

# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μοντελοποίηση και Ενεργειακή Αναβάθμιση του κτιρίου της Δημοτικής  
Πινακοθήκης Χανίων.

«Modelling and energy efficiency improvement of the building of the  
Municipal Art Gallery of Chania»

Της

**ΚΟΥΡΟΥΤΖΙΔΟΥ ΖΩΓΡΑΦΩ**



**Επιβλέπουσα:** Κολοκοτσά Διονυσία

Καθηγήτρια Πολυτεχνείου Κρήτης και Κοσμήτορας της Σχολής Χημηπερ.

Χανιά, Νοέμβριος 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Copyright © Κουρουτζίδου Ζωγράφω, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
**Σχολή Χημικών Μηχανικών και**  
**Μηχανικών Περιβάλλοντος**

Μοντελοποίηση και Ενεργειακή Αναβάθμιση του κτιρίου της Δημοτικής  
Πινακοθήκης Χανίων.

## **ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Της

**ΚΟΥΡΟΥΤΖΙΔΟΥ ΖΩΓΡΑΦΩ**

*ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:*

Δ. Κολοκοτσά

Θ. Τσούτσος

Μ. Λαζαρίδης

Χανιά, Νοέμβριος 2024

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα κτίρια σήμερα αναμένεται όλο και περισσότερο να ανταποκρίνονται σε υψηλότερες και πιο σύνθετες απαιτήσεις επιδόσεων: θα πρέπει να είναι βιώσιμα, να χρησιμοποιούν μηδενική καθαρή ενέργεια, να προάγουν ένα υγιές και άνετο περιβάλλον για τους ενοίκους, να είναι φιλικά προς το δίκτυο, αλλά και οικονομικά στην κατασκευή και συντήρησή τους. Αντικείμενο της παρούσας Προπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μοντελοποίηση και ενεργειακή αναβάθμιση του κτιρίου της Δημοτικής Πινακοθήκης των Χανίων. Κύριος στόχος είναι η διατήρηση των εκάστοτε ιδανικών εσωτερικών συνθηκών περιβάλλοντος που προβλέπονται για χώρους συλλογής και έκθεσης έργων, όπως μουσεία και γκαλερί για τη συντήρηση των εκθεμάτων και την θερμική άνεση των χρηστών. Η πινακοθήκη χαρακτηρίζεται ως μια Νεοκλασική γκαλερί, η οποία στεγάζεται σε τριώροφο κτίριο του 20ου αιώνα. Η μοντελοποίηση του κτιρίου προσομοιώθηκε με το λογισμικό πακέτο Energy Plus και σύμφωνα με τα προβλεπόμενα δεδομένα των TOTEE.

Με βάσει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του υφιστάμενου κτιρίου αξιολογούνται προτεινόμενα μέτρα ενεργειακής αναβάθμισης που αφορούν τόσο το κέλυφος όσο και τα ενεργειακά συστήματα (εκσυγχρονισμός του συστήματος φωτισμού με χρήση λαμπτήρων LED, η αντικατάσταση των κουφωμάτων με νέα πιστοποιημένα και υψηλής ενεργειακής απόδοσης κουφώματα και τζάμια κ.α.). Επίσης, λαμβάνουν χώρα αλλαγές, όπως η θερμομόνωση στο εσωτερικό των εξωτερικών τοίχων και στο δάπεδο του υπογείου που έρχονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Γίνεται αναβάθμιση των υφιστάμενων συστημάτων ψύξης και θέρμανσης καθώς και η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος με τη τεχνική φωτοβολταϊκών κεραμιδιών, ώστε να μην αλλοιώνεται η φύση του κτιρίου. Οι καλύτερες λύσεις, που επιλέχθηκαν σύμφωνα με την ευρωπαϊκή μεθοδολογία βέλτιστου κόστους, συνδυάστηκαν σε μια τελευταία προσομοίωση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η τελική κατανάλωση υπολογίζεται στις 37kWh/m<sup>2</sup>/έτος και είναι δυνατή η μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας (77%), η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανέρχεται σε ποσοστό 77% καθώς και οικονομικές (ΑΠΑ= 7 χρόνια και ΕΒΑ=1%) και περιβαλλοντικές βελτιώσεις, αν και τα κτίρια πολιτιστικής κληρονομιάς παρουσιάζουν λιγότερη ευελιξία στην πρόταση μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Παράλληλα παρατηρούνται και αναλύονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και των δεικτών της θερμικής άνεσης με στόχο την ευημερία τόσο των έργων όσο και των ανθρώπων στην Πινακοθήκη, οι τιμές των οποίων κρίνονται ότι βρίσκονται εντός των «ασφαλών» ορίων που τίθενται από την βιβλιογραφία με κάποιες μικρές αποκλίσεις (14°C -33°C, 33%-61% και PMV: -1-1, PPD: 7%-30% αντίστοιχα).

Τέλος, τα ευρήματα συμβάλλουν στην ευρύτερη συζήτηση σχετικά με τις βιώσιμες πρακτικές στους εκθεσιακούς χώρους, χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα των συλλογών τους, την άνεση των χρηστών τους και την ιστορικής τους αρχιτεκτονική. Αξιοποιώντας αυτές τις γνώσεις, ο τομέας μπορεί να συνεχίσει να εξελίσσεται, διασφαλίζοντας ότι τα πολιτιστικά ιδρύματα με σωστή διαχείριση μπορούν να μειώσουν το ενεργειακό και περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα και ταυτόχρονα να διατηρούν ένα υγιές και ευχάριστο περιβάλλον για τους χρήστες και τα εκθέματα.

## ABSTRACT

Buildings today are increasingly expected to meet higher and more complex performance requirements: they need to be sustainable, use zero net energy, promote a healthy and comfortable environment for occupants, be grid-friendly, and be economical to build and maintain. The subject of this Undergraduate Diploma Thesis is the modeling and energy upgrade of the building of the Municipal Gallery of Chania. The main objective is to maintain the ideal indoor environmental conditions foreseen for collection and exhibition spaces, such as museums and galleries, in order to preserve the exhibits and the thermal comfort of the users. The gallery is classified as a Neoclassical one, housed in a three-story 20th-century building. The modeling of the building was simulated with the Energy Plus software package and in accordance with the prescribed data of the TOTEE.

Based on the results of the simulation of the existing building, suggested energy upgrade measures regarding both the shell and the energy systems (updating the lighting system with the use of LED lamps, replacing the frames with new certified and high energy efficiency ones and glazing, etc.) are evaluated. Changes, such as thermal insulation inside the external walls, on the roof and on the floor in contact with the outside environment, are also taking place. Upgrades are made to the existing cooling and heating systems and the installation of a photovoltaic system using the photovoltaic roof tile technique, so as not to alter the character of the building. The best solutions, chosen according to the European methodology of cost-optimality, have been combined in a last simulation. The results show that the final consumption is estimated at 37 kWh/m<sup>2</sup>/year and that it is possible to achieve high energy savings (77%), a reduction in CO<sub>2</sub> emissions of 77%, as well as economic (Payback Period=7 years and IRR = 10%) and environmental improvements, although heritage buildings show less flexibility in proposing energy efficiency measures. At the same time, the changes in temperature, relative humidity and thermal comfort indicators are observed and analyzed with the aim of improving the well-being of both the works and the people in the Gallery, the values of which are within the "safe" limits set by the bibliography with some small deviations (14°C-33°C, 33%-61% and PMV:-1-1, PPD:7%-30% respectively).

Lastly, the findings contribute to the wider debate on sustainable practices in exhibition spaces, without compromising the integrity of their collections, the comfort of their users, and their historic architecture. By building on this knowledge, the sector can continue to evolve, ensuring that responsibly managed cultural institutions can reduce their energy and environmental footprint while maintaining a healthy and enjoyable environment for users and exhibits.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους όσους με βοήθησαν και συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια του τμήματος Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος κ. Διονυσία Κολοκοτσά για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ και να διεκπεραιώσω μία εργασία με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Ευχαριστώ την Ελισάβετ Τσέκερη για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια της καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου, για την ψυχολογική τους στήριξη, τις επικοινωνιακές συζητήσεις και συμβουλές τους και την ακατάπαυστη εμπιστοσύνη που έδειξαν προς εμένα. Τέλος, ευχαριστώ τους ανθρώπους της διοίκησης της Δημοτικής Πινακοθήκης Χανίων για την άριστη συνεργασία και την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών για την διεξαγωγή της μελέτης.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ABSTRACT .....	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ / ΕΙΚΟΝΩΝ .....	10
1. Εισαγωγή.....	14
2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση .....	16
2.1. Η ελληνική νεοκλασική αρχιτεκτονική.....	16
2.2. Παρεμβάσεις σε διατηρητέα κτίρια .....	16
2.3. Εφαρμογές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού σε Μουσεία-Γκαλερί.....	18
2.4. Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής, Μηδενικής και Θετικής κατανάλωσης ενέργειας .....	21
2.5. Περιβαλλοντικές Συνθήκες σε Μουσεία και Γκαλερί .....	21
2.5.1. Ατμοσφαιρική Ρύπανση .....	22
2.5.2. Υγρασία .....	22
2.5.3. Θερμοκρασία .....	23
2.5.4. Φωτισμός.....	23
2.6. Θερμική Άνεση .....	25
3. Μεθοδολογία.....	27
4. Παρουσίαση του Προφίλ του Υπό Μελέτη Κτιρίου-Case Study .....	28
4.1. Δεδομένα του υπό εξέταση κτιρίου .....	28
4.2. Τοποθεσία και Κλίμα.....	29
4.3. Περιγραφή Χώρων κτιρίου .....	31
4.4. Ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου .....	32
4.5. Συστήματα Θέρμανσης/Ψύξης.....	32
4.6. Συστήματα Φωτισμού .....	34
4.7. Κατάσταση του κελύφους, των κουφωμάτων και των υαλοπινάκων του κτιρίου...	34
5. Ενεργειακή Προσομοίωση του κτιρίου.....	35
5.1. 3D Σχεδιασμός του κτιρίου .....	35
5.1.1. Θερμική Ζώνη.....	40
5.2. Τοποθεσία και κλίμα στο OpenStudio .....	41
5.3. Χρονοδιαγράμματα(Schedules) .....	42
5.4. Υλικά (Materials).....	44

5.5.	Κατασκευές (Constructions).....	44
5.6.	Εσωτερικά Φορτία (Internal Loads).....	44
5.6.1.	Εσωτερικά Φορτία από ανθρώπους (People Definitions).....	45
5.6.2.	Φορτία Φωτισμού (Lights Loads) .....	45
5.6.3.	Ηλεκτρικές Συσκευές.....	46
6.	Αποτελέσματα.....	47
6.1.	Κτίριο Αναφοράς.....	47
6.2.	Ενεργειακές Παρεμβάσεις.....	49
7.	Συζήτηση .....	50
7.1.	Υφιστάμενη κατάσταση κτιρίου .....	50
7.2.	Ανάλυση Ενεργειακών Παρεμβάσεων .....	52
7.2.1.	Ενεργειακή Παρέμβαση Αντικατάστασης Λαμπτήρων.....	52
7.2.2.	Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Κουφωμάτων και Εφαρμογής Ενεργειακών Τζαμιών	54
7.2.3.	Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Θερμομόνωσης Δαπέδου και Τοιχοποιίας	56
7.2.4.	Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Συστημάτων HVAC και αλλαγή Η/Μ εξοπλισμού .....	58
7.2.5.	Ενεργειακή Παρέμβαση Εφαρμογής ΑΠΕ .....	61
7.2.6.	Ενεργειακή Παρέμβαση με Συνδυασμό Αλλαγής των Λαμπτήρων και των Κουφωμάτων και Υαλοπινάκων .....	64
7.2.7.	Ενεργειακή Παρέμβαση με Συνδυασμό Αλλαγής των Λαμπτήρων, των Κουφωμάτων και Υαλοπινάκων και της μόνωσης του κελύφους .....	65
7.2.8.	Ενεργειακή Παρέμβαση με Συνδυασμό Αλλαγής των Λαμπτήρων, των Κουφωμάτων και Υαλοπινάκων και αντικατάστασης του συστήματος HVAC και των ηλεκτρικών συσκευών.....	66
7.2.9.	Συνδυασμός όλων των ενεργειακών επεμβάσεων .....	67
7.2.10.	Εκπομπές CO <sub>2</sub> .....	69
8.	Θερμική Άνεση.....	73
9.	Οικονομική Ανάλυση Τελικού Σεναρίου.....	76
10.	Συμπεράσματα .....	80
11.	Βιβλιογραφία .....	84
12.	Παραστήματα .....	87
	<b>Παράρτημα Α</b> .....	87
	<b>Παράρτημα Β</b> .....	91
	<b>Παράρτημα Γ</b> .....	94
	<b>Παράρτημα Δ</b> .....	95



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Μηνιαίες τιμές Σχετικής Υγρασίας Χανίων το διάστημα 1958-2010.....	31
Πίνακας 4.2 Συντελεστές SEER και SCOP για τις ενεργειακές κλάσεις.....	33
Πίνακας 5.1 Εργαλεία SketchUp και OpenStudio που χρησιμοποιήθηκαν. ....	35
Πίνακας 5.2 Χώροι Ισογείου του Κτιρίου. ....	38
Πίνακας 5.3 Χώροι 1 <sup>ου</sup> Ορόφου του Κτιρίου.....	38
Πίνακας 5.4 Χώροι 2 <sup>ου</sup> Ορόφου του Κτιρίου.....	39
Πίνακας 5.5 Χώρου Υπογείου του Κτιρίου. ....	39
Πίνακας 5.6 Οι Θερμικές ζώνες που ορίστηκαν για τη μελέτη. ....	40
Πίνακας 5.7 Ωράριο Λειτουργίας Πινακοθήκης .....	42
Πίνακας 5.8 Συνολικές Ενεργειακές Καταναλώσεις των Ηλεκτρικών Συσκευών της Πινακοθήκης.....	46
Πίνακας 5.9 Ανάλυση των Φορτίων των Ηλεκτρικών Συσκευών του κτιρίου. ....	46
Πίνακας 6.1 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση στο υφιστάμενο κτίριο. .	47
Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας. ....	49
Πίνακας 7.1 Ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας κάθε χώρου. ....	53
Πίνακας 7.2 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αντικατάσταση λαμπτήρων.....	53
Πίνακας 7.3 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση αλλαγής κουφωμάτων και εφαρμογής ενεργειακών τζαμιών .....	55
Πίνακας 7.4 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση της θερμομόνωσης του κτιρίου. ....	57
Πίνακας 7.5 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντλίας Θερμότητας και των επιμέρους συσκευών του συστήματος .....	59
Πίνακας 7.6: Κατανάλωση των αναβαθμισμένων συσκευών και το κόστος αντικατάστασης τους .....	60
Πίνακας 7.7 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση συστήματος HVAC και αντικατάστασης του H/M εξοπλισμού.....	60
Πίνακας 7.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ που επιλέχθηκαν. ....	63
Πίνακας 7.9 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> και ποσοστό εξοικονόμησης για την εφαρμογή φωτοβολταϊκών κεραμιδιών. ....	63
Πίνακας 7.10 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αντικατάσταση λαμπτήρων και κουφωμάτων και υαλοπινάκων. ....	64
Πίνακας 7.11 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και αντικατάσταση του συστήματος HVAC και την ηλεκτρικών συσκευών . ....	65
Πίνακας 7.12 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και αντικατάσταση του συστήματος HVAC και την ηλεκτρικών συσκευών . ....	66
Πίνακας 7.13 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m <sup>2</sup> ανά χρήση για το τελικό σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης. ....	67
Πίνακας 7.14 Ποσοστά Εξοικονόμησης Ενέργειας και Μείωσης Εκπομπών CO <sub>2</sub> για κάθε σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης.....	70
Πίνακας 8.1 Δεδομένα Εισαγωγής για το εργαλείο CBE Thermal Comfort. ....	75
Πίνακας 9.1 Κοστολόγηση Αντλίας Θερμότητας .....	78
Πίνακας 9.2 Κοστολόγηση Αντικατάστασης των Ηλεκτρικών συσκευών.....	78

Πίνακας 9.3 Κοστολόγηση Εγκατάστασης Φ/Β συστήματος .....	78
Πίνακας 9.4 Ανάλυση της τελικής τιμής κατανάλωσης του φυσικού αερίου. ....	79
Πίνακας 12.1 Αναλυτική Περιγραφή των παραθύρων του κτιρίου. ....	91
Πίνακας 12.2: Αναλυτική Περιγραφή των πορτών του κτιρίου.....	91
Πίνακας 12.3 Υλικό (Materials) που χρησιμοποιήθηκαν και τα χαρακτηριστικά τους.....	91
Πίνακας 12.4 Σετ κατασκευής των δομικών στοιχείων του κτιρίου μελέτης στο OpenStudio. ....	93
Πίνακας 12.5 Κοστολόγηση ενεργειακής παρέμβασης προσθήκης θερμομόνωσης εσωτερικά στην εξωτερική τοιχοποιία.....	95
Πίνακας 12.6 Οικονομική ανάλυση όλων των ενεργειακών παρεμβάσεων που μελετήθηκαν. ....	96

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ / ΕΙΚΟΝΩΝ

Γράφημα 3-1 Βήματα μεθοδολογίας .....	27
Γράφημα 4-1 Μέσος όρος τυπικών τιμών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων ανά μήνα για την περιοχή των Χανίων για περίοδο 30 χρόνων .....	30
Γράφημα 5-1 Ενεργειακή κατανάλωση φωτισμού ανά όροφο.....	45
Γράφημα 6-1 Σύγκριση Ενεργειακής Κατανάλωσης για ψύξη και θέρμανση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y). ....	48
Γράφημα 6-2 Κατανομή Ενεργειακής Κατανάλωσης στο υπό-μελέτη κτίριο. ....	48
Γράφημα 6-3 Μηνιαία κατανομή των ενεργειακών φορτίων για θέρμανση και ψύξη, συγκριτικά με την εξωτερική θερμοκρασία με βάση τα αποτελέσματα του OpenStudio. ....	48
Γράφημα 7-1 Οι τιμές των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την υφιστάμενη δομή. ....	51
Γράφημα 7-2 Επίπεδα Σχετικής Υγρασίας για ένα χρόνο στο υφιστάμενο κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11. ....	51
Γράφημα 7-3 Επίπεδα Θερμοκρασίας για ένα χρόνο στο υφιστάμενο κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11. ....	52
Γράφημα 7-4 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την Ενεργειακή Παρέμβαση Αντικατάστασης των λαμπτήρων. ....	54
Γράφημα 7-5 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή παρέμβαση Αντικατάστασης των κουφωμάτων και υαλοπινάκων.....	56
Γράφημα 7-6 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή παρέμβαση αλλαγής της θερμομόνωσης του κτιρίου. ....	58
Γράφημα 7-7 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή παρέμβαση αλλαγής HVAC και Ηλεκτρικών Συσκευών του κτιρίου. ....	61
Γράφημα 7-8 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό αντικατάστασης λαμπτήρων και κουφωμάτων και υαλοπινάκων.....	65
Γράφημα 7-9 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό παρεμβάσεων με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και τοποθέτηση μόνωσης. ....	66
Γράφημα 7-10 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό παρεμβάσεων με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και τοποθέτηση μόνωσης. ....	67
Γράφημα 7-11 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό όλων των αποδεκτών παρεμβάσεων στο κτίριο.....	68
Γράφημα 7-12 Ποσοστά Ενεργειακής Εξοικονόμησης σε κάθε ενεργειακή παρέμβαση.....	69
Γράφημα 7-13 Ποσοστά Μείωσης Εκπομπών CO <sub>2</sub> σε κάθε ενεργειακή παρέμβαση.....	71
Γράφημα 7-14 Επίπεδα Σχετικής Υγρασίας για ένα χρόνο στο τελικό κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11. ....	72

Γράφημα 7-15 Επίπεδα Θερμοκρασίας για ένα χρόνο στο τελικό κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11.....	72
Γράφημα 8-1 Διαβάθμιση της τιμής το δείκτη PMV για καλοκαίρι κα χειμώνα σε διαφορετικές θερμικές ζώνες.....	73
Γράφημα 8-2 Διαβάθμιση της τιμής το δείκτη PPD για καλοκαίρι κα χειμώνα σε διαφορετικές θερμικές ζώνες.....	73
Εικόνα 2.1 Απεικόνιση του κτιρίου Ca 'S. Orsola μετά την ανακαίνιση.....	17
Εικόνα 2.2 (A&B) Απεικόνιση πρόσοψης του κτιρίου της Ευώνυμου Βιβλιοθήκης πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ανακαίνιση.....	17
Εικόνα 2.3 (A&B) Απεικόνιση πρόσοψης (αριστερά) και της πίσω όψης του κτιρίου στις Βρυξέλλες (δεξιά) μετά την ανακαίνιση.....	18
Εικόνα 2.4 Ενεργειακή Κατανάλωση σε μουσεία (μεγάλοι, ανοιχτοί χώροι γκαλερί) με βάση την τελική χρήση.....	19
Εικόνα 2.5(A & B) Απεικόνιση της Ακαδημίας Επιστημών της Καλιφόρνια (A) και της πράσινης οροφής της (B).....	20
Εικόνα 2.6 Απεικόνιση του Exploratorium στο Σαν Φρανσίσκο.....	20
Εικόνα 2.7(A & B) Απεικόνιση του Museu do Amanha στο Ρίο ντε Τζανέιρο, Βραζιλία.....	20
Εικόνα 2.8 Φεγγίτης με κινητές διατάξεις σκίασης (Emil-Schumacher-Museum in Hagen) ...	24
Εικόνα 2.9 Απεικόνιση διάφορων ειδών φωτιστικών σωμάτων σε μία γκαλερί.....	24
Εικόνα 2.10 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση.....	25
Εικόνα 2.11 Η κεντρική σελίδα του χώρου εργασίας της εφαρμογής του CBE Thermal Comfort Tool.....	26
Εικόνα 4.1(A&B) Πρόσοψη το κτιρίου αναφοράς. ....	29
Εικόνα 4.2 Δορυφορική Απεικόνιση του κτιρίου της Δημοτικής Πινακοθήκης των Χανίων. ...	29
Εικόνα 4.3 Απεικόνιση των Κλιματικών Ζωνών στον Ελλαδικό χώρο. ....	30
Εικόνα 4.4 Τομή του κτιρίου της Πινακοθήκης.....	31
Εικόνα 4.5(A& B) Πρόσοψη του Κτιρίου της Πινακοθήκης και Δυτική όψη του Κτιρίου της Πινακοθήκης.....	32
Εικόνα 4.6 (A & B) Απεικόνιση του Εσωτερικού της Πινακοθήκης.....	32
Εικόνα 4.7 Χαρακτηριστικά στοιχεία της μονάδας διαχείρισης του αέρα.....	33
Εικόνα 5.1 (A&B) Απεικόνιση Πρόσοψης (Εικόνα A) και Δυτικής όψης (Εικόνα B) του κτιρίου στο SketchUp.....	37
Εικόνα 5.2 (A&B) Απεικόνιση άλλης όψη του κτιρίου (Εικόνα A) και της Κάτοψης του στο SketchUp.....	37
Εικόνα 5.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων Ισογείου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).....	38
Εικόνα 5.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων 1ου Ορόφου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).....	39
Εικόνα 5.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων 2ου Ορόφου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).....	39
Εικόνα 5.6 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων Υπογείου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).....	40
Εικόνα 5.7 (A & B) Απεικόνιση των θερμικών ζωνών από διαφορετικές όψεις. ....	41
Εικόνα 5.8 Γραφική Απεικόνιση της παρουσίας ανθρώπων στον χώρο της Γκαλερί.....	43
Εικόνα 5.9 Γραφική Απεικόνιση της δραστηριότητας των ανθρώπων στον χώρο της Γκαλερί.....	43

Εικόνα 5.10 Γραφική Απεικόνιση της λειτουργίας των λαμπτήρων φωτισμού στον χώρο της Γκαλερί.....	44
Εικόνα 7.1(A&B): Τομές των καινούριων παραθύρων. ....	55
Εικόνα 7.2(A&B): Όψη και τομή των καινούριων εξωστόθιων. ....	55
Εικόνα 7.3 Τοποθέτηση Εσωτερικής θερμομόνωσης με ορυκτοβάμβακα και γυψοσανίδα...	57
Εικόνα 7.4 Σύστημα κλιματισμού HVAC της υφιστάμενης δομής. ....	58
Εικόνα 7.5 Κεντρική Αντλία θερμότητας και τερματική μονάδα fancoil τοίχου .....	59
Εικόνα 7.6(A & B) Εφαρμογή Φωτοβολταϊκών κεραμιδιών .....	62
Εικόνα 7.7 Ηλιακά Κεραμίδια Bluesun 30W .....	62
Εικόνα 7.8 Απεικόνιση της στέγης της Πινακοθήκης μετά την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών κεραμιδιών στο SketchUp. ....	64
Εικόνα 12.1 Κάτοψη Υπογείου Πινακοθήκης. ....	87
Εικόνα 12.2 Κάτοψη Ισογείου Πινακοθήκης.....	88
Εικόνα 12.3 Κάτοψη 1 <sup>ου</sup> Ορόφου Πινακοθήκης .....	88
Εικόνα 12.4 Κάτοψη 2 <sup>ου</sup> Ορόφου Πινακοθήκης. ....	89
Εικόνα 12.5 Κάτοψη στέγης της Πινακοθήκης. ....	89
Εικόνα 12.6 Ανατολική Όψη της Πινακοθήκης. ....	90
Εικόνα 12.7 Δυτική Όψη της Πινακοθήκης. ....	90
Εικόνα 12.8 Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας.....	94
Εικόνα 12.9 Ανώτατα όρια τιμών για την αντικατάσταση κουφωμάτων , υαλοπινάκων και συστημάτων σκίασης και αερισμού σύμφωνα με το πρόγραμμα «Εξοικονομώ» (2023). ....	94
Εικόνα 12.10 Ανώτατα όρια τιμών για την αντικατάσταση τοποθέτηση θερμομόνωσης στην στέγη, το δάπεδο και την τοιχοποιία ενός κτιρίου σύμφωνα με το πρόγραμμα «Εξοικονομώ» (2023). ....	95

## Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

ΑΚΕ	Αρχικό Κόστος Επένδυσης
ΑΠΑ	Απλή Περίοδος Αποπληρωμής
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΒΑ	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR)
ΕΠΑ	Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής
ΚΕΝΑΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΚΤΡ	Καθαρές Ταμειακές Ροές
ΚΠΑ	Καθαρή Παρούσα Αξία
ΤΕΕ	Τεχνικό Επαγγελματικό Επιμελητήριο
ΤΟΤΕΕ	Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά
BEMS	Building Energy Management Systems
CBE	Center for the Built Environment
COP	Coefficient of Performance
EER	Energy Efficiency Rate
LED	Light Emitting Diode
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
nZEB/NZEB	Nearly Zero-Energy Buildings
PEB	Positive Energy Buildings
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
RH	Relative Humidity

## 1. Εισαγωγή

Το ενεργειακό πρόβλημα είναι ένα πολύπλευρο ζήτημα που έχει εκτεταμένες συνέπειες για το μέλλον του πλανήτη μας με την συνολική ζήτηση σε ενέργεια του πλανήτη, να αναμένεται να αυξηθεί κατά 48%. Ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για περίπου το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και για το 36% των εκπομπών των αέριων του θερμοκηπίου, πρωτίστως CO<sub>2</sub>, ενώ σταδιακά τα λεγόμενα “μοντέρνα κτίρια” γίνονται ολοένα και πιο ενεργοβόρα (Sue Roaf et al., 2017).

Κύριο μέλημα των μουσείων και των γκαλερί είναι η διατήρηση των έργων τέχνης τους μέσω του ελέγχου της ποιότητας του μικροκλίματος τους που καθορίζεται από παράγοντες όπως, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η υπεριώδης ακτινοβολία κτλ. Ωστόσο, πολλοί εκθεσιακοί χώροι εφαρμόζουν αυστηρούς κλιματικούς κανονισμούς που περιορίζουν τις μεγάλες διακυμάνσεις των εσωτερικών συνθηκών με αποτέλεσμα να κλιμακώνεται η κατανάλωση ενέργειας, να απαιτούνται ισχυρά συστήματα κλιματισμού και να επιβαρύνονται επιπλέον οι ιστορικές δομές. Έτσι, η μείωση στην κατανάλωση σε τέτοιου είδους κτίρια αναμένεται να είναι χαμηλότερη από άλλα. Η υποβαθμισμένη ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος σε αυτές τις εγκαταστάσεις συνεπάγεται σε μείωση της άνεσης των χρηστών τους (θερμική, οπτική, ακουστική άνεση και ποιότητα του αέρα) και θέτει σε κίνδυνο την ακεραιότητα των εκθεμάτων μέσω πιθανής χημικής ή βιολογικής φθοράς (Sharif-Askari&Abu-Hijleh, 2018).

Με τον όρο «πράσινη βιωσιμότητα», τον οποίο υιοθετούν τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα μουσεία τέχνης, τα ίδια δεσμεύονται να ενεργούν με βάση την οικολογική τους συνείδηση, εξοικονομώντας ενέργεια και άλλους πόρους στις καθημερινές τους διαδικασίες λειτουργίας και διαχείρισης (M. De Jong, 2010). Είναι επιτακτική ανάγκη για τα μουσεία να θέσουν σε προτεραιότητα τους περιβαλλοντικούς και ενεργειακούς τους στόχους, όπως περιγράφεται από τους Papadopoulos et al. Η χρήση βιώσιμων και καινοτόμων τεχνολογιών μπορεί να ενισχύσει την ενεργειακή απόδοση και να παρέχει βέλτιστες συνθήκες άνεσης και ταυτόχρονα να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub>. Επιπλέον, τα μουσεία που βρίσκονται σε αστικές περιοχές θα πρέπει να στοχεύουν στην ελάττωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντός των κτιρίων, βελτιώνοντας το εσωτερικό περιβάλλον. Με την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την αξιοποίηση του τοπικού μικροκλίματος, τα μουσεία μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τη χρήση ενέργειας και να βελτιώσουν την άνεση των επισκεπτών (Papadopoulos et al., 2003).

Η βελτίωση του κελύφους ενός μουσείου επιτυγχάνεται με την αναβάθμιση της μόνωσης του, των κουφωμάτων και υαλοπινάκων του, τη μεγιστοποίηση της φυσικής ροής του αέρα και την ενσωμάτωση στρατηγικών για το φως της ημέρας μέσω κατάλληλων επιλογών σχεδιασμού (όπως φεγγίτες) καθώς και την υιοθέτηση καινοτόμων δομικών υλικών και στοιχείων. Ο συνδυασμός της καλής θερμομόνωσης και των τεχνολογιών φυσικού αερισμού, μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων κλιματισμού, ενώ η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού με τα αντίστοιχα συστήματα προκαλεί μείωση της κατανάλωσης για τεχνητό φωτισμό. Ωστόσο, στην περίπτωση των μουσείων, η εισχώρηση μεγάλου ποσού φυσικού φωτός αποτελεί πρόκληση καθώς, λόγω της υπεριώδης ακτινοβολίας συντελείται υποβάθμιση των έργων τέχνης (Sharif-Askari&Abu-Hijleh, 2018) (Luo et al., 2020). Επίσης, η αντικατάσταση του απαρχαιωμένου εξοπλισμού σε ένα μουσείο ή μια γκαλερί, όπως μονάδες

HVAC, ηλεκτρικός εξοπλισμός γραφείου κ.α. έχουν την δυνατότητα να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση. Τα αποδοτικά συστήματα HVAC συμπεριλαμβάνουν την χρήση προγραμματισμένων θερμοστατών και εξαεριστήρων με ανάκτηση θερμότητας και έχουν ως στόχο τον βέλτιστο έλεγχο της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του χώρου, καταναλώνοντας την ίδια στιγμή λιγότερη ενέργεια. Ο φωτισμός με λαμπτήρες LED (Light Emitting Diode) καταναλώνει λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια και παράγει λιγότερη θερμότητα σε σύγκριση με τον παραδοσιακό φωτισμό πυρακτώσεως ή αλογόνου. Παράγεται αμελητέα υπερϊώδη και υπέρυθη ακτινοβολία με την χρήση τους, παρέχοντας το μέγιστο οπτικό αποτέλεσμα μειώνοντας σημαντικά το κίνδυνο αποχρωματισμού ή βλάβης σε ευαίσθητα υλικά. Συσκευές φωτισμού όπως οι προβολείς LED είναι ιδανικοί για την θερμική διαχείριση ενός χώρου και υπάρχει η δυνατότητα να διαθέτει λειτουργία ενεργητικής ψύξης εξελιγμένης τεχνολογίας ανεμιστήρων ή παθητικής ψύξης με μεθόδους απαγωγής θερμότητας (Piana&Merli, 2020).

Ορισμένα μουσεία επενδύουν στην ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ΑΠΕ, όπως φωτοβολταϊκά, ηλιακούς συλλέκτες και γεωθερμικά συστήματα. Με αυτό τον τρόπο αποσκοπούν στην μειωμένη εξάρτηση του κτιρίου από το δίκτυο καθώς και στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών διαχείρισης κτιρίων (BEMS) είναι ιδανική για εκθεσιακούς χώρους καθώς επιτυγχάνονται αυτοματοποιημένοι έλεγχοι για την βελτίωση όλων των επιμέρους λειτουργιών τους, μεγιστοποιώντας έτσι την ενεργειακή απόδοση. Καθοριστική μπορεί να θεωρηθεί και η εκπαίδευση του προσωπικού των μουσείων τέχνης, όπου με την υιοθέτηση πρακτικών εξοικονόμησης ενέργειας, όπως την απενεργοποίηση του φωτισμού και του εξοπλισμού στους χώρους, όταν αυτοί δεν χρησιμοποιούνται, συμβάλουν στην μείωση της κατανάλωσης.

Οι μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας σημειώνουν σημαντική πρόοδο παγκοσμίως, ιδίως τα τελευταία χρόνια σε όλους τους τομείς, όπως ο σχεδιασμός των κτιρίων, η χρήση κατάλληλων υλικών (με χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια, ανακυκλωμένα και τοπικής προέλευσης υλικά) και μηχανημάτων χαμηλής κατανάλωσης και η εισαγωγή συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να εφαρμοστούν όχι μόνο σε νέα κτίρια, αλλά και σε υφιστάμενα κτίρια που χρειάζονται ενεργειακή αναβάθμιση. Οι παρεμβάσεις στα υφιστάμενα κτίρια είναι μια από τις σημαντικότερες λύσεις για να επιτευχθεί μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας του ελληνικού κτιριακού συνόλου, το 75% του οποίου σύμφωνα με την Γενική Διεύθυνση Ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελείται από δομές χαμηλής ενεργειακής απόδοσης (Κατηγορίας H) και το 35% αυτών συνιστούν κτίρια ηλικίας άνω των 50 ετών.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ορθών πρακτικών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μουσείων και γκαλερί τέχνης, σύμφωνα με τα περιβαλλοντικά και οικονομικά πρότυπα προς την κατεύθυνση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και των παθητικών κτιρίων. Ερευνώνται όλες οι περιβαλλοντικές παράμετροι ενός μικροκλίματος που καθορίζουν την βιωσιμότητα των εκθεμάτων και την άνεση των ανθρώπων, μέσα από την μοντελοποίηση ενός πραγματικού κτιρίου που στεγάζει μία πινακοθήκη. Δίνεται έμφαση στη χρήση εξελιγμένων τεχνικών που συμβάλλουν στην ενεργειακή αναβάθμιση, έχοντας ως σημαντικό περιορισμό την συνθήκη ότι αποτελεί νεοκλασικό κτίσμα. Κύρια επιδίωξη είναι η καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων κάθε μέτρου παρέμβασης στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση και το αντίκτυπο ενός εκθεσιακού χώρου στο περιβάλλον. Η στοχευμένη ανάλυση επιτρέπει τον εντοπισμό των κρίσιμων σημείων και την επιλογή των βέλτιστων

στρατηγικών για την ανάδειξη και διάδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού και των nZEB σε μουσεία και γκαλερί.

## 2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

### 2.1. Η ελληνική νεοκλασική αρχιτεκτονική

Τα νεοκλασικά ή διατηρητέα κτίρια είναι αρχιτεκτονικοί θησαυροί σημαντικής ιστορικής και πολιτιστικής σημασίας, που προστατεύονται από τοπικούς και διεθνείς νόμους. Αναδεικνύουν τη μοναδική κληρονομιά και την πολιτιστική σημασία μιας συγκεκριμένης εποχής ή ενός ιστορικού γεγονότος. Το νεοκλασικό στυλ, που χαρακτηρίζεται από απλότητα και αρμονία, ξεκίνησε από την Αθήνα και εξαπλώθηκε σε όλη την Ελλάδα μεταξύ 1830 και 1920. Το κύμα νεοκλασικισμού οφείλεται στην εισαγωγή των πρώτων συμπαγών οπτόπλινθων και της χρήσης του τσιμέντου στον τρόπο δόμησης. Παρά τα περιβαλλοντικά τους οφέλη, μόνο ένα μικρό ποσοστό (12%) των νεοκλασικών κτιρίων στην Ελλάδα είναι σήμερα καταγεγραμμένα ως διατηρητέα. Ενώ τα παραδοσιακά κτίρια δίνουν προτεραιότητα στην ενεργειακή αποδοτικότητα, τα νεοκλασικά κτίρια επικεντρώνονται στον εντυπωσιασμό και την αισθητική, παραμελώντας μερικές φορές τις κλιματικές εκτιμήσεις (Pisello et al., 2014). Είναι σημαντικό να προστατευθούν αυτά τα κτίρια, σύμφωνα με το ελληνικό δίκαιο, τις διεθνείς συνθήκες και το Ευρωπαϊκό Δίκαιο (Papadopoulos & Vayas, 2018).

### 2.2. Παρεμβάσεις σε διατηρητέα κτίρια

Η Ελληνική νομοθεσία, με βάση τον Νόμο 3028/2002, προστατεύει την πολιτιστική κληρονομιά της χώρας, διατηρώντας ιστορικά μνημεία και γεγονότα και βελτιώνοντας παράλληλα το πολιτιστικό περιβάλλον<sup>1</sup>. Η κατεδάφιση ή η αλλοίωση κτιρίων πολιτιστικής σημασίας δεν είναι αποδεκτή, αλλά επιτρέπονται δομικές βελτιώσεις στα κτίρια, επισκευές και εσωτερικές μετατροπές, υπό την προϋπόθεση ότι διατηρούν την εμφάνιση και τον χαρακτήρα τους. Το λογισμικό DesignBuilder έχει χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της ενεργειακής απόδοσης διατηρητέων και παραδοσιακών κτιρίων και με βάση ορισμένα αποτελέσματα που προήλθαν από σχετικές μετρήσεις, δείχνουν ότι αυτά τα κτίρια διατηρούν σχετικά μικρές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις δημιουργώντας θερμική άνεση χωρίς ιδιαίτερα μεγάλες ενεργειακές δαπάνες, με τη θερμομόνωση να μην οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση τους θερινούς μήνες, αλλά μάλιστα να προκαλεί θέματα σε ήπιες καιρικές περιόδους (Gagliano et al., 2016).

Για παράδειγμα, το κτίριο Ca 'S. Orsola στο Τρεβίζο (Εικόνα 2.1) υποβλήθηκε σε επεμβάσεις ενεργειακής βελτίωσης το 2007, μετατρέποντάς το από μοναστήρι σε κτίριο κατοικιών. Η ανακαίνιση όχι μόνο διατήρησε την παραδοσιακή δομή του κτιρίου, αλλά πέτυχε επίσης εξοικονόμηση ενέργειας 92,5% και μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 81%, επιτυγχάνοντας αναβάθμιση της ενεργειακής κλάσης του από G σε κλάση A+.

---

<sup>1</sup><https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/11677/nomos-3028-2002>.





