

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Ανάπτυξης μεθοδολογίας βέλτιστης επιλογής τεχνολογίας κάλυψης θερμικών φορτίων κτηρίων μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης

Development of a methodology for optimum selection of thermal load technology for zero-energy buildings

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ

ΑΡΤΣΑΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ 04385

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. Κ.Α. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Π.Ε.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Ανάπτυξης μεθοδολογίας βέλτιστης επιλογής τεχνολογίας κάλυψης θερμικών φορτίων κτηρίων μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης

Development of a methodology for optimum selection of thermal load technology for zero-energy buildings

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ

ΑΡΤΣΑΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ 04385

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. Κ.Α. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή 5 Μαρτίου 2021:

(Υπογραφή)

Ονοματεπώνυμο

(Υπογραφή)

Ονοματεπώνυμο

(Υπογραφή)

Ονοματεπώνυμο

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αρτσάνος Βασίλειος του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 04385 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολογίας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εντοπίσει τη βέλτιστη λύση συστημάτων που μπορούν να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες σε κτήρια μηδενικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά των συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα σε τέτοια κτήρια και δίνεται έμφαση στα υβριδικά συστήματα θέρμανσης. Για όλα αυτά τα συστήματα παρουσιάζεται ο τρόπος διαστασιολόγησης τους και η οικονομική τους αξιολόγηση. Δίνεται ο τρόπος σχεδιασμού και οι αρχές που πρέπει να ακολουθεί ένα υβριδικό σύστημα θέρμανσης. Όλα τα παραπάνω εισάγονται σε ένα πρόγραμμα στο περιβάλλον του Excel, που έχει ως στόχο την αυτόματη εφαρμογή όσων δεδομένων παρουσιάζονται στις ενότητες της εργασίας, ώστε να εντοπιστεί η βέλτιστη λύση ενός υβριδικού συστήματος θέρμανσης για κτήρια μηδενικής ενέργειας. Έπειτα, δίνεται ένα παράδειγμα διαστασιολόγησης ενός κτηρίου, μέσω του αναφερόμενου προγράμματος, έτσι ώστε αυτό να ορίζεται ως κτήριο μηδενικής ενέργειας από την πλευρά των θερμικών φορτιών. Τέλος, με την βοήθεια του προγράμματος του Excel, γίνεται μια ανάλυση σε υβριδικά συστήματα για διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

Λέξεις Κλειδιά: Κτήρια Μηδενικής Ενέργειας, Θέρμανση κτηρίων, Υβριδικά συστήματα θέρμανσης, ΑΠΕ.

ABSTRACT

The present senior thesis aims to identify the optimal solution of systems that can cover the thermal needs of zero energy buildings. More specifically, a reference is made in systems that can individually be used in such buildings and an emphasis is placed on hybrid heating systems. The process of design and financial evaluation of all these systems is presented. The design method and the principles that a hybrid heating system must follow are also given. All of the above are introduced in a program within the Excel software, which aims to automatically apply all the data presented in this research, in order to identify the optimal solution of a hybrid heating system for zero energy buildings. Next, an example of a building design method is given, so that when applied in the aforementioned program, the building could be defined as a zero energy one, in terms of thermal loads. Finally, with the help of the Excel program, an analysis is made on hybrid systems under various operating conditions.

Key Words: Zero Energy Buildings, Heating load, Hybrid heating systems, Renewable Energy

Πίνακας Συμβολισμών		
Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδες
Q_b	Φορτίο Κτιρίου	kW
TLC	Συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου	W/K
T_{in}	Εσωτερική Θερμοκρασία	°C
T_{out}	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	°C
DDH	Βαθμομέρες Θέρμανσης	day
N_{mo}	Ημέρες του μήνα	day
T_{ref}	Θερμοκρασία αναφοράς	°C
$T_{out,mean}$	Μέση θερμοκρασία 24ώρου	°C
E_b	Ενεργειακή Κατανάλωση Κτιρίου	kWh
f_e	Συντελεστής λειτουργίας του κτιρίου	-
$\eta_{A\theta}$	Πρωτογενής βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας	%
$COP_{A\theta}$	Βαθμός απόδοσης της αντλία θερμότητας	-
η_{hp}	Πρωτογενής βαθμός απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής	%
$Q_{A\theta}$	Τελική ισχύς σχεδιασμού αντλία θερμότητας	kW
f_d	Συντελεστής Αποπάγωσης	-
$Q(T_{out})$	Αποδιδόμενη ισχύς αντλία θερμότητας σε εξωτερική T_{out}	kW
$EFL_{Hours,h}$	Ισοδύναμες ώρες ολικού φορτίου θέρμανσης	h
$Cf_{h,c}$	διορθωτικοί συντελεστές που καθορίζονται από το COP και το ERR	-
T_y	Ετήσιο χρονικό διάστημα	h
E_h	Ετήσια κατανάλωση θέρμανσης	kWh
m	Παροχή μάζας νερού σωλήνωσης	kg/s
C_p	Ειδική θερμοχωρητικότητα	kJ/kgK
T_{wi}	Θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον γεωθερμικό εναλλάκτη	°C
T_{wo}	Θερμοκρασία εξόδου του ρευστού στον γεωθερμικό εναλλάκτη	°C
V	Παροχή όγκου του ρευστού	m ³ / s
ρ	πυκνότητα του ρευστού	kg/m ³
D	διατομή αγωγού	in
u	ταχύτητα ροής	m/s
F_{oi}	Αριθμός Fourier	-
K_g	Θερμική αγωγιμότητα εδάφους	W/mK
R_g	Θερμική αντίσταση του εδάφους	mK/W
$h_{d,tot}$	Συνολικές ώρες λειτουργίας μέσα στην ημέρα	h
d_{op}	Συνολικές μέρες λειτουργίας μέσα στην εβδομάδα	days
L_h	Μήκος γεωθερμικού εναλλάκτη	m
$Q_{m,b,i}$	Η ετήσια κατανάλωση ενέργεια για διόρθωση ASHRAE	kWh
COP_{ave}	Μέσος βαθμός απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας	-
T_{p8}	Ποινή θερμοκρασίας για την διόρθωση ASHRAE	°C
T_p	Ποινή θερμοκρασίας	°C
$Q_{m,bldg}$	Μηνιαία Κατανάλωση ενέργειας	kWh
Q_h	Μέγιστο ημερήσιο φορτίο	kW
Q_m	Μέγιστο μηνιαίο φορτίο	kW
R_{conv}	Θερμική Αντίσταση νερού	mK/W

Re	Reynolds	-
Nu	Nusselt	-
Pr	Prandtl	-
ν	Κινηματικό ιξώδες	m^2/s
R_{pipe}	Θερμική Αντίσταση Σωληνών	mK/W
R_{soil}	Θερμική Αντίσταση Εδάφους	mK/W
R_{total}	Συνολική Θερμική Αντίσταση	mK/W
I_D	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία	W/m^2
I_B	Αμέση ηλιακή ακτινοβολία	W/m^2
C	Παραγόντας διάχυσης του φωτός στον ούρανο	-
A	Φαινόμενη ροή έξω από την ατμόσφαιρα της γης	W/m
K	Οπτικό Βάθος	-
m	Ανολογία μάζας αέρα	-
δ	Ηλιακή απόκλιση	$^\circ$
α	Ηλιακό ύψος	$^\circ$
ϕ	Γεωγραφικό πλάτος	$^\circ$
ω	Ωριαία γωνία απόκλισης του ηλίου	$^\circ$
γ	Αζιμούθια γωνία	$^\circ$
$L_{\text{στ}}$	Μεσημβρινός οπου αναφέρεται η τοπική ώρα	$^\circ$
L_t	Τοπικός μεσημβρινός	$^\circ$
E_t	διορθωτική εξίσωση του χρόνου	min
Hx	Ηλιακός Χρόνος	$^\circ$
TX	Τοπικός Χρόνος	
Q_{sc}	Ωφέλιμη Θερμική ισχύς συλλέκτη	W
A_c	Επιφάνεια Συλλέκτη	m^2
G_t	Ένταση ολικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη	W/m^2
F_R	Συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη	
U_L	Συνολικός Ισοδύναμος συντελεστής ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη	W/m^2 $^\circ\text{C}$
T_{in}	Θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον συλλέκτη	$^\circ\text{C}$
T_a	Θερμοκρασία περιβάλλοντος	$^\circ\text{C}$
τ	Διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη σε ηλιακή ακτινοβολία	-
α	απορροφητικότητα του απορροφητήρα του ηλιακού συλλέκτη	-
F'R/FR	Συντελεστής μετάδοσης συλλέκτη-εναλλάκτη	-
INT_i	Βαθμολογία λύσης i	%
int_v	Τιμή παραμέτρου της συγκεκριμένης λύσης i	-
INT_{Max}	Μέγιστη τιμή παραμέτρων συνολικών λύσεων	-
INT_{min}	Ελάχιστη τιμή παραμέτρων συνολικών λύσεων	-
INT_w	Ποσοστό της αναλογίας βαρών	%
I_{co}	Συνολικός κόστος αρχικού συστήματος	€
f	Ποσοστό που αντιστοιχεί σε επιμέρους κόστη εργασίας	-
M	Κόστος δυναμικότητας συστήματος	€
C_o	Κόστος κάθε εργασίας	€
T	Τόκοι	€
P	Αρχικό κεφάλαιο	€

i	Επιτόκιο	%
N	Περίοδος πληρωμών δανείου	Έτη
α	Ποσοστό ιδίων κεφαλαίων αρχικού κόστους	%
β	Ποσοστό δανείου στο αρχικό κόστος	%
γ	Ποσοστό επιδότησης αρχικού κόστους	%
j	Έτος επένδυσης	Έτη
b	Ο πρώτος χρόνος που γίνεται η επένδυση	Έτος
$N_{p,j}$	Μέσο ετήσιο κέρδος της επένδυσης	€
m_{ar}	Ελάχιστος βαθμός απόδοσης	%
F_j	Ταμειακή Χρηματοροή	€
$C_{c,boiler}$	Κόστος κατανάλωσης λέβητας πετρελαίου	€
C_{oil}	Τιμή πετρελαίου σε λίτρα	€
H_u	Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου	kJ/kg
η_{boiler}	Βαθμός απόδοσης λέβητα πετρελαίου	%
ρ_{oil}	Πυκνότητα πετρελαίου	kg/m ³

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Παρακάτω θα αναλυθεί το περιεχόμενο των 12 κεφαλαίων που περιέχονται στην εργασία.

Αρχικά, στην εισαγωγή, γίνεται ανάλυση της σημαντικότητας των συστημάτων θέρμανσης και γενικώς της μείωσης ενέργειας στα κτήρια, έχοντας ως τεκμήριο την στρατηγική της ΕΕ, την οποία και θα ακολουθήσει έως το 2050 για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στην επικράτεια της.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια σύντομη παρουσίαση του προσδιορισμού του θερμικού φορτίου στα κτήρια.

Το κεφάλαιο 3 αναφέρεται στις Αντλίες Θερμότητας, με έμφαση στις Αντλίες Θερμότητας Αέρα-Νερού. Αρχικά γίνεται η επεξήγηση της λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας διαφόρων πηγών (αέρα και νερού) και γίνεται ο προσδιορισμός της απόδοσης μιας Αντλίας Θερμότητας. Επίσης, γίνεται μια αναφορά στις διάφορες κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας. Στο τέλος γίνεται επεξήγηση του σχεδιασμού μιας αντλίας θερμότητας, ώστε να ανταπεξέρχεται στις συνθήκες του κτηρίου που πρέπει να τοποθετηθεί.

Στο 4ο Κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των συστημάτων γεωθερμίας, κυρίως όσον αφορά τον γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Αναλύονται δύο κατηγορίες γεωεναλλακτών, ο κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης και ο οριζόντιος γεωθερμικός εναλλάκτης. Η ανάλυση αφορά την τοπολογία και τα χαρακτηριστικά αυτών των εναλλακτών, την λειτουργία, τις αρχές και τους περιορισμούς της κατασκευής τους και, τέλος, την διαδικασία διαστασιολόγησης του κάθε τύπου εναλλάκτη.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται ανάλυση της κίνησης του ήλιου και των γωνιών που προσδιορίζουν την θέση του. Στην συνέχεια, δίνεται έμφαση στην ανάλυση των τύπων των ηλιακών συλλεκτών και των μονάδων αποθήκευσης. Τέλος παρουσιάζεται η μέθοδος των καμπυλών f h , η οποία είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό ενός συστήματος με ηλιακούς συλλέκτες.

Το Κεφάλαιο 6 αφορά την βιομάζα. Αρχικά προσδιορίζονται οι πηγές και η παραγωγή των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση κτηρίων και δίνεται ο τρόπος διαστασιολόγησης ενός λέβητα βιομάζας.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται αναφορά στην σημαντικότητα των υβριδικών συστημάτων και στις αρχές που διέπουν τον σχεδιασμό αυτών. Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια ενδιαφέρουσα διάταξη υβριδικού συστήματος με αντλία θερμότητας υποβοηθούμενη από τον ηλιακό συλλέκτη και, τέλος, γίνεται αναφορά στην βελτιστοποίηση τέτοιων συστημάτων.

Στο κεφάλαιο 8 γίνεται ανάλυση της οικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων. Δίνεται έμφαση σε οικονομικούς δείκτες, στην ανάλυση ευαισθησίας και στην προσομοίωση Monte Carlo.

Στο κεφάλαιο 9 γίνεται η επεξήγηση του προγράμματος του Excel και τι χρειάζεται να κάνει ένας χρήστης για να το χρησιμοποιήσει.

Στο κεφάλαιο 10, γίνεται η ανάλυση μελέτης μιας περίπτωσης κτηρίου, μέσω του προγράμματος του Excel.

Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο 11, με την βοήθεια του προγράμματος γίνεται η ανάλυση της συμπεριφοράς των υβριδικών συστημάτων για διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται μια αναφορά σε όλα τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το πρόγραμμα και γενικά για τα υβριδικά συστήματα.

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
2	ΦΟΡΤΙΟ	Error! Bookmark not defined.
2.1	Γενικά	25
2.2	Βαθμομέρες Θέρμανσης.....	26
3	ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	28
3.1	Γενικά	28
3.2	Βασικά τμήματα Αντλίες Θερμότητας.....	28
3.3	Βαθμός απόδοσης της Αντλίας Θερμότητας.....	29
3.4	Διάκριση Αντλιών Θερμότητας.....	31
3.5	Διάκριση συστημάτων αντλιών θερμότητας	32
3.5.1	Μονοσθενή Συστήματα	32
3.5.2	Δισθενή Συστήματα	32
3.6	Αντλία θερμότητας με πηγή θερμότητας τον αέρα.....	32
3.6.1	Αέρας	32
3.6.2	Αρχή Λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας Αέρα-Αέρα	33
3.6.3	Αντλία θερμότητας Αέρα – Νερού	34
3.7	Αντλία Θερμότητας με πηγή θερμότητας το νερό.....	35
3.7.1	Νερό.....	35
3.7.2	Αντλίες Θερμότητας νερού – νερού	36
3.7.3	Αντλίες Θερμότητας νερού – αέρα	36
3.7.4	Πρόσθετος εξοπλισμός εγκατάστασης άντλησης- απόρριψης	37
3.8	Διαστασιολόγηση Αντλίας θερμότητας	37
4	ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	42
4.1	Γενικά	42
4.2	Κανονική η αβαθής γεωθερμία	42
4.3	Νομοθεσία	44
4.4	Κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα	45
4.5	Προδιαγραφές εγκαταστάσεων γεωεναλλακτών	45
4.6	Τύποι Γεωεναλλακτών	46
4.6.1	Κατακόρυφος Γεωεναλλάκτης	46
4.6.2	Οριζόντια Γεωθερμικά Συστήματα.....	46

4.6.3	Υλικά Κατασκευής.....	48
4.7	Μέθοδος ASHRAE	49
4.7.1	Εισαγωγή	49
4.7.2	Επεξήγηση πρωτότυπης μεθόδου	50
4.7.3	Ακρίβεια ASHRAE	58
4.8	3.8 Διαστασιολόγηση Οριζόντιου Εναλλάκτη.....	62
5	ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	65
5.1	Ηλιακή Ενέργεια	65
5.1.1	Γενικά.....	65
5.1.2	Ηλιακή Ακτινοβολία	65
5.1.3	Ηλιακή Απόκλιση	66
5.1.4	Ηλιακό ύψος.....	67
5.1.5	Ηλιακή Αζιμούθια Γωνία.....	68
5.1.6	Ωριαία ηλιακή γωνία	Error! Bookmark not defined.
5.2	Τύποι ηλιακών συστημάτων	70
5.2.1	Παθητικά συστήματα.....	71
5.2.2	Ενεργητικά συστήματα	71
5.3	Τεχνολογία ηλιακών συλλεκτών	72
5.3.1	Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες	72
5.3.2	Συλλέκτες κενού	75
5.3.3	Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες	75
5.4	Προσανατολισμός και Κλίση Ηλιακών Συλλεκτών	76
5.5	Σύνδεση συλλεκτών	76
5.6	Ηλιακά συστήματα για θέρμανση χώρων	77
5.7	Μονάδες Αποθήκευσης	78
5.8	Μέθοδος Καμπυλών f	79
5.8.1	Εύρεση Χ.....	79
5.8.2	Εύρεση του Υ	80
6	ΒΙΟΜΑΖΑ	83
6.1	Ορισμός.....	83
6.2	Πηγές Βιομάζας	83
6.3	Τελικά προϊόντα	84
6.4	Λέβητες Βιομάζας.....	84

6.5	Βιομάζα σε Ελλάδα και Ευρώπη.....	85
6.6	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα.....	85
6.7	Σχεδιασμός συστήματος Βιομάζας.....	86
7	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	87
7.1	Γενικά.....	87
7.2	Βήματα Σχεδιασμού.....	87
7.3	Υδραυλικό Δίκτυο.....	88
7.4	Ηλιακή Αντλία Θερμότητας.....	90
7.5	Πολυκριτηριακή Μέθοδος.....	93
8	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	96
8.1	Γενικά.....	96
8.2	Ανάλυση υπολογισμού του Κόστους.....	96
8.3	Διαμερισμός του κόστους.....	Error! Bookmark not defined.
8.4	Οικονομικοί δείκτες αξιολόγησης.....	100
8.5	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	102
8.6	Προσομοίωση MonteCarlo.....	104
9	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ.....	109
9.1	Γενικά.....	109
9.2	Εισαγωγή Δεδομένων.....	110
9.3	Βελτιστοποίηση.....	118
9.4	Αντλία Θερμότητας Αέρα _ Νερού – Βιομάζα.....	122
9.4.1	Γεωθερμία - Βιομάζα.....	125
9.4.2	Βιομάζα – Ηλιακός Συλλέκτης.....	127
9.4.3	Αντλία Θερμότητας – Ηλιακός Συλλέκτης.....	129
9.5	Προσομοίωση Monte Carlo.....	132
9.6	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	133
9.7	Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση.....	135
9.8	Dashboard.....	135
9.9	Dashboard Ανάλυσης Ευαισθησίας.....	137
9.10	«Γκρι» Ομάδα.....	138
9.11	Αντλία Θερμότητας A-N.....	139
9.12	Κατ.Γεωθερμία.....	141

9.13	Οριζόντια Γεωθερμία.....	141
9.14	«Πορτοκαλί» ομάδα.....	143
10	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	145
10.1	Γενικά.....	145
10.2	Case Study.....	Error! Bookmark not defined.
10.3	Αποτελέσματα.....	159
10.3.1	Αντλία Θερμότητας - Βιομάζα.....	159
11	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	168
11.1	Πόλη Κτηρίου.....	168
11.2	Συμπεριφορά των συστημάτων με βάση το φορτίο.....	171
11.3	Οικονομική Συμπεριφορά συστήματος σε ώρες λειτουργίας.....	176
11.4	Είδος Κτηρίου.....	178
12	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	180
13	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	182

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1-0-1 ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ 2015-2030 (3)	21
ΕΙΚΟΝΑ 1-0-2 ΜΕΡΙΔΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ(%) 2015-2050 (3)	21
ΕΙΚΟΝΑ 1-0-3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ 2030-2050 (3)	23
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-1 ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ- ΑΕΡΑ (ΨΥΞΗ) (8)	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-2 ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ-ΑΕΡΑ (ΘΕΡΜΑΝΣΗ) (8)	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-3 ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ- ΝΕΡΟΥ (8)	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.7-1 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ- ΑΕΡΑ (ΨΥΞΗ) (8)	36
ΕΙΚΟΝΑ 3.7-2 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ-ΑΕΡΑ (8)	37
ΕΙΚΟΝΑ 3.8-1 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (8)	38
ΕΙΚΟΝΑ 3.8-2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (10)	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.2-1 ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (51)	43
ΕΙΚΟΝΑ 4.6-1 ΤΥΠΟΙ ΓΕΩΘΕΡΜΟΦΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ (14)	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.6-2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ (14)	47
ΕΙΚΟΝΑ 4.6-3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (14)	47
ΕΙΚΟΝΑ 4.6-4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΑΠΛΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ (14)	47
ΕΙΚΟΝΑ 4.6-5 ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗ (14)	48
ΕΙΚΟΝΑ 5.1-1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ Δ (23)	67
ΕΙΚΟΝΑ 5.1-2 ΗΛΙΑΚΟ ΥΨΟΣ Α (23)	67
ΕΙΚΟΝΑ 5.1-3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑ ΓΩΝΙΑ (23)	69
ΕΙΚΟΝΑ 5.1-4 ΩΡΙΑΙΑ ΓΩΝΙΑ Ω (23)	70
ΕΙΚΟΝΑ 5.3-1 ΤΟΜΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ (27)	73
ΕΙΚΟΝΑ 5.3-2 ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΚΕΝΟΥ (52)	75
ΕΙΚΟΝΑ 7.3-1 ΔΙΑΤΑΞΗ (1) ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	89
ΕΙΚΟΝΑ 7.3-2 ΔΙΑΤΑΞΗ (2) ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	89
ΕΙΚΟΝΑ 7.3-3 ΔΙΑΤΑΞΗ (3) ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	90
ΕΙΚΟΝΑ 7.4-1 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗ(ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΓΡΟ) (36)	92
ΕΙΚΟΝΑ 7.4-2 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΗΛΙΑΚΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗ (ΜΕΣΟ ΑΕΡΑ) (37)	93
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-1 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	105
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-2 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	106
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-3 ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	106
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-4 ΜΠΛΕ ΟΜΑΔΑ	109
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-5 ΓΚΡΙ ΟΜΑΔΑ	109
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-6 ΠΡΑΣΙΝΗ ΟΜΑΔΑ	109
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-7 ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΟΜΑΔΑ	109
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-8 ΚΟΥΜΠΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	110
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-9 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ	111
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-10 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	112
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-11 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	113
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-12 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	114
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-13 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	115
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-14 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	116
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-15 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 1	117
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-16 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	117
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-17 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΩΡΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΒΑΣΗ ΧΡΗΣΤΩΝ	118
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-18 ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	119
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-19 ΠΡΟΦΙΛ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ	120
ΕΙΚΟΝΑ 8.6-20 ΠΡΟΦΙΛ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ	120

EIKONA 8.6-21 ΠΡΟΦΙΛ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ	121
EIKONA 8.6-22 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ.....	123
EIKONA 8.6-23 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 1	124
EIKONA 8.6-24 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 2	124
EIKONA 8.6-25 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΑΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ 2	124
EIKONA 8.6-26 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤ.ΓΕΩΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ	125
EIKONA 8.6-27 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 1 (ΚΑΤ.ΓΕΩΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ).....	126
EIKONA 8.6-28 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 2 (ΟΡΙΖ.ΓΕΩΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ)	127
EIKONA 8.6-29 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	127
EIKONA 8.6-30 ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ	128
EIKONA 8.6-31 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 2(ΒΙΟΜΑΖΑ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)	129
EIKONA 8.6-32 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 1 (ΒΙΟΜΑΖΑ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)	129
EIKONA 8.6-33 ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ(ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)	130
EIKONA 8.6-34 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 2 (ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)	131
EIKONA 8.6-35 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 1 (ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)	131
EIKONA 8.6-36 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ 3 (ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)	132
EIKONA 8.6-37 ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΑΘ-ΒΙΟΜΑΖΑΣ	134
EIKONA 8.6-38 ΠΟΣΟΣΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ.....	135
EIKONA 8.6-39 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	136
EIKONA 8.6-40 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	136
EIKONA 8.6-41 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕ CARLO.....	137
EIKONA 8.6-42 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	137
EIKONA 8.6-43 ΑΡΑΧΝΟΕΙΔΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	138
EIKONA 8.6-44 ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	138
EIKONA 8.6-45 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	139
EIKONA 8.6-46 ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΑΜΕΙΑΚΩΝ ΡΟΩΝ	139
EIKONA 8.6-47 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΘ	140
EIKONA 8.6-48 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΘ	140
EIKONA 8.6-49 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΜΟΝΟΣΘΕΝΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	141
EIKONA 8.6-50 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΜΟΝΟΣΘΕΝΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	142
EIKONA 8.6-51 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	142
EIKONA 8.6-52 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ F ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΕΣ.....	143
EIKONA 8.6-53 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΕΒΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	143
EIKONA 8.6-54 ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	149
EIKONA 8.6-55 ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΣΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗ.....	149
EIKONA 8.6-56 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗ	150
EIKONA 8.6-57 ΜΕΤΑΒΟΛΗ IRR ΑΝΑ ΠΟΛΗ.....	170
EIKONA 8.6-58 NPV ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ	171
EIKONA 8.6-59 ΜΕΤΑΒΟΛΗ NPV ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	172
EIKONA 8.6-60 NPV ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΜΕ ΚΑΤ.ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ	173
EIKONA 8.6-61 ΜΕΤΑΒΟΛΗ NPV ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΟΡΙΖ.ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ.....	174
EIKONA 8.6-62 ΜΕΤΑΒΟΛΗ PVR ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΑΤ.ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ	175
EIKONA 8.6-63 ΜΕΤΑΒΟΛΗ PVR ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	176
EIKONA 8.6-64 ΜΕΤΑΒΟΛΗ NPV ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΩΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	177
EIKONA 8.6-65 ΜΕΤΑΒΟΛΗ NPV ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΟΡΙΖ.ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	177
EIKONA 8.6-66 ΜΕΤΑΒΟΛΗ NPV ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΑΣΗ ΧΡΗΣΤΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΥΣΤΗΜΑ	178
EIKONA 8.6-67 ΜΕΤΑΒΟΛΗ NPV ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	179

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1 ΠΛΗΘΟΣ ΝΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΜΕΝΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΙΔΟΣΗ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ (3)	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΠΑΓΩΣΗΣ.....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ COP	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΩΛΗΝΩΝ	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6 ΤΙΜΗ ΠΟΙΝΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΡ	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΡ8(ΟΡΘΟΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗ)	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΡ8 (ΜΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΑΞΗ).....	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ (30).....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (Τ'Α/(ΤΑ)Ν).....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-1 ΆΜΕΣΑ ΚΟΣΤΗ	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-2 ΈΜΜΕΣΑ ΚΟΣΤΗ	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-3 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΡΟΙ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	146
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	147
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-4 ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	148
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-5 ΚΟΣΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	150
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-6 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	151
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-7 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	152
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-8 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	152
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-9 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΟΝΤΕ CARLO.....	153
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-10 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ	153
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-11 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ	154
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-12 ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	155
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-13 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	155
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-14 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΟΣΤΗ.....	156
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-15 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΚΟΣΤΗ 2.....	157
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-16 ΏΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ.....	158
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-17 ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ ΚΑΘΕ ΛΥΣΗΣ.....	159
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-18 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- ΒΙΟΜΑΖΑΣ	160
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-19 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ - ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	162
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-20 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΟΡΙΖ.ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ-ΒΙΟΜΑΖΑ	164
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-21 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ- ΒΙΟΜΑΖΑ	165
ΠΙΝΑΚΑΣ 10-22 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ- ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	167
ΠΙΝΑΚΑΣ 11-1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΝΑ ΠΟΛΗ.....	168
ΠΙΝΑΚΑΣ 11-2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ ΑΝΑ ΠΟΛΗ	169

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περίοδος που διανύει ο σύγχρονος άνθρωπος αντιπροσωπεύεται από μια ραγδαία ανάπτυξη σε διάφορους τομείς. Η ανάπτυξη αυτή προϋποθέτει την άμεση και ανάλογη προσαρμογή του κάθε κλάδου, για να μπορεί να ανταπεξέλθει σε όλες τις επερχόμενες εξελίξεις. Ο τομέας της ενέργειας, που είναι ο τομέας ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας, ίσως είναι ένας από τους ταχύτερα εξελισσόμενους, διότι πραγματεύεται την μετάβαση από τον άνθρακα στις ήπιες μορφές ενέργειας.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας αρχίζουν να εισέρχονται σε όλους τους τομείς όπου συμμετέχει η ενέργεια και αντικαθιστούν τα ορυκτά καύσιμα. Δεν είναι λίγες οι πόλεις που έχουν ηλεκτρικά αστικά λεωφορεία ή διαθέτουν σταθμούς φόρτωσης αυτοκινήτων. Επίσης, σε πολλές βουνοκορυφές και πεδιάδες συναντώνται Φ/Β και ανεμογεννήτριες. Η αντικατάσταση αυτή οφείλεται στα σχέδια που έχει κάνει η ΕΕ για την ενεργειακή πολιτική που πρέπει να ακολουθούν τα κράτη μέλη της.

Η ενεργειακή πολιτική βασίζεται στην μείωση των εκπομπών ρύπων προς την ατμόσφαιρα. Τα ορυκτά καύσιμα εκλύουν στην ατμόσφαιρα ρύπους, οι οποίοι την επιβαρύνουν και επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στην γη, κάτι που δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα. Στόχος της ΕΕ είναι η επιβράδυνση του ρυθμού της αύξησης της θερμοκρασίας της γης.

Η μείωση αυτή θα επιτευχθεί με την αντικατάσταση των συστημάτων που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με πράσινες τεχνολογίες. Για αυτό τον λόγο έχουν αρχίσει να παράγονται σε μεγάλη κλίμακα τέτοιες τεχνολογίες, από την αυτοκίνηση μέχρι την γεωργία.

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς που δέχεται με ιλιγγιώδη ταχύτητα την μεταστροφή αυτή είναι ο κτηριακός τομέας. Η σημαντικότητα αυτού είναι ιδιαίτερα μεγάλη όσον αφορά το ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Zanetti (1), το 40% της κατανάλωσης της πρωτογενούς ενέργειας ανήκει στο κτιριακό τομέα. Έτσι συμπεραίνεται η σημαντικότητα που έχει η μείωση της κατανάλωσης στα κτήρια.

Τάση στον κτηριακό τομέα αποτελούν τα κτήρια μηδενικής ενέργειας (Nzeb). Κτήρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας ορίζονται τα κτήρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλών ενεργειακών αναγκών. Στα κτήρια αυτά, οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται από ΑΠΕ, άρα οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι, επίσης, σχεδόν μηδενικές.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες κτηρίων μηδενικής ενέργειας, οι οποίες αναλύονται παρακάτω (2)

- a. Μηδενικής τελικής ενέργειας (Net Zero Energy): Τα συγκεκριμένα κτήρια παράγουν επιτόπου ετησίως όση ενέργεια καταναλώνουν.

- b. Μηδενικής Πρωτογενής Ενέργειας (Net Zero Energy Source Energy): Στα συγκεκριμένα κτήρια η παραγωγή και η κατανάλωση εξετάζονται από την μορφή της πρωτογενής ενέργειας που χρησιμοποιούν.
- c. Κτήρια καθαρής ενέργειας με μηδενικές εκπομπές (Net Zero Energy Emissions): Στα κτήρια αυτά, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται στο περιβάλλον για την λειτουργία του κτιρίου εξισορροπούνται από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εξαιτίας της παραγόμενης πράσινης ενέργειας από το κτήριο.

Η κατανάλωση σε ένα κτήριο εξαρτάται από διάφορες λειτουργίες που πρέπει να επιτελεί το κτήριο. Στις βασικότερες αυτές λειτουργίες συγκαταλέγεται ο φωτισμός, οι ανάγκες για ηλεκτρισμό και οι θερμικές ανάγκες του κτηρίου. Σε ποσοστά της συνολικής κατανάλωσης θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο φωτισμός και η ηλεκτρική κατανάλωση αποτελούν το 11%, η χρήση ζεστού νερού το 10%, η θέρμανση το 61% ενώ η ψύξη αποτελεί το 18%.

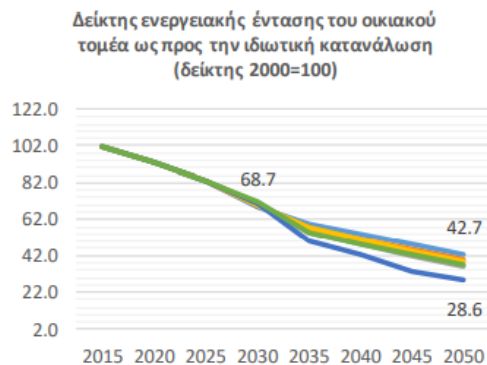
Με τα παραπάνω δεδομένα θα απορούσε κανείς γιατί δίνεται τόση βάση στην επέκταση των συστημάτων για την κάλυψη ηλεκτρικής και όχι θερμικής ενέργειας. Το ερώτημα αυτό μπορεί να απαντηθεί εάν παρατηρηθεί το πως λειτουργούν τα συστήματα θερμικής ενέργειας που χαρακτηρίζονται ως ΑΠΕ. Ο κύριος λόγος είναι ότι τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ως «καύσιμο» ηλεκτρική ενέργεια, οπότε θα ήταν παράδοξο να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Επομένως η ενεργειακή πολιτική της ΕΕ είναι ο εξηλεκτρισμός του κτιριακού τομέα.

Στόχος της ΕΕ (3) είναι να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ κατά 40% σε σχέση με το 1990 έως το 2030 και 95% έως το 2050, καθώς και ένα 32.5% της βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης σε σχέση με το σενάριο του 2030. Για να πραγματοποιηθεί ο παραπάνω στόχος πρέπει σε όλα τα στάδια χρήσης, από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση, να χρησιμοποιούνται ΑΠΕ. Επομένως, οι βασικές προτεραιότητες της πολιτικής της ΕΕ είναι:

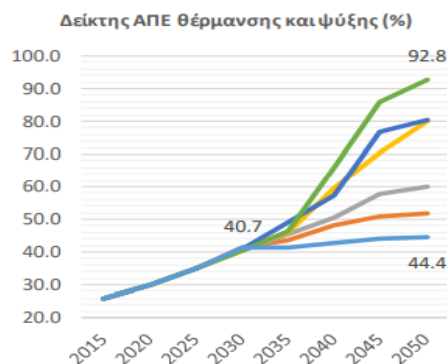
- a. Ενεργειακή αναβάθμιση σε όλους τομείς, ρίχνοντας ιδιαίτερο βάρος στον κτιριακό τομέα.
- b. Πλήρης κάλυψη της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ
- c. Εξηλεκτρισμός των μεταφορών αλλά και της θερμότητας
- d. Ανάπτυξη «πράσινων» καυσίμων
- e. Επέκταση των διασυνδέσεων αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες της περιοχές.

Η παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί στο a και το c ως προς την θερμότητα. Τα κτήρια, όπως αναφέρθηκε, αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, οπότε μηδενίζοντας της εκπομπές σε αυτό το τομέα, θα λυνόταν ένα σημαντικό μέρος του προβλήματος. Επομένως ο στόχος της ΕΕ αποτελεί η επίτευξη αυτού του στόχου. Αυτό θα το καταφέρει μόνο εάν εφαρμόσει αυστηρές προδιαγραφές για τα κτήρια και εάν επικεντρωθεί στην ενεργειακή αναβάθμιση τους, η οποία θα στοχεύει τόσο στην εγκατάσταση ΑΠΕ, όσο και στην μείωση των ενεργειακών αναγκών.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή της ενεργειακής έντασης στον κτιριακό τομέα για τα διάφορα σενάρια της ΕΕ. Η βελτίωση της ενεργειακής έντασης έως το 2030 φτάνει το 30% ενώ από το 2030-2050 φθάνει επιπλέον άλλο ένα 40% (3).



Εικόνα 1-1 Δείκτης ενεργειακής έντασης του οικιακού τομέα ως προς την ιδιωτική κατανάλωση (3)



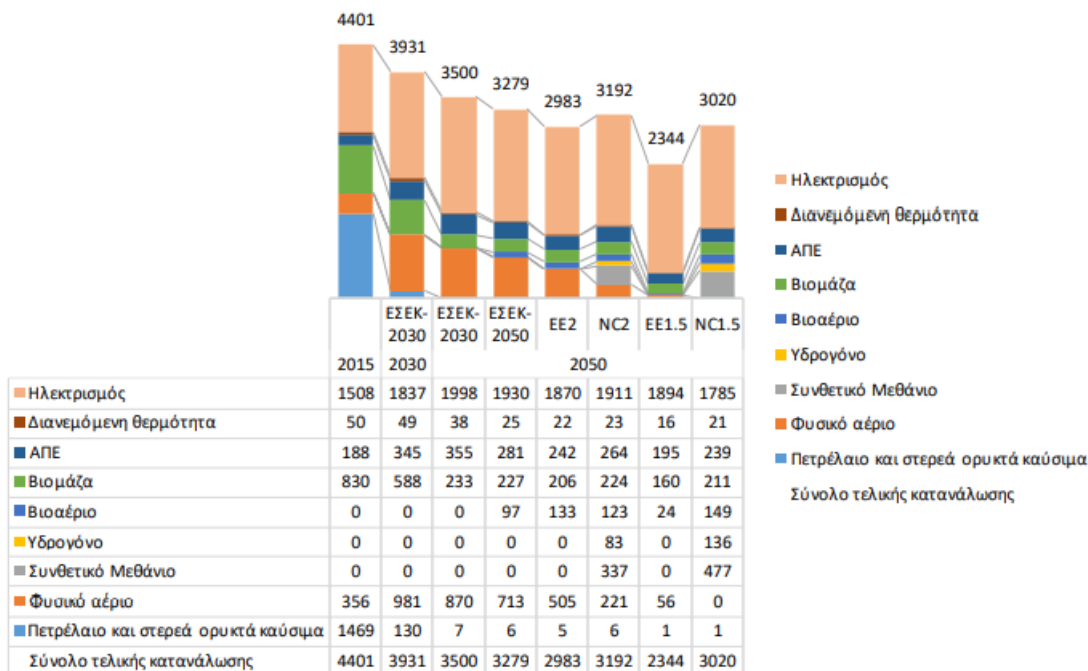
Εικόνα 1-2 Δείκτης ΑΠΕ Θέρμανσης και Ψύξης (3)

Πίνακας 1-1 Πλήθος νέων και ανακαινισμένων κτηρίων και ενεργειακή επίδοση του κελύφους (3)

	2031-2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	EE2	NC2	EE1.5	NC1.5
Κατοικίες						
Πλήθος παλαιών κτιριων που αναβαθμίζονται ενεργειακά εντός της αντιστοιχής περιόδου (χιλιάδες κτίρια)	728	856	915	874	1135	955
Πλήθος παλαιών κτιρίων χωρίς ενεργειακή αναβάθμιση(χιλιάδες κτίρια) που παραμένουν στο τέλος της αντίστοιχης περιόδου	1904	1775	1716	1757	1496	1676
Κτίρια τομέα Υπηρεσιών						
Πλήθος παλαιών κτιριων που αναβαθμίζονται ενεργειακά εντός της αντιστοιχής περιόδου (χιλιάδες κτίρια)	50	62	67	64	73	68
Πλήθος παλαιών κτιρίων χωρίς ενεργειακή αναβάθμιση(χιλιάδες κτίρια) που παραμένουν στο τέλος της αντίστοιχης περιόδου	96	84	79	83	73	78

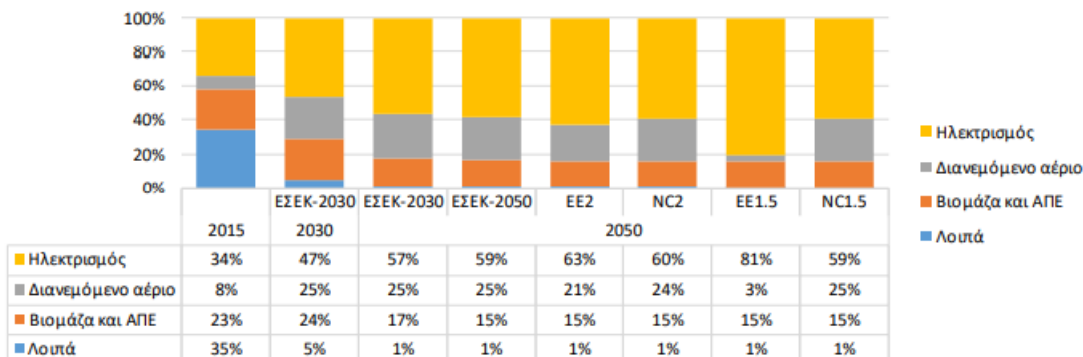
Το μεγαλύτερο βάρος πρέπει να ριχτεί στον δείκτη ΑΠΕ θέρμανσης και ψύξης. Στην παρούσα φάση το μεγαλύτερο ποσοστό των κτηρίων καλύπτουν της ενεργειακές τους ανάγκες μέσω συμβατικών καυσίμων. Το πετρέλαιο θέρμανσης καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό για την κάλυψη των θερμικών αναγκών, χάνοντας σιγά σιγά έδαφος από το Φυσικό Αέριο το οποίο είναι φιλικότερο για το περιβάλλον. Για να υπάρξει ένα ουδέτερο ανθρακικό αποτύπωμα, πρέπει τα παραπάνω καύσιμα να αντικατασταθούν από ΑΠΕ.

Τελική κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα (ktoe)



Εικόνα 1-0-1 Τελική κατανάλωση Ενέργειας στον οικιακό τομέα 2015-2030 (3)

Μερίδια στην κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα (%)



Εικόνα 1-0-2 Μερίδια στην κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα(%) 2015-2050 (3)

Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πόση θα είναι η ένταξη των ΑΠΕ στην θέρμανση και στην ψύξη σε βάθος χρόνου. Το μεγαλύτερο ποσοστό οφείλεται στην κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών από Αντλίες Θερμότητας, αερόθερμες αλλά και γεωθερμικές. Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν την αποδοτικότερη τεχνολογία σε τέτοια κτήρια λόγω της απόδοσης τους και του υψηλού COP, καθώς και λόγω του ότι η κατανάλωση τους καλύπτεται από ΑΠΕ.

Μια άλλη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι τα ηλιοθερμικά συστήματα. Αυτά μπορούν να συνδυαστούν τόσο για την κάλυψη των θερμικών φορτίων όσο και να λειτουργούν αυτοτελή για την κάλυψη του ΖΝΧ. Ένα άλλο καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η βιομάζα. Η βιομάζα αποτελεί μια καλή επιλογή, διότι έχει τα θετικά χαρακτηριστικά των ορυκτών

καυσίμων χωρίς να ρυπαίνει το περιβάλλον. Επίσης, η εξέλιξη των βιοκαυσίμων νέας γενιάς όπως το βιοαέριο θα μπορεί να λειτουργήσει θετικά στην μετάβαση αυτή.

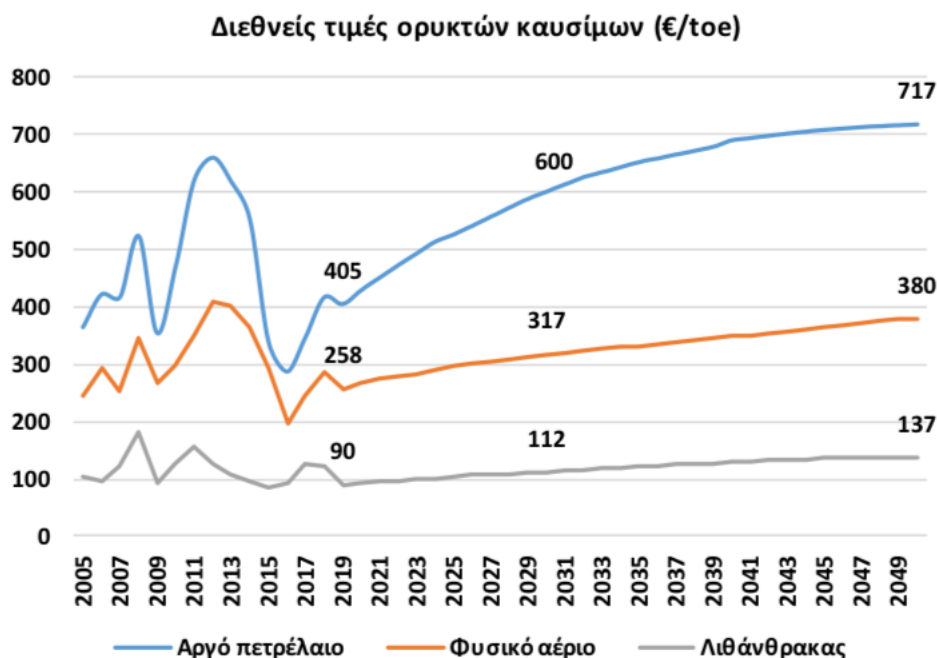
Η πολιτική της ΕΕ έχει θέσει κάποιους στόχους ως προς τον διαμερισμό των τεχνολογιών που θα χρησιμοποιούνται στον οικιακό τομέα και αποτυπώνεται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.2 Συστήματα θέρμανσης στα κτίρια 2030-2050 (3)

	2030	2050					
	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2030	ΕΣΕΚ-2050	ΕΕ2	NC2	ΕΕ1.5	NC1.5
Κατοικίες							
Πλήθος κτιρίων (χιλιάδες κτίρια)							
Αντλία θερμότητας	438	872	853	1031	930	3198	820
Γεωθερμία	0.4	0.4	0.5	24	6	88	9
Ηλιοθερμικά ζεστού νερού	3182	3977	3919	3820	3915	3336	3892
Αέριο	1901	2412	2426	2293	2384	329	2501
Βιομάζα και ΑΠΕ	1101	853	876	861	862	700	878
Διανεμόμενη θερμότητα	97	112	98	97	96	79	94
Αυτόνομες συσκευές μερικής θέρμανσης χώρων	985	102	98	69	79	45	58
Κατανάλωση ενέργειας σε θερμικές χρήσεις κτιρίων (ktoe τελικής κατανάλωσης)							
Ηλεκτρική ενέργεια	860	834	767	723	752	755	645
Αέριο	981	870	810	637	764	79	763
Βιομάζα και ΑΠΕ	934	588	508	448	488	354	450
Διανεμόμενη θερμότητα	49	38	25	22	23	16	21
Άλλα καύσιμα (πετρέλαιο και στερεά καύσιμα)	130	7	6	5	6	1	1
Κτίρια τομέα υπηρεσιών							
Πλήθος κτιρίων (χιλιάδες κτίρια)							
Αντλία θερμότητας	170	300	305	313	311	349	306
Γεωθερμία	3	13	14	25	17	55	22
Ηλιοθερμικά ζεστού νερού	56	91	89	86	89	81	87
Αέριο	53	53	48	41	42	7	47
Βιομάζα και ΑΠΕ	8	7	7	6	6	4	7
Διανεμόμενη θερμότητα	0	0	0	0	0	0	0
Άλλα καύσιμα (πετρέλαιο και στερεά καύσιμα)	66	0	0	0	0	0	0
Κατανάλωση ενέργειας σε θερμικές χρήσεις κτιρίων (Mtoe τελικής κατανάλωσης)							
Ηλεκτρική ενέργεια	991	810	781	718	776	691	710
Αέριο	179	134	108	82	91	21	97
Βιομάζα και ΑΠΕ	80	77	64	53	60	43	55
Διανεμόμενη θερμότητα	0	0	0	0	0	0	0
Άλλα καύσιμα (πετρέλαιο και στερεά καύσιμα)	15	0	0	0	0	0	0

Σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η οικονομική πλευρά της συγκεκριμένης μετάβασης. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες στην παρούσα φάση είναι οικονομικά μη αποδεκτές για τον μέσο καταναλωτή εξαιτίας του πολύ υψηλού αρχικού κόστους εγκατάστασης. Ωστόσο αυτό είναι πολύ λογικό, αφού η χαμηλή ζήτηση που έχουν αυτές οι τεχνολογίες συνεπάγεται και χαμηλή παραγωγή στα εργοστάσια. Όμως, με τον εξηλεκτρισμό των θερμικών χρήσεων και ταυτόχρονα με την εξέλιξη της τεχνολογίας, τα κόστη θα αρχίσουν να ακολουθούν μια πτωτική πορεία και ειδικότερα στις αντλίες θερμότητας. Προβλέπεται ότι από το 2021 μέχρι το 2050, οι επενδύσεις σε κομμάτια που αφορούν την ενέργεια θα φθάσουν τα 54-80 δισεκατομμύρια ευρώ. (4)

Μια άλλη παράμετρος είναι η υψηλή αύξηση που προβλέπεται να έχουν τα ορυκτά καύσιμα. Στο παρακάτω διάγραμμα προβλέπεται ότι η τιμή του πετρελαίου θα διπλασιαστεί τα επόμενα χρόνια. Αποτέλεσμα σε αυτό είναι ότι τα συστήματα που χρησιμοποιούν ΑΠΕ, εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας που έχουν εξαιτίας της υψηλής απόδοσης, θα έχουν και υψηλή εξοικονόμηση κόστους λόγω του χαμηλού κόστους κατανάλωσης.



Εικόνα 1-0-3 Πρόβλεψη για την ετήσια διακύμανση της τιμής των ορυκτών καυσίμων 2030-2050 (3)

Ένα άλλο θετικό που μπορεί να προστεθεί σε όλα αυτά είναι η πολιτική της ΕΕ να επιδοτεί όσα κτήρια συμβάλουν σε αυτή την μετάβαση, με υψηλά ποσά χρημάτων. Η επιδότηση αυξάνει την απόδοση τέτοιων επενδύσεων. Στόχος είναι ακόμα και ο μέσος καταναλωτής να διαθέσει κάποια χρήματα για την ενεργειακή μετάβαση, αφού το κέρδος αυτής της κίνησης θα έχει αντίκτυπο στα οικονομικά του ίδιου αλλά και θα συμβάλει σε αυτήν την σημαντική ενεργειακή μετάβαση.

Τα οφέλη της ενεργειακής αυτής μετάβασης έχουν αντίκτυπο και στον κύκλο της οικονομίας. Πιο συγκεκριμένα, διάφορες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε αυτόν τον τομέα θα μπορούν να έχουν έσοδα και να απασχολούν περισσότερους εργαζόμενους, άρα θα μειωθεί η ανεργία. Το κομμάτι των ερευνών είναι άλλο ένα κομμάτι που θα ακμάσει, αφού η εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών είναι μείζονος σημασίας για την ένταξη τους στην αγορά.

Για την πλήρη εκμετάλλευση των παραπάνω οφελών και για να επιτευχθεί αυτή η μετάβαση, πρέπει να δοθεί η πρέπουσα βαρύτητα στον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων. Τα περισσότερα συστήματα που εντάσσονται στην κατηγορία ΑΠΕ έχουν άμεση αλληλεπίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον και τις καιρικές συνθήκες. Έτσι γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι αυτά τα συστήματα χαρακτηρίζονται από μια μη σταθερότητα. Επομένως ο σχεδιασμός τους πρέπει να γίνει με πολλή προσοχή και να λαμβάνονται υπόψιν οι εξωτερικές συνθήκες.

Επιπρόσθετα, επειδή η κατασκευή τέτοιων συστημάτων αποτελεί μια μορφή επένδυσης για τον χρήστη, πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο σύστημα το οποίο θα επιφέρει την μεγαλύτερη εξοικονόμηση κόστους.

2 Καθορισμός Θερμικού Φορτίου Κτηρίου

2.1 Γενικά

Η σημαντικότερη παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί για τον σχεδιασμό του συστήματος αποτελεί το θερμικό φορτίο του κτιρίου, το οποίο και είναι η βάση για τον σχεδιασμό του συστήματος.

Το θερμικό φορτίο ταυτίζεται με τις θερμικές απώλειες του κτιρίου. Ως θερμική απώλεια ορίζεται η ποσότητα της θερμότητας που απομακρύνεται από τον χώρο του κτηρίου προς το εξωτερικό περιβάλλον, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος με του εσωτερικού.

Επομένως, για να προσδιοριστεί το φορτίο του κτηρίου, πρέπει να είναι γνωστός ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτηρίου, δηλαδή ο συντελεστής θερμοπερατότητας που αφορά τις απώλειες λόγω αερισμού αλλά και λόγω μεταφοράς. Όπως αναφέρθηκε και στον ορισμό, είναι σημαντικό να οριστούν και οι θερμοκρασίες που συναντώνται στο εσωτερικό του κτηρίου αλλά και στο περιβάλλον. Η εσωτερική θερμοκρασία συνήθως λαμβάνεται 18 ή 20 °C διότι εκεί ορίζεται η θερμοκρασία θερμικής άνεσης για την περίοδο του χειμώνα.

Η δυσκολία στο συγκεκριμένο υπολογισμό είναι ο προσδιορισμός της εξωτερικής θερμοκρασίας. Επειδή η εξωτερική θερμοκρασία αποτελεί ένα μεταβαλλόμενο μέγεθος στην πορεία του χρόνου, συνήθως ένας σχεδιαστής προβληματίζεται σχετικά με το ποια είναι η κατάλληλη θερμοκρασία για να χρησιμοποιήσει, διότι εάν σχεδιάσει το σύστημα με μια πολύ χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία, θα έχει ένα θερμικό φορτίο το οποίο θα ισχύει για λίγες μέρες τον χρόνο στο κτίριο ή και ποτέ. Άρα θα πληρωθεί ένα σύστημα το οποίο θα είναι μεγαλύτερο από τις ουσιαστικές ανάγκες του κτιρίου. Από την άλλη πλευρά, μια υψηλή θερμοκρασία σχεδιασμού θα κατέληγε σε ένα σύστημα το οποίο δεν θα μπορούσε να καλύψει τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου σε χαμηλές θερμοκρασίες. Λύση σε αυτό δίνουν οι τεχνικές οδηγίες, που έχουν πίνακες για κάθε περιοχή και οι οποίοι έχουν προκύψει από στατιστική μελέτη, πλησιάζοντας αρκετά την πραγματικότητα.

Επομένως το φορτίο του κτιρίου προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_b = TLC * (T_{in} - T_{out}) \quad 2.1.1$$

Q_b : Θερμικές απώλειες κτιρίου (W)

TLC : Ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου (W/K)

T_{in} : Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου

T_{out} : Θερμοκρασία Περιβάλλοντος

2.2 Βαθμομέρες Θέρμανσης

Οι βαθμομέρες θέρμανσης αποτελούν μια μέθοδο για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών ενός κτηρίου. Ο υπολογισμός τους είναι ιδιαίτερα απλός και φθάνει πολύ κοντά στην πραγματικότητα.

Ο υπολογισμός των βαθμομερών γίνεται για κάθε μήνα. Στην ουσία μετρούνται οι μέρες του μήνα που έχουν μέση θερμοκρασία εισοσιτετραώρου μικρότερη από 18 °C και η διαφορά της μεσης θερμοκρασίας εισοσιτετραώρου με την θερμοκρασία των 18 °C πολλαπλασιάζεται με τις ημέρες του μήνα.

$$DDH = N_{mo} \cdot \sum (T_{ref} - T_{air})^+ \quad 2.2.1$$

DDH: Βαθμομέρες θέρμανσης

N_{mo}: ημέρες του μήνα

T_{ref}: Θερμοκρασία αναφοράς(18°C)

T_{out,mean}: Μέση θερμοκρασία εικοσιτετραώρου

(+): Λαμβάνονται υπόψιν μόνο η μέρες όπου T_{ref} > T_{out,mean}

Οι βαθμομέρες θέρμανσης περιλαμβάνονται στην ΤΟΤΕΕ 20701 - 3/2010 (5) και δεν χρειάζεται ο υπολογισμός τους. Τα κλιματολογικά δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό τους αφορούν θερμοκρασίες 15 χρονών.

Ο υπολογισμός του φορτίου μέσω των βαθμομερών είναι ο παρακάτω:

$$E_b = TLC \cdot DDH \cdot PLF_m \quad 2.2.2$$

E_b: μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου (kWh)

PLF_m: ο συντελεστής λειτουργίας του κτιρίου

Ο συντελεστής λειτουργίας του κτηρίου καθορίζεται από τις ημερήσιες ώρες λειτουργίας και τις εβδομαδιαίες μέρες λειτουργίας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$PLF_m = \left(\frac{H_{op}}{24}\right) \cdot \left(\frac{D_{op}}{7}\right) \quad 2.2.3$$

H_{op} : Ημερήσιες ώρες λειτουργίας

D_{op} : Εβδομαδιαίες ημέρες λειτουργίας

3 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 Γενικά

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μια αξιόπιστη λύση για τα κτίρια μηδενικής ενέργειας διότι μπορούν να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος του θερμικού φορτίου χωρίς να εκπέμπουν άμεσα ρύπους στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με μία έρευνα στον Καναδά (6), διαπιστώθηκε μείωση 36% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και 23% μείωση των ρύπων με την τοποθέτηση αντλιών θερμότητας στην ευρύτερη περιοχή. Το όνομα τους προκύπτει από το ότι μπορούν να «αντλήσουν» θερμότητα από ένα περιβάλλον με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα περιβάλλον με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό το επιτυγχάνουν με την παροχή μηχανικού έργου. Οι αντλίες θερμότητας καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσουν. Επομένως, σε συνδυασμό με ένα σύστημα ΑΠΕ, μπορούν να παρέχουν θέρμανση στο κτίριο με μηδενικές εκπομπές και με μηδενικά κόστη ενέργειας. Επίσης το πλεονέκτημα τους είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν με διάφορες πηγές θερμότητας (έδαφος, νερό και αέρα), δίνοντας μεγάλη ευελιξία στον σχεδιαστή του συστήματος, ο οποίος μπορεί να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα της κάθε πηγής και να επιλέξει ποια είναι ιδανική για την εγκατάσταση.

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας βασίζεται σε έναν θερμοδυναμικό κύκλο, ο οποίος μπορεί να λειτουργεί και αντίστροφα. Έτσι με την αντλία θερμότητας έχουμε και ψύξη αλλά και θέρμανση, ανάλογα με την φορά του κύκλου. Η εναλλαγή αυτή ορίζεται από τις απαιτήσεις του χρήστη για το χώρο του. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης ορίζει μια επιθυμητή θερμοκρασία για τον χώρο του, όπου εάν αυτή είναι μεγαλύτερη από την πραγματική θερμοκρασία του χώρου, τότε με τον κατάλληλο αυτοματισμό η τετράοδη βαλβίδα επιτρέπει την ανάποδη διέλευση του ρευστού και ο χώρος θερμαίνεται. Εάν όμως η πραγματική θερμοκρασία είναι μικρότερη, γίνεται το αντίστροφο και έχουμε ψύξη του χώρου.

3.2 Βασικά τμήματα Αντλίας Θερμότητας

Τα υπόλοιπα βασικά μέρη της αντλίας θερμότητας αναλύονται παρακάτω:

- **Συμπυκνωτής:** Ανάλογα με την λειτουργία θέρμανσης-ψύξης, απορροφάει ή απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον.
- **Ατμοποιητής:** Ανάλογα με την λειτουργία, απορροφά ή προσδίδει θερμότητα στον εσωτερικό χώρο.
- **Συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση:** Αυξάνει την θερμική απόδοση του συστήματος. Η λειτουργία της είναι να αποτρέπει την ψύξη του ρευστού σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- **Συμπιεστής:** Συμπιέζει το ρευστό για να του αυξήσει την θερμοκρασία

3.3 Βαθμός απόδοσης της Αντλίας Θερμότητας

Επειδή η λειτουργία και η απόδοση μιας Αντλίας Θερμότητας είναι πιο σύνθετη από άλλα συστήματα, χαρακτηρίζεται από περισσότερους από έναν βαθμούς απόδοσης και ο καθένας περιγράφει κάτι συγκεκριμένο. Ο κάθε βαθμός απόδοσης της Αντλίας Θερμότητας είναι διαφορετικός στην θέρμανση και στην ψύξη.

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης για την θέρμανση είναι το COP (Coefficient of Performance) και δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$COP = \frac{\text{Θερμική ισχύς συμπυκνωτή}(W)}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή}(W)} \quad 3.3.1$$

Όσο μικρότερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου με την εξωτερική θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερο είναι το COP. Στην Ελλάδα επομένως, που σπάνια προκύπτουν ακραίες θερμοκρασίες, οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν με μεγάλο βαθμό απόδοσης. Η διακύμανση της τιμής του COP είναι ανάμεσα στο 3-5. Η τιμή του COP δίνεται από τον κατασκευαστή της αντλίας θερμότητας και μετριέται στο πρότυπο Eurovent. Το πρότυπο αυτό σημαίνει ότι η μέτρηση γίνεται με εσωτερική θερμοκρασία 20°C και εξωτερική 7°C. Οι παραπάνω τιμές θα έλεγε κανείς ότι είναι αντιπροσωπευτικές για την θερμοκρασιακή διακύμανση σε μια πόλη της Αθήνας, αφού για το 2019, η ελάχιστη μέση θερμοκρασία ήταν 7,4°C (σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό Αχαρνών), άρα σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το COP του κατασκευαστή θα είναι κοντά στο πραγματικό COP της Αντλίας Θερμότητας. Η φυσική σημασία του COP = 4 είναι ότι τα 4kW θερμικής ενέργειας αντιστοιχούν σε 1kW ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην παρούσα φάση αρκεί να εξηγηθεί το εξής, ότι το COP αποτελεί τον βαθμό απόδοσης της Αντλίας Θερμότητας αλλά δεν μπορεί να συγκριθεί άμεσα με το βαθμό απόδοσης ενός λέβητα πετρελαίου. Για να υπάρχει ένα συγκρίσιμο μέγεθος, αρκεί να ληφθεί υπόψιν και η απόδοση της ηλεκτροπαραγωγής. Ως πρωτογενής βαθμός απόδοσης της Αντλίας Θερμότητας ορίζεται ο βαθμός απόδοσης που λαμβάνει υπόψιν του τις απώλειες ενέργειας από το εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής έως την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Αν θεωρηθεί ότι η αντλία θερμότητας είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο, η απόδοση μίας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής είναι περίπου 54% (7) και λαμβάνοντας υπόψιν τις απώλειες λόγω του δικτύου διανομής, η υπόθεση καταλήγει σε έναν βαθμό απόδοσης της τάξεως του 50,2%. Επομένως ο πρωτογενής βαθμός της αντλίας θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\eta_{A\theta} = COP_{A\theta} \cdot \eta_{\text{ΗΠ}} \quad 3.3.2$$

$\eta_{A\theta}$: Πρωτογενής βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας

$COP_{A\theta}$: Βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας στη θέρμανση

$\eta_{\text{ΗΠ}}$: Βαθμός απόδοσης εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Εάν η αντλία έχει ένα COP = 3,5 τότε ο πρωτογενής βαθμός απόδοσης είναι 175%, σε σχέση με ένα λέβητα πετρελαίου που έχει 85%.

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης λειτουργίας στην ψύξη ονομάζεται ERR(Energy Efficiency Ratio) και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$ERR = \frac{\text{Θερμική ισχύς εξατμιστή}(W)}{\text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή}(W)} \quad 3.3.3$$

Ο συγκεκριμένος βαθμός απόδοσης επίσης δίνεται από τον κατασκευαστή και είναι μετρημένος στο πρότυπο Eurovent, με εσωτερική θερμοκρασία 27°C και εξωτερική θερμοκρασία 35°C.

Επειδή οι παραπάνω δείκτες μετριοούνται με εργαστηριακές μετρήσεις δεν είναι πολύ ρεαλιστικές, για αυτό το λόγο υπολογίζονται επιπρόσθετα και άλλοι βαθμοί απόδοσης που αποτυπώνουν καλύτερα την πραγματικότητα.

Ένας από αυτούς του βαθμούς απόδοσης είναι ο μέσος εποχιακός βαθμός απόδοσης που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$SCOOP = \frac{\text{Θερμική ενέργεια αποδίδει ο συμπυκνωτής}(kWh)}{\text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια}(kWh)}(\text{Θέρμανση}) \quad 3.3.4$$

$$SEER = \frac{\text{Θερμότητα που αφαιρεί ο εξατμιστής}(kWh)}{\text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια}(kWh)}(\text{Ψύξη}) \quad 3.3.5$$

Οι παραπάνω βαθμοί απόδοσης δίνουν μια πιο ρεαλιστική εικόνα για την ενεργειακή απόδοση της αντλίας, διότι δείχνουν πόσο αποδοτική είναι η αντλία θερμότητας σε κάθε εποχή, λαμβάνοντας υπόψιν την διακύμανση θερμοκρασίας και τις περιόδους αδράνειας.

Τέλος υπάρχει και ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης, (Seasonal Performance Factor, SPF) ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$SPF = \frac{\text{Συνολική ισχύς εξόδου}(kWh)}{\text{Συνολική ισχύς εισόδου}(kWh)} \quad 3.3.6$$

Με τον παραπάνω συντελεστή μπορεί να συγκριθεί ευκολότερα το κόστος λειτουργίας σε μια περίοδο.

3.4 Διάκριση Αντλιών Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες εξαιτίας της πολυπλοκότητας τους και της ευελιξίας τους, τόσο σε θέματα λειτουργίας όσο και κατασκευής.

1. Η πρώτη διάκριση αφορά το μέσο που απορροφά ή στο οποίο προσδίδεται η θερμότητα. Με βάση το παραπάνω έχουμε της εξής κατηγορίες:
 - a) Αέρα-Αέρα
 - b) Αέρα-Νερού
 - c) Νερού-Νερού
 - d) Νερού-Αέρα
 - e) Εδάφους-Αέρα
 - f) Εδάφους-Νερού
2. Η δεύτερη διάκριση αφορά το είδος της κινητήριας μηχανής. Με βάση το παραπάνω έχουμε τις εξής κατηγορίες:
 - a) Ηλεκτροκίνητοι
 - b) Συμπιεστές από μηχανές εσωτερικής καύσης
 - c) Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης
3. Ανάλογα με τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας τους οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:
 - a) Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου, όπου το ρευστό ακολουθεί σταθερή κατεύθυνση και αλλάζει θέση ο εξατμιστής και συμπυκνωτής.
 - b) Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου, όπου υπάρχει αλλαγή της κατεύθυνσης του ρευστού μέσω τετράοδης βαλβίδας.
4. Ανάλογα με τη θέση διαφόρων μηχανισμών:
 - a) Ενιαίες, σε αυτές βρίσκονται όλα τα τμήματα στο ίδιο κέλυφος.
 - b) Διμερούς τύπου, όπου ο συμπυκνωτής και ο εξατμιστής βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη.

Η πρώτη κατηγορία είναι η πιο σημαντική όσον αφορά τον σχεδιασμό του συστήματος, διότι η επιλογή της καθορίζει πολλές άλλες παραμέτρους, τόσο για το κατασκευαστικό κομμάτι όσο και για το οικονομικό. Από αυτήν την κατηγορία, εμπορικά συναντώνται περισσότερο αυτές του αέρα/αέρα και αέρα/νερού, εξαιτίας της μεγαλύτερης ευκολίας στην εγκατάσταση σε αστικές περιοχές όσο και από οικονομική πλευρά. Αναπτυσσόμενες είναι οι αντλίες θερμότητας εδάφους/αέρα και εδάφους/νερού, εξαιτίας της σταθερότητας των ιδιοτήτων του εδάφους.

