



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Μοντελοποίηση του Ενεργειακού και Οικονομικού
Αντικτύπου των Αντλιών Θερμότητας στον Οικιακό
Τομέα στην Ελλάδα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κατωπόδης

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μοντελοποίηση του Ενεργειακού και Οικονομικού Αντικτύπου των Αντλιών Θερμότητας στον Οικιακό Τομέα στην Ελλάδα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κατωπόδης

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 3^η Ιουλίου 2025.

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης

Επίκουρος Καθηγητής
ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2025

.....

Ιωάννης Κατωπόδης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΤΩΠΟΔΗΣ, 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα σημαντικό κομμάτι της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα προορίζεται για τον οικιακό τομέα και ιδίως για την θέρμανση των νοικοκυριών και την κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (ZNX). Τα τελευταία χρόνια, η ενεργειακή κρίση έχει αυξήσει σημαντικά το ενεργειακό κόστος των νοικοκυριών, έχοντας επιδεινώσει το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας και έχοντας οδηγήσει στην μείωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων της χώρας, αλλά και όλου του κόσμου. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η εύρεση τρόπων μείωσης τόσο του κόστους της ενέργειας, όσο και της πιο αποδοτικής κάλυψης των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών. Η αντικατάσταση των λιγότερο αποδοτικών υφιστάμενων μέσων θέρμανσης βασισμένων στα ορυκτά καύσιμα με αντλίες θερμότητας έχει προταθεί ως μία δυνητική λύση τόσο για την μετάβαση του οικιακού τομέα σε πιο καθαρές μορφές ενέργειας όσο και για τη μείωση του ενεργειακού κόστους. Ωστόσο, το υψηλό κόστος που απαιτείται για την προμήθεια και εγκατάσταση των αντλιών θερμότητας καθιστά αναγκαία την ανάλυση της βιωσιμότητας τέτοιων επενδύσεων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοιώσεων του οικιακού τομέα της Ελλάδας με υψηλή εκπροσώπηση διαφορετικών κατοικιών, και η πραγματοποίηση σεναρίων εγκατάστασης αντλιών θερμότητας, προκειμένου να μελετηθούν οι ενεργειακές και οικονομικές επιπτώσεις σχετικών επενδύσεων στη χώρα.

Αρχικά, μοντελοποιείται ο οικιακός τομέας της Ελλάδας με την διαμόρφωση 18 πρότυπων κατοικιών με χρήση του εργαλείου προσομοίωσης EQuest. Έπειτα, υλοποιούνται 36 προσομοιώσεις με σκοπό τον υπολογισμό των καταναλώσεων της κάθε πρότυπης κατοικίας, τόσο στα πλαίσια ενός πρώτου σεναρίου αναφοράς με βάση τα υφιστάμενα μέσα θέρμανσης, όσο και στα πλαίσια ενός δεύτερου σεναρίου υψηλής διείσδυσης αντλιών θερμότητας. Με βάση την μοντελοποίηση αυτή προκύπτει ότι, από ενεργειακής άποψης, μπορεί να επιτευχθεί μία σημαντική μείωση στις ενεργειακές ανάγκες των νοικοκυριών για θέρμανση και ZNX κατά περίπου 67%. Έπειτα, διερευνάται η διαφοροποίηση της επίδρασης σημαντικών μεταβλητών όπως η κλιματική ζώνη, η χρονολογία κατασκευής, ο τύπος κατοικίας και το υφιστάμενο μέσο θέρμανσης, με σκοπό την αναγνώρισή του βαθμού της αποδοτικότητας των αντλιών θερμότητας σε διαφορετικές κατοικίες. Στην συνέχεια γίνεται μία οικονομική ερμηνεία των παραπάνω αποτελεσμάτων από την οποία προκύπτει ότι η εξοικονόμηση που υπολογίστηκε μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ενεργειακού κόστους της τάξης των 4,2 δισεκατομμυρίων ευρώ ετησίως για το σύνολο της Ελλάδας. Τα κέρδη αυτά είναι μεσοσταθμικά συγκρίσιμα με τα κόστη επένδυσης που απαιτούνται, αν και συνοδεύονται από πολλαπλές αβεβαιότητες που καθιστούν δύσκολη μια σαφή αξιολόγηση βιωσιμότητας για το σύνολο της χώρας. Λαμβάνοντας υπόψιν πρόσθετα ποσοτικά και ποιοτικά οφέλη που επηρεάζουν την βιωσιμότητα μίας τέτοιας στρατηγικής όπως η μείωση εκπομπών και η καταπολέμηση της ενεργειακής φτώχειας, καταλήγουμε στο γεγονός ότι η υλοποίηση της έχει πολλά οφέλη να προσφέρει τόσο για τον τελικό καταναλωτή, όσο και για την Ελλάδα, σε ενεργειακό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Τέλος, παρατίθενται προτάσεις για υποστήριξη πολιτικών που μπορούν να βοηθήσουν στην περαιτέρω διείσδυση της τεχνολογίας αυτής και την παρότρυνση των πολιτών να ακολουθήσουν αυτήν την μετάβαση προς ένα πιο ενεργειακά και περιβαλλοντικά φιλικό μέλλον.

Λέξεις Κλειδιά: εξοικονόμηση ενέργειας, αντλίες θερμότητας, προσομοίωση, μοντελοποίηση, eQuest, εκπομπές ρύπων, οικιακός τομέας, Ελλάδα

ABSTRACT

A significant part of the annual energy consumption in Greece is destined for the domestic sector, in particular for household heating and hot water consumption. In recent years, the energy crisis has significantly increased the energy costs of households, having exacerbated the phenomenon of energy poverty and led to a decrease in the standard of living of the country's inhabitants and the world. It is therefore necessary to find ways of reducing both energy costs and meeting consumers' energy needs more efficiently. The replacement of less efficient existing fossil fuel-based heating systems with heat pumps has been proposed as a potential solution both for the transition of the domestic sector to cleaner forms of energy and for reducing energy costs. However, the high costs required for the supply and installation of heat pumps make it necessary to analyze the viability of such investments. The aim of this thesis is to develop a simulation model of the residential sector in Greece with a high representation of different residential buildings, and to carry out scenarios of heat pump installation in order to study the energy and economic impacts of related investments in the country.

Initially, the residential sector of Greece is modelled with 18 model homes using the EQuest simulation tool. Then, 36 simulations are implemented to calculate the consumption of each model dwelling, both in the context of a first reference scenario based on existing heating means and in the context of a second scenario with high penetration of heat pumps. Based on this modelling it can be concluded that, from an energy point of view, a significant reduction in the energy needs of households for heating and DHW of about 67% can be achieved. Then, the variation of the effect of important variables such as climate zone, construction date, dwelling type and existing heating medium is investigated in order to identify the degree of efficiency of heat pumps in different dwellings. An economic interpretation of the above results is then made, which shows that the savings calculated can lead to a reduction in energy costs of 4.2 billion euros per year for the whole of Greece. These gains are, on average, comparable to the investment costs required, although they are accompanied by multiple uncertainties that make a clear sustainability assessment for the country as a whole, difficult. Considering additional quantitative and qualitative benefits that affect the sustainability of such a strategy, such as emission reduction and the fight against energy poverty, we conclude that its implementation has many benefits to offer both for the final consumer and for Greece, at the energy, economic and social level. Finally, proposals are being made to support policies that can help further the penetration of this technology and encourage citizens to follow this transition towards a more energy and environmentally friendly future.

Key words: energy saving, heat pumps, simulation, modeling, eQuest, pollutant emissions, domestic sector, Greece

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κ. Ευάγγελο Μαρινάκη και τον κ. Κωνσταντίνο Κοασίδη για την στήριξη και την καθοδήγηση τους κατά την διάρκεια της εκπόνησης μιας διπλωματικής εργασίας με ένα τόσο επίκαιρο και σημαντικό θέμα για την σημερινή πραγματικότητα της Ελλάδας.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω όλους τους Καθηγητές μου, για την βοήθεια και τα εφόδια που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1 Αντικείμενο – Σκοπός Εργασίας	15
1.2 Φάσεις Υλοποίησης	17
1.3 Οργάνωση Τόμου	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	19
2.1 Ενεργειακή Κατανάλωση στα Κτήρια του Οικιακού Τομέα.....	19
2.1.1 Γενικές Πληροφορίες.....	19
2.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση	20
2.1.3 Κατανομή κατανάλωσης σε επιμέρους χρήσεις.....	21
2.1.4 Ιστορική εξέλιξη και τάσεις στην Ελλάδα	22
2.2 Εισαγωγή στις Αντλίες Θερμότητας	23
2.2.1 Αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας.....	24
2.2.2 Τύποι αντλιών θερμότητας	25
2.2.2.1 Αντλίες Θερμότητας Νερού (ΝΑΘ).....	25
2.2.2.2 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (ΓΑΘ)	27
2.2.2.3 Αερόθερμες Αντλίες Θερμότητας (ΑΑΘ).....	29
2.2.3 Κριτήρια επιλογής βέλτιστης λύσης	31
2.3 Παρουσίαση Στατιστικών Στοιχείων Στην Ελλάδα και την Ευρώπη.	32
2.3.1 Εξέλιξη των αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα.....	32
2.3.2 Σύγκριση με την Ευρώπη	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ	37
3.1 Προσεγγίσεις Μοντελοποίησης	37
3.1.1 Ορισμός μοντελοποίησης Κατανάλωσης Ενέργειας.....	37
3.1.2 Μέθοδοι μοντελοποίησης	38
3.1.3 Παραδείγματα Μοντελοποίησης Ενέργειας στην Ελλάδα.	39
3.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση Βασικών Εργαλείων Μοντελοποίησης	40
3.2.1 HiSim.....	41
3.2.2 TRANSYS (Transient System Simulation Tool)	42
3.2.3 EnergyPlus.....	43

3.2.4 EQuest	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	
ΑΝΤΑΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ	45
4.1 Διαδικασία μοντελοποίησης μέσω του EQuest.....	45
4.2 Επιλογή Δεδομένων και Παράμετροι	46
4.3 Διαδικασία Δημιουργίας Πρότυπων Κατοικιών	48
4.4 Οικονομική έρευνα κόστους αερόθερμης αντλίας θερμότητας	51
4.5 Χρήση Επιλεγμένου Μοντέλου	52
4.6 Σταθερές Υποθέσεις Εργασίας και Παραδοχές	61
4.7 Περιορισμοί και υποθέσεις.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ.....	65
5.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	65
5.1.1 Αποτελέσματα Υφιστάμενης Εγκατάστασης	65
5.1.2 Αποτελέσματα Εφαρμογής Μοντέλου	67
5.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	68
5.2 Σύγκριση Σεναρίων	69
5.2.1 Σύγκριση με βάση την Κλιματική Ζώνη	69
5.2.2 Σύγκριση με βάση την Περίοδο Κατασκευής.....	71
5.2.3 Σύγκριση με βάση τον Τύπο του Κτηρίου	72
5.2.4 Σύγκριση με βάση το Υφιστάμενο Μέσο Θέρμανσης.....	74
5.3 Ανάλυση εκπομπών CO ₂	76
5.4 Οικονομική Ερμηνεία	77
5.5 Σχολιασμός και συζήτηση σχετικά με την βιωσιμότητα της επένδυσης....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ	
ΕΡΕΥΝΑ.....	81
6.1 Συμπεράσματα	81
6.1.1 Εξαγωγή συμπερασμάτων	81
6.2.2 Υποστήριξη Πολιτικών	83
6.2 Μελλοντική Έρευνα	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κατανομή ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα	19
Εικόνα 2: Κατανομή ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας βάσει χρήσης	20
Εικόνα 3: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση της Ελλάδας.....	22
Εικόνα 4: Αναπαράσταση λειτουργίας ψυκτικού κύκλου.....	24
Εικόνα 5: Τυπική Εγκατάσταση ΝΑΘ.....	26
Εικόνα 6: Τυπική Εγκατάσταση ΓΑΘ	28
Εικόνα 7: Τυπική Εγκατάσταση ΑΑΘ	30
Εικόνα 8: Ετήσιος αριθμός εγκαταστάσεων αντλιών θερμότητας στην Ευρώπη	33
Εικόνα 9: Διάγραμμα βημάτων εκπόνησης της εργασίας	46
Εικόνα 10: Εισαγωγή βασικών στοιχείων κτηρίου	53
Εικόνα 11: Εισαγωγή βασικών στοιχείων κελύφους κτηρίου	54
Εικόνα 12: Προφίλ χρήσης νοικοκυριού.....	55
Εικόνα 13: Παράδειγμα τρισδιάστατης απεικόνισης.....	56
Εικόνα 14: Εισαγωγή στοιχείων μέσου θέρμανσης	57
Εικόνα 15: Ρυθμίσεις θερμοκρασίας και θερμοστάτη	58
Εικόνα 16: Επιλογές για αντλία θερμότητας	58
Εικόνα 17: Επιλογή χαρακτηριστικών αντλίας θερμότητας	59
Εικόνα 18: Αναφορά που εξάγεται από το μοντέλο μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης	60
Εικόνα 19: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Κλιματικής Ζώνης.....	70
Εικόνα 20: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Χρονολογίας Κατασκευής	72
Εικόνα 21: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Τύπου Κατοικίας.....	73
Εικόνα 22: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Μέσου Θέρμανσης	75

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κατανομή ενεργειακής κατανάλωσης νοικοκυριών βάσει χρήσης.....	21
Πίνακας 2: Ενδεικτική απόδοση και κόστος ΝΑΘ	25
Πίνακας 3: Ενδεικτική απόδοση και κόστος ΓΑΘ	28
Πίνακας 4: Ενδεικτική απόδοση και κόστος ΑΑΘ	30
Πίνακας 5: Σύγκριση της Ελλάδας με χώρες της Ευρώπης σχετικά με την εγκατάσταση Αντλιών Θερμότητας το έτος 2022	34
Πίνακας 6: Συγκεντρωτικά κόστη εγκατάστασης αντλίας θερμότητας ανά είδος στην Ευρώπη	35
Πίνακας 7: Λίστα πρότυπων κατοικιών με τα κριτήρια διαχωρισμού τους.....	49
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά κατοικιών.....	50
Πίνακας 9: Ανάλυση κόστους εγκατάστασης αντλίας θερμότητας	51
Πίνακας 10: Κατανάλωση του οικιακού τομέα με υφιστάμενη εγκατάσταση.....	65
Πίνακας 11: Κατανάλωση του οικιακού τομέα με την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας.....	67

Πίνακας 12: Διαφορά στην κατανάλωση μεταξύ των σεναρίων	68
Πίνακας 13: Κατανάλωση βάση κλιματικής ζώνης	70
Πίνακας 14: Κατανάλωση βάση περιόδου κατασκευής	71
Πίνακας 15: Κατανάλωση βάση τύπου κατοικίας	73
Πίνακας 16: Κατανάλωση βάση μέσου θέρμανσης	74
Πίνακας 17: Εκπομπές ρύπων ανά μέσο θέρμανσης.....	76
Πίνακας 18: Εκπομπές ρύπων Ηλ. Ρεύματος και Ποσοστό Μείωσης.....	76
Πίνακας 19: Κόστη και κέρδος προτεινόμενης λύσης	77
Πίνακας 20: Επιστροφή επένδυσης σε διαφορετικές περιπτώσεις	79
Πίνακας 21: Κόστος επένδυσης	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο – Σκοπός Εργασίας

Η ενεργειακή κατανάλωση είναι ένα θέμα που απασχολεί πιο έντονα από ποτέ τη σύγχρονη κοινωνία, καθώς συνδέεται άμεσα τόσο με την οικονομική σταθερότητα, όσο και με τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο πλανήτης. Τα τελευταία χρόνια, οι συνεχείς γεωπολιτικές εντάσεις, η εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, έχουν οδηγήσει σε μια παρατεταμένη ενεργειακή κρίση, η οποία επηρεάζει την καθημερινότητα πολιτών και επιχειρήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αβεβαιότητα στις τιμές ενέργειας, η ενεργειακή φτώχεια και η ανάγκη για απανθρακοποίηση του ενεργειακού μείγματος, έχουν αναδείξει την ενεργειακή απόδοση και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως στρατηγικές προτεραιότητες.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, από το 1998, σε διάστημα είκοσι πέντε ετών, έχει παρατηρηθεί αύξηση της μέσης κατανάλωσης ενέργειας ανά άτομο κατά 21% (OWID, 2023). Αυτή η εξέλιξη έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις στην συνολική κατανάλωση αν υπολογίσουμε και την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού. Στην ίδια περίπου περίοδο, (1998-2022) οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) έχουν σημειώσει αύξηση της τάξεως του 56% παρά τις όποιες προσπάθειες μείωσης της. (Worldometers, 2023). Στο πλαίσιο αυτό, η μείωση της κατανάλωσης και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος αλλά και η υιοθέτηση πιο αποδοτικών τεχνολογιών, όπως είναι οι αντλίες θερμότητας, καθίστανται πλέον αναγκαίες και αποτελούν μονόδρομο για μια βιώσιμη μετάβαση προς ένα πιο ανθεκτικό και περιβαλλοντικά υπεύθυνο ενεργειακό μέλλον. Η μελέτη του δυναμικού εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ευρείας χρήσης τέτοιων συστημάτων είναι κρίσιμη για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, έχει δύο κύριους στόχους. Ο πρώτος είναι να διερευνήσει την ενεργειακή κατανάλωση του οικιακού τομέα της Ελλάδας με την χρήση των κυρίαρχων μέχρι πρότινος μέσων θέρμανσης, όπως είναι το πετρέλαιο (λέβητας), το φυσικό αέριο (λέβητας) και ο ηλεκτρισμός (A/C), και να μοντελοποιήσει την συμπεριφορά αυτή ώστε να δημιουργηθεί μια αξιόπιστη εικόνα που αντιπροσωπεύει το σύνολο των νοικοκυριών σε ολόκληρη την χώρα. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να βοηθήσουν στην βαθύτερη κατανόηση των ενεργειακών

συμπεριφορών των νοικοκυριών και κατά συνέπεια στην μείωση των ενεργειακών απωλειών.

Ο κύριος στόχος ωστόσο, είναι να εκτιμήσει την εξοικονόμηση που θα μπορούσε να προκύψει στην περίπτωση που τα ανωτέρω μέσα θέρμανσης αντικατασταθούν εξολοκλήρου από τις αντλίες θερμότητας και να μελετήσει τα ενεργειακά, αλλά και οικονομικά οφέλη που απορρέουν από την αλλαγή αυτή, λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιαιτερότητες του κάθε νοικοκυριού που προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά του (γεωγραφική θέση, κλιματικές μεταβολές, οικοδομικά χαρακτηριστικά, κτλ.).

Η εργασία επιδιώκει να προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα για την υιοθέτηση πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στον οικιακό τομέα, βασισμένες στην συμβολή της τεχνολογίας των αντλιών θερμότητας με απώτερο σκοπό την μείωση των ενεργειακών απωλειών και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της χώρας. Επίσης, αποσκοπεί στην μείωση του κόστους για την θέρμανση στα νοικοκυριά, που αποτελεί τεράστιο επιβαρυντικό παράγοντα στις ζωές των ανθρώπων με την υφιστάμενη οικονομική κατάσταση.

Αφού πρώτα συλλέχτηκαν τα απαραίτητα δεδομένα και συγκεντρώσαμε επαρκείς πληροφορίες, προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο που να αντιπροσωπεύει το σύνολο του οικιακού τομέα της χώρας, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια, ώστε να μπορούμε να εγγυηθούμε για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Έπειτα χρησιμοποιήσαμε ένα εργαλείο προσομοίωσης ώστε να μοντελοποιήσουμε την ενεργειακή κατανάλωση των νοικοκυριών της χώρας με την υφιστάμενη κατάσταση των νοικοκυριών και να εξάγουμε αριθμητικά αποτελέσματα. Αφού επαναλάβουμε τις προσομοιώσεις, με αντλίες θερμότητας στην θέση των προηγούμενων μέσων θέρμανσης, μπορέσαμε να υπολογίσουμε την ποσοστιαία αλλά και την απόλυτη ενεργειακή εξοικονόμηση καθώς και την οικονομική ωφέλεια που προσφέρει η υπό μελέτη εφαρμογή.

Η μεθοδολογία αυτή αναπτύχθηκε με σκοπό την εξαγωγή ρεαλιστικών αποτελεσμάτων που αργότερα μπορούν να αποτελέσουν την βάση για πιο εξειδικευμένες μελέτες και να βοηθήσει στην περεταίρω προώθηση της λειτουργίας της ανερχόμενης αυτής τεχνολογίας.

1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Η στρατηγική που ακολουθήθηκε βασίζεται σε μια πολυεπίπεδη προσέγγιση.

Πρώτα έρχεται η συλλογή δεδομένων που θα βοηθήσουν στην δημιουργία πρότυπων κατοικιών που μπορούν να αντιπροσωπεύσουν το σύνολο του οικιακού τομέα της χώρας. Για αυτά χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα στατιστικά από προηγούμενες εργασίες και έρευνες της σχολής, και επίσης αποτελέσματα ερευνών από οργανισμούς όπως η ΕΛΣΤΑΤ, το ΥΠΕΝ ή η Eurostat.

Ακολούθως γίνεται η χρήση ενός εργαλείου ώστε να μοντελοποιηθεί η ενεργειακή κατανάλωση του οικιακού τομέα με την υφιστάμενη κατάσταση των νοικοκυριών και να εξάγουμε αριθμητικά αποτελέσματα. Έπειτα οι προσομοιώσεις επαναλαμβάνονται αλλά την θέση των μέσων θέρμανσης έχουν πάρει η αντλίες θερμότητας και ακολουθεί η σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων.

Στην συνέχεια, έχοντας τα τελευταία δεδομένα προχωράμε στην εξαγωγή συμπερασμάτων, και την αξιολόγηση της βιωσιμότητας της προτεινόμενης επέμβασης τόσο από ενεργειακής όσο και από οικονομικής άποψης. Τέλος καταλήγουμε σε προτάσεις για έρευνα και εφαρμογή.

1.3 Οργάνωση Τόμου

Το **Κεφάλαιο 2** αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάζεται να έχει ο αναγνώστης ώστε να μπορεί να κατανοήσει την διαδικασία που ακολουθήθηκε με ευκολία καθώς και τον λόγο για τον συντάχθηκε αυτή η εργασία. Περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση του οικιακού τομέα της Ελλάδας, τα είδη αντλιών θερμότητας και τον τρόπο λειτουργίας τους, καθώς και μερικά στατιστικά στοιχεία για την Ελλάδα και την Ευρώπη πάνω στην συγκεκριμένη θεματολογία.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρατίθενται βιβλιογραφικά στοιχεία σχετικά με την διαδικασία της μοντελοποίησης και τους τρόπους εφαρμογής της. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα εργαλεία μοντελοποίησης που εξετάστηκαν μέχρι να γίνει η επιλογή και τέλος αναφέρονται μελέτες ή έρευνες στις οποίες αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται το εργαλείο που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση του οικιακού τομέα. Αφού αναλυθεί λεπτομερώς η διαδικασία με την οποία συλλέχθηκαν τα δεδομένα και ο τρόπος με τον οποίον χρησιμοποιήθηκαν,

ακολουθεί η επεξήγηση της λειτουργίας του μοντέλου με την χρήση εικόνων από την γραφική διεπαφή του για την βαρύτερη κατανόηση του. Τέλος αναγράφονται οι παραδοχές, οι ελλείψεις και οι υποθέσεις που έγιναν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Στο [Κεφάλαιο 5](#) γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων τόσο σε αριθμητικό επίπεδο όσο και σε ποσοστιαίες μεταβολές με χρήση πινάκων και διαγραμμάτων. Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήγαγε το εργαλείο μοντελοποίησης σχετικά με την συνολική κατανάλωση πριν και μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης μετάβασης, καθώς και των αλλαγών οι οποίες προέκυψαν από αυτήν. Έπειτα τα νοικοκυριά κατηγοριοποιούνται με βάση κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους, η επίδραση του κάθε ενός από τα οποία εξετάζεται ξεχωριστά. Στην συνέχεια, γίνεται μία ανάλυση των εκπομπών CO₂ και ακολουθεί μία ερμηνεία των αποτελεσμάτων από την οικονομική σκοπιά. Τέλος καταλήγουμε σε σχολιασμό και συζήτηση σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα της λύσης που προτείνεται.

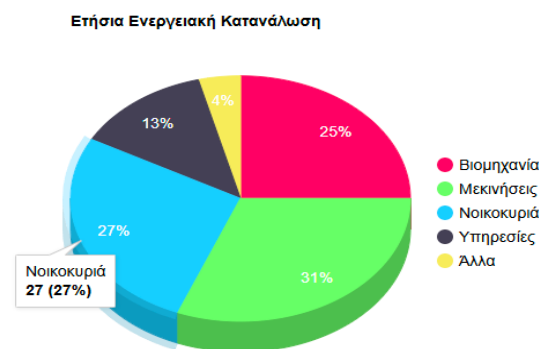
Στο [Κεφάλαιο 6](#) αρχικά παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα που έχουν προκύψει, τόσο από την διαδικασία που ακολουθήσαμε για να δημιουργήσουμε το μοντέλο, όσο και από τα δεδομένα που εξήχθησαν από την μοντελοποίηση. Στην συνέχεια, ακολουθεί μια οικονομική αξιολόγηση της προτεινόμενης στρατηγικής. Τέλος, παρουσιάζονται ιδέες για μελλοντικές έρευνες καθώς και προτάσεις για προγράμματα και εφαρμογές στις οποίες μπορεί να συμβάλει η παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

2.1 Ενεργειακή Κατανάλωση στα Κτήρια του Οικιακού Τομέα.

2.1.1 Γενικές Πληροφορίες

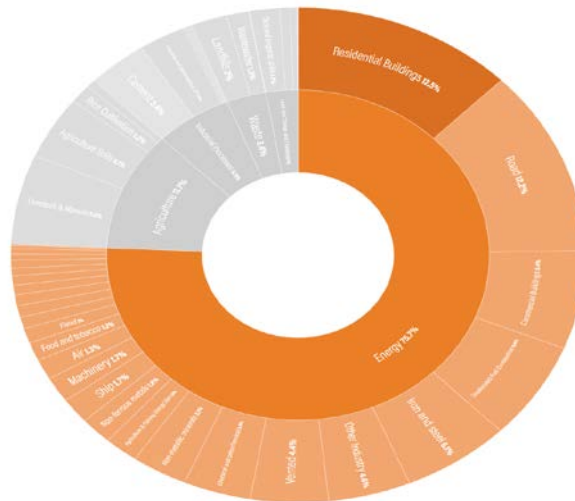
Η ενεργειακή κατανάλωση του οικιακού τομέα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέγεθος μιας και αποτελεί βασικό πυλώνα στην ενεργειακή ισορροπία κάθε χώρας και ως επέκταση, ολόκληρου του κόσμου. Το σύνολο των κατοικιών αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους καταναλωτές μιας και απορροφά ένα αξιοσημείωτο ποσοστό της ενέργειας κάθε χρόνο αγγίζοντας το 27% (Eurostat, 2022) για να ικανοποιήσει τις βασικές ανάγκες διαβίωσης του ανθρώπου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο οικιακός τομέας να είναι υπεύθυνος για την εκπομπή CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό της τάξεως του 12,5% (WRI, 2021). Επίσης, το 88% των κατοικιών στην χώρα μας δεν έχουν υποστεί καμία μορφή ανακαίνισης, ενώ μόνο το 9.3% έχουν αντικαταστήσει το σύστημα θέρμανσης τους με κάποιο πιο αποδοτικό. (ΕΛΣΤΑΤ, 2023) Ακόμα όμως και τα αποδοτικότερα αυτά συστήματα, εξακολουθούν να είναι παλαιά και η ενεργειακή τους απόδοση δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της εποχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο οικιακός τομέας της Ελλάδας ως σύνολο, να έχει σχεδόν μηδαμινή ενεργειακή απόδοση και να αποφέρει τεράστιες ενεργειακές απώλειες γεγονός που πλήττει τόσο την οικονομία της χώρας όσο και το περιβάλλον.



