



**Πολυτεχνείο Κρήτης**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διπλωματική Εργασία

**«ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ  
ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ»**

**Σπυριδάκης Γεώργιος  
Α.Μ.: 2013050086**

**Τριμελής Επιτροπή**

**Καθηγήτρια Κολοκοτσά Διονυσία (Επιβλέπουσα Καθηγήτρια)**

**Καθηγητής Θεοχάρης Τσούτσος**

**Δρ. Νικόλαος Καμπέλης**

XANIA 2021

*Αφιέρωση  
στην οικογένειά μου*

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, αρχικά, την κυρία Διονυσία Κολοκοτσά και τον κύριο Νικόλαο Καμπέλη για τη βοήθεια και την καθοδήγησή τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την υποστήριξη και τις συμβουλές τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Θεοχάρη Τσούτσο και Μιχάλη Λαζαρίδη για το χρόνο που αφιέρωσαν για τη μελέτη και την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας.

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	10
Abstract.....	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	12
1.1 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	13
1.2 Εισαγωγή στον Συσχετισμό Απόδοσης Μεθόδων.....	13
1.3 Μεταφορά Θερμότητας.....	14
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	17
Κεφάλαιο 3: Μελέτη Περίπτωσης.....	20
3.1 Γενικές Πληροφορίες.....	20
3.2 Εξωτερικοί Χώροι.....	20
3.3 Εσωτερικοί Χώροι.....	21
3.4 Σύστημα θέρμανσης ψύξης και αερισμού (HVAC).....	23
3.5 Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής.....	23
Κεφάλαιο 4: Ανάλυση Μοντέλου.....	24
4.1 Open Studio, Energy Plus, Sketch Up και εφαρμογές.....	24
4.2 Μεθοδολογία.....	24
4.3 Ορισμός καιρικών συνθηκών.....	25
4.4 Ορισμός χρονοδιαγραμμάτων (Schedules και Schedule Sets).....	25
4.4.1 Αριθμός Ατόμων (Number of People).....	26
4.4.2 Επίπεδο δραστηριοτήτων (Activity Level).....	27
4.4.3 Ηλεκτρικές Συσκευές (Electrical Equipment).....	28
4.4.4 Φωτισμός (Lighting).....	29
4.4.5 Διαρροή Αέρα (Infiltration).....	30
4.4.6 Ψύξη (Cooling).....	31
4.4.7 Θέρμανση (Heating).....	31
4.4.8 Εξαερισμός (Ventilation).....	32
4.5 Ορισμός Κατασκευαστικών Υλικών και Κατασκευών.....	33
4.5.1 Υλικά (Materials).....	33
4.5.2 Κατασκευές (Constructions).....	35
4.5.3 Ορισμός Κατασκευών (Construction Sets).....	37
4.6 Ορισμός Φορτίων.....	37
4.7 Ορισμός χώρων.....	38
4.8 Ορισμός κατασκευών, θερμικών ζωνών και σκίασης.....	39
4.9 Ορισμός συστήματος θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού (HVAC).....	41
4.10 Ανάλυση σεναρίων.....	41
4.11 Συνδυασμός σεναρίων.....	43
4.12 Συσχετισμός U Value, δείκτη UI και εξοικονόμησης ενέργειας.....	44
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.....	45
5.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων αρχικού κτιρίου.....	45
5.1.1 Έλεγχος θερμικής άνεσης αρχικού κτιρίου.....	45
5.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων καταναλώσεων.....	47
5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σεναρίων.....	48
5.2.1 Σενάριο A: Αντικατάσταση παραθύρων με Low-E παράθυρα.....	48
5.2.2 Σενάριο B: Εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου.....	50

5.2.3 Σενάριο C: Αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών.....	51
5.2.4 Σενάριο D: Εγκατάσταση παραθύρων στον δεύτερο όροφο και τοποθέτηση αεροφραγτών στις πόρτες.....	52
5.2.5 Σενάριο E: Αλλαγή θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες.....	53
5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σεναρίων συνδυασμού μέτρων.....	55
5.3.1 Σενάριο AB.....	55
5.3.2 Σενάριο AC.....	56
5.3.3 Σενάριο AD.....	57
5.3.4 Σενάριο AE.....	58
5.3.5 Σενάριο BC.....	59
5.3.6 Σενάριο BD.....	60
5.3.7 Σενάριο BE.....	61
5.3.8 Σενάριο CD.....	62
5.3.9 Σενάριο CE.....	63
5.3.10 Σενάριο DE.....	64
5.3.11 Σενάριο ABD (συμπληρωματικό σενάριο).....	65
5.3.12 Αποτελέσματα δείκτη UI.....	66
5.4 Αποτελέσματα συσχετισμού μεταξύ U Value, δείκτη UI και εξοικονόμησης ενέργειας.....	67
Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	69
6.1 Ανάλυση του δείκτη UI.....	69
6.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων συσχετισμού μεταξύ U Value, δείκτη UI και εξοικονόμησης ενέργειας.....	73
6.3 Σχέση κατανάλωσης – δείκτη UI – U Value .....	74
6.4 Επιλογή κατάλληλου σεναρίου.....	74
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα.....	76
7.1 Γενικά συμπεράσματα.....	76
7.2 Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες.....	76
Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφία.....	78

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 3.1: Μετεωρολογικά δεδομένα για την πόλη των Χανίων για το έτος 2010.....	23
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά υλικών που αποτελείται το υπό μελέτη κτίριο.....	34
Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά υαλοπινάκων που αποτελείται το υπό μελέτη κτίριο.....	35
Πίνακας 4.3: Κατασκευή τοίχων, ταβανιών και δαπέδων.....	35
Πίνακας 4.3: Κατασκευή τοίχων, ταβανιών και δαπέδων.....	37
Πίνακας 4.4: Κατασκευή παραθύρων.....	40
Πίνακας 4.5: Θερμικές ζώνες ανά χώρο.....	42
Πίνακας 4.6: Κατασκευή παράθυρων πρώτου σεναρίου.....	42
Πίνακας 4.7: Προσθήκη θερμοπρόσοψης στο εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου.....	42
Πίνακας 4.8: Αντικατάσταση ηλεκτρικού εξοπλισμού και φωτισμού.....	43
Πίνακας 4.9: Συνοπτικός πίνακας σεναρίων.....	43
Πίνακας 4.10: Συνοπτικός πίνακας σεναρίων συνδυασμού μέτρων .....	47
Πίνακας 5.1: Αναλυτικές καταναλώσεις αρχικού κτιρίου.....	49
Πίνακας 5.2: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου Α.....	50
Πίνακας 5.3: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου Β.....	51
Πίνακας 5.4: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου C.....	52
Πίνακας 5.5: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου D.....	53
Πίνακας 5.6: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου E.....	54
Πίνακας 5.8: Ποσοστά εξοικονόμησης ανά σενάριο.....	55
Πίνακας 5.9: Δείκτες UI ανά σενάριο.....	66
Πίνακας 6.1: Δείκτες UI ανά σενάριο.....	69
Πίνακας 6.2: Δομή εξωτερικού τοίχου ισογείου για το σενάριο AB.....	73

## Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1: Βήματα μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.....	24
Διάγραμμα 4.2: Τιμές θερμοπερατότητας παραθύρων ανά σενάριο.....	44
Διάγραμμα 5.1: Θερμοκρασία εργαστηριακού χώρου από 6/7 μέχρι 12/7.....	45
Διάγραμμα 5.2: Ποσοστό υγρασίας εργαστηριακού χώρου από 6/7 μέχρι 12/7.....	46
Διάγραμμα 5.3: Θερμοκρασία εργαστηριακού χώρου από 16/1 μέχρι 22/1.....	46
Διάγραμμα 5.4: Ποσοστό υγρασίας εργαστηριακού χώρου από 16/1 μέχρι 22/1.....	47
Διάγραμμα 5.5: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου ανά μήνα.....	48
Διάγραμμα 5.6: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου Α.....	49
Διάγραμμα 5.7: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου Β.....	51
Διάγραμμα 5.8: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου C.....	52
Διάγραμμα 5.9: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου D.....	53
Διάγραμμα 5.10: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου E.....	54
Διάγραμμα 5.11: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Α, Β και ΑΒ ανά μήνα.....	55
Διάγραμμα 5.12: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Α, Β και ΑΒ και δείκτης UI ανά μήνα.....	56
Διάγραμμα 5.13: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Α, C και AC ανά μήνα.....	56
Διάγραμμα 5.14: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Α, C και AC και δείκτης UI ανά μήνα.....	57
Διάγραμμα 5.15: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Α, D και AD ανά μήνα.....	57
Διάγραμμα 5.16: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Α, D και AD και δείκτης UI ανά μήνα.....	58
Διάγραμμα 5.17: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Α, E και AE ανά μήνα.....	58
Διάγραμμα 5.18: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Α, E και AE και δείκτης UI ανά μήνα.....	59
Διάγραμμα 5.19: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Β, C και BC ανά μήνα.....	59
Διάγραμμα 5.20: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Β, C και BC και δείκτης UI ανά μήνα.....	60
Διάγραμμα 5.21: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Β, D και BD ανά μήνα.....	60
Διάγραμμα 5.22: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Β, D και BD και δείκτης UI ανά μήνα.....	61
Διάγραμμα 5.23: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Β, E και BE ανά μήνα.....	61
Διάγραμμα 5.24: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Β, E και BE και δείκτης UI ανά μήνα.....	62
Διάγραμμα 5.25: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου C, D και CD ανά μήνα.....	62
Διάγραμμα 5.26: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου C, D και CD και δείκτης UI ανά μήνα.....	63
Διάγραμμα 5.27: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου C, E και CE ανά μήνα.....	63
Διάγραμμα 5.28: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου C, E και CE και δείκτης UI ανά μήνα.....	64
Διάγραμμα 5.29: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου D, E και DE ανά μήνα.....	64
Διάγραμμα 5.30: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου D, E και DE και δείκτης UI ανά μήνα.....	65
Διάγραμμα 5.31: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου Α, Β, D και ABD ανά μήνα.....	65
Διάγραμμα 5.32: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου Α, Β, D και ABD και δείκτης UI ανά μήνα.....	66
Διάγραμμα 5.33: Εξοικονόμηση ενέργειας για διαφορετικές τιμές U Value (σενάριο ΑΒ)...	67

Διάγραμμα 5.34: Τιμές δείκτη UI για διαφορετικές τιμές U Value (σενάριο AB).....	68
Διάγραμμα 5.35: Σχέση εξοικονόμησης ενέργειας - δείκτη UI (σενάριο AB).....	68
Διάγραμμα 6.1: Τιμές δείκτη UI για τα σενάρια AC, BC και CD κατά τη διάρκεια του έτους .....	70
Διάγραμμα 6.2: Τιμές δείκτη UI για τα σενάρια AE, BE και DE κατά τη διάρκεια του έτους .....	70
Διάγραμμα 6.3: Τιμές δείκτη UI για τα σενάρια AB, AD και BD κατά τη διάρκεια του έτους .....	71
Διάγραμμα 6.4: Τιμές δείκτη UI για το σενάριο CE κατά τη διάρκεια του έτους .....	71
Διάγραμμα 6.5: Ωριαίες καταναλώσεις γραφείου αρχικού σεναρίου και σεναρίων D, E και DE από 1/11 μέχρι 5/11.....	72
Διάγραμμα 6.6: Σχέση εξοικονόμησης ενέργειας - δείκτη U για το σενάριο AB.....	74
Διάγραμμα 6.7: Δείκτης UI ανά εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε σενάριο.....	75



## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 3.1: Δορυφορική εικόνα κτιρίου K1.....	20
Εικόνα 3.2: Περιβάλλοντας χώρος κτιρίου K1.....	21
Εικόνα 3.3: Ανατολική και δυτική όψη κτιρίου K1.....	21
Εικόνα 3.4: Κάτοψη ισογείου κτιρίου K1.....	22
Εικόνα 3.5: Κάτοψη πρώτου ορόφου κτιρίου K1.....	22
Εικόνα 3.6: Πρόσοψη κτιρίου K1.....	22
Εικόνα 4.1: Καρτέλα εισαγωγής τοποθεσίας, χρονολογίας και αρχείου καιρού.....	25
Εικόνα 4.2: Χρονοδιάγραμμα αριθμού ατόμων στο κτίριο καθημερινά.....	26
Εικόνα 4.3: Χρονοδιάγραμμα αριθμού ατόμων στο κτίριο τα Σαββατοκύριακα.....	27
Εικόνα 4.4: Χρονοδιάγραμμα επιπέδου δραστηριοτήτων.....	27
Εικόνα 4.5: Χρονοδιάγραμμα ηλεκτρικών συσκευών τις καθημερινές.....	28
Εικόνα 4.6: Χρονοδιάγραμμα ηλεκτρικών συσκευών τα Σαββατοκύριακα.....	28
Εικόνα 4.7: Χρονοδιάγραμμα φωτισμού τις καθημερινές.....	29
Εικόνα 4.8: Χρονοδιάγραμμα φωτισμού τα Σαββατοκύριακα.....	29
Εικόνα 4.9: Χρονοδιάγραμμα αερισμού.....	30
Εικόνα 4.10: Χρονοδιάγραμμα ψύξης.....	31
Εικόνα 4.11: Χρονοδιάγραμμα θέρμανσης.....	31
Εικόνα 4.12: Εισαγωγή χρονοδιαγραμμάτων για τον πρώτο και δεύτερο όροφο.....	32
Εικόνα 4.13: Εισαγωγή χρονοδιαγραμμάτων για τον δεύτερο όροφο.....	33
Εικόνα 4.14: Εισαγωγή χαρακτηριστικών των υλικών.....	34
Εικόνα 4.15: Εισαγωγή κατασκευών στην υποκαρτέλα Construction Sets.....	37
Εικόνα 4.16: Δημιουργία χώρων και εισαγωγή γενικών χαρακτηριστικών.....	39
Εικόνα 4.17: Εισαγωγή φορτίων σε κάθε χώρο.....	39
Εικόνα 4.18: Επιφάνειες σκίασης του κτιρίου K1.....	40
Εικόνα 4.19: Διάταξη συστήματος HVAC.....	41

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν κύριους στόχους: (α) Να αναδείξει τη συνεργατικότητα μεταξύ των διαφόρων μετασκευαστικών μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Ο αρχικός στόχος επικεντρώνεται στη σύγκριση απόδοσης των μεθόδων αυτών, όταν συνδυάζονται με επιπλέον μετασκευές. (β) Να προτείνει βέλτιστους τρόπους μετασκευής κτιρίων, συνιστώντας συγκεκριμένες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας. Ο δευτερεύων στόχος επικεντρώνεται στην ανάλυση της εξοικονόμησης ενέργειας κάθε μεθόδου και συνδυασμού μεθόδων με σκοπό να γίνει πρόταση της βέλτιστης λύσης, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις εξοικονομήσεις κι όχι άλλους παράγοντες, όπως είναι ο χρόνος και το κόστος.

Ως μελέτη περίπτωσης χρησιμοποιήθηκε το κτίριο K1 του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά. Το εργαλείο μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων αποτελεί το OpenStudio. Με βάση το εργαλείο αυτό, έγινε ανάλυση του συσχετισμού απόδοσης μεταξύ διαφόρων μετασκευαστικών μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας. Η απόδοση αυτή υπολογίστηκε με τη βοήθεια ενός δείκτη (δείκτης UI) , ο οποίος ορίζεται ως η αναλογία των εξοικονομήσεων που προκύπτουν από την εφαρμογή πολλαπλών μεθόδων ενεργειακής αναβάθμισης προς το άθροισμα των εξοικονομήσεων των ίδιων μεθόδων όταν αυτές εφαρμόζονται ξεχωριστά. Ο δείκτης αυτός αποτελεί επιπλέον κριτήριο εφαρμογής συνδυασμού μετασκευαστικών μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας κι αυτό αναδεικνύει τη σημαντικότητά του.

# Abstract

The main objectives of this particular thesis are: (a) To highlight the utilizability of combined retrofitting solutions. In other words, the primary objective is to compare the efficiency of different energy saving methods, when combined with each other. (b) To suggest optimal retrofitting solutions, in order to achieve maximum efficiency. The secondary objective focuses on analysing the energy savings of each retrofitting method and each effectiveness when combined, in order to propose the best outcome, while taking into account the energy savings of each method and not other factors, such as time and cost of the implementation.

In this study a campus building of the Technical University of Crete is used (K1 building). The modeling software used for data collection modeling is OpenStudio. This simulation tool is used to evaluate the building's performance and the overlapping and synergistic effects when multiple retrofitting scenarios are being applied. The Utilizability Index is employed for the analysis of these effects in buildings and is defined as the ratio of energy savings derived from applying combined solutions to a building over the sum of individual energy savings from applying the same solutions individually. The analysis on the utilizability value provides a selection criterion for retrofitting solution selection, which indicates the importance of this concept.

# Εισαγωγή

Ζούμε σε μία εποχή όπου οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες από ποτέ. Η ολοένα αυξανόμενη κατασκευή υποδομών προϋποθέτει τη σωστή και σοφή ενεργειακή χρήση. Τα κτίρια του τριτογενή τομέα έχουν έναν κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη ενός τέτοιου στόχου, αν σκεφτούμε ότι αντιπροσωπεύουν το 40-45% της εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης. Μάλιστα, μία σύντομη σύγκριση των ενεργειακών καταναλώσεων στην Ελλάδα από το 1990 μέχρι το 2012 μας δείχνει ότι ο τριτογενής τομέας αύξησε την κατανάλωση ενέργειας στο τριπλάσιο και συνεχίζει να αυξάνεται εκθετικά μέχρι και σήμερα (Άρθρο 4, Οδηγία 27/2012/ΕΕ).

Αυτή η ολοένα και αυξανόμενη κατανάλωση έχει ως αποτέλεσμα, εκτός από την οικονομική επιβάρυνση λόγω του κόστους της ενέργειας, τη διαταραχή και καταστροφή του περιβάλλοντος, κυρίως λόγω των εκπομπών CO<sub>2</sub>, που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Δυστυχώς, το οικολογικό αποτύπωμα της παραγωγής ενέργειας αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα αποτυπώματα των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον.

Μέγιστο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων δαπανάται για τη θέρμανση και την ψύξη τους. Στην Ελλάδα οι καταναλώσεις για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Οι υπόλοιπες καταναλώσεις που προέρχονται από οικιακές συσκευές, τον φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχονται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Ανάλογα ποσοστά καταναλώσεων παρατηρούμε στα υπόλοιπα κτίρια του τριτογενή τομέα (ΚΑΠΕ, 2005).

Η αύξηση της θερμοκρασίας των τελευταίων χρόνων καθώς και η λειτουργία μη ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων, είτε λόγω αρχικού σχεδιασμού, είτε λόγω της παλαιότητας τους, έχουν οδηγήσει στην υπέρχρηση ενεργοβόρων μέσων, με αποτέλεσμα να καταναλώνονται περισσότερα χρήματα για την επίτευξη θερμικής άνεσης.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα)
- Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης, σκίαση)
- Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές
- Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός)

Οι μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας έχουν βελτιωθεί σημαντικά, ιδίως τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο σχεδιασμός των κτιρίων, η χρήση κατάλληλων υλικών και μηχανημάτων χαμηλής κατανάλωσης, η εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ αποτελούν τομείς που

έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα και μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση, περιορίζοντας τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε νέο κτίριο, καθώς και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια τα οποία χρειάζονται ενεργειακή αναβάθμιση. Η μετασκευή κτιρίων αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική λύση μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων ενός κτιρίου, καθώς δεν απαιτείται η κατασκευή νέου κτιρίου. Οι επεμβάσεις σε υπάρχοντα κτίρια είναι απαραίτητες για την επίτευξη μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας των κτιρίων στην Ελλάδα.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιώντας τα ανά ώρα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και με την βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Open Studio, προσομοιώνεται το ήδη υπάρχον κτίριο K1 του Πολυτεχνείου Κρήτης και υπολογίζονται οι ενεργειακές του απαιτήσεις για θέρμανση, ψύξη, ηλεκτρικές συσκευές και φωτισμό. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας πέντε μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας πάνω στο κτίριο, μελετούνται οι μειωμένες καταναλώσεις. Τέλος, συνδυάζοντας κάθε μέθοδο σε ζευγάρια των δύο και βρίσκοντας τις τελικές καταναλώσεις των σεναρίων που προκύπτουν, συγκρίνονται τα αθροίσματα των εξοικονομήσεων των μεμονωμένων μεθόδων με τις εξοικονομήσεις των αντίστοιχων συνδυασμένων μεθόδων, με σκοπό να βρεθεί η συμβατότητα μεταξύ τους.

## 1.1 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Έτσι η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει:

- να αναδείξει τη συνεργατικότητα μεταξύ των διαφόρων μετασκευαστικών μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας.
- να προτείνει βέλτιστους τρόπους μετασκευής κτιρίων συνιστώντας συγκεκριμένες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας.
- να επιβεβαιώσει τη δυνατότητα χρήσης του υπολογιστικού προγράμματος Open Studio σε μελέτες κατασκευής και μετασκευής κτιρίων.
- να αποτελέσει ένα υπόδειγμα μεθοδολογίας της μελέτης ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.

## 1.2 Εισαγωγή στον Συσχετισμό Απόδοσης Μεθόδων

Η συμβατότητα δύο μεθόδων αποτελεί μία παράμετρο που δε λαμβάνεται συχνά υπόψη σε μελέτες εξοικονόμησης ενέργειας. Παρά το γεγονός αυτό, η συμβατότητα αυτή ορίζει, κατά ένα μεγάλο ποσοστό, το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που θα εξοικονομηθεί.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τον συνδυασμό δύο μετασκευαστικών μεθόδων μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερη είτε μικρότερη από το άθροισμα των ενεργειακών καταναλώσεων των ίδιων μεθόδων, εφαρμοσμένων ξεχωριστά στο ίδιο κτίριο. Αυτό οφείλεται στη συνεργιστική κι ανταγωνιστική επίδραση μεταξύ των συγκεκριμένων μεθόδων.

Συνεργιστική επίδραση έχουν δυο μέθοδοι όταν το άθροισμα των εξοικονομήσεων τους, όταν εφαρμόζονται ξεχωριστά στο ίδιο κτίριο, είναι μικρότερο από την εξοικονόμηση όταν εφαρμόζονται μαζί. Αντίστοιχα, ανταγωνιστική επίδραση έχουν όταν το άθροισμα των μεμονωμένων εξοικονομήσεων είναι μεγαλύτερο από την εξοικονόμηση όταν εφαρμόζονται μαζί.

Για τον υπολογισμό της σχέσης απόδοσης μεταξύ των μεθόδων που θα μελετηθούν θα χρησιμοποιηθεί ο δείκτης συσχετισμού απόδοσης (Utilizability Index), ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$UI = \frac{E(rs_1, rs_2, \dots, rs_n)}{\sum_i^n E(rs_i)}$$

όπου:

$E(rs_1, rs_2, \dots, rs_n)$  είναι η εξοικονόμηση των συνδυασμένων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας και

$\sum_i^n E(rs_i)$  είναι το άθροισμα των εξοικονομήσεων των αντίστοιχων ξεχωριστών μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας.

Ο δείκτης UI παίρνει τιμές μικρότερες της μονάδας αν υπάρχουν ανταγωνιστικές επιδράσεις μεταξύ των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας και μεγαλύτερες της μονάδας αν υπάρχουν, αντίστοιχα, συνεργιστικές επιδράσεις.

Η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της μέγιστης ενεργειακής αξιοποίησης των μετασκευαστικών μεθόδων και της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας αποτελεί μία περίπλοκη διαδικασία, καθώς υπάρχει μια ελλιπής κατανόηση της κατάστασης, ειδικότερα όταν επιχειρείται η εφαρμογή περισσότερων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας.

### 1.3 Μεταφορά Θερμότητας

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων ενός τέτοιου μοντέλου απαιτείται η κατανόηση της μεταφοράς της θερμότητας στον χώρο. Η θερμότητα, όταν μιλάμε για κτίρια, μπορεί να κινηθεί από το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου στο εσωτερικό, από το εσωτερικό στο εξωτερικό και μεταξύ των δομικών στοιχείων του. Η μεταφορά θερμότητας αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο που πραγματοποιείται με τρεις τρόπους:

- αγωγή θερμότητας, που πραγματοποιείται μέσω της μάζας στερεών
- συναγωγή θερμότητας (μεταφορά), που πραγματοποιείται μεταξύ ρευστών, αερίων και στερεών σωμάτων
- θερμική ακτινοβολία, η οποία πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, όταν δύο σώματα βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους

## Αγωγή θερμότητας

Τα δομικά υλικά ενός κτιρίου μεταφέρουν ενέργεια με διαφορετικούς ρυθμούς. Υλικά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα, όπως είναι ο χαλκός και ο χάλυβας, επιτρέπουν γρήγορη μεταφορά θερμότητας, καθώς η θερμική ενέργεια κινείται μέσω αυτών με αποδοτικό ρυθμό. Από την άλλη πλευρά, ο υαλοβάμβακας αποτελεί υλικό με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Τέτοιους είδους υλικά είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας και χρησιμεύουν ως μονωτές. Επομένως, η ροή θερμότητας μέσω ενός συγκροτήματος υλικών (τοίχοι, οροφές κτλ.) επιβραδύνεται από τέτοια μονωτικά υλικά.

Ο νόμος Fourier περιγράφει τη μεταφορά θερμότητας με αγωγή. Μπορεί να γραφεί σε τρεις διαστάσεις. Όταν η μεταφορά θερμότητας συμβαίνει στον άξονα  $x$  η σχέση παίρνει την εξής μορφή:

$$q = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \quad \text{όπου}$$

$q$  ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας σε watt (W ή J/s)

$k$  η θερμική αγωγιμότητα του υλικού (W/(mK))

$A$  η περιοχή διατομής από την οποία διέρχεται η θερμότητα (m<sup>2</sup>)

$dT$  η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ζεστής πλευράς και της κρύας πλευράς (K)

$dx$  το πάχος υλικού (m)

Σε γενικότερη μορφή γράφεται:

$$q' = -k \nabla T$$

## Συναγωγή ή μεταφορά

Η συναγωγή θερμότητας αναφέρεται στα ρευστά υλικά. Στον αέρα, για παράδειγμα, η μεταφορά θερμότητας αναφέρεται συχνά ως stack effect. Όταν θερμαίνεται, τα μόρια αποκτούν μεγάλη κινητική ενέργεια με αποτέλεσμα το αέριο να διαστέλλεται και να κινείται προς τα πάνω. Καθώς ανεβαίνει, κρύος αέρας παίρνει τη θέση του. Αντίστοιχο φαινόμενο παρατηρείται και στα υγρά.

Η βασική εξίσωση που περιγράφει τη μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής είναι ο νόμος ψύξης του Νεύτωνα (Newton's Law of Cooling). Σύμφωνα με τον νόμο μεταφοράς του Νεύτωνα ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$q = h \cdot A (T_0 - T_{env}) \quad \text{όπου:}$$

$q$  ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας σε watt (W ή J/s)

$h$  ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/(m<sup>2</sup>K))

$A$  το εμβαδόν επιφάνειας μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας (m<sup>2</sup>)

$T_0$  η θερμοκρασία επιφάνειας του σώματος (°C)

$T_{env}$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος γύρω από το σώμα (°C)

## Θερμική ακτινοβολία

Θερμική ακτινοβολία προκύπτει μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που απορροφούνται από ένα υλικό. Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της πηγής της ακτινοβολίας και του υλικού που μας ενδιαφέρει απαιτεί το υλικό να βρίσκεται στην οπτική γωνία της πηγής θερμότητας. Στα κτίρια γίνεται χρήση επιφανειών σκίασης για την αποφυγή μεταφοράς θερμότητας. Παράγοντες που παίζουν ρόλο στον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία είναι η απόσταση μεταξύ της πηγής και του υλικού, τα οπτικά χαρακτηριστικά του υλικού, καθώς και η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας.

Η θερμότητα που εκπέμπεται από ένα σώμα σε ένα άλλο περιγράφεται από τον νόμο Στέφαν-Μπόλτςμαν:

$$q = \varepsilon \sigma A T_s^4 \quad \text{όπου:}$$

$q$  ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας σε watt (W ή J/s)

$\varepsilon$  ο συντελεστής εκπομπής ο οποίος είναι αδιάστατος αριθμός και για ένα μέλαν σώμα, δηλαδή ένα τέλει εκπομπό, η τιμή του είναι 1

$\sigma$  η σταθερά Stefan Boltzman ίση με  $5,67 \times 10^{-8}$  (W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>))

$A$  το εμβαδόν επιφάνειας μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας (m<sup>2</sup>)

$T_s$  η απόλυτη θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας



# Βιβλιογραφική Επισκόπηση

## 2.1 Σχετικές Έρευνες

Όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχουν πολλές έρευνες που αναλύουν τη συμβατότητα μεταξύ μεθόδων. Ωστόσο μία έρευνα που αξίζει να αναφερθεί είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Πανεπιστήμιο της Σιγκαπούρης από τους Junjing Yang, Adrian Chong, Mat Santamouris, Denia Kolokotsa, Siew Eang, Lee, Kwok Wai Tham, Chandra Sekhar και David Kok Wai Cheong με τίτλο **“Energy utilizability concept as a retrofitting solution selection criterion for buildings”** τον Μάιο του 2017.

Στη συγκεκριμένη έρευνα μοντελοποιήθηκε ένα κτίριο του Εθνικού Πανεπιστημίου της Σιγκαπούρης με τη βοήθεια των προγραμμάτων Open Studio και SketchUp. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας 10 τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας πάνω στο κτίριο, 5 ενεργητικές και 5 παθητικές, υπολογίστηκαν οι τελικές μειωμένες καταναλώσεις. Στη συνέχεια, συνδυάστηκαν τα 10 σενάρια σε ομάδες των 2 και προέκυψαν στο σύνολο 44 σενάρια και υπολογίστηκαν οι συνδυασμένες τελικές τους καταναλώσεις. Τέλος, συγκρίνοντας το άθροισμα των μεμονωμένων καταναλώσεων των ξεχωριστών σεναρίων με τις καταναλώσεις των αντίστοιχων συνδυασμένων σεναρίων υπολογίστηκε ο δείκτης UI (Utilizability), αντίστοιχος με τον δείκτη UI της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συγκεκριμένη έρευνα τόνισε τη σημαντικότητα του υπολογισμού ενός τέτοιου δείκτη καθώς αναφέρθηκε ότι μπορεί να βοηθήσει στην πλήρη αξιοποίηση τέτοιων μεθόδων.

Μία ακόμα σημαντική έρευνα αποτέλεσε αυτήν που πραγματοποιήθηκε από τους Ricardo M. S. F. Almeida και Vasco Peixoto De Freitas με τίτλο **“An insulation thickness optimization methodology for school buildings rehabilitation combining artificial neural networks and life cycle cost”** τον Οκτώβριο του 2016.

Στη συγκεκριμένη έρευνα μελετήθηκε ο συσχετισμός μεταξύ του πάχους των μονωτικών υλικών που τοποθετούνται σε τοίχους κι οροφές και παραμέτρων όπως είναι η ελαχιστοποίηση του ετήσιου φορτίου θέρμανσης, του κόστους κύκλου ζωής των υλικών αυτών και η βελτιστοποίηση της θερμικής άνεσης. Αυτός ο συσχετισμός έγινε δυνατός με τη χρήση αλγορίθμων τεχνητού νευρωνικού δικτύου (Artificial Neural Network) οι οποίοι αποτελούν εξελικτικούς αλγορίθμους που μαθαίνουν να υπολογίζουν περίπλοκες εξισώσεις με τη βοήθεια πραγματικών δεδομένων. Τέτοια δεδομένα μπορεί να προκύπτουν από οποιοδήποτε πρόγραμμα μοντελοποίησης όπως το Energy Plus. Αυτές οι μέθοδοι υπολογισμού μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιοδήποτε πρόβλημα που απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ και χρόνο, καθώς είναι γρηγορότερες από τα προγράμματα μοντελοποίησης.

Στη συνέχεια, έχουμε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Jorge S. Carlos και Helena Corvacho τον Ιούνιο του 2010, με τίτλο **“Retrofit Measures Inold Elementary School Buildings Towards Energy Efficiency”**.

Η έρευνα αυτή αναφέρεται στην εφαρμογή μετασκευαστικών μεθόδων με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας και την επίτευξη θερμικής άνεσης σε μία σειρά

κτιρίων δημοτικών σχολείων στην Πορτογαλία. Οι μετασκευές του εξωτερικού κελύφους των κτιρίων αποτέλεσαν τους πιο αποδοτικούς τρόποι επίτευξης αυτού του στόχου, καθώς είχαν αρχίσει να κατασκευάζονται το 1940 με αποτέλεσμα να μην είναι επαρκώς μονωμένα. Η συγκεκριμένη έρευνα βοήθησε στην κατανόηση της επιλογής κατάλληλων μετασκευαστικών μεθόδων ανάλογα με το κτίριο που μελετάται, καθώς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, ο προσανατολισμός, η τοποθεσία και τα υλικά κατασκευής του κτιρίου διαφέρουν σε κάθε περίπτωση.

Παρακάτω, μία έρευνα που μελετήθηκε πραγματοποιήθηκε από τους Nikolaos Kampelis, Georgios I. Papayiannis, Dionysia Kolokotsa, Georgios N. Galanis, Daniela Isidori, Cristina Cristalli και Athanasios N. Yannacopoulos με τίτλο **“An Integrated Energy Simulation Model for Buildings”**, με ημερομηνία έκδοσης 4 Μαρτίου 2020.

Στη συγκεκριμένη έρευνα τονίστηκαν οι αποκλίσεις των εργαλείων μοντελοποίησης κτιρίων και εφαρμόστηκαν τρόποι μείωσης της απόκλισης μεταξύ μοντελοποιημένων και πραγματικών αποτελεσμάτων. Τα συμπεράσματα αυτά βοήθησαν στην τροποποίηση και λήψη αποτελεσμάτων που ανταποκρίνονται περισσότερο σε πραγματικές και βάσιμες μετρήσεις. Η συγκεκριμένη έρευνα βοήθησε στην κατανόηση της διαφοροποίησης μεταξύ μοντελοποιήσεων και πραγματικών κατασκευών.

Άξια αναφοράς αποτελεί η έρευνα του Zhengyu Kang την Άνοιξη του 2019, με τίτλο **“Improving Energy Efficiency Performance of Existing Residential Building in Northern China”**.