Στην δεύτερη κατηγοριοποίηση στον κτιριακό τομέα συναντώνται περισσότερο οι ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές, ενώ στην 3^η κατηγορία βρίσκονται πιο συχνά αυτοί του μεταβλητού κυκλώματος. Τέλος, στην τελευταία κατηγορία συναντώνται κυρίως οι διμερούς τύπου αντλίες, λόγω χαμηλότερης έντασης θορύβου.

3.5 Διάκριση συστημάτων αντλιών θερμότητας

3.5.1 Μονοσθενή Συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα η Αντλία Θερμότητας αναλαμβάνει την πλήρη κάλυψη του θερμικού φορτίου. Το αρνητικό τέτοιων συστημάτων συναντάται στις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όπου η αντλία θερμότητας δεν μπορεί να λειτουργήσει ή λειτουργεί με πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης, με αποτέλεσμα να μην συμφέρει οικονομικά. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως αντλίες όπου η εναλλαγή θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον γίνεται μέσω του εδάφους ή του νερού, διότι αυτές οι πηγές θερμότητας έχουν πιο σταθερές ιδιότητες και δεν επηρεάζονται τόσο από την εξωτερική θερμοκρασία.

3.5.2 Δισθενή Συστήματα

Σε αυτά τα συστήματα, εκτός από την αντλία θερμότητας υπάρχει και ένα συμπληρωματικό σύστημα που λειτουργεί όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές και η αντλία δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου. Σε έναν κτίριο μηδενικής ενέργειας θα μπορούσε να συνδυαστεί η αντλία θερμότητας με έναν λέβητα βιομάζας.

Σε αυτά τα συστήματα συναντάμε και μια υποκατηγορία με βάση το πώς συνεργάζονται τα δυο συστήματα:

- a) Συστήματα με παράλληλη λειτουργία: Αυτά τα δυο συστήματα θέρμανσης λειτουργούν παράλληλα. Προτεραιότητα έχει η κάλυψη του θερμικού φορτίου από την αντλία θερμότητας και το δευτερεύον σύστημα υποβοηθάει σε αυτό. Σε αυτά τα συστήματα η κάλυψη για την αντλία θερμότητας φτάνει το 80%.
- b) Συστήματα με εναλλασσόμενη λειτουργία: Σε αυτά τα συστήματα η αντλία θερμότητας αναλαμβάνει την κάλυψη θερμικού φορτίου. Όταν αυτή δεν μπορεί να καλύψει το θερμικό φορτίο, σταματάει η λειτουργία της και το θερμικό φορτίο αναλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από τη συμπληρωματική πηγή. Σε αυτά τα συστήματα η αντλία θερμότητας συμβάλει κατά 60%.

3.6 Αντλία θερμότητας με πηγή θερμότητας τον αέρα

Στον παρόν τμήμα θα αναλυθούν οι αντλίες θερμότητας που εκμεταλλεύονται τον αέρα ως πηγή θερμότητας. Η συγκεκριμένη κατηγορία αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό στην αγορά εξαιτίας της ευκολίας και της ευελιξίας που παρέχει, διότι η εγκατάσταση δεν δεσμεύει μεγάλο χώρο. Επίσης η εναλλαγή θερμότητας δεν απαιτεί περαιτέρω σύστημα διανομής, όπως χρειάζεται σε άλλες πηγές θερμότητας, άρα τα κόστη είναι χαμηλότερα.

3.6.1 Αέρας

Το πλεονέκτημα που έχει ο αέρας είναι ότι βρίσκεται σε αφθονία στην φύση και για αυτό είναι η πιο συνηθισμένη πηγή θερμότητας για το εξωτερικό χώρο, καθώς μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε εγκατάσταση χωρίς περιορισμούς.

Η μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στον αέρα και το ψυκτικό υγρό γίνεται μέσω εναλλακτών μεγάλης επιφάνειας με τεχνητό ρεύμα. Η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα με το ψυκτικό υγρό κυμαίνεται μεταξύ -12°C και -4°C βαθμούς.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι αντλίες θερμότητας τέτοιου τύπου είναι ότι όταν χρησιμοποιείται ο αέρας ως ψυχρή πηγή και στο περιβάλλον έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες, σχηματίζεται πάχνη στην μονάδα, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η μεταφορά θερμότητας από τον αέρα και για αυτό χρησιμοποιείται συμπληρωματικό σύστημα. Επίσης ένα επιπλέον πρόβλημα σε θερμοκρασίες 0°C - 2°C είναι το πάγωμα του εξατμιστή. Αυτό το πρόβλημα λύνεται με την αντιστροφή του κύκλου ή με την προσθήκη ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Στην αντιστροφή του κύκλου, το υπέρθερμο αέριο που προέρχεται από τον συμπιεστή εισέρχεται στην μονάδα και προκαλεί λιώσιμο της πάχνης. Οι εξωτερικοί ανεμιστήρες σταματούν ενώ ενεργοποιείται ένα συμπληρωματικό σύστημα στο εσωτερικό, το οποίο προλαμβάνει την διανομή ψυχρού αέρα στο περιβάλλον.

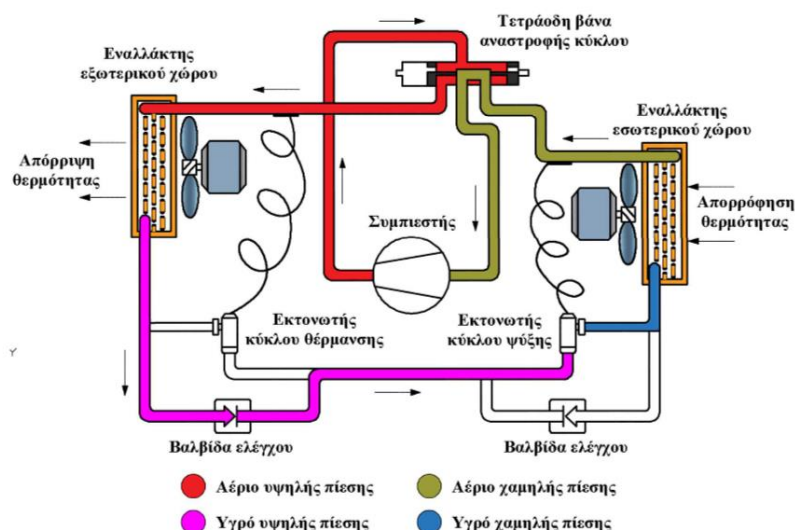
3.6.2 Αρχή Λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας Αέρα-Αέρα

Στην συγκεκριμένη κατηγορία η εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό αλλά και με το εσωτερικό περιβάλλον γίνεται μέσω του αέρα. Τα κοινά κλιματιστικά ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Η λειτουργία του ψυκτικού κύκλου περιγράφεται παρακάτω:

- Λειτουργία ψύξης

Το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον εξατμιστή, ο οποίος βρίσκεται στον εσωτερικό του κτιρίου, σε χαμηλή πίεση μέσω της εκτονωτικής βαλβίδας. Εκεί το ψυκτικό υγρό απάγει θερμότητα από το χώρο και αεριοποιείται ενώ ταυτόχρονα ψύχει και τον εσωτερικό χώρο. Στην συνέχεια το αέριο με χαμηλή πίεση εισέρχεται στον συμπιεστή και εξέρχεται από αυτόν αέριο με υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Έπειτα εισέρχεται στην εξωτερική μονάδα, η οποία λειτουργεί ως συμπυκνωτής με αποτέλεσμα να υγροποιεί το αέριο. Αυτό επιτυγχάνεται με τεχνητό ρεύμα, το οποίο απάγει θερμότητα από το ψυκτικό ρευστό, έτσι εξέρχεται από αυτόν σε κατάσταση υγρού υψηλής πίεσης. Στην συνέχεια εισέρχεται ξανά στην εκτονωτική βαλβίδα και η παραπάνω κίνηση του ρευστού επαναλαμβάνεται συνεχώς.

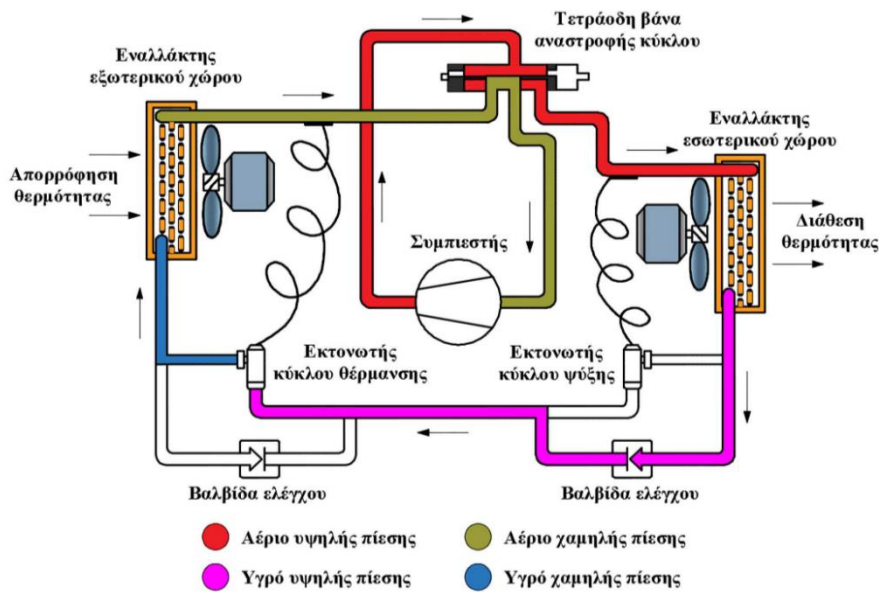


Εικόνα 3.6-1 Κύκλος λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας Αέρα- Αέρα (ψύξη) (8)

- Λειτουργία θέρμανσης

Στην λειτουργία της θέρμανσης υπάρχει ο ακριβώς αντίστροφος κύκλος. Το εσωτερικό τμήμα λειτουργεί ως συμπυκνωτής, ενώ το εξωτερικό λειτουργεί ως εξατμιστής.

Το ψυκτικό υγρό εξέρχεται από τον συμπιεστή ως αέριο υψηλής πίεσης και εισέρχεται στο συμπυκνωτή που βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο, όπου και προσδίδει θερμότητα με αποτέλεσμα να υγροποιείται ενώ ο εσωτερικός αέρας θερμαίνεται. Στην συνέχεια εισέρχεται στην εκτονωτική βαλβίδα και γίνεται υγρό χαμηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας. Εξαιτίας του τεχνητού ρεύματος, το υγρό απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα και αεριοποιείται και ο κύκλος ξανά αρχίζει από την αρχή.



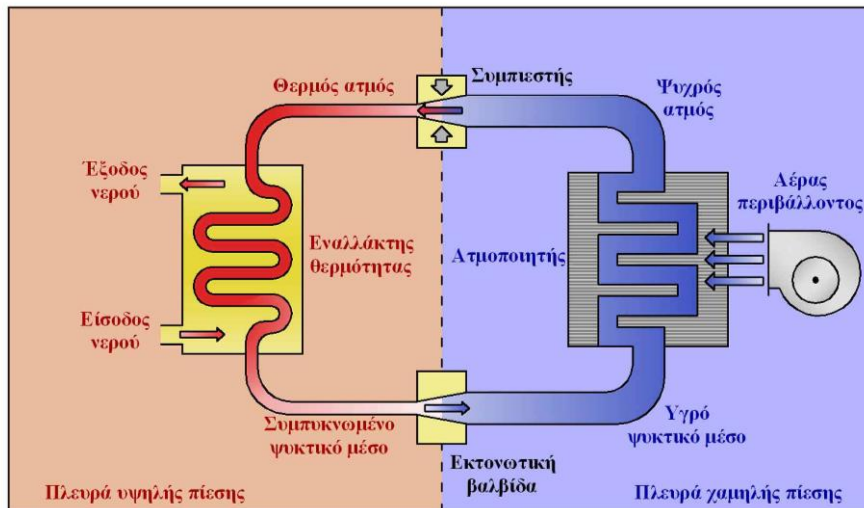
Εικόνα 3.6-2 Κύκλος Λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας Αέρα-Αέρα (Θέρμανση) (8)

3.6.3 Αντλία θερμότητας Αέρα – Νερού

Ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας είναι πολύ διαδεδομένος, διότι μπορεί να αντικαταστήσει με μεγαλύτερη ευκολία τα συστήματα που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα, αφού μπορεί να χρησιμοποιήσει το ίδιο υδραυλικό δίκτυο. Επίσης χρησιμοποιείται σε μεγάλες συσκευές κλιματισμού βιομηχανίας, οι οποίες χρειάζονται διαφορετική θερμοκρασία σε κάθε ζώνη.

Η λειτουργία της δεν διαφέρει από την αντλία αέρα-αέρα. Η διαφορά της είναι στο μέσο που προσδίδει θερμότητα στο χώρο. Αυτό το καταφέρνει μέσω του νερού. Στην παρούσα διάταξη υπάρχουν δυο κυκλώματα, ένα κύκλωμα του ψυκτικού ρευστού και ένα του νερού. Τα δύο κυκλώματα συναντιούνται σε ένα εναλλάκτη, όπου και ανταλλάσσουν θερμότητα. Το κύκλωμα του ψυκτικού υγρού ακολουθεί την ίδια διαδικασία που ακολουθεί στις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα. Το νερό απάγει ή προσδίδει θερμότητα από και προς το ψυκτικό ρευστό ανάλογα με την επιθυμητή λειτουργία που πρέπει να επιτελεστεί. Στην συνέχεια το νερό μέσω του δικτύου διανομής φτάνει στις τερματικές μονάδες, όπου και παρέχει θερμότητα στο χώρο ή απάγει θερμότητα από αυτόν.

Υπάρχουν δυο ειδών αντλίες θερμότητας. Αυτές των υψηλών θερμοκρασιών, που έχουν την δυνατότητα να θερμαίνουν το νερό μέχρι και 80°C και αντλίες θερμότητας χαμηλών θερμοκρασιών που φτάνουν το νερό από 30°C έως 50 °C κατά την λειτουργία θέρμανσης. Το παραπάνω είναι σημαντικό για την επιλογή των τερματικών μονάδων, καθώς και για την επιλογή του δικτύου διανομής.



Εικόνα 3.6-3 Κύκλος Λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας Νερού- Νερού (8)

3.7 Αντλία Θερμότητας με πηγή θερμότητας το νερό

Η συγκεκριμένη κατηγορία δεν παρατηρείται στην πράξη σε μεγάλο ποσοστό. Αυτό οφείλεται στο ότι πρέπει να υπάρχει συγκεκριμένο σημείο που να περιέχει νερό στην εγκατάσταση για την τοποθέτησή της (ποτάμια, λίμνες, πηγάδια και γεωτρήσεις), κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα δύσκολο στις πόλεις.

3.7.1 Νερό

Το νερό ως πηγή για μεταφορά της θερμότητας από τον εξωτερικό εναλλάκτη έχει πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τον αέρα. Το πρώτο είναι ότι το νερό έχει πολύ σταθερή θερμοκρασία κατά την διάρκεια του έτους, χωρίς να επηρεάζεται από την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα η αντλία θερμότητας να μπορεί να καλύψει το θερμικό φορτίο της εγκατάστασης χωρίς την ύπαρξη συμπληρωματικού συστήματος. Ο εναλλάκτης μπορεί να τοποθετηθεί σε πηγάδια, λίμνες, ποτάμια αλλά και μέσα σε γεωτρήσεις. Τα πηγάδια αποτελούν την αποδοτικότερη λύση, διότι το νερό που περιέχουν έχει υψηλή θερμοκρασία. Στις γεωτρήσεις τοποθετούνται δυο σωλήνες, ένας λήψης και ένας απόρριψης, οι οποίοι πρέπει να απέχουν 15m για να είναι σίγουρο ότι το νερό που επιστρέφει δεν θα αναρροφηθεί κατευθείαν. Στην περίπτωση της γεώτρησης πρέπει να ληφθεί καλά υπόψιν η θερμοκρασία και η παροχή του νερού. Επίσης σε πολλές βιομηχανίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λεγόμενο «γκρίζο» νερό, δηλαδή νερό που έχει χρησιμοποιηθεί σε άλλες λειτουργίες της βιομηχανίας. Το αρνητικό του νερό είναι ότι οι ιδιότητες του και τα άλατα που περιέχει μπορούν να δημιουργήσουν διαβρώσεις σε διάφορα μέρη του

συστήματος, για αυτό τον λόγο σε πολλές περιπτώσεις τοποθετούνται επιπλέον διατάξεις που προστατεύουν τα μηχανικά μέρη από διάβρωση.

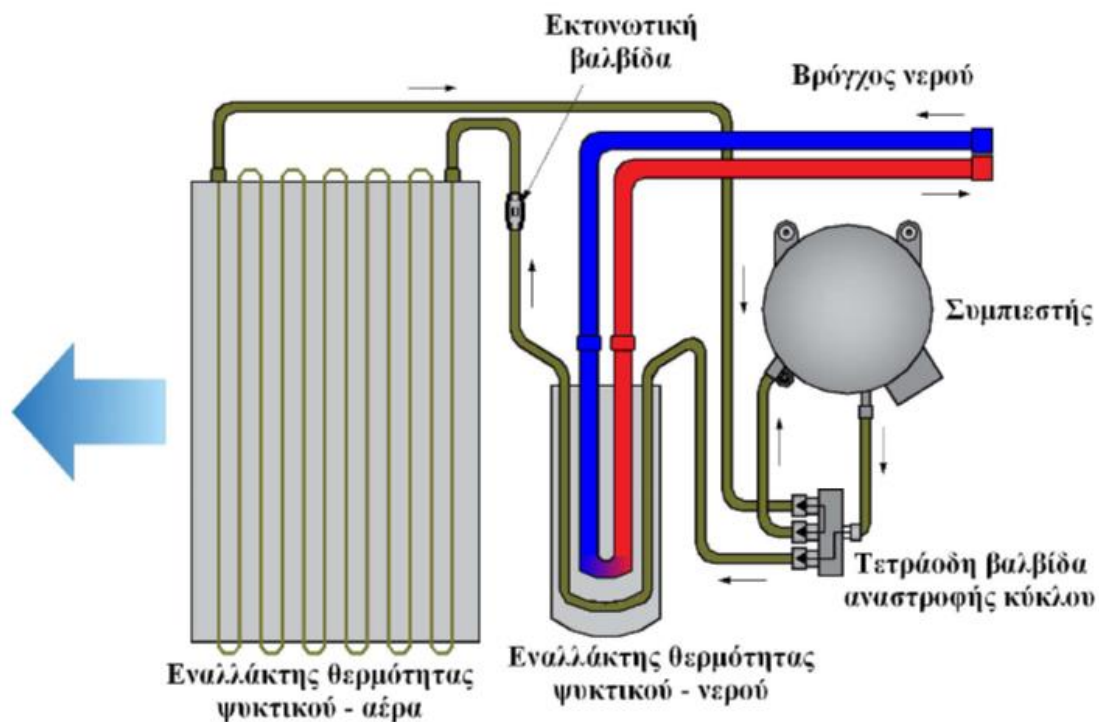
3.7.2 Αντλίες Θερμότητας νερού – νερού

Σε αυτές τις αντλίες θερμότητας και οι δύο εναλλάκτες βρίσκονται βυθισμένοι στο νερό. Το ψυκτικό υγρό ακολουθεί τον ίδιο κύκλο με την διαφορά ότι η ανταλλαγή θερμότητας και στο εξωτερικό και στον εσωτερικό χώρο γίνεται με το νερό. Το δευτερεύον κύκλωμα, το κύκλωμα νερού που είναι υπεύθυνο για την απορρόφηση ή την πρόσδοση θερμότητας στον εσωτερικό χώρο, συνδέεται με τα fan-coils ή με στοιχεία κλιματιστικών μονάδων.

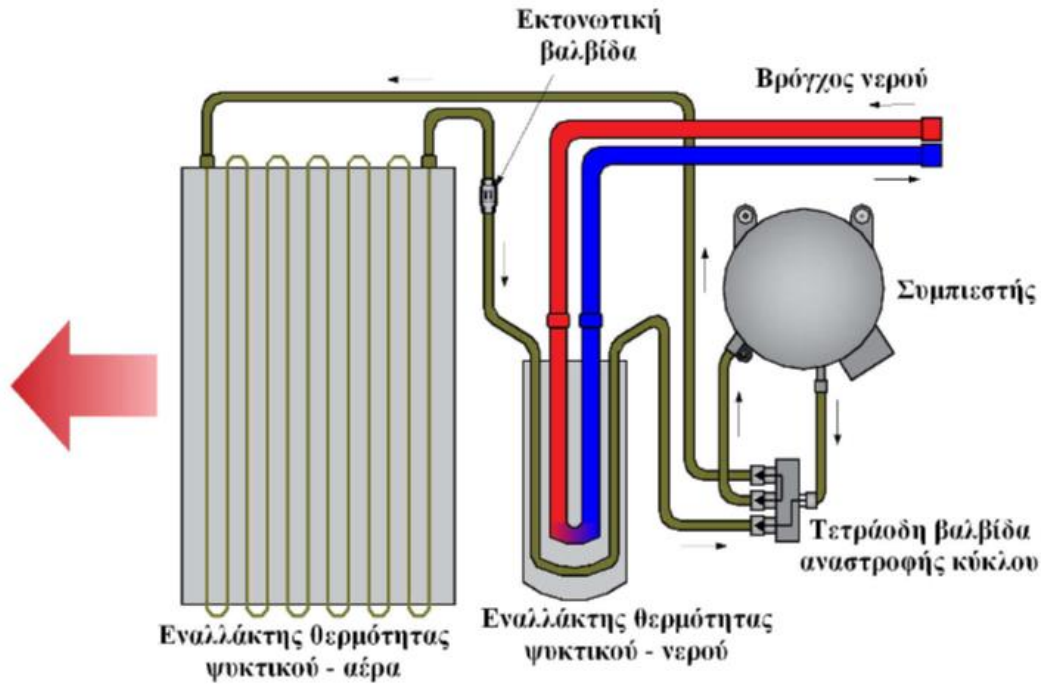
Το παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι το νερό, όπως προαναφέρθηκε, έχει σταθερές ιδιότητες. Έτσι και η αντλία θερμότητας νερού- νερού έχει σταθερή απόδοση και δεν επηρεάζεται από την διακύμανση της θερμοκρασίας, κάτι που κάνει τον συντελεστή κάλυψης πολύ υψηλό.

3.7.3 Αντλίες Θερμότητας νερού – αέρα

Στις αντλίες θερμότητας νερού – αέρα η απορρόφηση και η πρόσδοση θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον γίνεται με εναλλάκτη ψυκτικού μέσου/νερού, μέσω διατάξεων που αναλύθηκαν στην παραπάνω ενότητα και η ανταλλαγή θερμότητας με τον κλιματιζόμενο χώρο γίνεται μέσω εναλλάκτη αέρα/ψυκτικού μέσου.



Εικόνα 3.7-1 Αντλία Θερμότητας Νερού- Αέρα (Ψύξη) (8)



Εικόνα 3.7-2 Αντλία Θερμότητας Νερού-Αέρα (8)

3.7.4 Πρόσθετος εξοπλισμός εγκατάστασης άντλησης- απόρριψης

Όπως προαναφέρθηκε, οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν το νερό ως πηγή χρειάζονται επιπρόσθετο εξοπλισμό για την μετακίνηση του νερού.

Το πρώτο πράγμα που απαιτείται είναι σωλήνες για την μετακίνηση του νερού, όπου τα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Ακόμα χρειάζονται φίλτρα πριν την είσοδο του νερού στην αντλία θερμότητας, με στόχο το φιλτράρισμα του νερού, ώστε να μην εισέλθουν στην αντλία ακαθαρσίες που θα δημιουργήσουν προβλήματα. Ακόμα πρέπει να υπάρχουν μετρητές θερμοκρασίας και παροχής. Τέλος πρέπει να υπάρχουν βάνες ανακοπής του νερού, σε περιπτώσεις που χρειάζεται να ανακοπεί η ροή του νερού εξαιτίας κάποιας ζημιάς. Τέλος χρειάζεται μια αντλία η οποία θα είναι υπεύθυνη για την αναρρόφηση του ρευστού και το μέγεθος της εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης όπως το μανομετρικό ύψος και την παροχή.

3.8 Διαστασιολόγηση Αντλίας Θερμότητας

Η διαστασιολόγηση της αντλίας θερμότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι είναι διαφορετικοί από εγκατάσταση σε εγκατάσταση. Τέτοιοι παράγοντες είναι η πηγή θερμότητας (αέρας, νερό και έδαφος) που θα χρησιμοποιηθεί και οι ιδιότητες της σε κάθε περιοχή. Επίσης ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι εάν η αντλία θα καλύπτει το θερμικό φορτίο από μόνη της (μονοσθενές σύστημα) ή εάν αυτό θα υποβοηθείται από άλλο σύστημα (Δισθενές σύστημα).

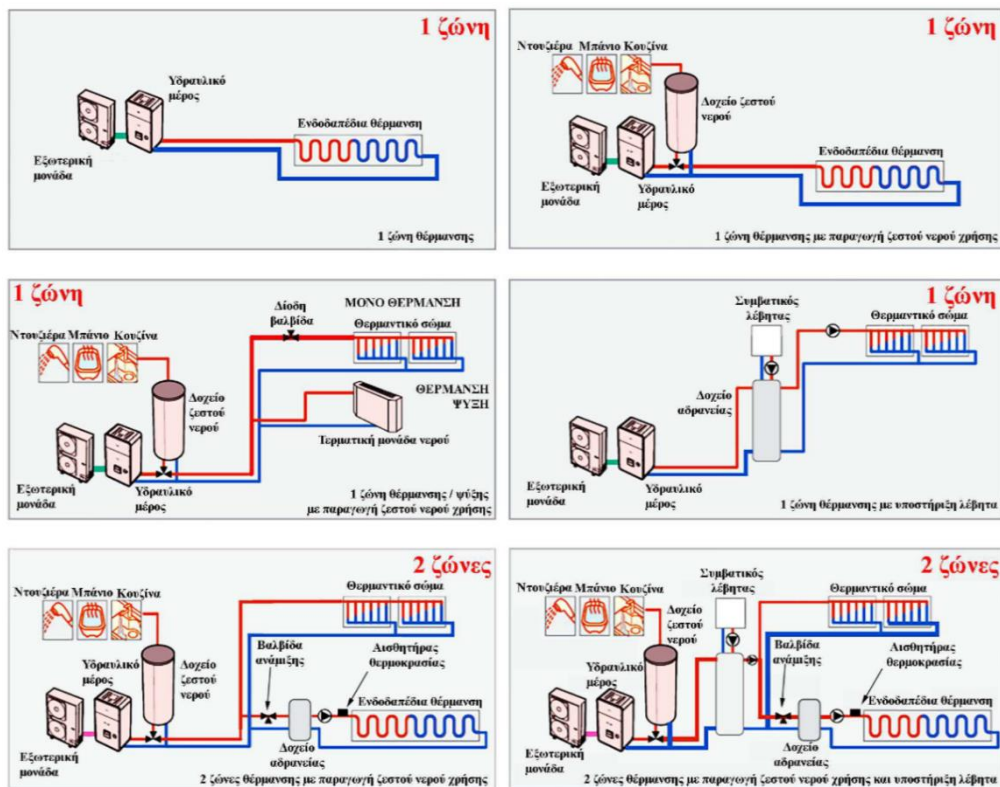
Το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστεί το θερμικό φορτίο της εγκατάστασης. Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται μέσω των απαραίτητων κανονισμών και προτύπων. Τα πιο συνηθισμένα πρότυπα

είναι το DIN 4701/1977 και το ΕΛΟΤ-EN-ISO 12831. Το πρώτο είναι το παλαιότερο πρότυπο και τείνει να αντικατασταθεί από το δεύτερο.

Μετά τον προσδιορισμό του θερμικού φορτίου, σημαντικός είναι και ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας του νερού του συστήματος, διότι ανάλογα με την θερμοκρασία που αποδίδει το σύστημα καθορίζεται και η θερμική απόδοση της αντλίας θερμότητας. Επίσης με βάση την θερμοκρασία του νερού επιλέγεται και το σύστημα θέρμανσης που θα έχει το κτίριο.

Σημαντικό είναι επίσης το πώς επηρεάζει η θερμοκρασία του νερού το σύστημα μας. Γενικώς προτιμώνται χαμηλές θερμοκρασίες, διότι οι αντλίες θερμότητας είναι αποδοτικότερες σε θερμοκρασίες 30-50° C και επειδή είναι πιο κοντά στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για αυτό το λόγο, οι αντλίες θερμότητας συνδυάζονται πολύ καλά με ενδοδαπέδια θέρμανση, η οποία λειτουργεί σε θερμοκρασίες 40-50° C. Επίσης σε τέτοιες θερμοκρασίες λειτουργούν και τα Fan-Coils τα οποία αποτελούν άλλη μια αποδοτική επιλογή, η οποία μπορεί να λειτουργήσει και σε ψύξη.

Επειδή όμως η συζήτηση αφορά τα κτίρια, είναι σημαντικό στην επιλογή να μην παραληφθεί η πρακτικότητα αλλά και η οικονομική πλευρά του θέματος. Οι παραπάνω λύσεις αποτελούν τις πιο αποδοτικές όσον αφορά τα νεόδμητα κτίρια. Στα υφιστάμενα κτίρια ωστόσο είναι δαπανηρές, διότι στην περίπτωση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, για παράδειγμα, θα πρέπει να αφαιρεθεί το πάτωμα για να τοποθετηθούν οι σωλήνες ενώ ταυτόχρονα τα παλιά θερμαντικά σώματα αποσύρονται, δημιουργώντας επιπρόσθετα και αισθητικά προβλήματα, εκτός της σπατάλης.



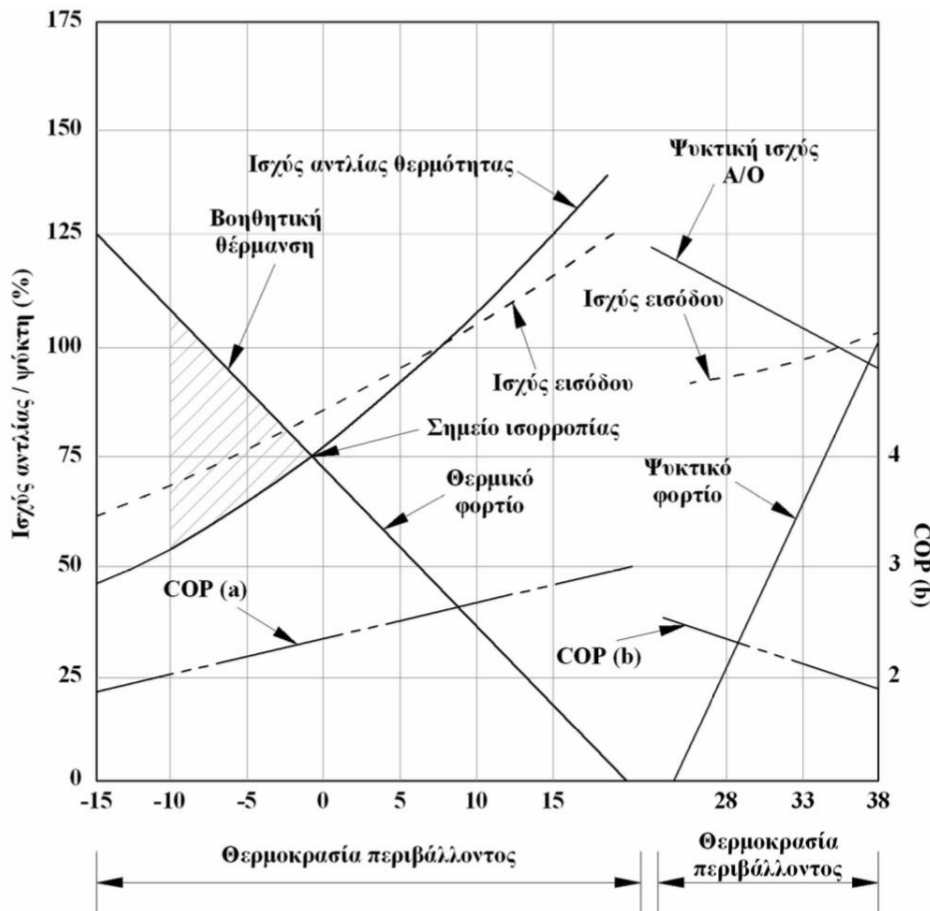
Εικόνα 3.8-1 Διατάξεις Λειτουργίας Συστημάτων με Αντλία Θερμότητας (8)

Επομένως στα υφιστάμενα κτίρια τοποθετούνται αντλίες θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε θερμοκρασίες 70-80° C, όσο λειτουργούν και οι λέβητες. Έτσι με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης του υφιστάμενου δικτύου διανομής του νερού αλλά και των ίδιων τερματικών μονάδων, ώστε να επιτευχθεί μια σημαντική πτώση της τιμής του κόστους εγκατάστασης.

Επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός της πηγής θερμότητας που θα χρησιμοποιεί η αντλία θερμότητας. Όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω κεφάλαια, υπάρχουν διάφορες πηγές θερμότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Για την επιλογή της πηγής θερμότητας πρέπει να μελετηθεί κατά πόσο είναι εφικτή η χρήση κάθε πηγής θερμότητας. Ο αέρας αποτελεί την πιο εύκολη επιλογή, διότι βρίσκεται διαθέσιμος παντού. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι το χαμηλό κόστος εγκατάστασης που απαιτείται, καθώς ένα τέτοιο σύστημα δεν έχει την τοποθέτηση συστήματος διανομής ρευστού, όπως απαιτείται στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται νερό ή το έδαφος. Το αρνητικό των αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν τον αέρα είναι ότι δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλές θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να χρειάζεται συμπληρωματική πηγή, κάτι το οποίο δεν μπορεί να συμβεί στο νερό και στο έδαφος .

Το τελευταίο βήμα είναι η επιλογή του μεγέθους της αντλίας θερμότητας. Όπως είναι λογικό, ανάλογα με το είδος της πηγής θερμότητας διαφοροποιούνται και τα δεδομένα της διαστασιολόγησης, διότι αλλάζουν οι συνθήκες σχεδιασμού σε κάθε περίπτωση.

Για την επιλογή του μεγέθους της αντλίας θερμότητας χρησιμοποιείται ένα διάγραμμα. Σε αυτό, ο οριζόντιος άξονας έχει την εξωτερική θερμοκρασία και ο κάθετος άξονας τις τιμές ισχύος (9). Σε αυτόν τον άξονα φέρεται η ευθεία των θερμικών φορτίων, η οποία δημιουργείται εάν υπολογίσουμε τα θερμικά φορτία για δυο διαφορετικά σημεία. Συνήθως βολεύει το ένα σημείο να είναι το σημείο που μηδενίζονται τα θερμικά φορτία του κτιρίου (η θερμοκρασία σχεδιασμού να είναι ίδια με την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία) και το άλλο να είναι εκείνο της θερμοκρασίας σχεδιασμού. Η επόμενη καμπύλη είναι η καμπύλη απόδοσης της αντλίας θερμότητας, η οποία δίνεται από τον κατασκευαστή.



Εικόνα 3.8-2 Διάγραμμα Απόδοσης Αντλίας Θερμότητας (10)

Το σημείο τομής των δύο ευθειών είναι το σημείο όπου τα θερμικά φορτία του κτιρίου ταυτίζονται με την ισχύ της αντλίας. Σε μια θέση δεξιά από αυτό το σημείο, η αντλία μπορεί να καλύψει το θερμικό φορτίο ενώ από αριστερά, χρειάζεται συμπληρωματική πηγή.

Στις αντλίες αέρα-νερού και αέρα-αέρα είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα υπάρχουν ώρες όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος θα είναι χαμηλότερη από εκείνη όπου η ισχύς της αντλίας θερμότητας είναι ίδια με τα θερμικά φορτία. Για τον σωστότερο σχεδιασμό είναι σημαντικό να μελετηθεί κατά πόσο η συγκεκριμένη περιοχή έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες μέσα στον χρόνο. Έτσι θα διαπιστωθεί εάν αξίζει να τοποθετηθούν αντιστάσεις, σε περίπτωση που αυτές οι μέρες είναι λίγες ή πρέπει να τοποθετηθεί ένα συμπληρωματικό σύστημα, όπως η βιομάζα.

Τέτοιο πρόβλημα δεν συναντάται συνήθως στις αντλίες θερμότητας νερού-νερού και εδάφους νερού, γιατί και οι δυο πηγές θερμότητας μειώνουν ελάχιστα τη θερμοκρασία τους, ακόμα και σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες. Σε αυτές τις αντλίες θερμότητας πρέπει να σχεδιαστεί και το δίκτυο διανομής του νερού.

Τέλος, για να καθοριστεί το τελικό μέγεθος της αντλίας θερμότητας, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η κατανάλωση ισχύος για την απομάκρυνση της αντλίας θερμότητας. Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 6° C, τότε μέσα στον εξαμιστή δημιουργείται πάγος, με αποτέλεσμα η αντλία να

ασχολείται με την αποπάγωση της και να μην λειτουργεί. Η αποπάγωση γίνεται με την αντιστροφή του κύκλου.

Πίνακας 3-1 Συντελεστής Αποπάγωσης

Εξωτερική Θερμοκρασία	-20	-15	-10	-8	-5	0	2	5	>6
Συντελεστής Αποπάγωσης f_d	0,9	0,89	0,89	0,88	0,86	0,85	0,85	0,95	1

Επομένως η σχέση που θα μας δώσει την τελική ισχύ σχεδιασμού της αντλία θερμότητας είναι

$$Q_{A\theta} = Q(T_{out}) \cdot f_d \quad 3.8.1$$

$Q_{A\theta}$: Τελική ισχύς σχεδιασμού αντλίας θερμότητας

$Q(T_{out})$: Αποδιδόμενη ισχύς σχεδιασμού σε εξωτερική θερμοκρασία T_{out}

f_d : Συντελεστής αποπάγωσης

4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

4.1 Γενικά

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που μπορεί να εκμεταλλευθεί από το έδαφος εξαιτίας των χαρακτηριστικών του. Το έδαφος έχει μεγάλη θερμοαποθηκευτική ικανότητα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση καθημερινών προβλημάτων. Ένα από αυτά είναι και η κάλυψη θερμικών αναγκών. Σαν μορφή ενέργειας κατατάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και για αυτό τον λόγο τα τελευταία χρόνια οι τεχνολογίες που την εκμεταλλεύονται εξελίσσονται ερευνητικά συνεχώς.

Η γεωθερμική ενέργεια χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σημείου εκμετάλλευσης. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν οι κατηγορίες εκείνες που μπορούν να εξυπηρετήσουν τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας, δηλαδή αυτή που αφορά θερμοκρασίες 25°C-100°C. Εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας και εναλλάκτες θερμότητας ή άμεσοι εναλλάκτες εδάφους ψυκτικού μέσου.

Η λειτουργία ενός συστήματος γεωθερμίας δεν διαφέρει από μια τυπική αντλία θερμότητας αέρα-νερού. Η διαφοροποίηση των δύο συστημάτων είναι στο μέσο με το οποίο γίνεται η ανταλλαγή θερμότητας. Στην πρώτη περίπτωση είναι ο αέρας του περιβάλλοντος ενώ στην δεύτερη είναι το έδαφος.

Τα πλεονεκτήματα των γεωθερμικών αντλιών σε σχέση με τις αερόψυκτες είναι ότι χρησιμοποιούν 30% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια και, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, έχουν 30% λιγότερους ρύπους. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί και σε μεγαλύτερο βαθμό στην περίπτωση που τοποθετηθούν ηλιακοί συλλέκτες, με στόχο την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που εισέρχεται στον εναλλάκτη. Το παραπάνω σημαίνει και αύξηση του βαθμού απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, άρα και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Στα πλεονεκτήματα έρχονται να προστεθούν τα χαμηλά έξοδα συντήρησης και η μεγάλη διάρκεια ζωής τέτοιων συστημάτων. Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα λειτουργικά πλεονεκτήματα είναι ότι η γεωθερμική αντλία θερμότητας μπορεί να λειτουργήσει ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με την αντλία θερμότητας αέρα – νερού που δεν μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός. Αυτό γίνεται εξαιτίας της μικρής πτώσης της θερμοκρασίας που έχει το έδαφος, ακόμα και σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες.

4.2 Κανονική ή αβαθής γεωθερμία

Η κανονική ή αβαθής γεωθερμία αποτελεί την πιο διαδομένη μέθοδο της αξιοποίησης του εδάφους σε συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού. Για να σχεδιαστεί ένα τέτοιο σύστημα είναι σημαντική η μελέτη των γεωλογικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι:

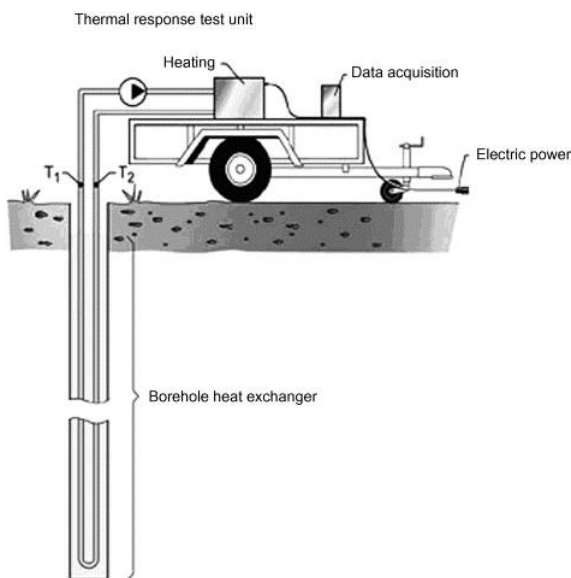
- Το ειδικό βάρος
- Το βάρος ανά μονάδα όγκου

- Το πορώδες έδαφος
- Η υγρασία του εδάφους και η ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό
- Η ειδική θερμότητα
- Η ειδική θερμική αγωγιμότητα
- Η ειδική θερμική διαχυτότητα

Η διαδικασία που βοηθάει στον ακριβή προσδιορισμό των παραπάνω δεδομένων ονομάζεται έλεγχος θερμικής απόκρισης (Thermal Response Test). Η παραπάνω μέθοδος βοηθάει ώστε τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό γεωθερμικών συστημάτων να ανταποκρίνονται κατά ένα μεγάλο βαθμό στην πραγματικότητα, διότι με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η υπερ/υπο διαστασιολόγηση του συστήματος. Στην πρώτη περίπτωση ανεβαίνει σε μεγάλο βαθμό το κόστος εγκατάστασης, κάνοντας την επένδυση ασύμφορη ενώ στη δεύτερη περίπτωση το σύστημα δεν μπορεί να αποδώσει την κατάλληλη θερμότητα στο χώρο.

Δυο σημαντικές μεταβλητές στον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων είναι η θερμική αντίσταση και η θερμική θερμοπερατότητα. Η λανθασμένη εκτίμηση των παραπάνω μεταβλητών μπορεί να επιφέρει μεγάλη αστοχία όσον αφορά τον σχεδιασμό του γεωθερμικού εναλλάκτη. Για τον παραπάνω λόγο είναι σημαντικός ο προσδιορισμός αυτών των παραμέτρων με ακριβή μοντέλα και όχι με εμπειρικούς πίνακες.

Ο έλεγχος αυτός γίνεται με μια ειδική συσκευή που δημιουργήθηκε στην Σουηδία και ονομάζεται TED. Η συσκευή αυτή αποτελείται από μια θερμάστρα με ηλεκτρική αντίσταση, ηλεκτρονικά όργανα και μια δεξαμενή 85 λίτρων. Το πρώτο στάδιο του ελέγχου αποτελεί ο καθορισμός της



Εικόνα 4.2-1 Συσκευή ελέγχου θερμικής απόκρισης (51)

σταθερής θερμοκρασίας του υπεδάφους. Το παραπάνω πραγματοποιείται μετρώντας την θερμοκρασία με θερμοζεύγη. Στην παρούσα φάση η κυκλοφορία του νερού γίνεται χωρίς αυτό να θερμαίνεται. Το επόμενο στάδιο αφορά την κυκλοφορία του νερού, το οποίο και θερμαίνεται. Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται στην είσοδο και στην έξοδο του γεωθερμικού εναλλάκτη. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γνωστοποιηθεί η θερμοκρασιακή πτώση και να καταλήξει στην απώλεια θερμότητας, άρα να προσδιοριστεί η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους. Για να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια ο παραπάνω υπολογισμός, απαιτούνται περίπου 70 ώρες λειτουργίας της θερμάστρας.

Η παραπάνω διαδικασία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον ακριβή υπολογισμό. Ο προσδιορισμός των παραπάνω παραμέτρων με την TRT σε μεγάλης ισχύος γεωθερμικά συστήματα είναι επιτακτική. (11) Στα μικρής κλίμακας γεωθερμικά συστήματα η παραπάνω διαδικασία μπορεί να αποφευχθεί και να χρησιμοποιηθούν οι εμπειρικοί πίνακες.

Για να εκμεταλλευτούμε την κανονική γεωθερμία υπάρχουν δύο διαθέσιμες τεχνολογίες.

Το πρώτο σύστημα αφορά την άντληση υπόγειων ρευστών και ονομάζεται σύστημα ανοικτού κυκλώματος. Το όνομα αντιπροσωπεύει την λειτουργία τους, διότι τέτοια συστήματα δεν χρησιμοποιούν σταθερό νερό, αλλά νερό που ανανεώνεται συνέχεια, αφού επιστρέφει στην πηγή λήψης. Η λειτουργία τέτοιων συστημάτων είναι σαν τα συστήματα που αναλύθηκαν στις αντλίες νερού-νερού. Αυτά τα συστήματα είναι ιδανικά για σημεία με χαμηλό βάθος.

Στη συγκεκριμένη κατηγορία συναντάμε δύο κατηγορίες συστημάτων. Ο διαχωρισμός αφορά το πως είναι τοποθετημένοι οι σωλήνες. Οι δυο κατηγορίες είναι τα οριζόντια και τα κατακόρυφα συστήματα τα οποία αναλύονται παρακάτω, με την δεύτερη κατηγορία να κατέχει το 80% των τωρινών εγκαταστάσεων.

4.3 Νομοθεσία

Η νομοθεσία παίζει σημαντικό παράγοντα στην μη υλοποίηση τέτοιων έργων, διότι προβλέπει πολλές γραφειοκρατικές εργασίες, κάτι το οποίο καθυστερεί την πραγματοποίηση τέτοιων εγκαταστάσεων και αποτρέπει του επενδυτές να επενδύσουν εκεί.

Το νομοθετικό πλαίσιο είναι υπεύθυνο να διασφαλίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εγκατάστασης, τα κατασκευαστικά θέματα, καθώς και τις γραφειοκρατικές διαδικασίες. Για την ελληνική επικράτεια το νομοθετικό πλαίσιο είναι η Υπουργική απόφαση Δ9Βδ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488(ΦΕΚΒ1249/24.06.2009), η Υπουργική απόφαση 150559/2011(ΦΕΚ 1440Β) και ο Νόμος 3175.

Στην Υπουργική απόφαση Δ9Βδ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488(ΦΕΚΒ1249/24.06.2009) (12) περιέχονται οι όροι και οι προϋποθέσεις καθώς και τα δικαιολογητικά που χρειάζονται για χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης μέσω εκμετάλλευσης γεωλογικών σχηματισμών.

Επίσης, ορίζονται οι απαραίτητοι κατασκευαστικοί περιορισμοί οι οποίοι είναι:

- Σε κάθε γέωτρηση επιβάλλεται σωλήνωση και τσιμέντωση στα πρώτα 5m
- Επιτρέπεται η κατασκευή κλειστών γεωθερμικών συστημάτων ακόμα και εάν απαγορεύεται η ανόρυξη παραγωγικών γεωτρήσεων.
- Στα ανοιχτά συστήματα πρέπει να διασφαλίζεται ότι το νερό της επιστροφής του εναλλάκτη δεν θα επηρεάζει την ποιότητα του υπάρχοντος νερού.

Το περιεχόμενο της υπουργικής απόφασης περιέχει και τα έγγραφα που χρειάζονται να κατατεθούν για την υλοποίηση γεωθερμικών συστημάτων τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

- Μελέτη γεωθερμικού συστήματος
- Υπεύθυνες δηλώσεις από τους αρμόδιους ότι τηρούνται οι κανονισμοί
- Πιστοποιητικά εξοπλισμού και τεχνικού προσωπικού της εγκατάστασης

Επίσης, για τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα πρέπει να περιέχονται:

- Γνωμοδότηση του ΙΓΜΕ εάν η περιοχή χαρακτηρίζεται ως γεωθερμικό πεδίο

- Σχέδια γεωτρήσεων καθώς και πλήρη χαρακτηριστικά της εγκατάστασης όπως (αντλούμενο και εισαγόμενο νερό, θερμοκρασία άντλησης – επιστροφής)

Στην Υπουργική απόφαση 150559/2011(ΦΕΚ 1440B) (13) στόχος είναι να παρουσιαστούν οι διαδικασίες για την χορήγηση αδειών για γεωτρήσεις ανεξάρτητα από την χρήση της. Στην συγκεκριμένη απόφαση παρουσιάζεται η διαδικασία αδειοδότησης, καθώς και τα δικαιολογητικά που συμπληρώνουν την αίτηση. Αυτά είναι η έγκριση περιβαλλοντικών όρων, το δικαίωμα χρήσης του νερού, στοιχεία για την καταλληλότητα του νερού, έγγραφο αποκλειστικής χρήσης του χώρου και τέλος βεβαίωση ότι το αντλούμενο νερό δεν χρησιμοποιείται από το συλλογικό δίκτυο.

Επίσης, αναφέροντα τα στοιχεία της άδειας, καθώς και ποιοι είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο και την εφαρμογή των κανόνων.

Τέλος, ο Νόμος 3175/2003 (14) αποτελεί μια διάταξη που αφορά την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις. Ο σκοπός τους είναι η δημιουργία προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας.

Οι υπεύθυνοι της διαχείρισης περιορίζονται από την θέσπιση κανονισμών που περιέχονται στον συγκεκριμένο νόμο. Επίσης καθορίζονται και οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για άλλες διατάξεις γεωθερμίας οι οποίες αποσκοπούν σε χρήσεις όπως η ηλεκτρική ενέργεια και η τηλεθέρμανση. Επειδή οι παραπάνω χρήσεις δεν βρίσκονται στο περιεχόμενο τις συγκεκριμένης εργασίας δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

4.4 Κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα

Τα κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένων συστημάτων γεωθερμίας,, επειδή καταλαμβάνουν μικρή έκταση γης, κάνοντάς τα πιο ευέλικτα και πιο προσιτά σε κτήρια που η δέσμευση χώρου είναι μη επιθυμητή. Επίσης χρησιμοποιούνται σε ανακαινίσεις συστημάτων όπου δεν μπορεί να έχει γίνει πρόβλεψη της δέσμευσης χώρου.

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης σε αυτά τα συστήματα μπορεί να βυθιστεί από 10 έως 400m. Στην πιο συνήθη περίπτωση το βάθος του γεωεναλλάκτη είναι 100m, διότι σε πιο μεγάλο βάθος η αύξηση της θερμοκρασίας δεν προσφέρει κάτι στο σύστημα, παρά μόνο περισσότερο κόστος εγκατάστασης. Αυτό σημαίνει ότι η απόσβεση της είναι πιο πιθανό να ξεπερνάει τα 8 χρόνια κάτι το οποίο είναι αποτρεπτικό για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας επένδυσης.

4.5 Προδιαγραφές εγκαταστάσεων γεωεναλλακτών

Οι σωληνώσεις των κατακόρυφων γεωεναλλακτών πρέπει να ακολουθούν κάποιες προδιαγραφές για να είναι αποδεκτές (15). Αυτές οι προδιαγραφές αναλύονται παρακάτω:

- Η απόσταση μεταξύ των κάθετων γεωτρήσεων πρέπει να είναι το ελάχιστο 5m-6m.
- Η μέση απόδοση του γεωεναλλάκτη εξαρτάται από το μέγιστο φορτίο και τα χαρακτηριστικά του εδάφους και οι συνήθεις τιμές κυμαίνονται σε 35-65 W/m.
- Στα δίκτυα θέρμανσης οι σωλήνες πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή, για αυτό προτείνεται η χρήση σωλήνων από ακτινοδίκτυωμένο πολυαιθυλένιο PeX-A.

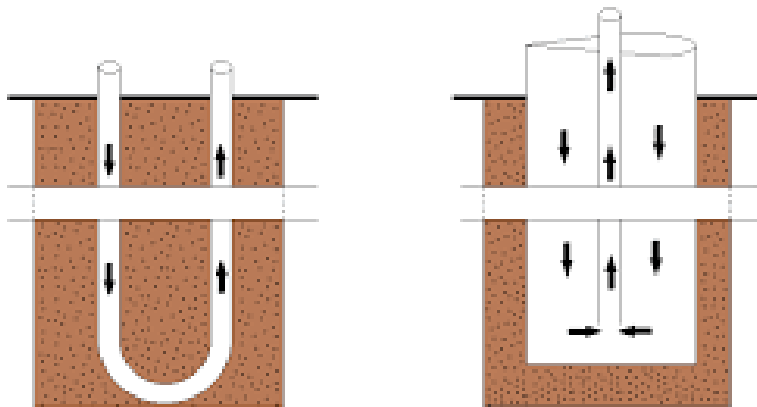
- Η διάμετρο κάθε γεώτρησης είναι 6"-8" και το βάθος μεταξύ 60-100m

4.6 Τύποι Γεωεναλλακτών

4.6.1 Κατακόρυφος Γεωεναλλάκτης

1. Τύπου U σωλήνας

Αποτελεί τον πιο διαδομένο τύπο γεώτρησης για την εναλλαγή θερμότητας. Ο σωλήνας τύπου U τοποθετείται μέσα στην οπή της γεώτρησης. Επειδή ο μονός σωλήνας τύπου U έχει το μειονέκτημα της μικρής επιφάνειας ανταλλαγής θερμότητας, συνήθως προτιμάται σύνδεση πολλών σωλήνων U σε σειρά.



Εικόνα 4.6-1 Τύποι Γεωεναλλακτών Κατακόρυφης Γεωθερμίας (15)

2. Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης

Η διάταξη τέτοιων σωλήνων είναι να τοποθετείται ένας σωλήνας μέσα στον άλλον και να γίνεται έτσι η ανταλλαγή θερμότητας. Η κατεύθυνση της ροής μπορεί να αλλάξει, καθώς και ποιο ρευστό δέχεται την θερμότητα, το εισερχόμενο ή το εξερχόμενο. Συνήθως προτιμώνται σωλήνες πολυαιθυλενίου και σε διάφορες διατάξεις τοποθετούνται διάφορες μονώσεις οι οποίες έχουν στόχο την αύξηση της απόδοσης του συστήματος, επειδή έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη ανταλλαγή θερμότητας.

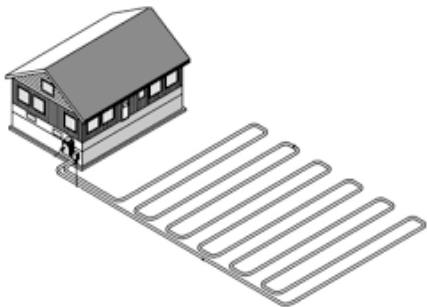
4.6.2 Οριζόντια Γεωθερμικά Συστήματα

Τα οριζόντια συστήματα χρησιμοποιούνται σε περιοχές που υπάρχει διαθέσιμος χώρος για εγκατάσταση. Τα οριζόντια συστήματα τοποθετούνται σε μικρό βάθος συνήθως 2-5m. Σε μικρά βάθη, πέρα από την επίδραση της γεωθερμικής ροής υπάρχει και η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και αυτό είναι το μεγάλο πλεονέκτημα των οριζόντιων γεωθερμικών συστημάτων.

Επειδή γίνεται λόγος για μικρά βάθη εδάφους όπου η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται ως ένα βαθμό από την εξωτερική θερμοκρασία, κατά την τοποθέτηση των σωλήνων είναι σημαντικό να αφεθούν οι απαραίτητες αποστάσεις για να αποφευχθούν προβλήματα εξαιτίας του πάγου. Για

την πυκνότητα της τοποθέτησης των σωλήνων, πέρα από τις ελάχιστες αποστάσεις που προαναφέρθηκαν, πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι περιορισμοί των ειδικών τιμών άντλησης.

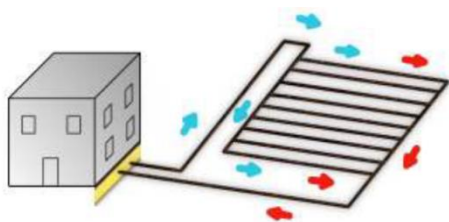
- Συστήματα σε σειρά



Εικόνα 4.6-2 Διάταξη σωληνώσεων συστημάτων σε σειρά (15)

Στα συγκεκριμένα συστήματα οι σωλήνες ενώνονται η μία μετά την άλλη όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6-2. Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας διάταξης είναι η υψηλή απόδοση αφού υπάρχει μεγάλη επιφάνεια ανταλλαγής της θερμότητας εξαιτίας της μεγάλης διαμέτρου του σωλήνα. Από την άλλη τα μειονεκτήματα είναι το μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης εξαιτίας του μεγάλου μήκους αλλά και της μεγαλύτερης διαμέτρου του σωλήνα, καθώς και για την τοποθέτησή του.

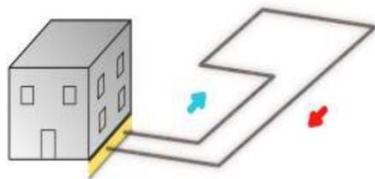
- Παράλληλα συστήματα



Εικόνα 4.6-3 Διάταξη Σωληνώσεων παράλληλων σωληνώσεων (15)

Στα παράλληλα συστήματα οι σωλήνες τοποθετούνται παράλληλα όπως φαίνεται στην εικόνα. Τα πλεονεκτήματα είναι το μικρότερο μήκος αλλά και η διάμετρος του σωλήνα. Το αρνητικό είναι ότι πρέπει δοθεί μεγάλη προσοχή στο να απελευθερωθεί όλος ο αέρας από το εσωτερικό τους.

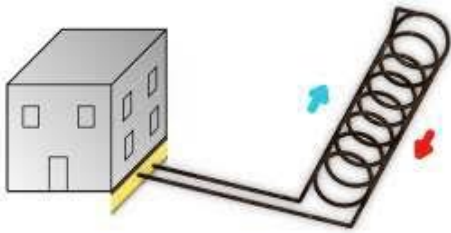
- Συστήματα απλού βρόγχου σε τάφρο



Εικόνα 4.6-4 Διάταξη Σωληνώσεων Απλού Βρόγχου (15)

Η συγκεκριμένη διάταξη εκμεταλλεύεται την μεγαλύτερη επίδραση του εδάφους στην διαθέσιμη επιφάνεια σωλήνων. Επίσης τοποθετούνται σε μεγαλύτερο βάθος για να μειωθεί η έκταση του δικτύου. Η συγκεκριμένη διάταξη έχει μεγάλο βαθμό απόδοσης.

- Συστήματα σπειροειδούς διάταξης



Εικόνα 4.6-5 Σπειροειδής Διάταξη (15)

Η σπειροειδής διάταξη έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί μικρότερη έκταση γης για να πραγματοποιηθεί, επειδή οι σωλήνες δεν είναι ευθύγραμμοι. Ένα άλλο σημαντικό χωρικό πλεονέκτημα είναι ότι η συγκεκριμένη διάταξη μπορεί να τοποθετηθεί και οριζόντια αλλά και κατακόρυφα. Η κατακόρυφη διάταξη προσφέρει ακόμα μικρότερη τάφρο.

Το κάθε σύστημα έχει τα πλεονεκτήματα του και τα μειονεκτήματα του.

Αρχικά, οι οριζόντιοι γεωεναλλάκτες έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης, διότι τοποθετούνται σε μικρά βάθη. Επομένως τα κόστη γεώτρησης κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην σημερινή εποχή, διότι η γεωθερμία απαιτεί υψηλό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με άλλα συστήματα.

Το αρνητικό του συγκεκριμένου συστήματος είναι η χαμηλή του απόδοση σε σχέση με τους κατακόρυφους γεωεναλλάκτες. Η χαμηλή απόδοση οφείλεται στην αστάθεια που έχει το έδαφος σε μικρά βάθη, επειδή επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες και αυτό απαιτεί μεγάλο μήκος γεωεναλλάκτη και έπειτα μεγάλη έκταση γης. Επομένως, όπως είναι λογικό, η θερμοκρασία του εδάφους σε τέτοια βάθη δεν έχει υψηλή τιμή. Επίσης η επιρροή που ασκεί ο ήλιος στο έδαφος δεν μπορεί να προσδιοριστεί με κάποιο τρόπο. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μη ακριβής διαστασιολόγηση του εναλλάκτη, με ότι άλλο αυτό συνεπάγεται.

4.6.3 Υλικά Κατασκευής

Επειδή τα συστήματα γεωθερμίας έρχονται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον και συγκεκριμένα με το έδαφος, τα υλικά που θα τοποθετηθούν μέσα στην γη πρέπει να έχουν κάποιες ιδιότητες για να μην δημιουργήσουν προβλήματα. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι πρέπει να αντέχουν στην διάβρωση, γιατί η επιδιόρθωση του συστήματος είναι δαπανηρή και καθόλου εύκολη.

Εμπορικά, τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το υλικό PE-100 και το PE-Xa. Το πρώτο έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, ενώ το δεύτερο, εξαιτίας της επεξεργασίας που έχει υποστεί, εμφανίζει αντοχή σε πιθανές εξωτερικές ζημιές.

4.7 Μέθοδος ASHRAE για την διαστασιολόγηση του Κατακόρυφου Γεωεναλλάκτη

4.7.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους. Οι πιο διαδομένες είναι οι μέθοδοι προσομοίωσης (Simulation method) και οι μέθοδοι διαστασιολόγησης (Design method). Η πρώτη κατηγορία αποτελεί μια πιο σύνθετη και πιο αναλυτική σχεδίαση συστημάτων, προσομοιώνοντας την λειτουργία του συστήματος και κάνοντας αναλυτικούς υπολογισμούς για τον καθορισμό των μεγεθών που θα αποτελούν το επιθυμητό σύστημά. Η δεύτερη κατηγορία από την άλλη μεριά αποτελεί μια γρήγορη ανάλυση του συστήματος για να καθοριστούν οι διάφορες ανάγκες του.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των μεθόδων προσομοίωσης είναι η υψηλή ακρίβεια που έχουν τα αποτελέσματά τους. Έτσι ο σχεδιασμός του συστήματος μπορεί και αποτυπώνει με μεγάλη ακρίβεια την πραγματικότητα, ώστε το σύστημα να λειτουργεί ιδανικά με το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Το πρόβλημα σε αυτές τις μεθόδους είναι ο πολύς χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί ένας τέτοιος σχεδιασμός, όπου ακόμα και με την εξέλιξη των υπολογιστών και των λογισμικών, ο χρόνος αυτός κινείται σε υψηλά επίπεδα, εξαιτίας της μεγάλης επεξεργασίας δεδομένων που πρέπει να συμβεί.

Αντίθετα, στις μεθόδους διαστασιολόγησης ο χρόνος σχεδιασμού είναι πολύ μικρός, εξαιτίας των λίγων δεδομένων που απαιτούνται. Σε αυτήν την περίπτωση θυσιάζεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων, καθώς τα δεδομένα και η επεξεργασία γίνονται με θεωρητικές και πειραματικές τιμές που δεν είναι απαραίτητο ότι θα συμπίπτουν με την πραγματικότητα. Βέβαια με διάφορα μοντέλα και διορθώσεις των μεθόδων είναι εφικτή η προσέγγιση της πραγματικότητας με μεγάλη ακρίβεια.

Όπως είναι εύκολα κατανοητό από τα παραπάνω, η επιλογή της μεθόδου που θα ακολουθήσει κανείς εξαρτάται από τον εκάστοτε θεσπισμένο στόχο. Εάν ο στόχος είναι τα γρήγορα συμπεράσματα και η σύγκριση των διαφορετικών ειδών συστημάτων, θα πρέπει να επιλεγεί μια μέθοδος διαστασιολόγησης. Σε περίπτωση τελικής φάσης σχεδιασμού του συστήματος θα πρέπει να γίνει επιλογή μιας μεθόδου προσομοίωσης.

Στην παρούσα εργασία, το ενδιαφέρον στρέφεται στη σύγκριση διάφορων ειδών συστημάτων. Για τα καλύτερα δυνατά συμπεράσματα, χρησιμοποιείται μια μέθοδος διαστασιολόγησης, προσαρμόζοντας διάφορες διορθώσεις ώστε να ανταποκρίνονται τα αποτελέσματα όσο πιο κοντά στην πραγματικότητα γίνεται.

Η μέθοδος που ακολουθείται είναι αυτή της American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Η ASHRAE, που ιδρύθηκε το 1894, είναι μια παγκόσμια κοινωνία που δραστηριοποιείται στο τομέα της ενέργειας και του περιβάλλοντος. Η Εταιρεία και τα μέλη της επικεντρώνονται σε οικοδομικά συστήματα, ενεργειακή απόδοση, ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου, ψύξη και βιωσιμότητα εντός του κλάδου. Τα καθήκοντά της είναι η έρευνα, η σύνταξη προτύπων, η δημοσίευση και η συνεχιζόμενη εκπαίδευση μηχανικών.

Μία από τις δημοσιεύσεις της είναι και η μέθοδος για την διαστασιολόγηση γεωεναλλακτών, την οποία και ακολουθεί η παρούσα εργασία και η οποία έχει διορθωθεί σύμφωνα με τις δημοσιεύσεις

των MarcoFossa (16) και των James, R. Cullin, Jeffrey D. Spitler (17) για να προσεγγιστεί σε μεγαλύτερο βαθμό η πραγματικότητα. Αρχικά θα γίνει περιγραφή της πρωτότυπης μεθόδου και εν συνεχεία θα παρουσιαστούν οι διορθώσεις που πραγματοποιήθηκαν.

4.7.2 Επεξήγηση πρωτότυπης μεθόδου

Ο σχεδιασμός του γεωθερμικού συστήματος αποτελείται από δύο σημεία, την επιλογή της γεωθερμικής αντλίας και τον σχεδιασμό του γεωεναλλάκτη. Στην παρούσα περίπτωση, επειδή γίνεται λόγος για κατακόρυφο γεωεναλλάκτη, στόχος είναι ο προσδιορισμός του απαιτούμενου μήκους σωλήνωσης. Επειδή το μήκος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος εγκατάστασης, άρα και κατά πόσο είναι συμφέρουσα μια τέτοια εγκατάσταση, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Ενδεικτικά, σύμφωνα με το εγχειρίδιο της ASHRAE (18) το κόστος γεώτρησης κυμαίνεται μεταξύ του 30€/m - 33€/m, ανάλογα με την θερμική αγωγιμότητα των ενεμάτων που θα τοποθετηθούν. Η λειτουργία των ενεμάτων είναι να προστατεύουν την γεώτρηση από την διείσδυση του νερού από την επιφάνεια της γης.