Εικόνα 2.1 Απεικόνιση του κτιρίου Ca 'S. Orsola μετά την ανακαίνιση  
(Πηγή: <https://www.cazzarocostruzioni.it/eng/engineering/residential/ca-sant-orsola>)

Στον Ελλαδικό χώρο, χαρακτηριστικό παράδειγμα διατηρητέου κτιρίου, το οποίο υποβλήθηκε σε δομικές παρεμβάσεις για την ενεργειακή του αναβάθμιση είναι αυτό της Ευώνυμου Βιβλιοθήκης (Εικόνα 2.2 (A&B)), ένα νεοκλασικό τριώροφο κτίριο και οι επεμβάσεις που ακολουθήθηκαν αφορούσαν την τοποθέτηση θερμομονώσεων στην εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας, την τοποθέτηση κινούμενων σκιάστρων, λέβητας διπλού καυσίμου και εγκατάσταση συστήματος νυχτερινού αερισμού με τελική μείωση του φορτίου ψύξης ανέρχεται στο 60%<sup>2</sup>.



A



B

Εικόνα 2.2 (A&B) Απεικόνιση πρόσοψης του κτιρίου της Ευώνυμου Βιβλιοθήκης πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την ανακαίνιση (Πηγή: Κόρδα, 2019).

Η εγκατάσταση εφαρμογών ΑΠΕ, όπως τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ηλιακής, μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> αλλά πρέπει να είναι συμβατές με τα αρχιτεκτονικά στοιχεία και τον χαρακτήρα του κτιρίου. Χαρακτηριστικά, το ιστορικό κτίσμα των Βρυξελλών (Εικόνα 2.3 (A&B)), χρονολογούμενο το 1880 και το οποίο μετά από ανακαίνιση λειτουργεί σε ποσοστό 100% με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (λέβητα pellet, φωτοβολταϊκά πάνελ, γεωθερμικά<sup>3</sup> συστήματα θέρμανσης κ.α.) διατηρώντας τα εξωτερικά στοιχεία εκλεκτικιστικής αρχιτεκτονικής (Antoniadou et al., 2015).

<sup>2</sup>Η «Άγνωστη» Οικολογική Βιβλιοθήκη ([energia.gr](http://energia.gr))

<sup>3</sup> Γεωθερμική ενέργεια είναι μία ήπια πηγή ενέργειας που βρίσκεται μέσα στη Γη και η αξιοποίηση της γίνεται με την συνδρομή γεωθερμικών αντλιών. Χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση, ψύξη και για την λειτουργία ζεστού νερού χρήσης. Τα γεωθερμικά συστήματα είναι αρκετά αποδοτικά και καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια από τα ηλεκτρικά συστήματα (3-5 φορές μεγαλύτερη απόδοση) και το συνολικό κόστος της ανά έτος υπολογίζεται ότι είναι 30-35% μικρότερο από ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης (ΚΑΠΕ, 2006).



Εικόνα 2.3 (Α&Β) Απεικόνιση πρόσοψης (αριστερά) και της πίσω όψης του κτιρίου στις Βρυξέλλες (δεξιά) μετά την ανακαίνιση (Πηγή: Κόρδα, 2019).

Στο αρχοντικό Καραπαναγιωτίδη, χτισμένο περίπου το 1870 στην Ξάνθη, εγκρίθηκε η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ, ενώ ο Ελληνικός Σύνδεσμος Φωτοβολταϊκών επιτρέπει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων έως 10 Kwp σε παραδοσιακά ελληνικά κτίρια (γνωμοδότηση Αριθ. 9154, ΦΕΚ Β 583, 14-04-2011) (Κόρδα, 2019). Στη μελέτη περίπτωσης της Στέγης της Ελληνικής Βιομηχανίας στην Αθήνα, που οικοδομήθηκε στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, υποστηρίζει επίσης την ενσωμάτωση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε νεοκλασικά κτίρια (Σπανομήτσος, 2013). Αυτό υποδηλώνει ότι τα παραδοσιακά κτίρια μπορούν να εξοπλιστούν με τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αρκεί να διατηρούν τη μοναδική τους εμφάνιση και να εναρμονίζονται με τον περιβάλλοντα χώρο.

### 2.3. Εφαρμογές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού σε Μουσεία-Γκαλερί

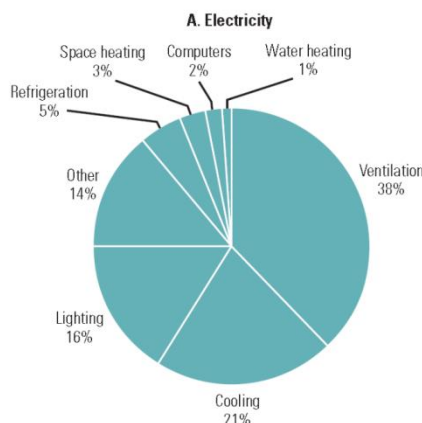
Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, γνωστός και ως βιώσιμος σχεδιασμός, επικεντρώνεται στην αξιοποίηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών για τη δημιουργία ενεργειακά αποδοτικών και άνετων εσωτερικών και εξωτερικών – υπαίθριων χώρων (Canas & Martín, 2004). Παράγοντες όπως ο προσανατολισμός του κτιρίου, τα υλικά, το μέγεθος, η θέση των ανοιγμάτων και η προστασία τους καθώς και οι παθητικές ηλιακές τεχνολογίες<sup>4</sup> παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO<sub>2</sub> (Dounis & Caraiscos, 2009). Στόχος είναι η επίτευξη θερμικής άνεσης με ταυτόχρονη προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και της βιωσιμότητας. Με την ενσωμάτωση αρχών, όπως η συλλογή ηλιακής ενέργειας, η αποθήκευση θερμότητας και η φυσική ψύξη, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει στη δημιουργία φιλικών προς το περιβάλλον και άνετων εσωτερικών χώρων.

Με τον όρο «πράσινο μουσείο» εννοείται η κατάσταση όπου ένα μουσείο ενσωματώνει έννοιες βιωσιμότητας στις λειτουργίες, το προγραμματισμό και τις εγκαταστάσεις του. Πολλά πράσινα μουσεία στεγάζονται σε κτίρια που βασίζονται στη βιώσιμη αρχιτεκτονική και τεχνολογία, ενώ αρκετά από αυτά χρησιμοποιούν τις συλλογές έργων τους για την παραγωγή εκθέσεων, εκδηλώσεων, μαθημάτων και άλλων προγραμμάτων για την εκπαίδευση του κοινού σχετικά με το φυσικό περιβάλλον. Στην περίπτωση ενός μουσείου που στεγάζεται σε ένα διατηρητέο κτίριο, εκτός από τις ειδικές εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες που πρέπει να επικρατούν και να παραμένουν πάντα σταθερές για την συντήρηση των εκθεμάτων,

<sup>4</sup>Ο όρος παθητικές ηλιακές τεχνολογίες αναφέρεται σε μεθόδους θέρμανσης ή ψύξης που απορροφούν αδρανώς την ηλιακή ενέργεια (π.χ. σκίαστρα) (Tzikopoulos et al., 2005).

επιβάλλεται κάθε παρέμβαση που επρόκειτο να εφαρμοστεί σε αυτά τα ιστορικά κτίρια, να μην αλλοιώνει την εμφάνιση και τον χαρακτήρα τους (Battle et al., 2006).

Όπως προβάλλεται και στην Εικόνα 2.4 μεγάλα ποσά ενέργειας σε ένα μουσείο/γκαλερί καταναλώνονται για τις χρήσεις φωτισμού, ψύξης και αερισμού.



Εικόνα 2.4 Ενεργειακή Κατανάλωση σε μουσεία (μεγάλοι, ανοιχτοί χώροι γκαλερί) με βάση την τελική χρήση (Πηγή: U.S. Energy Information Administration, Public Assembly End Use, 2003).

Μια μελέτη που διερευνά την ενεργειακή απόδοση των τεχνικών και στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας σε οκτώ ευρωπαϊκά μουσειακά κτίρια, έδειξε επιτυχείς στρατηγικές αναβάθμισης, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται από 39% έως 77% και την περίοδο από 11,3 έως 49 έτη. Τα μέτρα επικεντρώνονται στη βελτίωση του μικροκλίματος, του κελύφους του κτιρίου, τα ενεργειακά συστήματα και τις στρατηγικές ελέγχου. Η μελέτη διαπίστωσε ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και της μέτρησης της ενέργειας επηρεάζουν σημαντικά το περιβάλλον, μειώνοντας το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα έως και κατά 61,6% (Zannis et al., 2006).

Όσον αφορά πραγματικές περιπτώσεις ενεργειακά αποδοτικών μουσείων, η Ακαδημία Επιστημών της Καλιφόρνια (Εικόνα 2.5 (A&B)) στο Σαν Φρανσίσκο είναι ένα από τα πιο πράσινα μουσεία στον κόσμο, με διπλά πλατινένια πιστοποίηση LEED<sup>5</sup>. Το μουσείο διαθέτει μια πράσινη στέγη 2,5 στρεμμάτων, φυσικό εξαερισμό και ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση και ψύξη. Το Exploratorium (Εικόνα 2.6) στοχεύει να γίνει το πρώτο και μεγαλύτερο μουσείο στον κόσμο που αποτελεί κτίριο μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (ZEB). Το ιστορικό κτίριο στο Σαν Φρανσίσκο ανακαινίστηκε και συντηρήθηκε με ανακυκλωμένα υλικά και έχει πλέον πιστοποίηση LEED Platinum. Τα ηλιακά πάνελ στην οροφή του μουσείου παράγουν περίπου 2.000 MWh καθαρής ενέργειας ετησίως, παράγοντας το 76% των ενεργειακών του αναγκών επιτόπου το 2018, μειώνοντας την εξάρτησή του από το δίκτυο. Σε σύγκριση με τα συμβατικά μουσεία στις ΗΠΑ, λειτουργεί με αξιοσημείωτη 55% χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και 65% μεγαλύτερη αποδοτικότητα νερού. Το Μουσείο του Αύριο (Εικόνα 2.7 (A&B)), που εγκαινιάστηκε το 2015, χρησιμοποιεί γεωθερμικό σύστημα, ηλιακό πάρκο στην οροφή και ενεργειακά αποδοτικό φωτισμό. Το σύστημα κλιματισμού χρησιμοποιεί νερό από τον κόλπο Guanabara, ενώ το βρόχινο νερό συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται, εξοικονομώντας περίπου 9,6 εκατομμύρια λίτρα νερού και 2.400 μεγαβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας

<sup>5</sup>Η πιστοποίηση LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) αξιολογεί τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των κτιρίων, προωθώντας τον φιλικό προς το περιβάλλον και ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία τους (<https://www.deltaengineering.gr/>).



ετησίως<sup>6</sup>. Τα παραδείγματα αποτελούν ένα σημείο αναφοράς για το έργο μας, προσαρμόζοντας αυτές τις ιδέες στη Δημοτική Πινακοθήκη Χανίων.



Εικόνα 2.5(A & B) Απεικόνιση της Ακαδημίας Επιστημών της Καλιφόρνια (Α) και της πράσινης οροφής της(B)  
(Πηγή:<https://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano>).



Εικόνα 2.6 Απεικόνιση του Exploratorium στο Σαν Φρανσίσκο (Πηγή:  
<https://www.introba.com/work/projects/exploratorium>).



Εικόνα 2.7(A & B) Απεικόνιση του Museu do Amanha στο Ρίο ντε Τζανέιρο, Βραζιλία (Πηγή:  
<https://www.centerluz.com.br/blog/post/iluminacao-museu-do-amanha>).

<sup>6</sup>The World's most sustainable museums, <https://blooloop.com/sustainability/in-depth/sustainable-museums>.

## 2.4. Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής, Μηδενικής και Θετικής κατανάλωσης ενέργειας

Κτίριο με σχεδόν μηδενικές εκπομπές (Net Zero Energy Buildings NZEB) σημαίνει ένα κτίσμα που έχει πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ η πολύ χαμηλή απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας θα πρέπει να καλύπτεται σε πολύ σημαντικό βαθμό από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένης αυτής που παράγεται επιτόπου ή σε κοντινή απόσταση. Ένα κτίριο μηδενικής καθαρής ενέργειας ZEB παράγει τόση ενέργεια όση καταναλώνει ετησίως. Αυτό απαιτεί συνδυασμό ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού, επιτόπιας παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και στρατηγικών διαχείρισης της ενέργειας. Τα κτίρια αυτά γίνονται όλο και πιο δημοφιλή ως τρόπος μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα ενός κτίσματος.

Η πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την αναθεώρηση της οδηγίας (Δεκέμβριος 2021) σηματοδοτεί ένα βήμα προς τα εμπρός από το σημερινό Κτίριο Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (NZEB) στο Κτίριο Μηδενικών Εκπομπών (ZEB), ευθυγραμμιζόμενη με τον μακροπρόθεσμο στόχο της κλιματικής ουδετερότητας. Τονίζεται ότι τα κτίρια μηδενικών εκπομπών έχουν πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση και ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, χωρίς την ύπαρξη επιτόπιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από την χρήση ορυκτών καυσίμων. Από την 1η Ιανουαρίου 2030, όλα τα νέα κτίρια πρέπει να πληρούν την απαίτηση ZEB. Αυτό ισχύει για κτίρια που είναι νέα και που ανήκουν ή χρησιμοποιούνται από δημόσιες αρχές από την 1η Ιανουαρίου 2027. Με τον σωστό σχεδιασμό που βασίζεται στα αποτελέσματα εμπειριστατωμένης μελέτης, τα κτίρια αυτά καταναλώνουν τόσο λίγη ενέργεια, που η εγκατάσταση συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας, οδηγεί στην παραγωγή όσης ενέργειας χρειάζονται για την διεξαγωγή του συνόλου των λειτουργιών τους ή και περισσότερη. Αν, λοιπόν, τα ποσά ενέργειας που παράγονται από τη δομή είναι πολύ μεγαλύτερα από τις ανάγκες του (Παραγωγή > Ζήτηση), τότε το υπόλοιπο μπορεί προσφερθεί για κατανάλωση από άλλο άτομο και τα κτίρια αυτά ονομάζονται θετικής ενεργειακής κατανάλωσης (Positive Energy Buildings PEB) (Marszal et al., 2011).

## 2.5. Περιβαλλοντικές Συνθήκες σε Μουσεία και Γκαλερί

Το περιβάλλον ενός μουσείου ή μίας Πινακοθήκης είναι διαφορετικό από αυτό οποιουδήποτε άλλου κτιρίου. Κύριος λόγος είναι η παρουσία αρχαίων και ιστορικών εκθεμάτων, τα οποία απαιτούν ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες προκειμένου να διατηρηθούν προς όφελος των σημερινών και μελλοντικών γενεών. Πιο συγκεκριμένα, τις τελευταίες δεκαετίες, έχει αποδειχθεί επιστημονικά ότι οι συνθήκες Ποιότητας Εσωτερικού Περιβάλλοντος (Indoor Environmental Quality IEQ), συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του φωτισμού, της υπεριώδους ακτινοβολίας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των συλλογών και των έργων τέχνης. Μέσα σε ένα εκθεσιακό χώρο υπάρχουν τρεις παράμετροι, καθεμία από τις οποίες έχει διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά την ποιότητα στο εσωτερικό του. Αυτές είναι: α) τα εκθέματα που παρουσιάζονται στο χώρο, β) οι επισκέπτες του και γ) το προσωπικό που εργάζεται εκεί (Pavlogiorgatos, 2003).

Οι συνθήκες μικροκλίματος εντός ενός εκθεσιακού χώρου επηρεάζονται από τον τύπο του έργου, ο οποίος μπορεί να είναι ανόργανος, οργανικός ή μικτός. Οι συνθήκες για τη συντήρηση εκθεμάτων εξαρτώνται από την κατάσταση του αντικειμένου, την ανακάλυψή του και τις μεθόδους συντήρησης. Εάν οι συνθήκες μικροκλίματος δεν ελέγχονται, μπορεί να προκληθούν σημαντικές ζημιές στα εκθέματα ή μικρές αλλαγές μπορεί να επιταχύνουν τη φθορά ή να μειώσουν τη διάρκεια ζωής. Τα μουσεία και οι γκαλερί, σύμφωνα με το TOTEE αποτελούν χώρους συνάθροισης κοινού. Ένας παραπάνω λόγος, λοιπόν, για να παρακολουθείται και να ελέγχεται το εσωτερικό περιβάλλον των εκθεσιακών χώρων είναι ο περιορισμός των οποιωνδήποτε συνεπειών στα έργα που προκαλούνται από την θερμότητα που εκπέμπουν τα άτομα, καθώς και η επίτευξη της θερμικής άνεσης αυτών των ατόμων. Επιβάλλεται να επιτευχθεί ένας συμβιβασμός των πρακτικών που υιοθετούνται σε αυτά τα κτίρια για την ιδανική ισορροπία μεταξύ της διατήρησης των εκθεμάτων και το επίπεδο άνεσης των επισκεπτών, ενώ βασική προτεραιότητα αποτελεί η μη υποβάθμιση της κατάστασης των έργων (Jeong & Lee, 2006).

### 2.5.1. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σημαντική απειλή για τη διατήρηση των εκθεμάτων στα μουσεία. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων όπως το διοξείδιο του θείου, το διοξείδιο του αζώτου και το όζον μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές σε διάφορα έργα, οι οποίες μπορεί να είναι εμφανείς αμέσως ή να εμφανιστούν μετά από καιρό. Η χρήση σύγχρονων ατμοσφαιρικών φίλτρων μπορεί να απομακρύνει το μεγαλύτερο μέρος των ρυπαντών, αλλά μερικά από αυτά, όπως τα πολύ μικρά σωματίδια, παραμένουν. Αυτά μπορούν να επηρεάσουν την ανθρώπινη υγεία και το παγκόσμιο κλίμα, αλλά μπορεί να προκαλέσουν και αλλαγή στην πυκνότητα και το χρώμα του υλικού ενός έργου, λείανση των λεπτομερειών του και την εμφάνιση ιχνών αισθητικής και χημικής ρύπανσης στην επιφάνεια του, δημιουργώντας μία εικόνα παραμέλησης. Σε συνθήκες υψηλής υγρασίας εντείνεται η διάβρωση του μετάλλου, της κυτταρίνης κ.α. (Krupińska et al., 2013), ξεθωριάζουν οι βαφές των υφασμάτων και φθείρονται τα φωτογραφικά φιλμ (M.A. Morris et al., 1964). Κάποια όρια που έχουν τεθεί για τους ρυπαντές και τα σωματίδια σε αντίστοιχους χώρους είναι και για PM10 και για PM2.5<sup>7</sup> περίπου 30 μg/m<sup>3</sup>. Τα συστήματα κλιματισμού μπορούν να βοηθήσουν στην απομάκρυνση των ρυπαντών, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις τους στα έργα τέχνης (πχ παραγωγή όζοντος) (Pavlogeorgatos, 2003). Η παρακολούθηση και η διαχείριση της ατμοσφαιρικής ποιότητας είναι κρίσιμες για τη διατήρηση των εκθεμάτων σε μουσεία και γκαλερί.

### 2.5.2. Υγρασία

Τα επίπεδα υγρασίας σε ένα μουσείο ή μια γκαλερί μπορούν να οδηγήσουν στην υποβάθμιση των έργων, επηρεάζοντας τις αλλαγές στο μέγεθος και το σχήμα των εκθεμάτων, τις χημικές αντιδράσεις και προκαλώντας βιολογική διάσπαση. Η υψηλή σχετική υγρασία (RH>65%) μπορεί να προκαλέσει την αποκόλληση κομματιών από τα εκθέματα ή την δημιουργία “φουσκωμάτων” σε οργανικά υλικά, ενώ η χαμηλή υγρασία (RH<25%) μπορεί να προκαλέσει ρωγμές, συρρίκνωση ή ακόμη και θραύση των αντικειμένων. Υλικά όπως το ξύλο,

<sup>7</sup>Με τους όρους PM10 και για PM2.5 εννοούνται τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία έχουν διάμετρο έως και 10μm και μικρότερη από 2,5μm αντίστοιχα (Λαζαρίδης, 2015).

το χαρτί και η κόλλα που απορροφούν υγρασία, είναι ευαίσθητα στις αλλαγές της. Η υψηλή υγρασία (άνω του 70%) ενθαρρύνει την ανάπτυξη μούχλας και άλλων μικροοργανισμών στα εκθέματα, ιδίως σε αυτά που είναι κατασκευασμένα από οργανικά υλικά. Η υγρασία οδηγεί επίσης σε διάβρωση των μετάλλων, το θάμπωμα των βαμμένων υλικών, η μείωση της αντοχής του χαρτιού και των υφασμάτων και η φθορά των γυάλινων υλικών. Ο έλεγχος της υγρασίας είναι, λοιπόν, απαραίτητος για το εσωτερικό περιβάλλον ενός μουσείου και επιτυγχάνεται με τη χρήση συστήματος HVAC που περιλαμβάνει υγραντήρες και αφυγραντήρες ή χρησιμοποιώντας φραγμούς υγρασίας και στεγανωτικά ή υγρόμετρα(Pavlogeorgatos, 2003).

Τέλος, η μελέτη των Kurczak et al. (2018) διερευνά την επίδραση της υγρασίας σε υγροσκοπικά υλικά, όπως το χαρτί και το ξύλο, που απαντώνται σε συλλογές βιβλιοθηκών και μουσείων αντίστοιχα. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η ίδια η συλλογή συμβάλλει στη σταθεροποίηση της σχετικής υγρασίας στον χώρο, απορροφώντας ή απελευθερώνοντας υγρασία, ιδιαίτερα όταν οι ρυθμοί ανταλλαγής αέρα είναι χαμηλοί. Η ποσότητα των υλικών σε έναν χώρο παίζει καθοριστικό ρόλο, με τις μεγαλύτερες συλλογές χαρτιού να επηρεάζουν πιο αισθητά την εσωτερική υγρασία σε σύγκριση με μικρότερες συλλογές ξύλινων αντικειμένων.

### 2.5.3. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία σε εκθεσιακούς χώρους επιταχύνει τη διαδικασία γήρανσης των εκθεμάτων, επιταχύνοντας τις χημικές διεργασίες αποσύνθεσης όπως η κυτταρίνη, κατά 250% σε σκοτεινό περιβάλλον. Η θερμοκρασία σχετίζεται άμεσα με τη σχετική υγρασία, καθιστώντας δύσκολη τη σταθεροποίηση των τιμών RH σε ψυχρά κλίματα και έντονες εποχιακές διακυμάνσεις. Η διατήρηση της σχετικής υγρασίας σε ποσοστό μεγαλύτερο από 65% απαιτεί εξαιρετική κυκλοφορία του αέρα και συχνή επιτήρηση για ανάπτυξη μούχλας. Μια απότομη αύξηση της θερμοκρασίας με σταθερή σχετική υγρασία μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικές επιπτώσεις σε υλικά όπως μέταλλο, πέτρα, πλαστικό, μεμβράνη ή κερί. Ακόμα, προκαλείται διαστολή των υλικών, ενισχύοντας την ευαισθησία τους (Pavlogeorgatos, 2003).

Διαφορετικές χώρες ορίζουν τα δικά τους πρότυπα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για εκθεσιακούς χώρους, με τιμές που κυμαίνονται περίπου από 45%-55% με διακύμανση  $\pm 5\%$  (ή σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις 10%) ημερησίως για σχετική υγρασία και  $15^{\circ}\text{C}$ - $25^{\circ}\text{C}$  με διακύμανση  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  για θερμοκρασία. Τα μουσεία προσαρμόζουν τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία για εξοικονόμηση ενέργειας, με βάση οδηγίες όπως εκείνες της Βρετανίας το 2012, που επιτρέπουν ευελιξία στις τιμές (Sharif-Askari & Abu-Hijleh, 2018).

### 2.5.4. Φωτισμός

Ο τεχνητός φωτισμός στα κτίρια αποτελεί σημαντικό μέρος της κατανάλωσης ενέργειας, αποτελώντας συχνά την μεγαλύτερη κατανάλωση στο ενεργειακό ισοζύγιο. Το φυσικό φως μπορεί να ικανοποιήσει βασικές λειτουργικές απαιτήσεις, όπως η ορατότητα και η ασφάλεια κατά τη διάρκεια της ημέρας με οικονομικά αποδοτικό τρόπο (Steemers, 1994). Ωστόσο, ο υπερβολικός φωτισμός μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες θερμοκρασίες εντός των εκθεσιακών χώρων, προκαλώντας ενδεχομένως ζημιές στα εκθέματα, τα οποία αφορούν τον αποχρωματισμό, το ξεθώριασμα ή το «μαύρισμα» του χαρτιού, την αυξημένη ευθραυστότητα των ινών κυτταρίνης και την ταχύτερη αποσύνθεση διαφόρων υλικών. Άλλα υλικά, κυρίως ανόργανα, όπως πέτρα, μέταλλο, γυαλί και κεραμικά (στην πλειοψηφία τους) δεν

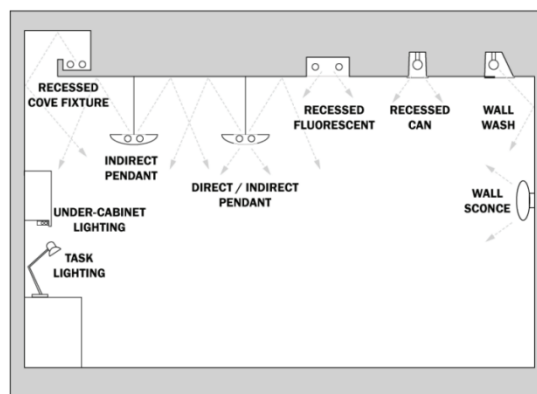
επηρεάζονται από το φως (Pavlogeorgatos, 2003). Σύμφωνα με τα δεδομένα του Ηνωμένου Βασιλείου τα επίπεδα φωτισμού που πρέπει να υφίστανται επηρεάζονται από τα υλικά των εκθεμάτων και είναι: α) 50 lux για πολύ ευαίσθητα υλικά, β) 200 lux για ευαίσθητα υλικά (έως και 150 lux για πίνακες ζωγραφικής) (Mueller, 2013) και 300 lux για μη ευαίσθητα υλικά (Sharif-Askari & Abu-Hijleh, 2018).

Πρέπει να αποφεύγεται η μετάδοση άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας λόγω θάμβωσης και να ελαχιστοποιούνται τα ηλιακά θερμικά κέρδη για περιπτώσεις ψύξης. Οι σταθερές ή κινητές διατάξεις σκίασης, όπως τα ελάσματα, μπορούν να βοηθήσουν στον έλεγχο του φωτός ημέρας, στον θερμικό έλεγχο και στη βελτίωση της οπτικής άνεσης. Τα συστήματα ημερήσιου και τεχνητού φωτισμού συχνά ενσωματώνονται στα ίδια δομικά στοιχεία, όπως οι φεγγίτες (Εικόνα 2.8). Η ενεργειακή κατανάλωση τεχνητού φωτισμού εξαρτάται από τον τύπο της αίθουσας του μουσείου και του εκθέματος, με εγκατεστημένες ικανότητες που κυμαίνονται από 10 W/m<sup>2</sup> έως 100 W/m<sup>2</sup>. Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις εγκαταστάσεις ημερήσιου φωτισμού και τον αυτόματο έλεγχο του τεχνητού φωτισμού (Mueller, 2013).



Εικόνα 2.8 Φεγγίτης με κινητές διατάξεις σκίασης (Emil-Schumacher-Museum in Hagen) (Mueller, 2013).

Σε μία γκαλερί τέχνης τα φωτιστικά σώματα παίζουν καθοριστικό ρόλο, καθώς αυτά που βασίζονται στον έμμεσο φωτισμό στοχεύουν στην ομοιόμορφη διασπορά του φωτός σε όλο το δωμάτιο ενώ οι ανακλαστήρες κατευθύνουν το φως στους τοίχους όπου μπορεί να εκτεθεί η τέχνη, εξασφαλίζοντας ένα ισορροπημένο και καλά φωτισμένο περιβάλλον (Εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9 Απεικόνιση διάφορων ειδών φωτιστικών σωμάτων σε μία γκαλερί (Ekhaese & Solaja, 2022).



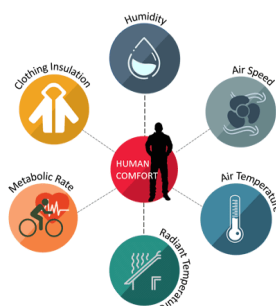
Μία από τις μελέτες που εκτίμησαν το περιβαλλοντικό ρίσκο που προβάλλει η ατμόσφαιρα στα έργα ενός εκθεσιακού χώρου, μέσω πειραματικών διεργασιών, κατέδειξε πως ο ρόλος του φωτός είναι καθοριστικός στην διαδικασία γήρανσης των δειγμάτων-έργων, ενώ ο ρόλος των ρύπων ήταν σχετικά αβέβαιος, με την συμπεριφορά όμως κάποιων, όπως του όζοντος, του διοξειδίου του άνθρακα και του υδρόθειου, να είναι σημαντική στην φυσική παλαίωση (Bacci et al., 2000). Επίσης, ένα από τα συμπεράσματα μίας παρόμοιας έρευνας ήταν ότι ακόμα και στην περίπτωση μίας τεχνητής παλαίωσης με ενισχυμένα επίπεδα φωτός, το οποίο ισοδυναμεί με 50 χρόνια έκθεσης, τα τελικά αποτελέσματα της φυσικής γήρανσης ξεπερνάνε κατά πολύ αυτά της τεχνητής. Μια εξήγηση που δόθηκε αφορά τους υπόλοιπους περιβαλλοντικούς παράγοντες των φυσικών μικροκλιμάτων (σχετική υγρασία, θερμοκρασία, φως, επίπεδα ρύπων), η συνεργατική δράση των οποίων υπερβαίνει την δράση αυτών που παράγονται σε ένα τεχνητό περιβάλλον (Odlyha et al., 2000).

Μέσα από διάφορα ερευνητικά προγράμματα σχετικά με την ποιότητα του αέρα στα μουσεία και τις πινακοθήκες, ερευνητές και συντηρητές προσπαθούν να εντοπίσουν διάφορους περιβαλλοντικούς κινδύνους για τα υλικά και κατ' επέκταση για τα έργα τέχνης που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτές τις μελέτες μπορούν αργότερα να μεταφραστούν σε συγκεκριμένες δράσεις για τη μέγιστη δυνατή διατήρηση των μουσειακών συλλογών, μια διαδικασία γνωστή ως προληπτική συντήρηση.

## 2.6. Θερμική Άνεση

Η «θερμική άνεση» αναφέρεται στην κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο αισθάνεται ικανοποιημένο με τις θερμικές συνθήκες του περιβάλλοντός του και δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή. Ένα αποδεκτό θερμικό περιβάλλον είναι εκείνο στο οποίο τουλάχιστον το 80% των χρηστών θεωρεί τις συνθήκες θερμικά αποδεκτές. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμική άνεση περιλαμβάνουν φυσικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία και η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα, βιολογικούς παράγοντες, όπως το φύλο και η ηλικία, και εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι δραστηριότητες ( $W/m^2$ ) και ο τύπος του ρουχισμού (Clothing Insulation-clo) (Εικόνα 2.10).

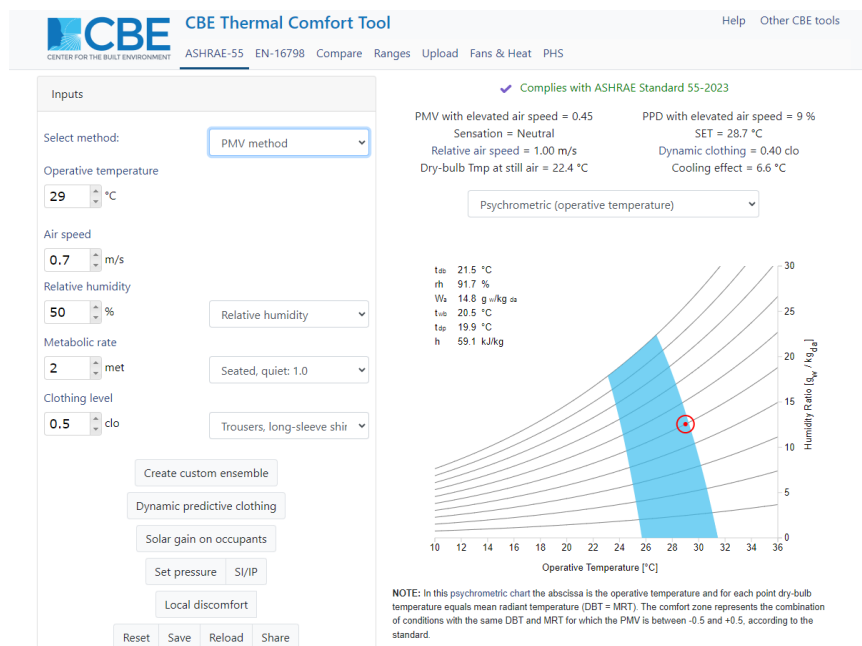
Η μεταβολική δραστηριότητα εξαρτάται από το είδος της εργασίας που εκτελείται μέσα στο κτίριο, με την καθιστική εργασία να απαιτεί περίπου 40 W, την ελαφριά εργασία 70-100 W και την εντατική εργασία 200 W. Από την άλλη, ο τύπος του ρουχισμού μετράται από τη θερμική αντίσταση (clo), με τους χειμερινούς μήνες να έχουν υψηλότερες τιμές από τους καλοκαιρινούς μήνες. Ενδεικτικά, τα ελαφριά καλοκαιρινά ρούχα έχουν θερμική αντίσταση περίπου 0,5 clo, ενώ τα βαρύτερα ρούχα έχουν 1,5 clo.



Εικόνα 2.10 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση (Jadhav et al., 2022).

Ο δείκτης μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV (Predicted Mean Vote) και ο δείκτης δυσαρέσκειας των ανθρώπων PPD (Predicted Percent of Dissatisfied people) είναι δύο δείκτες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμικής άνεσης. Ο δείκτης PMV είναι μια κλίμακα 7 σημείων ενώ το PPD είναι το ποσοστό δυσαρέσκειας, που εμφανίζεται όταν  $1 \leq PMV \leq +1$ . Η μηδενική τιμή PMV είναι εκείνη στην οποία το άτομο αισθάνεται άνετα, ενώ το +3 και -3 νιώθει πολύ ζέστη και πολύ κρύο αντίστοιχα. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της θερμικής και της συνολικής άνεσης σε διάφορα περιβάλλοντα (Rizzo & Beccali, 2004).

Το εργαλείο θερμικής άνεσης CBE έχει σχεδιαστεί για την αξιολόγηση της θερμικής άνεσης σε εσωτερικούς χώρους. Αναπτύχθηκε από το Center for the Built Environment στο UC Berkeley και βοηθά τους χρήστες να αξιολογήσουν τις συνθήκες άνεσης με βάση διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του αέρα. Το εργαλείο μπορεί να είναι χρήσιμο για αρχιτέκτονες, μηχανικούς και διαχειριστές εγκαταστάσεων στη δημιουργία χώρων που ενισχύουν την άνεση των χρηστών, ενώ ενσωματώνει δύο ευρέως αναγνωρισμένες μεθόδους: το μοντέλο Predicted Mean Vote (PMV) και το Adaptive Comfort Model. Η Εικόνα 2.11 εμφανίζει ένα στιγμιότυπο οθόνης της κύριας σελίδας του εργαλείου CBE Thermal Comfort Tool. Οι τιμές εισόδου που μπορούν να αλλάξουν και να ενημερώσουν οι χρήστες βρίσκονται στην αριστερή πλευρά κάθε σελίδας (εκτός από τα εργαλεία Upload και άλλα CBE εργαλεία). Τα ευρήματα εμφανίζονται στη δεξιά πλευρά, η οποία συνήθως διαθέτει επίσης ένα διαδραστικό διάγραμμα. Καθώς οι χρήστες μεταβάλλουν τις τιμές εισόδου, το διάγραμμα και τα αποτελέσματα ενημερώνονται αμέσως.



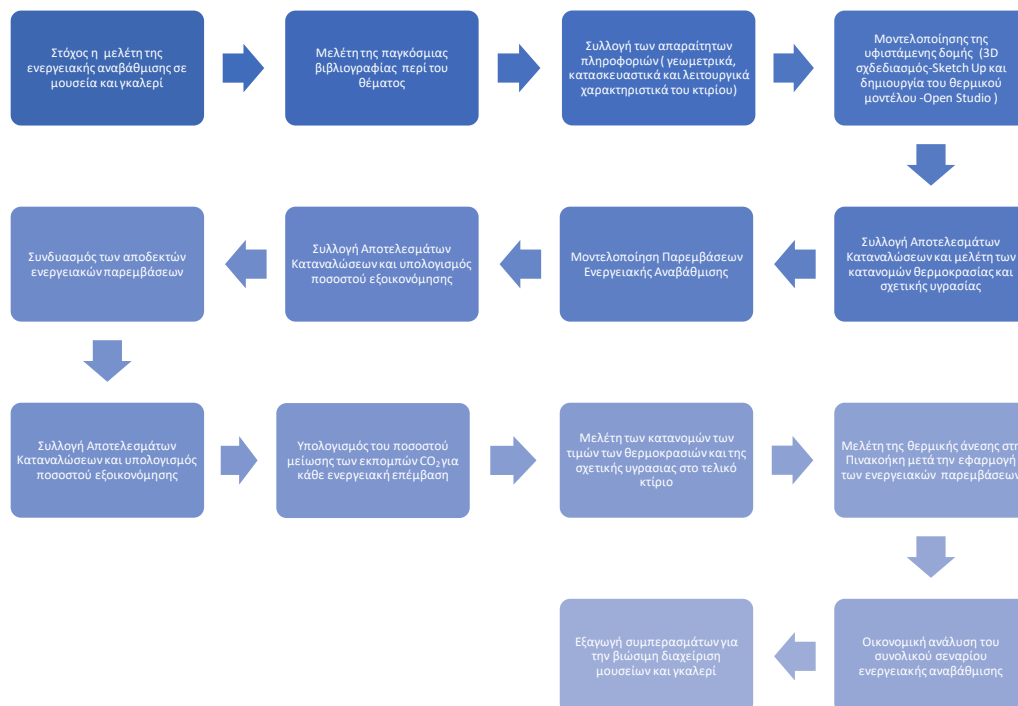
Εικόνα 2.11 Η κεντρική σελίδα του χώρου εργασίας της εφαρμογής του CBE Thermal Comfort Tool. (Πηγή: (Tartarini et al., 2020))

Το μοντέλο PMV αναλύθηκε λίγο παραπάνω, και με αυτό μπορεί να σχεδιαστεί η οριακή περιοχή της ζώνης θερμικής άνεσης. Η ανάλυση δεδομένων από παγκόσμιες μελέτες σχετικά με τη θερμική άνεση και τη μέτρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, έδειξε ότι οι ένοικοι σε κτίρια με φυσικό αερισμό αποδέχονται ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών σε σύγκριση με εκείνους σε κλειστά, κλιματιζόμενα κτίρια, καθώς οι προτιμήσεις τους επηρεάζονται και προσαρμόζονται από τις εξωτερικές συνθήκες. Τα ευρήματα αυτά ενημέρωσαν το μοντέλο

Adaptive Comfort, το οποίο συσχετίζει τη θερμοκρασία εσωτερικής άνεσης με την εξωτερική θερμοκρασία και καθορίζει ζώνες ικανοποίησης 80% και 90%. Το μοντέλο δίνει έμφαση στη σημασία των συγκυριακών και προσωπικών πτυχών στον καθορισμό της θερμικής ικανοποίησης, αναγνωρίζοντας ότι οι προτιμήσεις θερμικής άνεσης των ανθρώπων αλλάζουν με βάση το εξωτερικό κλίμα. Για παράδειγμα, σε υψηλότερες εσωτερικές θερμοκρασίες (μέχρι και 28°C) οι άνθρωποι μπορεί να είναι πιο ανεκτικοί το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα μπορεί να αναμένουν η εσωτερική θερμοκρασία να είναι χαμηλότερη (περίπου 18°C-20°C). Η προσαρμοστική προσέγγιση παρέχει πιο ευέλικτα εύρη άνεσης, λαμβάνοντας καλύτερα υπόψη τις αλλαγές στον ρουχισμό και τον μεταβολικό ρυθμό. Η προσέγγιση PMV, από την άλλη πλευρά, κάνει την υπόθεση ότι ο μεταβολικός ρυθμός και το επίπεδο ένδυσης είναι σταθερά, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο ακριβή αποτελέσματα.

