

Ανάπτυξη υπολογιστικού εργαλείου  
εκτίμησης περιβαλλοντικών  
επιπτώσεων οικιακών συστημάτων  
θέρμανσης και ψύξης

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Σωτήριος Καρέλλας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2021





Development of assessment tool  
for environmental impact  
evaluations of residential heating  
and cooling systems

**Section: Thermal Engineering**

**Supervisor: Sotirios Karellas, Professor**

**Athens 2021**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Τρύφωνα Ρουμπεδάκη και τον μεταπτυχιακό φοιτητή Γιώργο Κάλλη για την συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχαν σε όλα τα στάδια της εργασίας. Δίχως την συνδρομή τους, δεν θα ήταν εφικτή η περάτωσή της. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Δέσποινα Μαγκίρη – Σκουλούδη και τον Στρατή Βαρβαγιάννη για την έμμεση υποστήριξη και καθοδήγηση. Τέλος, ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Σωτήριο Καρέλλα για την δυνατότητα εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Ονοματεπώνυμο

Λιανέρης Γεώργιος

## Contents

1.	Εισαγωγή.....	13
1.1	Αέρια του θερμοκηπίου .....	14
1.2	Στατιστικά στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO <sub>2</sub> σε κτήρια	14
1.2.1	Ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής Ελλάδας .....	17
1.3	Πράσινη ενεργειακή πολιτική στα κτήρια για την Ελλάδα .....	18
2.	Ανάλυση κύκλου ζωής .....	20
2.1	Εισαγωγή στην Ανάλυση κύκλου ζωής .....	20
2.1.1	Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης (Goal and Scope)	21
2.1.2	Ανάλυση και καταγραφή δεδομένων (inventory analysis).....	23
2.1.3	Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Impact Assessment).....	23
2.1.4	Εκτίμηση βελτιώσεων του συστήματος και ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Interpretation) .....	24
2.2	Η μέθοδος εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων ReCiPe 2016 .....	25
2.2.1	Χαρακτηρισμός σε επίπεδο midpoint.....	25
3.	Ανάλυση κύκλου ζωής για το εξεταζόμενο σύστημα .....	27
3.1	Εισαγωγή.....	27
3.2	Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης (Goal and Scope)	27
3.2.1	Σκοπός της μελέτης (Goal) .....	27
3.2.2	Αντικείμενο της μελέτης (Scope) .....	27
3.2.3	Υποθέσεις και Περιορισμοί (Assumptions and Limitations).....	28
3.2.4	Προδιαγραφές Ποιότητας Δεδομένων (Data Quality Requirements).....	30
3.2.5	Διαδικασία Κατανομής (Allocation Procedure) .....	30
3.2.6	Εκτίμηση Επιπτώσεων (Impact Assessment).....	31
3.3	Ανάλυση και καταγραφή δεδομένων (inventory analysis).....	31
3.3.1	Εξόρυξη πρώτων υλών – Κατασκευή Συστημάτων .....	31
3.3.2	Λειτουργία Συστημάτων .....	39
3.3.3	Τέλος κύκλου ζωής.....	40
4.	Μεθοδολογία – Μοντελοποίηση.....	41
4.1	Θερμικά Φορτία .....	41
4.1.1	Βαθμομέρες θέρμανσης .....	41
4.1.2	Μεθοδολογία υπολογισμού θερμικών φορτίων.....	43
4.2	Ψυκτικά φορτία.....	47
4.2.1	Βαθμώρες Ψύξης .....	47
4.2.2	Μεθοδολογία υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.....	48
4.3	Απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς.....	51
4.4	Υπολογισμοί για τα συστήματα θέρμανσης .....	52
4.4.1	Υπολογισμοί λέβητα πετρελαίου .....	52

4.4.2	Υπολογισμοί λέβητα φυσικού αερίου .....	52
4.4.3	Υπολογισμοί αντλίας θερμότητας .....	53
4.4.4	Υπολογισμοί θερμοσίφωνα .....	54
4.5	Υπολογισμοί για τα συστήματα ψύξης.....	54
4.5.1	Υπολογισμοί για κλιματιστικό (Air Conditioner).....	54
4.5.2	Υπολογισμοί για αντλία θερμότητας.....	54
4.6	Μεθοδολογία υπολογισμού του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.....	55
4.6.1	Φάση Εξόρυξης πρώτων υλών και Κατασκευής Συστημάτων .....	56
4.6.2	Φάση Λειτουργίας .....	56
4.7	Κατάλογος παραγόντων χαρακτηρισμού .....	59
5.	Παρουσίαση - οδηγίες χρήσης της εφαρμογής.....	62
5.1	Συνοπτική Παρουσίαση .....	62
5.2	Οδηγίες Χρήσης.....	65
5.2.1	Γενικές οδηγίες χρήσης.....	65
5.2.2	Καιρικά Δεδομένα.....	66
5.3	Inputs – Outputs Φορτία.....	68
5.3.1	Διενέργεια περιβαλλοντικής μελέτης, κάνοντας χρήση θερμικών και ψυκτικών φορτίων υπολογισμένων από άλλο λογισμικό.....	68
5.3.2	Θερμικά Φορτία – Ψυκτικά Φορτία - Παράγων μείωσης θερμικού κέρδους	69
5.3.3	Συστήματα Θέρμανσης-Ψύξης Μοντελοποίηση Αντλίας θερμότητας .....	70
5.4	Δυνατότητες βελτίωσης.....	72
5.4.1	Συστήματα θέρμανσης-ψύξης .....	72
5.4.2	Σύγκριση κόστους .....	72
5.4.3	Περιβαλλοντικό κόστος σωληνώσεων και λοιπών συστημάτων .....	72
6.	Αποτελέσματα.....	73
6.1	Περιβαλλοντική μελέτη για το κτήριο αναφοράς της εργασίας GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001.....	73
6.1.1	Καιρικά δεδομένα – θερμικά και ψυκτικά φορτία.....	74
6.1.2	Περιβαλλοντική μελέτη για τα εξεταζόμενα συστήματα και σενάρια.....	79
6.2	Περιβαλλοντική σύγκριση κτιρίων της Αθήνας για τα εξεταζόμενα σενάρια ..	84
6.2.1	Εξεταζόμενα κτήρια .....	84
6.2.2	Παραδοχές .....	84
6.2.3	Σύγκριση θερμικών-ψυκτικών φορτίων και των εξεταζόμενων σεναρίων ..	85
6.3	Περιβαλλοντική σύγκριση κτιρίων της Αθήνας για τα εξεταζόμενα σενάρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων .....	88
6.4	Σύγκριση συστημάτων για το κτήριο αναφοράς με την παραδοχή ότι το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα είναι κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο.....	91
7.	Συμπεράσματα.....	94
8.	Σύγκριση φορτίων με την εφαρμογή Tabula – Ανάλυση ευαισθησίας.....	96
8.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων θερμικών φορτίων για την κατοικία αναφοράς με την εφαρμογή Tabula-Episcopo.....	96

8.2	Ανάλυση ευαισθησίας για την περιβαλλοντική μελέτη .....	98
9.	Παράρτημα Α .....	101
10.	Παράρτημα Β .....	107
10.1	Φαινόμενο θερμογέφυρας .....	108
10.2	Συντελεστής χρήσης κτιρίου .....	108
11.	Παράρτημα Γ .....	110
12.	Λίστα Πινάκων.....	112
13.	Λίστα Σχημάτων .....	113
14.	Βιβλιογραφία .....	116

## Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο επιτρέπει τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων σε μια κατοικία ή εμπορικό κτήριο στην Αθήνα. Παράλληλα, υπολογίζει σημαντικές παραμέτρους για τέσσερα συστήματα θέρμανσης και ψύξης (λέβητα πετρελαίου, λέβητα φυσικού αερίου, αντλία θερμότητας και κλιματιστικά). Τέλος, διενεργεί μια συγκριτική περιβαλλοντική ανάλυση για τρία εξεταζόμενα σενάρια (λέβητας πετρελαίου - κλιματιστικά, λέβητας φυσικού αερίου - κλιματιστικά, αντλία θερμότητας – θερμοσίφωνα), κάνοντας χρήση μιας προσαρμοσμένης μεθόδου ανάλυσης κύκλου ζωής και της μεθόδου εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων ReCiPe 2016. Οι φάσεις του κύκλου ζωής που συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση είναι η εξόρυξη πρώτων υλών και κατασκευή των συστημάτων, η φάση της λειτουργίας και η διαχείριση των αποβλήτων μετά το πέρας της διάρκειας ζωής των συστημάτων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μελετώνται σε επίπεδο “midpoint” για τέσσερις κατηγορίες: κλιματική αλλαγή, εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων, εξάντληση ορυκτών πόρων και τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία.

Για την παρουσίαση της εφαρμογής, επιλέχθηκε ως κτήριο αναφοράς μια μονοκατοικία στην Αθήνα επιφάνειας 293m<sup>2</sup>. Επιπλέον, διενεργήθηκε πληθώρα μελετών περιπτώσεων με διαφορετικές παραδοχές σε κτήρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά κελύφους και για τις ανακαινισμένες εκδοχές αυτών των κτηρίων. Σχεδόν σε όλα τα σενάρια ο συνδυασμός της αντλίας θερμότητας και του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα παρουσιάζουν τον μικρότερο αντίκτυπο για τις κατηγορίες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των ορυκτών πόρων, ενώ παρουσιάζουν αυξημένο αντίκτυπο στις κατηγορίες της τοξικότητας και των πόρων μεταλλευμάτων. Ωστόσο, καθώς οι θερμικές και ψυκτικές ανάγκες μειώνονται, οι διαφορές με τον συνδυασμό λέβητα φυσικού αερίου και κλιματιστικών μονάδων κρίνονται αμελητέες. Ο συνδυασμός λέβητα πετρελαίου και κλιματιστικών μονάδων δεν προτιμάται σε κανένα από τα εξεταζόμενα σενάρια, ανεξαρτήτως παραδοχών.

Τέλος, προκύπτει το συμπέρασμα, για παλιά μη ανακαινισμένα κτήρια, η αντλία θερμότητας αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή, ενώ για νέα ή ανακαινισμένα κτήρια, ο λέβητας φυσικού αερίου αποτελεί μια συνολικά καλύτερη επιλογή, καθώς παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι της αντλίας θερμότητας κυρίως στην κατηγορία της τοξικότητας.



## Abstract

In the current thesis, an application was developed, which allows the calculation of thermal and cooling loads in a residential or commercial building in Athens. At the same time, it calculates important parameters for four heating and cooling systems (oil boiler, gas boiler, heat pump and air conditioners). Finally, it performs a comparative environmental analysis for three examined scenarios (oil boiler - air conditioners, gas boiler - air conditioners, heat pump - water heater), using a customized life cycle analysis method and the 2016 ReCiPe method. The life cycle phases included in the analysis are the raw material extraction, the systems' construction, operation of the systems and the waste management after the end of their life. Environmental impacts are studied at midpoint level for four categories: climate change, mineral resource scarcity, fossil resource scarcity, ecotoxicity and human toxicity.

For the presentation of the application, a detached house in Athens with an area of 293m<sup>2</sup> was selected as a case study. However, a multitude of studies with different assumptions was carried out in buildings with different shell characteristics and for the renovated versions of these buildings. In almost all scenarios, the combination of heat pump and electric water heater has the least impact on climate change and mineral scarcity impact categories, while increased impact on toxicity and mineral scarcity categories. However, as heating and cooling needs decrease, the differences with the combination of gas boiler and air conditioning units are considered negligible. Finally, the combination of oil boiler and air conditioning units is not preferred in any of the considered scenarios, regardless of assumptions.

## Λίστα συμβόλων

$U_i \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	θερμική διαπερατότητα των δομικών στοιχείων
$\Delta U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	προσαύξηση της θερμικής διαπερατότητας των δομικών στοιχείων
$\bar{U} \left( W/(m^2 \cdot K) \right)$	μέση θερμική διαπερατότητα των δομικών στοιχείων
$A_i \left( m^2 \right)$	επιφάνεια των δομικών στοιχείων
$A_{c,ref} \left( m^2 \right)$	συνολική επιφάνεια του κτηρίου αναφοράς
DD ( $^{\circ}C \cdot days/month$ )	βαθμοημέρες θέρμανσης
CDH ( $^{\circ}C \cdot hours/month$ )	βαθμοώρες ψύξης
$N_{mo}$ (days)	πλήθος ημερών για τον κάθε μήνα
$T_{av}$ ( $^{\circ}C$ )	θερμοκρασία αναφοράς του περιβάλλοντος
$T_{\alpha}$ ( $^{\circ}C$ )	μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος
$T_{a,d}$ ( $^{\circ}C$ )	μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε μήνα
$T_{\alpha,H}$ ( $^{\circ}C$ )	μέση ωριαία θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε μήνα
$T_{s,p}$ ( $^{\circ}C$ )	επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτηρίου
$Q_{th}$ (KWh/month)	συνολικά μηνιαία θερμικά φορτία
$Q_{th,a}$ (KWh/a)	ετήσια συνολικά θερμικά φορτία
$Q_c$ (KWh/month)	συνολικά μηνιαία ψυκτικά φορτία
$Q_{c,a} \left( \frac{KWh}{a} \right)$	ετήσια συνολικά ψυκτικά φορτία
$Q_{be}$ (KWh/month)	συνολικές μηνιαίες θερμικές απώλειες στα δομικά στοιχεία.
$Q_{ve}$ (KWh/month)	μηνιαίες θερμικές απώλειες λόγω ανανέωσης αέρα
$Q_{h,d,w}$ (KWh/month)	μηνιαία φορτία ζεστού νερού χρήσης
$Q_{h,d,w,a}$ (KWh/a)	ετήσια φορτία ζεστού νερού χρήσης
$Q_{h,g}$ (KWh/month)	μηνιαίο θερμικό κέρδος.
$Q_{sol}$ (KWh/month)	μηνιαίο θερμικό κέρδος λόγω ηλιακής ακτινοβολίας
$Q_{int}$ (KWh/month)	εσωτερικό μηνιαίο θερμικό κέρδος

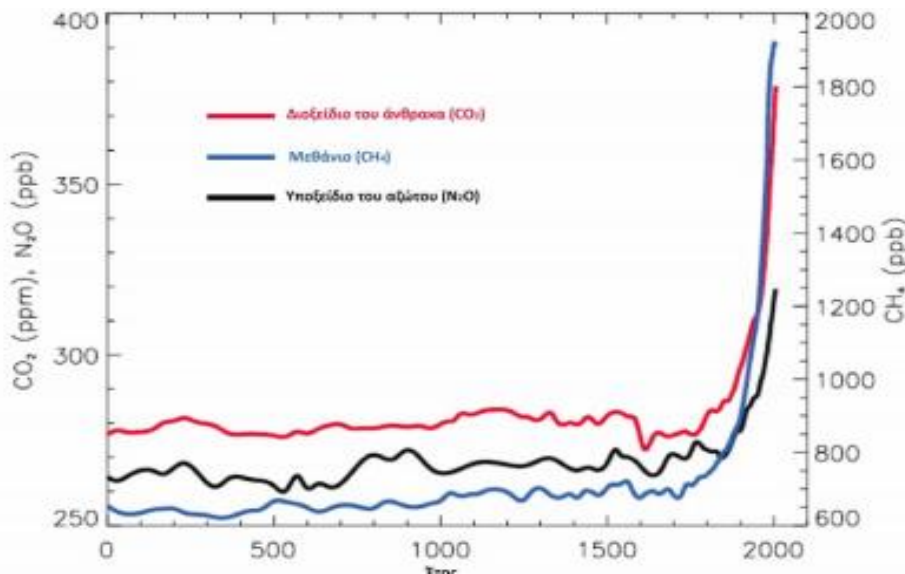
$\eta_{hg}$ (-)	συντελεστής χρήσης κτηρίου για τα θερμικά φορτία
$\eta_{C.I.S}$ (-)	συντελεστής χρήσης του κτηρίου για τα ψυκτικά φορτία
$P_{th}(KW)$	απαιτούμενη εγκατεστημένη θερμική ισχύς
$\Delta P_{th}$ (KW)	ποσοστιαία προσαύξηση θερμικής ισχύος
$P_C$ (KW)	απαιτούμενη εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς
$\Delta P_C$ (KW)	ποσοστιαία προσαύξηση ψυκτικής ισχύος
$F_{sh}$ (-)	συντελεστής σκίασης υαλοπινάκων
$F_F$ (-)	ο λόγος της επιφάνειας του πλαισίου προς την συνολική επιφάνεια του υαλοπίνακα
$g_{gl}$ (-)	συντελεστής συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση
$F_w$ (-)	συντελεστής μείωσης λόγω της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας
$A_{window}$ (m <sup>2</sup> )	συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων
$I_{sol}$ (Wh/(m <sup>2</sup> · month))	μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο
$\Phi_{int}$ (W/m <sup>2</sup> )	μέσο θερμικό κέρδος από εσωτερικές θερμικές πηγές
$C_m$ (Wh/m <sup>2</sup> · K)	θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα επιφάνειας του κτηρίου
$b$ (-)	παράγοντας εδάφους (soil factor)
$c_{p,air}$ (Wh/m <sup>3</sup> · K)	ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα
$n_{aor,use}$ (h <sup>-1</sup> )	ανανέωση αέρα, χρήση κτηρίου
$n_{air,infiltr}$ (h <sup>-1</sup> )	ανανέωση αέρα, κέλυφος κτηρίου
$H_{room}$ (m)	ύψος δωματίων κτηρίων
$\rho$ (kg/lt)	πυκνότητα
$V$ (lt)	ημερήσια κατανάλωση ZNX ανά άτομο
$T_{h.d.w,ref}$ (°C)	θερμοκρασία του ζεστού νερού
$T_{w,n}$ (°C)	μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου για την κλιματική ζώνη B

$\dot{m}_{f,o} \left( \frac{kg}{s} \right)$	παροχή μάζας πετρελαίου θέρμανσης
$m_{f,o} \text{ (kg/a)}$	ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης
$\dot{m}_{f,ng} \left( \frac{kg}{s} \right)$	παροχή μάζας φυσικού αερίου
$m_{f,ng} \text{ (kg/a)}$	ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου
$\eta_o \text{ (-)}$	βαθμός απόδοσης του λέβητα πετρελαίου
$\eta_{ng} \text{ (-)}$	βαθμός απόδοσης του λέβητα φυσικού αερίου
$\eta_{wh} \text{ (-)}$	βαθμός απόδοσης του θερμοσίφωνα
$H_{u,o} \left( \frac{KJ}{Kg} \right)$	κατώτερη θερμογόνο δύναμη για πετρέλαιο θέρμανσης
$H_{u,ng} \left( \frac{KJ}{Kg} \right)$	κατώτερη θερμογόνο δύναμη φυσικού αερίου
$P_{th,el,hp} \text{ (KWh/month)}$	μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις αντλίας θερμότητας ως σύστημα θέρμανσης
$P_{C,el,hp} \text{ (KWh/month)}$	μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις αντλίας θερμότητας ως σύστημα ψύξης
$P_{C,el,AC} \text{ (KWh/a)}$	ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις κλιματιστικής μονάδας
$P_{th,el,wh} \text{ (KW/a)}$	ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις ηλεκτρικού θερμοσίφωνα
EER (-)	συντελεστής συμπεριφοράς
COP (-)	συντελεστής συμπεριφοράς
SCOP (-)	μέσος συντελεστής συμπεριφοράς για όλη τη διάρκεια της περιόδου ψύξης

## 1. Εισαγωγή

Στις σύγχρονες κοινωνίες, η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη της οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης. Τα ποσά της παγκόσμιας καταναλισκόμενης ενέργειας εκτιμάται ότι θα έχουν αυξηθεί κατά 30% μέχρι το 2040[1]. Αυτή η εκτίμηση οφείλεται στην ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, αλλά και στην οικονομική επέμβαση των αναπτυσσόμενων κρατών στις αναπτυσσόμενες οικονομίες (Αφρική, Ασία, Λατινική Αμερική)[2]. Τα ορυκτά καύσιμα, και δη το πετρέλαιο, αποτελούν βασική πηγή ενέργειας, με αποτέλεσμα την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα[3]. Τα εκπεμπόμενα αέρια δημιουργούν μια σειρά από προβλήματα, με κυριότερα την υπερθέρμανση του πλανήτη, την τρύπα του όζοντος, την όξινη βροχή και την κλιματική αλλαγή. Σχεδόν ομόφωνα, σε ποσοστό 97% η επιστημονική κοινότητα παραδέχεται ότι η ανθρώπινη επέμβαση στον πλανήτη -μέσω της εκβιομηχάνισης των κοινωνιών μας- επιδρά με καταλυτικό τρόπο στην αλλαγή του κλίματος, με σημαντικές συνέπειες για το οικοσύστημα[4]. Ωστόσο, τα περιβαλλοντικά προβλήματα δεν είναι ο μόνος λόγος σταδιακής απαγκίστρωσης των αναπτυσσόμενων κοινωνιών από τα ορυκτά καύσιμα. Η ραγδαία εξάντληση των ορυκτών πόρων του πλανήτη εξαναγκάζει τα κράτη, τις εταιρίες, τους επιστήμονες και τους μηχανικούς να εξετάσουν εναλλακτικές πηγές παραγωγής ενέργειας.

Στο παρακάτω γράφημα παρατηρείται η διακύμανση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), του υποξειδίου του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και του μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) για τις τελευταίες δύο χιλιετίες.



**Σχήμα 1.1.** Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων και μακροβιότερων αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των τελευταίων 2000 ετών. Οι μονάδες είναι μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb). Τροποποίηση από IPCC 2007[5].

## 1.1 Αέρια του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (υπερθέρμανση του πλανήτη) είναι η διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα συγκρατεί θερμότητα και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη.

Τα αέρια με την μεγαλύτερη επίδραση στο φαινόμενο ονομάζονται **αέρια του θερμοκηπίου** – παρόλο που όλα τα αέρια της ατμόσφαιρας συνεισφέρουν στο φαινόμενο. Τα πιο σημαντικά εξ αυτών είναι οι υδρατμοί (H<sub>2</sub>O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), τα οξείδια του αζώτου (N<sub>x</sub>O<sub>y</sub>) και οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι οποίοι διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τους υδροφθοράνθρακες (HFCs), τους υπερφθοράνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>).

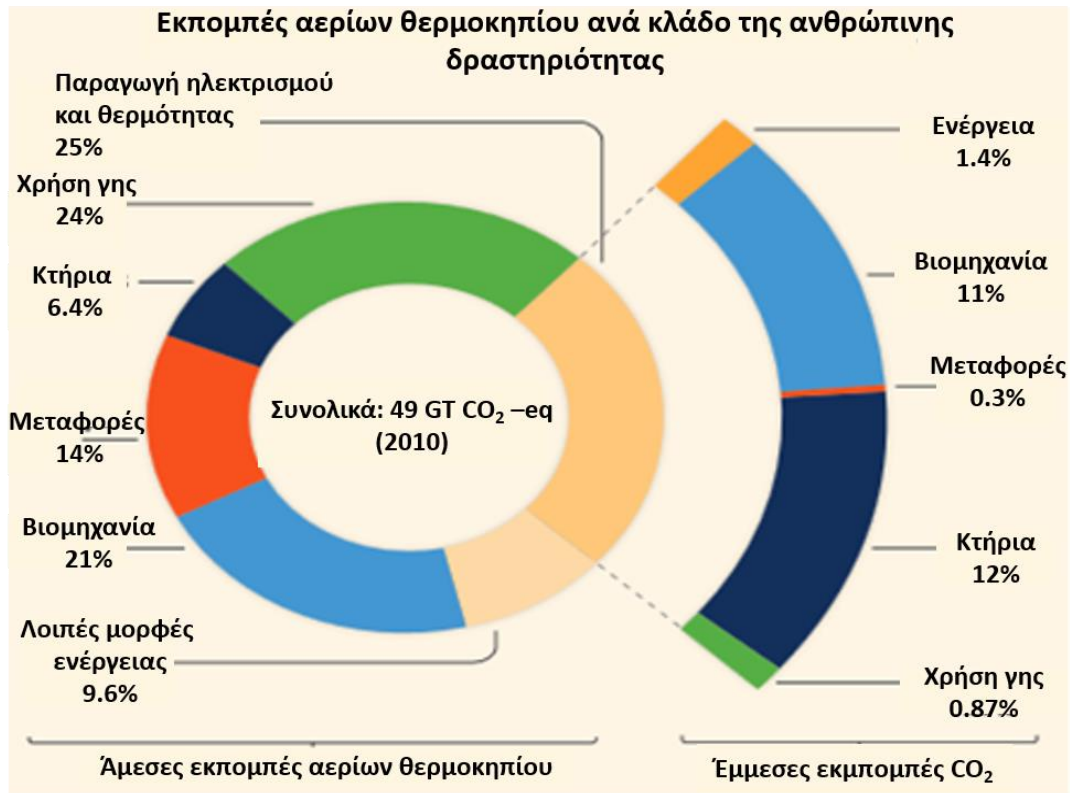
Οι συγκεντρώσεις των αερίων στην ατμόσφαιρα δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας συμβολής στο φαινόμενο. Ο χρόνος ζωής και το δυναμικό υπερθέρμανσης (Global warming potential) των αερίων παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις στο εύρος τιμών τους. Συνεπώς, για την καλύτερη καταγραφή και μελέτη του φαινομένου έχουν ορισθεί συντελεστές αναγωγής των αερίων στην ισοδύναμη μάζα διοξειδίου του άνθρακα για συγκεκριμένους χρονικούς ορίζοντες, συνήθως τα 100 έτη.

Μερικά αέρια συμβάλλουν στο φαινόμενο με έμμεσο τρόπο, ακόμα και αν δεν χαρακτηρίζονται ως αέρια του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και το μονοξείδιο του άνθρακα, σχηματίζουν CO<sub>2</sub>, όταν οξειδώνονται.

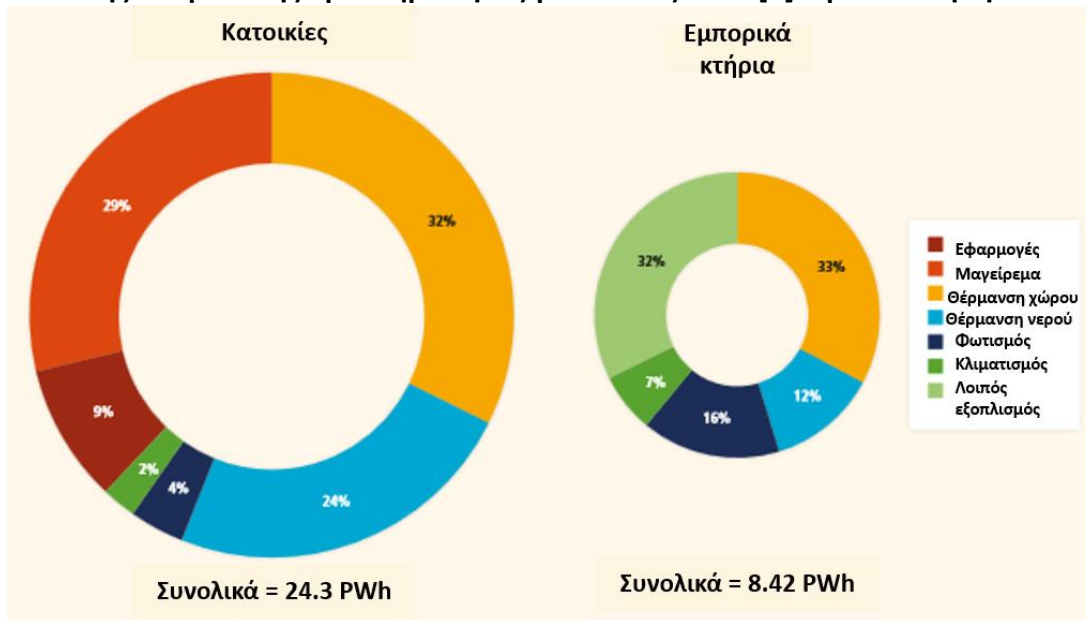
## 1.2 Στατιστικά στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO<sub>2</sub> σε κτήρια

Σύμφωνα με την 5<sup>η</sup> έκθεση του διακυβερνητικού οργανισμού IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) που δημοσιεύθηκε το 2014, τα κτήρια συμβάλλουν στις συνολικές ισοδύναμες εκπομπές CO<sub>2</sub> σε ποσοστό 6.4%. Αυτό το ποσοστό περιλαμβάνει τον ηλεκτρισμό, την θέρμανση, την ψύξη, το μαγείρεμα και όλες τις άλλες δραστηριότητες. Το ποσοστό ενέργειας που καταναλώνεται για την θέρμανση χώρου και το ζεστό νερό χρήσης για κατοικίες αλλά και εμπορικά κτήρια φτάνει περίπου το 53.1% του συνολικού ποσού ενέργειας που καταναλώνεται στις κτηριακές εγκαταστάσεις. Με μία απλοϊκή προσέγγιση, προκύπτει ότι η πραγματική συνεισφορά της θέρμανσης κτηρίων και του ζεστού νερού χρήσης φτάνει στο 3.2% του συνολικά εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub> παγκοσμίως.

Ωστόσο, οι αναπτυσσόμενες οικονομίες με σημαντικά δημογραφικά χαρακτηριστικά, εκτιμάται να έχουν ραγδαία βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, και επομένως, σημαντική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας σε κατοικίες και κτηριακές εγκαταστάσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει η εκτίμηση ότι, παγκοσμίως, οι ανάγκες για θέρμανση και ψύξη θα αυξηθούν κατά 79% για κατοικίες και 84% για εμπορικά κτήρια μέχρι το 2050[6].



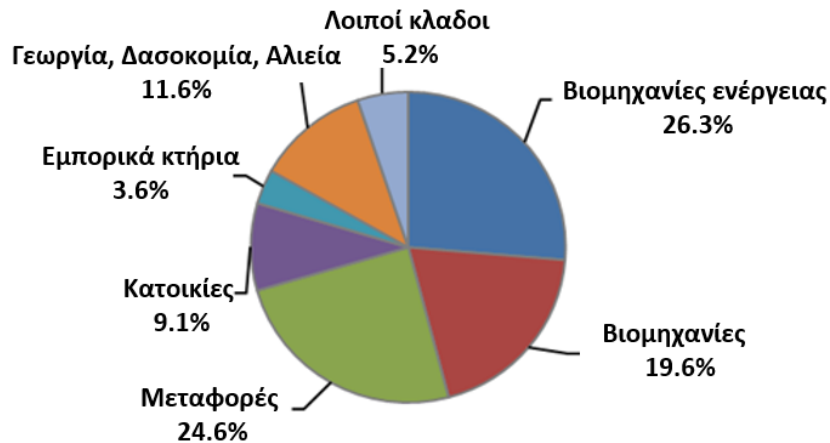
Σχήμα 1.2. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκπεφρασμένες σε ισοδύναμο CO<sub>2</sub> ανά κλάδο της ανθρώπινης δραστηριότητας για το έτος 2010 [7]. Τροποποίηση από IPCC.



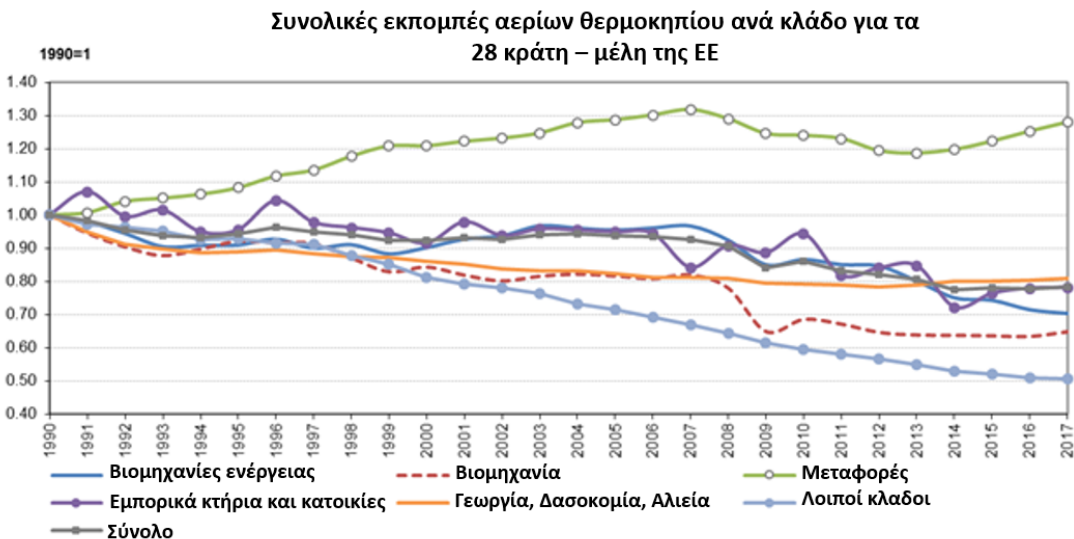
Σχήμα 1.3. Ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας σε κατοικίες και εμπορικά κτήρια για το έτος 2010 [8]. Τροποποίηση από IPCC

Στην Ευρώπη, σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής επιτροπής του 2019, οι συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> λόγω κτηρίων(κατοικιών) για το έτος 2017 αγγίζουν το 9.1%. Το 63.6% αφορά την θέρμανση χώρων, το 0.4% τον κλιματισμό και το 14.8% την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Συνεπώς, ο κλιματισμός και η θέρμανση κτηρίων ξεπερνά το 6% των συνολικών εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρατηρείται επίσης ότι οι συνολικές εκπομπές στα κτήρια έχουν μειωθεί κατά περίπου 20% από το 1990.

**Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κλάδο για τα 28 κράτη – μέλη της ΕΕ (2017)**



**Σχήμα 1.4. Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας για την Ε.Ε. Τροποποίηση από την έκθεση της commission για το 2017**



**Σχήμα 1.5. Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας στην ΕΕ για τα έτη 1990-2017. Τροποποίηση από την έκθεση της Commission για το 2017.**



Για την Ελλάδα, σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής επιτροπής για το έτος 2018, η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια αφορούσε το 54.5% την θέρμανση χώρων, το 3.6% την ψύξη, το 15.2% το ζεστό νερό χρήσης, το 6.2% μαγείρεμα και το υπόλοιπο 20.5% τον φωτισμό και λοιπές εφαρμογές στο σπίτι[9]. Από την ίδια έκθεση, λαμβάνουμε στοιχεία της κατανομής καυσίμων που καταναλώνονται για την θέρμανση χώρων σε Ελλάδα και Ευρώπη.



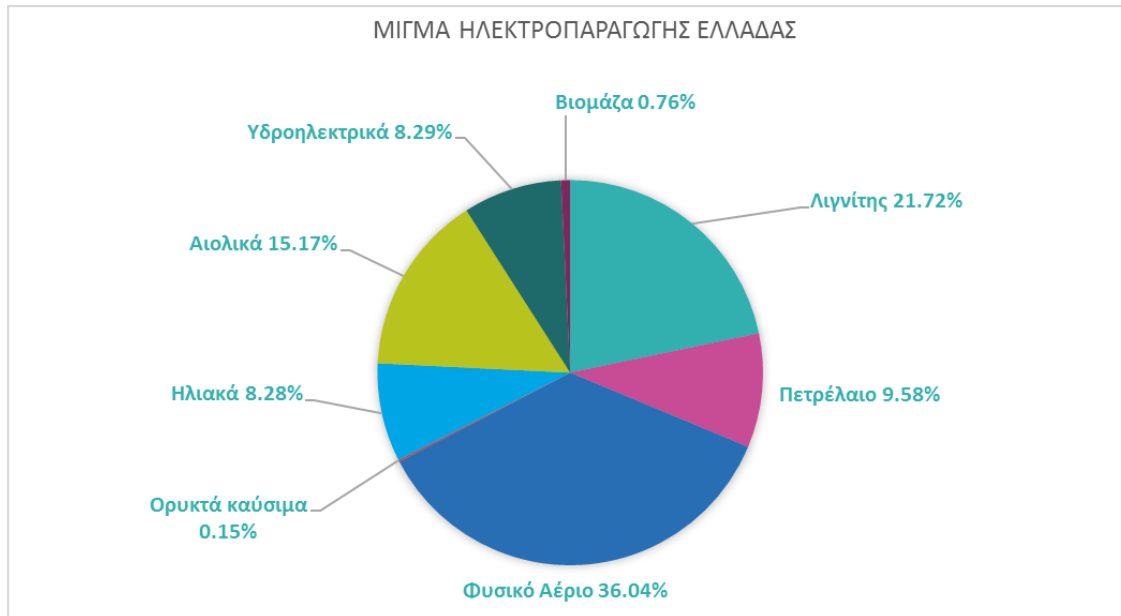
**Σχήμα 1.6. Ποσοστιαία κατανομή καυσίμων για θέρμανση χώρων σε κτήρια για Ελλάδα και Ευρώπη για το έτος 2018. Τροποποίηση από τα στοιχεία της Eurostat για το έτος 2018.**

Η Ελλάδα καταναλώνει σε ποσοστό κοντά στο 80% πετρέλαιο και ανανεώσιμες πηγές. Η βασική συνιστώσα των ανανεώσιμων πηγών είναι βιομάζα στην μορφή καύσης πέλετ. Δεν υπάρχει σαφής εικόνα για τα συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, ωστόσο ευσταθεί η υπόθεση ότι τα κύρια συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι λέβητες πετρελαίου, σόμπες υγραερίου και τζάκια.

### 1.2.1 Ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής Ελλάδας

Όπως ειπώθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για τις εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub>. Η ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα, καθώς αυτά αποτελούν το 67.49% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής με το υπόλοιπο 32.51% να βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το έτος 2019. Τα στοιχεία αυτά τοποθετούν την Ελλάδα στις κατώτερες θέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην χρήση ορυκτών καυσίμων, καθώς ο Ευρωπαϊκός μέσος όρος της ηλεκτροπαραγωγής βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα κατά 40% και σε

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατά 60%. Το ενεργειακό μίγμα στην Ελλάδα έχει ως αποτέλεσμα τις υπερδιπλάσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά παραγόμενη KWh, συγκριτικά με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο[10].



**Σχήμα 1.7. Μίγμα ηλεκτροπαραγωγής Ελλάδας για το 2019. Τροποποίηση από την έκθεση “Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα για το 2019”**

### 1.3 Πράσινη ενεργειακή πολιτική στα κτήρια για την Ελλάδα

Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής πολιτικής για πράσινη ενέργεια, έχει αναπτυχθεί ένας μακροπρόθεσμος σχεδιασμός με ορίζοντα το 2050 για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο σχεδιασμός αυτός αποσκοπεί στην πλήρη απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και την μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε αυτό τον σχεδιασμό περιλαμβάνονται οι κτηριακές εγκαταστάσεις, καθώς και τα συστήματα θέρμανσης - ψύξης στα κτήρια. Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει την εκπόνηση του εθνικού σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ), στο οποίο αναλύονται οι ενεργειακοί και κλιματικοί στόχοι σε τρεις χρονικές περιόδους, τις δεκαετίες 2020-2030, 2030-2040 και 2040-2050[11]. Το σημείο αναφοράς είναι το έτος 2030 για το οποίο τίθενται οι βραχυπρόθεσμοι στόχοι που περιλαμβάνουν την αντικατάσταση μέρους των ορυκτών καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές για το ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής και συνολική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 63% σε σχέση με το 2005. Για το 2020 η μείωση σε σχέση με το έτος 2005 ανέρχεται στο 40%. Αυτό συνεπάγεται μια αλλαγή προσέγγισης για τον κτηριακό τομέα, καθώς είναι ο τομέας με τις μεγαλύτερες δυνατότητες μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων με οικονομικά αποτελεσματικό τρόπο. Οι στόχοι των σεναρίων μακροχρόνιας στρατηγικής βασίζονται στην

επιδίωξη το κτηριακό απόθεμα να πλησιάσει το 2050 προδιαγραφές σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή να αποτελείται από κτήρια με πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, των οποίων η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών, να αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε άμεσα, είτε έμμεσα μέσω αντλιών θερμότητας.

Στα σενάρια που αναπτύσσονται, ο εξηλεκτρισμός των θερμικών χρήσεων στα κτήρια προβλέπεται να κυριαρχήσει και να οδηγήσει σε σχεδόν μηδενισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον κτηριακό τομέα. Για το 2030, εκτιμάται ότι το πλήθος των παλαιών κτηρίων που θα έχουν αναβαθμιστεί ενεργειακά στην περίοδο 2020-2030 θα φτάνει το 38%[12], δίχως να συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την ποσότητα τα νέα κατασκευασμένα κτήρια. Επομένως, ο εξηλεκτρισμός της θέρμανσης συμβαδίζει με την ενεργειακή αναβάθμιση των κτηρίων και είναι ταυτοχρόνως οικονομικά αποδοτικός σύμφωνα με την αναμενόμενη μείωση του κόστους αγοράς των αντλιών θερμότητας λόγω της εξελισσόμενης τεχνολογικής προόδου.

Σύμφωνα με την ίδια έκθεση, η εκτίμηση για τα συστήματα θέρμανσης στις κατοικίες της Ελλάδας για το έτος 2030 προβλέπει ότι το 48% των απαιτούμενων αναγκών για θέρμανση θα προκύπτει από αντλίες θερμότητας, το 0.1% από γεωθερμία, το 15.7% από ηλιοθερμικά ζεστού νερού χρήσης, το 14.8% από αέριο, το 2.2% από βιομάζα και ανανεώσιμες πηγές και το 18.5% από πετρέλαιο και στερεά καύσιμα[13].

