



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
*Πολυτεχνική Σχολή*

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ*  
*ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ 4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ*  
*ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ*

**ΜΟΥΡΙΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2017**



## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η ενεργειακή συμπεριφορά πρότυπης κατοικίας για τις 4 κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, με έμφαση στην αξιοποίηση τεχνολογίας αντλίας θερμότητας αβαθούς γεωθερμίας. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές έννοιες της γεωθερμικής ενέργειας και γίνεται ιστορική ανασκόπηση αυτής. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι εφαρμογές της γεωθερμίας. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα γεωθερμικά συστήματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετήθηκε μονοκατοικία, η οποία ευρίσκεται σε φάση σχεδιασμού και τηρεί τους κανονισμούς θερμομόνωσης, στις 4 κλιματικές ζώνες (Ηράκλειο, Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Καστοριά αντίστοιχα), με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού του Τ.Ε.Ε., σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. Επιπροσθέτως, η εν λόγω κατοικία διαθέτει παλαιά και ενεργοβόρα συστήματα (λέβητα πετρελαίου για θέρμανση, ηλεκτρική αντίσταση για το ζεστό νερό χρήσης και τοπικές αντλίες θερμότητας για ψύξη, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν τυπικά για τον ελληνικό χώρο). Στο πλαίσιο της ενεργειακής αναβάθμισης, προτιμήθηκε η εγκατάσταση νέων συστημάτων, όπως οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Ακόμη, επιλέχθηκε η εγκατάσταση ηλιακών θερμικών συστημάτων και φωτοβολταϊκών πάνελ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται σύγκριση των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων τόσο του αρχικού όσο και του εναλλακτικού σεναρίου, σε θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης, στις τέσσερις κλιματικές ζώνες. Ακόμη, παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν στα δυο σενάρια. Εξετάστηκε πόσο οικονομικά συμφέρουσα είναι η εγκατάσταση των τριών προαναφερθέντων συστημάτων στις τέσσερις κλιματικές ζώνες με ταυτόχρονη παράθεση των αντίστοιχων κοστολογίων και των περιόδων αποπληρωμής. Τα οικονομικά αποτελέσματα βασίσθηκαν σε πραγματικές εκτιμήσεις έπειτα από έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε.

Στο έκτο κεφάλαιο υπολογίζονται οι ηλεκτρικές καταναλώσεις, καθώς το ανωτέρω λογισμικό δεν δίδει τη δυνατότητα για κάλυψη φορτίων φωτισμού, και προσδιορίζονται η βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς και η αντίστοιχη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για την κλίση αυτή. Επιλέχθηκαν πάνελ που είναι διαθέσιμα στην αγορά και υπολογίστηκαν τα έτη απόσβεσης βάσει της τρέχουσας τιμής της παραγόμενης κιλοβατώρας. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα.

## **Abstract**

This diploma thesis presents the energy performance analysis of a typical residence for the 4 climatic zones of Greece, focusing on the use of ground source heat pump technology. The first chapter presents basic concepts of geothermal energy and has been historically reviewed. The second chapter describes geothermal applications. In the third chapter geothermal systems are analyzed.

In the fourth chapter, a detached house, which is in the design phase and adheres to the thermal insulation regulations, was studied in the 4 climatic zones (Heraklion, Athens, Thessaloniki and Kastoria respectively), with the help of appropriate software developed by the Technical Chamber of Greece, in accordance with the requirements of the Energy Performance of Buildings Directive. In addition, this residence has old and energy-intensive systems (oil boiler for heating, electrical resistance for hot water and local heat pumps for cooling, which can be considered typical). For this reason, the installation of new system was preferred, such as geothermal heat pumps. Moreover, the installation of solar thermal systems and photovoltaic panels was chosen.

In the fifth chapter, the energy demand and consumption for heating, cooling and hot water uses are presented. The analysis extends to the four climate zones, while including both the initial scenario, as well as that of the energy upgrade. Furthermore, the energy consumption in terms of fuels for the two scenarios is presented. It has been examined how economically advantageous is the installation of the three above-mentioned systems in the four climatic zones through the quoting of the respective cost and repayment periods. The financial results were based on actual estimates following a market survey.

In the sixth chapter, electrical consumption is calculated, as the respective software does not provide the ability to cover light loads, and the optimum slope of the photovoltaic panels and the corresponding solar radiation for optimal inclination are determined. Panels available on the market were selected and the depreciation years were calculated based on the current price of the produced electrical energy per kWh. Finally, in the seventh chapter the conclusions are presented.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας που μεταλαμπάδευσαν τις γνώσεις και τις εμπειρίες τους, αλλά πάνω απ' όλα για το ήθος και τις αξίες που τους διακατείχαν. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στον επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τον κ. Γεώργιο Πανάρα, καθώς και στα υπόλοιπα μέλη που απαρτίζουν την τριμελή εξεταστική επιτροπή, τους κ.κ. Γεώργιο Σκόδρα και Εμμανουήλ Σουλιώτη. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ποικιλότητα αρωγή και την αδιάκοπη συμπαράσταση προς το πρόσωπό μου.



## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες .....	5
Περιεχόμενα.....	7
Κεφάλαιο 1: Περί γεωθερμίας .....	13
1.1 Ορισμός.....	13
1.2 Ιστορική ανασκόπηση .....	14
1.3 Γεωθερμικά πεδία .....	18
1.4 Γεωθερμικοί πόροι .....	21
Κεφάλαιο 2: Εφαρμογές γεωθερμικής ενέργειας .....	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	24
2.3 Θέρμανση χώρων.....	26
2.4 Ψύξη χώρων.....	29
2.5 Γεωθερμικός κλιματισμός.....	29
2.6 Αγροτικές εφαρμογές.....	31
2.7 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού .....	34
2.8 Θέρμανση πισίνων - Ιατρικές εφαρμογές .....	34
2.9 Υδατοκαλλιέργειες.....	35
Κεφάλαιο 3: Γεωθερμικά συστήματα .....	37
3.1 Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα .....	37
3.1.1 Γενικά.....	37
3.1.2 Στάδια ανάπτυξης συστημάτων κατακόρυφων γεωεναλλάκτων .....	38
3.1.3 Διευθέτηση και είδη κατακόρυφων γεωεναλλακτών.....	40

3.1.4 Γεωεναλλάκτης τύπου U σωλήνα .....	41
3.1.4.1 Γεωεναλλάκτης με μονή σωλήνα τύπου U .....	42
3.1.4.2 Γεωεναλλάκτης με μονή τύπου U σωλήνα με αποστάτες .....	42
3.1.4.3 Γεωεναλλάκτης με πολλαπλούς αυλούς τύπου U-σωλήνα.....	42
3.1.5 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης .....	43
3.1.5.1 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης χωρίς επένδυση.....	43
3.1.5.2 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης τύπου σωλήνα - σε - σωλήνα.....	43
3.1.5.3 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης με μαλακή επένδυση.....	44
3.1.5.4 Γεωεναλλάκτης πολλών καναλιών .....	44
3.1.5.5 Γεωεναλλάκτης πολλών σωλήνων – Πολλαπλός ομοαξονικός γεωεναλλάκτης.....	44
3.2 Οριζόντια γεωθερμικά συστήματα .....	45
3.2.1 Γενικά.....	45
3.2.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού.....	46
3.2.3 Γενικές κατευθύνσεις κατασκευής.....	47
3.2.4 Διευθέτηση και είδη οριζόντιων γεωεναλλακτών .....	49
3.2.4.1 Συστήματα σε σειρά.....	50
3.2.4.2 Παράλληλα συστήματα.....	50
3.2.4.3 Σύστημα απλού βρόχου σε τάφρο.....	51
3.2.4.4 Συστήματα σπειροειδούς διάταξης .....	51
3.3 Ανοικτά γεωθερμικά συστήματα .....	53
3.3.1 Γενικά.....	53
3.3.2 Στοιχεία σχεδιασμού .....	56
3.3.3 Κατασκευή ανοικτών γεωθερμικών συστημάτων .....	57
3.3.4 Τύποι συστημάτων.....	57
Κεφάλαιο 4: Διερεύνηση ενεργειακής συμπεριφοράς υφιστάμενου κτιρίου .....	59



4.1 Γενικά.....	59
4.2 Μάσκα εισαγωγής δεδομένων .....	60
4.3 Παρουσίαση κτιρίου .....	66
4.4 Κέλυφος.....	68
4.5 Αερισμός.....	69
4.6 Θέρμανση.....	70
4.6.1 Απόδοση μονάδας παραγωγής θερμότητας .....	70
4.6.2 Δίκτυο διανομής.....	72
4.6.3 Τερματική μονάδα .....	73
4.7 Ψύξη.....	74
4.7.1 Απόδοση μονάδας παραγωγής ψύξης.....	74
4.7.2 Δίκτυο διανομής.....	74
4.7.3 Τερματική μονάδα .....	75
4.8 Ζεστό νερό χρήσης.....	75
4.8.1 Δίκτυο διανομής.....	77
4.8.2 Τερματική μονάδα .....	77
4.9 Ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις υπάρχοντος κτιρίου.....	77
4.9.1 Θέρμανση.....	77
4.9.2 Ψύξη.....	78
4.9.3 Ζεστό νερό χρήσης.....	79
Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση εναλλακτικού σεναρίου .....	81
5.1 Εισαγωγή.....	81
5.2 Θέρμανση.....	81
5.3 Ψύξη.....	83
5.4 Ζεστό νερό χρήσης.....	83
5.5 Απαιτούμενο εμβαδόν για εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας.....	84

5.6 Απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων.....	85
5.7 Κόστος παρεμβάσεων γεωθερμικής αντλίας .....	85
5.8 Επιπρόσθετα απαιτούμενα κόστη .....	86
5.8.1 Εγκατάσταση fan coil .....	86
5.8.2 Ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη .....	88
5.9 Ηλιακός συλλέκτης.....	90
5.10 Κόστος ηλιακού συλλέκτη.....	91
5.11 Ενεργειακή κατάταξη και πρωτογενής ενέργεια .....	92
5.12 Ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις εναλλακτικού σεναρίου .....	95
5.12.1 Θέρμανση.....	95
5.12.2 Ψύξη.....	96
5.12.3 Ζεστό νερό χρήσης.....	97
5.13 Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο .....	98
5.14 Περίοδος αποπληρωμής.....	99
Κεφάλαιο 6: Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος.....	103
6.1 Γενικά.....	103
6.2 Φωτισμός .....	103
6.2.1 Συντελεστής επίδρασης φυσικού φωτισμού ( $F_D$ ) .....	103
6.2.2 Συντελεστής επίδρασης χρηστών ( $F_O$ ).....	104
6.3 Συσκευές.....	105
6.4 Ηλεκτρικές καταναλώσεις .....	105
6.5 Γενικά για τα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	106
6.6 Συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας από φωτοβολταϊκά .....	106
6.7 Παράμετροι θέσης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων .....	107
6.8 Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.....	108
6.9 Απαιτούμενο εμβαδόν φωτοβολταϊκών πάνελ .....	109

6.10 Κόστος φωτοβολταϊκών πάνελ .....	111
6.11 Περίοδος αποπληρωμής.....	111
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα .....	113
Βιβλιογραφία .....	117
Ελληνική βιβλιογραφία.....	117
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία .....	118
Ιστοσελίδες.....	119



# Κεφάλαιο 1: Περί γεωθερμίας

## 1.1 Ορισμός

Γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια ([www.el.wikipedia.org](http://www.el.wikipedia.org)). Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας και η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης, η οποία προκαλεί τη δημιουργία διαφόρων γεωλογικών φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Είναι καθαρή, παρατεταμένη και υποφερτή από το περιβάλλον. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής.

Είναι μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Οι γεωθερμικές περιοχές συχνά εντοπίζονται από τον ατμό που βγαίνει από σχισμές του φλοιού της γης, δηλαδή από τις ηφαιστειακές εκροές ή από την παρουσία θερμών πηγών, αλλά και με την εμφάνιση ρηγμάτων του υπεδάφους. Συνήθως, όμως, ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα, για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας, που βρίσκεται αποθηκευμένο υπό τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων και που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο και πρόκειται για τα τρία πρώτα περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης (Κουρτίδης, 2014).

Η γεωθερμική ενέργεια φθάνει στην επιφάνεια της γης και ακολούθως ακτινοβολείται στο διάστημα, ενώ ταυτόχρονα αποθηκεύεται και σε υπόγειους ή επιφανειακούς σχηματισμούς υπό τη μορφή θερμών ατμών, υπόγειων θερμών ατμών, όπως επίσης και προηγμένων ή τεχνητών συστημάτων γεωθερμίας

## 1.2 Ιστορική ανασκόπηση

Οι ενεργειακές θεωρήσεις κατείχαν σημαντική θέση στο σχεδιασμό κατοικιών, καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας της αρχιτεκτονικής για τους ανθρώπους (Μιλτιάδους & Μαυρουδής, 2012). Ήταν πολύ χρήσιμη και σπουδαία η κατανόηση του ενεργειακού παράγοντα, όσον αφορά στην πρώτη κατοικία, η οποία είχε ιδιαίτερες ανάγκες λόγω κλίματος, πολιτισμού, τοποθεσίας, ώστε να είναι μεν λειτουργική, αλλά και αισθητική. Όλες οι παρεμβάσεις και σκέψεις με σκοπό τη δημιουργία κατάλληλων σπιτιών, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περιοχής έδιναν μοναδικότητα στην περιοχή, αλλά και εξαιρετικές κατασκευές. Από την αρχαιότητα παρατηρούμε μέσα από τα συγγράμματα των αρχαίων φιλοσόφων και όχι μόνο τη σημασία και τη χρήση των ιδιοτήτων της γης, του αέρα, του ήλιου και του νερού στην κατασκευή της κατοικίας, όπου κατά τον Σωκράτη (στα απομνημονεύματα του Ξενοφόντα, 430-435 π.Χ.) ιδεώδης κατοικία είναι αυτή που προσφέρει ζέστη τους χειμερινούς μήνες και δροσιά κατά τους θερινούς.

Παράδειγμα αποτελούν οι οικισμοί των Ινδιάνων Hopi, τα λεγόμενα Pueblos στην Αριζόνα, οι οποίοι κατάφεραν έξυπνα να μετριάσουν τα ακραία καιρικά φαινόμενα και να διατηρήσουν το μικροκλίμα των λασπόχτιστων κατοικιών τους σταθερό όλο το χρόνο. Επομένως, ο τόπος και το κλίμα είναι αυτά που καθορίζουν τον τρόπο που θα κτιστεί η κατοικία, ώστε να μπορεί η ενέργεια να διανεμηθεί σωστά. Στην Υεμένη, για παράδειγμα, έχουμε τους γνωστούς ανεμόπυργους. Οι άνθρωποι, ακόμα και σε μια τέτοια δύσβατη περιοχή, κατάφεραν να αξιοποιήσουν την ικανότητα του εδάφους, η οποία αποθηκεύει τη θερμότητα. Έτσι έφτιαχναν τα σπίτια τους μέσα στη γη, με αποτέλεσμα να διατηρούν τη ζέστη το χειμώνα και τη δροσιά το καλοκαίρι, αντλώντας θερμότητα από το έδαφος.

Αυτός ο τρόπος κατασκευής σπιτιών χρησιμοποιήθηκε επίσης από τους Ινδιάνους Navajo, τους Κινέζους, τους Αφρικανούς της Βόρειας Αφρικής, αλλά και αρκετά χρόνια αργότερα από τον Wendell Thomas, το 1950, όπου με αυτή τη μέθοδο θέλησε να αξιοποιήσει τη θερμότητα της γης σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία και το φυσικό αερισμό. Η ανθρωπότητα, όμως, δεν γνώριζε από πάντα την ύπαρξη αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας στο έδαφος, όπως και σήμερα άλλωστε δεν είναι ευρέως γνωστό το γεγονός ότι η αποθηκευμένη αυτή ηλιακή ενέργεια είναι υπό τη

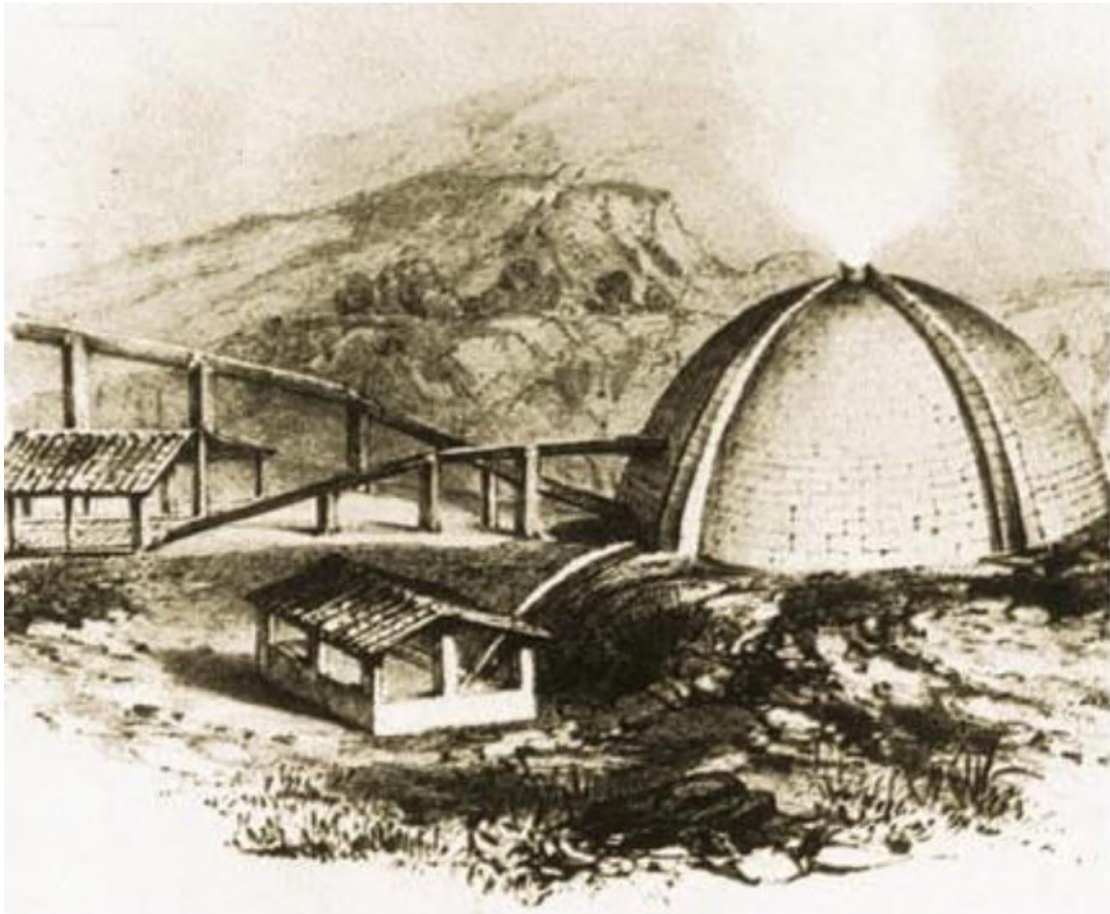
μορφή θερμότητας (μετρημένη ως θερμοκρασία), καθώς και ότι η αποθηκευμένη αυτή θερμότητα παραμένει σχεδόν σταθερή σε κάθε σημείο της γης.

Η σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους αποδείχθηκε επιστημονικά σε βαθείς υπόγειους θαλάμους κάτω από το "Παρατηρητήριο" του Παρισιού. Στα τέλη του 17<sup>ου</sup> αιώνα, ο διάσημος Γάλλος φυσικοχημικός Lavoisier, τοποθέτησε ένα θερμόμετρο υδραργύρου σ' εκείνο το σημείο σε βάθος 28 περίπου μέτρων κάτω από το επίπεδο του δρόμου. Ο Buffon αναφέρει συγκεκριμένα το 1778 στο βιβλίο του ότι: «οι θερμοκρασιακές ενδείξεις αυτού του θερμομέτρου παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου». Επιπλέον, ο Alexander von Humboldt κατά τη διάρκεια των σπουδών του στο Παρίσι σημειώνει το 1799: "Η μέση θερμοκρασία των μετρήσεων, που έχουν λάβει χώρα σ' αυτή τη βάση από το 1680 παρουσιάζει διακύμανση μικρότερη του ενός βαθμού".

Αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19ου αιώνα (Μαρούδης, 2014). Εκείνη την περίοδο, στην Τοσκάνη της Ιταλίας και συγκεκριμένα στην περιοχή του Larderello λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέος από τα βοριούχα θερμά νερά που ανάβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούνταν από ρηχές γεωτρήσεις. Η παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827 ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής, αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλωμένα δάση της περιοχής, ανέπτυξε ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης (Σχήμα 1.1).

Το 1838 ξεκίνησε μία σειρά μετρήσεων μεγάλης ακρίβειας της θερμοκρασίας στο Royal Observatory του Εδιμβούργου, οι οποίες έδειξαν ότι σε βάθος 8 μέτρων από την επιφάνεια οι θερμοκρασιακές μεταβολές αποτελούν το 1/20 των θερμοκρασιακών μεταβολών που παρατηρούνται στην επιφάνεια και σε βάθος 16,5 περίπου μέτρων το 1/400 αντίστοιχα. Η πρώτη εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ή ορθότερα διατυπωμένα η πρώτη αντλία θερμότητας με πηγή θερμότητας το έδαφος, έλαβε χώρα στην Ινδιανάπολις το 1945 στο σπίτι του Robert C. Webber, υπάλληλου στην εταιρία "Indianapolis Power and Light Co. Αναλυτικότερα, μ' ένα συμπιεστή 2,2 kW συνδεδεμένο με απευθείας επέκταση ενός συστήματος σπειρών σε υπόγειους τάφρους, παρείχε θέρμανση σε σύστημα θέρμανσης με θερμό αέρα. Η αναφορά

ελέγχου που συντάχθηκε κλείνει με αυτά τα λόγια: "Ελπίζεται, παρ'όλ' αυτά, ότι αυτή η αναφορά της ενεργής εγκατάστασης υπό τους μέσους όρους λειτουργίας θα βοηθήσει στο να δώσει σε άλλες χρήσεις την ιδέα της δυνατότητας της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας εδάφους για τη θέρμανση κατοικιών."

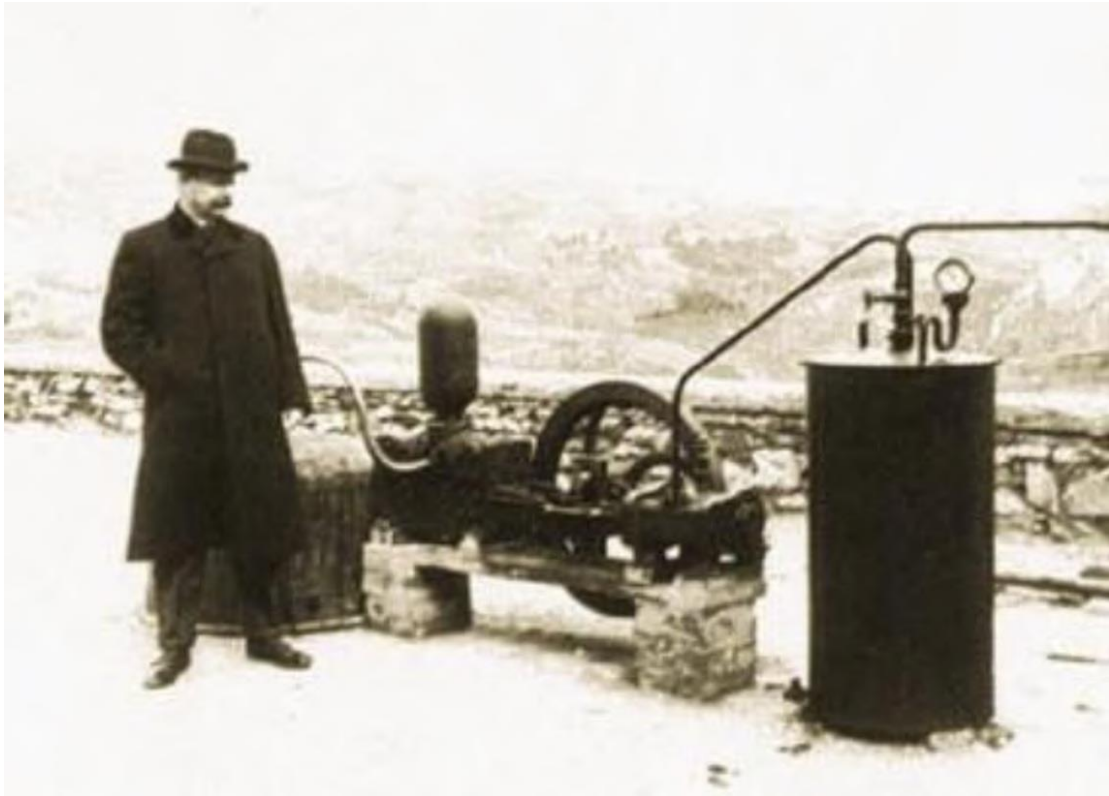


Σχήμα 1.1: Η καλυμμένη «λιμνούλα», που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα στην περιοχή του Larderello για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος ([www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org)).

Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Ανάμεσα στο 1850 και 1875 οι εγκαταστάσεις του Larderello κατείχαν το μονοπώλιο παραγωγής βορικού οξέος στην Ευρώπη. Μεταξύ του 1910 και του 1940 στην περιοχή αυτή της Τοσκάνης ο



χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων.



Σχήμα 1.2: Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκιπας Piero Ginori Conti ([www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org)).

Εν τω μεταξύ, ολοένα και περισσότερες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν τους γεωθερμικούς τους πόρους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892 το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Αίνταχο των Η.Π.Α. Το 1928 μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών (Αβραμίδου, 2011). Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, και πάλι στο Larderello της Ιταλίας (Σχήμα 1.2).

Η επιτυχία της αυτής πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας

μορφής εκμετάλλευσης, που επρόκειτο έκτοτε να αναπτυχθεί σημαντικά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε πράγματι μια εμπορική επιτυχία. Το 1942 η εγκατεστημένη γεωθερμοηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kWe. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Beppu της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες.

### **1.3 Γεωθερμικά πεδία**

Η γεωθερμία περιλαμβάνει: προηγμένα γεωθερμικά συστήματα, γεωθερμικά πεδία υψηλής ή χαμηλής ενθαλπίας, αβαθείς υδροφόρους, ή εδάφη θερμοκρασίας < 25 °C. Επισημαίνεται ότι το βάθος του πετρώματος δεν αποτελεί παράγοντα, για να χαρακτηριστεί θερμό ξηρό. Οι γεωτρήσεις κατασκευάζονται σε μεγάλα βάθη, με σκοπό να εκμεταλλευθούν τις υψηλές θερμοκρασίες, λόγω ανωμαλίας της θερμοβαθμίδας, που εμφανίζεται στα πετρώματα αυτά π.χ. γρανίτης. Το γεωθερμικό δυναμικό μπορεί να ταξινομηθεί στις εξής κατηγορίες (Sigfússon & Uihlein, 2015) :

α) Προηγμένα (ή Τεχνητά) Γεωθερμικά Συστήματα τα οποία απαντώνται παντού σε βάθη 3-5km με θερμοκρασία 100-150°C, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος κατά περίπου 30 °C κάθε 1000 m.

β) Υδροφόροι ορίζοντες με θερμοκρασίες 150 – 300 °C, σε μικρά σχετικά βάθη, σε ορισμένες περιοχές που αποτελούν τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας. Τα ρευστά αυτά αποτελούνται από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού στις περισσότερες περιπτώσεις. Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας αξιοποιούνται κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με κύκλο υγρού - ατμού για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150 °C είτε με κύκλο οργανικής ουσίας ή αμμωνίας για θερμοκρασίες μεγαλύτερες με εκκίνηση βάσης σήμερα από 80 βαθμούς Κελσίου. Η αξιοποίηση της υπολειπόμενης ενέργειας για τηλεθέρμανση και τηλεψύξη είναι επίσης εφικτή.

γ) Υδροφόροι ορίζοντες με θερμοκρασίες 100 – 150 °C σε μικρά σχετικά βάθη σε ορισμένες περιοχές, που αποτελούν τα γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας.

δ) Υδροφόροι ορίζοντες με θερμοκρασίες 25 – 100 °C σε μικρά σχετικά βάθη σε ορισμένες περιοχές, που αποτελούν τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας. Τα συστήματα αξιοποίησης της θερμότητας, από τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας, απαιτούν ειδικό σχεδιασμό και εξειδικευμένη τεχνολογία σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας τους.

ε) Υδροφόροι ορίζοντες με θερμοκρασίες (15-30 °C) σε πολλές θέσεις.

στ) Εδάφη με σταθερή θερμοκρασία περί τους 15 °C και μεγαλύτερη, μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

ζ) Ψυχρά πεδία με θερμοκρασίες κάτω από τη μέση περιβαλλοντική τιμή και περιοχές, όπου αναπτύσσεται αντίστροφη ροή θερμότητας. Οι περιοχές αυτές προέρχονται από υπολείμματα της περιόδου των παγετώνων.

Η θερμική ροή εμφανίζεται:

- 1) Κατά τη βύθιση λιθοσφαιρικών πλακών.
- 2) Στα ηπειρωτικά βυθίσματα.
- 3) Στις ηπειρωτικές περιοχές διόγκωσης.

Τα γεωθερμικά πεδία περιέχουν συχνά χρήσιμα αέρια ή άλατα, όπως το κάλιο και το μαγνήσιο, που παράγονται από θερμικές ενέργειες.

Η εκμετάλλευση των θερμών ξηρών πετρωμάτων βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης και γίνεται με διάνοιξη γεωτρήσεων μεγάλου βάθους και υδραυλική θραύση του πετρώματος μεταξύ τους, έτσι ώστε να δημιουργηθούν ρωγμές. Στη συνέχεια, διοχετεύεται στο πέτρωμα gel, για να μειωθεί η διάβρωση του πετρώματος και να γίνει το κλείσιμο των τεχνητών διαρρήξεων, όπου θερμαίνεται και αντλείται στην επιφάνεια από τη γεώτρηση παραγωγής. Στην περίπτωση των θερμών υπόγειων υδροφόρων, το θερμό νερό μεταφέρεται στην επιφάνεια δια μέσου γεωτρήσεων, συνήθως με άντληση. Κατόπιν, τροφοδοτεί τα συστήματα θέρμανσης, εφόσον η χημική του σύσταση το επιτρέπει ή εναλλακτικά μεταδίδει τη θερμότητά του σε δευτερεύον κλειστό κύκλωμα ζεστού νερού μέσω εναλλακτών θερμότητας. Το γεωθερμικό ρευστό μετά τη χρήση του διοχετεύεται ξανά στους υδροφόρους ορίζοντες, από όπου προήλθε διαμέσου γεωτρήσεων επανεισαγωγής.

Επειδή τα γεωθερμικά συστήματα, όπως και οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, χαρακτηρίζονται από μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης και μικρό κόστος λειτουργίας, συμφέρει τόσο από οικονομικής πλευράς, όσο και για ορθολογική χρήση της ενέργειας να σχεδιάζονται εφαρμογές σε σειρά. Με αυτόν τον τρόπο, από την ίδια ποσότητα ζεστού νερού εξάγεται πολλαπλάσιο ποσό θερμικής ενέργειας, επειδή αξιοποιείται πολλαπλάσια θερμοκρασιακή διαφορά. Η αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού του εδάφους γίνεται με συνδυασμό υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας και εναλλάκτη θερμότητας εδάφους ή ακόμη και με άμεσους εναλλάκτες ψυκτικού μέσου - εδάφους. Ο εναλλάκτης εδάφους περιλαμβάνει σωλήνες τοποθετημένες εντός του εδάφους ή εντός γεωτρήσεων, στις οποίες κυκλοφορεί νερό σε κλειστό κύκλωμα ή ψυκτικό ρευστό. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χαρακτηρίζονται από μικρές ηλεκτρικές καταναλώσεις, σε σύγκριση με άλλες μεθοδολογίες χρήσης αντλιών θερμότητας.

Η ύπαρξη υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας σε κάποια περιοχή είναι μια από τις προϋποθέσεις για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Η γεωθερμική ενέργεια είναι πρωτογενώς αποθηκευμένη μέσα στα πετρώματα, είναι διασκορπισμένη μέσα στη μάζα τους και πρέπει να συγκεντρωθεί και να μεταφερθεί στην επιφάνεια της γης, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μεταλλικό νερό (σε υγρή ή αέρια φάση) που περιέχεται μέσα σε πορώδη πετρώματα ή σε συστήματα ρηγμάτων. Αποτελεί το μέσο που μεταφέρει τη θερμότητα από τα πετρώματα αυτά στην επιφάνεια της γης, έτσι η παραγωγικότητα μιας θερμικής περιοχής προσδιορίζεται και συχνά καθορίζεται από την υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών.

