



**Πολυτεχνείο Κρήτης**  
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Απεξάρτηση κτηρίων οικιακής χρήσης από εκπομπές  
διοξειδίου του άνθρακα**



**ΤΣΙΛΙΚΑΣ Δ. ΙΩΑΝΝΗΣ**  
**(Α.Μ.: 2013050014)**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Καθ. Κολοκοτσά Διονυσία (Επιβλέπουσα)

Καθ. Λαζαρίδης Μιχαήλ

Καθ. Νικολαΐδης Νικόλαος

Χανιά, Οκτώβριος 2019

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

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα που απασχολούν την παγκόσμια κοινότητα είναι οι αυξημένες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου με μία από τις κύριες πηγές τους το παγκόσμιο κτηριακό δυναμικό, του οποίου το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από κατοικίες. Αυτό συμβαίνει διότι για την δημιουργία, την λειτουργία και την χρήση κάθε κτηρίου απαιτείται κατανάλωση ενέργειας η οποία παράγεται από διάφορες πηγές, συμβατικές ή ανανεώσιμες, οι οποίες δημιουργούν περιβαλλοντικό αποτύπωμα μέσω των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε το πρόβλημα των άμεσων εκπομπών CO<sub>2</sub> από μία κατοικία, και των μέσων που απαιτείται να εφαρμοστούν για την εκμηδένιση των εκπομπών αυτών. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ενεργειακή αναβάθμιση του κτηρίου μέσω μέτρων μόνωσης του κελύφους, αντικατάσταση των πηγών θερμικής ενέργειας και μέτρα μείωσης κατανάλωσης ενέργειας. Στην συνέχεια, μετά την επιμέρους εξέταση κάθε μέτρου, εφαρμόστηκαν συνδυαστικά μοντέλα με σκοπό την αποτύπωση του αποτελέσματος που μπορεί να επιτευχθεί από την ταυτόχρονη εφαρμογή των μέτρων αυτών, όσο και την εξέταση των εκπομπών CO<sub>2</sub> αν επρόκειτο να εγκατασταθεί σύστημα ψύξης για την βέλτιστη θερμική άνεση των χρηστών. Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε η αντικατάσταση των συμβατικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με νέες τεχνολογίες ΑΠΕ για την παραγωγή «καθαρής» ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα. Τέλος, για τα σενάρια τα οποία πέτυχαν την μετατροπή της κατοικίας σε κτήριο μηδενικών εκπομπών άνθρακα, πραγματοποιήθηκε κοστολόγηση και υπολογισμός διαστήματος αποπληρωμής. Από την παρούσα εργασία εκδόθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα με κυριότερα ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι άκρως συνυφασμένες με την κατανάλωση ενέργειας και η προσπάθεια μείωσης της συνεπάγεται με την μείωση των εκπομπών, και ότι πολύ σημαντικό παράγοντα για την μείωση των εκπομπών αποτελεί η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με κυριότερες την ηλιακή ενέργεια και την βιομάζα. Για τον πλήρη εκμηδενισμό των εκπομπών άνθρακα (άμεσες και έμμεσες εκπομπές) από τα κτήρια πραγματοποιήθηκαν προτάσεις για μελλοντική έρευνα όπως η μελέτη του ενσωματωμένου άνθρακα για όλο τον κύκλο ζωής ενός κτηρίου, η μελέτη κατασκευής κατοικιών από «πράσινα» υλικά, καθώς και η βελτιστοποίηση των ΑΠΕ που αποτελούν τον καθοριστικό παράγοντα απεξάρτησης ενός κτηρίου από ανθρακούχες εκπομπές, με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους σε συνάρτηση με την επίτευξη του μέγιστου επιπέδου αποτελεσματικότητας.

# ABSTRACT

---

One of the most serious environmental problems affecting the global community is the increased greenhouse gas emissions which are the main source of global building sector, who's the biggest persistence is residential. Because of design, operation and use of each building, consumption of energy is required, generated from various sources, conventional or renewable, that create an environmental footprint such as CO<sub>2</sub> emissions. The present thesis deals with the problem of direct CO<sub>2</sub> emissions from a dwelling and the expedients of decarbonization. The main purpose of the thesis is to transform a house into a zero-emission building. Initially, the building was energy upgraded by insulating the building shell, replacement of heating system and energy consumption reduction measures. Subsequently, after the individual simulation of each measure, combinatorial models were applied to export the results that can be achieved by the simultaneous application of these measures, and to calculate the CO<sub>2</sub> emissions if a cooling system is going to be installed for optimum thermal comfort for the users. The next step was to replace conventional sources of electricity with new RES technologies. Finally, for the cases where it was managed to convert the house into a zero-emission building, it was calculated the cost and the repayment period. The present thesis has led to useful conclusions, mainly that CO<sub>2</sub> emissions are highly correlated with energy consumption and the effort to reduce them entails a reduction in emissions. One of the most important factors in reducing emissions is the production of energy from renewable energy sources, such us solar energy and biomass. For the absolute building decarbonization it was suggested for studies in the future the appreciation of embodied carbon during its life cycle, the performance optimization of RES that is the decisive decarbonizing factor and the effectiveness of establish a residential building by environmentally friendly materials.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Κολοκοτσά Διονυσία τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε πάνω στο θέμα της διπλωματικής όσο και για τον χρόνο που αφιέρωσε για να με καθοδηγήσει για την ορθή εκπόνησή της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα κυρία Μαυριγιαννάκη Αγγελική για τον άπλετο χρόνο, την υπομονή της, την βοήθεια και την καθοδήγησή της.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Λαζαρίδη Μιχαήλ και τον κύριο Νικολαΐδη Νικόλαο για τον χρόνο που αφιέρωσαν τόσο για την μελέτη της διπλωματικής εργασίας όσο και για την παρουσίαση της.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Δημήτριο και Ευδοξία, και την αδερφή μου, Μαρία, για τις θυσίες, την μεγάλη προσπάθεια και την αμέριστη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια για να καταφέρω να πετύχω τους στόχους μου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT .....	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	9
1.1. ΚΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> .....	9
1.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	9
1.1.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> .....	11
1.2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΕΞΑΡΤΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΑΠΟ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> .....	14
1.3. ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	19
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	21
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ «IES VE» .....	23
3.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ «INTIGRATED ENVIRONMENTAL SOLUTIONS: VIRTUAL ENVIRNOMENT».....	23
3.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ .....	31
3.2.1. ΔΟΜΗ ΚΤΗΡΙΟΥ .....	32
3.2.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗVAC ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ .....	34
3.2.3. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	35
3.2.4. ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (SCHEDULES) .....	36
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	40
4.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....	40
4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ .....	48
4.2.1. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ.....	48
4.2.2. ΜΟΝΩΣΕΙΣ.....	50
4.2.3. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	54
4.2.4. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	56
4.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ .....	59
4.3.1. 1 <sup>ο</sup> ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ (ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ).....	59

4.3.2.	2 <sup>ο</sup> ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ (ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΨΥΞΗΣ).....	62
4.4.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Α.Π.Ε.....	65
4.4.1.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	65
4.4.2.	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ .....	68
4.5.	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ.....	70
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	73
5.1.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	73
5.2.	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ .....	75
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

---

Εικόνα 1.1 Άποψη κτηρίου γραφείων.....	9
Εικόνα 1.2. Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με την πάροδο των χρόνων [ΠΗΓΗ: ΙΚΕΕ].....	11
Εικόνα 1.3. Κατανομή της ετήσιας πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο το 2015 για τον οικιακό τομέα, σε Ελλάδα και Ευρώπη. [ΠΗΓΗ: Galia et al. 2019].....	12
Εικόνα 1.4. Ετήσια ειδική κατανάλωση ενέργειας στα Ευρωπαϊκά κράτη για κτήρια οικιστικής χρήσης [ΠΗΓΗ: Galia et al. 2019] .....	12
Εικόνα 1.5. Εξέλιξη των εκπομπών CO <sub>2</sub> και αέριων του θερμοκηπίου στον ελληνικό οικιστικό τομέα [ΠΗΓΗ: Galia et al. 2019].....	13
Εικόνα 1.6. Στόχος περιορισμού ή μείωσης των εκπομπών σύμφωνα με το Παράρτημα Β του πρωτοκόλλου του Κιότο, για την περίοδο 2008-2012 [ΠΗΓΗ: el.wikipedia.org].....	15
Εικόνα 1.7. Σύγκριση εκπομπών CO <sub>2</sub> σε 10 κράτη παγκοσμίως το 1990 και το 2011 .....	18
Εικόνα 3.1. Περιβάλλον εργασίας IES VE [ΠΗΓΗ: help.iesve.com] .....	23
Εικόνα 3.2. Κάτοψη κτηρίου .....	32
Εικόνα 3.3. Βορειοανατολική άποψη του κτηρίου μετά την σχεδίαση του στο IES VE .....	33
Εικόνα 3.4. Αισθητά και λανθάνοντα θερμικά κέρδη του χώρου από το ανθρώπινο σώμα [ΠΗΓΗ: engineeringtoolbox.com] .....	36
Εικόνα 4.1 SunPower SPR-X21-345.....	67
Εικόνα 4.2. Α/Γ Skystream 3.7 .....	69

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

---

Διάγραμμα 4.1. Μέση τιμή θερμοκρασίας αέρα δωματίου .....	40
Διάγραμμα 4.2. Ημερήσιο προφίλ μέσης θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα του κτηρίου σε δύο τυχαίες μέρες χειμώνα και καλοκαιριού .....	42
Διάγραμμα 4.3. Θερμικά φορτία κτηρίου .....	43
Διάγραμμα 4.4. Σύγκριση σχέσης θερμικών φορτίων με την μέση θερμοκρασία αέρα των εσωτερικών χώρων του κτηρίου.....	44
Διάγραμμα 4.5. Κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου .....	45
Διάγραμμα 4.6. Επιμέρους καταναλώσεις ενέργειας της οικίας .....	46
Διάγραμμα 4.7. Σύγκριση σχέσης κατανάλωσης ενέργειας με εκπομπές CO <sub>2</sub> .....	47
Διάγραμμα 4.8. Άμεσες εκπομπές CO <sub>2</sub> του κτηρίου .....	47
Διάγραμμα 4.9. Θερμικά φορτία κτηρίου μετά την αντικατάσταση των κουφωμάτων.....	49
Διάγραμμα 4.10. Εκπομπές CO <sub>2</sub> μετά την αντικατάσταση των κουφωμάτων .....	49
Διάγραμμα 4.11. Θερμικά φορτία με την εφαρμογή μόνωσης .....	52
Διάγραμμα 4.12. Εκπομπές CO <sub>2</sub> με την εφαρμογή μόνωσης .....	53
Διάγραμμα 4.13. Θερμικά φορτία μετά την αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών.....	55
Διάγραμμα 4.14. Εκπομπές CO <sub>2</sub> πριν και μετά την αντικατάσταση του ηλεκτρικού εξοπλισμού .....	56
Διάγραμμα 4.15. Κατανάλωση ενέργειας μετά την αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης.....	58
Διάγραμμα 4.16. Εκπομπές CO <sub>2</sub> με την αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης .....	59
Διάγραμμα 4.17. Θερμικά φορτία 1 <sup>ου</sup> συνδυαστικού μοντέλου βέλτιστων λύσεων.....	60
Διάγραμμα 4.18. Κατανάλωση ενέργειας 1 <sup>ου</sup> συνδυαστικού σεναρίου βέλτιστων λύσεων	61



Διάγραμμα 4.19. Σύγκριση συνολικής κατανάλωσης ενέργειας 1 <sup>ου</sup> βασικού μοντέλου και συνδυαστικού μοντέλου βέλτιστων λύσεων.....	61
Διάγραμμα 4.20. Σύγκριση εκπομπών CO <sub>2</sub> ανάμεσα στο βασικό μοντέλο και στο 1 <sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο βέλτιστων λύσεων .....	62
Διάγραμμα 4.21. Φορτία 2 <sup>ου</sup> συνδυαστικού μοντέλου .....	63
Διάγραμμα 4.22. Κατανάλωση ενέργειας 2ου συνδυαστικού σεναρίου σε σύγκριση με το βασικό μοντέλο .....	64
Διάγραμμα 4.23. Εκπομπές CO <sub>2</sub> 2ου συνδυαστικού μοντέλου .....	64
Διάγραμμα 4.24. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των τριών σεναρίων πριν και μετά την εγκατάσταση PV .....	67
Διάγραμμα 4.25. Εκπομπές CO <sub>2</sub> των συνδυαστικών σεναρίων πριν και μετά την εγκατάσταση PV .....	68
Διάγραμμα 4.26. Καμπύλη απόδοσης A/G Skystream3.7 .....	70
Διάγραμμα 4.27. Αποπληρωμή έργου .....	71

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

Πίνακας 2.1. Βήματα πραγματοποίησης μελέτης .....	21
Πίνακας 2.2. Εφαρμοσμένα μοντέλα .....	22
Πίνακας 3.1. Δομικά στοιχεία κτηρίου.....	33
Πίνακας 3.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά δομικών υλικών κτηρίου .....	34
Πίνακας 3.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοπινάκων .....	34
Πίνακας 4.1. Τιμές $U_{value}$ των υπό δοκιμή παραθύρων .....	49
Πίνακας 4.2 Μονωτικά υλικά και χαρακτηριστικές τιμές.....	52
Πίνακας 4.3. Τιμές ισχύος ηλεκτρικών συσκευών πριν και μετά την αντικατάστασή τους .	54
Πίνακας 4.4. Κατανάλωση ενέργειας κτηρίου πριν και μετά την αντικατάσταση του ηλεκτρικού εξοπλισμού .....	55
Πίνακας 4.5. Χαρακτηριστικές τιμές PV πλαισίων .....	66
Πίνακας 4.6. Κόστος μέτρων εφαρμογής .....	70

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1.ΚΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>

### 1.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Το κτήριο είναι μια ανεξάρτητη κατασκευή η οποία αποτελείται από δομικά στοιχεία, κατασκευασμένα από συγκεκριμένα και εγκεκριμένα δομικά υλικά και συνήθως στεγάζει ανθρώπους, ζώα και αντικείμενα για την προστασία τους από το περιβάλλον και τις συνθήκες που επικρατούν. Τα κύρια δομικά στοιχεία ενός κτηρίου είναι η οροφή, το δάπεδο, η εξωτερική και η εσωτερική τοιχοποιία και τα κουφώματα. Στο σύνολό τους αποτελούν το εξωτερικό κέλυφος ενός κτηρίου.

Ένα κτήριο μπορεί να κατασκευαστεί για διάφορους σκοπούς. Συνήθης μορφή σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η προστασία και άνετη διαμονή ανθρώπων καθώς και ζώων με συνηθέστερη μορφή αυτή των κατοικιών. Μια δεύτερη μορφή είναι αυτή των επαγγελματικών κτηρίων όπου πραγματοποιούνται διάφορες εργασίες ή λειτουργούν σαν επαγγελματικές στέγες (π.χ. νοσοκομεία, εργοστάσια, αστυνομικό μέγαρο κ.τ.λ.). Ακόμη ένα κτήριο μπορεί να κατασκευαστεί για την διευκόλυνση αποθήκευσης και προστασίας διάφορων αγαθών (π.χ. αποθήκες) αλλά και για την τοποθέτηση και λειτουργία μηχανημάτων (π.χ. λεβητοστάσια, μονάδες επεξεργασίας ενός βιολογικού καθαρισμού κ.α.). Ανάλογα με την χρήση ενός κτηρίου, μπορεί να καταταχθεί στις εξής κατηγορίες:



Εικόνα 1.1 Άποψη κτηρίου γραφείων

- Κατοικίες (μονοκατοικίες, πολυκατοικίες)
- Προσωρινής διαμονής (ξενοδοχεία, ξενώνες, οικότροφεία)
- Γραφεία (γραφεία επιχειρήσεων, ελευθέρων επαγγελματιών, δημοσίων υπηρεσιών, υπηρεσιών τοπικής αυτοδιοίκησης, βιβλιοθήκες)
- Εμπορικών δραστηριοτήτων (καταστήματα, φαρμακεία, κουρεία, κομμωτήρια, εμπορικά κέντρα, αγορές, υπεραγορές)
- Συνάθροισης κοινού (δικαστήρια, θέατρα, κινηματογράφοι, μουσεία, ναοί, εστιατόρια, ζαχαροπλαστεία, καφενεία, κέντρα διασκέδασης, τράπεζες, χώροι συναυλιών, αθλητικών συγκεντρώσεων, αίθουσες αναμονής επιβατών, αίθουσες πολλαπλών χρήσεων, αίθουσες συνεδρίων)
- Εκπαίδευσης (νηπιαγωγεία, σχολεία, γυμνάσια, λύκεια, ανώτερης και ανώτατης εκπαίδευσης, φροντιστήρια)
- Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας (νοσοκομεία, κλινικές, ιατρεία, αγροτικά ιατρεία, υγειονομικοί σταθμοί, κέντρα υγείας, ψυχιατρεία, ιδρύματα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ιδρύματα χρονίως πασχόντων, οίκοι ευγηρίας, βρεφοκομεία, βρεφικοί και παιδικοί σταθμοί)
- Σωφρονισμού (κρατητήρια, αναμορφωτήρια, φυλακές)

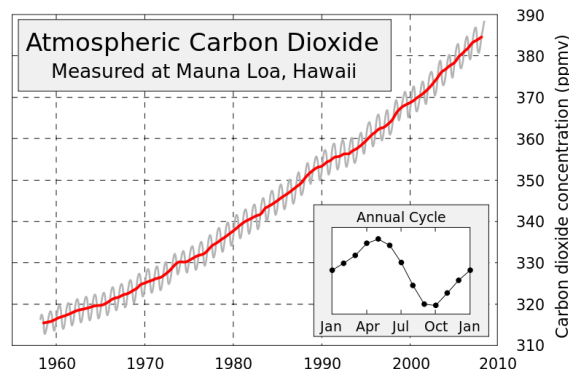
- Βιομηχανίες - βιοτεχνίες (εργοστάσια, διυλιστήρια, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, βιοτεχνικές εγκαταστάσεις, συνεργεία αυτοκινήτων, βαφεία, ξυλουργεία, ερευνητικά εργαστήρια, παρασκευαστήρια τροφίμων, καθαριστήρια, σιδερωτήρια, οργανωμένα πλυντήρια ρούχων, αυτοτελή κέντρα μηχανογράφησης)
- Αποθήκες: γενικές, αγροτικές, μουσείων, καταστημάτων, λιμενικά υπόστεγα
- Στέγασης ζώων (στάβλοι, βουστάσια, χοιροστάσια, πτηνοτροφεία)
- Λοιπές χρήσεις: όσα δεν εμπίπτουν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες

Για την κατασκευή ενός κτηρίου, από την παραγωγική διαδικασία των δομικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν έως την ολοκλήρωση της κατασκευής τους γίνεται χρήση διάφορων τεχνικών, υλικών, και εργαλείων τα οποία συνήθως απαιτούν ενέργεια. Από την έναρξη χρήσης μέχρι και την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του, ένα κτήριο καταναλώνει ενέργεια για την λειτουργία του, τον φωτισμό και την ηλεκτροδότηση, την θέρμανση και την ψύξη των εσωτερικών χώρων για την άνετη διαβίωση και απόδοση των χρηστών, για την χρήση ζεστού νερού και για την κάλυψη άλλων συνηθισμένων αναγκών. Για την παραγωγή όλης αυτής της απαιτούμενης ενέργειας χρησιμοποιούνται διάφορες πηγές όπως ηλεκτρική (από συμβατές ή ανανεώσιμες πηγές) και κατ' επέκταση διάφορες πρώτες ύλες. Στις ανανεώσιμες πηγές η «πρώτη ύλη» που χρησιμοποιείται υπάρχει αστείρευτη στο περιβάλλον ( ηλιακή ακτινοβολία, αιολικό δυναμικό, ύδωρ) και δεν απαιτείται κάποια διαδικασία παραγωγής της. Για την χρήση της πρώτης ύλης συμβατών πηγών ενέργειας με χαρακτηριστικά παραδείγματα το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, τον λιγνίτη κ.α. απαιτείται ιδιαίτερη επεξεργασία για να παραχθεί η απαιτούμενη ενέργεια. Αυτή η επεξεργασία έχει σαν κύριο αποτέλεσμα την παραγωγή διάφορων χημικών ουσιών τα οποία ως επί των πλείστων είναι βλαβερά για το περιβάλλον.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας χημικής ένωσης που εκλύεται από την παραγωγική διαδικασία ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών ενός κτηρίου είναι το CO<sub>2</sub> (διοξείδιο του άνθρακα). Είναι χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου και ενός ατόμου άνθρακα, κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας της γης και αέριο του θερμοκηπίου. Είναι το κύριο προϊόν κάθε καύσης οργανικής ένωσης όπως τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, λιγνίτης, βενζίνη, φυσικό αέριο) αλλά και ξύλου και πλαστικού. Είναι άχρωμο αέριο και σε πολλές περιπτώσεις δεν ανιχνεύεται και με την όσφρηση. Η μεγαλύτερη ποσότητα CO<sub>2</sub> που έχει παραχθεί ως σήμερα έχει απορροφηθεί από τους ωκεανούς αλλά παρόλα αυτά υπάρχει μια σημαντική ποσότητα στην ατμόσφαιρα, πάνω από τα επίπεδα που πρέπει. Είναι ένα αέριο το οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναγκαίο στην φύση κυρίως για την διαδικασίας της φωτοσύνθεσης έτσι ώστε ο φυτικός κόσμος να παράγει την τροφή του αλλά ως αέριο του θερμοκηπίου οδηγεί σε δημιουργία ή μεγαλύτερη κλιμάκωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου. [Λαζαρίδης, 2016]

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα της Γης κρατάει θερμική ενέργεια αυξάνοντας την θερμοκρασία της επιφάνειάς της. Διατυπώθηκε αρχικά από τον Jean Baptist Fourier το 1827 ο οποίος αναφέρεται για πρώτη φορά στο φαινόμενο ότι η θερμοκρασία της Γης είναι υψηλότερη και το χαρακτηρίζει με αυτό του θερμοκηπίου. Το 1896 ο Svarnte Arrhenius υποστηρίζει ότι τα αέρια τα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, τα οποία έχουν την ικανότητα να συγκρατούν θερμότητα, επηρεάζουν την θερμοκρασία της Γης. Τα αέρια αυτά είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου και αποτελούνται από το CO<sub>2</sub>, το O<sub>3</sub>, το CH<sub>4</sub>, το N<sub>2</sub>O και τους χλωροφθοράνθρακες. Συνοπτικά,

το σύνολο των στατιστικών της ατμόσφαιρας επιτρέπει την ορατή και την υπέρυθη ακτινοβολία να εισέλθει και να φτάσει στην επιφάνεια της Γης και να την ζεστάνει αλλά τα αέρια που αναφέρθηκαν άνωθεν απορροφούν σε μεγάλο βαθμό την ακτινοβολία που εκπέμπεται από την Γη εμποδίζοντας την να διαφύγει στο διάστημα. Η συμπεριφορά αυτή είναι γνωστή ως το *φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Στο φαινόμενο αυτό το CO<sub>2</sub> έχει την μεγαλύτερη συνεισφορά σε ποσοστό περίπου 48%. Αν και η συγκέντρωσή του στην Γη είναι σχετικά μικρή, ο ρόλος του στην θερμο-οικονομία του πλανήτη μας είναι καθοριστικός καθώς απορροφά την ακτινοβολία μεγάλου μήκους σε πολύ έντονη τάση και την επανεκπέμπει στην Γη. Έχει επίσης τεράστια επίδραση στο θερμικό ισοζύγιο Γης-ατμόσφαιρας, και λόγω της αύξησης της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα λόγω ανθρωπογενών παραγόντων υπάρχουν ιδιαίτερες ανησυχίες. [Λαζαρίδης, 2016]



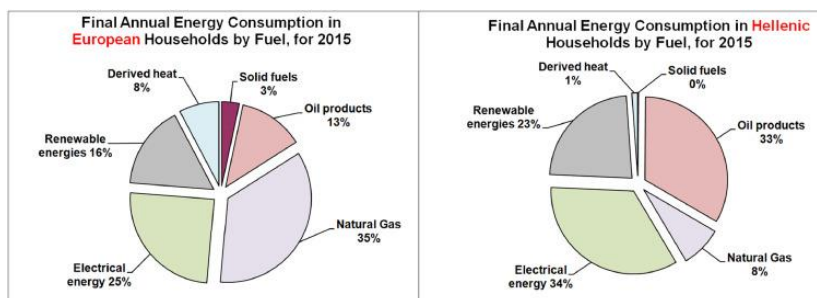
Εικόνα 1.2. Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με την πάροδο των χρόνων [ΠΗΓΗ: ΙΚΕΕ]

### 1.1.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>

Η αυξημένη συγκέντρωση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και ειδικά του CO<sub>2</sub> οφείλεται κατά κύριο λόγο σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες ο ρυθμός των εκπομπών αυτών αυξήθηκε πάνω από το 100% και αν δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής το 2020 αναμένεται να ξεπεράσουν τα 36 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως ενώ το 2050 γίνεται λόγος ακόμα και για διπλάσια ή και τριπλάσια ποσότητα. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και εν συνεχεία αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για την ικανοποίηση των θερμικών και των ψυκτικών αναγκών των κτηρίων, ειδικά στις χώρες που πλήττονται από θερμό κλίμα.

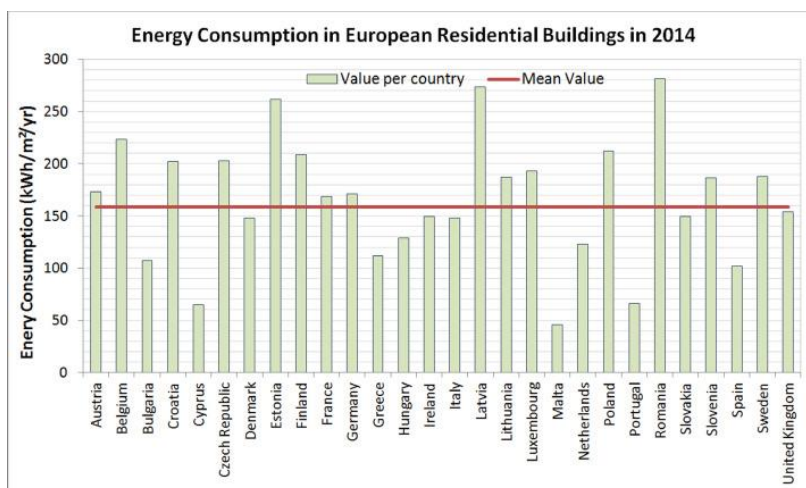
Μια από τις κύριες ανθρωπογενείς δραστηριότητες η οποία συμβάλει στην αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα και γενικά στο περιβάλλον είναι η κατασκευή και η λειτουργία των κτηρίων. Αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες παγκοσμίως για την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κλιματικής αλλαγής. Ο κτηριακός τομέας οικιστικής χρήσης συμβάλλει σε μεγάλο ποσοστό στην κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως, με ενδεικτικές τιμές 26,8% της κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα, 25,3% στην Ευρώπη και 27% παγκοσμίως. Ως συνέπεια αυτής της κατανάλωσης ο οικιστικός τομέας, ενδεικτικά το 2014, ήταν υπεύθυνος για το 16,8% επί του συνόλου των εκπομπών CO<sub>2</sub> με συνολικές εκπομπές προς το περιβάλλον 605 Mt ετησίως (στην Ελλάδα αντιστοιχούν 17,7 Mt). Αυτές οι εκπομπές και ειδικά στην Ελλάδα είναι απόρροια της χρήσης συμβατών πηγών άνθρακα, καθώς κύριες πηγές ενέργειας των ελληνικών νοικοκυριών είναι ο ηλεκτρισμός (31,9% σε μεγάλο ποσοστό με παραγωγή από λιγνίτη) και το πετρέλαιο (39,8%). Το 2007 αποτελούσαν το 50,5% της παραγωγής ενέργειας της χώρας. Από το 2011 ξεκίνησε η αύξηση στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) με αποκορύφωμα την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα όπου το 2012 έφτασε τις 10.000 GWh. Την ίδια στιγμή στην Ευρώπη κύριες πηγές παραγωγής ενέργειας είναι το φυσικό

αέριο (35%) και ο ηλεκτρισμός (25%), πηγές με σημαντικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. [Gaglia et al., 2019]



Εικόνα 1.3. Κατανομή της ετήσιας πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο το 2015 για τον οικιακό τομέα, σε Ελλάδα και Ευρώπη. [ΠΗΓΗ: Galia et al. 2019]

Στην παγκόσμια κλίμακα του οικιστικού τομέα, η Ιαπωνία και ο Καναδάς είναι οι χώρες με την μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση τις μεγαλύτερες εκπομπές CO<sub>2</sub> αφού το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας παράγεται από πετρέλαιο με ακόλουθους την Ρωσία και τις Η.Π.Α., οι οποίες είναι στις πρώτες θέσεις κατανάλωσης ενέργειας κατά κεφαλήν. Οι πρώτες 10 χώρες παγκοσμίως σε εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι υπεύθυνες για τα δύο τρίτα των συνολικών εκπομπών. Το 2017 ο οικιστικός τομέας κατανάλωνε το 27% της παγκόσμιας ενέργειας και ήταν υπεύθυνος για το 17% των παγκόσμιων εκπομπών. Στην Ευρώπη σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat, η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας των κτηρίων το 2014 ανερχόταν στις 156 kWh/m<sup>2</sup>, (μειωμένο 10.5% από το 2010) με τις τιμές να διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Μάλτα (45,6 kWh/m<sup>2</sup>), Πορτογαλία (66 kWh/m<sup>2</sup>) και Κύπρος (65 kWh/m<sup>2</sup>) έχουν την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας ενώ στις τρεις πρώτες θέσεις βρίσκονται η Ρουμανία (281,6 kWh/m<sup>2</sup>), η Λετονία (273,3 kWh/m<sup>2</sup>) και η Εσθονία (261,6 kWh/m<sup>2</sup>), πάντα σε ετήσια βάση. Η Ελλάδα βρίσκεται στην 6<sup>η</sup> θέση από το τέλος με 112 kWh/m<sup>2</sup>. [Gaglia et al., 2019]

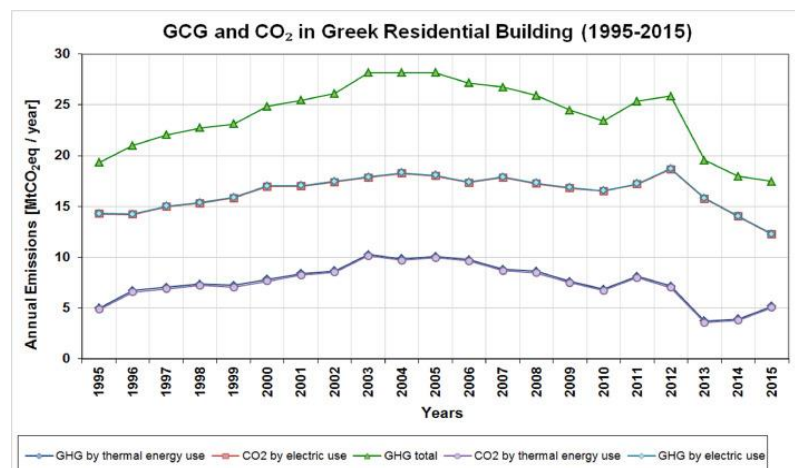


Εικόνα 1.4. Ετήσια ειδική κατανάλωση ενέργειας στα Ευρωπαϊκά κράτη για κτήρια οικιστικής χρήσης [ΠΗΓΗ: Galia et al. 2019]

Με την μελέτη ορισμένων στατιστικών στοιχείων για τα κτήρια της Ελλάδας μπορούν να βγουν σημαντικά συμπεράσματα για την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Το 70% των κτηρίων οικιστικής χρήσης είναι μονοκατοικίες (στο μεγαλύτερο ποσοστό μονώροφες ή διώροφες) με τα περισσότερα να είναι κατασκευασμένα από το 1960 έως το 1990. Από εκείνη την χρονολογία ο ρυθμός κατασκευής κτηρίων μειώνεται. Την δεκαετία

1970-1980 κατασκευάστηκαν πάνω από 800.000 πολυκατοικίες, ενώ ανά δεκαετία από το 1950 έως το 1990 κατασκευάζονται πάνω από 350.000 μονοκατοικίες. Το 63% των κτηρίων αυτών κατασκευάστηκε από οπλισμένο σκυρόδεμα και το υπόλοιπο 34% από τούβλα ή πέτρα (17% περίπου η κάθε κατηγορία). Μέχρι το 1980 κάθε δεκαετία, λιγότερα από 200.000 κτήρια οικιστικής χρήσης κατασκευάζονταν με μόνωση στον τοίχο ή στην οροφή, κύρια μορφή μόνωσης ήταν τα παράθυρα με διπλούς υαλοπίνακες. Τα στοιχεία αυτά βοηθούν στην κατανόηση της κατάστασης των κτηρίων στην Ελλάδα και πως αυτή επηρεάζει την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. [Gaglia et al., 2019]

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, από το 2010 και μετά τα κτήρια οικιστικής χρήσης στην Ελλάδα έχουν σαν μέση ετήσια συνολική (θερμική και ηλεκτρική) κατανάλωση ενέργειας περίπου 94,3-149,2 kWh/m<sup>2</sup> για τις μονοκατοικίες και 80-149,2 kWh/m<sup>2</sup> για τις πολυκατοικίες. Από αυτές τις τιμές, το 64% καταναλώνεται για θέρμανση των χώρων, 6% για χρήση ζεστού νερού, ενώ τα ποσοστά για ψύξη βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Σύμφωνα με την Eurostat ο οικιστικός τομέας την περίοδο 1995-2015 κατανάλωσε το 32% της συνολικής τελικής παραγόμενης ενέργειας στην Ελλάδα, ένα ποσοστό που αντιστοιχεί σε εκπομπές CO<sub>2</sub> 23,98 Mt CO<sub>2</sub> eq/year και σε αέρια τους θερμοκηπίου 24,19 Mt CO<sub>2</sub> eq/year. [Gaglia et al., 2019]



Εικόνα 1.5. Εξέλιξη των εκπομπών CO<sub>2</sub> και αέριων του θερμοκηπίου στον ελληνικό οικιστικό τομέα [ΠΗΓΗ: Gaglia et al. 2019]

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι ο οικοδομικός τομέας συμβάλει σημαντικά στην καταπόνηση του περιβάλλοντος με εκπομπές CO<sub>2</sub> είτε άμεσα (κατανάλωση ενέργειας) είτε έμμεσα (κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή των δομικών στοιχείων, συστημάτων κτλ.). Είναι πολύ σημαντικό οι εκπομπές αυτές να διατηρηθούν ή ακόμα καλύτερα να μειωθούν έτσι ώστε ο οικιστικός τομέας να είναι συμμορφωμένος με το πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο απαιτεί μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub> και αέριων του θερμοκηπίου, συνεπώς πρέπει να ληφθούν απαραίτητως συγκεκριμένα μέτρα. Πηγές ενέργειας όπως ορυκτά καύσιμα που έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ευθύνης πρέπει να αντικατασταθούν με εναλλακτικές ή ανανεώσιμες πηγές, όπως η χρήση βιομάζας ή οι ΑΠΕ νέας τεχνολογίας. Η θερμομόνωση του κελύφους του κτηρίου, η τοποθέτηση ηλιακών συστημάτων, η αντικατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, η συντήρηση του λέβητα θέρμανσης ή η αντικατάστασή του με άλλον λέβητα διαφορετικού καυσίμου, είναι μερικά αξιόπιστα μέτρα μεν, αλλά η ευκολία στην εφαρμογή τους εξαρτάται και από τον οικονομικό παράγοντα που διαφέρει σε κάθε κράτος. [Gaglia et al., 2019]



Συνοψίζοντας, η μεγάλη ανάπτυξη που υπήρξε στον κτηριακό τομέα τα τελευταία 50 χρόνια δεν συνοδευόταν από όλα τα κατάλληλα μέτρα και πολιτικές έτσι ώστε το περιβάλλον να προστατευτεί και να μην υποστεί συνέπειες. Οι ενεργειακές ανάγκες των κτηρίων σε συνδυασμό με την χρήση πηγών και τεχνολογιών μη φιλικών προς το περιβάλλον έχει προκαλέσει μια ραγδαία και εκθετική αύξηση στις επικίνδυνες εκπομπές των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και η λήψη των απαραίτητων μέτρων που θα καταστήσουν τα κτήρια, τόσο αυτά που θα κατασκευαστούν αλλά και τα υφιστάμενα, ανεξάρτητα από εκπομπές άνθρακα μηδενίζοντας τις άμεσες και τις έμμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> σταδιακά.

## **1.2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΕΞΑΡΤΗΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΑΠΟ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>**

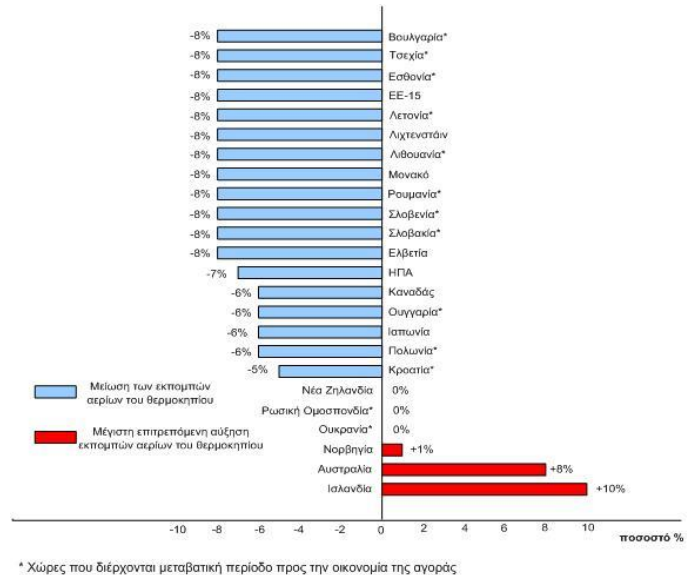
Η παγκόσμια κοινότητα έχει αντιληφθεί την κρισιμότητα της κατάστασης και έχει ξεκινήσει ήδη την νομοθέτηση και την λήψη μέτρων για απεξάρτηση του κτηριακού τομέα από τις εκπομπές των αερίων αυτών. Ήδη οι αρμόδιες αρχές κάθε ηπείρου έχουν εκδώσει νομοθετικές οδηγίες για την ενέργεια που πρέπει να καταναλώνει ένα κτήριο αλλά και για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Επίσης όλα τα κράτη του κόσμου έχουν συνεδριάσει και έχουν νομοθετήσει μέσα από παγκόσμιες συμφωνίες νόμους και οδηγίες που πρέπει να ακολουθεί κάθε κράτος για την καταπολέμηση αυτών των φαινομένων, την ελεγχόμενη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου και άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Το κύριο διεθνές νομοθετικό πλαίσιο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής αποτελείται από την σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών η οποία τέθηκε σε ισχύ το 1994 και από το πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο υπογράφηκε τον Δεκέμβριο του 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2005.

Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών υπογράφηκε από 152 κράτη τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Δεν είχε νομοθετικό χαρακτήρα αλλά είχε σαν κύριο σκοπό να προετοιμάσει το έδαφος για μελλοντικές δράσεις και έθεσε γενικές αρχές τις οποίες έπρεπε να υιοθετήσουν τα κράτη-μέρη αυτής της συμφωνίας. Κύριες υποχρεώσεις των κρατών ήταν η ανάπτυξη, τακτική ενημέρωση και δημοσιοποίηση εθνικών απογραφών των ανθρωπογενών εκπομπών βάσει συγκρίσιμων μεθοδολογιών, η δημοσίευση, αναθεώρηση, η εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών και η υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων με στόχο την επαναφορά των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του έτους 1990 μέχρι το 2000 για τα κράτη που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι της Σύμβασης (ανεπτυγμένα κράτη). Η σύμβαση δίνει τη δυνατότητα ο στόχος αυτός να επιτευχθεί από κάθε κράτος ξεχωριστά ή από κοινού με άλλα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ταυτόχρονα με την επικύρωση της συμφωνίας ανακοίνωσε ότι ο συνολικός στόχος, για όλα τα κράτη μέλη της, ήταν η σταθεροποίηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου το 2000 σε σύγκριση με αυτές του 1990. Η Ελλάδα επικύρωσε την Σύμβαση με τον Νόμο 2205/1994 (ΦΕΚ 60/Α/15-4-1994). [Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος]

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί τον οδηγό με όλα τα απαραίτητα βήματα τα οποία πρέπει να κάνουν όλα τα κράτη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής η οποία

προκαλείται από τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από ανθρωπογενείς ενέργειες. Κύριοι άξονες του είναι ότι τα ανεπτυγμένα κράτη δεσμεύονταν να μειώσουν τουλάχιστον κατά 5% τις εκπομπές έξι αερίων και κάθε κράτος έπρεπε να συμμορφωθεί εντός της περιόδου 2008-2012. Είχε την δυνατότητα να πραγματοποιείται με 3 τρόπους όπως η από κοινού συμφωνία ανάμεσα σε κράτη όπου θα παρουσιάζονταν οι υποχρεώσεις κάθε κράτους της επιμέρους συμφωνίας, ο μηχανισμός «καθαρής» ανάπτυξης και το εμπόριο εκπομπών. Κάθε κράτος-μέρος δεσμευόταν με μέτρα τα οποία θα μπορούσε να λάβει για να συμβάλει στην επίτευξη του στόχου και υπήρχε αυστηρό καθεστώς συμμόρφωσης. Για της αναπτυσσόμενες χώρες δεν υπήρχε ποσοτικός στόχος. Τον Μάρτιο του 2002 όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. κύρωσαν την συμφωνία και στην Ελλάδα κυρώθηκε με τον Νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α'117). [Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος] [Ki-moon, n.d.]



Εικόνα 1.6. Στόχος περιορισμού ή μείωσης των εκπομπών σύμφωνα με το Παράρτημα Β του πρωτοκόλλου του Κιότο, για την περίοδο 2008-2012 [ΠΗΓΗ: el.wikipedia.org]

Με εφалτήριο τις συμφωνίες αυτές τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και τα υπόλοιπα κράτη σε παγκόσμιο επίπεδο άρχισαν να ευαισθητοποιούνται βλέποντας το πρόβλημα να κλιμακώνεται και ξεκίνησαν να εκδίδουν οδηγίες ή ακόμα και να βγάζουν ξεχωριστούς νόμους, ακόμα πιο αυστηρούς. Μέσα σε αυτούς τους νόμους συμπεριλαμβάνονταν και ο κτηριακός τομέας και ιδιαίτερα ο οικιστικός. Χαρακτηριστικά παραδείγματα στην Ε.Ε. είναι η οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων καθώς έπρεπε να θεσπιστούν οι βέλτιστες ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις για τα κτήρια. [Οδηγία 2010/31/ΕΕ, Επίσημη Εφημερίδα της ΕΕ, 2010]. Ακολούθησε η οδηγία 2018/844 η οποία απαιτεί από όλα τα κράτη-μέλη τον σχεδιασμό μακροπρόθεσμων τακτικών έτσι ώστε μέχρι το 2050 το εθνικό κτηριακό δυναμικό κάθε χώρας πρέπει να μετατραπεί σε υψηλής ενεργειακής απόδοσης και να είναι απαλλαγμένο από ανθρακούχες εκπομπές, με ξεχωριστές αλλά συγκεκριμένες οδηγίες τόσο για τα κτήρια υπό κατασκευή όσο και τα υφιστάμενα, και οδηγίες για την επιθεώρηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. [Οδηγία 2018/844/ΕΕ, Επίσημη Εφημερίδα της ΕΕ, 2018]. Κύριος στόχος της Ε.Ε. όπως τονίζεται στην οδηγία αυτή, και συγκεκριμένα στο άρθρο 2<sup>α</sup> (παράγραφος 2<sup>η</sup>) είναι το επίπεδο των ανθρακούχων εκπομπών από το κτηριακό δυναμικό της να έχει μειωθεί κατά 85%-90% σε σχέση με αυτό του 1990.

Αμέσως μετά την νομοθέτηση και την έκδοση οδηγιών άρχισε η λήψη μέτρων από τα κράτη. Από τα πρώτα μέτρα τα οποία εφαρμόστηκαν ήταν η μετατροπή των ήδη υφιστάμενων κτηρίων αλλά και η κατασκευή νέων στα πρότυπα των κτηρίων μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (ZEB ή nZEB). Τα nZEB είναι κτήρια με χαμηλή έως σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας με την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών από ΑΠΕ. Αποτελούνται από δομικά στοιχεία με μικρό συντελεστή θερμοπερατότητας και συστήματα υψηλής απόδοσης. Βάσει ενδεικτικών μελετών οι ποσοτικοί στόχοι των κτηρίων αυτών διαφέρουν από κράτος σε κράτος καθώς κυμαίνονται



από 0 έως 270 kWh /(m<sup>2</sup> year) κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, εκ των οποίων οι υψηλότερες τιμές συνδέονται με νοσοκομεία ή μη οικιακά κτήρια. Για τα κτήρια κατοικιών NZE, οι μέσοι στόχοι στην Κροατία είναι 33 kWh /(m<sup>2</sup> year) ενώ για την πλειοψηφία των χωρών (Βέλγιο, Εσθονία, Γαλλία, Ιρλανδία) kWh /(m<sup>2</sup> year) και 45-50 kWh /(m<sup>2</sup> year). Στην Ιταλία, γειτονική χώρα με την Ελλάδα και με παρόμοιο κλίμα, ο κανονισμός για τις νέες κατοικίες απαιτεί ελάχιστη ενεργειακή απόδοση 65-70 kWh /(m<sup>2</sup> year). Στην Κύπρο, το κατώφλι για το NZEB είναι 100 kWh /(m<sup>2</sup> year) πρωτογενούς ενέργειας για νέα και υπάρχοντα κτήρια κατοικιών. Συμπεραίνεται λοιπόν, παρατηρώντας και την εικόνα 1.4, πως ελάχιστες χώρες είναι ήδη εναρμονισμένες με τις τιμές τις οποίες έχουν θέσει (όπως η Κύπρος) ενώ οι περισσότερες χώρες υπερβαίνουν το όριο σε πολύ μεγάλο βαθμό. [Kampelis et al., 2017]

Οφείλεται ωστόσο να πραγματοποιηθεί μια ανασκόπηση σε όλα τα ανεπτυγμένα κράτη που έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο των ανθρακούχων εκπομπών παγκοσμίως και των πολιτικών που έχουν αποφασίσει να ακολουθήσουν. Για παράδειγμα η Κίνα είναι πρωτοπόρα χώρα σε ανάπτυξη σε όλους τους τομείς, αλλά αυτό τα τελευταία χρόνια την καθιστά και πρωτοπόρο στην ζήτηση ενέργειας. Το κτηριακό δυναμικό της Κίνας ανέρχεται σε 44 δισεκατομμύρια m<sup>2</sup> από τα οποία περίπου 10-15 δισεκατομμύρια m<sup>2</sup> αντιστοιχούν σε οικίες οι οποίες χρησιμοποιούν το 23% της τελικής ενέργεια που καταναλώνεται. Από το 1990 έχει αυξηθεί κατά 25% το επίπεδο των εκπομπών του άνθρακα. Όλα αυτά οδήγησαν το Υπουργείο Οικίας και Αγροτικής Ανάπτυξης να θέσει στόχους μείωσης της ενέργειας κατά 50% στα νέα κτήρια και έως 25% εξοικονόμηση στα υφιστάμενα κτήρια. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muehd, 2015]

Οι Η.Π.Α. είναι η δεύτερη χώρα σε αγορά ενέργειας με τον κτηριακό τομέα της να καταναλώνει το 41% της συνολικής ενέργειας. Το 2010 η χώρα ήταν υπεύθυνη για το 18% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> παγκοσμίως αλλά ο οικιστικός τομέας έχει μικρή επίδραση σε αυτό το ποσοστό. Το 2011 το κτηριακό δυναμικό της έφτασε να παράγει 5 δισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>. Η κυβέρνηση έχει θέσει στόχους μειωμένων εκπομπών CO<sub>2</sub> έως και 80% μέχρι το 2050. Στην ίδια κατάσταση είναι και το γειτονικό κράτος του Καναδά του οποίου ο οικιστικός κτηριακός τομέας έχει κύρια πηγή ενέργειας ορυκτά καύσιμα (φυσικό αέριο και πετρέλαιο, με την χώρα να είναι η τρίτη στον κόσμο σε παραγωγή φυσικού αερίου). Η ενέργεια αυτή αποτελεί το 16% των ενεργειακών πηγών της χώρας, έχοντας παρουσιάσει και εδώ σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια, με φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια να έχουν σημαντικά ποσοστά (44% και 39% αντίστοιχα). Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αντιστοιχούν στο 2% των παγκόσμιων εκπομπών αλλά ο οικιστικός κτηριακός τομέας έχει το μικρότερο μερίδιο σε αυτό το ποσοστό, έχοντας αυξηθεί τις τελευταίες τρεις δεκαετίες μόλις 4%, σε σύνολο 42 εκατομμυρίων t/year. Η ενεργειακή πολιτική του Καναδά προβλέπει μείωση των εκπομπών κατά 7% μέχρι το 2020 ενώ οι νέες κατοικίες που κατασκευάζονται θα πρέπει να είναι κατά 25% πιο αποδοτικές από τις παλιές. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muehd, 2015]

Η Ινδία και αυτή εισάγει μεγάλες ποσότητες πηγών ενέργειας με κύριες το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ενώ το μεσοδιάστημα 2000-2011 η ενεργειακή ζήτηση των κτηρίων της αυξήθηκε κατά 23%. Το 2010 ήταν η τρίτη υπεύθυνη χώρα για παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου, με τις εκπομπές από οικίες να αγγίζουν τα 80 εκατομμύρια τόνους. Είναι μια χώρα η οποία δεν έχει πάρει μέτρα για το πρόβλημα (μόνο 2 από τις 15 πολιτείες ο κώδικας εξοικονόμησης ενέργειας είναι υποχρεωτικός, και μάλιστα επί των πλείστων σε επιχειρήσεις). Στην ίδια ήπειρο, το Ιράν τα τελευταία χρόνια πάσχει από το

μεγάλο πρόβλημα της αστικοποίησης, με τις κατοικίες να αντιπροσωπεύουν το 1/3 της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, με την περίοδο 2000-2011 να έχει αυξηθεί στο ανησυχητικό ποσοστό του 60%. Το μερικώς θετικό είναι ότι αντί πετρελαίου το 73% αυτής της ενέργειας παράγεται από φυσικό αέριο, το οποίο έχει μικρότερο συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub> από τα περισσότερα ορυκτά καύσιμα. Όμως τα ποσοστά αύξησης των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακά καθώς τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες έχουν αυξηθεί κατά 500% και στις κατοικίες κατά 245%, με την πολιτεία να παίρνει άμεσα μέτρα όπως η αύξηση στις τιμές της ενέργειας, με την κατανάλωση ενέργειας από πετρέλαιο και ηλεκτρισμό να μειώνεται ελαφρώς. Επιπλέον ξεκίνησε η παροχή οικονομικών κινήτρων για την χρησιμοποίηση συστημάτων ψύξης υψηλής ενεργειακής απόδοσης. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muhd, 2015]

Στην Ρωσία ο οικιστικός τομέας είναι ο κυριότερος στην κατανάλωση ενέργειας αφού χρησιμοποιεί το 25% της συνολικής κατανάλωσης. Ωστόσο σε σχέση με το 2000 οι απαιτήσεις των κατοικιών έχουν μειωθεί κατά 16%. Κύρια πηγή ενέργειας αποτελεί η τηλεθέρμανση με το φυσικό αέριο να έρχεται δεύτερο και να ακολουθούν τα πετρελαιοειδή. Μείωση εμφανίζεται και στις εκπομπές CO<sub>2</sub> σε ποσοστό 14% σε σχέση με το 2000. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muhd, 2015]

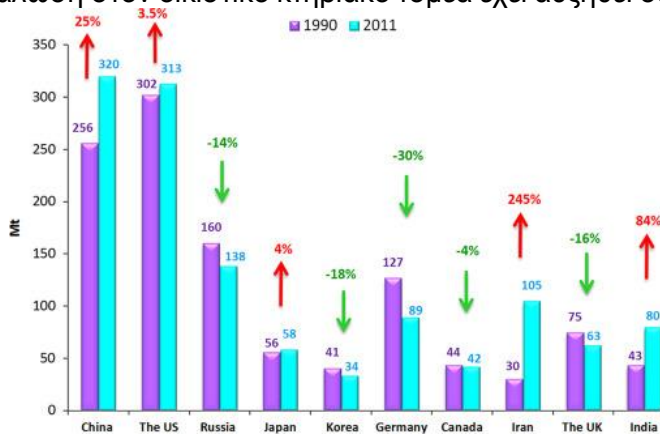
Τις τελευταίες δεκαετίες η Ιαπωνία έχει αυξήσει κατά 50% τις εκπομπές CO<sub>2</sub> όντας υπεύθυνη για το 4% των παγκόσμιων εκπομπών ωστόσο τα κτήριά της εκπέμπουν περίπου 58,2 Mt CO<sub>2</sub> ετησίως. Πλέον η Ιαπωνία προτείνει υποχρεωτικά πρότυπα κατασκευής κτηρίων τα οποία πρέπει να εφαρμοστούν μέχρι το 2020. Η Νότια Κορέα κινείται στον ίδιο άξονα καθώς καταναλώνει με μεγάλο ρυθμό ορυκτά καύσιμα τα οποία μάλιστα τα εισάγει. Ο κτηριακός τομέας καταναλώνει το 24% της ενέργειας από την συνολική κατανάλωση της χώρας. Με την αύξηση της χρήσης του φυσικού αερίου όπως επιτεύχθηκε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από 40,7 Mt το 1990 σε 32,9 Mt το 2010. Η κύρια πολιτική της έχει στραφεί στην ρύθμιση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και έχει επιβάλει μείωση κατά 50% των εκπομπών στα υπάρχοντα κτήρια και 25% στα νέα κτήρια και στους χρήστες τους. Επίσης έχουν τεθεί πρότυπα για φωτοβολταϊκά, λαμπτήρες LED και μονώσεις ενώ έχουν υπάρξει και οικονομικά κίνητρα για τους πολίτες. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muhd, 2015]

Στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην Γερμανία η οποία είναι η πρώτη χώρα κατανάλωσης ενέργειας στην γηραιά ήπειρο, έχει στο δυναμικό της 18 εκατομμύρια κτήρια, με τις κατοικίες να είναι το ¼ της ενεργειακής της κατανάλωσης. Αποτελεί ένα από τα ηγετικά κράτη στην προώθηση αυστηρών ενεργειακών πολιτικών. Έχει προσαρμοστεί πλήρως στις σύγχρονες ενεργειακές ανάγκες με την σταδιακή περιθωριοποίηση των ορυκτών καυσίμων και την αύξηση χρήσης ανανεώσιμων πηγών. Οι συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> έχουν μειωθεί κατά 20% τα τελευταία 50 χρόνια με τις κατοικίες να εκπέμπουν 30% μικρότερη ποσότητα από το 1990. Μακροχρόνιος στόχος από την κυβέρνηση είναι η μείωση κατά 80% σε πρωτογενή ενέργεια και ανθρακούχες εκπομπές έως το 2050, ενώ μέχρι το 2020 έχει τεθεί στόχος τα κτήρια να τείνουν στις μηδενικές ενεργειακές απαιτήσεις. Ένα από τα κύρια μέσα που χρησιμοποιεί είναι τα οικονομικά κίνητρα (επιδοτήσεις ή δάνεια μικρού επιτοκίου) για μέτρα όπως η θερμική θωράκιση των κτηρίων. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muhd, 2015]

Τέλος, στο Ηνωμένο Βασίλειο, το κτηριακό δυναμικό ανέρχεται στα 24 εκατομμύρια κτήρια και αποτελούν τον πρώτο τομέα κατανάλωσης ενέργειας (40% επί της συνολικής) με τις κατοικίες να καταναλώνουν το 27% αυτής. Κύρια πηγή ενέργειας το φυσικό αέριο

(63%) με τον ηλεκτρισμό και το πετρέλαιο να ακολουθούν. Την περίοδο 1970-2010 μείωσε σε ποσοστό 25% τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω της καύσης λιγότερων ορυκτών καυσίμων. Μεσοπρόθεσμος στόχος του 2020 είναι η μείωση εκπομπών κατά 34% έως το 2020 (σε σύγκριση με τις εκπομπές του 1990) αλλά ο κύριος στόχος έχει τεθεί για το 2050 με μείωση κατά 80% αυτών. Ένα από τα κύρια μέτρα που συμβάλλουν σε αυτούς τους στόχους είναι ότι όλες οι νεόδμητες κατοικίες από το 2016 και μετά πρέπει να είναι μηδενικών εκπομπών άνθρακα. Στα ήδη υπάρχοντα κτήρια πραγματοποιείται ενεργειακή αξιολόγηση. Και στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν τεθεί οικονομικά κίνητρα για να παρακινήσουν τους πολίτες να αναβαθμίσουν την μόνωση των κατοικιών τους, τους υαλοπίνακες και τα συστήματα θέρμανσης, με τα χρήματα αυτά οι πολίτες να τα αποπληρώνουν σε λογαριασμούς ενεργειακής κατανάλωσης. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muhd, 2015]

Συνοψίζοντας, η ενεργειακή κατανάλωση στον οικιστικό κτηριακό τομέα έχει αυξηθεί σε σημαντικό βαθμό (την περίοδο 2000-2011 κατά 14% περίπου) με κύριες πηγές (κατά 90%) να είναι τα ορυκτά καύσιμα και η βιομάζα, και τείνει να αυξηθεί περισσότερο τις επόμενες δεκαετίες χωρίς την λήψη των κατάλληλων μέτρων. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία 50 χρόνια αυξάνονται με ετήσιο ρυθμό 2%,. Κύριες αιτίες αυτού του φαινομένου αποτελούν η αύξηση του πληθυσμού, η κλιμάκωση της αστικοποίησης, η αύξηση χρήσης ηλεκτρικών συσκευών καθώς και στην



Εικόνα 1.7. Σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> σε 10 κράτη παγκοσμίως το 1990 και το 2011

ενεργειακή κατανάλωση των κατοικιών οι οποίες χρίζουν άμεσα επέμβαση ενεργειακής αναβάθμισης. Με την εφαρμογή αυστηρής πολιτικής από ορισμένα κράτη (Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ρωσία κτλ.) παρατηρείται ότι έχουν ήδη επιτευχθεί σημαντικές μειώσεις τόσο στην ενεργειακή κατανάλωση όσο και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Ένα σημαντικό μέτρο εφαρμογής που θα βοηθήσει αισθητά είναι η παροχή οικονομικών κριτηρίων (πχ επιδοτήσεις) προς τους πολίτες από τα κράτη για ορθές επεμβάσεις στις κατοικίες τους. [Nejat, Jomehzadeh, Taheri, Gohari, & Muhd, 2015]

Αν και το πρόβλημα των αυξημένων εκπομπών CO<sub>2</sub> από κατοικίες υφίσταται πολλές δεκαετίες, η παγκόσμια πολιτεία έχει αρχίσει να ευαισθητοποιείται και να λαμβάνει σοβαρά μέτρα τα τελευταία χρόνια. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν την καλύτερη μόνωση των κτηρίων και την τοποθέτηση αυτής στα ήδη υφιστάμενα, ενώ σταδιακά ξεκινάει η ορθή επιλογή κατάλληλων δομικών στοιχείων, η χρήση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης υψηλής ενεργειακής κλάσης και η εξάπλωση χρήσης Α.Π.Ε.. Βέβαια η έλλειψη πολιτικών από τα αναπτυσσόμενα κράτη λειτουργεί σαν ανασταλτικός παράγοντας και χρίζει άμεσης βοήθειας από τα ήδη ανεπτυγμένα κράτη ώστε να ξεπεραστούν τα εμπόδια και η πολιτική μείωσης των ανθρακούχων εκπομπών να επιτευχθεί ενιαία σε όλο τον κόσμο.

Εμπόδια στην επίτευξη των τελικών στόχων υπάρχουν και άλλα και σίγουρα δεν είναι αμελητέας προσοχής. Μέχρι σήμερα δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης ευαισθητοποίηση όλων των πολιτών με αποτέλεσμα ένα σημαντικών ποσοστό να μην είναι πρόθυμο να βοηθήσει.

Ίσως σε αυτό συμβάλει και το μεγάλο κόστος των τεχνικών που πρέπει να υιοθετηθούν οι οποίες στο σύνολό τους δεν θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν και απόλυτα «πράσινες». Για την πλήρη απεξάρτηση των κτηρίων σε παγκόσμια κλίμακα τόσο μέσω παγκόσμιων συμφωνιών που επιτεύχθηκαν όσο και μέσω νομοθεσιών (από τις ηπείρους ή τα κράτη ξεχωριστά) τέθηκαν πολιτικές για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων κτηρίων μηδενικών ανθρακούχων εκπομπών όπως:

- ποσοστιαίες μειώσεις εκπομπών στον κτηριακό τομέα με τελικό στόχο 80% λιγότερες εκπομπές έως το 2050 (σε ορισμένα κράτη ή πολιτείες το ποσοστό αυτό φτάνει το 100%)
- επιβεβλημένη έκδοση ενεργειακών πιστοποιητικών για όλα τα κτήρια με αναφορά στις εκπομπές CO<sub>2</sub>
- ανακαίνιση/ ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων κτηρίων στα επίπεδα των μακροπρόθεσμων στόχων με την εφαρμογή μονώσεων και νέων συστημάτων HVAC
- κατασκευή νέων παθητικών κτηρίων με μηδενικές καταναλώσεις ενέργειας και μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub> και συστήματα αυτοπαραγωγής
- μείωση έως και πλήρης αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων για ηλεκτρική και θερμική ενέργεια
- αποθήκευση παραγόμενης ενέργειας
- παροχή οικονομικών κινήτρων ή βοήθειας προς τους πολίτες για την προσπέλαση των οικονομικών εμποδίων της αγοράς και την καθολική χρήση νέων τεχνολογιών
- αύξηση απόδοσης νέων τεχνολογιών
- μεγιστοποίηση στην χρήση Α.Π.Ε. για την πλήρη απαλλαγή του ενεργειακού εφοδιασμού
- δημιουργία βιολογικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας (π.χ. με την χρήση βιομάζας) για την μείωση της παραγωγής, εξόρυξης και χρήση ορυκτών καυσίμων με συνέπεια την σημαντική μείωση CO<sub>2</sub>
- μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμα και βιοαέριο
- μείωση χρήσης τσιμεντοειδών και αντικατάστασή τους με ξυλεία και άλλα βιώσιμα οικοδομικά υλικά
- επιβολή στους ενεργειακούς φορείς για παραγωγή ενέργειας με χαμηλές εκπομπές
- αντιμετώπιση των υπολειπόμενων εκπομπών CO<sub>2</sub> με δέσμευση και αποθήκευσή τους, δημιουργώντας αρνητικό ισοζύγιο
- χρήση υδρογόνου και τεχνολογιών μετατροπής ισχύος σε μορφή X (Power-to-X)

### 1.3. ΣΤΟΧΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Με την παρατήρηση της κατάστασης του προβλήματος σε παγκόσμιο επίπεδο και την προσπάθεια αντιμετώπισης που πραγματοποιείται από τα περισσότερα κράτη κρίθηκε αναγκαία η μελέτη τόσο του προβλήματος όσο και των μέτρων που μπορούν να συμβάλλουν στην αποτελεσματική αντιμετώπισή του. Ο επιθυμητός σκοπός θα είναι η ακριβής θεωρητική και πειραματική διαπίστωση τόσο των προβλημάτων που προκαλούν τις αυξημένες εκπομπές CO<sub>2</sub> αλλά και των τεχνικών οι οποίες μπορούν να συμβάλλουν στην σωστή αντιμετώπιση τους προβλήματος και στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί σε μακροπρόθεσμο πλάνο, καθώς και η διαπίστωση μέσων και τεχνικών που μπορούν να κάνουν μια κατοικία και γενικά ένα κτήριο να μην εξαρτάται από τον άνθρακα. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η μετατροπή μιας τυπικής κατοικίας τόσο της Ελλάδας όσο και της Ευρώπης (σχετικής χρονολογίας κατασκευής 1980 με 1990) με αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις και εκπομπές CO<sub>2</sub> σε κτήριο το οποίο θα είναι εναρμονισμένο με τις πιο

αυστηρές παγκόσμιες πολιτικές που έχουν θεσπιστεί σε παγκόσμιο επίπεδο κυρίως για εκπομπές CO<sub>2</sub>, δηλαδή σε μια κατοικία μηδενικών ανθρακούχων εκπομπών.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την εξυπηρέτηση των σκοπών και την επίτευξη των στόχων, η παρούσα διπλωματική εργασία αποφασίστηκε να διενεργηθεί στα πρότυπα μελέτης ενεργειακής αναβάθμισης ενός κτηρίου, συγκεκριμένα μιας κατοικίας. Για να πραγματοποιηθεί η μελέτη σε οποιοδήποτε επιλεγμένο κτήριο, αρχικά έπρεπε να επιλεγθεί συγκεκριμένο πρόγραμμα μοντελοποίησης στο οποίο θα γινόταν η εισαγωγή όλων των απαιτούμενων δεδομένων και στην συνέχεια θα υπολόγιζε όλες τις παραμέτρους εκδίδοντας τα ανάλογα αποτελέσματα. Στην προκειμένη περίπτωση το λογισμικό μοντελοποίησης που επιλέχθηκε είναι το “Integrated Environmental Solutions: Virtual Environment” ή σε συντομία IES VE. Αφού εισήχθησαν όλα τα πραγματικά δεδομένα, το IES VE τα ανέλυσε και εξέδωσε ξεχωριστά δεδομένα ανά ώρα, μέρα και μήνα δίνοντας ετήσιο προφίλ για κάθε χώρο ή και για όλο το κτήριο ξεχωριστά σε πάρα πολλές κατηγορίες όπως η θερμοκρασία αέρα δωματίων, κατανάλωσης κάθε κατηγορίας ενέργειας ξεχωριστά και εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Αρχικά επιλέχθηκε να διεξαχθεί η μελέτη σε μια κατοικία η οποία αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό κτηρίων σε Ελλάδα και Ευρώπη. Μια κατοικία κατασκευασμένη περίπου πριν δύο ή τρεις δεκαετίες με μηδαμικά έως ελάχιστα μέτρα θερμοπροστασίας τα οποία θα οδηγούσαν σε μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση. Σύμφωνα με την τοποθεσία του κτηρίου, η οποία θεωρήθηκε ότι βρίσκεται στα Κουνουπιδιανά Ν. Χανίων, εισήχθη το κατάλληλο αρχείο καιρού στο πρόγραμμα μοντελοποίησης για να υπάρχουν οι πραγματικές καιρικές συνθήκες που έχουν καταγραφεί από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό και οι προσομοιώσεις να είναι πολύ κοντά στις πραγματικές. Πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση του κτηρίου και η έκδοση των αποτελεσμάτων του. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν πιθανές επεμβάσεις τόσο στο κέλυφος του κτηρίου όσο και στα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, και θα συγκριθούν όλα τα επιμέρους αποτελέσματα. Αναλυτικά, τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την σωστή εκπόνηση της εργασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Βήματα πραγματοποίησης μελέτης

Βήμα	Περιγραφή
1	Επιλογή κτηρίου μελέτης, συγκεκριμένα μονοκατοικίας που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό υφιστάμενων κτηρίων οικιακής χρήσης
2	Μοντελοποίηση κτηρίου στο IES VE με πλήρη αποτύπωση του αρχιτεκτονικού σχεδίου, μοντελοποίηση συστήματος θέρμανσης και ηλιακού θερμοσίφωνα, προγραμμάτων λειτουργίας (schedules) και θερμικών κερδών
3	Έκδοση και μελέτη αποτελεσμάτων της υφιστάμενης κατάστασης
4	Εφαρμογή μέτρων ενεργειακής αναβάθμισης του κτηρίου (μόνωση, αντικατάσταση κουφωμάτων), μείωσης κατανάλωσης ενέργειας (αντικατάσταση ηλεκτρικών συσκευών με νέες υψηλότερης ενεργειακής κλάσης) και αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης για μεγαλύτερη απόδοση και κατανάλωση πηγών ενέργειας φιλικότερων προς το περιβάλλον
5	Δημιουργία και προσομοίωση συνδυαστικών σεναρίων
6	Εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ (PV panel, ανεμογεννήτριες) στα συνδυαστικά σεναρία
7	Επιλογή μέτρων τα οποία πέτυχαν τον στόχο μετατροπής της κατοικίας σε κτήριο μηδενικών εκπομπών CO <sub>2</sub> , υπολογισμός κόστους και χρονικού διαστήματος αποπληρωμής

Το σύνολο των μοντέλων τα οποία δημιουργήθηκαν ξεχωριστά, καταχωρήθηκαν στο πρόγραμμα μοντελοποίησης IES VE, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση και η εξαγωγή επιμέρους αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Εφαρμοσμένα μοντέλα

Στάδιο	Σενάρια					
Αρχικό	Μοντέλο υφιστάμενου κτηρίου (βασικό σενάριο)					
Ενεργειακής αναβάθμισης (αντικατάσταση κουφωμάτων)	Διπλός Υαλοπίνακας με κούφωμα αλουμινίου με θερμοδιακοπή και Αργό		Τριπλός υαλοπίνακας με κούφωμα PVC και Αργό		Πόρτα με θερμομόνωση	
Ενεργειακής αναβάθμισης (Προσθήκη μόνωσης)	Πετροβάμβακας	Υαλοβάμβακας	Διογκωμένη Πολυστερίνη (ESP)	Εξηλασμένη Πολυστερίνη (XPS)	Ξυλόμαλλο ή Herakleith	Παρθένος Ορυκτοβάμβακας (Supafil)
Μείωση κατανάλωσης ενέργειας	Αντικατάσταση ηλεκτρικού εξοπλισμού με νέες συσκευές ανώτερης ενεργειακής κλάσης					
Αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης	Σύστημα θέρμανσης με βιοαέριο		Σύστημα θέρμανσης με βιομάζα		Θερμική αντλία	
Συνδυαστικά σενάρια	Δημιουργία συνδυαστικού σεναρίου με την ταυτόχρονη εφαρμογή των μέτρων που εξετάστηκαν ξεχωριστά και επέφεραν τα καλύτερα αποτελέσματα στην μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> (1 <sup>ο</sup> συνδυαστικό)			Δημιουργία συνδυαστικού σεναρίου με θερμική αντλία υψηλής απόδοσης για την εξέταση του κτηρίου με πιθανή εγκατάσταση συστήματος ψύξης, στην λογική της βέλτιστης θερμικής άνεσης των χρηστών (2 <sup>ο</sup> συνδυαστικό)		
Συνδυαστικά σενάρια με ΑΠΕ	1 <sup>ο</sup> συνδυαστικό σενάριο με PV	1 <sup>ο</sup> συνδυαστικό σενάριο με Α/Γ	2 <sup>ο</sup> συνδυαστικό σενάριο με PV		2 <sup>ο</sup> συνδυαστικό σενάριο με Α/Γ	

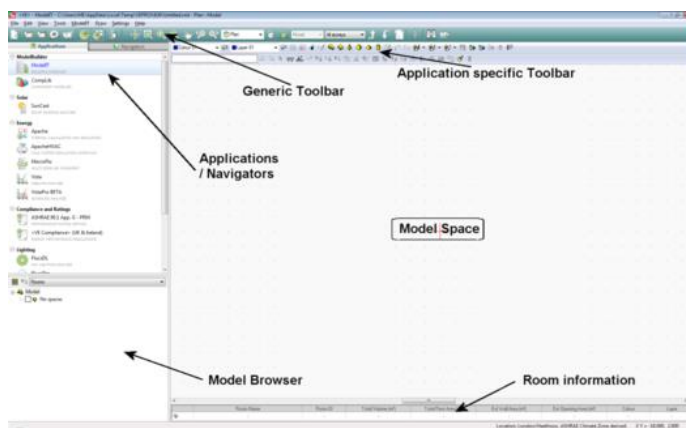
Όλα αυτά τα μέτρα τα οποία εφαρμόστηκαν και τα βήματα που ακολουθήθηκαν, οδήγησαν στην επίτευξη του τελικού στόχου. Συνέβαλαν σημαντικά στην πλήρη κατανόηση του προβλήματος, την εξακρίβωση των κύριων παραγόντων που προκαλούν το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε μία κατοικία καθώς και τα μέτρα και η δραστηριότητά τους τα οποία έχουν μια θετική επίδραση στην μείωση τους. Με την εφαρμογή διάφορων μέτρων ταυτόχρονα επιτεύχθηκε ο τελικός στόχος ενός κτηρίου οικιακής χρήσης μηδενικών ανθρακούχων εκπομπών.

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ «IES VE»

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν αναλυτικά το λογισμικό «IES VE» καθώς και το κτήριο με όλες τις απαραίτητες παραμέτρους και παραδοχές που θεωρήθηκαν και καταχωρήθηκαν για την μοντελοποίηση και εν συνεχεία για την μελέτη της απεξάρτησής τους από εκπομπές CO<sub>2</sub>.

#### 3.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ «INTIGRATED ENVIRONMENTAL SOLUTIONS: VIRTUAL ENVIRNOMENT»

Το IES VE είναι ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο από μηχανικούς για την ενεργειακή αξιολόγηση και κυρίως για την μέτρηση των εκπομπών των κτηρίων. Τα κτήρια είναι μεγάλοι καταναλωτές ενέργειας και πηγές εκπομπών CO<sub>2</sub> τις οποίες πρέπει να μετριάσουν και να επιλεγθούν οι κατάλληλες πηγές ενέργειας, αλλά και να διατηρήσουν τον κόσμο για τις επόμενες γενιές. Αυτοί ήταν οι βασικοί λόγοι της δημιουργίας του. Ανήκει στην τεχνολογία BIM (Building Information Modeling) η οποία αποτελεί μια ολοκληρωμένη ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας υποδομής. Κύριοι στόχοι αυτής της τεχνολογίας είναι η γρηγορότερη και οικονομικότερη μελέτη κτηρίων σε επίπεδα υψηλής απόδοσης και με τις ελάχιστες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της είναι η μεγάλη ακρίβεια σχεδίων, η μεγάλη αποδοτικότητα σχεδίασης και εμλέτης λόγω ευκολίας καταχώρησης των δεδομένων, η μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων και κόστους, η καλύτερη ποιότητα μελέτης, η μικρή χρονική απαίτηση μελέτης ενεργειακής αναβάθμισης ενός κτηρίου, η γρηγορότερη παράδοση έργου και ο έλεγχος κατασκευασιμότητας που οδηγούν σε μείωση ρίσκου και κόστους. [Φαρμάκης, 2013]



Εικόνα 3.1. Περιβάλλον εργασίας IES VE [ΠΗΓΗ: help.iesve.com]

Όπως όλα τα λογισμικά, έτσι και το IES VE χρησιμοποιεί διάφορους αλγόριθμους και εξισώσεις έτσι ώστε από τα δεδομένα που το δίνει ο χρήστης να κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς και να βγάλει τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα το Apache Simulation (ApacheSim) είναι ένα δυναμικό πρόγραμμα θερμικής προσομοίωσης που βασίζεται σε μαθηματικά μοντέλα των διαδικασιών μεταφοράς θερμότητας που συμβαίνουν εντός και γύρω από ένα κτήριο. Παρέχει ένα περιβάλλον για τη λεπτομερή αξιολόγηση των σχεδίων



κτηρίων και συστημάτων, επιτρέποντάς τους να βελτιστοποιηθούν όσον αφορά τα κριτήρια άνεσης και τη χρήση ενέργειας. Με την ApacheSim αντιμετωπίζονται καίρια ζητήματα των κτηρίων όπως η καταλληλότητα μιας μόνωσης, η δυναμική μάζας, ο κατάλληλος προσανατολισμός του κτηρίου, απαραίτητες ιδιότητες παραθύρων, συστήματα HVAC και συστήματα μεικτής χρήσης, φυσικός και μηχανικός εξαερισμός κ.α.. Επεξεργάζοντας όλα τα παραπάνω δίνει χρήσιμες πληροφορίες και αποτελέσματα σχετικά με την θερμική άνεση, την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, θερμοκρασίες αέρα και επιφανειών ενός δωματίου κ.α..

Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση οποιουδήποτε μοντέλου χρειάζεται να εισαχθούν από τον χρήστη κάποια δεδομένα. Τα δεδομένα εισόδου είναι η γεωμετρία και τεκτονική δομή του κτηρίου, τα δομικά στοιχεία κατασκευασμένα με συγκεκριμένη δομή από υλικά τα οποία έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις και τεχνικά χαρακτηριστικά, τα προγράμματα λειτουργίας που καταχωρούνται, όλα τα συστήματα που περιέχονται εντός του κτηρίου και το αρχείο με τις καιρικές συνθήκες οι οποίες αναλύονται λεπτομερώς μέσω ειδικού αρχείου. Οι εξισώσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς από το πρόγραμμα παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

#### • Θερμική αγωγιμότητα και αποθήκευση

Η χρονική εξέλιξη της χωρικής κατανομής θερμοκρασίας σε ένα στερεό χωρίς εσωτερικές πηγές θερμότητας διέπεται από τις ακόλουθες μερικές διαφορικές εξισώσεις

$$W = -\lambda \nabla T \text{ ή } \nabla \cdot \underline{W} = -\rho c \partial T / \partial t \quad [3.1]$$

όπου:

- T (x, y, z, t): η θερμοκρασία (°C) του στερεού στην θέση (x, y, z) την χρονική στιγμή t
- W (x, y, z, t): το διάνυσμα ροής θερμότητας στην θέση (x, y, z) την χρονική στιγμή t
- λ: η αγωγιμότητα του στερεού (W/m<sup>2</sup>K)
- ρ: η πυκνότητα του στερεού (kg/m<sup>3</sup>)
- c: η ειδική θερμοχωρητικότητα του στερεού [J/(kgK)]

Η αποθήκευση θερμότητας στις αέριες μάζες που υπάρχουν εντός του κτηρίου υπολογίζονται από την εξίσωση 3.2:

$$Q = c_p \rho_a V \partial T_a / \partial t \quad [3.2]$$

όπου:

- Q: η καθαρή ροή θερμότητας στη μάζα του αέρα (W)
- c<sub>p</sub>: είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα σε σταθερή πίεση [J/(kg\*K)]
- ρ<sub>a</sub>: η πυκνότητα του αέρα (kg/m<sup>3</sup>)
- V : ο όγκος αέρα (m<sup>3</sup>)
- T<sub>a</sub>: η θερμοκρασία του αέρα (°C)

Στο ApacheSim, η αγωγιμότητα σε κάθε δομικό στοιχείο του κτηρίου (τοίχος, οροφή, κουφώματα κλπ.) θεωρείται ότι είναι μονοδιάστατη. Επιπλέον, οι θερμικές φυσικές ιδιότητες

$\lambda$ ,  $\rho$  και  $c$  κάθε στρώματος του στοιχείου θεωρούνται ότι είναι ομοιόμορφες εντός του στρώματος. Έτσι προκύπτει η εξίσωση 3.3:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\rho c}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} \quad [3.3]$$

Τα κενά αέρα σε όλες τις κατασκευές παίρνουν μορφή αντίστασης:

$$W = \frac{(T_1 - T_2)}{R} \quad [3.4]$$

όπου:

- $W$ : η ροή θερμότητας διαμέσου του κενού αέρος
- $T_1$  και  $T_2$ : η θερμοκρασίες των επιφανειών που είναι σε επαφή με το κενό αέρα
- $R$ : η συνδυασμένη αντίσταση ακτινοβολίας/ θερμότητας, παράμετρος του στρώματος αέρα

Οι οριακές συνθήκες για αγωγή στοιχείου του κτηρίου υπαγορεύονται από συνθήκες στα διαστήματα των δύο πλευρών του στοιχείου. Αυτοί οι χώροι μπορεί να είναι εσωτερικοί ή εξωτερικοί. Όταν ένας παρακείμενος χώρος έχει καταστεί ανενεργός (για παράδειγμα, αν ανατίθεται σε ανενεργό στρώμα ή δεν σημειώνεται για να συμπεριληφθεί σε ανάλυση «VE» Συμμόρφωσης), οι συνθήκες στη μακρινή πλευρά θεωρούνται ταυτόσημες με εκείνες στην κοντινή πλευρά (μια αντανakλαστική οριακή συνθήκη). Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται υπόψη η θερμική μάζα του στοιχείου, ενώ η μεταφορά θερμότητας διαμέσου αυτού τείνει στο μηδέν.

Αν στο μοντέλο που θα γίνει η προσομοίωση συμπεριληφθούν και έπιπλα η Εξίσωση 3.2 παίρνει την μορφή

$$Q = (1 + f_f) c_p \rho_a V \frac{\partial T_a}{\partial t} \quad [3.5]$$

με τον συντελεστή  $f_f$  να είναι ο συντελεστής μάζας των επίπλων. Στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας δεν προστέθηκαν έπιπλα του σπιτιού οπότε και ισχύει  $f_f=0$ .

#### ▪ **Μεταφορά μάζας θερμότητας**

Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται από ένα ρευστό σε ένα στερεό στην προκειμένη περίπτωση, με τον ρόλο του ρευστού να τον παίρνει ο αέρας και τους στερεού κάθε δομικό στοιχείο του κτηρίου. Από πειραματικές διαδικασίες που έχουν διενεργηθεί έχει προκύψει η Εξίσωση 3.6:

$$W = K(T_a - T_s)^n \quad [3.6]$$

όπου:

- $W$ : η ροή θερμότητας ( $W/m^2$ ) από τον αέρα στην επιφάνεια
- $T_a$ : η θερμοκρασία αέρα ( $^{\circ}C$ )
- $T_s$ : η θερμοκρασία της κύριας επιφάνειας
- $K$  και  $n$ : μεταβλητές με το  $n$  να ισούται με 1 σε αναγκαστική μεταφορά και να παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας σε φυσική μεταφορά

Για μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιείται η εξίσωση 3.7:

$$W = h_c(T_a - T_s) \quad [3.7]$$

με το  $h_c$  να είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, με την εξίσωση 3.6 να εφαρμόζεται τόσο για εξωτερική μεταφορά θερμότητας όσο και εσωτερική.

Ο συντελεστής  $h_c$  παίρνει διάφορες τιμές. Η μεταφορά θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτηρίου συνήθως είναι εξαναγκασμένη και ο συντελεστής  $h_c$  είναι άμεσα εξαρτώμενος από την ταχύτητα του αέρα (μεταβλητή  $v$  σε [m/s]) σύμφωνα με τις εμπειρικές εξισώσεις McAdams, όπου η μεταβλητή :

$$h_c = 5,6 + 4,0v \quad (v < 4,88) \quad [3.8a]$$

$$h_c = 7,2v^{0,78} \quad (v \geq 4,88) \quad [3.8b]$$

Ο υπολογισμός της μεταφοράς θερμότητας ανάμεσα στις μάζες στο εσωτερικού του κτηρίου πραγματοποιούνται με 4 διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με ποια επιλογή θα κάνει ο χρήστης του προγράμματος. Για την μοντελοποίηση που έγινε στα πλαίσια της εργασίας έγινε η επιλογή "CIBSE Fixed Convection Coefficients", το πιο απλό μοντέλο υπολογισμών το οποίο προσδίδει μέση τιμή για κάθε επιφάνεια  $h_c=3$ .

#### ▪ **Μεταφορά θερμότητας από την κίνηση του αέρα**

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μέσω ενός ρεύματος αέρα που εισέρχεται σε ένα χώρο αποτυπώνεται στην εξίσωση 3.9:

$$Q = mc_p(T_i - T_a) \quad [3.9]$$

όπου:

- $m$ : η ροή μάζας αέρα (kg/s)
- $c_p$ : η ειδική θερμική ισχύς αέρα σε σταθερή πίεση (J/kg/K)
- $T_i$ : η θερμοκρασία αέρα που διοχετεύεται (°C)  $T_a$ : η μέση θερμοκρασία δωματίου

Για την εξίσωση 9 γίνεται η παραδοχή ότι ο αέρας που μετατοπίζεται από τον αέρα που παρέχεται είναι στην μέση θερμοκρασία του δωματίου. Οι τιμές παροχής αέρα μπορεί να καθορίζονται με διάφορους τρόπους. Η τιμή του ρυθμού ροής όγκου (l/s) πολλαπλασιασμένη με την πυκνότητα αέρα ( $\rho_{air}=1,2 \text{ kg/m}^3$ ), που προσδιορίζεται σε όρους l/s/m<sup>2</sup> πολλαπλασιάζεται επί της επιφάνειας του χώρου του χώρου και κατόπιν μετατρέπεται όπως παραπάνω. Η ροή μάζας αέρα υπολογίζεται σύμφωνα με τις αλλαγές αέρα ανά ώρα, ένας συντελεστής που παίρνει τιμές από τον χρήστη. Ο υπολογισμός της παρουσιάζεται στην εξίσωση 3.10:

$$m = \frac{\rho_{air} a V}{3.600} \quad [3.10]$$

όπου:

- $\rho_{air}$ : η πυκνότητα αέρα (1,2 kg/m<sup>3</sup>)
- $V$ : ο όγκος του δωματίου (m<sup>3</sup>)
- $a$ : οι αλλαγές αέρα ανά ώρα (ach)

Το θερμικό κέρδος από τους υδρατμούς αέρα εντός ενός δωματίου υπολογίζεται από την εξίσωση 3.11:

$$w = m(g_i - g) \quad [3.11]$$

όπου:

- $w$ : θερμικό κέρδος από τους υδρατμούς αέρα (kg/s)
- $g_i$ : ο συντελεστής υγρασίας του αέρα που παρέχεται (kg/kg)
- $g$ : ο συντελεστής υγρασίας του αέρα δωματίου (kg/kg)

Η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο:

$$c = m(k_i - k) \quad [3.12]$$

όπου:

- $c$ : κέρδος CO<sub>2</sub> από τους υδρατμούς αέρα (kg/s)
- $k_i$ : ο συντελεστής συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> του αέρα που παρέχεται (kg/kg)
- $k$ : ο συντελεστής συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> του αέρα δωματίου (kg/kg)

Η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στον εξωτερικό αέρα θεωρήθηκε με την τυπική τιμή των 360ppm.

#### ▪ **Μεταφορά θερμότητας ακτινοβολίας μεγάλου μήκους**

Κάθε επιφάνεια κατασκευής εκπέμπει ποσότητα ακτινοβολίας λόγω της θερμοκρασίας τους. Η εκπομπή και η απορρόφηση ακτινοβολίας της θερμικής ακτινοβολίας από επιφάνειες αποτελεί σημαντικό μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας. Αν θεωρηθεί ένα μικρό μέρος της επιφάνειας αυτής ( $dA$ ) τότε ισχύει:

$$dW = \frac{1}{\pi} \varepsilon \sigma \theta^2 \cos \theta d\Omega dA \quad [3.13]$$

όπου:

- $W$ : η ροή ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>)
- $\varepsilon$ : η εκπομπή επιφάνειας (W/m<sup>2</sup>)
- $\sigma$ : η σταθερά Stefan-Boltzmann (=5,6697x10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)
- $\theta$ : η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας (K)
- $\theta$ : η γωνία κατεύθυνσης που μετράται από την κανονική επιφάνεια
- $d\omega$ : η σταθερή γωνία
- $dA$ : το εμβαδό της επιφάνειας (m<sup>2</sup>)

Αν η εξίσωση 3.13 ολοκληρωθεί τότε προκύπτει ότι:

$$W = \varepsilon \sigma \theta^4 \quad [3.14]$$

Η καθαρή ακτινοβολία ανάμεσα σε μία επιφάνεια και του περιβάλλοντος που περικλείεται από αυτή υπολογίζεται από την εξίσωση 3.15.

$$W = h_s(T_s - T_{MRT}) \quad [3.15]$$

όπου:

- $W$ : η καθαρή απώλεια ακτινοβολίας από την επιφάνεια

- $h_r$ : σταθερά μεταφοράς θερμότητας ανταλλαγής με την κύρια θερμοκρασία ακτινοβολίας
- $T_s$ : η θερμοκρασία επιφάνειας
- $T_{MRT}$ : η κύρια θερμοκρασία ακτινοβολίας από το εσώκλειστο περιβάλλον

Ο αέρας ενός χώρου περιέχει διάφορα αέρια τα οποία συμβάλλουν στις ανταλλαγές ακτινοβολίας εντός των χώρων. Ακτινοβολούν στον χώρο λόγω της απόλυτης θερμοκρασίας αλλά και απορροφούν ακτινοβολία. Ένα μοντέλο υπολογισμού των ανταλλαγών ακτινοβολίας δημιουργήθηκε από τον Hottel με βάση την εκτίμηση ανταλλαγής ακτινοβολίας ανάμεσα σε μια επιφάνεια και ένα ημισφαιρικό σωματίδιο με ακτίνα  $L$ . Για αέριες μάζες υπολογίζεται μια μέση τιμή μήκους δέσμης  $L_e$  η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$L_e = \frac{3,6V}{A} \quad [3.16]$$

όπου:

- $V$ : ο όγκος του αέρα που περιβάλλεται στον χώρο
- $A$ : το εμβαδό της επιφάνειας.

Από τον υπολογισμό του  $L_e$  και τον προσδιορισμό του  $p_w$  του εκάστοτε αερίου προκύπτει η εξίσωση 3.17:

$$\ln(\varepsilon_{air}) = -0,619 - (2,958 - 0,2184 \ln(p_w L_e))^2 \quad [3.17]$$

Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος δέχονται και όλες οι εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου από τον ουρανό, το έδαφος και άλλα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται στον εξωτερικό χώρο, αλλά εκπέμπουν και ακτινοβολία. Η ApacheSim για την πραγματοποίηση των υπολογισμών αυτών των ακτινοβολιών χρησιμοποίησε δύο εξισώσεις. Η βασική εξίσωση 3.18 υπολογίζει το καθαρό κέρδος ακτινοβολίας μια επιφάνειας με κλίση  $\beta$  (°):

$$L^*(\beta) = \varepsilon_e [L_{sky}(\beta) + L_g(\beta) - \sigma \theta_e^4] \quad [3.18]$$

όπου:

- $L^*(\beta)$ : το κέρδος από καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος ( $W/m^2$ )
- $\varepsilon_e$ : ο συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας της εξωτερικής επιφάνειας
- $L_{sky}(\beta)$ : η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος η οποία έρχεται απευθεία από τον ουρανό ( $W/m^2$ )
- $L_g(\beta)$ : η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος η οποία προέρχεται από το έδαφος ( $W/m^2$ )
- $\theta_e$ : η απόλυτη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας (K)

Για μια οριζόντια επιφάνεια η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ουρανό υπολογίζεται από την εξίσωση 3.19:

$$L_{sky}(0) = \sigma \theta_a^4 \left\{ 0,904 - \left( 0,904 - 0,061 p_w^{\frac{1}{2}} \right) (1 - c) - 0,005 p_w^{\frac{1}{2}} \right\} \quad [3.19]$$

όπου:

- $\theta_a$ : η εξωτερική απόλυτη θερμοκρασία αέρα (K)
- $p_w$ : η εξωτερική πίεση των υδρατμών αέρα (hP)
- $c$ : συντελεστής νεφοκάλυψης (0-1)

Αν η επιφάνεια έχει κλίση τότε ο υπολογισμός γίνεται με την εξίσωση 3.20:

$$L_{sky}(\beta) = L_{sky}(0)F_{sky} + 0,09k_3(\beta)\{1 - c[0,7067 + 0,00822T_a]\}\sigma\theta_\alpha^4 \quad [3.20]$$

όπου:

- $F_{sky} = \cos^2(\beta/2)$  : ο συντελεστής σχήματος από την επιφάνεια στον ουρανό
- $T_a$ : η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα (K)
- $k_3(\beta) = 0,7629(,01\beta')^4 - 2,2215(,01\beta')^3 + 1,7483(,01\beta')^2 + 0,054(,01\beta')$ 
  - $\beta' = \beta$  ( $\beta \leq 90$ )
  - $\beta' = 180 - \beta$  ( $\beta > 90$ )

Η ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια από το έδαφος υπολογίζεται ως εξής:

$$L_g = \sigma\{0,980\theta_\alpha + 0,037(1 - \rho_g)I_{glob}\}^4 F_{gnd} \quad [3.21]$$

όπου:

- $\rho_g$ : η ανάκλαση ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (albedo)
- $I_{glob}$  : η συνολική ροή ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο ( $W/m^2$ )
- $F_{gnd} = 1 - F_{sky} = \sin^2(\beta/2)$  : ο συντελεστής σχήματος από την επιφάνεια στο έδαφος
  - $F_{sky} = f_{shd} \cos^2(\beta/2)$ 
    - ❖  $f_{shd}$ : ο διάχυτος παράγοντας σκίασης ουρανού για την επιφάνεια

#### ▪ Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος είναι ένα ηλιακό σώμα με θερμοκρασία περίπου 5.800K. Η ακτινοβολία που παράγει ανέρχεται στα  $1.353 W/m^2$ . Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένα κτήριο είναι είτε άμεση από τον ουρανό κοντά στην περιοχή του ήλιου, είτε από τον θόλο του ουρανού, είτε από την ακτινοβολία που προσπίπτει πρώτα στο έδαφος. Η άμεση ακτινοβολία μεταβάλλεται από τις πιθανές σκιάσεις γειτονικών κτηρίων. Η ApacheSim μέσω του αρχείου καιρού καταγράφει την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία, την διάχυτη ακτινοβολία μετρημένη στο οριζόντιο επίπεδο, το ηλιακό υψόμετρο και το αζιμούθιο από την περιοχή που έγινε η καταγραφή των καιρικών συνθηκών. Υπολογίζονται σε κάθε βήμα της μίας ώρας την ηλιακή ακτινοβολία σε κάθε εξωτερική επιφάνεια του κτηρίου. Η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται ως εξής:

$$I_{dear} = I_{beam} \cos(\theta) \quad [3.22]$$

όπου:

- $I_{dear}$ : η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια ( $W/m^2$ )
- $I_{beam}$ : η ηλιακή ακτινοβολία που μετράται κάθετα στην δέσμη ( $W/m^2$ )
- $\theta$ : η γωνία πρόσπτωσης

Ο υπολογισμός της διάχυτης ακτινοβολίας γίνεται μέσω των εξισώσεων 3.23 και 3.24:

$$I_{sdiff} = I_{hdiff} \cos^2 \left( \frac{\beta}{2} \right) \quad [3.23]$$

$$I_{gdiff} = \rho_g I_{hglob} \sin^2 \left( \frac{\beta}{2} \right) \quad [3.24]$$

όπου:

- $I_{sdiff}$ : η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει από τον ουρανό στην επιφάνεια ( $W/m^2$ )
- $I_{hdiff}$ : η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ( $W/m^2$ )
- $\beta$ : η κλίση της επιφάνειας
- $I_{gdiff}$ : η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει από το έδαφος στην επιφάνεια ( $W/m^2$ )
- $\rho_g$ : η ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από το έδαφος (albedo)
- $I_{hglob} = I_{hdiff} + I_{beam} \cdot \sin \alpha$  : η συνολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο
- $\alpha$ : το ηλιακό ύψος

#### ▪ **Θερμικά κέρδη εντός του κτηρίου**

Τα θερμικά κέρδη ενός κτηρίου χωρίζονται σε κατηγορίες όπως ο φωτισμός (ξεχωριστά για κάθε λαμπτήρα φθορισμού ή βολφραμίου), ηλεκτρικού εξοπλισμού και διάφορων ειδών, εξοπλισμός μαγειρέματος, υπολογιστές και οθόνες, και άνθρωποι. Τα κέρδη αυτά έχουν τόσο πραγματική όσο και λανθάνουσα θερμότητα. Η λανθάνουσα θερμότητα είναι αυτή που προσθέτει υδρατμούς στον αέρα δωματίου. Και τα δύο ήδη εκφράζονται σαν θερμικά κέρδη του κτηρίου.

#### ▪ **Ισοζύγιο θερμότητας και εκπομπών CO<sub>2</sub> δωματίων και κτηρίου**

Η ApacheSim για τον υπολογισμό του ισοζυγίου θερμότητας χρησιμοποιεί ένα μοντέλο αναδευόμενου αέρα και υδρατμών. Υποθετικά η αέρια μάζα και οι υδρατμοί είναι ομοιόμορφα στον χώρο. Υπολογίζεται κάθε εισροή και εκροή κανονικών και λανθανουσών ροών θερμότητας από κάθε μάζα αέρα ή επιφάνειας του χώρου. Ο υπολογισμός της κανονικής θερμότητας για τον αέρα σε κάθε δωμάτιο περιλαμβάνει την θερμική αποθήκευση στον αέρα και στα έπιπλα, την μεταφορά από τις επιφάνειες του δωματίου, την μεταφορά θερμότητα με μετακίνηση αέρα, την μεταφορά των περιστασιακών κερδών καθώς και την μεταφορά οποιουδήποτε θερμικού κέρδους συσκευών ή συστήματος HVAC. Με την προσθήκη όλων αυτών των παραμέτρων δημιουργείται το ισοζύγιο θερμότητας αέρα κάθε δωματίου. Σε κάθε δωμάτιο όμως υπάρχουν και οι επιφάνειες των οποίων το ισοζύγιο θερμότητας υπολογίζεται από την αγωγιμότητα θερμότητας από κάθε υλικό του κτηρίου, μεταφορά θερμότητας στην επιφάνεια από τον εσωτερικό αέρα, θερμική ακτινοβολία που ανταλλάσσεται με τον εσωτερικό αέρα, το ηλιακό κέρδος που απορροφάται από την επιφάνεια, το θερμικό κέρδος από συσκευές, ανθρώπους, φωτισμό και παρόμοια αντικείμενα και το μερίδιο θερμικής ακτινοβολίας από το σύστημα HVAC που υφίσταται. Τέλος υπάρχει και το ισοζύγιο θερμότητας εξωτερικών επιφανειών το οποίο περιλαμβάνει την αγωγιμότητα θερμότητας των υλικών στην εξωτερική όψη του κτηρίου, την μεταφορά θερμότητας στην εξωτερική επιφάνεια από τον εξωτερικό αέρα, την θερμική ακτινοβολία που ανταλλάσσεται με το εξωτερικό περιβάλλον και το ηλιακό κέρδος που απορροφάται

από κάθε επιφάνεια. Οι εξισώσεις ισοζυγίου θερμότητας επιλύονται χρησιμοποιώντας τεχνικές γραμμικής άλγεβρας. Επειδή μερικές από τις εξισώσεις είναι μη γραμμικές, η επανάληψη χρησιμοποιείται για να συγκλίνει σε μια κοινή λύση σε παγκόσμια λογική.

Για τον υπολογισμό του ισοζυγίου θερμότητας από λανθάνουσα ακτινοβολία λαμβάνονται στην εξίσωση η μεταφορά ατμού νερού με την κίνηση του αέρα, η λανθάνουσα θερμότητα από συσκευές, ανθρώπους, φωτισμό και παρόμοια σώματα, η δυναμική αποθήκευση των υδρατμών στον αέρα και κάθε μορφή λανθάνουσας θερμότητας από τα συστήματα HVAC.

Στην ίδια λογική βασίζεται και το ισοζύγιο εκπομπών CO<sub>2</sub> το οποίο περιλαμβάνει την μεταφορά CO<sub>2</sub> από την κίνηση του αέρα που αναλύθηκε παραπάνω (εξίσωση 3.12) , την εισροή CO<sub>2</sub> που σχετίζεται με τα θερμικά κέρδη από τους ανθρώπους και την αποθήκευση του CO<sub>2</sub> στον αέρα. Για την εκπομπή CO<sub>2</sub> από τα θερμικά κέρδη των ανθρώπων, κανονικά και λανθάνοντα. Ένας άνθρωπος καθημένος σε κατάσταση ξεκούρασης παράγει 58,2W για κάθε τετραγωνικό μέτρο σώματος. Αν γίνει υπόθεση πως ένα τυπικό σώμα έχει έκταση 1,8 m<sup>2</sup> τότε υπάρχει τυπική εκπομπή 104,76W. Κάθε άνθρωπος ανάλογα την κατάσταση την οποία βρίσκεται παράγει μια θερμότητα (Q<sub>people</sub>). Η θερμότητα αυτή εισέρχεται από τον χρήστη και στη συνέχεια οι εκπομπές CO<sub>2</sub> υπολογίζονται από τον τύπο:

$$N = \frac{0,005 \left( \frac{Q_{people}}{104,76} \right)}{1,2} = 3,977 \times 10^{-5} Q_{people} \quad [3.25]$$

Η τιμή 0,005 (l/s) είναι μια τυπική τιμή εκπομπής CO<sub>2</sub> για κάθε Watt που εκπέμπεται από έναν άνθρωπο. Η τιμή 1,2 είναι τυπική τιμή σε μονάδες MET, η οποία μετράει την μεταβολική παραγωγή ενός ανθρώπου σε διάφορα στάδια σωματικής δραστηριότητας.

Τέλος, για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> στον αέρα ο τύπος υπολογισμού είναι ο εξής:

$$c_a = \rho_a \frac{dk}{dt} \quad [3.26]$$

όπου:

- ρ: η πυκνότητα του αέρα (kg/m<sup>3</sup>)
- c<sub>a</sub>: το καθαρό κέρδος CO<sub>2</sub> από τον αέρα (kg/s)
- k: η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> εντός του δωματίου (kg/kg ή ppm)

[IES Ltdolutions Ltd, 2012]

### 3.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΤΗΡΙΟΥ

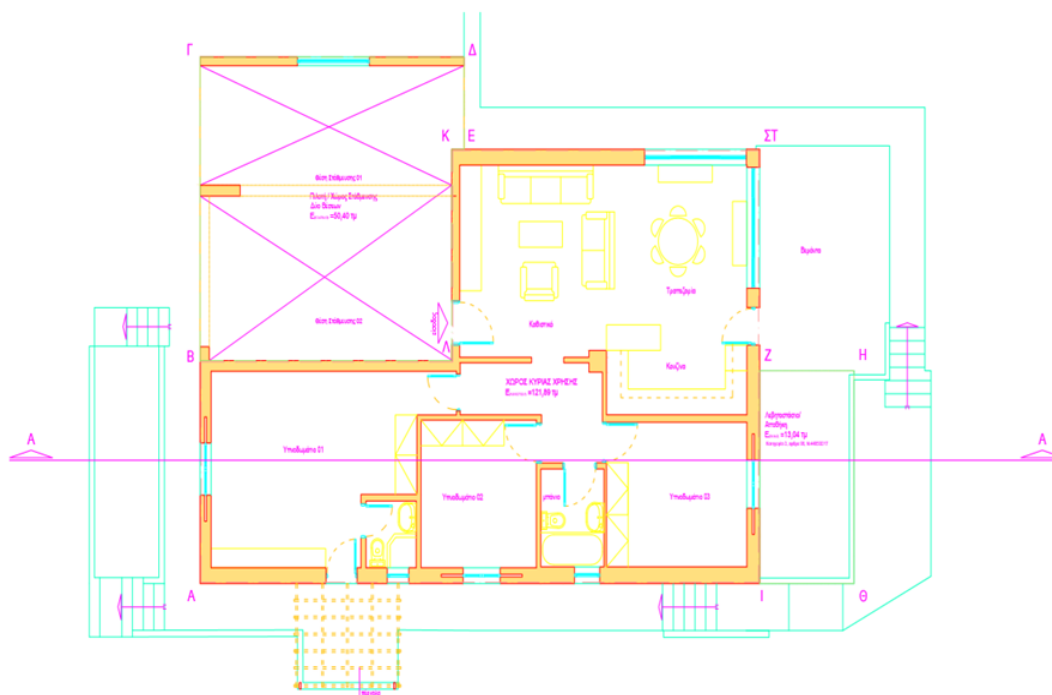
Σειρά στην επιλογή είχε το κτήριο πάνω στο οποίο θα γινόταν η μελέτη, το οποίο αποφασίστηκε να είναι οικιακής χρήσης. Οι περισσότερες τυπικές κατοικίες τόσο στην Ευρώπη όσο και στον κόσμο είναι μονοκατοικίες, μονώροφες ή διώροφες. Έτσι στην προκειμένη περίπτωση η μελέτη διενεργήθηκε σε μονώροφη κατοικία η οποία βρίσκεται στην περιοχή Κουνουπιδιανών, στο Ακρωτήριο του Νομού Χανίων. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ και την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-1/2017 ο νομός Χανίων τοποθετείται στην Α' κλιματική ζώνη της ελληνικής επικράτειας και το κτήριο ανήκει στην κατηγορία «Κατοικία: Μονοκατοικία ή πολυκατοικία (κτήριο με περισσότερα του



ενός ανεξάρτητα διαμερίσματα)». Η αναλυτική παρουσίαση όλων των τεχνικών χαρακτηριστικών αλλά και των παραμέτρων που θεωρήθηκαν για την μοντελοποίησή του παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

### 3.2.1. ΔΟΜΗ ΚΤΗΡΙΟΥ

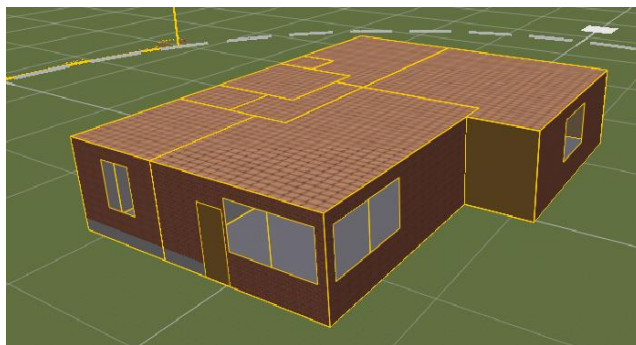
Το υπό μελέτη κτήριο έχει συνολική δομημένη επιφάνεια 102,38 m<sup>2</sup>. Αποτελείται από έναν μεγάλο ενιαίο πολυχώρο κουζίνας-καθιστικού με βορειοανατολικό προσανατολισμό και μεγάλα ανοίγματα. Στην νότια πλευρά του κτηρίου βρίσκονται τα 3 υπνοδωμάτια, ένα μεγάλο διπλό (υπνοδωμάτιο 1) και δύο μικρότερα μονά (υπνοδωμάτια 2 και 3) με ίδιες περίπου διαστάσεις. Ανάμεσα στα δύο μικρά υπνοδωμάτια υπάρχει το μπάνιο, ενώ στον εσωτερικό χώρο του μεγάλου υπνοδωματίου υπάρχει ένα μικρό WC. Όλους αυτούς τους χώρους τους ενώνει ο διάδρομος. Στο βορειοδυτικό μέρος της οικίας σαν εξωτερικός χώρος υπάρχει μια πιλοτή η οποία έχει σχεδιαστεί σαν βοηθητικός χώρος και έχει πόρτα εισόδου στο σπίτι, στον χώρο κουζίνας-καθιστικού. Στην εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η κάτοψη του κτηρίου, ενώ στην εικόνα 3.3 η βορειοανατολική άποψη του κτηρίου μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης στο πρόγραμμα IES VE.



Εικόνα 3.2. Κάτοψη κτηρίου

Το κέλυφος του κτηρίου κατά κύριο λόγο δεν περιέχει μόνωση, εκτός από το δομικό στοιχείο της οροφής. Για την ακρίβεια, η οροφή είναι επίπεδη (όχι κεραμοσκεπή) και σαν βάση της έχει πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πλάτος 15 cm. Κάτω από την πλάκα, στο εσωτερικού του κτηρίου υπάρχει επίσης στρώση ασβεστοσιμεντοκονιάματος (σοβά) 2 cm. Άνωθεν της πλάκας υφίσταται υγρομόνωση (ασφαλτόπανο) πάχους 6 mm η οποία καλύπτεται από θερμομόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης (XPS ή Dow) των 5 cm. Η τελική στρώση είναι από λευκό χαλίκι συνολικού πάχους 5 cm.

Η εξωτερική τοιχοποιία έχει διπλή στρώση από τσιμεντοκονίαμα στις δύο επιφάνειές της (εσωτερική και εξωτερική) των 2 cm ενώ από μέσα περιέχει διατρητούς οπτόπλινθους πάχους 9 cm. Ανάμεσα στις στρώσεις από οπτόπλινθους περιέχεται κενό αέρα 13 cm. Το δάπεδο έχει και αυτό βασικό δομικό στοιχείο την πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 12 cm με επίστρωση άνωθεν 4 cm ελαφρομπετόν και 2,5 cm τσιμεντοκονιάματος. Τέλος, υπάρχει τοποθετημένο πλακάκι πάχους 1 cm. Η εσωτερική τοιχοποιία αποτελείται από μονή οπτοπλινθοδομή.



Εικόνα 3.3. Βορειοανατολική άποψη του κτηρίου μετά την σχεδίαση του στο IES VE

Μέρος του κελύφους του κτηρίου αποτελούν και τα κουφώματα. Η πόρτα στην είσοδό του είναι ξύλινη ταμπλαδωτή ενώ τα παράθυρα έχουν διπλούς υαλοπίνακες πάχους 4 mm με κενό αέρα στο ενδιάμεσο πάχους 10 mm και περικλείονται από αλουμίνιο. Όλα τα δομικά στοιχεία παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 3.2.1.1.

Πίνακας 3.1. Δομικά στοιχεία κτηρίου

Κατασκευή	Υλικά (από έξω προς τα μέσα)
<b>Δάπεδο</b>	Οπλισμένο Σκυρόδεμα (12cm) Ελαφρομπετόν (4cm) Τσιμεντοκονίαμα (2,5cm) Πλακάκια (1cm)
<b>Επίπεδη Οροφή</b>	Χαλίκι (5cm) Εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS, 5cm) Ασφαλτόπανο (6cm) Οπλισμένο Σκυρόδεμα (15cm) Σοβάς(2cm)
<b>Εσωτερική Τοιχοποιία</b>	Οπτόλινθοι (10cm)
<b>Εξωτερική Τοιχοποιία</b>	Σοβάς(2cm) Διατρητός Οπτόλινθος (9cm) Κενό αέρα (13cm) Διατρητός Οπτόλινθος (9cm) Σοβάς(2cm)
<b>Πόρτα</b>	Ξύλο
<b>Παράθυρα</b>	Διπλός υαλοπίνακας με κενό αέρα και κουφώματα αλουμινίου.

Επίσης, στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφεται αναλυτικά η δομή κάθε στοιχείου του κτηριακού σκελετού και οι χαρακτηριστικές τιμές κάθε δομικού υλικού σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010.

Πίνακας 3.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά δομικών υλικών κτηρίου

<u>Υλικό</u>	<u>Πυκνότητα</u> (kg/m <sup>3</sup> )	<u>Αγωγιμότητα</u> (W/m*K)	<u>Ειδική</u> <u>Θερμοχωρητικότητα</u> (J/kg*K)
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα (Σοβάς)	1.800	0,87	1.000
Διατριτός Οπτόπλινθος (Τούβλο)	1.200	0,45	1.000
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	2.300	2,30	1.000
Ελαφρομπετόν	1.000	0,35	1.000
Τσιμεντοκονίαμα	2.000	1,40	1.100
Ασφαλτόπανο	1.100	0,231	1.000
Εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS)	35	0,035	1.450
Πλακάκι	1.900	0,84	800
Χαλίκι	1.840	0,36	840
Ξύλο	650	0,165	1.600

Πίνακας 3.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοπινάκων

Ηλιακή μετάδοση σε κανονικές συνθήκες	Ορατή μετάδοση σε κανονικές συνθήκες	Αντανάκλαση στο μπροστινό και πίσω μέρος
0,783	0,881	0,072-0,072 (εσωτερικό) 0,289-0,414 (εξωτερικό)
Εμπρόσθια και οπίσθια υπέρυθρη ημισφαιρική εκπομπή		Αγωγιμότητα
0,837		1

### 3.2.2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ HVAC ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑΣ

Τα HVAC είναι τα συστήματα τα οποία διαχειρίζονται την θέρμανση (H), τον εξαερισμό (V) και τον κλιματισμό (AC) ενός κτηρίου. Συνήθως αποτελείται από διάφορα ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά μέρη και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και του αέρα ενός κτηρίου. [Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, n.d.]

Τα συστήματα θέρμανσης εγκαθίστανται σε ένα κτήριο για να μετατρέπουν διάφορες μορφές ενέργειας (από την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν) σε θερμότητα και να την προσδίδουν στους χώρους του κτηρίου διατηρώντας την θερμοκρασία στα επίπεδα που επιθυμούν οι χρήστες του. Τα συστήματα αερισμού χρησιμοποιούνται για την

ανακυκλοφορία του αέρα χωρίς την αλλαγή τη θερμοκρασίας του έτσι ώστε η ποιότητά του να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Η λειτουργία των συστημάτων κλιματισμού έχει σαν κύριο σκοπό την ψύξη των χώρων του κτηρίου και ουσιαστικά αφαιρεί την θερμική ενέργεια που υπάρχει στο εσωτερικό του για την διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών του θερινούς μήνες.