Εικόνα 1: Κατανομή ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα

Πληροφορία αντλήθηκε από: Eurostat, 2022

Έτσι λοιπόν, γεννάται η ανάγκη για την αξιοποίηση στο μέγιστο, της ενέργειας που καταναλώνεται στο πλαίσιο των νοικοκυριών. Ο πιο αποδοτικός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η μείωση των ενεργειακών απωλειών και η αναζήτηση λύσεων με μικρότερο ενεργειακό αποτύπωμα.



Εικόνα 2: Κατανομή ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας βάσει χρήσης

Πληροφορία αντλήθηκε από: WRI, 2021

2.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση

Η ενεργειακή κατανάλωση που έχει ένα νοικοκυριό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ορισμένοι από αυτούς έχουν σχέση με το ίδιο το κτήριο και άλλοι με τους κατοίκους που διαμένουν σε αυτό. Σε οποιαδήποτε περίπτωση για τον σωστό υπολογισμό της, είναι αναγκαία η κατανόηση των παραγόντων αυτών. Όλα τα χαρακτηριστικά του εν λόγω κτηρίου όπως η ενεργειακή του κλάση, η θερμομόνωση, ο τύπος κουφωμάτων, ο προσανατολισμός, ακόμα και η ύπαρξη ή μη γειτονικών κτισμάτων, επηρεάζει αισθητά την ενεργειακή του απόδοση και ως εκ τούτου την κατανάλωση του. Ένας άλλος πολύ μεγάλος παράγοντας είναι οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που μελετάται. Η γεωγραφική θέση και το κλίμα μπορεί να απαιτούν αυξημένη ανάγκη θέρμανσης ή ψύξης σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου, με αποτέλεσμα να εκτοξεύουν την κατανάλωση στα ύψη. Η κατάσταση του εξοπλισμού, επίσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική κατανάλωση. Δεδομένα όπως το αν είναι συντηρημένος σωστά, τι είδους τεχνολογίας είναι, αν χρησιμοποιείται στην λειτουργία βέλτιστης απόδοσης του μπορούν να επιδράσουν σημαντικά στο τελικό αποτέλεσμα.

Τελευταίος, αλλά εξίσου σημαντικός είναι ο ανθρώπινος παράγοντας, η συχνότητα χρήσης ή και κατάχρησης των πόρων και η περιβαλλοντική συνείδηση των ανθρώπων οι οποίοι αποτελούν το νοικοκυριό, είναι ένας από τους σημαντικότερους συντελεστές διαμόρφωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου, καθώς η οικολογική συνείδηση, ή ακόμα και η κακή οικονομική κατάσταση ενός νοικοκυριού θα οδηγήσει στην πτώση, ενώ η αντίθετη περίπτωση είναι πιθανό να την αυξήσει χωρίς πιθανώς να χρειάζεται. Βλέπουμε λοιπόν ότι είναι τόσα τα πράγματα που συμβάλουν στην δημιουργία της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός νοικοκυριού, που είναι σχεδόν αδύνατο να τα υπολογίσουμε όλα με ακρίβεια. Ωστόσο, μπορούμε να τα προσεγγίσουμε αρκετά, σε αξιολογικό βαθμό ώστε να έχουμε σωστά αποτελέσματα.

2.1.3 Κατανομή κατανάλωσης σε επιμέρους χρήσεις

Αν θέλουμε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα για το που δαπανάται η ενέργεια μέσα στο νοικοκυριό, ώστε να μπορούμε να αναζητήσουμε λύσεις μείωσης των περιπτώσεων απωλειών, τότε πρέπει να κοιτάξουμε στην κατανομή της στις επιμέρους χρήσεις της όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα: (ΕΛΣΤΑΤ, 2013)

Πίνακας 1: Κατανομή ενεργειακής κατανάλωσης νοικοκυριών βάσει χρήσης.

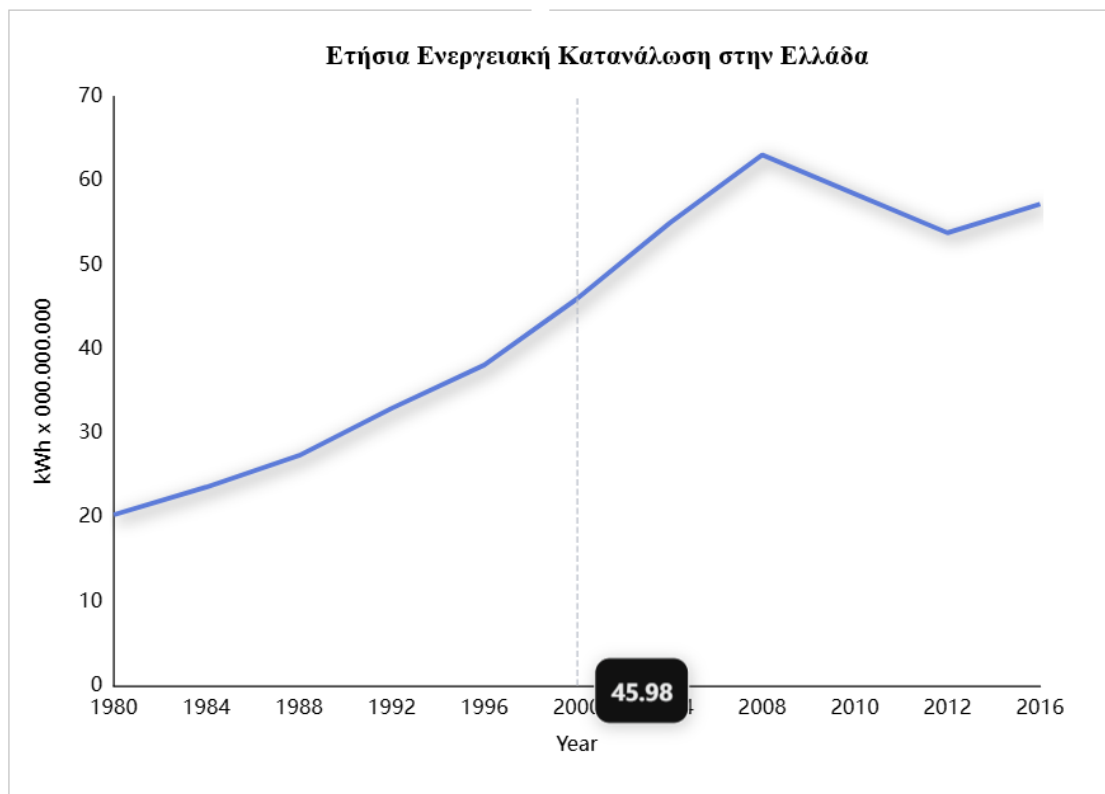
Θέρμανση χώρων	63,7%
Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)	5,7%
Μαγείρεμα	17,3%
Ψύξη Χώρων	1,3%
Φωτισμός	1,7%
Συσκευές (Ηλεκτρικές/Ηλεκτρονικές)	10,2%

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας η απόλυτη τιμή της ενέργειας που καταναλώνεται μπορεί να μειώνεται (πιο αποδοτικές οικιακές συσκευές, λάμπες LED, αποδοτικότερα μέσα θέρμανσης), αλλά η κατανομή διατηρείται με μικρές μεταβολές. Βλέπουμε ότι κοντά στο 70% της συνολικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την θέρμανση του χώρου και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX) το οποίο θα φανεί χρήσιμο στην διαδικασία της μοντελοποίησης που θα αναλυθεί σε επόμενα κεφάλαια. Ωστόσο αυτό που εύκολα προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, είναι ότι καθίσταται αναγκαία η αναζήτηση περεταίρω λύσεων, ώστε αυτό το μεγάλο ποσοστό που αφορά κυρίως του χειμερινούς μήνες, να μπορέσει να μετριαστεί, τόσο για οικονομικούς όσο και για

περιβαλλοντικούς λόγους. Είναι σημαντικό να επενδυθούν πόροι σε λύσεις οι οποίες θα βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση των νοικοκυριών και θα μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

2.1.4 Ιστορική εξέλιξη και τάσεις στην Ελλάδα

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ενεργειακή συμπεριφορά της χώρας μας έχει αλλάξει αισθητά, λόγω διαφόρων ενεργειακών πολιτικών ή κοινωνικοοικονομικών μεταβολών καθώς και των μεγάλων εξελίξεων στον τομέα της τεχνολογίας. Συγκεκριμένα:



Εικόνα 3: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση της Ελλάδας

Πληροφορία αντλήθηκε από: The Global Economy, 2021

- Πριν το 1980: Το σύνολο των κατοικιών έκανε χρήση πετρελαίου ή ξύλου για την θέρμανση. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι κατοικίες δεν διέθεταν κανένα είδος θερμομόνωσης, οδηγούσε σε πολύ χαμηλές ενεργειακές αποδόσεις και τεράστιες απώλειες ενέργειας με συνεχώς ανοδική τάση.
- Περίοδος 1980-2000: Όσο πλησιάζουμε προς τον 21ο αιώνα, αρχίζει να αυξάνεται η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα νοικοκυριά. Ωστόσο το πετρέλαιο παραμένει η κύρια πηγή θέρμανσης και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν

υπάρχει δραστική αλλαγή στην θερμομόνωση των κατοικιών, η συνολική ετήσια κατανάλωση συνεχίζει να αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς.

➤ Περίοδος 2000-2010: Στο διάστημα αυτό ξεκινάει να εισέρχεται η έννοια του φυσικού αερίου στην θέρμανση και υιοθετείται από αρκετά νοικοκυριά, κυρίως σε αστικές περιοχές. Η θερμομόνωση των κτηρίων παραμένει σε χαμηλά έως ανύπαρκτα επίπεδα, και λόγω της αύξησης του πληθυσμού και των κατοικιών, η ετήσια κατανάλωση φτάνει στην μεγαλύτερη τιμή της.

➤ 2010 και μετά: Τα χρόνια αυτά έχουν κομβικό ρόλο στην αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς της Ελλάδας. Τόσο η κρίση, που υποχρέωσε μια μεγάλη μερίδα του πληθυσμού να μειώσει την κατανάλωση των πόρων για οικονομικούς λόγους, όσο και η εισαγωγή της έννοιας “ενεργειακή απόδοση”, βοήθησαν στην αλλαγή της τάσης που είχε όλα τα προηγούμενα χρόνια. Εγκαθιδρύθηκε η εγκατάσταση θερμομόνωσης σε ορισμένα νέα κτήρια, και με την περεταίρω εξέλιξη της τεχνολογίας, άρχισε να μειώνεται η χρήση του λέβητα πετρελαίου. Για αυτόν τον λόγο παρά την συνεχή αύξηση του πληθυσμού, η ετήσια κατανάλωση αρχίζει να πέφτει.

➤ Σήμερα: Στην σημερινή κοινωνία, οι ενεργειακές απώλειες έχουν μειωθεί σημαντικά. Τα νέα κτήρια κατασκευάζονται με άλλα πρότυπα που έχουν πλέον ως στόχο την πλήρωση κάποιων ενεργειακών κριτηρίων. Χρησιμοποιούνται θερμοδιακοπτόμενα αλουμίνια, τριπλά τζάμια, αυξημένη θερμομόνωση κτλ. Σε μεγάλο βαθμό έχουν συμβάλει σε αυτό επίσης, τα διάφορα χρηματοδοτούμενα προγράμματα εξοικονόμησης που έχουν ωθήσει τον κόσμο να “αναβαθμίσει” ενεργειακά τις κατοικίες του εγκαθιστώντας νέα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με μεγάλους βαθμούς απόδοσης. Τα πιο σύγχρονα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι οι αντλίες θερμότητας που είναι και το κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.2 Εισαγωγή στις Αντλίες Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας είναι συστήματα θέρμανσης και ψύξης που αξιοποιούν ενέργεια από το περιβάλλον για να μεταφέρουν θερμότητα από ένα χώρο σε έναν άλλον. Χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλους βαθμούς απόδοσης, αλλά μεγάλο αρχικό κόστος. Ήρθαν στην επικαιρότητα μετά το 2010 με την ενεργειακή κρίση, όταν η εύρεση πιο αποδοτικών, ενεργειακά αλλά και οικονομικά, λύσεων κατέστη απαραίτητη,

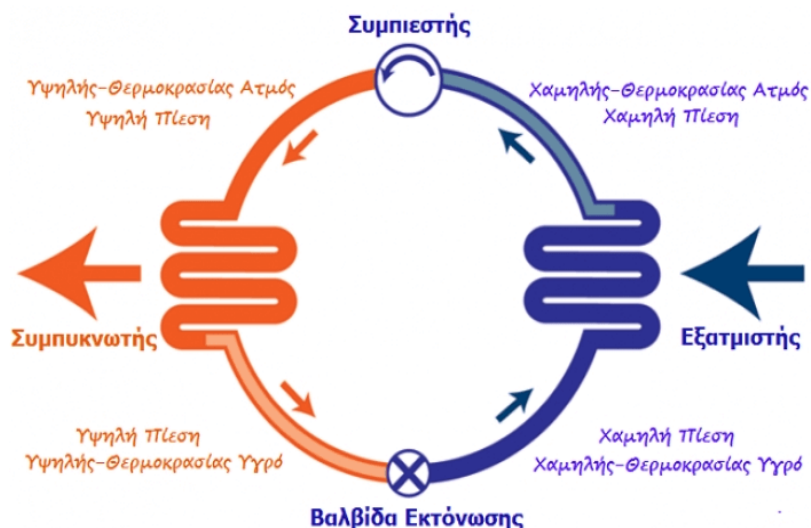
προκειμένου να μπορούν τα νοικοκυριά να ανταπεξέλθουν στις νέες αυτές ενεργειακές απαιτήσεις.

2.2.1 Αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων βασίζεται στον κύκλο Carnot (ψυκτικός κύκλος), ο οποίος είναι ένας κύκλος εκτόνωσης - συμπίεσης του ψυκτικού υγρού με αποτέλεσμα την απορρόφηση ή την απόδοση ενέργειας, ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετεί. (Wang et al., 2021)

Τα 4 βασικά στοιχεία που διέπουν αυτήν την λειτουργία είναι:

1. Εξάτμιση: Το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται σε έναν εναλλάκτη, (εξατμιστής) απορροφώντας ενέργεια από το περιβάλλον.
2. Συμπίεση: Ο ατμός που παράγεται από τον εξατμιστή οδηγείται σε έναν συμπιεστή, ώστε να ανεβάσει την θερμοκρασία και την πίεση του.
3. Συμπύκνωση: Ο θερμός πλέον ατμός περνάει μέσα από έναν συμπυκνωτή και μεταφέρει την θερμότητα που έχει αποκτήσει στον ζητούμενο χώρο (σύστημα θέρμανσης αέρος ή νερού). Έπειτα, ξαναμετατρέπεται σε υγρό.
4. Εκτόνωση: Μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης, το υγρό μεταφέρεται στις αρχικές του συνθήκες (θερμοκρασία και πίεση).



Εικόνα 4: Αναπαράσταση λειτουργίας ψυκτικού κύκλου

Πληροφορία αντλήθηκε από: Αζαριάς et al, 2014

Στην περίπτωση της ψύξης, αντί να απορροφάται ενέργεια από το εξωτερικό περιβάλλον και να μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο, η διαδικασία λειτουργεί αντίστροφα, μειώνοντας έτσι την θερμοκρασία στον επιθυμητό χώρο.

Με αυτόν τον τρόπο αντί για παραγωγή θερμότητας, που είναι μια αρκετά κοστοβόρα διαδικασία, το έργο της αντλίας θερμότητας είναι απλά η μεταφορά της από τον ένα χώρο στον άλλον, κάτι το οποίο την καθιστά πολύ αποδοτική σε σχέση με όλα τα άλλα μέσα θέρμανσης.

2.2.2 Τύποι αντλιών θερμότητας

Όπως προαναφέρθηκε, η αντλία θερμότητας απορροφάει θερμότητα από το περιβάλλον για να μπορέσει να θερμάνει ή να ψύξει τον ζητούμενο χώρο. Ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιεί χωρίζεται σε κατηγορίες:

2.2.2.1 Αντλίες Θερμότητας Νερού (ΝΑΘ)

Οι αντλίες θερμότητας νερού (Υδροθερμες) είναι ένα εξειδικευμένο είδος αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιεί το νερό ως μέσο για να επιτύχει την ψύξη και την θέρμανση των κτηρίων, με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης. (Saikawa et al, 2016)

Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν χρειάζεται η παρουσία μιας μεγάλης πηγής νερού όπως λίμνες, ποτάμια, υπόγεια ύδατα ή τεχνικές δεξαμενές. Λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που περιγράψαμε, ωστόσο η μορφή του μέσου παραμένει υγρή καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την θέρμανση ή την ψύξη αέρα σε συνεργασία με συστήματα αεραγωγών (water-to-air), ή για την θέρμανση και ψύξη νερού για ενδοδαπέδια θέρμανση ή θερμαντικά σώματα (water-to-water). (Ban et al., 2022)

Πίνακας 2: Ενδεικτική απόδοση και κόστος ΝΑΘ

Τύπος αντλίας	COP	Ενδεικτικό κόστος / kW	Μέση τιμή /kW
Υδροθερμη	4.0 - 6.0	680€ - 1438€	1059€



Εικόνα 5: Τυπική Εγκατάσταση ΝΑΘ

Πλεονεκτήματα:

- a. Το νερό ως πηγή θερμότητας έχει συνήθως πιο σταθερή θερμοκρασία από τον αέρα με αποτέλεσμα να παρέχει μεγαλύτερη απόδοση και σταθερότητα.
- b. Η εγκατάσταση είναι ανθεκτική και μπορεί να προσφέρει μακροχρόνια απόδοση (εφόσον η πηγή παραμένει ακέραια και καθαρή)
- c. Σε σύγκριση με τους υπόλοιπους τύπους αντλιών δεν επηρεάζονται σημαντικά από κλιματικές αλλαγές, ακραίες καιρικές συνθήκες ή μεταβολές στην θερμοκρασία του αέρα.

Μειονεκτήματα:

- a. Για την λειτουργία της είναι απαραίτητη προϋπόθεση η ύπαρξη σταθερής πηγής νερού.
- b. Πολύ υψηλό κόστος εγκατάστασης, λόγω της ανάγκης για κατασκευή σωληνώσεων και εναλλακτών θερμότητας. Επίσης είναι πιθανή και η ανάγκη διαμόρφωσης της πηγής ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
- c. Η ποιότητα και η ποσότητα του νερού πρέπει να παρακολουθείται, ώστε να διασφαλίζεται η αποτελεσματική λειτουργία της. Μη καθαρό νερό, μπορεί να φράξει το σύστημα και να οδηγήσει σε επιπλέον κόστη.

Δεδομένων των παραπάνω, η εφαρμογή τους αν και εξαιρετικά κερδοφόρα, λόγω του τεράστιου κόστους και των γεωγραφικών περιορισμών, προτείνεται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπως:

- Βιομηχανικά κτήρια ή εμπορικά συγκροτήματα σε μεγάλες εγκαταστάσεις με διαθέσιμες πηγές νερού και πολύ υψηλές ενεργειακές ανάγκες.
- Εξοχικές κατοικίες και αγροτικά κτήρια όπου υπάρχει συχνά πρόσβαση σε λίμνες ή ποτάμια.
- Δημόσια κτήρια με μεγάλες ενεργειακές ανάγκες, όπως σχολεία, νοσοκομεία και γενικά δημόσια κτήρια, όπου απαιτείται σταθερή θέρμανση και ψύξη, εφόσον το επιτρέπει η γεωγραφική τους θέση

2.2.2.2 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (ΓΑΘ)

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν την θερμότητα της γης για να παρέχουν θέρμανση και ψύξη στα κτήρια. Εκμεταλλεύονται την σταθερή θερμοκρασία του εδάφους ή των υπόγειων υδάτων καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, για να μεταφέρουν θερμότητα και χωρίζονται σε ανοικτά και κλειστά συστήματα. (Shell et al, 2013)

Τα ανοικτά συστήματα χρησιμοποιούν υπόγεια ύδατα από πηγάδια ή λίμνες ως πηγή θερμότητας, και τα επιστρέφουν στην φύση μετά την χρήση τους.

Τα κλειστά συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν οριζόντια, τα οποία τοποθετούνται σε ρηχά βάθη, αλλά χρειάζονται μεγάλη έκταση γης, ή κάθετα, τα οποία χρειάζονται μεγαλύτερα βάθη, αλλά είναι ιδανικά όταν ο χώρος είναι περιορισμένος. (Ban et al., 2022)

Σε οποιαδήποτε όμως περίπτωση χρειάζεται μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση της ώστε να μπορεί να αποδώσει.



Εικόνα 6: Τυπική Εγκατάσταση ΓΑΘ

Πίνακας 3: Ενδεικτική απόδοση και κόστος ΓΑΘ

Τύπος αντλίας	COP	Ενδεικτικό κόστος / kW	Μέση τιμή / kW
Γεωθερμική	3.0 - 5.0	797€ - 1291€	1043 €

Πλεονεκτήματα:

- Οι γεωθερμικές αντλίες μπορούν να παράσχουν 4 έως 5 φορές την ενέργεια την οποία καταναλώνουν.
- Η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του έτους, παρέχοντας σταθερή απόδοση ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών.
- Τα συστήματά τους έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής της τάξεως των 50 χρόνων για τις σωληνώσεις και 25 χρόνων για την ίδια την αντλία.
- Είναι κατάλληλες για περιοχές με αρκετά ψυχρό κλίμα.
- Το λειτουργικό της κόστος είναι αρκετά χαμηλό.
- Η επιλογή της βοηθάει στην ελάττωση των εκπομπών CO₂ και της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων.

Μειονεκτήματα:

- Πολύ υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης.

- b. Τα οριζόντια συστήματα απαιτούν μεγάλη έκταση γης, ενώ τα κάθετα απαιτούν μεγάλη εμπειρία αλλά και εξειδικευμένο εξοπλισμό για την γεώτρηση.
- c. Οι σωληνώσεις και τα υπόγεια συστήματα καθιστούν πολύ δύσκολη την συντήρηση τους και την επισκευή τους σε περίπτωση προβλήματος.

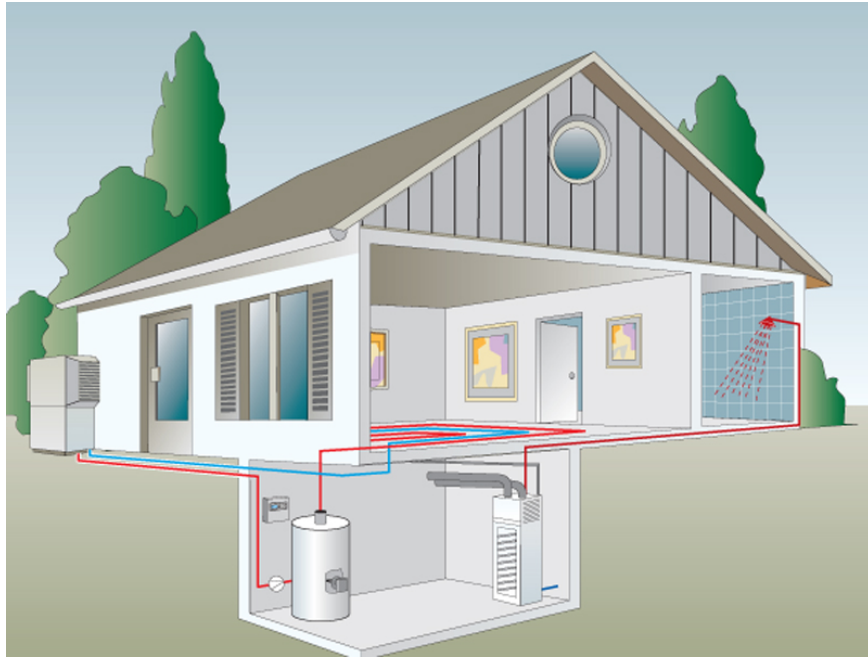
Για την αντιμετώπιση ορισμένων από τα παραπάνω τα τελευταία χρόνια έχουν υιοθετηθεί λύσεις όπως υβριδικά συστήματα, όπου συνδυάζουν τις ΓΑΘ με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά) για μεγαλύτερη αυτάρκεια, ή και χρήση πιο ανθεκτικών υλικών στην κατασκευή τους για την εγγύηση της μακροχρόνιας απόδοσης, παρά τις δυσκολίες επισκευής.

Οι εφαρμογές της δεν είναι τόσο περιορισμένες όπως στις ΝΑΘ μιας και μπορούν να εγκατασταθούν σε:

- Βιομηχανικά κτήρια ή συγκροτήματα με μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις σε περιοχές όπου δεν υπάρχει πηγή νερού.
- Σε περιοχές με ακραίες θερμοκρασίες, είτε χαμηλές χειμερινές είναι υψηλές εαρινές, οι ΓΑΘ καταφέρνουν να κρατήσουν σταθερή απόδοση μιας και η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει ως επί το πλείστον σταθερή παρά τις όποιες καιρικές μεταβολές.
- Κτήρια με μεγάλες διάρκειες ζωής και λειτουργίας, όπου το υψηλό κόστος θα αποσβεσθεί λόγω της μεγάλης της εξοικονόμησης.
- Δημόσια και εκπαιδευτικά κτήρια σε ορεινά μέρη, όπου είναι απαραίτητη η σταθερή απόδοση, όλον τον χρόνο.
- Κτήρια με υψηλές απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, τα οποία πρέπει να είναι ενεργειακά αυτοδύναμα.

