ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Πολυκριτήρια ανάλυση εναλλακτικών τεχνολογιών θέρμανσης

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος, Α. Βλάχος

Επιβλέπων : Χρυσόστομος (Χάρης), Δούκας
Καθηγητής, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Πολυκριτήρια ανάλυση εναλλακτικών τεχνολογιών θέρμανσης

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αντώνιος, Α. Βλάχος

Επιβλέπων : Χρυσόστομος (Χάρης), Δούκας
Καθηγητής, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18η Οκτωβρίου 2023.

.....	.....	.....
Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας	Ιωάννης Ψαρράς	Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

.....
Αντώνιος, Α. Βλάχος
Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας Π.Δ.Μ.

Copyright © Αντώνιος, Βλάχος, 2023.

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.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα του σύγχρονου τρόπου ζωής, που δεν είναι άλλο από αυτό της θέρμανσης των κατοικιών.

Σκοπός της είναι να αναδείξει στον κάθε καταναλωτή την καλύτερη δυνατή επιλογή συστήματος θέρμανσης, με βάση τις προτεραιότητες που εκείνος θέτει. Συνολικά, εξετάζονται οι εναλλακτικές τεχνολογίες θέρμανσης που δύνανται να επιλεγούν σε μία σύγχρονη κατοικία.

Για τη σφαιρική διερεύνηση του θέματος προσεγγίζονται οι έννοιες της θερμότητας και της θερμικής άνεσης, συντελώντας στη δημιουργία του κατάλληλου θεωρητικού υποβάθρου. Στη συνέχεια, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα θέματα ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων, αλλά και στο φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας στην Ελλάδα. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια αναδεικνύεται η επιτακτική ανάγκη για μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων.

Συγκεκριμένα, αναλύονται οι εναλλακτικές επιλογές με χρήση αντλίας θερμότητας αέρος-νερού (αερόψυκτη), αντλίας θερμότητας νερού-νερού (γεωθερμική), επίτοιχου λέβητα συμπύκνωσης αερίου, λέβητα πετρελαίου τεχνολογίας συμπύκνωσης, ηλεκτρικού λέβητα και λέβητα βιομάζας (pellet). Κατόπιν, παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν το κόστος κτήσης, το κόστος λειτουργίας, τη κατανάλωση ενέργειας, την ενεργειακή απόδοση, τις απαιτήσεις συντήρησης, τη διάρκεια ζωής, την κοινωνική αποδοχή και την περιβαλλοντική επιβάρυνση της εκάστοτε τεχνολογίας.

Θέτοντας τα παραπάνω δεδομένα ως κριτήρια, επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε η γνωστή πολυκριτήρια μέθοδος TOPSIS, με απώτερο στόχο την βέλτιστη επιλογή συστήματος θέρμανσης για τον εκάστοτε ωφελούμενο. Η εν λόγω μέθοδος θεωρήθηκε ως η καταλληλότερη, διότι είναι ικανή να προβεί στην αξιολόγηση μεγάλου αριθμού εναλλακτικών έναντι μεγάλου αριθμού κριτηρίων. Για την ανάλυση των κριτηρίων αλλά και των εναλλακτικών τεχνολογιών αξιοποιήθηκαν τόσο βιβλιογραφικές πηγές, όσο και πρόσφατα στοιχεία της αγοράς. Στο υπό εξέταση θέμα, ο Αποφασίζων είναι η εταιρεία εμπορίας συστημάτων θέρμανσης – κλιματισμού, ενώ Ωφελούμενοι είναι όλοι οι οικιακοί καταναλωτές. Κατά το στάδιο προσδιορισμού βαρών των κριτήριων της μεθόδου, κρίθηκε αναγκαίο να οριστούν τρία βασικά σενάρια, με βάση τις προτιμήσεις των καταναλωτών.

Λέξεις - Κλειδιά: Τεχνολογίες θέρμανσης, πολυκριτηριακή ανάλυση, μέθοδος TOPSIS, αντλία θερμότητας, λέβητας

Abstract

This paper deals with one of the most important issues of the modern lifestyle, which is none other than the heating of homes.

Its purpose is to show το each consumer the best possible choice of heating system, based on the priorities he sets. Overall, the alternative heating technologies, that can be chosen in a modern home, are examined.

For the global investigation of the subject, the concepts of heat and thermal comfort are approached, contributing to the creation of the appropriate theoretical background. Then, special reference is made to the issues of energy consumption of buildings, but also to the phenomenon of energy poverty in Greece. Within these contexts, the urgent need to reduce the energy consumption of buildings emerges.

Specifically, the alternative options are analyzed using an air-to-water heat pump (air cooler), water-to-water heat pump (geothermal), wall-mounted gas condensing boiler, condensing technology oil boiler, electric boiler and biomass (pellet) boiler. Then, data are presented regarding the acquisition costs, operating costs, energy consumption, energy efficiency, maintenance requirements, lifetime, social acceptance and the environmental impact of each technology.

Setting the above data as criteria, the well-known multi-criteria TOPSIS method was selected and applied, with the ultimate goal of choosing the best heating system for each beneficiary. This method was considered the most suitable because it is capable of evaluating a large number of alternatives against a large number of criteria. For the analysis of the criteria as well as the alternative technologies, both bibliographic sources and recent market data were used. In the matter under consideration, the Decision maker is the heating-air conditioning system trading company, while the Beneficiaries are all domestic consumers. During the stage of determining weights of the criteria of the method, it was deemed necessary to define three main scenarios, based on consumer preferences.

Keywords: Heating technologies, multicriteria analysis, TOPSIS method, heat pump, boiler

Πρόλογος

Έχοντας ολοκληρώσει τη μεταπτυχιακή μου εργασία, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους αυτούς που συνέβαλαν ποικιλοτρόπως στην επίτευξη του στόχου μου. Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Χρυσόστομο (Χάρη) Δούκα, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα, κύριο Απόστολο Αρσενόπουλο, για την υποδειγματική συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, συγγενείς και φίλους, που στάθηκαν στο πλευρό μου, όλο αυτό το διάστημα. Ακόμη ευχαριστώ τη διοίκηση και τους συναδέλφους της CALDA ENERGY για τη συνδρομή και την εμπειρία που μου παρείχαν τα τελευταία χρόνια.

Ένα εξίσου μεγάλο ευχαριστώ αποδίδω στη σύντροφό μου Αργυρώ, για την καθοριστική στήριξή της, τόσο έμπρακτη όσο και ψυχική, σε όλη τη διαδρομή του μεταπτυχιακού προγράμματος. Την ευχαριστώ που πάντοτε με ενθαρρύνει να κάνω το επόμενο βήμα και ενισχύει την αποφασιστικότητά μου.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Σχημάτων ... 6
Περιεχόμενα Πινάκων ... 7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή ... 8
1.1 Θερμότητα – Μετάδοση θερμότητας ... 10
1.2 Θερμική άνεση ... 12
1.3 Ενεργειακή κατανάλωση στα κτιριακό τομέα της Ελλάδας ... 14
1.4 Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα ... 17
1.5 Ανάγκη μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων ... 20
Κεφάλαιο 2: Ανάλυση εναλλακτικών τεχνολογιών και κριτηρίων ... 22
2.1 Αντλία θερμότητας Αέρος – Νερού ... 22
2.2 Αντλία θερμότητας Νερού – Νερού ... 25
2.3 Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου ... 28
2.4 Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης ... 30
2.5 Λέβητας βιομάζας Pellet ... 31
2.6 Ηλεκτρικός Λέβητας ... 33
2.7 Παραδοχές για την ανάλυση των κριτηρίων ... 34
2.8 Βαθμός Απόδοσης ... 35
2.9 Κατανάλωση Ενέργειας ... 39
2.10 Κόστος Λειτουργίας ... 40
2.11 Κόστος Κτήσης (Αγορά & Εγκατάσταση) ... 45
2.12 Απαιτήσεις Συντήρησης ... 49
2.13 Διάρκεια Ζωής ... 52
2.14 Κοινωνική Αποδοχή ... 54
2.15 Περιβαλλοντική Επιβάρυνση ... 57
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογική Προσέγγιση ... 61
3.1 Βασικές αρχές πολυκριτηριακών μεθόδων ... 61
3.2 Επιλογή πολυκριτήριας μεθόδου ... 63
Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή μεθόδου – Αποτελέσματα ... 67
4.1 Δεδομένα ... 67
4.2 Ορισμός βαρών κριτηρίων ... 68
4.3 Αποτελέσματα ... 70
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα ... 74
Βιβλιογραφία ... 76
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία ... 79

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: Μέθοδοι μετάδοσης θερμότητας (Conduction – Convection – Radiation https://www.nuclear-power.com/) ... 11
Σχήμα 2: Θερμική Ισορροπία ανθρώπινου σώματος (DESIGN & INSTALLATION, Variotherm) ... 12
Σχήμα 3: Ζώνη συνθηκών άνεσης (DESIGN & INSTALLATION, Variotherm) ... 13
Σχήμα 4: Κατανομή Συνολικής Ενέργειας (ΕΛΣΤΑΤ, 2013) ... 15
Σχήμα 5: Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά τελική χρήση (ΕΛΣΤΑΤ, 2013) ... 16
Σχήμα 6: Δυσφορία λόγω ανεπαρκούς θέρμανσης/ψύξης στην οικία (ΕΛΣΤΑΤ, 2013) ... 18
Σχήμα 7: Δυσκολία στην αποπληρωμή των ενεργειακών λογαριασμών (ΕΛΣΤΑΤ, 2013) ... 19
Σχήμα 8: Ύπαρξη Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) στις κατοικίες (ΕΛΣΤΑΤ, 2013) 19
Σχήμα 9: Ψυκτικός Κύκλος (Pompa de calor,wikipedia) ... 22
Σχήμα 10: Αντλία θερμότητας αέρος – νερού Monoblock (Aermec HMI Data Sheet) ... 23
Σχήμα 11: Αντλία θερμότητας αέρος – νερού Split (Aermec BHP Data Sheet) ... 24
Σχήμα 12: Ψυκτικό διάγραμμα σύγχρονης αντλίας θερμότητας (Aermec HMI Technical Manual) ... 25
Σχήμα 13: Αντλία θερμότητας νερού – νερού (www.coolmastershvac.com) ... 26
Σχήμα 14: Συστήματα γεωθερμίας ανοικτού κυκλώματος (GAIADRILL ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ) ... 27
Σχήμα 15: Συστήματα γεωθερμίας κλειστού κυκλώματος (GAIADRILL ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ) ... 27
Σχήμα 16: Βασικό διάγραμμα λειτουργίας επίτοιχου λέβητα αερίου (Bosch Home Comfort) ... 29
Σχήμα 17: Εσωτερική δομή επίτοιχου λέβητα αερίου (Bosch Home Comfort) ... 30
Σχήμα 18: Εσωτερική δομή ατομικής μονάδας πετρελαίου συμπύκνωσης (Bosch Home Comfort) .. 31
Σχήμα 19: Εσωτερική δομή συστήματος λέβητα βιομάζας Pellet (ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ Ε.Π.Ε) ... 33
Σχήμα 20: Εσωτερική δομή ηλεκτρικού λέβητα (www.alphaclimagr.gr) ... 34
Σχήμα 21: Μεσοσταθμική τιμή εισαγωγής ΦΑ ανά μήνα (ΡΑΕ) ... 43
Σχήμα 22: Κύκλος Ζωής Προϊόντος (https://4economist.wordpress.com/) ... 54
Σχήμα 23: Πωλήσεις λεβήτων στην εγχώρια αγορά (ICAP CRIF A.E.) ... 55
Σχήμα 24: Πωλήσεις αντλιών θερμότητας στην εγχώρια αγορά (ICAP CRIF A.E.) ... 56
Σχήμα 25: Στάδια Διαδικασίας Πολυκριτήριας Υποστήριξης Αποφάσεων (Climaco, 1997) ... 62
Σχήμα 26: Επαναλαμβανόμενη διαδικασία (Huang et al, 1995) ... 62
Σχήμα 27: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων – Σενάριο Α ... 72
Σχήμα 28: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων – Σενάριο Β ... 73
Σχήμα 29: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων – Σενάριο Γ ... 73

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Συντελεστής Απόδοσης αντλίας θερμότητας αέρος – νερού 37
Πίνακας 2: Συντελεστής Απόδοσης αντλίας θερμότητας αέρος – νερού 37
Πίνακας 3: Βαθμοί Απόδοσης 39
Πίνακας 4: Κατανάλωση Ενέργειας 40
Πίνακας 5: Χρεώσεις ΥΚΩ 41
Πίνακας 6: Υπολογισμός ηλεκτρικής kWh 42
Πίνακας 7: Μέση τιμή προμήθειας ΦΑ για σεζόν 2022-2023 43
Πίνακας 8: Υπολογισμός kWh ΦΑ 44
Πίνακας 9: Μέση τιμή Πετρελαίου Θέρμανσης 45
Πίνακας 10: Κόστος Λειτουργίας 45
Πίνακας 11: Κόστος Κτήσης (Αγορά & Εγκατάσταση) 49
Πίνακας 12: Απαιτήσεις Συντήρησης σε € ανά έτος 52
Πίνακας 13: Διάρκεια Ζωής σε έτη 54
Πίνακας 14: Κοινωνική Αποδοχή 57
Πίνακας 15: Σύγκριση ρύπων διαφόρων τεχνολογιών (Casasso, Capodaglio et al, 2019) 58
Πίνακας 16: Περιβαλλοντική Επιβάρυνση 59
Πίνακας 17: Συγκεντρωτικός Πίνακας Κριτηρίων 60
Πίνακας 18: Πίνακας Εναλλακτικών 67
Πίνακας 19: Πίνακας κριτηρίων 67
Πίνακας 20: Πίνακας Απόφασης 68
Πίνακας 21: Βάρη – Σενάριο Α 68
Πίνακας 22: Βάρη – Σενάριο Β 69
Πίνακας 23: Βάρη – Σενάριο Γ 69
Πίνακας 24: Αποτελέσματα - Σενάριο Α 70
Πίνακας 25: Αποτελέσματα - Σενάριο Α - Φθίνουσα σειρά 70
Πίνακας 26: Αποτελέσματα - Σενάριο Β 70
Πίνακας 27: Αποτελέσματα - Σενάριο Β - Φθίνουσα σειρά 71
Πίνακας 28: Αποτελέσματα - Σενάριο Γ 71
Πίνακας 29: Αποτελέσματα - Σενάριο Γ - Φθίνουσα σειρά 71
Πίνακας 30: Συγκεντρωτική Κατάταξη Αποτελεσμάτων 72

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η θέρμανση εξακολουθεί να αποτελεί μια από τις βασικότερες ανάγκες του ανθρώπου που ανέκαθεν προσπαθούσε να ικανοποιήσει. Η διασφάλιση των συνθηκών θερμικής άνεσης διαχρονικά συνιστά το ζητούμενο, ανεξαρτήτως των κοινωνικοπολιτικών εξελίξεων. Γι' αυτό άλλωστε βρίσκεται στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος, αλλά και της καθημερινότητας των πολιτών.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής, ειδικά στον αστικό ιστό, έχει οδηγήσει την κοινωνία να αναπτύξει τη δραστηριότητά της εντός κτιρίων. Τα κτίρια αυτά μπορεί να αποτελούν κατοικίες, χώρους εργασίας, καταστήματα, νοσοκομεία, χώρους αναψυχής κλπ. Η πρωταρχική ανάγκη της δημιουργίας των κτιρίων ήταν η προστασία των ανθρώπων από το εξωτερικό περιβάλλον και ιδιαίτερα από τα καιρικά φαινόμενα. Ωστόσο, οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των κτιρίων οφείλουν να πληρούν τις απαιτήσεις υγιεινής, ασφάλειας και άνεσης των χρηστών. Σε ό,τι αφορά τις παραπάνω συνθήκες, παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ποιότητα αέρα, ο φωτισμός, και ο θόρυβος είναι μερικοί από αυτούς που κάνουν όσους βρίσκονται εντός των κτιρίων να αισθάνονται άνετα ή όχι.

Γίνεται αντιληπτό πως για να εξασφαλιστούν οι απαιτούμενες συνθήκες στο εσωτερικό των κτιρίων, καθίσταται αναγκαία η χρήση σύγχρονων συστημάτων. Τα κόστη για την αγορά, την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση τέτοιων συστημάτων συνιστούν ένα σημαντικό οικονομικό μέγεθος των κτιρίων. Επιπλέον, τα ποσά ενέργειας που καταναλώνονται για την διατήρηση των συνθηκών θερμικής άνεσης είναι σημαντικά ως προς το μέγεθός τους. Οι τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφέρουν ως προς το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνουν, δηλαδή κάποιες είναι φιλικές για το περιβάλλον και κάποιες όχι.

Η επιλογή των κατάλληλων μονάδων που εξασφαλίζουν τις επιθυμητές συνθήκες, αποτελεί μια περίπλοκη διαδικασία. Η στάθμιση οικονομικών, περιβαλλοντικών και διαφόρων άλλων παραγόντων οδηγεί τον τελικό καταναλωτή στην επιλογή του. Το βέβαιο είναι ότι κάθε επιλογή έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, συνεπώς η απόφαση είναι διαφορετική για κάθε περίπτωση, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Συνολικά, η ικανοποίηση της ανάγκης για θέρμανση συνιστά τον κυρίαρχο στόχο της παρούσας εργασίας, με απώτερο σκοπό να διερευνηθούν οι βέλτιστες λύσεις για τον εκάστοτε καταναλωτή. Επιπλέον, δεδομένης της σημασίας των συστημάτων θέρμανσης εφαρμόζεται

πολυκριτήρια ανάλυση, προκειμένου να αναδειχθεί η τεχνολογία θέρμανσης με τη μεγαλύτερη αποδοχή στον οικιακό τομέα της Ελλάδας.

Το εν λόγω εγχείρημα διαρθρώνεται ως εξής. Στο πρώτο κεφάλαιο προσεγγίζονται οι σχετικές με τη θερμότητα έννοιες, ενώ στη συνέχεια καταβάλλεται προσπάθεια να σκιαγραφηθεί η ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζονται οι εναλλακτικές τεχνολογίες θέρμανσης. Έπειτα, καθορίζονται και αναλύονται συγκεκριμένα κριτήρια που συνδέονται με αυτές. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογική πορεία που ακολουθήθηκε, τα αποτελέσματα της οποίας καταγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο. Η εργασία ολοκληρώνεται με μια σειρά συμπερασμάτων τα οποία εξήχθησαν από την όλη διαδικασία.

1.1 Θερμότητα – Μετάδοση θερμότητας

Η θερμότητα αποτελεί τη μορφή ενέργειας που μπορεί να μεταφερθεί από ένα σύστημα σε ένα άλλο λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας (Yunus A. Cengel, 2005). Η μετάδοση θερμότητας είναι ένα φαινόμενο μη ισορροπίας, διότι έγκειται σε συστήματα που δεν βρίσκονται σε θερμική ισορροπία. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει και είναι εμφανές γύρω μας, για παράδειγμα το ανθρώπινο σώμα το οποίο μεταφέρει θερμότητα προς το περιβάλλον. Άλλες εφαρμογές όπως τα συστήματα θέρμανσης, τα συστήματα ψύξης, οι ηλεκτρικές συσκευές, οι ηλιακοί θερμοσίφωνες αποτελούν μερικές ακόμη περιπτώσεις εφαρμογής του φαινομένου αυτού. Ιστορικά η θερμότητα είναι ένα από τα πρώτα πράγματα που κατανόησε ο άνθρωπος, καθώς γίνεται άμεσα αντιληπτή μέσω της αίσθησης που δημιουργεί.

Βασική προϋπόθεση για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δυο σωμάτων είναι η ύπαρξη θερμοκρασιακής διαφοράς. Δυο σώματα που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία δεν μπορούν να ανταλλάξουν θερμότητα, συνεπώς η κινητήρια δύναμη του φαινομένου της μεταφοράς θερμότητας είναι η θερμοκρασιακή διαφορά. Η θερμότητα μεταφέρεται από το πιο θερμό σώμα προς το πιο ψυχρό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα γι΄ αυτήν τη διαπίστωση αποτελεί μια κούπα με ζεστό τσάι η οποία αν την αφεθεί σε κρύο περιβάλλον, τότε μέσω της μεταφοράς θερμότητας το τσάι θα αποβάλει τη θερμότητά του προς το περιβάλλον, με αποτέλεσμα να κρυώσει. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό είναι ο ρυθμός μεταφοράς, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά, τόσο μεγαλύτερος και ο ρυθμός. Το μέγεθος αυτό είναι αρκετά σημαντικό, διότι εισάγει την έννοια του χρόνου, καθοριστικός παράγοντας για την μελέτη φαινομένων της μετάδοσης θερμότητας. Το ενδιαφέρον, λοιπόν, της μελέτης δεν έγκειται μονάχα στον υπολογισμό του ποσού της ενέργειας που πρέπει να καταναλωθεί για να ψυχθεί ή να θερμανθεί ένα αντικείμενο, αλλά και σε αυτόν του χρόνου που απαιτείται.

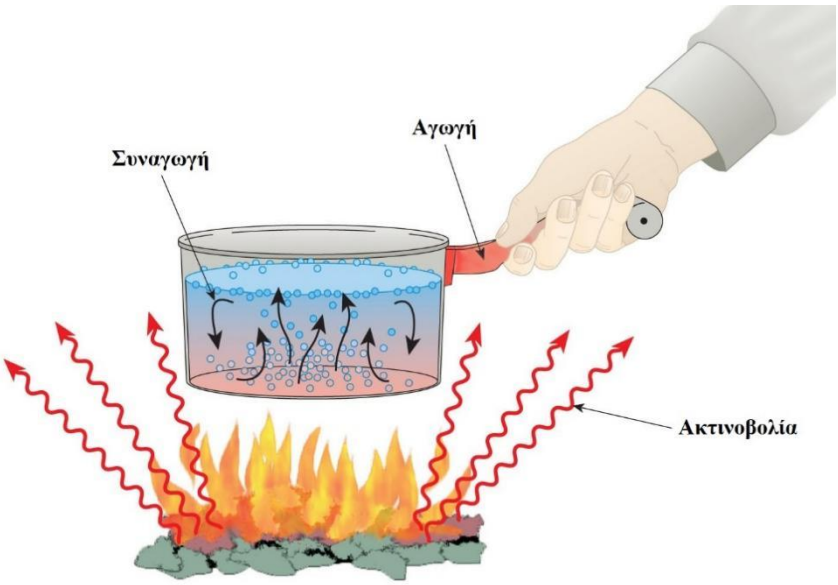
Η θερμότητα μεταφέρεται με τρεις τρόπους, με *αγωγή*, με *συναγωγή* (ή μεταφορά) και με *ακτινοβολία* (Yunus A. Cengel & Michael A. Boles, 2003). Κατά την *αγωγή* μεταφέρεται ενέργεια από τα σωματίδια μιας ουσίας προς τα γειτονικά της, λόγω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Ο ρυθμός της αγωγής εξαρτάται από τη γεωμετρία του μέσου, το πάχος, το υλικό και τη διαφορά θερμοκρασίας των 2 πλευρών του.

Κατά τη *συναγωγή* μεταφέρεται ενέργεια από μια στερεή επιφάνεια στο υγρό ή το αέριο που την περιβάλλει και βρίσκεται σε κίνηση. Δηλαδή συμβαίνει το φαινόμενο της αγωγής σε συνδυασμό με την κίνηση του ρευστού. Η ταχύτητα κίνησης του ρευστού αποτελεί μέγεθος

ανάλογο με την μεταφορά θερμότητας, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσό της μεταφερόμενης ενέργειας. Όταν η κυκλοφορία του αέρα πραγματοποιείται λόγω της διαφοράς πυκνότητας του ρευστού, τότε συμβαίνει η *φυσική ή ελεύθερη συναγωγή*. Αντιθέτως, όταν η κυκλοφορία του αέρα γίνεται από εξωτερικά μέσα, όπως για παράδειγμα με τη χρήση κάποιου ανεμιστήρα, τότε συμβαίνει η *εξαναγκασμένη συναγωγή*.

Ο τρίτος τρόπος μεταφοράς ενέργειας, η *ακτινοβολία*, είναι η ενέργεια που εκπέμπεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, λόγω των μεταβολών στην ηλεκτρονική διαμόρφωση των ατόμων ή των μορίων. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν υπάρχει απαίτηση για ύπαρξη υλικού μέσου, όπως συμβαίνει στις δυο προηγούμενες. Στον υπό εξέταση τομέα, εστιάζει κανείς στη *θερμική ακτινοβολία*, δηλαδή στην ακτινοβολία που εκπέμπουν τα σώματα λόγω της θερμοκρασίας τους.

