



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ : ΚΑΛΛΙΑΤΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΒΒΟΥΣΑΝΟΣ ΜΑΝΟΛΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2013



TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

GRADUATION THESIS

THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS

STUDENT FULLNAME: KALLIATAKIS STAVROS

SUPERVISOR PROFESSOR: KAVVOUSANOS MANOLIS

HERAKLION 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή κ. Καββούσανό Μανόλη για την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τον πατέρα μου για την οικονομική και κυρίως ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα τα έτη των σπουδών μου και ελπίζω να φανώ αντάξιος των προσδοκιών τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	
1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ).....	9
1.2 Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
2.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
2.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	13
2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	15
2.4.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	15
2.4.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΛΑΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	
3.1 ΥΔΑΤΙΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΗ.....	19
3.1.1 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	19
3.1.2 ΘΕΡΜΙΚΑ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΜΕΝΗ ΥΔΑΤΙΝΗ ΑΠΟΘΗΚΗ.....	21
3.2 ΤΥΠΟΙ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ.....	23
3.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΗΣ.....	25
3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΑ ΔΙΑΣΤΡΩΜΕΝΗΣ	25
3.5 ΘΕΡΜΟΔΟΧΕΙΟ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ COMBI.....	26
3.6 ΜΟΝΩΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	28
3.7 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	29
3.8 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΗΣ.....	31
3.8.1 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	31
3.8.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	31
3.8.3 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΣΟ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΩΝ ΑΝΟΔΩΝ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ.....	32
3.9 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΛΙΝΗ ΣΤΕΡΕΩΝ (Rock Bed).....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	36
4.2 Η ΠΡΩΤΗ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....	38
4.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....	39
4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	39
4.3.2 ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	40

4.3.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	41
4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	42
4.5 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤΤΕΣ)	44
4.6 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΛΑΚΚΟ (ΡΤΕΣ).....	48
4.6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	48
4.6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	49
4.6.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	50
4.6.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ΡΤΕΣ).....	54
4.7 ΥΠΟΕΔΑΦΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	55
4.7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	55
4.7.2 ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ.....	57
4.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (ΑΤΕΣ)	58
4.8.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	58
4.8.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	58
4.8.3 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ.....	60
4.8.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	61
4.8.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	62
4.9 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΚΛΕΙΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (ΒΤΕΣ).....	64
4.9.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	64
4.9.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	65
4.9.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	66
4.9.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	68
4.10 ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ.....	68
4.11 ΗΛΙΑΚΗ ΛΙΜΝΗ.....	69
4.11.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	69
4.11.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ.....	72
4.11.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ.....	73
4.11.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ.....	74
4.11.5 ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΛΙΜΝΗΣ	75
4.12 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΟΧΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΒΡΑΒΕΥΜΕΝΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΟΚΟΤΟΚΣ ΚΑΝΑΔΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	81
5.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	83
5.1.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	84
5.1.3 ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	86
5.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	87
5.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ.....	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΧΟΥΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	89
6.2 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΞΗΣ.....	89
6.3 ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	90
6.4 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΨΥΧΡΟΥ ΥΔΑΤΟΣ.....	91
6.4.1 ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΧΡΟΥ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ.....	91
6.4.2 ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ Ή ΑΔΕΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ.....	92
6.4.3 ΜΕΜΒΡΑΝΗ Η ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ.....	92
6.4.4 ΛΑΒΥΡΙΝΘΟΙ ΚΑΙ ΚΑΘΡΕΦΤΕΣ (Labyrinth and Baffle).....	92
6.5 ΠΑΓΟΛΕΚΑΝΕΣ	93
6.5.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΗΞΗ ΠΑΓΟΥ ΣΕ ΣΕΡΠΑΝΤΙΝΑ (External melt ice-on-coil):	93
6.5.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΗΞΗ ΠΑΓΟΥ ΣΕ ΣΕΡΠΑΝΤΙΝΑ (Internal melt ice-on-coil):	93
6.5.3 ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΟΣ ΠΑΓΟΣ (Encapsulated Ice):.....	93
6.5.4 ΘΡΥΜΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΓΟΥ.....	94
6.5.5 ΠΑΓΟΠΟΛΤΟΣ (ice slurry):.....	94
6.6 ΕΥΤΗΚΤΑ ΑΛΑΤΑ (Eutectic Salts)	94
6.7 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	95
6.8 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΧΟΥΣ	97
6.9 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	99
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	104

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κτιριακός τομέας αντιπροσωπεύει περίπου το 40% της συνολικής χρήσης ενέργειας στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων ποικίλουν σε ημερήσια, εβδομαδιαία ή σε εποχιακή βάση. Αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να καλυφτούν με τη βοήθεια των θερμικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (TES) που λειτουργούν συνεργικά και συνδυαστικά με κάθε θερμική εφαρμογή. Με αυτό τον τρόπο συμβάλουν στη διόρθωση της αναντιστοιχίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης της ενέργειας, και μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά με τη συμβολή τους στην κάλυψη των αναγκών της κοινωνίας για πιο αποτελεσματική, και φιλική προς το περιβάλλον χρήση της ενέργειας. Διαδραματίζουν επομένως σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ενέργειας και μπορούν να αποφέρουν σημαντική εξοικονόμηση από την μειωμένη χρήση ορυκτών καυσίμων. Η παρούσα εργασία στοχεύει στο να παρουσιάσει μια συνοπτική εικόνα των κυριότερων συστημάτων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας για εγκαταστάσεις θέρμανσης και χρήσης ζεστού νερού σε μια κατοικία ή ένα σύμπλεγμα κατοικιών για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση. Το ενδιαφέρον για μεγάλης κλίμακας ηλιακή εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας ξεκίνησε με την πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του εβδομήντα. Οι στόχοι αυτών των συστημάτων ήταν η αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας που συλλέγεται το καλοκαίρι για τη θέρμανση χώρων το χειμώνα. Τα συστήματα αυτά συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Έτσι λοιπόν γίνεται μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε μεμονωμένα - αποκεντρωμένα συστήματα, και μια εκτενέστερη περιγραφή των κεντρικών εποχιακών συστημάτων θερμικής αποθήκευσης ενέργειας. Τέλος θα αναφερθούμε συνοπτικά και στις τεχνολογίες αποθήκευσης ψύχους για χρήση στον κλιματισμό.