2.2.2.3 Αερόθερμες Αντλίες Θερμότητας (ΑΑΘ)

Οι αερόθερμες αντλίες θερμότητας απορροφούν θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα και την αποδίδουν στο εσωτερικό ενός κτηρίου, ή και αντίστροφα. Η απόδοση τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία, αλλά και πολλούς άλλους παράγοντες και καιρικές συνθήκες. (Vocale et al, 2014), (Ban et al., 2022)



Εικόνα 7: Τυπική Εγκατάσταση ΑΑΘ

Πίνακας 4: Ενδεικτική απόδοση και κόστος ΑΑΘ

Τύπος αντλίας	COP	Ενδεικτικό κόστος / kW	Μέση τιμή / kW
Αερόθερμη	2.5 - 5.0	592€ - 1012€	802€

Πλεονεκτήματα:

- Είναι κατάλληλη για περιοχές με μέτριες κλιματικές συνθήκες, χωρίς ακραίες θερμοκρασίες.
- Έχουν χαμηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης.
- Η εγκατάστασή τους είναι αρκετά πιο εύκολη από τις ΓΑΘ και τις ΝΑΘ καθώς δεν έχουν κάποια απαίτηση ως προς το μέσο ή τον χώρο που πρέπει να είναι διαθέσιμος.
- Χρησιμοποιούνται τόσο για την θέρμανση, όσο και για την ψύξη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν μέσο παραγωγής ζεστού νερού χρήσης.
- Παρέχουν την δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας σε διαφορετικές ζώνες του κτηρίου, με αποτέλεσμα να μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του καταναλωτή και να αυξάνει ακόμα περισσότερο την αποδοτικότητα της.

Μειονεκτήματα:

- a. Σε θερμοκρασίες κάτω των -15°C είναι πιθανή η ανάγκη εναλλακτικής πηγής θέρμανσης μιας και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η αποδοτικότητα τους.
- b. Κατά την λειτουργία τους μπορεί να υπάρξει θόρυβος άρα και πιθανή ενόχληση.

Οι ΑΑΘ απευθύνονται σε εφαρμογές όπως:

- Οικιακά κτήρια (Μονοκατοικίες και Πολυκατοικίες) : Λόγω του χαμηλού του αρχικού τους κόστους, αλλά και της σχεδόν μηδενικής απαίτησης σε χώρο, είναι ιδανικές για διαμερίσματα, τόσο κατά την κατασκευή τους, όσο και κατά την ενεργειακή τους αναβάθμιση.
- Κτήρια σε περιοχές με μέτριες κλιματικές συνθήκες.
- Κτήρια προσωρινά ή με μικρή διάρκεια ζωής: Οι ΑΑΘ λόγω του μεγέθους τους μπορούν να εγκατασταθούν και να απομακρυνθούν σχετικά εύκολα, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για κτήρια που αλλάζουν χρήση σχετικά συχνά.
- Κτήρια με περιορισμένες ενεργειακές ανάγκες όπου μπορεί να καλύψουν καθολικά τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, χωρίς κάποια σημαντική επένδυση.

2.2.3 Κριτήρια επιλογής βέλτιστης λύσης

Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας είναι πολύ σημαντική για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος, αλλά και για την επίτευξη της μέγιστης οικονομίας, τόσο σε χρηματικό, όσο και σε ενεργειακό επίπεδο. Οι κύριοι παράγοντες που χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψη παρουσιάζονται παρακάτω:

- Κλιματικές Συνθήκες: Σημαντική ένδειξη για τον τύπου που θα χρησιμοποιήσουμε καθώς σε περιοχές με ακραίες κλιματικές αλλαγές οι ΑΑΘ δεν μπορούν να έχουν σταθερή απόδοση και συνεπώς οι ΓΑΘ εφόσον είναι δυνατό είναι καλύτερη λύση.
- Αρχικό Κόστος και Προϋπολογισμός: Οι οικονομικές δυνατότητες του κάθε καταναλωτή περιορίζουν και κατευθύνουν τις επιλογές του σε αρκετά μεγάλο βαθμό.
- Ενεργειακή Απόδοση και Οικονομία: Ο δείκτης απόδοσης (COP) είναι καθοριστικός παράγοντας τόσο για τον μέσο τελικό καταναλωτή που προσπαθεί να

πετύχει την βέλτιστη εξοικονόμηση, όσο και για μεγάλες εταιρίες όπου η επίτευξη ενεργειακών στόχων είναι προϋπόθεση για συμμετοχές σε προγράμματα, επιχορηγήσεις και διάφορα άλλα οφέλη.

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Τα τελευταία χρόνια, η οικολογική συνείδηση των ανθρώπων έχει αρχίσει να εξελίσσεται και πλέον οι εκπομπές του CO₂ αλλά και όλων των ρύπων του θερμοκηπίου, είναι πλέον ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για μεγάλη μερίδα του πληθυσμού.
- Ενεργειακές Ανάγκες: Το μέγεθος των ενεργειακών αναγκών πρέπει να είναι βασικός άξονας σύμφωνα με τον οποίο κάνει κάποιος την επιλογή του, καθώς αν δεν τον λάβει υπόψιν κινδυνεύει, είτε να αποκτήσει ένα σύστημα που δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του, είναι να υπερχρεωθεί και να αποκτήσει ένα σύστημα του οποίου τις δυνατότητες, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει στο έπακρο.
- Εγκαταστάσεις και Διαθέσιμος Χώρος: Όπως αναλύθηκε παραπάνω κάθε τύπος αντλίας έχει διαφορετική έκταση, και διαφορετικές απαιτήσεις σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις για την λειτουργία του. Έτσι για παράδειγμα δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση μιας ΓΑΘ ή μιας ΝΑΘ μέσα στην περιοχή της κεντρικής Αττικής, καθώς οι εγκαταστάσεις το αποτρέπουν.

Δεδομένου ότι η παρούσα διπλωματική έχει ως κύριο άξονα της τον Οικιακό Τομέα και με βάση όλα τα παραπάνω, οι **Αερόθερμες Αντλίες Θερμότητας** είναι η κατηγορία με την οποία θα ασχοληθούμε στα επόμενα κεφάλαια, μιας και είναι η ιδανική λύση για την κάλυψη των αναγκών, σχεδόν όλων των μέσων ελληνικών νοικοκυριών. Λόγω του μεγάλου όγκου των νοικοκυριών στην Ελλάδα, για να καταστεί δυνατή η εξαγωγή των επιθυμητών συμπερασμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Μοντελοποίησης.

2.3 Παρουσίαση Στατιστικών Στοιχείων Στην Ελλάδα και την Ευρώπη.

2.3.1 Εξέλιξη των αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα

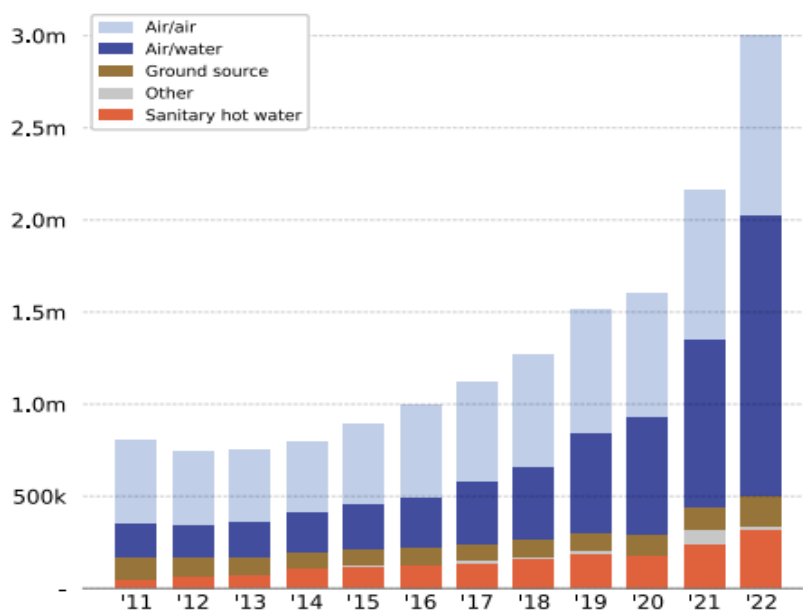
Στην χώρα μας οι αντλίες θερμότητας έχουν εμφανιστεί εδώ και αρκετά χρόνια, αλλά υιοθετήθηκαν από τον Ελληνικό πληθυσμό ιδιαίτερα με ραγδαίους ρυθμούς τα τελευταία 10-15 χρόνια. Αυτό ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό στην επιτακτική ανάγκη που δημιουργήθηκε για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, λόγω της οικονομικής

κρίσης. Σύμφωνα με αναφορά της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, 2024) στην Ελλάδα υπάρχουν 360.000 αντλίες θερμότητας όλων των τύπων, με δημοφιλέστερη την ΑΑΘ. Οι 40.000 από αυτές πουλήθηκαν μόνο το 2022.

Συνολικά υπάρχουν περίπου 710.000 νοικοκυριά που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο και περίπου 1.690.000 νοικοκυριά που χρησιμοποιούν πετρέλαιο σαν μέσο θέρμανσης. Οι λέβητες φυσικού αερίου έχουν σχεδόν την 5πλασια κατανάλωση και τις διπλάσιες εκπομπές CO₂ σε σχέση με τις ΑΑΘ και τις ΝΑΘ. Παρόμοιες αναλογίες ισχύουν και στους λέβητες πετρελαίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η αντικατάσταση αυτών των συστημάτων να αποφέρει τεράστια οφέλη, ενεργειακά, αλλά και οικονομικά. Συνεπώς λοιπόν αναμένεται ότι η πώληση των αντλιών θερμότητας και η υιοθέτηση τους από την Ελληνική Κοινωνία, θα συνεχίσει να αυξάνετε με ανάλογους ρυθμούς, ειδικά όταν ένα μεγάλο μέρος των εξόδων αντικατάστασης, χρηματοδοτείται από προγράμματα όπως το “Εξοικονομώ”.

2.3.2 Σύγκριση με την Ευρώπη

Στην ευρωπαϊκή πραγματικότητα η πορεία των πωλήσεων των αντλιών θερμότητας φαίνεται ότι είναι αύξουσα και ανεβαίνει με εκθετική κλίση. Στην Εικόνα 8 φαίνεται η εξέλιξη των ετήσιων εγκαταστάσεων αντλιών θερμότητας, καταμερισμένων ανά τύπο αντλίας στο σύνολο της Ευρώπης:



Εικόνα 8: Ετήσιος αριθμός εγκαταστάσεων αντλιών θερμότητας στην Ευρώπη

Πληροφορία αντλήθηκε από: ΕΡΗΑ, 2023

Μόνο το 2022 οι πωλήσεις των αντλιών ανέρχονται στα 3 εκατομμύρια, με το συνολικό νούμερο να αγγίζει σχεδόν τα **20 εκατομμύρια**, σημειώνοντας μια αύξηση 40% στις πωλήσεις από το προηγούμενο έτος. (Ehpa, 2023) Στην Ευρώπη για το 2022 την υψηλότερη θέση στις πωλήσεις έχει η Γαλλία με 621.776 αντλίες (15% άνοδος από το προηγούμενο έτος) και μετά ακολουθούν οι Ιταλία (513.535), Γερμανία (275.697), Σουηδία (215.373) και Πολωνία (207.992). Αν λάβουμε υπ' όψη τον πληθυσμό της κάθε μιας από τις παραπάνω χώρες και τον συσχετίσουμε με τον αριθμό εγκαταστάσεων αντλιών θερμότητας για το 2022, προκύπτει ο Πίνακας 5.

Πίνακας 5: Σύγκριση της Ελλάδας με χώρες της Ευρώπης σχετικά με την εγκατάσταση Αντλιών Θερμότητας το έτος 2022

Χώρα	Πληθυσμός	Αρ. Εγκατ. Αντλιών Θερμότητας	Ποσοστό %
Γαλλία	68.128.000	621.776	0,91%
Ιταλία	58.929.360	513.535	0,87%
Γερμανία	84.432.670	257.697	0,31%
Σουηδία	10.462.498	215.373	2,06%
Πολωνία	38.039.000	207.992	0,55%
Ελλάδα	10.678.639	40.000	0,37 %

Το ποσοστό που προκύπτει μας δείχνει τι μέρος του πληθυσμού χρησιμοποιεί αντλία θερμότητας για θέρμανση. Αν και ο μέσος όρος των ατόμων ανά νοικοκυριό δεν είναι σταθερός σε όλες τις χώρες της Ευρώπης, δεν μεταβάλλεται σημαντικά και έτσι τα αποτελέσματα μας δίνουν μια εικόνα για την θέση της Ελλάδας σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Φαίνεται λοιπόν, ότι παρά την μεγάλη αύξηση στον αριθμό των εγκαταστάσεων, η Ελλάδα, εξακολουθεί να έχει μεγάλη σχετική απόκλιση από τις υπόλοιπες, δεδομένης της τάξης μεγέθους του ποσοστού.

Από οικονομικής άποψης, σε προηγούμενα υποκεφάλαια, είχαν αναφερθεί κάποιες θεωρητικές τιμές ανά kW για την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας, τα οποία αναγράφονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικά κόστη εγκατάστασης αντλίας θερμότητας ανά είδος στην Ευρώπη

Τύπος Αντλίας	Ενδεικτικό κόστος / kW	Μέση τιμή / kW
Γεωθερμική	797€ - 1291€	1043€
Υδρόθερμη	680€ - 1438€	1059€
Αερόθερμη	592€ - 1012€	802€

Όσον αφορά συγκεκριμένα την Ελλάδα, δεν υπάρχουν κάποιες έρευνες που να μας δίνουν το κόστος για το σύνολο της προμήθειας και της εγκατάστασης ανά kW. Η αναλογία W/τ.μ. εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η μόνωση και η τοποθεσία. Θεωρώντας όμως μία μέση αναλογία 100W/τ.μ. (Teeder, 2023), για ένα μέσο σπίτι με έκταση 100-120τ.μ. χρειαζόμαστε μια αντλία θερμότητας με περίπου 10-12kW Ισχύ. Λόγω της έλλειψης δεδομένων, για να υπολογίσουμε το κόστος, κάναμε μία έρευνα στην αγορά και με στοιχεία που συλλέχτηκαν, καταλήξαμε στο ότι για μια Αερόθερμη αντλία τέτοιας ισχύος ο μέσος όρος του κόστους προμήθειας είναι 2.800 Ευρώ και ο μέσος όρος του κόστους εγκατάστασης είναι 1.500 Ευρώ. Έτσι, προκύπτει ότι η αντίστοιχη τιμή είναι περίπου **350-400 €/kW**. Η διαφορά στην τιμή από την θεωρητική τιμή της Ευρώπης είναι αισθητή, και υπάρχει λόγος για αυτό. Σε πολλές χώρες τις Ευρώπης οι θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλότερες με αποτέλεσμα οι ενεργειακές ανάγκες και ως συνέπεια οι οικονομικές δαπάνες για την θέρμανση να είναι πολύ μεγαλύτερες. Αυτό σημαίνει ότι η ζήτηση για τέτοια συστήματα είναι σαφώς μεγαλύτερη. Αυτό το γεγονός με την σειρά του, οδηγεί στην άνοδο των τιμών προμήθειας των συστημάτων, καθώς οι απόλυτη τιμή της ενέργειας που εξοικονομείται είναι μεγαλύτερη, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερο οικονομικό όφελος.

Με βάση τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι η Ελλάδα βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση σε σχέση με ορισμένες χώρες της Ευρώπης καθώς οι κλιματικές της συνθήκες της δίνουν την ευκαιρία να αποκτήσει με μεγαλύτερη ευκολία πρόσβαση σε συστήματα μεγαλύτερης απόδοσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

3.1 Προσεγγίσεις Μοντελοποίησης

Η μοντελοποίηση αποτελεί μια συστηματική διαδικασία αναπαράστασης ενός πραγματικού συστήματος, φαινομένου ή διαδικασίας μέσω ενός απλουστευμένου, λογικού και μαθηματικού σχήματος. Σκοπός της είναι να κατανοηθεί καλύτερα η λειτουργία του συστήματος, να προβλεφθεί η συμπεριφορά του κάτω από διάφορες συνθήκες και να υποστηριχθεί η λήψη αποφάσεων και η υιοθέτηση πολιτικών.

Στην πράξη, η μοντελοποίηση περιλαμβάνει τον εντοπισμό των βασικών μεταβλητών που επηρεάζουν ένα σύστημα, τη μεταξύ τους συσχέτιση και τη διατύπωση αυτών μέσω εξισώσεων, αλγορίθμων ή προσομοιώσεων. Η χρήση της μοντελοποίησης είναι καθοριστική σε πολλούς επιστημονικούς και τεχνικούς κλάδους – από τη φυσική και τη μηχανική, μέχρι την οικονομία, τη βιολογία και την ενέργεια.

3.1.1 Ορισμός μοντελοποίησης Κατανάλωσης Ενέργειας

Μοντελοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης είναι η διαδικασία κατασκευής μαθηματικών ή υπολογιστικών μοντέλων που αποσκοπούν στην κατανόηση, πρόβλεψη και βελτιστοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός ή παραπάνω κτηρίων, η ενός συνόλου καταναλωτών. Με την διαδικασία αυτή, επιχειρούμε να προσομοιώσουμε την κατανάλωση ενέργειας σε ένα σύστημα, ή σε ένα νοικοκυριό, λαμβάνοντας υπόψιν μας παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση, οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν, οι συνήθειες των χρηστών, η θερμομόνωση που διαθέτει η εγκατάσταση, το σύστημα θέρμανσης ή ψύξης που χρησιμοποιείται από το νοικοκυριό, καθώς και πολλούς άλλους παράγοντες. Όσο περισσότερες παραμέτρους λάβουμε υπόψιν μας τόσο πιο ακριβή και αντιπροσωπευτικά είναι τα αποτελέσματα που θα εξάγουμε, και τα συμπεράσματα στα οποία θα οδηγηθούμε.

Για να μπορέσουμε να μοντελοποιήσουμε το σύνολο των νοικοκυριών ολόκληρης της Ελλάδας θα πρέπει να επιλέξουμε κάποια χαρακτηριστικά, και να ομαδοποιήσουμε το τεράστιο αυτό νούμερο, ώστε να είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο. Χρησιμοποιώντας λοιπόν δεδομένα από πιστοποιημένους φορείς όπως η ΕΛΣΤΑΤ ή η EUROSTAT,

μπορούμε να δημιουργήσουμε κάποια πρότυπα σπίτια, τα οποία εκπροσωπούν μια μερίδα του πληθυσμού των κατοικιών που διαθέτουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Με αυτόν τον τρόπο αν μελετήσουμε τις ενεργειακές συμπεριφορές αυτών των κτηρίων μπορούμε να υποθέσουμε ότι έχουμε μια αντιπροσωπευτική εικόνα για την συμπεριφορά του συνόλου. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να πάρουμε αποφάσεις σχετικά με πολιτικές που πρέπει να ακολουθηθούν, ώστε να καταφέρουμε να μειώσουμε σταδιακά τις απώλειες ενέργειας, και ως εκ τούτου την συνολική κατανάλωση, αλλά και το οικολογικό αποτύπωμα που έχει αφήσει τα τελευταία χρόνια η κατάχρηση των φυσικών πόρων από τον άνθρωπο. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε με λεπτομέρεια.

3.1.2 Μέθοδοι μοντελοποίησης

Ανάλογα με τα δεδομένα που θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε, η μοντελοποίηση μπορεί να είναι (Usman et al, 2021):

- Στατιστική: Τα στατιστικά μοντέλα βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης, και προσπαθούν να εντοπίσουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα, ώστε να προβλέψουν μελλοντικές συμπεριφορές. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν υπάρχει όγκος δεδομένων και πληροφοριών, μιας και δεν βασίζονται στην χρήση εργαλείων προσομοίωσης όπως αυτά που θα αναφερθούν παρακάτω.
- Φυσική: Τα φυσικά μοντέλα βασίζονται στην προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτηρίου με βάση του νόμους της φυσικής (Υπολογίζοντας μεταφορά θερμότητας, υγρασία, κτλ.). Για την χρήση τους απαιτούνται λεπτομερή δεδομένα για τα υπό εξέταση κτήρια, όπως διαστάσεις, κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, ώρες και ημέρες λειτουργίας, και γενικά ότι πληροφορία μπορεί να επηρεάσει με οποιοδήποτε τρόπο την κατανάλωση της ενέργειας.
- Υβριδική: Τα υβριδικά μοντέλα συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο ανωτέρω με σκοπό την εξαγωγή πιο ακριβών και αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων.

Στην προκειμένη περίπτωση η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η υβριδική καθώς βασιστήκαμε αρκετά σε στατιστικά μεγέθη ώστε να μπορέσουμε να επιμερίσουμε το σύνολο των νοικοκυριών, αλλά στην συνέχεια έγινε χρήση φυσικών μοντέλων, ώστε

προσομοιώνοντας την λειτουργία των νοικοκυριών αυτών να εξαχθούν νούμερα που βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα.

3.1.3 Παραδείγματα Μοντελοποίησης Ενέργειας στην Ελλάδα.

Στην χώρα μας έχουν παρατηρηθεί αρκετές εφαρμογές και μελέτες στις οποίες έχει χρησιμοποιηθεί η μοντελοποίηση σαν μέθοδος ώστε μελετώντας μια μικρή μερίδα δειγμάτων, να μπορούν να βγουν αποτελέσματα και στατιστικές για το σύνολο της χώρας, ή τουλάχιστον μιας μεγάλης έκτασης αυτής.

Στο πλαίσιο του έργου ENCOMPASS, πραγματοποιήθηκε μελέτη για τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας σε κατοικίες στην Ελλάδα, χρησιμοποιώντας δεδομένα από έξυπνους μετρητές σε 120 τυχαία και διαφορετικά σπίτια, τα οποία βρίσκονται στην Θεσσαλονίκη, για ένα έτος. (Karapanos et al, 2020) Αρχικά συλλέχτηκαν δεδομένα από τους κατοίκους σχετικά με τον αριθμό των μελών, τον τύπο των κατοικιών και των μέσων θέρμανσης, καθώς και για τον αριθμό των δωματίων. Μέσω αυτών δημιουργήθηκαν κάποιες σταθερές ή μέσοι όροι για τα βασικά χαρακτηριστικά των νοικοκυριών. Έπειτα, λαμβάνοντας υπόψιν το κλίμα, την εξωτερική θερμοκρασία, καθώς και την εναλλαγή της κατά την διάρκεια του χρόνου, μπόρεσαν να εξαχθούν συμπεράσματα τα οποία δείχνουν σε ένα αρκετά καλό επίπεδο την επίδραση που μπορεί να έχει στην κατανάλωση ενέργειας ο αριθμός των ατόμων που κατοικούν στο σπίτι, ο αριθμός των δωματίων ή και τα διαφορετικά μέσα θέρμανσης. Μέσω των αποτελεσμάτων βρέθηκαν συγκεκριμένες συμπεριφορές οι οποίες έδειχναν μια περιοδικότητα ως προς τις ώρες της ημέρας, και τις ημέρες της εβδομάδας, οι οποίες ήταν συνεπείς με το μεγαλύτερο ποσοστό των στοιχείων της μοντελοποίησης.

Η μελέτη αυτών των ευρημάτων μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία μιας καλύτερης εικόνας για την ενεργειακή συμπεριφορά του νοικοκυριού του μέσα στον χρόνο και να μπορέσει να εντοπίσει τις ημέρες ή τις ώρες κατά τις οποίες, υπάρχει μεγάλη κατανάλωση η οποία πιθανώς συνεπάγεται και ενεργειακές απώλειες. Στην συνέχεια, μπορεί να ψάξει τρόπους με τους οποίους μπορεί να την ελαττώσει, για να πετύχει μεγαλύτερη εξοικονόμηση.

Στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας, (Γκιάτας, 2023) αναπτύχθηκε μοντέλο πρόβλεψης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε οικιακά κτίρια, χρησιμοποιώντας δεδομένα από έξυπνους μετρητές. Η μοντελοποίηση επιχειρήθηκε με την χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και τεχνικές μηχανικής μάθησης, όπου το μοντέλο

μετά από αρκετές μετρήσεις “μαθαίνει” να προβλέπει την συμπεριφορά που θα έχουν οι τιμές αυτές, με βάση όλες τις προηγούμενες εισόδους αλλά και τους εξωτερικούς παράγοντες που επιδρούν. Σε πρώτη φάση, ορίστηκαν οι εισοδοί που θα τροφοδοτήσουν το μοντέλο όπως ημερομηνία, ώρα, διάφορες μετρήσεις ισχύος και τάσης οι οποίες προέρχονταν από τους μετρητές. Οι μετρήσεις αυτές καταγράφονταν και ανατροφοδοτούσαν το μοντέλο ώστε να μπορεί να εξάγει περισσότερη πληροφορία. Αφού το μοντέλο δημιουργήσει μια ικανοποιητική εικόνα, έγινε δοκιμή της πρόβλεψης της συμπεριφοράς για τα επόμενα 20 λεπτά και στην συνέχεια για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (έως και 8 ώρες), ώστε να παρατηρηθεί πώς επηρεάζεται η απόδοση από τον χρονικό βήμα πρόγνωσης.

Η πρόβλεψη ήταν αρκετά ικανοποιητική, ωστόσο όπως είναι λογικό η απόδοση της έπεφτε όσο μεγάλωνε το χρονικό βήμα. Επίσης φάνηκε ότι η απόδοση ανέβαινε, ανάλογα με τον αριθμό των μεταβλητών και τον αριθμό των δεδομένων που τροφοδοτούσαν το μοντέλο. Από αυτό φαίνεται η ανάγκη για μεγάλη ποσότητα πληροφοριών όταν αποσκοπούμε σε ένα αποτελεσματικό μοντέλο.

Και στα δύο παραπάνω παραδείγματα, η χρήση της μοντελοποίησης βοήθησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της ενεργειακής αλλά και της οικονομικής κατάστασης που απορρέει από την ενεργειακή κρίση. Η χρήση της ωστόσο, χρησιμοποιείται σε πάρα πολλούς τομείς και μας βοηθάει να κατανοήσουμε καλύτερα συμπεριφορές και να προετοιμαζόμαστε καλύτερα για ορισμένες καταστάσεις.

3.2 Παρουσίαση και αξιολόγηση Βασικών Εργαλείων Μοντελοποίησης

Για να μπορούμε να φτιάξουμε αξιόπιστα και αποτελεσματικά μοντέλα, είναι απαραίτητο να διαθέτουμε και τα απαραίτητα εργαλεία προσομοίωσης. Χρειαζόμαστε λοιπόν εργαλεία τα οποία μπορούν, αν τους εισάγουμε τα κατάλληλα δεδομένα, να μελετήσουν την συμπεριφορά ενός συστήματος μέσα στον χρόνο, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, χωρίς να χρειάζεται να παρέμβουμε στο ίδιο το σύστημα. Θέλουμε να δημιουργήσουμε μία εικόνα της κατάστασης του, σε διαφορετικές καταστάσεις, με όλες τις επιδράσεις που υπάρχουν και την στοχαστικότητα που τις χαρακτηρίζει. Είναι απαραίτητο να διαθέτουν την υπολογιστική ισχύ και την ακρίβεια

που χρειάζεται για να είμαστε σε θέση να εκμεταλλευτούμε τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την μοντελοποίηση. Το μοντέλο πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται όσο το δυνατόν περισσότερο στις ιδιαιτερότητες της κάθε ξεχωριστής περίπτωσης, ώστε να μπορεί να μιμηθεί τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας ερευνήθηκαν ορισμένα τέτοια μοντέλα προσομοίωσης τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

3.2.1 HiSim

Το HiSim είναι η πρώτη περίπτωση που εξετάστηκε. Πρόκειται για ένα ανοιχτού κώδικα εργαλείο προσομοίωσης το οποίο είναι ανεπτυγμένο σε Python και αποσκοπεί στην ανάλυση ενεργειακών συστημάτων σε οικιακό επίπεδο. Αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Ενέργειας και Κλιματικής Έρευνας (IEK-3) του Forschungszentrum Jülich σε συνεργασία με το Hochschule Emden/Leer, στο πλαίσιο του έργου PiegStrom. (HiSim Documentation)

Μπορεί να προσομοιάσει την λειτουργία Φωτοβολταϊκών συστημάτων, αντλιών θερμότητας και ηλεκτρικών οχημάτων, και μπορεί να ενσωματώσει δεδομένα καιρικών συνθηκών και προφίλ κατανάλωσης χρηστών.

