως το ασβεστοκονίαμα, το τσιμεντοκονίαμα, το γυψοκονίαμα, το ασβεστοτσιμεντοκονίαμα και άλλα.

Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 4 με έντονο χρώμα φαίνονται τα υλικά που επιλέχθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ άλλων. Όσον αφορά τα τούβλα επιλέχθηκε διότι ήταν το μοναδικό που παρουσίαζε αντοχή σε θλίψη πάνω από τα επιτρεπτά όρια αλλά και χαμηλότερο συντελεστή λ από το συμβατικό τούβλο. Για την τσιμεντοκονία με ανακυκλωμένο γυαλί (δάπεδο) μας ενδιέφερε ο χαμηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και η υψηλή αντοχή. Για το τσιμεντοκονίαμα με φελλό και σκωρία μας ενδιέφερε η χαμηλή πυκνότητα (λόγω εύκολης ερασιμότητας) και ο χαμηλός

συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Επιπλέον το ελαφροσκυρόδεμα με βιομηχανικά απόβλητα επιλέχθηκε κυρίως της χαμηλής του πυκνότητας (εργασιμότητα υλικού) αλλά και του χαμηλού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Τέλος το ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φιστικιού η σκλήρυνση της επιφάνειας του και η αντοχή του στις εξωτερικές συνθήκες καθώς και ο εύχρηστος τρόπος προσαρμογής του (καλή εργασιμότητα).

Οι ερευνητικές ερωτήσεις που πρέπει να απαντήσω μέσω της διπλωματικής μου, είναι οι εξής:

- 1) Υφίσταται εξοικονόμηση ενέργειας με την χρήση των ανακυκλώσιμων υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία του κτιρίου;
- 2) Τι επίδραση έχει η χρήση των υλικών αυτών στο περιβάλλον;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Μεθοδολογία

Για να απαντηθεί η πρώτη ερευνητική ερώτηση, εξετάζεται ένα μελλοντικό σενάριο στο οποίο δημιουργείται μια νεόδμητη πολυκατοικία χτισμένη με τα παραδοσιακά δομικά υλικά. Στη συνέχεια, εξετάζουμε τι θα συνέβαινε αν κατασκευάζαμε την ίδια πολυκατοικία εκ νέου, χρησιμοποιώντας τα παραπάνω βιώσιμα υλικά τα οποία αφενός πληρούν τις μηχανικές ιδιότητες των παραδοσιακών και αφετέρου έχουν χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από τα συμβατικά. Με αυτόν τον τρόπο, θα διαπιστωθεί αν η χρήση των νέων υλικών μπορεί να προσφέρει καλύτερη ενεργειακή απόδοση, συμβάλλοντας σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, καθώς και στη μείωση των εκπομπών CO₂, υποστηρίζοντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.

Για να απαντηθεί η δεύτερη ερευνητική ερώτηση, πραγματοποιείται ανάλυση κύκλου ζωής όπου επικεντρώνεται ειδικά στη μεταφορά των υλικών προς το εργοτάξιο και στη δημιουργία τους ως πρώτη ύλη. Στο πλαίσιο αυτό, συγκρίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των παραδοσιακών δομικών υλικών με εκείνες των επιλεγμένων βιώσιμων δομικών υλικών, ώστε να διαπιστωθεί τελικά ο αντίκτυπός τους στο περιβάλλον.

7.1 Προσεγγιστική μέθοδος

Αναφορικά με τη μεθοδολογία, και λόγω ελλείψεως πραγματικών στοιχείων υιοθετήθηκε μια προσεγγιστική μεθοδολογία ως προς την ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση των υλικών χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος και η σύγκρισή τους με τις παραδοσιακές ακολουθήθηκε με αφορμή το άρθρο [122] προσαρμοσμένη στα δεδομένα της χώρας μας. Τα βήματα είναι τα εξής:

- Καταγραφή του συνηθισμένου μοντέλου κατασκευής στην Ελλάδα.
- Χαρακτηριστικά του κατασκευαστικά συμβατικού κτιρίου.
- Χαρακτηριστικά του κτιρίου Σενάριο, που αφορά ένα κτίριο ίδιο με το συμβατικό αλλά κατασκευασμένο με ανακυκλώσιμα υλικά.
- Επιλογή βιώσιμων υλικών και προσαρμογή τους στο κτίριο Σενάριο.
- Εφαρμογή των υλικών στο ενεργειακό πρόγραμμα TEE/Κ.Εν.Α.Κ. και επίλυση.

- Σύγκριση των δύο κτιρίων και εξαγωγή αποτελεσμάτων.
- Εκτίμηση και σύγκριση του κόστους των επιλεγμένων υλικών με τα συμβατικά όσον αφορά τις ποσότητες υλικού που θα χρειαστούν για να δημιουργηθεί το κτίριο.
- Ανάλυση κύκλου ζωής των επιλεγμένων υλικών και σύγκριση τους με τα συμβατικά, μέσω του προγράμματος Ecochain Mobius.

Για την ενεργειακή αξιολόγηση, πραγματοποιήθηκαν δύο προσομοιώσεις που αντιστοιχούν στα ακόλουθα σενάρια:

-Το "Υπάρχον Κτίριο", που αναφέρεται στην πολυώροφη κατοικία κατασκευασμένη με συμβατικά δομικά υλικά στα διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία (τοιχοποιία, δάπεδο και οροφή).

-Το "Σενάριο 1", το οποίο αφορά την ίδια κατοικία, αλλά με τη χρήση βιώσιμων δομικών υλικών στα κατασκευαστικά στοιχεία (τοιχοποιία, δάπεδο και οροφή).

Τα χαρακτηριστικά του κτιρίου «Σενάριο» με χρήση ανακυκλώσιμων υλικών στην κατασκευή του θα είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά του συμβατικού κτιρίου. Η μόνη διαφοροποίηση θα είναι σε ότι αφορά τους συντελεστές θερμομόνωσης του κτιρίου, οι οποίοι θα διαφοροποιούνται λόγω της χρήσης άλλων υλικών κατασκευής. Όλες οι υπόλοιπες παραδοχές θα παραμείνουν κοινές και για τα δύο κτίρια για να υπάρχει τρόπος σύγκρισης του συμβατικού κτιρίου με το κτίριο του σεναρίου (βλέπε Πίνακα 5).

Παράμετροι Κατοικίας	Υπάρχον Κτίριο	Σενάριο 1
Κλιματικά Δεδομένα (Περιοχή, Αθήνα)	√	√
Συνολική Επιφάνεια Κατοικίας	√	√
Συνολικός Όγκος Κατοικίας	√	√
Συστήματα (Θέρμανσης, Ψύξης, ΖΝΖ)	√	√
Συντελεστής Θερμοπερατότητας	√	Αλλαγή
Πάχος Δομικών Κατασκευών (Τοίχος, Οροφή, Δάπεδο)	√	√

Πίνακας 5. Σύγκριση παραμέτρων κατοικίας μεταξύ συμβατικού κτιρίου και Σενάριο 1

Όπου:

- √: Η παράμετρος παραμένει η ίδια.
- Αλλαγή: Η παράμετρος έχει τροποποιηθεί σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο.

7.2 Κατασκευαστικό πρότυπο

Για να προσδιορισθεί το επικρατέστερο κατασκευαστικό πρότυπο, είναι αναγκαίο να αναλυθούν τα δημοσιευμένα στατιστικά δεδομένα. Επομένως, ανατρέξαμε πρώτα στην απογραφή κτιρίων 2021 της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής [142]. Παρ' όλα αυτά δεν υπήρχαν πληροφορίες, όπως είναι τα γενικά χαρακτηριστικά μιας κατοικίας από το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα. Κατόπιν ενημέρωσής, πως τα στατιστικά δεδομένα βρίσκονται υπό διαδικασία επεξεργασίας και πως δεν είναι διαθέσιμα, χρησιμοποιήθηκαν οι πληροφορίες από την προηγούμενη Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011[143]. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν ήταν ικανοποιητικά και αφορούσαν πληροφορίες για την οικοδόμηση των περασμένων ετών με τον τρόπο νεόδμητη κατασκευή, ανακαίνιση και ολική ή μερική κατεδάφιση καθώς και συστήματα κατασκευής. Ωστόσο, εφόσον ο κλάδος της κατασκευής δεν αναπτύχθηκε με γρήγορους ρυθμούς όσον αφορά την οικοδομική δραστηριότητα έως το 2021, τα προαναφερθέντα κτίρια αντιπροσωπεύουν σε ένα μεγάλο ποσοστό τα παρούσα κτίρια.

Με βάση τα αποτελέσματα της συλλογής δεδομένων, προκύπτει ότι οι νέες οικοδομικές άδειες είναι μεγαλύτερες κατά 40% από αυτές των κατεδαφίσεων ή των αποκαταστάσεων. Επίσης, μεταξύ των νεόκτιστων κτιρίων, παρατηρείται ότι η πλειονότητα 77.5% χρησιμοποιείται ως κατοικία επομένως είναι δικαιολογημένη η προσέγγιση που γίνεται από ενεργειακής άποψης σε νέα κτίρια που προορίζονται για κατοικίες. Τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται είναι πολυώροφα με 4-6 ορόφους και μέση επιφάνεια ανά όροφο 90-110 m², σε αντίθεση με τα παλιότερα που είναι μονοκατοικίες ή με έναν όροφο και μέση επιφάνεια 60-80 m². Επιπλέον, το 97% του συνόλου των κτιρίων είναι κατασκευασμένα από μπετό ως βασικό υλικό, χωρίς σημαντική μόνωση ή καθόλου και το 35.3% εφάπτονται με γειτονικό κτίριο. Εν συνεχεία, η πιο σύνηθες κατακόρυφη κατασκευή είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και τούβλα. Οι στέγες ανάλογα με την περιοχή κατά 62% είναι επίπεδες ή κεκλιμένες με κεραμίδια. Όσον αφορά την τοιχοποιία έχει θερμομονωτικό υλικό και γενικά στα δομικά στοιχεία χρησιμοποιείται εξωτερική μόνωση. Το 52% της εξωτερικής επένδυσης κατασκευάζεται από αλουμίνιο και διπλά τζάμια. Τέλος οι περισσότερες κατοικίες έχουν σύστημα ψύξης και καταναλώνουν ηλεκτρισμό και σύστημα θέρμανσης με λέβητα καυστήρα πετρελαίου [144].

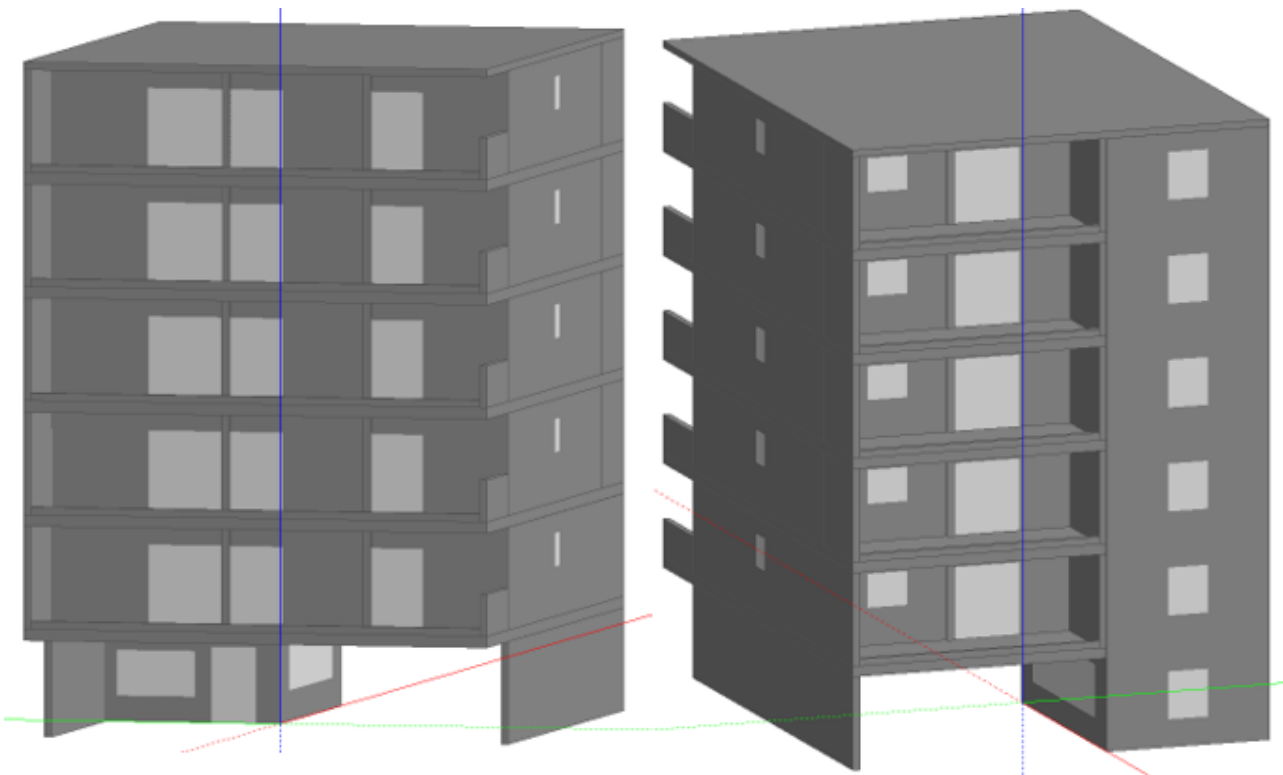
Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν τα γενικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστικού συμβατικού κτιρίου:

- Νεόδμητη πολυώροφη κατοικία ανεγειρόμενη στην περιοχή της Αθήνας.
- Μέση καθαρή επιφάνεια ζώνης επιφάνεια ανά όροφο 100 m².
- Πέντε όροφοι πάνω από το επίπεδο του εδάφους, χώρος κλιμακοστασίου – εισόδου στο ισόγειο και χώρος πιλοτής και κανένας κάτω από το επίπεδο.
- Κάθετη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα και οριζόντια δομή με πλάκα μονής κατεύθυνσης.
- Θερμομόνωση του κελύφους και όλων των δομικών στοιχείων του κτιρίου.
- Επιλογή εξωτερικών κουφωμάτων υψηλών ενεργειακών προδιαγραφών.
- Επίπεδη οροφή, εξωτερική επένδυση και αντίστοιχα για εσωτερικό δάπεδο με πλακάκια.

- Κάλυψη αναγκών ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης με κεντρική αντλία θερμότητας για την εξυπηρέτηση όλου του κτιρίου.
- Πρόβλεψη κάλυψης τουλάχιστον του 60% των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης από ηλιακούς συλλέκτες που θα τοποθετηθούν με κατεύθυνση στο Νότο στο δώμα του κτιρίου.
- Επίπεδο ενεργειακής κλάσης κτιρίου τουλάχιστον Α για να είναι συμβατό με την κείμενη νομοθεσία ως προς τον ενεργειακό στόχο.

7.3 Χαρακτηριστικά του κατασκευαστικά συμβατικού κτιρίου

Το υπό μελέτη κτίριο (βλέπε Εικόνα 24), έχει 5 ορόφους με ελεύθερο ύψος 2.7 m ο καθένας, κάτω από τον πρώτο όροφο υπάρχει πυλωτή. Κάθε όροφος είναι μια κατοικία των 100 m² και η συνολική επιφάνεια του κτιρίου είναι 160 m² και περίμετρος 50,66 m.



Εικόνα 24. Τρισδιάστατη απεικόνιση του κατασκευαστικά συμβατικού κτιρίου, (αριστερά η πρόσοψη, δεξιά η πίσω όψη), (προσωπική εργασία)

Λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της μελέτης, η γεωμετρία του κτιρίου έχει απλοποιηθεί σημαντικά παρακάμπτοντας τους χώρους που είναι αφιερωμένοι σε υπόγεια, λεβητοστάσια ή αποθήκες. Ομοίως, κάθε σπίτι θεωρείται ότι έχει σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες, επομένως, δεν ήταν απαραίτητο να σχεδιαστούν εσωτερικά χωρίσματα ή πόρτες. Η θερμική ζώνη είναι ενιαία και αφορά όλα τα διαμερίσματα όλων των ορόφων δηλαδή (100*5=500 τ.μ.). Μη θερμαινόμενοι χώροι θεωρείται το κλιμακοστάσιο σε όλους τους ορόφους επειδή έρχεται σε επαφή με την θερμική ζώνη.

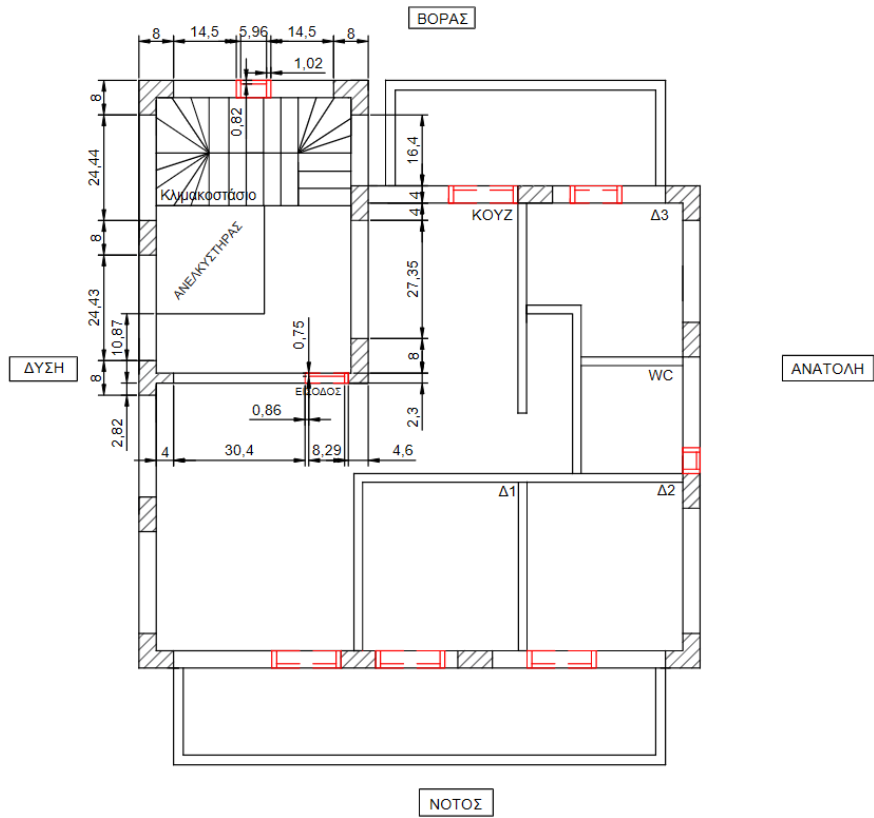
Ο προσδιορισμός των συστημάτων κατασκευής και τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν ορίζονται με βάση τον συνδυασμό του κανονισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίου (Κ.Εν.Α.Κ.) και του πιο συνηθισμένου μοντέλου κατασκευής στην Ελλάδα. Ένα από τα πιο σημαντικά σημεία για να είναι καλά καθορισμένος ο θερμικός χαρακτηρισμός του κελύφους του κτιρίου είναι να γνωρίζουμε το συντελεστή θερμοπερατότητας U [W/m^2K].

Οι Πίνακες 10-21 περιλαμβάνουν τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται για κάθε τμήμα του κτιρίου που έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, κέλυφος δάπεδο και επίπεδη οροφή. Τα χαρακτηριστικά των υλικών (πάχος, πυκνότητα και θερμική αγωγιμότητα) έχουν ληφθεί σύμφωνα με υπάρχουσα κατασκευή παρόμοιας κατοικίας θερμικής ζώνης Δ. Οι υπολογισμοί έλαβαν χώρα για την περιοχή της Αθήνας (Ελληνικό) που υπάγεται στην θερμική ζώνη Β.

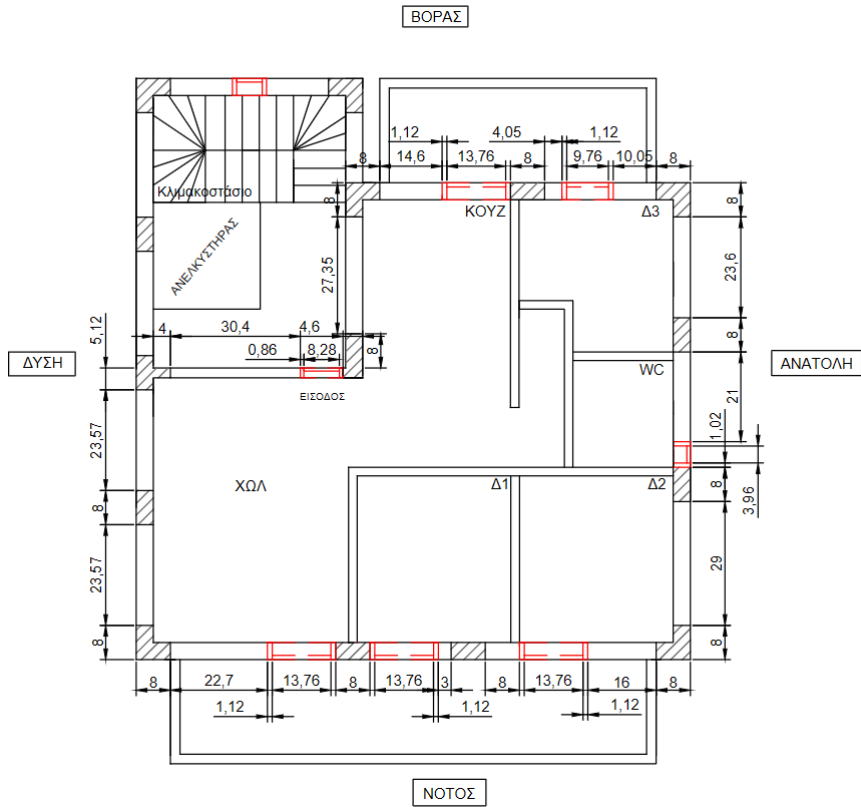
Σημειώνεται ότι οι διαστάσεις τις κατοικίας σχεδιάστηκαν αρχικά σε κλίμακα 1/10 (Σχήμα 2, Σχήμα 3). Η θερμική μετάδοση των υλικών που επιλέχθηκαν πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του κτιρίου αναφοράς που καθορίζονται από τον Κ.Εν.Α.Κ. όπου ορίζονται οι μέγιστες τιμές των χαρακτηριστικών παραμέτρων του θερμικού περιβλήματος: Αθήνα (τοιχοποιία $U=0.45 W/m^2K$, οροφή $U = 0.40 W/m^2K$, δάπεδο $U=0.40 W/m^2K$. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε φαίνεται στον Πίνακα 6 (περισσότερες λεπτομέρειες στο παράρτημα Α, Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά κτιρίου).

a/a	Βήματα υπολογισμού θερμομονωτικής επάρκειας
1	Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων
2	Υπολογισμός ισοδύναμων συντελεστών θερμοπερατότητας, εφόσον απαιτούνται
3	Υπολογισμός θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων
4	Υπολογισμός των $\Sigma(AxUxb)$ για τα κατακόρυφα αδιαφανή δομικά στοιχεία
5	Υπολογισμός των $\Sigma(AxUxb)$ για τα οριζόντια αδιαφανή δομικά στοιχεία
6	Υπολογισμός των $\Sigma(AxUxb)$ για όλα τα κουφώματα
7	Υπολογισμός μέγιστου επιτρεπτού $U_{m,max}$ του κτηρίου, βάσει $\Sigma A/V$ και κλιματικής ζώνης
8	Υπολογισμός U_m του κτηρίου
9	Σύγκριση $U_m, U_{m,max}$ για τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας

Πίνακας 6. Βήματα ελέγχου θερμομονωτικής επάρκειας κτιρίου



Σχήμα 1. Κάτοψη Ισογείου του κατασκευαστικά συμβατικού κτιρίου, (προσωπική εργασία)



Σχήμα 2. Κάτοψη πρώτου ορόφου του κατασκευαστικά συμβατικού κτιρίου, (προσωπική εργασία)

Ο Πίνακας 7 συνοψίζει τα ανακυκλωμένα υλικά που επιλέχθηκαν να ενσωματωθούν στα διάφορα κατασκευαστικά στοιχεία του κτιρίου, στο περίβλημα, την οροφή και το δάπεδο καθώς και το συμβατικό υλικό για το οποίο αντικαθίστανται. Επιπλέον περιλαμβάνεται οι τιμές θερμικής αντίστασης καθορίζοντας έτσι τη διαφορά, μπορούμε να έχουμε μια πρώτη εικόνα αν το κέρδος που θα προκύψει είναι σημαντικό.

Στοιχείο Κατασκευής	Ανακυκλώσιμα υλικά		Συμβατικά υλικά	
	Υλικό	Θερμική αντίσταση [m ² K/W]	Υλικό	Θερμική αντίσταση [m ² K/W]
Κέλυφος	Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυσιτικού	0.129	Ασβεστοκονίαμα	0.034
Κέλυφος	Οπτόπλινθοι με γεωργικά απόβλητα	0.257	Οπτόπλινθοι	0.176
Κέλυφος	Τσιμεντοκονίαμα με κοκκώδη απόβλητα φελλού και σκωρία	0.133	Κονίαμα επικόλλησης	0.029
Οροφή	Τσιμεντοκονίαμα με κοκκώδη απόβλητα φελλού και σκωρία	0.133	Τσιμεντοκονία	0.014
Οροφή	Ελαφρομετετόν με βιομηχανικά απόβλητα	0.238	Ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων	0.227
Οροφή	Πλάκα σκυροδέματος με πριονίδια	0.1	Πλάκα σκυροδέματος	0.08
Οροφή	Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυσιτικού	0.043	Ασβεστοκονίαμα	0.011
Δάπεδο	Τσιμεντοκονίαμα με ανακυκλωμένο γυαλί	0.019	Τσιμεντοκονίαμα	0.011
Δάπεδο	Ελαφροσκυρόδεμα με βιομηχανικά απόβλητα	0.071	Ελαφροσκυρόδεμα	0.068
Δάπεδο	Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυσιτικού	0.1	Ασβεστοκονίαμα	0.017

Πίνακας 7. Συμβατικά υλικά που αντικαταστάθηκαν από ανακυκλωμένα υλικά και χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη περίπτωσης

7.4 Μελέτη Περίπτωσης: Ενεργειακή απόδοση και Ανάλυση κύκλου ζωής

Αφού έχουν προσδιοριστεί αναλυτικά όλα τα δομικά και ενεργειακά στοιχεία του κτιρίου και έχουν επιλεγεί τα ανακυκλώσιμα υλικά, ακολουθεί η εξέταση του σεναρίου. Στόχος είναι να αξιολογηθεί η δυνατότητα των βιώσιμων υλικών στο να συμβάλουν στην ενεργειακή βελτιστοποίηση του κτιρίου. Η συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιρίου θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από τις θερμικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στο περίβλημά του.

Οι προσομοιώσεις έλαβαν χώρα αξιοποιώντας το λογισμικό TEE KENAK για τον καθορισμό του ενεργειακού χαρακτήρα του κτιρίου στην εκάστοτε περίπτωση. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης επαφίονται σε μεγάλο βαθμό στους συντελεστές θερμοπερατότητας των επιμέρους υλικών ως στοιχεία της δομής του κτιρίου.

