

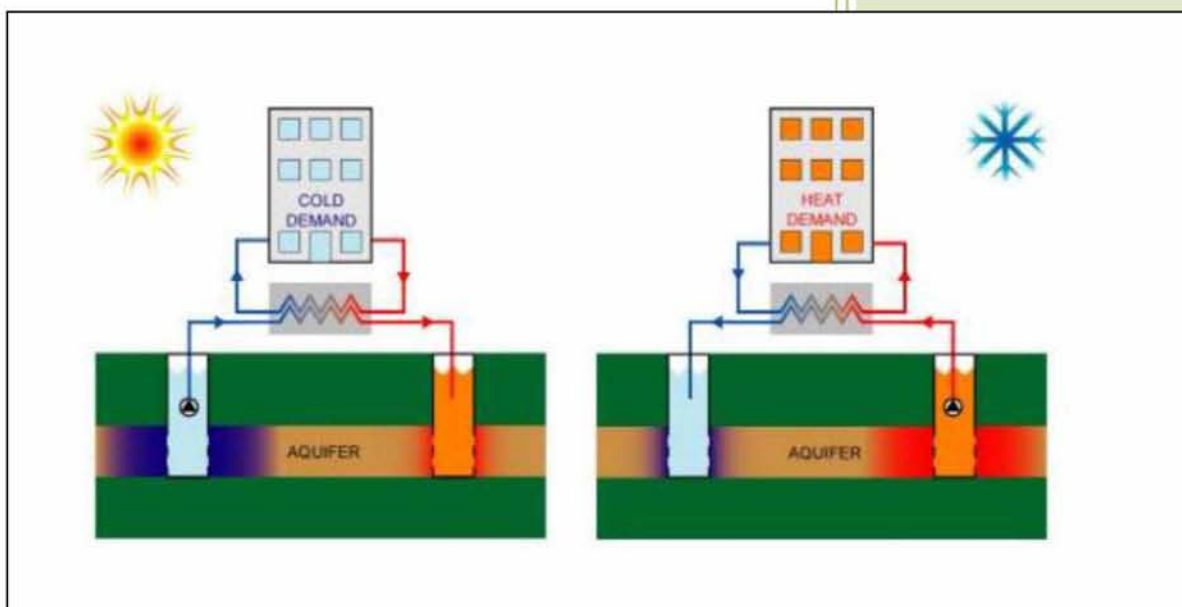


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΤΣΑΤΣΑΡΕΛΗΣ Β. ΑΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος (Επιβλέπων)
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ. Σταμάτης Αναστάσιος
Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Μποντόζογλου Βασίλειος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Μέσα από αυτές τις γραμμές θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους όσους υποστήριξαν πρακτικά και ηθικά την προσπάθειά μου.

Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας κ. Ανδρίτσο, για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Οι πολύτιμες υποδείξεις του, η καθοδήγησή του και η συνεχής υποστήριξή του συνέβαλαν ουσιαστικά στην περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχε και την αμέριστη συμπαράστασή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου για την υποστήριξη και τη συμπαράστασή τους σε όλη την πορεία της φοιτητικής μου ζωής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αποθήκευση της ενέργειας, μπορεί να αυξήσει τη διαθεσιμότητα της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, καθιστώντας δυνατή την κάλυψη μεγάλου μέρους της ζήτησης. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, οδηγούν στην καλύτερη διαχείριση και εκμετάλλευση των ΑΠΕ που χαρακτηρίζονται από διακυμάνσεις. Επιπλέον, μειώνεται και η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ρυπογόνες εκπομπές τους. Η ανάγκη για αποθήκευση της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας, μέσω των ανανεώσιμων πηγών, οδήγησε στην διεποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας (STES). Δηλαδή στην αποθήκευση της θερμότητας ή του ψύχους για χρονικές περιόδους που φτάνουν έως και αρκετούς μήνες. Η θερμική ενέργεια, μπορεί να συλλεχθεί όταν είναι διαθέσιμη και να χρησιμοποιηθεί όποτε χρειάζεται, όπως σε αντίθετες εποχές. Μεταξύ των εποχιακών αποθηκών που χρησιμοποιούνται για θέρμανση, η διαφορά θερμοκρασίας που συμβαίνει κατά την αποθήκευση, κατά τη διάρκεια ενός χρόνου, μπορεί να είναι αρκετές δεκάδες βαθμοί. Το υπέδαφος είναι μία φυσική αποθήκη θερμότητας. Για αυτό δημιουργήθηκαν οι τεχνολογίες υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (UTES), οι οποίες εκμεταλλεύονται τις υπάρχουσες υδρογεωλογικές συνθήκες κάθε περιοχής. Οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες UTES, αποτελούνται από τα συστήματα ATES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας με χρήση ταμιευτήρα) και BTES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας με γεώτρηση). Η σημερινή τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας, για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης, για οικιακές, αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Διπλωματικής	7
1.2. Δομή της Διπλωματικής Εργασίας	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	10
2.1 Ο τομέας των ΑΠΕ	10
2.2 Καινοτομίες ΑΠΕ στην Ευρώπη.....	12
2.2.1 Θέρμανση από ΑΠΕ	13
2.3 Οι ΑΠΕ στην αυτόνομη θέρμανση σε Ευρώπη και Ελλάδα	17
2.4 Αποθήκευση ενέργειας	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	23
3.1 Μετάδοση θερμότητας	23
3.1.1 Πρακτικές εφαρμογές μεταφοράς θερμότητας.....	23
3.2 Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας	25
3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων γεωθερμίας.....	28
3.4 Ανάλυση γεωθερμικού οριζόντιου συστήματος	33
3.4.1 Παροχή αντλίας νερού	34
3.4.2 Μήκος εναλλάκτη	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (STES)	37
4.1 Διεποχιακή αποθήκευση θερμότητας	38
4.1.1 Χρήση STES σε παθητικά κτήρια	39
4.1.2 Μικρά κτίρια, με εσωτερικές δεξαμενές νερού STES	39
4.1.3 Χρήση STES σε Θερμοκήπια	40
4.2 Αποθήκευση χιονιού	40
4.3 CTES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε σπήλαια)	41
4.4 Ρηχά συστήματα εξαγωγής.....	42
4.5 Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ UTES	44
5.1 Σύνδεση ΓΑΘ και UTES	44
5.2 ATES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας με χρήση ταμειυτήρα).....	45
5.3 BTES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας με γεώτρηση).....	47
5.4 Ομοιότητες και Διαφορές	50
5.4.1 Ομοιότητες στη ψύξη και στη θέρμανση.....	51
5.4.2 Διαφορές στη ψύξη και στη θέρμανση.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ UTES	54
6.1 ΓΑΘ και UTES σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες	54
6.2 Εφαρμογή συστήματος ATES σε μουσείο.....	60
6.3 Συστήματα UTES σε νοσοκομεία	65

6.3.1 Εφαρμογή συστήματος ATES σε νοσοκομείο	65
6.3.2 Εφαρμογή συστήματος BTES σε νοσοκομείο	67
6.4 Εφαρμογή συστήματος UTES στο Πικέρμι Αττικής.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
7.1 Η τεχνολογία	78
7.2 Εφαρμογή στην Ελλάδα	80
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Διπλωματικής

Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών.

Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Νόμο 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40 % συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20 % σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10 % στις μεταφορές.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν το μειονέκτημα της χρονικής υστέρησης της παραγωγής, σε σχέση με τη ζήτηση, που δεν μπορεί να είναι στον ανθρώπινο έλεγχο. Δημιουργείται, ως εκ τούτου, η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας, για μικρά και μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ανάγκη για αποθήκευση προϋπήρχε, ωστόσο θα αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον, λόγω της αυξημένης συμμετοχής των ΑΠΕ.

Η αποθήκευση της ενέργειας μπορεί να αυξήσει την ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, καθιστώντας δυνατή την κάλυψη μεγάλου μέρους της ζήτησης ενέργειας. Οι διατάξεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, παρέχουν ευελιξία στην εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Με τον όρο «Γεωθερμία», νοείται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Το έδαφος απορροφά το ½ της ηλιακής ακτινοβολίας και αποσβένει τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε βάθος μεγαλύτερο των 15 μέτρων είναι αμελητέα. Οι τοπικές θερμοκρασίες του εδάφους εξαρτώνται από το κλίμα, την κάλυψη, την κλίση και τις ιδιότητες του χώματος.

Η σημερινή τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης για οικιακές αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές.

Η διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος ονομάζεται γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ). Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει σωλήνα μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου η οποία τοποθετείται εντός του εδάφους, είτε εντός γεωτρήσεων. Σε συνδυασμό με υδρόψυκτη αντλία θερμότητας παρέχεται θέρμανση και ψύξη στο κτίριο.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι ήδη πολύ διαδεδομένες στη βόρεια Ευρώπη, κυρίως στις σκανδιναβικές χώρες (Νορβηγία και Σουηδία), όχι μόνο λόγω της αξιοπιστίας τους, αλλά κυρίως λόγω της εξοικονόμησης σε ενέργεια, που συνεπάγεται συρρίκνωση του κόστους θέρμανσης.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην αποθήκευση της θερμικής ενέργειας, με σκοπό την μετέπειτα χρήση της. Διεποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας (ή STES) είναι η αποθήκευση της θερμότητας ή του ψύχους για χρονικές περιόδους που φτάνουν έως και αρκετούς μήνες. Η θερμική ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί όταν είναι διαθέσιμη και να χρησιμοποιηθεί όποτε χρειάζεται, όπως σε αντίθετες εποχές. Για παράδειγμα, η θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες ή και η θερμότητα από τον εξοπλισμό κλιματισμού μπορεί να συγκεντρωθεί τους ζεστούς μήνες για τη θέρμανση, όταν χρειάζεται, ακόμη και κατά τους χειμερινούς μήνες. Η απορριπτόμενη θερμότητα από βιομηχανικές διαδικασίες μπορεί ομοίως να αποθηκεύεται και να χρησιμοποιείται αργότερα. Επίσης, το φυσικό ψύχος του χειμωνιάτικου αέρα, μπορεί να αποθηκευτεί για τον κλιματισμό το καλοκαίρι. Τα αποθέματα του συστήματος STES μπορούν να εξυπηρετήσουν μεμονωμένα κτίρια ή συγκροτήματα. Μεταξύ των εποχιακών αποθηκών που χρησιμοποιούνται για θέρμανση η διαφορά θερμοκρασίας που συμβαίνει κατά την αποθήκευση κατά τη διάρκεια ενός χρόνου μπορεί να είναι αρκετές δεκάδες βαθμοί.

Το υπέδαφος μπορεί να έχει το ρόλο της αποθήκης θερμικής ενέργειας. Με βάση αυτό, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες για την υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Ανάλογα με τις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες του υπεδάφους μιας περιοχής, εξετάζεται και στη συνέχεια προτείνεται από τους μηχανικούς, η κατάλληλη μέθοδος.

Σκοπός λοιπόν αυτής της εργασίας, είναι να αναλύσει τις υπάρχουσες τεχνολογίες για την υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε θεωρητικό επίπεδο, αλλά και να παρουσιάσει σε πρακτικό επίπεδο, υπάρχουσες μελέτες και εγκαταστάσεις των τεχνολογιών αυτών, ανά την Ευρώπη. Τέλος, με βάση τα παραπάνω, προτείνονται οι κατάλληλες τεχνολογίες υπόγεια αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, για κάποιες περιοχές της Ελλάδας.

1.2. Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Στο 2^ο κεφάλαιο της εργασίας αναλύεται ο τομέας των Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), μαζί με τις καινοτομίες των ΑΠΕ ανά την Ευρώπη. Παρουσιάζεται η συμβολή των ΑΠΕ στην αυτόνομη θέρμανση και γίνεται αναφορά στη μεγάλη ανάγκη για την αποθήκευση της ενέργειας.

Το 3^ο κεφάλαιο αναφέρεται στις πρακτικές εφαρμογές της μεταφοράς θερμότητας και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας.

Ακολουθούν η ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών των συστημάτων γεωθερμίας και γίνεται ο διαχωρισμός τους.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρέχονται πληροφορίες για τη διεποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι μέθοδοι με τις οποίες εφαρμόζεται η τεχνολογία αυτή.

Το 5^ο κεφάλαιο αναφέρει τις τεχνολογίες για την υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας και στη συνέχεια περιγράφει αναλυτικά το πώς εφαρμόζονται και από τι αποτελούνται. Ακόμα, αναλύει και συγκρίνει τις τεχνολογίες αυτές.

Στο 6^ο κεφάλαιο, εμφανίζεται το πόσο και σε ποιες ευρωπαϊκές χώρες έχουν διεισδύσει οι τεχνολογίες υπόγεια αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εγκατεστημένες εφαρμογές των τεχνολογιών αυτών και γίνεται η σύγκριση τους σε πρακτικό επίπεδο.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας (7^ο), παρουσιάζονται και αναλύονται τα συμπεράσματα της εργασίας, για την υπόγεια αποθήκευση της ενέργειας και τις μεθόδους που αυτό γίνεται. Ακόμα, επιχειρείται μία θεωρητική προσέγγιση του θέματος για την Ελλάδα και για το κατά πόσον, αλλά και σε ποιες περιοχές θα μπορούσαν να βρουν εφαρμογή οι τεχνολογίες αυτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Ο τομέας των ΑΠΕ

Η κύρια ώθηση για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η περιβαλλοντική. Η παγκόσμια κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη ένταξης ανανεώσιμων πηγών τόσο στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όσο και στους τομείς της θέρμανσης/ψύξης και μεταφορών. Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ,
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ και
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μπορούν να θεωρηθούν οι ακόλουθες πηγές ενέργειας:

- Ηλιακή Ενέργεια
- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια
- Γεωθερμία
- Ενέργεια από τη Θάλασσα (παλιρροιακά κύματα, κύματα των ωκεανών - ΟΤΕC)

Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο δυναμικό σε ΑΠΕ. Ας αναφέρουμε ως παράδειγμα την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Η αιολική ενέργεια πρωταγωνιστεί στην ανάπτυξη των ΑΠΕ και παρουσιάζει σημαντικές επενδυτικές δυνατότητες στην Ελλάδα. Το εξαιρετικά υψηλό αιολικό δυναμικό της χώρας κατατάσσεται μεταξύ των πλέον ελκυστικών στην Ευρώπη, με απόδοση πάνω από 8 μέτρα/δευτερόλεπτο ή/και 2.500 ώρες παραγωγής αιολικής ενέργειας, σε πολλά σημεία της χώρας. Η Ελλάδα παρουσιάζει επίσης ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 2.400-2.800 (kWh/(m².yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής.

Η Ελληνική κυβέρνηση στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, με το Νόμο 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40 % συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20 % σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10 % στις μεταφορές.

Οι εθνικοί στόχοι για το 2020 είναι για τη μεν ηλεκτροπαραγωγή, με την ανάπτυξη περίπου 13300 MW από ΑΠΕ (από περίπου 4000 MW σήμερα), όπου συμμετέχουν το σύνολο των τεχνολογιών, με προεξέχουσες τα αιολικά πάρκα με 7500 MW, τα υδροηλεκτρικά και τα ηλιακά, ενώ για τη θέρμανση και ψύξη με την ανάπτυξη των αντλιών θερμότητας, των θερμικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και των εφαρμογών βιομάζας.

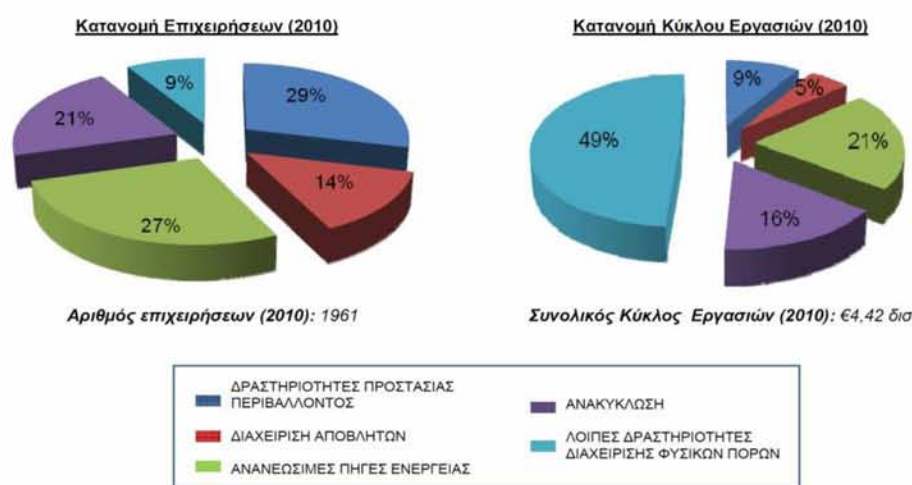
Προς το παρόν στην Ελλάδα, τόσο το θεσμικό όσο και το ιδιαίτερα ελκυστικό χρηματοοικονομικό πλαίσιο αφορά επενδύσεις στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και δεν προβλέπει ιδιαίτερα κίνητρα για την εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης από ΑΠΕ. Όσο για το θεσμικό πλαίσιο, περιλαμβάνει πληθώρα διατάξεων και εμπλεκόμενων φορέων με αποτέλεσμα πολλές φορές να καθυστερούν ή να ματαιώνονται σημαντικές επενδύσεις.

Δυνατά σημεία για την ανάπτυξη της επιχειρηματικότητας στον τομέα των ΑΠΕ στην Ελλάδα αποτελούν το υψηλό εθνικό δυναμικό σε ΑΠΕ, το ισχυρό θεσμικό πλαίσιο και τα υψηλά κονδύλια κοινοτικών και εθνικών πόρων.

Η εγχώρια αγορά στον τομέα των ΑΠΕ παρά την ύφεση της ελληνικής οικονομίας, διακρίνεται από σταθεροποιητικές τάσεις. Περιλαμβάνει κυρίως τις εξής δραστηριότητες:

- Αιολικά
- Φωτοβολταϊκά και Ηλιακά θερμικά
- Γεωθερμικές αντλίες Θερμότητας
- Μικρά υδροηλεκτρικά – Υδρογεννήτριες
- Βιοαέριο – Βιομάζα

Σε σχέση με τις λοιπές δραστηριότητες στον τομέα του περιβάλλοντος, οι ΑΠΕ μαζί με την Ανακύκλωση και τη Διαχείριση Αποβλήτων παρουσιάζουν τις σημαντικότερες επιδόσεις, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 Επιδόσεις δραστηριοτήτων στον τομέα του Περιβάλλοντος – Ελλάδα, 2010. (Πηγή εικόνας: [1])

Καθίσταται λοιπόν σαφές, πως ο κλάδος των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας αποτελεί σήμερα ένα από τα σημαντικότερα πεδία ανάπτυξης καινοτομιών, προσέλκυσης κεφαλαίων και δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας. Οι ΑΠΕ είναι ένας από τους κατ' εξοχήν τομείς που μπορούν να παράγουν προστιθέμενη αξία για τη χώρα, κινητοποιώντας επενδύσεις, στηρίζοντας την απασχόληση, συνεισφέροντας στα δημόσια έσοδα, στη βελτίωση του ενεργειακού μείγματος και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της ελληνικής οικονομίας.

2.2 Καινοτομίες ΑΠΕ στην Ευρώπη

Οι τεχνολογικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί ως σήμερα για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ παρουσιάζουν ποικιλομορφία ανάλογα με την πηγή ενέργειας που αξιοποιείται, καθώς και την εφαρμογή. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι τεχνολογίες ανά ανανεώσιμη πηγή, οι οποίες είναι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως. Ορισμένες τεχνολογίες (όπως τα Φωτοβολταϊκά και οι Ανεμογεννήτριες) είναι περισσότερο εξελιγμένες και ώριμες για χρήση μεγάλης κλίμακας, άλλες θεωρούνται ευνοϊκές για τοπική αξιοποίηση.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των ΑΠΕ είναι οι μεγάλες περιφερειακές διακυμάνσεις. Η ηλιακή ενέργεια ποικίλλει σημαντικά όσον αφορά την τιμή της ετήσιας μέσης ηλιακής ακτινοβολίας. Σε τροπικές περιοχές, η τιμή της είναι 3 φορές μεγαλύτερη από εκείνης των εύκρατων περιοχών. Η γεωθερμική ενέργεια και τα μικρά υδροηλεκτρικά, εξαρτώνται ακόμα περισσότερο από τις τοπικές συνθήκες

της εκάστοτε περιοχής. Ενώ οι πηγές βιομάζας είναι ευρέως διαθέσιμες, η χρήση του εδάφους και οι κλιματικές διαφορές έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές διαφορές στην κλίμακα και στον τύπο της εφαρμογής (καύση, αεριοποίηση, κ.α.). Η αιολική ενέργεια είναι επίσης ευρέως διαδεδομένη, αλλά τα αιολικά συστήματα διαφέρουν ουσιαστικά και από περιοχή σε περιοχή, αλλά και εντός της ίδιας περιοχής, καθώς ακόμα και μικρές διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου μπορούν να έχουν επίδραση στην ενεργειακή παραγωγή.

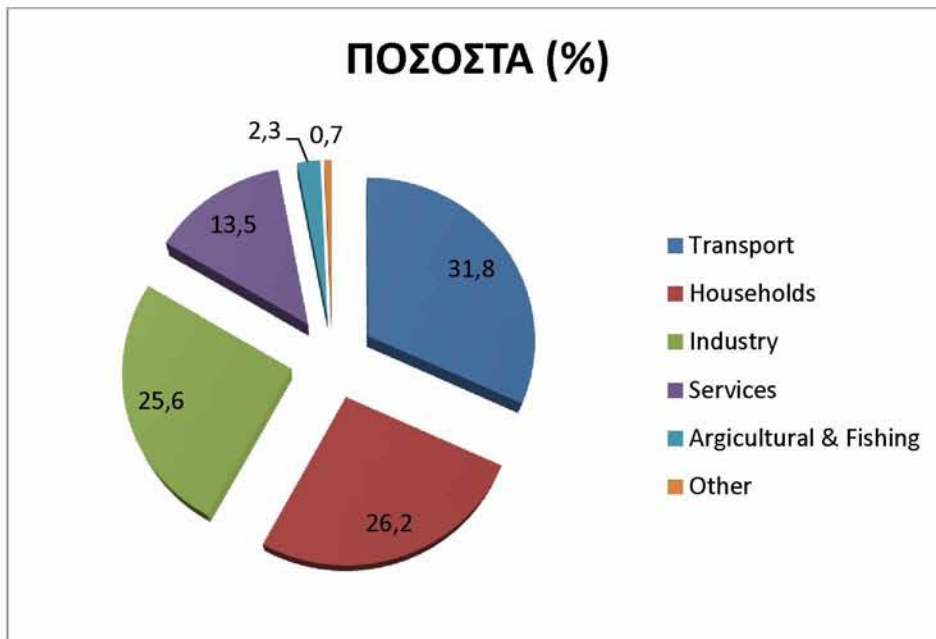
Πίνακας 2.1 Τεχνικές μέθοδοι αξιοποίησης των ΑΠΕ

Πηγή	Τεχνικές μέθοδοι
Ηλιακή Ενέργεια	Φωτοβολταϊκά συστήματα για ηλεκτροπαραγωγή σε μικρής και μεγάλης κλίμακας έργα, ηλιακοί θερμοσίφωνες
Αιολική ενέργεια	Μεγάλης και μικρής κλίμακας σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (αιολικά πάρκα), άντληση νερού
Ενέργεια κυμάτων	Πολλές εφαρμογές
Ενέργεια παλίρροιας	Φράγματα εκμετάλλευσης παλίρροιακών κυμάτων
Γεωθερμία	Θερμά ξηρά πετρώματα, μάγμα, υδροθερμία
Βιομάζα	Καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση, χώνευση, βιοκαύσιμα για παραγωγή θερμότητας ηλεκτρισμού

2.2.1 Θέρμανση από ΑΠΕ

Κάθε χρόνο, πάνω από το 45-50% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρώπη χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας είτε για οικιακούς ή για βιομηχανικούς σκοπούς.

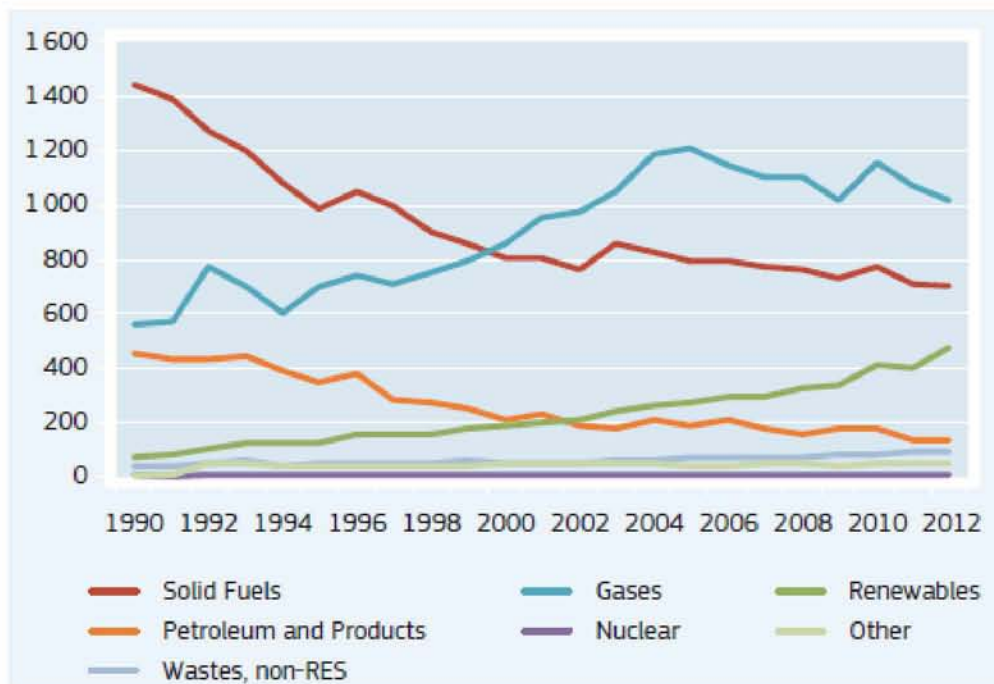
Στο σχήμα 2.2 αντικατοπτρίζονται για το έτος 2012 τα ποσοστά που καταλαμβάνει κάθε τομέας.



Σχήμα 2.2 Καταμερισμός κατανάλωσης της συνολικής ενέργειας στην Ευρώπη για το έτος 2012 (Επεξεργασία δεδομένων από [1])

Η συντριπτική πλειοψηφία αυτής της ενέργειας παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και άνθρακα - με σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την άποψη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σήμερα, το κοινωνικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος της κλιματικής αλλαγής υπογραμμίζει τον επείγοντα χαρακτήρα της μετάβασης προς ένα νέο ενεργειακό σενάριο.

Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται η παραγωγή θερμότητας ανά καύσιμο στην Ευρώπη, από το 1990 μέχρι και το 2012.. Η μέτρηση είναι σε μονάδες Petajoule και είναι εμφανές, ότι η παραγωγή θερμότητας από ΑΠΕ αυξάνεται διαρκώς.



Εικόνα 2.1 Παραγωγή θερμότητας (σε PJ) ανά καύσιμο στην Ευρώπη 1990-2012. (Πηγή εικόνας: [2])

Οι κύριες πηγές ΑΠΕ που αξιοποιούνται στην παραγωγή θερμότητας είναι η γεωθερμική ενέργεια, η βιοενέργεια με χρήση βιομάζας και η ηλιακή ενέργεια.

Η παραγωγή θερμότητας από γεωθερμική ενέργεια επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων των οποίων η θερμοκρασία κυμαίνεται από 30°C έως 150°C (οι αποκαλούμενες χαμηλές και μέσες ενεργειακές εφαρμογές). Στη συνέχεια, η θερμότητα διανέμεται με δίκτυα θερμότητας.

Οι αντλίες θερμότητας είναι ένας άλλος τρόπος παραγωγής θερμότητας από γεωθερμική ενέργεια. Οι αντλίες θερμότητας αναπτύσσονται πολύ γρήγορα σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, κυρίως στη Σουηδία, αλλά και στη Γερμανία, τη Γαλλία, την Αυστρία, τη Φινλανδία και την Ιταλία.