Στην έρευνα αυτή επιλέχθηκε μία κατοικία στο Πεκίνο με σκοπό να εφαρμοστούν μετασκευαστικές μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας. Για τη σωστή επιλογή αυτών των μετασκευαστικών μεθόδων έγινε έλεγχος των κλιματικών δεδομένων της περιοχής για τη χρονική περίοδο της μελέτης και μοντελοποίηση του κτιρίου. Οι πιο αποδοτικές μέθοδοι φάνηκε να είναι οι μονώσεις των τοίχων και οροφής καθώς και η εγκατάσταση αποδοτικότερων αντλιών θερμότητας. Η συγκεκριμένη έρευνα τόνισε την αναγκαιότητα μετασκευής τέτοιων παλιών κτιρίων καθώς αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό των κτιρίων του Πεκίνου.

Επιπλέον έρευνα σχετική με τον συνδυασμό μετασκευαστικών λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας αποτελεί αυτή των Erica Marshall, Julia K. Steinberger, Valerie Dupont και Timothy J. Foxon με τίτλο **“Combining energy efficiency measure approaches and occupancy patterns in building modelling in the UK residential context”** τον Ιανουάριο του 2016.

Η έρευνα αυτή εστίασε στη μοντελοποίηση και μετασκευή μίας κατοικίας στο Λονδίνο με σκοπό να υπολογιστούν οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Οι καταναλώσεις κάθε μετασκευής υπολογίστηκαν για τρία διαφορετικά σενάρια, όπου στο κάθε ένα έγινε διαφορετική χρήση του κτιρίου λόγω των διαφορετικών δραστηριοτήτων τις διάφορες ώρες της ημέρας (οικογένεια που εργάζεται το πρωί, ζευγάρι που εργάζεται το πρωί και ζευγάρι που είναι παρόν το πρωί). Σκοπός της έρευνας ήταν να βρεθούν οι πιο αποδοτικές μετασκευές για κάθε διαφορετική περίπτωση. Στη συνέχεια τονίστηκε ότι ο συνδυασμός ενεργητικών μετασκευών που εφαρμόστηκαν στην κατοικία αποτέλεσε αυτός με τη μεγαλύτερη απόδοση λόγω πα-

ρόμοιων εξοικονομήσεων και μικρότερου κόστους εφαρμογής. Τέλος, αναφέρθηκε ότι οι καταναλώσεις για κάθε ένοικο της κατοικίας διαφέρουν, και συνεπώς, ότι η εκτίμηση των καταναλώσεων για κάθε μελλοντική μελέτη περίπτωσης θα πρέπει να μελετάται ξεχωριστά.

Μια ακόμη έρευνα που αξίζει να αναφερθεί είναι αυτή του Χαρίλαου Μαγκώνη με τίτλο **“Παραμετρική Ανάλυση Καινοτόμων Φωτοβολταϊκών Ενσωματωμένων σε Κτίρια Γραφείων”** που δημοσιεύτηκε τον Ιούλιο του 2019.

Στην έρευνα αυτή έγινε μελέτη της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στο κτίριο K1 του Πολυτεχνείου Κρήτης. Μοντελοποιήθηκαν τρία βασικά σενάρια εγκατάστασης διαφορετικών ειδών φωτοβολταϊκών στη νότια όψη του δεύτερου ορόφου του κτιρίου, καθώς και δύο συμπληρωματικά όπου η εγκατάσταση τους έγινε στη νότια όψη του θόλου του κτιρίου. Τα αποτελέσματα των μοντελοποιήσεων έδειξαν ότι η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών δεν αποτελεί κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας λόγω της χαμηλής τους απόδοσης. Επιπλέον, για την κάλυψη των συνολικών ενεργειακών αναγκών του κτιρίου συνιστάται ταυτόχρονη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

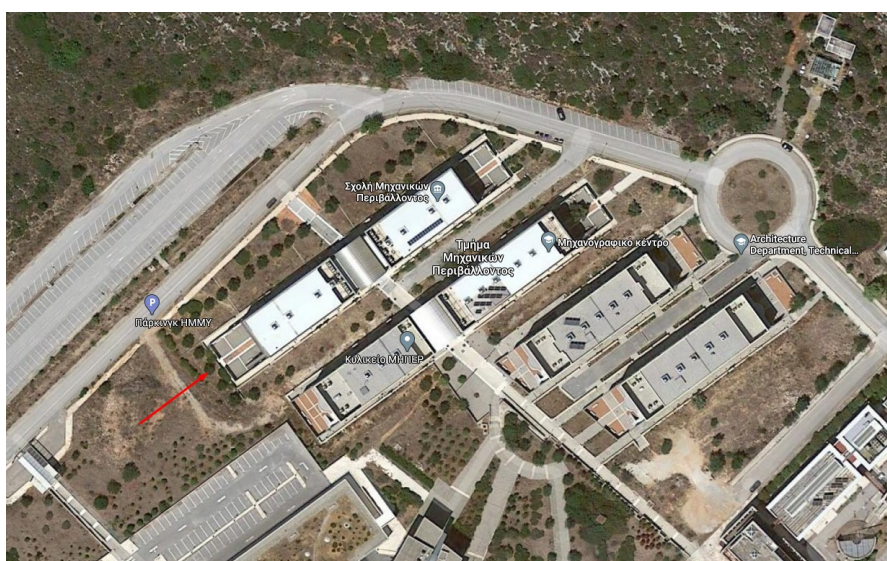
Τέλος, βοηθητική έρευνα που διεξήχθη αποτελεί η αναλυτική μεθοδολογία μοντελοποίησης των κτιρίων K1 και K2 των Χανίων από το εργαστήριο Δομημένου Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας στο πλαίσιο του συγχρηματοδοτούμενου έργου CampIT το 2014.

Στη συγκεκριμένη έρευνα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα επιλεγμένα κτίρια της Πολυτεχνειούπολης, με σκοπό την πρόβλεψη του ενεργειακού φορτίου. Η συγκεκριμένη έρευνα αναφέρει τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος της Πολυτεχνειούπολης, καθώς και τα δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων που μας ενδιαφέρουν.

# Μελέτη Περίπτωσης

## 3.1 Γενικές Πληροφορίες

Το υπό μελέτη κτίριο που επιλέχθηκε για την πραγματοποίηση της εργασίας είναι το κτίριο K1 (Εικόνα 3.1) του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά, στο οποίο στεγάζεται από το 1997 ένα μέρος των εγκαταστάσεων του τμήματος των Μηχανικών Περιβάλλοντος. Βρίσκεται στο βορειότερο άκρο της Πολυτεχνειούπολης κι έχει όψη τη θάλασσα. Το κτίριο έχει βορειοδυτικό προσανατολισμό και περιβάλλεται από ανοιχτό χώρο, εκτός από την νοτιοανατολική του όψη όπου βρίσκεται στο ίδιο ύψος το κτίριο K2. Οι συνολικές διαστάσεις του κτιρίου είναι (μήκος / πλάτος / ύψος) 86,4 m / 15,2 m / 12,0 m και η συνολική επιφάνεια του είναι 3.729 m<sup>2</sup>.



Εικόνα 3.1: Δορυφορική εικόνα κτιρίου K1

## 3.2 Εξωτερικοί Χώροι

Εξωτερικά της ανατολικής και δυτικής όψης του K1 υπάρχουν πλακοστρωμένοι χώροι οι οποίοι περικλείονται από τοίχο. Τα υλικά δαπεδόστρωσης των χώρων αυτών είναι κυβόλιθοι, πέτρα, μάρμαρο και πλακάκι. Περιμετρικά του κτιρίου βρίσκεται μία λωρίδα πεζοδρομίου, ενώ ο υπόλοιπος χώρος καλύπτεται από χόμα και φυτά.

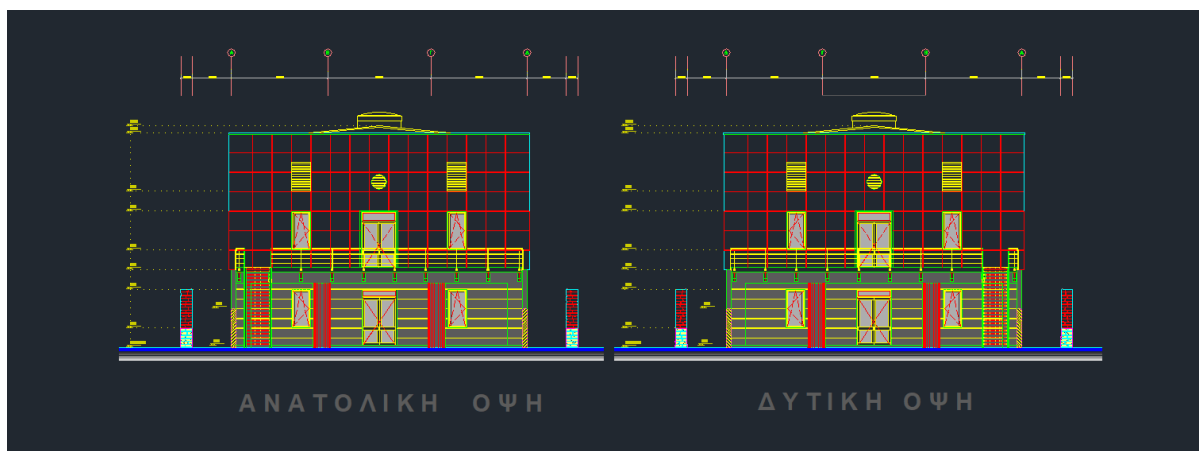
Σκίαση προκύπτει από το κτίριο K2, που απέχει 16,2 m από το K1, ελαφρώς από τους τοίχους των πλακοστρωμένων χώρων που προαναφέρθηκαν και από τους εξωτερικούς τοίχους σκίασης του K1 που βρίσκονται δεξιά κι αριστερά του κτιρίου. Οι εισοδοί του είναι έξι. Οι δύο μεγάλες εισοδοί βρίσκονται στη μέση του κτιρίου κι οδηγούν στον κεντρικό χώρο του, όπου βρίσκεται ο θόλος. Οι άλλες τέσσερις μικρότερες εισοδοί βρίσκονται στα πλάγια με πρόσβαση οι δύο στο ισόγειο και οι άλλες δύο στον πρώτο όροφο.



Εικόνα 3.2: Περιβάλλοντας χώρος κτιρίου K1

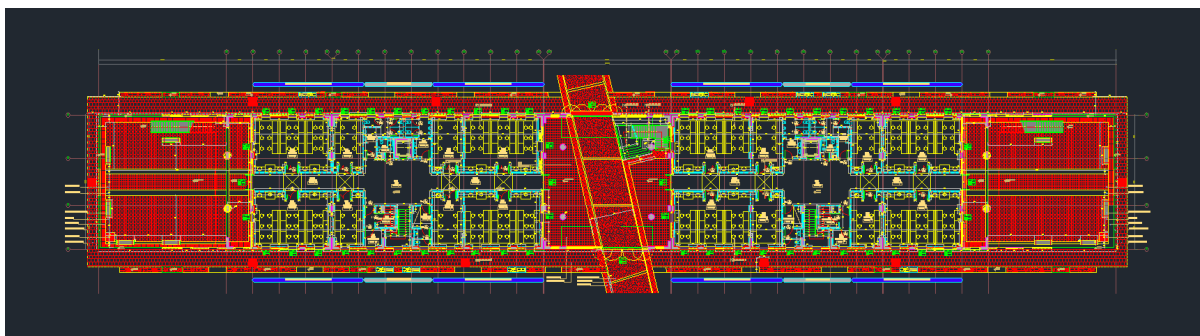
### 3.3 Εσωτερικοί Χώροι

Εσωτερικά, βρίσκονται τρία κλιμακοστάσια που επιτρέπουν την πρόσβαση σε όλους τους ορόφους του κτιρίου. Το κεντρικό κλιμακοστάσιο βρίσκεται δίπλα από τις κεντρικές εισόδους και τα άλλα δύο στη δεξιά κι αριστερή πτέρυγιά του. Διάδρομοι που επιτρέπουν την πρόσβαση σε όλες τις αίθουσες και γραφεία ξεκινάνε από τη μέση του κτιρίου κι επεκτείνονται μέχρι τις δύο άκρες του. Αυτοί οι διάδρομοι βρίσκονται στο ισόγειο καθώς και στον πρώτο και δεύτερο όροφο.



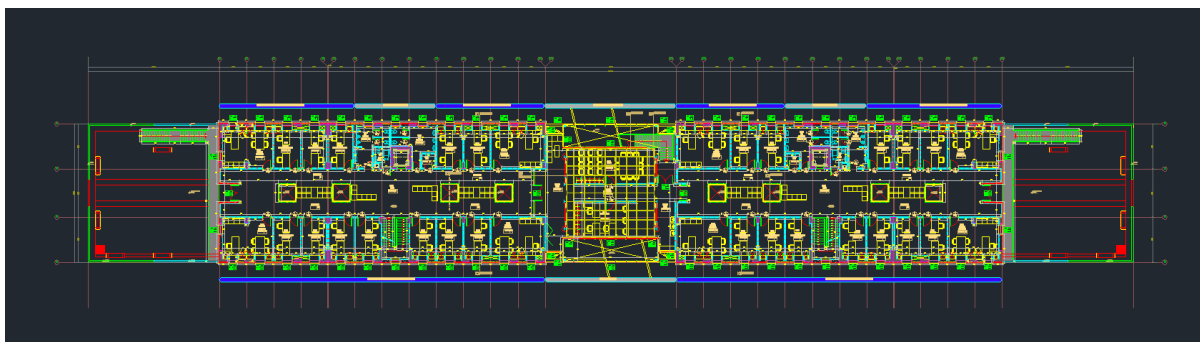
Εικόνα 3.3: Ανατολική και δυτική όψη κτιρίου K1

Το ισόγειο περιλαμβάνει δεκατέσσερα εργαστήρια, τρία γραφεία, δύο μηχανολογικούς χώρους και τουαλέτες. Ο πρώτος όροφος περιλαμβάνει δεκαεπτά γραφεία, την αίθουσα συνεδριάσεων, δύο μηχανολογικούς χώρους, τουαλέτες κι ένα δωμάτιο που χρησιμοποιείται ως κουζίνα. Τέλος, ο δεύτερος όροφος περιλαμβάνει μηχανολογικό εξοπλισμό του κτιρίου.



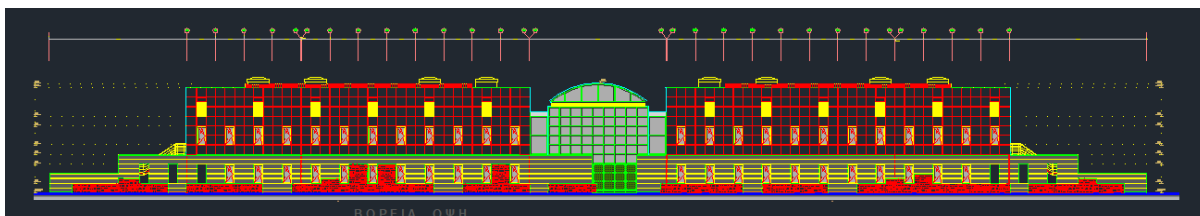
Εικόνα 3.4: Κάτοψη ισόγειου κτιρίου K1

Ο πρώτος όροφος και το ισόγειο περιλαμβάνουν 60 και 44 παράθυρα αντίστοιχα, διαστάσεων (μήκος x ύψος) 1,0 m x 2,0 m. Ο δεύτερος όροφος διαθέτει ανοίγματα διαστάσεων (μήκος x ύψος) 1,0 m x 1,5 m με εξωτερικές οριζόντιες περσίδες. Ο χώρος του αίθριου αποτελείται από υαλοπίνακες από το ύψος του πρώτου ορόφου και πάνω, καθώς και γυάλινη οροφή.



Εικόνα 3.5: Κάτοψη πρώτου ορόφου κτιρίου K1

Οι εξωτερικοί τοίχοι του πρώτου και του δεύτερου ορόφου αποτελούνται, από μέσα προς τα έξω, από γυψοσανίδα πάχους 12 mm, μόνωση πάχους 5cm (υαλοβάμβακας), γυψοσανίδα πάχους 12 mm και τσιμεντοσανίδα πάχους 12 mm. Οι εξωτερικοί τοίχοι του ισόγειου είναι παρόμοιοι με διαφορά τη χρήση τοιχίων σκυροδέματος, αντί για τις τσιμεντοσανίδες για εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου. Τα εσωτερικά δάπεδα αποτελούνται από μάρμαρο πάχους 25mm, σκυρόδεμα 15 cm και γύψινες πλάκες 19 mm, ενώ οι εσωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από δύο στρώσεις γυψοσανίδας πάχους 18mm διαχωρισμένες από αέρα. Τέλος, η οροφή του δεύτερου ορόφου, που βρίσκεται ο μη θερμαινόμενος χώρος αποτελείται από ασφαλτόπανο πάχους 10 mm και 2 στρώσεις γυψοσανίδων πάχους 12 mm, διαχωρισμένες από μόνωση πάχους 10 cm.



Εικόνα 3.6: Πρόσοψη κτιρίου K1



### 3.4 Σύστημα θέρμανσης ψύξης και αερισμού (HVAC)

Για τη θέρμανση, ψύξη και αερισμό των χώρων είναι εγκατεστημένο σύστημα HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Η ροή αέρα ελέγχεται με θερμοστάτες σε κάθε χώρο ρυθμισμένους να λειτουργούν με πρόγραμμα, συγκεκριμένες ώρες την ημέρα και μέρες τον χρόνο για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα, όποτε χρειάζεται. Οι επιθυμητές θερμοκρασίες που έχουν οριστεί στον θερμοστάτη είναι 23°C για χειμώνα και 25°C για καλοκαίρι. Ο κλιματισμένος αέρας παρέχεται από μονάδες ψυκτικού υγρού μεταβλητού όγκου. Το ψυκτικό υγρό παρέχεται από 15 εξωτερικές μονάδες που είναι εγκατεστημένες στον δεύτερο όροφο του κτιρίου.

### 3.5 Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής

Η περιοχή των Χανίων αποτελεί μια περιοχή με ήπιο μεσογειακό κλίμα κι έντονη ηλιοφάνεια, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Η μέση ετήσια ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παίρνει τιμές κοντά στις 1500 kWh/m<sup>2</sup>, ενώ η μέση μηνιαία 130 kWh/m<sup>2</sup>. Η υγρασία κυμαίνεται από 40% με 80% τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ τους χειμερινούς από 50% μέχρι 90%. Παρακάτω αναγράφονται τα μετεωρολογικά δεδομένα για την πόλη των Χανίων για το έτος 2010 (Πίνακας 3.1):

Μήνας	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Βροχόπτωση (mm)	Κατεύθυνση Ανέμου	Ταχύτητα Ανέμου (km/h)
ΙΑΝ	11.0	73.4	129.5	W	7.8
ΦΕΒ	11.0	71.3	104.0	W	8.3
ΜΑΡ	12.7	69.9	76.0	W	8.1
ΑΠΡ	15.9	64.7	31.5	W	7.8
ΜΑΪ	20.2	58.3	13.5	W	7.0
ΙΟΥΝ	24.7	50.5	3.4	W	7.3
ΙΟΥΛ	26.7	50.2	1.0	NW	6.9
ΑΥΓ	26.3	54.3	1.4	NW	6.4
ΣΕΠ	23.2	61.7	15.4	W	6.0
ΟΚΤ	19.4	68.5	67.7	N	6.1
ΝΟΕ	15.8	72.2	77.0	W	6.2
ΔΕΚ	12.7	73.3	101.9	W	7.3

Πίνακας 3.1: Μετεωρολογικά δεδομένα για την πόλη των Χανίων για το έτος 2010

# Ανάλυση Μοντέλου

## 4.1 Open Studio, Energy Plus, Sketch Up και εφαρμογές

Το Open Studio είναι μία δωρεάν εφαρμογή που χρησιμοποιείται συχνά για μοντελοποίηση κι ενεργειακή ανάλυση κτιρίων. Σε συνδυασμό με το Sketch Up, μία εφαρμογή που επιτρέπει την κατασκευή του κελύφους και των δομικών κατασκευών του κτιρίου, οι μηχανικοί μπορούν να βλέπουν και να επεξεργάζονται μοντέλα 3D. Το Open Studio αποτελεί μια διεπαφή (interface) εύκολη και κατανοητή για τους χρήστες με βάση το Energy Plus, το οποίο αποτελεί τη βασική εφαρμογή προσομοίωσης πάνω στην οποία στηρίζεται το Open Studio.

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε χρήση μόνο του Open Studio.

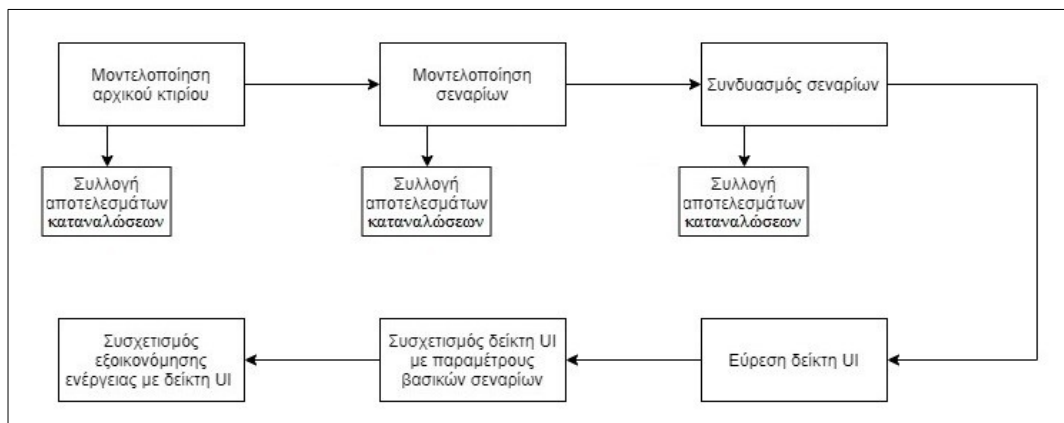
## 4.2 Μεθοδολογία

Πρέπει να αναφερθεί ότι το αρχικό αρχείο Open Studio που χρησιμοποιήθηκε ως βάση για τη μοντελοποίηση της βάσης του κτιρίου δόθηκε έτοιμο. Ωστόσο, πραγματοποιήθηκαν αλλαγές, οι οποίες ήταν απαραίτητες για τη σωστή και ορθή λειτουργία του. Τέτοιες αλλαγές αφορούν τα χρονοδιαγράμματα των δραστηριοτήτων και λειτουργιών εντός του κτιρίου, τα υλικά κατασκευής, τα φορτία συσκευών και ανθρώπων και τις ρυθμίσεις λειτουργίας του συστήματος ψύξης, θέρμανσης και αερισμού.

Η μεθοδολογία και τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

- Μοντελοποίηση κτιρίου K1 (βασικό σενάριο)
- Μοντελοποίηση αρχικών σεναρίων με βάση το αρχικό μοντέλο
- Συνδυασμός (μοντελοποίηση) σεναρίων σε ζευγάρια των δύο
- Εύρεση δείκτη UI κάθε δυνατού συνδυασμού σεναρίων
- Σύγκριση δείκτη UI με μεταβαλλόμενες παραμέτρους αρχικού σεναρίου
- Συσχετισμός εξοικονόμησης ενέργειας και δείκτη UI

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν πιο αναλυτικά:

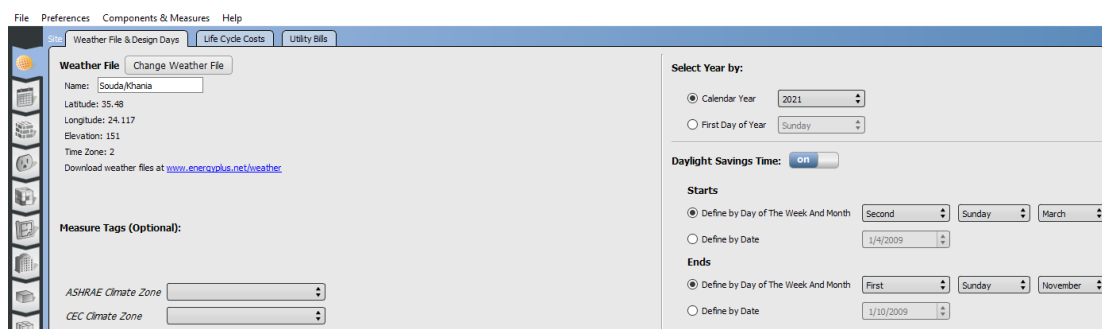


Διάγραμμα 4.1: Βήματα μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε



### 4.3 Ορισμός καιρικών συνθηκών

Για τη σωστή μοντελοποίηση του κτιρίου και λήψη σωστών αποτελεσμάτων απαιτείται η επιλογή κατάλληλου αρχείου καιρού που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο. Τα αρχεία καιρού περιέχουν τιμές μετεωρολογικών δεδομένων μίας συγκεκριμένης περιοχής για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, την επιφανειακή πίεση, τη βροχόπτωση και τις διάφορες μορφές της ακτινοβολίας. Το αρχείο καιρού που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει τις ωριαίες μέσες τιμές των παραμέτρων αυτών για χρονικό διάστημα ενός χρόνου (Typical Meteorological Year) που έχουν προκύψει από συλλογή δεδομένων μιας εννιαετίας (2005 – 2014) με σκοπό τη χρήση πιο αξιόπιστων δεδομένων. Αντίστοιχα αρχεία καιρού βρίσκονται στην ιστοσελίδα του EnergyPlus και στην επίσημη ιστοσελίδα της ΕΕ (europa.eu). Παρακάτω παρουσιάζεται η καρτέλα Site για τη συγκεκριμένη εργασία (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Καρτέλα εισαγωγής τοποθεσίας, χρονολογίας και αρχείου καιρού

### 4.4 Ορισμός χρονοδιαγραμμάτων (Schedules και Schedule Sets)

Η καρτέλα Schedules χρησιμοποιείται για την εισαγωγή πληροφοριών που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας μέσα στο κτίριο κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου. Η εισαγωγή αυτών των καταναλώσεων γίνεται με τη χρήση εικοσιτετράωρων χρονοδιαγραμμάτων. Οι καταναλώσεις του κάθε χώρου του κτιρίου συνδέονται με:

- τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στον συγκεκριμένο χώρο, το είδος των δραστηριοτήτων που εκπονούνται, καθώς και τα ωράρια λειτουργίας και υποδοχής κόσμου του κτιρίου.
- το είδος των ηλεκτρικών συσκευών με τις οποίες εξοπλίζεται ο κάθε χώρος και τα ωράρια λειτουργίας των συγκεκριμένων ηλεκτρικών συσκευών.
- το είδος του φωτισμού και τις ώρες χρήσης του.
- την διείσδυση αέρα (infiltration) του κτιρίου.

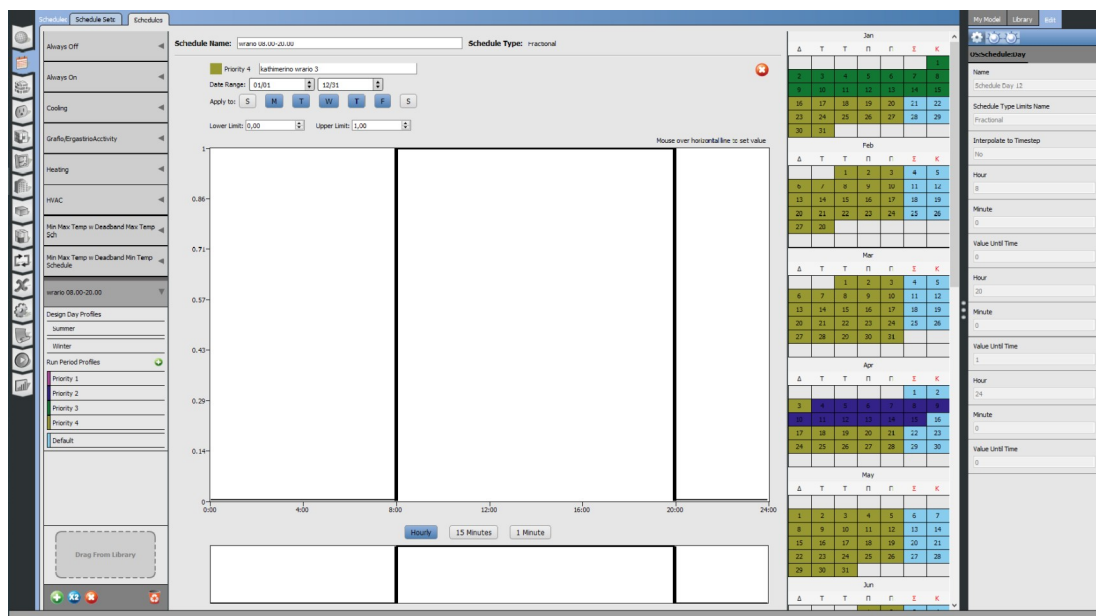
Για να εφαρμοστούν τα χρονοδιαγράμματα αυτά χρειάστηκε να χωριστεί το κτίριο σε θερμικές ζώνες. Οι θερμικές ζώνες αποτελούν χώρους με παρόμοια χρήση, προφίλ λειτουργίας και ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Μια θερμική ζώνη μπορεί να αποτελείται είτε από ένα με-

μονωμένο χώρο, είτε από μια ενότητα χώρων που λειτουργούν υπό τις ίδιες συνθήκες εσωτερικού κλίματος. Κάθε ζώνη μπορεί να συνδέεται με τις γειτονικές της ζώνες μέσω τοίχων ή δομικών στοιχείων.

Το ισόγειο και ο πρώτος όροφος, οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν τα γραφεία, τα εργαστήρια, τους κοινόχρηστους χώρους και τον χώρο του θόλου, περιέχουν θερμικές ζώνες οι οποίες μοιράζονται κοινά προγράμματα (schedules). Αντίστοιχα, ο δεύτερος όροφος αποτελεί τον μηχανόροφο του κτιρίου και δε χρησιμοποιείται τόσο, επομένως οι θερμικές ζώνες που συμπεριλαμβάνει ακολουθούν διαφορετικά προγράμματα.

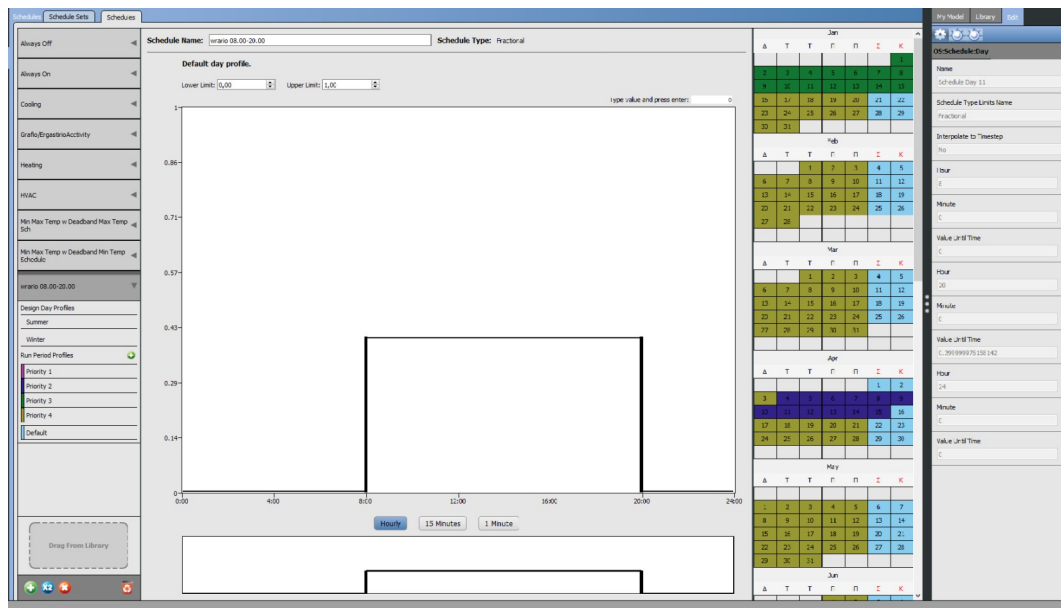
#### 4.4.1 Αριθμός Ατόμων (Number of People)

Αρχικά έγινε κατασκευή χρονοδιαγράμματος για τον αριθμό ατόμων μέσα στο κτίριο. Θεωρήθηκε ότι από Δευτέρα έως και Παρασκευή μεταξύ 8:00 και 20:00 ο αριθμός των ατόμων μέσα στο κτίριο παραμένει σταθερός στο 100%. Το 100% αντιστοιχεί σε ένα άτομο και ανάλογα με τον χώρο γίνεται χρήση αντίστοιχου πολλαπλασιαστή. Τα εργαστήρια έχουν πολλαπλασιαστή ίσο με 3 και τα γραφεία με 1,5. Αυτό σημαίνει ότι τις καθημερινές από τις 8:00 μέχρι τις 20:00 σε κάθε εργαστήριο βρίσκονται 3 άτομα και αντίστοιχα σε κάθε γραφείο 1,5.



Εικόνα 4.2: Χρονοδιάγραμμα αριθμού ατόμων στο κτίριο καθημερινά

Στο παραπάνω χρονοδιάγραμμα (Εικόνα 4.2) απεικονίζεται το ποσοστό του αριθμού ατόμων μέσα στο κτίριο σε συνάρτηση με τον χρόνο. Από τις 20:00 μέχρι τις 8:00 το ποσοστό παίρνει την τιμή μηδέν καθώς το κτίριο είναι κλειστό, ενώ αντίστοιχα από τις 8:00 μέχρι τις 20:00 παίρνει την τιμή 100%. Τα Σαββατοκύριακα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.3), το κτίριο λειτουργεί τις ίδιες ώρες, ενώ θεωρήθηκε ότι το ποσοστό του αριθμού ατόμων εντός του κτιρίου, κατά την διάρκεια 8:00 έως 20:00, είναι σταθερό και ίσο με 40% αντί για το αντίστοιχο 100% τις καθημερινές.