Όπως προαναφέρθηκε στο λογισμικό KENAK δημιουργήθηκαν ταυτόχρονα τα δύο σενάρια που εξετάστηκαν, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η σύγκριση έλαβε χώρα κάτω από τις ακόλουθες παραδοχές:

- Οι διαστάσεις του κτιρίου και των επί μέρους στοιχείων αυτού διατηρήθηκαν σταθερά στα δύο σενάρια. Στο Παράρτημα Α, Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά κτιρίου, φαίνονται οι διαστάσεις του κτιρίου με συμβατικά υλικά.
- Τα κουφώματα και τα διαφανή στοιχεία του κτιρίου παρέμειναν τα ίδια σε κάθε σενάριο (Παράρτημα Α, Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά κτιρίου).
- Δεδομένης της λειτουργίας του λογισμικού KENAK θεωρήθηκε ότι η θέρμανση και ψύξη επιτυγχάνεται με χρήση κεντρικής αντλίας θερμότητας με τα ίδια χαρακτηριστικά και στα δύο σενάρια (Παράρτημα Α, Γενικά στοιχεία κτιρίου).
- Το κτίριο θεωρήθηκε σε κάθε περίπτωση ανεμπόδιο σε σχέση με τον σκιασμό, δεδομένου ότι δεν υπήρξε πρότερη θεώρηση για σκιασμό από γειτονικά κτίρια ή εγκαταστάσεις. Παρόλα αυτά έχουν ληφθεί υπόψη στη σκίαση οι πρόβολοι και οι πλευρικές προεξοχές του ίδιου του κτιρίου όπως φαίνεται και από τα επισυναπτόμενα σχέδια (Παράρτημα Α, Σκιάσεις).
- Έχει συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς η ανάγκη σε ζεστό νερό χρήσης, το οποίο έχει υπολογιστεί με βάση τον αριθμό των υπνοδωματίων που είναι 3 ανά όροφο, άρα συνολικά 15 υπνοδωμάτια (Παράρτημα Α, Γενικά στοιχεία κτιρίου).
- Για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό έχει προβλεφθεί η εγκατάσταση αντλίας θερμότητας με συμπαραγωγή ζεστού νερού μέσω ηλιακών συλλεκτών που θα τοποθετηθούν στο δώμα του κτιρίου με σωστό προσανατολισμό.

Σε δεύτερο επίπεδο, τα βασικά υλικά που αξιοποιήθηκαν στα δύο σενάρια ελέγχθηκαν με την διενέργεια μιας ανάλυσης κύκλου ζωής συγκριτικά. Η ανάλυση κύκλου ζωής έλαβε χώρα στο διαθέσιμο (δωρεάν) on-line περιβάλλον εργασίας που αποδίδεται σε χρήστες για 30 ημέρες στην ιστοσελίδα του λογισμικού AKZ Mobius (<https://mobius.ecochain.com>).

Στο περιβάλλον αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα δημιουργίας αναλύσεων κύκλου ζωής τόσο μεμονωμένων υλικών όσο και συγκριτικά. Εν γένει τα inventories που αφορούν στο κάθε υλικό εισάγονται από την διαθέσιμη βάση δεδομένων (μέρος της βάσης δεδομένων ECOINVENT), ενώ ο χρήστης δύναται να εισάγει επιπλέον δεδομένα σε περίπτωση που αυτά δεν είναι προσβάσιμα. Σημειώνεται ότι τα inventories αφορούν τα ανακυκλώσιμα υλικά που χρησιμοποιήσαμε για την διαδικασία της ανάλυσης κύκλου ζωής τα οποία προέκυψαν από επιστημονικά άρθρα και περιγράφουν λεπτομερώς την διαδικασία παραγωγής του υλικού μας [145], [146], [147], [148], [149]. Η συγκεκριμένη επιλογή έλαβε χώρα λόγω της αδυναμίας εύρεσης αντίστοιχων βάσεων δεδομένων που να περιλαμβάνουν τα εξεταζόμενα (ή αντίστοιχα με τα εξεταζόμενα) υλικά στις δωρεάν διαθέσιμες βάσεις δεδομένων που διατίθενται με το openLCA. Επιπλέον, ορισμένες demo εκδόσεις αντίστοιχων προγραμμάτων που εξετάστηκαν, παρόλο που περιλαμβάνουν κάποιες βάσεις δεδομένων που ενδεχόμενα να ήταν κρίσιμες, επέτρεπαν μόνο την δημιουργία σεναρίων και αναλύσεων για συγκεκριμένα προϊόντα (π.χ. SimaPRO) και όχι ελεύθερα. Το διαθέσιμο on-line στην πλατφόρμα που αξιοποιήθηκε επιστρέφει μόνο πίνακες με τιμές σχετικά με τις περιβαλλοντικές και ενεργειακές επιπτώσεις των υλικών ανά την επιλεγμένη μονάδα μέτρησης τους, όπως αυτές προκύπτουν από την μέθοδο ReCiPe.

Η ReCiPe είναι μια μέθοδος για την εκτίμηση επιπτώσεων (Life Cycle Impact Assessment) σε μια ΑΚΖ. Η αξιολόγηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA) μεταφράζει τις εκπομπές και τις εξορύξεις πόρων σε περιορισμένο αριθμό βαθμολογιών περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω των λεγόμενων παραγόντων χαρακτηρισμού. Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι εξαγωγής παραγόντων χαρακτηρισμού, δηλαδή σε επίπεδο μέσου και σε επίπεδο τελικού σημείου. Το ReCiPe υπολογίζει:

- 17 δείκτες μεσαίου σημείου
- 3 δείκτες τελικού σημείου

Οι ενδιάμεσοι δείκτες επικεντρώνονται σε μεμονωμένα περιβαλλοντικά προβλήματα, για παράδειγμα την κλιματική αλλαγή ή την όξυνση. Οι δείκτες παραμέτρου δείχνουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε τρία υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης, που είναι 1) η επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, 2) η βιοποικιλότητα και 3) η σπανιότητα των πόρων. Η μετατροπή των ενδιάμεσων σημείων σε τελικά σημεία διευκολύνει την κατανόηση των αποτελεσμάτων της LCIA. Η διαθέσιμη πλατφόρμα, απέδιδε τα αποτελέσματα που αφορούν στην πρώτη περίπτωση, ήτοι τις τιμές των ενδιάμεσων δεικτών.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και το κόστος των υλικών θα προκύψουν μετά την ποσοτικοποίηση κάθε συμβατικού υλικού που αντικαταστάθηκε με το εναλλακτικό, αναφορικά με το σύνολο του κτιρίου. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις του κτιρίου (Σχήμα 1-2) και τα πάχη των υλικών (ίδια και στις δύο περιπτώσεις) που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε δομικό στοιχείο (Πίνακες 9-20), προσδιορίστηκε η ποσότητα και ο απαιτούμενος όγκος του κάθε δομικού υλικού (Παράρτημα Α, Ποσοτικοποίηση των δομικών υλικών). Παρακάτω, παρουσιάζονται οι συνολικές απαιτούμενες ποσότητες των υλικών (Πίνακας 8) και το κόστος τους ανά βάρος (Πίνακας 9).

Απαιτούμενες ποσότητες δομικών υλικών

Ελαφροσκυρόδεμα	22	m ³
Ελαφροσκυρόδεμα με βιομηχανικά απόβλητα	22	m ³
Τσιμεντοκονίαμα	28	m ³
Τσιμεντοκονίαμα με ανακυκλωμένο γυαλί	14	m ³
Τσιμεντοκονία με φελλο και σκωριά	15	m ³
Ασβεστοκονίαμα	42	m ³
Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυσικιού	42	m ³
Πλάκα σκυροδέματος	35	m ³
Πλάκα σκυροδέματος με πριονίδια	35	m ³
Τούβλα	5509	-
Τούβλα (Γεωργικά απόβλητα)	5509	-

Πίνακας 8. Απαιτούμενες ποσότητες δομικών υλικών στο σύνολο του κτιρίου

Υπάρχον κτίριο			Εναλλακτικά υλικά		
<u>Τούβλα (10σπα)</u>			<u>Τούβλα (10σπα)</u>		
Τιμή/τούβλο	0.20	€	Τιμή/τούβλο (εκτίμηση)	0.28	€
Ποσότητα	5509		Ποσότητα	5509	
Κόστος	1093	€	Κόστος	1530	€
<u>Ελαφροσκυρόδεμα</u>			<u>Ελαφροσκυρόδεμα με βιομηχανικά απόβλητα</u>		
Ποσότητα	22	m ³	Ποσότητα	22	m ³
Πυκνότητα	803	kg/m ³	Πυκνότητα	825	kg/m ³
Ποσότητα (Βάρος)	18025	Kg	Ποσότητα (Βάρος)	18519	Kg
Σακί	30	Kg	Σακί	30	Kg
Σακιά που απαιτούνται	601		Σακιά που απαιτούνται	617	
Κόστος/σακί	8.2	€	Κόστος/σακί (εκτίμηση)	10.50	€
Κόστος	4927	€	Κόστος	6479	€
<u>Τσιμεντοκονίαμα</u>			<u>Τσιμεντοκονίαμα με ανακυκλωμένο γυαλί</u>		
Ποσότητα	63	m ³	Ποσότητα	14	m ³
Τιμή	50	€/m ³	Τιμή (εκτίμηση)	54	€/m ³
Κόστος	3164.1	€	Κόστος	739.3	€
<u>Τσιμεντοκονία με φελλο και σκυριά</u>			<u>Τσιμεντοκονία με φελλο και σκυριά</u>		
Ποσότητα			Ποσότητα	15	m ³
Τιμή (εκτίμηση)			Τιμή (εκτίμηση)	66	€/m ³
Κόστος			Κόστος	961.4	€
<u>Τσιμεντοκονία με πριονίδια</u>			<u>Τσιμεντοκονία με πριονίδια</u>		
Ποσότητα			Ποσότητα	35	m ³
Τιμή (εκτίμηση)			Τιμή (εκτίμηση)	52	€/m ³
Κόστος			Κόστος	1821.20	€
<u>Ασβεστοκονίαμα</u>			<u>Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυσικιού</u>		
Ποσότητα	42	m ³	Ποσότητα	42	m ³
Πυκνότητα	1300	kg/m ³	Πυκνότητα	1180	kg/m ³
Ποσότητα (Βάρος)	54793.61	Kg	Ποσότητα (Βάρος)	49735.74	Kg
Σακί	25	Kg	Σακί	25	Kg
Σακιά που απαιτούνται	2192		Σακιά που απαιτούνται	1989	
Κόστος/σακί	7.8	€	Κόστος/σακί	8.74	€
Κόστος	17095.61	€	Κόστος	17379.66	€
Σύνολο	26279	€	Σύνολο	28911	€

Πίνακας 9. Εκτίμηση κόστους για κάθε υλικό για το σύνολο του κτιρίου

Το κόστος των συμβατικών υλικών προήλθε από πληροφορίες που βρήκαμε στο διαδίκτυο. Ενώ στην περίπτωση των εναλλακτικών υλικών εκτιμήθηκε από εμάς με συντελεστή που δεν ξεπερνάει το 1.4, καθώς δεν έχουν εισέλθει ακόμη σε μαζική παραγωγή, είναι αναμενόμενο ότι θα είναι πιο ακριβά. Πρόκειται για μια νέα παραγωγική διαδικασία που δεν έχει ακόμη εγκριθεί. Αυτό σημαίνει ότι, αν και οι πρώτες ύλες μπορεί να είναι δωρεάν, καθώς προέρχονται από απόβλητα, η διαδικασία που απαιτείται για να μετατραπούν σε χρήσιμα προϊόντα δεν έχει κοστολογηθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Αποτελέσματα

8.1 Αποτελέσματα ανάλυσης ενεργειακής επίδοσης του κτιρίου με το λογισμικό KENAK

Εν γένει, τα δύο σενάρια διαφοροποιούνται σε σχέση με τους διαφορετικούς συντελεστές θερμοπερατότητας όπως αυτοί προκύπτουν από την αξιοποίηση διαφορετικών υλικών. Οι σχετικές διαφορές παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν για τον υπολογισμό των τιμών των U στοιχείων.

Στους Πίνακες 11,13,15,17,19,21 σημειώνονται με έντονο χρωματισμό τα υλικά με χρήση ανακυκλωμένων υλικών που αξιοποιήθηκαν στην θέση των παραδοσιακών υλικών.

Μια πρώτη εκτίμηση για το θετικό πρόσημο της χρήσης των εναλλακτικών υλικών προκύπτει από την εξέταση των Πινάκων 10-21. Είναι εμφανές ότι η αξιοποίηση εναλλακτικών υλικών οδηγεί σε μικρή βελτίωση των συντελεστών θερμοπερατότητας U [W/m^2K] των διάφορων κατασκευαστικών στοιχείων του κτιρίου (τοιχοποιία, δάπεδο, οροφή) σε σχέση με την υφιστάμενη κατασκευή από κλασικά υλικά. Όπως διαπιστώθηκε, η επιλογή υλικών που επηρεάζουν τις μηχανικές αντοχές και τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας απέδειξε ότι τα εναλλακτικά υλικά προσφέρουν μια βελτίωση στην ενεργειακή απόδοση, αν και η βελτίωση είναι περιορισμένη.

Πιο συγκεκριμένα διαπιστώθηκαν τα κάτωθι:

- Δεν υπήρχε μεταβολή στην τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας στην περίπτωση του δαπέδου σε επαφή με το έδαφος
- Στην περίπτωση του δαπέδου σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα, υπήρξε μείωση του συντελεστή κατά 3.33%
- Στην περίπτωση της οροφής, υπήρξε μείωση του συντελεστή κατά 6.9%
- Στην περίπτωση της εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα υπήρξε μείωση του συντελεστή κατά 10.34%
- Στην περίπτωση της εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με ΜΘΧ υπήρξε μείωση του συντελεστή κατά 11.29%
- Στην περίπτωση της εξωτερικής δοκού υπήρξε μείωση του συντελεστή κατά 26.15%

Μια τόσο μικρή μεταβολή του ποσοστού δεν φαίνεται να είναι σημαντική στους υπολογισμούς για το σύνολο της νεόδμητης κατοικίας, όπως παρατηρείται στον Πίνακα 22.

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος

ΚΑΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_A):

a/a	Στρώσεις Δομικού Στοιχείου	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Πάχος στρ. d m	Συντ. Θερμ. αγωγιμ. λ W/(mK)	Θερμ. αντιστ. d/λ (m ² K)/W
1	Κεραμικά Πλακίδια	2000	0.005	1.050	0.005
2	Τσιμεντοκονίαμα	2000	0.020	1.4	0.01429
3	Ελαφροσκυρόδεμα	600	0.020	0.220	0.091
4	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	22	0.070	0.034	2.059
5	Ασφαλτικά φύλλα	1100	0.001	0.19	0.005
6	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0.250	2.5	0.100
7					
8					
$\Sigma d =$			0.366	$R_A =$	2.27

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U):

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ		R_i (εσωτερ.)	R_e (εξωτερ.)
Δομικό στοιχείο	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
	Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή)	0.170	0.040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.17
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_A	(m ² K)/W	2.27
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_e	(m ² K)/W	0.00
Αντίσταση θερμοπερατότητας		R_{0A}	(m ² K)/W	2.44

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{0A}$	W/(m ² K)	0.41
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.800

Πρέπει:
 $U \leq U_{max}$
ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 10. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος (Υπάρχον κτίριο)

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ B

άνω από το θερμομονωτικό υλικό θα τοποθετηθεί υλικό στεγάνωσης

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_s):

a/a	Στρώσεις Δομικού Στοιχείου	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Πάχος στρ. d m	Συντ. Θερμ. αγωγιμ. λ. W/(mK)	Θερμ. αντιστ. d/λ (m ² K)/W
1	Κεραμικά Πλακίδια	2000	0.005	1.050	0.005
2	Τσιμεντοκονίαμα με ανακυκλωμένο γυαλί	1725	0.020	0.810	0.025
3	Ελαφροσκυρόδεμα με βιομηχανικά απόβλητα	425	0.020	0.210	0.095
4	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	22	0.070	0.034	2.059
5	Ασφαλτικά φύλλα	1100	0.001	0.19	0.005
6	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0.250	2.5	0.100
7					
8					
$\Sigma d =$			0.3660	$R_s =$	2.29

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U):

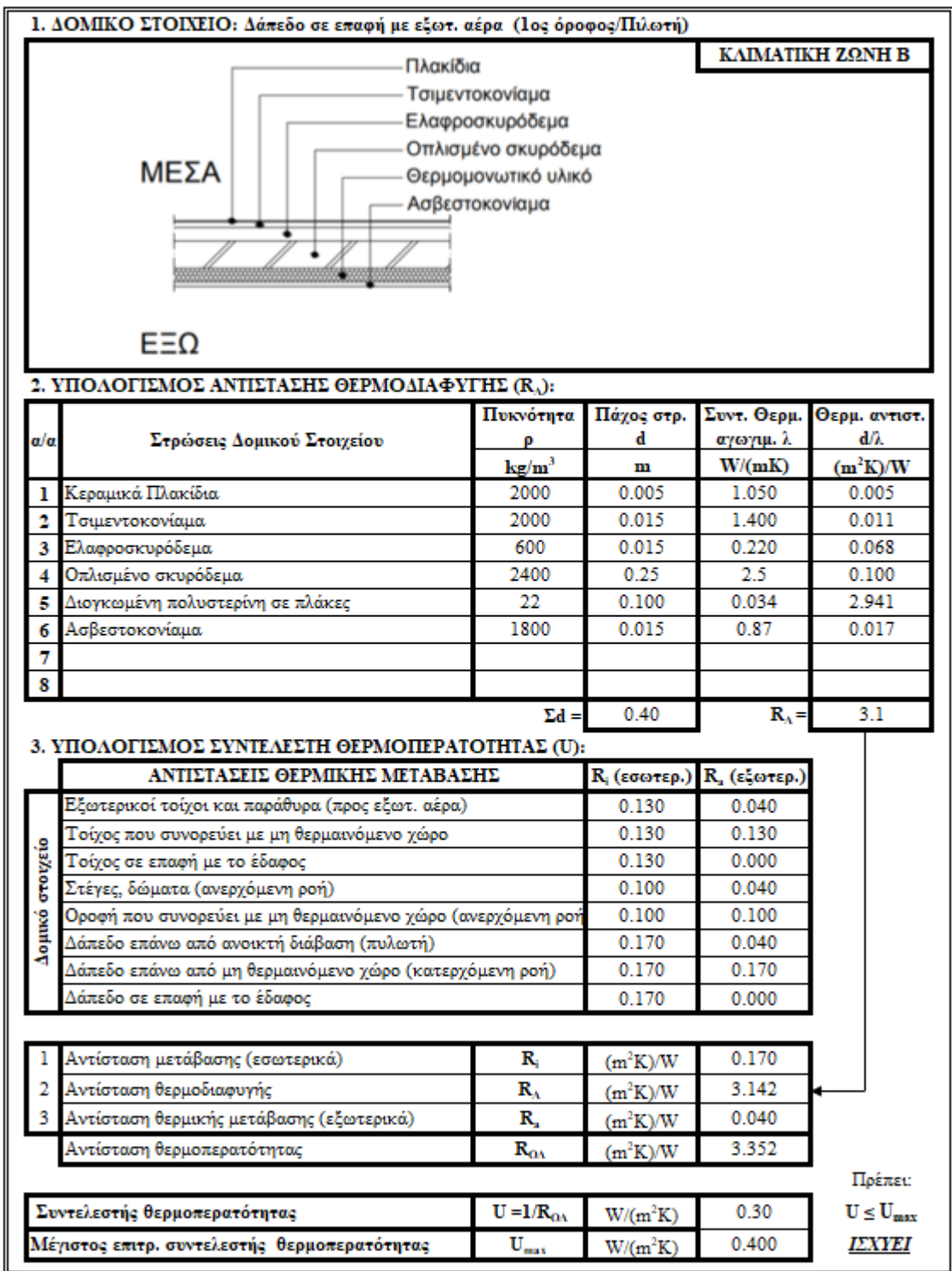
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ		R_i (εσωτερ.)	R_e (εξωτερ.)
Δομικό στοιχείο	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
	Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή)	0.170	0.040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.170
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_s	(m ² K)/W	2.289
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_e	(m ² K)/W	0.000
Αντίσταση θερμοπερατότητας		$R_{0\lambda}$	(m ² K)/W	2.46

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{0\lambda}$	W/(m ² K)	0.41
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.800

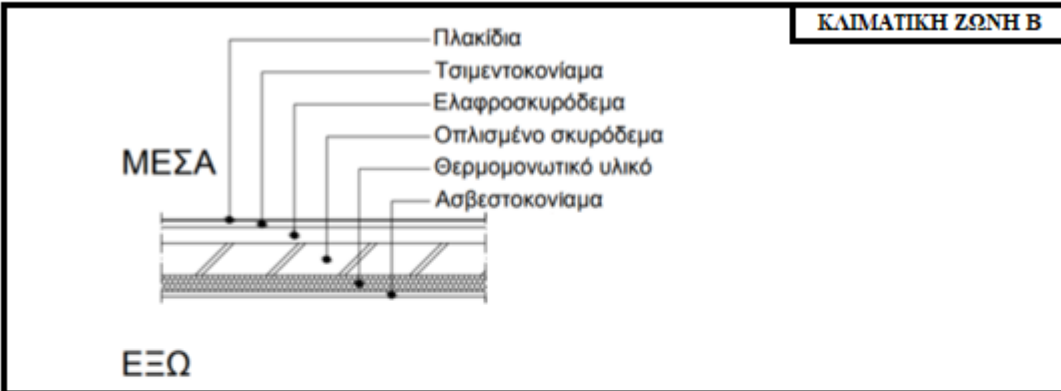
Πρέπει:
 $U \leq U_{max}$
ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 11. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με το έδαφος (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)



Πίνακας 12. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (Υπάρχον κτίριο)

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Δάπεδο σε επαφή με εξωτ. αέρα (1ος όροφος/Πύλωτη)



2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_{λ}):

a/a	Στρώσεις Δομικού Στοιχείου	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Πάχος στρ. d m	Συντ. Θερμ. αγωγιμ. λ W/(mK)	Θερμ. αντιστ. d/λ (m ² K)/W
1	Κεραμικά Πλακίδια	2000	0.005	1.050	0.005
2	Τσιμεντοκονίαμα με ανακυκλωμένο γυαλί	1725	0.015	0.810	0.019
3	Ελαφροσκυρόδεμα με βιομηχανικά απόβλητα	425	0.015	0.210	0.071
4	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0.25	2.5	0.100
5	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	-	0.100	0.034	2.941
6	Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυστικιού	732	0.015	0.23	0.1
7					
8					
$\Sigma d =$			0.40	$R_{\lambda} =$	3.2

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U):

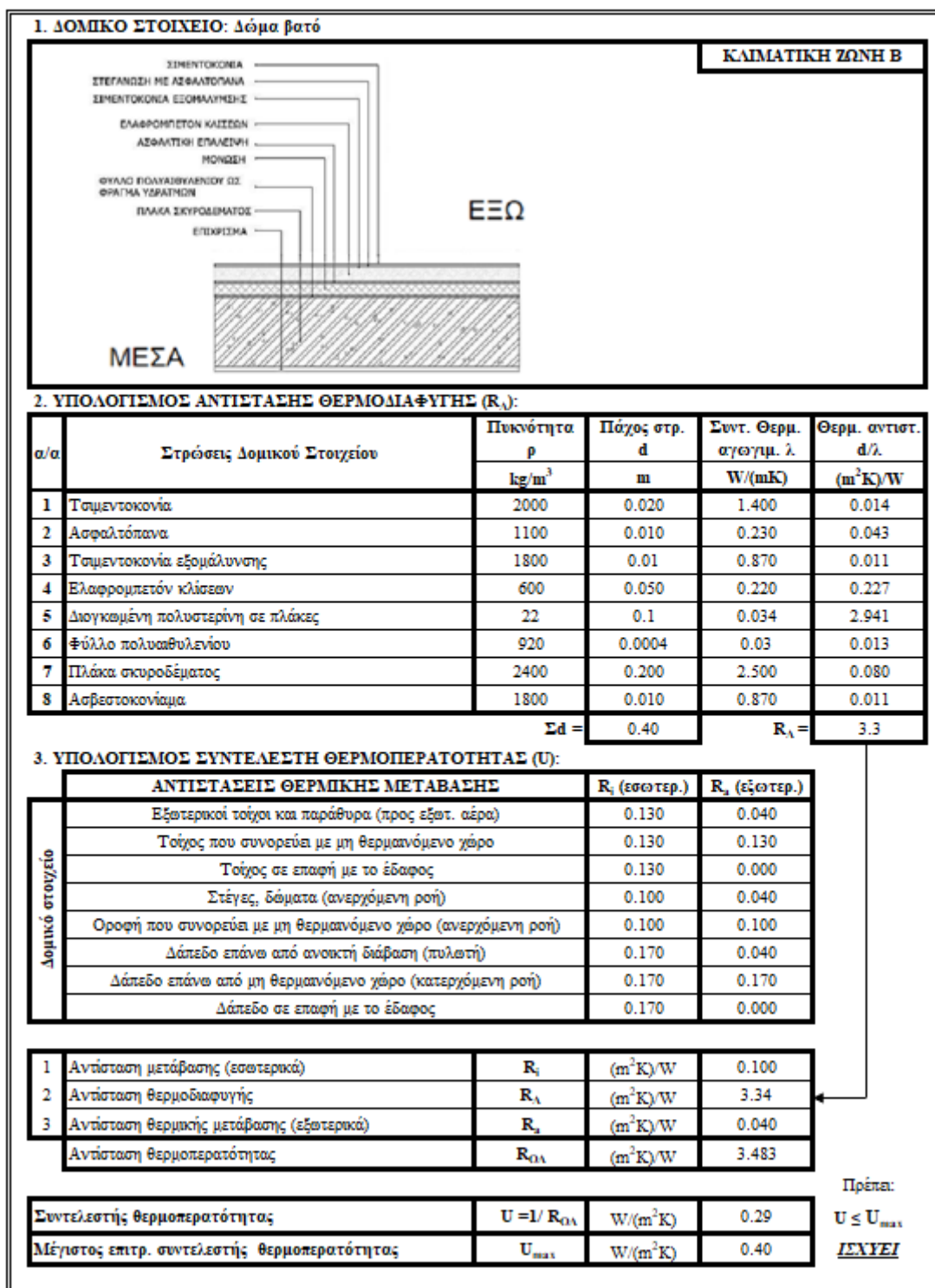
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ		R_i (εσωτερ.)	R_e (εξωτερ.)
Δομικό στοιχείο	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
	Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή)	0.170	0.040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.170
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_{λ}	(m ² K)/W	3.236
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_e	(m ² K)/W	0.040
Αντίσταση θερμοπερατότητας		$R_{0\lambda}$	(m ² K)/W	3.446