Ενας τρόπος να μικρύνει το βάθος (19) – κάτι που συνεπάγεται και οικονομία στο αρχικό κόστος εγκατάστασης - είναι να χωρίσουμε το κτήριο σε θερμικές ζώνες όπου η κάθε θερμική ζώνη θα είναι αυτόνομη και θα έχει τον δικό της γεωθερμικό εναλλάκτη. Το πλεονέκτημα στην συγκεκριμένη μέθοδο είναι ότι μειώνεται το βάθος γεώτρησης και υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας όσο αφορά την λειτουργία της κάθε ζώνης ανάλογα με της ανάγκες της. Παρόλα αυτά, η σωστή διαστασιολόγηση αποτελεί το καλύτερο μέσο για την εξοικονόμηση χρημάτων από το αρχικό κεφάλαιο.

Η πρωτότυπη μέθοδος της ASHRAE αποτελεί μια μέθοδο διαστασιολόγησης που χαρακτηρίζεται από την ευκολία του υπολογισμού της και τα γρήγορα αποτελέσματα τα οποία παρέχει στον σχεδιαστή.

Αρχικά πρέπει να προσδιοριστεί η μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος η οποία, όπως είναι εμφανές, εξαρτάται από το θερμικό αλλά και το ψυκτικό φορτίο της εγκατάστασης. Στην τωρινή περίπτωση βέβαια, επειδή γίνεται λόγος για συστήματα θέρμανσης, θα θεωρηθεί ότι το γεωθερμικό σύστημα δεν χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων, άρα στους υπολογισμούς που θα πραγματοποιηθούν, οι όροι που αποτυπώνουν τα ψυκτικά φορτία θα είναι μηδενικοί. Η μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος συμβολίζεται με q_a και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$q_a = \frac{C_{fc} \cdot q_{lc} \cdot EFL_{hoursc} + C_{fh} \cdot q_{lh} \cdot EFL_{hoursh}}{T_y} \quad 4.7.1$$

q_{lc} και q_{lh} αποτυπώνει το ονομαστικό και ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα (BTU/h)

EFL_{hoursc} και EFL_{hoursh} αποτυπώνουν την ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως (h) και υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

C_{fh} και C_{fc} διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και ERR αντίστοιχα

T_y το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8760h)

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου EFL_{hours_c} και EFL_{hours_h} αποτυπώνουν το ποσό των ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα με το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά την διάρκεια του έτους. Στόχος εδώ είναι τα ετήσια φορτία να είναι ισορροπημένα μέσα στον χρόνο, για να μην δέχεται το έδαφος μεγάλη θερμική διακύμανση. Οι σχέσεις που δίνουν τους δείκτες είναι:

$$EFL_{hours_c} = \frac{E_c}{q_{1c}} \quad 4.7.2$$

$$EFL_{hours_h} = \frac{E_h}{q_{1h}} \quad 4.7.3$$

E_c και E_h οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι διορθωτικοί συντελεστές που εξαρτώνται από την απόδοση της αντλίας θερμότητας.

Πίνακας 4-1 Διορθωτικοί Συντελεστές COP

Διορθωτικοί Συντελεστές Αντλιών Θερμότητας	
COP	C_{fh}
3	0,75
3,5	0,77
4	0,8
4,5	0,82

Όπως έχει προαναφερθεί σε εγκαταστάσεις γεωθερμίας χρησιμοποιούνται σωλήνες πολυαιθυλενίου. Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου έχουν μια κωδικοποίηση η οποία φανερώνει τις ιδιότητες του σωλήνα. Το PE συμβολίζει το υλικό, δηλαδή το πολυαιθυλένιο, στην συνέχεια φανερώνεται η διάμετρος και μετά το PN φανερώνει την ονομαστική πίεση αντοχής του σωλήνα σε bar. Ένας άλλος δείκτης που χαρακτηρίζει τον σωλήνα του πολυαιθυλενίου είναι το SDR είναι μια αναλογία διαστάσεων ίση με το αποτέλεσμα της διαίρεσης της διαμέτρου από το πάχος τοιχώματος. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του, τόσο ισχυρότερη είναι η σωλήνωση.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω από την ASRAHE, κοινοποιείται ο παρακάτω πίνακας που εμφανίζει τα χαρακτηριστικά της κάθε τυποποίησης.

Πίνακας 4-2 Χαρακτηριστικά σωληνών

Τύπος	Υλικό	Εξωτερική Διάμετρος(mm)	Πάχος τοιχώματος(mm)	Θερμική αγωγιμότητα(W/mK)	Θερμική αντίσταση(Km/W)
PEDN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25,00	2	0,42	0,066
PEDN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32,00	2	0,42	0,051
PEDN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40,00	2,3	0,42	0,046
PEDN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50,00	2,9	0,42	0,047
PEDN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20,00	2	0,42	0,085
PEDN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25,00	2,3	0,42	0,077
PEDN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	32,00	3	0,42	0,079
PEDN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	40,00	3,7	0,42	0,078
PEDN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	50,00	4,6	0,42	0,077
PEDN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	26,70	2,5	0,42	0,079
SDR-11 3/4"	Πολυαιθυλένιο	33,40	3	0,42	0,075
SDR-11 1"	Πολυαιθυλένιο	42,20	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	48,30	4,4	0,42	0,076
SDR-11 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	60,30	5,5	0,42	0,076
SDR-11 2"	Πολυαιθυλένιο	28,60	2,2	0,22	0,121
SDR-13 1"	Πολυαιθυλένιο	34,90	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,30	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54,00	4	0,22	0,116

Ο παραπάνω πίνακας θα φανεί χρήσιμος όσο αφορά τον υπολογισμό της διαμέτρου, που είναι και το αμέσως επόμενο βήμα.

Όπως είναι γνωστό, σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται σωλήνες για να μεταφέρουν ρευστό, η διατομή των σωλήνων εξαρτάται από την μεταφερόμενη ισχύ που πρέπει να μεταφέρει η σωλήνωση. Οπότε για τον υπολογισμό της διαμέτρου είναι χρήσιμος ο τύπος που δίνει την θερμική ισχύ του ρευστού, διότι μέσω αυτής θα υπολογιστεί η απαιτούμενη μάζα του ρευστού. Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς μέσα σε έναν αγωγό δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$Q_b = m \cdot C_v \cdot (T_{wi} - T_{wo}) \quad (\Psiύξη) \quad 4.7.4$$

$$Q_b = m \cdot C_v \cdot (T_{wo} - T_{wi})(\text{Θέρμανση}) \quad 4.7.5$$

m η παροχή μάζας του νερού στην σωλήνωση

C_p = 4,184 kJoule/kgK η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

T_{wi} η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον γεωθερμικό εναλλάκτη

T_{wo} η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον γεωθερμικό εναλλάκτη

Το ΔΤ του νερού εξαρτάται από την αντλία θερμότητας και δίνεται από τον κατασκευαστή της και συνήθως η τιμή της κυμαίνεται γύρω στο 4K. Έτσι από την παραπάνω σχέση είναι εύκολο να υπολογιστεί η παροχή μάζας ρευστού που πρέπει να μεταφέρει ο εν λόγω αγωγός.

Στην συνέχεια είναι σημαντική η παροχή όγκου του ρευστού που χρειάζεται. Ο υπολογισμός του όγκου αυτού πραγματοποιείται μέσω του ορισμού της πυκνότητας, λαμβάνοντας υπόψιν την παροχή μάζας, ο υπολογισμός της οποίας επεξηγήθηκε παραπάνω.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad 4.7.6$$

V η παροχή όγκου ρευστού που απαιτεί η εγκατάσταση

ρ η πυκνότητα του ρευστού που κυκλοφορεί στην εγκατάσταση

Στην συνέχεια από το τύπο που δίνει την παροχή σε ένα σωλήνα μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη διατομή του σωλήνα. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι η παραπάνω παροχή πρέπει να διαμοιρασθεί στον αριθμό των γεωτρήσεων και έπειτα στους βρόγχους από τους οποίους θα αποτελείται η κάθε γεώτρηση. Ο αριθμός γεωτρήσεων εξαρτάται από την ισχύ της εγκατάστασης και συνήθως η μια γεώτρηση ισούται με 3,517kW ενώ η επιλογή του αριθμών των βρόγχων εξαρτάται από τον σχεδιαστή.

Επομένως λαμβάνοντας τα παραπάνω, η διάμετρο κάθε βρόγχου μπορεί να βρεθεί αντικαθιστώντας στο τύπο του όγκου τον τύπο της επιφάνειας του κυλίνδρου και επιλύοντας ως προς την διατομή. Μετά από πράξεις προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot u}} \quad 4.7.7$$

D διατομή του αγωγού

u ταχύτητα ροής

Στόχος είναι η ταχύτητα ροής να βρίσκεται στο εύρος τιμών μεταξύ του 1-1,5m/sec. Επίσης όταν υπολογίζεται το D, υπολογίζεται η εσωτερική διάμετρος, οπότε για να βρεθεί ποια τυποποίηση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, αρκεί να ληφθεί υπόψιν και το πάχος την σωλήνας, ώστε να βρεθεί και ποια πρέπει να είναι η επιθυμητή εξωτερική διάμετρος.

Στην συνέχεια, ο στόχος είναι να υπολογιστούν οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους. Οι θερμικές αντιστάσεις υπολογίζονται για 3 διαφορετικές περιόδους, για τον ετήσιο, τον μηνιαίο και τον ημερήσιο παλμό. Η επιλογή 3 περιόδων οφείλεται στην αλλαγή της θερμοκρασίας σε βάθος πολλών ετών, στην αλλαγή της θερμοκρασίας του εδάφους εξαιτίας της διακύμανσης του φορτίου μέσα στον χρόνο και, τέλος, στην ωριαία διακύμανση του φορτίου. Η συγκεκριμένη τακτική βασίζεται στην συνάρτηση G και τον αριθμό Fourier. Βέβαια αρκεί να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη τακτική (16) αποδίδει καλά αποτελέσματα όσο αφορά τις βραχυπρόθεσμες περιόδους, δηλαδή τον ημερήσιο και μηνιαίο παλμό. Αντίθετα, στις μακροπρόθεσμες περιόδους τα αποτελέσματα απέχουν σε μεγάλο βαθμό από την πραγματικότητα και για αυτό τον λόγο, για να διορθωθεί το σφάλμα αυτό στο σύστημα της ASHRAE, εισέρχεται διορθωτικός συντελεστής για την θερμοκρασία του εδάφους.

Για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης κάθε παλμού απαιτείται ο υπολογισμός του αριθμού Fourier και η συνάρτηση G. Η σχέση της συνάρτησης G παραμένει ίδια για κάθε παλμό ενώ η σχέση του αριθμού Fourier αλλάζει ανάλογα με τον παλμό. Παρακάτω θα αποτυπωθούν οι σχέσεις που πρέπει να υπολογιστούν για κάθε παλμό.

Αρχικά η συνάρτηση G ως προς τον αριθμό Fourier δίνεται από την παρακάτω σχέση για όλους τους παλμούς:

$$G_i = 0,0769 \cdot \ln(F_{oi}) + 0,0901 \quad 4.7.8$$

F_{oi}: i=1, 2, f οι αδιάστατοι αριθμοί Fourier οι οποίοι είναι διαφορετικοί για κάθε παλμό

Ο αριθμός Fourier δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_o = \frac{4 \cdot a_g \cdot \tau}{d^2} \quad 4.7.9$$

a_g : η θερμική διαχυτότητα του εδάφους σε $ft^2/ημέρα$

τ : ο χρονικός παλμός επίδρασης της θερμοκρασίας

d : η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης του εναλλάκτη σε ft

Όπως είναι εύκολο να διαπιστωθεί από την παραπάνω εξίσωση, η διαφορά του αριθμού Fourier οφείλεται στον χρονικό παλμό της επίδρασης της θερμοκρασίας. Η τιμή του τ για τον δεκαετή παλμό 3650 ημερών, για τον μηνιαίο παλμό 30 ημερών και για ένα 6ωρο παλμό δηλαδή το 25% της ημέρας. Για τον δεκαετή παλμό το $\tau_1=3650$ ημέρες, για τον μηνιαίο παλμό των $\tau_2= 3650+30= 3680$ και για τον ημερήσιο παλμό $\tau_f = 3680,25$ ημέρες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο αριθμός Fourier για κάθε παλμό ισούται:

$$F_{o1} = \frac{4 \cdot a_g \cdot (\tau_f - \tau_1)}{d^2} \quad 4.7.10$$

$$F_{o2} = \frac{4 \cdot a_g \cdot (\tau_f - \tau_2)}{d^2} \quad 4.7.11$$

$$F_{of} = \frac{4 \cdot a_g \cdot \tau_f}{d^2} \quad 4.7.12$$

Αφού έχει υπολογιστεί με τις παραπάνω σχέσεις η συνάρτηση G ως προς τον αριθμό Fourier, σειρά έχει ο υπολογισμός της θερμικής αντίστασης του εδάφους, όπου αυτός ήταν και ο απώτερος σκοπός. Η σχέση που δίνει την θερμική αντίσταση για κάθε παλμό δίνεται παρακάτω:

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{k_g} \text{ (Ετήσιο παλμό)} \quad 4.7.13$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{k_g} \text{ (Μηνιαίο παλμό)} \quad 4.7.14$$

$$R_{gd} = \frac{G_2}{k_g} \text{ (Ημερήσιο παλμό)} \quad 4.7.15$$

k_g η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους

Πίνακας 4-3 Χαρακτηριστικά Εδάφους

Τύπος Εδάφους	k(btu/hftF)	$\rho \cdot 1000(\text{lb}/\text{ft}^3)$	ag(ft ² /day)	cp(btu/lbF)
Γρανίτης	1,938	0,1736	1,546968395	0,1752
Βασάλτης	0,969	0,1736	0,773484198	
Διορήτης	1,482	0,1798	1,142183562	
Μάρμαρο	1,197	0,1612	1,028978978	
Μεταχλαζίτης	3,306	0,1674	2,73668483	
Ασβαστόλιθος	1,596	0,1674	1,321158194	
Μάργα	1,197	0,1581	1,049155036	
Χαλαζίτης	3,42	0,1674	2,831053272	
Αμμόλιθος	1,311	0,1488	1,220891724	
Άργιλος	1,254	0,155	1,121097096	
Χαλίκι,ξηρό	0,228	0,1674	0,188736885	
Χαλίκι,κορεσμένο νερό	1,026	0,1612	0,881981981	
Άμμος,ξηρή	0,228	0,1612	0,195995996	
Αμμός,κορεσμένο υγρό	1,368	0,1612	1,175975975	

Οι ιδιότητες για κάθε τύπο εδάφους δίνονται από τον παραπάνω πίνακα.

Έπειτα υπολογίζεται ο συντελεστής μερικού φορτίου, ο οποίος αντιπροσωπεύει το ποσοστό ωρών της λειτουργίας του παρόντος συστήματος στο ονομαστικό φορτίο. Ο συντελεστής μερικού φορτίου μπορεί να υπολογιστεί αρκεί να είναι γνωστή η χρήση του κτηρίου, καθώς άλλες ώρες χρειάζονται σε ένα σχολείο για να λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης σε ονομαστικό φορτίο και άλλες ώρες σε μια κατοικία. Ο υπολογισμός γίνεται μέσω της σχέσης 2.4.

Ένα ακόμα σημαντικό μέγεθος είναι ο προσδιορισμός της θερμικής αντίστασης της σωλήνωσης. Αυτό το μέγεθος εξαρτάται από το SDR της σωλήνωσης και την παροχή σε gpm. Άρα η επιλογή της τιμής της γίνεται με βάση τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-4 Θερμική Αντίσταση Γεώτρησης

SDR	Παροχή νερού άνω 2gpm	Παροχή νερού άνω 3 gpm	Παροχή νερού άνω 5 gpm
SDR 11	0,09	0,14	0,1
SDR 9	0,11	0,15	0,12
SDR40	0,1	0,16	0,11

Ακόμα ένας επιπλέον συντελεστής που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος, ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό των γεωτρήσεων και την παροχή ανά σωλήνωση. Η επιλογή του γίνεται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4-5 Συντελεστής Θερμικών Απωλειών

Συντελεστής Θερμικών Απωλειών			
Παροχή ανά σωλήνωση	Αριθμός Βρόγχων ανά γεώτρηση		
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

Σε περίπτωση παροχής ανά σωλήνωση μεγαλύτερη από 3grm, ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος ισούται με 1.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους της γεώτρησης αποτελεί η θερμοκρασία του εδάφους. Η θερμοκρασία του εδάφους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την γεωγραφική θέση της περιοχής. Η θερμοκρασία στο υπέδαφος στα πρώτα 5 μέτρα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες περιβάλλοντος άρα εμφανίζει μια εποχικότητα. Με την αύξηση του βάθους, η επίδραση των εξωτερικών συνθηκών αρχίζει και μειώνεται όπου και μηδενίζεται κάτω από τα 31 μέτρα. Επίσης η θερμοκρασία έχει σχεδόν σταθερή τιμή στα πρώτα 20 μέτρα και έπειτα αυξάνεται 3°C ανά 100m. Επειδή ο στόχος είναι η εύρεση του μεγέθους του γεωεναλλάκτη με γρήγορο τρόπο, αρκεί για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του εδάφους να ληφθεί υπόψιν η μέση ετήσια θερμοκρασία του, όπου στην Ελλάδα αυτή ισούται με 19,4°C ή 67°F.

Τέλος, ο σημαντικότερος συντελεστής που πρέπει να υπολογιστεί είναι το Tr. Το Tr αντιπροσωπεύει την μακροχρόνια αλλαγή της θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της λειτουργίας της Αντλίας Θερμότητας. Μπορεί να πει κανείς ότι είναι η ποινή θερμοκρασίας λόγω γειτονικών γεωτρήσεων. Η αλλαγή αυτή οφείλεται στην συνεχή ανταλλαγή θερμοκρασίας του γεωεναλλάκτη με το έδαφος. Ο συγκεκριμένος συντελεστής μπορεί να μεταβάλει σε μεγάλο βαθμό το μήκος του γεωεναλλάκτη καθώς και την λειτουργία του συστήματος. Για αυτό το λόγο, ο υπολογισμός του πρέπει να γίνει μεγάλη ακρίβεια.

Η ASHRAE προτείνει την επιλογή από τον παρακάτω πίνακα, λαμβάνοντας υπόψιν τον αριθμό των ισοδύναμων ωρών, την απόσταση της γεώτρησης, την θερμοκρασία εδάφους, την θερμοκρασία λειτουργίας και, τέλος, την θερμική αγωγιμότητα του εδάφους.

Πίνακας 4-6 Τιμή ποινής θερμοκρασίας T_p

Αριθμός ισοδύναμων ωρών θέρμανσης	Απόσταση γεωτρήσεων	Θερμοκρασία εδάφους και νερού εισαγωγής του υγρού στον εναλλάκτη			
		tg=50 F (tw=35/80 F)		tg=60 F (tw= 45/85F)	
		Kg(Btu/hftF)			
		1	1,5	1	1,5
		Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους tr(F) (Απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT)			
1500	15	-4,4(318)	-4,4(248)	-	-
	20	-2,3(276)	-2,3(216)	-	-
	25	-1,2(258)	-1,2(202)	-	-
1000	10	12,9(318)	11,8(245)	-	11,8(313)
	15	5,4(237)	4,3(186)	4,7(245)	4,7(225)
	20	3,4(220)	1,9(172)	2,5(263)	2,5(206)

Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των παραπάνω παραμέτρων, μπορεί να προσδιοριστεί του απαιτούμενο μήκος του εναλλάκτη. Ο τύπος που δίνει το μήκος του γεωεναλλάκτη για την θέρμανση είναι ο παρακάτω:

$$L_h = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{T_g - \frac{T_{wi} + T_{wo}}{2} - T_p} \quad 4.7.16$$

4.7.3 Ακρίβεια ASHRAE

Η μέθοδος της ASHRAE αποτελεί μια από τις πιο δυνατές μεθόδους σχεδιασμού στην γεωθερμία που μπορεί να επιτευχθεί αρκετά γρήγορα και να δώσει τα απαραίτητα και απαιτούμενα αποτελέσματα. Αυτή η μεγάλη ταχύτητα των υπολογισμών θυσιάζει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, όπως γίνεται και σε κάθε μέθοδο σχεδιασμού.

Σύμφωνα με την δημοσίευση (20), στην οποία πραγματοποιείται μία έρευνα πάνω στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων που παρέχει η μέθοδος ASHRAE, διαπιστώθηκε η μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων που παρουσιάζει η συγκεκριμένη μέθοδος σε σχέση με την πραγματικότητα σε 4 μελέτες περιπτώσεων. Η απόκλιση από τις πραγματικές τιμές αγγίζει πάνω από το 100% όσο αφορά την υπερδιαστασιολόγηση και -21% όσο αφορά την υποδιαστασιολόγηση.

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό αυτές οι μεγάλες αποκλίσεις δίνουν μια μεγάλη αστοχία που μπορεί να θέσει εκτός στόχων το πλάνο, τόσο ως προς την αξιολόγηση μιας επένδυσης ενός τέτοιου

συστήματος, διότι η επένδυσή αυτή θα αξιολογηθεί για ένα κόστος που απέχει σε μεγάλο βαθμό από την πραγματικότητα, όσο και ως προς την λειτουργία, ειδικά εάν γίνει η επιλογή να σχεδιαστεί το σύστημα με αυτή την μεθοδολογία. Βέβαια ένας σχεδιαστής θα πρέπει να έχει υπόψιν του ότι μια εγκατάσταση τέτοιου κόστους πρέπει να σχεδιάζεται με μεγάλη ακρίβεια, επομένως πρέπει να προτιμάται μια μέθοδος προσομοίωσης για τον τελικό σχεδιασμό.

Ο στόχος είναι να διατηρηθεί η δυνατότητα που δίνει η ASHRAE για να υπολογίζονται γρήγορα τα μεγέθη του ενδιαφέροντος, αλλά με μικρότερο αντίκτυπο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Επομένως ο αρχικός στόχος είναι εντοπίσουμε τα σημεία της μεθόδου όπου εισάγουν τα σημαντικότερα σφάλματα.

Μια παράμετρος που έχει μεγάλη επιρροή στο αποτέλεσμα είναι η ποινή θερμοκρασίας T_p . Παρόλο που για την επιλογή της λαμβάνονται υπόψιν πολλές παράμετροι της εγκατάστασης, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν έχει μεγάλη ακρίβεια, διότι η κάθε εγκατάσταση είναι ξεχωριστή και οι τυποποιημένες τιμές του πίνακα δεν θα μπορούσαν να αποτυπώσουν την πραγματικότητα. Ο Marco Fossa (16)πραγματοποίησε μια μελέτη σε 300 διαφορετικές γεωμετρίες γεωτρήσεων (150 ορθογώνιες και 150 μη ορθογώνιες) και κατέληξε σε μια διαδικασία βελτίωσης της θερμοκρασιακής ποινής. Η βελτιωμένη αυτή τιμή ονομάστηκε T_{p8} και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\theta_8 = Q_y \cdot \frac{E_1(\tau_{N,B}) + E_1(\tau_{N,B} \cdot \sqrt{2})}{\pi \cdot k_g \cdot L} \quad 4.7.17$$

$$T_{p8} = \theta_8 \cdot \frac{a \cdot N_4 + b \cdot N_3 + c \cdot N_2 + d \cdot N_1}{N_{tot}} \quad 4.7.18$$

Q_y : μέση ετήσια ροή θερμότητας προς το έδαφος

N_i : ο αριθμός των γεωτρήσεων που συνορεύουν με i γεωτρήσεις

N_{tot} : συνολικές γεωτρήσεις συστήματος

Το E_1 υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$E_1 = \alpha_0 - \ln\left(\frac{1}{4 \cdot For}\right) + \sum_{j=1}^5 a_j \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot For}\right)^j \quad 4.7.19$$

$a_0 = -0,57721566$ $a_1 = 0,99999193$ $a_2 = -0,24991055$ $a_3 = 0,05519968$

$a_4 = -0,00976004$ $a_5 = 0,00107857$

For : Ο αριθμός Fourier

Το Q_y αντιστοιχεί στη μέση ετήσια ροή θερμότητας προς το έδαφος. Ο συγκεκριμένος δείκτης μπορεί να υπολογιστεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$Q_y = \frac{1}{8760} \cdot \sum Q_{m,b,i} \cdot \frac{COP_{ave}-1}{COP_{ave}} \quad 4.7.20$$

$Q_{m,b,i}$: η ετήσια κατανάλωση ενέργειας

COP_{ave} : μέσο COP ΓΑΘ

Τα a,b,c,d δίνονται από τον παρακάτω πίνακα, τον οποίο κατασκεύασε ο Fossa μέσα από τα πειραματικά αποτελέσματα.

Πίνακας 4-7 Συντελεστές Διόρθωσης για Tr8(Ορθογώνια Διάταξη)

Ορθογώνια Διάταξη				
B/H	a	b	c	d
0,03	5,41	0,28	0,45	0
0,05	3,9	0,28	0,45	0
0,075	3,07	0,28	0,45	0
0,1	2,42	0,28	0,45	0
0,125	1,93	0,28	0,45	0

Πίνακας 4-8 Συντελεστής Διόρθωσης Tr8 (Μη ορθογώνια Διάταξη)

Μη Ορθογώνια Διάταξη				d
B/H	a	b	c	
0,03	0	0,95	0,744	0,05
0,05	0	0,95	0,62	0,05
0,075	0	0,95	0,498	0,05
0,1	0	0,95	0,412	0,05
0,125	0	0,95	0,345	0,05

Αρά η επιλογή τους εξαρτάται από τον λόγο της απόστασης των γεωτρήσεων με το βάθος της γεώτρησης.

Η δυσκολία υπάρχει στο ότι ο υπολογισμός του θ8 που συνεπάγεται και ο υπολογισμός το Tr8, γίνεται με επαναληπτική μέθοδο. Η συγκεκριμένη δυσκολία στις μέρες που διανύονται παύει να υπάρχει, διότι μέσω του υπολογιστή ο συγκεκριμένος υπολογισμός γίνεται σε μερικά δευτερόλεπτα.

Η ενσωμάτωση της παραπάνω διαδικασίας στην πρωτότυπη μέθοδο υπολογισμού οδηγεί σε μια βελτίωση στην ακρίβεια υπολογισμού της τάξης του 10%. Η μέγιστη αυτή απόκλιση της Tr και της

Τρ₈ μπορεί να φθάσει και το 40%. Επομένως είναι εφικτό σε ορισμένες περιπτώσεις να αυξηθεί η ακρίβεια της μεθόδου σε μεγάλο βαθμό διορθώνοντας έναν και μόνο συντελεστή.

Ένα ακόμη σφάλμα στον υπολογισμό από την πρωτότυπη μέθοδο υπάρχει εξαιτίας της ύπαρξης σταθερού φορτίου μέσα στον χρόνο, κάτι που απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Επομένως συνδυάζεται η λογική που συναντάται στις μεθόδους προσομοίωσης. (20)

Η λογική που ακολουθείται στην προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και εδώ. Πιο συγκεκριμένα ακολουθείτε μια μέθοδο υπολογισμού του γεωεναλλάκτη, η οποία βασίζεται σε ένα υβριδικό χρονοβήμα και σε ένα παλμό του θερμικού φορτίου του κτηρίου (17).

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσα από 3 βήματα. Αρχικά, αρκεί να εντοπιστεί η ημέρα με την ακραία τιμή θερμοκρασίας περιβάλλοντος, διότι κοντά σε εκείνη την ημέρα θα υπάρχει η δυσμενέστερη τιμή όσο αφορά το θερμικό φορτίο που πρέπει να ικανοποιηθεί.

Ύστερα από τον εντοπισμό αυτής της ακραίας τιμής, σειρά έχει και ο καθορισμός παλμού. Ο καθορισμός μπορεί να γίνει με το μέγιστο μέσο φορτίο και την διάρκεια που αυτό εμφανίζεται ή ότι το μέγιστο φορτίο εμφανίζεται κάθε ώρα για συγκεκριμένη διάρκεια.

Τελευταίο βήμα είναι καθορισμός της διάρκειας που πρέπει εφαρμοστεί αυτός ο παλμός, η οποία και γίνεται με τον υπολογισμό της απόκρισης θερμοκρασίας. Η παραπάνω διαδικασία που εξηγείται συνοπτικά χρησιμοποιείται σε μεθόδους προσομοίωσης και απαιτεί χρόνο για να πραγματοποιηθεί. Από τα παραπάνω και συνδυάζοντας την παραπάνω λογική καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση (18):

$$L = \frac{Q_y \cdot R_y + Q_m \cdot R_m + Q_h \cdot (R_h + R_{bhe})}{T_{gr} - T_{fave} - T_p} \quad 4.7.21$$

Στην παραπάνω σχέση υπάρχει μια μετασχηματισμένη σχέση της πρωτότυπης μεθόδου, όπου το σταθερό φορτίο έχει αντικατασταθεί από 3 άλλα φορτία: τη μέση ετήσια ροή θερμότητας προς το έδαφος Q_y , το μέγιστο μηνιαίο φορτίο εδάφους Q_m και το μέγιστο ημερήσιο φορτίο Q_h (21). Η μέση ετήσια ροή θερμότητας έχει προσδιοριστεί πιο πάνω. Από την άλλη πλευρά, το μέσο μηνιαίο φορτίο εδάφους υπολογίζεται από τον μήνα που έχει το υψηλότερο φορτίο θέρμανσης, διότι όπως αναφέρθηκε παραπάνω το μέγιστο φορτίο εδάφους ταυτίζεται με το μέγιστο φορτίο του κτηρίου και πιο συγκεκριμένα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_m = \frac{Q_{m,bldg}}{24 \cdot N} \cdot \frac{COP_{ave} - 1}{COP_{ave}} \quad 4.7.22$$

$Q_{m,bldg}$: κατανάλωση ενέργειας του μήνα σχεδιασμού

Το μέγιστο ημερήσιο φορτίο μπορεί να καθοριστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_h = Q_b \cdot \frac{COP_{peak}-1}{COP_{peak}} \quad 4.7.23$$

Q_b: Ονομαστικό φορτίο κτιρίου

Με αυτόν τρόπο γίνεται καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας και μειώνεται το σφάλμα (20) από την πρωτότυπη μέθοδο στο μισό.

Συνδυαστικά, οι δύο παραπάνω διορθώσεις μπορούν να δώσουν μια καλή εκτίμηση του μήκους εναλλάκτη σε σύντομο χρόνο και το οποίο αποτελεί το ζητούμενο αυτής της εργασίας.

4.8 Διαστασιολόγηση Οριζόντιου Εναλλάκτη

Αρχικά πρέπει να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της επιλεγμένης αντλίας ώστε να ταιριάζει στις ανάγκες της παρούσας περίπτωσης. Στην συνέχεια πρέπει να προσδιοριστεί το είδος του εδάφους που έχει η περιοχή. Στόχος αυτού του περιορισμού είναι να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τα οποία μπορούν να παρθούν από τον παρακάτω πίνακα. Ένας άλλος προσδιορισμός αυτών των χαρακτηριστικών θα μπορούσε να είναι το Test Ground Conductivity, που αναλύθηκε παραπάνω.

Η μεθοδολογία υπολογισμού (22) θα παρουσιαστεί παρακάτω. Ο πρώτος υπολογισμός αφορά την παροχή μάζας, έπειτα του όγκου που απαιτείται να μεταφέρει ο αγωγός για να ικανοποιηθεί η απαραίτητη ισχύς. Οι παραπάνω υπολογισμοί έχουν στόχο να προσδιοριστεί η απαραίτητη διατομή του αγωγού. Οι υπολογισμοί είναι ίδιοι με τον τρόπο που προσδιορίστηκαν τα αντίστοιχα μεγέθη στην διαστασιολόγηση του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη, για αυτό και δεν θα ξανά αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο.

Οι θερμικές αντιστάσεις που υπάρχουν στο έδαφος για την συναλλαγή της θερμότητας ρευστού με το έδαφος είναι οι επόμενοι υπολογισμοί που χρειάζονται. Αρχικά θα προσδιοριστεί η θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας από το νερό προς την σωλήνωση. Η παραπάνω θερμική αντίσταση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$R_{conv} = \frac{1}{\pi \cdot D_{in} \cdot h_w} \quad 4.8.1$$

h_w συντελεστής συναγωγής του νερού, ο οποίος ισούται, h_w = 4.017,49 W/m²K

Συνέχεια έχει ο προσδιορισμός του συντελεστή συναγωγής του νερού. Αρχικά πρέπει να προσδιοριστεί ο αριθμός Nusselt, που στην περίπτωση αυτή δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Nu = \frac{h_w \cdot D_{in}}{k_w} \quad 4.8.2$$

D_{in} : εσωτερική διάμετρος

K_w : συντελεστής αγωγιμότητας του ρευστού (0,68W/mK)

Επίσης ο Nusselt προσεγγίζεται από διάφορες εμπειρικές σχέσεις όπως αυτή του Dittus – Boelter:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,80} \cdot Pr^{0,4} \quad 4.8.3$$

Re: αριθμός Reynolds ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Re = \frac{u \cdot D_{in}}{\nu} \quad 4.8.4$$

u ταχύτητα σε m/s

ν κινηματικό ιξώδες (1,139 10⁻⁶ m²/s)

Pr αριθμός Prandtl ο οποίος δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k_w} \quad 4.8.5$$

μ δυναμικό ιξώδες

Συνδυάζοντας τις δύο σχέσεις του Nusselt , η κατάληξη οδηγεί στον συντελεστή συναγωγής του νερού.

Στην συνέχεια θα προσδιοριστεί η θερμική αντίσταση μεταφοράς θερμότητας διαμέσου της σωλήνωσης. Η σχέση που δίνει την παραπάνω αντίσταση είναι η παρακάτω:

$$R_{pipe} = \frac{\ln\left(\frac{D_{out}}{D_{in}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{pipe}} \quad 4.8.6$$

K_{pipe} : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σωλήνωσης (0,42 W/mK για πολυαιθυλένιο)

Τελευταία θερμική αντίσταση αφορά την σωλήνωση και το έδαφος, οι οποίες δίνονται από την παρακάτω σχέση:

$$R_{soil} = \frac{1}{S \cdot K_{soil}} \quad 4.8.7$$

K_{soil} θερμική αγωγιμότητα εδάφους

S conduction shape factor, και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$S = \frac{2 \cdot \pi}{\ln \left(\frac{2 \cdot d}{D_{out}} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot d}{D_{out}} \right)^2 - 1} \right)} \quad 4.8.8$$

d βάθος τοποθέτησης του οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη

Αφού υπολογίστηκαν όλες οι αντιστάσεις, σειρά έχει η συνολική συνισταμένη αντίσταση, η οποία υπολογίζεται από το άθροισμα των 3 αντιστάσεων:

$$R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil} \quad 4.8.9$$

Τέλος, σειρά έχει ο υπολογισμός του μήκους του γεωεναλλάκτη. Σύμφωνα με την Engineering Equation Solver (EES), η σχέση που υπολογίζει αυτό το μήκος είναι η παρακάτω:

$$L = m_w \cdot C_v \cdot R_{total} \cdot \ln \left(\frac{t_{wout}}{t_{win}} \right) \quad 4.8.10$$

5 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

5.1 Ηλιακή Ενέργεια

5.1.1 Γενικά

Ηλιακή ενέργεια ορίζεται η ενέργεια του ήλιου που φθάνει στην γη. Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται στην γη μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία διανύει μια απόσταση 1.496.000.000 km. (23) Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας είναι κάποιες τάξεις μεγαλύτερη από την μέση ισχύ που χρειάζεται η γη. Βέβαια η γη δέχεται μόνο το $1/10^9$ της ακτινοβολίας αυτής, κάτι που μεταφράζεται σε 173.000 TW ηλιακής ισχύος. Επειδή η ηλικία του ήλιου εκτιμάται σε κάποια δισεκατομμύρια χρόνια, η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

5.1.2 Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην γη χωρίζεται σε διάχυτη, άμεση και ανακλώμενη. Η διάχυτη ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που φθάνει στην γη και οφείλεται σε αλλαγή της διεύθυνσης της ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται ως ένα ποσοστό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_D = I_B C \quad 5.1.1$$

με C έναν παράγοντα διάχυσης του φωτός στον ουρανό που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C = 0,095 + 0,04 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (n - 100) \right] \quad 5.1.2$$

I_B : συμβολίζει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία

n : συμβολίζει την ημέρα του έτους με $n=1$ να εκφράζει 1η Ιανουαρίου και $n=365$ να εκφράζει 31 Δεκεμβρίου.

Η άμεση ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που φθάνει στην γη χωρίς την αλλαγή της διεύθυνσής της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαιτίας διάφορων παραγόντων η επίδρασή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας εξασθενεί μέχρι να φθάσει στο έδαφος της γης. Τέτοιοι παράγοντες είναι η σκόνη, η ρύπανση, η ατμοσφαιρική υγρασία, τα σύννεφα και η θολότητα. Για να υπολογίσει κάποιος την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην γη χρησιμοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$I_B = A \cdot e^{-k \cdot m} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad 5.1.3$$

A είναι μια φαινόμενη ροή ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της γης

k είναι το οπτικό βάθος

m αναλογία μάζας αέρα

Στην παραπάνω εξίσωση εισάγεται και η «αναλογία μάζας αέρα» με την παραδοχή της «επίπεδης Γης». Η σχέση που δίνει αυτό μέγεθος είναι η παρακάτω:

$$m = \sqrt{(708 \cdot \sin a)^2 + 1417} - 708 \cdot \sin a \quad 5.1.4$$

a συμβολίζει το ηλιακό ύψος

Επίσης στην παραπάνω εξίσωση το A και k βρίσκονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$A = 1160 + 75 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad 5.1.5$$

$$k = 0,174 + 0,035 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad 5.1.6$$

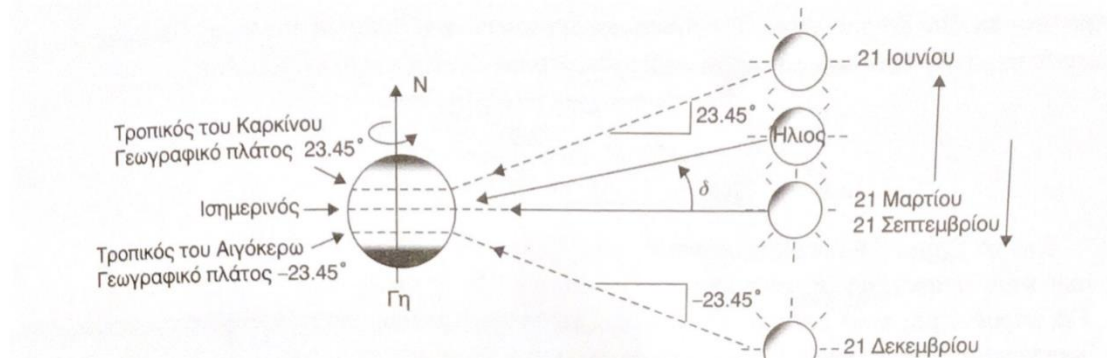
Η τρίτη συνιστώσα είναι η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία οφείλεται στην αντανάκλασή της σε διάφορες επιφάνειες της γης. Η συγκεκριμένη συνιστώσα έχει πολύ μικρή τιμή, με αποτέλεσμα ο υπολογισμός της να θεωρείται αμελητέος.

5.1.3 Ηλιακή Απόκλιση

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις εφαρμογές αυτές είναι να μπορεί να προβλεφθεί η θέση του ήλιου ανά πάσα στιγμή. Ο προσδιορισμός της θέσης του ήλιου γίνεται με διάφορες γωνίες, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Η πρώτη γωνία για τον εντοπισμό του ήλιου καλείται ηλιακή απόκλιση δ . Η γωνία αυτή είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ισημερινού και μιας γραμμής που χαράσσεται από το κέντρο του ηλίου μέχρι και το κέντρο της γης (24). Στην εικόνα 5-1 εξηγείται και εικονικά αυτή η γωνία. Η τιμή αυτής της γωνίας κυμαίνεται μεταξύ $-23,45^\circ$ και $+23,45^\circ$. Η παρακάτω σχέση μπορεί να υπολογίσει με μεγάλη ακρίβεια την ηλιακή απόκλιση:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (n - 81) \right] \quad 5.1.7$$

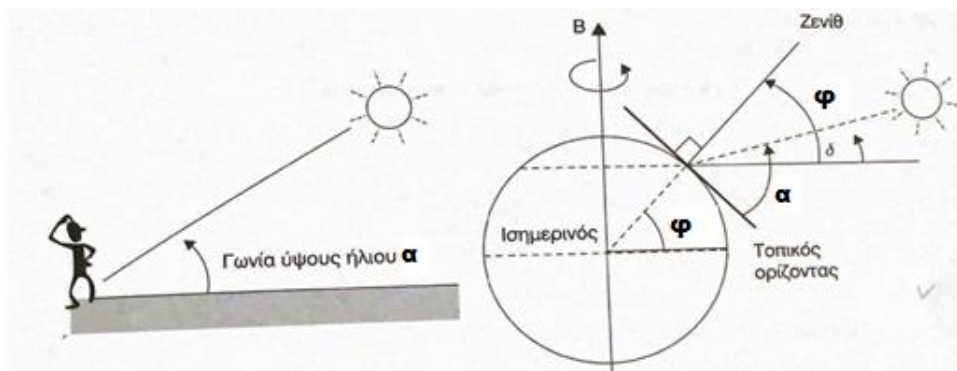


Εικόνα 5.1-1 Ηλιακή Απόκλιση δ (24)

Η παραπάνω γωνία είναι σημαντική για να εντοπιστεί η βέλτιστη γωνία για την τοποθέτηση των διάφορων εφαρμογών.

5.1.4 Ηλιακό ύψος

Άλλη μια γωνία που είναι σημαντική για τον σχεδιασμό ηλιακών συστημάτων αποτελεί το ηλιακό ύψος. Το ηλιακό ύψος είναι η γωνία που σχηματίζει ο ήλιος με τον τοπικό ορίζοντα ακριβώς κάτω από αυτόν και μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:



Εικόνα 5-2 Ηλιακό ύψος α (24)

$$\sin \alpha = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad 5.1.8$$

φ : το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής της μελέτης

δ : η ηλιακή απόκλιση

ω : ωριαία γωνία απόκλισης του ηλίου

Η τιμή της παραπάνω γωνίας κυμαίνεται από 0° έως 90°. Το καλοκαίρι παρατηρείται ότι ο ήλιος έχει μεγαλύτερο ηλιακό ύψος σε σχέση με τον χειμώνα.

5.1.5 Ηλιακή Αζιμούθια Γωνία – Ωριαία Γωνία

Οι παραπάνω γωνίες επηρεάζονται και αλλάζουν τιμές με μια εποχικότητα, αλλά υπάρχουν γωνίες που μεταβάλλονται και κατά την διάρκεια της ημέρας.

Μια τέτοια γωνία είναι η ηλιακή αζιμουθιακή γωνία. Η ηλιακή αζιμουθιακή γωνία συμβολίζεται με γ και είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του μεσημβρινού, του σημείου μελέτης και του επιπέδου που ορίζεται από τον κύκλο που περνάει από το τοπικό ζενίθ και τον ήλιο. Οι τιμή της κυμαίνεται από $0-180^\circ$ με αρνητικές τιμές στα ανατολικά και θετικές στα δυτικά και σημείο αναφοράς τον νότο. Οι σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το υπολογισμό της παρακάτω γωνίας είναι:

$$\sin\gamma = \cos\delta \cdot \frac{\sin\omega}{\cos\alpha} \quad 5.1.9$$

Σε αυτές τις εξισώσεις ο χρόνος εκφράζεται με την μορφή γωνίας και ονομάζεται ωριαία γωνία. Η ωριαία γωνία ονομάζεται ο αριθμός των μοιρών που η γη πρέπει να στραφεί έτσι ώστε ο ήλιος να βρεθεί πάνω από τον τοπικό μεσημβρινό του σημείου μελέτης. Η σχέση που δίνει αυτή την γωνία είναι η παρακάτω:

$$\omega = 15 \cdot (HX - 12:00) \quad 5.1.10$$

Στην παραπάνω σχέση εμφανίζεται ένα μέγεθος που καλείται ηλιακός χρόνος. Ο ηλιακός χρόνος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό διάφορων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τις ηλιακές εφαρμογές. Η ύπαρξη του οφείλεται στο ότι ο ηλιακός χρόνος είναι προσαρμοσμένος με το ηλιακό μεσημέρι - που είναι σημείο ενδιαφέροντος σε τέτοιες εφαρμογές-, και όχι με το σταθερό μεσημβρινό, που είναι η τοπική ώρα. Ο ηλιακός χρόνος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$HX = TX \pm 4 \cdot (L\sigma\tau - Lt) + Et \quad 5.1.11$$

(+) αναφέρεται στο δυτικό ημισφαίριο

(-) στο ανατολικό ημισφαίριο

$L\sigma\tau$ ο μεσημβρινός στον οποίο αναφέρεται η τοπική ώρα

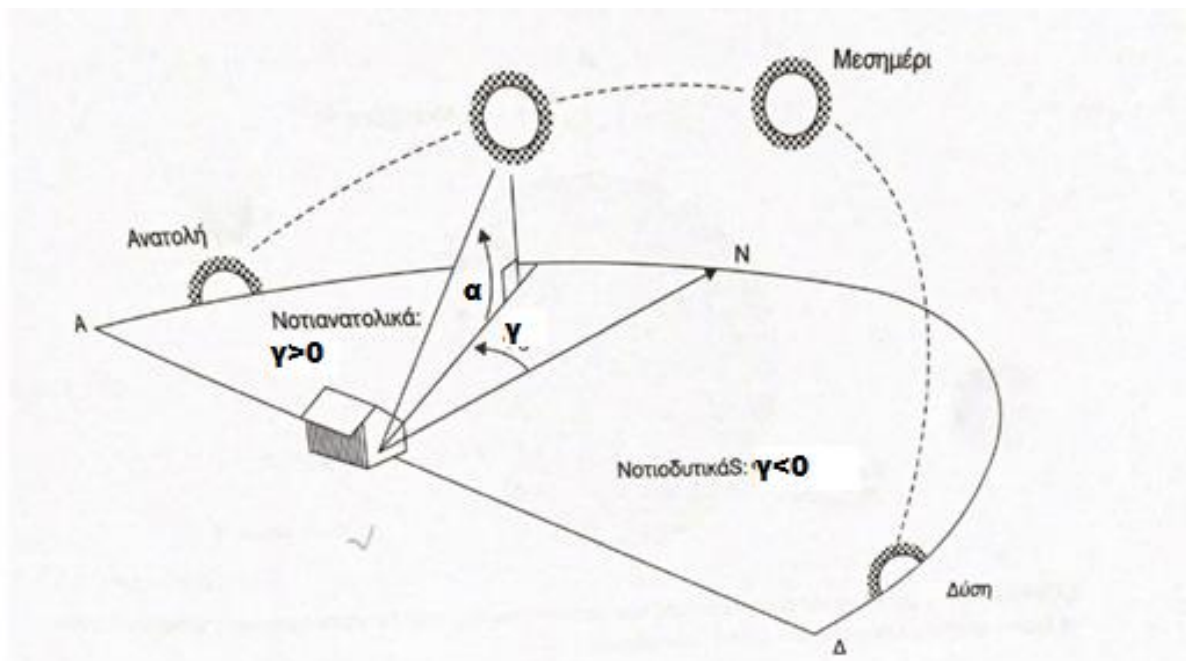
Lt ο τοπικός μεσημβρινός

Et διορθωτική εξίσωση του χρόνου

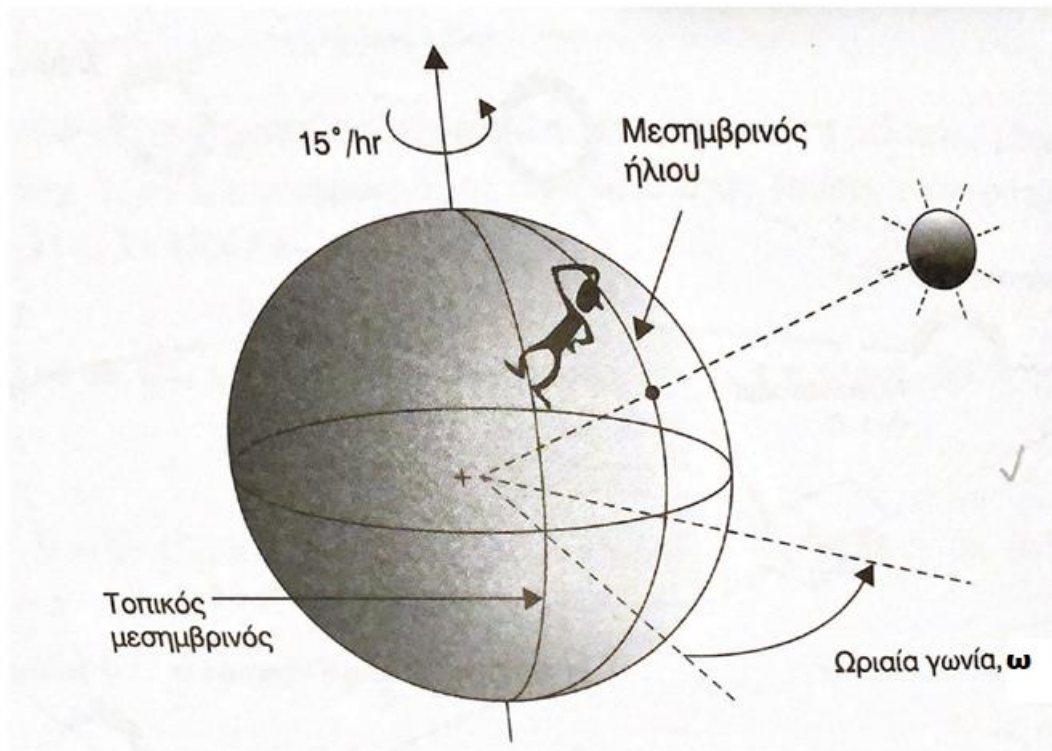
Στην παραπάνω εξίσωση εμφανίζεται η διορθωτική εξίσωση του χρόνου, η οποία οφείλεται στο ότι η περιστροφή του ήλιου δεν είναι ακριβώς 24 ώρες αλλά εξαρτάται από την εποχή. Η διορθωτική εξίσωση του χρόνου είναι η παρακάτω:

$$E_t = 9,87 \cdot \sin 2B - 7,53 \cdot \cos B \quad 5.1.12$$

$$B = 360364 \cdot n - 81 \text{ μίλες} \quad 5.1.13$$



Εικόνα 5.1-3 Ηλιακή αζιμούθια γωνία (24)



Εικόνα 5.1-4 Ωριαία γωνία ω (24)

5.2 Τύποι ηλιακών συστημάτων

Τα ηλιακά συστήματα αποτελούν μια ώριμη τεχνολογία για την κάλυψη των θερμικών αναγκών στα κτήρια. Στην Ελλάδα, από στατιστικά στοιχεία έχει υπολογιστεί ότι το 25% των οικιακών κτηρίων έχει εγκατεστημένα ηλιακά συστήματα. (8) Το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιεί τέτοια συστήματα για την κάλυψη του ζεστού νερού χρήσης, κάτι που οφείλεται κυρίως στο ότι σαν επένδυση αξιολογείται κερδοφόρα. Τα ηλιοθερμικά συστήματα δεν τοποθετούνταν για την θέρμανση χώρων, εξαιτίας του υψηλού κόστους σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα.

Στην παρούσα φάση το κόστος εγκατάστασης έχει μειωθεί σε σημείο όπου τέτοια συστήματα αρχίζουν να γίνονται ανταγωνιστικά. Αυτό, σε συνδυασμό με την εξέλιξη των ενεργειακών συστημάτων σε συστήματα φιλικά προς το περιβάλλον, μετατρέπει τα ηλιοθερμικά συστήματα σε μια ενδιαφέρουσα κατηγορία ενεργειακών συστημάτων στον τομέα της θέρμανσης.

Βέβαια τα ηλιοθερμικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στον βιομηχανικό τομέα. Ο βιομηχανικός τομέας αποτελεί το 43% της κατανάλωσης ενέργειας για την κάλυψη θερμικών αναγκών (25). Τα ηλιοθερμικά συστήματα μπορούν συμβάλλουν στην κάλυψη των βιομηχανικών αναγκών και με μεγάλη επιτυχία σε βιομηχανικές διεργασίες που χρησιμοποιούν θερμοκρασίες μικρότερες από 100 βαθμούς κελσίου.

Τα ηλιοθερμικά συστήματα αποτελούνται από διάφορες κατηγορίες οι οποίες καθορίζονται και επιλέγονται με βάση την εγκατάσταση άρα παίζει ρόλο η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί, το μέγεθος της εγκατάστασης και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Ο πρώτος διαχωρισμός αφορά το σύστημα κυκλοφορίας του νερού. Υπάρχουν τα συστήματα όπου η κυκλοφορία του νερού γίνεται με φυσικό τρόπο και ονομάζονται παθητικά. Από την άλλη υπάρχουν τα συστήματα στα οποία η κυκλοφορία του νερού γίνεται βεβιασμένα μέσω μιας αντλίας και λέγονται ενεργητικά.

5.2.1 Παθητικά συστήματα

Τα παθητικά συστήματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: η πρώτη χρησιμοποιεί τους συμπαγείς θερμαντήρες νερού ενώ η δεύτερη λειτουργεί με το θερμοσιφωνικό σύστημα.

Τα συμπαγή συστήματα αποτελούνται από συλλέκτη και από μονάδα αποθήκευσης, τα οποία είναι τοποθετημένα στο ίδιο περίβλημα. Στην μια πλευρά το περιβλήματος υπάρχει αδιαφανές τζάμι το οποίο επιτρέπει την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας έτσι ώστε να ζεσταίνεται το νερό. Το ζεστό νερό ανεβαίνει προς τα επάνω ενώ το κρύο διοχετεύεται στο κάτω μέρος. Όποτε ζητηθεί ζεστό νερό, η πίεση κινεί το ζεστό νερό από την κορυφή του ηλιακού συλλέκτη, αφού το κρύο νερό ωθείται προς τα κάτω.

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα φυσικής ροής χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό από τα συμπαγή συστήματα και χωρίζεται σε ανοικτού και κλειστού κυκλώματος.

Τα ανοικτού κυκλώματος αποτελούνται από τους συλλέκτες και το δοχείο αποθήκευσης που τοποθετείται από πάνω. Η λειτουργία τους είναι να ζεσταίνει απευθείας το νερό χρήσης το οποίο παρέχεται από το δίκτυο ύδρευσης. Το νερό θερμαίνεται μέσω του συλλέκτη, γίνεται ελαφρύτερο και κινείται με φυσικό τρόπο προς το δοχείο αποθήκευσης ενώ το ψυχρότερο νερό ανεβαίνει προς το κατώτερο σημείο του συλλέκτη κάνοντας όλο το σύστημα του νερού να κυκλοφορήσει. (26)

Η λειτουργία του κλειστού συστήματος είναι η ίδια με την παραπάνω. Η διαφορά έγκειται στο ότι χρησιμοποιείται ένα θερμοαπαγωγό ρευστό, το οποίο θερμαίνεται και εισέρχεται μέσα στο δοχείο αποθήκευσης και θερμαίνει το ζεστό νερό χρήσης μέσω ενός εναλλάκτη (σερπαντίνας).

5.2.2 Ενεργητικά συστήματα

Η άλλη κατηγορία θερμοσιφωνικών συστημάτων διαχωρίζεται και αυτή σε ανοικτού και κλειστού κυκλώματος και λειτουργεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Η διαφορά είναι ότι παρεμβάλλονται αντλίες και βαλβίδες που εξαναγκάζουν την κυκλοφορία του νερού.

Η κάθε κατηγορία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της. Τα φυσικής ροής έχουν το πλεονέκτημα της καλύτερης απόδοσης, διότι το δοχείο αποθήκευσης είναι κοντά στον συλλέκτη και δεν έχουμε μεγάλες απώλειες σε αντίθεση με τα βεβιασμένα που το δοχείο βρίσκεται μέσα στο σπίτι άρα το ζεστό νερό έχει να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση. Επίσης τα βεβιασμένα κυκλοφορίας έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης, εξαιτίας του επιπρόσθετου μηχανολογικού σχεδιασμού. Το αρνητικό στοιχείο στα φυσικής κυκλοφορίας είναι το αισθητικό κομμάτι, διότι φαίνεται το δοχείο αποθήκευσης και το δοχείο αποθήκευσης που είναι στο εξωτερικό περιβάλλον έχει μεγαλύτερες απώλειες λόγω μεγαλύτερης διαφοράς θερμοκρασίας.

Στις υποκατηγορίες, δηλαδή κλειστού η ανοικτού κυκλώματος, ένα κριτήριο επιλογής είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα κλειστά συστήματα προτιμώνται σε ψυχρά κλίματα λόγω του ότι το θερμοαπαγωγό μέσο έχει αντιπαγωγικές ιδιότητες, ενώ το νερό σε χαμηλή θερμοκρασία μπορεί να παγώσει και να καταστρέψει το σύστημα. Τέλος, τα ανοικτά συστήματα έχουν μεγαλύτερη απόδοση, διότι δεν υπάρχει εναλλαγή θερμότητας ρευστών.

Σε εφαρμογές με στόχο την θέρμανση χώρων, που είναι το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, θα ήταν προτιμότερη η χρήση βεβιασμένης ροής. Αυτό συμβαίνει γιατί, καθώς το δοχείο βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο, το νερό μπορεί να διατηρηθεί σε υψηλή θερμοκρασία για μεγαλύτερο χρόνο, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αφού στην πλειονότητα των περιπτώσεων η θέρμανση είναι επιθυμητή τις βραδινές ώρες όπου ο ήλιος δεν υπάρχει για να παράγει ενέργεια. Άρα χρησιμοποιείται η ήδη αποθηκευμένη.

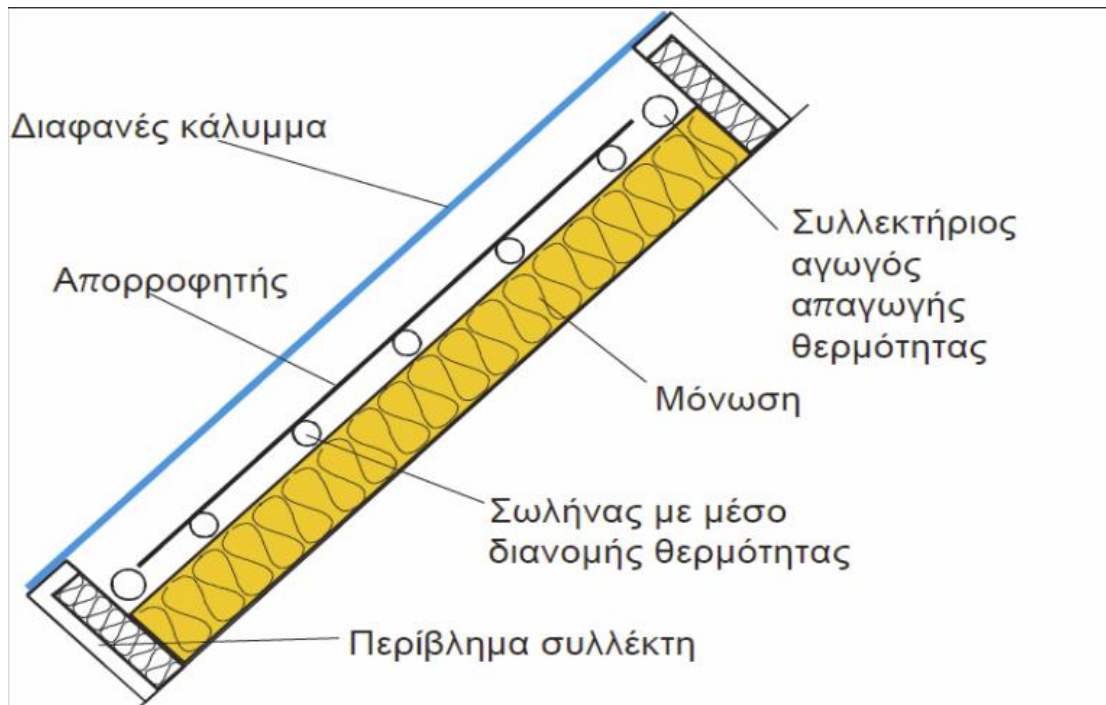
5.3 Τεχνολογία ηλιακών συλλεκτών

Οι ηλιακοί συλλέκτες χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την θερμική τους απόδοση, καθώς και τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά. Οι κατηγορίες που θα αναλυθούν παρακάτω είναι: οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, οι συλλέκτες κενού και οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες.

5.3.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία συλλεκτών στην αγορά εργασίας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση νερού χρήσης, με δυνατότητα να ζεσταίνουν το νερό σε θερμοκρασίες 40-150°C. Επομένως αποτελούν μια κατηγορία που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κτίρια για την θέρμανση χώρων.

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης περικλείεται από ένα μεταλλικό κουτί το οποίο εμπεριέχει όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του συλλέκτη. (27) Ο ρόλος είναι να προστατεύει τα λειτουργικά μέρη του ηλιακού από τους εξωτερικούς παράγοντες. Ένα άλλο στοιχείο του ηλιακού συλλέκτη αποτελεί η μόνωση στεγανοποίησης, η οποία προστατεύει τον ηλιακό από την εισροή νερού σε περίπτωση βροχής και υγρασίας. Έπειτα υπάρχει η διαφανής επένδυση η οποία πραγματοποιεί μια σημαντική εργασία. Αρχικά, επιτρέπει την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο κουτί και στην συνέχεια εμποδίζει την έξοδο της υπέρυθρης ακτινοβολίας που παράγει το στρώμα απορρόφησης. Στο πίσω μέρος του ηλιακού συλλέκτη υπάρχει η θερμομόνωση, η οποία είναι υπεύθυνη να μειώνει τις θερμικές απώλειες που προέρχονται από το ζεστό νερό. Την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική την πραγματοποιεί το στρώμα απορρόφησης, πίσω από το οποίο υπάρχει το θερμοαπαγωγό μέσο. Το υλικό κατασκευής είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο, επειδή τα υλικά αυτά έχουν καλύτερες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας. Τέλος, υπάρχει το δίκτυο μεταφοράς του ρευστού το οποίο μεταφέρει το θερμοαπαγωγό ρευστό στο δοχείο αποθήκευσης.



Εικόνα 5.3-1 Τομή ηλιακού συλλέκτη (28)

Από τα παραπάνω στοιχεία του ηλιακού συλλέκτη, την μεγαλύτερη λειτουργικότητα την έχει η διάφανη επιφάνεια και το στρώμα απορρόφησης. Η διάφανη επιφάνεια πρέπει να έχει μεγάλη διαπερατότητα για να μπορεί να εισέρθει το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακόμα, πρέπει να έχει μικρούς συντελεστές απορροφητικότητας και ανακλαστικότητας, για να καταλήγει το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας στο στρώμα απορρόφησης.

Το στρώμα απορρόφησης, από την άλλη πλευρά, πρέπει να έχει υψηλό συντελεστή απορρόφησης για να απορροφάει το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακόμα πρέπει να έχει μικρό συντελεστή εκπομπής για τα μεγάλα μήκη κύματος. Για τον παραπάνω λόγους είναι φτιαγμένος από κατασκευασμένο επενδυμένο βερνίκι από μαύρη ουσία. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνει να απορροφήσει το 98% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Όπως γίνεται αντιληπτό για την εύρεση της ωφέλιμης συλλεγόμενης θερμικής ισχύος πρέπει να ληφθούν υπόψη όλα τα παραπάνω. Η σχέση που δίνει αυτή την θερμική ισχύ δίνεται παρακάτω:

$$Q_{sc} = A_c \cdot G_t \cdot F_R (\tau\alpha)_n - A_c \cdot F_R \cdot U_L \cdot (T_{inρευστου} - T_a) \quad 5.3.1$$

Q_{sc} : ωφέλιμη θερμική ισχύς συλλέκτη (W)

A_c : επιφάνεια συλλέκτη (m^2)

G_t : ένταση ολικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη (W/m^2)

F_R : συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

τ : διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος σε ηλιακή ακτινοβολία

α : απορροφητικότητα του απορροφητήρα στην ηλιακή ακτινοβολία

U_L : συνολικός ισοδύναμος συντελεστής ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη ($W/m^2/^\circ C$)

T_{in} : θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη ($^\circ C$)

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ C$)

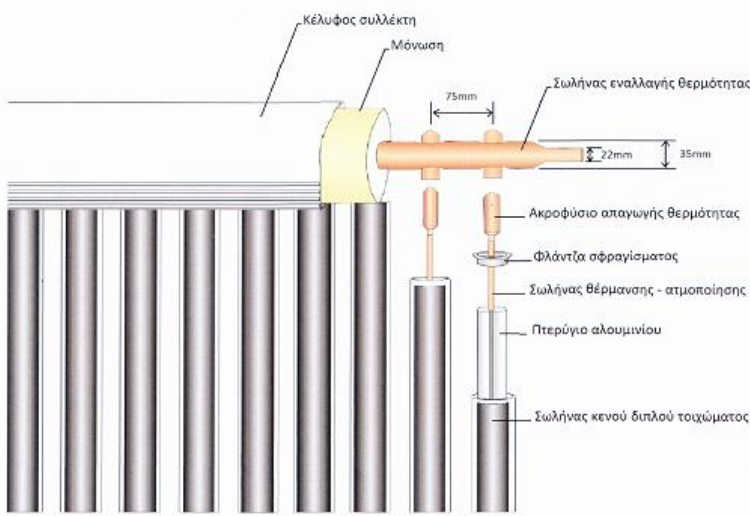
Το ρευστό μεταφοράς αποτελεί άλλο ένα σημαντικό μέρος του ηλιακού συλλέκτη. Το ρευστό αυτό πρέπει να έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και χαμηλό ιξώδες. Τις παραπάνω ιδιότητες τις έχει το νερό και για αυτό χρησιμοποιείται στις περισσότερες εγκαταστάσεις. Το αρνητικό στοιχείο στο νερό είναι ότι παγώνει στις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, δημιουργώντας προβλήματα στο εν λόγω σύστημα. Για αυτό τον λόγο τοποθετούνται αντιπαγωτικά υγρά. Το πρόβλημα που δημιουργείται με την προσθήκη αντιπαγωτικών είναι ότι μειώνεται η ικανότητα του νερού να παραλάβει και να αποθηκεύσει θερμότητα. Επιπλέον, μεγαλώνει το ιξώδες του με αποτέλεσμα να χρειάζεται και η προσθήκη αντιδιαβρωτικών ουσιών.

Σημαντικό είναι να τονιστούν οι απώλειες που ενδέχεται να παρουσιαστούν σε έναν ηλιακό συλλέκτη. Το μεγαλύτερο ποσοστό οφείλονται σε θερμικές απώλειες. Οι θερμικές απώλειες οφείλονται στην μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας του θερμοαπαγωγού ρευστού με το περιβάλλον καθώς και από τις επιφάνειες του συλλέκτη που είναι χωρίς μόνωση. Το 80% που καταλαμβάνουν οι θερμικές απώλειες οφείλεται στο πρόσθιο τμήμα του συλλέκτη και το υπόλοιπο στο πλαϊνό και το πίσω μέρος του. Το υπόλοιπο μέρος απωλειών οφείλεται σε οπτικές απώλειες που αφορούν την ανακλαστικότητα της γυάλινης επιφάνειας.