Δεν έχουν, όμως, όλες οι θερμικές περιοχές κατάλληλη υδρολογία, που αποτελεί τη δεύτερη συνθήκη για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Κατά συνέπεια, ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο είναι συνδυασμός θερμών πετρωμάτων και ύπαρξης νερού που να κυκλοφορεί μέσα σ' αυτά. Στις ζώνες σεισμικών εστιών, υπάρχουν πεδία χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας που σχετίζονται μεταξύ τους. Το γεωθερμικό ρευστό προέρχεται από τις κατακρημνίσεις. Το νερό από τις βροχές και τα χιόνια εισχωρεί στο έδαφος και σιγά-σιγά προχωρεί στο εσωτερικό της Γης φτάνοντας σε βάθη μέχρι και 5km. Από αναλύσεις βασισμένες σε ραδιοϊσότοπα, βρέθηκε ότι ο κύκλος του νερού σε ένα γεωθερμικό σύστημα διαρκεί περίπου 500 χρόνια. Η περιοχή τροφοδοσίας του συστήματος μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στο

πεδίο ή σε μεγάλη από αυτό απόσταση μέχρι και 200km, οπότε και η διαδρομή του ρευστού ποικίλλει ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες.

Το νερό, λόγω της μεγάλης του θερμοχωρητικότητας, λειτουργεί και σαν "συμπυκνωτής" θερμότητας. Η μέση θερμοχωρητικότητα του νερού στην ίδια μέση θερμοκρασία (1300 °C) είναι πενταπλάσια αυτής των πετρωμάτων που βρίσκονται στα πρώτα 10 km από την επιφάνεια της γης. Η θερμοχωρητικότητα του κορεσμένου ατμού στους 2360 °C είναι τριακονταπλάσια αυτής των πετρωμάτων. Για να απορροφήσει το νερό αυτή τη θερμότητα είτε πρέπει να έρθει σε επαφή με πολύ μεγάλες μάζες πετρωμάτων που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία είτε να διανύσει πολύ μεγάλη διαδρομή μέχρι να φτάσει στις γεωτρήσεις. Και στις δύο περιπτώσεις, οι μάζες των πετρωμάτων που συμμετέχουν στο σύστημα πρέπει να είναι πολύ μεγάλες, της τάξης των εκατοντάδων κυβικών χιλιομέτρων .

#### **1.4 Γεωθερμικοί πόροι**

Οι γεωθερμικοί πόροι είναι ποσότητες, οι οποίες είναι αποθηκευμένες ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορούν να ανακτηθούν με κόστος που να ανταγωνίζεται τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας (Κουτσούκος, 2016). Είναι το σύνολο των φυσικών ατμών, θερμών, επιφανειακών και υπόγειων νερών και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, των οποίων η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη μέση ετήσια θερμοκρασία της εκάστοτε περιοχής. Οι οικονομικά επωφελείς γεωθερμικοί πόροι αποτελούν μέρος των ωφέλιμων και προσβάσιμων γεωθερμικών πόρων και ονομάζονται αποθέματα (Αβραμίδου, 2011). Οι πόροι αυτοί έχουν εξερευνηθεί και μελετηθεί μέσω γεωτρητικών, γεωλογικών, γεωχημικών και γεωφυσικών ερευνών.



## Κεφάλαιο 2: Εφαρμογές γεωθερμικής ενέργειας

### 2.1 Εισαγωγή

Στις ενδεικτικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας περιλαμβάνονται (Βραχόπουλος κ.ά., 2015):

- 180 °C, εξάτμιση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, ψύξη με απορρόφηση (βαθιά κατάψυξη), κατεργασία χαρτομάζας,
- 170 °C: παραγωγή βαρέως ύδατος, ξήρανση διατομών,
- 160°C : ξήρανση ψαριών, ξυλείας, παραγωγή ηλεκτρισμού με ατμοστρόβιλο,
- 150°C: παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer,
- 140°C : ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κονσερβοποίηση,
- 130°C: εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, ανάκτηση αλάτων με εξάτμιση και κρυστάλλωση,
- 120°C: παραγωγή γλυκού νερού με απόσταξη,
- 110°C: ξήρανση τσιμεντόλιθων,
- 100°C: ξήρανση οργανικών ουσιών, φυκιών, οσπρίων, πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού, παραγωγή ηλεκτρισμού με οργανικά μέσα,
- 90°C: ξήρανση ψαριών,
- 80°C: θέρμανση οικισμών, θέρμανση θερμοκηπίων, παραγωγή ηλεκτρισμού με οργανικά μέσα κάτω όριο,
- 70°C : ψύξη (κατώτερο όριο) για κλιματισμό,
- 60°C: εκτροφή διαφόρων ζώων,
- 50°C: καλλιέργεια μανιταριών,
- 40°C: θέρμανση εδάφους, θέρμανση οικισμών, ιαματικά λουτρά,
- 30°C: πισίνες, ζύμωση, θέρμανση θερμοκηπίων με ακτινωτό δίκτυο αγωγών,
- 20°C: ιχθυοκαλλιέργειες,

- $T < 20^{\circ}\text{C}$  : εγκαταστάσεις αξιοποίησης κανονικού γεωθερμικού πεδίου.

Οι άμεσες χρήσεις της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση είναι οι παλαιότερες, οι πιο πολύπλευρες και οι πλέον συνηθισμένες μορφές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Η λουτροθεραπεία, η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση, οι αγροτικές εφαρμογές, οι υδατοκαλλιέργειες και κάποιες βιομηχανικές χρήσεις είναι οι πιο γνωστές μορφές χρήσεις, όμως οι αντλίες θερμότητας αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αξιοποίησης. Υπάρχουν φυσικά και κάποιοι άλλοι μικρότερης κλίμακας τρόποι εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, οι οποίοι όμως δεν είναι τόσο συνηθισμένοι.

## 2.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά λαμβάνει χώρα σε μονάδες που λειτουργούν είτε με συμβατικούς αμοστρόβιλους είτε με δυαδικό κύκλο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πόρου (Κουρτίδης, 2014).

Οι συμβατικοί αμοστρόβιλοι απαιτούν ρευστά που έχουν θερμοκρασίες τουλάχιστον  $150^{\circ}\text{C}$ . Η μονάδα μπορεί να λειτουργεί με συμπυκνωτές, όπου η πίεση διατηρείται συνεχώς σε χαμηλά επίπεδα ή χωρίς, οπότε γίνεται διάθεση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Ο τύπος με αμοστρόβιλους ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι απλούστερος και οικονομικότερος. Ο ατμός που έρχεται είτε απευθείας από γεωτρήσεις που παράγουν ξηρό ατμό είτε από γεωτρήσεις με υγρό ατμό, αφού γίνει ο διαχωρισμός του νερού, περνά από τον αμοστρόβιλο και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα (Σχήμα 2.1).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ρευστά χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας και από το υψηλής θερμοκρασίας νερό που εξέρχεται από τους διαχωριστές στα γεωθερμικά πεδία υγρής φάσης σημειώνει αξιόλογη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, κυρίως εξαιτίας της προόδου που επιτεύχθηκε στην τεχνολογία των δυαδικών ρευστών. Σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται ένα δευτερεύον -συνήθως οργανικό- ρευστό (ισοπεντάνιο), το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσεως και υψηλή τάση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες, αν συγκριθεί με τον υδάτινο ατμό. Το δευτερεύον ρευστό χρησιμοποιείται μέσα σε ένα συμβατικό οργανικό κύκλο Rankine ως εξής: το γεωθερμικό ρευστό προσφέρει θερμότητα στο δευτερεύον υγρό μέσω





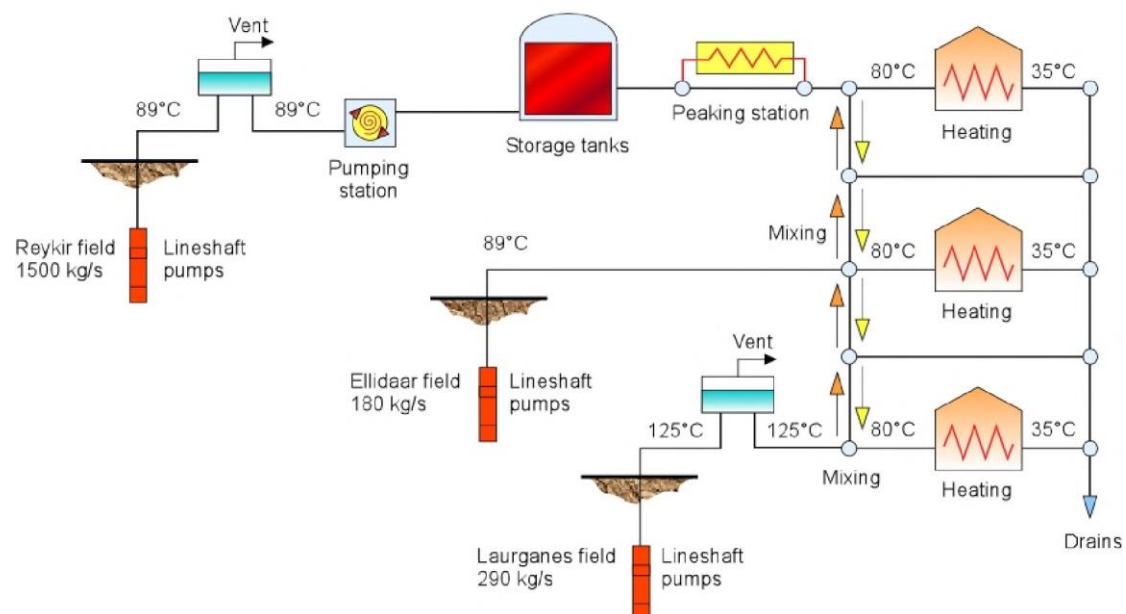
## 2.3 Θέρμανση χώρων

Η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση παρουσίασαν μεγάλη ανάπτυξη στην Ισλανδία (Σχήμα 2.3).

Εγκατάσταση τηλεθέρμανσης χαρακτηρίζεται η εγκατάσταση που σκοπό έχει να τροφοδοτήσει με θερμότητα σύνολο καταναλωτών, μέσω ενός δικτύου μεταφοράς και διανομής, από μια ή περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας. Εφαρμόζεται σε σύνολα κτηρίων, νοσοκομειακές εγκαταστάσεις, στρατόπεδα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κτλ. Διαφέρει από την κλασική μέθοδο παραγωγής και κατανάλωσης θερμότητας, σύμφωνα με την οποία η εγκατάσταση παραγωγής βρίσκεται στον τόπο κατανάλωσης, όπως οι οικιακοί λέβητες, για αυτό και ονομάστηκε τηλεθέρμανση (Φίστη, 2015).

Τα θερμικά φορτία μπορεί να προορίζονται για:

- α) θέρμανση χώρων και παρασκευή θερμού νερού χρήσης, οπότε η εγκατάσταση αποτελεί τηλεθέρμανση πόλεων και οικισμών,
- β) βιομηχανική χρήση και αναφέρεται σε βιομηχανικά φορτία,
- γ) γεωργική χρήση και αναφέρεται σε γεωργικά φορτία.



Σχήμα 2.3: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του συστήματος τηλεθέρμανσης του Reykjavik (Gudmundsson, 1988).

Η παραπάνω διάκριση είναι σκόπιμη εξαιτίας της διαφορετικής ποιότητας των θερμικών φορτίων και ανεξάρτητα από την ισχύ τους. Τα θερμικά φορτία για θέρμανση χώρων απαιτούν θερμοκρασίες περί τους 80°C στις περιόδους αιχμής. Τα γεωργικά φορτία (θερμοκήπια – ξηραντήρια σε περιοχή θερμοκρασιών κάτω των 50°C) είναι υποβαθμισμένα. Τα βιομηχανικά φορτία καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την κατασκευή μίας τέτοιας εγκατάστασης είναι:

- Η οικονομικότητα της εγκατάστασης.
- Η γεωγραφική θέση της πηγής παραγωγής θερμότητας. Εάν είναι δυνατόν η πηγή παραγωγής θερμότητας πρέπει να βρίσκεται σε κεντρικό σημείο, κάτι που δεν είναι πάντοτε εφικτό.
- Η εκλογή του δικτύου των σωληνώσεων (με ή χωρίς κανάλια).
- Η εξασφάλιση του νερού.
- Η διαμόρφωση της τιμολόγησης.
- Η επιβολή ή όχι υποχρεωτικής σύνδεσης.
- Η παραγωγή της θερμικής ενέργειας μπορεί να είναι αυτόνομη ή συνδυασμένη με παράλληλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (συμπαράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - θερμότητας σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου - Σ.Η.Θ.).

Η τηλεθέρμανση αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

- Πηγή παραγωγής θερμότητας, το οποίο περιλαμβάνει εγκαταστάσεις γεωθερμικού ρευστού, αντλίες, όργανα μέτρησης κ.ά.
- Δίκτυο σωληνώσεων, για τη μεταφορά της θερμότητας σε μορφή θερμού νερού.
- Υποσταθμούς παράδοσης, όπου η θερμότητα μεταβιβάζεται από το κεντρικό δίκτυο στα επιμέρους κτήρια.
- Σωληνώσεις κτηρίων, όπου η θερμότητα μεταβιβάζεται από τους υποσταθμούς των κτηρίων στα θερμαντικά σώματα και στους λοιπούς καταναλωτές.

Για την εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου, γίνεται γεώτρηση παραγωγής και γεώτρηση επανεισαγωγής των αντλούμενων από το υπέδαφος ρευστών. Το δίκτυο

διανομής κατασκευάζεται συνήθως με προμονωμένους αγωγούς, οι οποίοι εγκαθίστανται απ' ευθείας στο έδαφος. Οι αγωγοί αυτοί αποτελούν σήμερα την πλέον εξελιγμένη τεχνολογία στον τομέα των τηλεθερμάνσεων, εξαιτίας της σχετικά απλής, γρήγορης και οικονομικής εγκατάστασής τους. Κατά τη σχεδίαση του δικτύου διανομής, οι αγωγοί της τηλεθέρμανσης που οδεύουν στους δρόμους της περιοχής χωροθετούνται κατά βάθος και κατά πλάτος, λαμβάνοντας υπόψη πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, που είναι:

- Η αναγκαιότητα τήρησης του κατάλληλου βάθους. Το βάθος αυξάνει το φορτίο, ενώ εάν είναι κοντά στην επιφάνεια, αναπτύσσονται έντονες διατμητικές τάσεις με αποτέλεσμα την αστοχία του αγωγού. Η μείωση της φόρτισης είναι θέμα γεωμηχανικού σχεδιασμού.
- Η τήρηση ελάχιστων αποστάσεων ασφαλείας των αγωγών από τα υπόλοιπα υπόγεια δίκτυα υποδομής κατά την παράλληλη όδευση, όπως και σε διασταυρώσεις με τα δίκτυα αυτά.

Κατά το σχεδιασμό του δικτύου διανομής, για την ορθή λειτουργία, πέρα από τη χωροθέτηση των αγωγών, προβλέπονται σε κατάλληλες θέσεις όλα τα εξαρτήματα του δικτύου, όπως βαλβίδες ανακυκλοφορίας, βαλβίδες εξαερισμού, εκκενωτικά και απομονωτικά επιστόμια. Σε όλες τις θέσεις που προβλέπονται τα παραπάνω εξαρτήματα, κατασκευάζονται και φρεάτια για το χειρισμό και την επιθεώρηση.

Υπάρχουν κάποιες μέθοδοι που ακολουθούνται για την εγκατάσταση του υποσταθμού.

Αυτές οι μέθοδοι είναι δύο:

- Τοποθέτηση εναλλάκτη χωρίς να προϋπάρχει λέβητας κεντρικής θέρμανσης ή κεντρικό μηχανοστάσιο κλιματισμού, αλλά υπάρχει η εγκατάσταση (νέα κτήρια).
- Τοποθέτηση εναλλάκτη με σύνδεση μέσω by-bass στον ήδη υπάρχοντα λέβητα κεντρικής θέρμανσης.

Στην πρώτη περίπτωση, στο χώρο που προβλεπόταν για την τοποθέτηση του λέβητα, τοποθετείται ο υποσταθμός του καταναλωτή. Στη δεύτερη περίπτωση, συνυπάρχουν ο λέβητας και η τηλεθέρμανση με τη δυνατότητα να λειτουργεί ο λέβητας, όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης, δηλαδή ο λέβητας αποτελεί μια εναλλακτική, βοηθητική, κυρίως λύση.\_

## 2.4 Ψύξη χώρων

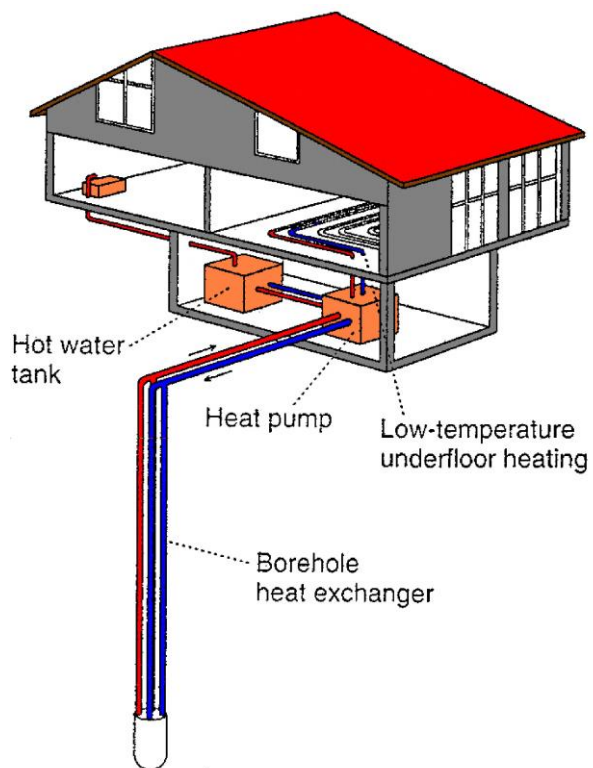
Η ψύξη χώρων αποτελεί μια αρκετά εφικτή και βιώσιμη επιλογή, στην περίπτωση όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανές απορρόφησης, οι οποίες βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο και η τεχνολογία τους είναι ευρέως γνωστή (Κουρτίδης, 2014).

Ο κύκλος της απορρόφησης είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας τη θερμότητα έναντι του ηλεκτρισμού. Η ψύξη επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο υγρών: ενός ψυκτικού, το οποίο κυκλοφορεί, εξατμίζεται και συμπυκνώνεται, και ενός δευτερεύοντος ρευστού ή απορροφητικού. Για εφαρμογές πάνω από 0°C, ο κύκλος χρησιμοποιεί βρωμίδιο του λιθίου ως απορροφητικό και νερό ως ψυκτικό υγρό. Για εφαρμογές κάτω από 0°C χρησιμοποιείται ο κύκλος αμμωνίας- νερού, με την αμμωνία στο ρόλο του ψυκτικού και του νερού στο ρόλο του απορροφητικού μέσου. Τα γεωθερμικά ρευστά παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση αυτών των μηχανών, όμως η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες των 105°C.

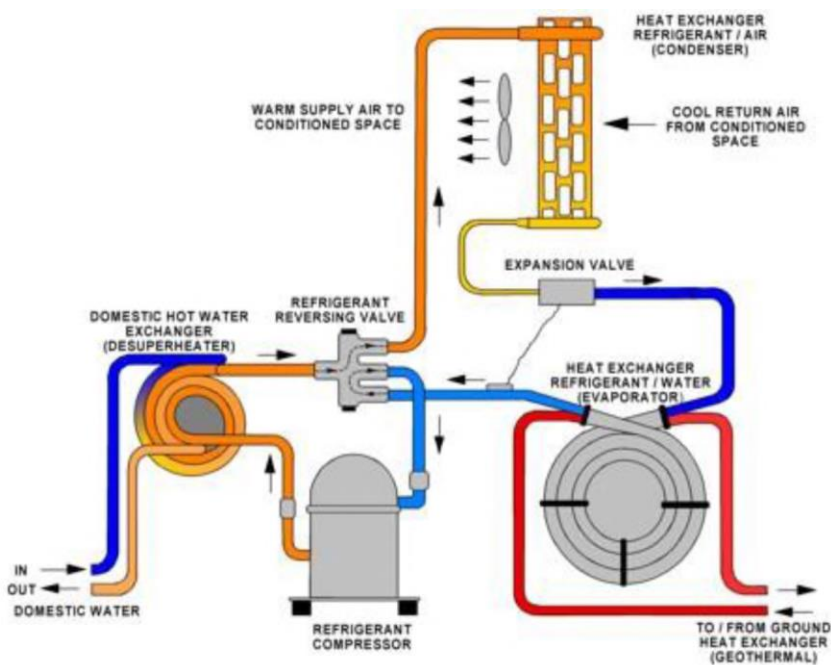
## 2.5 Γεωθερμικός κλιματισμός

Ο γεωθερμικός κλιματισμός (θέρμανση και ψύξη) χώρων άρχισε να αναπτύσσεται σημαντικά από τη δεκαετία του 1980, ακολουθώντας την εμφάνιση και την ευρεία διάδοση των αντλιών θερμότητας (Φίστη, 2015). Οι πολλοί διαθέσιμοι τύποι αντλιών θερμότητας επιτρέπουν την απόληψη και χρήση με οικονομικό τρόπο του θερμικού περιεχομένου των σωμάτων χαμηλής θερμοκρασίας, όπως είναι το έδαφος ή οι ρηχοί υδροφόροι, τεχνητές ή φυσικές συγκεντρώσεις νερού (Σχήμα 2.4).

Όπως είναι γνωστό, οι αντλίες θερμότητας είναι μηχανές που κατευθύνουν τη θερμότητα αντίθετα από τη διεύθυνση που θα ακολουθούσε με φυσικό τρόπο, δηλαδή την εξαναγκάζουν να κατευθυνθεί από ένα ψυχρό μέσο σε ένα άλλο θερμότερο. Οι αντλίες θερμότητας έχουν την ικανότητα να παρέχουν τόσο ψύξη, όσο και θέρμανση στο χώρο. Βέβαια για τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας απαιτείται δαπάνη ενέργειας, ενώ η χρήση τους ενδείκνυται κατά κύριο λόγο σε περιοχές κατάλληλων κλιματικών συνθηκών, οπότε για να είναι θετική η ενεργειακή ισορροπία πρέπει να προηγηθεί ένας σωστός σχεδιασμός (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.4: Τυπική εφαρμογή συστήματος αντλιών θερμότητας που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος ( Sanner et al., 2003).



Σχήμα 2.5: Σχηματικό διάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιείται για θέρμανση (Geo-Heat Center, Klamath Falls, Όρεγκον, ΗΠΑ).

## 2.6 Αγροτικές εφαρμογές

Οι αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμίας συνίστανται κυρίως στις ανοικτές καλλιέργειες και τη θέρμανση θερμοκηπίων (Χαραλαμπόπουλος, 2012). Το θερμό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ανοικτές καλλιέργειες για την άρδυσή τους και/ή τη θέρμανση του εδάφους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της άρδευσης με χλιαρό νερό εντοπίζεται στο γεγονός ότι για να επιτευχθεί κάποια αξιόλογη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους θα πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού να έχουν θερμοκρασία τόσο χαμηλή, ώστε να μην προκαλούν ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Πιθανή λύση αυτού του προβλήματος θα ήταν η χρήση υπεδάφιων αρδευτικών συστημάτων σε συνδυασμό με ένα υπόγειο σύστημα σωλήνωσης, το οποίο θα λειτουργεί ως το μέσο θέρμανσης του εδάφους (Φίστη, 2015).

Η θέρμανση του εδάφους με υπεδάφιους σωλήνες χωρίς την ύπαρξη του αρδευτικού συστήματος θα προκαλούσε μείωση της θερμικής αγωγιμότητάς του, εξαιτίας της μείωσης της υγρασίας γύρω από τους σωλήνες και κατ' επέκταση θα οδηγούσε σε θερμική μόνωση. Η βέλτιστη λύση φαίνεται, λοιπόν, ότι θα ήταν ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης. Η χημική σύσταση των γεωθερμικών νερών, που χρησιμοποιούνται για άρδευση θα πρέπει να εξετάζεται και να παρακολουθείται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν βλαβερές συνέπειες στα φυτά. Ο θερμοκρασιακός έλεγχος στις ανοικτές καλλιέργειες έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- α) αποτρέπει τις ζημιές λόγω χαμηλών θερμοκρασιών και παγετού,
- β) επεκτείνει την περίοδο ανάπτυξης των φυτών και δίνει σημαντική ώθηση στην παραγωγή και
- γ) αποστειρώνει το έδαφος (Τσανάκας & Μωυσίδης, 2013).

Η πιο συνηθισμένη γεωθερμική εφαρμογή στον αγροτικό τομέα είναι η θέρμανση θερμοκηπίων, η οποία αναπτύχθηκε ιδιαίτερα σε πολλές χώρες. Η εκτός εποχής καλλιέργεια κηπουρικών, οπωρικών και ανθοκομικών προϊόντων ή η ανάπτυξή τους σε περιοχές με μη ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες μπορεί σήμερα να βασιστεί σε μια ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία. Υπάρχουν ποικίλες λύσεις για την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών ανάπτυξης των φυτών, οι οποίες βασίζονται στη χρήση της καλύτερης θερμοκρασίας για το κάθε είδος στη σωστή ένταση του φωτός, στην

ιδανική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα μέσα στο θερμοκήπιο, στην κατάλληλη υγρασία του εδάφους και του αέρα και στην κίνηση του αέρα μέσα στα θερμοκήπια.

Ένα θερμοκήπιο μπορεί να θερμανθεί, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ρευστού, με τους εξής τρόπους:

- α) με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους στο χώμα σε βάθος 5-20 εκατοστών,
- β) με εναλλάκτη αέρα-γεωθερμικού νερού (αερόθερμο),
- γ) με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου,
- δ) με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής, κυρίως για αντιπαγετική προστασία,
- ε) με συνδυασμό όλων των παραπάνω.

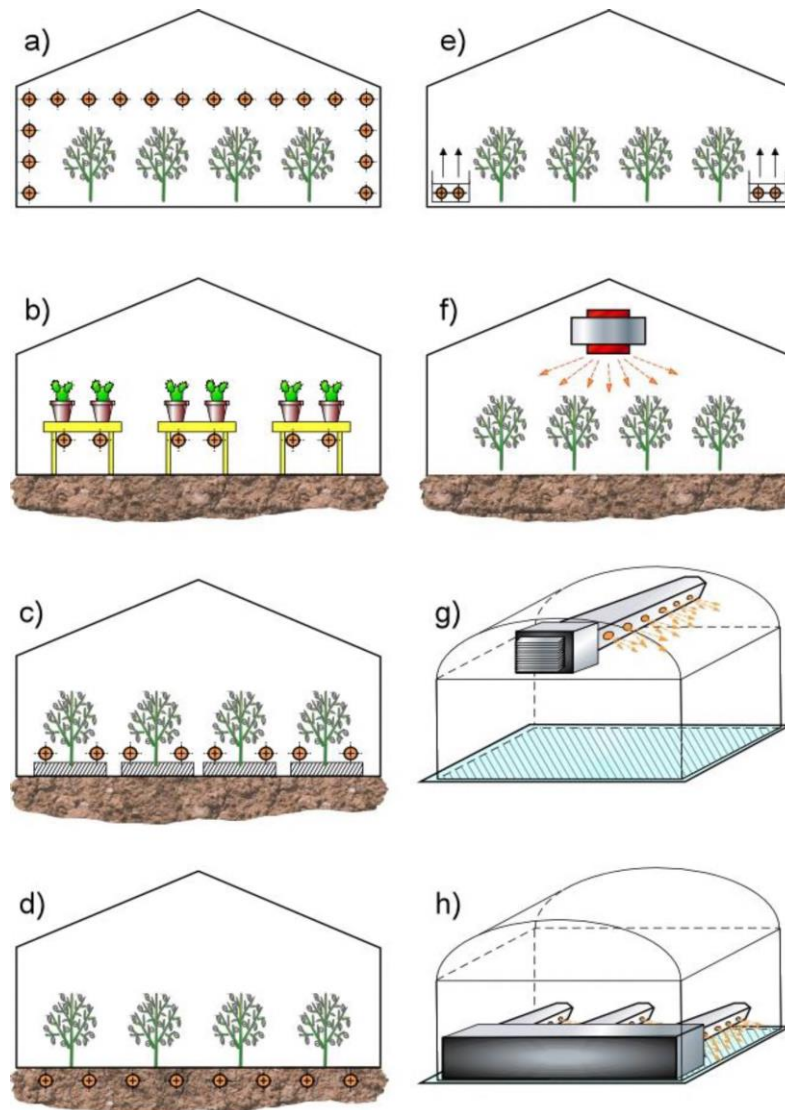
Το υλικό κάλυψης των τοιχωμάτων ενός θερμοκηπίου μπορεί να αποτελείται από γυαλί, fiberglass, πλάκες σκληρού πλαστικού ή πλαστικά φύλλα. Το γυαλί είναι το πλέον διαφανές υλικό και, σε σχέση με το πλαστικό, σε μεγαλύτερο βαθμό τη διέλευση φωτός. Από την άλλη, το γυαλί προσφέρει μικρότερη θερμική μόνωση, είναι λιγότερο ανθεκτικό στην κρούση, είναι βαρύτερο και πολύ πιο ακριβό. Τα πιο απλά θερμοκήπια κατασκευάζονται από μονά φύλλα πλαστικού, όμως τελευταίως χρησιμοποιούνται και διπλά στρώματα πλαστικών, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα κενό αέρος.

Με το σύστημα αυτό μειώνονται οι θερμικές απώλειες από τα τοιχώματα σε ποσοστό μέχρι και 30-40%, οπότε αυξάνεται σημαντικά η απόδοση του θερμοκηπίου. Η θέρμανση ενός θερμοκηπίου μπορεί επίσης να επιτευχθεί με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα στους εναλλάκτες θερμότητας, στους σωλήνες ή τους αγωγούς θερμού νερού που βρίσκονται τοποθετημένοι μέσα ή πάνω στο έδαφος, στα θερμαντικά σώματα κατά μήκος των πλευρικών τοιχωμάτων και κάτω από τους πάγκους ή με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.

Η χρήση των γεωθερμικών ρευστών για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου μειώνει σημαντικά τα λειτουργικά του έξοδα, τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις φτάνουν το 35% του κόστους παραγωγής. Η εκτροφή κτηνοτροφικών ειδών και οι υδρόβιοι οργανισμοί, όπως ακριβώς και τα φυτά, επωφελούνται σημαντικά από τις άριστες



συνθήκες της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου, τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς την ποσότητα παραγωγής τους (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Συστήματα θέρμανσης σε γεωθερικά θερμοκήπια. Εγκαταστάσεις θέρμανσης με φυσική κίνηση του αέρα (φυσική συναγωγή): (α) εναέριοι σωλήνες θέρμανσης, (β) θέρμανση πάγκων, (γ) σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά, (δ) θέρμανση εδάφους.

Εγκαταστάσεις θέρμανσης με εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή) (ε) πλευρική τοποθέτηση σωλήνων, (στ) εναέριο αερόθερμα, (ζ) αγωγοί τοποθετημένοι ψηλά, (η) αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά (von Zabeltitz, 1986).

Σε πολλές περιπτώσεις τα γεωθερικά νερά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ακόμη επικερδέστερα, μέσα από τη συνδυασμένη χρήση τους σε κτηνοτροφικές μονάδες και

γεωθερμικά θερμοκήπια. Η ενέργεια που χρειάζεται για τη θέρμανση μιας μονάδας εκτροφής ζώων είναι περίπου το 50% αυτής που απαιτείται για ένα θερμοκήπιο ίδιας επιφάνειας, οπότε η κλιμακωτή χρήση των γεωθερμικών ρευστών θεωρείται ενδεδειγμένη. Η εκτροφή ζώων σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας συνεισφέρει στη βελτίωση της υγείας τους, ενώ η χρήση των θερμών ρευστών θα μπορούσε να επεκταθεί στον καθαρισμό και την εξυγίανση των χώρων τους, αλλά και στην ξήρανση των αποβλήτων τους.

## **2.7 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού**

Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού γίνεται με χρήση της θερμικής ενέργειας των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας, που υπάρχουν σε μικρά και επομένως οικονομικά βάθη (Αβραμίδου, 2011). Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε γνωστές και δόκιμες τεχνολογίες θερμικών μεθόδων αφαλάτωσης. Η αφαλάτωση αυτή γίνεται με θερμική απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (δράσεων) σε εξατμιστήρες είτε καθέτων αυλών είτε οριζοντίων αυλών είτε υβριδικών συστημάτων είτε άλλων μεθόδων. Σε όλες τις θερμικές αυτές μεθόδους η εξατμηση γίνεται μέσα σε κατακόρυφους ή οριζόντιους εξατμιστήρες.

## **2.8 Θέρμανση πισίνων - Ιατρικές εφαρμογές**

Μια από τις πιο δημοφιλείς χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ανά τον κόσμο είναι η θέρμανση πισίνων και οι ιατρικές εφαρμογές (Τσανάκας & Μουσιδης, 2013). Στις μέρες μας, υπάρχουν πολλές λουτροπόλεις, οι οποίες χρησιμοποιούν το θερμό νερό που προέρχεται από τη γη για θεραπευτικούς σκοπούς και για αναζωογόνηση. Όσον αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών διαφέρουν, ανάλογα με τη σύστασή τους (θερμοκρασία, μεταλλικά στοιχεία) και τον τρόπο χρήσης τους. Οι συνηθέστερες εφαρμογές είναι η λουτροθεραπεία, η λασποθεραπεία, η εισπνοθεραπεία και η ποσιθεραπεία (Αβραμίδου, 2011). Όσον αφορά τις εφαρμογές αναζωογόνησης, πρόκειται για λουτροπόλεις με κέντρα υγείας και ομορφιάς, που έχουν ως βασικό σκοπό την ξεκούραση και ανανέωση του ανθρώπινου οργανισμού.