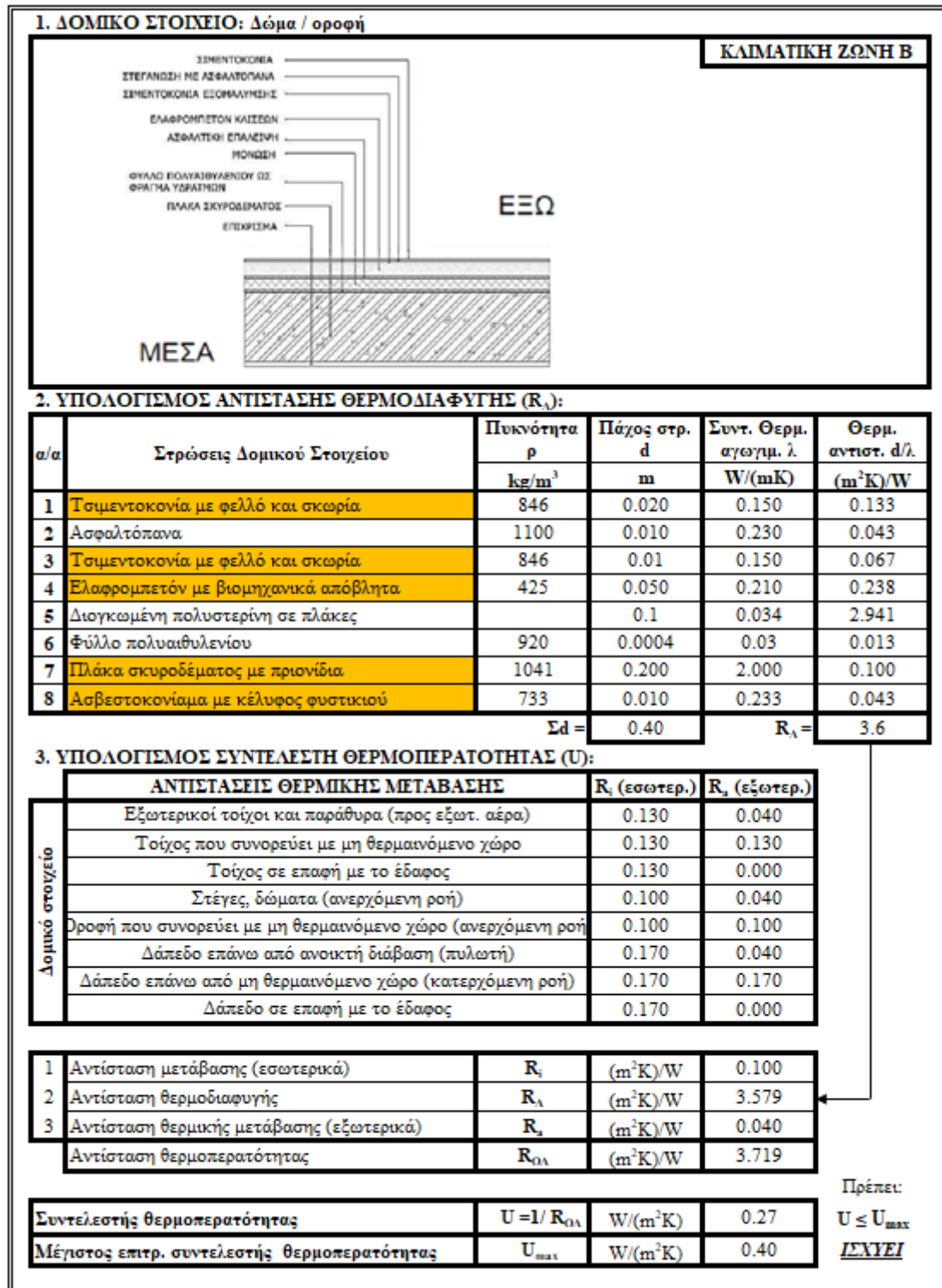
Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{0\lambda}$	W/(m ² K)	0.29
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.400

Πρέπει:
 $U \leq U_{max}$
ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 13. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας δαπέδου σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)



Πίνακας 14. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας οροφής (Υπάρχον κτίριο)



Πίνακας 15. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας οροφής (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Τοιχοποιία σε επαφή με εξωτερικό αέρα

ΚΑΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_A):

α/α	Στρώσεις Δομικού Στοιχείου	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Πάχος στρ. d m	Συντ. Θερμ. αγωγιμ. λ W/(mK)	Θερμ. αντιστ. d/λ (m ² K)/W
1	Εξωτερικό επίχρυσμα (ασβρεστοκονίαμα)	1800	0.030	0.870	0.034
2	Οπτόπλινθοδομή	1500	0.09	0.510	0.176
3	Διάκενο αέρα	1.23	0.05	0.278	0.180
4	Οπτόπλινθοδομή	1500	0.09	0.51	0.176
5	Κονίαμα επικόλλησης	-	0.02	0.7	0.029
6	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	22	0.09	0.034	2.647
7	Ασβρεστοκονίαμα	1800	0.03	0.87	0.034
Σd =			0.400	R_A =	3.3

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U):

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ		R_i (εσωτερ.)	R_e (εξωτερ.)
Δομικό στοιχείο	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμανόμενο χώρο	0.130	0.130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
	Στέγες, δάματα (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμανόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή)	0.170	0.040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμανόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.130
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_A	(m ² K)/W	3.277
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_e	(m ² K)/W	0.040
	Αντίσταση θερμοπερατότητας	R_{0A}	(m ² K)/W	3.447

Πρέπει:
 $U \leq U_{max}$

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{0A}$	W/(m ² K)	0.290
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.45

ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 16. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με εξωτερικό αέρα (Υπάρχον κτίριο)

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Τοιχοποιία σε επαφή με εξωτερικό αέρα

ΚΑΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_{λ}):

α/α	Στρώσεις Δομικού Στοιχείου	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Πάχος στρ. d m	Συντ. Θερμ. αγωγιμ. λ W/(mK)	Θερμ. αντιστ. d/λ (m ² K)/W
1	Εσωτερικό επίχρισμα (ασβρεστοκονίαμα με κέλυφος φ.)	732.53	0.030	0.233	0.129
2	Οπτόπλινθοδομή από γεωργικά απόβλητα	-	0.09	0.350	0.257
3	Διάκενο αέρα	1.23	0.05	0.278	0.180
4	Οπτόπλινθοδομή από γεωργικά απόβλητα	-	0.09	0.35	0.257
5	Τσιμεντοκονία με φελλό και σκυρία	846	0.02	0.15	0.133
6	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκας	22	0.09	0.034	2.647
7	Ασβρεστοκονίαμα με κέλυφος φυστακού	733	0.03	0.233	0.129
Σd =			0.400	R_{λ} =	3.7

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U):

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ		R_i (εσωτερ.)	R_e (εξωτερ.)
Δομικό στοιχείο	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμανόμενο χώρο	0.130	0.130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
	Στέγες, δάματα (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμανόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή)	0.170	0.040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμανόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.130
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_{λ}	(m ² K)/W	3.732
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_e	(m ² K)/W	0.040
	Αντίσταση θερμοπερατότητας	$R_{0\lambda}$	(m ² K)/W	3.902

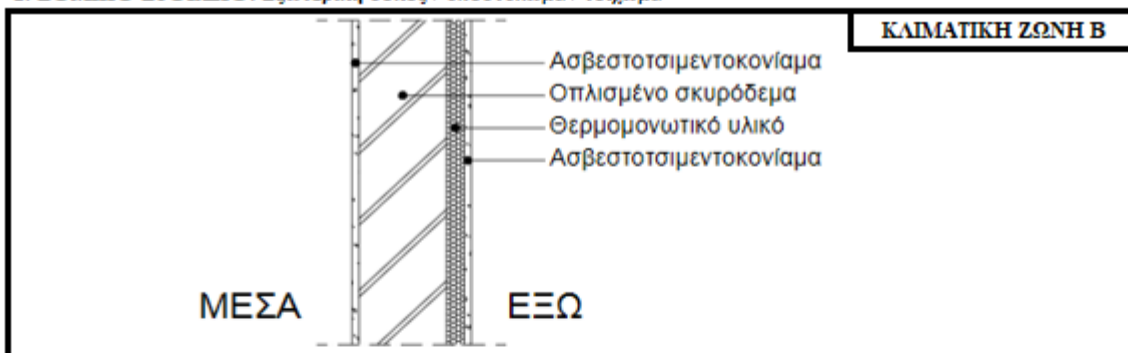
Πρέπει:
 $U \leq U_{max}$

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{0\lambda}$	W/(m ² K)	0.26
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.45

ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 17. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής τοιχοποιίας σε επαφή με εξωτερικό αέρα (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Εξωτερική δοκός / υποστυλώμα / τοίχωμα



2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_{λ}):

a/a	Στρώσεις Δομικού Στοιχείου	Πυκνότητα ρ kg/m ³	Πάχος στρ. d m	Συντ. Θερμ. αγωγιμ. λ. W/(mK)	Θερμ. αντιστ. d/λ. (m ² K)/W
1	Εσωτερικό επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα)	1800	0.020	0.870	0.023
2	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0.250	2.500	0.100
3	Οργανικό επίχρισμα ακρύλ. βάσης με ενσ. Υαλόπλεγμα	-	0.01	0.7	0.014
4	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	22	0.1	0.034	2.941
5	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1800	0.02	0.87	0.023
			$\Sigma d =$	$R_{\lambda} =$	
			0.40	3.10	

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U):

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ		R_i (εσωτερ.)	R_e (εξωτερ.)
Δομικό στοιχείο	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
	Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή)	0.170	0.040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.130
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_{λ}	(m ² K)/W	3.101
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_e	(m ² K)/W	0.040
	Αντίσταση θερμοπερατότητας	$R_{0\lambda}$	(m ² K)/W	3.271

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{0\lambda}$	W/(m ² K)	0.306
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.450

Πρέπει:

$$U \leq U_{max}$$

ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 20. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής δοκού (Υπάρχον κτίριο)

1. ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ: Εξωτερική δοκός / υποστύλωμα / τοίχωμα

ΚΑΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ Β

Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα
 Οπλισμένο σκυρόδεμα
 Θερμομονωτικό υλικό
 Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΘΕΡΜΟΔΙΑΦΥΓΗΣ (R_{λ}):

α/α	Στρώσεις Δομικού Στοιχείου	Πυκνότητα	Πάχος στρ.	Συντ. Θερμ. αγωγιμ. λ.	Θερμ. αντιστ. d/λ.
		ρ kg/m ³	d m	W/(mK)	(m ² K)/W
1	Εσωτερικό επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φ	733	0.020	0.233	0.100
2	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	0.250	2.500	0.100
3	Οργανικό επίχρισμα ακρύλ. βάσης με ενσ. Υαλόπλεγμα	-	0.01	0.7	0.014
4	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	22	0.1	0.034	2.941
5	Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυστικιού	733	0.02	0.233	1.100
$\Sigma d =$			0.40	$R_{\lambda} =$	4.3

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (U):

ΑΝΤΙΣΤΑΣΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ		R_i (εσωτερ.)	R_e (εξωτερ.)
Δομικό στοιχείο	Εξωτερικοί τοίχοι και παράθυρα (προς εξωτ. αέρα)	0.130	0.040
	Τοίχος που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο	0.130	0.130
	Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	0.130	0.000
	Στέγες, δώματα (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.040
	Οροφή που συνορεύει με μη θερμαινόμενο χώρο (ανερχόμενη ροή)	0.100	0.100
	Δάπεδο επάνω από ανοικτή διάβαση (πυλωτή)	0.170	0.040
	Δάπεδο επάνω από μη θερμαινόμενο χώρο (κατερχόμενη ροή)	0.170	0.170
	Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	0.170	0.000

1	Αντίσταση μετάβασης (εσωτερικά)	R_i	(m ² K)/W	0.130
2	Αντίσταση θερμοδιαφυγής	R_{λ}	(m ² K)/W	4.255
3	Αντίσταση θερμικής μετάβασης (εξωτερικά)	R_e	(m ² K)/W	0.040
	Αντίσταση θερμοπερατότητας	$R_{0\lambda}$	(m ² K)/W	4.425

Πρέπει:

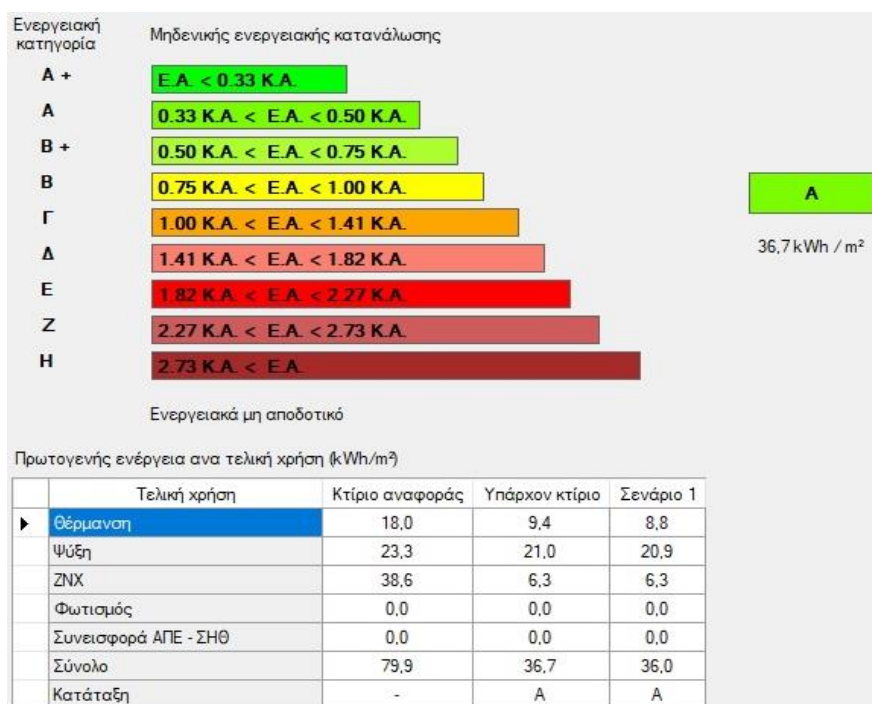
$U \leq U_{max}$

ΙΣΧΥΕΙ

Συντελεστής θερμοπερατότητας	$U = 1/R_{0\lambda}$	W/(m ² K)	0.226
Μέγιστος επιτρ. συντελεστής θερμοπερατότητας	U_{max}	W/(m ² K)	0.450

Πίνακας 21. Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας εξωτερικής δοκού (Σενάριο χρήσης ανακυκλώσιμων υλικών)

Η εισαγωγή και ανάλυση των δύο σεναρίων στο λογισμικό KENAK, απέδωσε τα αποτελέσματα του Πίνακα 21, σε σχέση με την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.



Πίνακας 22. Συγκριτικά αποτελέσματα της ανάλυσης του υπάρχον κτιρίου και του σεναρίου εναλλαγής των υλικών κατασκευής με εναλλακτικά στο λογισμικό KENAK.

Γενικά, η εναλλαγή των κλασικών υλικών με τα θεωρούμενα εναλλακτικά, και η επακόλουθη μεταβολή στις τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που επισημάνθηκε παραπάνω, οδηγεί σε αμελητέες μειώσεις της κατανάλωσης. Η μείωση των απαιτήσεων του κτιρίου από το υπάρχον κτίριο στο σενάριο 1 είναι περισσότερο εμφανής στους Πίνακες 24-25 όπου παρουσιάζονται τόσο οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου σε κάθε σενάριο, η τελική κατανάλωση και οι εκπομπές CO₂, που επίσης προκύπτουν από την ανάλυση του λογισμικού KENAK. Όπως είναι εμφανές η χρήση των ανακυκλώσιμων υλικών επιφέρει ασήμαντη μείωση στις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου καθ' όλο το έτος αλλά και συνολικά, μειώνοντας ελάχιστα τις τελικές εκπομπές CO₂. Ουσιαστικά, η τελική εξοικονόμηση ενέργειας προκύπτει ίση με 3,75% το λειτουργικό κόστος μειώθηκε κατά 1,9% ενώ οι εκπομπές CO₂, μειώθηκαν αντίστοιχα κατά 3,78%.

Κόστη και περίοδος αποπληρωμής

	Εξοικονόμηση και κόστος	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1
►	Λειτουργικό κόστος (€)	2.940,4	1.110,3	1.089,4
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			0,0
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m ²)			0,7
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			1,9
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			0,0
	Μείωση εκπομπών CO ₂ (Kg/m ²)			0,2
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			0,0

Πίνακας 23. Σύγκριση λειτουργικού κόστους

Υπάρχον κτίριο														
Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	3,9	3,1	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,4	11,5
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	6,6	9,8	9,5	2,5	0,0	0,0	0,0	29,4
	Υγρανση	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ZNX	2,8	2,5	2,7	2,4	2,1	1,7	1,6	1,6	1,7	2,0	2,3	2,7	26,1
Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	1,2	0,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	3,4
	Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,6	2,4	2,4	0,6	0,0	0,0	0,0	7,3
	ZNX	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	2,6
	Ηλιακή ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης	1,5	1,5	1,9	2,2	2,5	2,6	2,7	2,7	2,4	2,1	1,6	1,4	25,1
	Φωτισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ενέργεια απο φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Σύνολο	1,7	1,3	0,9	0,2	0,3	1,6	2,4	2,4	0,6	0,1	0,4	1,2	13,3
Πηγή ενέργειας		Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)			Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)									
►	Ηλεκτρισμός	13,3			13,2									
	Πετρέλαιο	0,0			0,0									
	Φυσικό αέριο	0,0			0,0									
	Άλλα ορυκτά καύσιμα	0,0			0,0									
	Ηλιακή	25,1			0,0									
	Βιομάζα	0,0			0,0									
	Γεωθερμία	0,0			0,0									
	Άλλο ΑΠΕ	0,0			0,0									
	Σύνολο	13,3			13,2									

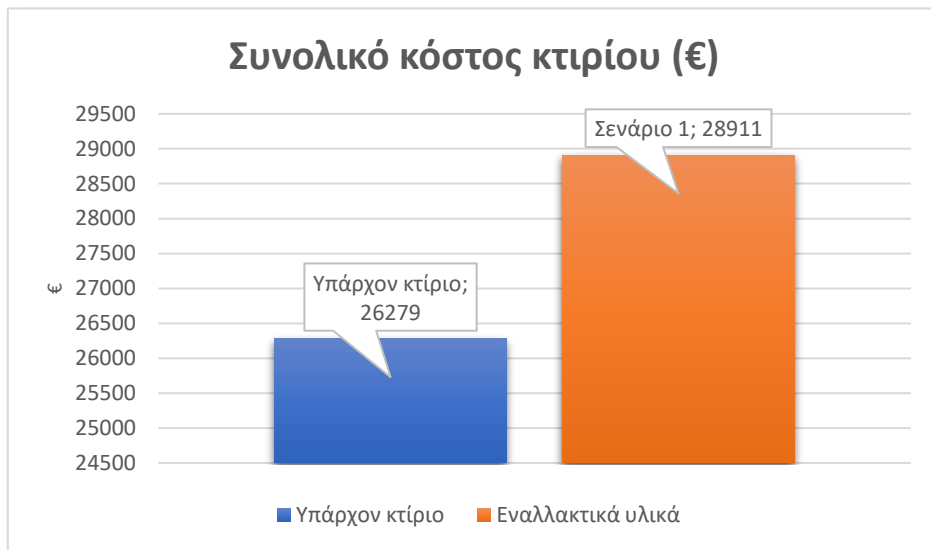
Πίνακας 24. Εκτίπωση των αποτελεσμάτων του λογισμικού KENAK για το υπάρχον κτίριο.

Σενάριο 1														
Ενεργειακές απαιτήσεις (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	3,5	2,7	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,1	10,2
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	6,6	9,6	9,4	2,5	0,0	0,0	0,0	29,2
	Υγρανση	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ZNX	2,8	2,5	2,7	2,4	2,1	1,7	1,6	1,6	1,7	2,0	2,3	2,7	26,1
Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ²)		Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Ετήσιο
►	Θέρμανση	1,0	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	3,0
	Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρων	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ψύξη	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,6	2,4	2,3	0,6	0,0	0,0	0,0	7,2
	ZNX	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	2,6
	Ηλιακή ενέργεια για ζεστό νερό χρήσης	1,5	1,5	1,9	2,2	2,5	2,6	2,7	2,7	2,4	2,1	1,6	1,4	25,1
	Φωτισμός	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ενέργεια απο φωτοβολταϊκά - ΣΗΘ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Σύνολο	1,6	1,2	0,9	0,2	0,3	1,6	2,4	2,3	0,6	0,1	0,4	1,1	12,8
Πηγή ενέργειας		Κατανάλωση καυσίμων (kWh/m ²)			Εκπομπές CO ₂ (kg/m ²)									
►	Ηλεκτρισμός	12,8			12,7									
	Πετρέλαιο	0,0			0,0									
	Φυσικό αέριο	0,0			0,0									
	Άλλα ορυκτά καύσιμα	0,0			0,0									
	Ηλιακή	25,1			0,0									
	Βιομάζα	0,0			0,0									
	Γεωθερμία	0,0			0,0									
	Άλλο ΑΠΕ	0,0			0,0									
	Σύνολο	12,8			12,7									

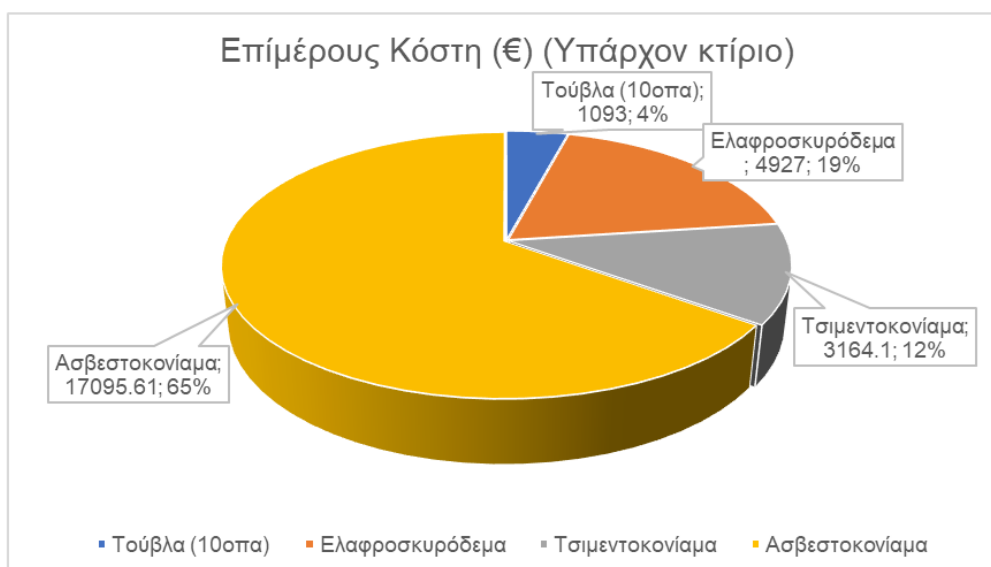
Πίνακας 25. Εκτίπωση των αποτελεσμάτων του λογισμικού KENAK για το Σενάριο 1.

8.2 Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των επιλεγμένων δομικών υλικών και εκτίμηση κόστους

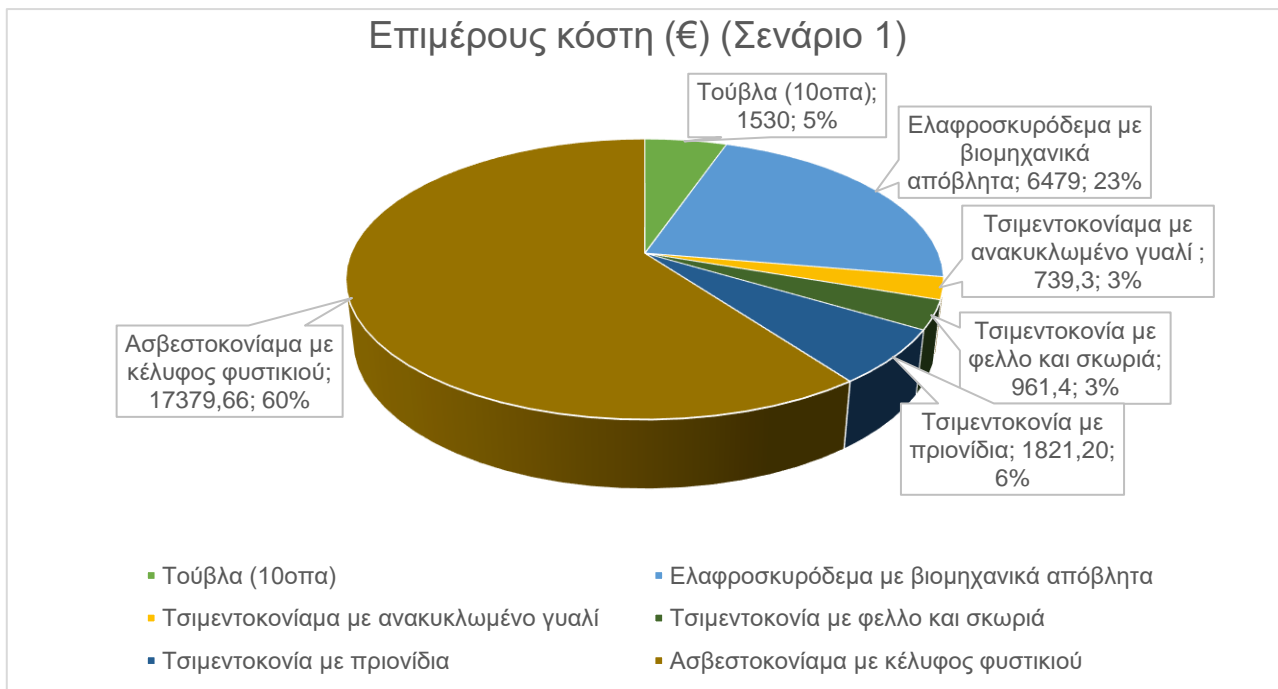
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται το συνολικό και τα επιμέρους κόστη τόσο για το "Υπάρχον Κτίριο" όσο και για το Σενάριο 1, καθώς και τα ποσοστά συμμετοχής του κάθε υλικού στο συνολικό κόστος. Η σύγκριση αυτή παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των οικονομικών παραμέτρων που εξετάζουμε. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται πόσο θα κόστιζε η κατασκευή μιας νεόδμητης πολυώροφης κατοικίας με συμβατικά υλικά σε σύγκριση με μια κατοικία που θα χρησιμοποιούσε τα επιλεγμένα ανακυκλώσιμα υλικά, καθώς και πόση μείωση εκπομπών CO₂ θα επιτυγχανόταν με τη χρήση αυτών των υλικών.



Διάγραμμα 3. Σύγκριση συνολικού κόστους υλικών μεταξύ υπάρχον κτίριο και Σενάριο 1.



Διάγραμμα 4. Επίμέρους κόστη υλικών και ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό κόστος για το υπάρχον κτίριο.



Διάγραμμα 5. Επιμέρους κόστη υλικών και ποσοστό συμμετοχής στο συνολικό κόστος για το Σενάριο 1.

Για τις ανάγκες της ανάλυσης κύκλου ζωής των υλικών, αξιοποιήθηκαν όσα στοιχεία ήταν διαθέσιμα από την βάση δεδομένων ECOINVENT (ιδιαίτερα όσον αφορά στον συνυπολογισμό της μεταφοράς τους προς το εργοτάξιο καθώς και την δημιουργία των πρώτων υλών), ενώ σειρά δεδομένων εισήχθησαν από τον συγγραφέα μετά από σχετική βιβλιογραφική έρευνα (απαιτήσεις ενέργειας κατά την διαδικασία παραγωγής, χρήση νερού, χρήση υλικών, αντίστοιχη χρήση γης κ.α.).

Παρακάτω συγκρίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συμβατικού δομικού υλικού με το επιλεγμένο ανακυκλώσιμο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο Σενάριο 1 αναφορικά με τις ποσότητες που χρειάστηκαν για το σύνολο της νεόδμητης κατοικίας.