Συνολικά, ενώ η μέθοδος PMV, αποτελεί μία ιδανική μέθοδο για ελεγχόμενα περιβάλλοντα (π.χ. γραφεία ή αίθουσες διδασκαλίας) και παρέχει μια αξιολόγηση της θερμικής άνεσης με βάση στατικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει προσαρμογή τους, η δυναμική μέθοδος Adaptive δίνει έμφαση στο ρόλο της προσαρμογής των χρηστών του κτιρίου στο περιβάλλον τους. Επίσης, λαμβάνει υπόψη την εξωτερική θερμοκρασία, υποθέτοντας ότι τα όρια άνεσης διευρύνονται με τις εποχιακές αλλαγές - οι άνθρωποι ανέχονται υψηλότερες θερμοκρασίες το καλοκαίρι και χαμηλότερες το χειμώνα, καθιστώντας την λειτουργική σε περιβάλλοντα με φυσικό αερισμό και όπου οι εποχιακές προσαρμογές είναι συνηθισμένες. Όταν συνδυάζονται, οι τεχνικές αυτές παρέχουν διεξοδικές γνώσεις για τη βελτίωση της άνεσης των ατόμων στη λειτουργία και το σχεδιασμό των κτιρίων (Tartarini et al., 2020).

### 3. Μεθοδολογία



Γράφημα 3-1 Βήματα μεθοδολογίας

Αρχικά, σύμφωνα και με το παραπάνω διάγραμμα ροής (Γράφημα 3-1), έγινε έρευνα στην παγκόσμια βιβλιογραφία με στόχο τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το θέμα της ενεργειακής αναβάθμισης σε μουσεία και γκαλερί. Όσον αφορά το κτίριο αναφοράς, διεξήχθησαν ορισμένες προκαταρκτικές αναλύσεις του κτιρίου αναφοράς, εκτιμώντας την πολυπλοκότητά του, τη διαθεσιμότητα δεδομένων και την προσβασιμότητα. Έγιναν επίσης ιστορικές και αρχιτεκτονικές αναλύσεις για την ανάπτυξη λύσεων βελτίωσης, που περιελάμβανε τη μελέτη ιστορικών, και βασισμένων σε εικόνες κείμενα και άλλα αρχεία δεδομένων σχετικά με τις φάσεις και το χρονοδιάγραμμα των μετασχηματισμών και της χρήσης του κτιρίου, τα αρχεία του εργοταξίου (υλικά, δομικά στοιχεία, διαδικασίες κατασκευής κ.λπ.), Με στόχο την μοντελοποίηση, την αξιολόγηση της ενεργειακής κατάστασης του κτιρίου και της ενεργειακής του αναβάθμισης, οι πληροφορίες αυτές, μαζί με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής, τον προσανατολισμό, τα θερμικά χαρακτηριστικά και τις τεχνικές πτυχές των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, μηχανικού αερισμού και φωτισμού, ενσωματώθηκαν σε κάποια ακριβή και αξιόπιστα προγράμματα: το SketchUp και το plug-in του OpenStudio, τα οποία ανήκουν στο λογισμικό EnergyPlus.

Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον κάθε χρήστη να εισάγει τον γεωμετρικό σχεδιασμό του κτιρίου με την βοήθεια του εργαλείου μοντελοποίησης SketchUp και τα τεχνικά και δομικά χαρακτηριστικά του και τα συστήματα ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC Systems-Heating Ventilation and Air-condition Systems) με το OpenStudio, αποδίδοντας έτσι μία αναλυτική περιγραφή του κτιρίου. Με βάση όλα τα εισαγόμενα δεδομένα, το πρόγραμμα υπολογίζει διάφορες τιμές μεταβλητών που αφορούν την θερμοκρασία κάθε θερμικής ζώνης, την ενεργειακή κατανάλωση για όλες τις επιμέρους λειτουργίες του κτιρίου όπως την θέρμανση, ψύξη, φωτισμό κτλ., την συνολική ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου κ.α<sup>8</sup>. Τα προγράμματα αυτά εξυπηρετούν πολύπλοκα συστήματα, ελαχιστοποιώντας τα σφάλματα και εξασφαλίζοντας ομαλές μεταβάσεις. Ωστόσο, επειδή τα προγράμματα αυτά βασίζονται σε προκαθορισμένες παραδοχές μπορεί να οδηγήσουν σε αποκλίσεις στην απόδοση στον πραγματικό κόσμο, επηρεάζοντας την εξοικονόμηση ενέργειας και τις επιπτώσεις στο τοπικό μικροκλίμα.

#### 4. Παρουσίαση του Προφίλ του Υπό Μελέτη Κτιρίου-Case Study

##### 4.1. Δεδομένα του υπό εξέταση κτιρίου

Το κτίριο οικοδομήθηκε το 1910 και αποτελεί χαρακτηριστικό δείγμα Νεοκλασικής Ελληνικής Αρχιτεκτονικής των κτιρίων που κατασκευάζονταν στα τέλη του 19<sup>ου</sup> και τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα και ως εκ τούτου, η μελέτη ενεργειακής αναβάθμισης έλαβε υπόψη αυτές τις αρχιτεκτονικές και καλλιτεχνικές αξίες. Πρόκειται για ένα τριώροφο κτίριο συνολικού εμβαδού περίπου 900 m<sup>2</sup>, το οποίο στεγάζεται στο Μέγαρο Κουμουνδούρου, καταλαμβάνοντας το ακριανό από τα τρία όμοια μέρη της πρόσοψης του. Γενικότερα, το κτίριο κατέχει ορθογώνια κάτοψη, διαστάσεων 7,91m x 25,68m και είναι ελεύθερο από όλες τις πλευρές, εκτός από το βόρειο τμήμα και έχει μία είσοδο για το κοινό στην ανατολική πλευρά. Στο νότιο τμήμα του οικοπέδου υπάρχει ανοιχτός πετρώχτιστος χώρος και λίθινη εξωτερική σκάλα.

---

<sup>8</sup>[www.energyplus.net](http://www.energyplus.net).

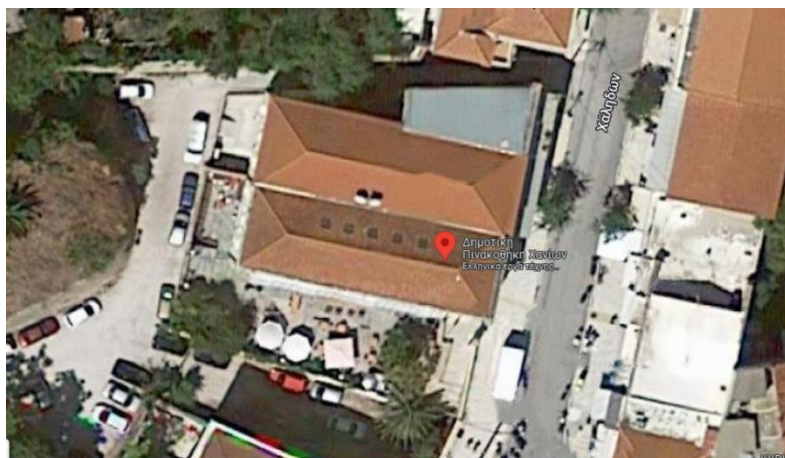
Την περίοδο 1998 ξεκίνησε η διαδικασία αποκατάστασης και μετατροπής του κτιρίου αυτού, από ένα τυπικό εμπορικό βιομηχανικό κτίριο στην μορφή που κατέχει σήμερα. Τα εγκαίνια του ανακαινισμένου πλέον κτιρίου της Δημοτικής Πινακοθήκης πραγματοποιήθηκαν το 2002. Σήμερα, η Πινακοθήκη περιλαμβάνει πολλά έργα που δεν παρουσιάστηκαν ποτέ γιατί κρίθηκε απαραίτητη η συντήρηση και αποκατάστασή τους λόγω φθορών που συνέβησαν στο παρελθόν. Ο Δήμος Χανίων αντιμετωπίζει την Πινακοθήκη ως κάτι περισσότερο από ένα απλό μουσείο, αλλά ως ένα χώρο προστασίας και διάσωσης του πολιτισμού με την ευρύτερη έννοια.



Εικόνα 4.1(A&B) Πρόσωση το κτιρίου αναφοράς.

#### 4.2. Τοποθεσία και Κλίμα

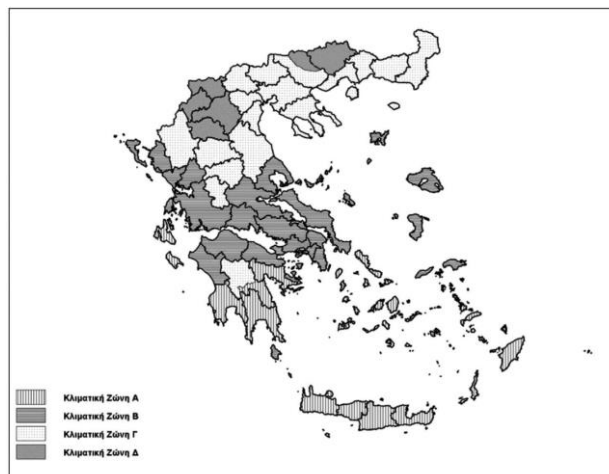
Το κτίριο που μελετάται βρίσκεται στο κέντρο της πόλης των Χανίων, στην αρχή της οδού Χάληδων (Εικόνα 4.2). Η συγκεκριμένη γεωγραφική θέση του είναι:  $35^{\circ}30'51.1''$  N (γεωγραφικό πλάτος) και  $24^{\circ}01'02.2''$  E (γεωγραφικό μήκος).



Εικόνα 4.2 Δορυφορική Απεικόνιση του κτιρίου της Δημοτικής Πινακοθήκης των Χανίων.

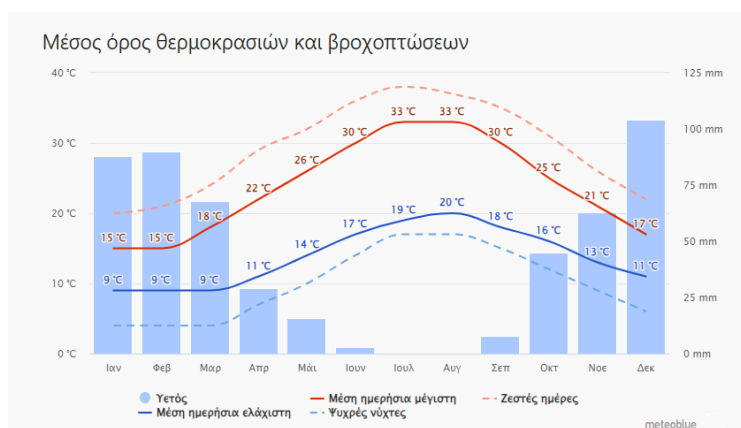


Τα Χανιά, όπως και η υπόλοιπη Κρήτη, κατατάσσεται σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2017 στην Α' Κλιματική Ζώνη. Οι κλιματικές ζώνες αλλάζουν ανάλογα τις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε έναν από τους ελληνικούς νομούς. Σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, η χώρα μας χωρίζεται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες Α-Δ, από τη θερμότερη Ζώνη Α έως την ψυχρότερη Ζώνη Δ, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3 Απεικόνιση των Κλιματικών Ζωνών στον Ελλαδικό χώρο. (Πηγή: TOTEE 20701-1/2017).

Το κλίμα των Χανίων χαρακτηρίζεται ως ήπιο Μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες από τον Δεκέμβριο έως τον Μάρτιο, με χιονοπτώσεις σε υψόμετρο άνω των 1.000 μέτρων. Η άνοιξη είναι σύντομη και ξηρή, με λίγες βροχοπτώσεις. Τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά, με τον Ιούλιο να είναι ο θερμότερος μήνας, σπανιότερα δε τον Αύγουστο. Τέλος, το φθινόπωρο αρχίζει από το τέλος Σεπτεμβρίου και είναι σχετικά θερμό και υγρό, με ραγδαίες βροχές κατά τον Οκτώβριο και Νοέμβριο μήνα. Γενικά, τα θερμά επεισόδια (με θερμοκρασίες πάνω από 38 °C) δεν είναι πολύ συνηθισμένα, λόγω της θαλασσινής αύρας (τα "Μελτέμια"). Μερικά μικρά θερμά επεισόδια συμβαίνουν και κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο, όταν σκόνη από τη Σαχάρα μεταφέρεται από ένα ισχυρό "καταβατικό" άνεμο. Κάποιες τυπικές τιμές θερμοκρασιών στην περιοχή παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα (Γράφημα 4-1).



Γράφημα 4-1 Μέσος όρος τυπικών τιμών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων ανά μήνα για την περιοχή των Χανίων για περίοδο 30 χρόνων (Πηγή: <https://www.meteoblue.com/>).

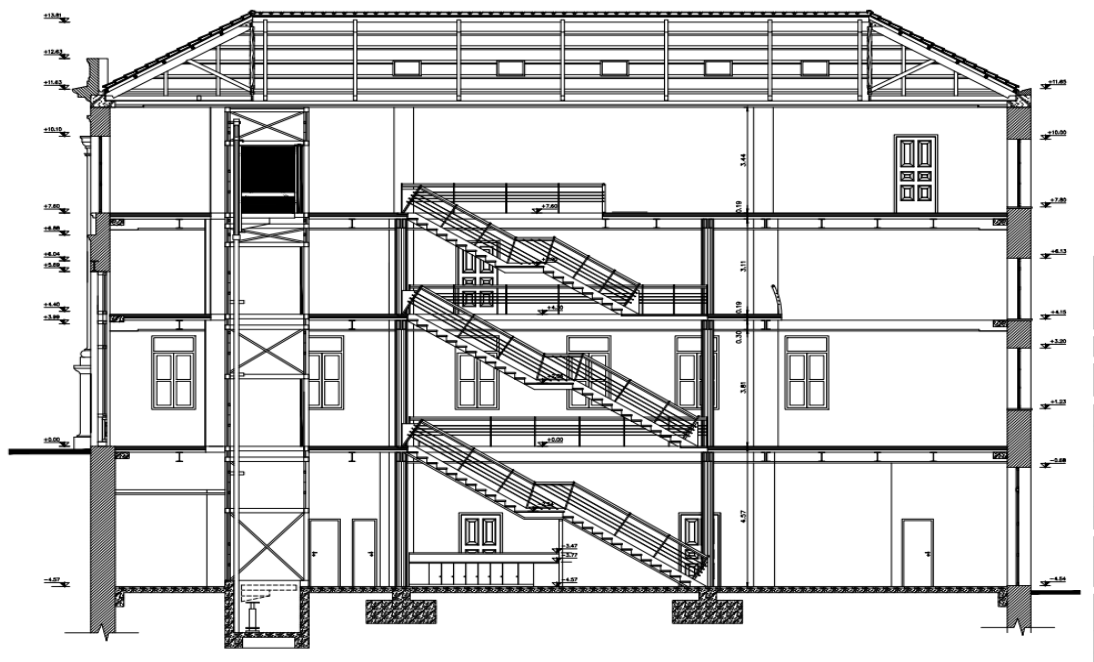
Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι οι χειμώνες στα Χανιά χαρακτηρίζονται ως ήπιοι και μικρής διάρκειας, με ελάχιστη θερμοκρασία περίπου 9°, ενώ τα καλοκαίρια είναι πιο θερμά και, λόγω των σχετικά υψηλών ποσοστών υγρασίας (Πίνακας 4.1), η αίσθηση της ζέστης είναι πιο έντονη και η ατμόσφαιρα είναι πιο αποπνικτική. Έτσι, όσον αφορά τη μόνωση του κτιρίου (τοίχοι, οροφή, στέγη κτλ.) θα δοθεί περισσότερο έμφαση στην διατήρηση της θερμοκρασίας μέσα στο κτίριο και η αποφυγή έκλυσης της στο περιβάλλον κατά τους θερμούς μήνες.

Πίνακας 4.1 Μηνιαίες τιμές Σχετικής Υγρασίας Χανίων το διάστημα 1958-2010. (Πηγή:www.emy.gr)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
<b>Μέση Μηνιαία Υγρασία</b>	73.4	71.3	69.9	64.7	58.3	50.5	50.2	54.3	61.7	68.5	72.2	73.3

#### 4.3. Περιγραφή Χώρων κτιρίου

Το κτίριο χωρίζεται σε τέσσερα επίπεδα το ισόγειο, τον 1° όροφο και τον 2° όροφο και το υπόγειο, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω εσωτερικής σκάλας και ανελκυστήρα (όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4 Τομή του κτιρίου της Πινακοθήκης.



Εικόνα 4.5(A& B) Πρόσοψη του Κτιρίου της Πινακοθήκης και Δυτική όψη του Κτιρίου της Πινακοθήκης.

Στο ισόγειο της Πινακοθήκης (Εικόνα 4.5 (A&B)) βρίσκεται το εκδοτήριο εισιτηρίων και ο χώρος έκθεσης (Α' Αίθουσα της Πινακοθήκης), στον 1<sup>ο</sup> όροφο βρίσκεται η γραμματεία, το λογιστήριο και το γραφείο του διευθυντού καθώς και ο δεύτερος χώρος έκθεσης (Β' Αίθουσα της Πινακοθήκης), ενώ στον 2<sup>ο</sup> όροφο υπάρχει μία αίθουσα πολλαπλών χρήσεων και μια δευτερεύουσα μικρότερη αίθουσα. Τα σχέδια των κατόψεων των υπόλοιπων ορόφων της γκαλερί, όπου είναι εμφανής η διαμόρφωση των χώρων, βρίσκονται στο Παράρτημα Α (Εικόνα 12.1-Εικόνα 12.7).

#### 4.4. Ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου

Η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κάλυψη όλων των επιμέρους αναγκών της Πινακοθήκης (θέρμανση, ψύξη, φωτισμός) είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Αυτές η λειτουργικές ανάγκες παραθέτονται αναλυτικά στις επόμενες υποενότητες.



Εικόνα 4.6 (A & B) Απεικόνιση του Εσωτερικού της Πινακοθήκης.

#### 4.5. Συστήματα Θέρμανσης/Ψύξης

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πρωταρχική και η μοναδική κατανάλωση που υπάρχει στο κτίριο. Αυτό συμβαίνει καθώς δεν υφίσταται η λειτουργία λέβητα ή άλλου



συστήματος θέρμανσης ή χρήσης ζεστού νερού. Στο κτίριο, για ψύξη και θέρμανση, υπάρχουν αυτόνομα air-conditions στους χώρους των γραφείων, δηλαδή στην Γραμματεία-Λογιστήριο, στο Γραφείο του Διευθυντού, τα οποία βρίσκονται στον 1<sup>ο</sup> όροφο καθώς και στο γραφείο των συντηρητών και ασφαλείας στο υπόγειο (συνολικά 4) καθώς και στην είσοδο του κτίσματος. Στον κύριο χώρο της γκαλερί όπου εκθέτονται τα έργα τέχνης στο ισόγειο, στον 1<sup>ο</sup> όροφο και στο χώρο πολλαπλών χρήσεων στον 2<sup>ο</sup> όροφο, λειτουργεί κεντρικό σύστημα ψύξης και θέρμανσης (HVAC), το οποίο μάλιστα τοποθετήθηκε αρχικά κατά την διαδικασία ανακαίνισης του κτιρίου και δεν αντικαταστήθηκε από τότε, καθιστώντας το έτσι ξεπερασμένο ενεργειακής κλάσης E (Εικόνα 4.7). Σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.2), συμπεραίνεται ότι το SCOP αυτού του συστήματος κυμαίνεται μεταξύ 2,20-2,50 για το κομμάτι της θέρμανσης και 3,10-3,60 για την ψύξη. Η τιμή του SCOP και του SEER που θεωρούνται ότι είναι 2,20 και 3,10 αντίστοιχα.



Εικόνα 4.7 Χαρακτηριστικά στοιχεία της μονάδας διαχείρισης του αέρα.

Πίνακας 4.2 Συντελεστές SEER και SCOP για τις ενεργειακές κλάσεις (Πηγή: <https://www.eliothermiki.gr/od-a-klima-html>, [www.energycert.gr](http://www.energycert.gr)).

Κλάση	SEER (για την λειτουργία της ψύξης)	SCOP (για την λειτουργία της θέρμανσης)
A <sup>+++</sup>	SEER ≥ 8,5	SCOP ≥ 5,10
A <sup>++</sup>	6,10 ≤ SEER ≤ 8,50	4,60 ≤ SCOP ≤ 5,10
A <sup>+</sup>	5,60 ≤ SEER ≤ 6,10	4,00 ≤ SCOP ≤ 4,60
A	5,10 ≤ SEER ≤ 5,60	3,40 ≤ SCOP ≤ 4,00
B	4,60 ≤ SEER ≤ 5,10	3,10 ≤ SCOP ≤ 3,40
C	4,10 ≤ SEER ≤ 4,60	2,80 ≤ SCOP ≤ 3,10
D	3,60 ≤ SEER ≤ 4,10	2,50 ≤ SCOP ≤ 2,80
E	3,10 ≤ SEER ≤ 3,60	2,20 ≤ SCOP ≤ 2,50
F	2,60 ≤ SEER ≤ 3,10	1,90 ≤ SCOP ≤ 2,20
G	SEER ≤ 2,60	SCOP ≤ 1,90

Όσον αναφορά, τώρα, τα αυτόνομα κλιματιστικά που υπάρχουν στα γραφεία του πρώτου ορόφου (γραφείο Διευθυντή, γραμματεία-λογιστήριο) και του υπογείου (γραφείο ασφαλείας και γραφείο συντηρητών), γίνεται η παραδοχή πως αυτά είναι πιο σύγχρονα από το κεντρικό σύστημα κατά δύο κλάσεις. Αυτό σημαίνει πως η ενεργειακή κλάση αυτών των συσκευών είναι C και επομένως το SEER είναι 4,10 και το SCOP είναι 2,80 (Πίνακας 4.2). Για αερισμό το

κτίριο έχει αρκετά παράθυρα τα οποία αποτελούνται από ξύλινα κουφώματα, ανοιγόμενα ώστε να αερίζεται ο χώρος. Η τιμή της εναλλαγής του αέρα ανά ώρα ανέρχεται στο 1/h, τιμή η οποία εισέρχεται και στο OpenStudio.

#### 4.6. Συστήματα Φωτισμού

Στα μουσεία, τα φώτα χρησιμοποιούνται για τρεις βασικούς λόγους: για να μας βοηθούν να βλέπουμε καθαρά τα αντικείμενα, για να τα διατηρούμε ασφαλή και για να κάνουν τους χώρους να φαίνονται φωτεινοί και φιλόξενοι. Αυτό μπορεί να γίνει με φυσικό ηλιακό φως ή με τεχνητά φώτα. Τα συστήματα φωτισμού αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από λαμπτήρες LED ενώ χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία τους ρυθμιζόμενοι προβολείς. Στους χώρους έκθεσης δεν γίνεται αξιοποίηση του φυσικού φωτός καθώς τα παράθυρα των χώρων έχουν καλυφθεί από εφαρμογές σκίασης και από χώρισμα γυψοσανίδας. Επίσης, λόγω της μεγάλης έκτασης των εκθεσιακών χώρων αλλά και των γραφείων, τα συστήματα φωτισμού καταναλώνουν σημαντικό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας στο μουσείο. Το πλήθος των λαμπτήρων στο κτίριο και η αντίστοιχη κατανάλωση τους, θα αναλυθούν παρακάτω.

#### 4.7. Κατάσταση του κελύφους, των κουφωμάτων και των υαλοπινάκων του κτιρίου

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, την περίοδο 1998-1999 το κτίριο της Δημοτικής Πινακοθήκης Χανίων υπέστη μία σειρά από κατασκευαστικές αλλαγές για την μετατροπή του από πρώην Β' Ταμείο στην σημερινή του μορφή.

Σύμφωνα με την Τεχνική Μελέτη του έργου, αρχικά εκτελέσθηκαν κάποιες προεργασίες που περιλαμβάνουν αποξηλώσεις και κατεδαφίσεις τμημάτων της δομής. Πιο συγκεκριμένα καθαιρέσεις πραγματοποιήθηκαν σε ανωδομές από λιθοδομή με σκοπό την διαμόρφωση των προβλεπόμενων νέων ανοιγμάτων και οπών στήριξης, καθώς και σε εσωτερικά διαχωρίσματα από οπτοπλινθοδομή, στα δάπεδα υπογείου και όλων των ορόφων και των επιχρισμάτων στα σημεία κυρίως που παρουσιαζόταν σαθρότητα. Ακολούθησαν το άνοιγμα παραθύρου στην δυτική όψη του υπογείου για λόγους συμμετρίας, το κλείσιμο των ανοιγμάτων στην νότια όψη του ισόγειου με την χρήση οπτοπλινθοδομής και μόνωσης με την μέθοδο της διπλής δρομικής, ενώ στον 1<sup>ο</sup> όροφο δημιουργήθηκαν και άλλα παράθυρα και στον 2<sup>ο</sup> κατασκευάστηκε εξωτερική θύρα. Όσον αφορά τα κουφώματα, τα εξωτερικά είναι ξύλινα διπλά ανοιγόμενα και κάποια από αυτά τα οποία προϋπήρχαν και κρίθηκαν ότι είναι σε άριστη κατάσταση, δεν αντικαταστάθηκαν με καινούρια. Εσωτερικά, οι ξύλινες θύρες είναι κατασκευασμένες από ξυλεία Oregon εξαιρετικής ποιότητας και έχουν ξύλινες κάσες μπατικές ή δρομικές ανάλογα με την τοιχοποιία. Παρατηρούνται και πόρτες πυρασφάλειας, ξύλινες πρεσσαριστές από Σουηδική ξυλεία στους βοηθητικούς χώρους και μεταλλικές με σκελετό από σωλήνες λαμαρίνας στους χώρους των μηχανοστασίων του υπογείου. Οι τοίχοι που χωρίζουν τα γραφεία του 1<sup>ου</sup> ορόφου και γενικά όλοι οι εσωτερικοί τοίχοι κατασκευάζονται σύμφωνα με την τεχνική της απλής δρομικής. Οι εσωτερικές επιφάνειες των εξωτερικών τοίχων έχουν επιχριστεί, σύμφωνα με το σχέδιο της αρχιτεκτονικής μελέτης, με επίχρισμα τριφτό το οποίο έχει πραγματοποιηθεί σε 3 στρώσεις.

Πιο συγκεκριμένα για την φέρουσα τοιχοποιία, οι πλινθοδομές αποτελούνται από τούβλα (Χαλκίδος) εξαιρετικής ποιότητας 6x9x19 εκ. ή 9x12x19 εκ., κονίαμα αναλογίας 1:2 των 150 χγρ. τσιμέντου. Η δόμηση των νέων εξωτερικών τοίχων στην δυτική όψη γίνεται από λιθοδομή με τον ίδιο τρόπο με τα παλαιά, δηλαδή ισόδομη δόμηση με λαμπάδες και ανακουφιστικά τόξα. Τα δάπεδα των ορόφων είναι δομημένα από άριστης ποιότητας υλικά, με τους χώρους του υπογείου να έχουν δαπεδοστρώσεις με μάρμαρο Αγίας Μαρίνας πάχους 20χιλ. και οι υπόλοιποι χώροι να έχουν ξύλινο δάπεδο από Δρύινες σανίδες πάχους 25 χιλ. Για το δάπεδο του υπογείου αξίζει να υπογραμμιστεί ότι έχει γίνει διάστρωση μεμβράνης PVC 1 χιλ. με αλληλοεπικάλυψη 10 εκ. και πλάκες ελατής πολυστερίνης FloorMate πάχους 3 εκ., ενώ στα υπόλοιπα δάπεδα εφαρμόστηκαν μοριοσανίδες Novopan 12 χλ με αλληλοεπικάλυψη, μεμβράνη PVC, Ορυκτοβάμβακας και αντικραδασμικό παρέμβασμα από φελλό 5 χιλ. Η στέγη ανακατασκευάστηκε ολοκληρωτικώς από ξυλεία και προστέθηκε μόνωση και ρωμαϊκά κεραμίδια, ενώ στο βόρειο τμήμα της υπάρχουν πέντε φεγγίτες τύπου Ior (hellas)/T 860 με διπλό τζάμι πάχους 3 χιλ. Η μόνωση που χρησιμοποιήθηκε είναι RoofMate πάχους 3 εκ. και επίσης τοποθετήθηκε και μεμβράνη υγραμόνωσης τύπου Corovin. Η εξωτερική τοιχοποιία της Πινακοθήκης είναι κατασκευασμένη από πέτρα εξωτερικά ανεπίχριστη και πάχους 70 εκ. Στην πρόσοψη υπάρχουν ισομεγέθεις λαξευμένες πέτρες που προσδίδουν έναν επιβλητικό χαρακτήρα στο κτίριο. Τα παράθυρα του ισόγειου του κτιρίου επί της οδού Χάληδων είναι διπλά και ακολουθούν τους κανόνες των εμπορικών Νεοκλασικών κτιρίων. Τα ανοίγματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου αναπτύσσονται μεταξύ αυστηρών κίωνων και οι απολήξεις τους συγκρατούν τον ελαφρά διακοσμημένο με ανάγλυφες ταινίες γείσο που καταλήγει στην οροφή του κτιρίου.


## 5. Ενεργειακή Προσομοίωση του κτιρίου

### 5.1. 3D Σχεδιασμός του κτιρίου

Για τον σχεδιασμό και την ενεργειακή προσομοίωση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα SketchUp Pro 2017 και η εφαρμογή OpenStudio, έκδοχή 2.9.1. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσω ότι λόγω αδυναμίας συλλογής κάποιων δεδομένων των πραγματικών λειτουργιών και των χαρακτηριστικών του κτιρίου, γίνανε κάποιες παραδοχές στηριζόμενες στην αντίστοιχη παγκόσμια βιβλιογραφία και οι οποίες είναι απαραίτητες για την διεξαγωγή της προσομοίωσης που θα αναλυθούν και παρακάτω.

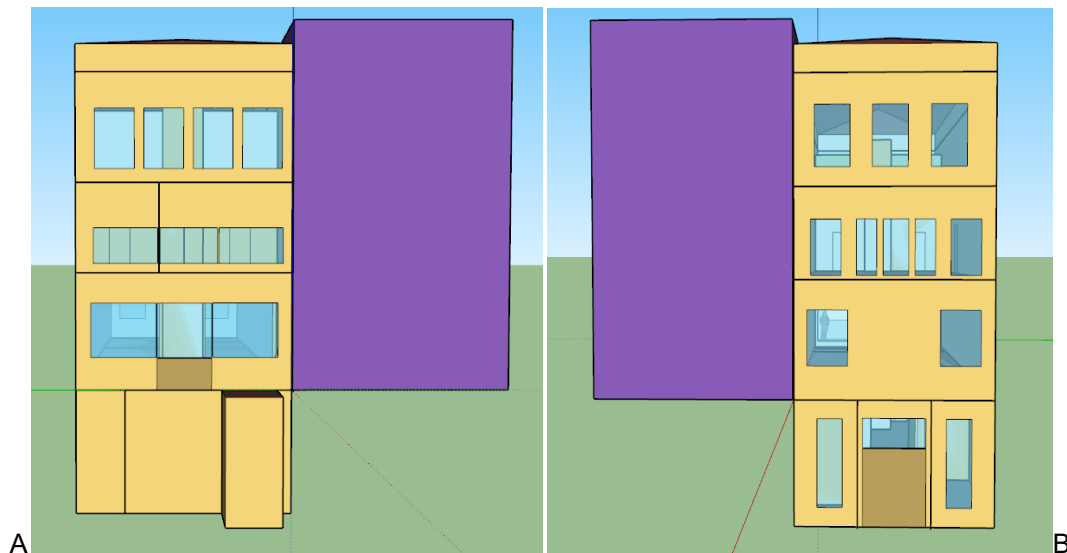
Αρχικά, γίνεται χρήση των λειτουργιών και των εργαλείων του SketchUp και ακολούθως αναπτύσσονται πιο αναλυτικά στο περιβάλλον του OpenStudio. Το SketchUp χρησιμοποιεί τρεις άξονες για τον σχεδιασμό των τρισδιάστατων μοντέλων, τον κόκκινο, τον πράσινο και τον μπλε οι οποίοι συμβολίζουν το μήκος, το πλάτος και το ύψος αντίστοιχα. Για την σχεδίαση και δημιουργία του κτιρίου στο πρόγραμμα, με βάση τα σχεδιαστικά δεδομένα που προσφέρουν οι κατόψεις, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία του SketchUp που παραθέτονται στον Πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1 Εργαλεία SketchUp και OpenStudio που χρησιμοποιήθηκαν.

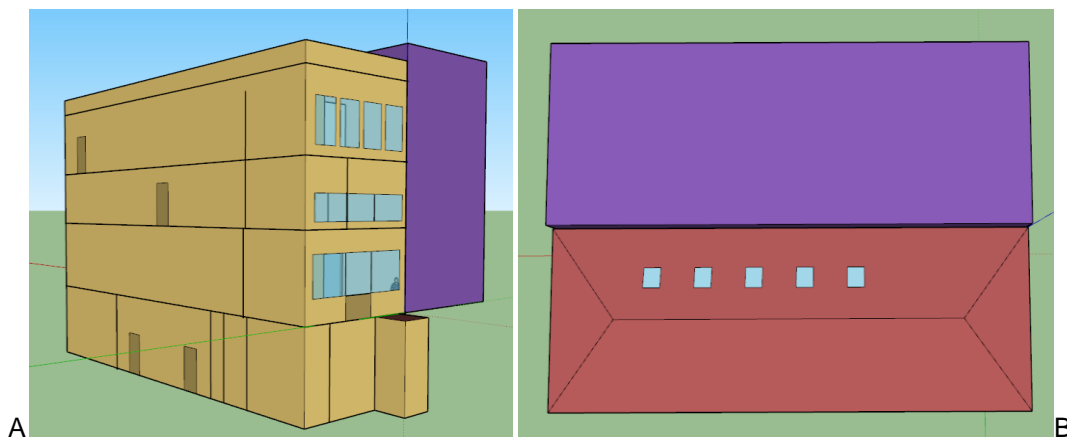
Ονομασία	Εικονίδιο	Λειτουργία
New Space		Δημιουργία ενός νέου χώρου (πχ νέου ορόφου)

Line		Δημιουργία επιφανειών
Eraser		Διαγραφή τμημάτων του κτιρίου
Tape Measure Tool		Μέτρηση των επιφανειών
Select		Επιλογή κάποιου τμήματος του κτιρίου
Pan		Μετακίνηση στο χώρο εργασίας του SketchUp
Orbit		Περιστροφή στο χώρο εργασίας του SketchUp
Create Spaces from Diagram		Για να δοθεί ύψος στο κτίριο
New Interior Partition Surface Group		Δημιουργία εσωτερικών τμημάτων στον χώρο
Set Attributes for Selected Spaces		Ορισμός Ιδιοτήτων για κάθε χώρο
Inspector		Έλεγχος των χαρακτηριστικών κάθε τμήματος
New Shading Surface Group		Προσθήκη τμημάτων σκίασης
Save Studio Model		Αποθήκευση του αρχείου του OpenStudio
Open Studio Model		Άνοιγμα του αρχείου στο περιβάλλον του SketchUp
Launch Open Studio		Άνοιγμα του OpenStudio για το συγκεκριμένο "ανοιχτό" αρχείο

Με την χρήση των εργαλείων του SketchUp και του OpenStudio που παρουσιάστηκαν παραπάνω, πραγματοποιήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου της Δημοτικής Πινακοθήκης (Εικόνα 5.1(A&B)-Εικόνα 5.2(A&B)). Και στους τέσσερις ορόφους (υπόγειο, ισόγειο, 1<sup>ος</sup> και 2<sup>ος</sup> όροφος) δημιουργήθηκαν τοίχοι σε κάθε όροφο για την μοντελοποίηση των εσωτερικών χώρων.



Εικόνα 5.1 (Α&Β) Απεικόνιση Πρόσοψης (Εικόνα Α) και Δυτικής όψης (Εικόνα Β) του κτιρίου στο SketchUp.



Εικόνα 5.2 (Α&Β) Απεικόνιση άλλης όψη του κτιρίου (Εικόνα Α) και της Κάτοψης του στο SketchUp

Το κτίριο της συγκεκριμένης Εργασίας και τα επιμέρους στοιχεία του έχουν τις εξής διαστάσεις:

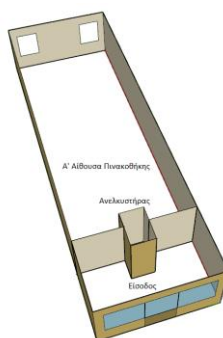
- Κτίριο Επιφάνειας περίπου 800 m<sup>2</sup>
- Τέσσερις όροφοι ύψους: 4,57 m το υπόγειο, 4,30 m το ισόγειο, 3,3 m ο 1<sup>ος</sup> όροφος και 5,01 m ο 2<sup>ος</sup> όροφος.
- 21 συνολικά παράθυρα, οι διαστάσεις των οποίων αναλύονται στο *Παράρτημα Β*: Πίνακας 12.1.
- 6 συνολικά εξωτερικές πόρτες διαστάσεις των οποίων αναλύονται στο *Παράρτημα Β*: Πίνακας 12.2.
- Πέντε φεγγίτες διαστάσεων 0,9m x 0,9m με απόσταση 1,8 m μεταξύ τους, τοποθετημένοι στην βόρεια πλευρά της στέγης.
- Φέρων οργανισμός στέγης με τεγίδες, επιτεγίδες κτλ. από λευκή ξυλεία και επικάλυψη από ρωμαϊκά κεραμίδια.

- Η διείσδυση του αέρα από τα κουφώματα εκτιμάται ότι έχει τιμή 1 πλήρης εναλλαγή αέρα την ώρα (air changes per hour), δεδομένου ότι τα κουφώματα είναι κατασκευασμένα από ξύλο.
- Ο χώρος χωρίζεται σε επτά δωμάτια στο 1<sup>ο</sup> όροφο (ισόγειο) και σε έξι στο 2<sup>ο</sup> και οι διαστάσεις τους φαίνονται στις παρακάτω κατόψεις του έργου:

Πιο συγκεκριμένα το Ισόγειο αποτελείται από τους παρακάτω χώρους (Πίνακας 5.2– Εικόνα 5.3) :

Πίνακας 5.2 Χώροι Ισογείου του Κτιρίου.

Ονομασία Χώρων Ισογείου	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )
Είσοδος	34,94
Α' Αίθουσα	164,35
Ανελκυστήρας	4,56

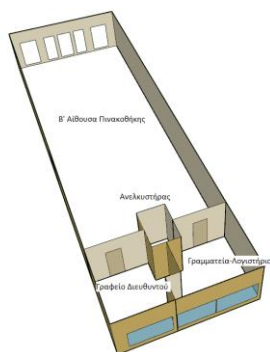


Εικόνα 5.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων Ισογείου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).

Ο 1<sup>ος</sup> Όροφος (Πίνακας 5.3–Εικόνα 5.4):

Πίνακας 5.3 Χώροι 1<sup>ου</sup> Ορόφου του Κτιρίου.

Ονομασία Χώρων 1 <sup>ου</sup> Ορόφου	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )
Β' Αίθουσα	165,49
Γραμματεία-Λογιστήριο	17,98
Γραφείο Διευθυντού	15,98
Ανελκυστήρας	4,56

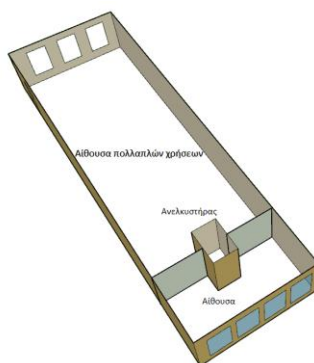


Εικόνα 5.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων 1ου Ορόφου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).

Ο 2<sup>ος</sup> Όροφος (Πίνακας 5.4– Εικόνα 5.5):

Πίνακας 5.4 Χώροι 2<sup>ου</sup> Ορόφου του Κτιρίου.

Ονομασία Χώρων 2 <sup>ου</sup> Ορόφου	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )
Αίθουσα Πολλαπλών Χρήσεων	165,49
Ανεκυστήρας	4,56



Εικόνα 5.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων 2ου Ορόφου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).