## 2.9 Υδατοκαλλιέργειες

Οι υδατοκαλλιέργειες, οι οποίες στην ουσία αποτελούν την ελεγχόμενη εκτροφή υδρόβιων οργανισμών, αποκτούν σήμερα ολοένα και μεγαλύτερη σπουδαιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της αυξημένης ζήτησής τους στην αγορά (Χαραλαμπίδης, 2012). Ο έλεγχος της θερμοκρασίας εκτροφής των ειδών αυτών είναι πολύ πιο σημαντικός σε σχέση με τα είδη που αναπτύσσονται στην ξηρά (θηλαστικά και πτηνά), το οποίο δείχνει πόσο πιο διαφορετική είναι η τάση της καμπύλης ανάπτυξης των υδρόβιων ειδών (Αβραμίδου, 2011). Διατηρώντας με τεχνητά μέσα τη θερμοκρασία σε βέλτιστα επίπεδα, καθίσταται δυνατή και η εκτροφή εξωτικών ειδών, η βελτίωση της παραγωγής ή ακόμη και ο διπλασιασμός του αναπαραγωγικού κύκλου σε μερικά είδη.

Οι υδατοκαλλιέργειες περιλαμβάνουν, επίσης, την εκτροφή αλιγατόρων, που αξιοποιούνται συνήθως ως τουριστικό αξιοθέατο, αλλά και για την εκμετάλλευση του δέρματός τους, η οποία μπορεί να αποτελέσει μια πολύ επικερδή δραστηριότητα. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τα υδρόβια είδη κυμαίνονται κατά βάση μεταξύ 20°C και 30°C. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων εξαρτάται από την αρχική θερμοκρασία των ρευστών, τη θερμοκρασία που απαιτείται στις δεξαμενές εκτροφής και από τις θερμικές απώλειες των τελευταίων.

Η καλλιέργεια της σπιρουλίνας θεωρείται επίσης μια μορφή υδατοκαλλιέργειας (Φίστη, 2015). Παρόλα αυτά, σε αρκετές χώρες των εύκρατων ζωνών η γεωθερμική ενέργεια έχει ήδη αξιοποιηθεί επιτυχώς σε τέτοιες υδατοκαλλιέργειες, για την ανάπτυξη της σπιρουλίνας σε ετήσια βάση, παρέχοντας την απαραίτητη θερμότητα, αλλά και το διοξείδιο του άνθρακα. Τα γεωθερμικά ρευστά, σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό τους εύρος, είτε πρόκειται για ατμό είτε για νερό, μπορούν να αξιοποιηθούν και σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι διάφορες δυνατές μορφές αξιοποίησης περιλαμβάνουν θέρμανση κατά τη διεργασία, εξάτμιση, ξήρανση, απόσταξη, αποστείρωση, πλύσιμο, λιώσιμο πάγων και ανάκτηση αλάτων. Η χρήση της γεωθερμικής θερμότητας κατά τη βιομηχανική επεξεργασία διάφορων προϊόντων εφαρμόζεται σε 19 χώρες, όπου οι εγκαταστάσεις είναι γενικά πολύ μεγάλες και η κατανάλωση ενέργειας υψηλή.

Άλλα συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η εμφιάλωση νερού και ανθρακούχων ποτών, η παραγωγή χαρτιού, τμημάτων αυτοκινήτων, η

ανάκτηση λαδιού, η παστερίωση γάλακτος, η χρήση στη βυρσοδεψία, η χημική ανάκτηση προϊόντων, η παραγωγή με διαχωρισμό του διοξειδίου του άνθρακα, η χρήση σε πλυντήρια, η ξήρανση γης διατόμων, η επεξεργασία πολτού και χαρτιού και η παραγωγή βορικών αλάτων και βορικού οξέος. Υπάρχουν επίσης εφαρμογές για χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας για λιώσιμο πάγου ως και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια.

## Κεφάλαιο 3: Γεωθερμικά συστήματα

### 3.1 Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα

#### 3.1.1 Γενικά

Σε αυτά τα συστήματα ο γεωθερμικός εναλλάκτης βυθίζεται κατακόρυφα στο υπέδαφος από 5m έως συνήθως 100m μέσα σε κατάλληλες γεωτρήσεις και λειτουργεί αντίστοιχα όπως και ο οριζόντιος ως μέσο μεταφοράς θερμότητας από και προς τη γη (Βραχόπουλος & Κούκου, 2010; Βραχόπουλος, 2004; Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Σε ειδικές περιπτώσεις και με υλικά κατάλληλης αντοχής μπορεί να φθάσει και σε μεγαλύτερα βάθη. Με ειδικά μεταλλικά στοιχεία που φέρουν επικάλυψη πλαστικού για αντοχή στη διάβρωση, μπορεί η αντοχή τους να ανέλθει και σε 25bar και μάλιστα σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να μπορεί ο εναλλάκτης να βυθιστεί μέχρι και σε 200m βάθος. Σύμφωνα με το πρότυπο VDI 4640, οι κατακόρυφοι γεωθερμικοί εναλλάκτες μπορούν να φθάσουν σε βάθη από 10 έως 400m. Η θερμοκρασία του ρευστού που μεταφέρει τη θερμότητα στον κατακόρυφο γεωθερμικό εναλλάκτη δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο των +/- 11K, κατά τη λειτουργία βασικού φορτίου (μέση εβδομαδιαία) και σε σχέση με τη μη διαταραγμένη θερμοκρασία εδάφους. Στα φορτία αιχμής, η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τους +/- 17K. Βέβαια, ο γεωθερμικός εναλλάκτης, λόγω της σχετικά αργής μεταφοράς θερμότητας, δεν είναι εύκολο να υπερβεί τα παραπάνω όρια.

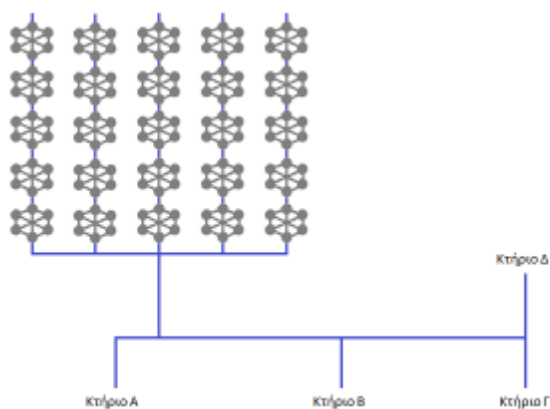
Ο γεωθερμικός εναλλάκτης ως τύπος συστήματος συνήθως προτιμάται σε εκείνες τις περιπτώσεις που γίνεται εκσυγχρονισμός των εγκαταστάσεων κλιματισμού ενός κτηρίου (θέρμανση- δροσισμός- παραγωγή ζεστού νερού) και όπου υπάρχει στενότητα διαθέσιμου εδάφους, γιατί δεν απαιτεί μεγάλες εκτάσεις κάλυψης (όπου δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος για την εγκατάσταση οριζόντιου κυκλώματος).

Η συμμετοχή της γεωθερμικής ροής θερμότητας στο συνολικό θερμικό ισοζύγιο του υπεδάφους μεταβάλλεται με το βάθος. Στην περίπτωση εγκατάστασης κοντά στην επιφάνεια και προσεγγιστικά σε βάθος 0-31m, η επίδραση της γεωθερμικής

ροής θερμότητας μπορεί να αμεληθεί, αφού κυριαρχεί η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, ειδικά στα πρώτα επιφανειακά στρώματα μέχρι το 1m βάθος. Μόνο σε μεγαλύτερα βάθη αυξάνει η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας. Σε εγκαταστάσεις που αναπτύσσονται σε μεγαλύτερα βάθη, μεγαλύτερα των 15m η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας είναι πιο σημαντική.

### 3.1.2 Στάδια ανάπτυξης συστημάτων κατακόρυφων γεωεναλλάκτων

Οι κατακόρυφοι γεωθερμικοί εναλλάκτες εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο, ανεξάρτητα από τη σύσταση του υπεδάφους. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται τυπική διάταξη κλειστού κατακόρυφου κυκλώματος για μεγάλα κτήρια. Σε υφιστάμενα κτήρια, η ελάχιστη απόσταση από τον τοίχο του κτηρίου πρέπει να είναι 2m ενώ σε κάθε περίπτωση η ευστάθεια του κτηρίου δεν πρέπει να τίθεται σε κίνδυνο. Για μεγαλύτερα συστήματα (>30kW), σε μια μη ξεκάθαρη γεωλογική- υδρογεωλογική κατάσταση, μπορεί να γίνει μία πιλοτική γεώτρηση, η οποία μπορεί να καταγραφεί γεωφυσικά και μετά να χρησιμοποιηθεί ως γεωεναλλάκτης (VDI 4640; Sanner, 2011).



Σχήμα 3.1: Διάταξη συστοιχίας κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών (Βραχόπουλος κ.ά., 2015).

Οι γεωεναλλάκτες συνήθως παραλαμβάνονται προκατασκευασμένοι και η εγκατάστασή τους γίνεται από την εταιρεία που έχει αναλάβει τη γεώτρηση, ενώ η μεταφορά τους στο χώρο εγκατάστασης πρέπει να γίνεται με προσοχή, έτσι ώστε να μην υπάρχουν μηχανικές φθορές. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα στάδια εφαρμογής γεωθερμικού εναλλάκτη κατακόρυφου τύπου.



α) Διάνοιξη γεώτρησης



β) Εισαγωγή σωλήνων στη γεώτρηση



γ) Εισαγωγή ενέματος και κλείσιμο γεώτρησης

Σχήμα 3.2: Στάδια εφαρμογής γεωθερμικού εναλλάκτη κατακόρυφου τύπου (Βραχόπουλος κ.ά., 2015).

Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα ακόλουθα (VDI 4640; Sanner, 2011):

- Για να γίνει η εγκατάσταση ευκολότερη, ο γεωεναλλάκτης πληρώνεται με νερό πριν από αυτή. Ακόμα και για ξηρές γεωτρήσεις ο γεωεναλλάκτης πρέπει να είναι

πληρωμένος με νερό, πριν μπει το ένεμα, για να αποφευχθεί τυχόν ανύψωση του. Επίσης, συνίσταται η διερεύνηση για το αν απαιτείται πρόσθετο βάρος στο κάτω μέρος.

- Τοποθετείται ο γεωεναλλάκτης στη γεώτρηση. Το ίδιο χρονικό διάστημα καθώς ο εναλλάκτης τοποθετείται στη γεώτρηση, εισάγεται και ο σωλήνας του ενέματος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν -ανάλογα με το βάθος της γεώτρησης- διάφοροι σωλήνες ενέματος για να διασφαλισθεί ή συνεχής πλήρωση με ένεμα.
- Μετά την εισαγωγή του γεωεναλλάκτη στη γεώτρηση, αλλά και πριν τη συμπλήρωση με ένεμα του διακένου, συνίσταται η διεξαγωγή τεστ πίεσης.
- Συμπλήρωση του διακένου με ένεμα.
- Λειτουργικός έλεγχος του γεωεναλλάκτη που έχει γεμίσει με νερό. Συνίσταται έλεγχος πίεσης κατ' ελάχιστον στα 6bar, προφόρτιση 30min, διάρκεια ελέγχου κατ' ελάχιστον 60min, επιτρεπτή απώλεια πίεσης 0,2 bar (για συνήθεις εγκαταστάσεις και συνήθους τύπου σωλήνες).
- Κατά τη διάρκεια μηνών που έχει πάγο, ο γεωεναλλάκτης πρέπει μερικώς να αδειάσει χρησιμοποιώντας συμπιεσμένο αέρα, μέχρι να συνδεθεί και τελικά να γεμίσει (επίπεδο ρευστού προσεγγιστικά 2m κάτω από το επίπεδο του εδάφους).
- Ο γεωεναλλάκτης κλείνει σφιχτά με τάπες οι οποίες ασφαλίζονται με κολλητική ταινία.

### **3.1.3 Διευθέτηση και είδη κατακόρυφων γεωεναλλακτών**

Οι σωληνώσεις των κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών ενδείκνυται να τοποθετούνται σε παράλληλα κυκλώματα, ενώ προτείνονται οι παρακάτω γενικές προδιαγραφές (VDI 4640; Sanner, 2011; ASHRAE, 2011 ):

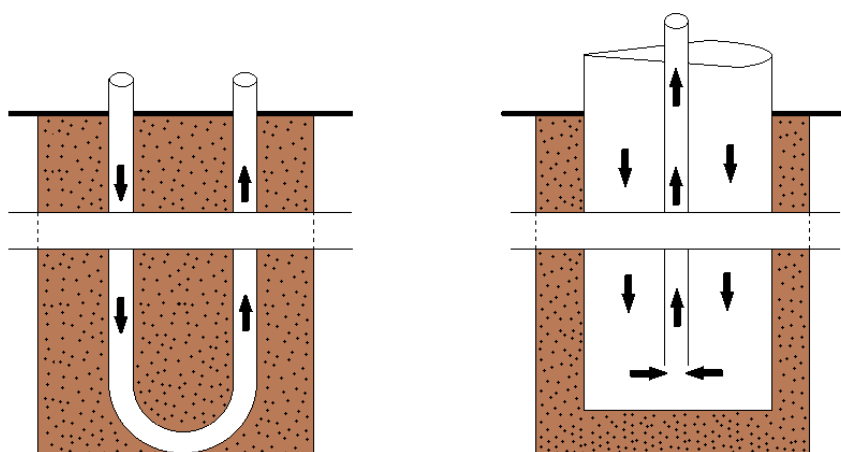
- α. Η διάμετρος της κάθε γεώτρησης είναι 6-8” και το βάθος τους κυμαίνεται μεταξύ 60 –100m.
- β. Η απόσταση μεταξύ των κάθετων γεωτρήσεων, προτείνεται να είναι μεγαλύτερη των 5~6m, για την αποφυγή τοπικού θερμικού κορεσμού του υπεδάφους.
- γ. Στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση σωληνώσεων από ακτινοδικτυωμένο πολυαιθυλένιο PEX-A ή άλλου τύπου



αντίστοιχης αντοχής για την εξασφάλιση της λειτουργίας σε βάθος χρόνου. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου, γίνεται η πλήρωση των γεωτρήσεων με θερμοαγώγιμο μίγμα (τσιμέντο, μπεντονίτης, κ.ά.).

δ. Η μέση απόδοση του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη κυμαίνεται μεταξύ 35–65 W/m ανάλογα με τα γεωλογικά στοιχεία του υπεδάφους και τη συνεχή απαίτηση σε μέγιστο φορτίο. Σε ειδικές περιπτώσεις οι τιμές αυτές μπορεί να είναι είτε μικρότερες είτε και μεγαλύτερες.

Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το πώς γίνεται η ανταλλαγή θερμότητας από τα κανάλια ροής στη γεωμετρία της διατομής τους. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι δύο βασικοί σχεδιασμοί κατακόρυφου γεωεναλλάκτη και ειδικότερα αυτός του γεωεναλλάκτη τύπου U σωλήνα και του ομοαξονικού γεωεναλλάκτη.



Σχήμα 3.3: Τύποι κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών με βάση τη διάταξη των αγωγών (Sanner, 2011): Γεωεναλλάκτης τύπου U σωλήνα (αριστερά) και ομοαξονικός γεωεναλλάκτης (δεξιά).

### 3.1.4 Γεωεναλλάκτης τύπου U σωλήνα

Η συνήθης μέθοδος για να επιτευχθεί η εναλλαγή θερμότητας σε μια γεώτρηση, είναι η εισαγωγή ενός ή περισσοτέρων σχήματος U βρόχους σωλήνων πολυαιθυλενίου μέσα στην οπή της γεώτρησης. Μονοί U σωλήνες χρησιμοποιούνται στη Βόρεια Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική, ενώ διπλοί U σωλήνες είναι συνήθεις στην Κεντρική Ευρώπη. Στη Βόρεια Ευρώπη, οι γεωτρήσεις συνήθως γεμίζουν με τα

υπόγεια ύδατα λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στις ΗΠΑ και στην Κεντρική Ευρώπη είναι κοινή πρακτική και συχνά απαιτείται να γεμίσουν οι γεωτρήσεις με κάποιο υλικό σφράγισης όπως μπεντονίτη, τσιμέντο ή χαλαζιακή άμμο. Έχουν αναπτυχθεί ειδικά μίγματα, που καλούνται θερμικά βελτιωμένα ενέματα, τα οποία παρέχουν καλύτερη μεταφορά θερμότητας από τον καθαρό μπεντονίτη.

#### **3.1.4.1 Γεωεναλλάκτης με μονή σωλήνα τύπου U**

Η μονή τύπου U - σωλήνα υπήρξε το πρότυπο για περίπου 30 χρόνια. Στο γεωεναλλάκτη τύπου U σωλήνα, τόσο τα προς τα κάτω, όσο και τα προς τα άνω, κανάλια ροής συμμετέχουν στην ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον έδαφος. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι η απλότητα του σχεδιασμού, η ευκολία στη μεταφορά και η απλή εγκατάσταση σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές λύσεις. Μια εγκατάσταση με βάση τις αποδεδειγμένες βέλτιστες πρακτικές έχει σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής. Τα κύρια προβλήματα περιλαμβάνουν τυχόν διαρροή που οφείλεται σε ακατάλληλη τήξη των U στροφών και χαλαρά κάτω τμήματα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του μονού τύπου U σωλήνα είναι η σχετικά φτωχή ικανότητα μεταφοράς θερμότητας, ειδικά σε συνθήκες μη τυρβώδους ροής.

#### **3.1.4.2 Γεωεναλλάκτης με μονή τύπου U σωλήνα με αποστάτες**

Η θερμική απόδοση του τύπου U σωλήνα αυξάνεται εάν οι σωλήνες τοποθετούνται πλησίον του τοιχώματος της γεώτρησης το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αποστατών.

#### **3.1.4.3 Γεωεναλλάκτης με πολλαπλούς αυλούς τύπου U-σωλήνα**

Διπλοί, τριπλοί και πολλαπλοί τύπου U-σωλήνες είναι απλές επεκτάσεις της έννοιας της μονής τύπου U σωλήνα. Τα κύρια πλεονεκτήματα των πολλαπλών σωλήνων, σε σύγκριση με τη μονή τύπου U σωλήνα, είναι ότι η αποτελεσματική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας αυξάνει και ότι η επίδραση της σχετικά μεγάλης θερμικής αντίστασης των πλαστικών σωλήνων μειώνεται. Η επίδραση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή μειώνεται επίσης, το οποίο σημαίνει ότι η

σημασία της μη στρωτής ροής σε φορτία σχεδιασμού είναι λιγότερο κρίσιμη. Αυτό μπορεί στη συνέχεια να επιτρέψει ελαφρώς χαμηλότερη πτώση πίεσης κατά μήκος του γεωεναλλάκτη, προκειμένου να επιτευχθεί ένας ορισμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση της γεώτρησης είναι ο ρυθμός ροής του ρευστού, το υλικό του σωλήνα, ο αριθμός των σωλήνων, η θέση του σωλήνα και η θερμική αγωγιμότητα του υλικού πλήρωσης.

### **3.1.5 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης**

Τα χαρακτηριστικά του ομοαξονικού τύπου γεωεναλλάκτη (ή σωλήνα εντός σωλήνα) είναι ότι η ανταλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα, είτε από το εισερχόμενο ή το εξερχόμενο κανάλι ροής (η κατεύθυνση ροής μπορεί επίσης να είναι διαφορετική κατά την εισαγωγή ή άντληση θερμότητας). Ο εσωτερικός σωλήνας επιστροφής μπορεί να είναι ιδανικά μονωμένος, προκειμένου να αποφευχθεί θερμικό βραχυκύκλωμα, μεταξύ των προς τα πάνω και προς τα κάτω καναλιών ροής το οποίο δεν είναι απαραίτητο υπό όλες τις συνθήκες.

#### **3.1.5.1 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης χωρίς επένδυση**

Η απλούστερη διάταξη των καναλιών ροής σε έναν κατακόρυφο γεωεναλλάκτη θερμότητας είναι να εισαχθεί ένας πλαστικός σωλήνας στον πυθμένα της γεώτρησης. Η δακτυλιοειδής περιοχή μεταξύ του πλαστικού σωλήνα και του τοιχώματος του φρεάτιου παρέχει το κανάλι για την επιστροφή της ροής. Αυτό το είδος του ανοικτού γεωεναλλάκτη είναι πολύ ευνοϊκό από την άποψη της μεταφοράς θερμότητας, επειδή το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να είναι σε άμεση επαφή με το τοίχωμα της γεώτρησης. Στις ΗΠΑ, η ρύθμιση αυτή ονομάζεται επίσης όρθια στήλη γεώτρησης. Το περιβάλλον πέτρωμα μπορεί να είναι διαπερατό, οπότε η δευτερεύουσα κυκλοφορία του ρευστού στο σχηματισμό συμβάλλει στην απαγωγή της θερμότητας.

#### **3.1.5.2 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης τύπου σωλήνα - σε - σωλήνα**

Ένα κλειστό σύστημα απαιτείται συχνά λόγω των ασταθών τοιχωμάτων της γεώτρησης ή λόγω γεωχημικών αιτιών. Μπορεί να αναπτυχθεί ένας κλειστός δακτυλιοειδής αγωγός με την επένδυση της γεώτρησης με ένα αδιαπέραστο υλικό.

Τοποθετώντας και τσιμεντόνωντας σωλήνες PVC (ή χαλύβδινους σωλήνες) σε γεωτρήσεις είναι μάλλον δύσκολο και δαπανηρό σε σύγκριση με τους τύπου U σωλήνες, έτσι ώστε αυτή η μέθοδος να έχει χρησιμοποιηθεί μόνο μερικές φορές σε σχετικά αβαθείς γεωτρήσεις σε κρυσταλλικά πετρώματα. Λόγω της σημαντικής θερμικής αντίστασης του υλικού πλήρωσης μεταξύ του εξωτερικού σωλήνα και του τοιχώματος του φρέατος, η μετρούμενη θερμική αντίσταση γεώτρησης για τις ρυθμίσεις αυτές ήταν παρόμοια με εκείνη των απλούστερων τύπου U σωλήνων. Ωστόσο, σε βαθείς αργιλώδεις σχηματισμούς ο κατακόρυφος ομοαξονικός σωλήνας έχει χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερο πλεονέκτημα, δεδομένου ότι ο άργιλος γύρω από το εξωτερικό του σωλήνα στις περισσότερες περιπτώσεις τελικά προσαρμόζεται στην επιφάνεια του σωλήνα ενώ δεν υπάρχει υλικό πλήρωσης.

### **3.1.5.3 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης με μαλακή επένδυση**

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρήσης μίας εύκαμπτης μαλακής επένδυσης, η οποία μετά την εισαγωγή θα ωθείται έναντι του τοιχώματος της γεώτρησης όταν το εσωτερικό είναι γεμάτο με ρευστό. Το πλεονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι ότι δεν υπάρχει υλικό πλήρωσης μεταξύ της επένδυσης και του τοιχώματος του φρέατος, ωστόσο, αρκετές δοκιμές κατέδειξαν προβλήματα με διαρροή.

### **3.1.5.4 Γεωεναλλάκτης πολλών καναλιών**

Το εξωτερικό κανάλι ροής μπορεί να χωριστεί σε πολλές μικρότερες θαλάμους. Λόγω της θερμικής αντίστασης του υλικού πλήρωσης μεταξύ του εξωτερικού σωλήνα και του τοιχώματος του φρεάτιου και το πιθανό θερμικό βραχυκύκλωμα μεταξύ του εσωτερικού και των εξωτερικών καναλιών ροής, η αποτελεσματικότητα αυτού του σχεδιασμού είναι παρόμοια με αυτή του τύπου U σωλήνων.

### **3.1.5.5 Γεωεναλλάκτης πολλών σωλήνων – Πολλαπλός ομοαξονικός γεωεναλλάκτης**

Το εξωτερικό κανάλι ροής μπορεί να συναρμολογηθεί με πολλούς μικρότερους αγωγούς. Δοκιμές πεδίου έχουν δείξει ότι αυτή η διάταξη του καναλιού ροής μπορεί να επιτύχει υψηλή απόδοση. Τα κανάλια ροής είναι τυποποιημένοι σωλήνες πολυαιθυλενίου διαφόρων μεγεθών. Δεν υπάρχουν εμπορικά προϊόντα αυτού του

τύπου που διατίθενται στην αγορά. Η μόνωση του εσωτερικού σωλήνα, ο σχεδιασμός του κάτω κομματιού, η διαδικασία εγκατάστασης και το συνολικό κόστος είναι από τις παραμέτρους που χρήζουν περαιτέρω μελέτη.

## **3.2 Οριζόντια γεωθερμικά συστήματα**

### **3.2.1 Γενικά**

Η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους και η θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια προσδιορίζεται από τη θερμική ισορροπία ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία, στη γεωθερμική θερμική ροή και σε διάφορες θερμικές παραμέτρους και ιδιότητες ανάμεσα σε αυτούς τους δύο παράγοντες. Στην περίπτωση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, είναι επιθυμητό το έδαφος να έχει υψηλή ικανότητα μεταφοράς θερμότητας, γιατί έτσι η απαιτούμενη θερμότητα φθάνει στους γεωεναλλάκτες εύκολα ή μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα από το υπέδαφος (Kasuda & Archenbach, 1965) και ταυτόχρονα η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα που συνεπάγεται μεγάλη θερμική διάχυση που διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η συμμετοχή της γεωθερμικής ροής θερμότητας στο συνολικό θερμικό ισοζύγιο του υπεδάφους μεταβάλλεται με το βάθος. Στην περίπτωση εγκατάστασης κοντά στην επιφάνεια και προσεγγιστικά σε βάθος έως 5m, η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας εμπλέκεται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε μεγαλύτερα βάθη μέχρι σήμερα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί οριζόντια συστήματα, εκτός των περιπτώσεων που αυτά τοποθετούνται κάτω από κτήρια. Μόνο σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m (μέχρι και 100m) υφίσταται αποκλειστικά η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας. Σε εγκαταστάσεις που αναπτύσσονται σε μεγαλύτερα βάθη η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας είναι μοναδική. Τα συστήματα κανονικής γεωθερμίας επί της ουσίας δεν εκμεταλλεύονται την εισερχόμενη στη μάζα τους γεωθερμική ροή, ούτε την ηλιακή θερμότητα οι οποίες στην ουσία μετασχηματίζονται σε αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες. Το κυρίαρχο στοιχείο κατά την αξιοποίηση της κανονικής γεωθερμικής ενέργειας είναι η αποθηκευτική ικανότητα των πετρωμάτων, δηλαδή, η θερμοχωρητικότητά τους και η ικανότητά

τους για διάχυση της θερμότητας. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του υπεδάφους είναι η θερμική διαχυτότητα και η ειδική θερμοχωρητικότητα όπως αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας πρέπει να ληφθούν υπόψη και το στερεό πέτρωμα και το ρευστό που συνυπάρχει ανάλογα με την υγρασία του πετρώματος.

Στα οριζόντια συστήματα κανονικής γεωθερμίας ο γεωθερμικός εναλλάκτης τοποθετείται οριζόντια και σχετικά επιφανειακά στο υπέδαφος. Το βάθος τοποθέτησης του γεωθερμικού εναλλάκτη κυμαίνεται από 0,5m έως και 5m, μερικές φορές και ειδικότερα σε αστικές περιοχές μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγαλύτερα βάθη, ειδικά όταν υπάρχει περιορισμός έκτασης και το οριζόντιο σύστημα τοποθετείται κάτω από το κτήριο.

Λόγω της επιφανειακής τοποθέτησης, τα υλικά που συναντώνται είναι επιφανειακά χώματα με πολλά φερτά και η κοκκομετρία τους συνήθως είναι πολυπόικλη, επηρεάζεται δε από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το έδαφος σε αυτές τις περιοχές, εφόσον είναι αστικό, μπορεί να περιέχει πολλά υπολείμματα οικοδομικών ή άλλων δραστηριοτήτων, εφόσον είναι αγροτικό, μπορεί να περιέχει ριζικά συστήματα κ.λπ. Τα οριζόντια συστήματα επηρεάζονται σημαντικά από τις επιφανειακές εκδηλώσεις και ιδιαίτερα από την ηλιακή ακτινοβολία και τις βροχοπτώσεις. Οι συνθήκες αυτές κυρίως επιδρούν θετικά, τόσο σε ότι αφορά στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αποθηκεύεται κατά τη θερινή περίοδο και αξιοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο, όσο και στην περίπτωση των βροχοπτώσεων, οι οποίες βελτιώνουν τα θερμικά χαρακτηριστικά των υλικών δηλαδή την ειδική θερμική αγωγιμότητα, τη θερμική διάχυση και την ειδική θερμότητα, που είναι σημαντικά σε ότι αφορά στην απόδοση ενός συστήματος κανονικής γεωθερμίας. Στην περίπτωση που ο εναλλάκτης τοποθετείται κάτω από το κτήριο τότε η επίδραση του περιβάλλοντος μειώνεται σημαντικά και μερικές φορές μηδενίζεται.

### **3.2.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού**

Η διαδικασία αξιολόγησης μίας τοποθεσίας για πιθανή χρήση οριζόντιου συστήματος αξιοποίησης της κανονικής γεωθερμίας στοχεύει στην απάντηση των ακόλουθων διερευνητικών σημείων:

- Ποια είναι η ετήσια εισαγωγή ή εξαγωγή θερμότητας που απαιτείται για κάλυψη συγκεκριμένων φορτίων στην τοποθεσία;
- Ποιες είναι οι μέσες τιμές θερμοκρασίας, ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, βροχόπτωσης και χιονόπτωσης στην τοποθεσία;
- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του εδάφους στην περιοχή και ποια είναι η εκτιμώμενη θερμική παραγωγή στην περιοχή; Επίσης, μπορεί η τελευταία να βελτιωθεί;
- Υπάρχει ικανοποιητική διαθέσιμη επιφάνεια για να παρέχει αποδεκτή λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας;

Τα βασικά βήματα για το σχεδιασμό είναι (McCorry & Jones, 2011; Said et al,2009) :

- Επιλογή της διεύθυνσης του γεωεναλλάκτη.
- Έλεγχος της ελάχιστης ταχύτητας ροής νερού ή άλλου ρευστού εντός του εναλλάκτη.
- Σχεδιασμός έτσι ώστε να μην υπάρχει πιθανός εγκλωβισμός αέρα.
- Διαστασιολόγηση του μήκους του γεωεναλλάκτη.

Σε απλές περιπτώσεις γεωθερμικών αντλιών θερμότητας με λειτουργία θέρμανσης και με λειτουργία της αντλίας θερμότητας 1800 έως 2400h/έτος ο σχεδιασμός μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ειδικές τιμές άντλησης θερμότητας σε  $W/m^2$  για οριζόντιου τύπου γεωεναλλάκτες.

Σύμφωνα με το πρότυπο DIN4640, η θερμοκρασία του ρευστού φορέα θερμότητας που επιστρέφει στον οριζόντιο γεωεναλλάκτη δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο των  $\pm 12K$ , σε λειτουργία βασικού φορτίου (μέσο εβδομαδιαίο) σε σχέση με τη μη διαταραγμένη θερμοκρασία εδάφους, ενώ στα φορτία αιχμής η τιμή είναι  $\pm 18K$ . Γενικότερα, η καλύτερη απόδοση τέτοιων συστημάτων επιτυγχάνεται σε λεπτόκοκκους τύπους εδαφών με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, όπως αργιλώδη και λασπώδη, ενώ θα πρέπει να αποφεύγονται εδάφη με χαλίκι και άμμο.

### 3.2.3 Γενικές κατευθύνσεις κατασκευής

Οι οριζόντιοι γεωθερμικοί εναλλάκτες λόγω της περιορισμένης επιφανειακής τους δυνατότητας εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις με ικανό περιβάλλοντα χώρο,

ανεξάρτητα από τη σύσταση του υπεδάφους. Για τη συναλλαγή θερμότητας με το υπέδαφος, διαμορφώνεται δίκτυο σωληνώσεων το οποίο τροφοδοτείται με νερό κλειστού κυκλώματος και κατά τη διέλευσή του μεταφέρει θερμότητα από ή προς το υπέδαφος. Η επιφάνεια του δικτύου εξαρτάται από τη θερμότητα προς συναλλαγή και από τα θερμικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους. Μια άλλη παράμετρος που ορίζει το μέγεθος του δικτύου είναι το βάθος τοποθέτησης του γεωεναλλάκτη. Τούτο δε, σχετίζεται με το μέγεθος της μεταδιδόμενης θερμότητας, αλλά και με το επίπεδο των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών.

Οι θερμοκρασίες του εδάφους μπορεί να φθάσουν τη θερμοκρασία πάγου σε βάθος 1 m ακόμα και χωρίς χρήση της αντλίας θερμότητας υπό προϋποθέσεις. Σε βάθος 2 m, η ελάχιστη θερμοκρασία ακόμη και σε πολύ σκληρές πολικές συνθήκες είναι 5 °C. Αυτή η θερμοκρασία αυξάνεται με αύξηση του βάθους, λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας, εντούτοις η ροή θερμότητας μειώνεται. Ως εκ τούτου η απόψυξη του πάγου την άνοιξη δεν είναι πάντα εξασφαλισμένη. Όταν προσδιορίζονται οι αποστάσεις των σωλήνων της εγκατάστασης, που κυμαίνονται σε απλής μορφής συστήματα, συνήθως μεταξύ 0,3m και 0,8m, πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι οι ακτίνες του πάγου που σχηματίζονται γύρω από τους σωλήνες δεν πρέπει να ενώνονται.