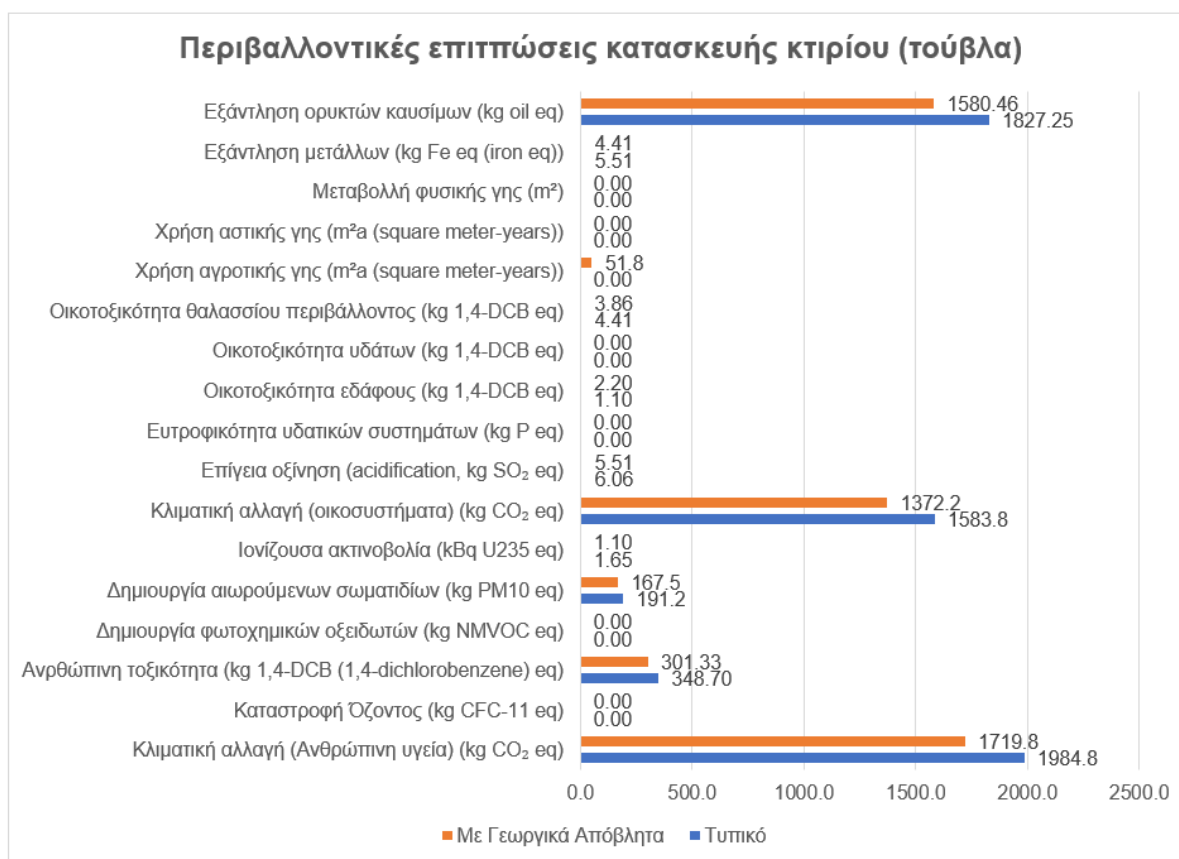
- Οπτόπλινθοι:

Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκε η εναλλαγή της αξιοποίησης των κλασικών οπτόπλινθων για την κατασκευή της οπτοπλινθοδομής του κτιρίου με οπτόπλινθους που προέρχονται από την αξιοποίηση γεωργικών αποβλήτων. Τα σχετικά αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 26 και γραφικά στο Διάγραμμα 6.

Αυτό που προκύπτει είναι ότι οι εναλλακτικοί οπτόπλινθοι εν γένει έχουν μειωμένη επίδραση τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία (13,5%). Μόνη εξαίρεση αποτελεί η χρήση αγροτικής γης που αντιστοιχεί στην περίπτωση του οπτόπλινθου από γεωργικά απόβλητα που συνυπολογίζεται. Σημειώνεται ωστόσο ότι η διαφορά είναι μεν συγκρίσιμες αλλά σχετικά μικρές. Κατά συνέπεια, το αποτέλεσμα της ανάλυσης στην περίπτωση αυτή δείχνει ότι η χρήση του εναλλακτικού τύπου οπτόπλινθου έχει θετικό μεν πρόσημο, αλλά όχι σε βαθμό που να είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Τυπικό	Με Γεωργικά Απόβλητα
Κλιματική αλλαγή (Ανθρώπινη υγεία) (kg CO ₂ eq)	1984.8	1719.8
Καταστροφή Όζοντος (kg CFC-11 eq)	0.00	0.00
Ανθρώπινη τοξικότητα (kg 1,4-DCB (1,4-dichlorobenzene) eq)	348.70	301.33
Δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτών (kg NMVOC eq)	0.00	0.00
Δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων (kg PM10 eq)	191.2	167.5
Ιονίζουσα ακτινοβολία (kBq U235 eq)	1.65	1.10
Κλιματική αλλαγή (οικοσυστήματα) (kg CO ₂ eq)	1583.8	1372.2
Επίγεια οξίνιση (acidification, kg SO ₂ eq)	6.06	5.51
Ευτροφικότητα υδατικών συστημάτων (kg P eq)	0.00	0.00
Οικοτοξικότητα εδάφους (kg 1,4-DCB eq)	1.10	2.20
Οικοτοξικότητα υδάτων (kg 1,4-DCB eq)	0.00	0.00
Οικοτοξικότητα θαλασσίου περιβάλλοντος (kg 1,4-DCB eq)	4.41	3.86
Χρήση αγροτικής γης (m ² a (square meter-years))	0.00	51.8
Χρήση αστικής γης (m ² a (square meter-years))	0.00	0.00
Μεταβολή φυσικής γης (m ²)	0.00	0.00
Εξάντληση μετάλλων (kg Fe eq (iron eq))	5.51	4.41
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων (kg oil eq)	1827.25	1580.46

Πίνακας 26. Αποτελέσματα ανάλυσης κύκλου ζωής για τους εξεταζόμενους οπτόπλινθους.



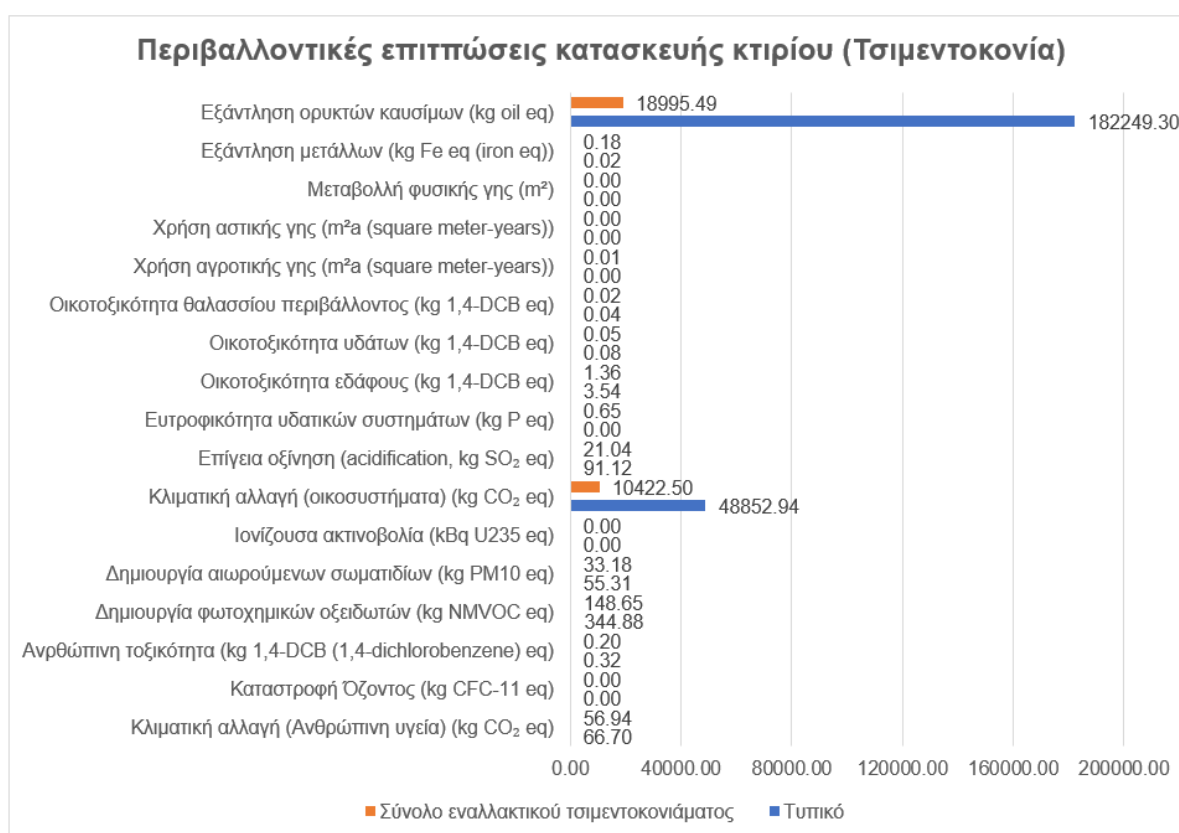
Διάγραμμα 6. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων οπτόπλινθων

- Τσιμέντο:

Όσον αφορά το τσιμέντο, μελετήθηκε η εναλλαγή της χρήσης του παραδοσιακού τσιμέντου με ένα τσιμέντο που περιέχει είτε βιομηχανικά απόβλητα είτε ανακυκλωμένο γυαλί για την κατασκευή κτιρίων. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 27 και απεικονίζονται γραφικά στο Διάγραμμα 7.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Τυπικό	Τσιμεντοκονίαμα με βιομηχανικά απόβλητα	Τσιμεντοκονίαμα με ανακυκλωμένο γυαλί	Σύνολο εναλλακτικού
Κλιματική αλλαγή (Ανθρώπινη υγεία) (kg CO ₂ eq)	66.70	48.80	8.14	56.94
Καταστροφή Όζοντος (kg CFC-11 eq)	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανθρώπινη τοξικότητα (kg 1,4-DCB (1,4-dichlorobenzene) eq)	0.32	0.18	0.02	0.20
Δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτών (kg NMVOC eq)	344.88	148.27	0.38	148.65
Δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων (kg PM10 eq)	55.31	33.13	0.05	33.18
Ιονίζουσα ακτινοβολία (kBq U235 eq)	0.00	0.00	0.00	0.00
Κλιματική αλλαγή (οικοσυστήματα) (kg CO ₂ eq)	48852.94	8231.88	2190.62	10422.50
Επίγεια οξίνιση (acidification, kg SO ₂ eq)	91.12	16.86	4.18	21.04
Ευτροφικότητα υδατικών συστημάτων (kg P eq)	0.00	0.00	0.65	0.65
Οικοτοξικότητα εδάφους (kg 1,4-DCB eq)	3.54	1.15	0.21	1.36
Οικοτοξικότητα υδάτων (kg 1,4-DCB eq)	0.08	0.04	0.01	0.05
Οικοτοξικότητα θαλασσίου περιβάλλοντος (kg 1,4-DCB eq)	0.04	0.02	0.00	0.02
Χρήση αγροτικής γης (m ² a (square meter-years))	0.00	0.01	0.00	0.01
Χρήση αστικής γης (m ² a (square meter-years))	0.00	0.00	0.00	0.00
Μεταβολή φυσικής γης (m ²)	0.00	0.00	0.00	0.00
Εξάντληση μετάλλων (kg Fe eq (iron eq))	0.02	0.14	0.04	0.18
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων (kg oil eq)	182249.30	15819.09	3176.40	18995.49

Πίνακας 27. Αποτελέσματα ανάλυσης κύκλου ζωής για τους εξεταζόμενους τύπους τσιμέντου.



Διάγραμμα 7. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων τύπων τσιμέντου.

Εν γένει, τα βασικά συμπεράσματα προκύπτουν από τον Πίνακα 27 κατά κύριο λόγο, εξαιτίας της ανομοιογένειας της κλίμακας των τιμών των επί μέρους συντελεστών. Ωστόσο το Διάγραμμα 7 έχει ιδιαίτερη χρήση για την συγκριτική εξέταση δύο συντελεστών με ιδιαίτερα μεγάλες τιμές: δυναμικό παράγωγής εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου (κλιματική αλλαγή) και εξάντληση ορυκτών καυσίμων. Κατ' ουσία, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 27, ο εναλλακτικός τύπος του τσιμέντου παρουσιάζει μειωμένες επιπτώσεις σε κάθε κατηγορία, ωστόσο σε αυτές τις δύο διαφαίνεται η σημαντική διαφοροποίηση του (78.6% & 89,6% αντίστοιχα). Είναι σαφές ότι η παραγωγή του εναλλακτικού τύπου δεν ενέχει τόσο υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια (η οποία στην παραγωγή του τσιμέντου συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την καύση ορυκτών καυσίμων) και κατά συνέπεια παρουσιάζει ιδιαίτερα μειωμένο δυναμικό όσον αφορά στην κλιματική αλλαγή.

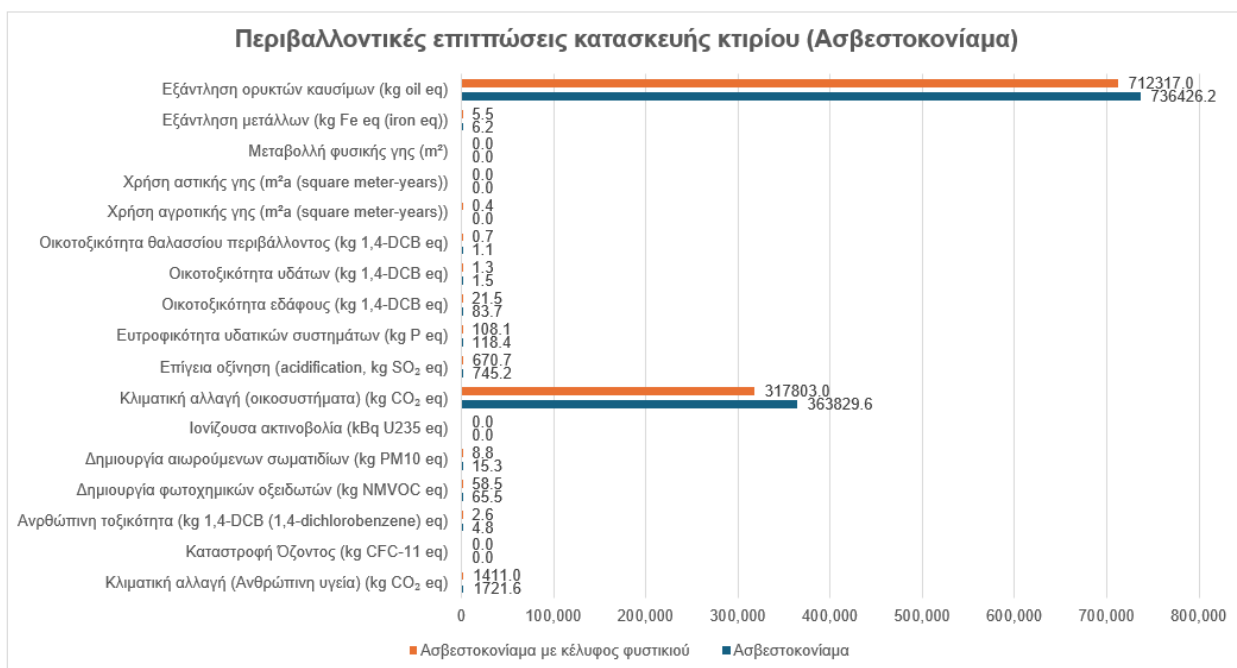
- Ασβεστοκονίαμα:

Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκε η εναλλαγή της αξιοποίησης του ασβεστοκονιάματος για την κατασκευή του κτιρίου με προσθήκη φυτικών συστατικών. Τα σχετικά αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 28 και γραφικά στο Διάγραμμα 8.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Ασβεστοκονίαμα	Ασβεστοκονίαμα με κέλυφος φυσικιού
Κλιματική αλλαγή (Ανθρώπινη υγεία) (kg CO ₂ eq)	1721.6	1411.0
Καταστροφή Οζοντος (kg CFC-11 eq)	0.0	0.0
Ανθρώπινη τοξικότητα (kg 1,4-DCB (1,4-dichlorobenzene) eq)	4.8	2.6
Δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτών (kg NMVOC eq)	65.5	58.5
Δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων (kg PM10 eq)	15.3	8.8
Ιονίζουσα ακτινοβολία (kBq U235 eq)	0.0	0.0
Κλιματική αλλαγή (οικοσυστήματα) (kg CO ₂ eq)	363829.6	317803.0
Επίγεια οξίνιση (acidification, kg SO ₂ eq)	745.2	670.7
Ευτροφικότητα υδατικών συστημάτων (kg P eq)	118.4	108.1
Οικοτοξικότητα εδάφους (kg 1,4-DCB eq)	83.7	21.5
Οικοτοξικότητα υδάτων (kg 1,4-DCB eq)	1.5	1.3
Οικοτοξικότητα θαλασσίου περιβάλλοντος (kg 1,4-DCB eq)	1.1	0.7
Χρήση αγροτικής γης (m ² a (square meter-years))	0.0	0.4
Χρήση αστικής γης (m ² a (square meter-years))	0.0	0.0
Μεταβολή φυσικής γης (m ²)	0.0	0.0
Εξάντληση μετάλλων (kg Fe eq (iron eq))	6.2	5.5
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων (kg oil eq)	736426.2	712317.0

Πίνακας 28. Αποτελέσματα ανάλυσης κύκλου ζωής για τους εξεταζόμενους τύπους ασβεστοκονιάματος.

Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην περίπτωση των οπτόπλινθων, παρατηρείται μείωση των επιπτώσεων του εναλλακτικού σε σχέση με τον κλασικό τύπο ασβεστοκονιάματος, με μόνη διαφοροποίηση την επίδρασή στην χρήση αγροτικής γης του πρώτου, εξαιτίας της ανάγκης παράγωγής των φυτικών συστατικών. Από την άποψη των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στον άνθρωπο και των ενεργειακών απαιτήσεων, το τελικό πρόσημο της χρήσης του εναλλακτικού τύπου είναι μεν θετικό, ωστόσο όχι σε πολύ μεγάλο βαθμό.

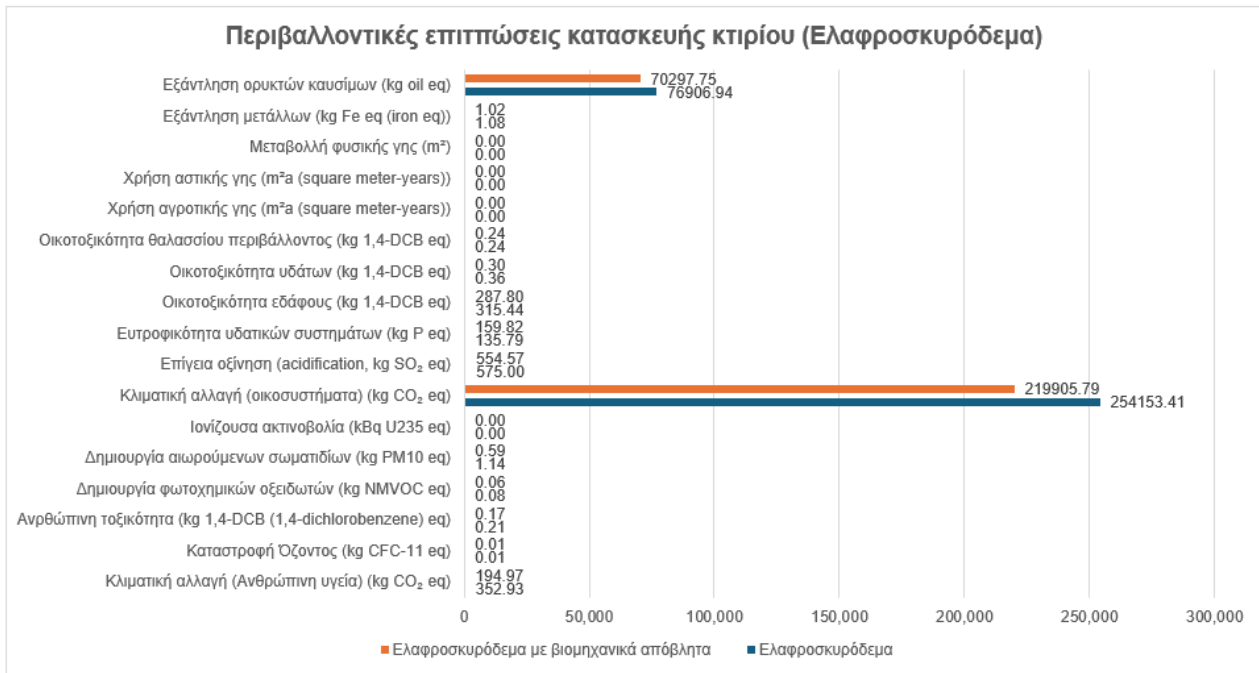


Διάγραμμα 8. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων τύπων ασβεστοκονιάματος.

- **Ελαφροσκυρόδεμα:**

Στο θέμα αυτό, εξετάστηκε η χρήση του κλασικού Ελαφροσκυροδέματος σε σύγκριση με τη χρήση Ελαφροσκυροδέματος που περιέχει βιομηχανικά απόβλητα για την κατασκευή του κτιρίου. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 29 και απεικονίζονται γραφικά στο Διάγραμμα 9.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Ελαφροσκυρόδεμα	Ελαφροσκυρόδεμα με βιομηχανικά απόβλητα
Κλιματική αλλαγή (Ανθρώπινη υγεία) (kg CO ₂ eq)	352.93	194.97
Καταστροφή Όζοντος (kg CFC-11 eq)	0.01	0.01
Ανθρώπινη τοξικότητα (kg 1,4-DCB (1,4-dichlorobenzene) eq)	0.21	0.17
Δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτών (kg NMVOC eq)	0.08	0.06
Δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων (kg PM10 eq)	1.14	0.59
Ιονίζουσα ακτινοβολία (kBq U235 eq)	0.00	0.00
Κλιματική αλλαγή (οικοσυστήματα) (kg CO ₂ eq)	254153.41	219905.79
Επίγεια οξίνιση (acidification, kg SO ₂ eq)	575.00	554.57
Ευτροφικότητα υδατικών συστημάτων (kg P eq)	135.79	159.82
Οικοτοξικότητα εδάφους (kg 1,4-DCB eq)	315.44	287.80
Οικοτοξικότητα υδάτων (kg 1,4-DCB eq)	0.36	0.30
Οικοτοξικότητα θαλασσίου περιβάλλοντος (kg 1,4-DCB eq)	0.24	0.24
Χρήση αγροτικής γης (m ² a (square meter-years))	0.00	0.00
Χρήση αστικής γης (m ² a (square meter-years))	0.00	0.00
Μεταβολή φυσικής γης (m ²)	0.00	0.00
Εξάντληση μετάλλων (kg Fe eq (iron eq))	1.08	1.02
Εξάντληση ορυκτών καυσίμων (kg oil eq)	76906.94	70297.75



Διάγραμμα 9. Γραφική αναπαράσταση της συγκριτικής ανάλυσης κύκλου ζωής των εξεταζόμενων τύπων ελαφροσκυροδέματος.

Στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλες τις κατηγορίες σε σχέση με τον κλασικό τύπο. Αν και το ποσοστό μείωσης είναι θετικό, δεν είναι πολύ μεγάλο (8-10%). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι στον τομέα της κλιματικής αλλαγής (Ανθρώπινη υγεία), η μείωση φτάνει το 44,75%, επισημαίνοντας μια σημαντική βελτίωση σε αυτόν τον τομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία εξέτασε την ενεργειακή απόδοση νεόδμητης πολυώροφης κατοικίας με τη χρήση του λογισμικού TEE KENAK, συγκρίνοντας το "Υπάρχον κτίριο" με την πανομοιότυπη εκδοχή του που χρησιμοποιεί εναλλακτικά υλικά "Σενάριο 1". Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση κύκλου ζωής μέσω του λογισμικού Ecochain Mobius, για τα εναλλακτικά υλικά, αποκαλύπτοντας τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση τους, καθώς και εκτίμηση κόστους σε σχέση με τα κλασικά υλικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν μικρή βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα των εναλλακτικών υλικών, αν και το κόστος τους προκύπτει τελικά υψηλότερο.

Μηχανικές ιδιότητες

Μέσω της βιβλιογραφικής έρευνας, εξετάστηκαν διάφορα δομικά υλικά που ενσωματώνουν δομικά απόβλητα. Ωστόσο, λόγω συγκεκριμένων περιορισμών, δεν εντοπίστηκε ικανός αριθμός τέτοιων υλικών. Για το λόγο αυτό, η έρευνα επεκτάθηκε σε υλικά που ενσωματώνουν γενικά απόβλητα, όπως βιομηχανικά, γεωργικά κ.α. Τα δομικά υλικά που ενσωματώνουν απόβλητα παρουσίαζαν κατά το πλείστον μειωμένες μηχανικές αντοχές. Παρά την ύπαρξη χαμηλών συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας, οι αντοχές τους (σε θλίψη, κάμψη κ.λπ.) ήταν κατώτερες από τις απαιτούμενες για τα συμβατικά υλικά. Τα εναλλακτικά υλικά που τελικά επιλέχθηκαν για την έρευνα ήταν τα μόνα που ικανοποιούσαν τόσο τις απαιτούμενες μηχανικές αντοχές, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και τα κατασκευαστικά πρότυπα, όσο και τις προϋποθέσεις για χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα υλικά που κάλυπταν και τα δύο αυτά κριτήρια ενσωμάτωναν ποσοστό αποβλήτων της τάξης του 15%.

Ενεργειακή Απόδοση

Βάσει των αποτελεσμάτων της έρευνας σχετικά με την ενεργειακή απόδοση μιας νεόδμητης πολυκατοικίας στην περιοχή της Αθήνας, συγκρίνοντας τη χρήση συμβατικών δομικών υλικών με την εναλλακτική χρήση ανακυκλώσιμων υλικών (Σενάριο), προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα. Η κατασκευή της πολυκατοικίας με ανακυκλώσιμα υλικά και βελτιωμένο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας οδήγησε σε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 3,75%. Επιπλέον, το λειτουργικό κόστος μειώθηκε κατά 2%, ενώ οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 3,78%. Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών με καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες μπορεί να προσφέρει ουσιαστικά ενεργειακά οφέλη, παρά την ελαφρώς μικρή ποσοστιαία βελτίωση. Η εξοικονόμηση ενέργειας, έστω και μικρή, συμβάλλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, βελτιώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της κατασκευής.

Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Βάσει της ανάλυσης κύκλου ζωής (LCA) που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Ecochain Mobius, εξετάστηκαν και συγκρίθηκαν τα συμβατικά δομικά υλικά με τα επιλεγμένα ανακυκλώσιμα υλικά. Συνολικά, η ανάλυση αποδεικνύει ότι η χρήση εναλλακτικών δομικών υλικών προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Στις περισσότερες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κάθε υλικού, παρατηρήθηκε μείωση έως και 15%, με ειδική αναφορά στις κατηγορίες όπου καταγράφηκαν ιδιαίτερα σημαντικές μειώσεις: 89,6% στην εξάντληση ορυκτών καυσίμων για το τσιμέντο και

44,75% στην κλιματική αλλαγή (ανθρώπινη υγεία) για το ελαφροσκυρόδεμα. Παρόλο που τα οφέλη ποικίλλουν ανάλογα με το υλικό, γενικά τα εναλλακτικά υλικά δείχνουν σημαντική περιβαλλοντική βελτίωση σε σχέση με τα παραδοσιακά. Επιπλέον, όσον αφορά το οικονομικό κόστος, παρατηρήθηκε μια μικρή διαφορά: το κόστος των συμβατικών υλικών ανέρχεται σε 26.279 ευρώ, ενώ η χρήση εναλλακτικών υλικών για τα συγκεκριμένα υλικά που αντικαταστάθηκαν θα κόστιζε 28.911 ευρώ, αυτό συνεπάγεται αύξηση κατά 10%. Η διαφορά αυτή θα μπορούσε να οφείλεται στις δαπανηρές διαδικασίες συλλογής, διαλογής και επεξεργασίας των αποβλήτων, στις εξειδικευμένες τεχνολογίες και πιστοποιήσεις, καθώς και στο υψηλό κόστος έρευνας και ανάπτυξης, την περιορισμένη κλίμακα παραγωγής και την εκπαίδευση του προσωπικού.

Ολοκληρωμένη Προσέγγιση και Προτάσεις

Η συνδυασμένη ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης και του κύκλου ζωής των δομικών υλικών προσφέρει μια πρώτη εικόνα της περιβαλλοντικής βιωσιμότητάς τους. Οι παρατηρούμενες βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και οι μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υλικών αποδεικνύουν ότι τα επιλεγμένα υλικά έχουν χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τα συμβατικά. Αυτό υποδεικνύει ότι τα εναλλακτικά υλικά μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και να προωθήσουν την κυκλική οικονομία. Η συνέχιση της έρευνας και ανάπτυξης νέων εναλλακτικών υλικών αναμένεται να βελτιώσει περαιτέρω τη βιωσιμότητα των κτιρίων. Οι κατασκευαστές και οι αρχιτέκτονες θα πρέπει να ενθαρρυνθούν να υιοθετήσουν αυτές τις πρακτικές, ενώ οι κυβερνήσεις μπορούν να προσφέρουν κίνητρα για την ευρύτερη εφαρμογή τους.

Για μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της βιωσιμότητας των εναλλακτικών δομικών υλικών, είναι σημαντικό να εξεταστεί και το χρηματικό κόστος, συμπεριλαμβανομένων των εξόδων μεταφοράς, εγκατάστασης, συντήρησης και κατεδάφισης. Μια ανάλυση κόστους-οφέλους (Cost-Benefit Analysis) που συνυπολογίζει τόσο τα οικονομικά όσο και τα περιβαλλοντικά οφέλη θα προσφέρει μια πιο πλήρη εικόνα της συνολικής αποδοτικότητας των εναλλακτικών υλικών. Επιπλέον, θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθούν οι κοινωνικές και λειτουργικές επιπτώσεις της χρήσης αυτών των υλικών, όπως η αποδοχή τους από τους χρήστες και η μακροχρόνια ανθεκτικότητα και συντήρηση. Με την ενσωμάτωσή τους, μπορούμε να προχωρήσουμε προς κατασκευές που είναι πιο βιώσιμες, φιλικές προς το περιβάλλον και κοινωνικά αποδεκτές.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Υλικά χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στην κατασκευή κτιρίων: Μηχανικές ιδιότητες και ανάλυση κύκλου ζωής

Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά κτιρίου



Εικόνα 25. Απεικόνιση συρόμενης πόρτας SL200 [151]

Κατασκευαστικά δεδομένα κουφώματος	$U_D & U_W$ W/m ² K	U_f W/m ² K	$U_p & U_g$ W/m ² K	Ψ_g W/m ² K
Πόρτα	0.79	1.5	0.4	0.08
Παράθυρο	1	1.2	0.6	0.11
Συρ. Πόρτα/Παράθυρο	2.11	2.1	1.1	0.11

α/α	Προσδιορισμός	Εμβαδό Κουφωμάτων Κατοικίας	$U_D & U_W$	AxU_{κ}
		m ²	W/(m ² K)	W/K
1	Πόρτα Εισόδου	2.2	0.8	1.7
2	Β. Συρόμενη ΚΟΥΖ	3.4	2.1	7.1
3	Β. Συρόμενο Παρ. Δ3	1.2	2.1	2.5
4	Α. Παράθυρο WC	0.4	1.0	0.4
5	Ν. Συρόμενη Δ2	3.4	2.1	7.1
6	Ν. Συρόμενη Δ1	3.4	2.1	7.1
7	Β. Συρόμενη ΧΩΛ	3.4	2.1	7.1
Σ(A) =		17.3	Σ(AxU _w) =	33.2
Σ(A) επι 5 =		86.7	Σ(AxU _w) επι 5 =	166.2

Πίνακας 30. Χαρακτηριστικά συρόμενης πόρτας SL200 για το διαμέρισμα

- Η γραμμική θερμοπερατότητα Ψ_g από πίνακα 3.11 σελ. 64 από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 [152]

α/α Κουφώματος	Προσδιορισμός	Πλάτος Κάσας	Υψος Κάσας	Μήκος Κάσας	Πλάτος Panel / Υαλοπίνακα	Υψος Panel / Υαλοπίνακα
		m	m	m	m	m
1	Πόρτα Εισόδου	0.086	2.20	1	0.83	2.03
2	Β. Συρόμενη ΚΟΥΖ	0.102	2.2	1.6	1.34	2.00
3	Β. Συρόμενο Παρ. Δ3	0.102	1	1.2	0.97	0.80
4	Α. Παράθυρο WC	0.102	0.7	0.6	0.40	0.50
5	Ν. Συρόμενη Δ2	0.102	2.2	1.6	1.34	2.00
6	Ν. Συρόμενη Δ1	0.102	2.2	1.6	1.34	2.00
7	Β. Συρόμενη ΧΩΛ	0.102	2.2	1.6	1.34	2.00

α/α Κουφώματος	Προσδιορισμός	Εμβαδό Panel / Υαλοπίνακα	Εμβαδό Πλασίου (Κάσας)	Περίμετρος Panel / Υαλοπίνακα
		A_g m ²	A_f m ²	L_g m ²
1	Πόρτα Εισόδου	1.68	0.52	5.7
2	Β. Συρόμενη ΚΟΥΖ	2.67	0.72	6.7
3	Β. Συρόμενο Παρ. Δ3	0.77	0.40	3.5
4	Α. Παράθυρο WC	0.20	0.22	1.8
5	Ν. Συρόμενη Δ2	2.67	0.72	6.7
6	Ν. Συρόμενη Δ1	2.67	0.72	6.7
7	Β. Συρόμενη ΧΩΛ	2.67	0.72	6.7

Πίνακας 31. Διαστάσεις συρόμενης πόρτας SL200

- Το 0.03m είναι το πλάτος της κάσας στο κέντρο (βλέπε Εικόνα 47)



Εικόνα 26. Απεικόνιση κεντρικής πόρτας εισόδου D75 (διαμέρισμα, ισόγειο)
[153]



Εικόνα 27. Απεικόνιση Παραθύρου W4750 [154]

α/α Κουφώματος	Προσδιορισμός	Πλάτος Κάσας	Ύψος Κάσας	Μήκος Κάσας	Πλάτος Panel / Υαλοπίνακα	Ύψος Panel / Υαλοπίνακα
		m	m	m	m	m
1	Πόρτα Εισόδου	0.086	2.20	1	0.83	2.03
2	Β. Παράθυρο	0.102	1	0.8	0.60	0.80

α/α Κουφώματος	Προσδιορισμός	Εμβαδό Panel / Υαλοπίνακα	Εμβαδό Πλασίου (Κάσας)	Περίμετρος Panel / Υαλοπίνακα
		A_g m ²	A_f m ²	L_g m ²
1	Πόρτα Εισόδου	1.68	0.52	5.7152
2	Β. Παράθυρο	0.47	0.33	2.784

Πίνακας 32. Χαρακτηριστικά παραθύρου και πόρτας (Μ.Θ.Χ.) SL200

Κατασκευαστικά δεδομένα κουφώματος	U_D & U_W W/m ² K	U_f W/m ² K	U_p & U_g W/m ² K	Ψ_g W/m ² K
Πόρτα	0.79	1.5	0.4	0.08
Παράθυρο	1	1.2	0.6	0.11

α/α	Προσδιορισμός	Εμβαδό Κουφώματος ΜΘΧ m ²	U_D & U_W W/(m ² K)	AxU_k W/K
1	Πόρτα	2.20	0.79	1.7
2	Παράθυρο	0.80	1.0	0.8
$\Sigma(A) =$		3.00	$\Sigma(AxU_w) =$	2.54
$\Sigma(A) \text{ επι } 6 =$		18	$\Sigma(AxU_w) \text{ επι } 6 =$	15

Πίνακας 33. Χαρακτηριστικά παραθύρου και πόρτας SL200 για το διαμέρισμα

- Όψη: Βόρεια 1^{ος} Όροφος

ΚΑΤΟΙΚΙΑ (Δυτικά προς Ανατολικά)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Έμβαδό [m ²]
1	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	4	2.62	0.62	10.6
3	Πόρτα	1	2.2	0.79	-2.2
4	Υποστύλωμα	0.5	3.02	0.31	1.4
5	Δοκάρι	4	0.40	0.31	1.6
6	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
7	Τοίχωμα	3.06	2.62	0.29	8.0
8	Συρόμενη	1.6	2.2	2.11	-3.5
9	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
10	Τοίχωμα	2.61	2.62	0.29	6.8
11	Σ. Παράθυρο	1.2	1	2.1	-1.2
12	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
13	Δοκάρι	3.06	0.4	0.31	1.2
14	Δοκάρι	2.61	0.4	0.31	1.0
ΣΑ					33.5

ΚΜΣ/ΜΟΧ (Δυτικά προς Ανατολικά)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Έμβαδό [m ²]
1	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	3.7	2.62	0.29	9.7
3	Παράθυρο	0.8	1	1.00	-0.8
4	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
6	Δοκάρι	3.7	0.4	0.31	1.5
ΣΑ					15.2

Πίνακας 34 Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, βόρεια όψη

- Όψη: Ανατολικά 1^{ος} Όροφος

ΚΑΤΟΙΚΙΑ (Βόρεια προς Νότια)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Έμβαδό [m ²]
1	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	2.4	2.62	0.29	6.2
3	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
4	Τοίχωμα	2.7	2.62	0.29	7.1
5	Παράθυρο	0.6	0.7	1.00	-0.4
6	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
7	Τοίχωμα	2.9	2.62	0.29	7.6
8	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
9	Δοκάρι	2.4	0.4	0.31	0.9
10	Δοκάρι	2.7	0.4	0.31	1.1
11	Δοκάρι	2.9	0.4	0.31	1.2
ΣΑ					8.6

ΚΜΣ/ΜΟΧ (Βόρεια προς Νότια)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Έμβαδό [m ²]
1	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	1.6	2.62	0.29	4.3
4	Υποστύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
5	Τοίχωμα	2.7	2.62	0.28	7.2
6	Υποστύλωμα	1.0	3.02	0.31	3.1
7	Δοκάρι	1.6	0.4	0.31	0.7
8	Δοκάρι	2.7	0.4	0.31	1.1
ΣΑ					6.7

Πίνακας 35. Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, ανατολική όψη

- Όψη: Νότια 1^{ος} Όροφος

ΚΑΤΟΙΚΙΑ (Δυτικά προς Ανατολικά)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Εμβαδό [m ²]
1	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	4	2.62	0.29	10.1
3	Συρόμενη	1.6	2.2	2.1	-3.5
4	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
5	Τοίχωμα	1.9	2.62	0.29	5.0
6	Συρόμενη	1.6	2.2	2.1	-3.5
7	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
8	Τοίχωμα	4.0	2.62	0.29	10.5
9	Συρόμενη	16	2.2	2.1	-35.2
10	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
11	Δοκάρι	4	0.4	0.31	1.5
12	Δοκάρι	1.9	0.4	0.31	0.8
13	Δοκάρι	4.0	0.4	0.31	1.6
ΣΑ					-3.1

ΚΜΣ/ΜΘΧ (Δυτικά προς Ανατολικά)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Εμβαδό [m ²]
1	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	4	2.62	0.62	10.6
3	Πόρτα	1	2.2	0.79	-2.2
4	Υποσύλωμα	0.5	3.02	0.31	1.4
6	Δοκάρι	4	0.40	0.31	1.6
ΣΑ					10.8

Πίνακας 36. Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, νότια όψη

- Όψη: Δυτική 1^{ος} Όροφος

ΚΑΤΟΙΚΙΑ (Βόρια προς Νότια)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Εμβαδό [m ²]
1	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	2.7	2.62	0.29	7.2
3	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
4	Υποσύλωμα	0.51	3.02	0.31	1.5
5	Τοίχωμα	2.4	2.62	0.29	6.2
6	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
7	Τοίχωμα	2.4	2.62	0.29	6.2
8	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
9	Δοκάρι	2.7	0.40	0.31	1.1
10	Δοκάρι	2.4	0.40	0.31	0.9
11	Δοκάρι	2.4	0.40	0.31	0.9
ΣΑ					33.7

ΚΜΣ/ΜΘΧ (Βόρια προς Νότια)					
A/A	Δομικό Στοιχείο	Πλάτος [m]	Ύψος [m]	U [W/(m ² K)]	Εμβαδό [m ²]
1	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
2	Τοίχωμα	2.44	2.62	0.29	6.4
4	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
3	Τοίχωμα	2.43	2.62	0.29	6.4
5	Υποσύλωμα	0.8	3.02	0.31	2.4
6	Δοκάρι	4.9	0.4	0.31	2.0
ΣΑ					11.2

Πίνακας 37. Διαστάσεις κατακόρυφων συμβατικών υλικών, δυτική όψη

Δομικό Στοιχείο	Εμβαδό A	U	Μειωτικός Συντελεστής b	AxUxb
	m ²	W/(m ² K)		W/K
Δάπεδο πιλοτής (1ος)	123	0.30	1	36.70
Οροφή Κατοικίας	123	0.29	1	35.32
Σ(A)	246	-	Σ(AxUxb)	72.02

ΜΟΧ

Δομικό Στοιχείο	Εμβαδό A	U	Μειωτικός Συντελεστής b	AxUxb
	m ²	W/(m ² K)		W/K
Δάπεδο ΚΜΣ	37	0.41	1	15.19
Οροφή ΚΜΣ	37	0.29	1	10.66
Σ(A)	74	-	Σ(AxUxb)	25.85

Πίνακας 38. Οριζόντια αδιαφανή συμβατικών υλικών

Συμβατικά Κατοικίας

Δομικά Στοιχεία	Σ(A)	Σ(AxUxb)	Σ(txΨxb _{θγ})	U _m
	m ²	W/K	W/K	W/(m ² K)
Κατακόρυφα αδιαφανή	475	30	-	0.34
Οριζόντια αδιαφανή	246	72	-	
Διαφανή	87	166	-	
Θερμογέφυρες	-	-	5	
Αθροισμα	808	267.87	5	

Ανακυκλώσιμα Κατοικίας

Δομικά Στοιχεία	Σ(A)	Σ(AxUxb)	Σ(txΨxb _{θγ})	U _m
	m ²	W/K	W/K	W/(m ² K)
Κατακόρυφα αδιαφανή	475	24	-	0.33
Οριζόντια αδιαφανή	246	69	-	
Διαφανή	87	166	-	
θερμογέφυρες	-	-	5	
Αθροισμα	808	259.0	5	

Πίνακας 39. Συγκέντρωση AxUxb κατακόρυφων και οριζόντιων συμβατικών δομικών στοιχείων

* Δάπεδο 0.4m , Τοίχωμα 2.5m, Δοκάρι 0.4m , Οροφή 1^{ου} ορόφου 0.4m

Συμβατικά Κατοικίας

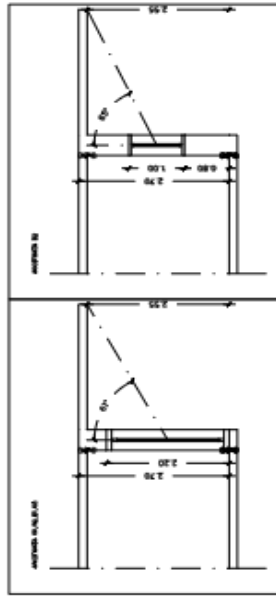
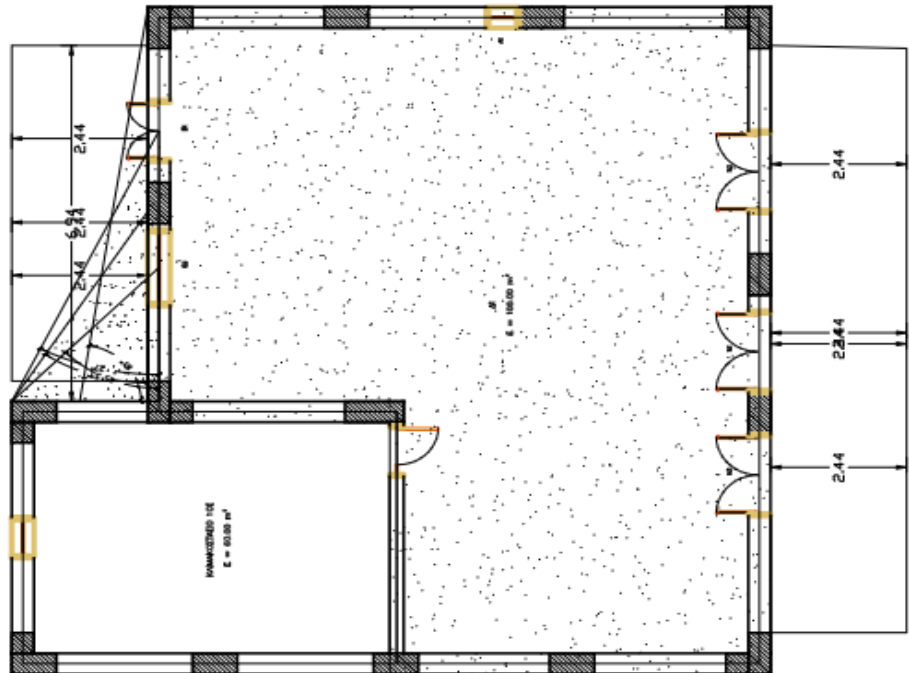
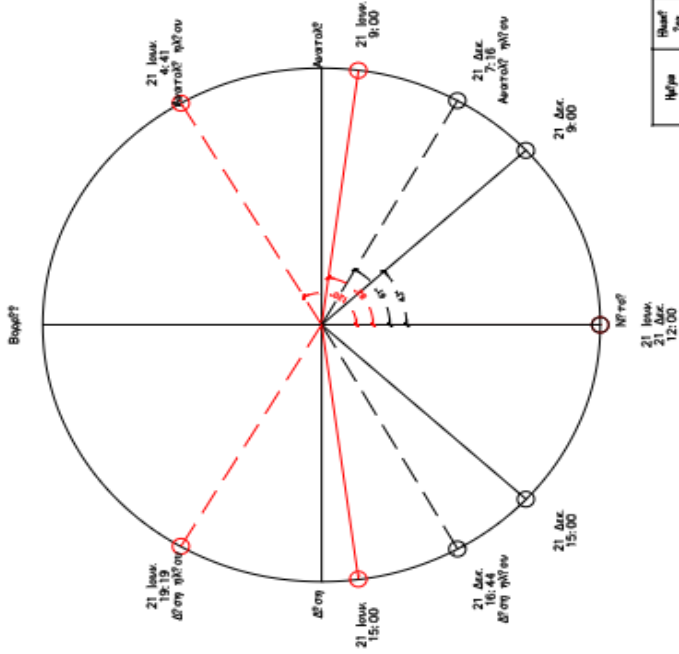
Όροφои	5	–	Πρέπει: $U_m \leq U_{max}$ <u>ΙΣΧΥΕΙ</u>	
Ύψος ορόφου	3.7	[m]		
Επιφάνεια	123	[m ²]		
Όγκος Κτιρίου	2276	[m ³]		
A/V	0.35	[m ⁻¹]	≤	0.4
U_{max} (Ζώνη Β)	0.99	[w/(m ² *K)]		

Ανακυκλώσιμα Κατοικίας

Όροφои	5	–	Πρέπει: $U_m \leq U_{max}$ <u>ΙΣΧΥΕΙ</u>	
Ύψος ορόφου	3.7	[m]		
Επιφάνεια	123	[m ²]		
Όγκος Κτιρίου	2276	[m ³]		
A/V	0.35	[m ⁻¹]	≤	0.4
U_{max} (Ζώνη Β)	0.99	[w/(m ² *K)]		

Πίνακας 40. Σύγκριση U_m , U_{max} για τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας

Σκιάσεις 1ος Όροφος



Ώρα	Ώρα Type	Ώρα Type	Ώρα Type	Προσανατολισμός			Προσανατολισμός		
				A	B	180	A	180	90
9:00	49	-82	B	49	90	172	90	90	90
12:00	75	0	90	75	0	-83	-172	90	90
15:00	49	82	172	49	82	-83	-8	49	90
9:00	16	-43	47	23	0	-22	-133	-23	90
12:00	29	0	90	29	0	-160	-29	90	90
15:00	16	43	133	-23	43	-137	-22	-47	23

Επίπεδο : 1

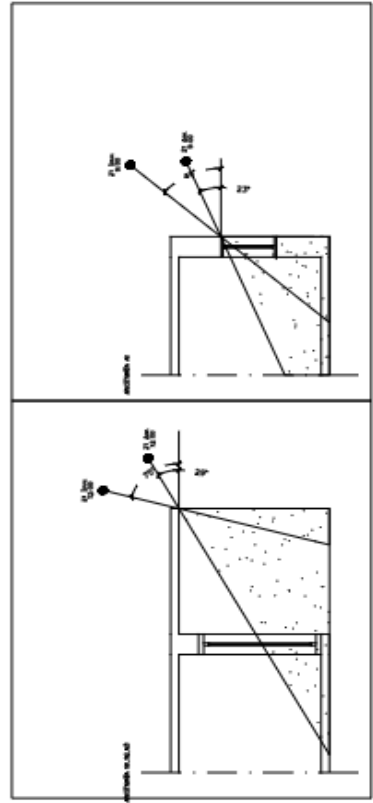
Κατηγορία	Προσανατολισμός	Ώρα	Ώρα	Ώρα	Ώρα
N1	180	61	0.48	0.39	
N2	180	61	0.48	0.38	
N3	180	61	0.48	0.38	
A1	90	0	1.00	1.00	
B1	0	61	0.54	0.59	
B2	0	65	0.51	0.56	

Επίπεδο : 1

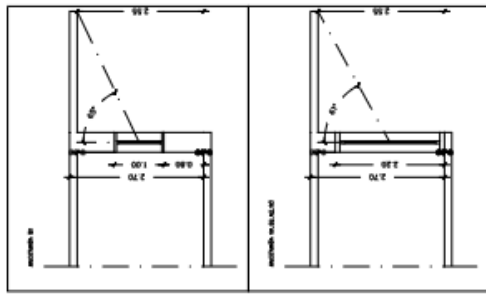
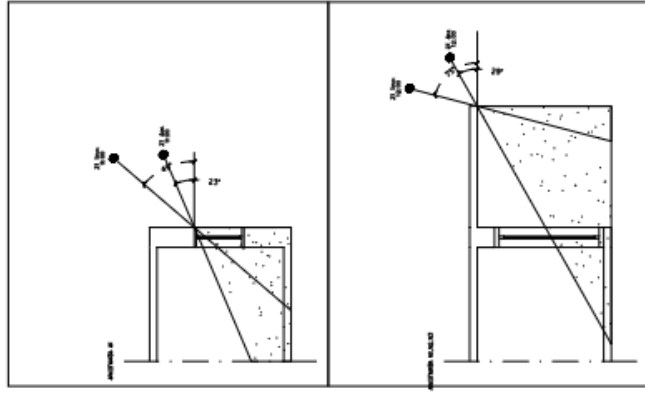
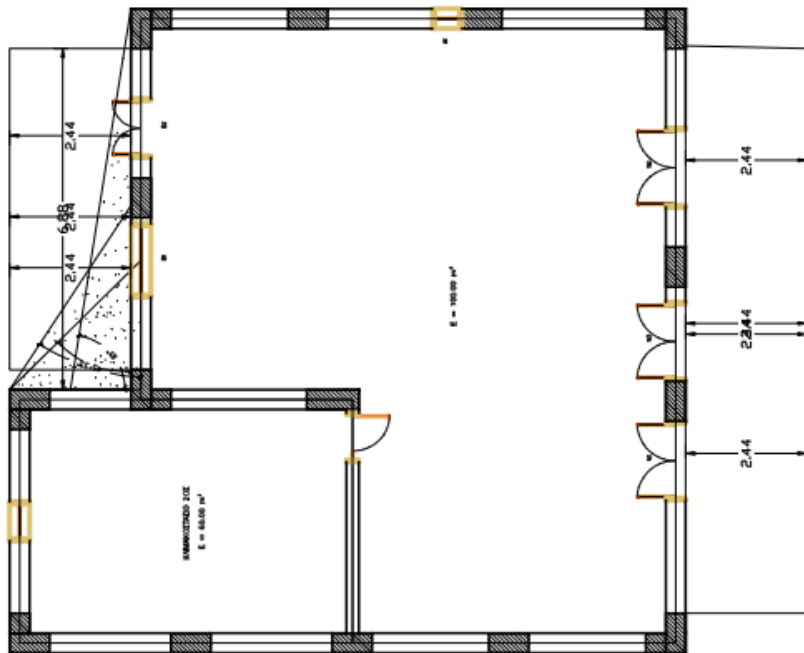
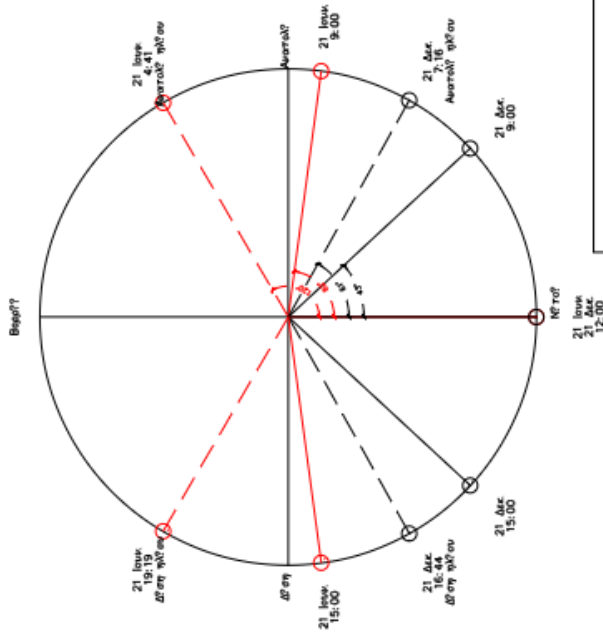
Κατηγορία	Προσανατολισμός	Ώρα	Ώρα	Ώρα	Ώρα
N1	180	0	1.00	1.00	
N2	180	0	1.00	1.00	
N3	180	0	1.00	1.00	
A1	90	0	1.00	1.00	
B1	0	0	1.00	1.00	
B2	0	0	1.00	1.00	