Η βιοενέργεια είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες ΑΠΕ και συνδυάζει την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα. Έχει τη μέγιστη δυνατότητα σε όγκο, μεταξύ όλων των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Επιπλέον η βιομάζα έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί όταν χρειάζεται. Ως εκ τούτου μπορεί να αποτελέσει μια σταθερή, χωρίς διακυμάνσεις πηγή ενέργειας.

Ο ευρωπαϊκός στόχος είναι μια συνολική δυναμικότητα 135 Mtoe. Πρόσθετη βιοενέργεια μπορεί να προέλθει από γεωργικά και δασικά υπολείμματα ή από υπολείμματα δασικών βιομηχανιών, από υγρά απόβλητα καθώς επίσης και από νέες καλλιέργειες.

Οι δυνατότητες ανάπτυξης της βιοενέργειας είναι πολύ μεγάλες σε όλο τον κόσμο. Σήμερα, η βιομάζα συνεισφέρει στις παγκόσμιες ανάγκες ενέργειας περισσότερο από όλες τις άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες ΑΠΕ, καλύπτοντας το 12%

των παγκόσμιων αναγκών. Η χρήση της ουσιαστικά βασίζεται στα υπολείμματα της αγροδασοκομίας και στο φυσικό δάσος.

Επειδή η βιοενέργεια μπορεί να παραχθεί σε μικρή, μεσαία και μεγάλη κλίμακα, εφαρμόζεται σε μια ευρεία ποικιλία πόρων και μοντέλων επεξεργασίας / χρησιμοποίησης. Υπάρχει ζήτηση για μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σύγχρονων και αποδοτικών τεχνολογιών βιοενέργειας, και καταβάλλονται μεγάλες προσπάθειες ώστε αυτές οι τεχνολογίες να συμβάλουν στη βιώσιμη χρήση των πόρων από περιβαλλοντικής, τεχνικής και οικονομικής απόψεως. Στο μέλλον, μεγάλη συμβολή στην παραγωγή βιοενέργειας μπορεί να έχουν οι καλλιέργειες που γίνονται αποκλειστικά για τέτοια χρήση.

Οι χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης, πρωτοστατούν στη χρήση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας, και έχουν δημιουργήσει μεγάλες εγκαταστάσεις συμπαραγωγής ενέργειας για κεντρική συνοικιακή θέρμανση με βιομάζα. Η Σουηδία και η Αυστρία, που έχουν μακροχρόνια παράδοση χρησιμοποίησης του ξύλου για καύση, συνεχίζουν να αυξάνουν αυτή τη χρήση για οικιακή θέρμανση και για κεντρική θέρμανση συνοικιών, ενισχύοντας τη δημιουργία δασυλλίων (ιτιά, λεύκα) που, ως πρώτες ύλες, έχουν παραγωγή 3 έως 4 φορές υψηλότερη από το μέσο όρο. Η Μεγάλη Βρετανία έχει επικεντρωθεί ιδιαίτερα στην ανάπτυξη ενός τεράστιου και αποδοτικού συστήματος παραγωγής βιοαερίων από απόβλητα, τόσο για θέρμανση όσο και για ηλεκτρική ενέργεια.

Η ηλιακή θερμική ενέργεια παράγεται από εγκαταστάσεις (θερμοσυσσωρευτές) που συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μεταφέρουν σε κάποια υγρά, αυξάνοντας τη θερμοκρασία τους. Η θερμότητα από τις ηλιακές συσκευές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ικανοποιήσει διάφορες ανάγκες:

- Ζεστό νερό για οικιακή και επαγγελματική χρήση. Θέρμανση σε σπίτια, ξενοδοχεία, σχολεία, εργοστάσια, εκκλησίες, χώρους κάμπινγκ, αθλητικές εγκαταστάσεις, ιδιωτικές και δημόσιες πισίνες, φυλακές, νοσοκομεία, κ.λπ.
- Θέρμανση του νερού σε τραπεζαρίες, δημόσια πλυντήρια και κουζίνες (με δημόσια χρηματοδότηση).
- Στη γεωργία, π.χ. σε ηλιακά θερμοκήπια που μπορούν να βελτιώσουν τη συγκομιδή, σε ποσότητα και ποιότητα, ή για την αποξήρανση καλλιεργήσιμων εκτάσεων με τη βοήθεια ενός ηλιακού συστήματος, που καταναλώνει πολύ λιγότερη ενέργεια.
- Αυτόνομη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε εγκαταστάσεις καθαρισμού ή αφαλάτωσης ύδατος.
- Δημιουργία ψύξης (ψυγεία απορρόφησης).

Η αγορά ηλιακής θερμικής ενέργειας αναπτύσσεται πολύ σε παγκόσμιο επίπεδο, και αυτό οφείλεται στο λογικό κόστος εγκατάστασης και τις μικρές ανάγκες συντήρησης. Οι βιομηχανικές χώρες χρησιμοποιούν φυσικούς πόρους σε ποσοστό που διαρκώς αυξάνεται. Οι υπόλοιπες χώρες εφαρμόζουν πολιτικές επιχορηγήσεων για να προωθήσουν αυτήν την τεχνολογία στους κατοίκους, τους κατασκευαστές και άλλους επαγγελματίες.

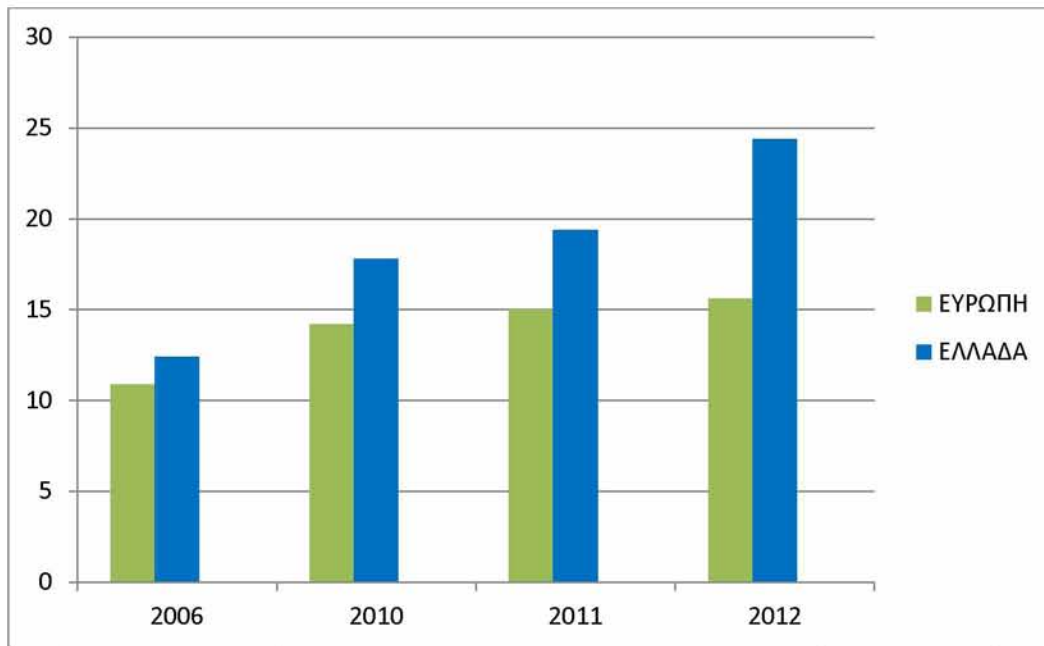
2.3 Οι ΑΠΕ στην αυτόνομη θέρμανση σε Ευρώπη και Ελλάδα

Η παραγωγή θερμότητας από ΑΠΕ στην Ευρώπη αυξάνεται με το πέρασμα των χρόνων. Η περισσότερη θερμότητα που παράγεται, προέρχεται από τεχνολογίες που αξιοποιούν τη βιομάζα. Τα αυτόνομα (αποκεντρωμένα) οικιακά συστήματα που παρέχουν θερμότητα από βιομάζα κυριαρχούν σαφώς στην αγορά θέρμανσης από ΑΠΕ. Η χρήση της βιομάζας σε κεντρικές εγκαταστάσεις θέρμανσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις σκανδιναβικές χώρες, στη Λιθουανία και την Αυστρία.

Οι τεχνολογίες ηλιοθερμίας αντιπροσωπεύουν μόνο ένα πολύ μικρό μερίδιο του συνολικού ποσού της παραγόμενης θερμότητας από ΑΠΕ. Ομοίως, αντλίες θερμότητας εδάφους και οι τεχνολογίες θέρμανσης από γεωθερμική ενέργεια αντιπροσωπεύουν μόνο ένα οριακό μερίδιο της παραγωγής θερμότητας από ΑΠΕ, αλλά αναμένεται να παρουσιάσουν περαιτέρω ανάπτυξη στο μέλλον.

Η μέτρια ανάπτυξη της αγοράς παραγωγής θερμότητας από ΑΠΕ, έρχεται σε αντίθεση με την ανάπτυξη του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής καθώς και στον τομέα των μεταφορών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, μέχρι πριν από λίγα χρόνια, η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας επικεντρώθηκε σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτρική ενέργεια και τα καύσιμα για τις μεταφορές. Οι ΑΠΕ για την παραγωγή θέρμανσης/ψύξης ήταν ένας κλάδος που είχε σε μεγάλο βαθμό παραμεληθεί. Στα περισσότερα κράτη μέλη της ΕΕ, δεν υπάρχει ακόμη μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη στήριξη των ΑΠΕ στην θέρμανση. Ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη στον τομέα αυτό ήταν μάλλον υποτονική, σε σύγκριση με τους ρυθμούς ανάπτυξης που επιτεύχθηκαν στους κλάδους της ηλεκτρικής ενέργειας και των μεταφορών.

Στο σχήμα 2.3 απεικονίζονται τα ποσοστά συμμετοχής των ΑΠΕ, για τη συνολική θέρμανση και ψύξη στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, μέχρι και το 2012.



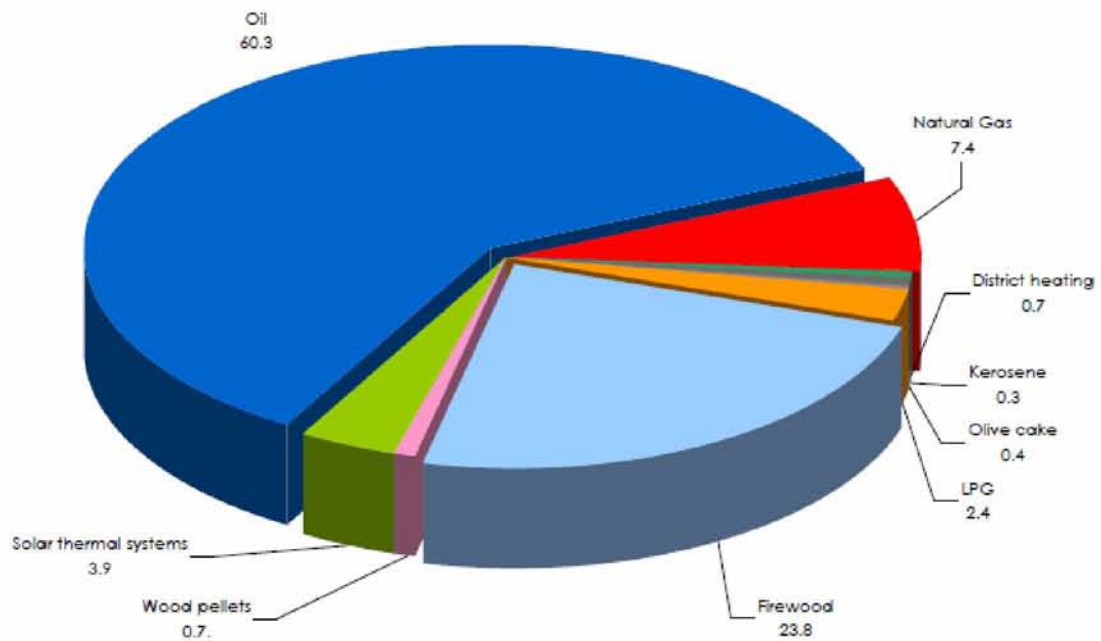
Σχήμα 2.3 Ποσοστά(%) ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη σε Ελλάδα και Ευρώπη (Επεξεργασία δεδομένων από [1])

Παρατηρούμε ότι στην Ελλάδα οι ΑΠΕ είχαν και έχουν μεγαλύτερη συμβολή στη θέρμανση και ψύξη από το μέσο όρο της Ευρώπης.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του EREC (European Renewable Energy Council), το 25% του τομέα της θέρμανσης και παροχής ψύξης μπορεί να παρέχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2020, εάν η ΕΕ θέσει το κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο έγκαιρα. Το EREC εκτιμά σήμερα ότι η θέρμανση/ψύξη από ΑΠΕ θα αποκτήσει μερίδιο σχεδόν 30% της συνολικής κατανάλωσης θερμότητας ως το 2020 και θα καλύπτει περισσότερο από το ήμισυ της ζήτησης θερμότητας της ΕΕ μέχρι το 2030. Έως το 2050 η θέρμανση/ψύξη από ΑΠΕ θα παρέχει 100% της κατανάλωσης. Για να επιτευχθεί αυτό, μέτρα όπως η άρση των διοικητικών εμποδίων, η ευαισθητοποίηση και βελτίωση των αναλύσεων θα πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή.

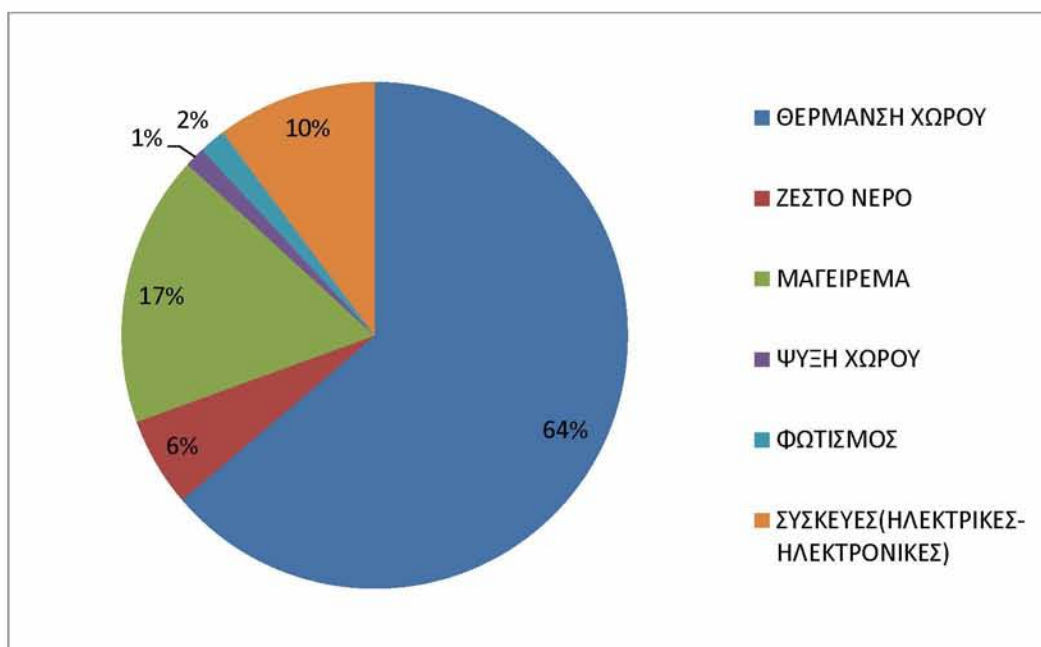
Ελλάδα

Στην Εικόνα 2.2 φαίνεται η ποσοστιαία κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου για το έτος 2012 στην Ελλάδα.



Εικόνα 2.2 Ποσοστιαία(%) κατανάλωση θερμικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου για το έτος 2012. (Πηγή εικόνας: [3])

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.4 φαίνεται ότι οι ανάγκες ενός σπιτιού για θέρμανση και μαγείρεμα στην Ελλάδα, κατά μέσο όρο, αποτελούν το 81% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας.



Σχήμα 2.4 Ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο χρήσης για το 2012 (Επεξεργασία Δεδομένων από [2])

Για την θέρμανση νερού χρήσης επικρατούν τα ηλιακά θερμικά, σε αντίθεση με παλαιότερα, όπου γινόταν χρήση ηλεκτρισμού για την παραγωγή

ζεστού νερού χρήσης . Αυτή η αλλαγή οφείλεται κυρίως στην περαιτέρω διεύρυνση των θερμικών ηλιακών συστημάτων και στη χρήση εναλλακτών θερμότητας σε συνδυασμό με κεντρικά συστήματα θέρμανσης με καυστήρες πετρελαίου, αντί της συνηθισμένης χρήσης των ηλεκτρικών θερμοσίφωνων. Οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες δεν τείνουν ακόμη να εξαλειφθούν, μιας και αποτελούν συνήθως βασικό εξοπλισμό σε παλαιά και νέα σπίτια. Παρόλα αυτά τα θερμικά ηλιακά συστήματα κερδίζουν συνεχώς έδαφος και πολλές φορές χρησιμοποιούνται σε οικίες για να καλύψουν τις βασικές ανάγκες του νοικοκυριού για ζεστό νερό χρήσης, και ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας χρησιμοποιείται μόνο ως συμπληρωματικό μέσο.

Στην Ελλάδα υπάρχει μια καλά αναπτυγμένη αγορά θερμικών ηλιακών συστημάτων, που είναι ενεργή εδώ και σχεδόν 30 χρόνια. Η Ελλάδα κατατάσσεται ανάμεσα στις πρώτες χώρες της Ευρώπης ως προς την εγκατεστημένη ισχύ σε θερμικά ηλιακά.

Στην αγορά των ηλιακών θερμικών συστημάτων το κύριο προϊόν ήταν και είναι ακόμη ο θερμοσιφωνικού τύπου ηλιακός συλλέκτης. Στο ξεκίνημα της η αγορά των θερμικών ηλιακών είχε κατακλυστεί από πληθώρα κατασκευαστών (περί του 300 κατασκευαστές ήταν ενεργοί εκείνη την εποχή) οι οποίοι κατασκεύαζαν τα συστήματα σε τοπικό επίπεδο. Με τον καιρό όμως καθώς άρχισαν να επιβάλλονται διεθνή κριτήρια, τα οποία φρόντιζαν για την βελτίωση και μεγαλύτερη αξιοπιστία των συστημάτων, ο αριθμός των κατασκευαστών μειώθηκε και μόνο οι πιο έμπειροι και οργανωμένοι κατόρθωσαν να συνεχίσουν στο χώρο.

Σύμφωνα με την EBHE, το 99% των εγκατεστημένων συλλεκτών είναι θερμοσιφωνικού τύπου ηλιακοί συλλέκτες, κλειστού κυρίως κυκλώματος. Στο κλειστό κύκλωμα χρησιμοποιείται αντιψυκτικό υγρό για να αποφευχθεί η δημιουργία πάγου στο κύκλωμα του συλλέκτη. Η δεξαμενή αποθήκευσης μπορεί να τοποθετείται καθέτως ή οριζοντίως πάνω από τους συλλέκτες. Όλα τα συστήματα είναι εφοδιασμένα με βοηθητικούς ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες, ενώ περίπου το 30% των συστημάτων είναι εφοδιασμένα με ένα επιπρόσθετο εναλλάκτη θερμότητας που είναι συνδεδεμένος με το σύστημα θέρμανσης που μπορεί να χρησιμοποιεί είτε πετρέλαιο είτε φυσικό αέριο. Το ποσοστό κάλυψης των αναγκών από την ηλιακή ενέργεια είναι συνήθως πάνω από 75%.

Η καύση βιομάζας στον οικιακό τομέα αποτελεί σημαντικό μερίδιο της παραγόμενης θερμικής ενέργειας από ΑΠΕ. Η στερεή βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση χώρου σε νοικοκυριά, ενώ το βιοαέριο χρησιμοποιείται περισσότερο σε μονάδες συμπαραγωγής.

Η Ελλάδα κατέχει εξέχουσα θέση στην Ευρώπη όσον αφορά την ύπαρξη γεωθερμικών πεδίων (χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας), τα οποία είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμα.

Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των απευθείας χρήσεων της γεωθερμίας, ξεπέρασε τα 180 MWt μέχρι το τέλος του 2012, παρουσιάζοντας μία αύξηση της

τάξης του 40%, σε σχέση με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στο WGC το 2010 και αύξηση πάνω από 100% σε σχέση με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στο EGC το 2007 (Ανδρίτσος et al., 2007).

Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της αύξησης οφείλεται στην ραγδαία εξάπλωση των εγκαταστάσεων με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Έχουν καταγραφεί περισσότερες από 800 εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ περί τα 64 MWt. Ο ακριβής αριθμός των μονάδων ΓΑΘ που έχουν εγκατασταθεί μέχρι σήμερα στη χώρα είναι άγνωστος, αλλά υπολογίζεται ότι έχουν ξεπεράσει τις 1000, με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 90 MWt. Περίπου το 61% της καταγεγραμμένης εγκατεστημένης ισχύος αναφέρεται σε ανοιχτά συστήματα βρόχου [3].

2.4 Αποθήκευση ενέργειας

Η ανάγκη για την αποθήκευση ενέργειας υπήρχε κατά παράδοση στα ηλεκτρικά δίκτυα, καθώς υπάρχουν τα τεχνικά ελάχιστα των μεγάλων θερμοηλεκτρικών σταθμών και η ανάγκη για την κάλυψη των λεγόμενων "αιχμών" φορτίου, δηλαδή των μικρών χρονικών διαστημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας, που το φορτίο αυξάνεται απότομα. Πλέον η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής), προέρχεται και από την απαίτηση για αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο στην παραγωγή ηλεκτρισμού, όσο και θερμότητας.

Σε κάθε ενεργειακό δίκτυο (ηλεκτρικό, θερμικό, κλπ) πρέπει να πληρείται το ισοζύγιο ενέργειας, που σημαίνει ότι η απορροφούμενη ενέργεια από τα φορτία πρέπει να είναι η ίδια, με μικρές παραλλαγές, με εκείνη που παράγεται.

Η χρονική μεταβολή της ζήτησης (ηλεκτρικού ή θερμικού) για κάθε σύστημα είναι σχετικά προβλέψιμη, με τρόπο ώστε να είναι προσαρμοσμένη σε αυτήν η παραγωγή ενέργειας.

Αύξηση της συμμετοχής της ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, προκαλεί σοβαρές χρονικές διακυμάνσεις και αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της παραγωγής από τα συστήματα ΑΠΕ. Τα αιολικά πάρκα έχουν παραγωγή που εξαρτάται από τη μεταβλητότητα του ανέμου. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, επίσης, δεν ρυθμίζουν τη ροή και την ενέργεια που παράγεται, καθώς η τελευταία εξαρτάται από την φυσική ροή του ποταμού (μεγάλη κατά τη διάρκεια των πλημμυρών και χαμηλή κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων). Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά ή τα ηλιοθερμικά συστήματα είναι μηδενική κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ την ημέρα εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες (ήλιος ή συννεφιά). Κατά συνέπεια, όλες αυτές οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν το μειονέκτημα της χρονικής υστέρησης της παραγωγής σε σχέση με τη ζήτηση που δεν μπορεί να είναι στον

ανθρώπινο έλεγχο. Δημιουργείται, ως εκ τούτου, η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας για μικρά και μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ανάγκη για αποθήκευση προϋπήρχε, ωστόσο θα αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον, λόγω της αυξημένης συμμετοχής των ΑΠΕ.

Η αποθήκευση της ενέργειας μπορεί να αυξήσει την ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, καθιστώντας δυνατή την κάλυψη μεγάλου μέρους της ζήτησης ενέργειας.

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, μπορούν να ρυθμίσουν τη διαφορά φάσης μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης και έτσι να υπάρχει διαθεσιμότητα ενέργειας, για να καλύπτονται οι ανάγκες κάθε εποχής. Δηλαδή, η ενέργεια που παράγεται σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους όπου η ζήτηση είναι υψηλή. Με αυτό τον τρόπο τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι πιο παραγωγικά αλλά και πιο αξιόπιστα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

3.1 Μετάδοση θερμότητας

Η Μετάδοση θερμότητας από ένα σύστημα μεγαλύτερης θερμοκρασίας προς ένα άλλο μικρότερης θερμοκρασίας, είναι ένα φυσικό φαινόμενο που πραγματοποιείται με τρεις τρόπους:

- Με αγωγή
- Με συναγωγή
- Με θερμική ακτινοβολία

Ως θερμότητα ορίζεται η μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσα από το όριο ενός θερμοδυναμικού συστήματος συγκεκριμένης θερμοκρασίας προς ένα άλλο σύστημα χαμηλότερης θερμοκρασίας (σώμα ή και το περιβάλλον) λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των δύο συστημάτων.

Η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα με μόνη αιτία την διαφορά θερμοκρασίας. Το σύστημα δεν περιέχει θερμότητα, η θερμότητα ορίζεται στα όρια του συστήματος και για όσο χρόνο διαρκεί η μεταφορά της μέσω των ορίων του συστήματος και από το ένα σώμα στο άλλο.

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, η θερμότητα τείνει να ρέει αυθόρμητα από θερμότερα σώματα προς ψυχρότερα, ενώ οι ροές της μπορούν να μετατραπούν μερικώς σε ωφέλιμο έργο μέσω μιας θερμική μηχανής.

3.1.1 Πρακτικές εφαρμογές μεταφοράς θερμότητας

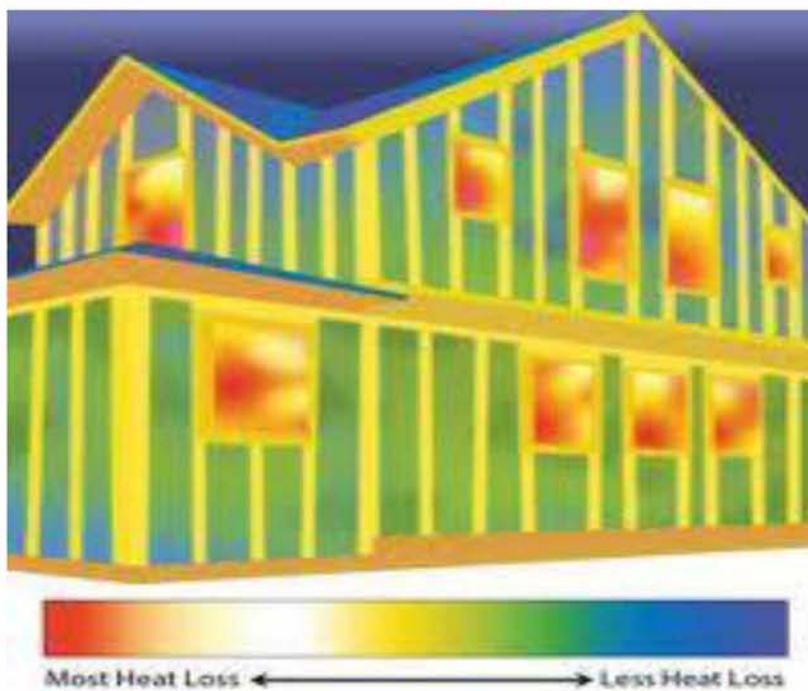
Ο υπολογισμός του κόστους και του μεγέθους μιας συσκευής ή διαφόρων εξαρτημάτων, διαμέσου των οποίων ένα ορισμένο ποσό ροής θερμότητας συναλλάσσεται σε ορισμένο χρόνο, κάνει αναγκαία την ανάλυση του φαινομένου της ροής θερμότητας.