## 2. Ανάλυση κύκλου ζωής

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο το οποίο επιτρέπει τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων για ένα οποιοδήποτε κτήριο. Στην συνέχεια εξετάζονται ως προς τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο διάφορα συστήματα θέρμανσης και ψύξης για την κάλυψη αυτών των αναγκών.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η μεθοδολογία της ανάλυση του κύκλου ζωής και μια ιδιότυπη μεθοδολογία προσέγγισης αυτής χρησιμοποιώντας πτυχές της μεθόδου εκτίμησης περιβαλλοντικών ReCiPe 2016.

### 2.1 Εισαγωγή στην Ανάλυση κύκλου ζωής

Η ανάλυση κύκλου ζωής (ΑΚΖ) (Life Cycle Assessment, LCA) είναι μια αναλυτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος[14]. Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες που αφορούν το προϊόν, την εξόρυξη και επεξεργασία των πρώτων υλών, την μεταφορά των πρώτων υλών, την παραγωγή του προϊόντος, τη διάθεση αυτού στους καταναλωτές, τη χρήση του, την συντήρησή του, την επεξεργασία και διαχείριση των αποβλήτων μετά το πέρας της ζωής του. Αυτή είναι η πιο ολιστική περιβαλλοντική μελέτη ενός προϊόντος και αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως “cradle to grave”[15]. Λόγω του συγκριτικού χαρακτήρα της παρούσας μελέτης, αρκετά στάδια από τα αναφερθέντα δεν θα ληφθούν υπόψη.

Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (International Organization for Standardization – ISO) εισήγαγε - μέσω των προτύπων ISO 14040-14044 - μια γενική μεθοδολογία που αποτελείται από τέσσερα στάδια, τα οποία είναι τα εξής:

- Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου (πεδίο εφαρμογής) της μελέτης (Goal and Scope definition)
- Ανάλυση και καταγραφή δεδομένων (inventory analysis)
- Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (impact assessment)
- Ερμηνεία αποτελεσμάτων και εκτίμηση βελτιώσεων του συστήματος (interpretation)



### Σχήμα 2.1. Μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής

Τα διπλά βέλη στο διάγραμμα υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχει μια σαφής ιεράρχηση στην ολοκλήρωση των σταδίων. Αποτελέσματα κάποιου σταδίου μπορεί να είναι δεδομένα για τα υπόλοιπα στάδια, επομένως ακολουθείται μια επαναληπτική διαδικασία και τα στάδια ολοκληρώνονται με την ολοκλήρωση της μελέτης.

#### 2.1.1 Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης (Goal and Scope)

Ο προσδιορισμός σκοπού είναι η πρώτη ενέργεια που γίνεται σε κάθε ΑΚΖ. Σε αυτό το επίπεδο, ο ερευνητής οφείλει να απαντά με σαφήνεια τις κάτωθι θέσεις[16]:

- Λόγοι διεξαγωγής της μελέτης (ερευνητικό ενδιαφέρον)
- Οι εφαρμογές της μελέτης
- Το κοινό στο οποίο αναφέρεται η μελέτη
- Ο τρόπος χρήσης των αποτελεσμάτων της μελέτης

Στο αντικείμενο της μελέτης ορίζονται ποιοτικές και ποσοτικές παράμετροι που θα συμπεριληφθούν στην μελέτη. Ο ερευνητής περιγράφει λεπτομερώς και σε βάθος την μεθοδολογία και τα εργαλεία που χρησιμοποιεί για την εκπλήρωση του σκοπού της μελέτης[17]. Σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO για την ΑΚΖ, το πεδίο εφαρμογής πρέπει να περιγράφει τα κάτωθι:

- **Το υπό εξέταση σύστημα (Product System) και τα όρια του συστήματος (System Boundaries)**

Ως σύστημα ορίζεται το σύνολο των διεργασιών, οι οποίες παρέχουν μια ή περισσότερες καθορισμένες λειτουργίες[14]. Το υπό εξέταση σύστημα περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες που μετατρέπουν τις εισόδους (inputs) ενός συστήματος σε εξόδους (outputs). Για παράδειγμα, εισόδοι μπορεί να είναι οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός προϊόντος, η ενέργεια που καταναλώνεται στις κατεργασίες, ενώ οι έξοδοι μπορεί να είναι η ενέργεια που

παράγει το σύστημα ή οι εκπομπές ρύπων λόγω των κατεργασιών. Τα όρια του συστήματος καθορίζουν ποιες διεργασίες θα συμπεριληφθούν στην μελέτη.

- **Λειτουργική Μονάδα (Functional Unit)**

Η λειτουργική μονάδα είναι σημαντικό στοιχείο για μια μελέτη ΑΚΖ, καθώς αποτελεί το μέτρο απόδοσης του συστήματος και ο καθορισμός της πρέπει να γίνεται με σαφήνεια, ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός και το αντικείμενο της μελέτης. Η λειτουργική μονάδα πρέπει να είναι μετρήσιμη ποσότητα και να σχετίζεται με τα στοιχεία εισόδου και εξόδου. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια προϊόντων ή υπηρεσιών στην ΑΚΖ, η λειτουργική μονάδα θα πρέπει να είναι κοινή, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση. Ένα παράδειγμα λειτουργικής μονάδας για ένα σύστημα κλιματισμού, μια (1) ΚWh παραγόμενης ενέργειας, όπου οι εκπομπές για την παραγωγή του συστήματος, εκφράζονται σε kg ισοδύναμου CO<sub>2</sub>.

- **Υποθέσεις και Περιορισμοί (Assumptions and Limitations)**

Η ΑΚΖ στην πράξη είναι μια επώδυνη και χρονοβόρα διαδικασία. Πολλές φορές υπάρχει έλλειψη δεδομένων για διάφορες διεργασίες της παραγωγής, της διανομής και της λειτουργίας ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Για αυτό τον λόγο, είναι απαραίτητο να καθορίζονται αυστηρά όλες οι υποθέσεις ή παραδοχές που λαμβάνονται στην μελέτη. Επιπλέον, θα πρέπει να καθίστανται σαφείς από τον ερευνητή όλοι οι περιορισμοί που προκύπτουν από τις αποφάσεις και επηρεάζουν η προσαρμόζουν την μεθοδολογία που ακολουθεί.

- **Προδιαγραφές Ποιότητας Δεδομένων (Data Quality Requirements)**

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14044, τα δεδομένα θα πρέπει να υπακούουν σε κάποιες προδιαγραφές. Ενδεικτικά, θα πρέπει να καταγράφεται η χρονική, γεωγραφική και τεχνολογική κάλυψη των δεδομένων. Τα δεδομένα θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά και ακριβή, όσον αφορά την μοντελοποίηση των συστημάτων. Τέλος, θα πρέπει να αναφέρονται οι πηγές των δεδομένων αλλά και η αβεβαιότητα που ενδεχομένως υπάρχει σε αυτά.

- **Διαδικασία Κατανομής (Allocation Procedure)**

Η διαδικασία κατανομής η οποία έχει επιλεγεί για να μοντελοποιηθεί το υπό εξέταση σύστημα, πρέπει να ορισθεί σαφώς. Το πρότυπο ISO 14044 [38] αναφέρει ότι η κατανομή πρέπει να αποφεύγεται όπου είναι εφικτό. Είτε διαιρώντας μια διεργασία σε υποδιεργασίες, είτε επεκτείνοντας τα όρια του συστήματος, ώστε να συμπεριληφθούν όλες οι επιπρόσθετες διεργασίες που σχετίζονται με τα παραπροϊόντα του υπό εξέταση συστήματος.

- **Εκτίμηση Επιπτώσεων (Impact Assessment)**

Στην εκτίμηση επιπτώσεων αναφέρονται οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα χρησιμοποιηθούν για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού αυτών.

### 2.1.2 Ανάλυση και καταγραφή δεδομένων (inventory analysis)

Στο στάδιο αυτό αναπτύσσεται ένας κατάλογος καταγραφής εισόδων και εξόδων όλων των διεργασιών που περιλαμβάνει το εξεταζόμενο σύστημα για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος/υπηρεσίας. Πιο συγκεκριμένα, αφορά τη διαδικασία ποσοτικοποίησης όλων των πρώτων υλών και της απαιτούμενης ενέργειας για την παραγωγή ενός προϊόντος, την εκτίμηση των εκπεμπόμενων ρύπων για τη διανομή του προϊόντος, τους ρύπους που εκπέμπονται σε όλη τη διάρκεια ζωής του λόγω χρήσης, καθώς και τις εκπομπές κατά την ανακύκλωση/ταφή των υλικών του μετά το πέρας της ζωής του. Στις εξόδους καταγράφονται οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα ή στα ύδατα, τα στερεά απόβλητα και όλες οι άλλες πιθανές εκπομπές προς το περιβάλλον. Οι έξοδοι συνήθως διαχωρίζονται ανά στάδιο του κύκλου ζωής ή ανά διεργασία. Στο στάδιο αυτό πολλές φορές επαναπροσδιορίζεται ο σκοπός ή το αντικείμενο της μελέτης, καθώς η συλλογή δεδομένων είναι το πιο χρονοβόρο στάδιο της μελέτης.

### 2.1.3 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Impact Assessment)

Στο προηγούμενο στάδιο της καταγραφής δεδομένων δημιουργήθηκε ο ποσοτικοποιημένος κατάλογος για τη χρήση πόρων και τις εκπομπές ρύπων, αλλά αυτά τα δεδομένα δεν μας παρέχουν κάποια πληροφορία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στο στάδιο της εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αξιολογούνται αυτά τα δεδομένα μέσω μιας σειράς βημάτων που παρουσιάζονται παρακάτω. Κάποια από αυτά είναι προαιρετικά. Κατ' αρχήν, γίνεται αναφορά στα υποχρεωτικά και κατ' επέκταση στα προαιρετικά.

#### Υποχρεωτικά βήματα

- **Επιλογή (selection)**

Σε αυτό το βήμα γίνεται η επιλογή των κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εκτιμώνται στην μελέτη. Σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO, μια μελέτη θα πρέπει να αναφέρεται σε πολλαπλούς δείκτες επιπτώσεων, ώστε να δημιουργείται μια συνολική εικόνα του αντίκτυπου στο περιβάλλον. Στην πράξη, αυτό το βήμα ολοκληρώνεται με την επιλογή μιας ήδη υπάρχουσας μεθοδολογίας, όπως είναι η TRACI, η ReCiPe, η AWARE κλπ.

- **Ταξινόμηση (Classification)**

Σε αυτό το βήμα γίνεται η ταξινόμηση των εξόδων του καταλόγου που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο. Οι έξοδοι ταξινομούνται σε κατηγορίες σύμφωνα τις επιπτώσεις που προκαλούν. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στις τρεις βασικές κατηγορίες: στο περιβάλλον, στην ανθρώπινη υγεία και στην εξάντληση των φυσικών πόρων.

- **Χαρακτηρισμός (Characterization)**

Σε αυτό το βήμα οι ταξινομημένες έξοδοι του καταλόγου μετατρέπονται σε εξόδους με κοινή μονάδα αναφοράς κάνοντας χρήση συγκεκριμένων πολλαπλασιαστικών παραγόντων που σχετίζονται με την εκάστοτε κατηγορία επιπτώσεων. Πιο απλά, για την κλιματική αλλαγή, χρησιμοποιούνται ως μονάδα αναφοράς τα kg ισοδύναμου CO<sub>2</sub>. Άρα, όλες οι έξοδοι πρέπει να εκφραστούν σε αυτή την μονάδα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, χρησιμοποιούνται οι παράγοντες χαρακτηρισμού (characterization factors), οι οποίοι μετατρέπουν τα kg υλικού ή τις kWh ενέργειας στην εκάστοτε μονάδα αναφοράς.

### Προαιρετικά βήματα

- **Κανονικοποίηση (Normalization)**

Η κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων εκφράζει το πόσο μεγάλη ή μικρή είναι μια τιμή σε σχέση με μια τιμή αναφοράς, η οποία είναι διαφορετική για κάθε κατηγορία επιπτώσεων.

- **Ομαδοποίηση (Grouping)**

Στο βήμα αυτό, τα ταξινομημένα ή κανονικοποιημένα αποτελέσματα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μια ή περισσότερες ευρύτερες κατηγορίες. Ωστόσο, η ομαδοποίηση είναι υποκειμενική και μπορεί να δυσκολέψει την σύγκριση αποτελεσμάτων με άλλες αντίστοιχες μελέτες.

- **Στάθμιση (Weighting)**

Σε αυτό το βήμα, τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κάθε κατηγορίας πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή, διαφορετικό για κάθε κατηγορία, ώστε να προκύψουν σταθμισμένα αποτελέσματα, τα οποία παράγουν μια και μοναδική βαθμολογία (score) για όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η στάθμιση των αποτελεσμάτων είναι υποκειμενική και θα πρέπει να αποφεύγεται σε μελέτες που προορίζεται να χρησιμοποιηθούν σε συγκριτικούς ισχυρισμούς.

### **2.1.4 Εκτίμηση βελτιώσεων του συστήματος και ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Interpretation)**

Το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων είναι μια συστηματική διαδικασία για την αναγνώριση, την ποσοτικοποίηση, τον έλεγχο και την αξιολόγηση της πληροφορίας που μας παρέχουν τα αποτελέσματα του καταλόγου καταγραφής δεδομένων, αλλά και της εκτίμησης επιπτώσεων. Στο στάδιο αυτό συνοψίζονται τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων σταδίων. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα της μελέτης. Τα συμπεράσματα περιλαμβάνουν την αναγνώριση μεθοδολογικών προβλημάτων κατά την διεξαγωγή της μελέτης ή και προβλήματα στα αποτελέσματα των σταδίων που αναπτύχθηκαν στις παραγράφους 2.1.2 και 2.1.3. Επιπλέον, γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων διενεργώντας ανάλυση ευαισθησίας και τέλος αναφέρονται οι προτάσεις αλλά και οι περιορισμοί στους οποίους υπόκειται η μελέτη.



Καταληκτικά, γίνεται η εκτίμηση βελτιώσεων για το σύστημα ή παροτρύνσεις για βελτίωση διεργασιών της παραγωγικής διαδικασίας σε τομείς που συμβάλλουν σημαντικά στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Όπως και για όλα τα προηγούμενα στάδια, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα πρέπει να είναι συνεπής με τον σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης.

## 2.2 Η μέθοδος εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων ReCiPe 2016

Η ReCiPe είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για το τρίτο στάδιο της AKZ, την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αναπτύχθηκε το 2008 και η ReCiPe 2016 είναι μια ενημερωμένη έκδοση της ReCiPe 2008 ενώ αποτελεί συνδυασμό δύο μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων: της CML 2002 σε επίπεδο midpoint και της Eco-Indicator 99 σε επίπεδο endpoint[18].

Ο βασικός στόχος της μεθόδου είναι να μεταφραστούν τα αποτελέσματα του καταλόγου της AKZ σε μια βαθμολογία για την κάθε κατηγορία επιπτώσεων (score). Η ReCiPe 2016 χρησιμοποιεί 18 κατηγορίες επιπτώσεων σε midpoint επίπεδο και 3 κατηγορίες επιπτώσεων σε endpoint επίπεδο. Η κάθε μέθοδος (midpoint, endpoint) περιλαμβάνει παράγοντες χαρακτηρισμού, όπως αναλύθηκαν στην παράγραφο 2.1.3, σύμφωνα με τρεις προοπτικές:

- **Ατομικιστική (individualist)** βραχυπρόθεσμη, οπτικιστική προσέγγιση, η οποία βασίζεται στην ανθρώπινη προσαρμογή λόγω τεχνολογικής εξέλιξης. Οι τιμές των παραγόντων βασίζονται σε ένα χρονικό ορίζοντα 20 ετών.
- **Ιεραρχική (hierarchist)** μεσοπρόθεσμη προσέγγιση. Είναι η πιο διαδομένη προοπτική και θεωρείται το πρότυπο μοντέλο για επιστημονικές μελέτες. Οι τιμές των παραγόντων βασίζονται σε ένα χρονικό ορίζοντα 100 ετών.
- **Εξισωτική (Egalitarian)** μακροπρόθεσμη προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπόψη όλα τα είδη επιπτώσεων. Ο χρονικός ορίζοντας είναι τα 1000 έτη.

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν μόνο οι τέσσερις κατηγορίες σε επίπεδο midpoint που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την μελέτη. Περισσότερες πληροφορίες για την μέθοδο της ReCiPe 2016 και για τις κατηγορίες σε επίπεδο midpoint, σε επίπεδο endpoint μπορούν να αντληθούν από τον σύνδεσμο[19].

### 2.2.1 Χαρακτηρισμός σε επίπεδο midpoint

**Κλιματική αλλαγή (climate change):** Ο παράγοντας χαρακτηρισμού της κλιματικής αλλαγής είναι το δυναμικό αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Η μονάδα αναφοράς είναι τα ισοδύναμα kg CO<sub>2</sub>.

**Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων (Mineral resource scarcity):** Ο παράγοντας χαρακτηρισμού της έλλειψης πόρων μεταλλευμάτων είναι η δυναμικότητα του πλεονάζοντος μεταλλεύματος. Η μονάδα αναφοράς είναι τα ισοδύναμα kg χαλκού (Cu).

**Εξάντληση ορυκτών πόρων (Fossil resource scarcity):** Ο παράγοντας χαρακτηρισμού της έλλειψης ορυκτών πόρων είναι η δυναμικότητα των ορυκτών καυσίμων, σύμφωνα με την ανώτερη θερμογόνο ικανότητά των. Η μονάδα αναφοράς είναι τα ισοδύναμα kg πετρελαίου.

**Τοξικότητα για τον άνθρωπο (Ecotoxicity and Human Toxicity):** Ο παράγοντας χαρακτηρισμού της τοξικότητας για τον άνθρωπο αντιστοιχεί στην συσσώρευση και παραμονή μια χημικής ουσίας στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα. Η μονάδα αναφοράς είναι τα kg εκπεμπόμενου 1,4 - διχλωροβενζολίου (1,4 - dichlorobenzene).

## 3. Ανάλυση κύκλου ζωής για το εξεταζόμενο σύστημα

### 3.1 Εισαγωγή

Είναι σημαντικό να καταστεί σαφές ότι στο πλαίσιο αυτής της εργασίας χρησιμοποιούνται βήματα της μεθοδολογίας της ΑΚΖ, αλλά δεν διεξάγεται ΑΚΖ των υπό εξέταση συστημάτων. Η ΑΚΖ έχει ως σκοπό τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων συγκεκριμένων προϊόντων ή υπηρεσιών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιχειρείται η σύγκριση συστημάτων ψύξης και θέρμανσης για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών σε ένα κτήριο. Επιπλέον, ενδιαφέρει η μοντελοποίηση των συστημάτων και όχι η σύγκριση συγκεκριμένων μοντέλων, καθώς η εφαρμογή αναπτύχθηκε, ώστε να βρίσκει την βέλτιστη επιλογή συστημάτων από την σκοπιά του περιβαλλοντικού αντίκτυπου. Συνεπώς, στον κατάλογο καταγραφής δεδομένων, θα παρουσιαστούν οι είσοδοι και οι έξοδοι των συστημάτων συναρτήσει την μάζας και εν συνεχεία με κατάλληλη αναγωγή μαζών, προκύπτει ο αναλυτικός κατάλογος των υπό εξέταση συστημάτων.

Στα κεφάλαια 3 και 4, παρουσιάζονται τα συστήματα και οι παραδοχές που ελήφθησαν για το βασικό σενάριο μελέτης μιας μη ανακαινισμένης μονοκατοικίας στην Αθήνα με επιφάνεια αναφοράς 293 m<sup>2</sup>. Για την συγκεκριμένη μονοκατοικία, αλλά και για όλα τα υπόλοιπα εξεταζόμενα κτήρια υπάρχουν πληροφορίες στο Παράρτημα Α. Επιπλέον στο κεφάλαιο 6 των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται οι διαφορετικές παραδοχές που ελήφθησαν στα υπόλοιπα εξεταζόμενα κτήρια.

### 3.2 Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικείμενου της μελέτης (Goal and Scope)

#### 3.2.1 Σκοπός της μελέτης (Goal)

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η συγκριτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε τρία σενάρια θέρμανσης-ψύξης για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών ενός κτηρίου. Τα σενάρια μελέτης είναι: συμβατικός λέβητας πετρελαίου και κλιματιστικές μονάδες (air-conditioners), συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου και κλιματιστικές μονάδες, συμβατική αντλία θερμότητας αέρα-νερού (air to water) η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη (εξαιρουμένων των φορτίων ζεστού νερού χρήσης) και ηλεκτρικός θερμοσίφωνα για την θέρμανση των φορτίων ΖΝΧ.

#### 3.2.2 Αντικείμενο της μελέτης (Scope)

##### Λειτουργία του συστήματος (function)

Η βασική λειτουργία των συστημάτων είναι η θέρμανση και η ψύξη μικρού-μεσαίου μεγέθους κτηριακών εγκαταστάσεων (διαμερίσματα, μονοκατοικίες, πολυκατοικίες και εμπορικά κτήρια) για τη διατήρηση συνθηκών άνεσης εντός αυτών για όλο το έτος.

## Τα υπό εξέταση συστήματα (Product System) και τα όρια των συστημάτων (System Boundaries)

Τα συστήματα που εξετάζονται είναι συμβατικός λέβητας πετρελαίου, συμβατικός λέβητας φυσικού αερίου, αντλία θερμότητας αέρα-νερού (air to water) και κλιματιστικές μονάδες τύπου single split (air-conditioners). Η μελέτη περιλαμβάνει τρία επίπεδα σύγκρισης. Στο πρώτο επίπεδο μελετάται η κατασκευή των συστημάτων, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, η απαιτούμενη ενέργεια, όπως για παράδειγμα, στις συγκολλήσεις και σε όλες τις άλλες διεργασίες για την παραγωγή του προϊόντος. Στο δεύτερο επίπεδο μελετάται η λειτουργία των συστημάτων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, θεωρώντας ότι όλα τα συστήματα έχουν διάρκεια ζωής τα 20 έτη και στο τρίτο στάδιο η απόσυρση αυτών μετά το πέρας της ζωής τους. Δεδομένου, ότι δεν συγκρίνονται συγκεκριμένα μοντέλα, δεν περιλαμβάνονται στην μελέτη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συνόλου των μεταφορών, των πρώτων υλών, αλλά και της διάθεσης των προϊόντων στους καταναλωτές. Επιπλέον, η συντήρηση των συστημάτων κατά τη διάρκεια της ζωής τους θεωρήθηκε αμελητέα, με εξαίρεση του ψυκτικού υγρού στην αντλία θερμότητας και στις μονάδες κλιματισμού. Η διαχείριση των αποβλήτων μετά το τέλος ζωής των συστημάτων δε λήφθηκε υπόψη, καθώς τα περισσότερα εξ' αυτών θεωρήθηκε ότι ανακυκλώνονται, ενώ η ανακύκλωση δε συνεισφέρει στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο βάσει του τρόπου μοντελοποίησης των δεδομένων ("cut-off"), όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Λόγω του συγκριτικού χαρακτήρα της μελέτης, έχει θεωρηθεί ότι οι σωληνώσεις για τα τρία εξεταζόμενα σενάρια είναι κοινές και άρα δεν συμπεριλαμβάνονται στην μελέτη. Όσον αφορά τα σώματα μεταφοράς θερμότητας, για τα δύο πρώτα σενάρια των λεβήτων, χρησιμοποιήθηκαν σώματα καλοριφέρ, ενώ για το τρίτο σενάριο της αντλίας θερμότητας fan coils.

### Λειτουργική μονάδα (function unit)

Η κύρια λειτουργική μονάδα που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη μελέτη είναι η επιφάνεια αναφοράς  $m^2$  του εξεταζόμενου κτηρίου. Δευτερευόντως, χρησιμοποιείται ως λειτουργική μονάδα οι KWh παραγόμενης ενέργειας για τα συστήματα, καθώς αυτή επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα κελύφη των εξεταζόμενων κτηρίων.

### 3.2.3 Υποθέσεις και Περιορισμοί (Assumptions and Limitations)

Οι κύριες υποθέσεις που έγιναν στην μελέτη είναι οι εξής:

- Λόγω έλλειψης δεδομένων και μικρού πλήθους μελετών στην βιβλιογραφία για τα υπό εξέταση συστήματα, έχουν χρησιμοποιηθεί σετ δεδομένων για την μοντελοποίηση των συστημάτων από διαφορετικές χρονικές περιόδους και πηγές. Για τον λέβητα πετρελαίου, χρησιμοποιήθηκε σετ δεδομένων από την Ecoinvent 3.5 dataset του 1997. Δεν είναι γνωστό το πόσο αντιπροσωπευτικά είναι τα δεδομένα αυτά, 23 χρόνια αργότερα, καθώς η έλλειψη δεδομένων καθιστά αυτή την εκτίμηση αδύνατη, μέσω βιβλιογραφίας. Τα δεδομένα για τα υπόλοιπα συστήματα είναι πιο πρόσφατα.

- Θεωρήθηκε ότι διατηρείται η επιθυμητή θερμοκρασία για θέρμανση και ψύξη σε όλους τους χώρους της μονοκατοικίας για όλη τη διάρκεια του έτους.
- Θεωρήθηκε ότι το ποσοστιαίο βάρος των υλικών και οι KWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg ( του υπό εξέταση συστήματος) που καταναλώνονται για την παραγωγή του εκάστοτε συστήματος διατηρούνται σταθερές και ανεξάρτητες της ονομαστικής ισχύος ή των κιλών του συστήματος. Για παράδειγμα, θεωρείται ότι ποσοστιαίο βάρος του αλουμινίου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός λέβητα πετρελαίου διατηρείται σταθερό είτε αναφέρεται σε λέβητα με ονομαστική ισχύ 10KW είτε για λέβητα με ονομαστική ισχύ 30KW. Η έλλειψη δεδομένων καθιστά αυτή την παραδοχή αναγκαία.
- Τα πρότυπα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση δεν είχαν ίδια ονομαστική ισχύ.
- Θεωρήθηκε ότι η συναρμολόγηση όλων των συστημάτων πραγματοποιήθηκε εντός Ευρωπαϊκού εδάφους και άρα οι εκπεμπόμενοι ρύποι για την συναρμολόγηση υπολογίστηκαν με βάση τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο (European mix) μέσης τάσης.
- Για όλα τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης έχει θεωρηθεί ως διάρκεια ζωής τα 20 έτη. Στην περίπτωση που κάποιο σύστημα έχει διάρκεια ζωής μικρότερη από 20 χρόνια, θεωρείται αντικατάσταση αυτού. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία[20], η μέση διάρκεια ζωής των single split κλιματιστικών μονάδων τα 15 έτη.
- Θεωρήθηκε μη αναγκαία η συντήρηση του εξοπλισμού και δεν συμπεριλαμβάνεται στην μελέτη, καθώς δεν υπήρχαν στοιχεία και θα έπρεπε να γίνουν αρκετές υποκειμενικές και μη αντιπροσωπευτικές παραδοχές.
- Για τα υπό εξέταση συστήματα δεν ελήφθη καμιά πραγματική παράμετρος πέραν του βάρους και της ονομαστικής ισχύος. Όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές που επηρεάζουν τα αποτελέσματα είναι μοντελοποιημένες σύμφωνα με στοιχεία της βιβλιογραφίας και του KENAK. Πιο συγκεκριμένα για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τυχαία μοντέλα που βρίσκονται στην «αγορά» με μοναδικό κριτήριο την ονομαστική τους ισχύ. Ο λόγος που δε χρησιμοποιήθηκαν οι πραγματικές προδιαγραφές των συστημάτων είναι, ότι ουδέποτε υπήρξε ως στόχος της μελέτης η διαφήμιση ή η δυσφήμιση συγκεκριμένων προϊόντων ή εταιρειών.
- Για το ψυκτικό υγρό θεωρήθηκαν ψυκτικές απώλειες της τάξης του 3% ετησίως[21] οι οποίες αναπληρώνονται.

Ένας σημαντικός περιορισμός της μελέτης είναι ότι το εργαλείο δεν είναι σε θέση να αξιολογήσει αξιόπιστα την σύγκριση συστημάτων που χρησιμοποιούν διαφορετική τεχνολογία. Για παράδειγμα, οι λέβητες συμπύκνωσης αποτελούν μια σημαντικά βελτιωμένη εκδοχή των συμβατικών λεβήτων καθώς ο βαθμός απόδοσής τους ξεπερνά το 95%. Για τις κλιματιστικές μονάδες, σε κτήρια όπως το κτήριο αναφοράς της μελέτης, το οποίο είναι 293 m<sup>2</sup>, η επιλογή multi-split θα ήταν μάλλον μια συνολικά καλύτερη επιλογή, καθώς έχει μόνο μία εξωτερική μονάδα, και επομένως το συνολικό βάρος της κλιματιστικής διάταξης θα μειωνόταν σε σχέση

με τα 5 κλιματιστικά τύπου single-split που θεωρούνται στην παρούσα μελέτη. Ωστόσο, η φάση λειτουργίας των συστημάτων επιδρά καταλυτικά στα αποτελέσματα και καθιστά τις ενδεχόμενες αστοχίες οριακά αμελητέες.

### 3.2.4 Προδιαγραφές Ποιότητας Δεδομένων (Data Quality Requirements)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση των συστημάτων προέρχονται από τη διεθνή βιβλιογραφία και από την βάση δεδομένων της Ecoinvent v. 3.5. Η βάση δεδομένων της ecoinvent θεωρείται αξιόπιστη[22] και δεδομένα της έχουν δημοσιευτεί σε πληθώρα επιστημονικών άρθρων που σχετίζονται με την μεθοδολογία της ανάλυσης κύκλου ζωής. Για τα συγκεκριμένα μοντέλα των συστημάτων που ελήφθησαν υπόψη, τα δεδομένα προκύπτουν από τις κατασκευάστριες εταιρείες. Ωστόσο, μόνο το βάρος και η ονομαστική ισχύς αφορούν την συγκεκριμένη εργασία και όχι άλλα χαρακτηριστικά τους.

### 3.2.5 Διαδικασία Κατανομής (Allocation Procedure)

Μετά το πέρας της ζωής των συστημάτων, ακολουθείται η διαδικασία διαχείρισης των αποβλήτων. Αυτή περιλαμβάνει την ανακύκλωση, την καύση και την ταφή των αποβλήτων ανάλογα με την κατηγορία που ανήκουν και του μοντέλο διαχείρισης για το εκάστοτε κράτος. Συνήθως, η ανακύκλωση αφορά συνήθως μέταλλα και υλικά από γυαλί. Τα πλαστικά καίγονται ή οδηγούνται σε ειδικούς χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ). Ωστόσο, αυτές οι διαδικασίες παράγουν ρύπους –στην περίπτωση της καύσης ή ταφής, αλλά και δευτερογενή προϊόντα, όπως είναι τα μέταλλα που ανακτώνται ή η παραγόμενη ενέργεια η οποία ενδεχομένως χρησιμοποιείται για άλλες διεργασίες. Συνεπώς, τίθεται το ερώτημα, αν οι ρύποι και τα προϊόντα της διαχείρισης αποβλήτων ανήκουν στο εξεταζόμενο σύστημα. Υπάρχουν πολλές μεθοδολογίες που απαντούν σε αυτό το ερώτημα, μία εξ αυτών είναι η προσέγγιση “cut-off”, η οποία θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την εργασία.

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η πρωτογενής (πρώτη) παραγωγή υλικών αποδίδεται πάντα στον πρωταρχικό χρήστη ενός υλικού. Εάν ένα υλικό ανακυκλώνεται, ο κύριος παραγωγός δεν λαμβάνει οφέλη για την παροχή ανακυκλώσιμων υλικών. Κατά συνέπεια, τα ανακυκλώσιμα υλικά διατίθενται χωρίς επιβάρυνση στις διαδικασίες ανακύκλωσης και τα δευτερεύοντα (ανακυκλωμένα) υλικά φέρουν μόνο τις επιπτώσεις των διαδικασιών ανακύκλωσης. Επιπλέον, ο παραγωγός αποβλήτων (πρώτος χρήστης) δεν λαμβάνει κανένα όφελος από την ανακύκλωση ή την ενδεχόμενη επαναχρησιμοποίηση προϊόντων που προκύπτουν από οποιαδήποτε επεξεργασία αποβλήτων. Για παράδειγμα, η θερμότητα από την αποτέφρωση των αστικών στερεών αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση σπιτιών ή γραφείων και επομένως έχει αξία. Ωστόσο, η αποτέφρωση κατανέμεται πλήρως στην επεξεργασία των αποβλήτων, και ως εκ τούτου το περιβαλλοντικό κόστος επιβαρύνει τον παραγωγό αποβλήτων. Η παραγόμενη θερμότητα δεν έχει περιβαλλοντικό κόστος[23].

### 3.2.6 Εκτίμηση Επιπτώσεων (Impact Assessment)

Η μέθοδος εκτίμησης των επιπτώσεων που έχει επιλεγεί είναι η ReCiPe 2016 σε επίπεδο midpoint υπό το πρίσμα της ιεραρχικής προοπτικής. Οι κατηγορίες επιπτώσεων που θα εξετασθούν είναι αυτές που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.2.

### 3.3 Ανάλυση και καταγραφή δεδομένων (inventory analysis)

Ο κατάλογος καταγραφής δεδομένων δομήθηκε για τις τρεις φάσεις του κύκλου ζωής στα όρια του συστήματος της προηγούμενης παραγράφου. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την εξόρυξη των πρώτων υλών και την κατασκευή-συναρμολόγηση των συστημάτων, η δεύτερη τη φάση χρήσης αυτών και η τρίτη τη διαχείριση των αποβλήτων.

#### 3.3.1 Εξόρυξη πρώτων υλών – Κατασκευή Συστημάτων

Αρχικά θα παρουσιαστούν οι πίνακες με τα μοντελοποιημένα συστήματα με τα ποσοστιαία βάρη των υλικών που τα συνθέτουν, καθώς και την απαραίτητη ενέργεια που δαπανείται για την κατασκευή και συναρμολόγηση ενός κιλού του εκάστοτε συστήματος. Παρουσιάζονται, επίσης, οι πίνακες με τις μάζες των υλικών και την απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την παρούσα μελέτη.

#### i. Δεδομένα για συμβατικό λέβητα πετρελαίου

Πίνακας 3.1. Μοντελοποίηση κατασκευής λέβητα πετρελαίου

Υλικά κατασκευής	Ποσοστιαίο βάρος υλικού (%)
Χαμηλής περιεκτικότητα κράμα χάλυβα	79.4583
Ανοξείδωτος χάλυβας (χάλυβας χρωμίου 18/8)	3.4547
Αλουμίνιο	7.9458
Ορείχαλκος	0.03455
Χαλκός	2.0935
HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)	0.6218
Λιθοβάμβακας	5.5275
Ακρυλικό βερνίκι – (RER)	0.8636

Η απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή-συναρμολόγηση είναι 0.54711 KWh ηλεκτρισμού μεσαίας τάσης ανά κιλό λέβητα (Ευρωπαϊκό μείγμα). Η παραγόμενη θερμότητα λόγω φυσικού αερίου είναι 0.815695 KWh/kg και η παραγόμενη θερμότητα από απροσδιόριστα καύσιμα ανέρχεται στις 0.454869 KWh/kg. Θεωρήθηκε ότι η τελευταία ποσότητα αναφέρεται σε ελαφρύ

πετρέλαιο, καθώς αυτό είναι το καύσιμο που χρησιμοποιείται από το σετ δεδομένων για τον λέβητα φυσικού αερίου, όπως θα φαίνεται παρακάτω.

Η μοντελοποίηση του λέβητα πετρελαίου προέκυψε από τη βάση δεδομένων τηςecoinvent[24].

Επιλέγοντας ένα λέβητα του εμπορίου ονομαστικής ισχύος 32KW και βάρους 93 kg[25], δημιουργούνται οι κάτωθι κατάλογοι έπειτα από αναγωγή.

**Πίνακας 3.2. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια του λέβητα πετρελαίου για το υπό εξέταση κτήριο**

Υλικά κατασκευής	Βάρος υλικού (kg)
Χαμηλής περιεκτικότητα κράμα χάλυβα	73.90
Ανοξείδωτος χάλυβας (χάλυβας χρωμίου 18/8)	3.21
Αλουμίνιο	7.40
Ορείχαλκος	0.032
Χαλκός	1.95
HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)	0.578
Λιθοβάμβακας	4.90
Ακρυλικό βερνίκι – (RER)	0.803

**Πίνακας 3.3. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή**

	Ενέργεια (kWh)
Ηλεκτρισμός (Ευρωπαϊκό μείγμα)	50.881
Θερμότητα (φυσικό αέριο)	75.860
Θερμότητα (ελαφρύ πετρέλαιο)	42.303

**ii. Δεδομένα για συμβατικό λέβητα φυσικού αερίου**

Η απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή-συναρμολόγηση είναι 0.58551 kWh ηλεκτρισμού μεσαίας τάσης ανά κιλό λέβητα (Ευρωπαϊκό μείγμα). Η παραγόμενη θερμότητα λόγω φυσικού αερίου είναι 0.85038 kWh/kg και η παραγόμενη θερμότητα λόγω ελαφρύ πετρελαίου ανέρχεται στις 0.495889 kWh/kg.

Η μοντελοποίηση του λέβητα φυσικού αερίου έγινε βάσει της μελέτης[26].

Επιλέγοντας ένα λέβητα του εμπορίου ονομαστικής ισχύος 30KW και βάρους 48.5kg[27], δημιουργούνται οι κάτωθι κατάλογοι έπειτα από αναγωγή.



**Πίνακας 3.4. Μοντελοποίηση κατασκευής λέβητα φυσικού αερίου**

Υλικά κατασκευής	Ποσοστιαίο βάρος υλικού (%)
Μη κεκραμένος χάλυβας	3.58
Χαμηλής περιεκτικότητας κράμα χάλυβα	82.45
Αλουμίνιο	5.38
Ορείχαλκος	0.0358
Χαλκός	2.17
HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)	0.64
Λιθοβάμβακας	5.73

**Πίνακας 3.5. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια του λέβητα φυσικού αερίου για το υπό εξέταση κτήριο**

Υλικά κατασκευής	Βάρος υλικού (kg)
Μη κεκραμένος χάλυβας	1.736
Χαμηλής περιεκτικότητας κράμα χάλυβα	39.988
Αλουμίνιο	2.609
Ορείχαλκος	0.017
Χαλκός	1.052
HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)	0.310
Λιθοβάμβακας	2.779

**Πίνακας 3.6. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή**

	Ενέργεια (kWh)
Ηλεκτρισμός (Ευρωπαϊκό μείγμα)	28.397
Θερμότητα (φυσικό αέριο)	41.243
Θερμότητα (ελαφρύ πετρέλαιο)	24.051

## iii. Δεδομένα για συμβατική αντλία θερμότητας

Πίνακας 3.7. Μοντελοποίηση κατασκευής αντλίας θερμότητας

Υλικά κατασκευής	Ποσοστιαίο βάρος υλικού (%)
Χαμηλής περιεκτικότητας κράμα χάλυβα	14.93
Χάλυβας σπλισμού	55.60
Χαλκός	17.08
HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)	0.23
PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο)	0.75
Ελαστομερή	7.47
Λάδι πολυεστέρων	1.26
Ψυκτικό υγρό R-134a	2.29

Η απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή-συναρμολόγηση είναι 0.65329 KWh ηλεκτρισμού μεσαίας τάσης ανά κιλό αντλίας θερμότητας (Ευρωπαϊκό μείγμα). Η παραγόμενη θερμότητα λόγω φυσικού αερίου είναι 1.814694 KWh/kg. Η μοντελοποίηση του λέβητα φυσικού αερίου έγινε βάσει της μελέτης[26]. Επιλέγοντας μια αντλία θερμότητας (air to water) του εμπορίου, με δυνατότητα ψύξης και θέρμανσης, ονομαστικής ισχύος 30KW και βάρους 303kg[28], δημιουργούνται οι κάτωθι κατάλογοι έπειτα από αναγωγή.

Πίνακας 3.8. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια της αντλίας θερμότητας για το υπό εξέταση κτήριο

Υλικά κατασκευής	Βάρος υλικού (kg)
Χαμηλής περιεκτικότητας κράμα χάλυβα	45.238
Χάλυβας σπλισμού	168.468
Χαλκός	51.752
HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)	0.697
PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο)	2.273
Ελαστομερή	22.634
Λάδι πολυεστέρων	3.818
Ψυκτικό υγρό R-134a	6.939

Πίνακας 3.9. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή

	Ενέργεια (kWh)
Ηλεκτρισμός (Ευρωπαϊκό μείγμα)	197.947
Θερμότητα (φυσικό αέριο)	549.852

## iv. Δεδομένα για κλιματιστικό τύπου single-split

Πίνακας 3.10. Μοντελοποίηση κλιματιστικής μονάδας (air conditioner) τύπου single split

Υλικά κατασκευής	Ποσοστιαίο βάρος υλικού (%)
Μη κεκραμένος χάλυβας	35.11
Ανοξείδωτος χάλυβας (χάλυβας χρωμίου 18/8)	1.47
Αλουμίνιο	6.21
Σίδηρος	7.13
HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)	0.07
PS( πολυστυρένιο γενικής χρήσης)	6.55
EPS (διογκωμένη πολυστερίνη)	0.39
HIPS (high impact polysterene) (υψηλής επίδρασης πολυστερήνη)	16.17
PP (πολυπροπυλένιο)	0.82
PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο)	4.04
PA-6 (πολυαμύδιο)	1.27
PBT (τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο) (PET προσέγγιση)	0.60
ABS (Στυρόλιο βουταδιενίου ακρυλονιτρίλιου)	0.21
ακρυλικό βερνίκι -(RER)	0.086
καουτσούκ	0.17
Λοιπά υλικά	1.8

Η απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή- συναρμολόγηση είναι 5.472266 kWh ηλεκτρισμού μεσαίας τάσης ανά κιλό κλιματιστικού(Ευρωπαϊκό μείγμα).