Επίπεδο : 1

Κατηγορία	Προσανατολισμός	Ώρα	Ώρα	Ώρα	Ώρα
N1	180	0	1.00	1.00	1.00
N2	180	0	1.00	1.00	1.00
N3	180	0	1.00	1.00	1.00
A1	90	0	1.00	1.00	1.00
B1	0	27	1.00	0.94	1.00
B2	0	45	1.00	0.92	1.00



2^{ος} Όροφος



Επίπεδο : 2

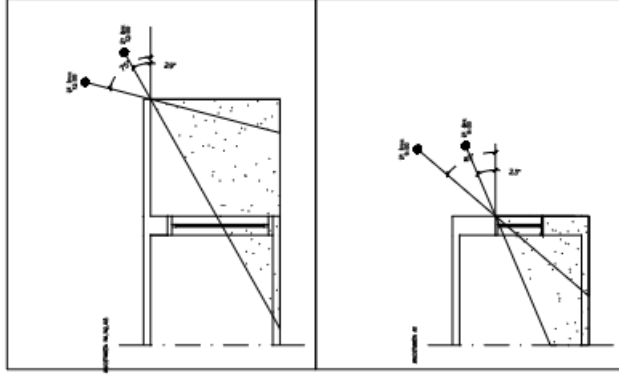
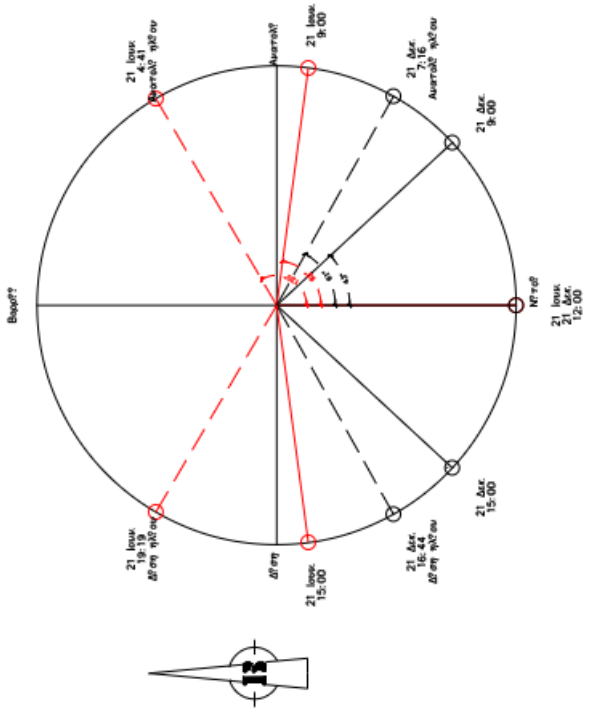
Προσαν. κλίση	Προσαν. ύψος	Ευκλ. απόσταση	Ήλιος	Ήλιος	Ήλιος
°	m	m	°	°	°
N1	180	61	0.48	0.38	0.38
N2	180	61	0.48	0.38	0.38
N3	180	61	0.48	0.38	0.38
A1	90	0	1.00	1.00	1.00
B1	0	65	0.51	0.56	0.56
B2	0	61	0.54	0.59	0.59

Επίπεδο : 2

Προσαν. κλίση	Προσαν. ύψος	Ευκλ. απόσταση	Ήλιος	Ήλιος	Ήλιος
°	m	m	°	°	°
N1	180	0	1.00	1.00	1.00
N2	180	0	1.00	1.00	1.00
N3	180	0	1.00	1.00	1.00
A1	90	0	1.00	1.00	1.00
B1	0	0	1.00	1.00	1.00
B2	0	0	1.00	1.00	1.00

Ώρα	Ήλιος	Ήλιος	Ήλιος	Προσαν. ύψος			Προσαν. ύψος		
				N	D	A	N	D	A
9:00	49	-82	63	8	49	8	49	8	49
12:00	75	0	75	90	90	90	90	90	90
15:00	49	82	83	172	49	172	49	172	49
21 Ιουνίου	0	-43	-43	22	47	23	22	47	23
21 Δεκ.	29	0	29	90	90	90	90	90	90
15:00	16	43	43	22	133	23	22	133	23

3ος Όροφος

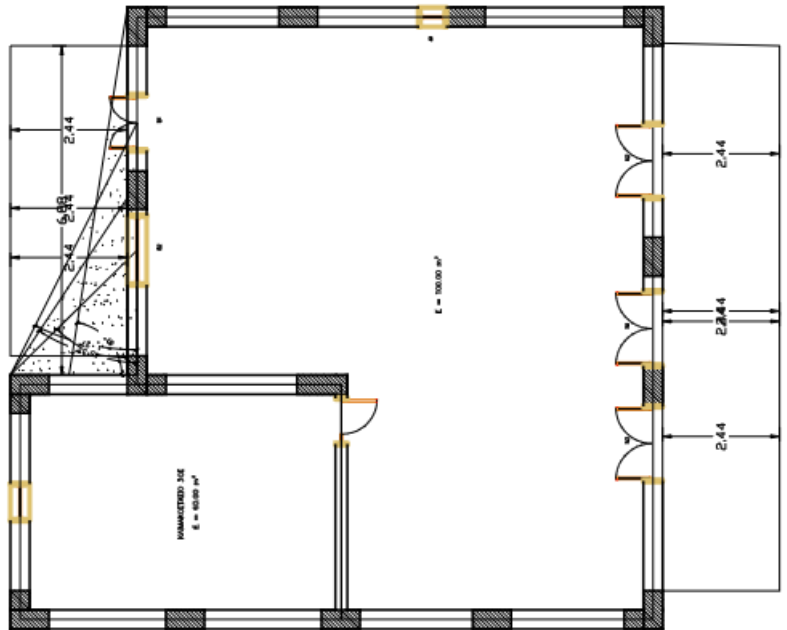


Επίπεδο: 3

Μήγαν	Προστασία m²/μ²	Καθαρά m²/μ²	Επιφ. m²/μ²	Επιφ. m²/μ²
N1	180	61	0.45	0.35
N2	180	61	0.45	0.35
N3	180	61	0.45	0.35
A1	90	0	1.00	1.00
B1	0	61	0.54	0.59
B2	0	65	0.51	0.56

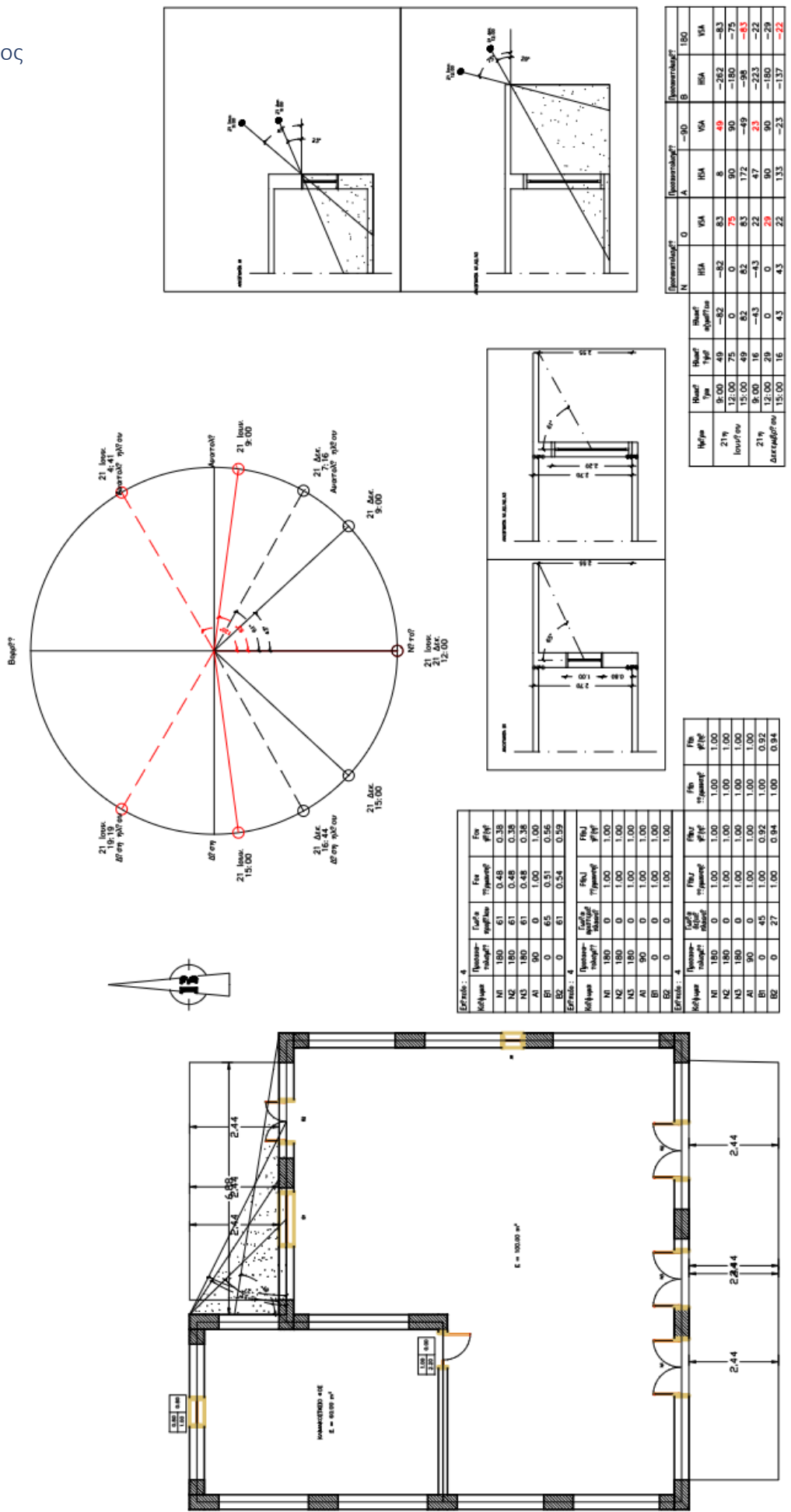
Επίπεδο: 3

Μήγαν	Προστασία m²/μ²	Καθαρά m²/μ²	Επιφ. m²/μ²	Επιφ. m²/μ²
N1	180	0	1.00	1.00
N2	180	0	1.00	1.00
N3	180	0	1.00	1.00
A1	90	0	1.00	1.00
B1	0	0	1.00	1.00
B2	0	0	1.00	1.00

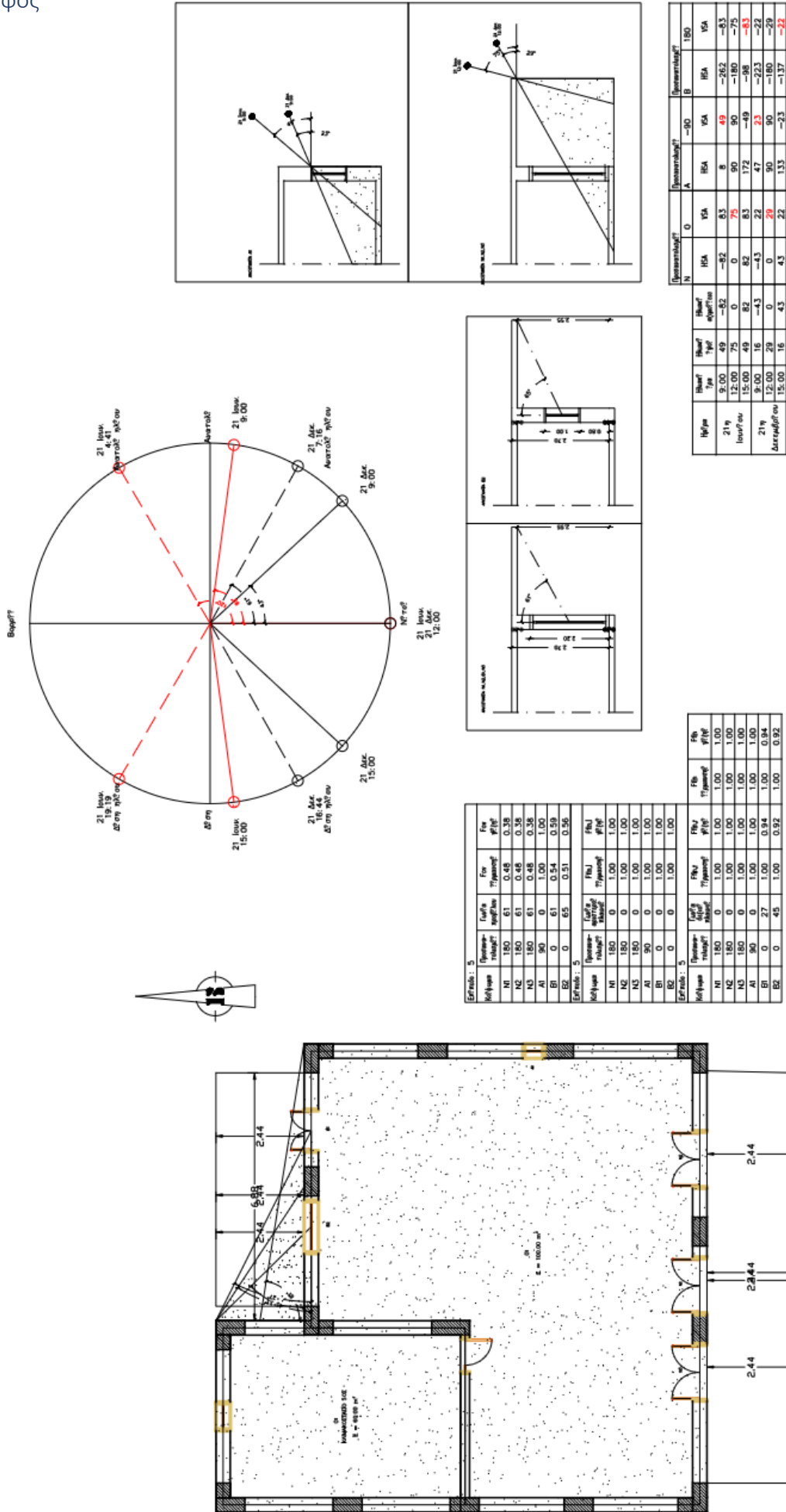


Μήγαν	Ώρα	Ώρα Type	Ώρα Type	Ώρα Type	Προστασία			Προστασία		
					N	D	A	B	A	B
21η Ιουνίου	9:00	49	-82	83	8	49	8	49	8	49
	12:00	75	0	75	90	90	90	90	90	
	15:00	49	82	83	172	49	85	172	49	
21η Δεκεμβρίου	9:00	16	-43	43	22	47	23	47	23	
	12:00	29	0	29	90	90	90	90	90	
	15:00	16	43	43	22	133	22	133	22	

4^{ος} Όροφος



5^{ος} Όροφος



Επίπεδο : 5

Μήκος	Περιμετρήσιμη επιφάνεια	Επιφάνεια ανοίγματος	Επιφάνεια ανοίγματος / Περιμετρήσιμη επιφάνεια	Επιφάνεια ανοίγματος / Εμβαδόν	F _{h1} / F _{h1} (απόκλιση)	F _{h2} / F _{h2} (απόκλιση)	F _{h3} / F _{h3} (απόκλιση)
ΝΤ	180	61	0.46	0.38	1.00	1.00	1.00
ΝΣ	180	61	0.46	0.38	1.00	1.00	1.00
ΑΙ	90	0	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ΒΙ	0	61	0.34	0.38	0	0	0
ΕΣ	0	65	0.31	0.36	0	0	0

Επίπεδο : 5

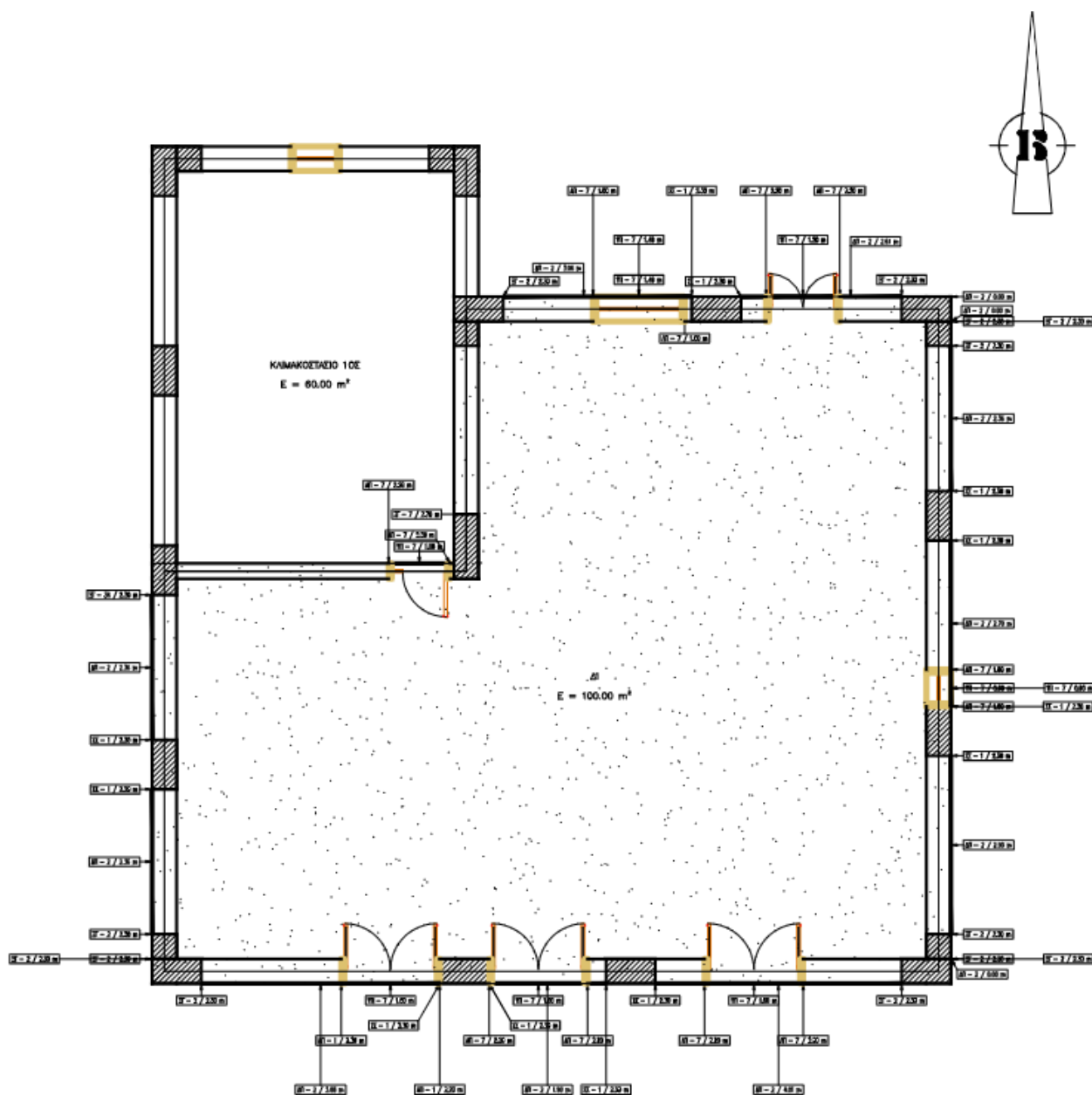
Μήκος	Περιμετρήσιμη επιφάνεια	Επιφάνεια ανοίγματος	Επιφάνεια ανοίγματος / Περιμετρήσιμη επιφάνεια	Επιφάνεια ανοίγματος / Εμβαδόν	F _{h1} / F _{h1} (απόκλιση)	F _{h2} / F _{h2} (απόκλιση)	F _{h3} / F _{h3} (απόκλιση)
ΝΤ	180	0	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ΝΣ	180	0	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ΑΙ	90	0	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
ΒΙ	0	27	1.00	0.94	1.00	0.94	1.00
ΕΣ	0	45	1.00	0.92	1.00	0.92	1.00

Μήκος	Περιμετρήσιμη επιφάνεια	Επιφάνεια ανοίγματος	Επιφάνεια ανοίγματος / Περιμετρήσιμη επιφάνεια
21 η	9:00	49	-82
12:00	75	0	75
15:00	49	82	82
21 η	9:00	16	-43
12:00	29	0	29
15:00	16	43	43

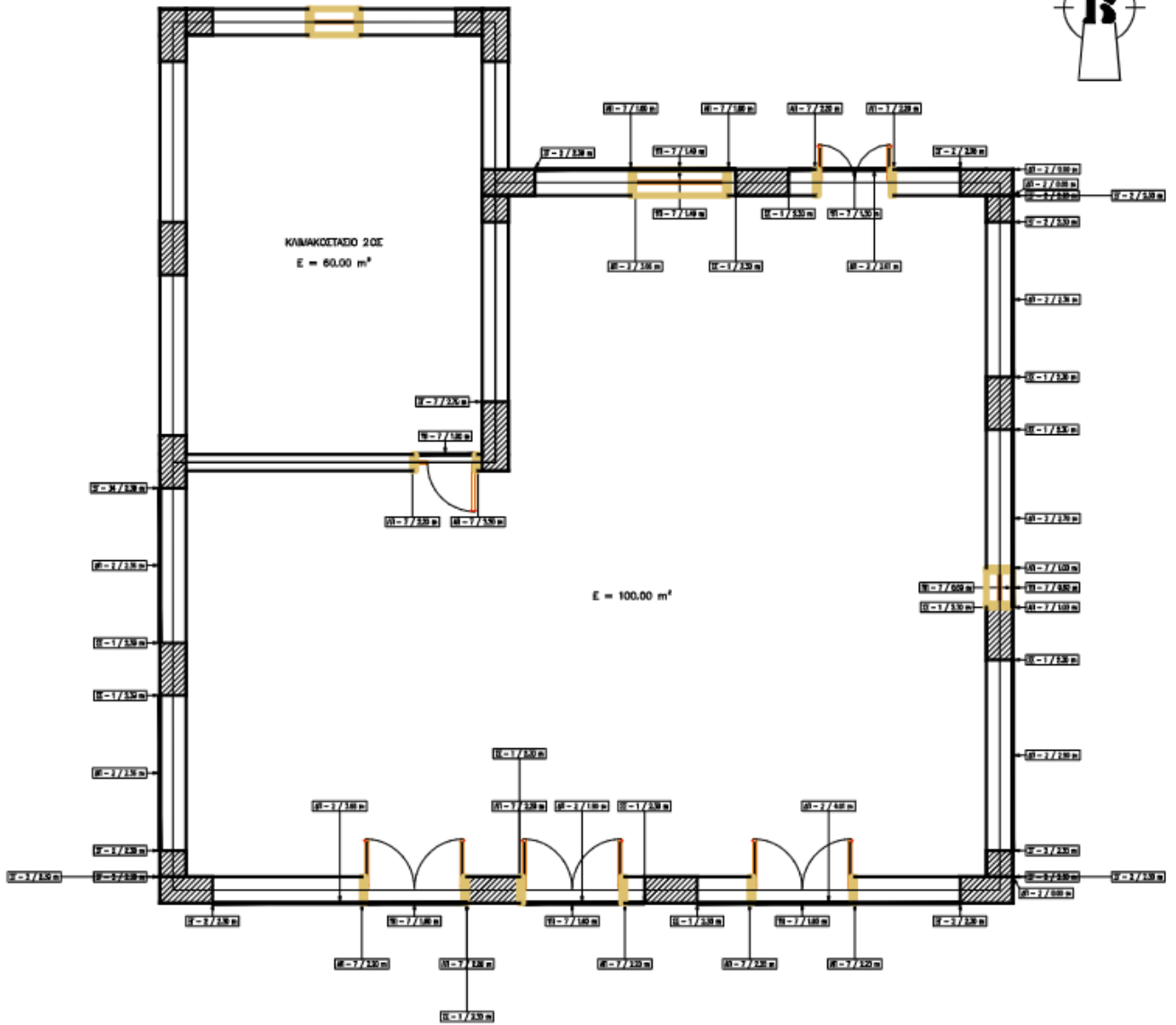
Περιμετρήσιμη επιφάνεια	Επιφάνεια ανοίγματος	Επιφάνεια ανοίγματος / Περιμετρήσιμη επιφάνεια
Ν	180	0
ΝΣ	180	0
Α	90	0
Β	0	27
Ε	0	45