Η διαστασιολόγηση των λεβήτων, θερμαντήρων και προθερμαντήρων, ψυκτικών θαλάμων, ψυγείων και εναλλακτών θερμότητας, όπως και οι επιτυχίες λειτουργίας πτερυγώσεων στροβίλου, τοιχωμάτων θαλάμων καύσης, απαιτούν τον επακριβή προσδιορισμό του ποσού μεταφοράς θερμότητας ή του ποσού ροής ψύξης μετάλλων, αντίστοιχα, πράγμα το οποίο συνεπάγεται λεπτομερειακή ανάλυση φαινομένου της ροής θερμότητας σε συνάρτηση με το χρόνο. Μερικά άλλα παραδείγματα είναι η μελέτη των ηλεκτρικών μηχανών, των

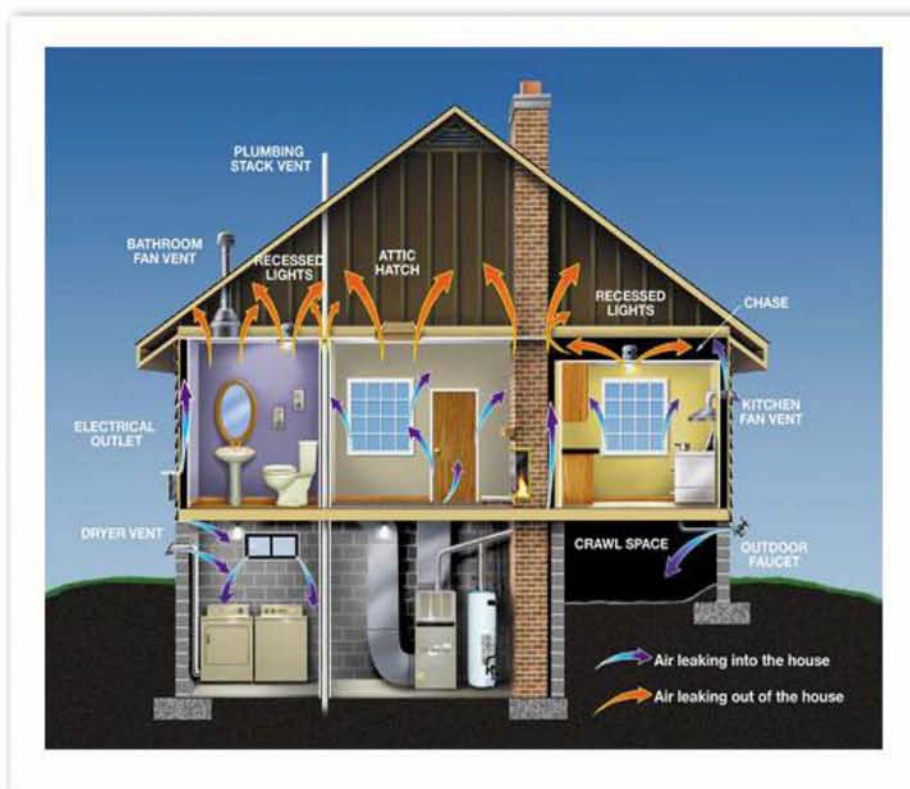
μετασχηματιστών, των τριβών και εδράνων στήριξης, εργαλειομηχανών και ακόμη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, των ηλεκτρικών αντιστάσεων, πυκνωτών και διατάξεων αυτεπαγωγής και άλλα πρακτικά προβλήματα που απαιτούν την κατανόηση του φυσικού φαινομένου της ροής θερμότητας, την εισαγωγή προϋποθέσεων και την έκφραση του προβλήματος, υπό την μορφή εξισώσεων, η επίλυση των οποίων απαιτεί μεθοδολογία και πολλές φορές υπολογιστικές ή/και προσεγγιστικές τεχνικές.

Προβλήματα θερμικού σχεδιασμού που απαιτούν μελέτες μεταφοράς θερμότητας είναι η μόνωση σε κτίρια, αεροπλάνα, στην ψύξη ακροφύσιων, κινητήρων και ηλεκτρονικών συσκευών, σε τρανζίστορ, διόδους, μπαταρίες, σε οπτικά συστήματα και ευθυγράμμιση.

Η μετάδοση θερμότητας μελετάται μεταξύ ρευστών σε εναλλάκτες, ψυγεία αυτοκινήτων, συστήματα μετατροπής ενέργειας, λέβητες και συμπυκνωτές. Επίσης σε ψυκτικούς κύκλους που διενεργούνται σε εξατμιστές και συμπυκνωτές, βιομηχανίες διεργασιών για την θερμική επεξεργασία μετάλλων και γυαλιού ή τη διαμόρφωση μηχανικών στοιχείων. Η χημική βιομηχανία στηρίζεται και αυτή στη μετάδοση θερμότητας ως προς την εκμετάλλευση της απόβλητης θερμότητας την αποβολή θερμότητας σε ψυκτικούς πύργους. Η μετάδοση θερμότητας μελετάται και στην μετεωρολογία.



Εικόνα 3.1 Απώλειες θερμότητας σε κτίριο. (Πηγή εικόνας: [4])

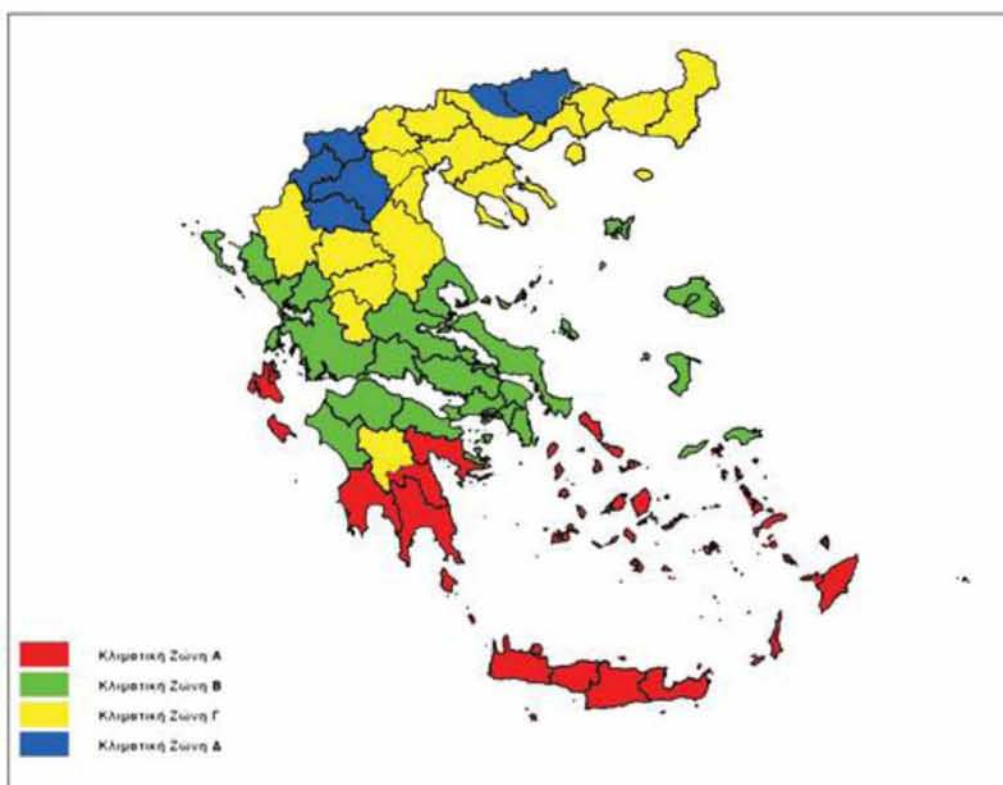


Εικόνα 3.2 Μεταφορά θερμότητας μέσω του αέρα σε κτίριο. (Πηγή εικόνας: [5])

3.2 Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

Η διαστασιολόγηση των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού στις κτιριακές εγκαταστάσεις γίνεται βάσει των κλιματολογικών δεδομένων των Ελληνικών περιοχών. Στις ακόλουθες εικόνες δίνονται οι κλιματικές ζώνες της Ελλάδας ανάλογα με τις συνθήκες κλίματος, με βάση τις οποίες γίνεται η ανάλυση των θερμικών αναγκών των κτηρίων όπως θα δούμε στη συνέχεια. Επίσης, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων, σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων – Κ.Εν.Α.Κ (ΦΕΚ 407/ 9.4.2010), δίνονται κλιματολογικά δεδομένα, σε επίπεδο μέσων μηνιαίων τιμών.

Από κλιματολογικά δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) και με την χρήση κατάλληλων εμπειρικών και θεωρητικών μαθηματικών μοντέλων, εκτιμήθηκαν οι κλιματικές τιμές μετεωρολογικών παραμέτρων (πηγή ΤΕΕ). Τα δεδομένα της ΕΜΥ αφορούν μακροχρόνιες μετρήσεις σε συγκεκριμένους μετεωρολογικούς σταθμούς μέτρησης οι οποίοι δίνονται στον πίνακα Β που ακολουθεί.



Χάρτης 3.1 Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας [4]

Πίνακας 3.1 Κατάταξη κλιματικών ζωνών στην Ελληνική Επικράτεια [4]

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά, Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Άρτας, Πρέβεζας
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας

Σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ, η ελληνική επικράτεια διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης. Στον Πίνακα Α προσδιορίζονται οι νομοί που υπάγονται στις τέσσερις κλιματικές ζώνες (από τη

θερμότερη στην ψυχρότερη) και ακολουθεί σχηματική απεικόνισή τους στον Χάρτη Α.

Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Για την Δ ζώνη όλες οι περιοχές ανεξαρτήτως υψόμετρου περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ. Στο τμήμα του νομού Αρκαδίας που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Γ και στο τμήμα του νομού Σερρών (ΒΑ τμήμα) που εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Δ, περιλαμβάνονται όλες οι περιοχές που έχουν υψόμετρο άνω των 500 μέτρων.

Πίνακας 3.2 Σταθμοί μέτρησης της ΕΜΥ (Πηγή ΤΕΕ) [4]

Πόλη	Περιοχή (Νομός)	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο Βαρομέτρου (m)
Αθήνα (Ελληνικό)	Αττικής	37 ^ο 54'	23 ^ο 45'	15,0
Αθήνα (Ν. Φιλαδέλφεια)	Αττικής	38 ^ο 03'	23 ^ο 40'	138,0
Αγρίνιο	Απωλοακαρνανίας	38 ^ο 37'	21 ^ο 23'	25,0
Αγχιάλος	Μαγνησίας	39 ^ο 13'	22 ^ο 48'	15,3
Αλεξανδρούπολη	Έβρου	40 ^ο 51'	25 ^ο 56'	3,5
Αλιάρτος	Βοιωτίας	38 ^ο 23'	23 ^ο 06'	110,0
Ανδραβίδα	Ηλείας	37 ^ο 55'	21 ^ο 17'	15,1
Άραξος	Αχαΐας	38 ^ο 09'	21 ^ο 25'	11,5
Άργος (Πυργέλα)	Αργολίδας	37 ^ο 36'	22 ^ο 47'	11,2
Αργαστόλι	Κεφαλληνίας	38 ^ο 11'	20 ^ο 29'	22,0
Άρτα	Άρτας	39 ^ο 10'	21 ^ο 00'	10,5
Βέλος	Κορινθίας	37 ^ο 58'	22 ^ο 45'	20,0
Δράμα	Δράμας	41 ^ο 09'	24 ^ο 09'	104,0
Έδεσσα	Πέλλας	40 ^ο 58'	22 ^ο 03'	30,0
Ζάκυνθος	Ζακύνθου	37 ^ο 47'	20 ^ο 54'	7,9
Ηράκλειο	Ηρακλείου	35 ^ο 20'	25 ^ο 11'	39,3
Θεσσαλονίκη (Μίκρα)	Θεσσαλονίκης	40 ^ο 31'	22 ^ο 58'	4,8
Ιεράπετρα	Λασιθίου	35 ^ο 00'	25 ^ο 44'	10,0
Ιωάννινα	Ιωαννίνων	39 ^ο 42'	20 ^ο 49'	484,0
Καλαμάτα	Μεσσηνίας	37 ^ο 04'	22 ^ο 00'	11,1
Καρδίτσα	Καρδίτσας	39 ^ο 22'	20 ^ο 48'	111,1
Καρπενήσι	Ευρυτανίας	38 ^ο 54'	21 ^ο 47'	1001,0
Κάρυστος	Εύβοιας	38 ^ο 01'	24 ^ο 25'	10,0
Καστοριά	Καστοριάς	40 ^ο 27'	21 ^ο 17'	660,9
Κέρκυρα	Κερκύρας	39 ^ο 37'	19 ^ο 55'	4,0
Κοζάνη	Κοζάνης	40 ^ο 18'	21 ^ο 47'	625,0
Κομοτηνή	Ροδόπης	41 ^ο 07'	25 ^ο 24'	30,0
Κόνιτσα	Ιωαννίνων	40 ^ο 03'	20 ^ο 45'	542,0
Κύθηρα	Αττικής	36 ^ο 17'	23 ^ο 10'	316,6
Κως	Δωδεκανήσου	36 ^ο 47'	27 ^ο 04'	129,0
Λαμία	Φθιώτιδας	38 ^ο 51'	22 ^ο 24'	17,4

Πίνακας 3.3 Σταθμοί μέτρησης της ΕΜΥ (Πηγή ΤΕΕ) [4]

Πόλη	Περιοχή (Νομός)	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο Βαρομέτρου (m)
Λάρισα	Λαρίσης	39 ^ο 39'	22 ^ο 27'	73,6
Λευκάδα	Λευκάδας	38 ^ο 50'	20 ^ο 43'	1,0
Λήμνος	Λέσβου	39 ^ο 55'	25 ^ο 14'	4,6
Μεθώνη	Μεσσηνίας	36 ^ο 50'	21 ^ο 42'	33,0
Μήλος	Κυκλάδων	36 ^ο 43'	24 ^ο 27'	182,0
Μυτιλήνη	Λέσβου	39 ^ο 04'	26 ^ο 36'	4,0
Νάξος	Κυκλάδων	37 ^ο 06'	25 ^ο 23'	9,8
Ξάνθη	Ξάνθης	41 ^ο 08'	24 ^ο 53'	43,0
Πάρος	Κυκλάδων	37 ^ο 01'	25 ^ο 08'	33,5
Πάτρα	Αχαΐας	38 ^ο 15'	21 ^ο 44'	1,0
Πολύγυρος	Χαλκιδικής	40 ^ο 23'	23 ^ο 26'	545,0
Πύργος	Ηλείας	37 ^ο 40'	21 ^ο 18'	12,0
Ρέθυμνο	Ρεθύμνου	35 ^ο 21'	24 ^ο 31'	7,0
Ρόδος	Δωδεκανήσου	36 ^ο 24'	28 ^ο 07'	11,5
Σάμος	Σάμου	37 ^ο 42'	26 ^ο 55'	7,3
Σέρρες	Σερρών	41 ^ο 05'	23 ^ο 34'	34,5
Σητεία	Λασιθίου	35 ^ο 12'	26 ^ο 06'	115,6
Σκύρος	Ευβοίας	38 ^ο 54'	24 ^ο 33'	17,9
Σούδα	Χανίων	35 ^ο 33'	24 ^ο 07'	151,6
Σπάρτη	Λακωνίας	37 ^ο 04'	22 ^ο 25'	212,0
Σύρος	Κυκλάδων	37 ^ο 25'	24 ^ο 57'	72,0
Τανάγρα	Αττικής	38 ^ο 19'	23 ^ο 33'	140,1
Τρίκαλα	Θεσσαλίας	39 ^ο 33'	21 ^ο 46'	114,0
Τρίκαλα Ημαθίας	Ημαθίας	40 ^ο 36'	22 ^ο 33'	0,8
Τρίπολη	Αρκαδίας	37 ^ο 32'	22 ^ο 24'	650,9
Τυμπάκι	Ηρακλείου	35 ^ο 00'	24 ^ο 46'	6,7
Φλώρινα	Φλώρινας	40 ^ο 48'	21 ^ο 26'	617,0
Χαλκίδα	Εύβοιας	38 ^ο 28'	23 ^ο 36'	5,0
Χανιά	Χανίων	35 ^ο 29'	24 ^ο 07'	150,0
Χίος	Χίου	38 ^ο 28'	26 ^ο 08'	5,0
Χρυσούπολη	Καβάλας	40 ^ο 54'	24 ^ο 36'	5,4

3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων γεωθερμίας

Με τον όρο «Γεωθερμία», νοείται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Το έδαφος απορροφά το ½ της ηλιακής ακτινοβολίας και αποσβένει τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε βάθος μεγαλύτερο των 15 μέτρων είναι αμελητέα. Οι τοπικές θερμοκρασίες του εδάφους εξαρτώνται από το κλίμα, την κάλυψη, την κλίση και τις ιδιότητες του χώματος.

Η σημερινή τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης για οικιακές αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές.

Η διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος ονομάζεται γεωθερμική αντλία θερμότητας. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει σωλήνα μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου η οποία τοποθετείται εντός του εδάφους είτε εντός γεωτρήσεων. Σε συνδυασμό με υδρόψυκτη αντλία θερμότητας παρέχεται θέρμανση και ψύξη στο κτήριο. Εάν υπολογιστεί το κόστος ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στοιχίζουν λιγότερο από ένα σύστημα που καταναλώνει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

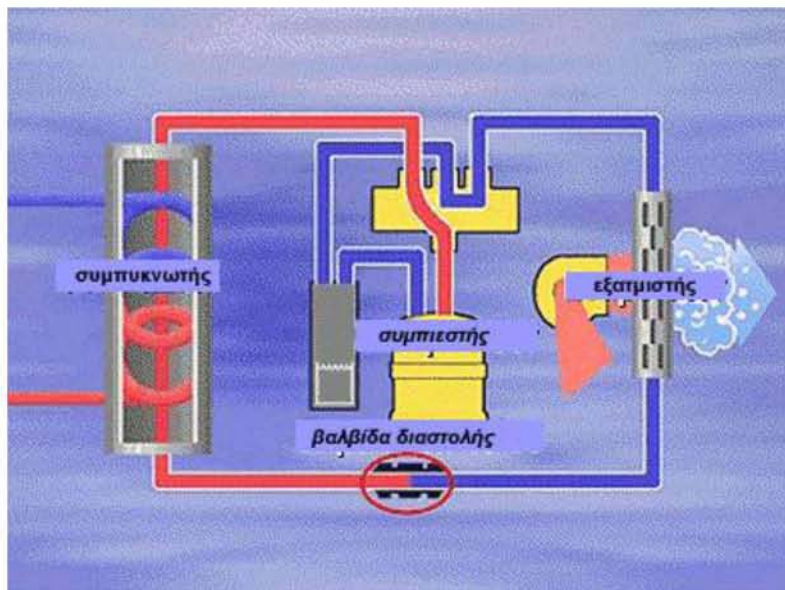
Τα συστήματα ΓΑΘ (Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας), εκτός από τη θέρμανση και τη ψύξη του χώρου με τρόπο οικονομικό και φιλικό προς το περιβάλλον, προσφέρουν και ζεστό νερό. Η ποσότητα θερμικής ενέργειας που παράγουν σε σχέση με την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν, κυμαίνεται μεταξύ 3 και 6, γεγονός που αποδεικνύει την υψηλή τους αποδοτικότητα. Επίσης έχουν μειωμένο κόστος συντήρησης και λειτουργικό κόστος, σταθερή απόδοση, υψηλή ποιότητα του παρεχόμενου αέρα καθώς και μειωμένα φορτία αιχμής για τον κλιματισμό.

Το σύστημα δε χρειάζεται λέβητα και λειτουργεί ακόμα και κάτω από τις πιο ακραίες καιρικές συνθήκες, υπό το μηδέν το χειμώνα και πάνω από 40°C το καλοκαίρι, διότι η αντλία θερμότητας με πηγή το νερό, τροφοδοτείται από το γεωθερμικό εναλλάκτη, με νερό αμετάβλητης θερμοκρασίας, ίσης περίπου με αυτή που επικρατεί στο υπέδαφος κάτω από το κτίριο. Η μείωση του κόστους θέρμανσης/κλιματισμού σε σχέση με τα αερόψυκτα συστήματα φτάνει το 30%. Επιπλέον των παραπάνω πλεονεκτημάτων, η μακροπρόθεσμη αξία του κτηρίου αυξάνεται.

Οι διατάξεις αυτές αποτελούνται από τον γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας νερού (γεωεναλλάκτης - κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα), ο οποίος αντλεί τη θερμότητα από τη γη, την αντλία θερμότητας και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας (συμβατικό σύστημα), το οποίο μεταφέρει τη θερμότητα στο εσωτερικό του σπιτιού, ενώ το καλοκαίρι με την αντίστροφη λειτουργία εξασφαλίζει την ψύξη του χώρου.

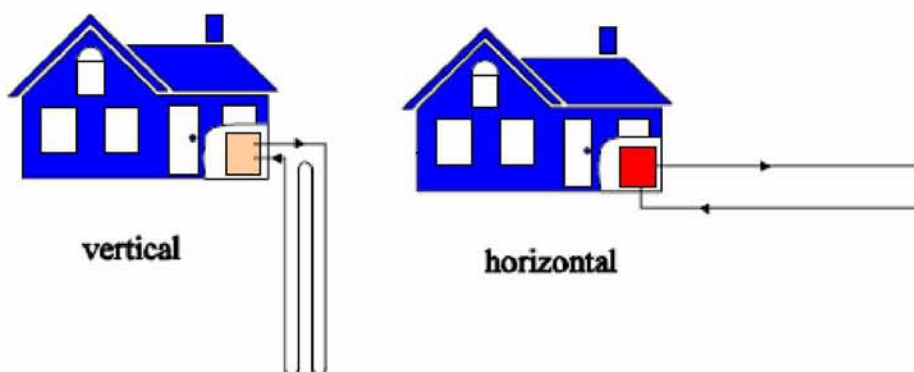
Η υδρόψυκτη αντλία θερμότητας είναι μια αντλία θερμότητας νερού-αέρα με αναστρέψιμο κύκλο και ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 3,5 και 35 kW. Σε μεγάλα κτίρια εγκαθίστανται πολλαπλές μονάδες. Η λειτουργία της έχει ως εξής: Ο Κύκλος Ψύξης χρησιμοποιεί ένα ψυκτικό υγρό που έχει την ιδιότητα να βράζει σε πολύ μικρότερη θερμοκρασία από ότι το νερό (5-10 °C).

Στον εξατμιστή, το υγρό εξατμίζεται και η κατάστασή του μεταβάλλεται από υγρή σε αέρια. Η θερμότητα που εξατμίζει το ψυκτικό υγρό προέρχεται από τον θερμό αέρα του χώρου. Στη συνέχεια το ψυκτικό υγρό περνά από την σπείρα του εξατμιστή και δίνει κάποια από την θερμότητά του και μειώνεται η θερμοκρασία του. Το αέριο μετακινείται στο συμπιεστή που ανυψώνει την πίεση και τη θερμοκρασία του.

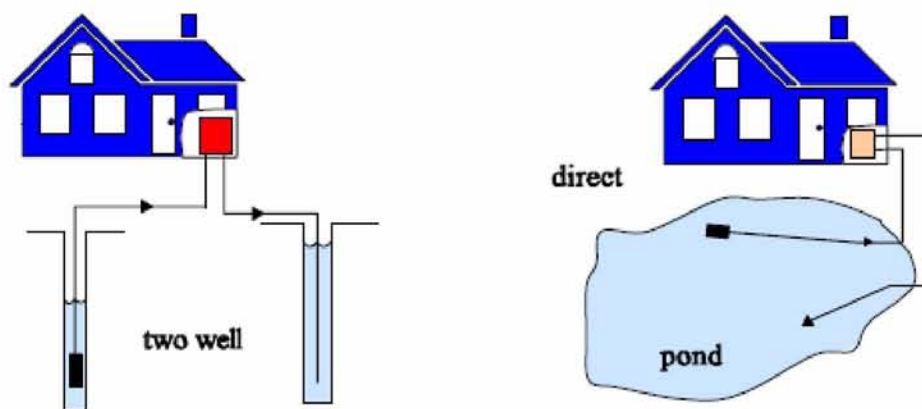


Σχήμα 3.1 Κύκλος ψύξης

Μετά ρέει στον συμπυκνωτή αποβάλλοντας μέρος της θερμότητας του. Όταν φύγει από τον συμπυκνωτή βρίσκεται σε υγρή κατάσταση αλλά έχει μεγάλη πίεση η οποία εκτονώνεται στην βαλβίδα εκτόνωσης. Η ολοκλήρωση του κύκλου γίνεται όταν το υγρό επιστρέψει στον εξατμιστή.



Σχήμα 3.2 Συστήματα ΓΑΘ κλειστού βρόχου.



Σχήμα 3.3 Συστήματα ΓΑΘ ανοιχτού βρόχου.

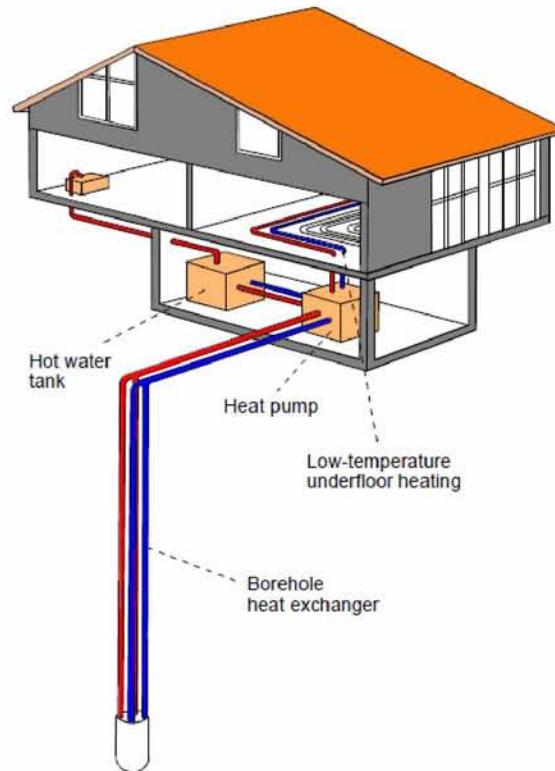
Τα συστήματα ΓΑΘ έχουν δύο βασικές διαμορφώσεις: κλειστού και ανοιχτού βρόχου. Τα συστήματα κλειστού βρόχου (Σχήμα 3.1) εκμεταλλεύονται την γεωθερμική ενέργεια του εδάφους με την κυκλοφορία κατάλληλου υγρού σε κλειστό κύκλωμα πλαστικών συνήθως σωληνώσεων. Οι σωλήνες μπορεί να τοποθετούνται κάθετα ή οριζόντια σε σχέση με το έδαφος. Στην οριζόντια εγκατάσταση το βάθος φτάνει τα 1 με 2 μέτρα, ενώ στην κατακόρυφη τα 100 μέτρα.

Η κυκλοφορία του νερού μέσα στο έδαφος οδηγεί στην αποβολή ή τη συλλογή θερμότητας ανάλογα με την εποχή. Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου (Σχήμα 3.2) κάνουν χρήση υπογείων υδάτων από γεωτρήσεις ή υδάτων από λίμνες τα οποία αντλούνται και κυκλοφορούν άμεσα στο σύστημα. Στη συνέχεια διοχετεύεται σε μία λίμνη ή ρυάκι. Η επιλογή μεταξύ των διαφόρων τύπων συστημάτων ΓΑΘ εξαρτάται από το είδος του εδάφους, την διαθεσιμότητα σε χώρο και υδάτινους πόρους.

Η απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ περιγράφεται με τον Συντελεστή Απόδοσης για λειτουργία θέρμανσης και με το λόγο ενεργειακής απόδοσης για λειτουργία ψύξης. Τα μεγέθη αυτά προκύπτουν διαιρώντας την παραγόμενη με την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ για τη λειτουργία του συμπιεστή. Η απόδοση ενός συστήματος ΓΑΘ παίρνει τιμές από 3 ως 6 με τον παρόντα εξοπλισμό. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει παράγει 3 έως 6 μονάδες θερμικής ενέργειας.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να προσφέρουν θέρμανση και ψύξη σε έναν χώρο, ανεξαρτήτως τοποθεσίας, με μεγάλη ευελιξία στην ικανοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων. Στη δυτική και κεντρική Ευρώπη η αγορά για τα συστήματα ΓΑΘ ολοένα μεγαλώνει, καθιστώντας την αποκεντρωμένη εκδοχή τους ιδιαίτερα δημοφιλή. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται αύξηση του αριθμού των εταιρειών που ασχολούνται με τον τομέα αυτόν. Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες η κύρια ανάγκη επικεντρώνεται στη θέρμανση και πολύ λιγότερο στην ψύξη των χώρων, με αποτέλεσμα τα συστήματα ΓΑΘ να λειτουργούν σχεδόν αποκλειστικά έτσι. Με την διάδοση της τεχνολογίας ΓΑΘ στις νότιες και ανατολικές

χώρες της Ευρώπης η ανάγκη για συνδυασμένη λειτουργία θέρμανσης και ψύξης γίνεται μεγαλύτερη.