**Πίνακας 3.11. Συνολική μάζα υλικών για μία κλιματιστική μονάδα στο υπό εξέταση κτήριο**

<b>Υλικά κατασκευής</b>	<b>Βάρος υλικού (kg) 12000 (btu/hr)</b>	<b>Βάρος υλικού (kg) 18000 (btu/hr)</b>
<b>Μη κεκραμένος χάλυβας</b>	14.571	15.448
<b>Ανοξείδωτος χάλυβας (χάλυβας χρωμίου 18/8)</b>	0.610	0.647
<b>Αλουμίνιο</b>	2.577	2.732
<b>Σίδηρος</b>	2.959	3.137
<b>HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο)</b>	7.055	7.480
<b>PS( πολυστυρένιο γενικής χρήσης)</b>	0.029	0.031
<b>EPS (διογκωμένη πολυστερίνη)</b>	2.718	2.882
<b>HIPS (high impact polysterene) (υψηλής επίδρασης πολυστερίνη)</b>	0.162	0.172
<b>PP (πολυπροπυλένιο)</b>	6.711	7.115
<b>PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο)</b>	0.340	0.361
<b>PA-6 (πολυαμύδιο)</b>	1.677	1.778
<b>PBT (τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο) (PET προσέγγιση)</b>	0.527	0.559
<b>ABS (Στυρόλιο βουταδιενίου ακρυλονιτρίλιου)</b>	0.249	0.264
<b>ακρυλικό βερνίκι -(RER)</b>	0.087	0.092
<b>καουτσούκ</b>	0.036	0.38
<b>Λοιπά υλικά</b>	0.071	0.075

Το ψυκτικό υγρό που χρησιμοποιείται στην μοντελοποίηση είναι το HFC-134a (1,1,1,2-tetrafluoroethane) και η μάζα του ποικίλλει από 1.1kg έως 1.9kg για κλιματιστικά μάζας 55kg έως 69 kg. Διενεργώντας αναγωγή μαζών, προκύπτει ότι η μέση μάζα του ψυκτικού υγρού είναι

0.02580645kg/ kg κλιματιστικής μονάδας. Όλα τα δεδομένα για την μοντελοποίηση ελήφθησαν από την μελέτη[21].

Για την κάλυψη της απαιτούμενης ψυκτικής ισχύος της υπό εξέταση μονοκατοικίας (22.9 KW), επιλέχθηκαν μοντέλα των 12000 και 18000 (Btu/hr). Επιλέχθηκαν 4 κλιματιστικές μονάδες ονομαστικής ισχύος 12000 (Btu/hr) συνολικού βάρους (εσωτερικής και εξωτερικής μονάδας) 41.5kg εκάστη [29] και δύο κλιματιστικές μονάδες ονομαστικής ισχύος 18000 (Btu/hr) συνολικού βάρους 44kg εκάστη [30]. Η συνολική ονομαστική ψυκτική ισχύς των συστημάτων είναι 24.61KW.

Με αναγωγή μαζών προκύπτει ο πίνακας 3.11, στον οποίο αναφέρονται τα kg υλικών μιας κλιματιστικής μονάδας. Η ηλεκτρική ενέργεια μεσαίας τάσης που καταναλώνεται για την κατασκευή ενός κλιματιστικού 12000 (btu/hr) και ενός 18000 (btu/hr) είναι 227.099 KWh και 240.780 KWh αντίστοιχα. Τα ψυκτικά υγρά των κλιματιστικών έχουν μάζες 1.071kg και 1.135kg κατά αντιστοιχία.

#### v. Δεδομένα για θερμοσίφωνα

Η απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή-συναρμολόγηση είναι 0.2452 KWh ηλεκτρισμού μεσαίας τάσης ανά κιλό λέβητα(Ευρωπαϊκό μείγμα). Η παραγόμενη θερμότητα λόγω φυσικού αερίου είναι 0.1355 KWh/kg και η παραγόμενη θερμότητα από απροσδιόριστα καύσιμα ανέρχεται στις 0.091 KWh/kg.

Η μοντελοποίηση του θερμοσίφωνα έγινε με σύμφωνα με το “hot water tank production” της βάσης δεδομένων της ecoinvent[31].

Επιλέγοντας μια δεξαμενή του εμπορίου χωρητικότητας 200lt και βάρους 55kg[32], δημιουργούνται οι κάτωθι κατάλογοι έπειτα από αναγωγή.

**Πίνακας 3.12. Μοντελοποίηση ηλεκτρικού θερμοσίφωνα**

Υλικά κατασκευής	Ποσοστιαίο βάρος υλικού (%)
Χαμηλής περιεκτικότητας κράμα χάλυβα	77.74
Ανοξειδωτος χάλυβας	14.13
PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο)	0.71
ακρυλικό βερνίκι -(RER)	0.35
Υαλοβάμβακας	7.07

**Πίνακας 3.13. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια ηλεκτρικού θερμοσίφωνα για το υπό εξέταση κτήριο**

Υλικά κατασκευής	Βάρος υλικού (kg)
Χαμηλής περιεκτικότητας κράμα χάλυβα	42756
Ανοξείδωτος χάλυβας	7.774
PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο)	0.388
ακρυλικό βερνίκι -(RER)	0.194
Υαλοβάμβακας	3887

**Πίνακας 3.14. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή**

	Ενέργεια (kWh)
Ηλεκτρισμός (Ευρωπαϊκό μείγμα)	13.488
Θερμότητα (φυσικό αέριο)	7.450
Θερμότητα (ελαφρύ πετρέλαιο)	5.001

**vi. Δεδομένα για θερμαντικά σώματα καλοριφέρ (σύνδεση με τους λέβητες)**

Λόγω έλλειψης δεδομένων για τα σώματα καλοριφέρ, χρησιμοποιήθηκε το σετ δεδομένων της Ecoinvent[33], το οποίο όμως δεν παρέχει πληροφορίες για τα συνολικά υλικά κατασκευής ή για την απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή των σωμάτων, αλλά τις συνολικές εκπομπές για την εκάστοτε κατηγορία επιπτώσεων, μέσω του λογισμικού SimaPro V9.1.1.1. Επομένως, παρατίθενται οι επιπτώσεις σε κάθε κατηγορία ανά κιλό σώματος καλοριφέρ και έπειτα υπολογίζονται οι συνολικές επιπτώσεις για το υπό εξέταση κτήριο με αναγωγή μαζών για όλα τα σώματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το σενάριο. Το βάρος του κάθε σώματος είναι 30.22kg και χρησιμοποιήθηκαν 20 σώματα.

**Πίνακας 3.15. Μοντελοποίηση κατασκευής σωμάτων καλοριφέρ**

Κλιματική Αλλαγή (kg CO <sub>2</sub> eq. / kg σώματος)	Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων (kg Cu eq. / kg σώματος)	Εξάντληση ορυκτών πόρων (kg oil eq. / kg σώματος)	Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία (kg 1,4 DCB eq. /kg σώματος)
4.1459	0.1121	0.9867	0.8194

**Πίνακας 3.16. Συνολικές επιπτώσεις για το πλήθος των σωμάτων καλοριφέρ που χρησιμοποιήθηκαν για το υπό εξέταση κτήριο**

Κλιματική Αλλαγή (kg CO <sub>2</sub> eq. / kg σώματος)	Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων (kg Cu eq. / kg σώματος)	Εξάντληση ορυκτών πόρων (kg oil eq. / kg σώματος)	Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία (kg 1,4 DCB eq. /kg σώματος)
1879.324	50.870	447.276	371.448

**vii. Δεδομένα για σώματα εξαναγκασμένης ροής Fan Coil (σύνδεση με την αντλία θερμότητας)**

Για τα σώματα fan coil, χρησιμοποιήθηκε σενάριο δεδομένων της Ecoinvent[34]. Αντίστοιχα με τα καλοριφέρ, δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για την ενέργεια κατασκευής, επομένως ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Για το συγκεκριμένο σενάριο χρησιμοποιήθηκαν 15 σώματα Fan coil 18.4kg έκαστο.

**Πίνακας 3.17. Μοντελοποίηση κατασκευής σωμάτων Fan Coil.**

Κλιματική Αλλαγή (kg CO <sub>2</sub> eq. / kg σώματος)	Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων (kg Cu eq. / kg σώματος)	Εξάντληση ορυκτών πόρων (kg oil eq. / kg σώματος)	Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία (kg 1,4 DCB eq. /kg σώματος)
4.2834	0.2685	1.0203	0.9551

**Πίνακας 3.18. Συνολικές επιπτώσεις για το πλήθος των σωμάτων καλοριφέρ που χρησιμοποιήθηκαν για το υπό εξέταση κτήριο**

Κλιματική Αλλαγή (kg CO <sub>2</sub> eq. / kg σώματος)	Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων (kg Cu eq. / kg σώματος)	Εξάντληση ορυκτών πόρων (kg oil eq. / kg σώματος)	Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία (kg 1,4 DCB eq. /kg σώματος)
1284.953	80.536	306.069	286.508

### 3.3.2 Λειτουργία Συστημάτων

Η φάση της λειτουργίας των συστημάτων είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο τα αποτελέσματα της σύγκρισης σεναρίων. Η βασική παραδοχή που έχει ληφθεί, είναι η ταύτιση της διάρκειας ζωής των συστημάτων με τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας, δηλαδή τα 20 έτη. Οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματά μας είναι οι βαθμοί απόδοσης των συστημάτων και τα υπολογισμένα θερμικά και ψυκτικά φορτία για την κάλυψη

των αναγκών της υπό μελέτη μονοκατοικίας. Για τους βαθμούς απόδοσης θεωρήθηκαν τυπικές τιμές για τους λέβητες και τα κλιματιστικά βάσει της τεχνικής οδηγίας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017. Για τον υπολογισμό των ψυκτικών και θερμικών φορτίων, καθώς και για τις εκπομπές ρύπων στην φάση λειτουργίας των συστημάτων, υπάρχει αναλυτική μεθοδολογία στο επόμενο κεφάλαιο.

### **3.3.3 Τέλος κύκλου ζωής**

Το τέλος του κύκλου ζωής δεν συμπεριλαμβάνεται στην αναπτυχθείσα εφαρμογή. Λόγω του συγκριτικού χαρακτήρα της μελέτης, κρίθηκε ότι οι διαφορές στα αποτελέσματα για το τέλος ζωής των συστημάτων θα ήταν αμελητέα σε σχέση με τις συνολικές επιπτώσεις, εφόσον οι συνολικές μάζες για τα σενάρια που μελετώνται έχουν μικρές αποκλίσεις.

Ωστόσο, καθ' υπόδειξη του εργαστηρίου, και για λόγους πληρότητας, παρατίθεται ένα σενάριο για τη διαχείριση των αποβλήτων. Θεωρείται πλήρης ανακύκλωση και ανάκτηση όλων των μετάλλων, ανάκτηση του ψυκτικού υγρού R-134a σε ποσοστό 90% και επαναχρησιμοποίησή του, ενώ το υπόλοιπο 10% στέλνεται για καύση. Επίσης, θεωρείται πλήρης καύση όλων των μη μεταλλικών υλικών των συστημάτων.



## 4. Μεθοδολογία – Μοντελοποίηση

Το κτήριο αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς της εργασίας είναι μια μη ανακαινισμένη μονοκατοικία στην Β κλιματική ζώνη, περιόδου κατασκευής 1981-2000 (κτήριο GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001). Η μονοκατοικία είναι δώροφη(μεζονέτα) συνολικής επιφάνειας  $A_{c,ref}=293m^2$ . Οι τιμές  $U$  (συντελεστής θερμοχωρητικότητας) των αρχιτεκτονικών (δομικών) στοιχείων της οικίας ελήφθησαν από το TABULA Webtool, το οποίο είναι εγκεκριμένο από τον EASME – Executive Agency for SMEs της Ευρωπαϊκής επιτροπής (European Commission) [35]. Ακολουθεί συνοπτικός πίνακας με τα δομικά στοιχεία, τις επιφάνειές και τους συντελεστές θερμοχωρητικότητάς των.

**Πίνακας 4.1. Δεδομένα δομικών στοιχείων για το υπό εξέταση κτήριο**

Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια ( $m^2$ )	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας ( $W/(m^2 \cdot K)$ )
Οροφή	150.0	1.05
Δάπεδο	88.0	3.10
Τοίχος 1	182.2	0.85
Τοίχος 2	101.3	3.40
Τοίχος 3	64.7	3.65
Υαλοπίνακας	42.0	4.10

### 4.1 Θερμικά Φορτία

#### 4.1.1 Βαθμομέρες θέρμανσης

Για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών λαμβάνονται υπόψιν οι απώλειες θερμότητας των δομικών στοιχείων, της ανανέωσης του αέρα, του ζεστού νερού χρήσης, αλλά και των εσωτερικών θερμικών κερδών (ανθρώπινη δραστηριότητα, ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός κ.α.). Στα θερμικά κέρδη προστίθεται και η προσρόφηση θερμότητας μέσω των υαλοπινάκων. Η μεθοδολογία υπολογισμού των θερμικών αναγκών που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στο Tabula Calculation Method[36]. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται, είναι αυτή των βαθμομερών θέρμανσης και ο υπολογισμός των φορτίων βασίζεται στην μηνιαία προσέγγιση. Έχουν χρησιμοποιηθεί δύο συγκριτικοί υπολογισμοί. Ο πρώτος έγινε με βάση τα στοιχεία του κανονισμού ενεργειακής απόδοσης κτηριακού τομέα (KENAK) και συγκεκριμένα της τεχνικής οδηγίας [37]. Ο δεύτερος έγινε βάσει ανάλυσης καιρικών δεδομένων για την Αθήνα. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή της EnergyPlus[38].

Η εξίσωση υπολογισμού των βαθμομερών θέρμανσης DD (°C·days/month) που χρησιμοποιεί ο KENAK είναι:

$$DD = \sum [N_{mo} \cdot (T_{avn} - T_{\alpha})^+]$$

όπου:

$N_{mo}$  ο αριθμός ημερών για τον κάθε μήνα

$T_{avn}$  η θερμοκρασία αναφοράς του περιβάλλοντος (°C) (για αυτή την μελέτη 18°C) και  $T_{\alpha}$  η μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε μήνα (°C)

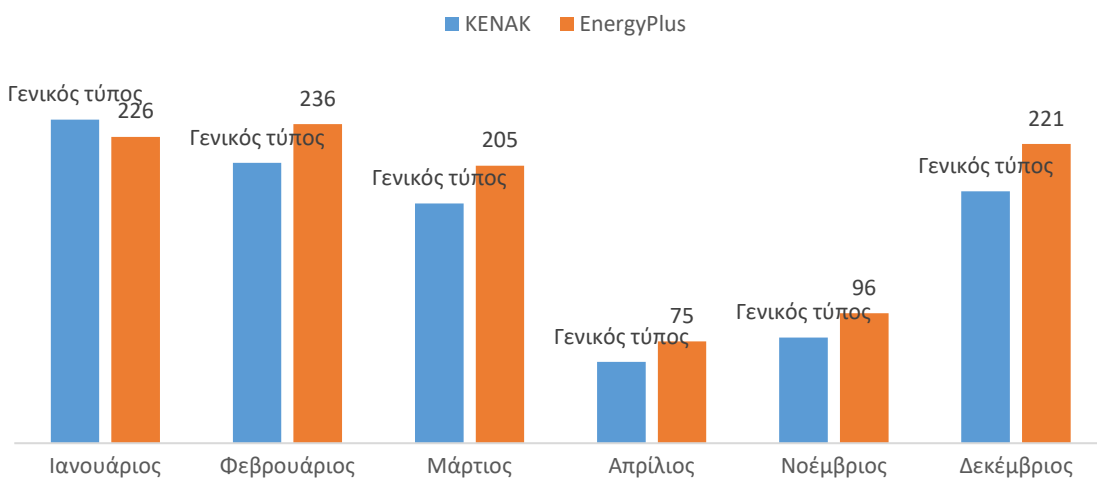
(<sup>+</sup>) το σύμβολο αυτό δηλώνει ότι στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη μόνο οι περιπτώσεις κατά τις οποίες η θερμοκρασία  $T_{\alpha}$  δεν υπερβαίνει τη θερμοκρασία αναφοράς  $T_{avn}$ , δηλαδή η τιμή της παρένθεσης είναι θετικός αριθμός.

Η εξίσωση υπολογισμού των βαθμομερών θέρμανσης DD(°C·days/month) –σύμφωνα με την μεθοδολογία του Tabula- είναι:

$$DD = \sum [N_{m,h} \cdot (T_{avn} - T_{\alpha})^+]$$

, όπου  $N_{m,h}$  το πλήθος ημερών μήνα με  $T_{avn} > T_{\alpha}$ .

Οι διαφορές μεταξύ KENAK και των δεδομένων από την EnergyPlus φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



**Σχήμα 4.1. Βαθμομέρες θέρμανσης (°C·days) για θερμοκρασία αναφοράς  $T_{avn}=18^{\circ}\text{C}$**

Για τους υπολογισμούς των θερμικών φορτίων γίνεται χρήση των δεδομένων της EnergyPlus.

#### 4.1.2 Μεθοδολογία υπολογισμού θερμικών φορτίων.

Η εξίσωση υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών κατά τους χειμερινούς μήνες είναι[39]:

$$Q_{th} = Q_{be} + Q_{ve} + Q_{h.d.w} - Q_{h,g}$$

Όπου:

$Q_{th}$  (KWh/month) τα συνολικά μηνιαία θερμικά φορτία.

$Q_{be}$  (KWh/month) το άθροισμα των θερμικών απωλειών στα δομικά στοιχεία.

$Q_{ve}$  (KWh/month) μηνιαίες θερμικές απώλειες λόγω ανανέωσης αέρα

$Q_{h.d.w}$ (KWh/month) μηνιαία θερμικά φορτία ζεστού νερού χρήσης

και  $Q_{h,g}$  (KWh/month) το μηνιαίο θερμικό κέρδος.

- **Θερμικές απώλειες των δομικών στοιχείων.**

$$Q_{be} = 0.024 \cdot \left[ \sum (b_i \cdot U_i \cdot A_i) + \sum A_i \cdot \Delta U \right] \cdot DD$$

όπου το  $i$  αναφέρεται στα διαφορετικά δομικά στοιχεία (τοιχοί, δάπεδο, υαλοπίνακας, οροφή)

$U_i$  ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ) η θερμική διαπερατότητα των δομικών στοιχείων

$A_i$  ( $m^2$ ) η επιφάνεια των δομικών στοιχείων

$b_i$  είναι ο αδιάστατος παράγοντας εδάφους (factor soil), ο οποίος έχει σημαντική συμβολή στα δομικά στοιχεία που έρχονται σε επαφή με το έδαφος. Η τιμή του συντελεστή σχετίζεται με την σύνθεση του εδάφους, την αγωγιμότητά του, αλλά και την μόνωση του δομικού στοιχείου[40]. Για την παρούσα μελέτη, θεωρήθηκε  $b=0.5$  για το δομικό στοιχείο του δαπέδου. Αυτή είναι η προτυποποιημένη τιμή, σύμφωνα με το tabula.

$\Delta U$  ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ) είναι μια προσαύξηση της θερμικής διαπερατότητας των δομικών στοιχείων, που παρατηρείται λόγω του φαινομένου της θερμογέφυρας[41]. Μια σύντομη περιγραφή του φαινομένου βρίσκεται στο παράρτημα Β και τιμές που λαμβάνονται σύμφωνα με το Tabula, βρίσκονται σε πίνακα του υπολογιστικού εργαλείου.

- **Θερμικές απώλειες λόγω ανανέωσης του αέρα.**

$$Q_{ve} = 0.024 \cdot c_{p,air} \cdot (n_{air,use} + n_{air,infilt}) \cdot A_{c,ref} \cdot H_{room} \cdot DD$$

όπου:

$c_{p,air}$  ( $Wh/m^3 \cdot K$ ) η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα (=0.34)

$n_{air,use}$  ( $h^{-1}$ ) ο συντελεστής ανανέωσης αέρα, σχετιζόμενος με την χρήση που γίνεται στο κτήριο. Η προτυποποιημένη τιμή που χρησιμοποιεί το tabula (=0.4).

$n_{air,infilt}$  ( $h^{-1}$ ) ο συντελεστής ανανέωσης αέρα, σχετιζόμενος με το κέλυφος του κτηρίου. Οι προτεινόμενες τιμές του tabula ανήκουν στο εύρος [0.05-0.4]. Το κτήριο αναφοράς δεν πληροί τις ενεργειακές προδιαγραφές του υπουργείου περιβάλλοντος και ενέργειας (υπάρχει πίνακας με τους μέγιστους επιτρεπόμενους συντελεστές στο παράρτημα Β). Για τον λόγο αυτό θεωρήθηκε η τιμή 0.2 για τους υπολογισμούς. Για ανακαινισμένο ή καινούριο κτήριο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 0.05 ή 0.1 –ανάλογα την περίπτωση.

$A_{c,ref}$  ( $m^2$ ) η συνολική επιφάνεια του κτηρίου αναφοράς.

$H_{room}$ (m) το ύψος των δωματίων του κτηρίου (=2.5m).

- **Θερμικά φορτία για τις ανάγκες ζεστού νερού χρήσης.**

$$Q_{h.d.w} = \frac{\rho \cdot c_{p,water} \cdot N \cdot V \cdot (T_{h.d.w,ref} - T_{w,n})}{3600}$$

Όπου:

$\rho$ (kg/l) η πυκνότητα του νερού στους 45°C

**N** το πλήθος ατόμων που διαμένουν στην οικία

**V** (lt) η ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης ανά άτομο (=35)

**$T_{h.d.w,ref}$**  (°C) η θερμοκρασία του ζεστού νερού (=45°C).

**$T_{w,n}$** (°C) η μέση μηνιαία θερμοκρασία νερού δικτύου για την κλιματική ζώνη Β. Οι τιμές του  $T_{w,n}$  όπως και η μεθοδολογία για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων για το Ζ.Ν.Χ είναι σύμφωνα με την οδηγία του Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017[42].

- **Θερμικό κέρδος**

$$Q_{h,g} = \eta_{hg} \cdot (Q_{sol} + Q_{int})$$

Όπου:

$Q_{sol}$  (KWh/month) το θερμικό κέρδος λόγω ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υαλοπινάκων.

$Q_{int}$  (KWh/month) είναι το θερμικό κέρδος λόγω θερμικών φορτίων στο εσωτερικό της οικίας (φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές, ανθρώπινη δραστηριότητα κλπ)

$\eta_{hg}$  (-) αδιάστατος συντελεστής χρήσης κτηρίου. Σχετίζεται με τη χρήση στο κτήριο (ανανέωση αέρα), το κέλυφος του κτηρίου και τα χαρακτηριστικά των δομικών του στοιχείων, αλλά και από την σχέση των θερμικών απωλειών προς το θερμικό κέρδος του.

- **Ηλιακό θερμικό κέρδος**

$$Q_{sol} = 0.001 \cdot F_{sh} \cdot (1 - F_F) \cdot F_w \cdot g_{gl} \cdot \sum A_{window,i} \cdot I_{sol,i}$$

Όπου:

$F_{sh}$  (-) ο αδιάστατος συντελεστής μείωσης λόγω σκίασης στην ωφέλιμη συλλεκτική επιφάνεια (=0.6).

$F_F$  (-) ο λόγος της επιφάνειας του πλαισίου προς την συνολική επιφάνεια του υαλοπίνακα (=0.3).

$g_{gl}$  (-) ο αδιάστατος συντελεστής συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση (=0.77). Τιμές του συντελεστή βρίσκονται σε πίνακα στο παράρτημα Β.

$F_w$  (-) ο αδιάστατος συντελεστής μείωσης λόγω της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας (=0.9).

$A_{window,i}$  (m<sup>2</sup>) η συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων σε προσανατολισμό  $i$ .

$I_{sol,i}$  (Wh/(m<sup>2</sup> · month)) η μηνιαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο σε προσανατολισμό  $i$ .

Για τον προσανατολισμό των υαλοπινάκων υπήρξε η παραδοχή ότι το 10% της επιφάνειας βρίσκεται στον βορρά, το 35% στην ανατολή, το 35% στο νότο και το εναπόμειναν 20% στη δύση.

Ο υπολογισμός της μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο σε προσανατολισμό  $i$  ( $I_{sol,i}$ ) είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία η οποία περιλαμβάνει μακροσκελείς εξισώσεις και σχετίζεται άμεσα με τα καιρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται. Για τον λόγο αυτό, οι υπολογισμοί δεν έγιναν στο υπολογιστικό φύλλο, αλλά έγινε χρήση ενός κώδικα σε περιβάλλον Matlab. Ο κώδικας σε μορφή ascii παρατίθεται στο παράρτημα για το ηλιακό θερμικό κέρδος, καθώς και όλες οι απαραίτητες επισημάνσεις για τη χρήση του.

Περισσότερες πληροφορίες για το ηλιακό θερμικό κέρδος υπάρχουν σε επόμενο κεφάλαιο, όπου υπάρχει συνοπτική παρουσίαση και οδηγίες χρήσης του υπολογιστικού φύλλου. Στο παράρτημα του ηλιακού θερμικού κέρδους βρίσκονται επίσης όλοι οι πίνακες για τους συντελεστές ( $F_{sh}$ ,  $F_w$  και  $g_{gl}$ ).

- **Εσωτερικό θερμικό κέρδος**

$$Q_{int} = 0.024 \cdot \phi_{int} \cdot A_{c,ref} \cdot d_h$$

Όπου:

$\phi_{int}$  ( $W/m^2$ ) το μέσο θερμικό κέρδος που παράγεται από τις εσωτερικές θερμικές πηγές (φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές κ.α.) ανά μονάδα επιφάνειας. Η προτυποποιημένη τιμή του Tabula είναι  $3(W/m^2)$

$A_{c,ref}$  ( $m^2$ ) η συνολική επιφάνεια του κτηρίου

$d_h$  (days) είναι το πλήθος των ημερών με μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη από  $18^\circ C$ .

- **Συντελεστής χρήσης κτηρίου για τα θερμικά φορτία  $\eta_{hg}$**

$$\eta_{hg} = \frac{1 - \gamma^{\alpha_H}}{1 - \gamma^{\alpha_H + 1}}$$

$$\text{Όπου } \gamma = \frac{Q_{hg}}{Q_{be} + Q_{ve}} \text{ και } \alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau_H}{\tau_{H,0}}$$

με  $\alpha_{H,0}=0.8$ ,  $\tau_{H,0}=15$  (hours). Οι τιμές τους είναι προτυποποιημένες σύμφωνα με το ISO 13790:2008 για την μέθοδο των μηνιαίων θερμικών φορτίων[43].

$$\tau_H = \frac{c_m \cdot A_{c,ref}}{H_{tr} + H_{ve}} \text{ (hours)}$$

$$H_{tr} = \left[ \sum (b_i \cdot U_i \cdot A_i) + \sum A_i \cdot \Delta U \right]$$

$$H_{ve} = c_{p,air} \cdot (n_{air,nuse} + n_{air,infiltr}) \cdot A_{c,ref} \cdot H_{room}$$

$c_m$  ( $Wh/m^2 \cdot K$ ) η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα επιφάνειας στο εσωτερικό του κτηρίου. Η προτυποποιημένη τιμή κατά το Tabula  $c_m=45(Wh/m^2 \cdot K)$ .

## 4.2 Ψυκτικά φορτία

### 4.2.1 Βαθμώρες Ψύξης

Για τον υπολογισμό των ψυκτικών αναγκών λαμβάνονται υπόψιν οι απώλειες θερμότητας των δομικών στοιχείων, της ανανέωσης του αέρα, του ζεστού νερού χρήσης, αλλά και των εσωτερικών θερμικών κερδών (ανθρώπινη δραστηριότητα, ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός κ.α.). Στα θερμικά κέρδη προστίθεται και η προσρόφηση θερμότητας μέσω των υαλοπινάκων. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται, είναι αυτή των βαθμοωρών ψύξης και ο υπολογισμός των φορτίων είναι μηνιαίος. Έχουν χρησιμοποιηθεί δύο συγκριτικοί υπολογισμοί. Ο πρώτος έγινε με βάση τα στοιχεία του κανονισμού ενεργειακής απόδοσης κτηριακού τομέα (KENAK) και συγκεκριμένα της τεχνικής οδηγίας [37]. Ο δεύτερος έγινε βάσει ανάλυσης καιρικών δεδομένων για την Αθήνα. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του EnergyPlus[38].

Η εξίσωση υπολογισμού των βαθμοωρών ψύξης CDH ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hours}/\text{month}$ ) που χρησιμοποιεί ο KENAK είναι:

$$CDH = \sum [N_{mo} \cdot (T_{\alpha,H} - T_{\alpha\nu})^+]$$

όπου:

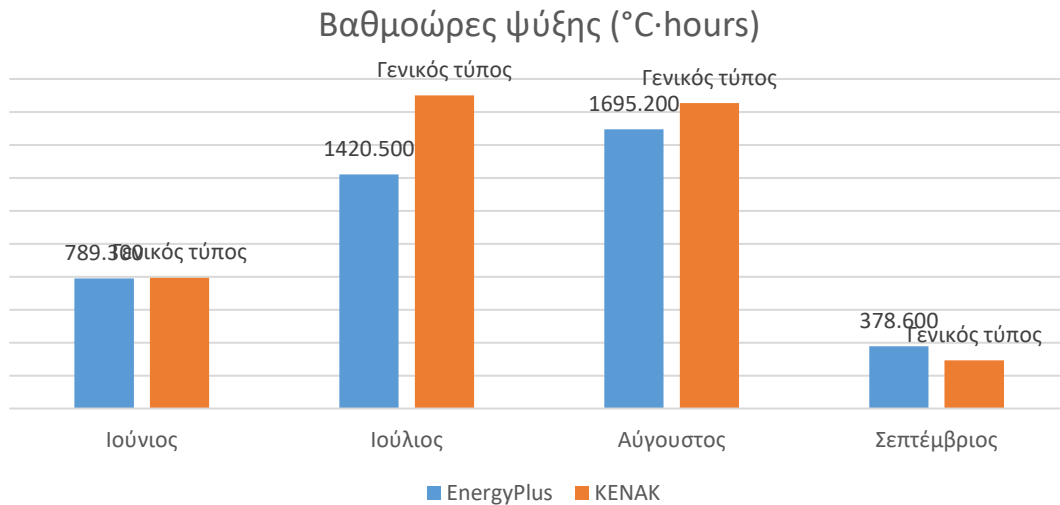
$N_{mo}$  ο αριθμός ημερών για τον κάθε μήνα

$T_{\alpha\nu}$  η θερμοκρασία αναφοράς του περιβάλλοντος ( $^{\circ}\text{C}$ ) (=  $26^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\alpha,H}$  η μέση ωριαία θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε μήνα ( $^{\circ}\text{C}$ )

(\*) το σύμβολο αυτό δηλώνει ότι στους υπολογισμούς λαμβάνονται υπόψη μόνο οι περιπτώσεις κατά τις οποίες η θερμοκρασία  $T_{\alpha,H}$  είναι μεγαλύτερη της θερμοκρασίας αναφοράς  $T_{\alpha\nu}$ , δηλαδή η τιμή της παρένθεσης είναι θετικός αριθμός.

Οι διαφορές μεταξύ KENAK και των δεδομένων από την EnergyPlus φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 4.2. Βαθμώρες ψύξης (°C·hours) για θερμοκρασία αναφοράς  $T_{αν}=26\text{ °C}$

#### 4.2.2 Μεθοδολογία υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.

Η εξίσωση υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών κατά τους θερινούς μήνες είναι[39]:

$$Q_C = Q_{h,g} + \eta_{C,ls} \cdot (Q_{be} + Q_{ve})$$

Όπου:

$Q_C$  (KWh/month) τα συνολικά μηνιαία ψυκτικά φορτία.

$Q_{be}$  (KWh/month) το άθροισμα των ψυκτικών απωλειών στα δομικά στοιχεία.

$Q_{ve}$  (KWh/month) οι απώλειες λόγω ανανέωσης αέρα στο κτήριο.

και  $Q_{h,g}$  (KWh/month) το θερμικό κέρδος (ψυκτικές απώλειες).

$\eta_{C,ls}$  (-) ο αδιάστατος συντελεστής χρήσης του κτηρίου για τα ψυκτικά φορτία

- **ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.**

$$Q_{be} = 0.001 \cdot \left[ \sum (b_i \cdot U_i \cdot A_i) + \sum A_i \cdot \Delta U \right] \cdot CDH$$

όπου το  $i$  αναφέρεται στα διαφορετικά δομικά στοιχεία (τοιχοί, δάπεδο, υαλοπίνακας, οροφή)



$U_i$  ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ) η θερμική διαπερατότητα των δομικών στοιχείων

$A_i$  ( $m^2$ ) η επιφάνεια των δομικών στοιχείων

$b_i$  είναι ο αδιάστατος παράγοντας εδάφους (factor soil)

$\Delta U$  ( $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ) είναι μια προσαύξηση της θερμικής διαπερατότητας των δομικών στοιχείων, που παρατηρείται λόγω του φαινομένου της θερμογέφυρας[41]. Μια σύντομη περιγραφή του φαινομένου βρίσκεται στο παράρτημα Β και τιμές που λαμβάνονται σύμφωνα με το Tabula, βρίσκονται σε πίνακα του υπολογιστικού εργαλείου.

- **ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.**

$$Q_{ve} = 0.001 \cdot c_{p,air} \cdot (n_{air,use} + n_{air,infiltr}) \cdot A_{c,ref} \cdot H_{room} \cdot CDH$$

όπου:

$c_{p,air}$  ( $Wh/m^3 \cdot K$ ) η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα (=0.34)

$n_{aor,use}$  ( $h^{-1}$ ) ο συντελεστής ανανέωσης αέρα, σχετιζόμενος με την χρήση που γίνεται στο κτήριο. Η προτυποποιημένη τιμή που χρησιμοποιεί το tabula είναι 0.4.

$n_{air,infiltr}$  ( $h^{-1}$ ) ο συντελεστής ανανέωσης αέρα, σχετιζόμενος με το κέλυφος του κτηρίου. Οι προτεινόμενες τιμές του tabula ανήκουν στο εύρος [0.05-0.4]. Το κτήριο αναφοράς δεν πληροί τις ενεργειακές προδιαγραφές του υπουργείου περιβάλλοντος και ενέργειας (υπάρχει πίνακας με τους μέγιστους επιτρεπόμενους συντελεστές στο παράρτημα Β). Για τον λόγο αυτό θεωρήθηκε η τιμή 0.2 για τους υπολογισμούς. Για ανακαινισμένο ή καινούριο κτήριο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 0.05 ή 0.1 –ανάλογα την περίπτωση.

$A_{c,ref}$  ( $m^2$ ) η συνολική επιφάνεια του κτηρίου αναφοράς (=293).

$H_{room}$ (m) το ύψος των δωματίων του κτηρίου (=2.5m).

- **Ηλιακό θερμικό κέρδος**

$$Q_{sol} = 0.001 \cdot F_{sh} \cdot (1 - F_F) \cdot F_w \cdot g_{gl} \cdot \sum A_{window,i} \cdot I_{sol,i}$$

Όπου:

$F_{sh}$  (-) ο αδιάστατος συντελεστής μείωσης λόγω σκίασης στην ωφέλιμη συλλεκτική επιφάνεια (=0.6).

$F_F$  (-) ο λόγος της επιφάνειας του πλαισίου προς την συνολική επιφάνεια του υαλοπίνακα (=0.3).

$g_{gl}$  (-) ο αδιάστατος συντελεστής συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση (=0.77).

$F_w$  (-) ο αδιάστατος συντελεστής μείωσης λόγω της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας (=0.9).

$A_{window,i}$  ( $m^2$ ) είναι η συνολική επιφάνεια των υαλοπινάκων σε προσανατολισμό  $i$ .

$I_{sol,i}$  ( $(Wh/(m^2 \cdot month))$ ) είναι η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο σε προσανατολισμό  $i$ .

Για τον προσανατολισμό των υαλοπινάκων υπήρξε η παραδοχή ότι το 10% της επιφάνειας βρίσκεται στον βορρά, το 35% στην ανατολή, το 35% στο νότο και το εναπόμειναν 20% στη δύση.

- **Εσωτερικό θερμικό κέρδος**

$$Q_{int} = 0.001 \cdot \varphi_{int} \cdot A_{c,ref} \cdot d_c$$

Όπου:

$\varphi_{int}$  ( $W/m^2$ ) το μέσο θερμικό κέρδος που παράγεται από τις εσωτερικές θερμικές πηγές(φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές κ.α.) ανά μονάδα επιφάνειας. Η προτυποποιημένη τιμή του Tabula είναι  $3(W/m^2)$

$A_{c,ref}$  ( $m^2$ ) η συνολική επιφάνεια του κτηρίου

$d_c$  (days) το πλήθος των ημερών με μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος μεγαλύτερη από  $26^\circ C$ .

- **Συντελεστής ψυκτικών απωλειών από τα δομικά στοιχεία**

$$\eta_{c,ls} = \frac{1 - \gamma^{-\alpha_c}}{1 - \gamma^{-(\alpha_c+1)}}$$

$$\text{Όπου } \gamma = \frac{Q_{h,g}}{Q_{be}+Q_{ve}} \quad \text{και} \quad \alpha_c = a_{c,0} + \frac{\tau_c}{\tau_{c,0}}$$

με  $\alpha_{c,0}=1$  ,  $\tau_{c,0}=15$  (hours) . Οι τιμές τους είναι προτυποποιημένες σύμφωνα με το ISO 13790:2008 για την μέθοδο των μηνιαίων ψυκτικών φορτίων[43].

$$\tau = \frac{c_m \cdot A_{c,ref}}{H_{tr} + H_{ve}} \text{ (hours)}$$

$$H_{tr} = \left[ \sum (b_i \cdot U_i \cdot A_i) + \sum A_i \cdot \Delta U \right]$$

$$H_{ve} = c_{p,air} \cdot (n_{air,use} + n_{air,infiltr}) \cdot A_{c,ref} \cdot H_{room}$$

$C_m$  ( $Wh/m^2 \cdot K$ ) η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα επιφάνειας στο εσωτερικό του κτηρίου. Η προτυποποιημένη τιμή κατά το Tabula  $c_m=45$ ( $Wh/m^2 \cdot K$ ).

### 4.3 Απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς

Η απαιτούμενη εγκατεστημένη θερμική ισχύς για την οικία έγινε με χρήση της εξίσωσης:

$$P_{th} = 0.001 \cdot (1 + \Delta P_{th}) \cdot \bar{U} \cdot (T_{s,p} - T_{ref}) \cdot \sum A_i$$

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i \cdot A_i + \sum A_i \cdot \Delta U}{\sum A_i}$$

$P_{th}$ (Kw) η απαιτούμενη εγκατεστημένη θερμική ισχύς

$\Delta P_{th}$  η ποσοστιαία προσαύξηση ισχύος (=0.07)

$\bar{U}$  ( $W/(m^2 \cdot K)$ ) η μέση θερμική διαπερατότητα των δομικών στοιχείων

$T_{s,p}$  ( $^{\circ}C$ ) η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου (set point) (=20 $^{\circ}C$ )

$T_{ref}$  ( $^{\circ}C$ ) η θερμοκρασία αναφοράς για Αθήνα (=0 $^{\circ}C$ ). Για την επιλογή της θερμοκρασίας αναφοράς, θεωρήθηκε ότι θα πρέπει να είναι λίγο μικρότερη από την ελάχιστη θερμοκρασία που παρατηρείται κατά τη διάρκεια του έτους.

$A_i$  ( $m^2$ ) η επιφάνεια του δομικού στοιχείου i

Η απαιτούμενη εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς για την οικία έγινε με χρήση της εξίσωσης:

$$P_c = 0.001 \cdot (1 + \Delta P_c) \cdot \bar{U} \cdot (T_{ref} - T_{s,p}) \cdot \sum A_i$$

$P_c$  (Kw) η απαιτούμενη εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς ισχύς.

$\Delta P_c$  η ποσοστιαία προσαύξηση ισχύος (=0.05)

Θεωρήθηκαν οι κάτωθι παραδοχές:

$T_{ref}=40(^{\circ}C)$  και  $T_{s,p}=26(^{\circ}C)$

## 4.4 Υπολογισμοί για τα συστήματα θέρμανσης

### 4.4.1 Υπολογισμοί λέβητα πετρελαίου

Η παροχή μάζας πετρελαίου θέρμανσης  $\dot{m}_{f,o}$  ( $\frac{kg}{s}$ ) δίνεται μέσω της σχέσης:

$$\dot{m}_{f,o} = \frac{P_{th}}{\eta_o \cdot H_{u,o}}$$

Όπου:

$P_{th}$  (KW) η απαιτούμενη εγκατεστημένη θερμική ισχύς που υπολογίστηκε

$\eta_o$  (-) ο βαθμός απόδοσης του λέβητα πετρελαίου (=0.85)

$H_{u,o}$  ( $\frac{KJ}{Kg}$ ) η κατώτερη θερμογόνο δύναμη για πετρέλαιο θέρμανσης (=42500)

Και η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης στον λέβητα  $m_{f,o}$  (kg/a) δίνεται από την σχέση:

$$m_{f,o} = \dot{m}_{f,o} \cdot \frac{Q_{th,a}}{P_{th}}$$

με  $Q_{th,a}$  (KWh/a) είναι τα ετήσια θερμικά φορτία, δηλαδή το άθροισμα των θερμικών φορτίων για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο.