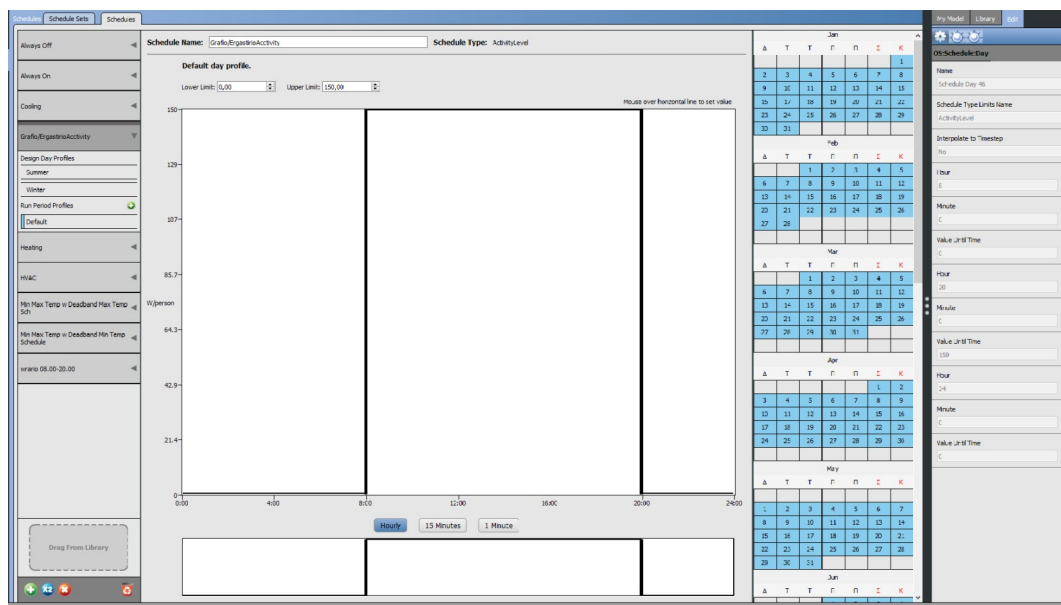


Εικόνα 4.3: Χρονοδιάγραμμα αριθμού ατόμων στο κτίριο τα Σαββατοκύριακα

Ο συνδυασμός αυτών των δύο χρονοδιαγραμμάτων αποτελεί το μέσο εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα με βάση το οποίο λειτουργεί το κτίριο όλο τον χρόνο, με εξαίρεση τις διακοπές του Πάσχα (4 - 15 Απριλίου), των Χριστουγέννων (1 - 15 Ιανουαρίου) και του καλοκαιριού (14 - 30 Αυγούστου), που το κτίριο παραμένει κλειστό.

#### 4.4.2 Επίπεδο δραστηριοτήτων (Activity level)

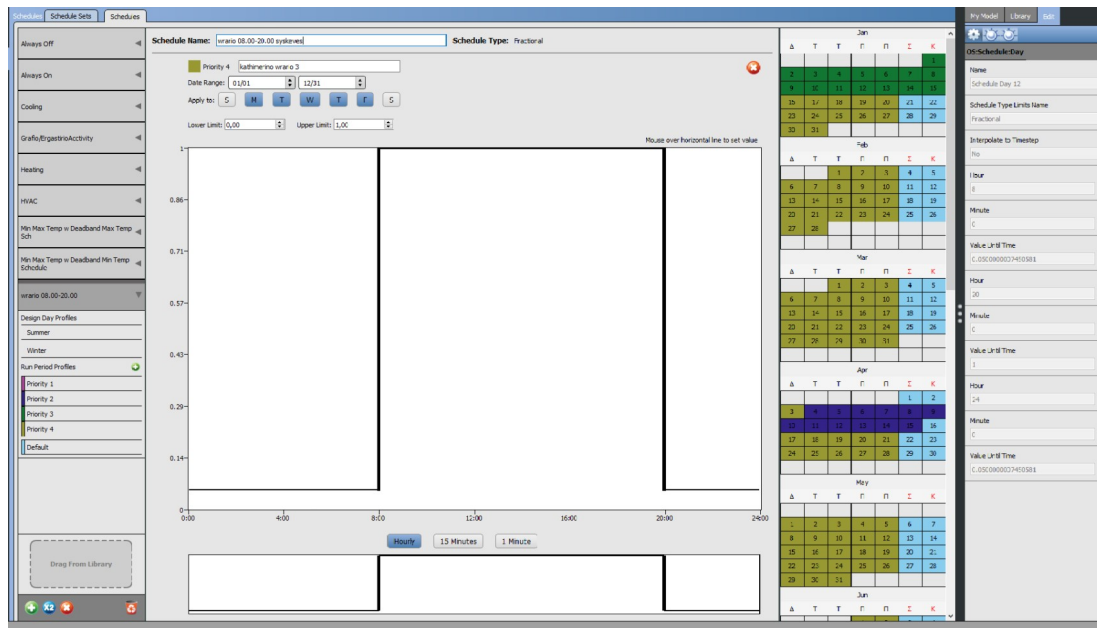
Στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα γίνεται αναφορά της θερμικής ενέργειας που παράγεται από τα άτομα που βρίσκονται μέσα στο κτίριο. Θεωρήθηκε μέσο επίπεδο δραστηριοτήτων 120 W/άτομο, το οποίο αντιστοιχεί σε δραστηριότητες όπως παρακολούθηση διαλέξεων και εργασίας σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.4), το επίπεδο δραστηριοτήτων συμπίπτει με τα ωράρια λειτουργίας του κτιρίου.



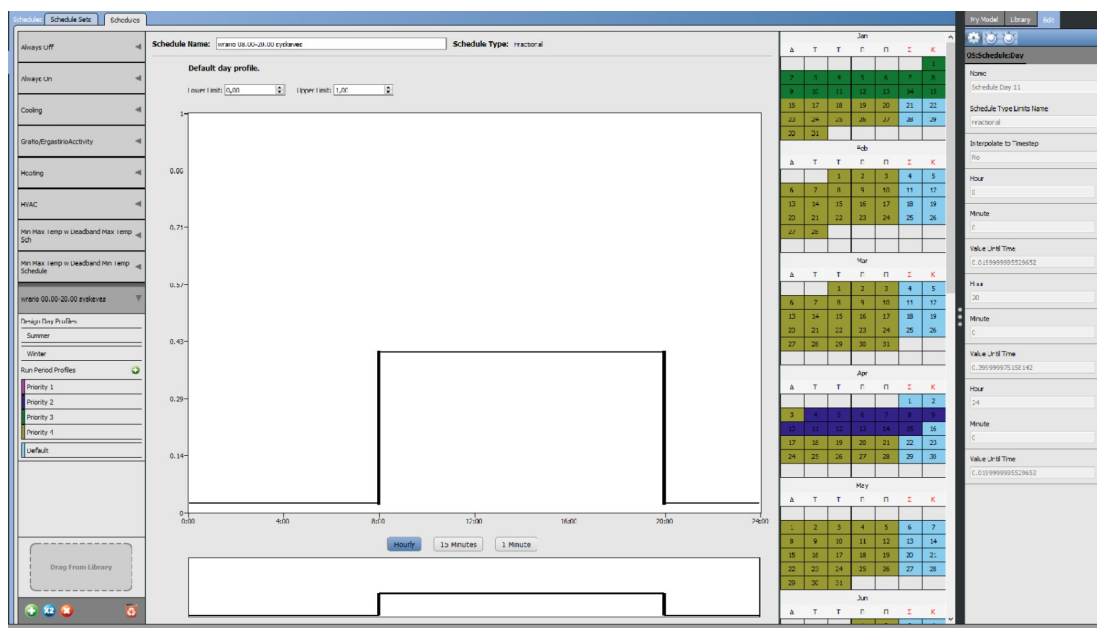
Εικόνα 4.4: Χρονοδιάγραμμα επιπέδου δραστηριοτήτων

### 4.4.3 Ηλεκτρικές Συσκευές (Electrical Equipment)

Στη συνέχεια έγινε καταχώρηση του ποσοστού κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τις ηλεκτρικές συσκευές. Δεδομένου του ό,τι ο αριθμός ατόμων παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια των ωρών λειτουργίας του κτιρίου, καθώς και ό,τι η πυκνότητα των εργαστηριακών διαλέξεων παραμένει σταθερή, θεωρήθηκε σωστό να εισαχθεί μια σταθερή μέση κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου. Επομένως, τα διαγράμματα λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών συμπίπτουν με τα χρονοδιαγράμματα που δηλώνουν το ποσοστό των ατόμων μέσα στο κτίριο, με εξαίρεση τις νυχτερινές ώρες, όπου ένα μέρος των ηλεκτρικών συσκευών παραμένει ενεργό.



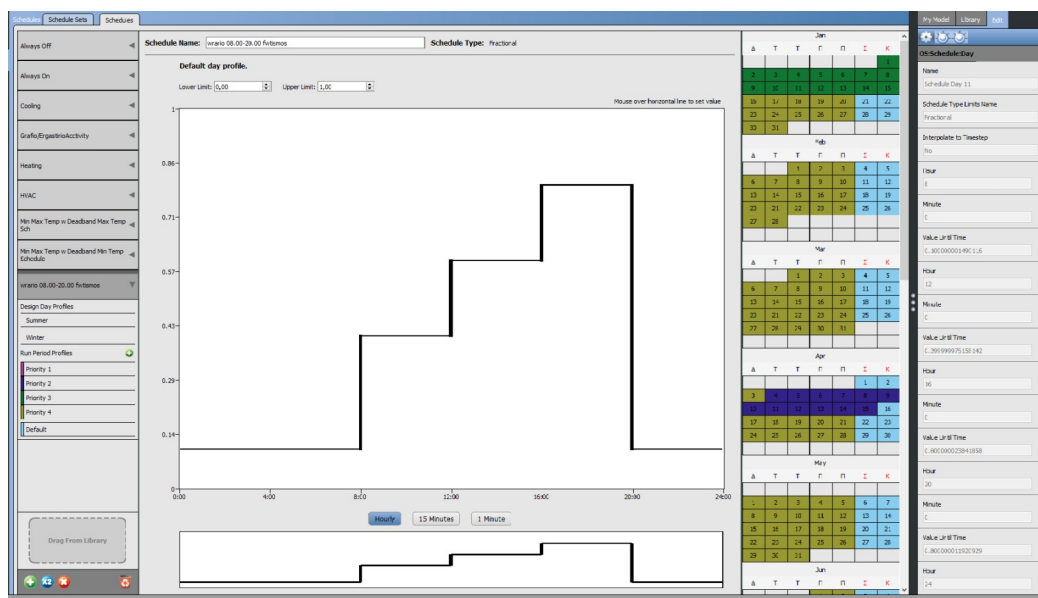
Εικόνα 4.5: Χρονοδιάγραμμα ηλεκτρικών συσκευών τις καθημερινές



Εικόνα 4.6: Χρονοδιάγραμμα ηλεκτρικών συσκευών τα Σαββατοκύριακα

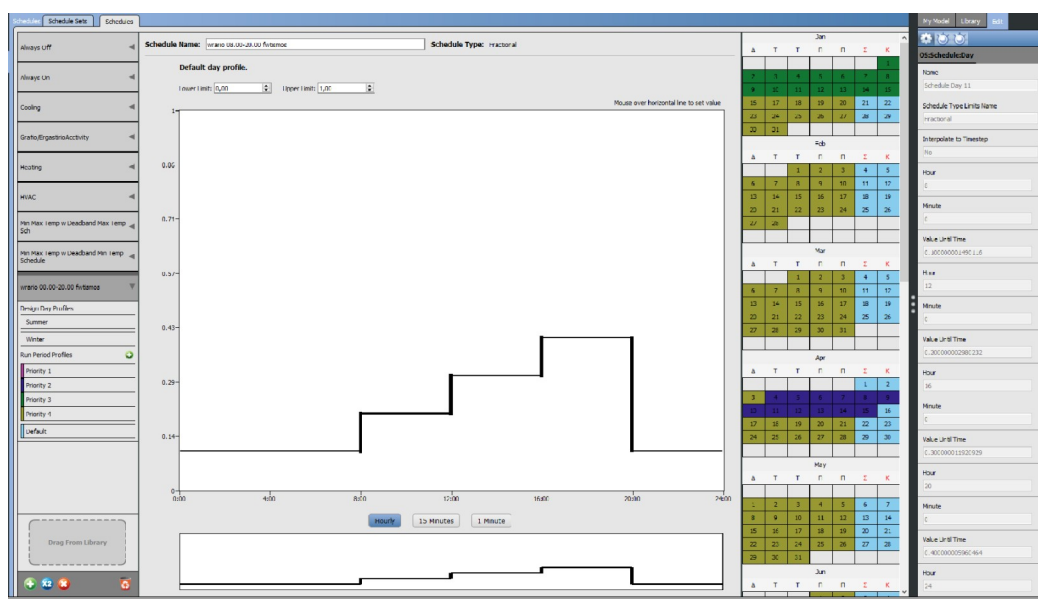
#### 4.4.4 Φωτισμός (Lighting)

Η δημιουργία του χρονοδιαγράμματος του φωτισμού κατασκευάστηκε με δεδομένο ότι ένα μέρος του φωτισμού χρησιμοποιείται συνεχώς. Θεωρήθηκε ότι ένα ποσοστό 10% του φωτισμού χρησιμοποιείται εκτός ωρών λειτουργίας του κτιρίου. Κατά τη διάρκεια 8:00-12:00 η χρήση φωτισμού ανέρχεται στο 40%, κατά τη διάρκεια 12:00-16:00 ανέρχεται στο 60% και τέλος 16:00-20:00 στο 80% του συνολικού φωτισμού.



Εικόνα 4.7: Χρονοδιάγραμμα φωτισμού τις καθημερινές

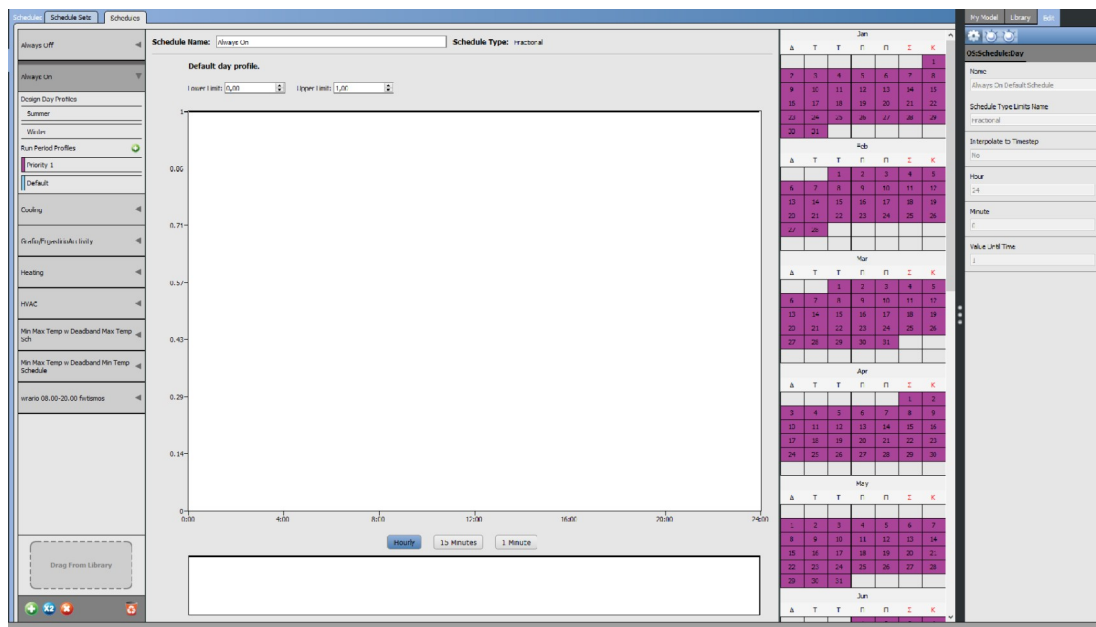
Αντίστοιχα, τα Σαββατοκύριακα έχουμε χρήση 10% του φωτισμού όταν το κτίριο βρίσκεται εκτός λειτουργίας, όπως και τις καθημερινές. Για το χρονικό διάστημα 8:00-12:00 θεωρήθηκε χρήση 20%. Κατά τη διάρκεια 12:00-16:00 η χρήση ανέρχεται στο 30% και τέλος για το χρονικό διάστημα 16:00-20:00 η χρήση φωτισμού κορυφώνεται στο 40%.



Εικόνα 4.8: Χρονοδιάγραμμα φωτισμού τα Σαββατοκύριακα

#### 4.4.5 Διαρροή Αέρα (Infiltration)

Η διείσδυση αέρα θεωρήθηκε ότι είναι σταθερή στο 100% της τιμής που έχει οριστεί καθ' όλη την διάρκεια του εικοσιτετραώρου και, συνεπώς, για όλο τον χρόνο όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.9). Η τιμή της ορίστηκε παρακάτω, στην καρτέλα Space Types, ανάλογα με το είδος του χώρου.



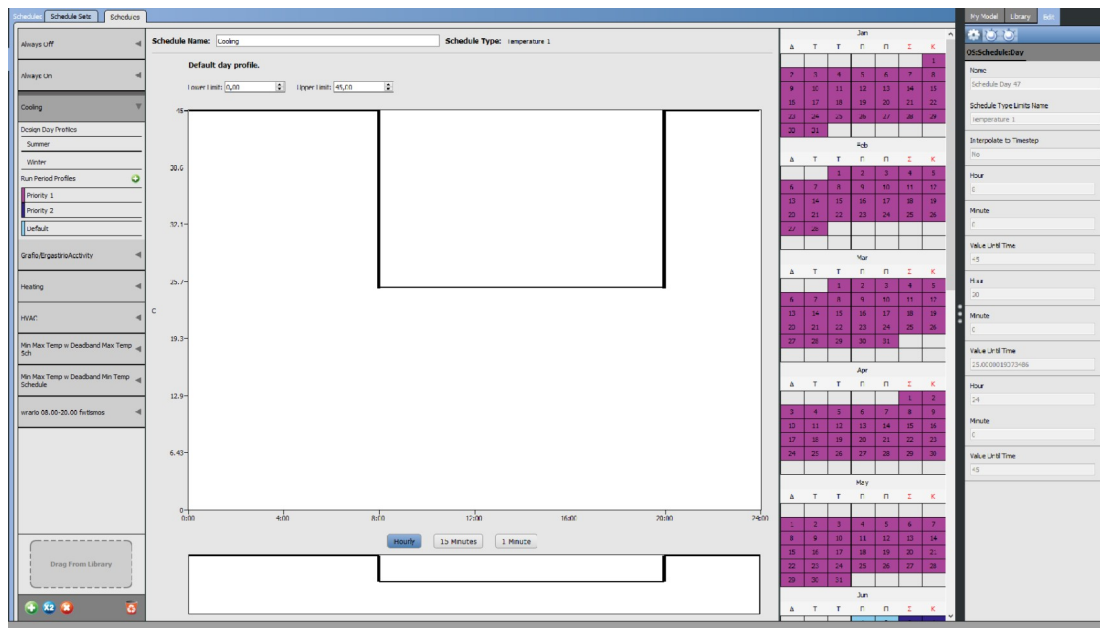
Εικόνα 4.9: Χρονοδιάγραμμα αερισμού

Η διείσδυση αέρα σε ένα κτίριο μπορεί να οφείλεται είτε σε κατασκευαστικά σφάλματα, είτε σε φθορές στα ανοίγματα του κτιρίου.

#### 4.4.6 Ψύξη (Cooling)

Για να οριστεί πότε ψύχεται το κτίριο χρησιμοποιήθηκε χρονοδιάγραμμα τύπου Temperature, το οποίο επιτρέπει τη λειτουργία του συστήματος HVAC έως ότου επιτευχθεί η συγκεκριμένη θερμοκρασία (set point) που ορίστηκε. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το καλοκαίρι, θεωρήθηκε επιθυμητή θερμοκρασία ίση με 25°C. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι το σύστημα ψύξης ορίστηκε να λειτουργεί μόνο από Ιούνιο μέχρι Σεπτέμβριο, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για ψύξη τον υπόλοιπο χρόνο. Παρακάτω φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα (Εικόνα 4.10):

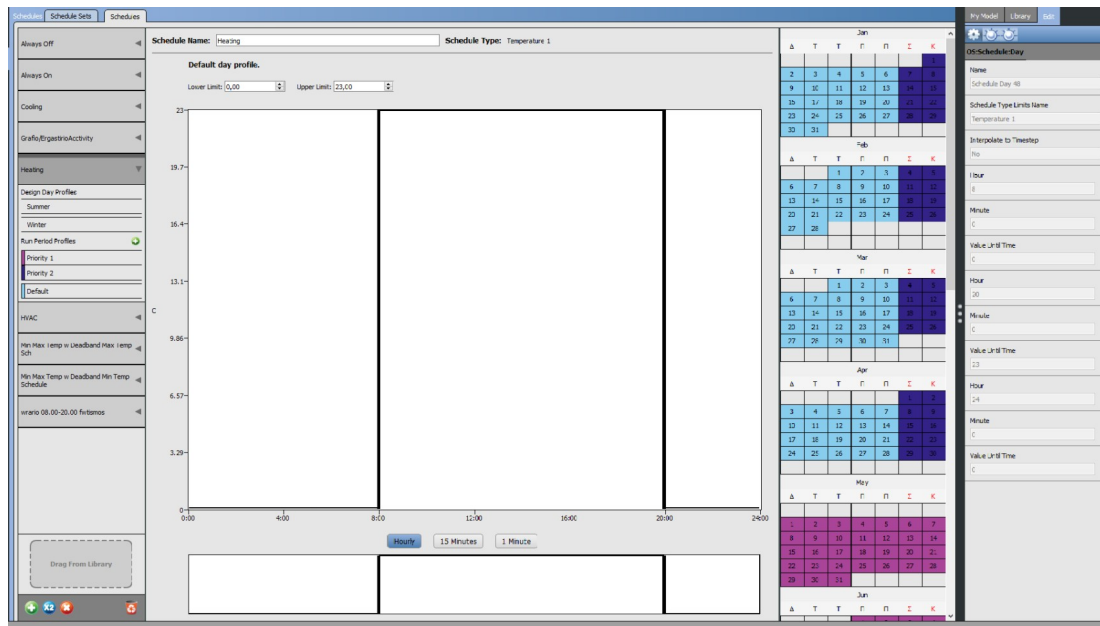




Εικόνα 4.10: Χρονοδιάγραμμα ψύξης

#### 4.4.7 Θέρμανση (Heating)

Αντίστοιχα, με το χρονοδιάγραμμα ψύξης το σύστημα θέρμανσης ορίστηκε να λειτουργεί μέχρι να επιτευχθεί θερμοκρασία ίση με 23°C και μόνο για τους μήνες Νοέμβριο με Απρίλιο, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.11):

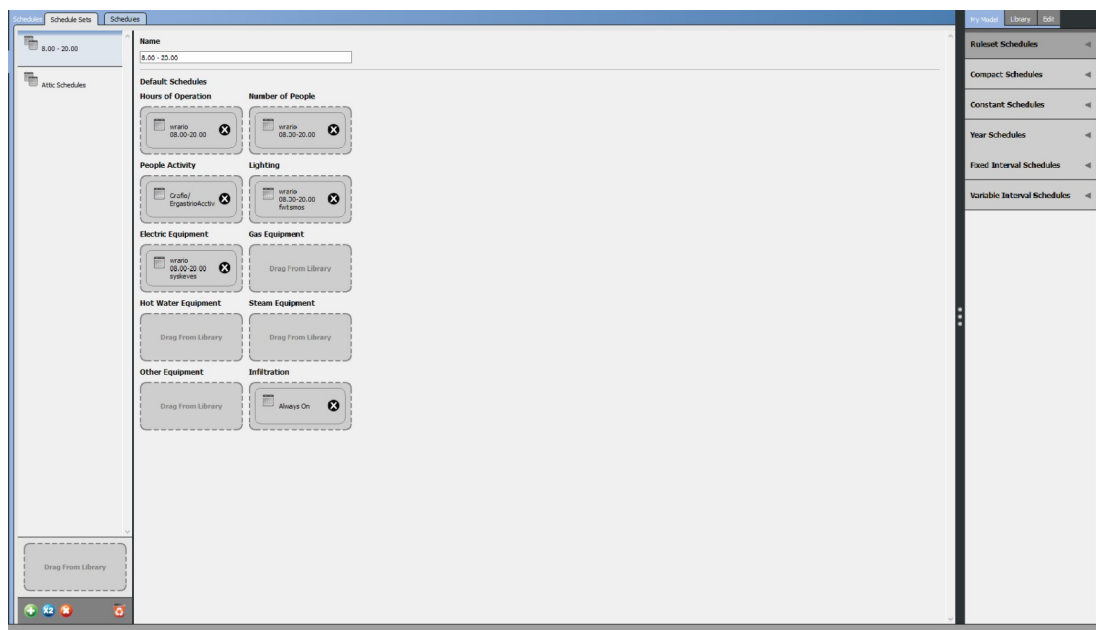


Εικόνα 4.11: Χρονοδιάγραμμα θέρμανσης

#### 4.4.8 Εξαερισμός (Ventilation)

Τέλος, το χρονοδιάγραμμα αυτό απευθύνεται στον ανεμιστήρα τροφοδοσίας του συστήματος, ο οποίος ορίστηκε να λειτουργεί όλο τον χρόνο για να υπάρχει συνεχής εξαερισμός και ανανέωση του αέρα.

Τελικά, για να εφαρμοστούν όλα τα χρονοδιαγράμματα έγινε καταχώρηση τους στην υποκαρτέλα Schedule Sets της καρτέλας Schedules, στα πλαίσια που αντιστοιχεί το κάθε πρόγραμμα. Παρακάτω, φαίνονται τα schedules που καταχωρήθηκαν στο λειτουργικό κομμάτι του κτιρίου, δηλαδή στο ισόγειο και τον πρώτο όροφο (Εικόνα 4.12):

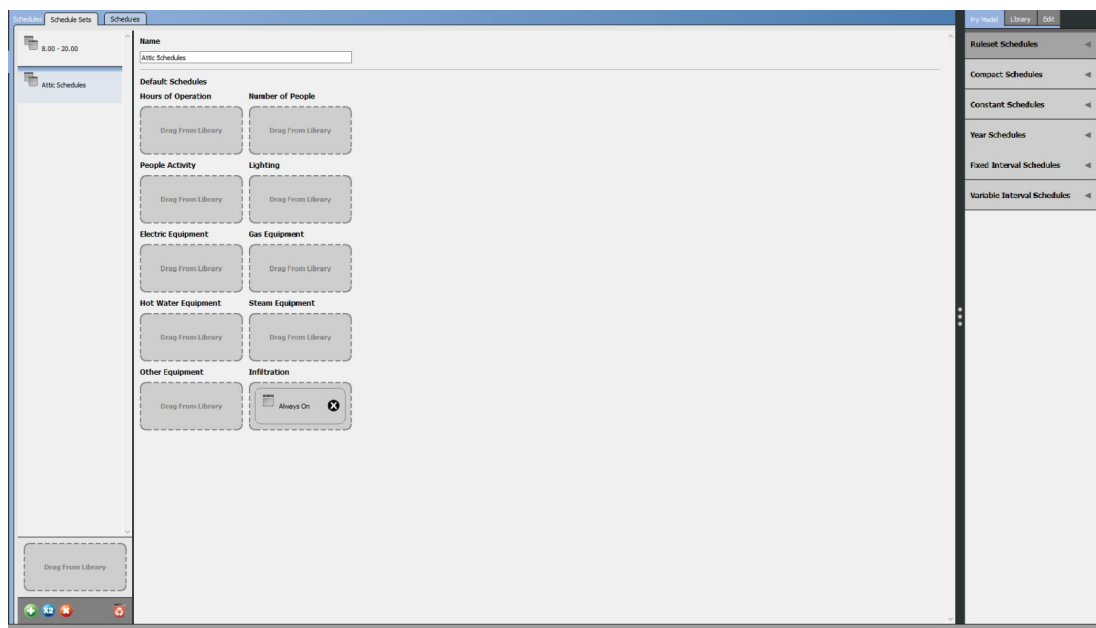


Εικόνα 4.12: Εισαγωγή χρονοδιαγραμμάτων για τον πρώτο και δεύτερο όροφο

Τα schedules που καταχωρήθηκαν στο ισόγειο και τον πρώτο όροφο αποτελούν schedules ώρας λειτουργίας, αριθμού ατόμων, δραστηριότητας ατόμων, φωτισμού, ηλεκτρικών συσκευών και αερισμού, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4.12).

Αντίστοιχα, τα schedules για τον δεύτερο όροφο αποτελούν μόνο αυτά της διαρροής αέρα, καθώς δεν είναι θερμαινόμενος και δεν έχει την κίνηση των άλλων ορόφων, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.13):





Εικόνα 4.13: Εισαγωγή χρονοδιαγραμμάτων για τον δεύτερο όροφο

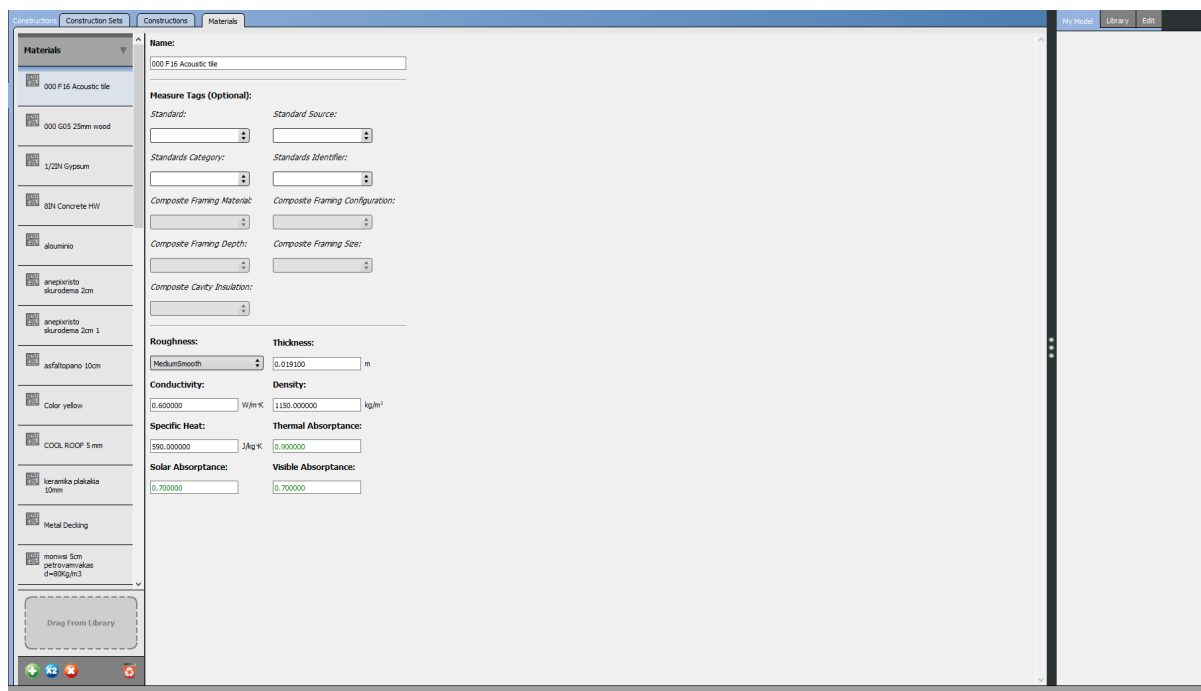
## 4.5 Ορισμός Κατασκευαστικών Υλικών και Κατασκευών

Στη συνέχεια έγινε δημιουργία και προσθήκη υλικών στο μοντέλο, μοντελοποίηση της κατασκευής του κτιρίου και αντιστοίχιση των δομικών στοιχείων στον αντίστοιχο χώρο. Οι ενέργειες αυτές πραγματοποιήθηκαν στην καρτέλα *Constructions*, η οποία περιλαμβάνει τρεις υποκαρτέλες. Στην υποκαρτέλα *Materials* γίνεται εισαγωγή των φυσικών χαρακτηριστικών, καθώς και του πάχους του υλικού που επιθυμούμε να εισάγουμε στη βιβλιοθήκη του μοντέλου μας. Στη συνέχεια, στην υποκαρτέλα *Constructions*, τοποθετούνται τα υλικά στην κατασκευή του κτιρίου (τοίχοι, οροφές, πατώματα, παράθυρα και πόρτες) και τέλος, στην υποκαρτέλα *Construction Sets* γίνεται η αντιστοίχιση των κατασκευών.