Τέλος θα οριστεί και η σχέση που επιτρέπει τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη, άν και στην πράξη τις περισσότερες φορές συλλέγεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής. Η σχέση αυτή είναι η παρακάτω:

$$\eta = \frac{Q_{sc}}{A_C \cdot G_t} = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)n - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_{in} - T_a)}{G_t} \quad 5.3.2$$

5.3.2 Συλλέκτες Κενού



Εικόνα 5.3-2 Ηλιακός Συλλέκτης Κενού (52)

Οι παραπάνω θερμικές απώλειες ανάγκασαν την έρευνα για βελτιωμένους ηλιακούς συλλέκτες, που ονομάζονται συλλέκτες κενού. Η λειτουργία δεν διαφέρει και σε μεγάλο ποσοστό από του απλούς ηλιακούς συλλέκτες. Οι ηλιακοί συλλέκτες κενού αποτελούνται από γυάλινους σωλήνες που είναι συγκολλημένοι πάνω σε έναν κεντρικό σωλήνα. Κάθε σωλήνας βρίσκεται σε κατάσταση κενού για να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες. Η ικανότητα τέτοιων συλλεκτών είναι να φτάνουν το νερό σε θερμοκρασία 77-177°C και για αυτό

μπορούν χρησιμοποιηθούν για θέρμανση χώρων. Το αρνητικό σε αυτή την τεχνολογία είναι το διπλάσιο κόστος τους σε σχέση με του απλούς συλλέκτες.

Υπάρχουν δυο χαρακτηριστικοί τύποι συλλεκτών. Οι συλλέκτες άμεσης εκροής και οι συλλέκτες κενού, που βασίζονται στην αρχή του σωλήνα θερμότητας.

Οι συλλέκτες άμεσης εκροής επιτυγχάνουν υψηλές αποδόσεις, διότι η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται σε άμεση επαφή με το στρώμα απορρόφησης και με το υγρό μεταφοράς. (27) Άρα δεν χάνεται ενέργεια για την μεταφορά της ηλιακής ενέργειας στο ρευστό. Ένα άλλο πλεονέκτημα που έχει ο συγκεκριμένος τύπος ηλιακού συλλέκτη είναι ότι δίνει την δυνατότητα περιστροφής του σωλήνα, άρα μπορεί κάποιος να προσανατολίσει τον σωλήνα κατάλληλα με τον ήλιο και να επιτύχει καλύτερη απόδοση.

Οι συλλέκτες κενού έχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Στα πλεονεκτήματα εντάσσεται η ικανότητα τους να φτάνουν το νερό σε υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες. Επίσης έχουν μειωμένες θερμικές απώλειες εξαιτίας της καλής θερμικής μόνωσης. Τέλος, εξαιτίας της υψηλής απόδοσης, για να υπάρξει το ίδιο αποτέλεσμα χρειάζονται λιγότεροι συλλέκτες κενού από ότι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό και ειδικά σε συστήματα θέρμανσης που θέλουν μεγάλο αριθμό συλλεκτών.

Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται το υψηλό κόστος αγοράς, κάτι το οποίο θα αυξήσει το κόστος εγκατάστασης. Επιπλέον σε εγκαταστάσεις όπου απαιτείται η εξοικονόμηση χώρου, οι συλλέκτες κενού δεν επιτρέπουν τον εντοιχισμό των συλλεκτών στην οροφή.

5.3.3 Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν την δυνατότητα να θερμαίνουν το νερό πάνω από 150°C. Επομένως, χρησιμοποιούνται κυρίως για βιομηχανικές εφαρμογές και για αυτόν τον λόγο δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

5.4 Προσανατολισμός και Κλίση Ηλιακών Συλλεκτών

Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο της ενότητας αυτής, η αζιμούθια γωνία και η κλίση του συλλέκτη παίζουν σημαντικό ρόλο για την απόδοση του ηλιακού συλλέκτη, αφού όσο πιο κάθετη είναι η πρόσπτωση της ακτινοβολίας στον συλλέκτη, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η παραγωγή ενέργειάς του.

Επειδή ο ήλιος ανάλογα με την εποχή αλλά και την στιγμή της μέρας έχει διαφορετική θέση, είναι σημαντικό να επιλέξουμε την σωστή γωνία. Η σωστή γωνία είναι αυτή που επιφέρει την μεγαλύτερη απόδοση στο σύστημα και εξυπηρετεί τις εκάστοτε ανάγκες. Επομένως ο σχεδιαστής των συστημάτων πρέπει να έχει την γνώση και να γνωρίζει ποιες είναι οι ανάγκες του συστήματος έτσι ώστε να τοποθετήσει τους ηλιακούς.

Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η βέλτιστη γωνία για την θερινή περίοδο είναι 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και την χειμερινή περίοδο 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Στην περίπτωση της θέρμανσης, οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετική κλίση ώστε να αυξηθεί η αυτονομία του συστήματος, διότι μεγαλώνει με αυτό τρόπο η ώρα που ο ήλιος βρίσκεται κάθετα με τους συλλέκτες. Άρα αυξάνεται ταυτόχρονα και η απόδοση του συστήματος.

Βέβαια υπάρχουν και συστήματα ιχνηλάτησης (solar tracker) τα οποία αποτελούνται από ένα σύστημα που εντοπίζει την θέση του ήλιου ανά πάσα στιγμή και καθορίζει την θέση του συλλέκτη έτσι ώστε να έχει την μέγιστη απόδοση. Τέτοια συστήματα είναι ακριβά και με επιπλέον έξοδα συντήρησης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ουσιαστική οικονομική διαφορά.

5.5 Σύνδεση συλλεκτών

Επειδή στις ενεργειακές εφαρμογές χρειάζονται παραπάνω από ένας συλλέκτης και οι παραπάνω συλλέκτες πρέπει να είναι συνδεδεμένοι υδραυλικά, υπάρχουν διάφοροι τρόποι σύνδεσης.

Ο πρώτος είναι η σύνδεση σε σειρά, δηλαδή όλοι οι συλλέκτες είναι συνδεδεμένοι σε σειρά και το υγρό κινείται από τον ένα συλλέκτη στον επόμενο. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει η συνολική παροχή να είναι ίδια με την παροχή του ενός συλλέκτη. Το αρνητικό σε αυτόν τρόπο σύνδεσης είναι η μεγάλη πτώση πίεσης που υπάρχει εξαιτίας του μεγάλου μήκους του αγωγού. Επομένως ο σχεδιαστής του συστήματος περιορίζεται στον αριθμό των συλλεκτών που μπορεί να βάλει σε σειρά.

Ο δεύτερος τρόπος σύνδεσης είναι ο παράλληλος. Εδώ υπάρχουν δύο σωλήνες που είναι υπεύθυνοι για την εισαγωγή και την εξαγωγή του ρευστού. Στο πάνω μέρος του συλλέκτη συνδέεται ο σωλήνας εξαγωγής και στο κάτω μέρος του ο σωλήνας εισαγωγής. Τα μήκη των σωλήνων είναι ίδια για να έχουν την ίδια παροχή όλοι οι συλλέκτες. Για να επιτευχθεί η ίδια πτώση πίεσης, πρέπει η συνολική παροχή να είναι ίση με την παροχή του κάθε συλλέκτη πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό συλλεκτών. Το βασικό πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης είναι ότι υπάρχουν μεγάλες παροχές και μικρές πτώσεις πίεσης.

Τέλος μπορεί κάποιος να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα και των δύο παραπάνω συνδέσεων με την μικτή σύνδεση. Στην μικτή σύνδεση εντοπίζονται συστοιχίες διάφορων συλλεκτών σε σειρά οι

οποίες συνδέονται παράλληλα. Με αυτόν τρόπο θα υπάρχουν μικρές παροχές αλλά και μικρή πτώση πίεσης.

5.6 Ηλιακά συστήματα για θέρμανση χώρων

Η θέρμανση χώρων με ηλιακούς συλλέκτες αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα για μελέτη. Ειδικότερα στην Ελλάδα, το γεγονός ότι ηλιακή ακτινοβολία φθάνει σε μεγάλο ποσοστό στο έδαφος της γης είναι κάτι που κάνει του ηλιακούς συλλέκτες αρκετά αποδοτικούς.

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών, το θερμοδοχείο αδράνειας, ένα βοηθητικό σύστημα και ένα σύστημα ελέγχου. Συνήθως σχεδιάζονται για να λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, δηλαδή σε ενδοδαπέδια θέρμανση ή σε fancoils, διότι σε αυτές τις θερμοκρασίες είναι πιο αποδοτικά σαν συστήματα.

Αρχικά πρέπει να επιλεγεί το είδος του ηλιακού συλλέκτη που θα χρησιμοποιήσει το σύστημα. Η λειτουργία κάθε συλλέκτη αναλύθηκε παραπάνω, όπως και τα πλεονεκτήματα για το καθένα. Η λειτουργία τους μέσα στο σύστημα διαφέρει για κάθε τύπο ηλιακού συλλέκτη. Η γενική λειτουργία είναι ότι το ρευστό θερμαίνεται στον ηλιακό και μέσω αντλίας ή ανεμιστήρα συγκεντρώνεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι συλλέκτες κενού έχουν την δυνατότητα μέσω αεραγωγού η ανεμιστήρα να θερμάνουν τον αέρα ενός σπιτιού χωρίς αποθήκευση.

Στην συνέχεια, σημαντικό για τον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων είναι η κλίση που πρέπει να έχει ο ηλιακός συλλέκτης, η οποία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή αλλά εξαρτάται και από την λειτουργία του συστήματος. Διαφορετική κλίση θα έχει ο συλλέκτης για ζεστό νερό χρήσης και διαφορετική θέση θα έχει ο συλλέκτης που θα χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην θέση που βρίσκεται ο ήλιος κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά την διάρκεια του έτους. Στόχος του σχεδιαστή θα πρέπει να είναι η εξασφάλιση της κάθετης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στο τζάμι σε μεγαλύτερο ποσοστό. Για να επιτευχθεί το μεγαλύτερο ποσοστό πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στον συλλέκτη τον χειμώνα, για τη θέρμανση του χώρου, η βέλτιστη κλίση είναι 10-15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να καλύψουν σε μεγάλο ποσοστό τις θερμικές ανάγκες ενός κτηρίου, επειδή όμως ο ήλιος δεν είναι σταθερή πηγή θερμότητας, πρέπει ο σχεδιαστής να εξασφαλίσει την κάλυψη του θερμικού φορτίου ακόμα και τις μέρες όπου υπάρχει συννεφιά. Για αυτό τοποθετείται ένα βοηθητικό σύστημα το οποίο θα καλύψει τις θερμικές αυτές ανάγκες και τις συννεφιασμένες μέρες. Επειδή στην παρούσα εργασία γίνεται λόγος για κτήρια μηδενικής ενέργειας, αυτό το σύστημα πρέπει να μην εκπέμπει ρύπους στο περιβάλλον και πρέπει να έχει την ισχύ να καλύψει όλο το θερμικό φορτίο του κτιρίου. Οι συνδυασμοί των συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τέτοιες περιπτώσεις θα αναλυθούν σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

Για την σωστή συνεργασία του συστήματος αλλά και των συστημάτων χρησιμοποιείται ένα σύστημα ελέγχου που είναι υπεύθυνο για τους παρακάτω τρόπους λειτουργίας. Αρχικά στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει ζήτηση για θέρμανση αλλά υπάρχει η παραγωγή ενέργειας, αυτή τοποθετείται στο δοχείο αποθήκευσης. Εάν υπάρχει ζήτηση για θέρμανση και υπάρχει και παραγωγή, πρέπει αυτή να καλύπτεται απευθείας από τον συλλέκτη. Στην περίπτωση που δεν

υπάρχει παραγωγή ενέργειας αλλά υπάρχει ζήτηση, πρέπει αυτή να καλύπτεται από την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη. Τέλος, εάν ούτε η αποθηκευμένη ενέργεια δεν επαρκεί, πρέπει να ενεργοποιείται η βοηθητική πηγή.

5.7 Μονάδες Αποθήκευσης

Επειδή, όπως αναλύθηκε, τα ηλιοθερμικά συστήματα εξαρτώνται από τον ήλιο ο οποίος δεν παρέχει σταθερά ενέργεια, είναι σημαντικό να βρεθούν τρόποι να αποθηκευτεί η παρεχόμενη ενέργεια και να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει ανάγκη.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσσωρευτών, που διακρίνονται με βάση την θέση τοποθέτησής τους, την ύπαρξη ή μη εναλλάκτη και το υλικό που χρησιμοποιούν. Επίσης άλλη μια κατηγορία διάκρισης αποτελεί ο τρόπος και οι λειτουργίες που κάνουν για να αποθηκεύσουν την ενέργεια. (29)

Η πρώτη κατηγορία, που είναι και η πιο απλή, έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει το νερό ομοιόμορφα, δηλαδή όταν εισέρχεται ζεστό νερό στην μονάδα αποθήκευσης, ζεσταίνει όλο το υπόλοιπο αποθηκευμένο νερό ομοιόμορφα. Το αρνητικό της παρούσας κατηγορίας είναι ότι το νερό μέσα στην μονάδα αποθήκευσης έχει χαμηλή θερμοκρασία σε σχέση με την θερμοκρασία του νερού που έρχεται από τον ηλιακό συλλέκτη. Επίσης η συγκεκριμένη κατηγορία χρησιμοποιείται σε συστήματα ανοικτού κυκλώματος.



Εικόνα 29 Τομή Δοχείου Αποθήκευσης

Η επόμενη κατηγορία είναι οι μονάδες αποθήκευσης θερμικής διαστρωμάτωσης. Η συγκεκριμένη κατηγορία εκμεταλλεύεται την χαμηλότερη πυκνότητα του ζεστού νερού με αποτέλεσμα αυτό να συγκεντρώνεται στο πάνω μέρος και η κατανάλωση να γίνεται από εκείνο το σημείο. Με αυτόν τρόπο το αποθηκευμένο νερό έχει υψηλότερη θερμοκρασία και το νερό που εισέρχεται στον συλλέκτη αντλείται από το χαμηλό μέρος της μονάδας αποθήκευσης, άρα καταλήγει να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία, κάτι το οποίο αυξάνει την απόδοση του συλλέκτη.

Σημαντική είναι και η θέση τοποθέτησης της μονάδας αποθήκευσης καθώς ένα μεγάλο ποσοστό επηρεάζει την απόδοση της. Σύμφωνα με μια έρευνα (30), οι μονάδες αποθήκευσης που τοποθετούνται στο έδαφος έχουν μεγαλύτερη εξοικονόμηση χρημάτων. Η παραπάνω διαπίστωση μπορεί να εξηγηθεί και θεωρητικά, καθώς το έδαφος έχει σταθερή θερμοκρασία και ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος την κρατάει σταθερή, μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας που θα είχε ένα τέτοιο σύστημα, αν τοποθετούταν στο εξωτερικό περιβάλλον.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με την απόδοση του συστήματος υπάρχουν και πλεονεκτήματα στην ευελιξία σχεδιασμού του συστήματος, διότι μπορεί να συνδεθεί με διάφορες πηγές ενέργειας (αντλίες θερμότητας, λέβητες βιομάζας κλπ), εξαιτίας της διαστρωμάτωσης της

θερμοκρασίας του νερού, αλλά και αντίστοιχα να αντλείται νερό για διάφορες χρήσεις (ενδοδαπέδια, ΖΝΧ, σώματα).

Μια άλλη μονάδα αποθήκευσης είναι η αποθήκη μακροταμίευσης. Η συγκεκριμένη κατηγορία έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει θερμική ενέργεια μια ολόκληρη εποχή και να την χρησιμοποιεί μια άλλη εποχή. Το παραπάνω το καταφέρει χρησιμοποιώντας λίμνες ή το έδαφος για να αποθηκεύσει νερό. Αυτή η κατηγορία χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου η παραγωγή ενέργειας δεν ταυτίζεται με την ζήτηση.

5.8 Μέθοδος Καμπυλών f

Η μέθοδος καμπυλών f (23) αποτελεί μια εύχρηστη μέθοδο για την εύρεση του συντελεστή κάλυψης του θερμικού φορτίου του κτηρίου από το σύστημα των ηλιακών συλλεκτών. Από την συγκεκριμένη μέθοδο μπορεί να υπολογιστεί η κάλυψη των θερμικών φορτίων και για την θέρμανση χώρων αλλά και για την θέρμανση του ζεστού νερού χρήσης.

Η κύρια εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του f είναι η παρακάτω:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad 5.8.1$$

Οι όροι που απαρτίζουν την παραπάνω σχέση αναλύονται παρακάτω.

5.8.1 Εύρεση X

Ο υπολογισμός του X δίνεται από την παρακάτω σχέση και οι όροι που την ορίζουν δίνονται παρακάτω:

$$X = F_R \cdot U_{Lmean} \cdot \left(\frac{F_R'}{F_R}\right) \cdot (\theta_{ref} - \theta_{a,mean}) \cdot \Delta t \cdot \left(\frac{A_c}{L}\right) \cdot K_2 \cdot K_3 \quad 5.8.2$$

Αρχικά το $F_R \cdot U_{Lmean}$, το οποίο προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή και συμβολίζει τις θερμικές απώλειες του συλλέκτη προς το περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία η τιμή του προσδιορίζεται από τον παρακάτω πίνακα ανάλογα με τον συλλέκτη.

Ο επόμενος διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού στην παρούσα εργασία δεν αποτελεί ενδιαφέρον, διότι δεν υπάρχουν φορτία ζεστού νερού οπότε το K_3 έχει την τιμή της μονάδας.

Χαρακτηριστικά Μεγέθη Συλλεκτών		FR(τα) n	FRUL(W/m ² °C)
1	Πλαστικός Συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση	0,86	21,50
2	Μαύρο χρώμα- Μονό Τζάμι	0,82	7,50
3	Μαύρο χρώμα- Διπλό Τζάμι, η επιλεκτική επιφάνεια- μονο τζάμι	0,75	5,00
4	Σωλήνες Κενού	0,45	1,25

Στην συνέχεια πρέπει να προσδιοριστεί το $(\frac{F'_R}{F_R})$, το οποίο εξαρτάται από την ύπαρξη εναλλάκτη στο δοχείο αποθήκευσης και η τιμή του δίνεται από τον κατασκευαστή. Οι τιμές του συντελεστή αυτού βρίσκονται ανάμεσα από 0,8-0,95, ενώ εάν στο δοχείο δεν υπάρχει εναλλάκτης, η τιμή του ισούται με την μονάδα. Στην ουσία αυτός ο συλλέκτης αντιπροσωπεύει την απόδοση του εναλλάκτη για την μετάδοση θερμότητας προς το νερό.

Ακόμα πρέπει να προσδιοριστούν δύο τιμές θερμοκρασίας. Η πρώτη είναι η θερμοκρασία αναφοράς και η δεύτερη είναι η μέση ημερήσια τιμή θερμοκρασίας για ολόκληρο τον μήνα. Έτσι συμπεραίνεται ότι θα υπολογίζεται συντελεστής κάλυψης για κάθε μήνα ξεχωριστά. Επομένως, η τιμή του επόμενου όρου θα είναι τα δευτερόλεπτα ολόκληρου του μήνα.

Ένας από τους πιο σημαντικούς όρους είναι ο όρος που καθορίζει το θερμικό φορτίο που πρέπει να καλύπτουν οι ηλιακοί συλλέκτες. Η παρούσα εργασία θα εστιάσει στα θερμικά φορτία για την κάλυψη της θέρμανσης του χώρου του κτηρίου, έτσι το L θα ισούται με το θερμικό φορτίο που απαιτείται μέσα στον μήνα του υπολογισμού του συντελεστή κάλυψης.

Οι δύο τελευταίοι συντελεστές αποτελούν διορθωτικοί συντελεστές του συστήματος. Ο πρώτος όρος αφορά την χωρητικότητα της μονάδας αποθήκευσης, επειδή η ανάπτυξη της παρούσας μεθοδολογίας έχει πραγματοποιηθεί για ανοιγμένη χωρητικότητα της μονάδας αποθήκευσης προς την συλλεκτική επιφάνεια με τιμή 75 lt/m². Επειδή η παραπάνω τιμή διαφέρει για κάθε εγκατάσταση, πρέπει να προσαρμόζεται η μέθοδος στα δεδομένα της εγκατάστασης της μελέτης. Το παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$K_2 = \left(\frac{75}{M}\right)^{0,25} \quad 5.8.3$$

Με M είναι ο ανοιγμένος όγκος αποθήκευσης ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας(lt/m²)

Ο επόμενος διορθωτικός συντελεστής ζεστού νερού στην παρούσα εργασία δεν αποτελεί ενδιαφέρον, διότι δεν υπάρχουν φορτία ζεστού νερού οπότε το K₃ έχει την τιμή της μονάδας.

5.8.2 Εύρεση του Υ

Η σχέση που υπολογίζει το Υ παρουσιάζεται παρακάτω:

$$Y = F_r(\tau\alpha)_n \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R}\right) \cdot \frac{(\tau'\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \cdot H_t \cdot \left(\frac{A_c}{L}\right) \cdot K_4 \quad 5.8.4$$

Για τον υπολογισμό του γ , ο πρώτος συντελεστής που πρέπει να υπολογιστεί αφορά την ικανότητα της συλλεκτικής επιφάνειας στην απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Η τιμή του $F_T(\tau\alpha)_n$ εξαρτάται από το είδος του συλλέκτη και λαμβάνεται από τον παραπάνω πίνακα.

Ο επόμενος συντελεστής αφορά την ικανότητα που έχει η συλλεκτική επιφάνεια για να απορροφήσει ηλιακή ακτινοβολία εξαιτίας της γωνίας που είναι τοποθετημένος ο συλλέκτης, μιας και η ηλιακή ακτινοβολία δεν προσπίπτει πάντα κάθετα. Οι τιμές του παραπάνω συντελεστή λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες. Ο πρώτος πίνακας αφορά συλλέκτες με μονό τζάμι, ενώ ο δεύτερος συλλέκτες με διπλό τζάμι.

Πίνακας 5-2 Συντελεστής ($\tau'\alpha/(\tau\alpha)_n$)

Συντελεστής ($\tau'\alpha/(\tau\alpha)_n$) για συλλέκτη με μονό τζάμι												
Μήνας												
Κλίση Επιφάνειας συλλέκτη	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
0	0,79	0,84	0,88	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,9	0,86	0,8	0,77
10	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,92	0,89	0,85	0,83
20	0,88	0,9	0,92	0,93	0,94	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,89	0,88
30	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91
40	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93
45	0,94	0,94	0,93	0,93	0,91	0,89	0,91	0,92	0,94	0,94	0,94	0,94
50	0,94	0,94	0,93	0,92	0,9	0,86	0,9	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94
60	0,95	0,94	0,93	0,9	0,88	0,81	0,87	0,89	0,92	0,94	0,95	0,95
70	0,95	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81	0,82	0,86	0,9	0,93	0,95	0,95
80	0,94	0,93	0,89	0,84	0,78	0,75	0,76	0,81	0,88	0,92	0,94	0,95
90	0,93	0,91	0,86	0,78	0,71	0,67	0,68	0,74	0,83	0,89	0,93	0,94
Συντελεστής ($\tau'\alpha/(\tau\alpha)_n$) για συλλέκτη με διπλό τζάμι												
Μήνας												
Κλίση Επιφάνειας συλλέκτη	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
0	0,74	0,8	0,85	0,89	0,92	0,92	0,92	0,91	0,88	0,82	0,75	0,72
10	0,81	0,85	0,88	0,91	0,92	0,93	0,93	0,92	0,9	0,86	0,82	0,8
20	0,86	0,88	0,9	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85
30	0,89	0,9	0,91	0,92	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91	0,9	0,89
40	0,91	0,92	0,92	0,91	0,9	0,89	0,9	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91
45	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,92
50	0,93	0,92	0,92	0,9	0,88	0,87	0,87	0,9	0,92	0,93	0,93	0,93
60	0,93	0,93	0,91	0,88	0,85	0,83	0,84	0,87	0,9	0,93	0,94	0,94
70	0,93	0,92	0,89	0,85	0,8	0,88	0,78	0,83	0,88	0,92	0,94	0,94
80	0,93	0,91	0,87	0,8	0,73	0,7	0,71	0,77	0,85	0,9	0,93	0,93
90	0,91	0,88	0,83	0,74	0,65	0,61	0,61	0,69	0,79	0,87	0,91	0,92

Με βάση τα παραπάνω ένα άλλο μέγεθος που πρέπει να ληφθεί υπόψη αφορά την μέση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον συλλέκτη (J/m^2).

Τέλος πρέπει να υπολογιστεί ο διορθωτικός συντελεστής που αφορά εναλλακτική φορτίου-εργαζόμενου μέσου συλλέκτη. Ο συγκεκριμένος συντελεστής δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$K_4 = 0,39 + 0,65 \cdot \exp\left[\frac{-0,139}{\varepsilon_L \frac{c_{min}}{(UA)b}}\right] \quad 5.8.5$$

Το $\varepsilon_L \cdot \frac{c_{min}}{(UA)b}$ συνήθως παίρνει την τιμή 2 και στην παρούσα φάση θα θεωρηθεί ότι είναι πάντα ίσο με 2.

6 ΒΙΟΜΑΖΑ

6.1 Ορισμός

Ως βιομάζα ορίζεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από φυτικούς οργανισμούς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Η βιομάζα στην ουσία είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια σε φυτικούς οργανισμούς και αποτελεί βασικό στοιχείο για την δημιουργία καυσίμων, υγρών και στερεών.

6.2 Πηγές Βιομάζας

Για την παραγωγή βιομάζας συνήθως κατασκευάζονται ενεργειακές καλλιέργειες οι οποίες έχουν την δυνατότητα να παράγουν προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δασικές και γεωργικές. Οι δασικές ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται στα είδη ευκαλύπτων και στα Ψευδακακία. Οι γεωργικές χωρίζονται σε ετήσιες και πολυετείς. Στις ετήσιες τα πιο διαδεδομένα είναι ο ηλίανθος, το σιτάρι- κριθάρι και ο αραβόσιτος. Στις πολυετείς ανήκουν το καλάμι, ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το switchgrass. (31)

Επίσης υπάρχουν και διάφορα στοιχεία τα οποία αποτελούν υπολείμματα άλλων διαδικασιών και μπορούν χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα. Τα πριονίδια αποτελούν μια πολύ καθαρή μορφή βιομάζας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Εκτός από τα πριονίδια, τα υπολείμματα δένδρων και δασών γενικά αποτελούν μια σημαντική πηγή βιομάζας.

Άλλη μια σημαντική προέλευση βιομάζας είναι τα απόβλητα. Κάθε κατηγορία αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία βιομάζας και συγκεκριμένα βιοαερίου. Τα βιομηχανικά απόβλητα τα οποία για την απόρριψη τους επιβαρύνουν τους ιδιοκτήτες των βιομηχανιών οικονομικά, αποτελούν πολύ σημαντική πηγή βιοαερίου. Επίσης τα αστικά και ζωικά απόβλητα αποτελούν ακόμα μια σημαντική πηγή βιομάζας, η αξιοποίηση των οποίων θα ελαφρύνει την πολιτεία από διάφορα προβλήματα. (31)

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό τα παραπάνω δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την παραγωγή ενέργειας αλλά χρειάζεται να υποβληθούν σε κάποια επεξεργασία. Τα στάδια επεξεργασίας είναι διαφορετικά για κάθε τύπο, διότι εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του κάθε στοιχείου, καθώς και από τα χαρακτηριστικά της τελικής του χρήσης.

Αρχικά όπως είναι λογικό πρέπει να μειωθεί το μέγεθος στα ογκώδη στοιχεία, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δεματοποίησης. Άλλη μια διαδικασία επεξεργασίας αποτελεί η συμπύκνωση κάποιων αποβλήτων, εξαιτίας της υψηλής τους περιεκτικότητα σε υγρασία. Το ίδιο μπορεί να επιτευχθεί και με την ξήρανση των προϊόντων. Άλλα σημαντικά στάδια είναι η αποθήκευση και η μεταφορά τέτοιων προϊόντων γιατί, όπως είναι λογικό, είναι εύκολη η ανάφλεξή τους οπότε πρέπει να φυλάσσονται κάτω από ειδικές συνθήκες.

6.3 Τελικά προϊόντα

Τα τελικά προϊόντα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας αποτελούν τα συσσωματώματα, ο ανθρακόπλινθος (μπρικέτες, από την γαλλική λέξη brique) και τα βιοκαύσιμα. Εδώ η εστίαση θα γίνει κυρίως στις μπρικέτες και στα συσσωματώματα, διότι χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα θέρμανσης, που είναι και το κύριο θέμα της εργασίας. Τα βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και χρησιμεύουν σε ένα ποσοστό ως προσμίξεις στα ορυκτά καύσιμα.

Οι μπρικέτες και τα συσσωματώματα αποτελούν το αντικαταστάτη του ξύλου ως προϊόν καύσης κυρίως εξαιτίας της ευκολίας που έχουν στην μεταφορά αλλά και στην προσθήκη τους στην εστία καύσης. Τα συσσωματώματα έχουν διάμετρο 6-8mm ενώ οι μπρικέτες 30-100mm. Αποτελούνται από συμπιεσμένα ξύλα, πριονίδια και ροκανίδια και ο σκοπός τους είναι να δημιουργηθεί ένα υψηλής ενεργειακής πυκνότητας καύσιμο. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιούνται στις σόμπες και στους λέβητες παρέχοντας θέρμανση σε κτίρια, αφού έχουν και την ίδια πρακτικότητα με το πετρέλαιο. (32)

6.4 Λέβητες Βιομάζας

Οι λέβητες βιομάζας αποτελούν ένα μέσο θέρμανσης για πολλά χρόνια, ειδικότερα σε αγροτικές και απομονωμένες περιοχές. Υπάρχουν διάφορα είδη λεβήτων βιομάζας. Τα περισσότερα είδη είναι τεχνολογίες από τα παλιά χρόνια, διότι ο άνθρωπος για πολλά χρόνια χρησιμοποιούσε το ξύλο ως καύσιμη ύλη, και για αυτό τον λόγο εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες ρύπων στο περιβάλλον, κάτι το οποίο τα κάνει μη επιτρεπτά για τα κτήρια μηδενικής ενέργειας καθώς εκπέμπουν περισσότερους ρύπους ακόμα και από τα συμβατικά καύσιμα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει φέρει στο προσκήνιο λέβητες βιομάζας με χαμηλά επίπεδα ρύπων κάτι το οποίο επιτρέπει την χρήση τέτοιων συστημάτων σε κτίρια μηδενικής ενέργειας.

Η νέα τάση της τεχνολογίας είναι οι λέβητες βιομάζας με καύσιμη ύλη, μπρικέτες και συσσωματώματα. Η συγκεκριμένη καύσιμη ύλη που αναλύθηκε και παραπάνω είναι μια ύλη με μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία και λόγω των ιδιοτήτων της μπορεί να τροφοδοτεί τον καυστήρα συνεχώς και αυτόματα για καύση. Εξαιτίας της συγκεκριμένης λειτουργίας, οι λέβητες αυτοί μπορούν εύκολα να αντικαταστήσουν τους υφιστάμενους λέβητες πετρελαίου.

Η λειτουργία τέτοιων συστημάτων δεν διαφέρει και σε μεγάλο βαθμό από την λειτουργία συστημάτων που λειτουργούν με πετρέλαιο. Η ροή καυσίμου επιτυγχάνεται αυτόματα, συνήθως μέσα από ένα σύστημα κοχλία και καθορίζεται από το επιθυμητό φορτίο παραγωγής θερμότητας. Η ανάφλεξη πραγματοποιείται μέσω αναφλεκτήρα ο οποίος λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Όσον αφορά την εστία της φωτιάς, υπάρχουν 2 διαφορετικά είδη. Η οριζόντια εστία όπου η φλόγα καίει οριζόντια και η προς τα πάνω εστία όπου η φλόγα καίει προς τα πάνω. Επομένως είναι σημαντικό να μπορεί να συνδυαστεί ο καυστήρας με τον λέβητα. Το τρίτο στοιχείο για την διατήρηση της φλόγας αποτελεί η παροχή αέρα, η οποία επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτροκίνητου ανεμιστήρα, ο οποίος έχει την δυνατότητα να αυξομειώνει την ροή του αέρα και διανέμει τον πρωτεύοντα και δευτερεύοντα αέρα.

Όσο αναφορά την χρονική στιγμή όπου θα γίνεται η ανάφλεξη και τότε θα σταματάει, αυτό εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού, όπως και στα συμβατικά συστήματα. Όταν η θερμοκρασία του νερού πέσει κάτω από την επιτρεπτή, τότε θα γίνει η ανάφλεξη και θα ξεκινήσει η εστία μέχρι η θερμοκρασία του νερού να φθάσει την επιθυμητή. Επομένως θα έλεγε κανείς πως η βασική λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος δεν διαφέρει από τα συμβατικά καύσιμα, με μόνη διαφορά στο καύσιμο που καίγεται.

Σημαντική προσοχή πρέπει να δοθεί στην εκπομπή των ρύπων, η οποία είναι ένα θέμα που αφορά άμεσα τα κτήρια που μελετά η παρούσα εργασία. Το θετικό που έχουν αυτά τα συστήματα είναι ότι εκπέμπουν χαμηλά ποσοστά υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα. Σε λίγο μεγαλύτερο ποσοστό συναντάται η αιθάλη, η τέφρα και η σωματιδιακή ύλη. Η τελευταία δεν εξαρτάται τόσο από το σύστημά, αλλά από τις ιδιότητες της καύσιμη ύλης. Το μεγαλύτερο πρόβλημα όσον αφορά τους ρύπους είναι τα οξείδια του αζώτου (NOx). Εάν και η καύσιμη ύλη έχει μικρά ποσοστά σε άζωτο, υπάρχει η καθολική μετατροπή του σε οξείδια του αζώτου, κάτι που σημαίνει ότι ελευθερώνει υψηλά ποσοστά στην ατμόσφαιρα. (31)

Οι δεξαμενές της καύσιμη ύλης διαφέρουν από τις δεξαμενές υγρών καυσίμων. Η διαφορά τους συναντάται κυρίως στην μορφή της δεξαμενής. Επειδή γίνεται λόγος για στερεά καύσιμα, πρέπει να μπορεί να γίνει εκμετάλλευση όλου του στερεού καυσίμου που υπάρχει μέσα, για αυτό πρέπει να γίνει εφικτή μια φυσική ροή του καυσίμου προς το σημείο όπου θα μεταφερθούν στον καυστήρα για καύση. Αυτή η φυσική ροή επιτυγχάνεται μέσω μιας κωνικότητας στην βάση.

6.5 Βιομάζα σε Ελλάδα και Ευρώπη

Η βιομάζα αποτελεί μια διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στο κόσμο εξαιτίας της μεγάλης διαθεσιμότητας της και του χαμηλού κόστους λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα, στον κόσμο παράγονται 172 δισεκατομμύρια τόνοι, που μπορούν να παράγουν 10 φορές την ενέργεια που χρειάζεται όλος ο κόσμος. Η βιομάζα καλύπτει μόνο 1/7 των αναγκών σε ενέργεια παγκοσμίως. (31)

Στην Ελλάδα εξαιτίας της μεγάλης γεωργικής παραγωγικότητας η συνολική ετήσια διαθέσιμη ενέργεια ανέρχεται στα 10.200.000 τόνους. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι η διαθεσιμότητα της βιομάζας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα και εάν αναλογιστεί κανείς και ότι τα προϊόντα που την δημιουργούν είναι σκουπίδια, αποτελεί μια τεχνολογία με μεγάλο ενδιαφέρον.

6.6 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της βιομάζας παρουσιάζονται παρακάτω:

Αρχικά ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι ότι τα καυσαέρια της βιομάζας δεν συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ούτε στην όξινη βροχή. Για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι υπεύθυνο το διοξείδιο του άνθρακα, που υπάρχει στα καυσαέρια της βιομάζας και έχει την δυνατότητα να μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά. Επίσης, τα καυσαέρια της βιομάζας έχουν χαμηλό ποσοστό θείου, το οποίο είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.

Ένα άλλο πλεονέκτημα που έχει η βιομάζα είναι ότι είναι διαθέσιμη σε κάθε περιοχή και έτσι βοηθάει στην απεξάρτηση των περιοχών από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων. Το παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι πέρα από την εξοικονόμηση χρημάτων εξαιτίας της υψηλής τιμής των ορυκτών καυσίμων, η βιομάζα μπορεί να επιφέρει και οικονομική ανάπτυξη σε πολλές περιοχές δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και πιο συγκεκριμένα στον γεωργικό πληθυσμό, αφού οι αγρότες μπορούν να παράγουν προϊόντα βιομάζας.

Από την άλλη πλευρά τα μειονεκτήματα της βιομάζας αφορούν την μικρότερη θερμαντική αξία, κάτι που την κάνει να είναι δύσκολη η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας.

6.7 Σχεδιασμός συστήματος Βιομάζας

Στην παραπάνω παράγραφο παρατηρείται ότι η βιομάζα διαφέρει σε αρκετά σημεία από τα ορυκτά καύσιμα και θεωρείται πράσινη και ανανεώσιμη ενέργεια. Κρατώντας τα παραπάνω πλεονεκτήματα, συνδυάζει την ευκολία στον σχεδιασμό που έχουν τα ορυκτά καύσιμα. Αυτό οφείλεται στην μη ύπαρξη ασταθών παραγόντων όπως υπάρχουν σε άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, διότι το καύσιμο είναι διαθέσιμο όποτε το θελήσει ο άνθρωπος.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα συστήματα βιομάζας αποτελούν συστήματα με μεγάλη σταθερότητα, για αυτό το λόγο είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε υβριδικά συστήματα.

Ο υπολογισμός της ισχύος του λέβητα είναι πολύ γρήγορος αφού ως δεδομένα είναι μόνο οι θερμικές απώλειες και ένας συντελεστής ασφαλείας. Οι θερμικές απώλειες πρέπει να είναι προσαυξημένες κατά ένα ποσοστό (συντελεστής ασφαλείας) για να είναι σίγουρο ότι ακόμα και σε δυσμενείς συνθήκες και εξαιτίας διάφορων σφαλμάτων που εισάγονται κατά τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών, το σύστημα μπορεί να καλύψει τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου. (32)

7 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

7.1 Γενικά

Τα υβριδικά συστήματα ενέργειας έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που έχουν. Η μετάβαση της ενέργειας παγκοσμίως από τα ορυκτά καύσιμα στις ΑΠΕ έχει φέρει στο προσκήνιο τα υβριδικά συστήματα ενέργειας. Μέσω αυτών μπορεί να γίνει εκμετάλλευση των πράσινων τεχνολογιών στο έπακρο και να περιοριστεί στον μέγιστο βαθμό το πρόβλημα της αυτονομίας που αντιμετωπίζουν αυτά τα συστήματα.

Ως υβριδικό σύστημα ορίζεται το σύστημα το οποίο συνδυάζει δυο διαφορετικές τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας, φροντίζοντας την μεγιστοποίηση των θετικών χαρακτηριστικών της κάθε τεχνολογίας και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών χαρακτηριστικών.

Υπάρχουν υβριδικά συστήματα (CCHP) που συνδυάζουν την παραγωγή δυο μορφών ενέργειας, ηλεκτρικής και θερμικής. Η δημιουργία τέτοιων συστημάτων μπορεί να συμβάλει στην δημιουργία ενεργειακά ανεξάρτητων κτηρίων με ανταγωνιστικό κόστος εγκατάστασης. Στην παρούσα εργασία η προσοχή δίνεται μόνο στα υβριδικά συστήματα θέρμανσης, δηλαδή στα συστήματα που, εάν συνδυαστούν, παράγουν θερμική ενέργεια.

7.2 Βήματα Σχεδιασμού

Επειδή το κόστος τέτοιων συστημάτων είναι αρκετά υψηλό, είναι πολύ σημαντικός ο σχεδιασμός τους να γίνεται με προσοχή και λαμβάνοντας υπόψιν τις ανάγκες του κτηρίου, ώστε να είναι και οικονομικά βιώσιμο αλλά και λειτουργικό.

Στον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων πρέπει να ληφθεί υπόψιν τόσο η δυναμικότητα που πρέπει να έχει το σύστημα όσο και η στρατηγική λειτουργίας που πρέπει να ακολουθηθεί, η οποία συνδυάζεται κυρίως με της υδραυλικές συνδέσεις των συστημάτων που απαρτίζουν το υβριδικό αυτό σύστημα.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια ροή για το πώς πρέπει να σχεδιάζονται τα υβριδικά συστήματα θερμικής ενέργειας (33).

Αρχικά πρέπει να προσδιοριστούν οι συνθήκες της εγκατάστασης και οι απαιτήσεις που αυτή έχει. Για παράδειγμα, πριν αρχίσει ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος που θα χρησιμοποιεί αντλία θερμότητας, πρέπει να έχει γίνει ήδη μελέτη των θερμοκρασιακών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, για να διαπιστωθεί εάν εμφανίζονται πολύ συχνά χαμηλές θερμοκρασίες και εάν θα μπορεί να λειτουργήσει η αντλία θερμότητας.

Το δεύτερο βήμα αφορά στην μοντελοποίηση του υβριδικού συστήματος για να καθοριστεί η δυναμικότητα που χρειάζεται να έχει η κάθε τεχνολογία έτσι ώστε να ταιριάζει το σύστημα στις απαιτήσεις του κτηρίου. Στο παρόν βήμα, δίνεται έμφαση στην τεχνική αξιολόγηση του συστήματος και όχι στην οικονομική.

Για τις παραπάνω τεχνικές λύσεις που εντοπίστηκαν ότι έχουν την ικανότητα να καλύψουν τις απαιτήσεις του κτηρίου γίνεται ο υπολογισμός διάφορων δεικτών - κυρίως οικονομικών- αλλά και

περιβαλλοντικών, έτσι ώστε σε επόμενο βήμα αυτοί οι δείκτες να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την συνολική αξιολόγηση του κάθε συνδυασμού.

Επομένως, η βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων αποτελεί το επόμενο βήμα του σχεδιασμού. Η συγκεκριμένη βελτιστοποίηση θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο. Ο στόχος της είναι να εντοπίσει την καλύτερη λύση από όλους του τομείς αξιολόγησης μιας τέτοιας επένδυσης, δηλαδή οικονομικούς, τεχνικούς αλλά και περιβαλλοντικούς.

Τελευταίο βήμα αποτελεί η προσομοίωση της βέλτιστης λύσης σε ετήσια λειτουργία. Στόχος είναι προσδιοριστεί με ακρίβεια η δυναμικότητα των συστημάτων, καθώς και να προσδιοριστεί ποια θα μπορεί να είναι η βέλτιστη στρατηγική λειτουργίας που θα πρέπει να ακολουθήσει το σύστημα, ώστε να ταιριάζει καλύτερα στην ενεργειακή κατανάλωση που θα έχει το κτήριο.

Η στρατηγική λειτουργίας είναι διαφορετική για κάθε συνδυασμό συστημάτων αλλά και για κάθε εγκατάσταση, γιατί εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες που επικρατούν στην κάθε περιοχή. Παρακάτω θα αναλυθούν κάποιοι συνδυασμοί συστημάτων με την υδραυλική διάταξη και την λειτουργία τους.

Πρώτα όμως είναι σημαντικό ο σχεδιαστής του συστήματος να έχει κατανοήσει το σκεπτικό που χρειάζεται για να διαμορφώσει ένα τέτοιο σύστημα. Γενικώς ένα υβριδικό σύστημα, όπως έχει αναλυθεί παραπάνω, πρέπει να αποτελείται από συστήματα που προσδίδουν διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα βάσης το οποίο θα είναι υπεύθυνο να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου με την χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Τέτοια συστήματα είναι η αντλία θερμότητας και τα γεωθερμικά συστήματα.

Επίσης πρέπει να υπάρχει το σύστημα σταθερότητας, το οποίο θα είναι ικανό να καλύψει το φορτίο ακόμα και στις δυσμενέστερες εξωτερικές συνθήκες. Τέτοια συστήματα είναι οι λέβητες βιομάζας, διότι η δυναμικότητα τους δεν καθορίζεται από μεταβαλλόμενους παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες.

Οι ηλιακοί συλλέκτες και τα δοχεία αποθήκευσης αποτελούν βοηθητικές διατάξεις που μπορούν να αυξήσουν την σταθερότητα του δικτύου και να μειώσουν τα λειτουργικά κόστη σε μεγάλο βαθμό. Βέβαια σε ορισμένες περιπτώσεις και με ορισμένες διατάξεις μπορούν να συνδυαστούν με τα συστήματα βάσης και να κάνουν συστήματα που μπορούν να καλύψουν πλήρως τις ανάγκες του κτηρίου, δίχως να χρειάζεται κάποιο σύστημα σταθερότητας.

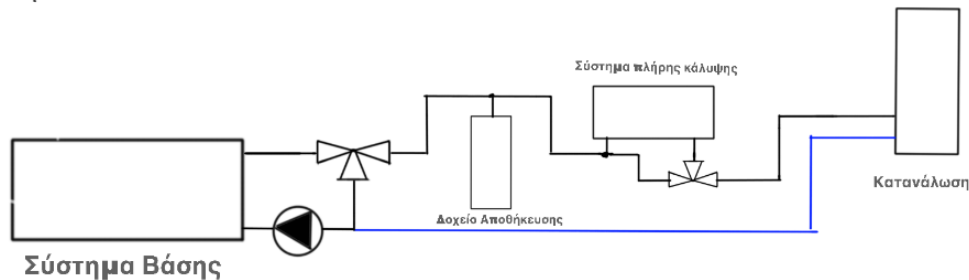
7.3 Υδραυλικό Δίκτυο

Μια εκτενής ανάλυση στα υδραυλικά δίκτυα υβριδικών θερμικών συστημάτων παρουσιάζονται παρακάτω. (33)

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα σύστημα βάσης, από έναν λέβητα που έχει στόχο την σταθερότητα του συστήματος και από ένα δοχείο αποθήκευσης νερού.

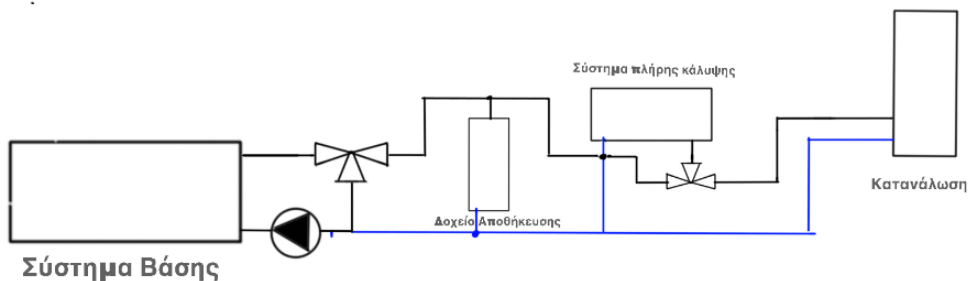
Η πρώτη διάταξη αφορά την σύνδεση δοχείου και λέβητα σε σειρά. Στόχος αυτής της διάταξης είναι να μειώνεται η λειτουργία του λέβητα αφού το νερό εισέρχεται με υψηλότερη θερμοκρασία.

Βέβαια σε αυτή την περίπτωση ο βαθμός απόδοσης του λέβητα μειώνεται. Σε περίπτωση παράκαμψης της εισαγωγής του νερού στο λέβητα από το δοχείο αποθήκευσης, χρησιμοποιείται μια τριόδη βάννα.



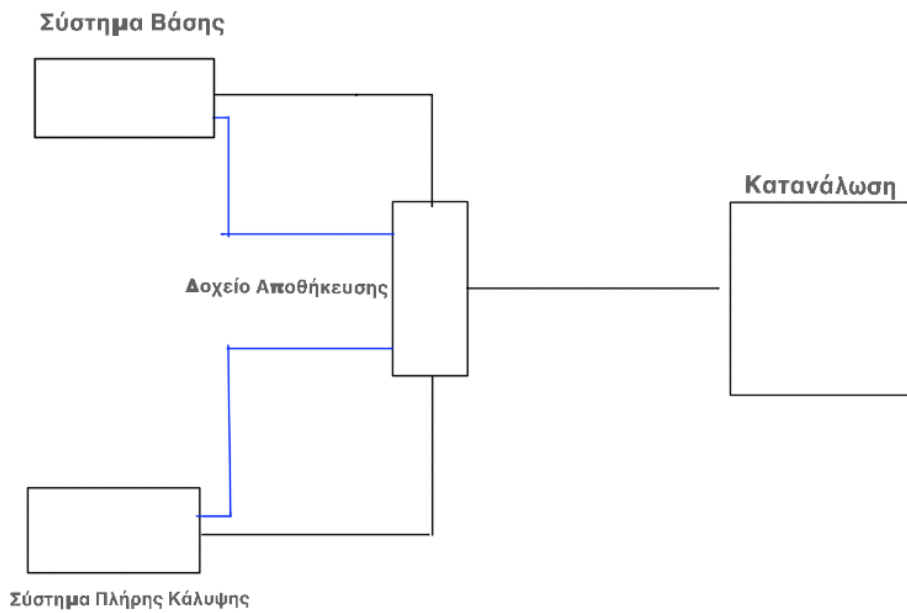
Εικόνα 7.3-1 Διάταξη (1) Υβριδικού Συστήματος

Μια άλλη διάταξη που μπορεί να πραγματοποιηθεί είναι ο λέβητας να συνδέεται παράλληλα με τον κύριο παραγωγό. Στην παρούσα κατάσταση, η στρατηγική λειτουργίας της βαλβίδας του λέβητα είναι να ανοίξει πλήρως και ένα μέρος του ζεστού νερού του λέβητα να εισέρχεται απευθείας με το ζεστό νερό του κύριου παραγωγού. Επίσης ένα μέρος του νερού από τον λέβητα εισέρχεται απευθείας στην επιστροφή του κύριου παραγωγού με αποτέλεσμα η θερμοκρασία στο δοχείο να αυξάνεται γρηγορότερα και ο κύριος παραγωγός να σταματάει την παραγωγή ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η αναλογία που θα έχει το κάθε μερίδιο εξαρτάται από την ρύθμιση που θα γίνει.



Εικόνα 7.3-2 Διάταξη (2) Υβριδικού Συστήματος

Μια άλλη διάταξη αφορά την δημιουργία δυο διαφορετικών κυκλωμάτων για την κάλυψη του νερού χρήσης και του νερού θέρμανσης. Στην παρούσα εργασία δεν θα γίνει λόγος για το ζεστό νερό χρήσης, αλλά μόνο για την κάλυψη των θερμικών φορτίων. Η παραπάνω λογική λειτουργίας θα μπορούσε να υιοθετηθεί και σε ένα σύστημα με στόχο μόνο την κάλυψη θερμικών φορτίων. Αυτό το σύστημα θα αποτελούταν από το σύστημα βάσης και το σύστημα σταθερότητας. Το κάθε σύστημα θα είχε το δικό του κύκλωμα και η παραγωγή ζεστού νερού από κάθε σύστημα θα συγκεντρωνόταν σε ένα κοινό δοχείο αποθήκευσης και στην συνέχεια το σύστημα διανομής της ενέργειας θα το μετακινούσε προς τις καταναλώσεις.



Εικόνα 7.3-3 Διάταξη (3) Υβριδικού Συστήματος

Οι παραπάνω υδραυλικές διατάξεις λειτουργίας αποτελούν ενδεικτικά κάποιες διατάξεις γενικών υβριδικών συστημάτων. Όπως γίνεται αντιληπτό, για τη δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος θερμικής ενέργειας, εκτός από τον προσδιορισμό της δυναμικότητας που πρέπει να έχουν τα συστήματα, είναι σημαντικό να καθοριστούν και τα υδραυλικά δίκτυα τα οποία καθορίζουν και την στρατηγική λειτουργίας τέτοιων συστημάτων.

7.4 Ηλιακή Αντλία Θερμότητας

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι υπάρχουν διατάξεις συστημάτων για κάθε τεχνολογία, οι οποίες είναι εξατομικευμένες στην μικροσκοπική λειτουργία που επιτελεί το μεμονωμένο σύστημα και οι οποίες έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και θα αναλυθούν παρακάτω.

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες διατάξεις είναι οι αντλίες θερμότητας οι οποίες υποβοηθούνται από ηλιακούς συλλέκτες, δημιουργώντας ένα υβριδικό σύστημα με πολλά προτερήματα. Για να αναφερθούν τα προτερήματα που έχει ένα τέτοιο υβριδικό σύστημα είναι σημαντικό να γνωστοποιηθούν τα μειονεκτήματα που έχει το κάθε σύστημα μεμονωμένα.

Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν ένα διαδομένο σύστημα, το οποίο βρίσκεται σε τροχιά ανάπτυξης εδώ και αρκετά χρόνια. Συγκεκριμένα από το 2005 μέχρι και το 2006, η ανάπτυξη των ηλιοθερμικών συστημάτων ήταν της τάξεως του 44,3%. (30) Η χρήση τέτοιων συστημάτων περιορίζεται κυρίως στην κάλυψη θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης και όχι στην θέρμανση των χώρων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό συντελεστή κάλυψης που προσφέρει για τα θερμικά φορτία χώρων.

Το παραπάνω είναι συνέπεια του ότι η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη περιορισμένες ώρες

μέσα στην ημέρα και η αποθήκευση του νερού θα έπρεπε να είναι τεράστια για να μπορεί να καλύψει τα θερμικά φορτία. Δεύτερον, οι ηλιακοί συλλέκτες δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν χαμηλής έντασης ηλιακή ακτινοβολία, διότι για να γίνει παραγωγή θερμικής ενέργειας στον ηλιακό συλλέκτη, πρέπει η θερμοκρασία στην απορροφητική επιφάνεια να είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική και σε συνέχεια να είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία που έχει ο εσωτερικός χώρος. Επομένως, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας πηγαίνει χαμένο. Στόχος είναι να βρεθεί ένας τρόπος εκμετάλλευσης αυτού του ποσού ηλιακής ακτινοβολίας.

Από την άλλη πλευρά οι αντλίες θερμότητας είναι πολύ αποδοτικές και οικονομικές στις περισσότερες συνθήκες περιβάλλοντος αλλά δεν μπορούν λειτουργήσουν και να παράγουν θερμότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες και σε συνθήκες υψηλής υγρασίας. Όταν υπάρχουν τέτοιες συνθήκες λειτουργίας, η αντλία θερμότητας πρέπει να πραγματοποιεί απόψυξη.

Η απόψυξη μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος έχει να κάνει με την αντιστροφή του κύκλου. Το αρνητικό στην συγκεκριμένη διαδικασία είναι ότι για να γίνει αυτό, απορροφάει θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο, άρα όχι μόνο δεν παράγει θερμότητα αλλά απορροφάει και την θερμότητα του έσω χώρου. Ο δεύτερος τρόπος αφορά το θερμό αέριο. Στον συγκεκριμένο τρόπο, το συμπιεσμένο αέριο περνάει από τον εξατμιστή στον συμπυκνωτή για να λιώσει ο πάγος και η αντλία παρέχει θερμότητα στον χώρο με μικρότερο ρυθμό.

Εάν συνδυαστούν οι ηλιακοί συλλέκτες με τις αντλίες θερμότητας μπορούν να περιοριστούν σε μεγάλο βαθμό τα παραπάνω προβλήματα και να δημιουργηθεί ένα σύστημα το οποίο θα έχει μεγάλη σταθερότητα και εξοικονόμηση ενέργειας. Η εξοικονόμηση ενέργειας οφείλεται στην περιορισμένη λειτουργία που έχει ο συμπιεστής και συγκεκριμένα, η εξοικονόμηση ενέργειας φτάνει στο 30-40% (34)

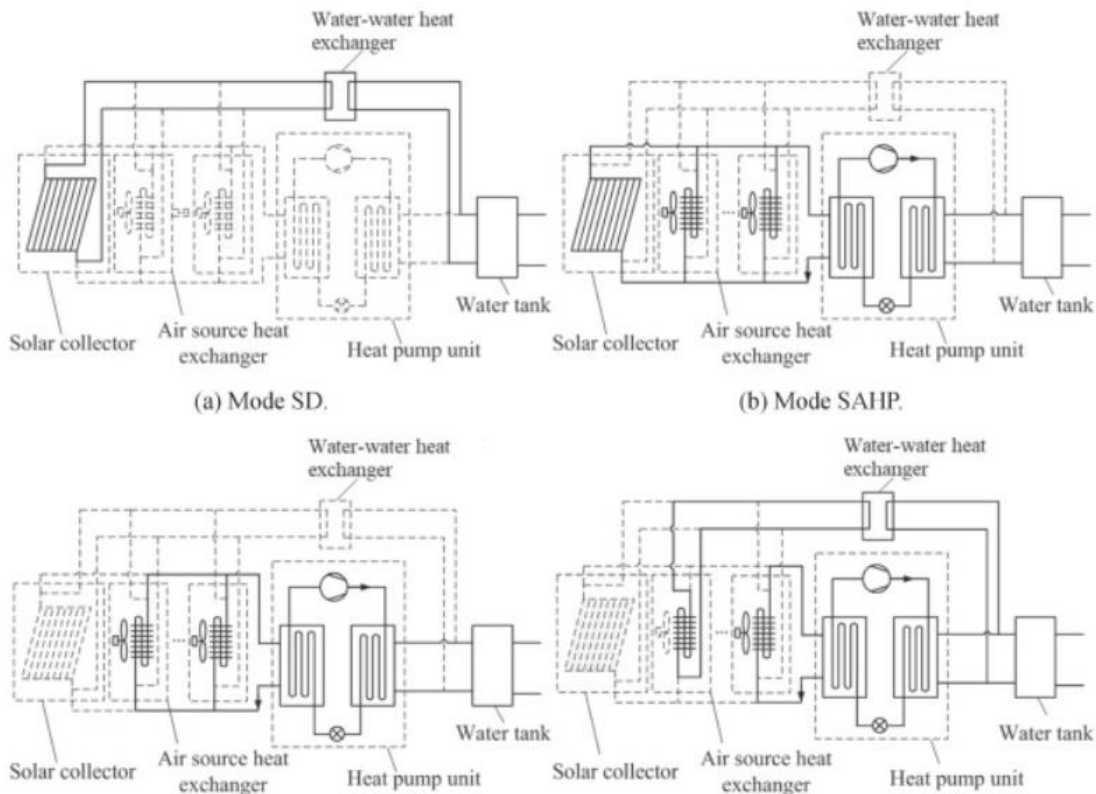
Επιπρόσθετα, ο συνδυασμός των παραπάνω συστημάτων αυξάνει και το βαθμό απόδοσης της αντλίας θερμότητας, σύμφωνα με την έρευνα (34), όπου κατέληξαν ότι το COP ήταν 5,2 σε μια αντλία θερμότητας με υποβοήθηση από τον ήλιο, σε σύγκριση με μια συμβατή αντλία θερμότητας που στις ίδιες συνθήκες ήταν στο 3. Αυτό οφείλεται στο ότι η αντλία θερμότητας προσλαμβάνει ενέργεια από ένα περιβάλλον υψηλότερης θερμοκρασίας από το κανονικό.

Βέβαια η απόδοση και κατά πόσο είναι συμφέροντα τέτοια συστήματα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες που λειτουργούν. Για παράδειγμα, σύμφωνα με έρευνα που έγινε σε διάφορες πόλεις της Ευρώπης, σε πόλεις με υψηλά φορτία θέρμανσης όπως η Στοκχόλμη και η Βαρσοβία, ένα τέτοιο σύστημα είναι οικονομικά συμφέρον. Αντίθετα σε πόλεις με χαμηλά φορτία θέρμανσης, δεν είναι πάντα ευεργετικό. Στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη όπου υπάρχει σχετικά χαμηλή ζήτηση σε θέρμανση και υψηλό ηλιακό δυναμικό, η χρήση ενός υβριδικού συστήματος SAHP είναι συμφέρουσα, αφού η αναγκαία επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών κυμαίνεται από 15-30 m². (35)

Σημαντική πληροφορία είναι και η γνώση της στρατηγικής που ακολουθεί ένα τέτοιο σύστημα. Η στρατηγική λειτουργίας μπορεί να διαφέρει από σύστημα αντλίας θερμότητας σε σύστημα ηλιακής υποβοήθησης. Σε διάφορες δημοσιεύσεις παρατηρούνται πολλές διαμορφώσεις. Οι περισσότερες διαφορές εντοπίζονται στο μέσο που θα κάνει την ανταλλαγή θερμότητας.

Μια συχνή διαμόρφωση αφορά την ανταλλαγή θερμότητας μέσω νερού και αέρα. Το σύστημα αποτελείται από 6 εναλλάκτες θερμότητας με αέρα και έναν εναλλάκτη νερού, έναν ηλιακό

συλλέκτη και ένα δοχείο αποθήκευσης. Ο εξατμιστής της αντλίας θερμότητας συνδέεται με τον ηλιακό συλλέκτη με δευτερεύον ρευστό ενώ ο ηλιακός συλλέκτης είναι συνδεδεμένος και με το δοχείο αποθήκευσης. Στην συγκεκριμένη διάταξη παρατηρούνται 4 τρόποι λειτουργίας.



Εικόνα 7.4-1 Τρόποι Λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας με ηλιακή υποβοήθηση(Μέσο μεταφοράς υγρό) (36)

Ο πρώτος τρόπος λειτουργίας αφορά την απευθείας παροχή θέρμανσης από τους ηλιακούς συλλέκτες. Όταν το νερό που προέρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες είναι υψηλότερης θερμοκρασίας από το νερό που υπάρχει στο δοχείο αποθήκευσης, τότε η ενέργεια παρέχεται κατευθείαν στις θερματικές μονάδες για κατανάλωση.

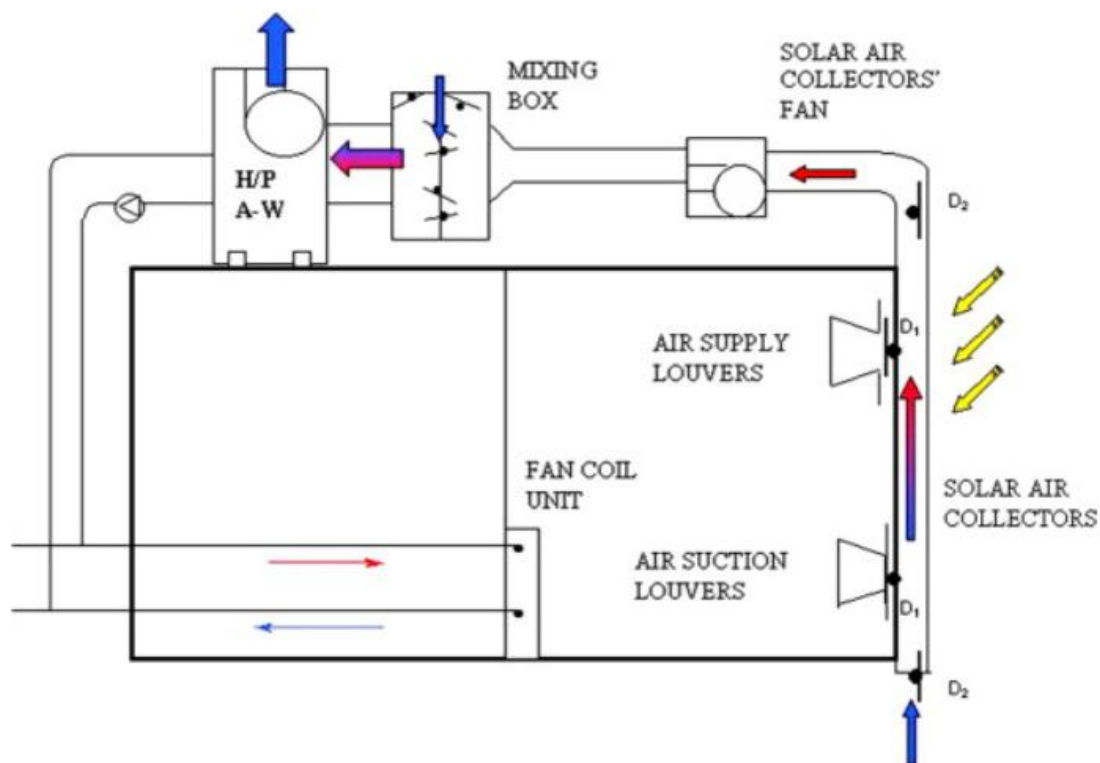
Ο δεύτερος τρόπος λειτουργίας αφορά την λειτουργία της ηλιακής αντλίας θερμότητας. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για παραγωγή ηλιακής ενέργειας για κατανάλωση, οι βαλβίδες αλλάζουν φορά και επιτρέπουν την διέλευση του ηλιακού ρευστού μέσα από τον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας. Έτσι, χαμηλή ποιότητα θερμότητας εξάγεται από το ηλιακό ρευστό και σε συνδυασμό με τον αέρα του περιβάλλοντος παρέχουν θερμότητα στον εσωτερικό χώρο.

Ο επόμενος τρόπος λειτουργίας αφορά την περίπτωση που η ηλιακή ακτινοβολία δεν υπάρχει. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει η κλασική λειτουργία της αντλίας θερμότητας, δηλαδή η θερμότητα εξάγεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο τελευταίος τρόπος αφορά την λειτουργία απόψυξης. Στην συγκεκριμένη λειτουργία, η ύπαρξη περισσότερων από έναν εναλλακτών καταφέρνει την παροχή σταθερής θερμότητας στον χώρο αφού όταν ο ένας εναλλάκτης κάνει απόψυξη, ένας άλλος λειτουργεί και παρέχει θερμότητα στον

χώρο. Η εναλλαγή αυτή γίνεται συνέχεια με αποτέλεσμα το σύστημα να μην σταματά να λειτουργεί. Μέσω του εναλλάκτη νερού-νερού παρέχεται θερμότητα από το δοχείο αποθήκευσης στον εξατμιστή που κάνει την απόψυξη, με αποτέλεσμα να μειώνει το χρόνο απόψυξης από 60 σε 10 λεπτά.

Ο εναλλάκτης αέρα-αέρα μπορεί να αντικαταστήσει τον εναλλάκτη νερού- νερού και να πραγματοποιηθεί η ίδια διαδικασία. Καθ' όλη την διάρκεια που λειτουργεί η αντλία θερμότητας, ο αέρας που περνάει πίσω από τα μαύρα βαμμένα απορροφητικά του συλλέκτη θερμαίνεται στους 5 με 12° C και στην συνέχεια παρέχεται στον εξατμιστή για να λειτουργήσει η αντλία θερμότητας. Η παραπάνω διάταξη καταφέρνει να αυξήσει τον βαθμό απόδοσης της αντλίας θερμότητας.



Εικόνα 7.4-2 Απεικόνιση Λειτουργίας Αντλίας Θερμότητας ηλιακά υποβοηθούμενη (μέσο αέρα) (37)

Βέβαια η συγκεκριμένη διάταξη αντιμετωπίζει κάποια λειτουργικά προβλήματα, καθώς ο αέρας που παρέχεται στην αντλία δεν μπορεί να θερμαίνεται όλη την ημέρα από τους συλλέκτες παρά μόνο ώρες που έχει ήλιο, καθώς η αποθήκευση του είναι αδύνατη. Επομένως η συγκεκριμένη λειτουργία αποτελεί ένα ημίμετρο για την λύση του προβλήματος που αντιμετωπίζουν οι αντλίες θερμότητας. Βέβαια, σε ένα εμπορικό κτίριο που η θέρμανση λειτουργεί κυρίως πρωινές ώρες, η συγκεκριμένη διάταξη συμφέρει σε μεγαλύτερο βαθμό από την λύση με τον εναλλάκτη νερού-νερού, λόγω χαμηλότερου κόστους εγκατάστασης.