### 4.4.2 Υπολογισμοί λέβητα φυσικού αερίου

Η παροχή μάζας φυσικού αερίου  $\dot{m}_{f,ng}$  ( $\frac{kg}{s}$ ) δίνεται μέσω της σχέσης:

$$\dot{m}_{f,ng} = \frac{P_{th}}{\eta_{ng} \cdot H_{u,ng}}$$

Όπου:

$\eta_{ng}$  (-) ο βαθμός απόδοσης του λέβητα φυσικού αερίου (=0.90)

$H_{u,ng}$  ( $\frac{KJ}{Kg}$ ) η κατώτερη θερμογόνος δύναμη για φυσικό αέριο (=46800)

Και η ετήσια κατανάλωση φυσικού αερίου στον λέβητα  $m_{f,ng}$  (kg/a) δίνεται από την σχέση:

$$m_{f,ng} = \dot{m}_{f,ng} \cdot \frac{Q_{th,a}}{P_{th}}$$

#### 4.4.3 Υπολογισμοί αντλίας θερμότητας

Ο υπολογισμός των ηλεκτρικών καταναλώσεων για τις αντλίες θερμότητας είναι μια σύνθετη διαδικασία, λόγω του εύρους τιμών που έχει ο συντελεστής θερμικής απόδοσης (Coefficient of Performance COP) τους σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Επομένως, επιλέχθηκε να μη χρησιμοποιηθεί κάποιος seasonal COP, αλλά να αντλήσουμε στοιχεία για το μηνιαίο COP μέσω του μοντέλου 30AWH015H—9 [44].

Ο μηνιαίος COP για τις αντλίες θερμότητας σχετίζεται με την θερμοκρασία περιβάλλοντος, αλλά και την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού που εξέρχεται της αντλίας. Παρατίθεται ο πίνακας με τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την Αθήνα, καθώς και οι αντίστοιχοι μηνιαίοι COP για θερμοκρασία εξερχόμενου νερού 35°C.

**Πίνακας 4.2. Μηνιαία COP για την αντλία θερμότητας του χειμερινούς μήνες**

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	10,70	9,58	11,39	15,06	14,50	10,87
COP για 35°C	4,59	4,45	4,65	5,16	5,05	4,62

Δοθέντος, ότι δε δίνονται οι τιμές COP για τις συγκεκριμένες θερμοκρασίες, οι άνωθι COP είναι προϊόν γραμμικής παρεμβολής από τα στοιχεία που εξέδωσε η κατασκευάστρια εταιρία.

Οι μηνιαίες ηλεκτρικές καταναλώσεις  $P_{th,el,hp}$  (KWh/month) δίνονται από την σχέση:

$$P_{th,el,hp} = \frac{Q_{th}}{COP}$$

Οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας προκύπτουν από το άθροισμα των μηνιαίων καταναλώσεων (εξαιρουμένων των φορτίων του ζεστού νερού χρήσης).

#### 4.4.4 Υπολογισμοί θερμοσίφωνα

Οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις του θερμοσίφωνα (KWh/a) δίνονται από την σχέση:

$$P_{th,el,wh} = \frac{Q_{h.d.w,a}}{\eta_{wh}}$$

,όπου:

$Q_{h.d.w,a}$  (KWh/a) είναι τα ετήσια φορτία ζεστού νερού χρήσης

$\eta_{wh}$  (-) ο βαθμός απόδοσης του θερμοσίφωνα (=0.99).

## 4.5 Υπολογισμοί για τα συστήματα ψύξης

### 4.5.1 Υπολογισμοί για κλιματιστικό (Air Conditioner)

Οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων  $P_{c,el,AC}$  (KWh/a) δίνονται από την σχέση:

$$P_{c,el,AC} = \frac{Q_{c,a}}{sCOP}$$

Όπου:

$Q_{c,a}$  ( $\frac{KWh}{a}$ ) τα ετήσια συνολικά ψυκτικά φορτία

Και sCOP ο συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς (απόδοσης) για το κλιματιστικό. Απλοποιητικά, γίνεται η θεώρηση ότι υπάρχει ένας ενιαίος μέσος συντελεστής ψυκτικής απόδοσης για όλη την “ψυκτική σεζόν” (=2).

### 4.5.2 Υπολογισμοί για αντλία θερμότητας

Όπως και για τα συστήματα θέρμανσης, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 30AWH015H—9 για την εύρεση του μηνιαίου EER (energy efficiency ratio). Ο συντελεστής EER είναι ταυτόσημος με τον συντελεστή COP, καθώς οι υπολογισμοί για τον EER έχουν προκύψει θεωρώντας ως μονάδα ισχύος (KW) αντί για (Btu/hr) που χρησιμοποιούν αρκετές εταιρείες.

Παρατίθενται όπως και στα συστήματα θέρμανσης, οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος και οι COP.

**Πίνακας 4.3. Μηνιαία COP για την αντλία θερμότητας του θερινούς μήνες .**

	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	24,62	27,30	27,59	23,88
COP για 7°C	3,86	3,63	3,60	4,95

Η εξίσωση υπολογισμού των μηνιαίων ηλεκτρικών καταναλώσεων για την αντλία θερμότητας είναι:

$$P_{C,el,hp} = \frac{Q_C}{COP}$$

Οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας προκύπτουν από το άθροισμα των μηνιαίων καταναλώσεων

#### 4.6 Μεθοδολογία υπολογισμού του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης

Η ανάλυση για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αντίκτυπου αναπτύσσεται σε δύο ενότητες. Η πρώτη αφορά τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο από την εξόρυξη των πρώτων υλών και της κατασκευής των συστημάτων και η δεύτερη αφορά το περιβαλλοντικό κόστος λειτουργίας των συστημάτων.

Θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη και άλλα στάδια του κύκλου ζωής των συστημάτων, αλλά δεδομένου του συγκριτικού χαρακτήρα του υπολογιστικού φύλλου, στάδια όπως είναι η μελέτη του περιβαλλοντικού κόστους για την μεταφορά των συστημάτων από την κατασκευάστρια εταιρεία στον τελικό καταναλωτή, για την συντήρηση των συστημάτων στην διάρκεια ζωής τους, παραλείπονται.

Οι κατηγορίες επιπτώσεων που μελετώνται σε επίπεδο midpoint και ιεραρχική προοπτική είναι : κλιματική αλλαγή (kg CO<sub>2</sub> equivalent), εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων (kg Cu equivalent), εξάντληση ορυκτών πόρων (kg oil equivalent), τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία (kg 1,4-DCB equivalent).

Η εξίσωση υπολογισμού για τα τέσσερα είδη επιπτώσεων δίνεται από την σχέση:

$$I = I_{extraction} + I_{manufacture} + I_{operation}$$

Όπου:

$I_{extraction}$  οι επιπτώσεις από την εξόρυξη πρώτων υλών

$I_{manufacture}$  οι επιπτώσεις στην φάση της κατασκευής

$I_{operation}$  οι επιπτώσεις στη φάση λειτουργίας

#### 4.6.1 Φάση Εξόρυξης πρώτων υλών και Κατασκευής Συστημάτων

Η εξίσωση υπολογισμού για τα τέσσερα είδη επιπτώσεων στην φάση κατασκευής:

$$I_{extraction} + I_{manufacture} = \sum_i cf_i \cdot M_i \cdot m + \sum_j cf_j \cdot E_j \cdot m$$

Όπου:

$I_{manufacture}$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης eq.)

$cf_i$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/kg υλικού) παράγων χαρακτηρισμού για υλικό  $i$

$M_i$  (-) η ποσοστιαία μάζα υλικού  $i$

$m$  (kg) η μάζα του συστήματος

$cf_j$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/kWh ενέργειας) παράγων χαρακτηρισμού για καταναλισκόμενη/παραγόμενη ενέργεια  $j$ .

$E_j$  (KWh) η παραγόμενη/καταναλισκόμενη απαιτούμενη ενέργεια  $j$  για την κατασκευή και συναρμολόγηση του συστήματος.

#### 4.6.2 Φάση Λειτουργίας

Για τον λέβητα πετρελαίου :

$$I_{operation} = cf \cdot m_{f,o} \cdot H_{u,o} \cdot N$$

,όπου

$I_{operation}$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης eq) οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για όλη τη φάση λειτουργίας του συστήματος



$cf$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/KWh) ο παράγων χαρακτηρισμού του πετρελαίου θέρμανσης

$m_{f,o}$  (kg/a) η ετήσια μάζα πετρελαίου θέρμανσης που καταναλώνεται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών.

$H_{u,o}$  (KWh/kg) η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του πετρελαίου θέρμανσης

$N$  (-) τα έτη λειτουργίας του συστήματος

**Για τον λέβητα φυσικού αερίου :**

$$I_{operation} = cf \cdot m_{f,ng} \cdot H_{u,ng} \cdot N$$

,όπου

$I_{operation}$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης eq.) οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για όλη τη φάση λειτουργίας του συστήματος

$cf$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/KWh) ο παράγων χαρακτηρισμού του φυσικού αερίου

$m_{f,ng}$  (kg/a) η ετήσια μάζα φυσικού αερίου που καταναλώνεται για την κάλυψη των θερμικών αναγκών.

$H_{u,ng}$  (KWh/kg) η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του φυσικού αερίου

$N$  (-) τα έτη λειτουργίας του συστήματος

**Για την αντλία θερμότητας:**

$$I_{operation} = cf \cdot (P_{th,el,hp} + P_{C,el,hp}) \cdot N$$

,όπου:

$cf$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/KWh) ο παράγων χαρακτηρισμού της ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής τάσης για την Ελλάδα

$P_{th,el,hp}$  (KWh/a) οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών

$P_{C,el,hp}$  (KWh/a) οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας για την κάλυψη των ψυκτικών αναγκών

$N$ (-) τα έτη λειτουργίας του συστήματος

Μόνο για την περίπτωση της κλιματικής αλλαγής, για την αντλία θερμότητας στην φάση λειτουργίας, προστίθεται ο όρος των ετήσιων απωλειών του ψυκτικού υγρού.

$$I_{operation,C.C,hp,R-134a} = m_{R-134a,loss} \cdot GWP_{R-134a} \cdot M_{R-134a} \cdot m_{hp} \cdot N$$

,όπου:

$I_{operation,C.C,hp,R-134a}$  (kg CO<sub>2</sub> eq.) είναι οι συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> στην φάση λειτουργίας στην κατηγορία επιπτώσεων της Κλιματικής αλλαγής για τις απώλειες του ψυκτικού υγρού R-134a.

$m_{R-134a,loss}$  (-) οι ποσοστιαίες ετήσιες απώλειες μάζας ψυκτικού υγρού

$GWP_{R-134a}$  (kg CO<sub>2</sub> eq./kg R-134a) είναι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (global warming potential) για το ψυκτικό υγρό R-134a (=1430 (kg CO<sub>2</sub> eq./kg R-134a)).

$M_{R-134a}$  (-) ποσοστιαία μάζα του ψυκτικού υγρού

$m_{hp}$  (kg) η μάζα της αντλίας θερμότητας

$N$  (-) τα έτη λειτουργίας του συστήματος

**Για τα κλιματιστικά:**

$$I_{operation} = cf \cdot P_{c,el,AC} \cdot N$$

, όπου:

$cf$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/KWh) ο παράγων χαρακτηρισμού της ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής τάσης για την Ελλάδα

$P_{c,el,AC}$  (KWh/a) είναι οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις των κλιματιστικών για την κάλυψη των ψυκτικών αναγκών.

$N$ (-) τα έτη λειτουργίας του συστήματος

Μόνο για την περίπτωση της κλιματικής αλλαγής, για τα κλιματιστικά στην φάση λειτουργίας, προστίθεται ο όρος των ετήσιων απωλειών του ψυκτικού υγρού.

$$I_{operation,C.C,AC,R-134a} = m_{R-134a,loss} \cdot GWP_{R-134a} \cdot M_{R-134a} \cdot m_{AC} \cdot N$$

,όπου:

$I_{operation,C.C,AC,R-134a}$  (kg CO<sub>2</sub> eq.) είναι οι συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO<sub>2</sub> στην φάση λειτουργίας στην κατηγορία επιπτώσεων της Κλιματικής αλλαγής για τις απώλειες του ψυκτικού υγρού R-134a.

$m_{R-134a,loss}$  (-) οι ποσοστιαίες ετήσιες απώλειες μάζας ψυκτικού υγρού

$GW P_{R-134a}$  (kg CO<sub>2</sub> eq./kg R-134a) είναι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (global warming potential) για το ψυκτικό υγρό R-134a (=1430 (kg CO<sub>2</sub> eq./kg R-134a)).

$M_{R-134a}$  (-) ποσοστιαία μάζα του ψυκτικού υγρού

$m_{AC}$  (kg) η συνολική μάζα όλων των κλιματιστικών

$N$  (-) τα έτη λειτουργίας του συστήματος

**Για τον θερμοσίφωνα:**

$$I_{operation} = cf \cdot P_{th,el,wh} \cdot N$$

, όπου:

$cf$  (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/KWh) ο παράγων χαρακτηρισμού της ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής τάσης για την Ελλάδα

$P_{th,el,wh}$  (KWh/a) οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις για το ζεστό νερό χρήσης από τον θερμοσίφωνα.

$N$  (-) τα έτη λειτουργίας του συστήματος

Οι μοντελοποιήσεις της κατασκευής των συστημάτων βρίσκονται στην παράγραφο 3.3.1.

## 4.7 Κατάλογος παραγόντων χαρακτηρισμού

Οι παράγοντες χαρακτηρισμού για τα τέσσερα είδη επιπτώσεων αντλήθηκαν από το λογισμικό SimaPro v9.1.1.1 που χρησιμοποιεί την έκδοση v.1.1 της ReCiPe 2016. Χρησιμοποιήθηκαν κατά βάση τα global market σετ δεδομένων Market datasets υπό το μοντέλο “cut-off” (GLO) | cut-off της Ecoinvent (market datasets (GLO) | cut-off)[45, 46] .

- Για τον μη κεκραμένο χάλυβα χρησιμοποιήθηκε το σετ δεδομένων “ 1 kg Steel, unalloyed (GLO) | market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit) ”.

- Για το χαμηλής περιεκτικότητας κράμα χάλυβα χρησιμοποιήθηκε το σετ δεδομένων “ 1 kg Steel, low-alloyed (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τον χάλυβα σπλισμού χρησιμοποιήθηκε το σετ δεδομένων “ 1 kg Reinforcing steel (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τον ανοξείδωτο χάλυβα το σετ δεδομένων “ 1 kg Steel, chromium steel 18/8 (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τον σίδηρο το σετ δεδομένων “ 1 kg Pig iron (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το αλουμίνιο το σετ δεδομένων “ 1 kg Aluminium, primary, ingot (IAI Area, EU27 & EFTA)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τον ορείχαλκο το σετ δεδομένων “ 1 kg Brass (RoW)| market for brass | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τον χαλκό το σετ δεδομένων “ 1 kg Copper (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit) 1 kg Glass wool mat (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο το σετ δεδομένων “ 1 kg Polyethylene, high density, granulate (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το πολυστυρένιο το σετ δεδομένων “1 kg Polystyrene, general purpose (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τη διογκωμένη πολυστερίνη το σετ δεδομένων “1 kg Polystyrene, expandable (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για την υψηλής επίδρασης πολυστερίνη το σετ δεδομένων “ 1 kg Polystyrene, high impact (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το πολυπροπένιο το σετ δεδομένων “1 kg Polypropylene, granulate (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το πολυβινυλοχλωρίδιο το σετ δεδομένων “ 1 kg Polyvinylidenechloride, granulate (RER)| market for polyvinylidenechloride, granulate | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.

- Για το τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο το σετ δεδομένων “1 kg Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το πολυαμύδιο το σετ δεδομένων “ 1kg Polyamide (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit ”.
- Για το στυρόλιο βουταδιενίου ακρυλονιτριλίου το σετ δεδομένων “1 kg Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το ακρυλικό βερνίκι το σετ δεδομένων “ 1 kg Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state (RER)| market for acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το καουτσούκ το σετ δεδομένων “1 kg Synthetic rubber (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τα ελαστομερή το σετ δεδομένων “ 1 kg Tube insulation, elastomere (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τον λιθοβάμβακα το σετ δεδομένων “ 1 kg Stone wool (GLO)| market for stone wool | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για τον υαλοβάμβακα το σετ δεδομένων “1 kg Glass wool mat (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το λάδι πολυεστέρεων το σετ δεδομένων “ 1 kg Lubricating oil (RER)| market for lubricating oil | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.
- Για το ψυκτικό υγρό R-134a το σετ δεδομένων “1 kg Refrigerant R134a (GLO)| market for | Cut-off, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit)”.

## 5. Παρουσίαση - οδηγίες χρήσης της εφαρμογής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο σκοπός ανάπτυξης του υπολογιστικού φύλλου, είναι η δημιουργία ενός εργαλείου το οποίο υπολογίζει τα θερμικά και ψυκτικά φορτία σε μια κατοικία ή εμπορικό κτήριο, υπολογίζει την απαιτούμενη εγκατεστημένη θερμική και ψυκτική ισχύ και στην συνέχεια εξετάζει ως προς τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο διάφορα εναλλακτικά σενάρια για την κάλυψη αυτών των αναγκών.

### 5.1 Συνοπτική Παρουσίαση

Το υπολογιστικό φύλλο αποτελείται από εννέα καρτέλες:

- Οδηγίες χρήσης
- Inputs-Outputs Φορτία
- Inputs-Outputs Επιπτώσεις
- Γραφήματα
- Θερμικά Φορτία
- Ψυκτικά Φορτία
- Συστήματα Θέρμανσης
- Συστήματα Ψύξης
- Καιρικά Δεδομένα
- Ανάλυση κύκλου ζωής

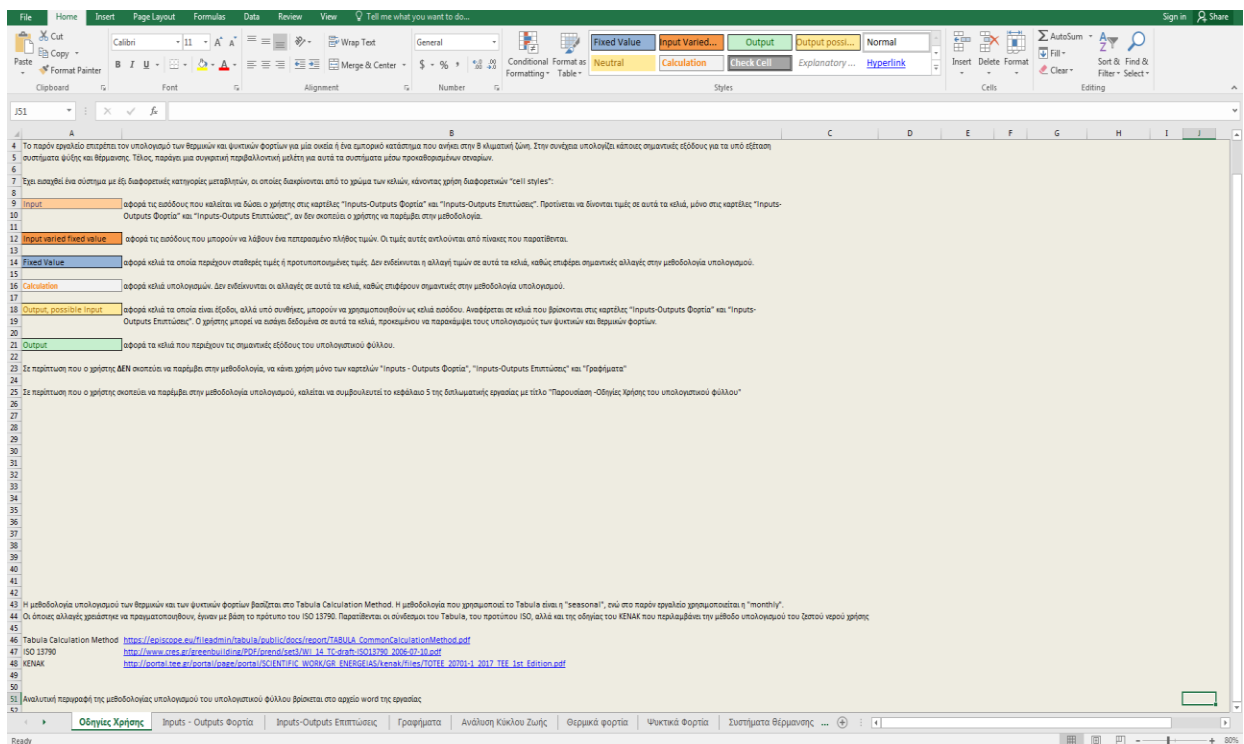
Έχει εισαχθεί ένα σύστημα με έξι διαφορετικές κατηγορίες μεταβλητών, οι οποίες διακρίνονται από το χρώμα των κελιών, κάνοντας χρήση διαφορετικών “cell styles”:

- **Input**, αφορά τις εισόδους που καλείται να δώσει ο χρήστης στις καρτέλες “Inputs-Outputs Φορτία” και “Inputs-Outputs Επιπτώσεις”.
- **Input varied fixed values**, αφορά τις εισόδους που μπορούν να λάβουν ένα πεπερασμένο πλήθος τιμών. Οι τιμές αυτές αντλούνται από πίνακες που παρατίθενται.
- **Fixed Value**, αφορά κελιά τα οποία περιέχουν σταθερές τιμές ή προτυποποιημένες τιμές. Δεν ενδείκνυται η αλλαγή τιμών σε αυτά τα κελιά, καθώς επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην μεθοδολογία υπολογισμού.
- **Calculation**, αφορά κελιά υπολογισμών. Δεν ενδείκνυται οι αλλαγές σε αυτά τα κελιά, καθώς επιφέρουν σημαντικές στην μεθοδολογία υπολογισμού.
- **Output possible Input**, αφορά κελιά τα οποία είναι έξοδοι, αλλά υπό συνθήκες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κελιά εισόδου. Περισσότερες πληροφορίες στην παράγραφο των οδηγιών χρήσης.
- **Output**, αφορά τα κελιά τα οποία περιέχουν τις σημαντικές εξόδους του υπολογιστικού φύλλου.

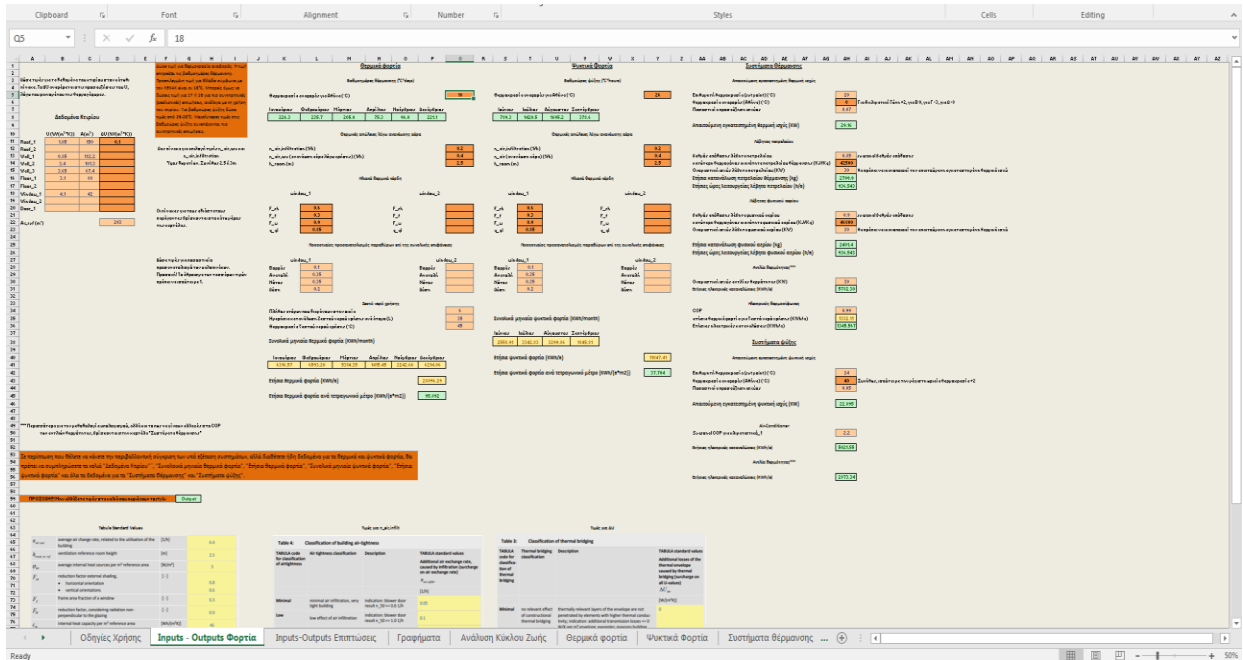
Αποτελεί φιλικό περιβάλλον για χρήστες που δεν έχουν επαρκή κατανόηση της μεθοδολογίας, αλλά και σαφείς οδηγίες για το πως να παρέμβει σε αυτήν. Στις οδηγίες χρήσης καθίστανται σαφείς οι δυνατότητες και οι αδυναμίες της εφαρμογής και προτείνονται σημεία βελτίωσης της μεθοδολογίας και ιδέες για διαφορετική μοντελοποίηση σε επιμέρους συστήματα.

Οι πρώτες τέσσερις καρτέλες είναι αυτές που αφορούν τον απλό χρήστη που δεν σκοπεύει να παρέμβει στην μεθοδολογία. Στις υπόλοιπες πέντε καρτέλες υπολογισμού χρησιμοποιείται ένα σταθερό μοτίβο, όπου στις πρώτες στήλες βρίσκονται τα δεδομένα εισόδου, στις κεντρικές στήλες της καρτέλας βρίσκονται οι υπολογισμοί και οι έξοδοι και στις τελευταίες στήλες τα διαγράμματα που σχετίζονται με τους υπολογισμούς της καρτέλας. Έχουν δημιουργηθεί κατηγορίες δεδομένων όπως αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4 της μεθοδολογίας.

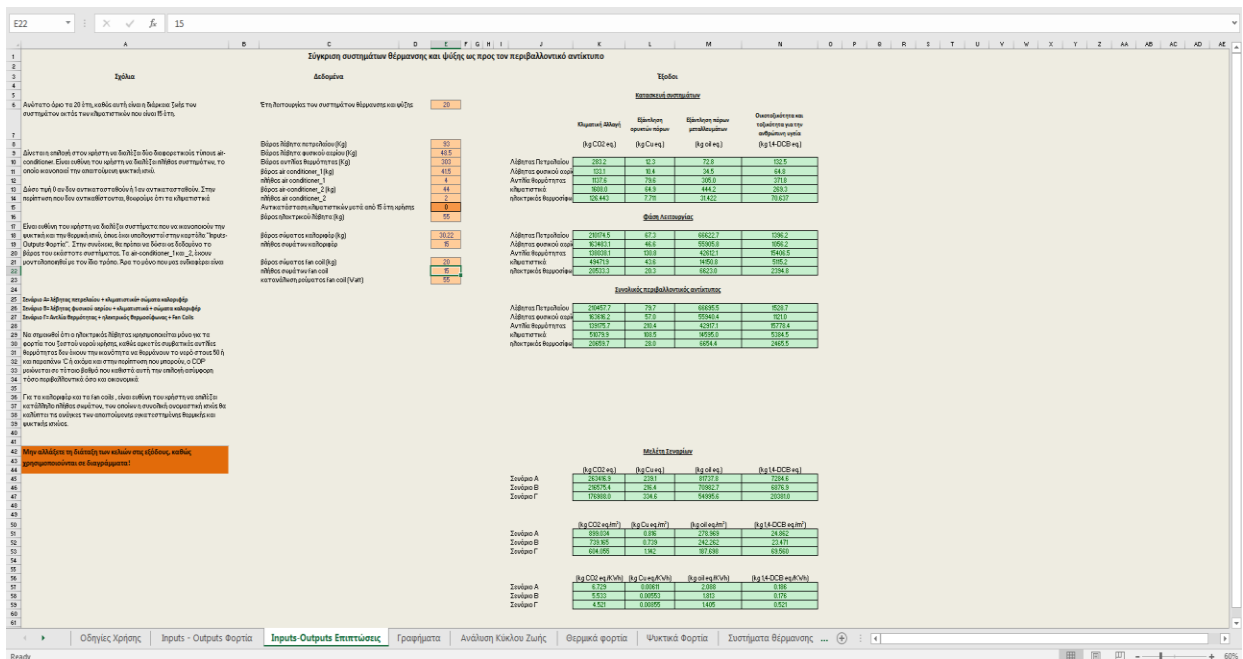
Ακολουθούν screenshots για τις προαναφερθείσες καρτέλες για τις τέσσερις πρώτες καρτέλες:



Σχήμα 5.1. Καρτέλα «Οδηγίες Χρήσης» της αναπτυχθείσας εφαρμογής

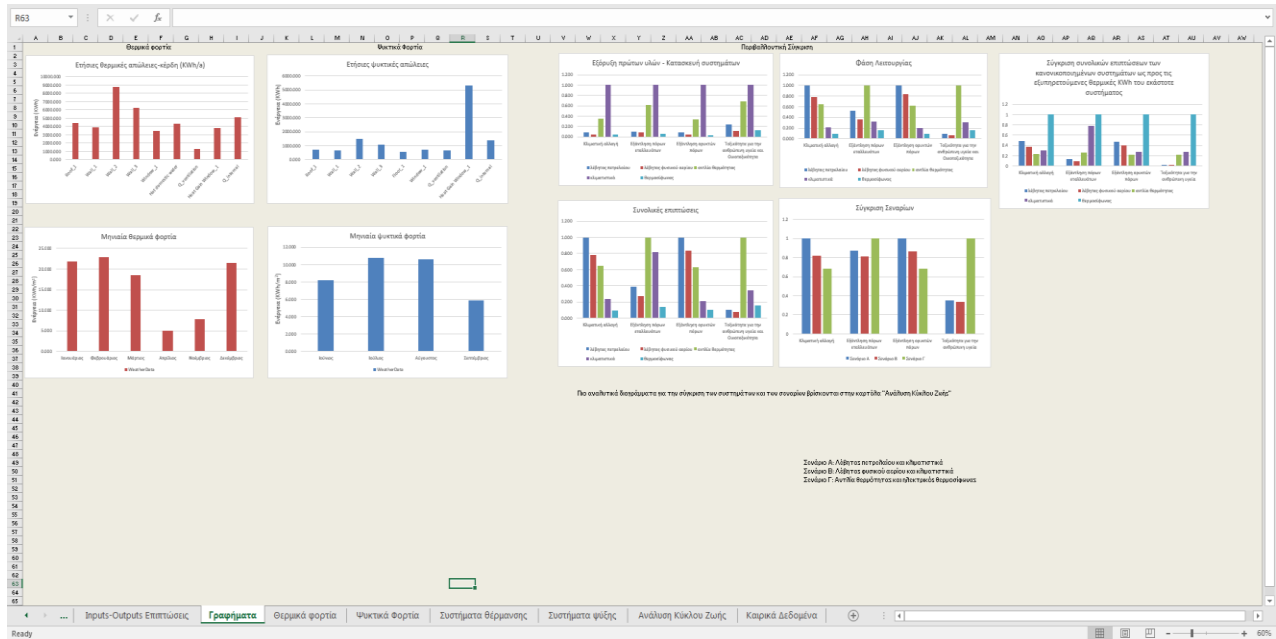


Σχήμα 5.2. Καρτέλα «Inputs-Outputs φορτία»



Σχήμα 5.3. Καρτέλα «Inputs-Outputs Επιπτώσεις»





Σχήμα 5.4. Καρτέλα «Γραφήματα»

## 5.2 Οδηγίες Χρήσης

### 5.2.1 Γενικές οδηγίες χρήσης

Ο χρήστης προτού ανοίξει το υπολογιστικό φύλλο, θα πρέπει να έχει δημιουργήσει ένα αντίγραφο, ώστε να διενεργήσει την δική του μελέτη. Στην συνέχεια, πρέπει να διαβάσει τις βασικές οδηγίες που δίνονται στην πρώτη καρτέλα με όνομα “Οδηγίες Χρήσης”.

Αφότου ολοκληρώσει αυτά τα δύο βασικά βήματα, μπορεί να μεταβεί στην επόμενη καρτέλα “Inputs – Outputs Φορτία”. Σε αυτή την καρτέλα, καλείται να δώσει εισόδους για τα δεδομένα του κτιρίου ( τιμές U, επιφάνεια και προσαυξησεις ΔU για τα δομικά στοιχεία, καθώς και την συνολική επιφάνεια του κτιρίου) στις πρώτες στήλες εξ αριστερών. Εν συνεχεία, ο χρήστης καλείται να δώσει δεδομένα για τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων( για τα φορτία λόγω ανανέωσης αέρα, τα ηλιακά θερμικά κέρδη, και το ζεστό νερό χρήσης), και του επιστρέφονται ως έξοδοι τα μηνιαία και ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία. Τέλος, ζητούνται δεδομένα για την απαιτούμενη εγκατεστημένη θερμική και ψυκτική ισχύ, για τους βαθμούς απόδοσης των υπό εξέταση συστημάτων και επιστρέφονται έξοδοι για τις ετήσιες καταναλώσεις καυσίμων ή τις ηλεκτρικές καταναλώσεις των συστημάτων.

Στην επόμενη καρτέλα “Inputs-Outputs Επιπτώσεις” ο χρήστης καλείται να δώσει τιμές για το βάρος των συστημάτων, το πλήθος των κλιματιστικών μονάδων, των σωμάτων καλοριφέρ και fan coil. Είναι ευθύνη του χρήστη να επιλέξει κατάλληλα συστήματα, τα οποία θα καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, από τα αποτελέσματα της προηγούμενης καρτέλας. Εφόσον έχει συμπληρώσει όλα τα απαραίτητα κελιά, του επιστρέφονται έξοδοι για τις τέσσερις κατηγορίες επιπτώσεων που μελετώνται για κάθε μεμονωμένο σύστημα για τις διάφορες

φάσεις (κατασκευή-εξόρυξη, λειτουργία). Επίσης, λαμβάνει εξόδους για τα τρία σενάρια τα οποία μελετώνται (Σενάριο Α: λέβητας πετρελαίου και κλιματιστικές μονάδες με σώματα καλοριφέρ. Σενάριο Β: λέβητας φυσικού αερίου και κλιματιστικές μονάδες με σώματα καλοριφέρ. Σενάριο Γ: αντλία θερμότητας και ηλεκτρικός θερμοσίφωνας με σώματα εξαναγκασμένης ροής fan coil). Για λόγους σύγκρισης των εξεταζόμενων σεναρίων σε διαφορετικές συνθήκες ή σε διαφορετικά κτήρια, έχουν εισαχθεί έξοδοι με λειτουργικές μονάδες την επιφάνεια αναφοράς και τις συνολικές kWh των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Στην τέταρτη καρτέλα “Γραφήματα” παρουσιάζονται τα βασικότερα αποτελέσματα για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία, καθώς και τα γραφήματα για τις τέσσερις κατηγορίες επιπτώσεων της περιβαλλοντικής μελέτης. Ωστόσο, πιο αναλυτικά γραφήματα για την περιβαλλοντική μελέτη, μπορεί να αναζητήσει ο χρήστης στην καρτέλα “Ανάλυση Κύκλου Ζωής”.

### 5.2.2 Καιρικά Δεδομένα

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, για τους υπολογισμούς των θερμικών και των ψυκτικών φορτίων χρησιμοποιούνται οι μεθοδολογίες των βαθμομερών θέρμανσης και των βαθμωρών ψύξης. Για τον υπολογισμό τους, έγινε χρήση καιρικών δεδομένων της EnergyPlus για την Αθήνα. Τα δεδομένα είναι ωριαία και όλη η μοντελοποίηση έχει γίνει με την παραδοχή, ότι τα δεδομένα που θα χρησιμοποιούνται στο υπολογιστικό φύλλο θα είναι ωριαία. **Αυτή είναι μια σημαντική αδυναμία του υπολογιστικού εργαλείου.**

Σε αυτό το σημείο θα δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες για δύο διαφορετικά σενάρια παρέμβασης στην μεθοδολογία. Στο πρώτο σενάριο, θεωρείται ότι ο χρήστης επιθυμεί να κάνει χρήση της εφαρμογής για μια περιοχή που βρίσκεται σε διαφορετική κλιματική ζώνη και διαθέτει ωριαία καιρικά δεδομένα για την εν λόγω περιοχή. Στο δεύτερο σενάριο, θεωρείται ότι ο χρήστης επιθυμεί να εισάγει καιρικά δεδομένα για διαφορετική κλιματική ζώνη, αλλά δεν έχει πρόσβαση σε ωριαία καιρικά δεδομένα.

#### Αλλαγή Καιρικών Δεδομένων

Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να εισαχθούν στα κελιά C2-C8761 οι ωριαίες θερμοκρασίες ξηρής σφαίρας (dry bulb) (°C). Στην συνέχεια, θα πρέπει να υπολογιστεί η μέση ωριαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο για τους τέσσερις προσανατολισμούς βορρά, ανατολή, νότο και ανατολή και να εισαχθούν αυτά τα δεδομένα στα κελιά O3-R8762. Για τον υπολογισμό της μέσης ωριαίας ολικής ακτινοβολίας παρατίθεται στο παράρτημα Γ σε κώδικα ASCII, το πρόγραμμα matlab που χρησιμοποιήθηκε για αυτή την εργασία. Το πρόγραμμα λαμβάνει έξι εισόδους και επιστρέφει ως έξοδο την μέση ολική ωριαία ακτινοβολία σε ένα επίπεδο. Οι έξι εισόδοι με την σειρά που τις ζητά το πρόγραμμα είναι οι: γεωγραφικό πλάτος (latitude), γεωγραφικό μήκος (longitude), τοπικός τυπικός μεσημβρινός (Local Standard Meridian) (LSM), προσανατολισμό (orientation), κλίση (tilt) και ανακλαστικότητα εδάφους (ground reflectance) (rg). Για νότιο προσανατολισμό orientation=0°, για ανατολικό -90°, για βόρειο 180° και για δυτικό 90°. Η κλίση πρέπει να είναι 0° για οριζόντιες επιφάνειες και 90° για κατακόρυφες. Μια

τυπική τιμή για την ανακλαστικότητα του εδάφους είναι  $r_g=0.15$ . Τιμές για την ανακλαστικότητα του εδάφους υπάρχουν σε πίνακα της εφαρμογής ή στους πίνακες της ASHRAE[47].

Για την λειτουργία του προγράμματος, θα πρέπει να βρίσκονται στον ίδιο φάκελο (folder) το αρχείο της matlab και το αρχείο 'WeatherData.xlsx', το οποίο θα πρέπει να έχει στα κελιά B2-B8761 την θερμοκρασία ξηρής σφαίρας και στα κελιά D2-D8761, E2-E8761 την άμεση και διάχυτη-οριζόντια ωριαία ακτινοβολία ( $Wh/m^2$ ) αντίστοιχα. Η EnergyPlus έχει έτοιμα αρχεία καιρικών δεδομένων που ακολουθούν αυτό το format, αλλά αφορούν μόνο καιρικά δεδομένα σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Ανδραβίδα.

Στην παρακάτω εικόνα έχουν μαρκαριστεί τα κελιά που αναφέρθηκαν.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Date/Time	DryBulb {C}	GloHorzRad {Wh/m2}	DirNormRad {Wh/m2}	DifHorzRad {Wh/m2}	WindSpd {m/s}	RHum {%}	Atmospheric station pressure {Pa}	DewT	SkyCover
1										
2	1	9.5	0	0	0	3.4	69	102400	4	9
3	2	9.2	0	0	0	3.6	65	102600	2.9	9
4	3	9	0	0	0	3.4	62	102700	2.2	9
5	4	8.9	0	0	0	3.3	61	102800	1.9	9
6	5	8.8	0	0	0	3.1	61	102800	1.8	9
7	6	8.7	0	0	0	2.9	62	102900	1.8	9
8	7	8.8	0	0	0	2.8	62	102800	2	9
9	8	8.8	1	0	1	2.6	63	102800	2.1	9
10	9	8.9	38	0	38	2.8	64	102800	2.5	9
11	10	9.1	111	8	109	2.9	65	102800	2.8	9
12	11	9.2	174	30	162	3.1	66	102800	3.2	9
13	12	9.5	190	5	188	3.3	65	102800	3.2	9
14	13	9.9	174	2	173	3.4	63	102700	3.3	10

Σχήμα 5.5. Αλλαγή καιρικών δεδομένων

**Εισαγωγή καιρικών δεδομένων με διαφορετικό format (όχι ωριαία)**

Στο σενάριο αυτό, είναι αναγκαίο να παρακαμφθεί η μεθοδολογία που έχει χρησιμοποιηθεί ή να υπολογιστούν τα καιρικά δεδομένα από την αρχή. Θα δοθούν οδηγίες μόνο για την μέθοδο παράκαμψης της υπάρχουσας μεθοδολογίας, για προφανείς λόγους. Τα μεγέθη, τα οποία είναι απαραίτητο να εισαχθούν, ως δεδομένα πλέον, είναι: οι μηνιαίες βαθμοήμερες θέρμανσης, οι μηνιαίες βαθμώρες ψύξης, η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία ( $Wh/m^2$ ) για τους τέσσερις προσανατολισμούς και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες ξηρής σφαίρας ( $^{\circ}C$ ), καθώς και το πλήθος των ημερών με μέση ημερήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη ή μικρότερη από μια θερμοκρασία αναφοράς για την οποία έγιναν οι υπολογισμοί των βαθμοημερών και των βαθμωρών. Οι αλλαγές θα πρέπει να γίνουν στα κελιά όπως φαίνεται στην εικόνα 5.6.