ABSTRACT

The building sector accounts for approximately 40% of total energy use in the European Union (EU). The energy requirements of buildings vary on a daily, weekly or seasonal basis. These demands can cover them with the help of thermal energy storage (TES) that work synergistically and in combination with each specific application. In this way contribute to correcting the mismatch between supply and demand of energy, and can significantly impact their contribution to meeting society's needs for more efficient and environmentally friendly use of energy. Thus plays an important role in energy conservation and can yield significant savings from reduced use of fossil fuels. This paper aims to present a snapshot of the main thermal energy storage system for heating and hot water in a residence or a residential complex for short-term storage. The interest for large-scale solar seasonal thermal energy storage began with the oil crisis in the early seventies. The objectives of these systems was the storage of solar heat collected in summer for space heating in winter. These systems contribute to significantly to improving energy efficiency and reducing greenhouse gas emissions in the atmosphere. So there is a short description of the seasonal thermal energy storage in single - decentralized systems, and an extensive description of the central seasonal thermal energy storage systems. Finally we briefly summarize and cold storage technologies for use in air conditioning.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

Η υποκατάσταση μορφών ενέργειας βασισμένων σε ορυκτά καύσιμα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί μοναδική μακροπρόθεσμη απάντηση στην πορεία προς τη βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας. Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Αναφέρουμε επιγραμματικά ορισμένα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των ΑΠΕ (Ζερβός Αρθούρος, “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”):

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- Συμβάλλουν στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.
- Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος και σχετικά μικρή διάρκεια κατασκευής.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.
- Συμβάλλουν στη δημιουργία θέσεων εργασίας.

1.2 Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν έναν συνεχώς εξελισσόμενο κλάδο που αποτελεί το παρόν και το μέλλον στην ηλεκτροπαραγωγή. Η σκέψη αυτή ενισχύεται από τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της χώρας μας και ιδιαίτερα των νησιών μας, όπου οι ανανεώσιμες πηγές (άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία) είναι άφθονες και καθιστούν την εκμετάλλευσή τους ιδιαίτερα επικερδή σε πολλούς τομείς.

Ωστόσο, η ενέργεια που παράγεται από τις διατάξεις των ΑΠΕ, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και οι ανεμογεννήτριες, κυμαίνεται σημαντικά σε ημερήσια, ωριαία και εποχιακή βάση λόγω της μεταβολής στη διαθεσιμότητα του ήλιου, του ανέμου και των άλλων ανανεώσιμων πηγών. Κατά συνέπεια, οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας έχουν το μειονέκτημα της χρονικής αναντιστοιχίας της παραγωγής (προσφοράς), η οποία δεν επιδέχεται ανθρώπινο έλεγχο, με την κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας. Η αναντιστοιχία αυτή σημαίνει ότι η ενέργεια μερικές φορές δεν είναι διαθέσιμη όταν απαιτείται, ενώ σε άλλες περιπτώσεις υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας. Δημιουργείται, επομένως, η ανάγκη τη ενσωμάτωσης της ενεργειακής αποθήκευσης στα συστήματα παραγωγής των ΑΠΕ, είτε στις αυτόνομες είτε στις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο εγκαταστάσεις. Η ανάγκη της αποθήκευσης υπήρχε και παλαιότερα, επειδή οι θερμικές μονάδες δεν είναι ευέλικτες και κατά περιόδους (τη νύχτα) η ενέργεια που παράγουν είναι μεγαλύτερη της ζήτησης. Εντούτοις, η ανάγκη αυτή θα μεγαλώσει στο μέλλον σημαντικά, λόγω της μεγαλύτερης συμμετοχής των ΑΠΕ.

Η τεχνική της αποθήκευσης ενέργειας τα τελευταία χρόνια έχουν φτάσει στο σημείο να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην μοντέρνα τεχνολογία. Συγκεκριμένα, η αποθήκευση ενέργειας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επιτυχία οποιασδήποτε εγκατάστασης παραγωγής που προσπαθεί να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση. Για παράδειγμα η ανάγκη αποθήκευσης στις εφαρμογές ηλιακής ενέργειας είναι επιτακτική, ειδικά όταν η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας είναι στο κατώτατο σημείο, κυρίως τον χειμώνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι διαφορετικές μορφές ενέργειας που μπορούν να αποθηκευτούν περιλαμβάνουν τη μηχανική, ηλεκτρική και θερμική ενέργεια.

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην Α' κατηγορία το χαρακτηριστικό είναι η μορφή της ενέργειας που αποθηκεύεται, ενώ στη Β' κατηγορία η διάρκεια της αποθήκευσης.

Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας – Α' κατηγορία

Οι μορφές με τις οποίες η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί είναι η μηχανική, η θερμική, η χημική, η βιολογική και η μαγνητική.

2.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στη θερμική αποθήκευση ενέργειας, η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε μια ουσία με την αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας της (με τη μορφή αισθητής θερμότητας) ή με την αλλαγή της φάσης της (με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας). Ακόμη, στη θερμική αποθήκευση θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε τη θερμοχημική αποθήκευση, αφού και εκεί η συναλλασσόμενη ενέργεια εισέρχεται και εξέρχεται από το αποθηκευτικό σύστημα με τη μορφή της θερμότητας. Παραδείγματα θερμικών συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας για νυχτερινή θέρμανση, η αποθήκευση της καλοκαιρινής θερμότητας για τη χρήση της το χειμώνα, η αποθήκευση του χειμωνιάτικου πάγου για τον καλοκαιρινό κλιματισμό. Ένα άλλο είδος συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς θερμαντές (θερμοσυσσωρευτές) για την παραγωγή θερμότητας τη νύχτα, που το κοστολόγιο της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρότερο και την αποθηκεύει στη δομική μάζα των υλικών του κτιρίου ή σε υλικά του εδάφους ή ακόμη σε κεραμικά υλικά που βρίσκονται σε καλά μονωμένες δεξαμενές, για την ημερήσια απόδοσή της. Με παρόμοιο τρόπο στα συστήματα αποθήκευσης ψύξης γίνεται νυχτερινή παραγωγή πάγου, όταν δηλαδή δεν απαιτείται και αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί για τον κλιματισμό χώρων την επόμενη μέρα όταν αυτό απαιτηθεί. Στις μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας μέσω αεριοστρόβιλων, τα συστήματα αποθήκευσης ψύξης χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στην ψύξη του αέρα περιβάλλοντος πριν

εισέλθει στο συμπιεστή κυρίως κατά τους θερινούς μήνες που πέφτει η απόδοση του συστήματος. Παρατηρούμε, λοιπόν, από τις εφαρμογές των συστημάτων αυτών ότι διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στη βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων στα οποία υφίστανται καθώς εξομαλύνουν τις διαφορές ανάμεσα στην παραγωγή και τη ζήτηση του φορτίου. Στα θερμικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας θα αναφερθούμε διεξοδικά Παρακάτω