Σχήμα 3.4 Τυπική εγκατάσταση αντλίας θερμότητας σε κατοικία.

Τα συστήματα με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι συμφέροντα σε κατοικίες όπου απαιτείται θέρμανση και ψύξη, σε περιοχές με μεγάλες εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας. Μπορούν να ενταχθούν ευκολότερα σε νέες κατασκευές ή κατά τη διαδικασία της συντήρησης υπάρχοντων εγκαταστάσεων. Όσον αφορά τη θέρμανση, η αποδοτικότητα οφείλεται στις υψηλές τιμές του πετρελαίου ή του αερίου, ενώ για την ψύξη η αποφυγή της υψηλής κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος σε ώρες αιχμής μειώνει το λογαριασμό προς την επιχείρηση ηλεκτρισμού. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι διαθέσιμος ο σκαπτικός εξοπλισμός και να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα του κόστους εγκατάστασης του γεωεναλλάκτη, σε συνδυασμό με την οικονομική δυνατότητα του ιδιοκτήτη.

Σε πολυτελείς κατοικίες, συνήθως το κόστος της επένδυσης είναι υψηλότερο, αλλά αποσβένεται αν ληφθούν υπόψη τα οικονομικά οφέλη και η παρεχόμενη άνεση. Σε εμπορικά κτίρια ο χρόνος απόσβεσης είναι μικρότερος των 5 ετών, ενώ γίνεται χρήση μικρότερου εσωτερικού χώρου.

3.4 Ανάλυση γεωθερμικού οριζόντιου συστήματος

Για τη συγκέντρωση ενέργειας από το έδαφος χρησιμοποιούνται κατά κανόνα αντλίες θερμότητας, οι οποίες ακολουθούν τη βασική αρχή λειτουργίας των ψυγείων: Από το προϊόν ψύξης αφαιρείται θερμότητα και μέσω πτερυγίων ψύξης διοχετεύεται στο περιβάλλον. Κατ' αναλογία, για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, αντλείται από το υπέδαφος θερμότητα μέσω ενός κλειστού κυκλώματος σωλήνων.

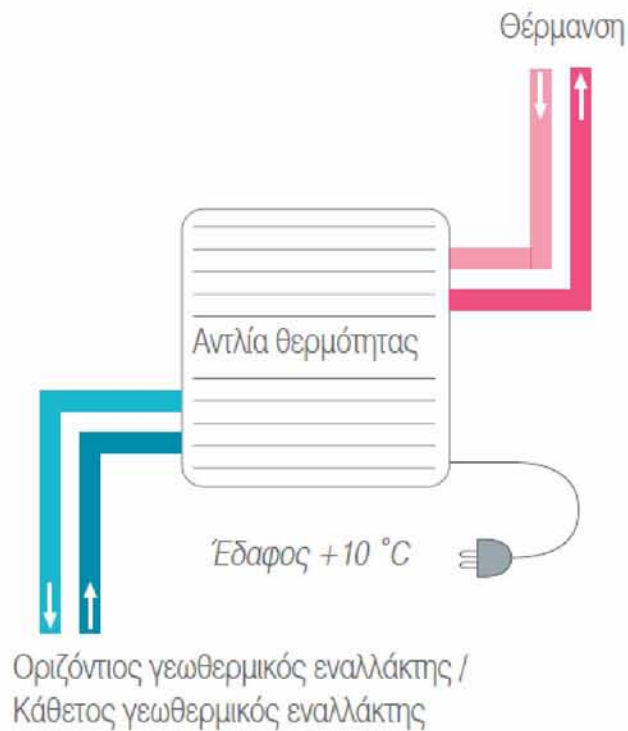
Αυτή η συγκέντρωση ενέργειας πραγματοποιείται μέσω:

- κατακόρυφα τοποθετημένων στο έδαφος, κάθετων γεωθερμικών εναλλακτών, σε τυπικό βάθος 70 - 150 m.
- οριζόντια τοποθετημένων γεωθερμικών εναλλακτών ενέργειας, σε βάθος περίπου 1,5 m ή
- σωλήνων ενσωματωμένων σε πασσάλους θεμελίωσης (οι επονομαζόμενοι «ενεργειακοί πάσσαλοι»).

Το υγρό που κυκλοφορεί στους σωλήνες χρησιμεύει ως μέσο μεταφοράς θερμότητας. Με τη βοήθεια μιας αντλίας θερμότητας, η γεωθερμική ενέργεια που συγκεντρώνεται με αυτόν τον τρόπο, αυξάνει τη θερμοκρασία που απαιτείται για τη θέρμανση και τροφοδοτείται στο κύκλωμα θέρμανσης.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί σε πλήθος διαφόρων εφαρμογών: Στη θέρμανση και στη ψύξη κατοικιών, σε βιομηχανικά, επαγγελματικά και διοικητικά κτήρια έως και για την αποτροπή συσσώρευσης χιονιού και πάγου σε χώρους στάθμευσης, γέφυρες ή αποβάθρες. Ουσιαστικά, οι πολλαπλές δυνατότητες της αξιοποίησης γεωθερμικής ενέργειας είναι απεριόριστες.

Με αυτόν τον τρόπο, της φιλικής προς το περιβάλλον και ασφαλούς συγκέντρωσης θερμότητας, μπορεί αφενός να μειωθεί το ενεργειακό κόστος και αφετέρου να μειωθούν οι εκπομπές του CO₂.



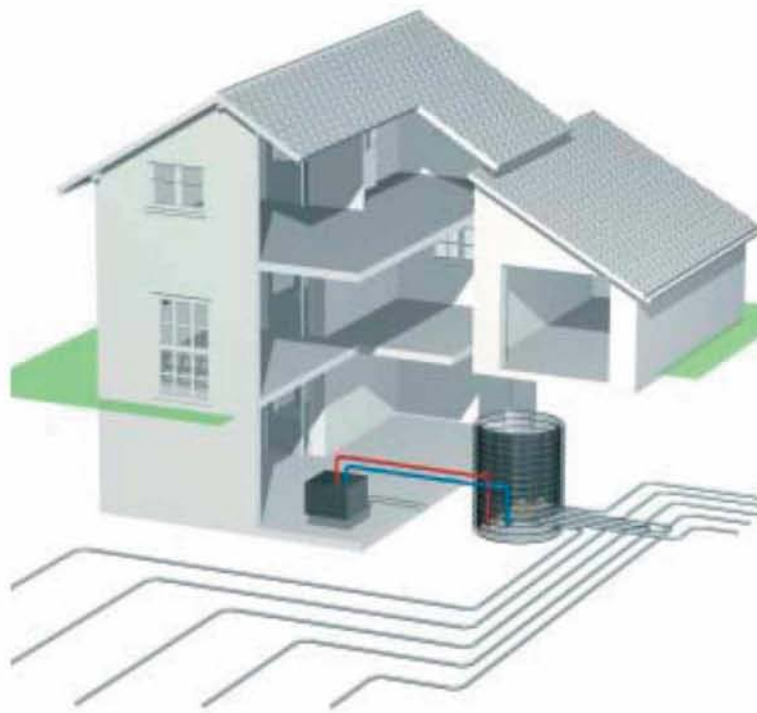
Σχήμα 3.5 Λειτουργία ΓΑΘ

3.4.1 Παροχή αντλίας νερού

Στον εναλλάκτη, δηλαδή στις σωληνώσεις που θα τοποθετηθούν εντός του εδάφους σε βάθος 1.5 m, η ροή νερού που θα πρέπει να παρέχεται, δίνεται από τον τύπο:

$$Q = mC_p\Delta\theta$$

Σχέση (4.1)



Σχήμα 3.6 Γεωθερμικό σύστημα με οριζόντιους εναλλάκτες

3.4.2 Μήκος εναλλάκτη

$$\text{Μήκος Εναλλάκτη: } L = \frac{Q}{K} \quad \text{Σχέση (4.2)}$$

Με βάση την παραπάνω σχέση, για τον υπολογισμό του μήκους του εναλλάκτη L θα πρέπει να διαιρέσουμε την θερμική ισχύ της ΓΑΘ με τον συντελεστή αγωγιμότητας του εναλλάκτη. .

Συνήθως, για την εγκατάσταση χρειάζεται μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια κοντά στο κτίριο προς θέρμανση. Μόνο τότε οι οριζόντιοι γεωθερμικοί εναλλάκτες αποτελούν ιδανική λύση, αντί των κάθετων γεωθερμικών εναλλακτών, καθώς χαρακτηρίζονται από ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης και τοποθετούνται απλά και οικονομικά, χωρίς να απαιτείται ειδική διάτρηση εδάφους.

Οι συλλέκτες γεωθερμικής ενέργειας αποτελούνται από πολυαιθυλένιο χημικής δικτύωσης. Καθώς αυτό το υλικό καθιστά το σωλήνα ιδιαίτερα ανθεκτικό έναντι φθορών και σημειακών φορτίων, το υλικό εκσκαφής μπορεί κατά κανόνα να επαναχρησιμοποιηθεί ως υλικό υποστρώματος. Έτσι καθίσταται περιττή η δαπανηρή αντικατάσταση εδάφους και μειώνεται το υψηλό κόστος τοποθέτησης. Επίσης λόγω της βελτιωμένης θερμικής αγωγιμότητας του μεικτού εδάφους έναντι της άμμου, αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης και μειώνεται το κόστος λειτουργίας.

Οι σωλήνες χωρίς χημική δικτύωση μορίων πολυαιθυλενίου (PE-100) πρέπει να τοποθετούνται με επικάλυψη από άμμο, καθώς διαφορετικά μπορεί να προκληθεί θραύση από πέτρες που πιέζουν τους σωλήνες. Οι σωλήνες από πολυαιθυλένιο χημικής δικτύωσης (PEXα) είναι ανθεκτικοί σε τέτοια σημειακά φορτία και μπορούν να τοποθετηθούν στο υπάρχον έδαφος, χωρίς επικάλυψη από άμμο.

Όσο καλύτερη είναι η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους, τόσο περισσότερη θερμότητα μπορεί να αντληθεί από αυτό. Έτσι αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας και μειώνεται η κατανάλωση ρεύματος. Η άμμος έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα, ενώ τα μεικτά εδάφη που συγκρατούν την υγρασία σημαντικά μεγαλύτερη.



Εικόνα 3.7 Εγκατάσταση οριζόντιων εναλλακτών. (Πηγή εικόνας: [6])

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (STES)

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο, αναφερθήκαμε στην γνωστή τεχνολογία των γεωθερμικών συστημάτων, ως μέσα αξιοποίησης της υπόγειας θερμότητας, για την θέρμανση και ψύξη χώρων και ζεστού νερού χρήσης. Στην παρούσα ενότητα θα αναφερθούμε στην διεποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας και στις διάφορες τεχνολογίες υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Στα περισσότερα κλίματα υπάρχει μια διαφορά χρόνου μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η ασυμφωνία μπορεί να λυθεί με την αποθήκευση ενέργειας. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη αποθήκευση. Σε αυτό το κεφάλαιο συζητείται η διεποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας και η ταξινόμηση των συστημάτων που υλοποιούν αυτό το σκοπό.

Εισαγωγή

Ο άνθρωπος έχει χρησιμοποιήσει παθητικά αποθηκευμένη ενέργεια σε όλη την ιστορία του. Πρώιμο παράδειγμα αποτελεί η επιλογή κατοικίας σε φυσικά σπήλαια, που περιβάλλονται από βράχους και χώματα. Αυτές οι κατοικίες ήταν ζεστές το χειμώνα και κρύες το καλοκαίρι, επειδή η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας δεν διεισδύει βαθιά στο έδαφος..

Υπάρχουν επίσης πολλά παραδείγματα με σπήλαια πάγου, όπου ο πάγος αποθηκευόταν από τον χειμώνα, για την ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Μικρής κλίμακας βραχυπρόθεσμη αποθήκευση του ζεστού νερού, γίνεται στους ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες σε μονοκατοικίες.

Ένα από τα πρώτα είδη των τεχνικών αποθήκευσης ενέργειας, ήταν οι μεγάλες δεξαμενές νερού, για τη μείωση της μέγιστης ζήτησης ισχύος. Τέτοια συστήματα αποθήκευσης, είναι πλέον κοινά στην περιοχή των συστημάτων θέρμανσης και επίσης, σε ηλιακές εφαρμογές. Τα συστήματα αποθήκευσης, χρειάζονται σε ηλιακές εφαρμογές, λόγω της ημερήσιας διακύμανσης στην ηλιακή ένταση. Με αυτόν τον τρόπο η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μετά τη δύση του ηλίου. Η διακύμανση στην ηλιακή ένταση, έχει επίσης σαν αποτέλεσμα, την ανάγκη της εβδομαδιαίας και εποχιακής αποθήκευσης.

Το ενδιαφέρον για μεγάλης κλίμακας εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας, ξεκίνησε με την πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του εβδομήντα. Κατά την έναρξη της έρευνας εποχιακής αποθεματοποίησης, ο μακροπρόθεσμος στόχος ήταν να αποθηκευθεί ηλιακή θερμότητα από το καλοκαίρι στο χειμώνα, κυρίως για θέρμανση χώρων. Η θερμότητα των βιομηχανικών αποβλήτων, ήταν μια άλλη πηγή θερμότητας, με μεγάλες δυνατότητες. Αυτό

εξακολουθεί να είναι γεγονός, αλλά τα τελευταία χρόνια η ψύξη έχει γίνει ένα όλο και πιο σημαντικό ζήτημα και τα Συστήματα Τοπικής Ψύξης (DC) αυξάνονται στην Ευρώπη. Μέχρι τώρα, αυτά τα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί παθητικά σε ψυχρό περιβάλλον, αλλά τώρα βλέπουμε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για μεγάλης κλίμακας διεποχιακή αποθήκευση, σε συστήματα ψύξης.

4.1 Διεποχιακή αποθήκευση θερμότητας

Διεποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας (ή STES) είναι η αποθήκευση της θερμότητας ή του ψύχους για χρονικές περιόδους που φτάνουν έως και αρκετούς μήνες. Η θερμική ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί όταν είναι διαθέσιμη και να χρησιμοποιηθεί όποτε χρειάζεται, όπως σε αντίθετες εποχές.

Τα αποθέματα του συστήματος STES μπορούν να εξυπηρετήσουν μεμονωμένα κτίρια ή συγκροτήματα. Μεταξύ των εποχιακών αποθηκών που χρησιμοποιούνται για θέρμανση, η διαφορά θερμοκρασίας που συμβαίνει κατά την αποθήκευση, κατά τη διάρκεια ενός χρόνου, μπορεί να είναι αρκετές δεκάδες βαθμοί. Ορισμένα συστήματα χρησιμοποιούν βοηθητικά και όταν χρειάζεται μια αντλία θερμότητας.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τεχνολογίας STES, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από μικρά κτίρια με δίκτυα θέρμανσης μέχρι συστήματα που εξυπηρετούν ολόκληρες κοινότητες. Σε γενικές γραμμές, η απόδοση αυξάνεται και το κόστος κατασκευής μειώνεται ανάλογα με το μέγεθος. Οι διάφοροι τύποι εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι οι εξής:

- UTES (υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας), στην οποία το μέσο αποθήκευσης μπορεί να είναι γεωλογικά στρώματα όπως χώμα ή ταμειυτήρες (υδροφόροι ορίζοντες). Οι δύο πιο βασικές τεχνολογίες UTES θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.
- Ανοίγματα στο χώμα (pits). Γεμάτα και ρηχά σκαμμένα ανοίγματα στο χώμα, γεμισμένα με χαλίκια και νερό, τα οποία καλύπτονται με ένα στρώμα μόνωσης και στη συνέχεια με χώμα, και χρησιμοποιούνται για γεωργικούς ή άλλους σκοπούς.
- Αποθήκες νερού μεγάλης κλίμακας. Μεγάλης κλίμακας μονωμένες δεξαμενές αποθήκευσης STES με νερό, μπορούν να κατασκευαστούν πάνω από το έδαφος, και στη συνέχεια καλύπτονται με χώμα.
- Οριζόντιοι εναλλάκτες θερμότητας. Για μικρές εγκαταστάσεις, ένας εναλλάκτης θερμότητας με πλαστικό σωλήνα, μπορεί να είναι ρηχά θαμμένος σε ένα μεγάλο χαντάκι, για να δημιουργηθεί ένα STES.

- Ημι-υπόγεια κτίρια, με παθητική αποθήκευση θερμότητας στο περιβάλλον έδαφος.

4.1.1 Χρήση STES σε παθητικά κτήρια

Τα μικρά παθητικά κτήρια συνήθως χρησιμοποιούν το παρακείμενο έδαφος ως εποχιακή αποθήκη θερμότητας. Σε βάθος περίπου 15 μέτρων υπό το έδαφος, η θερμοκρασία είναι φυσικώς σταθερή σε ετήσια κλίμακα. Τέτοιες αποθήκες, λειτουργούν μέσα σε ένα στενό εύρος θερμοκρασιών αποθήκευσης κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε αντίθεση με τα άλλα συστήματα STES, τα οποία προορίζονται για μεγάλες ετήσιες διαφορές θερμοκρασίας.

Δύο βασικοί τύποι παθητικών ηλιακών τεχνολογιών κτιρίου αναπτύχθηκαν.

- Η πρώτη μέθοδος λέγεται "παθητική ετήσια αποθήκευση θερμότητας" (PAH), όπου τα παράθυρα του κτιρίου και άλλες εξωτερικές επιφάνειες, συλλαμβάνουν την ηλιακή θερμότητα που μεταφέρεται με αγωγή μέσα από τα πατώματα, τους τοίχους (και μερικές φορές) την οροφή, σε παρακείμενο θερμικά ρυθμισμένο έδαφος.
- Η άλλη μέθοδος ονομάζεται "ετήσια γεωθερμική ηλιακή" (AGS) και χρησιμοποιεί ένα ξεχωριστό ηλιακό συλλέκτη για να συλλάβει τη θερμότητα. Η συλλεγόμενη θερμότητα παραδίδεται σε μία συσκευή αποθήκευσης (χώμα, χαλίκια ή δεξαμενή νερού), είτε παθητικά από τη συναγωγή του μέσου μεταφοράς θερμότητας (π.χ. αέρας ή νερό), είτε ενεργητικά με άντληση.

4.1.2 Μικρά κτίρια, με εσωτερικές δεξαμενές νερού STES

Μια σειρά από κατοικίες και μικρές πολυκατοικίες, έδειξαν ότι μπορούν να συνδυάζουν μια μεγάλη δεξαμενή νερού στο εσωτερικό για την αποθήκευση θερμότητας με οροφή ηλιακών θερμικών συλλεκτών.

Στο Βερολίνο, το κτίριο μηδενικών αναγκών θερμότητας, χτίστηκε το 1997 - στα πλαίσια του IEA Task 13- ως έργο επίδειξης κατοικιών χαμηλής ενέργειας. Αποθηκεύει νερό σε θερμοκρασίες μέχρι 90 °C μέσα σε μία δεξαμενή 20 m³ στο υπόγειο. Από το 2011, ο σχεδιασμός πλέον αναπαράγεται σε νέα κτίρια.

4.1.3 Χρήση STES σε Θερμοκήπια

Η τεχνολογία STES χρησιμοποιείται επίσης εκτενώς για εφαρμογές όπως η θέρμανση των θερμοκηπίων. Το ATES (αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο), είναι το είδος της αποθήκευσης που βρίσκεται συνήθως σε χρήση στην εφαρμογή αυτή. Το καλοκαίρι, το θερμοκήπιο ψύχεται με νερό του εδάφους, που αντλείται από τη "κρύα δεξαμενή" του υδροφόρου ορίζοντα. Το νερό θερμαίνεται κατά τη διαδικασία, και επιστρέφεται στη "θερμή δεξαμενή" στον ταμιευτήρα. Όταν το θερμοκήπιο χρειάζεται θερμότητα, το νερό αποσύρεται από τη θερμή γεώτρηση, ψύχεται κατά τη λειτουργία θέρμανσης, και επιστρέφεται στη ψυχρή γεώτρηση. Αυτό είναι ένα πολύ αποτελεσματικό σύστημα ελεύθερης ψύξης, το οποίο χρησιμοποιεί μόνο κυκλοφορητές και όχι αντλίες θερμότητας.

4.2 Αποθήκευση χιονιού

Η εποχιακή αποθήκευση του χιονιού έχει μεγάλες δυνατότητες ψύξης σε ψυχρότερες περιοχές. Λόγω των θερμικών ιδιοτήτων του χιονιού, η αποθήκευση η ίδια δεν έχει κανένα όριο στην ισχύ ψύξης.

Η αποθήκευση του χιονιού μπορεί να παρέχει ψύξη το καλοκαίρι με πολύ χαμηλότερο κόστος, σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους (έχει καταγραφεί τιμή 10 € / τόνο σε διάφορες μελέτες περίπτωσης). Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι τα μη ωφέλιμα παράγωγα της διαδικασίας περιορίζονται στο σπήλαιο, πράγμα που σημαίνει ότι τα ιζήματα και το νερό που προκύπτει από το λιώσιμο του πάγου, αντιμετωπίζονται τοπικά.

Η αποθήκευση του χιονιού μπορεί να δώσει αξιοποιήσιμα προϊόντα είτε με βάση το φυσικό χιόνι, είτε μετά από επεξεργασία αυτού. Το χιόνι μπορεί να αποθηκεύεται σε κτήρια, στο έδαφος, ή υπόγεια. Το κτίριο αποθήκευσης θα πρέπει να αποτρέπει το χιόνι από την τήξη, ενώ τα συστήματα αποθήκευσης επί του εδάφους πρέπει να είναι θερμομονωμένα.

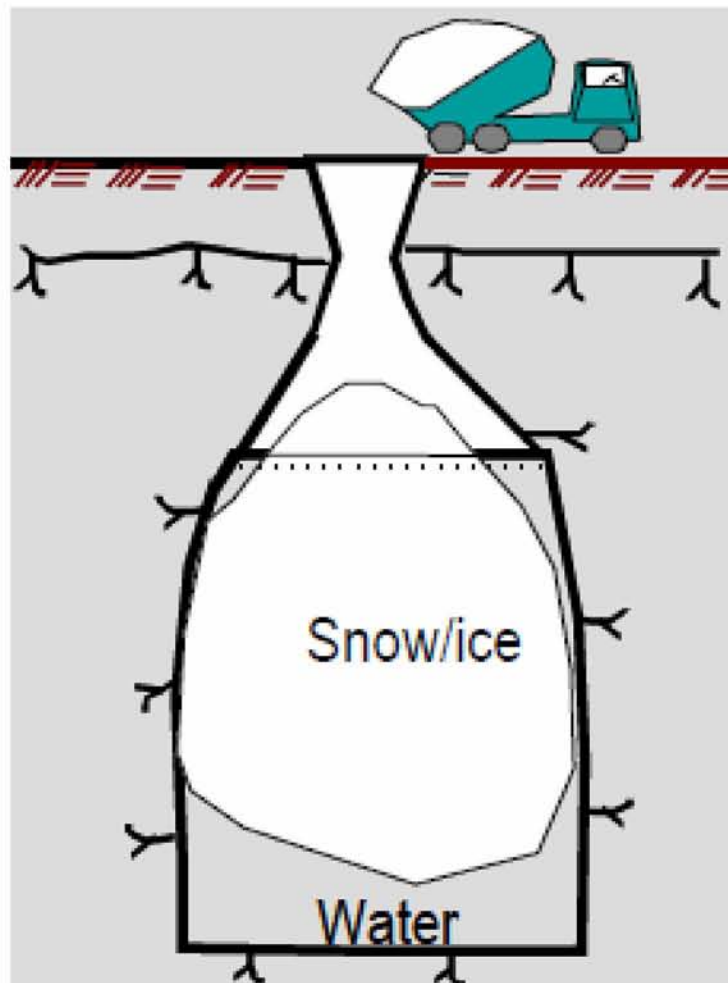
Η θερμική μόνωση μπορεί να σχηματίζεται από πολλά διαφορετικά υλικά. Τα πριονίδια και τα ροκανίδια έχουν αποδειχθεί άριστα υλικά.

Το φυσικό χιόνι μπορεί να συλλεχθεί, από τους δρόμους, όπου ούτως ή άλλως πρέπει να αφαιρεθεί. Το χιόνι μπορεί επίσης να παραχθεί με διατάξεις παραγωγής χιονιού (snow guns) τα οποία παράγουν αποδοτικά το χιόνι από αέρα θερμοκρασίας κάτω από -2 °C. Η απόδοση των συστημάτων παραγωγής χιονιού κυμαίνεται από 1:100 - 1:200, ανάλογα με την υγρασία και τη θερμοκρασία του αέρα [5].

Περίπου 100 συστήματα αποθήκευσης χιονιού (σε κτήρια) είναι σε λειτουργία στην Ιαπωνία. Στη Σουηδία, μία αποθήκη λάκκου έχει τεθεί σε

λειτουργία από το 2000. Το σύστημα λειτουργεί για την ψύξη του περιφερειακού νοσοκομείου της πόλης Σούντσβαλ κατά τη διάρκεια των μηνών Μαΐου – Σεπτεμβρίου. Το συγκεκριμένο σύστημα θεωρείται πολύ επιτυχημένο καθώς παρέχει ψύξη σε σημαντικά χαμηλότερο κόστος από τα συμβατικά συστήματα ψύξης.

Η καλύτερη μέθοδος για αποθήκευση χιονιού είναι τα σπήλαια. Αυτό το είδος της αποθήκευσης χιονιού δεν έχει ακόμη δοκιμαστεί, αλλά θεωρείται πιο αποδοτικό, καθώς δεν απαιτεί θερμική μόνωση. Σπήλαιο θα μπορούσε να κατασκευαστεί όπου η ζήτηση ψύξης είναι υψηλή, δηλαδή στο κέντρο μιας πόλης.



Εικόνα 4.1 Περίγραμμα από χιόνι σε υπόγειο σπήλαιο.
(Πηγή εικόνας: [7])

4.3 CTES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε σπήλαια)

Αποθήκες θερμικής ενέργειας μπορούν να δημιουργηθούν σε πλημμυρισμένα ορυχεία, θαλάμους, ή εγκαταλελειμμένες υπόγειες αποθήκες

πετρελαίου, αν είναι αρκετά κοντά στη πηγή θερμότητας. Τα συστήματα CTES δεν είναι τόσο συνηθισμένα και υπάρχει μόνο ένας μικρός αριθμός εφαρμογών σήμερα, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους. Χρησιμοποιούνται υπόγεια σπήλαια, συμπεριλαμβανομένων εγκαταλελειμμένων ορυχείων και αποθηκών πετρελαίου, για να αποθηκεύσουν ζεστό υπόγειο νερό. Το CTES έχει το πλεονέκτημα της παροχής υψηλής θερμικής ισχύος απλά με την άντληση του νερού μέσα και έξω από το σπήλαιο γρηγορότερα.

4.4 Ρηχά συστήματα εξαγωγής

Σε περιοχές όπου είναι διαθέσιμες μεγαλύτερες εκτάσεις γης, χρησιμοποιούνται οριζόντια συστήματα σωληνώσεων για την εξαγωγή θερμότητας και ψύξης. Σε ψυχρότερα κλίματα χρησιμοποιούνται οι αντλίες θερμότητας για να εξαγάγουν τη θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ το έδαφος χρησιμοποιείται για την άμεση ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Σε ένα θερμότερο κλίμα η κατάσταση θα ήταν αντίστροφη, η θερμότητα από τα μηχανήματα ψύξης απορρίπτεται στο έδαφος και αυτή η θερμότητα χρησιμοποιείται για την απευθείας θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Το οριζόντιο σύστημα σωλήνων στο έδαφος τοποθετείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Αν είναι διαθέσιμες μεγάλες εκτάσεις γης, οι σωλήνες τοποθετούνται συνήθως σε γραμμές με μερικά μέτρα απόσταση πάνω από την περιοχή. Αν διατίθενται μικρότερες περιοχές, ο σωλήνας τοποθετείται με ένα πιο συμπαγές τρόπο. Διαφορετικοί τύποι συλλεκτών είναι διαθέσιμοι.

Ο στόχος στις πιο συμπαγείς μορφές συλλεκτών θερμότητας εδάφους, είναι η μείωση της χρήσης γης. Αρκετοί σωλήνες στο ίδιο χαντάκι, σημαίνουν ότι το συνολικό μήκος του σωλήνα αυξάνεται, ενώ το μήκος της τάφρου μειώνεται.