Στην οικία που μελετήθηκε υπάρχει εγκατεστημένο μόνο κεντρικό σύστημα θέρμανσης με καυστήρα πετρελαίου. Ο καυστήρας έχει ονομαστική απόδοση 75%, δηλαδή για κάθε 1 kW που καταναλώνει από πετρέλαιο παράγει 0,75 kW θερμικής ενέργειας. Επίσης να σημειωθεί ότι σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017 η κατώτερη θερμογόνος δύναμη πετρελαίου είναι 11,92 kWh/kg. Με την παραδοχή ότι το κτήριο καταναλώνει 900 L πετρελαίου ετησίως, δηλαδή 774 kg (πυκνότητα πετρελαίου  $\rho=0,86$  kg/L) έχει πρωτογενή παραγόμενη ενέργεια 9.226,08 kWh. Άρα, σε θεωρητική τιμή η ενέργεια η οποία απαιτείται για την θέρμανση των χώρων του κτηρίου είναι 6.919,56 kWh. Η οικία δεν περιέχει σύστημα κλιματισμού ενώ ο εξαερισμός πραγματοποιείται με φυσικό τρόπο.

Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα στις ενεργειακές απαιτήσεις των κτηρίων είναι το ζεστό νερό. Οι χρήστες ενός κτηρίου το χρησιμοποιούν καθημερινά και χρησιμοποιούν διάφορους μηχανισμούς για να πετύχουν την θέρμανση του. Ο μηχανισμός που υπάρχει εγκατεστημένος στην οικία είναι ένας ηλιακός θερμοσίφωνας, ένα ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (ZNX) με την χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας της οικίας έχει χώρο αποθήκευσης 160 L ζεστού νερού ο οποίος συνδέεται τόσο με ηλεκτρική παροχή όσο και με το κεντρικό σύστημα θέρμανσης για να καλύπτονται οι ανάγκες σε περίπτωση που είναι μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί να ανταπεξέλθει ο ηλιακός συλλέκτης. Ως τυπική κατανάλωση χρήσης ζεστού νερού έχει θεωρηθεί 50 L/(person\*day) στους 45°C, όπως ορίζεται δηλαδή από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017. Επίσης, στην ίδια οδηγία, η τυπική κατανάλωση ZNX ανά άτομο τίθεται 50 L, συνεπώς έγινε η παραδοχή πως υπάρχει κατανάλωση νερού 2,08 L/(person\*hour). Ο ηλιακός συλλέκτης του θερμοσίφωνα έχει εμβαδό ενεργής επιφάνειας 3,8m<sup>2</sup> και ο συντελεστής σκίασης ισούται με 1 (δεν υπάρχει σκίαση που να επηρεάζει την συλλογή ηλιακής ενέργειας). Η απόδοση μετατροπής του ισούται με 0,756 ενώ οι θερμικές απώλειες ισούνται με 4,125 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-2</sup>. Τέλος, η ισχύς της αντλίας ανέρχεται στα 2,4 kW.

### 3.2.3. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

Για την σωστή ενεργειακή αξιολόγηση ενός κτηρίου είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε θερμικές ζώνες. Οι θερμικές ζώνες ενός κτηρίου είναι χώροι οι οποίοι έχουν παρόμοιο τρόπο λειτουργίας και παρόμοιο εξοπλισμό (σύστημα HVAC). Για οικονομία δεδομένων εισόδου συνιστάται ο διαχωρισμός αυτός να γίνει στον ελάχιστο δυνατό αριθμό. Για την συνολική ενεργειακή απόδοση του κτηρίου, αν έχει χωριστεί σε θερμικές ζώνες, γίνεται σύζευξη των επιμέρους θερμικών ζωνών. Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων) και το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790:2009 ο διαχωρισμός ενός κτηρίου σε θερμικές ζώνες επιβάλλεται όταν:

- υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεγαλύτερη από 4 K (ή 4°C) κατά την χειμερινή ή θερινή περίοδο
- υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση και λειτουργία
- υπάρχουν χώροι με διαφορετικά συστήματα HVAC

- υπάρχουν χώροι στο κτήριο με μεγάλες συναλλαγές αέρα και ενέργειας (π.χ. λόγω προσανατολισμού)
- υπάρχουν χώροι στους οποίους το σύστημα μηχανικού αερισμού καλύπτει λιγότερο από το 80% της συνολικής τους επιφάνειας
- ένας χώρος καλύπτει λιγότερο από το 10% της συνολικής επιφάνειας του κτηρίου τότε πρέπει να προσαρτηθεί σε άλλη θερμική ζώνη.

[Κ.Εν.Α.Κ., Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, 2017]

Στο κτήριο το οποίο μελετήθηκε λήφθηκαν υπόψιν όλες οι παραπάνω οδηγίες για τον διαχωρισμό θερμικών ζωνών. Κάθε δωμάτιο διαχωρίστηκε ως ξεχωριστή θερμική ζώνη, με το WC να προσαρτιέται στην θερμική ζώνη του υπνοδωματίου 1. Κύριοι άξονες στην λήψη αυτής της απόφασης ήταν ότι οι χώροι της κατοικίας έχουν και σχετικά διαφορετική χρήση και λειτουργία (π.χ. ο χώρος της κουζίνας-καθιστικού έχει πολλές συσκευές με αυξημένα φορτία σε σχέση με τα δωμάτια, τα δωμάτια έχουν διαφορετικά προγράμματα λειτουργίας ανάλογα το άτομο χρήσης κ.α.), καθώς και ότι υπάρχουν χώροι που λόγω του προσανατολισμού τους έχουν μεγαλύτερες συναλλαγές αέρα και ενέργειας όπως αποτυπώνεται αναλυτικά στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων.

### 3.2.4. ΘΕΡΜΙΚΑ ΚΕΡΔΗ ΚΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (SCHEDULES)

Εντός της κατοικίας υπάρχουν συγκεκριμένες συσκευές, αντικείμενα καθώς και άνθρωποι οι οποίοι προσδίδουν στους χώρους θερμικά κέρδη. Βέβαια αυτά τα κέρδη δεν προσδίδονται και τις 24 ώρες μια ημέρας ή όλες τις μέρες του χρόνου με τον ίδιο τρόπο, αλλά υπάρχουν συγκεκριμένα προγράμματα λειτουργίας τα οποία ακολουθούν. Στην προκειμένη ενότητα ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή κάθε κατηγορίας θερμικών κερδών της κατοικίας που μελετήθηκε καθώς και το αναλυτικό πρόγραμμα λειτουργίας της.

#### • Ανθρώπινο δυναμικό

Το υπό μελέτη κτήριο αποτελεί μια τυπική κατοικία μιας τετραμελούς οικογένειας. Για την δημιουργία του μοντέλου και την εξυπηρέτηση των σκοπών της μελέτης έγινε η παραδοχή ότι κατοικείται από τέσσερα άτομα, δύο ενήλικες και δύο ανήλικες. Για τους χώρους των υπνοδωματίων θεωρήθηκε ότι κάθε άνθρωπος εκπέμπει 80W αισθητά και 22W λανθάνοντα θερμικά κέρδη. Σε χώρους όπου υπάρχει κίνηση ή πιθανή εργασία (π.χ. μαγείρεμα, άσκηση, εργασία σε υπολογιστή), επειδή ο ανθρώπινος οργανισμός

Degree of Activity	Typical Application	Average Metabolic Rate - male adult (W)  (Btu/hr)	Room Dry Bulb Temperature (°C) (deg F)											
			28		27		26		24		22		20	
			Heat (W) (Btu/hr)											
			Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.
Seated at rest	Cinema, theater, school	100	50	50	55	45	60	40	67	33	72	28	79	21
Seated, very light work	Computer working	120	50	70	55	65	60	60	70	50	78	42	84	36
Office work	Hotel reception, cashier	130	50	80	56	74	60	70	70	60	78	52	86	44
Standing, walking slowly	Laboratory work	130	50	80	56	74	60	70	70	60	78	52	86	44
Walking, seated		150	53	97	58	92	64	86	76	74	84	66	90	60
Moderate work	Servant, hair dresser	160	55	105	60	100	68	92	80	80	90	70	98	62
Light bench work	Mechanical production	220	55	165	62	158	70	150	85	135	100	120	115	105
Moderate Dancing	Party	250	62	188	70	180	78	172	94	156	110	140	125	125
Fast walking	Mountain walking	300	80	220	88	212	96	204	110	190	130	170	145	155
Heavy work	Athletics	430	132	298	138	292	144	286	154	276	170	260	188	242

Εικόνα 3.4. Αισθητά και λανθάνοντα θερμικά κέρδη του χώρου από το ανθρώπινο σώμα [ΠΗΓΗ: engineeringtoolbox.com]

είναι «σε μεγαλύτερη λειτουργία» θεωρήθηκε ότι εκπέμπει 90W αισθητά και 60W λανθάνοντα θερμικά κέρδη.

Όσο αφορά την παρουσία των ανθρώπων στην κατοικία έγινε δεύτερη παραδοχή ότι οι ενήλικες είναι εργαζόμενοι με ωράριο 8:00-16:00 από Δευτέρα μέχρι Σάββατο και οι ανήλικοι μαθητές με τον ίδιο χρόνο απουσίας από το σπίτι πλην Σαββατοκύριακου που βρίσκονται μόνιμα στο σπίτι. Κάθε Κυριακή το σπίτι είναι πλήρες από το ανθρώπινο δυναμικό. Αυτό το πρόγραμμα ακολουθείται για όλο τον χρόνο.

- **Φωτισμός**

Ο φωτισμός του κτηρίου καλύπτεται από 11 λαμπτήρες φθορισμού των 20W. Κάθε δωμάτιο έχει από έναν λαμπτήρα με εξαίρεση τον χώρο κουζίνας-καθιστικού που έχει 5. Ο συντελεστής ακτινοβολίας κάθε λαμπτήρα ισούται με 0,45. Το προφίλ λειτουργίας του φωτισμού όπως και των περισσότερων ενεργειών και συσκευών που αποδίδουν θερμότητα στους χώρους του κτηρίου είναι σε συνάρτηση με την παρουσία των ανθρώπων σε αυτούς. Η μόνη παραδοχή σε αυτή την κατηγορία είναι ότι τον χειμώνα η μέρα είναι μεγαλύτερη και ο φωτισμός πραγματοποιείται από τις 17:30 έως τις 24:00 όπου αυξάνεται κλιμακωτά (ανάλογα με την λειτουργία κάθε χώρου). Το καλοκαίρι λόγω μεγαλύτερης διάρκειας της μέρας ο φωτισμός ξεκινάει στις 20:00 και συνεχίζεται έως τις 24:00 με κλιμακωτή αύξηση και πάλι ανά δύο ώρες. Άνοιξη και φθινόπωρο ο φωτισμός ξεκινάει στις 18:30 με κλιμακωτή αύξηση και πάλι μέχρι τις 24:00. Το διάστημα 00:00 έως 07:00 θεωρήθηκε ότι ένας από τους λαμπτήρες έχει παραμείνει ενεργοποιημένος (π.χ. του διαδρόμου).

- **Υπολογιστές και οθόνες**

Ξεχωριστή κατηγορία στην μοντελοποίηση είναι η παρουσία υπολογιστών καθώς και οθονών. Θεωρήθηκε πως υπάρχουν 2 προσωπικοί υπολογιστές στο εσωτερικό του κτηρίου και βρίσκονται στα υπνοδωμάτια 1 και 2 αντίστοιχα. Οι υπολογιστές ενεργοποιούνται και λειτουργούν από τις 18:00 έως τις 24:00 τις καθημερινές ενώ τα Σαββατοκύριακα είναι σε λειτουργία από τις 12:00. Έχουν σαν αισθητό θερμικό κέρδος κτηρίου 65W ενώ η τηλεόραση στον χώρο του καθιστικού έχει 100W και λειτουργεί τις ίδιες ώρες

- **Ηλεκτρικός εξοπλισμός**

Πολύ σημαντικό ρόλο στα θερμικά κέρδη ενός κτηρίου παίζουν οι ηλεκτρικές συσκευές καθώς η ισχύς κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος είναι ιδιαίτερα ψηλή και κατά συνέπεια η θερμότητα που απελευθερώνουν στο εσωτερικό περιβάλλον. Οι κύριες ηλεκτρικές συσκευές της κατοικίας οι οποίες καταχωρήθηκαν στο μοντέλο ήταν η κουζίνα, το ψυγείο και το πλυντήριο διότι πρόκειται για τις μεγαλύτερες σε κατανάλωση ενέργειας συσκευές, καθώς και σε συσκευές οι οποίες λειτουργούν με πολύ μεγάλη συχνότητα σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες οι οποίες μπορούν να βρίσκονται σε ένα σπίτι.

Αρχικά το ψυγείο βρίσκεται στην κουζίνα και έχει σαν αισθητή εκπομπή θερμικής ενέργειας προς τον χώρο 100 W. Λειτουργεί χωρίς διακοπή όλη την διάρκεια του χρόνου κάθε ώρα. Στον ίδιο χώρο βρίσκεται και η κουζίνα με φούρνο, η οποία είναι η συσκευή με την περισσότερη κατανάλωση ενέργειας. Το αισθητό θερμικό κέρδος του χώρου από την

κουζίνα είναι 5.000W ενώ το λανθάνον κέρδος είναι 800 W. Η λειτουργία της κουζίνας έχει καθοριστεί σε 2 ώρες ημερησίως τις μεσημεριανές ώρες με συντελεστή λειτουργίας 0,70 (καθώς δεν λειτουργούν και τα 4 μάτια με τον φούρνο ταυτόχρονα) αλλά και από μία ώρα πρωί και βράδυ για την εξυπηρέτηση των αναγκών των χρηστών των χώρων με συντελεστή λειτουργίας 0,13 (αν θεωρηθεί ότι λειτουργεί το ένα μάτι). Τέλος το πλυντήριο βρίσκεται στον χώρο του μπάνιο. Σαν πρόγραμμα λειτουργίας του έχει καθοριστεί η μέση διάρκεια της 1 ώρας και 30 λεπτών 3 μέρες την εβδομάδα. Το αισθητό κέρδος του χώρου από το πλυντήριο ανέρχεται στα 2.300 W και το λανθάνον κέρδος στα 800W.

### • Συστήματα HVAC

Όπως αναφέρθηκε και άνωθεν, το κτήριο περιέχει μόνο σύστημα θέρμανσης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου αναλύθηκαν και είναι πλέον γνωστά. Ωστόσο, και το σύστημα θέρμανσης έχει συγκεκριμένο πρόγραμμα λειτουργίας το οποίο έπρεπε να δημιουργηθεί και να καταχωρηθεί στο μοντέλο. Η ανάγκη για θέρμανση υπάρχει τους χειμερινούς μήνες όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από το επιθυμητό επίπεδο των χρηστών του κτηρίου και τις ώρες που αυτοί βρίσκονται στο εσωτερικό του. Συνεπώς το σύστημα θέρμανσης είναι απενεργοποιημένο για την κάλυψη των θερμικών φορτίων από 1<sup>η</sup> Μαΐου έως 30 Σεπτεμβρίου όπου οι θερμοκρασίες είναι σχετικά υψηλές. Το υπόλοιπο του χρόνου, ενεργοποιείται όταν οι ένοικοι της κατοικίας βρίσκονται εντός αυτής, δηλαδή 16:00-24:00 τις καθημερινές και 11:00-24:00 το Σαββατοκύριακο, εάν και εφόσον η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη του ορίου που έχει τεθεί στον θερμοστάτη, η οποία έχει καθοριστεί στους 20°C σύμφωνα με τα παγκόσμια πρότυπα θερμικής άνεσης.

Ο εξαερισμός στον οποίο υπόκειται το κτήριο είναι φυσικός καθώς δεν υπάρχει σύστημα μηχανικού εξαερισμού. Ο εξαερισμός πραγματοποιείται συνήθως τις ώρες που απουσιάζουν οι χρήστες του σπιτιού και το σύστημα θέρμανσης είναι εκτός λειτουργίας (8:00-16:00). Τις ώρες αυτές ο εξαερισμός φτάνει τα 2ach (air changes per hour), δηλαδή ο όγκος αέρα του εκάστοτε δωματίου αντικαθίσταται στο 100% ανά μισή ώρα.

Στην ενότητα του εξαερισμού των χώρων συμπεριλαμβάνεται και η διήθηση αέρα (infiltration). Πρόκειται για τυχαία (μη σκόπιμη) διήθηση του αέρα από το εξωτερικό στο εσωτερικό του κτηρίου μέσω ανοιγμάτων, ρωγμών και πόρων στο εξωτερικό κέλυφος του κτηρίου. Εναλλακτική ονομασία αυτού του φαινομένου είναι ο αερισμός λόγω αεροστεγανότητας. Η τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής εξαερισμού λόγω αεροστεγανότητας υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$V_{inf} = \sum (la)RH$$

όπου:

- l: το μήκος χαραμάδων από κάθε ανοίγματος (m)
- α: συντελεστής αεροδιαπερατότητας κάθε ανοίγματος
- R: συντελεστής διεισδυτικότητας
- H: συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης

Για τον υπολογισμό της ακριβούς τιμής, μετρήθηκε το συνολικό μήκος των χαραμάδων των παραθύρων (36,92 m) και των 2 εξωτερικών πορτών (17,97 m). Στην συνέχεια ορίστηκαν οι τιμές στις μεταβλητές R (0,9) και H (2,71) και υπολογίστηκε ότι η διείσδυση αέρα λόγω

αεροστεγανότητας ανέρχεται στα 257,55 m<sup>3</sup>/h. Ο όγκος του κτηρίου υπολογίστηκε πως είναι 286,66 m<sup>3</sup> μέσω του προγράμματος IES VE, οπότε η μεταβλητή «Infiltration» ορίστηκε 0,90 ach.

Όλα τα δεδομένα που αναλύθηκαν στο υποκεφάλαιο 3.2 καταχωρήθηκαν αναλυτικά στο πρόγραμμα στο IES VE και εκτελέστηκε η προσομοίωση, της οποίας τα αποτελέσματα καθώς και όλων των εναλλακτικών σεναρίων παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.



## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

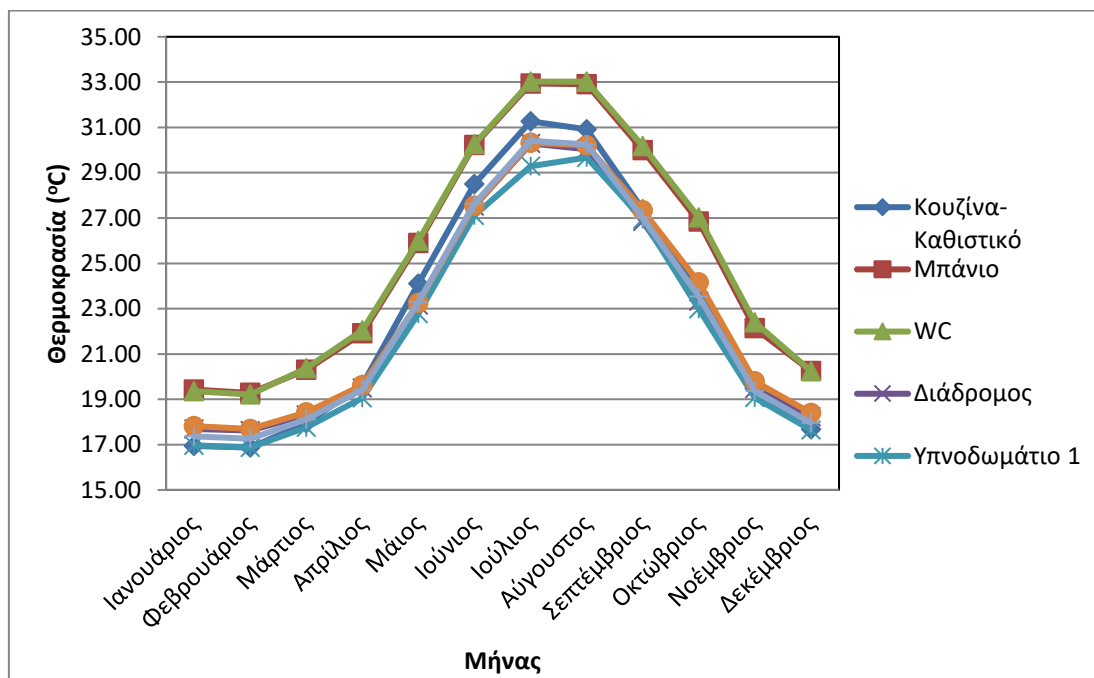
### 4.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Μετά από την μοντελοποίηση του υπό μελέτη κτηρίου, την εισαγωγή όλων των απαραίτητων δεδομένων και την επιτυχή προσομοίωση αυτής, το πρόγραμμα IES VE έκανε όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς και εξέδωσε τα αποτελέσματα, εκ των οποίων ακολουθεί η παρουσίαση των σημαντικότερων που θα συμβάλλουν στην έκδοση χρήσιμων συμπερασμάτων.

- **Θερμοκρασία αέρα δωματίου**

Το πρόγραμμα IES VE το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη εξήγαγε τιμές για την θερμοκρασία αέρα για ένα ολόκληρο έτος, για κάθε δωμάτιο του κτηρίου ανά ώρα. Η μελέτη αυτών των τιμών βοηθάει στην κατανόηση της άνεσης των ανθρώπων που διαμένουν στην οικία και στο κατά πόσο χρειάζεται να θερμάνουν ή να ψύξουν τον χώρο έτσι ώστε να έρθει στα επιθυμητά επίπεδα (τα οποία ορίζονται από τα setpoints που έχουν τεθεί για την έναρξη της θέρμανσης και της ψύξης). Επίσης σε συνάρτηση με το μέγεθος του χώρου και τα εσωτερικά θερμικά κέρδη του κάθε δωματίου βοηθάει στην κατανόηση προβλημάτων κάποιου χώρου έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες αλλαγές (π.χ. αλλαγή ηλεκτρικών συσκευών, μόνωση, ψύξη). Στο διάγραμμα 4.1 που παρουσιάζεται παρακάτω φαίνεται αναλυτικά η διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας αέρα για κάθε δωμάτιο της οικίας σε κλίμακα βαθμών Κελσίου, ανά μήνα.

Διάγραμμα 4.1. Μέση τιμή θερμοκρασίας αέρα δωματίου



Παρατηρείται ότι για κάθε μήνα οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρουσιάζονται στο WC και στο μπάνιο, ενώ τα υπόλοιπα δωμάτια του σπιτιού έχουν πανομοιότυπες τιμές

θερμοκρασίας αέρα με διαφορά περίπου 2°C. Για την συγκεκριμένη παρατήρηση πρέπει να σημειωθεί ότι το WC και το μπάνιο αποτελούν τους μικρότερους χώρους του κτηρίου σε επιφάνεια και μέγεθος, αλλά και στον χώρο του μπάνιου υπάρχει η συσκευή του πλυντηρίου, η δεύτερη μεγαλύτερη συσκευή σε ισχύ κατανάλωσης ενέργειας. Οι παραπάνω διαπιστώσεις σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα πως οι μικρότεροι χώροι επηρεάζονται πιο άμεσα και ραγδαία από τα φορτία τα οποία υπάρχουν στον χώρο ακόμα και αν οι τιμές τους είναι σχετικά μικρές. Χαρακτηριστικά, ο χώρος με την μεγαλύτερη θερμοκρασία όπως είναι το WC (επιφάνειας και όγκου), έχει ως φορτίο ένα λαμπτήρα (20W) και τους κατοίκους οι οποίοι εισέρχονται πιθανώς εντός του χώρου κατά την διάρκεια της ημέρας. Το μπάνιο το οποίο σαν χώρος έχει μεγαλύτερες διαστάσεις, έχει και μεγαλύτερο φορτίο καθώς περιέχει και ηλεκτρική συσκευή της τάξης των 2.300W, η οποία λειτουργεί ανά δύο μέρες για ενενήντα λεπτά, παρουσιάζει ελαφρώς μικρότερη μέση θερμοκρασία ανά μήνα.

Σε αντίθεση με τους χώρους του μπάνιου και του WC, ο χώρος κουζίνας-καθιστικού που περιέχει σημαντικό ποσοστό μεγαλύτερο φορτίων από τους υπόλοιπους χώρους έχει τις μικρότερες τιμές θερμοκρασίας αέρα. Τέλος, η σημαντικότητα του μεγέθους ενός χώρου φαίνεται από την σύγκριση των υπνοδωματίων 1 και 2 που περιέχουν τα ίδια σχεδόν φορτία (το υπνοδωμάτιο 2 περιέχει ένα λιγότερο άτομο άρα περίπου 100 W λιγότερα), το υπνοδωμάτιο 1 είναι μεγαλύτερο του υπνοδωματίου 2 κατά 13.6 m<sup>2</sup> αλλά το Υπνοδωμάτιο 2 παρουσιάζει μεγαλύτερες θερμοκρασίες κατά 1°C περίπου.

Βέβαια, αρκετά σημαντικός παράγοντας αποτελεί και ο προσανατολισμός κάθε δωματίου. Ο προσανατολισμός αφορά κυρίως τη θέση του ήλιου ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή. Στον εσωτερικό χώρο, ο ήλιος δεν είναι πάντα επιθυμητός. Άλλες φορές είναι θεμιτό να εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο (για παράδειγμα το χειμώνα) και άλλες φορές να αποτρέπεται (για παράδειγμα το καλοκαίρι). Οι ηλιακές ακτίνες που εισέρχονται σε ένα δωμάτιο από την ανατολή ή τη δύση δεν έχουν μεγάλη διάρκεια σε σχέση με τις ακτίνες που εισέρχονται από το νότο. Επιπλέον, στην ανατολή και τη δύση ο ήλιος είναι χαμηλά στον ορίζοντα και έτσι οι ακτίνες εισχωρούν βαθιά μέσα στην κατοικία. Το υπνοδωμάτιο 1 έχει νοτιοδυτικό προσανατολισμό, με αποτέλεσμα η ακτινοβολία του ήλιου να το επηρεάζει λίγες ώρες της ημέρας, κυρίως τις απογευματινές. Το Υπνοδωμάτιο 2 ένα έχει νότιο προσανατολισμό, πιο ευάλωτο στην ηλιακή ακτινοβολία με περισσότερες μέρες έκθεσης.

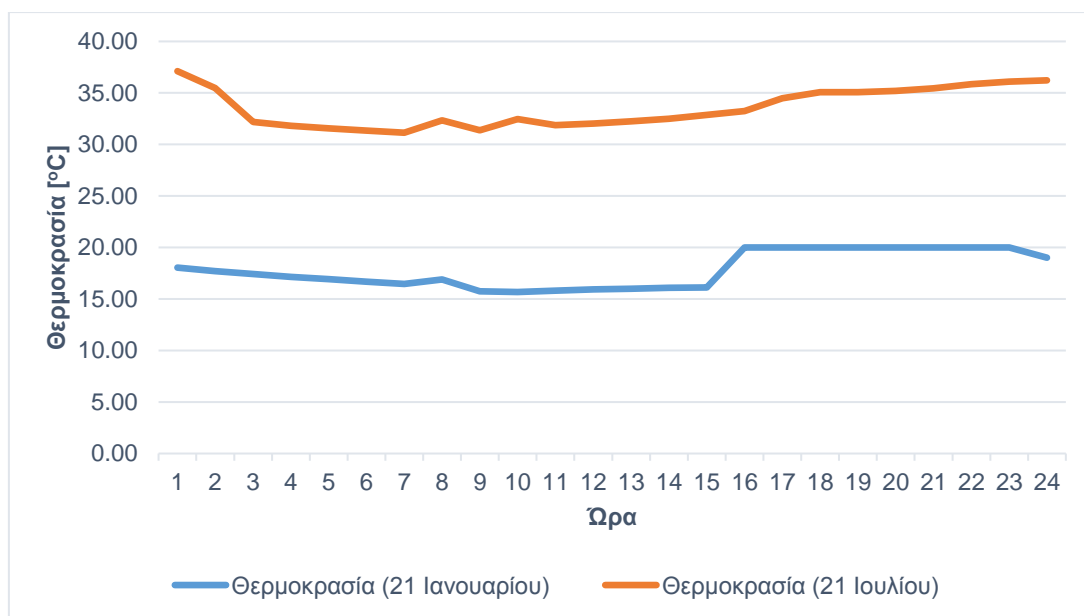
Ο ανατολικός προσανατολισμός προσφέρει φωτισμό και ηλιακή θερμική ενέργεια κατά τις πρωινές ώρες, έχει μικρή διάρκεια και έτσι αναζωογονεί τα δωμάτια χωρίς να τα υπερθερμαίνει. Ειδικά το καλοκαίρι, ο ανατολικός προσανατολισμός επιτρέπει το δροσισμό ενός χώρου από το μεσημέρι και μετά. Αν παρατηρηθεί το ετήσιο προφίλ των θερμοκρασιών του διαγράμματος 4.1, τα δωμάτια με ανατολικό προσανατολισμό (πολυχώρος κουζίνας-καθιστικού, Υπνοδωμάτιο 3) έχουν τις χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας. Ο πολυχώρος κουζίνας – καθιστικού που ενώ περιέχει τις περισσότερες συσκευές και πηγές θερμότητας (Internal gains), έχει τις μικρότερες απαιτήσεις για θέρμανση του χώρου. Ωστόσο, ο πολυχώρος έχει βορειοανατολικό προσανατολισμό, με μεγάλο άνοιγμα μάλιστα στον βόρειο τοίχο του κτηρίου. Λόγω του ότι τα δωμάτια με βορινό προσανατολισμό πλήττονται περισσότερο από το κρύο, συνήθως πρέπει να προστατεύονται με μόνωση, ενώ πρέπει να έχουν μικρά ανοίγματα και μάλιστα σωστά μονωμένα (διπλοί υαλοπίνακες, με θερμοδιακοπή). Την θερινή περίοδο τα βορινά δωμάτια

είναι πιο δροσερά από τα υπόλοιπα. Όλα όσα προαναφέρθηκαν αποτελούν άλλη μια εξήγηση για τις χαμηλότερες θερμοκρασίες του πολυχώρου σε σχέση με τα άλλα δωμάτια.

Τέλος, για τους χώρους του μπάνιου και του WC, εκτός από όσα διατυπώθηκαν πιο πάνω, ο προσανατολισμός τους είναι νότιος. Συνήθως αποτελεί τον ιδανικό προσανατολισμό ενός δωματίου (ειδικά στην Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής της θέσης). Την χειμερινή περίοδο η ηλιακή ακτινοβολία είναι σε χαμηλότερο επίπεδο και διεισδύει βαθύτερα στον εσωτερικό του χώρο με αποτέλεσμα την θέρμανση και τον φωτισμό των δωματίων, ενώ το καλοκαίρι η ακτινοβολία είναι σε υψηλότερο επίπεδο και μπορεί να εμποδιστεί αν είναι απαραίτητο με ένα απλό στέγαστρο. Συνεπώς, και η σχεδόν συνεχόμενη ακτινοβολία παίζει σημαντικό ρόλο στις μεγαλύτερες θερμοκρασίες των νότιων δωματίων.

Χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να βγουν και από την μελέτη των προφίλ θερμοκρασίας μιας χειμερινής και μια θερινής ημέρας, όπως παρουσιάζονται στο γράφημα 4.2. Για την αποτύπωσή τους επιλέχθηκαν δύο τυχαίες μέρες, η 21<sup>η</sup> Ιανουαρίου και η 21<sup>η</sup> Ιουλίου. Στο χειμερινό προφίλ παρατηρείται ότι μέχρι τις 15:00 η θερμοκρασία διακυμαίνεται από 15 έως 17°C καθώς το σπίτι συνήθως δεν κατοικείται από τους κατοίκους του οι οποίοι λείπουν στις δραστηριότητες εκτός σπιτιού, ενώ από τις 15:00 έως τις 23:00 που το σπίτι κατοικείται και το σύστημα θέρμανσης ενεργοποιείται η θερμοκρασία αυξάνεται άμεσα και σταθεροποιείται στους 20°C.

Διάγραμμα 4.2. Ημερήσιο προφίλ μέσης θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα του κτηρίου σε δύο τυχαίες μέρες χειμώνα και καλοκαιριού



Στο θερινό προφίλ η θερμοκρασία βρίσκεται σε συνεχή διακύμανση καθώς δεν υφίσταται σύστημα ψύξης της οικίας. Ακόμα και τις ώρες που το σπίτι δεν κατοικείται, δηλαδή δεν υπάρχει ανθρώπινο φορτίο και οι συσκευές είναι όλες εκτός λειτουργίας, η θερμοκρασία δεν κατεβαίνει κάτω από τους 30°C. Από τις 15:00 που ενεργοποιούνται όλα τα φορτία παρατηρείται ότι η θερμοκρασία ανεβαίνει άνω των 35°C. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα θα μπορούσαν να δικαιολογηθούν και από το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή και τις θερμοκρασίες. Η τοποθεσία του κτηρίου είναι το Ακρωτήρι Ν. Χανίων

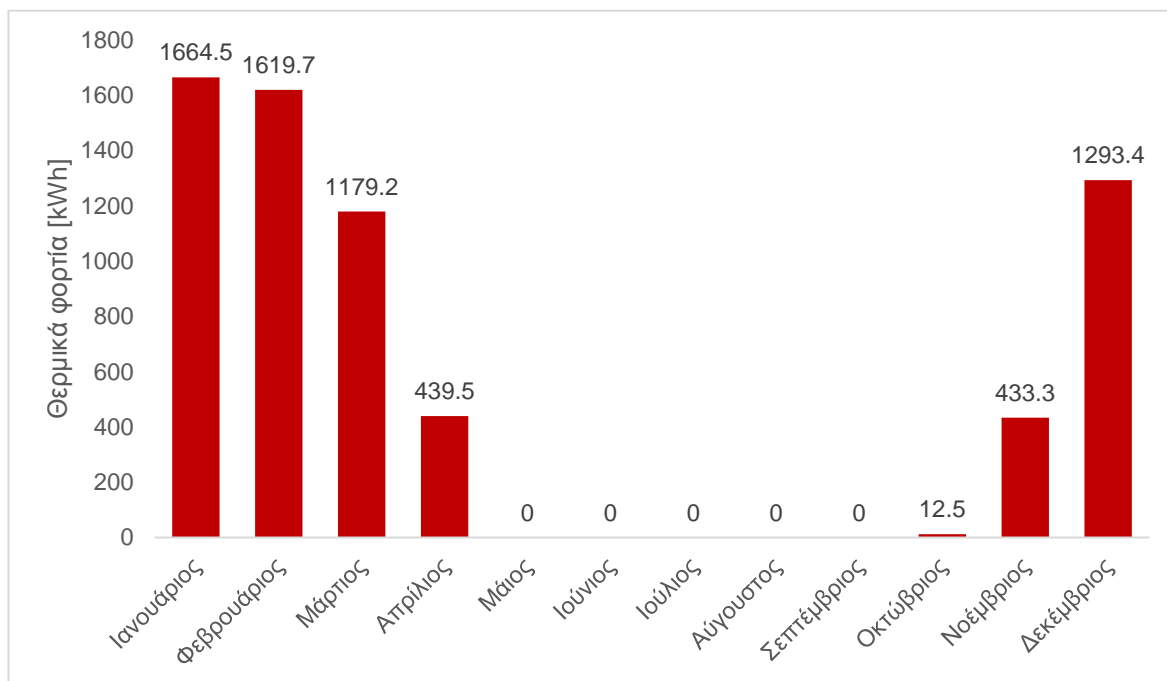
συνεπάγεται ότι οι χειμώνες είναι ήπιοι ενώ το καλοκαίρι υπάρχουν αρκετά μεγάλες θερμοκρασίες .