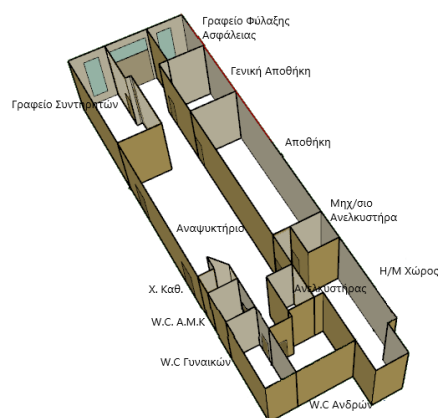
Τέλος, το Υπόγειο (Πίνακας 5.5– Εικόνα 5.6):

Πίνακας 5.5 Χώρου Υπογείου του Κτιρίου.

Ονομασία Χώρων Υπογείου	Εμβαδόν (m <sup>2</sup> )
Αναψυκτήριο	40,40
Χ. Καθ.	2,00
W.C Α.Μ.Κ	3,60
W.C Γυναικών	7,90
W.C Ανδρών	9,60
Η/Μ Χώρος	22,66
Μηχανοστάσιο Ανεκυστήρα	4,00
Αποθήκη	49,00
Γενική Αποθήκη	7,53
Γραφείο Φύλαξης-Ασφάλειας	7,75



Γραφείο Συντηρητών	22,25
Ανελκυστήρας	4,56



Εικόνα 5.6 Τρισδιάστατη απεικόνιση χαρακτηριστικών χώρων Υπογείου (εξαγόμενο προσομοίωσης στο SketchUp).

Αφού σχεδιαστούν οι χώροι του κτιρίου της Πινακοθήκης που αναλύονται παραπάνω χωρίζονται σε θερμικές ζώνες, με την βοήθεια των εργαλείων του Plug-in OpenStudio. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι δίπλα ακριβώς από το υπό-μελέτη κτίριο βρίσκεται ένα κτίσμα ίδιας επιφάνειας το οποίο σχεδιάζεται και αυτό στο πρόγραμμα καθώς αποτελεί ένα αντικείμενο σκίασης.

#### 5.1.1. Θερμική Ζώνη

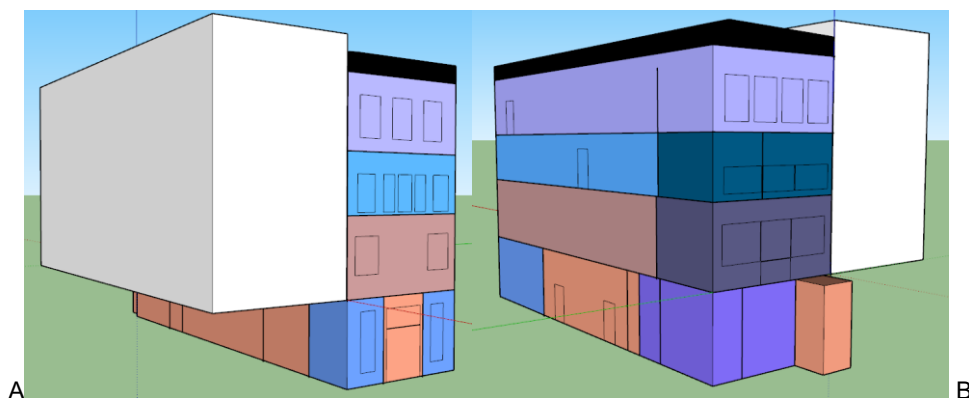
Η πολυπλοκότητα του κτιρίου και η διαφορετική χρήση των χώρων οδήγησε στον διαχωρισμό δεκατριών θερμικών ζωνών. Κάποιοι από τους χώρους της γκαλερί δεν αποτελούν στοιχεία μιας ενιαίας θερμικής ζώνης<sup>9</sup> και το κτίριο με τις διαφορετικές του θερμικές ζώνες διαμορφώνεται όπως φαίνεται στις Εικόνα 5.7 (Α&Β). Με βάση, λοιπόν, τα παραπάνω, οι θερμικές ζώνες του κτιρίου διαμορφώνονται ως εξής (Πίνακας 5.6):

Πίνακας 5.6 Οι Θερμικές ζώνες που ορίστηκαν για τη μελέτη.

A/A	Όροφος	Τύπος Χώρου- Space Type	Θερμική Ζώνη
1	Υπόγειο	Ανελκυστήρας-Elevator	1 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
2	Υπόγειο	W.C.	2 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
3	Υπόγειο	Αποθήκη-Apothiki etc	3 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
4	Υπόγειο	Γραφεία (Συντηρητών και Ασφαλείας)	4 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
5	Ισόγειο	Είσοδος-Entry	5 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη

<sup>9</sup>Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων KENAK (Άρθρο 3) και η TOTEE 20701-1 (ενότητα 3.2) συνιστούν τη διαίρεση των κτιρίων σε θερμικές ζώνες προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά η ενεργειακή τους απόδοση. Μια θερμική ζώνη είναι ένας αριθμός χώρων στους οποίους χωρίζεται ένα κτίριο, οι οποίοι έχουν παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας ή/και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα. Η διαίρεση ενός κτιρίου σε θερμικές ζώνες βασίζεται στις απαιτούμενες εσωτερικές συνθήκες κάθε χώρου και στην χρήση τους <https://docs.easykenak.gr/doku.php?id=manual:step3:idiotites>.

6	Ισόγειο	Εκθεσιακός χώρος-Exhibition Room	6 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
7	Ισόγειο	Ανελκυστήρας-Elevator	7 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
8	1 <sup>ος</sup> Όροφος	Γραφεία (Διευθυντή και Λογιστήριο-Γραμματεία)	8 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
9	1 <sup>ος</sup> Όροφος	Εκθεσιακός χώρος-Exhibition Room	9 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
10	1 <sup>ος</sup> Όροφος	Ανελκυστήρας-Elevator	10 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
11	2 <sup>ος</sup> Όροφος	Εκθεσιακός χώρος-Exhibition Room	11 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
12	2 <sup>ος</sup> Όροφος	Ανελκυστήρας-Elevator	12 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
13	2 <sup>ος</sup> Όροφος	Στέγη-Roof	13 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
14	Υπόγειο	Διάδρομος -Αποθήκη etc	14 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη
15	Υπόγειο	Μηχανοστάσιο, Η/Μ χώρος-Αποθήκη etc.	15 <sup>η</sup> Θερμική Ζώνη



Εικόνα 5.7 (A & B) Απεικόνιση των θερμικών ζωνών από διαφορετικές όψεις.

## 5.2. Τοποθεσία και κλίμα στο OpenStudio

Αρχικά, η πρώτη διεργασία που επιτελείται στον χώρο εργασίας του OpenStudio είναι η εισαγωγή του αρχείου καιρού (weather file), το οποίο έχει μορφή κειμένου και περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτίριο, οι οποίες έχουν συλλεχθεί από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και υπάρχουν στην ηλεκτρονική διεύθυνση του EnergyPlus. Ένα τυπικό αρχείο καιρού περιέχει καθημερινές μετρήσεις της θερμοκρασίας, υγρασίας, αέρα, ηλιακής ακτινοβολίας και κατακρήμνισης σε διαφορετικά υψόμετρα που σκιαγραφούν την μέση ετήσια καιρική κατάσταση μίας συγκεκριμένης κλιματικής ζώνης από μια περίοδο 30 χρόνων. Τα κλιματικά δεδομένα που εισάγονται στο υπό εξέταση μοντέλο, μέσω του weather file, αφορούν περιοχή πολύ κοντά στο κτίριο με γεωγραφικό πλάτος 35.48 N και γεωγραφικό μήκος 24.12E

(πραγματική τοποθεσία κτιρίου: 35°30'51.1" N (γεωγραφικό πλάτος) και 24°01'02.2" E (γεωγραφικό μήκος)).

### 5.3. Χρονοδιαγράμματα(Schedules)

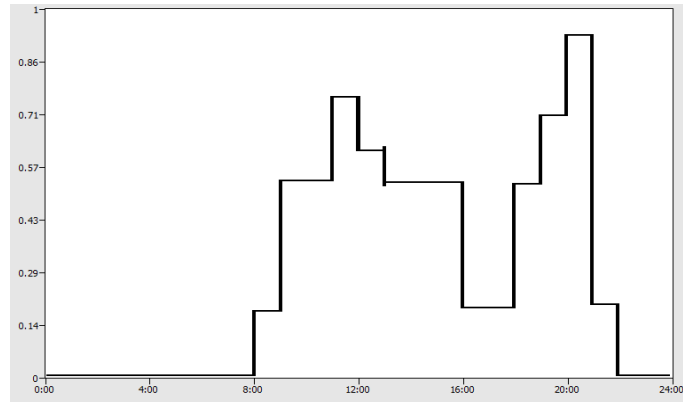
Στην συνέχεια ακολουθεί η δημιουργία χρονοπρογραμμάτων ή Schedules. Η καρτέλα των Χρονοδιαγραμμάτων στο πρόγραμμα του OpenStudio αποτελείται από δύο υποκαρτέλες: τα χρονοπρογράμματα ή Schedules και τα σετ χρονοπρογραμμάτων ή ScheduleSets. Αυτά τίθενται σε ισχύ για όλο τον χρόνο και πιθανώς εμφανίζουν διαφοροποιήσεις ανάλογα την ημέρα του έτους που αναφέρεται. Το εβδομαδιαίο πρόγραμμα λειτουργίας της Δημοτικής Πινακοθήκης Χανίων είναι κρίσιμο για το βήμα αυτό και παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 5.7):

Πίνακας 5.7 Ωράριο Λειτουργίας Πινακοθήκης

Ημέρα	Ώρες Λειτουργίας
Δευτέρα	10:00 π.μ.-2:00 μ.μ. , 7:00-9:00 μ.μ
Τρίτη	10:00 π.μ.-2:00 μ.μ. , 7:00-9:00 μ.μ.
Τετάρτη	10:00 π.μ.-2:00 μ.μ. , 7:00-9:00 μ.μ.
Πέμπτη	10:00 π.μ.-2:00 μ.μ. , 7:00-9:00 μ.μ.
Παρασκευή	10:00 π.μ.-2:00 μ.μ. , 7:00-9:00 μ.μ.
Σάββατο	10:00 π.μ.-2:00 μ.μ. , 7:00-9:00 μ.μ.
Κυριακή	--

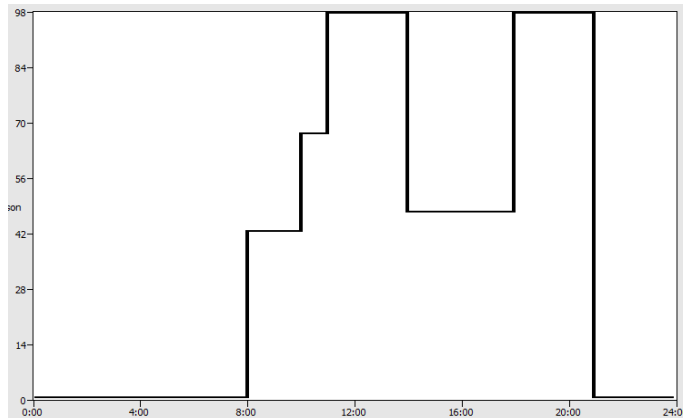
Για το λόγο αυτό έχουν οριστεί τα χρονοδιαγράμματα που παρουσιάζονται και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω (Εικόνα 5.8- Εικόνα 5.10), καθένα από τα οποία επιδεικνύει είτε την παρουσία και την δραστηριότητα των ατόμων (W/άτομο), την λειτουργία των συστημάτων ψύξης ή θέρμανσης (°C), την λειτουργία του αερισμού είτε την λειτουργία του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών που υπάρχουν στον χώρο στη διάρκεια της ημέρας για όλο τον χρόνο.

- Schedule Occurancy: Χρονοπρόγραμμα παρουσίας τόσο των επισκεπτών της γκαλερί καθώς και του προσωπικού που δουλεύει εκεί, τα οποία θα απουσιάζουν για τις ώρες 00:00 π.μ.-08:00 π.μ. και 10:00μ.μ.-00:00 π.μ., όταν η Πινακοθήκη είναι κλειστή. Το χρονικό διάστημα μεταξύ 02:00 μ.μ.-07:00 μ.μ. καθώς η Πινακοθήκη είναι πάλι κλειστή ο αριθμός των ανθρώπων θα είναι μειωμένος καθώς ορισμένο από το προσωπικό παραμένει εντός του κτιρίου. Τις ώρες 11:30 π.μ.-12:30 μ.μ και 06:00 μ.μ.-08:00 μ.μ. παρουσιάζεται συνήθως η μεγαλύτερη κίνηση του κοινού (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.8 Γραφική Απεικόνιση της παρουσίας ανθρώπων στον χώρο της Γκαλερί.

- **Schedule Activity:** Χρονοπρόγραμμα δραστηριοτήτων μέσα στο χώρο ορίζεται για τις ώρες 08:00 π.μ.-02:00 μ.μ. και 06:00 μ.μ.-09:00 μ.μ. Θεωρείται ότι τα W/άτομο όταν αυτό εκτελεί καθιστική εργασία είναι περίπου 40-70W και όταν περπατάει ή εκτελεί ελαφριά εργασία περίπου 100 W (Εικόνα 5.9).

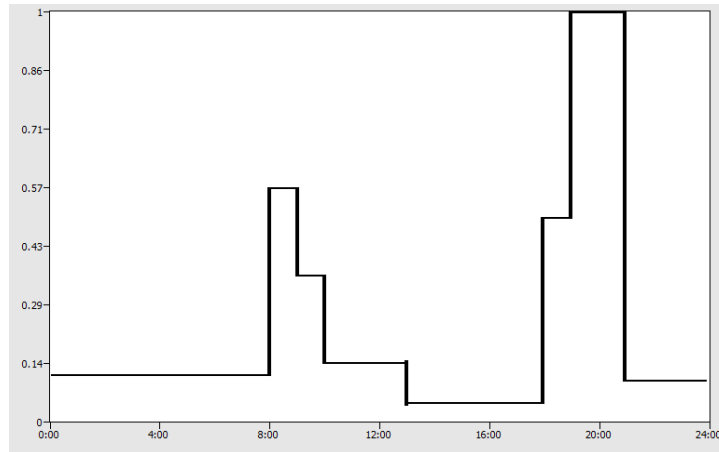


Εικόνα 5.9 Γραφική Απεικόνιση της δραστηριότητας των ανθρώπων στον χώρο της Γκαλερί.

- **Schedule Cooling:** Χρονοπρόγραμμα δροσίσιμου με δύο priorities: α) από 01/01-04/30 με άνω όριο θερμοκρασίας τους 50°C και β) από 10/22-12/31 με άνω όριο θερμοκρασίας τους 50°C.
- **Schedule Heating:** Χρονοπρόγραμμα θέρμανσης με ένα priority: από 05/01-10/21 με άνω όριο θερμοκρασίας τους 10°C.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι θεωρήθηκε ότι η θερμοκρασία θερμοστάτη (setpoint) για το κτίριο θα πρέπει να είναι ίση με 20°C και 26°C για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

- **Schedule Lights:** Χρονοπρόγραμμα για τον φωτισμό, ο οποίος θα παρουσιάζει μειωμένη λειτουργία από 00:00 π.μ.-08:00 π.μ., και θα λειτουργεί πιο έντονα στις 08:00 π.μ.-09:00 π.μ. ενώ για τα χρονικά διαστήματα 10:00 π.μ.-06:00 μ.μ. πέφτει η λειτουργία του. Από τις 07:00 μ.μ. -09:00 μ.μ. η Πίνακοθήκη υφίσταται η μέγιστη δυνατή λειτουργία του φωτισμού (Εικόνα 5.10).



Εικόνα 5.10 Γραφική Απεικόνιση της λειτουργίας των λαμπτήρων φωτισμού στον χώρο της Γκαλερί.

- Χρονοπρόγραμμα λειτουργίας συσκευών όπου για τις ώρες 08:00 π.μ.-09:30 μ.μ. παρατηρείται μία λειτουργία με αυξανόμενους ρυθμούς και μέγιστες τιμές στις ώρες αιχμής της γκαλερί, δηλαδή με μέγιστη χρήση συσκευών από 15:00 μ.μ.- 20:30 μ.μ.

#### 5.4. Υλικά (Materials)

Στην κατηγορία “Constructions -Materials” εισάγονται όλα τα απαραίτητα υλικά για την κατασκευή και διαμόρφωση του υπό μελέτη κτιρίου και καταγράφονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με το TOTEE, δηλαδή η θερμική αγωγιμότητα των υλικών ( $W/(m \cdot K)$ ), η πυκνότητα τους ( $kg/m^3$ ), η ειδική θερμότητα ( $J/(kg \cdot K)$ ) αλλά και το πάχος τους (m). Ακολουθώντας, παραθέτονται τα υλικά σε επίπεδα με την ορθή διαστρωμάτωση από την εξωτερική πλευρά του αντικειμένου (πχ άνοιγμα, τοίχος κτλ.) προς την εσωτερική και δημιουργούνται τα διάφορα στοιχεία της δομής. Το εξωτερικό κέλυφος και το εσωτερικό του υφιστάμενου κτιρίου αποτελείται από τα κατασκευαστικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά τους (δεδομένα από τη TOTEE 20701-2/2010 A') που βρίσκονται στο *Παράρτημα Β: Πίνακας 12.3*.

#### 5.5. Κατασκευές (Constructions)

Κατόπιν, παραθέτονται τα δομικά στοιχεία τα οποία αποτελούν το κτίριο με την σειρά επίστρωσης του κάθε υλικού τους (από την εξωτερική προς την εσωτερική επιφάνεια) στο Παράρτημα Β: Πίνακας 12.4.

#### 5.6. Εσωτερικά Φορτία (Internal Loads)

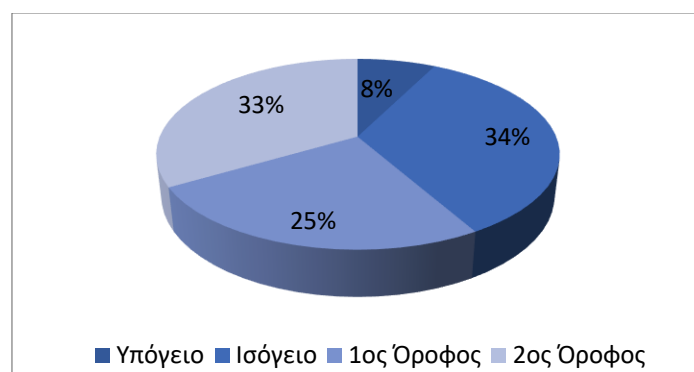
Ακολουθεί, η προσθήκη των Internal Loads γνωστά και ως τυπικά φορτία του κτιρίου. Η θερμότητα που μπορεί να προσφέρουν οι διάφορες ηλεκτρικές συσκευές θέρμανσης, η θερμότητα που εκπέμπουν τα σώματα των ανθρώπων και οι άλλες ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται στον χώρο καθώς και η θερμότητα που προέρχεται είτε από τον τεχνητό φωτισμό ή από την ηλιακή ακτινοβολία ανήκουν στις θετικές ενεργειακές ροές, οι οποίες ονομάζονται ενεργειακές απολαβές και συνεισφέρουν στη μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό ενός κτιρίου ανεξαρτήτως των εξωτερικών συνθηκών. Αυτός είναι και ο λόγος που στην κατηγορία Loads του OpenStudio ορίζονται τα θερμικά αυτά κέρδη.

### 5.6.1. Εσωτερικά Φορτία από ανθρώπους (People Definitions)

Σε αυτή την κατηγορία της εφαρμογής Loads του OpenStudio παρουσιάζονται όλοι οι άνθρωποι που βρίσκονται μέσα στο κτίριο κατά την διάρκεια της ημέρας. Στην περίπτωση της Πινακοθήκης αυτοί μπορεί να είναι είτε επισκέπτες είτε τα μέλη του προσωπικού της. Ο αριθμός των επισκεπτών σε ένα κτίριο ειδικού σκοπού μπορεί να παρουσιάσει διακυμάνσεις μέσα στην ημέρα. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν είναι δυνατό κάποιος να προβλέψει τον ακριβή αριθμό των ατόμων σε τέτοιους δημόσιους χώρους. Επομένως χρησιμοποιούνται κάποιες τυπικές τιμές από την διεθνή βιβλιογραφία που υποδηλώνουν τον αριθμό των ανθρώπων ανά μέτρο επιφάνειας (people per space floor area: people/m<sup>2</sup>) ή μέτρο επιφάνειας ανά άτομο (area per person: m<sup>2</sup>/person). Με βάση την παγκόσμια βιβλιογραφία για τα δεδομένα που υπάρχουν για τα μουσεία, μία τυπική τιμή ft<sup>2</sup>/person για έναν τέτοιο χώρο κυμαίνεται μεταξύ 30-100ft<sup>2</sup>/person, ενώ σύμφωνα με τον Πίνακα 2.3 TOTEE 20701-1, η πυκνότητα (άτομα/100 m<sup>2</sup>) μιας γκαλερί/μουσείου είναι 50. Στην προκειμένη περίπτωση όμως γίνεται η παραδοχή ότι η τιμή για την Πινακοθήκη είναι 13,45 ft<sup>2</sup>/person το οποίο με μετατροπή μονάδων γίνεται 1,25 m<sup>2</sup>/person και ισούται με 0,8 people/m<sup>2</sup>. Η εκλυόμενη θερμότητα ανά χρήστη για χώρους εκθέσεων και μουσεία βάσει τον Πίνακα 2.7 του TOTEE 20701-1, είναι 90 W/άτομο.

### 5.6.2. Φορτία Φωτισμού (Lights Loads)

Εδώ καταγράφονται οι καταναλώσεις σε Watt για όλες τις διαφορετικές θερμικές ζώνες του κτιρίου και υπολογίζεται το συνολικό ποσό. Αρχικά, γίνεται η μέτρηση και η καταγραφή των συσκευών τεχνητού φωτισμού όπου είναι δυνατόν. Οι χώροι εκθέσεως του κτιρίου είναι τρεις και βρίσκονται στο Ισόγειο, στον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> όροφο. Συγκεκριμένα, ο εκθεσιακός χώρος στο Ισόγειο έχει 75 λαμπτήρες των 8W και οι φωτιστικές συσκευές στην πλειοψηφία τους είναι προβολείς, ενώ ο 1<sup>ος</sup> έχει 52 και ο 2<sup>ος</sup> 78 αντίστοιχα. Επομένως, μόνο στους εκθεσιακούς χώρους οι λαμπτήρες είναι 205. Σε αυτό το σημείο γίνεται η παραδοχή ότι στο σύνολο του, το κτίριο της Πινακοθήκης διαθέτει 240 λαμπτήρες των 8W στο εσωτερικό του. Η συνολική τιμή του ενεργειακού φορτίου του φωτισμού είναι 1920W. Η ενεργειακή κατανάλωση για τη λειτουργία του τεχνητού φωτισμού είναι υψηλή εξαιτίας της εγκατάστασης ενός συστήματος φωτισμού μη ελεγχόμενου και ενεργειακά αποδοτικού. Για την κατανάλωση της λειτουργίας του φωτισμού σε κάθε όροφο ισχύει (Γράφημα 5-1):



Γράφημα 5-1 Ενεργειακή κατανάλωση φωτισμού ανά όροφο.

Σε αυτό το σημείο τονίζεται ότι θέτεται ένας συντελεστής ταυτοχρονισμού 0,5 για τον τεχνητό φωτισμό σε ορισμένους χώρους του κτιρίου όπως τις Αποθήκες του υπογείου και τα

γραφεία. Με αυτό τον τρόπο, υποδηλώνεται ότι δεν είναι όλοι οι λαμπτήρες της Πινακοθήκης σε λειτουργία την ίδια στιγμή καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας.

### 5.6.3. Ηλεκτρικές Συσκευές

Οι ηλεκτρικές συσκευές που υπάρχουν στο κτίσμα της Πινακοθήκης είναι κατά βάση ηλεκτρονικοί υπολογιστές (επιτραπέζιοι και φορητοί) και ο περιφερειακός εξοπλισμός αυτών, όπως εκτυπωτές, συσκευές φαξ, αλλά και ο κινητήρας του ανελκυστήρα και ο εξοπλισμός του μηχανοστασίου. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.8) προβάλλονται οι ενεργειακές καταναλώσεις των ηλεκτρικών συσκευών που υπάρχουν στο κτίριο της πινακοθήκης.

Πίνακας 5.8 Συνολικές Ενεργειακές Καταναλώσεις των Ηλεκτρικών Συσκευών της Πινακοθήκης (Παπαϊωακείμ, 2012), ([www.photovoltaiic.gr](http://www.photovoltaiic.gr)), (<https://volton.gr>).

	Πλήθος Συσκευών	Κατανάλωση Ηλεκτρ. Συσκευής σε W	Συνολική Κατανάλωση σε W
Επιτραπέζιος Υπολογιστής	3	200	600
Φορητός Υπολογιστής	3	65	195
Εκτυπωτής (Μελάνι)	1	100	100
Ρούτερ Διαδικτύου	1	5	5
Συσκευή Fax	1	50	50
Ασύρματο Τηλέφωνο	3	10	30
Ψυγείο	1	400	400
Κινητήρας Ανελκυστήρα	1	230	260
Εξοπλισμός Μηχανοστασίου	-	600	600
Σύνολο	-	-	2.240

Επομένως, με βάση τα δεδομένα του παραπάνω Πίνακα, τα ενεργειακά φορτία των ηλεκτρικών συσκευών για κάθε Space Type του κτιρίου διαμορφώνονται παρακάτω στον Πίνακα 5.9:

Πίνακας 5.9 Ανάλυση των Φορτίων των Ηλεκτρικών Συσκευών του κτιρίου.

Χώροι Κτιρίου	Αποθήκη	Είσοδος	Ανελκυστήρας	Γραφεία	Εκθεσιακός χώρος	Οροφή	WC
---------------	---------	---------	--------------	---------	------------------	-------	----



Επιτραπέζιος Υπολογιστής	-	1	-	2	-	-	-
Φορητός Υπολογιστής	-	-	-	3	-	-	-
Εκτυπωτής (Μελάνι)	-	-	-	1	-	-	-
Ρούτερ Διαδικτύου	-	-	-	1	-	-	-
Συσκευή Fax	-	-	-	1	-	-	-
Ασύρματο Τηλέφωνο	-	1	-	2	-	-	-
Ψυγείο	1	-	-	-	-	-	-
Κινητήρας Ανελκυστήρα	1	-	-	-	-	-	-
Εξοπλισμός Μηχανοστασίου	1	-	-	-	-	-	-
Συνολικά Φορτία σε W	1.260	210	-	770	-	-	-

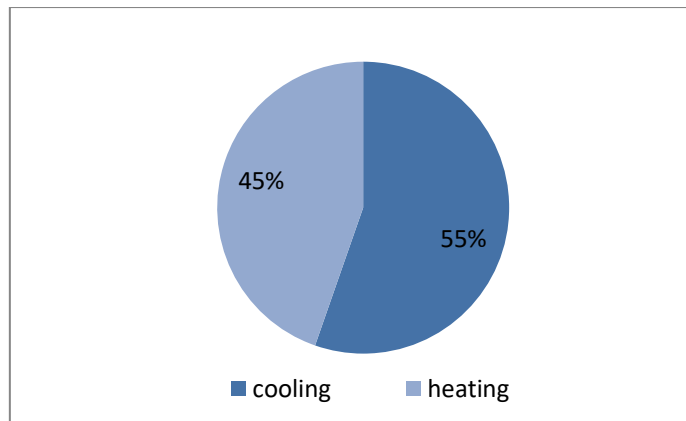
## 6. Αποτελέσματα

### 6.1. Κτίριο Αναφοράς

Τα στοιχεία που εκτιμώνται μετά την μοντελοποίηση του κτιρίου και την εκτέλεση του προγράμματος του OpenStudio κατανέμονται ανά τύπο χρήσης στον παρακάτω πίνακα: (Πίνακας 6.1):

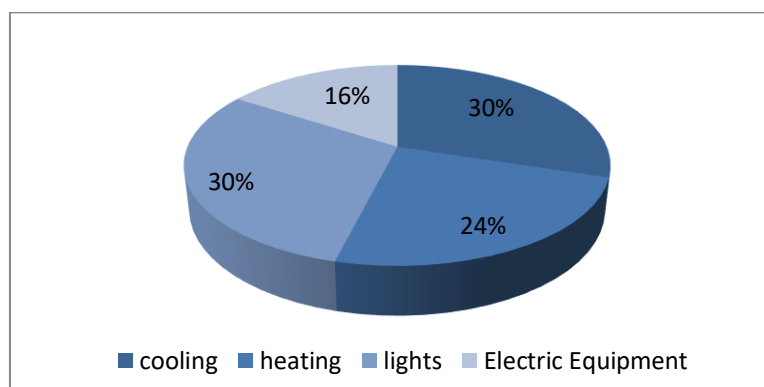
Πίνακας 6.1 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση στο υφιστάμενο κτίριο.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου (υφιστάμενη κατάσταση)	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	29.803	38
Ψύξη	36.939	48
Τεχνητός Φωτισμός	37.755	48
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	19.828	25
Σύνολο	124.325	159

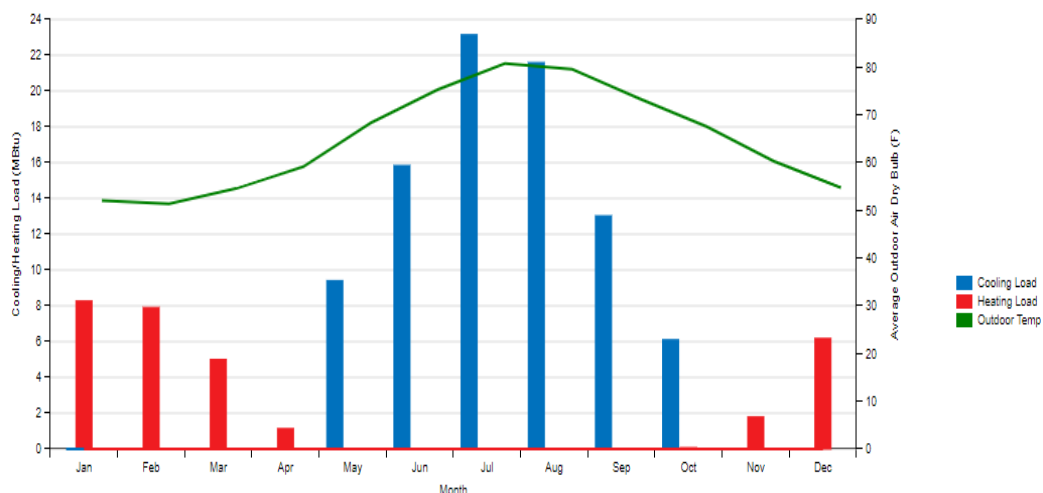


Γράφημα 6-1 Σύγκριση Ενεργειακής Κατανάλωσης για ψύξη και θέρμανση σε kWh/(m<sup>2</sup>\*y).

Όσο αναφορά την λειτουργία ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου, συγκρίνοντας τις τιμές τους σε σχέση με την συνολική κατανάλωση ενέργειας για τον κλιματισμό της Πινακοθήκης, προκύπτει το Γράφημα 6-1. Γενικά η κατανομή της Ενεργειακής Κατανάλωσης στο υφιστάμενο κτίριο διαμορφώνεται ως εξής στο Γράφημα 6-2 και πιο αναλυτικά η κατανομή των ενεργειακών φορτίων ανά μήνα προβάλλεται στο Γράφημα 6-3.



Γράφημα 6-2 Κατανομή Ενεργειακής Κατανάλωσης στο υπό-μελέτη κτίριο.



Γράφημα 6-3 Μηνιαία κατανομή των ενεργειακών φορτίων για θέρμανση και ψύξη, συγκριτικά με την εξωτερική θερμοκρασία με βάση τα αποτελέσματα του OpenStudio.

## 6.2. Ενεργειακές Παρεμβάσεις

Οι επιμέρους παρεμβάσεις που επιβάλλονται στο κτίριο επικεντρώνονται στο κτιριακό κέλυφος, τον φωτισμό του κτιρίου, τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης, τον αερισμό του. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι όλη αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται σε συμφωνία πάντα με τις ιδανικές συνθήκες που έχουν μελετηθεί σε αυτήν την εργασία (θερμοκρασία, σχετική υγρασία κτλ.) και πρέπει να ισχύουν στο εσωτερικό χώρο μουσείων και γκαλερί για την ευημερία των εκθεμάτων και της θερμικής άνεσης, με βασικό στόχο την εφαρμογή παρεμβάσεων που δεν επιδρούν παρεμβατικά στο ιστορικό κέλυφος του κτίσματος. Οι ενεργειακές παρεμβάσεις, οι οποίες αλλοιώνουν στον μικρότερο δυνατό βαθμό τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό του κτιρίου, εξετάζονται ξεχωριστά και μελετώνται τα αποτελέσματα που επιφέρουν στην ενεργειακή κατανάλωση και στην ενεργειακή απόδοση της Πινακοθήκης, ενώ ακολουθούν τα σενάρια που τις συνδυάζουν, με το τελικό σενάριο να είναι αυτό που συνδυάζει όλες τις αποδεκτές παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης. Τελικά, θα υπολογιστούν τα ποσοστά που αφορούν την ενεργειακή εξοικονόμηση και στην συνέχεια θα γίνει ο υπολογισμός της εκπεμπόμενης ποσότητας CO<sub>2</sub> και του ποσοστού μείωσης της, το αρχικό κόστος της επένδυσης του εκάστοτε σεναρίου, το ετήσιο κόστος και το χρόνο αποπλήρωσης της. Στον Πίνακα 6.2 προβάλλονται οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου σύμφωνα με το θερμικό μοντέλο κάθε ενεργειακή παρέμβασης εξοικονόμησης ενέργειας.

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας.

Ενεργειακές Παρεμβάσεις	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)	Ποσοστό Εξοικονόμησης %
Υφιστάμενη Κατάσταση	124.325	159	-
Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φωτισμού	97.506	125	21
Αλλαγή Κουφωμάτων και Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών	120.279	154	3
Αλλαγή Θερμομόνωσης Στέγης και τοίχων	105.445	135	15
Αλλαγή Συστημάτων HVAC και αλλαγή H/M εξοπλισμού	97.409	146	8
Εφαρμογή ΑΠΕ	94.700	121	24
Αντικατάσταση Λαμπτήρων, Κουφωμάτων και Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών	93.953	120	24
Αντικατάσταση Λαμπτήρων, Κουφωμάτων, Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών και μόνωσης	69.203	89	44

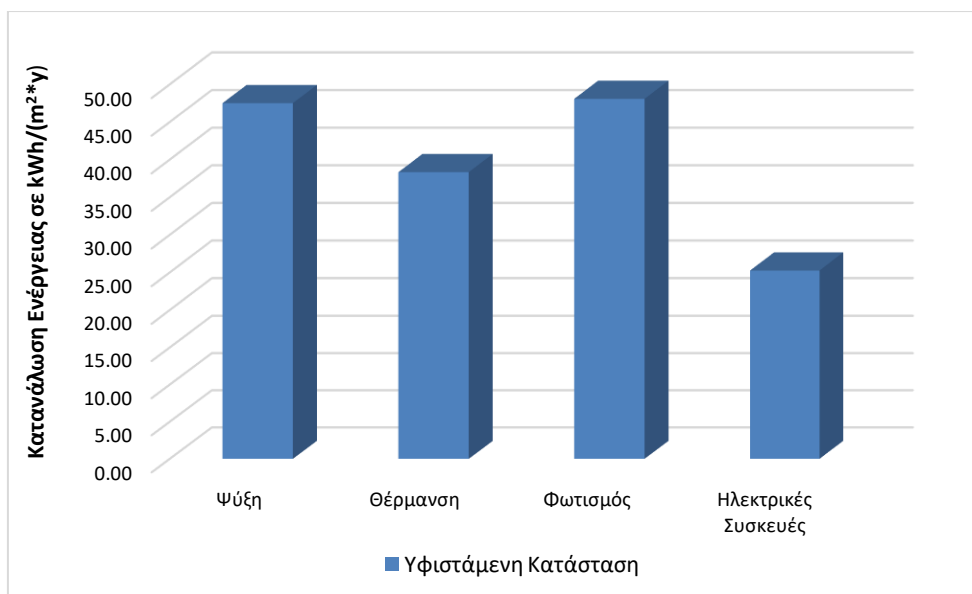
Αντικατάσταση Λαμπτήρων και Κουφωμάτων, Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών, μόνωσης, αλλαγή HVAC και H/M εξοπλισμού	58.267	91	43
--	--------	----	----

## 7. Συζήτηση

### 7.1. Υφιστάμενη κατάσταση κτιρίου

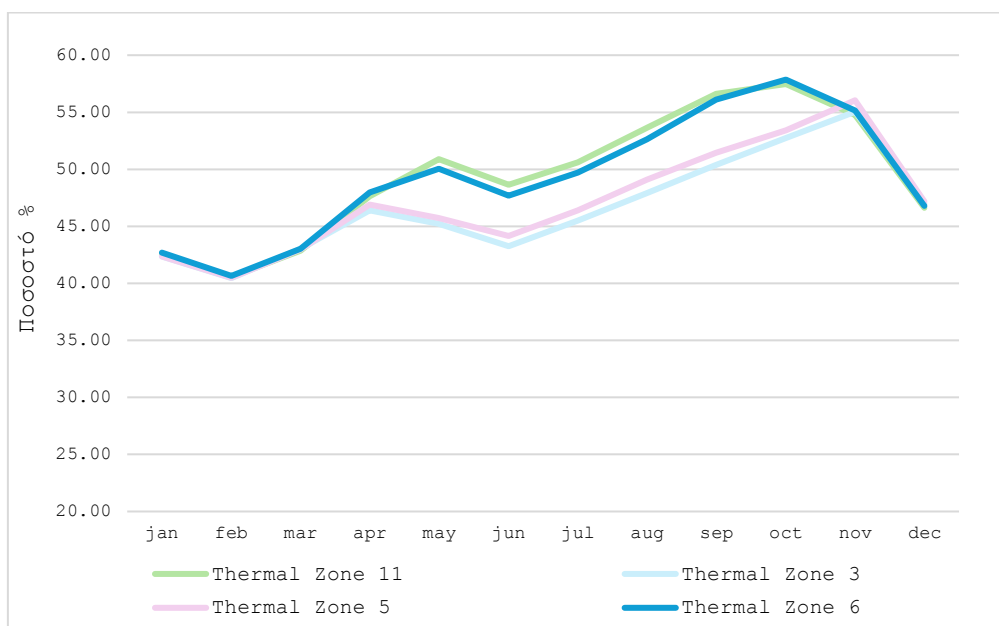
Από τον Πίνακα 6.1 καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι καταναλώσεις στο κτίριο αναφοράς που εξυπηρετούν τις επιμέρους λειτουργίες του είναι σχετικά υψηλές και υφίστανται περιθώρια μείωσης τους. Συγκρίνοντας τις τελικές καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη (Γράφημα 7-1), παρατηρείται ότι οι ανάγκες για ψύξη του κτιρίου είναι ελάχιστα μεγαλύτερες από αυτές της θέρμανσης. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται πως ποσοστό 30% και 24% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας, καταναλώνεται για την κάλυψη των αναγκών ψύξης και θέρμανσης του χώρου αντίστοιχα. Είναι ενδιαφέρον ότι το μοντέλο πριν από την αναβάθμιση έδειξε σχετικά μικρή διαφορά μεταξύ των ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης και θέρμανσης, κάτι που ήταν απροσδόκητο λόγω του τοπικού κλίματος. Αυτό πιθανότατα αντικατοπτρίζει παράγοντες όπως η κακή μόνωση και των προσανατολισμό των παλαιών παραθύρων, τα οποία αυξάνουν τις ενεργειακές ανάγκες τόσο κατά τις θερμές όσο και κατά τις ψυχρές εποχές.