7.5 Πολυκριτηριακή Μέθοδος

Ο προσδιορισμός των «συστατικών» που αποτελείται ένα ενεργειακό σύστημα είναι η σημαντικότερη παράμετρος για την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος. Για να βρεθεί ο

βέλτιστος αυτός συνδυασμός που θα μπορεί να καλύπτει και τεχνικά το σύστημα αλλά και να το κάνει οικονομικά βιώσιμο, αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία για τον σχεδιαστή.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να απλοποιηθεί με την βοήθεια του μαθηματικού προγραμματισμού. Ο μαθηματικός προγραμματισμός αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο που έχει ως στόχο τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης σε ένα πρόβλημα. Για να το καταφέρει αυτό με επιτυχία και αποτελεσματικότητα, χρειάζεται την διατύπωση του προβλήματος μέσα από μαθηματικές σχέσεις.

Στην διαδικασία βελτιστοποίησης χρειάζεται να προσδιοριστούν τα δομικά στοιχεία που αποτελούν ένα πρόβλημα. Το βασικότερο δομικό στοιχείο αποτελεί η αντικειμενική συνάρτηση. Η αντικειμενική συνάρτηση είναι εκείνη η συνάρτηση που πρέπει να βελτιστοποιηθεί. Στην ουσία είναι η τιμή «στόχος» που θέλει ένας σχεδιαστής να αυξηθεί ή να μειωθεί.

Ένα άλλο δομικό στοιχείο του προβλήματος βελτιστοποίησης αποτελούν οι μεταβλητές απόφασης. Οι μεταβλητές απόφασης αποτελούν εκείνες τις μεταβλητές που πρέπει να αλλάξουν κατά την διάρκεια της βελτιστοποίησης για να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση της αντικειμενικής συνάρτησης. Στον σχεδιασμό συστημάτων, αυτές μπορεί να είναι οι τιμές ισχύος που πρέπει να προσδιοριστούν για τα συστατικά που θα αποτελούν το σύστημα στο οποίο αναφέρεται η εργασία.

Στην συνέχεια το σημαντικότερο δομικό στοιχείο και αυτό που θέλει ιδιαίτερη προσοχή κατά την διάρκεια της βελτιστοποίησης είναι οι περιορισμοί. Οι περιορισμοί είναι αυτοί που καθορίζουν το εύρος των τιμών που πρέπει να πάρουν οι μεταβλητές απόφασης.

Τέλος υπάρχουν και οι παράμετροι όπως οι σταθερές τιμές που μένουν αμετάβλητες κατά την διάρκεια της βελτιστοποίησης, γιατί δεν καθορίζονται από τον σχεδιαστή, αλλά από εξωτερικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, τέτοιες μεταβλητές μπορεί να είναι τα κόστη ενός συστήματος.

Ο μαθηματικός προγραμματισμός χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την φύση του προβλήματος της μελέτης. Ο σημαντικότερος διαχωρισμός αφορά το είδος των περιορισμών και της αντικειμενικής συνάρτησης. Εάν τα παραπάνω εμφανίζουν γραμμικότητα γίνεται λόγος για τον γραμμικό προγραμματισμό αλλιώς, εάν είναι μη γραμμικές σχέσεις, λέγεται μη γραμμικός προγραμματισμός. Ο διαχωρισμός αυτός πρακτικά έγκειται στην μαθηματική διαδικασία που θα ακολουθηθεί για να επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού λύνονται με την μέθοδο Simplex και εμφανίζουν ολικές μέγιστες/ελάχιστες λύσεις, σε αντίθεση με τις μη γραμμικές μεθόδους που εμφανίζουν τοπικά μέγιστα/ελάχιστα.

Τα περισσότερα προβλήματα μπορούν να λυθούν με τις κλασικές μεθόδους βελτιστοποίησης. Υπάρχουν όμως προβλήματα τα οποία δεν μπορούν να λυθούν με τις κλασικές μεθόδους εξαιτίας των πολλών παραμέτρων που έχουν. Όπως είναι και σχεδιασμός ενός συστήματος, πρέπει παράλληλα να ικανοποιούνται τόσο τεχνικά κριτήρια όσο και οικονομικά και περιβαλλοντικά. Επομένως η πολυκριτηριακή μέθοδος αποτελεί μια πολύ καλή μέθοδο βελτιστοποίησης για τα συστήματα.

Μαθηματικά μιλώντας, ένα πρόβλημα που έχει παραπάνω από μια αντικειμενικές συναρτήσεις για να λυθεί, χρειάζεται να εφαρμοστεί πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση. Στην πολυκριτηριακή

βελτιστοποίηση αλλάζουν οι μεταβλητές του συστήματος με στόχο την καλύτερη τιμή των αντικειμενικών συναρτήσεων. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι η πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση δεν εντοπίζει την καθολικά βέλτιστη ή την τοπικά βέλτιστη λύση, αλλά εκείνη την λύση που τηρεί όσο το δυνατόν καλύτερα τους περισσότερους περιορισμούς.

Επομένως χρειάζεται ένας τρόπος ο οποίος θα προσδιορίζει την σημαντικότητα που έχει η κάθε αντικειμενική συνάρτηση. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται μέθοδος της αναλογίας βαρών. Στην ουσία κάθε αντικειμενική συνάρτηση αποτελεί ένα ποσοστό της βέλτιστης λύσης. Το άθροισμα αυτών των ποσοστών κάνει 100%. Έτσι επαληθεύεται ότι δεν υπάρχει βέλτιστη λύση αλλά λύση συμβιβασμού.

Στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιείται η πρωτότυπη πολυκριτηριακή μέθοδος αλλά υιοθετείται το σκεπτικό. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η αναλογία βαρών και πολλαπλασιάζεται το ποσοστό βαρύτητας που έχει η λύση με μια από τις παρακάτω σχέσεις:

- Σε περίπτωση που στόχος είναι η μεγιστοποίηση του δείκτη, η σχέση που χρησιμοποιείται είναι:

$$INT_i = (int_i / INT_{max}) \cdot INT_w \quad 7.5.1$$

INT_i : Βαθμολογία της λύσης *i* για την συγκεκριμένη παράμετρο

int_i : τιμή παραμέτρου

INT_{max} : Μέγιστη τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου στο σύνολο των διαθέσιμων λύσεων

INT_w : Ποσοστό αναλογίας βάρους

- Σε περίπτωση ελαχιστοποίησης του δείκτη χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$INT_i = (INT_{min} / int_i) \cdot INT_w \quad 7.5.2$$

INT_{min} : Ελάχιστη τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου στο σύνολο των διαθέσιμων λύσεων

Η βέλτιστη λύση είναι εκείνη που εάν προστεθούν όλα αυτά τα ποσοστά που προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις, δίνει το μεγαλύτερο ποσοστό.

Η μαθηματική επίλυση των παραπάνω διαδικασιών εμφανίζει μια μεγάλη πολυπλοκότητα αν γίνει με τον παραδοσιακό τρόπο του χεριού και για αυτό τον λόγο χρειάζεται πολύ χρόνο για να πραγματοποιηθεί. Στο συγκεκριμένο κομμάτι έχουν δώσει λύση οι υπολογιστές. Η επίλυση τέτοιων προβλημάτων μέσω των υπολογιστών είναι μια πολύ εύκολη και γρήγορη διαδικασία μερικών δευτερολέπτων.

8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

8.1 Γενικά

Οι οικονομικές επιστήμες αποτελούν ένα κλάδο που ανέκαθεν είχε μεγάλη αναγνώριση και σημαντικότητα για διάφορους τομείς της επιστήμης αλλά και της καθημερινότητας. Ο στόχος γενικά είναι να γίνεται κατανάλωση με την μικρότερη δυνατή οικονομική επιβάρυνση.

Η παραπάνω θεώρηση έκανε την εμφάνισή της και στον ενεργειακό τομέα, με αποτέλεσμα οι περισσότερες ενεργειακές αποφάσεις να κάνουν πράξη την παραπάνω πρόταση. Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος της ενεργειακής μετάβασης από τα ορυκτά καύσιμα στις ΑΠΕ εκτός από τον περιβαλλοντικό τομέα, πρέπει να έχει αντίκτυπο και στον οικονομικό τομέα. Έτσι ο σχεδιασμός συστημάτων ΑΠΕ πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του και την οικονομική πλευρά του ζητήματος.

Επομένως γίνεται άμεσα κατανοητό ότι εκτός από την τεχνική αξιολόγηση των συστημάτων, πρέπει να γίνει και οικονομική αξιολόγηση και πιο συγκεκριμένα πρέπει να γίνει αξιολόγηση επενδύσεων, διότι η κατασκευή ενός νέου συστήματος ΑΠΕ αποτελεί μια μορφή επένδυσης που στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας άρα και στην εξοικονόμηση χρημάτων.

Η αξιολόγηση επενδύσεων αποτελεί έναν πολύ καλά μελετημένο κλάδο και τα αποτελέσματα μιας σωστής αξιολόγησης της επένδυσης είναι ορατά και κατά την διάρκεια της επένδυσης. Η αξιολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από οικονομικούς δείκτες οι οποίοι μελετάνε την επένδυση από διάφορες γωνίες.

8.2 Ανάλυση υπολογισμού του Κόστους

Ως κόστος μια επένδυσης ορίζεται το κεφάλαιο το χρημάτων που χρειάζεται να διαθέσουμε για υλοποιήσουμε την επένδυση.

Η ανάλυση του κόστους αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο για την οικονομική αξιολόγηση αποτελώντας την βάση της, αφού είναι το εφελτήριο σχεδόν κάθε υπολογισμού. Επομένως μια σωστή οικονομική αξιολόγηση ξεκινάει με τον σωστό προσδιορισμό του κόστους. Το κόστος είναι σημαντικό και πρέπει να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα γιατί σε περίπτωση που μια επένδυση αξιολογηθεί με περισσότερο κόστος από το πραγματικό, μπορεί να καταλήξει στο ότι η επένδυση δεν είναι επικερδής και να αποκλειστεί. Η περίπτωση χαμηλότερης κοστολόγησης μιας επένδυσης από αυτό που κανονικά της αντιστοιχεί μπορεί να οδηγήσει στο εσφαλμένο συμπέρασμα ότι η επένδυση αυτή είναι επικερδής, οδηγώντας σε απώλεια κεφαλαίου.

Το κεφάλαιο που πρέπει να διατεθεί σε μια επένδυση έχει δυο συνιστώσες. Η πρώτη αφορά το πάγιο κεφάλαιο, δηλαδή το κεφάλαιο για την κατασκευή του συστήματος και το κεφάλαιο κίνησης, δηλαδή το κεφάλαιο που χρειάζεται για τα αρχικά λειτουργικά έξοδα μια επένδυσης, μέχρι αυτή να αρχίσει να αποδίδει κέρδη. Στην παρούσα εργασία μπορεί να ειπωθεί ότι η συνιστώσα του κεφαλαίου κίνησης είναι σχεδόν μηδενική, διότι δεν χρειάζεται κάποιο κεφάλαιο κατά την

λειτουργία του συστήματος και εάν χρειάζεται, αποτελεί ένα μικρό ποσοστό του πάγιου κεφαλαίου, με αποτέλεσμα να είναι ασήμαντο.

Για να προσδιοριστεί το κόστος μιας επένδυσης πρέπει να συμπεριληφθούν κάποιοι υπολογισμοί σε αυτό. Τα κόστη χωρίζονται σε άμεσα και έμμεσα. Τα άμεσα κόστη αφορούν κυρίως κόστη που έχουν να κάνουν με την κατασκευή και το υλικό κομμάτι του συστήματος. Από την άλλη πλευρά, τα έμμεσα κόστη αφορούν κυρίως έξοδα υπηρεσιών για την λειτουργία του συστήματος. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο διαχωρισμός και η κατηγορία του κάθε κόστους.

Πίνακας 8-1 Άμεσα Κόστη

Κατηγορία	Περιγραφή
Εξοπλισμός	Όλος εξοπλισμός που απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος
Εγκατάσταση εξοπλισμού	Εργατικά έξοδα για την εγκατάσταση του συστήματος
Δίκτυο Διανομής	Σωληνώσεις για την μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου
Περιφερειακά	Επιπρόσθετος εξοπλισμός για την λειτουργία του συστήματος
Βελτιώσεις χώρου	Αλλαγή κάποιου περιβάλλοντα χώρου για την δημιουργία ιδανικών συνθηκών για την λειτουργία του συστήματος

Πίνακας 8-2 Έμμεσα Κόστη

Κατηγορία	Περιγραφή
Υπηρεσίες μηχανικών και επίβλεψη	Αφορά ολόκληρο το μελετητικό κομμάτι για την δημιουργία του συστήματος

Για τον υπολογισμό του κόστους μιας επένδυσης, μπορούν να ακολουθηθούν διάφορες τεχνικές. Η κάθε τεχνική έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της. (38)

Αρχικά υπάρχει ο υπολογισμός της τάξης μεγέθους, ο οποίος βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα παρόμοιων συστημάτων. Η παραπάνω τεχνική αποτελεί μια πολύ γρήγορη τεχνική εκτίμησης του κόστους ενός συστήματος, θυσιάζοντας την ακρίβεια της τιμής. Το σφάλμα που μπορεί να προκύψει από έναν τέτοιο υπολογισμό είναι μεγαλύτερο του 30%.

Ένας άλλος υπολογισμός είναι ο υπολογισμός μελέτης, ο οποίος βασίζεται στην γνώση των βασικών συστατικών του συστήματος και ορίζοντας απλά μια τιμή κόστους με βάση την δυναμικότητα του συστήματος, και μέσα από αυτήν ποσοστιαία καθορίζονται και τα επιμέρους κόστη. Στην παρούσα τεχνική υπάρχει μια καλύτερη προσέγγιση του πραγματικού κόστους αφού η απόκλιση από το πραγματικό μπορεί να εκτιμηθεί με σφάλμα έως 30%.

Ακόμα υπάρχει ο προκαταρκτικός υπολογισμός, ο οποίος αφορά υπολογισμό του κόστους έχοντας περισσότερα δεδομένα για την εγκατάσταση και την λειτουργίας της. Η χρήση αυτής της τεχνικής δίνει αποτελέσματα με απόκλιση μέχρι 20%.

Τέλος, υπάρχει και ο λεπτομερής υπολογισμός, όπου υπάρχει το τελικό κόστος υπολογισμού μέσα από τα μηχανολογικά σχέδια του συστήματος, όπως επίσης και από την λεπτομερή ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος. Η ακρίβεια του υπολογισμού είναι 5% και το ποσοστό αφορά κόστη από τα εμπόδια που μπορεί να προκύψουν κατά την κατασκευή του συστήματος.

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί ο υπολογισμός μελέτης, διότι δίνει έναν αρκετά ικανοποιητικό υπολογισμό τόσο ως προς την ακρίβεια όσο και ως προς την ταχύτητα του υπολογισμού. Τα κόστη των επιμέρους στοιχείων θα εκφραστούν ως ποσοστό της αρχικής δυναμικότητας της εγκατάστασης, για να μπορεί ο χρήστης να έχει μια σχετική ταχύτητα κατά τον υπολογισμό του κόστους. Επομένως, το κόστος θα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$C_o = \sum f \cdot M \quad 8.2.1$$

f: το ποσοστό που αντιστοιχεί στην επιμέρους εργασία

M: το κόστος της κύριας μονάδας το οποίο εξαρτάται από την δυναμικότητα της.

Το συνολικό κόστος της επένδυσης δίνεται, εάν αθροίσουμε τα επιμέρους κόστη εργασιών και η σχέση που υπολογίζεται είναι η παρακάτω:

$$IC_o = \sum C_o \quad 8.2.2$$

8.3 Χρηματοδοτικό Σχήμα Επένδυσης

Παραπάνω προσδιορίστηκε το κόστος του συστήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν κάποιες άλλες παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την αποδοτικότητα μιας επένδυσης.

Αρχικά σε πολλές περιπτώσεις το κόστος μιας επένδυσης μπορεί να μην είναι εφικτό να ικανοποιηθεί με ίδια κεφάλαια. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει η επιλογή κάποιου δανείου για να συμπληρωθεί το κεφάλαιο της επένδυσης. Το δάνειο επιβαρύνει την επένδυση με τόκους.

Τόκος ορίζεται το κέρδος που έχει ο φορέας ή η τράπεζα για τον δανεισμό των χρημάτων. Ο συνολικός τόκος επιμερίζεται σε ετήσιες πληρωμές και οι πληρωμές αυτές προσδιορίζονται από το ετήσιο επιτόκιο. Το ετήσιο επιτόκιο εκφράζεται ως ποσοστό και ο ετήσιος τόκος ισούται με το επιτόκιο επί το κεφάλαιο. Το κεφάλαιο αυτό εξαρτάται από την συμφωνία που έχει γίνει για το δάνειο.

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει ο απλός τόκος που αποτελείται από ισόποσες ετήσιες πληρωμές, οι οποίες καθορίζονται από το επιτόκιο και το αρχικό κεφάλαιο του δανείου, με διάρκεια την διάρκεια του δανείου. Η σχέση που προσδιορίζει τον απλό τόκο είναι η παρακάτω:

$$T = P \cdot i \cdot N \quad 8.3.1$$

P το αρχικό κεφάλαιο δανείου

i το επιτόκιο

N η περίοδος πληρωμών

Από την άλλη πλευρά υπάρχει ο σύνθετος τόκος ή ο ανατοκισμός. Ο ανατοκισμός είναι ο τόκος που αποκτάται από τον συσσωρευμένο τόκο. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που δανείζεται κάποιος 1000€ με επιτόκιο 10%, το κεφάλαιο που θα έπρεπε να πληρώσει μετά από ένα χρόνο είναι 1100€, τον δεύτερο χρόνο το ποσό που θα έπρεπε να πληρώσει θα είναι το επιτόκιο επί το 1100€ άρα 1210€. Η σχέση που δίνει το συνολικό κεφάλαιο μαζί με τον τόκο προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$F = P \cdot (1 + i)^N \quad 8.3.2$$

F: Συνολικό πόσο πληρωμής μαζί με τους τόκους

i: ετήσιο επιτόκιο

P: Αρχικό κεφάλαιο δανείου

N: Περίοδο πληρωμών

Ο συγκεκριμένος τρόπος τοκισμού αποτελεί τον συνηθέστερο τρόπο.

Ο τόκος είναι πολύ σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό της αποδοτικότερης επένδυσης γιατί αποτελεί ένα έξοδο λειτουργίας της επένδυσης.

Εκτός από το δάνειο, ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι η επιδότηση που παρέχει το κράτος για μερικές επενδύσεις. Συγκεκριμένα για τις επενδύσεις στο τομέα της ενέργειας, οι κρατικές επιδοτήσεις καλύπτουν ένα μεγάλο ποσοστό του συνολικού κόστους, με αποτέλεσμα να μειώνεται σε μεγάλο βαθμό το επενδυτικό κόστος.

Οι επιδοτήσεις αποτελούν ένα μεγάλο κίνητρο για την προώθηση πράσινων επενδύσεων, διότι μπορούν να μειώσουν σε μεγάλο βαθμό την περίοδο αποπληρωμής τους.

Μια άλλη παράμετρος που έχει σημαντική επίδραση στην αξιολόγηση της επένδυσης είναι ο φόρος εισοδήματος. Ως φόρος εισοδήματος ορίζεται ο φόρος που επιβάλλει το κράτος για τα έσοδα μιας επένδυσης. Ο φόρος εισοδήματος διαφέρει από επένδυση σε επένδυση για αυτό και μπορεί να επηρεάσει την απόδοση της επένδυσης σε μεγάλο βαθμό. Βέβαια στην συγκεκριμένη αξιολόγηση

δεν επηρεάζει την αξιολόγηση της αποδοτικότερης λύσης ως επένδυση, διότι θεωρείται σταθερός για όλα τα συστήματα.

Η σχέση που δίνει το συνολικό κόστος μιας επένδυσης λαμβάνοντας υπόψιν τον επιμερισμό του κεφαλαίου σε ιδία κεφάλαια, δάνειο και επιδότηση είναι η παρακάτω:

$$IC_o = a \cdot IC_o + \beta \cdot IC_o + \gamma \cdot IC_o \quad 8.3.3$$

a: Ποσοστό κάλυψης αρχικού κόστους από ιδία κεφάλαια

β: Ποσοστό κάλυψης αρχικού κόστους από δάνειο

γ: Ποσοστό κάλυψης αρχικού κόστους σε επιδότηση

8.4 Οικονομικοί δείκτες αξιολόγησης

Σημαντική παράμετρο για την αξιολόγηση μιας επένδυσης αποτελεί η χρονική αξία των χρημάτων. Η αξία των χρημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εξεταζόμενη διάρκεια της επένδυσης. Αρχικά εάν κάποιος διέθετε ένα ποσό χρημάτων σε μια επένδυση, αυτό το ποσό θα έχει αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου, αποκτώντας μεγαλύτερη αξία στο μέλλον. Στην ουσία η αξία των χρημάτων αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα ένα ποσό 10000 ευρώ που επενδύεται με 10% επιτόκιο, σε ένα χρόνο η αξία του θα είναι 11000. Επομένως συμπεραίνεται ότι η χρονική αξία των χρημάτων είναι η ικανότητα τους να παράγουν κέρδος και αυτό αποτελεί άλλο ένα μέσο αξιολόγησης της επένδυσης. Για την ορθή αξιολόγηση μια επένδυσης η αξία των χρημάτων πρέπει να αναφέρεται στο ίδιο χρόνο.

Για την αξιολόγηση μιας επένδυσης υπάρχουν διάφορα πρότυπα αξιολόγησης επενδύσεων τα οποία αξιολογούν πολύπλευρα την επένδυση. Υπάρχουν δείκτες που λαμβάνουν υπόψιν την χρονική αξία των χρημάτων και δείκτες που δεν την λαμβάνουν. Και οι δύο κατηγορίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Αρχικά ένας σημαντικός δείκτης αξιολόγησης της επένδυσης αποτελεί το ROI (ReturnOfInvestment). Το ROI αντιπροσωπεύει την ετήσια απόδοση της επένδυσης και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$ROI = \frac{\left(\frac{1}{N}\right) \cdot \sum_{j=1}^N N_{p,j}}{\sum_{j=-b}^N IC_{o,j}} \quad 8.4.1$$

j: το έτος της επένδυσης

b: αντιπροσωπεύει το χρόνο που γίνεται η πρώτη επένδυση στο έργο

Nr,j: ετήσιο κέρδος της επένδυσης

IC₀: η συνολική επένδυση κεφαλαίου

Για να αποφασιστεί εάν ο ετήσιος βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι αποδεκτός πρέπει να ληφθεί υπόψιν το πόσο ασφαλής είναι μια επένδυση. Για μια επένδυση με υψηλό ρίσκο πρέπει να δοθεί και υψηλό κέρδος και το παραπάνω αποτυπώνεται στον βαθμό απόδοσης. Αντίθετα μια επένδυση με χαμηλό ρίσκο αξίζει να πραγματοποιηθεί ακόμα και με μικρό κέρδος. Το κριτήριο για το βαθμό απόδοσης που πρέπει να έχει μια επένδυση παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (38)

Πίνακας 8-3 Ελάχιστος ROI σε σχέση με το επίπεδο κινδύνου

Επίπεδο Κινδύνου	Ελάχιστη Αποδεκτή Απόδοση (m_{ar})
Ασφαλές	4-8%
Χαμηλό	8-16%
Μέτριο	16-24%
Υψηλό	24-32%
Πολύ Υψηλό	32-48+%

Οι επενδύσεις που μελετώνται θα κατατάσσονται ως επενδύσεις χαμηλού κινδύνου, διότι ο σχεδιασμός συστημάτων είναι ένας κλάδος που έχει εφαρμοστεί στην πραγματικότητα και τα αποτελέσματα δεν μπορούν να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες που δεν μπορούν να μελετηθούν.

Ένας άλλος δείκτης είναι η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης (Pay Back Period). Ως περίοδος αποπληρωμής ορίζεται η χρονική περίοδος όπου το κέρδος της επένδυσης ισούται με το αρχικό κεφάλαιο. Ο συγκεκριμένος δείκτης αποτελεί ένα διαδομένο δείκτη για την αξιολόγηση μιας επένδυσης, εξαιτίας της ευκολίας του υπολογισμού του. Η σχέση που δίνει την περίοδο αποπληρωμής είναι η παρακάτω:

$$PBP = \frac{IC_0}{A_{tot}} \quad 8.4.2$$

IC₀: Συνολικό κεφάλαιο επένδυσης

A_{tot}: μέσο ετήσιο κέρδος της επένδυσης

Το ερώτημα είναι ποια θεωρείται καλή περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης. Το παραπάνω εξαρτάται από τους στόχους του επενδυτή. Σε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε χρήστες συστημάτων σε Ελλάδα, Ισπανία και Πορτογαλία, μια αποδεκτή τιμή της περιόδου αποπληρωμής μια επένδυσης σε ένα υβριδικό σύστημα θέρμανσης είναι τα 3-5 χρόνια (39). Ο υπολογισμός του ορίου της περιόδου όπου η επένδυση είναι αποδοτική με βάση την περίοδο αποπληρωμής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$PBP, L = \frac{0,85 \cdot IC_0}{m_{ar} \cdot IC_0 + \frac{0,85 \cdot IC_0}{A_{tot}}} \quad 8.4.3$$

m_{ar} : ελάχιστη αποδεκτή απόδοση

Για να αξιολογηθεί μια περίοδος θετική, με βάση την περίοδο αποπληρωμής ενός έργου, θα πρέπει η περίοδος αποπληρωμής να είναι ίση ή μικρότερη από το PBP,L.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν δείκτες αξιολόγησης επενδύσεων που λαμβάνουν υπόψη την χρονική αξία του χρήματος. Για να μελετηθούν αυτές οι μέθοδοι αξιολόγησης είναι σημαντικό να οριστεί η χρηματοροή. Χρηματοροή ορίζεται η διαφορά μεταξύ εσόδων και πραγματικών εξόδων μιας επένδυσης.

Με τον ορισμό της χρηματοροής γνωστό, μπορεί να οριστεί η καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης. Η καθαρά παρούσα αξία (NetPresentValue, NPV) ορίζεται ως το άθροισμα των χρηματοροών για όλα τα χρόνια ζωής της επένδυσης σε σημερινές αξίες. Επομένως η καθαρά παρούσα αξία δείχνει το συνολικό πόσο που αποκτά κάποιος καθ' όλη την διάρκεια της επένδυσης σε παρούσες αξίες. Έτσι για να είναι μια επένδυση συμφέρουσα, πρέπει η καθαρά παρούσα αξία να είναι θετική, διότι δείχνει ότι η επένδυση προσφέρει ένα ποσό χρημάτων. Η σχέση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της καθαράς παρούσας αξίας είναι η παρακάτω:

$$NPV = \sum_{j=1}^n \left[\frac{F_j}{(1+i)^j} \right] - IC_0 \quad 8.4.4$$

n : είναι ο αναμενόμενος χρόνος ζωής της επένδυσης

F_j : η ετήσια χρηματοροή για τα έτη 1...n

i : είναι το επιτόκιο

IC_0 : η αρχική επένδυση

Ένας εξίσου χρήσιμος οικονομικός δείκτης είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης (IRR). Ως εσωτερικός βαθμός απόδοσης ορίζεται το επιτόκιο i όπου η καθαρά παρούσα αξία μηδενίζεται. Η σημασία του IRR είναι σημαντική διότι εμφανίζει το επιτόκιο όπου θα μπορούσε να πληρώσει ο επενδυτής χωρίς να ρισκάρει για απώλεια κεφαλαίου. Για να είναι μια επένδυση κερδοφόρα θα πρέπει να ισχύει ότι $IRR > i$.

Οι δείκτες που λαμβάνουν υπόψη την χρονική αξία του χρήματος αποτελούν τα ασφαλέστερα κριτήρια για την αξιολόγηση μιας επένδυσης.

8.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί μια σημαντική τεχνική για την λήψη αποφάσεων σε διάφορους τομείς. Ένα από αυτούς είναι και η αξιολόγηση επενδύσεων που είναι και ο τομέας του παρόντος ενδιαφέροντος.

Γενικά η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί ένα υποκεφάλαιο στον γραμμικό προγραμματισμό. Ως ανάλυση ευαισθησίας ορίζεται η μεταβολή μιας τιμής του προβλήματος βελτιστοποίησης, με στόχο τον καθορισμό του διαστήματος κατά το οποίο η βέλτιστη λύση παραμένει βέλτιστη για εκείνες τις τιμές που μεταβλήθηκαν.

Στο γραμμικό προγραμματισμό συναντώνται 2 κατηγορίες ανάλυσης ευαισθησίας. Η πρώτη κατηγορία αφορά την μεταβολή μιας μεταβλητής στο δεξι μέλος των περιορισμών και η δεύτερη κατηγορία αφορά την μεταβολή ενός συντελεστή της αντικειμενικής συνάρτησης. (40)

Σημαντικό λοιπόν είναι να διαχωριστεί το ποιες μεταβλητές πρέπει να εξεταστούν στην ανάλυση ευαισθησίας. Το πρώτο βήμα είναι η μελέτη του προβλήματος και η συγκέντρωση όλων των πιθανών μεταβλητών που χρειάζονται για το πρόβλημα. Στην συνέχεια πρέπει να αποφασιστεί ποιες από τις παραπάνω μεταβλητές αξίζει να αναλυθούν με την ανάλυση ευαισθησίας. Η καταλληλότητα των μεταβλητών κρίνεται από την αβεβαιότητα που μπορεί να έχουν κάποιες παράμετροι, όταν εισάγονται στην ανάλυση. Συνήθως τέτοιες παράμετροι είναι αυτές που εισάγονται εμπειρικά από τον αναλυτή του προβλήματος. Μια άλλη κατηγορία παραμέτρων που πρέπει να αναλυθούν είναι εκείνες που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την λύση του προβλήματος. Τέλος πρέπει να αναλυθούν μεταβλητές που είναι αβέβαιη η τιμή τους με την πάροδο του χρόνου.

Στην συνέχεια πρέπει να επιλεγεί το εύρος των τιμών για την μεταβολή των επιλεγμένων παραμέτρων. Η επιλογή του εύρους κρίνεται από τον αναλυτή και μπορεί να γίνει με μέγιστες και ελάχιστες τιμές για ντετερμινιστικά μοντέλα ή με την στατιστική ανάλυση για στοχαστικά μοντέλα.

Το επόμενο βήμα αφορά τον καθορισμό της τεχνικής με την οποία θα γίνει η ανάλυση ευαισθησίας. Η πιο συνηθισμένη και εύκολη τεχνική είναι η ανάλυση μονής κατεύθυνσης (univariate). Στην συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται κάθε φορά η μεταβολή μιας μεταβλητής και ο υπολογισμός της λύσης γίνεται εκ νέου με τα νέα δεδομένα. Η μεταβολή της τιμής και σε ποια όρια θα κυμαίνεται προσδιορίζεται από τον αναλυτή. Η παραπάνω διαδικασία είναι πολύ συχνή σε προβλήματα οικονομικής αξιολόγησης.

Μια πιο πολύπλοκη τεχνική αφορά την πολυδιάστατη ανάλυση ευαισθησίας, η οποία έχει και διάφορες υποκατηγορίες.

Οι πρώτες δυο κατηγορίες αφορούν την δι-διάστατη και τρι-διάστατη μεταβολή των παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα, στην συγκεκριμένη τεχνική μεταβάλλονται δυο η τρεις παράμετροι ταυτόχρονα και παρατηρείται η επίδραση που θα έχει αυτό στο τελικό αποτέλεσμα. Η διαδικασία μεταβολής παραμένει ίδια. Η διαφορά έγκειται στην μεταβολή δύο η τριών παραμέτρων ταυτόχρονα. Στην τρισδιάστατη μεταβολή δεν μεταβάλλονται οι 3 παράμετροι ταυτόχρονα. Συνήθως η τρίτη μεταβάλλεται σε σχέση με την αρχική τιμή, κρατώντας μια σταθερή τιμή για την μεταβολή των άλλων δύο παραμέτρων. Τα αποτελέσματα συνήθως τοποθετούνται σε μια μήτρα 2X2 και έτσι μπορούν να εξεταστούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί και ποιες λύσεις παίρνουν.

Η τελευταία κατηγορία αφορά την ανάλυση ευαισθησίας με βάση κάποιο σενάριο. Τα σενάρια καθορίζονται με βάση κάποια συγκεκριμένη τακτική. Ένα συνηθισμένο σενάριο είναι να προσδιοριστούν οι ακραίες τιμές τόσο ως προς την αρνητική κατεύθυνση όσο και στην θετική κατεύθυνση.

Το τελευταίο βήμα για την ανάλυση ευαισθησίας είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα. Συνήθως η έκφραση των αποτελεσμάτων γίνεται με την αποτύπωση διάφορων διαγραμμάτων.

Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση μιας επένδυσης διότι μπορεί να εντοπιστεί η συμπεριφορά μιας επένδυσης για διάφορες μεταβλητές του συστήματος και να εξαχθεί το συμπέρασμα του κατά πόσο τα χρήματα που θα διατεθούν μπορούν να χαθούν ή να μην φέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Επομένως η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί μια σημαντική τεχνική για την αντιμετώπιση του μεγαλύτερου «εχθρού» μια επένδυσης, που δεν είναι άλλος από το ρίσκο.

8.6 Προσομοίωση Monte Carlo

Για να οριστεί η προσομοίωση Monte Carlo, πρέπει να δοθούν ορισμοί για τα στατικά και τα δυναμικά μοντέλα. Στατικά Μοντέλα είναι τα μοντέλα τα οποία δεν επηρεάζονται από την μεταβολή του χρόνου. Αντίθετα, τα δυναμικά μοντέλα μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, μέχρι αυτό το σημείο της εργασίας είχαν οριστεί στατικά μοντέλα αξιολόγησης των επενδύσεων, διότι θεωρήθηκε ότι οι αλλαγές των παραμέτρων δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο.

Στον αντίποδα, η προσομοίωση Monte Carlo αποτελεί ένα δυναμικό μοντέλο αξιολόγησης επενδύσεων. Για να οριστεί καλύτερα η προσομοίωση Monte Carlo πρέπει να δοθεί ο ορισμός της «προσομοίωσης». Ως προσομοίωση ορίζεται η δημιουργία ενός μοντέλου στον υπολογιστή το οποίο αντιπροσωπεύει την λειτουργία του «συστήματος» που εξετάζεται. Η λειτουργία προσδιορίζεται από διάφορες μαθηματικές και λογικές σχέσεις.

Το όνομα Monte Carlo οφείλεται στο ότι η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί τυχαίους αριθμούς για να λειτουργήσει. Οι τυχαίοι αριθμοί πρέπει να έχουν εύρος από 0 έως 1 και παράγονται από μια γεννήτρια αριθμών, κυρίως από υπολογιστικά μέσα. Αυτοί οι αριθμοί δεν είναι και τόσο τυχαίοι, καθώς έχουν μια συγκεκριμένη ακολουθία - δηλαδή από ένα εύρος τυχαίων αριθμών μπορεί να ξαναεμφανιστούν οι ίδιοι - και έτσι ονομάζονται ψευδοτυχαίοι αριθμοί.

Ως προσομοίωση Monte Carlo ορίζεται ένα δυναμικό μοντέλο των σημαντικότερων παραμέτρων ενός φυσικού προβλήματος. Πρακτικά η προσομοίωση Monte Carlo βοηθάει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την επένδυση, αφού μεταβάλλονται τυχαία διάφορες παράμετροι και δείχνουν την συμπεριφορά της επένδυσης.

Τα στατικά μοντέλα αποτελούν μια πολύ καλή τεχνική αξιολόγησης της επένδυσης εξαιτίας της ευκολίας να εφαρμοστούν αλλά και για την άμεση εμφάνιση των αποτελεσμάτων. Όμως τα στατικά μοντέλα δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα.

Οι συνθήκες που αντιμετωπίζει μια επένδυση είναι αδύνατον να προβλεφθούν με ακρίβεια κατά τον σχεδιασμό της επένδυσης, διότι οι επενδύσεις απευθύνονται στο μέλλον και το μέλλον εξ ορισμού είναι αδύνατο να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Επομένως, οι συνθήκες σχεδιασμού της επένδυσης μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από την πραγματικότητα.

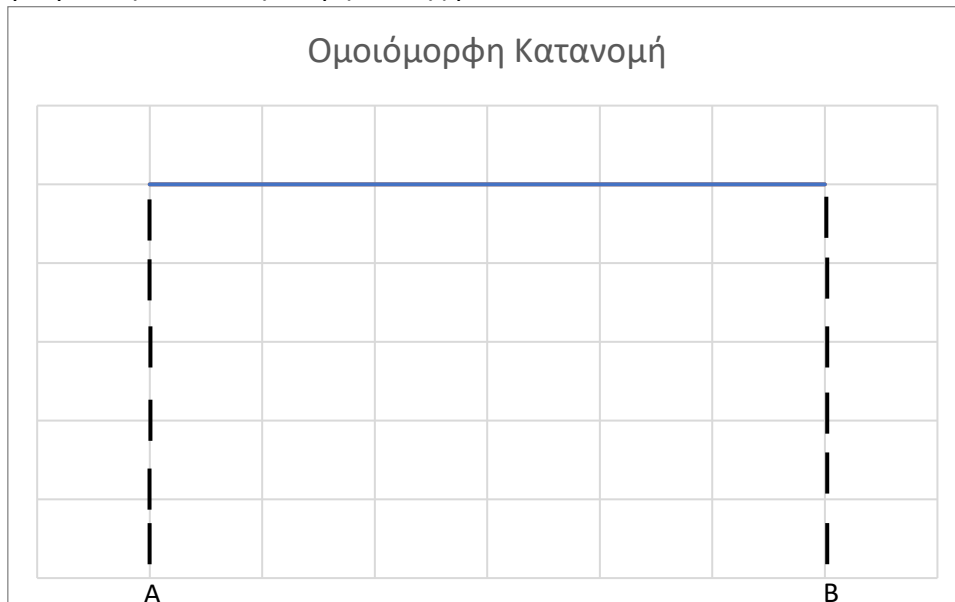
Ο στόχος της προσομοίωσης Monte Carlo είναι να δείξει με διάφορους συνδυασμούς παραμέτρων πώς θα λειτουργούσε η συγκεκριμένη επένδυση. Το σημαντικό είναι να εισαχθεί σωστά ο τρόπος με τον οποίο θα παράγονται οι μεταβλητές.

Η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή της ανάλυσης ευαισθησίας. Αρχικά εντοπίζονται οι κρίσιμες μεταβλητές για το εν λόγω πρόβλημα. Ο διαχωρισμός των μεταβλητών και σε ποιες πρέπει να εστιάσει ο αναλυτής αναλύθηκαν στο κεφάλαιο της ανάλυσης ευαισθησίας. (41)

Στην συνέχεια πρέπει να γίνει η στατιστική ανάλυση των τυχαίων αριθμών για να είναι προσαρμοσμένες στις συνθήκες του προβλήματος. Για να γίνει αυτό πρέπει να προσδιοριστεί σε μια κατανομή υπάγονται οι επιλεγμένες προς αξιολόγηση παράμετροι.

Οι πιο συνηθισμένες κατανομές είναι

- Η ομοιόμορφη κατανομή είναι ιδανική για μεταβλητές με υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και είναι γνωστή μόνο η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου.
- Η κανονική κατανομή είναι ιδανική για μεταβλητές που παρουσιάζουν συμμετρία γύρω από το μέσο.
- Η τριγωνική κατανομή είναι κατάλληλη για μεταβλητές που στις χαμηλές τιμές εμφανίζουν χαμηλό ποσοστό εμφάνισης με ανοδική πορεία προς στις υψηλές. Από την τιμή που καταλαμβάνει το μέγιστο ποσοστό εμφάνισης μέχρι και την υψηλότερη τιμή της παραμέτρου, η πιθανότητα εμφάνισης μειώνεται.



Εικόνα 8.6-1 Ομοιόμορφη κατανομή



Εικόνα 8.6-2 Κανονική Κατανομή



Εικόνα 8.6-3 Τριγωνική Κατανομή

Η επιλογή της κατανομής πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή από τον αναλυτή διότι μια λανθασμένη επιλογή μπορεί να φέρει λάθος αποτελέσματα.

Η επιλογή της κατανομής μετατρέπει της τυχαίες τιμές 0 και 1 σε τιμές προσαρμοσμένες στο πρόβλημα. Για να γίνει κατανοητό το πώς γίνεται αυτό, πρέπει να αναλυθούν κάποιοι μαθηματικοί ορισμοί.

Ο τύπος των κατανομών δίνει την πιθανότητα να εμφανιστεί μια τιμή παραμέτρων, άρα πρέπει η τιμή να είναι γνωστή. Στην περίπτωση εδώ, γνωρίζοντας την υποτιθέμενη πιθανότητα (τυχαία

τιμή), γίνεται προσπάθεια καθορισμού της τιμής της παραμέτρου. Επομένως χρειάζεται η αντίστροφη συνάρτηση της κατανομής.

Ο γενικευμένος ορισμός της αντίστροφης συνάρτησης είναι:

$$F^{-1}(u) = \inf F^{-1}([u, 1]) = \inf \{x: F(x) \in [u, 1]\}, u \in [0, 1] \quad 8.6.1$$

Πιο συγκεκριμένα, η μαθηματική πρόταση που εφαρμόζεται στις κατανομές αποτυπώνεται παρακάτω:

Αν $U \sim U(0,1)$ και F είναι μία οποιαδήποτε συνάρτηση κατανομής, τότε η τυχαία μεταβλητή

$$X = F^{-1}(U)$$

έχει συνάρτηση κατανομής F .

Ο υπολογισμός της συνάρτησης δεν είναι πάντα εύκολος, για αυτό τον λόγο παρακάτω παρουσιάζονται οι αντίστροφες συναρτήσεις των βασικών κατανομών.

a) Για την ομοιόμορφη κατανομή στο (α, β) είναι:

$$F(x) = \frac{x-a}{b-a}, x \in (a, b) \quad 8.6.2$$

b) Για την κανονική κατανομή είναι:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad 8.6.3$$

c) Για την τριγωνική κατανομή είναι:

$$F^{-1}(x) = \begin{cases} a + \sqrt{(b-a) \cdot (c-a) \cdot x} & , \quad 0 \leq x \leq \frac{b-a}{c-a} \\ c - \sqrt{(c-a) \cdot (c-b) \cdot (1-x)} & , \quad \frac{b-a}{c-a} \leq x \leq 1 \end{cases} \quad 8.6.4$$

Στην συνέχεια το μόνο που μένει είναι ο υπολογισμός των δεικτών που πρέπει να προσομοιωθούν, τοποθετώντας κάθε φορά τις παραμέτρους που έχουν προκύψει από την παραπάνω διαδικασία. Όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα ανάλυσης, τόσο πιο σίγουρα θα είναι τα αποτελέσματα που θα προκύψουν.

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι παρέχει στον αναλυτή ένα μεγάλο όγκο πληροφοριών για την επένδυση και πως αυτή θα λειτουργήσει σε διάφορες μεταβλητές. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι μέσω αυτής της μεθόδου ο αναλυτής μπορεί να γνωρίζει με μεγάλη ακρίβεια την αβεβαιότητα και τον κίνδυνο που μπορεί να έχει μια επένδυση, σε αντίθεση με τα στατικά μοντέλα, όπου το αποτέλεσμα είναι υποκειμενικό και δεν αντικατοπτρίζει πλήρως την πραγματικότητα.

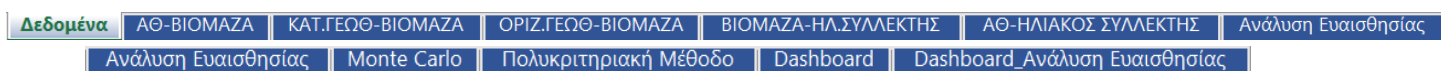
9 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

9.1 Γενικά

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα εφαρμοστούν όλα τα θεωρητικά που επεξηγήθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια προσαρμόζοντας τα σε ένα βιβλίο excel. Στην ουσία θα επεξηγηθούν τα κελιά που πρέπει να χρησιμοποιήσει ένας χρήστης που θέλει να εντοπίσει την βέλτιστη λύση ως προς τα θερμικά φορτία, για να μετατρέψει ένα συμβατικό κτήριο σε κτήριο μηδενικής ενέργειας.

Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, η επιλογή της βέλτιστης λύσης αποτελείται από διάφορους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Αρχικά πρέπει να βρεθεί η βέλτιστη λύση από τεχνική πλευρά, δηλαδή το υβριδικό σύστημα να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του κτηρίου. Παράλληλα πρέπει η βέλτιστη λύση να είναι και οικονομικά βιώσιμη αλλά και ασφαλής ως προς τις μεταβολές των εξωτερικών μεταβλητών σε βάθος χρόνου. Το πρόγραμμα που θα εξηγηθεί λαμβάνει υπόψιν όλα τα παραπάνω για να προσδιορίσει την βέλτιστη λύση.

Αρχικά το πρόγραμμα αποτελείται από 4 ομάδες φύλλων εργασίας, οι οποίες διαχωρίζονται με διαφορετικά χρώματα.



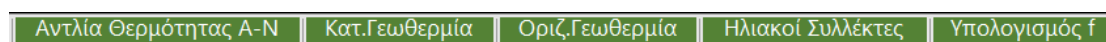
Εικόνα 8.6-4 Μπλέ Ομάδα

Τα μπλε φύλλα εργασίας αποτελούν τα φύλλα εκείνα όπου αλληλοεπιδρά ο χρήστης, δηλαδή τα φύλλα εκείνα που χρειάζεται να εισάγει δεδομένα ή χρειάζεται να πατήσει κάποιο κουμπί υπολογισμού.



Εικόνα 8.6-5 Γκρι Ομάδα

Η δεύτερη ομάδα αποτελεί την ομάδα (γκρι χρώματος) που τα φύλλα εργασίας είναι οι αναλυτικές οικονομικές αξιολογήσεις του κάθε συστήματος, σε περίπτωση που θέλει ο χρήστης να δει αναλυτικότερα την οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων.



Εικόνα 8.6-6 Πράσινη Ομάδα

Η τρίτη ομάδα (πράσινο χρώμα) αποτελεί την ομάδα όπου τα φύλλα εργασίας έχουν σχέση με τον σχεδιασμό συστημάτων σε μονοσθενή λειτουργία σε περίπτωση που ο σχεδιαστής του συστήματος θέλει να κάνει κάποιες συγκρίσεις.

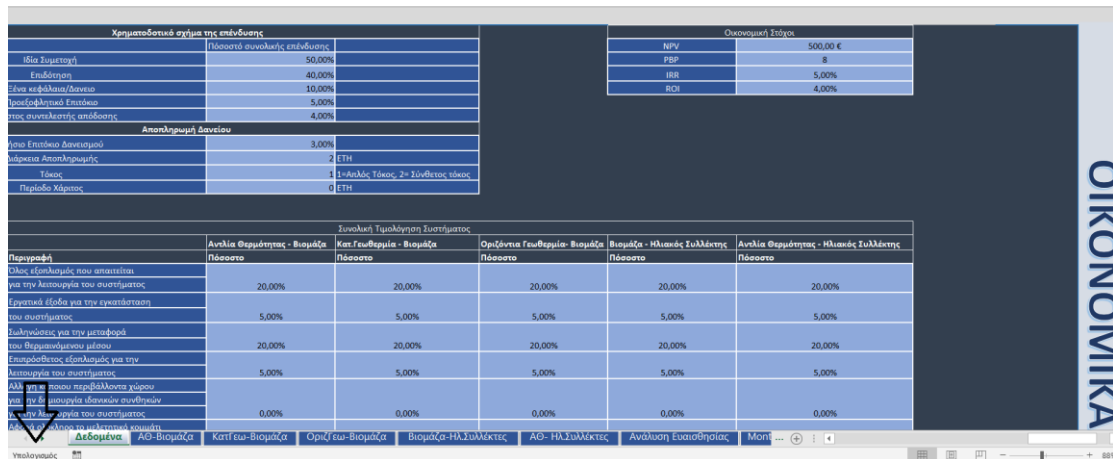


Εικόνα 8.6-7 Πορτοκαλί Ομάδα

Στην τελευταία ομάδα (πορτοκαλί χρώμα) υπάρχουν κάποια δεδομένα και διάφοροι πίνακες που χρειάζονται για τον σχεδιασμό του συστήματος και άμα θέλει μπορεί να παρέμβει ο χρήστης για να αλλάξει κάποιες τιμές.

Στην συνέχεια πρέπει να αναφερθεί ότι ο χρήστης εισάγει δεδομένα μόνο στα κελία γαλάζιου χρώματος.

Τέλος να σημειωθεί ότι ο χρήστης πρέπει να πατάει το κουμπί υπολογισμού όποτε αυτό του ζητηθεί. Στην παρακάτω εικόνα επισημαίνεται το παραπάνω κουμπί.



Εικόνα 8.6-8 Κουμπί Υπολογισμού

9.2 Εισαγωγή Δεδομένων

Η εισαγωγή δεδομένων γίνεται στο φύλλο εργασίας με όνομα «Δεδομένα» από τον χρήστη που θέλει να βρει την βέλτιστη λύση. Το συγκεκριμένο φύλλο διαχωρίζεται σε διάφορες ζώνες και η κάθε ζώνη περιέχει δεδομένα για μια συγκεκριμένη κατηγορία.

Η πρώτη κατηγορία, όπως φαίνεται στην εικόνα 9.2-1, αφορά τα γενικά στοιχεία του κτηρίου. Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης πρέπει να εισάγει στοιχεία που αφορούν την τοποθεσία του κτηρίου, καθώς και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του όπως οι θερμοκρασίες και ώρες λειτουργίας. Επίσης, πρέπει να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά που έχει το υφιστάμενο σύστημα.

Από τα παραπάνω δεδομένα το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα το θερμικό φορτίο του κτηρίου μέσα από την σχέση 2.1.1 σε kW και στην συνέχεια το μετατρέπει σε BTU/h, επειδή η ASHRAE χρησιμοποιεί αυτή την μονάδα.

Από τα δεδομένα για το υφιστάμενο σύστημα και σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του πετρελαίου, το πρόγραμμα υπολογίζει το ετήσιο κόστος κατανάλωσης πετρελαίου από την παρακάτω σχέση:

$$C_{c,boiler} = \frac{E_b \cdot 3600 \cdot 1000}{H_u \cdot \eta \cdot \rho} \cdot C_{oil} \quad 8.6.5$$

$C_{c,boiler}$: Κόστος Κατανάλωσης λέβητα πετρελαίου (€)

C_{oil} : Τιμή πετρελαίου σε λίτρα (€/L)

E_b : Ετήσια κατανάλωση ενέργειας που υπολογίζεται από την 2.2.2 σε kWh

H_u : Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου

η : Βαθμός απόδοσης λέβητα

ρ : Πυκνότητα πετρελαίου (kg/m^3)

Πόλη κτηρίου	Αθήνα Θεσσαλονίκη Ναύος	
Συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών κτηρίου	1500	W/°C
Επιθυμητή θερμοκρασία χώρου	18	°C
Θερμοκρασία Σχεδιασμού	3	°C
Θερμικό φορτίο	22,5	kW
	76773,195	BTU/h
Θερμοκρασία νερού	40	°C
Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας (T_h)	11364	kWh
Είδος Κτηρίου	Κατοικία Ξενοδοχείο Νοσοκομείο Εμπορικό Κέντρο	
Υφιστάμενο Σύστημα		
<u>Είδος Καυσίμου</u>	<u>Πετρέλαιο</u>	
Θερμογόνος Δύναμη Καυσίμου	42250	
Πυκνότητα Πετρελαίου(kg/m^3)	900,0	
Βαθμός Απόδοσης Λέβητα	0,85	
Κατανάλωση Καυσίμου(kg)	1139,2	
Κόστος Πετρελαίου(€/L)	1,1	
Ποσότητα Πετρελαίου (l)	1265,7	
Κόστος Κατανάλωσης (€)	1392,3	
Ισχύς Λέβητα Πετρελαίου(kW)	27	
Ημερήσιες ώρες λειτουργίας συστήματος(h)	8,0	
Μέρες λειτουργίας (days)	7,0	

Δε
 ομμένα
 Κτιρίου
 Κύριες γρα

Εικόνα 8.6-9 Εισαγωγή Δεδομένων Κτιρίου

Στοιχεία Γεωθερμικής Αντλίας		Σύνδεση σε σειρά	
COP(average/peak)	6,7	6	50
Συμπλεκτική(είσοδος/εξοδος) (°C)	45	40	Μήκος γραφείου M(m)
Εξισωτική(είσοδος/εξοδος)(°C)	5	10	κ(m)
Στοιχεία Εγκατάστασης		h(m)	2
Απόσταση κάθε γεώτρησης (m)(Μεγαλύτερη από 5-6m)	7	i(m)	2
Βρόγχοι ανα γεώτρησης/Αριθμός Γεωτρήσεων	1,00	6	Ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση(m)
u	1,2	u(m)	0,5
Θερμοκρασία Εδάφους t _g (°C/°F)(Κατακόρυφη Γεωθερμία)	19,5	67,1	Μήκος Σωλήνα που τοποθετείται(m)
N4	0		2216,38
N3	2		
N2	4		
N1	0		
Τύπος Κύριου Εδάφους		Παράλληλη σύνδεση	
	Γραυτός Βασάλτης	Πλάτος γραφείου L (m)	50
	Ασβεστός	Μήκος γραφείου M (m)	50
	Μαρμαρό	κ(m)	3
k(btu/hftF)	1,48	h(m)	2
k(W/mk)	2,6	i(m)	2
ρ*1000(lb/ft ³)	0,180	ν(m)	1
ρ*1000(kg/m ³)	2,9	κ(m)	0,5
sg(ft ² /day)	1,14	Ελάχιστη Επιτρεπόμενη απόσταση (m)	0,8
sg(m ² /s)	1,23E-06	Μήκος Σωλήνα που τοποθετείται(m)	2144,5
Din(mm)	19	Πειραματική διάταξη	
Εξωτερική διάμετρος Dout	32,00	Πλάτος γραφείου L (m)	50
	40,00	Μήκος γραφείου M(m)	50
SDR	SDR 11	Ακτίνα σπείρας R (m)	0,8
	SDR 8	κ(m)	3
	SDR 40	χ(m)	2
Din(mm)	37,769	Επιτρεπόμενη απόσταση (m)	0,8
Εξωτερική διάμετρος Dout	25,00	Απόσταση σπείρας(m)	0,6
	32,00	Μήκος Σωλήνα που τοποθετείται(m)	6440,45
	40,00	Κόστη	
Θερμική αγωγιμότητα υλικού (W/mk)	0,42	Συντήρηση (€/kW)	4
	2	Κόστος Εγκατάστασης Γεωθερμικής Αθ(€/kW)	300
ν(m ² /s)	1,14E-06	Κόστος Γεωθερμικού Κατ'εναλλάκτη (€/m)	40
μ(lt*sec/m ²)	0,0011	Κόστος Γεωθερμικού Οριζ'εναλλάκτη (€/m)	2
Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας νερού(W/mk)	0,680	Κόστος Σωλήνα (€/m)	6
Θερμοκρασία Εδάφους (Οριζόντια Γεωθερμία) (°C)	14,0		
Θερμοκρασία εισόδου του νερού στην ΓΑθ(°C)	5,0		

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Εικόνα 8.6-10 Εισαγωγή Δεδομένων Γεωθερμίας

Στην δεύτερη κατηγορία βρίσκονται τα δεδομένα που χρειάζονται για την διαστασιολόγηση της γεωθερμίας. Στην ουσία τα περισσότερα δεδομένα αφορούν τον σχεδιασμό του γεωθερμικού εναλλάκτη, διότι στα συστήματα γεωθερμίας ο σχεδιασμός του είναι ο σημαντικότερος. Τα δεδομένα που ζητούνται είναι αυτά που χρειάζονται για την εφαρμογή της μεθόδου ASHRAE για τον κατακόρυφο εναλλάκτη που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4.7 και για τον σχεδιασμό της οριζόντιας γεωθερμίας του κεφαλαίου 4.8. Για τον παραπάνω λόγο τα περισσότερα δεδομένα αφορούν τα χαρακτηριστικά του εδάφους καθώς και του γεωθερμικού ρευστού. Ο χρήστης εισάγει τον τύπο του εδάφους και το πρόγραμμα εμφανίζει τα χαρακτηριστικά του με βάση τον πίνακα 4-3. Στην συνέχεια το πρόγραμμα εμφανίζει τις απαιτήσεις του συστήματος για την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα και έπειτα εισάγεται με βάση αυτήν η εξωτερική διάμετρο από τον χρήστη. Επίσης τα τέσσερα σχέδια απεικονίζουν την πιθανή διάταξη που μπορεί να έχει ο οριζόντιος γεωθερμικός εναλλάκτης καθώς και τις διάφορες διαστάσεις που αφορούν στην τοποθέτηση του γεωθερμικού εναλλάκτη. Ακόμα θα παρατηρηθούν τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Τέλος υπάρχουν και τα διάφορα κόστη που χρειάζονται για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος.

Στην τρίτη ζώνη βρίσκονται τα δεδομένα που αφορούν τους ηλιακούς συλλέκτες. Στην συγκεκριμένη ζώνη υπάρχουν διάφορα χαρακτηριστικά που πρέπει να προσδιοριστούν για τους ηλιακούς συλλέκτες καθώς και για την μονάδα αποθήκευσης του νερού. Αυτά τα στοιχεία είναι χρήσιμα για την εφαρμογή της μεθόδου καμπυλών f , η οποία παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5.8. Επίσης πρέπει να προσδιοριστεί και η διαθέσιμη υπάρχουσα έκταση για τους ηλιακούς συλλέκτες

καθώς και για την μονάδα αποθήκευσης. Τέλος και εδώ προσδιορίζονται κάποια οικονομικά δεδομένα τα οποία χρειάζονται για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος.

Στην τέταρτη ζώνη (εικόνα 9.2-4) βρίσκονται τα δεδομένα για την αντλία θερμότητας αέρα-νερού. Στην Αντλία Θερμότητας δεν χρειάζονται πολλά δεδομένα εισαγωγής, επειδή το πρόγραμμα έχει ήδη μέσα πίνακες αποδόσεων από εμπορική Αντλία Θερμότητας, οι οποίοι βοηθάνε στην κατασκευή του διαγράμματος απόδοσης. Το διάγραμμα απόδοσης της αντλίας θερμότητας είναι χρήσιμο για την επιλογή της δυναμικότητας της, όπως παρουσιάστηκε και στο κεφάλαιο 3.8. Επομένως τα δεδομένα αφορούν κυρίως τα κόστη και το COP της Αντλίας Θερμότητας.

Παράμετρος	Μήνας Σχεδιασμού	Υπολογισμός	Μονάδα	Τιμή
F _R /F _R	0,88			
U	5,8			
θ _{ref} (°C)	100			
n ₀	0,87			
Είδος Συλλέκτη				
Πλαστικός Συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση		Μέγιστη Χωρητικότητα boiler (l)		2000
Μαύρο χρώμα- Μονό Τζάμι		Ελάχιστη Χωρητικότητα boiler (l)		500
Μαύρο χρώμα- Διπλό Τζάμι		Μέγιστη Χωρητικότητα boiler (l)		1500
		Ελάχιστη Χωρητικότητα boiler (l)		500
Κόστη				
Επιλεκτική επιφάνεια- μονο τζάμι		Συντήρηση(€/m ²)		4
Συλίνες Κενού		Κόστος Κατανάλωσης		0
Υπόβλη μόνωσης		Κόστος Συλλέκτη(€/m ²)		40
		Κόστος Δεξαμενής(l)		4
Γωνία κλίσης	60			
Θερμοκρασία σχεδιασμού (°C)	5			
Μέγιστη Διαθέσιμη Έκταση	100			
Θερμοκρασία σχεδιασμού Ψυκτικού υγρού (°C)	45			

ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΝΔΕΚΤΗΣ

Εικόνα 8.6-11 Εισαγωγή Δεδομένων Ηλιακού Συλλέκτη

Θερμοκρασία νερού	40	°C
COP	3	
Συντήρηση (€/kW)	4	
Εκπομπές CO ₂	0	
Κόστος Εγκατάστασης (€/kW)	300	
Ελάχιστο Φορτίο Κάλυψης ΑΘ (kW)	30,00%	3,51
Μέγιστο Φορτίο Κάλυψης ΑΘ (kW)	80,00%	9,36
Παρεχόμενη ισχύς από συμπιεστή	300	
Κόστος kWh _{te}	0,1	
Ελάχιστο COP ΑΘ	5	
Μέγιστο COP ΑΘ	5,6	

ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Εικόνα 8.6-12 Εισαγωγή Δεδομένων Αντλίας Θερμότητας

Η επόμενη ζώνη αφορά το λέβητα βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα, ζητούνται τα χαρακτηριστικά για τον σχεδιασμό του συστήματος βιομάζας και σε αυτήν την περίπτωση τα δεδομένα που χρειάζονται είναι λίγα και περιορίζονται ξανά στα κόστη. Το παραπάνω είναι απολύτως φυσιολογικό, διότι όπως αναλύθηκε και στην ενότητα 7.2 για τον σχεδιασμό του λέβητα βιομάζας είναι αναγκαίο το φορτίο του κτηρίου και ένας συντελεστής ασφαλείας.

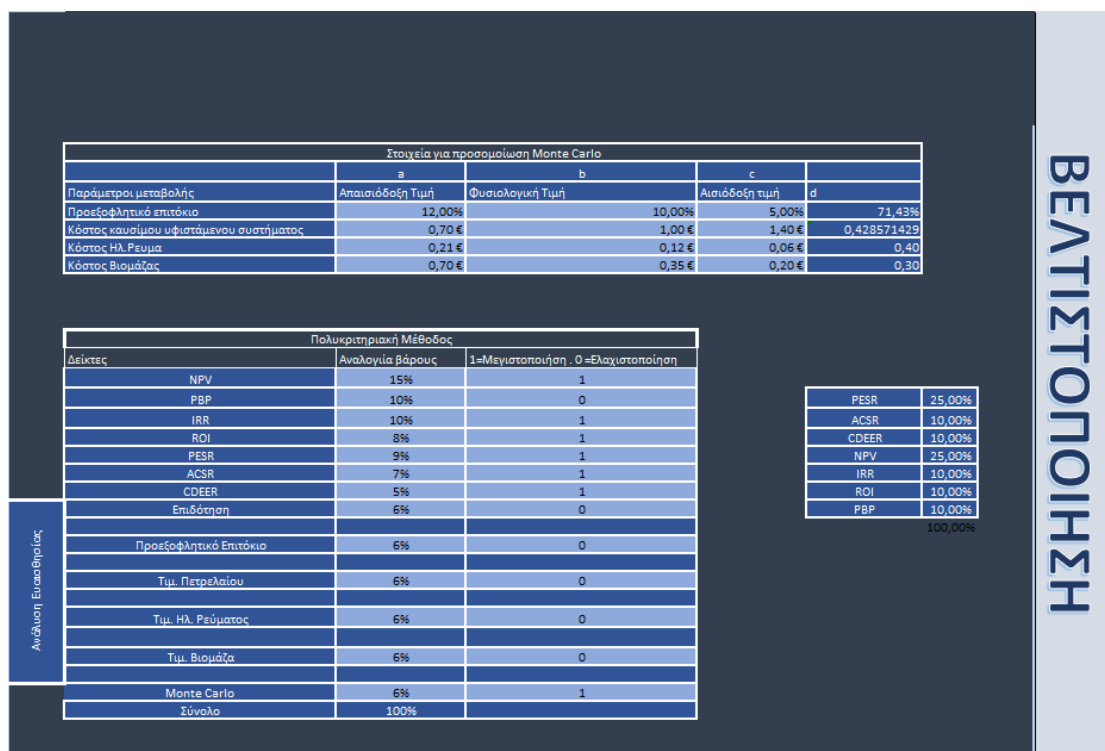
Συντελεστής ασφαλείας για την διαστασιολόγηση	1,2	
Συντελεστής ασφαλείας για (Βιομάζα-Ηλιακούς Συλλέκτες)	1,4	
Κόστος Κατανάλωσης	70	
Συντήρηση (€/kW)	10	
Κόστος Εγκατάστασης (€/kW)	100	
Μεγιστο Φορτίο Κάλυψης Βιομ	50,00%	5,85
Ελάχιστο Φορτίο Κάλυψης Βιομ	10,00%	1,17
Κόστος λειτουργίας για βιομάζα		
Τιμή (€/kg)	0,35	
Θερμογόνος Δύναμη βιομάζας(kj/kg)	18720	
Βαθμός Απόδοσης λέβητα	90,00%	

ΒΙΟΜΑΖΑ

Εικόνα 8.6-13 Εισαγωγή Δεδομένων

Η επόμενη ζώνη (εικόνα 9.2-4) αφορά την ζώνη στην οποία εισάγονται τα δεδομένα που χρειάζονται για να γίνει η βελτιστοποίηση του συστήματος. Αρχικά ζητούνται διάφορα κριτήρια που αφορούν την προσομοίωση Monte Carlo και έπειτα ζητούνται τα δεδομένα για την πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση. Τα δεδομένα για την προσομοίωση Monte Carlo αφορούν τις τιμές που χρειάζονται για την τριγωνική κατανομή που εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 8.6. Οι τιμές αυτές αποτυπώνουν την απαισιόδοξη, την φυσιολογική και την αισιόδοξη τιμή της κάθε παραμέτρου.

Στην συνέχεια ζητούνται στοιχεία που αφορούν την πολυκριτηριακή επιλογή. Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 7.5, για να πραγματοποιηθεί η πολυκριτηριακή επιλογή χρειάζεται να καθοριστεί η βαρύτητα του κάθε δείκτη. Επομένως για την πολυκριτηριακή επιλογή υπάρχουν δύο πίνακες. Ο πρώτος πίνακας αφορά την αναλογία βαρών της πολυκριτηριακής που χρησιμοποιείται για την επιλογή του βέλτιστου σχεδιασμού για κάθε συνδυασμό συστημάτων και έπειτα ο επόμενος πίνακας αφορά την επιλογή της βέλτιστης λύσης συνολικά για το κτήριο που μελετάται. Στο δεύτερο πίνακα ζητείται από τον χρήστη να εισάγει εάν θέλει να μεγιστοποιήσει ή να ελαχιστοποιήσει την κάθε παράμετρο.



Εικόνα 8.6-14 Εισαγωγή Δεδομένων Βελτιστοποίηση

Η προτελευταία ζώνη αποτελεί τη ζώνη των οικονομικών. Στην συγκεκριμένη ζώνη εισάγονται δεδομένα για την οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων, τα οποία μπορεί να είναι δεδομένα που αφορούν το χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης καθώς και τις χρεώσεις που χρειάζονται για να περατωθεί η ολική εγκατάσταση. Τέλος υπάρχουν και οι στόχοι που πρέπει να πετυχαίνει η επένδυση όσον αφορά τους οικονομικούς δείκτες.

Το χρηματοδοτικό σύστημα της επένδυσης χρειάζεται για να υπολογιστεί η ακριβής τιμή για κάθε συνιστώσα που αποτελεί το κόστος, το οποίο υπολογίζεται από την σχέση 3.8.8.