Ωστόσο, δεν υπάρχει επαρκές υλικό για την εκμάθηση της λειτουργίας του και δεν διαθέτει γραφικό περιβάλλον κάτι που δεν το καθιστά μια βέλτιστη λύση, αφού δεν είναι εύκολη η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και της διαδικασίας που ακολουθεί για την καλύτερη κατανόηση από τον αναγνώστη.

Σε άρθρο που δημοσιεύτηκε στην Μεγάλη Βρετανία (Pflugradt et al., 2022), παρουσιάζονται αναλυτικά η λειτουργία και οι δυνατότητες του HiSim όσον αφορά την δημιουργία λεπτομερών προφίλ ενεργειακής ζήτησης σε κατοικίες, χρησιμοποιώντας δεδομένα κατοίκησης, καιρικά δεδομένα και τεχνικές προδιαγραφές συστημάτων.

Στην Γερμανία, (Rieck et al., 2025) το HiSim χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια μιας έρευνας, ώστε να προσομοιωθεί η χρήση αντλιών θερμότητας αέρα σε συνεργασία με φωτοβολταϊκά πάνελ οροφής, και να εξαχθεί συμπέρασμα σχετικά με την αυτονομία που μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση αυτής της λύσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε μονοκατοικίες μπορεί να επιτευχθεί μέχρι και 90% αυτονομία με χρήση καθαρά

ηλιακής ενέργειας, και ότι οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες θα γνωρίσουν μείωση της τάξης του 35%.

3.2.2 TRNSYS (Transient System Simulation Tool)

Το TRNSYS είναι ένα προηγμένο αρθρωτό λογισμικό προσομοίωσης, με χρήσεις ευρέως στην μελέτη ενεργειακών συστημάτων και κτηρίων. Αποτελείται από Components όπως κτήρια, boilers, αντλίες κτλ., και επιτρέπει ανάλυση σε πολύ μικρά χρονικά βήματα. Είναι συμβατό με αρκετά εξωτερικά εργαλεία τα οποία μπορούν να εισαχθούν μέσα στο μοντέλο, και διαθέτει μεγάλη βιβλιογραφία και κοινότητα. (TRNSYS site, 2024)

Είναι πολύ ρεαλιστικό εργαλείο και χρησιμοποιείται ευρέως σε επαγγελματικές προσομοιώσεις για μοντελοποιήσεις μεγάλου όγκου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ότι το λογισμικό δεν είναι ελεύθερο και έχει αυξημένη πολυπλοκότητα, ειδικά μέχρι να υπάρξει κατανόηση των διαφόρων εννοιών και δυνατοτήτων του. Είναι ιδανικό εργαλείο για όποιον επιλέξει να ασχοληθεί σε επαγγελματικό επίπεδο με την δημιουργία μοντέλων και τις προσομοιώσεις.

Το 2015 το TRNSYS χρησιμοποιήθηκε (Genco et al., 2015) για την ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, κάτω από δυναμικές κλιματικές συνθήκες, προσομοιώνοντας επιτυχώς 2 κτήρια σχολείων στην Ιταλία. Απόρροια της ανάλυσης μεταξύ άλλων, ήταν και η στοχευμένη πρόταση στρατηγικής για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των εν λόγω κτηρίων μέσω εγκατάστασης συστήματος συμπαραγωγής ενέργειας.

Το 2022 σχεδιάστηκε με την βοήθεια του **TRNSYS** (Redpath et al., 2022) ένα ηλιακό σύστημα ψύξης, για ένα μικρό κτίριο υγειονομικής περίθαλψης. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τοπικές κλιματικές συνθήκες και πρότυπα χρήσης του κτιρίου για την εκτίμηση των απαιτήσεων ψύξης. Μετά από πολλές δοκιμές με διαφορετικές παραμέτρους, βρέθηκε η βέλτιστη λύση με τις λιγότερες εκπομπές CO₂ στο περιβάλλον (Wang et al., 2024).

Σε επιστημονικό περιοδικό στην Κίνα, δημοσιεύθηκε μελέτη (Wang et al., 2024), σχετικά με την αξιολόγηση της απόδοσης και της ενεργειακής αποδοτικότητας ενός συστήματος HVAC, που συνδυάζει πολλαπλές πηγές ενέργειας, μέσω της προσομοίωσης με το TRNSYS. Το μοντέλο παρείχε λεπτομερή προφίλ ζήτησης

ενέργειας, και βοήθησε στην αξιολόγηση του συστήματος υπό πολλές διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

3.2.3 EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα εξελιγμένο δυναμικό εργαλείο προσομοίωσης ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και συστημάτων HVAC το οποίο αναπτύχθηκε από το U.S Department of Energy (DOE). Πρόκειται για ένα μοντέλο τύπου white-box, το οποίο βασίζεται σε φυσικές εξισώσεις και την ηλεκτρολογική συμπεριφορά των συστημάτων ενός κτηρίου. (EnergyPlus Documentation, 2024) Διαθέτει μεγάλη ακρίβεια και ευελιξία, και είναι ειδικό για έρευνες και μελέτες που αφορούν την ενεργειακή απόδοση και τις ανανεώσιμες πηγές, και μπορεί να συνδυαστεί με άλλα εργαλεία όπως OpenStudio. Επίσης διαθέτει αρκετό υλικό και αρκετά μεγάλη και ενεργή κοινότητα, και αποτελεί την επίσημη μηχανή προσομοίωσης για πολλά διεθνή πρότυπα ενεργειακής αξιολόγησης.

Το 2019 εκπονήθηκε μια μελέτη με την χρήση του **EnergyPlus**, με αντικείμενο ένα κτήριο στο College Park στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Liu, 2019). Η μελέτη αυτή παρουσίασε τη διαδικασία επικύρωσης ενός θερμικού μοντέλου μονοκατοικίας, χρησιμοποιώντας το EnergyPlus σε συνδυασμό με το λογισμικό Contam, που είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση της ροής αέρα και της μεταφοράς ρύπων εντός κτιρίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλή ακρίβεια μεταξύ των μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών θερμοκρασίας και ανταλλαγής αέρα. Επίσης μελετώντας τις μεταβολές αυτές, βοήθησε την πρόβλεψη για τον ρυθμό αύξησης των υπό μελέτη μεγεθών.

Στην Ιταλία, στα πλαίσια μελέτης που αφορούσε ένα κτήριο με πολύ χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση (έξυπνο σπίτι) (Priarone et al., 2020), χρησιμοποιήθηκε το EnergyPlus για να προσομοιάσει την απόδοση δύο διαφορετικών αντλιών θερμότητας, μίας νερού-νερού και μίας αέρα-αέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι ο υπολογισμός της προσομοίωσης, πλησίαζε κατά πολύ τα δεδομένα κατανάλωσης που είχαν ορίσει οι κατασκευαστές.

3.2.4 EQuest

Το eQuest είναι ένα δωρεάν λογισμικό προσομοίωσης ενεργειακής απόδοσης κτηρίων, σχεδιασμένο από την εταιρία James J. Hirsch & Associates σε συνεργασία με το

Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) και βασίζεται στην μηχανή DOE 2-2 (eQuest Documentation, 2024). Διαθέτει γραφικά περιβάλλοντα, και διευκολύνει αρκετά την χρήση του και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων μετά από την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, όπως επίσης και ενσωματωμένους οδηγούς (Wizards) που κατευθύνουν τον νέο χρήστη βήμα προς βήμα, για την κατασκευή του μοντέλοποιημένου αντικειμένου-κτηρίου. Υποστηρίζει την αυτόματη λήψη κλιματικών δεδομένων, γεγονός που βοηθάει στην προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός νοικοκυριού, μέσα στην πάροδο του έτους. Είναι εύκολο στην εκμάθηση και στην χρήση, και υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για την επίλυση αποριών. Είναι ιδανικό για κάποιον ο οποίος ενδιαφέρεται να μελετήσει την ενεργειακή συμπεριφορά για ένα νοικοκυριό, είτε για ερευνητικούς, είτε για προσωπικούς λόγους, μιας και υπάρχουν πολλά στοιχεία εξατομίκευσης, με τα οποία μπορούμε να πλησιάσουμε στην κατασκευή ενός αρκετά ικανοποιητικού αντίγραφου του πραγματικού κτηρίου.

Το 2013 εξετάστηκε η Σύμβαση Ενεργειακής Απόδοσης με Απόδοση Εξοικονόμησης (ESPC) ενός κτηρίου γραφείων, με την χρήση του μοντέλου **eQuest**. (Ming-Tsun et al., 2013) Η μελέτη διερευνά την ακρίβεια και την αξιοπιστία της προσομοίωσης ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου, μέσω του λογισμικού eQuest, σε συνδυασμό με το Πρωτόκολλο Διεθνούς Μέτρησης και Επαλήθευσης Απόδοσης (IPMVP). Η έρευνα επικεντρώνεται στη βαθμονόμηση του μοντέλου προσομοίωσης, με βάση πραγματικά δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να αξιολογηθεί η ακρίβεια των προβλέψεων του μοντέλου. Και πάλι στην Αμερική, (Baig et al., 2015) χρησιμοποιήθηκε το eQuest για να προσομοιάσει την ενεργειακή απόδοση συστήματος αντλίας θερμότητας, με καύση φυσικού αερίου σε ένα ενεργειακά αποδοτικό κτήριο, λαμβάνοντας υπ' όψη την κατανάλωση ενέργειας, καθώς και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Μετά, έγινε η σύγκριση με συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Η εφαρμογή αυτή έγινε σε διάφορες πόλεις του Οντάριο.

Είναι λοιπόν κατανοητό ότι αυτά τα εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, ώστε να μας βοηθήσουν να βρούμε λύσεις σε προβλήματα τα οποία μας απασχολούν, αλλά και όπως φαίνεται να προβλέψουμε τα προβλήματα αυτά και να τα λύσουμε πριν αυτά καν εμφανιστούν.

Το eQuest είναι και το μοντέλο που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε, και στο επόμενο κεφάλαιο για την Προσομοίωση των νοικοκυριών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

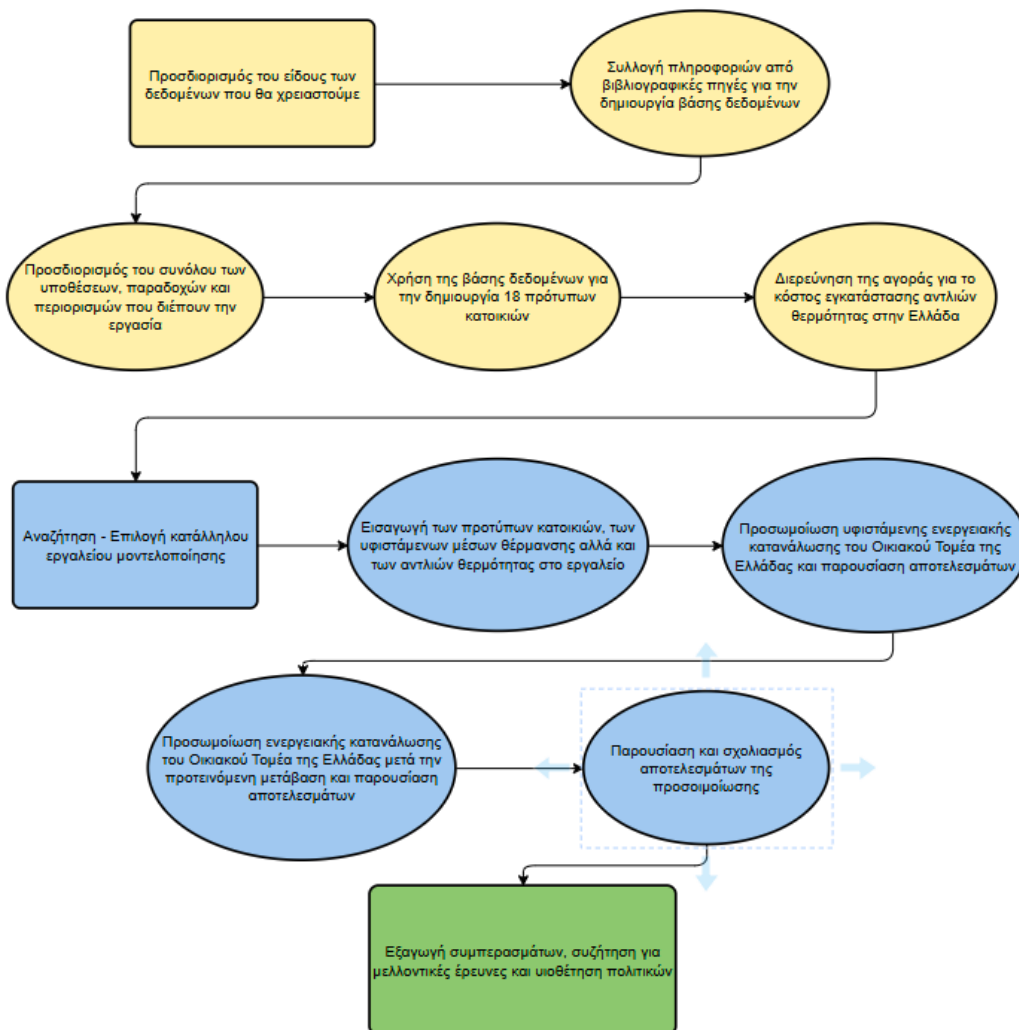
4.1 Διαδικασία μοντελοποίησης μέσω του EQuest

Όπως προαναφέρθηκε, η εκτέλεση της εργασίας χωρίζεται σε τρεις φάσεις. Αρχικά, το πιο σημαντικό κομμάτι ήταν η σωστή συλλογή δεδομένων, ώστε το μοντέλο που θα κατασκευαστεί να είναι ρεαλιστικό και να μπορεί να εξάγει ορθά αποτελέσματα. Για αυτόν το λόγο αντλήθηκαν δεδομένα από διάφορες πηγές και ακολούθησε ο έλεγχος ορθότητας τους. Έπειτα κατασκευάσαμε μια βάση δεδομένων, την οποία χρησιμοποιήσαμε για να κατασκευάσουμε 18 πρότυπες κατοικίες, οι οποίες θεωρούμε ότι αντιπροσωπεύουν το σύνολο της Ελλάδας. Όπως είναι φυσικό, σε ορισμένους τομείς, λόγω έλλειψης επαρκούς πληροφορίας έγιναν κάποιες υποθέσεις και παραδοχές προκειμένου να συνεχιστεί η προσομοίωση, οι οποίες επεξηγούνται αργότερα στο κεφάλαιο.

Το επόμενο βήμα, ήταν η επιλογή του εργαλείου που θα χρησιμοποιήσουμε για την μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Εξετάστηκαν 4 διαφορετικά μοντέλα πριν καταλήξουμε σε αυτό που χρησιμοποιήσαμε. Έπειτα, έγινε η εισαγωγή των κατοικιών αλλά και των συμβατικών μέσων θέρμανσης, όπως και των αντλιών θερμότητας. Με το μοντέλο έτοιμο, προχωρήσαμε στην πραγματοποίηση συνολικά 36 προσομοιώσεων για να καλύψουμε την υφιστάμενη κατανάλωση ενέργειας, αλλά και την μελλοντική σε περίπτωση καθολικής μετάβασης σε αντλίες θερμότητας ως μέσο θέρμανσης. Αφού παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα, έγιναν συγκρίσεις ανάμεσα στην επιρροή του κάθε κύριου χαρακτηριστικού των κατοικιών όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση, και έγινε σχολιασμός και συζήτηση επί των αποτελεσμάτων. Για τον έλεγχο βιωσιμότητας της στρατηγικής αυτής, έγινε ανάλυση των οικονομικών επιδράσεων που θα έχει η μετάβαση αυτή, τόσο στον τελικό καταναλωτή, όσο και στην Ελλάδα.

Τέλος, μέσα από την παραπάνω σύγκριση εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με την λύση που προτείνεται, και ακολούθησε η σύνταξη προτάσεων σχετικά με μελλοντικές έρευνες που μπορούν να βοηθηθούν από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, καθώς και για πολιτικές που μπορούν να υιοθετηθούν βασιζόμενες στα δεδομένα αυτά.

Παρακάτω στην **Εικόνα 9**, ακολουθεί ενδεικτικό διάγραμμα της παραπάνω διαδικασίας



Εικόνα 9: Διάγραμμα βημάτων εκπόνησης της εργασίας

4.2 Επιλογή Δεδομένων και Παράμετροι

Όπως προαναφέρθηκε, το πρώτο σκέλος της μοντελοποίησης αφορά την συλλογή δεδομένων για την δημιουργία του μοντέλου. Τα ελληνικά κτήρια χαρακτηρίζονται από πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή τους κατανάλωση με τους πιο σημαντικούς να είναι (van den Brom et al., 2019):

- Η γεωγραφική τους περιοχή,
- Ο αριθμός των κατοίκων
- Το μέγεθος του νοικοκυριού (έκταση)
- Ο τύπος της οικίας (μονοκατοικία ή πολυκατοικία)
- Η χρονολογία κατασκευής

- Ο αριθμός των ορόφων
- Η χρήση της κατοικίας (κύρια η δευτερεύουσα)
- Θερμομόνωση κατοικίας.

Όπως είδαμε και από τις προηγούμενες εφαρμογές της μοντελοποίησης, όσο περισσότερους παράγοντες λάβουμε υπόψιν τόσο πιο αντιπροσωπευτικό είναι το μοντέλο. Στην δεδομένη εργασία, λόγω της διαθεσιμότητας των πληροφοριών, της εκθετικής αύξησης του αριθμού των αναγκαίων προσομοιώσεων με την πρόσθεση κάθε παράγοντα, αλλά και με την προτεραιοποίηση των πιο σημαντικών, αποφασίστηκε ότι το σύνολο των κτηρίων, θα κατηγοριοποιηθεί με την χρήση τριών παραγόντων, **τον τύπο της κατοικίας, την χρονολογία κατασκευής και την κλιματική ζώνη** στην οποία βρίσκονται. Τα υπόλοιπα κριτήρια δεν αγνοούνται μέσα στα πλαίσια της εργασίας, αλλά θεωρούνται δευτερεύοντα, και έχουν χρησιμοποιηθεί μεσοσταθμικές τιμές για την εισαγωγή τους στο μοντέλο. Ο αριθμός των κατοίκων, κατά κανόνα αυξάνει την γενική κατανάλωση σε ένα νοικοκυριό, όμως δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την κατανάλωση που αφορά την θέρμανση, παρά μόνο την παραγωγή ZNX. Η έκταση της κατοικίας είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την ισχύ της αντλίας που θα χρειαστεί να εγκαταστήσουμε, ώστε να μπορούμε να καλύψουμε τις ενεργειακές ανάγκες του νοικοκυριού για θέρμανση. Ωστόσο, λόγω του ότι δεν υπάρχει ένας ευδιάκριτος αριθμός διαφορετικών περιπτώσεων, όσον αφορά τα τ.μ. που καταλαμβάνει ένα νοικοκυριό, χρησιμοποιήσαμε τις τιμές των πρότυπων κατοικιών που μας έδωσε το TABULA (TABULA, 2017). Οι όροφοι της κατοικίας, όταν αναφερόμαστε σε πολυκατοικίες συνήθως, αποτελούν διαφορετικό νοικοκυριό ο κάθε ένας, οπότε τους αντιστοιχεί και διαφορετική εγκατάσταση αντλίας. Ιδιάζουσα περίπτωση αποτελεί η μεζονέτα όπου λόγω και της διαφοράς ύψους, αλλά και των ιδιομορφιών του χώρου, η θέρμανση της ίδιας έκτασης σε διαφορετικά επίπεδα είναι πιο αναποτελεσματική από την θέρμανση του ενός. Ωστόσο, αυτό αποτελεί μια πολύ συγκεκριμένη περίπτωση για τα ελληνικά δεδομένα και θεωρούμε ότι δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα μας, λόγω του μικρού αριθμού τέτοιων νοικοκυριών. Τέλος, η θερμομόνωση που διαθέτει ένα νοικοκυριό, μειώνει δραστικά τις ενεργειακές απώλειες, ελαττώνοντας έτσι την συνολική κατανάλωση. Βέβαια, για τις χρονολογίες που εξετάζονται, οι διαφορές στην θερμομόνωση των νοικοκυριών, δεν είναι αξιοσημείωτες, με αποτέλεσμα να μην μας δίνουν μια ουσιαστική διαφορά. Παρ' όλα

αυτά, μερικές μικρές διαφορές έχουν εισαχθεί στο μοντέλο κατά την δημιουργία των κατοικιών όπως αναφέρεται παρακάτω.

4.3 Διαδικασία Δημιουργίας Πρότυπων Κατοικιών

Σύμφωνα με άρθρο πού έχει βασιστεί σε έρευνες του Τομέα Ηλ. Βιομ. Διατάξεων και Συστ. Αποφάσεων της Σχολής (Frilingou et al., 2024), καθώς και το ερευνητικό υλικό των συγγραφέων, προκύπτουν τα εξής:

Στην Ελλάδα υπάρχουν **4.111.858** νοικοκυριά, εκ των οποίων οι μονοκατοικίες (Single Family Households), οι οποίες από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως SFH, αποτελούν το **51,35%** των συνολικών νοικοκυριών με αριθμό **2.111.314** και συνεπώς οι πολυκατοικίες (Multi Family Households) – MFH, αποτελούν το **48,65%** με αριθμό **2.000.544**.

Στην συνέχεια, εισάγουμε και το δεύτερο κριτήριο που είναι η χρονολογία κατασκευής. Δεδομένου ότι τα νέα σπίτια (χρονολογίας μετά το 2010) έχουν αρκετά ανεπτυγμένα συστήματα θέρμανσης σε σχέση με τα παλαιά, και του γεγονότος ότι αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των κατοικιών στην Ελλάδα, κρίθηκε θεμιτό να είναι αυτά το αντικείμενο της έρευνας. Όπως είχε αναλυθεί και στο Κεφάλαιο 2.1.4 υπάρχουν τρεις ημερομηνίες που είναι κομβικές, όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο χτίζονταν οι κατοικίες, και είναι το 1980, το 2000 και το 2010. Συνεπώς δημιουργήθηκαν τρεις κατηγορίες.

- a. Κατοικίες που κατασκευάστηκαν πριν το 1980 (pre-1980)
- b. Κατοικίες που κατασκευάστηκαν στο ενδιάμεσο διάστημα (1980-2000)
- c. Κατοικίες που κατασκευάστηκαν μετά το 2000 (post-2000)

Σε αυτήν την φάση υπάρχουν 6 κατηγορίες σπιτιών και με παρόμοιο τρόπο με πριν, υπολογίστηκε ο αριθμός των κατοικιών της κάθε μιας, καθώς και το ποσοστό της επί του συνόλου.

Ωστόσο, δεν έχει ληφθεί υπόψιν ακόμα η γεωγραφική τοποθεσία των κατοικιών η οποία έχει πολύ μεγάλη επιρροή στην κατανάλωση ενέργειας. Εδώ εισάγεται και το τρίτο κριτήριο, που είναι η Κλιματική ζώνη. Επιλέχθηκαν οι κλιματικές ζώνες Α, Β και Γ, καθώς η κλιματική ζώνη Δ αποτελεί ένα σχεδόν μηδαμινό ποσοστό, και δεν επηρεάζει σε γενικό βαθμό τα αποτελέσματα μας.

Συνολικά κατασκευάστηκαν 18 πρότυπες κατοικίες οι οποίες αντιπροσωπεύουν επαρκώς το σύνολο της Ελλάδας, και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7: Λίστα πρότυπων κατοικιών με τα κριτήρια διαχωρισμού τους.

A/A Κτηρ ίου	Τύπος	Χρονολογία Κατασκευής	Κλιματική Ζώνη	Αριθμός	% επί του συνόλου
1	SFH	pre-1980	Ζώνη Α	281.177	6,84
2	SFH	pre-1980	Ζώνη Β	562.353	13,68
3	SFH	pre-1980	Ζώνη Γ	441.849	10,75
4	SFH	1980-2000	Ζώνη Α	111.746	2,72
5	SFH	1980-2000	Ζώνη Β	223.433	5,43
6	SFH	1980-2000	Ζώνη Γ	175.555	4,27
7	SFH	past-2000	Ζώνη Α	50.482	1,23
8	SFH	past-2000	Ζώνη Β	100.965	2,46
9	SFH	past-2000	Ζώνη Γ	79.330	1,93
10	MFH	pre-1980	Ζώνη Α	100.674	2,45
11	MFH	pre-1980	Ζώνη Β	634.245	15,42
12	MFH	pre-1980	Ζώνη Γ	261.752	6,37
13	MFH	1980-2000	Ζώνη Α	63.227	1,54
14	MFH	1980-2000	Ζώνη Β	398.328	9,69
15	MFH	1980-2000	Ζώνη Γ	164.389	4
16	MFH	past-2000	Ζώνη Α	36.154	0,88
17	MFH	past-2000	Ζώνη Β	277.770	5,54
18	MFH	past-2000	Ζώνη Γ	94.000	2,29

Παρά την δημιουργία των πρότυπων κατοικιών, μας λείπουν οι υπόλοιπες πληροφορίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Για αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκε το TABULA Web-tool (TABULA website, 2017) το οποίο είναι ένα εργαλείο το οποίο

παρέχει τα χαρακτηριστικά μιας “μέσης” κατοικίας, ανάλογα με συγκεκριμένες ιδιότητες, έχοντας συλλέξει δεδομένα από όλη την Ελλάδα. Όσον αφορά αυτές τις πληροφορίες, λόγω έλλειψης τόσο εξειδικευμένων ερευνών, αναγκαστήκαμε να πάμε με την μέθοδο του “μέσου όρου” που έχει υπολογίσει το εργαλείο.

Για το μέσο θέρμανσης, θα θεωρήσουμε αυτό που είναι επικρατέστερο στην συγκεκριμένη κατηγορία. Μέχρι το 2000 δεν υπήρχε ακόμα στο προσκήνιο το φυσικό αέριο οπότε σε όλα αυτά τα σπίτια υπάρχει ως κύριο μέσο θέρμανσης το πετρέλαιο.

