



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΜΗΤΤΑ ΧΡΗΣΤΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Αν. Καθηγήτρια ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ
Δρ. ΜΑΡΙΑ ΜΑΝΔΑΛΑΚΗ

ΧΑΝΙΑ, 2018



" Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης "

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έρευνα ξεκίνησε με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα και συγκεκριμένα σε παραδοσιακά κτίρια ιστορικής και ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής αξίας. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη σε τοπικά χωριά και παραδοσιακούς οικισμούς του νομού Γρεβενών της Περιφέρειας της Δυτικής Μακεδονίας, όπου υπάρχουν αρκετές παραδοσιακές πετρόχτιστες κατοικίες. Στην πόλη έχουν διασωθεί ελάχιστα παραδοσιακά κτίρια.

Για την πρακτική εφαρμογή των λύσεων ενεργειακής αναβάθμισης, επιλέχθηκε ένα δημόσιο κτίριο στην πόλη των Γρεβενών. Στη συνέχεια, έγινε καταγραφή των κατασκευαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών καθώς και των ενεργειακών του καταναλώσεων. Σύμφωνα με αυτά κατασκευάστηκε «ενεργειακό μοντέλο» του κτιρίου μέσω του λογισμικού Energy Plus. Η σημασία διαφύλαξης της παραδοσιακής του αρχιτεκτονικής οδηγεί σε άμεση εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και τεχνικές ενσωμάτωσης που προτείνονται σε παραδοσιακά ή διατηρητέα κτίρια. Η απεικόνιση των πιθανών εξωτερικών παρεμβάσεων παρουσιάζεται σε σχέδια τριών διαστάσεων μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος Sketch Up.

Σύμφωνα με την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου μελέτης και τα προτεινόμενα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης εξετάζονται σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας όπως η αντικατάσταση λαμπτήρων, παραθύρων, ηλεκτρικών συσκευών και τοποθέτησης εσωτερικής μόνωσης. Επίσης, προτείνεται αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης με χρήση αντλίας θερμότητας και κάλυψη του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας με φωτοβολταϊκά κεραμίδια. Τα παραπάνω μέτρα οδηγούν σε δυο προτάσεις. Η πρώτη, αφορά την διατήρηση και ενεργειακή αναβάθμιση της υφιστάμενης χρήσης των κτιρίου. Η δεύτερη, αφορά την αξιοποίηση του κτιρίου ως ιστορικό μουσείο μικρής κλίμακας. Και στις δύο προτάσεις οι ενεργειακές επεμβάσεις γίνονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να επιτευχθεί η μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων και συγχρόνως η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Τέλος, προκύπτει ότι υπάρχουν λύσεις ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων με παραδοσιακό κέλυφος, οι οποίες διασφαλίζουν την διαφύλαξη της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής και μπορούν να τα μετατρέψουν συνδυαστικά σε πράσινα κτίρια. Συγχρόνως, η σωστή διαχείριση των παραδοσιακών δημοσίων κτιρίων, με έργα ανακαίνισης, επαναλειτουργίας, επαναχρησιμοποίησης και ενεργειακής αναβάθμισης, μπορεί να συμβάλει στη μείωση του ενεργειακού τους αποτυπώματος, αλλά και να δημιουργήσει ευχάριστους χώρους και ευκαιρίες για νέες πνευματικές δραστηριότητες εκπαίδευσης και ψυχαγωγίας.

ABSTRACT

The research began with the aim of saving energy in the building sector and specifically in traditional buildings of historical and special architectural value. Initially, there was a visit to local villages and traditional settlements of Grevena, of the region of Western Macedonia, where there are several traditional stone houses. Only a few traditional buildings have been preserved in the city.

For the practical implementation of the energy retrofitting solutions, a public building was chosen in the city of Grevena. Thereafter, the constructional and functional characteristics as well as its energy consumption were recorded. According to them, the energy model of the building was built using the Energy Plus software. The importance of preserving its traditional architecture leads to the immediate implementation of energy saving measures and integration techniques proposed in traditional or preserved buildings. The depiction of possible external interventions is presented in three dimensional drawings through the Sketch Up design program.

According to the energy performance of the study building and the proposed energy upgrading measures, energy saving scenarios such as replacing lamps, windows, electrical appliances and indoor insulation are being considered. It is also proposed to upgrade the heating system by using a heat pump and covering the electricity load with photovoltaic tiles. The above measures lead to two proposals. The first concerns the conservation and energy upgrading of the existing use of the building. The second concerns the use of the building as a historical museum of small scale. In both proposals, energy interventions are done in such a way as to reduce energy consumption and at the same time reduce greenhouse gas emissions.

Finally, there are solutions for energy upgrading of traditional buildings that ensure the preservation of traditional architecture and can convert them into green buildings. At the same time, the proper management of these traditional public buildings, with renovation, reopening, reuse and energy retrofitting, can help reduce their energy footprint, but also create pleasant spaces and opportunities for new intellectual activities of education and entertainment.

Πίνακας περιεχομένων

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ	20
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	38
3.1 Πλάνο επίλυσης του προβλήματος	38
3.2 Τεχνική περιγραφή του κτιρίου μελέτης.....	39
3.2.1 Ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου	42
3.2.2 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κτιρίου	43
3.2.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά κτιρίου	47
3.3 Μοντελοποίηση κτιρίου	49
3.3.1 Αποτύπωση και απεικόνιση κτιρίου	49
3.3.2 Κατασκευή ενεργειακού μοντέλου.....	50
3.4 Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης	54
3.5 Πρόταση αξιοποίησης του κτιρίου ως μουσείο	56
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	58
4.1 Πραγματικές καταναλώσεις κτιρίου	58
4.2 Μοντελοποίηση του υφιστάμενου κτιρίου	59
4.3 Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας	62
4.4 Προτάσεις υλοποίησης με αξιοποίηση ΑΠΕ	62
5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ	65
5.1 Σύγκριση πραγματικών καταναλώσεων με το μοντέλο	66
5.2 Ανάλυση σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας.....	67
5.2.1 Σενάριο 1: Αλλαγή λαμπτήρων.....	67
5.2.2 Σενάριο 2: Εσωτερική μόνωση	68
5.2.3 Σενάριο 3: Αλλαγή κουφωμάτων	71
5.2.4 Σενάριο 4: Αναβάθμιση Η/Μ εξοπλισμού.....	73
5.2.5 Σενάριο 5: Συνδυασμός σεναρίων Σ1, Σ2, Σ3 & Σ4	74
5.2.6 Σενάριο 6: Λειτουργία Μουσείου.....	75
5.2.7 Σενάριο 7: Συνδυασμός σεναρίων Σ2, Σ3 & Σ6	79
5.3 Σύστημα θέρμανσης	80
5.4 Σύστημα Φ/Β κεραμιδιών	83
5.5 Προτάσεις υλοποίησης	87
5.5.1 Ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου σε σΜΕΚ.....	87
5.5.2 Μετατροπή του κτιρίου σε μουσείο σΜΕΚ	89
5.5.3 Πρόταση επιπλέον έρευνας στο κτίριο.....	91

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	93
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98
8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	100

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Κατασκευαστικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά των διατηρητέων κτιρίων μελέτης του προγράμματος [SECHURBA, 2008]	23
Πίνακας 2: Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης στο κέλυφος και στο εσωτερικό περιβάλλον διατηρητέων κτιρίων στον ευρωπαϊκό χώρο [SECHURBA, 2008].....	24
Πίνακας 3: Προτάσεις βελτιώσεων των Η/Μ συστημάτων και ενσωμάτωσης συστημάτων ΑΠΕ σε διατηρητέα κτίρια στον ευρωπαϊκό χώρο [SECHURBA, 2008].....	25
Πίνακας 4: Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στο Albergo dei Poveri [Franco et al., 2014]...	33
Πίνακας 5: Μετεωρολογικά δεδομένα Ν. Γρεβενών (Μετεωρολογικός σταθμός Γρεβενών)	40
Πίνακας 6: Καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος από τη ΔΕΗ.....	42
Πίνακας 7: Αποτελέσματα μοντελοποίησης του κτιρίου με κλιματικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης και των Γρεβενών	60
Πίνακας 8: Αποτελέσματα σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας.....	62
Πίνακας 9: Περιπτώσεις τοποθέτησης Φ/Β συστήματος	63
Πίνακας 10: Αποτελέσματα εγκατάστασης Φ/Β συστήματος	63
Πίνακας 11: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων	65
Πίνακας 12: Σύγκριση των πραγματικών καταναλώσεων με αυτές του μοντέλου	66
Πίνακας 13: Απαιτούμενη ισχύς τεχνητού φωτισμού ανά m ² κάθε χώρου	67
Πίνακας 14: Συντελεστές U πριν και μετά την προσθήκη μονωτικών υλικών	70
Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος αντλίας θερμότητας	80
Πίνακας 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β στοιχείων σχεδιασμού.....	84
Πίνακας 17: Περιπτώσεις εγκατάστασης Φ/Β συστήματος.....	86
Πίνακας 18: Κοστολόγηση λαμπτήρων, σενάριο 1	108
Πίνακας 19: Κοστολόγηση προσθήκης εωτερικής μόνωσης, σενάριο 2	108
Πίνακας 20: Κοστολόγηση ενεργειακών παραθύρων, σενάριο 3	109
Πίνακας 21: Κοστολόγηση νέων ηλεκτρικών συσκευών, σενάριο 4	109
Πίνακας 22: Κοστολόγηση συνδυαστικού σεναρίου, σενάριο 5	109
Πίνακας 23: Κοστολόγηση λαμπτήρων για χρήση μουσείου, σενάριο 6	110
Πίνακας 24: Κοστολόγηση απαιτούμενων ενεργειών για την μετατροπή του κτιρίου σε μουσείο, σενάριο 6	110
Πίνακας 25: Κοστολόγηση συνδυαστικού σεναρίου, σενάριο 7	111
Πίνακας 26: Κοστολόγηση αντλίας θερμότητας	111
Πίνακας 27: Κοστολόγηση Φ/Β συστήματος	111
Πίνακας 28: Προϋπολογισμός έργου	111

Κατάλογος διαγραμμάτων

Γράφημα 1: Ηλιακό αζιμούθιο κλιματικής ζώνης Δ [TOTEE 20701-3/2010]	41
Γράφημα 2: Δεδομένα πραγματικών καταναλώσεων ηλεκτρικού ρεύματος του κτιρίου μελέτης	43
Γράφημα 3: Ποσοστό απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων υφιστάμενης κατάστασης	60
Γράφημα 4: Μηνιαία φορτία ηλεκτρικού εξοπλισμού και τεχνητού φωτισμού [ραβδόγραμμα από OS]	61
Γράφημα 5: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης [ραβδόγραμμα από OS]	61
Γράφημα 14: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων συνδυαστικού σεναρίου Σ1, Σ2, Σ3, Σ4	75
Γράφημα 15: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων σεναρίου λειτουργίας μουσείου	78
Γράφημα 16: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων συνδυαστικού σεναρίου Σ2, Σ3, Σ6	79
Γράφημα 17: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης σενάριο 5 [ραβδόγραμμα από OS]	81
Γράφημα 18: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης σενάριο 5 [ραβδόγραμμα από OS]	83

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Παραδοσιακό κτίριο στον παραδοσιακό οικισμό της Καλλονής Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	10
Εικόνα 2: Εκκλησία πετρόχτιστη στο Κυπαρίσσι Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	11
Εικόνα 3: Ρολόι Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	12
Εικόνα 4: Παραδοσιακή μονοκατοικία στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	13
Εικόνα 5: Διατηρητέο ιστορικό κτίριο στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	13
Εικόνα 6: Διατηρητέο σχολικό κτίριο [λεύκωμα Ευάγγελου Νικόπουλου]	14
Εικόνα 7: Ερείπια παραδοσιακού κτιρίου στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο) ...	14
Εικόνα 8: Κατοικήσιμο παραδοσιακό κτίριο στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	14
Εικόνα 9: Σχολείο παραδοσιακής αρχιτεκτονικής στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	15
Εικόνα 10: Παραδοσιακά ανακαινισμένα κτίρια στην πόλη των Γρεβενών (Α: προσωπικό αρχείο, Β: [https://www.google.gr/maps, 2016])	15
Εικόνα 11: Λαογραφικό Μουσείο στο Κυπαρίσσι Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)	17
Εικόνα 12: Εσωτερικοί χώροι λαογραφικού μουσείου στο Κυπαρίσσι Γρεβενών [kiparissi.blogspot.gr, 2017]	18
Εικόνα 13: Κατηγοριοποίηση της ηλικίας του κτιριακού αποθέματος της Ευρώπης [Mazzarella, 2014]	21
Εικόνα 14: Φωτοβολταϊκά κεραμίδια (Α: [EFFESUS, 2016], Β: [López, 2014])	29
Εικόνα 15: Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών κεραμιδιών κατά τη διάρκεια αποκατάστασης του κάστρου	30
Εικόνα 16: Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε παντζούρια [López, 2014]	30

Εικόνα 17: Παραδείγματα ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών σε ιστορικά κτίρια (Α: Hotel Industrial, Παρίσι (Γαλλία) Τουριστικό γραφείο, Β: Alès (Γαλλία), Γ: Sala “Nervi”, Βατικανό (Ιταλία), Δ: Το κτίριο του Reichstag, Βερολίνο (Γερμανία). [López, 2014])	31
Εικόνα 18: Ιστορικό κτίριο Albergo dei Poveri και τρισδιάστατη αποτύπωση του κτιρίου, [Franco et al., 2014].....	32
Εικόνα 19: Αρχιτεκτονικό σχέδιο πρόσοψης Ιστορικού συμπλέγματος Albergo dei Poveri, Γενεύη, Ιταλία.....	34
Εικόνα 20: Μεσαιωνικός πύργος Προσφόριο (Α. Νότια άποψη, Β. Βορειοανατολική άποψη)	35
Εικόνα 21: Κτίριο Ca S. Orsola πριν και μετά την ανακαίνιση [Mora et al., 2015)	36
Εικόνα 22: Εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού [Mora et al., 2015].....	37
Εικόνα 23: Ενδοδαπέδια θέρμανση και τοποθέτηση πατώματος πάνω από αυτή [Mora et al., 2015].....	37
Εικόνα 24: Τοποθέτηση θερμομόνωσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς τοίχους [Mora et al., 2015].....	37
Εικόνα 25: Κτίριο μελέτης (Α. Πρόσοψη κτιρίου Β. Βορειοδυτική όψη του κτιρίου Γ. Νοτιοανατολική άποψη της πρόσοψης), (προσωπικό αρχείο)	39
Εικόνα 26: : Κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα [ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010]	41
Εικόνα 27: Εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)	44
Εικόνα 28: Πρόσβαση στον όροφο του κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)	45
Εικόνα 29: Παράθυρα κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)	45
Εικόνα 30: Θύρες εισόδου κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)	46
Εικόνα 31: Τοπογραφικό σχέδιο μέρους του κέντρου της πόλης στο AutoCAD [κτηματολόγιο Γρεβενών]	49
Εικόνα 32: Κατασκευή του κτιρίου μελέτης στο Sketch Up.....	50
Εικόνα 33: Απεικόνιση θερμικού μοντέλου κτιρίου μελέτης	51
Εικόνα 34: Τρισδιάστατη απεικόνιση θερμικού μοντέλου του κτιρίου μελέτης με παρουσίαση των βημάτων σχεδιασμού	52
Εικόνα 35: Διαχωρισμός χώρων και θερμικών ζωνών του κτιρίου μελέτης	53
Εικόνα 36: Φυλλοβόλα δέντρα στην πρόσοψη του κτιρίου (προσωπικό αρχείο)	53
Εικόνα 37: Εισαγωγή επιφανειών σκίασης στο θερμικό μοντέλο.....	53
Εικόνα 38: Υλικά εσωτερικής μόνωσης (Α. Τομή εσωτερικής τοιχοποιίας με εσωτερική μόνωση Β. Πανέλα εσωτερικής μόνωσης από EPS και γυψοσανίδα Γ. Τοποθέτηση πανελών) [www.knauf.gr, 2017].....	69
Εικόνα 39: Παράθυρα κτιρίου (Α: Παράθυρο του κτιρίου με κλειστά παντζούρια Β: Πλαίσιο των παραθύρων)	72
Εικόνα 40: Τομές νέων παραθύρων [http://www.epal.gr/]	72
Εικόνα 41: Σχέδιο Μουσείου 3D, Κάτοψη ισογείου-Πορεία επισκεπτών	76
Εικόνα 42: Σχέδιο Μουσείου 3D, Κάτοψη ορόφου-Πορεία επισκεπτών	76
Εικόνα 43: Διαχωρισμός χώρων και θερμικών ζωνών του μουσείου	77
Εικόνα 44: Εξωτερική ράμπα πρόσβασης ΑΜΕΑ	78
Εικόνα 45: Χρήση αντλίας θερμότητας.....	82
Εικόνα 46: Φ/Β κεραμίδια.....	83
Εικόνα 47: Τοποθέτηση Φ/Β κεραμιδιών	83
Εικόνα 48: Βάση Φ/Β κεραμιδιών [www.lagranepoca.com, 2017]	84

Εικόνα 49: Γραφική απεικόνιση της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας ενός Φ/Β πλαισίου που βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο.....	85
Εικόνα 50: Τοποθέτηση Φ/Β κεραμιδιών στο κτίριο μελέτης	87
Εικόνα 51: Οπτικό αποτέλεσμα της πρότασης ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου, βόρεια πλευρά.....	88
Εικόνα 52: Οπτικό αποτέλεσμα της πρότασης ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου, νότια πλευρά.....	89
Εικόνα 53: : Οπτικό αποτέλεσμα της πρότασης ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου ως μουσείου	90
Εικόνα 54: Υβριδικό σύστημα θέρμανσης	92
Εικόνα 55: Ηλιακοί συλλέκτες ενσωματωμένοι σε κεραμίδια	92
Εικόνα 56: Α. Παράδειγμα εφαρμογής εξωτερικής μόνωσης στο μισό μέρος του κτιρίου Β. Περίπτωση εφαρμογής εξωτερικής μόνωσης κτιρίου μελέτης.....	97

Συντομογραφίες

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

σΜΕΚ: Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης

ΖΝΧ: Ζεστό Νερό Χρήσης

ΣΗΘ: Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

ΑΣ: Αρχιτεκτονικό Σχέδιο

Φ/Β: Φωτοβολταϊκό

ΚΘΔ: Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη

ΑΜΕΑ: Άτομα ΜΕ Αναπηρία

EFFESUS: Ενεργειακή απόδοση σε ιστορικές αστικές περιοχές

SECHURBA: Βιώσιμη ενέργεια κοινοτήτων σε ιστορικές αστικές περιοχές

LED: Δίοδος εκπομπής φωτός

HVAC: Θέρμανση, αερισμός, κλιματισμός

IRR: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης κεφαλαίου

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κτίρια ή σύνολα κτιρίων που αποτελούν αντιπροσωπευτικά δείγματα της πολεοδομικής και αρχιτεκτονικής φυσιογνωμίας του οικισμού θεωρούνται παραδοσιακά. Παραδοσιακό θεωρείται το εκάστοτε αρχικό κτίριο καθώς και τα στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου αυτού. Απαγορεύεται η κατεδάφιση, καταστροφή ή η αλλοίωση των παραδοσιακών κτιρίων του οικισμού, όπως επίσης και των επιμέρους αρχιτεκτονικών, καλλιτεχνικών και στατικών στοιχείων αυτών ¹.

Η έρευνα ξεκίνησε με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας στον συγκεκριμένο κτιριακό τομέα, με κτίρια ιστορικής και ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής αξίας. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη σε τοπικά χωριά και παραδοσιακούς οικισμούς του νομού Γρεβενών, όπου υπάρχουν αρκετά παραδοσιακά κτίσματα (Εικόνα 1). Γενικά, ο συγκεκριμένος νομός, περιλαμβάνει χτίσματα παραδοσιακής αρχιτεκτονικής, που αντιπροσωπεύουν την τεχνοτροπία χτισμάτων της Ηπειρωτικής Ελλάδας.



Εικόνα 1: Παραδοσιακό κτίριο στον παραδοσιακό οικισμό της Καλλονής Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

¹ Ορισμός παραδοσιακών κτιρίων σύμφωνα με το Άρθρο 4 του ΠΔ 9-8-1995 - ΦΕΚ 728/Δ/21-9-1995.

Στον νομό Γρεβενών βρίσκεται το χωριό Καλλονή που έχει χαρακτηριστεί ως παραδοσιακός οικισμός. Τα βασικά χαρακτηριστικά των παραδοσιακών κτιρίων του οικισμού είναι η ογκώδης τοιχοποιία (λιθοδομή) από πετρώματα της γύρω περιοχής με συνδετικό υλικό τη λάσπη από χώμα, νερό, άχυρο ή μαλλί γίδας, τα ξύλινα κουφώματα και δοκάρια καθώς και οι πέτρινες σκεπές. Σχεδόν όλα τα σπίτια διαθέτουν τζάκι ή σόμπες για καύση ξύλου, το οποίο είναι διαθέσιμο στην ευρύτερη περιοχή λόγω των μεγάλων δασικών εκτάσεων.



Εικόνα 2: Εκκλησία πετρόχτιστη στο Κυπαρίσσι Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

Διαπιστώθηκε ότι, υπάρχουν πολλά κτίρια χτισμένα σύμφωνα με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική, σε οικισμούς οι οποίοι δεν έχουν οριστεί ως παραδοσιακοί. Λίγα είναι τα κτίρια, κυρίως ιεροί ναοί και μοναστήρια ², που προστατεύονται και έχουν οριστεί ως διαστηρητέα. Μια τέτοια περίπτωση είναι ο ναός του Αγίου Γεωργίου (1867) στο Κυπαρίσσι Γρεβενών (Εικόνα 2). Γενικά, στον νομό θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν κι άλλα κτίρια ως παραδοσιακά ή διατηρητέα, αλλά δεν έχουν γίνει οι απαραίτητες κινήσεις από τους αρμόδιους φορείς.

² Κατάλογος των κηρυγμένων αρχαιολογικών χώρων και μνημείων της Ελλάδας [<http://listedmonuments.culture.gr>, 2017]

Ενώ τα περισσότερα παραδοσιακά κτίσματα του νομού είναι από πέτρα, στην πόλη και σε ορισμένα πεδινά χωριά του νομού, τα μοναδικά παραδοσιακά κτίρια που έχουν διασωθεί, είναι χτισμένα στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και χαρακτηρίζονται από μια πιο «μοντέρνα» παραδοσιακή αρχιτεκτονική. Αυτή οφείλεται στην εισαγωγή των πρώτων συμπαγών οπτόπλινθων και της χρήσης του τσιμέντου στον τρόπο δόμησης. Μια τέτοια κατασκευή είναι και το Ρολόι των Γρεβενών (εικόνες 3Α & 3Β), το οποίο αποτελεί σημείο αναφοράς της πόλης.



Εικόνα 3: Ρολόι Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική της πόλης χαρακτηρίζεται από τις συμπαγείς τοιχοποιίες από οπτόπλινθους και αρμό τσιμέντου με εμφανή την οπτοπλινθοδομή στους εξωτερικούς τοίχους (Εικόνα 4Α). Ο σκελετός αυτών των κτιρίων δεν έχει κατακόρυφες δοκούς στήριξης, καθώς οι συμπαγείς τοίχοι αποτελούν φέροντα δομικά στοιχεία. Ο διαχωρισμός των επιπέδων γίνεται από πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος ή από πλάκες ξύλου με οριζόντια δοκάρια στήριξης και σανίδια ξύλου. Εσωτερικά υπάρχει σε πολλές περιπτώσεις επένδυση ξύλου ύψους περίπου 1,3 m στους τοίχους και ξύλινη

ψευδοροφή. Οι πόρτες είναι ξύλινες (Εικόνα 4Β), τα παράθυρα είναι ξύλινα με παντζούρια (Εικόνα 4Γ) και η στέγη των κτιρίων αποτελείται από ξύλινο σκελετό και καλύπτεται από κεραμικά κεραμίδια.



Εικόνα 4: Παραδοσιακή μονοκατοικία στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο δόμησης δύο είναι τα κτίρια που χαρακτηρίστηκαν ως διατηρητέα και το ένα μάλιστα ως δείγμα λαϊκής αρχιτεκτονικής³. Το πρώτο αφορά την κατοικία ενός ιστορικού προσώπου⁴.



Εικόνα 5: Διατηρητέο ιστορικό κτίριο στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

Στο κτίριο έχουν διατηρηθεί τα ξύλινα κουφώματα και η κεραμοσκεπή. Επίσης, έχουν γίνει εξωτερικές επεμβάσεις όπως η χρήση σοβά στην νοτιοανατολική πλευρά του (Εικόνα 5Α) και το βάψιμο με ασβέστη στις υπόλοιπες πλευρές του (Εικόνα 5Β). Το δεύτερο (Εικόνα 5) αφορά οικία που

³ Υπουργική απόφαση ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/2199/31910/20-6-1997 - ΦΕΚ 634/Β/30-7-1997

⁴ ΦΕΚ 634/Β/30-7-1997, "Χαρακτηρίζουμε ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο την οικία Ζήση Βέρρου, στην οδό 13ης Οκτωβρίου 26, στα Γρεβενά, γιατί πρόκειται για την κατοικία του γνωστού Μακεδονομάχου Ζήση Βέρρου, που συμμετείχε σε μάχες από την Καστοριά έως την Φλώρινα κατά την περίοδο του Μακεδονικού Αγώνα και τιμήθηκε με διακρίσεις από διάφορους φορείς και οργανώσεις".

λειτούργησε και ως σχολείο⁵. Αξίζει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο κτίριο έχει κατεδαφιστεί και στη θέση του έχει χτιστεί πολυκατοικία.



Εικόνα 6: Διατηρητέο σχολικό κτίριο [λεύκωμα Ευάγγελου Νικόπουλου]

Γενικά, πολλά από τα παραδοσιακά κτίρια των Γρεβενών κατεδαφίστηκαν και αντικαταστάθηκαν από πολυκατοικίες. Έχουν μείνει ερείπια (εικόνες 7Α & 7Β) και ελάχιστες διασωθέντες μονοκατοικίες με επεμβάσεις που έχουν αλλοιώσει τον παραδοσιακό τους χαρακτήρα (εικόνες 8Α & 8Β). Το μόνο παραδοσιακό στοιχείο που τους έχει απομείνει είναι μερικές ασοβάτιστες επιφάνειες εμφανούς οπτοπλινθοδομής (Εικόνα 8Γ).



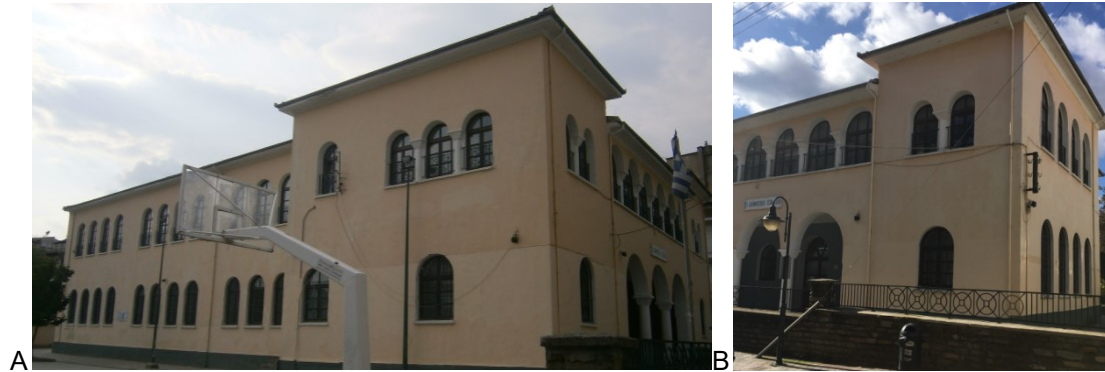
Εικόνα 7: Ερείπια παραδοσιακού κτιρίου στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 8: Κατοικήσιμο παραδοσιακό κτίριο στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

⁵ ΦΕΚ 634/Β/30-7-1997, "Χαρακτηρίζουμε ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο, την οικία Μάμαλη (Ρουμάνικο Σχολείο), στα Γρεβενά, με τον περιβάλλοντα χώρο της στα όρια της ιδιοκτησίας, γιατί αποτελεί αξιόλογο δείγμα λαϊκής αρχιτεκτονικής και σημείο αναφοράς για τις μνήμες των κατοίκων της περιοχής".

Ένα από τα σημαντικότερα κτίρια παραδοσιακής αρχιτεκτονικής είναι το 1^ο Δημοτικό Σχολείο Γρεβενών (1914), το οποίο βρίσκεται στο κέντρο της πόλης (Εικόνα 9). Η οπτοπλινθοδομή του δεν είναι ορατή καθώς έχει σοβατιστεί.



Εικόνα 9: Σχολείο παραδοσιακής αρχιτεκτονικής στην πόλη των Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

Η μελέτη απομάκρυνσης του σοβά με στόχο την ανάδειξη της παλαιάς του οπτοπλινθοδομής στο συγκεκριμένο κτίριο, θα είχε μεγάλη επιρροή στην ανάδειξη της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής της πόλης. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε σε ιδιωτικό κτίριο (1938) που λειτουργούσε ως φαρμακείο και με την ανακαίνισή του επανεμφανίστηκε σε ένα μέρος η οπτοπλινθοδομή του (Εικόνα 10Α). Το ίδιο έγινε και για το δημόσιο κτίριο (1949), το οποίο λειτουργούσε ως δασικό κτίριο. Στην Εικόνα 10Β φαίνεται το κτίριο στη φάση ανακαίνισης. Πάντως, και στις δυο περιπτώσεις το οπτικό αποτέλεσμα είναι θεμιτό.



Εικόνα 10: Παραδοσιακά ανακαινισμένα κτίρια στην πόλη των Γρεβενών (Α: προσωπικό αρχείο, Β: [\[https://www.google.gr/maps, 2016\]](https://www.google.gr/maps))

Στο πλαίσιο της έρευνας επιλέχθηκε η μελέτη του παραπάνω αναφερόμενου δασικού κτιρίου (Εικόνα 10B). Πρόκειται για ένα δημόσιο κτίριο, χτισμένο σύμφωνα με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική της πόλης. Επίσης, βρίσκεται στην ίδια πλατεία με το σήμα κατατεθέν της πόλης, το Ρολόι των Γρεβενών. Αυτές οι δυο κατασκευές γίνονται ταυτόχρονα αντιληπτές από τον παρατηρητή και προσδίδουν στοιχεία της ιστορίας και παράδοσης της πόλης.

Η κατασκευή του κτιρίου άρχισε με τη λήξη του πολέμου, στο πλαίσιο της ανοικοδόμησης της χώρας. Παραδόθηκε τον Νοέμβριο του 1949 στο τότε υπουργείο Γεωργίας ως δασικό κτίριο για τη στέγαση του Δασαρχείου Γρεβενών. Αρχικά, στο ισόγειο στεγάζονταν αξιωματικοί του στρατού και στον όροφο έμενε μια τοπική οικογένεια. Στη συνέχεια από τη δεκαετία του 1950 και μετά, λειτουργούσε καθαρά ως δασικό κτίριο και αποτελούσε σημείο συγκέντρωσης δεκάδων εργατών για υλοτομίες και διανοίξεις δρόμων σε όλο τον νομό. Το 2006 παραχωρήθηκε στην Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Γρεβενών για χρήση με την 6667ΠΕ/26-07-2006 απόφαση Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων. Πλέον το κτίριο διαχειρίζεται ο Δήμος Γρεβενών και εξυπηρετεί τη Διεύθυνση Καθαριότητας & Ανακύκλωσης, Τμήμα Καθαρισμού Κοινόχρηστων Χώρων & Ειδικών Συνεργείων, καθώς και τα γραφεία του Ερυθρού Σταυρού ⁶.

Το κτίριο δεν είναι προστατευόμενο καθώς δεν έχει οριστεί ως διατηρητέο. Η σημασία όμως της διαφύλαξης της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς του οδηγεί σε άμεση εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και τεχνικές ενσωμάτωσης που προτείνονται σε παραδοσιακά ή διατηρητέα κτίρια.

⁶ Αρχείο Διεύθυνσης Δασών Ν. Γρεβενών

Σύμφωνα με την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου μελέτης και τα προτεινόμενα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης εξετάζονται διάφορα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας. Βασικός στόχος είναι οι επεμβάσεις στο εσωτερικό του κτιρίου, οι οποίες δεν επηρεάζουν το παραδοσιακό του κέλυφος. Επίσης, προτείνεται η χρήση συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) για παραγωγή ενέργειας και την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του κτιρίου. Τέλος, εξετάζεται η περίπτωση διαφορετικής αξιοποίησης του συγκεκριμένου παλαιού δημόσιου κτιρίου.