Μέθοδοι Αποθήκευσης Ενέργειας – Β' κατηγορία

Ανάλογα με τη διάρκεια αποθήκευσης τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας διαχωρίζονται σε μικρής, μεσαίας και μεγάλης διάρκειας. Η μικρής διάρκειας αποθήκευση χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει τις αιχμές της ζήτησης ενός ενεργειακού συστήματος για λίγες ώρες σε μια ημέρα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το μέγεθος του ενεργειακού συστήματος, το κεφάλαιο της επένδυσης, οι θερμικές απώλειες, και οι μονάδες παραγωγής της ενέργειας. Η μεσαίας ή μεγάλης διάρκειας αποθήκευση συστήνεται όταν η περισσευούμενη θερμική ενέργεια ή το εποχιακό ενεργειακό κέρδος αντίστοιχα, μπορεί να μεταφερθεί με μία καθυστέρηση από μερικές εβδομάδες έως μερικούς μήνες. Η μεγάλης διάρκειας αποθήκευση που εκμεταλλεύεται τις ετήσιες κλιματικές αλλαγές συχνά αναφέρεται σαν εποχιακή αποθήκευση. Το βασικό χαρακτηριστικό της εποχιακής αποθήκευσης είναι η πολύ μεγάλη χωρητικότητα που απαιτείται σε σχέση με την ημερήσια αποθήκευση ενέργειας. Οι θερμικές απώλειες γίνονται πολύ σημαντικές για τη εποχιακή αποθήκευση αφού πρόκειται για μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνετε η κατηγοριοποίηση κριτηρίων για την επιλογή του συστήματος αποθηκεύσεις θερμικής ενέργειας βάση κάποιων κύριων χαρακτηριστικών του συστήματος όπως ο χρόνος αποθήκευσης η κατάσταση του αποθηκευτικού μέσου κ.λ.π .



Κατηγοριοποίηση κριτηρίων για θερμική αποθήκευση ενέργειας

2.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Γενικά

Το κύριο χαρακτηριστικό ενός συστήματος αποθήκευσης θερμότητας είναι ότι η βασική είσοδος και έξοδος του είναι θερμική ενέργεια. Η αποθήκευση μπορεί να γίνει τόσο σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και σε υψηλές. Με τον όρο χαμηλές, εννοούμε θερμοκρασίες που δεν ξεπερνούν το κανονικό σημείο βρασμού του νερού (100ο C), πχ ηλιοθερμικά συστήματα για παράγωγη ζεστού νερού χρήσης η συνδυασμένου κύκλου λειτουργιάς παράγωγης ΖΝΧ και υποβοήθησης στο σύστημα θέρμανσης (ενδοδαπεδια θέρμανση) ενώ με τον όρο υψηλές θερμοκρασίες, εννοούμε μεγαλύτερες από 250ο C. Πχ ηλιοθερμικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .

Γενικά, ένα σύστημα αποθήκευσης θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Να είναι συμπαγές, να έχει μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης ανά μονάδα μάζας και όγκου.
- Να διαθέτει μεγάλη απόδοση αποθήκευσης.
- Να διαθέτει μέσο αποθήκευσης με τις κατάλληλες ιδιότητες στη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας.
- Να διατηρεί ομοιόμορφη θερμοκρασία.
- Ικανότητα φόρτισης και εκφόρτισης με το μεγαλύτερο ρυθμό εισόδου/εξόδου θερμότητας, αλλά χωρίς θερμοκρασιακή βαθμίδα.
- Πλήρης αντιστρεπτότητα.
- Ικανότητα να υποστεί ένα μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς απώλειες στην απόδοση και τη χωρητικότητα αποθήκευσης.
- Αμελητέες θερμικές απώλειες στο περιβάλλον.
- Υψηλή ταχύτητα φόρτισης/ εκφόρτισης.
- Μακρά διάρκεια ζωής.
- Χαμηλό κόστος.
- Μη διαβρωτικό.
- Να μην υπάρχουν κίνδυνοι πυρκαγιάς και τοξικότητας (παράμετροι ασφάλειας).

Ωστόσο, πέρα από τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει το σύστημα αποθήκευσης, σημαντικό ρόλο έχουν και οι προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληροί το υλικό αποθήκευσης που χρησιμοποιείται:

- Υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα.
- Υψηλή θερμική διάχυση.
- Υψηλό ειδικό βάρος.
- Να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως θερμικό και ψυκτικό μέσο.
- Χημική και γεωμετρική σταθερότητα.
- Να μην είναι εύφλεκτο, να μην διαβρώνει και να μην είναι τοξικό.
- Να έχει χαμηλή πίεση ατμών (στην περίπτωση αερίου).
- Να έχει χαμηλό κόστος, τόσο αυτό όσο και το δοχείο που θα το περιέχει.
- Να είναι ικανοποιητικής μηχανικής αντοχής.
- Το φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας του να είναι ευρύ.

Μία άλλη συνιστώσα που πρέπει να εξεταστεί είναι η βέλτιστη θερμική χωρητικότητα της θερμικής αποθήκης. Ειδικά για τις ηλιακές εφαρμογές, η χωρητικότητα της ενεργειακής αποθήκης βασίζεται στα εξής:

1. Στην αναμενόμενη και χρονικά μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία.
2. Στο μέγεθος και τις μεταβολές των ενεργειακών αναγκών.
3. Στο βαθμό αξιοπιστίας που πρέπει να έχει η εγκατάσταση.
4. Στη διαθέσιμη βοηθητική ενεργειακή πηγή.
5. Στην οικονομική ανάλυση, η οποία θα καθορίσει τι ποσοστό από τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες θα καλύψει το ηλιακό σύστημα και τι η βοηθητική πηγή.

Η θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί σε μεμονωμένα στερεά υλικά ή σε υγρά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και η ανάκτηση της ενέργειας αυτής να γίνει με ικανοποιητική απόδοση. Η αποθήκευση θερμότητας, όταν δε γίνεται σε χημικά συστήματα (δηλαδή με αμφίδρομες αντιδράσεις), πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Ο ένας αφορά αποθήκευση σε ένα μέσο με μεγάλη θερμοχωρητικότητα (αισθητή θερμότητα) και στον άλλο εκμεταλλευόμαστε τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης ή εξαέρωσης διαφόρων χημικών ουσιών.

Μέσα αποθήκευσης που προτάθηκαν είναι το νερό, πέτρες και διάφορα ένυδρα άλατα. Το νερό είναι ένα μέσο, το οποίο οπωσδήποτε προτιμάται εξαιτίας του μικρού κόστους όταν η θερμότητα που αποθηκεύεται πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες μικρότερες των 100ο C. Άλλα υλικά που μελετώνται για αποθήκευση θερμότητας είναι τα χαλίκια και το χώμα. Για εφαρμογές σε υψηλές θερμοκρασίες προτιμώνται ρινίσματα από παλιοσιδερίκα. Σε πολύ μεγάλες

Θερμοκρασίες η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με αέρα που θερμαίνεται μετά από διαβίβασή του μέσα από πορώδη υλικά.

Τα κύρια προβλήματα σε μια εγκατάσταση αποθήκευσης θερμότητας είναι τα εξής:

- Η διαμόρφωση μιας κατάλληλης επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας με στόχο τη γρήγορη μεταφορά της στο σύστημα για αποθήκευση, αλλά και την ταχεία απόληψή της.