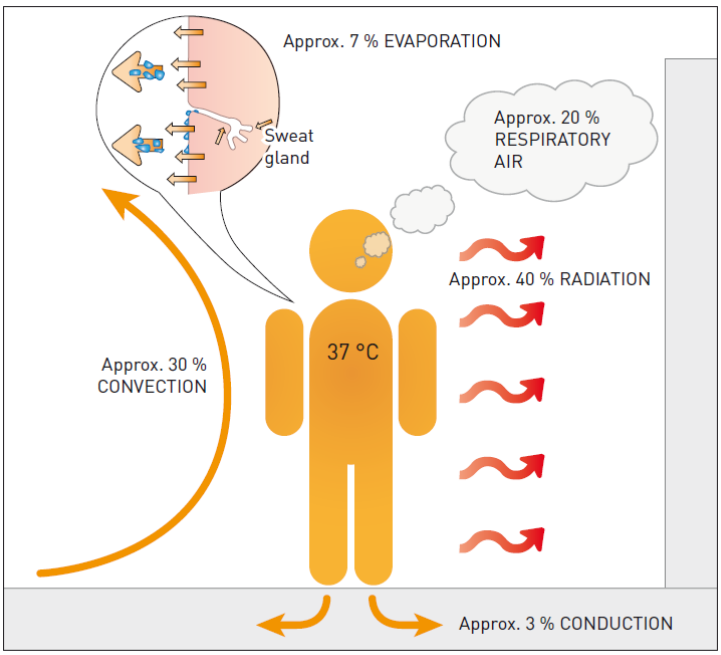
Στο ακόλουθο σχήμα 1 παρουσιάζονται οι τρεις τρόποι μεταφοράς θερμότητας, όπως αυτοί λαμβάνουν χώρα κατά την τοποθέτηση μιας κατσαρόλας με νερό στη φωτιά. Μέσω αγωγής μεταφέρεται θερμότητα από την κατσαρόλα στο χερούλι και κατ΄ επέκταση στο χέρι. Η θερμότητα των επιφανειών της κατσαρόλας μέσω συναγωγής μεταφέρεται στο νερό. Τέλος, η φωτιά μέσω ακτινοβολίας μεταδίδει τη θερμότητα στο περιβάλλον.



Σχήμα 1: Μέθοδοι μετάδοσης θερμότητας (Conduction – Convection – Radiation https://www.nuclear-power.com/)

1.2 Θερμική άνεση

Το ανθρώπινο σώμα έχει την ικανότητα να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του γύρω στους 37°C. Θεωρεί το περιβάλλον του θερμικά άνετο, όταν δεν υπάρχει κάποιο σήμα από τα αισθητήρια όργανα για πτώση ή άνοδο της θερμοκρασίας του (ISO 7730). Η παραπάνω κατάσταση καλείται θερμική ισορροπία (Σχήμα 1), συνιστά δηλαδή το σημείο αυτό που το άτομο δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη. Όταν το σώμα βρίσκεται σε κατάσταση που η θερμοκρασία του αυξάνεται, τότε τα αιμοφόρα αγγεία διαστέλλονται, η ροή του αίματος στο δέρμα αυξάνεται, με αποτέλεσμα οι απώλειες μέσω αγωγής και ακτινοβολίας να μεγαλώνουν. Επιπλέον, ενεργοποιείται η λειτουργία της εφίδρωσης, δηλαδή λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ψύξης μέσω της εξάτμισης. Αντιθέτως, όταν το ανθρώπινο σώμα βρεθεί σε κατάσταση που η θερμοκρασία του μειώνεται, τότε τα αιμοφόρα αγγεία συστέλλονται, μειώνοντας τη ροή του αίματος στο δέρμα, με αποτέλεσμα οι απώλειες μέσω αγωγής και ακτινοβολίας να μειώνονται. Στη συνέχεια, ακολουθεί η εμφάνιση ρίγους, όπου η κίνηση των μυών αυξάνει τις καύσεις, με αποτέλεσμα να παράγεται θερμότητα στο σώμα.



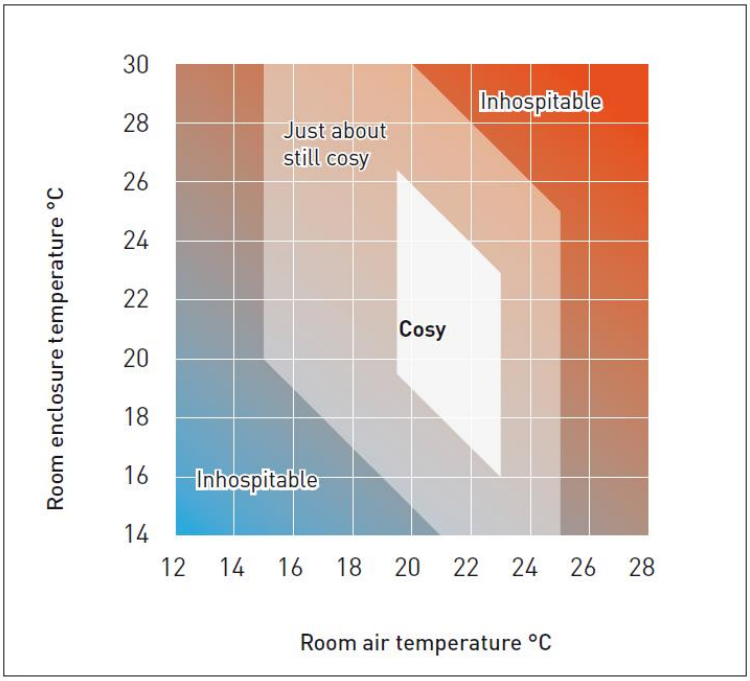
▲ Human heat balance

Σχήμα 2: Θερμική Ισορροπία ανθρώπινου σώματος (DESIGN & INSTALLATION, Variotherm)

Για την καλύτερη κατανόηση του ζητήματος, στο σημείο αυτό κρίνεται χρήσιμο να οριστεί η έννοια της θερμικής άνεσης (ASHRAE, 1996). Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική

Εταιρία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning), ως *θερμική άνεση* ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες.

Όπως είναι προφανές η κατάσταση στην οποία ένα άτομο αισθάνεται θερμικά άνετα έχει υποκειμενικό χαρακτήρα. Έτσι, στον ίδιο χώρο είναι δυνατόν κάποιο άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του για τις θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο άλλο άτομο τη δυσαρέσκειά του. Η λέξη *άνεση* εμπεριέχει ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που την ορίζουν κάθε φορά για κάθε άτομο. Ωστόσο, υπάρχουν κριτήρια τα οποία πέραν της ψυχολογίας, ορίζουν τη θερμική άνεση. Φυσικά μεγέθη όπως η θερμοκρασία, η απόλυτη και η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του αέρα και η ακτινοβολία οριοθετούν ένα πλαίσιο αποδεκτού εύρους τιμών συνθηκών άνεσης. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται το εύρος της ζώνης άνεσης ως προς την εσωτερική σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία εσωτερικού αέρα. Ακόμη, βιολογικές παράμετροι όπως το φύλλο, η ηλικία και οι συνήθειες των χρηστών μπορούν να προσδιορίσουν καλύτερα το επίπεδα άνεσης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που εξελίσσονται στους εσωτερικούς χώρους, δηλαδή το αν οι άνθρωποι κάθονται, εργάζονται, κινούνται καθώς και ο ρουχισμός τους αποτελούν σημαντικά κριτήρια επιλογής (ASHRAE, 1992).



▲ Zone of cosiness

Σχήμα 3: Ζώνη συνθηκών άνεσης (DESIGN & INSTALLATION, Variotherm)

1.3 Ενεργειακή κατανάλωση στα κτιριακό τομέα της Ελλάδας

Η κατανάλωση και η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελούν ζητήματα που προβληματίζουν την επιστημονική κοινότητα τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οι δεσμεύσεις για εξοικονόμηση κατανάλωσης ενέργειας των κρατών μελών της Ε.Ε. 20% έως το 2020 και 32,50% έως το 2030, αναμφίβολα απαιτούν καίριες παρεμβάσεις (Barroso, 2014).

Ο κτιριακός τομέας των χωρών της Ε.Ε. καταναλώνει το 40% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Το παραπάνω ποσοστό για την Ελλάδα ανέρχεται στο 43% και αποτελεί το μεγαλύτερο μερίδιο κατανάλωσης ενέργειας. Το θετικό είναι πως στον κτιριακό τομέα υπάρχουν μεγάλα περιθώρια για εξοικονόμηση. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2013), το ποσοστό των κτιρίων που διαθέτουν θερμομόνωση ανέρχεται στο 42,1%, γεγονός που καταδεικνύει τα περιθώρια, αλλά και τη δυναμική για βελτίωση στην κατανάλωση ενέργειας.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι περιπτώσεις των κτιρίων που χρησιμοποιούνται ως κατοικίες. Στην Ελλάδα οι κατοικίες συνιστούν το 77,50% των συνολικών κτιρίων και είναι με διαφορά το μεγαλύτερο ποσοστό, αν αναλογιστεί κανείς πως το αμέσως επόμενο ποσοστό αποτελεί το 16,00% και αφορά τα Καταστήματα – Γραφεία.

Αναφορικά με την κατανάλωση της ενέργειας στα νοικοκυριά της χώρας (ΕΛΣΤΑΤ, 2013), κατά μέσο όρο καταναλώνονται ετησίως 13.994 kWh. Αναλυτικότερα, οι 10.244 kWh αφορούν θερμική ενέργεια, ενώ 3.750 kWh ηλεκτρική ενέργεια. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα, το 81% της ενέργειας δαπανάται για θέρμανση χώρων και μαγείρεμα.

Στο ακόλουθο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η κατανομή της συνολικής ενέργειας κατά την τελική χρήση.

Σχήμα 4: Κατανομή Συνολικής Ενέργειας (ΕΛΣΤΑΤ, 2013)

Η θερμική ενέργεια, όπως προαναφέρθηκε, είναι το βασικότερο μέγεθος των ενεργειακών καταναλώσεων. Από τις 10.244 kWh το 85,90% καταναλώνεται για θέρμανση χώρων, το 4,40% για παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης και το 9,70% για μαγείρεμα.

Αντιθέτως, η ηλεκτρική ενέργεια 3.750 kWh, δαπανάται σε ποικίλες δραστηριότητες/ συσκευές του νοικοκυριού, όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

Σχήμα 5: Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά τελική χρήση (ΕΛΣΤΑΤ, 2013)

Το προφίλ καταναλισκόμενης ενέργειας στις κατοικίες διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκονται. Για παράδειγμα στις αστικές περιοχές παρατηρείται μεγαλύτερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου, σε σχέση με τις αγροτικές περιοχές. Αντίθετα, η χρήση καυσόξυλων στις αγροτικές περιοχές είναι σαφώς υψηλότερη. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως το ζήτημα της ενέργειας δεν είναι μονοσήμαντο και σχετίζεται με διαφορετικούς παράγοντες.

Με σκοπό την καλύτερη σκιαγράφηση των υποδομών των κατοικιών, ακολούθως γίνεται αναφορά σε κάποια στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (2013). Το μέσο εμβαδόν των κατοικιών ανέρχεται στα 84,8m^2, αναλυτικότερα:

- Εμβαδόν έως και 60m^2 διαθέτει το 23,6% των νοικοκυρών
- Εμβαδόν μεταξύ 61m^2 και 90m^2 διαθέτει το 41,7% των νοικοκυρών
- Εμβαδόν μεγαλύτερο των 90m^2 διαθέτει το 34,7% των νοικοκυρών.

Με βάση την ίδια έρευνα το 52,2% των κατοικιών παρουσιάζεται να διαθέτει κάποιον τύπο θερμομόνωσης, ενώ το 42,1% όχι. Επίσης, εμφανίζεται και ένα ποσοστό 5,7% για το οποίο η παραπάνω πληροφόρηση δεν ήταν δυνατή.

Σχεδόν το σύνολο των κατοικιών (98,9%) διαθέτει κάποιο σύστημα θέρμανσης, ενώ από αυτό περίπου το 50,8% χρησιμοποιεί σύστημα κεντρικής θέρμανσης (65,3% με διακόπτη αυτονομία και 34,7% χωρίς). Επιπλέον, το 48,6% διαθέτει αυτόνομο/ανεξάρτητο σύστημα και μόλις το 0,6% σύστημα τηλεθέρμανσης. Πέραν του βασικού συστήματος, το 30% χρησιμοποιεί για θέρμανση συμπληρωματικά συστήματα όπως τζάκι, αυτόνομα κλιματιστικά, σόμπες, αερόθερμα και άλλες φορητές ηλεκτρικές συσκευές.

Ως κυριότερη πηγή χρησιμοποιείται το πετρέλαιο θέρμανσης, ακολουθεί ο ηλεκτρισμός, η βιομάζα και το φυσικό αέριο. Για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης τα πράγματα είναι διαφορετικά, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό (74,5%) βασίζεται στη χρήση ηλεκτρικού θερμοσίφωνα. Το 37,6% διαθέτει ηλιακό θερμοσίφωνα, ενώ το 25,2% διαθέτει σύστημα συνδεδεμένο με τη θέρμανση (boiler).

Με βάση τα παραπάνω καθίσταται αντιληπτή η δυναμική που υπάρχει στο ζήτημα της βελτίωσης των συστημάτων και κατ’ επέκταση στη δυνατότητα εξοικονόμηση ενέργειας.

1.4 Ενεργειακή φτώχεια στην Ελλάδα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με σκοπό την προστασία των ευάλωτων καταναλωτών, θέτει ως βασικό το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας. Ως *ενεργειακή φτώχεια* (ή *ενεργειακή ένδεια*), ορίζεται η κατάσταση ενός νοικοκυριού που αδυνατεί να έχει πρόσβαση στις πλέον βασικές υπηρεσίες ενέργειας για επαρκή θέρμανση, μαγείρεμα, φωτισμό και τη χρήση οικιακών συσκευών (Συνήγορος του πολίτη, χ,χ,). Το παραπάνω διατυπώνεται μέσω των πολιτικών προτεραιοτήτων, αλλά και των μέτρων που λαμβάνονται. Οι δεσμεύσεις για την παροχή καθαρής ενέργειας σε όλους τους Ευρωπαίους κατοίκους εγκρίθηκαν το 2019 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

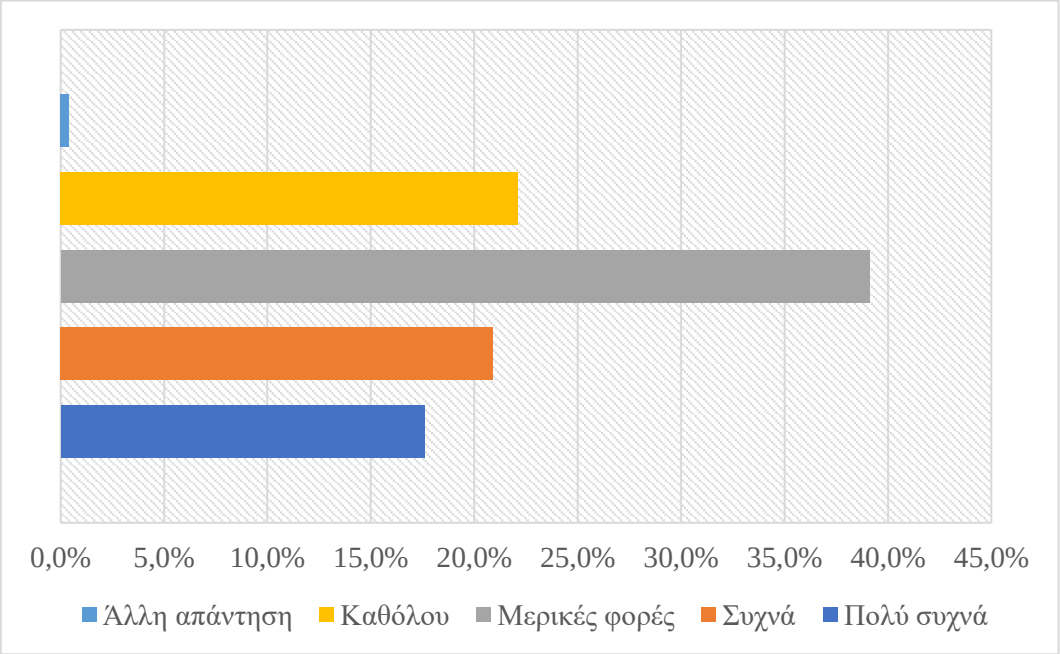
Συμπληρωματικές δράσεις, όπως η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (2019) & η στρατηγική Κύμα Ανακαίνισης (2020), στοχεύουν στη μείωση των ανισοτήτων, τη μείωση των λογαριασμών ενέργειας και εν γένει την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.

Στην Ελλάδα το φαινόμενο οξύνεται όλο και περισσότερο, ανάγοντας το πρόβλημα της ενεργειακής φτώχειας σε πραγματική πρόκληση. Οι επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών είναι πολλαπλές και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος αυξάνεται, καθώς η χρήση ακατάλληλων υλικών προς καύση πολλαπλασιάζεται. Αξίζει να σημειωθεί πως η ενεργειακή αναβάθμιση

των κτιρίων της χώρας αποτελεί βασικό άξονα του Εθνικού Σχέδιου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας «Ελλάδα 2.0».

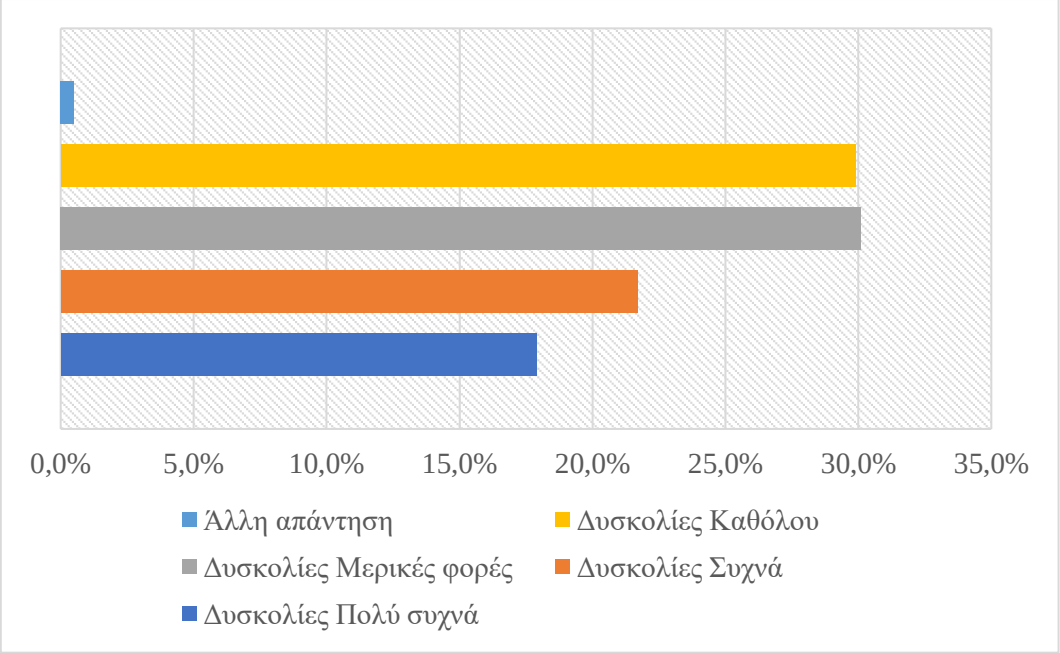
Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποίησε το INZEB σε συνεργασία με το Ίδρυμα Χάινριχ Μπελ Ελλάδας (2018-2019 & 2020), σχετικά με το φαινόμενο της ενεργειακής φτώχειας στην Ελλάδα, αποκαλύπτει τη σημασία του ζητήματος για την ελληνική χώρα. Στο σημείο αυτό αξίζει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση σε μερικά από τα ευρήματα της παραπάνω έρευνας.

Το 38,25% των ερωτηθέντων δήλωσε πως διακατέχεται συχνά έως πολύ συχνά από δυσφορία λόγω έλλειψης επαρκούς θέρμανσης/ψύξης, ενώ το 39.1% απάντησε ότι το ίδιο αίσθημα εμφανίζεται μερικές φορές (Σχήμα 6).



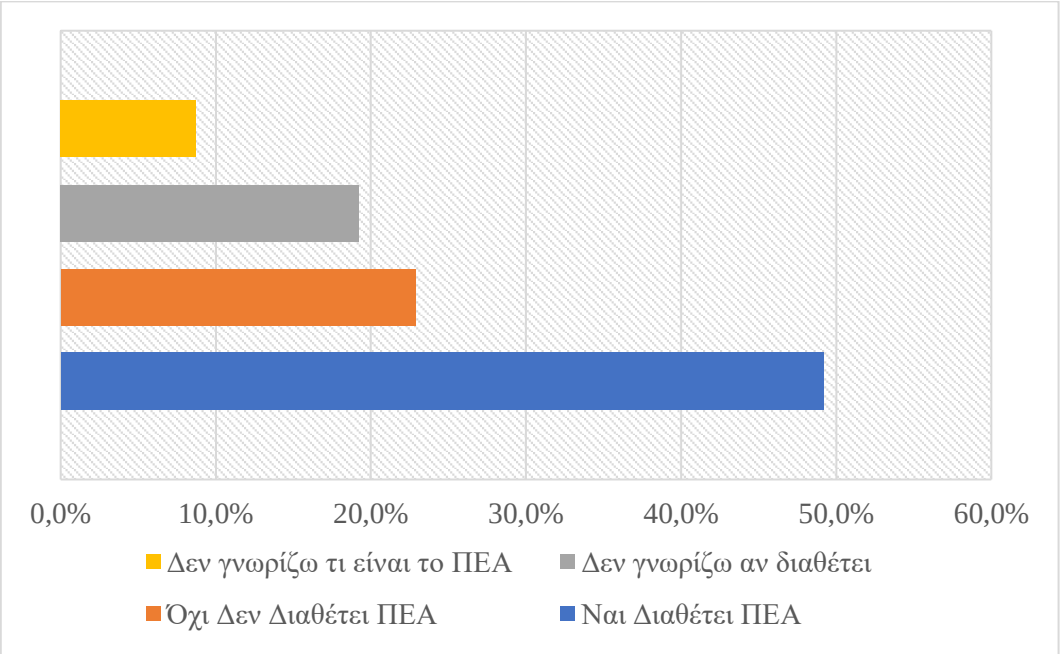
Σχήμα 6: Δυσφορία λόγω ανεπαρκούς θέρμανσης/ψύξης στην οικία (ΕΛΣΤΑΤ, 2013)

Αναφορικά με τη δυσκολία στην αποπληρωμή λογαριασμών ενέργειας συχνά έως πολύ συχνά αντιμετωπίζει πρόβλημα το 39,6%, αντιθέτως ποσοστό του 29,9% δηλώνει πως δεν αντιμετωπίζει δυσκολία (Σχήμα 7).



Σχήμα 7: Δυσκολία στην αποπληρωμή των ενεργειακών λογαριασμών (ΕΛΣΤΑΤ, 2013)

Αξιοσημείωτα είναι τα αποτελέσματα στην ερώτηση σχετικά με την ύπαρξη πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ) στις κατοικίες. Ποσοστό της τάξεως του 22,9% αναφέρει πως η κατοικία τους δεν διαθέτει πιστοποιητικό, επομένως δεν γνωρίζουν την ενεργειακή κατάσταση του κτιρίου. Το 49,2% διαθέτει ΠΕΑ, ενώ το 29,3% εξ αυτών των κατοικιών φαίνεται να έχει ενταχθεί στις κατηγορίες Α και Β.



Σχήμα 8: Ύπαρξη Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) στις κατοικίες (ΕΛΣΤΑΤ, 2013)

1.5 Ανάγκη μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων

Η ενεργειακή κρίση των τελευταίων ετών αποτελεί φλέγον ζήτημα για όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας που αφορά τη θέρμανσης των χώρων, προκαλεί μεγάλη ανησυχία. Το ενεργειακό κόστος έχει αυξηθεί κατακόρυφα για οικιακούς καταναλωτές, επιχειρήσεις αλλά και βιομηχανίες, συνεπώς η ανεύρεση πρακτικών εξοικονόμησης φαντάζει πιο επιτακτική από ποτέ.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το 2019 τα κτίρια ήταν υπεύθυνα για το 30% της κατανάλωσης ενέργειας και για το 28% των εκπομπών CO_2, τούτο διότι τα βασικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για θέρμανση και μαγείρεμα είναι κατά κύριο λόγο το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα το 2050 μπορεί να επιτευχθεί μόνο με καίριες παρεμβάσεις. Στον κτιριακό τομέα θα πρέπει να υπάρξει αύξηση στη χρήση ηλεκτρικών συσκευών υψηλής απόδοσης, οι οποίες θα τροφοδοτούνται με ρεύμα που θα παράγεται μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Όπως αναδείχθηκε παραπάνω τα ποσά ενέργειας που αφορούν τη θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστών νερών χρήσης, είναι τα μεγαλύτερα που συναντώνται σε ένα νοικοκυριό. Συνεπώς, η δραματική μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων που σχετίζεται με τη θέρμανση, είναι αυτή που μπορεί να επιφέρει αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Μια τέτοια λύση συνιστά η χρήση αντλιών θερμότητας υψηλής απόδοσης σε συνδυασμό με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ. Η αγορά προβλέπει ότι οι πωλήσεις των αντλιών θερμότητας τα επόμενα 20 χρόνια, θα ξεπεράσουν σε αριθμό τους λέβητες αερίου που πωλήθηκαν τα τελευταία 20 χρόνια.

Σημαντικό ρόλο στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης διαδραματίζει η ψηφιοποίηση των διαφόρων τεχνολογιών. Συστήματα διαχείρισης, όπως το έξυπνο σπίτι, χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική αξιοποίηση της απαιτούμενης, αλλά και παραγόμενης ενέργειας. Σκοπός τέτοιων συστημάτων είναι η επίτευξη της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ άνεσης και κατανάλωσης ενέργειας.

Βέβαια, για να έχουν νόημα παρεμβάσεις τέτοιου τύπου απαιτείται ο εκσυγχρονισμός σε δομικά στοιχεία των κατοικιών. Το κτιριακό διαθέσιμο στην Ελλάδα θα μπορούσε κανείς να διαπιστώσει πως είναι γερασμένο, συνεπώς παρεμβάσεις στη μόνωση και τα κουφώματα διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Επιπλέον, ένα μονωμένο κτίριο δίνει το περιθώριο να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες χαμηλών θερμοκρασιών, όπως η θέρμανση δαπέδου και τα fan coil.