Το κτίριο προτείνεται να λειτουργήσει ως ιστορικό-λαογραφικό μουσείο με στόχο την ανάδειξη της παράδοσης και ιστορίας του τόπου, την προστασία του κτιρίου καθώς και επανασχεδιασμό με στόχο τη μείωση του ενεργειακού του αποτυπώματος. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερο δημόσιο κτίριο τριτογενή τομέα, το οποίο δεν αξιοποιείται πλήρως. Ένα, ιστορικό-λαογραφικό μουσείο λείπει από την πρωτεύουσα του νομού Γρεβενών. Το συγκεκριμένο κτίριο έχει τον χώρο και τις υποδομές ώστε να στεγάσει ένα μουσείο μικρής κλίμακας. Το θέμα του μουσείου, σε συνδυασμό με την αρχιτεκτονική του κτιρίου και το γεγονός ότι βρίσκεται στο κέντρο της πόλης, αποτελούν κίνητρο για την υλοποίηση αυτής της πρότασης.



Εικόνα 11: Λαογραφικό Μουσείο στο Κυπαρίσσι Γρεβενών (προσωπικό αρχείο)

Η συγκεκριμένη πρόταση έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στο παλαιό Δημοτικό Σχολείο στο Κυπαρίσσι Γρεβενών (Εικόνα 11). Το πετρόχτιστο κτίριο λειτουργούσε ως σχολείο όσο υπήρχαν αρκετοί μόνιμοι κάτοικοι. Έπειτα έκλεισε και έμεινε ανεκμετάλλευτο. Πλέον, λειτουργεί ως λαογραφικό μουσείο με εκθέματα παραδοσιακών αντικειμένων και ιστορικών φωτογραφιών (εικόνες 12A & 12B).



Εικόνα 12: Εσωτερικοί χώροι λαογραφικού μουσείου στο Κυπαρίσσι Γρεβενών [kiparissi.blogspot.gr,2017]

Τέλος, συγκρίνεται το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας του κάθε σεναρίου με την αρχική κατάσταση του κτιρίου και η αξιολογείται η εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ σε ευαίσθητο δομημένο περιβάλλον. Επίσης, με στόχο τη σχεδόν μηδενική ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου και την προστασία του παραδοσιακού χαρακτήρα, γίνεται η βέλτιστη πρόταση ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου. Επομένως, από την έρευνα ενεργειακής συμπεριφοράς και αναβάθμισης κτιρίων ιστορικής και ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής αξίας, γενικότερα στον ευρωπαϊκό χώρο σύμφωνα με τη διεθνή επιστημονική εμπειρία, αναλυτικότερα στον νομό Γρεβενών, καθώς και από τη μελέτη του δημόσιου κτιρίου, προκύπτουν λύσεις και δημιουργούνται ερωτήματα για τη στρατηγική των ενεργειακών επεμβάσεων σε αυτήν την κατηγορία του κτιριακού τομέα.

Γενικότερα, "η αρχιτεκτονική κληρονομιά αποτελεί μια αναντικατάστατη έκφραση πλούτου της πολιτιστικής κληρονομιάς και ανεκτίμητη μαρτυρία του παρελθόντος μας. Στην έννοια της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς περιλαμβάνονται παραδοσιακά κτίρια, οικιστικά σύνολα, παραδοσιακοί οικισμοί, ιστορικά κέντρα πόλεων και γενικότερα τα στοιχεία του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος με ιδιαίτερη ιστορική, πολεοδομική, αρχιτεκτονική, λαογραφική, κοινωνική και αισθητική φυσιογνωμία και αξία" ⁷.

⁷ ΥΠΕΚΑ, Παραδοσιακά κτίρια και σύνολα, [www.ypeka.gr,2016]

2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Η οδηγία 2010/31/ΕΕ που αφορά τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (σΜΕΚ), αποτέλεσε το αντικείμενο πολλών ερευνών σχετικά με τους τρόπους ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων αλλά και την εφαρμογή και ανάλυση των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σε υφιστάμενα κτίρια. Η σημασία που αποδίδεται σε αυτά τα θέματα δικαιολογείται από την ανάγκη μείωσης της χρήσης ορυκτών καυσίμων και από τη βούληση των κυβερνήσεων και των θεσμικών οργάνων για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων ρύπων [Mauri, 2016].

Στην Ιταλία για παράδειγμα, τα περισσότερα από τα πολιτικά κτίρια προηγούνται της πρώτης νομοθεσίας για την ενεργειακή απόδοση (νόμος 373/1976) και το γεγονός αυτό είναι ο λόγος για τον οποίο τα περισσότερα έργα δεν έδωσαν προσοχή στην ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών. Επιπλέον, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι περίπου το ήμισυ του υφιστάμενου αστικού κτιρίου δεν έχει ανακαινιστεί ποτέ. Είναι σαφές ότι το εύρος των εφικτών παρεμβάσεων σε αυτόν τον τομέα μπορούν να διασφαλίσουν λογικά αποτελέσματα, όπως απαιτούνται από τους στόχους που καθορίστηκαν στο πρωτόκολλο του Κιότο και από τις ευρωπαϊκές οδηγίες για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια. Για τους λόγους αυτούς, οι ερευνητές παγκοσμίως, σε συμφωνία με τις κυβερνήσεις, αναπτύσσουν χρήσιμα κριτήρια για τον προσδιορισμό του αποδοτικότερου σχεδιασμού κτιρίων και την καταλληλότερη ενοποίηση των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θέτοντας ως τελικό στόχο την επίτευξη των σΜΕΚ. Οι περισσότερες μελέτες έχουν γίνει σε κτίρια κατοικιών, ενώ πολύ λίγα ερευνητικά έργα αφορούν μη οικιακά σΜΕΚ [Mauri, 2016].

Τα διατηρητέα κτίρια συχνά εξαιρούνται από την τεχνολογική και βιώσιμη ανάπτυξη λόγω των αυστηρών και πολύπλοκων νομοθετικών και πολεοδομικών τους πλαισίων. Όμως, οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια αυτά χρήζουν ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, λόγω του μεγάλου αριθμού αυτών στο υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα. Μουσεία, θέατρα, εκκλησίες, κτίρια γραφείων, πανεπιστήμια και ξενοδοχεία, πολύ συχνά στεγάζονται σε διατηρητέα κτίρια [SECHURBA, 2008].

Ένα σημαντικό μερίδιο του κτιριακού αποθέματος στην Ευρώπη αφορά κτίρια παλαιότερα των 50 ετών. Περισσότερο από το 40% των οικιστικών κτιρίων έχουν οικοδομηθεί πριν από τη δεκαετία του 1960 (Εικόνα 13), όταν οι κανονισμοί για την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων ήταν πολύ περιορισμένοι. Το 1961-1990 διαπιστώνεται μεγάλη αύξηση στον τομέα των κατασκευών, όπου το απόθεμα των κατοικιών, με λίγες εξαιρέσεις, υπερδιπλασιάζεται σε αυτή την περίοδο [Mazzarella, 2014].



Εικόνα 13: Κατηγοριοποίηση της ηλικίας του κτιριακού αποθέματος της Ευρώπης [Mazzarella, 2014]

Πολλά από αυτά τα ιστορικά κτίρια βρίσκονται σε αστικές περιοχές και συμβάλλουν σημαντικά στην πολιτιστική τους ταυτότητα. Η κυβερνητική πολιτική για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής στοχεύει στην επαναχρησιμοποίηση με εκσυγχρονισμό των ιστορικών κτιρίων για τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Συνεπώς, η διαδικασία

επαναχρησιμοποίησης πρέπει να γίνεται με τρόπο που να ελαχιστοποιεί ή να αποτρέπει τυχόν αρνητικές επιπτώσεις στην κληρονομιά των κτιρίων. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εύκολη, συστηματική και διαφανής αξιολόγηση της σημασίας των ιστορικών κτιρίων ως προς την κληρονομιά και να εξισορροπηθούν με τις επιπτώσεις των λύσεων εκσυγχρονισμού, αναπτύχθηκε ένα σύστημα αξιολόγησης στο πλαίσιο του Energy efficiency in historic urban districts (EFFESUS), ενός ευρωπαϊκού σχεδίου έρευνας για την ενεργειακή απόδοση των ιστορικών συνοικιών [EFFESUS, 2016].

Όταν πρόκειται για ιστορικά κτίρια, η εξοικονόμηση ενέργειας πρέπει να θεωρηθεί ως μία από τις διάφορες παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη για μια συνειδητή βελτίωση του περιβάλλοντος. Έτσι, η αναβάθμιση της ενέργειας πρέπει να ισορροπήσει τις συνειδητά διαφορετικές απαιτήσεις, δηλαδή, την εσωτερική άνεση και τη συντήρηση των υλικών, την εξοικονόμηση ενέργειας και τον αρχιτεκτονικό χαρακτήρα του κτιρίου. Η επιλογή υλικών εκσυγχρονισμού πρέπει να ληφθεί υπόψη όσον αφορά τη φυσική, χημική και μηχανική συμβατότητα με τα υπάρχοντα υλικά. Οι τεχνολογίες αναβάθμισης πρέπει να σταθμίζονται στην αντιστρεψιμότητα τους ή σε λιγότερη διείσδυση, λαμβάνοντας υπόψη τον συνολικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο κάθε λύσης [Mazzarella, 2014].

Στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης αναπτύχθηκε το ερευνητικό πρόγραμμα Sustainable energy communities in historic urban areas (SECHURBA). Το πρόγραμμα αυτό αφορά τις ενεργειακά βιώσιμες κοινότητες σε αστικές περιοχές με πολιτιστική και ιστορική αξία. Μελετήθηκαν κτίρια με διάφορες χρήσεις, όπως πινακοθήκες, μουσεία και εκκλησίες, ωστόσο τα περισσότερα ήταν γραφεία και κατοικίες. Οι περιοχές στις οποίες

επικεντρώθηκαν οι μελέτες του προγράμματος, αφορούν τον ευρωπαϊκό χώρο [SECHURBA, 2008]. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των διατηρητέων κτιρίων που μελετήθηκαν και τα αντίστοιχα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά.

Πίνακας 1: Κατασκευαστικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά των διατηρητέων κτιρίων μελέτης του προγράμματος [SECHURBA, 2008]

Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά	Ενεργειακά χαρακτηριστικά
-Μεγάλα ύψη χώρων / αυξημένοι όγκοι	-Αποτελεσματική συμπεριφορά στην ψύξη -Αυξημένες ανάγκες για θέρμανση
-Αυξημένη θερμική μάζα και πάχος της τοιχοποιίας / συμπαγείς τοιχοποιίες χωρίς θερμομόνωση	-Έλεγχος των εσωτερικών θερμοκρασιών, ήπιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, ποιότητα κατασκευής κελύφους
-Ελεγχόμενα και περιορισμένα ανοίγματα (το ποσοστό της επιφάνειας των παραθύρων ανά όψη είναι συχνά μικρότερο του 20%), ενώ στον σύγχρονο σχεδιασμό οι διαφανείς επιφάνειες είναι πολύ μεγαλύτερες	-Έλεγχος των ηλιακών κερδών και του φυσικού φωτισμού -Περιορισμός δυνατοτήτων για παθητική θέρμανση
-Παράθυρα και ανοίγματα σε εσοχή	-Σκίαση από την ίδια την κατασκευή, καλύτερη ηλιοπροστασία, αλλά περιορισμένα ηλιακά κέρδη για παθητική θέρμανση
-Εξωτερικοί πρόβολοι, αίθρια, βεράντες, φύτευση, εσωτερικές αυλές, φεγγίτες οροφών, ηλιακές καμινάδες ή καμινάδες αερισμού	-Ευνοϊκό μικροκλίμα και δροσισμός από τον περιβάλλοντα χώρο, προστατευόμενο κέλυφος
-Ανοιχτοί χρωματισμοί (σε θερμότερα κλίματα)	-Προσαρμογή στο περιβάλλον και το μικροκλίμα
-Φυσικός αερισμός και φωτισμός	-Ικανοποίηση χρηστών, αίσθημα ευεξίας

Τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς συνήθως χαρακτηρίζονται από σχετικά φτωχά ενεργειακά συστήματα και συνήθως έχουν πολύ χαμηλή ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με τις νέες κατασκευές που είναι χτισμένες σύμφωνα με τις πρόσφατες ενεργειακές πολιτικές [Pisello et al., 2016]. Επίσης, πολλά παραδοσιακά οικοδομικά υλικά, όπως ξυλεία, σκυρόδεμα και τούβλα, έχουν ενσωματωμένη ενέργεια χαμηλότερης κλίμακας από τα σύγχρονα υλικά όπως το γυαλί, ο χάλυβας ή το αλουμίνιο [Rowe et al., 2009].

Γενικά, τα κτίρια ιστορικής και πολιτιστικής κληρονομιάς χαρακτηρίζονται συχνά από ειδική ανθεκτική αρχιτεκτονική δομή και έξυπνη

χρήση των ανθεκτικών υλικών κατασκευής τους. Η αντοχή και η στερεότητά τους εδώ και εκατοντάδες χρόνια μαρτυρούν την αειφορία τους. Ο πολύ μεγάλος χρόνος ζωής προσφέρει εξαιρετικές ευκαιρίες για την εφαρμογή των μέτρων βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και την ενσωμάτωση τεχνολογιών ΑΠΕ στα κτίρια ή και στις μεγάλες συνήθως αυλές τους [Todorovic et al., 2015]. Στους Πίνακες 2 & 3 παρουσιάζονται οι προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης διατηρητέων κτιρίων στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος SECHURBA, με συστάσεις για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας τουλάχιστον 40%.

Πίνακας 2: Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης στο κέλυφος και στο εσωτερικό περιβάλλον διατηρητέων κτιρίων στον ευρωπαϊκό χώρο [SECHURBA, 2008]

Βελτιώσεις κελύφους	Εσωτερικό περιβάλλον
<ul style="list-style-type: none"> -Αντικατάσταση ή επισκευή παραθύρων -Βελτίωση αεροστεγανότητας παραθύρων -και ανοιγμάτων -Θερμομόνωση οροφών και δαπέδων -Θερμομόνωση εσωτερικών τοίχων και δαπέδων προς μη θερμαινόμενους χώρους (γκαράζ, αποθήκες, κλπ) -Επαναχρησιμοποίηση φεγγιτών και ανοιγμάτων οροφής -Αποκατάσταση σοφίτας και αιθρίων 	<ul style="list-style-type: none"> -Αντανakλαστικά πάνελ πίσω από τα θερμαντικά σώματα για αυξημένη απόδοση του συστήματος -“Βαριές” κουρτίνες για τη μείωση των θερμικών απωλειών -Έλεγχος των καπνοδόχων για αερισμό -Τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής -Διαμόρφωση εσωτερικών αιθρίων για την βελτίωση του μικροκλίματος

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι ενεργειακές επεμβάσεις στα διατηρητέα κτίρια έχουν οικονομική απόδοση σε βάθος χρόνου, στοχεύοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς και στη βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών άνεσης. Βελτιώνοντας το κέλυφος με θερμομόνωση, μειώνοντας τις θερμογέφυρες και τις χαραμάδες, επιτυγχάνοντας αποτελεσματικό αερισμό, περιορίζοντας τα προβλήματα υγρασίας και ελέγχοντας κατάλληλα τα ηλιακά

κέρδη, εξασφαλίζεται η διαφύλαξη της αρχιτεκτονικής του κτιρίου και η βιωσιμότητα του στον χρόνο [SECHURBA, 2008].

Πίνακας 3: Προτάσεις βελτιώσεων των Η/Μ συστημάτων και ενσωμάτωσης συστημάτων ΑΠΕ σε διατηρητέα κτίρια στον ευρωπαϊκό χώρο [SECHURBA, 2008]

Βελτιώσεις στα Η/Μ συστήματα	Ενσωμάτωση συστημάτων ΑΠΕ
<ul style="list-style-type: none"> -Εκσυγχρονισμός του φωτισμού (απαιτείται ειδικός σχεδιασμός, ιδιαίτερα για τέτοιου είδους κτίρια) -Γεωθερμικές αντλίες για θέρμανση / ψύξη -Αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης – ψύξης 	<ul style="list-style-type: none"> -Ηλιακά πάνελ για Ζεστό Νερό Χρήσης (τοποθετημένα στη στέγη) -Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε δώματα και επικλινείς επιφάνειες -Φωτοδιαπερατά φωτοβολταϊκά φιλμ σε παράθυρα ή/και αίθρια -Αξιοποίηση βιομάζας

Τα κριτήρια για τον καθορισμό των στρατηγικών εκσυγχρονισμού για την επίτευξη του στόχου σΜΕΚ δεν μπορούν να αγνοήσουν τις οικονομικές πτυχές. Για παράδειγμα, αυξάνοντας τα επίπεδα θερμικής μόνωσης του κελύφους των κτιρίων και αντικαθιστώντας τις υφιστάμενες αντλίες θερμότητας με γεωθερμική ενέργεια, δεν είναι οικονομικά αποδοτικές λύσεις. Αντιστρόφως, ακόμη και συνδυάζοντας μαζί με συνήθως κερδοφόρες τεχνολογικές λύσεις, όπως φωτοβολταϊκά και Light Emitting Diode (LED), ο στόχος σΜΕΚ συνεπάγεται σημαντική καθυστέρηση στην αποπληρωμή των επενδύσεων η οποία, εάν συνδέεται με τη μεταβλητότητα των επιτοκίων της αγοράς, καθιστά τα αποτελέσματα αβέβαια σε τέτοια σενάρια [Mauri, 2016].

Όσο αναφορά τις ενεργειακές επεμβάσεις στο κέλυφος του κτιρίου, τα ανοίγματα αποτελούν κύρια παράμετρο μελέτης για τα διατηρητέα κτίρια. Αναμφισβήτητα είναι από τις βασικές αιτίες θερμικών απωλειών, ωστόσο η αντικατάσταση των παραθύρων και των υαλοπινάκων βρίσκεται συχνά σε σύγκρουση με την σχετική νομοθεσία σε θέματα διατήρησης της αρχιτεκτονικής. Ωστόσο, οι σύγχρονες τεχνικές κατασκευής παραθύρων έχουν βελτιωθεί, είτε ως προς την πλήρη αντικατάσταση είτε ως προς την

επιδιόρθωση και αποκατάσταση των υπαρχόντων ξύλινων πλαισίων με νέα βελτιωμένα. Εναλλακτική προσέγγιση είναι η τοποθέτηση ενός πρόσθετου συστήματος υαλοστασίου (δεύτερο παράθυρο) στην εσωτερική παρειά του ανοίγματος, διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο το παλαιό παράθυρο και βελτιώνοντας σημαντικά τη θερμική συμπεριφορά του όλου συστήματος [SECHURBA, 2008]. Επίσης, είναι πολύ σημαντικό να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για να εξασθενούν τα ηλιακά κέρδη, είτε μέσω της υψηλής ανακλαστικότητας των τζαμιών ή μέσω κινητών ή σταθερών περσίδων [Gagliano et al., 2016].

Η αξιοποίηση του φυσικού αερισμού σε ιστορικά κτίρια γίνεται με απέναντι ανοίγματα. Ο αερισμός ενός δωματίου μπορεί να είναι πολύ υψηλός με μεγάλα ανοίγματα στη μία πλευρά και μόνο ένα μικρό άνοιγμα στην απέναντι πλευρά. Κλείνοντας αυτό το μικρό άνοιγμα μειώνεται σημαντικά ο αερισμός του δωματίου και συμβαίνει υπερθέρμανση το καλοκαίρι. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι τα παντζούρια στα παράθυρα ,τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν σκίαση. Το κέρδος ηλιακής θερμότητας το καλοκαίρι θα οδηγήσει σε υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του κτιρίου, χωρίς την σκίαση στα παράθυρα [Schelbach, 2012]. Επίσης, ο φυσικός αερισμός το βράδυ είναι θεμελιώδους σημασίας για την η βελτίωση της θερμικής απόδοσης των «συμπαγών» κτιρίων το καλοκαίρι. Η έρευνα τονίζει ότι είναι δυνατόν να μειωθεί η συνολική ζήτηση ενέργειας για ψύξη έως και 30%, αν εφαρμοστεί μια κατάλληλη στρατηγική εξαερισμού [Gagliano et al., 2016].

Υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τη βελτίωση της θερμομόνωσης πολλών υφιστάμενων και παλιών κτιρίων. Ωστόσο, πολλά παλιά κτίρια έχουν

περιορισμούς που προστατεύουν το σύνολο του κτιρίου ή μόνο το εξωτερικό του. Ως εκ τούτου, απαιτούνται προσαρμοσμένες λύσεις μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας για τα κτίρια αυτά. Η ενέργεια που χρειάζεται για τη θέρμανση και θερμική άνεση ένα κτίριο μπορεί να μειωθεί με τη βελτίωση της θερμικής μόνωσης. Εκτός από τη μείωση του κόστους θέρμανσης και τις μειωμένες εκπομπές CO₂, οι βελτιώσεις σε επιπέδου μόνωσης θα μπορούσαν να συμβάλουν στην εξάλειψη της δυσφορίας [Rasmussen, 2011].

Η θερμομόνωση των κτιρίων αφορά συνήθως την εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου και πρόκειται για εσωτερική μόνωση ή εξωτερική μόνωση. Στα διατηρητέα κτίρια για την προστασία της αρχιτεκτονικής τους αξίας η πιο συνηθισμένη λύση είναι η εσωτερική μόνωση. Με αυτόν τον τρόπο οι προσόψεις του κτιρίου διατηρούν τον χαρακτήρα τους. Όμως, κάνοντας χρήση εσωτερικής μόνωσης περιορίζεται ο εσωτερικός χώρος του κτιρίου. Πιθανές παρεμβάσεις για τη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς μπορεί να είναι η μόνωση του δαπέδου που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και η μόνωση των συστημάτων στέγης [Franco et al., 2014].

Η θερμομόνωση της στέγης είναι μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας. Στο πρόγραμμα EFFESUS έγινε έρευνα για την εφαρμογή της σε παραδοσιακά κτίρια. Πιο συγκεκριμένα, οι στέγες των παραδοσιακών σπιτιών στο Σαντιάγκο ντε Κομποστέλλα είναι συνήθως κεκλιμένες στέγες με κεραμίδια. Πολλά σπίτια διαθέτουν επιπλέον στοιχεία όπως κήποι στέγης, σπίτια στέγης και κλιμακοστάσια. Η θερμομόνωση της οροφής μπορεί να εισαχθεί στο χώρο μεταξύ και κάτω από τα δοκάρια. Περαιτέρω έρευνα δείχνει ότι μέσω μιας βελτίωσης από ένα μονωτικό στρώμα 20 mm με προκύπτουσα τιμή $U = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, η ζήτηση θέρμανσης μπορεί να

μειωθεί κατά περίπου 14%. Μία θερμομόνωση 40 mm οδηγεί σε τιμή U 0.7 W /($m^2 \cdot K$) και μειώνει τη ζήτηση θέρμανσης περίπου 27% [EFFESUS, 2016].

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων εξαρτάται από τη θερμική συμπεριφορά της στέγης τους. Μια πράσινη οροφή είναι μια στέγη καλυμμένη με βλάστηση και ένα μέσο καλλιέργειας και μπορεί να προσφέρει άμεση μείωση της χρήσης ενέργειας θέρμανσης και ψύξης και επίσης έμμεση συμβολή σε αυτή τη μείωση μέσω της απορροής ύδατος και της δημιουργίας θερμικής νησίδας [Silva, 2016].

Τα αποτελέσματα της μελέτης για τη θερμική απόδοση ενός συμπαγούς κτιρίου παραδοσιακής κατοικίας που βρίσκεται στη νότια Ιταλία, δείχνει την ιδιαιτερότητα των «συμπαγών» ιστορικών κτιρίων, στα οποία μπορεί να επιτευχθεί καλή ενεργειακή απόδοση χωρίς να χρειάζεται να πληρούν τις τιμές της θερμικής μόνωσης που επιβάλλονται από την ισχύουσα ιταλική νομοθεσία. Για τα ιστορικά κτίρια είναι συχνά δύσκολο να τοποθετηθεί ένα μεγάλο πάχος θερμομόνωσης. Η έρευνα δείχνει επίσης ότι, στο μεσογειακό κλίμα, αυξάνοντας μόνο τη θερμική μόνωση δεν οδηγεί σε σημαντική μείωση των ενεργειακών αναγκών το καλοκαίρι και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί ακόμη και να προκαλεί μειονεκτήματα σε πιο ήπιες περιόδους [Gagliano et al., 2016]. Επίσης, όταν βελτιώνεται η θερμική μόνωση στο κέλυφος του κτιρίου, μπορεί να μην είναι δυνατή η ολοκληρωτική εξάλειψη των θερμικών γεφυρών. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις οι θερμικές γέφυρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διατηρήσουν την θερμοκρασία σε κρίσιμα σημεία του κτιριακού κελύφους σε υψηλά θερμοκρασιακά επίπεδα και αυτό συνεπάγεται με μείωση του επιπέδου της υγρασίας [Rasmussen, 2011].

Η αναβάθμιση των συστημάτων ελέγχου, φωτισμού, αερισμού, θερμική αποθήκευση και ανάκτηση θερμότητας αναφέρονται ως σημαντικές τεχνολογίες αναβάθμισης για τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης των κτιρίων κληρονομιάς στο εύκρατο μεσογειακό κλίμα. Η εκμετάλλευση των ενεργειακών τεχνολογιών ΑΠΕ, όπως η ηλιακή θερμική / φωτοβολταϊκά συστήματα, αιολική, βιομάζα, γεωθερμική και συστήματα ισχύος συνίστανται ιδιαίτερα για την ενίσχυση της απόδοσης κτιρίου. Απαιτείται μια βαθιά επισκόπηση των πιθανών δράσεων κατάλληλων για τα υφιστάμενα ευρωπαϊκά κτίρια, με όρους αρχιτεκτονικής ανακαίνισης και αντικατάστασης των παραδοσιακών ενεργειακών συστημάτων με καινοτόμες τεχνολογίες [Pisello et al., 2016].



Εικόνα 14: Φωτοβολταϊκά κεραμίδια (Α: [EFFESUS, 2016], Β: [López, 2014])

Προκειμένου να αποφευχθεί η αδιάκριτη και ανεξέλεγκτη χρήση των ηλιακών τεχνολογιών, είναι απαραίτητο να βρεθεί μια σωστή ισορροπία, ή συμβιβασμός, μεταξύ των τεχνικών και αισθητικών απαιτήσεων. Σήμερα, υπάρχει στην αγορά μια σειρά καινοτόμων και προηγμένων προϊόντων για την ενσωμάτωση στα κτίρια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευαίσθητο δομημένο περιβάλλον [López, 2013]. Γενικότερα, η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη ιστορική περιοχή θα εξαρτηθεί επίσης από τον αντίκτυπο που θα έχει στην κληρονομιάς της περιοχής. Η

ενσωμάτωση μικρών ηλιακών πάνελ σε κεραμίδια (Εικόνα 14Α) μπορεί να αποτελέσει λύση στην αντιμετώπιση του προβλήματος [EFFESUS, 2016].

Η χρήση φωτοβολταϊκών κεραμιδιών, αποσκοπεί στην καλύτερη αισθητική ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών σε παραδοσιακά κτίρια, διατηρώντας την παραδοσιακή μορφή της στέγης τους. Τα βασικά χαρακτηριστικά των κεραμιδιών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δίχως την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών πάνελ (Εικόνα 15). Αυτό το σύστημα επιτρέπει τη γρήγορη συντήρηση και ενδεχόμενη αντικατάσταση των πάνελ με άλλα. Εφαρμόζονται σχεδόν σε όλους τους τύπους στεγών. Κάθε πάνελ (Εικόνα 14Β) μπορεί να έχει 4 κυψέλες των 2 ή 3 W ανά κυψέλη, δηλαδή συνολικό φορτίο 8 ή 12 W [SECHURBA, 2008].



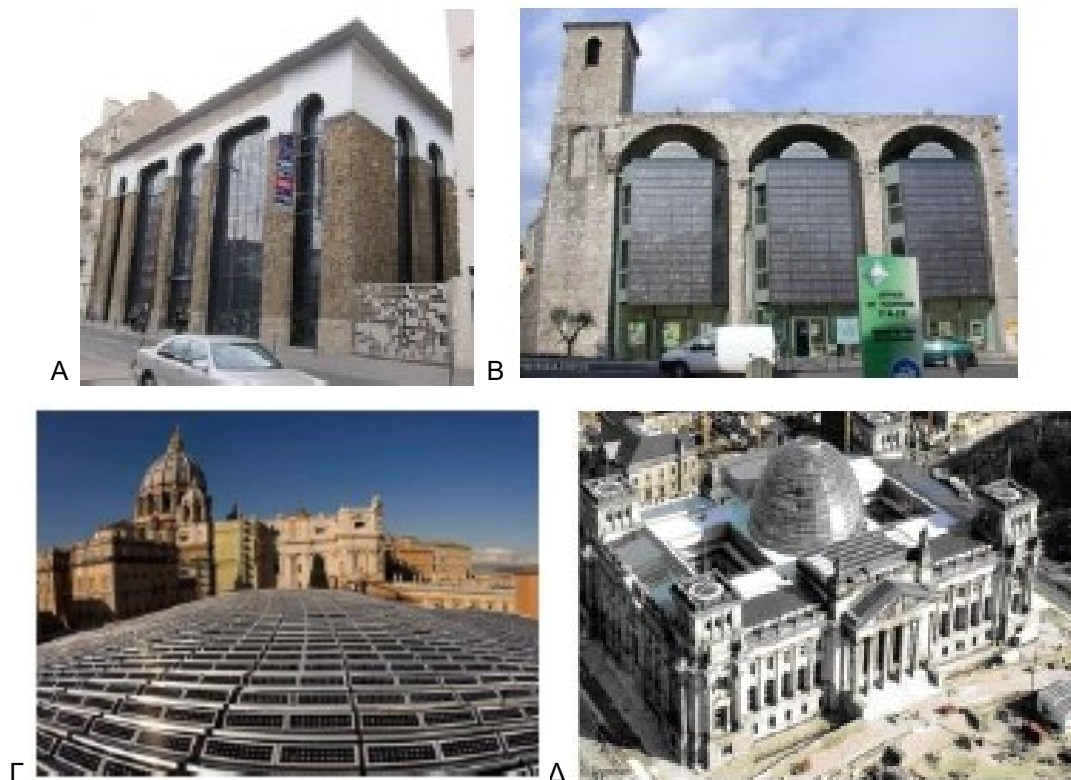
Εικόνα 15: Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών κεραμιδιών κατά τη διάρκεια αποκατάστασης του κάστρου

Ακόμη μια πρόταση για την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στοιχείων στο κέλυφος των κτιρίων, είναι η τοποθέτησή τους στην εσωτερική πλευρά των παντζουριών (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε παντζούρια [López, 2014]

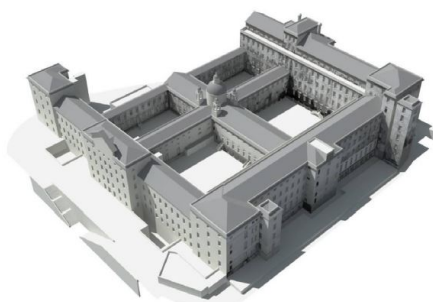
Γενικά, ανάλογα με την ιδιαιτερότητα του κάθε κτιρίου προσαρμόζονται και οι τεχνικές λύσεις στην ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών. Παρακάτω απεικονίζονται μερικά παραδείγματα ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε ιστορικά κτίρια (εικόνες 17Α,17Β,17Γ & 17Δ).



Εικόνα 17: Παραδείγματα ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών σε ιστορικά κτίρια (Α: Hotel Industrial, Παρίσι (Γαλλία) Τουριστικό γραφείο, Β: Alès (Γαλλία), Γ: Sala "Nervi", Βατικανό (Ιταλία), Δ: Το κτίριο του Reichstag, Βερολίνο (Γερμανία). [López, 2014])

Γεωθερμικά συστήματα, όπως αντλίες θερμότητας επίγειας πηγής έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τα ψυκτικά φορτία κατά 30-50% και τα θερμικά φορτία κατά 20-40%, μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου [Pisello et al., 2016]. Οι λέβητες βιομάζας και οι αντλίες θερμότητας είναι επεμβάσεις που δεν επηρεάζουν σημαντικά την αισθητική όψη του κτιρίου. Όμως σε κάποιες χώρες, η νομοθεσία απαγορεύει την βιομάζα σε αστικές περιοχές για θέματα ποιότητας αέρα. Επιπλέον, σε κάποιες αστικές κατοικίες υπάρχουν ζητήματα που αφορούν στην αποθήκευση και την προμήθεια πρώτων υλών για την βιομάζα [SECHURBA,

2008]. Η χρήση ανεμογεννητριών δεν εμφανίζεται συχνά ως λύση στην επιλογή τεχνολογιών ΑΠΕ σε κτίρια διότι τα περισσότερα ιστορικά κτίρια βρίσκονται σε αστικά κέντρα, ιστορικά κέντρα, παραδοσιακούς οικισμούς και καθιστούν δύσκολη την χρήση τους.