### 4.5.1 Υλικά (Materials)

Αρχικά, προσδιορίστηκαν και καταχωρήθηκαν τα υλικά από τα οποία αποτελείται το κτίριο. Στη συγκεκριμένη καρτέλα έγινε εισαγωγή της πυκνότητας, του πάχους, της θερμικής αγωγιμότητας, καθώς και της ειδικής θερμοχωρητικότητας του κάθε υλικού και επιπλέον, της θερμοπερατότητας (*U Value*) και του συντελεστή θερμικών ηλιακών κερδών (*Solar Heat Gain Coefficient*) των υαλοπινάκων. Τα χαρακτηριστικά αυτά αντλήθηκαν από την Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701 (T.O.T.E.E. 20701-1/2010) στην οποία παρουσιάζονται προδιαγραφές παραμέτρων για την υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.14) φαίνονται τα πλαίσια εισαγωγής των χαρακτηριστικών των υλικών από τα οποία αποτελείται το κτίριο:



Εικόνα 4.14: Εισαγωγή χαρακτηριστικών των υλικών

Τα υλικά, καθώς τα χαρακτηριστικά τους, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση των δομικών κατασκευών του κτιρίου παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.1 & Πίνακας 4.2):

Υλικό	Πάχος (Thickness) m	Πυκνότητα (Density) kg/m <sup>3</sup>	Αγωγιμότητα (Conductivity) W/m*K	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (Specific Heat) J/kg*K
Αλουμίνιο	0.3	2800	160	880
Διάτρητες Πλίνθοι	0.1	600	0.22	1000
Σκυρόδεμα Υψηλής Πυκνότητας	0.15	2400	2	1000
Μάρμαρο	0.025	2800	3.5	1000
Γύψινες Πλάκες	0.019	1150	0.6	590
Υαλοβάμβακας	0.05	100	0.041	840
Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
Σκυρόδεμα	0.2	600	2	1000
Τσιμεντοσανίδα	0.03	1200	0.35	1000

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά υλικών που αποτελείται το υπό μελέτη κτίριο

Υλικό	Πάχος (Thickness) m	Θερμική Διαπερατότητα (Thermal Transmittance)	Διαπερατότητα Ορατού Φωτός (Visible Transmittance)	Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)
Υαλοπίνακας	0.003	5,84	0.60	0,70

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά υαλοπινάκων που αποτελείται το υπό μελέτη κτίριο

#### 4.5.2 Κατασκευές (Constructions)

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν οι τοίχοι, οι οροφές, τα πατώματα, τα παράθυρα και οι πόρτες με την βοήθεια των υλικών που εισάγαμε στην υποκαρτέλα Materials. Εισάγοντας τα υλικά από το εξωτερικό του κτιρίου προς το εσωτερικό προέκυψαν οι παρακάτω κατασκευές τοίχων, ταβανιών, δαπέδων και πορτών στον Πίνακα 4.3 και παραθύρων στον Πίνακα 4.4:

Κατασκευές	Υλικό	Πάχος (Thickness) m	Πυκνότητα (Density) kg/m <sup>3</sup>	Αγωγιμότητα (Conductivity) W/m*K	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (Specific Heat) J/kg*K
<b>Πάτωμα Ισογείου</b>	Διάτρητες Πλίνθοι	0.1	600	0.22	1000
	Σκυρόδεμα Υψηλής Πυκνότητας	0.15	2400	2	1000
	Υαλοβάμβακας	0.1	100	0.041	840
	Μάρμαρο	0.025	2800	3.5	1000
<b>Πάτωμα 1ου &amp; 2ου Ορόφου</b>	Γύψινες Πλάκες	0.019	1150	0.6	590
	Αέρας	Θερμική Αντίσταση: 0.18 m <sup>2</sup> K/W			
	Σκυρόδεμα Υψηλής Πυκνότητας	0.15	2400	2	1000
	Μάρμαρο	0.025	2800	3.5	1000
<b>Εξωτερικό Ταβάνι</b>	Τσιμεντοσανίδα	0.03	1200	0.35	1000
	Αέρας	Θερμική Αντίσταση: 0.18 m <sup>2</sup> K/W			
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
	Υαλοβάμβακας	0.1	100	0.041	840
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000

Πίνακας 4.3: Κατασκευή τοίχων, ταβανιών και δαπέδων

Συνέχεια Πίνακα 4.3:

Κατασκευές	Υλικό	Πάχος (Thickness) m	Πυκνότητα (Density) kg/m <sup>3</sup>	Αγωγιμότητα (Conductivity) W/m*K	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (Specific Heat) J/kg*K
<b>Εσωτερικό Ταβάνι</b>	Μάρμαρο	0.025	2800	3.5	1000
	Σκυρόδεμα Υψηλής Πυ- κνότητας	0.15	2400	2	1000
	Αέρας	Θερμική Αντίσταση: 0.18 m <sup>2</sup> K/W			
	Γύψινες Πλάκες	0.019	1150	0.6	590
<b>Εσωτερικός Τοίχος</b>	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
	Αέρας	Θερμική Αντίσταση: 0.18 m <sup>2</sup> K/W			
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
<b>Τοίχος Θόλου</b>	Ανεπίχριστο Σκυρόδεμα	0.02	2300	2.3	1000
<b>Εξωτερικός Τοίχος Ισο- γείου</b>	Σκυρόδεμα	0.2	600	2	1000
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
	Υαλοβάμβακας	0.05	100	0.041	840
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
<b>Εξωτερικός Τοίχος 1ου Ορόφου</b>	Τσιμεντοσανίδα	0.03	1200	0.35	1000
	Αέρας	Θερμική Αντίσταση: 0.18 m <sup>2</sup> K/W			
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
	Υαλοβάμβακας	0.05	100	0.041	840
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
<b>Εξωτερικός Τοίχος 2ου Ορόφου</b>	Τσιμεντοσανίδα	0.03	1200	0.35	1000
	Αέρας	Θερμική Αντίσταση: 0.18 m <sup>2</sup> K/W			
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000
	Υαλοβάμβακας	0.05	100	0.041	840
	Γυψοσανίδα	0.018	1150	0.42	1000

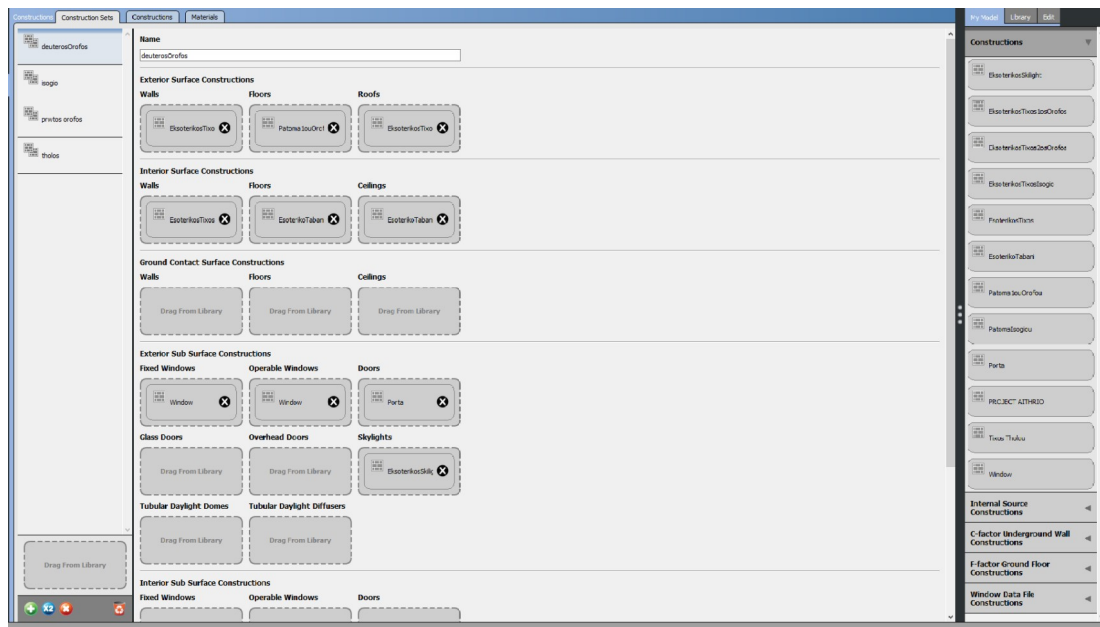
Πίνακας 4.3: Κατασκευή τοίχων, ταβανίων και δαπέδων

Κατασκευές	Υλικό	Πάχος (Thickness) [m]	Θερμική Διαπερατότητα (Thermal Transmittance) [W/m <sup>2</sup> K]	Διαπερατότητα Ορατού Φωτός (Visible Light Transmittance) [W/m <sup>2</sup> K]	Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) [%]
Παράθυρο	Υαλοπίνακας	0.003	5,84	0.60	0,70
	Αέρας	0.013			
	Υαλοπίνακας	0.003			

Πίνακας 4.4: Κατασκευή παραθύρων

#### 4.5.3 Ορισμός Κατασκευών (Construction Sets)

Τέλος, έγινε αντιστοίχιση των κατασκευών στα αντίστοιχα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Παρακάτω φαίνονται τα πλαίσια εισαγωγής των κατασκευών ανάλογα με τον κάθε χώρο του κτιρίου (Εικόνα 4.15):



Εικόνα 4.15: Εισαγωγή κατασκευών στην υποκαρτέλα Construction Sets

#### 4.6 Ορισμός Φορτίων

Στην καρτέλα Loads εισάγονται τα φορτία της θερμικής ενέργειας που παράγεται στο εσωτερικό του κτιρίου, λόγω του πληθυσμού στο κτίριο και των ηλεκτρικών καταναλώσεων των διαφόρων συσκευών. Τα φορτία αυτά αποτελούν τον αριθμό των ατόμων στο εσωτερικό του κτιρίου (People Definitions), την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω φωτισμού (Lights Definitions) και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των ηλεκτρικών συσκευών (Electric Equipment Definitions).

## People Definitions

Ορίστηκε φορτίο με αριθμό ατόμων ίσο με ένα άτομο. Αργότερα στην καρτέλα Space Types ορίζεται πολλαπλασιαστής του φορτίου ανάλογα με το είδος του χώρου.

## Lights Definitions

Η κατανάλωση των λαμπτήρων που χρησιμοποιήθηκαν για τον φωτισμό του κτιρίου θεωρήθηκε 40 Watt/λαμπτήρα.

## Electric Equipment Definitions

Οι ηλεκτρικές συσκευές χωρίστηκαν σε ηλεκτρικό εξοπλισμό γραφείου κι εργαστηρίου. Η κατανάλωση των γραφείων θεωρήθηκε ίση με 250 Watts, η οποία αντιστοιχεί σε κατανάλωση ενός υπολογιστή κι εκτυπωτή. Αντίστοιχα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των εργαστηρίων θεωρήθηκε ίση με 1200 Watts, από τα οποία 500 Watt αντιστοιχούν στην κατανάλωση του απαγωγού αερίων και τα υπόλοιπα 700 Watt σε γενικό εξοπλισμό εργαστηρίου.

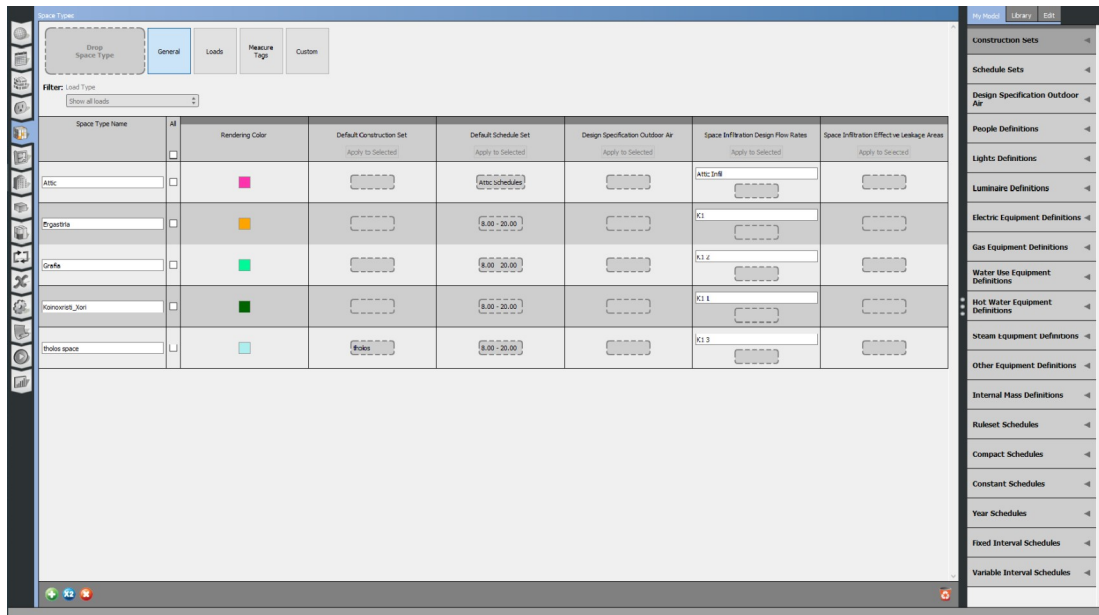
## 4.7 Ορισμός χώρων

Παρακάτω, στην καρτέλα Space Types, χωρίστηκαν οι χώροι του κτιρίου σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους κι έγινε αντιστοίχιση δεδομένων στους αντίστοιχους χώρους του κτιρίου. Το κτίριο μας χωρίστηκε στα γραφεία, τα εργαστήρια, τον χώρο του θόλου, τους κοινόχρηστους χώρους και τον δεύτερο όροφο. Τα δεδομένα που αντιστοιχήθηκαν σε κάθε χώρο αποτελούν:

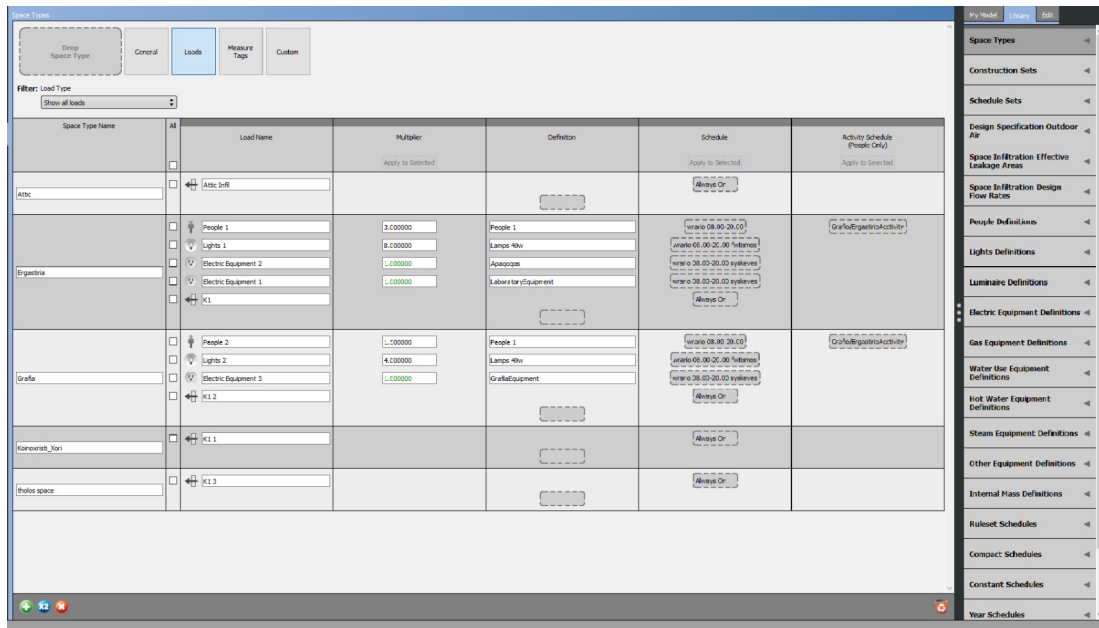
- τα χρονοδιαγράμματα των ωραρίων λειτουργίας των αιθουσών που δημιουργήθηκαν στην καρτέλα Schedules.
- τον αερισμό (infiltration) σε AirChanges/hour.
- τα φορτία που δημιουργήθηκαν στην καρτέλα Loads, καθώς και τα προγράμματα (schedules) τους.

Η διείσδυση αέρα (infiltration) που εισάγαμε αποτελεί την ανταλλαγή αέρα είτε από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του κτιρίου, είτε το ανάποδο. Θεωρήθηκε 3 AirChanges/hour για τον δεύτερο όροφο και 1 AirChanges/hour για τους υπόλοιπους χώρους του κτιρίου. Η διείσδυση αέρα του δεύτερου ορόφου υπολογίστηκε ότι είναι μεγαλύτερη λόγω του ό,τι ο χώρος αερίζεται φυσικά.

Επιπλέον, στην εισαγωγή των φορτίων συμπληρώθηκε πολλαπλασιαστής για να δοθεί συγκεκριμένος αριθμός ατόμων, ηλεκτρικών συσκευών και λαμπτήρων που αντιστοιχεί σε κάθε χώρο. Για τα εργαστήρια θεωρήθηκε αριθμός ατόμων ίσος με 3, λαμπτήρων με 12 και ηλεκτρικών συσκευών με 1 από το κάθε είδος. Αντίστοιχα, για τα γραφεία θεωρήθηκε πολλαπλασιαστής για τον αριθμό ατόμων ίσο με 1,5, για λάμπες ίσος με 4 και για συσκευές ίσος με 1. Παρακάτω φαίνονται οι κατηγορίες χώρων (Space Types) του κτιρίου, καθώς και τα πλάγια εισαγωγής όλων των δεδομένων που προαναφέρθηκαν (Εικόνα 4.16 & Εικόνα 4.17):



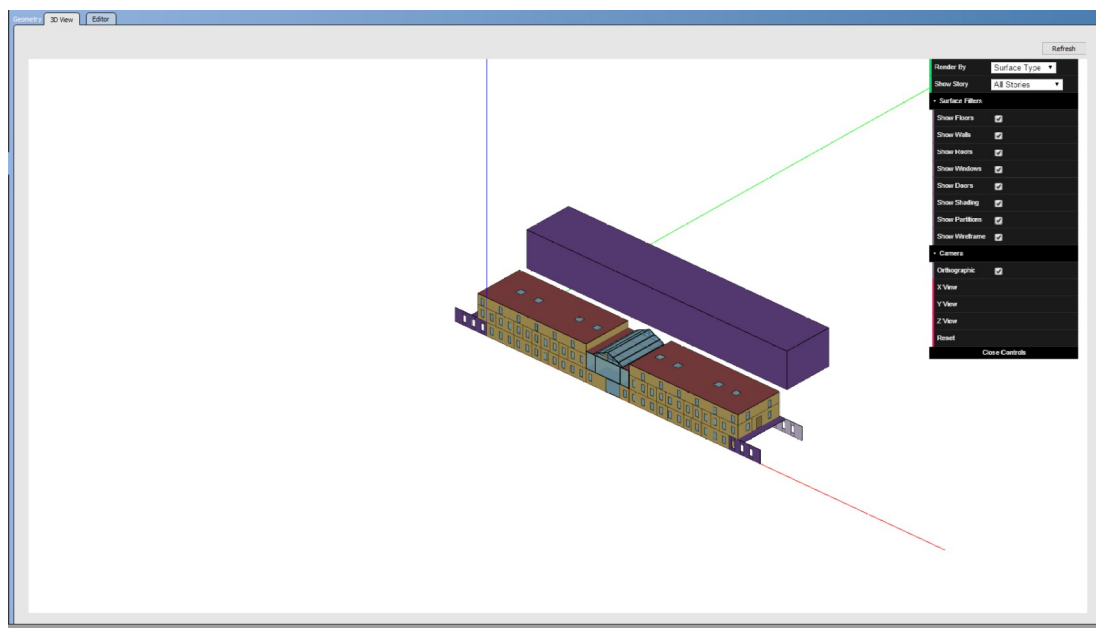
Εικόνα 4.16: Δημιουργία χώρων και εισαγωγή γενικών χαρακτηριστικών



Εικόνα 4.17: Εισαγωγή φορτίων σε κάθε χώρο

## 4.8 Ορισμός κατασκευών, θερμικών ζωνών και σκίασης

Στην καρτέλα Facility αναγράφονται οι χώροι από τους οποίους αποτελείται το κτίριο, καθώς και οι επιφάνειες σκίασης. Οι επιφάνειες σκίασης αποτελούν τους τοίχους που βρίσκονται στη βορειοανατολική και νοτιοδυτική πλευρά του κτιρίου, καθώς και το κτίριο K2, όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα με μοβ χρώμα (Εικόνα 4.18):



Εικόνα 4.18: Επιφάνειες σκίασης του κτιρίου K1

Η καρτέλα Thermal Zones χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των θερμικών ζωνών του κτιρίου. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.5) αναγράφονται πόσες θερμικές ζώνες αντιστοιχούν σε κάθε χώρο:

Χώρος	Θερμικές Ζώνες
Εργαστήρια	8
Γραφεία	8
Κοινόχρηστοι χώροι	8
Θόλος	4
Δεύτερος όροφος	2

Πίνακας 4.5: Θερμικές ζώνες ανά χώρο

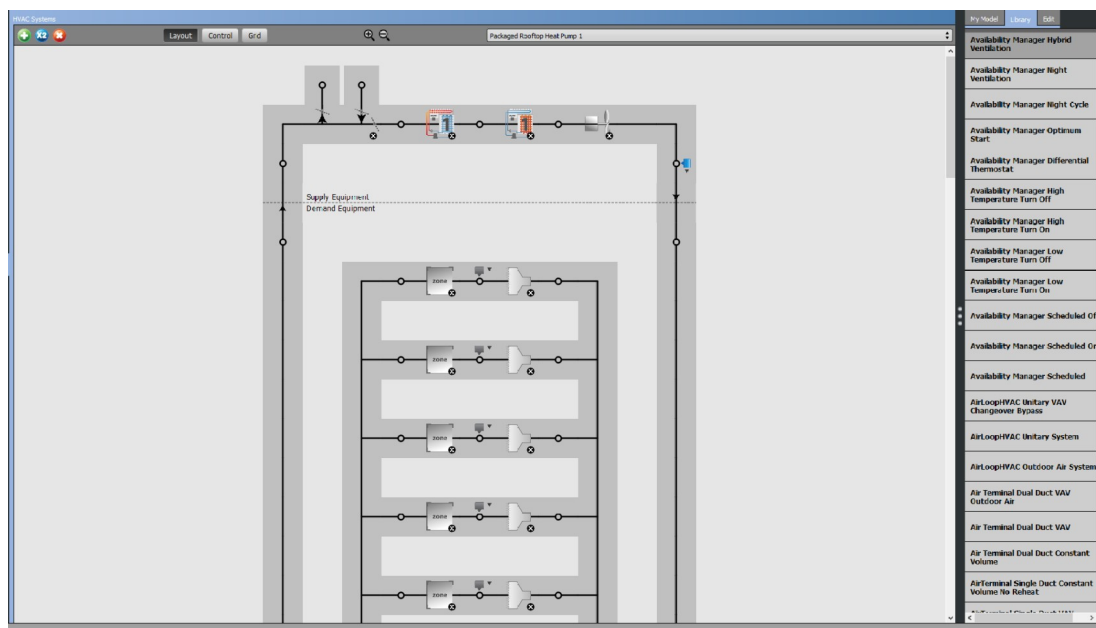
Επιπλέον σε κάθε θερμική ζώνη εισάγεται θερμοστάτης, ο οποίος ελέγχει το πρόγραμμα του συστήματος HVAC για τον συγκεκριμένο χώρο. Ως παραδοχή στο συγκεκριμένο μοντέλο, θεωρήθηκε ότι το σύστημα HVAC λειτουργεί με βάση το ίδιο πρόγραμμα σε όλο το κτίριο.

Τέλος, στην καρτέλα Spaces γίνεται ο προσδιορισμός του κάθε χώρου του κτιρίου. Δίπλα από τον κάθε χώρο αναγράφεται το είδος του χώρου, η θερμική ζώνη και ο όροφος που ανήκει.



## 4.9 Ορισμός συστήματος θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού (HVAC)

Στην καρτέλα HVAC Systems ορίστηκε ο εξοπλισμός και η διάταξη του συστήματος HVAC. Το σύστημα αποτελείται από βασικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη θέρμανση και ψύξη του αέρα, καθώς και ανεμιστήρες τροφοδοσίας και απομάκρυνσης του αέρα. Το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί μόνο τον χειμώνα (αρχές Νοεμβρίου με τέλος Απριλίου) και το σύστημα ψύξης μόνο το καλοκαίρι (αρχές Ιουνίου με τέλος Σεπτεμβρίου) για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας. Οι ανεμιστήρες λειτουργούν όλο τον χρόνο για να επιτυγχάνεται συνεχής μηχανικός αερισμός. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.19) φαίνεται η διάταξη του συστήματος HVAC και διανομή του αέρα στις θερμικές ζώνες του κτιρίου:



Εικόνα 4.19: Διάταξη συστήματος HVAC

Με τη συμπλήρωση της καρτέλας HVAC Systems ολοκληρώθηκε η προσομοίωση του βασικού μοντέλου του κτιρίου K1.

## 4.10 Ανάλυση σεναρίων

Όλα τα σενάρια δημιουργήθηκαν με βάση το ίδιο βασικό μοντέλο που αναλύθηκε παραπάνω.

### Σενάριο Α

Στο πρώτο σενάριο εξετάστηκαν τα αποτελέσματα της αντικατάστασης των διπλών υαλοπινάκων με διπλούς υαλοπίνακες χαμηλών εκπομπών (Low-E). Χρησιμοποιώντας ως αρχή το βασικό μοντέλο, δημιουργήθηκε κατασκευή διπλών υαλοπινάκων για την αντικατάσταση των παραθύρων και αίθριων του κτιρίου. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.6) φαίνεται η κατασκευή τους:

Υλικό	Θερμική Διαπερατότητα (Thermal Transmittance) $W/(m^2K)$	Διαπερατότητα Ορατού Φωτός (Visible Transmittance)	Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)
Παράθυρο (πριν)	5,84	0.60	0,70
Παράθυρο (μετά)	0.30	0.60	0.50

Πίνακας 4.6: Κατασκευή παράθυρων πρώτου σεναρίου

### Σενάριο B

Κατά το δεύτερο σενάριο έγινε προσθήκη θερμοπρόσοψης στο εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου. Αυτό έγινε στο πρόγραμμα προσθέτοντας μία στρώση εξηλασμένης πολυστερίνης 10 cm στο εξωτερικό μέρος των τοίχων του ισόγειου, του 1ου ορόφου και του χώρου του θόλου. Παρακάτω αναγράφονται τα χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού (Πίνακας 4.7):

Υλικό	Πάχος (Thickness) m	Πυκνότητα (Density) $kg/m^3$	Αγωγιμότητα (Conductivity) $W/(m^*K)$	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (Specific Heat) $J/(kg^*K)$
Πολυστερίνη	0.1	30	0.05	1451

Πίνακας 4.7: Προσθήκη θερμοπρόσοψης στο εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου

### Σενάριο C

Στο σενάριο αυτό έγινε αντικατάσταση των λαμπτήρων του κτιρίου με LED λαμπτήρες μικρότερης κατανάλωσης. Επιπλέον, έγινε συντήρηση παλιών ηλεκτρικών συσκευών στους χώρους των εργαστηρίων και γραφείων. Παρακάτω αναγράφονται αναλυτικότερα οι αλλαγές αυτές (Πίνακας 4.8):

Φωτισμός και Ηλεκτρικές Συσκευές	Ισχύς (πριν)	Ισχύς (μετά)
Λαμπτήρες	40	18
Εξοπλισμός Γραφείου	250	200
Εξοπλισμός Εργαστηρίου	1200	1100

Πίνακας 4.8: Αντικατάσταση ηλεκτρικού εξοπλισμού και φωτισμού

### Σενάριο D

Για το τέταρτο σενάριο επιλέχθηκε η μείωση της διείσδυσης του αέρα (infiltration) μέσα στο κτίριο, η οποία επιτυγχάνεται με τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων. Θεωρήθηκε μείωση της διαρροής αέρα από 1,5 AirChanges/hour σε 0,5 AirChanges/hour για τον δεύτερο όροφο και από 1 AirChanges/hour σε 0,5 AirChanges/hour για το υπόλοιπο κτίριο.

## Σενάριο E

Στο πέμπτο και τελευταίο σενάριο έγινε αλλαγή των θερμοκρασιών που ορίστηκαν στους θερμοστάτες του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, ορίστηκε επιθυμητή θερμοκρασία για το καλοκαίρι ίση με 26°C από 25°C και 22°C από 23°C τον χειμώνα αντίστοιχα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα σενάρια που μελετήθηκαν:

Σενάρια	Δράση
Σενάριο A	Αντικατάσταση παραθύρων με Low-E παράθυρα
Σενάριο B	Εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου
Σενάριο C	Αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών
Σενάριο D	Τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων
Σενάριο E	Αλλαγή θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες

Πίνακας 4.9: Συνοπτικός πίνακας σεναρίων

## 4.11 Συνδυασμός σεναρίων

Στη συνέχεια, ακολούθησε συνδυασμός των βασικών σεναρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω σε ζευγάρια των δυο, με σκοπό να βρεθεί ο δείκτης συσχετισμού απόδοσης UI μεταξύ των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας. Συνολικά δημιουργήθηκαν 10 νέα σενάρια τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

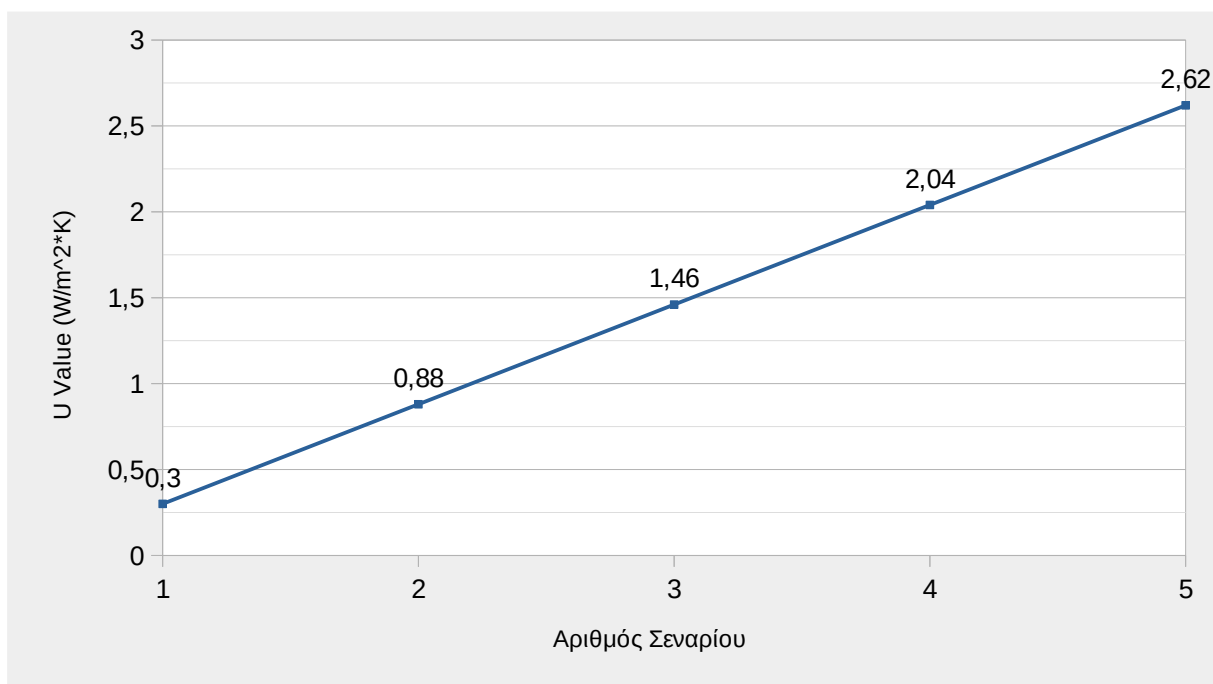
Συνδυασμένα Σενάρια	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο C	Σενάριο D	Σενάριο E
Σενάριο AB	✓	✓	-	-	-
Σενάριο AC	✓	-	✓	-	-
Σενάριο AD	✓	-	-	✓	-
Σενάριο AE	✓	-	-	-	✓
Σενάριο BC	-	✓	✓	-	-
Σενάριο BD	-	✓	-	✓	-
Σενάριο BE	-	✓	-	-	✓
Σενάριο CD	-	-	✓	✓	-
Σενάριο CE	-	-	✓	-	✓
Σενάριο DE	-	-	-	✓	✓

Πίνακας 4.10: Συνοπτικός πίνακας συνδυασμένων σεναρίων

Παρακάτω συνδυάστηκαν συμπληρωματικά τρία σενάρια μεταξύ τους για την κατανόηση της συμπεριφοράς του δείκτη UI όταν συνδυάζονται πάνω από δύο μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας. Τα σενάρια που συνδυάστηκαν αποτελούν το A, B και D. Στο συνδυασμένο σενάριο ABD έγινε αντικατάσταση παραθύρων με Low-E παράθυρα, εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου, τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων

## 4.12 Συσχετισμός μεταξύ U Value, δείκτη UI και εξοικονόμησης ενέργειας

Για να μπορέσει να βρεθεί ο πιο συμφέρων συνδυασμός μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας και να γίνει πιο κατανοητή η η συνεργασία μεταξύ των μεθόδων ενεργειακής αναβάθμισης, έγινε συσχετισμός μεταξύ της θερμοπερατότητας των παραθύρων, του δείκτη UI και της συνολικής ενέργειας που εξοικονομήθηκε για το σενάριο AB. Αυτός ο έλεγχος συσχετισμού πραγματοποιήθηκε αλλάζοντας τις τιμές της θερμοπερατότητας των παραθύρων σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών, δημιουργώντας 5 διαφορετικούς συνδυασμούς για το σενάριο AB (Διάγραμμα 4.2):



Διάγραμμα 4.2: Τιμές θερμοπερατότητας παραθύρων ανά σενάριο

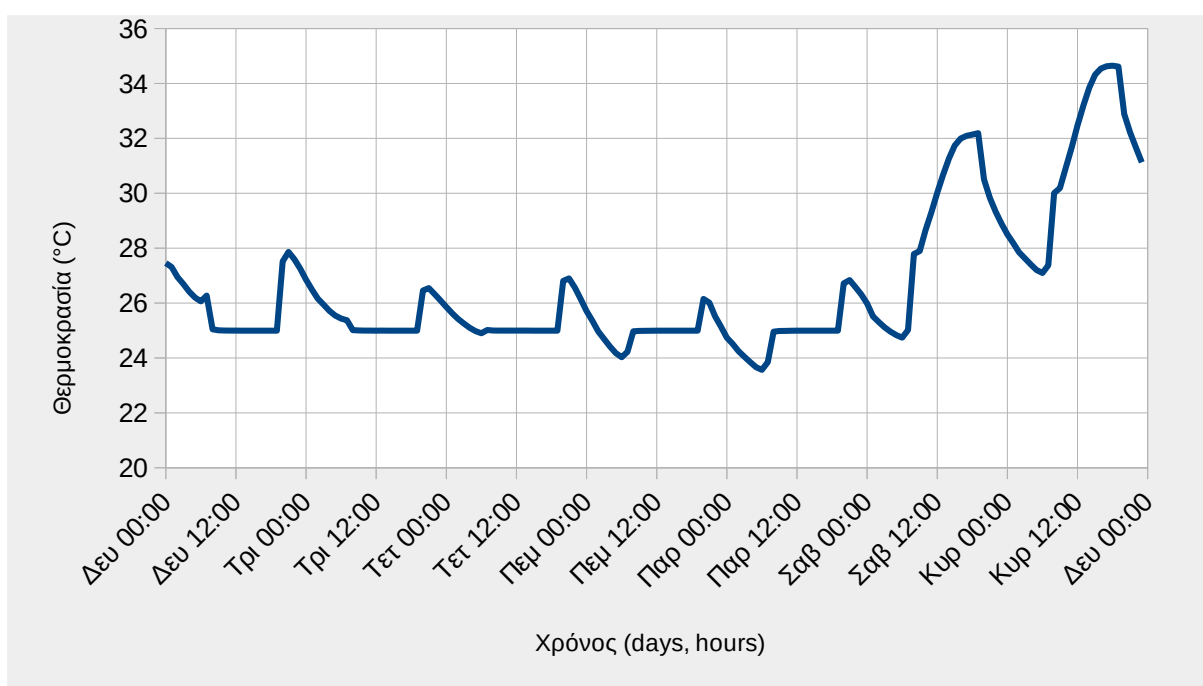
Ο συνολικός αριθμός μοντέλων που δημιουργήθηκαν για την εύρεση αυτού του συσχετισμού είναι 10 (5 για τις 5 διαφορετικές τιμές θερμοπερατότητας των παραθύρων για το σενάριο AB και άλλα 5 για τις 5 διαφορετικές τιμές θερμοπερατότητας των παραθύρων για το σενάριο A, έτσι ώστε να υπολογιστεί ο δείκτης UI. Είναι γνωστό ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός του δείγματος τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα, ωστόσο η εύρεση αυτού του συσχετισμού δεν αποτέλεσε πρωταρχικό στόχο της διπλωματικής. Επιπροσθέτως, ένας μεγαλύτερος αριθμός δειγμάτων θα προϋπόθετε πολύ παραπάνω χρόνο και υπολογιστική ισχύ.