Όπως παρατηρείται, η μεγαλύτερη έμφαση αποδίδεται στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το παραπάνω είναι λογικό, διότι με βάση την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2021) το 79% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των νοικοκυριών, αφορά τη θέρμανση και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ωστόσο, μόνο το 22% από αυτό προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

Πρόσθετες παρεμβάσεις στον φωτισμό και σε συστήματα σκίασης συμβάλλουν σε μικρότερο, αλλά όχι και σε ασήμαντο ποσοστό, στην εξοικονόμηση ενέργειας μιας κατοικίας. Στην παρούσα ενότητα αναδείχθηκε το βασικότερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε ένα νοικοκυριό που δεν είναι άλλο, από τη θέρμανση των χώρων. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες εναλλακτικές τεχνολογίες που μπορούν να ενισχύσουν τον συγκεκριμένο τομέα.

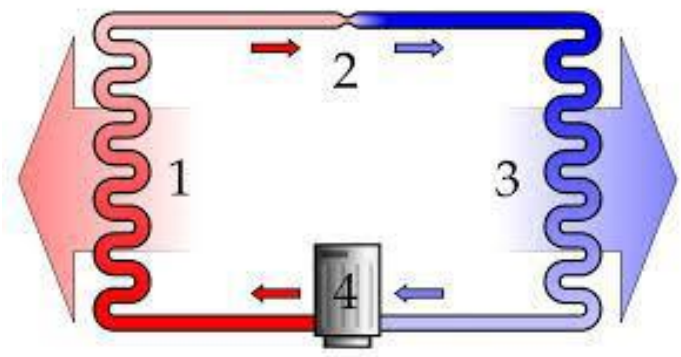
Κεφάλαιο 2: Ανάλυση εναλλακτικών τεχνολογιών και κριτηρίων

Αφού προηγήθηκε η ανάλυση μιας σειράς δεδομένων θέρμανσης για τον ελληνικό κτιριακό τομέα, έπεται το στάδιο της παροχής πληροφοριών που σχετίζονται με το πρόβλημα προς επίλυση. Πιο συγκεκριμένα, στις ακόλουθες ενότητες δίνονται αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τις εναλλακτικές του πολυκριτήριου προβλήματος, δηλαδή των εναλλακτικών τεχνολογιών θέρμανσης καθώς και των κριτηρίων αξιολόγησής τους.

2.1 Αντλία θερμότητας Αέρος – Νερού

Ξεκινώντας με τον ορισμό, ως *αντλία θερμότητας (heat pump)* ορίζεται η μηχανολογική διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά ενέργειας από έναν χώρο χαμηλής θερμοκρασίας, σε έναν χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας.

Η λειτουργία της βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αρκετές συσκευές της καθημερινότητας, όπως τα οικιακά ψυγεία, τα οικιακά κλιματιστικά τοίχου, τα κλιματιστικά αυτοκινήτου κ.α. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η απλοϊκή μορφή του ψυκτικού κύκλου.



Σχήμα 9: Ψυκτικός Κύκλος (Pompa de calor,wikipedia)

Το ψυκτικό μέσω που βρίσκεται πριν τον συμπιεστή (4) είναι σε αέρια μορφή με χαμηλή πίεση. Κατά τη διέλευσή του από τον συμπιεστή, το ψυκτικό μέσω αυξάνει πίεση και θερμοκρασία. Στη συνέχεια οδηγείται στον συμπυκνωτή (1) όπου αποβάλλει τη θερμότητά του και μετατρέπεται σε υπόψυκτο υγρό υψηλής πίεσης. Το υγρό υψηλής πίεσης διέρχεται από τη βαλβίδα εκτόνωσης (2), η οποία μειώνει την πίεση και επομένως η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τη θερμοκρασία του χώρου που ψύχεται. Αυτό αποφέρει κρύο ψυκτικό υγρό χαμηλής

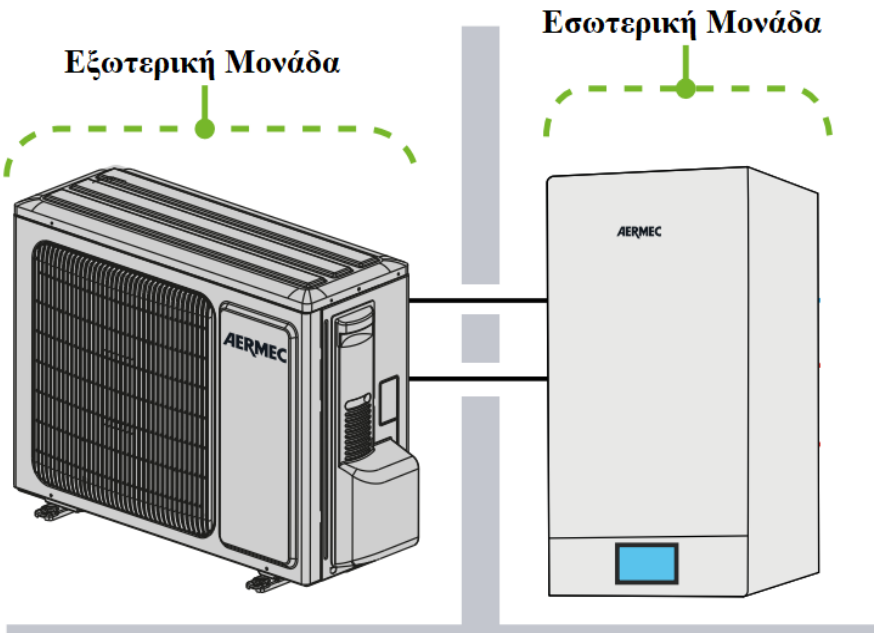
πίεσης. Το ψυκτικό υγρό χαμηλής πίεσης κατευθύνεται προς τον εξατμιστή (3), όπου απορροφά θερμότητα, κατά τη φάση της εξάτμισης, και μετατρέπεται σε αέριο χαμηλής πίεσης. Το αέριο επιστρέφει στον συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται από την αρχή. Στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας ο κύκλος δύναται να αντιστραφεί με τη βοήθεια μιας τετράοδης βαλβίδας (Walter Grassi, 2018).

Η βασική διαφορά στην κατηγοριοποίηση των αντλιών θερμότητας έγκειται στο ρευστό στο οποίο αποδίδεται ή από το οποίο απάγεται η θερμότητα. Συγκεκριμένα, το οικιακό κλιματιστικό χρησιμοποιεί τον αέρα ως μέσο, τόσο στον συμπυκνωτή όσο και στον εξατμιστή. Τέτοιου τύπου αντλίες θερμότητας ονομάζονται *αέρα – αέρα*. Στην περίπτωση των αντλιών *αέρος – νερού*, ο εναλλάκτης που βρίσκεται στον εξατμιστή δεν μεταφέρει ενέργεια από το ψυκτικό μέσο στον αέρα, αλλά σε νερό. Το ρευστό στο οποίο προσλαμβάνεται ή αποβάλλεται θερμότητα στην περίπτωση αυτή είναι το νερό.

Οι οικιακές αντλίες θερμότητας *αέρος – νερού* διαχωρίζονται σε τύπου monoblock και split. Η διαφοροποίηση σχετίζεται με τη διάταξη του μηχανήματος, στην περίπτωση των monoblock (Σχήμα 10) γίνεται αναφορά σε μία ενιαία μονάδα μέσα στην οποία εμπεριέχονται όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για τη λειτουργία της, συμπεριλαμβανομένου του συμπιεστή, του εξατμιστή και του συμπυκνωτή.

Σχήμα 10: Αντλία θερμότητας αέρος – νερού Monoblock (Aermec HMI Data Sheet)

Αντιθέτως, μια διαιρούμενη αντλία θερμότητας (split) (Σχήμα 11) αποτελείται από δύο ξεχωριστές μονάδες, ειδικότερα από μια εξωτερική μονάδα που περιέχει τον συμπιεστή και τον συμπυκνωτή, και από μια εσωτερική μονάδα που περιέχει τον εξατμιστή.

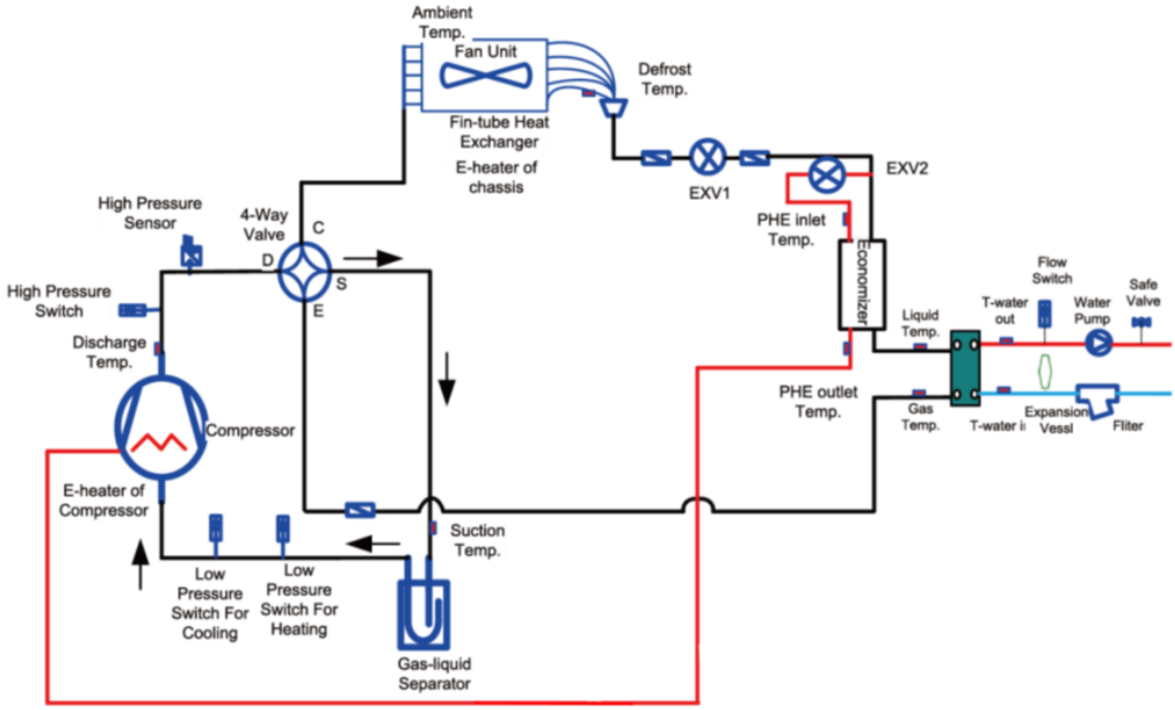


Σχήμα 11: Αντλία θερμότητας αέρος – νερού Split (Aermec BHP Data Sheet)

Η επιλογή ανάμεσα στους δυο παραπάνω τύπους επικεντρώνεται στις δυνατότητες που προσφέρει ο καθένας στην εγκατάσταση, αλλά και τη συντήρηση. Για παράδειγμα, η εγκατάσταση και η συντήρηση μιας αντλίας monoblock χαρακτηρίζεται για την απλότητά της, καθώς όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα βρίσκονται σε μια ενιαία μονάδα. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται μόνο η υδραυλική σύνδεση, γεγονός το οποίο μειώνει σαφώς και το κόστος.

Από την άλλη πλευρά, μια αντλία θερμότητας split απαιτεί ψυκτικές εργασίες για τη σύνδεση εσωτερικής και εξωτερικής μονάδας. Ωστόσο, μπορεί να δώσει λύση σε περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση τύπου monoblock ενδέχεται να μην διευκολύνει τον χρήστη από πλευράς χώρου, όδευσης σωληνώσεων κλπ.

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται το ψυκτικό διάγραμμα μιας σύγχρονης αντλίας θερμότητας *αέρος – νερού*, με τεχνολογία απευθείας έγχυσης ζεστού αερίου στο συμπιεστή για υψηλότερη απόδοση.

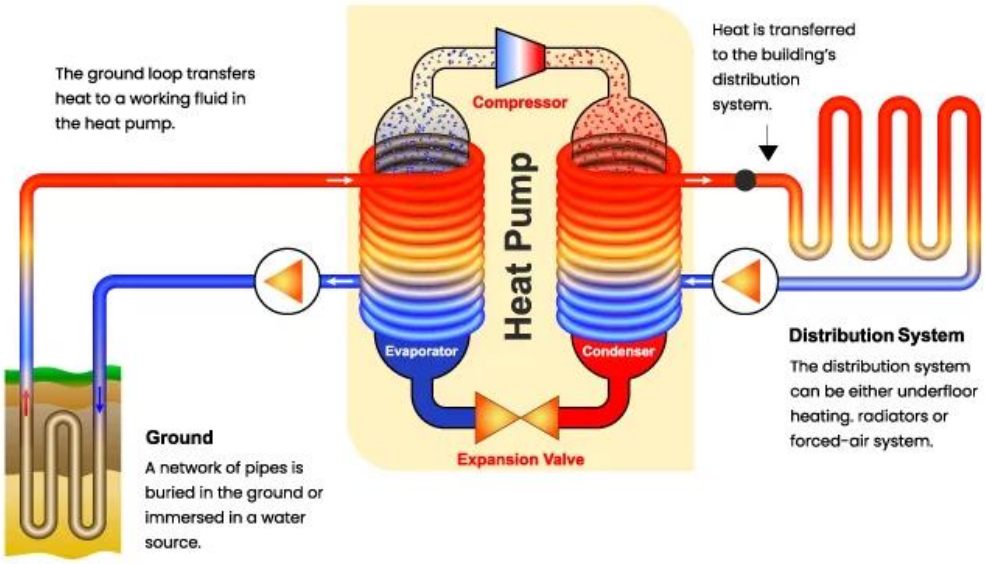


Σχήμα 12: Ψυκτικό διάγραμμα σύγχρονης αντλίας θερμότητας (Aermec HMI Technical Manual)

Για την επίτευξη της ασφαλούς, αλλά και αποδοτικής λειτουργίας, απαιτείται ο κατάλληλος έλεγχος. Σε μια τέτοια μονάδα, πέρα από τα εξαρτήματα που παρουσιάζονται στο παραπάνω διάγραμμα, περιλαμβάνονται επίσης ηλεκτρονικές πλακέτες που επιτηρούν τη λειτουργία των τμημάτων της συσκευής, αισθητήρια μέτρησης πίεσης και θερμοκρασίας, επιτηρητές της ηλεκτρικής παροχής, χειριστήρια, οθόνες κλπ. Επίσης, η ενσωμάτωση τεχνολογίας inverter στα τμήματα του συμπιεστή και των ανεμιστήρων έχει καθιερωθεί από όλους σχεδόν τους κατασκευαστές.

2.2 Αντλία θερμότητας Νερού – Νερού

Στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας *νερού – νερού*, οι εναλλάκτες που βρίσκονται στον εξατμιστή αλλά και το συμπυκνωτή, μεταφέρουν ενέργεια από το ψυκτικό μέσο στο νερό. Το ρευστό στο οποίο αποδίδεται ή από το οποίο απάγεται η θερμότητα, στην περίπτωση αυτή, είναι το νερό. Οι εν λόγω αντλίες είναι ευρέως γνωστές ως *γεωθερμικές*, καθώς η εγκατάστασή τους συνδυάζεται ως επί το πλείστον με συστήματα γεωθερμίας. Επίσης, μπορούν να συνδυαστούν με πύργους ψύξης είτε Dry Cooler, συνεπώς μπορεί να εντοπιστούν στη βιβλιογραφία και με την ονομασία *υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας*.



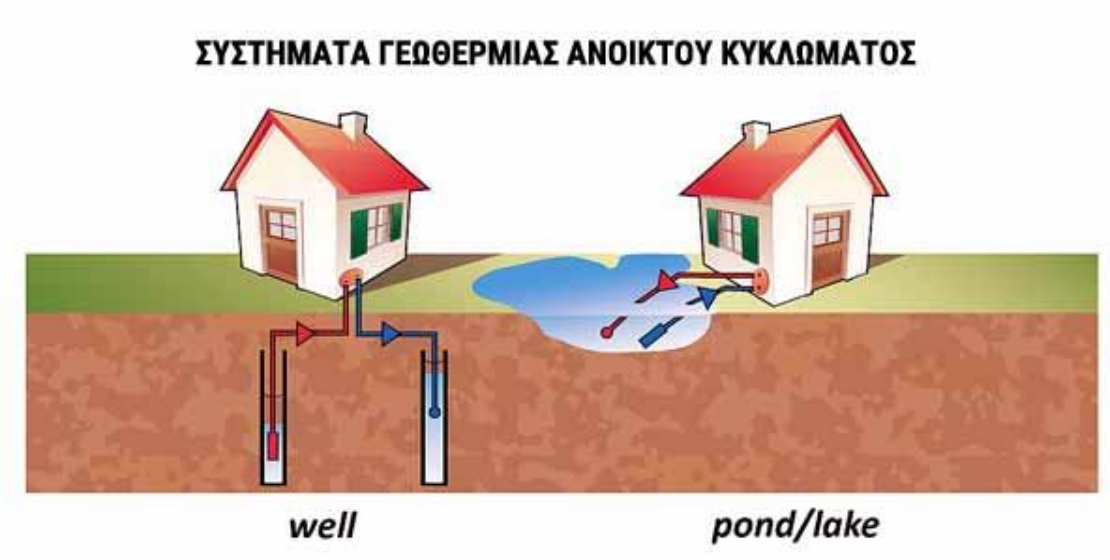
Σχήμα 13: Αντλία θερμότητας νερού – νερού (www.coolmastershvac.com)

Η αρχή λειτουργίας και η τεχνολογία που χρησιμοποιούν, δεν διαφοροποιείται σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους, ωστόσο είναι λιγότερο διαδεδομένες λόγω των απαιτήσεων που έχουν στην εγκατάσταση. Η απόδοσή τους είναι υψηλότερη, καθώς είναι η μόνη περίπτωση στην οποία δεν επηρεάζεται από το εξωτερικό περιβάλλον.

Μια αντλία θερμότητας *αέρος – νερού* κατά τη λειτουργία της θέρμανσης αρχίζει να μειώνει την απόδοσή της, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνεται, αντιστοίχως στη λειτουργία της ψύξης η απόδοση μειώνεται, όταν η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει, διότι το μέσο που χρησιμοποιεί ο συμπυκνωτής είναι ο αέρας του περιβάλλοντος.

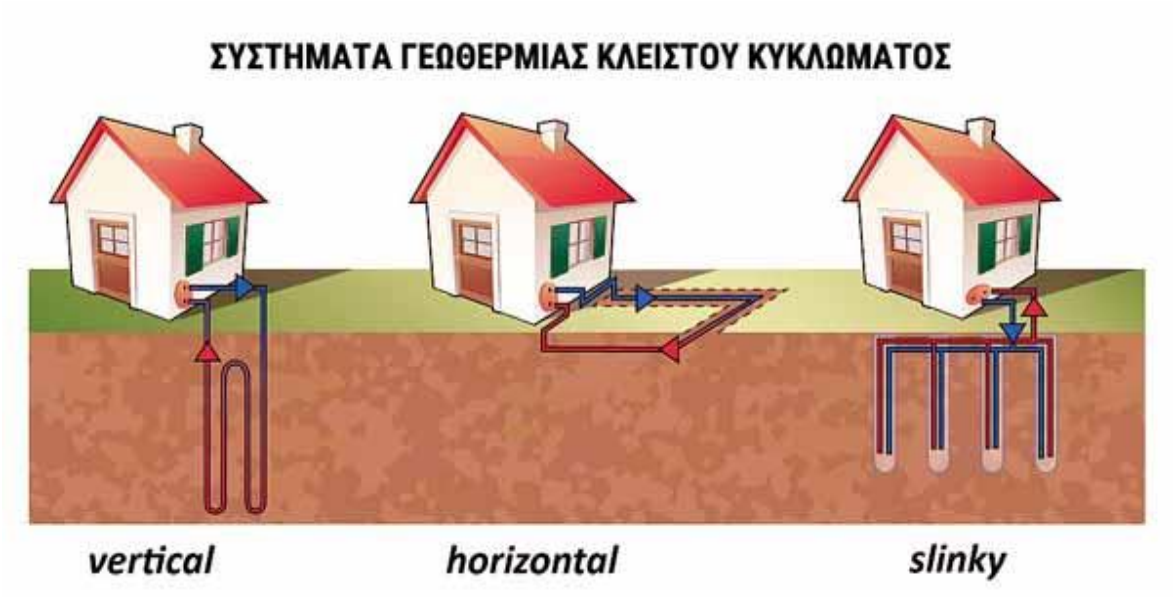
Από την άλλη πλευρά, όταν συνδυάζεται μία αντλία θερμότητας *αέρος – νερού* με συστήματα γεωθερμίας, τότε η απόδοσή της παραμένει αμετάβλητη στις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Οι δύο βασικοί τύποι γεωθερμίας κατηγοριοποιούνται με βάση το αν είναι ανοιχτού ή κλειστού κυκλώματος. Στην περίπτωση των ανοικτών συστημάτων συναντώνται δύο περιπτώσεις, τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα. Ο όρος *υπόγεια ύδατα* αναφέρεται στην άντληση υδάτων μέσω γεωτρήσεων, ενώ ο όρος *επιφανειακά ύδατα* σχετίζεται με τις περιπτώσεις όπου η άντληση υδάτων πραγματοποιείται από λίμνες, ποτάμια, πηγάδια ή ακόμη και από τη θάλασσα (Φυτίκας 2004).



Σχήμα 14: Συστήματα γεωθερμίας ανοικτού κυκλώματος (GAIADRILL ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ)

Στα συστήματα κλειστού κυκλώματος εντάσσονται οι οριζόντιοι και οι κατακόρυφοι γεωθερμικοί εναλλάκτες. Οι πρώτοι τοποθετούνται παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους συνήθως σε βάθος από 1,00m έως και 2,50m, ενώ οι δεύτεροι τοποθετούνται κάθετα με την επιφάνεια του εδάφους εντός γεωτρήσεων και κυμαίνονται σε βάθος από 30,00m έως και 150,00m.



Σχήμα 15: Συστήματα γεωθερμίας κλειστού κυκλώματος (GAIADRILL ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ)

Ο τύπος της γεωθερμίας που επιλέγεται, καθορίζεται από τις ιδιαιτερότητες, αλλά και τις δυνατότητες της κάθε εφαρμογής.

2.3 Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου

Το φυσικό αέριο είναι ορυκτό καύσιμο και αποτελείται από αέριο μείγμα κορεσμένων υδρογονανθράκων με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα. Η καύση του φυσικού αερίου υπερτερεί σε σχέση με τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα, διότι διαθέτει υψηλή θερμογόνο δύναμη σε συνδυασμό με χαμηλές εκπομπές CO_2.

Οι πρώτες εγκαταστάσεις θέρμανσης με χρήση φυσικού αερίου ουσιαστικά δεν διέφεραν από τις συνήθεις εγκαταστάσεις πετρελαίου. Επρόκειτο για κεντρικούς λέβητες με καυστήρες που είχαν τη δυνατότητα καύσης φυσικού αερίου, έχοντας ωστόσο εγκατασταθεί οι απαιτούμενες γραμμές αερίου και οι ασφαλιστικές διατάξεις που προβλέπονταν από τη νομοθεσία.

Τη δεκαετία του 1980 εμφανίστηκαν οι πρώτοι επίτοιχοι λέβητες φυσικού αερίου οι οποίοι άλλαξαν τη φιλοσοφία των εγκαταστάσεων, δίνοντας τη δυνατότητα αυτονόμησης από τα κεντρικά συστήματα. Πρόκειται για λέβητες φυσικού αερίου μικρής ισχύος (16-24kW), οι οποίοι καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις θέρμανσης ενός τυπικού διαμερίσματος, παράγοντας ταυτόχρονα ζεστό νερό χρήσης.

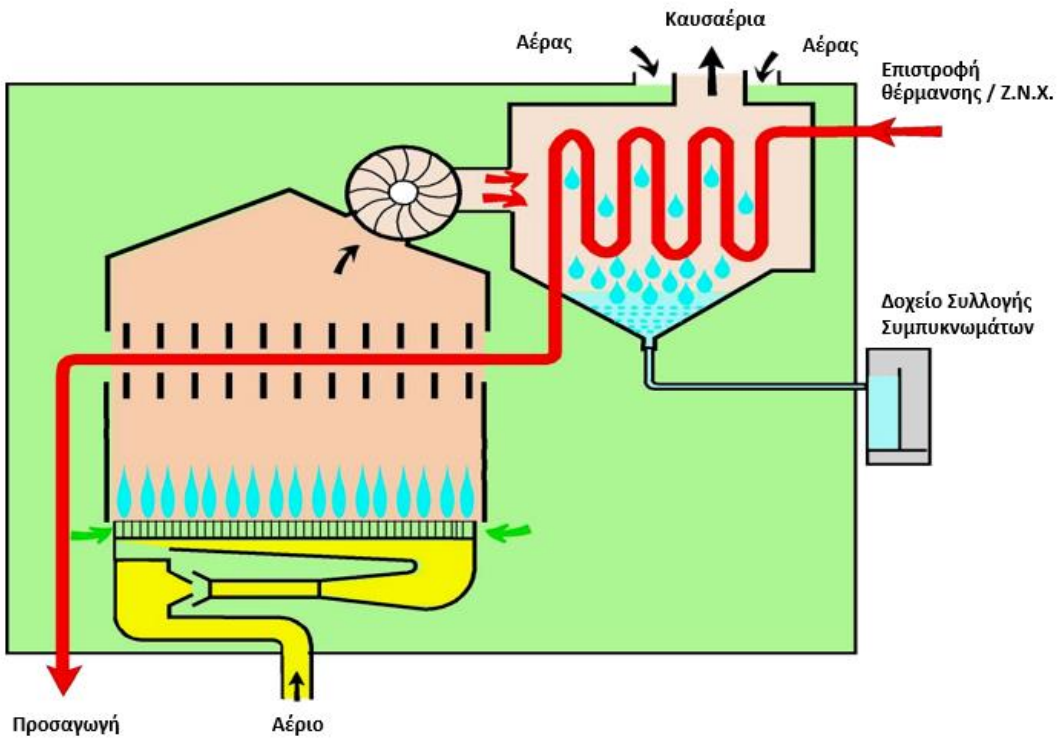
Με την πάροδο των ετών η εξέλιξη της τεχνολογίας από τη μία πλευρά, αλλά και οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης από την άλλη, οδήγησαν στη δημιουργία σύγχρονων μηχανημάτων με πολλαπλές λειτουργίες. Η ενσωμάτωση Ευρωπαϊκών οδηγιών που σχετίζονται με τον Οικολογικό Σχεδιασμό (2009/125/ΕΚ), την Ενεργειακή Σήμανση (2010/30/ΕΕ) καθώς και οι κανονισμοί (ΕΕ 811,812,813,814/2013) που τέθηκαν σε ισχύ το 2015 επηρέασαν σημαντικά τον σχεδιασμό των συσκευών θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού.