- Ο περιορισμός των απωλειών στο περιβάλλον με στόχο την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης στα επίπεδα που χρειάζεται. Τελευταία, εξετάζεται η αποθήκευση θερμότητας μέσα στη γη (underground storage). Στην περίπτωση αυτή, έχουμε ελαχιστοποίηση των μονώσεων θα αναφερθούμε διεξοδικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Γενικά, υπάρχουν τρεις μέθοδοι για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας:

- Αποθήκευση ως αισθητή θερμότητα
- Αποθήκευση ως λανθάνουσα θερμότητα
- Αποθήκευση ως ενέργεια χημικών δεσμών (θερμόχημική αποθήκευση θερμότητας)

στην παρούσα εργασία θα αναφερθούμε σε εφαρμογές που αφορούν μόνο την αισθητή αποθήκευση θερμότητας .

2.4.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας (θέρμανσης και ψύξης) με τη μορφή της αισθητής θερμότητας πραγματοποιείται με την αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας ενός υλικού, χωρίς να αλλάζει η φάση στην οποία βρίσκεται. Έτσι, για ένα υλικό που μεταβαίνει από μια θερμοκρασία T_1 σε μια θερμοκρασία T_2 , η θερμική ενέργεια που συναλασσόμαστε (είτε προσδίδουμε είτε παίρνουμε από το υλικό) είναι :

$$\Delta Q = m \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = V \cdot \int_{T_1}^{T_2} (C_p \cdot \rho) dT ,$$

Όπου: m : η μάζα του υλικού σε kg C_p : η ειδική θερμοχωρητικότητα, υπό σταθερή πίεση, του υλικού σε J/KgK V : ο όγκος του υλικού σε m^3

dT : η διαφορά θερμοκρασίας σε βαθμούς K

Όπως σημειώσαμε και ανωτέρω, το υλικό αυτό δε θα αλλάζει φάση σε όλο το θερμοκρασιακό εύρος της διαδικασίας. Η ποσότητα ΔQ αποτελεί, τελικά, την ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύουμε στο σύστημα. Αν και οι τιμές της πυκνότητας ρ και της ειδικής θερμοχωρητικότητας C_p , οι οποίες καθορίζουν τη συμπεριφορά των υλικών αυτών, μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, οι μέσες τιμές αυτών ικανοποιούν τη σχέση $\Delta Q = C_p \times \Delta T$, ανά μονάδα μάζας. Ένας ακόμη βασικός παράγοντας που χαρακτηρίζει αυτά τα υλικά είναι ο ρυθμός με τον οποίο μπορούν να αποθηκεύσουν ή να εκλύσουν θερμότητα. Η πυκνότητα ενός υλικού, ρ , είναι το μέγεθος που μας δείχνει πόση μάζα καταλαμβάνει το υλικό ανά μονάδα όγκου (kg/m^3) και η ειδική θερμοχωρητικότητα αυτού, C_p (J/KgK), είναι το μέγεθος που μας δείχνει πόση ενέργεια απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ενός kg του υλικού κατά έναν βαθμό Kelvin, υπό σταθερή πίεση. Για να συγκρίνουμε κάποια υλικά η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο ίσως να είναι πιο χρήσιμη. Το μέγεθος αυτό, C_v (J/ m^3 K), μας δείχνει πόση ενέργεια απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας ενός m^3 ενός υλικού, κατά ένα βαθμό Kelvin, υπό σταθερό όγκο. Από τους παραπάνω ορισμούς φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του υλικού τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας μπορεί να αποθηκεύσει. Για αυτό το λόγο το μέγεθος αυτό αποτελεί βασικό κριτήριο για την ικανότητα ενός υλικού να αποθηκεύει αισθητή θερμότητα. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις ιδιότητες διαφόρων χρησιμοποιούμενων υλικών ως μέσα θερμικής αποθήκευσης, στους 20°C.

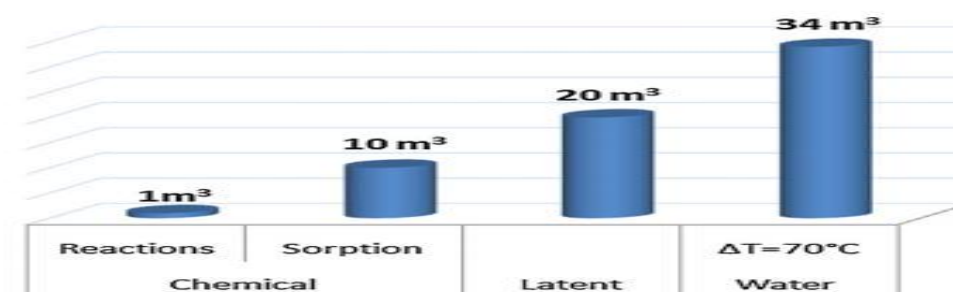
Ιδιότητες Υλικών Θερμικής Αποθήκευσης			
Υλικό	ρ (kg/m^3)	C_p (J/KgK)	C_v (MJ/ m^3 K)
Πηλός	1458	879	1,28
Τούβλο	1800	837	1,51
Αμμόπετρα	2200	712	1,57
Ξύλο	700	2390	1,67
Σκυρόδεμα	2000	880	1,76
Αλουμίνιο	2710	837	2,27
Σίδηρο	7900	452	3,57
Ατσάλι	7840	465	3,68
Πετρώματα υπεδάφους	2050	1840	3,77
Μαγνήτης	5177	752	3,89
Νερό	988	4182	4,17

Για να είναι κατάλληλα τα υλικά για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής

(αποθήκευση με τη μορφή αισθητής θερμότητας) πρέπει να έχουν:

- υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα
- υψηλή θερμική διάχυση, δηλαδή υψηλό ρυθμό απελευθέρωση ή απορρόφησης της θερμότητας
- υψηλό ειδικό βάρος
- να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους και σαν θερμικά και σαν ψυκτικά μέσα
- να έχουν θερμική και γεωμετρική σταθερότητα
- να μην είναι εύφλεκτα, διαβρωτικά ή τοξικά
- να έχουν σχετικά χαμηλό κόστος
- να έχουν ικανοποιητική αντοχή
- να λειτουργούν σε ευρύ φάσμα εφαρμογών