={COUNTIF(H2:H32,">0")}

V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
		Μηνιαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο (Wh/m2)						Μηνιαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο (Wh/m2)							
		Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος		
		Inorth	21690.994	27671.709	40620.281	50450.380	23471.339	20039.302	Inorth	69305.52	65038.07	53998.00	41133.92		
		Ieast	49760.6	60533.561	87951.096	102933.851	45620.706	42292.793	Ieast	135648.11	138424.88	127053.71	105111.90		
		Isouth	99726.2	97513.577	115995.492	105897.854	90382.041	90288.174	Isouth	114054.42	116918.42	104892.41	85047.52		
		Iwest	38953.6	45920.876	74812.178	94657.220	39016.890	34406.978	Iwest	89698.37	96332.80	115707.86	133838.21		
		Πλήθος ημερών ανά μήνα, όπου η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι μικρότερη της T_env						Πλήθος ημερών ανά μήνα, όπου η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της T_env							
		Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος		
			31	28	31	24	27	31	15.000	31.000	31.000	16.000			
		Βαθμομέρες θέρμανσης (°C*days) (weather.data, Μεθοδολογία Tabula)						Βαθμομέρες ψύξης (°C*hours)							
		Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος		
			226.345	235.650	204.967	75.263	95.981	221.129	1435.10	2556.30	2785.30	898.30			
		Μέσες Μηνιαίες θερμοκρασίες (°C)						Μέσες Μηνιαίες θερμοκρασίες (°C)							
		Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος		
			10.699	9.584	11.390	15.000	19.334	14.503	10.866	19.614	24.620	27.296	27.586	23.877	

Σχήμα 5.6. Εισαγωγή καιρικών δεδομένων με διαφορετικό format από την EnergyPlus

### 5.3 Inputs – Outputs Φορτία

Σε αυτή την καρτέλα, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να δώσει δεδομένα για το κτήριο, για τα καιρικά δεδομένα, για τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης και του επιστρέφει εξόδους που αφορούν τα θερμικά-ψυκτικά φορτία και καταναλώσεις καυσίμων ή ηλεκτρισμού για τα εξεταζόμενα συστήματα.

#### 5.3.1 Διενέργεια περιβαλλοντικής μελέτης, κάνοντας χρήση θερμικών και ψυκτικών φορτίων υπολογισμένων από άλλο λογισμικό

Η εφαρμογή δίνει επίσης τη δυνατότητα ο χρήστης να χρησιμοποιήσει τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία που έχει υπολογίσει μέσω άλλου λογισμικού, τα οποία είναι σημαντικές εισόδοι για την περιβαλλοντική μελέτη. Επομένως, ο χρήστης μπορεί να δώσει τιμές στα κελιά “Συνολικά μηνιαία θερμικά φορτία (KWh/month)”, “Ετήσια θερμικά φορτία (KWh/a)”, “Συνολικά μηνιαία ψυκτικά φορτία (KWh/month)” και “Ετήσια ψυκτικά φορτία (KWh/a)”. Αυτά τα κελιά έχουν το style “**Output possible Input**”, το οποίο δηλώνει ότι παρέχουν εξόδους για τον χρήστη, αλλά μπορεί να τα χρησιμοποιήσει και ως κελιά εισόδου, στην περίπτωση που επιθυμεί να υπολογίσει τα θερμικά και ψυκτικά φορτία με άλλη μέθοδο. Σε αυτό το σενάριο, ο χρήστης οφείλει να συμπληρώσει μόνο τα κελιά που αφορούν τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης, καθώς και την συνολική επιφάνεια του κτιρίου “Ac,ref (m²)”. Στην συνέχεια μπορεί να συμπληρώσει τις εισόδους στην καρτέλα “Inputs-Outputs Επιπτώσεις”, όπως θα έπραττε και στην περίπτωση που ο υπολογισμός των θερμικών και ψυκτικών φορτίων θα πραγματοποιούνταν μέσω του υπολογιστικού φύλλου.

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνονται τα κελιά, στα οποία θα πρέπει να παρέμβει ο χρήστης.

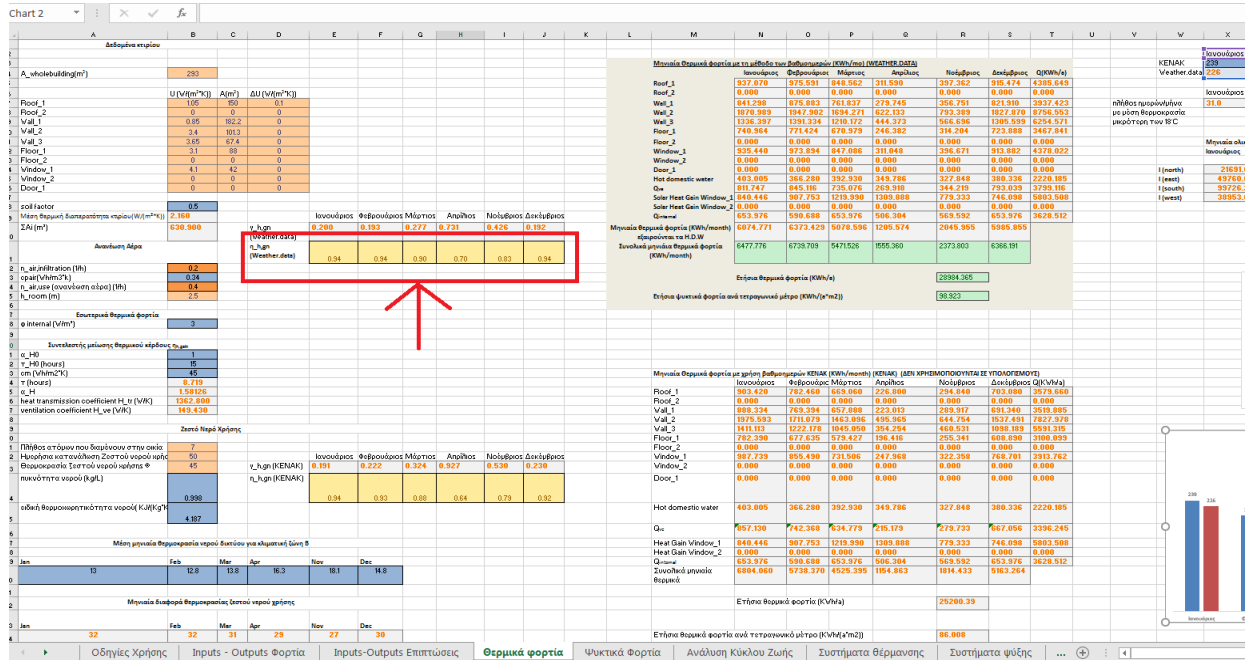


Σχήμα 5.7. Περιβαλλοντική μελέτη με χρήση θερμικών και ψυκτικών φορτίων από άλλο λογισμικό

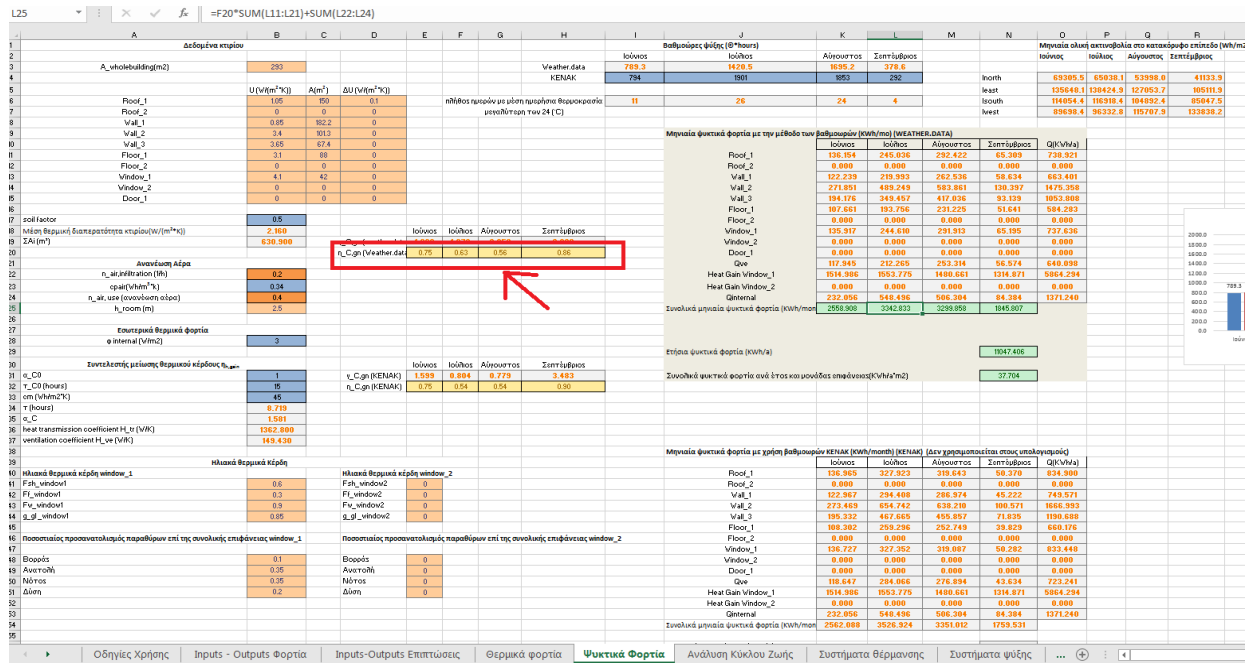
### 5.3.2 Θερμικά Φορτία – Ψυκτικά Φορτία - Παράγων μείωσης θερμικού κέρδους

Σε αυτές τις δύο καρτέλες γίνεται ο υπολογισμός των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Ένα ιδιαίτερο μέγεθος της μεθοδολογίας του Tabula Calculation Method και του ISO 13790 είναι ο παράγοντας μείωσης θερμικού κέρδους (συντελεστής χρήσης)  $\eta_{h,g}$  και  $\eta_{c,ls}$ , όπως αυτός αναπτύχθηκε στην παράγραφο στις παραγράφους 4.2.1 και 4.3.1. Οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής για τα θερμικά φορτία κυμαίνονται από 0.7-0.95. Η χαμηλότερη τιμές είναι για τους μήνες Απρίλιο και Νοέμβριο, καθώς τα ηλιακά κέρδη είναι σημαντικά αυξημένα για αυτούς τους μήνες. Στην περίπτωση των ψυκτικών φορτίων ο παράγων μείωσης  $\eta_{c,ls}$  λαμβάνει πολύ χαμηλές τιμές στο εύρος 0.55-0.80. Παρόλο που οι τιμές αυτές είναι λογικές σύμφωνα με την μεθοδολογία (παρατίθενται διαγράμματα από το ISO 13790 στο παράρτημα), δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη είτε να μην λάβει καθόλου υπόψη τον συντελεστή αυτόν, δίνοντάς του την τιμή 1 για όλους τους μήνες, είτε να δώσει μια τιμή που σχετίζεται με την χρήση της οικίας (occupancy rate) η οποία λαμβάνει συνήθως τιμές 0.6-0.90 σε άλλες μεθοδολογίες[48]. Για τον λόγο αυτό, τα κελιά που αφορούν τον παράγοντα μείωσης έχουν το style “Output possible Input”.

Παρατίθενται οι εικόνες με την θέση των συντελεστών στις καρτέλες “Θερμικά φορτία” και “ψυκτικά φορτία” αντίστοιχα.



Σχήμα 5.8. Παράγων μείωσης θερμικού κέρδους



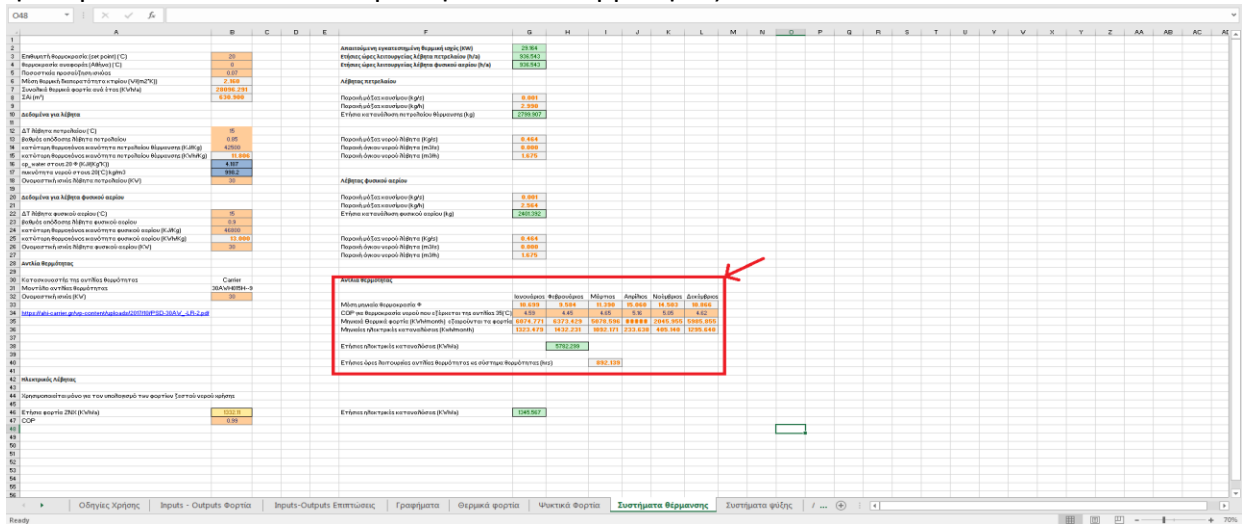
Σχήμα 5.9. Παράγων μείωσης ψυκτικής απωλειών

### 5.3.3 Συστήματα Θέρμανσης-Ψύξης Μοντελοποίηση Αντλίας θερμότητας

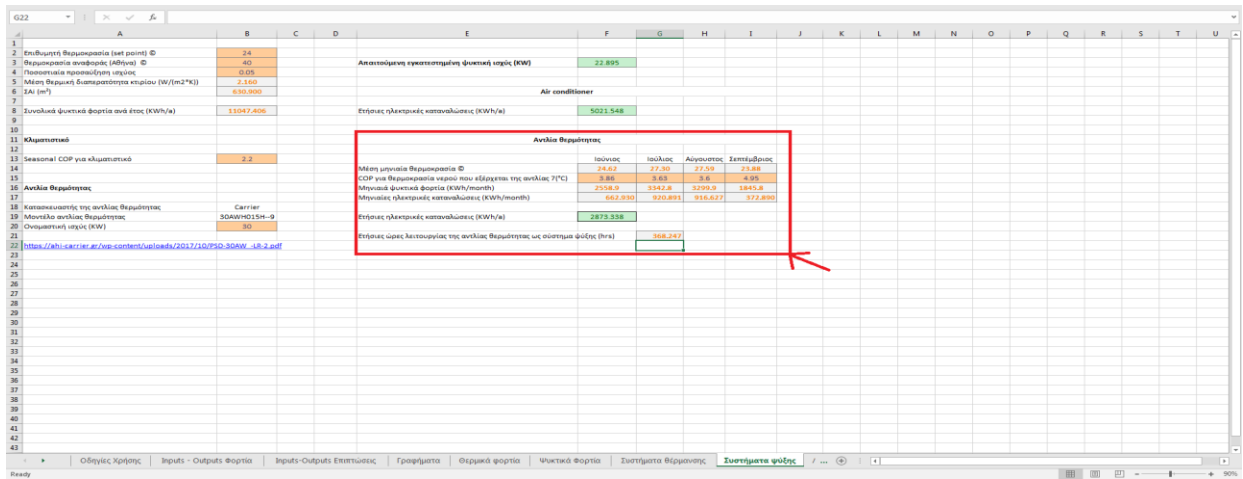
Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.5, η αντλία θερμότητας μοντελοποιήθηκε σύμφωνα την αντλία θερμότητας 30AWH015H—9 και όχι με κάποιο seasonal COP. Τα μηνιαία COP που

χρησιμοποιήθηκαν, επιλέχθηκαν για θερμοκρασία εξερχόμενου νερού από την αντλία 35(°C), όταν λειτουργεί ως σύστημα θέρμανσης και για 7(°C), όταν λειτουργεί ως σύστημα ψύξης. Για την επιλογή του COP, ελήφθη υπόψη η μέση μηνιαία θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία προκύπτουν - από γραμμική παρεμβολή- οι μηνιαίες τιμές COP από τους πίνακες για το συγκεκριμένο μοντέλο. Επαναλαμβάνεται, πως οι τιμές COP αναφέρονται σε COP και όχι σε EER, όπως δείχνουν οι πίνακες του μοντέλου, καθώς οι τιμές προκύπτουν από ισχύ σε (KW) και όχι σε (Btu/hr), όπως συμβαίνει συνήθως με τους πίνακες EER.

Στην κάτωθι εικόνα παρουσιάζονται τα κελιά υπολογισμού των μηνιαίων και ετήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων για την αντλία θερμότητας.



Σχήμα 5.10. Αλλαγή στην μοντελοποίηση αντλίας θερμότητας ως σύστημα θέρμανσης



Σχήμα 5.11. Αλλαγή στην μοντελοποίηση αντλίας θερμότητας ως σύστημα ψύξης

## 5.4 Δυνατότητες βελτίωσης

Στην παρούσα εκδοχή του υπολογιστικού φύλλου, υπολογίζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία ενός κτιρίου στην Β κλιματική ζώνη, μελετώνται ως προς τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο 3 συστήματα θέρμανσης (λέβητας πετρελαίου, λέβητας φυσικού αερίου και αντλία θερμότητας) και δύο συστήματα ψύξης (κλιματιστικά (air-conditioners) και η αντλία θερμότητας). Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας δεν υπήρχε ο απαραίτητος χρόνος για την περαιτέρω ανάπτυξη της εφαρμογής. Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται προτάσεις βελτίωσης σε διάφορα επίπεδα.

### 5.4.1 Συστήματα θέρμανσης-ψύξης

Η μοντελοποίηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης έχει γίνει με βάση έναν συνολικό βαθμό απόδοσης για ολόκληρη την περίοδο θέρμανσης/ψύξης. Θα μπορούσε να φτιαχτεί ένα μοντέλο, όπου θα υπολογίζεται ο μηνιαίος βαθμός απόδοσης για τους λέβητες και τα κλιματιστικά. Μια μέθοδος που θα μπορούσε να εφαρμοστεί, είναι να δίνει ο χρήστης τον seasonal COP, όπως τώρα, αλλά αυτός ο COP να μετατρέπεται σε μηνιαίους COP μέσω των καιρικών δεδομένων για τον κάθε μήνα. Αντιστοίχως, για την αντλία θερμότητας, μπορούν να εισαχθούν πίνακες για την θερμοκρασία εξόδου του νερού, την ονομαστική ισχύ και την εξωτερική θερμοκρασία, από τους οποίους θα λαμβάνονται οι μηνιαίοι COP για θέρμανση και ψύξη.

Επιπλέον, μπορούν να εισαχθούν νέα συστήματα θέρμανσης για περιβαλλοντική σύγκριση, όπως ηλεκτρικοί λέβητες, λέβητες βιομάζας, ηλιακοί συλλέκτες κ.α.

### 5.4.2 Σύγκριση κόστους

Ενώ η σύγκριση των συστημάτων από την σκοπιά του κόστους, δεν ήταν ποτέ στόχος στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι σημαντικός παράγοντας για τις προτάσεις ενός μηχανικού σε κάποιον καταναλωτή. Επομένως, θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί το πρόβλημα του κόστους των συστημάτων, με μοναδική είσοδο το κόστος αγοράς των συγκρινόμενων συστημάτων που επιθυμεί ο καταναλωτής.

### 5.4.3 Περιβαλλοντικό κόστος σωληνώσεων και λοιπών συστημάτων

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, εκπονήθηκε μια μοντελοποίηση της εγκατάστασης σωληνώσεων για τα συστήματα θέρμανσης. Η διάκριση έγινε στις σωληνώσεις του λέβητα και στις σωληνώσεις του κυκλοφορητή. Σκοπός της μοντελοποίησης ήταν να βρίσκει την βέλτιστη εσωτερική διάμετρο για τους σωλήνες του λέβητα και του κυκλοφορητή και στην συνέχεια να υπολογίζει την συνολική μάζα χαλκού και το περιβαλλοντικό κόστος αυτής. Ο περιορισμένος χρόνος για την περάτωση της εργασίας, δεν επέτρεψε την πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας και για αυτό τον λόγο δεν θα παρουσιαστεί ως μέρος της εργασίας.



## 6. Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της περιβαλλοντικής μελέτης για τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης στην υπό εξέταση μονοκατοικία. Για την πληρέστερη παρουσίαση της αναπτυχθείσας εφαρμογής, διενεργήθηκαν πρόσθετες περιβαλλοντικές μελέτες για διαμερίσματα και μονοκατοικίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά κελύφους και επιφάνειες αναφοράς. Επιπλέον, εκτιμώνται και συγκρίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τα υπό εξέταση κτήρια σε περίπτωση ανακαίνισης του κτηριακού κελύφους. Πίνακες με τα δεδομένα και τις παραδοχές που ελήφθησαν, βρίσκονται στο πρώτο μέρος του παραρτήματος για όλες τις εξεταζόμενες οικίες.

Για όλες τις αναφερθείσες περιπτώσεις, παρουσιάζονται διαγράμματα με τα εξής τρία σενάρια:

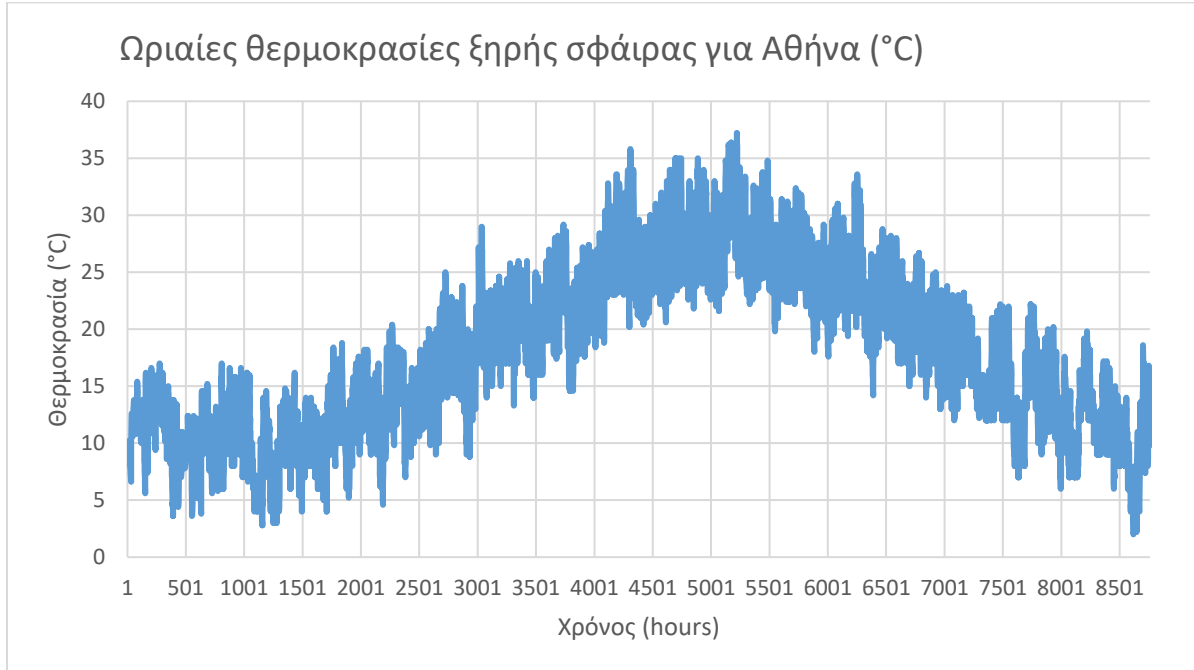
- Λέβητας πετρελαίου για την κάλυψη των θερμικών φορτίων και ζεστού νερού χρήσης. Κλιματιστικά για τα ψυκτικά φορτία (**ΣΕΝΑΡΙΟ Α**).
- Λέβητας φυσικού αερίου για την κάλυψη των θερμικών φορτίου και ζεστού νερού χρήσης. Κλιματιστικά για τα ψυκτικά φορτία (**ΣΕΝΑΡΙΟ Β**).
- Αντλία θερμότητας για την κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας για την κάλυψη των φορτίων του ζεστού νερού χρήσης (**ΣΕΝΑΡΙΟ Γ**).

Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται στα συγκριτικά διαγράμματα είναι η μονάδα επιφάνειας αναφοράς  $m^2$ .

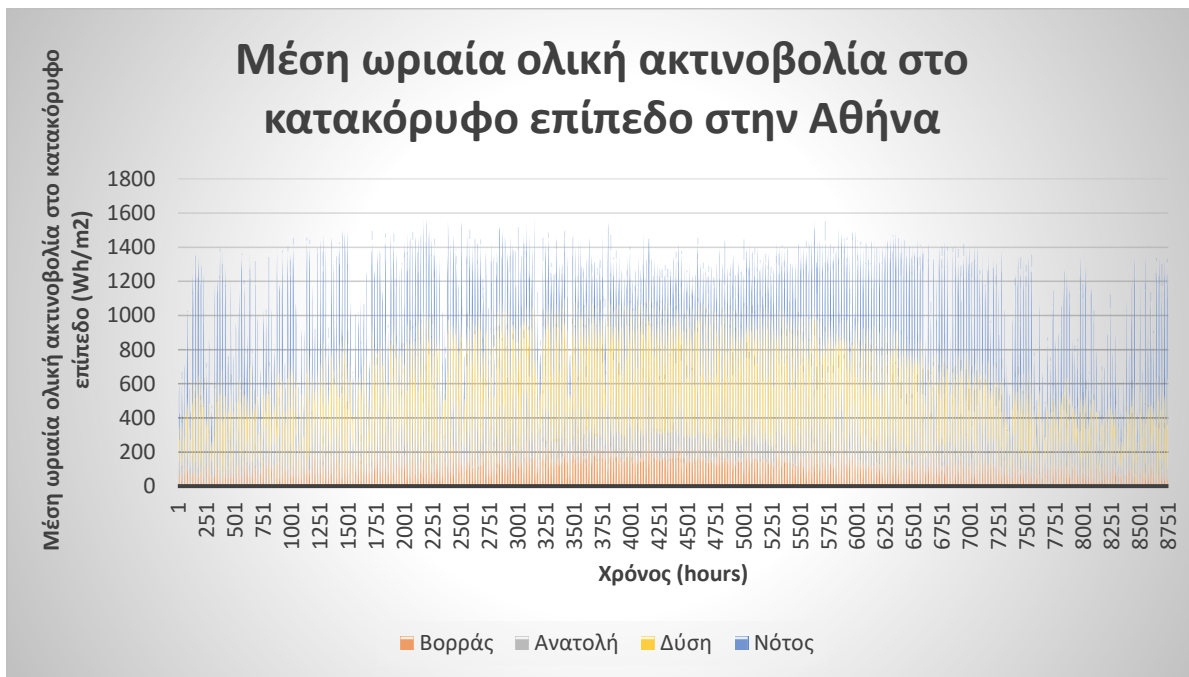
### 6.1 Περιβαλλοντική μελέτη για το κτήριο αναφοράς της εργασίας GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001.

Προτού παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μελέτης για το κτήριο αναφοράς, οφείλουν να τονισθούν κάποια σημεία για το εξεταζόμενο κτήριο. Όπως έχει αναφερθεί, το κτήριο έχει επιφάνεια αναφοράς  $293 m^2$  και είναι κατασκευής της χρονικής περιόδου 1981-2000. Από αυτά τα δύο στοιχεία, γίνεται αντιληπτό ότι το συγκεκριμένο κτήριο δεν αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα κατοικίας για την μέση Ελληνική οικογένεια. Επιπροσθέτως, έχουν ληφθεί παραδοχές για συνθήκες άνεσης στην οικία για όλο τον χρόνο, όσον αφορά την θέρμανση και την ψύξη. Όπως είναι κατανοητό, στην πραγματικότητα μια οικία τέτοιου μεγέθους θα είχε πολλούς χώρους - για μεγάλα χρονικά διαστήματα μέσα στο έτος, όπου η άνωθεν παραδοχή θα ήταν ψευδής. Επομένως, τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία για την συγκεκριμένη οικία είναι πολύ υψηλά και τα αποτελέσματα αυτών των παραδοχών που ελήφθησαν επηρεάζουν σημαντικά την σύγκριση των συστημάτων και κατ' επέκταση των εξεταζόμενων σεναρίων για θέρμανση και ψύξη. Πιο αναλυτικά σχόλια θα επισημανθούν στους πίνακες και στα διαγράμματα που ακολουθούν στις επόμενες παραγράφους.

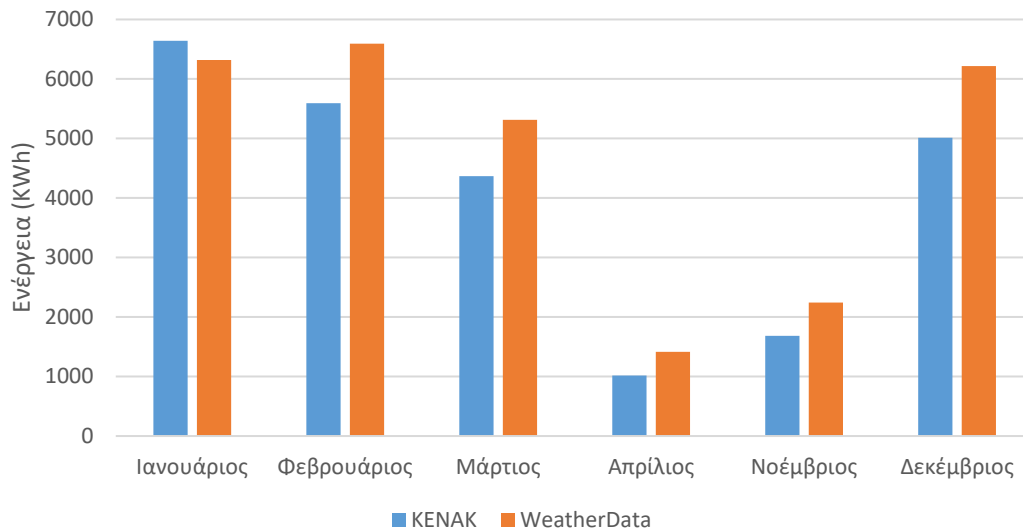
### 6.1.1 Καιρικά δεδομένα – θερμικά και ψυκτικά φορτία



Σχήμα 6.1. Ωριαίες θερμοκρασίες ξηρής σφαίρας Αθήνας για όλο το έτος.



Σχήμα 6.2. Μέση ωριαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο στην Αθήνα για κάθε προσανατολισμό σε όλη τη διάρκεια του έτους.



**Σχήμα 6.3. Μηνιαία συνολικά θερμικά φορτία για τα καιρικά δεδομένα του KENAK και WeatherData της EnergyPlus στην μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m<sup>2</sup>.**

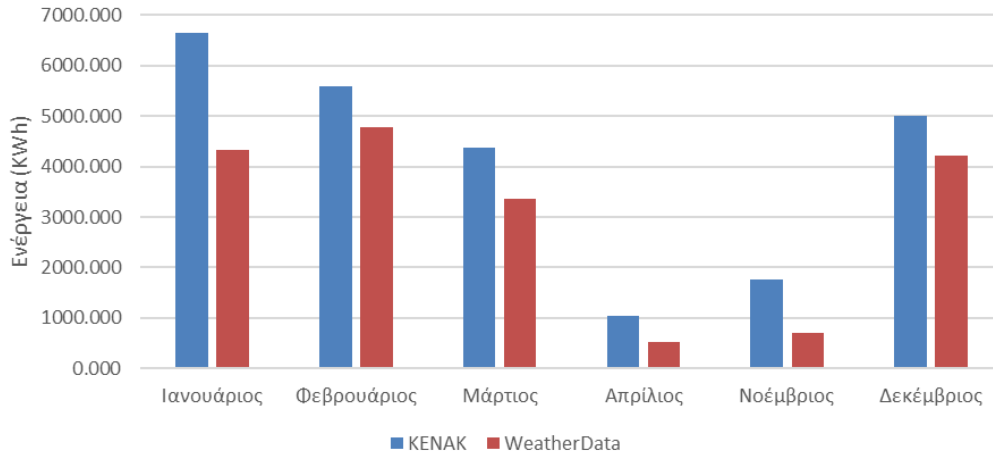
Παρατηρείται ότι οι βαθμομέρες για την Αθήνα που δίνονται από τον KENAK παράγουν σημαντικά χαμηλότερα θερμικά φορτία για τους περισσότερους μήνες. Η ανάγκη ελέγχου των βαθμομερών του KENAK προέκυψε καθώς υπήρχε σημαντική ασυμφωνία με τα αποτελέσματα που έδινε η εφαρμογή του Tabula Eriscopre για την συγκεκριμένη μονοκατοικία, προτού παρατηρηθούν οι αστοχίες που διατυπώνονται σε επόμενη παράγραφο. Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα, τίθεται υπό αμφισβήτηση η μεθοδολογία του KENAK για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης. Εντούτοις, παρέχει μια σχετικά ικανοποιητική προσέγγιση σε περίπτωση που είναι αδύνατη η εύρεση καιρικών δεδομένων για συγκεκριμένες πόλεις της περιφέρειας. Περισσότερα για τις διαφορετικές μεθοδολογίες υπολογισμού των βαθμομερών θέρμανσης αναφέρονται στην παράγραφο 4.2.

Ωστόσο, υπάρχει σημαντική ασυμφωνία στα αποτελέσματα που δίνει η εφαρμογή του Tabula Eriscopre και στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα καιρικά δεδομένα του EnergyPlus. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην συντηρητική –και μάλλον πιο ρεαλιστική- παραδοχή του Tabula για την θερμοκρασία αναφοράς που χρησιμοποιείται στην μέθοδο υπολογισμού των βαθμομερών θέρμανσης (δεν λαμβάνονται υπόψη τα λάθη στους υπολογισμούς του Tabula, παρά μόνο οι παραδοχές). Πιο συγκεκριμένα, ελέγχοντας διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας αναφοράς των βαθμομερών, παρατηρείται ότι για  $T_{av}=16^{\circ}\text{C}$ , τα αποτελέσματά έχουν απόκλιση της τάξης του 1% για τα δομικά στοιχεία, ενώ για τα συνολικά φορτία της τάξης του 10%, καθώς επηρεάζουν σημαντικά οι παραδοχές που ελήφθησαν για το ζεστό νερό χρήσης και τα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμοκρασία αναφοράς που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη μελέτη  $T_{av}=18^{\circ}\text{C}$  τίθεται υπό αμφισβήτηση για το αν ανταποκρίνεται σε

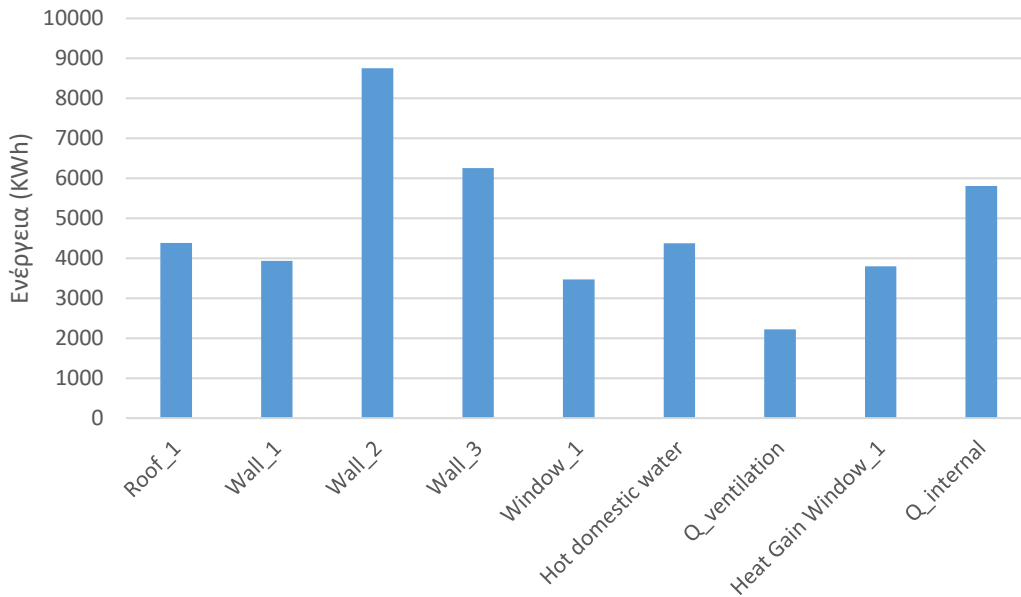
ρεαλιστικές συνθήκες χρήσης ενός κτιρίου. Τα βράδια, στις περισσότερες οικίες δεν χρησιμοποιούνται συστήματα για θέρμανση και ψύξη των χώρων, καθώς και στις πρωινές ώρες, όπου τα περισσότερα μέλη λείπουν από την οικία.

Εντούτοις, δε δύναται να υπάρξει ασφαλής εκτίμηση για τα πραγματικά μεγέθη των θερμικών και ψυκτικών φορτίων σε μια κατοικία, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που είναι δύσκολο να προβλεφθούν.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την σύγκριση μηνιαίων θερμικών φορτίων για KENAK και WeatherData με την παραδοχή για  $T_{av}=16^{\circ}\text{C}$  φαίνονται στο κάτωθι διάγραμμα.

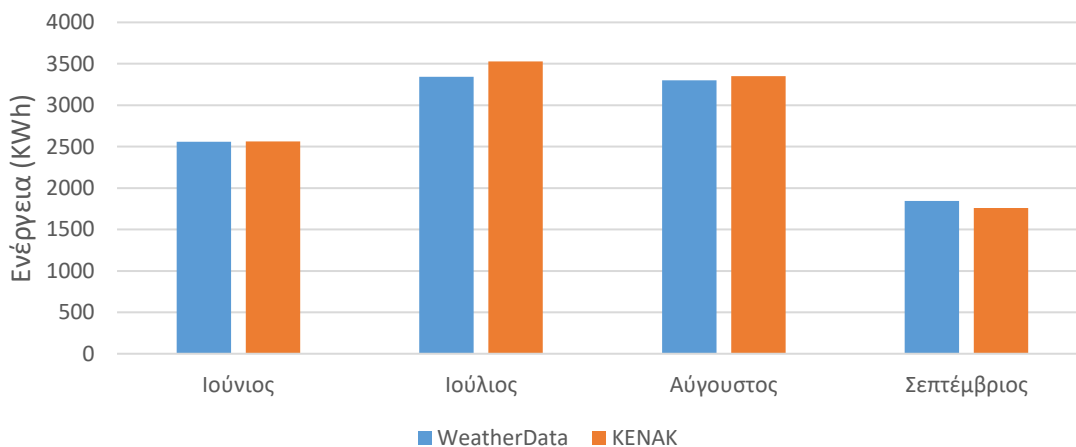


**Σχήμα 6.4. Μηνιαία συνολικά θερμικά φορτία για τα καιρικά δεδομένα του KENAK και WeatherData της EnergyPlus στην μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας  $293\text{m}^2$  για  $T_{av}=16^{\circ}\text{C}$ .**



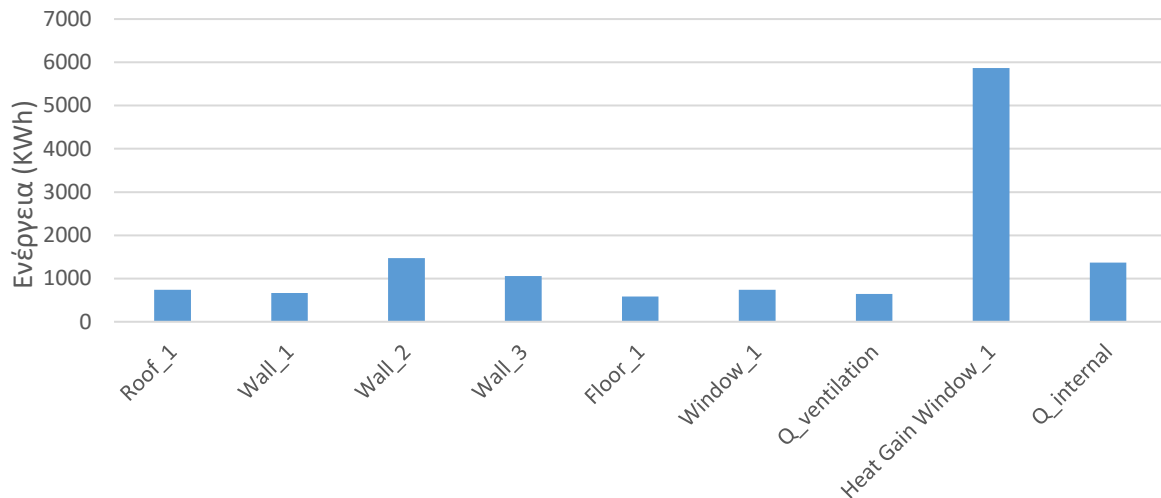
**Σχήμα 6.5.** Ετήσιες θερμικές απώλειες των δομικών στοιχείων, του εξαερισμού, του ζεστού νερού χρήσης και θερμικά κέρδη εσωτερικών φορτίων και ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υαλοπινάκων για την μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m<sup>2</sup>.