Αναφορικά με τους λέβητες, οι ενεργειακές απαιτήσεις που τίθενται σε εφαρμογή από το Energy related Product ERP οδηγούν σε χρήση συσκευών, που διαθέτουν τεχνολογία συμπύκνωσης. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας επιφέρει διπλό όφελος, διότι απορροφάται σημαντική ενέργεια από τα καυσαέρια, η οποία σε συμβατικούς λέβητες θα χανόταν στην ατμόσφαιρα μέσω της καπνοδόχου, ενώ ταυτόχρονα το καυσαέριο που προκύπτει, είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον (Πιτσαβού 2016).

Τα συμπυκνώματα διαμορφώνονται από τους υδρατμούς που περιλαμβάνονται στα καυσαέρια από την καύση, όταν η θερμοκρασία στο χώρο καύσης, από την πλευρά των καυσαερίων, είναι κάτω από το σημείο υγροποίησης του καυσίμου αερίου, δηλαδή 57°C (Bosch Home Comfort). Πρακτικά, αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας, που συνήθως

βρίσκονται τοποθετημένοι στην έξοδο των καυσαερίων, είτε με ειδικά διαμορφωμένους θαλάμους καύσης οι οποίοι επιτρέπουν τη συμπύκνωση.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται το βασικό διάγραμμα λειτουργίας ενός επίτοιχου λέβητα αερίου συμπύκνωσης.



Σχήμα 16: Βασικό διάγραμμα λειτουργίας επίτοιχου λέβητα αερίου (Bosch Home Comfort)

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται το εσωτερικό μιας επίτοιχης μονάδας που περιλαμβάνει το θάλαμο καύσης, τον καυστήρα, τον αναλογικό ανεμιστήρα, την βαλβίδα αερίου μαζί με τα απαιτούμενα αισθητήρια λειτουργίας και πίνακα ελέγχου. Ακόμη, συνδυάζει υδραυλικό κιτ με κυκλοφορητή, δοχείο διαστολής, μανόμετρο, βαλβίδα ασφαλείας, εξαεριστικό καθώς και εναλλάκτη για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Σχήμα 17: Εσωτερική δομή επίτοιχου λέβητα αερίου (Bosch Home Comfort)

2.4 Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης

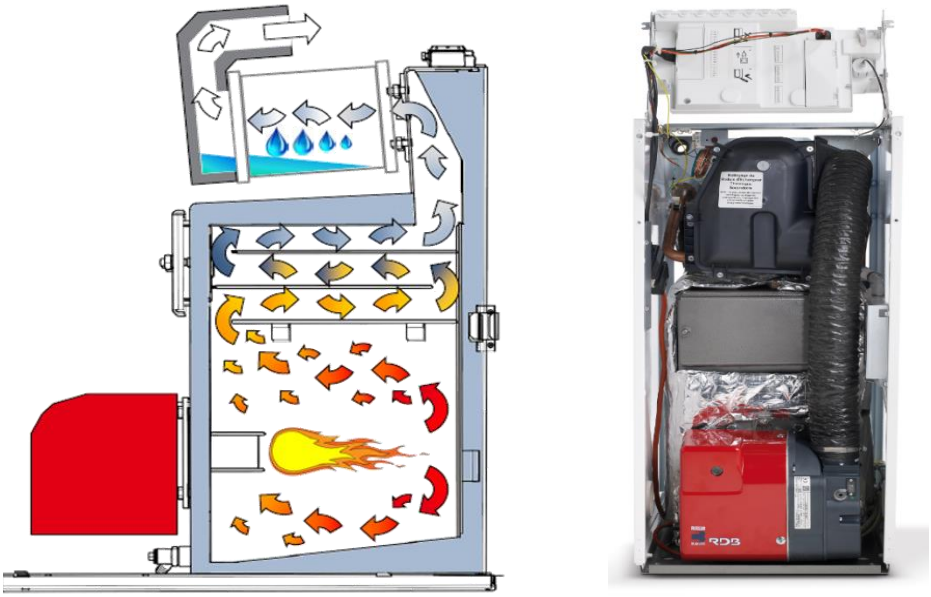
Η εγκατάσταση λεβήτων πετρελαίου αποτελεί το πιο διαδεδομένο σύστημα θέρμανσης σε κατοικίες και επαγγελματικούς χώρους. Κατά το παρελθόν, η συνήθης πρακτική για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης πραγματοποιούνταν με χρήση κεντρικού λέβητα μεγάλης ισχύος. Οι συμβατικοί λέβητες της αγοράς ήταν κατά κύριο λόγο χωρισμένοι σε δυο κατηγορίες, τους χυτοσιδηρούς (γνωστούς ως μαντεμένιους) και τους χαλύβδινους. Οι παραπάνω λέβητες συνδυάζονταν με μονοβάθμιους ή διβάθμιους καυστήρες αντίστοιχης ισχύος.

Αργότερα, η λογική σχεδιασμού αλλά και οι ανάγκες για στροφή σε αυτόνομα συστήματα, οδήγησαν την αγορά στη δημιουργία ατομικών μονάδων πετρελαίου. Οι ατομικές μονάδες έχουν μικρό μέγεθος (συνήθως 18-30kW) και διαθέτουν προσυγκροτημένο σε ενιαίο πλαίσιο τον λέβητα, τον καυστήρα και τον πίνακα ελέγχου. Σε κάποιες εκδόσεις μπορεί να υπάρχουν μονάδες οι οποίες φέρουν και παρελκόμενο εξοπλισμό λεβητοστασίου (κυκλοφορητή, δοχείο διαστολής, βαλβίδα ασφαλείας κλπ).

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, οι Ευρωπαϊκές οδηγίες επιτάσσουν τη χρήση λεβήτων συμπύκνωσης, αλλάζοντας έτσι τον σχεδιασμό που προϋπήρχε στους συμβατικούς λέβητες. Η λογική στους παλαιούς λέβητες, για λόγους προστασίας, επικεντρωνόταν στην

αποφυγή της συμπύκνωσης των θερμών καυσαερίων, με σκοπό την εξάλειψη του φαινομένου της ύγρανσης των επιφανειών. Έτσι λοιπόν, ο σχεδιασμός των νέων μονάδων έγινε με στόχο τη δυνατότητα δημιουργίας συμπυκνωμάτων και την απορρόφηση της λανθάνουσας θερμότητας των καυσαερίων. Στην περίπτωση του πετρελαίου, η θερμοκρασία δρόσου των καυσαερίων προσεγγίζεται περίπου στους 47°C (Bosch Home Comfort). Επιπλέον, σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με το παρελθόν είναι η υποχρέωση χρήσης καυστήρων Low NOx (χαμηλών εκπομπών οξειδίων του αζώτου), γνωστοί και ως καυστήρες μπλε φλόγας. Σε τέτοιου τύπου καυστήρες παρέχεται η δυνατότητα καύσης πετρελαίου biodiesel 20% (χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο).

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η δομή μια ατομικής μονάδας πετρελαίου συμπύκνωσης.



Σχήμα 18: Εσωτερική δομή ατομικής μονάδας πετρελαίου συμπύκνωσης (Bosch Home Comfort)

2.5 Λέβητας βιομάζας Pellet

Αρχικά, προτού γίνει αναφορά στη δομή και τη λειτουργία των λεβήτων βιομάζας Pellet, κρίνεται αναγκαίος ο προσδιορισμός του Pellet. Τα συσσωματώματα βιομάζας (pellets) δημιουργούνται από την επεξεργασία υπολειμμάτων ξυλείας, γεωργικών, αλλά και δασικών υπολειμμάτων. Η παραγωγή τους γίνεται με βάση συγκεκριμένες τυποποιήσεις και πρότυπα (EN 14961-2, ENplus). Κατά την παρασκευή τους, χρησιμοποιείται μόνο πίεση αέρα και ατμού, γεγονός που τα καθιστά φιλικά προς το περιβάλλον. Επιπλέον, βασικά χαρακτηριστικά του είναι το χαμηλό ποσοστό υγρασίας (μικρότερο το 10%), η υψηλή πυκνότητα, η μεγάλη

θερμική απόδοση και η μικρή ποσότητα τέφρας κατά την καύση (max 1%) (DIN EN ISO 17225-2). Η μορφή τους είναι κυλινδρική, μικρού διαμετρήματος 6-8mm, μήκους περίπου 40mm και η αποθήκευσή τους γίνεται σε σάκους από 15 έως 50kg.

Οι λέβητες βιομάζας που χρησιμοποιούν Pellet μπορεί να έχουν αρκετές ομοιότητες με συμβατικούς λέβητες στερεών καυσίμων, ωστόσο ενσωματώνουν λειτουργίες και αυτοματισμούς που τους καθιστούν άκρως αποδοτικούς. Ο θάλαμος καύσης είναι ειδικά σχεδιασμένος για χρήση βιομάζας με μικρές χωροταξικές διαφοροποιήσεις, ανάλογα την έκδοση.

Στην υπό εξέταση μελέτη περίπτωσης αξιοποιείται σύστημα λέβητα – καυστήρα που διαθέτει προ- συγκροτημένο τον χώρο αποθήκευσης, τον μηχανισμό τροφοδοσίας και τον πίνακα λειτουργίας. Ο καυστήρας που επιλέγεται σε τέτοιες μονάδες είναι κατάλληλος για καύση Pellet και φέρει υψηλό βαθμό απόδοσης. Επιπλέον, στο χώρο του καυστήρα βρίσκονται τοποθετημένες ηλεκτρικές αντιστάσεις, που με τη βοήθεια ανεμιστήρα χαμηλής παροχής αέρα, χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία έναυσης.

Η δεξαμενή τροφοδοσίας είναι ο χώρος όπου τοποθετείται το Pellet και είναι είτε ενσωματωμένος είτε δίπλα από το λέβητα. Με τη βοήθεια του συστήματος τροφοδοσίας, μέσω ενός σωλήνα με ατέρμονα κοχλία, το καύσιμο οδηγείται από τη δεξαμενή στο χώρο καύσης.

Ο εναλλάκτης θερμότητας διαθέτει αυλούς μέσω των οποίων διέρχονται τα καυσαερίων πριν φτάσουν στην καπνοδόχο. Κατά τη διαδρομή αυτή, τα καυσαέρια ανταλλάσσουν θερμότητα με το νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό του εναλλάκτη.

Ιδιαίτερη μέριμνα λαμβάνεται στη διαστασιολόγηση της καπνοδόχου, ως οφείλει να γίνεται σε όλους τους λέβητες, διότι εξασφαλίζει την απρόσκοπτη και πιο αποδοτική λειτουργία της μονάδας.

Σημαντικό τμήμα αποτελεί ο πίνακας ελέγχου μέσω του οποίου ρυθμίζεται η λειτουργία ολόκληρης της μονάδας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις παραμέτρους του συστήματος, ρυθμίζει την παροχή καυσίμου και αέρα στο θάλαμο καύσης, με στόχο την αποδοτικότερη λειτουργία. Για την κάλυψη των αναγκών της κατοικίας, στις περισσότερες μονάδες παρέχεται η δυνατότητα για παραγωγή ζεστών νερών χρήσης.

Σχήμα 19: Εσωτερική δομή συστήματος λέβητα βιομάζας Pellet (ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ Ε.Π.Ε)

2.6 Ηλεκτρικός Λέβητας

Ο όρος *ηλεκτρικός λέβητας* αναφέρεται σε μια συσκευή θέρμανσης η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια άμεσα σε θερμότητα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικών θερμαντικών στοιχείων (αντιστάσεις), τα οποία θερμαίνουν το νερό που διέρχεται μέσα από τον λέβητα.

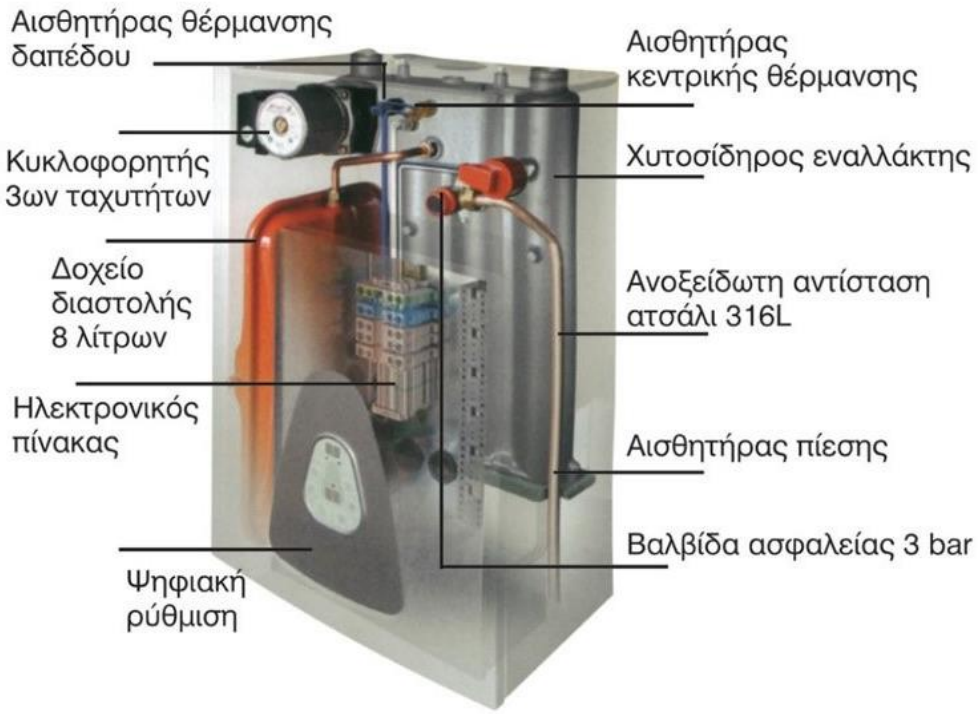
Μια παραλλαγή του ηλεκτρικού λέβητα είναι και οι λεγόμενοι λέβητες ιόντων που έκαναν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα κατά την περίοδο της κρίσης (2012). Πρόκειται για μια συσκευή με μεταλλικό κέλυφος και ενσωματωμένα ηλεκτρόδια. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο του ιονισμού, δηλαδή στη διάσπασης των μορίων του θερμαντικού μέσου σε θετικά και αρνητικά ιόντα. Η ταλάντωση των ιόντων προκαλεί αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας η οποία μεταφέρεται στο περιβάλλον με την μορφή θερμότητας.

Αναφορικά με τους κλασσικούς ηλεκτρικούς λέβητες, αυτοί συναντώνται σε αποδόσεις από 6kW έως 36kW, με δυνατότητα σύνδεσης σε μονοφασική παροχή ρεύματος για τους λέβητες μικρής ισχύος και τριφασικής παροχής για τα μεγαλύτερα μεγέθη.

Η μορφολογία του ηλεκτρικού λέβητα μοιάζει με αυτή του επίτοιχου λέβητα αεριού που αναλύθηκε παραπάνω. Τέτοιου τύπου μονάδες περιλαμβάνουν τον λέβητα (εναλλάκτη) με τα

θερμαντικά στοιχεία, ηλεκτρονικό κυκλοφορητή για την εξυπηρέτηση της εγκατάστασης, δοχείο διαστολής και πίνακα ελέγχου με όλα τα απαραίτητα αισθητήρια. Επιπροσθέτως, παρέχεται η δυνατότητα για συνδυασμό με μπόιλερ για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η δομή ενός συμβατικού ηλεκτρικού επίτοιχου λέβητα.



Σχήμα 20: Εσωτερική δομή ηλεκτρικού λέβητα (www.alphaclimagr.gr)

2.7 Παραδοχές για την ανάλυση των κριτηρίων

Αρχικά, για την ανάλυση των κριτηρίων είναι απαραίτητο να ορίσουμε τα δεδομένα με τα οποία γίνονται οι συγκρίσεις. Οι εφαρμογές που πρόκειται να εξεταστούν αφορούν υφιστάμενες ή και νεόδμητες κατοικίες με τερματικές μονάδες τα θερμαντικά σώματα. Επιπλέον, δεν εξετάζεται το ενδεχόμενο παρέμβασης σε εσωτερικά υδραυλικά δίκτυα και γίνεται αναφορά σε σύνδεση των εναλλακτικών μονάδων μέχρι τους συλλέκτες διανομής.

Σχετικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις μιας τυπικής κατοικίας, λαμβάνονται ως αναφορά οι 6.000 kWh θέρμανσης ανά σεζόν, ενέργεια η οποία απαιτείται για τη θέρμανση μια μέτριας μονωμένης και εκτεθειμένης κατοικίας με επιφάνεια 90 m^2. Όπως παρουσιάστηκε στο πρώτο κεφάλαιο, με βάση τα στοιχεία της ΕΛΣΑΤ το 2013, το μέσο εμβαδόν των κατοικιών ανέρχεται

στα 84,8m^2, ενώ η μέση ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση χώρων στα Ελληνικά νοικοκυριά παρουσιάζεται περίπου στις 8.800 kWh.

Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα ετών η ενεργειακή κατάσταση των κτιρίων βελτιώνεται συνεχώς. Αυτό οφείλεται στην αυστηροποίηση των κανονισμών (ΚΕΝΑΚ) σε ό,τι έχει να κάνει με νέα κτίρια, αλλά και στα χρηματοδοτούμενα προγράμματα, όπως το *Εξοικονομώ*, που παρέχονται για την βελτίωση της ενεργειακής κατάστασης των υφιστάμενων κτιρίων.

Με βάση τα παραπάνω, αλλά και της υφιστάμενης επαγγελματικής εμπειρίας στον συγκεκριμένο κλάδο, η παραδοχή για απαιτήσεις σε θέρμανση των 6.000 kWh, αποτελεί μια ρεαλιστική προσέγγιση.

Για την κάλυψη των αναγκών της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης, επιλέγεται Αντλία Θερμότητας *αέρος – νερού* μεσαίων θερμοκρασιών (max 60°C), ονομαστικής ισχύος 10kW. Ομοίως επιλέγεται και η αντλία θερμότητας *νερού – νερού*. Για τον λέβητα συμπύκνωσης Φυσικού αερίου επιλέγεται ισχύς 24kW, το μέγεθος του οποίου έχει τυποποιηθεί από όλους τους κατασκευαστές και αποτελεί το bestseller της κατηγορίας. Οι ατομικές μονάδες πετρελαίου συμπύκνωσης τυποποιούνται μεταξύ 20-25kW και μεταξύ 30-35kW, για τις ανάγκες της σύγκρισης επιλέγεται λέβητας 25kW. Με αντίστοιχη λογική επιλέγεται και λέβητας βιομάζας Pellet 25kW. Οι ηλεκτρικοί λέβητες ξεκινούν από ισχύ 6kW και κάθε επόμενο μοντέλο έχει συνήθως 3-4kW μεγαλύτερη ισχύ από το προηγούμενο. Έτσι, για την εργασία επιλέγεται ηλεκτρικός λέβητας ισχύος 10kW.

2.8 Βαθμός Απόδοσης

Για τις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση χώρων, η απόδοση καθορίζεται είτε από τον εποχιακό συντελεστή απόδοσης (SCOP) είτε από το συντελεστή απόδοσης (COP) σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας ή αλλιώς συντελεστή συμπεριφοράς των αντλιών θερμότητας στις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας (για θέρμανση), όπως δίνονται στις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή. Διευκρινίζεται πως ο όρος SCOP αντιστοιχεί στην εποχιακή απόδοση των αντλιών θερμότητας μόνο σε λειτουργία θέρμανσης.

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ 2017), ορίζει για τις αντλίες θερμότητας με θερμαινόμενο μέσο το νερό, πως λαμβάνεται υπόψη η Ενεργειακή Απόδοση

Εποχιακής Θέρμανσης Χώρου $n_{s35^{\circ}C\Theta K}$ (για νερό 35°C) και $n_{s55^{\circ}C\Theta K}$ (για νερό 55°C) της μονάδας στο θερμό Κλίμα (Κλιματική ζώνη με αντιπροσωπευτική πόλη την Αθήνα). Πάντοτε γίνεται αναφορά σε νέες μονάδες οι οποίες είναι σχεδιασμένες σύμφωνα με τον κανονισμό Οικολογικού σχεδιασμού (813/2113) και συνοδεύονται από Ενεργειακή Σήμανση, σύμφωνα με τον κανονισμό Ενεργειακής Επισήμανσης 811/2011 της ΕΕ.

Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή, ο κανονισμός προβλέπει διαφορετικό τύπο υπολογισμού για τον εποχιακό βαθμό απόδοσης SCOP. Στην εν λόγω περίπτωση, οι τερματικές μονάδες είναι θερμαντικά σώματα, συνεπώς θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος [4.5.γ.] του κανονισμού:

$$SCOP = 2{,}75 * (n_{s55^{\circ}C\Theta K} + 3\%).$$

Για τον προσδιορισμό του $n_{s55^{\circ}C\Theta K}$ για τις αντλίες θερμότητας *αέρος – νερού,* ελήφθησαν υπ' όψη τα δελτία προϊόντος (Product Fiche) πιστοποιημένων μηχανημάτων, επώνυμων κατασκευαστών. Οι τιμές κυμαίνονται από 161% έως 169% και ο μέσος όρος αυτών 165%.

Αξιοποιώντας την παραπάνω τιμή για τον υπολογισμό του SCOP, προκύπτει $SCOP = 2{,}75 * (165 + 3\%) = 4{,}62$.

Ο βαθμός απόδοσης που υπολογίστηκε είναι θεωρητικός και αφορά τις ανάγκες εφαρμογής του κανονισμού. Πρακτικά, αυτό που συναντάται στη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας *αέρος – νερού,* εγκατεστημένης σε θερμαντικά σώματα και χρησιμοποιώντας αντιστάθμιση, κυμαίνεται μεταξύ 3,50 και 4,00, ανάλογα με την περιοχή που εγκαθίσταται.

Η πρόσφατη μελέτη του ΕΜΠ που αφορά τη Σύγκρισης Κόστους Θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες (2022), λαμβάνει βαθμό απόδοσης 3,70 για αντλία θερμότητας μεσαίων θερμοκρασιών, εγκατεστημένη στη Γ κλιματική ζώνη της και 4,00 εγκατεστημένη στη Β κλιματική ζώνη. Για τη παρούσα σύγκριση λαμβάνεται ως βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας *αέρος – νερού* η τιμή 3,70.

Η παραπάνω τιμή προέκυψε βάσει του παρακάτω πίνακα ο οποίος περιέχει τις ώρες θέρμανσης για τις αντίστοιχες εξωτερικές θερμοκρασίες, οι οποίες αντιστοιχούν σε περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής. Οι στιγμιαίοι βαθμοί απόδοσης COP υπολογίστηκαν με καμπύλη

αντιστάθμισης για νερό προσαγωγής από 40°C έως 55°C και τη λειτουργία του μηχανήματος σε πλήρες φορτίο.

Πίνακας 1: Συντελεστής Απόδοσης αντλίας θερμότητας αέρος – νερού

Αντλία θερμότητας αέρος - νερού						
Εξωτερική Θερμοκρασία °C	**-4/-2**	**-2/0**	**0/2**	**2/4**	**4/6**	**6/8**
Ώρες Θέρμανσης	136	167	534	473	718	1096
Στιγμιαίο COP	2,32	2,36	2,42	2,60	2,94	3,25
Εξωτερική Θερμοκρασία °C	**8/10**	**10/12**	**12/14**	**14/16**	**16/18**	
Ώρες Θέρμανσης	1075	1076	1115	1060	1031	
Στιγμιαίο COP	3,56	3,86	4,15	4,52	4,81	
ΜΕΣΟ COP = 3,70						

Για τις αντλίες θερμότητας *νερού –νερού* με βάση το $n_{s55^{\circ}C\Theta K}$ τα στοιχεία που δίνονται από τους κατασκευαστές αφορούν μόνο το μεσαίο κλίμα με μέση τιμή περίπου τα 155%. Η σύγκριση, λοιπόν, με βάση τον τύπο του κανονισμού θα ήταν άτοπη. Το βασικό πλεονέκτημα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι ότι η απόδοσή τους δεν μεταβάλλεται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Εκτιμώντας την παραπάνω παράμετρο σε συνδυασμό πάντοτε με τεχνολογία αντιστάθμισης, ο συντελεστής απόδοσης των συγκεκριμένων αντλιών υπολογίζεται σε 4,80, όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Η μεταβολή του στιγμιαίου COP σχετίζεται μόνο με τη διαφορά θερμοκρασίας στο νερό προσαγωγής, ενώ οι θερμοκρασίες λειτουργίας του γεωθερμικού πεδίου παραμένουν σταθερές.