Θερμογέφυρες

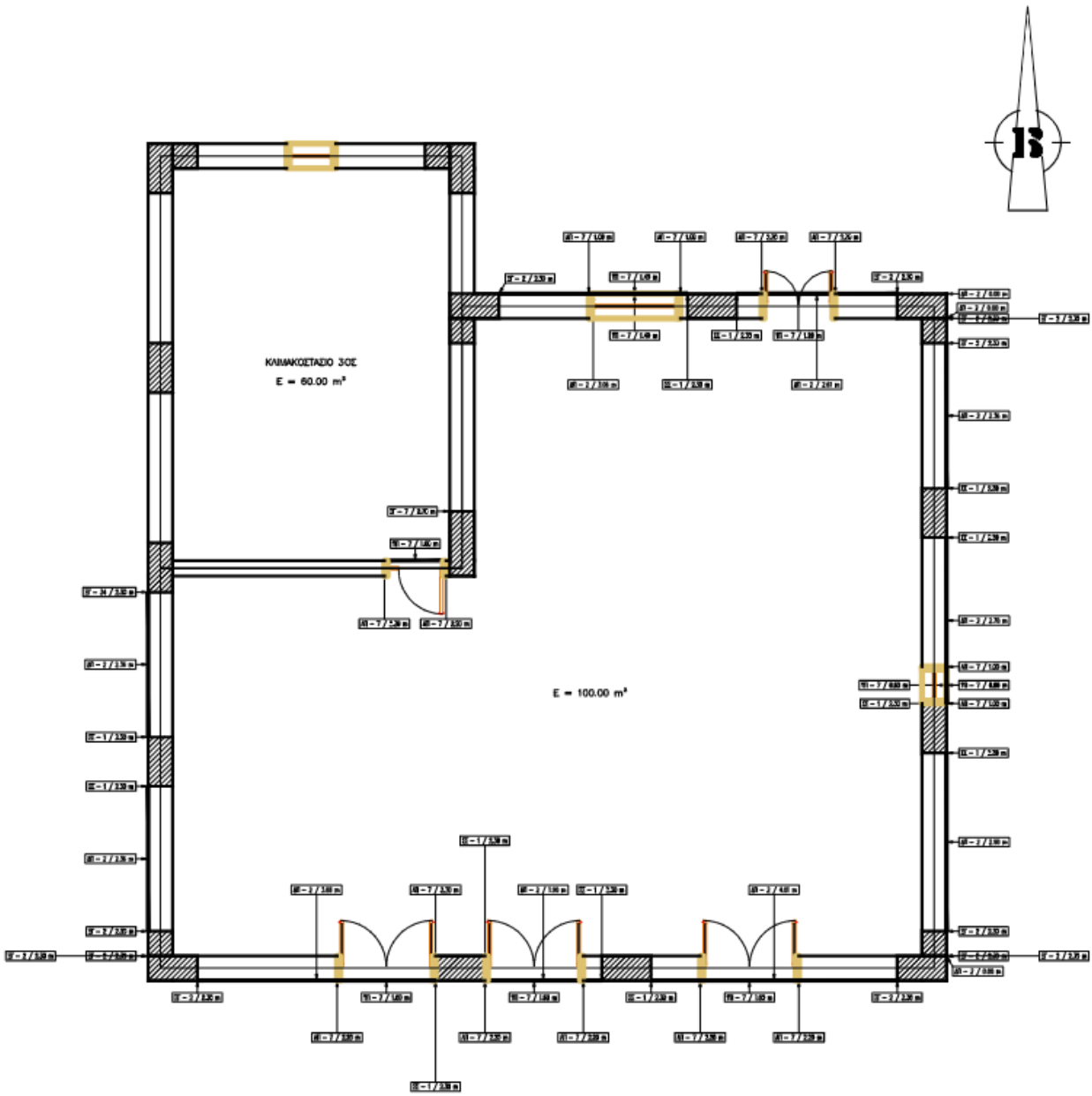
1^{ος} Όροφος



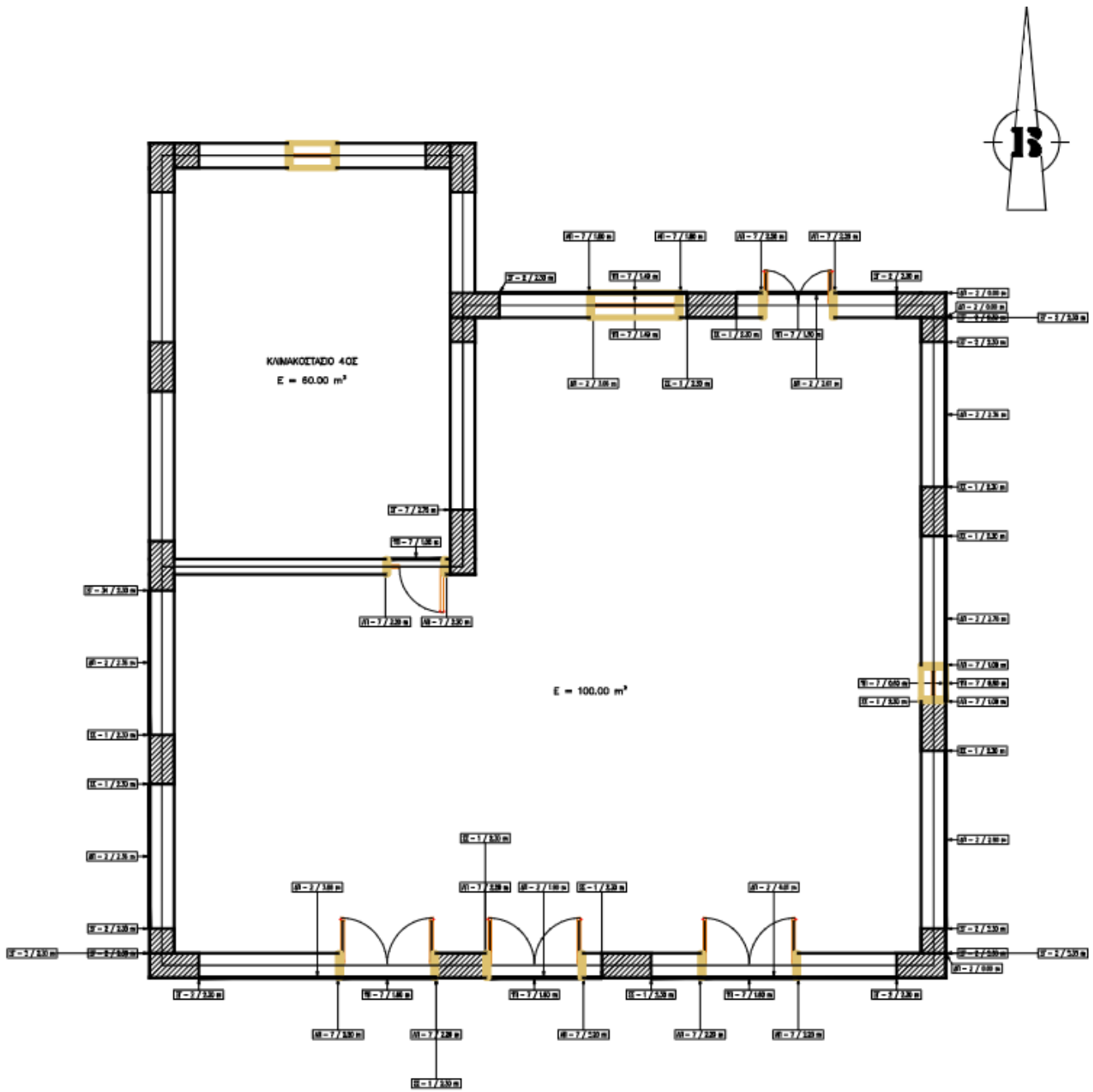
2^{ος} Όροφος



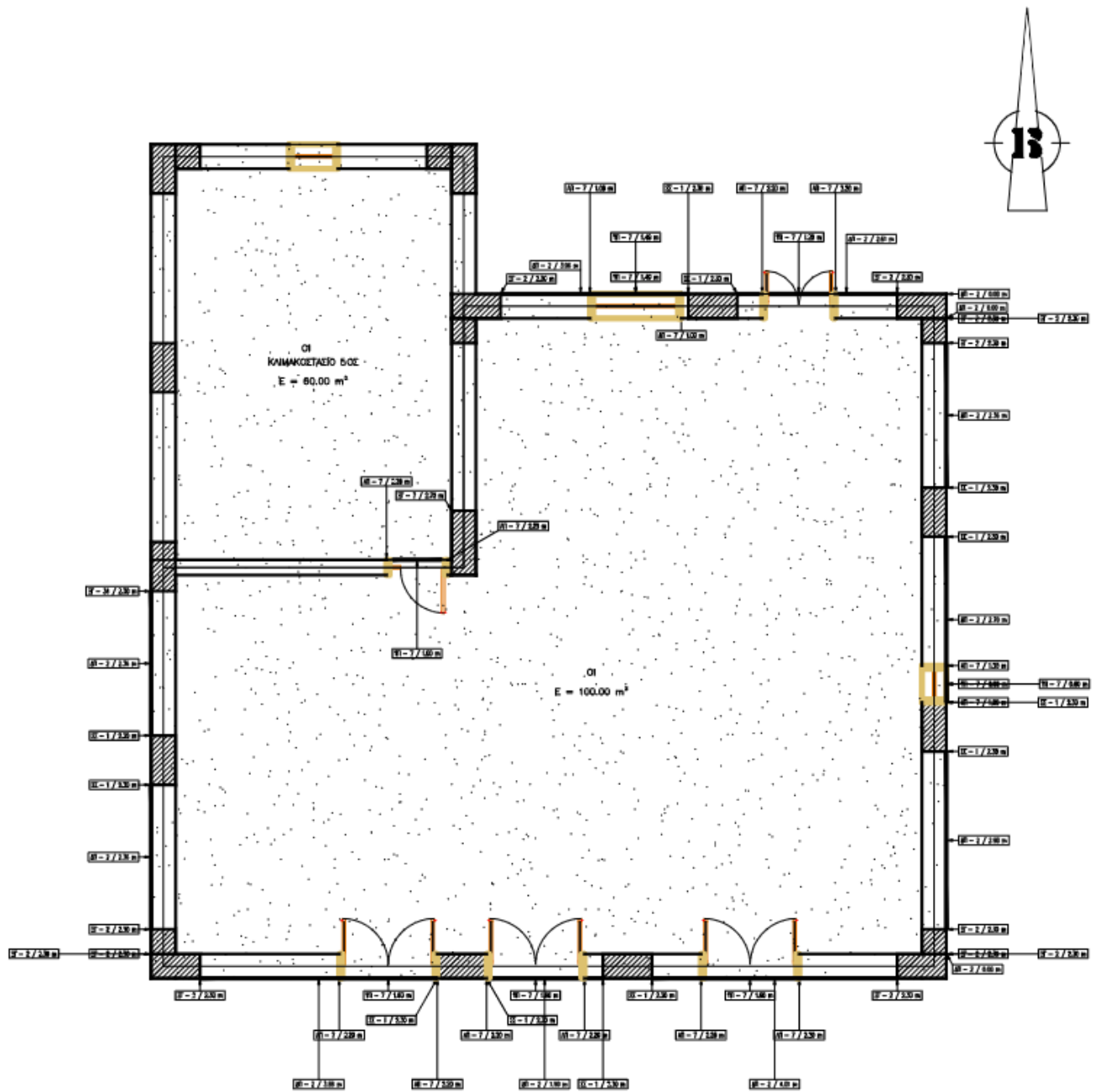
3^{ος} Όροφος



4^{ος} Όροφος



5^{ος} Όροφος



Γενικά στοιχεία κτιρίου

Χρήση Πολυκατοικία

Συνολική επιφάνεια (m ²)	860.000	Αριθμός ορόφων	5
Θερμαινόμενη επιφάνεια (m ²)	500.000	Υψος τυπικού ορόφου (m)	2.70
Ψυχόμενη επιφάνεια (m ²)	250.000	Υψος ισογείου (m)	2.70
Συνολικός όγκος (m ³)	2322.00		
Θερμαινόμενος όγκος (m ³)	1350.00	Αριθμός θερμικών ζωνών	1
Ψυχόμενος όγκος (m ³)	675.00	Αριθμός μη θερμαινόμενων χώρων	0
Εκθεση κτιρίου *	2	Αριθμός ηλιακών χώρων	0

* -1: Μη επιλογή, 0: Εκτεθειμένο, 1: Ενδιάμεσο, 2: Προστατευμένο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΖΩΝΗΣ

1

Χρήση Πολυκατοικία

Συνολική επιφάνεια (m ²)	500.000	Αριθμός καμινάδων	0
Αν. θερμοχωρητικότητα (kJ/m ² K)	280	Αριθμός θυρίδων εξαερισμού	0
Διατάξεις ελέγχου, αυτοματισμών	1	Αριθμός ανεμιστήρων οροφής	0
Διείσδυση από κουφώματα (m ³ /h)	612.6800	Κόστος ανεμιστήρων οροφής (€)	0

ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Θέρμανση (Παραγωγή)

Τύπος	Κεντρική αερόψυκτη Α.Θ.
Πηγή ενέργειας	Electricity
Ισχύς (kW)	24.4600
Βαθμός απόδοσης	1
COP (-)	3.2600
Κόστος (€)	

Θέρμανση (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου Αεραγωγοί
Ισχύς (kW)	24.46
Χώρος διέλευσης	Πάνω απο 20% σε εξωτερικούς
T _i (°C)	50
T _r (°C)	35
Βαθμός απόδοσης	0.9630
Κόστος (€)	

Θέρμανση (Τερματικές μονάδες)

Τύπος	Άμεσης απόδοσης σε εσωτερικό τοίχο
Βαθμός απόδοσης	0.9381
Κόστος (€)	

ΨΥΞΗ

Ψύξη (Παραγωγή)

Τύπος	Αερόψυκτη Α.Θ.
Πηγή ενέργειας	Electricity
Ισχύς (kW)	22.1400
Βαθμός απόδοσης	1
Εν. αποδοτικότητα	1.9560
Ισχύς (kW)	

Ψύξη (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου Αεραγωγοί
Ισχύς (kW)	22.1400
Χώρος διέλευσης	Πάνω από 20% σε εξωτερικούς
Βαθμός απόδοσης	0.9800
Κόστος (€)	

Ψύξη (Τερματικές μονάδες)

Τύπος	Άμεσα συστήματα (μονάδες ανεμιστήρα (fan coils) δαπέδου ή οροφής
Βαθμός απόδοσης	0.9308
Κόστος (€)	

Υγρανση (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Τοπική παραγωγή
Χώρος διέλευσης	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς
Βαθμός απόδοσης	0.0000
Κόστος (€)	

Υγρανση (Σύστημα διοχέτευσης)

Τύπος	Ψεκάσμος
Βαθμός απόδοσης	1
Κόστος (€)	

ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ**ZNX (Παραγωγή)**

Τύπος	Αντλία Θερμότητας (Α.Θ.)
Πηγή ενέργειας	Electricity
Ισχύς (kW)	24.4600
Βαθμός απόδοσης	3.4400
Κόστος (€)	

ZNX (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Άμεση κατανάλωση
Χώρος διέλευσης	Πάνω από 20% σε εξωτερικούς
Βαθμός απόδοσης	0.8548
Κόστος (€)	

ZNX (Σύστημα αποθήκευσης)

Τύπος	Δεξαμενή
Βαθμός απόδοσης	0.9300
Κόστος (€)	

ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Τύπος	Επιλεκτικός επίπεδος
Συν. α (-)	0.3590
Συν. β (-)	0.0000
Επιφάνεια (m ²)	20.0000
Προσ/σμός (deg)	180
Κλίση (deg)	45.0000
F _s (-)	1.0000
Κόστος (€)	

ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ισχύς (kW)	2.8000
Περιοχή φωτ. (%)	82
Αυτ. ελέγχου φωτ.	1
Αυτ. αν. κίνησης	0
Κόστος (€)	

Ποσοτικοποίηση των δομικών υλικών

Δάπεδο Ορόφου		
Επιφάνειες:		
Εμβαδό1	35.0	m ²
Εμβαδό2	88.5	m ²
Συνολική επιφάνεια	123.5	m ²

Επιμέτρηση υλικών:

Ελαφροσκυρόδεμα		
Πάχος	0.015	m
Όγκος	1.9	m ³
Επάυξηση	1.1	-
Όγκος υλικού	2.0	m ³

Τσιμεντοκονίαμα		
Πάχος	0.015	m
Όγκος	1.853	m ³
Επάυξηση	1.100	-
Όγκος υλικού	2.038	m ³

Ασβεστοκονίαμα		
Πάχος	0.015	m
Όγκος	1.853	m ³
Επάυξηση	1.000	-
Όγκος υλικού	1.853	m ³

Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος		
Επιφάνειες:		
Εμβαδό1	34.98	m ²
Εμβαδό2	88.52	m ²
Εμβαδό ΜΘΧ	35.69	m ²
Συνολική επιφάνεια	159.20	m ²

Επιμέτρηση υλικών:

Ελαφροσκυρόδεμα		
Πάχος	0.02	m
Όγκος	3.18	m ³
Επάυξηση	1.10	-
Όγκος υλικού	3.50	m ³

Τσιμεντοκονίαμα		
Πάχος	0.02	m
Όγκος	3.18	m ³
Επάυξηση	1.10	-
Όγκος υλικού	3.50	m ³

Οροφή		
Επιφάνειες:		
Εμβαδό1	35.0	m ²
Εμβαδό2	88.5	m ²
Εμβαδό ΜΟΧ	35.7	m ²
Συνολική επιφάνεια	159.2	m ²

Επιμέτρηση υλικών:		
Τσιμεντοκονία		
Πάχος	0.03	m
Όγκος	4.78	m ³
Επάυξηση	1.10	-
Όγκος υλικού	5.25	m ³

Ελαφρομπετόν		
Πάχος	0.05	m
Όγκος	7.96	m ³
Επάυξηση	1.10	-
Όγκος υλικού	8.76	m ³

Πλάκα σκυροδέματος		
Πάχος	0.2	m
Όγκος	31.8	m ³
Επάυξηση	1.1	-
Όγκος υλικού	35.0	m ³

Ασβεστοκονίαμα		
Πάχος	0.01	m
Όγκος	1.59	m ³
Επάυξηση	1.10	-
Όγκος υλικού	1.75	m ³

Εξωτερική τοιχοποιία			
Επιφάνειες:			
Βοράς (δυτικά προς ανατολικά)	10.1	m ²	
Ανατολή (βόρεια προς νότια)	20.4	m ²	
Νότια (δυτικά προς ανατολικά)	15.0	m ²	
Δυτικά (βόρεια προς νότια)	12.4	m ²	
Συνολική επιφάνεια	58	m ²	
Απατήσεις για οπλινθοδομή	μονή	75	τούβλα/m ²
Απατήσεις για κονίαμα		0.02	m ³ /m ² κονίαμα
Επιμέτρηση υλικών:			

Οπλινθοδομή (διπλή δρομική 10οπτο)			
Τούβλα	4339		
Κονίαμα	1.2	m ³	

Ασβεστοκονίαμα			
Πάχος	0.06	m	
Όγκος	3.47	m ³	
Επάυξηση	1.00		
Όγκος υλικού	3.47	m ³	

Τσιμεντοκονία			
Πάχος	0.02	m	
Όγκος	1.16	m ³	
Επάυξηση	1.10		
Όγκος υλικού	1.27	m ³	
Σύνολο όγκου	2.43	m ³	

Εξωτερική τοιχοποιία (ΜΘΧ)

Επιφάνειες:		
Βοράς (δυτικά προς ανατολικά)	8.4	m ²
Δυτικά (βόρεια προς νότια)	7.2	m ²
Συνολική επιφάνεια	15.6	m ²
Απατήσεις για οπλινθοδομή	μονή	75 τούβλα/m ² 0.02m ³ /m ² κονίαμα

Οπλινθοδομή (διπλή δρομική 9οπτο)

Τούβλα	1170	
Κονίαμα	0.31	m ³

Ασβεστοκονίαμα

Πάχος	0.04	m
Όγκος	0.62	m ³
Επάυξηση	1.00	
Όγκος υλικού	0.62	m ³

Τσιμεντοκονία

Πάχος	0.01	m
Όγκος	0.16	m ³
Επάυξηση	1.10	
Όγκος υλικού	0.17	m ³
Σύνολο όγκου	0.48	m ³

Δοκοί

Επιφάνειες:		
Βοράς (δυτικά προς ανατολικά)	14.9	m ²
Ανατολή (βόρεια προς νότια)	12.8	m ²
Νότια (δυτικά προς ανατολικά)	13.6	m ²
Δυτικά (βόρεια προς νότια)	12	m ²
Συνολική επιφάνεια	53.3	m ²

Επιμέτρηση υλικών:

Ασβεστοκονίαμα

Πάχος	0.04	m
όγκος υλικού	2.13	m ³

Ισόγειο		
Ελαφροσκυρόδεμα		
Όγκος υλικού	3.50	m ³
Τσιμεντοκονίαμα		
Όγκος υλικού	3.50	m ³
Δάπεδο ορόφων (αριθμός ορόφων: 5)		
Ελαφροσκυρόδεμα		
Όγκος υλικού	2.0	m ³
Σύνολο	10.2	m ³
Τσιμεντοκονίαμα		
Όγκος υλικού	2.04	m ³
Σύνολο	10.19	m ³
Ασβεστοκονίαμα		
Όγκος υλικού	1.9	m ³
Σύνολο	9.3	m ³
Οροφή		
Τσιμεντοκονία		
Όγκος υλικού	5.3	m ³
Ελαφρομπετόν		
Όγκος υλικού	8.8	m ³
Πλάκα σκυροδέματος		
Όγκος υλικού	35	m ³
Ασβεστοκονίαμα		
Όγκος υλικού	1.8	m ³

Εξωτερική Τοιχοποιία (αριθμός ορόφων: 5)		
Τούβλα		
Σύνολο ορόφων	4339	
Σύνολο ορόφων	21694	
Ασβεστοκονίαμα		
Όγκος υλικού	3.5	m ³
Σύνολο ορόφων	17.4	m ³
Τσιμεντοκονία		
Σύνολο όγκου	2.43	m ³
Σύνολο ορόφων	12.15	m ³
Εξωτερική Τοιχοποιία (ΜΘΧ) (αριθμός ορόφων: 5)		
Τούβλα		
Σύνολο ορόφων	1170	
Σύνολο ορόφων	5850	
Ασβεστοκονίαμα		
Όγκος υλικού	0.62	m ³
Σύνολο ορόφων	3.12	m ³
Τσιμεντοκονία		
Σύνολο όγκου	0.5	m ³
Σύνολο ορόφων	2.4	m ³
Δοκοί		
Ασβεστοκονίαμα		
όγκος υλικού	2.1	m ³
Σύνολο ορόφων	10.7	m ³

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] “In focus: Energy efficiency in buildings.” Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en
- [2] “CO2 Emissions in 2022 – Analysis,” IEA. Accessed: May 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- [3] “Buildings – Analysis,” IEA. Accessed: May 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/buildings>
- [4] “Κτίρια -” Accessed: Apr. 23, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/>
- [5] “Ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970,” *Βικιπαίδεια*. Jul. 25, 2023. Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%95%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE_%CE%BA%CF%81%CE%AF%CF%83%CE%B7_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%B4%CE%B5%CE%BA%CE%B1%CE%B5%CF%84%CE%AF%CE%B1%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_1970&oldid=10149986
- [6] *Οδηγία 93/76/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 13ης Σεπτεμβρίου 1993 για περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (SAVE)*, vol. 237. 1993. Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/1993/76/oj/ell>
- [7] *Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Δεκεμβρίου 2002, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων*, vol. 001. 2002. Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj/ell>
- [8] *Οδηγία 2010/31/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαΐου 2010, για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (αναδιατύπωση)*, vol. 153. 2010. Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj/ell>
- [9] *Οδηγία (ΕΕ) 2018/844 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση της οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και της οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση (Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ)*, vol. 156. 2018. Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj/ell>
- [10] “Ενεργειακή απόδοση | Θεματολογικά δελτία για την Ευρωπαϊκή Ένωση | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο.” Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/69/ενεργειακη-αποδοση>
- [11] “Π.Δ. της 1.6/1979 (ΦΕΚ 362/Δ` 4.7.1979) | ΕΛΙΝΥΑΕ.” Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://elinyae.gr/ethniki-nomothesia/pd-tis-161979-fek-362d-471979>
- [12] “Υ.Α. 21475/4707/1998 (ΦΕΚ 880/Β` 19.8.1998) | ΕΛΙΝΥΑΕ.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://elinyae.gr/ethniki-nomothesia/ya-2147547071998-fek-880b-1981998>
- [13] “Υ.Α. Δ6/Β/14826/2008 (ΦΕΚ 1122/Β` 17.6.2008) | ΕΛΙΝΥΑΕ.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.elinyae.gr/index.php/ethniki-nomothesia/ya-d6b148262008-fek-1122b-1762008>
- [14] “Ν. 4122/2013 (ΦΕΚ 42/Α` 19.2.2013) | ΕΛΙΝΥΑΕ.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/n-41222013-fek-42a-1922013>

- [15] “Υ.Α. οικ. 2618/2014 (ΦΕΚ 2945/Β` 3.11.2014) | ΕΛΙΝΥΑΕ.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/ya-oik-26182014-fek-2945b-3112014>
- [16] “Υ.Α. ΔΕΠΕΑ/οικ.178581/2017 (ΦΕΚ 2367/Β` 12.7.2017) | ΕΛΙΝΥΑΕ.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/ya-depeaoik1785812017-fek-2367b-1272017>
- [17] “Ν. 4843/2021 (ΦΕΚ 193/Α` 20.10.2021) | ΕΛΙΝΥΑΕ.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/n-48432021-fek-193a-20102021>
- [18] “Εκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής ανακαίνισης κτιρίων -.” Accessed: Apr. 23, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/ltrs/>
- [19] “ΑΡΧΕΙΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.” Accessed: Apr. 28, 2023. [Online]. Available: https://bpes.ypeka.gr/?page_id=21&stat=222
- [20] “Renovation wave.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- [21] “Η διεύρυνση των εισοδηματικών ορίων, προκειμένου να τύχουν επιδότησης ή και δανεισμού περισσότερα νοικοκυριά μεσαίου εισοδήματος.Οι πληροφορίες λένε ότι θα κυμανθεί ανάμεσα στα 350 με 500 εκατ. ευρώ.Σκοπός είναι να χρηματοδοτηθούν περί τις 60.000 κατοικίες,” Styletech. Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.styletech.gr/%CE%BD%CE%AD%CE%BF/12>
- [22] “Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα -.” Accessed: Jul. 07, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/energeia/esek/>
- [23] “Εξοικονομώ 2023,” Gov.gr. Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.gov.gr/ipiresies/periousia-kai-phorologia/epidoteseis-politon/exoikonomo-2023>
- [24] “Εξοικονομώ - Ανακαινίζω για νέους -.” Accessed: Jul. 07, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/exoikonomo-anakainizo-gia-neous/>
- [25] “Ανακυκλώνω – αλλάζω θερμοσίφωνα,” Gov.gr. Accessed: Jul. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.gov.gr/ipiresies/periousia-kai-phorologia/epidoteseis-politon/anakuklono-allazo-thermosiphona>
- [26] “Φωτοβολταϊκά στη στέγη,” Gov.gr. Accessed: Jul. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.gov.gr/ipiresies/polites-kai-kathemerinoteta/periballon-kai-poioteta-zoes/photoboltaika-ste-stege>
- [27] *2001/118/ΕΚ: Απόφαση της Επιτροπής, της 16ης Ιανουαρίου 2001, για τροποποίηση της απόφασης 2000/532/ΕΚ όσον αφορά τον κατάλογο αποβλήτων (Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ) [κοινοποιηθείσα υπό τον αριθμό Ε(2001) 108], vol. 047. 2001.* Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: [http://data.europa.eu/eli/dec/2001/118\(1\)/oj/ell](http://data.europa.eu/eli/dec/2001/118(1)/oj/ell)
- [28] Α. ΓΕΩΡΓΙΟΣ and Μ. ΜΠΕΛΛΟΣ, “ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ,” ΠΤΥΧΙΑΚΗ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ, ΠΕΙΡΑΙΑ, 2013. [Online]. Available: chrome-extension://oemmnndcblldboiebfnladdacbfmadadm/http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1056/pol_00942.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [29] “Waste statistics.” Accessed: Jul. 28, 2023. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics
- [30] “Construction and demolition waste.” Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en
- [31] “Στατιστικές - ELSTAT.” Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SOP06/->
- [32] “Νομοθεσία -.” Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/nomothesia/>
- [33] “Νομοθεσία – ANAKEM A.E.” Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: <https://anakem.gr/%cf%83%cf%85%cf%87%ce%bd%ce%b5%cf%83-%ce%b5%cf%81%cf%89%cf%84%ce%b7%cf%83%ce%b5%ce%b9%cf%83/%ce%bd%ce%bf%ce%bc%ce%bf%ce%b8%ce%b5%cf%83%ce%af%ce%b1/>
- [34] “Απόβλητα Εκκαφών Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) – ΕΟΑΝ.” Accessed: Apr. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.eoan.gr/%ce%b5%ce%bd%ce%b1%ce%bb%ce%bb%ce%b1%ce%ba%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%87%ce%b5%ce%af%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%b7/%ce%b1%cf%80%cf%8c%ce%b2%ce%bb%ce%b7%cf%84%ce%b1-%ce%b5%ce%ba%cf%83%ce%ba%ce%b1%cf%86%cf%8e%ce%bd-%ce%ba%ce%b1%cf%84%ce%b1%cf%83%ce%ba%ce%b5%cf%85%cf%8e%ce%bd-%ce%ba%ce%b1%cf%84%ce%b5%ce%b4%ce%b1/>
- [35] Ι. ΓΙΟΥΒΑΝΑΚΗΣ, “ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ,” ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2015. [Online]. Available: <chrome-extension://oemmnrcbldboiebnladdacbfmadadm/https://ikee.lib.auth.gr/record/281239/files/%CE%93%CE%99%CE%9F%CE%A5%CE%92%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%9A%CE%97%CE%A3%20-%20FINAL.pdf>
- [36] “EUR-Lex - 52014DC0445 - EL.” Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52014DC0445>
- [37] “Ός το 2050 θα κάνουμε την ΕΕ κλιματικά ουδέτερη,” European Commission - European Commission. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/ip_20_335
- [38] “Νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία -.” Accessed: Jul. 07, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/perivallon/kykliki-oikonomia/16052-2/>
- [39] “ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ,” ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΜΠΟΡΙΟΥ. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://gge.mindev.gov.gr/tomeas-dimosion-simvaseon/prasines-dimosies-symvaseis/>
- [40] “Κριτήρια ΠΔΣ της Ευρωπαϊκής Ένωσης | Υπουργείο Ανάπτυξης.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.mindev.gov.gr/%cf%80%cf%81%ce%ac%cf%83%ce%b9%ce%bd%ce%b5%cf%82-%ce%b4%ce%b7%ce%bc%cf%8c%cf%83%ce%b9%ce%b5%cf%82-%cf%83%cf%85%ce%bc%ce%b2%ce%ac%cf%83%ce%b5%ce%b9%cf%82/%ce%ba%cf%81%ce%>

b9%cf%84%ce%ae%cf%81%ce%b9%ce%b1-%cf%80%ce%b4%cf%83-%cf%84%ce%b7%cf%82-%ce%b5%cf%85%cf%81%cf%89%cf%80%ce%b1%cf%8a%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%ad%ce%bd%cf%89%cf%83%ce%b7%cf%82/

- [41] 14:00-17:00, “ISO 14025:2006,” ISO. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/38131.html>
- [42] Γ. Πισπιρίγκος, “N. Σηφάκης: Η αναγκαιότητα των EPD για τα δομικά υλικά,” *Construction*. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://constructionmag.gr/interviews/n-sifakis-i-anagkaitita-ton-epd-gia-ta-domika-ylika/>
- [43] 14:00-17:00, “ISO 14044:2006,” ISO. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- [44] “Life Cycle Assessment Best Practices of ISO 14040 Series”.
- [45] Α. Δαϊλάκη, “Η συνεισφορά της κυκλικής οικονομίας στο ανθρακικό αποτύπωμα στον κύκλο ζωής των κτιρίων,” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://apothesis.eap.gr/archive/item/80669>
- [46] “Briefing: GaBi Software for Life Cycle Assessment (LCA) - DEISO.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://deiso.co.jp/briefing-gabi-software-for-life-cycle-assessment-lca/>
- [47] “SimaPro | LCA software for informed changemakers,” SimaPro. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://simapro.com/>
- [48] U. R. Fritsche, “Introducing the GEMIS Model Family”.
- [49] “Athena Sustainable Materials Institute.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <http://www.athenasmi.org/>
- [50] “ENVEST® | Clarity Environment.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <http://clarityenv.com.au/envest/>
- [51] “Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES) | WBDG - Whole Building Design Guide.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.wbdg.org/additional-resources/tools/bees>
- [52] “LEED rating system | U.S. Green Building Council.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.usgbc.org/leed>
- [53] “BREEAM - BRE Group.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://bregroup.com/products/breeam/>
- [54] N. Larsson, “School of Architecture University of British Columbia,” 2002.
- [55] Α. Κ. Κουτσογιάννης, Α. Κ. Κουτσογιάννης, Ι. Π. Παπαδόπουλος, and Ι. Ρ. Παπαδοπούλου, “Ανάπτυξη λογισμικού για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος κτηρίων και της ενσωματωμένης ενέργειας τους με βάση τα υλικά κατασκευής τους,” *bachelorThesis*, 2012. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/6763>
- [56] G. F. Menzies, M. M. Khasreen, and P. F. G. Banfill, “Life-cycle assessment of buildings: a Review,” *Sustainability*, vol. 1, p. 674, Sep. 2009, doi: 10.3390/su1030674.
- [57] “Introducing Green Star”.