Α
Εικόνα 18: Ιστορικό κτίριο Albergo dei Poveri και τρισδιάστατη αποτύπωση του κτιρίου, [Franco et al., 2014]

Το συγκρότημα του «Albergo dei Poveri» χτίστηκε στη Γένοβα από τα τέλη του 17ου αιώνα μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα, ως μνημειώδης δομή για φιλανθρωπικούς σκοπούς (Εικόνα 18Α). Πραγματοποιήθηκε μελέτη με σκοπό την πλήρη επαναχρησιμοποίησή του ως πανεπιστημιακή πανεπιστημιούπολη (Εικόνα 18Β). Ο κύριος στόχος της έρευνας ήταν ο καθορισμός, από μεθοδολογική και τεχνική άποψη, μελετών σκοπιμότητας για την παρουσίαση της ιστορικής μνημειώδους κληρονομιάς σε μια διαδικασία «ενεργειακής απόδοσης» και «παραγωγής ενέργειας», χρησιμοποιώντας ακόμη και τεχνολογίες που παρέχονται από ΑΠΕ. Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε μια προκαταρκτική προσέγγιση και εξετάστηκαν γενικά κριτήρια για την ανακαίνιση των κτιρίων, σε σχέση με τις αρχιτεκτονικές και ιστορικές δεσμεύσεις [Franco et al., 2014].

Για την αποφυγή θερμικών απωλειών δημιουργήθηκαν σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας κυρίως στα παράθυρα και στη στέγη του κτιρίου. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

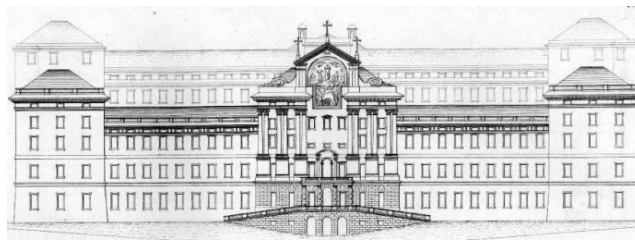
Πίνακας 4: Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στο Albergo dei Poveri [Franco et al., 2014]

Μέτρα βελτιστοποίησης/ανακαίνισης	Εξοικονόμηση ενέργειας (%)
Μόνωση στέγης	5
Αποκατάσταση των εξωτερικών παραθύρων (μονό τζάμι)	6
Αλλαγή των εξωτερικών παραθύρων με νέα πιστοποιημένα στοιχεία	28
Αποκατάσταση των παραθύρων και προσθήκη νέου πιστοποιημένου παραθύρου	28
Αποκατάσταση των εξωτερικών παραθύρων (μονό τζάμι) και μόνωση στέγης	11
Αλλαγή των εξωτερικών παραθύρων και μόνωση στέγης	32
Αποκατάσταση των παραθύρων (μονό τζάμι), προσθήκη νέων πιστοποιημένων παραθύρων και μόνωση στέγης	32

Σχετικά με το σύστημα θέρμανσης, εντοπίστηκε πιθανή τοποθεσία του νέου θερμοηλεκτρικού σταθμού, ενσωματωμένη με προσεκτική μελέτη της θέσης του υφιστάμενου δικτύου αγωγών, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν περαιτέρω πιθανές περικοπές στους παλαιούς θόλους. Για τις ηλεκτρικές ανάγκες φωτισμού, έχει ληφθεί υπόψη μια πιθανή μείωση κατά 50% με την εισαγωγή ενός συστήματος LED. Όσον αφορά τη ζήτηση ενέργειας για ζεστό νερό χρήσης (ZNX), γίνεται μελέτη για την τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών [Franco et al., 2014].

Για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, εξετάστηκαν συστήματα μικροστροβίλων με φυσικό αέριο και θα γίνει διαστασιολόγηση σε σχέση με τη ζήτηση ενέργειας. Θα είναι χρήσιμο να οριστεί ένα σύστημα συμπαραγωγής ή τρίτης γενιάς (για θερμική ενέργεια, φωτισμό και ενδεχομένως συστήματα ψύξης). Συστήματα με μικροστρόβιλους παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και σε ορισμένες περιπτώσεις περιλαμβάνουν συστήματα ανάκτησης θερμότητας (ΣΗΘ - Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας). Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση της περίσσειας θερμικής ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού και μειώνουν την ανάγκη των συμβατικών τεχνολογιών, όπως λέβητες και καμίνους [Franco et al., 2014].

Τα εκτιμώμενα οφέλη από αυτές τις εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν: μείωση των εκπομπών CO₂, NO_x και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων με τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων (βιοαέριο) ή με την αύξηση της αποδοτικότητας κατά τη χρήση ΣΗΘ. Παράγεται ηλεκτρική ενέργεια στο σημείο χρήσης, και έτσι μειώνεται η ανάγκη χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας από πηγές όπως οι μεγάλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κοινής ωφέλειας [Franco et al., 2014].



Εικόνα 19: Αρχιτεκτονικό σχέδιο πρόσοψης Ιστορικού συμπλέγματος Albergo dei Poveri, Γενεύη, Ιταλία

Τέλος, μπορεί να τονιστεί ότι ο τομέας τεχνικού σχεδιασμού επηρεάζει αυστηρά την επιλογή και τον ορισμό των πλέον κατάλληλων καινοτόμων τεχνολογιών που πρέπει να είναι συμβατές και λιγότερο επεμβατικές με την προστασία του ιστορικού αρχιτεκτονικού περιβάλλοντος και του τοπίου (Εικόνα 19) . Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να συζητείται προσεκτικά προληπτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και αρχιτεκτονικών επιπτώσεων όλων των τεχνικών εκχωρήσεων, μαζί με εμπειρογνώμονες [Franco et al., 2014].

Η εφαρμογή ενός σύγχρονου συστήματος Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) σε ιστορικά κτίρια έχει ως αποτέλεσμα αναπόφευκτα τόσο φυσικές όσο και οπτικές αλλαγές. Παρόλο που κάθε ιστορικό κτίριο είναι μοναδικό και έχει τα δικά του χαρακτηριστικά κατασκευής και οικοδομικής φυσικής. Ο πύργος Προσφόριο (Εικόνα 20) αποτελεί παράδειγμα εφαρμογής συστήματος HVAC καθώς και επαναχρησιμοποίησης ενός ιστορικού κτιρίου

με διαφορετική χρήση λειτουργίας. Το κτίριο του βυζαντινού πύργου Προσφόριο βρίσκεται στο λιμάνι της Ουρανούπολης, στη Χαλκιδική, στη Βόρεια Ελλάδα. Θεωρείται ένα από τα πιο χαρακτηριστικά κτίρια αμυντικής και μοναστηριακής αρχιτεκτονικής. Το 2000 αποφασίστηκε να μετατραπεί σε μουσείο βυζαντινής ιστορίας της περιοχής [Papadopoulos et al., 2003].



Εικόνα 20: Μεσαιωνικός πύργος Προσφόριο (Α. Νότια άποψη, Β. Βορειοανατολική άποψη)

Η ενσωμάτωση ενός συστήματος κλιματισμού σε ένα κτίριο, όπως ο μεσαιωνικός πύργος Προσφόριο της Ουρανούπολης, παρουσιάζει πολλές ιδιαιτερότητες που προκύπτουν από την ίδια τη φύση ενός ιστορικού κτιρίου, την προοδευτική μετατροπή του σε μουσείο και την ανάγκη συμμόρφωσης με τα σύγχρονα πρότυπα ασφάλειας και άνεσης. Ακόμη και χωρίς τους πολύ αυστηρούς μορφολογικούς και αρχιτεκτονικούς περιορισμούς που θέτουν οι αρχαιολόγοι, ένα μεσαιωνικό φρούριο, που βρίσκεται στην ακτή της Μεσογείου, είναι ένα πολύ δυσμενές σημείο για τις ανάγκες ενός μουσείου. Οι ιδιότητες του φυσικού κτιρίου του πύργου, σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες και τις απαιτήσεις που καθορίζονται από τη λειτουργία του ως μουσείο, δεν είναι εύκολα συμβατές. Ο μόνος τρόπος αντιστάθμισης των ανεπαρκειών του κτιρίου και για την καθιέρωση αποδεκτών θερμικών και ακουστικών συνθηκών άνεσης είναι με τη χρήση ενός υψηλής ποιότητας, ευέλικτου και καλά διαστασιολογημένου κεντρικού συστήματος HVAC, εγκατεστημένου με τον πλέον διακριτό δυνατό τρόπο [Papadopoulos et al., 2003].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το κτίριο Ca 'S.Orsola (Εικόνα 21), το οποίο βρίσκεται στο ιστορικό κέντρο του Τρεβίζο (Ιταλία). Το κτίριο ήταν η παλιά τοποθεσία του Πολωνικού Ινστιτούτου και τώρα είναι ένα διατηρητέο κτίριο της ιστορικής και αρχιτεκτονικής κληρονομιάς της Περιφέρειας Βένετο [Mora et al., 2015].



Εικόνα 21: Κτίριο Ca S. Orsola πριν και μετά την ανακαίνιση [Mora et al., 2015]

Το Ca 'S.Orsola είναι ένα διατηρητέο κτίριο πλήρως ανακατασκευασμένο και έχοντας μετατραπεί σε κατοικήσιμο κτίριο, με γραφεία και καταστήματα στο ισόγειο και κατοικίες από πάνω. Η ανακαίνιση αποσκοπούσε όχι μόνο στην αποκατάσταση της κατασκευής αλλά και στον επαναπροσδιορισμό του ενεργειακού και ακουστικού στόχου, διατηρώντας ένα υψηλό επίπεδο άνεσης στο εσωτερικό [Mora et al., 2015].

Η εγκατάσταση ενός μηχανικού συστήματος εξαερισμού με ανάκτηση θερμότητας (Εικόνα 22), η ενσωμάτωση των ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης είναι οι βασικές επεμβάσεις που ενσωματώθηκαν για την επίτευξη υψηλού επιπέδου πιστοποίησης [Mora et al., 2015].



Εικόνα 22: Εγκατάσταση συστήματος μηχανικού αερισμού [Mora et al., 2015]

Η ποιότητα ζωής στο περιβάλλον του κτιρίου διασφαλίζεται με τη χρήση υλικών εσωτερικού χώρου με χαμηλή βλαβερότητα και λόγω της εγκατάστασης χειμερινής θέρμανσης κάτω από το πάτωμα (Εικόνα 23) και θερινής ψύξης με έλεγχο υγρασίας [Mora et al., 2015]. Επίσης, η τοποθέτηση θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου έγινε σε εσωτερικά και εξωτερικά τμήματα της τοιχοποιίας (Εικόνα 24).



Εικόνα 23: Ενδοδαπέδια θέρμανση και τοποθέτηση πατώματος πάνω από αυτή [Mora et al., 2015]



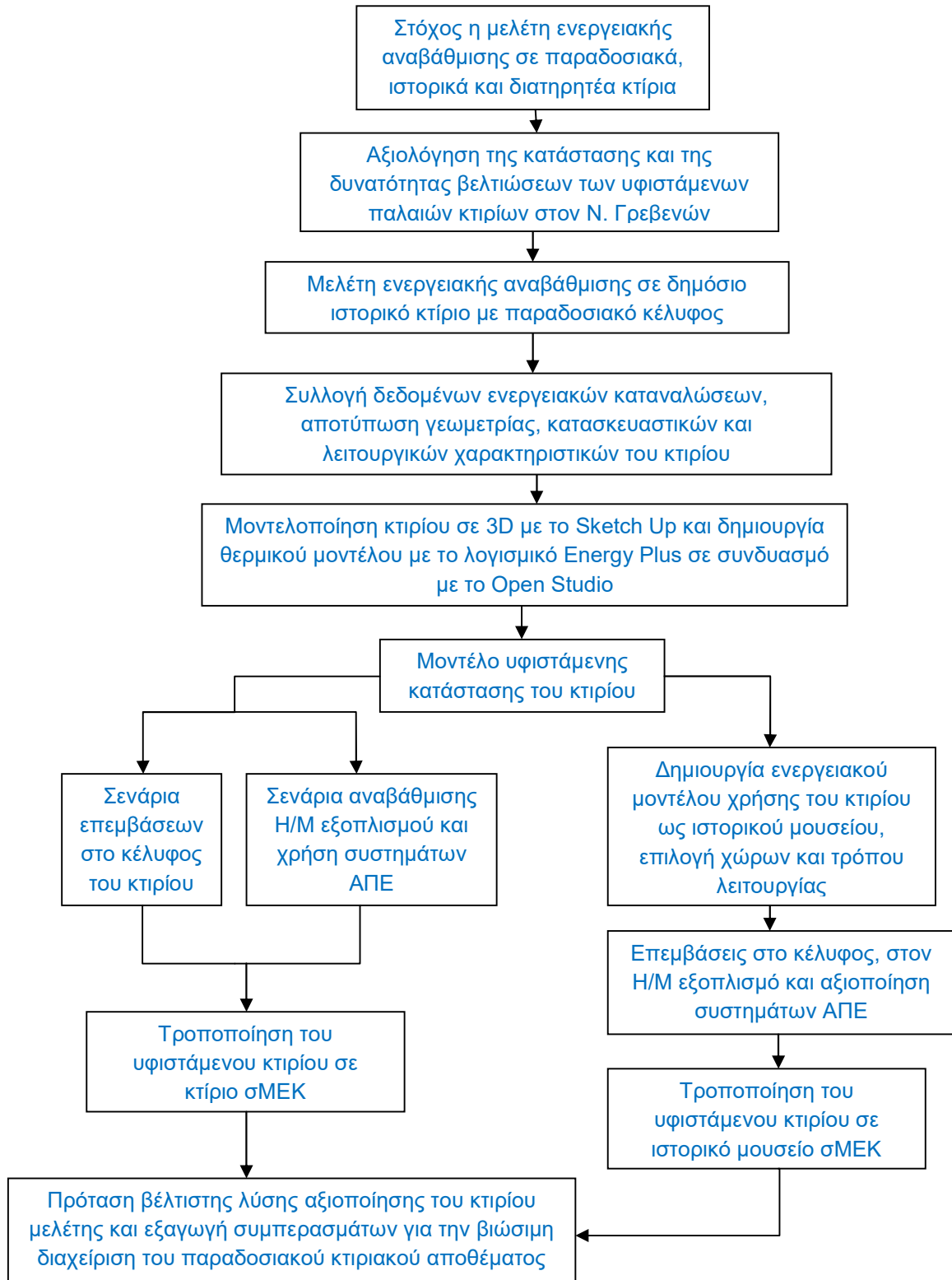
Εικόνα 24: Τοποθέτηση θερμομόνωσης σε εσωτερικούς και εξωτερικούς τοίχους [Mora et al., 2015]

Τα μέτρα ανακαίνισης μείωσαν έως και 90% την κατανάλωση ενέργειας. Το ηλιακό και το φωτοβολταϊκό σύστημα συνέβαλαν στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση των εκπομπών CO₂ εκτιμήθηκε στο 81% [Mora et al., 2015].

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Πλάνο επίλυσης του προβλήματος

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής επίλυσης του προβλήματος.



3.2 Τεχνική περιγραφή του κτιρίου μελέτης

Το υπό μελέτη μονώροφο κτίριο είναι δημόσιο και βρίσκεται στην πόλη των Γρεβενών του νομού Γρεβενών (εικόνες 1Α,1Β & 1Γ). Το οικόπεδο είναι εντός της πόλης με έκταση 328,32 m² και έκταση κτίσματος 142,41 m² (14,10m x 10,10m) σε υψόμετρο 531 m και συντεταγμένες με γεωγραφικό πλάτος 40° 5'1,5"N και γεωγραφικό μήκος 21°25'41,2"E. Το κτίριο σχηματίζει γωνία 48° με τον Βορρά.



Εικόνα 25: Κτίριο μελέτης (Α. Πρόσοψη κτιρίου Β. Βορειοδυτική όψη του κτιρίου Γ. Νοτιοανατολική άποψη της πρόσοψης), (προσωπικό αρχείο)

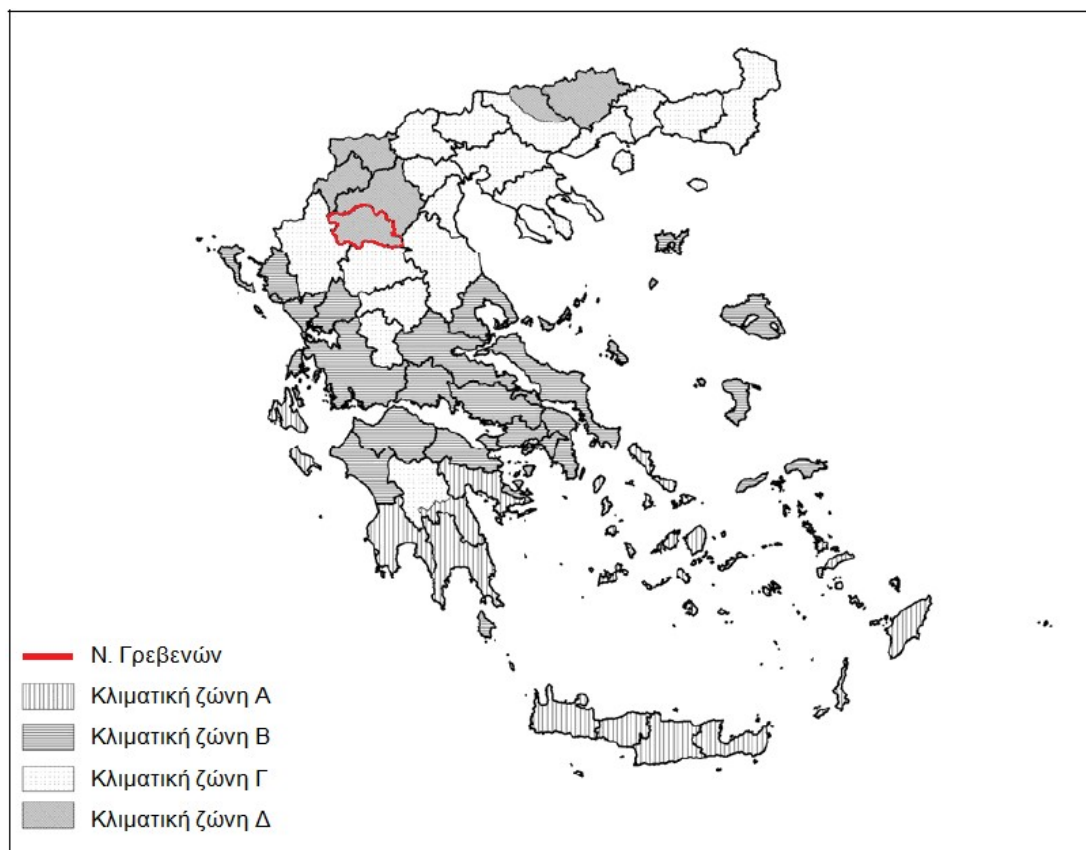
Ο νομός Γρεβενών περικλεισμένος δυτικά, νότια και ανατολικά από βουνά, στο κέντρο της ηπειρωτικής Ελλάδας, έχει κλίμα ηπειρωτικό με μεγάλες θερμομετρικές διαφορές μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού και θεωρείται από τις ψυχρότερες περιοχές της Ελλάδας. Η πόλη βρίσκεται σε υψόμετρο 530 m και σύμφωνα με τον Πίνακα 5 επικρατούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο⁸. Κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου-Μαρτίου ο καιρός χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. Η υγρασία είναι αισθητή διότι διασχίζει την πόλη ο ποταμός Γρεβενίτης.

Πίνακας 5: Μετεωρολογικά δεδομένα Ν. Γρεβενών (Μετεωρολογικός σταθμός Γρεβενών)

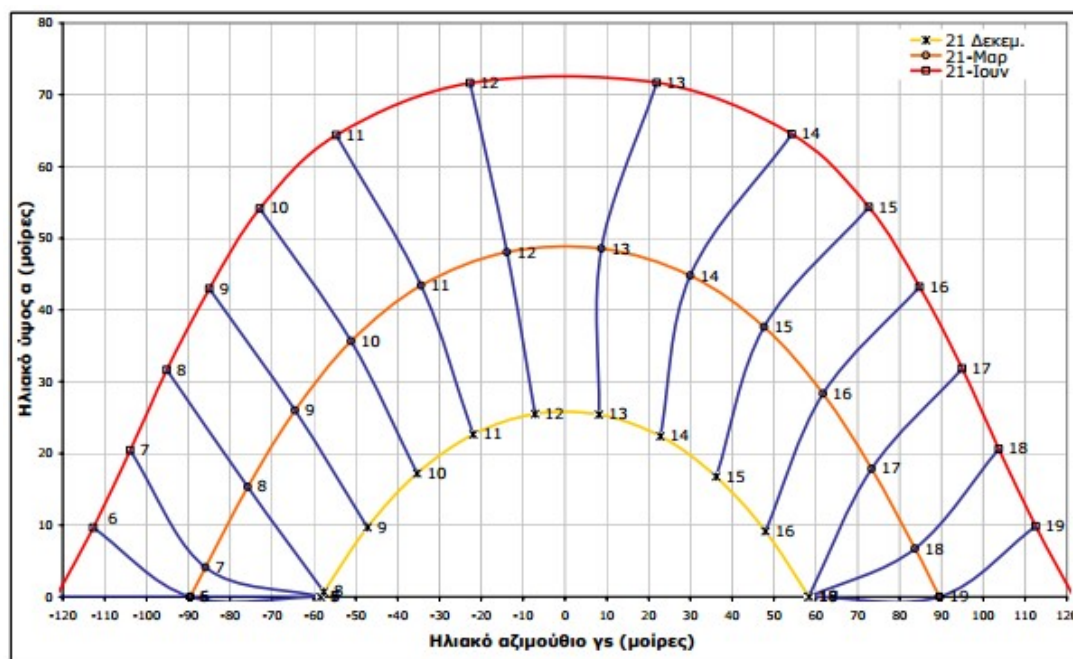
Μήνας	Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ωρου (°C)	Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (m/s)	Σχετική υγρασία (%)	Συνολική ολική ακτινοβολία ανά μήνα (kWh/(m ² ·month))	Συνολική διάχυτη ακτινοβολία ανά μήνα (kWh/(m ² ·month))	Συνολική μηνιαία βροχόπτωση (mm)
Ιανουάριος	2,2	21,8	78,6	57,6	22,5	72,2
Φεβρουάριος	3,0	20,4	73,4	71,3	29,7	94,2
Μάρτιος	6,3	18,5	66,6	111,2	48,1	87,0
Απρίλιος	11,0	17,3	62,4	141,1	64,3	52,4
Μάιος	17,2	17,6	63,5	173,6	81,7	19,0
Ιούνιος	19,1	14,8	53,1	201,8	86,6	52,2
Ιούλιος	23,8	13,7	49,3	206,3	86,0	14,0
Αύγουστος	22,1	14,6	52,4	185,5	73,2	33,8
Σεπτέμβριος	19,8	16,5	59,3	138,5	53,7	103,6
Οκτώβριος	13,5	19,3	69,3	97,0	37,4	74,8
Νοέμβριος	8,1	21,5	77,4	60,0	23,5	61,6
Δεκέμβριος	1,5	22,3	80,3	47,7	19,1	2,8

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 τα Γρεβενά ανήκουν στην κλιματική ζώνη Δ (Εικόνα 26). Στο Γράφημα 1 παρουσιάζεται το ηλιακό αζιμούθιο της κλιματικής ζώνης Δ.

⁸ Τα μετεωρολογικά δεδομένα του πίνακα 5 αφορούν μέσες μηνιαίες τιμές. Από τον μετεωρολογικό σταθμό των Γρεβενών [<http://penteli.meteo.gr/stations/grevena/>], συλλέχθηκαν οι τιμές θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου, σχετικής υγρασίας και βροχόπτωσης. Οι τιμές ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας προέρχονται από την ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 και αφορούν την κλιματική ζώνη Δ γενικά.



Εικόνα 26: : Κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα [ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010]



Γράφημα 1: Ηλιακό αζιμούθιο κλιματικής ζώνης Δ [ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010]

3.2.1 Ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου

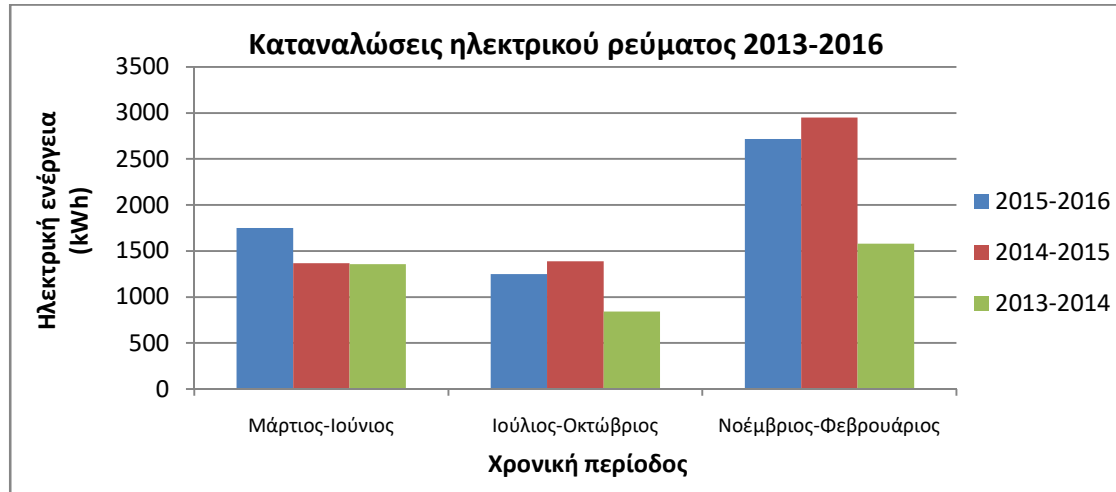
Οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου καλύπτονται από την καύση πετρελαίου για θέρμανση και από ηλεκτρικό ρεύμα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) για τον τεχνητό φωτισμό και τις ηλεκτρικές συσκευές. Τα δεδομένα για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος συλλέχτηκαν από τα γραφεία της ΔΕΗ. Οι τιμές που δόθηκαν αφορούν τις ενδείξεις του μετρητή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος του κτιρίου ανά τετράμηνο. Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε ο Πίνακας 6 που δείχνει τις ενδείξεις του μετρητή καθώς και τις καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος για κάθε τετράμηνο από το 2013 μέχρι και το 2016.

Πίνακας 6: Καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος από τη ΔΕΗ

Ημέρα	Μήνας	Έτος	Ένδειξη (kWh)	Τετράμηνα	Κατανάλωση τετραμήνου (kWh)
1	Μάρτιος	2016	25.274	-	-
2	Νοέμβριος	2015	22.558	Νοέμβριος-Φεβρουάριος	2.716
2	Ιούλιος	2015	21.31	Ιούλιος-Οκτώβριος	1.248
2	Μάρτιος	2015	19.559	Μάρτιος-Ιούνιος	1.751
4	Νοέμβριος	2014	16.608	Νοέμβριος-Φεβρουάριος	2.951
1	Ιούλιος	2014	15.221	Ιούλιος-Οκτώβριος	1.387
28	Φεβρουάριος	2014	13.855	Μάρτιος-Ιούνιος	1.366
1	Νοέμβριος	2013	12.274	Νοέμβριος-Φεβρουάριος	1.581
1	Ιούλιος	2013	11.432	Ιούλιος-Οκτώβριος	842
28	Φεβρουάριος	2013	10.075	Μάρτιος-Ιούνιος	1.357

Η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος σύμφωνα με τις ενδείξεις του ρολογιού της ΔΕΗ είναι 5.950 kWh για την χρονική περίοδο 4/11/2014 – 2/11/2015 ενός έτους. Για την ίδια χρονική περίοδο σύμφωνα με τον διευθυντή του τμήματος του δήμου, η κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης ήταν 1.800 L. Σύμφωνα με τους εργαζόμενους στο κτίριο αυτή η ποσότητα πετρελαίου δεν επαρκούσε, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούν βοηθητικά θερμαντικά σώματα. Αυτό φαίνεται και στο διάγραμμα των καταναλώσεων

(Γράφημα 2) καθώς την περίοδο Νοεμβρίου-Φεβρουαρίου η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σχεδόν διπλασιάζεται σε σχέση με τις ήπιες περιόδους από Μάρτιο μέχρι Οκτώβριο. Επίσης, η αυξημένη κατανάλωση τον χειμώνα οφείλεται και στην έντονη παρουσία από σύννεφα, με αποτέλεσμα την ανάγκη για περισσότερο τεχνητό φωτισμό.



Γράφημα 2: Δεδομένα πραγματικών καταναλώσεων ηλεκτρικού ρεύματος του κτιρίου μελέτης

3.2.2 Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κτιρίου

Το κτίριο ανήκει στην κατηγορία των συμπαγών κτιρίων καθώς η τοιχοποιία του αποτελείται από συμπαγείς οπτόπλινθους διαστάσεων 25 cm x 12 cm x 5 cm (Εικόνα 3). Οι τοίχοι είναι μεγάλου πάχους με αποτέλεσμα να αποτελούν φέροντα δομικά στοιχεία στην κατασκευή. Έτσι, το κτίριο δεν έχει κατακόρυφες δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα εκτός από την εσωτερική σκάλα ισογείου-ορόφου. Αναλυτικότερα, τα αρχιτεκτονικά σχέδια τοπογραφικού (ΑΣ1), κάτοψης ισογείου (ΑΣ2), κάτοψης ορόφου (ΑΣ3), εγκάρσιας τομής 1 (ΑΣ4) και εγκάρσιας τομής 2 (ΑΣ5) του κτιρίου βρίσκονται στο παράρτημα Α.



Εικόνα 27: Εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)

Το κτίριο χωρίζεται σε τέσσερα επίπεδα (υπόγειο, ισόγειο, όροφος και τη στέγη). Στο υπόγειο του κτιρίου με διαστάσεις 4,0 m x 4,8 m x 2,5 m βρίσκεται το λεβητοστάσιο και έχει πρόσβαση από υπόγεια σκάλα στη βόρεια πλευρά. Το ισόγειο έχει τοίχους πάχους 40 cm, δύο κεντρικές εισόδους και είναι υπερυψωμένο κατά 60 cm στην νότια πλευρά. Στο ισόγειο βρίσκονται μια αίθουσα αναμονής, πέντε δωμάτια και ένας χώρος υγιεινής. Το εσωτερικό ύψος του ισόγειου είναι 3 m. Ο όροφος του κτιρίου έχει πάχος 25 cm και τα πατώματα είναι πάνω σε πλάκα πάχους 15 cm. Στον όροφο βρίσκονται 6 δωμάτια, ένας χώρος αναμονής, η εσωτερική σκάλα και ένας χώρος υγιεινής. Το εσωτερικό ύψος του ορόφου είναι τρία μέτρα. Η στέγη του κτιρίου είναι δίρριχτη με κλίση 38,6% από κάθε μεριά και προεξέχει 40 cm δυτικά, ανατολικά και 30 cm βόρεια και νότια του κτιρίου. Η κορυφή της στέγης έχει εσωτερικό ύψος 2 m. Τα κεραμίδια είναι βυζαντινού τύπου και ο σκελετός της στέγης είναι κατασκευασμένος από ξύλινες δοκούς.

Στην αρχική κατάσταση του κτιρίου στο ισόγειο βρίσκονταν γραφεία και στον όροφο υπήρχαν δωμάτια, αποθήκη και μαγειρείο. Η πρόσβαση στο υπόγειο γινόταν με υπόγεια σκάλα και στον όροφο με εξωτερική. Στο ισόγειο υπήρχε η δυνατότητα πρόσβασης από τρεις εισόδους. Στη συνέχεια έγιναν

αλλαγές και η είσοδος στη δυτική πλευρά του κτιρίου σφραγίστηκε με τούβλα και έμεινε η νότια και η βόρεια είσοδος του ισογείου (εικόνες 28Α & 28Β). Η σκάλα έχει χωριστεί με γυψοσανίδα και από το δωμάτιο του ισογείου, το οποίο λειτουργεί πλέον ως αποθήκη. Επίσης, στην πρόσοψη του ορόφου υπήρχε κεντρικά εσωτερικό μπαλκόνι, το οποίο καταργήθηκε με κατασκευή εξωτερικού τοίχου έτσι ώστε να μεγαλώσει το κεντρικό δωμάτιο. Επίσης, το δάπεδο είναι από μωσαϊκό και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν κεραμικά πλακάκια από πάνω. Η σκάλα έχει παραμείνει με μωσαϊκό.



Εικόνα 28: Πρόσβαση στον όροφο του κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)

Τα κουφώματα του κτιρίου είναι κατασκευασμένα από κατεργασμένη ξυλεία. Τα παράθυρα έχουν διπλό υαλοπίνακα πάχους 4mm με ενδιάμεσο κενό αέρα 6mm και προστατεύονται από παντζούρια γερμανικού τύπου (εικόνες 29Α & 29Β).



Εικόνα 29: Παράθυρα κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)

Οι εξώπορτες αποτελούνται από συμπαγές μασίφ ξύλο. Στην Εικόνα 30Α παρουσιάζεται η είσοδος του ορόφου και στην Εικόνα 30Β η είσοδος του ισογείου.