# Αποτελέσματα

## 5.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων αρχικού κτιρίου

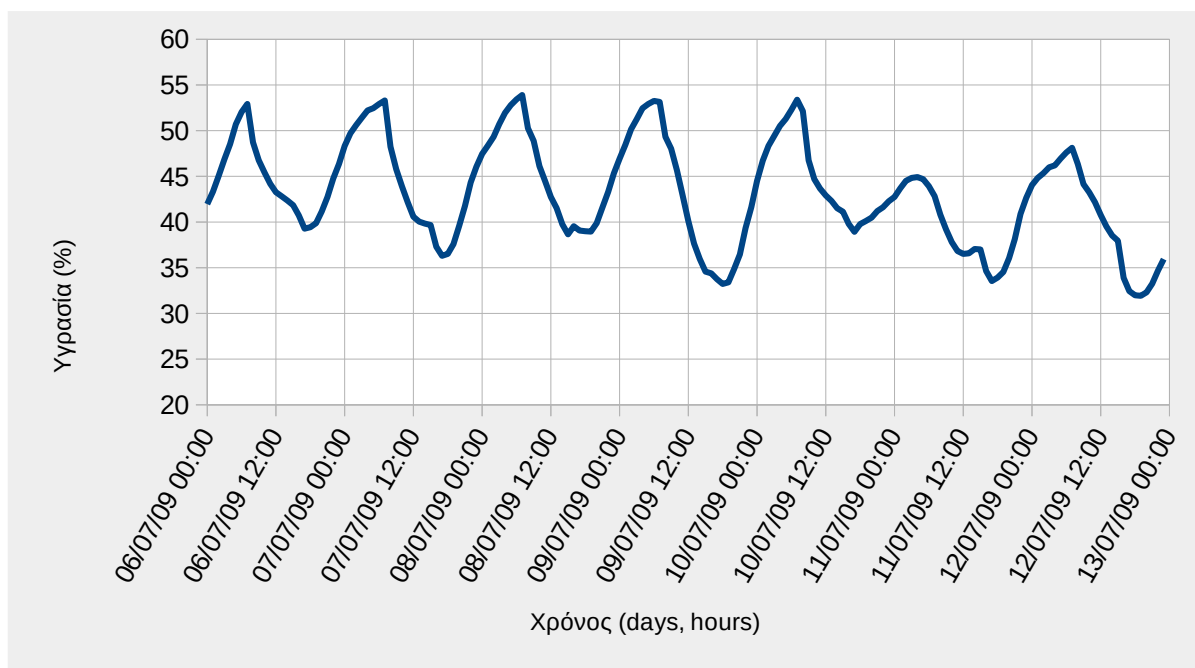
### 5.1.1 Έλεγχος θερμικής άνεσης αρχικού κτιρίου

Αρχικά, έγινε έλεγχος των εσωτερικών συνθηκών υγρασίας, αερισμού και θερμοκρασίας των βασικών χώρων του κτιρίου. Βασικοί χώροι του κτιρίου είναι όλοι οι χώροι του Κ1 οι οποίοι χρησιμοποιούνται από άτομα. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα θερμοκρασίας και υγρασίας ενός εργαστηρίου που βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο του κτιρίου για χρονικό διάστημα μίας εβδομάδας την καλοκαιρινή περίοδο Δευτέρα 6/7 με Κυριακή 12/7 (Διάγραμμα 5.1 & Διάγραμμα 5.2):



Διάγραμμα 5.1: Θερμοκρασία εργαστηριακού χώρου από 6/7 μέχρι 12/7

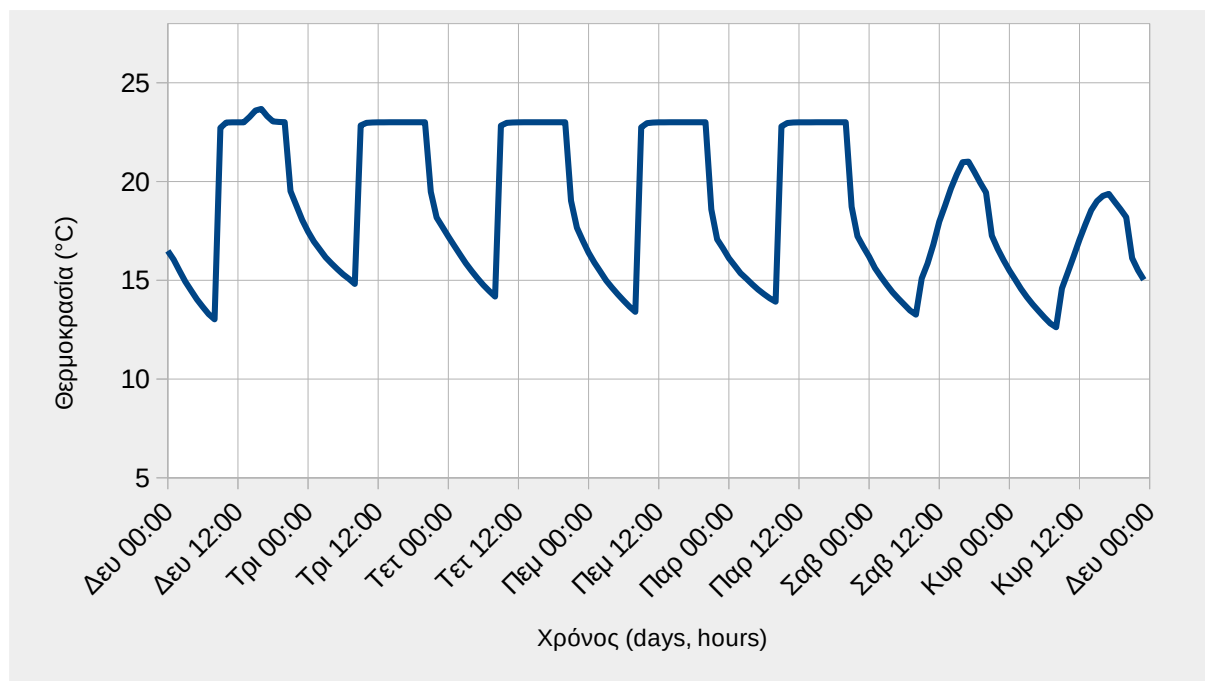
Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία φτάνει τις επιθυμητές τιμές που έχει οριστεί τους καλοκαιρινούς μήνες (25°C) από τις 8:00 το πρωί μέχρι τις 20:00 το βράδυ εκτός από τα Σαββατοκύριακα όπου το σύστημα θέρμανσης δεν είναι ενεργό.



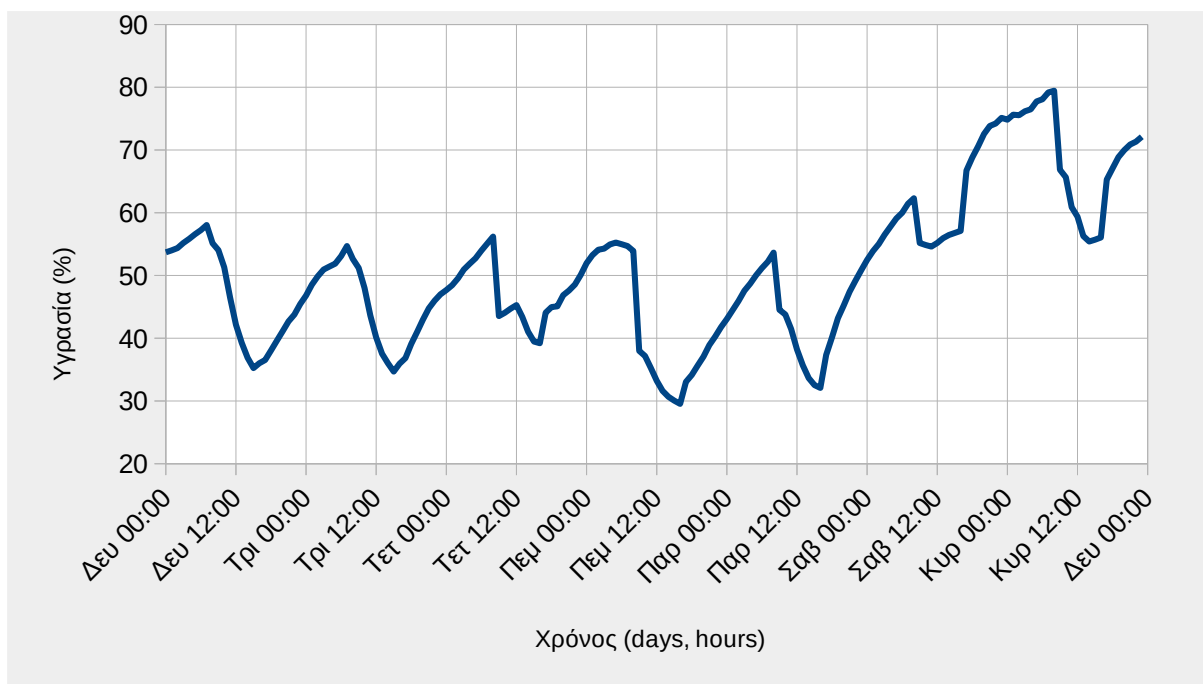
Διάγραμμα 5.2: Ποσοστό υγρασίας εργαστηριακού χώρου από 6/7 μέχρι 12/7

Αντίστοιχα, τα ποσοστά υγρασίας για τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου από τις 8:00 το πρωί μέχρι τις 20:00 το βράδυ παραμένουν κοντά στο επιθυμητό εύρος τιμών 35% - 65%.

Στην συνέχεια έγινε αντίστοιχος έλεγχος των ίδιων τιμών για την χειμερινή περίοδο Δευτέρα 16/1 με Κυριακή 22/1 (Διάγραμμα 5.3 & Διάγραμμα 5.4) :



Διάγραμμα 5.3: Θερμοκρασία εργαστηριακού χώρου από 16/1 μέχρι 22/1



Διάγραμμα 5.4: Ποσοστό υγρασίας εργαστηριακού χώρου από 16/1 μέχρι 22/1

Αντίστοιχος έλεγχος πραγματοποιήθηκε σε κάθε χώρο και για σενάριο που ακολουθεί.

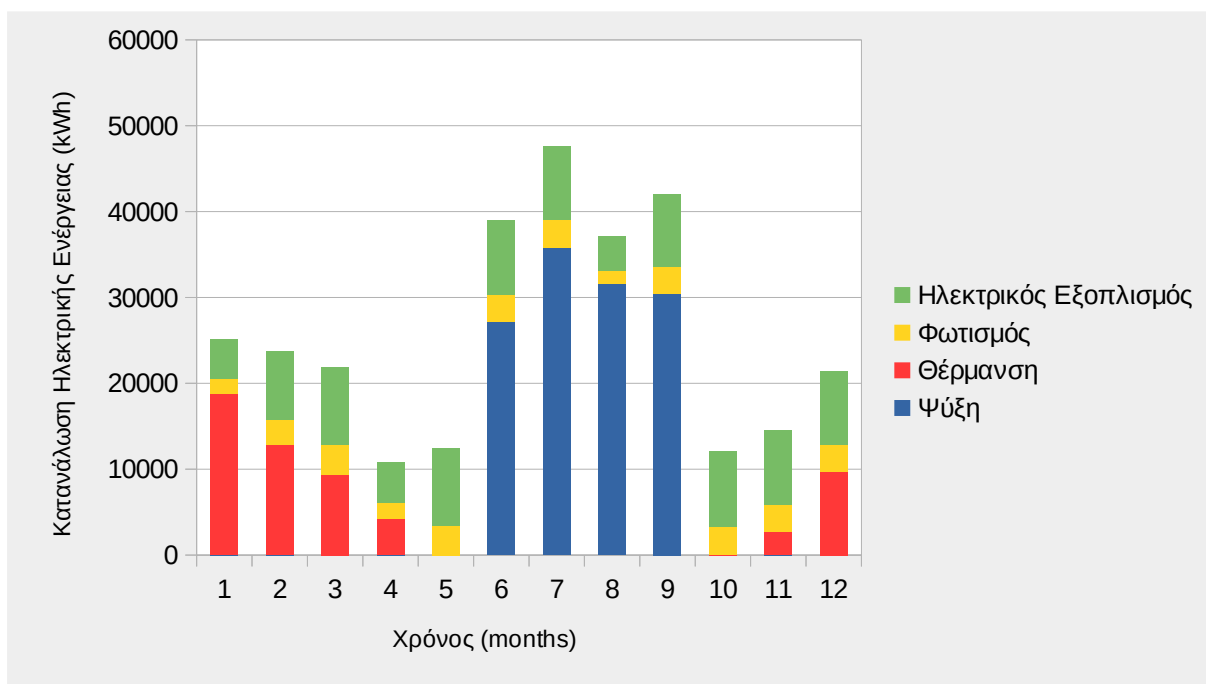
### 5.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων καταναλώσεων

Η συνολική κατανάλωση του κτιρίου εξαρτάται από την κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών, του φωτισμού, της θέρμανσης και της ψύξης. Με βάση τα χρονοδιαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση του κτιρίου οι ετήσιες απαιτήσεις ηλεκτρικού ρεύματος για φωτισμό είναι 34217,16 kWh, για την λειτουργία των συσκευών 90889,34 kWh, για την ψύξη του κτιρίου 124959,64 kWh και για την θέρμανση 57631,73 kWh. Οι αναλυτικές καταναλώσεις ανά μήνα αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα (Πίνακας 5.1 & Διάγραμμα 5.5):

Μήνες	Ηλεκτρικές Συσκευές [kWh]	Φωτισμός [kWh]	Ψύξη [kWh]	Θέρμανση [kWh]
Ιανουάριος	4662,35	1754,21	0	18799,18
Φεβρουάριος	7951,1	2993,36	0	12831,01
Μάρτιος	8978,45	3380,43	0	9432,13
Απρίλιος	4730,35	1780,84	0	4255,2
Μάιος	8979,26	3380,12	0	0
Ιούνιος	8635,73	3251,4	27127,77	0
Ιούλιος	8568,82	3225,6	35833,65	0
Αύγουστος	3975,55	1496,68	31603,31	0

<b>Σεπτέμβριος</b>	8430,1	3174,3	30394,91	0
<b>Οκτώβριος</b>	8774,45	3302,71	0	0
<b>Νοέμβριος</b>	8636,54	3251,4	0	2644,28
<b>Δεκέμβριος</b>	8566,64	3226,11	0	9669,94
<b>Σύνολο</b>	90889,34	34217,16	124959,64	57631,73

Πίνακας 5.1: Αναλυτικές καταναλώσεις αρχικού κτιρίου



Διάγραμμα 5.5: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου ανά μήνα

## 5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σεναρίων

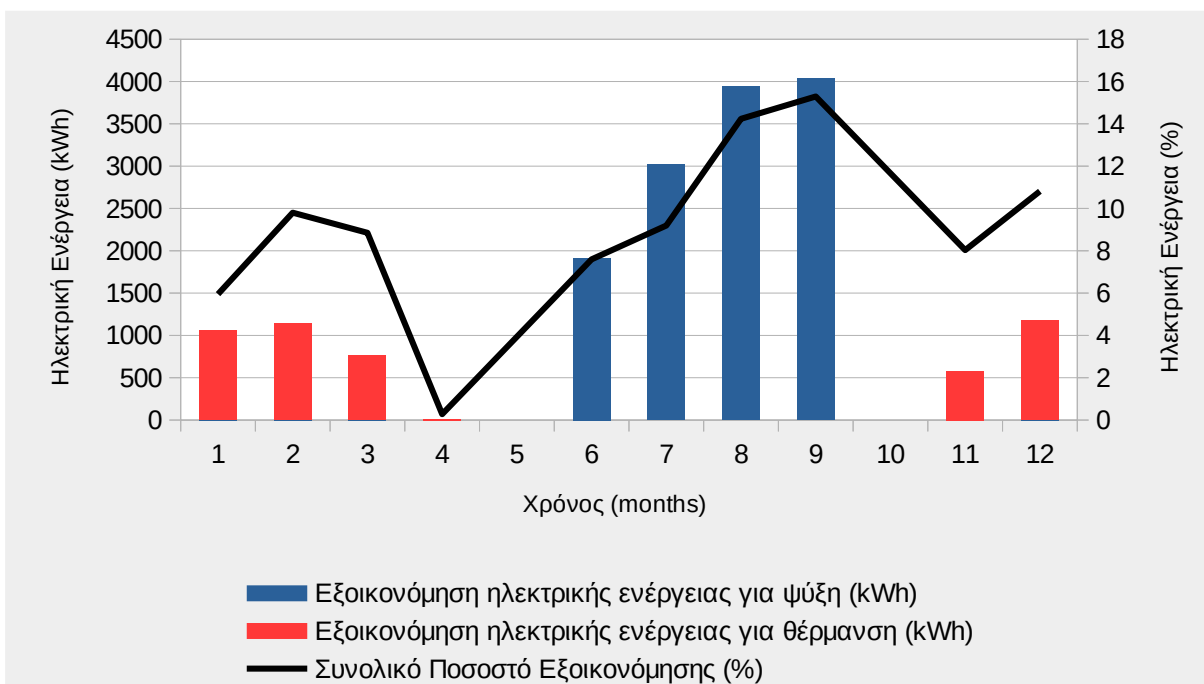
### 5.2.1 Σενάριο A: Αντικατάσταση παραθύρων με Low-E παράθυρα

Η αντικατάσταση παραθύρων οδήγησε στην μείωση της κατανάλωσης για ψύξη και θέρμανση. Η ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη έπεσε από 124959,64 kWh σε 112058,11 kWh (12,3% μείωση) και για θέρμανση από 57631,73 kWh σε 52899,84 kWh (9,98% μείωση). Οι καταναλώσεις από φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές παρέμειναν σταθερές στις 34217,16 kWh και 90889,34 kWh αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναλυτικές καταναλώσεις ανά μήνα (Πίνακας 5.2) και οι εξοικονομήσεις για ψύξη και θέρμανση καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή της μηνιαίας εξοικονόμησης (Διάγραμμα 5.6):



Μήνες	Ηλεκτρικές Συσκευές [kWh]	Φωτισμός [kWh]	Ψύξη [kWh]	Θέρμανση [kWh]
Ιανουάριος	4662,35	1754,21	0	17743,59
Φεβρουάριος	7951,1	2993,36	0	11685,86
Μάρτιος	8978,45	3380,43	0	8665,2
Απρίλιος	4730,35	1780,84	0	4243,44
Μάιος	8979,26	3380,12	0	0
Ιούνιος	8635,73	3251,4	25213,15	0
Ιούλιος	8568,82	3225,6	32816,91	0
Αύγουστος	3975,55	1496,68	27664,57	0
Σεπτέμβριος	8430,1	3174,3	26363,47	0
Οκτώβριος	8774,45	3302,71	0	0
Νοέμβριος	8636,54	3251,4	0	2065,35
Δεκέμβριος	8566,64	3226,11	0	8496,4
<b>Σύνολο</b>	<b>90889,34</b>	<b>34217,16</b>	<b>112058,11</b>	<b>52899,84</b>

Πίνακας 5.2: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου Α



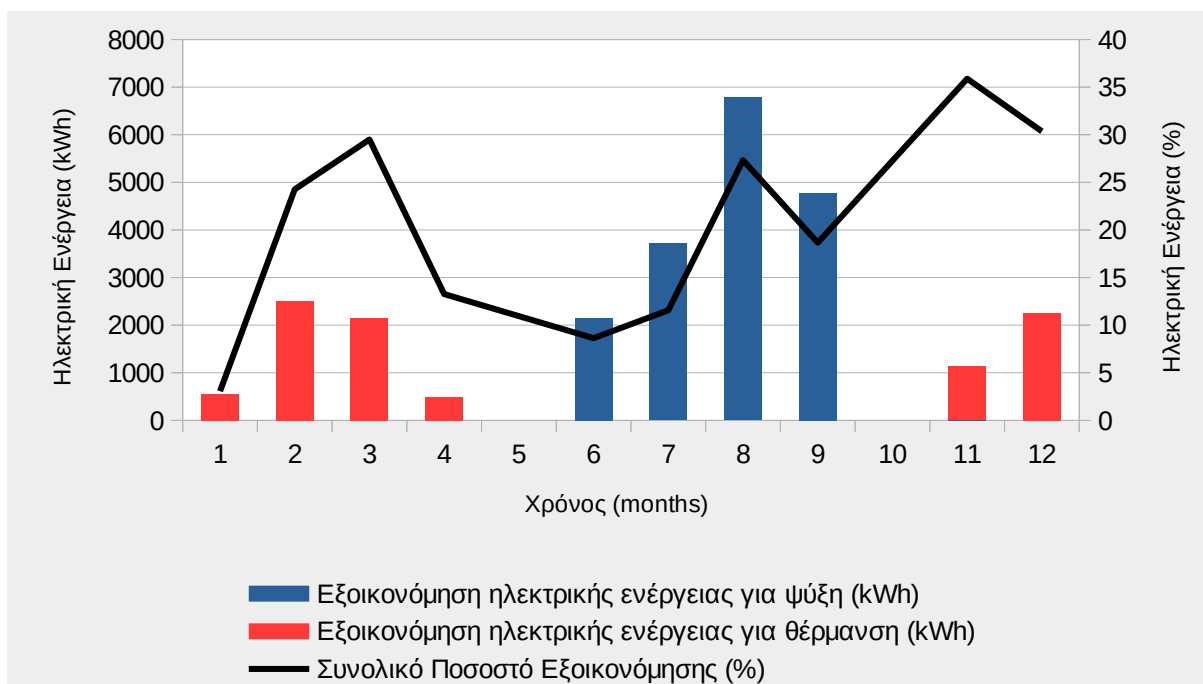
Διάγραμμα 5.6: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου Α

### 5.2.2 Σενάριο Β: Εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου

Στο σενάριο 2 εγκαταστάθηκε θερμοπρόσοψη στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου Κ1. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη έπεσε από 124959,64 kWh σε 107526,16 kWh (17,5% μείωση) και για θέρμανση από 57631,73 kWh σε 48537,1 kWh (20,08% μείωση). Οι καταναλώσεις από φωτισμό και ηλεκτρικές συσκευές παρέμειναν σταθερές στις 34217,16 kWh και 90889,34 kWh αντίστοιχα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέκυψαν από την προσομοίωση (Πίνακας 5.3) και οι εξοικονομήσεις για ψύξη και θέρμανση καθώς και η πορεία της μηνιαίας εξοικονόμησης (Διάγραμμα 5.7):

Μήνες	Ηλεκτρικές Συσκευές [kWh]	Φωτισμός [kWh]	Ψύξη [kWh]	Θέρμανση [kWh]
Ιανουάριος	4662,35	1754,21	0	18240,3
Φεβρουάριος	7951,1	2993,36	0	10325,58
Μάρτιος	8978,45	3380,43	0	7283,99
Απρίλιος	4730,35	1780,84	0	3756,83
Μάιος	8979,26	3380,12	0	0
Ιούνιος	8635,73	3251,4	24971,59	0
Ιούλιος	8568,82	3225,6	32119,19	0
Αύγουστος	3975,55	1496,68	24820,75	0
Σεπτέμβριος	8430,1	3174,3	25614,63	0
Οκτώβριος	8774,45	3302,71	0	0
Νοέμβριος	8636,54	3251,4	0	1512,04
Δεκέμβριος	8566,64	3226,11	0	7418,35
Σύνολο	90889,34	34217,16	107526,16	48537,1

Πίνακας 5.3: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου Β



Διάγραμμα 5.7: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου Β

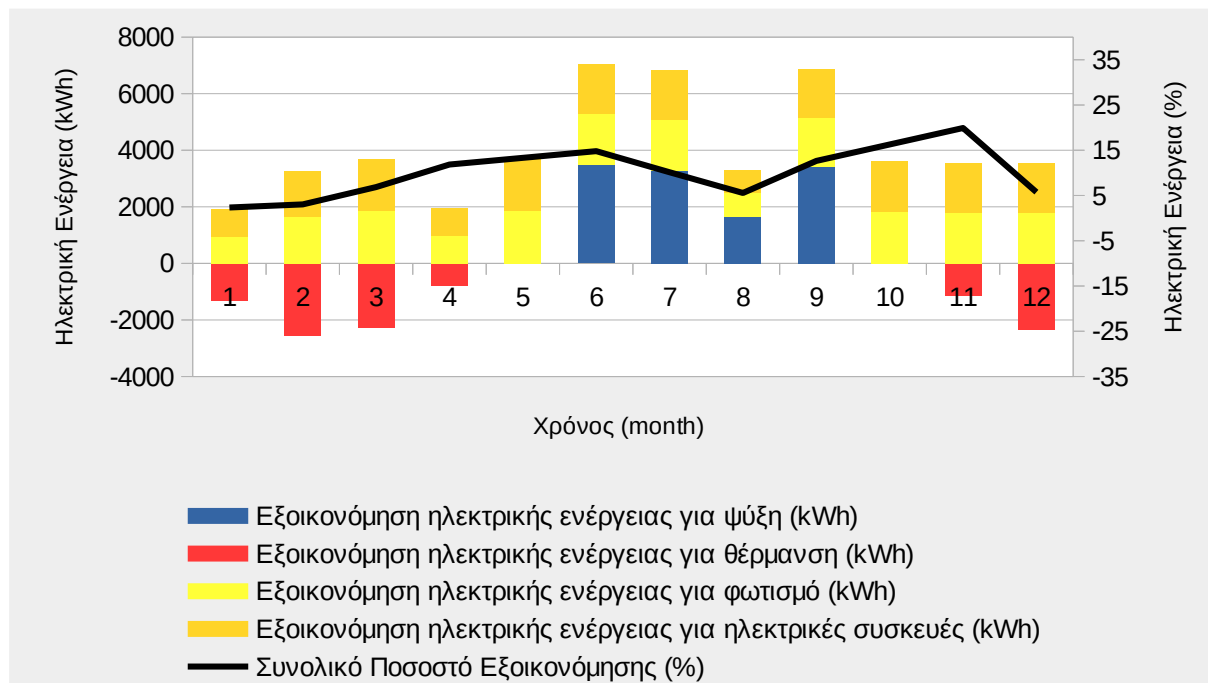
### 5.2.3 Σενάριο C: Αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών

Στο τρίτο σενάριο είχαμε μείωση των καταναλώσεων σε φωτισμό από 34217,16 kWh σε 15397,72 kWh και σε ηλεκτρικές συσκευές από 90889,34 kWh σε 72290,88 kWh. Η συνολική εξοικονόμηση από φωτισμό και συσκευές φτάνει το 42,67%. Οι καταναλώσεις για ψύξη μειώθηκαν από 124959,64 kWh σε 113089,41 kWh (9,02%) ενώ η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση αυξήθηκε από 57631,73 kWh σε 68152,99 kWh (14,26%).

Μήνες	Ηλεκτρικές Συσκευές [kWh]	Φωτισμός [kWh]	Ψύξη [kWh]	Θέρμανση [kWh]
Ιανουάριος	3708,24	789,4	0	20139,99
Φεβρουάριος	6324,48	1347,01	0	15401,98
Μάρτιος	7145,28	1521,19	0	11723,64
Απρίλιος	3756,24	801,38	0	5069,21
Μάιος	7144,56	1521,05	0	0
Ιούνιος	6871,68	1463,13	23630,44	0
Ιούλιος	6811,2	1451,52	32536,12	0
Αύγουστος	3162,24	673,51	29938,35	0
Σεπτέμβριος	6705,36	1428,43	26984,5	0
Οκτώβριος	6977,52	1486,22	0	0
Νοέμβριος	6871,68	1463,13	0	3784,46

Δεκέμβριος	6812,4	1451,75	0	12033,7
<b>Σύνολο</b>	<b>72290,88</b>	<b>15397,72</b>	<b>113089,41</b>	<b>68152,99</b>

Πίνακας 5.4: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου C



Διάγραμμα 5.8: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου C

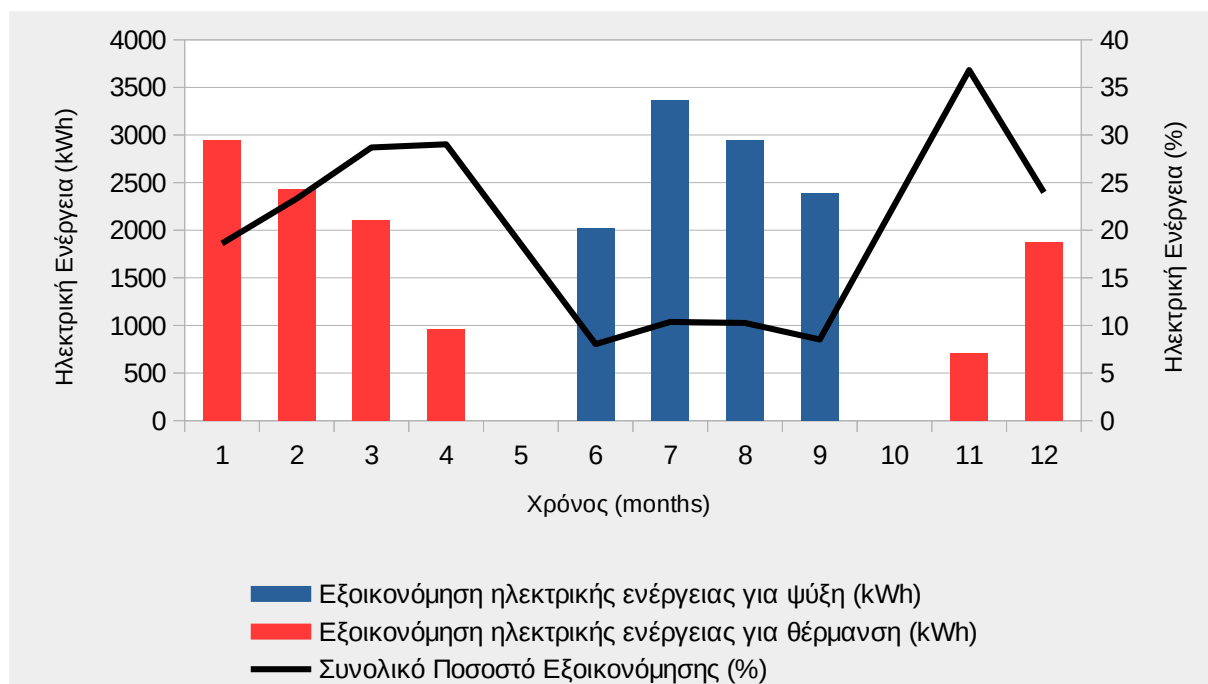
#### 5.2.4 Σενάριο D: Τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων

Η μείωση της διείσδυσης αέρα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης για θέρμανση από 57631,73 kWh σε 46613,39 kWh (22,66%) και για ψύξη από 124959,64 kWh σε 114247,89 kWh (9,82%).

Μήνες	Ελεκτρικές Συσκευές [kWh]	Φωτισμός [kWh]	Ψύξη [kWh]	Θέρμανση [kWh]
Ιανουάριος	4662,35	1754,21	0	15849,14
Φεβρουάριος	7951,1	2993,36	0	10404,8
Μάρτιος	8978,45	3380,43	0	7329,2
Απρίλιος	4730,35	1780,84	0	3298,02
Μάιος	8979,26	3380,12	0	0
Ιούνιος	8635,73	3251,4	25109,47	0
Ιούλιος	8568,82	3225,6	32467,15	0
Αύγουστος	3975,55	1496,68	28662,8	0

<b>Σεπτέμβριος</b>	8430,1	3174,3	28008,47	0
<b>Οκτώβριος</b>	8774,45	3302,71	0	0
<b>Νοέμβριος</b>	8636,54	3251,4	0	1932,72
<b>Δεκέμβριος</b>	8566,64	3226,11	0	7799,5
<b>Σύνολο</b>	90889,34	34217,16	114247,89	46613,39

Πίνακας 5.5: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου D



Διάγραμμα 5.9: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου D

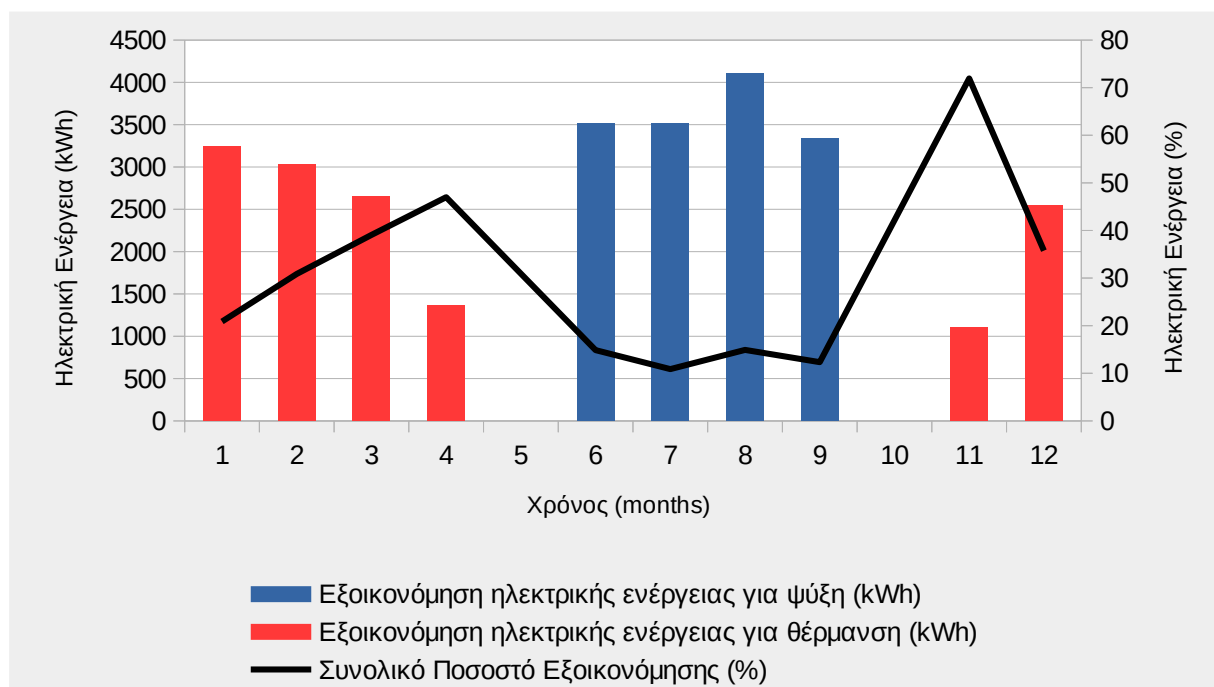
### 5.2.5 Σενάριο E: Αλλαγή θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες

Σε αυτό το σενάριο είχαμε μείωση της κατανάλωσης για ψύξη από 124959,64 kWh σε 110494,71 kWh (13,05%) και για θέρμανση από 57631,73 kWh σε 43696,02 kWh (13,05%).