Είναι σημαντικό να τονισθεί, ότι για τα ετήσια θερμικά κέρδη δεν έχει συμπεριληφθεί ο μηνιαίος συντελεστής χρήσης  $\eta_{h,g}$ . Έχει συμπεριληφθεί όμως, στα μηνιαία και στα συνολικά θερμικά φορτία.



**Σχήμα 6.6.** Μηνιαία συνολικά ψυκτικά φορτία για τα καιρικά δεδομένα του KENAK και WeatherData της EnergyPlus στην μονοκατοικία αναφοράς της εργασίας GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m<sup>2</sup>.

Εν αντιθέσει με την περίπτωση της θέρμανσης, το Tabula Eriscorpe δεν παρέχει αποτελέσματα για τα ψυκτικά φορτία. Για τα ψυκτικά φορτία χρησιμοποιήθηκε η οδηγία του KENAK για θερμοκρασία αναφοράς τους 26°C και όπως παρατηρείται οι αποκλίσεις είναι πολύ μικρές. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία υπολογισμού των βαθμωρών ψύξης του KENAK, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4, είναι κοινή με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τα καιρικά δεδομένα του EnergyPlus. Χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση για το αν αυτή η θερμοκρασία αναφοράς παράγει ρεαλιστικά αποτελέσματα για τα ψυκτικά φορτία μιας οικίας. Στο υπολογιστικό φύλλο, προτείνεται η οδηγία να δοθούν τιμές από  $T_{av}=T_{s,p}+2$  έως  $T_{av}=T_{s,p}+4$  για λιγότερο ή περισσότερο συντηρητικές εκτιμήσεις αντίστοιχα, όπου το  $T_{s,p}$  αναφέρεται στην επιθυμητή θερμοκρασία που θέλουμε να έχουν οι εσωτερικοί χώροι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Στους υπολογισμούς που προηγήθηκαν και ακολουθούν θεωρήθηκε  $T_{av}=26^{\circ}\text{C}$ .

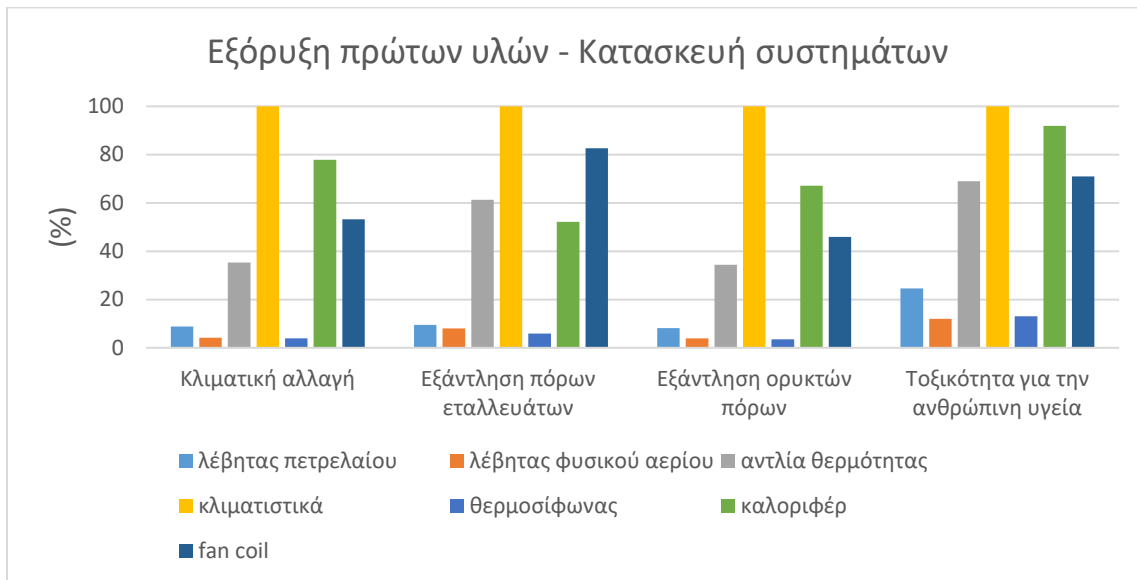


**Σχήμα 6.7. Ετήσιες ψυκτικές απώλειες των δομικών στοιχείων, του εξαερισμού, εσωτερικών φορτίων και της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υαλοπινάκων για την μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m<sup>2</sup>.**

Όπως και για το αντίστοιχο γράφημα για τις θερμικές απώλειες, οι ψυκτικές απώλειες των δομικών στοιχείων και της ανανέωσης αέρα δεν περιλαμβάνουν τον συντελεστή χρήσης  $\eta_{C.ls}$ .

## 6.1.2 Περιβαλλοντική μελέτη για τα εξεταζόμενα συστήματα και σενάρια

### Σύγκριση συστημάτων



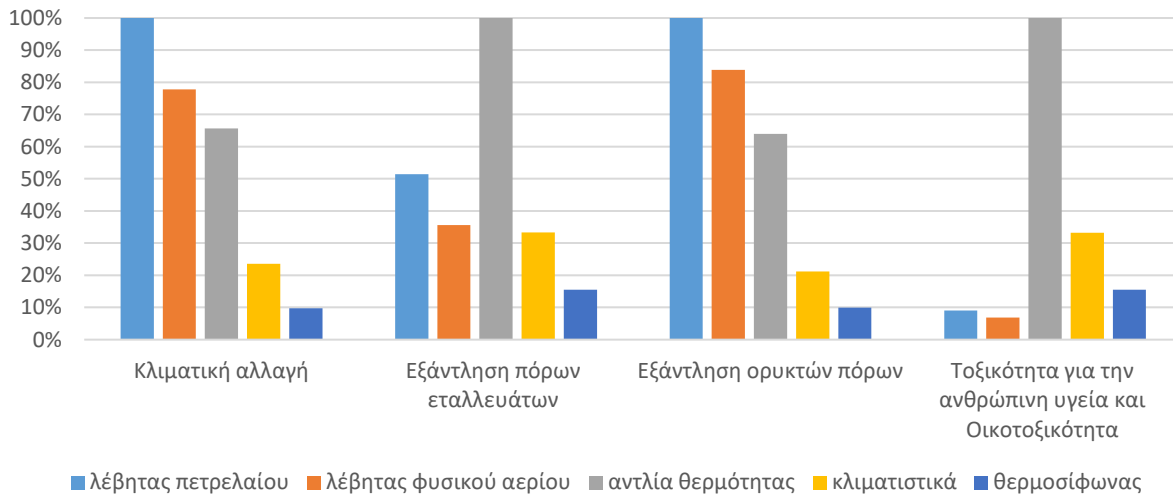
**Σχήμα 6.8.** Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για την εξόρυξη των πρώτων υλών και την κατασκευή των συστημάτων.

Πριν την ανάλυση θα πρέπει να καταστεί σαφής η λειτουργία του κάθε συστήματος. Οι λέβητες πετρελαίου και φυσικού αερίου ικανοποιούν τις ανάγκες της κατοικίας για τα θερμικά φορτία και τα φορτία του ζεστού νερού χρήσης. Τα κλιματιστικά –όπως είναι λογικό, τα ψυκτικά φορτία. Η αντλία θερμότητας όλα τα φορτία (θερμικά και ψυκτικά), αλλά όχι τα φορτία για το ζεστό νερό χρήσης και ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας μόνο τα φορτία του ζεστού νερού χρήσης. Σε αυτό το γράφημα έχουν παρατεθεί όλα τα συστήματα που εξετάζονται για όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι στην φάση της κατασκευής για την κλιματική αλλαγή το σύστημα με το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κόστος είναι τα κλιματιστικά. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν έξι κλιματιστικές μονάδες τύπου single split για το συγκεκριμένο κτήριο, καθώς οι ανάγκες για την κάλυψη της απαιτούμενης ψυκτικής ισχύος ήταν πολύ υψηλές λόγω της κακής μόνωσης του κελύφους, αλλά και της μεγάλης επιφάνειας αναφοράς 293 m<sup>2</sup>. Παρατηρείται, επίσης, ότι για την κλιματική αλλαγή, τα κλιματιστικά και η αντλία θερμότητας που λειτουργούν ως συστήματα ψύξης, περιέχουν ψυκτικό υγρό το οποίο συμβάλλει αισθητά σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων. Ο κύριος όμως παράγοντας για την κλιματική αλλαγή είναι η μάζα των συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν και τα κιλά χαλκού που περιέχονται σε αυτά. Η συνολική μάζα των κλιματιστικών είναι 254kg, ενώ για την αντλία θερμότητας 303kg. Τα υπόλοιπα συστήματα έχουν σημαντικά χαμηλότερη μάζα και όπως είναι αναμενόμενο, η κατασκευή τους είχε πολύ χαμηλότερες εκπομπές.

Αντίστοιχα παρατηρείται ότι στην κατηγορία της εξάντλησης πόρων μεταλλευμάτων εμφανίζεται η διαφορά μάζας των μετάλλων των διαφορετικών συστημάτων.

Στην εξάντληση των ορυκτών πόρων, λαμβάνεται περισσότερο υπόψη το ενεργειακό κόστος για την εξόρυξη και συναρμολόγηση των συστημάτων. Τα κλιματιστικά καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια/kg σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα και σε αυτό τον λόγο οφείλονται αυτά τα αποτελέσματα, παρά τη μεγαλύτερη μάζα της αντλίας θερμότητας. Ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας είναι το αλουμίνιο και τα ελαστομερή υλικά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα. Τα κλιματιστικά έχουν την μεγαλύτερη αναλογία αυτών των υλικών συγκριτικά με τα υπόλοιπα συστήματα.

Στην κατηγορία της τοξικότητας, τα υλικά με την μεγαλύτερη επιρροή είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο ορείχαλκος. Το σύστημα με τις μεγαλύτερες αναλογίες αυτών των υλικών είναι ο λέβητας πετρελαίου και εν συνεχεία η αντλία θερμότητας.



**Σχήμα 6.9. Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για την φάση λειτουργίας των συστημάτων.**

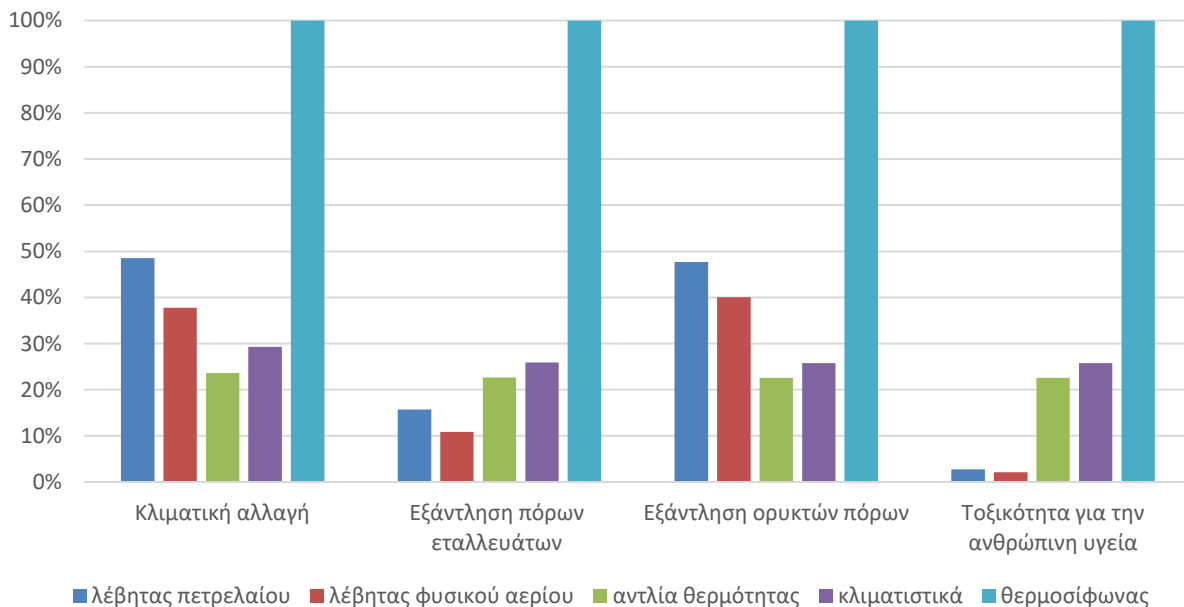
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, τα αποτελέσματά για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία δεν αποτελούν ικανοποιητική και ρεαλιστική προσέγγιση. Αν στα αυξημένα φορτία, προστεθεί το γεγονός της παλαιότητας και της κατάστασης του κελύφους (μη ανακαινισμένο) του κτιρίου, επιφάνειας αναφοράς 293 m<sup>2</sup>, γίνεται αντιληπτό ότι η φάση της λειτουργίας έχει καταλυτικό ρόλο στην ανάλυση κύκλου ζωής των συστημάτων. Συγκεκριμένα, για την περίπτωση της κλιματικής αλλαγής, η φάση κατασκευής για τους λέβητες, την αντλία και τα κλιματιστικά αφορούν λιγότερο από το 3% των συνολικού αντίκτυπου, ενώ βάσει άλλων μελετών του εργαστηρίου του τομέα θερμότητας, η φάση κατασκευής αφορά κοντά στο 10% του συνολικού αντίκτυπου. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι στο ποσοστό 3% δεν συμπεριλαμβάνονται οι σωληνώσεις.

Για την κλιματική αλλαγή, παρατηρείται από το άνωθι γράφημα ότι η αντλία θερμότητας είναι το βέλτιστο –από τα εξεταζόμενα- σύστημα θέρμανσης και ψύξης, όταν οι καταναλώσεις είναι μεγάλες. Το πλεονέκτημα της αντλίας θερμότητας έναντι των άλλων συστημάτων, είναι ο πολύ υψηλός COP για κλιματολογικές συνθήκες, όπως αυτές της Αθήνας, με ήπιους χειμώνες και καλοκαίρια. Είναι τόσο έντονη η διαφορά στην απόδοση των συστημάτων, ώστε ακόμα και με το ενεργειακό μίγμα της Ελλάδας για χαμηλή τάση -που είναι σημαντικά πιο υψηλό από τον



Ευρωπαϊκό μέσο όρο (0.763kg CO<sub>2</sub>/KWh έναντι 0.421 kg/KWh)- να έχει καλύτερη απόδοση ως σύστημα θέρμανσης και ψύξης σε σχέση με τους λέβητες που λειτουργούν μόνο ως συστήματα θέρμανσης. Αξίζει να σημειωθεί, ότι για τα συστήματα ψύξης, στην φάση λειτουργίας, έχουν συμπεριληφθεί οι απώλειες του ψυκτικού υγρού που ανέρχονται στο 3% επί της συνολικής αρχικής μάζας, ετησίως. Οι απώλειες του ψυκτικού έχουν δυναμικό θέρμανσης GWP (global warming potential) 1430 (kg CO<sub>2</sub>/kg ψυκτικού υγρού)[49]. Ωστόσο, δεν συμβάλλουν καθοριστικά αυτές οι απώλειες στους συνολικούς ρύπους, λόγω του μεγέθους των καταναλώσεων. Θα φανεί όμως, σε άλλες περιπτώσεις κατοικιών με χαμηλότερα φορτία, ότι αυτός ο παράγοντας έχει σημαίνοντα ρόλο για την επιλογή συστήματος. Για τους λέβητες, όπως είναι λογικό, ο λέβητας φ.α. παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι του λέβητα πετρελαίου, καθώς το φυσικό αέριο έχει υψηλότερη κατώτερη θερμογόνο δύναμη, χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά την καύση από ότι το πετρέλαιο και ο λέβητας φ.α. έχει υψηλότερο βαθμό απόδοσης ως σύστημα.

Για την κατηγορία εξάντλησης πόρων μεταλλευμάτων, το γράφημα δεν επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων για τα συστήματα πέραν του γεγονότος ότι ο λέβητας φ.α. συμπεριφέρεται καλύτερα από τα υπόλοιπα συστήματα. Για τον λόγο αυτό θα παρουσιάζεται γράφημα παρακάτω για τα (kg στοιχείου εξεταζόμενης επίπτωσης/KWh Θερμικών ή ψυκτικών φορτίων που καλούνται να ικανοποιήσουν τα συστήματα).



**Σχήμα 6.10. Σύγκριση επιπτώσεων των κανονικοποιημένων συστημάτων στη φάση λειτουργίας, ως προς τις εξυπηρετούμενες θερμικές KWh του εκάστοτε συστήματος**

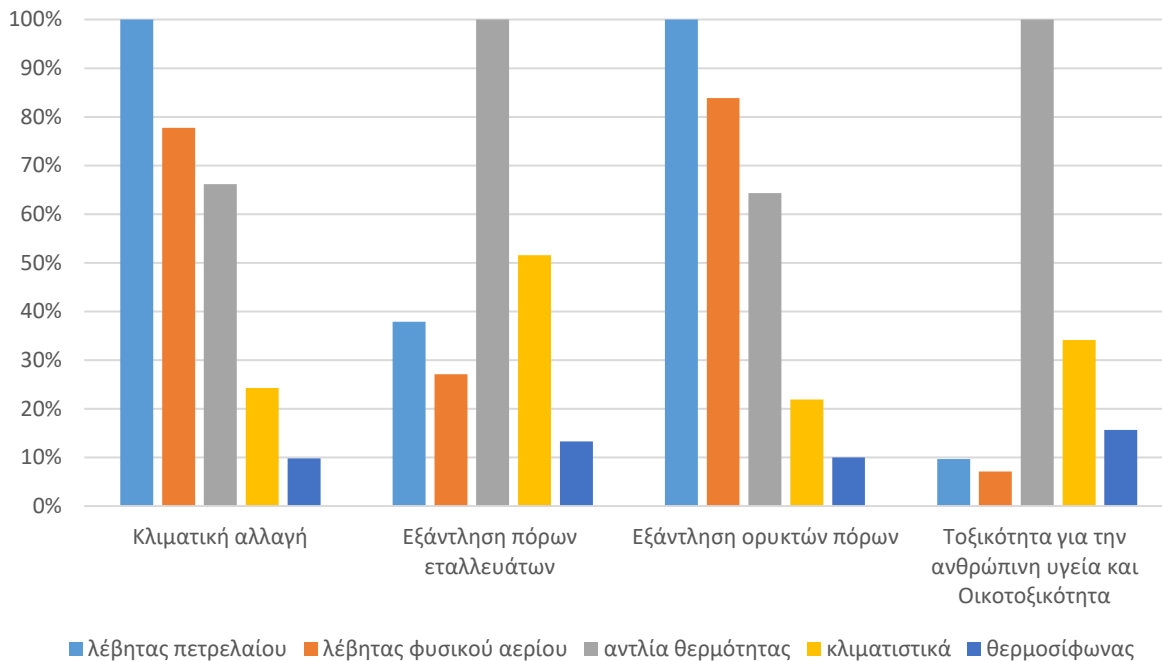
Με αυτό το γράφημα συναρτήσε του προηγούμενου, διακρίνεται καλύτερα η συμβολή του εκάστοτε συστήματος στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ο θερμοσίφωνα είναι το σύστημα με τη χειρότερη απόδοση σε όλες τις κατηγορίες, ενώ η αντλία θερμότητας είναι το πιο αποδοτικό

σύστημα βάσει των KWh που εξυπηρετεί. Αυτό οφείλεται κυρίως στα καιρικά δεδομένα της κλιματικής ζώνης Β, τα οποία επιτρέπουν στην αντλία θερμότητας να λαμβάνει πολύ υψηλές τιμές συντελεστή συμπεριφοράς (COP) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

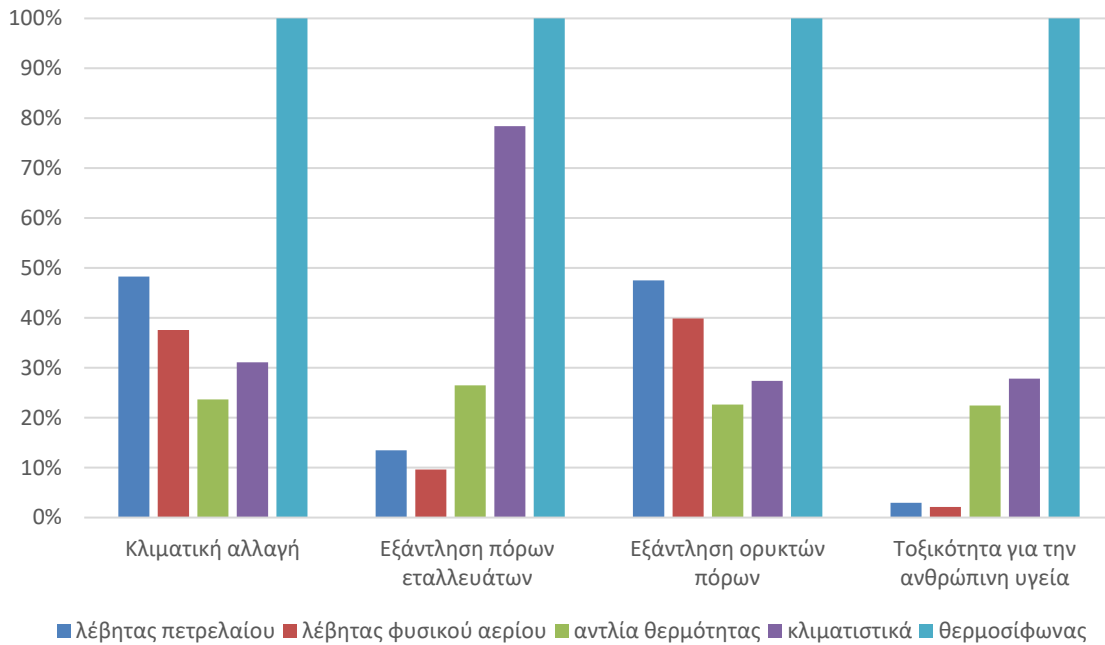
Στην περίπτωση της εξάντλησης πόρων μεταλλευμάτων που μελετήθηκε, παρατηρείται ότι τα κλιματιστικά και κατ' επέκταση η αντλία θερμότητας έχουν την μεγαλύτερη συμβολή. Μια πιθανή εξήγηση είναι η εξόρυξη του λιγνίτη που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα, σε ποσοστό 21%, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1.

Για την εξάντληση των ορυκτών πόρων, ο λέβητας πετρελαίου είναι το σύστημα με τον υψηλότερο αντίκτυπο –όπως ήταν αναμενόμενο, με τον λέβητα φ.α. να ακολουθεί. Να σημειωθεί, ότι παρά το γεγονός ότι η αντλία θερμότητας και τα κλιματιστικά συμπεριφέρονται καλύτερα, η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα, συμβάλλει σημαντικά σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων. Τα απόλυτα μεγέθη είναι πολύ υψηλά σε αυτή την κατηγορία.

Για την τοξικότητα στην ανθρώπινη υγεία, ο ηλεκτρισμός είναι το «καύσιμο» με τις χειρότερες επιδόσεις. Αυτή η κατηγορία επιπτώσεων έχει υψηλούς παράγοντες χαρακτηρισμού στα μέταλλα, επομένως, είναι εύλογη η υπόθεση, ότι η εξόρυξη και η καύση λιγνίτη ευθύνονται για τις αυξημένες εκπομπές του ισοδύναμου 1,4 DCB στην ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδας. Ο παράγων χαρακτηρισμού της ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας είναι 0.0889 (kg 1.4 DCB/KWh) σε σχέση με το 0.00212 (kg 1.4 DCB/KWh) του Ευρωπαϊκού μέσου όρου..



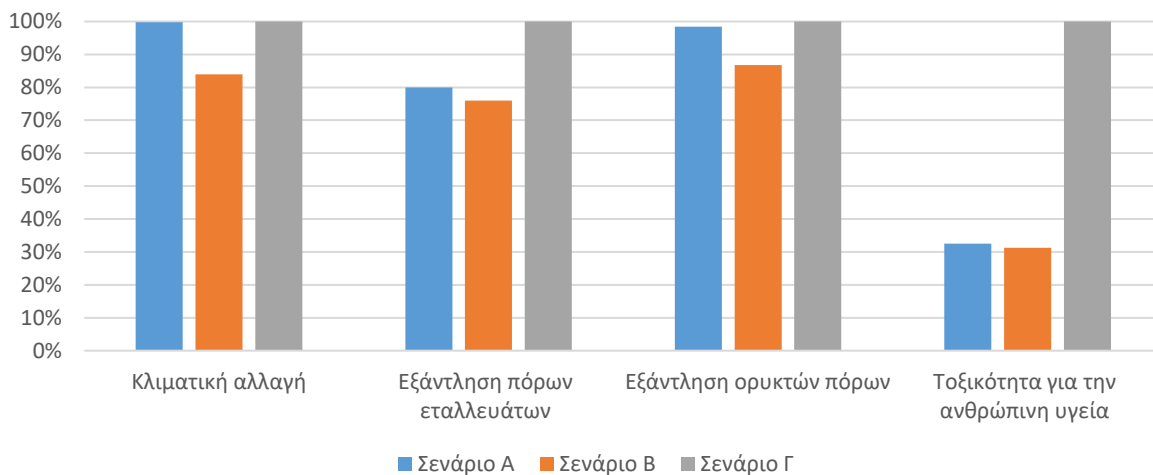
**Σχήμα 6.11. Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για τις συνολικές επιπτώσεις των συστημάτων.**



**Σχήμα 6.12. Σύγκριση συνολικών επιπτώσεων των κανονικοποιημένων συστημάτων ως προς τις εξυπηρετούμενες θερμικές KWh του εκάστοτε συστήματος**

Από τα δύο γραφήματα παρατηρείται ότι τα δεδομένα είναι σε πλήρη αντιστοιχία με αυτά της φάσης λειτουργίας, καθώς η εξόρυξη των πρώτων υλών και η κατασκευή των συστημάτων έχουν ελάχιστη συμβολή για τους λόγους που προαναφέρθηκαν.

**Σύγκριση Σεναρίων**



**Σχήμα 6.13. Σύγκριση των εξεταζόμενων σεναρίων για την οικία GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001**

Από το διάγραμμα, γίνεται αντιληπτό ότι η βέλτιστη επιλογή συστημάτων για την συγκεκριμένη κατοικία, βάσει των παραδοχών που έχουν ληφθεί, είναι ο συνδυασμός αντλίας θερμότητας και ηλεκτρικού θερμοσίφωνα για την κάλυψη όλων των φορτίων της οικίας. Είναι αναγκαίο σε αυτό το σημείο να δοθούν μερικά στοιχεία για τις τάξεις μεγεθών της εκάστοτε επίπτωσης, καθώς δεν προκύπτουν από τα διαγράμματα. Για την κλιματική αλλαγή τα σενάρια λαμβάνουν τιμές της τάξης  $10^6$ , για την εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων της τάξης  $10^2$ , για την εξάντληση ορυκτών πόρων της τάξης  $10^4$  και για την κατηγορία της τοξικότητας της τάξης  $10^3$ . Ωστόσο, δεν υποστηρίζεται από την μεθοδολογία της ReCiPe 2016 κανονικοποίηση των κατηγοριών επιπτώσεων σε επίπεδο mindpoint. Επομένως, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών.

## 6.2 Περιβαλλοντική σύγκριση κτιρίων της Αθήνας για τα εξεταζόμενα σενάρια

Στην παράγραφο αυτή θα εξεταστούν με λειτουργική μονάδα την επιφάνεια αναφοράς ( $m^2$ ) τέσσερα κτήρια στην υπάρχουσα κατάσταση και στην ανακαινισμένη εκδοχή τους. Ο σκοπός είναι να μελετηθεί το μέγεθος της επιρροής του κτηριακού κελύφους και τη επιφάνειας αναφοράς του κτιρίου στα αποτελέσματα που λαμβάνουμε για τα τρία εξεταζόμενα σενάρια.

### 6.2.1 Εξεταζόμενα κτήρια

Το πρώτο κτήριο που εξετάζεται είναι το κύριο κτήριο της μελέτης **GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001**  $293m^2$ , καθώς και η ανακαινισμένη εκδοχή του.

Το δεύτερο κτήριο **GR.ZoneD.SFH.02.Gen.ReEx.001** είναι μια μονοκατοικία  $180m^2$ , περιόδου κατασκευής 1981-2000.

Το τρίτο κτήριο **GR.ZoneB.SFH.03.Gen.ReEx.001** επιφάνειας  $115m^2$  και περιόδου κατασκευής 2001-2010.

Το τέταρτο κτήριο **GR.ZoneA.SFH.02.Gen.ReEx.001** επιφάνειας  $86m^2$  και περιόδου κατασκευής πριν το 1980. Για το κτήριο αυτό ελήφθη στους υπολογισμούς μόνο η ανακαινισμένη εκδοχή του, καθώς λόγω της παλαιότητάς του, εμφάνιζε θερμικά φορτία ανά μονάδα επιφάνειας της τάξης των  $180 (KWh/m^2)$ , σχεδόν διπλάσια του κτιρίου αναφοράς, το οποίο δεν πληροί τις σημερινές προδιαγραφές για τα κτήρια.

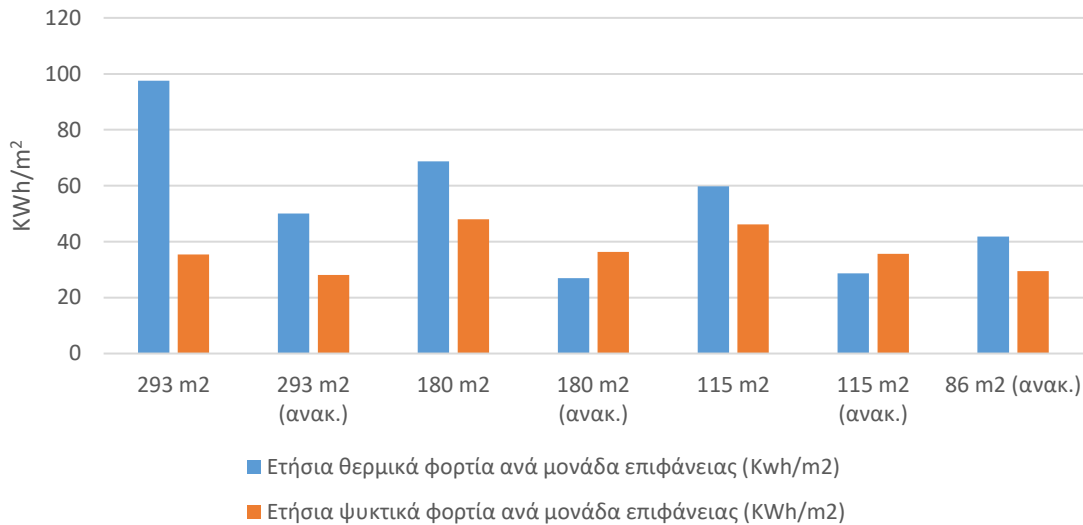
Περισσότερα στοιχεία για το κέλυφος των εξεταζόμενων κτιρίων, καθώς και μερικές από τις παραδοχές που ελήφθησαν για αυτές τις μελέτες βρίσκονται στο Παράρτημα Α.

### 6.2.2 Παραδοχές

Οι πιο σημαντικές είσοδοι που αλλάζουν για τα συστήματα, είναι το πλήθος των ατόμων που διαμένουν σε κάθε οικία, τα βάρη των συστημάτων, το πλήθος των κλιματιστικών που χρησιμοποιούνται, η ονομαστική ισχύς των συστημάτων για να καλύπτουν τις απαιτούμενες ανάγκες για ψυκτική και θερμική ισχύ, το πλήθος των σωμάτων καλοριφέρ και fan coil. Για τους υαλοπίνακες, θεωρήθηκε  $g_{gl}=0.77$  για όλα τα μη ανακαινισμένα κτήρια και  $g_{gl}=0.61$  για όλα τα ανακαινισμένα. Οι μελέτες με τα ακριβή στοιχεία για τις εισόδους και τις εξόδους κάθε εξεταζόμενης περίπτωσης, δίνονται στην μορφή υπολογιστικών φύλλων μαζί με την εργασία.

### 6.2.3 Σύγκριση θερμικών-ψυκτικών φορτίων και των εξεταζόμενων σεναρίων

Στο κάτωθι γράφημα φαίνονται τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία ανά μονάδα επιφάνειας ( $m^2$ ) για τα εξεταζόμενα κτήρια.



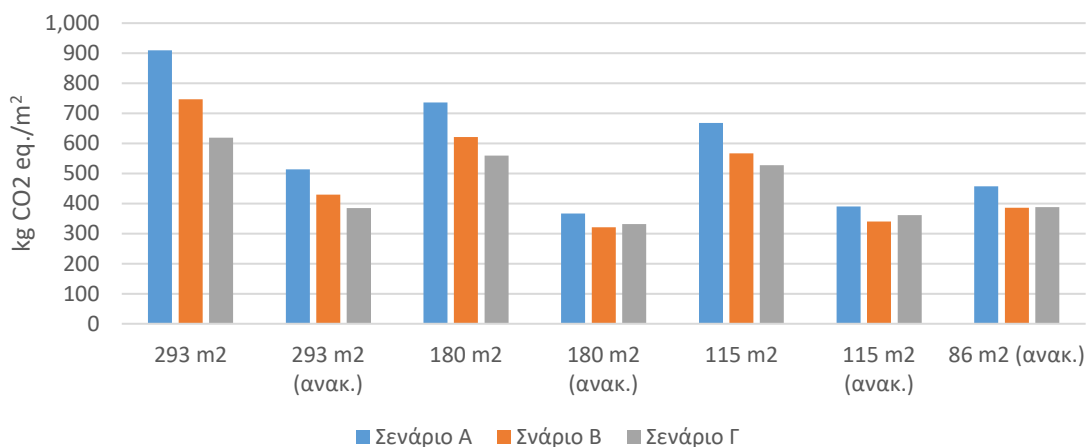
**Σχήμα 6.14. Ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία για τα εξεταζόμενα κτήρια**

Από το σχήμα 6.14, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα τόσο για την κύρια κατοικία μελέτης, όσο και για την σχέση των φορτίων και της κατάστασης του κτηριακού κελύφους. Αρχικά, παρατηρείται, ότι τα θερμικά φορτία της κύριας οικίας μελέτης είναι σημαντικά μεγαλύτερα από αυτά των άλλων μη ανακαινισμένων κτιρίων και έως 3 φορές μεγαλύτερα από τα ανακαινισμένα κτήρια. Το γεγονός αυτό, επαληθεύει τις ανησυχίες που διατυπώθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για το κατά πόσο τα αποτελέσματά μας είναι αντιπροσωπευτικά και αξιόπιστα. Το δεύτερο σημαντικό στοιχείο είναι ότι τα ψυκτικά φορτία δεν μειώνονται σημαντικά ανεξαρτήτως χαρακτηριστικών του κελύφους. Αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό, δεδομένου ότι ο σημαντικότερος παράγοντας των ψυκτικών φορτίων είναι οι απώλειες λόγω ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υαλοπινάκων.

#### Σύγκριση σεναρίων

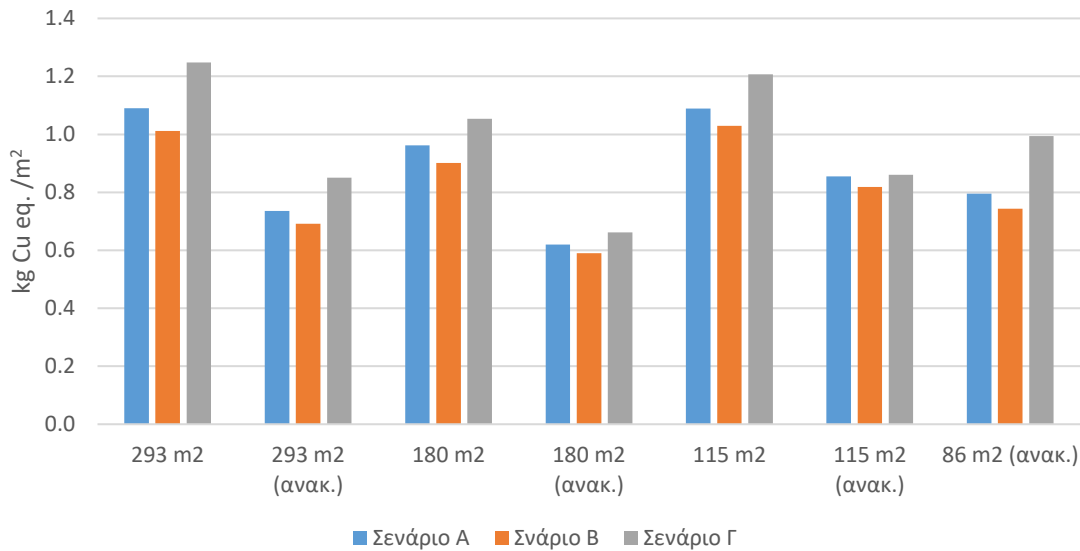
Για την κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, παρατηρείται ότι το Σενάριο Α (λέβητας πετρελαίου και κλιματιστικά), παρουσιάζει τις μεγαλύτερες εκπομπές σε CO<sub>2</sub> για όλα τα εξεταζόμενα κτήρια. Ωστόσο, στις περιπτώσεις ανακαίνισης και όσο μειώνονται τα ετήσια φορτία, το Σενάριο Α είναι συγκρίσιμο με το Σενάριο Γ (αντλία θερμότητας και θερμοσίφωνα). Για τα Σενάρια Β και Γ, παρατηρείται ότι για μη ανακαινισμένες οικίες, η αντλία θερμότητας αποδίδει πιο αποτελεσματικά, ενώ για τα ανακαινισμένα κτήρια των 180m<sup>2</sup> και των 115m<sup>2</sup> που παρουσιάζουν μικρότερα συνολικά ετήσια φορτία, το σενάριο Β (φυσικό αέριο και κλιματιστικές μονάδες) παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά. Ενώ τα φορτία συνεισφέρουν

καθοριστικά, ένας άλλος παράγοντας που επιδρά σημαντικά στα συστήματα είναι οι απώλειες του ψυκτικού υγρού. Επομένως, το πλήθος των κλιματιστικών που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ψυκτικών αναγκών για το σενάριο Β, συμβάλλει σημαντικά στις συνολικές. Όπως έχει αναφερθεί, για όλα τα συστήματα ψύξης έχουν θεωρηθεί ετήσιες απώλειες 3%. Για τα 20 έτη λειτουργίας αυτό ισοδυναμεί με το 60% της αρχικής μάζας ψυκτικού υγρού, με δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη για την κατηγορία της κλιματικής αλλαγής (1430 kg CO<sub>2</sub>/kg R-134a)[49]. Για την οικία 180m<sup>2</sup> (ανακ.), τα kg ισοδύναμου CO<sub>2</sub> λόγω απωλειών ψυκτικού υγρού για την αντλία θερμότητας (σύστημα ψύξης μόνο) και για τα κλιματιστικά αποτελούν το 5% και 5.3% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Για την οικία 115m<sup>2</sup> (ανακ.) το 7.6% και 4.2% για την αντλία και τα κλιματιστικά αντίστοιχα. Ενώ για την οικία 86m<sup>2</sup> το 12% και το 6.8%. Επίσης, ο λόγος των φορτίων ΖΝΧ προς τα συνολικά φορτία επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα, καθώς οι λέβητες έχουν πολύ καλύτερη απόδοση σε σχέση με τον θερμοσίφωνα.



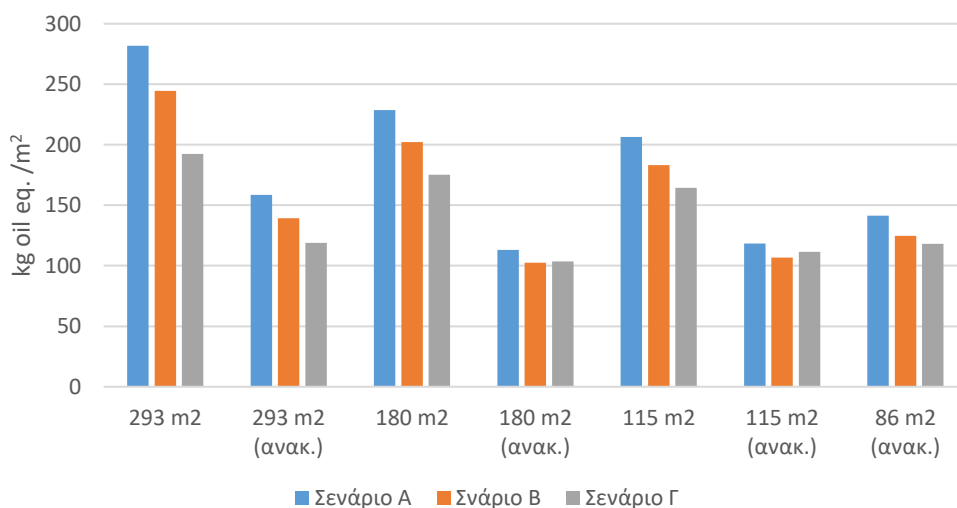
**Σχήμα 6.15. Κλιματική αλλαγή σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια**

Ως σύστημα θέρμανσης, η αντλία θερμότητας παρουσιάζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τους λέβητες. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τα συνολικά θερμικά φορτία, ο συνδυασμός της αντλίας θερμότητας και θερμοσίφωνα έχει χειρότερη απόδοση -ως ενιαίο σύστημα θερμότητας- σε σύγκριση με τον λέβητα φυσικού αερίου, στις περιπτώσεις ανακαίνισης.