Εικόνα 30: Θύρες εισόδου κτιρίου μελέτης (προσωπικό αρχείο)

Τα βασικά υλικά δόμησης του κτιρίου είναι ο συμπαγής οπτόπλινθος, οπλισμένο και άοπλο σκυρόδεμα παλαιού τύπου, ασβεστοκονίαμα, κατεργασμένη ξυλεία, υαλοπίνακες, κεραμικά πλακάκια δαπέδου, κεραμίδια βυζαντινού τύπου. Τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά των παραπάνω υλικών για την κατασκευή θερμικού μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα Α1 του παραρτήματος Α. Η εξωτερική τοιχοποιία του κτιρίου αποτελείται από οπτοπλινθοδομή με συμπαγείς οπτόπλινθους και στο εσωτερικό επένδυση με ασβεστοκονίαμα και επένδυση ξύλου ύψους 1,3 m από το πάτωμα. Επίσης, στην οροφή του ισογείου και του ορόφου υπάρχει επένδυση ξύλου σε απόσταση 10 cm από την αντίστοιχη πλάκα που βρίσκεται από πάνω. Η εισαγωγή των υλικών σε κάθε επιφάνεια του θερμικού μοντέλου του κτιρίου γίνεται από την εξωτερική προς την εσωτερική πλευρά και παρουσιάζεται στον Πίνακα Α2 του παραρτήματος Α.

3.2.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά κτιρίου

Στο υπόγειο του κτιρίου βρίσκεται το λεβητοστάσιο. Στο ισόγειο του κτιρίου υπάρχουν τρία γραφεία, δύο αποθήκες, ένας κοινόχρηστος χώρος και μία τουαλέτα. Στον όροφο υπάρχει ένα γραφείο, τρεις αποθήκες, δύο κοινόχρηστοι χώροι και δύο ανεκμετάλλευστα δωμάτια. Οι ώρες λειτουργίας των γραφείων της Διεύθυνση Καθαριότητας & Ανακύκλωσης στο ισόγειο είναι 8:00-14:00 από Δευτέρα έως Παρασκευή ενώ τα γραφεία του Ερυθρού Σταυρού λειτουργούν μόνο Δευτέρα μέχρι Τετάρτη από τις 9:00-13:00. Τις αποθήκες διαχειρίζονται οι υπάλληλοι των γραφείων. Το ανθρώπινο δυναμικό που απασχολείται καθημερινά στο κτίριο αποτελείται από υπαλλήλους του Δήμου στο ισόγειο και μέλη του Ερυθρού Σταυρού στον όροφο.

Η δραστηριότητα των εργαζομένων θεωρείται ως ελαφριά καθιστική εργασία κυρίως σε υπολογιστή 115 W (70 αισθητά και 45 λανθάνοντα) ⁹. Η κίνηση των εργαζομένων στους κοινόχρηστους χώρους είναι πιο έντονη και έτσι η θερμότητα που προσφέρουν είναι 145 W (75 αισθητά και 70 λανθάνοντα). Τα θερμικά κέρδη από την ανθρώπινη δραστηριότητα σε κάθε χώρο του κτιρίου παρουσιάζονται στον Πίνακα Α3 του παραρτήματος Α. Χώρους αποθηκευτικούς και κοινόχρηστους δεν βρίσκονται συγκεκριμένα άτομα και σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Στο λεβητοστάσιο, το οποίο ανοίγεται μόνο για την τροφοδοσία πετρελαίου και για κάποια πιθανή συντήρηση του λέβητα, θεωρείται ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι αμελητέα. Επίσης, δεν υπάρχει πρόσβαση στη στέγη (εκτός των εργατών συντήρησης), άρα θεωρείται ψυχρή στέγη χωρίς ανθρώπινη δραστηριότητα.

⁹ ASHRAE, [<https://www.ashrae.org/>, 2017]

Η μονάδα παραγωγής θέρμανσης είναι ένα συγκρότημα λέβητα-καυστήρα. Το καύσιμο του καυστήρα είναι πετρέλαιο θέρμανσης. Η δυναμικότητα του λέβητα κατά την κανονική λειτουργία είναι 5.000 kcal/h. Η μέγιστη θερμοκρασία παροχής ύδατος είναι οι 90 °C. Ο βαθμός απόδοσης του συγκροτήματος λέβητα-καυστήρα υπολογίζεται μεταξύ 75%-80% ¹⁰. Οι τερματικές μονάδες είναι χαλύβδινα θερμαντικά σώματα και το δίκτυο σωληνώσεων είναι χαλύβδινο και χωρίς μόνωση.

Οι ηλεκτρικές συσκευές του κτιρίου αφορούν κυρίως τον ηλεκτρικό εξοπλισμό γραφείων (υπολογιστής, εκτυπωτής). Σε δυο από τις αποθήκες υπάρχουν ψυγεία. Σε όλους τους χώρους του κτιρίου υπάρχουν λαμπτήρες για τεχνητό φωτισμό (36 W ή 40 W). Ο αριθμός και το είδος των λαμπτήρων σε κάθε χώρο παρουσιάζονται στον Πίνακα Α4 του παραρτήματος Α. Αξίζει, να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν καθόλου συστήματα αυτοματισμού. Επίσης, σύμφωνα με τους εργαζόμενους του κτιρίου η ποσότητα πετρελαίου που παραχωρήθηκε για τη θέρμανση του κτιρίου δεν επαρκούσε κατά τη χειμερινή περίοδο 2014-2015. Επομένως, χρησιμοποιήθηκαν θερμαντικά σώματα κατά τη περίοδο Νοεμβρίου-Μαρτίου. Ακόμη, τη θερινή περίοδο κατά τη διάρκεια ημερών με υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιήθηκαν ανεμιστήρες δαπέδου, διότι δεν υπάρχει σύστημα μηχανικού αερισμού στο κτίριο. Οι ενεργειακές καταναλώσεις από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό σε κάθε χώρο του κτιρίου παρουσιάζονται στον Πίνακα Α5 του παραρτήματος.

¹⁰ Αρχείο Διεύθυνσης Δασών Ν. Γρεβενών

3.3 Μοντελοποίηση κτιρίου

Η μοντελοποίηση του κτιρίου έγινε με στόχο την προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασής του. Με αυτόν τον τρόπο κάθε αλλαγή στο μοντέλο του κτιρίου επιφέρει και τις αντίστοιχες αλλαγές στις ενεργειακές του καταναλώσεις. Έτσι, προκύπτει κατά προσέγγιση το πραγματικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας κάθε σεναρίου εφόσον αυτό υλοποιηθεί.

3.3.1 Αποτύπωση και απεικόνιση κτιρίου

Η τοποθεσία, ο προσανατολισμός και το εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου είναι απαραίτητα στοιχεία για την μοντελοποίηση του κτιρίου. Με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD και σύμφωνα με το τοπογραφικό σχέδιο (Εικόνα 31) του κέντρου της πόλης των Γρεβενών υπολογίστηκε ο προσανατολισμός του κτιρίου και οι αποστάσεις των γειτονικών κτιρίων, τα οποία χρησιμοποιούνται στο μοντέλο ως επιφάνειες σκίασης.



Εικόνα 31: Τοπογραφικό σχέδιο μέρους του κέντρου της πόλης στο AutoCAD [κτηματολόγιο Γρεβενών]

Κατά την αναγνώριση και καταγραφή των δομικών υλικών και του Η/Μ πραγματοποιήθηκε η αποτύπωση της γεωμετρίας του κτιρίου. Στο αρχείο της Διεύθυνσης Δασών βρέθηκαν παλιά αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου του παραρτήματος Β. Από τότε έχουν γίνει αλλαγές και για την εξακρίβωση και τη συμπλήρωση στοιχείων πραγματοποιήθηκε μέτρηση με μετροταινία στο πεδίο και κατασκευάστηκαν συγχρόνως πρόχειρα σχέδια κατόψεων, πρόσοψης, πλαγίων όψεων και της πίσω όψης. Στη συνέχεια, οι μετρήσεις σε συνδυασμό με τα δεδομένα των σχεδίων καταχωρήθηκαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Sketch Up.

3.3.2 Κατασκευή ενεργειακού μοντέλου

Το **Sketch Up** είναι σχεδιαστικό πρόγραμμα και δίνει τη δυνατότητα για σχεδιασμό αντικειμένων σε τρεις διαστάσεις¹¹. Η γεωμετρία του κτιρίου αποτυπώθηκε σε αυτό το πρόγραμμα σύμφωνα με τα σχέδια του παραρτήματος Α και τα πρόχειρα σχέδια στο πεδίο. Με την προσθήκη των εξωτερικών κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του κτιρίου δίνεται η δυνατότητα της απεικόνισης της πιθανής ενσωμάτωσης των υλικών ή προϊόντων μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης (Εικόνα 32). Επίσης, το Sketch up χρησιμεύει για την κατασκευή των χώρων του ενεργειακού μοντέλου.



Εικόνα 32: Κατασκευή του κτιρίου μελέτης στο Sketch Up

¹¹ [www.sketchup.com, 2016]

Το **Energy Plus** είναι λογισμικό προσομοίωσης με σκοπό την ενεργειακή ανάλυση κτιρίων. Με την εισαγωγή των δεδομένων που αφορούν τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης-κλιματισμού και των μηχανολογικών εγκαταστάσεων, καθώς και τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής του κτιρίου¹², το Energy Plus έχει τη δυνατότητα υπολογισμού για την ενεργειακή κατανάλωση, θερμικά και ψυκτικά φορτία, ροή του αέρα μέσα στο κτίριο, κόστος ενέργειας, ανάλυση κόστους κύκλου ζωής¹³. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει σενάρια επεμβάσεων για την ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.



Εικόνα 33: Απεικόνιση θερμικού μοντέλου κτιρίου μελέτης

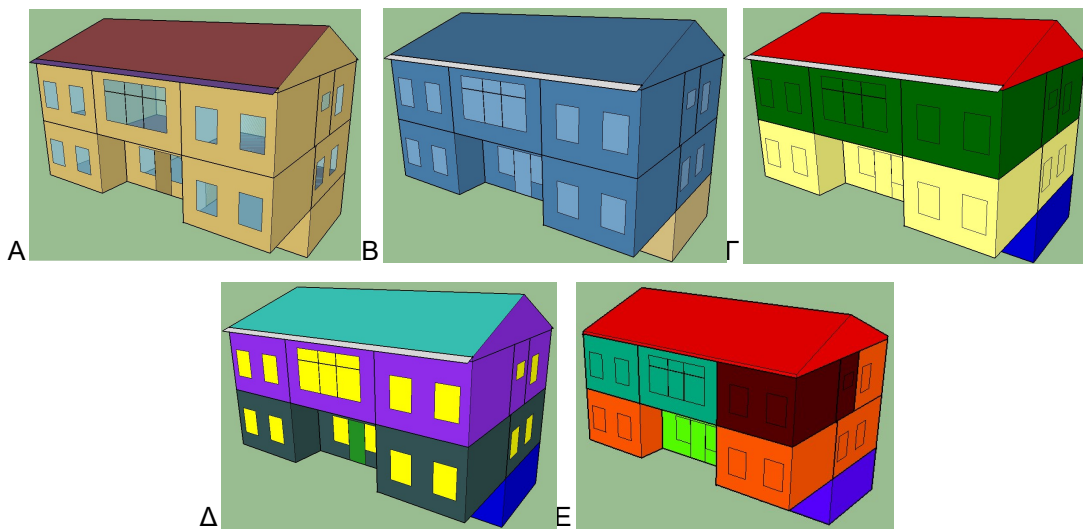
Το **Open Studio** χρησιμοποιεί τη γεωμετρία του κτιρίου που έχει αποτυπωθεί στο Sketch Up και τη συνδέει με το λογισμικό του Energy Plus. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που απλοποιεί την εισαγωγή των κατασκευαστικών και λειτουργικών δεδομένων του κτιρίου. Τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν προέρχονται από το λογισμικό του Energy Plus¹⁴.

¹² Δημιουργήθηκε αρχείο καιρού της μορφής epw (energy plus weather file) με δεδομένα τη γεωγραφική θέση του κτιρίου και τις με τις μέσες μηνιαίες τιμές των απαιτούμενων παραμέτρων του πίνακα 5.

¹³ [www.energyplus.net, 2016]

¹⁴ [www.openstudio.net, 2016]

Σύμφωνα με τη γεωμετρία του κτιρίου κατασκευάστηκε το τρισδιάστατο θερμικό μοντέλο (Εικόνα 34Α). Διαχωρίστηκαν οι χώροι του κτιρίου και τοποθετήθηκαν τα ανοίγματα του κτιρίου. Επίσης, ορίστηκαν οι εξωτερικές συνθήκες κάθε επιφάνειας (Εικόνα 34Β) και έγινε διαχωρισμός επιπέδων (Εικόνα 34Γ). Έπειτα, δημιουργήθηκαν σεντ κατασκευής, που αντιστοιχούν στην δομή της κάθε επιφάνειας (Εικόνα 34Δ) και ορίστηκε η χρήση¹⁵ του κάθε χώρου (Εικόνα 34Ε).



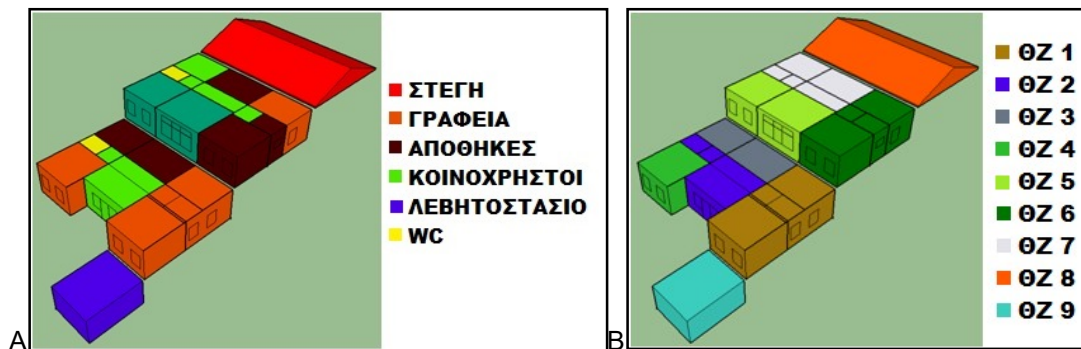
Εικόνα 34: Τρισδιάστατη απεικόνιση θερμικού μοντέλου του κτιρίου μελέτης με παρουσίαση των βημάτων σχεδιασμού

Για την εκτίμηση της ενεργειακής του απόδοσης το κτίριο χωρίζεται σε θερμικές ζώνες, δηλαδή σε χώρους με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά Η/Μ συστήματα¹⁶. Στην Εικόνα 35Α παρουσιάζεται η χρήση του κάθε χώρου. Η πολυπλοκότητα του κτιρίου και η διαφορετική χρήση των χώρων οδήγησε στον διαχωρισμό επτά θερμικών ζωνών. Αυτές οι θερμικές ζώνες αφορούν τους κλιματιζόμενους χώρους του κτιρίου. Το λεβητοστάσιο και η στέγη δεν κλιματίζονται, αλλά αποτελούν τμήματα του

¹⁵ Ανάλογα με τη χρήση κάθε χώρου και σύμφωνα με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί στην ενότητα 3.2, δημιουργήθηκαν και τα αντίστοιχα χρονοπρογράμματα ωρών λειτουργίας, παρουσίας ατόμων, χρήσης τεχνητού φωτισμού και χρήσης ηλεκτρικού εξοπλισμού.

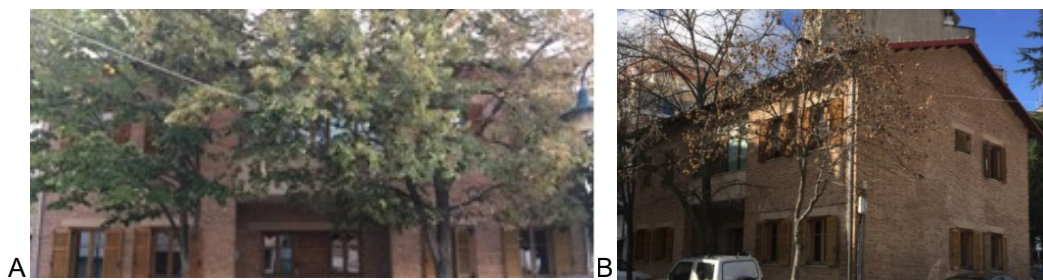
¹⁶ Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες της TOTEE 20701-1/2010, σελ. 18

κτιρίου και αλληλεπιδρούν στην ενεργειακή του συμπεριφορά. Επομένως, ορίζονται αντίστοιχα δυο επιπλέον θερμικές ζώνες (Εικόνα 35B).

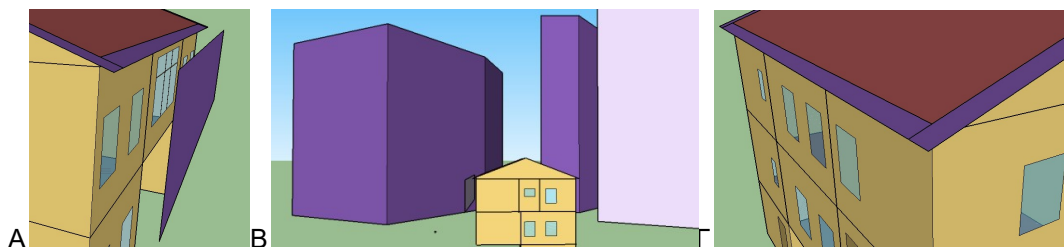


Εικόνα 35: Διαχωρισμός χώρων και θερμικών ζωνών του κτιρίου μελέτης

Στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου υπάρχουν επιφάνειες που το επισκιάζουν. Στην πρόσοψη του κτιρίου υπάρχουν φυλλοβόλα δέντρα που τη θερινή περίοδο (Εικόνα 36A) προστατεύουν το κτίριο από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τη χειμερινή περίοδο (Εικόνα 36B) που ρίχνουν τα φύλλα τους το κτίριο έχει επιπλέον ηλιακά θερμικά κέρδη. Η σκίαση αυτή μοντελοποιήθηκε (Εικόνα 37A) έτσι ώστε, να υφίσταται μόνο τη θερινή περίοδο. Επίσης, υπάρχουν τρία γειτονικά πολυώροφα κτίρια (Εικόνα 37B) και η στέγη προεκτείνεται από τους τοίχους (Εικόνα 37Γ).



Εικόνα 36: Φυλλοβόλα δέντρα στην πρόσοψη του κτιρίου (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 37: Εισαγωγή επιφανειών σκίασης στο θερμικό μοντέλο

Η μοντελοποίηση της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου έγινε με δυο διαφορετικά αρχεία καιρού. Στην πρώτη περίπτωση εισάγονται κλιματικά ωριαία δεδομένα από την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Τα μοναδικά αρχεία μορφής *epw* με ωριαίες τιμές για Ελλάδα είναι (Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Αθήνα), όλα σε διαφορετική κλιματική ζώνη. Επιλέγεται η μελέτη δεδομένων της Θεσσαλονίκης καθώς είναι η πλησιέστερη πόλη στα Γρεβενά. Στην δεύτερη περίπτωση εισάγονται κλιματικά δεδομένα από την πόλη των Γρεβενών με μέση μηνιαία τιμή για κάθε παράμετρο.

Έχει οριστεί θερμοστάτης με θερμοκρασία θέρμανσης στους 19 °C και θερμοκρασία ψύξης στους 26 °C. Η διήθηση αέρα μετράται ως εναλλαγές αέρα την ώρα (*ach*) και ορίζεται ότι στο κτίριο συμβαίνει 1 *ach* στους κοινόχρηστους και λειτουργικούς χώρους, ενώ σε μόνιμα κλειστούς χώρους συμβαίνει 0,5 *ach*.

3.4 Προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης

Κατά κύριο λόγο, προτείνονται επεμβάσεις στο εσωτερικό του κτιρίου. Αρχικά, γίνεται πρόταση αντικατάστασης των λαμπτήρων τεχνητού φωτισμού με λαμπτήρες χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων επιλέγονται με βάση τη χρήση του κτιρίου και τις προδιαγραφές της TOTTEE 20701-1/2010.

Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την ενεργειακή εξοικονόμηση του κτιρίου είναι η αποφυγή θερμικών απωλειών. Για τον λόγο αυτό προτείνεται χρήση εσωτερικής θερμομόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους ισογείου και ορόφου. Επίσης, τα ανοίγματα ευθύνονται για ένα μέρος των θερμικών απωλειών του κτιρίου. Γίνεται πρόταση αντικατάστασης των υφιστάμενων

παραθύρων με νέα καλύτερης ενεργειακής συμπεριφοράς. Κριτήριο για την τοποθέτηση νέων παραθύρων είναι η Εικόνα τους και η εναρμόνιση με τον παραδοσιακό χαρακτήρα του κτιρίου. Ακόμη, εξετάζεται η αναβάθμιση και σωστή διαχείριση των ηλεκτρικών συσκευών. Έτσι προκύπτουν τέσσερα διαφορετικά σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας και δημιουργούνται τα αντίστοιχα θερμικά μοντέλα.

Στη συνέχεια, εξετάζεται η περίπτωση συνδυασμού των παραπάνω σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας. Κατασκευάζεται νέο θερμικό μοντέλο και με βάση τις νέες ενεργειακές ανάγκες που προκύπτουν γίνεται ο σχεδιασμός των συστημάτων θέρμανσης και αυτοπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. "Σε παρόμοιες περιπτώσεις ενεργειακής αναβάθμισης, μπορεί να ενδείκνυται η αλλαγή του συγκροτήματος λέβητα-καυστήρα. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι λέβητες πολύ παλιοί ή σε πολύ κακή κατάσταση, λέβητες με πολύ μεγάλη υπερδιαστασιολόγηση, είτε περιπτώσεις αναβάθμισης όπως αλλαγής καυσίμου, νέου τύπου λέβητα, είτε άλλη τεχνολογία (αντλία θερμότητας, λέβητας βιομάζας) "¹⁷. Στην περίπτωση του κτιρίου μελέτης προτείνεται η χρήση αντλίας θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών.

Η αξιοποίηση των ΑΠΕ κρίνεται απαραίτητη για μια βιώσιμη στρατηγική ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου. Αρχικά, ερευνάται η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω χρήσης Φ/Β συστημάτων. Υπάρχουν τρεις πρακτικές εφαρμογές εγκατάστασης των Φ/Β συστημάτων. Η πρώτη αφορά την τοποθέτηση Φ/Β πάνελ σύμφωνα με την προβλεπόμενη κλίση και προσανατολισμό στη στέγη του κτιρίου, η δεύτερη περιλαμβάνει την τοποθέτηση Φ/Β πάνελ σύμφωνα με

¹⁷ Νέος οδηγός ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων, Παντελίδης, 2015, σελ 218

την υφιστάμενη κλίση της στέγης και προσανατολισμό στη νότια πλευρά του κτιρίου, ενώ η τρίτη αφορά την ενσωμάτωση Φ/Β κεραμιδιών σύμφωνα με την υφιστάμενη κλίση της στέγης της νότιας πλευράς του κτιρίου. Στην περίπτωση του κτιρίου μελέτης επιλέγονται Φ/Β κεραμίδια, τα οποία έχουν παρόμοια όψη με αυτή των υφιστάμενων κεραμιδιών του κτιρίου και διαστασιολογούνται για την κάλυψη του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου για δυο περιπτώσεις. Η πρώτη αφορά την κάλυψη των αναγκών για τεχνητό φωτισμό και ηλεκτρικό εξοπλισμό, ενώ η δεύτερη συμπεριλαμβάνει και τη χρήση αντλία θερμότητας δηλαδή το 100% των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Για την ανάλυση και τη διαστασιολόγηση των Φ/Β συστημάτων χρησιμοποιείται το πρόγραμμα **RET Screen**.

3.5 Πρόταση αξιοποίησης του κτιρίου ως μουσείο

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων από την μετατροπή του κτιρίου σε μουσείο δημιουργείται νέο θερμικό μοντέλο με τα ίδια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Συγχρόνως, ορίζεται η νέα χρήση του κάθε χώρου και δημιουργείται σχεδιάγραμμα ροής των επισκεπτών. Για την ομαλή ροή γίνονται κάποια ανοίγματα στην εσωτερική τοιχοποιία και ανοίγουν πάλι κάποια που έκλεισαν. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά προσαρμόζονται στη νέα χρήση του κτιρίου και αφορούν τις ώρες λειτουργίας, τον αριθμό των εργαζομένων και επισκεπτών, τις απαιτήσεις τεχνητού φωτισμού, τις διαφορετικές ηλεκτρικές συσκευές και τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Όλα τα παραπάνω διαστασιολογούνται σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας ενός ιστορικού-λαογραφικού μουσείου.

Στόχος είναι η τροποποίηση του κτιρίου σε μουσείο σΜΕΚ. Για το λόγο αυτό, εξετάζονται σε νέο θερμικό μοντέλο σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας, όπως η χρήση εσωτερικής μόνωσης και η αντικατάσταση των παραθύρων. Ο σχεδιασμός γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και συνδυάζονται στην ουσία τα σενάρια 3 και 4. Με βάση τις νέες μειωμένες ενεργειακές ανάγκες γίνεται η διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης και αυτοπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για την κάλυψη των θερμικών φορτίων προτείνεται η χρήση αντλίας θερμότητας ενώ, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προτείνονται φωτοβολταϊκά κεραμίδια και εξετάζονται σενάρια κάλυψης του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου για δυο περιπτώσεις. Η πρώτη αφορά την κάλυψη των αναγκών για τεχνητό φωτισμό και ηλεκτρικό εξοπλισμό, ενώ η δεύτερη συμπεριλαμβάνει και τη χρήση αντλίας θερμότητας δηλαδή το 100% των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Πραγματικές καταναλώσεις κτιρίου

Η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου ($V_{\text{ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ}}$) για το έτος 2015 ήταν 1800 L και η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο της ΔΕΗ ($Q_{\text{ΔΕΗ}}$) ήταν 5.950 kWh . Ο βαθμός απόδοσης του συγκροτήματος λέβητα-καυστήρα υπολογίζεται μεταξύ 75%-80%. Λόγω παλαιότητας του συγκροτήματος λέβητα-καυστήρα και των απωλειών λόγω δικτύου διανομής και τερματικών μονάδων, επιλέγεται ότι ο βαθμός απόδοσής του συστήματος θέρμανσης είναι $(e) = 75\%$. Η ισοδύναμη θερμιδική τιμή (ΙΘΤ) του πετρελαίου θέρμανσης λαμβάνεται ως εξής¹⁸ :

- Κατωτέρα θερμογόνο δύναμη (ΚΘΔ) : 10.250 kcal/kg
δηλαδή, $(ΚΘΔ) = 11,92 \text{ kWh/kg}$
- Πυκνότητα πετρελαίου ($\rho_{\text{ΠΕΤ}}$): 0,84 kg/L

$$(ΙΘΤ) = (ΚΘΔ) \times \rho_{\text{ΠΕΤ}} \times e = 11,92 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \times 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 0,75 = 7,5 \frac{\text{kWh}}{\text{L}}$$

Επομένως, τα ετήσια φορτία του κτιρίου έχουν ως εξής:

$$Q_{\text{ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ}} = 1800 \text{ L} \times (ΙΘΤ) = 1800 \text{ L} \times 7,5 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} = 13.500 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{ΔΕΗ}} = 5.950 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{ΕΤΗΣΙΟ}} = Q_{\text{ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ}} + Q_{\text{ΔΕΗ}} = 13.500 \text{ kWh} + 5.950 \text{ kWh} = 19.450 \text{ kWh}$$

Τα λίτρα πετρελαίου που καταναλώθηκαν σε μονάδες θερμικής ενέργειας είναι:

¹⁸ Θερμικά οικονομικά, Α. Ευθυμιάδης [<http://smmidexanthi.gr/index.php/component/attachments>, 2017]

$$Q_{L, \text{πετρελαίου}} = 11,92 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \times 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 1800 \text{ L} = 18.023 \text{ kWh}$$

Η επιφάνεια του κτιρίου με κλιματιζόμενους χώρους (Α) είναι 239 m².

Άρα, οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου ανά μονάδα επιφάνειας είναι:

$$E_{\text{real}} = \frac{Q_{\text{ΕΤΗΣΙΟ}}}{A} = \frac{19.450 \text{ kWh}}{239 \text{ m}^2} = 81 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Η ετήσια πρωτογενής ενέργεια του κτιρίου υπολογίζεται σύμφωνα με τον συντελεστή μετατροπής του Πίνακα 1.2 της ΤΟΤΤΕΕ 20701-1/2010. Για το πετρέλαιο θέρμανσης είναι 1,10 και για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας 2,90. Επίσης, από τον ίδιο πίνακα ορίζονται οι ετήσιοι εκλυόμενοι ρύποι ενέργειας, 0,264 kg CO₂/kWh για το πετρέλαιο και 0,989 kg CO₂/kWh για την ηλεκτροδότηση.

$$Q_{\text{πρωτογενής, πετρελαίου}} = 18.023 \text{ kWh} \times 1,10 = 19.825 \text{ kWh}$$

$$P_{\text{CO}_2, \text{πετρελαίου}} = 18.023 \text{ kWh} \times 0,264 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 4.758 \text{ kg CO}_2 = 4,76 \text{ tn CO}_2$$

$$Q_{\text{πρωτογενής, ηλεκτροδότησης}} = 5.950 \text{ kWh} \times 2,90 = 17.255 \text{ kWh}$$

$$P_{\text{CO}_2, \text{ηλεκτροδότησης}} = 5.950 \text{ kWh} \times 0,989 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 5.885 \text{ kg CO}_2 = 5,89 \text{ tn CO}_2$$

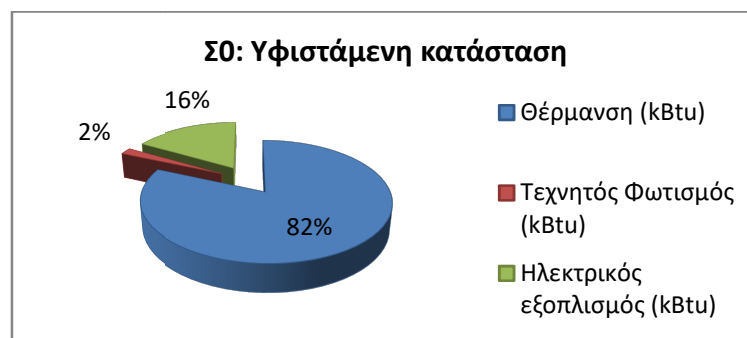
4.2 Μοντελοποίηση του υφιστάμενου κτιρίου

. Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια (Πίνακας 7) είναι κατά 17% μεγαλύτερη στην πόλη των Γρεβενών και αφορά κυρίως τη θέρμανση (Γράφημα 3). Η διαφορά αυτή είναι αποδεκτή διότι τα Γρεβενά ανήκουν σε πιο ψυχρή κλιματική ζώνη (Δ) από αυτή της Θεσσαλονίκης (Γ). Επίσης, η ανάγκη

για φορτίο ψύξης στη Θεσσαλονίκη είναι σχεδόν αμελητέα ως προς τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια και αφορά τους θερινούς μήνες. Στα Γρεβενά δεν εμφανίζεται ανάγκη για φορτίο ψύξης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, το κτίριο δεν διαθέτει εδώ και 70 χρόνια σύστημα ψύξης. Οι μέρες αιχμής καλύπτονται από τις σκιάσεις, τους συμπαγείς τοίχους και την αξιοποίηση φυσικού αερισμού μέσω των ανοιγόμενων παραθύρων και τοπικούς ανεμιστήρες δαπέδου. Με βάση τα παραπάνω και δεδομένης της τοποθεσίας, η μοντελοποίηση της υφιστάμενης κατάστασης και των σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας γίνονται με το αρχείο καιρού των Γρεβενών. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ενεργειακών απαιτήσεων κτιρίου.