Οι ηλεκτρικές συσκευές έχουν μερίδιο ίσο με 16% επί της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος για φωτισμό δαπανάται το 30% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας (Γράφημα 6-2). Αν και οι πραγματικές καταναλώσεις στο παρών κτίριο δεν είναι γνωστές, γίνεται η παραδοχή ότι δεν έχουν μεγάλη απόκλιση από αυτές της προσομοίωσης λόγω και του είδους της λειτουργίας του κτιρίου. Η συνολική κατανάλωση για το μοντέλο Gallery είναι 159 kWh/m<sup>2</sup>, που θεωρείται αρκετά ρεαλιστική και όχι ασυνήθιστα υψηλή για ένα παλαιότερο δημόσιο κτίριο, ειδικά σε ένα κλίμα όπως αυτό των Χανίων, όπου τα καλοκαίρια μπορεί να είναι ζεστά, απαιτώντας σημαντική ψύξη. Είναι δεδομένο ότι κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας της Πινακοθήκης και επιβάλλεται η επέμβαση σε αυτούς αφορούν την έλλειψη ικανοποιητικής μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, το μη σύγχρονο σύστημα HVAC και των άλλων ηλεκτρικών συσκευών, το μη σύγχρονο και αυτοματοποιημένο σύστημα φωτισμού κ.α.

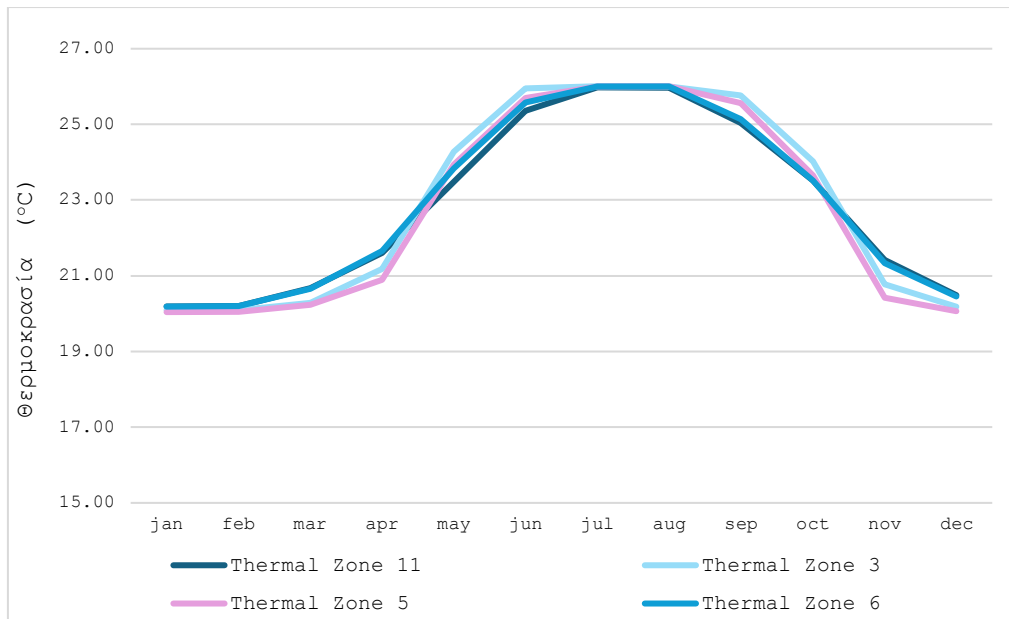


Γράφημα 7-1 Οι τιμές των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την υφιστάμενη δομή.

Όπως έχει προαναφερθεί η σχετική υγρασία επηρεάζει καθοριστικά τόσο για τα υλικά από τα οποία αποτελούνται τα εκθέματα ενός μουσείου/γκαλερί αλλά και συνδυαστικά με την θερμοκρασία έχουν καταληκτικά αποτελέσματα και στα υλικά μόνωσης των κτιρίων. Μέσα από την εκτέλεση του αρχικού μοντέλου του υπό-μελέτη κτιρίου καταγράφονται ενδεικτικά στα Γράφημα 7-2 και Γράφημα 7-3 τα επίπεδα σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας ανά μήνα για τους εκθεσιακούς χώρους της Πινακοθήκης (Θερμικές Ζώνες 6 και 11) και για τις αποθήκες όπου κρατούνται έργα (Θερμική Ζώνη 3) αντίστοιχα. Κλιματιζόμενη ζώνη αποτελεί και η θερμική ζώνη της εισόδου (Θερμική Ζώνη 5). Στις ρυθμίσεις προσομοίωσης η περίοδος προσομοίωσης τέθηκε από την 1η Ιανουαρίου έως την 31η Δεκεμβρίου, και η συχνότητα υπολογισμού στην 1 ώρα.



Γράφημα 7-2 Επίπεδα Σχετικής Υγρασίας για ένα χρόνο στο υφιστάμενο κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11.



Γράφημα 7-3: Επίπεδα Θερμοκρασίας για ένα χρόνο στο υφιστάμενο κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11.

Παρατηρώντας τα Γραφήματα, οι θερμοκρασιακές μεταβολές εντός του μοντέλου βρίσκονται εντός των ορίων θερμικής άνεσης που ορίζονται στην TOTEE 20701-1 (20°C την περίοδο θέρμανσης και 26°C και την περίοδο ψύξης). Τα επίπεδα σχετικής υγρασίας βρέθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα, και εντός των ορίων της TOTEE (40% και 45% για τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα με κάποιες αποκλίσεις 5-10%). Όσο αναφορά το μικροκλίμα της Πινακοθήκης και τις ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες για την διατήρηση των εκθεμάτων, οι τιμές θερμοκρασίας χαρακτηρίζονται ιδανικές και της σχετικής υγρασίας βρίσκονται εξίσου εντός ορίων με κάποιες πολύ μικρές αποκλίσεις με βάση την παγκόσμια βιβλιογραφία (45%-55%  $\pm$  5% ή 10 % και 15°C-25°C  $\pm$  2°C-  $\pm$  5°C αντίστοιχα) για την ευημερία των εκθεμάτων. Τέλος, δεδομένου ότι η Πινακοθήκη βρίσκεται στο κέντρο μίας πόλης και μάλιστα κοντά σε ένα από τους πιο κεντρικούς δρόμους της είναι αναμενόμενο να υπάρχουν κάποιες συγκεντρώσεις αέριων σωματιδίων στο εσωτερικό της, οι οποίες όμως δεν είναι καθοριστικές και θα αντιμετωπιστούν μέσω του συστήματος HVAC.

## 7.2. Ανάλυση Ενεργειακών Παρεμβάσεων

### 7.2.1. Ενεργειακή Παρέμβαση Αντικατάστασης Λαμπτήρων

Στο κομμάτι του τεχνητού φωτισμού προτεραιότητα δόθηκε σε δράσεις που στοχεύουν στη μείωση της εγκατεστημένης ισχύος και στη βελτίωση της αποδοτικότητας του, αποφεύγοντας τα υψηλά θερμικά κέρδη από το παλιό σύστημα φωτισμού. Σύμφωνα με το TOTEE-20701-1/2010 για έναν εκθεσιακό χώρο (γκαλερί ή μουσείου) η ιδανική στάθμη φωτισμού είναι 200 lx<sup>10</sup>, για γραφεία είναι 500 lx και για αποθήκες 100 lx. Στο εμπόριο βρέθηκε λαμπτήρας LED

<sup>10</sup>Το lux (σύμβολο: lx) είναι η μονάδα της φωτεινότητας (φωτεινής ροής ανά μονάδα επιφάνειας) στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και ισούται με ένα lumen ανά τετραγωνικό μέτρο (lm/m<sup>2</sup>). Το lumen (σύμβολο: lm) είναι η μονάδα της φωτεινής ροής στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) και αποτελεί ένα μέτρο της αντιληπτής ισχύος του ορατού φωτός που εκπέμπεται από μια πηγή (<https://www.leditnow.gr>).

2W και απόδοση φωτισμού σε lumen 240 lm (έρευνα αγοράς). Επομένως, η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας ( $W/m^2$ ) υπολογίζεται για ένα χώρο εκθέσεων  $1,67 W/m^2$ . Αντίστοιχα για τους υπόλοιπους χώρους που μελετώνται παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.1). Πραγματοποιείται, λοιπόν, αντικατάσταση των παλιών λαμπτήρων 8W με αυτούς των 2W, οι οποίοι έχουν διάρκεια ζωής 25000h. Στον Πίνακα 7.2 καταγράφονται οι τιμές των ενεργειακών αναγκών κατανάλωσης σε kWh και kWh/m<sup>2</sup>.

Πίνακας 7.1 Ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας κάθε χώρου.

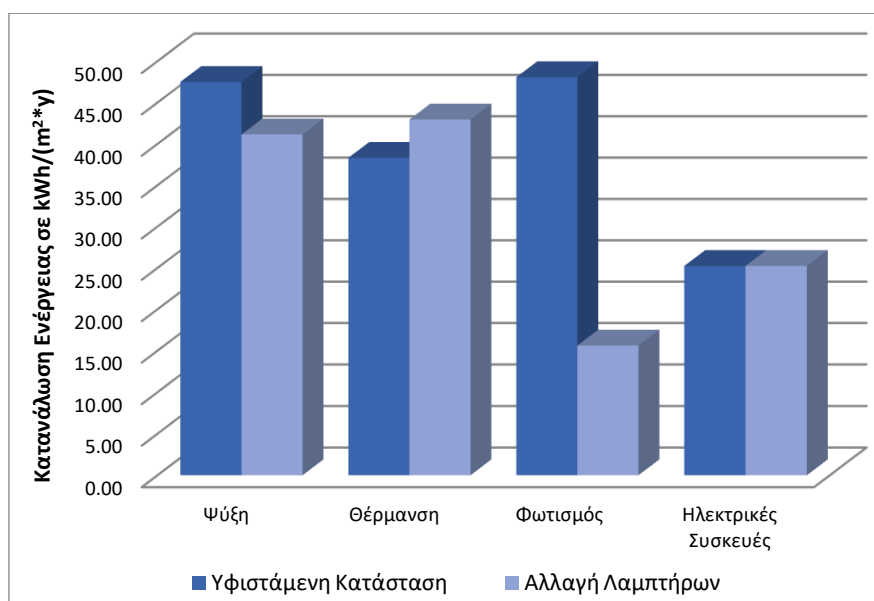
Χώρος χρήσης	Στάθμη Φωτισμού σε lux	Στάθμη φωτισμού σε lumen ( $lm/m^2$ )	Απόδοση λαμπτήρα ( $lm/W$ )	Ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς ( $W/m^2$ )	Εμβαδόν $m^2$	Απαιτούμενη Ισχύς	Αριθμός λαμπτήρων 2 W
Εκθεσιακός χώρος	200	200	120	1,67	495,3	827,2	414
Γραφεία	500	500	120	4,17	62,1	267,0	129
Αποθήκες	100	100	120	0,83	56,5	46,9	24

Με βάση τον Πίνακα που προηγήθηκε η συνολική απαιτούμενη ισχύς για τους συγκεκριμένους χώρους είναι 1134W και αντίστοιχα θα πρέπει να εγκατασταθούν 567 λαμπτήρες των 2 W σε αυτούς. Σε αυτό το σημείο όμως πρέπει να αναφερθεί η σημασία των φωτιστικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται. Τα σύγχρονα φωτιστικά σώματα με αποτελεσματικό ανακλαστήρα αποτελούν ένα καθοριστικό μέτρο για μουσεία και πινακοθήκες καθώς όταν η επιφάνεια των φωτιστικών είναι πιο αντανakλαστική, κατευθύνεται περισσότερο φως στον εκθεσιακό χώρο. Έτσι τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού καλύπτονται με μικρότερο αριθμό φωτιστικών (έως και 50% λιγότερα) και επιπρόσθετα μειώνεται η θάμβωση (Sala&Gallo, 2007). Επομένως, αφού στους εκθεσιακούς χώρους της πινακοθήκης χρησιμοποιούνται ήδη ρυθμιζόμενοι προβολείς, γίνεται η παραδοχή πως ο τελικός αριθμός των λαμπτήρων που θα χρειαστούν είναι 207. Η ίδια παραδοχή γίνεται και για τα γραφεία του κτιρίου, όπου τελικά θα χρειαστούν 70 λαμπτήρες. Για τους υπόλοιπους χώρους γίνεται η θεώρηση ότι θα εγκατασταθούν ακόμα 35 λαμπτήρες των 2W. Επομένως το συνολικό φορτίο του τεχνητού φωτισμού ανέρχεται στα 624W. Τέλος, υπολογίζεται ότι θα τοποθετηθούν νέας τεχνολογίας προβολείς όπου χρειαστεί.

Πίνακας 7.2 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αντικατάσταση λαμπτήρων.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	33.961	43
Ψύξη	32.003	41
Τεχνητός Φωτισμός	12.269	16
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	19.828	25
Σύνολο	98.061	125





Γράφημα 7-4 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την Ενεργειακή Παρέμβαση Αντικατάστασης των λαμπτήρων.

Με βάση το Γράφημα 7-4, με την αλλαγή των λαμπτήρων επέρχεται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για φωτισμό 67%. Όσο αναφορά την κατανάλωση για θέρμανση υφίσταται αύξηση σε ποσοστό 12%, γεγονός που αποτελεί φυσικό επόμενο καθώς με την αλλαγή των λαμπτήρων μειώνεται η ισχύς τους και συγχρόνως μειώνονται τα θερμικά φορτία του κτιρίου. Έτσι οι ανάγκες για θέρμανση αυξάνονται. Αντίθετα, η κατανάλωση ενέργειας που αφορά την ψύξη του κτιρίου μειώνεται σε ποσοστό 13% για τον ίδιο λόγο. Γενικά το ποσοστό εξοικονόμησης ανέρχεται στο 21%, καθιστώντας το συγκεκριμένο σενάριο σχετικά αποτελεσματικό.

#### 7.2.2. Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Κουφωμάτων και Εφαρμογής Ενεργειακών Τζαμιών

Η μείωση των θερμικών απωλειών μέσω των διαφανών στοιχείων είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης, καθώς είναι γνωστό πως η διείσδυση εξωτερικού ψυχρού αέρα στο κτίριο αναπληρώνει τον θερμό αέρα που διαρρέει. Τα πλαίσια (κουφώματα) της Πινακοθήκης και οι υαλοπίνακές της, λόγω παλαιότητας, φθοράς του ξύλου και των παλαιών διπλών υαλοπινάκων, κρίνονται ακατάλληλα για το κλίμα των Χανίων καθώς προκαλούν υπερβολικές απώλειες το καλοκαίρι. Ξεκινώντας από το κέλυφος του κτιρίου, για τα διαφανή στοιχεία επιλέχθηκαν ξύλινα κουφώματα λόγω της ιδιομορφίας του, με ποσοστό πλαισίου 20% και θερμοδιακοπή με τριπλό υαλοπίννακα και διάκενο αέρα (4/16/4/16/4), ενώ για τα αδιαφανή στοιχεία επιλέχθηκε να μην πραγματοποιηθεί κάποια αλλαγή, λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας τους εκτός από τις εξώπορτες στην πρόσοψη και στην δυτική πλευρά του κτιρίου που αποτελούνται και αυτές από τζάμι. Τα πλαίσια των παραθύρων με υαλοπίννακα είναι τύπου DAKO DDR-92 από ενεργειακό ξύλο με συντελεστή

θερμοπερατότητας  $U=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})^{11}$  (Εικόνα 7.1(A&B)) και εφαρμόζονται σε αυτά ρόλερ σκίασης όπως και πριν τις παρεμβάσεις. Επιπρόσθετα, έγινε αντικατάσταση των εξωστόθρων που έχουν πάνελ τζαμιού και βρίσκονται στην πρόσοψη και στην δυτική όψη του κτίσματος με κατασκευή με ξύλινα ενεργειακά κουφώματα με αδιάβροχο θερμομονωτικό πάνελ, θερμικό κατώφλι αλουμινίου και τριπλό τζάμι (Εικόνα 7.2 (A&B)). Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η μείωση της διείσδυσης εξωτερικού αέρα στο κτίριο μέσω ρωγμών και ανοιγμάτων γύρω από παράθυρα και πόρτες.



Εικόνα 7.1(A&B) Τομές των καινούριων παραθύρων(Πηγή: [www.dakowindows.com](http://www.dakowindows.com)).



Εικόνα 7.2(A&B) Όψη και τομή των καινούριων εξωστόθρων (Πηγή: [www.dakowindows.com](http://www.dakowindows.com)).

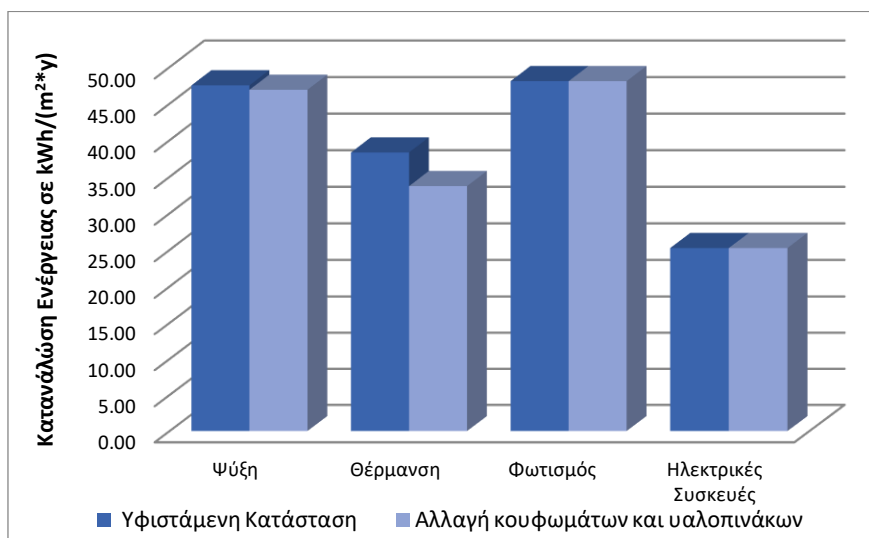
Μετά την αλλαγή των κουφωμάτων αυξήθηκε η αεροστεναγότητα του κτιρίου και μειώθηκε η εναλλαγή του αέρα από 1/h (αρχική κατάσταση) σε 0,7. Συνδυαστικά, με την αντικατάσταση των διπλών υαλοπινάκων σε τριπλούς τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.3).

Πίνακας 7.3 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση αλλαγής κουφωμάτων και εφαρμογής ενεργειακών τζαμιών

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	26.225	34
Ψύξη	36.470	47

<sup>11</sup><https://www.dakowindows.com/enproducts/wood-windows-ddr-92>.

Τεχνητός Φωτισμός	37.756	48
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	19.828	25
Σύνολο	120.279	154



Γράφημα 7-5 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή παρέμβαση Αντικατάστασης των κουφωμάτων και υαλοπινάκων.

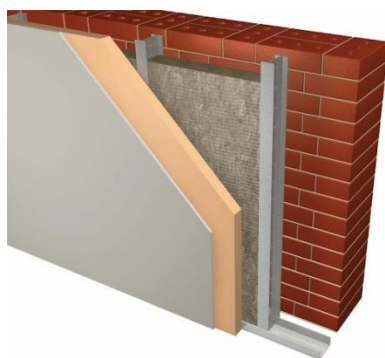
Στο Γράφημα 7-5, με την αλλαγή των κουφωμάτων και των παραθύρων επέρχεται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης ψύξης του κτιρίου σε ποσοστό 1,3%. Παράλληλα, παρατηρείται μείωση και για την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση 12%. Οι δύο αυτές μεταβολές προέρχονται από την βελτιωμένη αεροστεγανότητα και μόνωση του χώρου που μειώνει παράλληλα την εναλλαγή του αέρα. Γενικά το ποσοστό εξοικονόμησης ανέρχεται στο 3%, καθιστώντας τη συγκεκριμένη παρέμβαση τη λιγότερο αποτελεσματική που θα αναλυθεί.

Αν και η άμεση μείωση είναι μέτρια, το μέτρο αυτό ευθυγραμμίζεται με τη δέσμευσή μας για βιωσιμότητα και εξασφαλίζει μακροπρόθεσμα οφέλη για την γκαλερί και τους χρήστες της. Ενισχύει την απόδοση όταν συνδυάζεται με αναβαθμίσεις μόνωσης ή αποδοτικά συστήματα HVAC, βελτιώνει την αισθητική του κτιρίου, μειώνει τον θόρυβο και μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ευθυγραμμιζόμενο με τους στόχους βιωσιμότητας δημιουργώντας ένα πιο άνετο εσωτερικό περιβάλλον. Έτσι συνεπάγεται ότι η παρέμβαση αυτή θα ληφθεί υπόψη στο τελικό πλάνο ενεργειακής αναβάθμισης.

### 7.2.3. Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Θερμομόνωσης Δαπέδου και Τοιχοποιίας

Η τοποθέτηση ή η αντικατάσταση της ήδη υπάρχουσας μόνωσης του δαπέδου ενός κτιρίου εκτιμάται ότι είναι μία αποτελεσματική λύση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συμβαίνει καθώς αυτές οι επιφάνειες έρχονται σε άμεση επαφή με το τον εξωτερικό αέρα. Στην προκειμένη περίπτωση, γίνεται αντικατάσταση της υπάρχουσας μόνωσης από πλάκες πολυστερόλης πάχους 30mm με Εξηλασμένη Γραφίτουχα Πολυστερίνη-XEnergyXPS πάχους 30mm θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0,030$  του πατώματος του υπογείου. Λόγω της ιδιαιτερότητας

του κτιρίου (διατηρητέο) προτιμάται να μην γίνει τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτιρίου, οπότε επιλέχθηκε η τοποθέτηση εσωτερικής μόνωσης. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται ο χαρακτήρας της πρόσοψης του κτιρίου, αλλά ταυτόχρονα περιορίζεται ο εσωτερικός χώρος του κτιρίου. Επιλέχθηκε η τοποθέτηση εσωτερικής μόνωσης με ελαφρά πετάσματα (στρώση ορυκτοβάμβακα πάχους 50mm και επένδυση με γυψοσανίδα πάχους 12,5mm) μόνο στους εξωτερικούς τοίχους του κτιρίου. Ίδιου τύπου εσωτερική μόνωση τοποθετήθηκε και στους τοίχους του υπογείου. Με έλεγχο της θερμικής επάρκειας των αδιαφανών δομικών στοιχείων, επιβεβαιώνεται ότι αυτά ικανοποιούν την συνθήκη ότι δεν ξεπερνούν στην μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοχωρητικότητα για την Α κλιματική ζώνη ( $U_{m,εξωτ.τοίχων}=0,6$ ,  $U_{m,δάπεδο}=0,5$  Παράρτημα Β: Εικόνα 12.8). Επίσης, η στέγη του κτιρίου καθώς έχει μία ικανοποιητική μόνωση δεν θα υποστεί κάποια αλλαγή.



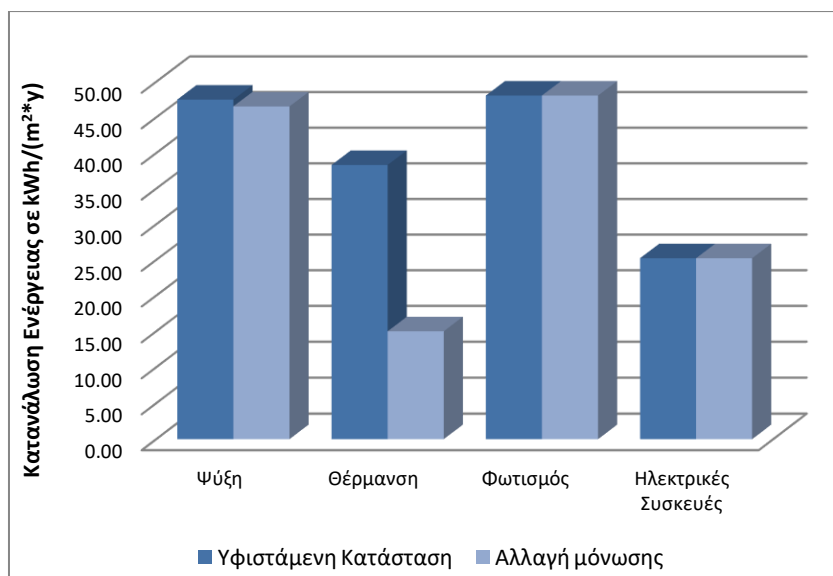
Εικόνα 7.3 Τοποθέτηση Εσωτερικής θερμομόνωσης με ορυκτοβάμβακα και γυψοσανίδα  
(Πηγή:monosimacn.blogspot.com)

Ακολουθούν οι τελικές καταναλώσεις για κάθε περίπτωση στον Πίνακα 7.4.

Πίνακας 7.4 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση της θερμομόνωσης του κτιρίου.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	11.664	15
Ψύξη	36.197	47
Τεχνητός Φωτισμός	37.756	48
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	19.828	25
Σύνολο	105.445	135

Οι καταναλώσεις για τις επιμέρους λειτουργίες του κτιρίου διαμορφώνονται στο παρακάτω Γράφημα (Γράφημα 7-6).



Γράφημα 7-6 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή παρέμβαση αλλαγής της θερμομόνωσης του κτιρίου.

Με την αλλαγή της μόνωσης επέρχεται μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης ψύξης του κτιρίου σε ποσοστό 2%. Παράλληλα, παρατηρείται μείωση και για την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση 61%. Οι δύο αυτές μεταβολές είναι λόγω των μεγάλων φορτίων ενέργειας που συνεισφέρουν στην θέρμανση του χώρου λόγω των λαμπτήρων και της βελτιωμένης αεροστεγανότητας και μόνωσης του. Με λίγα λόγια, η υψηλή κατανάλωση τεχνητού φωτισμού οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό η οποία διατηρείται λόγω της ενισχυμένης μόνωσης με αποτέλεσμα η λειτουργία της ψύξης να είναι το ίδιο σημαντική με πριν, ενώ της θέρμανσης όχι. Γενικά το ποσοστό εξοικονόμησης ανέρχεται στο 15%, καθιστώντας το συγκεκριμένο σενάριο αρκετά πιο αποτελεσματικό από το προηγούμενο.

#### 7.2.4. Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Συστημάτων HVAC και αλλαγή Η/Μ εξοπλισμού

Το σύστημα θέρμανσης και ψύξης της Πινακοθήκης (Εικόνα 7.4) και οι αυτόνομες συσκευές χαρακτηρίστηκαν παραπάνω χαμηλής ενεργειακής κλάσης. Η αντικατάσταση των μηχανισμών αυτών με νεότερες και αποδοτικότερες τεχνολογίες μπορεί να αποφέρει μεγάλα κέρδη στον περιορισμό της ενέργειας που καταναλώνεται.



Εικόνα 7.4 Σύστημα κλιματισμού HVAC της υφιστάμενης δομής (Πηγή: Φωτογραφικό υλικό).

Τα συστήματα κλιματισμού που χρησιμοποιούν την τεχνολογία VRV ή VRF είναι ιδανικά για εμπορικά κτίρια μεσαίου μεγέθους και μεγάλες κατοικίες. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν μια εξωτερική μονάδα αντλίας θερμότητας και πολλαπλές εσωτερικές μονάδες (έως και 64) που συνδέονται με σωλήνες εντός του οποίου κυκλοφορεί ψυκτικό μέσο. Κάθε μεμονωμένη εσωτερική μονάδα ρυθμίζει τη δυναμικότητα που χρειάζεται με βάση την τρέχουσα εσωτερική θερμοκρασία και τη ζητούμενη θερμοκρασία από το σημείο ρύθμισης (τηλεχειριστήριο), οδηγώντας σε ενεργειακή απόδοση και αυτόματη απενεργοποίηση όταν οι χώροι δεν είναι κατειλημμένοι. Αυτός ο καινοτόμος σχεδιασμός δεν εξοικονομεί μόνο το ενεργειακό κόστος, αλλά μειώνει επίσης τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καθιστώντας το μια βιώσιμη επιλογή μακροπρόθεσμα. Μόνο μια ελάχιστη ποσότητα ενέργειας απαιτείται για ένα σύστημα για να διατηρήσει τις καθορισμένες θερμοκρασίες και να διασφαλίσει ότι απενεργοποιείται αυτόματα όταν δεν εντοπίζονται κάτοικοι σε ένα δωμάτιο. Χρησιμοποιώντας τέτοιες τεχνολογίες που τροφοδοτούνται από φυσικό αέριο, οι εξωτερικές μονάδες μπορούν να διατηρήσουν ισχυρή απόδοση θέρμανσης, ακόμη και με χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, δεσμεύοντας τη θερμότητα από τον κινητήρα της μονάδας για την αύξηση της απόδοσης (Qian et al., 2021).

Επιλέγεται σύστημα που αποτελείται από αντλία θερμότητας Midea M-Thermal 26kW Τριφασική, η οποία θα λειτουργεί σε ορισμένους χώρους του κτιρίου (Γραφεία και Εκθεσιακούς χώρους), καθώς και εσωτερικές μονάδες fancoil τοίχου 3.5kW (Εικόνα 7.5). Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης αερόψυκτης αντλίας θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών καθώς και των εσωτερικών μονάδων του vrf συστήματος που επιλέχθηκε.



Εικόνα 7.5 Κεντρική Αντλία θερμότητας και τερματική μονάδα fancoil τοίχου (Πηγή: [www.alphaclimagr.gr](http://www.alphaclimagr.gr)).

Πίνακας 7.5 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αντλίας Θερμότητας και των επιμέρους συσκευών του συστήματος. (Πηγή: [www.alphaclimagr.gr](http://www.alphaclimagr.gr))

Εξωτερική Μονάδα	Εσωτερική Μονάδα
Διαστάσεις (ΜxY xB): 1.129 x 1.558 x 528 mm Θερμική Ισχύς (7°C–30/35°C): 26 kW COP: 4,08 Βάρος: 206 kg Ενεργειακή Κλάση: A+++ Τροφοδοσία : Τριφασική	Διαστάσεις (Μ xY xB): 940x298x 200mm Βάρος: 12 kg Θερμική Απόδοση: 11942,5BTU/h

Συγχρόνως, εξετάζεται η περίπτωση αναβάθμισης των σταθερών υπολογιστών και κάποιων άλλων παλαιών ηλεκτρικών συσκευών που χαρακτηρίστηκαν χαμηλής ενεργειακής κλάσης με

νεότερες, αποδοτικές τεχνολογίες, όπως και φαίνεται στον Πίνακα 7.6, καθώς και η μείωση της χρήσης τους θα μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας.

Πίνακας 7.6 Κατανάλωση των αναβαθμισμένων συσκευών και το κόστος αντικατάστασής τους (έρευνα αγοράς).

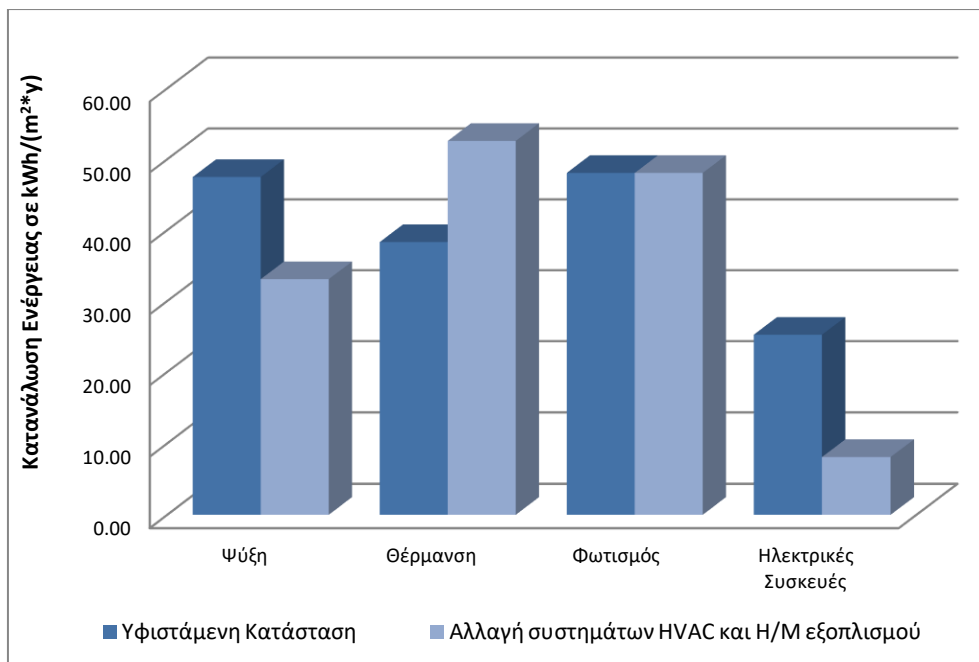
Ηλεκτρικές Συσκευές	Πλήθος Συσκευών	Κατανάλωση Νέας Ηλεκτρ. Συσκευής σε W	Συνολική Κατανάλωση σε W
Επιτραπέζιος Υπολογιστής	2	100	200
Φορητός Υπολογιστής	4	30	120
Εκτυπωτής (Μελάνι)	1	20	20
Ψυγείο	1	100	100

Με βάση τα παραπάνω και τις υπόλοιπες συσκευές που δεν θα αντικατασταθούν (κινητήρας ανελκυστήρα, εξοπλισμός μηχανοστασίου, ρούτερ διαδικτύου, συσκευή Fax και ασύρματο τηλέφωνο), η συνολική κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών μετά την αναβάθμιση τους είναι 1355 W. Τα αποτελέσματα των καταναλώσεων το σεναρίου αναφέρονται στον Πίνακα 7.7 και στο Γράφημα 7-7.

Πίνακας 7.7 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση συστήματος HVAC και αντικατάστασης του H/M εξοπλισμού.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	32.581	55
Ψύξη	20.722	35
Τεχνητός Φωτισμός	37.756	48
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	6.350	8
Σύνολο	97.409	146





Γράφημα 7-7 Αλλαγή των τιμών των καταναλώσεων Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με την ενεργειακή παρέμβαση αλλαγής HVAC και Ηλεκτρικών Συσκευών του κτιρίου.

Με βάση το παραπάνω γράφημα (Γράφημα 7-7), παρατηρείται συνολική μείωση 27% για την λειτουργία της ψύξης και αύξηση 43% για την θέρμανση (κατανάλωση φυσικού αερίου). Για τον τεχνητό φωτισμό το ποσοστό εξοικονόμησης είναι μηδενικό, ενώ το ποσοστό μεταβολής της κατανάλωσης των ηλεκτρικών συσκευών του κτιρίου είναι 68% μείωση. Συνολική μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε αυτό το σενάριο ανέρχεται σε ποσοστό 8%.

Τα συστήματα VRV/VRF είναι αντλίες θερμότητας, που σημαίνει ότι μεταφέρουν θερμότητα αντί να την παράγουν καίγοντας καύσιμα ή χρησιμοποιώντας αντίσταση. Σε ήπια κλίματα, αυτά τα συστήματα είναι συνήθως πολύ πιο αποδοτικά από τα παλαιότερα συστήματα HVAC που βασίζονται στην ηλεκτρική αντίσταση. Ωστόσο, η προσομοίωσή μας δείχνει υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης ανά μονάδα επιφάνειας (kWh/m²). Αυτό είναι ενδιαφέρον και αντιφατικό, διότι υπό κανονικές συνθήκες, το σύστημα VRV/VRF θα πρέπει να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια για θέρμανση από ένα σύστημα μόνο με ηλεκτρική αντίσταση. Η βαθμονόμηση της προσομοίωσης μπορεί να προκαλέσει αποκλίσεις εάν ορισμένες παράμετροι του συστήματος δεν μοντελοποιούνται τέλεια.

Καθώς το παρών σενάριο είναι συνδυαστικό συμπεραίνεται ότι η υψηλότερη ζήτηση θέρμανσης που παρατηρείται μπορεί να οφείλεται στην μείωση των εσωτερικών φορτίων για τις ηλεκτρικές συσκευές. Παρόλα αυτά η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας σε όλα τα συστήματα δικαιολογεί τη συμπερίληψη της αναβάθμισης της HVAC στο τελικό σενάριο.

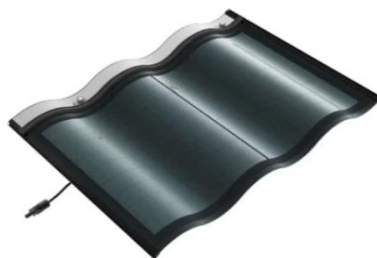
#### 7.2.5. Ενεργειακή Παρέμβαση Εφαρμογής ΑΠΕ

Τέλος, αξιολογείται η εφαρμογή συστημάτων ΑΠΕ σε ευαίσθητο δομημένο περιβάλλον. Για τα ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα σε κτίρια, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ μικρών διαστάσεων στα κεραμίδια των στεγών (Εικόνα 7.6 (A&B)), θα πρέπει η εγκατάστασή τους να είναι ενταγμένη στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό της κατασκευής και η τοποθέτησή τους να γίνεται την ίδια στιγμή της ανοικοδόμησης της. Μπορούν επίσης φωτοβολταϊκά να προσθέτονται στις προσόψεις τους (στα στοιχεία σκίασης, στα ανοίγματα,

παντζούρια κτλ.) ή και σε άλλες εγκαταστάσεις όπως πέργκολες, ηχοπετάσματα κτλ. (Θ. Τσούτσος, 2013). Λόγω της ιδιαιτερότητας του κτιρίου δεν μπορούσε να γίνει μια συμβατική εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ, τύπου συνήθων φωτοβολταϊκών συστημάτων, γι' αυτό τον λόγο εγκαταστάθηκαν νέου τύπου φωτοβολταϊκά κεραμίδια στη στέγη του κτιρίου. Η χρήση των Φ/Β κεραμιδιών είναι η βέλτιστη οπτική λύση τοποθέτησης Φ/Β συστήματος σε τετράρριχτη στέγη ενός νεοκλασικού κτιρίου με ρωμαϊκά κεραμίδια. Εμφανίζουν υψηλή απόδοση στεγανοποίησης ενώ κάθε μεμονωμένο ηλιακό πλακίδιο είναι κατασκευασμένο από μονή ελαφριά γυάλινη δομή. Επίσης, είναι αδιάβροχα, πυρίμαχα και αντιανεμικά, επιτρέποντας τη γρήγορη συντήρηση και αντικατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων χωρίς την ανάγκη ενσωμάτωσης, και είναι κατάλληλα για διάφορους τύπους στέγης. Η επιφάνεια τοποθέτησης των Φ/Β κεραμιδιών του κτιρίου έχει νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης 32μοίρες (ίδια κλίση με την στέγη της Πινακοθήκης). Η ιδανική γωνία κλίσης για την περιοχή που βρισκόμαστε σύμφωνα με το Φωτοβολταϊκό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών της ΕΕ, είναι 35 μοίρες και επομένως συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση και η πειραματική τιμή είναι αποδεκτή<sup>12</sup>. Μετά από έρευνα αγοράς γίνεται επιλογή φωτοβολταϊκών κεραμιδιών στη στέγη ισχύος 30 Wp και διαστάσεων 0,7m x 0,5m (Εικόνα 7.7). Το σύστημα αυτό έχει απόδοση πάνελ 20,54% σύμφωνα με τον κατασκευαστή, μπορεί να παράγει έως και 103 W/m<sup>2</sup>. Επίσης δηλώνεται ότι το σύστημα είναι συνεχούς ρεύματος με χρήση μετατροπέα (Εικόνα 7.8). Στον Πίνακα 7.8 παραθέτονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Φ/Β αυτού πάνελ<sup>13</sup>.



Εικόνα 7.6(A & B) Εφαρμογή Φωτοβολταϊκών κεραμιδιών A: Πηγή:/www.4green.gr, B: Πηγή: www.tsolakidis.com.gr).



Εικόνα 7.7 Ηλιακά Κεραμίδια Bluesun 30W (Πηγή: newtechstore.eu).

<sup>12</sup>[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en).

<sup>13</sup>Ηλιακά Κεραμίδια, [www.newtechstore.eu](http://www.newtechstore.eu).