Σύμφωνα με τις οδηγίες TOTEE 20701-1/2010 (Α' Έκδοση), οι καθοριζόμενες τιμές θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων για μία μονοκατοικία δεν πρέπει να είναι χαμηλότερα από 20°C τον χειμώνα όταν κατοικείται, ούτε να υπερβαίνει τους 26°C το καλοκαίρι, κάτι το οποίο προφανώς δεν επιτυγχάνεται. Αυτό συνεπάγεται ότι πιθανώς οι κάτοικοι του κτηρίου δεν έχουν την απαιτούμενη θερμική άνεση για την διαβίωση τους και για την μέγιστη επιθυμητή απόδοση σε διάφορες ενέργειες τους (π.χ. εργασία). Αυτό ίσως απαιτεί την εγκατάσταση και συστήματος ψύξης με σκοπό την δημιουργία καλύτερων συνθηκών για την βέλτιστη θερμική άνεση των ανθρώπων που κατοικούν την οικία. Βέβαια θα έχει μεγαλύτερη απαιτούμενη ενέργεια και κατ' επέκταση μεγαλύτερες εκπομπές CO<sub>2</sub> εκτός αν το σύστημα ψύξης χρησιμοποιεί εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

- **Θερμικά φορτία**

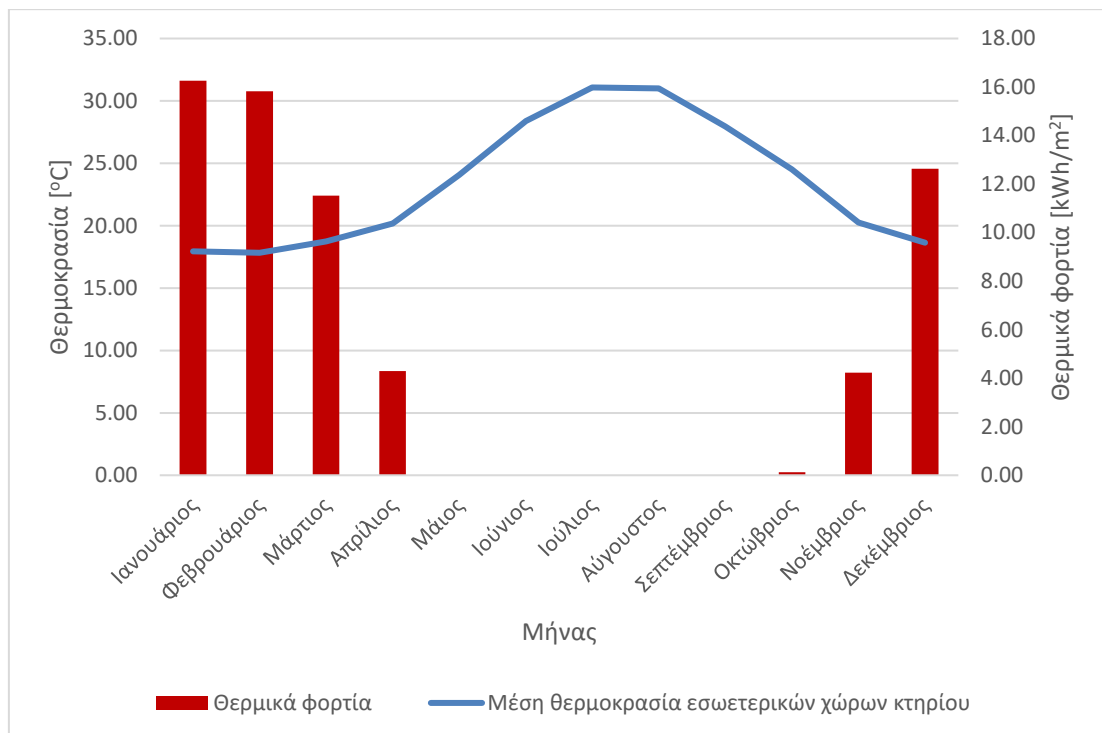
Η υπό μελέτη οικία δεν περιέχει σύστημα ψύξης με αποτέλεσμα να μην καταναλώνεται ενέργεια για την κάλυψη των φορτίων ψύξης από το κεντρικό σύστημα θέρμανσης. Το συνολικό ποσό των φορτίων ανέρχεται στις 64,94 kWh/(year m<sup>2</sup>) ή 6.642,10 kWh οι οποίες για να καλυφθούν από το σύστημα καταναλώνουν πετρέλαιο και όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω ανεβάζουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> τους μήνες που απαιτούνται τα φορτία. Για την μείωση των φορτίων και κατ' επέκταση την αντιμετώπιση κάθε είδους αντίκτυπου που έχει στο περιβάλλον απαιτείται η λήψη μέτρων όπως η προσθήκη μόνωσης στο κτήριο, η αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης με αντίστοιχο που καταναλώνει άλλο καύσιμο πιο φιλικό προς το περιβάλλον αλλά και για το σύστημα ψύξης μόνο αν σε περίπτωση κριθεί αναγκαία η δημιουργία και χρήση του, και κάθε επέμβαση στο κέλυφος του κτηρίου. Τα αποτελέσματα των φορτίων διατυπώνονται στο διάγραμμα 4.3:

Διάγραμμα 4.3. Θερμικά φορτία κτηρίου



Η διακύμανση της θερμοκρασίας στο εξωτερικό και κατ' επέκταση στο εσωτερικό περιβάλλον του σπιτιού συμβάλει σημαντικά στην παρουσία ή μη φορτίων για το κτήριο. Τα μεγαλύτερα φορτία παρουσιάζονται τους χειμερινούς μήνες όπου υπάρχει μεγάλη ανάγκη θέρμανσης λόγω χαμηλών θερμοκρασιών οι οποίες ξεπερνάνε την καθορισμένη τιμή στον θερμοστάτη για την ενεργοποίηση του συστήματος θέρμανσης, ενώ υπάρχει ακόμα η ανάγκη για θέρμανση ακόμα και τους πρώτους δύο εαρινούς μήνες αλλά και τον Νοέμβριο (μειωμένα κατά πολύ). Αυτό θα μπορούσε να διαπιστωθεί και από την μελέτη των θερμοκρασιών οι οποίες συνδέονται με τα θερμικά φορτία, και η σύγκριση της μεταξύ τους σχέσης παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.4.

Διάγραμμα 4.4. Σύγκριση σχέσης θερμικών φορτίων με την μέση θερμοκρασία αέρα των εσωτερικών χώρων του κτηρίου

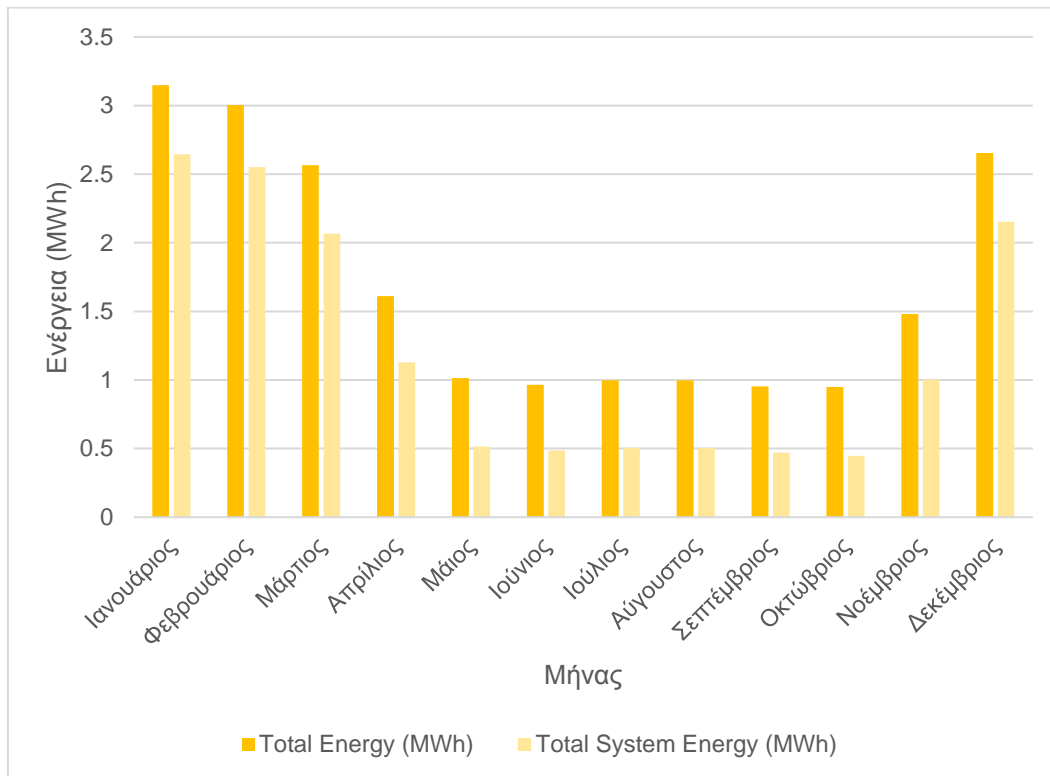


- **Κατανάλωση ενέργειας**

Για την κάλυψη των θερμικών φορτίων ο καυστήρας καταναλώνει πετρέλαιο και συνεπώς παράγει ενέργεια για να καταναλωθεί σαν θέρμανση. Το κτήριο όμως, για την πλήρη λειτουργία του απαιτεί κατανάλωση ενέργειας για διάφορους τομείς όπως η λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών, η θέρμανση ZNX και ο φωτισμός. Συνεπώς καταναλώνεται ένα συνολικό ποσό ενέργειας από διάφορες μορφές και πηγές, οι οποίες αν αθροιστούν μας δίνουν το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται. Τα ποσά κατανάλωσης ενέργειας σε μηνιαία βάση αποτυπώνονται στο διάγραμμα 4.4, όπου αναλύονται οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες ανά μήνα σε MWh στο σύνολό τους, αλλά και ξεχωριστά το άθροισμα της ενέργειας που παράγεται το σύστημα (Total System Energy). Η συνολική ενέργεια συστήματος (Total System Energy) είναι η συνολική κατανάλωση ενέργειας του συστήματος ή ουσιαστικά το άθροισμα της ενέργειας που παράγεται από οποιαδήποτε μορφή καυσίμου για να ικανοποιήσει τις ανάγκες για θέρμανση, ψύξη, αερισμό και ZNX. Αν κάποια μορφή ενέργειας παραγόταν από ανανεώσιμες πηγές, τότε θα παρουσιαζόταν με αρνητικό πρόσημο στο μηνιαίο ισοζύγιο. Παρατηρείται ότι γενικά στο

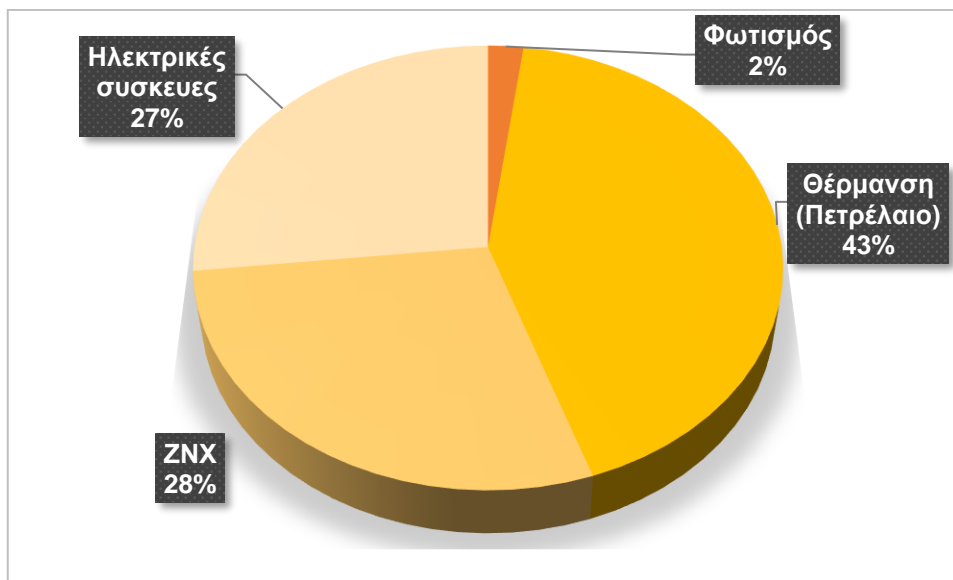
κτηρίο καταναλώνονται 20,29 MWh ετησίως από τις οποίες οι 14,43 MWh, το 71,12% δηλαδή, καταναλώνονται από το σύστημα. Η ετήσια κατανάλωση του κτηρίου η οποία ξεπερνάει τις 198 kWh/m<sup>2</sup> είναι αρκετά πάνω από τα επίπεδα των ελληνικών αλλά και ευρωπαϊκών κατοικιών.

Διάγραμμα 4.5. Κατανάλωση ενέργειας του κτηρίου



Το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται πρέπει να αναλυθεί στις επιμέρους καταναλώσεις για να διαπιστωθεί ποιοι είναι οι αρχικοί στόχοι για να αποφέρουν τα θεμιτά αποτελέσματα. Το διάγραμμα 4.5 αποτυπώνει τις ποσοστιαίες καταναλώσεις ενέργειας για όλες τις επιμέρους ανάγκες του σπιτιού. Το κεντρικό σύστημα θέρμανσης με πηγή ενέργειας το πετρέλαιο καταναλώνει το 43% της συνολικής ενέργειας, ένα πολύ σημαντικό ποσοστό. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τις ηλεκτρικές συσκευές του κτηρίου ανέρχεται στο 27% ενώ ο θερμοσίφωνας καταναλώνει το 28%, διότι παρόλο που τροφοδοτείται με ηλιακή ενέργεια για την θέρμανση 160 L νερού, απαιτείται η θέρμανση άλλων 40 L ημερησίως. Αυτή η επιπρόσθετη ανάγκη οδηγεί στην επιπρόσθετη κατανάλωση 2,65 MWh ηλεκτρικού ρεύματος και 3,15 MWh από το σύστημα θέρμανσης με το οποίο είναι συνδεδεμένο. Πρώτο μέλημα λοιπόν αποτελεί η μείωση των θερμικών φορτίων με σωστή θωράκιση του κτηριακού κελύφους και η εύρεση εναλλακτικής λύσης για το σύστημα θέρμανσης αλλά και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για να αποφευχθεί η καύση λιγνίτη και οι εκπομπές που προκύπτουν. Όμως η κατανάλωση για την παραγωγή ΖΝΧ δεν περνάει απαρατήρητη και η αντικατάσταση του θερμοσίφωνα με έναν μεγαλύτερης χωρητικότητας ίσως βοηθούσε σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας.

Διάγραμμα 4.6. Επιμέρους καταναλώσεις ενέργειας της οικίας

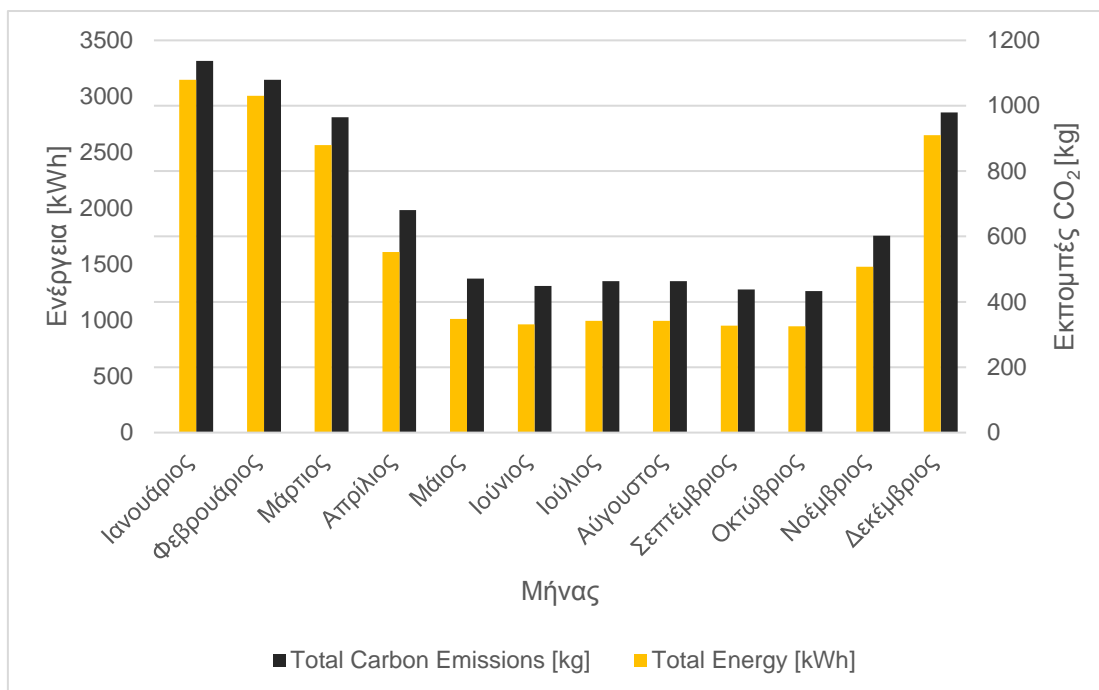


Ο απώτερος σκοπός της μελέτης είναι η απεξάρτηση κτηρίου από άνθρακα. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει αρχικά να μειωθούν οι καταναλώσεις στο μέγιστο δυνατό βαθμό, έτσι ώστε να απομείνει μικρή ποσότητα για την παραγωγή της από εναλλακτικές πηγές. Σε αυτό το σημείο σκοπός είναι η μέγιστη δυνατή μείωση δαπανώμενης ενέργειας. Πέρα από τους τρόπους εξοικονόμησης που παρατέθηκαν στην ενότητα των φορτίων απαιτείται η αντικατάσταση κάθε συσκευής που υπάρχει στο κτήριο με άλλες όμοιες καλύτερης ενεργειακής απόδοσης και τελευταίας τεχνολογίας, ίσως και μείωση στην χρήση ορισμένων συσκευών όπου υπάρχει αυτή η δυνατότητα.

- **Εκπομπές CO<sub>2</sub>**

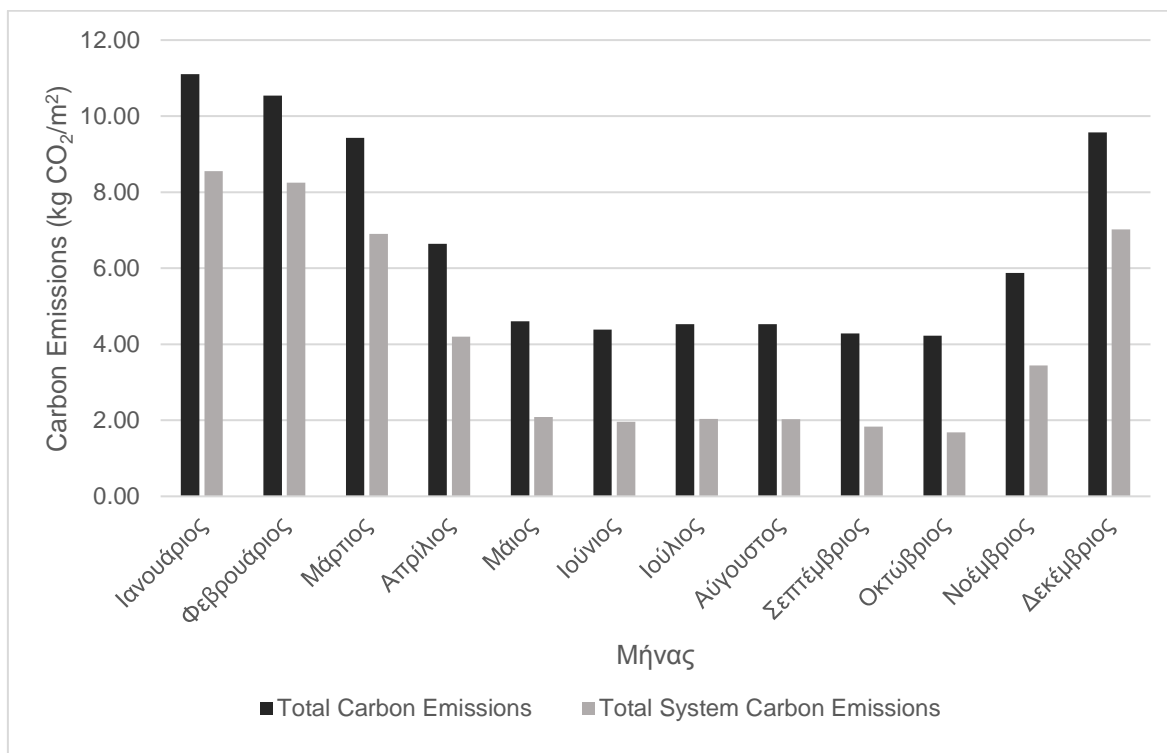
Η παραγωγή ενέργειας από οποιαδήποτε συμβατική πηγή έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον. Όπως αναλύθηκε και στο κεφάλαιο 1 ο κτηριακός τομέας είναι μια από τις βασικές αιτίες κατανάλωσης ενέργειας και αποτελεί πολύ βασικό μέρος των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub>, με τον οικιστικό τομέας να ευθύνεται για το 17% αυτών. Ύστερα από την μοντελοποίηση του υπό μελέτη κτηρίου προκύπτουν τα αποτελέσματα που φαίνονται παρακάτω, τα οποία αποτελούν απόρροια των ενεργειακών απαιτήσεων που παρουσιάστηκαν (συνολική κατανάλωση ενέργειας). Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> έχουν άμεση σχέση με την ενέργεια που καταναλώνεται και αυτό διατυπώνεται από την περίπου ανάλογη διακύμανση των τιμών της κάθε ενότητας. Η πιστή αποτύπωση της συγκεκριμένης διαπίστωσης είναι το διάγραμμα 4.7 που περιέχει συνδυαστικά την συνολική κατανάλωση ενέργειας σε MWh (Total Energy) και τις συνολικές εκπομπές σε kg CO<sub>2</sub> (Total Carbon Emissions). Κύρια πηγή του CO<sub>2</sub> είναι ο τύπος παραγωγής ενέργειας που είναι το πετρέλαιο και ο λιγνίτης, το οποίο δαπανάται για την παραγωγή της. Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε ετήσιες εκπομπές 8,2 τόνους από τις οποίες σχεδόν 5,1 τόνοι είναι από τις χρήσεις καυσίμων για την κάλυψη αναγκών όπως η θέρμανση και το ZNX.

Διάγραμμα 4.7. Σύγκριση σχέσης κατανάλωσης ενέργειας με εκπομπές CO<sub>2</sub>



Οι ποσότητες των μηνιαίων εκπομπών καθώς και της συνολικής ετήσιας είναι αρκετά μεγάλες. Όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 4.8, οι συνολικές εκπομπές ανέρχονται στους 8,2 τόνους ετησίως ή πιο συγκεκριμένα 79,80 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> τον χρόνο. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά μεγάλες για μια οικία 100m<sup>2</sup> περίπου και για μια τετραμελή οικογένεια, σύμφωνα με τις συνήθειες τιμές στις Ευρωπαϊκές χώρες αλλά κυρίως με τις τιμές που έχουν τεθεί από τα κράτη για την επίτευξη των θεμιτών στόχων των επόμενων ετών.

Διάγραμμα 4.8. Άμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> του κτηρίου





Αν ληφθούν υπόψη οι τιμές εκπομπών που έχουν θεσπιστεί από τα κράτη παγκοσμίως για το βραχύ μέλλον αλλά και σε βάθος χρόνου, με γνώμονα την μεγαλύτερη αυστηρότητα στα όρια, θα πρέπει σίγουρα να υπάρξει μείωση των υφιστάμενων εκπομπών σε μεγάλο βαθμό. Σκοπός της μελέτης είναι η μέγιστη δυνατή μείωση, ακόμα και η εκμηδένιση των εκπομπών αυτών. Κύριος τρόπος για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος είναι η αντικατάσταση των συμβατικών πηγών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες θα έχουν σαν αποτέλεσμα την βέλτιστη μείωση.

Έχοντας αποτυπώσει όλα τα αποτελέσματα έχουν εντοπιστεί όλα τα σημεία που χρειάζεται να πραγματοποιηθεί επέμβαση στο κτήριο με συγκεκριμένες τεχνικές, ξεχωριστά για κάθε ενότητα αλλά και συνολικά. Μετά την εφαρμογή κάθε επέμβασης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι επιδράσεις της στα θερμικά φορτία, στη κατανάλωση ενέργειας και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

## **4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ**

Έχοντας σαν στόχο την μείωση των θερμικών φορτίων, της κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου και κυρίως την μείωση των εκπομπών άνθρακα του κτηρίου εφαρμόστηκε πληθώρα σεναρίων επέμβασης στο κτήριο και στον εξοπλισμό του. Οι επεμβάσεις αυτές είτε αφορούσαν την επέμβαση στο κέλυφος του κτηρίου με την τοποθέτηση μόνωσης ή αντικατάσταση κουφωμάτων, είτε την αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών με νέες καλύτερης ενεργειακής κλάσης, είτε με την αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης με πηγή το πετρέλαιο, με καυστήρα άλλης πηγής ενέργειας. Για κάθε μέτρο ξεχωριστά, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση στο IES VE για να διαπιστωθεί η επίδραση που είχε στο κτήριο σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση.

### **4.2.1. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ**

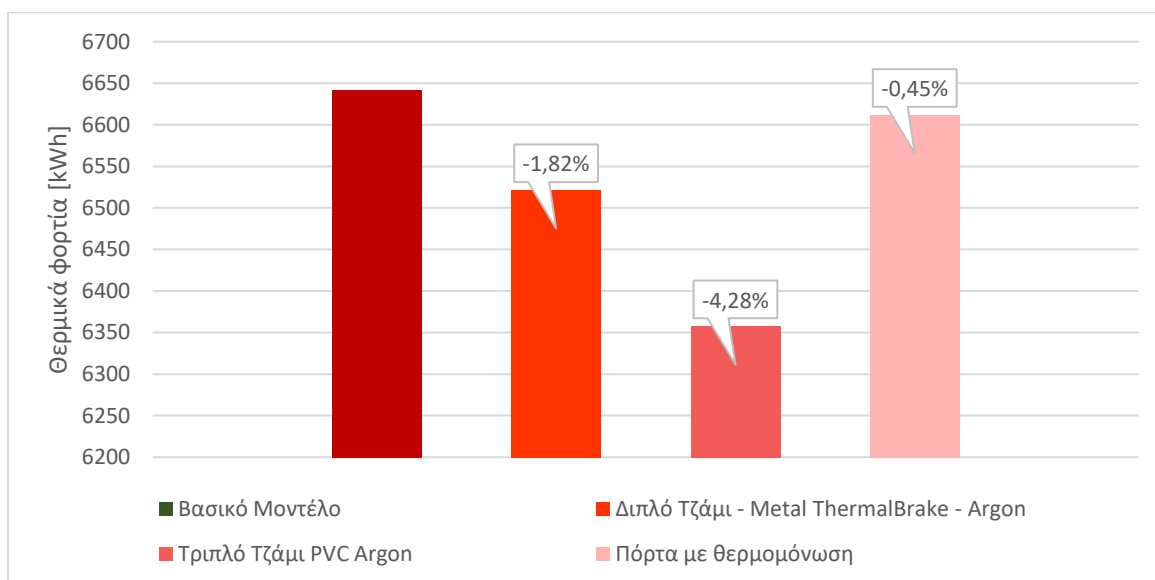
Τα πρώτα δύο σενάρια που εφαρμόστηκαν αφορούσαν την αντικατάσταση των κουφωμάτων του κτηρίου. Το πρώτο σενάριο αφορά παράθυρο με διπλό υαλοπίνακα πάχους 4 mm έκαστος, το διάκενο ανάμεσα τους έχει πάχος 14 mm και αποτελείται από το ευγενές αέριο Αργό (10% πλήρωση) και τα πλαίσια των παραθύρων είναι κατασκευασμένα με μεταλλικό υλικό στο ενδιάμεσο του οποίου υπάρχει θερμοδιακοπή (thermal break). Το δεύτερο σενάριο αφορούσε δοκιμή τριπλού υαλοπίνακα 4mm έκαστος, με 2 διακένα από Αργό των 12 mm το καθένα (10% πλήρωση) και κούφωμα από PVC. Το πλαίσιο από PVC επιλέχθηκε για δοκιμή λόγω της πολύ μεγάλης ικανότητας θερμομόνωσης που έχει (το πλαστικό είναι κακός αγωγός θερμότητας) και της δυνατότητας ανακύκλωσης. Ο λόγος επιλογής του Αργού για την πλήρωση των διακένων είναι η πολύ καλή ποιότητα μόνωσης με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0,017 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Τα χαρακτηριστικά των παραθύρων που δοκιμάστηκαν σε προσομοιώσεις αντικαθιστώντας τα υφιστάμενα παράθυρα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Τιμές  $U_{value}$  των υπό δοκιμή παραθύρων

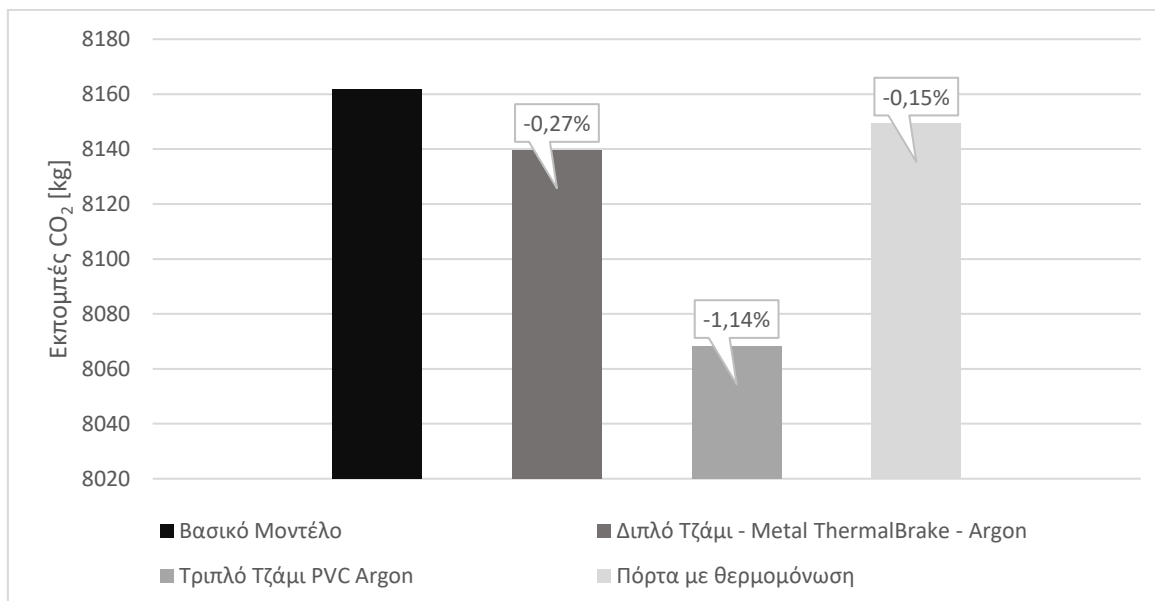
	Διπλός Υαλοπίνακας με αργό και αλουμινένιο πλαίσιο με thermalbreak	Τριπλός υαλοπίνακας με αργό και πλαίσιο PVC
$U_g$ [W/(m <sup>2</sup> *K)]	1,1316	1,4887
$U_f$ [W/(m <sup>2</sup> *K)]	2,1217 (10% πλήρωση)	0,8929 (10% πλήρωση)
Net $U_{value}$ [W/(m <sup>2</sup> *K)]	1,2312	1,4291

Επίσης μέρος του κτηριακού κελύφους το οποίο ανήκει στην κατηγορία των κουφωμάτων είναι η πόρτα. Μάλιστα το κτήριο που μελετήθηκε έχει 2 εξωτερικές πόρτες, η μία στα ανατολικά στον χώρο κουζίνας-καθιστικού και η δεύτερη συνδέει τον ίδιο χώρο με την πιλοτή. Οι νέες πόρτες που δοκιμάστηκαν σε προσομοίωση είναι κατασκευασμένες από ξύλο με πάχος 70 mm και  $U_{value} = 0,91$  W/(m<sup>2</sup>K). Τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις παρουσιάζονται στα διάγραμμα 4.9.

Διάγραμμα 4.9. Θερμικά φορτία κτηρίου μετά την αντικατάσταση των κουφωμάτων



Διάγραμμα 4.10. Εκπομπές CO<sub>2</sub> μετά την αντικατάσταση των κουφωμάτων



Από τα διαγράμματα 4.9 και 4.10 διαπιστώνεται ότι μεταξύ τους η διαφορά είναι ελάχιστη. Στα θερμικά φορτία ο τριπλός υαλοπίνακας λόγω της μιας επιπλέον στρώσης Αργού αλλά και του πλαισίου PVC με μικρότερο  $U_g$  προσφέρει καλύτερη μόνωση στο κτήριο, που ξεπερνάει το 4% στην μείωση των θερμικών φορτίων, με τον διπλό υαλοπίνακα να αγγίζει το 2%. Όμως όπως παρατηρείται στις εκπομπές CO<sub>2</sub> που είναι και το μεγαλύτερο κριτήριο επιλογής ανάμεσα σε ίδια μέτρα, οι διαφορές είναι ελάχιστες. Οι μειώσεις σε εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι πολύ μικρές και για την κατάλληλη επιλογή θα πρέπει να επιθεωρηθούν και οι εκπομπές ενσωματωμένου CO<sub>2</sub> (embodied carbon), δηλαδή όσες απελευθερώνονται κατά την διάρκεια παραγωγής, μεταφοράς, εγκατάστασης και ανακύκλωσης τους. Η παραγωγή ενός επιπλέον υαλοπίνακα για κάθε παράθυρο, η μια επιπλέον στρώση αργού και η παρασκευή πλαισίων από PVC σίγουρα θα δημιουργεί περισσότερες εκπομπές ενσωματωμένου άνθρακα αλλά και από θέμα κόστους ίσως να έρχεται δεύτερο σαν επιλογή μέτρου.

#### 4.2.2. ΜΟΝΩΣΕΙΣ

Ένα δραστικό μέτρο μείωσης φορτίων σε ένα κτήριο αποτελεί η τοποθέτηση μόνωσης στην οροφή ή στην τοιχοποιία. Οι μονώσεις αποτελούνται από υλικά με μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ) τα οποία μεταδίδουν την θερμότητα με μεγαλύτερη δυσκολία από ένα θερμότερο περιβάλλον σε ένα ψυχρότερο. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, τόσο καλύτερο θεωρείται ένα μονωτικό υλικό. Επιπροσθέτως όσο μεγαλύτερη ειδική θερμοχωρητικότητα έχει ένα υλικό, τόσο περισσότερη θερμότητα αποθηκεύει και στην συνέχεια την επιστρέφει πίσω στο περιβάλλον. Αυτό κυρίως χρησιμεύει στην μόνωση η οποία τοποθετείται στο εσωτερικό του τοίχου. Στην προκειμένη περίπτωση που μελετάται πέντε μονωτικά υλικά τοποθετήθηκαν στην εξωτερική πλευρά του τοίχου ενώ ένα τοποθετήθηκε στο εσωτερικό διάκενο του τοίχου πλάτους 13 cm, σύμφωνα πάντα με τον τρόπο εφαρμογής που προβλέπει η TOTEE 20701-01/2017 αλλά και οι κατασκευαστές των μονωτικών υλικών. Στο υπό μελέτη κτήριο η οροφή είναι μονωμένη εξ αρχής με εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS ή Dow), με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται επιπλέον μόνωση. Τα μονωτικά υλικά τα οποία αποφασίστηκε να δοκιμαστούν σε ξεχωριστές προσομοιώσεις για την μόνωση της εξωτερικής τοιχοποιίας ήταν ο πετροβάμβακας, ο υαλοβάμβακας, η διογκωμένη πολυστερίνη, η εξηλασμένη πολυστερίνη η οποία υπήρχε ήδη εγκατεστημένη στην οροφή του κτηρίου, ο ηρακλείτης και ο παρθένος ορυκτοβάμβακας.