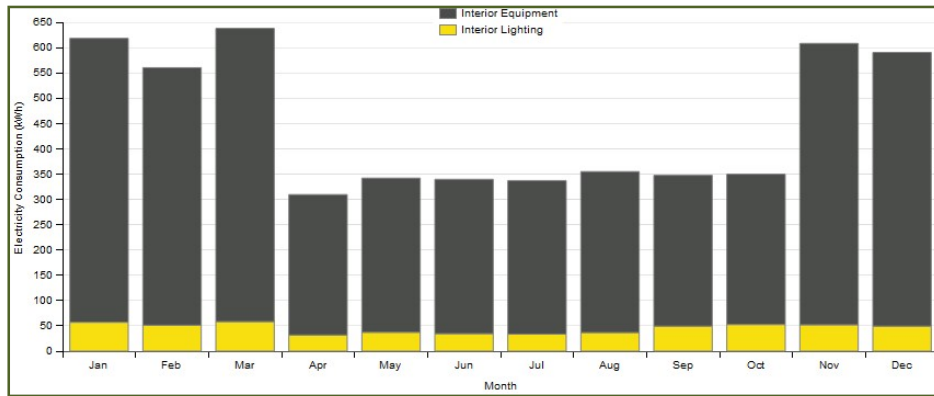
Πίνακας 7: Αποτελέσματα μοντελοποίησης του κτιρίου με κλιματικά δεδομένα της Θεσσαλονίκης και των Γρεβενών

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου (υφιστάμενη κατάσταση)	Αρχείο καιρού Θεσσαλονίκης (kBtu/y)	Αρχείο καιρού Γρεβενών (kBtu/y)	Αρχείο καιρού Γρεβενών (kWh/y)
Θέρμανση	64.736	81.560	23.903
Ψύξη	284	0	0
Τεχνητός Φωτισμός	1.858	1.858	545
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	16.549	16.549	4.850
Σύνολο	83.427	99.967	29.298



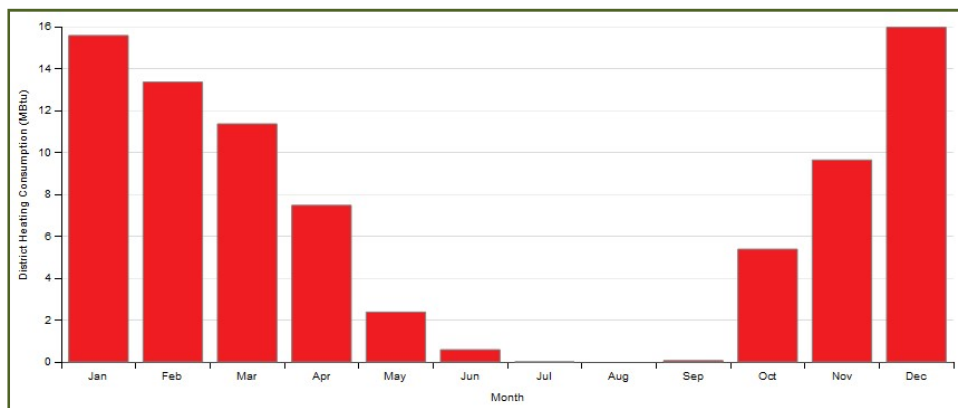
Γράφημα 3: Ποσοστό απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων υφιστάμενης κατάστασης

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα (Γράφημα 4) παρουσιάζεται η απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα για τον τεχνητό φωτισμό και για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό του κτιρίου.



Γράφημα 4: Μηνιαία φορτία ηλεκτρικού εξοπλισμού και τεχνητού φωτισμού [ραβδόγραμμα από OS]

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα (Γράφημα 5) φαίνονται οι μηνιαίες απαιτήσεις ενέργειας για τη θέρμανση του κτιρίου.



Γράφημα 5: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης [ραβδόγραμμα από OS]

Η ετήσια πρωτογενής ενέργεια του κτιρίου και οι εκπομπές σύμφωνα με το μοντέλο υπολογίζονται παρακάτω ¹⁹.

$$E_m = \frac{29.298 \text{ kWh}}{239 \text{ m}^2} = 123 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{m\text{πρωτογενής, πετρελαίου}} = 23.903 \times 1,10 = 26.293 \text{ kWh}$$

$$P_{m\text{CO}_2, \text{πετρελαίου}} = 26.293 \text{ kWh} \times 0,264 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 6.941 \text{ kg CO}_2 = 6,94 \text{ tn CO}_2$$

$$Q_{m\text{πρωτογενής, ηλεκτροδότησης}} = 5.395 \text{ kWh} \times 2,90 = 15.646 \text{ kWh}$$

¹⁹ Από τα δεδομένα του πίνακα 7 για το αρχείο καιρού των Γρεβενών, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια (5.395 kWh) προκύπτει από το άθροισμα των απαιτήσεων του τεχνητού φωτισμού 545 kWh και του ηλεκτρικού εξοπλισμού 4.850 kWh. Συμπεριλαμβάνεται για τη θέρμανση η επιπλέον κατανάλωση λόγω της απόδοσης του συστήματος στο 75% (23.903 kWh/0,75=31.871 kWh)

$$P_{mCO_2, \text{ηλεκτροδότησης}} = 5.395 \text{ kWh} \times 0,989 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} = 5.336 \text{ kg CO}_2 = 5,34 \text{ tn CO}_2$$

4.3 Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου σύμφωνα με το θερμικό μοντέλο του κάθε σεναρίου εξοικονόμησης ενέργειας.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας

Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας	Θέρμανση (kWh)	Τεχνητός Φωτισμός (kWh)	Ηλεκτρικός εξοπλισμός (kWh)	Συνολική ετήσια κατανάλωση (kWh)	Ποσοστό μείωσης (%)
Σ0: Υφιστάμενη κατάσταση	23.902,9	544,5	4.850,0	29.297,4	-
Σ1: Αλλαγή λαμπτήρων	23.975,0	447,2	4.850,0	29.272,2	0,1
Σ2: Εσωτερική μόνωση	14.583,2	544,5	4.850,0	19.977,8	31,8
Σ3: Αλλαγή κουφωμάτων	21.147,1	544,5	4.850,0	26.541,7	9,4
Σ4: Αναβάθμιση Η/Μ εξοπλισμού	25.013,9	544,5	2.574,9	28.133,4	4,0
Σ5: Συνδυαστικό (Σ1, Σ2, Σ3, Σ4)	12.838,9	447,2	2.574,9	15.861,0	45,9
Σ6: Λειτουργία Μουσείου	24.836,0	861,0	1.616,6	27.313,6	6,8
Σ7: Συνδυαστικό (Σ2, Σ3, Σ6)	13.244,5	861,0	1.616,6	15.722,1	46,3

4.4 Προτάσεις υλοποίησης με αξιοποίηση ΑΠΕ

Το Φ/Β σύστημα διαστασιολογείται για τέσσερις περιπτώσεις (Πίνακας 9). Οι περιπτώσεις 1 και 3 καλύπτουν τη συνολικά απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρικός εξοπλισμός και τεχνητός φωτισμός) για τα σενάρια 5 και 7 αντίστοιχα. Ενώ, οι περιπτώσεις 2 και 4 καλύπτουν τη συνολικά απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένης της αντλίας θερμότητας για την κάλυψη του φορτίου θέρμανσης. Τα αποτελέσματα

παρουσιάζονται στον Πίνακα 9 και στα γραφήματα 6,7,8 & 9. Οι περιπτώσεις κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου για ηλεκτρικό εξοπλισμό και τεχνητό φωτισμό εξετάζεται για την περίπτωση που η κάλυψη του φορτίου θέρμανσης μπορεί να συνεχίσει να γίνεται με πετρέλαιο θέρμανσης ή με άλλο καύσιμο ή με υβριδικό σύστημα θέρμανσης με ΑΠΕ. Οι τελικές προτάσεις (Πίνακας 10) αξιοποίησης αφορούν τη μετατροπή του κτιρίου σε σΜΕΚ (Περίπτωση 2) και την αξιοποίηση του κτιρίου ως μουσείο σΜΕΚ (Περίπτωση 4). Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της έρευνας.

Πίνακας 9: Περιπτώσεις τοποθέτησης Φ/Β συστήματος

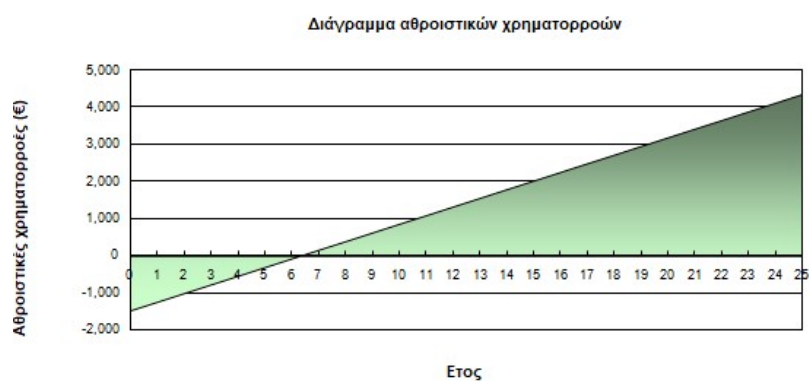
Περιπτώσεις τοποθέτησης Φ/Β	Απαιτήσεις σε τεχνητό φωτισμό (kWh/y)	Απαιτήσεις ηλεκτρικού εξοπλισμού (kWh/y)	Απαιτήσεις αντλίας θερμότητας (kWh/y)	Συνολική ηλεκτρική ενέργεια (kWh/y)
Π1: Αναβάθμιση υφιστάμενης κατάστασης (Σενάριο 5)	448	2.575	-	3.023
Π2: Αναβάθμιση υφιστάμενης κατάστασης με χρήση αντλίας θερμότητας	448	2.575	4.168	7.191
Π3: Χρήση του κτιρίου ως μουσείο (Σενάριο 7)	861	1.617	-	2.478
Π4: Χρήση του κτιρίου ως μουσείο με χρήση αντλίας θερμότητας	861	1.617	4.300	6.778

Πίνακας 10: Αποτελέσματα εγκατάστασης Φ/Β συστήματος

Περιπτώσεις τοποθέτησης Φ/Β	Καθαρή ετήσια μείωση ισοδύναμων εκπομπών CO ₂ (tn CO ₂)	Δείκτης IRR (%)	Χρόνος αποπληρωμής του έργου (y)
Π1: Αναβάθμιση υφιστάμενης κατάστασης (Σενάριο 5)	0,4	14,9	6,5
Π2: Αναβάθμιση υφιστάμενης κατάστασης με χρήση αντλίας θερμότητας	0,9	15,4	6,3
Π3: Χρήση του κτιρίου ως μουσείο (Σενάριο 7)	0,3	14,4	6,7
Π4: Χρήση του κτιρίου ως μουσείο με χρήση αντλίας θερμότητας	0,9	15,2	6,4



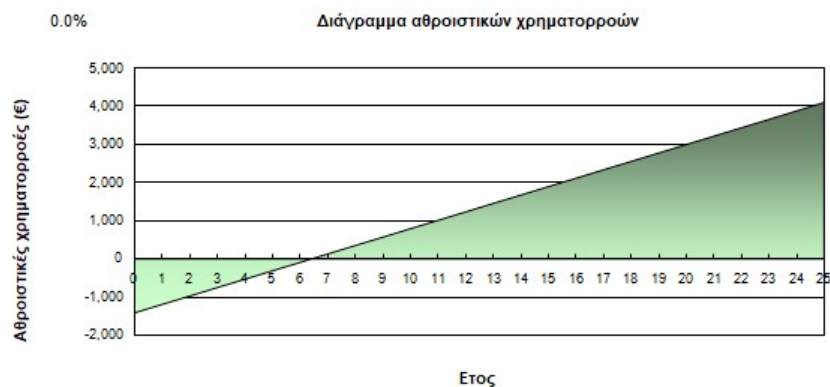
Γράφημα 6: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών, 1^η περίπτωση Φ/Β



Γράφημα 7: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών, 2^η περίπτωση Φ/Β



Γράφημα 8: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών, 3^η περίπτωση Φ/Β



Γράφημα 9: Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών, 4^η περίπτωση Φ/Β

Πίνακας 11: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας								
Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας	Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/(m ² ·y))	Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/y)	Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας (%)	Εξοικονόμηση ενέργειας ανά έτος (kWh/y)	Εξοικονόμηση χρημάτων ανά έτος (€/y)	Κόστος εφαρμογής σεναρίου (€)	Έτη αποπληρωμής (y)	Αλλοίωση εξωτερικής εικόνας παραδοσιακού κελύφους ²⁰
Σ0: Υφιστάμενη κατάσταση	123	29.297	-	-	-	-	-	-
Σ1: Αλλαγή λαμπτήρων	122	29.272	0.1	25	5	406	85	0
Σ2: Εσωτερική μόνωση	84	19.978	31.8	9.320	1.771	7.250	4	0
Σ3: Αλλαγή κουφωμάτων	111	26.542	9.4	2.756	524	20.400	39	1
Σ4: Αναβάθμιση ηλεκτρικών συσκευών	118	28.133	4.0	1.164	221	2.419	11	0
Σ5: Συνδυαστικό (Σ1, Σ2, Σ3, Σ4)	66	15.861	45.9	13.436	2.553	30.475	12	1
Σ6: Λειτουργία Μουσείου	114	27314	6.8	1.984	377	7.755	21	1
Σ7: Συνδυαστικό (Σ2, Σ3, Σ6)	66	15.722	46.3	13.575	2.579	35.405	14	1
Συστήματα θέρμανσης & αυτοπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας								
Περιπτώσεις	Παράμετροι		Υφιστάμενη κατάσταση	Κτίριο σΜΕΚ	Μουσείο σΜΕΚ			
Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας (Σ5,Σ7) και χρήση αντλίας θερμότητας για το 100% του φορτίου θέρμανσης	Απαιτούμενη ενέργεια (kWh/y)		29.298	7.191	6.778			
	Πρωτογενής ενέργεια (kWh/y)		41.939	20.854	19.656			
	Εκπομπές ρύπων (tnCO ₂ /y)		12,28	7,12	6,71			
	Ποσοστό μείωσης ρύπων (%)		-	42	46			
	Ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου (kWh/(m ² ·y))		123	30	28			
	Ποσοστό μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης (%)		-	76	78			
	Κόστος εγκατάστασης αντλίας θερμότητας και σεναρίων (€)		-	37.450	42.200			
	Έτη αποπληρωμής (y)		-	8,9	9,9			
	Αλλοίωση εξωτερικής εικόνας παραδοσιακού κελύφους		-	1	2			
	Κάλυψη φορτίου από Φ/Β (%)		-	100	100			
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ Σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας (Σ5,Σ7), χρήση αντλίας θερμότητας για το 100% του φορτίου θέρμανσης, χρήση Φ/Β για την κάλυψη του 100% του ηλεκτρικού φορτίου και της αντλίας θερμότητας (Π2,Π4)	Ισοζύγιο ενέργειας από το δίκτυο μετά την εγκατάσταση Φ/Β συστήματος (kWh/y)		5.395	~ 0	~ 0			
	Εκπομπές ρύπων (tnCO ₂ /y)		13,08	6,22	5,81			
	Κόστος εγκατάστασης Φ/Β συστήματος (€)		-	1.765	1.711			
	Δείκτης IRR για χρήση Φ/Β συστήματος (%)		-	15,4	15,2			
	Έτη αποπληρωμής Φ/Β συστήματος (y)		-	6,3	6,4			
	Συνολικό κόστος πρότασης (€)		-	39.214	44.090			
	Προϋπολογισμός έργου ²¹ (€)		-	43.126	48.500			
	Έτη αποπληρωμής έργου (y)		-	7,7	8,7			
	Αλλοίωση εξωτερικής εικόνας παραδοσιακού κελύφους		-	1	2			
			-					

²⁰ Η αξιολόγηση των αλλαγών στο παραδοσιακό κέλυφος εξωτερικά γίνεται με την παρακάτω κλίμακα: 0: Καμία αλλαγή, 1: Αμελητέα, 2: Εμφανής - Αποδεκτή, 3: Έντονη - Μη αποδεκτή

²¹ Η κοστολόγηση όλων των μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ.

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Σύγκριση πραγματικών καταναλώσεων με το μοντέλο

Σύμφωνα με τον Πίνακα 12, παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ μοντέλου και πραγματικών καταναλώσεων στο φορτίο της θέρμανσης. Στο μοντέλο προκύπτει ότι απαιτείται 44% περισσότερη ενέργεια για τη θέρμανση του κτιρίου. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο ότι, η ποσότητα πετρελαίου δεν επαρκούσε. Πρακτικά εάν καταναλώνονταν τα απαιτούμενα λίτρα πετρελαίου θα μειωνόταν αυτή η διαφορά. Επίσης, στο αρχείο καιρού, χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές συμπεριλαμβάνονται οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες της περιοχής κατά τις βραδινές ώρες, ενώ το κτίριο λειτουργεί πρωί-μεσημέρι.

Πίνακας 12: Σύγκριση των πραγματικών καταναλώσεων με αυτές του μοντέλου

Κατάσταση κτιρίου	Φορτίο θέρμανσης (kWh)	Φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	Ενεργειακή απόδοση κτιρίου (kWh/(m ² ·y))	Πρωτογενής ενέργεια (kWh)	Εκπομπές ρύπων (tnCO ₂ /y)
Πραγματικές καταναλώσεις	13.500	5.950	81	37.080	10,65
Καταναλώσεις μοντέλου	23.903	5.395	123	41.939	12,28
Ποσοστό διαφοράς (%)	44	10	34	12	14

Ακόμη, σε κάθε μοντέλο υπεισέρχονται αριθμητικά σφάλματα και σε συνδυασμό με την δυσκολία εισαγωγής αναλυτικών δεδομένων, όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου, προκύπτουν σημαντικές διαφορές. Συνεπώς, παρουσιάζονται διαφορές και στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου (34%), στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (12%) και στις εκπομπές των ρύπων (14%). Αντίθετα, η

προσομοίωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται αρκετά καλή καθώς απαιτούνται μόλις 10% λιγότερες kWh στο μοντέλο από ότι στις πραγματικές καταναλώσεις.

5.2 Ανάλυση σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας

5.2.1 Σενάριο 1: Αλλαγή λαμπτήρων

Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4 της TOTTEE 20701-1/2010 η τιμή για τη μέση ελάχιστη στάθμη γενικού φωτισμού σε χώρους γραφείων είναι 500 lx, σε κοινόχρηστους 100 lx και στις αποθήκες ορίζεται στα 100 lx ²². Έχει βρεθεί λαμπτήρας εμπορίου²³ ισχύος 20 W με απόδοση φωτισμού 2000 lm ²⁴. Δηλαδή, αποδίδονται από τον συγκεκριμένο λαμπτήρα 100 lm/W. Σύμφωνα με τις παραπάνω ελάχιστες απαιτήσεις σε Lux και την απόδοση των συγκεκριμένων λαμπτήρων, υπολογίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς τεχνητού φωτισμού ανά μονάδα επιφάνειας (Πίνακας 13). Επομένως, αντικαθίστανται οι λάμπες των 40 και 36 W και συμπληρώνονται στο μοντέλο οι τιμές της απαιτούμενης ισχύος ανά m² σύμφωνα με τον Πίνακα 13.

Πίνακας 13: Απαιτούμενη ισχύς τεχνητού φωτισμού ανά m² κάθε χώρου

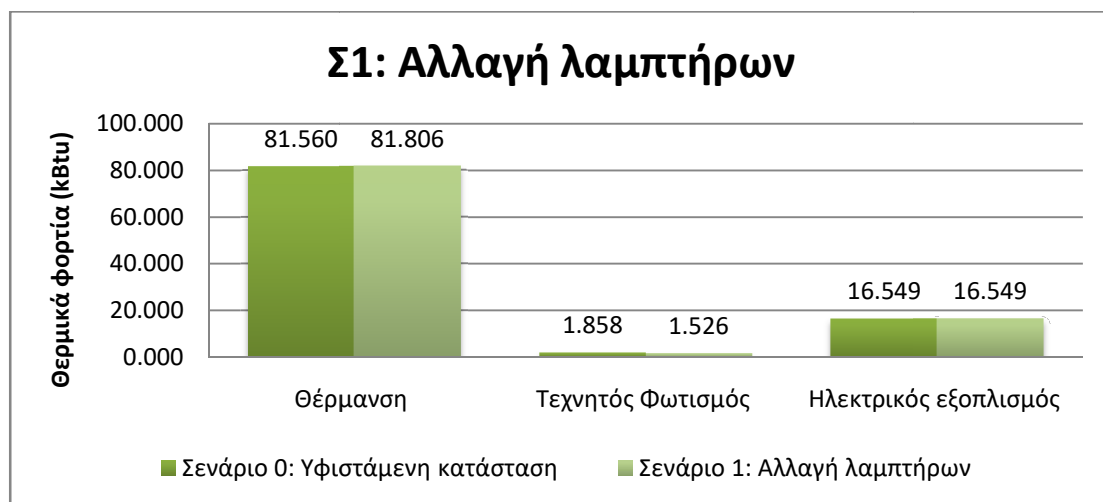
Χώροι	Απαιτούμενα Lux (lx)	Απαιτούμενα Lumen (lm/m ²)	Απόδοση λαμπτήρα (lm/W)	Απαιτούμενη ισχύς (W/m ²)
Γραφεία	500	500	100	5
Κοινόχρηστοι	100	100	100	1
Αποθήκες	100	100	100	1

²² Το Lux (σύμβολο: lx), είναι η μονάδα S.I. του φωτισμού και φωτεινής εκπομπής. Χρησιμοποιείται στην φωτομετρία ως μέτρο της έντασης του φωτός, που πέφτει ή διέρχεται σε μία επιφάνεια, ανά τετραγωνικό μέτρο, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. [lux = lm/m²], [\[www.electrocover.com.gr\]](http://www.electrocover.com.gr), 2017]

²³ [\[www.philips.gr/c-p/8718696566145/led-tube/specifications\]](http://www.philips.gr/c-p/8718696566145/led-tube/specifications), 2017], κόστος 10,17 €/τεμάχιο

²⁴ Το Lumen (σύμβολο: lm), είναι η μονάδα S.I. της φωτεινής ροής. Μετρά την δύναμη του φωτός όπως γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι. Η φωτεινή ροή διαφέρει από τη ροή ακτινοβολίας, Μετρά την εκπεμπόμενη συνολική ισχύ του φωτός. [\[www.electrocover.com.gr\]](http://www.electrocover.com.gr), 2017]

Το ποσοστό εξοικονόμησης για τον τεχνητό φωτισμό είναι 18%, αλλά εξασφαλίζονται τα απαιτούμενα Lumen σε όλους τους χώρους του κτιρίου και τοποθετούνται λαμπτήρες μεγάλης διάρκειας ζωής, 30.000 h σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Σύμφωνα με το Γράφημα 10 παρατηρείται αύξηση 1% στο φορτίο θέρμανσης με την αλλαγή των λαμπτήρων. Αυτό συμβαίνει διότι μειώνεται η ισχύς των λαμπτήρων και συγχρόνως μειώνονται τα θερμικά κέρδη του κτιρίου. Γενικά, το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας με την αλλαγή των υφιστάμενων λαμπτήρων γραμμικού φθορισμού είναι μόλις 0,1%. Όμως, εξασφαλίζεται η προβλεπόμενη στάθμη φωτισμού και επιλέγονται λαμπτήρες με μεγάλης διάρκειας ζωής.

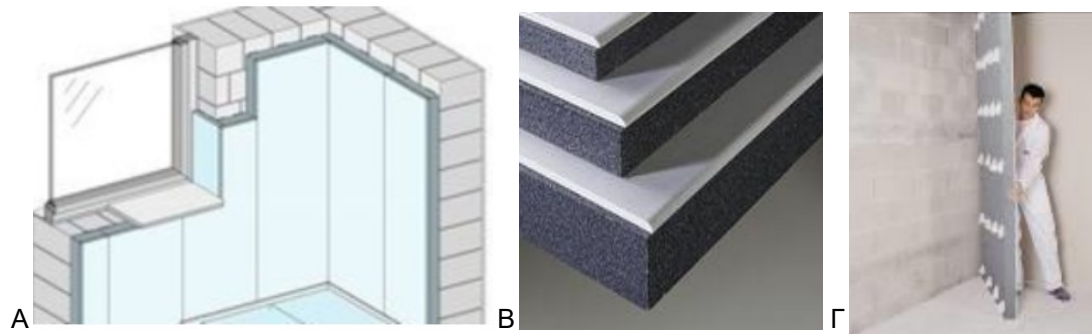


Γράφημα 10: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων σεναρίου αντικατάστασης λαμπτήρων

5.2.2 Σενάριο 2: Εσωτερική μόνωση

Στην περίπτωση των κλιματολογικών συνθηκών των Γρεβενών (κλιματική ζώνη Δ), οι οποίες χαρακτηρίζονται, κατά τη χειμερινή περίοδο, από χαμηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με υψηλή εξωτερική υγρασία, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης συμπυκνωμάτων. Επομένως, προτείνεται να ληφθούν μέτρα που θα μειώνουν τη μετάδοση υδρατμών, όπως με τη

σφράγιση των όποιων αρμών μεταξύ γυψοσανίδας και τοίχου/δαπέδου, τη χρήση σφραγιστικών υλικών γύρω από σωλήνες που διαπερνούν την τοιχοποιία και ενδεχομένως και εφαρμογή βαφής με την ικανότητα να λειτουργεί σαν φράγμα υδρατμών²⁵.



Εικόνα 38: Υλικά εσωτερικής μόνωσης (Α. Τομή εσωτερικής τοιχοποιίας με εσωτερική μόνωση Β. Πανέλα εσωτερικής μόνωσης από EPS και γυψοσανίδα Γ. Τοποθέτηση πανελών) [www.knauf.gr, 2017]

Από σχετική έρευνα θερμομονωτικών υλικών εσωτερικών επιφανειών προτείνεται η χρήση θερμομονωτικού πανέλου²⁶ (εικόνες 38Α, 38Β & 38Γ), ανθυγρής γυψοσανίδας 1,2m x 2,5m x 12,5mm με γραφιτούχο διογκωμένο πολυστυρένιο σε διαθέσιμα πάχη 30, 50, 80 και 100mm. Η ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 ορίζει, για την κλιματική ζώνη Δ, ότι ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U για εξωτερικούς τοίχους σε επαφή με τον αέρα είναι $U_{v-w} = 0,4$. Υπολογίζοντας τους αντίστοιχους συντελεστές (Πίνακας 14) για τους εξωτερικούς τοίχους ισογείου και ορόφου αντίστοιχα προκύπτει:

$$U_{\text{ΕΕΤ-}} = 1,10 > 0,4 = U_{v-w} \text{ και } U_{\text{ΕΕΤ-ΟΡ}} = 1,4 > 0,4 = U_{v-w}$$

Δηλαδή, και στα δυο τμήματα του κτιρίου απαιτείται θερμομόνωση. Για την ορθή τοποθέτηση του θερμομονωτικού στρώματος είναι απαραίτητη η αφαίρεση της ξύλινης εσωτερικής επένδυσης των εξωτερικών τοίχων. Επίσης, για λόγους αισθητικής, υποχρεωτικά πρέπει να αφαιρεθεί η ξύλινη επένδυση

²⁵ [www.ashrae.gr/perch/resources/presentationb2.pdf, 2017]

²⁶ [www.knauf.gr/www/el/ksira_domisi/domikes_plakes/thermal_insulation_boards, 2017]

και από τους εσωτερικούς τοίχους. Σύμφωνα με τα παραπάνω, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 14 οι νέοι συντελεστές θερμοπερατότητας με την προσθήκη εσωτερικής μόνωσης είναι μικρότεροι του μέγιστου επιτρεπόμενου $U_{v-w} = 0,4$.

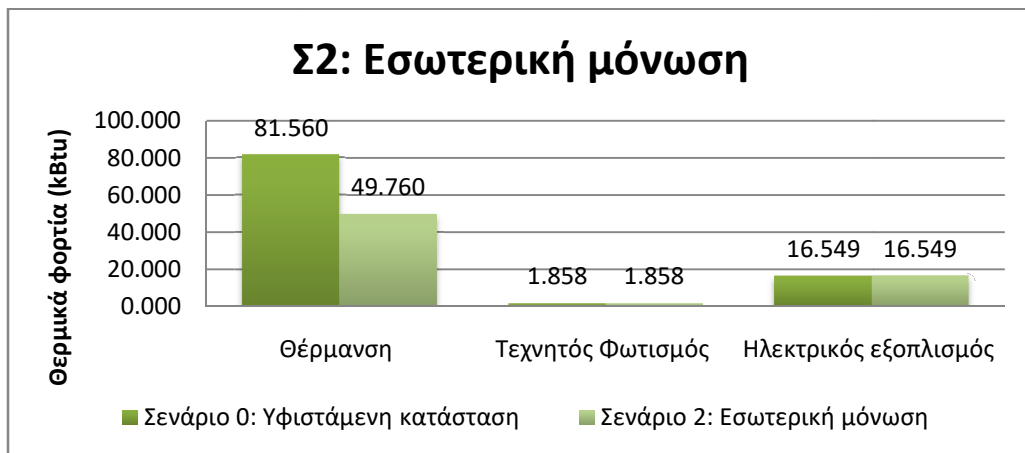
Αξίζει να σημειωθεί ότι υπολογίστηκαν και οι περιπτώσεις διαφορετικών διαθέσιμων παχών πλάκας EPS. Στα 30 και 50 mm ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U) ξεπερνούσε τον μέγιστο επιτρεπόμενο. Εντός ορίων, ήταν τα πάχη 80 και 100 mm. Επιλέγεται ο συνδυασμός πλάκας EPS 80 πάχους 80mm και άνυδρης γυψοσανίδας H2 πάχους 12,5mm.

Πίνακας 14: Συντελεστές U πριν και μετά την προσθήκη μονωτικών υλικών

Στρώσεις	Υλικό	Πάχος d (m)	Θερμική αγωγιμότητα λ (W/(m·K))	Συντελεστής θερμοπερατότητας U (W/(m²·K))
Εξωτερική τοιχοποιία ισογείου (υφιστάμενη κατάσταση)				
1	Οπτοπλινθοδομή	0,380	0,680	1,104
2	Επίχρισμα	0,020	0,870	
3	Επένδυση ξύλου	0,020	0,130	
Εξωτερική τοιχοποιία ισογείου (ΣΕΝΑΡΙΟ 2)				
1	Οπτοπλινθοδομή	0,3800	0,680	0,308
2	Επίχρισμα	0,0200	0,870	
3	EPS 80	0,0800	0,032	
4	Γυψοσανίδα H2	0,0125	0,250	
Εξωτερική τοιχοποιία ορόφου (υφιστάμενη κατάσταση)				
1	Οπτοπλινθοδομή	0,250	0,680	1,400
2	Επίχρισμα	0,020	0,870	
3	Επένδυση ξύλου	0,020	0,130	
Εξωτερική τοιχοποιία ορόφου (ΣΕΝΑΡΙΟ 2)				
1	Οπτοπλινθοδομή	0,2500	0,680	0,327
2	Επίχρισμα	0,0200	0,870	
3	EPS 80	0,0800	0,032	
4	Γυψοσανίδα H2	0,0125	0,250	

Σύμφωνα με το Γράφημα 11 παρατηρείται η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας κατά 39,0% στο φορτίο θέρμανσης και κατά 31,8% συνολικά. Οι καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος δεν επηρεάζονται. Μπορεί να περιοριστεί

σε μικρό βαθμός ο εσωτερικός χώρος του κτιρίου και να υπάρχει δυσκολία τοποθέτησης λόγω των ανοιγμάτων της τοιχοποιίας και του δικτύου σωλήνων θέρμανσης μαζί με τις τερματικές μονάδες. Επίσης, μπορεί να δημιουργηθούν συμπυκνώματα-μούχλα χωρίς τα κατάλληλα μέτρα σχεδιασμού. Όλα αυτά πρέπει να ληφθούν υπόψη και να βρεθούν λύσεις καθώς οι απαιτήσεις για θέρμανση μειώνονται σημαντικά.



Γράφημα 11: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων σεναρίου εσωτερικής μόνωσης

5.2.3 Σενάριο 3: Αλλαγή κουφωμάτων

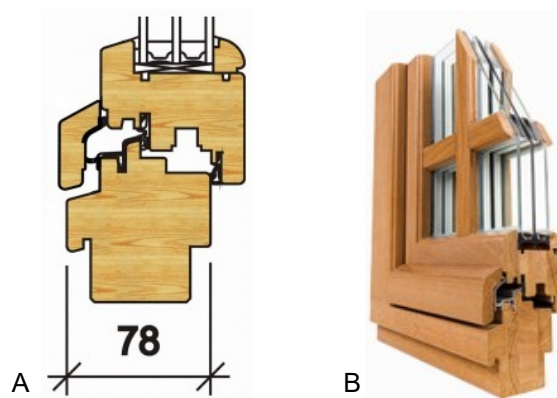
Τα παντζούρια του κτιρίου μελέτης προτείνεται να διατηρηθούν και να συντηρηθούν. Πρόκειται για ξύλινα παντζούρια παραδοσιακού τύπου, τα οποία αποδίδουν στο κτίριο, σε συνδυασμό με την εμφανή οπτοπλινθοδομή, στοιχεία παραδοσιακής αρχιτεκτονικής. Επίσης, λειτουργούν ως σκίαστρα και συμβάλλουν στην ηλιοπροστασία των εσωτερικών χώρων, σε περίπτωση έντονης ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται στην (Εικόνα 39Α) έχουν φθαρθεί και έχουν ξεβάψει. Άρα, χρειάζονται τρίψιμο και βάψιμο με ξυλόχρωμα. Ακόμη, οι διπλοί υαλοπίνακες (Εικόνα 39Β) είναι ήδη μια καλή λύση στην αποφυγή θερμικών απωλειών, αλλά το πλαίσιο είναι παλαιού

τύπου και πιθανόν να υπάρχει έντονη διαρροή αέρα. Επομένως, προτείνεται η αντικατάσταση ολόκληρου του παραθύρου με καλά μονωμένο πλαίσιο τριπλό τζάμι με ενδιάμεσο κενό πληρωμένο με αέριο Αργό (Ar).