Πίνακας 2: Συντελεστής Απόδοσης αντλίας θερμότητας αέρος – νερού

Αντλία θερμότητας νερού - νερού						
Εξωτερική Θερμοκρασία °C	**-4/-2**	**-2/0**	**0/2**	**2/4**	**4/6**	**6/8**
Ώρες Θέρμανσης	136	167	534	473	718	1096
Στιγμιαίο COP	3,91	3,91	3,91	4,09	4,27	4,48
Εξωτερική Θερμοκρασία °C	**8/10**	**10/12**	**12/14**	**14/16**	**16/18**	
Ώρες Θέρμανσης	1075	1076	1115	1060	1031	
Στιγμιαίο COP	4,60	4,83	5,07	5,34	5,64	
ΜΕΣΟ COP = 4,80						

Για τις περιπτώσεις μονάδων *λέβητα – καυστήρα* ο ΚΕΝΑΚ 2017 επιτάσσει στο μελετητή να χρησιμοποιεί τα στοιχεία, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή, τα οποία

αναγράφονται στον φάκελο προϊόντος, βάσει του κανονισμού Ενεργειακής Επισήμανσης 811/2013 της ΕΕ.

Η τιμή του εποχιακού βαθμού απόδοσης της μονάδας σε σχέση με την Ενεργειακή Απόδοση Εποχιακής Θέρμανσης Χώρου δίδεται από την σχέση [4.0]:

$$n_{s\Theta K} = \Sigma M\Theta\Delta \ * (n_{sA\Theta} + 3\%)$$

Ο συντελεστής μετατροπής εποχιακού βαθμού απόδοσης (ΣΜΘΔ) λαμβάνεται από πίνακα και στις υπό εξέταση περιπτώσεις είναι 1,07 για πετρέλαιο, 1,11 για φυσικό αέριο και 1,09 για πελέτες.

Από το φύλλο δεδομένων προϊόντος επώνυμου κατασκευαστή για επίτοιχο λέβητα φυσικού αερίου 24kW, βρήκαμε ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου $n_{s\Theta K} = 94\%$.

Με χρήση του παραπάνω τύπου προκύπτει $n_{s\Theta K} = 1{,}11 * (94\% + 3\%) = 1{,}0767$.

Για τις ανάγκες υπολογισμού της εργασίας, ως βαθμός απόδοσης του λέβητα συμπύκνωσης φυσικού αερίου λαμβάνεται το 0,98. Ο συγκεκριμένος βαθμός απόδοσης προκύπτει βάσει της κατώτερης θερμογόνου ικανότητας, σύμφωνα και με τις ελάχιστες απαιτήσεις των Οδηγιών 2009/125/ΕΚ (Ecodesign), 2010/30/ΕΚ (Energy Labelling) και των αντίστοιχων εφαρμοστικών κανονισμών 813/2013 & 811/2016.

Από το φύλλο δεδομένων προϊόντος επώνυμου κατασκευαστή για επιδαπέδιο λέβητα συμπύκνωσης πετρελαίου 25kW, βρέθηκε ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου $n_{s\Theta K} = 91\%$.

Αντίστοιχα για τους λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου, αξιοποιώντας τον τύπο [4.0] του κανονισμού προκύπτει:

$$n_{s\Theta K} = 1{,}07 * (91\% + 3\%) = 1{,}0058.$$

Στην υπό εξέταση περίπτωση, ως βαθμός απόδοσης για τον λέβητα συμπύκνωσης χρησιμοποιείται το 0,94 , απόδοση η οποία έχει προκύψει από πραγματικές μετρήσεις.

Για τον λέβητα πέλλετ με ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη των 20kW, ο Κανονισμός (ΕΕ) 2015/1189 της επιτροπής για τους λέβητες στερεού καυσίμου, ορίζει ότι η ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου είναι τουλάχιστον το 77 %. Επιπλέον, στη μελέτη Σύγκρισης Κόστους Θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες (2022) του ΕΜΠ, ο βαθμός απόδοσης τέτοιων λεβήτων σε πραγματικές συνθήκες θωρείται το 78%, ο οποίος θα αξιοποιηθεί και στην παρούσα εργασία.

Στις τοπικές ηλεκτρικές μονάδες σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ (2017) η απόδοσή τους είναι το 100% και δεν μεταβάλλεται λόγω γήρανσης, εκτός και αν υπάρχουν σοβαρές φθορές. Πρακτικά, ο ηλεκτρικός λέβητας είναι μια συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική, με ποσοστό απόδοσης που πλησιάζει το 100%.

Πίνακας 3: Βαθμοί Απόδοσης

Βαθμοί Απόδοσης	
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	3,70
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	4,80
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,98
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,94
Λέβητας βιομάζας Pellet	0,78
Ηλεκτρικός Λέβητας	1,00

2.9 Κατανάλωση Ενέργειας

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας των συστημάτων χρειάζεται να ληφθούν κάποιες παραδοχές. Όπως προαναφέρθηκε, οι απαιτήσεις σε θέρμανση ορίζονται οι 6.000 kWh, συμπεριλαμβανομένων όλων των απωλειών δικτύου. Δηλαδή το παραπάνω ποσό ενέργειας είναι αυτό που απαιτείται για να παραχθεί από την εκάστοτε μονάδα.

Επιπλέον, οι βαθμοί απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό είναι εκείνοι που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:

$$\text{Κατανάλωση Ενέργειας (k}W\text{h)} = \text{Απαιτήσεις Θερμανσης (k}W\text{h)/Βαθμός Απόδοσης}$$

- Αντλία θερμότητας αέρος – νερού

$$6.000\ \text{kWh}/3{,}70 = 1.622\ \text{kWh}$$

- Αντλία θερμότητας νερού – νερού

$$6.000\ \text{k}W\text{h}/4{,}80 = 1.250\ \text{kWh}$$

- Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης

$$6.000\ \text{kWh}/0{,}98 = 6.122\ \text{kWh}$$

- Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης

$$6.000\ \text{kWh}/0{,}94 = 6.383\ \text{kWh}$$

- Λέβητας βιομάζας Pellet

$$6.000\ \text{kWh}/0{,}78 = 7.692\ \text{kWh}$$

- Ηλεκτρικός Λέβητας

$$6.000\ \text{kWh}/1{,}00 = 6.000\ \text{kWh}$$

Χάριν απλότητας, τα αποτελέσματα των πράξεων έχουν στρογγυλοποιηθεί σε ακέραιους αριθμούς.

Πίνακας 4: Κατανάλωση Ενέργειας

Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)	
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	1.622
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	1.250
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	6.122
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	6.383
Λέβητας βιομάζας Pellet	7.692
Ηλεκτρικός Λέβητας	6.000

2.10 Κόστος Λειτουργίας

Για το κόστος λειτουργίας αρχικά θα αναλυθεί ο τρόπος χρέωσης της εκάστοτε πηγής ενέργειας.

Ένας λογαριασμός ρεύματος αποτελείται από τις χρεώσεις προμήθειας, ρυθμιζόμενες χρεώσεις, διάφορα τέλη (Δήμος, ΕΡΤ κλπ.) και τον ΦΠΑ. Κάποιες από αυτές σχετίζονται με την ισχύ και άλλες με την κατανάλωση. Στη συγκεκριμένη ανάλυση λαμβάνονται υπ' όψιν οι χρεώσεις προμήθειας, οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις και ο ΦΠΑ.

Η χρέωση προμήθειας είναι αυτή που τον τελευταίο χρόνο, λόγω της ενεργειακής κρίσης, συζητήθηκε αρκετά και προβλημάτισε όλους τους καταναλωτές. Έπειτα από την κατάργηση της ρήτρας αναπροσαρμογής, οι τιμές ανακοινώνονται σε μηνιαία βάση. Λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών, υφίσταται κρατική επιδότηση με σκοπό η αξία της προμήθειας να διαμορφώνεται περίπου στα 150-160€/Mwh, δηλαδή 0,15-0,16€/kWh. Οι τιμές για όλους του παρόχους είναι διαθέσιμες στην ιστοσελίδα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Στην παρούσα σύγκριση λαμβάνεται ως αξία προμήθειας τα 0,155€/kWh.

Οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις αποτελούνται από:

1) Τις χρεώσεις που αφορούν τη χρήση του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς και του Δικτύου Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
2) Τις χρεώσεις για τις Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ)
3) Το Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων (ΕΤΜΕΑΡ).

Με βάση τη ΡΑΕ οι ισχύουσες τιμές είναι οι παρακάτω:

ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Μοναδιαία πάγια χρέωση ισχύος 0,13 €/kVA
- Μοναδιαία μεταβλητή χρέωση ενέργειας 0,00542 €/kWh

ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Μοναδιαία πάγια χρέωση ισχύος 0,52 €/kVA
- Μοναδιαία μεταβλητή χρέωση ενέργειας 0,0213 €/kWh

Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ)

Πίνακας 5: Χρεώσεις ΥΚΩ

Οικιακής χρήσης (χαμηλής τάσης) Καταναλώσεις Ημέρας	Μοναδιαία χρέωση σε €/MWh
0-1600 kWh/τετραμηνία	6,90
1601-2000 kWh/τετραμηνία	50,00
2001-ΑΝΩ kWh/τετραμηνία	85,00

Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αέριων Ρύπων (ΕΤΜΕΑΡ): 0,017€/kWh

Ο φόρος προστιθέμενης αξίας ΦΠΑ για το ρεύμα ανέρχεται σε 6%.

Για να διαμορφωθεί η τελική τιμή ανά kWh ρεύματος, θα οριστούν σενάρια καταναλώσεων ανά τετράμηνο για τις εναλλακτικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ρεύμα. Αρχικά, θεωρείται ότι οι πάγιες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος για μια κατοικία 90τ.μ. είναι 250kWh τον μήνα. Η σεζόν θέρμανσης ορίζεται από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο, δηλαδή διάρκεια 6 μήνες. Επιπλέον, λαμβάνονται χρεώσεις ημέρας, μονοφασική παροχή ισχύος 8kVA στις περιπτώσεις των αντλιών θερμότητας, τριφασική παροχή ισχύος 25kVA για τον ηλεκτρικό λέβητα και συντελεστή ισχύος συνφ=1.

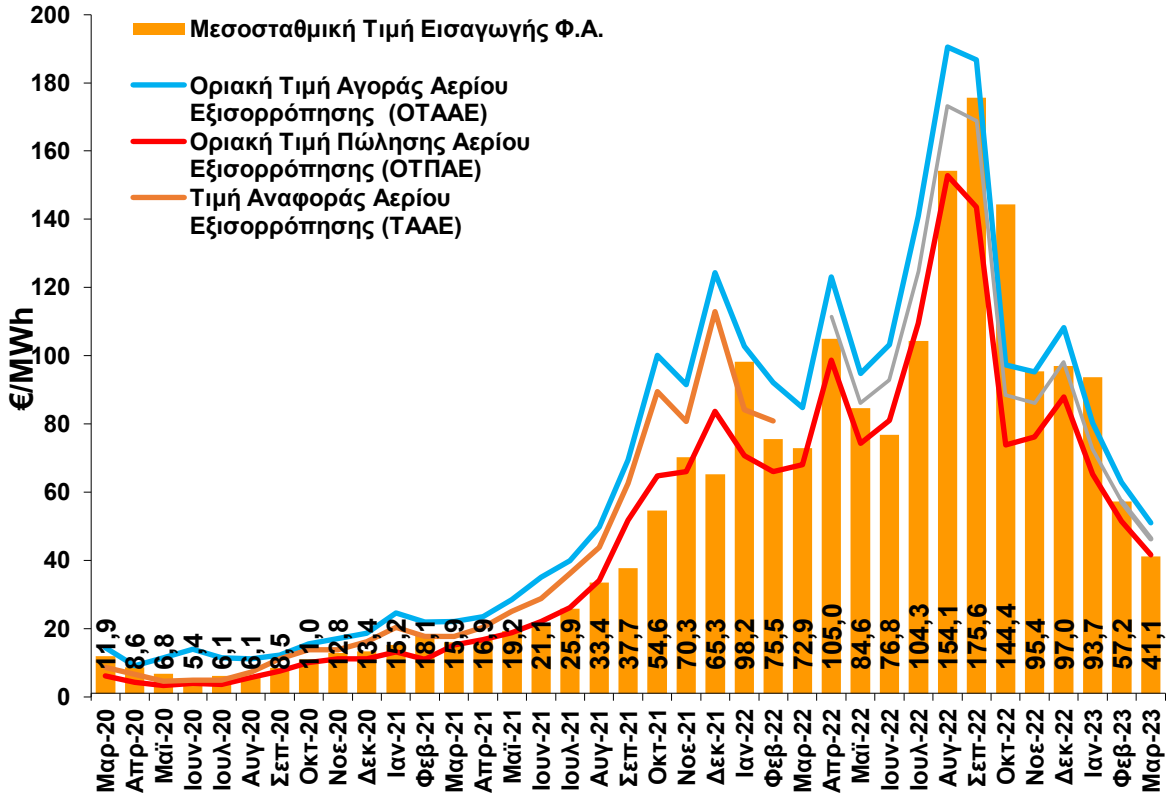
Με βάση τα παραπάνω, αλλά και τις καταναλώσεις ενέργειας που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, θεωρείται για την αντλία θερμότητας *αέρος–νερού* κατανάλωση 1.850kWh/τετράμηνο, για την αντλία θερμότητας *νερού–νερού* κατανάλωση 1.650kWh/τετράμηνο και τον ηλεκτρικό λέβητα 4.000kWh/τετράμηνο.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 6: Υπολογισμός ηλεκτρικής kWh

kWh ανά τετράμηνο	**1850**	**1650**	**4000**
Ισχύς Παροχής σε KVA	8	8	25
Προμήθεια	286,75 €	255,75 €	620,00 €
Δίκτυο Μεταφοράς			
Πάγια (αναλογία για 120 ημέρες)	0,34 €	0,34 €	1,07 €
Μεταβλητή	10,03 €	8,94 €	21,68 €
Δίκτυο Διανομής			
Πάγια (αναλογία για 120 ημέρες)	1,37 €	1,37 €	4,27 €
Μεταβλητή	39,41 €	35,15 €	85,20 €
ΥΚΩ			
0-1600	11,04 €	11,04 €	11,04 €
1601-2000	12,50 €	2,50 €	20,00 €
2001 και άνω	0,00 €	0,00 €	170,00 €
ΕΤΜΕΑΡ	31,45 €	28,05 €	68,00 €
ΕΦΚ (Ν. 4389/2016)	4,07 €	3,63 €	8,80 €
Υποσύνολο	396,95 €	346,77 €	1.010,06 €
Ειδικό Τέλος 5 ‰ (Ν.2093/92 & 2960/2001)	1,83 €	1,59 €	4,71 €
ΦΠΑ 6%	23,82 €	20,81 €	60,60 €
Γενικό σύνολο τετραμηνίας	422,60 €	369,17 €	1.075,38 €
Μέση τιμή kWh	**0,228 €/kWh**	**0,224 €/kWh**	**0,269 €/kWh**

Το φυσικό αέριο αναμφίβολα είναι το καύσιμο το οποίο παρουσίασε τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις τη φετινή περίοδο. Με βάση τα στοιχεία της ΡΑΕ, στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εξέλιξη της τιμής εισαγωγής του Φυσικού αερίου από τον Μάρτιο του 2020 έως τον Μάρτιο του 2023. Σημαντική είναι η ανοδική τάση με κορύφωση τον Σεπτέμβριο του 2022.



Σχήμα 21: Μεσοσταθμική τιμή εισαγωγής ΦΑ ανά μήνα (ΡΑΕ)

Για την τιμή προμήθειας χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή €/kWh της σεζόν Οκτωβρίου 2022 – Μαρτίου 2023. Η παρακάτω αξία προέκυψε από λογαριασμούς παρόχου Φυσικού αερίου, έχοντας ενσωματώσει τις κρατικές επιδοτήσεις.

Πίνακας 7: Μέση τιμή προμήθειας ΦΑ για σεζόν 2022-2023

Μέση τιμή για σεζόν €/kWh					
2022			2023		
Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος
0,08335 €	0,08118 €	0,09703 €	0,09701 €	0,06962 €	0,05882 €
0,0812 €/kWh					

Οι ρυθμιζόμενες χρεώσεις επιλέχθηκαν για Οικιακό αυτόνομο τιμολόγιο, οι χρεώσεις μεταφοράς καθώς και οι χρεώσεις διανομής αφορούν την Αττική.

Χρέωση Ενέργειας Μεταφοράς (ΔΕΣΦΑ): 0,00192 €/kWh.

Χρέωση Ενέργειας Διανομής (ΕΔΑ ΑΤΤΙΚΗΣ): 0,01473 €/kWh.

Δυναμικότητα Διανομής Φυσικού Αερίου (ΕΔΑ ΑΤΤΙΚΗΣ): 1,1141726 €/kW/ημέρα.

ΕΦΚ (Ν. 4389/2016): 0,00108€/kWh.

Τέλος Ασφάλειας Εφοδιασμού(ΦΕΚ΄Β 2536/14): 0,00284 €/kWh.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται ο υπολογισμός της τιμής κιλοβατώρας φυσικού αερίου για δυναμικότητα παροχής 29kW. Επιπλέον, στην αξία προμήθειας έγινε προσαύξηση 5% ως συντελεστής ασφαλείας για τις διακυμάνσεις της θερμογόνου ικανότητας.

Πίνακας 8: Υπολογισμός kWh ΦΑ

kWh ανά σεζόν	**6122**
Ισχύς Παροχής σε kW	29
Προμήθεια	521,76 €
Χρέωση Ενέργειας Μεταφοράς (ΔΕΣΦΑ)	11,75 €
Χρέωση Ενέργειας Διανομής (ΕΔΑ ΑΤΤΙΚΗΣ)	90,18 €
Δυναμικότητα Διανομής Φυσικού Αερίου (ΕΔΑ ΑΤΤΙΚΗΣ)	15,93 €
ΕΦΚ (Ν. 4389/2016)	6,61 €
Τέλος Ασφάλειας Εφοδιασμού(ΦΕΚ΄Β 2536/14)	17,39 €
Υποσύνολο	663,62 €
Ειδικό Τέλος 5‰ (Ν.2093/92 & 2960/2001)	3,32 €
ΦΠΑ 6%	39,82 €
Γενικό σύνολο	706,76 €
Μέση τιμή kWh	**0,115 €/kWh**

Το πετρέλαιο θέρμανσης κινήθηκε και αυτό ανοδικά στη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης, όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Τα αποτελέσματα προέκυψαν μέσω των εβδομαδιαίων δελτίων επισκόπησης των τιμών υγρών καυσίμων της ιστοσελίδας *Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων (Diesel Θέρμανσης Κατ΄ οίκον – Πανελλήνιος Σταθμισμένος Μέσος Όρος).*

Πίνακας 9: Μέση τιμή Πετρελαίου Θέρμανσης

Diesel Θέρμανσης		
2022	**Οκτώβριος**	1,405 €/λίτρο
	Νοέμβριος	1,294 €/λίτρο
	Δεκέμβριος	1,147 €/λίτρο
2023	**Ιανουάριος**	1,267 €/λίτρο
	Φεβρουάριος	1,217 €/λίτρο
	Μάρτιος	1,182 €/λίτρο
Μέση Τιμή		**1,252 €/λίτρο**

Η θερμογόνος ικανότητα του πετρελαίου ανέρχεται περίπου σε 10.150 kcal/kg , η πυκνότητα του 0,85 kg/lt. Κάνοντας τις κατάλληλες μετατροπές για την παραπάνω μέση τιμή 1,252 €/lt προκύπτει αξία 0,125 €/kWh.

Στην περίπτωση καυσίμου pellet, αξιοποιούνται πιστοποιημένα πέλλετ ξύλου ENplus ποιοτικής κατηγορίας A1. Σε αυτή τη περίπτωση η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα 18 MJ/kg, ήτοι 5 kWh/kg, η υγρασία ,μικρότερη του 10% και η τέφρα μικρότερη του 0,70%.

Έπειτα από διαδικτυακή έρευνα αγοράς, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,60 €/kg και 0,80 €/kg, συνεπώς λαμβάνουμε τη μέση τιμή αυτών 0,70 €/kg.

Άρα, με βάση τα παραπάνω προκύπτει 0,14 €/kWh.

Πίνακας 10: Κόστος Λειτουργίας

Κόστος Λειτουργίας			
	kWh	**€/kWh**	**€**
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	1622	0,228	370
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	1250	0,224	280
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	6122	0,115	704
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	6383	0,125	798
Λέβητας βιομάζας Pellet	7692	0,140	1077
Ηλεκτρικός Λέβητας	6000	0,269	1614

2.11 Κόστος Κτήσης (Αγορά & Εγκατάσταση)

Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστεί το κόστος κτήσης, δηλαδή η αξία αγοράς του μηχανήματος συμπεριλαμβανομένου του κόστους εγκατάστασης. Όπως έχει αναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους, συγκρίνεται η τοποθέτηση της κάθε μονάδας σε κοινή εσωτερική εγκατάσταση.

Συνεπώς, η μελέτη περίπτωσης έγκειται στην υπόθεση ότι υπάρχουν όλες οι προϋποθέσεις για την τοποθέτηση του εκάστοτε συστήματος.

Για την αντλία θερμότητας *αέρος – νερού* ισχύος 10kW αξιοποιούνται εκδόσεις monoblock με ενσωματωμένο ψυχροστάσιο. Ο συγκεκριμένος τύπος αντλιών είναι ο πιο διαδεδομένος και ο καταναλωτής έχει αρκετές εναλλακτικές επιλογές. Σε έρευνα μέσω διαδικτύου μεταξύ πιστοποιημένων από τη Eurovent μηχανημάτων, εντοπίζονται αξίες αγοράς μεταξύ 3.900,00€ και 6.200,00€. Για την παρούσα σύγκριση επιλέγεται μια μέση τιμή που βρίσκεται στα 4.900,00€.

Για την εγκατάσταση της αντλίας θα χρειαστεί υδραυλική σύνδεση μεταξύ αντλίας και συλλέκτη (απόσταση 10 μέτρα), τοποθέτηση δοχείου αδρανείας, αυτόματου πλήρωσης και παρελκόμενου υδραυλικού εξοπλισμού 880,00€ + ΦΠΑ 24%.

Ακόμη, απαιτείται εργασία ηλεκτρολόγου για την τοποθέτηση της ηλεκτρολογικής παροχής (μήκος 15 μέτρα) και καλωδίου αυτοματισμού (μήκος 10 μέτρα), 300,00€ + ΦΠΑ 24%. Συμπεριλαμβάνεται, επίσης, η χρήση γερανού 100,00€ + ΦΠΑ 24%, διότι απαιτείται σε αρκετές περιπτώσεις. Τέλος, για την εκκίνηση και αρχική παραμετροποίηση της αντλίας υπολογίζεται κόστος εκκίνησης 120,00€ + ΦΠΑ 24%. Συνολικά, για την εγκατάσταση προκύπτει (880,00€+300,00€+100,00€+120,00€) + ΦΠΑ 24% = 1.736,00€.

Συνολικά (αγορά & εγκατάσταση): 4.900,00€+1.736,00€ = 6.636,00€.

- <u>Κόστος κτήσης αντλίας θερμότητας αέρος – νερού:</u> 6.636,00€.

Στην περίπτωση της αντλίας θερμότητας νερού – νερού απαιτείται να συμπεριληφθούν οι εργασίες που αφορούν τη μελέτη – κατασκευή του γεωθερμικού πεδίου. Εκτιμάται ότι προηγήθηκε η γεωτεχνική μελέτη, κατά την οποία αποφασίστηκε ότι για την ισχύ των 10kW επαρκούν δυο κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες μήκους 100m έκαστος. Για την εκπόνηση της μελέτης, τη κατασκευή των εναλλακτών και την εγκατάσταση του αντλιοστασίου συστήματος γεωθερμίας, βασιζόμενοι σε εργολάβους που εκτελούν τέτοιου είδους εργασίες υπολογίζεται κόστος 9.000,00€ + ΦΠΑ 24% =11.160,00€.

Αναφορικά με την αξία αγοράς γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, δεδομένου ότι δεν είναι αρκετά διαδεδομένες, δεν βρέθηκαν στοιχεία στο διαδίκτυο. Έπειτα από επικοινωνία μεταξύ προμηθευτών σχετικά με μονοφασική αντλία θερμότητας *νερού – νερού*, ισχύος 10kW με

ενσωματωμένους κυκλοφορητές σε πλευρές συστήματος και γεωθερμίας, προέκυψε μέση τιμή λιανικής 8.000,00€.

Για τις εργασίες εγκατάστασης λαμβάνονται οι ίδιες με αυτές της αντλίας θερμότητας *αέρος – νερού*, ήτοι 1.736,00€.

Συνολικά (αγορά & εγκατάσταση): 11.160,00€ + 8.000,00€ + 1.736,00€ = 20.896,00€.

- Κόστος κτήσης αντλίας θερμότητας νερού – νερού: 20.896,00€.

Για τον επίτοιχο λέβητα συμπύκνωσης φυσικού αερίου ονομαστικής ισχύος 24kW, έπειτα από έρευνα αγοράς μεταξύ επώνυμων και πιστοποιημένων προμηθευτών, προέκυψε μέση τιμή αγοράς 1.175,00€.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εγκατάσταση λέβητα φυσικού αερίου είναι η μελέτη και η δανειοδότηση από τον αρμόδιο φορέα. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει την υδραυλική σύνδεση του λέβητα με το συλλέκτη θέρμανσης, την ηλεκτρολογική σύνδεση, την κατασκευή της γραμμής αερίου μεταξύ λέβητα και μετρητή, σύμφωνα με τη μελέτη και την τοποθέτηση του απαιτούμενου καπναγωγού. Τέλος, απαιτείται τοποθέτηση, έναυση και ρύθμιση του λέβητα, καθώς και η έκδοση του φύλλου καύσης από αδειούχο τεχνικό. Για το παραπάνω πακέτο εργασιών, έπειτα από επικοινωνία με ειδικούς του χώρου, η μέση τιμή κυμαίνεται στα 1.500,00€ + ΦΠΑ 24% = 1.860,00€.