Πίνακας 7.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ που επιλέχθηκαν.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
Μέγιστη Ισχύς	30,00	Wp
Τάση στη μέγιστη ισχύ	7,79	V
Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ	3,87	A
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης	4,45	A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	10,16	Vdc

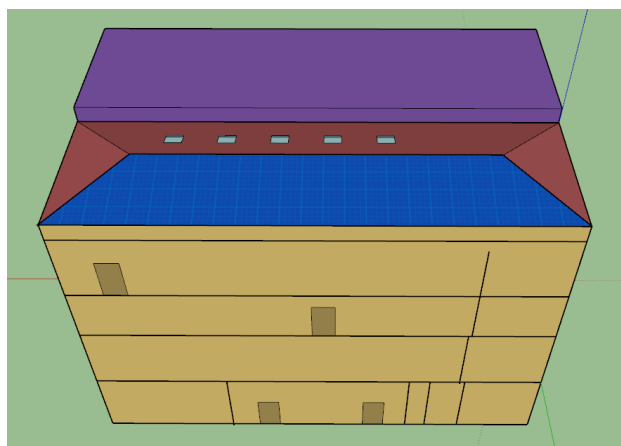
Το τελικό πάνελ από φωτοβολταϊκά κεραμίδια που εγκαθίσταται καλύπτει όλη την νότια πλευρά της στέγης και έχει επιφάνεια 82,6m<sup>2</sup>. Υπολογίζεται ότι η ενεργεία που παράγει το φωτοβολταϊκό πάνελ είναι 29.084kWh. Έτσι, η τελική κατανάλωση του κτιρίου σε αυτή την περίπτωση είναι 94.700kWh και εξοικονομείται 24% της αρχικής ενέργειας. Στον Πίνακα 7.9 συγκεντρώνονται τα τελικά αποτελέσματα του σεναρίου εφαρμογής του Φ/Β.

Στο πλαίσιο της κείμενης εργασίας γίνονται κάποιες παραδοχές που θα βοηθήσουν στην καλύτερη περιγραφή και ανάλυση του συστήματος:

- Ετήσια λειτουργία Φ/Β συστήματος: 12 μήνες
- Χρόνος ζωής Φ/Β στοιχείων: 24 χρόνια
- Τοποθέτηση Αντιστροφέα Victron Energy Phoenix VE. DirectI EC 12/375 Inverter Καθαρού Ημιτόνου 12V Μονοφασικό

Πίνακας 7.9 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> και ποσοστό εξοικονόμησης για την εφαρμογή φωτοβολταϊκών κεραμιδιών.

	Παραγωγή Ενέργειας από Φ/Β σε GJ	Παραγωγή Ενέργειας από Φ/Β σε kWh/y	Παραγωγή Ενέργειας από Φ/Β σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)	Τελική Κατανάλωση με την συμπαραγωγή του Φ/Β σε kWh/y	Ποσοστό Εξοικονόμησης Ενέργειας % μόνο από το Φ/Β
Ενεργειακή Παρέμβαση Φωτοβολταϊκών κεραμιδιών	105	29.084	37	94.700	24



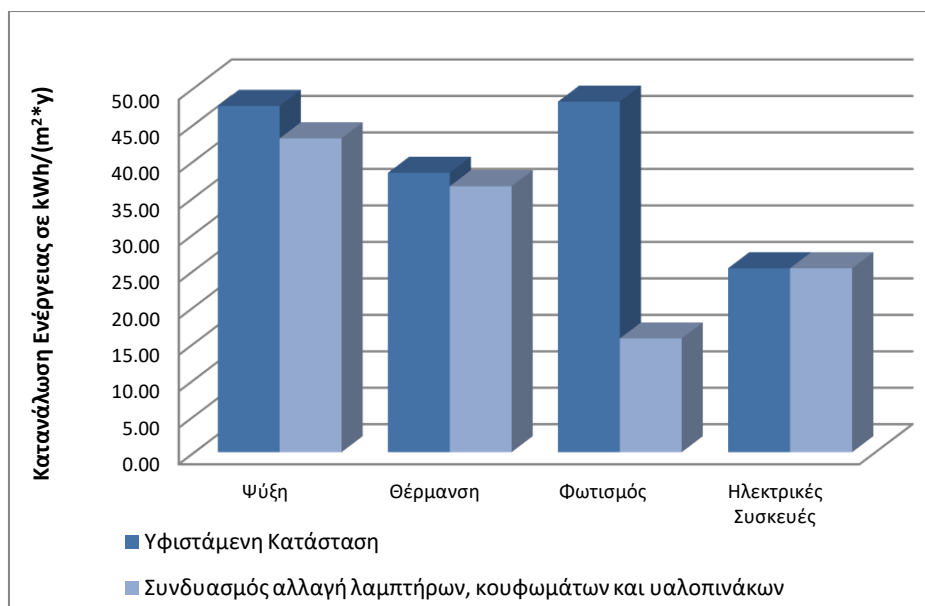
Εικόνα 7.8 Απεικόνιση της στέγης της Πινακοθήκης μετά την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών κεραμιδιών στο SketchUp.

#### 7.2.6. Ενεργειακή Παρέμβαση με Συνδυασμό Αλλαγής των Λαμπτήρων και των Κουφωμάτων και Υαλοπινάκων

Οι παραπάνω επεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και μπορούν να εφαρμοστούν συγχρόνως στο κτίριο μελέτης. Ο συνδυασμός των σεναρίων αλλαγής των λαμπτήρων και των κουφωμάτων και υαλοπινάκων επιφέρει ποσοστό εξοικονόμησης 24%. Στον Πίνακα 7.10 παραθέτονται οι ενεργειακές καταναλώσεις ανά λειτουργία για αυτό τον συνδυασμό σεναρίων, ενώ στο Γράφημα 7-8 οι μεταβολές των ενεργειακών αυτών καταναλώσεων.

Πίνακας 7.10 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αντικατάσταση λαμπτήρων και κουφωμάτων και υαλοπινάκων.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	28.375	36
Ψύξη	33.481	43
Τεχνητός Φωτισμός	12.269	16
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	19.828	25
Σύνολο	93.953	120



Γράφημα 7-8 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό αντικατάστασης λαμπτήρων και κουφωμάτων και υαλοπινάκων.

Ειδικότερα, με βάση το παραπάνω γράφημα (Γράφημα 7-8), παρατηρείται συνολική μείωση 9% για την λειτουργία της ψύξης και 5% για την θέρμανση. Για τον τεχνητό φωτισμό το ποσοστό εξοικονόμησης ανέρχεται στο 67%, ενώ δεν υφίσταται μεταβολή της κατανάλωσης των ηλεκτρικών συσκευών του κτιρίου. Συνολική μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε αυτό το σενάριο ανέρχεται σε ποσοστό 24%.

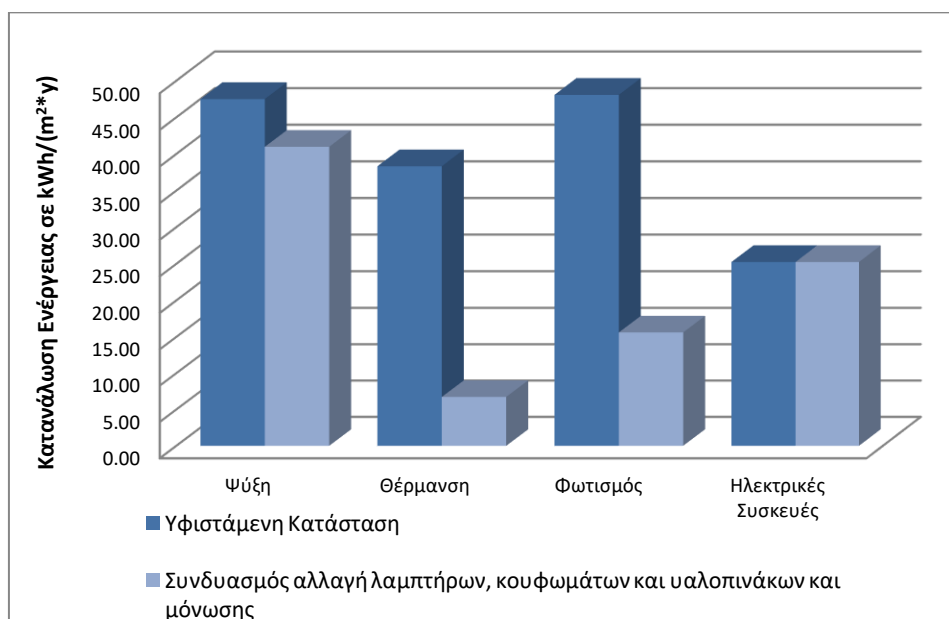
#### 7.2.7. Ενεργειακή Παρέμβαση με Συνδυασμό Αλλαγής των Λαμπτήρων, των Κουφωμάτων και Υαλοπινάκων και της μόνωσης του κελύφους

Από την στιγμή που απορρίφθηκε η αλλαγή της θερμομόνωσης του κτιρίου ως μία πιθανή παρέμβαση ενεργειακής αναβάθμισης, μελετάται τώρα ο συνδυασμός των σεναρίων αντικατάστασης των λαμπτήρων και των υαλοπινάκων με αυτό της αλλαγής του συστήματος HVAC και των ηλεκτρικών συσκευών και ο Πίνακας 7.11 προβάλλει τις επιμέρους καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας.

Πίνακας 7.11 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m² ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και αντικατάσταση του συστήματος HVAC και την ηλεκτρικών συσκευών .

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m²·y)
Θέρμανση	5.242	7
Ψύξη	31.864	41
Τεχνητός Φωτισμός	12.269	16
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	19.828	25

Σύνολο	69.203	89
--------	--------	----



Γράφημα 7-9 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό παρεμβάσεων με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και τοποθέτηση μόνωσης.

Από το Γράφημα 7-9, το ποσοστό μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης για την ψύξη για το παρών σενάριο είναι 14% και για την θέρμανση υφίσταται αύξηση της κατανάλωσης (σε φυσικό αέριο) 82%. Η κατανάλωση του τεχνητού φωτισμού μειώνεται συνολικά κατά 67%. Το συνολικό ποσοστό εξοικονόμησης είναι 44%.

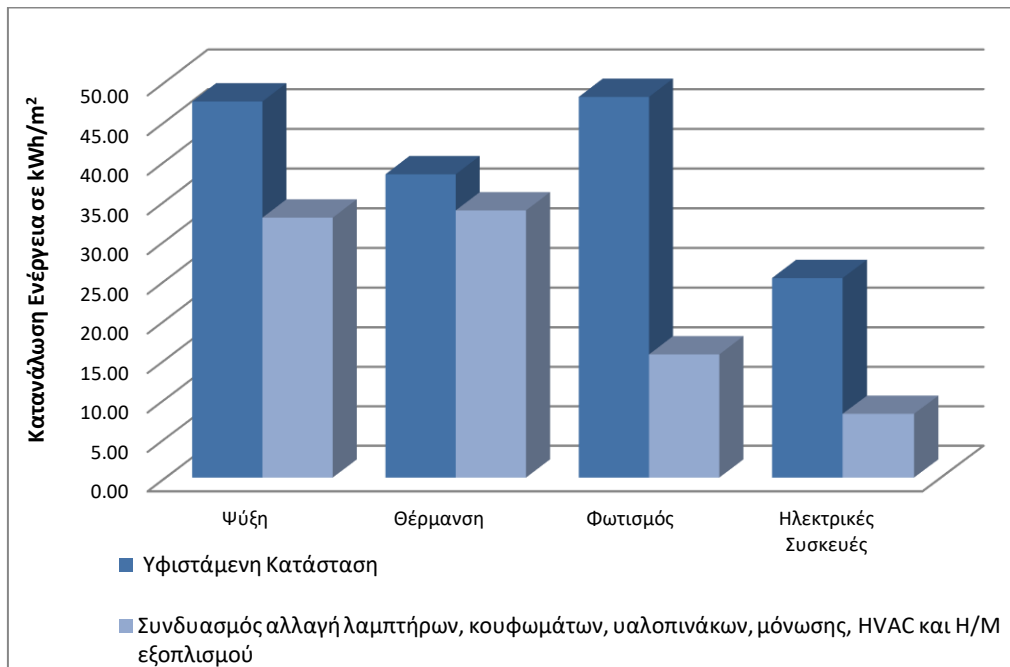
#### 7.2.8. Ενεργειακή Παρέμβαση με Συνδυασμό Αλλαγής των Λαμπτήρων, των Κουφωμάτων και Υαλοπινάκων και αντικατάστασης του συστήματος HVAC και των ηλεκτρικών συσκευών

Σε αυτό το σημείο συνδυάζονται οι ενεργειακές παρεμβάσεις αλλαγής των λαμπτήρων, των κουφωμάτων, την εφαρμογή ενεργειακών υαλοπινάκων, αντικατάσταση μόνωσης στο σκελετό του κτιρίου και την αντικατάσταση του συστήματος HVAC και των ηλεκτρικών συσκευών. Ο Πίνακας 7.12 προβάλλει τις επιμέρους καταναλώσεις πρωτογενούς ενέργειας και το Γράφημα 7-10 παρουσιάζει τις κατανομές των καταναλώσεων για κάθε λειτουργία της δομής.

Πίνακας 7.12 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση για ενεργειακή αναβάθμιση με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και αντικατάσταση του συστήματος HVAC και την ηλεκτρικών συσκευών.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	20.094	34
Ψύξη	19.553	33

Τεχνητός Φωτισμός	12.269	16
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	6.350	8
Σύνολο	58.267	91



Γράφημα 7-10 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό παρεμβάσεων με αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και τοποθέτηση μόνωσης.

Σε αυτή την περίπτωση το σύνολο των παρεμβάσεων οδηγεί σε μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε ποσοστό 43% και η εξοικονόμηση για τις επιμέρους λειτουργίες καταμετρείται ως εξής: 31% μείωση της ψύξης, 11% της θέρμανσης, 67% του τεχνητού φωτισμού και 68% για τις ηλεκτρικές συσκευές.

#### 7.2.9. Συνδυασμός όλων των ενεργειακών επεμβάσεων

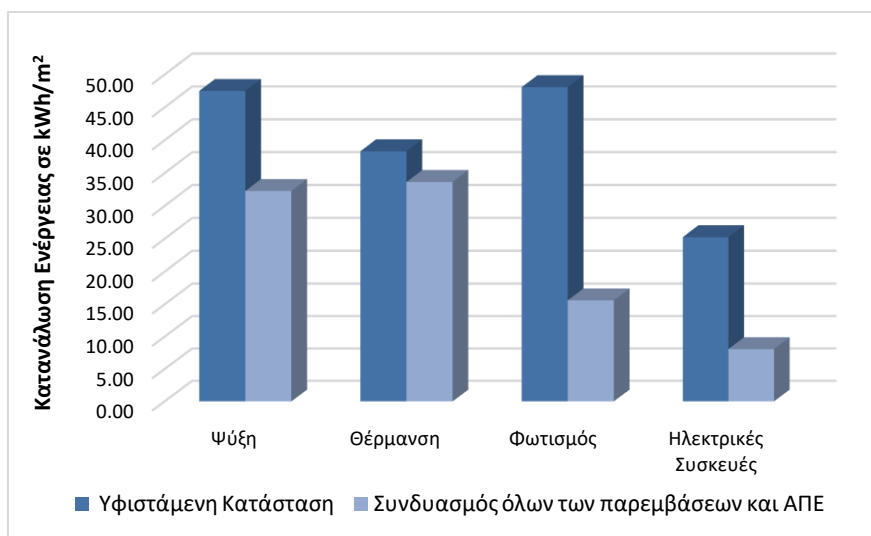
Σε αυτό το σενάριο συνδυάζονται όλες οι ενεργειακές επιλογές που θεωρήθηκαν ότι θα αποφέρουν μία αποδοτική μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση, σε συνδυασμό με το φωτοβολταϊκό πάνελ. Στον Πίνακα 7.13 παραθέτονται οι ενεργειακές καταναλώσεις ανά λειτουργία για αυτό τον συνδυασμό σεναρίων και τα αποτελέσματα συνδυαστικά με την λειτουργία ΑΠΕ, ενώ στο Γράφημα 7-11 οι μεταβολές των ενεργειακών αυτών καταναλώσεων.

Πίνακας 7.13 Τελικές καταναλώσεις σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> ανά χρήση για το τελικό σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης.

Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)
Θέρμανση	20.022	34
Ψύξη	19.206	32

Τεχνητός Φωτισμός	12.269			16	
Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	6.350			8	
Σύνολο	57.847			90	
	Παραγωγή Ενέργειας από Φ/Β σε kWh	Συνολική Κατανάλωση χωρίς την συμβολή του συστήματος ΑΠΕ σε kWh	Τελική Κατανάλωση με την συμπαραγωγή του Φ/Β σε kWh	Τελική Κατανάλωση με την συμπαραγωγή του Φ/Β σε kWh/ m <sup>2</sup>	Ποσοστό Εξοικονόμησης Ενέργειας % για το συνολικό σενάριο
Παραγωγή του Φ/Β πάνελ	29.084	57.847	28.763	37	77

Όπως φαίνεται, υφίσταται μικρή μείωση της κατανάλωσης θέρμανσης της θερμότητας σε αυτό το σενάριο σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Ωστόσο, οι υπόλοιπες λειτουργίες εμφανίζουν σημαντικότερη μείωση με αποτέλεσμα να υπάρχει μία εξισορρόπηση της συνολικής κατανάλωσης του κτιρίου ώστε το τελικό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας του σεναρίου που συνδυάζει την αντικατάσταση των λαμπτήρων της Πινακοθήκης, την αλλαγή των κουφωμάτων και υαλοπινάκων, ενίσχυση της μόνωσης του σκελετού της, την ενσωμάτωση συστήματος νιν (αντλίας θερμότητας- εσωτερικών σωμάτων), καθώς και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάνελ με την μορφή κεραμιδιών, να είναι 77%. Η τιμή αυτή κρίνεται αρκετά ικανοποιητική και ρεαλιστική για τα δεδομένα του κτιρίου. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι αυτό το ποσοστό ενεργειακής εξοικονόμησης υπολογίστηκε από τις συνολικές μετρήσεις σε kWh. Εάν είχε υπολογισθεί με τις μετρήσεις σε kWh/m<sup>2</sup> το ίδιο θα είχε διαφορετική τιμή καθώς το εμβαδόν των επιφανειών για κάθε επιμέρους λειτουργία του κτιρίου είναι διαφορετικό. Αυτός είναι και ο λόγος που το ποσοστό ενεργειακής εξοικονόμησης είναι παρόμοιο με αυτό της μείωσης του CO<sub>2</sub>, αφού οι τιμές του υπολογίστηκαν με βάση την κατανάλωση σε kWh.

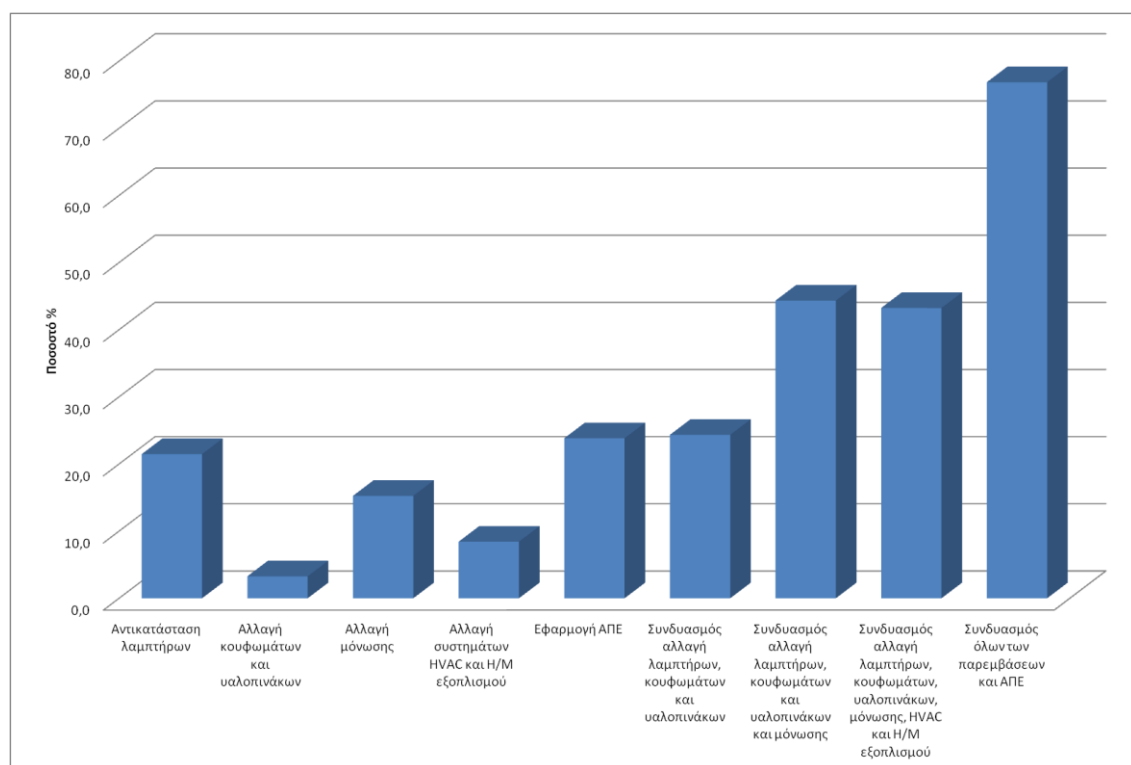


Γράφημα 7-11 Μεταβολές Κατανάλωσης Ενέργειας για τον συνδυασμό όλων των αποδεκτών παρεμβάσεων στο κτίριο.



Η ενεργειακή αναβάθμιση και τώρα παρουσιάζει ελάχιστη διαφορά στην κατανάλωση θέρμανσης και ψύξης, πιθανώς λόγω προβλημάτων απόδοσης του συστήματος HVAC ή της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, όπου τα εσωτερικά θερμικά κέρδη κυριαρχούν στην κατανάλωση ενέργειας, μειώνοντας την επίδραση των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών.

Στο Γράφημα 7-12 προβάλλονται τα ποσοστά μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας σε κάθε σενάριο. Είναι εμφανές πως ο συνδυασμός όλων των ενεργειακών παρεμβάσεων που μελετήθηκαν παρουσιάζει και την μεγαλύτερη εξοικονόμηση και στη συνέχεια αυτός με την ταυτόχρονη αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων, υαλοπινάκων και της μόνωσης του κελύφους. Το σενάριο με την πρόσθετη αλλαγή του συστήματος HVAC και του H/M εξοπλισμού είναι εξίσου αποτελεσματικό. Οι υπόλοιπες επεμβάσεις εμφανίζουν ικανοποιητικά ποσοστά μείωσης, ενώ η αλλαγή των κουφωμάτων και υαλοπινάκων αν και αποτελεί ένα πολύ κοστοβόρο μέτρο, κατέχει τη χαμηλότερη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Στη συνέχεια θα αναλυθούν και άλλοι παράγοντες που θα βοηθήσουν στον προσδιορισμό αυτής της επένδυσης ως αποδοτικής ή όχι.



Γράφημα 7-12 Ποσοστά Ενεργειακής Εξοικονόμησης σε κάθε ενεργειακή παρέμβαση.

#### 7.2.10. Εκπομπές CO<sub>2</sub>

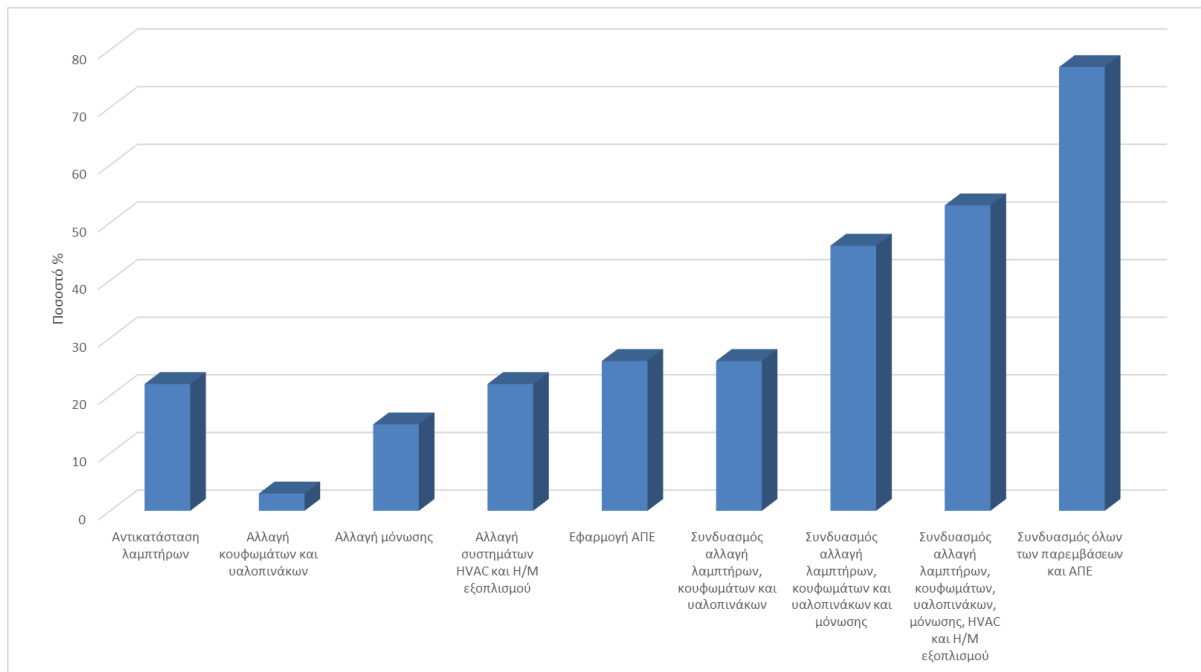
Πάνω από το 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που σχετίζονται με την ενέργεια οφείλεται στην καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ποσότητα CO<sub>2</sub> που ισοδυναμεί σε μία kWh είναι περίπου 0,207 kg CO<sub>2</sub>. Η εξοικονόμηση της κατανάλωσης σε ηλεκτρική ενέργεια συνεπάγεται στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7.14) παραθέτονται τα ποσοστά εξοικονόμησης σε kWh και kWh/m<sup>2</sup> καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>. Ακολουθεί Γράφημα 7-13 που απεικονίζει το ποσοστά μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub> σε κάθε σενάριο, όπου υπογραμμίζεται η αισθητά μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών για το τελικό πλάνο ενεργειακής αναβάθμισης

σχετικά με τα υπόλοιπα (76,9%).Γενικότερα, όσον αναφορά τα ποσοστά μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε πρόταση ενεργειακής αναβάθμισης εμφανίζουν παρόμοιες τιμές με τα ποσοστά εξοικονόμησης των ενεργειακών καταναλώσεων.

Πίνακας 7.14 Ποσοστά Εξοικονόμησης Ενέργειας και Μείωσης Εκπομπών CO<sub>2</sub> για κάθε σενάριο ενεργειακής αναβάθμισης.

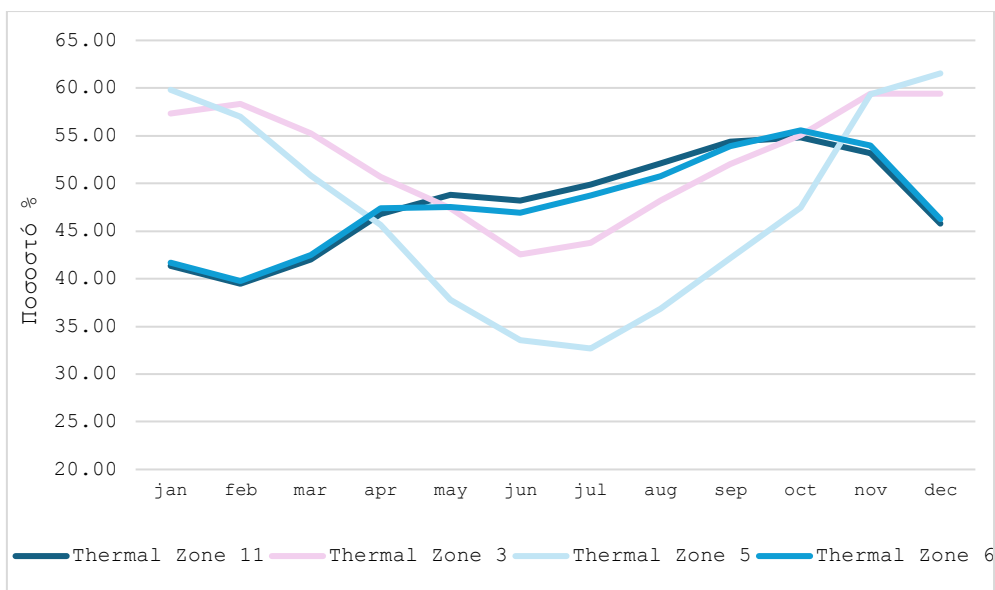
Ενεργειακές Παρεμβάσεις	Κατανάλωση σε kWh/y	Κατανάλωση σε kWh/(m <sup>2</sup> *y)	Ποσοστό Εξοικονόμησης %	Εκπομπές CO <sub>2</sub> tn	Ποσοστό μείωσης εκπομπών CO <sub>2</sub> %
Υφιστάμενη Κατάσταση	124.325	159	-	26	-
Αντικατάσταση Λαμπτήρων Φωτισμού	98.061	125	21	20	22
Αλλαγή Κουφωμάτων και Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών	120.279	154	3	25	3
Αλλαγή Θερμομόνωσης Στέγης και τοίχων	105.445	135	15	22	15
Αλλαγή Συστημάτων HVAC και αλλαγή H/M εξοπλισμού	97.409	146	8	20	22
Εφαρμογή ΑΠΕ	94.700	121	24	19	26
Αντικατάστασης Λαμπτήρων, Κουφωμάτων και Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών	93.953	120	24	19	26
Αντικατάστασης Λαμπτήρων, Κουφωμάτων, Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών και μόνωσης	69.203	89	44	14	46
Αντικατάστασης Λαμπτήρων και Κουφωμάτων, Εφαρμογή Ενεργειακών Τζαμιών, μόνωσης, αλλαγή HVAC και H/M εξοπλισμού	58.267	91	43	12	53

Συνδυασμός όλων των ενεργειακών παρεμβάσεων	28.764	37	77	6	77
---	--------	----	----	---	----

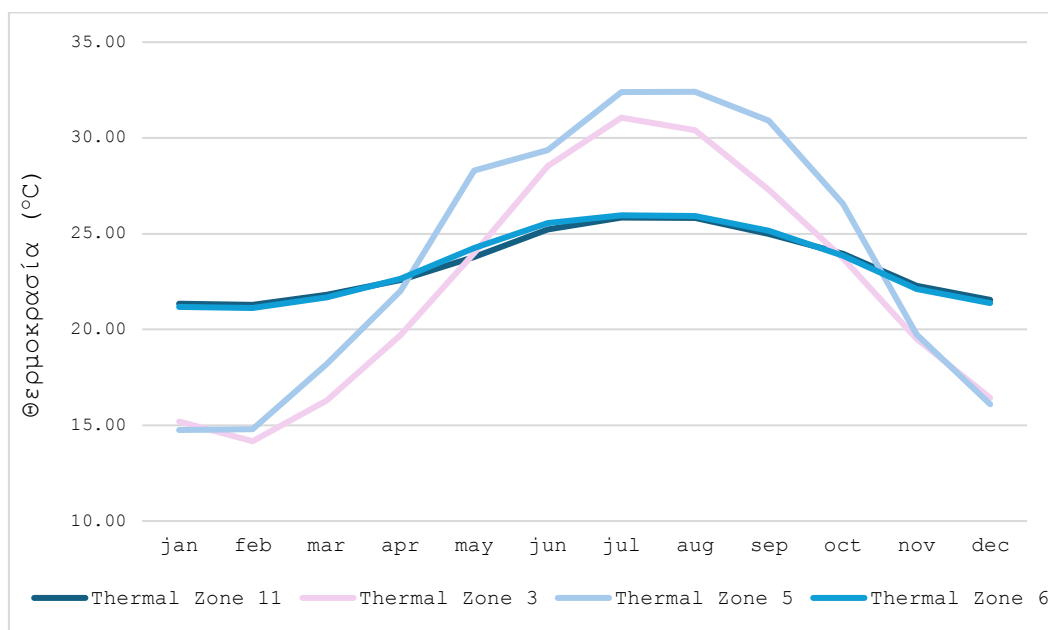


Γράφημα 7-13 Ποσοστά Μείωσης Εκπομπών CO<sub>2</sub> σε κάθε ενεργειακή παρέμβαση.

Όσον αναφορά τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου για το τελικό σενάριο η μεταβολή των τιμών παρουσιάζεται στα Γράφημα 7-14 και Γράφημα 7-15 αντίστοιχα. Όπως παρατηρείται, τα επίπεδα βρίσκονται στα «ασφαλή» όρια που τέθηκαν από την βιβλιογραφία για την συντήρηση των έργων τέχνης. Ειδικότερα, οι τιμές σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας βρίσκονται εντός ορίων με εξίσου κάποιες πολύ μικρές αποκλίσεις (45%-55%  $\pm 5\%$  ή 10% και 15°C-25°C  $\pm 2^\circ\text{C}$ -  $\pm 5^\circ\text{C}$  αντίστοιχα). Οι τιμές χαρακτηρίζονται την περίοδο του καλοκαιριού και για ορισμένες θερμικές από κάποιες μικρές αποκλίσεις. Μια από αυτές τις αποκλίσεις των τιμών της σχετικής υγρασίας αφορά τη θερμική ζώνη 5 που αποτελεί τον χώρο της υποδοχής ή εισόδου της πινακοθήκης. Γι' αυτό μπορεί να ευθύνονται παράγοντες όπως, ο υπερβολικός αερισμός, εάν τα παράθυρα ή οι αεραγωγοί ανοίγουν συχνά και με τον εξωτερικό αέρα να είναι πιο ξηρός. Επίσης, εάν το κτίριο χρησιμοποιεί κλιματισμό, συχνά ο ίδιος αφαιρεί υγρασία από τον αέρα καθώς τον ψύχει, οδηγώντας έτσι σε χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας. Όσον αναφορά την μεταβολή της θερμοκρασίας οι αποκλίσεις που εντοπίζονται αφορούν πάλι κυρίως την θερμική ζώνη 5. Η είσοδος του κτιρίου αποτελείται στην μία πλευρά της από παράθυρα, τα οποία αυξάνουν την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως της θερμοκρασίας εσωτερικά.



Γράφημα 7-14 Επίπεδα Σχετικής Υγρασίας για ένα χρόνο στο τελικό κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11.

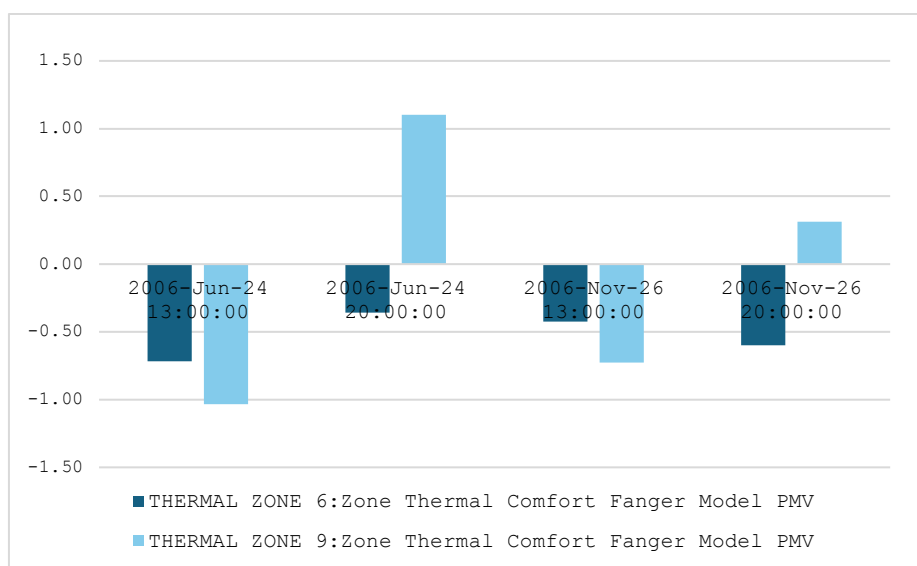


Γράφημα 7-15 Επίπεδα Θερμοκρασίας για ένα χρόνο στο τελικό κτίριο για θερμικές ζώνες 3,5,6 και 11.

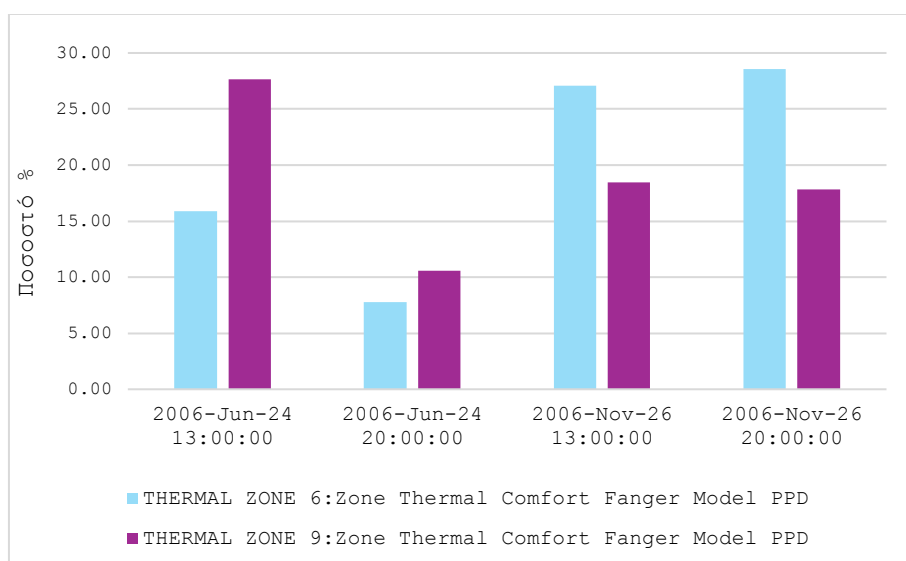
Παρατηρώντας τα Γραφήματα που προηγήθηκαν (Γράφημα 7-14 και Γράφημα 7-15), οι θερμοκρασιακές μεταβολές εντός του μοντέλου βρίσκονται εντός των ορίων θερμικής άνεσης που ορίζονται στην TOTEE 20701-1 (20°C την περίοδο θέρμανσης και 26°C και την περίοδο ψύξης). Τα επίπεδα σχετικής υγρασίας βρέθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα, και εντός των ορίων της TOTEE (40% και 45% για τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα με αποκλίσεις 5-10%). Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι με την χρήση του υψηλής απόδοσης συστήματος νrf που επιλέχθηκε θεωρήθηκε ότι η οποιαδήποτε συγκέντρωση επικίνδυνων αερίων της ατμόσφαιρας απομακρύνθηκε. Γενικά, τα επίπεδα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αποτελούν ιδανικές τιμές για την θερμική άνεση και την διατήρηση των έργων.

## 8. Θερμική Άνεση

Τέλος, οι δείκτες PMV και PPD που περιγράφουν την θερμική άνεση έχουν ικανοποιητικές τιμές. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι στην προσομοίωση τέθηκαν δύο τιμές θερμική αντίστασης των ρούχων  $c_{lo}$  (ένα για χειμώνα: 1.5 και ένα για καλοκαίρι: 0.5) και θεωρήθηκε ότι εκτελείται μια εργασία με ήπια μεταβολική δραστηριότητα των  $70 \text{ W/m}^2$ . Με βάση κάποιες ενδεικτικές τιμές που πάρθηκαν για χειμώνα και καλοκαίρι και για τις θερμικές ζώνες 6,9 (εκθεσιακός χώρος) δημιουργούνται τα γραφήματα που ακολουθούν για τον δείκτη μέσης προβλεπόμενης τιμής ψηφοφορίας PMV και τον δείκτη δυσaréσκειας αντίστοιχα (Γράφημα 8-1 και Γράφημα 8-2). Επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες ζώνες καθώς αποτελούν χώρους του κτιρίου όπου μπορεί να εντοπιστεί μεγάλη συνάθροιση κοινού και επομένως οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτές πρέπει να μελετηθούν διεξοδικά.



Γράφημα 8-1 Διαβάθμιση της τιμής το δείκτη PMV για καλοκαίρι κα χειμώνα σε διαφορετικές θερμικές ζώνες.



Γράφημα 8-2 Διαβάθμιση της τιμής το δείκτη PPD για καλοκαίρι κα χειμώνα σε διαφορετικές θερμικές ζώνες.