- [58] “Energy performance of buildings directive.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [59] “Home | NABERS.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.nabers.gov.au/>
- [60] “WELL Building Standard® | WELL Standard.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://standard.wellcertified.com/well>
- [61] G.-F. Sargentis, *ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ, Μέθοδοι και κριτήρια αξιολόγησης της οικολογικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών*, Zenodo, 2018. doi: 10.5281/zenodo.3770567.
- [62] G.-F. Sargentis, “Επιλογή δομικών υλικών με οικολογικά κριτήρια,” *Τεχνικό Περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ*, Apr. 2011.
- [63] G.-F. Sargentis, “Ενσωματωμένη ενέργεια, το υλικό ως ενεργειακή αποθήκη,” *Τεχνικό Περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ*, Jun. 2014.
- [64] Γ. Γιώτα, “Μελέτη και ανάλυση της ενσωματωμένης ενέργειας κατοικίας με συμβατικά και οικολογικά υλικά δόμησης,” 2015, doi: 10/9246.
- [65] E. G. Dascalaki, P. Argiropoulou, C. A. Balaras, K. G. Droutsas, and S. Kontoyiannidis, “Analysis of the embodied energy of construction materials in the life cycle assessment of Hellenic residential buildings,” *Energy Build.*, vol. 232, p. 110651, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110651.
- [66] L. A. Wright, S. Kemp, and I. Williams, “‘Carbon footprinting’: towards a universally accepted definition,” *Carbon Manag.*, vol. 2, no. 1, pp. 61–72, Feb. 2011, doi: 10.4155/cmt.10.39.
- [67] European Court of Auditors., *Με ποιον τρόπο υπολογίζουν, περιορίζουν και αντισταθμίζουν τα θεσμικά και λοιπά όργανα της ΕΕ τα αέρια θερμοκηπίου που εκπέμπουν; Ειδική έκθεση αριθ. 14/2014*. LU: Publications Office, 2014. Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2865/66123>
- [68] “Υπολογίστε το αποτύπωμα άνθρακα σας.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Available: <https://el.eferrit.com/%CF%80%CF%8E%CF%82-%CE%BD%CE%B1-%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CF%83%CE%B5%CF%84%CE%B5-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BD%CE%B1-%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CF%84%CE%B5-%CF%84%CE%BF/>
- [69] Κ. Στούρης, Κ. Χρονοπούλου, Κ. Stouris, and Κ. Chronopoulou, “Υπολογισμός ανθρακικού αποτυπώματος ξύλινων κατασκευών κατοικίας,” Jun. 2016, doi: 10.26240/heal.ntua.9640.
- [70] Α. . Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ and Γ. Φ. ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ, *ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ και ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ*, 2η. ΑΘΗΝΑ, 2002. [Online]. Available: <chrome-extension://oemmnrcbldboiebfnladdacbfmadadm/https://zenodo.org/record/3770620/files/58706408-%CE%94%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%A5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%9F%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20%281%29.pdf>
- [71] symeon, “ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ,” ANELIΞΗ. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://anelixi2020.org/kathara-ylika-kai-technologies/kathara-ulika-kai-texnologies-oikodomika-proionta-proionta-ylikon-tis-gis-skurodema/>

- [72] “ΜΠΕΤΟΝ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΚΗΣ / Πληροφορίες για το μπετόν - Σκυρόδεμα.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://betonpanagiotakis.gr/skirodema.html>
- [73] “Οπλισμένο μπετόν - Garazoporta.gr.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.garazoporta.gr/%CE%A4%CE%BF-%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B6%CF%8C%CF%80%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B1%CF%82/%CE%BF%CF%80%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B F-%CE%BC%CF%80%CE%B5%CF%84%CF%8C%CE%BD/>
- [74] <https://www.facebook.com/AlfinoDoor>, “ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ - ALFINODOOR.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://alfinodoor.gr/koufwmata-alouminiou/>
- [75] admin, “Ονομαστικά βάρη χαλύβων οπλισμού ανά διάμετρο και τύπο,” Τεχνικό Γραφείο. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.bountimas.com/2-στατικές-μελέτες/ονομαστικά-βάρη-χαλύβων-οπλισμού/>
- [76] Α. Μποχλου, “Καινοτόμα Δομικά Υλικά για Κτίρια Χαμηλού Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος”, Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://apothesis.eap.gr/archive/item/155662>
- [77] Newsroom, “Χαλκός: Η μελλοντική κορυφαία επένδυση μεταξύ των βασικών μετάλλων - Energymag.gr.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://energymag.gr/news/energeia/chalkos-i-mellontiki-koryfaia-ependysi-metaxy-ton-vasikon-metallon/>, <https://energymag.gr/news/energeia/chalkos-i-mellontiki-koryfaia-ependysi-metaxy-ton-vasikon-metallon/>
- [78] www.4green.gr, “Ενεργειακά Τζάμια με αόρατη μεμβράνη!,” 4green.gr. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: https://www.4green.gr/news/data/glitwste-lefta/Energeiaka-Tzamia-me-aorath-membranh_119637.asp?a=5
- [79] “Τσιμέντο Πόρτλαντ: τι είναι, τσιμέντο ανθεκτικό σε ποζολάνη και θειικό άλας, ιδιότητες και σύνθεση σύμφωνα με το GOST, ποικιλίες και μάρκες.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://el-n.decorexpro.com/suhie-stroitelnye-smesi/portlandcement/>
- [80] “Γύψος τοίχοι γύψο γύψο: πώς να φυτέψει με τα χέρια σας, πώς να αραιώσει το μίγμα τσιμέντου για σοβάτισμα.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://el-n.decorexpro.com/shtukaturka/gipsovaja/>
- [81] “Γυψοσανίδες - Gypsum Boards - Οι καλύτερες τιμές αγοράς και τοποθέτησης γυψοσανίδων στην Κύπρο | Marios Chari | Interior - Exterior Solutions in Cyprus.” Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: <http://www.marioschari.com/?pageid=10>
- [82] “Πλινθοδομή Εικόνες, Φωτογραφίες και Ζωγραφιές με Πλινθοδομή.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://create.vista.com/el/photos/%CF%80%CE%BB%CE%B9%CE%BD%CE%B8%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AE/>
- [83] “ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ | ΞΥΛΕΙΑ ΣΤΕΓΗΣ - ΚΕΡΑΜΙΔΙΑ - ΞΥΛΕΙΑ - ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΕΣ - ΣΤΕΓΕΣ - ΤΟΥΒΛΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ - ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΤΖΑΚΙΑ - Μητρόπουλος Ιωάννης κ ΣΙΑ Ε.Ε - Εμπόριο Ξυλείας - Ξυλεία Στέγης - Κεραμοσκεπές - Κεραμιδια - Τούβλα - Τζάκια - Οικοδομικά Υλικά.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.imitropoulos.gr/>

- [84] “Σχεδιασμός και διακόσμηση πλακιδίων μπάνιου (132 φωτογραφίες): επιλογές για κεραμική επένδυση σε έκταση 4 m2, ιδέες για εσωτερική διακόσμηση.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://el-n.decorpro.com/vannaya/remont/dizajn-i-otdelka-plitkoj/>
- [85] “Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την ολοκληρωμένη περιβαλλοντική αξιολόγηση κτιρίων στην Ελλάδα.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/19334>
- [86] “Κλειστό λόγο διακοπών.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://monotikashop.gr/product/fibran-geo-petrobambakas-1200%CF%87600%CF%8730-50kil-tem/>
- [87] “ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ ΝΕΟΡΟΡ EPS 80 20mm (δέμα 12.00m2),” Gipsometal SA. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.gipsometal.gr/diogkomeni-polysterini-neopor-eps-80-20mm-dema-12-00m2>
- [88] “Εξηλασμένη πολυστερίνη XPS ECOSTIR RF δωματίων 125x60x2cm.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.leroymerlin.gr/gr/domika-ulika/monosi-steganosi/exilasmeni-diogomeni-polusterini/exilasmeni-polusterini-xps-ecostir-rf-domaton-125x60x2cm-61715556>
- [89] “DUROSTICK Σπρέι Μόνωσης 750ml Αφρός Πολυουρεθάνης 513000052 | ΚΑΥΚΑΣ.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: https://www.kafkas.gr/ilektrologika/ylika-syndesis-stirixis/loipa-diafora/durostick-sprei-monosis-750ml-afros-polyourethanis_284332/
- [90] Ε. Σιώμος, “Οικολογικά υλικά δόμησης πλήρης οδηγός,” eletech.gr. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.eletech.gr/green-building-products/>
- [91] “Κόστος Διαχείρισης ΑΕΚΚ – ANAKEM A.E.” Accessed: Apr. 23, 2023. [Online]. Available: <https://anakem.gr/%cf%85%cf%80%ce%b7%cf%81%ce%b5%cf%83%ce%af%ce%b5%cf%82/%cf%84%ce%b9%ce%bc%ce%bf%ce%ba%ce%b1%cf%84%ce%b1%ce%bb%ce%bf%ce%b3%ce%bf%cf%83/>
- [92] “Προϊόντα – ANAKEM A.E.” Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://anakem.gr/%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%87%ce%b5%ce%af%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%b7-%cf%83%cf%84%ce%b5%cf%81%ce%b5%cf%8e%ce%bd-%ce%b1%cf%80%ce%bf%ce%b2%ce%bb%ce%ae%cf%84%cf%89%ce%bd-%ce%b1%ce%b5%ce%ba%ce%ba/%cf%80%cf%81%ce%bf%cf%8a%cf%8c%ce%bd%cf%84%ce%b1/>
- [93] C. R. Haselein, L. Calegari, L. F. Alberti, A. L. Minello, P. A. da Silva, and R. G. F. Pintos, “Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante.,” *Ciênc. Florest.*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2002, doi: 10.5902/198050981703.
- [94] S. Sair, B. Mandili, M. Taqi, and A. El Bouari, “Development of a new eco-friendly composite material based on gypsum reinforced with a mixture of cork fibre and cardboard waste for building thermal insulation,” *Compos. Commun.*, vol. 16, pp. 20–24, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.coco.2019.08.010.
- [95] A. Cherki, B. Remy, A. Khabbazi, Y. Jannot, and D. Baillis, “Experimental thermal properties characterization of insulating cork–gypsum composite,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 54, pp. 202–209, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.12.076.
- [96] G. Vasconcelos, P. B. Lourenço, A. Camões, A. Martins, and S. Cunha, “Evaluation of the performance of recycled textile fibres in the mechanical behaviour of a gypsum and cork

- composite material," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 58, pp. 29–39, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2015.01.001.
- [97] M. J. Morales-Conde, C. Rodríguez-Liñán, and M. A. Pedreño-Rojas, "Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works," *Constr. Build. Mater.*, vol. 114, pp. 6–14, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.137.
- [98] M. N. Musa and M. F. A. Aziz, "Thermal Conductivity for Mixture of Rice Husk Fiber and Gypsum," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 819, pp. 69–73, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.819.69.
- [99] C. Oliveira *et al.*, "Gypsum-based composites with addition of woody endocarp of Barueiro nut residue and sawdust," Jul. 2016. doi: 10.13031/aim.20162461357.
- [100] N. Belayachi, D. Hoxha, and B. Ismail, "Impact of fiber treatment on the fire reaction and thermal degradation of building insulation straw composite," *Energy Procedia*, vol. 139, pp. 544–549, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.251.
- [101] A. Braiek, M. Karkri, A. Adili, L. Ibos, and S. Ben Nasrallah, "Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building," *Energy Build.*, vol. 140, pp. 268–279, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.02.001.
- [102] F. Lucolano, B. Liguori, P. Aprea, and D. Caputo, "Evaluation of bio-degummed hemp fibers as reinforcement in gypsum plaster," *Compos. Part B Eng.*, vol. 138, pp. 149–156, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.11.037.
- [103] N. Flores Medina and M. M. Barbero-Barrera, "Mechanical and physical enhancement of gypsum composites through a synergic work of polypropylene fiber and recycled isostatic graphite filler," *Constr. Build. Mater.*, vol. 131, pp. 165–177, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.073.
- [104] "Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Estudio de la conductividad térmica de residuos sólidos dentro de una matriz de yeso, provenientes del proceso de rebajado del cuero en la empresa Curtiduría Tungurahua S.A." Accessed: May 08, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25258>
- [105] M. del Río Merino, J. Santa Cruz Astorqui, P. Villoria Sáez, R. Santos Jiménez, and M. González Cortina, "Eco plaster mortars with addition of waste for high hardness coatings," *Constr. Build. Mater.*, vol. 158, pp. 649–656, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.10.037.
- [106] A. Rodríguez-Orejón, M. D. Río-Merino, and F. Fernández-Martínez, "Characterization mixtures of thick gypsum with addition of treated waste from laminated plasterboards," *Mater. Constr.*, vol. 64, no. 314, Art. no. 314, Mar. 2014, doi: 10.3989/mc.2014.03413.
- [107] S. Romaniega Piñeiro, M. del Río Merino, and C. Pérez García, "New Plaster Composite with Mineral Wool Fibres from CDW Recycling," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2015, p. e854192, Oct. 2015, doi: 10.1155/2015/854192.
- [108] A. Vidales Barriguete, M. del Río Merino, E. Atanes Sánchez, C. Piña Ramírez, and C. Viñas Arrebola, "Analysis of the feasibility of the use of CDW as a low-environmental-impact aggregate in conglomerates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 178, pp. 83–91, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.011.

- [109] K. G. Babu and D. S. Babu, "Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume," *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 5, pp. 755–762, May 2003, doi: 10.1016/S0008-8846(02)01055-4.
- [110] V. Arda Küçük, M. Uğur, H. Korucu, B. Şimşek, T. Uygunoğlu, and M. Muhtar Kocakerim, "Chemical resistance of dioctyl terephthalate pozzolanic-cement mortar: Comparative study with other waste polymers," *Constr. Build. Mater.*, vol. 263, p. 120905, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120905.
- [111] C. Muñoz-Ruiperez, A. Rodríguez, S. Gutiérrez-González, and V. Calderón, "Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 118, pp. 139–145, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.065.
- [112] L. P. de F. Souza and H. S. Mansur, "Production and characterization of ceramic pieces obtained by slip casting using powder wastes," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 145, no. 1, pp. 14–20, Jan. 2004, doi: 10.1016/S0924-0136(03)00857-4.
- [113] A. Cheng, W.-T. Lin, and R. Huang, "Application of rock wool waste in cement-based composites," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 2, pp. 636–642, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2010.08.014.
- [114] C. Piña Ramírez, A. Vidales Barriguete, R. Serrano Somolinos, M. del Río Merino, and E. Atanes Sánchez, "Analysis of fire resistance of cement mortars with mineral wool from recycling," *Constr. Build. Mater.*, vol. 265, p. 120349, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120349.
- [115] C. Piña Ramírez, M. del Río Merino, C. Viñas Arrebola, A. Vidales Barriguete, and M. Kosior-Kazberuk, "Analysis of the mechanical behaviour of the cement mortars with additives of mineral wool fibres from recycling of CDW," *Constr. Build. Mater.*, vol. 210, pp. 56–62, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.062.
- [116] M. del M. Barbero-Barrera, O. Pombo, and M. de los Á. Navacerrada, "Textile fibre waste bindered with natural hydraulic lime," *Compos. Part B Eng.*, vol. 94, pp. 26–33, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.03.013.
- [117] A. Khmiri, M. Chaabouni, and B. Samet, "Chemical behaviour of ground waste glass when used as partial cement replacement in mortars," *Constr. Build. Mater.*, vol. 44, pp. 74–80, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.02.040.
- [118] J. Pourchez, B. Ruot, J. Debayle, E. Pourchez, and P. Grosseau, "Some aspects of cellulose ethers influence on water transport and porous structure of cement-based materials," *Cem. Concr. Res.*, vol. 40, no. 2, pp. 242–252, Feb. 2010, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.09.028.
- [119] L. Patural, P. Marchal, A. Govin, P. Grosseau, B. Ruot, and O. Devès, "Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars," *Cem. Concr. Res.*, vol. 41, no. 1, pp. 46–55, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.cemconres.2010.09.004.
- [120] J. Roselló, L. Soriano, M. P. Santamarina, J. L. Akasaki, J. Monzó, and J. Payá, "Rice straw ash: A potential pozzolanic supplementary material for cementing systems," *Ind. Crops Prod.*, vol. 103, pp. 39–50, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.03.030.
- [121] A. P. Fantilli, S. Sicardi, and F. Dotti, "The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar," *Constr. Build. Mater.*, vol. 139, pp. 562–569, May 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.10.096.

- [122] C. Porrás-Amores, P. Martín García, P. Villoria Sáez, M. del Río Merino, and V. Vitiello, "Assessing the Energy Efficiency Potential of Recycled Materials with Construction and Demolition Waste: A Spanish Case Study," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 17, Art. no. 17, Jan. 2021, doi: 10.3390/app11177809.
- [123] T. Ashour, A. Korjenic, S. Korjenic, and W. Wu, "Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum," *Energy Build.*, vol. 104, pp. 139–146, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.016.
- [124] A. A. Gheni, M. A. ElGawady, and J. J. Myers, "Thermal characterization of cleaner and eco-efficient masonry units using sustainable aggregates," *J. Clean. Prod.*, vol. 165, pp. 980–993, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.189.
- [125] S. M. S. Kazmi, M. J. Munir, I. Patnaikuni, Y.-F. Wu, and U. Fawad, "Thermal performance enhancement of eco-friendly bricks incorporating agro-wastes," *Energy Build.*, vol. 158, pp. 1117–1129, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.10.056.
- [126] S. M. S. Kazmi, M. J. Munir, Y.-F. Wu, A. Hanif, and I. Patnaikuni, "Thermal performance evaluation of eco-friendly bricks incorporating waste glass sludge," *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 1867–1880, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.255.
- [127] C. P. Amores, J. S. C. Astorqui, M. D. R. Merino, P. V. Saez, and C. V. Arrebola, "THERMAL BEHAVIOR OF TRADITIONAL LIGHTWEIGHT GYPSUM WITH CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MATERIALS," *DYNA*, vol. 94, no. 4, pp. 431–436, Jul. 2019, doi: 10.6036/8983.
- [128] J. Santa Cruz Astorqui, M. del Río Merino, P. Villoria Sáez, and C. Porrás-Amores, "Analysis of the Relationship between Density and Mechanical Strength of Lightened Gypsums: Proposal for a Coefficient of Lightening," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2017, p. e7092521, Oct. 2017, doi: 10.1155/2017/7092521.
- [129] M. del Río Merino, P. Villoria Sáez, I. Longobardi, J. Santa Cruz Astorqui, and C. Porrás-Amores, "Redesigning lightweight gypsum with mixes of polystyrene waste from construction and demolition waste," *J. Clean. Prod.*, vol. 220, pp. 144–151, May 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.132.
- [130] P. Villoria Sáez, M. del Río Merino, E. Atanes Sánchez, J. Santa Cruz Astorqui, and C. Porrás-Amores, "Viability of Gypsum Composites with Addition of Glass Waste for Applications in Construction," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 31, no. 3, p. 04018403, Mar. 2019, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002604.
- [131] C. P. Amores, J. S. C. Astorqui, M. D. R. Merino, P. V. Saez, and C. V. Arrebola, "ANALYSIS OF THE VIABILITY OF PREFABRICATED ELEMENTS FOR PARTITIONS MANUFACTURED WITH PLASTER AND EPS FROM WASTE RECYCLING," *DYNA*, vol. 94, no. 4, pp. 415–420, Jul. 2019, doi: 10.6036/8984.
- [132] P. Villoria Sáez, M. del Río Merino, M. Sorrentino, C. Porrás Amores, J. Santa Cruz Astorqui, and C. Viñas Arrebola, "Mechanical Characterization of Gypsum Composites Containing Inert and Insulation Materials from Construction and Demolition Waste and Further Application as A Gypsum Block," *Materials*, vol. 13, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2020, doi: 10.3390/ma13010193.
- [133] S. Merabti, S. Kenai, R. Belarbi, and J. Khatib, "Thermo-mechanical and physical properties of waste granular cork composite with slag cement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 272, p. 121923, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121923.

- [134] “Timbercrete: Components, Advantages, and Applications,” The Constructor. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://theconstructor.org/building/timbercrete-components-advantages-applications/565251/>
- [135] “Intro,” THE TIMBERCRETE WALL PROJECT. Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: <https://timbercrete.wordpress.com/about/49-2/>
- [136] “What is Ashcrete?,” The Constructor. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://theconstructor.org/building/ashcrete/565323/>
- [137] “What is Ferrock in Construction?,” The Constructor. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://theconstructor.org/concrete/ferrock-characteristics-applications/565525/>
- [138] “Emerging Materials: Ferrock.” Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.certifiedenergy.com.au/emerging-materials/emerging-materials-ferrock>
- [139] “ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.” Accessed: Jun. 06, 2024. [Online]. Available: https://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/CEMENT/skPARARTIMA_ST.htm
- [140] “Τσιμέντο όρια.” Accessed: Jun. 06, 2024. [Online]. Available: https://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/CEMENT/sk5.htm
- [141] “Τούβλο νομοθεσία.” Accessed: Jun. 06, 2024. [Online]. Available: https://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_BRICKS/to1.6.htm
- [142] “Απογραφή Κτιρίων 2021 - ELSTAT.” Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.statistics.gr/2021-buildings-census>
- [143] “Απογραφή Κτιρίων 2011 - ELSTAT.” Accessed: Apr. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.statistics.gr/census-buildings-2011>
- [144] “Εκθεση μακροπρόθεσμης στρατηγικής ανακαίνισης κτιρίων -.” Accessed: Apr. 23, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/ltrs/>
- [145] J. A. Lozano-Miralles, M. J. Hermoso-Orzáez, C. Martínez-García, and J. I. Rojas-Sola, “Comparative Study on the Environmental Impact of Traditional Clay Bricks Mixed with Organic Waste Using Life Cycle Analysis,” *Sustainability*, vol. 10, no. 8, Art. no. 8, Aug. 2018, doi: 10.3390/su10082917.
- [146] Y. C. Ersan, S. Gulcimen, T. N. Imis, O. Saygin, and N. Uzal, “Life cycle assessment of lightweight concrete containing recycled plastics and fly ash,” *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 26, no. 7, pp. 2722–2735, May 2022, doi: 10.1080/19648189.2020.1767216.
- [147] C. B. Farinha, J. D. Silvestre, J. de Brito, and M. do R. Veiga, “Life Cycle Assessment of Mortars with Incorporation of Industrial Wastes,” *Fibers*, vol. 7, no. 7, Art. no. 7, Jul. 2019, doi: 10.3390/fib7070059.
- [148] “Life cycle assessment of mortars: A review on technical potential and drawbacks,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 288, p. 123069, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123069.
- [149] F. Colangelo, A. Forcina, I. Farina, and A. Petrillo, “Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction,” *Buildings*, vol. 8, no. 5, Art. no. 5, May 2018, doi: 10.3390/buildings8050070.
- [150] “4M - 4M-KENAK ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ.” Accessed: Jul. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.4m.gr/el/brands-2/4>

- [151] “Συρόμενο Θερμομονωτικό ΣύστημαΜέγιστη οικονομία χώρου.” Accessed: Jun. 09, 2024. [Online]. Available: <https://aluminco.com/el/alumincoproducts/sl200-syromeno-thermomonotiko-systima/>
- [152] “Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010.” [Online]. Available: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfdmadadm/<https://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-1-Final-%D4%C5%C5-3rd%20edition.pdf>
- [153] “Θερμομονωτικό Σύστημα Πορτών Εισόδου Μοντέρνα εμφάνιση και υψηλή ενεργειακή απόδοση.” Accessed: Jun. 09, 2024. [Online]. Available: <https://aluminco.com/el/alumincoproducts/d75-thermomonotiko-systima-porton-eisodou/>
- [154] “Tilt & Turn Highly Thermal Insulating SystemThe most demanding thermal insulation requirements.” Accessed: Jun. 09, 2024. [Online]. Available: <https://aluminco.com/alumincoproducts/w4750-anoigomeno-anaklinomeno-thermomonotiko-systima/>