Εικόνα 39: Παράθυρα κτιρίου (Α: Παράθυρο του κτιρίου με κλειστά παντζούρια Β: Πλαίσιο των παραθύρων)

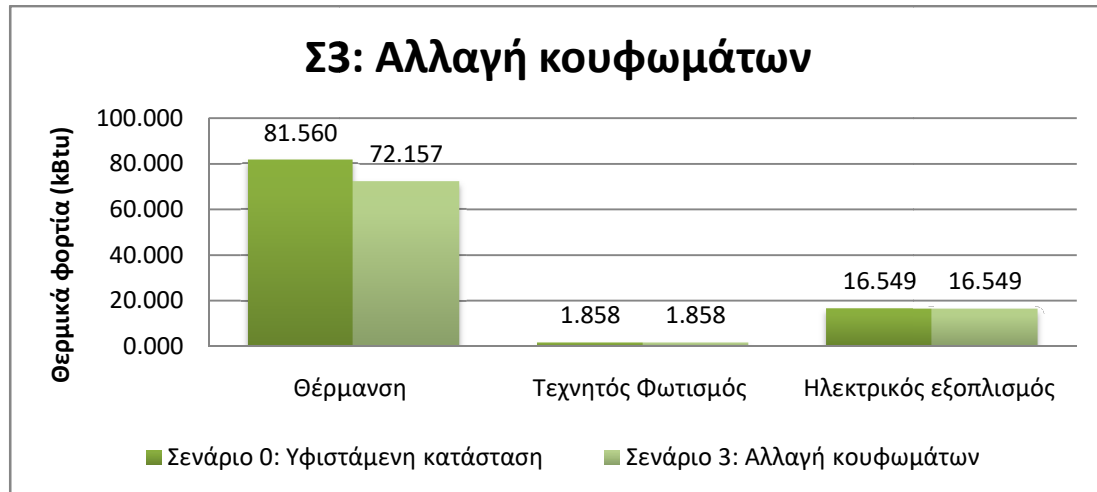
Προτείνονται συστήματα κουφωμάτων εταιρείας εμπορίου, που φέρουν τριπλούς θερμομονωτικούς υαλοπίνακες²⁷. Το γυαλί που χρησιμοποιείται είναι μαλακής επίστρωσης. Ο βασικός συνδυασμός της υάλωσης είναι πάχους 4mm με 12mm διάκενο ανάμεσα στα τρία τζάμια (4/12/4/12/4) με πρόσθετο αέριο Αργού. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, η χρήση καλά μονωμένων κουφωμάτων προβλέπεται να δώσει στο πλαίσιο των παραθύρων συντελεστή θερμοπερατότητας $U_w=0,94$. Τομές των αναφερόμενων παραθύρων παρουσιάζονται στις εικόνες 40Α & 40Β.



Εικόνα 40: Τομές νέων παραθύρων [<http://www.epal.gr/>]

²⁷ [<http://www.epal.gr/>, 2017]

Σύμφωνα με το Γράφημα 12 παρατηρείται μείωση των απαιτήσεων του κτιρίου για θέρμανση κατά 12% . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι περιορίζονται οι θερμικές απώλειες με την προσθήκη καλύτερου πλαισίου και του συστήματος τριπλού υαλοπίνακα. Οι καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος δεν επηρεάζονται.

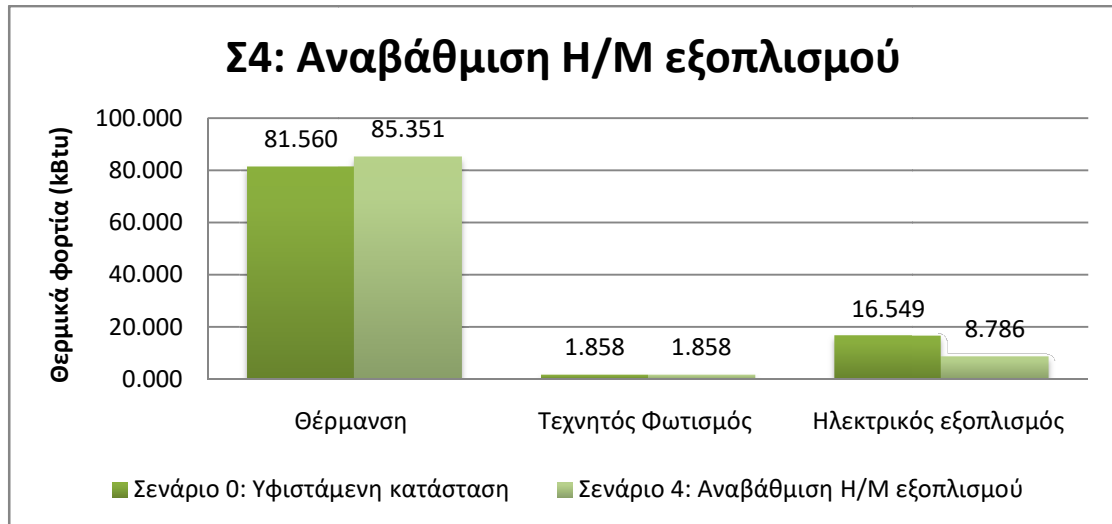


Γράφημα 12: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων σεναρίου αλλαγής κουφωμάτων

5.2.4 Σενάριο 4: Αναβάθμιση Η/Μ εξοπλισμού

Προτείνεται κατάργηση των σωμάτων θέρμανσης με στόχο την μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο και κάλυψη των αναγκών θέρμανσης αποκλειστικά από το κεντρικό σύστημα θέρμανσης. Επίσης, καταργούνται οι ανεμιστήρες δαπέδου ισχύος 50 W από τα γραφεία του ισογείου και προτείνεται εγκατάσταση ενός ανεμιστήρα οροφής ισχύος 100 W στον κοινόχρηστο χώρο εισόδου, ο οποίος ενώνει και τα τρία γραφεία. Έτσι, σε συνδυασμό με το άνοιγμα των παραθύρων μπορεί να επιτευχθεί ο απαιτούμενος αερισμός των λειτουργικών χώρων του ισογείου. Συγχρόνως, εξετάζεται η περίπτωση αναβάθμισης των σταθερών υπολογιστών ισχύος 200 W με νέους ισχύος 100 W και των εκτυπωτών ισχύος 100 W με νέους 50 W.

Σύμφωνα με το Γράφημα 13 παρατηρείται αύξηση του φορτίου θέρμανσης διότι μειώνεται η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών και συγχρόνως μειώνονται τα θερμικά κέρδη του κτιρίου. Οι καταναλώσεις από τις ηλεκτρικές συσκευές μειώνονται κατά 47% περίπου στο μισό και η συνολικά απαιτούμενη ενέργεια μειώνεται κατά 4%.

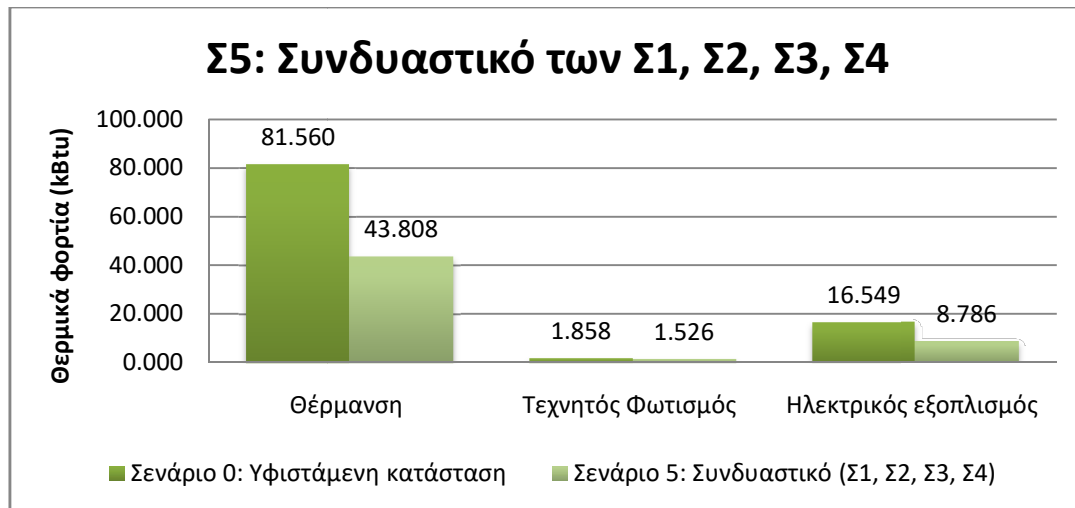


Γράφημα 13: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων σεναρίου αναβάθμισης Η/Μ εξοπλισμού

5.2.5 Σενάριο 5: Συνδυασμός σεναρίων Σ1, Σ2, Σ3 & Σ4

Τα παραπάνω σενάρια είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και μπορούν να εφαρμοστούν συγχρόνως στο κτίριο μελέτης. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός μειώνει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου κατά 45,9% και αποτελεί την πρόταση των ενεργειακών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στην περίπτωση που διατηρηθεί η υφιστάμενη λειτουργία του κτιρίου. Σύμφωνα με το Γράφημα 14 παρατηρείται σημαντική μείωση στο φορτίο θέρμανσης κατά 47% με την προσθήκη εσωτερικής μόνωσης και ενεργειακών παραθύρων. Επίσης, παρατηρείται αντίστοιχη μείωση στο φορτίο του ηλεκτρικού εξοπλισμού καθώς γίνεται ορθή διαχείριση και επιλέγονται πράσινες ηλεκτρικές συσκευές.

Το οπτικό αποτέλεσμα σε αυτήν την περίπτωση δεν αλλοιώνει τον παραδοσιακό χαρακτήρα του κτιρίου. Η αλλαγή των λαμπτήρων, η εσωτερική μόνωση και η αναβάθμιση των ηλεκτρικών συσκευών είναι επεμβάσεις εσωτερικές που δεν επηρεάζουν το κέλυφος του κτιρίου εξωτερικά. Η μόνη αλλαγή είναι η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή από τον παρατηρητή είναι η αντικατάσταση των παραθύρων. Έχει οριστεί όμως ότι πρόκειται για παραδοσιακό ξύλινο πλαίσιο, το οποίο θα συνδυαστεί με τα υφιστάμενα παντζούρια. Άρα, το οπτικό αποτέλεσμα είναι αποδεκτό.

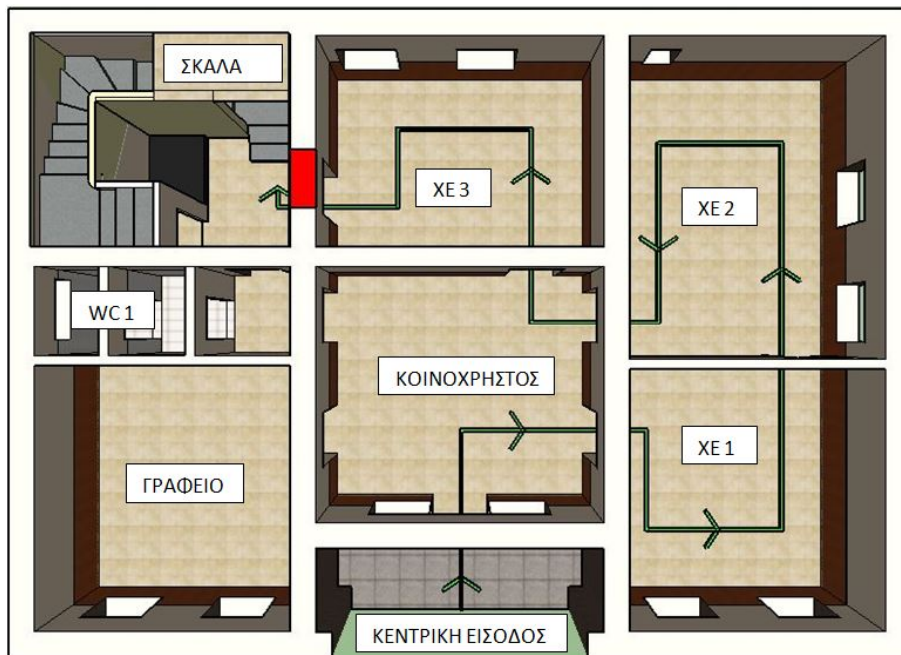


Γράφημα 6: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων συνδυαστικού σεναρίου Σ1, Σ2, Σ3, Σ4

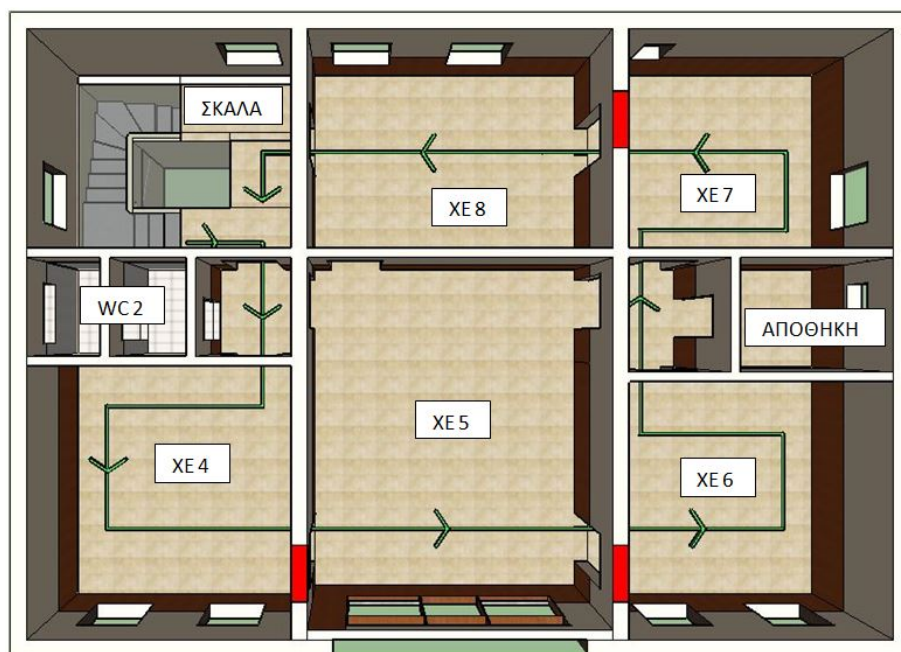
5.2.6 Σενάριο 6: Λειτουργία Μουσείου

Για την μετατροπή του κτιρίου σε λειτουργικό μουσείο (εικόνες 41 & 42) αρχικά ορίστηκαν οχτώ χώροι εκθέσεων (ΧΕ), το γραφείο των υπαλλήλων, δύο χώροι υγιεινής και μια αποθήκη. Στη συνέχεια, έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές έτσι ώστε να υπάρχει ομαλή ροή των επισκεπτών σε όλους τους χώρους. Στην ουσία έγιναν μικρά ανοίγματα, τα οποία δεν επηρεάζουν τη στατικότητα το κτιρίου. Επίσης, καταργήθηκε ένας ξύλινος τοίχος στον ΧΕ 5 (Εικόνα 42) που προστέθηκε μετέπειτα. Ακόμη, δημιουργήθηκε πρόσβαση

στον όροφο από το ισόγειο. Στα παρακάτω σχέδια παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετατροπές²⁸.



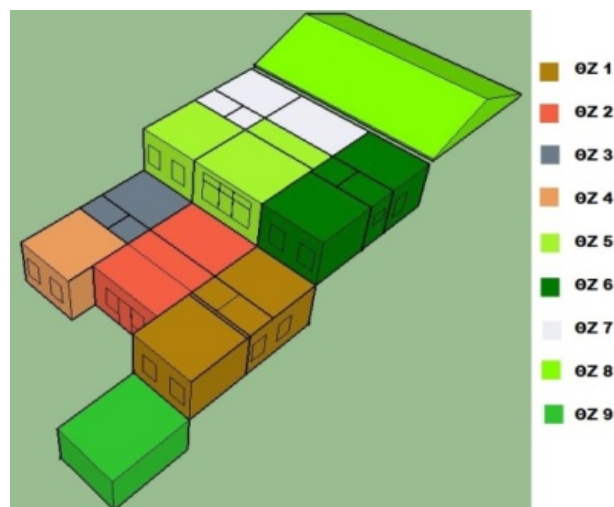
Εικόνα 41: Σχέδιο Μουσείου 3D, Κάτοψη ισόγειου-Πορεία επισκεπτών



Εικόνα 42: Σχέδιο Μουσείου 3D, Κάτοψη ορόφου-Πορεία επισκεπτών

²⁸ Η πράσινη γραμμή με τα βέλη σηματοδοτεί τη πορεία των επισκεπτών στο μουσείο, οι κόκκινες επιφάνειες είναι τα σημεία που γίνονται τα απαραίτητα ανοίγματα σε μέγεθος πόρτας, στον χώρο της σκάλας προβλέπεται μέρος και για κατασκευή κάθετου ηλεκτροκίνητου ανελκυστήρα για ΑΜΕΑ, ο οποίος δεν διαστασιολογείται κάνοντας την παραδοχή ότι δεν καταναλώνεται ρεύμα για τη λειτουργία του. Ο ΧΕ 5 μπορεί να λειτουργήσει ως αίθουσα προβολής ντοκιμαντέρ και ομιλιών. Η βόρεια είσοδος λειτουργεί πλέον ως έξοδος κινδύνου.

Η τροποποίηση αυτή των χώρων αλλάζει ελαφρώς τη γεωμετρία του κτιρίου. Η μέση ελάχιστη στάθμη γενικού φωτισμού σε χώρους εκθέσεων είναι 200 lx, στο γραφείο 500 lx, σε κοινόχρηστους, WC και αποθήκη ορίζεται στα 100 lx. Χρησιμοποιώντας την ίδια ποιότητα λαμπτήρων όπως στο σενάριο 1, προκύπτει ότι απαιτούνται 2 W/m² στους χώρους εκθέσεων, 5 W/m² στο γραφείο και 1 W/m² στους υπόλοιπους χώρους. Για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, ορίζεται ότι²⁹, καταναλώνονται 4 W/m² σε χώρους εκθέσεων και 15 W/m² σε γραφεία. Ο θερμοστάτης ορίζεται στους 19 °C για θέρμανση και 23 °C για ψύξη. Οι ώρες λειτουργίας του μουσείου ορίζονται Δευτέρα-Παρασκευή 08:00-14:00 και Σαββατοκύριακο 10:00-13:00. Με βάση τα παραπάνω λειτουργικά χαρακτηριστικά και τις τροποποιήσεις στην κατασκευή του κτιρίου, απαιτείται ο ορισμός νέων θερμικών ζωνών³⁰ (Εικόνα 43).



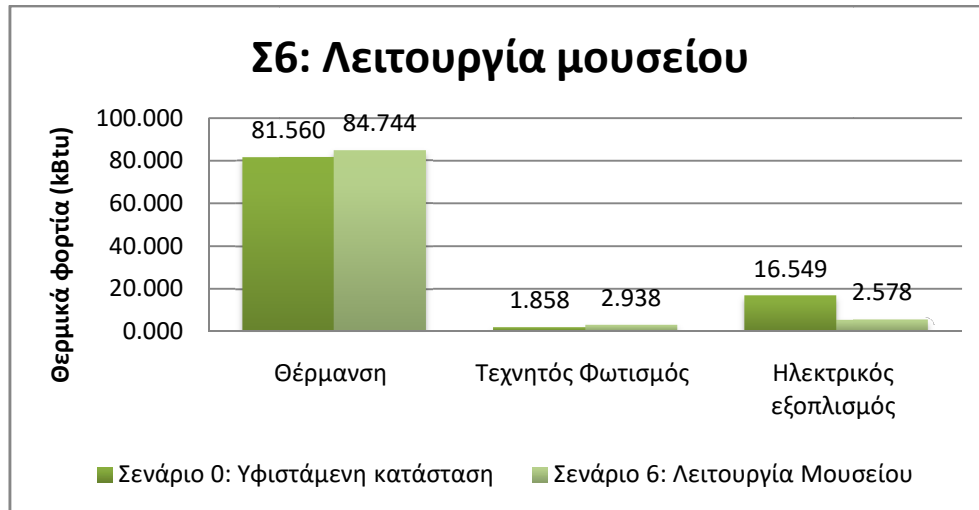
Εικόνα 43: Διαχωρισμός χώρων και θερμικών ζωνών του μουσείου

Σύμφωνα με το Γράφημα 15 απαιτείται μεγαλύτερο φορτίο θέρμανσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κτίριο πλέον λειτουργεί περισσότερες ώρες και ότι τα θερμικά κέρδη από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό είναι λιγότερα, καθώς

²⁹ Πίνακας 2.8 TOTEE 20701-1/2010

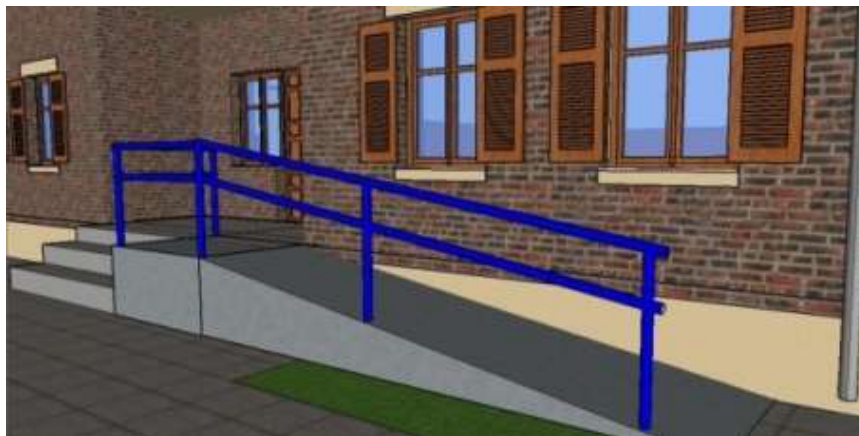
³⁰ Ο διαχωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες της TOTEE 20701-1/2010, σελ. 18. Ο διαχωρισμός γίνεται με τον ίδιο αριθμό ζωνών με αυτό του αρχικού μοντέλου (σενάριο 0) για την αποφυγή περαιτέρω αριθμητικών σφαλμάτων.

παρατηρείται μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης κατά 85%. Επίσης, παρατηρείται αύξηση των καταναλώσεων του τεχνητού φωτισμού καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις της στάθμης φωτισμού και ο χρόνος λειτουργίας τους σύμφωνα με τον νέο τρόπο λειτουργίας του κτιρίου ως μουσείου. Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια μειώνεται κατά 6,8%.



Γράφημα 7: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων σεναρίου λειτουργίας μουσείου

Η μοναδική εξωτερική παρέμβαση στο κτίριο είναι η προσθήκη ράμπας με κιγκλιδώματα και αντιολισθητικό δάπεδο στην είσοδο για την πρόσβαση ΑΜΕΑ (Εικόνα 44) . Με την προσθήκη ράμπας δεν τίθεται θέμα οπτικής όχλησης, διότι επιβάλλεται να υπάρχει σε κάθε δημόσιο κτίριο όταν κρίνεται απαραίτητο, αρκεί να τοποθετείται με λειτουργικό τρόπο.

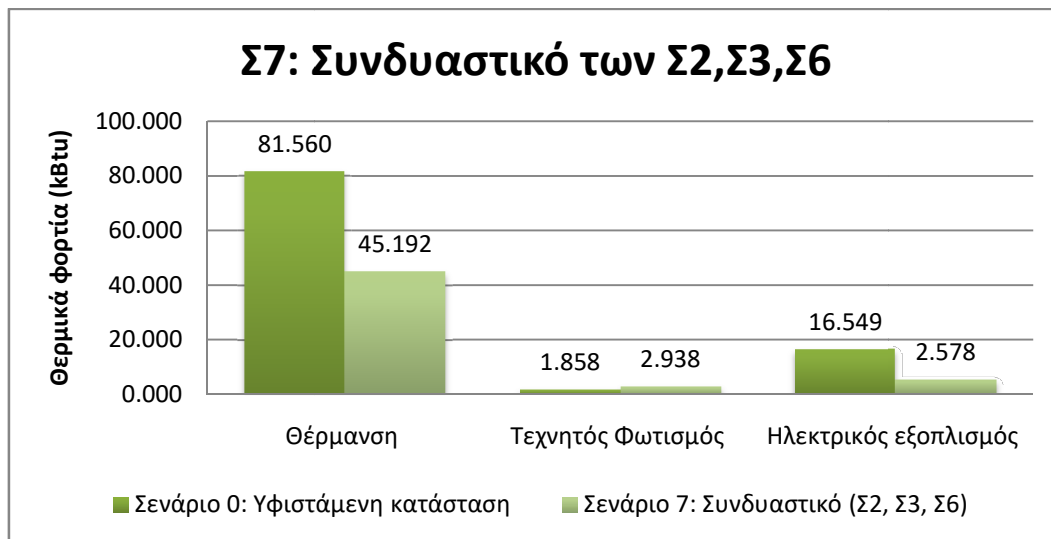


Εικόνα 44: Εξωτερική ράμπα πρόσβασης ΑΜΕΑ

5.2.7 Σενάριο 7: Συνδυασμός σεναρίων Σ2, Σ3 & Σ6

Στο θερμικό μοντέλο του κτιρίου ως μουσείου (σενάριο 6) προστίθενται οι επεμβάσεις εσωτερικής μόνωσης (σενάριο 2) και αλλαγής κουφωμάτων (σενάριο 3). Ο συνδυασμός αυτών των σεναρίων αποτελεί την πρόταση των ενεργειακών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στην περίπτωση που το κτίριο λειτουργήσει ως μουσείο. Το οπτικό αποτέλεσμα αυτών των επεμβάσεων είναι τα παράθυρα και η προσθήκη εξωτερικής ράμπας (Εικόνα 44). Και στις δυο περιπτώσεις η οπτική αλλαγή είναι αποδεκτή.

Σύμφωνα με το Γράφημα 16, παρατηρείται σημαντική μείωση του φορτίου θέρμανσης περίπου στο μισό. Οι αλλαγές στις ενεργειακές καταναλώσεις για τον τεχνητό φωτισμό και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό είναι ακριβώς οι ίδιες με το σενάριο 6. Γενικά, οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις μειώνονται κατά 46,3% σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση και είναι το μεγαλύτερο ποσοστό εξοικονόμησης όλων των σεναρίων (Πίνακας 8).



Γράφημα 8: Αλλαγή απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων συνδυαστικού σεναρίου Σ2, Σ3, Σ6

5.3 Σύστημα θέρμανσης

Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάζεται η διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης, με δεδομένα τα αποτελέσματα του συνδυαστικού σεναρίου 5. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 8, απαιτούνται 43.808 kBtu/y για τη θέρμανση του κτιρίου, δηλαδή 12.839 kWh/y ωφέλιμης ενέργειας.

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή η αντλία θερμότητας μπορεί να αντικαταστήσει τον λέβητα πετρελαίου, διότι παρέχει τις υψηλές θερμοκρασίες νερού που χρειάζονται τα συμβατικά συστήματα. Το σύστημα υψηλών θερμοκρασιών εξασφαλίζει παροχή νερού μέχρι και 80°C. Είναι συμβατικό με κοινά καλοριφέρ, χωρίς να χρειάζεται να αλλαχθούν οι σωληνώσεις ³¹. Βέβαια, στην περίπτωση του κτιρίου μελέτης προτείνεται μόνωση των σωληνώσεων. Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης αερόψυκτης αντλίας θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών (Εικόνα 45Α).

Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος αντλίας θερμότητας

Εξωτερική Μονάδα	Εσωτερική Μονάδα
Διαστάσεις(Υ x Π x Β):1.345x900x320 mm Θερμική ισχύς : 11kW COP: 3,08 Βάρος :120 kg Τροφοδοσία : 220-440/50/1 Συνιστώμενη ασφάλεια :25 A	Διαστάσεις(Υ x Π x Β):700x600x695 mm Τροφοδοσία : 220-440/50/1 Βάρος : 147,25 kg Θερμοκρασία νερού προσαγωγής : 28-80 °C

Ο συντελεστής συμπεριφοράς COP ισοδυναμεί με το ποσό θερμότητας Q_{Σ} που αποδίδεται στους θερμαινόμενους χώρους προς την

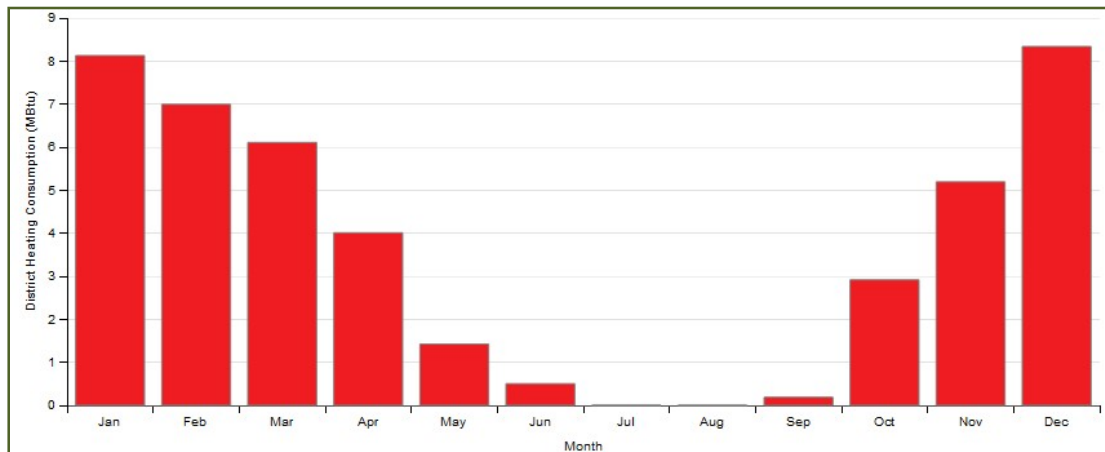
³¹ [www.multiclima.gr/?section=3106&language=el_GR&itemid1634=3109&detail1634=1, 2017]

ηλεκτρική ενέργεια W που καταναλώνεται στο συμπιεστή στη λειτουργία θέρμανσης ³². Άρα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας W που απαιτείται από το δίκτυο για τη θέρμανση του κτιρίου με αυτόν τον τρόπο προκύπτει ως εξής:

$$\text{COP} = \frac{Q_{\Sigma}}{W} \Leftrightarrow W = \frac{Q_{\Sigma}}{\text{COP}} = \frac{12.839 \frac{\text{kWh}}{\text{y}}}{3,08} = 4.168 \frac{\text{kWh}}{\text{y}}$$

Η θερμική ισχύς P_{th} αφορά την αποδιδόμενη-ωφέλιμη ενέργεια από την αντλία στο κτίριο προς στο σύνολο των ωρών λειτουργίας του κτιρίου ³³ και τους μήνες θέρμανσης. Από το Γράφημα 13 προκύπτει ότι απαιτούνται σημαντικά φορτία θέρμανσης για εννιά μήνες.

$$P_{\text{th}} = \frac{12.839 \frac{\text{kWh}}{\text{y}}}{1.176 \frac{\text{h}}{\text{y}}} = 10,9 \text{ kW} < 11 \text{ kW} = P_{\text{th,ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ}}$$



Γράφημα 9: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης σενάριο 5 [ραβδόγραμμα από OS]

³² Το μέγεθος COP δεν είναι πραγματικός βαθμός απόδοσης με τη θερμοδυναμική έννοια του όρου, αλλά ένα μέγεθος που εκφράζει την ενεργειακή απόδοση της αντλίας θερμότητας [Νέος οδηγός ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων, Παντελίδης, 2015, σελ 142]

³³ Οι ώρες λειτουργίας της αντλίας υπολογίζονται σύμφωνα με τις μέρες και το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου στη διάρκεια ενός έτους και τους μήνες θέρμανσης (Γράφημα 13).

Άρα, προκύπτει ότι η συγκεκριμένη αντλία μπορεί να καλύψει στο 100% τις ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση. Το οπτικό αποτέλεσμα αυτής της επέμβασης παρουσιάζεται στην Εικόνα 45B.