Μήνες	Ηλεκτρικές Συσκευές [kWh]	Φωτισμός [kWh]	Ψύξη [kWh]	Θέρμανση [kWh]
<b>Ιανουάριος</b>	4662,35	1754,21	0	15553,35
<b>Φεβρουάριος</b>	7951,1	2993,36	0	9804,88
<b>Μάρτιος</b>	8978,45	3380,43	0	6782,32
<b>Απρίλιος</b>	4730,35	1780,84	0	2894,9
<b>Μάιος</b>	8979,26	3380,12	0	0
<b>Ιούνιος</b>	8635,73	3251,4	23616,24	0

<b>Ιούλιος</b>	8568,82	3225,6	32317,99	0
<b>Αύγουστος</b>	3975,55	1496,68	27503,23	0
<b>Σεπτέμβριος</b>	8430,1	3174,3	27057,25	0
<b>Οκτώβριος</b>	8774,45	3302,71	0	0
<b>Νοέμβριος</b>	8636,54	3251,4	0	1537,99
<b>Δεκέμβριος</b>	8566,64	3226,11	0	7122,57
<b>Σύνολο</b>	90889,34	34217,16	110494,71	43696,02

Πίνακας 5.6: Αναλυτικές καταναλώσεις σεναρίου E



Διάγραμμα 5.10: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα σεναρίου E

Παρακάτω απεικονίζεται ο πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων για ψύξη, θέρμανση, ηλεκτρικές συσκευές και φωτισμό για τα πέντε αρχικά σενάρια (Πίνακας 5.7) και τα ποσοστά εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε σενάριο (Πίνακας 5.8):

Κατανάλωση (kWh/m <sup>2</sup> )	Αρχικό Κτίριο	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο C	Σενάριο D	Σενάριο E
<b>Ψύξη</b>	55,87	49,75	47,55	51,25	50,87	49,42
<b>Θέρμανση</b>	28,91	26,28	24,07	33,71	23,57	22,37
<b>Ηλεκτρικές Συσκευές</b>	36,55	36,55	36,55	29,07	36,55	36,55
<b>Φωτισμός</b>	13,76	13,76	13,76	6,19	13,76	13,76

Πίνακας 5.7: Καταναλώσεις ανά σενάριο (kWh/m<sup>2</sup>)

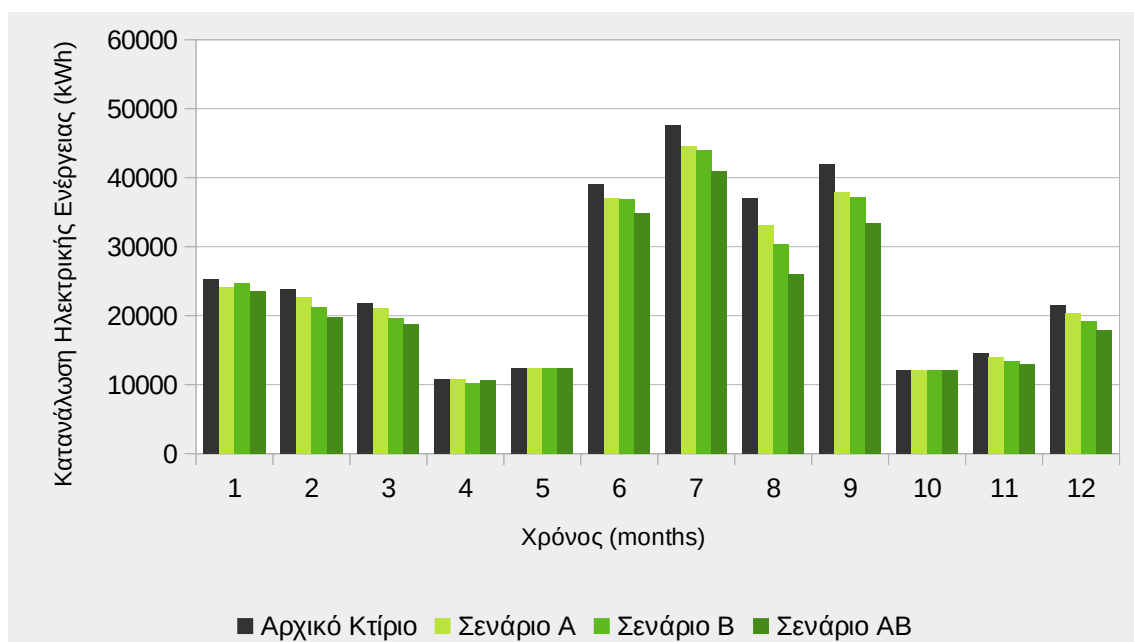
Εξοικονόμηση (%)	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο C	Σενάριο D	Σενάριο E
Ψύξη	12,3	17,5	9,02	9,82	13,05
Θέρμανση	9,98	20,08	-14,26	22,66	29,23
Ηλεκτρικές Συσκευές	0	0	25,73	0	0
Φωτισμός	0	0	122,22	0	0
Συνολική	6,99	10,95	12,01	8,41	10,75

Πίνακας 5.8: Ποσοστά εξοικονόμησης ανά σενάριο

## 5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων σεναρίων συνδυασμού μέτρων

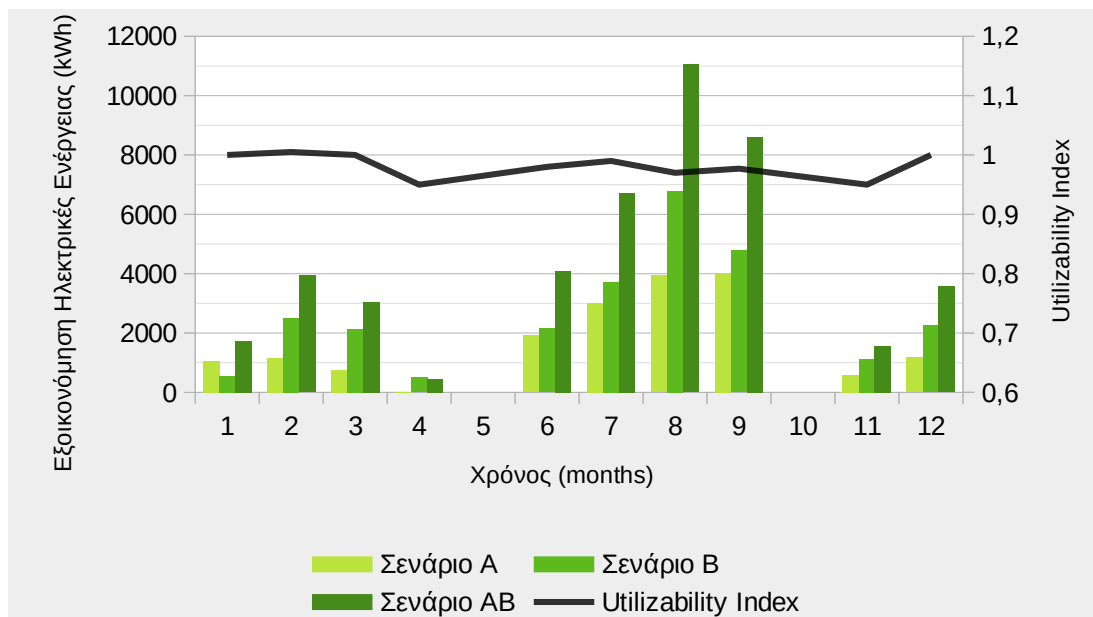
### 5.3.1 Σενάριο AB

Κατά το σενάριο AB αντικαταστάθηκαν τα παράθυρα με καινούρια Low-E παράθυρα και έγινε εγκατάσταση της θερμοπρόσοψης. Ο δείκτης UI για το πρώτο σενάριο υπολογίστηκε ίσος με 0,997 το οποίο σημαίνει ότι συνολικά για τις εξοικονομήσεις όλου του χρόνου οι δύο μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας λειτουργούν ανταγωνιστικά. Αναλυτικά φαίνονται οι καταναλώσεις, οι εξοικονομήσεις και ο δείκτης UI σε συνάρτηση με τον χρόνο στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 5.11 & Διάγραμμα 5.12):



Διάγραμμα 5.11: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου A, B και AB ανά μήνα

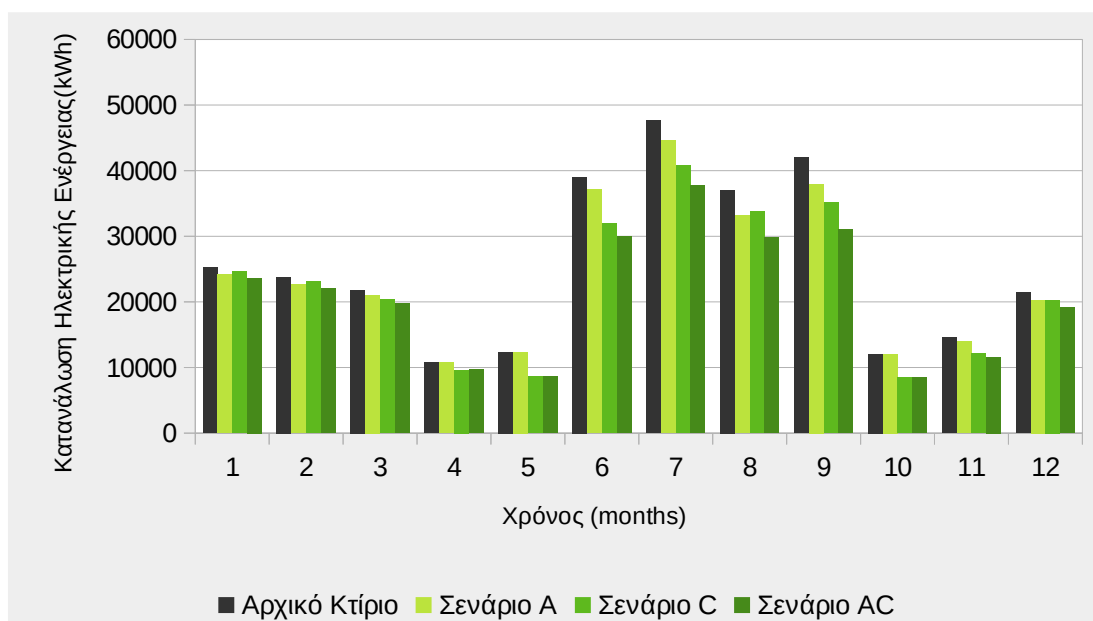
Αναλύοντας τον δείκτη UI για κάθε μήνα παρατηρούμε ότι παίρνει τιμές πολύ κοντά στην μονάδα κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Τους καλοκαιρινούς μήνες ο μέσος όρος του είναι 0,995. Επιπλέον, μεγάλη πτώση σχετικά με τον υπόλοιπο χρόνο έχει τον Απρίλιο και τον Νοέμβριο όπου φτάνει το 0,95.



Διάγραμμα 5.12: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου A, B και AB και δείκτης UI ανά μήνα

### 5.3.2 Σενάριο AC

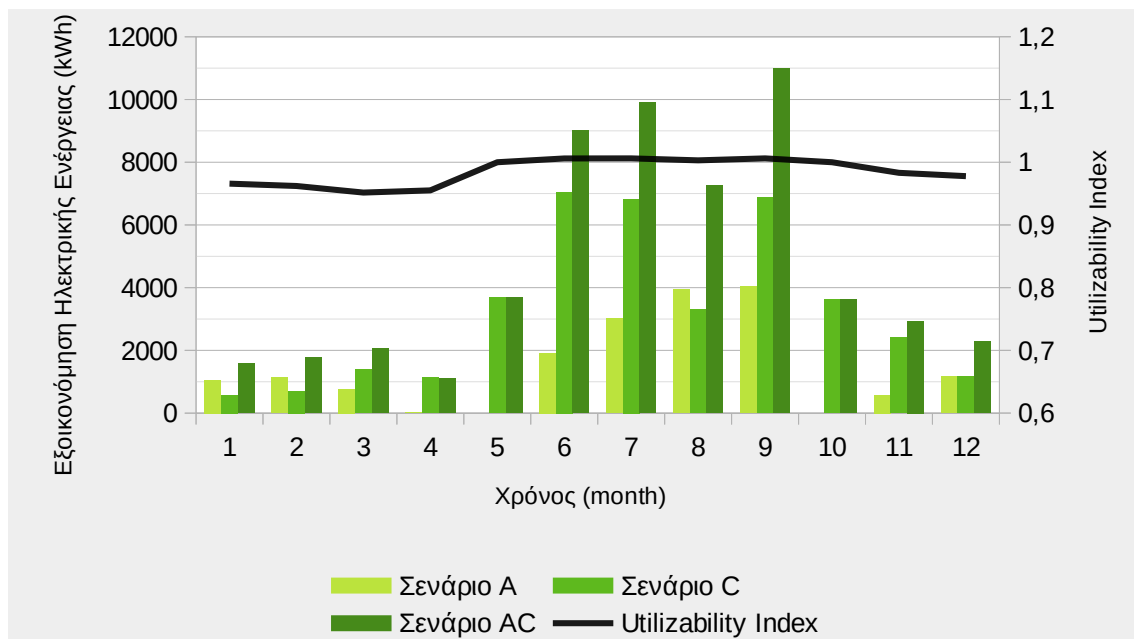
Κατά το σενάριο AC έγινε αντικατάσταση παραθύρων, αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών. Περαιτέρω πληροφορίες για τις καταναλώσεις και εξοικονομήσεις αναγράφονται παρακάτω (Διάγραμμα 5.13 & 5.14):



Διάγραμμα 5.13: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου A, C και AC ανά μήνα

Ο δείκτης UI υπολογίστηκε ίσος με 0,994. Μηνιαία, παίρνει τιμές μικρότερες της μονάδας κυρίως τους χειμερινούς μήνες ενώ τους καλοκαιρινούς πλησιάζει την μονάδα.

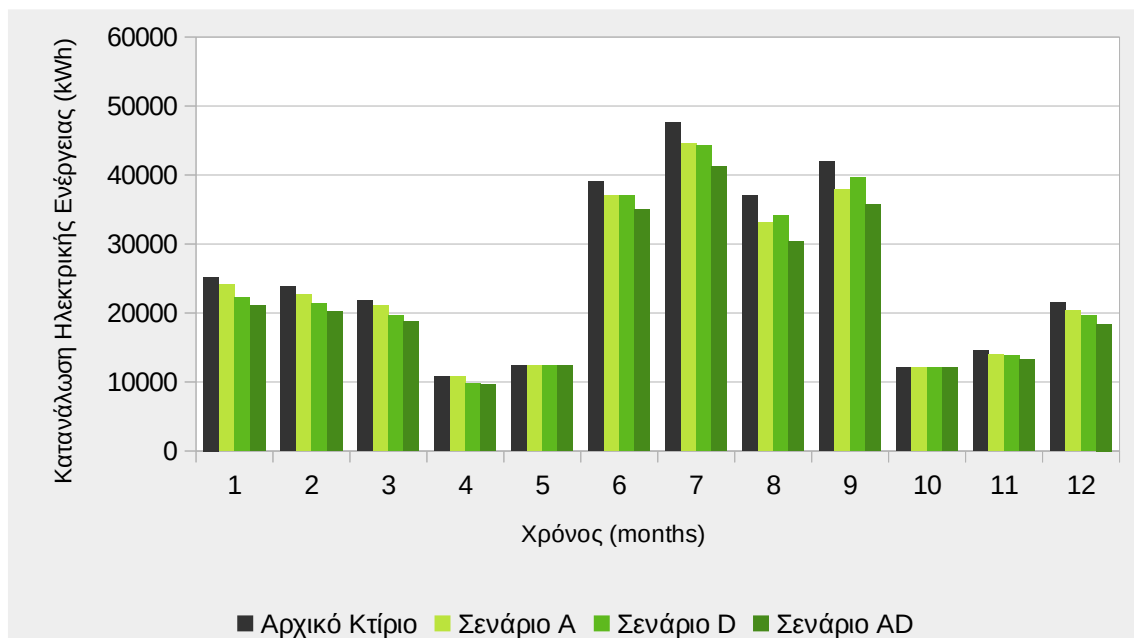




Διάγραμμα 5.14: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου A, C και AC και δείκτης UI ανά μήνα

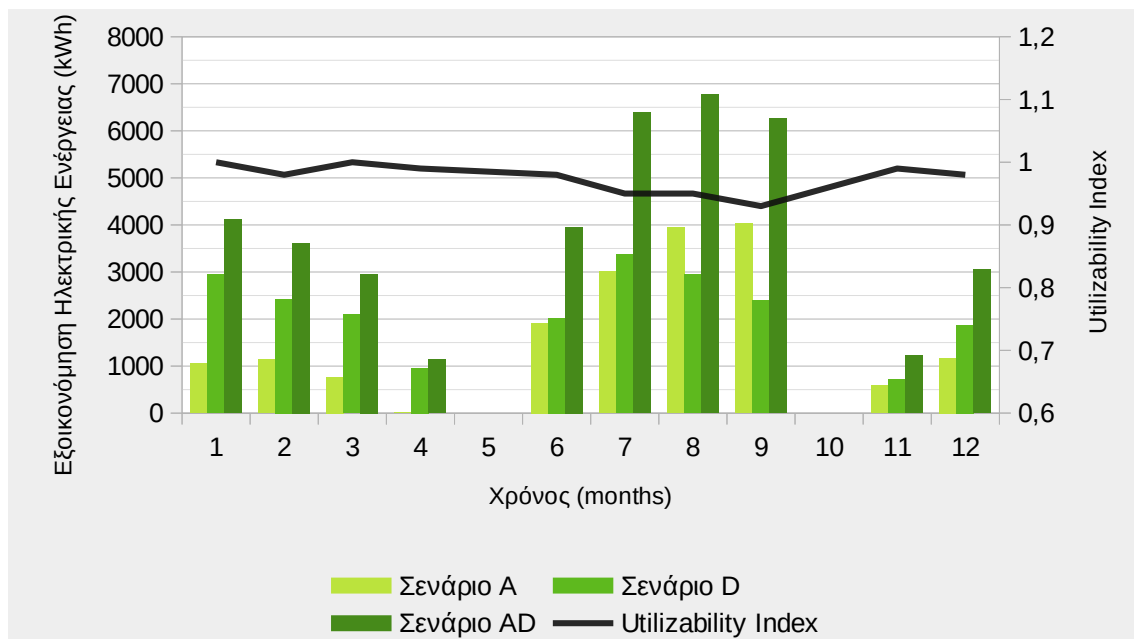
### 5.3.3 Σενάριο AD

Κατά το σενάριο AD έγινε αντικατάσταση παραθύρων, τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων. Τα διαγράμματα των καταναλώσεων, των εξοικονομήσεων και του δείκτη UI για το σενάριο AD αναγράφονται παρακάτω (Διάγραμμα 5.15 & Διάγραμμα 5.16):



Διάγραμμα 5.15: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου A, D και AD ανά μήνα

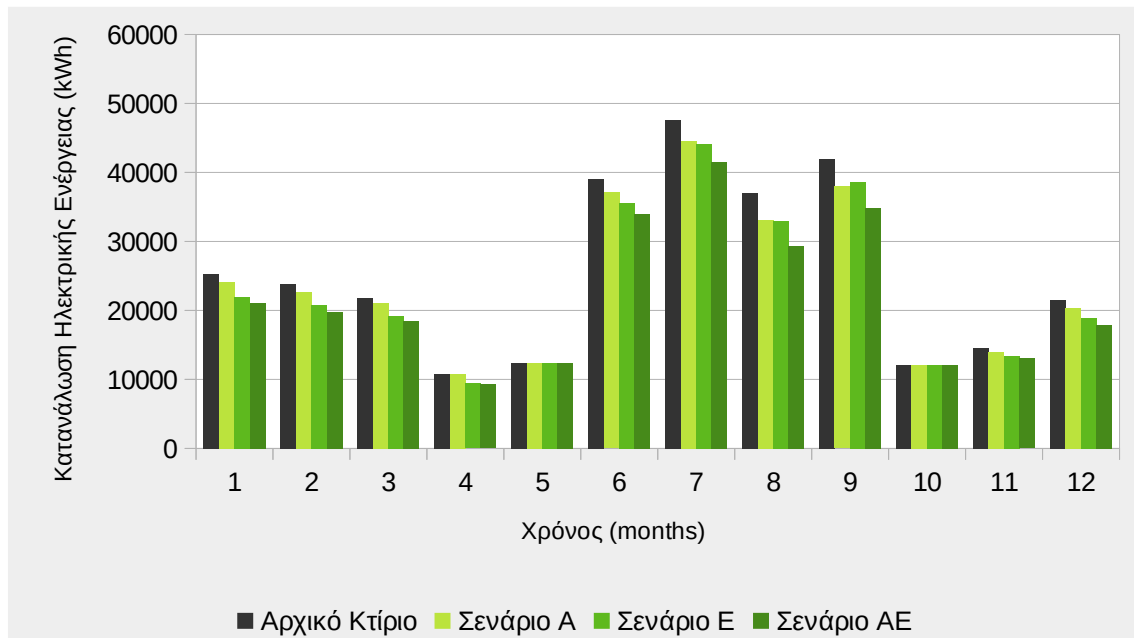
Ο ετήσιος δείκτης UI είναι ίσος με 0,975. Το καλοκαίρι φαίνεται να παίρνει τιμές μικρότερες από τον υπόλοιπο χρόνο ενώ τον χειμώνα υπολογίζεται λίγο μεγαλύτερος από την μονάδα:



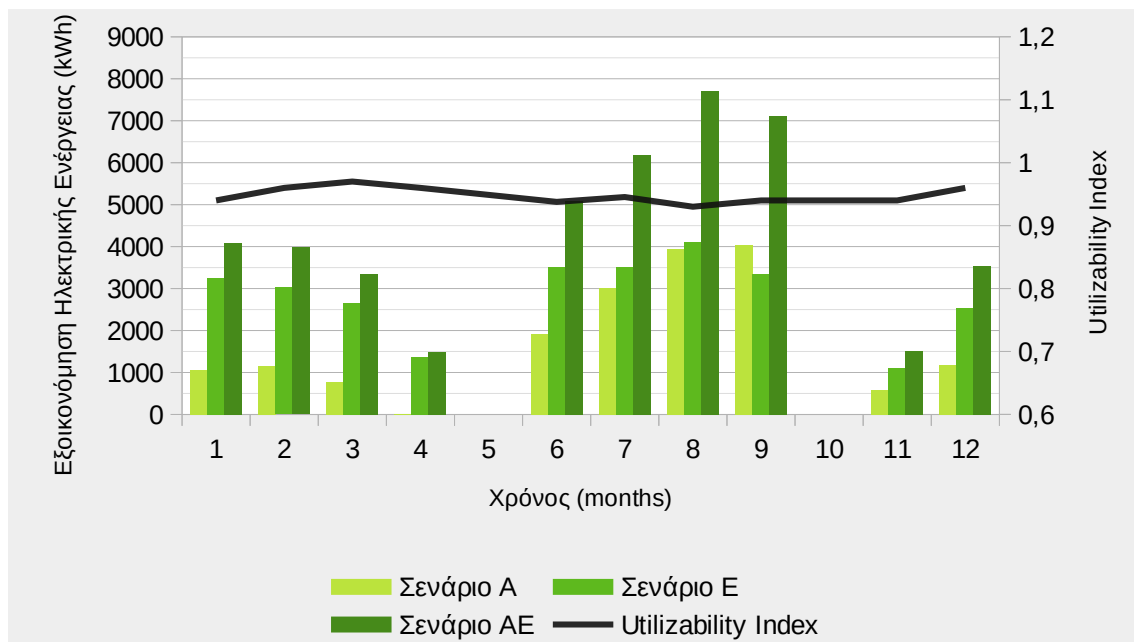
Διάγραμμα 5.16: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου A, D και AD και δείκτης UI ανά μήνα

### 5.3.4 Σενάριο ΑΕ

Παρακάτω, έγινε αντικατάσταση των παραθύρων και αλλαγή των θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες. Περαιτέρω πληροφορίες για τις καταναλώσεις και εξοικονομήσεις αναγράφονται παρακάτω (Διάγραμμα 5.17 & 5.18):



Διάγραμμα 5.17: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου A, E και AE ανά μήνα

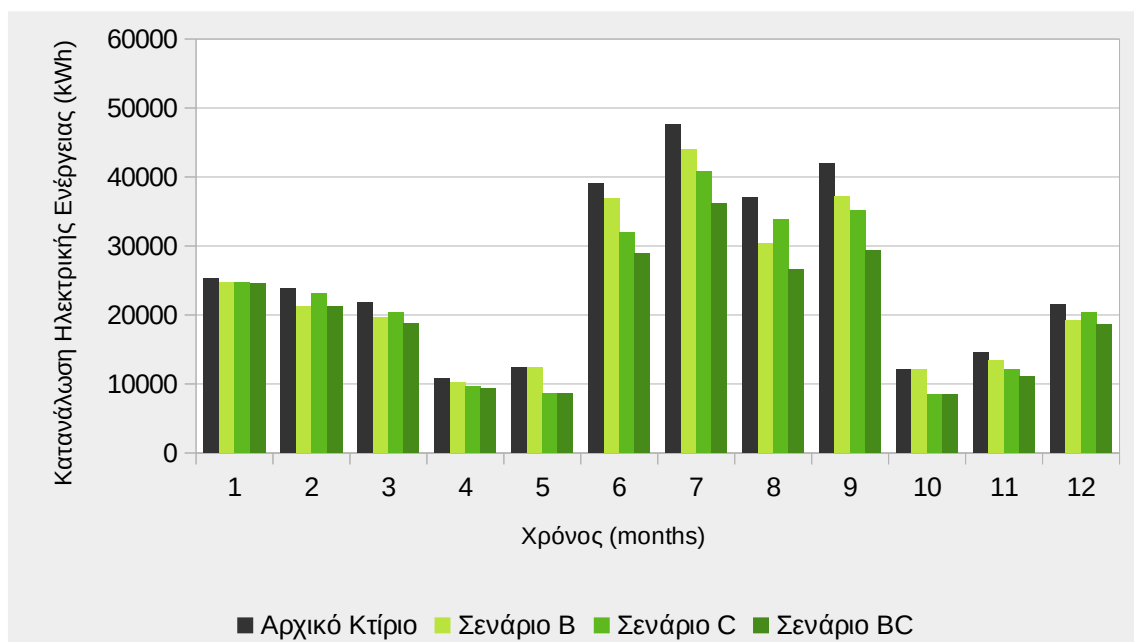


Διάγραμμα 5.18: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου A, E και AE και δείκτης UI ανά μήνα

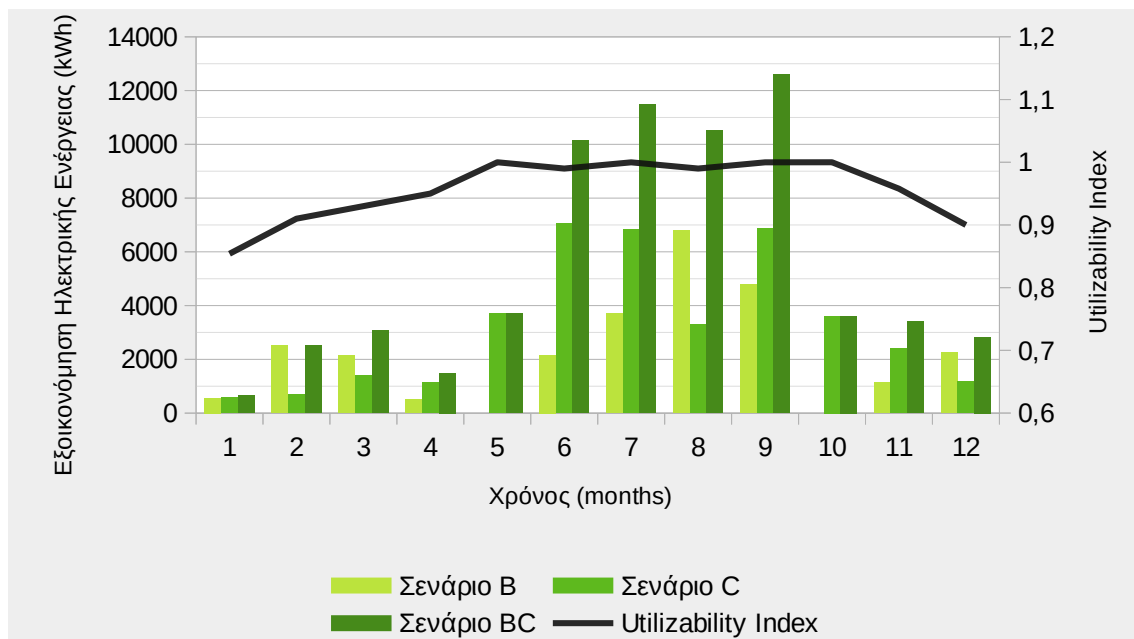
Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες μεταβολές του δείκτη UI μεταξύ καλοκαιρινών και χειμερινών μηνών. Ο ετήσιος δείκτης ισούται με 0,954.

### 5.3.5 Σενάριο BC

Στην συνέχεια, στο σενάριο BC είχαμε την εγκατάσταση της θερμοπρόσοψης, αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση συσκευών. Τα διαγράμματα των καταναλώσεων, των εξοικονομήσεων και του δείκτη UI για το σενάριο BC αναγράφονται παρακάτω (Διάγραμμα 5.19 & Διάγραμμα 5.20):



Διάγραμμα 5.19: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου B, C και BC ανά μήνα

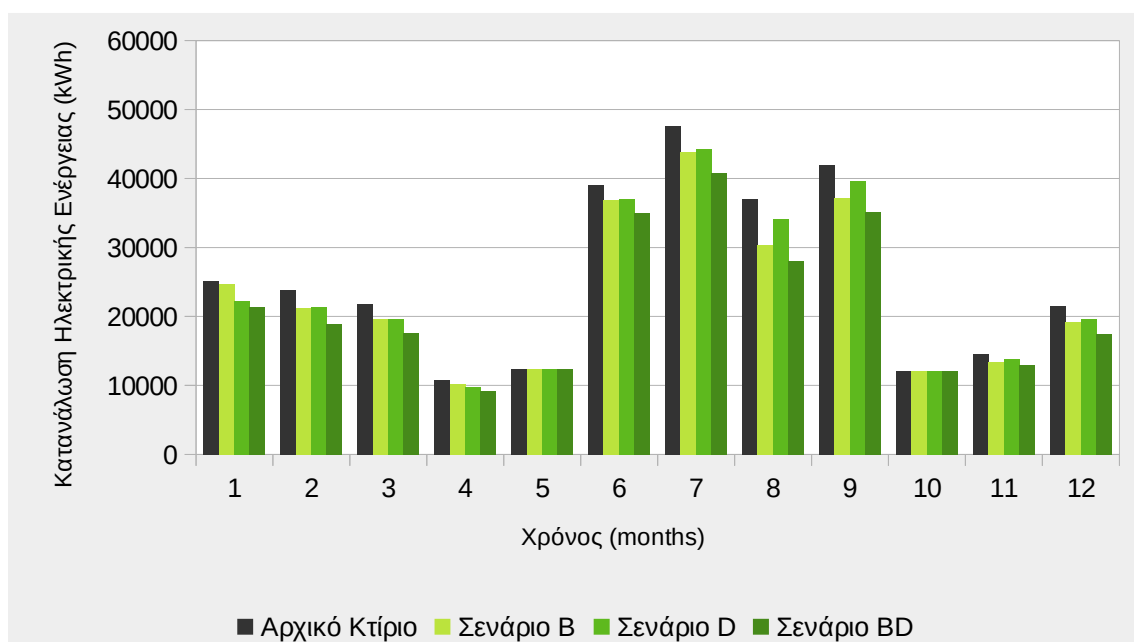


Διάγραμμα 5.20: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου B, C και BC και δείκτης UI ανά μήνα

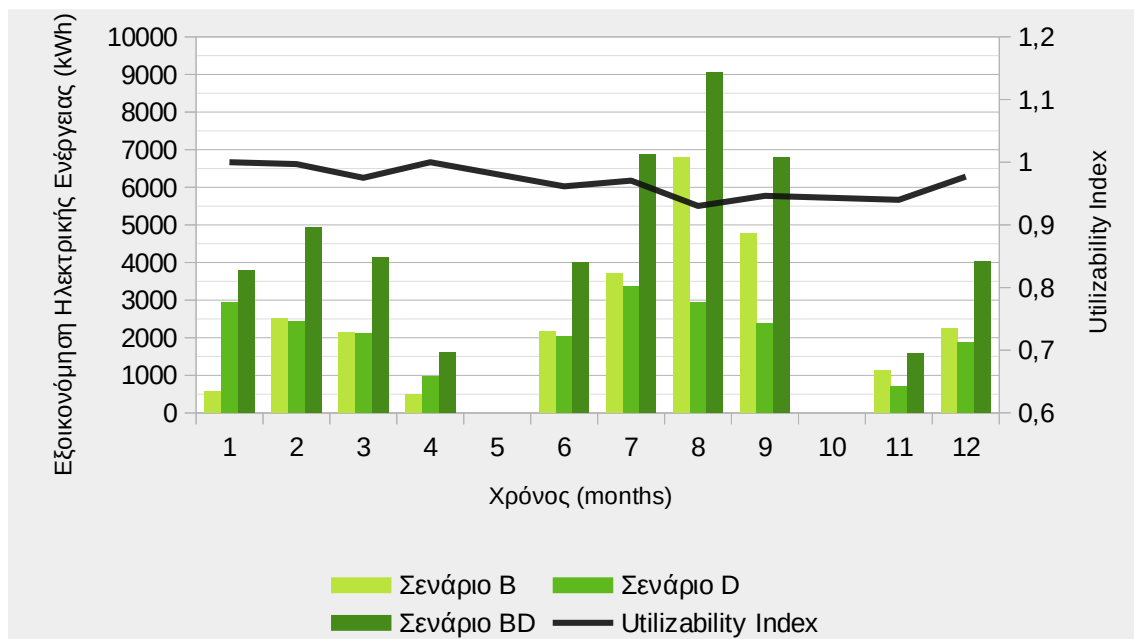
Ο δείκτης UI φαίνεται να μεγιστοποιείται το καλοκαίρι όπου και παίρνει τιμές πολύ κοντά στην μονάδα. Η μέση τιμή του δείκτη για όλο το έτος υπολογίστηκε ίσος με 0,987.