Ο πετροβάμβακας είναι ένα ινώδες υλικό ανόργανης προέλευσης με ικανότητα θερμικής και ακουστικής μόνωσης. Για την παραγωγή του χρησιμοποιούνται διάφορα είδη πετρωμάτων όπως διαβάσης, δολομίτης και βασάλτης σε συνδυασμό με ανακυκλωμένο τσιμέντο, τα οποία τήκονται σε θερμοκρασίες κοντά στους 1.400°C με την χρήση κάποιου γαιάνθρακα για παραγωγή ενέργειας όπως το πετρέλαιο. Η χημική του σύσταση απαρτίζεται από οξείδια του πυριτίου, αλουμινίου, ασβεστίου, μαγνησίου και σιδήρου. Το προϊόν της τήξης φυγοκεντρίζεται και του παρέχεται αέρας ο οποίος μετατρέπει τις σταγόνες του μείγματος σε ίνες, σχηματίζοντας την τελική μορφή του πετροβάμβακα έπειτα από ξήρανση στους 270°C. Για την τοποθέτηση του απαιτείται να είναι στεγνός. Τοποθετείται μεταλλικός σκελετός πάνω στον οποίο εφαρμόζεται ενώ στην πορεία επικαλύπτεται με στρώση σοβά. [Knauf Insulation]

Ο υαλοβάμβακας είναι μια από τις συνηθέστερες μορφές μόνωσης ενός κτηρίου κυρίως λόγω μικρού βάρους και μεγάλης ανθεκτικότητας. Και η δική του μορφή είναι ινώδης, έτσι ώστε να σφραγίζει το μέγιστο δυνατό αριθμό κενών αέρα. Κύρια υλικά τα οποία συμβάλλουν στην δημιουργία του είναι η άμμος, το ανθρακικό νάτριο, ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, το θειικό νάτριο, το νάτριο, τα νιτρικά άλατα και ορυκτά που περιέχουν βόριο και αλουμίνα αλλά και ανακυκλωμένο γυαλί. Η παραγωγική διαδικασία είναι παρεμφερή με αυτή του πετροβάμβακα αφού πραγματοποιείται τήξη και στην συνέχεια φυγοκέντρωση, το ίδιο και η εγκατάστασή του. Είναι ένα υλικό χημικά αδρανές το οποίο δεν επιτρέπει την ανάπτυξη υγρασίας. [Green Building]

Ο παρθένος ορυκτοβάμβακας πλήρωσης ή Supafil αποτελεί μία ιδανική μόνωση καθώς δίνει την δυνατότητα πλήρωσης του κενού στο ενδιάμεσο της εξωτερικής τοιχοποιίας. Αποτελείται από σύνθετες υαλώδεις ίνες με κύρια χημικά συστατικά οξειδία νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου και βαρίου. Συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του προέρχονται από ανακύκλωση και τον καθιστά μια λύση φιλική προς το περιβάλλον. Εκτός αυτών, το Supafil έχει αρκετά θετικά όπως ο χαμηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας που φτάνει έως και  $0,034 \text{ W/(m}^*\text{K)}$  ενώ για κίνδυνο πυρκαγιάς έχει κατηγοριοποιηθεί ως Euroclass 1. Επίσης έχει κατηγοριοποίηση A+ στο BRE Green Guide Rating ενώ είναι πιστοποιημένο με Χρυσό πρότυπο Eurofins για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα (Eurofins Gold Standard for Indoor Air Quality). Για την τοποθέτηση του πραγματοποιούνται οπές στον τοίχο και μέσω ειδικού μηχανήματος με σωλήνα διοχετεύεται στο εσωτερικό του τοίχου μέχρι να συμπιεστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό. [Knauf Insulation]

Η διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) είναι ένα πολύ ελαφρύ υλικό το οποίο τοποθετείται εύκολα και συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην μόνωση του κτηρίου. Αποτελείται από θερμοπλαστικές κυψελίδες πολυστυρολίου οι οποίες διογκώνονται με αέρα. Συγκεκριμένα αποτελούνται 98% από αέρα και 2% από την κυψελώδη δομή του. Είναι ένα υλικό που μπορεί να δεχτεί μεγάλη καταπόνηση, ενώ είναι ανθεκτικό σε συνθήκες υγρασίας, σεισμικές δονήσεις αλλά και στην γήρανση. Σε υψηλές θερμοκρασίες αρχίζει και τήκεται ενώ πάνω από  $350^{\circ}\text{C}$  ελευθερώνει εύφλεκτα αέρια. Η εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) είναι και αυτή ελαφρύ θερμομονωτικό υλικό με την ίδια σύσταση, η οποία παράγεται με την μέθοδο της εξέλασης και λόγω του αέρα που έχει στο εσωτερικό των κυψελίδων της επιτυγχάνει υψηλά επίπεδα μόνωσης. Για την τοποθέτηση πολυστερίνης ως μόνωση στο κέλυφος του κτηρίου πραγματοποιείται συγκεκριμένη διαδικασία. Αρχικά γίνεται τοποθέτηση των πλακιδίων μόνωσης με ειδική κόλλα που υποδεικνύεται από τον κατασκευαστή ή αρμόδιο τεχνίτη. Η κόλλα θα πρέπει να επικαλύπτει το 40% του πλακιδίου. Τα πλακίδια πρέπει να είναι διασταυρωμένα (όπως μια οπτοπλινθοδομή) με τους αρμούς να μην είναι συνεχείς αλλά διασταυρωμένοι. Στην συνέχεια γίνεται η στερέωση των πλακιδίων με έξι βύσματα αγκύρωσης ανά τετραγωνικό μέτρο. Ακολουθεί η εγκατάσταση των γωνιόκρανων με υαλόπλεγμα και η ενίσχυση στις γωνίες των ανοιγμάτων, ενώ τοποθετείται υαλόπλεγμα (Fiberglass) σε όλη την επιφάνεια της μόνωσης, το οποίο είναι ανθεκτικό στα αλκάλια. Ύστερα εφαρμόζεται δεύτερο στρώμα κόλλας και ασταριού ενώ η διαδικασία τελειώνει με επίστρωση ασβεστοτσιμεντοκονιάματος πάχους 3 mm. [Knauf Insulation; Φραγκουλάκης]

Τελευταίο υλικό που τέθηκε σε εφαρμογή προσομοίωσης είναι ο ηρακλείτης ή ξυλόμαλλο. Αποτελείται από ίνες ξύλου μεγέθους 1 έως 4 mm και παράγονται μαζί με τσιμέντο. Έχει μικρό βάρος και παρέχει πολύ καλή μόνωση με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αλλά και ηχομόνωση. Οι αντοχές του τόσο στις καταπονήσεις όσο και στην

γήρανση είναι μεγάλες ενώ δεν επηρεάζεται από υγρασία. Λόγω της παραγωγής του από φυσικά υλικά καθίσταται ως μια πολύ καλή λύση φιλική προς το περιβάλλον. [Μονώσεις Monotica]

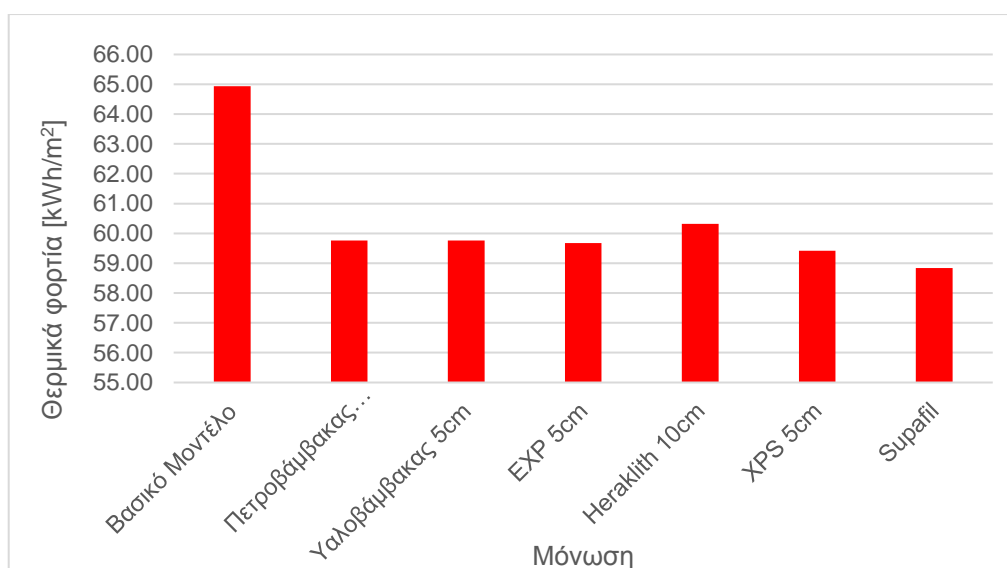
Για την σωστή επιλογή τοποθέτησης της μόνωσης πρέπει να ληφθεί υπόψιν η ελληνική νομοθεσία. Στον Κ.Εν.Α.Κ. (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων, ΦΕΚ 2367Β/12-7-2017) και συγκεκριμένα τον πίνακα Γ2 υπάρχουν όλες οι μέγιστες τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας ( $U_{\text{value}}$ ) για τα υφιστάμενα κτήρια. Για τοίχο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα η μέγιστη τιμή είναι  $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Κάνοντας και μια έρευνα στην αγορά για τα είδη και τα πάχη των μονώσεων διαπιστώθηκε πως τα σωστά πάχη είναι αυτά που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2, στα καλύτερα μονωτικά υλικά βάσει των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας. Το πάχος του ορυκτοβάμβακα (ή Supafil) καθορίστηκε από το πλάτος του κενού ανάμεσα στους οπτόπλινθους αφού είναι εντός των νομικών ορίων, ενώ στα υπόλοιπα πέντε υλικά προέκυψε σε συνδυασμό και με την διαθεσιμότητα της αγοράς.

Πίνακας 4.2 Μονωτικά υλικά και χαρακτηριστικές τιμές

Υλικό	Πυκνότητα,	Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας	Ειδική Θερμοχωρητικότητα	Πάχος επίστρωσης υλικού
	[kg/m <sup>3</sup> ]	[W/(m·K)]	[J/(kg·K)]	[m]
Πετροβάμβακας	70	0,037	840	0,05
Διογκωμένη Πολυστερίνη	25	0,035	1.400	0,05
Υαλοβάμβακας	35	0,037	840	0,05
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	30	0,030	1.410	0,05
Ηρακλείτης	400	0,100	1.450	0,10
Ορυκτοβάμβακας	35	0,037	840	0,13

Αφού σχεδιάστηκε εκ νέου ένα μοντέλο για κάθε μονωτικό υλικό και πραγματοποιήθηκε επιτυχώς η προσομοίωσή του εκδόθηκαν τα αποτελέσματα. Αρχικά, και τα έξι υλικά όπως ήταν αναμενόμενα επέφεραν την μείωση των θερμικών φορτίων με σχετικά παρόμοια αποτελεσματικότητα όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.11.

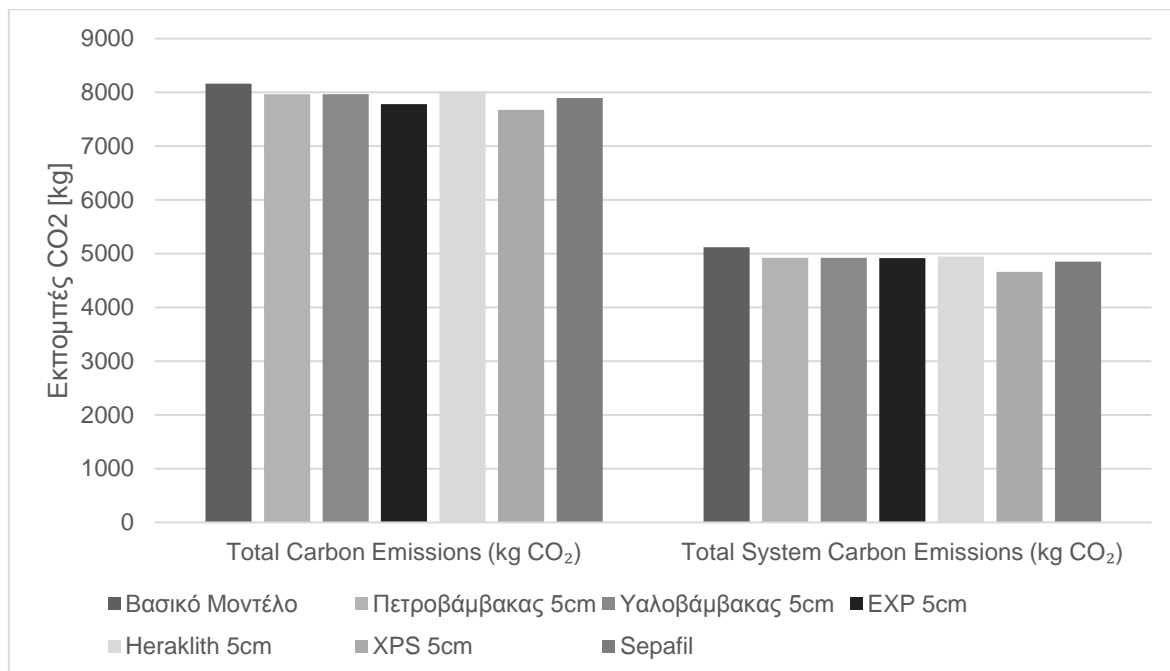
Διάγραμμα 4.11. Θερμικά φορτία με την εφαρμογή μόνωσης



Δεδομένου ότι η οροφή είναι ήδη μονωμένη και είναι κύρια επιφάνεια με συνεχή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, η εφαρμογή μόνωσης στην εξωτερική τοιχοποιία αναμένεται να φέρει μεν αποτελέσματα στην μείωση θερμικών φορτίων αλλά όχι σε πολύ μεγάλο βαθμό. Από το διάγραμμα 4.11 φαίνεται ότι όλα τα υλικά πέτυχαν μείωση της τάξης του 8%, με τον Ηρακλείτη να πετυχαίνει το μικρότερο ποσοστό (περίπου 7%) κυρίως λόγω της μεγαλύτερης τιμής συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας σε σχέση με τα άλλα υλικά, παρόλο που είχε επιλεγεί με διπλάσιο μήκος λόγω νομοθεσίας. Βέβαια από τα υλικά ξεχώρισε η εξηλασμένη πολυστερίνη με 8,50% μείωση θερμικών φορτίων αλλά και το Serafil το οποίο είχε πλάτος 13mm και έτσι έφτασε στην καλύτερη δυνατή τιμή  $U_{value}$  του τοίχου, επιφέροντας μείωση 9,40%.

Η εφαρμογή μόνωσης στην τοιχοποιία προκαλεί μείωση περίπου 3,50% της ενέργειας που δαπανάται συνολικά στο σπίτι, με τις μεταβολές να πραγματοποιούνται όπως φαίνεται μόνο τους μήνες που το σύστημα θέρμανσης είναι ανοικτό. Έτσι αποδεικνύεται ότι η προσθήκη μόνωσης επηρεάζει μόνο το σύστημα θέρμανσης και την απαίτηση φορτίων. Τέλος, παρατηρείται μείωση περίπου 4% των εκπομπών CO<sub>2</sub> του συστήματος θέρμανσης με την χρήση υαλοβάμβακα, πετροβάμβακα, εξηλασμένης και διογκωμένης πολυστερίνης και Ηρακλείτη. Στις συνολικές εκπομπές του κτηρίου όμως έχουμε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα υλικά. Ο Ηρακλείτης μειώνει μόλις 2,11% ετησίως τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και τα υπόλοιπα υλικά μόλις στο 3%. Η εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) είναι αυτή η οποία επιτυγχάνει την μεγαλύτερη μείωση, η οποία ανέρχεται περίπου στο 6%, σημαντική διαφορά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μονωτικά υλικά, ακόμα και από το Serafil που κατάφερε μεγαλύτερη μείωση θερμικών φορτίων, όπως αποτυπώνεται και στο διάγραμμα 4.12.

Διάγραμμα 4.12. Εκπομπές CO<sub>2</sub> με την εφαρμογή μόνωσης



Ύστερα από την σύγκριση των μονωτικών υλικών παρατηρείται ότι η εξηλασμένη πολυστερίνη υπερτερεί των υπόλοιπων μονωτικών υλικών. Η μείωση των εκπομπών σε σχέση με το δεύτερο καλύτερο υλικό, το Serafil, είναι κατά 220 kg CO<sub>2</sub> περίπου περισσότερη. Σε μια συνήθη διάρκεια ζωής 50 ετών για ένα κτήριο αυτό μεταφράζεται σε

11,1 τόνους λιγότερες εκπομπές. Θα πρέπει βέβαια να υπολογιστεί και ο ενσωματωμένος άνθρακας (embodied carbon) για την τελική επιλογή του κατάλληλου υλικού.

#### 4.2.3. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Οι ηλεκτρικές συσκευές ενός σπιτιού είναι οι κυριότερες πηγές ενέργειας και θερμότητας. Όταν μια συσκευή είναι σε λειτουργία, πέρα από την ισχύ ρεύματος που καταναλώνει, εκπέμπει και θερμότητα που εκλαμβάνεται από το περιβάλλον. Με την αντικατάσταση των υπαρχόντων συσκευών με νέες, καλύτερης ενεργειακής κλάσης, επιτυγχάνεται η λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και κατ' επέκταση το μικρότερο αντίκτυπο άνθρακα στο περιβάλλον. Στην προκειμένη περίπτωση, πραγματοποιήθηκε έρευνα ηλεκτρικών συσκευών στην αγορά και βρέθηκαν οι βέλτιστες συσκευές σε λιγότερη ισχύ. Οι συσκευές που αντικαταστάθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

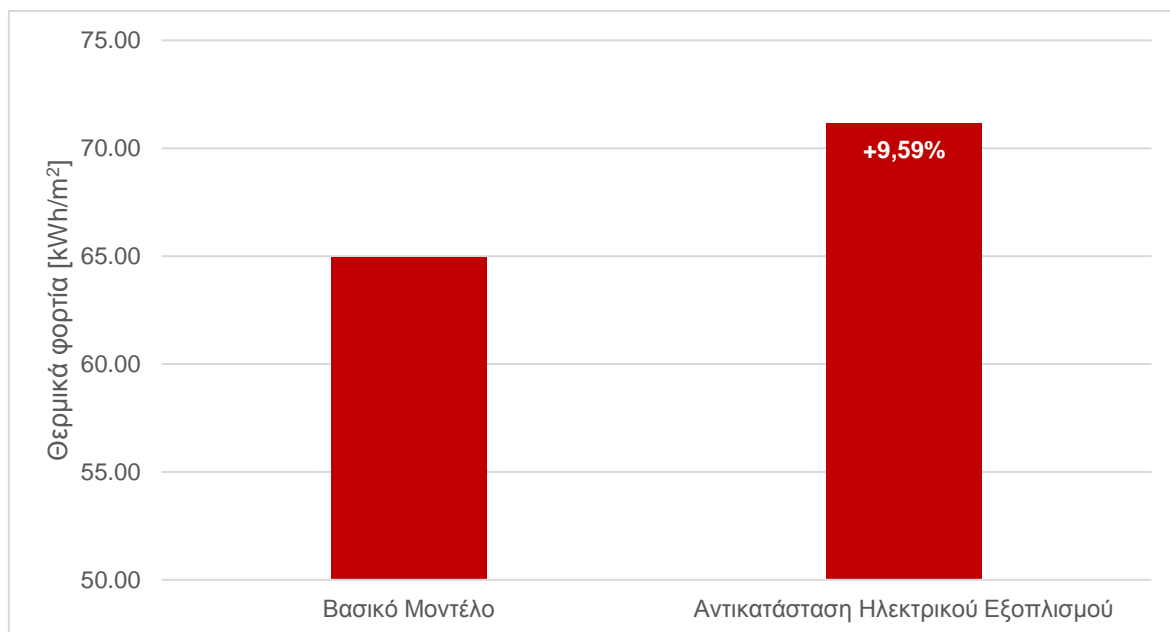
Πίνακας 4.3. Τιμές ισχύος ηλεκτρικών συσκευών πριν και μετά την αντικατάστασή τους

Συσκευή	Ισχύς πριν την αντικατάσταση [W]	Ισχύς μετά την αντικατάσταση [W]
Κουζίνα	5000	3000
Ψυγείο	100	21.5
Τηλεόραση	100	48
Πλυντήριο	2300	735
Λαμπτήρες	20	5

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε προσομοίωση στο πρόγραμμα IESVE και τα αποτελέσματα, που αποτυπώνονται στα γραφήματα που ακολουθούν, παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές.

Με την αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών τα εσωτερικά κέρδη του σπιτιού σε φορτία μειώνονται καθώς τα Watt των συσκευών μειώνονται αισθητά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εκλύεται λιγότερη θερμότητα στο εσωτερικό περιβάλλον της οικίας με συνέπεια η θερμοκρασία να μειώνεται και τον χειμώνα να απαιτείται μεγαλύτερο φορτίο για να διατηρηθεί στο επίπεδο των 20°C. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε αύξηση των θερμικών φορτίων του κτηρίου κατά περίπου 10% όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.13.

Διάγραμμα 4.13. Θερμικά φορτία μετά την αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών



Λόγω όμως χαμηλότερης απαίτησης ενέργειας για την λειτουργία των συσκευών, όπως μαρτυράται από τον Πίνακα 4.4 υπάρχει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό φαίνεται κυρίως τους θερινούς μήνες κατά τους οποίους δεν υπάρχει σύστημα θέρμανσης ή ψύξης σε λειτουργία και κατά συνέπεια ούτε κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία τους.

Πίνακας 4.4. Κατανάλωση ενέργειας κτηρίου πριν και μετά την αντικατάσταση του ηλεκτρικού εξοπλισμού

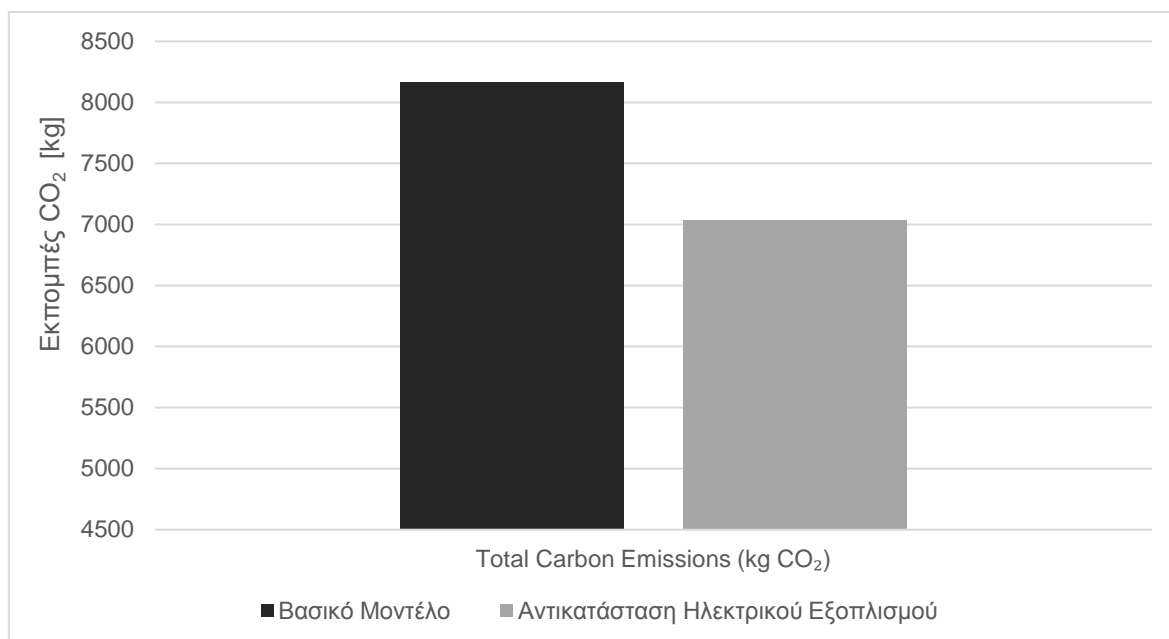
Μήνας	Βασικό Μοντέλο [MWh]	Αντικατάσταση Ηλεκτρικού Εξοπλισμού [MWh]	
Ιανουάριος	3,15	3,09	-1.83%
Φεβρουάριος	3,00	2,95	-1.75%
Μάρτιος	2,56	2,48	-3.31%
Απρίλιος	1,61	1,47	-8.43%
Μάιος	1,01	0,78	-23.02%
Ιούνιος	0,97	0,74	-23.14%
Ιούλιος	1,00	0,77	-23.02%
Αύγουστος	1,00	0,77	-23.04%
Σεπτέμβριος	0,95	0,73	-23.78%
Οκτώβριος	0,95	0,72	-23.99%
Νοέμβριος	1,48	1,36	-8.46%
Δεκέμβριος	2,66	2,58	-2.78%
<b>Σύνολο [MWh]</b>	<b>20.34</b>	<b>18,44</b>	<b>-9.34%</b>

Το μέτρο αυτό οδηγεί στην μείωση ενέργειας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 9%, παρόλο που τα φορτία αυξήθηκαν κατά το ίδιο περίπου ποσοστό. Αυτό συμβαίνει λόγω της λιγότερης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας η οποία μάλιστα, επειδή παράγεται από



οργανικά καύσιμα, αναμένεται να έχει σημαντικό αντίκτυπο στις εκπομπές άνθρακα, πράγμα το οποίο αποτυπώνεται ξεκάθαρα στο διάγραμμα 4.14.

Διάγραμμα 4.14. Εκπομπές CO<sub>2</sub> πριν και μετά την αντικατάσταση του ηλεκτρικού εξοπλισμού



Η ελάττωση της ενέργειας που καταναλώνεται στο κτήριο έχει ως αντίκτυπο την μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 14% περίπου, αρκετά σημαντικό ποσοστό για την επίτευξη του τελικού στόχου. Η ενέργεια που εξοικονομείται είναι κυρίως ηλεκτρική ενέργεια με κύρια πηγή των λιγνίτη. Έτσι, με την λιγότερη καύση λιγνίτη, εξοικονομείται πάνω από 1 τόνο CO<sub>2</sub> τον χρόνο, δηλαδή περίπου 50 τόνοι σε όλο τον κύκλο ζωής του κτηρίου. Σίγουρα αποτελεί ένα αξιόπιστο μέσο για την πιο άμεση απαλλαγή ενός κτηρίου από εκπομπές CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.4. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Στην οικία υπάρχει εγκατεστημένος λέβητας καύσης πετρελαίου. Κάθε χρόνο καταναλώνονται 900 L πετρελαίου για την πλήρη κάλυψη των απαιτούμενων θερμικών φορτίων. Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου είναι 11,92 kWh/kg. Μέσω της πυκνότητας του πετρελαίου (0,86 kg/L), υπολογίζεται η απαιτούμενη μάζα πετρελαίου (774 kg), η οποία με σύστημα απόδοσης 75% που υφίσταται, παράγει τελικά 6920 kWh ετησίως σύμφωνα με την θεωρητική τιμή, όσες δηλαδή απαιτούνται. Βέβαια η θέρμανση με καυστήρα πετρελαίου όπως διαπιστώθηκε συμβάλει στις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> οι οποίες φτάνουν τους 8 τόνους τον χρόνο.

Μετά από έρευνα που διεξήχθη στους διαθέσιμους καυστήρες επιλέχθηκαν οι εξής:

- Λέβητας βιοαερίου, εντοιχιζόμενος, με απόδοση 97,7%, εποχιακή επίδραση 93%, επανακυκλοφορία 30% που οδηγεί στην μέγιστη απόδοση 108%
- Λέβητας καύσης βιομάζας συνολικής απόδοσης 85%
- Αντλία θερμότητας με συντελεστή απόδοσης SCoP=4,15

Το βιοαέριο αποτελεί μια ιδανική πηγή ενέργειας ηλεκτρισμού και θέρμανσης η οποία παράγεται από μηχανές εσωτερικής καύσης. Κύρια συστατικά του είναι το CO<sub>2</sub> και το CH<sub>4</sub> τα οποία προέρχονται από αναερόβια χώνευση αποβλήτων όπως κτηνοτροφικά λύματα, αστικά και βιομηχανικά απορρίμματα.

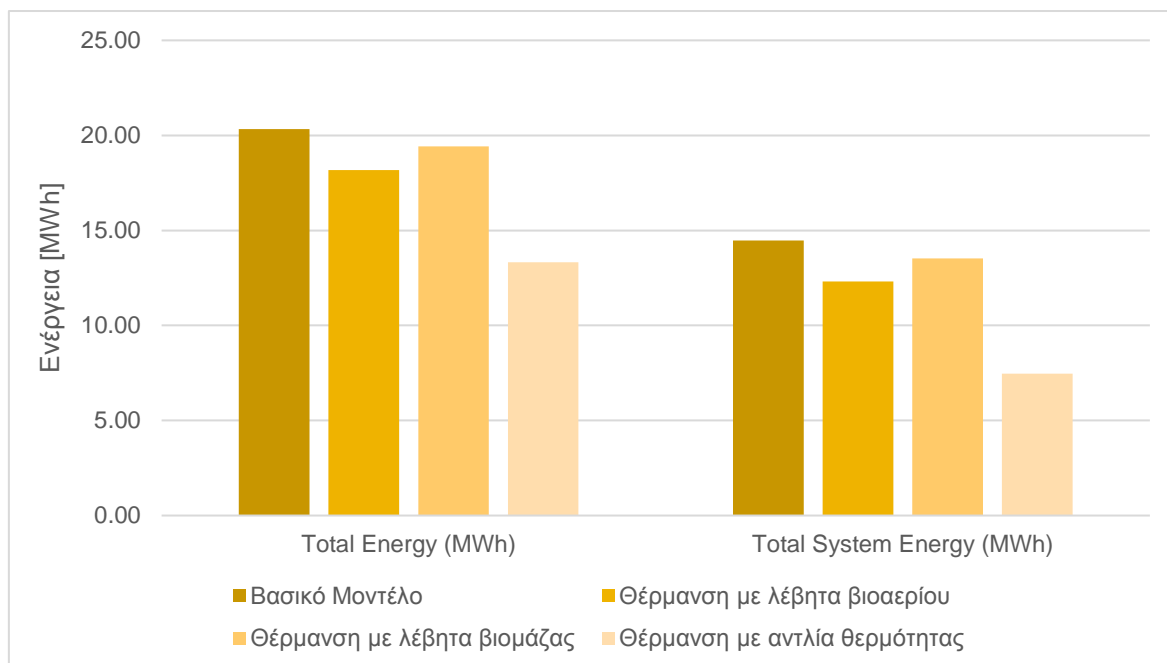
Η βιομάζα είναι κλάσμα βιοαποικοδόμησης αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές, δασοκομικές και βιομηχανικές δραστηριότητες οι οποίες σχετίζονται με φυτικές και ζωικές ουσίες. Το είδος της φυτικής βιομάζας ουσιαστικά είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια στο εσωτερικό του φυτού ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας του κατά την φωτοσύνθεση που πραγματοποιεί. Προς το παρόν αποτελεί το 1/7 της παγκόσμια κατανάλωσης ενέργειας με συνηθέστερη μορφή τα καυσόξυλα, όπως πραγματοποιείται και στην χώρα μας σε διάφορους τομείς πέρα από τον οικιστικό. Οι προοπτικές που έχει για το μέλλον είναι αρκετά καλές καθώς υπάρχει σημαντική ποσότητα που μπορεί να εκμεταλλευθεί και πολλές φορές είναι ανταγωνιστική οικονομικά απέναντι στις συμβατές πηγές. [Τσούτσος & Κανάκης, 2016]

Η αντλία θερμότητας, όπως υποδηλώνει και το όνομά της, αντλεί θερμική ενέργεια από ένα ψυχρό περιβάλλον και την διοχετεύει σε ένα θερμό. Λόγω αντίθετης φοράς κυκλοφορίας θερμότητας από την φυσική κίνηση (από το θερμό προς το ψυχρό) χρειάζεται μικρή ποσότητα ενέργειας για να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία, συνήθως σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας.

Με τις απαραίτητες αλλαγές στο σύστημα θέρμανσης, στην μοντελοποίηση του κτηρίου και τις προσομοιώσεις παρατηρείται ότι τα συγκεκριμένα εφαρμόσιμα μέτρα δεν επηρεάζουν τα απαιτούμενα φορτία του κτηρίου. Οι μεταβολές είναι μηδενικές επειδή η αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης δεν επηρεάζουν το κέλυφος του κτηρίου ή τα εσωτερικά κέρδη του. Τα θερμικά φορτία συνεπώς δεν θα αποτελέσουν κριτήριο στην επιλογή καυστήρα.

Όσο αφορά την κατανάλωση ενέργειας, από το διάγραμμα 4.15 παρατηρείται ότι το σύστημα με αντλία θερμότητας έχει σαφώς μεγαλύτερη μείωση κατανάλωση ενέργειας στο κτήριο, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέτρα. Στην συνολική κατανάλωση ενέργειας επιτυγχάνει μείωση της τάξης του 34,44%, την στιγμή που η καύση βιομάζας μειώνει την ενέργεια κατά 5% και η καύση βιοαερίου αγγίζει το 11%. Στην κατανάλωση ενέργειας που καταναλώνεται από την παραγωγή μέσω καυσίμων (πετρέλαιο, ηλεκτρισμός μέσω λιγνίτη) για θέρμανση και ZNX, η μείωση είναι ακόμα μεγαλύτερη, με την αντλία θερμότητας να μειώνει την κατανάλωση σχεδόν κατά 48,80% επί του αρχικού σεναρίου, αλλά η διαφορά ανάμεσα στα υπόλοιπα δύο σενάρια παραμένει στο ίδιο επίπεδο, με ποσοστά μείωσης 15% και 6,5% αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη διαφορά μπορεί να αιτιολογηθεί από το γεγονός ότι το βιοαέριο έχει μεγαλύτερη τιμή κατώτερης θερμογόνου δύναμης σε σχέση με την βιομάζα, συνεπώς απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την παραγωγή. Η επιτυχία όμως της αντλίας θερμότητας οφείλεται στον μεγάλο συντελεστή απόδοσης που έχει καθώς για 1 kWh ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνει παράγει 4,15 kWh θερμότητας. Η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος όμως, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.15 έχει αντίκτυπο στις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

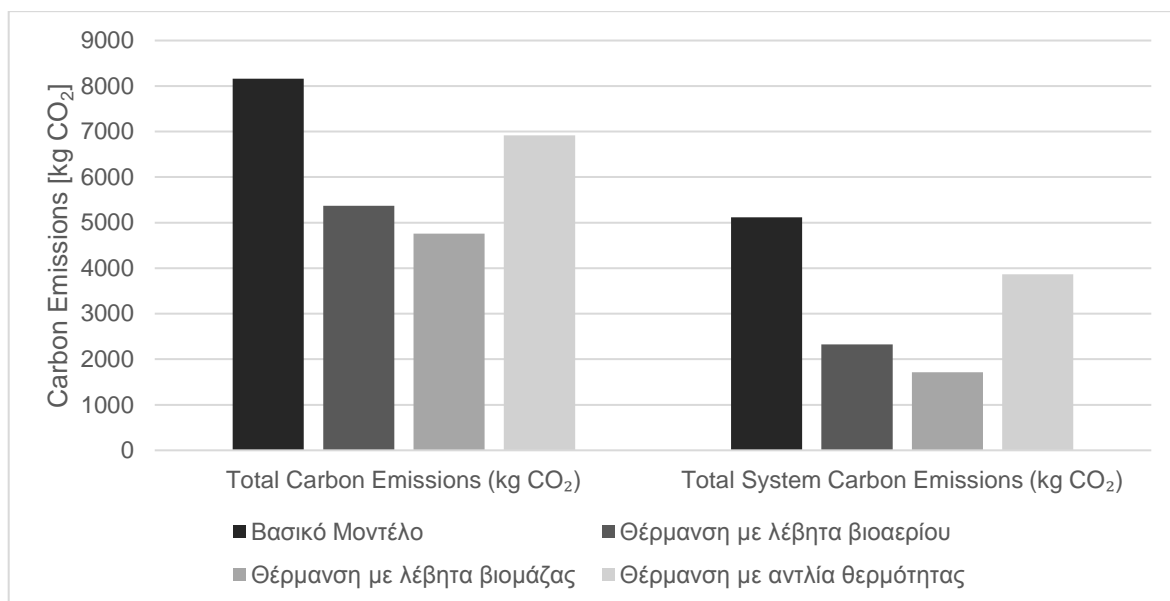
Διάγραμμα 4.15. Κατανάλωση ενέργειας μετά την αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης



Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> του κτηρίου παρουσιάζουν διαφορετικό, αντίστροφο μάλιστα, προφίλ σε σχέση με την ενέργεια. Τα αποτελέσματα των εκπομπών CO<sub>2</sub> από την κατανάλωση καυσίμων για θέρμανση και ZNX (Total System Carbon Emissions) παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές, και αποτελεί φυσική εξέλιξη καθώς κάθε καύσιμο έχει διαφορετικό συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub> και διαφορετική κατώτερη θερμογόνο δύναμη (κατ' επέκταση και διαφορετική ποσότητα που απαιτείται για την κάλυψη των φορτίων). Η καύση βιομάζας επιτυγχάνει μείωση 66,47% των εκπομπών που είναι η μεγαλύτερη μείωση, με το βιοαέριο να αγγίζει το ποσοστό μείωσης 54,58%, ενώ η αντλία θερμότητας έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνει 24,23% των εκπομπών CO<sub>2</sub> από ενέργεια συμβατικών πηγών. Στις συνολικές εκπομπές του κτηρίου παρατηρείται ότι η χρήση βιομάζας επιτυγχάνει μείωση 40% των συνολικών εκπομπών, ένα πραγματικά σημαντικό ποσοστό το οποίο βοηθάει καταλυτικά στην επίτευξη του στόχου του κτηρίου μηδενικών εκπομπών. Η καύση βιοαερίου είναι σχεδόν εξίσου αποτελεσματική (σχεδόν 35%) και αποτελεί επίσης μία καλή λύση. Σε αντίθεση όμως με την ενέργεια, η αντλία θερμότητας έχει κάτω από το μισό ποσοστό μείωσης των εκπομπών, φτάνει στο 15,22% και είναι συνέπεια της χρήσης συμβατικής πηγής ενέργειας όπως το ηλεκτρικό ρεύμα. Όλα αυτά αποδεικνύονται με την μελέτη του διαγράμματος 4.16.

Επειδή βασικός στόχος είναι η μέγιστη δυνατή μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, θα αποτελέσει το βασικό κριτήριο επιλογής. Ο καυστήρας βιομάζας φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικός και συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη των σκοπών. Οι ετήσιες εκπομπές από 79,80 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> έχουν φτάσει στα 46,53 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Η μείωση έχει φτάσει σε σημαντικά χαμηλά επίπεδα και κάνει ευκολότερη την επιλογή των επιπλέον μέτρων. Βέβαια κάθε καυστήρας έχει διαφορετικό κόστος συντήρησης στην πάροδο των χρόνων και κάθε καύσιμο μπορεί να έχει άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (π.χ. μεγαλύτερη συμβολή στην ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω αιωρούμενων στερεών μετά την καύση του ή αιθαλομίχλης) αλλά η κριτήριο επιλογής της συγκεκριμένης μελέτης αποτελεί αυστηρά η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Διάγραμμα 4.16. Εκπομπές CO<sub>2</sub> με την αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης



#### 4.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ

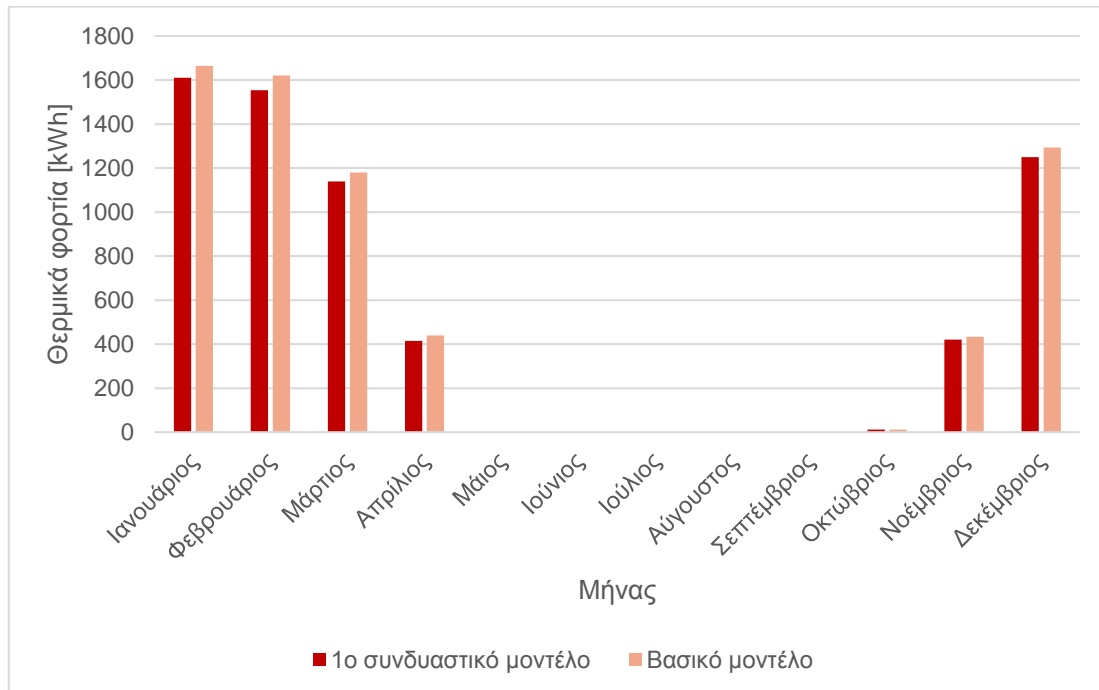
Κάθε πιθανή εφαρμογή εφαρμόστηκε σε ξεχωριστή προσομοίωση και εξήγαγε αποτελέσματα. Από την σύγκριση τους βγήκαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με το ποιο μέτρο είναι πιο αποτελεσματικό για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί, δηλαδή την μετατροπή της οικίας σε κτήριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης και κυρίως μηδενικών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Κάθε μέτρο είχε την δική του επίδραση και αποτελεσματικότητα φέρνοντας τα επιθυμητά αποτελέσματα σε διαφορετικούς τομείς. Για την επίτευξη του τελικού στόχου σημαντικό βήμα είναι ο συνδυασμός μέτρων τα οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα σε ένα κτήριο, δηλαδή ένα από κάθε κατηγορία που εξετάστηκε. Έτσι αποφασίστηκε η δημιουργία δύο συνδυαστικών σεναρίων εξοικονόμησης ενέργειας τα οποία θα μας απέφεραν σημαντική μείωση και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

##### 4.3.1. 1<sup>ο</sup> ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ (ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ)

Το πρώτο συνδυαστικό μοντέλο που εφαρμόστηκε περιέχει όλα τα μέτρα τα οποία είχαν τα καλύτερα αποτελέσματα από κάθε κατηγορία τροποποίησης. Κύριο κριτήριο της επιλογής αποτέλεσε η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, η οποία αποτελεί το κύριο μέλημα της μελέτης. Στην κατηγορία κουφωμάτων παρουσιάστηκαν οι ίδιες μετατροπές στα αποτελέσματα επί του βασικού σεναρίου, μικρές στο μέγεθος. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου 70 kg, δηλαδή 3,5t σε σύνολο 50 ετών που αναμένεται να αποτελέσει τον κύκλο ζωής του κτηρίου. Επειδή οι έμμεσες εκπομπές άνθρακα από την παραγωγή έως και την εναπόθεσή τους δεν θα ξεπεράσει αυτό το ποσό, επιλέχθηκε τριπλός υαλοπίνακας περιβαλλόμενος από PVC και Αργό στο διάκενο πάχους 12 mm. Στην μόνωση της τοιχοποιίας μετά από σύγκριση των εφαρμοσμένων υλικών επιλέχθηκε η

μόνωση με εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) καθώς πέτυχε καλύτερα αποτελέσματα. Στο κεντρικό σύστημα θέρμανσης η επιλογή είχε μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας λόγω των αντίστροφων προφίλ μείωσης που είχε το κάθε μέτρο ενέργεια και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Παρόλο που η θέρμανση με αντλία θερμότητας μειώνει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας, η χρήση συμβατών πηγών δεν την βοηθά να κρατήσει την ίδια τάση και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, όπου η χρήση καυστήρα βιομάζας επιτυγχάνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος, εφαρμόστηκε και η αντικατάσταση ηλεκτρικών ειδών. Με την εφαρμογή όλων αυτών των μέτρων σε ένα μοντέλο και την προσομοίωση του εκδόθηκαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω.