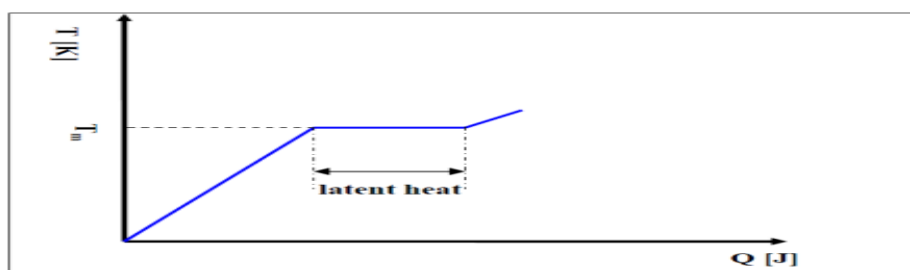
Τα συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας είναι απλά στο σχεδιασμό σε σχέση με τα συστήματα θερμό-χημικής ή λανθάνουσας θερμότητας, απ την άλλη τα μεγέθη τους είναι μεγαλύτερα. Βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα ότι για να αποθηκεύσουμε ένα ποσό θερμικής ενέργειας της τάξης των 6,7 MJ με τη μορφή αισθητής θερμότητας θα χρειαστούμε περίπου 34 m³ αποθηκευτικού όγκου, (για μια μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας των 70 C) ενώ για αποθήκευση με λανθάνουσα μορφή θερμότητας θα χρειαστούμε 20 m³ αποθηκευτικού όγκου δηλαδή θα χρειαστούμε πολύ μικρότερη αποθήκη θερμότητας για τις ίδιες ενεργειακές θερμικές ανάγκες. Άρα θα έχουμε μια εξοικονόμηση χρημάτων ως προς το κόστος της αποθήκης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των συστημάτων αποθήκευσης με αισθητή θερμότητα είναι ότι δεν μπορούν να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν θερμική ενέργεια σε μια σταθερή θερμοκρασία, σε αντίθεση με συστήματα λανθάνουσας αποθήκευσης.



Σύγκριση απαιτούμενου όγκου για αποθήκευση 6,7 MJ σε χημική, λανθάνουσα και αισθητή θερμότητα συστήματα

2.4.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΛΑΝΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας (LHS) κάνει χρήση της ενέργειας που αποθηκεύεται όταν μια ουσία αλλάζει από τη μια φάση στην άλλη π.χ. από στερεό σε υγρό ή από υγρό σε αέριο κ.ο.κ.. Γενικά όταν σε μια ουσία προστίθεται ενέργεια υπό μορφή θερμότητας, προκύπτει αύξηση της εσωτερικής ενέργειας. Η προσθήκη αυτή της θερμότητας συνεπάγεται αύξηση στη θερμοκρασία (αισθητή θέρμανση) ή αλλαγή της φάσης (λανθάνουσα θέρμανση). Καταλήγουμε λοιπόν με βάση τα παραπάνω ότι η ικανότητα αποθήκευσης του υλικού εξαρτάται εκτός από την ειδική θερμότητα και από την τιμή της λανθάνουσας θερμότητας. Ως εκ τούτου, είναι επιθυμητό για το μέσο αποθήκευσης να έχει υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα και λανθάνουσα θερμότητα. Η αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας μπορεί να χαρακτηριστεί με βάση τη διαδικασία αλλαγής φάσης σε στερεά-στερεά, στερεά-υγρή, στερεά-αέρια και υγρή-αέρια. Οι μετασχηματισμοί από τη στερεά στην αέρια κατάσταση και από την υγρή στην αέρια γενικά δεν χρησιμοποιούνται για αποθήκευση της ενέργειας παρά τις υψηλότερες λανθάνουσες θερμότητες, δεδομένου ότι τα αέρια καταλαμβάνουν μεγάλους όγκους. Μεγάλες όμως μεταβολές του όγκου καθιστούν το σύστημα μεγάλο, σύνθετο και ανέφικτο. Στις μεταβάσεις από στερεό σε στερεό, θερμότητα αποθηκεύεται καθώς το υλικό μετατρέπεται από μια κρυσταλλική μορφή σε μια άλλη. Αυτές οι μεταβάσεις έχουν γενικά μικρές λανθάνουσες θερμότητες καθιστώντας τέτοια υλικά λιγότερο επιθυμητά. Αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας τώρα κατά την μετάβαση από τη στερεά στην υγρή φάση παρέχει υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας και έχει την ικανότητα να αποθηκεύει ενέργεια ως λανθάνουσα θερμότητα τήξης σε μια σταθερή θερμοκρασία που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία μετάβασης φάσης. Αυτό σημαίνει ότι πολύ μικρότερο βάρος και όγκος υλικού απαιτείται για να αποθηκεύσει μια ορισμένη ποσότητα ενέργειας όταν αποθήκευση της ενέργειας αλλαγής φάσης χρησιμοποιείται.



Διάγραμμα θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τη θερμότητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΥΔΑΤΙΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΗ

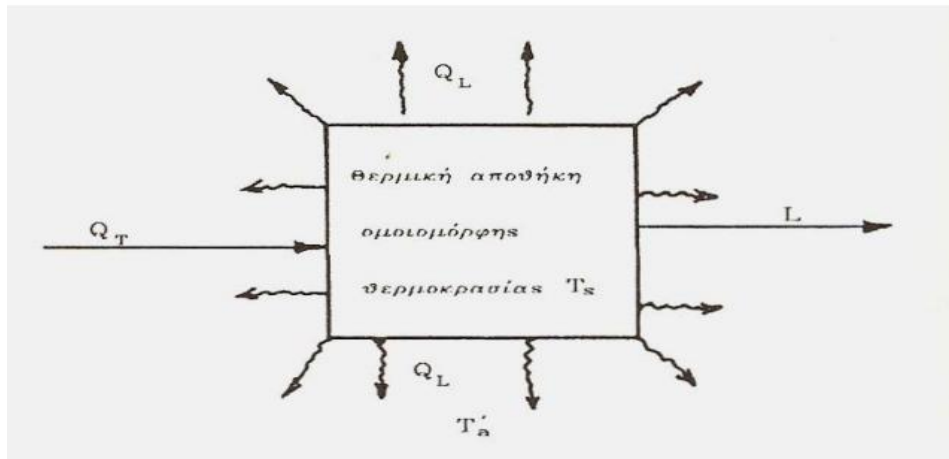
Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό, τόσο η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια όσο και οι ενεργειακές ανάγκες που αυτή καλείται να καλύψει, είναι μεταβαλλόμενες συναρτήσει του χρόνου.

Με στόχο την εξομάλυνση των διακυμάνσεων στον εφοδιασμό ενός ενεργειακού συστήματος και την επάρκεια κάλυψης των αναγκών και των διακυμάνσεων της κατανάλωσης, κατέστη αναγκαία η δημιουργία και η ανάπτυξη της θερμικής αποθήκης. Πολλοί είναι οι παράγοντες που πρέπει να εξετασθούν για να αποφασισθεί το υλικό μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας. Ωστόσο, κάποια από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του είναι η υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα, η χημική σταθερότητα, η ικανοποιητική μηχανική αντοχή, το ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας, το χαμηλό κόστος και τέλος να μην είναι εύφλεκτο, τοξικό και να μη διαβρώνεται. Το νερό, έχοντας σε μέγιστο βαθμό τις παραπάνω ιδιότητες αλλά και για άλλους λειτουργικούς λόγους, φαίνεται να αποτελεί ένα ιδανικό μέσο αποθήκευσης, ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες, στα περισσότερα θερμικά συστήματα. Η δεξαμενή αποθήκευσης είναι τις περισσότερες φορές ένα κυλινδρικό χαλύβδινο δοχείο, μονωμένο εξωτερικά για τη μείωση των θερμικών απωλειών. Υπάρχει ο τύπος για ορθή και ο τύπος για οριζόντια τοποθέτηση.