Η πυκνότητα τοποθέτησης εξαρτάται από τις διαστάσεις των σωλήνων που χρησιμοποιούνται και πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να μη γίνεται υπέρβαση των ειδικών τιμών άντλησης. Σε περιοχές της Μεσογείου και γενικότερα στην εύκρατη ζώνη οι περιορισμοί αυτοί είναι αδιάφοροι λόγω των πολύ υψηλών μέσων ετήσιων θερμοκρασιών και της μικρής σχετικά περιόδου χειμερινού κλιματισμού. Για το λόγο αυτό, τα οριζόντια συστήματα στις περιοχές αυτές μπορούν να τοποθετηθούν και σε πιο επιφανειακά επίπεδα, λ.χ. 0,8m, με την προϋπόθεση βεβαίως ότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της επιφανειακής θερμοκρασίας και του περιβάλλοντος.

Τα τμήματα της εγκατάστασης στο υπέδαφος πρέπει να έχουν απόσταση κατ' ελάχιστον 70cm από οποιαδήποτε παροχή νερού ή σωλήνα αποχέτευσης (VDI 4640; Sanner, 2011; McCorry & Jones, 2011). Οι βρόχοι μπορούν να τοποθετηθούν σε μεμονωμένους τάφρους, έτσι ώστε να αποφευχθεί η ευρεία καταστροφή του φυσικού εδάφους. Μία άλλη δυνατότητα είναι η ευρεία απογύμνωση του υπεδάφους για την εγκατάσταση των βρόχων. Για να διασφαλισθεί ότι οι σωλήνες δε θα καταστραφούν πρέπει να εγκατασταθούν σε στρώμα άμμου ενώ μία ταινία προειδοποίησης



συνίσταται να τοποθετηθεί στα 30cm επάνω από τους σωλήνες. Τέλος, ανάλογα με τον τύπο της τελευταίας χρήσης της επιφάνειας, το υπέδαφος θα πρέπει να συμπιεσθεί.

#### **3.2.4 Διευθέτηση και είδη οριζόντιων γεωεναλλακτών**

Οι οριζόντιοι γεωεναλλάκτες δεν πρέπει να χτίζονται από επάνω και η επιφάνεια επάνω από αυτούς δεν πρέπει να είναι μη διαπερατή (VDI 4640; Sanner, 2011; McCorry & Jones, 2011). Σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει απόκλιση από αυτούς τους περιορισμούς. Στο ψηλότερο σημείο του συστήματος πρέπει να τοποθετούνται οι διανεμητές και οι συλλέκτες ή μία κατάλληλη συσκευή εξαερισμού. Τα μεμονωμένα κυκλώματα πρέπει να εξοπλίζονται με βαλβίδες ελέγχου και διακοπής. Τα επιμέρους κυκλώματα βρόχου πρέπει να διαρρέονται ομοιόμορφα.

Στα σχήματα Σχήμα 3.4 έως Σχήμα 3.9 παρουσιάζονται εναλλακτικοί τύποι εγκατάστασης οριζόντιων γεωθερμικών εναλλακτών, οι οποίοι περιλαμβάνουν από διατάξεις απλών σωλήνων μέχρι διατάξεις πολλαπλών σωλήνων, διευθετημένους είτε κατακόρυφα σε μία στενή τάφρο είτε απλωμένους σε μία πιο διευρυμένη τάφρο. Διακρίνονται σε απλής μορφής (Σχήμα 3.4 έως Σχήμα 3.6) και σπειροειδούς μορφής (Σχήμα 3.7 έως Σχήμα 3.9) που είναι τοποθετημένα είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα. Όπου υπάρχουν περιορισμοί στη διαθέσιμη έκταση οι σωλήνες μπορούν να διαταχθούν σε σχέδια με σχετικά υψηλή πυκνότητα και να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα. Κάθε ένα από αυτά έχει τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα του. Οι απλής μορφής οριζόντιοι γεωεναλλάκτες τοποθετούνται σε τάφρο και σε βάθος συνήθως 1,8-2,5m. Το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό που αντιστοιχεί σε κατακόρυφη τοποθέτηση ενώ το μήκος των απαιτούμενων σωλήνων είναι μεγαλύτερο. Απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια γης. Η απόδοση τους επηρεάζεται από την εποχή, τη βροχόπτωση και το βάθος της ταφής ενώ πρέπει να ληφθεί υπόψη η περίπτωση εμφάνισης ξηρασίας στην περιοχή (VDI 4640; Sanner, 2011; McCorry & Jones, 2011).

### 3.2.4.1 Συστήματα σε σειρά

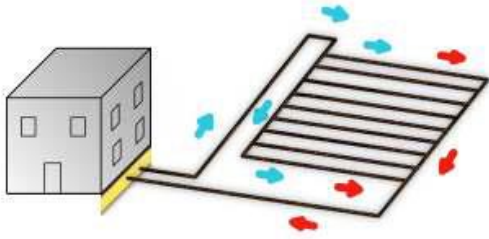
Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της διάταξης (Σχήμα 3.4) είναι ότι συνίσταται από απλά κανάλια ροής και έχει υψηλή θερμική απόδοση ανά μέτρο σωλήνα, αφού απαιτείται σωλήνας μεγαλύτερης διαμέτρου σε σχέση με άλλες διατάξεις. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνεται ο μεγαλύτερος όγκος νερού λόγω μεγαλύτερου σωλήνα, η υψηλότερη τιμή ανά μέτρο του μεγαλύτερου σωλήνα και το αυξημένο κόστος εργασίας για την εγκατάσταση. Λαμβάνει χώρα μονοδιάστατη θερμική ροή και μεταβάλλεται η απόδοση του, μειούμενη ανά μέτρο μήκους και συνεπώς ανά επιφάνεια πεδίου εναλλάκτη. Αρνητικό σημείο αποτελεί η πτώση πίεσης κατά μήκος του σωλήνα.



Σχήμα 3.4: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη απλής μορφής σε σειρά . (Βραχόπουλος κ.ά., 2015).

### 3.2.4.2 Παράλληλα συστήματα

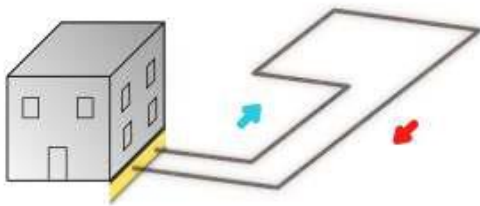
Η συγκεκριμένη διάταξη (Σχήμα 3.5) έχει τα πλεονεκτήματα του χαμηλού κόστους σωλήνα μικρότερης διαμέτρου και της μικρότερης απαίτησης για αντιψυκτικό. Επίσης, παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα όπως ότι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην εξαγωγή όλου του αέρα από τους σωλήνες και ότι απαιτείται να δοθεί προσοχή στην επίτευξη συνθηκών ροής σε ισορροπία +/- 5%.



Σχήμα 3.5: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη απλής μορφής παράλληλα (Βραχόπουλος κ.ά., 2015) .

### 3.2.4.3 Σύστημα απλού βρόχου σε τάφρο

Στη περίπτωση του Σχήμα 3.6 αναπτύσσεται απλός βρόχος σε τάφρο. Η απόδοση του συστήματος αυξάνεται σημαντικά, συγκριτικά με τους προηγούμενους τύπους γεωεναλλακτών λόγω της επί της ουσίας αύξησης του διαθέσιμου όγκου επίδρασης από το γήινο περιβάλλον. Παράλληλα, αυξάνεται και η ανάγκη από άποψη διαθέσιμης επιφάνειας. Συνήθως, οι τύποι αυτοί αναπτύσσονται κατά βάθος για τη μείωση της έκτασης.



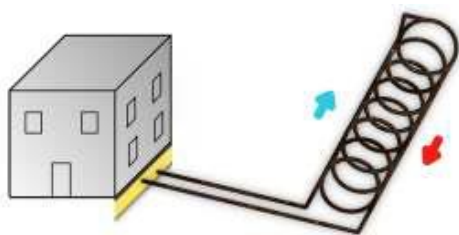
Σχήμα 3.6: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη απλής μορφής ενός βρόχου (Βραχόπουλος κ.ά., 2015).

### 3.2.4.4 Συστήματα σπειροειδούς διάταξης

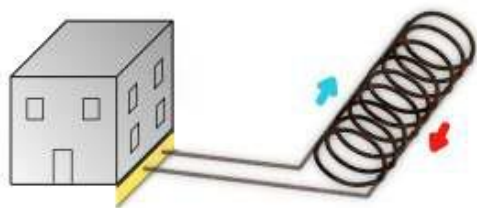
Η συγκεκριμένη διάταξη συγκεντρώνει την επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας σε μικρότερο όγκο, απαιτώντας μικρότερη επιφάνεια γης και μικρότερες τάφρους σε σχέση με την απλή διάταξη, συνήθως 3 φορές λιγότερο. Οι πλαστικοί σωλήνες είναι κουλουριασμένοι αντί να είναι ευθύγραμμοι. Η πλήρωση της τάφρου είναι σημαντική παράμετρος, αφού δεν πρέπει να υπάρχουν κενά γύρω από τους σωλήνες. Τα σχέδια και το μήκος ποικίλλουν με το κλίμα, το έδαφος και τις ώρες λειτουργίας της αντλίας θερμότητας. Το βάθος επηρεάζεται από το χρόνο των περιόδων θέρμανσης και ψύξης και το χρόνο έκθεσης του εδάφους στην ηλιακή ακτινοβολία. Για παράδειγμα, σε

περιοχές όπου ο χρόνος έκθεσης είναι μικρός, πρέπει να γίνει πιο αβαθής εγκατάσταση. Γενικά το βάθος ταφής κυμαίνεται από 1,2 m σε 2,5 m.

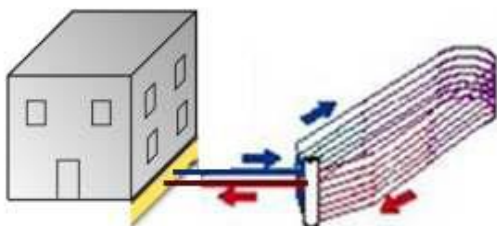
Τα συστήματα αυτά μπορούν να εγκατασταθούν οριζόντια (Σχήμα 3.7) ή κατακόρυφα σε στενή τάφρο (Σχήμα 3.8). Στην κατακόρυφη διάταξη ο εναλλάκτης τοποθετείται σε τάφρο πλάτους 0.3 m και βάθους περί τα 2 m από το επίπεδο της επιφάνειας του εδάφους. (Sanner, 2011; McCorry & Jones, 2011). Η σπειροειδής διάταξη είναι μία παραλλαγή του βρόχου οριζόντιου τύπου και χρησιμοποιείται για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας της ανασκαφής. Στην πράξη ο σωλήνας διευθετείται σε μεγάλες σπείρες που επικαλύπτουν η μία την άλλη επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερο μήκος σωλήνα να χωρέσει σε μικρότερους τάφρους. Οι βρόχοι μπορεί να είναι λίγο πιο οικονομικοί επειδή μπορεί να απαιτηθεί μικρότερη τάφρος, αλλά απαιτείται περισσότερο μήκος σωλήνα για την ίδια ικανότητα θέρμανσης. Στην περίπτωση του Σχήματος 3.9 η τοποθέτηση διαφέρει των δυο προηγούμενων και συνίσταται στην περίπτωση των κατακόρυφων (για μικρό βάθος) διανομέων – συλλεκτών. Σε όλες τις περιπτώσεις, παρουσιάζεται το φαινόμενο της μεγάλης ποσότητας αποθηκευμένου νερού, το οποίο σε φάση ηρεμίας αποκτά τη θερμοκρασία του υπεδάφους και δημιουργεί σημαντική αδράνεια στο σύστημα.



Σχήμα 3.7: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη με σπειροειδή διάταξη – Οριζόντια τοποθέτηση (Βραχόπουλος κ.ά., 2015).



Σχήμα 3.8: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη με σπειροειδή διάταξη – Κατακόρυφη τοποθέτηση (Βραχόπουλος κ.ά., 2015).



Σχήμα 3.9: Σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη με διάταξη κατακόρυφης τοποθέτησης (Βραχόπουλος κ.ά., 2015) .

### 3.3 Ανοικτά γεωθερμικά συστήματα

#### 3.3.1 Γενικά

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος είναι τα παλιότερα συστήματα σε αυτή την κατηγορία, αφού τα πρώτα από αυτά εμφανίσθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1940 (Rafferty, 2009). Αν και είναι απλά στη φύση τους απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό, κυρίως όσον αφορά τη γεώτρηση, την παροχή του υπόγειου νερού, τον εναλλάκτη θερμότητας και τη διάθεση του νερού, έτσι ώστε να προκύψει ένα σύστημα αποδοτικό και αξιόπιστο.

Οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Ανοικτού Κυκλώματος (σχήμα 3.10) χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια νερά ως πηγή θερμότητας - ψύξης και χώρους απόθεσης/επιστροφής του νερού. Αντλούν νερό από υπόγειο ταμειντήρα με χρήση γεώτρησης και συνήθως ενδιάμεσου εναλλάκτη νερού/νερού που παρεμβάλλεται

μεταξύ της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και του ανοικτού κυκλώματος, ενώ προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια στο σύστημα πριν το νερό επιστρέψει στον ταμειυτήρα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα. Σε αυτή την περίπτωση, αξιοποιείται η ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμειυτήρα στη διάρκεια όλου του χρόνου, ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν και η μεγάλη ειδική θερμότητα του νερού. Κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης το χειμώνα το σύστημα λειτουργεί με την άντληση θερμότητας από το υπέδαφος και τη μεταφέρει στο κτήριο, ενώ κατά τη διάρκεια του κύκλου ψύξης, κατά το θέρος, θερμότητα μεταφέρεται από το κτήριο στο υπόγειο νερό. Η μεταφορά της θερμότητας συνοδεύεται από τη μεταφορά μάζας του υπεδαφικού ρευστού και βεβαίως για την περιβαλλοντική ισορροπία του συστήματος πρέπει το ρευστό αυτό να επανέλθει στον αρχικό υδροφόρο ορίζοντα.

Το υπόγειο ρευστό αντλείται από το έδαφος στους σωλήνες του εναλλάκτη θερμότητας (ατμοποιητή). Ανάλογα με το είδος του εναλλάκτη, το ψυκτικό ρευστό έρχεται σε επαφή με το ρευστό του υπεδάφους (νερό με διάφορα στοιχεία) ή περιβάλλεται από τους αγωγούς νερού. Το υπεδαφικό ρευστό εξέρχεται από τον εναλλάκτη και προωθείται προς την περιοχή υπόγειας ή επιφανειακής διάθεσης. Η επιλογή της αντλίας υπόγειου ρευστού αποτελεί κρίσιμη παράμετρο, αφού πρέπει να μπορεί να υπερβαίνει την πτώση πίεσης στους σωλήνες και να μεταφέρει την απαραίτητη ποσότητα νερού για την αντλία θερμότητας.



Σχήμα 3.10: Απεικόνιση ανοιχτού γεωθερμικού συστήματος ([www.stkaragiannis.gr](http://www.stkaragiannis.gr)).

Στα πλεονεκτήματα των συστημάτων ανοικτού τύπου περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων:

- Έχουν μικρότερη απώλεια μεταφοράς θερμότητας λόγω της μεταφοράς μάζας.
- Το κόστος ενέργειας για την αντλία θερμότητας είναι μικρότερο, εφόσον αυτή σχεδιαστεί αναλόγως και επιλεγεί με ιδιαίτερη προσοχή.

Μειονεκτήματά τους συνιστούν τα ακόλουθα:

- Προβλήματα που σχετίζονται με τη διάθεση του νερού
- Το νερό που έχει κατάλληλη ποιότητα θα μπορούσε να μεταβάλει την ποιότητά του με το χρόνο και τη χρήση που προκαλεί διάφορα προβλήματα διάβρωσης.
- Οι δαπάνες που συνδέονται με τη γεώτρηση του νερού μπορεί να είναι υψηλές και άγνωστες στην αρχή.
- Η παραγωγή της γεώτρησης μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου και να προκαλέσει προβλήματα στο μέλλον.
- Η έκδοση αδειών και οι δαπάνες που απαιτούνται για αυτές.
- Τα συστήματα ανοικτού βρόχου έχουν πιο πιθανά προβλήματα, σε σχέση είτε με τα συμβατικά συστήματα ή με τα γεωθερμικά συστήματα κλειστού βρόχου, επειδή λειτουργούν μέσω της μεταφοράς ρευστού (κατά βάση νερού) μέσω εναλλάκτη θερμότητας, κάτι που μπορεί, αναλόγως με την ποιότητα του ρευστού και τις εν δυνάμει επικαθίσεις, να δημιουργήσει σε βάθος χρόνου πρόβλημα στην κίνηση του ρευστού και κατά συνέπεια στη θερμική απόδοση του συστήματος. Αυτό στη συνήθη διάλεκτο των τεχνικών, αναφέρεται ως επικαθιση ουσιών και διάβρωση του συστήματος.
- Τα συστήματα ανοικτού βρόχου απαιτούν ικανή και σταθερή παροχή υπεδαφικού ρευστού για να είναι αποδοτικά. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για ιδιαίτερη προσοχή και ακρίβεια στην κατασκευή και στη χρήση τους σε παράκτιες περιοχές, καθώς και σε περιοχές που γειτνιάζουν με λίμνες, ποτάμια, ρέματα, κ.ά. Επιπρόσθετα, πρέπει να έχει προσδιοριστεί και εφαρμοστεί μια αποδεκτή μέθοδος επιστροφής του νερού που χρησιμοποιείται προς το περιβάλλον. Αυτό μπορεί να περιορίζεται όχι μόνο από περιβαλλοντικούς παράγοντες, αλλά και από τους τοπικούς και εθνικούς

κανονισμούς. Μόνο σε πολύ ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες στους οποίους είναι αδύνατη η επανέγχυση, θα μπορούσαν να διατεθούν τα νερά επιφανειακά ύστερα από γνωμάτευση του αντίστοιχου εθνικού οργανισμού (στην Ελλάδα ο οργανισμός αυτός είναι το ΙΓΜΕ).

### **3.3.2 Στοιχεία σχεδιασμού**

Ο σχεδιασμός ενός ανοικτού συστήματος πρέπει να στοχεύει στη βελτιστοποίησή του, με βάση τις απαιτήσεις ισχύος της αντλίας γεώτρησης, της αντλίας του κυκλώματος και των αντλιών θερμότητας (Abesser, 2011; Kavanaugh & Rafferty, 1997). Σε ένα τέτοιο σύστημα είναι προφανές ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή του νερού, τόσο πιο ευνοϊκές θα είναι οι θερμοκρασίες στις οποίες θα λειτουργούν οι αντλίες θερμότητας. Περιορισμός βεβαίως τίθεται πάντα από τις συνθήκες σχεδιασμού και κατασκευής των αντλιών θερμότητας, τόσο σε ότι αφορά στο πάνω, όσο και στο κάτω όριο. Καθώς αυξάνεται η ροή του υπόγειου νερού, η βελτίωση στη λειτουργία της αντλίας θερμότητας εξαρτάται από με την αύξηση της ισχύος της αντλίας της γεώτρησης. Σε κάποιο σημείο η αύξηση στην ισχύ της αντλίας γεώτρησης υπάρχει πιθανότητα να υπερκαλύψει τη βελτίωση στη λειτουργία της αντλίας θερμότητας και η απόδοση του συνολικού συστήματος να αρχίσει να μειώνεται. Μάλιστα όταν η μεταβολή της ισχύος άντλησης εξαρτάται από το βάθος άντλησης, δηλαδή το ύψος ανύψωσης του υπεδαφικού ρευστού, τότε η επίδραση στην απόδοση (αρνητική) είναι ιδιαίτερα σημαντική και ο σχεδιαστής των συστημάτων πρέπει να το λάβει σοβαρά υπόψη του.

Η διαδικασία συνίσταται στον υπολογισμό της ισχύος της αντλίας γεώτρησης που απαιτείται για την παραγωγή ενός εύρους ροών υπόγειου νερού και στο συνδυασμό του με την απόδοση της αντλίας θερμότητας σε αυτές τις ροές. Η βέλτιστη σχέση ανάμεσα στην ισχύ της άντλησης και στην απόδοση της αντλίας θερμότητας βρίσκεται στη συνθήκη σχεδιασμού και η απόδοση του συστήματος, σε εκτός συνθήκες αιχμής, διατηρείται με κατάλληλο έλεγχο της αντλίας γεώτρησης.



### **3.3.3 Κατασκευή ανοικτών γεωθερμικών συστημάτων**

Σε συνέχεια του σχεδιασμού και ενόψει της κατασκευής του συστήματος πρέπει να αποφασισθούν: ο αριθμός των γεωτρήσεων, η μέθοδος διάτρησης, το βάθος των γεωτρήσεων, η διάμετρος και η θέση των γεωτρήσεων (Sanner, 2011). Για την κατασκευή τους απαιτείται ειδική άδεια από τις αρμόδιες αρχές.

Στις γεωτρήσεις παραγωγής πρέπει να χρησιμοποιούνται υποβρύχιες αντλίες κατασκευασμένες από ανθεκτικά, στη διάβρωση, υλικά. Επίσης, μπροστά από το σύστημα της αντλίας θερμότητας πρέπει να εγκαθίστανται χαλικοπαγίδες. Όσον αφορά στις γεωτρήσεις επανεισαγωγής, το κάτω άκρο του σωλήνα εισαγωγής πρέπει να εκτείνεται κάτω από το επίπεδο του νερού σε ηρεμία. Το υπόγειο νερό πρέπει να ψύχεται όσο το δυνατόν λιγότερο κατά τη διαδρομή από τη γεώτρηση παραγωγής στην αντλία θερμότητας, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η κατάλληλη θερμοκρασία της πηγής θερμότητας. Επίσης, το υπόγειο νερό που ψύχεται στην αντλία θερμότητας, δεν πρέπει να ψύχεται περαιτέρω κατά τη διαδρομή προς τη γεώτρηση επανεισαγωγής, έτσι ώστε να μην παγώνει μέσα στους σωλήνες ή στις γεωτρήσεις επανεισαγωγής. Το υπόγειο νερό επίσης δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με αέρα μέσα στο κύκλωμα. Πριν τη σύνδεση με την αντλία θερμότητας πρέπει να ελεγχθεί ότι οι σωλήνες δεν έχουν διαρροές και πρέπει επίσης να ξεπλυθούν.

Για μικρές εγκαταστάσεις (5-10kW) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία γεώτρηση ή φρεάτια. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το νερό κατά την έξοδο του διατίθεται συνήθως σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες. Για μεγαλύτερα συστήματα, χρησιμοποιείται συνήθως ζεύγος γεωτρήσεων ή περισσότερα ζεύγη για παραγωγή και προσεγγιστικά ίδιος αριθμός γεωτρήσεων επανεισαγωγής του υπόγειου νερού που επιστρέφει.

### **3.3.4 Τύποι συστημάτων**

Οι διάφορες παραλλαγές των ανοικτών συστημάτων βασίζονται στη διεύθυνση των γεωτρήσεων και στη μέθοδο διάθεσης του νερού. Συνήθως, σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές χρησιμοποιείται σύστημα δύο γεωτρήσεων, μία για άντληση υπόγειου νερού (γεώτρηση παραγωγής) και μία για επαναφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα (γεώτρηση επανεισαγωγής/απόρριψης). Σε κάποιες περιπτώσεις μία γεώτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άντληση και για επαναφόρτιση. Τα

ανοικτά συστήματα μπορεί επίσης να απαιτούν διαφορετικό μέγεθος γεωτρήσεων, με βάση την απαιτούμενη ποσότητα του υπόγειου νερού (Rafferty, 2009) .

Οι πιο συνήθεις διευθετήσεις απεικονίζονται στο σχήμα 3.10. Η άμεση χρήση του υπόγειου νερού σε μονάδες αντλιών θερμότητας μερικές φορές χρησιμοποιείται σε πολύ μικρές εμπορικές εφαρμογές. Η μέθοδος είναι πολύ επιδεκτική σε προβλήματα που προκαλούνται από την ποιότητα του νερού, για αυτό και συνίσταται μόνο σε πολύ μικρές εφαρμογές, όταν η ποιότητα του υπογείου νερού είναι εξαιρετική, πράγμα το οποίο και απαιτεί εκτεταμένο έλεγχο. Το σύστημα της όρθιας στήλης, προτιμάται κυρίως σε περιοχές με γεωλογία σκληρών πετρωμάτων, όπου οι γεωτρήσεις δεν παράγουν ικανοποιητικό νερό για συμβατικά συστήματα ανοικτού τύπου και η ποιότητα του νερού είναι εξαιρετική. Το βάθος των γεωτρήσεων εκτείνεται συνήθως στα 300-450m και τα συστήματα λειτουργούν σε θερμοκρασίες ανάμεσα σε αυτές για ανοικτά και κλειστά συστήματα. Τα ανοικτά συστήματα έμμεσου τύπου χρησιμοποιούν εναλλάκτη θερμότητας ανάμεσα στο δίκτυο του κτιρίου και στο υπόγειο νερό. Αυτό εξαλείφει την επίδραση των συστατικών του υπόγειου νερού και επιτρέπει στο δίκτυο του κτιρίου και στα δίκτυα του υπόγειου νερού να λειτουργούν σε διαφορετικές ροές για βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Το νερό μπορεί να διατεθεί είτε σε μία γεώτρηση επανεισαγωγής είτε σε επιφανειακά νερά αν υπάρχουν διαθέσιμα.

## **Κεφάλαιο 4: Διερεύνηση ενεργειακής συμπεριφοράς υφιστάμενου κτιρίου**

### **4.1 Γενικά**

Το Λογισμικό TEE-KENAK το οποίο χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων και έκδοσης του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ), τους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης και κατάταξης κτιρίων που απαιτούνται για την εκπόνηση της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης (ΜΕΑ), την επιθεώρηση λεβήτων / εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού, αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στα πλαίσια του προγράμματος συνεργασίας με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ).

Το TEE-KENAK δημιουργήθηκε σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά και εθνικά πρότυπα, τον Κανονισμό Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και τις σχετικές Τεχνικές Οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ) που είναι οι εξής:

- ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1): Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης.
- ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2): Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων.
- ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3): Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών.
- ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4): Οδηγίες έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού.

Το λογισμικό TEE-KENAK, αποτελείται από πέντε (5) ανεξάρτητα μεταξύ τους λογισμικά, τα οποία είναι δομημένα σε περιβάλλον παραθύρων με παρεμφερείς μάσκες εισαγωγής δεδομένων:

- Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτιρίου
- Ενεργειακή Μελέτη
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Λέβητα
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκατάστασης Θέρμανσης
- Ενεργειακή Επιθεώρηση Εγκατάστασης Κλιματισμού

## 4.2 Μάσκα εισαγωγής δεδομένων

Η μάσκα του λογισμικού είναι δομημένη σε περιβάλλον παραθύρων. Με την έναρξη του λογισμικού εμφανίζεται η αρχική οθόνη, που περιλαμβάνει εκτός από τα εισαγωγικά στοιχεία της επιθεώρησης, το βασικό μενού εντολών όπως τα περισσότερα λογισμικά σε περιβάλλον παραθύρων, καθώς επίσης και την γραμμή εργαλείων.

Η μάσκα του λογισμικού χωρίζεται σε δυο τμήματα (Σχήμα 4.1):

1. Στο αριστερό τμήμα της οθόνης υπάρχει ένα δέντρο πλοήγησης στο οποίο παρουσιάζεται η βασική δομή (στοιχεία) του εξεταζόμενου κτιρίου ή τμήματος κτιρίου. Κάθε στοιχείο του κτιρίου (π.χ. κέλυφος, συστήματα) είναι διαθέσιμο απλά επιλέγοντάς το με το ποντίκι (αριστερό κλικ). Σε μια νέα επιθεώρηση στη δομή δέντρου εμφανίζονται μόνο τα στοιχεία "Ενεργειακή Επιθεώρηση" και "Κτίριο". Ανάλογα με τα δεδομένα (αριθμός θερμικών ζωνών, μη θερμαινόμενων χώρων και ηλιακών χώρων) που θα εισαχθούν στην οθόνη που αντιστοιχεί στο στοιχείο "Κτίριο", αναπτύσσεται αυτόματα και η δομή δέντρου για το εξεταζόμενο κτίριο.

2. Στο δεξί τμήμα της οθόνης, ανάλογα με την επιλογή στοιχείου του κτιρίου στη δομή δέντρου, εμφανίζεται η αντίστοιχη οθόνη για την εισαγωγή των δεδομένων.

Με την έναρξη του λογισμικού εμφανίζεται η αρχική οθόνη που περιλαμβάνει το βασικό κατάλογο επιλογών, όπως τα περισσότερα λογισμικά σε περιβάλλον παραθύρων, καθώς και τη γραμμή εργαλείων.

Ο κατάλογος επιλογών στην βασική οθόνη του λογισμικού περιλαμβάνει τις ακόλουθες επιλογές:

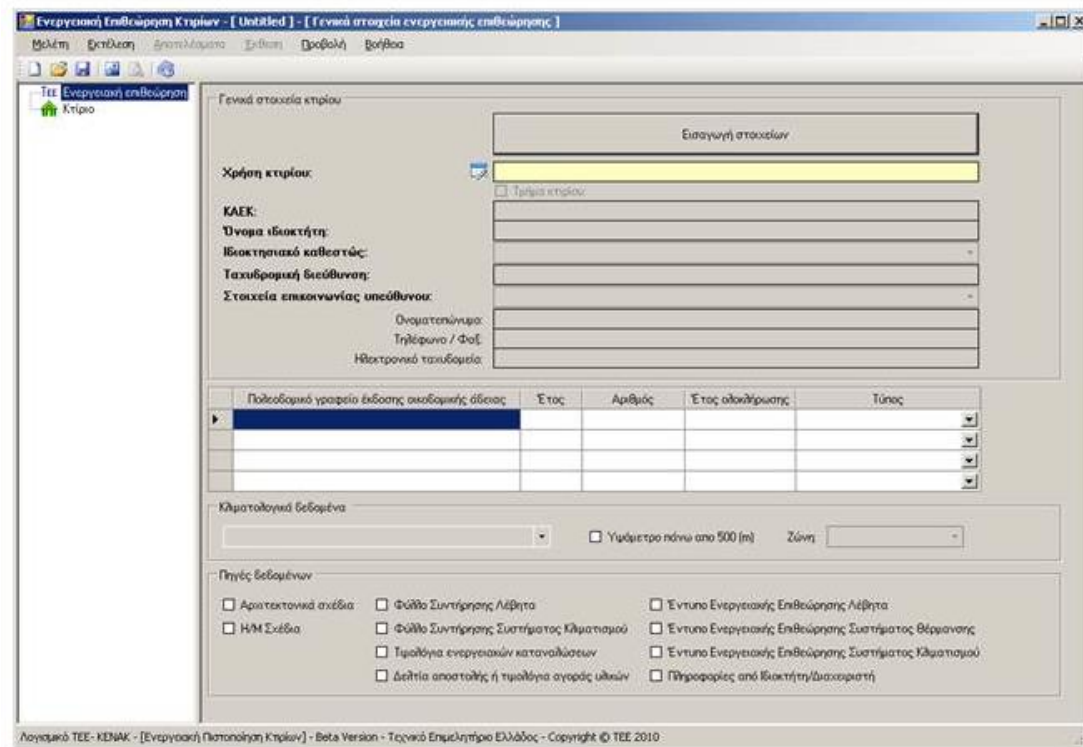
- α) Μελέτη
- β) Εκτέλεση

γ) Αποτελέσματα

δ) Έκθεση

ε) Προβολή

στ) Βοήθεια



Σχήμα 4.1: Μάσκα εισαγωγής δεδομένων λογισμικού Τ.Ε.Ε. Κ.Εν.Α.Κ.

Οι επιλογές "Αποτελέσματα" και "Έκθεση" δεν είναι ενεργές αν δεν έχουν πραγματοποιηθεί οι υπολογισμοί, με την επιλογή «Εκτέλεση».

α) Μελέτη

Με την επιλογή αυτή γίνεται η βασική διαχείριση των μελετών όπως:

- Νέα. Δημιουργία νέας μελέτης.
- Άνοιγμα. Εμφάνιση καταλόγου για επιλογή υφιστάμενης μελέτης.
- Αποθήκευση. Αποθήκευση αρχείου μελέτης με το υπάρχον όνομα.
- Αποθήκευση ως. Αποθήκευση μελέτης με καινούριο όνομα.

- Αρχείο προς υποβολή. Αποθήκευση της τελικής μελέτης για να υποβληθεί στη διαδικτυακή εφαρμογή, [www.buildingcert.gr](http://www.buildingcert.gr), του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ).
- Έξοδος. Έξοδος από το λογισμικό

## β) Εκτέλεση

Με την επιλογή αυτή πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί, με βάση τα δεδομένα του κτιρίου που έχει εισάγει ο χρήστης. Κάθε φορά που αλλάζουν ή προστίθενται νέα δεδομένα, πρέπει να επαναλαμβάνεται η επιλογή «Εκτέλεση».