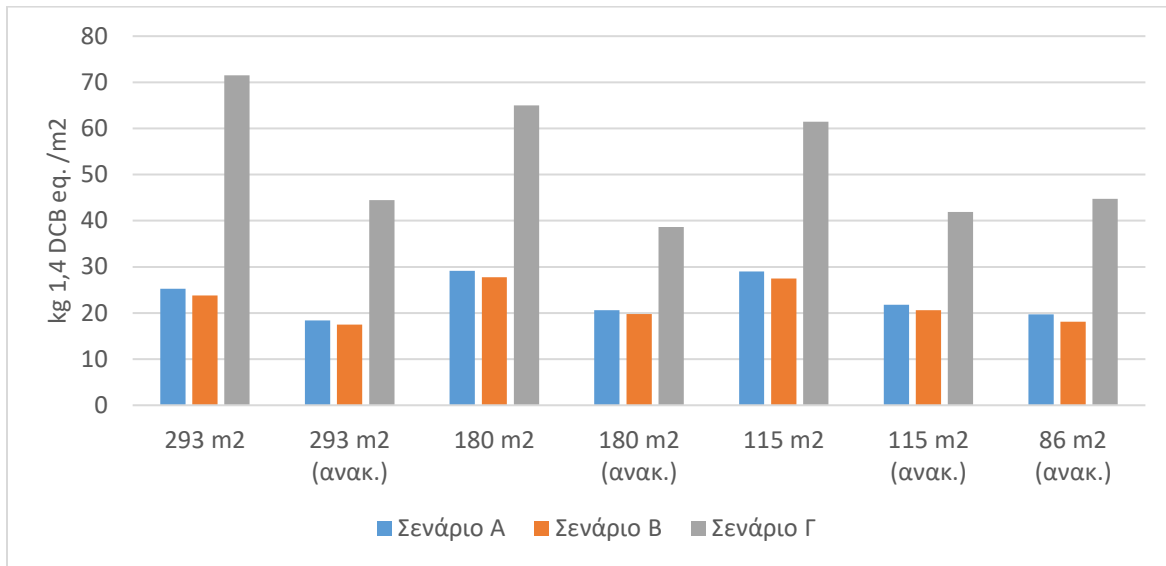
**Σχήμα 6.16. Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια**

Για την κατηγορία της εξάντλησης πόρων μεταλλευμάτων, παρατηρείται ότι σε όλες τις μελέτες περίπτωσης το σενάριο Β παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα, ενώ το σενάριο Γ συμβάλλει περισσότερο σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων. Σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Ecoinvent v.9.1.1.1, ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα έχει υψηλότερο παράγοντα χαρακτηρισμού από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ωστόσο, δεν είναι σαφές, γιατί ισχύει αυτό. Να σημειωθεί ότι σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων, η φάση της κατασκευής αποτελεί το 20-40% των συνολικών αποτελεσμάτων.



**Σχήμα 6.17. Εξάντληση ορυκτών πόρων, σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια**

Σε αυτή την κατηγορία, παρατηρείται ότι για όλα τα εξεταζόμενα κτήρια το Σενάριο Α παρουσιάζει την μεγαλύτερη κατανάλωση ορυκτών πόρων, ενώ το σενάριο Γ την μικρότερη, με εξαίρεση τα ανακαινισμένα κτήρια των 115m<sup>2</sup> και 180m<sup>2</sup>. Ως γενικό συμπέρασμα, προκύπτει ότι μειώνοντας τα φορτία, μειώνεται και η διαφορά μεταξύ σεναρίου Β και Γ. Στις περιπτώσεις, όπου δεν έχει γίνει ανακαίνιση, η αντλία θερμότητας αποδίδει πιο αποτελεσματικά. Στις περιπτώσεις ανακαίνισης, υπεισέρχεται ο παράγοντας των φορτίων ΖΝΧ. Όσο αυξάνεται ο λόγος των φορτίων ΖΝΧ προς τα συνολικά φορτία, τόσο η διαφορά μεταξύ των σεναρίων Β και Γ γίνεται αμελητέα, ή προτιμάται το σενάριο Β.



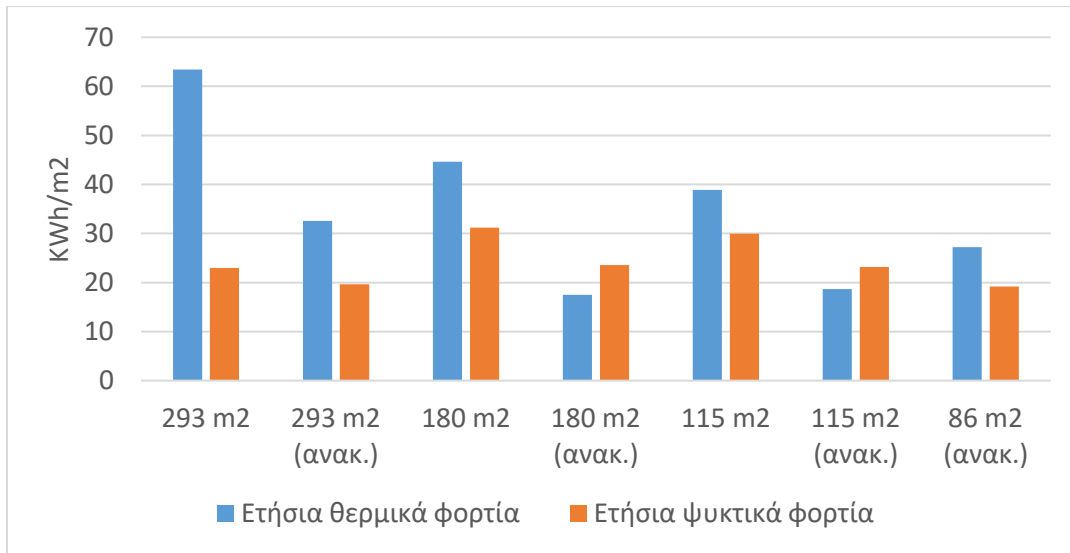
**Σχήμα 6.18. Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία, σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια.**

Σε αυτή την κατηγορία, παρατηρείται ότι το Σενάριο Γ αποτελεί παράγει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο, με τα Σενάρια Α και Β να παρουσιάζουν μικρές διαφορές. Οι επιπτώσεις στην κατηγορία της τοξικότητας οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στις ανακαινισμένες εκδοχές των κατοικιών, όπου τα θερμικά φορτία μειώνονται σημαντικά, παρατηρείται αντίστοιχη μείωση για το σενάριο Γ. Εντούτοις, ακόμα και στα ανακαινισμένα κτήρια, το σενάριο Γ παράγει σχεδόν διπλάσιους ρύπους σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια.

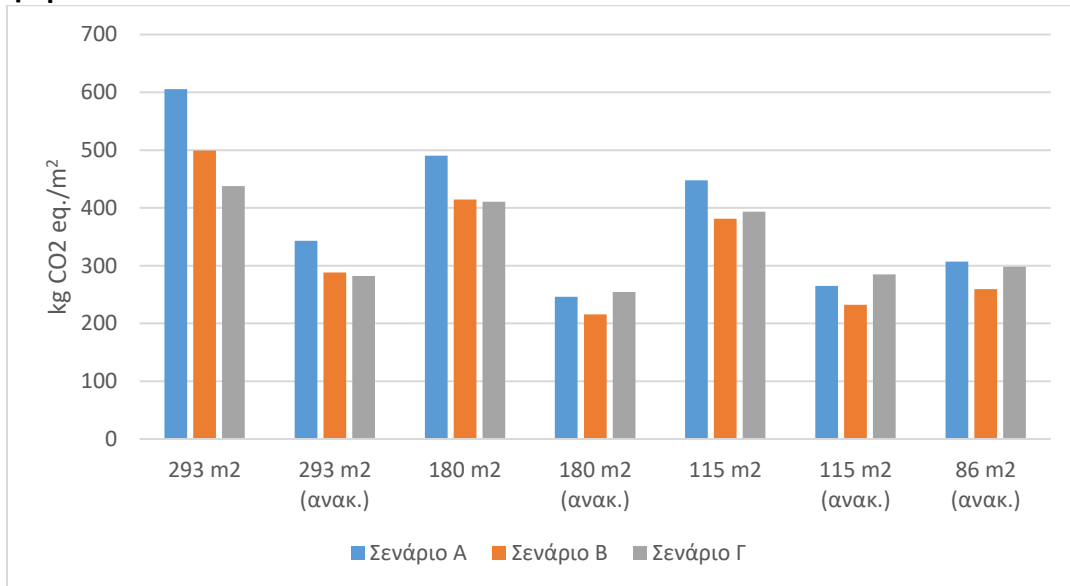
### 6.3 Περιβαλλοντική σύγκριση κτιρίων της Αθήνας για τα εξεταζόμενα σενάρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων

Σε αυτή την παράγραφο εξετάζεται η σύγκριση κτιρίων -όπως στην προηγούμενη παράγραφο, θεωρώντας ότι ικανοποιούνται το 70% των θερμικών και ψυκτικών φορτίων που έχουν υπολογιστεί για τις κατοικίες, ενώ τα φορτία ΖΝΧ διατηρούνται σταθερά. Για αυτές τις εκτιμήσεις, ο λόγος των φορτίων ΖΝΧ προς τα συνολικά **θερμικά** φορτία λαμβάνει τιμές από 15-35%, ανάλογα το εξεταζόμενο κτίριο.



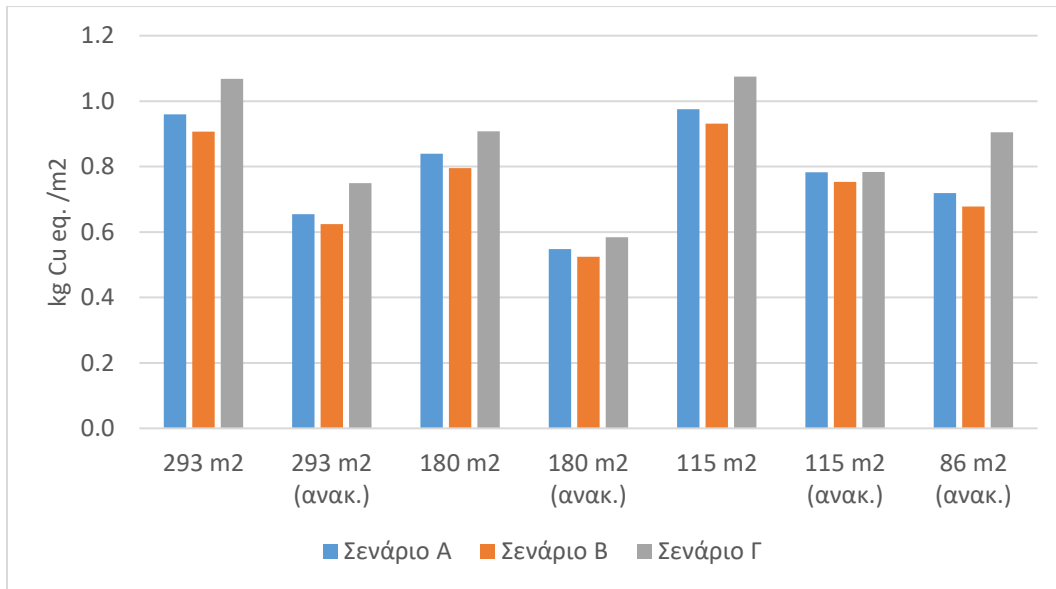


**Σχήμα 6.19.** Ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία των κτιρίων για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων.

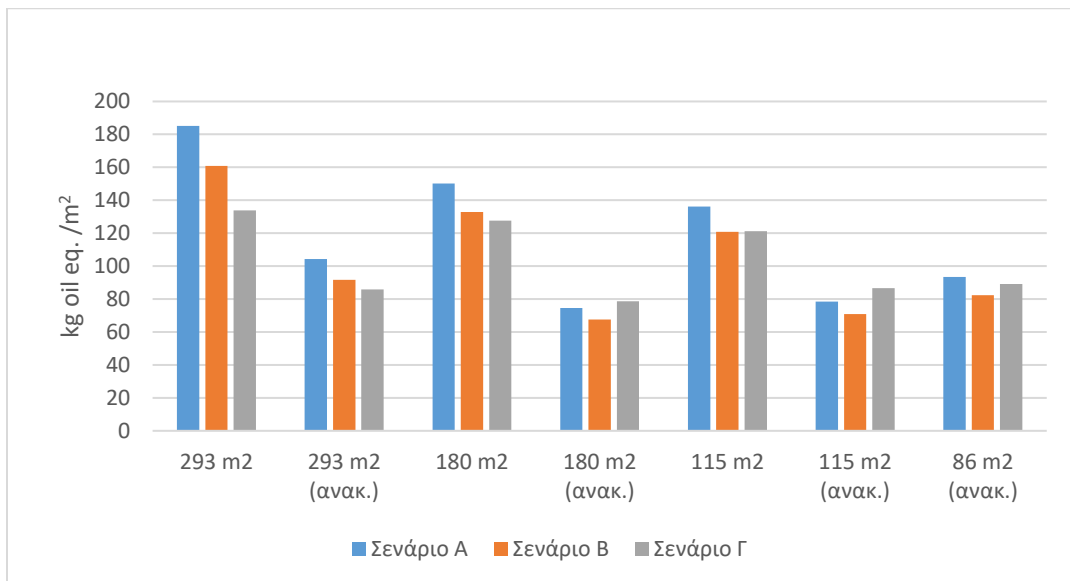


**Σχήμα 6.20.** Κλιματική Αλλαγή, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων

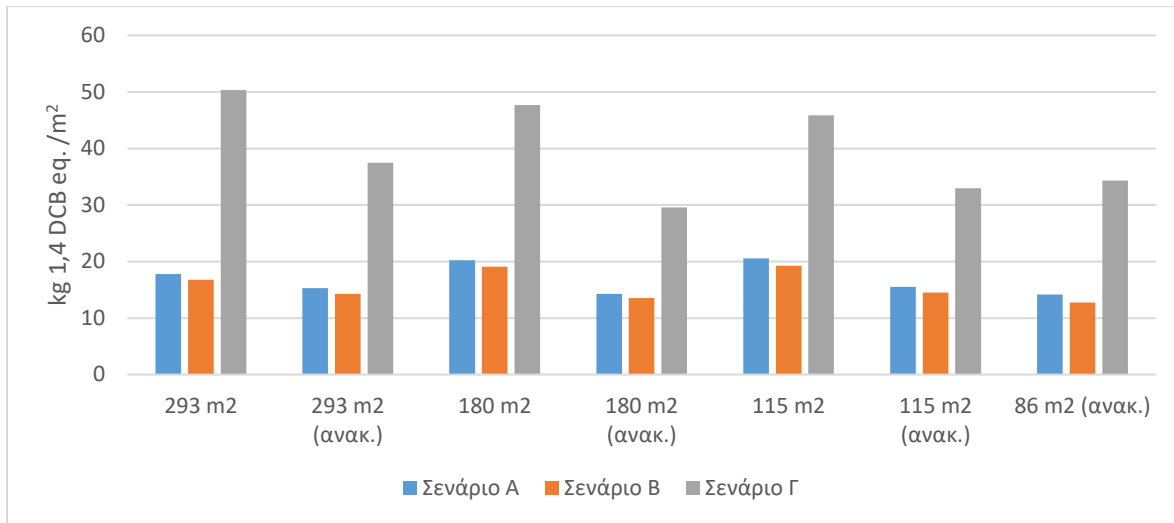
Παρατηρείται, ότι σε αυτό το υποθετικό σενάριο, το οποίο –ενδεχομένως- είναι περισσότερο ρεαλιστικό, το σενάριο Β έχει τις λιγότερες εκπομπές σε όλες τα κτήρια, ακόμα και στο κτήριο αναφοράς, το οποίο έχει τα υψηλότερα φορτία ανά μονάδα επιφάνειας. Επίσης παρατηρείται το σενάριο Α να παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από το σενάριο Γ.



**Σχήμα 6.21.** Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων



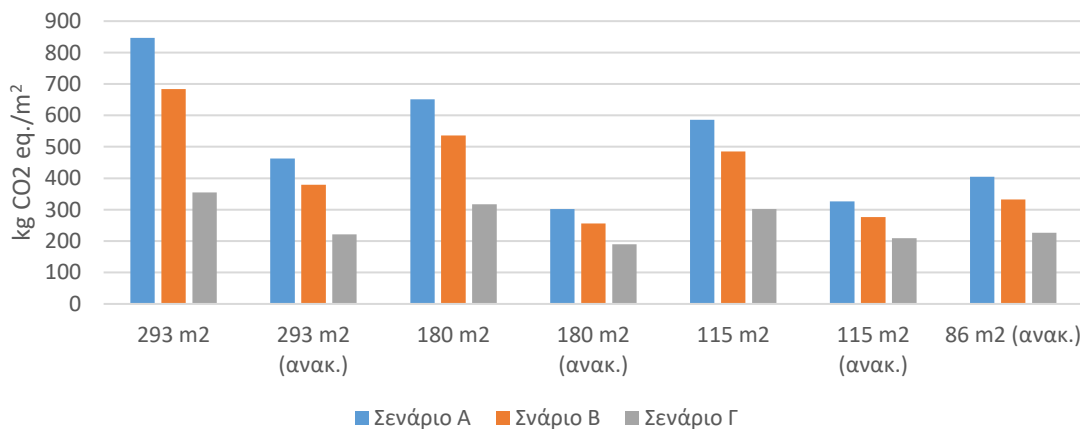
**Σχήμα 6.22.** Εξάντληση ορυκτών πόρων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων



Σχήμα 6.23. Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία, σύγκριση στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων

#### 6.4 Σύγκριση συστημάτων για το κτήριο αναφοράς με την παραδοχή ότι το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα είναι κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο.

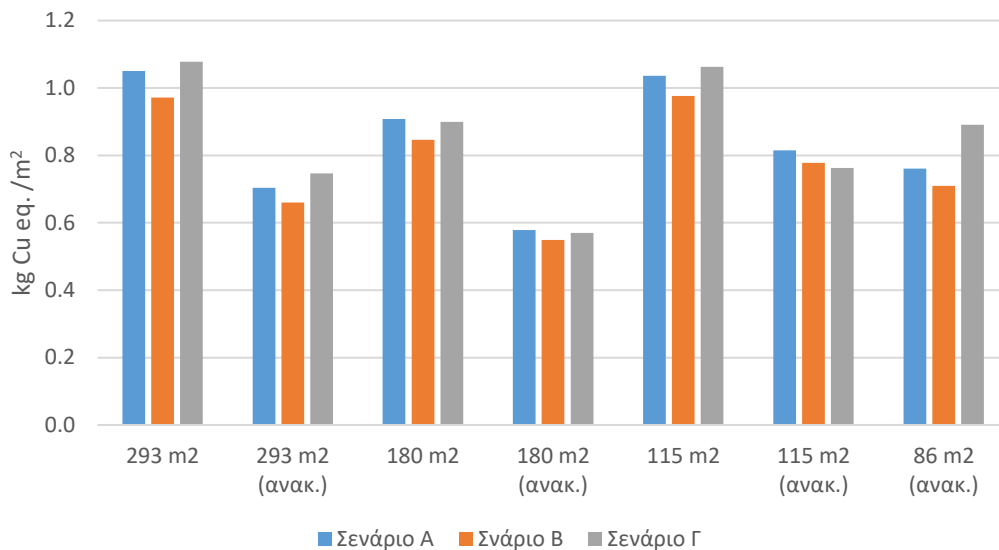
Σε αυτή την παράγραφο εξετάζεται το υποθετικό σενάριο, στο οποίο οι επιπτώσεις της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα κυμαίνονται στα επίπεδα του Ευρωπαϊκού μέσου όρου. Αυτό το σενάριο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ώστε να παρατηρηθεί το μέγεθος της επίδρασης του ενεργειακού μείγματος της Ελλάδας στα αποτελέσματα.



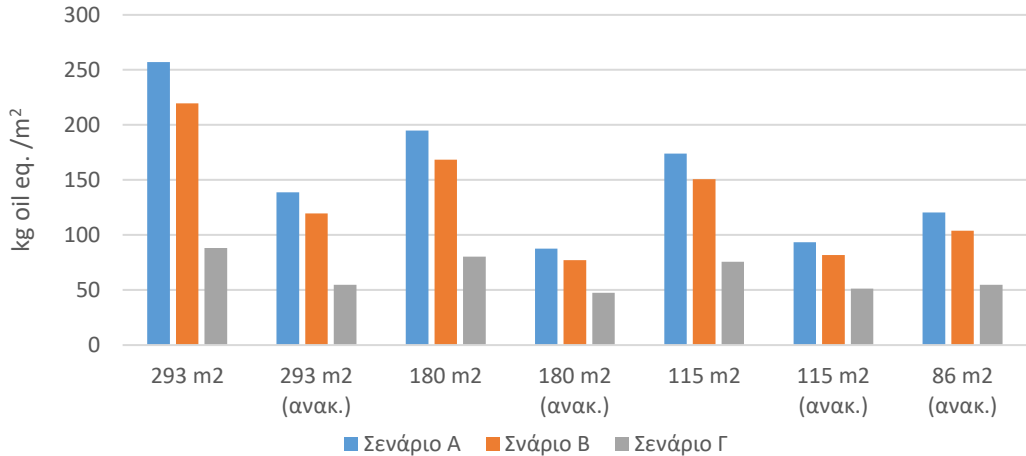
Σχήμα 6.24. Κλιματική Αλλαγή, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο.

Το σενάριο Γ, δηλαδή η αντλία θερμότητας, εμφανίζει την καλύτερη συμπεριφορά σε όλες τις μελέτες περίπτωσης και αποτελεί το βέλτιστο σύστημα από περιβαλλοντική σκοπιά για την

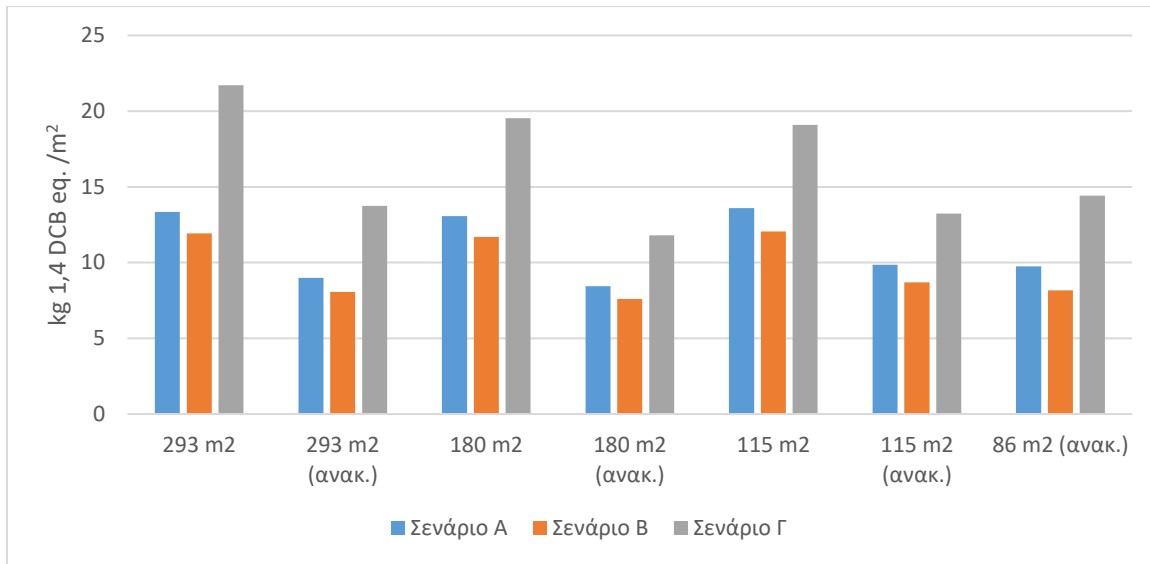
ικανοποίηση των θερμικών και ψυκτικών αναγκών ενός κτιρίου ανεξαρτήτως επιφάνειας ή χαρακτηριστικών κελύφους. Σε αυτό το υποθετικό σενάριο, αποτυπώνεται το μέγεθος της επιρροής του ενεργειακού μείγματος της Ελλάδας στα αποτελέσματα.



**Σχήμα 6.25.** Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο.



**Σχήμα 6.26.** Εξάντληση ορυκτών πόρων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο.



**Σχήμα 6.27. Τοξικότητα, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο.**

Στην κατηγορία της εξάντλησης ορυκτών πόρων, η αντλία θερμότητας παρουσιάζει σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα, ενώ στην κατηγορία της τοξικότητας διατηρείται το σταθερό μοτίβο, όπως και στα προηγούμενα κεφάλαια, ωστόσο οι ονομαστικές τιμές έχουν μειωθεί κατά περίπου 80% στα περισσότερα κτήρια.

## 7. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τις μελέτες που προηγήθηκαν, συμπεραίνεται ότι το σενάριο Γ είναι η βέλτιστη επιλογή σε μη ανακαινισμένα κτήρια με μεγάλα φορτία. Στην κατηγορία της τοξικότητας παρουσιάζει αρκετά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια. Επιπλέον, παρατηρήθηκε το γεγονός ότι, καθώς μειώνονται οι ετήσιες θερμικές και ψυκτικές ανάγκες των κτιρίων λόγω καλύτερης μόνωσης του κτηριακού κελύφους, το σενάριο Β προτιμάται σε όλες τις κατηγορίες, με τις διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων να μην είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η αντλία θερμότητας λειτουργεί πιο αποδοτικά από τους λέβητες ως σύστημα θέρμανσης, όπως επίσης και από τις κλιματιστικές μονάδες (air conditioner) ως σύστημα ψύξης. Ωστόσο, οι συμβατικές αντλίες θερμότητας δεν φτάνουν σε θερμοκρασίες ικανές να θερμάνουν το ζεστό νερό χρήσης και η λειτουργία του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα αφήνει σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Επομένως, όσο ο λόγος των φορτίων του Ζ.Ν.Χ προς τα συνολικά θερμικά και ψυκτικά φορτία αυξάνει, τόσο χειρότερα συμπεριφέρεται το σενάριο Γ. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η αντλία θερμότητας ως σύστημα έχει σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης, καθώς στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας θα αυξάνει το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονισθεί ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν έχουν καθολική ισχύ, αλλά αποτελούν μονάχα μια ένδειξη για τα εξεταζόμενα συστήματα, υπό τις συγκεκριμένες παραδοχές που ελήφθησαν στην μελέτη. Πολλές από τις παραδοχές είναι αμφιλεγόμενες και επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι εξής:

- Η ημερήσια κατανάλωση του ζεστού νερού χρήσης ανά άτομο που διαμένει στην κατοικία θεωρήθηκε ίση με 35 lt, σε αντίθεση με την υπόδειξη της τεχνικής οδηγίας του ΚΕΝΑΚ, η οποία προτείνει την τιμή 50lt.
- Οι θερμοκρασίες αναφοράς για τον υπολογισμό των βαθμομερών θέρμανσης και των βαθμωρών ψύξης ελήφθησαν από τον ΚΕΝΑΚ. Οι τιμές αυτές δεν βρίσκονταν σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του Tabula – Eriscope.
- Η μοντελοποίηση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης για την φάση της κατασκευής βασίζεται σε μελέτες ή βάσεις δεδομένων και ενδέχεται να μην είναι πλήρως αντιπροσωπευτική για κάποια συστήματα, καθώς οι κατασκευαστικές εταιρείες δεν παρουσιάζουν επίσημα στοιχεία για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και την απαιτούμενη ενέργεια που δαπανήθηκε για την κατασκευή των προϊόντων τους, με αποτέλεσμα να είναι δυσεύρετα τα απαραίτητα δεδομένα για τη διεξαγωγή μελετών ΑΚΖ.
- Θεωρήθηκε ότι το ενεργειακό μείγμα ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα διατηρείται σταθερό για όλη τη διάρκεια ζωής των συστημάτων.
- Οι βαθμοί απόδοσης των συστημάτων διατηρούνται σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής.
- Οι ετήσιες απώλειες του ψυκτικού υγρού για τις κλιματιστικές μονάδες και για την αντλία θερμότητας θεωρήθηκαν 3%.

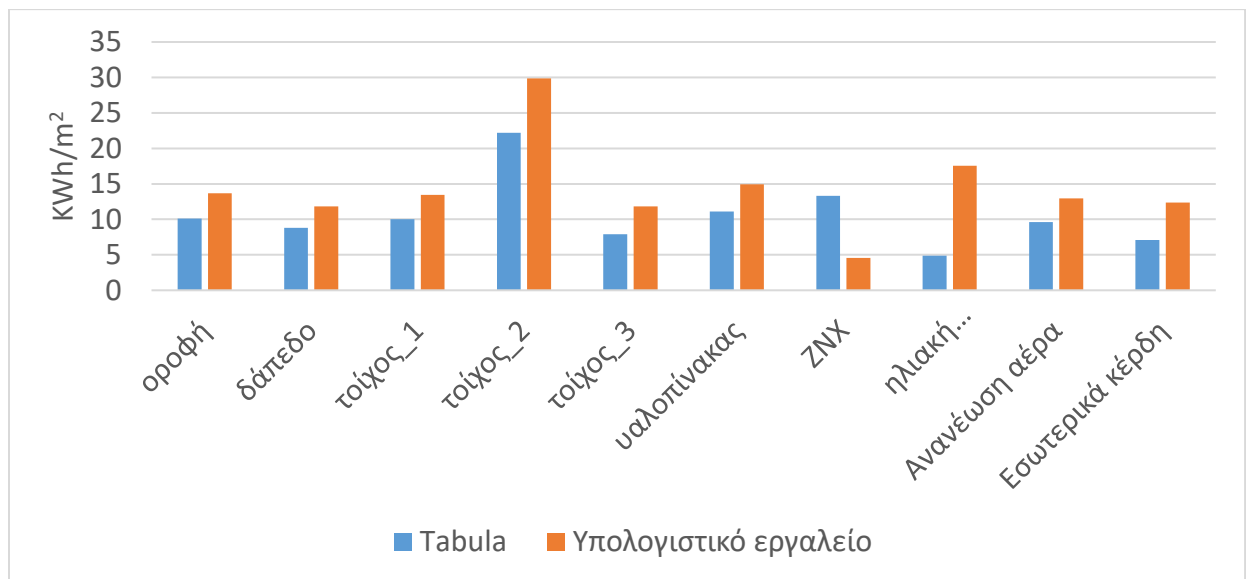
Για την αξιολόγηση του αναπτυχθέντος εργαλείου, αναγκαία κρίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχες μελέτες, ώστε να εκτιμηθεί η αξιοπιστία της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων.

Τέλος, να αναφερθεί, ότι υπήρχε περιορισμένος χρόνος για την ανάπτυξη του υπολογιστικού εργαλείου και δεν επιτράπη η ολοκλήρωση όλων των αρχικών στόχων. Σε αυτούς περιλαμβάνεται η εισαγωγή νέων συστημάτων και σεναρίων, κυρίως με συστήματα ΑΠΕ, όπως είναι οι ηλιακοί συλλέκτες κενού, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, τα φωτοβολταϊκά και άλλα συστήματα.

## 8. Σύγκριση φορτίων με την εφαρμογή Tabula – Ανάλυση ευαισθησίας

### 8.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων θερμικών φορτίων για την κατοικία αναφοράς με την εφαρμογή Tabula-Eriscopre.

Προτού παρουσιαστούν τα συγκριτικά γραφήματα, να αναφερθεί το γεγονός ότι στο Tabula χρησιμοποιείται η μέθοδος υπολογισμού φορτίων για όλη την περίοδο θέρμανσης, ενώ στο αναπτυχθέν εργαλείο οι υπολογισμοί γίνονται βάσει της μηνιαίας μεθόδου. Για τον λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται τα μηνιαία φορτία, καθώς και οι τιμές για τον συντελεστή χρήσης, δεδομένου ότι λαμβάνονται διαφορετικές προτυποποιημένες τιμές για τις δύο μεθόδους.



**Σχήμα 8.1.** Σύγκριση ετήσιων θερμικών φορτίων μεταξύ υπολογιστικού εργαλείου και Tabula για το κτίριο αναφοράς

Από το γράφημα παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στις ετήσιες θερμικές απώλειες των δομικών στοιχείων για την περίπτωση του υπολογιστικού φύλλου, οι οποίες οφείλονται στις διαφορετικές παραδοχές που έχουν ληφθεί για τις βαθμομέρες θέρμανσης. Για το υπολογιστικό εργαλείο οι τιμές που λαμβάνουν οι βαθμομέρες θέρμανσης για τους εξεταζόμενους μήνες παρουσιάστηκαν στο σχήμα 4.1. Οι συνολικές ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης για το υπολογιστικό εργαλείο υπολογίζονται στους 1059.4 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ ), ενώ για το Tabula στους 981 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ ).



Ωστόσο, παρατηρούνται σφάλματα στους υπολογισμούς του Tabula. Στην εξίσωση υπολογισμού των θερμικών απωλειών του δομικού στοιχείου της οροφής:

$$Q_{roof} = \frac{0.024 \cdot U_{roof} \cdot A_{roof} \cdot DD}{A_{c,ref}}$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση λαμβάνουμε:

$$Q_{roof} = \frac{0.024 \cdot 1.05 \cdot 150 \cdot 981}{293}$$

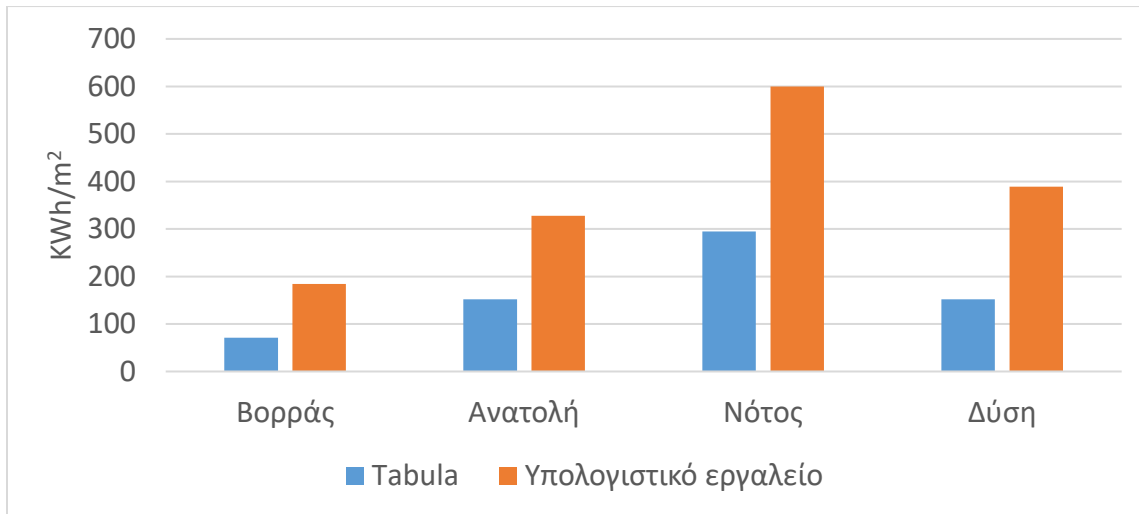
$Q_{roof} = 12.6559 \frac{KWh}{m^2 \cdot a}$ , ενώ η τιμή που παρουσιάζεται στην εφαρμογή του Tabula είναι:

$$Q_{roof} = 10.1 \frac{KWh}{m^2 \cdot a}$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται, ότι οι υπολογισμοί του Tabula είναι αναξιόπιστοι και δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Αντίστοιχα σφάλματα παρουσιάζονται και στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία, καθώς και λάθη όπως στο δομικό στοιχείο τοίχος\_3, για τον υπολογισμό του οποίου έχει συμπεριληφθεί ο παράγων εδάφους (soil factor).

Για τα φορτία του ζεστού νερού χρήσης έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές μεθοδολογίες υπολογισμού και διαφορετικές παραδοχές. Επομένως, η σύγκριση των τιμών δεν παράγει αξιόπιστα συμπεράσματα.

Για την ηλιακή ακτινοβολία, εντοπίζονται σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα της ολικής ετήσιας ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο για τους τέσσερις προσανατολισμούς με βάση τα δεδομένα της EnergyPlus και των δεδομένων που χρησιμοποιεί η εφαρμογή Tabula. Επιπροσθέτως, έχουν ληφθεί διαφορετικές παραδοχές για την ποσοστιαία κατανομή της επιφάνειας των υαλοπινάκων για τους τέσσερις προσανατολισμούς.

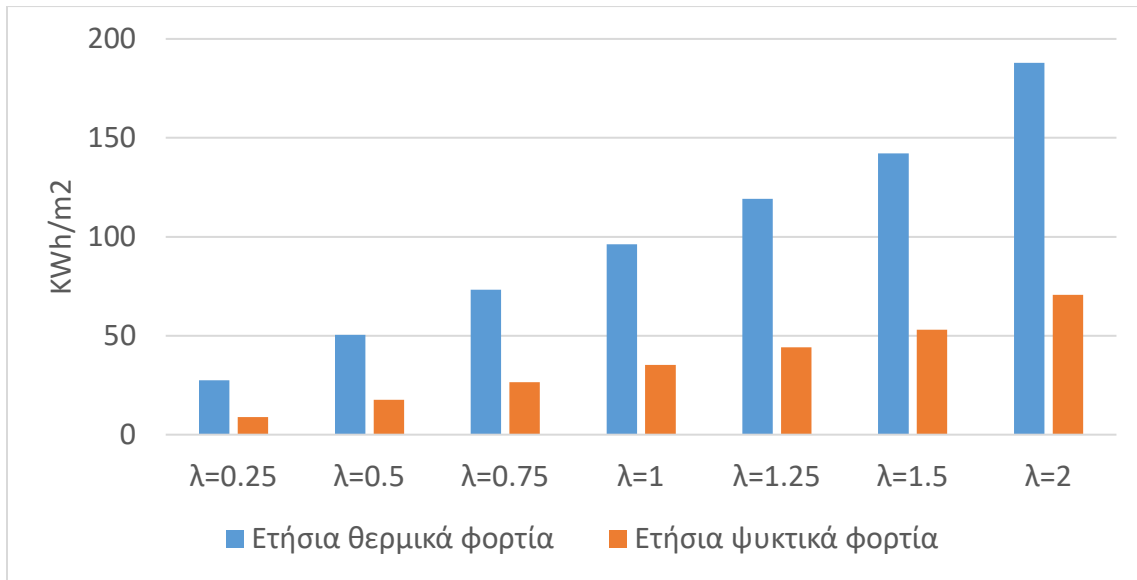


**Σχήμα 8.2.** Σύγκριση ετήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο για τους τέσσερις προσανατολισμούς, μεταξύ υπολογιστικού εργαλείου και Tabula.

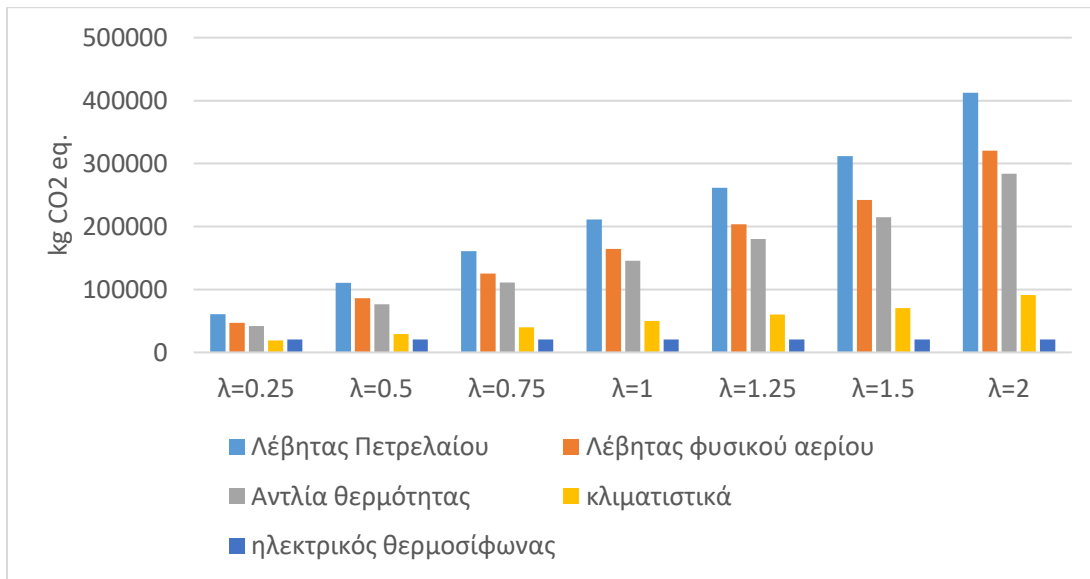
Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του υπολογιστικού εργαλείου είναι μια χρονοβόρα διαδικασία, η οποία απαιτεί την σύγκριση με άλλα λογισμικά και λόγω του περιορισμένου χρόνου περάτωσης της διπλωματικής εργασίας δεν κατέστη εφικτή. Ωστόσο οι διαφορές με την εφαρμογή του Tabula δεν είναι σημαντικές, αν ληφθούν υπόψη οι σωστοί υπολογισμοί των φορτίων.