Παρατηρώντας τα παραπάνω Γραφήματα (Γράφημα 8-1 και Γράφημα 8-2), συμπεραίνεται ότι οι τιμές του δείκτη PMV βρίσκονται εντός των ορίων των ιδανικών τιμών (με κάποιες μικρές αποκλίσεις) που πρέπει να υπάρχουν για να υφίσταται ο δείκτης PPD ( $-1 \leq \text{PMV} \leq +1$ ). Επιπλέον, το ποσοστό δυσανεξίας PPD κυμαίνεται μεταξύ 7-30%, ποσοστό που μπορεί να χαρακτηριστεί καλό και ρεαλιστικό με συχνά ένα σημαντικό ποσοστό χρηστών να νιώθει δυσφορία και πιθανώς απαιτείται έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα, ισχύει: α) PPD < 10%: (οι περισσότεροι ένοικοι αισθάνονται άνετα). β) PPD μεταξύ 10% και 20%: η άνεση είναι οριακή και κάποιοι άνθρωποι πιθανόν να αισθάνονται άβολα. γ) PPD > 20% παρουσιάζει σημαντική δυσφορία και το περιβάλλον θα χρειαζόταν προσαρμογή (π.χ. έλεγχος θερμοκρασίας, αερισμού ή υγρασίας) για τη βελτίωση της άνεσης.

Στην συνέχεια, αναλύθηκε η θερμική άνεση του μοντέλου του κτιρίου χρησιμοποιώντας το εργαλείο CBE Thermal Comfort Tool. Μελετήθηκαν και οι δύο διαθέσιμες μέθοδοι PMV Method και η Adaptive Method για την αξιολόγηση της άνεσης των χρηστών στο εσωτερικό της Πινακοθήκης. Η ανάλυση επικεντρώθηκε σε τρεις διαφορετικές ημέρες που αντιπροσωπεύουν καλοκαιρινές, φθινοπωρινές και χειμερινές συνθήκες. Για κάθε ημέρα, συγκεντρώθηκαν σχετικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών θερμοκρασιών, των επιπέδων υγρασίας, της ταχύτητας του αέρα και των τιμών ένδυσης και δραστηριότητας των ατόμων, καθώς και των εξωτερικών συνθηκών για την προσαρμοστική μέθοδο (Tartarini et al., 2020).

Σε αυτό το μοντέλο κτιρίου που μελετάται και που βασίζεται στον κλιματισμό για τη διατήρηση συγκεκριμένων συνθηκών θερμοκρασίας, η μέθοδος PMV μπορεί να είναι πιο κατάλληλη, καθώς μοντελοποιεί ένα ελεγχόμενο εσωτερικό περιβάλλον. Στις εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, η προσαρμοστική μέθοδος αντικατοπτρίζει περισσότερο τις συνθήκες του πραγματικού κόσμου και ίσως διαπιστώσουμε ότι οι χρήστες είναι πιο ανεκτικοί στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Επομένως, καθώς στο υπό μελέτη κτίριο είναι εγκατεστημένο κλειστό μηχανικό σύστημα ψύξης θα μελετηθεί μόνο το μοντέλο PMV για τις συνθήκες του υπό μελέτη κτιρίου.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8.1) παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων εισαγωγής που προαναφέρθηκαν για τις τρεις διαφορετικές μετρήσεις. Η τιμή της μεταβολικής δραστηριότητας που εισάγεται τώρα μετρείται σε met, όπου ισχύει πως μία μονάδα μετριοδυναμεί σε 58W/m<sup>2</sup> περίπου. Για ένα μέσο ενήλικα που εκτελεί μία ήπια δραστηριότητα όπως το να κάθεται και να πληκτρολογεί, ο τυπικός μεταβολικός ρυθμός είναι περίπου 1,2 έως 1,3 met (περίπου 70 έως 80 W/m<sup>2</sup>), για κάποιον που περπατάει ήρεμα, ο μεταβολικός ρυθμός κυμαίνεται συνήθως περίπου στο 2,0 και 3,0 met θα αντιστοιχούσε σε έναν πιο γρήγορο ρυθμό περπατήματος<sup>14</sup>. Εισάγοντας, λοιπόν, στο πρόγραμμα τα στοιχεία προκύπτει ένας ψυχομετρικός χάρτης κάθε φορά και μετά από την μελέτη του εξάγονται κάποια αποτελέσματα.

---

<sup>14</sup>[https://www.engineeringtoolbox.com/met-metabolic-rate-d\\_733.html](https://www.engineeringtoolbox.com/met-metabolic-rate-d_733.html).

Πίνακας 8.1 Δεδομένα Εισαγωγής για το εργαλείο CBE Thermal Comfort.

Μέτρηση	Θερμοκρασία	Σχετική Υγρασία	Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας MRT	Ταχύτητα αέρα	Επικρατούσα μέση εξωτερική θερμοκρασία	Θερμική Αντίσταση ρούχων (clo)	Μεταβολική Δραστηριότητα (met)
Ιουλίου	30	46	30	0,8	27	0,5	1,7
Νοεμβρίου	25	50	21	1,1	17	0,7	1,7
Ιανουαρίου	18	55	18	0,7	11	1,5	1,7

Επομένως, για την καλοκαιρινή ημέρα, η βαθμολογία PMV ήταν 0,26, υποδεικνύοντας ότι οι χρήστες ένιωθαν άνεση (ίσως λίγο πιο θερμό) παρά την αυξημένη μέση εξωτερική θερμοκρασία του καλοκαιριού. Η τιμή του δείκτη PPD ανέρχεται στο 9%. Οι θερμικές συνθήκες χαρακτηρίζονται καλές, αλλά όχι απαραίτητα τέλειες - υπάρχει ακόμα ένα μικρό ποσοστό ανθρώπων που μπορεί να αισθάνονται ελαφρώς άβολα, αλλά αυτό θεωρείται αποδεκτό σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά σε κτίρια γραφείων ή δημόσιους χώρους. Γενικότερα, στον τυπικό σχεδιασμό κτιρίων, μια τιμή PPD κάτω του 10% χρησιμοποιείται συχνά ως αποδεκτό σημείο αναφοράς, που σημαίνει ότι οι περισσότεροι ένοικοι θα αισθάνονται άνετα υπό τις θερμικές συνθήκες.

Το φθινόπωρο, η βαθμολογία PMV ήταν -0,45, αποκαλύπτοντας μια μικρή απόκλιση κάτω από το ουδέτερο, που σημαίνει ότι οι άνθρωποι είναι πιθανό να αισθάνονται λίγο πιο δροσερό το περιβάλλον από ότι άνετο, αλλά όχι δυσάρεστο. Ο δείκτης PPD έχει τιμή 9%, κάτι το οποίο υποδηλώνει ότι το 9% των ατόμων στο δεδομένο θερμικό περιβάλλον είναι πιθανό να είναι δυσαρεστημένοι με τις συνθήκες. Μια PPD 9% θεωρείται γενικά καλή, διότι υποδηλώνει ότι η πλειοψηφία των ενοίκων (91%) αναμένεται να αισθάνεται άνετα στο χώρο.

Για το χειμώνα, η βαθμολογία PMV έδειξε -0,34, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι υφίστανται συνθήκες άνεσης με μία μικρή απόκλιση, την οποία οι χρήστες αντιλαμβάνονται ίσως ως πιο δροσερό περιβάλλον. Η τιμή του ποσοστού δυσαρέσκειας είναι τώρα 7% το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό και αποδεκτό καθώς συνεπάγεται πως το 93% του πληθυσμού που μπαίνει στη πινακοθήκη αισθάνεται άνετα και δεν επιθυμεί κάποια θερμική αλλαγή.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τριών διαφορετικών μετρήσεων, είναι εφικτό να κρίνουμε πώς διαφορετικοί συνδυασμοί τιμών εισόδου επηρεάζουν τις συνθήκες θερμικής άνεσης και έτσι μπορούν να αναπτυχθούν ορισμένες στρατηγικές σχεδιασμού που θα μπορούσαν να ενισχύσουν την άνεση κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων εποχών. Για παράδειγμα, το καλοκαίρι, όταν η εσωτερική θερμοκρασία ή η σχετική υγρασία αυξάνεται, οι άνθρωποι είναι πιο πιθανό να αισθάνονται άβολα ζεστά (ειδικά στο στατικό μοντέλο PMV, όπου οι άνθρωποι δεν μπορούν να προσαρμοστούν). Στα προσαρμοστικά μοντέλα, οι υψηλότερες θερμοκρασίες ή τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας μπορεί να είναι πιο αποδεκτές σε θερμότερες εποχές λόγω της αυξημένης ανοχής στη ζέστη. Από την άλλη, η αυξημένη ταχύτητα του αέρα μπορεί να οδηγήσει σε αίσθηση δροσιάς, η οποία είναι ιδιαίτερα ευεργετική

σε θερμά περιβάλλοντα, αυξάνοντας την άνεση. Η αύξηση της θερμικής αντίστασης του ρουχισμού και της μεταβολικής δραστηριότητας των ατόμων σε υψηλές θερμικές συνθήκες οδηγεί στην απόκλιση από τα όρια της ζώνης θερμικής άνεσης. Αντίθετα, για τους χειμερινούς μήνες η μείωση της θερμοκρασίας ή της σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα καθώς και η μείωση της θερμικής αντίστασης των ρούχων και της μεταβολικής δραστηριότητας των ατόμων, συνεπάγονται την ελαχιστοποίηση της θερμικής άνεσης στον χώρο.

Αυτές οι γνώσεις μπορούν να καθοδηγήσουν μελλοντικές αποφάσεις σχεδιασμού και λειτουργίας για τη βελτίωση της ικανοποίησης των ενοίκων και της ενεργειακής απόδοσης. Τα θερμοκρασιακά εύρη που εξάγει η προσαρμοστική μέθοδος βοηθούν στην διασφάλιση ότι η πλειονότητα των ατόμων του κτιρίου θα έχει μια συνολική άνετη θερμική εμπειρία χωρίς να χρειάζεται να γίνουν προσαρμογές με βάση τις προτιμήσεις του κάθε ατόμου.

## 9. Οικονομική Ανάλυση Τελικού Σεναρίου

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομική αξιολόγηση του τελικού σεναρίου που συνδυάζει όλες τις προτεινόμενες επεμβάσεις στην Δημοτική Πινακοθήκη Χανίων. Η επένδυση αξιολογείται με τις μεθόδους της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) και της ΕΒΑ, προκειμένου να εκτιμηθεί η απόδοσή της και να προσδιοριστεί αν είναι μια αξιόλογη απόφαση με βάση τα οφέλη της.

Η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας (net present value – NPV), προσδιορίζει τις καθαρές ετήσιες χρηματοροές μίας επένδυσης και τις ανάγει στο χρόνο «μηδέν» με το κόστος κεφαλαίου και το αλγεβρικό άθροισμα των τιμών αυτών αποτελεί την καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης. Αν η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από τη καθορισμένη από τους επενδυτές, η επένδυση εγκρίνεται, διαφορετικά απορρίπτεται. Γενικά, όσον αφορά την αξιολόγηση μίας επένδυσης με βάση την τιμή NPV ισχύει ότι:

- Όταν  $NPV > 0$ , έγκρισης επένδυσης καθώς η απόδοση της είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης
- Όταν  $NPV < 0$ , απόρριψη επένδυσης διότι η απόδοση της είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης
- Όταν  $NPV = 0$ , η επένδυση χαρακτηρίζεται οριακή αφού η απόδοση της είναι ίση με το επιτόκιο προεξόφλησης

Ο δείκτης NPV μπορεί να αποδώσει ένα μέτρο του κέρδους ή της ζημιάς που υφίσταται κατά τη διάρκεια λειτουργίας της επένδυσης. Ωστόσο, θεωρείται το ότι εφόσον το επιτόκιο προεξόφλησης δεν παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής της επένδυσης ή του επενδυτικού έργου, η ΚΠΑ είναι υποτιμημένη, όταν το επιτόκιο αυξηθεί και υπερτιμημένη όταν συμβεί το αντίθετο.

Ο εσωτερικός βαθμός (ή ρυθμός) απόδοσης κεφαλαίου (internal rate of return – IRR) είναι μία μέθοδος που θεωρείται ισοδύναμη με την παραπάνω με την βασική διαφορά ότι ο IRR δεν εξαρτάται από το ισχύον επιτόκιο και παράγει γρήγορα αποτελέσματα που μπορούν να συγκριθούν άμεσα με προτεινόμενα επενδυτικά σχέδια. Εάν ο IRR υπερβαίνει το επιτόκιο προεξόφλησης της αγοράς (i), η επένδυση κρίνεται αποδεκτή. Αντίθετα, εάν ο IRR υπολείπεται του επικρατούντος προεξοφλητικού επιτοκίου (i), το σχέδιο επένδυσης απορρίπτεται. Όταν ο IRR ευθυγραμμίζεται με το επιτόκιο προεξόφλησης της αγοράς (i), οι επενδυτές παραμένουν



αδιάφοροι ως προς τις επιλογές του έργου τους. Σε σενάρια όπου είναι διαθέσιμες πολλαπλές επενδυτικές επιλογές, εκείνη με τον υψηλότερο IRR, δεδομένου ότι υπερβαίνει το  $i$ , είναι η πιο ευνοϊκή επιλογή.

Ο IRR δείχνει το μέσο ποσοστό απόδοσης της επένδυσης ανά έτος. Ουσιαστικά, αντιπροσωπεύει το μέγιστο επιτόκιο που μπορεί να καταβάλει ένας επενδυτής χωρίς τον κίνδυνο απώλειας του επενδυτικού κεφαλαίου. Η περίοδος ανάκτησης του επενδυόμενου κεφαλαίου, ορίζεται από με τον αριθμό των ετών που χρειάζονται για την πλήρη ανάκτηση του ποσού που έχει δεσμευτεί με τις αναμενόμενες ταμειακές εισροές (Βίττης, 2018).

Παρακάτω παραθέτονται όλα τα κόστη που αφορούν τις ενεργειακές επεμβάσεις του κτιρίου.

- Ενεργειακή Παρέμβαση Αντικατάστασης Λαμπτήρων  
Οι λαμπτήρες που θα χρησιμοποιηθούν είναι COG 4000K 12V με τιμή στο εμπόριο 2,43€/τεμ<sup>15</sup>. Επίσης γίνεται η παραδοχή ότι θα τοποθετηθούν ορισμένα σύγχρονα φωτιστικά σώματα (προβολείς) που μέσω έρευνας της αγοράς επιλέχθηκαν κάποια που κοστίζουν 12,09€/τεμ. Επομένως:

$$250 \text{ λαμπτήρες εξοικονόμησης ενέργειας LED επί } 2,43\text{€ ο καθένας} + 50 * 12,09 + 100\text{€ εργατικά} = 1.462,70\text{€}$$

- Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Κουφωμάτων και Εφαρμογής Ενεργειακών Τζαμιών  
Σύμφωνα με το εξοικονομώ και τον πίνακα του Παραρτήματος (Εικόνα 12.9) κόστος για την αλλαγή των ξύλινων κουφωμάτων και εγκατάσταση ενεργειακών υαλοπινάκων θεωρείται 580€/m<sup>2</sup> για παράθυρα (μη-ανοιγόμενα/ανοιγόμενα) (με το πρόσθετο κόστος των εφαρμογών σκίασης) και 450€/m<sup>2</sup> για εξωστόθυρες (διπλές ανοιγόμενες).  
63,24 m<sup>2</sup> συνολική επιφάνεια παραθύρων άρα:

$$\text{κόστος παραθύρων} = 63,24 \text{ m}^2 * \frac{580\text{€}}{\text{m}^2} = 36.679,20\text{€}$$

16,2m<sup>2</sup> συνολική επιφάνεια εξωστόθυρων άρα:

$$\text{κόστος εξωστόθυρων} = 16,2 \text{ m}^2 * \frac{450\text{€}}{\text{m}^2} = 7.290,00\text{€}$$

Σύνολο αναβάθμισης : 43.969,20€

Προσφορά κατασκευαστή: 36.000€

- Ενεργειακή Παρέμβαση Τοποθέτησης Μόνωσης

Σύμφωνα με τον Πίνακα στο Παράρτημα Γ (Εικόνα 12.10), θεωρείται το κόστος της μόνωσης ανά μονάδα επιφάνειας είναι 30€ /m<sup>2</sup> για τους εξωτερικούς τοίχους και 32€ /m<sup>2</sup> για το δάπεδο. Το συνολικό ποσό για την θερμομόνωση του κτιρίου είναι 37.677,70 € και η κοστολόγηση αναλύεται στο Παράρτημα Δ (Πίνακας 12.5).

- Ενεργειακή Παρέμβαση Αλλαγής Συστημάτων HVAC

---

<sup>15</sup><https://galazoula.gr/>.

Σύστημα νrf με αντλία θερμότητας με κόστος 6.360€ και 12 fan-coil units ενσωματωμένα εσωτερικά 500€/τεμ. με συνολικό κόστος εγκατάστασης τα 12.860€<sup>16</sup>. Στον Πίνακας 9.1 προβάλλονται αναλυτικά τα κόστη των επιμέρους διεργασιών αυτής της εγκατάστασης.

Πίνακας 9.1 Κοστολόγηση Αντλίας Θερμότητας

Εργασίες- Υλικά	Κόστος (€)
Κόστος Αντλίας Θερμότητας Αέρα-Αέρα	6.360
Κόστος συσκευών unit	6.000
Μεταφορικά-Εργατικά	500
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης	12.860

- Αντικατάσταση ηλεκτρικών συσκευών (Πίνακας 9.2):

Πίνακας 9.2 Κοστολόγηση Αντικατάστασης των Ηλεκτρικών συσκευών (έρευνα αγοράς).

	Πλήθος Συσκευών	Κόστος Συσκευής €	Συνολικό Κόστος €
Επιτραπέζιος Υπολογιστής	2	750	1.500
Φορητός Υπολογιστής	4	500	2.000
Εκτυπωτής (Μελάνι)	1	50	50
Ψυγείο	1	600	600
Συνολικό Κόστος Αντικατάστασης			4.150

- Ενεργειακή Παρέμβαση με εφαρμογή ΑΠΕ  
Φωτοβολταϊκά κεραμίδια τα οποία κοστολογούνται στα 59€ /τεμ. Η συνολική επιφάνεια που καλύπτεται από φωτοβολταϊκά είναι 82,6 m<sup>2</sup> και έτσι χρησιμοποιούνται 236 κεραμίδια 0,35 m<sup>2</sup> (διαστάσεις: 0,7m x 0,5m)<sup>17</sup>. Επομένως συνολική τιμή του Φ/Β μαζί με τα εργατικά και το κόστος του αντιστροφέα είναι 14.500€ και αναλύεται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9.3 )

Πίνακας 9.3 Κοστολόγηση Εγκατάστασης Φ/Β συστήματος

Εργασίες- Υλικά	Κόστος (€)
Κόστος Φ/Β κεραμιδιών	13.924
Κόστος Αντιστροφέα (έρευνα αγοράς)	146
Μεταφορικά-Εργατικά	430
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος	14.500

<sup>16</sup>[www.alphaclimagr.gr](http://www.alphaclimagr.gr).

<sup>17</sup>[www.newtechstore.eu](http://www.newtechstore.eu).

$$\begin{aligned}
\text{Αρχικό Κόστος Επένδυσης (ΑΚΕ)} &= K_{\varepsilon} * M + K_{\alpha} \\
&= \text{Κόστος λαμπών} + \text{Κόστος Κουφωμάτων/Υαλοπινάκων} \\
&+ \text{Κόστος Συστήματος νρν} \\
&+ \text{Κόστος Αντικατάστασης Ηλεκτρ. Εξοπλ.} + \text{Κόστος Φ/Β} \\
&= (1.462,7\text{€} + 36.000\text{€} + 12.860\text{€} + 4.150\text{€} + 14.500\text{€} + 37.677,7\text{€}) \\
&= 106.650,4\text{€}
\end{aligned}$$

#### Κόστος φυσικού αερίου τον χρόνο:

Κατανάλωση φυσικού αερίου για αντλία θερμότητας 20.022,2 kWh (68.315,9 kBtu).

Τιμή φυσικού αερίου 0,060€ ανά kWh.

Άρα  $20022,2 \text{ kWh} * 0,06\text{€/kWh} = 1.201,30 \text{ €}$  για φυσικό αέριο θέρμανσης τον χρόνο.

Στον Πίνακα 9.4 αναλύεται η τελική αξία του φυσικού αερίου που καταναλώνεται ετησίως στο κτίριο.

Πίνακας 9.4 Ανάλυση της τελικής τιμής κατανάλωσης του φυσικού αερίου.

	Τελική Αξία (€)
Σύνολο χωρίς ΦΠΑ και Ειδ. Τέλος	1.201,30
Ειδ. Τέλος 5‰	6,00
Σύνολο ΦΠΑ 6%	72,10
Σύνολο με ΦΠΑ και Ειδ. Τέλος	1.279,40

Τιμή kWh: 0,18€/kWh

$$\begin{aligned}
\text{Ετήσιο Οικονομικό Όφελος: } E_{00} &= E_{\Delta\pi\rho\nu\nu} - E_{\Delta\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}} = \left(0,18 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 124.325,1 \text{ kWh}\right) - \\
&\left(0,18 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 28.763,7 \text{ kWh} + 1279,40\text{€}\right) = 15.921,60\text{€}
\end{aligned}$$

ΕΕΔ: Ετήσια Ενεργειακή Δαπάνη

Στη συνέχεια θεωρούνται οι παρακάτω τιμές :

Χρόνια ζωής της επένδυσης  $N=12$

Επιτόκιο αναγωγής 6% με υποθήκη, άρα  $d=0,06$

Ετήσιος πληθωρισμός 2,9% (Φεβρουάριος 2024), άρα  $i=0,029$

Αρχικό Κόστος Επένδυσης (ΑΚΕ)=106.650,40€

Καθαρές Ταμειακές ροές ΚΤΡ=15.921,6 € σταθερές καθόλα τη διάρκεια της επένδυσης

Επομένως το Αποπληθωρισμένο επιτόκιο ή προεξοφλητικό επιτόκιο  $r$  ( $0 < r < 1$ ) είναι:

$$r = \frac{1 + d}{1 + i} - 1 = \frac{1 + 0,06}{1 + 0,029} - 1 \rightarrow r = 0,0301 = 3,01\%$$

Άρα η Καθαρή Παρούσα Αξία υπολογίζεται:

$$\begin{aligned} \text{ΚΠΑ} &= \frac{(1+r)^N - 1}{r * (1+r)^N} * \text{ΚΤΡ} - \text{ΑΚΕ} = \frac{(1 + 0,0301)^{12} - 1}{0,0301 * (1 + 0,0301)^{12}} * 15.921,60 \text{ €} - 106.650,40 \\ &= 51.738,70\text{€} > 0 \end{aligned}$$

Άρα η επένδυση είναι **βιώσιμη**.

- IRR (Internal Rate of Return – Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης)

EBA=10,35%

Για τον υπολογισμό του εσωτερικού βαθμού απόδοσης χρησιμοποιήθηκε υπολογιστής του EBA μέσω του διαδικτύου Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (Discounted Payback Period, DPP) (έτη).

Απλή Περίοδος Αποπληρωμής (Pay-Back Period, PBP)

$$\text{ΑΠΑ} = \frac{\text{ΑΚΕ}}{\text{ΚΕΚ}} = \frac{106.650,40 \text{ ευρώ}}{15.921,60 \text{ ευρώ}} = 6,7 \text{ χρόνια}$$

Άρα τελικά η Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (ΕΠΑ) είναι:

$$\text{ΕΠΑ} = \frac{-\ln(1 - r * \frac{\text{ΑΚΕ}}{\text{ΚΕΚ}})}{\ln(1 + r)} = \frac{-\ln(1 - 0,0301 * 6,7)}{\ln(1 + 0,0301)} = 7,6 \text{ χρόνια}$$

Στον Πίνακα 12.6 του Παραρτήματος Δ καταγράφεται η οικονομική ανάλυση για κάθε ενεργειακή παρέμβαση που μελετήθηκε σε αυτή την εργασία. Μελετώντας αυτό τον Πίνακα προκύπτουν ποικίλα συμπεράσματα για την κάθε ενεργειακή παρέμβαση ως επένδυση. Για παράδειγμα, η περίοδος αποπληρωμής για τα φωτοβολταϊκά κεραμίδια εκτιμήθηκε σε 2,7 έτη, ενώ άλλα μέτρα όπως ο φωτισμός LED είχαν μικρότερους χρόνους αποπληρωμής αλλά μικρότερο συνολικό αντίκτυπο.

## 10. Συμπεράσματα

Η δημιουργία μουσείων και γκαλερί για την προστασία και τη διαχείριση διαφόρων συλλογών, χωρίς να έχουν εξασφαλιστεί οι κατάλληλες συνθήκες για τη διατήρησή τους, φαίνεται να είναι ένα παράδοξο γεγονός. Η παγκόσμια βιβλιογραφία σχετικά με το μικροκλίμα ενός μουσείου ή μιας γκαλερί είναι περιορισμένη. Ωστόσο, η έρευνα για τις περιβαλλοντικές συνθήκες τους έχει αυξηθεί σημαντικά, ιδίως κατά την τελευταία δεκαετία. Η εσωτερική θερμοκρασία και η σχετική υγρασία αποτελούν δύο κρίσιμες παραμέτρους για την ευημερία των έργων, με τους ειδικούς να θέτουν όρια: 45%-55% και διακύμανση  $\pm 5\%$  ή  $10\%$  σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας  $15^\circ\text{C}$ - $25^\circ\text{C}$  με διακύμανση από  $\pm 2^\circ\text{C}$  μέχρι  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Οι διευθυντές, διαχειριστές και τα στελέχη των μουσείων προσπαθούν να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ενημερωμένοι για τις σύγχρονες μεθόδους προστασίας και ταυτόχρονα να λαμβάνουν κάθε δυνατό μέτρο προκειμένου να διατηρήσουν ασφαλείς τις συλλογές για τις οποίες είναι υπεύθυνοι.

Η θερμική άνεση αποτελεί επίσης σημαντικό ζήτημα, με τους δείκτες PMV και PPD να περιγράφουν τις ατομικές θερμικές αισθήσεις σε κλιματιζόμενους χώρους. Το εργαλείο θερμικής άνεσης της CBE μπορεί να βελτιώσει το σχεδιασμό και τη λειτουργία των κτιρίων, εξασφαλίζοντας ότι οι χώροι ανταποκρίνονται στις ανάγκες άνεσης των ενοίκων χωρίς

περιττές ενεργειακές δαπάνες. Τα αποτελέσματα από το κτίριο αναφοράς είναι ικανοποιητικά, εντός αποδεκτών ορίων θερμικής ικανοποίησης. Από την προσομοίωση του κτιρίου συμπεραίνεται ότι οι δείκτες βρίσκονται σε «ασφαλή» όρια με κάποιες αποκλίσεις (PMV: -1-1, PPD: 7%-30%). Επιτρέπει, επιπλέον, συγκρίσεις μεταξύ της στατικής μεθόδου PMV (σταθερές συνθήκες) και της Adaptive Method(λαμβάνει υπόψη τη προσαρμογή των χρηστών στις εποχιακές διακυμάνσεις), η οποία δεδομένου του κτιρίου και του κλειστού συστήματος κλιματισμού που διαθέτει, απορρίπτεται. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν για τις ενδεικτικές τιμές που επιλέχθηκαν, αφορούν μόνο την PMV μέθοδο και χαρακτηρίζονται ικανοποιητικά με τους δείκτες PMV και PPD να κυμαίνονται από -0,45-0,26 και 7%-9% αντίστοιχα και κρίνονται ότι βρίσκονται εντός αποδεκτών ορίων θερμικής ικανοποίησης.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος εκτιμά ότι το 85-95% των κτιρίων που χρησιμοποιούνται σήμερα θα εξακολουθούν να υπάρχουν μέχρι το 2050, αναδεικνύοντας την ανάγκη για αναβαθμίσεις στην ενεργειακή απόδοσή τους. Γενικότερα, ο κτιριακός τομέας στον ελλαδικό χώρο αποτελείται στην πλειοψηφία του από κτίσματα παλαιάς δομής και χαμηλής ενεργειακής απόδοσης που χρήζουν ενεργειακής αναβάθμισης. Τα διατηρητέα και νεοκλασικά κτίρια, όπως η υπό-μελέτη Πινακοθήκη, παρουσιάζουν περιορισμούς όσο αναφορά την σειρά από ενεργειακές παρεμβάσεις που μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτά. Η ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων με ιδιαίτερη αρχιτεκτονική πρέπει να ξεκινάει με μέτρα εξοικονόμησης που εφαρμόζονται από μέσα προς τα έξω έτσι ώστε να υπάρχει εναρμόνιση με την σημαντική εξωτερική όψη τους. Στόχος, θα πρέπει να είναι η μείωση του κτιριακού ενεργειακού αποτυπώματος και παράλληλα η διαφύλαξη της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς με την προστασία και συντήρηση του κελύφους αυτών των κτιρίων.

Η προκαταρκτική ανάλυση του κτιρίου αναφοράς αποκαλύπτει διάφορα ζητήματα, όπως παρωχημένες περιβαλλοντικές συνθήκες, έλλειψη περιβαλλοντικής παρακολούθησης και υπερβολική κατανάλωση ενέργειας λόγω των απαρχαιωμένων συστημάτων φωτισμού και κλιματισμού. Ενώ οι προσομοιώσεις παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες, η χρήση στον πραγματικό κόσμο μπορεί να οδηγήσει σε μικρές αποκλίσεις στην ενεργειακή απόδοση. Η αναβάθμιση του συστήματος HVAC αύξησε την κατανάλωση ενέργειας θέρμανσης του συστήματος, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για βαθύτερη ανάλυση και βελτιωμένες παραδοχές μοντελοποίησης. Τα αναβαθμισμένα εξαρτήματα ενδέχεται να αλληλεπιδρούσαν με απρόβλεπτους τρόπους, οδηγώντας σε αναποτελεσματικότητα. Οι αλλαγές στη συμπεριφορά των ενοίκων και οι περιορισμοί της μοντελοποίησης μπορεί επίσης να επηρεάσουν τη χρήση ενέργειας. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναμένεται να είναι έμμεσες, μειώνοντας το CO<sub>2</sub>, τα CFC και τη ρύπανση, ενώ παράλληλα βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Οι κοινωνικές επιπτώσεις θα είναι εξίσου σημαντικές, δημιουργώντας ένα υγιές και άνετο εσωτερικό περιβάλλον και αυξάνοντας τη βιώσιμη συνείδηση των χρηστών. Οι στόχοι περιλαμβάνουν τον καθορισμό ενός νέου προτύπου για την κατανάλωση ενέργειας, τη βελτίωση των εσωτερικών χώρων των μουσείων, την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την επίτευξη μιας απλής απόσβεσης των επιλέξιμων δαπανών εγκατάστασης και σχεδιασμού σε λιγότερο από 10 χρόνια.

Οι παρεμβάσεις που προτάθηκαν στα ενεργειακά σενάρια είναι οι πιο συνήθεις στα διατηρητέα κτίρια, δεδομένου της παραδοχής ότι η δομή αναφοράς πρέπει να αντιμετωπιστεί έτσι λόγω του νεοκλασικού της χαρακτήρα. Αρχικά, η αντικατάσταση των κουφωμάτων είναι μία παρέμβαση που επιλέγεται να υλοποιηθεί συχνά, καθώς τα περισσότερα ιστορικά κτίρια έχουν παλαιά κουφώματα με μονό υαλοπίνακα, με μεγάλο συντελεστή θερμοπερατότητας. Η ιδιαιτερότητα αυτής της παρέμβασης σε αυτού του είδους τα κτίρια είναι ότι πρέπει τα νέα

κουφώματα να είναι ξύλινα και συνήθως στο ίδιο χρωματισμό με τα παλαιά, το κόστος των οποίων είναι πολύ μεγαλύτερο από τα γνωστά συνθετικά (πχ. PVC) που χρησιμοποιούνται σε άλλα κτίρια. Συνδυαστικά με τους τριπλούς υαλοπίνακες επιτυγχάνεται καλύτερη αεροστεγανότητα και περιορισμός της εσωτερικής υγρασίας. Η τοποθέτηση θερμομόνωσης, επιλέγεται επίσης συχνά σε ενεργειακές αναβαθμίσεις διατηρητέων κτιρίων, κυρίως στο εσωτερικό, εξασφαλίζοντας τη διατήρηση το ιδιαίτερου χαρακτήρα τους. Η αντικατάσταση στοιχείων του Η/Μ εξοπλισμού μπορεί να παρέχει καθοριστική μείωση του ηλεκτρικού φορτίου. Όμως, η καθολική αλλαγή αυτών των συστημάτων μπορεί να αποβεί μία πολύ κοστοβόρα διαδικασία. Η αλλαγή των λαμπτήρων επιφέρει στο σύνολο ένα αρκετά καλό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας και εξασφαλίζει την απαιτούμενη στάθμη φωτισμού στους λειτουργικούς χώρους. Τέλος, η χρήση ΑΠΕ και ειδικότερα η χρήση φωτοβολταϊκών κεραμιδιών είναι μία μέθοδος που προσφέρει σημαντικό ποσοστό μείωσης της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και ταυτόχρονα συμβαδίζει με τις υποταγές της νομοθεσίας περί διατήρησης των ιστορικών όψεων των κτιρίων.

Η τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μετά από όλες τις παρεμβάσεις εκτιμάται σε 37 kWh/m<sup>2</sup>/έτος, με τυπική μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 77% και μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 77%. Όμως η διαδικασία αναβάθμισης δεν τελειώνει με την υλοποίηση των προτεινόμενων ανά περίπτωση παρεμβάσεων. Ταυτόχρονα, η διοίκηση θα πρέπει να οργανώνει την εκπαίδευση του προσωπικού πάνω στα νέα δεδομένα και να παρέχει σχετικές πληροφορίες και συμβουλές στους επισκέπτες.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων καταδεικνύει την αξιοπιστία του λογισμικού Energyplus και τη χρησιμότητα του για την διεξαγωγή ενεργειακών προσομοιώσεων σε κτίσματα, με προτεινόμενες τεχνολογίες να συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας. Το συνολικό κόστος του πακέτου ανέρχεται περίπου στις 106.650€. Η περίοδος αποπληρωμής για το τελικό σενάριο είναι μικρότερη από 10 έτη (ΑΠΑ= 7 χρόνια), καθιστώντας την επένδυση κερδοφόρα. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης ΕΒΑ (IRR) είναι 10%. Με βάση το περιβαλλοντικό όφελος (ποσοστά εξοικονόμησης ενεργειακής κατανάλωσης και μειωμένης εκπομπής CO<sub>2</sub>) η πρόταση θα ήταν η διοίκηση της Δημοτικής Πινακοθήκης να προχωρήσει στην εφαρμογή των παρεμβάσεων με την εξής σειρά προτεραιότητας:

1. Τελικό Σενάριο (συνδυασμός όλων των παρακάτω)
2. Λαμπτήρες LED- Ενεργειακά Ξύλινα Κουφώματα και Τριπλοί Υαλοπίνακες- Αλλαγή Μόνωσης Κελύφους-Σύστημα ντφ και αλλαγή Η/Μ εξοπλισμού
3. Λαμπτήρες LED- Ενεργειακά Ξύλινα Κουφώματα και Τριπλοί Υαλοπίνακες- Αλλαγή Μόνωσης Κελύφους
4. Λαμπτήρες LED- Ενεργειακά Ξύλινα Κουφώματα και Τριπλοί Υαλοπίνακες
5. Φ/Β Κεραμίδια
6. Λαμπτήρες LED
7. Αλλαγή Μόνωσης Κελύφους
8. Σύστημα ντφ και αλλαγή Η/Μ εξοπλισμού
9. Ενεργειακά Ξύλινα Κουφώματα και Τριπλοί Υαλοπίνακες

Η παρούσα μελέτη και άλλες παρόμοιες με αυτή, ανοίγει δρόμους για μελλοντική έρευνα, η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει πραγματικά δεδομένα για περιβαλλοντικές παραμέτρους, την διερεύνηση μακροπρόθεσμων επιπτώσεων των ενεργειακών παρεμβάσεων σε διαφορετικά κλίματα και καινοτόμες εφαρμογές, όπως αεριζόμενες οροφές, συστήματα διαχείρισης της ενεργειακής κατανάλωσης BEMS και αισθητήρες των επιπέδων θερμοκρασίας,

σχετικής υγρασίας και αιωρούμενων σωματιδίων στον χώρο και νυχτερινό αερισμό. Ο εμπλουτισμός του παρόντος εγγράφου με πραγματικές μετρήσεις πριν και μετά την ενεργειακή αναβάθμιση θα επικυρώσει την ακρίβεια του μοντέλου και της έρευνας που διεξήχθη. Ακόμα, εκτός από τη μόνωση, ο σχεδιασμός ενός συστήματος αεριζόμενης οροφής, θα επιτρέψει τον φυσικό αερισμό του κτιρίου μέσω μικροεξαερισμού κάτω από τα κεραμίδια και μακροεξαερισμού μεταξύ των κεραμιδιών και του μονωτικού στρώματος, ενώ η υιοθέτηση της τεχνικής του νυχτερινού αερισμού, συμβάλλει στη μείωση του ψυκτικού φορτίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Άλλα συστήματα, όπως η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου της δομής και οι εφαρμογές διαχείρισης της σκίασης και του ηλιακού φωτός, είναι επίσης χρήσιμα.

Η κατά προτεραιότητα βελτίωση του φωτισμού και της μόνωσης στα μουσεία μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας. Τα ενεργειακά αποδοτικά συστήματα HVAC και τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα πρέπει να τοποθετούνται στρατηγικά και να αξιολογούνται για τη μέγιστη δυνατή παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως το κλίμα, ο προσανατολισμός του κτιρίου και οι προτιμήσεις του χώρου. Η επίτευξη βέλτιστης θερμικής άνεσης και του ιδανικού μικροκλίματος μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργικότητα και τη βιωσιμότητα, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Επιπρόσθετα, οι επιπτώσεις επεκτείνονται στη χάραξη πολιτικής και στις ευκαιρίες χρηματοδότησης, αποδεικνύοντας απτά οφέλη, όπως η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και οι βελτιωμένες θερμικές συνθήκες, οι γκαλερί μπορούν να προβάλουν ισχυρότερη επιχειρηματολογία για επιχορηγήσεις και χρηματοδότηση με στόχο πρωτοβουλίες βιωσιμότητας, προωθώντας μια ευρύτερη στροφή προς την αειφορία στον τομέα.

Τέλος, υπογραμμίζεται ότι οι γκαλερί μπορούν να επιτύχουν μια ισορροπία μεταξύ της σύγχρονης ενεργειακής απόδοσης και των παραδοσιακών αναγκών διατήρησης των συλλογών τους. Η ενεργειακή αναβάθμιση της Δημοτικής Πινακοθήκης Χανίων όχι μόνο ενισχύει τη βιωσιμότητα του κτιρίου, αλλά προσφέρει και πρακτικά οφέλη στην τοπική κοινότητα. Με τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης έως και 77% και την σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 77% εξίσου, η πινακοθήκη αποτελεί παράδειγμα βιώσιμων πρακτικών κτιρίων σε ιστορικές δομές, ελαχιστοποιώντας το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα. Η ενσωμάτωση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά κεραμίδια, αναδεικνύει τη δυνατότητα καθαρών ενεργειακών λύσεων ακόμα και σε ευαίσθητα αρχιτεκτονικά περιβάλλοντα, ενθαρρύνοντας την ευρύτερη υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών σε όλη την περιοχή. Με τη συνέχιση της αξιοποίησης αυτών των ευρημάτων, ο τομέας μπορεί να εξελιχθεί, διασφαλίζοντας ότι τα πολιτιστικά ιδρύματα παραμένουν συναφή και υπεύθυνοι διαχειριστές τόσο των συλλογών τους όσο και του περιβάλλοντος.