Για την δεκαετία 2000-2010 στις κατοικίες της Κλάσης Α χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό η θέρμανση με A/C ενώ στην κλάση Β ως κύρια πηγή θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε το φυσικό αέριο. Τέλος στην κλάση Γ, οι μονοκατοικίες προτίμησαν το πετρέλαιο ενώ οι πολυκατοικίες εγκατέστησαν κυρίως λέβητες φυσικού αερίου.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω λοιπόν, σχηματίστηκε ο παρακάτω πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει επιπλέον τα τετραγωνικά, τον αριθμό των ορόφων και των διαμερισμάτων καθώς και το επιλεγμένο μέσο θέρμανσης.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά κατοικιών

A/A Κτηρίου	Έκταση (τ.μ.)	Αρ. Ορόφων	Αρ. νοικοκ.	Κυρ. Μέσο θέρμανσης
1	111	2	1	Πετρέλαιο
2	162	2	1	Πετρέλαιο
3	187	2	1	Πετρέλαιο
4	86	1	1	Πετρέλαιο
5	293	2	1	Πετρέλαιο
6	149	2	1	Πετρέλαιο
7	217	1	1	Ηλεκτρικό Ρεύμα.
8	115	2	1	Φυσικό Αέριο
9	179	1	1	Πετρέλαιο
10	900	5	5	Πετρέλαιο
11	1100	3	6	Πετρέλαιο
12	944	3	6	Πετρέλαιο
13	1170	3	6	Πετρέλαιο
14	1153	3	9	Πετρέλαιο
15	706	2	4	Πετρέλαιο
16	357	2	4	Πετρέλαιο

17	545	2	6	Φυσικό Αέριο
18	680	3	6	Φυσικό Αέριο

4.4 Οικονομική έρευνα κόστους αερόθερμης αντλίας θερμότητας

Για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων, όσον αφορά την εξοικονόμηση χρηματικών πόρων, έπρεπε να διερευνηθεί και το πραγματικό κόστος για την εγκατάσταση μίας αντλίας θερμότητα, σε ένα μέσο νοικοκυριό. Έτσι θα μπορέσει να μελετηθεί το κατά πόσο μια τέτοια επένδυση μπορεί, εκτός από περιβαλλοντικά οφέλη, να οδηγήσει και σε εξοικονόμηση χρημάτων. Με την δεδομένη κατάσταση στον κατασκευαστικό τομέα της Ελλάδας, τα εργατικά και κατασκευαστικά κόστη μεταβάλλονται συνεχώς, ανάλογα με την διαθεσιμότητα και το είδος της εργασίας, και δεν αναρτώνται δημόσια. Λόγω αυτής της έλλειψης δεδομένων, για την αναζήτηση κόστους βασιστήκαμε κυρίως σε προηγούμενες έρευνες (Frilingou et al., 2024). Στην συνέχεια, επιβεβαιώσαμε την ορθότητα των τιμών αυτών με δεδομένα της αγοράς, ζητώντας προσφορές από ιδιωτικές εταιρίες του κατασκευαστικού και τεχνικού κλάδου. Το μέγεθος της αντλίας, που με την σειρά του επηρεάζει το συνολικό κόστος, εξαρτάται και από την έκταση του νοικοκυριού και συνεπώς δεν μπορούμε να ορίσουμε μια συγκεκριμένη τιμή, παρά μόνο ένα φάσμα τιμών. Μετά από συζήτηση σχετικά με τις απαιτήσεις, αλλά και την αναζήτηση μίας οικονομικής λύσης, ώστε να είναι εφικτή η εγκατάσταση από το μέσο ελληνικό νοικοκυριό (100-150 τ.μ., σύμφωνα με τα αποτελέσματα του TABULA), καθώς και την σύγκριση των διαφορετικών αποτελεσμάτων, προέκυψαν τα παρακάτω για εγκατάσταση αερόθερμης αντλίας θερμότητας, τα οποία είναι επίκαιρα κατά την περίοδο εκπόνησης της εργασίας.

Πίνακας 9: Ανάλυση κόστους εγκατάστασης αντλίας θερμότητας

ΕΙΔΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ
Αντλία θερμότητας (100-150 τ.μ.)	2500-4000 €
Εγκατάσταση και σύνδεση στο υφιστάμενο δίκτυο	1000-2000 €
ΣΥΝΟΛΟ	3.500 –6.000 €

Οικονομική περίπτωση: $100 \text{ (W/τ.μ.)} \times 100 \text{ (τ.μ.)} \times 350 \text{ €/kW} = 3.500\text{€}$

Δαπανηρή περίπτωση: $100 \text{ (W/τ.μ.)} \times 150 \text{ (τ.μ.)} \times 400 \text{ €/kW} = 6.000\text{€}$

Για νέες εγκαταστάσεις υπάρχει ένα κόστος περίπου 4.000 - 5.000 €, αλλά αφορά μόνο τις νέες κατοικίες μιας και σχεδόν όλες οι κατοικίες που εξετάζονται, έχουν κάποιο υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης, ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιείται. Έτσι αυτό το κόστος αγνοείται στην προκειμένη περίπτωση.

4.5 Χρήση Επιλεγμένου Μοντέλου

Στο Κεφάλαιο 3.2 αναφέρθηκαν 4 εργαλεία μοντελοποίησης τα οποία εξετάστηκαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, εκ των οποίων το πρώτο ήταν το HiSim. Ωστόσο το **HiSim** είναι ένα μοντέλο το οποίο έχει αρκετή πολυπλοκότητα και δεν διαθέτει γραφική διεπαφή (GUI), και δεν προσφέρει κάποια γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσχρηστο. Επίσης, οι πληροφορίες που υπήρχαν σχετικά με την χρήση του μοντέλου ήταν ελάχιστες, αφού η μόνη πηγή πληροφόρησης ήταν το documentation του εργαλείου. Δεν υπήρχε forum η μια ενεργή ομάδα υποστήριξης για την παροχή βοήθειας σε τυχόν απορίες. Έπειτα, εξετάστηκαν οι επιλογές των **TRNSYS** και **EnergyPlus**, ωστόσο και αυτά απορρίφθηκαν καθώς το πρώτο δεν διατίθεντο για ελεύθερη χρήση και το δεύτερο λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων του αποσκοπεί σε επαγγελματικά projects και είχε αρκετά αυξημένη πολυπλοκότητα.

Μετά από αρκετή έρευνα, αποφασίσαμε να κάνουμε χρήση του εργαλείου **eQuest** το οποίο είναι ένα δωρεάν εργαλείο, το οποίο παρόλο που μπορεί να προσομοιάσει σε βάθος την λειτουργία ενός κτηρίου όπως θα δούμε και παρακάτω, είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη, αφού τον βοηθάει και τον κατευθύνει καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας δημιουργίας του μοντέλου, διαθέτοντας μια αρκετά εύχρηστη γραφική διεπαφή. Επίσης, μπορεί να εξάγει τα αποτελέσματα απευθείας σε γραφήματα ώστε να βοηθήσει τον χρήστη να κατανοήσει καλύτερα την συμπεριφορά του νοικοκυριού όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση. Δημιουργώντας ένα νέο κτήριο στο eQuest υπάρχει, ένας οδηγός (wizard) ο οποίος βοηθάει τον χρήστη να εισάγει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την επιτυχή κατασκευή του μοντέλου.

Εικόνα 10: Εισαγωγή βασικών στοιχείων κτηρίου

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Πρώτα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 10 εισάγονται ορισμένα στοιχεία όπως η ονομασία του αρχείου, τα πρότυπα με τα οποία είναι κατασκευασμένο το κτήριο και η σχετική νομοθεσία. Ένα επίσης πολύ σημαντικό εδάφιο που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα του μοντέλου, είναι τα λεγόμενα weather files τα οποία εισάγουμε στο μοντέλο. (EnergyPlus,2025) Τα weather files είναι αρχεία τύπου .bin που περιέχουν καταγραφές όλων των μεγεθών που αφορούν τα καιρικά φαινόμενα και τις καιρικές συνθήκες όπως θερμοκρασία, ροή αέρα, υγρασίας κτλ. με μετρήσεις ανά μικρά χρονικά διαστήματα. Έχουμε 3 διαφορετικά αρχεία, ένα για κάθε κλιματική ζώνη στις πόλεις Θεσσαλονίκη (Ζώνη Γ), Αθήνα (Ζώνη Β) και Ανδραβίδα (Ζώνη Α). Εισάγοντας τα στο μοντέλο, το eQuest μπορεί να υπολογίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια την ενεργειακή κατανάλωση, αφού οι κλιματικές συνθήκες υπό τις οποίες μελετάται η συμπεριφορά του νοικοκυριού, συμμετέχουν στην προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο για την διάρκεια του έτους. Τα αρχεία αυτά αφορούν ένα συγκεκριμένο ημερολογιακό έτος, και όπως είναι λογικό δεν ισχύουν ακριβώς οι ίδιες συνθήκες κάθε χρόνο, ωστόσο η εικόνα που μας δίνει είναι ικανοποιητική καθώς οι καιρικές συνθήκες, σε γενικό κανόνα κατά την διάρκεια του έτους, εμφανίζουν μια σταθερή περιοδικότητα

Στην συνέχεια, κατασκευάζεται το κέλυφος και εισάγονται όλα τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 11 υπάρχουν σύνολο έως 26 βήματα,

ανάλογα με την επιλογή ή μη, ορισμένων χαρακτηριστικών. Αρχικά, εισάγονται στοιχεία όπως όνομα του κτηρίου και η χρήση του. Σε αυτό το εδάφιο υπάρχουν αρκετές προεπιλογές που εισάγουν αυτόματα κάποιες προκαθορισμένες τιμές σε ορισμένα εδάφια στην συνέχεια.

Εικόνα 11: Εισαγωγή βασικών στοιχείων κελύφους κτηρίου

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Έπειτα εισαγάγαμε την έκταση του νοικοκυριού, καθώς όπως επίσης τους ορόφους και το προφίλ λειτουργίας. Στην συνέχεια εισάγουμε τις διαστάσεις ώστε το κτήριο να πάρει μορφή, και διάφορα οικοδομικά χαρακτηριστικά του, τα υλικά κατασκευής τοίχων, ανοιγμάτων όπως πόρτες και παράθυρα, της σκεπής και της πιθανής σκίασης που μπορεί να υπάρχει.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι αλλάξαμε ελαφρώς χαρακτηριστικά των σπιτιών, ανάλογα με την χρονολογία κατασκευής. Έτσι σε κάθε μία από τις 3 αυτές κατηγορίες χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά. Συγκεκριμένα:

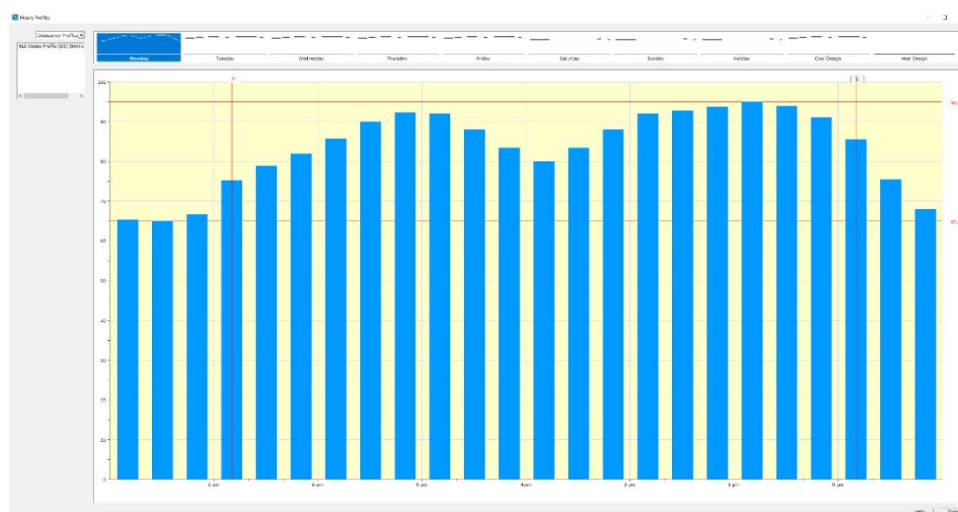
Στα κτήρια που κατασκευάστηκαν πριν το 1980, χρησιμοποιήθηκαν συμπαγείς διπλοί τοίχοι από τούβλα, στέγη χωρίς θερμομόνωση και μονά τζάμια σε ξύλινα ή σιδερένια κουφώματα χωρίς στεγανότητα.

Στα κτήρια που κατασκευάστηκαν στο διάστημα 1980-2000, χρησιμοποιήθηκαν τοίχοι από τούβλα με θερμομονωτική στρώση 3 ιντσών, διπλά τζάμια και μέτριας ποιότητας κουφώματα.

Στα κτήρια που κατασκευάστηκαν στο διάστημα 2000-2010, χρησιμοποιήθηκαν τοίχοι από τούβλα με θερμομονωτική στρώση 4 ιντσών, διπλά τζάμια και μέτριας ποιότητας κουφώματα.

Δεν εξετάστηκε η θερμομόνωση των σπιτιών και το κάθε υλικό κατασκευής τους σε βάθος, καθώς αυτό ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής και θα δυσκόλευε το έργο του να εκτιμήσουμε την πραγματική συνεισφορά της αντλίας θερμότητας στην εξοικονόμηση του νοικοκυριού. Ωστόσο, θεωρήσαμε ότι επειδή προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε μια ρεαλιστική προσομοίωση του οικιακού τομέα, δεν μπορούσαμε να μην λάβουμε καθόλου υπόψη ακόμα και αυτήν την μικρή εξέλιξη των συστημάτων θερμομόνωσης ανά τα χρόνια.

Μετά την επιλογή των φυσικών χαρακτηριστικών της κατοικίας, υπάρχει ο ορισμός των ημερών και ωρών λειτουργίας, καθώς και του προφίλ που θα χρησιμοποιήσει το eQuest για τον καταμερισμό της ενεργειακής κατανάλωσης μέσα στην μέρα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

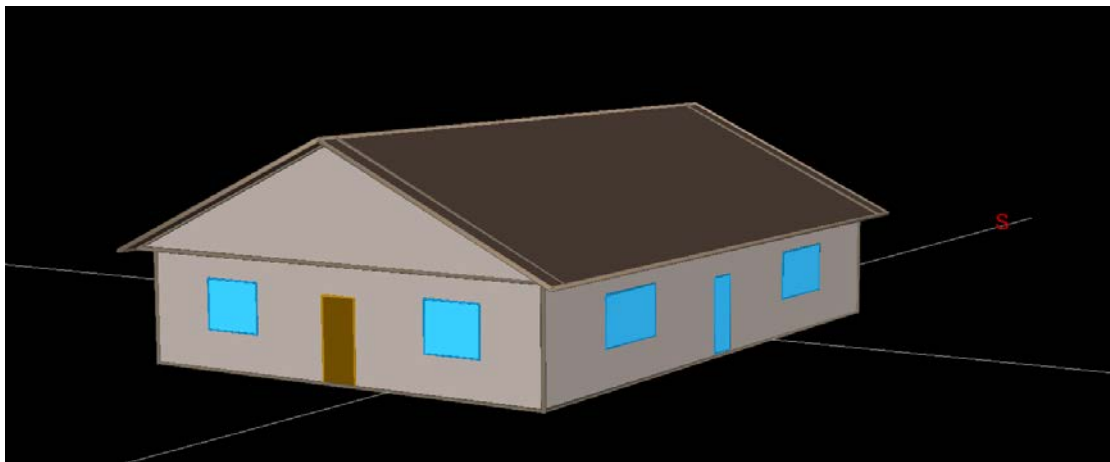


Εικόνα 12: Προφίλ χρήσης νοικοκυριού

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Το παραπάνω αποτελεί την προκαθορισμένη επιλογή και δείχνει την διακύμανση της χρήσης του νοικοκυριού, στην διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου. Βλέπουμε, ότι η χρήση είναι μειωμένη τις πολύ πρωινές ώρες και αρχίζει να ανεβαίνει όσο περνάει η ώρα, μέχρι τις 8:00-9:00. Μετά ελαττώνεται, λόγω του ότι ορισμένα μέλη του νοικοκυριού απουσιάζουν λόγω σχολείου, υποχρεώσεων ή εργασίας, από τις 14:00-15:00, η χρήση ανεβαίνει, αφού τα μέλη γυρίζουν στο νοικοκυριό, και επιστρέφει ξανά σε χαμηλότερα επίπεδα προς τα μεσάνυχτα. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κάποια διαφοροποίηση σχετικά με τα ωράρια, αυτά μπορούν να προσαρμοστούν αναλόγως, για να δώσουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Στην προκειμένη περίπτωση, πορευτήκαμε σύμφωνα με τον γενικό κανόνα που χαρακτηρίζει την καθημερινότητα σχεδόν του συνόλου των νοικοκυριών της Ελλάδας.

Τέλος, υπάρχει η επιλογή για την εισαγωγή δεδομένων όπως εσωτερικός ή εξωτερικός φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές, συσκευές μαγειρικής κτλ. Δεδομένου ότι η ύπαρξη ή μη, των συγκεκριμένων συσκευών δεν επηρεάζουν την έκβαση της έρευνας μας, και ότι μας ενδιαφέρει μόνο η θέρμανση της οικίας, αυτά τα εδάφια δεν συμπληρώθηκαν. Με την ολοκλήρωση όλων αυτών των βημάτων, το μοντέλο δημιουργεί μια τρισδιάστατη απεικόνιση του κτηρίου όπως στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Παράδειγμα τρισδιάστατης απεικόνισης

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Μετά την κατασκευή του κελύφους, μένει η εισαγωγή του μέσου θέρμανσης. Για κάθε μια από τις 13 πρότυπες κατοικίες που κατασκευάστηκαν, δημιουργήθηκαν 2 μέσα θέρμανσης, ένα για την υφιστάμενη κατάσταση, και ένα για την λύση που μελετάται με την Αερόθερμη αντλία θερμότητας.

Για την κατασκευή γίνεται χρήση του οδηγού που φαίνεται στην Εικόνα 14.

HVAC System Definition

System Type Name:

Cooling Source:

Heating Source:

Hot Water Src:

System Type:

System per Area:

Component Name Prefix:

Suffix:

(# Prefix+Suffix characters must be <= 4)

☒ Prevent duplicate model components

System Assignment to Thermal Zones*

	Shell Component(s)	Description of Assigned Zones
1	Typical House	All Zones
2	- undefined -	

* Assignments here are superseded by HVAC assignments made on the zone group screen (by shell)

Wizard Screen 1 of 7

Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Εικόνα 14: Εισαγωγή στοιχείων μέσου θέρμανσης

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Για την υφιστάμενη κατάσταση, χρησιμοποιήθηκαν επιλογές που αντιστοιχούσαν στο εκάστοτε σύστημα (Λέβητας πετρελαίου η φυσικού αερίου, ή A/C) για την θέρμανση του χώρου και του ZNX. Στην συνέχεια, καθορίστηκαν οι δείκτες του θερμοστάτη, σύμφωνα με τους οποίους λειτουργεί το μέσο θέρμανσης. (Εικόνα 15). Χρησιμοποιήθηκαν οι προκαθορισμένες τιμές εκκίνησης του συστήματος, οι οποίες αντιστοιχούν σε ~26 βαθμούς για την ψύξη και ~20 βαθμούς για την θέρμανση. Οι τιμές στόχοι ορίστηκαν στους ~22-23 βαθμούς. Στην συνέχεια, ορίζονται οι ώρες κατά τις οποίες το σύστημα θα είναι ενεργό.

Εικόνα 15: Ρυθμίσεις θερμοκρασίας και θερμοστάτη

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Για τα SFH, οι ώρες λειτουργίας ορίστηκαν σε 24 ώρες την ημέρα, καθώς τα μέλη του νοικοκυριού έχουν την ελευθερία να χρησιμοποιούν το μέσω θέρμανσης καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν ισχύει για τα MFH. Στην Ελλάδα, οι πολυκατοικίες και ιδιαίτερα όσες είναι χτισμένες πριν το 2005-2010, διαθέτουν κεντρική θέρμανση, η οποία ανοίγει σε συγκεκριμένες περιόδους, που είναι 3 ώρες το πρωί περίπου στις 7-8 η ώρα, που η θερμοκρασία είναι ακόμα χαμηλή, και άλλες 3-4 ώρες το βράδυ κατά τις 8-9, όπου πάλι η θερμοκρασία πέφτει. Συνεπώς ο χρόνος λειτουργίας τους περιορίζεται σε 6-7 ώρες το 24ωρο, και το προφίλ τους διαφέρει από αυτό των SFH.

Για την δεύτερη προσομοίωση, στην πρώτη καρτέλα επιλέχθηκαν τα παρακάτω μιας και μιλάμε για αντλίες πλέον:

Εικόνα 16: Επιλογές για αντλία θερμότητας

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Τα επίπεδα στόχοι της θερμοκρασίας κρατήθηκαν σταθερά και έπειτα εισήχθησαν τα χαρακτηριστικά των αντλιών που προσομοιώνουμε:

eQUEST DD Wizard: Air-Side System Type -- Heat Pump

Packaged HVAC Equipment

HVAC System 1: Split System Sgl Zone Heat Pump

Cooling

Overall Size: Auto-size

Typical Unit Size: < 65 kBtuh or 5.4 tons

Condenser Type: Air-Cooled

Efficiency: SEER 10,000

☒ Allow Crankcase Heating

Heating

Size: Auto-size

Efficiency: COP 3.5

Wizard Screen 3 of 7

Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Εικόνα 17: Επιλογή χαρακτηριστικών αντλίας θερμότητας

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

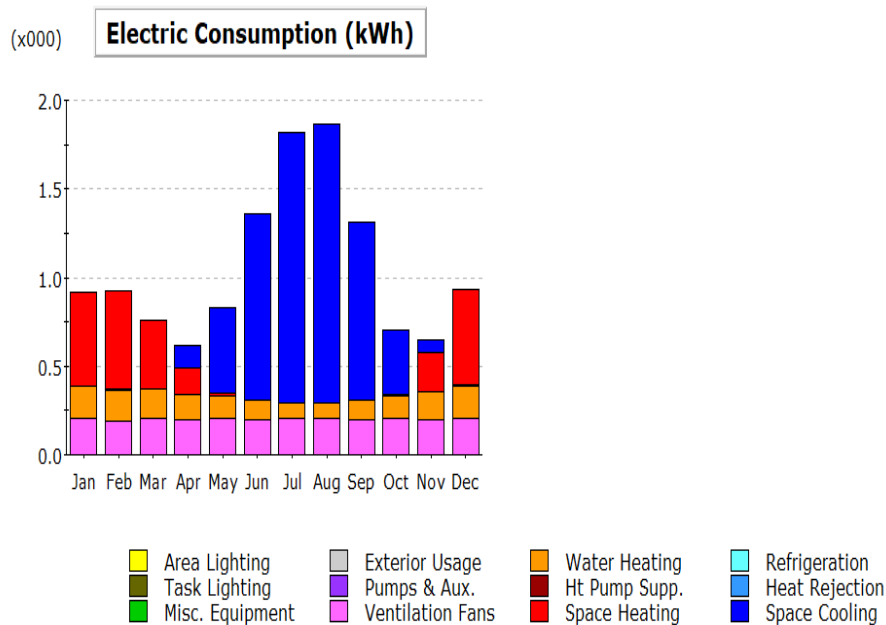
Επιλέχθηκαν αντλίες μικρότερες των 65kBtuh μιας και μιλάμε για οικιακές εγκαταστάσεις (US DoE, 2024), και ο βαθμός απόδοσης των αντλιών κυμάνθηκε στο 3.5. Στην συνέχεια, ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα για τον ορισμό των ωρών λειτουργίας, αλλά με την διαφορά ότι πλέον επειδή το σύστημα είναι αυτόνομο για κάθε νοικοκυριό, δεν ισχύει ο περιορισμός της κεντρικής θέρμανσης για τα MFH. Το μοντέλο δίνει επιπλέον την δυνατότητα, για την ανάθεση διαφορετικού συστήματος θέρμανσης σε διαφορετικές ζώνες του νοικοκυριού, ή και συνδυασμό 2 μορφών θέρμανσης στην ίδια ζώνη, ανάλογα με την ώρα και πολλές μορφές εξιδανίκευσης, ωστόσο κάτι τέτοιο δεν θα μας εξυπηρετούσε στην παρούσα εργασία.

Με την ολοκλήρωση και αυτού του βήματος, ολοκληρώνεται η προσομοίωση, και το εργαλείο μας εξάγει τα δεδομένα σε μια αναφορά όπως στην Εικόνα 18, όπου φαίνεται η κατανάλωση ενός από τα νοικοκυριά με χρήση αποκλειστικά αντλίας θερμότητας. Όπως βλέπουμε στην αναφορά, υπάρχει διάγραμμα με την ποιοτική κατανομή της κατανάλωσης για κάθε είδος ενέργειας που καταναλώθηκε ως προς την χρήση της, όπως επίσης και πίνακας με τις αριθμητικές τιμές με μεγάλη λεπτομέρεια. Όπως είναι φυσικό, μερικοί τύποι χρήσης εμφανίζονται μηδενικοί καθώς όπως αναφέραμε και

προηγουμένως, δεν μας επηρέαζαν τα αποτελέσματα οπότε αφήσαμε τις εισόδους για αυτά κενές. Αφού έγιναν και οι 36 προσομοιώσεις, τα δεδομένα συλλέχθηκαν και καταγράφηκαν με σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Project/Run: House No 9-NEW - Baseline Design

Run Date/Time: 05/11/25 @ 22:46



Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	0,00	0,13	0,48	1,05	1,52	1,57	1,00	0,36	0,07	0,00	6,20
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	0,53	0,55	0,39	0,15	0,02	-	-	-	-	0,01	0,22	0,54	2,41
HP Supp.	0,00	0,01	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,02
Hot Water	0,18	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,09	0,11	0,12	0,16	0,18	1,63
Vent. Fans	0,21	0,19	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	2,42
Pumps & Aux.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,92	0,92	0,76	0,62	0,83	1,36	1,82	1,86	1,31	0,70	0,65	0,94	12,69

Εικόνα 18: Αναφορά που εξάγεται από το μοντέλο μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

4.6 Σταθερές Υποθέσεις Εργασίας και Παραδοχές

Η εγκυρότητα των βασικών παραδοχών που υιοθετήθηκαν στο μοντέλο, αξιολογήθηκε βάσει τεχνικών προδιαγραφών, επίσημων στατιστικών δεδομένων και βιβλιογραφικών πηγών, με στόχο τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Για την εξαγωγή ορισμένων αριθμητικών μεγεθών, χρειάστηκε ο αριθμός των κατοίκων ανά νοικοκυριό. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιος κανόνας για τον αριθμό των ατόμων ανά κατοικία, καθώς δεν εξαρτάται από κάποιον άλλο παράγοντα που είχαμε αναφέρει προηγουμένως, υιοθετήθηκε ότι ο μέσος όρος είναι **2,3** κάτοικοι ανά νοικοκυριό, όπως προκύπτει από το άρθρο “Ελλάς με αριθμούς” (ΕΛΣΤΑΤ, 2025).