Εικόνα 4.2 Τοποθέτηση οριζόντιων σωλήνων για την εξαγωγή θερμότητας (Πηγή εικόνας: [7])

4.5 Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού

Η δεξαμενή αποθήκευσης από ανοξείδωτο χάλυβα ή οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι συνήθως υπόγεια προκειμένου να μειωθεί η απώλεια θερμότητας. Για να μειθούν οι απώλειες, ένα υψηλό επίπεδο μόνωσης θα πρέπει να περιβάλλει το δοχείο αποθήκευσης.

Το κύριο πρόβλημα του συγκεκριμένου συστήματος αποθήκευσης είναι το υψηλό κόστος και οφείλεται:

- Στα έργα που πρέπει να γίνουν στο έδαφος
- Στις κατασκευές από σκυρόδεμα
- Στη μόνωση
- Στα έργα για την πρόληψη των διαρροών και για την προστασία από την υγρασία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ UTES

5.1 Σύνδεση ΓΑΘ και UTES

Τα ΓΑΘ και UTES είναι συστήματα που εφαρμόζονται σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Σε ορισμένες χώρες τα συστήματα αυτά θεωρούνται ήδη ως βασική επιλογή του σχεδιασμού, για τη θέρμανση και την ψύξη. Σε άλλες χώρες, η εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών είναι πολύ πρόσφατη.

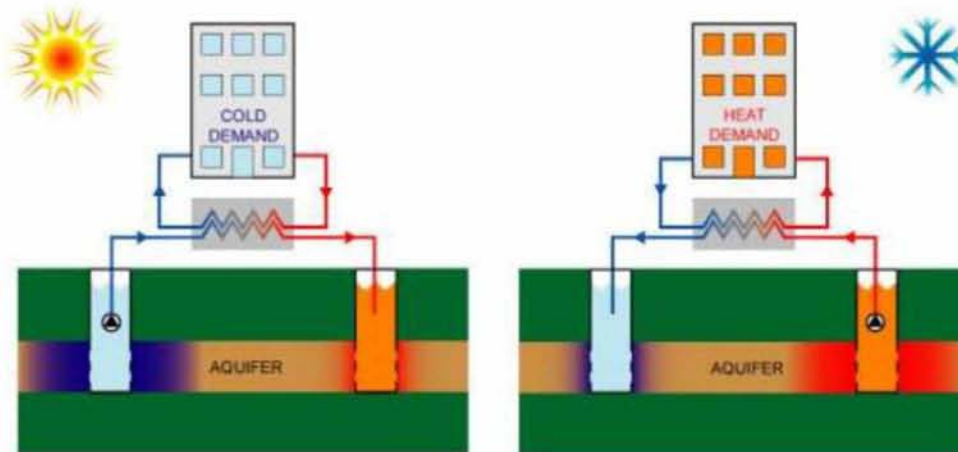
Τα υπόγεια συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (UTES) αναφέρονται στη χρήση του εδάφους, για την αποθήκευση και την ανταλλαγή θερμότητας, με σκοπό την παροχή αποτελεσματικής θέρμανσης και ψύξης για τα κτίρια. Έχει αποδειχθεί ως ένα βιώσιμο σύστημα θέρμανσης και ψύξης για κατοικίες, εμπορικά και δημόσια κτίρια σε όλη την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Τα UTES έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για την αποτελεσματική θέρμανση και ψύξη των κτιρίων.

Τα υπόγεια συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (UTES) και τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ) χρησιμοποιούν το υπέδαφος, για ανταλλαγή θερμικής ενέργειας, για την αποδοτική θέρμανση και ψύξη των κτιρίων. Η εφαρμογή των συστημάτων ΓΑΘ βασίζεται στη φυσική θερμοκρασία εδάφους. Η ΓΑΘ αφαιρεί θερμότητα από το έδαφος το χειμώνα και διοχετεύει τη θερμότητα στο έδαφος το καλοκαίρι. Η εφαρμογή των συστημάτων UTES, βασίζεται στην αποθήκευση της θερμικής ενέργειας στο υπέδαφος για μετέπειτα χρήση. Η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απευθείας θέρμανση ή ψύξη, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με μια αντλία θερμότητας. Σε γενικές γραμμές δύο βασικοί τύποι UTES μπορούν να διακριθούν:

- A.T.E.S. (Aquifer Thermal Energy Storage), δηλαδή αποθήκευση θερμικής ενέργειας με χρήση ταμειυτήρα
- B.T.E.S. (Borehole Thermal Energy Storage), δηλαδή αποθήκευση θερμικής ενέργειας με γεωτρήσεις

5.2 ATES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας με χρήση ταμιευτήρα)

Ένα ATES σύστημα, είναι ένα μεγάλο βελτιστοποιημένο σύστημα ανοιχτού βρόχου, το οποίο έχει ως στόχο την επίτευξη της εποχιακής θερμικής αποθήκευσης. Αυτό γίνεται αντιστρέφοντας την εξόρυξη και την έγχυση των υπόγειων υδάτων εποχιακά. Η αρχή φαίνεται στο Σχήμα 5.1



Σχήμα 5.1 Αρχή Λειτουργίας των ATES [6]

Ένα σύστημα ATES αποτελείται από ένα ή και περισσότερα ζεύγη γεωτρήσεων, μέσα σε ένα βαθύ ταμιευτήρα, ο οποίος βρίσκεται μεταξύ αδιαπέραστων γεωλογικών στρωμάτων από πάνω και από κάτω και από εναλλάκτες θερμότητας. Οι μισές γεωτρήσεις προορίζονται για την άντληση νερού και οι άλλες μισές για επανεισαγωγή, έτσι ώστε ο ταμιευτήρας να διατηρείται σε υδρολογικό ισοζύγιο, χωρίς καθαρή εκχύλιση. Η θερμότητα (ή το ψύχος) έχει ως μέσο αποθήκευσης το νερό και το υπόστρωμα που καταλαμβάνει.

Οι γεωτρήσεις πρέπει να διαχωρίζονται με μια αρκετά μεγάλη απόσταση, για να καταστέλλεται η εμφάνιση θερμικής σύζευξης, εντός του χρόνου αποθήκευσης των συγκεκριμένων συστημάτων.

Το καλοκαίρι, τα υπόγεια ύδατα εξάγονται από τη ψυχρή γεώτρηση και χρησιμοποιούνται για σκοπούς ψύξης. Το προθερμασμένο νερό εγχέεται στη θερμή γεώτρηση. Το χειμώνα η διαδικασία αντιστρέφεται. Νερό αντλείται από τη θερμή γεώτρηση και εφαρμόζεται σαν πηγή θερμότητας, π.χ. ως πηγή θερμότητας με χαμηλή θερμοκρασία για μια αντλία θερμότητας. Η αντλία θερμότητας παρέχει ένα μέρος της θέρμανσης. Το ψυχθέν νερό κατόπιν εγχέεται μέσα στη ψυχρή γεώτρηση και πάλι.

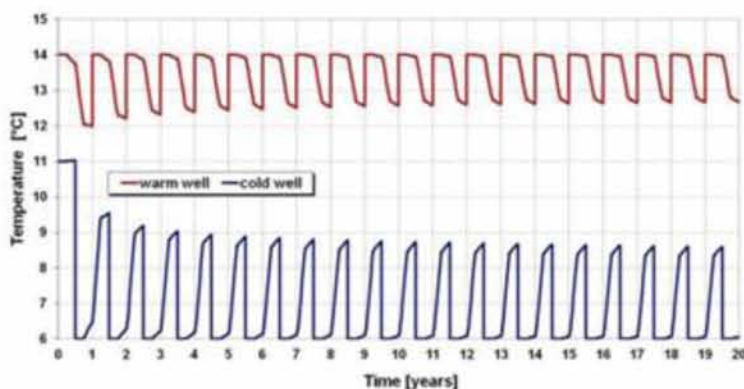
Με τα συστήματα ATES κανένα μέρος των υπογείων υδάτων δεν απορρίπτεται. Όλο το νερό που εξάγεται από μία γεώτρηση επανεγχέεται σε άλλη.

Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία καθαρή εξόρυξη των υπόγειων υδάτων από το έδαφος, το οποίο ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Για να γίνει η εγκατάσταση των συστημάτων ATES σε μία τοποθεσία, απαιτείται να πετυχαίνονται σχετικά υψηλές αποδόσεις στο μέρος αυτό. Για το λόγο αυτό η εφαρμογή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις υδρογεωλογικές συνθήκες της συγκεκριμένης τοποθεσίας.

Η έγχυση των προθερμασμένων και ψυχρών υπόγειων υδάτων μεταβάλλει τη θερμοκρασία του ταμειυτήρα γύρω από τις γεωτρήσεις, οδηγώντας σε μία ζεστή φούσκα υπογείων υδάτων γύρω από τη θερμή γεώτρηση και μια ψυχρή φούσκα υπογείων υδάτων γύρω από τη ψυχρή γεώτρηση.

Το σχήμα 5.2 εμφανίζει ένα παράδειγμα της εξέλιξης της θερμοκρασίας στην κρύα και ζεστή γεώτρηση στο χρόνο. [7] Στο παράδειγμα, η φυσική θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων είναι 11 °C και οι θερμοκρασίες έγχυσης είναι 14 °C στη ζεστή γεώτρηση (κατά τη λειτουργία ψύξης) και 6 °C στη ψυχρή γεώτρηση (κατά τη διάρκεια της λειτουργίας θέρμανσης). Η θερμοκρασία τόσο στη κρύα, όσο και στη ζεστή γεώτρηση, τείνει να έχει μία σχετικά σταθερή τιμή, μετά από περίπου 5 χρόνια λειτουργίας. Η διακύμανση της θερμοκρασίας εκχύλισης κατά την διάρκεια της περιόδου θέρμανσης / ψύξης τόσο από τη ζεστή όσο και από την κρύα γεώτρηση είναι μικρότερη από 3 °C. Αυτό οδηγεί σε σχετικά σταθερές θερμοκρασίες από το σύστημα ATES στο δευτερεύον κύκλωμα στο κτίριο.



Σχήμα 5.2 Παράδειγμα εξέλιξης της θερμοκρασίας στην κρύα και ζεστή γεώτρηση στο χρόνο [7]

Το μέγιστο φορτίο (kWt) ενός συστήματος ATES σχετίζεται με την μέγιστη απόδοση των γεωτρήσεων και με τη διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ εξαγωγής και έγχυσης. Επειδή η θερμότητα ή το ψύχος μεταφέρεται μέσω του υδροφόρου ορίζοντα, με την εξαγωγή και την έγχυση των υπόγειων υδάτων (μεταφορά θερμότητας με συναγωγή), η θερμική μεταφορά προς και από τη γεώτρηση είναι μάλλον γρήγορη. Ως εκ τούτου, δε θα υπάρξει πρόβλημα, τη στιγμή κατά την οποία ένα σύστημα (ATES) θα λειτουργεί διαρκώς σε ώρες αιχμής φορτίου. Η ποσότητα της θερμότητας και του κρύου (kWh_t) που μπορούν να αποθηκευτούν, εξαρτάται από:

- την απόσταση μεταξύ της θερμής και της ψυχρής γεώτρησης
- το πάχος του ταμιευτήρα και
- τη θερμοχωρητικότητα του ταμιευτήρα

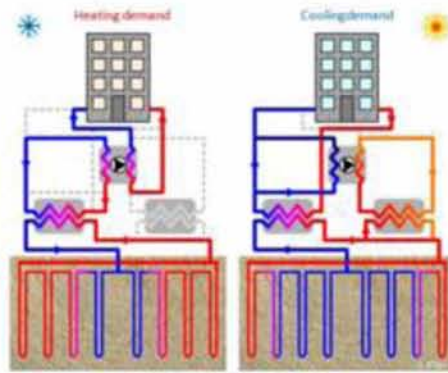
5.3 BTES (αποθήκευση θερμικής ενέργειας με γεώτρηση)

Ένα BTES σύστημα αποτελείται από μια διάταξη από γεωτρήσεις. Αντί να διεισδύει στον υδροφόρο ορίζοντα όπως στο σύστημα ATES, το BTES είναι ένα σύστημα κλειστού βρόχου και μετά τη γεώτρηση, εισάγεται ένας πλαστικός σωλήνας με σχήμα "U" στο κάτω μέρος. Για να παρέχει καλή θερμική επαφή με το περιβάλλον έδαφος, η γεώτρηση κατόπιν γεμίζεται με ένα υλικό υψηλής θερμικής αγωγιμότητας ρευστού κονιάματος.

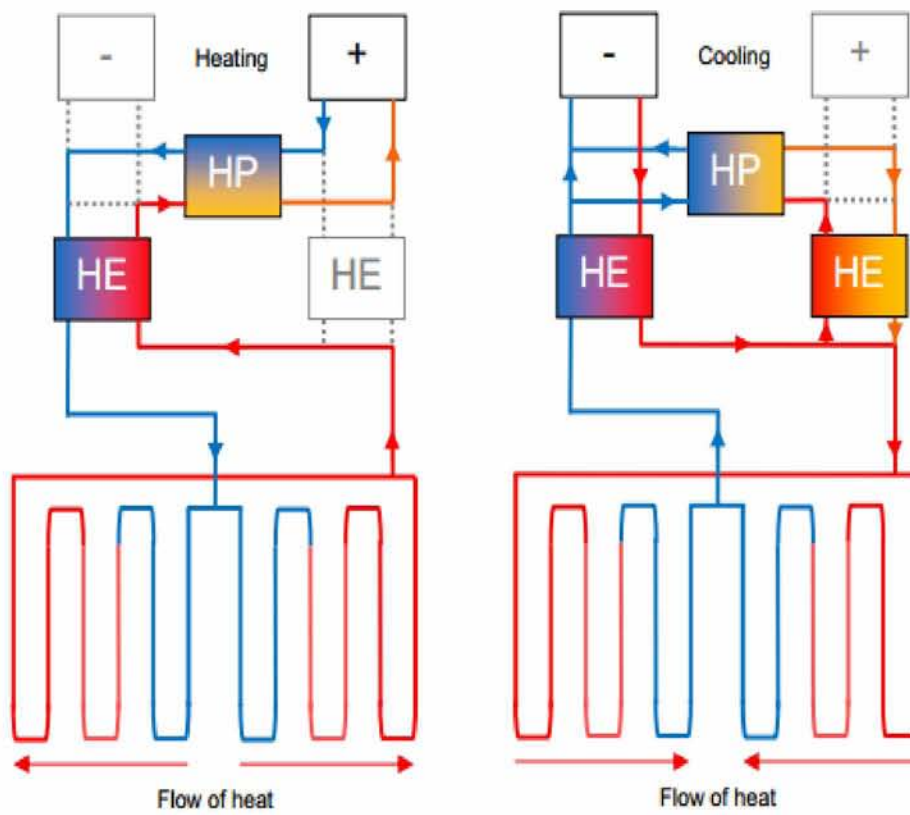
Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο εναλλάκτης θερμότητας της γεώτρησης χρησιμοποιείται για την εξαγωγή της θερμότητας από το έδαφος, π.χ. ως πηγή θερμότητας για μια αντλία θερμότητας. Το νερό του κυκλώματος περνά μέσα από το κτίριο και η θερμοκρασία του μειώνεται. Το κρύο νερό του κυκλώματος επιστρέφεται στον εναλλάκτη θερμότητας της γεώτρησης και η «ψυχρή ενέργεια» αποθηκεύεται στο έδαφος.

Το καλοκαίρι η ροή στο σύστημα BTES αντιστρέφεται. Το αποθηκευμένο κρύο εξάγεται και διέρχεται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για την παροχή ψύξης στο κτίριο. Όταν είναι απαραίτητο, η (αντιστρεπτή) αντλία θερμότητας μπορεί να τεθεί σε χρήση ως υποστήριξη, σε περιόδους αιχμής της ζήτησης ψύξης. Το αποθηκευμένο νερό του κυκλώματος θα πάρει ενέργεια από το κτίριο και έτσι θα αυξηθεί η θερμοκρασία του. Αυτό το νερό, η θερμοκρασία του οποίου, είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του εδάφους, θα πρέπει να επιστραφεί στον εναλλάκτη θερμότητας, όπου η «θερμή ενέργεια» αποθηκεύεται στο έδαφος γύρω από τις γεωτρήσεις για την επόμενη σεζόν θέρμανσης.

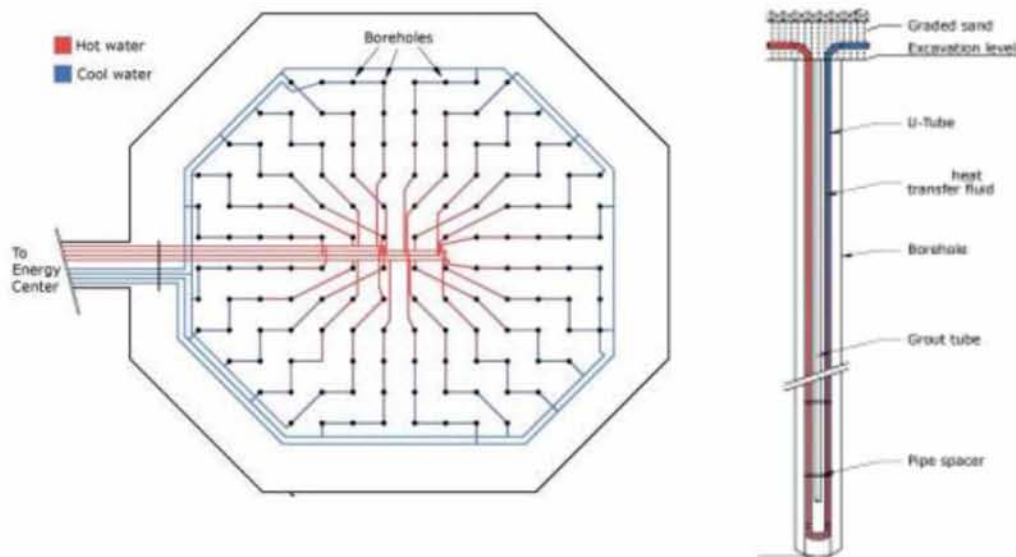
Τα κλειστού βρόχου συστήματα BTES, εξαρτώνται λιγότερο από τις υδρογεωλογικές συνθήκες της τοποθεσίας εγκατάστασης τους, από ό,τι τα συστήματα ATES και είναι καταλληλότερα για τις περιοχές όπου οι σχετικά υψηλές αποδόσεις δεν είναι εφικτές.



Σχήμα 5.3 Αρχή Λειτουργίας των BTES [6]



Σχήμα 5.4 Αρχή Λειτουργίας των BTES (HP=αντλία θερμότητας / HE= εναλλάκτης θερμότητας) [6]



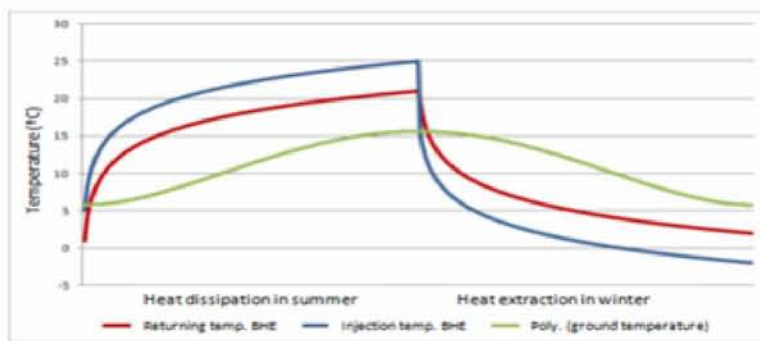
Σχήμα 5.5 Αεροφωτογραφία της εγκατάστασης BTES και πλάγια όψη μίας γεώτρησης. [6]

Σε αντίθεση με ένα σύστημα ATES, οι θερμοκρασίες τροφοδοσίας από ένα σύστημα (BTES) προς το δευτερεύον κύκλωμα στο κτίριο δεν είναι σταθερές. Η θερμοκρασία του υγρού στο γεωθερμικό εναλλάκτη (BHE), θα αυξηθεί σταδιακά κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξεως και θα μειωθεί κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης (βλέπε σχήμα 5.4).

Το μέγιστο φορτίο (kWt) ενός συστήματος (BTES), σχετίζεται κυρίως με το συνολικό μήκος του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας (BHE) και με τη θερμική αγωγιμότητα του περιβάλλοντος εδάφους.

Η μεταφορά της θερμότητας / ψύξης στο υπέδαφος, γίνεται κυρίως με αγωγή και οδηγείται από την κλίση της θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού στο γεωθερμικό εναλλάκτη και του περιβαλλόμενου εδάφους. Σε σύγκριση με το ATES, η ταχύτητα της μεταφοράς θερμότητας μέσω του υπεδάφους είναι αργή. Λόγω αυτού, τα συστήματα BTES, είναι ευαίσθητα για συνεχή εργασία πολλών διαδοχικών ωρών, σε ώρες αιχμής φορτίου του συστήματος.

Η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί εξαρτάται από το βάθος των γεωτρήσεων, την μεταξύ τους απόσταση και τη θερμοχωρητικότητα του υπεδάφους.



Σχήμα 5.6 Εξέλιξη της θερμοκρασίας του ρευστού στο υπέδαφος στη διάρκεια ενός χρόνου [7]

Το ανώτερο όριο θερμοκρασίας για ένα σύστημα BTES είναι οι 85 °C, λόγω των χαρακτηριστικών του σωλήνα PEX που χρησιμοποιείται στις γεωτρήσεις, αλλά οι περισσότεροι δεν πλησιάζουν το όριο. Οι γεωτρήσεις μπορεί να είναι γεμάτες με νερό ή χαλίκι ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες, και συνήθως έχουν διάρκεια ζωής πάνω από 100 χρόνια. Τα συστήματα BTES μπορούν να επεκταθούν σταδιακά μετά την έναρξη της λειτουργίας τους και γενικά δε βλάπτουν τη χρήση της γης, και μπορεί να υπάρχουν κάτω από κτίρια, γεωργικές εκτάσεις και χώρους στάθμευσης.

Σε αντίθεση με το σύστημα ATES, που είναι κατάλληλο για μεγάλης κλίμακας αποθήκευση ενέργειας, το BTES είναι κατάλληλο τόσο για μικρής, όσο και μεγάλης κλίμακας ενεργειακές εφαρμογές, ανάλογα με τον αριθμό των εγκατεστημένων γεωτρήσεων. Ως ένα σύστημα μικρής κλίμακας, το BTES προμηθεύει συνήθως ψύξη και θέρμανση σε μονοκατοικίες.

5.4 Ομοιότητες και Διαφορές

Δηλαδή συνοπτικά τόσο τα (ATES) όσο και τα (BTES) ανταλλάσσουν θερμική ενέργεια με το υπέδαφος. Ωστόσο, η μεταφορά θερμότητας από / προς το υπέδαφος είναι διαφορετική.

Το (ATES) κάνει χρήση ενός υπόγειου στρώματος νερού (υδροφόρος ορίζοντας). Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας γίνεται με την εξαγωγή των υπόγειων υδάτων από τον ταμιευτήρα και από την επανεισαγωγή του, στο τροποποιημένο επίπεδο θερμοκρασίας σε μια άλλη κοντινή περιοχή (μεταφορά θερμότητας με συναγωγή).

Στην περίπτωση των (BTES) η θερμότητα και το κρύο αποθηκεύονται στο υπέδαφος χρησιμοποιώντας ένα BHE (εναλλάκτης θερμότητας γεώτρησης), ο οποίος συνήθως αποτελείται από έναν αριθμό πλαστικών βρόχων τύπου U, οι οποίοι εγκαθίστανται σε γεωτρήσεις. Το σύστημα (BTES) είναι σύστημα κλειστού βρόχου, πράγμα που σημαίνει ότι η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, γίνεται με την κυκλοφορία ενός ρευστού (συνήθως νερό ή νερό με αντιψυκτικό), διαμέσου

των πλαστικών σωληνώσεων των γεωτρήσεων, για τη μεταφορά θερμότητας με το περιβάλλον έδαφος (μεταφορά θερμότητας με αγωγή).

5.4.1 Ομοιότητες στη ψύξη και στη θέρμανση

Το ετήσιο ποσό της θερμότητας που διαφεύγει στο υπέδαφος (αποθηκευμένη θερμότητα) θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι σε ισορροπία με το ετήσιο ποσό της εξαγόμενης θερμότητας. Η θερμική ισορροπία στο υπέδαφος είναι ευνοϊκή για την απόδοση του συστήματος, τόσο για τα (ATES), όσο και για τα (BTES). Για τα συστήματα ATES μπορεί επίσης να είναι σημαντική και για νομικούς λόγους, καθώς το ενεργειακό ισοζύγιο είναι συχνά απαιτούμενο για την άδεια άντλησης ή έγχυσης υπόγειων υδάτων.

Τόσο τα (ATES) όσο και τα (BTES) σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζονται σε συνδυασμό με τις αντλίες θερμότητας, οι οποίες παρέχουν σε γενικές γραμμές μόνο τμήμα της θέρμανσης ή/και της ψύξης. Το υπόλοιπο κυρίως τμήμα παρέχεται με συμβατικό εξοπλισμό, όπως λέβητες (με φυσικό αέριο) και ψύκτες.

Η συνολική απόδοση του ενεργειακού συστήματος δεν εξαρτάται μόνο από την απόδοση του συστήματος (ATES)/(BTES), αλλά και από τις απαιτούμενες θερμοκρασίες παροχής του κτιρίου και των θερμοκρασιών επιστροφής. Για να αυξηθεί η δυνατότητα της άμεσης ψύξης και να επιτευχθεί υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας, μέτριες θερμοκρασίες ψύξης και ένα μεγάλο ΔT συνιστώνται (π.χ. 12 °C / 20 °C). Για τη θέρμανση, η θερμοκρασία παροχής θα πρέπει να είναι κατ'ανώτατο όριο στους 50 °C.

Πίνακας 5.1 Ευνοϊκές θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής του κτιρίου για τα συστήματα ATES και BTES

	Ψύξη	Θέρμανση
Θερμοκρασία Παροχής	Όσο το δυνατόν υψηλότερη, για να αυξηθεί η πιθανότητα άμεσης ψύξης	Όσο το δυνατόν χαμηλότερη, για να επιτευχθεί ένας υψηλός δείκτης απόδοσης της αντλίας θερμότητας
Θερμοκρασία Επιστροφής	Όσο το δυνατόν υψηλότερη, για να μεγιστοποιηθεί το τμήμα της άμεσης ψύξης και να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό ψύξης της ενεργής αντλίας θερμότητας	Όσο το δυνατόν χαμηλότερη, για να μεγιστοποιηθεί η εφαρμογή της αντλίας θερμότητας

5.4.2 Διαφορές στη ψύξη και στη θέρμανση

Στην περίπτωση ενός καλά λειτουργικού συστήματος ATES, η παρεχόμενη θερμοκρασία από τις γεωτρήσεις είναι σχετικά σταθερή, ενώ η θερμοκρασία παροχής από ένα σύστημα BTES θα αυξηθεί/μειωθεί γρήγορα και σημαντικά κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης/ψύξης. Η διαφορά αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ψύξης, καθώς περιορίζει έντονα την δυνατότητα για άμεση ψύξη.

Στον παρακάτω πίνακα γίνονται εμφανείς οι διαφορές στη λειτουργία του κάθε συστήματος τόσο για τη θέρμανση, όσο και για τη ψύξη.