## 11. Βιβλιογραφία

### Δημοσιευμένα άρθρα

1. Papadopoulos, A. M., Avgelis, A., & Santamouris, M. (2003). Energy study of a medieval tower, restored as a museum. *Energy and Buildings*, 35(9), 951–961. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00025-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00025-2)
2. M. De Jong. (2010). Sustainability in Museums. Newsletter of the Network of European Museum Organizations. [www.ne-mo.org](http://www.ne-mo.org)
3. Tzikopoulos, A. F., Karatza, M. C., & Paravantis, J. A. (2005). Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings. *Energy and Buildings*, 37(5). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.002>.
4. Dounis, A. I., & Caraiscos, C. (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment-A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol.1 3, Issues 6–7). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.015>.
5. Sharif-Askari, H., & Abu-Hijleh, B. (2018). Review of museums' indoor environment conditions studies and guidelines and their impact on the museums' artifacts and energy consumption. *Building and Environment*, 143, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.012>
6. Canas, I., & Martín, S. (2004). Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. *Building and Environment*, 39(12). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.04.007>.
7. Rizzo, G., & Beccali, M. (2004), Thermal Comfort.
8. Luo, X., Zhu, X., Tian, W., & Gu, Z. (2020). The negative impact of skylights on light-irresponsible historical sites within archaeological museums: A case study. *Solar Energy*, 202, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.073>.
9. Steemers, K. (1994). DAYLIGHTING DESIGN: ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND VISUAL QUALITY. In *Renewable Energy* (Vol. 11).
10. G. Pavlogeorgatos, (2003), Environmental parameters in museums, *Build. Environ.* vol. 38 1457–1462.
11. Kupczak, A., Sadłowska-Sałęga, A., Krzemień, L., Sobczyk, J., Radoń, J., & Kozłowski, R. (2018). Impact of paper and wooden collections on humidity stability and energy consumption in museums and libraries. *Energy and Buildings*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.005>.
12. Odlyha, M., Cohen, N. S., & Foster, G. M. (2000). Dosimetry of paintings: determination of the degree of chemical change in museum exposed test paintings (smalt tempera) by thermal analysis.
13. Bacci, M., Picollo, M., Porcinai, S., & Radicati, B. (2000). Evaluation of the museum environmental risk by means of tempera-painted dosimeters.
14. Piana, E. A., & Merli, F. (2020). Lighting of Museums and Art Galleries. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012138>.
15. Krupińska, B., van Grieken, R., & de Wael, K. (2013). Air quality monitoring in a museum for preventive conservation: Results of a three-year study in the Plantin-Moretus Museum in Antwerp, Belgium. *Microchemical Journal*, 110, 350–360. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.05.006>.



16. Papadopoulos, K., & Vayas, I. (2018). Restoration and Strengthening Techniques for Ancient Greek Monuments. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(1), 33–46.
17. Battle, G., Yuen, C. H. N., Zanchetta, M., & D'Cruz, P. (2006). Energy efficiency in new museum build: THEpUBLIC. *International Journal of Sustainable Energy*, 25(3–4), 185–198. <https://doi.org/10.1080/14786450600921629>.
18. Jeong, J. H., & Lee, K. H. (2006). The physical environment in museums and its effects on visitors' satisfaction. *Building and Environment*, 41(7). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.004>.
19. Pisello, A. L., Petrozzi, A., Castaldo, V. L., & Cotana, F. (2014). 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. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.061>.
20. M.A. Morris, M.A. Young, T.A.W. Molvig, (1964), The effects of air pollution on cotton, *Text. Res. J.* 34 563–564.
21. Ekhaese, E. N., & Solaja, A. O. (2022). Assessment of Lighting Strategies in Art Galleries: A Comparative Case Study of Selected Art Galleries in Lagos State. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1054(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1054/1/012028>
22. ΚΑΠΕ, (2006), Εγχειρίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για δυνητικούς χρήστες.
23. Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>.
24. Σπανομήτσος Ι. Σ., (2013), Ενεργειακή Επιθεώρηση σε Νεοκλασικό κτίριο, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα.
25. Τεχνικό Επιτετήριο Ελλάδας, (2017) TOTEE\_20701-1\_2017. Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για τον Υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
26. Τεχνικό Επιτετήριο Ελλάδας, (2022), TOTEE 20701-6. Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική.
27. Τεχνικό Επιτετήριο Ελλάδας, (2010), TOTEE 20701-2. Θερμοφυσικές Ιδιότητες Δομικών Υλικών και Έλεγχος της Θερμομονωτικής Επάρκειας των Κτιρίων
28. British Standards Institution. (2012). Specification for Managing Environmental Conditions for Cultural Collections. Pas 198:2012.
29. Κόρδα, Φ. (2019). Ενεργειακή Αναβάθμιση Διατηρητέου Κτιρίου στην Παλιά πόλη της Ξάνθης. Διπλωματική Εργασία.
30. Gagliano, A., Nocera, F., Patania, F., Moschella, A., Detommaso, M., & Evola, G. (2016). Synergic effects of thermal mass and natural ventilation on the thermal behaviour of traditional massive buildings. *International Journal of Sustainable Energy*, 35(5), 411–428. <https://doi.org/10.1080/14786451.2014.910517>.
31. Qian, M., Yan, D., Hong, T., & Liu, H. (2021). Operation and performance of VRF systems: Mining a large-scale dataset. *Energy and Buildings*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110519>.
32. Antoniadou, P., Giama, E., & Papadopoulos, A. M. (2015). Low Energy Office Buildings in Greece: Potential and Perspectives. 46th International HVAC&R Congress and Exhibition.
33. Zannis, G., Santamouris, M., Geros, V., Karatasou, S., Pavlou, K., & Assimakopoulos, M. N. (2006). Energy efficiency in retrofitted and new museum

- buildings in Europe. *International Journal of Sustainable Energy*, 25(3–4), 199–213.  
<https://doi.org/10.1080/14786450600921645>
34. Mueller, H. F. O. (2013). Energy-efficient Museum buildings. *Renewable Energy*, 49, 232–236. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.025>.
  35. Sala, M., & Gallo, P. (2007). Energy efficient and sustainable ancient museum buildings: A case study in Florence. *International Journal of Sustainable Energy*, 26(2), 61–78. <https://doi.org/10.1080/14786450600921405>.
  36. Βίττης Ν. (2018). Οικονομική Αξιολόγηση Ενεργειακής Αναβάθμισης Δημόσιου Κτιρίου.
  37. Jadhav, S., Kumar, P., Chavan, R., & Goen, A. (2022). Predicting Occupant Thermal Comfort for Multiple Air-Side Systems and Seasonal Scenarios Using Autonomous HVAC CFD. *Building Simulation Conference Proceedings*, 2813–2820. <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30945>.
  38. Παπαϊωακείμ Π. (2012). Οικονομοτεχνική μελέτη εκμετάλλευσης της ανακτώμενης ισχύος πέδησης σε ηλεκτροκινητήρες ανελκυστήρων οδηγούμενους από μετατροπέα ισχύος. Διπλωματική Εργασία. <https://ikee.lib.auth.gr/>.

#### Βιβλία:

1. Θεοχάρης Τσούτσος, Ιωάννης Ν Κανάκης, (2013), *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τεχνολογίες & περιβάλλον*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
2. Sue Roaf, Manuel Fuentes, Stephanie Thomas, (2009,2017), *Εκδομείν βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων & εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*, Εκδόσεις Ψυχάλου, 3η Έκδοση.
3. Μιχάλης Ν. Λαζαρίδης, (2015), *Βασικές Αρχές της Επιστήμης των Αεροζόλ*, Εκδόσεις Τζιόλα.

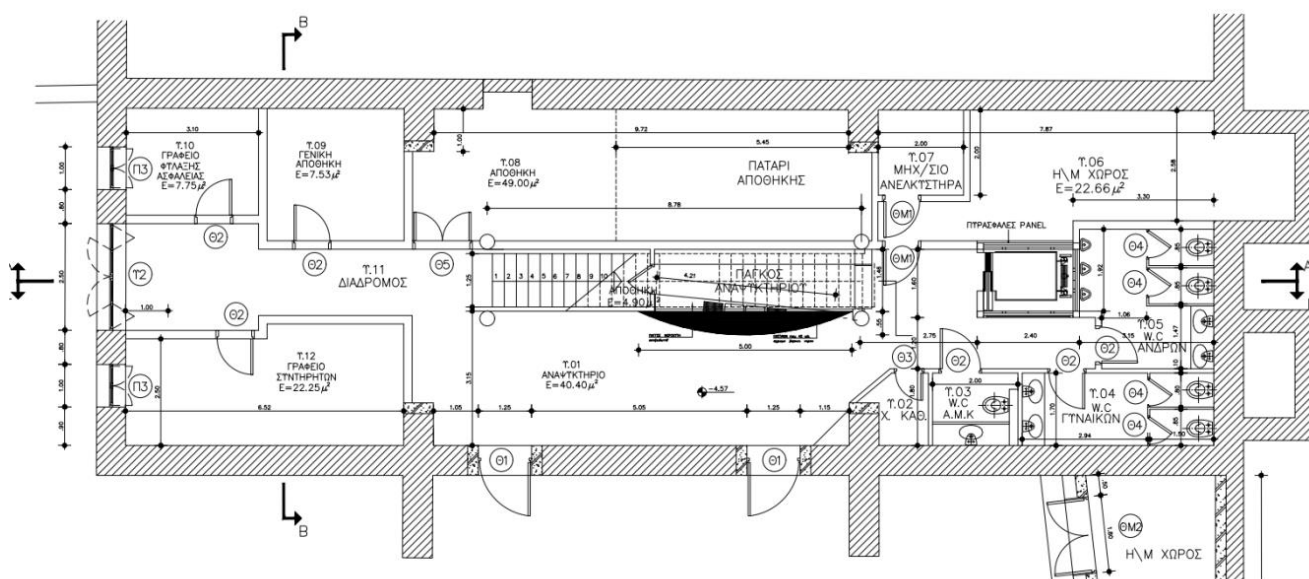
#### Ιστοσελίδες:

1. Charlotte Coates, <https://blooloop.com/sustainability/indepth/ sustainable-museums> [10/2023]
2. Δ. Ασλανίδου, <https://www.deltaengineering.gr/%CF%83%CF%87%CE%B5%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%B6%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B1%CF%82-%CE%BA%CF%84%CE%AF%CF%81%CE%B9%CE%B1-%CE%BC%CE%B5-%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7-leed/> [07/2024]
3. Διάφοροι, Exploratorium, <https://www.introba.com/work/projects/exploratorium> [10/2023]
4. Γ. Ελαφρός, [Η «Άγνωστη» Οικολογική Βιβλιοθήκη \(energia.gr\)](https://www.energia.gr/) [10/2023]
5. Διάφοροι, <https://galazoula.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%82%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82/%CE%BB%CE%B1%CE%BC%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%82-led> [01/2024]
6. Διάφοροι, <https://www.leditnow.gr> [01/2024]
7. Διάφοροι, <https://www.meteoblue.com/> [05/2023]

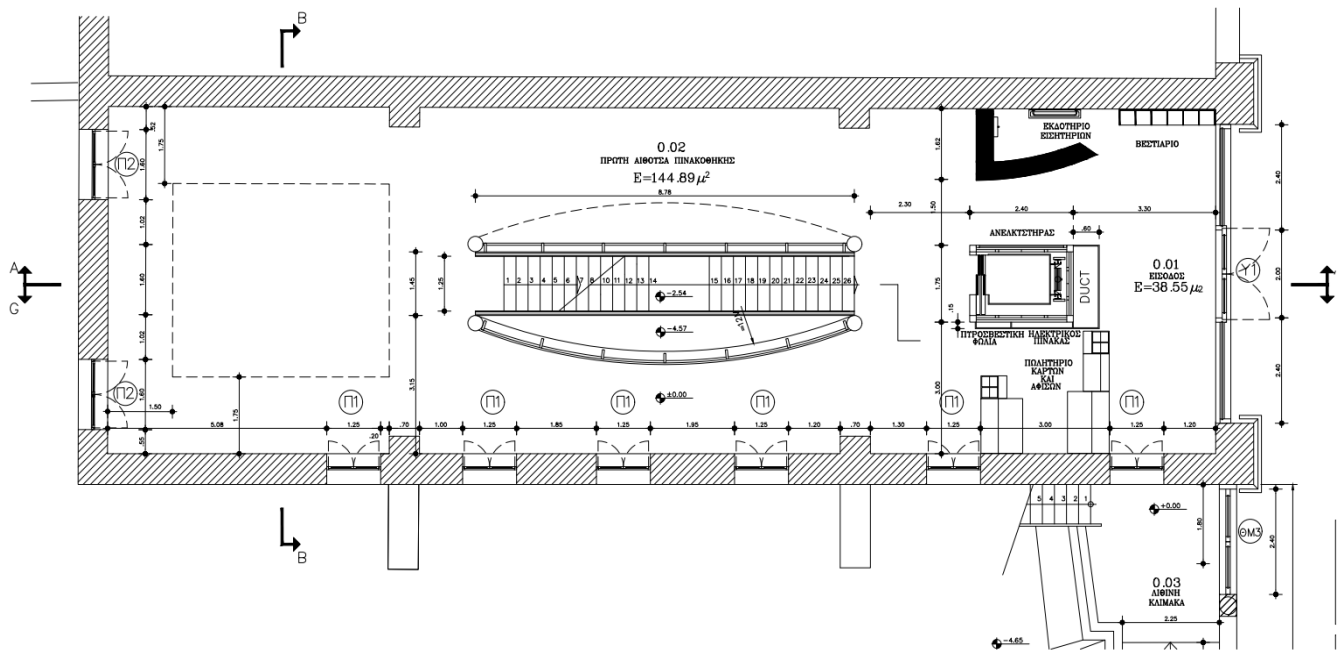
8. DesignBuilder, <https://designbuilder.co.uk/cahelp/Content/EnergyPlusWeatherFileFormat.htm> [10/2023]
9. Διάφοροι, <https://energycert.gr/> [08/2023]
10. National Renewable Energy Laboratory (NREL), <https://openstudio.net/> [05/2023]
11. National Renewable Energy Laboratory (NREL), [www.energyplus.net](http://www.energyplus.net) [05/2023]
12. Διάφοροι, <https://www.dakowindows.com/enproducts/wood-windows-ddr-92> [02/2024]
13. Διάφοροι, Ηλιακά Κεραμίδια Bluesun, [www.newtechstore.eu](http://www.newtechstore.eu) [02/2024]
14. Διάφοροι, [www.photovoltatic.gr](http://www.photovoltatic.gr) [02/2024]
15. Internal Rate of Return (IRR) Calculator-<https://www.calculatestuff.com/financial/irr-calculator> [05/2024]
16. [calculator](https://www.calculatestuff.com/financial/irr-calculator) [05/2024]
17. Αντλίες Θερμότητας, [www.alphaclimagr.gr](http://www.alphaclimagr.gr) [01/2024]
18. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, <http://ktm.cres.gr/index.php/katoikies/koufwmata> [09/2023]
19. Διάφοροι, <https://docs.easykenak.gr/doku.php?id=manual:step3:idiotites> [10/2023]
20. Volton, <https://volton.gr/katalanos-reymatos-poso-kaine-pragmatika-oi-hlektrikes-systeyes/> [02/2024]
21. Διάφοροι, [https://www.engineeringtoolbox.com/met-metabolic-rate-d\\_733.html](https://www.engineeringtoolbox.com/met-metabolic-rate-d_733.html) [4/11/2024]

## 12. Παραστήματα

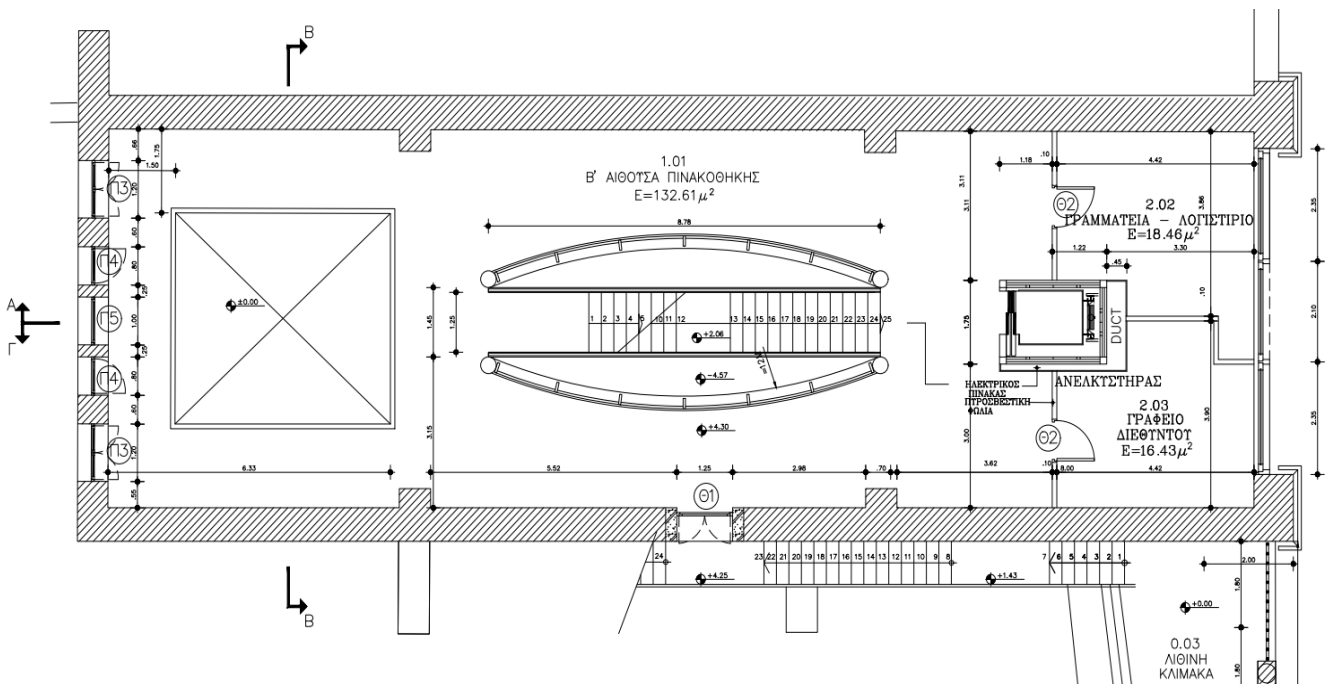
### Παράρτημα Α Αρχιτεκτονικά Σχέδια Κτιρίου



Εικόνα 12.1 Κάτοψη Υπογείου Πινακοθήκης.

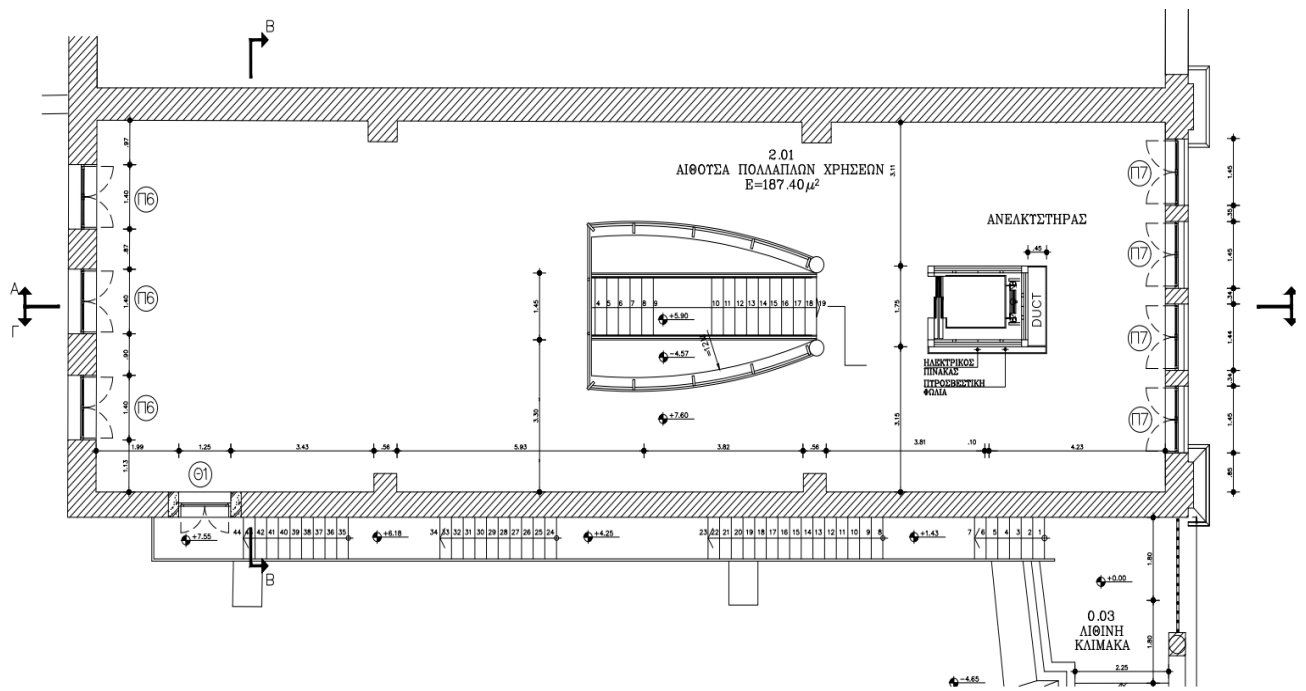


Εικόνα 12.2 Κάτοψη Ισογείου Πινακοθήκης

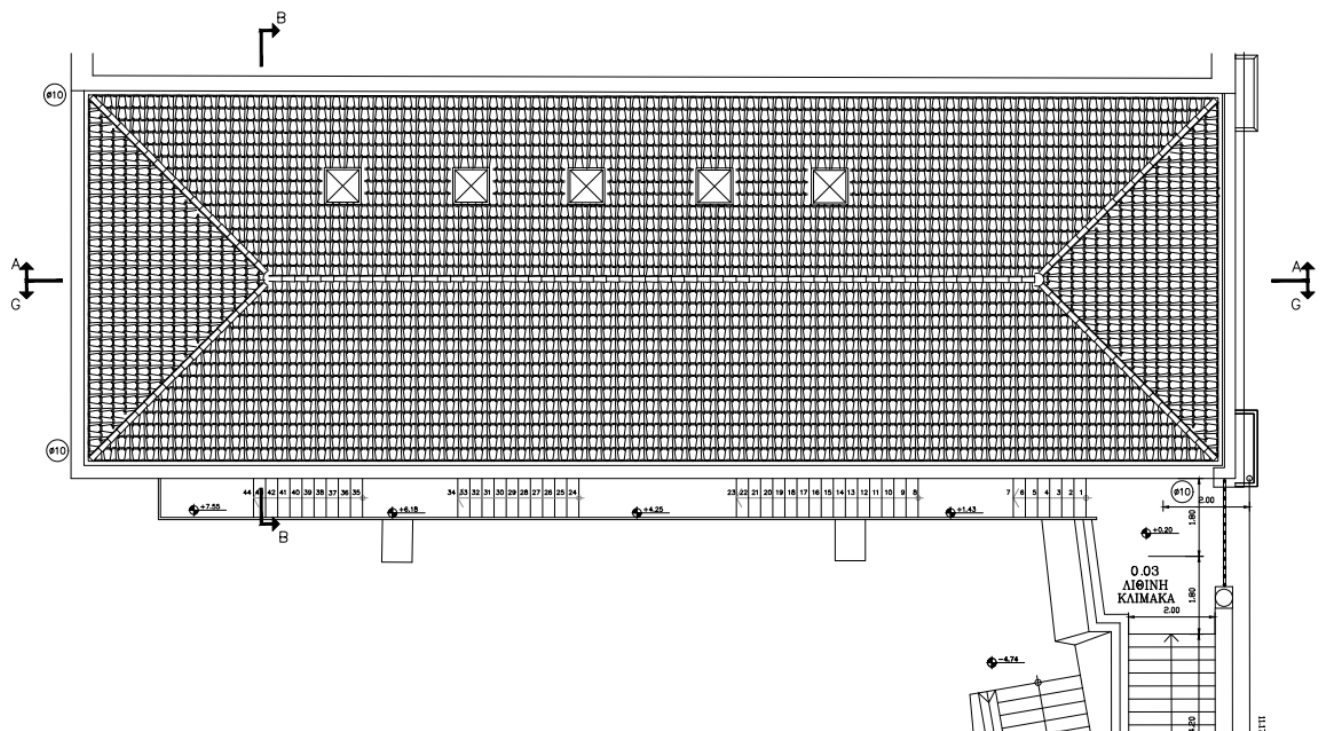


Εικόνα 12.3 Κάτοψη 1<sup>ου</sup> Ορόφου Πινακοθήκης





Εικόνα 12.4 Κάτοψη 2<sup>ου</sup> Ορόφου Πινακοθήκης.



Εικόνα 12.5 Κάτοψη στέγης της Πινακοθήκης.



Εικόνα 12.6 Ανατολική Όψη της Πινακοθήκης.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΝΟΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ – ΔΗΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΡΑΦΕΙΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΒΑΣΗΣ ΠΑΝΙΣ ΠΟΛΗΣ			
ΤΟΠΟΣ ΕΡΓΟΥ : ΧΑΝΙΑ			
ΕΡΓΟ : ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΡΩΗΝ Β' ΤΑΜΕΙΟΥ ΣΕ ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΠΙΝΑΚΟΘΗΚΗ			
ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ			
ΘΕΜΑ ΠΛΑΝΑ			
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ			
ΚΑΛΩΝΙΑ : 1:50		ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ '06	
ΕΡΓΟΥΛΗΤΗΣ : Κ.Σ. ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΚΟΝΤΑΡΙΝΗΣ ΣΠΕΚΙΑΡΗΣ Α.Ε.Ε.		ΤΥΠΟΓΡΑΦΗ – ΣΥΝΤΑΞΗ	
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	ΣΥΝΤΑΞΗ & ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ :	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ
ΣΤΑΘΙΑ	ΜΕΤΕΞΕΛΕΞΗ	Α. ΚΟΝΤΑΡΙΝΗΣ Κ. ΠΟΡΦΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Α. ΚΑΡΑΧΑΛΙΩΤΗΣ Α. ΔΑ. ΔΕ.	A13
Μ.Π.	ΚΩΔΕΞ ΑΝΑΓΝΩΣΤΩΝ		

Εικόνα 12.7 Δυτική Όψη της Πινακοθήκης.

## Παράρτημα Β

Πίνακες κατασκευής του ενεργειακού μοντέλου του κτιρίου και Ελέγχου Θερμικής Επάρκειας

Πίνακας 12.1 Αναλυτική Περιγραφή των παραθύρων του κτιρίου.

Πλήθος	Διαστάσεις	Απόσταση από το έδαφος	Τοποθεσία
2	1,00 m x 3,20 m	0,70 m	Δυτική Όψη Υπογείου.
2	2,40 m x 2,00 m	1,20 m	Πρόσοψη Ισογείου
2	2,35 m x 1,30 m	0,35 m	Πρόσοψη 1 <sup>ου</sup> ορόφου.
1	2,10 m x 1,30 m	0,35 m	Πρόσοψη 1 <sup>ου</sup> ορόφου.
2	1,60 m x 2,00 m	1,20 m	Δυτική Όψη Ισογείου.
2	1,20 m x 2,00 m	0,15 m	Δυτική Όψη 1 <sup>ου</sup> ορόφου.
2	0,80 m x 2,00 m	0,15 m	Δυτική Όψη 1 <sup>ου</sup> ορόφου.
1	1,00 m x 2,00 m	0,15 m	Δυτική Όψη 1 <sup>ου</sup> ορόφου.
4	1,45 m x 2,20 m	0,50 m	Πρόσοψη 2 <sup>ου</sup> ορόφου.
3	1,40 m x 2,20 m	0,70 m	Δυτική Όψη 2 <sup>ου</sup> ορόφου.

Πίνακας 12.2: Αναλυτική Περιγραφή των πορτών του κτιρίου.

Πλήθος	Διαστάσεις	Τοποθεσία	Υλικά
4	1,25 m x 2,4 m	Νότια Όψη κτιρίου	Ξύλο
1	2 m x 3,2 m	Πρόσοψη Ισογείου	Ξύλο και Τζάμι
1	2,5 m x 3,9 m.	Δυτική Όψη Υπογείου	Ξύλο και Τζάμι

Πίνακας 12.3 Υλικό (Materials) που χρησιμοποιήθηκαν και τα χαρακτηριστικά τους (σύμφωνα με την σελίδα 48 της TOTEE 20701-2/2010 A').

Δομικά Υλικά	Πυκνότητα $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ W/(m·K))	Ειδική θερμο- χωρητικότητα $c_p$ (J/(kg·K))	Πάχος d (m)
Ασβεστοκονίαμα	1.800	0,870	1.000	0,002
Ασβεστόλιθος (3A)	2.000	1,400	1.000	0,050
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	1.800	0,870	1.000	0,002
Γυαλί φεγγιτών	2.500	0,900	750	0,003
Γυαλί παραθύρων	2.500	1,000	750	0,004
Γυαλί παραθύρων	2.500	0,900	750	0,006

Καουτσούκ	270	0,100	1.400	0,025
Κεραμίδια	1.250	0,400	740	0,050
Λιθοδομή	2.200	1,700	1.000	0,700
Μάρμαρο	2.800	3,500	2.800	0,020
Μεμβράνη PVC	1.390	0,170	900	0,100
Μεμβράνη οροφής	1.121	0,160	1.460	0,009
Μέταλλο επένδυσης δαπέδου	7.500	50,00	450	0,002
Μπάζα	1.400	0,410	900	0,20
Νοβοπάν (Μοριοσανίδα)	300	0,100	1.700	0,006
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	2.400	2,000	1.000	0,200
Ορυκτοβάμβακας	70	0,040	840	0,040
Πολυστερίνη	32	0,038	1.500	0,030
Τούβλο	1.700	0,680	1.000	0,190
Τσιμεντοκονίαμα	2.000	1,400	1.100	0,003
Ξύλο	800	0,210	1.600	0,025
Ξύλο Στέγης (πέτσωμα)	700	0,180	1.600	0,025
Ξύλο Στέγης (Ζευκτά, Τεγίδες)	800	0,210	1.600	0,25
Ξύλο για τις πόρτες	600	0,140	1.600	0,060
Φελλός	150	0,045	1.560	0,005
Χαλίκι	2.200	2,00	1.100	0,150
Σενάριο Εσωτερικής Μόνωσης της Εξωτερικής Τοιχοποιίας				
Γραφιτούχα Πολυστερίνη (δάπεδο υπογείου)	40	0,030	1.450	0,030
Γυψοσανίδα (τοιχοποιία)	700	0,210	1.000	0,0125
Ορυκτοβάμβακας (τοιχοποιία)	70	0,037	840	0,050



Πίνακας 12.4 Σετ κατασκευής των δομικών στοιχείων του κτιρίου μελέτης στοOpenStudio.

Είδος Κατασκευής	Υλικό Δόμησης	Πάχοςm
Εξωτερική Τοιχοποιία	Λιθοδομή	0,700
	Τσιμεντοκονίαμα	0,003
	Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα	0,002
	Επίχρισμα (ασβεστοκονίαμα)	0,002
Εσωτερική Τοιχοποιία	Επίχρισμα (σοβάς)	0,002
	Οπτοπλινθοδομή (τούβλα)	0,190
	Επίχρισμα (σοβάς)	0,002
Δάπεδο Υπογείου	Μάρμαρο (προέλευσης Αγίας Μαρίνας)	0,020
	Τσιμεντοκονίαμα	0,030
	Πολυστερίνη	0,030
	Μεμβράνη PVC	0,100
	Καουτσούκ(επαλειφόμενο λευκό)	0,025
	Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150
	3Α Ασβεστόλιθος	0,050
	Χαλίκι	0,150
	Μπάζα	0,200
Δάπεδο Ισογείου και Ορόφων	Ξύλο	0,025
	Νοβοπάν (Μοριοσανίδα)	0,006
	Νοβοπάν	0,006
	Στεγανωτική Μεμβράνη PVC	0,100
	Ορυκτοβάμβακας	0,040
	Ξύλο (σουηδική ξυλεία για πέτσωμα)	0,025
	Φελλός (αντικραδασμικός)	0,005
	Μέταλλο για δάπεδα (Σιδηροδοκοί)	0,002
Στέγη	Κεραμίδια	0,050
	Roof Mate (εξηλασμένη πολυστερίνη)	0,030
	Μεμβράνη τύπου Corovin	0,009
	Ξύλο (Πέτσωμα με σανίδες)	0,025
	Ξύλο (Τεγίδες, Ζευκτά)	0,250
Θύρες Εξωτερικές και Εσωτερικές	Ξύλο	0,060
Θύρα Μηχανοστασίου	Μεταλλική (Λαμαρίνα)	0,040
Παράθυρα	Υαλοπίνακας	0,006
	Αέρας	0,018
	Υαλοπίνακας	0,004
Φεγγίτες	Υαλοπίνακας	0,003
	Αέρας	0,015
	Υαλοπίνακας	0,003

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	U <sub>R</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	U <sub>T</sub>	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτές)	U <sub>FA</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους	U <sub>TU</sub>	1,50	1,00	0,80	0,70
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με το έδαφος	U <sub>TB</sub>	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδα σε επαφή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	U <sub>FU</sub>	1,20	0,90	0,75	0,70
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος	U <sub>FB</sub>	1,20	0,90	0,75	0,70
Κουφώματα ανοιγμάτων	U <sub>W</sub>	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες ή μερικώς ανοιγόμενες	U <sub>GF</sub>	2,20	2,00	1,80	1,80

Εικόνα 12.8 Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας (Πηγή: Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010).

## Παράρτημα Γ

Πίνακας τιμών των παρεμβάσεων για κουφώματα/συστήματα σκίασης/αερισμός σύμφωνα με το πρόγραμμα Εξοικονομώ 2023

Πίνακας 4.1.1 Εξοικονομώ - Ανώτατα όρια δαπανών των επιλέξιμων παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ / ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ	ΑΝΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΕΠΙΛΕΞΙΜΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΑΠΑΝΗΣ - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ (€/m <sup>2</sup> ή ανά μονάδα)			
1. ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ/ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΗΣ/ΑΕΡΙΣΜΟΣ	I	II		
	Συντελεστής Θερμοπερατότητας U [W/(m <sup>2</sup> · K)]	2 ≤ U < 3,2	U < 2,0	
	1.A1 Πλαίσιο αλουμινίου με ενεργειακό υαλοπίνακα- Παράθυρο	475	550	
	1.A2 Πλαίσιο αλουμινίου με ενεργειακό υαλοπίνακα – Εξωστόθυρα	385	440	
	1.B1 Πλαίσιο ξύλου με ενεργειακό υαλοπίνακα – Παράθυρο	605	680	
	1.B2 Πλαίσιο ξύλου με ενεργειακό υαλοπίνακα – Εξωστόθυρα	495	550	
	1.Γ1 Πλαίσιο PVC με ενεργειακό υαλοπίνακα – Παράθυρο	320	340	
	1.Γ2 Πλαίσιο PVC με ενεργειακό υαλοπίνακα – Εξωστόθυρα	230	310	
	1.Δ Μόνο ενεργειακοί υαλοπίνακες (Χωρίς αντικατάσταση πλαισίου) <sup>(1) (2)</sup>	130		
	1.E1 Εξωτερικό προστατευτικό φύλλο (σύστημα Κουτί-Ρολό, ή Εξώφυλλο) <sup>(2) (3)</sup>	175		
1.E2 Λοιπά σταθερά ή κινητά συστήματα σκίασης <sup>(2)</sup>	45			
1.Ζ Συστήματα Μηχανικού Αερισμού με ανάκτηση θερμότητας (€/μονάδα)	I	II	III	
	Μη κεντρικά	Κεντρικά < 600m <sup>3</sup> /h	Κεντρικά > 600m <sup>3</sup> /h	
	935	5.060	7.590	

Εικόνα 12.9 Ανώτατα όρια τιμών για την αντικατάσταση κουφωμάτων , υαλοπινάκων και συστημάτων σκίασης και αερισμού σύμφωνα με το πρόγραμμα «Εξοικονομώ» (2023).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ / ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΩΝ	ΑΝΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΕΠΙΛΕΞΙΜΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΑΠΑΝΗΣ - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ (C/m <sup>2</sup> )	
	I	II
2. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ		
Θερμική Αντίσταση R [(m <sup>2</sup> .K)/W]	0,9 < R ≤ 1,8	R > 1,8
2.A Θερμομόνωση δώματος εξωτερικά	55	61
2.B Θερμομόνωση στέγης ή οριζόντιας οροφής κάτω από μη θερμομονωμένη στέγη	22	32
2.Γ1 Θερμομόνωση εξωτ. τοιχοποιίας, φέροντος οργανισμού, δαπέδου επί εδάφους επί πιλοτής, ή μη θερμαινόμενου χώρου, με επικάλυψη με συνθετικό επίχρισμα	57	69
2.Γ2 Θερμομόνωση εξωτ. τοιχοποιίας, φέροντος οργανισμού, δαπέδου επί πιλοτής, ή μη θερμαινόμενου χώρου, με επικάλυψη με ελαφρά πετάσματα	36	44

Εικόνα 12.10 Ανώτατα όρια τιμών για την αντικατάσταση τοποθέτηση θερμομόνωσης στην στέγη, το δάπεδο και την τοιχοποιία ενός κτιρίου σύμφωνα με το πρόγραμμα «Εξοικονομώ» (2023).

## Παράρτημα Δ

Κοστολόγηση μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης και οικονομική ανάλυση των συνδυαστικών σεναρίων

Πίνακας 12.5 Κοστολόγηση ενεργειακής παρέμβασης προσθήκης θερμομόνωσης εσωτερικά στην εξωτερική τοιχοποιία.

Επίπεδο	Εσωτερική επιφάνεια εξωτερικών τοίχων (m <sup>2</sup> )	Επιφάνεια των ανοιγμάτων (παραθύρων και θυρών) (m <sup>2</sup> )	Επιφάνεια εσωτερικής μόνωσης (m <sup>2</sup> )	Κόστος μόνωσης ανά μονάδα επιφάνειας (€/m <sup>2</sup> )	Κόστος (€)
Υπόγειο	307,0	22,2	284,8	30,00	8.544,30
Ισόγειο	288,9	20,1	268,8	30,00	8.063,10
1 <sup>ος</sup> Όροφος	221,7	18,8	202,9	30,00	6.087,30
2 <sup>ος</sup> Όροφος (με την στέγη)	336,6	25,0	311,6	30,00	9.347,10
Συνολικό κόστος προσθήκης εσωτερικής θερμομόνωσης στο εξωτερικούς τοίχους					32.041,80
Εσωτερική Επιφάνεια Δαπέδου Υπογείου (m <sup>2</sup> )		Κόστος μόνωσης ανά μονάδα επιφάνειας (€/m <sup>2</sup> )		Κόστος (€)	
176,12		32		5.635,86	
Συνολικό κόστος ενεργειακής παρεμβάσεις με θερμομόνωση στο κτιριακό κέλυφος				37.677,70	

Πίνακας 12.6 Οικονομική ανάλυση όλων των ενεργειακών παρεμβάσεων που μελετήθηκαν.

Προτάσεις υλοποίησης	Κόστος εφαρμογής ενεργειακής επέμβασης(€)	Καθαρές ταμειακές ροές (€)	Καθαρή Παρούσα Αξία	Αποδοτική Επένδυση	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης IR (%)	Χρόνος Αποπληρωμής ΑΠΑ (y)
Αντικατάσταση λαμπτήρων	1.463	4.828	46.562	Ναι	330	0,3
Αλλαγή κουφωμάτων και υαλοπινάκων	36.000	728	-28.753	Όχι	-17	49,4
Αλλαγή μόνωσης	37.678	3.398	-3.869	Όχι	1	11,4
Αλλαγή συστημάτων HVAC και H/M εξοπλισμού	17.010	2.763	10.476	Ναι	12	6,2
Εφαρμογή ΑΠΕ	14.500	5.333	3.8550	Ναι	36	2,7
Συνδυασμός αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων	37.463	5.467	16.924	Ναι	10	6,9
Συνδυασμός αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων και υαλοπινάκων και μόνωσης	75.140	9.922	23.564	Ναι	8	7,6
Συνδυασμός αλλαγή λαμπτήρων, κουφωμάτων, υαλοπινάκων, μόνωσης, HVAC και H/M εξοπλισμού	92.150	10.606	13.364	Ναι	5	8,7
Συνδυασμός όλων των παρεμβάσεων και ΑΠΕ	106.650	15.922	51.739	Ναι	10	6,7