Το μοντέλο μπορεί να υπολογίσει την κατανάλωση ανά άτομο για την παραγωγή ZNX, ωστόσο η κατανάλωση υπολογίζεται στο σύνολο της, σαν παραγωγή από ηλεκτρικό θερμοσίφωνα. Για αυτόν τον λόγο, έπρεπε να βρούμε έναν άλλον τρόπο να υπολογίσουμε την τιμή αυτή. Έτσι ανατρέξαμε στην βιβλιογραφία ώστε να δούμε αν υπάρχει καμία καταγραφή από άλλες έρευνες σχετικά με την μέση κατανάλωση ZNX ανά ημέρα, που προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές και καταλήξαμε στην τιμή 0.83 kWh/ημέρα. (Papakostas et al., 1995) Αυτό σημαίνει ότι έχουμε έναν μέσο όρο $0,83 \cdot 365 = \sim 300$ kWh ετησίως. Με την σειρά του, αυτό μας δίνει την μέση ετήσια κατανάλωση για ZNX ανά νοικοκυριό που είναι **~700 kWh**.

Για να μπορούμε να ελέγξουμε αν τα αποτελέσματα μας είναι σωστά, θα πρέπει να έχουμε από πριν μια εικόνα, σχετικά με την κατανάλωση του συνόλου του οικιακού τομέα για την παραγωγή ZNX και την θέρμανση, ώστε να το συγκρίνουμε με τα ευρήματά μας. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, (ΕΛΣΤΑΤ, 2013) η μέση κατανάλωση ανά νοικοκυριό για το έτος 2011-2012 είναι ~ 14.000 kWh. Αφού έχουμε ως δεδομένο ότι υπάρχουν 4.111.858 νοικοκυριά, αυτό σημαίνει ότι η κατανάλωση του έτους είναι $57.556.012.000$ kWh = 57,556 GWh. Ωστόσο, από το σχήμα του Υποκεφαλαίου 2.1.4 φαίνεται ότι το 2010 που είναι το έτος που αφορά η μελέτη μας, η κατανάλωση ήταν ελαφρώς αυξημένη, αλλά μικρότερη από 62GWh που ήταν το 2008 η οποία ήταν η μέγιστη τιμή κατανάλωσης της Ελλάδας. Έτσι υπολογίζουμε ότι η κατανάλωση στην Ελλάδα για το έτος που μελετάται ήταν γύρω στις 59-60 GWh. από την ίδια πηγή προκύπτει ότι το 70% της συνολικής κατανάλωσης ενός νοικοκυριού αφορά την θέρμανση του χώρου και το ZNX, και συνεπώς η κατανάλωση που μας ενδιαφέρει είναι περίπου **42GWh**. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανάλωση ενέργειας της χώρας

το έτος 2024 ήταν περίπου 58GWh (TheGreenTank, 2024), που σημαίνει ότι κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα. Έτσι, ότι αποτελέσματα προκύψουν, εξακολουθούν να έχουν ισχύ και στο σήμερα.

Όσον αφορά την οικονομική έρευνα, για μπορέσουμε να υπολογίσουμε το οικονομικό κόστος που έχει αυτή η κατανάλωση, χρειαζόμαστε τις μέσες τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου και του ηλεκτρικού ρεύματος. Οι τιμές αυτές δεν είναι σταθερές και από μέρα σε μέρα αλλάζουν, καθώς επηρεάζονται από πολλά κοινωνικά και πολιτικά δρώμενα, οπότε δεν μπορούμε να είμαστε ποτέ σίγουροι, αλλά μπορούμε να έχουμε μια γενική εικόνα. Κατά την περίοδο εκπόνησης της διπλωματικής, η τιμή του πετρελαίου κυμαίνεται στα **1.3 €/lt** που δεδομένου ότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα είναι ~0.9 καταλήγουμε σε μια τιμή 1,44 €/kWh. Η τιμή του φυσικού αερίου κυμαίνεται στα **0,055 €/kWh** και του ρεύματος περίπου στα **0,13 €/kWh**. Στο φυσικό αέριο και το ρεύμα, οι τιμές μπορεί να έχουν μεγάλη απόκλιση ανάλογα με τον τύπο τιμολογίου και τον πάροχο.

Το eQuest μας εξάγει την κατανάλωση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου σε BTU. Για να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις τα κόστη που βρήκαμε παραπάνω θα πρέπει να μετατρέψουμε αυτές τις ποσότητες σε kWh. Για το πετρέλαιο ισχύει ότι **1lt=~35.000BTU = 10kWh** και το ίδιο περίπου ισχύει και για το φυσικό αέριο.

Τέλος, για τον υπολογισμό και των καταμερισμό των νοικοκυριών, χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά και τιμές που προκύπτουν από προηγούμενες έρευνες (Frilingou et al., 2024) και θεωρήθηκαν δεδομένα.

4.7 Περιορισμοί και υποθέσεις

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας υπήρξαν ορισμένοι περιορισμοί, καθώς και κάποιες υποθέσεις που έγιναν για την ολοκλήρωση της, λόγω των περιορισμών αυτών. Η κατανόηση τους είναι σημαντική για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όπως και για την κατανόηση τυχόν αποκλίσεων που μπορεί να προκύπτουν από παλιές ή μελλοντικές εφαρμογές. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά:

- Η συμπεριφορά των μελών ενός νοικοκυριού δεν είναι κάτι που μπορεί να υπολογιστεί για κάθε ξεχωριστό νοικοκυριό και δεν μπορεί κανένας να εγγυηθεί για την σταθερότητα της κατά την διάρκεια του έτους. Επηρεάζεται εύκολα από οικονομικούς αλλά και κοινωνικούς παράγοντες. Ο κάθε άνθρωπος καταναλώνει

πόρους ανάλογα με το κατά πόσο μπορεί να ανταπεξέλθει οικονομικά σε αυτούς. Είναι πολύ πιθανό ένα νοικοκυριό που βρίσκεται σε κακή οικονομική κατάσταση να μην κάνει χρήση της θέρμανσης και να προτιμήσει να θυσιάσει την άνεση του, αν οι συνθήκες του το επιβάλλουν. Επίσης, δεν έχει ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι πολλές οικογένειες λείπουν από το σπίτι σε περιόδους εορτών και έτσι η κατανάλωση είναι μηδενική. Ωστόσο για όλες αυτές τις περιπτώσεις δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία, με αποτέλεσμα να αναγκαστούμε να τις αγνοήσουμε.

➤ Οι υπολογισμοί για την οικονομική εξοικονόμηση έχει γίνει με βάση τις τιμές με τις οποίες διατίθεντο οι πρώτες ύλες κατά την περίοδο της εκπόνησης της εργασίας. Από περίοδο σε περίοδο, ακόμα και από περιοχή σε περιοχή, αυτές οι τιμές είναι πολύ πιθανόν να αλλάζουν με αποτέλεσμα να προκύπτουν διαφορετικές απόλυτες τιμές. Ωστόσο οι στατιστικές των τελευταίων χρόνων έχουν δείξει ότι οι μεταβολές αυτές είναι ανάλογες για όλα τα υλικά σε περιόδους οικονομικής ή πολιτικής κρίσης, με αποτέλεσμα τα ποσοστά που προκύπτουν να παραμένουν αναλλοίωτα.

➤ Κατά την διαδικασία της κατανομής των νοικοκυριών δεν υπολογίστηκε καθόλου η συνεισφορά της Κλιματικής Ζώνης Δ. Αυτό συνέβη καθώς αφενός αποτελούν ένα αμελητέο ποσοστό των νοικοκυριών της Ελλάδας και επηρεάζουν σε ελάχιστο βαθμό τα αποτελέσματα, και αφετέρου δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία για την μοντελοποίηση τους, όπως για παράδειγμα αρχείο με τις κλιματικές αλλαγές σε αυτήν την ζώνη, για να εισαχθεί στο πρότυπο.

➤ Το σύνολο των κατοικιών που υπάρχουν μοντελοποιήθηκε στο σύνολό του. Αυτό σημαίνει ότι στα πλαίσια αυτής της προσομοίωσης έχει θεωρηθεί ότι όλα τα νοικοκυριά λειτουργούν ταυτόχρονα καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Αυτό στην πραγματικότητα δεν ισχύει, καθώς ένα μέρος των νοικοκυριών αυτών αποτελούν εξοχικές κατοικίες και άλλα είναι εγκαταλελειμμένα με αποτέλεσμα να έχουν μηδενική ή ελάχιστη συμβολή στην ετήσια κατανάλωση της χώρας. Ωστόσο, δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα από τα οποία μπορούμε αντλήσουμε τον αριθμό ή ακόμα και το ποσοστό που αποτελούν αυτές οι κατηγορίες. Έτσι, αναμένεται η υπολογισμένη κατανάλωση να προκύψει ελαφρώς μεγαλύτερη από την αναμενόμενη.

➤ Τέλος, όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά των νοικοκυριών έγιναν αρκετές υποθέσεις ώστε να μπορούν να μοντελοποιηθούν. Αρχικά, για την έκταση των νοικοκυριών, λήφθηκε ένας μέσος όρος ο οποίος δινόταν από το εργαλείο TABULA. Στην πραγματικότητα, η έκταση μπορεί να πάρει πολλές διαφορετικές τιμές, και να έχει αρκετά μεγάλη επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση. Συγκεκριμένα όσον αφορά τα MFH, ο αριθμός των ορόφων, και σε συνέπεια των νοικοκυριών, επιλέχθηκε με βάση το κτήριο που έχει προδιαγραφεί από το εργαλείο, και αποτελεί κανόνα για την κάθε περιοχή. Μεγάλες διαφορές στους αριθμούς των ορόφων, μπορούν να είναι καθοριστικές για την ενεργειακή συμπεριφορά των κατοικιών. Επίσης, κάποιοι παράγοντες που επιδρούν στις ανάγκες των κατοικιών, είναι η ύπαρξη συγγενικών κτηρίων με αποτέλεσμα αυξάνει την θερμοκρασία στο εσωτερικό που συνεπάγεται την μείωση της ανάγκης για θέρμανση καθώς και ο προσανατολισμός τους. Αυτές οι παράμετροι δεν έχουν εισαχθεί με κάποιον τρόπο μέσα στο μοντέλο ώστε να μπορούμε να μελετήσουμε την επίδραση τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα της Ελλάδας, καθώς και οι προβλεπόμενες επιδράσεις από την καθολική υιοθέτηση αντλιών θερμότητας ως κύρια μεθόδου θέρμανσης. Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά μεγέθη κατανάλωσης όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο, με τις υφιστάμενες συνθήκες. Στην συνέχεια, εξετάζονται τα σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας σε περίπτωση αντικατάστασης των συμβατικών συστημάτων με τις αντλίες.

Η ανάλυση περιλαμβάνει συγκριτικά διαγράμματα, ποσοτικά αποτελέσματα καθώς και πίνακες με τις μεταβολές στην κατανάλωση ενέργειας, τόσο σε απόλυτους αριθμούς (kWh) όσο και σε ποσοτικές μεταβολές. Επιπλέον, εξετάζεται η συμβολή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών στην εξοικονόμηση, για μια πιο εις βάθος αξιολόγηση.

5.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Η διαδικασία που αναλύθηκε λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 4 μας οδήγησε σε ορισμένα αποτελέσματα, τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε για να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης λύσης, και το κατά πόσο είναι βιώσιμη.

5.1.1 Αποτελέσματα Υφιστάμενης Εγκατάστασης

Με το πρώτο σκέλος της μοντελοποίησης μας, εξαγάγαμε τις ποσοτικές τιμές την ενέργειας που καταναλώνεται ετησίως στην Ελλάδα για την θέρμανση των κατοικιών, καθώς και για την παραγωγή ZNX. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 10: Κατανάλωση του οικιακού τομέα με υφιστάμενη εγκατάσταση

A/A Κτηρίου	Αριθμός Νοικοκυριών	Κατανάλωση Νοικοκυριού (kWh)	Συνολική Κατανάλωση (GWh)
1	281.177	5.954,41	1.674,24
2	562.353	11.144,69	6.267,25
3	441.849	13.152,23	5.811,30

4	111.717	5.116,22	571,57
5	223.434	25.197,45	5.629,96
6	175.555	7.267,37	1.275,82
7	50.482	7.200,00	363,47
8	100.965	6.071,64	613,02
9	79.330	8.398,62	666,26
10	100.674	12.180,89	1.226,30
11	634.245	14.115,92	8.952,96
12	261.752	11.015,23	2.883,26
13	63.227	9.532,29	602,70
14	398.328	15.650,96	6.234,22
15	164.389	6.093,05	1.001,63
16	36.154	12.210,00	441,44
17	227.770	12.448,35	2.835,35
18	94.000	15.496,29	1.456,65
Σύνολο Μοντέλου		48.507,41 GWh	
Θεωρητικό Σύνολο		42.000,00 GWh	
Απόκλιση		15,49%	

Απο τον Πίνακα 10 προκύπτει ότι η συνολική υπολογισμένη ενεργειακή κατανάλωση για το σύνολο του Οικιακού τομέα, είναι **48,5 TWh**. Στο Υποκεφάλαιο 4.5, σύμφωνα με τις παραδοχές που έχουμε κάνει, η συνολική θεωρητική κατανάλωση βγαίνει **42 TWh**. Βλέπουμε λοιπόν ότι, υπάρχει μία απόκλιση της τάξης του 15%, κάτι το οποίο είναι αποδεκτό, δεδομένων όλων των υποθέσεων που έχουν αναφερθεί στο Υποκεφάλαιο 4.6. Τα αποτελέσματα αυτά, δείχνουν την αξιοπιστία του μοντέλου που

έχει κατασκευαστεί και μας δείχνουν ότι μπορούμε να εμπιστευτούμε τα αποτελέσματα που εξάγει.

5.1.2 Αποτελέσματα Εφαρμογής Μοντέλου

Μετά την αλλαγή όλων των συμβατικών εγκαταστάσεων θέρμανσης με αντλίες θερμότητας παίρνουμε τις αριθμητικές τιμές της τελικής κατανάλωσης των νοικοκυριών, όπως αυτές φαίνονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Κατανάλωση του οικιακού τομέα με την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας

A/A Κτηρίου	Αριθμός Νοικοκυριών	Κατανάλωση Νοικοκυριού (kWh)	Συνολική Κατανάλωση (GWh)
1	281.177	2.734,00	768,74
2	562.353	2.710,00	1.523,98
3	441.849	3.380,00	1.493,45
4	111.717	1.410,00	157,52
5	223.434	7.350,00	1.642,24
6	175.555	2.040,00	358,13
7	50.482	5.490,00	277,15
8	100.965	1.720,00	173,66
9	79.330	2.410,00	191,18
10	100.674	5.430,00	546,66
11	634.245	5.070,00	3.215,62
12	261.752	4.020,00	1.052,24
13	63.227	3.840,00	242,79
14	398.328	5.440,00	2.166,90
15	164.389	2.340,00	384,67
16	36.154	7.820,00	282,72

17	227.770	4.500,00	1.024,96
18	94.000	4.120,00	387,28
Σύνολο Κατανάλωσης		15.889,90 GWh	

Βλέπουμε ότι, η κατανάλωση του κάθε νοικοκυριού για χρήση θέρμανσης και παραγωγή ZNX, και ως συνέπεια και του συνόλου, έχει μειωθεί δραστικά και από τις 48 TWh έχει πέσει σχεδόν στις 16 TWh.

5.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ο επόμενος πίνακας αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της εργασίας, που είναι η ανάδειξη της αριθμητικής, αλλά και ποσοστιαίας, εξοικονόμησης ενέργειας. Ωστόσο, το συνολικό ποσοστό δεν είναι το μόνο που έχει ενδιαφέρον, καθώς ακόμα και οι επιμέρους εξοικονομήσεις ανά κτήριο έχουν πολύ μεγάλη σημασία, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 5.2.

Πίνακας 12: Διαφορά στην κατανάλωση μεταξύ των σεναρίων

A/A Κτηρίου	Απόλυτη Τιμή Εξοικονόμησης (GWh)	Ποσοστό (%)
1	905,50	54.08 %
2	4.743,27	75.68 %
3	4.317,85	74.30 %
4	414,05	72.44 %
5	3.987,72	70.83 %
6	917,69	71.93 %
7	86,32	23.75 %
8	439,36	71.67 %
9	475,07	71.30 %
10	679,64	55.42 %
11	5.737,35	64.08 %
12	1.831,02	63.51 %

13	359,90	59.72 %
14	4.067,31	65.24 %
15	616,96	61.60 %
16	158,72	35.95 %
17	1.810,39	63.85 %
18	1.069,37	73.41 %
Σύνολο	32.617,50	67.24 %

Όπως βλέπουμε στον Πίνακα 12 σε αρκετές περιπτώσεις η εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει μέχρι και 75%, ωστόσο η συνολική ενεργειακή εξοικονόμηση είναι της τάξης του 67.24%. Αυτό σημαίνει, ότι αν υιοθετηθεί αυτή η στρατηγική, η συνολική κατανάλωση του Οικιακού Τομέα της Ελλάδας θα πέσει στο ένα τρίτο. Υπάρχουν και περιπτώσεις με αρκετά μικρή, σε σχέση με τις υπόλοιπες κατανάλωση, που οφείλεται σε λόγους που θα εξηγηθούν παρακάτω, αλλά η γενική εικόνα των αποτελεσμάτων είναι αρκετά ικανοποιητική.

5.2 Σύγκριση Σεναρίων

Τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν δεν είναι μονοσήμαντα. Περιέχουν πολλές πληροφορίες που είναι πολύ χρήσιμες. Εκτός από την συνολική εξοικονόμηση ενέργειας, είναι πολύ ενδιαφέρουσα η μελέτη της επίδρασης που έχει το κάθε χαρακτηριστικό των νοικοκυριών, ώστε να υπάρξει μια βαθύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Επίσης είναι μια καλή μέθοδος για να συγκρίνουμε με την θεωρία, και να δούμε αν τα ευρήματά μας στηρίζονται από το θεωρητικό υπόβαθρο, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία της μοντελοποίησης. Οι ευδιάκριτες κατηγορίες σύμφωνα με τις οποίες μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα αποτελέσματα, είναι η κλιματική ζώνη, η περίοδος κατασκευής, ο τύπος του κτηρίου και φυσικά το υφιστάμενο μέσο θέρμανσης

5.2.1 Σύγκριση με βάση την Κλιματική Ζώνη

Αν αθροίσουμε όλες τις καταναλώσεις των νοικοκυριών, πριν και μετά την αντικατάσταση των μέσων θέρμανσης ανά ζώνη, μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες, όπως ποια ζώνη έχει μεγαλύτερη εξοικονόμηση και μεγαλύτερη ανάγκη για εφαρμογή μιας τέτοιας στρατηγικής, καθώς και να παρέχουμε στοιχεία για την

ενημέρωση των πολιτών σχετικά. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον Πίνακα 13 και την Εικόνα 19.

Πίνακας 13: Κατανάλωση βάσει κλιματικής ζώνης

Ζώνη	Καταν. με Συμβατικά Μέσα (GWh)	Καταν. με Αντλίες Θερμότητας (GWh)	Διαφορά (GWh)
A	4.879,72	2.275,58	2.604,13
B	30.532,77	9.747,37	20.785,40
Γ	13.094,92	3.866,96	9.227,96



Εικόνα 19: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Κλιματικής Ζώνης

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Από τα δεδομένα του παραπάνω Πίνακα, φαίνεται ότι η μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση επιτυγχάνεται στην Κλιματική ζώνη Γ και είναι της Τάξης του 70%, έπειτα στην Ζώνη Β με ποσοστό περίπου 68% και τέλος στην Ζώνη Α με ποσοστό περίπου 53%. Κάτι τέτοιο είναι απολύτως λογικό καθώς αναφερόμαστε σε κατανάλωση για θέρμανση, και έτσι οι περιοχές που έχουν γενικά πιο θερμά κλίματα, όπως οι περιοχές της Ζώνης Α, έχουν πολύ λιγότερες ενεργειακές ανάγκες, και συνεπώς το ποσοστό της ενέργειας που εξοικονομούν θα είναι μικρότερο, κάτι το οποίο φαίνεται

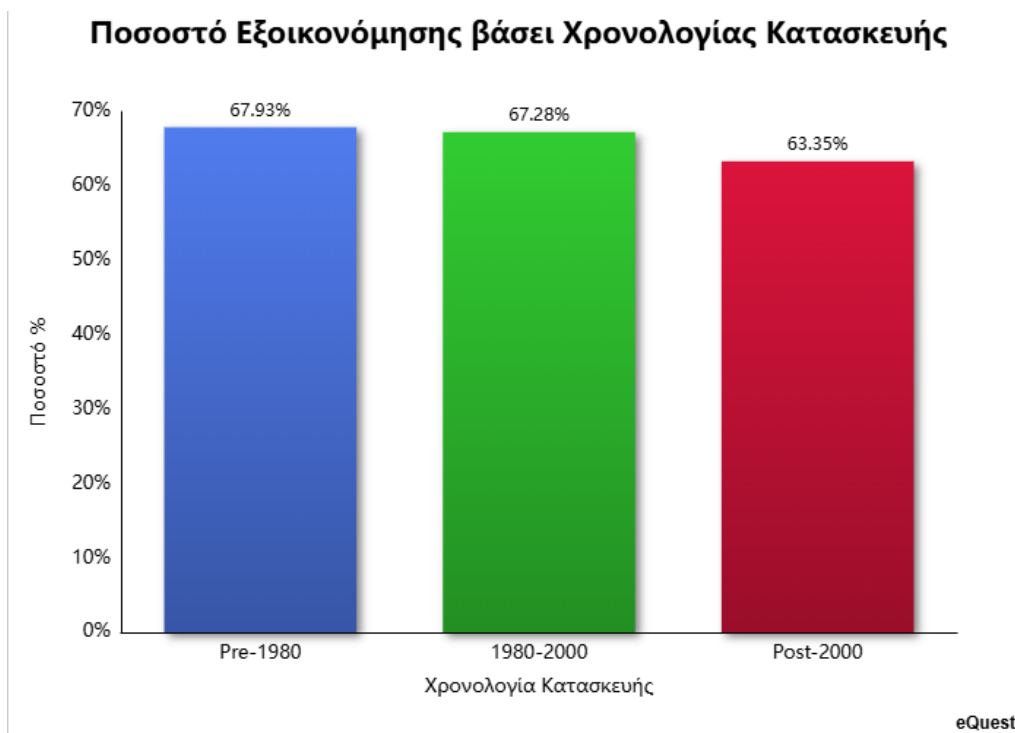
και από την απόλυτη τιμή της ενέργειας που έχει εξοικονομηθεί. Αντίθετα σε περιοχές με αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, όπως οι περιοχές της Ζώνης Γ, υπάρχουν πολύ μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες, λόγω του κλίματος που επικρατεί και λόγω της μεγάλης κατανάλωσης, η ποσοστιαία μείωση είναι πολύ μεγαλύτερη. Όσον αφορά την Ζώνη Β, το ποσοστό εξακολουθεί να είναι υψηλό και κοντά στην απόδοση της ζώνης Γ, ωστόσο αν κοιτάξουμε την απόλυτη τιμή, θα δούμε ότι είναι πάνω από διπλάσια, και αποτελεί το 63% της συνολικής ενέργειας που εξοικονομείται, λόγω του μεγάλο όγκου των κατοικιών που την απαρτίζουν. Φαίνεται λοιπόν, ότι τα αποτελέσματα που εξαγάγαμε είναι ακριβώς αυτά που περιμέναμε από ποιοτικής άποψης. (ΥΠΕΝ, 2014)

5.2.2 Σύγκριση με βάση την Περίοδο Κατασκευής

Αν επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία, αλλά με κριτήριο την περίοδο κατασκευής, μπορούμε να δούμε πώς η χρονολογία επηρεάζει την ενεργειακή εξοικονόμηση. Έτσι προκύπτει ο Πίνακας 14 και η Εικόνα 20.

Πίνακας 14: Κατανάλωση βάση περιόδου κατασκευής

Περίοδος	Καταν. με Συμβατικά Μέσα (GWh)	Καταν. με Αντλίες Θερμότητας (GWh)	Διαφορά (GWh)
-1980	26.815,31	8.600,69	18.214,62
1980-2000	14.040,07	4.594,12	9.445,95
2000-	6.376,20	2.336,96	4.039,24



Εικόνα 20: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Χρονολογίας Κατασκευής

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα, η μεγαλύτερη εξοικονόμηση επιτυγχάνεται στα κτήρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί πριν το 1980, και η τάξη της μείωσης είναι 68%. Στις κατοικίες της περιόδου 1980-2000, εμφανίζεται σχεδόν ίδια μείωση, και στην επόμενη περίοδο, παρά το γεγονός ότι το ποσοστό εξακολουθεί να είναι μεγάλο, μειώνεται μέχρι το 63%. Είναι λογικό, η μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση να επιτυγχάνεται στα παλαιότερα νοικοκυριά μιας και όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο κατά την κατασκευή τους, δεν υπήρχε κάποιο είδος θερμομόνωσης. Με την πάροδο των χρόνων, ο τρόπος κατασκευής άλλαξε, αλλά όχι δραματικά μέχρι το 2000 και τα βήματα που έγιναν τότε προς την θερμομόνωση των εγκαταστάσεων δεν ήταν σημαντικά μέχρι το 2010. Οι αναμενόμενες τιμές στην ποσοστιαία αύξηση της εξοικονόμησης στα παλαιότερα νοικοκυριά ήταν μεγαλύτερες, ωστόσο λόγω των ανωτέρω λόγων, η διαφορά παραμένει σε χαμηλά επίπεδα.