Πίνακας 5.2 Λειτουργικές διαφορές μεταξύ ATES και BTES

	Ψύξη	Θέρμανση
ATES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Υπάρχει καλή πιθανότητα για άμεση ψύξη, λόγω των σταθερά χαμηλών θερμοκρασιών εκχύλισης από την κρύα γεώτρηση. ➤ Δυνατότητα άμεσης ψύξης, όσο τα υπόγεια ύδατα που εξάγονται από τη ψυχρή γεώτρηση είναι λίγους βαθμούς κάτω από την θερμοκρασία επιστροφής του συστήματος HVAC. ➤ Όταν η άμεση ψύξη δεν είναι (ή δεν είναι πλήρως) εφικτή, η πιθανότητα για ψύξη από την αντλία θερμότητας παραμένει. ➤ Δεδομένου ότι η θερμοκρασία εκχύλισης από την κρύα γεώτρηση, δεν μπορεί ποτέ να είναι υψηλότερη από τη φυσική θερμοκρασία των υπογείων υδάτων, η απόδοση ψύξης της ΑΘ είναι υψηλή και σταθερή. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Αν η θερμοκρασία παροχής για τη θέρμανση, είναι ένα σταθερό σημείο, τότε η απόδοση της αντλίας θερμότητας, θα είναι σταθερή καθ'όλη την περίοδο θέρμανσης.
BTES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Περιορισμένες δυνατότητες για άμεση ψύξη εξαιτίας της ταχέως αυξανόμενης θερμοκρασίας στο ΒΗΕ. ➤ Το μεγαλύτερο μέρος της ψύξης θα πρέπει να παρέχεται από την ενεργή ψύξη της ΑΘ. ➤ Η αύξηση της θερμοκρασίας στον ΒΗΕ μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης της ΑΘ. ➤ Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική απόδοση, η θερμοκρασία επιστροφής του ΒΗΕ δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη θερμοκρασία σχεδιασμού (π.χ. 30 ° C). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μετά την περίοδο ψύξης, η θερμοκρασία του ΒΗΕ είναι σχετικά υψηλή. ➤ Η COP της ΑΘ κατά την έναρξη της περιόδου θέρμανσης θα είναι μάλλον υψηλή. ➤ Λόγω της πτώσης θερμοκρασίας του ΒΗΕ κατά τη διάρκεια της σεζόν θέρμανσης, η COP θα μειωθεί σταδιακά. ➤ Για να εξασφαλιστεί η ελάχιστη απόδοση της ΑΘ, η θερμοκρασία επιστροφής από το ΒΗΕ δεν πρέπει ποτέ να είναι χαμηλότερη, από την ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού (π.χ. 0 ° C).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ UTES

6.1 ΓΑΘ και UTES σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες

Οι ΓΑΘ και τα συστήματα UTES εφαρμόζονται σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Σε ορισμένες χώρες, τα συστήματα αυτά είναι ήδη βασική επιλογή του σχεδιασμού για τη θέρμανση και την ψύξη. Σε άλλες χώρες, η εφαρμογή των τεχνολογιών είναι πολύ πρόσφατη.

Η εφαρμογή της ΓΑΘ, των ATES και BTES είναι αρκετά διαφορετική για τις διάφορες χώρες που εξετάζονται. Ορισμένες από αυτές τις διαφορές μπορούν να εξηγηθούν από κλιματολογικές συνθήκες (συνδυασμένη θέρμανση και ψύξη είναι πιο ευνοϊκό για την εφαρμογή από τη θέρμανση μόνο) και υπόγειες συνθήκες (ATES έναντι εφαρμογή BTES). Ωστόσο, η παρουσία σαφών στόχων ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και η διαθεσιμότητα των ΓΑΘ και των τεχνολογιών αποθήκευσης στην αγορά, φαίνεται να είναι η κύρια εξήγηση για τις διαφορές αυτές.

Μεταξύ των διαφόρων χωρών που εφαρμόζουν ήδη τα συστήματα ΓΑΘ και UTES, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον αριθμό και το είδος των εφαρμογών (βλέπε πίνακα) [6].

Πίνακας 6.1

	Belgium	Denmark	Germany	Netherlands	Spain	Sweden	United Kingdom
GSHP	••	•••	••••	•••	•	••••	••
ATES	••	••	•	••••	-	•••	•
BTES	•	-	•••	••	-	••••	•
	•	few applications	•••	many applications			
	••	some applications	••••	very many applications			

Βέλγιο

Μέχρι το τέλος του 2012 ήταν σε λειτουργία 16,158 συστήματα ΓΑΘ, ενώ μόνο το 2012 δημιουργήθηκαν 1587 [8].

Η αποδοχή της υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, για εφαρμογές όπου απαιτείται η θέρμανση και ψύξη, ωθεί αργά το Βέλγιο προς την κατεύθυνση των UTES, χωρίς να είναι μία ανθισμένη αγορά ακόμα. Περισσότερα από δεκαπέντε συστήματα ATES είναι σε λειτουργία. Όλα είναι μεγάλης κλίμακας (> 300 kWcooling) και τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται στην Campine (περιφέρεια

της Φλάνδρας). Οι εφαρμογές αυτές, σχετίζονται κυρίως με συνδυασμένη ψύξη και θέρμανση των μεγάλων κτιρίων (πχ. γραφεία μεγάλων εταιρειών) και νοσοκομείων. Λόγω των υδρογεωλογικών περιορισμών, οι πιο αραιοκατοικημένες περιφέρειες και πόλεις του Βελγίου δεν είναι κατάλληλες για ATES. Σε αυτές τις περιοχές, τα συστήματα BTES θα μπορούσαν να εφαρμοστούν. Το ενδιαφέρον για τις εφαρμογές BTES είναι ελαφρώς αυξημένο, με αρκετές μελέτες σε εξέλιξη και μερικά έργα που έχουν υλοποιηθεί.



Εικόνα 6.1 (Βέλγιο) Κατοικίες με συστήματα BTES, σε συνδυασμό με ηλιακούς συλλέκτες. (Πηγή εικόνας: [8])

Δανία

Μέχρι το 2013 ο αριθμός των ΓΑΘ ήταν περίπου 27,000 και αυξάνονται με ρυθμό 5,000 ετησίως [9]. Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι με οριζόντιους συλλέκτες. Μόνο μερικές εκατοντάδες γεωτρήσεις είναι με γεωθερμικούς εναλλάκτες θερμότητας. Κατά τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των γεωτρήσεων έχει αυξηθεί σημαντικά, με πάνω από 100 γεωτρήσεις να κατασκευάζονται κάθε χρόνο.

Μέχρι το 2007 κανένα έργο BTES δε λειτουργούσε στη Δανία. Η πλειονότητα των σχεδίων των υπογείων υδάτων ψύξης, παρέχουν άμεση ψύξη σε βιομηχανικές εφαρμογές. Σε γενικές γραμμές, τα θερμά νερά του υπεδάφους, επανεγχέονται εντός του ταμειυτήρα, χωρίς θερμική εξισορρόπηση.

Τότε, δημιουργήθηκε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον, για την εφαρμογή του ATES για τη θέρμανση και την ψύξη των κτιρίων. Το κύριο λόγο για αυτό το αυξανόμενο ενδιαφέρον, ήταν η εισαγωγή της ευρωπαϊκής οδηγίας για την Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων.

Η έλλειψη ενημέρωσης θεωρείται ότι είναι η κύρια δυσκολία για την εφαρμογή των τεχνολογιών UTES στη Δανία.

Γερμανία

Μόνο το 2012 δημιουργήθηκαν 22,300 συστήματα ΓΑΘ ενώ μέχρι και το τέλος της ίδιας χρονιάς λειτουργούσαν 265,000 συστήματα σε όλη τη Γερμανία [10].

Η θέρμανση και η συνδυασμένη ψύξη-θέρμανση των μονοκατοικιών, είναι οι κύριες εφαρμογές της τεχνολογίας των ΓΑΘ. Περίπου το 15% των συστημάτων ΓΑΘ, είναι συστήματα ανοικτού βρόχου και το 85% είναι συστήματα κλειστού βρόχου, είτε με κάθετες σωλήνες με σχήμα “U” (το 60 -70% των συστημάτων κλειστού βρόχου), είτε οριζόντια συστήματα κλειστού βρόχου.

Μόνο λίγα έργα ATES έχουν εγκατασταθεί στη Γερμανία. Ο αριθμός των έργων BTES ωστόσο, ανέρχεται σε αρκετές εκατοντάδες. Η κύρια εφαρμογή είναι για τη θέρμανση και για τη συνδυασμένη ψύξη-θέρμανση των μικρών εμπορικών και οικιστικών κτηρίων (BTES με ικανότητα της τάξεως των 50 έως 500 kW). Μερικά έργα BTES εφαρμόζονται για εποχιακή αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας, σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (60 - 90^o C).

Ολλανδία

Στην Ολλανδία, τα συστήματα UTES άρχισαν να εφαρμόζονται στις αρχές της δεκαετίας του ογδόντα. Σε πρώτη φάση, ο στόχος ήταν να αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια για θέρμανση χώρου το χειμώνα. Στο πρώτο έργο (σε λειτουργία το 1983) κάθετοι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους χρησιμοποιήθηκαν (εφαρμογή BTES).

Το γεγονός, ότι στην Ολλανδία υδροφορείς μπορεί να βρεθούν σχεδόν παντού, αυτό έτεινε στο να αναπτυχθεί η εφαρμογή του ATES περαιτέρω. Σε σχεδόν κάθε μεγάλη πόλη ένας αριθμός έργων ATES είναι σε λειτουργία.

Ο στόχος των περισσότερων έργων ATES είναι να αποθηκευτεί το κρύο το χειμώνα, για την ψύξη το καλοκαίρι. Σε γενικές γραμμές, η ψύξη είναι άμεση, δηλαδή χωρίς τη χρήση ψύκτη. Στα περισσότερα έργα η ψυκτική ικανότητα που παρέχεται από το απόθεμα βρίσκεται μεταξύ 500 kWt και 2000 kWt. Αυτό σημαίνει ότι με την εφαρμογή ψυχρής αποθήκευσης, αποτρέπεται η χρήση ενός μεγάλου ψύκτη.

Μέχρι το 2000, οι περισσότερες εφαρμογές ATES ήταν για μεμονωμένα κτίρια, όπως γραφεία και νοσοκομεία. Ωστόσο, περίπου από το 2000, τα συστήματα ATES άρχισαν επίσης να εφαρμόζονται ως ένα κεντρικό σύστημα για ένα σύνολο κτιρίων και οικιστικών έργων. Επί του παρόντος, πολλές εταιρείες κοινής ωφελείας, παρέχουν στους πελάτες τους θέρμανση και ψύξη μέσω των συστημάτων ATES.

Ο συνολικός αριθμός των συστημάτων ATES έχει αυξηθεί εκθετικά κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών. Μέχρι το τέλος του 2012 είχαν εγκατασταθεί 20,000 τέτοια συστήματα [11].

Ο ακριβής αριθμός των συστημάτων BTES δεν είναι σαφής, αλλά ο αριθμός των γεωτρήσεων που σχετίζεται με αυτού του είδους τα συστήματα δείχνει μια εκθετική τιμή αύξησης. Επιπλέον, οι εθνικές φιλοδοξίες για μείωση των εκπομπών CO₂, σε συνδυασμό με την άνοδο των τιμών ενέργειας, λειτουργούν ως κινητήριο δύναμη για περαιτέρω ταχεία επέκταση αυτών των συστημάτων.

Κατά την επόμενη δεκαετία αναμένονται έως και 10,000 επιπλέον συστήματα ATES.



Εικόνα 6.2 (Άμστερνταμ) Συλλογική αντλία θερμότητας και σύστημα ATES για τη θέρμανση και την ψύξη μικτής χρήσης (αεροδρόμιο, ξενοδοχείο, Κέντρο Τεχνών, γραφεία και διαμερίσματα). (Πηγή εικόνας: [8])

Ισπανία

Στην Ισπανία, οι τεχνολογίες ΓΑΘ και UTES είναι νέες τεχνολογίες. Πολλά έργα έχουν υλοποιηθεί, κυρίως για κτίρια κατοικιών μικρής κλίμακας και τα περισσότερα από αυτά έγιναν στη Βασκονία και την Καταλονία. Ωστόσο, σε όλη την Ισπανία, αναπτύσσεται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη χρήση του υπεδάφους για ανταλλαγή θερμικής ενέργειας. Αναμένεται ότι μέσα σε λίγα χρόνια, οι ΓΑΘ και τα συστήματα UTES θα συμβάλλουν σε πιο αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης στην ισπανική οικοδομική βιομηχανία.

Σουηδία

Η Σουηδία δείχνει πιθανώς την υψηλότερη πυκνότητα των συστημάτων ΓΑΘ για τα ενιαία οικογενειακά σπίτια στον κόσμο: Περίπου το 99% των συστημάτων ΓΑΘ είναι συστήματα κλειστού βρόχου, κυρίως κάθετων συστημάτων με σχήμα σωλήνα τύπου "U" (μόνο για θέρμανση).

Τα συστήματα ATES εισήχθησαν στη Σουηδία στα μέσα της δεκαετίας του 1980 και σήμερα (2015) υπάρχουν πάνω από 150 συστήματα σε λειτουργία. Ο ρυθμός ανάπτυξης ήταν σταθερός την τελευταία δεκαετία και ήταν στο 5% [12].

Η αγορά των συστημάτων BTES στη Σουηδία αυξάνεται και σήμερα υπάρχουν περίπου 400 μεγάλα συστήματα, με περισσότερες από 20 γεωτρήσεις σε λειτουργία, για συνδυασμένη ψύξη και θέρμανση, κυρίως για εμπορικά και δημόσια κτίρια. Ο ρυθμός ανάπτυξης είναι περίπου στο 10% ετησίως.

Τα συστήματα έχουν χωρητικότητα που κυμαίνεται από 50-500 Kw. Το μέγεθος των συστημάτων τείνει να μεγαλώσει, με την αύξηση του αριθμού των γεωτρήσεων, αλλά και με το να γίνουν αυτές βαθύτερες.

Το μεγαλύτερο σύστημα BTES αυτή τη στιγμή χτίζεται για την πανεπιστημιούπολη του Karlstad, με 204 γεωτρήσεις σε βάθος 240-250 μέτρων, φτάνοντας συνολικά τα 48,240 μέτρα γεωτρήσεων.

Ηνωμένο Βασίλειο

Η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων είναι μονοκατευθυντικά συστήματα ΓΑΘ και είναι μικρής κλίμακας (<100 kW) για οικιακές εφαρμογές. Κατά τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, υπήρξε μια αύξηση του ενδιαφέροντος για τις εμπορικές και δημόσιες κτιριακές εφαρμογές και διάφορα συστήματα ΓΑΘ > 100 kW, έχουν εγκατασταθεί πρόσφατα.

Μέχρι το τέλος του 2012 ήταν σε λειτουργία περίπου 16,000 ΓΑΘ. Μόνο κατά το 2012 δημιουργήθηκαν περίπου 2,500 νέες εγκαταστάσεις ΓΑΘ [13].



Εικόνα 6.3 (Λονδίνο) Συλλογικό σύστημα για τη θέρμανση-ψύξη 130 διαμερισμάτων. (Πηγή εικόνας: [8])

Μέχρι στιγμής, η προκατάληψη προς τις εγκαταστάσεις ΓΑΘ, οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία UTES τα τελευταία χρόνια άρχισε να εισέρχεται στην αγορά του Ηνωμένου Βασιλείου και ως εκ τούτου θεωρείται ως μια "νέα" τεχνολογία. Η διαθεσιμότητα κατάλληλων υδροφορέων, ποικίλλει σημαντικά στο Ηνωμένο Βασίλειο και επομένως, ορισμένες περιοχές είναι κατάλληλες για συστήματα (ATES) και άλλες περιοχές είναι πιο ευνοϊκές για κλειστού βρόχου συστήματα (BTES). Το Λονδίνο, τα Νοτιοανατολικά, το Μπέρμιγχαμ, το Λίβερπουλ και η ανατολική Αγγλία, αποτελούν παραδείγματα περιοχών, όπου ΓΑΘ ανοιχτού βρόχου ή συστήματα (ATES) είναι βιώσιμα.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος είναι ο κρατικός φορέας που ρυθμίζει τη βιομηχανία των υπόγειων υδάτων. Οποιοδήποτε σύστημα μεγαλύτερης κλίμακας ανοικτού βρόχου, θέρμανσης ή/και ψύξης πρέπει να περάσει από τη διαδικασία χορήγησης αδειών. Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος γίνεται ολοένα και πιο ανήσυχη, σχετικά με την καθαρή θέρμανση ή ψύξη και είναι ως εκ τούτου υπέρ του συνδυασμού συστημάτων, όπως (ATES) και (BTES), δημιουργώντας μια θερμική ισορροπία ετησίως.

6.2 Εφαρμογή συστήματος ATES σε μουσείο

Το εθνικό ναυτικό μουσείο στο Greenwich του Λονδίνου, εφαρμόζοντας τα συστήματα ATES, κατάφερε για τη νέα του πτέρυγα, να έχει στη διάθεση του μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας, με πολύ χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 6.4 Η νέα πτέρυγα του ναυτικού μουσείου. Πηγή [8]

Ένας από τους λόγους που οι μηχανικοί κατέληξαν στα ATES, ήταν η ανάγκη να κρατηθεί μακριά από την οροφή, ο εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης. Επειδή η απόρριψη της θερμότητας σε ένα σύστημα ATES γίνεται μέσα στον ταμειυτήρα, δε χρειάζονται μηχανήματα ψύξης στον τελευταίο όροφο του κτιρίου. Ακόμα ένας σημαντικός λόγος επιλογής του συστήματος, είναι το χαμηλό λειτουργικό κόστος.

Πριν την έναρξη των έργων όμως, έπρεπε να εξασφαλιστεί ότι οι συνθήκες του εδάφους ήταν κατάλληλες. Το Greenwich βρίσκεται στη λεκάνη του Λονδίνου. Οι μηχανικοί έπρεπε να καθορίσουν τις παραμέτρους εντός του ταμειυτήρα, ο οποίος ήταν θαμμένος περισσότερο από 60μ κάτω από το έδαφος, κάτω από στρώματα χαλκιού, από αδιαπέραστο πηλό και λεπτές στρώσεις από ιζηματογενείς αποθέσεις.

Η ταχύτητα με την οποία το νερό κινείται μέσα στον ταμειυτήρα και ο ρυθμός με τον οποίο θα μπορούσε να εξαχθεί το νερό, ήταν βασικοί παράγοντες που καθόρισαν αν το σύστημα ATES, θα ήταν κατάλληλο για τη νέα πτέρυγα. Εάν το νερό του εδάφους κινείται πολύ γρήγορα, τότε θα παρασύρει την ενέργεια που αποθηκεύεται υπογείως για τη θέρμανση ή ψύξη, πριν να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Μια δοκιμαστική γεώτρηση εκτός του ανατολικού ορίου της πτέρυγας, έγινε για να καθορίσει την ποσότητα του νερού που θα μπορούσε να εξαχθεί από τον ταμειυτήρα. Για τον υδροφόρο ορίζοντα του Λονδίνου, 40 κυβικά μέτρα ανά ώρα, είναι ένας καλός ρυθμός ροής ώστε να επιτευχθεί, για να θεωρηθεί βιώσιμη λύση [14]. Η γεώτρηση ελέγχθηκε σε ρυθμούς ροής μέχρι 50 m³/h. Σε αυτό το ρυθμό, η στάθμη του νερού στη γεώτρηση, μειώθηκε από τα 12,5 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε 17,5 m, δηλαδή μια διαφορά των 5m. Αυτή ήταν μια πολύ θετική απόδοση, γιατί το όριο πτώσης ήταν περίπου στα 10-15 m.

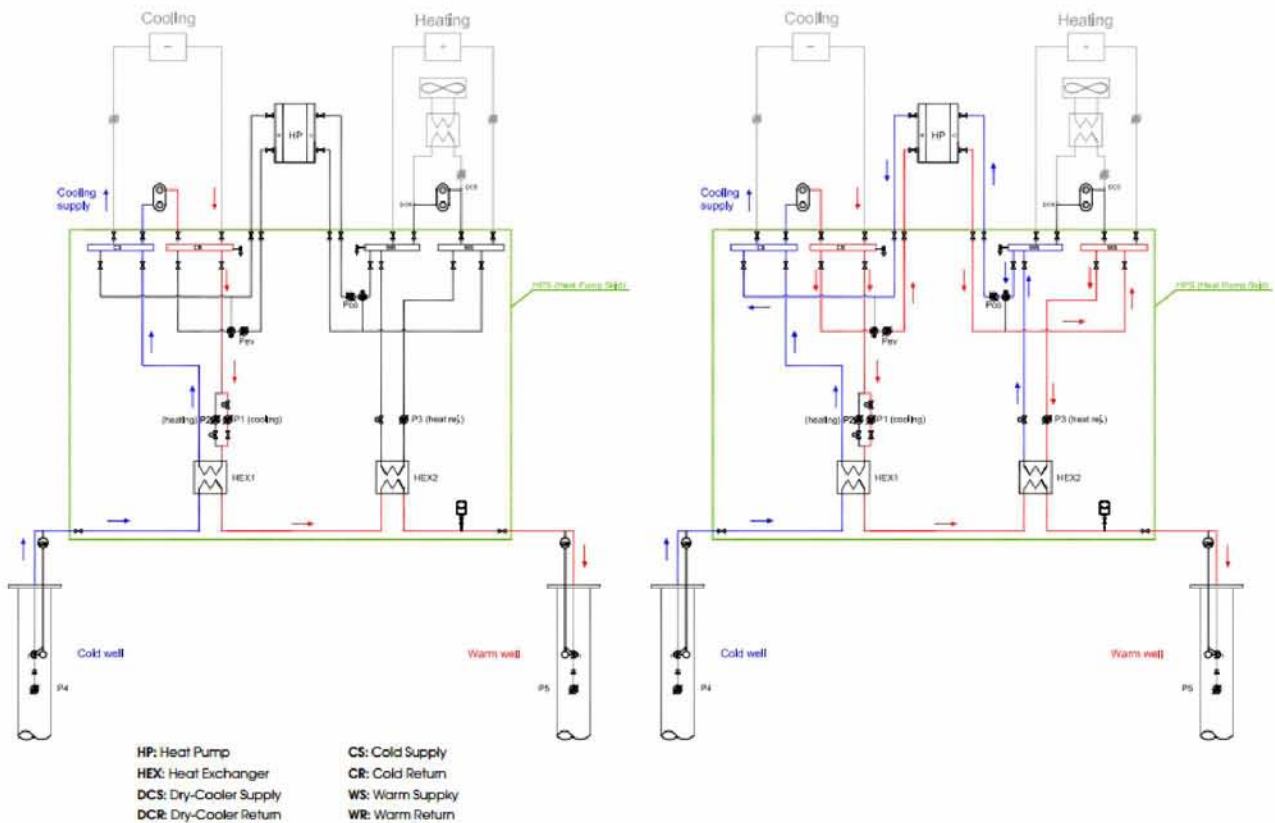
Για την παροχή θέρμανσης και ψύξης για τη νέα πτέρυγα του μουσείου, χρειάστηκαν δύο γεωτρήσεις με 350 χιλιοστά διάμετρο και βάθους 80m. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε μια ακόμη γεώτρηση, 70m πιο μακριά από την πρώτη, ακριβώς έξω στο δυτικό όριο της νέας πτέρυγας. Αυτή είναι μία γεώτρηση μικρότερης διαμέτρου, που δεν αποτελεί μέρος του συστήματος ATES. Είναι επίσης εντός του υδροφόρου ορίζοντα και έγινε για να εξυπηρετήσει με νερό τις τουαλέτες.

Ο ταμειυτήρας είναι σε μια μόνιμη θερμοκρασία περίπου 12 °C. Ο ταμειυτήρας γύρω από την βασική ανατολική γεώτρηση, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενέργειας για τη θέρμανση, ενώ ο ταμειυτήρας γύρω από τη δυτική γεώτρηση, αποθηκεύει ενέργεια για τη ψύξη. Κάθε γεώτρηση περιέχει μία βυθιζόμενη αντλία, για την παροχή των υπογείων υδάτων σε μια αντλία θερμότητας, που βρίσκεται στο υπόγειο της νέας πτέρυγας.

Το καλοκαίρι, όταν χρειάζεται ψύξη, υπόγειο νερό αντλείται από την κρύα γεώτρηση σε ποσοστό μέχρι 46 m³/h. Ανάλογα με τη ζήτηση για ψύξη, το νερό του εδάφους, χρησιμοποιείται είτε για να ψυχθεί άμεσα το κτίριο ή διέρχεται μέσω της αντλίας θερμότητας, για να μειώσει περαιτέρω τη θερμοκρασία του, προτού χρησιμοποιηθεί για την ψύξη του κτιρίου. Το σύστημα θα είναι σε άμεση λειτουργία, κατά την έναρξη της περιόδου ψύξης, όταν η χαμηλή θερμοκρασία είναι και στο χαμηλότερο επίπεδο (η οποία έχει εισπραχθεί κατά τη διάρκεια του χειμώνα).

ATES system in direct cooling mode –
directly from the cold well with no heat pump

Cooling mode, with heat pump

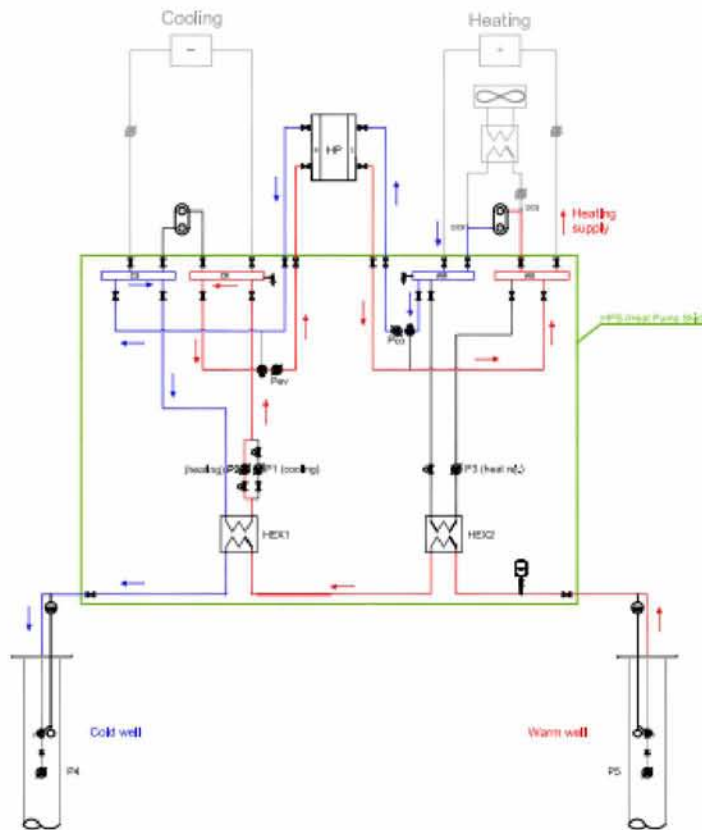


Σχήμα 6.1 Σύστημα ATES σε λειτουργία ψύξης

Σε αυτή τη λειτουργία, η αποτελεσματικότητα του συστήματος είναι πολύ υψηλή, διότι δεν υπάρχει ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το συμπιεστή της αντλίας θερμότητας. Ωστόσο, εάν η ζήτηση για ψύξη είναι πολύ μεγάλη, η αντλία θερμότητας θα δουλέψει, για να φέρει τη θερμοκρασία του κρύου νερού κάτω από το απαιτούμενο επίπεδο. Μόλις αφήσει την αντλία θερμότητας, το θερμασμένο νερό επιστρέφει στο έδαφος στους 20 °C , μέσω της θερμής γεώτρησης, φορτίζοντας τον ταμειυτήρα με θερμότητα, για το χειμώνα.

Το χειμώνα η ροή των υπογείων υδάτων αναστρέφεται, έτσι ώστε το ζεστό νερό να περνά μέσα από την αντλία θερμότητας. Μόλις εξαχθεί η θερμότητα του , το ψυχθέν νερό επιστρέφει στον υδροφόρο ορίζοντα στους περίπου 8 °C, μέσω της ψυχρής γεώτρησης, όπου χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση του εδάφους, ώστε να είναι έτοιμο για το καλοκαίρι.

Heating mode, with heat pump



Σχήμα 6.2 Σύστημα ATES σε λειτουργία θέρμανσης

Το σύστημα περιλαμβάνει μια αντλία θερμότητας εξόδου 350 kW, δίδυμους εναλλάκτες θερμότητας και δύο δεξαμενές 1.000 λίτρων, μία για το κύκλωμα θέρμανσης και μία για την ψύξη. Αν το κτίριο ζητά θερμότητα, θα την πάρει από το ζεστό δοχείο στους 45 °C, ενώ η ψύξη θα είναι από την κρύα δεξαμενή στους 6 °C.

Το σύστημα ATES παρέχει 278 kW θερμικών φορτίων και 330 kW ψυκτικών φορτίων για τη νέα πτέρυγα.