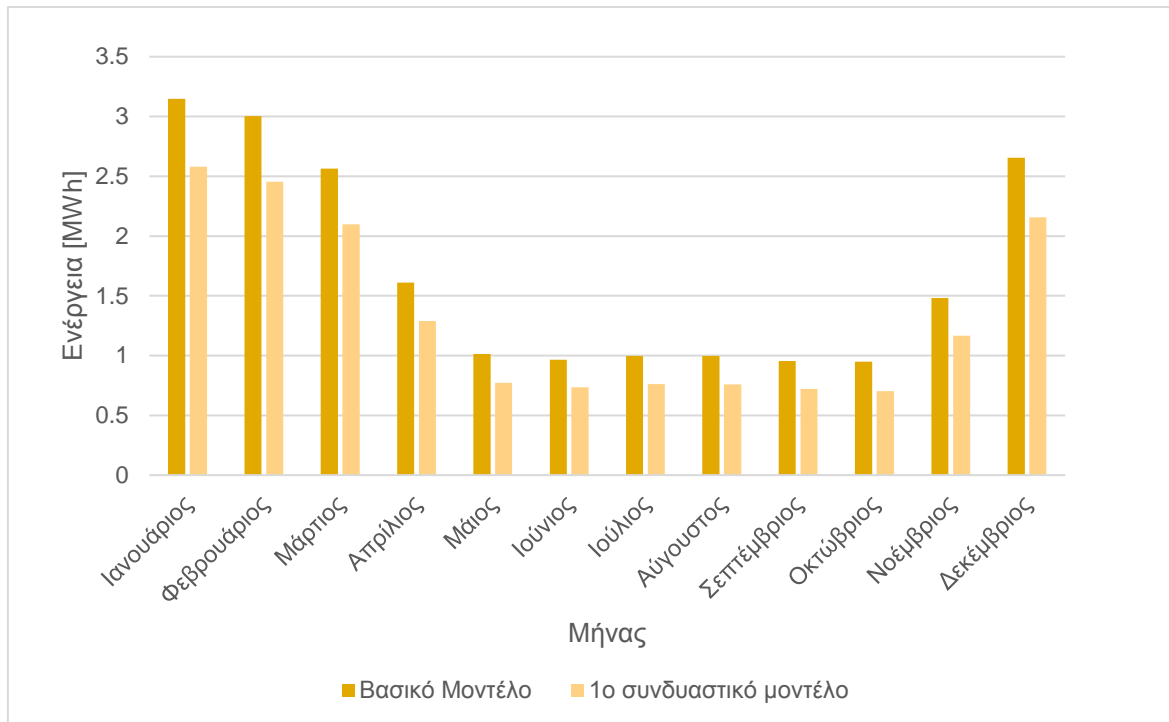
Διάγραμμα 4.17. Θερμικά φορτία 1<sup>ου</sup> συνδυαστικού μοντέλου βέλτιστων λύσεων



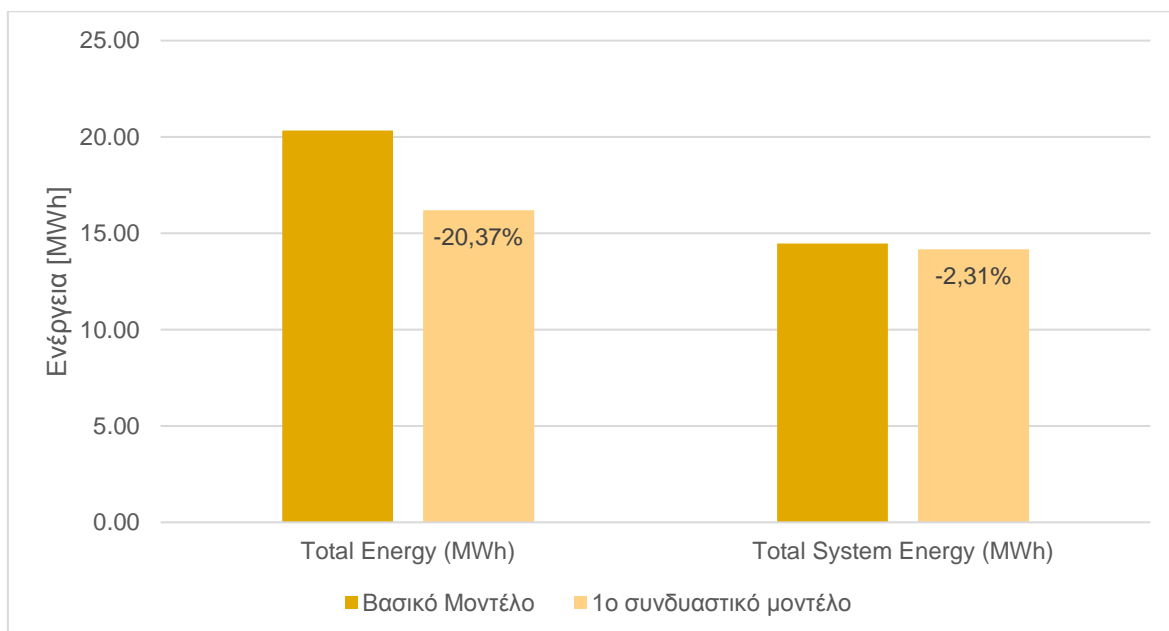
Από την μελέτη των θερμικών φορτίων στο διάγραμμα 4.17 παρατηρείται ότι δεν έχουμε ουσιαστική μείωση ή αύξηση. Ενώ έχει πραγματοποιηθεί μόνωση όλου του κελύφους του κτηρίου και αναμένεται μείωση των θερμικών φορτίων, η αντικατάσταση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού και συγκεκριμένα η μεγάλη μείωση των εσωτερικών κερδών του κτηρίου από τις συσκευές (Internal Gains) εξισορροπεί τα φορτία τα οποία μειώνονται ελαφρώς κατά 3,67%.

Στην μελέτη των αποτελεσμάτων της ενόπτηας κατανάλωσης ενέργειας παρατηρείται σημαντική μείωση, όπως φαίνεται στα διαγράμματα 4.18 και 4.19. Η μείωση της ενέργειας η οποία προέρχεται από την χρήση συμβατικών καυσίμων για θέρμανση και ZNX ανέρχεται στο ποσοστό 2,13% επί του αρχικού αλλά στην συνολική μείωση ενέργειας το ποσοστό ξεπερνάει το 20%. Η μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται τους θερινούς μήνες όπου το σύστημα θέρμανσης είναι εκτός λειτουργίας και υπάρχει η κατανάλωση μόνο από το ηλεκτρικό ρεύμα (περίπου 24% σε αντίθεση με τους χειμερινούς που είναι περίπου 18%).

Διάγραμμα 4.18. Κατανάλωση ενέργειας 1<sup>ου</sup> συνδυαστικού σεναρίου βέλτιστων λύσεων

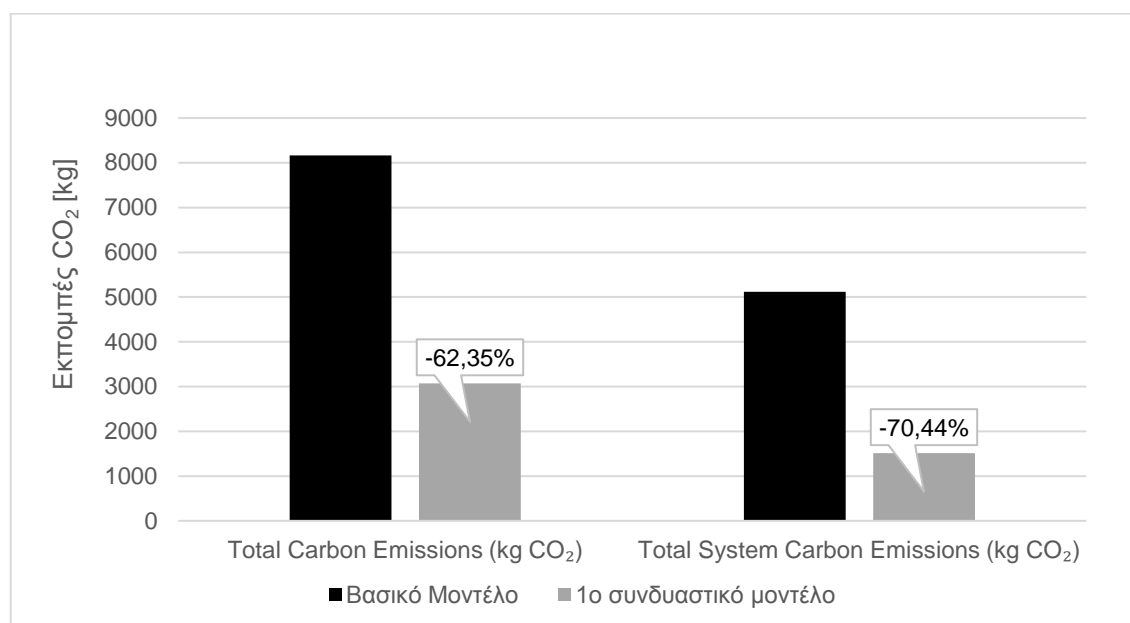


Διάγραμμα 4.19. Σύγκριση συνολικής κατανάλωσης ενέργειας 1<sup>ου</sup> βασικού μοντέλου και συνδυαστικού μοντέλου βέλτιστων λύσεων



Τέλος, στην πιο σημαντική ενότητα μελέτης, παρατηρείται πολύ σημαντική μείωση στις εκπομπές CO<sub>2</sub> με τον συνδυασμό όλων των μέτρων που εφαρμόστηκαν. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Γράφημα 4.20:

**Διάγραμμα 4.20. Σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> ανάμεσα στο βασικό μοντέλο και στο 1<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο βελτιστων λύσεων**



Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> με την εφαρμογή όλων των μέτρων εξοικονόμησης έχουν μειωθεί σε ποσοστό 62,35% επί του αρχικού σεναρίου. Σύμφωνα με την μελέτη των ξεχωριστών εφαρμογών κάθε μέτρου, έχουν συμβάλει όλες σε αυτό το θετικό αποτέλεσμα. Ιδιαίτερη σημασία, όπως αποτυπώνεται στο διάγραμμα 4.20 με μείωση περίπου 70%, είχε η αντικατάσταση κάθε κατανάλωσης ενέργειας για την κάλυψη θέρμανσης και ΖΝΧ από συμβατικές πηγές, όπως ο λέβητας πετρελαίου με τον καυστήρα βιομάζας με την πρώτη εισαγωγή ανανεώσιμης πηγής (ο ηλιακός θερμοσίφωνας υφίσταται από την αρχή του βασικού σεναρίου). Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στο συνδυαστικό μοντέλο που εφαρμόστηκε είναι 30,05 kg /m<sup>2</sup>, ενώ ο τελικός στόχος είναι το μέγιστο 10 kg /m<sup>2</sup> με τάσεις να γίνουν μηδενικές. Πλέον, κρίνεται αναγκαία η μελέτη και στην συνέχεια η εφαρμογή ΑΠΕ για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για την περαιτέρω μείωση.

#### **4.3.2. 2<sup>ο</sup> ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ (ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΨΥΞΗΣ)**

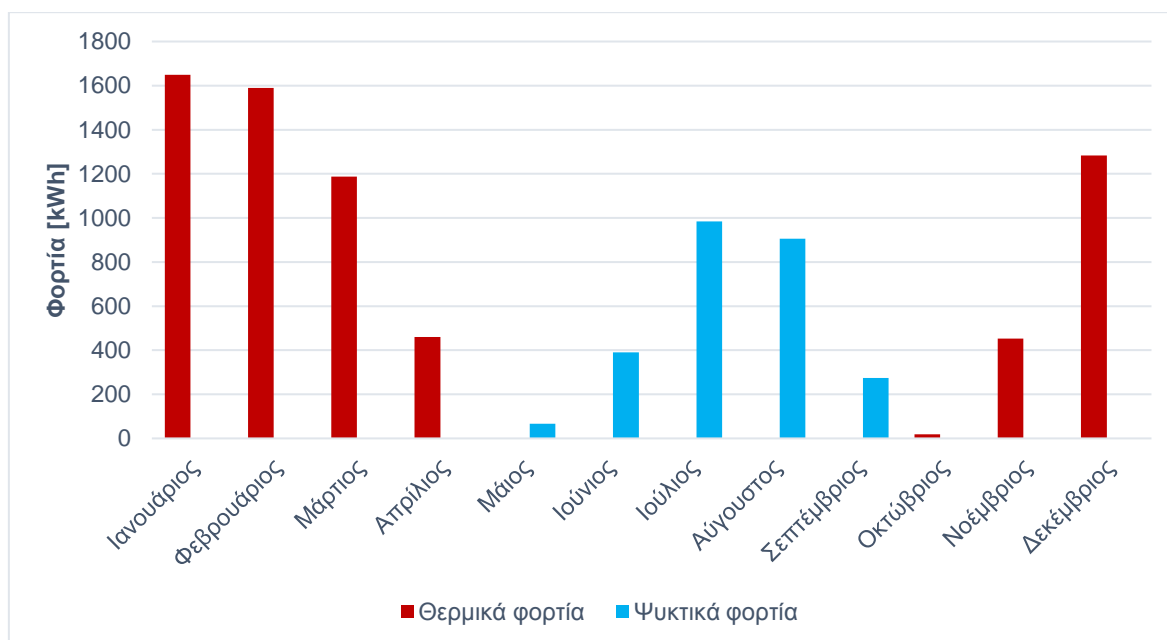
Κύριος γνώμονας σχεδιασμού του 2<sup>ου</sup> συνδυαστικού μοντέλου εφαρμογής είναι η θερμική άνεση. Στο υφιστάμενο κτήριο δεν υπάρχει σύστημα ψύξης και οι συνθήκες που επικρατούν τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών δεν ευνοούν την άνετη διαβίωση των κατοίκων. Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Σύμφωνα με την τελευταία TOTEE (Τεύχος Β'4003/17.11.2017), έχουν οριστεί συγκεκριμένες τιμές πρότυπων θερμοκρασιών, για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων. Για τους χειμερινούς μήνες η προτεινόμενη τιμή θερμοκρασίας είναι στους 20°C ενώ το καλοκαίρι είναι στους 26°C. Οι συγκεκριμένες οδηγίες αφορούν τα κτήρια τα οποία βρίσκονται στην Ελλάδα και υφίστανται υπό το κλίμα της. Για τον σκοπό αυτό αποφασίστηκε η εγκατάσταση συστήματος ψύξης. Για λόγους οικονομίας (δηλαδή για την τοποθέτηση ενός συστήματος αντί για δύο) τοποθετήθηκε αντλία θερμότητας 80AW/35AW η οποία μπορεί

να καλύψει και τις δύο ανάγκες. Το σύστημα θέρμανσης της αντλίας θερμότητας έχει ονομαστική ισχύ SCOP 4,15 και λειτουργεί την ίδια περίοδο με αυτό του βασικού μοντέλου, ενώ για το σύστημα ψύξης η ονομαστική ισχύς EER ισούται με 5,1 με εποχιακή ισχύ EER 3,4 με περίοδο λειτουργίας από 1 Μαΐου έως 30 Σεπτεμβρίου. Όλα τα υπόλοιπα δεδομένα κατασκευής και επεξεργασίας είναι όμοια με εκείνα του 1<sup>ου</sup> συνδυαστικού μοντέλου με εξαίρεση τα κουφώματα όπου επιλέχθηκαν τα παράθυρα με τους διπλούς υαλοπίνακες και το αλουμινένιο πλαίσιο με θερμοδιακοπή λόγω ενδεχόμενου μειωμένου κόστους, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί οικονομική αντιστάθμιση με το αυξημένο κόστος της αντλίας.

Η πρώτη παρατήρηση αφορά τα φορτία που απαιτείται να καλυφθούν για την διατήρηση των προβλεπόμενων θερμοκρασιών που ορίζονται από τις τεχνικές οδηγίες του TEE. Τα θερμικά φορτία είναι όπως και στο 1<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο 65 kWh/m<sup>2</sup> ετησίως. Επίσης παρουσιάζονται και ψυκτικά φορτία τους θερινούς μήνες που ισούνται με 25,6 kWh/m<sup>2</sup> τον χρόνο.

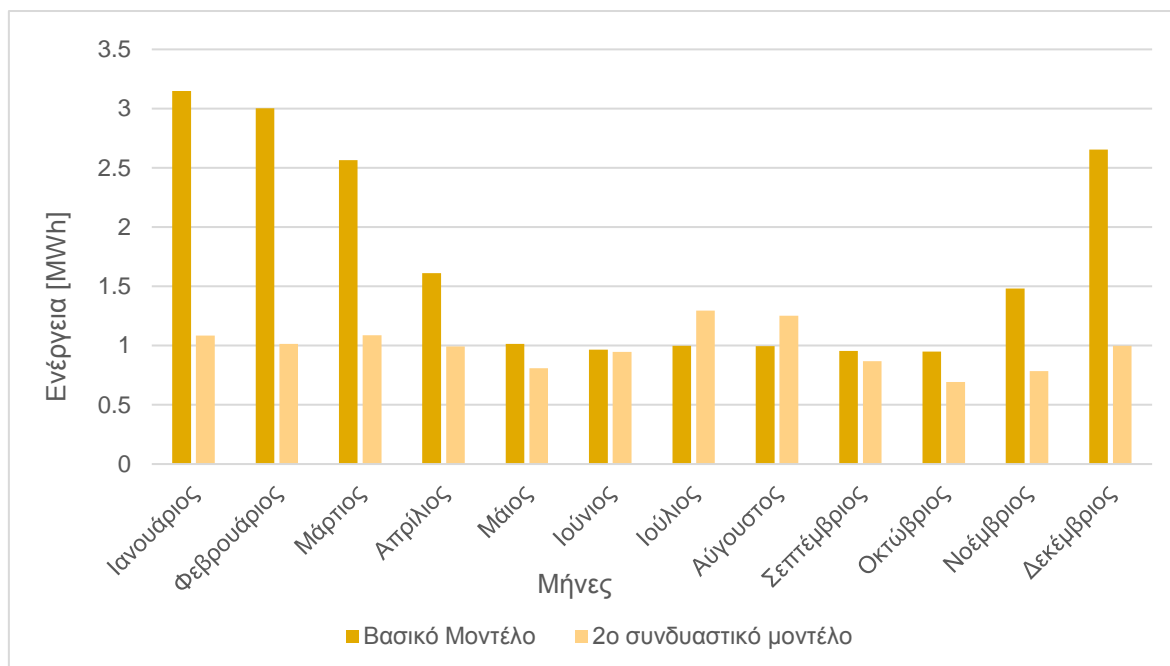
Διάγραμμα 4.21. Φορτία 2<sup>ου</sup> συνδυαστικού μοντέλου



Η ενέργεια που καταναλώνει η οικία σε σύγκριση με το βασικό μοντέλο είναι σε μεγάλο βαθμό μειωμένη. Παρατηρείται ότι τους χειμερινούς μήνες που το σύστημα θέρμανσης υπήρχε με την μορφή λέβητα πετρελαίου, μειώνοντας ελαφρώς τα θερμικά φορτία, προκαλείται μείωση μεγάλου ποσοστού κατανάλωσης ενέργειας από την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος με την χρήση αντλιών θερμότητας υψηλής απόδοσης που σε ορισμένες περιόδους (Ιανουάριος και Φεβρουάριος) φτάνει το 66%. Βέβαια την θερινή περίοδο που υπάρχει πλέον το σύστημα ψύξης παρατηρείται πολύ μικρότερη μείωση και τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο υπάρχει μια αύξηση της τάξης του 30% σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας επί του βασικού μοντέλου. Είναι αναμενόμενο καθώς έχει προστεθεί μια νέα εγκατάσταση στο σύστημα που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδότηση του κλιματισμού. Τέλος, σε σύγκριση με το 1<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο εφαρμογής στο οποίο γίνεται η χρήση βιομάζας για την θέρμανση και δεν υπάρχει σύστημα ψύξης, η μείωση κατανάλωσης ενέργειας είναι μεγαλύτερη κατά 20% περίπου, κυρίως λόγω συστημάτων HVAC μεγαλύτερης απόδοσης. Στο διάγραμμα 4.22 παρουσιάζονται μηνιαίως οι αυξομειώσεις της ενέργειας που απαιτείται για όλο το κτήριο.

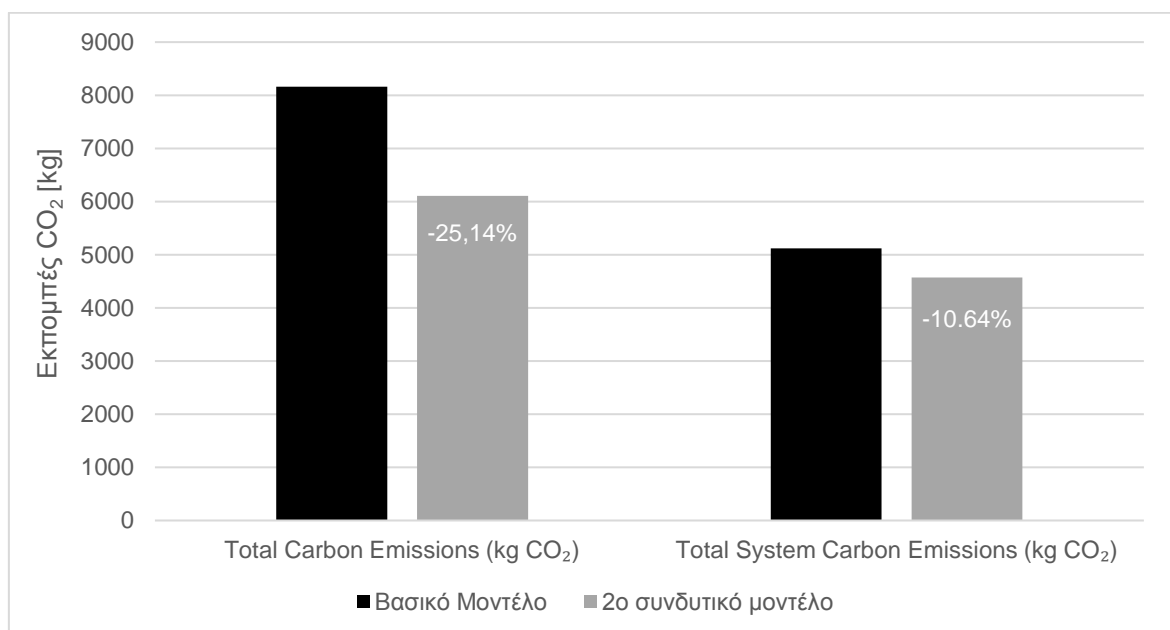


Διάγραμμα 4.22. Κατανάλωση ενέργειας 2ου συνδυαστικού σεναρίου σε σύγκριση με το βασικό μοντέλο



Η μεγαλύτερη μείωση κατανάλωσης ενέργειας που αποφέρει το 2<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο εφαρμογής δεν έχει τα ίδια αποτελέσματα και στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Προκαλεί μία μείωση της τάξης του 25%, αρκετά μικρότερη από το 1<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο. Βέβαια ιδιαίτερη συμβολή σε αυτό έχει και η ύπαρξη του συστήματος ψύξης αλλά και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται από την αντλία θερμότητας. Οι συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> του κτηρίου πλέον ανέρχονται στα 6.110,01 kg τον χρόνο ή αλλιώς 59,74 kg/m<sup>2</sup>, μια τιμή η οποία απέχει αρκετά από τους στόχους. Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου συνδυαστικού μοντέλου εφαρμογής και ταυτόχρονη επίτευξη στόχου μετατροπής της οικίας σε κτήριο μηδενικών εκπομπών, κρίνεται αναγκαία η χρήση Α.Π.Ε. για την κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας τόσο του εξοπλισμού της οικίας όσο και του συστήματος θέρμανσης/ψύξης.

Διάγραμμα 4.23. Εκπομπές CO<sub>2</sub> 2ου συνδυαστικού μοντέλου



#### 4.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Α.Π.Ε.

Ο μεγάλος ρυθμός αύξησης τους ανθρώπινου πληθυσμού επηρεάζει σημαντικά το αστικό και κατ' επέκταση το δομημένο περιβάλλον. Έως το 2050 υπολογίζεται πως ο αριθμός των ανθρώπων στην Γη θα φτάσει τα 9 δισεκατομμύρια με άμεση συνέπεια την αύξηση των ενεργειακών αναγκών. Αν ληφθεί υπόψιν και η σταδιακή υπερθέρμανση του πλανήτη, οι ανάγκες για ψύξη στο μέλλον θα είναι πραγματικά πολύ μεγάλες. Αυτό καθιστά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως μια ολοένα και πιο σημαντική λύση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής ασφάλειας. Σημαντική προσπάθεια πραγματοποιείται στην ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών πλαισίων (PV) και ανεμογεννητριών στο αστικό περιβάλλον που δείχνουν σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. [Kolokotsa, 2017]

Μετά την προσομοίωση των δύο συνδυαστικών μοντέλων παρατηρήθηκε πως πραγματοποιήθηκε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε μεγάλο ποσοστό. Η προσέγγιση του τελικού στόχου ενός κτηρίου με μηδενικές ανθρακούχες εκπομπές έγινε αλλά για την επίτευξη του κρίνεται αναγκαία η χρήση συστημάτων Α.Π.Ε. έτσι ώστε να απαλειφθούν. Πρώτη χρήση Α.Π.Ε. έγινε με την χρήση βιομάζας αντί πετρελαίου για το σύστημα θέρμανσης και τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερος ενθαρρυντικά, συνεπώς η αντικατάσταση κάθε συμβατής πηγής ενέργειας με μία άλλη που υπάρχει σε αφθονία στο περιβάλλον και με φυσικό τρόπο, φαίνεται ιδανική. Αποφασίστηκε η προσομοίωση τεσσάρων ξεχωριστών μοντέλων, με χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ (PV) και χρήση ανεμογεννητριών (Α/Γ) οικιακής χρήσης για κάθε συνδυαστικό μοντέλο.

##### 4.4.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η απευθείας μετατροπή της ηλιακής (ή μορφής τεχνητής φωτεινής) ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Το φαινόμενο αυτό το διαπίστωσε ο Edmond Becquerel το 1839 παρατηρώντας αύξηση τάσης ανάμεσα σε πλακίδια αργυρίου μετά την πρόσπτωση του ηλιακού φωτός. Η μετατροπή αυτή γίνεται όταν μια φωτεινή ακτινοβολία φωτίσει μια επαφή p-n. Κάποια από τα φωτόνια απορροφούνται από τα υλικά των ημιαγωγών πρόσμιξης δημιουργώντας ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής. Τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν προς τον ημιαγωγό τύπου -n ενώ οι οπές προς τον ημιαγωγό τύπου -p. Οι αντίθετες αυτές κινήσεις δημιουργούν το ηλεκτρικό ρεύμα (φωτορεύμα). Για καλύτερη κατανόηση η επαφή p-n δημιουργείται με την πρόσμιξη δύο ημιαγωγών τύπου p-n όπου υπάρχει ταυτόχρονη κίνηση από τα ηλεκτρόνια τύπου -n και τις οπές του τύπου -p αντίστοιχα προς τον έτερο ημιαγωγό. Με την διάχυση (όπως ονομάζεται) δημιουργείται αριστερά και δεξιά της επαφής αυτής η περιοχή απογύμνωσης όπου δεν υπάρχουν ελεύθερα φορτία όπου στην συνέχεια δημιουργείται διαφορά δυναμικού με την ελαφριά θετική φόρτιση του ημιαγωγού τύπου -n και την αρνητική φόρτιση τύπου -p. Μία τέτοια επαφή p-n αποτελεί ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο του οποίου βασικός ημιαγωγός πρόσμιξης είναι το πυρίτιο (Si). Με την ένωση πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων δημιουργείται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και η ηλεκτρική σύνδεση πολλών πλαισίων μαζί (σε σειρά ή παράλληλα) δημιουργούν ένα σύστημα. Τυπικές τιμές ισχύος PV συστημάτων του εμπορίου φτάνουν έως 150 W<sub>p</sub>. [Τσούτσος & Κανάκης, 2016]

Υπάρχουν διάφορα είδη PV στοιχείων. Ο κυριότερος τρόπος κατανομής τους σε κατηγορίες είναι με διαχωρισμό των ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται καθώς αποτελεί σημαντικό παράγοντα στον υπολογισμό τη απόδοσής τους. Την καλύτερη απόδοση θεωρείται πως έχουν τα PV στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου η οποία φτάνει 14-18%. Ακολουθούν αυτά από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο με απόδοση 10-14% ενώ αυτά με άμορφο πυρίτιο υπολογίζονται πως αποδίδουν σταθερά κατά 13%. Άλλα πιθανά στοιχεία που έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται είναι ο χαλκός, το ίνδιο, το γάλιο και το σελήνιο, ενώ έχει εμφανιστεί και PV στοιχείο με λεπτό υμένα καδμίου-τελουρίου. Άλλες κατηγορίες κατηγοριοποίησης των PV στοιχείων είναι οι τύποι επαφής, ο τρόπος κατασκευής και η διάταξη του συστήματος αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας. [Τσούτσος & Κανάκης, 2016]

Τα PV συστήματα που δημιουργούνται με την ένωση πολλών πάνελ και ουσιαστικά PV στοιχείων, χωρίζονται και αυτά σε κατηγορίες. Υπάρχουν συστήματα τα οποία είναι ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (με εφαρμογή σε μικροσυσκευές, επιστημονικές συσκευές ή επαγγελματικές και οικιακές χρήσεις σε απομακρυσμένες περιοχές) και μπορούν να είναι αυτόνομα. Επίσης, μια κατηγορία PV συστήματος είναι να είναι συνδεδεμένα σε δίκτυο όπου το ρεύμα παρέχεται σε αντιστροφέα (inverter) για εναλλαγή του συνεχούς ρεύμα που παράγεται σε εναλλασσόμενο, και στην συνέχεια μέσω διανεμητή μοιράζεται στο εσωτερικό δίκτυο. Αν υπάρχει έλλειψη ενέργειας τότε το σύστημα καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα από το κεντρικό δίκτυο, ενώ αν υπάρχει περίσσεια το παροχετεύει σε αυτό. [Τσούτσος & Κανάκης, 2016]

Η κατηγορία η οποία απασχολεί και την παρούσα εργασία είναι τα PV συστήματα ενσωματωμένα σε κτήρια (ΦΒΕΚ) τα οποία συνήθως είναι συνδεδεμένα σε κεντρικό δίκτυο. Τέτοια συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν είτε στην οροφή του κτηρίου με την κατάλληλη κλίση και πάντα προσανατολισμού προς τον Νότο για την περιοχή που γίνεται η μελέτη, είτε στην πρόσοψη του. [Τσούτσος & Κανάκης, 2016]

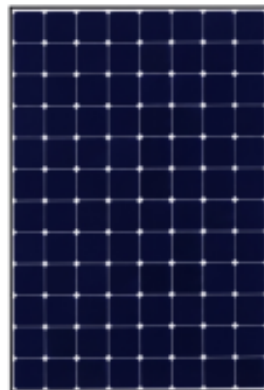
Για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων της μελέτης, επιλέχθηκαν PV πλαίσια τα οποία τοποθετήθηκαν στην επίπεδη οροφή του κτηρίου. Για καλύτερη απόδοση επιλέχθηκε PV μονοκρυσταλλικού Si. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά δημιουργίας και εγκατάστασης παρουσιάζονται στον πίνακα .

Πίνακας 4.5. Χαρακτηριστικές τιμές PV πλαισίων

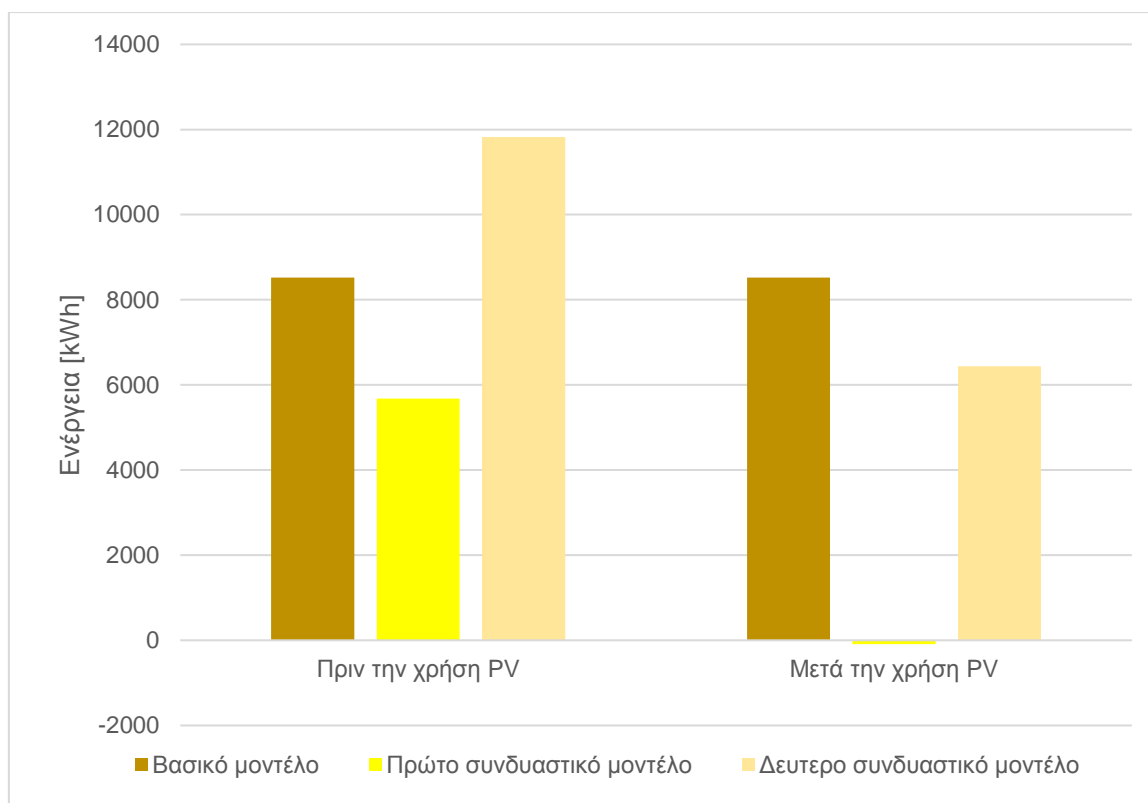
Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Περιγραφή	SPR-X21-345
Τύπος	Monocrystalline Silicon
Ονομαστική Ισχύς	0,18
Ονομαστική θερμοκρασία PV στοιχείου	41,5°C
Ονομαστική ακτινοβολία	1.000 W/(m <sup>2</sup> *K)
Ύψος	1.559 m
Μήκος	1.046 m
Πλάτος	0.046 m
Βάρος	18,6 kg
Χαρακτηριστικά εγκατάστασης	
Αζιμούθιο	180°
Κλίση	30°
Συντελεστής σκίασης	1,000

Αποφασίστηκε η εγκατάσταση 12 PV πάνελ στην οροφή του κτηρίου, τα οποία θα συνδέονταν με το κεντρικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος έτσι ώστε να συμψηφίζεται η παραγόμενη ενέργεια και αναλόγως την κατάσταση να παρέχει στο δίκτυο την περίσσεια ρεύματος ή να καταναλώνει περισσότερη ενέργεια αν υπάρχει έλλειψη. Τα θερμικά φορτία δεν επηρεάζονται από την εγκατάσταση των πάνελ καθώς δεν αποτελούν επέμβαση στο κτηριακό κέλυφος ή στα θερμικά κέρδη. Έτσι υπάρχει αλλαγή στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς καταναλώνεται λιγότερη σε σχέση με πριν. Στο 1<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο η ενέργεια που παράγεται από τα PV πάνελ ξεπέρασε το επίπεδο των απαιτήσεων της οικίας. Βέβαια στο 2<sup>ο</sup> συνδυαστικό σενάριο στο οποίο έγινε προσθήκη συστήματος ψύξης και λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα όπως και το σύστημα θέρμανσης (θερμική αντλία) η ηλεκτρική ενέργεια η οποία απαιτείται για την πλήρη κάλυψη των αναγκών μειώθηκε κατά το ήμισυ αλλά υπάρχει ακόμα μεγάλη ανάγκη η οποία ξεπερνά τις 6.000 kWh τον χρόνο. Όλες αυτές οι παρατηρήσεις αποτυπώνονται στο διάγραμμα 4.24.