5.2.3 Σύγκριση με βάση τον Τύπο του Κτηρίου

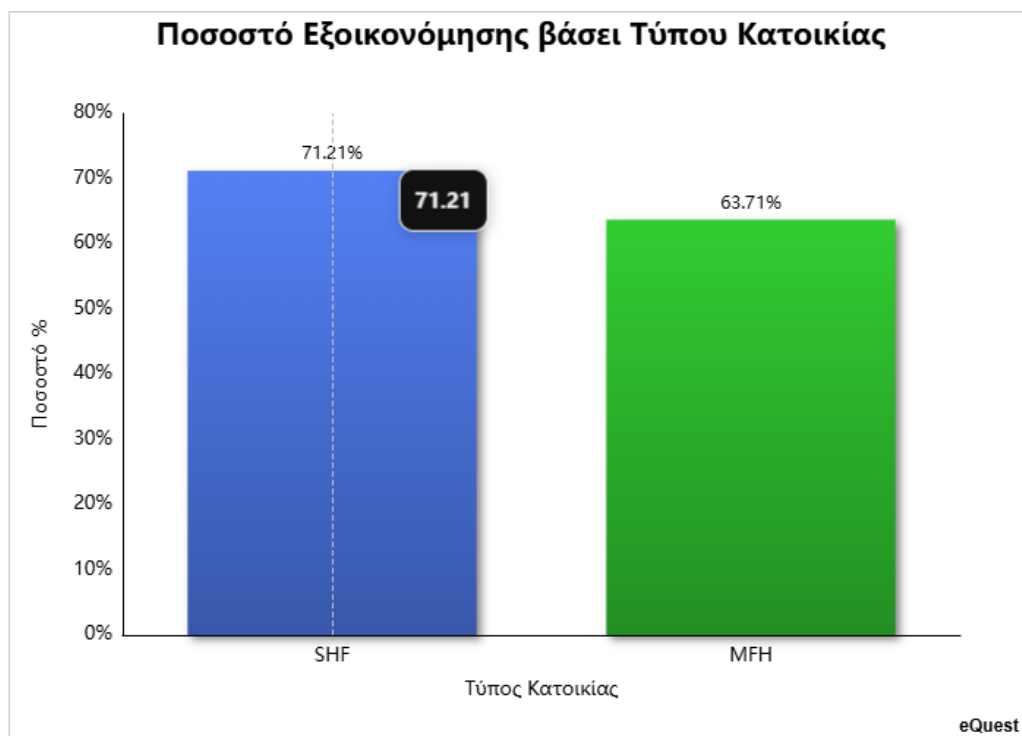
Μια άλλη κατηγοριοποίηση που μπορούμε να εξετάσουμε είναι ανάλογα με τον τύπο των νοικοκυριών, να μελετήσουμε δηλαδή την κατανάλωση ανάμεσα στις Μονοκατοικίες και στις Πολυκατοικίες. Σύμφωνα με τα αρχικά μας δεδομένα, ο αριθμός και των δύο κατηγοριών κτηρίων είναι περίπου ίδιος. Ωστόσο, στα MFH

εμπεριέχονται πολλά διαμερίσματα, με αποτέλεσμα ο πραγματικός αριθμός των ξεχωριστών νοικοκυριών, να είναι πολύ μεγαλύτερος. Στον Πίνακα 15 και στην Εικόνα 21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν.

Πίνακας 15: Κατανάλωση βάση τύπου κατοικίας

Τύπος	Καταν. με Συμβατικά Μέσα (GWh)	Καταν. με Αντλίες Θερμότητας (GWh)	Διαφορά (GWh)
SFH	22.872,90	6.586,04	16.286,85
MFH	25.634,51	9.303,86	16.330,65

Παρατηρούμε ότι παρόλο που και οι δύο τύποι με τα υφιστάμενα μέσα θέρμανσης συνεισφέρουν εξίσου στην συνολική κατανάλωση ενέργειας, μετά την μετάβαση που μελετάται, κάτι τέτοιο παύει να ισχύει. Οι μονοκατοικίες σημειώνουν μια ενεργειακή εξοικονόμηση της τάξης του 71%, ενώ οι πολυκατοικίες επιτυγχάνουν μια μείωση που ίσα που ξεπερνάει το 60%. Έχει ενδιαφέρον να εξεταστούν οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει αυτή η μικρή διαφορά στις αποδόσεις.



Εικόνα 21: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Τύπου Κατοικίας

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Οι πολυκατοικίες μπορεί να διαθέτουν κοινές τοιχοποιίες με τα γειτονικά διαμερίσματα, γεγονός που συμβάλει στην διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών μέσα

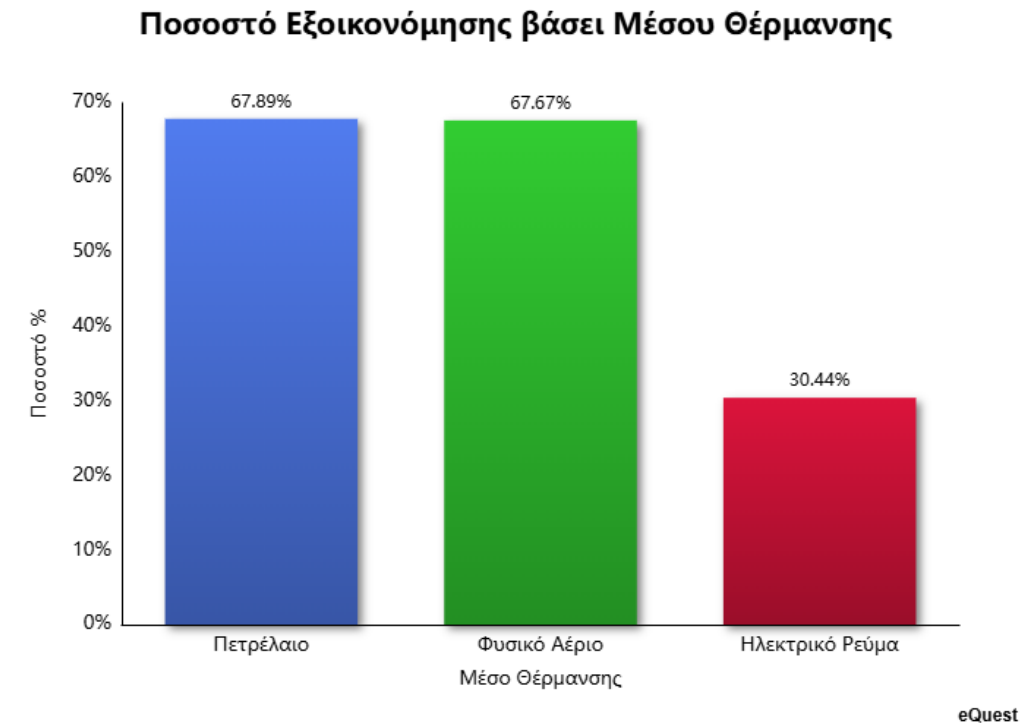
στο νοικοκυριό, όμως συνήθως, τα διαμερίσματα στις πολυκατοικίες είναι μικρής έκτασης και ως εκ τούτου το μέσο θέρμανσης έχει μικρότερο έργο να επιτελέσει, με αποτέλεσμα να θερμαίνει τον χώρο πολύ πιο γρήγορα και αποτελεσματικά. Έτσι, παρά τον κατά πολύ μεγαλύτερο αριθμό διαμερισμάτων, και δεδομένου ότι έχουν πολύ μικρότερη κατανάλωση, η συνολική ανάγκη σε ενέργεια παραμένει στα ίδια επίπεδα με των SFH. Αντίθετα στις μονοκατοικίες, όπου συνήθως ξεπερνάνε κατά πολύ την έκταση ανά νοικοκυριό, το ίδιο μέσο θα πρέπει να καταναλώσει πολύ περισσότερη ισχύ, ώστε να καταφέρει να επιτύχει την επιθυμητή θερμοκρασία. Οι αντλίες θερμότητας λόγω της μεγάλης τους απόδοσης, εξομαλύνουν αυτήν την διαφορά. Σημαντικό επίσης ρόλο έχει και η παραδοχή που κάναμε για τη χρήση της θέρμανσης στις πολυκατοικίες. Με την παλιά κεντρική θέρμανση, η χρήση ήταν συγκεκριμένη, και δεν κάλυπτε το σύνολο των αναγκών του νοικοκυριού. Με την νέα εγκατάσταση, τα μέλη του νοικοκυριού έχουν την ελευθερία να χρησιμοποιούν το μέσο καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, και το εργαλείο το έχει σαν δεδομένο αυτό. Έτσι, η χρήση συγκριτικά με την παλιά εγκατάσταση είναι πολύ περισσότερη.

5.2.4 Σύγκριση με βάση το Υφιστάμενο Μέσο Θέρμανσης

Τελευταία αλλά εξίσου σημαντική σύγκριση, είναι αυτή με βάση το μέσο θέρμανσης. Παρόλο που τα μέσα θέρμανσης εκτός του πετρελαίου χρησιμοποιούνται μόνο σε 5 πρότυπες κατοικίες, στην πραγματικότητα, είναι πολύ περισσότερα και αυτό γιατί όταν έγινε η επιλογή του μέσου θέρμανσης των πρότυπων κατοικιών, επιλέχθηκε εκείνο με το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν περιπτώσεις χρήσης φυσικού αερίου και ηλεκτρικού ρεύματος, ακόμα και αν δεν αποτελούν την πλειοψηφία. Αξίζει λοιπόν να δούμε την συμπεριφορά τους στην προτεινόμενη αυτή αλλαγή, γιατί θα φανεί χρήσιμη στην συνέχεια. Έτσι λοιπόν, προκύπτει ο Πίνακας 16 και την Εικόνα 22.

Πίνακας 16: Κατανάλωση βάση μέσου θέρμανσης

Μέσο Θέρμανσης	Καταν. με Συμβατικά Μέσα (GWh)	Καταν. με Αντλίες Θερμότητας (GWh)	Διαφορά (GWh)
Πετρέλαιο	42.797,46	13.744,13	29.053,33
Φυσ. Αέριο	4.905,03	1.585,90	3.319,12
Ηλ. Ρεύμα	804,91	559,87	245,04



Εικόνα 22: Ποσοστά εξοικονόμησης βάσει Μέσου Θέρμανσης

Πληροφορία αντλήθηκε από: eQuest

Στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας το μόνο μέσο θέρμανσης είναι το ηλεκτρικό ρεύμα, και συνεπώς το διάγραμμα δείχνει τι κατανάλωση έχουμε καταργώντας το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ως μέσα θέρμανσης του νοικοκυριού. Όπως φαίνεται παραπάνω, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο έχουν ουσιαστικά την ίδια εξοικονόμηση, κάτι το οποίο είναι λογικό δεδομένου ότι τόσο ο λέβητας πετρελαίου, όσο και αυτός του φυσικού αερίου έχουν σχεδόν ίσους συντελεστές απόδοσης (**COP ~0.8-0.9**). Βλέπουμε λοιπόν, ότι η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί είναι έως και 68%, κάτι το οποίο ήταν και αναμενόμενο αφού η αντλία θερμότητας με **COP = 3,5** που διαλέξαμε έχει περίπου 3,5 φορές μεγαλύτερη απόδοση από ότι η συμβατικοί λέβητες. (Skyven Technologies, 2023) Η θεωρητική εξοικονόμηση με βάση μόνο τον συντελεστή απόδοσης, θα ήταν ίση με $1 - (0.8/3,5) = 77\%$ ωστόσο αυτός ο υπολογισμός δεν λαμβάνει υπόψη του όλους τους παράγοντες που έχουν αναφερθεί, και που επηρεάζουν τις ενεργειακές απώλειες με κυριότερο τον ανθρώπινο. Ο καταναλωτής τείνει να καταναλώνει περισσότερους φυσικούς πόρους, όταν το οικονομικό αντίτιμο είναι αρκετά χαμηλό, ειδικά όταν υπάρχει τόσο μεγάλη μείωση στην τιμή σε σχέση με μία προηγούμενη κατάσταση.

5.3 Ανάλυση εκπομπών CO₂

Εκτός από την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, πολύ σημαντικά είναι και τα αποτελέσματα που αυτή έχει στις εκπομπές ρύπων όπως CO₂ και άλλα αέρια του θερμοκηπίου (CH₄ και N₂O). Έχοντας υπολογίσει τις συνολική κατανάλωση για κάθε μέσο θέρμανσης, πριν αλλά και μετά την μετάβαση σε αντλίες θερμότητας, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε αυτά τα μεγέθη. Οι μέσοι συντελεστές εκπομπών τέτοιων αερίων στην Ευρώπη είναι 0.373 kgCO₂e/kWh για το πετρέλαιο θέρμανσης (Climatiq, 2021), 0.244 kgCO₂e/kWh για το φυσικό αέριο (Clim'Foot, 2016), και 0.5314 για το ηλεκτρικό ρεύμα (Climatiq, 2023). Έτσι στον Πίνακα 17 παρατίθενται τα αποτελέσματα σχετικά με την εκπομπή του κάθε ενός από τα 3 μέσα θέρμανσης.

Πίνακας 17: Εκπομπές ρύπων ανά μέσο θέρμανσης

	Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ηλεκτρισμός
Κατανάλωση (GWh)	42.797,46	4.905,03	804,91
Εκπομπές (tons)	15.963.456	1.196.827	427.730
Σύνολο (tons)	17.588.014		

Έπειτα, μετά την εγκατάσταση των αντλιών θερμότητας, αφού το μόνο «καύσιμο» είναι ο ηλεκτρισμός, προκύπτει ο Πίνακας 18.

Πίνακας 18: Εκπομπές ρύπων Ηλ. Ρεύματος και Ποσοστό Μείωσης

	Ηλεκτρισμός	Μείωση ρύπων
Κατανάλωση (GWh)	42.797,46	54,58%
Εκπομπές (tons)	7.998.110	

Βλέπουμε λοιπόν ότι η υιοθέτηση αυτής της στρατηγικής, μπορεί να μειώσει σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του οικιακού τομέα κατά 54,58% από τη θέρμανση και την παραγωγή ZNX. Δεδομένου ότι οι εκπομπές λόγω θέρμανσης και ZNX συνιστούν σημαντικό μέρος των εκπομπών ενός κτηρίου (Xiang et al., 2023), η μείωση αυτή μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην επίτευξη των στόχων για μείωση των εκπομπών των κτηρίων συνολικά κατά 60% μέχρι το 2030 αλλά και στην πρόοδο προς κτήρια μηδενικών εκπομπών.

5.4 Οικονομική Ερμηνεία

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο αποδείχτηκε ότι η αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων έχει τεράστια οικονομικά οφέλη όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, σε ποσοστό 67%. Ωστόσο για να μπορούμε να αποφανθούμε σχετικά με την βιωσιμότητα μίας τέτοιας στρατηγικής, είμαστε υποχρεωμένοι να μελετήσουμε τους πόρους που θα χρειαστεί να ξοδέψουμε, ώστε να καταφέρουμε να φτάσουμε σε αυτήν την κατάσταση, και έπειτα να κρίνουμε αν αυτή η μετάβαση είναι συμφέρουσα ή όχι.

Το eQuest εξάγει τα δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση των μέσων θέρμανσης σε BTU. Με χρήση των παραδοχών που κάναμε στο Κεφάλαιο 4.5, μετατρέψαμε αυτές τις ποσότητες σε αριθμούς τους οποίους μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, ώστε να μεταφράσουμε την ενεργειακή αυτή εξοικονόμηση σε οικονομικό όφελος ανά έτος. Έτσι προκύπτει ο Πίνακας 19. Να σημειωθεί, ότι στις μονάδες κατανάλωσης όπου αναφερόμαστε σε πετρέλαιο, αναφερόμαστε σε λίτρα καυσίμου και στις περιπτώσεις για φυσικό αέριο και Ηλ. Ρεύμα αναφερόμαστε σε kWh.

Πίνακας 19: Κόστη και κέρδος προτεινόμενης λύσης

A/A	Μονάδες Κατανάλωσης	Κόστος με Συμβατικά Συστ.(€)	Κόστος με Αντλίες Θ. (€)	Οικονομικό Κέρδος (€)
1	146.774.164	212.738.185	99.935.772	112.802.412
2	626.300.703	836.122.686	198.117.004	638.005.681
3	540.696.786	724.837.594	194.148.397	530.689.196
4	49.187.333	85.875.304	20.477.698	65.397.606
5	535.794.012	718.463.988	213.490.900	504.973.087
6	114.110.782	170.275.788	46.557.199	123.718.589
7	363.474.216	69.183.419	36.029.381	33.154.038
8	613.023.049	58.713.154	22.575.787	36.137.367
9	60.313.230	100.338.970	24.853.991	75.484.978
10	88.880.671	225.203.731	71.065.706	154.138.025
11	640.950.451	964.826.217	418.031.255	546.794.962
12	185.395.301	372.604.521	136.791.668	235.812.853
13	35.641.794	177.924.962	31.562.768	146.362.193
14	389.337.373	703.524.530	281.697.710	421.826.820
15	57.583.265	162.585.331	50.007.261	112.578.070
16	441.439.119	145.114.172	36.754.054	108.360.117
17	2.835.354.707	301.711.912	133.245.198	168.466.714
18	1.456.653.023	218.989.811	50.346.474	168.643.336
ΣΥΝΟΛΟ		6.249.034.283	2.065.688.232	4.183.346.051

Η υλοποίηση της στρατηγικής, πετυχαίνει εξοικονόμηση **4,2 δισεκατομμυρίων ετησίως** από την θέρμανσης και την παραγωγή ZNX στο σύνολο των νοικοκυριών της Ελλάδας, το οποίο σαν νούμερο είναι πολύ μεγάλο για τα δεδομένα της χώρας. Ωστόσο, όπως εξετάστηκε στο Κεφάλαιο 4.4 η προμήθεια και εγκατάσταση κάθε αντλίας κοστίζει από 3.500€ έως 6.000€. Αν υπολογίσουμε τον συνολικό αριθμό διαμερισμάτων-νοικοκυριών ο οποίος είναι **14.603.323**, προκύπτει ότι το συνολικό κόστος για την υλοποίηση αυτής της στρατηγικής ανήκει στο εύρος των **51 έως 88 δισεκατομμυρίων ευρώ**.

Αν θέλουμε να εξετάσουμε την βιωσιμότητα της λύσης που προτείνεται, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την παρούσα αξία του ποσού της εξοικονόμησης για τα χρόνια που ακολουθούν (Ψαρράς, 2025). Μια αντλία θερμότητας, με σωστή συντήρηση μπορεί να φτάσει τα 20-25 χρόνια λειτουργίας (EnergySage, 2025) πριν χρειαστεί αντικατάσταση ανταλλακτικών που θα ανεβάσουν το κόστος—στους υπολογισμούς μας δεν θα συμπεριλάβουμε την ανάγκη περιοδικής αντικατάστασης του εξοπλισμού για λόγους απλοποίησης εξαιτίας της υψηλής αβεβαιότητας ενός τέτοιου υπολογισμού. Η παρούσα αξία προκύπτει από τον τύπο:

$$PV = \frac{x}{(1 + i)^n}$$

Όπου: x ετήσια χρηματοροή σε δισεκατομμύρια (ποσό εξοικονόμησης)

i επιτόκιο αναγωγής

n το τρέχον έτος υπολογισμού

Αν και η επιλογή επιτοκίου αναγωγής μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετη αβεβαιότητα στην ανάλυση δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας (Copiello et al., 2017), η επιλογή του 3%-5% είναι εναρμονισμένη με αντίστοιχες επιλογές της βιβλιογραφίας στη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων σε ανεπτυγμένες χώρες (García-Gusano et al., 2016; Balmford et al., 2023). Παρακάτω, στον Πίνακα 20, φαίνονται οι διάφορες τιμές της επιστροφής της επένδυσης για κάθε περίπτωση, με επιτόκιο 3% η 5% και χρονικό διάστημα μελέτης 20 και 25 έτη.

Πίνακας 20: Επιστροφή επένδυσης σε διαφορετικές περιπτώσεις

i	20 έτη	25 έτη	Μέσος όρος
3%	62,5 δισεκατομμύρια	73,1 δισεκατομμύρια	67,8 δισεκατομμύρια
5%	52,3 δισεκατομμύρια	59,2 δισεκατομμύρια	55,75 δισεκατομμύρια

Πίνακας 21: Κόστος επένδυσης

Κόστος επένδυσης	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μέσος όρος
	51 δισεκατομμύρια	88 δισεκατομμύρια	69,5 δισεκατομμύρια

Φαίνεται ότι, σε περιπτώσεις με επιτόκιο αναγωγής 3% ο μέσος όρος της επιστροφής της επένδυσης σχεδόν ταυτίζεται με τον μέσο όρο του κόστους. Αντίθετα, στις περιπτώσεις όπου το επιτόκιο αναγωγής είναι 5%, ο μέσος όρος της επιστροφής είναι κατά 20% μικρότερος του κόστους της επένδυσης. Με μία πρώτη ματιά λοιπόν, δεν είναι εύκολο να αποφανθούμε για την κερδοφορία της επένδυσης αυτής εξαιτίας της σημαντικής αβεβαιότητας τόσο σε επίπεδο κόστους επένδυσης όσο και σε επίπεδο παραμέτρων υπολογισμού των αναμενόμενων εσόδων (π.χ., επιτόκιο αναγωγής, διάρκεια επένδυσης). Ωστόσο, αυτό που προκύπτει από τους παραπάνω πίνακες είναι ότι, από οικονομικής άποψης, σε περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση έχει μικρότερο κόστος και οι εξοικονόμηση είναι αρκετά υψηλή, υπάρχει οικονομικό κέρδος από την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας, ενώ στην περίπτωση όπου το κόστος της εγκατάστασης είναι αυξημένο και το επιτόκιο αναγωγής μεγάλο, η επένδυση δεν αποφέρει κέρδος στα πρώτα 20-25 χρόνια.

5.5 Σχολιασμός και συζήτηση σχετικά με την βιωσιμότητα της επένδυσης

Παρατηρούμε ότι δεν προκύπτει μια καθαρή εικόνα σχετικά με το αν μια τέτοια κίνηση είναι συμφέρουσα για την Ελλάδα. Ωστόσο, στην μέθοδο που έχει αναλυθεί παραπάνω, δεν έχουν ληφθεί υπόψη κάποιες πολύ σημαντικές παράμετροι:

- ❖ Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των αντλιών θερμότητας, και την ενεργειακή κρίση των τελευταίων ετών, έχουν υιοθετηθεί σε πολλές χώρες συμπεριλαμβανομένου και της Ελλάδας, προγράμματα επιδότησης, στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής οδηγίας για μείωση του περιβαλλοντικού

αποτυπώματος, που χρηματοδοτούν την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων σε ποσοστά μέχρι και 60% με σκοπό την ενεργειακή αναβάθμιση των νοικοκυριών. Έτσι το τελικό κόστος για το νοικοκυριό μπορεί να μειώνεται στο πιο διαχειρίσιμο επίπεδο των 2.000 € - 3.000 €, γεγονός που μειώνει την περίοδο απόσβεσης της επένδυσης για τον τελικό καταναλωτή.

- ❖ Το 88% των κατοικιών δεν έχουν υποστεί καμία ανακαίνιση όσον αφορά τα συστήματα θέρμανσης (ΕΛΣΤΑΤ, 2023). Άρα, σχεδόν το σύνολο των υφιστάμενων εγκαταστάσεων, να έχουν ξεπεράσει κατά πολύ την διάρκεια ζωής τους. Έτσι το κόστος που θα προκύψει για την διατήρησή τους, αυτά τα επόμενα χρόνια που εξετάσαμε, είναι αρκετά μεγάλο, καθώς με την πάροδο των χρόνων η ανάγκη αντικατάστασης ή επισκευής εξαρτημάτων θα είναι όλο και πιο συχνή. Επίσης, ο βαθμός απόδοσης τους θα συνεχίσει να μειώνεται, αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την κατανάλωση και συνεπώς το κόστος.
- ❖ Το πραγματικό κέρδος από την μετάβαση αυτή, δεν μετριέται μόνο σε χρήματα. Η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα μείζον θέμα που απασχολεί ένα μεγάλο αριθμό νοικοκυριών τόσο στην Ευρώπη συνολικά, όσο και στην Ελλάδα (Doukas and Marinakis, 2020; Spiliotis et al., 2020). Με την εγκατάσταση των αντλιών μειώνεται η ενεργειακή φτώχεια, και έτσι αυξάνεται το βιοτικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα μέσω της βελτίωσης της θερμικής άνεσης (Marinakis et al., 2017) των κατοίκων που είναι βασικός παράγοντας για την οικονομική και πολιτισμική ανάπτυξη, καθώς και για την ευημερία της χώρας.
- ❖ Τα οφέλη για το περιβάλλον και το αποτύπωμα της χώρας όσον αφορά την θέρμανση είναι πολύ μεγάλα καθώς μειώνονται οι εκπομπές ρύπων κατά 55%.

Συνεπώς, η συνολική βιωσιμότητα της δράσης αυτής, οι παραπάνω παράμετροι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, ειδικά περιβαλλοντικά και άλλα κόστη τα οποία είναι αναπόφευκτα, δεδομένης της υφιστάμενης κατάστασης στην Ελλάδα, όπου τα συστήματα χρίζουν αντικατάστασης ούτως η άλλως λόγω παλαιότητας. Σε αυτή την περίπτωση, το πραγματικό κόστος τόσο για τον κάθε τελικό καταναλωτή μεμονωμένα αλλά και στο σύνολο, δεν είναι τόσο υψηλό, και η αντικατάσταση του συνόλου των συστημάτων με αντλίες μπορεί να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα επένδυση. Έτσι, όταν προσθέσουμε και τα υπόλοιπα οφέλη, το προηγούμενο πόρισμα ενισχύεται ακόμη περισσότερο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Συμπεράσματα

6.1.1 Εξαγωγή συμπερασμάτων

Η παρούσα εργασία είχε ως βασικό στόχο την αποτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης στον οικιακό τομέα της Ελλάδας, καθώς και την εκτίμηση των ωφελειών από την μετάβαση σε συστήματα θέρμανσης υψηλής απόδοσης, όπως οι αντλίες θερμότητας. Μέσα από την διαδικασία της μοντελοποίησης, της συλλογής δεδομένων και της αξιολόγησης διαφορετικών σεναρίων, εξήχθησαν κρίσιμα αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν την σημασία της ενεργειακής αναβάθμισης των κατοικιών, τόσο από περιβαλλοντική, όσο και από οικονομική σκοπιά.

Αρχικά, κοντά στο 90% των νοικοκυριών της Ελλάδας δεν έχουν αναβαθμίσει το σύστημα θέρμανσης τους από την κατασκευή τους και διαθέτουν ελάχιστα μέτρα θερμομόνωσης. Αυτό το γεγονός συνεπάγεται υπέρογκες απώλειες ενέργειας που οδηγούν σε μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις και αυξημένο κόστος για την θέρμανση και την παραγωγή ZNX στα ελληνικά νοικοκυριά. Από το σύνολο των κατοικιών, το μεγαλύτερο μέρος εξακολουθεί να κάνει χρήση πετρελαίου για την θέρμανση του, και λόγω της παλαιότητας των συστημάτων, έχουν πολύ χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Με βάση τα παραπάνω, καταλήγουμε στο ότι υπάρχει μια πραγματική ανάγκη για μία αλλαγή στην πραγματικότητα της ενεργειακής κατανάλωσης του οικιακού τομέα της Ελλάδας.

Οι αντλίες θερμότητας, είναι μια ανερχόμενη τεχνολογία θέρμανσης που υιοθετείται σε όλο και μεγαλύτερο ποσοστό από τα νοικοκυριά της Ευρώπης, λόγω της ικανότητας που έχει να μεταφέρει την θερμότητα από τον έναν χώρο στον άλλον, αντί να την παράγει. Αυτό τις καθιστά εξαιρετικά αποδοτικές με συντελεστή απόδοσης περίπου 4 φορές μεγαλύτερο από τους συμβατικούς λέβητες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο αυτήν την περίοδο στην χώρα. Έτσι οι αντλίες θερμότητας, είναι μια εξαιρετική λύση για την κάλυψη της ανάγκης που έχει δημιουργήσει η ενεργειακή κρίση των τελευταίων χρόνων.