Η αναστρέψιμη κατάσταση της αποθηκευμένης ενέργειας, οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή απόδοσης της αντλίας θερμότητας, επειδή βοηθά να ανεβάσει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των εισερχόμενων και των εξερχόμενων θερμοκρασιών της αντλίας θερμότητας. Περαιτέρω βελτίωση της αποτελεσματικότητας, προήλθε από το σχεδιασμό του συστήματος θέρμανσης, ώστε να λειτουργεί σε χαμηλότερη ροή και να έχει θερμοκρασίες επιστροφής από 45 °C έως 35 °C. Παράλληλα και τα κυκλώματα κρύου νερού λειτουργούν σε υψηλότερο ρυθμό ροής με θερμοκρασίες επιστροφής από 6 °C έως 12 °C.

Η πλειονότητα των χώρων στο νέο κτίριο αερίζονται μηχανικά, έτσι βαθύτερα πηνία θέρμανσης και ψύξης έχουν χρησιμοποιηθεί στις μονάδες διαχείρισης του αέρα του κτιρίου. Έτσι, αντισταθμίζονται η μειωμένη ροή και οι θερμοκρασίες επιστροφής.

Το σύστημα αυτό, θα πρέπει να τρέξει για ένα έτος, πριν να μπορέσει ο ταμιευτήρας να επιτύχει πλήρη ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας. Ακόμα, προβλέπεται ότι θα μειωθούν οι εκπομπές CO₂ κατά 21%.



Εικόνα 6.5 Χώρος που περιέχει τους εναλλάκτες θερμότητας και τις βαλβίδες ελέγχου. (Πηγή εικόνας: [8])



Εικόνα 6.6 Θάλαμος στο επίπεδο του εδάφους για μια γεώτρηση. (Πηγή εικόνας: [8])

6.3 Συστήματα UTES σε νοσοκομεία

Τα περισσότερα νοσοκομεία έχουν πολύ υψηλή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη, τόσο για ιατρικούς λόγους όσο και για άνεση. Επιπλέον, η ανάγκη για θέρμανση / ψύξη είναι συνεχής, 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο. Λόγω των υψηλών απαιτήσεων και την ανάγκη για θέρμανση και ψύξη, τα συστήματα (UTES) είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα τεχνολογία για τα νοσοκομεία.

Για ένα σταθερό και αποτελεσματικό σύστημα UTES, είναι απαραίτητο, η θερμική ενέργεια (θερμότητα και κρύο) στο υπέδαφος να διαχειρίζεται με ακρίβεια. Η ποσότητα της φορτισμένης θερμικής ενέργειας, θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι σε ισορροπία με την ποσότητα του κρύου και της θερμότητας που παρέχεται από το σύστημα. Εκτός από την ποσότητα της αποθηκευμένης ενέργειας, η ποιότητα (θερμοκρασία) είναι επίσης σημαντική.

Τα στοιχεία αυτά απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή σε όλα τα στάδια του έργου, όπως στο σχεδιασμό, την κατασκευή, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και στην επιχειρησιακή διαχείριση. Ειδικά στο τελευταίο στάδιο, όταν θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι το βιώσιμο σύστημα UTES πράγματι λειτουργεί με βιώσιμο τρόπο και στο βέλτιστο του. Στις δύο ενότητες που ακολουθούν, συγκρίνονται τα συστήματα εφαρμογής και η απόδοση των (ATES) και των (BTES) για δύο ξεχωριστά νοσοκομεία .

6.3.1 Εφαρμογή συστήματος ATES σε νοσοκομείο

Το νοσοκομείο Rörcke-Zweers είναι ένα μη ακαδημαϊκό νοσοκομείο στην ανατολική Ολλανδία. Το νοσοκομείο αριθμεί 197 κρεβάτια και η επιφάνεια του δαπέδου είναι περίπου 20.000 m².

Η θέρμανση και η ψύξη του νοσοκομείου παρέχεται από μία κεντρική μονάδα ενέργειας. Η παραγωγή θερμότητας είναι εφοδιασμένη με μία αντλία θερμότητας (η οποία είναι συνδεδεμένη με ένα σύστημα ATES) σε σειρά με δύο λέβητες αερίου με καύση (βλέπε σχήμα).

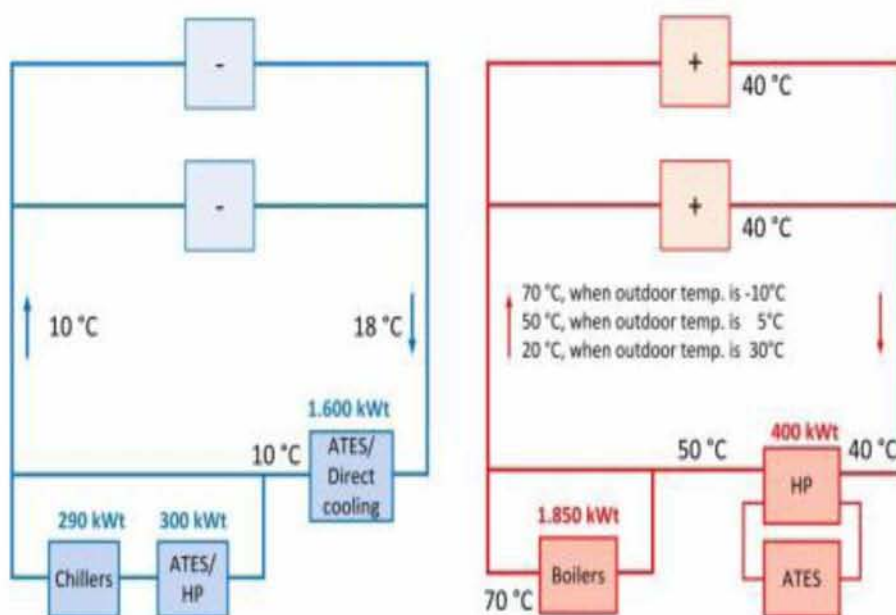
Το σύστημα ΑΘ/ATES παρέχει περίπου το 18% του εγκατεστημένου φορτίου για τη θέρμανση [7]. Το φορτίο για τη ψύξη κατά το μεγαλύτερο μέρος (> 70%) του, παρέχεται από το σύστημα (ATES). Το υπόλοιπο μέρος καλύπτεται από την αντλία θερμότητας (σε λειτουργία ψύξης) και τους ψύκτες.

Ακόμα, το σύστημα (ATES) έχει σχεδιαστεί για να καλύψει τη συνολική ζήτηση στην εκτεταμένη μελλοντική κατάσταση του νοσοκομείου, διότι η τρέχουσα αντλία θερμότητας δεν επαρκεί για τη μελλοντική κατάσταση. Το σύστημα υπόγειων υδάτων του ATES, αποτελείται από δύο κρύες και δύο ζεστές γεωτρήσεις,

οι οποίες συνδέονται με έναν εναλλάκτη θερμότητας στην κεντρική αίθουσα της μονάδας εγκατάστασης. Η μέγιστη απόδοση των υπόγειων υδάτων είναι 175 m³/h.

Το σύστημα (ATES) είναι σε λειτουργία από το 2006. Μέχρι το 2011, το επίπεδο της παρακολούθησης ήταν μάλλον περιορισμένο, εστιάζοντας κυρίως στην λειτουργική απόδοση του συστήματος υπόγειων υδάτων. Μέχρι το 2011, το σύστημα είχε εφαρμοστεί περισσότερο για σκοπούς θέρμανσης, με αποτέλεσμα μια μεγάλη θερμική ανισορροπία, με περίσσεια κρύου στο υπέδαφος.

Τα αποτελέσματα της παρακολούθησης και οι εκθέσεις χρησιμοποιούνται σήμερα ως πρώτη ύλη για ένα επιχειρησιακό σχέδιο, με στόχο τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής και της απόδοσης του συστήματος (ATES).



Σχήμα 6.3 Σύστημα ΓΑΘ/ATES για το νοσοκομείο Rörcke-Zweers[7]

Πίνακας 6.2 Δείκτες απόδοσης (KPI) του συστήματος ΑΘ/ΑΤΕΣ για το νοσοκομείο Rörcke-Zweers[7]

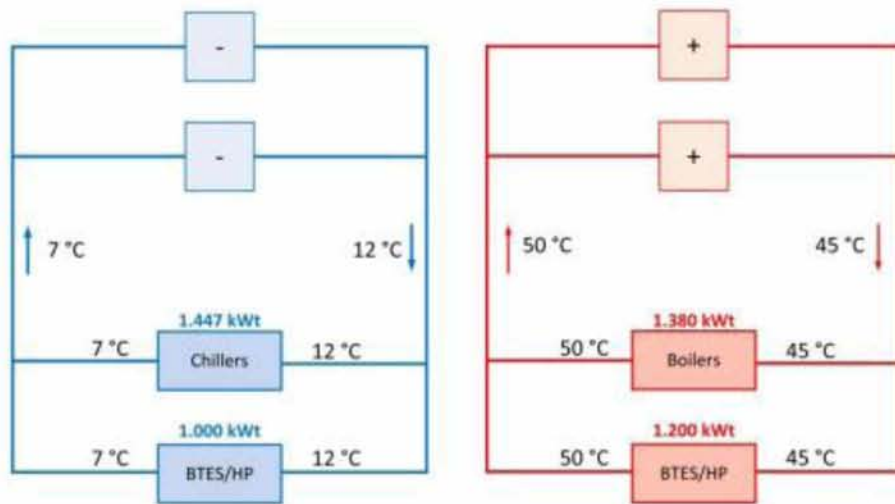
KPI		Cooling			Heating		
		2011	Target	State	2011	Target	State
Building return temp.	°C	14	18		46	45	
Building supply temp.	°C	10	10		50	50	
Infiltration temp.	°C	11.4	16.0		6.1	6.0	
Energy unbalance	MWht	In 2011 From commissioning			470 3,006	0	
Stored energy	MWht	586	1,125		128	1,125	
Percentage sustainable production	%	100	?		20	?	
Heat pump performance	EER/COP	?	?		?	?	
Spec. capacity wells	m ³ /h.m	70	>45		60	>45	
Pumped water amounts	m ³	47,290	<245,000		133,480	<270,000	

6.3.2 Εφαρμογή συστήματος BTES σε νοσοκομείο

Το Νοσοκομείο de Mollet εγκαινιάστηκε το 2010 στην περιοχή Mollet del Vallès κοντά στη Βαρκελώνη. Το νοσοκομείο έχει 160 κρεβάτια και η περιοχή εξυπηρέτησης του καλύπτει οκτώ δήμους με συνολικά 150.000 κατοίκους. Η επιφάνεια του δαπέδου είναι περίπου 27.000 m².

Η ζήτηση ψύξης και θέρμανσης του νοσοκομείου καλύπτεται από ένα σύστημα BTES/ΑΘ σε συνδυασμό με λέβητες και ψύκτες που τροφοδοτούνται με αέριο.

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας (ΒΗΕ), αποτελείται από 144 γεωτρήσεις, βάθους 145 m [7]. Το συνολικό μήκος της γεώτρησης είναι πάνω από 20.000 m, πράγμα το οποίο κατατάσσει το σύστημα στην ευρωπαϊκή κορυφή. Είναι ένα από τα πέντε μεγαλύτερα συστήματα κλειστού βρόχου.



Σχήμα 6.4 Σύστημα ΑΘ/ΒΤΕΣ για το νοσοκομείο Mollet[7]

Το σύστημα ΒΤΕΣ/ΑΘ σήμερα ελέγχεται μόνο στις λειτουργικές επιδόσεις του και λείπει η μέτρηση για την παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής ισορροπίας στο υπέδαφος.

Με βάση τις πληροφορίες από την περίοδο “Ιούλιος 2010-Ιούνιος 2011” σχετικά με τη συνολική παρεχόμενη θέρμανση και ψύξη και τη κατανάλωση ενεργειακών δεδομένων από τους λέβητες αερίου και τους ψύκτες, εκτιμάται ότι τα συστήματα ΒΤΕΣ/ΑΘ, καλύψαν από την εν λόγω περίοδο το 56% της ζήτησης ψύξης και το 67% της ζήτησης για θέρμανση.

Οι εκτιμώμενοι δείκτες απόδοσης για την περίοδο Ιουλίου 2010 - Ιουνίου 2011 οι εμφανίζονται και συγκρίνονται με τις τιμές-στόχους στον Πίνακα 6.3. Οι τιμές που αναφέρονται στον πίνακα είναι ενδεικτικές και βασίζονται σε δεδομένα από την παρακολούθηση της λειτουργίας.

Πίνακας 6.3 Δείκτες απόδοσης (KPI) για την περίοδο “Ιούλιος 2010 - Ιούνιος 2011” του συστήματος ΑΘ/ΒΤΕΣ για το νοσοκομείο Mollet[7]

KPI		Cooling			Heating		
		07/10-06/11	Target	State	07/10-06/11	Target	State
Building return temp.	°C	13	12		46	45	
Building supply temp.	°C	8	7		50	50	
Extraction temp.	°C	<35	<35		>10	>10	
Energy balance	%				?	0	
Percentage sustainable production	%	56	-		67	-	
Heat pump performance	EER/COP	?	6		?	4,2	

Άρα το συμπέρασμα που μπορεί να βγει από τα παραπάνω, είναι ότι τα νοσοκομεία έχουν σε γενικές γραμμές πολύ μεγάλη ζήτηση για θέρμανση και ψύξη. Οι υψηλές απαιτήσεις και η ανάγκη τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη, κάνουν τα συστήματα ATES και BTES, συνδυαζόμενα με αντλίες θερμότητας, πολύ ενδιαφέρουσες τεχνολογίες για τα νοσοκομεία.

6.4 Εφαρμογή συστήματος UTES στο Πικέρμι Αττικής

Στην Ελλάδα οι τεχνολογίες για την υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας δεν είναι ευρέως γνωστές και δεν υπάρχουν πολλές εφαρμογές. Παρόλα αυτά, έγινε μία απόπειρα στο Πικέρμι του νομού Αττικής στα πλαίσια του ευρωπαϊκού έργου HIGH - COMBI (www.highcombi.eu).

Η εφαρμογή αυτή έγινε πιλοτικά και σκοπός της ήταν η ανάπτυξη συστημάτων υψηλής ηλιακής ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Το ζητούμενο λοιπόν ήταν να καλυφτούν οι ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης, αλλά και για τη θέρμανση και τον κλιματισμό του χώρου.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

- Τους θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες (150 m²)
- Την υπεδαφική αποθήκη θερμότητας (ΥΑΘ) – (58 m³)
- Τον θερμικό ψύκτη απορρόφησης (35 kW)
- Τις μονάδες απόρριψης θερμότητας (πύργος ψύξης και γεωθερμικούς εναλλάκτες θερμότητας ΓΕΘ) και
- Την αντλία θερμότητας (ΑΘ) που χρησιμοποιείται ως βοηθητική πηγή ενέργειας (18 kW)

Η ΥΑΘ αποθηκεύει την πλεονάζουσα θερμότητα από τους ηλιακούς συλλέκτες κατά τις περιόδους υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων, ώστε αυτή να αξιοποιείται όταν χρειάζεται. Μεγάλα ποσά ενέργειας αποθηκεύονται έτσι κατά το φθινόπωρο και την άνοιξη και χρησιμοποιούνται κατά την επόμενη ενεργοβόρο περίοδο, δηλαδή το χειμώνα και το καλοκαίρι. Η ενεργειακή συμπεριφορά της ΥΑΘ βελτιώνεται από την ενσωμάτωση της ΑΘ σε περίοδο θέρμανσης και των ΓΕΘ σε περίοδο ψύξης.

Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης ΑΘ στη θέρμανση είναι ότι λειτουργεί με υψηλότερη θερμοκρασία προσαγωγής, συγκριτικά με τις συμβατικές αντλίες θερμότητας.

Οι ΓΕΘ είναι θερμικά συζευγμένοι με την ΥΑΘ και έχουν διττό ρόλο. Αφενός εξυπηρετούν μέρος της απορριπτόμενης θερμότητας από τον ψύκτη και αφετέρου μειώνουν τις θερμικές απώλειες της ΥΑΘ αυξάνοντας την θερμοκρασία του περιβάλλοντος εδάφους. Έτσι, ο πύργος ψύξης καλείται να απορρίψει λιγότερη θερμότητα και επομένως, μειώνεται η παρασιτική κατανάλωση της αντλίας (της

ροής από τον ψύκτη προς τον πύργο ψύξης), του ανεμιστήρα καθώς και η κατανάλωση νερού στον πύργο ψύξης, αφού ο συγκεκριμένος πύργος ψύξης λειτουργεί με εξατμιστική ψύξη.

Σχετικά με την ιεράρχηση των λειτουργιών καθόλη την διάρκεια του έτους, προτεραιότητα δίνεται στο ηλιακό πεδίο, αφού η λειτουργία του συνεπάγεται χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 6.7 Τοποθεσία της εγκατάστασης UTES. (Πηγή εικόνας: [9])

Ο συνολικός κλιματιζόμενος χώρος αποτελείται από γραφεία έκτασης $426,6 \text{ m}^2$ και όγκο 1297 m^3 . Η ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση είναι στα $12,3 \text{ MWh/έτος}$ (δηλαδή περίπου 29 kWh/m^2), ενώ η ενεργειακή απαίτηση για ψύξη είναι στα $19,4 \text{ MWh/έτος}$ (δηλαδή περίπου 45 kWh/m^2). Οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας είναι $25 \text{ }^\circ\text{C}$ και 50% για το καλοκαίρι και $20 \text{ }^\circ\text{C}$ και 35% για τον χειμώνα [15].



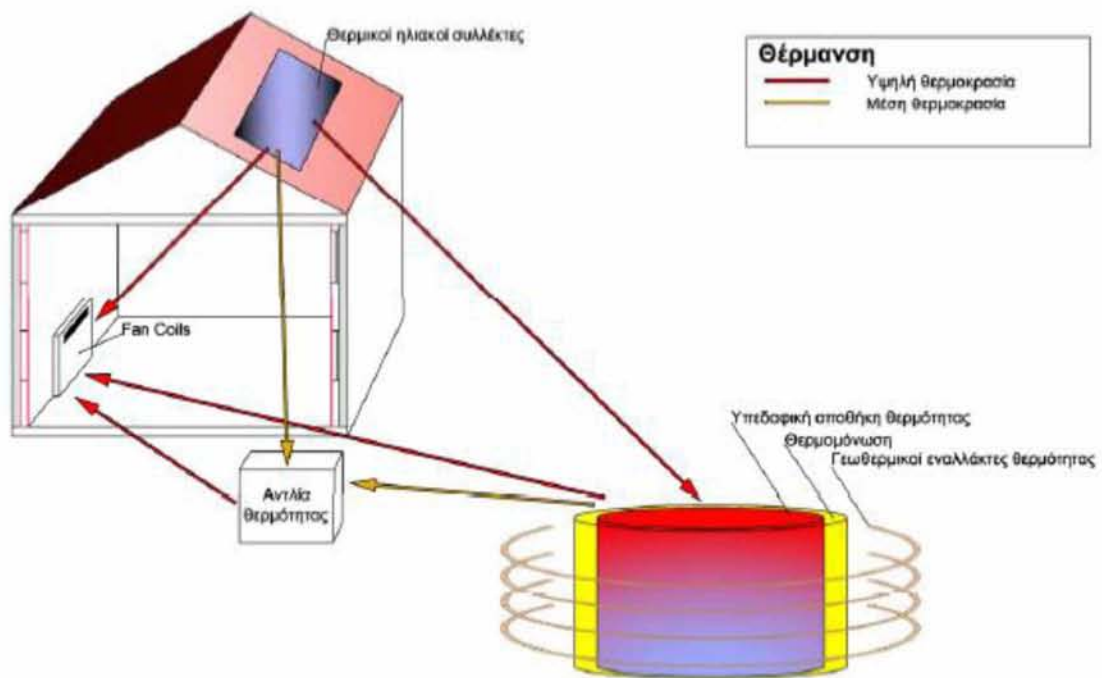
Εικόνα 6.8 Όψεις του κτιρίου. (Πηγή εικόνας: [9])

Χειμώνας

Το ηλιακό σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει θέρμανση στο κτίριο στους 45 °C. Στη βασική λειτουργία, η απαιτούμενη θέρμανση επιτυγχάνεται από το ηλιακό πεδίο ή/και την ΥΑΘ. Η βοηθητική πηγή ενέργειας (ΑΘ), συνδεδεμένη σε σειρά, αντλεί θερμότητα (εξατμιστής) μόνο από την ΥΑΘ και αυξάνει έτσι την θερμοκρασία (συμπυκνωτής) προσαγωγής στο επιθυμητό επίπεδο.

Οι δυνατοί συνδυασμοί κατά την περίοδο θέρμανσης απεικονίζονται στο σχήμα 6.5. Ανάλογα με το φορτίο του κτιρίου, την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασία της ΥΑΘ επιλέγεται η αντίστοιχη πηγή ή ο συνδυασμός πηγών θερμότητας. Συνοπτικά, οι πιθανές λειτουργίες είναι:

- Ηλιακό πεδίο
- Υπεδαφική Αποθήκη Θερμότητας
- Ηλιακό πεδίο & Αντλία Θερμότητας
- Υπεδαφική Αποθήκη Θερμότητας & Αντλία Θερμότητας



Σχήμα 6.5 Απεικόνιση της εγκατάστασης κατά την περίοδο θέρμανσης

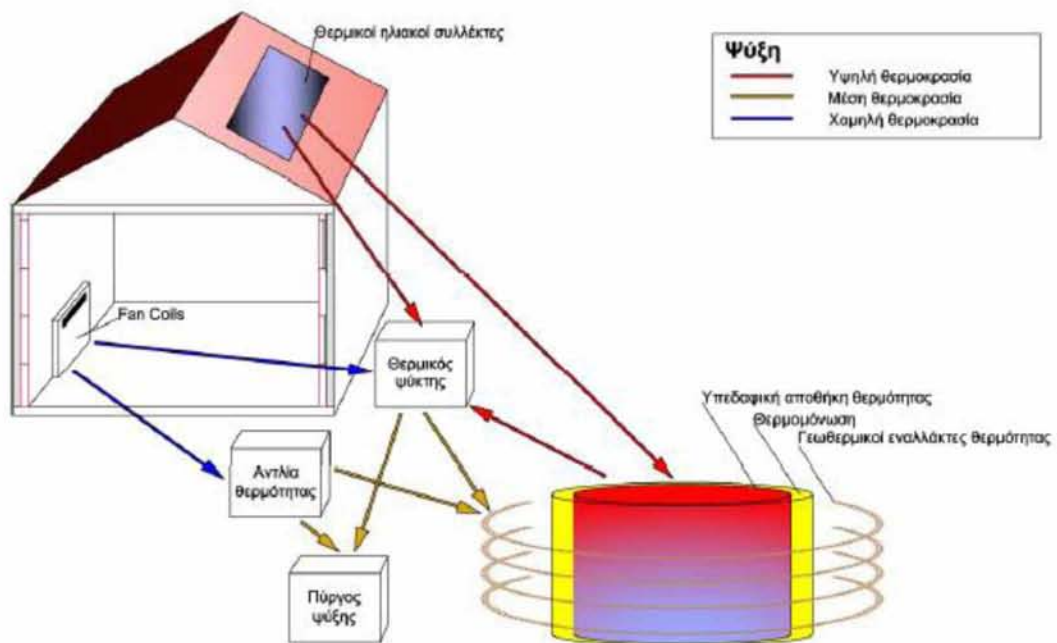
Καλοκαίρι

Το ηλιακό σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει ψύξη στο κτίριο στους 7 °C. Στη βασική λειτουργία, η απαιτούμενη ψύξη επιτυγχάνεται από τον ψύκτη απορρόφησης. Η βοηθητική πηγή ενέργειας (ΑΘ), συνδεδεμένη σε σειρά, ψύχει το ρευστό προσαγωγής στην επιθυμητή θερμοκρασία, εάν χρειαστεί.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την συνέχιση του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης, είναι η απόρριψη του συνόλου της θερμότητας που απάγεται από το κτίριο και αυτής που τροφοδοτεί τον ψύκτη. Μέρος αυτής της ενέργειας απορρίπτεται στο έδαφος μέσω των ΓΕΘ, ενώ η υπόλοιπη απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα μέσω του πύργου ψύξης. Όμως και για τη συνέχιση της λειτουργίας της ΑΘ απαιτείται απόρριψη ενέργειας και συγκεκριμένα, της ενέργειας που εξάγεται από το κτίριο και της ηλεκτρικής που καταναλώνεται από τον συμπιεστή.

Οι πιθανές λειτουργίες για θέρμανση απεικονίζονται στο σχήμα 6.6. Ανάλογα με το φορτίο του κτιρίου, την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία της ΥΑΘ επιλέγεται η αντίστοιχη πηγή ή ο συνδυασμός πηγών θερμότητας. Συνοπτικά, οι πιθανές λειτουργίες είναι:

- Ηλιακό πεδίο - Θερμικός Ψύκτης
- Υπεδαφική Αποθήκη Θερμότητας - Θερμικός Ψύκτης
- Ηλιακό πεδίο - Θερμικός Ψύκτης & Αντλία Θερμότητας
- Υπεδαφική Αποθήκη Θερμότητας - Θερμικός Ψύκτης & Αντλία Θερμότητας



Σχήμα 6.6 Απεικόνιση της εγκατάστασης κατά την περίοδο ψύξης

Άνοιξη και Φθινόπωρο

Κατά την διάρκεια των λιγότερο ενεργοβόρων περιόδων, η περίσσεια ηλιακής ακτινοβολίας συνήθως μένει ανεκμετάλλευτη. Όμως στην συγκεκριμένη εγκατάσταση, η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται στην ΥΑΘ θερμαίνοντας το νερό μέχρι τους 95 οC και μάλιστα, με ιδιαίτερα γρήγορους ρυθμούς. Ο συνδυασμός της θερμομονωτικής ενίσχυσης της δεξαμενής και του θερμότερου εδάφους γύρω από την ΥΑΘ, μειώνει τις θερμικές απώλειες.

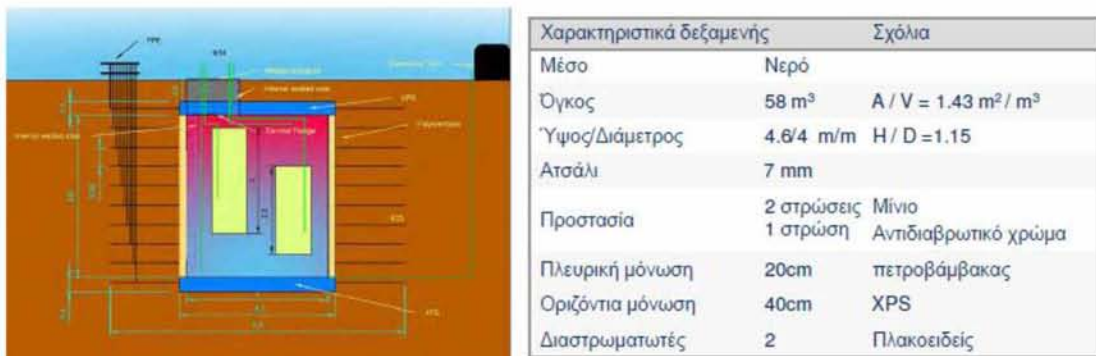
Για το ηλιακό πεδίο χρησιμοποιούνται 56 επίπεδοι συλλέκτες, σε 8 σειρές, με επιφάνεια 149,5 m² [15].



Εικόνα 6.9 Ηλιακοί Συλλέκτες. (Πηγή εικόνας: [9])

Για την υπεδαφική αποθήκη θερμότητας, κατασκευάστηκε μία μεγάλη κυλινδρική δεξαμενή. Το κέλυφος της δεξαμενής αποτελείται από ατσάλι με αντιδιαβρωτικές στρώσεις και θερμομόνωση εξηλασμένης πολυστερίνης στην άνω και κάτω βάση και πετροβάμβακα περιμετρικά. Εσωτερικά της δεξαμενής, υπάρχουν 2 πλακοειδείς διαστρωματωτές, οι οποίοι μειώνουν την ταχύτητα εισόδου των ρευμάτων επιστροφής και επιτυγχάνουν είσοδο του νερού στο πλησιέστερο θερμοκρασιακό επίπεδο με φυσικό τρόπο.