Έπειτα ζητείται από τον χρήστη η εισαγωγή των οικονομικών στόχων που θέλει να πετύχει μέσα από το υβριδικό σύστημα, η οποίοι στην συνέχεια θα καθορίσουν και τις απαραίτητες χρωματικές μορφοποιήσεις σε πίνακες, όπου χρειάζεται να παρατηρηθεί εάν ο συνδυασμός είναι εκτός στόχου ή όχι.

Χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης			
Ίδια Συμετοχή	Ποσοστό συνολικής επένδυσης	50,00%	
Επιδότηση		40,00%	
Ξένα κεφάλαια/Δανειο		10,00%	
Προεξοφλητικό Επιτόκιο		5,00%	
Ελάχιστος συντελεστής απόδοσης		4,00%	
Αποπληρωμή Δανείου			
Ετήσιο Επιτόκιο Δανεισμού		3,00%	
Διάρκεια Αποπληρωμής		2 ΕΤΗ	
Τόκος		1 1=Απλός Τόκος, 2= Σύνθετος τόκος	
Περίοδο Χάρτιος		0 ΕΤΗ	
Συνολική Τιμολόγηση Συστήματος			
Κατηγορία Εξόδου	Περιγραφή	Αντλία Θερμότητας - Βιομάζα Ποσοστό	Κατ.Γεωθερμία - Βιομάζα Ποσοστό
Εξοπλισμός	Όλος εξοπλισμός που απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος	20,00%	20,00%
Εγκατάσταση εξοπλισμού	Εργατικά έξοδα για την εγκατάσταση του συστήματος	5,00%	5,00%
Δίκτυο Διανομής	Σωληνώσεις για την μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου	20,00%	20,00%
Περιφερειακά Συστήματα	Επιπρόσθετος εξοπλισμός για την λειτουργία του συστήματος	5,00%	5,00%
Βελτιώσεις χώρου	Αλλαγή κάποιου περιβάλλοντα χώρου για την δημιουργία ιδανικών συνθηκών για την λειτουργία του συστήματος	0,00%	0,00%
Υπηρεσίες μηχανικών	Αφορά ολοκληρω το μελετητικό κομμάτι για την δημιουργία του συστήματος	5,00%	5,00%

Εικόνα 8.6-15 Εισαγωγή Δεδομένων Οικονομικών Στοιχείου 1

Οικονομικά Στόχοι	
NPV	500,00 €
PBP	8
IRR	5,00%
ROI	4,00%

Οριζόντια Γεωθερμία- Βιομάζα Ποσοστό	Βιομάζα - Ηλιακός Συλλέκτης Ποσοστό	Αντλία Θερμότητας - Ηλιακός Συλλέκτης Ποσοστό
20,00%	20,00%	20,00%
5,00%	5,00%	5,00%
20,00%	20,00%	20,00%
5,00%	5,00%	5,00%
0,00%	0,00%	0,00%
5,00%	5,00%	5,00%

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ

Εικόνα 8.6-16 Εισαγωγή Δεδομένων Οικονομικών Στοιχείου

Η τελευταία ομάδα δεδομένων αφορά τα δεδομένα για το ποιές ώρες υπάρχει απαίτηση για θέρμανση με βάση της ώρες που θέλουν οι χρήστες και όχι τις πραγματικές ώρες που χρειάζεται ένα σύστημα θέρμανσης να λειτουργήσει.

Ώρες Λειτουργίας Θέρμανσης Κτηρίου	
12:00:00 πμ	0
1:00:00 πμ	0
2:00:00 πμ	0
3:00:00 πμ	0
4:00:00 πμ	0
5:00:00 πμ	0
6:00:00 πμ	0
7:00:00 πμ	1
8:00:00 πμ	1
9:00:00 πμ	1
10:00:00 πμ	0
11:00:00 πμ	0
12:00:00 μμ	0
1:00:00 μμ	0
2:00:00 μμ	0
3:00:00 μμ	0
4:00:00 μμ	0
5:00:00 μμ	0
6:00:00 μμ	1
7:00:00 μμ	1
8:00:00 μμ	1
9:00:00 μμ	1
10:00:00 μμ	1
11:00:00 μμ	0

ΩΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Εικόνα 8.6-17 Εισαγωγή ωρών θέρμανσης βάση χρηστών

9.3 Βελτιστοποίηση

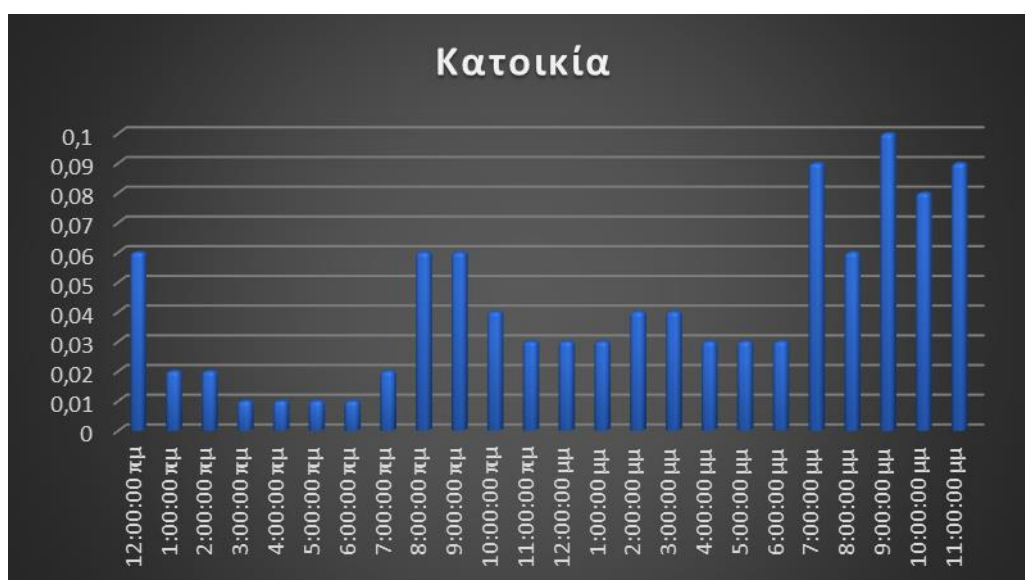
Εφόσον εισαχθούν τα δεδομένα, σειρά έχει η βελτιστοποίηση του συστήματος. Η βελτιστοποίηση γίνεται ανά ζευγάρια συστημάτων με τις αρχές που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο των υβριδικών συστημάτων (σύστημα βάσης, σύστημα σταθερότητας, συμπληρωματική πηγή). Η ανάλυση επιλέχθηκε να γίνει με τα ζευγάρια διότι εξοικονομείται υπολογιστικός χρόνος και εφόσον η στρατηγική σχεδιασμού των υβριδικών συστημάτων θέρμανσης είναι γνωστή, είναι εύκολο να προσδιοριστούν τα επικρατέστερα σενάρια.

Αρχικά, μια αντλία θερμότητας αέρα νερού δεν θα μπορούσε να συνδυαστεί με μια γεωθερμική αντλία, διότι το κόστος θα ήταν πολύ υψηλό και οι δύο αυτές τεχνολογίες αποτελούν συστήματα για κάλυψη του βασικού φορτίου, εφόσον η αντλία θερμότητας αέρα-νερού είναι ασταθής και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από της εξωτερική θερμοκρασία. Από την μια πλευρά, η γεωθερμική αντλία αποτελεί μια καλή επιλογή όσον αφορά την σταθερότητα αλλά από την άλλη, το κόστος εγκατάστασης είναι ιδιαίτερα υψηλό εάν πρέπει να καλυφθούν οι ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες που δεν μπορεί να καλύψει η αντλία θερμότητας αέρα-νερού. Για τον ίδιο λόγο δεν θα είχε νόημα να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη με τον οριζόντιο γεωεναλλάκτη.

Ένα σύστημα που θα άξιζε να μελετηθεί σε περίπτωση ύπαρξης και ψυκτικών φορτίων είναι η γεωθερμική αντλία θερμότητας με τον ηλιακό συλλέκτη, διότι με αυτόν τρόπο θα μπορούσε να επιτευχθεί εξισορρόπηση της θερμοκρασίας του εδάφους όλο το χρόνο, με έγχυση του ζεστού νερού στον γεωθερμικό εναλλάκτη. Στην παρούσα εργασία μελετώνται μόνο τα θερμικά φορτία, οπότε ένα τέτοιο σύστημα θα είχε υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, κάτι που θα ήταν αποτρεπτικό για την υλοποίηση του.

Επίσης για τον σχεδιασμό του συστήματος δεν λαμβάνεται υπόψιν μόνο το θερμικό φορτίο σχεδιασμού που έχει δοθεί από τον χρήστη, αλλά και οι ώρες λειτουργίας του κτηρίου, το προφίλ λειτουργίας ως προς το είδος του κτηρίου, καθώς και η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας που λαμβάνεται από την μέθοδο των βαθμομερών.

Τα προφίλ κατανάλωσης έχουν σχεδιαστεί προσεγγίζοντας όσο τον δυνατό καλύτερα την πραγματικότητα ως προς το ωράριο λειτουργίας ανάλογα με την χρήση των κτηρίων. Πιο συγκεκριμένα για το είδος κατοικίας έχουν παρθεί ανηγμένες τιμές του ονομαστικού φορτίου με την λογική ότι σε μία κατοικία η μεγαλύτερη απαίτηση για θέρμανση από τους χρήστες υπάρχει τις πρωινές ώρες πριν από την αναχώρηση για την εργασία και τις απογευματινές ώρες μετά από την επιστροφή τους από αυτήν.



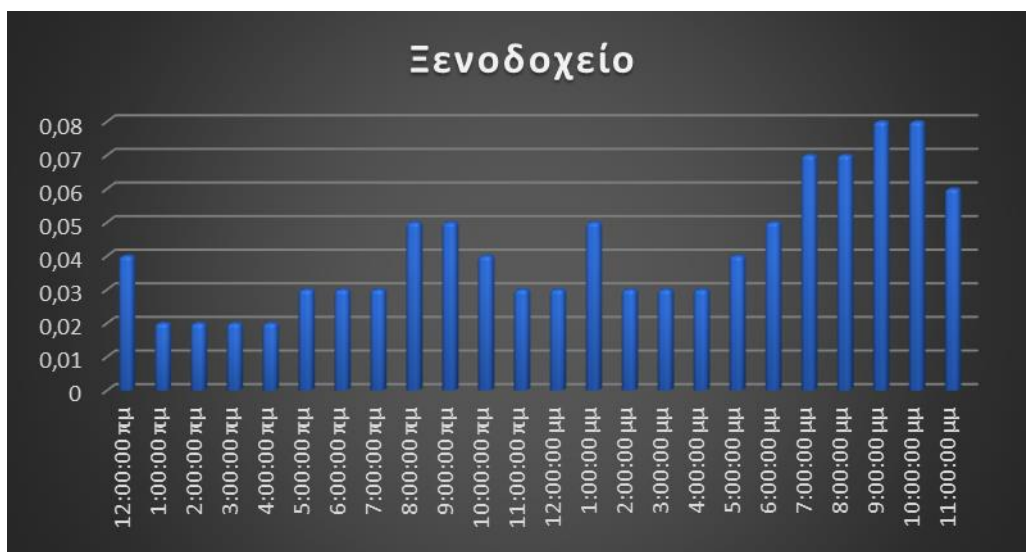
Εικόνα 8.6-18 Προφίλ Κατοικίας

Για το ξενοδοχείο και το νοσοκομείο συνήθως οι ανάγκες είναι 24ώρες. Βέβαια ο διαμερισμός δεν είναι ο ίδιος διότι στο νοσοκομείο τα φορτία είναι πιο ομοιόμορφα διαμοιρασμένα στον χρόνο, σε

αντίθεση με τα ξενοδοχεία όπου τα φορτία είναι ανεξέλεγκτά και για αυτό εμφανίζουν υψηλότερες τιμές.



Εικόνα 8.6-19 Προφίλ Νοσοκομείου



Εικόνα 8.6-20 Προφίλ Ξενοδοχείου

Για το εμπορικό κέντρο αντίστοιχα έχουμε μεγάλες αυξομειώσεις της 12 ώρες που λειτουργία εξαιτίας των μεγάλων απωλειών. Τέλος και στα τέσσερα προφίλ έχει δοθεί έμφαση ότι η περισσότερη ζήτηση για θέρμανση την συναντάμε τις απογευματινές-βραδινές ώρες.



Εικόνα 8.6-21 Προφίλ Εμπορικού Κέντρου

Συνδυάζοντας τα παραπάνω, ο υπολογισμός του ωριαίου φορτίου του κτηρίου θα δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$Q_{hb} = Q_{DDH} \cdot HC \cdot UD \quad 9.3.1$$

Q_{DDH}: Συμβολίζει την μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου

HC: Το ανηγμένο ποσοστό του φορτίου (Η πρόσθεση όλων των ποσοστών ισούται με 1)

UD: Εάν ο χρήστης έχει απαίτηση την συγκεκριμένη ώρα ($UD=1$), εάν δεν έχει απαίτηση για θέρμανση ($UD=0$)

Πιο συγκεκριμένα, μέσω των βαθμομερών καθορίζεται η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για κάθε μήνα και ο διαμερισμός αυτής με βάση τις ώρες λειτουργίας και το προφίλ λειτουργίας του κτηρίου. Το σύστημα σχεδιάζεται ώστε να μπορεί να καλύψει αυτόν τον επιμερισμό του φορτίου. Σε περίπτωση όμως που το μέγιστο φορτίο του επιμερισμού είναι μικρότερο από το φορτίο σχεδιασμού που έχει εισάγει ο χρήστης - που αποτελεί ουσιαστικά την δυσμενέστερη κατάσταση - , τότε η διαφορά αυτή σχεδιάζεται για να καλυφθεί από τη βιομάζα, που έχει χαμηλά κόστη αρχικής εγκατάστασης. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται για μια τυπική μέρα του μήνα και για κάθε μήνα του έτους .

Το πλεονέκτημα του παραπάνω τρόπου σχεδιασμού είναι ότι προκύπτει μια καλύτερη οπτική της λειτουργίας του συστήματος που προσφέρει την δυνατότητα προσομοίωσης της λειτουργία του συστήματος ως ένα βαθμό. Αυτό βοηθάει στην αποφυγή της υπερδιαστασιολόγησης του συστήματος, όπου γίνεται στην περίπτωση του φορτίου σχεδιασμού. Το φορτίο σχεδιασμού θα εμφανιστεί πολύ λίγες μέρες κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, οπότε ο σχεδιασμός με βάση αυτό το φορτίο θα εμφανίσει ένα υψηλό αρχικό κόστος. Με την διαδικασία της προσομοίωσης όμως μπορεί να σχεδιαστεί η αντλία θερμότητας για να καλύψει την μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας και η βιομάζα να βοηθάει σε στιγμές αιχμής του φορτίου. Επίσης με αυτόν τρόπο μπορεί να γίνει εισαγωγή μιας διάταξης λειτουργίας η οποία να δίνει την δυνατότητα

αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας που παράγεται από το σύστημα και να χρησιμοποιηθεί στα φορτία αιχμής. Εδώ αξίζει να γίνει η παραδοχή ότι το ζεστό νερό δεν χάνει την ενέργεια του από ώρα σε ώρα αδράνειας του συστήματος, εξαιτίας της μικρής λειτουργίας των συστημάτων για να το διατηρήσουν στην επιθυμητή θερμοκρασία νερού.

Στην παρούσα διάταξη λειτουργίας η παραγωγή ενέργειας από τα συστήματα μεταφέρεται στο σύστημα αποθήκευσης και από εκεί γίνεται η άντληση του νερού για την θερμική κάλυψη του κτηρίου.

Για τον σχεδιασμό του συστήματος εισάγονται κάθε φορά δεδομένα για την ισχύ του συστήματος και αξιολογούνται τα αποτελέσματα μέσω της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης που έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 7.5.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω και σε συνδυασμό με την στρατηγική σχεδιασμού που συγκεντρώθηκε από την βιβλιογραφία, θα μελετηθούν οι παρακάτω συνδυασμοί.

1. Αντλία Θερμότητας - Βιομάζα
2. Αντλία Θερμότητας – Ηλιακός Συλλέκτης
3. Γεωθερμία με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη – Βιομάζα
4. Γεωθερμία με οριζόντιο γεωεναλλάκτη – Βιομάζα
5. Βιομάζα - Ηλιακοί συλλέκτες

9.4 Αντλία Θερμότητας Αέρα _ Νερού – Βιομάζα

Το πρώτο σύστημα που θα μελετηθεί είναι το σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα-νερού με αυτό της βιομάζας. Η λογική πίσω από το συγκεκριμένο σύστημα είναι ο συνδυασμός της εξοικονόμησης ενέργειας που δίνει η Αντλία Θερμότητας με την οικονομική ως προς το αρχικό κόστος Βιομάζα για την κάλυψη του φορτίου αιχμής.

Η λογική σχεδιασμού αναλύθηκε παραπάνω και με βάση αυτή σχεδιάστηκε το σύστημα.

Στην εικόνα 9.4-1 φαίνονται τα στοιχεία σχεδιασμού της εγκατάστασης και η δυναμικότητα των συστημάτων. Στην συνέχεια εμφανίζονται τα στοιχεία καταναλώσεων της εγκατάστασης και τα κόστη λειτουργίας και έπειτα παρουσιάζονται οι τεχνικοί και οικονομικοί δείκτες αξιολόγησης του συστήματος.

Δυναμικότητα Συστημάτων	
Όνομαστική Ισχύς ΑΘ1(kW)	14,5
Φορτίο Σχεδιασμού Κτιρίου	22,5
Όνομαστική Ισχύς ΑΘ2(kW)	0
Αριθμός Μόναδων	1
Τελική Ισχυ Βιομάζας(kW)	7,47
Ισχύς Βιομάζας(kW)	7,466129032
Μονάδα Αποθήκευσης Μέγιστη(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	15,03387097
Μονάδα αποθήκευσης(Δυναμικότητα)(L)	678,9734418
Μονάδα Αποθήκευσης Σχεδιασμού(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	14,60381343
Υπολογισμός	
Στοιχεία Λειτουργίας	
Κόστος Κατανάλωσης Υφιστάμενου συστήματος(€)	1253,09
Συνολικές kWh _{τη} Κτιρίου	11364
Συνολικές kWh _{τη} Συστήματος ΑΘ	3443,636364
Συνολικές kWh _{τη} Συστήματος ΑΘ	11364
Συνολικές kWh _{τη} Βιομάζα	0
Συνολική Κατανάλωση Βιομάζας	0,00 €
Συνολική Κατανάλωση ΑΘ	344,36 €
Δείκτες Αξιολόγησης	
PESR	32,09%
ACSR	72,52%
CDEER	4,13%
NPV	4.304,62 €
IRR	16,08%
ROI	23,78%
PBP	4
Συντελεστές Κάλυψης	
Κάλυψη Φόρτιου του Κτηρίου ΑΘ	100,00%
Κάλυψη Φορτίου του Κτηρίου Βιομάζα	0,00%
Ο/Μ	551,69 €
Κόστος Συστήματος	4.631,25 €
LCOE	0,03 €
Δείκτες Αξιολόγησης(ΑΠΕ)	
PESR	100,00%
ACSR	100,00%
CDEER	117,65%

Εικόνα 8.6-22 Χαρακτηριστικά Συστήματος ΑΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ

Ωρα	Φορτίο Κτηρίου(kW)	Εξωτερική Θερμοκρασία (°C)	Ονομαστική Ισχύς ΣυστήματοςΑΘ(kW)	Αριθμός Μονάδων Λειτουργίας 1	Αριθμός Μονάδων Λειτουργίας 2	Ισχύς Λειτουργίας ΑΘ1(kW)	Ισχύς Λειτουργίας ΑΘ2(kW)
12:00:00 πμ	0	8,93	14,5	1	0	15,2009045	0
1:00:00 πμ	0	8,92	14,5	1	0	15,19800608	0
2:00:00 πμ	0	8,86	14,5	1	0	15,18549987	0
3:00:00 πμ	0	8,64	14,5	1	0	15,13964377	0
4:00:00 πμ	0	8,41	14,5	1	0	15,0917033	0
5:00:00 πμ	0	8,18	14,5	1	0	15,04376282	0
6:00:00 πμ	0	8,05	14,5	1	0	15,01666603	0
7:00:00 πμ	7,632580645	7,93	14,5	1	0	14,99165361	0
8:00:00 πμ	11,33322581	7,8	14,5	1	0	14,96455682	0
9:00:00 πμ	11,33322581	9,16	14,5	1	0	15,24803093	0
10:00:00 πμ	0	10,51	14,5	1	0	15,52942066	0
11:00:00 πμ	0	11,86	14,5	1	0	15,81081039	0
12:00:00 μμ	0	12,3	14,5	1	0	15,9025226	0
1:00:00 μμ	0	12,74	14,5	1	0	15,99423481	0
2:00:00 μμ	0	13,18	14,5	1	0	16,08594702	0
3:00:00 μμ	0	12,9	14,5	1	0	16,02758471	0
4:00:00 μμ	0	12,63	14,5	1	0	15,97130676	0
5:00:00 μμ	0	12,36	14,5	1	0	15,91502881	0
6:00:00 μμ	8,557741935	11,58	14,5	1	0	15,75244808	0
7:00:00 μμ	14,10870968	10,8	14,5	1	0	15,58986734	0
8:00:00 μμ	11,33322581	10,02	14,5	1	0	15,42728661	0
9:00:00 μμ	15,03387097	9,66	14,5	1	0	15,35224935	0
10:00:00 μμ	13,18354839	9,3	14,5	1	0	15,27721208	0
11:00:00 μμ	0	8,95	14,5	1	0	15,20425919	0

Εικόνα 8.6-23 Πίνακας Προσομοίωσης 1

Στην εικόνα 9.4-2, όπου αποτελεί και το μεγαλύτερο μέρος του παραθύρου, γίνεται η προσομοίωση του συστήματος. Για να συμβεί αυτή, χρειάζεται διάφορα στοιχεία για την εγκατάσταση όπως είναι το φορτίο του κτηρίου ανά ώρα για μια τυπική μέρα σχεδιασμού του μήνα. Επίσης χρειάζεται και η θερμοκρασία περιβάλλοντος, για να καθοριστεί ακριβώς η ισχύς της Αντλίας θερμότητας που επηρεάζεται άμεσα από την εξωτερική θερμοκρασία.

Στην συνέχεια δίνεται η ενέργεια που έχει αποθηκευμένη η δεξαμενή αποθήκευσης και οι διάφορες kWh κατανάλωσης που χρειάζεται το κάθε σύστημα για να λειτουργήσει.

Στο συγκεκριμένο παράθυρο η μόνη αλληλεπίδραση που έχει να κάνει ο χρήστης είναι να πατήσει το πάνω κουμπί «Υπολογισμός» και η βελτιστοποίηση ξεκινάει μέχρι να τελειώσει και να εμφανίσει το αποτέλεσμα του βέλτιστου συνδυασμού, τον οποίο και εισάγει μετά τη λήξη της μακροεντολής.

Συνολική Ισχύς Λειτουργίας(kW)	Παρεχόμενη Ισχύς ΑΘ(kW)	Στάθμη Δεξαμενής Αποθήκευσης(kWh)	Βιομάζα(kW)	Ώρες Λειτουργίας Βιομάζας(h)	Ώρα Λειτουργίας Υφιστάμενου(h)	kWh ΑΘ
0	0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0	0,00
14,99165361	14,99165361	7,359072967	0	0	0	0,28
14,96455682	14,96455682	3,631331017	0	0	0	0,42
15,24803093	15,24803093	3,914805119	0	0	0	0,42
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
0	0	3,914805119	0	0	0	0,00
15,75244808	15,75244808	7,194706142	0	0	0	0,32
15,58986734	15,58986734	1,481157665	0	0	0	0,52
15,42728661	15,42728661	4,094060801	0	0	0	0,42
15,35224935	15,35224935	0,318378377	0	0	0	0,56
15,27721208	15,27721208	2,093663696	0	0	0	0,49
0	0	2,093663696	0	0	0	0,00

Εικόνα 8.6-24 Πίνακας Προσομοίωσης 2

9.4.1 Γεωθερμία - Βιομάζα

Η λογική και σε αυτή την περίπτωση παραμένει ίδια με την παραπάνω. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας σχεδιάζεται για να καλύψει το βασικό φορτίο ενώ η βιομάζα καλύπτει το φορτίο σε περιόδους αιχμής.

Στοιχεία Δυναμικότητας	
Ισχύς Κατ.Γεωθ(kW)	10
Μήκος Γεωθερμικού Εναλλάκτη (m)	405,7272368
Βάθος Τοποθέτησης(m)	63,41967301
Ισχύς Βιομάζας(kW)	8,35
Μονάδα Αποθήκευσης Μέγιστη(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	15,03387097
Μονάδα αποθήκευσης(Δυναμικότητα)(L)	698,9680579
Μονάδα Αποθήκευσης Σχεδιασμού(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	15,03387097
Φορτίο	
Q _γ (BTU/h)	2739,676901
Q _μ (BTU/h)	62685,79901
Q _η (BTU/h)	46545,04434
Υπολογισμός	
Στοιχεία Λειτουργίας	
Κόστος Υφιστάμενου συστήματος	1.253,09 €
Συνολικές kWh _{Th} Κτιρίου	11364
Συνολικές kWh _{Te} Συστήματος ΓΑΘ	1233,961194
Συνολικές kWh _{Th} Συστήματος ΓΑΘ	8267,54
Συνολικές kWh _{Th} Βιομάζα	36,67
Συνολική Κατανάλωση Βιομάζας	3,13 €
Συνολική Κατανάλωση ΑΘ	123,40 €
Δείκτες Αξιολόγησης	
PESR	75,39%
ACSR	89,90%
CDEER	76,97%
NPV	1.964,87 €
IRR	8%
ROI	13,90%
PBP(ΕΤΗ)	7
Συντελεστές Κάλυψης	
Κάλυψη Φόρτιου του Κτηρίου ΓΑΘ	72,75%
Κάλυψη Φορτίου του Κτηρίου Βιομάζα	0,32%
LCOE	0,01 €
O/M	551,36 €
Κόστος Συστήματος	9.786,59 €
Δείκτες Αξιολόγησης(ΑΠΕ)	
PESR	99,72%
ACSR	99,75%
CDEER	117,65%

Εικόνα 8.6-26 Χαρακτηριστικά ΚΑΤ.ΓΕΩΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ

Η δομή παραμένει ακριβώς ίδια ως προς στην παρουσίαση των δεδομένων και του υπολογισμού. Αξίζει να γίνει αναφορά σε ένα άλλο σημείο σχετικά με την γεωθερμική αντλία θερμότητας. Όπως

είναι γνωστό, η ισχύς που αποδίδει η γεωθερμική αντλία θερμότητας εξαρτάται από την τιμή της θερμοκρασίας εισόδου του εξατμιστή και την θερμοκρασία εξόδου στον συμπυκνωτή. Για την πρώτη σημειώνεται ότι θα παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, εξαιτίας της θερμοκρασιακής σταθερότητας του εδάφους. Από την πλευρά του συμπυκνωτή, η θερμοκρασία είναι ίση με την θερμοκρασία σχεδιασμού του νερού.

	Ωρα	Προφίλ Κτιρίου (kW)	Ισχύς Γεωθερμίας (kW)	Παρεχόμενη Ισχύς ΓΑΘ(kW)	Στάθμη Δεξαμένης Αποθήκευσης(kWh)
Ιανουάριος	12:00:00 πμ	0	0	0	0
	1:00:00 πμ	0	0	0	0
	2:00:00 πμ	0	0	0	0
	3:00:00 πμ	0	0	0	0
	4:00:00 πμ	0	0	0	0
	5:00:00 πμ	0	0	0	0
	6:00:00 πμ	0	0	0	0
	7:00:00 πμ	7,632580645	10	10	2,367419355
	8:00:00 πμ	11,33322581	10	10	1,034193548
	9:00:00 πμ	11,33322581	10	10	11,33322581
	10:00:00 πμ	0	0	0	11,33322581
	11:00:00 πμ	0	0	0	11,33322581
	12:00:00 μμ	0	0	0	11,33322581
	1:00:00 μμ	0	0	0	11,33322581
	2:00:00 μμ	0	0	0	11,33322581
	3:00:00 μμ	0	0	0	11,33322581
	4:00:00 μμ	0	0	0	11,33322581
	5:00:00 μμ	0	0	0	11,33322581
	6:00:00 μμ	8,557741935	10	10	12,77548387
	7:00:00 μμ	14,10870968	10	10	8,666774194
	8:00:00 μμ	11,33322581	10	10	7,333548387
	9:00:00 μμ	15,03387097	10	10	2,299677419
	10:00:00 μμ	13,18354839	10	10	13,18354839
	11:00:00 μμ	0	0	0	13,18354839

Εικόνα 8.6-27 Πίνακας Προσομοίωσης 1 (ΚΑΤ.ΓΕΩΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ)

Από τα παραπάνω γίνεται άμεσα κατανοητό ότι δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί μια αναλυτική προσέγγιση για την αποδιδόμενη ισχύ της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, αφού η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος. Έτσι οι τιμές που χρησιμοποιούνται είναι τιμές που δεν ανταποκρίνονται σε τιμές κάποιας συγκεκριμένης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, όπως ήταν στην περίπτωση της αντλίας θερμότητας αέρα - νερού.

Εκτός από την παραπάνω διαφορά, η διαδικασία σχεδιασμού του συστήματος παραμένει η ίδια, όπως αναλύθηκε πιο πάνω, ανεξάρτητα με την τοποθέτηση το γεωεναλλάκτη. Η διαφορά προκύπτει στην οικονομική αξιολόγηση του κάθε συστήματος (Κατακόρυφος Γεωεναλλάκτης-Οριζόντιος Γεωεναλλάκτης).

Στην εικόνα 9.4-8 υπάρχει ο πίνακας της πολυκριτηριακής επιλογής του βέλτιστου συνδυασμού και η βαθμολογία του κάθε συνδυασμού. Ο παραπάνω πίνακας είναι ίδιος για κάθε συνδυασμό συστήματος.

Ισχύς Βιομάζας(kW)	Ώρες Λειτουργίας (h)	Ώρες Λειτουργία του υφιστάμενου(h)	kWh ΑΘ
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0,282688172	7,632581
0	0	0,419749104	11,33323
0	0	0,419749104	11,33323
0	0	0	0
0	0	0,00	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0,316953405	8,557742
0	0	0,522544803	14,10871
0	0	0,419749104	11,33323
0	0	0,556810036	15
0	0	0,48827957	13,18355
0	0	0	0

Εικόνα 8.6-28 Πίνακας Προσομοίωσης 2 (ΟΡΙΖ.ΓΕΩΘ-ΒΙΟΜΑΖΑ)

Ισχύς ΓΑΘ	PESR	ACSR	CDEER	NPV	IRR	ROI	PBP	Ισχύς ΓΑΘ	PESR	ACSR	CDEER	NPV	IRR	ROI	PBP	Βαθμολογία	Ισχύς ΓΑΘ	Καλύτερες τιμές
10	75,39%	89,90%	76,97%	-2.191,90 €	2,89%	9,49%	11	0,25	10,00%	10,00%	25,00%	10,00%	10,00%	10,00%		75,00%	10	PESRmax 75,39%
15	73,13%	89,12%	72,72%	-6.549,23 €	-0,12%	7,12%	14	0,24	9,91%	9,45%	74,70%	-0,41%	7,50%	7,50%		108,65%	15	ACSRmax 89,90%
																0,00%	0	CDEERmax 76,97%
																0,00%	0	NPVmax -2.191,90 €
																0,00%	0	IRRmax 2,89%
																0,00%	0	ROImax 9,49%
																0,00%	0	PBPmin 11
																0,00%	0	
																0,00%	0	
																0,00%	0	Βέλτιστη Λύση
																0,00%	0	Ισχύς ΓΑΘ 15

Εικόνα 8.6-29 Πίνακας Πολυκριτηριακής Βελτιστοποίησης

9.4.2 Βιομάζα – Ηλιακός Συλλέκτης

Το επόμενο υβριδικό σύστημα αποτελεί το σύστημα Βιομάζας-Ηλιακού Συλλέκτη. Το παρόν σύστημα εκμεταλλεύεται το χαμηλό κόστος εγκατάστασης του λέβητα βιομάζας και την δωρεάν ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο.

Για το σχεδιασμό του συγκεκριμένου συστήματος, ο στόχος είναι να καλυφθεί όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια είναι εφικτό από τους ηλιακούς συλλέκτες και , σε περιπτώσεις όπου αυτή η ενέργεια δεν επαρκεί για να καλύψει το φορτίο, να συμβάλει ο λέβητας βιομάζας.

Επομένως η λογική της αποτύπωσης των δεδομένων είναι παρόμοια με την ανάλυση που έγινε στα παραπάνω συστήματα. Η διαφορά έγκειται στο ότι πρέπει να προσδιοριστεί το ηλιακό δυναμικό της περιοχής για να προσδιοριστεί η παραγωγή ενέργειας από τον ήλιο σύμφωνα με την σχέση 5.3-1.

Στοιχεία Δυναμικότητας	
Επιφάνεια Ηλιακού Συλλέκτη (m ²)	2
Ισχύς Βιομάζας (kW)	19,72451613
Μονάδα Αποθήκευσης Μέγιστη(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	15,03387097
Μονάδα αποθήκευσης(Δυναμικότητα)(L)	683,4354344
Μονάδα Αποθήκευσης Σχεδιασμού(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	15,03387097
Υπολογισμός	
Στοιχεία Λειτουργίας	
Κόστος Υφιστάμενου συστήματος	1.253,09 €
Συνολικές kWh _{Th} Κτιρίου	11364
Συνολικές kWh _{Th} Ηλιακού Συλλέκτη	228,627
Συνολικές kWh _{Th} Βιομάζα	4220,584011
Συνολική Κατανάλωση Βιομάζας	360,73 €
Δείκτες Αξιολόγησης	
PESR	71,30%
ACSR	71,21%
CDEER	100,00%
NPV	6.046,28 €
IRR	29%
ROI	41,50%
PBP(ΕΤΗ)	2
Συντελεστές Κάλυψης	
Κάλυψη Φορτίου του Κτηρίου Βιομάζα	37,14%
LCOE	0,03 €
O/M	763,22 €
Κόστος Συστήματος	2.473,10 €
Δείκτες Αξιολόγησης (ΑΠΕ)	
PESR	71,30%
ACSR	71,21%
CDEER	100,00%

Εικόνα 8.6-30 Πίνακας Χαρακτηριστικών Στοιχείων ΒΙΟΜΑΖΑ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Επομένως σχεδιάζεται το σύστημα παίρνοντας διάφορες επιφάνειες ηλιακών συλλεκτών και προσδιορίζοντας κάθε φορά την οικονομική αξιολόγηση της κάθε περίπτωσης. Από την παραπάνω αξιολόγηση προσδιορίζεται ο βέλτιστος συνδυασμός.

	Ωρα	Προφίλ Κτιρίου (kW)	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Ηλιακή Ακτινοβολία(W/m ²)	Παραγόμενη Ισχύς Συλλέκτη (kW)	Παρεχόμενη Ισχύς(kW)
Ιανουάριος	12:00:00 πμ	0	8,93	0	0	0
	1:00:00 πμ	0	8,92	0	0	0
	2:00:00 πμ	0	8,86	0	0	0
	3:00:00 πμ	0	8,64	0	0	0
	4:00:00 πμ	0	8,41	0	0	0
	5:00:00 πμ	0	8,18	0	0	0
	6:00:00 πμ	0	8,05	0	0	0
	7:00:00 πμ	7,632580645	7,93	9,52	-0,28779	0
	8:00:00 πμ	11,33322581	7,8	403	0,3023	0,3023
	9:00:00 πμ	11,33322581	9,16	557,94	0,53607	0,53607
	10:00:00 πμ	0	10,51	658,95	0,688935	0
	11:00:00 πμ	0	11,86	691,75	0,739485	0
	12:00:00 μμ	0	12,3	695,48	0,74552	0
	1:00:00 μμ	0	12,74	671,98	0,71071	0
	2:00:00 μμ	0	13,18	579	0,57168	0
	3:00:00 μμ	0	12,9	434,31	0,354365	0
	4:00:00 μμ	0	12,63	266,51	0,102395	0
	5:00:00 μμ	0	12,36	0	0	0
	6:00:00 μμ	8,557741935	11,58	0	0	0
	7:00:00 μμ	14,10870968	10,8	0	0	0
	8:00:00 μμ	11,33322581	10,02	0	0	0
	9:00:00 μμ	15,03387097	9,66	0	0	0
10:00:00 μμ	13,18354839	9,3	0	0	0	
11:00:00 μμ	0	8,95	0	0	0	

Εικόνα 8.6-32 Πίνακας Προσομοίωσης 1 (ΒΙΟΜΑΖΑ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)

Στάθμη Δεξαμένης Αποθήκευσης(kWh)	Ισχύς Βιομάζας(kW)	Ωρες Λειτουργίας Βιομάζας(h)	Ωρες Λειτουργία του υφιστάμενου(h)	kWh SC
0	0	0,000	0,000	0,000
0	0	0,000	0,000	0,000
0	0	0,000	0,000	0,000
0	0	0,000	0,000	0,000
0	0	0,000	0,000	0,000
0	0	0,000	0,000	0,000
0	0	0,000	0,000	0,000
7,632580645	7,632580645	0,387	0,283	0,000
11,33322581	3,398345161	0,172	0,420	0,302
0,53607	0	0,000	0,420	0,536
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
0,53607	0	0,000	0,000	0,000
8,557741935	8,021671935	0,407	0,317	0,000
14,10870968	5,550967742	0,281	0,523	0,000
2,775483871	0	0,000	0,420	0,000
15,03387097	12,2583871	0,621	0,557	0,000
1,850322581	0	0,000	0,488	0,000

Εικόνα 8.6-31 Πίνακας Προσομοίωσης 2(ΒΙΟΜΑΖΑ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)

9.4.3 Αντλία Θερμότητας – Ηλιακός Συλλέκτης

Στην παρούσα εγκατάσταση αποτυπώνεται το σύστημα που αναλύθηκε στην ενότητα με τα υβριδικά συστήματα. Η ηλιακή υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας αποτελεί μια εύχρηστη λύση, λόγω της υψηλής απόδοσης και της ευελιξίας που έχει σαν σύστημα.

Βέβαια αξίζει να τονισθεί ότι χάριν απλότητας και μείωσης του υπολογιστικού χρόνου, ο σχεδιασμός έγινε με το ίδιο σκεπτικό των παραπάνω συστημάτων και όχι με το σκεπτικό που θέλει την βέλτιστη λύση να προσδιορίζεται με βάση το COP. Αυτό συμβαίνει διότι στον σωστό σχεδιασμό μιας Αντλίας Θερμότητας υποβοηθούμενης από τον ηλιακό συλλέκτη, χρειάζεται να πραγματοποιηθεί ανάλυση σε κομμάτια μικροσκοπικής λειτουργίας και των δύο συστημάτων, κάτι που θα κόστιζε σε υπολογιστικό χρόνο και κάτι το οποίο πρέπει να αποφευχθεί στο σχεδιασμό του συγκεκριμένου προγράμματος.

Στοιχεία Δυναμικότητας	
Επιφάνεια Ηλιακού Συλλέκτη (m ²)	5
Ονομαστική Ισχύς ΑΘ1(kW)	8
Ονομαστική Ισχύς ΑΘ2(kW)	0
Αριθμός Μόναδων	2
Μονάδα Αποθήκευσης Μέγιστη(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	15,03387097
Μονάδα αποθήκευσης(Δυναμικότητα)(L)	683,4354344
Μονάδα Αποθήκευσης Σχεδιασμού(Αποθηκευμένη Ενέργεια)kWh	15,03387097
Φορτίο Σχεδιασμού	22,5
Υπολογισμός	
Στοιχεία Λειτουργίας	
Κόστος Υφιστάμενου συστήματος	1.253,09 €
Συνολικές kWhTh Κτιρίου	11364
Συνολικές kWh _{Th} Ηλιακού Συλλέκτη	3476,491
Συνολικές kWh _{Th} Αντλία Θερμότητας	5309,58
Συνολικές kWh _{Te} Συστήματος ΑΘ	1608,963636
Κατανάλωση Αντλίας Θερμότητας	160,90 €
Δείκτες Αξιολόγησης	
PESR	89,06%
ACSR	87,16%
CDEER	64,61%
NPV	7.895,37 €
IRR	23%
ROI	25,81%
PBP(ΕΤΗ)	4
Συντελεστές Κάλυψης	
LCOE	0,01 €
O/M	212,90 €
Κόστος Συστήματος	4.866,87 €
Δείκτες Αξιολόγησης	
PESR	99,99%
ACSR	100,00%
CDEER	117,65%

Εικόνα 8.6-33 Πίνακας Χαρακτηριστικών(ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)

Επομένως η λογική στον σχεδιασμό του συγκεκριμένου συστήματος είναι να σχεδιαστεί ένα σύστημα το οποίο θα εκμεταλλεύεται την δωρεάν ενέργεια από τον ήλιο και η αντλία θερμότητας θα καλύπτει της ώρες όπου ο ήλιος δεν μπορεί να παράγει χαμηλή ενέργεια.

	Ώρα	Προφίλ Κτίριου(kW)	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος(°C)	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)	Παραγόμενη Ισχύς Συλλέκτη (kW)	Παρεχόμενη Ισχύς Ηλιακού Συλλέκτη (kW)
Ιανουάριος	12:00:00 πμ	0	8,93	0	0	0
	1:00:00 πμ	0	8,92	0	0	0
	2:00:00 πμ	0	8,86	0	0	0
	3:00:00 πμ	0	8,64	0	0	0
	4:00:00 πμ	0	8,41	0	0	0
	5:00:00 πμ	0	8,18	0	0	0
	6:00:00 πμ	0	8,05	0	0	0
	7:00:00 πμ	7,632580645	7,93	9,52	-0,73137	0,73137
	8:00:00 πμ	11,33322581	7,8	403	0,74405	0,74405
	9:00:00 πμ	11,33322581	9,16	557,94	1,326435	1,326435
	10:00:00 πμ	0	10,51	658,95	1,7065725	1,7065725
	11:00:00 πμ	0	11,86	691,75	1,8309225	1,8309225
	12:00:00 μμ	0	12,3	695,48	1,84535	1,84535
	1:00:00 μμ	0	12,74	671,98	1,757665	1,757665
	2:00:00 μμ	0	13,18	579	1,40943	1,40943
	3:00:00 μμ	0	12,9	434,31	0,8665625	0,8665625
	4:00:00 μμ	0	12,63	266,51	0,2370425	0,2370425
	5:00:00 μμ	0	12,36	0	0	0
	6:00:00 μμ	8,557741935	11,58	0	0	0
	7:00:00 μμ	14,10870968	10,8	0	0	0
8:00:00 μμ	11,33322581	10,02	0	0	0	
9:00:00 μμ	15,03387097	9,66	0	0	0	
10:00:00 μμ	13,18354839	9,3	0	0	0	
11:00:00 μμ	0	8,95	0	0	0	

Εικόνα 8.6-35 Πίνακας Προσομοίωσης 1 (ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)

Αριθμός Μονάδων Λειτουργίας 1	Ηλεκτρική Κατανάλωση(kW)	Ισχύς Λειτουργίας ΑΘ1(kW)	Ισχύς Λειτουργίας ΑΘ2(kW)	Συνολική Ισχύς Λειτουργίας(kW)
2	6,725468506	17,94376214	0	17,94376214
2	6,726531953	17,94125019	0	17,94125019
2	6,732912632	17,9261785	0	17,9261785
2	6,756308454	17,87091564	0	17,87091564
2	6,780767722	17,81314082	0	17,81314082
2	6,805226991	17,75536601	0	17,75536601
2	6,819051795	17,72271068	0	17,72271068
2	6,831813152	17,6925673	0	17,6925673
2	6,845637956	17,65991197	0	17,65991197
2	6,701009238	18,00153695	0	18,00153695
2	6,557443966	18,34064998	0	18,34064998
2	6,413878694	18,67976301	0	18,67976301
2	6,36708705	18,79028874	0	18,79028874
2	6,320295406	18,90081447	0	18,90081447
2	6,273503761	19,0113402	0	19,0113402
2	6,303280262	18,94100565	0	18,94100565
2	6,331993317	18,87318304	0	18,87318304
2	6,360706371	18,80536043	0	18,80536043
2	6,443655195	18,60942846	0	18,60942846
2	6,526604019	18,41349649	0	18,41349649
2	6,609552842	18,21756451	0	18,21756451
2	6,647836915	18,12713437	0	18,12713437
2	6,686120988	18,03670423	0	18,03670423
2	6,723341614	17,94878604	0	17,94878604

Εικόνα 8.6-34 Πίνακας Προσομοίωσης 2 (ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)

Παρεχόμενη Ισχύς ΑΘ (kW)	Στάθμη Δεξαμένης Αποθήκευσης(kWh)	Ωρες Λειτουργία του υφιστάμενου(h)	kWh ΑΘ	Επιφάνεια Ηλιακού Συλλέκτη(m ²)
17,94376214	15,03387097	0,000	0,000	5
	15,03387097	0,000	0,000	5
0	15,03387097	0,000	0,000	5
0	15,03387097	0,000	0,000	5
0	15,03387097	0,000	0,000	5
0	15,03387097	0,000	0,000	5
0	15,03387097	0,000	0,000	5
0	8,132660323	0,283	0,000	5
17,65991197	15,03387097	0,420	11,333	5
0	5,027080161	0,420	0,000	5
0	6,733652661	0,000	0,000	5
0	8,564575161	0,000	0,000	5
0	10,40992516	0,000	0,000	5
0	12,16759016	0,000	0,000	5
0	13,57702016	0,000	0,000	5
0	14,44358266	0,000	0,000	5
0	14,68062516	0,000	0,000	5
0	14,68062516	0,000	0,000	5
0	6,122883226	0,317	0,000	5
18,41349649	10,42767003	0,523	14,109	5
18,21756451	15,03387097	0,420	11,333	10
18,12713437	15,03387097	0,557	15,034	10
0	1,850322581	0,488	0,000	10
0	1,850322581	0,000	0,000	10

Εικόνα 8.6-36 Πίνακας Προσομοίωσης 3 (ΑΘ-ΗΛ.ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ)

Για τον σωστό σχεδιασμό χρειάζεται τόσο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος όσο και η ηλιακή ακτινοβολία. Η αποτύπωση των δεδομένων παραμένει ίδια με τον σχεδιασμό των παραπάνω συστημάτων.

Οι συνδυασμοί που αξιολογούνται λαμβάνουν τιμές μεταβαλλόμενες μέχρι την μέγιστη διαθέσιμη έκταση για ηλιακούς συλλέκτες και για κάθε συνδυασμό Αντλίας Θερμότητας.

9.5 Προσομοίωση Monte Carlo

Στο συγκεκριμένο φύλλο πραγματοποιείται η προσομοίωση Monte Carlo για να φανεί πώς συμπεριφέρεται η παρούσα επένδυση σε διάφορα σενάρια. Η προσομοίωση πραγματοποιείται για 20 χρόνια, η κάθε μεταβλητή παίρνει διαφορετική τιμή για κάθε χρόνο και όλο αυτό γίνεται για 100 επαναλήψεις.

Ο χρήστης στο συγκεκριμένο φύλλο αρκεί να πατήσει το «Προσομοίωση Monte Carlo» που βρίσκεται πάνω αριστερά.

Τότε το πρόγραμμα παραλαμβάνει τις τιμές του NPV για κάθε σύστημα που έχουν προκύψει από την προσομοίωση Monte Carlo και τις τοποθετεί έτσι ώστε να υπολογιστεί η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δηλαδή πόσο συχνά εμφανίζεται η κάθε τιμή της καθαρής παρούσας αξίας. Μέσα από τις διάφορες μεταβολές σε παραμέτρους θα γίνει εμφανές ποιες είναι οι πιο πιθανές τιμές που θα έχει η καθαρά παρούσα αξία.

Επίσης υπολογίζεται η αθροιστική πιθανότητα έτσι ώστε να μπορεί να προβλεφθεί το ποσοστό ώστε να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη τιμή καθαρής παρούσας αξίας ή και καλύτερη τιμή από αυτήν.

9.6 Ανάλυση Ευαισθησίας

Το επόμενο βήμα είναι οι πίνακες ευαισθησίας. Ο κάθε συνδυασμός υβριδικού συστήματος έχει έναν πίνακα ο οποίος εμφανίζει διάφορα χαρακτηριστικά για διαφορετικές μεταβλητές του συστήματος, καθώς και της στατικής τιμής των οικονομικών δεικτών.

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα η ανάλυση ευαισθησίας γίνεται σε 5 μεταβλητές της επένδυσης. Η πρώτη μεταβλητή αφορά την επιδότηση του συστήματος. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ενδιαφέρει τον χρήστη σε μεγάλο βαθμό κατά τον σχεδιασμό του συστήματος, γιατί μπορεί να παρατηρήσει πότε μια επένδυση μπορεί να γίνει συμφέρουσα ώστε να αξίζει να υλοποιηθεί, αφού μπορεί να δει σε τι επιδοτήσεις μπορεί να στοχεύει. Επίσης σε πολλά προγράμματα επιδοτήσεων η κατασκευή του συστήματος προηγείται της επιδότησης του και δεν υπάρχει γνώση του ποσοστού της επιδότησης από την αρχή, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η ασφαλής πρόβλεψη της πορείας της επένδυσης, σε κάθε πιθανή τιμή της επιδότησης.

Η δεύτερη μεταβλητή αφορά την μεταβολή του προεξοφλητικού επιτοκίου σε πιθανές τιμές που μπορεί να έχει έτσι ώστε να ληφθεί υπόψιν η καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης του συστήματος σε κάθε πιθανή περίπτωση.

Η επόμενη μεταβλητή αφορά την τιμή του πετρελαίου. Η τιμή του πετρελαίου είναι μια μεταβαλλόμενη τιμή σε βάθος χρόνου, για αυτό η στατική τιμή δεν μπορεί να δώσει ασφαλή συμπεράσματα. Πολλές φορές παρατηρείται η τιμή του πετρελαίου να αλλάζει τιμές ακόμα και από χρόνο σε χρόνο, με αποτέλεσμα η επένδυση να αξιολογείται με μια τιμή που θα είναι πολύ διαφορετική μετά από ένα χρόνο. Αυτό δημιουργεί ένα σημαντικό θέμα όσον αφορά την αξιολόγηση της επένδυσης, γιατί οι προβλέψεις δεν θα ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Μια παρόμοια διακύμανση έχει η τιμή της βιομάζας, καθώς και αυτή αποτελεί έναν εξωτερικό παράγοντα που ο σχεδιαστής του συστήματος δεν μπορεί να γνωρίζει σε βάθος χρόνου. Επομένως και αυτή εξετάζεται σε διάφορες τιμές και πώς επηρεάζει τους δείκτες της επένδυσης.

Τελευταία μεταβλητή αποτελεί η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος. Η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως οι φόροι και εάν η κατανάλωση ικανοποιείται από δίκτυο ή από ΑΠΕ. Στην συγκεκριμένη εργασία στο πρόγραμμα αξιολογείται ότι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος προέρχεται από το δίκτυο καθώς υπάρχει ο περιορισμός στην κάλυψη των θερμικών φορτίων. Παρόλα αυτά υπολογίζεται και η συμπεριφορά της επένδυσης, σε περίπτωση που η κάλυψη της κατανάλωσης προερχόταν από ΑΠΕ, έτσι ώστε να μπορεί ο σχεδιαστής να αξιολογήσει εάν αξίζει η μελέτη ενός συστήματος ΑΠΕ για την ηλεκτρική κάλυψη των αναγκών του θερμικού φορτίου.

Έτσι γίνεται αντιληπτή η σημαντικότητα που έχει η αξιολόγηση της επένδυσης, μεταβάλλοντας σημαντικές παραμέτρους που την επηρεάζουν, διότι μπορούν να προκύψουν σημαντικά αποτελέσματα για την ασφάλεια που έχει η επένδυση. Για αυτό λόγο το πρόγραμμα εμφανίζει το ποσοστό κατά το οποίο η επένδυση θα επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα, ανεξάρτητα με τις μεταβολές που έχουν οι παράμετροι.

Επίσης μπορεί κανείς να το παρατηρήσει οπτικά από την χρωματική μορφοποίηση που έχουν τα κελιά, εάν το σύστημα θα πιάνει τους στόχους σε κάθε τιμή. Τα κελιά με πράσινο χρώμα αποτελούν

της επιθυμητές τιμές ενώ αυτές με κόκκινο χρώμα αποτελούν της μη αποδεκτές τιμές, βάσει των ορισθέντων στόχων.

Τέλος εμφανίζονται και οι τιμές διακύμανσης που έχουν τα αποτελέσματα με βάση τον στατικό υπολογισμό. Έτσι εκτιμάται η μεγάλη επίδραση που έχουν αυτές οι παράμετροι στα αποτελέσματα που θα υπάρξουν, τόσο κατά την αύξηση όσο και κατά την μείωση των παραμέτρων αυτών.

Για να εμφανιστούν οι σωστές τιμές ο χρήστης πρέπει να πατήσει το κουμπί που λέει υπολογισμός και βρίσκεται στο κάτω αριστερά σημείο της οθόνης.

Αντλία Θερμότητας - Βιομάζα				NPV	PBP	IRR	ROI
Στατική Τιμή				1.585,34 €	6	11,01%	16,12%
Πιθανότητα Επιτυχίας Στόχου Σε Πιθανή Μεταβολή				71,43%	100,00%	85,71%	100,00%
Επιδότηση	Κόστος Αρχικού Ιδίου Κεφαλαίου		Διακύμανση ως προς την μείωση	123%	0%	63%	44%
			Διακύμανση ως προς την αύξηση	62%	0%	71%	67%
0,00%	-4.608,20 €		-100,00%	-365,22 €	6	4,08%	8,96%
10,00%	-4.096,18 €		-75,00%	122,42 €	6	5,33%	10,08%
20,00%	-3.584,16 €		-50,00%	610,06 €	6	6,83%	11,52%
30,00%	-3.072,13 €		-25,00%	1.097,70 €	6	8,66%	13,44%
40,00%	-2.560,11 €		0,00%	1.585,34 €	6	11,01%	16,12%
50,00%	-2.048,09 €		25,00%	2.072,98 €	6	14,17%	20,16%
60,00%	-1.536,07 €		50,00%	2.560,62 €	6	18,84%	26,87%
Προεξοφλητικό Επιτόκιο				26%			
Πιθανότητα Επιτυχίας Στόχου Σε Πιθανή Μεταβολή				55,56%			
				Διακύμανση ως προς την αύξηση			
4,00%			-20,00%	2.004,22 €			
5,00%			0,00%	1.585,34 €			
6,00%			20,00%	1.222,67 €			
7,00%			40,00%	907,79 €			
8,00%			60,00%	633,62 €			
9,00%			80,00%	394,29 €			
10,00%			100,00%	184,83 €			
11,00%			120,00%	1,08 €			
12,00%			140,00%	-160,47 €			
Τιμή Πετρελαίου				Διακύμανση ως προς την μείωση			
				161%	99%	95%	50%
Πιθανότητα Επιτυχίας Στόχου Σε Πιθανή Μεταβολή				63,64%	72,73%	72,73%	100,00%
Κόστος Υφιστάμενου Συστήματος				107%			
0,70	502,08 €		-30,00%	-968,54 €	12	0,55%	8,12%
0,75	537,94 €		-25,00%	-542,90 €	10	2,62%	9,45%
0,80	573,80 €		-20,00%	-117,25 €	9	4,51%	10,79%
0,85	609,67 €		-15,00%	308,40 €	8	6,26%	12,12%
0,90	645,53 €		-10,00%	734,04 €	7	7,91%	13,46%
0,95	681,39 €		-5,00%	1.159,69 €	6	9,49%	14,79%
1,00	717,25 €		0,00%	1.585,34 €	6	11,01%	16,12%
1,05	753,12 €		5,00%	2.010,98 €	5	12,48%	17,46%
1,10	788,98 €		10,00%	2.436,63 €	5	13,92%	18,79%
1,15	824,84 €		15,00%	2.862,28 €	5	15,33%	20,13%
1,20	860,71 €		20,00%	3.287,92 €	4	16,72%	21,46%
Τιμή Βιομάζας				Διακύμανση ως προς την μείωση			
				33%	9%	16%	10%
0,25	72,85 €		-28,57%	1.931,17 €	6	12,21%	17,21%
0,30	87,42 €		-14,29%	1.758,26 €	6	11,61%	16,67%
0,35	101,98 €		0,00%	1.585,34 €	6	11,01%	16,12%
0,40	116,55 €		14,29%	1.412,42 €	6	10,39%	15,58%
0,45	131,12 €		28,57%	1.239,50 €	6	9,78%	15,04%
0,50	145,69 €		42,86%	1.066,58 €	7	9,15%	14,50%
0,55	160,26 €		57,14%	893,66 €	7	8,51%	13,96%
0,60	174,83 €		71,43%	720,74 €	7	7,86%	13,41%
0,65	189,40 €		85,71%	547,82 €	7	7,20%	12,87%
0,70	203,97 €		100,00%	374,90 €	8	6,52%	12,33%
Τιμή Ηλ.Ρευματος				Διακύμανση ως προς την μείωση			
				136%	30%	65%	42%
Πιθανότητα Επιτυχίας Στόχου Σε Πιθανή Μεταβολή				60,00%	66,67%	73,33%	100,00%
Κόστος Κατανάλωσης ΑΘ				150%			
0,00	0,00 €		-59%	3.743,36 €	4	18,18%	22,89%
0,08	145,46 €		-12%	2.016,94 €	5	12,50%	17,48%
0,09	163,64 €		-6%	1.801,14 €	6	11,76%	16,80%
0,10	181,82 €		0%	1.585,34 €	6	11,01%	16,12%
0,11	200,01 €		6%	1.369,53 €	6	10,24%	15,45%
0,12	218,19 €		12%	1.153,73 €	6	9,46%	14,77%
0,13	236,37 €		18%	937,93 €	7	8,67%	14,10%
0,14	254,55 €		24%	722,13 €	7	7,86%	13,42%
0,15	272,74 €		29%	506,32 €	7	7,04%	12,74%
0,16	290,92 €		35%	290,52 €	8	6,19%	12,07%
0,17	309,10 €		41%	74,72 €	8	5,31%	11,39%
0,18	327,28 €		47%	-141,09 €	9	4,40%	10,71%

Εικόνα 8.6-37 Πίνακας Ανάλυσης Ευαισθησίας ΑΘ-ΒΙΟΜΑΖΑΣ

9.7 Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Το επόμενο βήμα είναι η πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση, για να επιλεγθεί η βέλτιστη λύση λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους αξιολόγησης. Το συγκεκριμένο φύλλο εμφανίζει την βέλτιστη λύση λαμβάνοντας υπόψη όλους του οικονομικούς δείκτες αξιολόγησης όσο και τους τεχνικούς δείκτες, με βάση την αναλογία βαρών που έχει εισάγει ο χρήστης από το φύλλο με τα δεδομένα.

Η λύση εμφανίζεται στο τέλος του πίνακα σε ποσοστό. Το συγκεκριμένο ποσοστό αποτελεί την συνολική βαθμολογία που έχει συγκεντρώσει το σύστημα σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα.

		Monte Carlo	Βαθμολογία Λύσης
1,5%	1,5%	6%	86%
0,0%	0,0%	6%	37%
0,0%	0,1%	0%	-77%
0,0%	0,8%	6%	-18%
0,1%	1,2%	6%	25%

Εικόνα 8.6-38 Ποσοστά Βέλτιστης Λύσης

9.8 Dashboard

Το επόμενο φύλλο εργασίας αποτελεί το dashboard, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματα για κάθε σύστημα αλλά και να κάνει την σύγκριση μεταξύ του κάθε υβριδικού συστήματος σε επιμέρους δείκτες και στοιχεία.

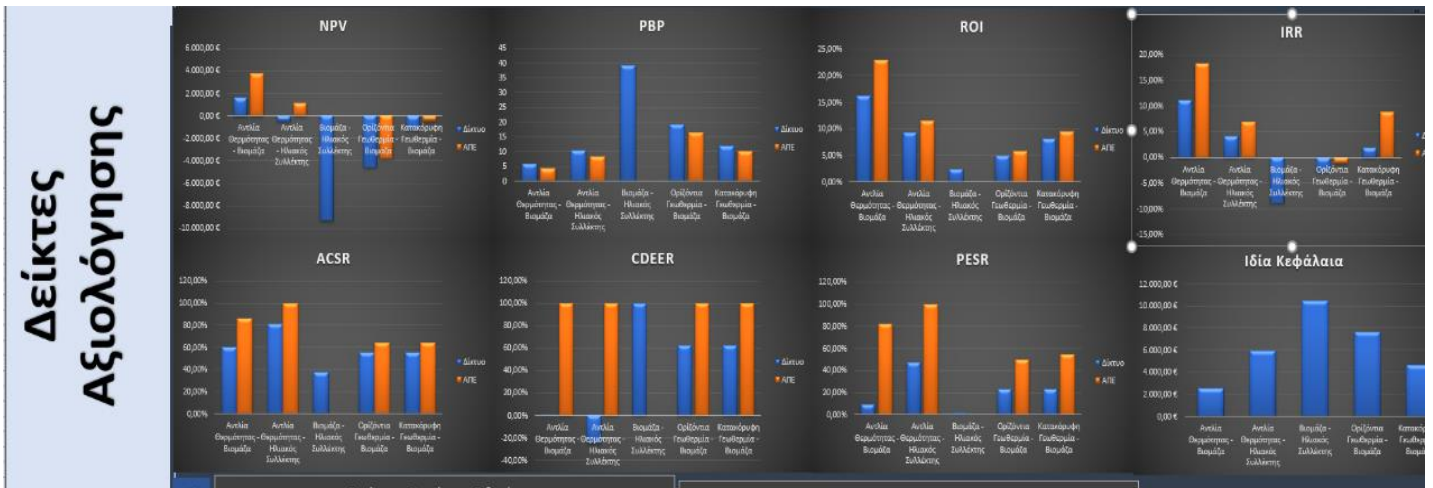
Η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων βοηθάει σε μεγάλο βαθμό τον χρήστη να καταλήξει σε διάφορα συμπεράσματα για κάθε λύση, κοιτώντας μόνο τα διαγράμματα και τα σχήματα, κάτι που δεν θα μπορούσε να καταλάβει μέσω της πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης. Η πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση γίνεται κάθε φορά, δίνοντας την βαρύτητα σε κάθε παράμετρο που έχει ορίσει ο χρήστης, έτσι η βέλτιστη λύση που εμφανίζει το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη την κρίση του σχεδιαστή άρα και το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα είναι στα δεδομένα που θέλει ο σχεδιαστής.

Στο dashboard αρχικά υπάρχουν συγκεντρωμένα όλα τα αποτελέσματα για κάθε λύση σε μορφή πίνακα. Στην συνέχεια υπάρχει απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα στα οποία μπορεί να γίνει η σύγκριση των τιμών μεταξύ όλων των συνδυασμών. Επίσης μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δεικτών που υπολογίστηκαν, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατανάλωση καλύπτεται από το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και από ΑΠΕ. Αξίζει να τονισθεί ότι στα αποτελέσματα δεν λαμβάνεται υπόψη η διαστασιολόγηση και το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος ΑΠΕ για

την κάλυψη των ηλεκτρικών καταναλώσεων, πάρα μόνο η εξοικονόμηση χρήματων που θα είχε το υβριδικό σύστημα θέρμανσης που σχεδιάζεται εάν χρησιμοποιούσε ηλεκτρικό σύστημα ΑΠΕ για την κάλυψη των αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια.

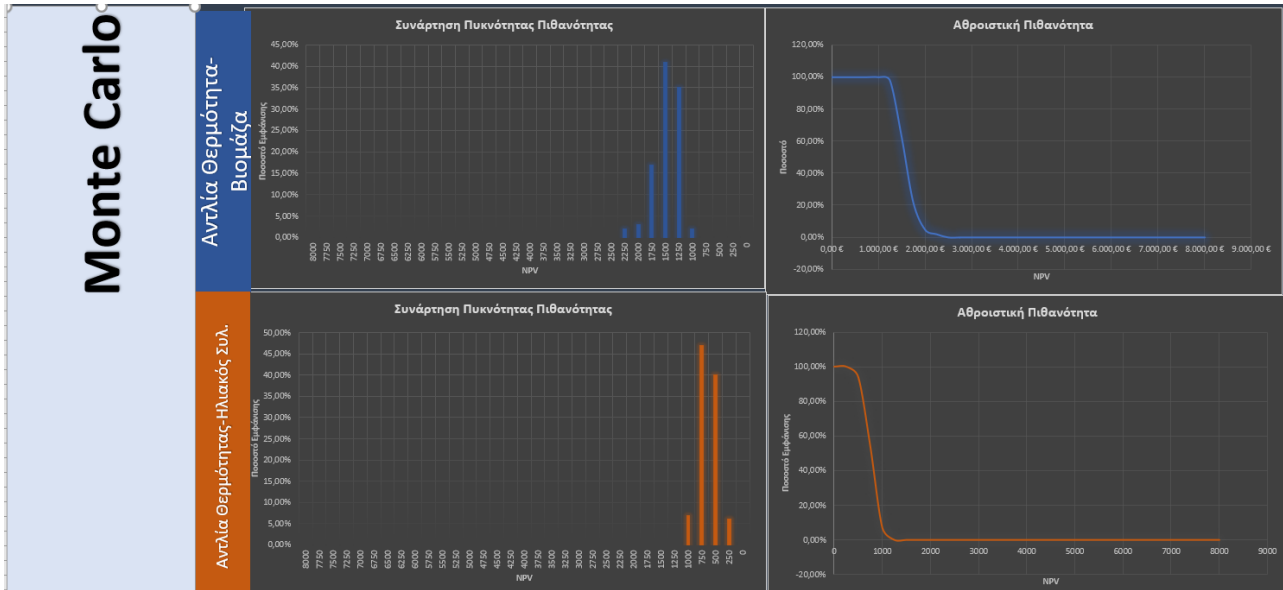
Τιμές	Γενικά Στοιχεία Συστήματος(Αντλία Θερμότητας-Βιομάζα)			
	Αντλία Θερμότητας		Βιομάζα	
	Όνομαστική Ισχύς ΑΘ1	11	Ισχύς Σχεδιασμού	2,34
Όνομαστική Ισχύς ΑΘ2	0	Τελική Ισχύς Σχεδιασμού	2,808	
COP	3			
Θερμοκρασία Κάλυψης	5,0	Περιβαλλοντικοί Δείκτες		
Ισχύς Σχεδιασμού	9,4	CDEER(Δίκτυο)	0,10%	
Αριθμός Μονάδων	1	CDEER(ΑΠΕ)	100,00%	
		Οικονομικοί Δείκτες		
Υβριδικό Σύστημα		NPV	1.585,34 €	
Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος	5.120,22 €	IRR	11,01%	
Ιδία Κεφάλαια	2.560,11 €	ROI	16,12%	
Κόστος Κατανάλωσης	323,15 €	PBP(ΕΤΗ)	6	
Δείκτες Εξοικονόμησης Ενέργειας		ACSR(Δίκτυο)	60,43%	
PESR(Δίκτυο)	9,49%	ACSR(ΑΠΕ)	85,78%	
PESR(ΑΠΕ)	81,82%			

Εικόνα 8.6-39 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα



Εικόνα 8.6-40 Σύγκριση Αποτελεσμάτων με διαγράμματα

Το επόμενο που υπάρχει είναι τα αποτελέσματα από την προσομοίωση Monte Carlo σε διαγράμματα για την καλύτερη απεικόνιση τους και για την εξαγωγή των κατάλληλων συμπερασμάτων.