Συνολικά (αγορά & εγκατάσταση): 1.175,00€ + 1.860,00€ = 3.035,00€.

- Κόστος κτήσης επίτοιχου λέβητα συμπύκνωσης αερίου: 3.035,00€.

Για τους λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου ισχύος 20-25kW, ανάλογα με τον κατασκευαστή, συναντώνται τιμές από 1.850,00€ έως 3.900,00€. Πάντοτε γίνεται αναφορά σε πιστοποιημένους λέβητες, σύμφωνα με τα ErP. Στο σημείο αυτό, χρησιμοποιείται η μέση τιμή της διενεργηθείσας έρευνας, η οποία υπολοζίσεται στα 2.900,00€. Η αξιοποιούμενη έκδοση περιλαμβάνει λέβητα, καυστήρα, δοχείο διαστολής, βαλβίδα ασφαλείας και κυκλοφορητή.

Στην εγκατάσταση απαιτείται η τοποθέτηση δεξαμενής πετρελαίου με το αντίστοιχο φίλτρο, υδραυλική σύνδεση μέχρι τον συλλέκτη, ηλεκτρολογική σύνδεση πίνακα, τοποθέτηση κατάλληλου καπναγωγού και τοποθέτηση παρελκόμενου υδραυλικού εξοπλισμού

λεβητοστασίου. Ομοίως με τον λέβητα φυσικού αερίου, απαιτείται έναυση και ρύθμιση του λέβητα, καθώς και έκδοση του φύλλου καύσης από αδειούχο τεχνικό. Συλλέγοντας προσφορές από υδραυλικούς και τεχνικούς για τις ανωτέρω εργασίες, προκύπτει κόστος περίπου 1.000,00€ + ΦΠΑ 24% = 1.240,00€.

Συνολικά (αγορά & εγκατάσταση): 2.900,00€ + 1.240,00€ = 4.140,00€.

- Κόστος κτήσης λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης: 4.140,00€.

Στην περίπτωση των λεβήτων βιομάζας Pellet ισχύος 20-25kW με ενσωματωμένη δεξαμενή και αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου, έπειτα από αναζήτηση στο διαδίκτυο προκύπτει μέση τιμή αγοράς στα 3.700,00€.

Αναφορικά με την εγκατάσταση, οι εργασίες είναι όμοιες με αυτές του λέβητα πετρελαίου, με εξαίρεση τη δεξαμενή. Ωστόσο, επειδή στους λέβητες βιομάζας ενδέχεται να υπάρχει απαίτηση για γερανό, το κόστος παραμένει ίδιο, δηλαδή 1.000,00€ + ΦΠΑ 24% = 1.240,00€.

Συνολικά (αγορά & εγκατάσταση): 3.700,00€ + 1.240,00€ = 4.940,00€.

- Κόστος κτήσης λέβητα βιομάζας Pellet: 4.940,00€.

Στην αναζήτηση ηλεκτρικών λεβήτων τριφασικών, ισχύος 10-15kW, οι επιλογές ανάμεσα σε προμηθευτές είναι περιορισμένες. Οι τιμές αγοράς είναι παρεμφερείς και κυμαίνονται περίπου στα 1.400,00€.

Η εγκατάσταση του ηλεκτρικού λέβητα από υδραυλικής πλευράς είναι αρκετά απλή, με το κόστος να περιορίζεται στα 700,00€ + ΦΠΑ 24%. Ωστόσο, η ηλεκτρολογική σύνδεση συνδέεται με περισσότερες απαιτήσεις. Στις προηγούμενες περιπτώσεις, η μονοφασική παροχή των 8kVA επαρκεί, ενώ στον ηλεκτρικό λέβητα λόγω μεγάλης απορροφούμενης ισχύος απαιτείται τριφασική παροχή 25kVA. Για το κόστος της επαύξησης από μονοφασικό σε τριφασικό μαζί με τις εργασίες-υλικά (καλώδια, ασφάλειες κλπ), αδειούχος ηλεκτρολόγος έδωσε προσφορά στα 1.500,00€ + ΦΠΑ 24%. Για την εγκατάσταση προκύπτει (700,00€ + 1.500,00€) + ΦΠΑ 24% = 2.728,00€.

Συνολικά (αγορά & εγκατάσταση): 1.400,00€ + 2.728,00€ = 4.128,00€.

- Κόστος κτήσης ηλεκτρικού λέβητα: 4.128,00€.

Πίνακας 11: Κόστος Κτήσης (Αγορά & Εγκατάσταση)

Κόστος Κτήσης (Αγορά & Εγκατάσταση) σε €	
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	6.636
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	20.896
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	3.035
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	4.140
Λέβητας βιομάζας Pellet	4.940
Ηλεκτρικός Λέβητας	4.128

2.12 Απαιτήσεις Συντήρησης

Η προγραμματισμένη συντήρηση των οικιακών μηχανημάτων θέρμανσης προτείνεται από τους κατασκευαστές να γίνεται σε ετήσια βάση. Σε πολλές περιπτώσεις, απαιτείται ως προϋπόθεση για την ισχύ της εγγύησης. Η ετήσια συντήρηση είναι σημαντική, διότι ελέγχεται η ομαλή λειτουργία της μονάδας, γεγονός που εξασφαλίζει τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος και επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής των μηχανημάτων. Ακολούθως, παρουσιάζονται οι βασικές εργασίες συντήρησης, όπως περιγράφονται στα πρωτοκόλλα επιθεώρησης και συντήρησης των κατασκευαστών.

Βασικές εργασίες ετήσιας συντήρησης αντλίας θερμότητας *αέρος – νερού/νερού – νερού*

- Καθαρισμός εναλλάκτη αέρα με ενδεδειγμένα χημικά καθαρισμού (αφορά αντλία θερμότητας *αέρος – νερού*)
- Καθαρισμός εναλλάκτη και φίλτρου γεωθερμίας (αφορά αντλία θερμότητας *νερού – νερού*)
- Καθαρισμός φίλτρου νερού εγκατάστασης
- Έλεγχος καλής λειτουργίας μηχανολογικών διατάξεων της μονάδας
- Έλεγχος καλής λειτουργίας ηλεκτρολογικών διατάξεων της μονάδας
- Έλεγχος διαρροών
- Έλεγχος λειτουργικών παραμέτρων
- Έλεγχος ιστορικού βλαβών
- Έλεγχος και καταγραφή σωστής λειτουργίας αισθητηρίων (πίεσης/θερμοκρασίας) και ασφαλιστικών διατάξεων
- Έλεγχος ορθής λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή

Με βάση τους τιμοκαταλόγους των τμημάτων συντήρησης προμηθευτών αντλιών θερμότητας, για ισχύ έως 20kW, το κόστος της ετήσιας συντήρησης ανέρχεται στα 120,00€ + ΦΠΑ 24% = 148,80€.

Βασικές εργασίες ετήσιας συντήρησης επίτοιχου λέβητα συμπύκνωσης αερίου

- Καθαρισμός θαλάμου καύσης και δευτερεύοντος εναλλάκτη θερμότητας
- Έλεγχος ηλεκτροδίων
- Έλεγχος ρεύματος ιονισμού
- Οπτικός έλεγχος αγωγού εισόδου αέρα/αγωγού απαγωγής καυσαερίων
- Καθαρισμός σιφονιού συμπυκνώματος
- Καθαρισμός φίλτρου νερού εγκατάστασης
- Μέτρηση και ρύθμιση πίεσης αερίου
- Έλεγχος στεγανότητας των εγκαταστάσεων αερίου και νερού
- Έλεγχος της βαλβίδας αντεπιστροφής στη διάταξη ανάμειξης
- Έλεγχος της ηλεκτρικής καλωδίωσης για ζημιές
- Έλεγχος ρυθμίσεων θερμοστάτη
- Έλεγχος ορθής λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή
- Έκδοση φύλλου καύσης

Με βάση τιμοκαταλόγους των τμημάτων συντήρησης προμηθευτών λεβήτων αερίου, για την ισχύ των 24kW, το κόστος της ετήσιας συντήρησης ανέρχεται στα 70,00€ + ΦΠΑ 24% = 86,80€.

Βασικές εργασίες ετήσιας συντήρησης λέβητα πετρελαίου συμπύκνωσης

- Οπτικός και λειτουργικός έλεγχος του συστήματος θέρμανσης
- Καθαρισμός θαλάμου καύσης και δευτερεύοντος εναλλάκτη θερμότητας
- Καθαρισμός και έλεγχος των πτερυγίων και του συγκρατητήρα συναρμολόγησής τους
- Έλεγχος και αν χρειαστεί αντικατάσταση των στεγανοποιήσεων και των φλαντζών στεγάνωσης στον καυστήρα
- Καθαρισμός του καυστήρα
- Αντικατάσταση του ακροφυσίου καυστήρα
- Έλεγχος των ανοιγμάτων παροχής/εκκένωσης και των συνδέσεων
- Έλεγχος σταθερής τοποθέτησης της στεγανοποίησης του καλύμματος επιθεώρησης καύσης

- Καθαρισμός σιφονιού συμπυκνώματος
- Καθαρισμός φίλτρου νερού εγκατάστασης
- Καθαρισμός φίλτρου πετρελαίου
- Οπτικός έλεγχος αγωγού εισόδου αέρα/αγωγού απαγωγής καυσαερίων
- Έλεγχος της ηλεκτρικής καλωδίωσης για ζημιές
- Μέτρηση και ρύθμιση καυστήρα
- Έλεγχος ρυθμίσεων θερμοστάτη
- Έλεγχος ορθής λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή
- Έκδοση φύλλου καύσης

Με βάση τους τιμοκαταλόγους των τμημάτων συντήρησης προμηθευτών λεβήτων πετρελαίου συμπύκνωσης, για την ισχύ των 25kW, το κόστος της ετήσιας συντήρησης ανέρχεται στα 80,00€ + ΦΠΑ 24% = 99,20€.

<u>Βασικές εργασίες ετήσιας συντήρησης λέβητα βιομάζας Pellet</u>

- Οπτικός και λειτουργικός έλεγχος του συστήματος θέρμανσης
- Καθαρισμός φίλτρου νερού εγκατάστασης
- Καθαρισμός και έλεγχος φλογοαυλών
- Καθαρισμός συρταριών συσσώρευσης στάχτης (αυτό γίνεται και από τον τελικό χρήσης κατά τη διάρκεια του έτους)
- Καθαρισμός ανεμιστήρα
- Καθαρισμός και έλεγχος καυστήρα
- Γρασάρισμα του κοχλία τροφοδοσίας καυσίμου
- Καθαρισμός του φωτοκύτταρου επιτήρησης φλόγας
- Έλεγχος αγωγού απαγωγής καυσαερίων
- Έλεγχος της ηλεκτρικής καλωδίωσης για ζημιές
- Μέτρηση και ρύθμιση καυστήρα
- Έλεγχος ρυθμίσεων θερμοστάτη
- Έλεγχος ορθής λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή
- Έκδοση φύλλου καύσης

Με βάση τους τιμοκαταλόγους των τμημάτων συντήρησης προμηθευτών λεβήτων βιομάζας Pellet, για την ισχύ των 25kW, το κόστος της ετήσιας συντήρησης ανέρχεται στα 120,00€ + ΦΠΑ 24% = 148,80€.

Βασικές εργασίες ετήσιας συντήρησης ηλεκτρικού λέβητα

- Οπτικός και λειτουργικός έλεγχος του συστήματος θέρμανσης
- Καθαρισμός και έλεγχος θερμαντικών στοιχείων
- Καθαρισμός φίλτρου νερού εγκατάστασης
- Έλεγχος και καθαρισμός εναλλάκτη
- Έλεγχος της ηλεκτρικής καλωδίωσης για ζημιές
- Έλεγχος ρυθμίσεων θερμοστάτη
- Έλεγχος ορθής λειτουργίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή

Με βάση τους τιμοκαταλόγους των τμημάτων συντήρησης προμηθευτών ηλεκτρικών λεβήτων, για την ισχύ των 12kW, το κόστος της ετήσιας συντήρησης ανέρχεται στα 50,00€ + ΦΠΑ 24% = 62,00€.

Πίνακας 12: Απαιτήσεις Συντήρησης σε € ανά έτος

Απαιτήσεις Συντήρησης σε € ανά έτος	
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	148,80
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	148,80
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	86,80
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	99,20
Λέβητας βιομάζας Pellet	148,80
Ηλεκτρικός Λέβητας	62,00

2.13 Διάρκεια Ζωής

Η διάρκεια ζωής ενός μηχανήματος δεν είναι πάντοτε η ίδια καθώς υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που την επηρεάζουν. Η συντήρηση με βάση τις οδηγίες των κατασκευαστών, παίζει σημαντικό ρόλο, συνεπώς διαφορετικό προσδόκιμο παρουσιάζει ένα καλά συντηρημένο μηχάνημα σε σχέση με κάποιο άλλο που έχει ελλιπή συντήρηση. Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής είναι η ορθή εγκατάσταση και χρήση, αφού σε πολλές περιπτώσεις δεν τηρούνται οι προδιαγραφές του κατασκευαστή. Ακόμη, είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως η ποιότητα κατασκευής καθορίζει σημαντικά την αντοχή στον χρόνο.

Ως εκ τούτου, ο προσδιορισμός της διάρκειας ζωής δεν είναι κάποιο κριτήριο το οποίο δύναται να εντοπιστεί στη βιβλιογραφία. Σε αυτήν τη περίπτωση, είναι προτιμότερο να βασιστεί κανείς σε στατιστικά στοιχεία που διαθέτουν τμήματα συντήρησης προμηθευτών, είτε από τους ίδιους

τους κατασκευαστές των μηχανημάτων. Σε συνδυασμό με τα παραπάνω στοιχεία, έγινε χρήση πληροφοριών που αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων της Ashrae, με αποτέλεσμα να προκύψουν οι παρακάτω εκτιμήσεις.

Η υποχρέωση των κατασκευαστών, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες Eco-design, είναι να παρέχουν ανταλλακτικά για διάστημα 7-10 έτη (ανάλογα με το είδος του μηχανήματος), από την παύση παραγωγής του αντίστοιχου μοντέλου. Το παραπάνω γεγονός προϊδεάζει τον καταναλωτή ότι πέρα από την αντοχή του κάθε μηχανήματος, από πλευράς ανταλλακτικών θα είναι δύσκολη έως και αδύνατη η συντήρηση/επισκευή, όσο απομακρύνεται από τη δεκαετία.

Στις περιπτώσεις των μονάδων που χρησιμοποιούν ψυκτικά ρευστά (αντλίες θερμότητας), η απόσυρση ενός ψυκτικού ρευστού από την αγορά, ενδέχεται να οδηγήσει τον χρήστη σε συντομότερη αντικατάσταση του μηχανήματος.

Για τις αντλίες θερμότητας αέρος-νερού, η διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 10 έως 20 έτη ανάλογα με τον κατασκευαστή, τη συντήρηση και τη χρήση. Μια μέση τιμή για τη συγκεκριμένη κατηγορία είναι τα 15 έτη.

Αντίστοιχα, για τις αντλίες θερμότητας νερού-νερού η διάρκεια ζωής κυμαίνεται μεταξύ 14 και 22 έτη, ενώ η μέση τιμή υπολογίζεται στα 17 έτη.

Οι επίτοιχοι λέβητες αερίου συνήθως χρήζουν αντικατάστασης μετά από 10-15 χρόνια χρήσης, σε περιπτώσεις υψηλής ποιότητας καλά συντηρημένων μηχανημάτων μπορεί να φτάσουν και τα 20 έτη. Για την μελέτη λαμβάνονται ως διάρκεια ζωής τα 13 έτη.

Οι λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου παρουσιάζουν μια ελαφρώς καλύτερη εικόνα σε σχέση με εκείνους του αερίου. Το εύρος που συναντάται είναι μεταξύ 15 και 20 ετών, συνεπώς μπορεί με ασφάλεια να χρησιμοποιηθεί ως μέση διάρκεια η τιμή των 18 ετών.

Για τους λέβητες βιομάζας Pellet οι κατασκευαστές αναφέρουν μια μεγαλύτερη διάρκεια ζωής που μπορεί να φτάσει τα 25 έτη. Η διάρκεια ζωής οικιακών λεβήτων βιομάζας Pellet περιορίζεται σε 18-20 χρόνια. Στα πλαίσια της σύγκρισης λαμβάνονται ως εκτίμηση τα 19 έτη.

Στους ηλεκτρικούς λέβητες, τα στοιχεία των κατασκευαστών αναφέρουν ότι η διάρκεια ζωής μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 20 χρόνια. Ωστόσο, αν βασιστεί κανείς στα στοιχεία των τμημάτων συντήρησης, το προσδόκιμο μειώνεται αρκετά. Αυτό συμβαίνει διότι στη συγκεκριμένη κατηγορία παρουσιάζεται μεγάλο ποσοστό με ελλιπή συντήρηση. Συμπερασματικά, εκτιμάται μια μέση διάρκεια στα 15 έτη.

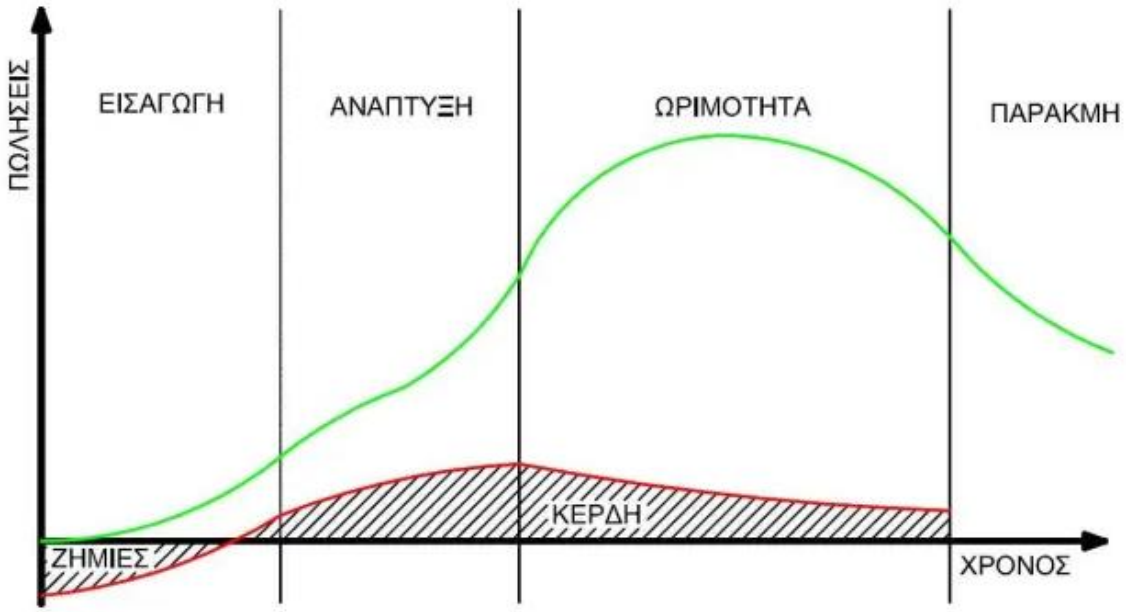
Προκύπτει, λοιπόν, ο ακόλουθος συγκεντρωτικός πίνακας τιμών, αναφορικά με τη διάρκεια ζωής:

Πίνακας 13: Διάρκεια Ζωής σε έτη

Διάρκεια Ζωής σε έτη	
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	15
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	17
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	13
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	18
Λέβητας βιομάζας Pellet	19
Ηλεκτρικός Λέβητας	15

2.14 Κοινωνική Αποδοχή

Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος αποτελείται από τα στάδια εισαγωγή, ανάπτυξη, ωρίμανση και πτώση, όπως αναλύεται από την επιστήμη του marketing (Stark, 2011). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα στάδια που ακολουθεί η αποδοχή ενός προϊόντος από την εισαγωγή του μέχρι και την τελική απόσυρσή του .

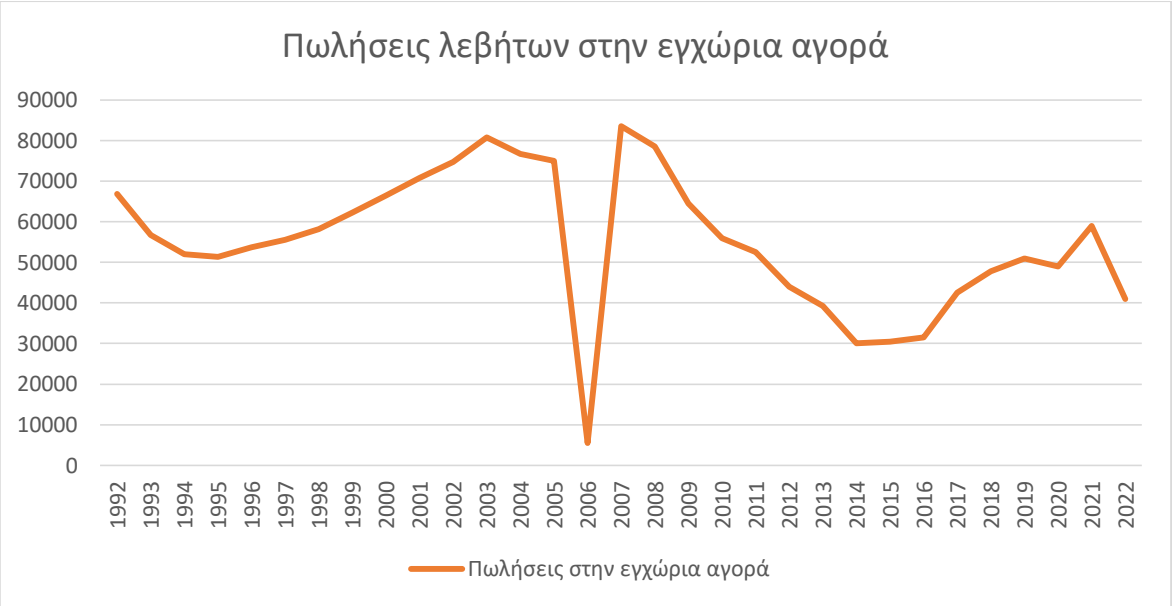


Σχήμα 22: Κύκλος Ζωής Προϊόντος (https://4economist.wordpress.com/)

Ο κύκλος ζωής σχετίζεται με τη διαδικασία διάχυσης ενός προϊόντος στην αγορά και συνεπώς με την κοινωνική του αποδοχή. Για τον προσδιορισμό της κοινωνικής αποδοχής ελήφθησαν

στοιχεία από την πρόσφατη μελέτη αγοράς που αφορά τα Είδη Κεντρικής Θέρμανσης (ICAP CRIF A.E. Μάιος 2023), και πραγματοποιήθηκε για λογαριασμό της Ένωσης Ελληνικών Επιχειρήσεων Θέρμανσης & Ενέργειας (ΕΝ.Ε.ΕΠΙ.Θ.Ε.).

Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, παρουσιάζονται μεταξύ άλλων, στοιχεία των πωλήσεων ανά κατηγορία προϊόντων στην εγχώρια αγορά. Σε ό,τι έχει να κάνει με τους λέβητες, τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούν την περίοδο 1992-2022 και παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 23: Πωλήσεις λεβήτων στην εγχώρια αγορά (ICAP CRIF A.E.)

Παράγοντες του κλάδου τονίζουν ότι, η πιο δημοφιλής κατηγορία λεβήτων τα τελευταία χρόνια όσον αφορά την ισχύ, είναι οι λέβητες μεταξύ 25kW και 35kW. Συγκεκριμένα για το έτος 2022, εκτιμάται ότι από το σύνολο των 41.000 τεμαχίων, οι λέβητες αερίου κατέλαβαν το 85% των πωλήσεων (~ 34.850 τεμάχια), ενώ οι πωλήσεις λεβήτων πετρελαίου το 12% (~ 4.820 τεμάχια). Η κατηγορία λεβήτων pellet-βιομάζας-ξύλου αντιπροσώπευσε το 3% των πωλήσεων (~ 1.230 τεμάχια).

Στην ίδια μελέτη με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία της περιόδου 2016-2022 είναι προφανής η ανάπτυξη που εμφανίζεται στην αγορά των αντλιών θερμότητας.

Σχήμα 24: Πωλήσεις αντλιών θερμότητας στην εγχώρια αγορά (ICAP CRIF A.E.)

Για το έτος 2022 η εκτίμηση είναι στα 26.000 τεμάχια και αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά το 2023. Από τον παραπάνω αριθμό, σχεδόν το σύνολο αφορά αντλίες αέρος – νερού με τις οικιακές αντλίες θερμότητας νερού – νερού, βάσει εκτιμήσεων, να κυμαίνονται περίπου στο 1%.

Αναφορικά με τους ηλεκτρικούς λέβητες, δεν βρέθηκαν στοιχεία πωλήσεων. Ωστόσο, αν αναλογιστεί κανείς τη χαμηλή αξία και την ευκολία στην εγκατάσταση, ειδικά στην κατάταξη που αφορά την κοινωνική αποδοχή, εκτιμάται ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία θα ακολουθεί σε πωλήσεις τους λέβητες βιομάζας και σίγουρα θα προηγείται των αντλιών θερμότητας νερού – νερού.