Εικόνα 4.1 SunPower SPR-X21-345

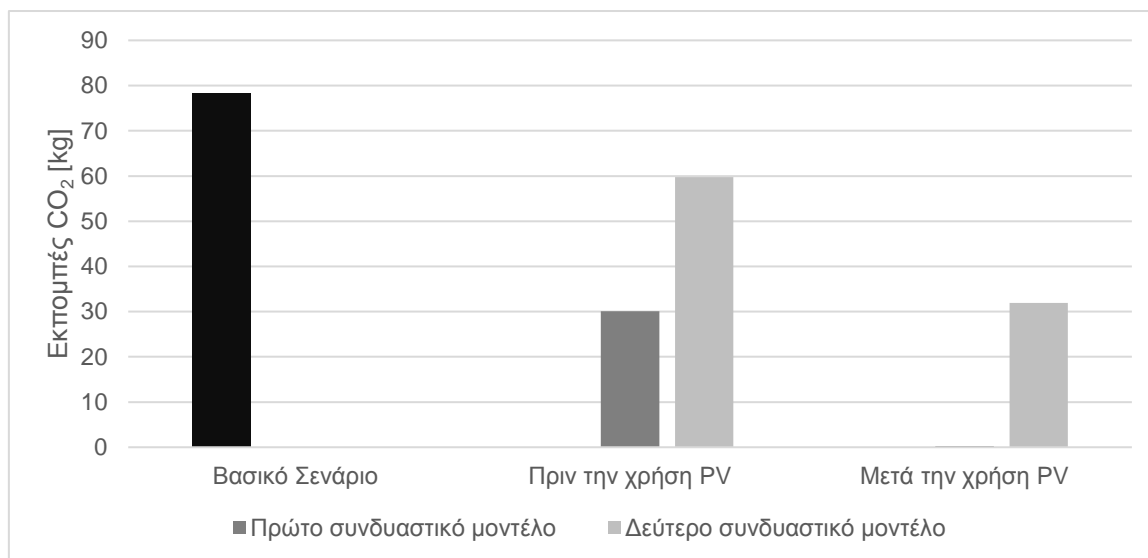


Διάγραμμα 4.24. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των τριών σεναρίων πριν και μετά την εγκατάσταση PV



Οι διαφορές στην κατανάλωση ενέργειας που φαίνονται στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνονται και στις εκπομπές CO<sub>2</sub> των δύο συνδυαστικών μοντέλων. Βέβαια πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη πως στο πρώτο συνδυαστικό μοντέλο υπάρχει μόνο θέρμανση η οποία καλύπτεται από βιομάζα ενώ στο δεύτερο υπάρχει σύστημα θέρμανσης και ψύξης το οποίο καλύπτεται αποκλειστικά από ηλεκτρική ενέργεια. Τα αποτελέσματα για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> φαίνονται στο διάγραμμα 4.25.

Διάγραμμα 4.25. Εκπομπές CO<sub>2</sub> των συνδυαστικών σεναρίων πριν και μετά την εγκατάσταση PV



Η εγκατάσταση PV πλαισίων στην οροφή αποδεικνύει πως είναι βασικό μέτρο το οποίο πρέπει να εφαρμοστεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος των αυξημένων εκπομπών CO<sub>2</sub> από ένα κτήριο. Όπως φαίνεται στο πρώτο συνδυαστικό σενάριο με την χρήση βιομάζας και της ηλιακής ενέργειας μετατρεπόμενης σε ηλεκτρική ενέργεια επιτεύχθηκε μείωση 99,60% , φτάνοντας από 78,39 kg/m<sup>2</sup> σε 0,27 kg/m<sup>2</sup>, καθιστώντας το κτήριο σε μηδενικής εκπομπής (zero-emission-building). Η επιλογή τοποθέτησης συστήματος συνδυασμού θέρμανσης και ψύξης με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται πως δεν βοήθησε στην επίτευξη του μηδενισμού των εκπομπών και χρειάζεται την τοποθέτηση και άλλων πλαισίων. Με 12 PV πάνελ εγκατεστημένα απομένουν 6.436,3 kWh οι οποίες καλύπτονται ακόμα με ηλεκτρικό ρεύμα, πράγμα που σημαίνει πως χρειάζεται η τοποθέτηση τουλάχιστον του διπλού αριθμού πάνελ. Μέσω νέας προσομοίωσης παρατηρήθηκε πως χρειάζονται 14 επιπλέον πάνελ για την εκμηδένιση των εκπομπών, πράγμα που καθιστά το 2<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο πολύ πιο δαπανηρό από το πρώτο. Αυτό παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο 4.5 το οποίο αναφέρεται στην κοστολόγηση.

#### 4.4.2. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Μία από τις κύριες μορφές Α.Π.Ε. είναι η αιολική ενέργεια, δηλαδή η κινητική ενέργεια που προκαλείται από την κίνηση του ανέμου. Ως άνεμος ορίζεται μια αέρια μάζα η οποία κινείται σε σχέση με την επιφάνεια της Γης, και δημιουργούνται λόγω της μεταβολής θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα, αφού μια αέρια μάζα η οποία θερμαίνεται ανυψώνεται (γίνεται ελαφρύτερη) ενώ μια ψυχρή μάζα αέρα κινούνται οριζόντια παίρνοντας τις θέσεις τους.

Η κίνηση μιας μάζας έχει συγκεκριμένη ταχύτητα. Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζεται άμεσα από την τραχύτητα του εδάφους. Για τον σωστό υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου σε συγκεκριμένο ύψος  $z$  έχοντας πάρει μέτρηση στο ύψος  $z_r$  χρησιμοποιείται η εξίσωση 4.1

$$v_{(z)} = v_r \left( \frac{z}{z_r} \right)^a \quad [4.1]$$

όπου:

- $v_{(z)}$ : η ταχύτητα στο ύψος  $z$
- $v_r$ : η ταχύτητα στο ύψος αναφοράς  $z_r$
- $a$ : ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους (από 0 για επιφάνεια θάλασσας έως 2 για κέντρο πόλης)

Μέσω των ανεμογεννητριών η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η κινητική ενέργεια του ανέμου, αφού έχει υπολογιστεί η ταχύτητά του, υπολογίζεται από την εξίσωση 4.2.

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \quad [4.2]$$

όπου  $m$  η μάζα της αέριας μάζας. Με αντικατάσταση της μάζας από το γινόμενο της πυκνότητας του αέρα επί του όγκου του, αν θεωρηθεί πως ο όγκος είναι μεταβολή της επιφάνειας  $A$  η οποία αντιστοιχεί στην επιφάνεια του ρότορα και αν παραγωγιστεί η εξίσωση 4.2 τότε προκύπτει η αιολική ισχύς (εξίσωση 4.3).

$$P_a = \frac{1}{2} \rho_a A v^3 \quad [4.3]$$

Συνεπώς η αιολική ισχύς επηρεάζεται από το εμβαδό της επιφάνειας του ρότορα, την ταχύτητα και την πυκνότητα του ανέμου, όπου η τελευταία επηρεάζεται άμεσα από την θερμοκρασία του αέρα, την ατμοσφαιρική πίεση, το υψόμετρο και η σύστασή του. Η αιολική ισχύς  $P_a$  θα ήταν ιδανικά η ισχύς μιας Α/Γ αλλά εξαιτίας διάφορων παραμέτρων η πραγματική ισχύς της υπολογίζεται με την ιδανική ( $P_a$ ) πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή  $B_{enz}$  (0,593) ο οποίος είναι η μέγιστη δυνατή απόδοση μιας Α/Γ.

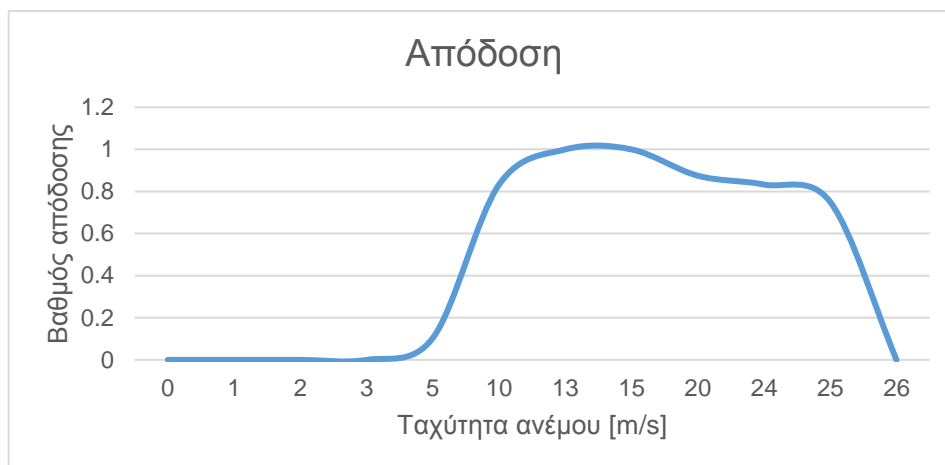
Μια Α/Γ αποτελείται από διάφορα, αποτελώντας ένα σύστημα μετατροπής της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε κινητική ενέργεια των εξαρτημάτων της και τελικά σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κινητική ενέργεια του ανέμου περιστρέφει τον ρότορα δημιουργώντας κινητική ενέργεια των πτερυγίων μέσω της αρχής της αεροδυναμικής. Το κιβώτιο ταχυτήτων ελέγχει την κίνηση των πτερυγίων και μεταφέρει ομαλά την ενέργεια αυτή στο υπόλοιπο σύστημα. Λόγω επιθυμίας αύξησης της απόδοσης αλλά και ηχορύπανσης έχει αρχίσει η κατασκευή Α/Γ χωρίς κιβώτιο. Η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται στην γεννήτρια η οποία παράγει συνεχές ρεύμα. Οι μεγάλες Α/Γ που συνδέονται με το δίκτυο είναι τριφασικές εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο μηχανισμός ρύθμισης διεύθυνσης της πλήμνης μετακινεί την πλήμη ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου ενώ ο πύργος περικλείει όλα αυτά τα συστήματα και στηρίζει την πλήμη στο επιθυμητό ύψος. [Τσούτσος & Κανάκης, 2016]

Η Α/Γ που αποφασίστηκε να εξεταστεί είναι οικιακής χρήσης με οριζόντιο άξονα. Πρόκειται για την Skystream 3.7 με ύψος πλήμνης στα 16 μέτρα και ονομαστικής ισχύς 2,4 kW. Η τοποθέτησή της θεωρητικά πραγματοποιήθηκε στο εξωτερικό μέρος του κτηρίου και συνδέθηκε με το δίκτυο. Η καμπύλη ισχύος της Α/Γ παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.26.



Εικόνα 4.2. Α/Γ Skystream 3.7

Διάγραμμα 4.26. Καμπύλη απόδοσης Α/Γ Skystream3.7



Όπως ήταν αναμενόμενο, για τους ίδιους λόγους με τα PV τα φορτία του κτηρίου παρέμειναν σταθερά. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από μια Α/Γ υπολογίστηκε κοντά στις 1.242 kWh. Οι ανάγκες όμως των συνδυαστικών μοντέλων για ηλεκτρική ενέργεια είναι αρκετά μεγαλύτερη και μία Α/Γ δεν μπορεί να τις καλύψει από μόνη της. Και στις δύο περιπτώσεις ο επιθυμητός στόχος μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> δεν επιτυγχάνεται καθώς στην καλύτερη περίπτωση, αυτή του πρώτου συνδυαστικού μοντέλου, οι τελικές ετήσιες εκπομπές είναι 25,70 kg/m<sup>2</sup>, αρκετά μακριά από το επίπεδο που πρέπει ενώ για το δεύτερο συνδυαστικό οι εκπομπές ξεπερνάνε τα 50 kg/m<sup>2</sup>. Συμπεραίνεται λοιπόν, πως η λύση εγκατάστασης μιας Α/Γ επιφέρει μείωση περίπου 10-15% των εκπομπών CO<sub>2</sub>, σημαντική μεν αλλά χρειάζεται ο συνδυασμός της με άλλες Α.Π.Ε. για την εκμηδένισή τους.

## 4.5. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ

Κάθε επέμβαση που πραγματοποιείται στο κτήριο για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO<sub>2</sub> έχει οικονομικό αντίκτυπο στον χρήστη. Η αγορά και εγκατάσταση υλικών μόνωσης, κουφωμάτων και συστημάτων HVAC είναι μια δαπανηρή διαδικασία η οποία όμως λόγω των υπάρχοντων συνθηκών στον κόσμο κρίνεται αναγκαία. Το κόστος κάθε ενέργειας ξεχωριστά αποτυπώνεται στον πίνακα 4.6 με τις μέγιστες τιμές που εντοπίστηκαν στην αγορά, για να αποτυπωθεί το χειρότερο οικονομικό σενάριο που θα μπορούσε να αποφέρει αποτελέσματα.

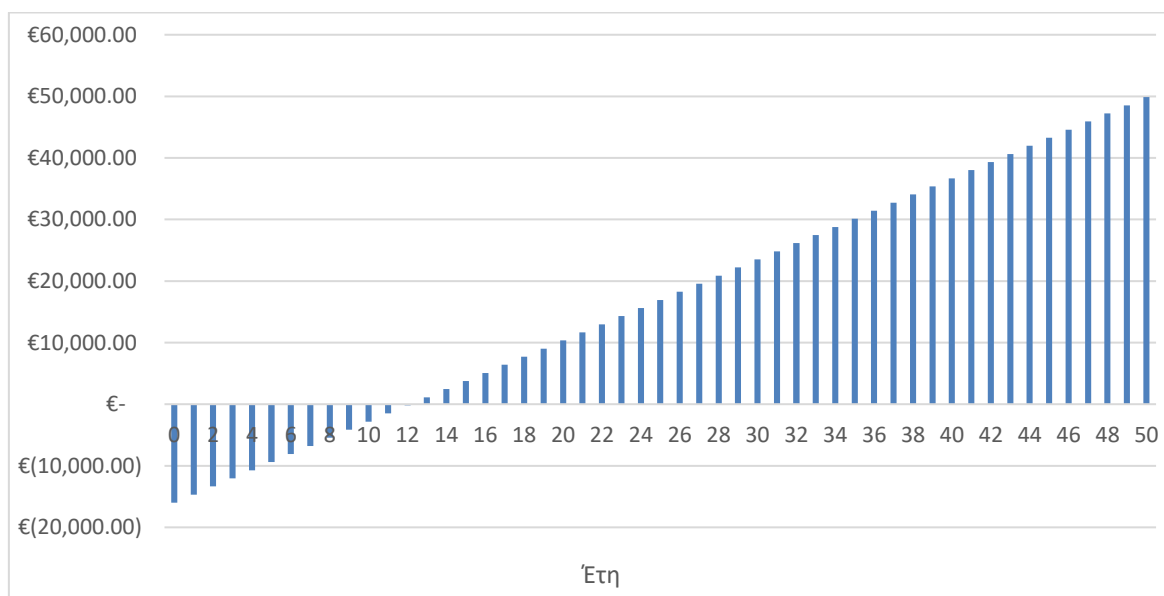
Πίνακας 4.6. Κόστος μέτρων εφαρμογής

Μέτρο εφαρμογής	Κόστος
Διπλοί υαλοπίνακες με Αργό και κούφωμα αλουμινίου	1.700,00 €
Τριπλοί υαλοπίνακες με Αργό και PVC	5.000,00 €
Πετροβάμβακας	450,00 €
Υαλοβάμβακας	200,00 €
EPS	850,00 €
XPS	500,00 €
Supafil (Παρθένος ορυκτοβάμβακας)	2.400,00 €
Ηρακλείτης	1.200,00 €
Σύστημα θέρμανσης βιοαερίου	1.650,00 €

Σύστημα θέρμανσης βιομάζας	2.600,00 €
Αντλία θερμότητας	4.200,00 €
Αντικατάσταση ηλεκτρικού εξοπλισμού	1.900,00 €
Λαμπτήρες	33,00 €
PV πάνελ (12 τεμάχια)	6.000,00 €
A/G Skystream3.7	10.000,00 €

Το βέλτιστο σενάριο το οποίο δημιουργήθηκε και ήταν εντός των επιθυμητών ορίων μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> ήταν το 1<sup>ο</sup> συνδυαστικό μοντέλο μετά την εγκατάσταση των PV. Επειδή ήταν το μοναδικό σενάριο το οποίο πέτυχε τον στόχο του κτηρίου μηδενικών εκπομπών, υπολογίστηκε το κόστος υλοποίησης του και ο χρόνος αποπληρωμής. Συγκεκριμένα το σύνολο των επεμβάσεων έφτασε να απαιτεί την δαπάνη των 16.000 €. Από τα θερμικά φορτία υπάρχει μείωση σε σχέση με το βασικό σενάριο 323,7 kWh ενώ έχει εκμηδενιστεί και η κατανάλωση 8.524 kWh ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή 2.949,2 kWh το τετράμηνο. Αν ληφθεί υπόψιν η χρέωση της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η) για οικιακή χρήση, ανά τετράμηνο οι χρεώσεις είναι για τις πρώτες 800 kWh 0,08925 €/kWh, για τις επόμενες 800 kWh 0,11373€/kWh, για τις επόμενες 400 kWh 0,13959 €/kWh και για τις υπόλοιπες 0,18674 €/kWh. Οι εξοικονόμηση που πραγματοποιείται μέχρι στιγμής ετησίως είναι 1.186,10 €. Αν θεωρηθεί τιμή πετρελαίου θέρμανσης 0,91556 €/L τότε εξοικονομούνται 824 €. Αντί αυτών θα δαπανηθούν χρήματα για την χρήση βιομάζας. Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως ετησίως παράγονται 10.898,20 kWh από την καύση βιομάζας. Αν επιλεγθεί η καύση pellets και θεωρηθεί μέση κατώτερη θερμογόνο δύναμη 5 kWh/kg (επειδή παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κυρίως λόγω υγρασίας) τότε η πρωτογενή ενέργεια είναι 12821,40 kWh αν ληφθεί υπόψιν και ο συντελεστής απόδοσης του καυστήρα, άρα και 2564,28 kg. Με κόστος αγοράς 0,27 €/kg το κόστος των pellets σε ετήσια βάση ανέρχεται στα 693 €, 131€ λιγότερα από το πετρέλαιο. Συνεπώς η συνολική εξοικονόμηση χρημάτων σε ετήσια βάση ξεπερνάει τα 1300€ και ο χρόνος αποπληρωμής των δαπανών, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.27 είναι 13 χρόνια. Αν θεωρηθεί πως ένα κτήριο έχει κύκλο ζωής 50 έτη τότε η υλοποίηση του συγκεκριμένου πλάνου μπορεί να αποφέρει και κέρδη 50.000,00 €.

Διάγραμμα 4.27. Αποπληρωμή έργου





Επίσης είναι σημαντικό να γίνει μια εκτίμηση κοστολόγησης και αποπληρωμής και σε σύγκριση με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που είναι το κύριο σημείο της μελέτης. Κάθε χρόνο το κτήριο εκπέμπει 7.990,88 kg λιγότερο CO<sub>2</sub>. Με κύκλο ζωής του κτηρίου 50 έτη, υπολογίζεται ότι με τις συγκεκριμένες επεμβάσεις αποτρέπεται η έκλυση 400 t CO<sub>2</sub> στο περιβάλλον. Συνεπώς το κόστος που θα πραγματοποιήσει ο χρήστης είναι 0,04€/kg CO<sub>2</sub> ενώ τον χρόνο το κέρδος του είναι 0,16 €/kg CO<sub>2</sub>. Είναι απόλυτα κατανοητό πως και από οικονομικής άποψης μια τέτοια επέμβαση είναι αναγκαία.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι πλήρως κατανοητό πως οι περιβαλλοντικές συνθήκες δυσχεραίνουν με την πάροδο των χρόνων καθώς η ανθρώπινη δραστηριότητα ολοένα και αυξάνεται και πραγματοποιεί επεμβάσεις στο περιβάλλον χωρίς να λαμβάνει τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα. Ως αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών οι εκπομπές των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου, μέσα σε αυτά και το CO<sub>2</sub>, αυξάνονται διαρκώς με μεγάλους ρυθμούς και η παγκόσμια κοινότητα έχει ήδη αρχίσει να ανησυχεί και να λαμβάνει μέτρα. Μια από τις βασικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι τα κτήρια τα οποία έχουν δημιουργηθεί για την στέγαση και διαμονή τους, για επαγγελματικούς και βιομηχανικούς σκοπούς καθώς και για την εξυπηρέτηση κάθε ανάγκης ή βούλησης τους. Η ύπαρξη και η λειτουργία ενός κτηρίου όμως απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας η οποία μέχρι σήμερα παράγεται στο μεγαλύτερο ποσοστό της από συμβατικές πηγές όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα τα οποία κατά την διάρκεια της καύσης τους παράγουν μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub>. Πρώτο και γενικό συμπέρασμα λοιπόν, είναι ότι για τα κτήρια τα οποία υφίστανται ήδη και κυρίως αυτά τα οποία θα κατασκευαστούν θα πρέπει να προβλεφθεί η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και κυρίως η αντικατάσταση των συμβατών πηγών ενέργειας με ανανεώσιμες.

Για την διαπίστωση όλων αυτών, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διενεργήθηκε μελέτη σε μονώροφη μονοκατοικία συνολικού δομημένου εμβαδού 102,38 m<sup>2</sup> η οποία βρίσκεται στον νομό Χανίων στην Κρήτη, μια περιοχή με ήπιο χειμώνα και ζεστό καλοκαίρι. Η οικία αυτή λόγω παλαιάς κατασκευής είχε το κτηριακό κέλυφος χωρίς θερμοπροστασία με εξαίρεση την οροφή, καυστήρα πετρελαίου για σύστημα θέρμανσης και ηλεκτρικές συσκευές χαμηλής ενεργειακής κλάσης. Για την θέρμανση της απαιτούνται περίπου 6.640 kWh ετησίως, ιδιαίτερα αυξημένο ποσό ενέργειας καθώς αποτελεί το 33,5% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνει το κτήριο. Με την χρήση ηλεκτρικής καθώς και θερμικής ενέργειας παραγόμενη από πετρέλαιο οι ετήσιες εκπομπές ξεπερνούν τους 8 t και το περιβαλλοντικό αντίκτυπο της λειτουργίας του σπιτιού, μόνο από πλευράς άμεσων εκπομπών είναι αρκετά μεγάλο. Οι πολιτικές οι οποίες έχουν τεθεί παγκοσμίως είναι αρκετά αυστηροί για αυτόν τον τομέα και θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν καίριες επεμβάσεις στο κτήριο με σημαντικά αποτελέσματα, έτσι ώστε το η οικία να μετατραπεί σε κτήριο μηδενικών εκπομπών.

Αποφασίστηκε η δοκιμή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας όπως η μόνωση της οικίας και η θωράκιση του για μείωση των θερμικών αναγκών, η αντικατάσταση του ηλεκτρικού εξοπλισμού με νέες συσκευές υψηλής ενεργειακής κλάσης καθώς και η αντικατάσταση του συστήματος θέρμανσης πετρελαίου με καυστήρα άλλων καυσίμων, φιλικότερων προς το περιβάλλον. Από τα πειράματα και τα αποτελέσματά τους μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι η επέμβαση στο κέλυφος του κτηρίου σαφώς μειώνει τα φορτία, την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό έτσι ώστε να προσεγγιστούν τα επιθυμητά επίπεδα. Σε σύγκριση με την δαπάνη που απαιτείται για την εφαρμογή των μέτρων αυτών, και ειδικά αυτών που το κόστος είναι αρκετά μεγαλύτερο από τα άλλα (π.χ. τριπλός υαλοπίνακας) ίσως να είναι ασύμφορη η εφαρμογή τους.

Η αντικατάσταση του καυστήρα πετρελαίου με συστήματα θέρμανσης βιοαερίου, βιομάζας αλλά και αντλία θερμότητας σίγουρα αποτελεί την πρώτη αξιόπιστη λύση φτάνοντας ποσοστά μείωσης των εκπομπών έως και 40%. Ιδιαίτερης σημασίας χρήζει η κατάλληλη επιλογή, με την χρήση βιομάζας να είναι η ιδανικότερη. Το ηλεκτρικό ρεύμα της αντλίας θερμότητας και το βιοαέριο με περιεκτικότητα CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>, σίγουρα αποτελούν αξιόπιστες λύσεις αποφέροντας μείωση αλλά εισέρχονται σε δεύτερη μοίρα καθώς δεν είναι καθαρές μορφές ενέργειας. Η βιομάζα αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καθώς παράγεται με τον ίδιο ρυθμό που καταναλώνεται. Επίσης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα καύσιμα έχει τον μικρότερο συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub>. Είναι λοιπόν το πρώτο δείγμα ότι η χρήση ΑΠΕ αποτελεί μονόδρομο για την μετατροπή της κατοικίας σε κτήριο μηδενικών εκπομπών.

Επειδή οι ΑΠΕ αυτή την χρονική στιγμή έχουν ένα σχετικό κόστος, θα ήταν σημαντικό πριν την εφαρμογή τους να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή μείωση των εκπομπών με τα υπόλοιπα μέτρα τα οποία στο σύνολό τους έχουν χαμηλότερο κόστος. Όπως ήταν λογικό, αποφασίστηκε η σύνθεση ενός συνδυαστικού μοντέλου το οποίο θα περιείχε όλα τα μέτρα τα οποία παρουσίασαν επιμέρους τα καλύτερα αποτελέσματα. Αν και μεμονωμένα τα αποτελέσματα παρουσίαζαν μικρές μειώσεις, ο συνδυασμός τους έδωσε μια μεγάλη μείωση των εκπομπών σε ποσοστό περίπου 62%. Χρήσιμο συμπέρασμα λοιπόν αποτελεί πως είναι αναγκαία η ταυτόχρονη εφαρμογή μέτρων καθώς επιτυγχάνει σημαντικές μειώσεις εκπομπών και καθιστά την εφαρμογή ΑΠΕ αποτελεσματικότερη και αρκετά οικονομικότερη.

Με την λογική πως οι χρήστες του κτηρίου θα έπρεπε να εξασφαλίζουν κατάλληλες συνθήκες και το καλοκαίρι, δημιουργήθηκε και δεύτερο συνδυαστικό μοντέλο με σύστημα ψύξης. Το νέο σύστημα HVAC το οποίο συνδυάζε θέρμανση και ψύξη και απέτρεπε έξοδα για την αγορά δύο συστημάτων, ίσως να ήταν αποτελεσματικό όσο αφορά την θερμική άνεση αλλά αύξησε την κατανάλωση του κτηρίου σε σημαντικό ποσοστό ενώ η χρήση αποκλειστικά ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί στην εκπομπή CO<sub>2</sub> άνω των 6 t ετησίως.

Η χρήση Α/Γ συνέβαλε στην μείωση των εκπομπών αλλά περίπου στο 10%. Η χρήση της θα ήταν ιδανική μαζί με άλλες ΑΠΕ καθώς το κόστος μιας Α/Γ είναι ιδιαίτερα υψηλό και η τοποθέτηση δύο ή περισσότερων θα είναι οικονομικά ασύμφορη. Η εγκατάσταση PV στο κτήριο αποτέλεσε το καθοριστικό μέτρο για τον εκμηδενισμό των εκπομπών. Αν και με μεγάλο κόστος, κάλυψαν ένα σημαντικό ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνοντας έτσι τις εκπομπές. Το πρώτο συνδυαστικό σενάριο με την εγκατάσταση PV οδηγεί σε κρίσιμα συμπεράσματα πάνω στο πρόβλημα και στους τρόπους αντιμετώπισής του. Η θωράκιση του κελύφους ενός κτηρίου είναι σημαντική καθώς αποτρέπονται οι θερμικές απώλειες του κτηρίου και οι απαιτήσεις για την κάλυψη των φορτίων μειώνονται. Είναι όμως άκρως απαραίτητη η αντικατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από συμβατές πηγές, με ενέργεια παραγόμενη από ΑΠΕ. Η χρήση των ΑΠΕ πρέπει να αρχίσει να αυξάνεται και να πραγματοποιηθεί καθολικά, τόσο από τους απλούς πολίτες στις οικίες τους όσο και στο υπόλοιπο δομημένο περιβάλλον.

Τέλος, στο οικονομικό μέρος της μελέτης, αποδείχτηκε πως ο χρήστης του κτηρίου αν αποφασίσει να διενεργήσει ως προς την απεξάρτηση της κατοικίας του από άμεσες ανθρακούχες εκπομπές, σίγουρα θα έχει οικονομικό όφελος. Το χρονικό διάστημα αποπληρωμής των 13 ετών δεν είναι μεγάλο για να θεωρηθεί οικονομικά ασύμφορη η μελέτη, ενώ αν προσέξει κανείς τον συνολικό κύκλο ζωής της οικίας σε βάθος 50 ετών το κέρδος που θα έχει από το να διατηρήσει το βασικό μοντέλο είναι ένα σημαντικό ποσό. Βέβαια, οι κυβερνήσεις ανά χώρα και όλοι οι υπεύθυνοι οργανισμοί θα ήταν χρήσιμο αν

μπορούσαν να χορηγήσουν οικονομική βοήθεια στους πολίτες και να τους δώσουν οικονομικά κίνητρα τα οποία θα συμβάλλουν στην περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση των πολιτών πάνω στο θέμα.

## 5.2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει καλύψει σε μεγάλο βαθμό το θέμα τόσο των οικιστικών όσο και των γενικών κτηριακών άμεσων ανθρακούχων εκπομπών, ωστόσο υπάρχουν πολλά περιθώρια για μελλοντικές έρευνες οι οποίες θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην καλύτερη προσέγγιση του σκοπού ή στην πραγματική απεξάρτηση του κτηρίου από άνθρακα.

Ένας τομέας ο οποίος θα μπορούσε να ερευνηθεί είναι οι έμμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> ή αλλιώς embodied carbon. Είναι οι εκπομπές που προκαλούνται από την δημιουργία, την μεταφορά, την εγκατάσταση, την ύπαρξη και την εναπόθεση μετά τον κύκλο ζωής ενός υλικού ή μίας κατασκευής. Για να πραγματοποιηθούν όλα αυτά τα στάδια, ακολουθείται μια σειρά διαδικασιών η οποία απαιτεί ενέργεια για την πραγματοποίησή τους. Η επίδραση του ενσωματωμένου άνθρακα στις συνολικές εκπομπές ενός κτηρίου αποτελούν ένα σημαντικό μέρος και πρέπει να ερευνηθεί το μέγεθος της συνεισφοράς τους καθώς και το κατά πόσο θα μπορούσε να γίνει εκμηδένισή τους.

Ένα κτήριο όμως χρειάζεται ορισμένα δομικά υλικά για την κατασκευή του. Κάποια από αυτά τα υλικά έχουν σαν κύριο χημικό συστατικό τον άνθρακα όπως είναι τα πλαστικά (π.χ. κουφώματα PVC) ή μονωτικά υλικά. Μια έρευνα πάνω στην περιεκτικότητα των συνηθέστερων δομικών στοιχείων παγκοσμίως σε άνθρακα αλλά και στο κατά πόσο δομικά υλικά με λιγότερο άνθρακα (π.χ. φελλός) θα μπορούσαν να συμβάλλουν ενεργά στην καλύτερη λύση για κατασκευή και θωράκιση του κτηρίου, καθώς και το πώς θα μπορούσε να γίνει πιο αποτελεσματικό ένα κτήριο, θα ήταν αναγκαία.

Οι ΑΠΕ είναι το κυριότερο μέτρο για την πλήρη απεξάρτηση ενός κτηρίου από της εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η βελτίωση των υπάρχοντων συστημάτων, η εύρεση νέων συστημάτων και η δημιουργία κοινών μονάδων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ θα ήταν χρήσιμη έτσι ώστε στο μέλλον με τον ίδιο εξοπλισμό να πραγματοποιείται μεγαλύτερη μείωση τους και κάλυψη της ενέργειας που καταναλώνεται σε μεγαλύτερο εύρος. Η δημιουργία τέτοιων μονάδων ανά κοινότητα ή πόλη θα έριχνε το κόστος και θα ανέβαζε την ζήτηση του κόσμου και κατ' επέκταση την ευαισθητοποίηση του ως προς τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από τις υπερβολικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. Επίσης θα ήταν χρήσιμη η μελέτη ενός κτηρίου οικιακής χρήσης με ενσωματωμένα PV στην πρόσοψή του.

Επιπροσθέτως, μια πολύ καλή λύση μπορεί να προσφερθεί από την παραγωγή ενέργειας ανά κοινότητα ή ανά πόλη. Συστήματα συνδυασμού παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP Systems) ήδη έχουν αρχίσει να εγκαθίστανται με χαρακτηριστικό παράδειγμα στην Δανία όπου συνδέεται με τα συστήματα τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης και καλύπτει το 52% της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι CHP σε συνδυασμό με τη συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια μπορούν να αποτελέσουν μια πολύ ελπιδοφόρα λύση, δεδομένου ότι παράγουν θερμική ενέργεια υπό μορφή θερμού ρευστού. [Kolokotsa, 2017]. Η μελέτη απεξάρτησης μιας ολόκληρης κοινότητας από εκπομπές CO<sub>2</sub>

μέσω συστήματος CHP θα έδινε σημαντικά αποτελέσματα στην αντιμετώπιση του προβλήματος

Κλείνοντας, παρατηρήθηκε ότι ο οικονομικός παράγοντας είναι ένα βασικό μέρος για την υλοποίηση της μελέτης και μέχρι αυτή την χρονική περίοδο η πλειοψηφία των πολιτών δεν έχει εξοικειωθεί με την ιδέα. Μια οικονομική μελέτη σχετικά με την αγορά των υλικών ή των συστημάτων που πιθανώς θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του πρότζεκτ, καθώς και το πως οικονομικά κίνητρα θα παρακινήσουν τους πολίτες να δράσουν αποτελεσματικά προς όφελος του περιβάλλοντος θα αποτελούσε εξίσου σημαντικό μέρος στην απεξάρτηση των κτηρίων από ανθρακούχες εκπομπές.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- 2010/31/ΕΕ, Ο. (2010). Οδηγία 2010/31/ΕΕ Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου Και Του Συμβουλίου Για Την Ενεργειακή Απόδοση Των Κτιρίων. *Επίσημη Εφημερίδα Της Ε.Ε.*, L(153), 13–35. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2010.06.018>
- Gaglia, A. G., Dialynas, E. N., Argiriou, A. A., Kostopoulou, E., Tsiमितros, D., Stimoniari, D., & Laskos, K. M. (2019). Energy performance of European residential buildings: Energy use, technical and environmental characteristics of the Greek residential sector – energy conservation and CO<sub>2</sub> reduction. *Energy and Buildings*, 183, 86–104. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.042>
- Green Building. (n.d.). Retrieved from [www.greenbuilding.gr](http://www.greenbuilding.gr)
- IES Ltdolutions Ltd. (2012). *ApacheSim Calculation Methods <Virtual Environment 6.3>*.
- Insulation, K. (n.d.). *Παρθένος ορυκτοβάμβακας πλήρωσης*. 0–11.
- Kampelis, N., Gobakis, K., Vagias, V., Kolokotsa, D., Standardi, L., Isidori, D., ... Santamouris, M. (2017). Evaluation of the performance gap in industrial, residential & tertiary near-Zero energy buildings. *Energy and Buildings*, 148, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.057>
- Ki-moon, B. (n.d.). *Kyoto protocol, reference manual on accounting emissions and assigned amount*. Retrieved from [https://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf)
- Knauf Insulation. (n.d.). Retrieved from [www.knaufinsulation.gr](http://www.knaufinsulation.gr)
- Kolokotsa, D. (2017). Smart cooling systems for the urban environment. Using renewable technologies to face the urban climate change. *Solar Energy*, 154, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.004>
- Monotica, M. (n.d.). Μονώσεις Monotica. Retrieved from [www.monoseis-monotica.gr](http://www.monoseis-monotica.gr)
- Nejat, P., Jomehzadeh, F., Taheri, M. M., Gohari, M., & Muhd, M. Z. (2015). A global review of energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO<sub>2</sub> emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843–862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. (n.d.). Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας στα Συστήματα HVAC. *Υπουργείο Εργασίας*. <https://doi.org/10.1192/bjr.111.479.1009-a>
- Λαζαρίδης, Μ. (2016). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Οδηγία 2018/844/ΕΕ. (2018). Οδηγία (ΕΕ) 2018/844 Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου Και Του Συμβουλίου Για Την Τροποποίηση Της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ Για Την Ενεργειακή Απόδοση Των Κτιρίων Και Της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ Για Την Ενεργειακή Απόδοση. *Επίσημη Εφημερίδα Της Ε.Ε.*, 2018, 75–91.
- Τσούτσος, Θ., & Κανάκης, Ι. (2016). *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος. (n.d.-a). Πρωτόκολλο του Κιότο. Retrieved from <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=443&language=el-GR>
- Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος. (n.d.-b). Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών

για την κλιματική αλλαγή. Retrieved from  
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=442&language=el-GR>

Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2017). Απόφαση Αριθμ. Δεπεα/Οικ.178581/2017 Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. *Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως*, 2367(2).

Φαρμάκης, Δ. (2013). *Building Information Modeling (BIM): Ορισμός, τα οφέλη και οι εφαρμογές*. 6. Retrieved from  
[https://www.b2green.gr/files/B2Green.gr\\_PlusEnergyLab\\_Building\\_Information\\_Modeling.pdf](https://www.b2green.gr/files/B2Green.gr_PlusEnergyLab_Building_Information_Modeling.pdf)

Φραγκουλάκης. (n.d.). Φραγκουλάκης Μονωτικά Υλικά. Retrieved from  
[www.fragkoulakis.gr](http://www.fragkoulakis.gr)