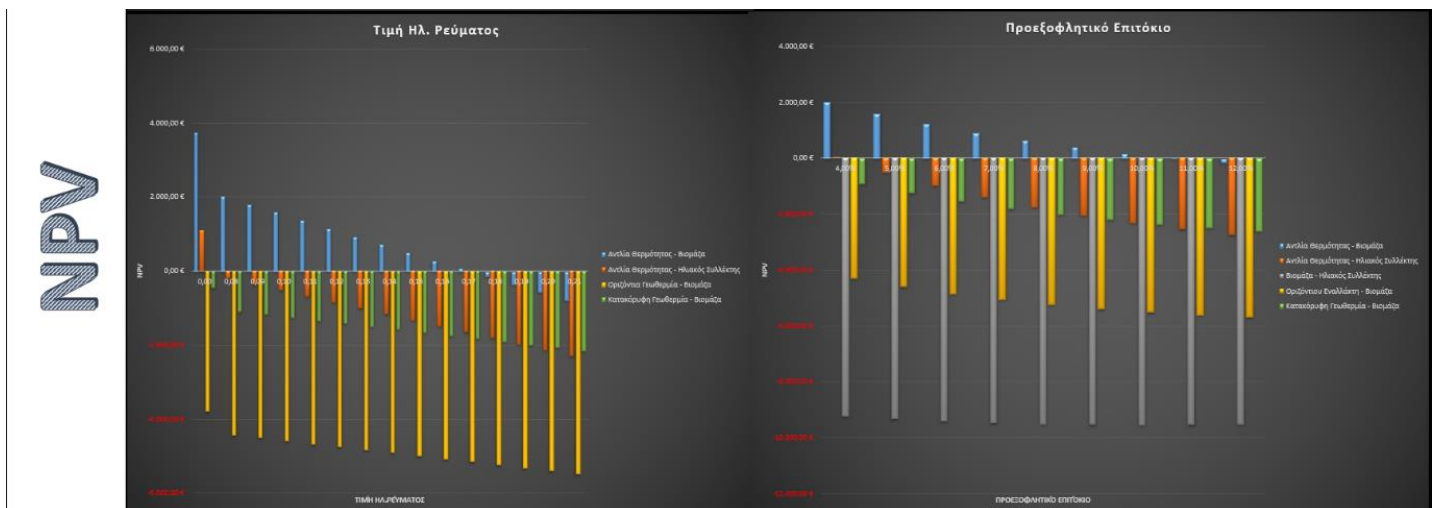


Εικόνα 8.6-41 Διαγράμματα Προσομοίωσης Monte Carlo

9.9 Dashboard Ανάλυσης Ευαισθησίας

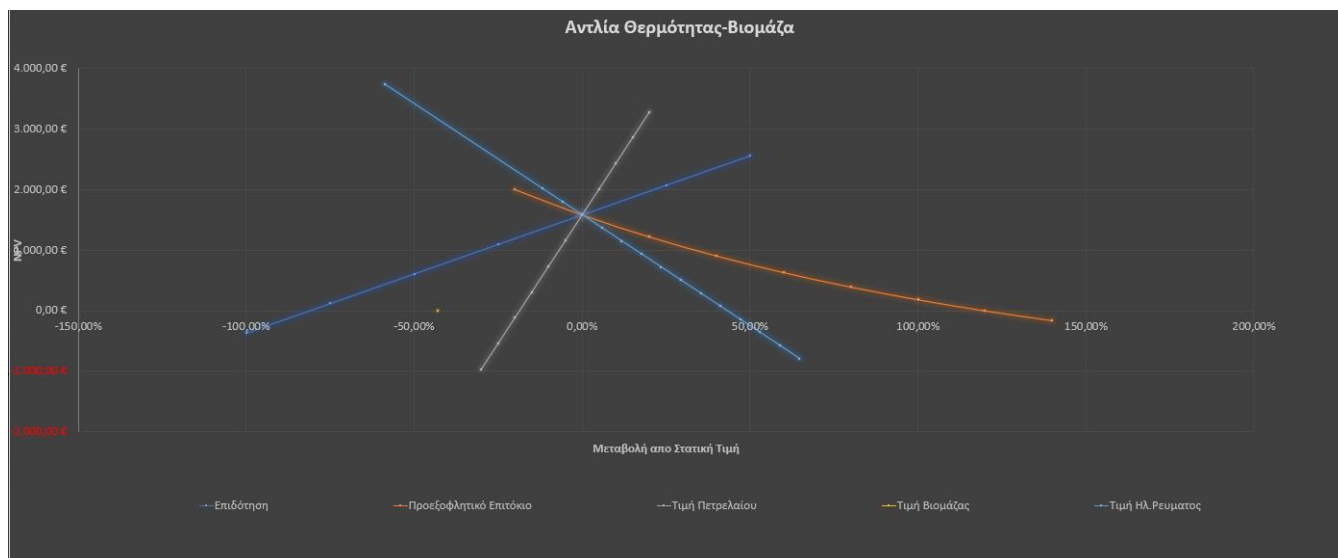
Το συγκεκριμένο φύλλο περιέχει την οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων από την ανάλυση ευαισθησίας.

Ο πρώτος τύπος διαγραμμάτων είναι η τοποθέτηση των αποτελεσμάτων για κάθε δείκτη σε ένα διάγραμμα με μπάρες. Ο κάθε δείκτης έχει το δικό του διάγραμμα στο οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας για κάθε υβριδικό σύστημα. Έτσι ο σχεδιαστής θα μπορεί με μια ματιά να εξάγει το αποτέλεσμα που θα δώσει το κάθε σύστημα και να συγκρίνει με εύκολο τρόπο όλα τα άλλα συστήματα.



Εικόνα 8.6-42 Διάγραμματα Ανάλυσης Ευαισθησίας

Ο δεύτερος τύπος διαγραμμάτων είναι το αραχνοειδές διάγραμμα κατά το οποίο ο σχεδιαστής για κάθε σύστημα και για κάθε δείκτη δείχνει το πώς μεταβάλλεται ο οικονομικός δείκτης σε σχέση με την μεταβολή των παραμέτρων από τη στατική τιμή. Επίσης, μέσα από αυτά, μπορεί να οριστεί το εύρος που θα έχει ο δείκτης αξιολόγησης.



Εικόνα 8.6-43 Αραχνοειδές διάγραμμα Ανάλυση ευαισθησίας

9.10 «Γκρι» Ομάδα

Η συγκεκριμένη ομάδα, όπως έχει αναφερθεί, περιέχει την συνολική οικονομική αξιολόγηση του κάθε συστήματος. Επομένως στις συγκεκριμένες καρτέλες μπορεί ο χρήστης να παρακολουθήσει αναλυτικά την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος.

Αρχικά ο σχεδιαστής μπορεί να δει της ακριβές τιμές του χρηματοδοτικού σχεδιασμού καθώς και τον επιμερισμό του κόστους που χρειάζεται για την υλοποίηση του κάθε συστήματος.

Χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης		
	Ποσοστό συνολικής επένδυσης	Κεφάλαιο
Ιδία Συμετοχή	50,00%	2560,11144
Επίδότηση	40,00%	2048,089152
Ξένα κεφάλαια/Δανειο	10,00%	512,022288
Προεξοφλητικό Επιτόκιο	5,00%	
Ελάχιστος συντελεστής απόδοσης	4,00%	
Αποπληρωμή Δανείου		
Αρχικό δάνειο	512,022288	€
Ετήσιο Επιτόκιο Δανεισμού	3,00%	
Διάρκεια Αποπληρωμής	2	ΕΤΗ
Τόκος	1	1=Απλός Τόκος, 2= Σύνθετος τόκος
Περίοδο Χάριτος	0	ΕΤΗ

Εικόνα 8.6-44 Χρηματοδοτικό σχήμα της Επένδυσης

Κατηγορία Εξόδου	Περιγραφή	Πόσοστο	Κόστος
Εξοπλισμός	Όλος εξοπλισμός που απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος	20,00%	660,67392
Εγκατάσταση εξοπλισμού	Εργατικά έξοδα για την εγκατάσταση του συστήματος	5,00%	165,16848
Δίκτυο Διανομής	Σωληνώσεις για την μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου	20,00%	660,67392
Περιφερειακά Συστήματα	Επιπρόσθετος εξοπλισμός για την λειτουργία του συστήματος	5,00%	165,16848
Βελτιώσεις χώρου	Αλλαγή κάποιου περιβάλλοντα χώρου για την δημιουργία ιδανικών συνθηκών για την λειτουργία του συστήματος	0,00%	0
Υπηρεσίες μηχανικών	Αφορά ολόκληρο το μελετητικό κομμάτι για την δημιουργία του συστήματος	5,00%	165,16848
Συνολικό	5120,22288		

Εικόνα 8.6-45 Επιμέρους Κόστη και συνολικό κόστος συστήματος

Επίσης στο συγκεκριμένο φύλλο υπάρχει ο πίνακας ταμειακών ροών του κάθε συστήματος και έτσι ο χρήστης μπορεί να δει αναλυτικά τα κόστη και τα έσοδα ανά χρόνο επένδυσης.

	0	1	2	3	4	5	6	7					
Αρχικό Κόστος	-2560,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Δόση Δανείου	0,0	-263,7	-263,7	-263,7	-263,7	-263,7	-263,7	-263,7					
Εξοικονόμηση Κόστους	0,0	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4					
Κόστος Συντήρησης	0,0	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1					
Ταμειακή Έκροση		-318,8	-318,8	-318,8	-318,8	-318,8	-318,8	-318,8					
Καθαρή Ταμειακή ροή	-2560,1	114,7	114,7	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3					
Έτος επένδυσης	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4	433,4
	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1
	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1	-55,1
	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3	378,3

Εικόνα 8.6-46 Πίνακας Ταμειακών ροών

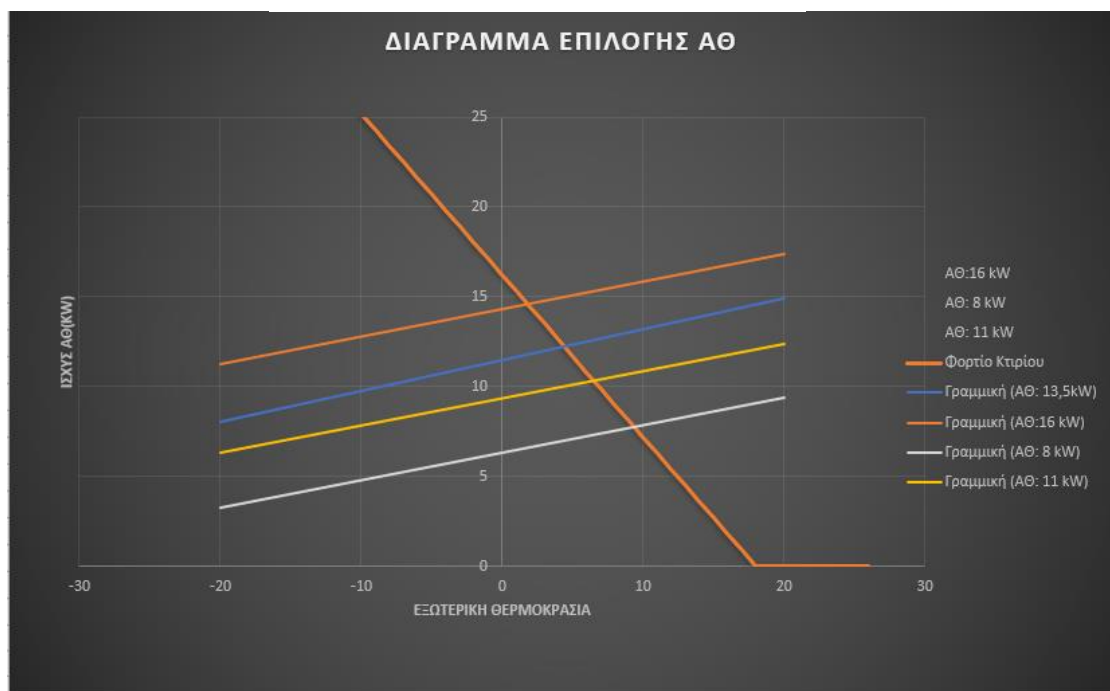
9.11 Αντλία Θερμότητας A-N

Το συγκεκριμένο φύλλο περιλαμβάνει τα δεδομένα αυτά που αφορούν σε μονοσθενή λειτουργία της αντλίας θερμότητας και όχι στο υβριδικό σύστημα.

Ο χρήστης μπορεί να δει το διάγραμμα επιλογής της αντλίας θερμότητας, στο οποίο υπάρχουν οι γραφικές παραστάσεις αποδόσεων για κάθε αντλία θερμότητας, καθώς και η καμπύλη φορτίου του κτηρίου. Με βάση αυτό το διάγραμμα προκύπτει η αποδιδόμενη ισχύς με βάση την εξωτερική θερμοκρασία για αντλίες θερμότητας με διαφορετική ονομαστική ισχύ, καθώς και ο αριθμός των αντλιών θερμότητας που χρειάζονται να συνδεθούν παράλληλα. Η σημαντικότερη τιμή που πρέπει να έχουμε υπόψιν μας για την μονοσθενή λειτουργία αποτελεί η θερμοκρασία κάλυψης εξωτερικής θερμοκρασίας της αντλία θερμότητας.

Μέγεθος ΑΘ Αέρα-Νερού	13,5	kW
Θερμοκρασία κάλυψης	5,3	°C
Επιλεγμένη ισχύς	12,4	kW
Αριθμός Μονάδων	1,00	
Τελική Ισχύς	11,8	kW
Μέγεθος ΑΘ Αέρα-Νερού	16	kW
Θερμοκρασία κάλυψης	2,5	°C
Επιλεγμένη ισχύς	14,7	kW
Αριθμός Μονάδων	1,00	
Τελική Ισχύς	14,0	kW
Μέγεθος ΑΘ Αέρα-Νερού	8	kW
Θερμοκρασία κάλυψης	10,6	°C
Επιλεγμένη ισχύς	8,0	kW
Αριθμός Μονάδων	2,00	
Τελική Ισχύς	7,6	kW
Μέγεθος ΑΘ Αέρα-Νερού	11	kW
Θερμοκρασία κάλυψης	7,5	°C
Επιλεγμένη ισχύς	10,5	kW
Αριθμός Μονάδων	2,00	
Τελική Ισχύς	10,0	kW

Εικόνα 8.6-47 Αναλυτικός Πίνακας Στοιχείων ΑΘ



Εικόνα 8.6-48 Διάγραμμα επιλογής ΑΘ

9.12 Κατ.Γεωθερμία

Εδώ βρίσκεται ο σχεδιασμός του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη. Ο χρήστης μπορεί να δει αναλυτικά όλες εκείνες τις σημαντικές παραμέτρους που καθορίζουν το μήκος του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη.

Διαστασιολόγηση Γεωθερμικού δικτύου (Μονοσθενή)			
Υπολογισμοί Γεωεναλλάκτη			
Cfh	0,82		
Eh(kWh.Btu)	1363,68	4653069,8	
EFL(h)	116,55		
qa(Btu/h)	435,56		
m(kg/s)	0,70		
Vol(m ³ /s)	0,0007		
Nγεω	3		
Βρόγχοι ανα γεώτρησης	1,00		
Vβρ	0,0002		
Din(m.mm.in)	0,0164	16,3574425	0,64284749
Dout(m.mm.in)	0,025	25	0,9825
Fo1	32874,92		
Fo2	271,69		
Fof	3999601,00		
G1	0,89		
G2	0,52		
Gf	1,26		
Rga(hftF/BTU)	0,38		
Rgm(hftF/BTU)	0,38		
Rgd(hftF/BTU)	0,54		
PLFm	0,24		
Παροχή νερού	3,33		
Θερμική αντίσταση	0,15		
Συντελεστής Θερμικών Απωλειών	1,04		
Θερμοκρασία Εδάφους tg	66 °F		
twi	5 °C		41
tw0	10 °C		50
Lh(ft)	776		
Lh(m)	237		

Χαρακτηριστικά Εδάφους	
k(btu/hftF)	0,969
k(W/mk)	1,7
ρ*1000(lb/ft ³)	0,1736
ρ*1000(kg/m ³)	2,8
ag(ft ² /day)	0,773
ag(m ² /s)	8,3E-07
cp(btu/lbF)	0,1752
cp(J/kgK)	730
SDR	SDR9

Φορτίο	
Qy(BTU/h)	435,5613
Qm(BTU/h)	7891,954
Qh(BTU/h)	61418,56

Διορθωση Tr8			
		Ntot	5
Βάθος γεώτρησης	100	a	3,9
Fo1	232,38	b	0,28
Fo2	116,19	c	0,45
Fo1*	232,38	d	0
Fo2*	116,19	E1	6,259
a0	-0,58	E2	5,566
a1	1,00	R	1691,9
a2	0,25	K	0,146
a3	0,06	M	45411,5
a4	-0,001		0,022
a5	0,001	Tr8	0,0223

Εικόνα 8.6-49 Σχεδιασμός κατακόρυφου εναλλάκτη μονοσθενής λειτουργίας

9.13 Οριζόντια Γεωθερμία

Όπως και στην κατακόρυφη γεωθερμία έτσι και εδώ μπορεί να φανεί η συνολική ανάλυση για τον προσδιορισμό της μονοσθενούς λειτουργίας του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Διατασιολόγηση Γεωθερμικού δικτύου (Μονοσθενή)			
Υλικό	Πολυαιθυλένιο		
Θερμική αγωγιμότητα υλικού	0,42		
Βαθός τοποθέτησης εναλλάκτη	2		
m(kg/s)	0,699		
V	0,001		
Din(m.mm.in)	0,030	30	1,173
Dout(m.mm.in)	0,040	40,000	1,572
v(m ² /s)	0,0000011		
μ(Nt*sec/m ²)	0,001139		
κνερου(W/mk)	0,68		
Re	26194		
Pr	7,008		
Nu	171,6		
hw(W/m ² K)	3911,3		
Rconv(mK/W)	0,003		
Rpipe(mK/W)	0,111		
S	1,19		
Rsoil	0,870		
Rtotal	0,984		
Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις	1364		
Fh	0,013		
t _{gmin} (°C)	14		
t _{wi-min} (°C)	10		
Lh1(m)	1995		

Χαρακτηριστικά Εδάφους	
k(btu/hftF)	0,97
k(W/mk)	1,7
ρ*1000(lb/ft ³)	0,174
ρ*1000(kg/m ³)	2,8
αg(ft ² /day)	0,77
αg(m ² /s)	8,32E-07
cp(btu/lbF)	0,1752
cp(J/kgK)	730

Εικόνα 8.6-50 Σχεδιασμός οριζώντιου εναλλάκτη μονοσθενής λειτουργίας

9.14 Ηλιακός Συλλέκτης – Υπολογισμός f

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα του ηλιακού συλλέκτη, ο σχεδιασμός ενός ηλιακού συστήματος προσδιορίζεται από τον συντελεστή κάλυψης f που προσδιορίζεται από την μέθοδο καμπυλών f.

Το φύλλο Ηλιακός Συλλέκτης περιέχει όλα εκείνα τα δεδομένα που χρειάζονται για τον υπολογισμό του f.

Μεταβλητές Σχεδιασμού Ηλιακών Συλλέκτων	
Φορτίο L(J)	3,03E+10
Συνολικό Φορτίο L _{ολ} (J)	3,64E+10
Ολική μέση Ακτινοβολία μήνα σχεδιασμού(J/m ²)	2,28E+08
Μέση Θερμοκρασία (°C)	12,4
Θερμοκρασία σχεδιασμού (°C)	5
(t'a)/(ta)n	0,93
Ώρες του μήνα	2678400
(UA)B	645
K3	1,00
K4	0,996359087
FR(ta)n	0,75
FRUL	5
X_STATIC	0,030764482
Y_STATIC	0,003829542

Εικόνα 8.6-51 Στοιχεία Συστήματος Ηλιακών Συλλεκτών

Το φύλλο υπολογισμού f περιέχει μια μακροεντολή που υπολογίζει το f για κάθε επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη και μονάδας αποθήκευσης, με βάση τα δεδομένα που του έχει εισάγει ο χρήστης. Στο συγκεκριμένο φύλλο ο χρήστης πρέπει να πατήσει το κουμπί που λέει υπολογισμός για να ξεκινήσει η εκτέλεση της μακροεντολής.

Χαρακτηριστικά Στοιχεία		Ιανουάριος			Φεβρουάριος			Μάρτιος			Απρίλιος			Μαΐος	
Μείγση Επιφάνεια Συλλέκτη(m ²)	100	A	M	f	A	M	f	A	M	f	A	M	f	A	M
Βήμα συλλέκτη	10	1	500	0,27%	1	500	0	1	500	0	1	500	0	1	500
Τελική Χωρητικότητα boiler (l)	2000	1	1000	0,29%	1	1000	0	1	1000	0	1	1000	0	1	1000
Βήμα boiler	500	1	1500	0,30%	1	1500	0	1	1500	0	1	1500	0	1	1500
		1	2000	0,31%	1	2000	0	1	2000	0	1	2000	0	1	2000
		10	500	1,71%	10	500	0	10	500	0	10	500	0	10	500
		10	1000	2,06%	10	1000	0	10	1000	0	10	1000	0	10	1000
		10	1500	2,24%	10	1500	0	10	1500	0	10	1500	0	10	1500
		10	2000	2,35%	10	2000	0	10	2000	0	10	2000	0	10	2000
		20	500	2,59%	20	500	0	20	500	0	20	500	0	20	500
		20	1000	0,033959	20	1000	0	20	1000	0	20	1000	0	20	1000
		20	1500	0,038072	20	1500	0	20	1500	0	20	1500	0	20	1500
		20	2000	0,040756	20	2000	0	20	2000	0	20	2000	0	20	2000
		30	500	0,030894	30	500	0	30	500	0	30	500	0	30	500
		30	1000	0,043843	30	1000	0	30	1000	0	30	1000	0	30	1000
		30	1500	0,050504	30	1500	0	30	1500	0	30	1500	0	30	1500
		30	2000	0,05486	30	2000	0	30	2000	0	30	2000	0	30	2000
		40	500	0,033442	40	500	0	40	500	0	40	500	0	40	500
		40	1000	0,051404	40	1000	0	40	1000	0	40	1000	0	40	1000
		40	1500	0,060685	40	1500	0	40	1500	0	40	1500	0	40	1500
		40	2000	0,06677	40	2000	0	40	2000	0	40	2000	0	40	2000
		50	500	0,0344	50	500	0	50	500	0	50	500	0	50	500
		50	1000	0,05731	50	1000	0	50	1000	0	50	1000	0	50	1000
		50	1500	0,069209	50	1500	0	50	1500	0	50	1500	0	50	1500
		50	2000	0,077031	50	2000	0	50	2000	0	50	2000	0	50	2000
		60	500	0,034347	60	500	0	60	500	0	60	500	0	60	500
		60	1000	0,062022	60	1000	0	60	1000	0	60	1000	0	60	1000
		60	1500	0,073746	60	1500	0	60	1500	0	60	1500	0	60	1500

Εικόνα 8.6-52 Υπολογισμός f για διαφορετικές δυναμικότητες

9.15 Βιομάζα

Ο υπολογισμός της ισχύς της βιομάζας αποτελεί έναν εύκολο υπολογισμό ο οποίος για μονοσθενή λειτουργία υπολογίζεται σε αυτό το φύλλο εργασίας.

Συντελεστής Ασφαλείας	Τελική Ισχύς Βιομάζας(kW)
1,2	14,04

Εικόνα 8.6-53 Σχεδιασμός Λέβητα Βιομάζας

9.16 «Πορτοκαλί» ομάδα

Η πορτοκαλί ομάδα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω περιέχει διάφορα δεδομένα που χρειάζονται για τον σχεδιασμό του συστήματος.

Αρχικά υπάρχουν πίνακες με την συχνότητα εμφάνισης της θερμοκρασίας σε κάθε περιοχή. Οι τιμές έχουν προκύψει από στατιστική ανάλυση σε δεδομένα της ΕΜΥ για εξωτερικές θερμοκρασίας 4 χρόνων ανά 3 ώρα. Από αυτούς του πίνακες μπορεί ο σχεδιαστής να αντλήσει στοιχεία για το ποιά είναι η κατάλληλη θερμοκρασία για τον σχεδιασμό του συστήματος.

Το φύλλο με την ονομασία «Πίνακες» περιέχει διάφορους πίνακες που εμπεριέχουν δεδομένα τα οποία είναι απαραίτητα για τον σχεδιασμό του συστήματος.

Το φύλλο με τα «Κλιματολογικά Δεδομένα» περιέχει μέσες τιμές ωριαίας θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας ανά περιοχή, οι οποίες έχουν παρθεί από το JRC.

Τέλος το φύλλο με ονομασία «Χαρακτηριστικά ΑΘ» περιέχει πίνακες με την αποδιδόμενη ισχύς των αντλιών θερμότητας ανά θερμοκρασία νερού καθώς και την εξωτερική θερμοκρασία.

10 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

10.1 Γενικά

Στην παρούσα ενότητα αρχικά θα γίνει μελέτη μίας κατοικίας για να μετατραπεί το κτήριο σε κτήριο μηδενικής ενέργειας όσον αναφορά το ενεργειακό σύστημα που καλύπτει το φορτίο θέρμανσης. Στην συνέχεια θα μελετηθούν διάφορες άλλες περιπτώσεις έτσι ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για το πώς συμπεριφέρονται τα υβριδικά συστήματα σε διάφορες συνθήκες τόσο περιβαλλοντικές όσο και οικονομικές.

10.2 Μελέτη Περίπτωσης

Θα μελετηθεί μια περίπτωση ενός διαμερίσματος το οποίο βρίσκεται στην Αθήνα και πιο συγκεκριμένα στην Αγία Παρασκευή. Τα στοιχεία σχεδιασμού του κτιρίου φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

Η επιθυμητή θερμοκρασία εισάγεται στους 18°C, διότι η συγκεκριμένη θερμοκρασία αποτελεί την χρυσή τομή για θερμοκρασία άνεσης και εξοικονόμησης ενέργειας. Στην συνέχεια η θερμοκρασία σχεδιασμού εισάγεται 3°C, διότι αποτελεί την μέση δυσμενέστερη θερμοκρασία για την Αθήνα. Έπειτα προσδιορίζεται η θερμοκρασία του νερού στους 40 °C διότι έχουμε ενδοδαπέδια θέρμανση.

Πίνακας 8-4 Δεδομένα Μελέτης Περίπτωσης

Δεδομένα Κτηρίου		
Πόλη Κτηρίου	Αθήνα	
Συνολικός Συντελεστής Θερμικών Απωλειών Κτηρίου	1500	W/°C
Επιθυμητή Θερμοκρασία Χώρου	18	°C
Θερμοκρασία σχεδιασμού	3	°C
Θερμοκρασία νερού	40	°C
Είδος Κτηρίου	Κατοικία	

Το υφιστάμενο σύστημα του κτιρίου είναι ένας λέβητας πετρελαίου 20 χρόνων, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8-5 Δεδομένα Υφιστάμενου συστήματος κτιρίου

Χαρακτηριστικά Υφιστάμενου Συστήματος		
Βαθμός Απόδοσης Λέβητα	85%	
Κόστος Πετρελαίου	1,1	€/L
Ισχύς Λέβητα Πετρελαίου	27	kW

Η τιμή του πετρελαίου προσδιορίζεται στο 1,1€/L διότι αποτελεί την τιμή του πετρελαίου σε κανονικότητα.

Τα δεδομένα που εισάγονται για τα διάφορα συστήματα που θα μελετηθούν για την κάλυψη του φορτίου θέρμανσης είναι τα παρακάτω.

Αρχικά, υπάρχουν τα δεδομένα για την γεωθερμία. Τα περισσότερα δεδομένα έχουν αναλυθεί στο ανάλογο κεφάλαιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τύπος του κύριου εδάφους λαμβάνεται βάση του είδους του εδάφους που επικρατεί στην Αθήνα, επειδή είναι δύσκολο να είναι γνωστός στην παρούσα φάση. Η εξωτερική διάμετρος λαμβάνεται ίση με 25mm για την κατακόρυφη γεωθερμία, επειδή η εσωτερική διάμετρος που υπολογίζεται ισούται με 15mm. Στην οριζόντια γεωθερμία η εσωτερική διάμετρος ισούται με 36mm και για αυτό επιλέχθηκε εξωτερική διάμετρο ίση με 40mm.

Το πρόγραμμα υπολογίζει ότι η εγκατάσταση χρειάζεται 6 γεωτρήσεις για την κατακόρυφη γεωθερμία, οι οποίες επιλέχθηκαν να διαταχθούν σε τετραγωνική διάταξη. Άρα υπάρχουν 2 γεωτρήσεις που συνορεύουν με 3 άλλες και 4 γεωτρήσεις που συνορεύουν με άλλες 2. Στην κατακόρυφη γεωθερμία η θερμοκρασία του εδάφους επιλέγεται 19,5°C.

Πίνακας 8-6 Δεδομένα Γεωθερμίας

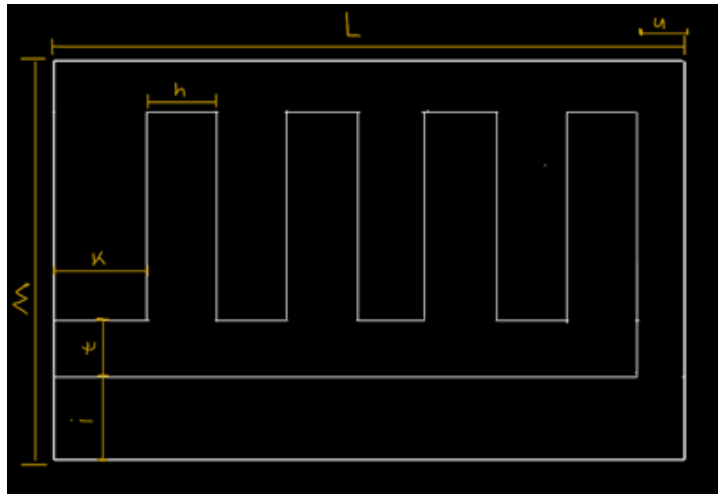
Δεδομένα για γεωθερμία	
COP(average /peak)	6,5-6
Συμπυκνωτής(είσοδος/έξοδος)	45-40
Εξατμιστής(είσοδος/έξοδος)(°C)	5-10
Στοιχεία Εγκατάστασης	
Απόσταση κάθε γεώτρησης	7
Βρόγχοι ανά γεώτρησης/Αριθμός Γεωτρήσεων	1,00
u	1,2
Θερμοκρασία Εδάφους tg(°C)	19,5
N4	0
N3	2
N2	4
N1	0
Τύπος Κύριου Εδάφους	Αμμώλιθος
Εξωτερική διάμετρος Dout για την κατακόρυφη γεωθερμία(mm)	25
SDR	SDR 9
Εξωτερική διάμετρος Dout για την οριζόντια γεωθερμία(mm)	40
Θερμική αγωγιμότητα υλικού	0,42
Βαθός τοποθέτησης εναλλάκτη (οριζόντιος εναλλάκτης)	2
tgmin(°C)	14,0

Στην οριζόντια γεωθερμία επιλέχθηκε βάθος τοποθέτησης 2m, διότι το 1,8m αποτελεί το όριο που καθορίζεται από τον νόμο. Η θερμοκρασία εδάφους επιλέγεται 14°C, διότι σε αυτό το βάθος είναι η επικρατέστερη τιμή.

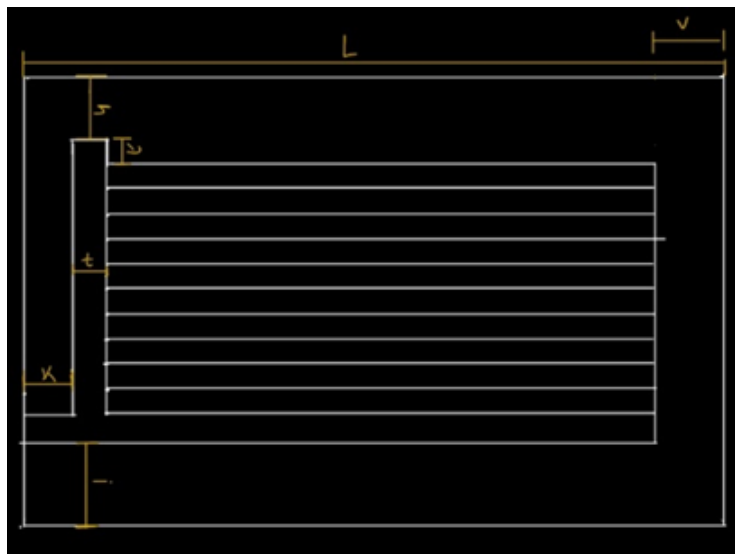
Στα τοπολογικά χαρακτηριστικά η διαθέσιμη έκταση για την τοποθέτηση του γεωθερμικού εναλλάκτη είναι ένα έδαφος 30X30 m και οι αποστάσεις λαμβάνονται με βάση τις παρακάτω εικόνες 10.1-1_4.

Πίνακας 8-7 Τοπολογικά Στοιχεία κτιρίου

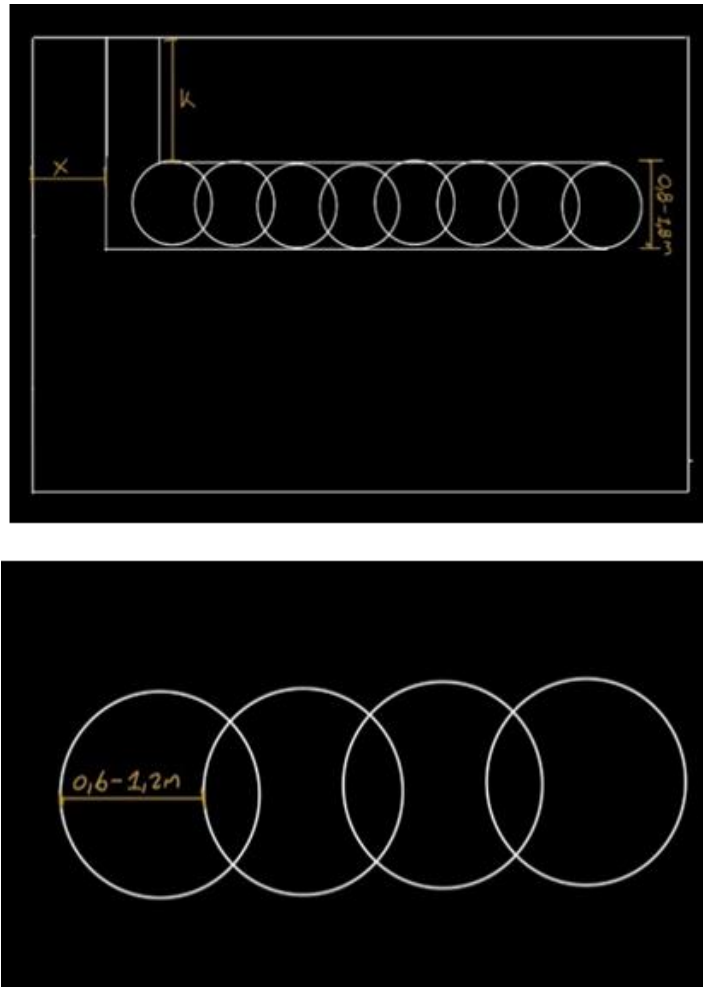
Σύνδεση σε σειρά	
Πλάτος χωραφιού L (m)	30
Μήκος χωραφιού M(m)	30
k(m)	3
h(m)	2
i(m)	2
u(m)	0,5
Παράλληλη σύνδεση	
k(m)	3
h(m)	2
i(m)	2
v(m)	1
x(m)	0,5
Σπειροειδής διάταξη	
Ακτίνα σπείρας R (m)	0,8
K(m)	3
X(m)	2
Επιτρεπόμενη απόσταση (m)	0,8
Απόσταση σπείρας(m)	0,6



Εικόνα 8.6-54 Σύνδεση εναλλάκτη σε σειρά



Εικόνα 8.6-55 Σύνδεση εναλλάκτη σε παράλληλη σύνδεση



Εικόνα 8.6-56 Σύνδεση σε σπειροειδής διάταξη

Τέλος, εισάγονται τα οικονομικά δεδομένα που χρειάζονται για τον καθορισμό του κόστους του συστήματος.

Πίνακας 8-8 Κόστη εγκατάστασης Γεωθερμίας

Κόστη	
Συντήρηση (€/kW)	4
Κόστος Εγκατάστασης Γεωθερμικής ΑΘ(€/kW)	300
Κόστος Γεωθερμικού Κατ εναλλάκτη (€/m)	40
Κόστος Γεωθερμικού Οριζ εναλλάκτη (€/m)	2
Κόστος Σωλήνα (€/m)	6

Τα επόμενα δεδομένα που εισάγονται αφορούν τον ηλιακό συλλέκτη. Τα στοιχεία λαμβάνονται από τεχνικά εγχειρίδια ηλιακών συλλεκτών που υπάρχουν στην αγορά. Η μέγιστη διαθέσιμη έκταση λαμβάνεται ίση 10m^2 .

Πίνακας 8-9 Δεδομένα Ηλιακού Συλλέκτη

Δεδομένα Ηλιακού Συλλέκτη	
F'R/FR	0,88
U	5,8
$\theta_{ref}(\text{°C})$	100
n_0	0,87
Είδος Συλλέκτη	Μαύρο χρώμα- Διπλό Τζάμι
Γωνία κλίσης(μοίρες)	60
Μέγιστη Διαθέσιμη Έκταση	10
Θερμοκρασία σχεδιασμού Ψυκτικού υγρού (°C)	45
Συντήρηση(€/m^2)	4
Κόστος Συλλέκτη(€/m^2)	60
Κόστος Δεξαμενής(l)	2
Φύλλο «Υπολογισμός f»	
Βήμα συλλέκτη (m^2)	10
Μέγιστη Χωρητικότητα boiler (l)	2000
Ελάχιστη Χωρητικότητα boiler (l)	500
Βήμα boiler(l)	1500

Στην συνέχεια εισάγονται δεδομένα που αφορούν μια εμπορική αντλία θερμότητας. Το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος λαμβάνεται ίσο με $0,1 \text{ €}$ διότι αποτελεί την πιο συνηθισμένη τιμή kWh, απαλλαγμένη από φόρους.

Πίνακας 8-10 Δεδομένα Αντλίας Θερμότητας

Δεδομένα για Αντλία Θερμότητας	
COP	3,3
Συντήρηση (€/kW)	4
Κόστος Εγκατάστασης (€/kW)	200
Παρεχόμενη ισχύς από συμπιεστή(kW)	2,2
Κόστος kWh _{Te} (€)	0,1

Στα δεδομένα της Βιομάζας εισάγεται ο συντελεστής ασφαλείας ο οποίος σχεδιάζει τον λέβητα βιομάζας αυξημένο κατά 20% από τις θερμικές απώλειες του κτηρίου.

Πίνακας 8-11 Δεδομένα Βιομάζας

Δεδομένα Βιομάζας	
Συντελεστής ασφαλείας για την διαστασιολόγηση	1,2
Συντήρηση (€/kW)	20
Κόστος Εγκατάστασης (€/kW)	50
Τιμή (€/kg)	0,40
Βαθμός Απόδοσης λέβητα	90,00%

Παρακάτω θα εμφανιστούν τα δεδομένα που εισάγονται για τους στόχους της βελτιστοποίησης του συστήματος, καθώς και τα οικονομικά στοιχεία της εγκατάστασης.

Οι τιμές για την προσομοίωση Monte Carlo λαμβάνονται με βάση την διακύμανση των τιμών στην αγορά. Για παράδειγμα, η τιμή του πετρελαίου είναι εξαιρετικά δύσκολο να πέσει κάτω από 0,7€ και να υπερβεί το 1,4 € στο κοντινό μέλλον. Τα αντίστοιχα ισχύουν και για την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος και της βιομάζας.

Πίνακας 8-12 Στοιχεία για προσομοίωση Monte Carlo

Στοιχεία για προσομοίωση Monte Carlo			
	a	b	c
Παράμετροι μεταβολής	Απαισιόδοξη Τιμή	Φυσιολογική Τιμή	Αισιόδοξη τιμή
Προεξοφλητικό επιτόκιο	12,00%	10,00%	5,00%
Κόστος καυσίμου υφιστάμενου συστήματος	0,7	1,1	1,4
Κόστος Ηλεκτρικό Ρεύμα	0,21 €	0,12 €	0,06 €
Κόστος Βιομάζας	0,70 €	0,35 €	0,20 €

Η αναλογία βαρών που λαμβάνεται υπόψιν για την πολυκριτηριακή του σχεδιασμού λαμβάνεται με το εξής σκεπτικό. Αρχικά, με την αναβάθμιση του συστήματος στόχος είναι να μειωθεί η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, για αυτό και δίνεται περισσότερο βάρος στον PESR που αποτελεί τον δείκτη εξοικονόμησης ενέργειας. Στην συνέχεια δίνεται έμφαση στην οικονομική πλευρά του συστήματος και, ως εκ τούτου, στον δείκτη καθαρής παρούσας αξίας.

Πίνακας 8-13 Στοιχεία Πολυκριτηριακής μεθόδου ανά συνδυασμό

Πολυκριτηριακή Σχεδιασμού	
PESR	25,00%
ACSR	10,00%
CDEER	10,00%
NPV	25,00%
IRR	10,00%
ROI	10,00%
PBP	10,00%

Με παρόμοια λογική λαμβάνεται η αναλογία βαρών στην πολυκριτηριακή, για την επιλογή της βέλτιστης λύσης. Στόχος είναι η βέλτιστη λύση να αποφέρει το μεγαλύτερο κέρδος για αυτό και δίνεται έμφαση κυρίως στους επενδυτικούς δείκτες της επένδυσης.

Πίνακας 8-14 Στοιχεία Πολυκριτηριακής Βέλτιστης λύσης

Πολυκριτηριακή Επιλογής Βέλτιστης		
Δείκτες	Αναλογία βάρους	1=Μεγιστοποίηση 0 =Ελαχιστοποίηση
NPV	15%	1
PBP	10%	0
IRR	10%	1
ROI	8%	1
PESR	9%	1
ACSR	7%	1
CDEER	5%	1
Επιδότηση	6%	0
Προεξοφλητικό Επιτόκιο	6%	0
Τιμ. Πετρελαίου	6%	0
Τιμ. Ηλ. Ρεύματος	6%	0
Τιμ. Βιομάζα	6%	0
Monte Carlo	6%	1
Σύνολο	100%	

Για το χρηματοδοτικό σύστημα λαμβάνονται τιμές οι οποίες προσεγγίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την πραγματικότητα. Επίσης επιλέγεται το δάνειο που θα παρθεί να πληρωθεί με απλό τόκο.

Πίνακας 8-15 Χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης

Χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης		
	Ποσοστό συνολικής επένδυσης	
Ιδία Συμμετοχή	50,00%	
Επιδότηση	40,00%	
Ξένα κεφάλαια/Δάνειο	10,00%	
Προεξοφλητικό Επιτόκιο	5,00%	
Ελάχιστος συντελεστής απόδοσης	4,00%	
Αποπληρωμή Δανείου		
Ετήσιο Επιτόκιο Δανεισμού	3,00%	
Διάρκεια Αποπληρωμής	2	ΕΤΗ
Τόκος	1	1=Απλός Τόκος, 2= Σύνθετος τόκος
Περίοδο Χάριτος	0	ΕΤΗ

Οι στόχοι που εισάγονται βασίζονται σε εφικτές τιμές των παραμέτρων.

Πίνακας 8-16 Οικονομική στόχοι του συστήματος

Οικονομικοί Στόχοι	
NPV	500,00 €
PBP	8
IRR	5,00%
ROI	4,00%

Έπειτα εμφανίζεται ο πίνακας που εισάγονται οι ποσοστιαίες τιμές κόστους που χρειάζονται για κάθε επιμέρους κόστος εργασίας, για την υλοποίηση της συνολικής εγκατάστασης.

Πίνακας 8-17 Επιμέρους Κόστη

		Αντλία Θερμότητας - Βιομάζα	Κατ.Γεωθερμία - Βιομάζα	Οριζόντια Γεωθερμία- Βιομάζα
Κατηγορία Εξόδου	Περιγραφή	Ποσοστό	Ποσοστό	Ποσοστό
Εξοπλισμός	Όλος εξοπλισμός που απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος	20,00%	20,00%	20,00%
Εγκατάσταση εξοπλισμού	Εργατικά έξοδα για την εγκατάσταση του συστήματος	5,00%	10,00%	5,00%
Δίκτυο Διανομής	Σωληνώσεις για την μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου	10,00%	10,00%	10,00%
Περιφερειακά Συστήματα	Επιπρόσθετος εξοπλισμός για την λειτουργία του συστήματος	5,00%	5,00%	5,00%
Βελτιώσεις χώρου	Αλλαγή κάποιου περιβάλλοντα χώρου για την δημιουργία ιδανικών συνθηκών για την λειτουργία του συστήματος	0,00%	5,00%	8,00%
Υπηρεσίες μηχανικών	Αφορά ολόκληρο το μελετητικό κομμάτι για την δημιουργία του συστήματος	5,00%	5,00%	5,00%

Πίνακας 8-18 Επιμέρους Κόστη 2

		Βιομάζα-Ηλιακός Συλλέκτης	Αντλία Θερμότητας – Ηλιακός Συλλέκτης
Κατηγορία Εξόδου	Περιγραφή	Ποσοστό	Ποσοστό
Εξοπλισμός	Όλος εξοπλισμός που απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος	20,00%	20,00%
Εγκατάσταση εξοπλισμού	Εργατικά έξοδα για την εγκατάσταση του συστήματος	7,00%	7,00%
Δίκτυο Διανομής	Σωληνώσεις για την μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου	10,00%	20,00%
Περιφερειακά Συστήματα	Επιπρόσθετος εξοπλισμός για την λειτουργία του συστήματος	5,00%	5,00%
Βελτιώσεις χώρου	Αλλαγή κάποιου περιβάλλοντα χώρου για την δημιουργία ιδανικών συνθηκών για την λειτουργία του συστήματος	10,00%	3,00%
Υπηρεσίες μηχανικών	Αφορά ολόκληρο το μελετητικό κομμάτι για την δημιουργία του συστήματος	5,00%	5,00%

Στο τέλος εισάγονται οι ώρες λειτουργίας του συστήματος με βάση το ωράριο των χρηστών του κτηρίου. Η παραπάνω τιμή εισάγεται, διότι οι χρήστες του συστήματος έχουν απαίτηση για θέρμανση τις πρωινές ώρες μέχρι να αναχωρήσουν για την εργασία τους και στην συνέχεια τις απογευματινές ώρες, που γυρίζουν από αυτήν.

Πίνακας 8-19 Ώρες λειτουργίας θέρμανσης κτηρίου

Ώρες Λειτουργίας Θέρμανσης Κτηρίου	
12:00:00 πμ	0
1:00:00 πμ	0
2:00:00 πμ	0
3:00:00 πμ	0
4:00:00 πμ	0
5:00:00 πμ	0
6:00:00 πμ	0
7:00:00 πμ	1
8:00:00 πμ	1
9:00:00 πμ	1
10:00:00 πμ	0
11:00:00 πμ	0
12:00:00 μμ	0
1:00:00 μμ	0
2:00:00 μμ	0
3:00:00 μμ	0
4:00:00 μμ	0
5:00:00 μμ	0
6:00:00 μμ	1
7:00:00 μμ	1
8:00:00 μμ	1
9:00:00 μμ	1
10:00:00 μμ	1
11:00:00 μμ	0

10.3 Αποτελέσματα

Εισάγοντας τα παραπάνω δεδομένα μέσω της πολυκριτηριακής μεθόδου προσδιορίζεται η βέλτιστη λύση. Τα ποσοστά βαθμολογίας που συγκέντρωσε η κάθε λύση εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8-20 Βαθμολογία Κάθε λύσης

Υβριδικό Σύστημα	Ποσοστιαία Βαθμολογία
Αντλία Θερμότητας - Βιομάζα	69%
Αντλία Θερμότητας – Ηλιακός Συλλέκτης	83%
Κατακόρυφη Γεωθερμία - Βιομάζα	58%
Οριζόντια Γεωθερμία - Βιομάζα	19%
Βιομάζα – Ηλιακός Συλλέκτης	87%

Με βάση την πολυκριτηριακή επένδυση η βέλτιστη λύση είναι η Βιομάζα- Ηλιακός Συλλέκτης, με αρκετά υψηλό ποσοστό. Η δεύτερη λύση είναι η Αντλία Θερμότητας – Ηλιακός Συλλέκτης, η οποία βρίσκεται αρκετά κοντά στην βέλτιστη λύση. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει διαθέσιμη μια ευρύτερη εικόνα για την συμπεριφορά της επενδύσεων. Την εικόνα αυτή την παρέχει το πρόγραμμα στα Dashboard, στα οποία θα αναλυθούν και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα από κάθε λύση για βγουν σημαντικά συμπεράσματα.

10.3.1 Αντλία Θερμότητας - Βιομάζα

Αρχικά, παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι στατικές τιμές των δεικτών της επένδυσης για κάθε υβριδικό σύστημα.

Πίνακας 8-21 Στοιχεία σχεδιασμού Αντλίας Θερμότητας- Βιομάζας

Γενικά Στοιχεία Συστήματος(Αντλία Θερμότητας-Βιομάζα)			
Αντλία Θερμότητας		Βιομάζα	
Ονομαστική Ισχύς ΑΘ1	14,5	Ισχύς Σχεδιασμού	7,5
Ονομαστική Ισχύς ΑΘ2	0		
COP	3,3		
Αριθμός Μονάδων	1	Περιβαλλοντικοί Δείκτες	
		CDEER(Δίκτυο)	4,13%
		CDEER(ΑΠΕ)	100%
Υβριδικό Σύστημα		Οικονομικοί Δείκτες	
Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος	4.631,25 €	NPV	4.514,62 €
Ιδία Κεφάλαια	3.357,17 €	IRR	17,21%
Κόστος Κατανάλωσης	130,33 €	ROI	25,78%
Δείκτες Εξοικονόμησης Ενέργειας		PBP(ΕΤΗ)	4
PESR(Δίκτυο)	32,09%	ACSR(Δίκτυο)	72,52%
PESR(ΑΠΕ)	100,00%	ACSR(ΑΠΕ)	100,00%

Παρατηρείται ότι η παραπάνω λύση αποτελεί μια άριστη επιλογή από την πλευρά των δεικτών.

Αρχικά παρατηρείται ότι τα ίδια κεφάλαια που θα πρέπει να πληρώσει ο ιδιοκτήτης ανέρχονται στα 3640,17€, μια ιδιαίτερα ανταγωνιστική τιμή καθώς τα χρήματα θα ήταν ίδια για οποιοδήποτε άλλο σύστημα συμβατικών καυσίμων τοποθετούσε κάποιος.

Ο δείκτης εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας (PESR) ανέρχεται στο 32,09% και αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο, αφού ο στόχος είναι η μείωση της πρωτογενούς ενέργειας. Από την πλευρά της μείωσης των εκπομπών CO₂ του συστήματος ο δείκτης φθάνει στο 4,13% από το συμβατικό σύστημα. Τέλος από την πλευρά της εξοικονόμησης χρήματων το ποσοστό φθάνει το 72,52%. Οι παραπάνω δείκτες αφορούν την διασύνδεση του συστήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Από την άλλη πλευρά, εάν το σύστημα καλύπτει τις ηλεκτρικές του ανάγκες από ΑΠΕ θα μπορούσαν να μεγαλώσουν οι παραπάνω δείκτες στο μέγιστο δυνατό. Ο δείκτης εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας θα έφτανε το 100% , ο δείκτης εξοικονόμησης εκπομπών CO₂ θα έφτανε το 100% και τέλος ο δείκτης εξοικονόμησης χρήματων θα έφτανε το 100%. Βέβαια στην παρούσα φάση δεν λαμβάνεται υπόψιν το κόστος εγκατάστασης του συστήματος ΑΠΕ παρά μόνο η κάλυψη τους κόστους κατανάλωσης. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι στο παραπάνω υβριδικό σύστημα η βιομάζα έχει ρόλο σταθερότητας, καθώς δεν συμβάλει στις συνθήκες που έχει σχεδιαστεί το

σύστημα. Επειδή όμως θα υπήρχε ο κίνδυνος η αντλία θερμότητας να μην μπορούσε να αποδώσει τα απαραίτητα από μόνη της σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, είναι σημαντική η συμβολή της βιομάζας στο συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα.

Από την επενδυτική πλευρά χαρακτηρίζεται πάλι ως μια άριστη επιλογή. Έχει ένα θετικό NPV που αυτό σημαίνει ότι στα πρώτα 20 χρόνια που γίνεται η ανάλυση, το σύστημα έχει εξοικονομήσει 4514,62€ ικανοποιώντας της ανάγκες σε θέρμανση, κάτι το οποίο σε κάθε περίπτωση θα απαιτούσε παραπάνω χρήματα.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης βρίσκεται στο 17,21%. Ένας δείκτης εσωτερικής απόδοσης στο 8% (39) αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή για ένα επενδυτικό σχέδιο τέτοιου είδους, καθώς δύσκολα υπάρχουν επενδύσεις με μεγαλύτερους εσωτερικούς βαθμούς αποδόσεων, συνδυάζοντας την ασφάλεια στο κεφάλαιο.

Το ROI=25,78% το οποίο αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή για μια ασφαλή επένδυση, αφού ο ROI πρέπει να έχει ελάχιστη τιμή μεταξύ του 4-8% για να θεωρηθεί η επένδυση αξιόλογη (38).

Από την προσομοίωση Monte Carlo διαπιστώνεται ότι αποτελεί μια ασφαλή επένδυση, αφού το ποσοστό από την προσομοίωση κυμαίνεται στο 100% για θετικό NPV.

Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθάει σε μεγάλο βαθμό τον σχεδιαστή να καταλήξει μετά από ποια τιμή βασικών παραμέτρων αρχίζει η επένδυση να γίνεται κερδοφόρα η ζημιογόνα αντίστοιχα. Όπως παρατηρείται στην συγκεκριμένη περίπτωση, η επένδυση ανεξάρτητα από το ποσό της επιδότησης, θα πιάσει του αναμενόμενους στόχους.

Σειρά έχει η τιμή του πετρελαίου που δεν μπορεί να εκτιμηθεί με εύκολο τρόπο για το μέλλον, εξαιτίας της ευκολίας τις μεταβλητότητας που έχει. Εάν ληφθεί υπόψιν η στρατηγική της ΕΕ (3) τότε η πορεία της θα είναι αυξητική. Η επένδυση αρχίζει να είναι κερδοφόρα και να πιάνει τους στόχους που έχουν οριστεί για μια τιμή πετρελαίου μεγαλύτερη από 0,8€ το λίτρο. Από την πλευρά PBP, η επένδυση πιάνει του στόχους ανεξάρτητα από την τιμή του πετρελαίου, ενώ η τιμή της περιόδου αποπληρωμής κυμαίνεται μεταξύ των 6 χρόνων (τιμή πετρελαίου 0,70€/λίτρο) στην χειρότερη περίπτωση και στα 2 χρόνια στην καλύτερη περίπτωση (τιμή πετρελαίου 1,70€/λίτρο). Η τιμή του IRR μπορεί να πιάνει το στόχο και από τιμή πετρελαίου 0,8€. Σε μια γενική εικόνα παρατηρείται ότι για να έχουμε μια επένδυση που να πιάνει τους στόχους σε μεταβολή της τιμής του πετρελαίου στο εύρος που έχουμε θέση έχουμε πιθανότητα 90,91% για το NPV και 100% το PBP, για το IRR 90,91% ενώ για ROI 100%.

Από την πλευρά της βιομάζας η επένδυση είναι ανεπηρέαστη όσον αφορά την τιμή της βιομάζας. Αυτό οφείλεται στο ότι το εν λόγω σύστημα, βάσει των συνθηκών που έχει σχεδιαστεί, έχει μηδενική κατανάλωση βιομάζας.

Για το ηλεκτρικό ρεύμα η κρίσιμη τιμή είναι 0,20€. Από αυτό το σημείο και χαμηλότερα η επένδυση είναι κερδοφόρα από την πλευρά της καθαρής παρούσας αξίας, ενώ οι στόχοι επιτυγχάνονται από τα 0,19€ και κάτω. Από την πλευρά της περιόδου αποπληρωμής και ανεξάρτητα με την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος, η επένδυση θα είναι κερδοφόρα. Από την πλευρά του βαθμού εσωτερικής απόδοσης ως κρίσιμη τιμή φαίνονται τα 0,20€ ανά kWh. Για να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι για το NPV υπάρχει 86,67% πιθανότητα στο εύρος που μελετάται, 100% στην περίοδο αποπληρωμής ενώ 93,33% για το IRR και 100% για τον ROI.

Το επόμενο σύστημα που θα αξιολογηθεί αφορά την Αντλία Θερμότητας με τον Ηλιακό Συλλέκτη. Τα δεδομένα και η οικονομική του αξιολόγηση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8-22 Στοιχεία σχεδιασμού Αντλίας Θερμότητας - Ηλιακού Συλλέκτη

Γενικά Στοιχεία Συστήματος(Αντλία Θερμότητας- Ηλιακός Συλλέκτης)			
Αντλία Θερμότητας		Ηλιακός Συλλέκτης	
Ονομαστική Ισχύς ΑΘ1	8,00	Επιφάνεια Ηλιακού Συλλέκτη	5
Ονομαστική Ισχύς ΑΘ2	0,00	Χωρητικότητα Δεξαμενής	683,4354
COP	3,3		
Θερμοκρασία Κάλυψης	3,0	Περιβαλλοντικοί Δείκτες	
		CDEER(Δίκτυο)	64,61%
		CDEER(ΑΠΕ)	100,00%
Υβριδικό Σύστημα		Οικονομικοί Δείκτες	
Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος	7.543,65 €	NPV	8065,58
Ιδία Κεφάλαια	3.771,82 €	IRR	23,62%
Κόστος Κατανάλωσης	160,90 €	ROI	28,96%
Δείκτες Εξοικονόμησης Ενέργειας		PBP(ΕΤΗ)	3
PESR(Δίκτυο)	89,06%	ACSR(Δίκτυο)	87,16%
PESR(ΑΠΕ)	100%	ASCR(ΑΠΕ)	100%

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ένα υβριδικό σύστημα το οποίο έχει πολύ καλή αξιολόγηση και συγκεκριμένα είναι το δεύτερο βέλτιστο υβριδικό σύστημα. Παρατηρείται ότι τα κεφάλαια του υβριδικού συστήματος που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν για την εγκατάσταση είναι λίγο ανεβασμένα συγκριτικά με την τοποθέτηση ενός συμβατικού συστήματος.

Με την παρούσα διάταξη και συνδυάζοντας το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, μπορεί να επιτευχθεί μια αξιοσημείωτη λύση για τα κτήρια μηδενικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κυμαίνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα της τάξεως του 89,06%, στην περίπτωση όπου οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Στην περίπτωση που καλύπτονται από ΑΠΕ, αγγίζουν το 100%. Επομένως γίνεται κατανοητή η σημαντικότητα του συστήματος στην ενεργειακή μετάβαση και στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια.

Ο συντελεστής μείωσης εκπομπών κυμαίνεται επίσης σε πολύ υψηλά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, για την κάλυψη της κατανάλωσης από το δίκτυο, κυμαίνεται στο 64,61%, ενώ από ΑΠΕ αγγίζει το 100%.

Όσον αναφορά την αξιολόγηση από επενδυτική σκοπιά το υβριδικό σύστημα έχει ένα θετικό NPV της τάξεως των 8065,58€ και έναν πολύ καλό εσωτερικό βαθμό απόδοσης(23,62%), που άλλες επενδύσεις της ίδια κατηγορίας δεν θα μπορούσαν να προσφέρουν. Η περίοδος αποπληρωμής κυμαίνεται στα 3 έτη, κάτι το οποίο κάνει βιώσιμη την επένδυση.

Ένας επιπλέον δείκτης που βρίσκεται σε πολύ καλά επίπεδα είναι ο δείκτης εξοικονόμησης κόστους, ο οποίος στην περίπτωση που η κατανάλωση καλύπτεται από το δίκτυο κυμαίνεται στο 89,06% και σε περίπτωση που χρησιμοποιείται σύστημα ΑΠΕ φθάνει και το 100%. Τέλος, ο βαθμός απόδοσης βρίσκεται στο 28,96% το οποίο είναι υψηλό για μια επένδυση του αντίστοιχου κινδύνου.

Το θετικό της παραπάνω επένδυσης είναι ότι είναι ιδιαίτερα ασφαλής σε οποιαδήποτε μελλοντική διακύμανση μπορεί να έχουν οι παράμετροι που καθορίζουν την απόδοση της επένδυσης, καθώς μέσα από την προσομοίωση Monte Carlo συμπεραίνεται ότι για επίτευξη θετικού NPV, το ποσοστό κυμαίνεται στο 100%. Βέβαια αυτό δεν σημαίνει ότι είναι και η πραγματικότητα, διότι στο συγκεκριμένο πρόγραμμα γίνονται μόνο 100 επαναλήψεις και όχι 10000 που χρειάζεται συνήθως. Το παραπάνω γίνεται για να μειωθεί ο υπολογιστικός χρόνος που κάνει το σύστημα να δώσει αποτέλεσμα.

Το παραπάνω κενό μπορεί να συμπληρωθεί μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας. Αρχικά από την πλευρά της επιδότησης, για να επιτευχθούν οι θεσπισμένοι στόχοι και να είναι κερδοφόρα η επένδυση το ποσοστό πιθανότητας είναι 100% για όλους τους οικονομικούς δείκτες.

Το θετικό στο συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα είναι ότι, ανεξάρτητα από την τιμή πετρελαίου που θα υπάρχει στην αγορά, το υβριδικό σύστημα μπορεί να επιτύχει υψηλούς οικονομικούς δείκτες οι οποίοι καταφέρνουν να πιάνουν τους στόχους σε κάθε περίπτωση.

Το ίδιο σκηνικό συναντάται και στην περίπτωση του ηλεκτρικού ρεύματος, όπου το υβριδικό σύστημα πιάνει τους στόχους ανεξάρτητα από την τιμή που μπορεί να πιάσει το σύστημα.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι τιμές που οφείλονται στην γεωθερμία με οριζόντιο εναλλάκτη - βιομάζα.

Πίνακας 8-23 Στοιχεία σχεδιασμού γεωθερμίας με Οριζ.εναλλάκτη-Βιομάζα

Γενικά Στοιχεία Συστήματος(Γεωθερμία με Οριζόντιο Έναλ-Βιομάζα)			
Γεωθερμία με Οριζόντιο εναλλάκτη		Βιομάζα	
Όνομαστική Ισχύς	15	Ισχύς Σχεδιασμού	7,5
Μήκος Γεωθερμικού εναλλάκτη	1784,68469 8	Τελική Ισχύς Σχεδιασμού	0
COP	0,0		
		Περιβαλλοντικοί Δείκτες	
		CDEER(Δίκτυο)	71,34%
		CDEER(ΑΠΕ)	100%
Υβριδικό Σύστημα		Οικονομικοί Δείκτες	
Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος	31.850,97 €	NPV	-7351
Ιδία Κεφάλαια	15.925,92 €	IRR	-0,59%
Κόστος Κατανάλωσης	140,48 €	ROI	6,99%
Δείκτες Εξοικονόμησης Ενέργειας		PBP(ΕΤΗ)	14,32
PESR(Δίκτυο)	72,3%	ASCR(Δίκτυο)	88,79%
PESR(ΑΠΕ)	100,00%	ASCR(ΑΠΕ)	100,00%

Η συγκεκριμένη επένδυση δεν είναι καθόλου καλή για το κτήριο που μελετάται. Οι λόγοι είναι πολλοί. Ξεκινώντας, υπάρχει το υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης που χρειάζεται για την υλοποίηση του έργου και το οποίο κάνει την επένδυση μη αποδοτική. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει αρνητικό NPV, που σημαίνει ότι τα 20 χρόνια δεν φθάνουν για να κάνουν αποτελεσματική την επένδυση και ίσως θα χρειαζόταν μια πολύ μεγαλύτερη χρονική διάρκεια για να ήταν αποδοτική η επένδυση. Το ίδιο αποτυπώνεται και στο IRR που υπάρχει αρνητικό IRR. Από αυτόν το δείκτη μόνο γίνεται κατανοητό ότι η υλοποίηση της επένδυσης δεν έχει καμία ουσία. Το PBP σαν επένδυση κυμαίνεται στα 14 χρόνια.

Από την άλλη, παρατηρείται ότι από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας κόστους και μείωσης εκπομπών CO₂, αποτελεί μια πολύ καλή επένδυση. Βέβαια σε καμία περίπτωση αυτό δεν θα οδηγούσε στην διαδικασία δρομολόγησης της υλοποίησης. Σε αυτό το σημείο, λοιπόν, αξίζει να αναφερθεί ξανά η σημασία της πολύπλευρης αξιολόγησης ενός ενεργειακού συστήματος.

Στο συγκεκριμένο σύστημα φαίνεται και η σημαντικότητα της προσομοίωσης Monte Carlo, όπου το ποσοστό για θετικό NPV κυμαίνεται στο 44%. Αυτό σημαίνει ότι με διάφορους συνδυασμούς του κόστους μπορεί να επιτευχθεί θετικό NPV.

Από την ανάλυση ευαισθησίας, με μια εικόνα φαίνεται ότι το συγκεκριμένο σύστημα πιάνει τους στόχους σε ακραίες τιμές. Αρχικά, δεν μπορεί να επιτευχθεί θετικό NPV ανεξάρτητα της επιδότησης. Επίσης, καθοριστική τιμή για την βιωσιμότητα του συγκεκριμένου συστήματος είναι η τιμή του πετρελαίου. Για τιμή μεγαλύτερη του 1,5€/λίτρου, η επένδυση είναι κερδοφόρα σε διάστημα 20 ετών. Από την πλευρά τις τιμές της βιομάζας και του ηλεκτρικού ρεύματος, η επένδυση δεν μπορεί να πιάσει τα επιθυμητά αποτελέσματα, ανεξάρτητα με την μεταβολή αυτών των τιμών.

Στην συνέχεια μένει η αξιολόγηση της κατακόρυφης γεωθερμίας με την βιομάζα. Ο πίνακας με τα αποτελέσματα βρίσκεται παρακάτω.

Πίνακας 8-24 Στοιχεία σχεδιασμού Γεωθερμίας με κατακόρυφο Εναλλάκτη- Βιομάζα

Γενικά Στοιχεία Συστήματος(Γεωθερμία με Κατακόρυφο Εναλλάκτη-Βιομάζα)			
Γεωθερμία με Κατακόρυφο εναλλάκτη		Βιομάζα	
Ονομαστική Ισχύς	10	Ισχύς Σχεδιασμού	8,35
Μήκος Γεωθερμικού εναλλάκτη	453,1	Τελική Ισχύς Σχεδιασμού	0
COP	6,5		
		Περιβαλλοντικοί Δείκτες	
		CDEER(Δίκτυο)	75,72%
		CDEER(ΑΠΕ)	117,65%
Υβριδικό Σύστημα		Οικονομικοί Δείκτες	
Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος	16.068,49 €	NPV	1.751,87 €
Ιδία Κεφάλαια	8.034,29 €	IRR	7%
Κόστος Κατανάλωσης	130,33 €	ROI	14%
Δείκτες Εξοικονόμησης Ενέργειας		PBP(ΕΤΗ)	7
PESR(Δίκτυο)	74,64%	ASCR(Δίκτυο)	90%
PESR(ΑΠΕ)	99,72%	ASCR(ΑΠΕ)	118%

Η παραπάνω λύση αποτελεί μια βιώσιμη επένδυση η οποία όμως κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τα άλλα υβριδικά συστήματα.