Εικόνα 45: Χρήση αντλίας θερμότητας

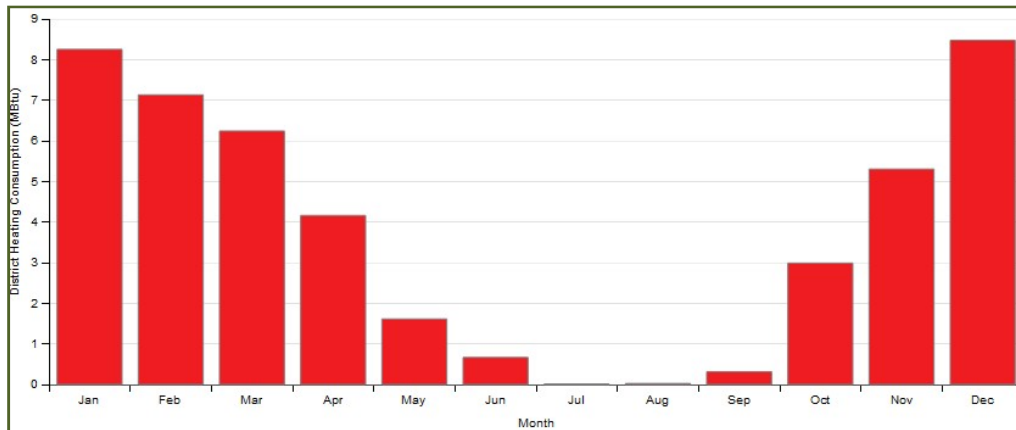
Όσο αναφορά την περίπτωση χρήσης του κτιρίου ως μουσείου με τις απαραίτητες επεμβάσεις (σενάριο 7), σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 8, απαιτούνται 45.192 kBtu/y για τη θέρμανση του κτιρίου, δηλαδή 13.244 kWh/y ωφέλιμης ενέργειας. Άρα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας W_{el} που απαιτείται από το δίκτυο για τη θέρμανση του κτιρίου με αυτόν τον τρόπο προκύπτει ως εξής:

$$COP = \frac{Q_{\Sigma}}{W_{el}} \Leftrightarrow W_{el} = \frac{Q_{\Sigma}}{COP} = \frac{13.244 \frac{\text{kWh}}{y}}{3,08} = 4.300 \frac{\text{kWh}}{y}$$

Η θερμική ισχύς P_{th} αφορά την αποδιδόμενη-ωφέλιμη ενέργεια από την αντλία στο κτίριο προς στο σύνολο των ωρών λειτουργίας του κτιρίου ως μουσείου ³⁴ και τους μήνες θέρμανσης. Από το Γράφημα 14 προκύπτει ότι απαιτούνται σημαντικά φορτία θέρμανσης επίσης για εννιά μήνες.

$$P_{th} = \frac{13.244 \frac{\text{kWh}}{y}}{1.412 \frac{h}{y}} = 9,4 \text{ kW} < 11\text{kW} = P_{th, \text{ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ}}$$

³⁴ Οι ώρες λειτουργίας της αντλίας υπολογίζονται σύμφωνα με τις μέρες και το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου ως μουσείου στη διάρκεια ενός έτους και τους μήνες θέρμανσης (Γράφημα 14).



Γράφημα 10: Μηνιαίο φορτίο θέρμανσης σενάριο 5 [ραβδόγραμμα από OS]

Άρα, προκύπτει ότι, η συγκεκριμένη αντλία μπορεί να καλύψει στο 100% τις ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση. Το οπτικό αποτέλεσμα αυτής της επέμβασης είναι το ίδιο και παρουσιάζεται στην Εικόνα 45B.

5.4 Σύστημα Φ/Β κεραμιδιών

Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος προτείνεται η χρήση Φ/Β κεραμιδιών, με όψη παρόμοια με αυτή των υφιστάμενων κεραμιδιών (Εικόνα 46). Στην Εικόνα 47 παρουσιάζονται ορισμένα από τα στάδια τοποθέτησης σε δίρριχτη στέγη κτιρίου.



Εικόνα 46: Φ/Β κεραμίδια

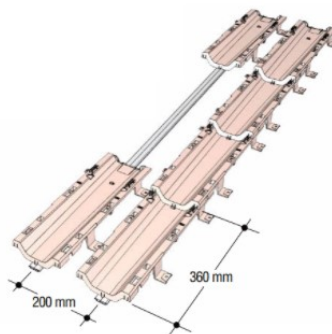


Εικόνα 47: Τοποθέτηση Φ/Β κεραμιδιών

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά³⁵ των ενσωματωμένων Φ/Β στα κεραμίδια αναγράφονται στον Πίνακα 16. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε συνθήκες STC³⁶. Υπάρχουν τέσσερις κυψέλες σε κάθε κεραμίδι και η δυναμικότητα του συγκεκριμένου συστήματος είναι σύμφωνα με τον κατασκευαστή 1 kWp ανά 18 m² σε Μεσογειακό κλίμα. Τα Φ/Β στοιχεία αποτελούνται από κύτταρα τελευταίας γενιάς πολυκρυσταλλικού πυριτίου και η απόδοση ορίζεται στο 15,8%. Η ενσωματωμένη επιφάνεια Φ/Β στοιχείων στο κάθε κεραμίδι είναι 0,02 m² (Εικόνα 48)³⁷.

Πίνακας 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β στοιχείων σχεδιασμού

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
Μέγιστη ισχύς	Pm	3,80	Wp
Τάση στη μέγιστη ισχύ	Vmp	2,54	V
Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ	Imp	1,50	A
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	Isc	1,61	A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	Voc	700	Vdc



Εικόνα 48: Βάση Φ/Β κεραμιδιών [www.lagranepoca.com, 2017]

Η επιφάνεια τοποθέτησης των Φ/Β κεραμιδιών του κτιρίου έχει νότιο ανατολικό προσανατολισμό με αζιμούθια γωνία -42° και κλίση 38,6% και

³⁵ [www.progettareilsole.com/prodotti/fotovoltaico, 2017]

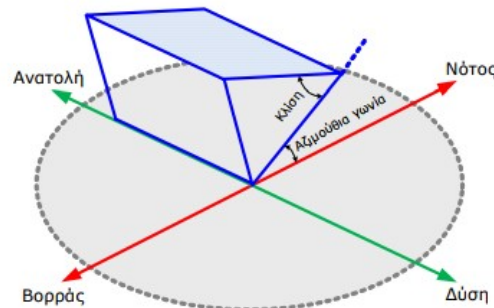
³⁶ Πρότυπες συνθήκες ελέγχου [Standard Test Conditions – STC]

- Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας: 1.000 W/m²
- Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας: AM 1,5
- Θερμοκρασία Φ/Β στοιχείου: 25 °C ± 2 °C,

Θεοχάρης Δ. Τσούτσος, Ιωάννης Ν. Κανάκης, 2013, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ.144

³⁷ [www.progettareilsole.com/prodotti/fotovoltaico, 2017]

εμβαδόν 80m^2 . Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι περίπου 0° (κατεύθυνση προς νότο) ³⁸. Το γεωγραφικό πλάτος που ανήκει το κτίριο είναι 40° , άρα η μείωση της βέλτιστης απόδοσης οφείλεται κυρίως στον προσανατολισμό του κτιρίου.



Εικόνα 49: Γραφική απεικόνιση της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας ενός Φ/Β πλαισίου που βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο

Οι παραδοχές που γίνονται για τον σχεδιασμό είναι οι εξής:

- Ετήσια λειτουργία Φ/Β συστήματος: 12 μήνες
- Χρόνος ζωής Φ/Β στοιχείων: 25 χρόνια
- Σύνδεση στο δίκτυο της ΔΕΗ
- Η εγκατεστημένη ισχύς αντιστοιχεί σε λειτουργία μέσης κατάστασης
- Χωρίς δάνειο η αγορά του Φ/Β συστήματος
- Μηδενικός πληθωρισμός
- Εκπομπές CO_2 για το μίγμα καυσίμου της Ηπειρωτικής Ελλάδας $0,718 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ και 5% απώλειες Μ&Δ
- Κόστος Φ/Β κεραμιδιών 1.200 €/kW
- Η αρχική επένδυση συμφέρει εάν η αποπληρωμή γίνει εντός 7 ετών

³⁸ Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις, ΚΑΠΕ, 2009

- Προβλέπεται τοποθέτηση αντιστροφέα³⁹
- Η συντήρηση κοστίζει 10 €/kWh και γίνεται δυο φορές τον χρόνο
- Η τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού είναι 190 €/MWh
- Έστω 10% απώλειες λόγω κλίσης, προσανατολισμού και αντιστροφέα

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές και τις ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις υπολογίζονται μέσω του προγράμματος RETScreen, η καθαρή ετήσια μείωση ισοδύναμων εκπομπών CO₂, ο δείκτης IRR⁴⁰ και τα έτη αποπληρωμής του έργου (Πίνακας 10). Ο σχεδιασμός του Φ/Β συστήματος εξετάζεται για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις (Πίνακας 17).

Πίνακας 17: Περιπτώσεις εγκατάστασης Φ/Β συστήματος

Περιπτώσεις τοποθέτησης Φ/Β	Απαιτήσεις σε τεχνητό φωτισμό (kWh/y)	Απαιτήσεις σε ηλεκτρικό εξοπλισμό (kWh/y)	Απαιτήσεις αντλίας θερμότητας (kWh/y)	Συνολική ηλεκτρική ενέργεια (kWh/y)	Ισχύς σχεδιασμού Φ/Β συστήματος (W)
Περίπτωση 1: Αναβάθμιση υφιστάμενης κατάστασης (Σενάριο 5)	448	2.575	-	3.023	390
Περίπτωση 2: Αναβάθμιση υφιστάμενης κατάστασης με χρήση αντλίας θερμότητας	448	2.575	4.168	7.191	912
Περίπτωση 3: Χρήση του κτιρίου ως μουσείο (Σενάριο 7)	861	1.617	-	2.478	322
Περίπτωση 4: Χρήση του κτιρίου ως μουσείο με χρήση αντλίας θερμότητας	861	1.617	4.300	6.778	867

³⁹ [www.eshops.gr/1/cotek-sk-1000-24v-inverter, 2017]

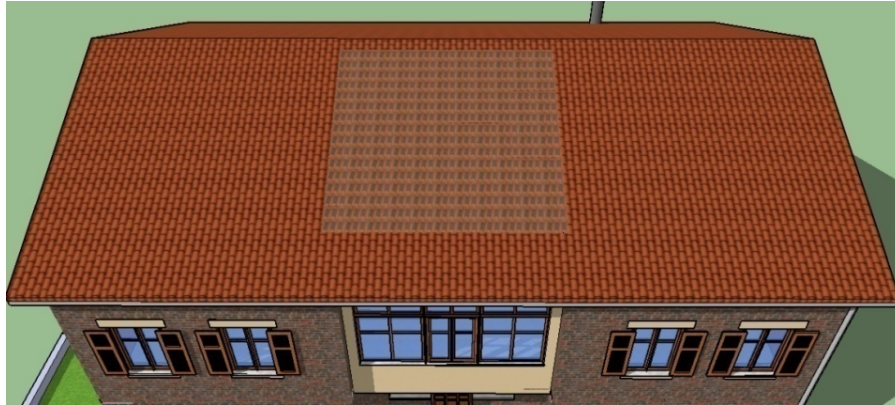
Περίπτωση 1: Victron Phoenix 12/500 VE.Direct Schuko - Inverter Καθαρού Ημιτόνου 400W (150€)

Περίπτωση 2 & 4: Inverter Cotek SK 1000-24V (370€)

Περίπτωση 3: Inverter Cotek SK 350 (130€)

⁴⁰ Εσωτερικός βαθμός απόδοσης κεφαλαίου, Internal Rate Of Return (IRR)

Τα Φ/Β κεραμίδια προτείνεται να τοποθετηθούν στην νότια πλευρά της στέγης Εικόνα 50.



Εικόνα 50: Τοποθέτηση Φ/Β κεραμιδιών στο κτίριο μελέτης

5.5 Προτάσεις υλοποίησης

5.5.1 Ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου σε σΜΕΚ

Η πρόταση αυτή αφορά την διατήρηση της υφιστάμενης χρήσης του κτιρίου. Για την υλοποίηση αυτής της πρότασης προτείνονται όλα τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας του συνδυαστικού σεναρίου 5. Επίσης, επιλέγεται αερόψυκτη αντλία υψηλών θερμοκρασιών για την κάλυψη του 100% του φορτίο θέρμανσης με την προϋπόθεση ότι θα εφαρμοστεί το σενάριο 5. Σύμφωνα με τον Πίνακα 11, η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου από 123 kWh/(m²·y) μειώνεται στις 30kWh/(m²·y), δηλαδή σε ποσοστό 76%. Άρα, η εφαρμογή των παραπάνω επεμβάσεων, θεωρητικά θα οδηγούσε σε αντίστοιχη μείωση των πραγματικών καταναλώσεων από 81 kWh/(m²·y) στις 20 kWh/(m²·y).

Ο στόχος μετατροπής του κτιρίου σε σΜΕΚ έχει σχεδόν επιτευχθεί. Η προσθήκη Φ/Β κεραμιδιών σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύψει τις 30kWh/(m²·y)

ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Η επιφάνεια της στέγης 80m^2 με νότιο προσανατολισμό επαρκεί για την κάλυψη αυτού του φορτίου συμπεριλαμβανομένων των απωλειών του Φ/Β συστήματος, καθώς απαιτούνται μόλις 17m^2 . Άρα, από το ενεργειακό ισοζύγιο, οι επιπλέον ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου από το δίκτυο είναι σχεδόν μηδενικές $\sim 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$. Η κάλυψη του φορτίου θέρμανσης από την αντλία θερμότητας και του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας από το Φ/Β σύστημα είναι σχεδιασμένο για τη μέση κατάσταση και όχι για τα φορτία αιχμής. Βέβαια, το Φ/Β σύστημα σε περίπτωση περίσσειας ενέργειας την παρέχει στο δίκτυο και αυτό την επιστρέφει σε ημέρες με έντονη συννεφιά ή σε μέρες αιχμής.

Το οπτικό αποτέλεσμα αυτών των επεμβάσεων είναι αποδεκτό και παρουσιάζεται στις εικόνες 51 & 52. Στην Εικόνα 51 γίνεται αντιληπτή η εμφάνιση της αντλίας θερμότητας η οποία καλύπτει ένα πολύ μικρό μέρος της επιφάνειας του κελύφους του κτιρίου. Στην Εικόνα 52 εμφανίζονται πανοραμικά τα Φ/Β κεραμίδια, τα οποία είναι εναρμονισμένα με τα υπόλοιπα κεραμίδια και από το οπτικό πεδίο του παρατηρητή μπορεί να μη γίνουν αντιληπτά.



Εικόνα 51: Οπτικό αποτέλεσμα της πρότασης ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου, βόρεια πλευρά



Εικόνα 52: Οπτικό αποτέλεσμα της πρότασης ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου, νότια πλευρά

Ο προϋπολογισμός του έργου ανέρχεται στα 43.126 € και τα έτη αποπληρωμής του έργου στα 7,7 γ. Η πρόταση αυτή περιλαμβάνει κυρίως ενέργειες βελτιστοποίησης της υφιστάμενης κατάστασης. Σενάρια όπως, η αντικατάσταση των λαμπτήρων και των παραθύρων με έτη αποπληρωμής που ξεπερνάν τα 20 χρόνια (Πίνακας 11) θα μπορούσαν να απορριφθούν. Όμως, ο συνδυασμός της εξοικονόμησης ενέργειας με την προστασία της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής τα καθιστά ως κάποιες από τις περιορισμένες λύσεις αντιμετώπισης του προβλήματος.

5.5.2 Μετατροπή του κτιρίου σε μουσείο σΜΕΚ

Η πρόταση αυτή αφορά την χρήση του κτιρίου ως μουσείο. Το κτίριο τροποποιείται με ανοίγματα στους εσωτερικούς τοίχους έτσι ώστε να υπάρχει ομαλή ροή των επισκεπτών στους εκθεσιακούς χώρους. Επίσης, λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα έτσι ώστε να μπορεί να φιλοξενήσει άτομα με αναπηρία (ΑΜΕΑ). Ορίζονται οι χρήσεις κάθε χώρου και οι ενεργειακές τους απαιτήσεις σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010. Για την υλοποίηση αυτής της πρότασης προτείνονται όλα τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας του συνδυαστικού σεναρίου 7.

Η ενεργειακή κατανάλωση του μουσείου (6.778 kWh/y) είναι παραπλήσια με αυτήν της υφιστάμενης κατάστασης (7.191 kWh/y), οπότε επιλέγονται τα αντίστοιχα μέτρα για την θέρμανση του κτιρίου με χρήση αντλίας θερμότητας και για την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια με χρήση Φ/Β κεραμιδιών. Σύμφωνα με τον Πίνακα 11 η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται κατά 78%. Άρα, η εφαρμογή των παραπάνω επεμβάσεων, θεωρητικά θα οδηγούσε σε αντίστοιχη μείωση των πραγματικών καταναλώσεων από 81 kWh/(m²·y) στις 18 kWh/(m²·y). Η προσθήκη Φ/Β κεραμιδιών σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύψει τις 28 kWh/(m²·y) ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο με απαιτούμενη επιφάνεια στη στέγη 16m². Άρα, από το ενεργειακό ισοζύγιο, οι επιπλέον ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου από το δίκτυο και συμβατικούς πόρους είναι σχεδόν μηδενικές ~0 kWh/(m²·y).

Το οπτικό αποτέλεσμα αυτών των επεμβάσεων είναι αποδεκτό και παρουσιάζεται στην Εικόνα 53, όπου γίνεται αντιληπτή η εμφάνιση της εξωτερικής ράμπας πρόσβασης για ΑΜΕΑ και τα ενσωματωμένα Φ/Β κεραμίδια. Η εμφάνιση της αντλίας θερμότητας είναι ίδια με αυτή της Εικόνας 51.



Εικόνα 53: : Οπτικό αποτέλεσμα της πρότασης ενεργειακής αναβάθμισης του κτιρίου ως μουσείου

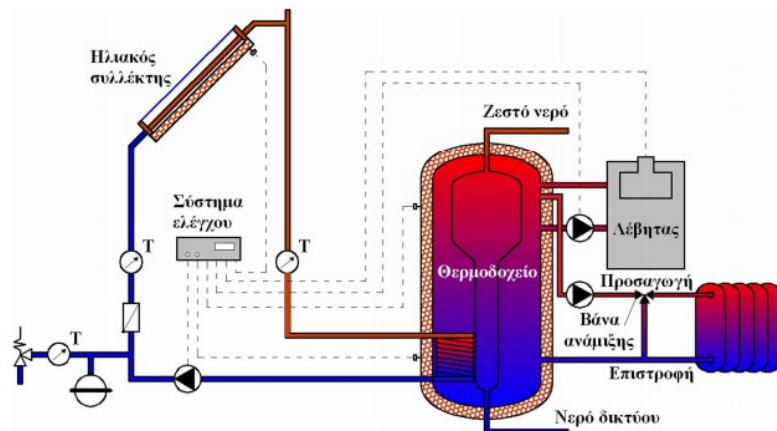
Ο προϋπολογισμός του έργου ανέρχεται στα 48.500 € και τα έτη αποπληρωμής του έργου στα 8,7 γ. Η πρόταση αυτή απαιτεί μεγαλύτερο κεφάλαιο επένδυσης από την προηγούμενη και ένα επιπλέον έτος αποπληρωμής. Βέβαια, στην κοστολόγηση συμπεριλαμβάνονται και τεχνικά έργα όπως η κατασκευή της ράμπας, τα εσωτερικά ανοίγματα και η αγορά πρόσθετου ηλεκτρικού εξοπλισμού, τα οποία δεν αποτελούν από μόνα τους λύσεις ενεργειακής αναβάθμισης. Όμως, τα παραπάνω εντάσσονται στο πλαίσιο τροποποίησης της λειτουργίας του κτιρίου ως μουσείο, το αποτελεί στην ουσία ένα ξεχωριστό και συνδυαστικό μέτρο ενεργειακής αναβάθμισης.

5.5.3 Πρόταση επιπλέον έρευνας στο κτίριο

Το κτίριο διαθέτει ήδη λεβητοστάσιο και καμινάδα. Προτείνεται η αντικατάσταση του λέβητα πετρελαίου με σύστημα θέρμανσης με λέβητα βιοκαυσίμου. Ως υλικό καύσης ορίζεται το βιοντίζελ καθώς αφορά κτίριο τριτογενή τομέα και δεν συνηθίζεται οι εργαζόμενοι να τροφοδοτούν με στερεή βιομάζα τον καυστήρα. Επίσης, υπάρχει διαθέσιμος χώρος για τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών.

Στη διάταξη της Εικόνας 54 χρησιμοποιούνται δύο δοχεία αποθήκευσης. Αυτό του ζεστού νερού χρήσης είναι εμβαπτισμένο στο μεγαλύτερο δοχείο, στο οποίο κυκλοφορεί το ίδιο υγρό (νερό) με αυτό του δικτύου θέρμανσης, δηλαδή των καλοριφέρ. Η εγκατάσταση και παρακολούθηση ενός συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος ηλιακών/βιομάζας για θέρμανση θέτει μια ενδιαφέρουσα προοπτική για την ανάπτυξη των υβριδικών συστημάτων που θα χρησιμοποιούν βιομάζα αντί

της συμβατικής πηγής ενέργειας (π.χ. πετρέλαιο), ήτοι στην ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων εξ' ολοκλήρου από ΑΠΕ ⁴¹.



Εικόνα 54: Υβριδικό σύστημα θέρμανσης

Το ηλιακό σύστημα μπορεί να λειτουργεί συμπληρωματικά με το υπόλοιπο, ελαχιστοποιώντας τις ώρες λειτουργίας του λέβητα βιοκαυσίμου. Η δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας από το ηλιακό σύστημα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση των διακυμάνσεων φορτίου. Με τον ορθό σχεδιασμό, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ετοιμασία θερμού νερού και για θέρμανση χώρου⁴². Στο πλαίσιο της διαφύλαξης του παραδοσιακού χαρακτήρα του κτιρίου προτείνονται ηλιακοί σωληνωτοί συλλέκτες (Εικόνα 55) ενσωματωμένοι σε κεραμίδια με την ίδια τεχνική των προτεινόμενων Φ/Β κεραμιδιών.



Εικόνα 55: Ηλιακοί συλλέκτες ενσωματωμένοι σε κεραμίδια

⁴¹ Κατσαπρακάκης, Δ., Μονιάκης, Μ. 2015. Θέρμανση - ψύξη - κλιματισμός, κεφάλαιο 7, σελ 55 κεφαλαίου.

⁴² Τεχνικός οδηγός θέρμανσης κτιρίων και κατοικιών με εφαρμογές βιομάζας, ΚΑΠΕ, 2017

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη των παραδοσιακών κτιρίων επικεντρώθηκε στα όρια ενός μικρού νομού της Ελλάδας. Τα κτίρια με παραδοσιακό κέλυφος που εντοπίστηκαν ήταν κυρίως πετρόχτιστα και με εμφανή οπτοπλινθοδομή. Η στρατηγική αυτή μπορεί να γίνει και σε μεγαλύτερη κλίμακα, πόλεων, περιφερειών ή και χωρών. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα συμπεριληφθούν και άλλοι τύποι κτιρίων όπως τα πλίνθινα, νεοκλασικά, κτίρια ιστορικής και πολιτιστικής κληρονομιάς. Στόχος των περαιτέρω ερευνών, θα πρέπει να είναι η διαφύλαξη της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς με την προστασία και συντήρηση του κελύφους αυτών των κτιρίων. Συγχρόνως, η ανακαίνιση, η επαναλειτουργία και η ενεργειακή αναβάθμιση αυτών των κτιρίων, όχι απλά περιορίζει την αύξηση του κτιριακού αποθέματος αλλά συμβάλει και στην μείωση του κτιριακού ενεργειακού αποτυπώματος.

Σύμφωνα με τη διεθνή επιστημονική εμπειρία, τα παραδοσιακά και διατηρητέα κτίρια έχουν πολλά στοιχεία βιοκλιματικού σχεδιασμού (Πίνακας 1). Γενικά στον νομό Γρεβενών, τα φυσικά υλικά δόμησης (πέτρα, χώμα, ξύλο), συνήθως μεταφέρονταν από κοντινές περιοχές και η επεξεργασία τους γινόταν κυρίως με χειρωνακτικές μεθόδους και χωρίς προσθήκη συνθετικών υλικών. Άρα, ειδικά τα παραδοσιακά πετρόχτιστα κτίρια περιέχουν πολύ χαμηλές ενσωματωμένες εκπομπές και ενσωματωμένη ενέργεια⁴³. Επίσης, τα υλικά αυτά μετά το τέλος ζωής του κτιρίου, μπορούν με κατάλληλη επεξεργασία να επαναχρησιμοποιηθούν.

⁴³ Η ενσωματωμένη ενέργεια περιγράφει την ποσότητα της ενέργειας που καταναλώθηκε για την παραγωγή ενός αντικειμένου. Οι ενσωματωμένες εκπομπές αναφέρονται στις εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ενός αντικειμένου ή ενός αγαθού. [Sue Roaf, 2009, Ecoδομείν, εκδόσεις Ψύχαλλου, σελ. 46]

Αναφορικά για το κάθε σενάριο εξοικονόμησης ενέργειας στο υπό μελέτη κτίριο ισχύει ότι, η αλλαγή των λαμπτήρων δεν επιφέρει στο σύνολο μεγάλο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας αλλά εξασφαλίζει την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού στους λειτουργικούς χώρους. Η χρήση εσωτερικής μόνωσης είναι η μοναδική εφικτή λύση της αποφυγής θερμικών απωλειών από την τοιχοποιία, καθώς η εξωτερική μόνωση απορρίπτεται λόγω αλλοίωσης της παραδοσιακής οπτοπλινθοδομής του κελύφους. Συγχρόνως, επιφέρει σημαντικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας 31,8% (Πίνακας 8) και κρίνεται υποχρεωτική η εφαρμογή της για τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων σε ηλεκτρικό ρεύμα της αντλίας θερμότητας για θέρμανση, έτσι ώστε, αυτό να μπορεί να παραχθεί από Φ/Β στον περιορισμένο χώρο της στέγης. Επίσης, επιβάλλεται σωστό σχέδιο τοποθέτησης για τον περιορισμό της υγρασίας. Η αντικατάσταση των παραθύρων με τριπλό υαλοπίνακα και μονωμένο πλαίσιο συμβάλει και στην μείωση της απαιτούμενης ενέργειας και στον περιορισμό της εσωτερικής υγρασίας. Τέλος, η αναβάθμιση των ηλεκτρικών συσκευών μειώνει σημαντικά το απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο.

Οι τελικές προτάσεις επεμβάσεων στο κτίριο είναι δύο. Η πρώτη αφορά την διατήρηση της υφιστάμενης χρήσης του κτιρίου και την ενεργειακή αναβάθμισή του. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης δείχνουν πιθανή μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων το κτιρίου κατά 76% ($20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{y})$ ηλεκτρικής ενέργειας), με τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας του σεναρίου 5 και τη χρήση αντλίας θερμότητας. Η χωρητικότητα της επιφάνειας της στέγης με νότιο προσανατολισμό επαρκεί για να καλύψει το 100% του μειωμένου φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας. Η δεύτερη αφορά τη χρήση του κτιρίου σχεδιασμένου έτσι ώστε να λειτουργεί ως κτίριο σΜΕΚ (σενάριο 6) και με την

εφαρμογή του σεναρίου 7 και την αντλία θερμότητας προκύπτει μείωση των ενεργειακών αναγκών κατά 78%, δηλαδή απαιτούνται μόλις 18 kWh/(m²·y) φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο καλύπτεται από τη χρήση Φ/Β κεραμιδιών.

Η χρήση αντλίας θερμότητας μπορεί να καλύψει το φορτίο θέρμανσης. Βέβαια, απαιτείται επιπλέον έρευνα ειδικά στις τερματικές μονάδες του συστήματος θέρμανσης. Οι τερματικές μονάδες έχουν σχεδιαστεί για θερμοκρασίες νερού 70-90 °C ενώ η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη για μέγιστη θερμοκρασία νερού στους 80 °C. Επομένως, ίσως χρειαστούν επιπλέον τερματικές μονάδες ή εξ ολοκλήρου αντικατάσταση με νέες αποδοτικές τερματικές μονάδες. Το οπτικό αποτέλεσμα είναι αποδεκτό, καθώς η εξωτερική μονάδα της αντλίας θερμότητα καταλαμβάνει ένα πολύ μικρό ποσοστό του κελύφους του κτιρίου (Εικόνα 51). Επίσης, θα πρέπει να προβλεφθεί και προστασία της εξωτερικής μονάδας από κλοπή με τη χρήση κιγκλιδωμάτων.

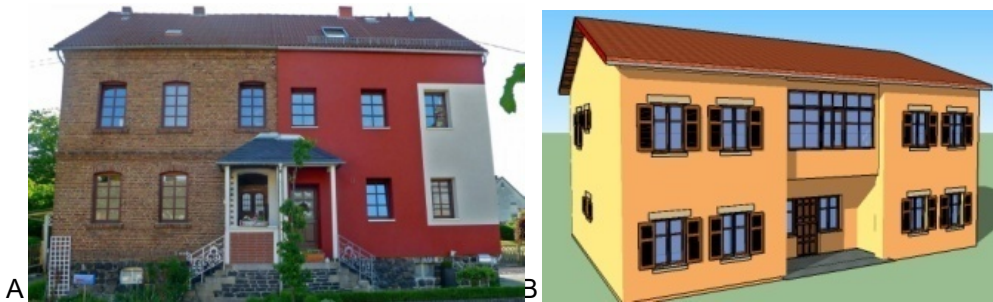
Η χρήση των Φ/Β κεραμιδιών είναι η βέλτιστη οπτική λύση τοποθέτησης Φ/Β συστήματος σε δίρριχτη στέγη ενός παραδοσιακού κτιρίου με κεραμικά κεραμίδια. Σύμφωνα με τον Πίνακα 10, η καθαρή ετήσια μείωση ισοδύναμων εκπομπών CO₂ ισούται με 0,9 tnCO₂/y και για τις δυο προτάσεις διαχείρισης του κτιρίου. Ο δείκτης IRR κυμαίνεται στο 15% και η αποπληρωμή γίνεται σε λιγότερο από επτά χρόνια. Άρα, η εγκατάσταση των Φ/Β κεραμιδιών αξίζει ως επένδυση τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά. Γενικά, η χρήση των Φ/Β θα μπορούσε να μειώσει περαιτέρω τις εκπομπές CO₂, αλλά το κτίριο παίρνει πίσω την ενέργεια που προσφέρει κυρίως από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με λιγνίτη, τα οποία ευθύνονται

για την υποβάθμιση της δημόσιας υγείας ολόκληρης της Δυτικής Μακεδονίας. Λύση για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι μπαταρίες, οι οποίες απορρίπτονται στη συγκεκριμένη μελέτη, αλλά προτείνεται περεταίρω έρευνα.

Η βέλτιστη λύση που προτείνεται είναι η χρήση του κτιρίου ως μουσείου. Εκτός από το ότι προσεγγίζεται ο στόχος των σΜΕΚ με την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, το κτίριο αξιοποιείται καλύτερα στο σύνολό του. Στην παρούσα λειτουργία υπάρχουν ανεκμετάλλευτοι χώροι και πολλές αποθήκες. Υπάρχουν δημόσια κτίρια, τα οποία είναι χτισμένα σύμφωνα με τους πρότυπους κανονισμούς δόμησης και μπορούν να μεταφερθούν εκεί οι συγκεκριμένες υπηρεσίες. Το κτίριο αυτό και το 1^ο Δημοτικό Σχολείο Γρεβενών είναι τα μοναδικά παραδοσιακά κτίσματα του δημοσίου στην πόλη. Άρα, το κτίριο μελέτης είναι ίσως το μοναδικό κτίριο που μπορεί να στηρίξει τη λειτουργία ενός μουσείου, το οποίο λείπει από την πόλη. Οι προτάσεις για βελτιστοποίηση της μελέτης, είναι ο σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, η μελέτη των εσωτερικών συνθηκών λειτουργίας και η ποιότητα της ατμόσφαιρας όπως στη μελέτη του πύργου Προσφόριου.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στον διεθνή χώρο υπάρχουν κτίρια με παραδοσιακό κέλυφος, τα οποία δεν είναι προστατευόμενα. Όταν πρόκειται για δημόσια κτίρια, όπως το κτίριο μελέτης, επιβάλλεται να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες από τους αρμόδιους για την προστασία και την ορθή ενεργειακή διαχείρισή τους. Στα ιδιωτικά κτίρια έχουν γίνει ήδη παρεμβάσεις αλλοίωσης του παραδοσιακού τους κελύφους και θα συνεχίσουν να γίνονται εάν δεν επιβληθούν περιορισμοί. Στην Εικόνα 56Α φαίνεται η αρχιτεκτονική αντίθεση από την προσθήκη θερμοπρόσοψης σε ένα ιδιωτικό κτίριο και στην

Εικόνα 56B το οπτικό αποτέλεσμα από την πιθανή τοποθέτηση θερμοπρόσοψης στο κτίριο μελέτης. Από ότι φαίνεται και στις δυο περιπτώσεις η παραδοσιακή αρχιτεκτονική υποβαθμίζεται. Αυτό δεν ισχύει μόνο για τη χρήση θερμοπρόσοψης αλλά ισχύει και για όλα τα μέτρα εξοικονόμησης και αυτοπαραγωγής ενέργειας που επηρεάζουν οπτικά το κέλυφος των κτιρίων.