## 8.2 Ανάλυση ευαισθησίας για την περιβαλλοντική μελέτη

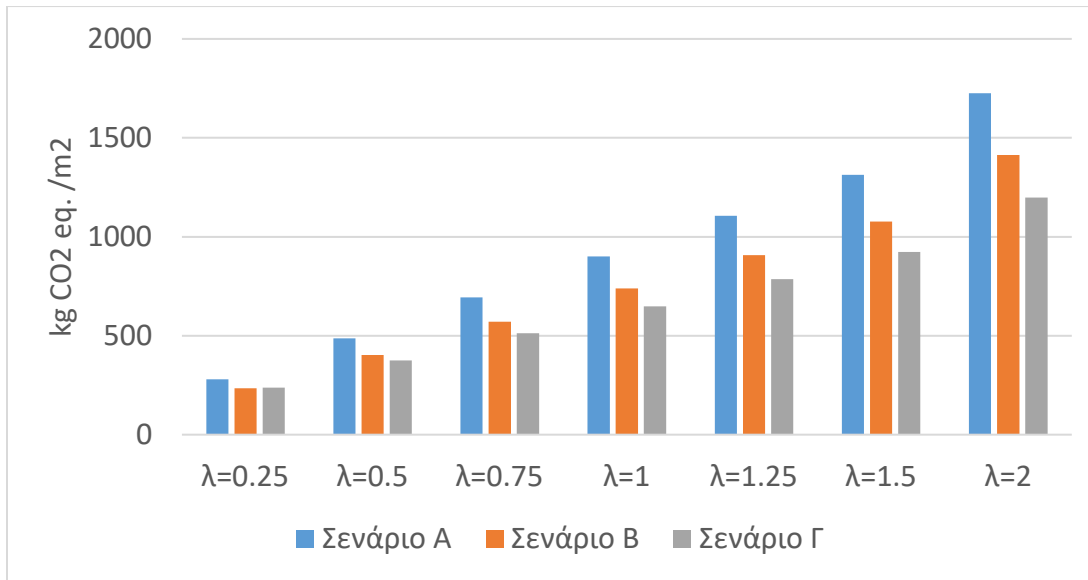
Για την πραγματοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας εισήχθησαν δύο όροι ποσοστιαίας αύξησης/μείωσης των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Για τα θερμικά φορτία, αυτή η μείωση δεν περιλαμβάνει τα φορτία του ZNX, καθώς υπάρχει μοντελοποίηση, η οποία δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί μια τέτοια αλλαγή. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της περιβαλλοντικής μελέτης για συστήματα και σενάρια για διάφορες τιμές των συντελεστών  $\lambda_{th}$ ,  $\lambda_c$  για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία, αντίστοιχα. Στην ανάλυση ευαισθησίας, τα φορτία του ZNX διατηρήθηκαν σταθερά.



**Σχήμα 8.3.** Σύγκριση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων για διάφορες τιμές του συντελεστή λ (αύξησης-μείωσης των φορτίων) στο κτίριο αναφοράς.



**Σχήμα 8.4.** Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για διάφορες τιμές του συντελεστή λ (αύξησης-μείωσης των φορτίων) στο κτίριο αναφοράς.



**Σχήμα 8.5. Σύγκριση των εξεταζόμενων σεναρίων για διάφορες τιμές του συντελεστή λ (αύξησης-μείωσης των φορτίων) στο κτίριο αναφοράς.**

Παρατηρείται από τα διαγράμματα, ότι οι τιμές που προκύπτουν για τα εξεταζόμενα συστήματα και σεσάρια είναι λογικές. Όπως και για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, είναι δύσκολο να παρατεθεί αναλυτικά η διαδικασία της ανάλυσης ευαισθησίας για τις δεκάδες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο υπολογιστικό εργαλείο, ωστόσο να αναφερθεί ότι η μεθοδολογία, αλλά και τα αποτελέσματα για την ανάπτυξη του υπολογιστικού εργαλείου έχουν ελεγχθεί από μέλη του εργαστηρίου.

## 9. Παράρτημα Α

**Κτήριο** GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001

Επιφάνεια αναφοράς  $A_{c,ref}=293.7m^2$

**Πίνακας Π.Α 1 Είσοδοι για την μελέτη του κτιρίου GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001**

	Υπάρχουσα κατάσταση	Ανακαίνιση
Απαιτούμενη Εγκατεστημένη θερμική ισχύς (KW)	29.16	17.05
Απαιτούμενη Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (KW)	22.89	13.38
Ετήσια θερμικά φορτία (KWh/m <sup>2</sup> )	97.53	50.08
Ετήσια ψυκτικά φορτία (KWh/m <sup>2</sup> )	35.38	28.04
Ετήσια φορτία για ZNX (KWh)	1332.11	1332.11
Βάρος ηλεκτρικού θερμοσίφωνα (kg)	55	55
Πλήθος κλιματιστικών 12000 Btu/hr	4	4
Πλήθος κλιματιστικών 18000 Btu/hr	2	0
Βάρος κλιματιστικού 12000 Btu/hr (kg)	41.5	41.5
Βάρος κλιματιστικού 18000 Btu/hr (kg)	44	-
Ονομαστική ισχύς λέβητας πετρελαίου (KW)	30	18
Βάρος λέβητα πετρελαίου (kg)	93	91
Ονομαστική ισχύς λέβητα φυσικού αερίου (KW)	30	18
Βάρος λέβητα φυσικού αερίου (kg)	48.5	28.1
Ονομαστική ισχύς αντλίας θερμότητας (KW)	30	20
Βάρος αντλίας θερμότητας (kg)	303	212
Βάρος σώματος καλοριφέρ	30.22	30.22
Πλήθος σωμάτων καλοριφέρ	15	9
Βάρος Fan coil	18.4	18.4
Πλήθος Fan coils	15	9
Ισχύς λειτουργίας Fan coil (Watt)	55	55

**Πίνακας Π.Α 2 Κτήριο αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001**

Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K))	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K)) ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ
Οροφή	150.0	1.05	0.45
Δάπεδο	88.0	3.10	3.10
Τοίχος 1	182.2	0.85	0.31
Τοίχος 2	101.3	3.40	0.44
Τοίχος 3	64.7	3.65	3.65
Υαλοπίνακας	42.0	4.10	2.60

**Κτήριο GR.ZoneD.SFH.02.Gen.ReEx.001**

Επιφάνεια αναφοράς  $A_{c,ref}=180.0m^2$

**Πίνακας Π.Α 3 Κτήριο GR.ZoneD.SFH.02.Gen.ReEx.001**

Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K))	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K)) ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ
Οροφή	126.0	0.53	0.30
Δάπεδο 1	50.0	0.63	0.32
Δάπεδο 2	76.0	1.25	1.25
Τοίχος 1	191.5	0.59	0.25
Τοίχος 2	41.6	3.40	0.39
Υαλοπίνακας	43.2	4.50	2.30

**Πίνακας Π.Α 4 Είσοδοι για την μελέτη του κτιρίου GR.ZoneD.SFH.02.Gen.ReEx.001**

	<b>Υπάρχουσα κατάσταση</b>	<b>Ανακαίνιση</b>
<b>Απαιτούμενη Εγκατεστημένη θερμική ισχύς (KW)</b>	13.74	6.68
<b>Απαιτούμενη Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (KW)</b>	10.79	5.25
<b>Ετήσια θερμικά φορτία (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	68.68	24.725
<b>Ετήσια ψυκτικά φορτία (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	48.03	36.29
<b>Ετήσια φορτία για ZNX (KWh)</b>	1110	1110
<b>Βάρος ηλεκτρικού θερμοσίφωνα (kg)</b>	55	55
<b>Πλήθος κλιματιστικών 12000 Btu/hr</b>	3	2
<b>Πλήθος κλιματιστικών 18000 Btu/hr</b>	0	0
<b>Βάρος κλιματιστικού 12000 Btu/hr (kg)</b>	41.5	41.5
<b>Βάρος κλιματιστικού 18000 Btu/hr (kg)</b>	44	
<b>Ονομαστική ισχύς λέβητας πετρελαίου (KW)</b>	16	10
<b>Βάρος λέβητα πετρελαίου (kg)</b>	91	87
<b>Ονομαστική ισχύς λέβητα φυσικού αερίου (KW)</b>	15	9
<b>Βάρος λέβητα φυσικού αερίου (kg)</b>	22.7	22.7
<b>Ονομαστική ισχύς αντλίας θερμότητας (KW)</b>	16	9.2
<b>Βάρος αντλίας θερμότητας (kg)</b>	124	86
<b>Βάρος σώματος καλοριφέρ</b>	30.22	30.22
<b>Πλήθος σωμάτων καλοριφέρ</b>	8	6
<b>Βάρος Fan coil</b>	18,4	18,4
<b>Πλήθος Fan coils</b>	8	6
<b>Ισχύς λειτουργίας Fan coil (Watt)</b>	55	55

**Κτήριο GR.ZoneB.SFH.03.Gen.ReEx.001**Επιφάνεια αναφοράς  $A_{c,ref}=115.0m^2$ **Πίνακας Π.Α 5 Είσοδοι για την μελέτη του κτιρίου GR.ZoneB.SFH.03.Gen.ReEx.001**

	<b>Υπάρχουσα κατάσταση</b>	<b>Ανακαίνιση</b>
<b>Απαιτούμενη Εγκατεστημένη θερμική ισχύς (KW)</b>	7.97	4.10
<b>Απαιτούμενη Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (KW)</b>	6.26	3.219
<b>Ετήσια θερμικά φορτία (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	59.80	28.72
<b>Ετήσια ψυκτικά φορτία (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	46.12	35.60
<b>Ετήσια φορτία για ZNX (KWh)</b>	1332	1332
<b>Βάρος ηλεκτρικού θερμοσίφωνα (kg)</b>	39	39
<b>Πλήθος κλιματιστικών 12000 Btu/hr</b>	2	1
<b>Πλήθος κλιματιστικών 18000 Btu/hr</b>	0	0
<b>Βάρος κλιματιστικού 12000 Btu/hr (kg)</b>	41.5	41.5
<b>Βάρος κλιματιστικού 18000 Btu/hr (kg)</b>	-	-
<b>Ονομαστική ισχύς λέβητας πετρελαίου (KW)</b>	10	10
<b>Βάρος λέβητα πετρελαίου (kg)</b>	87	87
<b>Ονομαστική ισχύς λέβητα φυσικού αερίου (KW)</b>	9	9
<b>Βάρος λέβητα φυσικού αερίου (kg)</b>	22.7	22.7
<b>Ονομαστική ισχύς αντλίας θερμότητας (KW)</b>	9.2	9.2
<b>Βάρος αντλίας θερμότητας (kg)</b>	86	86
<b>Βάρος σώματος καλοριφέρ</b>	30.22	30.22
<b>Πλήθος σωμάτων καλοριφέρ</b>	7	4
<b>Βάρος Fan coil</b>	18.4	18.4
<b>Πλήθος Fan coils</b>	7	4
<b>Ισχύς λειτουργίας Fan coil (Watt)</b>	55	55



**Πίνακας Π.Α 6 Κτήριο GR.ZoneB.SFH.03.Gen.ReEx.001**

Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K))	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K)) ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ
Οροφή	135.0	0.50	0.30
Δάπεδο 1	90.0	0.50	0.30
Δάπεδο 2	45.0	1.21	0.61
Τοίχος 1	136.8	0.70	0.35
Υαλοπίνακας	26.8	4.10	1.82

**Κτήριο GR.ZoneA.SFH.02.Gen.ReEx.001**Επιφάνεια αναφοράς A<sub>c,ref</sub>=86.0m<sup>2</sup>**Πίνακας Π.Α 7 Κτήριο GR.ZoneA.SFH.02.Gen.ReEx.001**

Δομικό στοιχείο	Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K))	Συντελεστής Θερμοχωρητικότητας (W/(m <sup>2</sup> ·K)) ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ
Οροφή	122,0	3.05	0.43
Δάπεδο 1	122.0	2.75	0.42
Δάπεδο 2	99.1	0.85	0.34
Τοίχος 1	20.0	3.40	0.49
Υαλοπίνακας	14.1	6.10	2.60

Τα δεδομένα για τα κελύφη των κτιρίων ελήφθησαν από την εφαρμογή Tabula Episcopo και αναλυτικές πληροφορίες για τα κτήρια μπορούν να βρεθούν στον σύνδεσμο[50].

Σημειώνεται, ότι τα άνωθι κτήρια δεν ανήκουν όλα στην κλιματική ζώνη Β, αλλά επελέγησαν λόγω των χαρακτηριστικών του κελύφους τους και της επιφάνειας αναφοράς τους για τις ανάγκες σύγκρισης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα στο κεφάλαιο 6 προέκυψαν με βάση την θεώρηση ότι βρίσκονταν στην Β κλιματική ζώνη.

Θεωρήθηκε άσκοπο να αναφερθούν αναλυτικά όλα τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τα σενάρια κτιρίων (πλην του κτιρίου αναφοράς που αναφέρονται στο κεφάλαιο 3), καθώς το μόνο κριτήριο επιλογής τους ήταν το βάρος των συστημάτων σε σχέση με την ονομαστική τους ισχύ.

**Πίνακας Π.Α 8 Είσοδοι για την μελέτη του κτιρίου GR.ZoneA.SFH.02.Gen.ReEx.001**

	<b>Υπάρχουσα κατάσταση</b>	<b>Ανακαίνιση</b>
<b>Απαιτούμενη Εγκατεστημένη θερμική ισχύς (KW)</b>	20.24	3.93
<b>Απαιτούμενη Εγκατεστημένη ψυκτική ισχύς (KW)</b>	15.89	3.01
<b>Ετήσια θερμικά φορτία (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	172.16	29.52
<b>Ετήσια ψυκτικά φορτία (KWh/m<sup>2</sup>)</b>	45.150	29.523
<b>Ετήσια φορτία για ZNX (KWh)</b>	666.06	666.06
<b>Βάρος ηλεκτρικού θερμοσίφωνα (kg)</b>	-	39
<b>Πλήθος κλιματιστικών 12000 Btu/hr</b>	-	1
<b>Πλήθος κλιματιστικών 18000 Btu/hr</b>	-	0
<b>Βάρος κλιματιστικού 12000 Btu/hr (kg)</b>	-	41.5
<b>Βάρος κλιματιστικού 18000 Btu/hr (kg)</b>	-	
<b>Ονομαστική ισχύς λέβητας πετρελαίου (KW)</b>	-	10
<b>Βάρος λέβητα πετρελαίου (kg)</b>	-	87
<b>Ονομαστική ισχύς λέβητα φυσικού αερίου (KW)</b>	-	9
<b>Βάρος λέβητα φυσικού αερίου (kg)</b>	-	22.7
<b>Ονομαστική ισχύς αντλίας θερμότητας (KW)</b>	-	9.2
<b>Βάρος αντλίας θερμότητας (kg)</b>	-	86
<b>Βάρος σώματος καλοριφέρ</b>	-	30.22
<b>Πλήθος σωμάτων καλοριφέρ</b>	-	3
<b>Βάρος Fan coil</b>	-	18.4
<b>Πλήθος Fan coils</b>	-	3
<b>Ισχύς λειτουργίας Fan coil (Watt)</b>	-	55

## 10. Παράρτημα Β

Οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοχωρητικότητας για ανακαινίσεις ή για καινούρια κτήρια, σύμφωνα με το υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας ανά κλιματική ζώνη[51].

**Πίνακας Π.Β 1 Μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές θερμοχωρητικότητας**

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	Συντελεστής θερμοπερατότητας [ $W/m^2 \cdot K$ ]			
		ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές)	$k_D$	0,50	0,40	0,38	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	$k_W$	0,60	0,50	0,44	0,33
Δάπεδα χώρων διαμονής σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (pilotis)	$k_{DL}$	0,50	0,40	0,40	0,30
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους	$k_G$	1,50	1,00	0,38	0,35
Διαχωριστικοί τοίχοι σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους	$k_{WE}$	1,50	1,00	0,70	0,50
Ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες μπαλκονιών κα)	$k_F$	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτιρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες	$k_{GF}$	1,80	1,80	1,80	1,80

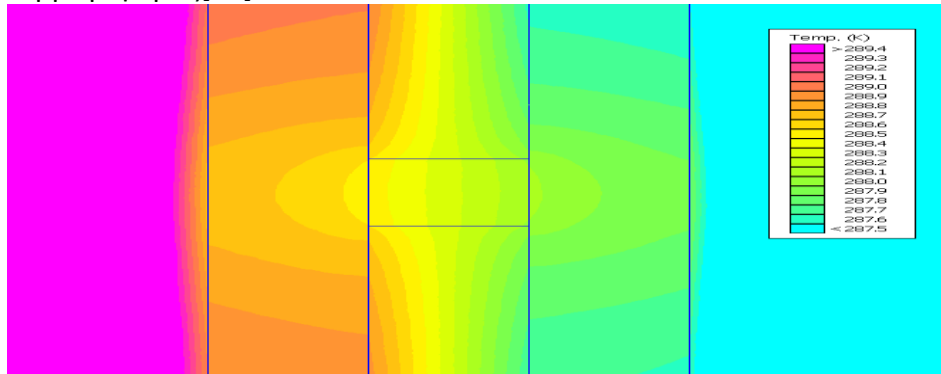
**Πίνακας Π.Β 2 Τυπικές τιμές της συνολικής διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθετη πρόσπτωση, για διάφορους τύπους υαλοπίνακα, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ.**

Τύπος υαλοπίνακα	$g_{gl}$
Μονός υαλοπίνακας	0.77
Διπλός υαλοπίνακας	0.68
Διπλός υαλοπίνακας, με επιλεκτική, χαμηλής ικανότητας εκπομπής επίστρωση	0.60
Διπλό παράθυρό	0.68
Υαλότουβλα	0.27

## 10.1 Φαινόμενο θερμογέφυρας

Ως θερμογέφυρες ορίζονται οι επιφάνειες κελύφους ενός δομικού στοιχείου που παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στην θερμική αγωγιμότητα σε σχέση με τις λοιπές επιφάνειες του στοιχείου. Στα κτήρια, οι θερμογέφυρες συμβάλλουν στην συνολική αύξηση της θερμοδιαπερατότητας (U-Value) του δομικού στοιχείου.

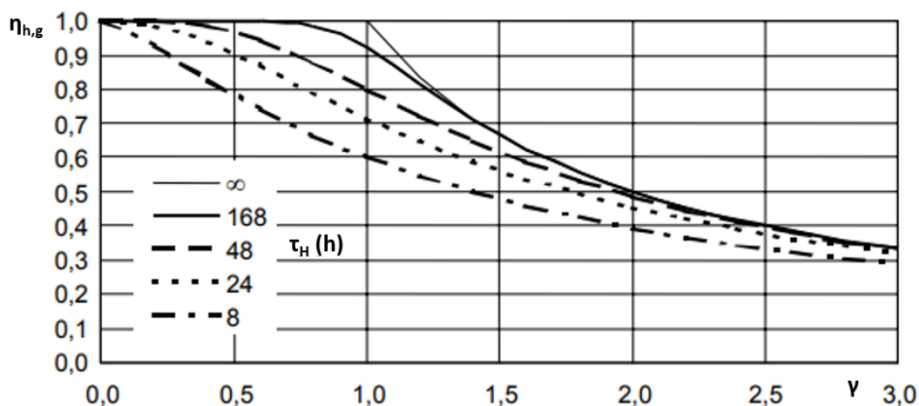
Οι θερμογέφυρες διακρίνονται στις κατασκευαστικές και στις γεωμετρικές. Οι κατασκευαστικές αφορούν σέ επιφάνειες συμβολής υλικών με διαφορετική θερμική αγωγιμότητα. Οι γεωμετρικές οφείλονται στη διαφορά εσωτερικού και εξωτερικού εμβαδού θερμομονωμένης επιφάνειας. Σύνηθες παράδειγμα γεωμετρικής θερμογέφυρας στα κτήρια είναι οι γωνίες συμβολής δομικών στοιχείων, όπου η εσωτερική επιφάνεια είναι μικρότερη από την εξωτερική, με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση της θερμικής αγωγιμότητας και την εμφάνιση θερμογέφυρας[41].



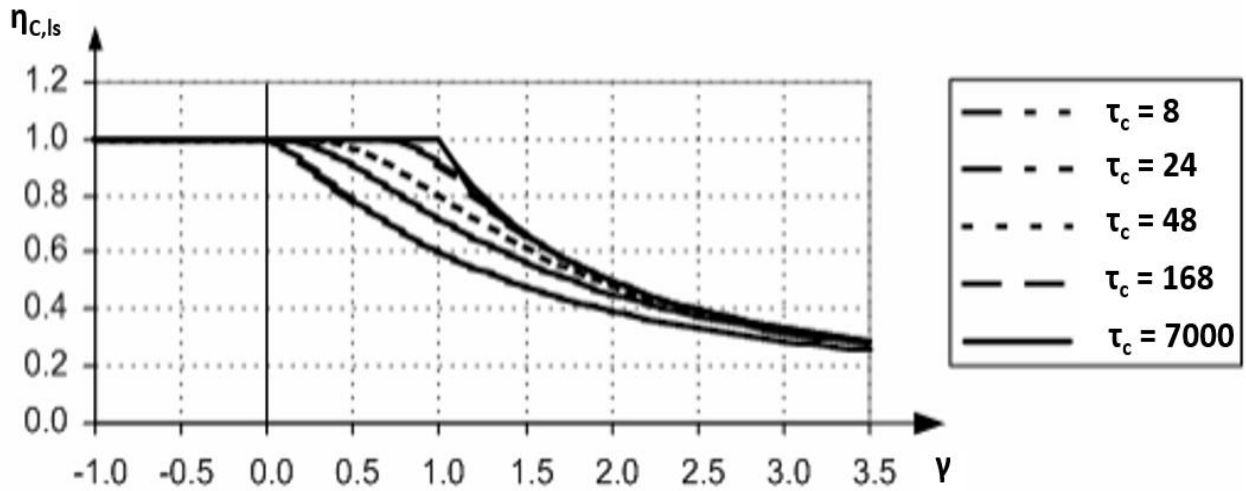
Σχήμα Π.Β 1 Κατανομή θερμότητας σε θερμογέφυρα.

## 10.2 Συντελεστής χρήσης κτιρίου

Ακολουθούν διαγράμματα με τις που λαμβάνει ο συντελεστής χρήσης κτιρίου για τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία.



Σχήμα Π.Β 2 Τιμές συντελεστή χρήσης κτιρίου για τα θερμικά φορτία. Τροποποίηση από ISO 13790[52].



Σχήμα Π.Β 3 Συντελεστής χρήσης κτιρίου για τα ψυκτικά φορτία. Τροποποίηση από ISO 13790[53]

## 11. Παράρτημα Γ

### Κώδικας σε ASCII για τον υπολογισμό της συνολικής ωριαίας ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο.

```
function [Et, Tdb] = WeatherData(lat,long,LSM,orientation,tilt,Rg)
%Calculates the total hourly irradiance on a surface of given orientation and tilt and irradiance
values
%Plus it returns the dry-bulb temperature data
%Must be placed on the same folder with the WeatherData.xlsx file, containing data from the
corresponding *.epw file

%For more info see ASHRAE Fundamentals 2013, Ch. 14

%lat -> latitude [degrees] (Athens = 37.3°)
%long -> longitude [degrees] (Athens = 23.7°)
%LSM -> Local Standard Meridian [degrees] (Athens = 30°)
%orientation -> orientation angle of surface [degrees] (0° is South)
%tilt -> tilt of the surface [degrees] (0° = horizontal)
%Rg -> ground reflectance (see ASHRAE Fundamentals for typical values)

data = xlsread('WeatherData.xlsx','EPW_Data','A2:J8761');
int16 h %hour of year starting from 1 am of 1st Jan
h = 1:8760;

%Latitude of Athens
lat = 37.3 ;

%dry bulb temperature
Tdb = data(:,2);

%direct normal irradiance
DNI = data(:,4);
%diffused horizontal irradiance
DHI = data(:,5);

Et = zeros(8760,1);
for i=1:8760
    n = idivide(h(i),int16(24))+1; %day of year [1-365]
    HoD = rem(h(i),24); %hour of day

    delta = 23.45*sin(2*pi*(284+double(n))/365)*pi/180.; %solar declination
```

```

B = 2*pi*(double(n)-1)/365;
EoT = 2.2918*(0.0075+0.1868*cos(B)-3.2077*sin(B)-1.4615*cos(2*B)-4.089*sin(2*B));
%Equation of Time

fi = lat*pi/180; %latitude in rad

SolarT = double(HoD)+EoT/60.+(long-LSM)/15.; %solar time (not including daylight saving)

omega = pi/180*15*(SolarT-12); %hour angle

beta = tilt*pi/180; %tilt in rad
gamma = orientation*pi/180; %orientation in rad

%cos(theta)
ctheta = sin(delta)*sin(fi)*cos(beta)-
sin(delta)*cos(fi)*sin(beta)*cos(gamma)+cos(delta)*cos(fi)*cos(beta)*cos(omega)+cos(delta)*
sin(fi)*sin(beta)*cos(gamma)*cos(omega)+cos(delta)*sin(beta)*sin(gamma)*sin(omega);
%cos(theta_zenith)=sin(solar_altitude)
ctheta_z = sin(delta)*sin(fi)+cos(delta)*cos(fi)*cos(omega);

%Beam irradiance
if ctheta>0
    Etb = DNI(i)*ctheta;
else
    Etb = 0;
end

%Diffused irradiance
Y = max(0.45,0.55+0.437*ctheta+0.313*ctheta^2);
if tilt<=90
    Etd = DHI(i)*(Y*sin(beta)+cos(beta));
else
    Etd = DHI(i)*Y*sin(beta);
end

%Irradiance due to ground reflection
Etr = (DNI(i)*ctheta_z+DHI(i))*Rg*0.5*(1-cos(beta));
Et(i) = Etb+Etd+Etr;
end

```

## 12. Λίστα Πινάκων

Πίνακας 3.1. Μοντελοποίηση κατασκευής λέβητα πετρελαίου .....	31
Πίνακας 3.2. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια του λέβητα πετρελαίου για το υπό εξέταση κτήριο.....	32
Πίνακας 3.3. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή.....	32
Πίνακας 3.4. Μοντελοποίηση κατασκευής λέβητα φυσικού αερίου .....	33
Πίνακας 3.5. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια του λέβητα φυσικού αερίου για το υπό εξέταση κτήριο.....	33
Πίνακας 3.6. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή.....	33
Πίνακας 3.7. Μοντελοποίηση κατασκευής αντλίας θερμότητας .....	34
Πίνακας 3.8. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια της αντλίας θερμότητας για το υπό εξέταση κτήριο.....	34
Πίνακας 3.9. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή.....	35
Πίνακας 3.10. Μοντελοποίηση κλιματιστικής μονάδας (air conditioner) τύπου single split .....	35
Πίνακας 3.11. Συνολική μάζα υλικών για μία κλιματιστική μονάδα στο υπό εξέταση κτήριο .	36
Πίνακας 3.12. Μοντελοποίηση ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.....	37
Πίνακας 3.13. Συνολική μάζα υλικών και καταναλισκόμενη ενέργεια ηλεκτρικού θερμοσίφωνα για το υπό εξέταση κτήριο.....	38
Πίνακας 3.14. Συνολική κατανάλωση για κατασκευή.....	38
Πίνακας 3.15. Μοντελοποίηση κατασκευής σωμάτων καλοριφέρ .....	38
Πίνακας 3.16. Συνολικές επιπτώσεις για το πλήθος των σωμάτων καλοριφέρ που χρησιμοποιήθηκαν για το υπό εξέταση κτήριο.....	39
Πίνακας 3.17. Μοντελοποίηση κατασκευής σωμάτων Fan Coil. ....	39
Πίνακας 3.18. Συνολικές επιπτώσεις για το πλήθος των σωμάτων καλοριφέρ που χρησιμοποιήθηκαν για το υπό εξέταση κτήριο.....	39
Πίνακας 4.1. Δεδομένα δομικών στοιχείων για το υπό εξέταση κτήριο .....	41
Πίνακας 4.2. Μηνιαία COP για την αντλία θερμότητας του χειμερινούς μήνες .....	53
Πίνακας 4.3. Μηνιαία COP για την αντλία θερμότητας του θερινούς μήνες .....	55



## 13. Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1.1. Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων και μακροβιότερων αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των τελευταίων 2000 ετών. Οι μονάδες είναι μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb). Τροποποίηση από IPCC 2007[5]. .....	13
Σχήμα 1.2. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκπεφρασμένες σε ισοδύναμο CO <sub>2</sub> ανά κλάδο της ανθρώπινης δραστηριότητας για το έτος 2010 [7]. Τροποποίηση από IPCC. ....	15
Σχήμα 1.3. Ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας σε κατοικίες και εμπορικά κτήρια για το έτος 2010 [8]. Τροποποίηση από IPCC .....	15
Σχήμα 1.4. Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας για την Ε.Ε. Τροποποίηση από την έκθεση της commission για το 2017 .....	16
Σχήμα 1.5. Συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας στην ΕΕ για τα έτη 1990-2017. Τροποποίηση από την έκθεση της Commission για το 2017. ....	16
Σχήμα 1.6. Ποσοστιαία κατανομή καυσίμων για θέρμανση χώρων σε κτήρια για Ελλάδα και Ευρώπη για το έτος 2018. Τροποποίηση από τα στοιχεία της Eurostat για το έτος 2018. ....	17
Σχήμα 1.7. Μίγμα ηλεκτροπαραγωγής Ελλάδας για το 2019. Τροποποίηση από την έκθεση “Υπολειπόμενο ενεργειακό μείγμα για το 2019” .....	18
Σχήμα 2.1. Μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής.....	21
Σχήμα 4.1. Βαθμομέρες θέρμανσης (°C·days) για θερμοκρασία αναφοράς T <sub>av</sub> =18°C.....	42
Σχήμα 4.2. Βαθμώρες ψύξης (°C·hours) για θερμοκρασία αναφοράς T <sub>av</sub> =26 °C .....	48
Σχήμα 5.1. Καρτέλα «Οδηγίες Χρήσης» της αναπτυχθείσας εφαρμογής.....	63
Σχήμα 5.2. Καρτέλα «Inputs-Outputs Φορτία» .....	64
Σχήμα 5.3. Καρτέλα «Inputs-Outputs Επιπτώσεις».....	64
Σχήμα 5.4. Καρτέλα «Γραφήματα».....	65
Σχήμα 5.5. Αλλαγή καιρικών δεδομένων .....	67
Σχήμα 5.6. Εισαγωγή καιρικών δεδομένων με διαφορετικό format από την EnergyPlus .....	68
Σχήμα 5.7. Περιβαλλοντική μελέτη με χρήση θερμικών και ψυκτικών φορτίων από άλλο λογισμικό .....	69
Σχήμα 5.8. Παράγων μείωσης θερμικού κέρδους .....	70
Σχήμα 5.9. Παράγων μείωσης ψυκτικών απωλειών .....	70
Σχήμα 5.10. Αλλαγή στην μοντελοποίηση αντλίας θερμότητας ως σύστημα θέρμανσης.....	71
Σχήμα 5.11. Αλλαγή στην μοντελοποίηση αντλίας θερμότητας ως σύστημα ψύξης.....	71
Σχήμα 6.1. Ωριαίες θερμοκρασίες ξηρής σφαίρας Αθήνας για όλο το έτος.....	74
Σχήμα 6.2. Μέση ωριαία ολική ακτινοβολία στο κατακόρυφο επίπεδο στην Αθήνα για κάθε προσανατολισμό σε όλη τη διάρκεια του έτους.....	74
Σχήμα 6.3. Μηνιαία συνολικά θερμικά φορτία για τα καιρικά δεδομένα του KENAK και WeatherData της EnergyPlus στην μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m <sup>2</sup> . .....	75
Σχήμα 6.4. Μηνιαία συνολικά θερμικά φορτία για τα καιρικά δεδομένα του KENAK και WeatherData της EnergyPlus στην μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m <sup>2</sup> για T <sub>av</sub> =16°C. ....	76

Σχήμα 6.5. Ετήσιες θερμικές απώλειες των δομικών στοιχείων, του εξαερισμού, του ζεστού νερού χρήσης και θερμικά κέρδη εσωτερικών φορτίων και ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υαλοπινάκων για την μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m <sup>2</sup> .....	77
Σχήμα 6.6. Μηνιαία συνολικά ψυκτικά φορτία για τα καιρικά δεδομένα του KENAK και WeatherData της EnergyPlus στην μονοκατοικία αναφοράς της εργασίας GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m <sup>2</sup> .....	77
Σχήμα 6.7. Ετήσιες ψυκτικές απώλειες των δομικών στοιχείων, του εξαερισμού, εσωτερικών φορτίων και της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των υαλοπινάκων για την μονοκατοικία αναφοράς GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001 επιφάνειας 293m <sup>2</sup> .....	78
Σχήμα 6.8. Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για την εξόρυξη των πρώτων υλών και την κατασκευή των συστημάτων.....	79
Σχήμα 6.9. Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για την φάση λειτουργίας των συστημάτων.....	80
Σχήμα 6.10. Σύγκριση επιπτώσεων των κανονικοποιημένων συστημάτων στη φάση λειτουργίας, ως προς τις εξυπηρετούμενες θερμικές KWh του εκάστοτε συστήματος .....	81
Σχήμα 6.11. Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για τις συνολικές επιπτώσεις των συστημάτων.....	82
Σχήμα 6.12. Σύγκριση συνολικών επιπτώσεων των κανονικοποιημένων συστημάτων ως προς τις εξυπηρετούμενες θερμικές KWh του εκάστοτε συστήματος.....	83
Σχήμα 6.13. Σύγκριση των εξεταζόμενων σεναρίων για την οικία GR.ZoneB.SFH.02.Gen.ReEx.001.....	83
Σχήμα 6.14. Ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία για τα εξεταζόμενα κτήρια .....	85
Σχήμα 6.15. Κλιματική αλλαγή σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια .....	86
Σχήμα 6.16. Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια .....	87
Σχήμα 6.17. Εξάντληση ορυκτών πόρων, σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια .....	87
Σχήμα 6.18. Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία, σύγκριση σεναρίων για τα εξεταζόμενα κτήρια.....	88
Σχήμα 6.19. Ετήσια θερμικά και ψυκτικά φορτία των κτιρίων για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων.....	89
Σχήμα 6.20. Κλιματική Αλλαγή, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων .....	89
Σχήμα 6.21. Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων.....	90
Σχήμα 6.22. Εξάντληση ορυκτών πόρων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων.....	90
Σχήμα 6.23. Τοξικότητα για την ανθρώπινη υγεία, σύγκριση στα εξεταζόμενα κτήρια για συντηρητικές εκτιμήσεις φορτίων.....	91
Σχήμα 6.24. Κλιματική Αλλαγή, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο. ....	91

Σχήμα 6.25. Εξάντληση πόρων μεταλλευμάτων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο. ....	92
Σχήμα 6.26. Εξάντληση ορυκτών πόρων, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο. ....	92
Σχήμα 6.27. Τοξικότητα, σύγκριση σεναρίων στα εξεταζόμενα κτήρια με την θεώρηση ότι το Ελληνικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ήταν κοινό με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο. ....	93
Σχήμα 8.1. Σύγκριση ετήσιων θερμικών φορτίων μεταξύ υπολογιστικού εργαλείου και Tabula για το κτίριο αναφοράς .....	96
Σχήμα 8.2. Σύγκριση ετήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο για τους τέσσερις προσανατολισμούς, μεταξύ υπολογιστικού εργαλείου και Tabula. ....	98
Σχήμα 8.3. Σύγκριση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων για διάφορες τιμές του συντελεστή λ (αύξησης-μείωσης των φορτίων) στο κτίριο αναφοράς. ....	99
Σχήμα 8.4. Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων για διάφορες τιμές του συντελεστή λ (αύξησης-μείωσης των φορτίων) στο κτίριο αναφοράς. ....	99
Σχήμα 8.5. Σύγκριση των εξεταζόμενων σεναρίων για διάφορες τιμές του συντελεστή λ (αύξησης-μείωσης των φορτίων) στο κτίριο αναφοράς. ....	100

## 14. Βιβλιογραφία

1. *International Energy Outlook 2017*. 2017; Available from: <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/weo-2017-en>.
2. Meyer, W.B., B.L.J.A.r.o.e. Turner, and systematics, *Human population growth and global land-use/cover change*. 1992. **23**(1): p. 39-61.
3. Boden, T.A., G. Marland, and R.J.J.C.d.i.a.c. Andres, Oak ridge national laboratory, US department of energy, Oak Ridge, Tenn., USA doi, *Global, regional, and national fossil-fuel CO2 emissions*. 2009. **10**.
4. Cook, J., et al., *Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming*. 2016. **11**(4): p. 048002.
5. (2007), I., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, ISBN 978 0521 88009-1.
6. *International Energy Outlook*. 2014: p. 681-683.
7. *International Energy Outlook*, p. 47. 2014; Available from: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf).
8. *International Energy Outlook*. 2014; 681]. Available from: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter9.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter9.pdf).
9. Eurostat. *Energy Consumption in Households*. 2018; Available from: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_consumption\\_in\\_households](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households).
10. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΓΓΥΗΣΕΩΝ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ, ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ 2019.
11. Ενέργειας, Υ.Π.κ., *Μακροχρόνια στρατηγική για το 2050*. p. 4-6.
12. Ενέργειας, Υ.Π.κ., *Μακροχρόνια στρατηγική για το 2050*. p. 27.
13. Ενέργειας, Υ.Π.κ., *Μακροχρόνια στρατηγική για το 2050*. p. 26-29.
14. *International Organization for Standardization, ISO:14040, in Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. 2006: Geneva.
15. "Life Cycle Assessment (LCA)". EPA.gov. Washington, DC. EPA National Risk Management Research Laboratory (NRMRL). Available from: <https://web.archive.org/web/20120306122239/http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>.
16. *Matthews, H. Scott, Chris T. Hendrickson, and Deanna H. Matthews (2014). Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter*. p. 83–95.
17. *Palsson, Ann-Christin & Ellen Riise (31 August 2011). "Defining the goal and scope of the LCA study"*.
18. *Goedkoop, M., R. Heijungs, M. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs, and R. Van Zelm, Recipe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level Report I: Characterisation. First ed. 2013. 126. p.*

19. National Institute for Public Health and the Environment. Available from: <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>.
20. *Life cycle assessment and economic analysis of residential air conditioning in Saudi Arabia*.
21. Almutairi, K., et al., *Life cycle assessment and economic analysis of residential air conditioning in Saudi Arabia*. 2015. **102**: p. 370-379.
22. Ecoinvent. *How do I cite ecoinvent?* ; Available from: <https://www.ecoinvent.org/support/faqs/first-time-users/how-do-i-cite-ecoinvent.html>.
23. Ecoinvent, "Cut-off" System Model.
24. Niels Jungbluth, *ESU-services, oil boiler production, 10kW, CH (Switzerland), 3.5 - Allocation, cut-off*.
25. Worcester Greenstar Regular Oil Boiler. Available from: <https://www.plumbnation.co.uk/site/worcester-greenstar-danesmoor-utility-25-32-regular-boiler-oil-erp/>.
26. Greening, B. and A.J.E. Azapagic, *Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK*. 2012. **39**(1): p. 205-217.
27. Worcester Bosch GreenStar Regular Gas Boiler.
28. *Air/Water Multi-function Heat pump 30kW*. Available from: <https://www.flexpro-industry.com/e-commerce/en/multi-fonctions-heat-pump/217-multi-function-heat-pump-30kw.html>.
29. Mitsubishi Electric MSZ/MUZ-AP35VG. Available from: <https://www.bestprice.gr/item/2155250718/mitsubishi-electric-mszmuz-ap35vg.html>.
30. Mitsubishi Electric HR MSZ/MUZ-HR50VF.
31. Niels Jungbluth, *ESU-services, hot water tank production, 600l, CH (Switzerland), 3.5 - Allocation, cut-off*.
32. Interplast, *Domestic Hot Water & Buffer Tanks*. Available from: [https://www.interplast.gr/sites/default/files/tanks\\_tech\\_specs\\_en\\_v3a.pdf](https://www.interplast.gr/sites/default/files/tanks_tech_specs_en_v3a.pdf).
33. Niels Jungbluth, *ESU-services, panel radiator 2.1 KW, CH (Switzerland), 3.5 - Allocation, cut-off*.
34. Niels Jungbluth, *ESU-services, fan coil 3.29 KWc, CH (Switzerland), 3.5 - Allocation, cut-off*.
35. TABULA Webtool. Available from: <http://webtool.building-typology.eu/?c=gr#bd>.
36. *Tabula common calculation method*. Available from: [https://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA\\_CommonCalculationMethod.pdf](https://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_CommonCalculationMethod.pdf).
37. T.E.E. KENAK. 2012; Available from: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf>.
38. EnergyPlus, *Weather Data - Athens 167160 (IWEC)*.
39. 13790:2006, I.F., *Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*. p. 19-21.

40. Ashrae. *Calculating the Impact of Ground Contact on Residential Heat Loss*. Available from: [https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2007%20B10%20papers/092\\_Baylon.pdf](https://web.ornl.gov/sci/buildings/conf-archive/2007%20B10%20papers/092_Baylon.pdf).
41. wikipedia.org, *Thermal bridging*.
42. T.E.E, 20701-1/2017. p. 38-42.
43. 13790:2006, I.F., *Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*. p. 55-59.
44. *Reversible Air to Water Heat Pump*. Available from: [https://ahi-carrier.gr/wp-content/uploads/2017/10/PSD-30AW\\_LR-2.pdf](https://ahi-carrier.gr/wp-content/uploads/2017/10/PSD-30AW_LR-2.pdf).
45. Ecoinvent, *Market Groups*.
46. Ecoinvent, *Shortcut {GLO}*.
47. *2013 ASHRAE Handbook -- Fundamentals SI Edition, Chapter 14*. p. 14.10.
48. Feng, W., et al., *Influence of occupancy-oriented interior cooling load on building cooling load*. 2016.
49. Panato, V.H., M.P. Porto, and E.P. Bandarra Filho, *Experimental performance of an R-22-based refrigeration system for use with R-1270, R-438A, R-404A and R-134a*. *International Journal of Refrigeration*, 2017. 83: p. 108-117.
50. *Tabula buildings Greece*. Available from: <https://episcopes.eu/building-typology/country/gr/>.
51. Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας, *Μέγιστος επιτρεπόμενος Συντελεστής Θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων, για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα*. Available from: <http://www.opengov.gr/minenv/?p=184>.
52. 13790, I., *Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*. 2006: p. 56.
53. 13790, I., *Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling*. 2006: p. 58.