Οι υδάτινες αυτές θερμικές αποθήκες διακρίνονται σε εκείνες με ομοιόμορφη θερμοκρασία και σε εκείνες που είναι θερμικά διαστρωματωμένες.

3.1.1 ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Αποθήκη ομοιόμορφης θερμοκρασίας ονομάζεται η υδάτινη αποθήκη στην οποία η θερμοκρασία σε οποιοδήποτε σημείο της είναι η ίδια. Κάτι τέτοιο γίνεται πρακτικά δυνατό με χρήση υγρού ως αποθηκευτικό μέσο. Όταν σε μία υδάτινη αποθήκη ομοιόμορφης θερμοκρασίας προσδίδεται ενέργεια, η θερμοκρασία της ανεβαίνει σχετικά αργά αλλά πρακτικά ομοιόμορφα για όλο το υγρό μέσο.



Έστω ότι σε χρόνο dt η θερμοκρασία της αποθήκης μεταβάλλεται κατά sdT . Το ενεργειακό ισοζύγιο της αποθήκης θα είναι:

$$(m_s \cdot C_{ps}) \cdot dT_s = (\dot{Q}_u - L - \dot{Q}_L) \cdot dt \quad (1)$$

Όπου:

m_s η μάζα του αποθηκευτικού μέσου

C_{ps} η ειδική θερμοχωρητικότητα του μέσου

$Q_u dt$ η συνολική ενέργεια που προσδίδεται στην αποθήκη σε χρόνο dt

Ldt το χρήσιμο θερμικό φορτίο στο χρόνο dt

$Q_L dt$ οι θερμικές απώλειες της αποθήκης στον ίδιο χρόνο.

Οι στιγμιαίες θερμικές απώλειες είναι:

$$\dot{Q}_L = (UA)_s \cdot (T_s - T_a) \quad (2)$$

και για χρόνο t

δίνονται από:

$$Q_{Lt} = (UA)_s \cdot (\bar{T}_s - \bar{T}_a) \cdot t \quad (3)$$

Όπου:

Q_{Lt} οι συνολικές απώλειες σε χρόνο t

$(UA)_s$ το γινόμενο της επιφάνειας της αποθήκης, A , επί το συντελεστή θερμικών απωλειών, U

\bar{T}'_a η μέση θερμοκρασία του αέρα, γύρω από την δεξαμενή,
σε χρόνο t

\bar{T}_s η μέση θερμοκρασία της αποθήκης στον ίδιο χρόνο.

Εάν θεωρήσουμε ότι σε ένα μικρό χρονικό διάστημα t η τελική θερμοκρασία της αποθήκης γίνεται T_s^+ , τότε η σχέση (1) γίνεται:

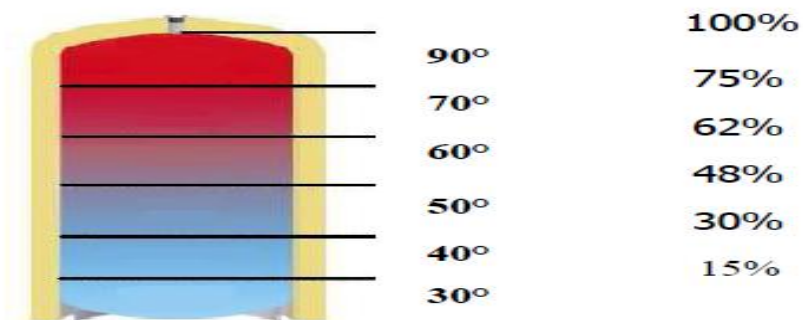
$$m_s \cdot C_{ps} \cdot \frac{T_s^+ - T_s}{t} = \dot{Q}_u - L - \dot{Q}_L \quad (4)$$

Για χρονικό διάστημα Δt , η νέα θερμοκρασία της δεξαμενής T_s^+ δίνεται από τη σχέση

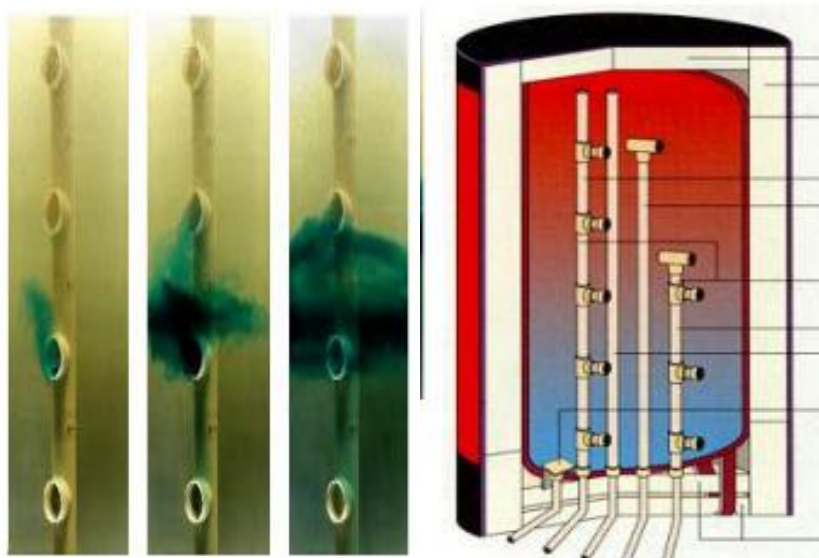
$$T_s^+ = T_s + \frac{\Delta t}{(mC_p)_s} [Q_u - L_s - (UA)_s(T_s - T'_a)]$$

3.1.2 ΘΕΡΜΙΚΑ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΜΕΝΗ ΥΔΑΤΙΝΗ ΑΠΟΘΗΚΗ

Θερμικά διαστρωματωμένη υδάτινη αποθήκη καλείται η θερμική αποθήκη, στην οποία το θερμό νερό εισόδου στη δεξαμενή δεν αναμιγνύεται με το κρύο νερό εξόδου από αυτήν. Αυτό πρακτικά επιτυγχάνεται όταν η εισαγωγή του θερμού νερού γίνεται από το πάνω μέρος της αποθήκης και η εξαγωγή προς την πηγή θέρμανσης από το κάτω. Ωστόσο, η ταχύτητα του νερού πρέπει να είναι αρκετά μικρή, έτσι ώστε το θερμό νερό εισαγωγής στην αποθήκη να μην αναμιγνύεται με το κρύο νερό που εξέρχεται για την πηγή θέρμανσης (συλλέκτης). Αυτό συμβαίνει βέβαια γιατί το θερμό νερό, έχοντας μικρότερο ειδικό βάρος από το κρύο, παραμένει στην κορυφή της δεξαμενής, ενώ το κρύο στον πυθμένα της.