Κατά τη διάρκεια των υπολογισμών, η οθόνη γίνεται γκρι και εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα

## γ) Αποτελέσματα

Με την επιλογή αυτή εμφανίζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που στην πλειοψηφία τους περιλαμβάνονται και στο Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ). Τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ανάλογα με τα στοιχεία που εισάγονται από τον χρήστη. Η έκδοση του ΠΕΑ γίνεται αποκλειστικά μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής, [www.buildingcert.gr](http://www.buildingcert.gr), του ΥΠΕΚΑ.

Η συγκεκριμένη επιλογή δεν είναι ενεργή αν δεν έχουν πραγματοποιηθεί οι υπολογισμοί, με την επιλογή «Εκτέλεση».

Η επιλογή αποτελέσματα περιλαμβάνει τις ακόλουθες επιλογές:

- Ενεργειακή κατάταξη. Εμφανίζεται η οθόνη με την ενεργειακή κατηγορία (κατάταξη) του κτιρίου. Τα όρια των ενεργειακών κατηγοριών καθορίζονται ποσοστιαία, βάσει της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς, όπως ορίζονται από τον ΚΕΝΑΚ.
- Απαιτήσεις - Κατανάλωση. Εμφανίζεται η οθόνη με τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις ενεργειακές απαιτήσεις ( $\text{kWh/m}^2$ ) και καταναλώσεις ενέργειας ( $\text{kWh/m}^2$ ) και καυσίμων, όπως και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$ ), τόσο για το εξεταζόμενο κτίριο όσο και για το κτίριο αναφοράς.
- Οικονομοτεχνική ανάλυση. Εμφανίζεται η οθόνη με τα αποτελέσματα των

υπολογισμών για το κόστος επεμβάσεων και την περίοδο αποπληρωμής σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη για την αξιολόγηση συγκεκριμένων συστάσεων για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

#### δ) Έκθεση

Με την επιλογή αυτή γίνεται η διαχείριση εμφάνισης στην οθόνη των εκθέσεων, όπως:

- Δεδομένων. Εμφανίζεται η έκθεση των δεδομένων του υπό επιθεώρηση κτιρίου.
- Αποτελεσμάτων. Εμφανίζεται η έκθεση με τα αποτελέσματα των υπολογισμών ενεργειακής απόδοσης το κτιρίου.

Η συγκεκριμένη επιλογή δεν είναι ενεργή αν δεν έχουν πραγματοποιηθεί οι υπολογισμοί, με την επιλογή «Εκτέλεση».

#### ε) Προβολή

Με την επιλογή αυτή γίνεται η διαχείριση εμφάνισης ή/μη στην οθόνη των βοηθητικών επιλογών και πληροφοριών που εμφανίζονται στην οθόνη, όπως:

- Γραμμή εργαλείων. Προβάλλει ή αποκρύπτει τη γραμμή εργαλείων .
- Γραμμή κατάστασης. Προβάλλει ή αποκρύπτει τη γραμμή κατάστασης.

#### στ) Βοήθεια

Με την επιλογή αυτή εμφανίζονται τρεις οθόνες πληροφοριών, όπως:

- Περιεχόμενα: Εμφανίζεται η οθόνη περιεχομένων του ηλεκτρονικού εγχειρίδιου χρήσης. Εναλλακτικά, πατώντας F1 μεταβαίνουμε στην αντίστοιχη ενότητα του ηλεκτρονικού εγχειρίδιου χρήσης.
- Ενεργοποίηση: Εμφανίζεται η οθόνη ενεργοποίησης του TEE-KENAK, όπου εισάγεται ο σειριακός αριθμός και ο κωδικός του χρήστη για να είναι έγκυρα τα αποτελέσματα του λογισμικού. Όταν ολοκληρωθεί η ενεργοποίηση με επιτυχία, τότε η συγκεκριμένη επιλογή δεν εμφανίζεται στις επιλογές της Βοήθειας.

- Σχετικά: Εμφανίζεται η οθόνη πληροφοριών σχετικά με την ανάπτυξη του λογισμικού.

Η γραμμή εργαλείων περιλαμβάνει:

1. Δημιουργία νέας, κενής μελέτης.
2. Άνοιγμα οθόνης για επιλογή υπάρχουσας μελέτης.
3. Αποθήκευση μελέτης.
4. Εκτέλεση υπολογισμών.
5. Δημιουργία αρχείου προς υποβολή.
6. Περιεχόμενα του εγχειριδίου χρήσης.

Ο χρήστης, αφού έχει προσδιορίσει τον αριθμό των θερμικών ζωνών, των μη θερμαινόμενων χώρων και των ηλιακών χώρων που αποτελούν το εξεταζόμενο κτίριο / τμήμα κτιρίου, και έχει συλλέξει και καταγράψει όλες τις πληροφορίες (δεδομένα) που σχετίζονται με το κτιριακό κέλυφος και τις κτιριακές εγκαταστάσεις, σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4, «χτίζει» το δέντρο πλοήγησης που εμφανίζεται στο αριστερό τμήμα της οθόνης και στη συνέχεια εισάγει τα δεδομένα για κάθε στοιχείο του κτιρίου στην αντίστοιχη μάσκα που εμφανίζεται στο δεξί τμήμα της οθόνης.

Η γενική δομή για την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό για το εξεταζόμενο κτίριο / τμήμα κτιρίου είναι η ακόλουθη :

α) Για κάθε κτίριο ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει:

Τουλάχιστον μία (1) Θερμική Ζώνη (θερμαινόμενος χώρος)

- Κανέναν ή περισσότερους Μη Θερμαινόμενους Χώρους
- Κανέναν ή περισσότερους Ηλιακούς Χώρους
- Κανένα ή περισσότερα Φ/Β συστήματα
- Κανένα ή περισσότερα συστήματα ΣΗΘ

β) Για κάθε θερμική ζώνη ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει:

- Κάποιες Αδιαφανείς / Διαφανείς επιφάνειες
- Καμία ή περισσότερες εσωτερικές διαχωριστικές επιφάνειες
- Ένα (1) σύστημα θέρμανσης



- Ένα (1) σύστημα ψύξης
- Ένα (1) σύστημα ZNX στην περίπτωση μη μηδενικής κατανάλωσης ZNX
- Ένα (1) σύστημα μηχανικού αερισμού (για κτίρια του τριτογενή τομέα), Κανένα ή ένα (1) σύστημα μηχανικού αερισμού (για κτίρια του οικιακού τομέα)
- Ένα (1) σύστημα φωτισμού (για κτίρια του τριτογενή τομέα)
- Κανένα ή ένα (1) σύστημα ύγρανσης
- Καμία ή μία (1) εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών (για ZNX ή/και θέρμανση χώρων)

γ) Για κάθε σύστημα θέρμανσης/ψύξης/ύγρανσης/ZNX ανά θερμική ζώνη, δηλαδή για όλη την εγκατάσταση παραγωγής, διανομής και απόδοσης, ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει:

- Ένα (1) ή περισσότερα συστήματα παραγωγής (π.χ. λέβητας, αντλία θερμότητας)
- Ένα (1) σύστημα διανομής. Αν υπάρχουν περισσότερα συστήματα (κλάδοι διανομής) εισάγονται τότε ως βαθμός απόδοσης λαμβάνεται ο βαθμός απόδοσης του τμήματος που βρίσκεται στη χειρότερη ποιοτικά κατάσταση.
- Ένα (1) σύστημα εκπομπής. Αν υπάρχουν περισσότερα συστήματα εκπομπής (π.χ. σώματα καλοριφέρ ή στοιχεία μονάδας ανεμιστήρα), εισάγονται οι αντίστοιχοι σταθμισμένοι παράμετροι για το σύστημα εκπομπής.
- Ένα (1) ή περισσότερα βοηθητικά συστήματα (π.χ. κυκλοφορητές, ανεμιστήρες, κ.α.).

δ) Για κάθε σύστημα μηχανικού αερισμού ανά θερμική ζώνη, ο χρήστης μπορεί να ορίσει μία (1) ή περισσότερες μονάδες μηχανικού αερισμού/ εξαερισμού ή ΚΚΜ που εξυπηρετούν την συγκεκριμένη ζώνη.

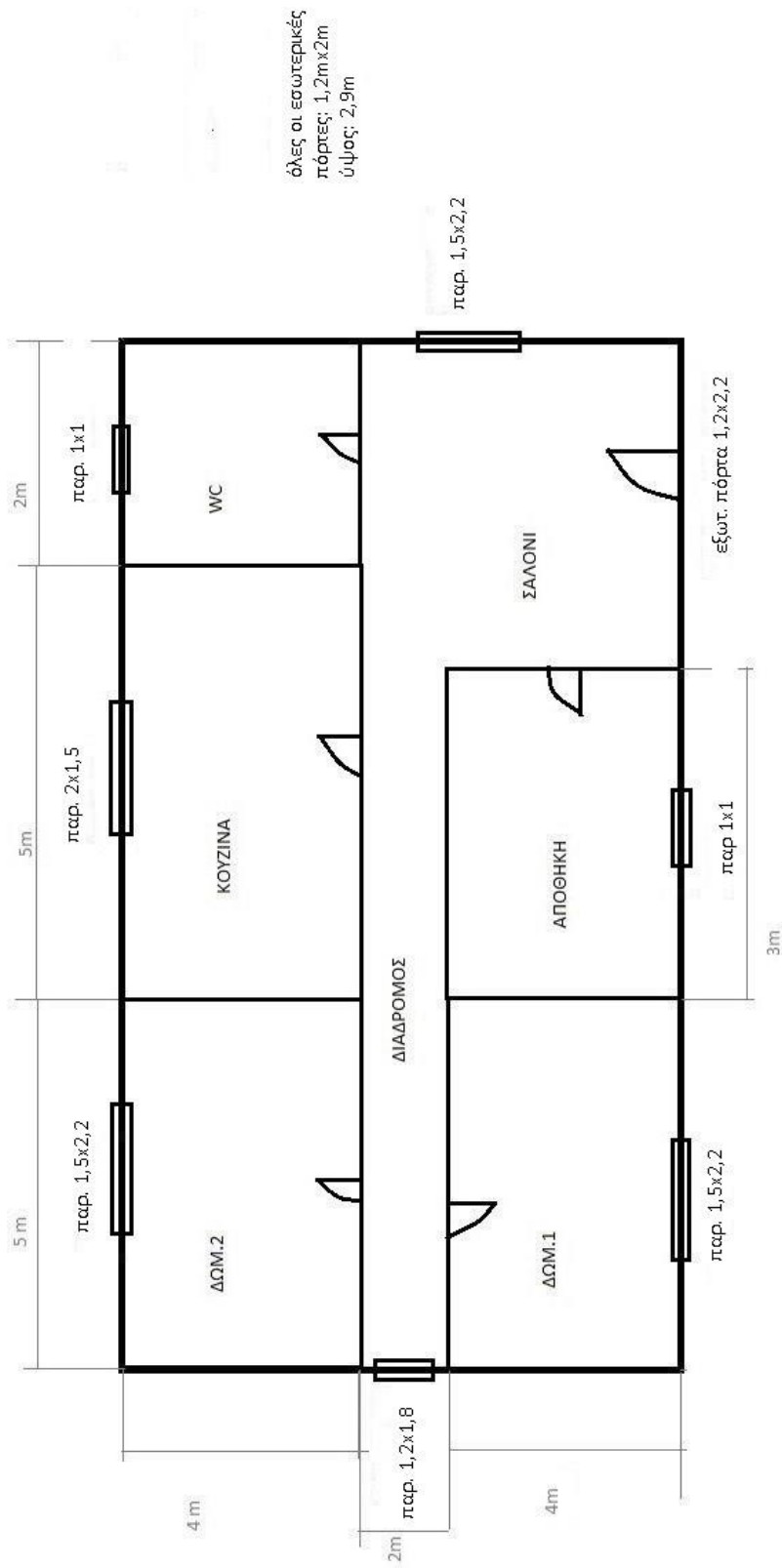
ε) Για κάθε εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών ανά θερμική ζώνη, ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει όλους τους ηλιακούς συλλέκτες που εξυπηρετούν την συγκεκριμένη ζώνη.

### 4.3 Παρουσίαση κτιρίου

Το κτίριο που πρόκειται να μελετηθεί είναι μια μονοκατοικία η κάτοψη της οποίας απεικονίζεται στο σχήμα 4.2. Έχει εμβαδόν 120m<sup>2</sup> (10m·12m) με ύψος 2,9m. Το κτίριο πληροί τις προδιαγραφές του Κ.Εν.Α.Κ. Θα θεωρηθεί ότι είναι εγκατεστημένο σε 4 χαρακτηριστικές περιοχές της Ελλάδας και ειδικότερα στο Ηράκλειο (κλιματική ζώνη Α), στο Ελληνικό, στην Αθήνα (ζώνη Β), στην Θεσσαλονίκη (ζώνη Γ) και στην Καστοριά (ζώνη Δ). Στοιχεία σχετικά με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για την ενεργειακή διερεύνηση έχουν αντληθεί από την τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-1/2010 (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010). Για μονοκατοικία αντιστοιχούν 5 άτομα ανά 100 m<sup>2</sup> επιφάνειας δαπέδου, σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. Από τη στιγμή που το εμβαδόν είναι 120 m<sup>2</sup>, αντιστοιχούν 6 άτομα. Η αποθήκη είναι μη θερμαινόμενος και μη ψυχόμενος χώρος.

Τα εμβαδά και οι όγκοι που είναι απαραίτητοι είναι:

- Συνολική επιφάνεια: 120m<sup>2</sup>
- Θερμαινόμενη επιφάνεια: 108 m<sup>2</sup>
- Ψυχόμενη επιφάνεια: 108 m<sup>2</sup>
- Συνολικός όγκος: 348m<sup>3</sup>
- Θερμαινόμενος όγκος: 313,2 m<sup>3</sup>
- Ψυχόμενος όγκος: 313,2 m<sup>3</sup>.



όλες οι εσωτερικές  
 πόρτες; 1,2m x 2m  
 ύψος; 2,9m

Σχήμα 4.2: Κάτοψη μονοκατοικίας.

## 4.4 Κέλυφος

Οι γωνίες αζιμουθίου επιφανειών ανάλογα με τον προσανατολισμό τους που χρησιμοποιούνται στο λογισμικό φαίνονται στον πίνακα 4.1. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα φαίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.1: Γωνίες αζιμουθίου επιφανειών ανάλογα με τον προσανατολισμό τους.

Προσανατολισμός	Βόρειος	Ανατολικός	Νότιος	Δυτικός
Γωνία αζιμουθίου [°]	0	90	180	270

Πίνακας 4.2: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα.

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m <sup>2</sup> ·K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U <sub>V,D</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U <sub>V,W</sub>	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U <sub>V,DL</sub>	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U <sub>V,G</sub>	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U <sub>V,WE</sub>	1,50	1,00	0,80	0,70
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.ά.)	U <sub>V,F</sub>	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινες προσόψεις κτηρίων μη ανοιγόμενες και μερικώς ανοιγόμενες.	U <sub>V,GF</sub>	2,20	2,00	1,80	1,80

Η ανηγμένη θερμοχωρητικότητα είναι 165 kJ/m<sup>2</sup>·K (φέρων οργανισμός από σκυρόδεμα, στοιχεία πλήρωσης από ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθους ή γυψοσανίδα και ύπαρξη ψευδοροφών), σύμφωνα με τον πίνακα 3.13 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1. Για τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία η απορροφητικότητα είναι 0,3 (επίχρισμα λευκό, λεία επιφάνεια), σύμφωνα με τον πίνακα 3.14 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1. Για τα οριζόντια η

απορροφητικότητα είναι 0,65 (ανοιχτόχρωμες επιστρώσεις στεγών). Ο συντελεστής εκπομπής είναι 0,8 (σύνηθες δομικό υλικό), σύμφωνα με τον πίνακα 3.15 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1. Όσον αφορά τα κουφώματα, έχουν μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 12 mm, δίδυμους υαλοπίνακες με ποσοστό πλαισίου 30% και διάκενο αέρα 12 mm.

## 4.5 Αερισμός

Ο αερισμός λόγω ύπαρξης χαραμιάδων στα κουφώματα εξαρτάται από το μήκος των χαραμιάδων, την ποιότητα των χαραμιάδων (αεροστεγείς ή όχι), το αριθμό (και την επιφάνεια) των ανοιγμάτων στις εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου, καθώς και από την αναλογία εξωτερικών προς εσωτερικά ανοίγματα (εσωτερικές πόρτες) στο χώρο.

Για τον υπολογισμό του αερισμού λόγω της ύπαρξης χαραμιάδων (διείσδυση αέρα) χρησιμοποιείται η σχέση:  $V_{inf} = \Sigma(I \cdot \alpha) \cdot R \cdot H$ ,

όπου  $I$  [m]: το συνολικό μήκος των χαραμιάδων του ανοίγματος (πόρτα, παράθυρο κ.ά.),

$\alpha$  [ $m^3 / (h \cdot m)$ ]: ο συντελεστής αεροδιαπερατότητας από χαραμιάδες του ανοίγματος, ανάλογα με την ποιότητα του κουφώματος, που λαμβάνει τιμές από τον πίνακα 3.23 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.,

$R$  [ - ]: ο συντελεστής διεισδυτικότητας, που εξαρτάται από το λόγο επιφανείας των εξωτερικών προς τα εσωτερικά ανοίγματα και λαμβάνει τιμές από τον πίνακα 3.24 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.,

$H$  [ - ]: ο συντελεστής θέσης του ανοίγματος και ανεμόπτωσης, που λαμβάνει τιμές

από τον πίνακα 3.25 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.

Ο αερισμός υπολογίστηκε από τον παραπάνω τύπο με  $\alpha=1,2$  (μεταλλικό πλαίσιο, ανοιγόμενο κούφωμα με διπλό υαλοπίνακα),  $R=0,9$  (λόγος εξωτερικών προς εσωτερικά ανοίγματα < 6 και μεταλλικό πλαίσιο) και  $H=1,87$  (ελεύθερες όψεις, κανονική ανεμόπτωση και ελεύθερη θέση εξωτερικής επιφάνειας).

Άρα  $V_{inf} = 93 \frac{m^3}{h}$  για τους θερμαινόμενους χώρους και  $V_{inf} = 8,08 \frac{m^3}{h}$  για το μη θερμαινόμενο.

## 4.6 Θέρμανση

Για τη θέρμανση χρησιμοποιείται λέβητας πετρελαίου και υπάρχουν διατάξεις ελέγχου και αυτοματισμών σε επίπεδο ιδιοκτησίας. Για τις ζώνες Α και Β η περίοδος θέρμανσης είναι από 1/11 έως 15/4. Για τις ζώνες Γ και Δ η περίοδος θέρμανσης είναι από 15/10 έως 30/4.

### 4.6.1 Απόδοση μονάδας παραγωγής θερμότητας

Για όλες τις υφιστάμενες μονάδες θέρμανσης χώρων λέβητα - καυστήρα ο πραγματικός βαθμός απόδοσης και η πραγματική θερμική ισχύς  $P_m$  προσδιορίζονται από την ανάλυση καυσαερίων, η οποία είναι υποχρεωτική σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 189533/2011 και αναγράφονται στο φύλλο συντήρησης και ρύθμισης του συστήματος θέρμανσης. Ο επιθεωρητής λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική θερμική ισχύ του λέβητα  $P_m$ , ελέγχει την περίπτωση υπερδιαστασιολόγησης της μονάδας λέβητα -καυστήρα, συγκρίνοντας την με την υπολογιζόμενη θερμική ισχύ  $P_{gen}$  στη μελέτη εφαρμογής θέρμανσης του κτηρίου. Σε περίπτωση που μια τέτοια μελέτη εφαρμογής θέρμανσης δεν υπάρχει, ο επιθεωρητής συγκρίνει την πραγματική θερμική ισχύ  $P_m$  της μονάδας με αυτήν που υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_{gen} = A \cdot U_m \cdot \Delta T \cdot 2,5,$$

όπου  $P_{gen}$  [W]: η υπολογιζόμενη μέγιστη απαιτούμενη θερμική ισχύς της μονάδας θέρμανσης του κτηρίου,

$A$  [ $m^2$ ]: η συνολική πραγματική εξωτερική επιφάνεια του κτιριακού κελύφους (τοίχοι, οροφές, πυλωτή, ανοίγματα), που είναι εκτεθειμένη στον εξωτερικό αέρα ή/και σε επαφή με όμορα κτήρια ή/και σε επαφή με μη θερμαινόμενους χώρους ή/και σε επαφή με το έδαφος, όπως λαμβάνεται υπόψη κατά τον έλεγχο θερμομονωτικής επάρκειας του κτηρίου.

$U_m$  [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]: ο μέγιστος επιτρεπόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας για το σύνολο της επιφάνειας  $A$ .

$\Delta T$  [ $^{\circ}C$ ] ή [K]: η διαφορά της θερμοκρασίας για τη διαστασιολόγηση του συστήματος:

- $18^{\circ}\text{C}$  για την Α κλιματική ζώνη,
- $20^{\circ}\text{C}$  για τη Β κλιματική ζώνη,
- $23^{\circ}\text{C}$  για τη Γ και κλιματική ζώνη και
- $28^{\circ}\text{C}$  για τη Δ κλιματική ζώνη.

2,5: συντελεστής που περιλαμβάνει τα φορτία λόγω αερισμού (διείσδυση από χαραμάδες), αλλά και τους συντελεστές προσαύξησης λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας, απωλειών δικτύου διανομής κ.τ.λ.

Στην περίπτωση της μονοκατοικίας μας το εμβαδόν της παράπλευρης επιφάνειας υπολογίζεται ως εξής:  $A = 1,5 \cdot 108 + 0,5 \cdot (4 \cdot 2,9 \cdot 2 + 3 \cdot 2,9) + 2,9 \cdot (12 + 10 + 10 + 5 + 4) = 296,85 \text{ m}^2$ , άρα  $A/V = 296,85/313,2 = 0,947$ , οπότε από τον πίνακα 3.3α της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε., το  $U_m$  είναι:

- $0,835 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  για τη ζώνη Α,
- $0,755 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  για τη ζώνη Β,
- $0,685 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  για τη ζώνη Γ και
- $0,62 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  για ζώνη Δ.

Επομένως, το  $P_{gen}$  είναι:

- $11,2 \text{ kW}$  για τη ζώνη Α,
- $11,2 \text{ kW}$  για τη ζώνη Β,
- $11,7 \text{ kW}$  για τη ζώνη Γ και
- $12,9 \text{ kW}$  για τη ζώνη Δ.

Σε περίπτωση που η υφιστάμενη μονάδα λέβητα-καυστήρα του κτηρίου, καλύπτει παράλληλα τις ανάγκες για θέρμανση χώρων και παροχής ζεστού νερού χρήσης, τότε στην προηγούμενη σχέση θα πρέπει να προστεθεί και το θερμικό φορτίο για ζεστό νερό χρήσης. Στην περίπτωση που η υπολογιζόμενη μέγιστη θερμική ισχύς  $P_{gen}$  είναι μικρότερη από  $20 \text{ kW}$ , τότε λαμβάνεται ίση με  $20 \text{ kW}$ .

Στους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων κατά τη μελέτη ή την επιθεώρηση, χρησιμοποιείται ο βαθμός απόδοσης ( $n_{gen}$ ), που προκύπτει από τον πραγματικό βαθμό απόδοσης της μονάδας λέβητα - καυστήρα ( $n_{gm}$ ), όπως μετρήθηκε κατά την ανάλυση καυσαερίων στις υφιστάμενες εγκαταστάσεις ή όπως δίνεται από τις τεχνικές προδιαγραφές των εγκαταστάσεων για τα υπό μελέτη κτήρια, μειωμένος κατά το συντελεστή υπερδιαστασιολόγησης ( $n_{g1}$ ) και το συντελεστή μόνωσης λέβητα ( $n_{g2}$ ) που δίνονται στους πίνακες 4.3. και 4.4 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.

Έτσι, ο συνολικός βαθμός απόδοσης της μονάδας παραγωγής θέρμανσης ( $n_{gen}$ ) προκύπτει:

$$n_{gen} = n_{gm} \cdot n_{g1} \cdot n_{g2}$$

Η ισχύς του λέβητα είναι:

- 16,8 kW για το Ηράκλειο,
- 16,9 kW για το Ελληνικό,
- 17,7 kW για την Θεσσαλονίκη και
- 19,5 kW για την Καστοριά.

Άρα έχει 51% μεγαλύτερη ισχύ από τη μέγιστη υπολογιζόμενη.

$$n_{gm} = 0,83.$$

$n_{g1} = 0,85$  για λέβητα με ισχύ μεγαλύτερη από 50% μέχρι και 100% από τη μέγιστη υπολογιζόμενη (πίνακας 4.3 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1).

$n_{g2} = 0,936$  για λέβητα γυμνό ή με κατεστραμμένη μόνωση (πίνακας 4.4 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1).

Επομένως,  $n_{gen} = 0,66$ .

#### 4.6.2 Δίκτυο διανομής

Η ισχύς του δικτύου διανομής είναι ίση με την πραγματική θερμική ισχύ μειωμένη κατά το γινόμενο των μειωτικών συντελεστών,

$$n_g = n_{g1} \cdot n_{g2} = 0,85 \cdot 0,936 = 0,8,$$

οπότε η θερμική ισχύς του δικτύου διανομής λαμβάνεται ως εξής:



- 13,4 kW για το Ηράκλειο,
- 13,5 kW για το Ελληνικό,
- 14 kW για την Θεσσαλονίκη και
- 15,5 kW για την Καστοριά.

Το ποσοστό θερμικών απωλειών δικτύου διανομής κεντρικής εγκατάστασης θέρμανσης ως προς τη συνολική ψυκτική ισχύ που μεταφέρει το δίκτυο είναι 4,5% για δίκτυα διανομής θέρμανσης με υψηλές θερμοκρασίες προσαγωγής θερμικού μέσου, μεγαλύτερες ή ίσες των 60°C και για μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνων, σύμφωνα με τον πίνακα 4.11 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.

#### 4.6.3 Τερματική μονάδα

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15316.2.1:2008, εκτιμάται ο βαθμός απόδοσης ( $n_{em,t}$ ) των τερματικών μονάδων (εκπομπής θερμότητας) του δικτύου θέρμανσης βάσει της ακόλουθης σχέσης:

$$n_{em,t} = \frac{n_{em}}{f_{rad} \cdot f_{im} \cdot f_{hydr}}$$

όπου:  $f_{rad}$ : ο παράγοντας για την αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας των τερματικών μονάδων και εξαρτάται από το ύψος των χώρων που θερμαίνονται. Ισχύει μόνο για τις τερματικές μονάδες ακτινοβολίας, ενώ για τα υπόλοιπα συστήματα ισούται με μονάδα,

$f_{im}$ : ο παράγοντας της διακοπτόμενης λειτουργίας με την έννοια της μείωσης (ρύθμισης) της θερμοκρασίας ανά χώρο του κτηρίου,

$f_{hydr}$ : ο παράγοντας για την υδραυλική ισορροπία του δικτύου των τερματικών μονάδων,

$n_{em}$ : η απόδοση εκπομπής μιας τερματικής μονάδας.

$f_{rad}=1$  για τερματικές μονάδες θέρμανσης σε χώρους με ύψος μικρότερο από 4m.

$f_{im}=1$  για συνεχή λειτουργία.

$f_{hydr}=1$  για υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα.

$n_{em}=0,89$  για θερμοκρασία μέσου 70-90 °C για τερματική μονάδα άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο (πίνακας 4.12 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1).

Άρα  $n_{em,t} = 0,89$ .

## 4.7 Ψύξη

Για την ψύξη χρησιμοποιούνται τοπικές αερόψυκτες αντλίες θερμότητας με πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό και υπάρχουν διατάξεις ελέγχου και αυτοματισμών σε επίπεδο ιδιοκτησίας. Για τις ζώνες Α και Β η περίοδος ψύξης είναι από 15/5 έως 15/9. Για τις ζώνες Γ και Δ η περίοδος ψύξης είναι από 1/6 έως 31/8.

Κάθε μονάδα παραγωγής ψυκτικής ενέργειας καλύπτει μέρος ή το σύνολο του απαιτούμενου ψυκτικού φορτίου της εκάστοτε θερμικής ζώνης. Ιδιαίτερα για τα συστήματα ψύξης των κτηρίων κατοικίας, το ποσοστό κάλυψης του συνολικού ψυκτικού φορτίου μπορεί να περιοριστεί μέχρι και 50%, όπως και στο κτήριο αναφοράς. Διευκρινίζεται ωστόσο, πως ακόμη και για τα κτήρια κατοικιών, όταν το σύστημα ψύξης καλύπτει τμήμα του κτηρίου μεγαλύτερο από 50% και είναι κεντρικό χωρίς δυνατότητα κάλυψης μερικών μόνο χώρων, τότε το συνολικό ποσοστό κάλυψης θα πρέπει να αντιστοιχεί στην πραγματικότητα και όχι να περιορίζεται στο 50%. Στο κτίριο που μελετάται το ποσοστό κάλυψης του συνολικού ψυκτικού φορτίου είναι 100%.

### 4.7.1 Απόδοση μονάδας παραγωγής ψύξης

Για τις τοπικές αερόψυκτες μονάδες αντλιών θερμότητας (διαιρούμενου ή ενιαίου τύπου), για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, ο δείκτης αποδοτικότητας EER για του υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του προς επιθεώρηση κτηρίου λαμβάνεται ίσος με 2 για συστήματα 10-ετίας, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1.

### 4.7.2 Δίκτυο διανομής

Για τοπικά συστήματα παραγωγής ψύξης, όπως τοπικές αντλίες θερμότητας, στα οποία δεν υπάρχει δίκτυο διανομής, οι απώλειες διανομής θεωρούνται μηδενικές

για το υπό μελέτη κτίριο, καθώς και για το κτίριο αναφοράς κατοικίας που διαθέτει τοπικές αντλίες θερμότητας, σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.

#### 4.7.3 Τερματική μονάδα

Οι συνήθεις τερματικές μονάδες για εγκαταστάσεις ψύξης, είναι μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fancoil), εσωτερικές μονάδες συστημάτων άμεσης εξάτμισης, τερματικά στοιχεία αέρα (στόμια δικτύου αεραγωγών), ενδοδαπέδια και ενδοτοιχία συστήματα δροσισμού και ψυχόμενη οροφή. Ο βαθμός απόδοσης ( $n_{em,t}$ ) των τερματικών μονάδων ψύξης υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n_{em,t} = \frac{n_{em}}{f_{im} \cdot f_{hydr}} \cdot$$

$f_{im}=1$  για συνεχή λειτουργία.

$f_{hydr}=1$  για υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα.

$n_{em}=0,93$  για τοπικές αντλίες θερμότητας (πίνακας 4.12 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1).

Άρα  $n_{em,t} = 0,93$ .

#### 4.8 Ζεστό νερό χρήσης

Για το ζεστό νερό χρήσης χρησιμοποιείται ηλεκτρική αντίσταση και υπάρχουν διατάξεις αυτομάτου ελέγχου. Η ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης (Z.N.X.) είναι 50 λίτρα ανά άτομο και ανά ημέρα, σύμφωνα με τον πίνακα 2.5 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, οπότε συνολικά καταναλώνονται 300 λίτρα ημερησίως.

Για κάθε μονάδα (τοπική ή κεντρική) παραγωγής ζεστού νερού χρήσης (Z.N.X.) καθορίζεται η ονομαστική ισχύς και η θερμική απόδοση σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή. Η πραγματική όμως θερμική απόδοση λειτουργίας μονάδας παραγωγής Z.N.X. διαφοροποιείται και εξαρτάται από την εποχή (ανάλογα με την κλιματική ζώνη), από τα απαιτούμενα φορτία Z.N.X., από τις διατάξεις αυτοματισμών ελέγχου, από τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος κ.ά. Για τους υπολογισμούς της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας για παραγωγή Z.N.X. απαιτείται να προσδιοριστεί ο μέσος βαθμός θερμικής απόδοσης της μονάδας παραγωγής Z.N.X.

Η θερμική ισχύς  $P_n$ , ενός τοπικού θερμαντήρα παραγωγής Ζ.Ν.Χ., συνήθως υπολογίζεται για μέσο χρόνο απόδοσης της συνολικής ημερήσια θερμικής ενέργειας σε 5 ώρες, όπως δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$P_n = Q_d/5.$$

Το ημερήσιο απαιτούμενο θερμικό φορτίο  $Q_d$  σε (kWh/day) για Ζ.Ν.Χ. δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_d = V_d \cdot c \cdot \rho \cdot \Delta T / 3600,$$

όπου:  $V_d$  [ℓ /ημέρα]: το ημερήσιο φορτίο,

$\rho$  [kg/ ℓ]: η πυκνότητα του νερού,  $\rho = 1$  kg/ ℓ,

$c$  [kJ/(kg·K)]: η ειδική θερμότητα,  $c = 4,18$  kJ/(kg·K),

$\Delta T$  [K] ή [°C]: η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης θερμοκρασίας του νερού δικτύου (πίνακας 2.6. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1) και της θερμοκρασίας του Ζ.Ν.Χ. (45 °C).

Η χαμηλότερη θερμοκρασία του νερού δικτύου είναι:

- 12,8°C για τη ζώνη Α,
- 10,1°C για τη ζώνη Β,
- 6,5°C για τη ζώνη Γ και
- 4,2 °C για τη ζώνη Δ.

Επομένως, το  $P_n$  είναι:

- 2,24 kW για τη ζώνη Α,
- 2,43 kW για τη ζώνη Β,
- 2,68 kW για τη ζώνη Γ και
- 2,84 kW για τη ζώνη Δ.