Εικόνα 56: Α. Παράδειγμα εφαρμογής εξωτερικής μόνωσης στο μισό μέρος του κτιρίου Β. Περίπτωση εφαρμογής εξωτερικής μόνωσης κτιρίου μελέτης

Επομένως, η στρατηγική ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων με παραδοσιακό κέλυφος πρέπει να αρχίζει με μέτρα εξοικονόμησης και αυτοπαραγωγής ενέργειας από μέσα προς τα έξω. Όσες επεμβάσεις αφορούν το κτίριο εξωτερικά θα πρέπει να γίνονται με τεχνικές ενσωμάτωσης και εναρμόνισης στο κτίριο. Απώτεροι στόχοι είναι, η διαφύλαξη της αρχιτεκτονικής, ιστορικής και πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς και η μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των κτιρίων.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

Θεοχάρης Δ. Τσούτσος, Ιωάννης Ν. Κανάκης, 2013, *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*, εκδόσεις Παπασωτηρίου

Sue Roaf, 2009, *Εκοδομείν*, εκδόσεις Ψύχαλλου

Παντελίδης, 2015, *Νέος οδηγός ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων*, εκδόσεις Δεδεμάδη

Κατσαπρακάκης Δημήτριος, Μονιάκης Μύρων, 2015, *Θέρμανση - Ψύξη - Κλιματισμός*, εκδόσεις Κάλλιπος

Δημοσιευμένα άρθρα

Luca Mauri, 2016, "Feasibility analysis of retrofit strategies for the achievement of NZEB target on a historic building for tertiary use", *Energy Procedia*, 101, 1127-1134

Livio Mazzarella, 2015, "Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view", *Energy and Buildings*, 95, 23-31

Anna Laura Pisello, Alessandro Petrozzi, Veronica Lucia Castaldo, Franco Cotana, 2016, "On an innovative integrated technique for energy refurbishment of historical buildings: Thermal-energy, economic and environmental analysis of a case study", *Applied Energy*, 162, 1313-1322

Marija S. Todorovic, Olivera Ecim-Đuric, Stevan Nikolic, Slavica Ristic, Suzana Polic-Radovanovic, 2015, "Historic building's holistic and sustainable deep energy refurbishment via BPS, energy efficiency and renewable energy—A case study", *Energy and Buildings*, 95, 130-137

A. Gagliano, F. Nocera, F. Patania, A. Moschella, M. Detommaso & G. Evola, 2016, "Synergic effects of thermal mass and natural ventilation on the thermal behavior of traditional massive buildings", *International Journal of Sustainable Energy*, 35, No. 5, 411–428

S. Schelbach, U. Dietrich, 2012, "Learning from traditional architecture", *Eco-Architecture*, 165

Torben Valdbjørn Rasmussen, 2011, "Retrofitting Listed Buildings: Measures, Savings and Requirements", *The Open Construction and Building Technology Journal*, 5, 174-181.

Giovanna Franco, Anna Magrini, Marco Cartesegna, Marco Guerrini, 2015, "Towards a systematic approach for energy refurbishment of historical buildings. The case study of Albergo dei Poveri in Genoa, Italy", *Energy and Buildings*, 95, 153-159.

Cristina M. Silva, M. Glória Gomes, Marcelo Silva, 2016, “Green roofs energy performance in Mediterranean climate”, *Energy and Buildings*, 116, 318-325.

Cristina S. Polo López, Francesco Frontini, 2014, “Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings”, *Energy Procedia*, 48, 1493-1502.

A.M. Papadopoulos, A. Avgelis, M. Santamouris, 2003, “Energy study of a medieval tower, restored as a museum”, *Energy and Buildings*, 35, 951-961.

T. Dalla Mora, F. Cappelletti, F. Peron, P. Romagnoni, F. Bauman, 2015, “Retrofit of an historical building toward NZEB”, *Energy Procedia*, 78, 1359-1364.

Πρόσθετο υλικό

SECHURBA Project, 2008, “Sustainable Energy Communities in Historic Urban Areas”, Intelligent Energy Europe IEE-07-695 SECHURBA

EFFESUS Project, 2016, “Energy Efficiency in European historic urban districts – A practical guidance”, Grant Agreement No. 314678.

David Rowe, Joanne Day, Jim Gard’ner, Paula Judson and Stuart McLennan, 2009, “Heritage Buildings and Sustainability”, Technical Leaflet.

Ιστοσελίδες

www.google.gr/maps, [07/2016]

www.knauf.gr, [08/2016]

www.epal.gr/ [09/2016]

www.lagranepoca.com, [09/2017]

www.electrocover.com.gr, [08/2017]

www.philips.gr/c-p/8718696566145/led-tube/specifications, [09/2017]

www.ashrae.gr/perch/resources/presentationb2.pdf, [07/2017]

www.knauf.gr/www/el/ksira_domisi/domikes_plakes/, [08/2016]

www.progettareilsole.com/prodotti/fotovoltaico, [08/2017]

www.multiclimate.gr, [08/2017]

www.eshops.gr/1/cotek-sk-1000-24v-inverter, [09/2017]

www.ypeka.gr, [05/2017]

www.penteli.meteo.gr/stations/grevena, [05/2016]

www.smmidexanthi.gr/index.php/component/attachments, [08/2017]

www.energypius.net, [05/2016]

www.openstudio.net, [05/2016]

www.sketchup.com, [05/2016]

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακες κατασκευής ενεργειακού μοντέλου

Πίνακας Α1: Εισαγωγή τεχνικών χαρακτηριστικών των υλικών δόμησης του κτιρίου στο Open Studio (δεδομένα από σελίδα 48 της TOTEE 20701-2/2010 Α')

ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	Τραχύτητα	Πάχος m	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας W/(m·K)	Πυκνότητα kg/m ³	Ειδική θερμχωρητικότητα J/(kg·K)	Θερμική απορρόφηση	Ηλιακή απορρόφηση	Ορατή απορρόφηση
Οπτοπλινθοδομή με συμπαγείς οπτόπλινθους και αρμό	Τραχύ	0,380 0,250 0,120	0,60	1.500	1.000	0,9	0,3	0,3
Ασβεστοκονίαμα	Μέτρια Λείο	0,020	0,870	1.800	1.000	0,9	0,4	0,4
Κατεργασμένη ξυλεία	Μέτρια Τραχύ	0,020	0,130	500	1.600	0,9	0,5	0,5
Ξύλινα σανίδια	Μέτρια Τραχύ	0,030	0,140	600	1.600	0,9	0,5	0,5
Κεραμικά πλακίδια δαπέδου	Μέτρια Τραχύ	0,015	1,300	2.300	840	0,9	0,3	0,3
Κεραμίδια γαλλικού τύπου	Τραχύ	0,050	1,000	2.000	800	0,9	0,3	0,3
Οπλισμένο σκυρόδεμα χαμηλής ποιότητας (παλαιού τύπου B120)	Μέτρια Τραχύ	0,150	1,510	2.200	1.000	0,9	0,3	0,3
Υαλοπίνακας	Λείο	0,003	1,000	2.500	750			
ΣΕΝΑΡΙΟ 1: ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ								
Γυψοσανίδα Η2	Μέτρια Λείο	0,0125	0,250	700	1	0,9	0,5	0,5
EPS 80	Τραχύ	0,080	0,032	20	1.55	0,9	0,7	0,7

Πίνακας Α2: Δημιουργία σετ κατασκευής των επιφανειών του κτιρίου και εισαγωγή στο Open Studio

Είδος Κατασκευής	Δομικό στοιχείο	Υλικό δόμησης	Πάχος (m)
Τοιχοποιία <i>Υπόγειο</i>	Εξωτερικοί Τοίχοι (πάχους 50cm)	Συμπαγές τούβλο	0,480
		Σοβάς	0,020
Τοιχοποιία <i>Ισόγειο</i>	Εξωτερικοί Τοίχοι (πάχους 42cm)	Συμπαγές τούβλο	0,380
		Σοβάς	0,020
		Επένδυση ξύλου	0,020
Τοιχοποιία <i>Οροφος, Στέγη</i>	Εξωτερικοί Τοίχοι (πάχους 29cm)	Συμπαγές τούβλο	0,250
		Σοβάς	0,020
		Επένδυση ξύλου	0,020
Τοιχοποιία <i>Ισόγειο, Οροφος</i>	Εσωτερικοί Τοίχοι (πάχους 16cm)	Επένδυση ξύλου	0,020
		Σοβάς	0,020
		Συμπαγές τούβλο	0,120
		Σοβάς	0,020
		Επένδυση ξύλου	0,020
Τοιχοποιία <i>Ισόγειο</i>	Εσωτερικοί Τοίχοι (πάχους 33cm)	Επένδυση ξύλου	0,020
		Σοβάς	0,020
		Συμπαγές τούβλο	0,250
		Σοβάς	0,020
Πάτωμα <i>Υπόγειο, Ισόγειο</i>	Πλάκα 13cm (επαφή στο έδαφος)	Επένδυση ξύλου	0,020
		Αέρας	0,100
		Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150
Πάτωμα <i>Οροφος</i>	Πλάκα 30cm (κοινή με την οροφή ισογείου)	Κόλλα για πλακάκια	0,015
		Πλακάκια	0,015
		Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150
		Αέρας	0,100
Πάτωμα <i>Στέγη</i>	Πλάκα 29cm (κοινή με την οροφή του ορόφου)	Επένδυση ξύλου	0,020
		Αέρας	0,100
		Σοβάς	0,020
		Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150
Οροφή <i>Υπόγειο</i>	Οροφή υπογείου 18cm (κοινή με πάτωμα ισογείου)	Πλακάκια	0,015
		Κόλλα για πλακάκια	0,015
		Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150
Οροφή <i>Ισόγειο</i>	Οροφή 30cm (κοινή με πλάκα του ορόφου)	Πλακάκια	0,015
		Κόλλα για πλακάκια	0,015
		Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150
		Αέρας	0,100
		Επένδυση ξύλου	0,020
Οροφή <i>Οροφος</i>	Οροφή 29cm (κοινή με την πλάκα της στέγης)	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150
		Σοβάς	0,020
		Αέρας	0,100
		Επένδυση ξύλου	0,020
Στέγη	Δίρριχτη πάχους 18cm (επαφή με τον εξωτερικό αέρα)	Κεραμίδια	0,050
		Ξύλινα σανίδια	0,030
		Ξύλινα δοκάρια	0,100
Πόρτα εισόδου <i>Ισόγειο</i>	Ξύλινη πάχους 6cm	Κατεργασμένη ξυλεία	0,060
Παράθυρα <i>Ισόγειο, Οροφος</i>	Κουφώματα ξύλινα με διπλό υαλοπίνακα 4mm με κενό 6mm	Υαλοπίνακας	0,004
		Αέρας	0,006
		Υαλοπίνακας	0,004

Πίνακας Α3: Θερμικά κέρδη του κτιρίου από την ανθρώπινη δραστηριότητα σε κάθε χώρο

Χώρος	Αριθμός ατόμων	Ισχύς (W)	Χώρος	Αριθμός ατόμων	Ισχύς (W)
Γραφείο 1	1	1 x 115	WC 1	1	1 x 145
Γραφείο 2	2	2 x 115	WC 2	1	1 x 145
Γραφείο 3	2	2 x 115	Λεβητοστάσιο & Στέγη	-	-
Γραφείο 4	2	2 x 115	Ανεκμετάλλευτος 1	-	-
Αποθήκη 1	1	2 x 145	Ανεκμετάλλευτος 2	-	-
Αποθήκη 2	1	1 x 145	Κοινόχρηστος 1	1	1 x 145
Αποθήκη 3	1	1 x 145	Κοινόχρηστος 2	1	1 x 145
Αποθήκη 4	1	1 x 145	Κοινόχρηστος 3	1	1 x 145
Αποθήκη 5	1	1 x 145	Κοινόχρηστος 4	1	1 x 145

Πίνακας Α4: Τεχνητός φωτισμός στους χώρους του κτιρίου

Χώρος	Αριθμός λαμπτήρων	Ισχύς (W)	Χώρος	Αριθμός λαμπτήρων	Ισχύς (W)
Γραφείο 1	2	2 x 36	WC 1	1	1 x 40
Γραφείο 2	3	3 x 36	WC 2	1	1 x 40
Γραφείο 3	2	2 x 36	Λεβητοστάσιο & Στέγη	-	-
Γραφείο 4	2	2 x 36	Ανεκμετάλλευτος 1	-	-
Αποθήκη 1	1	1 x 40	Ανεκμετάλλευτος 2	-	-
Αποθήκη 2	3	1 x 40 2 x 36	Κοινόχρηστος 1	2	2 x 36
Αποθήκη 3	1	1 x 40	Κοινόχρηστος 2	-	-
Αποθήκη 4	2	2 x 36	Κοινόχρηστος 3	1	1 x 36
Αποθήκη 5	2	2 x 36	Κοινόχρηστος 4	1	2 x 36

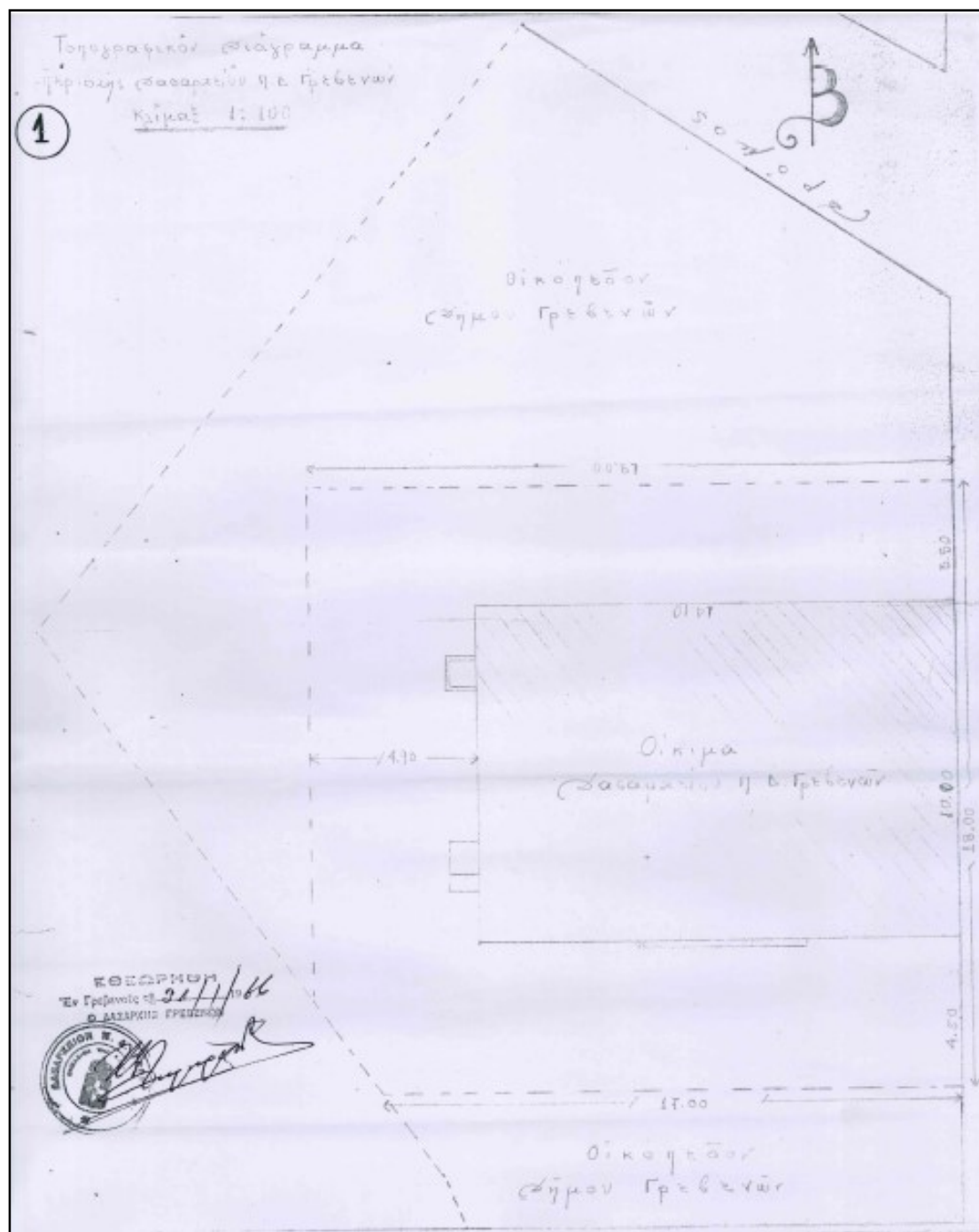
Πίνακας Α5: Ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών στους χώρους του κτιρίου

Χώρος	Ηλεκτρική συσκευή	Αριθμός ηλεκτρικών συσκευών	Ισχύς (W)
Γραφείο 1	Σταθερός υπολογιστής	1	200
	Ανεμιστήρας	1	50
	Θερμαντικό σώμα	1	1.500
Γραφείο 2	Σταθερός υπολογιστής	2	200
	Εκτυπωτής	1	100
	Θερμαντικό σώμα	1	1.500
	Ανεμιστήρας	1	50
Γραφείο 3	Σταθερός υπολογιστής	2	200
	Εκτυπωτής	1	100
	Θερμαντικό σώμα	1	1.500
	Ανεμιστήρας	1	50
Γραφείο 4	Σταθερός υπολογιστής	1	200
	Θερμαντικό σώμα	1	1.500
Αποθήκη 1	Ψυγείο	1	90
Αποθήκη 3	Ψυγείο	1	90

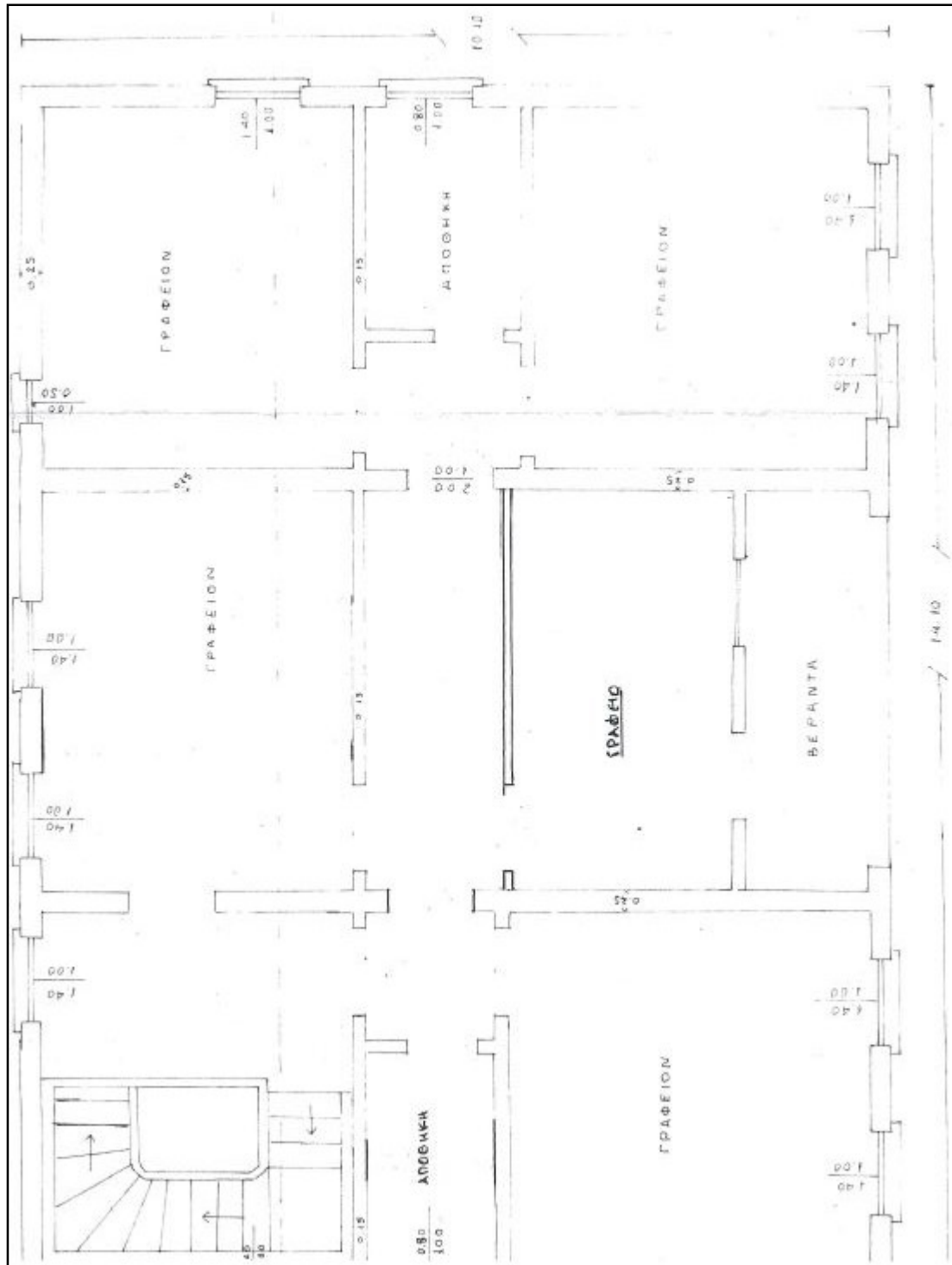
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Αρχιτεκτονικά σχέδια κτιρίου

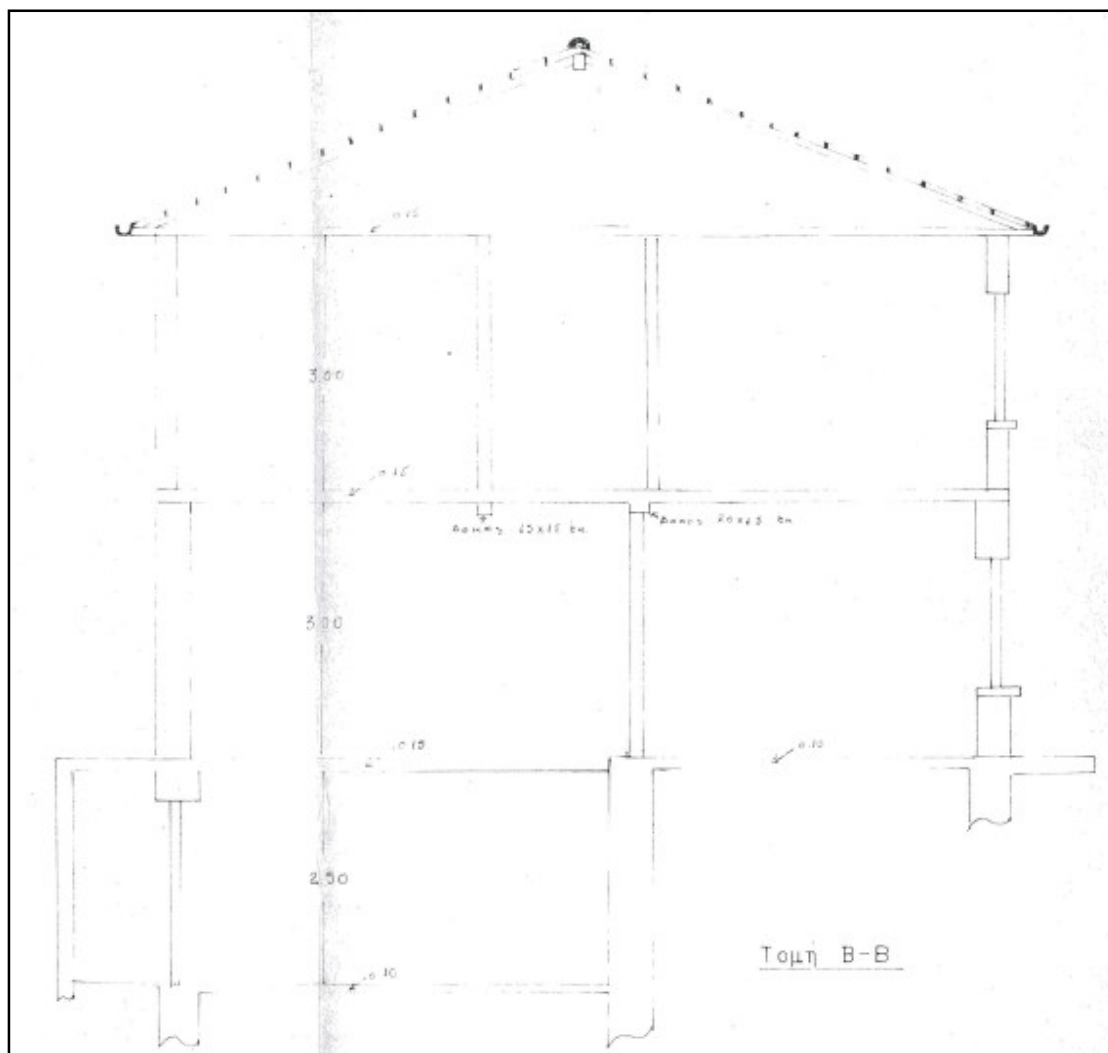
ΑΣΚ1: Τοπογραφικό



ΑΣΚ3: Κάτοψη ορόφου



ΑΣΚ5: Τομή Β-Β'



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Κοστολόγηση μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης

Πίνακας 18: Κοστολόγηση λαμπτήρων, σενάριο 1

Χώρος	Εσωτερική επιφάνεια (m ²)	Απαιτούμενα (W/m ²)	Απαιτούμενη ισχύς (W)	Αριθμός λαμπτήρων των 20W	Αριθμός λαμπτήρων σχεδιασμού	Κόστος λαμπτήρων € (10,17€/τεμάχιο)
Γραφείο 1	17,2	5	86,1	4,31	5	50,85
Γραφείο 2	21,1	5	105,7	5,29	6	61,02
Γραφείο 3	17,4	5	87,15	4,36	5	50,85
Γραφείο 4	13,9	5	69,6	3,48	4	40,68
Αποθήκη 1	17,0	1	17,0	0,85	1	10,17
Αποθήκη 2	13,9	1	13,9	0,70	1	10,17
Αποθήκη 3	4,5	1	4,5	0,23	1	10,17
Αποθήκη 4	16,4	1	16,4	0,82	1	10,17
Αποθήκη 5	17,0	1	17,0	0,85	1	10,17
WC 1	4,1	1	4,1	0,21	1	10,17
WC 2	4,1	1	4,1	0,21	1	10,17
Ανεκμετάλλευτος 1	17,4	1	17,4	0,87	1	10,17
Ανεκμετάλλευτος 2	21,3	1	21,3	1,07	2	20,34
Κοινόχρηστος 1	21,3	1	21,3	1,07	2	20,34
Κοινόχρηστος 2	2,9	1	2,9	0,14	1	10,17
Κοινόχρηστος 3	15,0	1	15,0	0,75	1	10,17
Κοινόχρηστος 4	13,9	1	13,9	0,70	1	10,17
Συνολικό κόστος λαμπτήρων						355,95
Μεταφορικά-εργατικά						50,00
Κόστος σεναρίου αλλαγής λαμπτήρων						405,95

Πίνακας 19: Κοστολόγηση προσθήκης εωτερικής μόνωσης, σενάριο 2

Επίπεδο	Εσωτερική επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων (m ²)	Επιφάνεια ανοιγμάτων (m ²)	Επιφάνεια εσωτερικής μόνωσης (m ²)	Κόστος ανά μονάδα επιφάνειας (€/m ²)	Κόστος (€)
Ισόγειο	145,80	18,98	126,82	30,00	3.804,6
Όροφος	135,60	20,76	114,84	30,00	3.445,2
Κόστος σεναρίου προσθήκης εσωτερικής μόνωσης					7.249,8

Πίνακας 20: Κοστολόγηση ενεργειακών παραθύρων, σενάριο 3

Επιφάνεια παραθύρων (m ²)	Τύπος	Κόστος παραθύρου (€/ τεμάχιο)	Αριθμός παραθύρων	Κόστος (€)
1,35	Διπλό-Ανοιγόμενο	800	20	16.000
1,70	Μονό-Μη ανοιγόμενο	700	2	1.400
0,70	Μονό-Ανοιγόμενο	450	3	1.350
0,66	Μονό-Μη ανοιγόμενο	350	3	1.050
0,48	Μονό-Ανοιγόμενο	300	2	600
Κόστος σεναρίου αντικατάστασης κουφωμάτων				20.400

Πίνακας 21: Κοστολόγηση νέων ηλεκτρικών συσκευών, σενάριο 4

Προϊόν	Τιμή τεμαχίου	Αριθμός τεμαχίων	Κόστος (€)
Ανεμιστήρας οροφής 100 W	269	1	269
Υπολογιστής 100 W	500	4	2.000
Εκτυπωτής 50 W	50	2	100
Κόστος ηλεκτρικών συσκευών			2.369
Μεταφορικά-εργατικά			50
Κόστος σεναρίου αναβάθμισης ηλεκτρικών συσκευών			2.419

Πίνακας 22: Κοστολόγηση συνδυαστικού σεναρίου, σενάριο 5

Σενάρια		Κόστος (€)
Σ1	Αντικατάσταση λαμπτήρων	405,95
Σ2	Προσθήκη εσωτερικής μόνωσης	7.249,80
Σ3	Αντικατάσταση κουφωμάτων	20.400,00
Σ4	Αλλαγή ηλεκτρικών συσκευών	2.419,00
Κόστος συνδυαστικού σεναρίου 5		30.474,75

Πίνακας 23: Κοστολόγηση λαμπτήρων για χρήση μουσείου, σενάριο 6

Χώρος	Εσωτερική επιφάνεια (m ²)	Απαιτούμενα (W/m ²)	Απαιτούμενη ισχύς (W)	Αριθμός λαμπτήρων των 20W	Αριθμός λαμπτήρων σχεδιασμού	Κόστος λαμπτήρων € (10,17€/τεμάχιο)
WC 1	4,1	1	4,12	0,21	1	10,17
WC 2	4,1	1	4,12	0,21	1	10,17
Αποθήκη	4,5	1	4,53	0,23	1	10,17
Γραφείο	17,4	5	87,15	4,36	5	50,85
Κοινόχρηστος	21,3	1	21,34	1,07	2	20,34
Σκάλα ισόγειο	13,9	1	13,92	0,70	1	10,17
Σκάλα όροφος	13,9	1	13,90	0,70	1	10,17
Χώρος εκθέσεων 1	17,2	2	34,44	1,72	2	20,34
Χώρος εκθέσεων 2	21,1	2	42,28	2,11	3	30,51
Χώρος εκθέσεων 3	17,0	2	34,08	1,70	2	20,34
Χώρος εκθέσεων 4	17,4	2	34,86	1,74	2	20,34
Χώρος εκθέσεων 5	29,93	2	59,86	2,99	3	30,51
Χώρος εκθέσεων 6	16,4	2	32,80	1,64	2	20,34
Χώρος εκθέσεων 7	13,9	2	27,84	1,39	2	20,34
Χώρος εκθέσεων 8	17,0	2	34,08	1,70	2	20,34
Συνολικό κόστος λαμπτήρων						305,10
Μεταφορικά-εργατικά						50,00
Κόστος αλλαγής λαμπτήρων						355,10

Πίνακας 24: Κοστολόγηση απαιτούμενων ενεργειών για την μετατροπή του κτιρίου σε μουσείο, σενάριο 6

Απαιτούμενες ενέργειες	Κόστος (€)
Κόστος αλλαγής λαμπτήρων	355,10
Εξοπλισμός ηλεκτρικών συσκευών	5.000,00
Ανοίγματα εσωτερικών τοίχων	800,00
Ράμπα πρόσβασης ΑΜΕΑ	1.000,00
Τροποποίηση σκάλας	400,00
Κατάργηση ξύλινου τοίχου	200,00
Κόστος μετατροπής του κτιρίου σε μουσείο	7.755,10

Πίνακας 25: Κοστολόγηση συνδυαστικού σεναρίου, σενάριο 7

Σενάρια		Κόστος (€)
Σ2	Προσθήκη εσωτερικής μόνωσης	7.249,80
Σ3	Αντικατάσταση κουφωμάτων	20.400,00
Σ6	Λειτουργία ως μουσείο	7.755,10
Κόστος συνδυαστικού σεναρίου 7		35.404,90

Πίνακας 26: Κοστολόγηση αντλίας θερμότητας

Εργασίες-Υλικά	Κόστος (€)
Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών	6.340,45
Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού	484,29
Μεταφορικά-Εργατικά	150,00
Κόστος εγκατάστασης αντλίας θερμότητας	6.974,74

Πίνακας 27: Κοστολόγηση Φ/Β συστήματος

Περίπτώσεις	Κόστος Φ/Β κεραμιδιών (€)	Κόστος αντιστροφέα (€)	Μεταφορικά και εργατικά (€)	Κόστος εγκατάστασης Φ/Β συστήματος (€)
Περίπτωση 1	468,00	150	300,00	918,00
Περίπτωση 2	1.094,40	370	300,00	1.764,40
Περίπτωση 3	386,40	130	300,00	816,40
Περίπτωση 4	1.040,40	370	300,00	1.710,40

Πίνακας 28: Προϋπολογισμός έργου

Προτάσεις υλοποίησης	Κόστος σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας (€)	Κόστος εγκατάστασης αντλίας θερμότητας (€)	Κόστος εγκατάστασης Φ/Β συστήματος (€)	Συνολικό κόστος πρότασης (€)	Προϋπολογισμός έργου ⁴⁴ (€)	Έτη αποπληρωμής (γ)
Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίου σε σΜΕΚ	30.474,75	6.974,74	1.764,40	39.213,89	43.136	7,7
Μετατροπή κτιρίου σε μουσείο σΜΕΚ	35.404,90	6.974,74	1.710,40	44.090,04	48.500	8,7

⁴⁴ Προσαύξηση τιμών προϋπολογισμού κατά 10% για τα μη προβλεπόμενα επί του έργου. Στις συνολικές τιμές κοστολόγησης έχει συμπεριληφθεί ο Φ.Π.Α. (Φόρος Προστιθέμενης Αξίας).