Θερμική διαστρωμάτωση δεξαμενής



Αριστερά συσκευή διαστρωμάτωσης δεξιά τομή δεξαμενής

Για να παραμείνει μία αποθήκη θερμικά διαστρωματωμένη, θα πρέπει το θερμό νερό που εισάγεται σε αυτήν να κατεβαίνει κάθε φορά στο στρώμα νερού που έχει την ίδια με αυτό θερμοκρασία. Η αποθήκη, σύμφωνα με τα παραπάνω, αποτελείται από N (συνήθως τρία) τμήματα – κόμβους, με διαφορετικές θερμοκρασίες και το αντίστοιχο μαθηματικό μοντέλο αποτελείται από N διαφορικές εξισώσεις. Πέραν από την υδάτινη, θερμική αποθήκη που είδαμε παραπάνω, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι τρόποι αποθήκευσης της ενέργειας στα θερμικά ηλιακά συστήματα. Ένα πολύ σπουδαίο είδος θερμικής αποθήκης αποτελούν οι θερμικές

κλίνες στερεών. Μία θερμική κλίνη στερεών αποτελείται από ένα σώμα θερμοαπορροφητικών στερεών, δια μέσου των οποίων ένα αέριο, συνήθως αέρας, διέρχεται όταν μεταφέρεται θερμότητα από το αέριο στα στερεά ή αντίστροφα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ποικιλία στερεών όπως λίθοι, χαλίκι, τούβλα, κεραμικά, στερεά από τσιμέντο κ.α. Ωστόσο, οι θερμικές αυτές αποθήκες παρουσιάζουν διάφορα προβλήματα, ενώ ο όγκος μιας τέτοιας αποθήκης είναι περίπου τριπλάσιος σε σχέση με τον όγκο μιας ισοδύναμης θερμικά υδάτινης αποθήκης. Τέλος, άλλα είδη θερμικής αποθήκης που χρησιμοποιούνται κυρίως για μακροταμίευση ή διεποχική αποθήκευση σε μεγάλα θερμικά ηλιακά συστήματα, είναι οι ηλιακές λίμνες, η θερμική αποθήκη εδάφους, η χημική ενεργειακή αποθήκη και η θερμική αποθήκη αλλαγής φάσης (λανθάνουσα θερμότητα).

3.2 ΤΥΠΟΙ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

Η επιλογή του τύπου της δεξαμενής εξαρτάται, αρχικά, από τις απαιτήσεις λειτουργίας της αποθήκης. Για εφαρμογές θέρμανσης χώρων, η δεξαμενή πρέπει να επιτυγχάνει τη μέγιστη θερμοκρασία αποθήκευσης, η οποία είναι περίπου 71o C. Γενικά, αυτές οι εφαρμογές δεν απαιτούν δεξαμενή υπό πίεση. Αντιθέτως, τέτοιου τύπου δεξαμενή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα κλιματισμού, στα οποία η θερμή αποθήκευση γίνεται σε θερμοκρασία άνω των 77° C, ενώ η ψυχρή αποθήκευση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία μικρότερη των 13o C. Απαραίτητη δε, θα ήταν σε συστήματα άμεσης θέρμανσης πόσιμου νερού μέχρι θερμοκρασίας 60o C. Για συστήματα με αντλία θερμότητας απαιτείται μία θερμοκρασία στη δεξαμενή της τάξης των 38°C, για την οποία, προφανώς, δεν απαιτείται μεγάλη μόνωση. **Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους δεξαμενές είναι ατσάλι, υαλοβάμβακας, σκυρόδεμα ή ξύλο με επένδυση πλαστικού.** Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών των υλικών συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

Ατσάλινη δεξαμενή	Δεξαμενή από υαλοβάμβακα	Δεξαμενή από σκυρόδεμα	Ξύλινη δεξαμενή με πλαστική επένδυση
Πλεονεκτήματα			
Σχεδιασμός για αντοχή στην πίεση	Διατίθενται δεξαμενές με εργοστασιακή μόνωση	Όχι πολύ μεγάλο κόστος	Χαμηλό κόστος
Περισσότερη πείρα στην κατασκευή δεξαμενών τέτοιου είδους	Ικανοποιητική πείρα στην κατασκευή δεξαμενών τέτοιου είδους	Δυνατότητα χύτευσης επιτόπου ή προηγουμένως	Εύκολη εγκατάσταση σε εσωτερικό χώρο
Εύκολη σύνδεση με την υδραυλική εγκατάσταση	Μερικές δεξαμενές τέτοιου είδους είναι ειδικά σχεδιασμένες για συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας		
Μερικές δεξαμενές τέτοιου είδους είναι ειδικά σχεδιασμένες για συστήματα αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας	Ο υαλοβάμβακας δεν διαβρώνεται ή σκουριάζει		
Μειονεκτήματα			
Δύσκολα εγκαθίστανται σε εσωτερικό χώρο	Περιορισμένη μέγιστη θερμοκρασία, ακόμα και με ειδική ρητίνη	Απαιτείται ειδικός σχεδιασμός για να αποφεύγονται τα ραγίσματα, οι διαρροές με συνέπεια μεγάλο κόστος	Περιορισμένη μέγιστη θερμοκρασία
Υπόκεινται σε διάβρωση και σκουριά	Σχετικά μεγάλο κόστος	Δε λειτουργούν υπό πίεση	Δε λειτουργούν υπό πίεση
Σχετικά μεγάλο κόστος	Δύσκολη εγκατάσταση σε εσωτερικό χώρο	Δύσκολη σύνδεση με την υδραυλική εγκατάσταση χωρίς διαρροές	Δεν είναι κατάλληλες για υπόγεια εγκατάσταση
	Δεν λειτουργούν υπό πίεση		

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα διάφορων τύπων δεξαμενών

3.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΗΣ

Στην υδάτινη αποθήκη, όπου το νερό είναι ταυτόχρονα μέσο μεταφοράς και αποθήκευσης θερμότητας, πρέπει να γίνουν ορισμένες παραδοχές ώστε να προχωρήσουμε στη βελτιστοποίηση. Στην περίπτωση αυτή, θεωρούμε ότι η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραλάβει το νερό σε μία ηλιακή θερμική διαδικασία αποθηκεύεται στην υδάτινη αποθήκη, δεδομένου ότι κατά τη μεταφορά της ενέργειας αυτής δεν έχουμε απώλειες. Επίσης, θεωρούμε ότι η υδάτινη αποθήκη είναι ομοιόμορφης θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια, οι κρίσιμες παράμετροι για τη βελτιστοποίησή της είναι οι παρακάτω:

- Η μάζα του νερού. Μεγάλη μάζα συνεπάγεται μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, άρα μεγάλη απόδοση των ηλιακών συλλεκτών. Το κύριο μειονέκτημα, βέβαια, των υδάτινων αποθηκών με μεγάλη μάζα είναι οι χαμηλές θερμοκρασίες και επομένως, μικρή απόδοση στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.
- Οι απώλειες της αποθήκης. Αυτές είναι μεγαλύτερες, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας - η οποία τις περισσότερες φορές είναι δεδομένη - και όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής (UA)_s. Η τελευταία αυτή παράμετρος συνεπάγεται:
 - Μείωση της αγωγιμότητας, δηλαδή υψηλές μονώσεις της αποθήκης, οι οποίες καθορίζονται και από την οικονομικότητά τους
 - Μείωση της εξωτερικής επιφάνειας της αποθήκης, δηλαδή μορφές αποθήκης κατά το δυνατόν σφαιρικές ή κυβικές