### 5.3.6 Σενάριο BD

Κατά το σενάριο BD έγινε εγκατάσταση της θερμομόνωσης, τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων. Περαιτέρω πληροφορίες για τις καταναλώσεις και εξοικονομήσεις αναγράφονται παρακάτω (Διάγραμμα 5.21& 5.22):



Διάγραμμα 5.21: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου B, D και BD ανά μήνα

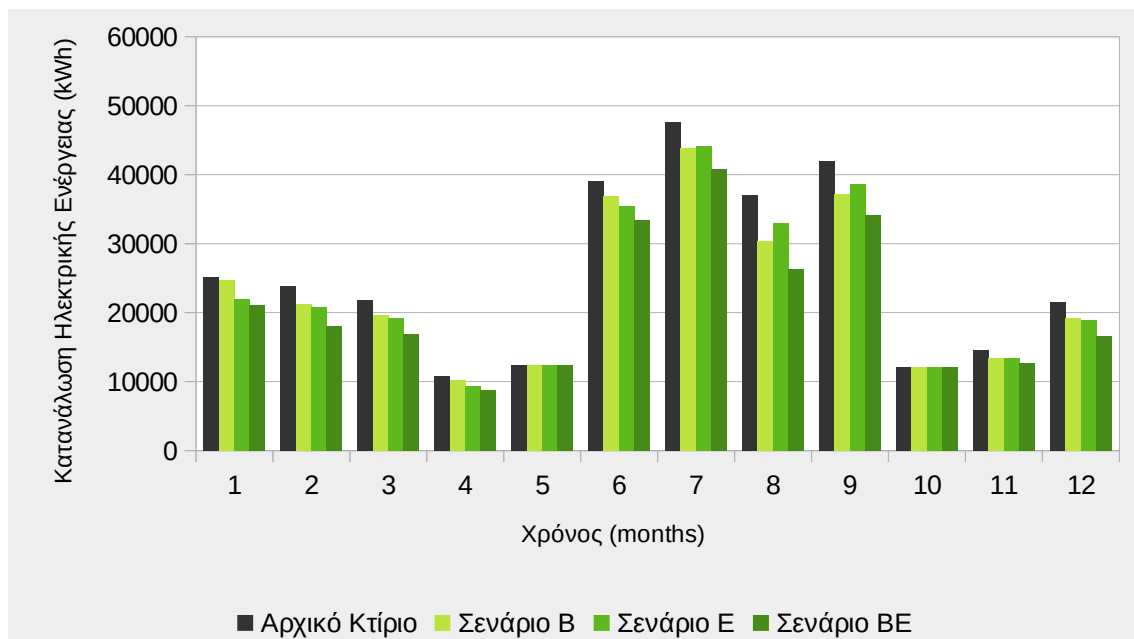


Διάγραμμα 5.22: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου B, D και BD και δείκτης UI ανά μήνα

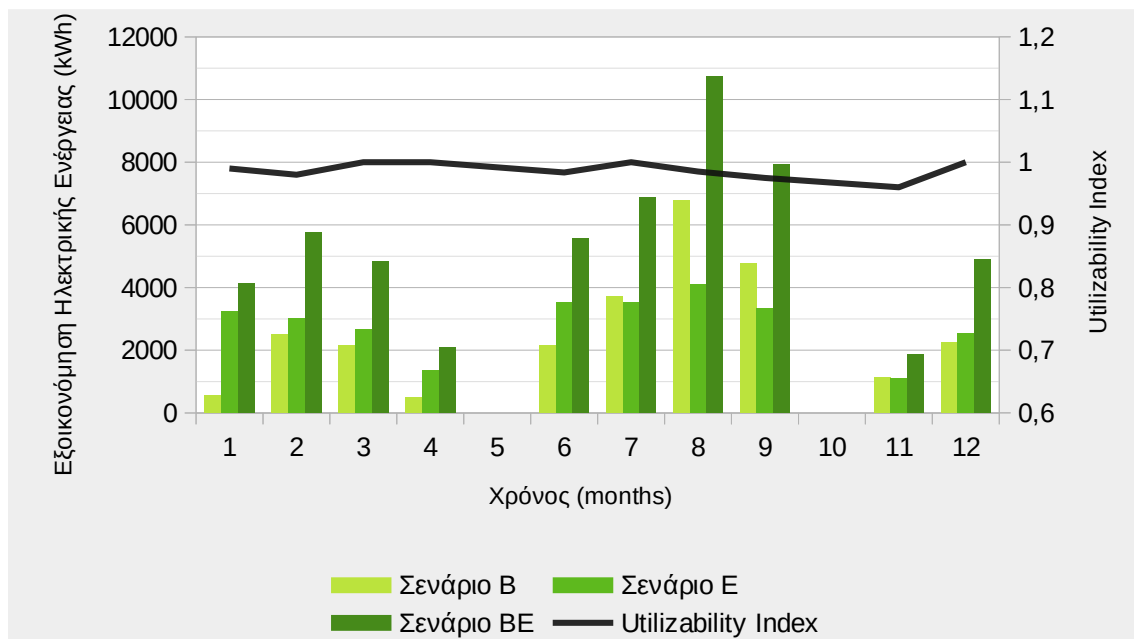
Ο δείκτης UI για το σενάριο BD υπολογίστηκε ίσος με 0,963. Τους χειμερινούς μήνες φαίνεται να παίρνει μεγαλύτερες τιμές από ότι τους καλοκαιρινούς πλησιάζοντας την μονάδα.

### 5.3.7 Σενάριο BE

Στο σενάριο BE έγινε εγκατάσταση της θερμοπρόσοψης και αλλαγή των θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες. Διαγράμματα καταναλώσεων και εξοικονομήσεων παρουσιάζονται παρακάτω (Διάγραμμα 5.23& 5.24):



Διάγραμμα 5.23: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου B, E και BE ανά μήνα

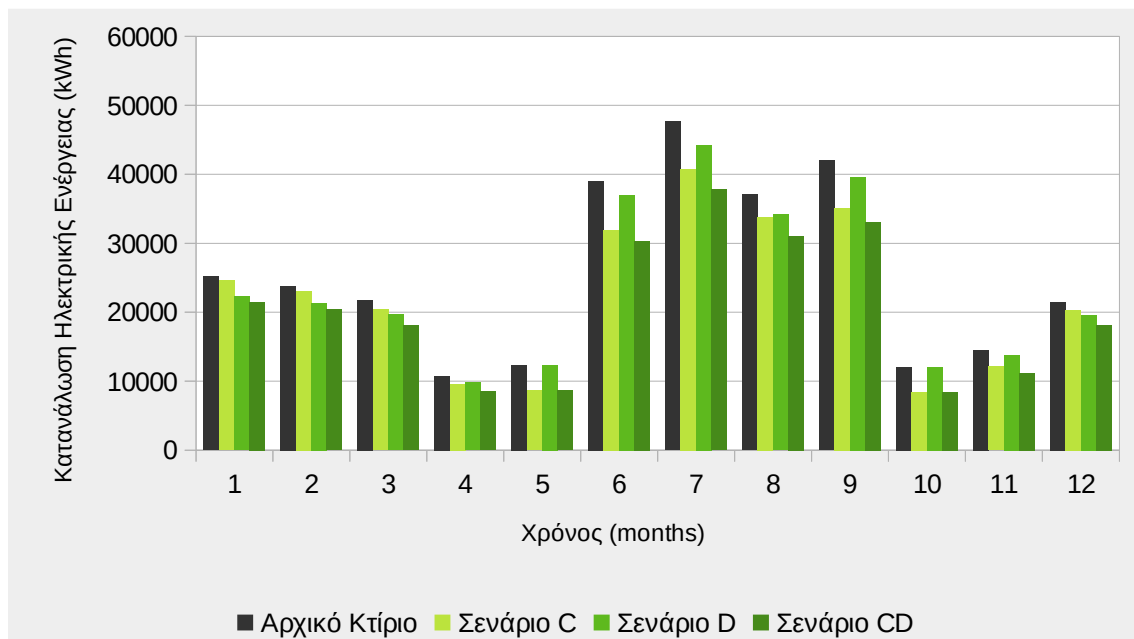


Διάγραμμα 5.24: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου B, E και BE και δείκτης UI ανά μήνα

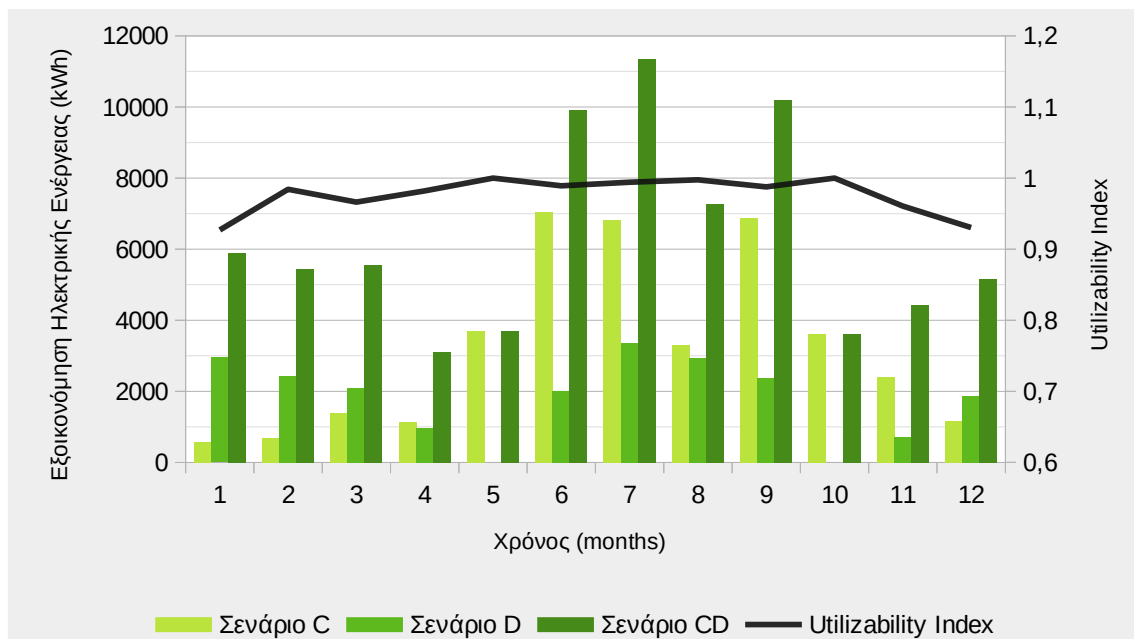
Ο ετήσιος δείκτης UI υπολογίστηκε ίσος με 0,990. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες μεταβολές του δείκτη UI μεταξύ καλοκαιρινών και χειμερινών μηνών.

### 5.3.8 Σενάριο CD

Παρακάτω έγινε αντικατάσταση λαμπτήρων, συντήρηση των συσκευών, τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων. Αναλυτικά φαίνονται οι καταναλώσεις, οι εξοικονομήσεις και ο δείκτης UI σε συνάρτηση με τον χρόνο στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 5.25 & Διάγραμμα 5.26):



Διάγραμμα 5.25: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου C, D και CD ανά μήνα

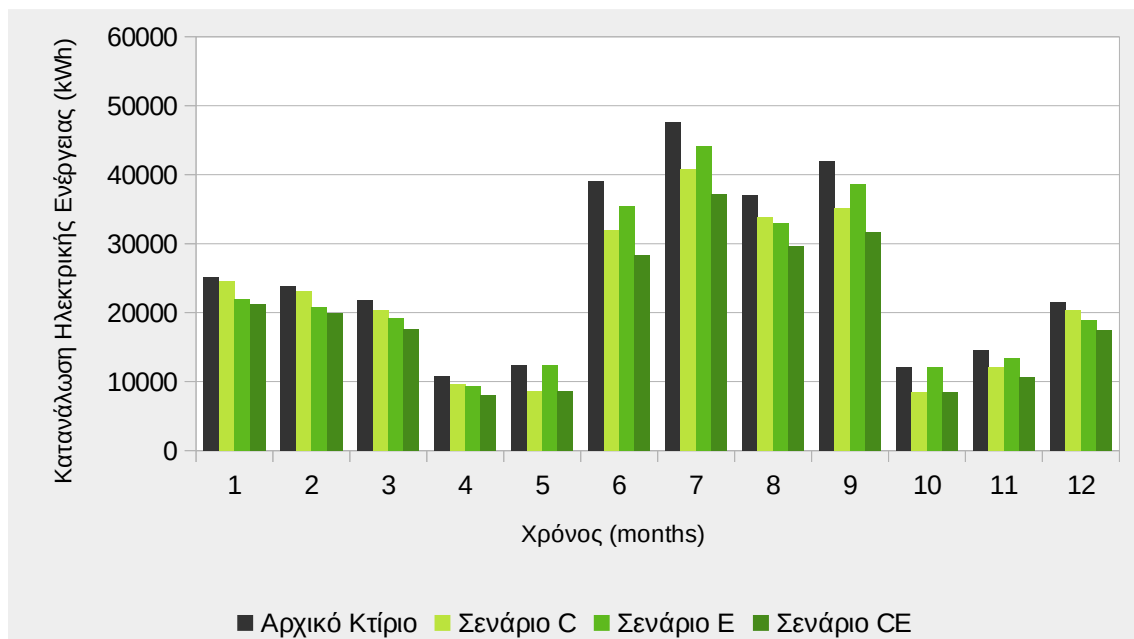


Διάγραμμα 5.26: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου C, D και CD και δείκτης UI ανά μήνα

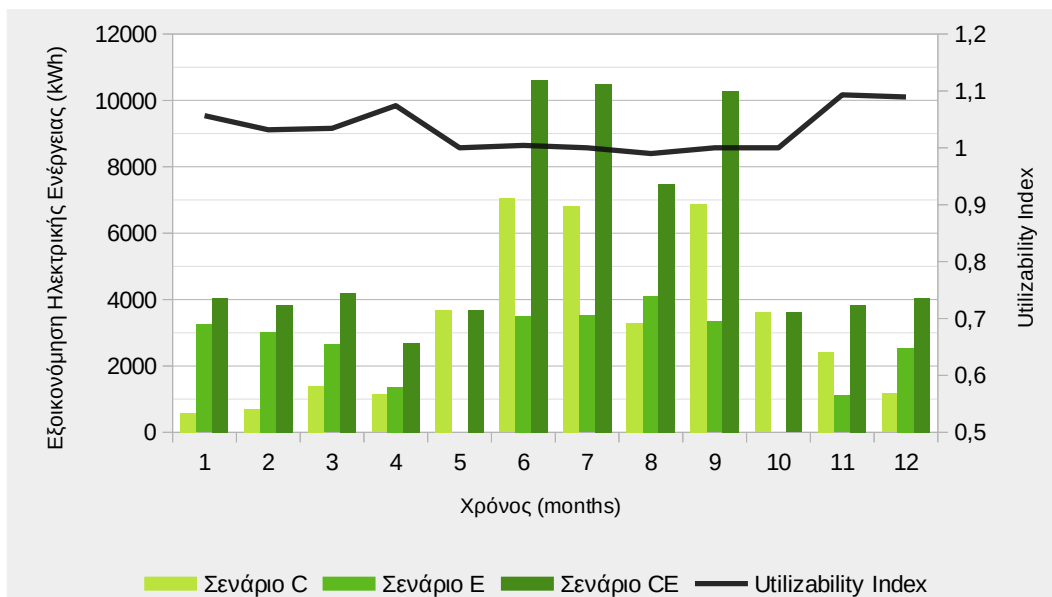
Ο δείκτης UI για το σενάριο CD υπολογίστηκε ίσος με 0,989. Το χειμώνα ο δείκτης UI παίρνει τιμές κοντά στην μονάδα ενώ το καλοκαίρι παρατηρείται μείωση του.

### 5.3.9 Σενάριο CE

Κατά το σενάριο CE έγινε αντικατάσταση λαμπτήρων, συντήρηση των συσκευών και αλλαγή των θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες. Περαιτέρω πληροφορίες για τις καταναλώσεις και εξοικονομήσεις αναγράφονται παρακάτω (Διάγραμμα 5.27& 5.28):



Διάγραμμα 5.27: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου C, E και CE ανά μήνα

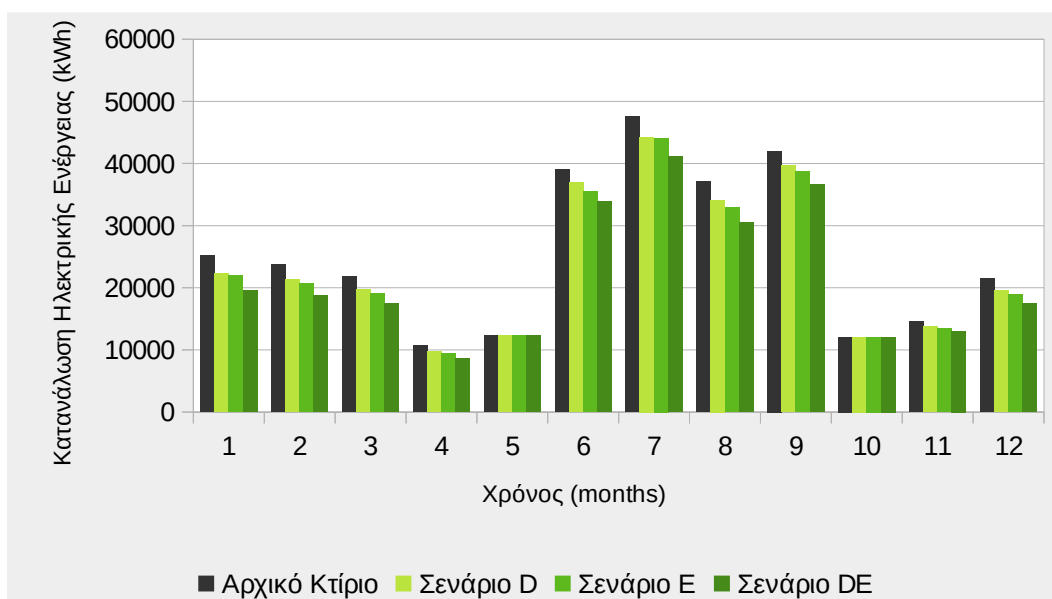


Διάγραμμα 5.28: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου C, E και CE και δείκτης UI ανά μήνα

Η τιμή του δείκτη UI για το συγκεκριμένο σενάριο είναι 1,026. Υψηλότερες τιμές πήρε ο δείκτης τους χειμερινούς μήνες (λίγο μεγαλύτερος από την μονάδα) ενώ τους καλοκαιρινούς πήρε μικρότερες τιμές.

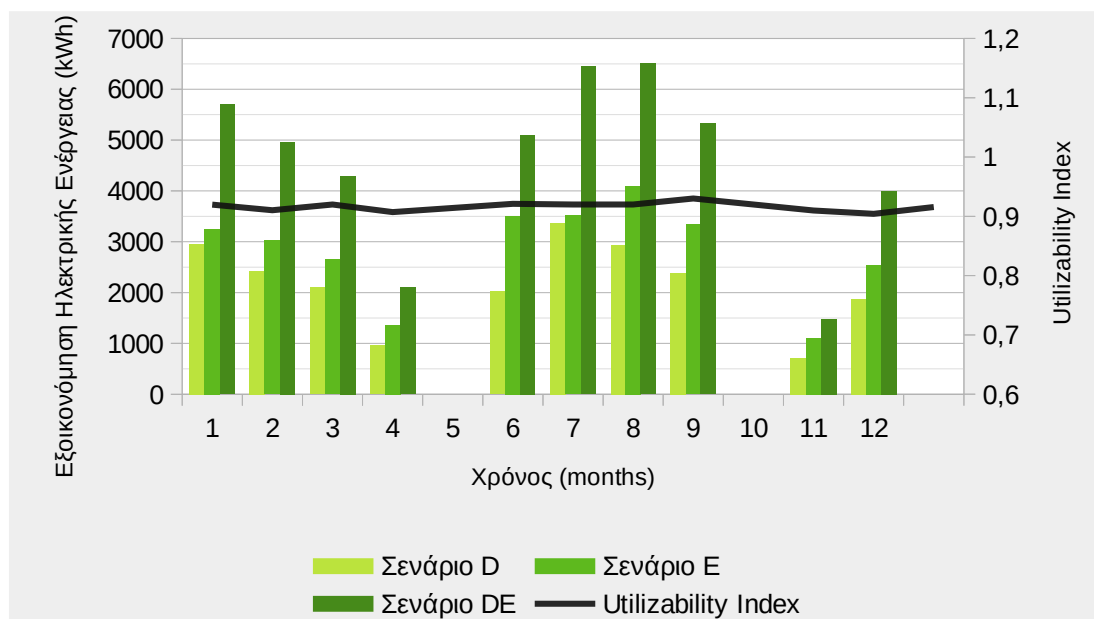
### 5.3.10 Σενάριο DE

Στο σενάριο DE έγινε τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων, κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων καθώς και αλλαγή των θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες. Αναλυτικά φαίνονται οι καταναλώσεις, οι εξοικονομήσεις και ο δείκτης UI σε συνάρτηση με τον χρόνο στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 5.29 & Διάγραμμα 5.30):



Διάγραμμα 5.29: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου D, E και DE ανά μήνα



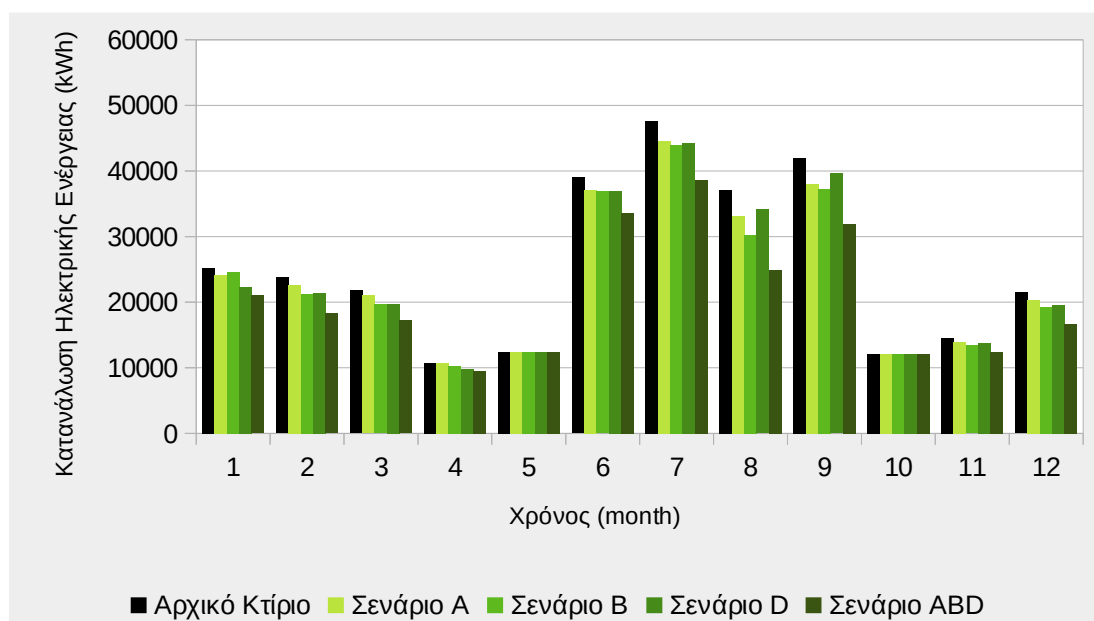


Διάγραμμα 5.30: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου D, E και DE και δείκτης UI ανά μήνα

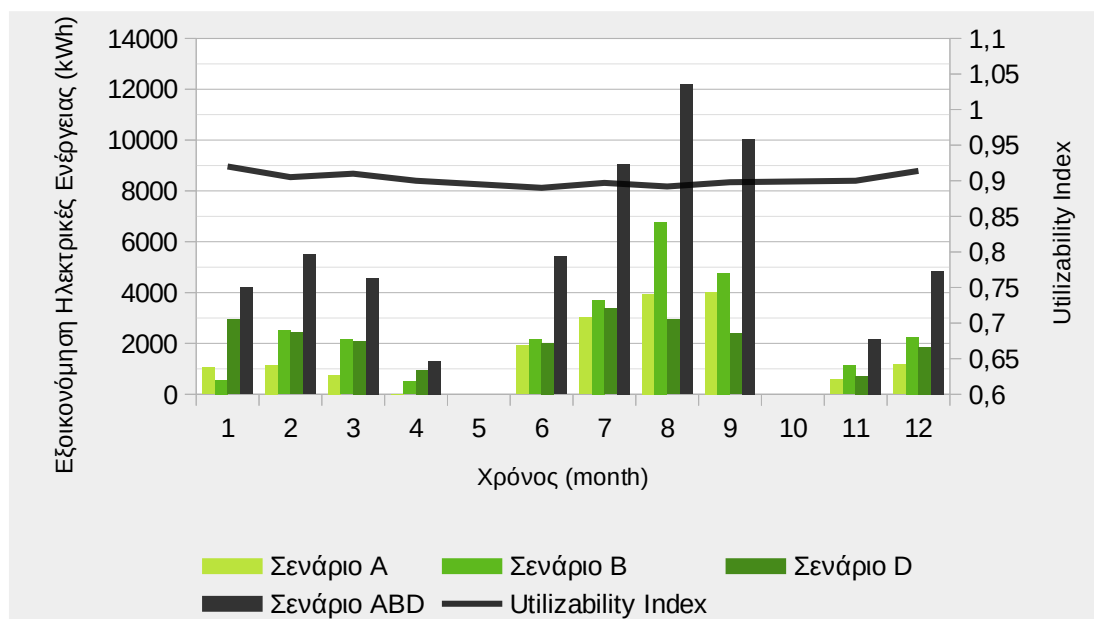
Ο δείκτης UI για το τελευταίο σεναίο 0,917 ενώ οι τιμές του ανά μήνα δεν είχαν μεγάλες μεταβολές.

### 5.3.11 Σενάριο ABD (συμπληρωματικό σεναίο)

Τέλος, στο σεναίο ABD έγινε αντικατάσταση παραθύρων με Low-E παράθυρα, εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου, τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων, κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων. Αναλυτικά φαίνονται οι καταναλώσεις, οι εξοικονομήσεις και ο δείκτης UI σε συνάρτηση με τον χρόνο στα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 5.31 & Διάγραμμα 5.32):



Διάγραμμα 5.31: Καταναλώσεις αρχικού κτιρίου, σεναρίου A, B, D και ABD ανά μήνα



Διάγραμμα 5.32: Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας σεναρίου A, B, D και ABD και δείκτης UI ανά μήνα

Παρατηρούμε ο δείκτης UI να παίρνει τιμές μεταξύ 0,89 και 0,93. Η ετήσια τιμή του δείκτη UI είναι 0,901.

### 5.3.12 Αποτελέσματα δείκτη UI

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω με την μοντελοποίηση των 10 σεναρίων συνδυασμού μέτρων υπολογίστηκαν οι καταναλώσεις, εξοικονομήσεις και οι τιμές του δείκτη UI για κάθε ένα σε-  
νάριο. Οι αναλυτικές τιμές του δείκτη αναγράφονται παρακάτω για το κάθε ένα σενάριο (Πί-  
νακας 5.9):

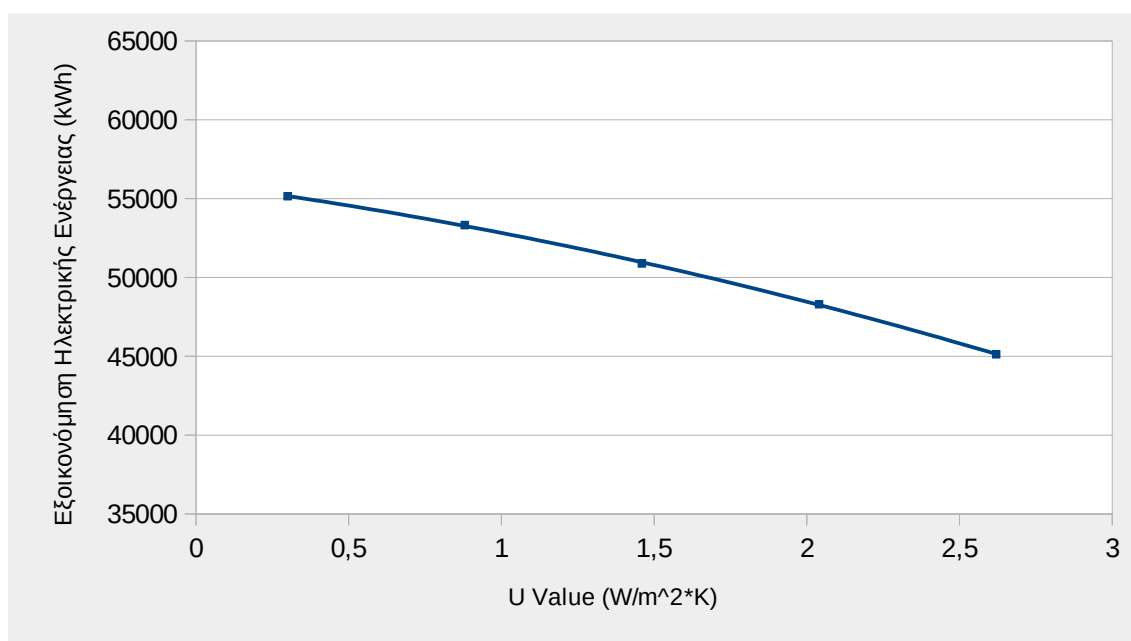
Σενάρια	Utilizability Index
Σενάριο AB	0,995
Σενάριο AC	0,994
Σενάριο AD	0,975
Σενάριο AE	0,954
Σενάριο BC	0,987
Σενάριο BD	0,963
Σενάριο BE	0,990
Σενάριο CD	0,989
Σενάριο CE	1,026
Σενάριο DE	0,917
Σενάριο ABD	0,901

Πίνακας 5.9: Δείκτες UI ανά σενάριο συνδυασμού μέτρων

## 5.4 Αποτελέσματα συσχετισμού μεταξύ U Value, δείκτη UI και εξοικονόμησης ενέργειας

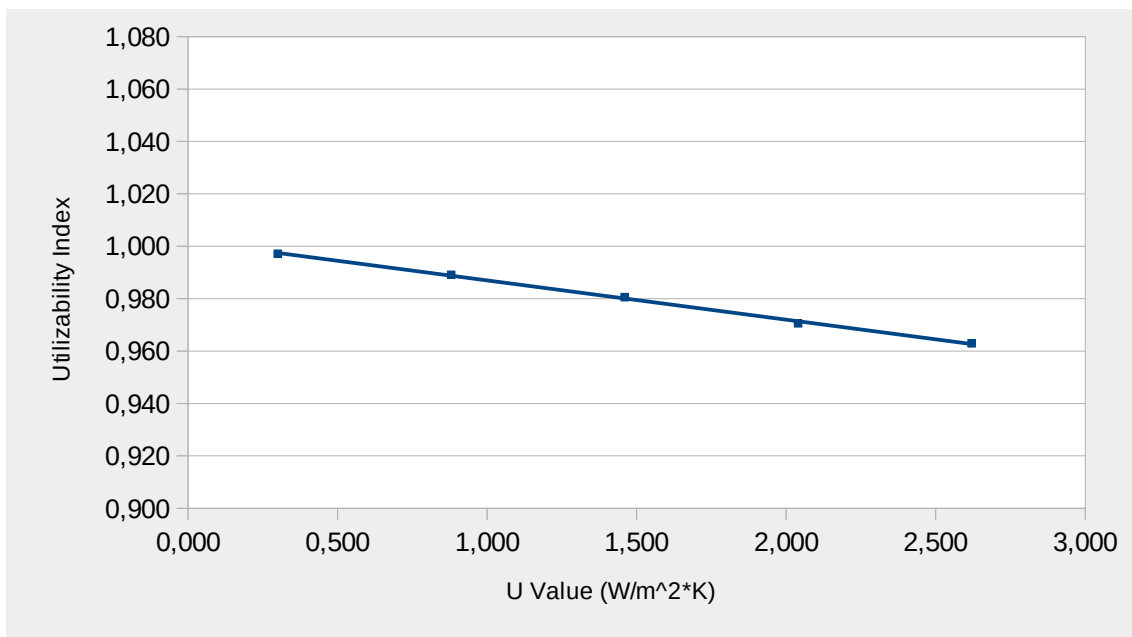
Όπως προαναφέρθηκε, η ανάλυση συσχετισμού μεταξύ της θερμοπερατότητας των παραθύρων, του δείκτη UI και της εξοικονόμησης ενέργειας πραγματοποιήθηκε με σκοπό να γίνει πιο κατανοητή η συμπεριφορά του δείκτη UI. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν για το σενάριο AB.

Η πρώτη σύγκριση του U Value των παραθύρων σε σχέση με τον δείκτη UI και την ενέργεια που εξοικονομήθηκε έγινε στο πρώτο σενάριο AB, στο οποίο αντικαταστάθηκαν τα παράθυρα κι έγινε εγκατάσταση θερμοπρόσοψης. Παρακάτω απεικονίζονται τα διαγράμματα σύγκρισης των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν (Διάγραμμα 5.33 & 5.34):



Διάγραμμα 5.33: Εξοικονόμηση ενέργειας για διαφορετικές τιμές U Value (σενάριο AB)

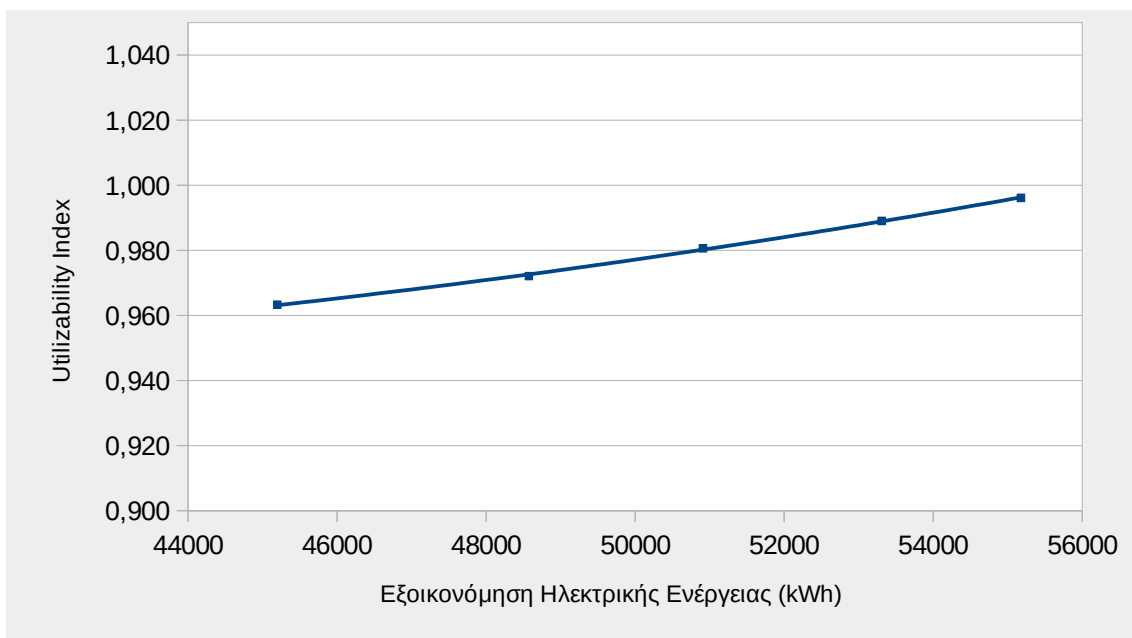
Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η μείωση της θερμοπερατότητας U Value συντέλεσε σε μείωση της κατανάλωσης. Πιο συγκεκριμένα η μείωση της θερμικής διαπερατότητας από  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  σε  $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  είχε σαν αποτέλεσμα συνολική εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ίση με 16%.



Διάγραμμα 5.34: Τιμές δείκτη UI για διαφορετικές τιμές U Value (σενάριο AB)

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι με τη μείωση της θερμοπερατότητας έχουμε αύξηση του δείκτη UI. Πιο συγκεκριμένα, για μεγάλη μείωση του U Value παρατηρείται πολύ μικρή αύξηση του δείκτη UI. Καλύτερη και πιο συμφέρουσα συμπεριφορά των μεταβλητών είναι αυτή όπου η εξοικονόμηση ενέργειας συμπίπτει με την αύξηση του δείκτη UI για μεγιστοποίηση της συνολικής εξοικονόμησης.