Μετά από την μοντελοποίηση του οικιακού τομέα και την προσομοίωση της κατανάλωσης ενέργειας που αφορά την θέρμανση και την παραγωγή ZNX, προκύπτει

ότι με τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις θέρμανσης, η συνολική ενεργειακή κατανάλωση ανέρχεται στις 48,5 TWh, ενώ με την καθολική αντικατάσταση τους από αντλίες θερμότητας, η συνολική αυτή κατανάλωση μειώνεται στις 15,9 TWh. Επιτυγχάνεται λοιπόν μία μείωση της τάξης του 67% που αποτελεί τεράστια ενεργειακή εξοικονόμηση για τα Ελληνικά δεδομένα, ενισχύοντας το παραπάνω πόρισμα.

Από την μοντελοποίηση προκύπτει επίσης ότι:

- Στην κλιματική ζώνη Γ συναντάται η μεγαλύτερη εξοικονόμηση, της τάξης του 70% λόγω των πιο ακραίων καιρικών φαινομένων, και έπειτα ακολουθεί η κλιματική ζώνη Β με ποσοστό 68%. Τέλος η ζώνη Α έχει ‘μόνο’ 53%. Έτσι κρίνεται απαραίτητο να δοθεί μεγάλη έμφαση στην ανάγκη που υπάρχει για την αντικατάσταση των συστημάτων στις ζώνες Β και Γ κατά προτεραιότητα όπου μπορεί να επιτευχθεί η μεγαλύτερη μείωση στις ενεργειακές απώλειες.
- Με βάση την χρονολογία κατασκευής, χρίζουν αντικατάστασης συστημάτων, τα νοικοκυριά που έχουν κατασκευαστεί πριν το 2000 καθώς είναι λιγότερο αποδοτικά λόγω έλλειψης θερμομόνωσης και χαμηλότερης ενεργειακής απόδοσης.
- Οι μονοκατοικίες, έχουν ποσοστό εξοικονόμησης πάνω από 70% λόγω της κατά κανόνα μεγαλύτερης έκτασης τους, αλλά και της έλλειψης γειτονικών διαμερισμάτων που μειώνουν της απώλειες θερμότητας. Έτσι, καθίστανται λιγότερο αποδοτικές ενεργειακά από τις πολυκατοικίες όπου η μείωση ενεργειακής κατανάλωσης κυμαίνεται στο 63%.
- Η κατάργηση, τόσο των εγκαταστάσεων θέρμανσης με χρήση πετρελαίου, όσο και φυσικού αερίου, και η αντικατάστασή τους με αντλίες θερμότητας, μπορεί να μειώσει τις καταναλώσεις κατά 68% καθιστώντας την αλλαγή αυτή εξαιρετικά ενεργειακά συμφέρουσα. Ωστόσο, στην περίπτωση του ηλεκτρισμού (Α/Ε), η διαφορά δεν είναι τόσο μεγάλη (30%) και η αντικατάστασή του, δεν είναι κερδοφόρα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, είναι κατανοητό ότι η αντικατάσταση αυτή, είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη από ενεργειακή άποψη για τις μονοκατοικίες αλλά και τις πολυκατοικίες της Κλιματικής ζώνης Β και Γ, με χρονολογία κατασκευής πριν το 2000,

που κάνουν χρήση πετρελαίου και φυσικού αερίου, οι οποίες αποτελούν και ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του ελληνικού οικιακού τομέα.

Από οικονομικής σκοπιάς, η επένδυση αυτή, μπορεί να δημιουργήσει μια εξοικονόμηση της τάξης των 4.2 δισεκατομμυρίων Ευρώ ετησίως στο σύνολο του Οικιακού τομέα. Λαμβάνοντας ειδικά υπόψη και όλους τους παράγοντες που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, μπορεί να αποφέρει μεγάλα οικονομικά κέρδη μακροπρόθεσμα, και επίσης μπορεί να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό το βιοτικό επίπεδο των νοικοκυριών της χώρας, ενώ παράλληλα μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του οικιακού τομέα σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Αξιολογώντας την στρατηγική της καθολικής αυτής αντικατάστασης, με διάφορα κριτήρια, τα συνολικά αποτελέσματα που βγάζουμε είναι θετικά, και μας οδηγούν προς αυτήν την κατεύθυνση. Συνεπώς, πρέπει να υιοθετηθούν πολιτικές οι οποίες θα προωθήσουν την τεχνολογία των αντλιών θερμότητας, και θα παροτρύνουν τους καταναλωτές να ακολουθήσουν μια κοινή πορεία προς ένα μέλλον πιο ενεργειακά και περιβαλλοντικά φιλικό.

6.2.2 Υποστήριξη Πολιτικών

Η εξαγωγή αποτελεσμάτων δεν αρκεί από μόνη της για να φέρει ολοκληρωμένη αλλαγή στην ενεργειακή πραγματικότητα του οικιακού τομέα της Ελλάδας. Είναι απαραίτητη η υιοθέτηση θεσμών και πολιτικών, που θα ωθήσουν και θα δώσουν κίνητρο στα νοικοκυριά να ακολουθήσουν τέτοιες κατευθύνσεις. Μια βασική μέθοδος είναι με επιδοτούμενα προγράμματα για ενεργειακές παρεμβάσεις και αναβάθμιση των νοικοκυριών. Τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί από αυτήν την εργασία δείχνουν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοικιών της Ελλάδας χρίζουν ενεργειακής αναβάθμισης, όσον αφορά τα μέσα θέρμανσης και παραγωγής ZNX. Όμως, όπως φάνηκε και από το Κεφάλαιο 5.2 υπάρχουν συγκεκριμένες κατηγορίες στις οποίες η ανάγκη αυτή είναι μεγαλύτερη καθώς οι ενεργειακές απώλειες είναι περισσότερες. Για να παρακινηθεί το σύνολο των νοικοκυριών να προβούν σε μία τέτοια μετάβαση, κρίνεται σκόπιμο, κατά τη χρηματοδότηση αυτή να λαμβάνονται υπόψιν οι ενεργειακές ανάγκες του νοικοκυριού και του δυνητικού ποσοστού εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την πιο άμεση αναβάθμιση των κτηρίων που πάσχουν ενεργειακά, όπως για παράδειγμα αυτά που βρίσκονται σε λιγότερο

αποδοτικές κλάσεις (Frilingou et al., 2024), και έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα της χώρας.

Η αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου είναι ένας βασικός στόχος αυτής της στρατηγικής και δεν πρέπει να παραμεληθεί. Έτσι, είναι βασικό να συμπεριληφθούν στα κριτήρια που καθορίζουν αυτό το ποσοστό τα εισοδηματικά κριτήρια των μελών του κάθε νοικοκυριού και το τωρινό βιοτικό τους επίπεδο, ώστε να καταστεί πιο εύκολο για τις οικογένειες με οικονομικά δυσχερείς συνθήκες διαβίωσης να αναβαθμίσουν τον τρόπο ζωής τους και να μειωθεί στην Ελλάδα το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας.

Εν κατακλείδι, είναι σημαντικό να δημιουργηθεί μία διαδικασία σύμφωνα με την οποία, χρηματοδότηση για την αναβάθμιση του μέσου θέρμανσης θα απονέμεται στο κάθε νοικοκυριό με δίκαιο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη της ανάγκες του, αλλά και την δυνατότητα που έχει να υποστηρίξει μία τέτοια ενέργεια. Από αυτό η Ελλάδα έχει να αποκομίσει πολλά οφέλη, όπως μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων ρύπων, αύξηση του βιοτικού επιπέδου, βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων της και ως συνέπεια άνοδο στις αξιολογήσεις και τις κατατάξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) που αφορούν την Ενεργειακή Εξοικονόμηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την γενική ενίσχυση της διαπραγματευτικής ισχύος που διαθέτει η Ελλάδα, την προσέλκυση περισσότερων επενδύσεων, την πρόσβαση σε ευρωπαϊκά χρηματοδοτικά προγράμματα και την αποφυγή προστίμων από καθυστερήσεις ή μη εφαρμογή των στόχων που έχει ορίσει η ΕΕ.

6.2 Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα εργασία αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς τον υπολογισμό του επιπέδου της δυνητικής ενεργειακής εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί με την αντικατάσταση των συμβατικών μέσων θέρμανσης με αντλίες θερμότητας. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές παράμετροι για τις οποίες, λόγω έλλειψης πληροφοριών σε μια μελέτη τέτοιου όγκου κατοικιών, λήφθηκαν υπόψη μεσοσταθμικές τιμές. Τέτοιες παράμετροι αξίζει να εξεταστούν σε μεγαλύτερο βάθος, ώστε να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα τα οποία θα είναι και πιο στοχευμένα.

Η εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι σημαντική, αλλά έχει ουσιαστική σημασία όσο τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης, ενεργειακά, αλλά και οικονομικά. Για αυτόν τον λόγο, δεδομένων των αποτελεσμάτων, τόσο της παρούσας, όσο και άλλων παλαιών αλλά και μελλοντικών ερευνών, κρίνεται

ωφέλιμο, να υιοθετηθούν ορισμένες πολιτικές οι οποίες θα βοηθήσουν στην βελτίωση της ενεργειακής ταυτότητας της χώρας, στην εξοικονόμηση ενεργειακών, αλλά και χρηματικών πόρων, στα νοικοκυριά και εν τέλη στην βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων της Ελλάδας.

Η παρούσα εργασία κάλυψε ένα πολύ ευρύ φάσμα νοικοκυριών στην Ελλάδα, με αποτέλεσμα κάποιοι παράγοντες οι οποίοι υπό άλλη κλίμακα θα ήταν σημαντικοί, δεδομένου του όγκου αυτού, αντιμετωπίστηκαν ως σταθερές με την χρήση μιας μεσοσταθμικής τιμής. Τέτοιες παράμετροι ήταν η έκταση των νοικοκυριών, οι κλιματικές συνθήκες, το μέσο θέρμανσης που χρησιμοποιείται, ο αριθμός μελών νοικοκυριού και ο αριθμός των διαμερισμάτων στις πολυκατοικίες. Ταυτόχρονα η εκπόνηση επιμέρους μελετών σε πιο περιορισμένη γεωγραφική έκταση όπως μία πόλη ή και μία περιφέρεια στην περίπτωση περιοχών όπως η Αττική, θα έδινε κάποια συγκεκριμένα δεδομένα όπως οι κλιματικές συνθήκες και επίσης, λόγω του διαχειρίσιμου πλέον όγκου των νοικοκυριών, με διαδικασίες καταγραφής κατοικιών, όπως πχ της ΕΛΣΤΑΤ, θα μπορούσαν να καταγραφούν λεπτομερώς, για το σύνολο των κατοικιών, τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι, οι μεσοσταθμικές τιμές που θα προκύψουν θα είναι πολύ πιο αξιόπιστες και τα τελικά αποτελέσματα θα χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια, αφού θα είναι στοχευμένα σε συγκεκριμένες εκτάσεις, και δεν θα επηρεάζονται από χαρακτηριστικά άλλων περιοχών. Για την μελέτη του συνόλου της χώρας θα χρειαστούν πολλές διαφορετικές έρευνες, ωστόσο όμως η κάθε περιοχή θα έχει αποτελέσματα που θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα της. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει τις προοπτικές που μπορεί να έχει μία τέτοια αλλαγή, ώστε να ανοίξει ο δρόμος για τέτοιες στενευμένες έρευνες, και εν τέλη να υιοθετηθούν οι αντλίες θερμότητας ως το κύριο μέσο θέρμανσης την Ελλάδα.

Στην παρούσα εργασία, δεν δόθηκε έμφαση στα συστήματα θερμομόνωσης και μοντελοποιήθηκε μόνο το μέσο θέρμανσης. Αυτό έγινε με σκοπό να υπάρξει μία καθαρή εικόνα της επίδρασης της μετάβασης από συμβατικά συστήματα θέρμανσης, αποκλειστικά σε αντλίες θερμότητας. Ωστόσο, για να μπορέσουν οι αντλίες να λειτουργήσουν στην μέγιστη δυνατή απόδοσή τους, τα μέτρα θερμομόνωσης είναι απαραίτητα. Έτσι, μεγάλο ενδιαφέρον θα είχε, η μοντελοποίηση τόσο των μέσων θέρμανσης, όσο και των πιθανών μέτρων θερμομόνωσης που μπορούν να εγκατασταθούν σε υφιστάμενα κτήρια. Τέτοια μέτρα είναι η θερμοπρόσοψη, η μόνωση

οροφής, η εγκατάσταση συστημάτων θερμοδιακοπτόμενων αλουμινίων με τριπλά κρύσταλλα και γενικά μέτρα τα οποία θα μειώσουν δραστικά τις ενεργειακές απώλειες μειώνοντας έτσι σε μεγαλύτερο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση και την εκπομπή ρύπων του οικιακού τομέα της Ελλάδας. Επιπλέον, με την ενίσχυση της θερμομόνωσης, οι ανάγκες σε κατανάλωση ενέργειας θα ήταν λιγότερες με αποτέλεσμα να απαιτούνται πιο οικονομικές αντλίες, γεγονός που αποφέρει ακόμα μεγαλύτερο οικονομικό κέρδος.

Με την υφιστάμενη κατάσταση, τα κόστη για την εγκατάσταση των ηλιακών πάνελ που χρειάζονται για να καλύψουν τις τεράστιες ενεργειακές ανάγκες των νοικοκυριών, καθιστούν την εγκατάσταση τους δύσκολη για το μέσο νοικοκυριό. Αν όμως καταφέρουμε να ελαττώσουμε με τις παραπάνω μεθόδους στο ελάχιστο δυνατό τις ενεργειακές απαιτήσεις, μπορούμε να ανοίξουμε την συζήτηση της ενεργειακής αυτάρκειας στα νοικοκυριά με την εγκατάσταση τέτοιων ανανεώσιμων πηγών. Μια χρήσιμη έρευνα, θα ήταν ο έλεγχος της βιωσιμότητας μίας τέτοιας λύσης όπως η κατασκευή κατοικιών μηδενικής καθαρής ενέργειας και η οικονομική αξιολόγηση της.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που δεν μπορεί να καταμετρηθεί και να μοντελοποιηθεί, είναι η συμπεριφορά του καταναλωτή. Ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών απωλειών προέρχεται από λανθασμένη χρήση των μέσων θέρμανσης των καταναλωτών (Vogiatzi et al., 2018). Μία τεχνολογία που επίσης έχει αναδειχτεί τα τελευταία χρόνια είναι η τεχνολογία KNX (KNX site, 2025)—όπως επίσης και άλλα συστήματα διαχείρισης κτηρίων βασισμένα σε μεγάλα δεδομένα (Marinakis, 2020)—που αποτελεί ένα ανοιχτό πρότυπο αυτοματισμών για εμπορικά και οικιστικά κτήρια. Οι συσκευές KNX μπορούν να διαχειριστούν φωτισμό, κλιματισμό, περσίδες και παντζούρια, συστήματα HVAC, οικιακές συσκευές, οθόνες κτλ. Αυτοματοποιώντας τις διαδικασίες χειρισμού τέτοιων συσκευών μπορούμε να αποφύγουμε περιπτώσεις όπως: αναμμένα φώτα η οθόνες σε χώρους χωρίς παρουσία ατόμου (ή κατοικίδιου) ή αναποτελεσματικής θέρμανσης η ψύξης χώρου όπου υπάρχουν ανοιχτά παράθυρα ή πόρτες. Επίσης μπορούν να αξιοποιηθούν πολλές άλλες δυνατότητες για φυσική θέρμανση η ψύξη του χώρου με αυτόματα σκίαστρα, ανάλογα με την θέση το ηλίου βοηθώντας σε κάθε περίπτωση το νοικοκυριό να διατηρήσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Μια τέτοια λύση θα μείωνε περεταίρω τις ενεργειακές απώλειες και η μελέτη της τάξης της εξοικονόμησης που μπορεί να πετύχει και της οικονομικής αξιολόγησης της, είναι κάτι το οποίο έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Balmford, A., Keshav, S., Venmans, F., Coomes, D., Groom, B., Madhavapeddy, A., & Swinfield, T. (2023). Realizing the social value of impermanent carbon credits. *Nature Climate Change*, 13(11), 1172-1178.
- Ban A., & Bungau C. (2022). *Journal of Engineering Sciences and Innovation* Volume 7, Issue 3 / 2022, pp. 293 – 304 https://jesi.astr.ro/wp-content/uploads/2022/10/2_Ban-Alexandra.pdf
- Clim'Foot (2016) Retrieved from: <https://climfoot-project.eu/en/what-emission-factor> (accessed: June 2025)
- Climatiq. (2021). Retrieved from: <https://www.climatiq.io/data/emission-factor/e0914143-358f-47bb-b408-39d3bb1cfe5f> (accessed: June 2025)
- Climatiq. (2023). Retrieved from: <https://www.climatiq.io/data/emission-factor/c054e30f-8ab2-4ef6-9b76-2d97a3a56458> (accessed: June 2025)
- Copiello, S., Gabrielli, L., & Bonifaci, P. (2017). Evaluation of energy retrofit in buildings under conditions of uncertainty: The prominence of the discount rate. *Energy*, 137, 104-117.
- Doukas, H., & Marinakis, V. (2020). Energy poverty alleviation: effective policies, best practices and innovative schemes. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 15(2), 45-48.
- Ehpa. (2023). European Heat Pump Market and statistics Report 2023 Retrieved from: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/publications/european-heat-pump-market-and-statistics-report-2023/> (accessed: April, 2025)
- EnergyPlus documentation Retrieved from: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/> (accessed: March 2025)
- EnergyPlus site – Weather files Retrieved from: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/GRC (accessed: March 2025)
- EnergySage. (2025). Retrieved from: <https://www.energysage.com/heat-pumps/how-long-do-heat-pumps-last> (accessed: June 2025)

- eQuest documentation. (2025). Retrieved from: <https://www.doe2.com/equest/> (accessed: March 2025)
- European Commission. (2024). GREECE: STATUS OF THE HEAT PUMP MARKET Retrieved from: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC137131/JRC137131_012.pdf (accessed: April 2025)
- European Heat Pump Association [EPHA]. (2023). Retrieved from: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/publications/european-heat-pump-market-and-statistics-report-2023/> (accessed: March, 2025)
- Eurostat. (2022). Energy statistics Retrieved from: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy statistics - an overview](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview) (accessed: April, 2025)
- Frilingou, N., Koasidis, K., Spyridaki, N. A., Nikas, A., Marinakis, V., & Doukas, H. (2024). Is it feasible to implement minimum energy performance standards (MEPS) for existing buildings in Greece? A cost-benefit evaluation. *Energy Policy*, 188, 114112. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421524001320>
- García-Gusano, D., Espegren, K., Lind, A., & Kirkengen, M. (2016). The role of the discount rates in energy systems optimisation models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 56-72.
- Genco, A., Viggiano, A., Rospi, G., Cardinale, N., Magi, V. (2015). Dynamic modeling and simulation of buildings energy performance based on different climatic conditions. *International Journal of Heat and Technology*, Vol. 33, No. 4, pp. 107-116. <http://dx.doi.org/10.18280/ijht.330414>
- HiSim documentation. (2025). Retrieved from: <https://household-infrastructure-simulator.readthedocs.io/en/stable/> (accessed: March 2025)
- Karananos, A., Dimara, A., Arvanitis, K., Timplalexis, C., Krinidis, S., and Tzovaras, D. (2020). Energy consumption patterns of residential users: A Study in Greece

Retrieved from: https://www.encompass-project.eu/wp-content/uploads/2020/01/6_Energy_consumption_patterns_of_residential_users.pdf (accessed: May, 2025)

KNX site (2025) Retrieved from: <https://knx.gr> (accessed: June 2025)

Liu, J., Heidarinejad, M., Nikkho, S. K., Mattise, N. W., & Srebric, J. (2019). Quantifying Impacts of Urban Microclimate on a Building Energy Consumption—A Case Study. *Sustainability*, 11(18), 4921. <https://doi.org/10.3390/su11184921>

Marinakis, V. (2020). Big data for energy management and energy-efficient buildings. *Energies*, 13(7), 1555.

Marinakis, V., Doukas, H., Spiliotis, E., & Papastamatiou, I. (2017). Decision support for intelligent energy management in buildings using the thermal comfort model. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 10(1), 882-893.

Ming-Tsun Ke, Chia-Hung Yeh, Jhong-Ting Jian, Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying **eQuest** software, *Energy and Buildings*, Volume 61, 2013, Pages 100-107, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.012>

Our World in Data, OWID (2023) Retrieved from: <https://ourworldindata.org/energy> (accessed: June 2025)

Papakostas, K.T., Papageorgiou, N.E., & Sotiropoulos, B.A. (1995). Residential hot water use patterns in Greece, *Solar Energy*, Volume 54, Issue 6, 1995, Pages 369-374, ISSN0038-092X, [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00014-I](https://doi.org/10.1016/0038-092X(95)00014-I).

Pflugradt, N., Linssen, J., Kotzur, L., & Stolten, D. (2022). *Generating Bottom-up Building Demand Profiles for Energy System Modelling with HiSim* (No. FZJ-2022-04293). Technoökonomische Systemanalyse. <https://juser.fz-juelich.de/record/910965>

Priarone, A., Silenzi, F., & Fossa, M. (2020). Modelling heat pumps with variable EER and COP in energyplus: A case study applied to ground source and heat

- recovery heat pump systems. *Energies*, 13(4), 794.
<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/4/794>
- Redpath, D., Paneri, A., Singh, H., Ghitas, A., & Sabry, M. (2022). Design of a Building-Scale Space Solar Cooling System Using TRNSYS. *Sustainability*, 14(18), 11549. <https://doi.org/10.3390/su141811549>
- Rieck, K., Dabrock, K., Pflugradt, N., Weinand, J. M., & Stolten, D. (2025). Large-scale quantification of the future self-covered heat demand using a nationwide residential building database. *Energy*, 134622.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544225002646>
- Saikawa, M., & Koyama, S. (2016). Thermodynamic analysis of vapor compression heat pump cycle for tap water heating and development of CO₂ heat pump water heater for residential use. *Applied Thermal Engineering*, 106, 1236-1243. ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.105>.
- Self, S. J., Reddy, B. V., & Rosen, M. A. (2013). Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Applied energy*, 101, 341-348. SSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.048>.
- Skyven Technologies, 2023 Retrieved from https://skyven.co/news/understanding-coefficient-of-performance/?utm_source=chatgpt.com (accessed: May, 2025)
- Spiliotis, E., Arsenopoulos, A., Kanellou, E., Psarras, J., & Kontogiorgos, P. (2020). A multi-sourced data based framework for assisting utilities identify energy poor households: A case-study in Greece. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 15(2), 49-71.
- TABULA Web Tool Retrieved from: <https://webtool.building-typology.eu/#bm> (accessed: March 2025)
- Teeder, K. (2023). Heat pump sizing chart. Retrieved from: <https://weloveheatpumps.com/heat-pump-sizing-chart-a-guide-for-what-you-need/> (accessed: June 2025)

- The Global Economy, 2024 Retrieved from: https://www.theglobaleconomy.com/Greece/electricity_consumption/ (accessed: May 2025)
- TheGreenTank, 2025 Retrieved from: <https://thegreentank.gr/2025/01/30/admie-dec24-el/> (accessed: April 2025)
- TRNSYS site Retrieved from: <https://www.trnsys.com/tess-libraries/index.html> (accessed: March 2025)
- U.S Department of Energy Retrieved from: <https://www.energy.gov/energysaver/air-source-heat-pumps> (accessed: March 2025)
- Usman Ali, Mohammad Haris Shamsi, Cathal Hoare, Eleni Mangina, James O'Donnell, Review of urban building energy modeling (UBEM) approaches, methods and tools using qualitative and quantitative analysis, *Energy and Buildings*, Volume 246, 2021, 111073, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111073>.
- Van den Brom, P., Hansen, A. R., Gram-Hanssen, K., Meijer, A., & Visscher, H. (2019). Variances in residential heating consumption–Importance of building characteristics and occupants analysed by movers and stayers. *Applied Energy*, 250, 713-728. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919309353>
- Vocale, P., Morini, G. L., & Spiga, M. (2014). Influence of outdoor air conditions on the air source heat pumps performance. *Energy Procedia*, 45, 653-662. https://www.researchgate.net/publication/261705318_Influence_of_Outdoor_Air_Conditions_on_the_Air_Source_Heat_Pumps_Performance
- Vogiatzi, C., Gemenetzi, G., Massou, L., Pouloupoulos, S., Papaefthimiou, S., & Zervas, E. (2018). Energy use and saving in residential sector and occupant behavior: A case study in Athens. *Energy and Buildings*, 181, 1-9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778818303025>
- Wang, X., Li, T., Yu, Y., Liu, Q., Shi, L., Xia, J., & Mao, Q. (2024). Performance simulation and energy efficiency analysis of multi-energy complementary

- HVAC system based on TRNSYS. *Applied Thermal Engineering*, 257, 124378.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431124020465>
- Wang, Z., Luther, M. B., Amirkhani, M., Liu, C., & Horan, P. (2021). State of the Art on Heat Pumps for Residential Buildings. *Buildings*, 11(8), 350.
<https://doi.org/10.3390/buildings11080350>
- World Resources Institute – WRI (2021). Retrieved from:
<https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors> (accessed: April, 2025)
- Worldometers, (2023) Retrieved from: <https://www.worldometers.info/co2-emissions/co2-emissions-by-year/> (accessed: June 2025)
- Xiang, X., Zhou, N., Ma, M., Feng, W., & Yan, R. (2023). Global transition of operational carbon in residential buildings since the millennium. *Advances in Applied Energy*, 11, 100145.
- Αζαριάς Σ., Αναγνωστόπουλος Δ.. (2014). Μελέτη και κατασκευή εκπαιδευτικής συσκευής αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα.. Σελ. 4
https://nereus.library.upatras.gr/formerpat/ptyxiakes/ste/ste_m/2011-2014/13309pe.pdf
- Δ. Γκιάτας (2023). Μοντελοποίηση οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια μεθόδων Υπολογιστικής Νοημοσύνης Retrieved from:
<https://ikee.lib.auth.gr/record/347861/files/Giata.pdf> (accessed: April 2025)
- ΕΛΣΤΑΤ (2013). ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ
Retrieved from: <https://www.statistics.gr/el/statistics/env> (accessed: April, 2025)
- ΕΛΣΤΑΤ (2023) HOUSEHOLD ENERGY EFFICIENCY Retrieved from
<https://www.statistics.gr/en/infographic-energy-effic-2023> (accessed: March 2025)
- ΕΛΣΤΑΤ, 2025 - Ελλάδα με αριθμούς Retrieved from:
https://www.statistics.gr/documents/20181/18573742/GreeceInFigures_2025Q1_GR.pdf/871e88cc-0188-a27b-0a6a-3bc8e03f56b3 (accessed: April, 2025)

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. 2014 Retrieved from <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/TOTEE-3.pdf> (accessed: April 2025)

Ψαρράς, Ι. (2025). Διαφάνειες μαθήματος: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική, Οικονομική Αξιολόγηση Ενεργειακών Επενδύσεων.