Οι λέβητες αερίου μέχρι στιγμής βρίσκονται στην κορυφή των προτιμήσεων, όμως η ενεργειακή κρίση αλλά και η ανάπτυξη της αγοράς των αντλιών θερμότητας αποτελούν παραμέτρους που δείχνουν πως οι αντλίες θερμότητας θα είναι η επικρατέστερη τεχνολογία κατά τα επόμενα έτη.

Το συγκεκριμένο κριτήριο είναι ποιοτικό, επομένως δεν υπάρχουν στοιχεία, ώστε να αποδοθούν συγκεκριμένες τιμές στις εναλλακτικές. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται μία 6-βάθμια λεκτική κλίμακα, τα στοιχεία της οποίας αντιστοιχίζονται σε μία αριθμητική κλίμακα, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

- 1: Μηδαμινή αποδοχή
- 2: Πολύ μικρή αποδοχή
- 3: Μικρή αποδοχή
- 4: Μέτρια αποδοχή
- 5: Μεγάλη αποδοχή
- 6: Πολύ μεγάλη αποδοχή

Πίνακας 14: Κοινωνική Αποδοχή

Κοινωνική Αποδοχή	
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	5
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	1
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	6
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	4
Λέβητας βιομάζας Pellet	3
Ηλεκτρικός Λέβητας	1

2.15 Περιβαλλοντική Επιβάρυνση

Με τον όρο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των συστημάτων θέρμανσης, καλούνται οι συνολικές επιπτώσεις των εν λόγω συστημάτων στον πλανήτη, που συνδέονται με τα επιμέρους στάδια της κατασκευής, μεταφοράς, εγκατάστασης, χρήσης και απόσυρσης των προϊόντων. Με άλλα λόγια, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα προκύπτει τόσο από τους φυσικούς πόρους που απαιτούνται για την παραγωγή των προϊόντων και των υπηρεσιών που καταναλώνονται, όσο και από τη διάθεση των αποβλήτων που προκύπτουν από αυτήν την κατανάλωση. Η περιβαλλοντική, δηλαδή, συμπεριφορά ενός προϊόντος θέρμανσης δύναται να προσδιοριστεί με βάση τη λεγόμενη ανάλυση κύκλου ζωής (ΑΚΖ).

Ειδικότερα, η ανάλυση κύκλου ζωής (ΑΚΖ) (Life Cycle Analysis, LCA) είναι η πλέον αποδεκτή μεθοδολογία για την αποτίμηση των διάφορων περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος. Σύμφωνα με το ISO 14040-2006, η ανάλυση κύκλου ζωής συνιστά μία συστηματική και αναλυτική μέθοδο που βοηθάει στην αναγνώριση, εκτίμηση και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Ως προϊόν ορίζεται κάθε υλικό ή άυλο αγαθό ή υπηρεσία, ενώ τα στάδια μιας ανάλυσης κύκλου ζωής συνδέονται πρώτον, με τον προσδιορισμό του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της μελέτης, δεύτερον, με την ανάλυση και την καταγραφή δεδομένων

συστήματος και τρίτον, με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Ρουμπεδάκης, Κάλλης και Καρέλλας, 2021).

Με βάση τα επιστημονικά πορίσματα προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας που αναφέρεται στη συγκριτική παρουσίαση των συντελεστών CO_2 και των ρύπων (Casasso, Capodaglio et al, 2019).

Πίνακας 15: Σύγκριση ρύπων διαφόρων τεχνολογιών (Casasso, Capodaglio et al, 2019)

Τεχνολογία	CO2 (g/kWh)	CH4 (mg/kWh)	N2O (mg/kWh)	CO2 eq. (g/kWh)	SO2 (mg/kWh)
Ηλεκτρισμός	303,472	0,643	1,519	303,927	71,589
Λέβητας πετρελαίου	267,837	10,850	7,233	270,658	168,723
Λέβητας αερίου	233,582	10,669	4,268	235,605	1,812
Λέβητας Pellet	22,000	12,430	4,972	24,357	131,935
Τεχνολογία	**Nox (mg/kWh)**	**PM10 (mg/kWh)**	**CO (mg/kWh)**	**NMVOC (mg/kWh)**	
Ηλεκτρισμός	237,566	5,701	95,725	82,653	
Λέβητας πετρελαίου	154,994	3,617	51,665	10,850	
Λέβητας αερίου	237,090	0,593	118,545	10,669	
Λέβητας Pellet	298,325	70,797	248,604	55,245	

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω ρύποι που αναφέρονται στον ηλεκτρισμό, αφορούν την Ιταλική Ηλεκτροπαραγωγή του 2016. Όσον αφορά την Ελληνική επικράτεια, το ενεργειακό μείγμα προσεγγίζει κατά πολύ αυτό της Ιταλίας, (Χατζηαργυρίου, Δημέας, Πεπόνης, 2022). Το γεγονός αυτό καθιστά ασφαλή την αξιοποίηση των παραπάνω τιμών στην παρούσα εργασία. Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου, συνεπώς κρίνεται ορθό να ληφθεί ως κριτήριο περιβαλλοντικής επιβάρυνσης το CO_2 eq..

Στον ακόλουθο πίνακα εμφανίζονται οι υπολογισμοί ρύπων CO_2 των τεχνολογιών που εξετάζονται για το χρονικό διάστημα μιας σεζόν θέρμανσης. Χάριν απλότητας, τα αποτελέσματα των πράξεων έχουν στρογγυλοποιηθεί σε ακέραιους αριθμούς.

Πίνακας 16: Περιβαλλοντική Επιβάρυνση

Περιβαλλοντική Επιβάρυνση (kg CO2/Σεζόν)			
	kWh	g/kWh	kg CO2/Σεζόν
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	1622	303,927	493
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	1250	303,927	380
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	6122	235,605	1.442
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	6383	270,658	1.728
Λέβητας βιομάζας Pellet	7692	24,357	187
Ηλεκτρικός Λέβητας	6000	303,927	1.824

Τέλος, κρίνεται αναγκαίο να διευκρινιστεί πως στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας πέραν της ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν και άλλες παράμετροι ρύπανσης, για παράδειγμα οι διαρροές ψυκτικού. Στην παρούσα μελέτη, αυτές δεν αποτελούν αντικείμενο ενδιαφέροντος καθώς τείνουν να μειωθούν σημαντικά στο μέλλον, με βάση την Ευρωπαϊκή οδηγία για τα φθοριούχα αέρια.

Πίνακας 17: Συγκεντρωτικός Πίνακας Κριτηρίων

Συγκεντρωτικός Πίνακας Κριτηρίων								
	Βαθμοί Απόδοσης	**Κατανάλωση Ενέργειας**	**Κόστος Λειτουργίας**	**Κόστος Κτήσης**	**Απαιτήσεις Συντήρησης**	**Διάρκεια Ζωής**	**Κοινωνική Αποδοχή**	**Περιβαλλοντική Επιβάρυνση**
	COP	**kWh**	**€**	**€**	**€**	**Έτη**	**Ποιοτικό**	**kg CO2 eq.**
Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	3,70	1.622	370	6.636	148,80	15	5	493
Αντλία θερμότητας νερού - νερού	4,80	1.250	280	20.896	148,80	17	1	380
Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,98	6.122	704	3.035	86,80	13	6	1.442
Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,94	6.383	798	4.140	99,20	18	4	1.728
Λέβητας βιομάζας Pellet	0,78	7.692	1.077	4.940	148,80	19	3	187
Ηλεκτρικός Λέβητας	1,00	6.000	1.614	4.128	62,00	15	2	1.824

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογική Προσέγγιση

3.1 Βασικές αρχές πολυκριτηριακών μεθόδων

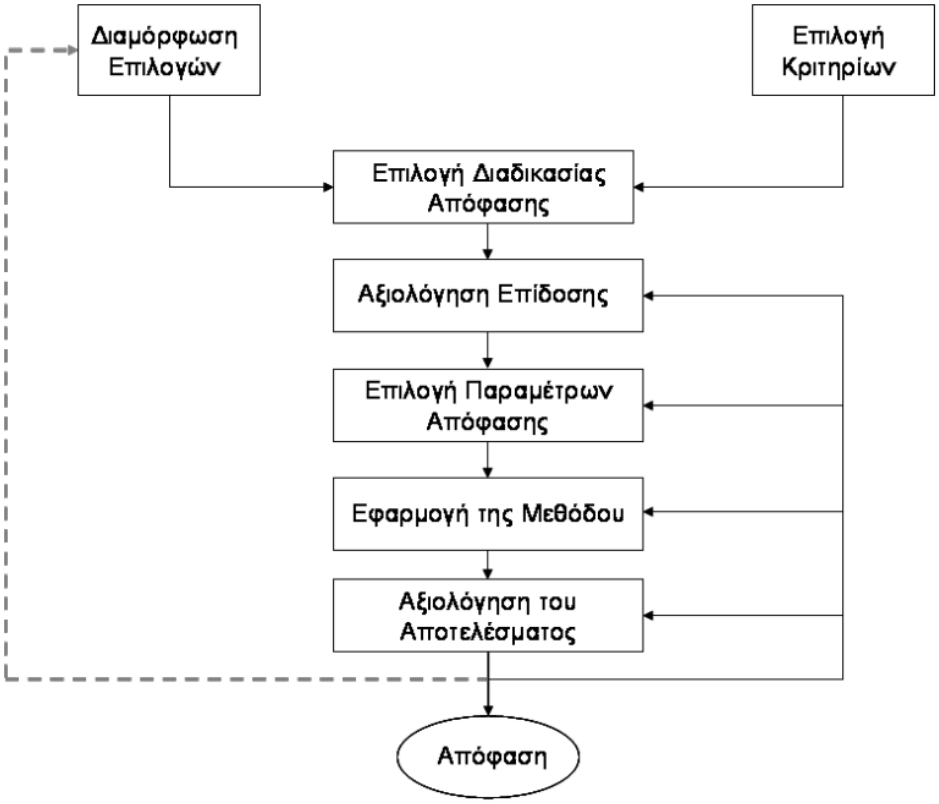
Ο αρχικός προσδιορισμός σαφών και διακριτών κριτηρίων για τη λήψη αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής είναι αυτός που οδηγεί στην αξιοποίηση των μεθοδολογικών εργαλείων που βασίζονται στα Πολυκριτηριακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΠΣΥΑ). Η υιοθέτηση της συγκεκριμένης μεθόδου έγκειται στο φιλτάρισμα των εναλλακτικών λύσεων καθώς και στον προσδιορισμό των βέλτιστων λύσεων, με απώτερο σκοπό την εξάλειψη οποιασδήποτε άλλης εφικτής κι εξίσου αξιόλογης επιλογής (Δούκας, Ψαράς, 2020). Ισχυρό προτέρημα της εν λόγω μεθοδολογίας συνιστά το γεγονός ότι οι εκτιμήσεις αποτίμησης δύνανται να συμπεριλάβουν κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά στοιχεία. Συνοπτικά, οι μέθοδοι ΠΣΥΑ αξιοποιούνται για να προσδιορίσουν τις ανταλλαγές, τα οφέλη και τις λύσεις συμβιβασμού στα σύνθετα προβλήματα πολιτικής και σχεδιασμού (Carlsson, Kochetkov, 1983).

Σε γενικά πλαίσια, τα Πολυκριτηριακά Συστήματα Ανάλυσης παρουσιάζουν μια ποικιλομορφία ως προς τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις τους, δεδομένου ότι μπορούν να βασίζονται σε πολύ απλές μεθόδους, αλλά και σε ιδιαίτερα περίπλοκες με μαθηματικές τεχνικές προγραμματισμού. Συνολικά, οι ομοιότητες των προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων συνοψίζονται ως εξής (Cohon 1978, Climaco 1997):

- Πεπερασμένοι αριθμοί εναλλακτικών λύσεων, οι οποίοι μπορούν να επεξεργαστούν, να δοθούν προτεραιότητες, να επιλεγούν, ή/ και να ταξινομηθούν.
- Αριθμοί ιδιοτήτων που εξαρτώνται από τη φύση του προβλήματος.
- Σύνολα μονάδων συγκεκριμένων για τη μέτρηση κάθε ιδιότητας.
- Δυνατότητα για το χαρακτηρισμό ανάλογης σπουδαιότητας κάθε ιδιότητας, μέσω μιας κλίμακας.
- Ένα σχήμα μητρώων, όπου οι στήλες δείχνουν τις ιδιότητες στο συγκεκριμένο πρόβλημα και οι σειρές τις ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις

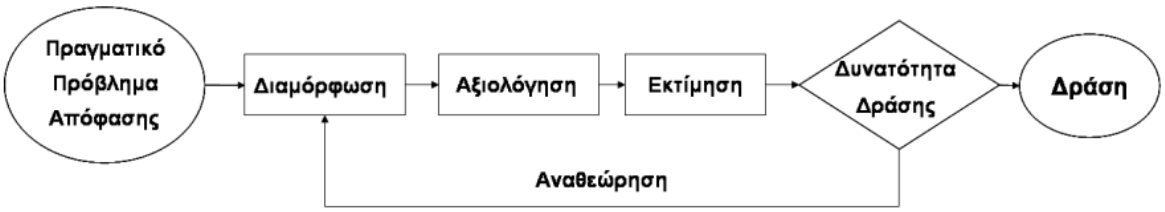
Με λίγα λόγια, ένας αποφασίζων καλείται να επιλέξει μεταξύ ποσοτικά, προσδιορίσιμων ή μη, πολλαπλών κριτηρίων. Οι στόχοι είναι συνήθως συγκρουόμενοι. Συνεπώς, η λύση εξαρτάται κατά βάση από τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα και πρέπει να είναι ένας συμβιβασμός. Στις περισσότερες περιπτώσεις, διαφορετικές ομάδες αποφασιζόντων εμπλέκονται στη διαδικασία.

Κάθε ομάδα φέρει διαφορετικά κριτήρια και απόψεις, τα οποία πρέπει να επιλυθούν μέσα σε ένα πλαίσιο κατανόησης και αμοιβαίου συμβιβασμού. Τα στάδια της διαδικασίας πολυκριτήριας υποστήριξης αποφάσεων απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 25: Στάδια Διαδικασίας Πολυκριτήριας Υποστήριξης Αποφάσεων (Climaco, 1997)

Στο σημείο αυτό, αξίζει να τονιστεί το στοιχείο της επαναληψιμότητας το οποίο διακρίνει την εν λόγω διαδικασία, όπως αναδεικνύεται από το παρακάτω σχήμα. Πρόκειται, δηλαδή, για μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία, όπου σε κάθε επανάληψη, το μοντέλο υποστήριξης αποφάσεων αναθεωρείται ως προς την καταλληλότητα και την πληρότητά του, μέχρις ότου καμία άλλη βελτίωση στο μοντέλο δεν είναι αναγκαία προτού ληφθεί μία σαφής πορεία δράσης (Huang et al, 1995).



Σχήμα 26: Επαναλαμβανόμενη διαδικασία (Huang et al, 1995)

Επιπλέον, κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί πως στο στάδιο προσδιορισμού και οργάνωσης των ΠΣΥΑ τα κριτήρια συνιστούν τα εργαλεία σύγκρισης και αξιολόγησης των εναλλακτικών. Για το λόγο αυτό, κάθε κριτήριο θα πρέπει να αποδίδει, όσο γίνεται, μια σαφή και ξεκάθαρη έννοια, ενώ το σύνολο των κριτηρίων θα πρέπει να αποτελεί μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων, δηλαδή να ικανοποιεί τις ιδιότητες της μονοτονίας, της επάρκειας και του μη πλεονασμού (Δούκας, Ψαράς).

Τέλος, γίνεται μια σύντομη αναφορά στον διαχωρισμό των τεχνικών Πολυκριτήριας Ανάλυσης. Οι παραπάνω διακρίνονται στις εξής κατηγορίες (Γρηγορούδης, Δούμπος κ.α., 2004), (Ματσατσίνης και Ζοπουνίδης, 2007):

- Θεωρία Αξίας (Multi Attribute Utility Theory – MAUT), γνωστή και ως θεωρία χρησιμότητας,
- Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής (Outranking Relations Theory).
- Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση (preference disaggregation approach).

3.2 Επιλογή πολυκριτήριας μεθόδου

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει ευρεία γκάμα μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης στην υφιστάμενη βιβλιογραφία. Ανάμεσα σε αυτές ξεχωρίζει η Θεωρία Σχέσεων Υπεροχής, που στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της μη-συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών (Roy, 1985). Οι μέθοδοι ELECTRE και PROMETHEE είναι οι δημοφιλέστερες τεχνικές σχέσεων υπεροχής, ωστόσο για τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης επιλέγεται η μέθοδος TOPSIS (the technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), η οποία βασίζεται στις αποστάσεις.

Εν συντομία, η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon (1981) σαν άλλη μία εναλλακτική μέθοδο στην κατηγορία. Ανήκει στην οικογένεια των μεθόδων αντισταθμιστικής συγκέντρωσης και περιλαμβάνει τη διαμόρφωση και κανονικοποίηση του πίνακα απόφασης (εναλλακτικές x κριτήρια), τον υπολογισμό του σταθμισμένου πίνακα απόφασης, τον προσδιορισμό της θετικής και της αρνητικής ιδεατής λύσης, για την εύρεση μιας τελικής κατάταξης.

Αξίζει να σημειωθεί πως η μέθοδος TOPSIS έχει υποστεί αρκετές επεκτάσεις σε βάθος χρόνου, με την πιο χαρακτηριστική να εντοπίζεται στην ανάπτυξη του Fuzzy TOPSIS από τον Chen (2000), με απώτερο στόχο τη διαχείριση διαφορετικών τύπων δεδομένων (Chen and Tsao, 2008), (Chen and Lee, 2010). Παρά τις επεκτάσεις του, η βασική του αρχή έγκειται στο ότι η επιλεγμένη εναλλακτική μεταξύ του αντίστοιχου συνόλου εναλλακτικών, που περιλαμβάνει το πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης, θα πρέπει να έχει τη συντομότερη απόσταση από τη θετική (ιδανική) λύση και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη απόσταση από την αρνητική (μη ιδανική). Με άλλα λόγια, η επιλεχθείσα δράση πρέπει να φέρει τη μικρότερη γεωμετρική απόσταση από την θετική ιδεατή λύση και τη μεγαλύτερη γεωμετρική απόσταση από την αρνητική.

Συνολικά, η TOPSIS χαρακτηρίζεται από μία συμπαγή λογική που αναπαριστά τη λογική της ατομικής επιλογής, ενώ ταυτόχρονα εκτιμά τόσο την ιδεατή όσο και τη μη ιδεατή λύση. Παράλληλα, αξιοποιεί μία συστηματική, ξεκάθαρη και εύκολα προγραμματιζόμενη υπολογιστική διεργασία. Μακριά από τις μεθόδους διμερών συγκρίσεων, επιτρέπει επίσης την αξιολόγηση μεγάλου αριθμού εναλλακτικών έναντι μεγάλου αριθμού κριτηρίων. Τέλος, χαρακτηρίζεται από διαθεσιμότητα πολλαπλών μεθοδολογικών επεκτάσεων στο ασαφές περιβάλλον (Δούκας, Ψαρράς, 2020).

Ειδικότερα, η μέθοδος TOPSIS διακρίνεται στα εξής έξι στάδια:

1. Σχεδίαση του πίνακα απόφασης, ο οποίος αποτελείται από εναλλακτικές και κριτήρια αξιολόγησης.

Πίνακας Απόφασης =

	C_1	C_2	…	C_n
A_1	e_{11}	e_{12}	…	e_{1n}
A_2	e_{21}	e_{22}	…	e_{2n}
…	…	…	…	…
A_m	e_{m1}	e_{m2}	…	e_{mn}

όπου A_i, i=1,2,…,m είναι οι εναλλακτικές, C_j, j=1,2,…,n, είναι τα κριτήρια και e_{ij}, είναι η επίδοση της εναλλακτικής A_i έναντι του κριτηρίου C_j.

2. Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης R, κάθε στοιχείο του οποίου μπορεί να υπολογισθεί ως εξής:

$$r_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} e_{ij}^2}}$$

όπου το r_{ij} αναπαριστά την κανονικοποιημένη επίδοση της εναλλακτικής A_i έναντι του κριτηρίου C_j.

3. Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα P,

$$p_{ij} = w_{j_{morm}} \times r_{ij}$$

όπου το p_{ij} αντιπροσωπεύει τη σταθμισμένη κανονικοποιημένη βαθμολογία αξιολόγησης κάθε εναλλακτικής σε σχέση με το κάθε κριτήριο του πίνακα R, $w_{j_{norm}} = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^{n} w_j}$, j=1,2,…,n, $\sum_{j=1}^{n} w_{j_{norm}} = 1$ και w_j, j=1,2,…,n αντιπροσωπεύει το πραγματικό διάνυσμα βάρους κάθε κριτηρίου C_j.

4. Προσδιορισμός της θετικής (P^+) και της αρνητικής (P^-) ιδεατής λύσης:

$$P^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+) = \{(\text{μέγιστο } p_{ij}, j\epsilon J) \text{ ή } (\text{ελάχιστο } p_{ij}, j\epsilon J')\}$$
$$P^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-) = \{(\text{ελάχιστο } p_{ij}, j\epsilon J) \text{ ή } (\text{μέγιστο } p_{ij}, j\epsilon J')\}$$

όπου το J αναπαριστά κριτήρια θετικής επίδρασης (οφέλους) και το J' κριτήρια αρνητικής επίδρασης (κόστους).

Αναλυτικότερα, όταν ένα πρόβλημα διαθέτει κριτήρια οφέλους (J), η μέγιστη τιμή p_{ij} αντιπροσωπεύει τη θετική ιδεατή λύση, δηλαδή η εναλλακτική που μεγιστοποιεί το όφελος για κάθε κριτήριο, και η ελάχιστη τιμή p_{ij} αντιπροσωπεύει την αρνητική ιδεατή λύση, δηλαδή την εναλλακτική που ελαχιστοποιεί το όφελος για το κάθε κριτήριο. Με αντίστοιχο τρόπο, όταν ένα πρόβλημα διαθέτει κριτήρια κόστους J', η ελάχιστη τιμή p_{ij} αντιπροσωπεύει τη θετική ιδεατή λύση, δηλαδή η εναλλακτική που ελαχιστοποιεί

το κόστος για κάθε κριτήριο, και η μέγιστη τιμή p_{ij} αντιπροσωπεύει την αρνητική ιδεατή λύση, δηλαδή την εναλλακτική που μεγιστοποιεί το κόστος για κάθε κριτήριο.

5. Υπολογισμός της γεωμετρικής απόστασης κάθε εναλλακτικής από την θετική ιδεατή λύση και την αρνητική ιδεατή λύση:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (p_{ij} - p_j^+)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (p_{ij} - p_j^-)^2}$$

6. Υπολογισμός της σχετικής εγγύτητας D_iστην θετική ιδεατή λύση για κάθε εναλλακτική A_i:

$$D_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

Η μέθοδος TOPSIS, λοιπόν, αποτελεί το κύριο μεθοδολογικό εργαλείο για την επεξεργασία δεδομένων ως προς τα προσδιορισμένα κριτήρια της υπό εξέταση μελέτης, προκειμένου να εξαχθεί μια τελική κατάταξη εναλλακτικών τεχνολογιών θέρμανσης. Ο κύριος, δηλαδή, λόγος αξιοποίησης της τεχνικής TOPSIS έγκειται στην ικανότητά της να αντιμετωπίζει ένα ευρύ φάσμα κριτηρίων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων μέσα στα πλαίσια της ποσοτικής μοντελοποίησης (Arsenopoulos, Marinakis et al., 2020).

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή μεθόδου – Αποτελέσματα

4.1 Δεδομένα

Για την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS αρχικά πρέπει να προσδιοριστούν τα δεδομένα, όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση της παρούσας μελέτης.

Οι εναλλακτικές της μελέτης παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 18: Πίνακας Εναλλακτικών

Εναλλακτικές	
A1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού
A2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού
A3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου
A4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης
A5	Λέβητας βιομάζας Pellet
A6	Ηλεκτρικός Λέβητας

Επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός των κριτηρίων, όπως αναλύθηκε παραπάνω, τα οποία ανάλογα με την επίδρασή τους διακρίνονται σε κριτήρια κόστους και κριτήρια οφέλους.

Πίνακας 19: Πίνακας κριτηρίων

Κριτήρια		
C1	Βαθμός Απόδοσης	Όφελος
C2	Κατανάλωση Ενέργειας	Κόστος
C3	Κόστος Λειτουργίας	Κόστος
C4	Κόστος Κτήσης	Κόστος
C5	Απαιτήσεις Συντήρησης	Κόστος
C6	Διάρκεια Ζωής	Όφελος
C7	Κοινωνική Αποδοχή	Όφελος
C8	Περιβαλλοντική Επιβάρυνση	Κόστος

Συνεπώς, διαμορφώνεται ο παρακάτω πίνακας απόφασης:

Πίνακας 20: Πίνακας Απόφασης

Πίνακας Απόφασης								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	3,70	1.622	370	6.636	148,80	15	2	493
A2	4,80	1.250	280	20.896	148,80	17	6	380
A3	0,98	6.122	704	3.035	86,80	13	1	1.442
A4	0,94	6.383	798	4.140	99,20	18	3	1.728
A5	0,78	7.692	1.077	4.940	148,80	19	4	187
A6	1,00	6.000	1.614	4.128	62,00	15	5	1.824

4.2 Ορισμός βαρών κριτηρίων

Για τον ορισμό των βαρών κρίθηκε σκόπιμο από τον συγγραφέα να οριστούν τρία σενάρια, ανάλογα με το εκτιμώμενο προφίλ του εκάστοτε καταναλωτή. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται μία 6-βάθμια λεκτική κλίμακα, τα στοιχεία της οποίας αντιστοιχίζονται σε μία αριθμητική τιμή, όπως αναλύονται ακολούθως.