Ο όγκος της είναι 58 m³ και το μέσο αποθήκευσης είναι το νερό. Το πάνω μέρος της βρίσκεται ένα μέτρο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Παρακάτω φαίνονται συνοπτικά τα τεχνικά στοιχεία της δεξαμενής καθώς και η ίδια η δεξαμενή και ο χώρος τοποθέτησης της.



Εικόνα 6.10 Τεχνικά στοιχεία της δεξαμενής. (Πηγή εικόνας: [9])



Εικόνα 6.11 Δημιουργία της υπεδαφικής αποθήκης θερμότητας. (Πηγή εικόνας: [9])



Εικόνα 6.12 Τοποθέτηση της αποθήκης θερμότητας. (Πηγή εικόνας: [9])

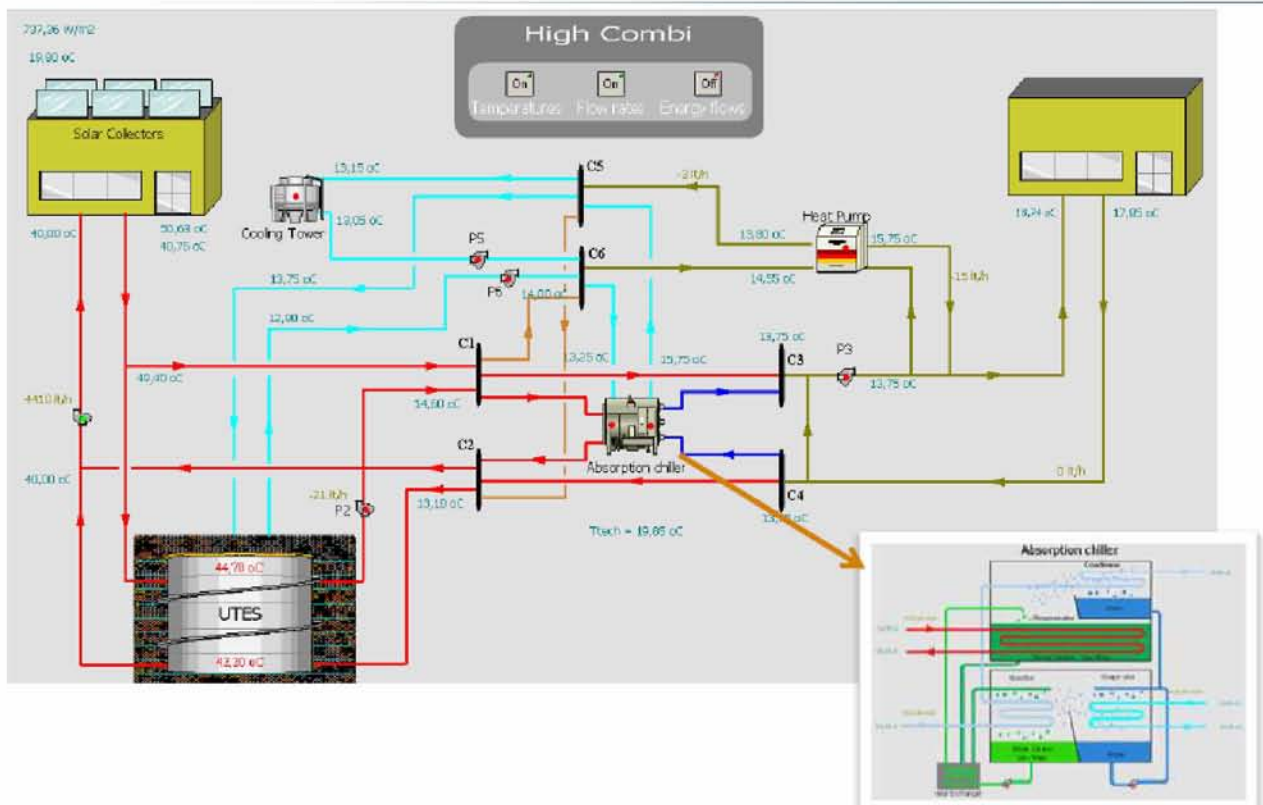
Τέλος, παρουσιάζεται παρακάτω το σύστημα εγκατάστασης και εποπτείας της πιλοτικής αυτής εγκατάστασης [15].



Εικόνα 6.13 Τμήμα της εγκατάστασης. (Πηγή εικόνας: [9])



Εικόνα 6.14 Μετρητικός Εξοπλισμός. (Πηγή εικόνας: [9])



Εικόνα 6.15 Σύστημα εποπτείας. (Πηγή εικόνας: [9])

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παραπάνω εργασία, διακρίνονται παρακάτω σε δύο ενότητες. Στην πρώτη αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των τεχνολογιών UTES, ενώ στη δεύτερη, γράφουμε για το που και ποιες τεχνολογίες, θα μπορούσαν να δοκιμαστούν στην Ελλάδα, αναλογιζόμενοι την παραπάνω έρευνα.

7.1 Η τεχνολογία

Η αποθήκευση ενέργειας είναι αναγκαία, για την μεγάλης κλίμακας αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο λόγος είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι διαθέσιμες σε αφθονία, όταν η ζήτηση είναι χαμηλή. Τα συστήματα για την εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας, ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση της αναντιστοιχίας, μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης.

Οι διατάξεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, παρέχουν ευελιξία στην εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί και οι τεχνολογίες (UTES). Με τις τεχνολογίες αυτές, γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας και κατ'επέκταση χρημάτων. Ενώ η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχει γίνει σε παγκόσμιο επίπεδο εδώ και πολλά χρόνια, η αποθήκευση της ενέργειας με τα συστήματα UTES έχει καθυστερήσει. Όμως, όλο και περισσότερο, τα νέα αυτά συστήματα παίρνουν μερίδιο από την αγορά και είναι βέβαιο ότι στο μέλλον θα έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο.

Τα κυριότερα συστήματα UTES, χωρίζονται στις τεχνολογίες ATES και BTES, οι οποίες συνδυάζονται με μια αντλία θερμότητας, σε περιόδους αιχμής της ζήτησης. Παρακάτω παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των τεχνολογιών αυτών:

- ❖ Τα ATES για να είναι αποδοτικά και να συμφέρουν οικονομικά, γίνονται για μεγάλες εγκαταστάσεις, ενώ τα BTES δεν έχουν τέτοιο περιορισμό, αφού μπορούν να γίνουν ακόμα και για μεμονωμένες οικίες.
- ❖ Η εφαρμογή ενός συστήματος ATES εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις υδρογεωλογικές συνθήκες της συγκεκριμένης τοποθεσίας. Τα συστήματα κλειστού βρόχου BTES, εξαρτώνται λιγότερο από την

τοπική υδρογεωλογία, το οποίο καθιστά την εφαρμογή σχεδόν πάντοτε τεχνικώς εφικτή.

- ❖ Τόσο τα συστήματα ATES, όσο και τα BTES χρησιμοποιούν το υπέδαφος για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας, αλλά η μεταφορά της θερμότητας από/προς το υπέδαφος είναι διαφορετική. Για τα ATES η ανταλλαγή θερμικής ενέργειας γίνεται κυρίως με μεταφορά θερμότητας με συναγωγή στον ταμιευτήρα, ενώ για τα BTES είναι κυρίως από μεταφορά θερμότητας με αγωγή στο υπέδαφος. Η διαφορά στη μεταφορά θερμότητας αντανακλάται κατά την εκτέλεση:
 - Στην περίπτωση ενός καλά λειτουργικού συστήματος ATES, η θερμοκρασία παροχής από τις γεωτρήσεις είναι σχετικά σταθερή, ενώ η θερμοκρασία παροχής από ένα σύστημα BTES θα αυξηθεί / μειωθεί γρήγορα και σημαντικά κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης / ψύξης. Η αύξηση της θερμοκρασίας παροχής κατά τη λειτουργία ψύξης, περιορίζει τη δυνατότητα των συστημάτων BTES για άμεση ψύξη. Για το λόγο αυτό η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων ATES είναι γενικά υψηλότερη.
 - Η θερμική μεταφορά στον ταμιευτήρα προς / από τις γεωτρήσεις ενός συστήματος ATES, είναι πολύ ταχύτερη, από ό,τι η θερμική μεταφορά στο υπέδαφος προς / από τον BHE ενός συστήματος BTES. Λόγω αυτού, τα συστήματα BTES είναι πιο ευαίσθητα κατά τη διάρκεια πολλών διαδοχικών ωρών λειτουργίας, σε ώρες αιχμής του φορτίου του συστήματος.
- ❖ Η συνολική απόδοση του ενεργειακού συστήματος, δεν εξαρτάται μόνο από την απόδοση του συστήματος ATES/BTES, αλλά και από τις απαιτούμενες θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής του κτιρίου . Για τη μεγιστοποίηση της συνολικής απόδοσης της παραγωγής ενέργειας, συνιστάται να εφαρμόζονται κυκλώματα ψύξης υψηλής θερμοκρασίας και κυκλώματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας στο κτίριο.
- ❖ Τα συστήματα ATES, σε γενικές γραμμές απαιτούν άδειες για την εξαγωγή και την έγχυση των υπόγειων υδάτων. Προκειμένου να αξιολογηθούν τα συστήματα αυτά, δέχονται αναγκαστική παρακολούθηση για ενδεχόμενη συμμόρφωση του έργου.
- ❖ Μια βιώσιμη και βέλτιστη απόδοση στη θερμική ισορροπία του υπεδάφους, είναι σημαντική τόσο για τα ATES όσο και για τα BTES. Επιπλέον, η θερμική ισορροπία για τα συστήματα ATES, είναι συχνά προϋπόθεση για την άδεια λειτουργίας τους.

7.2 Εφαρμογή στην Ελλάδα

Στα συστήματα θέρμανσης στη χώρα μας, χρησιμοποιείται κατά βάση πετρέλαιο και φυσικό αέριο, ενώ σε αυτά της ψύξης ηλεκτρικό ρεύμα. Τα κόστη πετρελαίου και φυσικού αερίου έχουν αυξηθεί σημαντικά και αναμένεται να αυξηθούν ακόμη περισσότερο τα επόμενα χρόνια, με αποτέλεσμα σε πολλά σπίτια να χρησιμοποιούνται τα κλιματιστικά για τη θέρμανση του χώρου, γεγονός που σημαίνει ότι καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια για τη θέρμανση του χώρου.

Το ολοένα αυξανόμενο κόστος των συμβατικών καυσίμων και η αβεβαιότητα για περαιτέρω αυξήσεις τα επόμενα χρόνια, καθιστά επίκαιρη την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, όπως είναι τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

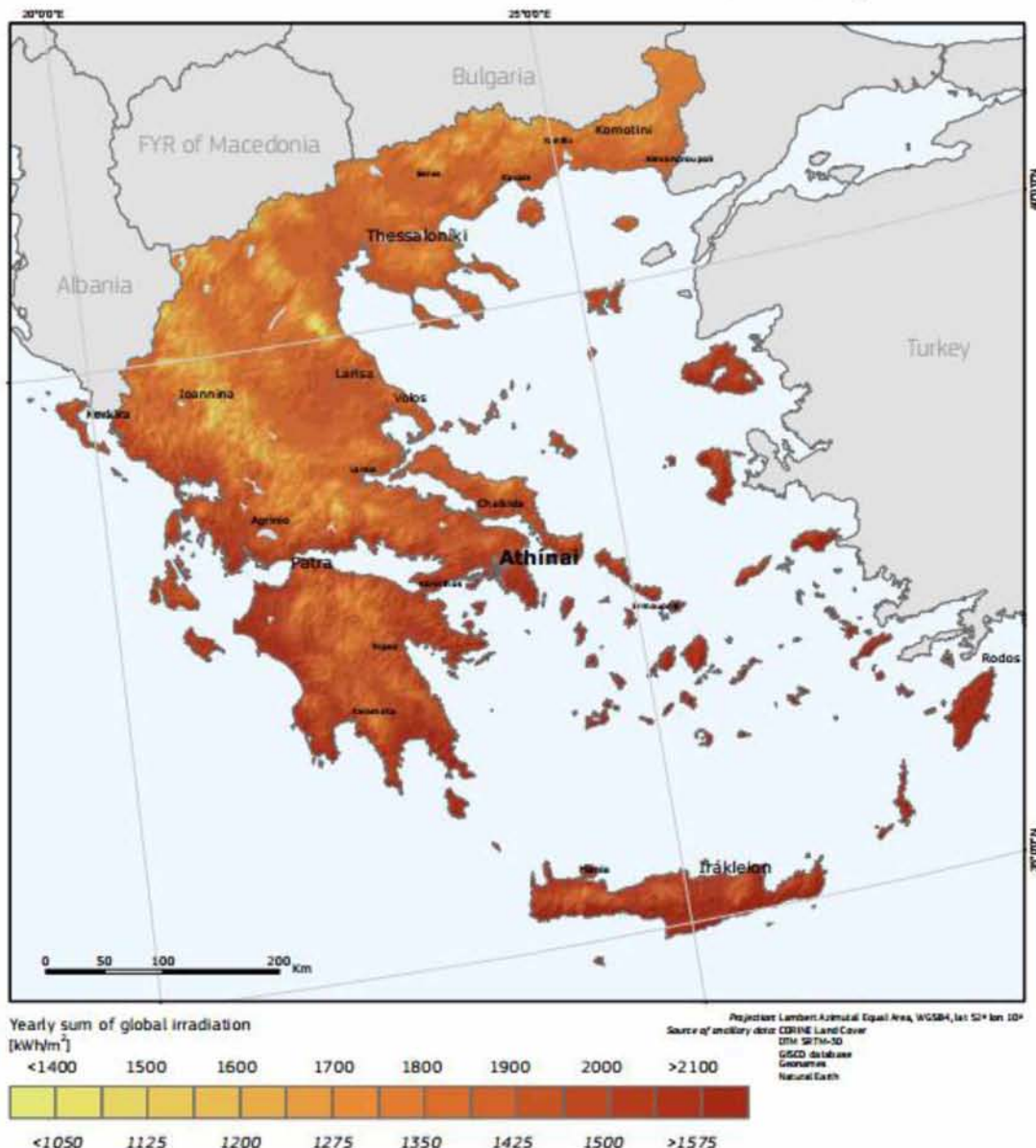
Δυστυχώς, η διείσδυση των συστημάτων UTES στη χώρα μας είναι ανύπαρκτη, αφού μέχρι σήμερα, οι κυβερνήσεις διοχέτευαν το μεγαλύτερο μέρος των επιδοτήσεων, για την αξιοποίηση των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (πχ. φωτοβολταϊκά) και μη λαμβάνοντας υπόψιν εξίσου σοβαρά, τις μεγάλες ανάγκες για παραγωγή θερμικής ενέργειας, μέσω της γεωθερμίας.

Προϋπόθεση για τη διείσδυση της νέας (για τη χώρα μας) αυτής τεχνολογίας, αποτελεί η ύπαρξη κινήτρων (πχ. επιδότηση από την πολιτεία, προσφορά δανείων με μηδενικό ή πολύ μικρό επιτόκιο για την εγκατάσταση), η ενημέρωση του κόσμου αλλά και η εφαρμογή της σε μεγάλα έργα σε όλη τη χώρα. Το τελευταίο θα συντελούσε στην προβολή και γνωστοποίηση των θετικών αποτελεσμάτων της τεχνολογίας αυτής, με πολύ θετικά επακόλουθα στη διάδοση της.

Μία καλή λύση, για αρχή, θα ήταν η εφαρμογή των UTES σε μεγάλα κτίρια, αλλά και σε κάποια νοσοκομεία της Ελλάδας. Τα περισσότερα νοσοκομεία έχουν πολύ υψηλή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη, τόσο για ιατρικούς λόγους, όσο και για άνεση. Επιπλέον, η ανάγκη για θέρμανση και ψύξη είναι συνεχής, 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο.

Λόγω του ηλιακού δυναμικού της χώρας μας, υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας που συλλέγεται από ηλιοθερμικά συστήματα το καλοκαίρι, με στόχο τη χρήση της τον χειμώνα, για τη θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης.

Η χρήση συστημάτων τύπου ATES ή BTES εξαρτάται από την τοποθεσία εγκατάστασης. Στην εικόνα 7.1 εμφανίζεται ο χάρτης του Ηλιακού Δυναμικού της Ελλάδας. Είναι το ετήσιο άθροισμα της ακτινοβολίας που έλαβαν τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τοποθετημένα στη βέλτιστη γωνία για το 2012.



Εικόνα 7.1 Χάρτης Ηλιακού Δυναμικού Της Ελλάδας. (Πηγή εικόνας: [10])

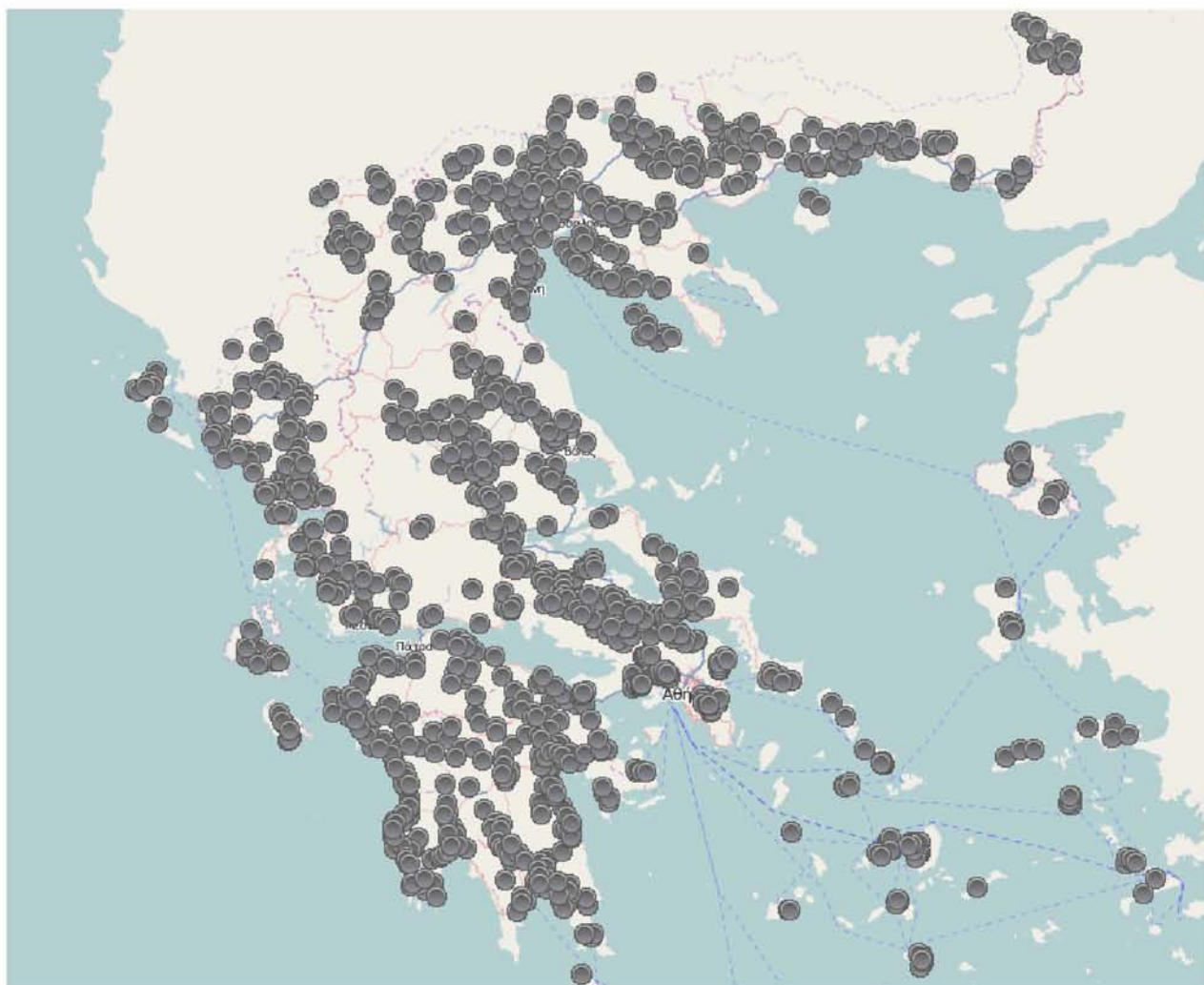
Στην εικόνα 7.2 φαίνονται οι σταθμοί υπόγειων υδάτων, με μεγαλύτερη πυκνότητα, στη βορειοανατολική Ελλάδα, την Δυτική Κεντρική Ελλάδα και την Πελοπόννησο.

Στην Ανατολική Πελοπόννησο και Στερεά Ελλάδα, το ηλιακό δυναμικό είναι ιδιαίτερα υψηλό και ταυτόχρονα η συγκέντρωση υπόγειων υδάτων είναι μεγάλη, ώστε να αξίζει να μελετηθεί και λεπτομερώς η ευρύτερη εφαρμογή εποχιακής αποθήκευσης με συστήματα ATES. Άλλες ζώνες αξιοποίησης θα μπορούσαν να είναι η Ήπειρος και η Ανατολική Μακεδονία.

Συνεπώς, τα συστήματα ATES θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε νέα νοσοκομεία των πιο πάνω περιοχών.

Τα συστήματα BTES είναι πιο ευέλικτα, καθώς θα μπορούσαν να εγκατασταθούν όπου είναι εφικτό να γίνουν γεωτρήσεις. Μια καλή ιδέα θα ήταν να

γίνουν κάτω από ένα πάρκινγκ, για εξοικονόμηση χώρου. Επίσης, μπορούν να εφαρμοστούν και σε ήδη υπάρχοντα νοσοκομεία και κτίρια.



Εικόνα 7.2 Σταθμοί Υπόγειων Υδάτων Στην Ελλάδα. (Πηγή εικόνας: [11])

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] European Commission, "EU energy in figures", Statistical Pocketbook 2014.
[http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_pocket_book.pdf]
- [2] Hellenic Statistical Authority "Survey on energy consumption in households 2011-2012". Press Release. Πειραιάς (29/10/2013)
[http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A0805/PressReleases/A0805_SFA40_DT_5Y_00_2012_01_F_EN.pdf]
- [3] Andritsos, N., Arvanitis, A., Dalabakis, P., Karytsas, C., Mendrinou, D., & Papachristou, M. (2013, June). Geothermal energy use, country update for Greece. In Proceedings of the geothermal congress. Pisa, Italy.
- [4] Υ.Π.Ε.Κ.Α, Τεχνική οδηγία ΤΕΕ "Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών", Β' Έκδοση (Απρίλιος 2012)
[<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf>]
- [5] Nordell, B., Grein, M., & Kharseh, M. (2007). Large-scale utilisation of renewable energy requires energy storage. International conference for renewable energies and sustainable development (ICRESD_07), Université Abou Bakr BELKAID—TLEMEN, Algeria, May, 21-24.
- [6] Hendriks, M., Snijders, A., & BOIDO, N. (2008, May). Underground thermal energy storage for efficient heating and cooling of buildings. In 1st International Conference on Industrialised, Integrated, Intelligent Construction, Loughborough (pp. 315-324).
- [7] Hendriks, M., & Velvis, H. Operational management of large scale UTES systems in Hospitals. International Conference on Energy Storage. Innostock 2012
- [8] Hoes H., Petitclerc, E., Declercq P., Laenen B. (2013). Geothermal Energy Use, Country Update for Belgium. In Proceedings European Geothermal Congress.
- [9] Mahler, A., Røgen, B., Ditlefsen, C., Nielsen, L. H., & Vangkilde-Pedersen, T. (2013). Geothermal Energy Use, Country Update for Denmark. In Proceedings European Geothermal Congress.
- [10] Ganz, B., Schellschmidt, R., Schulz, R., & Sanner, B. (2013, June). Geothermal energy use in Germany. In Proceedings of the European Geothermal Congress, Pisa, Italy (pp. 3-7).

- [11] Hartog, N., Drijver, B., Dinkla, I., & Bonte, M. (2013). Field assessment of the impacts of aquifer thermal energy storage (ATES) systems on chemical and microbial groundwater composition. In European geothermal congress.
- [12] Gehlin, S., Andersson, O., Bjelm, L., Alm, P. G., & Rosberg, J. E. (2015). Country Update for Sweden. In Proceedings, World Geothermal Congress.
- [13] Curtis, R., Ledingham, P., Law, R., & Bennett, T. (2013). Geothermal Energy Use, Country Update for United Kingdom. In Proceedings of European Geothermal Congress (pp. 1-9).
- [14] A.Pearson,(2011),"Underground solution", CIBSE Journal, October 2011, (pp. 22-26)
- [15] Χασάπης Δ., Τσεκούρας Π., (2010). "Καινοτόμο σύστημα υψηλής ηλιακής κάλυψης για θέρμανση και ψύξη στην Αθήνα". 4^ο Εθνικό Συνέδριο - Η Εφαρμογή των ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
- [16] BP Statistical Review of World Energy 2014," British Petroleum, June 2014.
[<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>] Πρόσβαση 12/2/2015
- [17] B. Nordell, "Underground Thermal Energy Storage (UTES)" 16 May 12. Innostock 2012. The 12th International Conference on Energy Storage.
- [18] Andersson, O., Ekkestubbe, J., & Ekdahl, A. (2013). UTES (Underground Thermal Energy Storage)—Applications and Market Development in Sweden. *J. Energ. Pow. Eng*, 7, 669.
- [19] Lee, K. S. (2013). *Underground Thermal Energy Storage* (pp. 15-26). Springer London.
- [20] Paksoy, H & Stiles, L., "Aquifer Thermal Energy Cold Storage System at Richard Stockton College", EFFSTOCK 2009 (11th International) - Thermal Energy Storage for Efficiency and Sustainability, Stockholm, (2009)
- [21] Wong, Bill (June 28, 2011), "Drake Landing Solar Community", IDEA/CDEA District Energy/CHP 2011 Conference, Toronto, pp. 1–30, retrieved 21 April 2013
- [22] Godschalk, M.S. & Bakema, G. (2009), "20,000 ATES systems in the Netherlands in 2020 - Major step towards a sustainable energy supply", EFFSTOCK 2009 (11th International) - Thermal Energy Storage for Efficiency and Sustainability, Stockholm

- [23] Nussbicker-Lux, J. (2011), "Solar Thermal Combined with District Heating and Seasonal Heat Storage.", OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein.
- [24] Michel, F.A. (2009), "Utilization of abandoned mine workings for thermal energy storage in Canada", Effstock Conference (11th International) -- Thermal Energy Storage for Efficiency and Sustainability, Stockholm
- [25] Mangold, D. (6 February 2010), "Prospects of Solar Thermal and Heat Storage in DHC", Euroheat and Power + COGEN Europe, Brussels
- [26] Paksoy, S. (2013), International Energy Agency Energy Conservation through Energy Storage Programme since 1978, IEA ECES
- [27] Nordell, Bo; Gehlin, S. (2009), 30 years of thermal energy storage – a review of the IEA ECES stock conferences, IEA ECES
- [28] Paksoy H., Turgut B., Beyhan B., Dasgan H.Y., Evliya H., Abak K., Bozdag S. (2010). Greener Greenhouses. World Energy Congress. Montreal 2010. [<https://worldenergy.org/documents/congresspapers/346.pdf>]
- [29] Turgut B., Dasgan H.Y., Abak K., Paksoy H., Evliya H., Bozdag S. (2008). Aquifer thermal energy storage application in greenhouse climatization. International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate.
- [30] Nordell, B., Grein, M., & Kharseh, M. (2007). Large-scale utilisation of renewable energy requires energy storage. International conference for renewable energies and sustainable development (ICRESD_07), Université Abou Bakr BELKAID—TLEMEN, Algeria, May, 21-24.

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- [1] <http://www.sev.org.gr/online/index.aspx>
- [2] http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_pocket_book.pdf
- [3] http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A0805/PressReleases/A0805_SFA40_DT_5Y_00_2012_01_F_EN.pdf
- [4] http://www.quadlock.com/green_building/ICF_energy_performance.htm
- [5] <http://simmsconstruction.com/green-home-performance>
- [6] <http://econstruct.weebly.com/>
- [7] <http://www.ltu.se/>
- [8] <http://www.iftech.co.uk/>
- [9] <http://www.iene.gr/>
- [10] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [11] http://geodata.gov.gr/maps/?zoom=8&lat=4581327.10883&lon=2635564.95487&layers=st_par_ypogeia&layeropacity=100&baselayer=google&baselayeropacity=100