Παρακάτω φαίνεται η σχέση του δείκτη UI με τη συνολική εξοικονόμηση (Διάγραμμα 5.35):



Διάγραμμα 5.35: Σχέση εξοικονόμησης ενέργειας - δείκτη UI (σενάριο AB)

Από το παραπάνω διάγραμμα διακρίνουμε ότι η σχέση μεταξύ του δείκτη UI και της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχεδόν γραμμική. Όσο κινούμαστε από τα αριστερά προς τα δεξιά (από μεγαλύτερες τιμές U Value προς μικρότερες τιμές του) παρατηρούμε ότι ο δείκτης UI μεγαλώνει όσο αυξάνεται η εξοικονόμηση.

## Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Όπως παρουσιάστηκε στην παραπάνω ενότητα, κατά την μοντελοποίηση των σεναρίων έγινε εξαγωγή πολλών διαφορετικών αποτελεσμάτων. Ένας από τους κύριους στόχους της διπλωματικής εργασίας ήταν η εύρεση του εξεταζόμενου δείκτη UI. Με βάση τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από τη μοντελοποίηση των σεναρίων μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι ο δείκτης UI πήρε τιμές εντός του εύρους 0,901 – 1,026, με τις περισσότερες να είναι κάτω από την μονάδα (Πίνακας 6.1):

Σενάρια	Utilizability Index
Σενάριο AB	0,995
Σενάριο AC	0,994
Σενάριο AD	0,975
Σενάριο AE	0,954
Σενάριο BC	0,987
Σενάριο BD	0,963
Σενάριο BE	0,990
Σενάριο CD	0,989
Σενάριο CE	1,026
Σενάριο DE	0,917
Σενάριο ABD	0,901

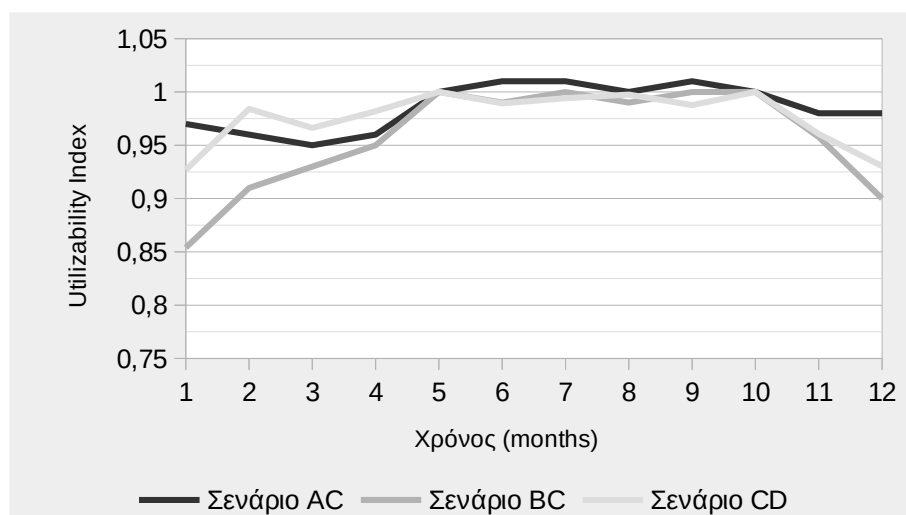
Πίνακας 6.1: Δείκτες UI ανά σενάριο συνδυασμού μέτρων

### 6.1 Ανάλυση του δείκτη UI

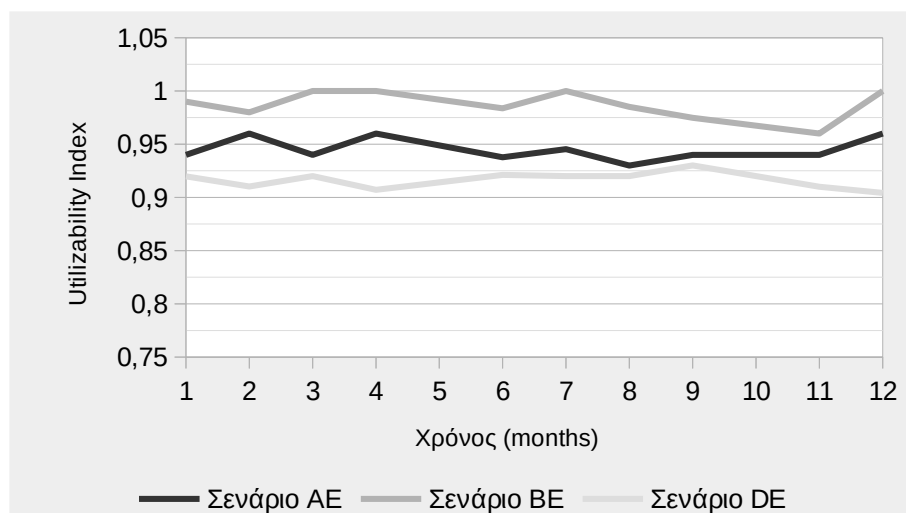
Όπως φάνηκε στην παραπάνω ενότητα ο δείκτης UI εξαρτάται από τον τρόπο δράσης της κάθε μεθόδου εξοικονόμησης ενέργειας μέσα στο έτος. Παρατηρήθηκε, γενικά, ότι όταν συνδυάζονται δύο μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας, η αλληλεπίδραση τους μπορεί να είναι είτε θετική (να δρουν συνεργιστικά), είτε αρνητική (να δρουν ανταγωνιστικά).

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η συμπεριφορά του δείκτη UI μέσα στον χρόνο για κάθε δυνατό συνδυασμό μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας (Διαγράμματα 6.1, 6.2, 6.3 & 6.4). Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο δείκτης UI συμπεριφέρθηκε όμοια σε κάποιες ομάδες σεναρίων. Πιο συγκεκριμένα, συνδυασμοί που περιέχουν τα σενάρια A (αντικατάσταση υαλοπινάκων κτιρίου με υαλοπίνακες χαμηλών εκπομπών), B (εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου) και D (τοποθέτηση αεροφραχτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων) φάνηκε να παρου-

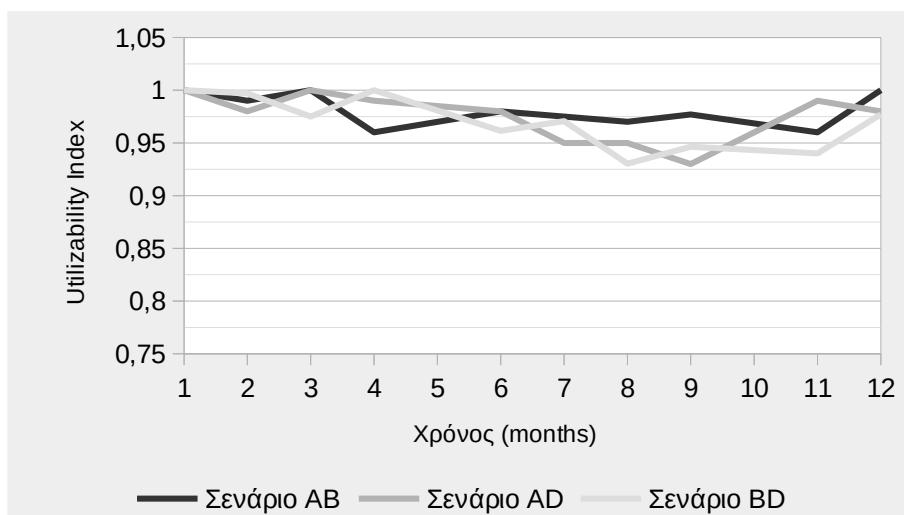
σιάζουν δείκτη UI με κοινή συμπεριφορά. Για παράδειγμα, κατά τα σενάρια AC, BC και CD, όπου έγινε συνδυασμός των σεναρίων που προαναφέρθηκαν με το σενάριο C (Αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών), φαίνεται ότι το καλοκαίρι ο δείκτης UI παίρνει τιμές πολύ κοντά στη μονάδα, ενώ τους χειμερινούς μήνες μειώνεται (Διάγραμμα 6.1). Αντίστοιχα, για τα σενάρια AE, BE και DE και AB, AD και BD. Αυτή η κοινή συμπεριφορά οφείλεται στον κοινό τρόπο δράσης των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόστηκαν στα σενάρια A, B και D, καθώς και στα τρία αυτά σενάρια έγινε επιπλέον μόνωση του κτιρίου.



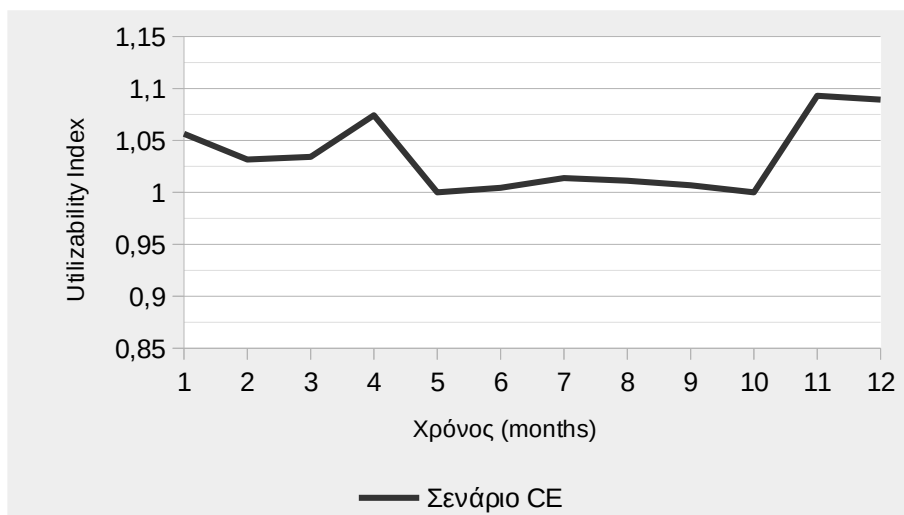
Διάγραμμα 6.1: Τιμές δείκτη UI για τα σενάρια AC, BC και CD κατά την διάρκεια του έτους



Διάγραμμα 6.2: Τιμές δείκτη UI για τα σενάρια AE, BE και DE κατά την διάρκεια του έτους



Διάγραμμα 6.3: Τιμές δείκτη UI για τα σενάρια AB, AD και BD κατά την διάρκεια του έτους



Διάγραμμα 6.4: Τιμές δείκτη UI για το σενάριο CE κατά την διάρκεια του έτους

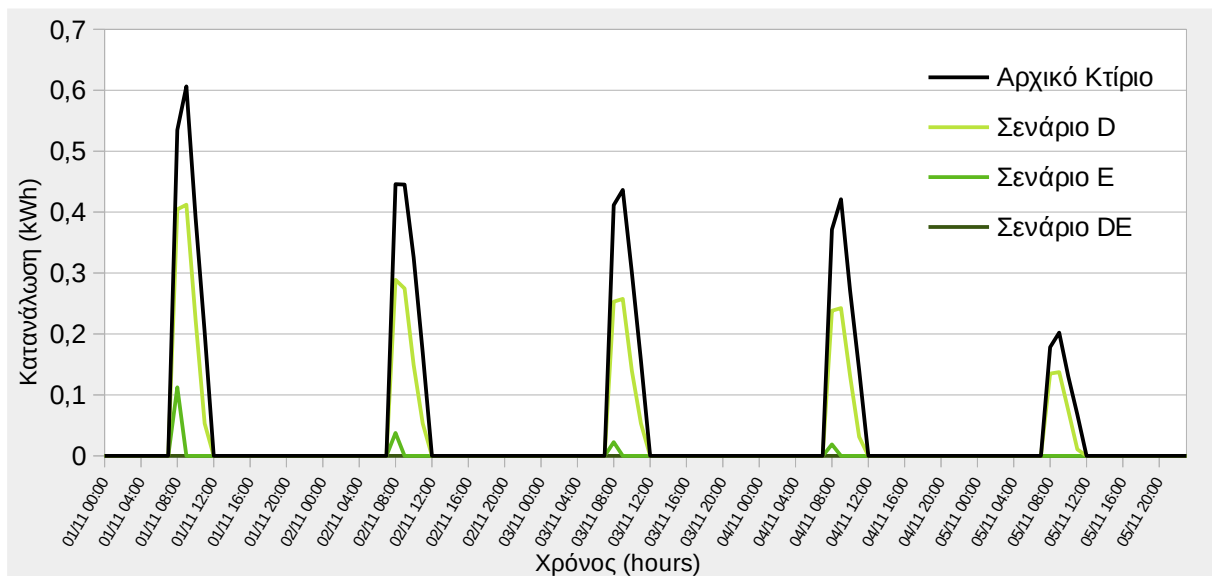
Κατά το σενάριο CE (Αντικατάσταση λαμπτήρων, συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών και αλλαγή θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες) παρατηρήθηκε ο δείκτης UI να παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, το οποίο δεν παρατηρήθηκε πουθενά αλλού.

### Αποτελέσματα σεναρίου ABD (συμπληρωματικό σενάριο)

Στο σενάριο ABD έγινε συνδυασμός των σεναρίων A (αντικατάσταση παραθύρων με Low-E παράθυρα), B (εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου) και D (τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων). Το σενάριο αυτό μοντελοποιήθηκε με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς του δείκτη UI όταν συνδυάζουμε πολλαπλές μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα του δείκτη UI, το σενάριο ABD αποτέλεσε αυτό με τον μικρότερο δείκτη ( $UI = 0,901$ ), το οποίο αποδεικνύει ότι όσες περισσότερες μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας εφαρμόζονται σε ένα κτίριο, τόσο μικρότερες θα είναι οι εξοικονομήσεις που αναμένεται να έχουμε σε σχέση με το άθροισμα των εξοικονομήσεων, αν εφαρμόζονταν κάθε μέθοδος ξεχωριστά.

## Γενικές παρατηρήσεις

Γενικότερα, παρατηρήθηκε ότι ο δείκτης UI επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες. Για μία μέση εβδομάδα του Νοεμβρίου στο σενάριο DE (τοποθέτηση αεροφρακτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων, κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων και αλλαγή των θερμοκρασιών που έχουν οριστεί στους θερμοστάτες) παρατηρούμε ότι, για ένα γραφείο στο βορειοδυτικό άκρο του κτιρίου, το άθροισμα των εξοικονομήσεων ενέργειας των δύο μεθόδων (D και E) είναι μεγαλύτερο από τη συνολική κατανάλωση του αρχικού κτιρίου, με αποτέλεσμα η συνδυαστική δράση τους να μην αντιστοιχεί στο άθροισμα των επιμέρους δράσεων. Αυτό το φαινόμενο παρατηρήθηκε περισσότερο στα σενάρια όπου είχαμε μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας, ωστόσο αποτελεί ένα φαινόμενο το οποίο πρέπει να σημειωθεί. Παρακάτω, φαίνονται οι καταναλώσεις του αρχικού κτιρίου, των σεναρίων του παραδείγματος και του συνδυασμού τους (Διάγραμμα 6.1):



Διάγραμμα 6.5: Ωριαίες καταναλώσεις γραφείου αρχικού κτιρίου και σεναρίων D, E και DE για 1/11 - 5/11

Το παραπάνω παράδειγμα μας προσφέρει επιπλέον πληροφορίες για τον λόγο για τον οποίο ο δείκτης UI μπορεί να παίρνει τιμές μικρότερες της μονάδας. Αυτό εκφράζεται μαθηματικά παρακάτω:

Έστω,  $C$  η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός χώρου και  $S$  η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας ενός χώρου. Τότε, για τις εξοικονομήσεις κάθε σεναρίου ισχύει ότι:

$$S_{\text{σεν}E} = C_{\text{αρχ}} - C_{\text{σεν}E} \quad , \quad S_{\text{σεν}D} = C_{\text{αρχ}} - C_{\text{σεν}D} \quad \text{και} \quad S_{\text{σεν}DE} = C_{\text{αρχ}} - C_{\text{σεν}DE}$$

Επιπλέον ισχύει ότι  $0 \leq S_{\text{σεν}DE} < C_{\text{αρχ}}$  (1)

Αν  $S_{\text{σεν}D} + S_{\text{σεν}E} > C_{\text{αρχ}}$  (2) τότε από (1) και (2):

$$S_{\text{σεν}D} + S_{\text{σεν}E} > S_{\text{σεν}DE}$$



## 6.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων συσχετισμού μεταξύ U Value, δείκτη UI και εξοικονόμησης ενέργειας

### Σενάριο AB

Το σενάριο AB προέκυψε από τον συνδυασμό των σεναρίων A (αντικατάσταση παραθύρων) και B (εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους). Για το σενάριο AB παρατηρήθηκε από το προηγούμενο κεφάλαιο ότι όσο μειώνεται η θερμοπερατότητα των παραθύρων (από 2,7 W/(m<sup>2</sup>K) σε 0,35 W/(m<sup>2</sup>K)) αυξάνεται ελάχιστα ο δείκτης UI (από 0,962 σε 0,997). Αυτό οφείλεται στα εξής:

Κατά το σενάριο A, η εγκατάσταση παραθύρων (μείωση της θερμοπερατότητας των παραθύρων) οδηγεί στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι (12,3%) και τον χειμώνα (9,98%). Στο σενάριο B, η προσθήκη θερμοπρόσοψης (μείωση της θερμοπερατότητας των τοιχών) στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου K1 δρα αντίστοιχα, μειώνοντας την κατανάλωση όλο τον χρόνο (17,5% για ψύξη και 20,08% για θέρμανση). Η εφαρμογή αυτών των δύο μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας δεν είναι αποδοτική όταν εφαρμόζονται ξεχωριστά. Μονώνοντας τους τοίχους και αφήνοντας αμόνωντα τα παράθυρα χάνεται ένα μεγάλο μέρος της δράσης της θερμοπρόσοψης λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοπερατότητας μεταξύ παραθύρων και εξωτερικών τοίχων. Μπορούμε με ένα γρήγορο υπολογισμό να διακρίνουμε τη θερμοπερατότητα των εξωτερικών τοίχων του K1:

Γνωρίζουμε ότι:  $U = \frac{1}{R}$  &  $R = \frac{e}{\lambda}$  όπου:

U η θερμοπερατότητα (  $\frac{W}{m^2 K}$  ) και R η θερμική αντίσταση (  $\frac{m^2 K}{W}$  ),

e το πάχος του υλικού (m) και

λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (  $\frac{W}{m K}$  )

Κατασκευές	Υλικό	Πάχος (Thickness) m	Αγωγιμότητα (Conductivity) W/m*K
<b>Εξωτερικός Τοίχος Ισογείου</b>	Πολυστερίνη	0.1	0.05
	Σκυρόδεμα	0.2	2
	Γυψοσανίδα	0.018	0.42
	Υαλοβάμβακας	0.05	0.041
	Γυψοσανίδα	0.018	0.42

Πίνακας 6.2: Δομή εξωτερικού τοίχου ισογείου για το σενάριο AB

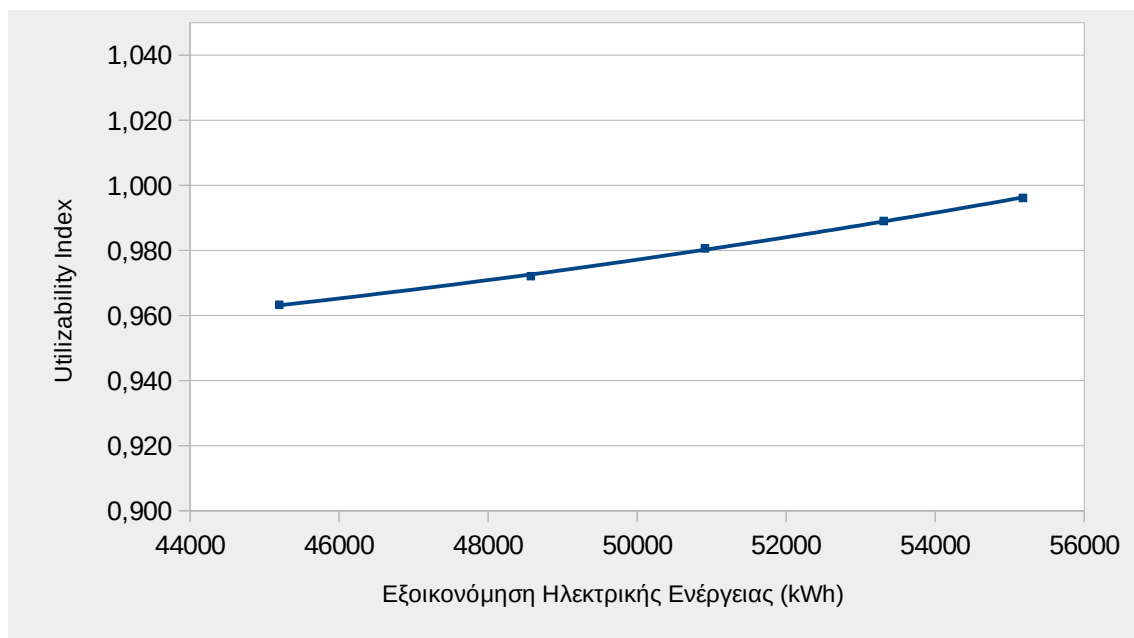
Αντικαθιστώντας προκύπτει  $U=0,29 \frac{W}{m^2 K}$  για τους εξωτερικούς τοίχους του ισογείου.

Η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει όλους τους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου K1.

Μονώνοντας λοιπόν στο σενάριο AB ισομερώς τα παράθυρα και τους εξωτερικούς τοίχους εξασφαλίζουμε την αποδοτικότερη μόνωση του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου.

### 6.3 Σχέση κατανάλωσης – δείκτη UI – U Value

Η σχέση μεταξύ εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας και δείκτη UI, όπως παρουσιάστηκε στην παραπάνω ενότητα, είναι σχεδόν γραμμική για το σενάριο AB που εξετάστηκε. Παρακάτω, παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ του δείκτη UI και της συνολικής εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας για το σενάριο AB (Διάγραμμα 6.5):



Διάγραμμα 6.6: Σχέση εξοικονόμησης ενέργειας - δείκτη UI για το σενάριο AB

Βέλτιστη λύση αποτελεί αυτή όπου η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται μαζί με τον δείκτη UI με σκοπό την μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση. Στο σενάριο AB που μελετήθηκε παρατηρήθηκε η παραπάνω σχέση, το οποίο σημαίνει ότι τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας συνδυάζονται καλύτερα όσο αυξάνουμε τη μόνωση των παραθύρων (μείωση του U Value).

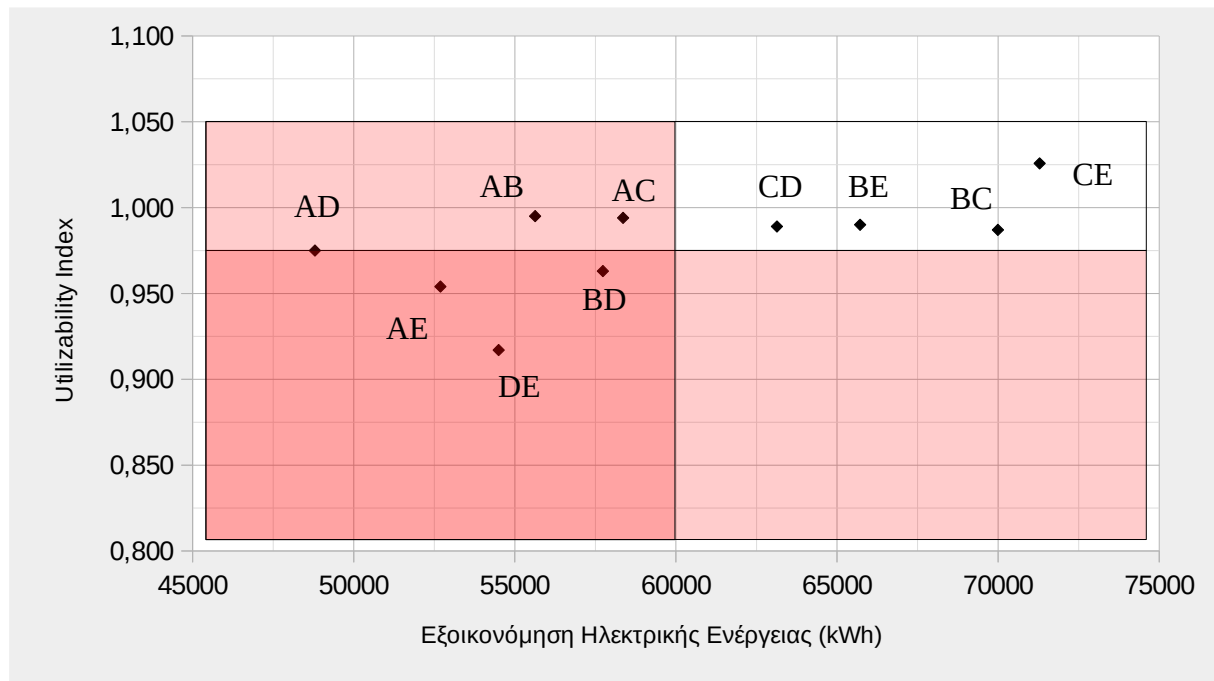
### 6.4 Επιλογή κατάλληλου σεναρίου

Η επιλογή και εφαρμογή κατάλληλων μετασκευαστικών μεθόδων υπό κανονικές συνθήκες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η εξοικονόμηση ενέργειας που θα αποφέρει, η ευκολία, ο χρόνος και το κόστος εφαρμογής της.

Η συγκεκριμένη διπλωματική, παρά τους προαναφερόμενους παράγοντες, εστίασε στην ενέργεια που εξοικονομείται από κάθε μέθοδο και στη μέγιστη αξιοποίηση της κάθε μεθόδου

(το οποίο εκφράζεται από τον δείκτη UI). Ο συνδυασμός εξοικονόμησης ενέργειας και υψηλού δείκτη UI μας εξασφαλίζει μέγιστη αξιοποίηση της κάθε μετασκευαστικής μεθόδου, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μέγιστη εξοικονόμηση.

Παρακάτω, παρουσιάζεται το διάγραμμα σχέσης δείκτη UI εξοικονόμησης για κάθε σενάριο ξεχωριστά (Διάγραμμα 6.4). Η επίτευξη μεγάλων τιμών του δείκτη UI, σε συνδυασμό με μεγάλη εξοικονόμηση, αποτελεί τη βέλτιστη λύση όταν ο στόχος είναι η μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας:



Διάγραμμα 6.7: Δείκτης UI ανά εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε σενάριο

# Συμπεράσματα

## 7.1 Γενικά συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μοντελοποιήσεις μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Η συνολική εξοικονόμηση που προκύπτει από την εφαρμογή πολλαπλών μεθόδων ενεργειακής αναβάθμισης στο κτίριο K1 δεν αντιστοιχεί πάντα στο άθροισμα των εξοικονομήσεων, όταν εφαρμόζονται οι ίδιες μέθοδοι ενεργειακής αναβάθμισης ξεχωριστά στο ίδιο κτίριο. Η εφαρμογή των μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας των σεναρίων C (αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών) και E (αλλαγή ορίου θερμοκρασίας στον θερμοστάτη) οδήγησε σε συνολική εξοικονόμηση 2,6% μεγαλύτερη από το άθροισμα των εξοικονομήσεων, αν αυτές οι δύο μέθοδοι εφαρμόζονταν ξεχωριστά.
- Ο δείκτης UI παίρνει τιμές ανάλογα με το είδος των αλληλεπιδράσεων των διαφόρων μεθόδων ενεργειακής αναβάθμισης μέσα σε ένα έτος. Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας που λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο παρουσιάζουν δείκτες UI με κοινή συμπεριφορά.
- Ο δείκτης UI παίρνει συνηθέστερα τιμές μικρότερες της μονάδας όταν γίνεται εφαρμογή πολλαπλών μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας, λόγω της αλληλοεπικάλυψης των δράσεων τους. Αυτό παρατηρείται κατά το σενάριο ABD (αντικατάσταση υαλοπινάκων κτιρίου με υαλοπίνακες χαμηλών εκπομπών, εγκατάσταση θερμοπρόσοψης στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου, τοποθέτηση αεροφραχτών στις εξωτερικές πόρτες, συντήρηση παραθύρων και κλείσιμο ρωγμών και ανοιγμάτων), όπου υπολογίστηκε δείκτης UI ίσος με 0,901 (η μικρότερη τιμή που υπολογίστηκε).
- Ο δείκτης UI αποτελεί αξιόπιστο τρόπο εύρεσης της συνεργασίας μεταξύ δύο ή περισσότερων μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας και συμβάλλει στη μείωση των καταναλώσεων ηλεκτρικής ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση και αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας και, συνεπώς, μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.
- Οι ενεργητικές μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας αποτέλεσαν εξίσου σημαντικές λύσεις εξοικονόμησης με τις παθητικές μεθόδους. Κατά το σενάριο C (αντικατάσταση λαμπτήρων και συντήρηση ηλεκτρικών συσκευών) επιτεύχθηκε εξοικονόμηση ίση με 12,01%, ενώ στο σενάριο A (αντικατάσταση υαλοπινάκων κτιρίου με υαλοπίνακες χαμηλών εκπομπών), το οποίο αποτελεί παθητική λύση, επιτεύχθηκε μόλις 6,99%.

## 7.2 Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ παραμέτρων όπως είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, ο δείκτης UI κτλ αποτελεί ένα δύσκολο έργο, το οποίο απαιτεί πολύ χρόνο και μεγάλο εύρος αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να αιτιολογηθεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Επιπρο-

σθέτως, η πολυπλοκότητα του κτιρίου παίζει έναν εξίσου σημαντικό ρόλο στην αιτιολόγηση και κατανόηση των αποτελεσμάτων. Όσο λιγότερο σύνθετο είναι το κτίριο το οποίο μοντελοποιείται, τόσο πιο απλά και κατανοητά γίνονται τα αποτελέσματα που εξάγουμε. Στη συγκεκριμένη περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ερευνήθηκαν διάφορες παράμετροι σε ένα πολυσύνθετο κτίριο της Πολυτεχνειούπολης. Επιπλέον δυσκολία αποτέλεσε ο συνδυασμός μετασκευαστικών λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς υπάρχει μια έλλειψη κατανόησης της δράσης μεταξύ πολλαπλών τέτοιων μεθόδων. Για μελλοντική έρευνα πάνω στο ίδιο θέμα προτείνεται η μελέτη του δείκτη UI σε ένα κτίριο μικρότερης κλίμακας. Επιπλέον, ενδιαφέρον θα είχε η ανάλυση του δείκτη UI σε κτίρια διαφορετικών χρήσεων, όπως κατοικίες και κτίρια δευτερογενή τομέα.

Οι συνολικοί έλεγχοι (τιμές διαπερατότητας παραθύρων) που έγιναν για τον εντοπισμό του συσχετισμού μεταξύ του δείκτη UI και των μεταβαλλόμενων παραμέτρων για το σενάριο AB ήταν 10. Είναι γνωστό, ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των δοκιμών, τόσο καλύτερη και ασφαλέστερη είναι η εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Σε μια μελλοντική έρευνα, θα μπορούσαν να παραχθούν περισσότερα αρχεία για πιο ακριβή αποτελέσματα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, είτε με τη χρήση κάποιου κώδικα εντός του Energy Plus για την επίτευξη πολλαπλών μοντελοποιήσεων ταυτοχρόνως, είτε με χρήση κάποιου εξελικτικού αλγορίθμου, όπως αναφέρθηκε στη δεύτερη έρευνα που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής επισκόπησης.

# Βιβλιογραφία

## Διαδικτυακές Πηγές

- <https://www.stanekwindows.com/what-is-low-e-glass-and-does-it-make-windows-more-energy-efficient.aspx>
- <https://www.energy.gov/energysaver/design/windows-doors-and-skylights/update-or-replace-windows>
- <https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/technical-information/uv-ap/solar.html>
- <https://www.energy.gov/energysaver/types-insulation>
- [https://www.jlconline.com/training-the-trades/heat-transfer-through-buildings\\_o](https://www.jlconline.com/training-the-trades/heat-transfer-through-buildings_o)
- <http://www.cres.gr/energyhubforall/2.2.html>
- <http://www.cres.gr/energyhubforall/Energeiaki%20apodosi%20ktirion.html>
- [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/ktiria\\_intro.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm)
- <https://docplayer.gr/2682710-Tehnika-ylika-tomos-2.html>
- [http://repository.edulll.gr/edulll/bitstream/10795/1497/11/1497\\_01.pdf](http://repository.edulll.gr/edulll/bitstream/10795/1497/11/1497_01.pdf)

## Αρθρα

- Junjing Yang, Adrian Chong, Mat Santamouris, Denia Kolokotsa, Siew Eang, Lee, Kwok Wai Tham, Chandra Sekhar και David Kok Wai Cheong, “Energy utilizability concept as a retrofitting solution selection criterion for buildings”, 24 Μαΐου 2017
- Ricardo M. S. F. ALMEIDA και Vasco Peixoto DE FREITAS, “An insulation thickness optimization methodology for school buildings rehabilitation combining artificial neural networks and life cycle cost”, Οκτώβριος 2016
- Nikolaos Kampelis, Georgios I. Papayiannis, Dionysia Kolokotsa, Georgios N. Galanis, Daniela Isidori, Cristina Cristalli και Athanasios N. Yannacopoulos, “An Integrated Energy Simulation Model for Buildings”, 4 Μαρτίου 2020
- Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης και Εφαρμογής δράσεων στους τομείς της Έρευνας της Τεχνολογικής Ανάπτυξης και της Καινοτομίας (ΕΥΔΕ -ΕΤΑΚ), Έρευνα περιγραφής πρώτου σταδίου της ανάπτυξης μίας ολοκληρωμένης μεθόδου για την ενεργειακή παρακολούθηση των κτιρίων Κ1 και Κ2 του Πολυτεχνείου Κρήτης, 2014
- “Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των Κτιρίων”, Ιούλιος 2010
- “Διευκρινίσεις - Προσθήκες Τεχνικής Οδηγίας Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, Αναλυτικές Εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης, Έκδοση: ΔΠ1/(20701-1/2010)”, Φεβρουάριος 2012
- Jorge S. Carlos Helena Corvacho, “Measures Inold Elementary School Buildings Towards Energy Efficiency”, Ιούνιος 2010
- Zhengyu Kang, “Improving Energy Efficiency Performance of Existing Residential Building in Northern China”, Άνοιξη 2019
- Χαρίλαος Μαγκώνης, “Παραμετρική Ανάλυση Καινοτόμων Φωτοβολταϊκών Ενσωματωμένων σε Κτίρια Γραφείων”, Ιούνιος 2019
- Erica Marshall, Julia K. Steinberger, Valerie Dupont και Timothy J. Foxon, “Combining energy efficiency measure approaches and occupancy patterns in building modelling in the UK residential context”, 2016