Το συγκεκριμένο υβριδικό σύστημα έχει ένα θετικό NPV της τάξεως των 1.751,87 €, κάτι που κάνει βιώσιμη την επένδυση, αφού στα 20 χρόνια υπάρχει κέρδος. Επίσης και οι υπόλοιποι δείκτες κυμαίνονται στα όρια των επιθυμητών στόχων που έχουν οριστεί. Αρχικά, το IRR ισούται με 7% το οποίο όπως έχει αναφερθεί αποτελεί το όριο για να είναι μια επένδυση ενός συστήματος βιώσιμη. Από την πλευρά του βαθμού απόδοσης της επένδυσης, ο δείκτης βρίσκεται στο 14%, σχεδόν 10% υψηλότερο από ότι έχει οριστεί ως στόχος. Τέλος η περίοδος αποπληρωμής του κεφαλαίου κυμαίνεται στα 7 χρόνια.

Οι δείκτες εξοικονόμησης πρωτογενούς, κόστους και μείωσης εκπομπών CO₂ βρίσκονται σε άριστα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, το PESR είναι ίσο με 74,64% , το ASCR ίσο με 90% και το CDEER ίσο με 100%.

Από την προσομοίωση Monte Carlo υπάρχει ένα ποσοστό 97% για να επιτευχθεί θετικό NPV.

Η κατακόρυφη γεωθερμία βρίσκεται σε πολύ καλή κατάσταση σε σχέση με την οριζόντια. Βέβαια και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχουν περιπτώσεις που η επένδυση δεν είναι κερδοφόρα, αλλά αυτές είναι ελάχιστες. Στην περίπτωση της ανόδου του πετρελαίου σε 0,9€/λίτρο, η επένδυση του συγκεκριμένου συστήματος είναι κερδοφόρα και πιάνει τον απαραίτητο στόχο ενώ τον στόχο της περιόδου αποπληρωμής τον πιάνει από το 0,9€/λίτρο και πάνω.

Σημαντική είναι η επιρροή που έχει η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στο αποτέλεσμα του εσωτερικού βαθμού απόδοσης, ο οποίος κυμαίνεται στο 5,3%. Σε σχέση με κάποια από τα παραπάνω συστήματα ο συγκεκριμένος δείκτης είναι ιδιαίτερα χαμηλός.

Τέλος, μένει να αναλυθεί η βέλτιστη λύση για το κτήριο μελέτης. Η συγκεκριμένη λύση είναι το υβριδικό σύστημα Βιομάζας – Ηλιακού Συλλέκτη.

Πίνακας 8-25 Στοιχεία σχεδιασμού Βιομάζας- Ηλιακό Συλλέκτη

Γενικά Στοιχεία Συστήματος(Βιομάζα- Ηλιακός Συλλέκτης)				
Βιομάζα		Ηλιακός Συλλέκτης		
Ισχύς Σχεδιασμού	19,7		Επιφάνεια Ηλιακού Συλλέκτη	2
Τελική Ισχύς Σχεδιασμού	0,0		Χωρητικότητα Δεξαμενής	683,4354344
			Περιβαλλοντικοί Δείκτες	
			CDEER	100,00%
Υβριδικό Σύστημα			Οικονομικοί Δείκτες	
Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος	3.833,87 €		NPV	6.132,77 €
Ιδία Κεφάλαια	1916,72 €		IRR	30,25%
Κόστος Κατανάλωσης	360,73 €		ROI	46,56%
Δείκτες Εξοικονόμησης Ενέργειας			PBP(ETH)	2
PESR	71,30%		ACSR	71,21%

Το παραπάνω σύστημα αποτελεί την βέλτιστη λύση, λόγω του πολύ χαμηλού αρχικού κεφαλαίου που χρειάζεται και σε συνδυασμό με την χαμηλή κατανάλωση γίνεται το ιδανικότερο σύστημα για το κτίριο που εξετάζεται. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο σύστημα δεν μπορεί να συνδεθεί με ΑΠΕ για καλύτερα αποτελέσματα, διότι δεν χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα για την λειτουργία του.

Αρχικά παρατηρούμε ότι το NPV έχει θετική τιμή ίση με 3.833,87 €, η οποία είναι χαμηλότερη σε σχέση με αυτή του υβριδικού συστήματος Αντλίας Θερμότητας- Ηλιακού Συλλέκτη. Το πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο σύστημα βρίσκεται στους βαθμούς απόδοσης. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στο 30,25% και το ROI στο 46,56%, ενώ η περίοδος αποπληρωμής αγγίζει τα 2 έτη. Οι παραπάνω δείκτες μαρτυρούν γιατί γίνεται λόγος για βέλτιστη λύση και αυτό ευθύνεται καθαρά στο χαμηλό κόστος εγκατάστασης σε συνδυασμό με τις χαμηλές ανάγκες κατανάλωσης που χρειάζεται το κτήριο.

Ως προς την ανάλυση ευαισθησίας δεν έχει παρατηρηθεί κάτι, καθώς σε κάθε μεταβολή που μπορεί να προκύψει, η επένδυση θα είναι κερδοφόρα.

11 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύεται το πώς συμπεριφέρονται τα συστήματα από οικονομική πλευρά σε διάφορες περιπτώσεις. Αρχικά θα γίνει μια παρατήρηση σε επίπεδο πόλεων, στην συνέχεια σε επίπεδο φορτίου σχεδιασμού και τέλος σε επίπεδο ωρών λειτουργίας. Στόχος στην παρούσα ενότητα είναι να γίνουν κατανοητές οι συνθήκες στις οποίες θα είναι πιο αποδοτικό το κάθε σύστημα, ώστε να καθοριστεί κάποιος κανόνας για τον σχεδιασμό συστημάτων.

11.1 Πόλη Κτηρίου

Η πόλη όπου βρίσκεται το κτήριο αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για τον σχεδιασμό του συστήματος, διότι από αυτήν εξαρτώνται οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, οι οποίες καθορίζουν την λειτουργία του κάθε συστήματος και, το σημαντικότερο, τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου.

Το πρόγραμμα προσφέρει την δυνατότητα επιλογής μεταξύ 4 περιοχών. Η πρώτη αφορά την Αθήνα, η οποία αποτελεί ένα φορτίο που κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα, δηλαδή χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η δεύτερη πόλη είναι η Θεσσαλονίκη, η οποία έχει σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές ανάγκες σε θέρμανση. Η επόμενη είναι η Νάξος η οποία χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ήπιο χειμώνα, με σχετικά υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες και χαμηλή ανάγκη για θέρμανση. Τέλος συναντάμε την Τρίπολη, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή ανάγκη για θέρμανση. Ο παρακάτω πίνακας αποτυπώνει τις προτεινόμενες τιμές για την θερμοκρασία σχεδιασμού για κάθε πόλη.

Πίνακας 8-26 Θερμοκρασία Σχεδιασμού ανά πόλη

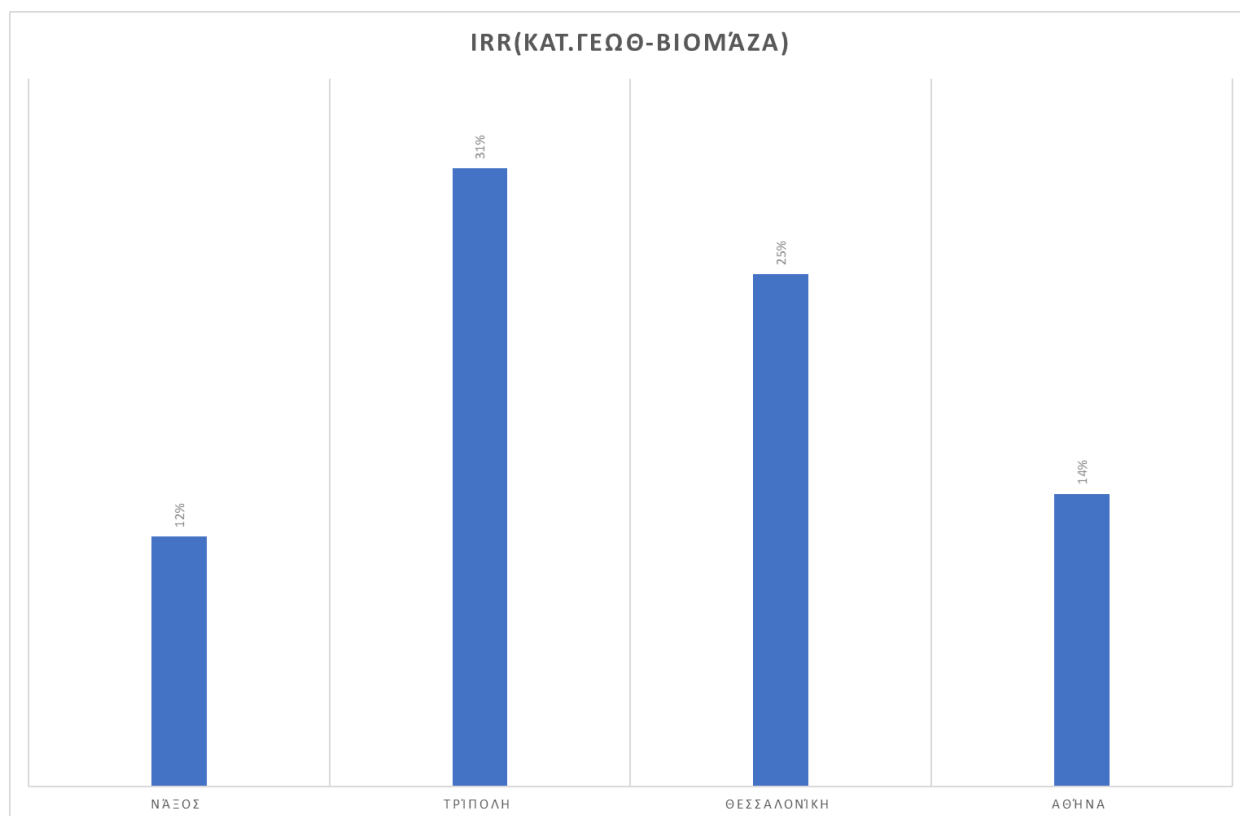
Πόλη	Θερμοκρασία Σχεδιασμού
Αθήνα	3
Θεσσαλονίκη	-2
Νάξος	7,5
Τρίπολη	-3

Εισάγοντας τα ίδια δεδομένα, δηλαδή το ίδιο κτήριο και αλλάζοντας την θερμοκρασία σχεδιασμού και την πόλη όπου βρίσκεται αυτό, έγινε το «τρέξιμο» του προγράμματος ώστε να βρεθεί το ιδανικό υβριδικό σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την βέλτιστη λύση για κάθε περιοχή.

Πίνακας 8-27 Αποτελέσματα Βέλτιστης Λύσης ανα πόλη

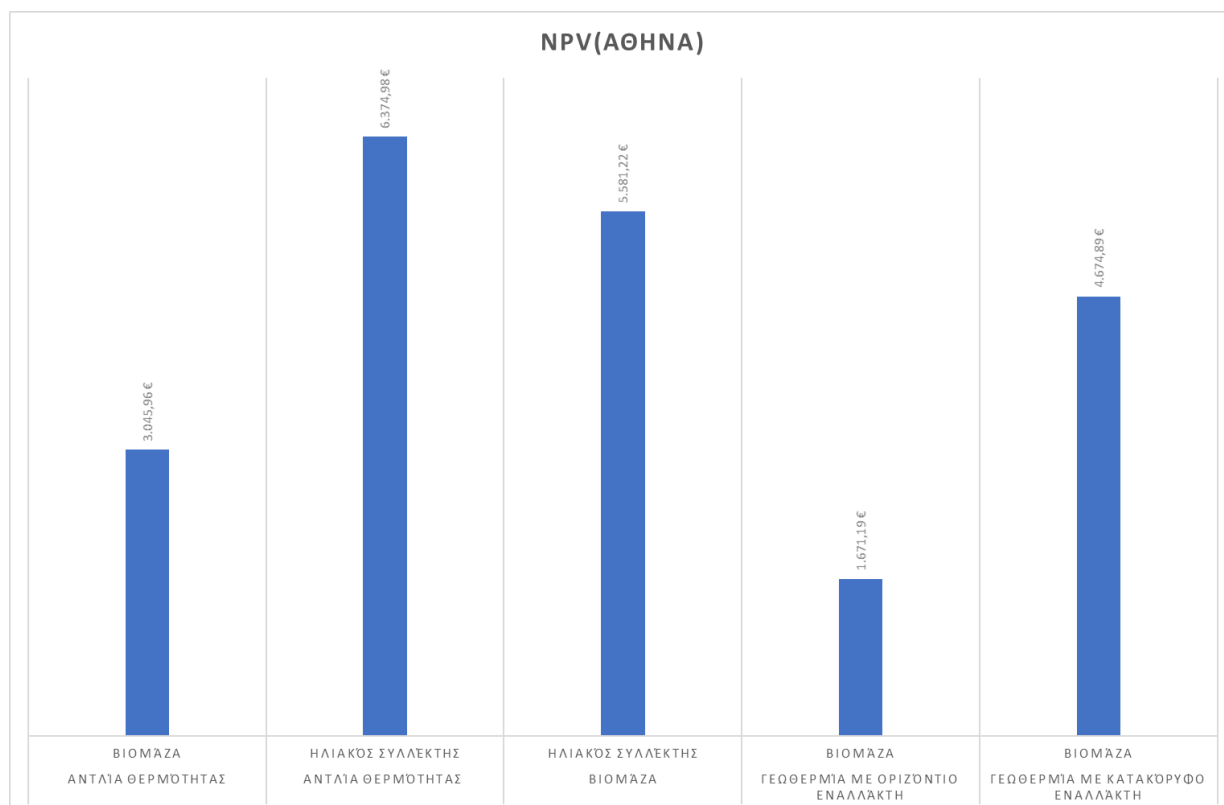
Πόλη	Υβριδικό Σύστημα		Βαθμολογία
Νάξος	Αντλία Θερμότητας	Ηλιακός Συλλέκτης	83%
Τρίπολη	Γεωθερμία με Κατακόρυφο εναλλάκτη	Βιομάζα	89%
Θεσσαλονίκη	Γεωθερμία με Κατακόρυφο εναλλάκτη	Βιομάζα	88%
Αθήνα	Γεωθερμία με Κατακόρυφο εναλλάκτη	Βιομάζα	85%

Όπως παρατηρείται η κατακόρυφη γεωθερμία αποτελεί την βέλτιστη λύση για τις 3 από τις 4 πόλεις. Η εξήγηση όσον αφορά την Θεσσαλονίκη και την Τρίπολη είναι πολύ λογική, καθώς οι απαιτήσεις σε θέρμανση κυμαίνονται σε πολύ υψηλά επίπεδα και η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει η γεωθερμική αντλία θερμότητας - εξαιτίας του υψηλού COP που έχει - είναι ιδιαίτερα σημαντικά στοιχεία. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο υψηλός εσωτερικός βαθμός απόδοσης που συναντάται στην Θεσσαλονίκη και στην Τρίπολη σε σχέση με τις άλλες δυο περιοχές, όπου εξαρτάται άμεσα από την κατανάλωση ενέργειας και τις θερμικές ανάγκες του κτηρίου.



Εικόνα 8.6-57 Μεταβολή IRR ανα πόλη

Από την πλευρά της Αθήνας αξίζει να σημειωθεί ότι η δεύτερη λύση είχε ποσοστό 83% και ήταν Αντλία Θερμότητας-Ηλιακού Συλλέκτη. Επομένως στην συγκεκριμένη περίπτωση όπου τα ποσοστά δύο λύσεων είναι πολύ κοντά, χρειάζεται μια καλύτερη και αναλυτικότερη μελέτη των δύο συστημάτων. Αυτό είναι στο χέρι του χρήστη με τα κριτήρια που έχει για την εγκατάσταση σχετικά με το ποιο από τα δύο υβριδικά συστήματα θα είχε καλύτερη εφαρμογή στο κτήριο που μελετάει. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την καθαρά παρούσα αξία του κάθε υβριδικού συστήματος για την περιοχή της Αθήνας και επιβεβαιώνει ότι η αντλία θερμότητας με ηλιακό συλλέκτη αποτελεί καλύτερη επιλογή όσον αναφορά την καθαρά παρούσα αξία. Αυτό οφείλεται και στην υψηλή ηλιακή ακτινοβολία που υπάρχει στην Αθήνα. Από την άλλη πλευρά, η κατακόρυφη Γεωθερμία έχει πολύ υψηλή μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και καλύτερη περίοδο αποπληρωμής.



Εικόνα 8.6-58 NPV συστημάτων στην Αθήνα

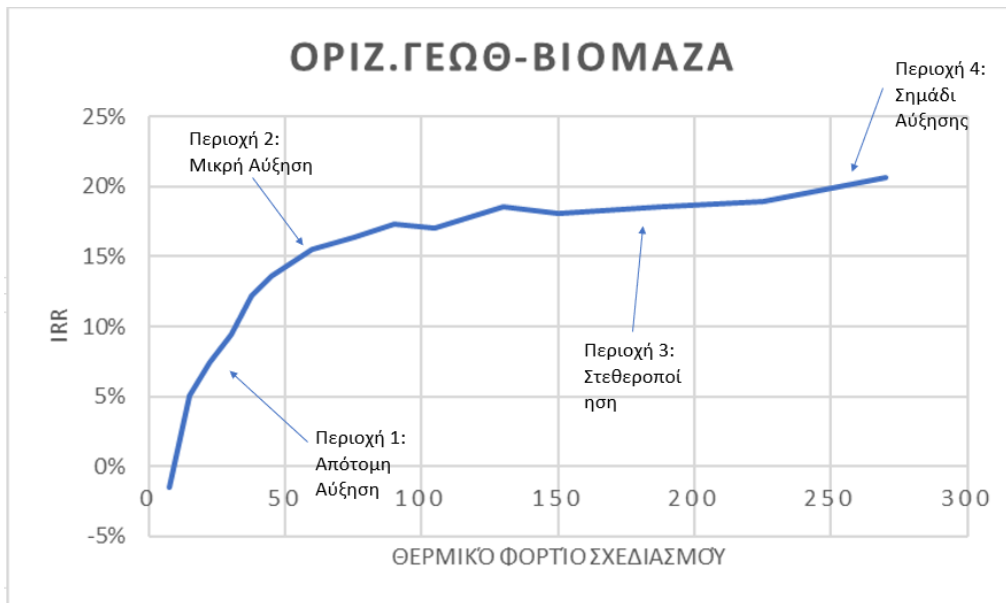
Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι η βέλτιστη λύση που παρουσιάζεται από το πρόγραμμα χρειάζεται μια παραπάνω ανάλυση από τον σχεδιαστή του συστήματος και ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου τα ποσοστά βαθμολογίας της κάθε λύσης έχουν μικρή διαφορά.

Στην Νάξο προτείνεται ως βέλτιστη λύση η Αντλία Θερμότητας με Ηλιακό Συλλέκτη, η οποία αποτελεί μια λογική εξήγηση. Αρχικά η Νάξος έχει ένα ήπιο κλίμα, με σχετικά υψηλές για την εποχή θερμοκρασίες, κάτι το οποίο κάνει την Αντλία Θερμότητας να δουλεύει κοντά στο ονομαστικό φορτίο, μιας και δεν χρειάζεται να κάνει αποπάγωση στο σύστημα. Επίσης η Νάξος έχει ηλιοφάνεια το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, κάτι που κάνει του ηλιακούς συλλέκτες να συμβάλουν παραπάνω στην παραγωγή θερμικής ενέργειας.

11.2 Συμπεριφορά των συστημάτων με βάση το φορτίο

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την συμπεριφορά και την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος είναι το φορτίο σχεδιασμού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα εξεταστούν διάφορα κτήρια με διαφορετικούς συνολικούς συντελεστές θερμοπερατότητας στην ίδια περιοχή, κάτω από τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας.

Στόχος εδώ είναι να παρατηρηθεί κατά πόσο είναι οικονομικά αποδοτικά τα συστήματα, ανάλογα με την ισχύ που πρέπει να σχεδιαστούν και με το πώς αυτή επηρεάζει τους οικονομικούς δείκτες. Επίσης γίνεται αντιληπτή η διαφορά που υπάρχει στα υβριδικά συστήματα σε σχέση με την μονοσθενή λειτουργία του κάθε συστήματος ξεχωριστά.

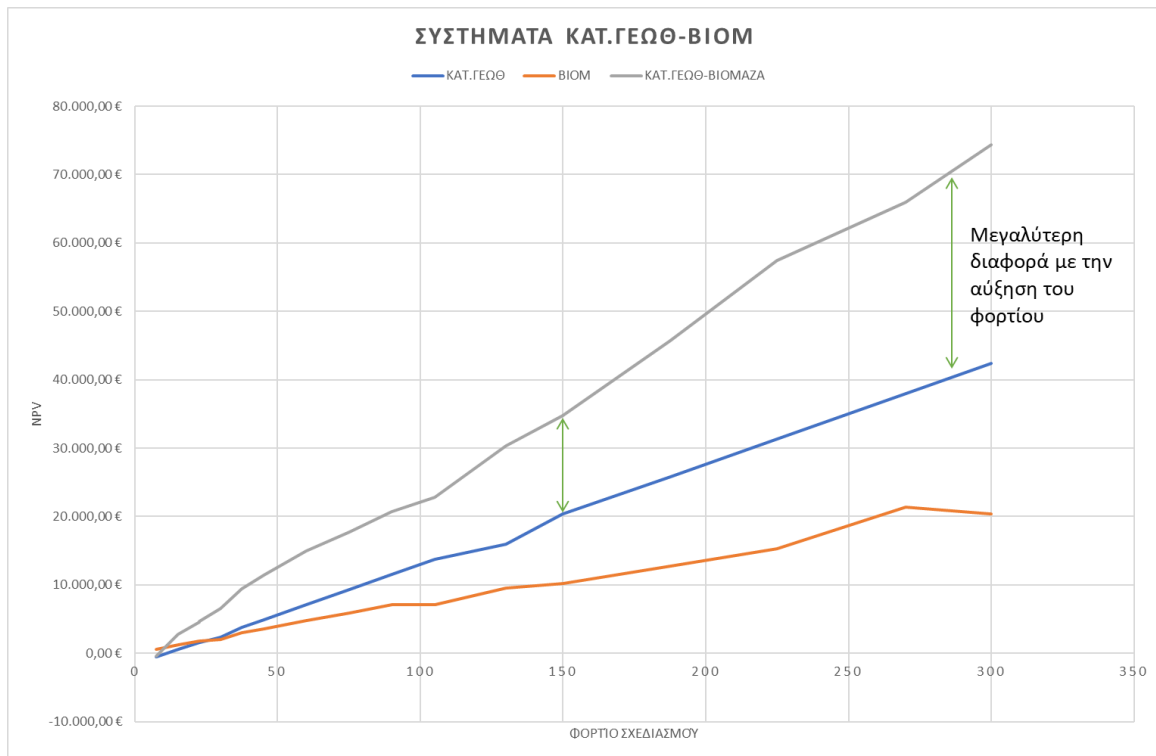


Εικόνα 8.6-59 Μεταβολή NPV συνάρτηση φορτίου σχεδιασμού

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η συμπεριφορά που έχει ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης με την αύξηση του φορτίου. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούνται 4 περιοχές στο παραπάνω διάγραμμα. Η πρώτη περιοχή αφορά την ισχύ από 0-50kW, στην οποία παρατηρείται μια έντονη αύξηση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης, δηλαδή από -1% φτάνει μέχρι το 15%. Στην συνέχεια στην περιοχή ισχύος από 50kW μέχρι και 100kW, η τιμή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης βρίσκεται στο 18%, δηλαδή έχει μια ελάχιστη αύξηση. Το ίδιο παρατηρείται και μετά από εκείνη την περιοχή όπου η αύξηση είναι ελάχιστη και η τιμή του IRR παραμένει σχεδόν σταθερή. Έπειτα παρατηρείται μια διάθεση για πιο απότομη αύξηση, που σημαίνει ότι ίσως μετά από εκεί μπορεί το υβριδικό σύστημα να είναι αποδοτικότερο.

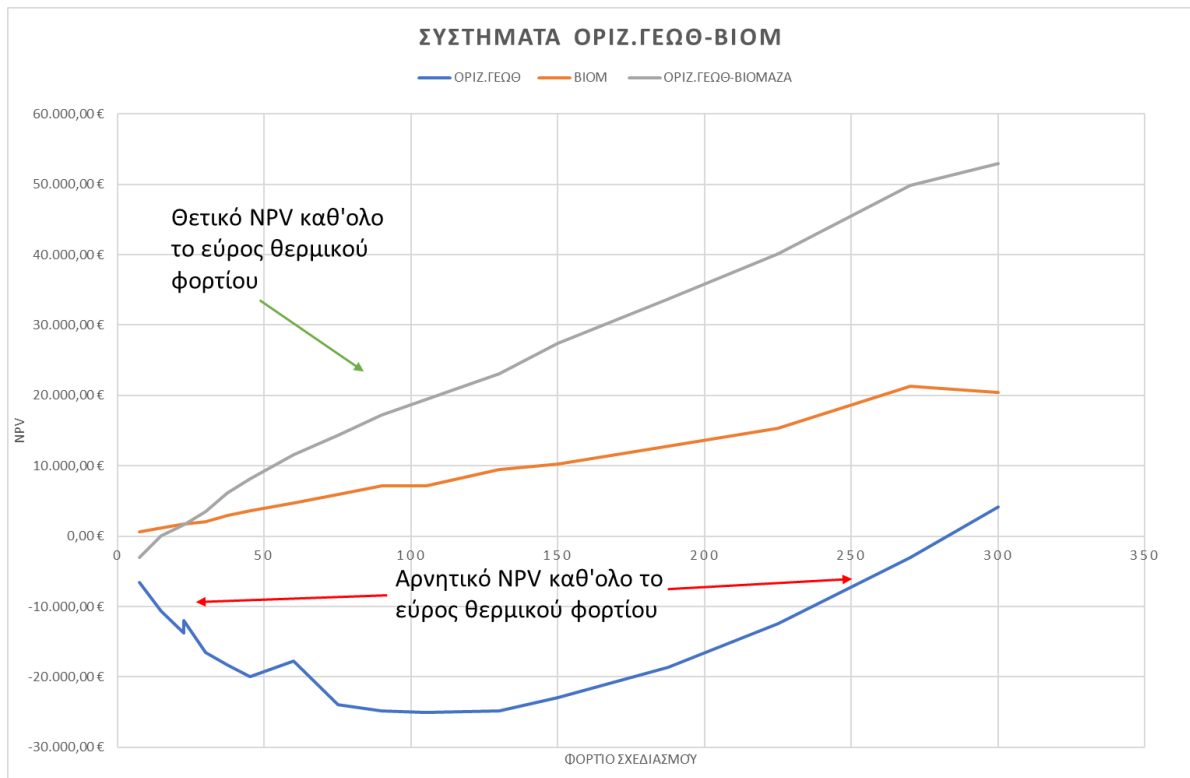
Στην συνέχεια σημαντικό είναι και το τι παραπάνω προσφέρει ο σχεδιασμός ενός υβριδικού συστήματος σε σχέση με το απλό μονοσθενές σύστημα. Η διαπίστωση αυτή μπορεί να γίνει παρατηρώντας τα παρακάτω διαγράμματα.

Το NPV και στις 3 περιπτώσεις έχει σχετικά μια γραμμική αύξηση σε σχέση με το θερμικό φορτίο. Αυτό είναι λογικό, αφού οι τιμές του κόστους που έχουν παρθεί είναι γραμμικές, κάτι το οποίο δεν ισχύει στην πραγματικότητα. Βέβαια το διάγραμμα θα είχε παρόμοια πορεία αλλά με διαφορετική καμπύλη. Αυτό που αξίζει να παρατηρηθεί στο παρακάτω διάγραμμα είναι ότι το υβριδικό σύστημα προσφέρει υψηλότερες τιμές καθαρής παρούσας αξίας σε σχέση με την μονοσθενή λειτουργία των συστημάτων, ακόμα και σε μικρά θερμικά φορτία. Βέβαια η αύξηση του θερμικού φορτίου επιφέρει μεγάλες διαφορές του υβριδικού συστήματος σε σχέση με την μονοσθενή λειτουργία, κάτι το οποίο είναι λογικό εξαιτίας της μεγαλύτερης κατανάλωσης που έχουν τα υψηλά θερμικά φορτία.



Εικόνα 8.6-60 NPV συνάρτηση φορτίο σχεδιασμού για συστημάτων για γεωθερμία με Κατ.Εναλλάκτη και βιομάζα

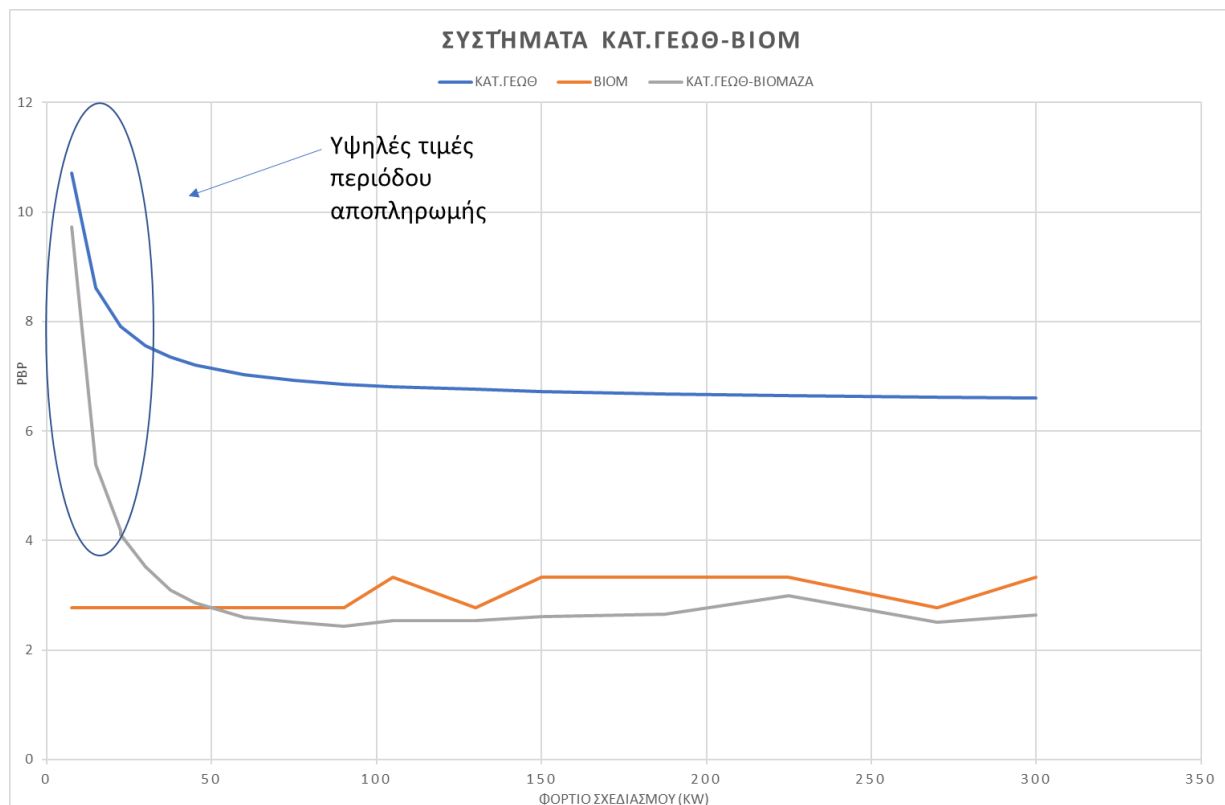
Στην οριζόντια γεωθερμία τα πράγματα είναι πολύ πιο ενδιαφέροντα ως προς την παρατήρηση, αφού το μονοσθενές σύστημα οριζόντιας γεωθερμίας έχει αρνητικό NPV σχεδόν σε όλο το εύρος της θερμικού φορτίου, σε αντίθεση με το υβριδικό σύστημα που έχει θετικό NPV σε όλο το εύρος, με την διαφορά να είναι έντονη στα υψηλά θερμικά φορτία.



Εικόνα 8.6-61 Μεταβολή NPV συνάρτηση θερμικού φορτίου για συστήματα γεωθερμίας με Οριζ.Εναλλάκτη και Βιομάζα

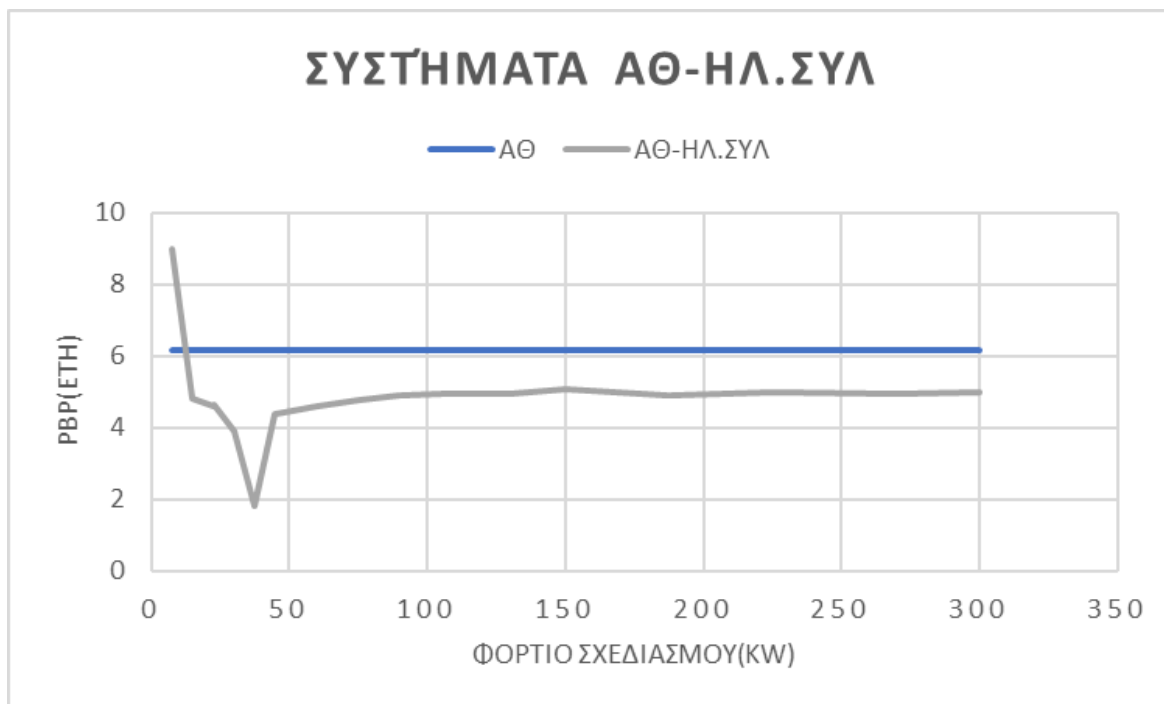
Ως προς το NPV, το υβριδικό σύστημα αποτελεί μια λύση όπου μπορεί να αυξήσει την καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης σε σχέση με τα μονοσθενή συστήματα, διότι εκμεταλλεύεται πλεονεκτήματα του κάθε συστήματος για να καλύψει τα μειονεκτήματα του άλλου και αυτό αποτυπώνεται στους δείκτες. Η συγκεκριμένη θεώρηση γίνεται αντιληπτή σε μεγάλο βαθμό στην περίπτωση της οριζόντιας γεωθερμίας.

Στην συνέχεια παρατηρείται η συμπεριφορά ως προς την περίοδο αποπληρωμής. Το ενδιαφέρον συνεχίζει να υπάρχει στην περίπτωση της κατακόρυφης γεωθερμίας, όπου το διάγραμμα δείχνει ότι στα χαμηλά θερμικά φορτία η γεωθερμία έχει υψηλές τιμές περιόδου αποπληρωμής σε σχέση με τα φορτία που είναι μεγαλύτερα από 50kW. Αυτό εξαρτάται από την εξοικονόμηση ενέργειας που έχει το συγκεκριμένο σύστημα, η οποία δεν μπορεί να φανεί στα χαμηλά θερμικά φορτία, ενώ στα υψηλά φορτία είναι έντονη, γιατί υπάρχει επίσης μεγάλη εξοικονόμηση κόστους ανά έτος.



Εικόνα 8.6-62 Μεταβολή PBP σε συνάρτηση με το φορτίο σχεδιασμού για συστήματα με Κατ.Εναλλάκτη και Βιομάζα

Στο υβριδικό σύστημα Αντλίας Θερμότητας σε συνδυασμό με Ηλιακό Συλλέκτη παρατηρείται μια μεγάλη πτώση σχεδόν στο μισό από ότι στο σύστημα Αντλίας Θερμότητας σε μονοσθενή λειτουργία. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι ο ηλιακός συλλέκτης μειώνει σε ένα βαθμό την ισχύ της Αντλίας Θερμότητας. Ο βαθμός αυτός ακόμα και σε μικρές τιμές είναι σημαντικός για την μείωση του χρόνου αποπληρωμής της επένδυσης. Επίσης η αντλία θερμότητας σε μονοσθενή λειτουργία πρέπει να σχεδιαστεί για να καλύψει ακόμα και τις δυσμενέστερες συνθήκες και εξαιτίας της πτώσης της απόδοσης που έχει σε χαμηλές θερμοκρασίες, αυτό μας οδηγεί σε ένα σύστημα με υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης. Επίσης κάτι που δεν εξετάζεται στο παρακάτω πρόγραμμα στην συγκεκριμένη διάταξη είναι η μεγαλύτερη ευστάθεια και απόδοση του υβριδικού συστήματος σε σύγκριση με ένα σύστημα Αντλίας Θερμότητας το οποίο θα κάνει εντονότερη αυτή την διαφορά.

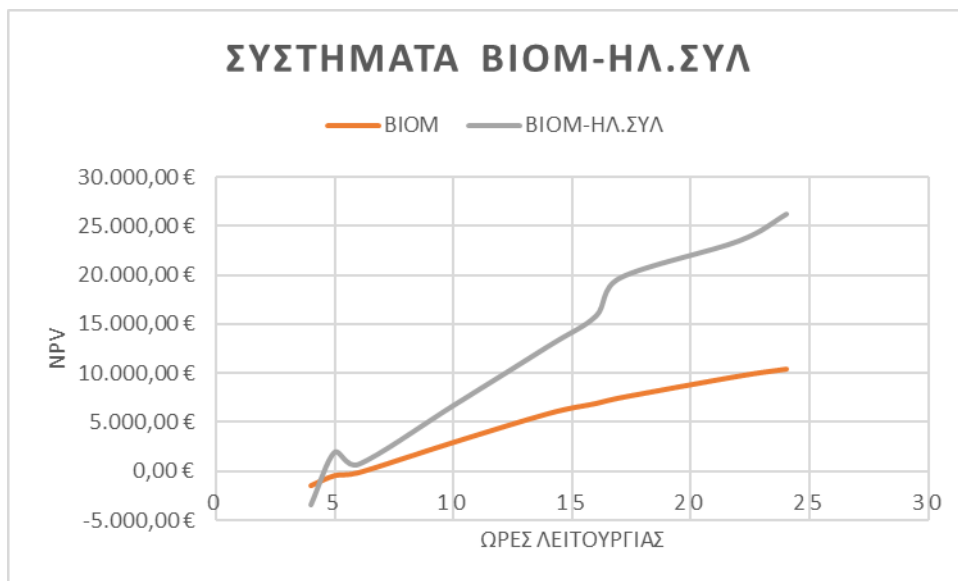


Εικόνα 8.6-63 Μεταβολή PBP σε συνάρτηση με το φορτίο σχεδιασμού για συστήματα Αντλίας Θερμότητας και Ηλιακού Συλλέκτη

11.3 Οικονομική Συμπεριφορά συστήματος σε ώρες λειτουργίας

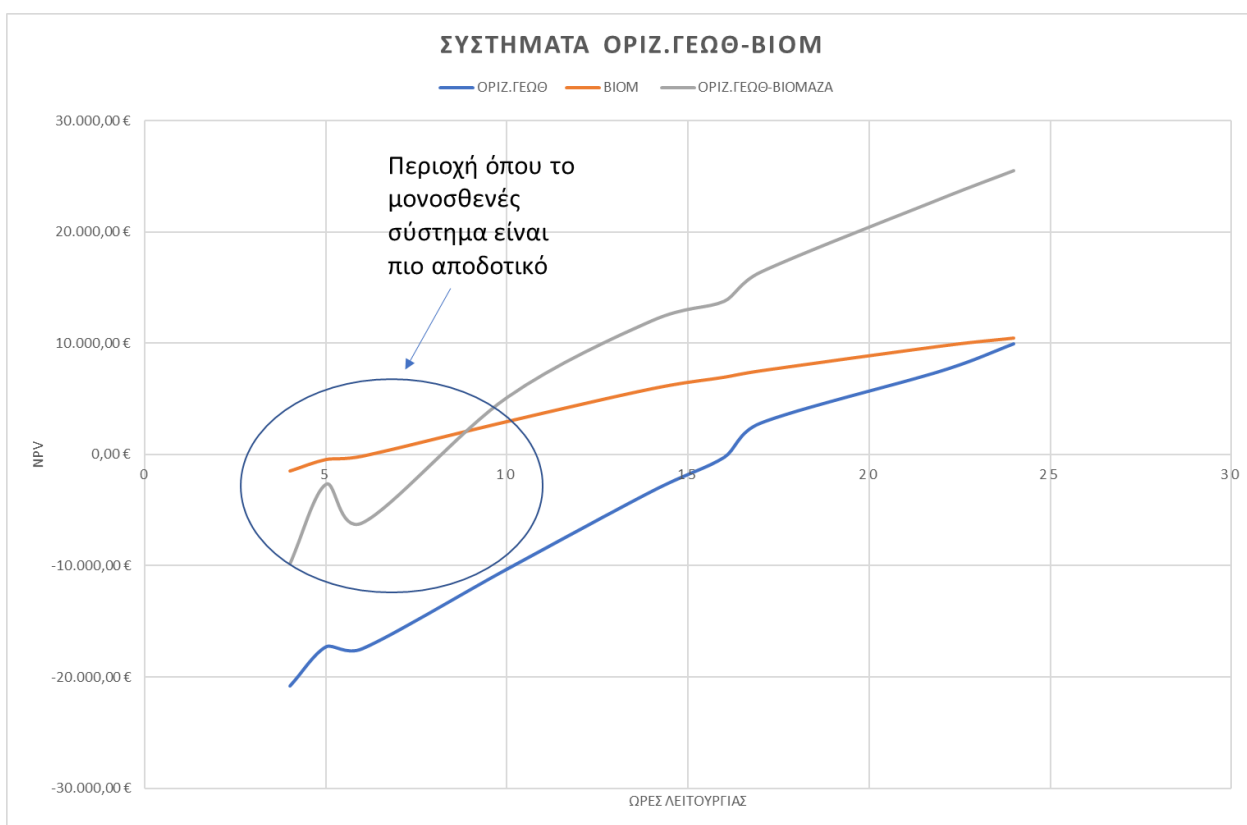
Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την συμπεριφορά και το κέρδος ενός συστήματος θέρμανσης είναι οι συνολικές ώρες λειτουργίας του συστήματος. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι δεν γίνεται λόγος για καθαρές ώρες λειτουργίας της θέρμανσης αλλά για ώρες που θεωρητικά υπάρχει ανάγκη για θέρμανση βάση των χρηστών του κτηρίου.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ότι το υβριδικό σύστημα Βιομάζας-Ηλιακού Συλλέκτη είναι πιο αποδοτικό, ανεξαρτήτως των ωρών λειτουργίας του συστήματος. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι και σε αυτή την περίπτωση, το κέρδος είναι μεγαλύτερο στα υψηλά φορτία.



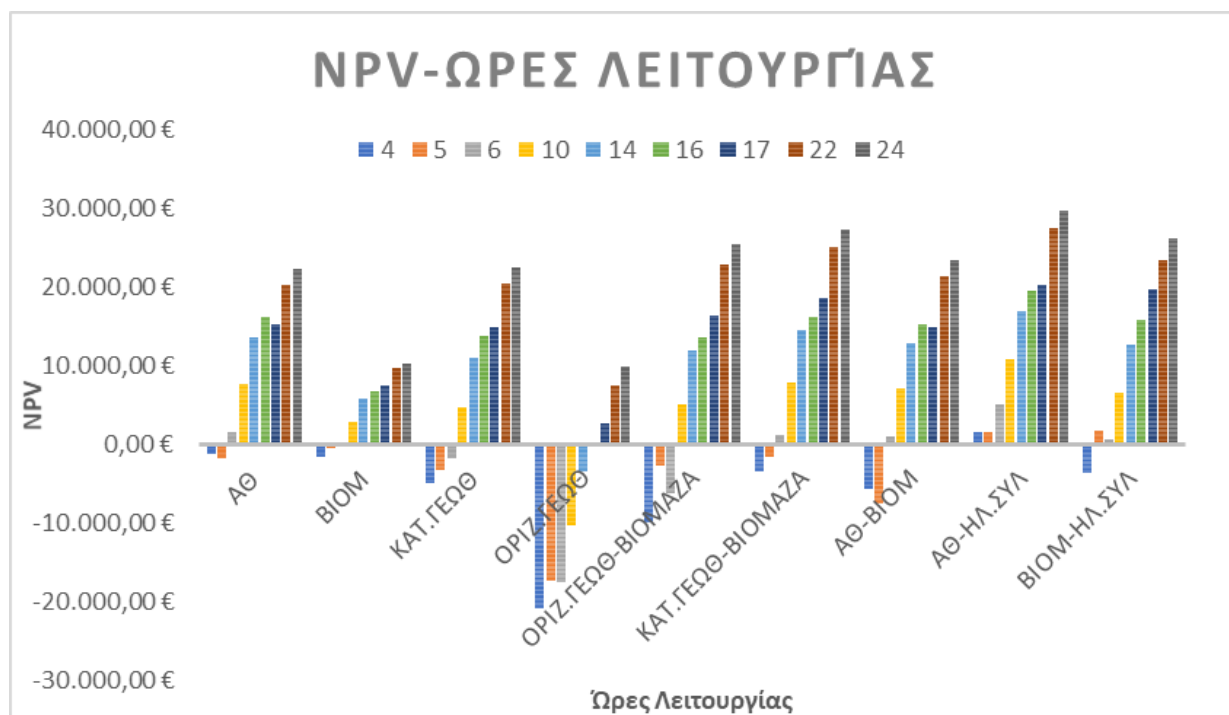
Εικόνα 8.6-64 Μεταβολή NPV συνάρτηση ωρών λειτουργίας για Βιομάζα και ηλιακούς συλλέκτες

Επίσης στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι ένα υβριδικό σύστημα θέρμανσης σε ένα κτήριο που λειτουργεί λίγες ώρες μπορεί να μην είναι η καλύτερη λύση, διότι έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης και, επειδή η κατανάλωση είναι χαμηλή, δεν προλαβαίνει να δώσει κέρδος.



Εικόνα 8.6-65 Μεταβολή NPV συστημάτων γεωθερμίας με Οριζ.εναλλάκτη και Βιομάζας

Τέλος στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας για διάφορες ώρες λειτουργίας του κάθε συστήματος ξεχωριστά, έτσι ώστε να παρατηρηθεί η επίδραση που έχει σε κάθε σύστημα η μεταβολή του χρόνου λειτουργίας του συστήματος.

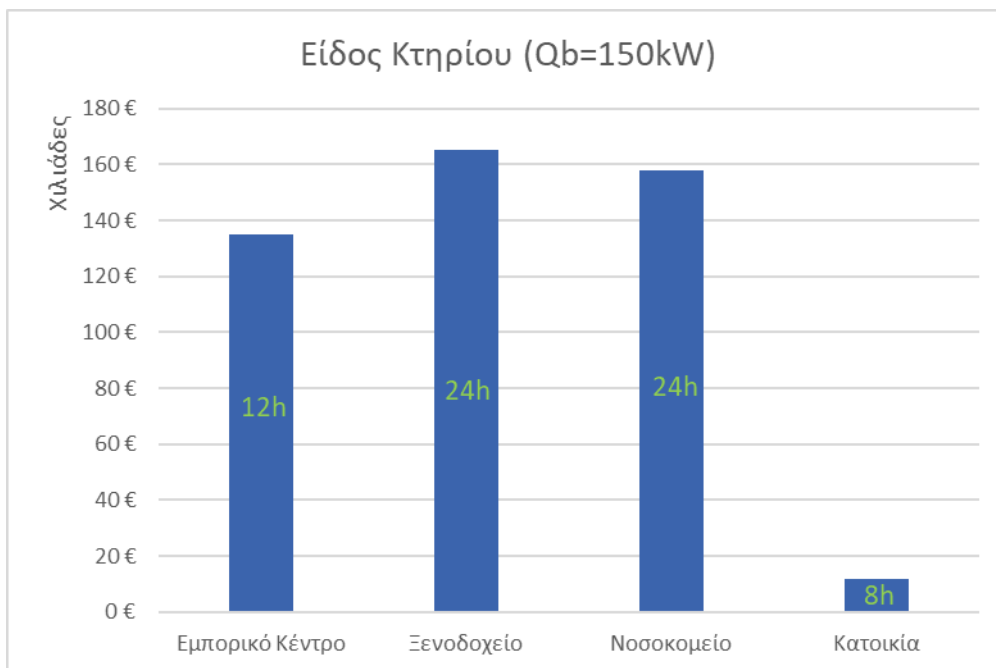


Εικόνα 8.6-66 Μεταβολή NPV σε συνάρτηση με τις ώρες λειτουργίας βάση χρηστών για κάθε σύστημα

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνεται ότι το σύστημα της Αντλίας Θερμότητας με τον Ηλιακό συλλέκτη αποφέρει την υψηλότερη τιμή NPV σε σχέση με τα άλλα συστήματα, ανεξάρτητα από τις ώρες λειτουργίας του συστήματος. Από την άλλη πλευρά, η οριζόντια γεωθερμία αποφέρει πολύ μικρά κέρδη σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες και αυτό οφείλεται στον υψηλό κόστος του γεωεναλλάκτη που χρειάζεται. Τέλος, σε κτήρια όπου οι ώρες λειτουργίας του συστήματος από την πλευρά των χρηστών είναι πολλές, τα συστήματα εξοικονομούν και περισσότερο κόστος.

11.4 Είδος Κτηρίου

Μια άλλη σημαντική επίδραση που μπορεί να υπάρξει στο κέρδος του συστήματος έχει να κάνει με το είδος του κτηρίου, καθώς οι ανάγκες από κτήριο σε κτήριο αλλάζουν. Για παράδειγμα, σε ένα νοσοκομείο η απαίτηση για θέρμανση είναι 24ωρη σε σχέση με ένα εμπορικό κέντρο, όπου η ανάγκη για θέρμανση θα είναι 12ωρη. Επίσης η διακύμανση του φορτίου θα είναι εντελώς διαφορετική, για παράδειγμα στο νοσοκομείο το σύστημα λειτουργεί συνεχώς, οπότε το φορτίο κατανέμεται ομοιόμορφα στο χρόνο και χαμηλότερα σε σχέση με ένα εμπορικό κέντρο, όπου οι απώλειες είναι μεγάλες εξαιτίας του αερισμού και της μεταφορά του κόσμου, κάνοντας το φορτίο να έχει έντονες διακυμάνσεις.



Εικόνα 8.6-67 Μεταβολή NPV ανα είδος κτηρίου

Θα γίνει μελέτη ενός κτηρίου 150kW, του οποίου η χρήση αλλάζει κάθε φορά. Εδώ να αναφερθεί ότι σίγουρα τα 150kW αποτελούν ένα χαμηλό φορτίο για ένα εμπορικό κέντρο ή ένα νοσοκομείο, αλλά η εστίαση δεν πρέπει να γίνει τόσο στο ποσοτικό νούμερο του NPV αλλά στην ποιοτική σύγκριση της χρήσης του κτηρίου. Οι τιμές αφορούν το συνδυασμό Αντλίας Θερμότητας με Βιομάζα.

Αρχικά παρουσιάζεται ένα διάγραμμα που δείχνει το NPV για ένα ίδιο κτήριο, αλλά με διαφορετική χρήση. Σε κάθε μπάρα αναφέρονται οι ώρες που λειτουργεί το σύστημα από την πλευρά των χρηστών. Μεγάλη εντύπωση προκαλεί η υψηλή τιμή που έχει το εμπορικό κέντρο σε σχέση με το ξενοδοχείο και το νοσοκομείο, που λειτουργούν 24 ώρες. Η υψηλή τιμή αυτή οφείλεται στην υψηλή κατανάλωση ενός εμπορικού κέντρου, εξαιτίας την μεγάλης διακύμανσης του φορτίου, άρα το κέρδος είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με ένα σύστημα που είναι εγκατεστημένο σε ένα ξενοδοχείο, στο οποίο το φορτίο θα είναι πιο ομοιόμορφο, λόγω της συνεχούς λειτουργίας.

Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται το μικρό κέρδος που υπάρχει σε μια κατοικία σε σχέση με ένα εμπορικό κέντρο. Η διακύμανση αυτή οφείλεται κυρίως στις χαμηλές ανάγκες που έχει μια κατοικία σε σχέση με ένα εμπορικό κέντρο.

12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, η συμπεριφορά των υβριδικών συστημάτων θερμικής ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτήρια μηδενικής ενέργειας αναλύθηκε σε μεγάλο βαθμό στην παρούσα εργασία και προέκυψαν κάποια σημαντικά συμπεράσματα.

Αρχικά, τα συστήματα ΑΠΕ θερμικής ενέργειας είναι σημαντικό να μπορούν να καλύψουν τα θερμικά φορτία του κτηρίου και συγχρόνως να αποτελούν οικονομικά βιώσιμες επενδύσεις. Για αυτό τον λόγο, είναι σημαντική η αναλυτική μελέτη για τον σωστό σχεδιασμό τους.

Στην συνέχεια, έγινε αντιληπτό το πόσο σημαντική είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων, ώστε να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματικότητα. Η προσέγγιση της πραγματικότητας βοηθάει να επιτευχθεί η θεώρηση της παραπάνω παραγράφου.

Όσον αφορά την χρήση συστημάτων ΑΠΕ για την κάλυψη του θερμικού φορτίου, προέκυψε το συμπέρασμα ότι είναι κερδοφόρα σε αρκετά μεγάλο βαθμό συγκριτικά με τα συμβατικά καύσιμα, διότι μπορεί να γίνει σημαντική εξοικονόμηση κόστους για τις θερμικές ανάγκες των χρηστών. Επίσης η συμβολή τους στην μείωση των εκπομπών ρύπων είναι μείζονος σημασίας για το περιβάλλον.

Στην συνέχεια παρατηρήθηκε ότι τα κόστη τέτοιων συστημάτων βρίσκονται αρκετά υψηλά με αποτέλεσμα να μην συμφέρουν οικονομικά σε πολλές περιπτώσεις ή, εάν συμφέρουν, να είναι δύσκολο κάποιος να διαθέσει ένα τόσο μεγάλο πόσο για την αντικατάσταση ενός συμβατικού συστήματος με ένα σύστημα ΑΠΕ. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν κάποιες μορφές επιδοτήσεων από την πολιτεία, τα συστήματα αυτά γίνονται σε μεγάλο βαθμό ανταγωνιστικά. Έτσι, για το μετασχηματισμό της ενεργειακής πολιτικής και για τον σχεδιασμό μιας ουδέτερης από πλευράς άνθρακα ενέργειας, είναι σημαντικό να προωθούνται προγράμματα τα οποία θα παρακινούν του κατοίκους να εγκαθιστούν τέτοια συστήματα.

Το υψηλό αρχικό κόστος μπορεί να μετριαστεί με τον σχεδιασμό υβριδικών συστημάτων, τα οποία μπορούν να το ρίξουν αρκετά και να αυξήσουν τα κέρδη της επένδυσης, σε σχέση με την εγκατάσταση ενός μονοσθενούς συστήματος, μέχρι και 80%. Τα υβριδικά συστήματα θέρμανσης είναι μια λύση προς τον ενεργειακό μετασχηματισμό αφού αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους στα κτήρια.

Η σημαντικότητα των υβριδικών συστημάτων είναι ακόμα μεγαλύτερη σε δημόσια και ιδιωτικά κτήρια μεγάλης ισχύος με υψηλές ενεργειακές ανάγκες, καθώς μειώνουν κάθετα την κατανάλωση ενέργειας και την τιμή κόστους. Επομένως ο μετασχηματισμός και οι επιδοτήσεις δεν πρέπει να περιοριστούν μόνο σε κατοικίες, αλλά και σε μεγάλα δημόσια κτήρια, διότι εκεί τα οφέλη είναι μεγαλύτερα.

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι τα υβριδικά συστήματα αποτελούν μια αξιοσημείωτη λύση για τον μετασχηματισμό των κτηρίων σε κτήρια ουδέτερα από άνθρακα και η μελέτη τους είναι ιδιαίτερα σημαντική για να εξασφαλιστεί αυτό.

Ο ενεργειακός μετασχηματισμός στα κτήρια έχει ξεκινήσει και ο σχεδιασμός πράσινων κτηρίων μηδενικής ενέργειας είναι στο παρόν για αυτό το λόγο πρέπει να εντοπισθούν λύσεις που θα

Τα κτήρια μηδενικής ενέργειας δεν αποτελούν το μέλλον του κτηριακού τομέα, αλλά το παρόν αυτού.

13 Βιβλιογραφία

1. Zanettia, Ettore. Energy saving potentials of a photovoltaic assisted heat pump for hybrid. *Journal of Building Engineering*. 09 July 2020, σ. 1.
2. Στεφανίδης, Παναγιώτης. *Κατοικία Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας*. Ξάνθη : Ανοικτό Ελληνικό Πανεπιστήμιο , 2018.
3. *Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050*. Αθήνα : Ελληνική Δημοκρατία: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
4. Νικολάος, Μπούργος. «*Οικονομική αξιολόγηση, ανάλυση κινδύνου και βελτιστοποίηση χαροτφυλακίου επενδύσεων ΑΠΕ*». Πάτρα, Οκτωβριος 2018 : s.n., 2018.
5. Ελλάδας, Τεχνικό Επιμελητήριο. ΤΟΤΕΕ 20701-3/2017: Κλιματολογικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών. Αθήνα : s.n., 2017. Τόμ. 3.
6. S. Rasoul Asaee, V. Ismet Ugursal, Ian Beausoleil-Morrison. Techno-economic feasibility evaluation of air to water heat pump retrofit in the Canadian housing stock. *Applied Thermal Engineering*. 2017.
7. Απόστολος Ευθυμιάδης, Νικόλαος Γαλάνης, Κωνσταντίνα Καλλιακούδη,. *Εναλλακτικές τεχνολογίες θέρμανσης - εξοικονόμηση ενέργειας*. Αθήνα : s.n., 2014.
8. Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, Μύρων Μονιάκης. *Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός*. s.l. : ΣΕΑΒ, 2015. 978-960-603-339-1.
9. Νικόλαος, Γιαννακός. *ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ*. Θεσσαλονίκη : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων , 2014.
10. Νικόλαος, Γιαννακός. *Αντλίες Θερμότητας σε συστήματα θέρμανσης και σχεδιασμός-ενεργειακή αξιολόγηση*. Θεσσαλονίκη : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο , Μάρτιος 2014 .
11. Ιωάννης, Ζουφιάς. *ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ THERMAL RESPONSE TEST (TRT) ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΑΝΩ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ*. Κρήτη : s.n.
12. Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης – ψύξης χώρων μέσω εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό. . *Υπουργική Απόφαση Αριθμ. Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488 ΦΕΚ Β 1249/24.06.2009*.
13. Υπουργική Απόφαση Αριθμ. 150559/10-6-2011 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1440 Β'). *Διαδικασίες, όροι και προϋποθέσεις για τη χορήγηση αδειών για υφιστάμενα δικαιώματα χρήσης νερού*.
14. Νόμος υπ' αριθ. 3175/ΦΕΚ Α 207/29.08.2003. *Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις* .

15. Δρ. Μιχαήλ Γρ.Βραχόπουλος, Δρ. Μαρία Κ. Κούκου, Δρ.Κωνσταντίνος Καρύτσας. *Κανονική Γεωθερμία Αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές*. s.l. : ΣΕΑΒ, 2015. 978-960-603-270-7.
16. Fossa, Marco. Correct design of vertical borehole heat exchanger. *Science and Technology for the Built Environment*. 2017, 23.
17. James R. Cullin*, Jeffrey D. Spitler. A computationally efficient hybrid time step methodology. *Geothermics*. 2011, 40.
18. Bernier, Michel A. Closed-Loop Ground-Coupled Heat Pump Systems. *ASHRAE Journal*. September, 2006.
19. McQuay. *Geothermal Heat Pump Design Manual*. s.l. : McQuay, 2002.
20. Jeffrey Spitler, Felix Ruiz- Calvo , Carla Montagud και Simon J.Ress. Validation of Vertical Ground Heat Exchanger Design. *Science and Technology for the Built Environment* . February , 2015.
21. Fossa, Marco. *Temperature Response Factors for BHE field design and simulation in geothermal heat pump applications*. s.l. : DIME, 2016.
22. S.A. M. Said, M .A. Habib, E.M.A. Mokheimer, N. Al-Shayea and M. Sharqawi. Horizontal Ground Heat Exchanger Design for Ground-Coupled Heat Pumps . November, 2012.
23. Ιωάννης Κ.Καλδέλλης, Κοσμάς Α.Καββαδίας. *Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας* . Αθήνα : Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, 2001. 960-351-345-8.
24. Masters, Gilbert M. *Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ισχύος Από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Αθήνα : Πεδίο , 2016. 978-960-546-743-2.
25. Maghsoud Abdollahi Haghghi, Shahriyar Ghazanfari Holagh, Seyed Mehdi Pesteei, AtaChitsaz, Faramarz Talati. On the performance, economic, and environmental assessment of integrating a solar-based heating system with conventional heating equipment; a case study. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2019.
26. Στέργιος, Βάβουρας. *ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ*. Θεσσαλονίκη : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , 2016.
27. Τσαρτσάλης, Χρήστος Ι. *Εξοικονόμηση Ενέργειας με Εφαρμογή Ηλιοθερμικών Συστημάτων* . Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών , 2012.
28. Enforce. docplayer. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 3 2 2021.] <https://docplayer.gr/2558280-2-iliakoi-syllektes-typoi-kai-vasikes-idiotites.html>.
29. Κατσαπρακάκης, Δημήτρης Αλ. *Σύνθεση Ενεργειακών*. s.l. : ΣΕΑΒ, 2015. 978-960-603-338-4.
30. Maghsoud Abdollahi Haghghi, Shahriyar Ghazanfari Holagh, Seyed Mehdi Pesteei, Ata Chitsaz, Faramarz Talati. On the performance, economic, and environmental assessment of integrating a

solar-based heating system with conventional heating equipment; a case study. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2019, Τόμ. 13, 100392.

31. Δέλας, Βασίλειος Α. *Αξιοποίηση της ενέργειας της βιομάζας Για την κάλυψη θερμικών φορτίων στον οικιακό τομέα, εφαρμογή σε τυπική ελληνική κατοικία*. Αιγάλεω : Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ, 2013.

32. Μπλεριάν, Πρέντσε. *Τεχνική μελέτη και οικονομική σκοπιμότητα εισαγωγής συστημ'άτων Α.Π.Ε για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα του Καστελόριζου*. Ηράκλειο : Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ιδρυμα Κρήτης, 2011.

33. Freek Van Riet, Ivan Verhaert. Hydronic configurations of hybrid heat production systems in buildings: General design methodology and case studies. *Applied Thermal Engineering*. 2020, Τόμ. 164, 114454.

34. ChristosTzivanidis, EvangelosBellos, GeorgiosMitsopoulos, Kimon A.Antonopoulos, AsimakisDelis. Energetic and financial evaluation of a solar assisted heat pump heating system with other usual heating systems in Athens. *Applied Thermal Engineering*. 2016, Τόμ. 106.

35. EvangelosBellos, ChristosTzivanidis. Energetic and financial sustainability of solar assisted heat pump heating systems in Europe. *Sustainable Cities and Society*. 2017, Τόμ. 33.

36. Siyuan Ran, Xianting Li, WeiXu, Baolong Wang. A solar-air hybrid source heat pump for space heating and domestic hot water. *Solar Energy*. 2020, Τόμ. 199, 15.

37. Michalis Karagiorgas, Kostas Galatis, Manolis Tsagouri, Theocharis Tsoutsos, Aristotelis Botzios-Valaskakis. Solar assisted heat pump on air collectors: A simulation tool. *Solar Energy*. 2010, Τόμ. 84, 1.

38. Max S.Peters, Klaus D. Timmerhaus, Ronald E. West. *ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ*. Αθήνα : Εκδόσεις Τζιόλα, 2006. 978-960-418-058-5.

39. ConstantineKarytsas, SpyridonKarytsas OlympiaPolyzou. Factors affecting willingness to adopt and willingness to pay for a residential hybrid system that provides heating/cooling and domestic hot water. *Renewable Energy*. November 2019, σσ. 591-603.

40. A.Taha, Hamdy. *Εισαγωγή στην ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ*. Αθήνα : Εκδόσεις Τζιόλα, 2018. 978-960-418-691-4.

41. Νικόλαος, Μαστρομιχαλακης. *Αξιολόγηση Επενδύσεων με την μέθοδο MONTE CARLO*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.

42. *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. P. Torcellini, S. Pless, and M. Deru. Pacific Grove, California : U.S. Department of Energy , 2006.

43. Validation of Vertical Ground Heat Exchanger Design.

44. Τσαρτσάλης, Χρήστος Ι. *Εξοικονόμηση Ενέργειας με Εφαρμογή Ηλιοθερμικών*. Αθήνα : s.n., 2012.

45. John A. Duffie (Deceased), William A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey : John Wiley & Sons, 2013.
46. Καλδέλης Ιωάννης, Κοσμάς Καββαδίας. *Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας*. Αθήνα : Σταμούλη Α.Ε., 2001. 960-351-345-8.
47. JiangjiangWang, Yi LiuFukang Ren, Shuaikang Lu. Multi-objective optimization and selection of hybrid combined cooling, heating and power systems considering operational flexibility. *Energy*. 2020, Τόμ. 197, 117313.
48. AristotelisBotzios-Valaskakis, Michalis Karagiorgas KostasGalatisa ManolisTsagouria TheocharisTsoutsos. Solar assisted heat pump on air collectors: A simulation tool. *Solar Energy*. 2010, Τόμ. 84, 1.
49. Δημήτρης Φακίνος, Αντώνη Οικονόμου. *Εισαγωγή στην επιχειρησιακή έρευνα*. Αθήνα : Συμμετρία, 2003. 978-960-266-144-4.
50. *Excel solver - GRG Nonlinear solving method stopping conditions* . FrontlineSolvers. <https://www.solver.com/excel-solver-grg-nonlinear-solving-method-stopping-conditions>,
51. Sarah Signorellia, Simone Bassetti, Daniel Pahud, Thomas Kohl. Numerical evaluation of thermal response tests. *Geothermics*. 2, April 2007, Τόμ. 36.
52. Δαλαμάγκας. www.dalamagkas.gr. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 1 2 2021.] <http://www.dalamagkas.gr/product/hliako-systima-kenoy-gia-uermansh-emelcat-sol/>.
53. Υπουργική απόφαση Δ9Βδ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488(ΦΕΚΒ1249/24.06.2009). 2009.