- 1: Μηδαμινή βαρύτητα
- 2: Πολύ μικρή βαρύτητα
- 3: Μικρή βαρύτητα
- 4: Μέτρια βαρύτητα
- 5: Μεγάλη βαρύτητα
- 6: Πολύ μεγάλη βαρύτητα

Στο πρώτο σενάριο (Σενάριο Α) καταβάλλεται προσπάθεια να προσεγγιστεί η βαρύτητα των κριτηρίων που θέτει ο καταναλωτής, ο οποίος αποφασίζει με γνώμονα το κόστος.

Πίνακας 21: Βάρη – Σενάριο Α

Βάρη - Σενάριο Α			
		Ποιοτικό	Κανονικοποιημένο
C1	Βαθμοί Απόδοσης	4	0,125
C2	Κατανάλωση Ενέργειας	4	0,125
C3	Κόστος Λειτουργίας	6	0,187
C4	Κόστος Κτήσης	6	0,187
C5	Απαιτήσεις Συντήρησης	5	0,156
C6	Διάρκεια Ζωής	4	0,125
C7	Κοινωνική Αποδοχή	1	0,032
C8	Περιβαλλοντική Επιβάρυνση	2	0,063

Στο δεύτερο σενάριο (Σενάριο Β), τα βάρη τέθηκαν με σκοπό την προσέγγιση του μέσου καταναλωτή, ο οποίος αποφασίζει, δίνοντας σημασία και στα υπόλοιπα κριτήρια.

Πίνακας 22: Βάρη – Σενάριο Β

Βάρη – Σενάριο Β			
		Ποιοτικό	**Κανονικοποιημένο**
C1	Βαθμοί Απόδοσης	4	0,125
C2	Κατανάλωση Ενέργειας	5	0,156
C3	Κόστος Λειτουργίας	6	0,187
C4	Κόστος Κτήσης	5	0,156
C5	Απαιτήσεις Συντήρησης	3	0,094
C6	Διάρκεια Ζωής	4	0,125
C7	Κοινωνική Αποδοχή	2	0,063
C8	Περιβαλλοντική Επιβάρυνση	3	0,094

Τέλος, στο τρίτο σενάριο (Σενάριο Γ), κρίθηκε σκόπιμο να οριστούν τα βάρη, αποδίδοντας μεγαλύτερη έμφαση στην ενεργειακή απόδοση και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ενώ μικρότερη έμφαση στα κόστη.

Πίνακας 23: Βάρη – Σενάριο Γ

Βάρη - Σενάριο Γ			
		Ποιοτικό	**Κανονικοποιημένο**
C1	Βαθμοί Απόδοσης	6	0,171
C2	Κατανάλωση Ενέργειας	6	0,171
C3	Κόστος Λειτουργίας	3	0,086
C4	Κόστος Κτήσης	3	0,086
C5	Απαιτήσεις Συντήρησης	3	0,086
C6	Διάρκεια Ζωής	5	0,143
C7	Κοινωνική Αποδοχή	3	0,086
C8	Περιβαλλοντική Επιβάρυνση	6	0,171

4.3 Αποτελέσματα

Εφαρμόζοντας τα στάδια της μεθόδου TOPSIS, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, ελήφθησαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Πίνακας 24: Αποτελέσματα - Σενάριο Α

Αποτελέσματα - Σενάριο Α		
Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	**0,74**
Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	0,50
Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,62
Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,59
Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	0,52
Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	0,49

Πίνακας 25: Αποτελέσματα - Σενάριο Α - Φθίνουσα σειρά

Αποτελέσματα - Σενάριο Α - Φθίνουσα σειρά		
Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	**0,74**
Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,62
Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,59
Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	0,52
Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	0,50
Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	0,49

Πίνακας 26: Αποτελέσματα - Σενάριο Β

Αποτελέσματα - Σενάριο Β		
Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	**0,79**
Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	0,56
Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,57
Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,53
Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	0,49
Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	0,43

Πίνακας 27: Αποτελέσματα - Σενάριο Β - Φθίνουσα σειρά

Αποτελέσματα - Σενάριο Β - Φθίνουσα σειρά		
Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	**0,79**
Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,57
Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	0,56
Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,53
Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	0,49
Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	0,43

Πίνακας 28: Αποτελέσματα - Σενάριο Γ

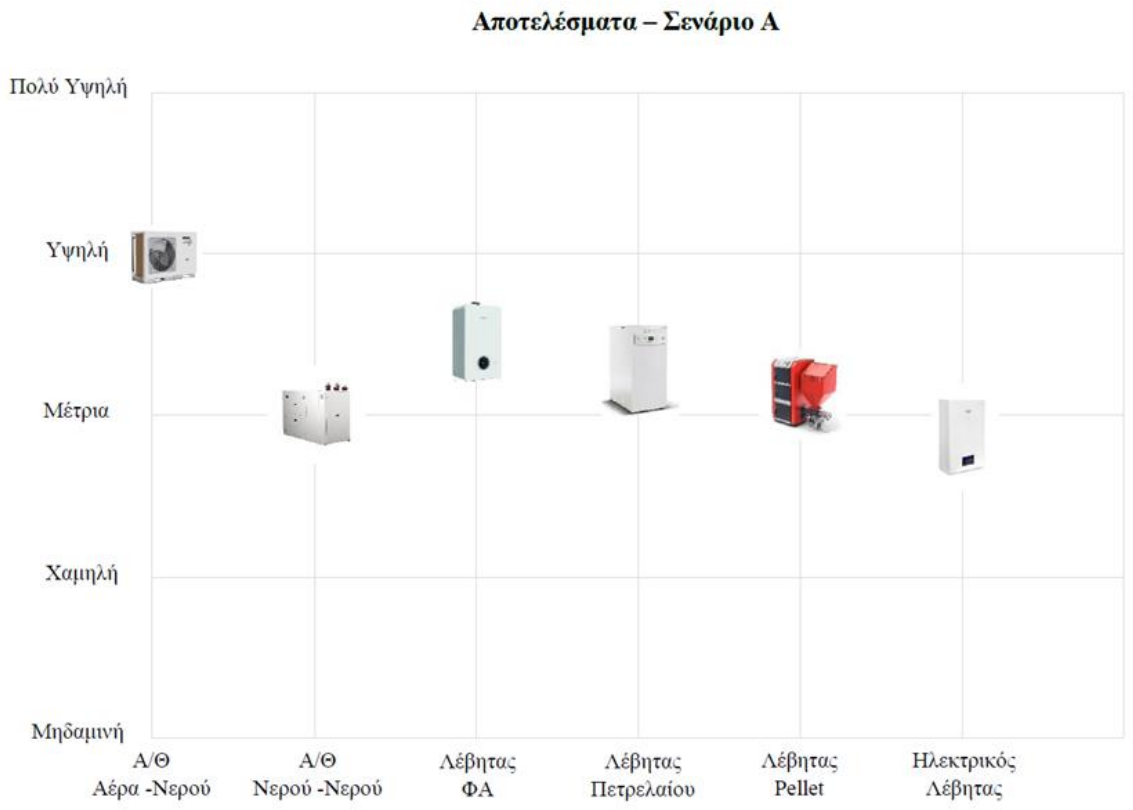
Αποτελέσματα - Σενάριο Γ		
Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	**0,76**
Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	0,67
Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,40
Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,33
Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	0,44
Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	0,30

Πίνακας 29: Αποτελέσματα - Σενάριο Γ - Φθίνουσα σειρά

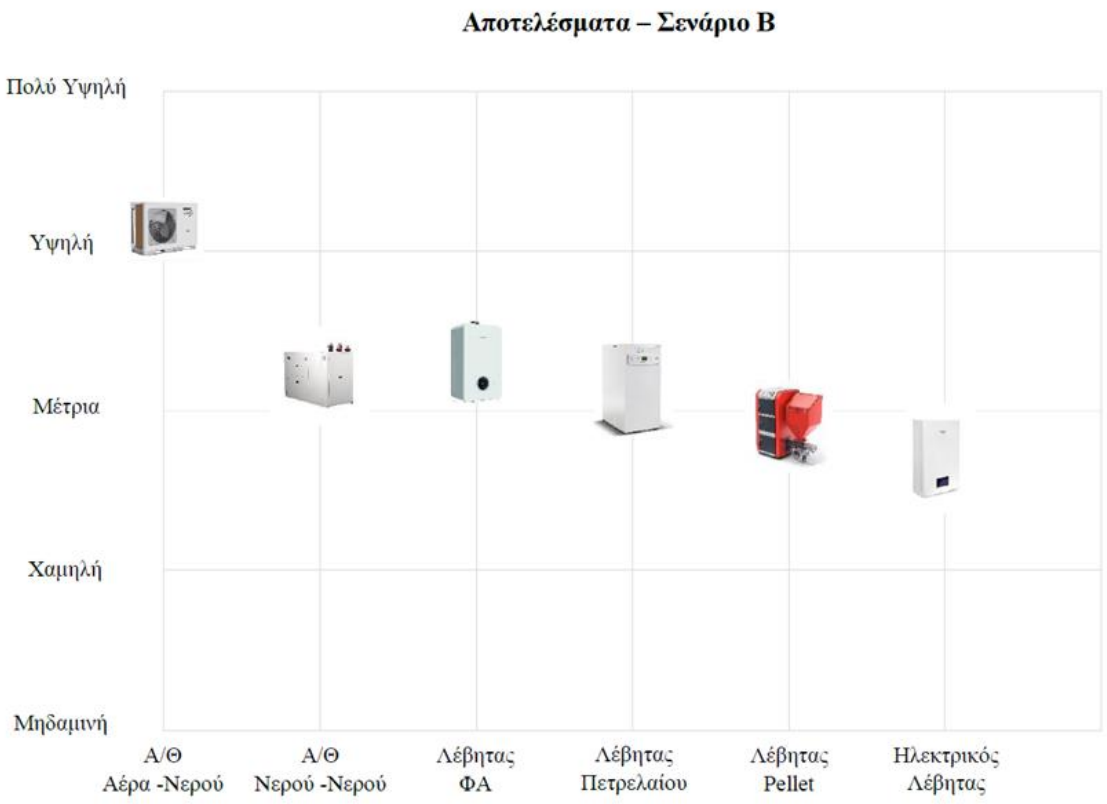
Αποτελέσματα - Σενάριο Γ - Φθίνουσα σειρά		
Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	**0,76**
Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	0,67
Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	0,44
Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	0,40
Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	0,33
Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	0,30

Πίνακας 30: Συγκεντρωτική Κατάταξη Αποτελεσμάτων

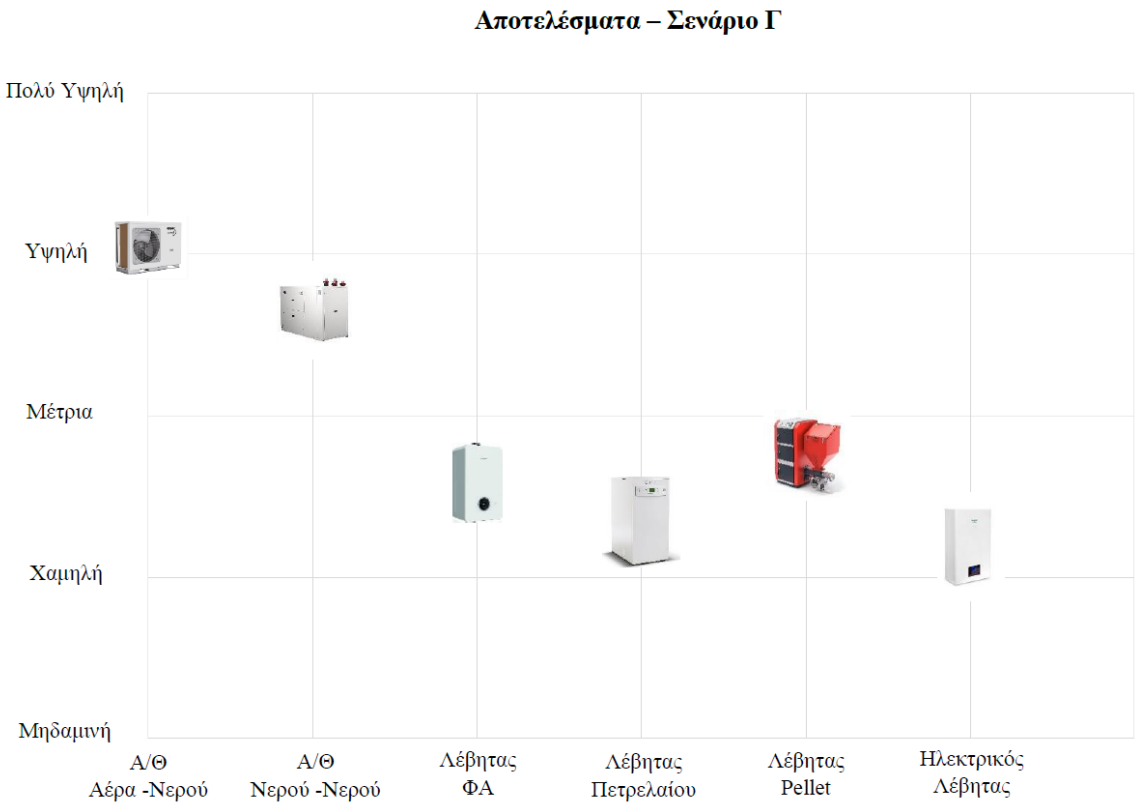
Συγκεντρωτική Κατάταξη Αποτελεσμάτων					
Σενάριο Α		**Σενάριο Β**		**Σενάριο Γ**	
Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού	Α1	Αντλία θερμότητας αέρος - νερού
Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου	Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού
Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet
Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης	Α3	Επίτοιχος Λέβητας συμπύκνωσης αερίου
Α2	Αντλία θερμότητας νερού - νερού	Α5	Λέβητας βιομάζας Pellet	Α4	Λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης
Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας	Α6	Ηλεκτρικός Λέβητας



Σχήμα 27: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων – Σενάριο Α



Σχήμα 28: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων – Σενάριο Β



Σχήμα 29: Διάγραμμα Αποτελεσμάτων – Σενάριο Γ

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Μελετώντας τα παραπάνω αποτελέσματα, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα, αναφορικά με τις εναλλακτικές τεχνολογίες θέρμανσης.

Αρχικά, διαπιστώθηκε ότι σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν κυριαρχεί η επιλογή της αντλίας θερμότητας αέρος – νερού. Το γεγονός αυτό παρουσιάζει την αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας έναντι των υπολοίπων, ανεξαρτήτως του προφίλ του εκάστοτε καταναλωτή. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα θα μπορούσε να θεωρηθεί αναμενόμενο, καθώς εκτιμώντας τα κριτήρια, η αντλία θερμότητας αέρος-νερού δεν απομακρύνεται από τις εναλλακτικές χαμηλού κόστους, ενώ ταυτόχρονα βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση στα κριτήρια οφέλους.

Αντίθετη συμπεριφορά παρουσιάζει η επιλογή του ηλεκτρικού λέβητα, μιας και λαμβάνει την τελευταία θέση και στα τρία σενάρια που μελετήθηκαν. Η χαμηλή αποδοχή έγκειται στην περιορισμένη επίδοσή του στα εξεταζόμενα κριτήρια.

Εν συνεχεία, παρατηρείται πως η επιλογή του επίτοιχου λέβητα αερίου βρίσκεται στη δεύτερη θέση των σεναρίων Α (βαρύτητα σε κόστη) & Β (μέσος καταναλωτής). Αντιθέτως, κατά την μελέτη του σεναρίου Γ (βαρύτητα σε ενεργειακή απόδοση και περιβάλλον) η επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας κατατάσσεται στην προτελευταία θέση. Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται, διότι ο λέβητας συμπύκνωσης αερίου μπορεί να αποτελεί οικονομική επιλογή από πλευράς κτήσης, εγκατάστασης και συντήρησης. Ωστόσο, ο χαμηλός βαθμός απόδοσης και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ευθύνονται για τη λιγότερο αποδεχτή επιλογή του στο σενάριο Γ.

Ο λέβητας πετρελαίου συμπύκνωσης από πλευράς αποδοχής παρουσιάζει φθίνουσα πορεία στα σενάρια Α,Β και Γ ($3^{η}$,$4^{η}$ & $5^{η}$ θέση αντίστοιχα). Αυτό αποτυπώνει πως όταν αποδίδεται μεγαλύτερη έμφαση σε ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, η συγκεκριμένη επιλογή θέρμανσης υποχωρεί.

Επιπλέον, ο λέβητας βιομάζας Pellet περιορίζεται μεταξύ $3^{ης}$ και $5^{ης}$ θέσης, με υψηλότερη αποδοχή στο σενάριο Γ. Η άκρως φιλική συμπεριφορά της τεχνολογίας αυτής ως προς το περιβάλλον, είναι ο καθοριστικός παράγοντας της παραπάνω ιεράρχησης.

Τέλος, η αντλία θερμότητας νερού-νερού λαμβάνει την $5^{η}$, $3^{η}$ & $2^{η}$ στην ανάλυση των αντίστοιχων σεναρίων Α, Β & Γ. Η συμπεριφορά στα σενάρια Α & Γ δεν είναι απρόσμενη,

διότι αφενός αποτελεί μια ακριβή λύση, αφετέρου προσφέρει ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκαλεί η κατάταξη της επιλογής της αντλίας θερμότητας αέρος νερού στην 3η θέση του σεναρίου Β, αφού το εξαιρετικά υψηλό κόστος κτήσης, είναι αποτρεπτικός παράγοντας ακόμα και για τον μέσο καταναλωτή.

Συνοψίζοντας, οι οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές εξελίξεις είναι αυτές που θέτουν το πλαίσιο επιλογής τόσο σε διεθνές όσο και εγχώριο επίπεδο. Πράγματι, η ενεργειακή κρίση, οι κυβερνητικές αποφάσεις, αλλά και τα κίνητρα που δίνονται από τις πολιτείες, διαμορφώνουν τις τάσεις της αγοράς. Η κλιματική αλλαγή και τα μέτρα αντιμετώπισής της, νομοτελειακά θα ωθήσουν την αγορά σε ενεργειακά αποδοτικότερες λύσεις που παρέχουν ταυτόχρονα χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Βιβλιογραφία

Arsenopoulos A., Marinakis V., Koasidis K., Stavrakaki A., Psarras J. (2020). *Assessing Resilience to Energy Poverty in Europe through a Multi-Criteria Analysis Framework*, Sustainability 2020, 12, 4899.

ASHRAE Standard 55 (1981), *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA.

ASHRAE (1992) Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE standards, Atlanda.

ASHRAE (1996). Thermal comfort conditions. ASHRAE standard 55:66, New York.

ASHRAE (2005). American society of heatng, refrigerating and air conditioning engineers, Atlanda.

Carlsson C, Kochetkov Y. (1983). *Theory and Practice of Multiple Criteria Decision Making*, North-Holland Publishing, New York.

Climaco J. (1997). *Multicriteria analysis*, New York: Springer-Verlag.

Cohon JL. (1978), *Multiobjective Programming and Planning*, Academic Press, New York.

EUROPEAN COMMISSION (2014). Statement by President Barroso on the 2030 Energy and Climate Framework, Press conference with Commissioners Oettinger and Hedegaard, Brussels.

Huang CL, Yoon K. (1981). *Multi attribute decision making: methods and applications*, New York: Springer-Verlag.

Huang JP, Pho KL, Ang BW. (1995). *Decision analysis in energy and environmental modelling*, Energy—The International Journal, 20(9), 843–855.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 17225-2:2021(en), *Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 2: Graded wood pellets*, Switzerland.
ISO 7730 (1994). Moderate thermal environmentsdetermination of the PMV and PPD indices and specification of the the conditions for thermal comfort. ISO, Geneva.

Roy B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Economica*, Paris.

Stark, J. (2011). *Product lifecycle management*, Springer London.

Walter Grassi (2018). *Heat Pumps Fundamentals and Applications*, Springer.

Yunus A. Cengel & Michael A. Boles (2003), *THERMODYNAMICS, An engineering Approach, 3rd edition*, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.

Yunus A. Cengel (2005), *Heat Tranfer*, A Pracical Approach, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
Αμανατίδης Α., Γραμματικόπουλος Α., Ναούμ Α., Τσιπούρας Α. Ηλεκτρικοί (2012), *Λέβητες Ιόντων*, ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Γρηγορούδης, Ε., Μ. Δούμπος, Κ. Ζοπουνίδης και Ν Ματσατσίνης (2004). *Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων: Μεθοδολογικές προσεγγίσεις και εφαρμογές*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.

Δρ. Εμμανουήλ Κακαράς, Δρ. Σωτήριος Καρέλλας, Δρ. Παναγιώτης Βουρλιώτης, Δρ. Παναγιώτης Γραμμέλης, Δρ. Πλάτων Πάλλης, Εμμανουήλ Καραμπίνης, Σωτήριος Θανόπουλος (2022), *Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες Χειμερινή Περίοδος 2022-2023 2η Έκδοση,* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων Εργαστήριο Θερμικών Διεργασιών.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (2013), *Έρευνα κατανάλωσης ενέργειας στα νοικοκυριά 2011-2012*.

Ένωση Ελληνικών Επιχειρήσεων Θέρμανσης & Ενέργειας (Μάιος 2023), *Μελέτη αγοράς - Είδη Κεντρικής Θέρμανσης*, ICAP CRIF A.E.

Ματσατσίνης Ν και Κ. Ζοπουνίδης (2007). *Συστήματα αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια*, Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Πιτσαβού Φ. (2016). *Συστήματα θέρμανσης με λέβητες συμπύκνωσης – Ενεργειακή ανάλυση σε κτίριο κατοικιών σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ρουμπεδάκης Τ., Κάλλης Γ., Καρέλλας Σ., (2021), *Περιβαλλοντικό αποτύπωμα συστημάτων ψύξης / θέρμανσης*, ΘΕΡΜΟΫΔΡΑΥΛΙΚΟΣ.

Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2017, *ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ*, ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ.

Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. (2004), *Γεωθερμία , 1η Έκδοση*, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

Aermec BHP Data Sheet. https://support.aermec.com/docs/schede/BHP-HP_Y_UN50_11.pdf

Aermec HMI Data Sheet. https://support.aermec.com/docs/schede/HMI-HP_Y_UN50_12.pdf

Aermec HMI Technical Manual. https://support.aermec.com/docs/istr/6228091_03.pdf

Bosch Home Comfort. www.bosch-homecomfort.com

Clean energy for all Europeans package completed: good for consumers, good for growth and jobs, and good for the planet, Ευρωπαϊκή Επιτροπή. https://cutt.ly/FUQdqB5

DESIGN & INSTALLATION, Variotherm https://www.variotherm.com/fileadmin/user_upload/Fachbereich/VBOOK/VBOOK4_MDKH_EN.pdf?utm_source=VBOOK4_EN&utm_medium=qr&utm_campaign=pdf_download_EN

ENplus Handbook, Part III: *"Pellet Quality Requirements"*, Version 3.0, August 2015 https://enplus-pellets.eu/en-in/component/attachments/?task=download&id=103

European Commission EU Legislation to Control F-Gases. https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/legislation_en

GAIADRILL ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ. https://www.gaiadrill.gr/%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1/%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CE%B9-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1%CF%82/

HVAC Service Life Database http://weblegacy.ashrae.org/publicdatabase/service_life.asp

IINAS. GEMIS - *Global Emissions Model for integrated Systems* http://iinas.org/gemis.html

INSTALLATION,OPERATION AND MAINTENANCE INSTRUCTIONS

Introduction to Heat Transfer. (n.d.). *Let's Talk Science*. https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/introduction-heat-transfer

RenovationWave (2020). https://cutt.ly/kUQiDB2

United Nations Environment Programme (2020), *Global status report for buildingsand construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction

Δούκας Χ. , Ψαρράς Ι. (2020),*ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ: ΕΝΟΤΗΤΑ 1* https://academics.epu.ntua.gr/sites/default/files/2020-10/%CE%A0%CE%A3%CE%A5%CE%91%20-%20%CE%A31.%20%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%201.pdf

Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία(2019). https://cutt.ly/CUQi1aa

Η/Μ ΕΡΓΑ – ΠΑΛΙΟΓΙΑΝΝΗΣ https://paliogiannis.gr/proionta/thermansi-kai-ygraerio/hlektrikoi-levites/

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2015/1189 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας 2009/125/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά τις απαιτήσεις οικολογικού σχεδιασμού για λέβητες στερεού καυσίμου 2015. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1189&from=EN

Κτίρια, Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. https://ypen.gov.gr/energeia/energeiaki-exoikonomisi/ktiria/

ΜΕΣΟΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, ΡΑΕ https://www.rae.gr/genika-nea/65474/

Παρατηρητήριο Τιμών Υγρών Καυσίμων, http://www.fuelprices.gr/deltia.view

Συνήγορος του πολίτη (χ.χ.), https://www.synigoros-solidarity.gr/470/energiaki-ftoxia

Τεχνολογία συμπύκνωσης. https://www.bosch-homecomfort.com/gr/el/residential/xrisimes-plirofories/texnologies/texnologia-simpiknosis/

ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ ΕΠΕ https://www.telethermansi.gr/el-gr/Products.aspx?ElementID=2af13912-5484-4a90-8d44-7bfc7a913ced

Τιμές και χρεώσεις, ΡΑΕ https://www.rae.gr/times-kai-xreoseis/

Φορέας πιστοποίησης Eurovent https://www.eurovent-certification.com/en/

Χατζηαργυρίου Ν., Δημέας Α., Πεπόνης Γ., (2022) *Τι δείχνουν τα στοιχεία για την εξέλιξη του ενεργειακού μίγματος κατά τον τελευταίο μήνα στην Ελλάδα*, https://energypress.gr/news/ti-deihnoyn-ta-stoiheia-gia-tin-exelixi-toy-energeiakoy-migmatos-kata-ton-teleytaio-mina-stin