#### **4.8.1 Δίκτυο διανομής**

Σε περίπτωση τοπικών μονάδων παραγωγής Ζ.Ν.Χ. (π.χ. σε κτίρια κατοικιών), όπου το δίκτυο διανομής είναι μικρό, οι απώλειες δικτύου λαμβάνονται μηδενικές.

#### **4.8.2 Τερματική μονάδα**

Τερματικές μονάδες απόδοσης (εναλλάκτες) θερμότητας για το Ζ.Ν.Χ., είναι οι κεντρικές ή/και τοπικές δεξαμενές αποθήκευσης, δηλαδή οι θερμαντήρες (boiler), οι οποίοι διαθέτουν είτε ηλεκτρική αντίσταση (ηλεκτρικός θερμοσίφωνας) είτε εναλλάκτη θερμότητας (σερπαντίνα).

Στους υπολογισμούς της κατανάλωσης θερμικής ενέργειας, λαμβάνονται υπόψη και οι θερμικές απώλειες των θερμαντήρων που σχετίζονται με:

- την απόδοση του στοιχείου συναλλαγής θερμότητας (ηλεκτρική αντίσταση ή/και εναλλάκτης θερμότητας - σερπαντίνα) των θερμαντήρων,
- τις πλευρικές θερμικές απώλειες από το μεταλλικό μονωμένο τοίχωμα των θερμαντήρων.

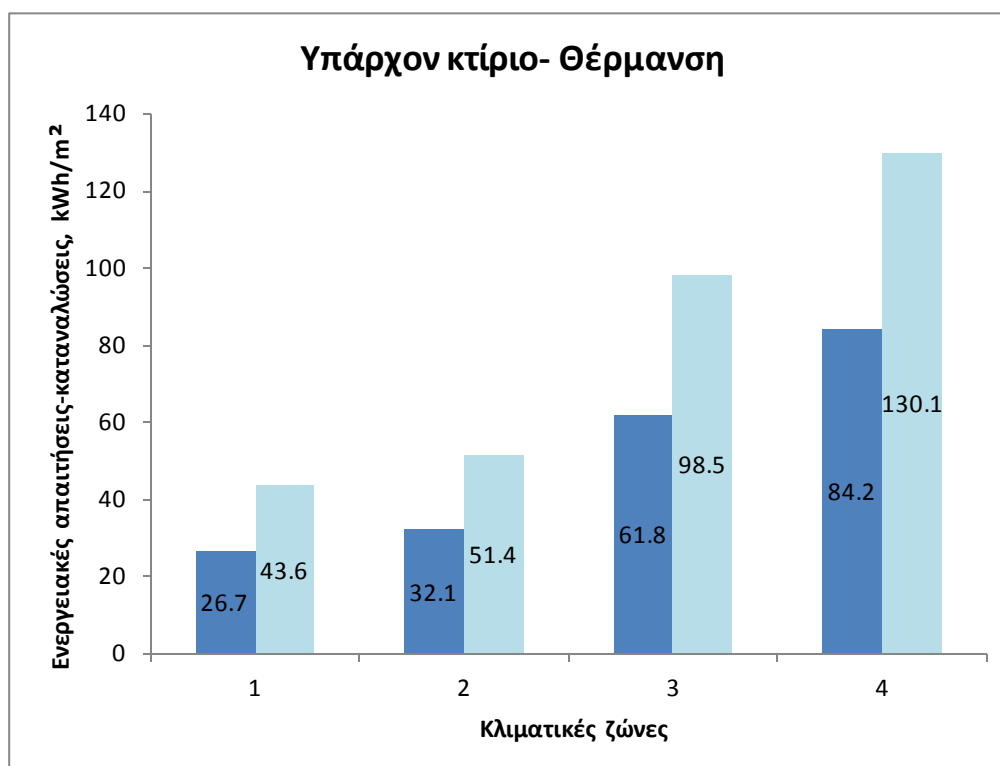
Οι θερμικές απώλειες για ηλεκτρικούς θερμαντήρες (θερμοσίφωνες) λαμβάνονται μηδενικές. Οι πλευρικές θερμικές απώλειες των θερμαντήρων είναι 2% επί της συνολικής θερμικής ενέργειας για Ζ.Ν.Χ. για τοποθέτηση σε εσωτερικό θερμαινόμενο ή μη χώρο. Ο συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών των θερμαντήρων είναι το άθροισμα των δύο επί μέρους συντελεστών θερμικών απωλειών.

### **4.9 Ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις υπάρχοντος κτιρίου**

#### **4.9.1 Θέρμανση**

Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) θέρμανσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο. Έχοντας ως βάση σύγκρισης την κλιματική ζώνη Δ, όπου οι τιμές είναι οι υψηλότερες, παρατηρείται ότι στη ζώνη Γ οι απαιτήσεις μειώνονται κατά 26,6%, στη

δεύτερη κατά 61,88% και στην πρώτη κατά 68,29%. Αντίστοιχα οι καταναλώσεις μειώνονται κατά 24,29%, 60,49% και 66,48%. Συμπερασματικά, η τάση μείωσης των τιμών που παρατηρείται στις απαιτήσεις είναι παρόμοια με αυτή των καταναλώσεων και οφείλεται στις ευνοϊκότερες κλιματολογικές συνθήκες με τις μειώσεις στις απαιτήσεις να είναι λίγο μεγαλύτερες.

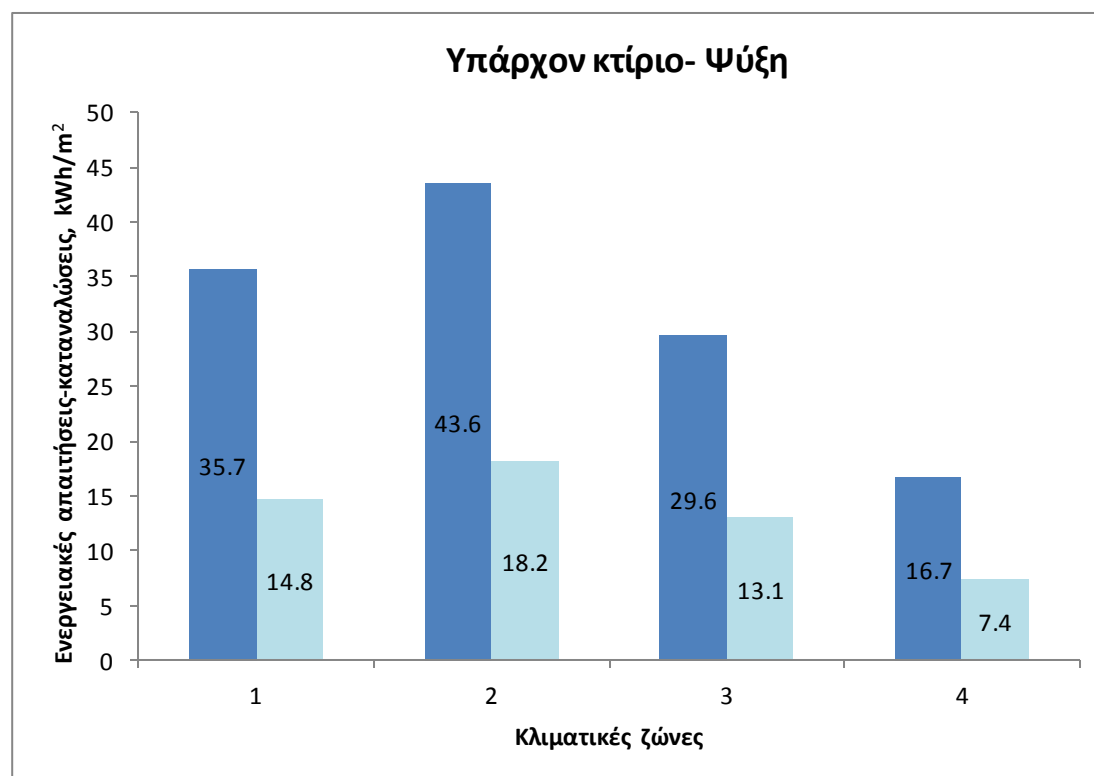


Σχήμα 4.3: Ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) θέρμανσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο.

#### 4.9.2 Ψύξη

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ψύξης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο. Έχοντας ως βάση σύγκρισης την κλιματική ζώνη Δ, παρατηρείται ότι στη ζώνη Γ οι απαιτήσεις αυξήθηκαν κατά 77,25%, στη δεύτερη κατά 161,08% και στην πρώτη κατά 113,77%. Οι καταναλώσεις αυξάνονται κατά 77,03%, 145,95%, και 100% αντίστοιχα. Εντύπωση προκαλεί το ότι στην πρώτη ζώνη οι απαιτήσεις και οι καταναλώσεις είναι μικρότερες σε σύγκριση με αυτές της δεύτερης, κάτι που μπορεί να οφείλεται στο ότι στο Ελληνικό οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών

στοιχείων είναι μικρότεροι σε σχέση με το Ηράκλειο, αλλά οι θερμοκρασίες που επικρατούν δεν είναι αναλογικά κατά το ίδιο ποσοστό μικρότερες. Οι καταναλώσεις αυξάνονται με μικρότερο ρυθμό από ότι οι απαιτήσεις, ιδιαίτερα στις ζώνες Β και Α.

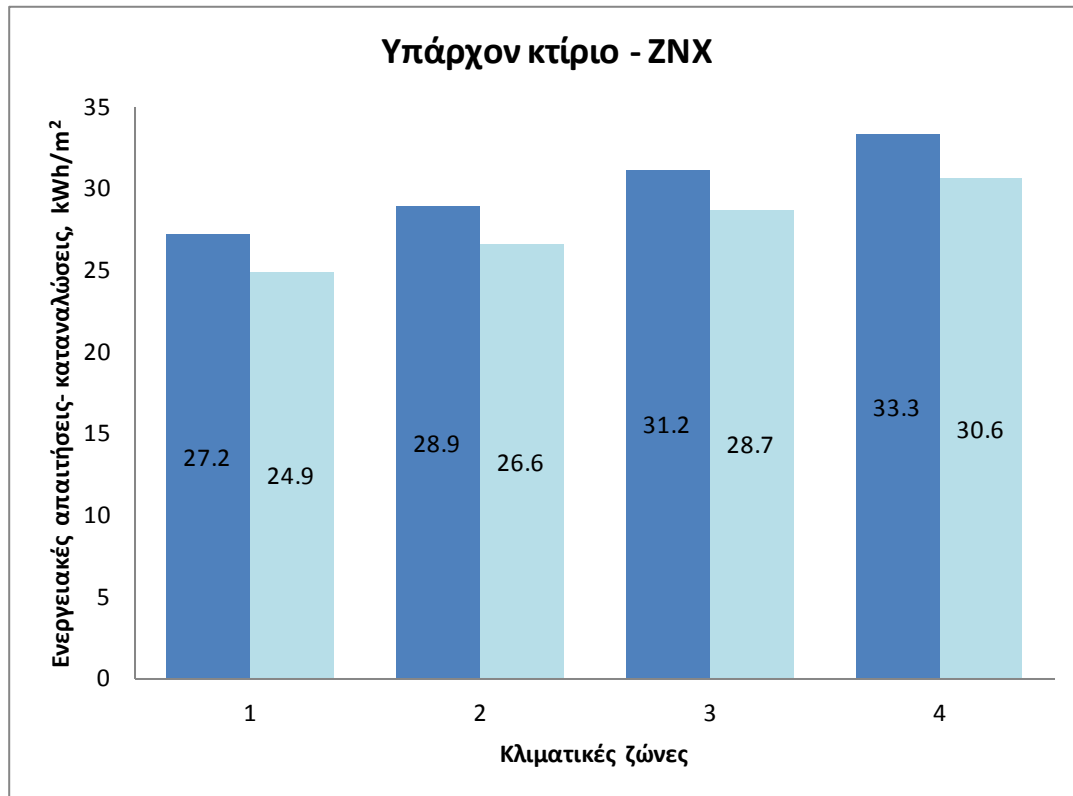


Σχήμα 4.4: Ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ψύξης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο.

#### 4.9.3 Ζεστό νερό χρήσης

Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ζεστού νερού χρήσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο. Έχοντας ως βάση σύγκρισης την κλιματική ζώνη Δ, οι απαιτήσεις στην τρίτη ζώνη μειώνονται κατά 6,31%, κατά 13,21% στη δεύτερη και κατά 18,32% στην πρώτη. Οι καταναλώσεις μειώνονται κατά 6,21%, 13,07% και κατά 18,63% αντίστοιχα. Οι διαφορές από ζώνη σε ζώνη που παρατηρούνται είναι σχετικά μικρές και σχεδόν ίδιες σε απαιτήσεις και καταναλώσεις. Επίσης, οι τιμές απαιτήσεων είναι αρκετά κοντινές, σε αντίθεση με τη θέρμανση και την ψύξη, όπου υπήρχαν σημαντικές διαφορές, λόγω του ότι η θερμοκρασία νερού δικτύου δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές. Οι απαιτήσεις σε ζεστό νερό χρήσης είναι παρόμοιες με τις

αντίστοιχες της θέρμανσης, ιδιαίτερα στις κλιματικές ζώνες Α και Β, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρέπει να αξιοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια.



Σχήμα 4.5: Ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ζεστού νερού χρήσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο.



## Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση εναλλακτικού σεναρίου

### 5.1 Εισαγωγή

Η σύγκριση των τιμών πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου προς μελέτη και του κτιρίου αναφοράς είναι σημαντική για την επισήμανση των χρήσεων για τις οποίες θα πρέπει να γίνουν βελτιώσεις, όσον αφορά στο κέλυφος ή στα συστήματα. Ο προσδιορισμός των βελτιώσεων απαιτεί την συγκριτική ανάλυση και των δεδομένων απαίτησης και κατανάλωσης. Τα φορτία απαίτησης του κτιρίου προς μελέτη είναι συγκρίσιμες με του κτιρίου αναφοράς, οπότε δεν προκύπτει ανάγκη επεμβάσεων στο κέλυφος. Οι διαφορές στις τιμές κατανάλωσης μεταξύ του κτιρίου προς μελέτη και του κτιρίου αναφοράς δεν μπορούν να αποδοθούν αποκλειστικά στις τιμές απαίτησης, άρα είναι βάσιμη η υιοθέτηση δράσεων αναβάθμισης των ενεργειακών συστημάτων. Η υιοθέτηση επεμβάσεων χρήσης ΑΠΕ μειώνει δραστικά τις τιμές κατανάλωσης ενέργειας και παράλληλα αναβαθμίζει σημαντικά την κλάση του κτιρίου.

Στο εναλλακτικό σενάριο, λοιπόν, γίνονται βελτιώσεις στα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης. Θα τοποθετηθεί γεωθερμική αντλία θερμότητας με οριζόντιο γεωεναλλάκτη που θα καλύπτει τα φορτία θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης. Προτιμήθηκε η εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας, διότι μπορούν να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις. Ακόμη, θα τοποθετηθεί ηλιακός συλλέκτης για την κάλυψη του ζεστού νερού χρήσης. Η εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη είναι μια συνήθης πρακτική που ακολουθείται στην Ελλάδα, λόγω του υψηλού διαθέσιμου ηλιακού δυναμικού και της εγχώριας βιομηχανίας. Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι αποτελεί μια οικονομική λύση, γι' αυτό και προτείνεται.

### 5.2 Θέρμανση

Η γεωθερμική αντλία (WPF 16 Basic της Stiebel Eltron) έχει  $COP = 4,16$  για τη θέρμανση. Το ποσοστό θερμικών απωλειών δικτύου διανομής κεντρικής εγκατάστασης θέρμανσης ως προς τη συνολική ψυκτική ισχύ που μεταφέρει το δίκτυο είναι 3% για δίκτυα διανομής θέρμανσης με χαμηλές θερμοκρασίες

προσαγωγής θερμικού μέσου (<math>60^{\circ}\text{C}</math>) για μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνων, σύμφωνα με τον πίνακα 4.11 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.



#### Type

Product Number	230948
Output at B0/W35 (EN 14511)	16,64 kW
Coefficient of performance at B0/W35 (EN 14511)	4,16

#### Technical data

Energy efficiency class, heat pump W35	A++
Energy efficiency class, W55 heat pump	A+
Energy efficiency class, composite system (heat pump + controller) W35	A+++
Energy efficiency class, composite system (heat pump + controller) W55	A+
Flow rate, heat source side	3,8 m <sup>3</sup> /h
Sound power level (EN 12102)	53 dB(A)
Sound pressure level at a distance of 1 m	42 dB(A)
Rated compressor voltage	400 V
Rated voltage, emergency/booster heater	400 V
Rated control voltage	230 V
Height	960 mm
Width	510 mm
Depth	680 mm
Weight	131 kg

Σχήμα 5.1: Χαρακτηριστικά γεωθερμικής αντλίας θερμότητας WPF 16 Basic.

Ισχύει ότι:  $n_{em,t=}$  0,93, αφού

$f_{rad}=1$  για τερματικές μονάδες θέρμανσης σε χώρους με ύψος μικρότερο από 4 m.

$f_{im}=1$  για συνεχή λειτουργία.

$f_{hydr}=1$  για υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα.

$n_{em}=0,93$  για θερμοκρασία μέσου 50-70 °C για τερματική μονάδα άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο (πίνακας 4.12 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.).

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής αντλίας WPF 16 Basic.

### 5.3 Ψύξη

Η γεωθερμική αντλία έχει EER= 4. Το ποσοστό ψυκτικών απωλειών δικτύου διανομής κεντρικής εγκατάστασης ψύξης ως προς τη συνολική ψυκτική ισχύ που μεταφέρει το δίκτυο είναι 1,5 % για μόνωση ίση με την ακτίνα σωλήνων (πίνακας 4.11 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1).

Ισχύει ότι:  $n_{em,t=}$  0,93, αφού

$f_{im}=1$  για συνεχή λειτουργία.

$f_{hydr}=1$  για υδραυλικά εξισορροπημένο σύστημα.

$n_{em}=0,93$  για άμεσα συστήματα (πίνακας 4.12 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1).

### 5.4 Ζεστό νερό χρήσης

Οι απώλειες κεντρικού δικτύου διανομής για ζεστό νερό χρήσης (50 °C) για μόνωση ίδια με αυτή του κτιρίου αναφοράς, χωρίς ανακυκλοφορία και ημερήσια ζήτηση 200-1000 λίτρα είναι 7,7 % (πίνακας 4.16 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1).

Οι θερμικές απώλειες λόγω του εναλλάκτη θερμότητας τοπικών ή κεντρικών θερμαντήρων (boiler) λαμβάνονται κατά μέσο όρο 5% επί της συνολικής θερμικής ενέργειας για Z.N.X. Οι πλευρικές θερμικές απώλειες των θερμαντήρων είναι 2% επί της συνολικής θερμικής ενέργειας για Z.N.X. για τοποθέτηση σε εσωτερικό θερμαινόμενο ή μη χώρο. Επομένως, οι συνολικές απώλειες ανέρχονται στο 7 %.

## 5.5 Απαιτούμενο εμβαδόν για εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας

Η ισχύς του εξατμιστή ( $Q_{\text{evap}}$ ) υπολογίζεται από τον τύπο :

$$Q_{\text{evap}} = Q_h \cdot (\text{COP}_h - 1) / \text{COP}_h, \text{ όπου}$$

$Q_h$  [kW]: η θερμική ισχύς και

$\text{COP}_h$  [-]: ο ειδικός βαθμός απόδοσης.

Η τιμή του  $\text{COP}_h$  δεν δίδεται από τον κατασκευαστή. Από 11 μεγαλύτερες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ισχύος από 19-117 kW της σειράς 61 WG της εταιρείας Carrier ([www.ahi-carrier.gr](http://www.ahi-carrier.gr)) παρατηρήθηκε ότι το  $\text{COP}_h$  κυμαίνεται από 2,86 έως 3,04, χωρίς να υπάρχει κάποια εξάρτηση από το μέγεθος της αντλίας. Θεωρείται ότι το  $\text{COP}_h$  είναι ίσο με 3.

Η μέγιστη ισχύς θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης είναι:

- 13,44 kW για τη ζώνη Α
- 13,63 kW για τη ζώνη Β,
- 14,38 kW για τη ζώνη Γ και
- 15,74 kW για τη ζώνη Δ.

Οπότε, η ισχύς του εξατμιστή ( $Q_{\text{evap}}$ ) είναι:

- 8,96 kW για τη ζώνη Α,
- 9,08 kW για τη ζώνη Β,
- 9,59 kW για τη ζώνη Γ και
- 10,49 kW για τη ζώνη Δ.

Το απαιτούμενο εμβαδόν για εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας για οριζόντιο κύκλωμα δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Απαιτούμενο εμβαδόν} = \frac{Q_{\text{evap}}}{\text{ειδική τιμή άντλησης θερμότητας}}$$

Η απόδοση εδάφους (ειδική τιμή άντλησης εδάφους) για έδαφος κατάλληλο για εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας και οριζόντια γεωθερμία λαμβάνεται ίση με  $40\text{W/m}^2$  (Κατσιμίχας, 2010).

Επομένως, το απαιτούμενο εμβαδόν, σύμφωνα με τις τιμές θερμικής ισχύος για κάθε ζώνη που υπολογίστηκαν στις ενότητες 4.6.1 και 4.8, είναι:

- 224 m<sup>2</sup> για το Ηράκλειο,
- 227 m<sup>2</sup> για το Ελληνικό,
- 239,8 m<sup>2</sup> για την Θεσσαλονίκη και
- 262,3 m<sup>2</sup> για την Καστοριά.

## 5.6 Απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων

Το απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων για εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας για οριζόντιο κύκλωμα δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων} = \frac{\text{Απαιτούμενο εμβαδόν}}{\text{Απόσταση σωλήνων}}$$

Η απόσταση ανάμεσα στους σωλήνες λαμβάνεται τιμές ανάμεσα σε 0,6-0,8m και στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίση με 0,7m ([www.rehau.de](http://www.rehau.de)).

Επομένως, το απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων είναι:

- 320 m για το Ηράκλειο,
- 324,3 m για το Ελληνικό,
- 342,5 m για την Θεσσαλονίκη και
- 374,6 m για την Καστοριά.

## 5.7 Κόστος παρεμβάσεων γεωθερμικής αντλίας

Η γεωθερμική αντλία έχει ισχύ 16,64 kW και κοστίζει 7700 € ([www.thermikiexpress.gr](http://www.thermikiexpress.gr)). Η μέγιστη ισχύς θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης είναι:

- 13,44 kW για τη ζώνη Α,
- 13,63 kW για τη ζώνη Β,
- 14,38 kW για τη ζώνη Γ και

- 15,74 kW για τη ζώνη Δ.

Επομένως, το κόστος της αντλίας διαμορφώνεται ως εξής:

- 6219 € για τη ζώνη Α,
- 6307 € για τη ζώνη Β,
- 6654 € για τη ζώνη Γ και
- 7284 € για τη ζώνη Δ.

Το κόστος γεώτρησης και το κόστος σωληνώσεων είναι 900 € για αντλία ισχύος 8 kW ([www.ecotimes.gr](http://www.ecotimes.gr)), οπότε το κόστος ανά ζώνη είναι:

- 1512 € για τη ζώνη Α,
- 1533 € για τη ζώνη Β,
- 1618 € για τη ζώνη Γ και
- 1771 € για τη ζώνη Δ.

## **5.8 Επιπρόσθετα απαιτούμενα κόστη**

Για να επιτευχθούν οι αποδόσεις της γεωθερμικής αντλίας που προαναφέρθηκαν (αποφεύγοντας δηλαδή την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών θερμικού μέσου), είναι προτιμότερο να γίνει εγκατάσταση fan coil ή να επιλεγθεί η λύση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και ψύξης.

### **5.8.1 Εγκατάσταση fan coil**

Το fan coil που επιλέχθηκε είναι το Saturn MDFHC-950, το οποίο είναι οροφής τύπου κασέτα και κοστίζει 674 € ([www.bioestia.gr](http://www.bioestia.gr) και [www.kalogiropoulos.gr](http://www.kalogiropoulos.gr)), με την εγκατάσταση να στοιχίζει 140 €, άρα προκύπτει ένα κόστος που κυμαίνεται στα 814 €. Έχει θερμική απόδοση 12910 kcal/h = 15,01 kW. Επομένως, το κόστος του fan coil και της εγκατάστασής του ανά εξεταζόμενη πόλη διαμορφώνεται ως εξής (με τα έτη αποπληρωμής να περιλαμβάνουν το κόστος της γεωθερμικής αντλίας, του fan coil και του ηλιακού συλλέκτη):

- 729 € για το Ηράκλειο,
- 739 € για την Αθήνα ,
- 779 € για την Θεσσαλονίκη και
- 854 € για την Καστοριά.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του fan coil Saturn MDFHC-950.

Η συνθήκη (Α) αναφέρεται στα παρακάτω:

Ψυκτική απόδοση: Εσωτερική θερμοκρασία δωματίου 27°CDB (θερμοκρασία ξηρού βολβού), 21°WB (θερμοκρασία υγρού βολβού), Θερμοκρασία νερού εισόδου 5 °C

Θερμική απόδοση: Εσωτερική θερμοκρασία δωματίου 18 °CDB, Θερμοκρασία νερού εισόδου 80 °C.

Η συνθήκη (Β) αναφέρεται στα παρακάτω:

Ψυκτική απόδοση: Εσωτερική θερμοκρασία δωματίου 27 °CDB, 19,5°WB, Θερμοκρασία νερού εισόδου 7 °C.

Θερμική απόδοση: Εσωτερική θερμοκρασία δωματίου 21 °CDB, Θερμοκρασία νερού εισόδου 60 °C.

Πίνακας 5.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά fan coil Saturn MDFHC-950.

<b>ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>950</b>
<b>ΣΥΝΘΗΚΗ</b>	
Ψυκτική απόδοση (kcal/h)	12000
Θερμική απόδοση (kcal/h)	20500
<b>ΣΥΝΘΗΚΗ</b>	
Ψυκτική απόδοση (kcal/h)	7663
Θερμική απόδοση (kcal/h)	12910
Παροχή αέρα (m <sup>3</sup> /min )	26,6
Παροχή νερού (lit / min )	25,6
Πτώση πίεσης ( m H <sub>2</sub> O )	3,0
<b>MDFHC</b>	
Βάρος (kg)	40
Διαστάσεις	Μήκος(mm)
	Ύψος (mm)
	Πλάτος(mm)
	740
	310
	840

## 5.8.2 Ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη

Ξεκινώντας την ανάλυση για τις τιμές της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και ψύξης, πρέπει να αναφερθεί εξαρχής πως το κόστος εγκατάστασης είναι σίγουρα υψηλότερο συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους. Βέβαια εδώ γίνεται επίσης επίστρωση θερμοσιμέντου και θερμομονωτικής στρώσης, κάτι που δεν συμβαίνει με τις συμβατικές μεθόδους, οπότε η σύγκριση δεν είναι απολύτως δίκαιη. Επίσης πολύ σημαντικό είναι πως ακόμα είναι διαθέσιμο το πρόγραμμα επιδότησης εξοικονόμησης κατ'οίκον, που επιδοτεί ως 70% για μια σειρά εργασιών ενεργειακής αναβάθμισης (μόνωση ταράτσας, μόνωση τοίχων, αλλαγή κουφωμάτων, αντλία θερμότητας κλπ), μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και η ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη.

Παρόλα αυτά αν και με ακριβότερο κόστος εγκατάστασης, η ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη υπερέχει σημαντικά στο κόστος λειτουργίας, το οποίο είναι περίπου 35% οικονομικότερο από τη συμβατική θέρμανση. Αυτό συμβαίνει, γιατί η θερμοκρασία που φτάνει το νερό (που διαπερνά τους σωλήνες) φτάνει το πολύ τους 45°C, ενώ στα καλοριφέρ φτάνει τους 80-90°C. Έτσι, λοιπόν, χρειάζεται λιγότερη καύσιμη ύλη για να φτάσουμε σε αυτές τις θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρημάτων και πόρων. Κάτι τέτοιο, όμως, προϋποθέτει έναν χώρο (κατοικία ή επαγγελματικό χώρο), όπου να απαιτείται θέρμανση για μεγάλη διάρκεια του έτους, διαφορετικά αυτό το όφελος μειώνεται ή εξαεμίζεται. Επομένως, αν επιλεγεί η ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη, όσο πιο πολύ χρησιμοποιείται ένα σύστημα θέρμανσης τόσο πιο σύντομα θα γίνει απόσβεση.

Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιασθούν οι τιμές στην ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη για υλικά και εργασία, ξεκινώντας από τα πρώτα. Πρέπει να αναφερθεί ότι ρόλο παίζει η ποιότητα των υλικών που θα επιλεγούν. Πρέπει να σημειωθεί ότι εδώ θα εξεταστούν ποιοτικές λύσεις. Για έναν χώρο περίπου 100m<sup>2</sup> το κόστος των υλικών θα κυμανθεί περίπου στα 20-25€/m<sup>2</sup> + Φ.Π.Α. ([www.endodapediatheirmansi.gr](http://www.endodapediatheirmansi.gr)). Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνονται όλα τα υλικά που απαιτούνται για μια ολοκληρωμένη λύση.

Πιο αναλυτικά οι σωλήνες θα κοστίσουν περίπου 0,9-1,2€/m<sup>2</sup> + Φ.Π.Α, ενώ το θερμομονωτικό υλικό διογκωμένης πολυστερίνης που θα τοποθετηθεί από κάτω ως υπόστρωμα, κοστίζει περίπου 5-6€/m<sup>2</sup>. Εκτός αυτού, θα χρειαστεί σίγουρα ένας συλλέκτης ανά 50m<sup>2</sup> με κόστος ανά τεμάχιο 150-170€, καθώς και κατάλληλα



κονιάματα για το θερμομπετόν που θα εφαρμοστεί από πάνω. Συνολικά, λοιπόν μαζί με όλα τα υπόλοιπα παρελκόμενα υλικά που θα χρειαστούν, το τελικό κόστος υλικών για ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη φτάνει στο κόστος που προαναφέρθηκαν παραπάνω, στα 20-25€/m<sup>2</sup> +Φ.Π.Α.

Από την άλλη, όσον αφορά το κόστος εργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιαιτερότητες του έργου και από το εύρος του. Πιο συγκεκριμένα για μεγάλα έργα που βρίσκονται κυρίως στην Αθήνα ή σε άλλες μεγαλουπόλεις, το κόστος θα είναι πιο περιορισμένο συγκριτικά με μικρότερα έργα ή άλλα που βρίσκονται στην επαρχία ή σε απομονωμένα νησιά. Σε γενικές γραμμές πάντως οι τιμές εργασίας για ενδοδαπέδια θέρμανση και ψύξη δύσκολα θα συμπιεστούν σε επίπεδα κάτω από 10€/m<sup>2</sup> με μέγιστη τιμή τα 15€/m<sup>2</sup> + Φ.Π.Α. Πρέπει να σημειωθεί ότι γίνεται αναφορά σε τιμές για πλήρη λύση, αυτό σημαίνει ότι το συνεργείο θα αναλάβει το σύνολο των εργασιών, από τον καθαρισμό του υποστρώματος έως και την επικάλυψη με θερμομπετόν.

Αν εξεταστεί συγκεντρωτικά το κομμάτι των τιμών της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και ψύξης, προκύπτει ένα κόστος λίγο κάτω από τα 40€/m<sup>2</sup> + Φ.Π.Α., για το σύνολο των εργασιών και υλικών που θα χρειαστούν, ώστε να επιτευχθεί ένα καλό και ποιοτικό αποτέλεσμα. Εδώ αξίζει να αναφερθεί βέβαια και το χαμηλό κόστος συντήρησης που έχει η ενδοδαπέδια σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους, καθώς δεν θα απασχολεί τους ιδιοκτήτες το βάψιμο των σωμάτων και των τοίχων πίσω από αυτές, πιθανές διαρροές σε σώματα και σωληνώσεις κ.ά.

Με βάση τα παραπάνω το κόστος της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και ψύξης για τα 120 m<sup>2</sup> της εξεταζόμενης μονοκατοικίας είναι 4800€. Επομένως, το συνολικό κόστος, συμπεριλαμβανομένου του κόστους της γεωθερμικής αντλίας και της εγκατάστασης ηλιακού συλλέκτη, ανά περιοχή είναι:

- 13439 € για το Ηράκλειο,
- 13548 € για την Αθήνα,
- 13980 € για την Θεσσαλονίκη,
- 14763 € για την Καστοριά.

## 5.9 Ηλιακός συλλέκτης

Για ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής Ζ.Ν.Χ. μια τυπική τιμή για την χωρητικότητα των θερμαντήρων κυμαίνεται περίπου στα  $75 \text{ l/m}^2$  επιφάνειας ηλιακού συλλέκτη, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1. Το δοχείο είναι χωρητικότητας 300l, όσες και οι συνολικές απαιτήσεις. Η επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη είναι  $4\text{m}^2$ . Ο ηλιακός συλλέκτης είναι επιλεκτικός επίπεδος.

Οι βασικές παράμετροι επιλογής της θέσης εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών είναι:

- ο προσανατολισμός τους ως προς τον νότο,
- η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο και
- ο συντελεστής σκίασης.

Ο προσανατολισμός (αζιμούθιο  $\gamma$ ) τοποθέτησης των ηλιακών συλλεκτών, είναι η απόκλιση τους από το νότο της περιοχής εγκατάστασης. Για νότιο προσανατολισμό, σύμφωνα με την μεθοδολογία υπολογισμού της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, ορίζεται  $\gamma=180^\circ$ . Ο προσανατολισμός λαμβάνεται ίδιος τόσο για το υπό μελέτη ή προς επιθεώρηση κτήριο, όσο και για το κτήριο αναφοράς.

Η κλίση ( $\beta$ ) των ηλιακών συλλεκτών ορίζεται ως προς το οριζόντιο επίπεδο εγκατάστασης και απαιτείται για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει επάνω στην συλλεκτική επιφάνεια. Η κλίση  $\beta$  λαμβάνεται ίση με  $45^\circ$ .

Ο συντελεστής σκίασης είναι διορθωτικός συντελεστής για τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω της σκίασης που προκαλείται από το περιβάλλοντα χώρο στην επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών. Ο συντελεστής σκίασης ίσος με 1 υποδηλώνει την πλήρη απουσία σκίασης των ηλιακών συλλεκτών.

Το ποσοστό αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζεται ως το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο συλλέκτη που μετατρέπεται σε θερμική και αξιοποιείται τελικά για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ή για τη θέρμανση χώρων, δηλαδή είναι η μέση ετήσια απόδοση του ηλιακού συλλέκτη. Η μέση ετήσια απόδοση μιας εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών εξαρτάται από:

- τον τύπο των ηλιακών συλλεκτών (απλοί επίπεδοι, επίπεδοι με επιλεκτική επιφάνεια, συλλέκτες κενού κ.ά.) και τα τεχνικά

χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής,

- τη χρήση των ηλιακών συλλεκτών: ζεστού νερού χρήσης ή/και θέρμανσης χώρων κ.ά.,
- τις απώλειες εγκατάστασης λόγω παλαιότητας, φθοράς, κακής συντήρησης κ.ά.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει μελέτη διαστασιολόγησης (σχεδιασμού) του συστήματος ηλιακών συλλεκτών, όπως σε υφιστάμενα κτήρια, από την οποία να προκύπτει το ποσοστό αξιοποίησης ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης λαμβάνονται οι τιμές του πίνακα 5.8 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 για επιλεκτικό ηλιακό συλλέκτη και γωνία 45° που είναι:

- 0,364 για Ηράκλειο,
- 0,369 για Αθήνα,
- 0,358 για Θεσσαλονίκη και
- 0,344 για Καστοριά.

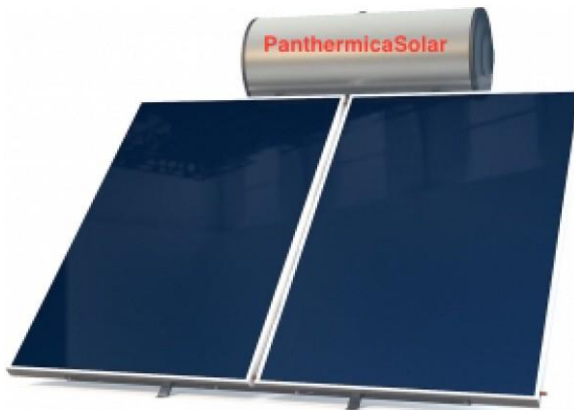
## 5.10 Κόστος ηλιακού συλλέκτη

Το κόστος του ηλιακού συλλέκτη και του δοχείου ανέρχεται στα 660 € και διατίθεται από την PanthermicaSolar ([www.panthermica.gr](http://www.panthermica.gr)). Τα υλικά σύνδεσης, τα αντιψυκτικά υγρά και τα ρακόρ κοστίζουν 50 €. Η εγκατάσταση κοστίζει 200 €. Το συνολικό κόστος είναι 910 €. Συνεπώς, το κόστος φθάνει τα 227,5 €/ m<sup>2</sup>. Στο σχήμα 5.2 απεικονίζεται ο ηλιακός συλλέκτης.

Τα χαρακτηριστικά του ηλιακού συστήματος είναι:

- Κατασκευή από λαμαρίνα EN 10130 AI 1998 DCP
- Μόνωση οικολογικής πολυουρεθάνης 53kg/m<sup>3</sup> πάχους 50mm
- Αντιδιαβρωτική προστασία υγρού σμάλτου κατά DIN4753 με θερμική επεξεργασία στους 840C°- Double Glass - και ανόδιο μαγνησίου κατά DIN12438-2.2, για προστασία από τα άλατα και την ηλεκτρόλυση.
- Εξωτερική επένδυση μεταλλικής επιφάνειας INOX, ανοξείδωτη για μεγάλη αντοχή στις καιρικές συνθήκες.

- Μονοκόμματο ανοδιωμένο προφίλ αλουμινίου, αντιδιαβρωτικής τεχνολογίας για απόλυτη στεγανότητα από υγρασία και μικρό-σωματίδια του αέρα.
- Μόνωση υαλοβάμβακα & πλευρική μόνωση.
- Απορροφητής από χάλκινο υδροσκελετό με κολλήση LASER, εγγυάται την τελειότερη θερμική μεταφορά από την απορροφητική επιφάνεια στον υδροσκελετό.
- Μέγιστη θερμοκρασίας λειτουργίας: 200°C
- Μέγιστη πίεση λειτουργίας: 10bar

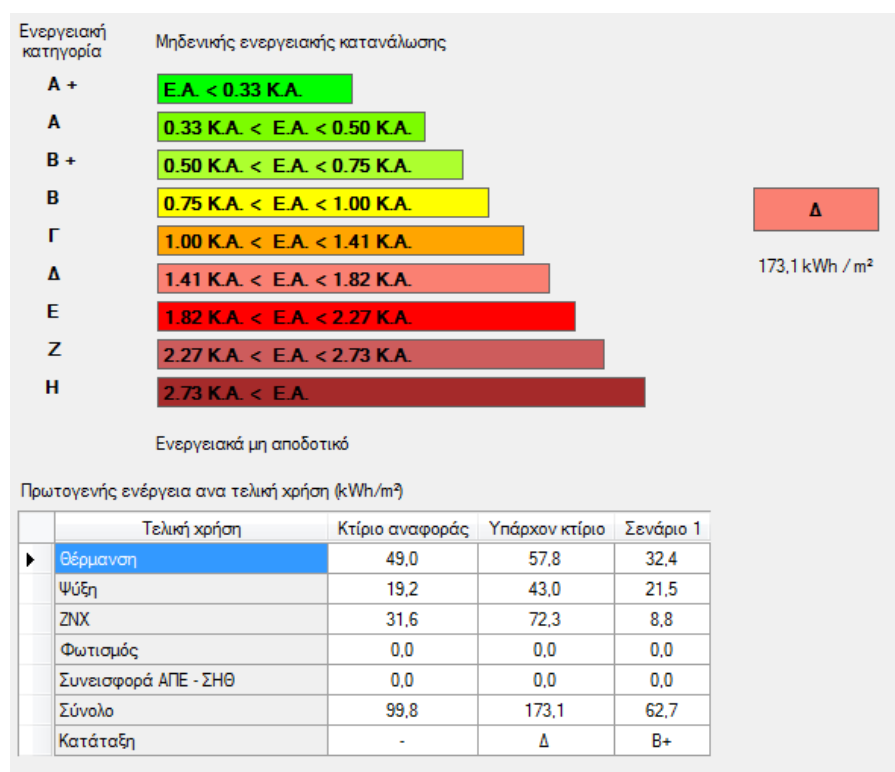


Σχήμα 5.2: Ηλιακός συλλέκτης της PanthermicaSolar

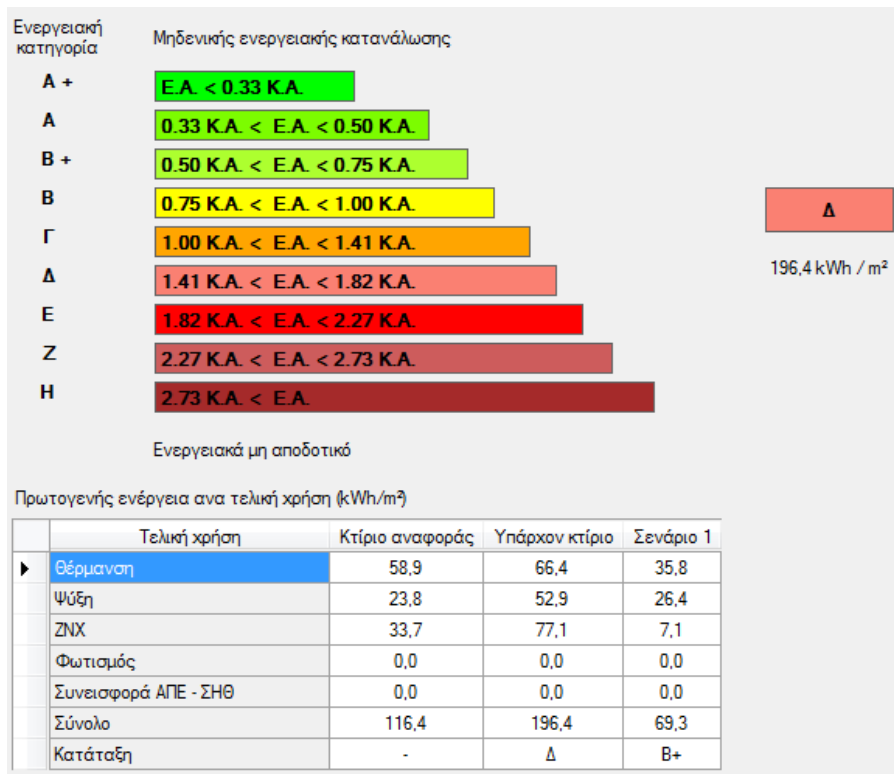
### 5.11 Ενεργειακή κατάταξη και πρωτογενής ενέργεια

Στα σχήματα 5.3 έως 5.6 παρουσιάζονται η ενεργειακή κατάταξη του υπάρχοντος κτιρίου (Δ) και του εναλλακτικού σεναρίου (B+), καθώς και η πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση (θέρμανση, ψύξη, ZNX) για το Ηράκλειο, το Ελληνικό, την Θεσσαλονίκη και την Καστοριά αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι στο υπάρχον κτίριο οι τιμές πρωτογενούς ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλές, ιδιαίτερα στην ψύξη και στο ZNX (λόγω της ηλεκτρικής αντίστασης), σε σύγκριση με το κτίριο αναφοράς. Στη θέρμανση η τιμή της πρωτογενούς ενέργειας δεν είναι τόσο υψηλή λόγω της καλής μόνωσης που διαθέτει το κτίριο. Ακόμη, στο υπάρχον κτίριο, όπως και στο

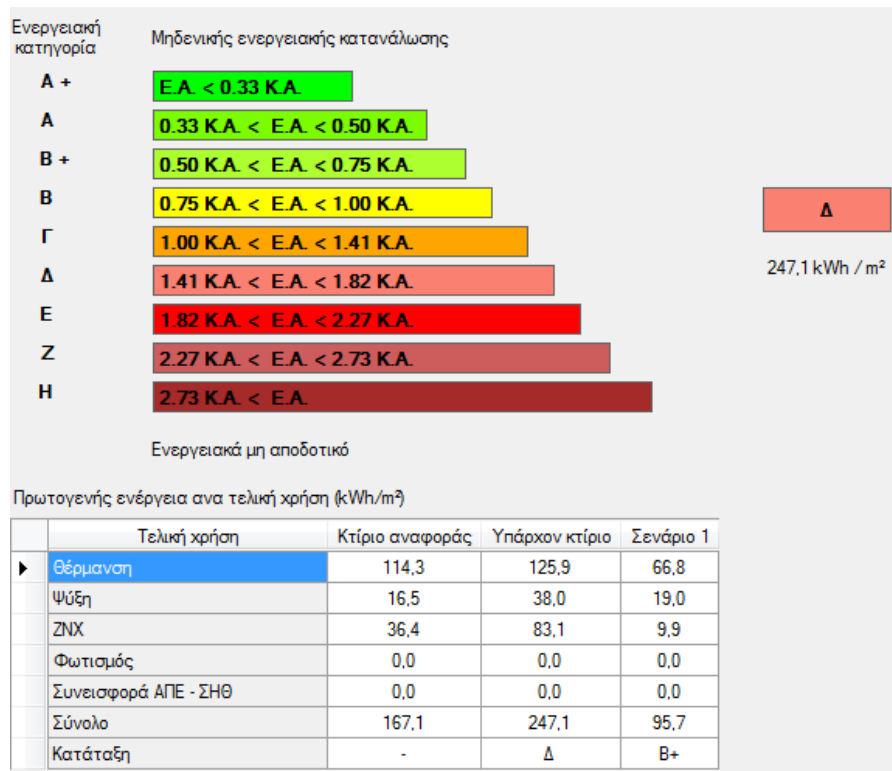
εναλλακτικό σενάριο η πρωτογενής ενέργεια για την ψύξη είναι σχετικά υψηλή συγκρινόμενη με αυτή του κτιρίου αναφοράς, λόγω του ότι για το κτίριο αναφοράς το ποσοστό κάλυψης του ψυκτικού φορτίου είναι 50%, ενώ στο εξεταζόμενο κτίριο το εν λόγω ποσοστό είναι 100%. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι αν και οι τιμές πρωτογενούς ενέργειας αυξάνουν, καθώς κινούμαστε σε ψυχρότερες κλιματικές ζώνες, η κατάταξη του κτιρίου δεν μεταβάλλεται. Ειδικότερα αυτή είναι η Δ για το αρχικό σενάριο και B+ μετά την ενεργειακή αναβάθμιση.



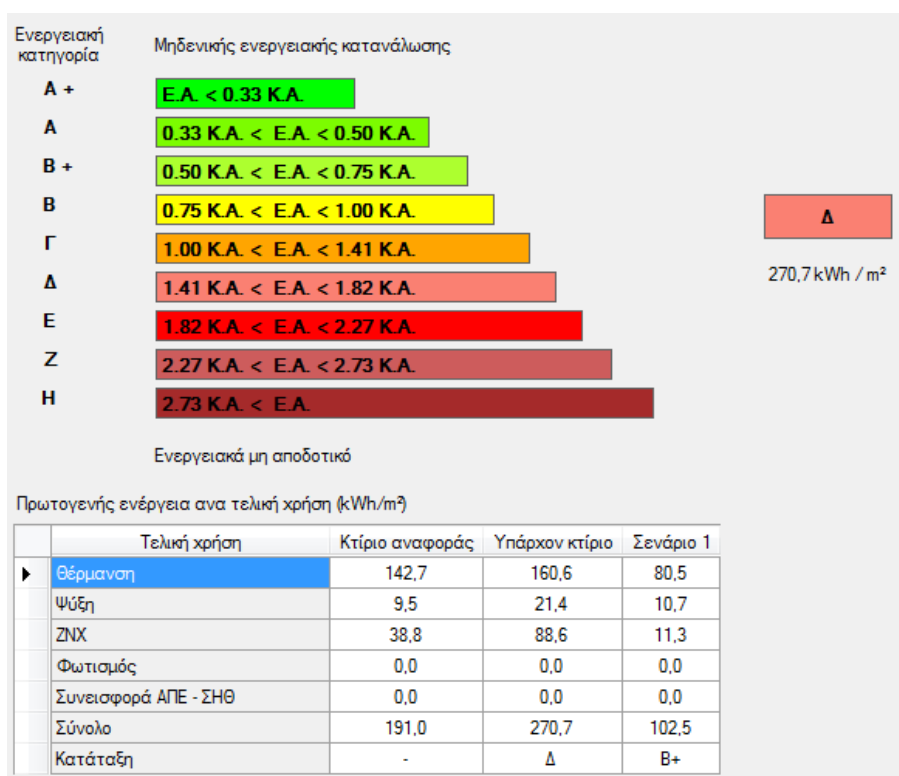
Σχήμα 5.3: Ενεργειακή κατάταξη και πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση σε kWh/m<sup>2</sup> για το Ηράκλειο.



Σχήμα 5.4: Ενεργειακή κατάταξη και πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση σε kWh/m<sup>2</sup> για το Ελληνικό.



Σχήμα 5.5: Ενεργειακή κατάταξη και πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση σε kWh/m<sup>2</sup> για την Θεσσαλονίκη.

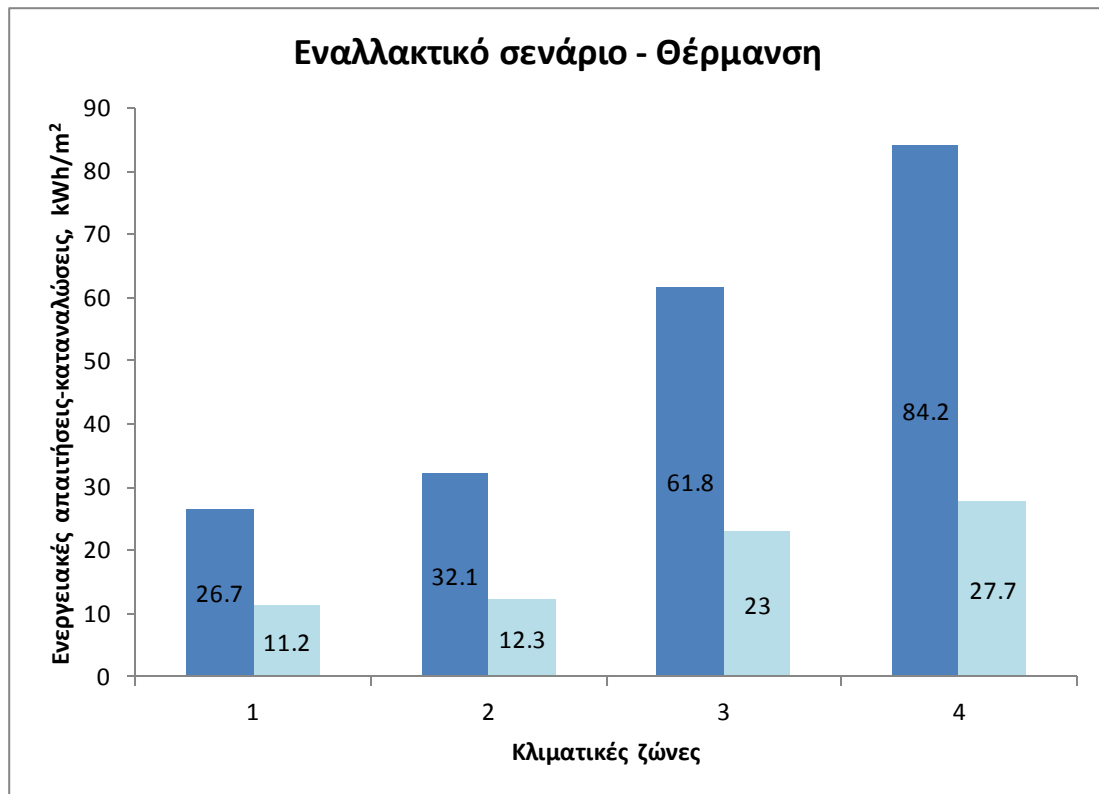


Σχήμα 5.6: Ενεργειακή κατάταξη και πρωτογενής ενέργεια ανά τελική χρήση σε kWh/m<sup>2</sup> για την Καστοριά.

## 5.12 Ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις εναλλακτικού σεναρίου

### 5.12.1 Θέρμανση

Στο σχήμα 5.7 παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) θέρμανσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το εναλλακτικό σενάριο. Για τις απαιτήσεις πρέπει να σημειωθεί ότι παραμένουν ίδιες με αυτές του αρχικού σεναρίου, καθώς δεν μεταβλήθηκε το κέλυφος. Έχοντας ως βάση σύγκρισης την κλιματική ζώνη Δ, όπου οι τιμές είναι οι υψηλότερες, παρατηρείται ότι στη ζώνη Γ οι καταναλώσεις μειώνονται (λόγω της υψηλότερης απόδοσης της γεωθερμικής αντλίας) κατά 16,97%, στη δεύτερη κατά 55,6% και στην πρώτη κατά 59,57%. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκε σημαντική μείωση σε σχέση με το υπάρχον κτίριο, κάτι που οφείλεται στην καλύτερη απόδοση που διαθέτει η αντλία.

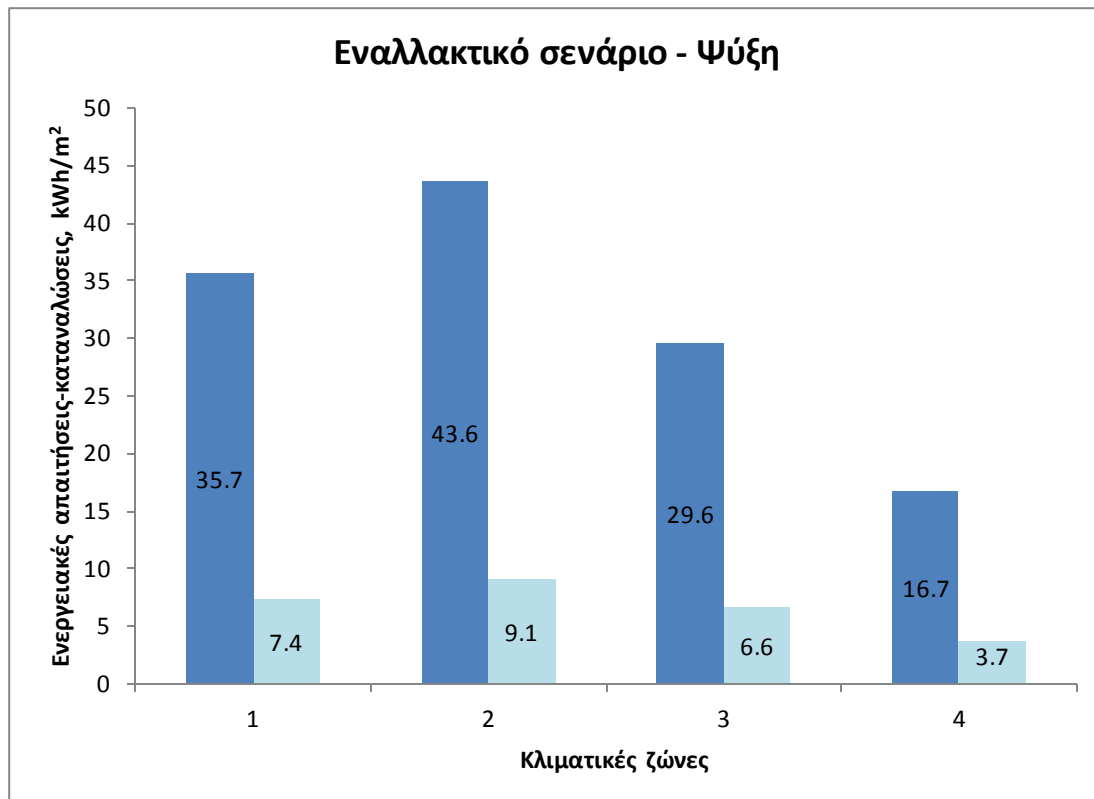


Σχήμα 5.7: Ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) θέρμανσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το εναλλακτικό σενάριο.

### 5.12.2 Ψύξη

Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ψύξης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το εναλλακτικό σενάριο. Έχοντας ως βάση σύγκρισης την κλιματική ζώνη Δ, παρατηρείται ότι στη ζώνη Γ οι καταναλώσεις αυξήθηκαν κατά 78,38%, στη δεύτερη κατά 145,95% και στην πρώτη κατά 100%. Εντύπωση προκαλεί το ότι στη ζώνη Α οι απαιτήσεις και οι καταναλώσεις είναι μικρότερες σε σύγκριση με αυτές της δεύτερης, κάτι που μπορεί να οφείλεται στο ότι στο Ελληνικό οι συντελεστές θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων είναι μικρότεροι σε σχέση με το Ηράκλειο, αλλά οι θερμοκρασίες που επικρατούν δεν είναι αναλογικά κατά το ίδιο ποσοστό μικρότερες. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκε σημαντική μείωση σε σχέση με το υπάρχον κτίριο, κάτι που οφείλεται στην καλύτερη απόδοση που διαθέτει η αντλία.





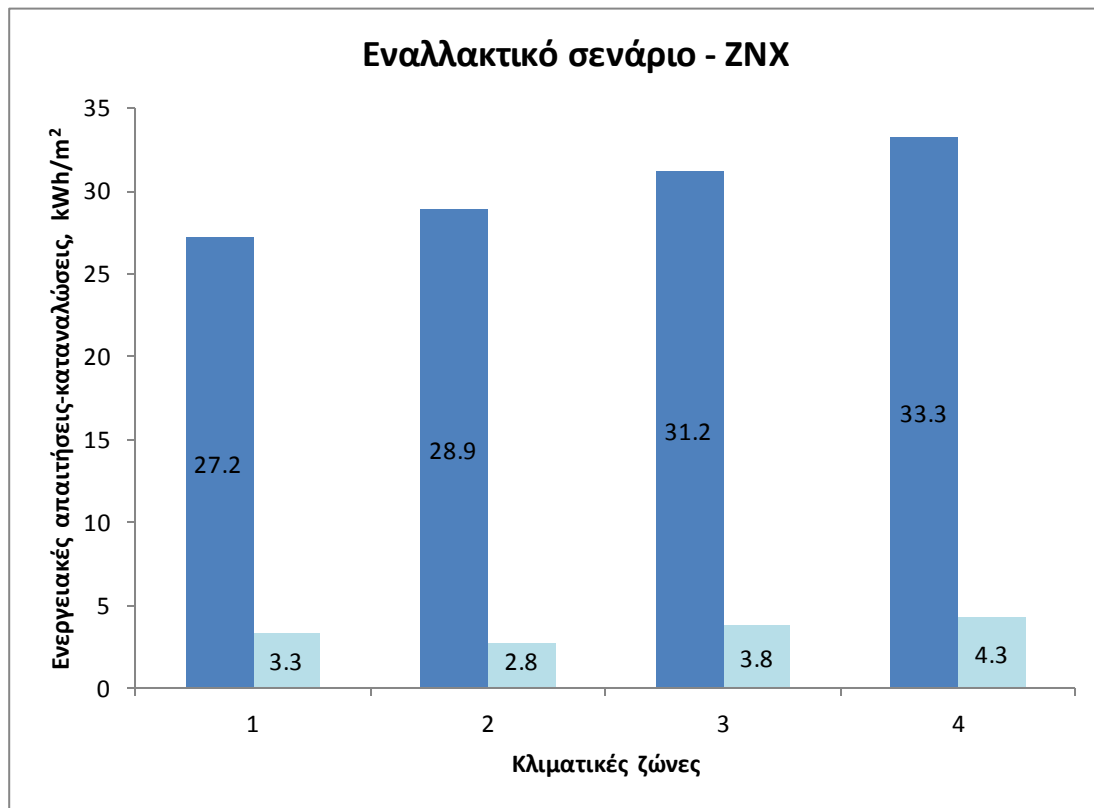
Σχήμα 5.8: Ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ψύξης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το εναλλακτικό σενάριο.

### 5.12.3 Ζεστό νερό χρήσης

Στο σχήμα 5.9 παρουσιάζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ζεστού νερού χρήσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το εναλλακτικό σενάριο. Έχοντας ως βάση σύγκρισης την κλιματική ζώνη Δ, οι καταναλώσεις στη ζώνη Γ μειώνονται κατά 11,63%, κατά 34,88% στη δεύτερη και κατά 23,26% στην πρώτη. Εντύπωση προκαλεί το ότι στην ζώνη Α οι καταναλώσεις είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με αυτές της ζώνης Β. Επιπροσθέτως, παρατηρείται σημαντική μείωση σε σχέση με την κατανάλωση του υπάρχοντος κτιρίου, πράγμα που οφείλεται στη συνεισφορά του ηλιακού συστήματος κυρίως, αλλά και στη γεωθερμική αντλία. Το ποσοστό κάλυψης που καλύπτει το ηλιακό θερμικό σύστημα ανά περιοχή είναι:

- 74,26% για το Ηράκλειο,
- 70,24% για το Ελληνικό,
- 61,22% για την Θεσσαλονίκη και

- 58,86% για την Καστοριά.



Σχήμα 5.9: Ενεργειακές απαιτήσεις (αριστερά) και καταναλώσεις (δεξιά) ζεστού νερού χρήσης ανά κλιματική ζώνη σε kWh/m<sup>2</sup> για το εναλλακτικό σενάριο.

### 5.13 Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο

Στον πίνακα 5.2 φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο (Υ) και το εναλλακτικό σενάριο (Ε) για τις 4 κλιματικές ζώνες. Στις ζώνες Α και Β παρουσιάζεται σημαντική μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας συγκρίνοντας υπάρχον κτίριο και εναλλακτικό σενάριο, ενώ στις ζώνες Γ και Δ, η μείωση είναι μικρότερη, καθώς οι κλιματικές συνθήκες του χειμώνα επιβάλλουν σημαντικότερη κατανάλωση της αντλίας θερμότητας. Η κατανάλωση πετρελαίου, που είναι ιδιαίτερα υψηλή στις ζώνες Γ και Δ, εξαλείφεται μετά την επέμβαση. Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια, αυτή είναι ουσιαστικά η ίδια για τις ζώνες Α, Β, Γ και Δ, με λίγο υψηλότερες τιμές για τις νοτιότερες περιοχές. Φυσικά αυτό συνδέεται με τις κλιματικές συνθήκες και ειδικότερα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πίνακας 5.2: Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο σε kWh/m<sup>2</sup> για το υπάρχον κτίριο (Y) και το εναλλακτικό σενάριο (E) για τις 4 κλιματικές ζώνες.

Κλιματική ζώνη	Α		Β		Γ		Δ	
	Y	E	Y	E	Y	E	Y	E
Κτίριο								
Πηγή ενέργειας	Κατανάλωση ενέργειας, kWh/m <sup>2</sup>							
Ηλεκτρισμός	45,2	21,9	50,3	24,2	51,5	33,4	47,7	35,8
Πετρέλαιο	38,1	0	46	0	88,7	0	120,3	0
Ηλιακή	0	21,7	0	21,5	0	18,9	0	18,7

## 5.14 Περίοδος αποπληρωμής

Πίνακας 5.3 : Κόστη και περίοδος αποπληρωμής για το Ηράκλειο.

Κόστη και περίοδος αποπληρωμής				
	Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1
▶	Λειτουργικό κόστος (€)	798,4	1.029,1	297,4
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			8.639,0
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> )			110,4
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			63,8
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			0,7
	Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )			33,1
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			11,8

Στους πίνακες 5.3 έως 5.6 φαίνονται τα κόστη (λειτουργικό κόστος, αρχικό κόστος επένδυσης), η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται, η μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η περίοδος αποπληρωμής για το Ηράκλειο, το Ελληνικό, την Θεσσαλονίκη και την Καστοριά αντίστοιχα. Το λειτουργικό κόστος και το αρχικό κόστος επένδυσης αυξάνονται στις πιο ψυχρές κλιματικές ζώνες. Ταυτόχρονα, όμως, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μειώνονται περισσότερο σε αυτές τις περιοχές.

Πίνακας 5.4: Κόστη και περίοδος αποπληρωμής για το Ελληνικό .

Κόστη και περίοδος αποπληρωμής				
	Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1
▶	Λειτουργικό κόστος (€)	938,1	1.182,7	328,7
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			8.748,0
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας			127,1
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			64,7
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			0,6
	Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )			37,9
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			10,2

Πίνακας 5.5: Κόστη και περίοδος αποπληρωμής για την Θεσσαλονίκη.

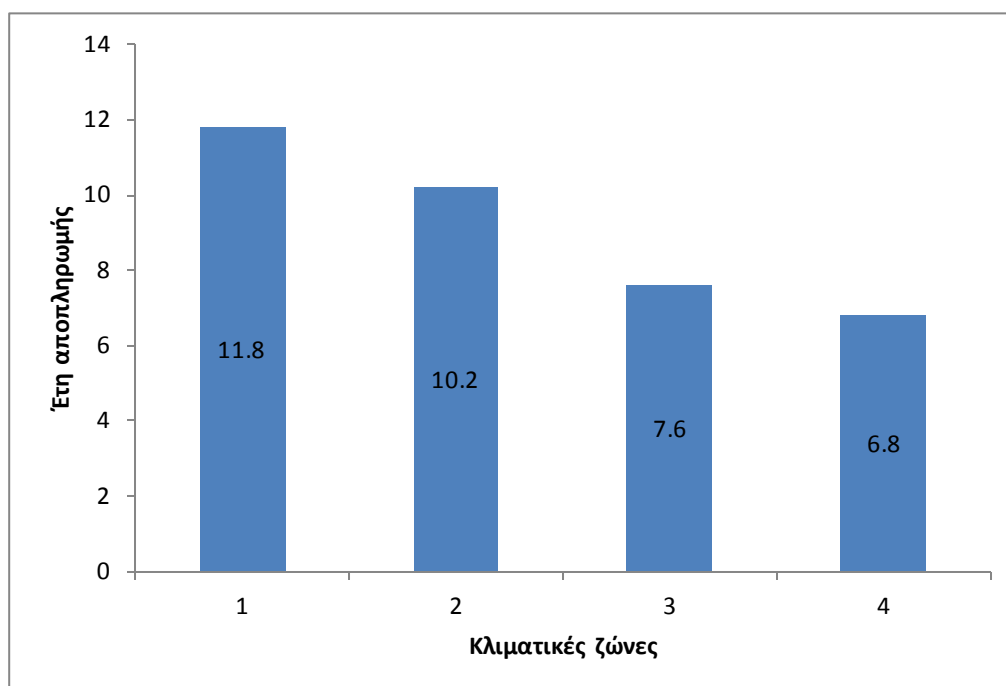
Κόστη και περίοδος αποπληρωμής				
	Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1
▶	Λειτουργικό κόστος (€)	1.408,5	1.665,9	452,5
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			9.180,0
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> )			151,4
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			61,3
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			0,5
	Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )			41,4
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			7,6

Πίνακας 5.6: Κόστη και περίοδος αποπληρωμής για την Καστοριά.

Κόστη και περίοδος αποπληρωμής				
	Εξοικονόμηση και κόστη	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο	Σενάριο 1
▶	Λειτουργικό κόστος (€)	1.680,7	1.958,0	485,4
	Αρχικό κόστος επένδυσης (€)			9.963,0
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (kWh/m <sup>2</sup> )			168,2
	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (%)			62,1
	Τιμή εξοικονομούμενης ενέργειας (€/kWh)			0,5
	Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )			43,6
	Περίοδος αποπληρωμής (έτη)			6,8

Στο σχήμα 5.10 φαίνεται η περίοδος αποπληρωμής συμπεριλαμβανομένων και των δυο παρεμβάσεων (γεωθερμικής αντλίας και ηλιακού συλλέκτη) ανά κλιματική ζώνη.

Τα έτη απόσβεσης είναι μικρότερα όσο η τοποθεσία του κτιρίου που εξετάζεται παρουσιάζει ψυχρότερες κλιματικές συνθήκες, παρά το ότι δεν υπάρχει τόσο μεγάλη ηλιοφάνεια. Επομένως, η εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας είναι πιο συμφέρουσα σε πιο κρύες περιοχές, λόγω του ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγαλύτερη και μπορεί να επιτευχθεί οικονομία κλίμακας.



Σχήμα 5.10: Περίοδος αποπληρωμής σε έτη ανά κλιματική ζώνη.

Τα επιμέρους έτη αποπληρωμής για την εγκατάσταση της γεωθερμικής αντλίας και του ηλιακού συλλέκτη είναι (ξεχωριστά για κάθε τεχνολογία) αντίστοιχα:

- 11,5 και 3,7 για την κλιματική ζώνη Α,
- 9,9 και 3,7 για την κλιματική ζώνη Β,
- 7,1 και 4 για την κλιματική ζώνη Γ και
- 6,4 και 4 για την κλιματική ζώνη Δ.

Τα έτη αποπληρωμής συμπεριλαμβανομένου του κόστους της γεωθερμικής αντλίας, του fan coil και του ηλιακού συστήματος είναι:

- 12,8 για το Ηράκλειο,
- 11,1 για την Αθήνα,

- 8,2 για την Θεσσαλονίκη και
- 7,3 για την Καστοριά.

Τα έτη αποπληρωμής συμπεριλαμβανομένου του κόστους της γεωθερμικής αντλίας, της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και του ηλιακού συστήματος είναι:

- 18,4 για το Ηράκλειο,
- 15,9 για την Αθήνα,
- 11,5 για την Θεσσαλονίκη,
- 10 για την Καστοριά.

## Κεφάλαιο 6: Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

### 6.1 Γενικά

Το λογισμικό του Τ.Ε.Ε. Κ.Εν.Α.Κ. δεν υπολογίζει τις καταναλώσεις για τον φωτισμό και τις συσκευές για τις κατοικίες, αλλά μόνο για κτίρια του τριτογενούς τομέα. Οι καταναλώσεις για τον φωτισμό και τις συσκευές θα υπολογισθούν στη συνέχεια, ώστε στο εναλλακτικό σενάριο να περιλαμβάνεται και η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών που θα καλύπτουν το σύνολο των ηλεκτρικών καταναλώσεων. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών αποτελεί μια καλή λύση για οικίες στην Ελλάδα, διότι έχει αναπτυχθεί η εγχώρια παραγωγή και υπάρχει υψηλό διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό και όπως και στην περίπτωση των ηλιακών συστημάτων το κόστος μπορεί να θεωρηθεί σχετικά χαμηλό.

### 6.2 Φωτισμός

Η ισχύς για το κτίριο αναφοράς είναι  $6,4 \text{ W/m}^2$  (πίνακας 2.4 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1). Οι συνολικές ώρες λειτουργίας είναι 5824 (πίνακας 5.2 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1). Επομένως, η ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη του φωτισμού υπολογίζεται ως εξής:

$$E = 6,4 \text{ W/m}^2 \cdot 5824 \text{ h} = 37,3 \text{ kWh/m}^2.$$

#### 6.2.1 Συντελεστής επίδρασης φυσικού φωτισμού ( $F_D$ )

Ο συντελεστής επίδρασης φυσικού φωτισμού ( $F_D$ ) είναι ο συντελεστής μείωσης της αρχικά υπολογιζόμενης κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό, λόγω της χρήσης διατάξεων αυτομάτου ελέγχου που παρέχουν τη δυνατότητα αξιοποίησης φυσικού φωτισμού σε ένα χώρο ή θερμική ζώνη. Ο συντελεστής ισούται με τη μονάδα (1), όταν δεν εφαρμόζεται καμία διάταξη αυτομάτου ελέγχου του συστήματος φωτισμού και μικρότερος από τη μονάδα, όταν εφαρμόζονται διατάξεις αυτομάτου ελέγχου φωτισμού. Στον πίνακα 5.3. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, καθορίζονται τυπικές τιμές του συντελεστή επίδρασης φυσικού φωτισμού, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15193:2008, οι οποίες θα λαμβάνονται για τους υπολογισμούς της ενεργειακής

κατανάλωσης για φωτισμό. Για να ισχύουν οι τιμές του πίνακα θα πρέπει τουλάχιστον το 60% της ισχύος φωτισμού του χώρου να ελέγχεται από την αντίστοιχη διάταξη αυτοματισμού.

Ο συντελεστής επίδρασης φυσικού φωτισμού ισχύει μόνο για το ποσοστό της επιφάνειας του κτηρίου ή της θερμικής ζώνης που θεωρείται περιοχή φυσικού φωτισμού. Για το ποσοστό της επιφάνειας του κτηρίου ή της θερμικής ζώνης που δεν χαρακτηρίζεται περιοχή φυσικού φωτισμού ο συντελεστής παραμένει ίσος με τη μονάδα.

Το υπό εξέταση κτήριο έχει συντελεστή επίδρασης φυσικού φωτισμού ίσο με τη μονάδα (1), εφόσον δεν διαθέτει καμία διάταξη αυτομάτου ελέγχου για το φωτισμό. Υπάρχει χειροκίνητος έλεγχος φωτισμού για όλες τις χρήσεις.

#### **6.2.2 Συντελεστής επίδρασης χρηστών ( $F_O$ )**

Ο συντελεστής επίδρασης χρηστών ( $F_O$ ) είναι ο συντελεστής μείωσης της αρχικά υπολογιζόμενης κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό λόγω της χρήσης διατάξεων αυτοματισμών ανίχνευσης κίνησης ή παρουσίας (ανάλογα με τη χρήση του χώρου). Ο συντελεστής λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα (1), όταν δεν εφαρμόζεται καμία μείωση της χρήσης φωτισμού κατά την απουσία των χρηστών, και μηδενική τιμή (0), όταν εφαρμόζεται πλήρης μείωση της χρήσης φωτισμού κατά την απουσία των χρηστών.

Στον πίνακα 5.4. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, καθορίζονται οι τυπικές τιμές του συντελεστή επίδρασης χρηστών σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 15193:2008, οι οποίες θα λαμβάνονται για τους υπολογισμούς της ενεργειακής κατανάλωσης για φωτισμό. Για να ισχύουν οι τιμές του πίνακα 5.4. της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, θα πρέπει:

- Ο αισθητήρας παρουσίας να είναι επαρκής, δηλαδή απαιτείται τουλάχιστον ένας αισθητήρας ανά δωμάτιο ή/και ένας αισθητήρας κάθε 15 m<sup>2</sup> σε μεγάλους χώρους.
- Ο φωτισμός να ελέγχεται ανά επιμέρους χώρο (αίθουσα, δωμάτιο, κ.ά.) του κτηρίου και όχι κεντρικά για όλο το κτήριο.



Το κτήριο που μελετάται έχει συντελεστή επίδρασης παρουσίας χρηστών ίσο με τη μονάδα (1), εφόσον δεν διαθέτει καμία διάταξη ανίχνευσης παρουσίας ή απουσίας χρηστών.

### 6.3 Συσκευές

Για τις συσκευές η ισχύς λαμβάνεται ίση με  $4 \text{ W/m}^2$  και ο μέσος συντελεστής ετεροχρονισμού είναι 0,5, άρα η ετεροχρονισμένη ισχύς για τις συσκευές είναι 2 (πίνακας 2.8 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1). Ο μέσος συντελεστής λειτουργίας είναι 0,75. Οι ώρες λειτουργίας για κατοικίες είναι 18, οι ημέρες λειτουργίας ανά εβδομάδα είναι 7 και η περίοδος λειτουργίας σε μήνες είναι 12 (πίνακας 2.1 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1). Επομένως, η ενέργεια που απαιτείται για την κάλυψη των συσκευών είναι:

$$E = 2 \text{ W/m}^2 \cdot 0,75 \cdot 365 \text{ μέρες} \cdot 18 \text{ h} = 9,9 \text{ kWh/m}^2.$$

### 6.4 Ηλεκτρικές καταναλώσεις

Το συνολικό φορτίο ηλεκτρικών καταναλώσεων για το εναλλακτικό σενάριο περιλαμβάνει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις για την αντλία θερμότητας, για το φωτισμό και για τις συσκευές. Οπότε, είναι :

- $69,1 \text{ kWh/m}^2$  για το Ηράκλειο,
- $71,4 \text{ kWh/m}^2$  για το Ελληνικό,
- $80,6 \text{ kWh/m}^2$  για την Θεσσαλονίκη και
- $83 \text{ kWh/m}^2$  για την Καστοριά.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το εμβαδόν της οικίας είναι  $120 \text{ m}^2$ , προκύπτει ότι η συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια είναι:

- 8292 kWh για το Ηράκλειο,
- 8568 kWh για το Ελληνικό,
- 9672 kWh για την Θεσσαλονίκη και
- 9960 kWh για την Καστοριά.

## 6.5 Γενικά για τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων που μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα κτίριο, ανάλογα τη χρήση και τη διαθέσιμη επιφάνεια εγκατάστασης. Για τον υπολογισμό της συνεισφοράς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, καταγράφονται τα απαραίτητα δεδομένα από τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή. Για τον υπολογισμό της συνεισφοράς απαιτούνται τα εξής δεδομένα:

- Η απόδοση του Φ/Β συστήματος ή συντελεστής ηλιακής αξιοποίησης, ανάλογα τον τύπο του συστήματος: μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό κ.ά.
- Η εγκατεστημένη επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων ( $m^2$ ).
- Οι παράμετροι θέσης εγκατάστασης, ο προσανατολισμός και η κλίση των Φ/Β.

Οι πιο πάνω παράμετροι λαμβάνονται από την μελέτη διαστασιολόγησης και σχεδιασμού ενός Φ/Β συστήματος στο κτήριο, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή. Αν τα δεδομένα αυτά δεν είναι διαθέσιμα, τότε λαμβάνονται υπόψη οι παράμετροι όπως αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους.

## 6.6 Συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας από φωτοβολταϊκά

Ο μέσος ετήσιος συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας δείχνει τη μέση ετήσια απόδοση, με την οποία το Φ/Β μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μέση ετήσια απόδοση μιας Φ/Β εγκατάστασης συνεκτιμάται από:

- Την ονομαστική απόδοση των Φ/Β στοιχείων που δίνει ο κατασκευαστής και αναφέρεται σε συνθήκες εργαστηρίου, δηλαδή σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας  $1000 \text{ W/m}^2$  και θερμοκρασία Φ/Β στοιχείου συνήθως  $25^\circ \text{C}$ . Η ονομαστική απόδοση είναι ο λόγος της παραγόμενης

ηλεκτρικής ενέργειας προς τη συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κάθετης πρόσπτωσης στο Φ/Β πλαίσιο. Η ηλεκτρική απόδοση εξαρτάται από τον τύπο των Φ/Β στοιχείων: μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό κ.ά.

- Τις πιθανές απώλειες εγκατάστασης λόγω παλαιότητας των Φ/Β στοιχείων.
- Τη συνολική ονομαστική απόδοση της Φ/Β εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένων και των βοηθητικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται όπως διανομείς, μετατροπείς, μπαταρίες κ.ά.
- Τις πιθανές απώλειες εγκατάστασης λόγω κακής συντήρησης, υψηλών θερμοκρασιών περιοχής, κακού αερισμού των Φ/Β στοιχείων κ.ά. Η μέση πραγματική απόδοση των Φ/Β στοιχείων σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος για τα κλιματικά δεδομένα της Ελλάδας, όπως έχει καταγραφεί σε διάφορες εγκαταστάσεις, κυμαίνεται περίπου 15% χαμηλότερα από την ονομαστική απόδοση του κατασκευαστή.

Το συνολικό ποσοστό απωλειών ορίζεται ως το άθροισμα των επί μέρους συντελεστών μείωσης, λόγω παλαιότητας, τρόπου σύνδεσης και συνθηκών λειτουργίας του Φ/Β. Για τους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου, ο μέσος ετήσιος συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας (μέση ετήσια απόδοση) του Φ/Β λαμβάνεται ίσος με τον ονομαστικό βαθμό απόδοσης μειωμένο κατά το συνολικό ποσοστό απωλειών.

## 6.7 Παράμετροι θέσης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Οι βασικές παράμετροι θέσης εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ο προσανατολισμός τους ως προς τον νότο, η κλίση της επιφάνειάς τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο και ο συντελεστής σκίασης.

Ο προσανατολισμός (αζιμούθιο  $\gamma$ ) τοποθέτησης του Φ/Β στοιχείου είναι η απόκλισή του από τον νότο της περιοχής εγκατάστασης. Ο βέλτιστος προσανατολισμός για τα Φ/Β είναι ο νότιος με μικρή απόκλιση  $\pm 5^{\circ}$ . Σύμφωνα με τη μεθοδολογία ορίζεται για νότιο προσανατολισμό των Φ/Β  $\gamma=180^{\circ}$ ,

Η κλίση ( $\beta$ ) του Φ/Β στοιχείου ορίζεται ως προς το οριζόντιο επίπεδο εγκατάστασης και απαιτείται για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει επάνω στο Φ/Β. Για κάθετη τοποθέτηση επιφάνειας Φ/Β η κλίση είναι  $90^\circ$ , ενώ για οριζόντια τοποθέτηση η κλίση είναι  $0^\circ$ . Στον πίνακα 5.13 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 δίνονται ενδεικτικές τιμές της βέλτιστης κλίσης εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων για διάφορα γεωγραφικά πλάτη της Ελλάδας και ανά περίοδο χρήσης. Οι ενδεικτικές τιμές του πίνακα διαφοροποιούνται ανά περιοχή, ανάλογα με την μορφολογία (τοπικό ανάγλυφο) της περιοχής και τα φυσικά εμπόδια (ορεινούς όγκους κ.τ.λ.). Σε περίπτωση νέας εγκατάστασης Φ/Β με σταθερή κλίση, λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της βέλτιστης κλίσης των Φ/Β για ετήσια περίοδο, όπως δίνονται στον πίνακα 5.13 της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.

Οι βέλτιστες κλίσεις για ετήσια περίοδο είναι ([www.re.jrc.ec.europa.eu](http://www.re.jrc.ec.europa.eu)):

- $29^\circ$  για το Ηράκλειο,
- $32^\circ$  για την Αθήνα,
- $34^\circ$  για την Θεσσαλονίκη και
- $33^\circ$  για την Καστοριά.

Ο συντελεστής σκίασης, είναι ο διορθωτικός συντελεστής για τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω της σκίασης που προκαλείται από τον περιβάλλοντα χώρο στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Ο συντελεστής σκίασης 0 δεικνύει ότι υπάρχει πλήρης σκίαση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει σκίαση, οπότε ο συντελεστής σκίασης τίθεται ίσος με 1.

## 6.8 Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για τη βέλτιστη κλίση και για νότιο προσανατολισμό είναι ([www.re.jrc.ec.europa.eu](http://www.re.jrc.ec.europa.eu)):

- $2109,7 \text{ kWh/m}^2$  για το Ηράκλειο,
- $2087,8 \text{ kWh/m}^2$  για την Αθήνα,
- $1941,8 \text{ kWh/m}^2$  για την Θεσσαλονίκη και

- 1810,4 kWh/m<sup>2</sup> για την Καστοριά.

## 6.9 Απαιτούμενο εμβαδόν φωτοβολταϊκών πάνελ

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β χρησιμοποιείται η σχέση:

$$E_{PV} = CF_{sol} \cdot A_{PV} \cdot I,$$

όπου  $E_{PV}$  [kWh]: η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό,

$CF_{sol}$  [-]: ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας,

$A_{PV}$  [m<sup>2</sup>]: η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού,

$I$  [kWh/m<sup>2</sup>]: η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το φωτοβολταϊκό πάνελ που επιλέχθηκε είναι κατασκευασμένο από την εταιρεία ALEO με κωδικό προϊόντος P18\_260. Η ισχύς του είναι 260 W, είναι πολυκρυσταλλικό με 60 κυψέλες, οι διαστάσεις του είναι 990mm×1660mm×35 mm (μήκος×ύψος×πάχος). Στον πίνακα 6.1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πάνελ ALEO P18\_260.

Για το εν λόγω φωτοβολταϊκό πάνελ, η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού και ο συντελεστής αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αντίστοιχα:

$$A_{PV} = 1,64 \text{ m}^2 \text{ και}$$

$$CF_{sol} = 0,158.$$

Οπότε, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό είναι:

- 546,7 kWh για το Ηράκλειο,
- 541 kWh για την Αθήνα,
- 503,2 kWh για την Θεσσαλονίκη και
- 469,1 kWh για την Καστοριά.

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πάνελ ALEO P18\_260.

ELECTRICAL DATA (STC)		P18_260
Rated power	$P_{MPP}$ [W]	260
Rated voltage	$U_{MPP}$ [V]	30.5
Rated current	$I_{MPP}$ [A]	8.51
Open-circuit voltage	$U_{oc}$ [V]	37.7
Short-circuit current	$I_{sc}$ [A]	9.01
Efficiency	$\eta$ [%]	15.8

BASIC MODULE DATA	
Length x width x height	[mm] 1660 x 990 x 35
Weight	[kg] 19
Number of cells	60
Cell size	[mm] 156 x 156
Cell material	Polycrystalline Si
Front sheet	Solar glass (TSG)
Back sheet	Polymer sheet, white
Frame material	Al alloy, silver

CERTIFICATIONS AND WARRANTY	
Product Guarantee	12 years
Power Guarantee	25 years – Linear
Fire Resistance	Class C
Protection Against Electric Shock	II
Certifications	<ul style="list-style-type: none"> <li>§ IEC 61215, IEC 61730-1/-2</li> <li>§ IEC 62716 – Ammonia Resistance</li> <li>§ IEC 61701 – Salt mist Resistance</li> <li>§ IEC 62804 – PID Resistance</li> <li>§ MCS 010; MCS 005</li> </ul>

LOADS	
Max. module pressure load	[Pa] 5400*
Max. module suction load	[Pa] 2400*
Max. system voltage	[V <sub>oc</sub> ] 1000
Reverse current load	$I_{sc}$ [A] 20

Mechanical load acc. to IEC/EN 61215  
 \* Please observe the mounting conditions in the installation manual

ADDITIONAL ELECTRICAL DATA	
Reduction of STC efficiency from 1000 W/m <sup>2</sup> to 200 W/m <sup>2</sup>	[%] rel. < 1
Classification range (positive classification)	[W] 0/+4.99

Για να βρεθεί ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται, πρέπει να διαιρεθεί η συνολικά καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (που περιλαμβάνει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις για τη γεωθερμική αντλία θερμότητας, τις συσκευές και τον φωτισμό) με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά φωτοβολταϊκό και προκύπτει ότι πρέπει να εγκατασταθούν:

- 15,2 στο Ηράκλειο,
- 15,8 στην Αθήνα,
- 19,2 στην Θεσσαλονίκη και
- 21,2 στην Καστοριά.

Επομένως, το απαιτούμενο εμβαδόν φωτοβολταϊκών είναι:

- 24,9 m<sup>2</sup> για το Ηράκλειο,
- 25,9 m<sup>2</sup> για την Αθήνα,
- 31,5 m<sup>2</sup> για την Θεσσαλονίκη και
- 34,8 m<sup>2</sup> για την Καστοριά.

### **6.10 Κόστος φωτοβολταϊκών πάνελ**

Το κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ κοστίζει 238,5 € ([www.smart-cover.gr](http://www.smart-cover.gr)). Η βάση στήριξης κοστίζει 82,6 €. Η εγκατάσταση και τα καλώδια κοστίζουν 50 €. Το συνολικό κόστος συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης και λοιπών εξαρτημάτων που απαιτούνται ανέρχεται στα 371,1 € ανά τεμάχιο.

Συνεπώς, το κόστος διαμορφώνεται ως εξής:

- 5640 € για το Ηράκλειο,
- 5863,4 € για την Αθήνα,
- 7125,1 € για την Θεσσαλονίκη και
- 7867,3 € για την Καστοριά.

### **6.11 Περίοδος αποπληρωμής**

Η τιμή της παραγόμενης κιλοβατώρας ανέρχεται στα 0,16518 € ([www.lagie.gr](http://www.lagie.gr)). Πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με τη συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια προκύπτουν τα εξής ποσά:

- 1369,7 € για το Ηράκλειο,
- 1415,3 € για την Αθήνα,
- 1597,6 € για την Θεσσαλονίκη και
- 1645,2 € για την Καστοριά.

Τα έτη αποπληρωμής υπολογίζονται διαιρώντας το συνολικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ με τα έσοδα που θα προκύπτουν από την ενέργεια που θα παράγεται από αυτά, άρα τα έτη αποπληρωμής είναι:

- 4,12 για το Ηράκλειο,
- 4,14 για την Αθήνα,
- 4,46 για την Θεσσαλονίκη και
- 4,78 για την Καστοριά.



## Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε μια πρότυπη μονοκατοικία, η οποία ευρίσκεται σε φάση σχεδιασμού, στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (Ηράκλειο, Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Καστοριά αντίστοιχα), με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού (του Τ.Ε.Ε. Κ.Εν.Α.Κ.). Η μονοκατοικία τηρεί τους κανονισμούς θερμομόνωσης, όπως αυτοί ορίζονται από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. Επιπροσθέτως, με δεδομένο το σκοπό της ανάλυσης, προτιμήθηκε η εν λόγω κατοικία να διαθέτει παλαιά και ενεργοβόρα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν τυπικά για τον ελληνικό χώρο. Το γεγονός ότι τα αναφερόμενα συστήματα είναι ενεργοβόρα επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του λογισμικού, αφού κατατάσσουν το κτίριο και στις 4 κλιματικές ζώνες στην ενεργειακή κλάση Δ, με το κτίριο αναφοράς να εντάσσεται στην ενεργειακή κλάση Β. Για αυτό το λόγο, προτιμήθηκε η εγκατάσταση νέων συστημάτων και πιο συγκεκριμένα γεωθερμικών αντλιών. Ακόμη, επιλέχθηκε η εγκατάσταση ηλιακών θερμικών συστημάτων και φωτοβολταϊκών πάνελ, μιας και εξετάστηκαν περιπτώσεις ελληνικών περιοχών. Πρέπει να σημειωθεί ότι το προαναφερθέν λογισμικό δεν δίδει τη δυνατότητα μελέτης φωτοβολταϊκών συστημάτων για κατοικίες.

Οι αντλίες γενικότερα, αλλά ακόμα περισσότερο οι γεωθερμικές αντλίες, έχουν υψηλό αρχικό κόστος. Στην Ελλάδα το κόστος αυτό είναι μεγαλύτερο λόγω του ότι δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση για γεωθερμικές αντλίες (που οφείλεται στο ότι οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν είναι καλές, ιδιαίτερα αν αυτές συγκριθούν με τις αντίστοιχες που επικρατούν σε βορειότερες και ψυχρότερες χώρες) και κατά συνέπεια δεν έχει αναπτυχθεί η εγχώρια παραγωγή και επομένως και η αντίστοιχη τεχνογνωσία, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα ηλιακά συστήματα. Η εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών συμφέρει περισσότερο, όταν δεν υπάρχουν συστήματα θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης ή τα ήδη υπάρχοντα είναι παλαιά ή/ και σε κακή κατάσταση, ώστε να επιτευχθεί ταχύτερη απόσβεση, γι' αυτό και αποφασίσθηκε να εξετασθεί η συγκεκριμένη περίπτωση. Τα έτη αποπληρωμής για την εγκατάσταση της γεωθερμικής αντλίας ανά κλιματική ζώνη είναι: 11,5 για τη ζώνη Α, 9,1 για τη ζώνη Β, 7,1 για τη ζώνη Γ και 6,4 για τη ζώνη Δ. Αρχικά προτιμήθηκε η διατήρηση των υπάρχοντων τερματικών μονάδων, όμως δεν θα είναι

δυνατή η επίτευξη των αποδόσεων που αναφέρθηκαν στην ανάλυση που προηγήθηκε και γι' αυτό προτιμήθηκε είτε η εγκατάσταση fan coil είτε η επιλογή της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και ψύξης.

Επιπλέον, επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση ηλιακού θερμικού συστήματος, διότι στην Ελλάδα υπάρχει υψηλό διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό, ισχυρή εγχώρια βιομηχανία και το κόστος είναι σχετικά χαμηλό. Παρατηρήθηκε ότι οι απαιτήσεις και οι καταναλώσεις σε ζεστό νερό χρήσης, καθώς και η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας, από κλιματική ζώνη σε κλιματική ζώνη, αλλάζουν σχετικά λίγο. Επομένως, η συνεισφορά των ηλιακών συλλεκτών δεν μεταβάλλεται αρκετά, κάτι που ενισχύει τα όσα προαναφέρθηκαν. Προς επίρρωση των ανωτέρω, τα έτη αποπληρωμής για την εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη είναι: 3,7 για τη ζώνη Α, 3,7 για τη ζώνη Β, 4 για τη ζώνη Γ και 4 για τη ζώνη Δ.

Τα συνολικά έτη αποπληρωμής γεωθερμικής αντλίας, fan coil και ηλιακού συλλέκτη διαμορφώνονται σε 12,8 για τη ζώνη Α, 11,1 για τη ζώνη Β, 8,2 για τη ζώνη Γ και 7,3 για τη ζώνη Δ, ενώ αν αντί για fan coil επιλεγθεί η λύση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και ψύξης τα συνολικά έτη αποπληρωμής διαμορφώνονται σε: 18,4 για τη ζώνη Α, 15,9 για τη ζώνη Β, 11,5 για τη ζώνη Γ και 10 για τη ζώνη Δ.

Επιπροσθέτως, η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι παρόμοια στις κλιματικές ζώνες Α και Β (Ηράκλειο και Αθήνα αντίστοιχα), λόγω του ότι η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι παρόμοια. Τα έτη αποπληρωμής για τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τις 4 κλιματικές είναι αντίστοιχα 4,12 για τη ζώνη Α, 4,14 για τη ζώνη Β, 4,46 για τη ζώνη Γ και 4,78 για τη ζώνη Δ.

Εν κατακλείδι, η ανάλυση κατέδειξε ότι τα έτη απόσβεσης της εγκατάστασης γεωθερμικής αντλίας ξεπερνούν τα 6, καθιστώντας μια τέτοια επένδυση όχι τόσο προσοδοφόρα υπό τις υπάρχουσες συνθήκες. Για να επιτευχθούν δε οι ονομαστικές αποδόσεις των συσκευών, θα απαιτηθεί η επιπλέον εγκατάσταση για fan coil αυξάνοντας ελαφρά το κόστος ή σωληνώσεων μεταφοράς του θερμικού μέσου ενδοδαπέδιας διαμόρφωσης, που θα αυξήσουν σημαντικά το συνολικό κόστος. Η αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας θα μπορούσε να θεωρηθεί σοβαρή εναλλακτική λύση για περιοχές της Ελλάδας, σε περίπτωση που οι συμβατικές μορφές ενέργειας καταστούν οικονομικά ασύμφορες για διάφορους λόγους και εάν αναπτυχθεί εγχώρια παραγωγή τέτοιων συστημάτων που σε συνδυασμό με την αύξηση της ζήτησης θα

συμπιέσουν το συνολικό κόστος. Η εγκατάσταση ηλιακού θερμικού συστήματος, καθώς και φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να θεωρηθεί συμφέρουσα.



## Βιβλιογραφία

### Ελληνική βιβλιογραφία

- Αβραμίδου Ν., Γεωθερμία, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα πολιτικών έργων υποδομής, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, 2011.
- Ανδρίτσος Ν., Γεωθερμική ενέργεια και εφαρμογές, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Βραχόπουλος Μ., Γεωθερμία, Σημειώσεις στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα Παραγωγή και διαχείριση Ενέργειας, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2004.
- Βραχόπουλος Μ.; Κούκου Μ.; Καρύτσας Κ.; Κανονική γεωθερμία: Αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές, Σύγγραμμα 2015.
- Κατσαπρακάκης Δ., Γεωθερμία, Εργαστήριο αιολικής ενέργειας, Τ.Ε.Ι Κρήτης.
- Κατσιμίχας Σ., Γεωθερμία, ΕΝ.Ε.ΕΠΙ.Θ.Ε., 2010.
- Κουρτίδης Α., Σύγκριση συστημάτων θέρμανσης χώρων με τη χρήση πετρελαίου και αντλίας θερμότητας, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Α.Τ.Ε.Ι. Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, 2014.
- Κουτσούκος Π., Ήπιες μορφές ενέργειας: Γεωθερμία, 2016.
- Μιλτιάδους Κ. & Μαυρουδής Α. Συστήματα αξιοποίησης γεωθερμικής ενέργειας, Πτυχιακή εργασία, Ανώτερο Τεχνολογικό Ίδρυμα Σερρών, 2012.
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-1/2010, Γ' έκδοση, 2014.
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-2/2010, Β' έκδοση, 2014.
- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 20701-3/2010, Γ' έκδοση, 2014.
- Τσανάκας Α. & Μωυσίδης Γ., Γεωθερμική ενέργεια, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα πολιτικών έργων υποδομής, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, 2013.
- Φίστη Σ., Γεωθερμική ενέργεια, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα τεχνολογίας πετρελαίου και φυσικού αερίου, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, 2015.
- Φυτίκας Μ. & Ανδρίτσος Ν., Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.

- Χαραλαμπίδης Ι., Θέρμανση-ψύξη βιοκλιματικού οικισμού Σοφάδων "το πλίθινο χωριό" με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τεχνικοοικονομική μελέτη και σύγκριση αποδοτικότητας σε σχέση με συμβατικά καύσιμα, διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, 2012.

## **Ξενογλώσση βιβλιογραφία**

- Abesser C., Open-loop ground source heat pumps and the groundwater systems: A literature review of current applications, regulations and problems, Energy Geoscience Programme Open Report OR/10/045, British Geological Survey, 2010.
- Geothermal Energy in 2011 ASHRAE Handbook - HVAC Applications. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2011.
- Kasuda T., & Archenbach P. R., Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States, ASHRAE Transactions, Part 1, 1965.
- Kavanaugh S. & Rafferty K. , Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. Atlanta: ASHRAE, 1997.
- McCorry M. & Jones G., G., Geotrained Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems. Brussels : Geotrained, European Federation of Geologists, 2011.
- Rafferty, K. Commercial Open Loop Heat Pump Systems. ASHRAE Journal., 2009
- Said S.A.M., Habib M.A., Mokheimer E.M., Al-Shayea N.A., Sharqawy M.H., Horizontal Ground Heat Exchanger Design for Ground-Coupled Heat Pumps, The International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies EVER2009, Monaco, 2009.
- Sanner B., BHE design examples. In Geotrained Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems. Brussels : Geotrained, European Federation of Geologists, 2011.
- VDI 4640 Part 1: 2010-06, Thermal use of the underground Fundamentals, approvals, environmental aspects, 2010.
- VDI 4640 Part 2: 2001-09, Thermal use of the underground - Ground source heat pump systems, 2001.

- VDI 4640 Part 3: 2001-09, Utilization of the subsurface for thermal purposes. Underground thermal energy storage, 2001.
- VDI 4640 Part 4: 2004-09, Thermal use of the underground - Direct uses, 2004.
- Vrachopoulos M. & Koukou M., Definition of horizontal geothermal heat exchanger behaviour, presented at 9th National Conference on Renewable Energy Sources, 26-28 March, Paphos, 2009.

## **Ιστοσελίδες**

- [www.ahi-carrier.gr](http://www.ahi-carrier.gr)
- [www.bioestia.gr](http://www.bioestia.gr)
- [www.ecotimes.gr](http://www.ecotimes.gr)
- [www.el.wikipedia.org](http://www.el.wikipedia.org)
- [www.endodapediathermans.gr](http://www.endodapediathermans.gr)
- [www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org)
- [www.kalogiropoulos.gr](http://www.kalogiropoulos.gr)
- [www.lagie.gr](http://www.lagie.gr)
- [www.panthermica.gr](http://www.panthermica.gr)
- [www.rehau.de](http://www.rehau.de)
- [www.re.jrc.ec.europa.eu](http://www.re.jrc.ec.europa.eu)
- [www.smart-cover.gr](http://www.smart-cover.gr)
- [www.stkaragiannis.gr](http://www.stkaragiannis.gr)
- [www.thermikiepress.gr](http://www.thermikiepress.gr)