3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΗΣ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί ότι διαστρωμένη αποθήκη έχουμε, πρακτικά, όταν η παροχή του νερού είναι χαμηλή για να έχουμε μία μεγάλη διαφορά μεταξύ της υψηλής και της χαμηλής θερμοκρασίας της αποθήκης. Αυτό, ελαττώνει τον συντελεστή απόδοσης F_i των συλλεκτών με συνέπεια να ελαττώνεται και η απόδοσή τους. Συγχρόνως, όμως, αυξάνεται η τελική θερμοκρασία του νερού που εξέρχεται από τους συλλέκτες. Αντιθέτως, εάν έχουμε υψηλή παροχή και έτσι, χαμηλό χρόνο ανακύκλωσης του νερού t_s , η αποθήκη γίνεται, πρακτικά, ομοιόμορφης θερμοκρασίας και η απόδοση των συλλεκτών ανεβαίνει, ενώ η τελική θερμοκρασία του νερού παραμένει χαμηλή. Πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι η θερμικά διαστρωμένη αποθήκη τείνει πάντα να γίνει ομοιόμορφης θερμοκρασίας λόγω αγωγής και μεταφοράς του νερού και θερμικών απωλειών προς το περιβάλλον, φαινόμενο που μελετήθηκε από τους Lavan και Tompson.

Ο Lunde αποδέχεται ότι εφόσον ο χρόνος ανακύκλωσης είναι μικρότερος από μία ημέρα συλλογής ηλιακής ενέργειας (6 έως 8 ώρες) τα δύο συστήματα είναι ισοδύναμα. Είναι γεγονός, όμως, πως στην παρούσα φάση δεν είναι εφικτό να συγκρίνουμε ικανοποιητικά τα δύο συστήματα, αλλά απαιτούνται περισσότερη θεωρητική εργασία και πειράματα για να αποφανθούμε για το πιο αποδοτικότερο

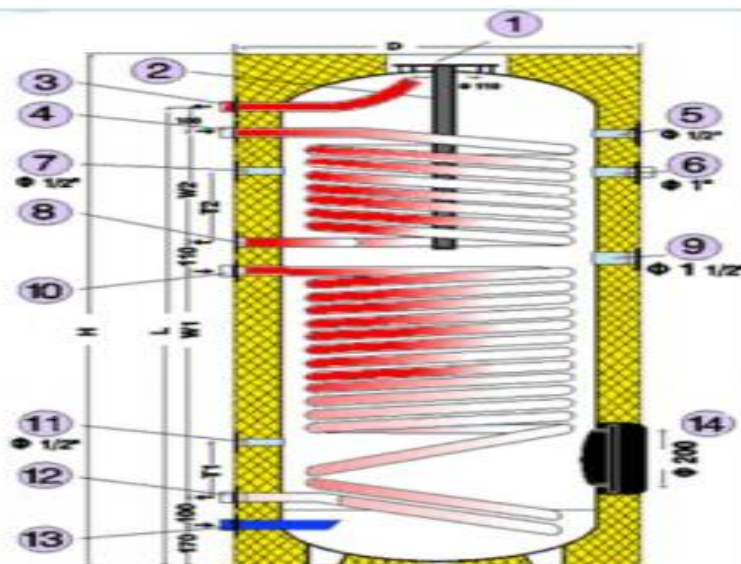
3.5 ΘΕΡΜΟΔΟΧΕΙΟ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ COMBI

Στην χώρα μας αν και είναι ιδιαίτερα ευνοημένη από τις καιρικές συνθήκες τα ηλιακά θερμικά συστήματα συνδυασμένης παράγωγης ZNX και θέρμανσης δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα και μόνο τα τελευταία χρόνια και κυρίως λόγω της ραγδαίας αύξησης της τιμής του πετρελαίου γίνονται κάποια βήματα για την αξιοποίηση αυτής της ιδιαίτερα φιλικής προς το περιβάλλον τεχνολογίας. Η ηλιοφάνεια στη χώρα μας είναι από τις μεγαλύτερες στην Ευρώπη (3000 ώρες τον χρόνο). Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι περίπου 4,6 kWh/m². Τα συστήματα combi μπορούν να καλύψουν σε ετήσια βάση από 10% -50% τις ανάγκες μιας συμβατικής κατοικίας σε θέρμανση και σε ζεστό νερό χρήσης. Ανάλογα με το μέγεθος της συλλεκτικής επιφάνειας που θα εγκατασταθεί τον όγκο του θερμοδοχείου τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και τα χαρακτηριστικά της κατοικίας (μέγεθος, ποιότητα μόνωσης θερμικές ανάγκες). Ένα από τα βασικά στοιχεία ενός σωστού συστήματος ηλιακής θέρμανσης είναι το θερμοδοχείο το οποίο αποτελεί την καρδιά του συστήματος. Το θερμοδοχείο θα πρέπει να είναι καλά μονωμένο και κυρίως να βοηθά στην διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό του. Η διαστρωμάτωση του δοχείου έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη απόδοση του συστήματος, τον περιορισμό των θερμικών απωλειών και την μέγιστη συλλογή ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες. Τα θερμοδοχεία συνδυασμένης λειτουργίας παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και ηλιακής υποστήριξης θέρμανσης COMBI, μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα με σύστημα ηλιακών συλλεκτών και με έως και δυο ακόμα εξωτερικές πηγές θερμότητας (λέβητα, αντλία θερμότητας, ενεργειακό τζάκι, λέβητα βιομάζας κτλ). Στο εσωτερικό των θερμοδοχείων COMBI υπάρχει ένα δεύτερο δοχείο, ειδικά επεξεργασμένο με υψηλής τεχνολογίας υλικό, το οποίο είναι αδιάβροχο, διηλεκτρικό ιδιαίτερα ανθεκτικό και κατάλληλο για πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία CE 97/23. Η ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών μεταφέρεται στο θερμοδοχείο μέσω ενός σταθερού εναλλάκτη (εμβαπτισμένος στο εσωτερικό του δοχείου αδρανείας, tank in tank) και θερμαίνει αρχικά το νερό της κεντρικής θέρμανσης και στη συνέχεια το ζεστό νερό χρήσης. Εάν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί τίθεται σε λειτουργία και ο λέβητας για να συμπληρώσει την

απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμων και η θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης επιτυγχάνεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον. Τα θερμοδοχεία COMBI είναι εξοπλισμένα με σύστημα ηλεκτρικής ανοδικής προστασίας με ανοδιο τιτανίου (A.C.I). Το σύστημα αυτό εξασφαλίζει ηλεκτρική προστασία του δοχείου από διάβρωση Δεν χρειάζεται συντήρηση, είναι απολύτως αδιάβρωτο, αποδοτικό και χαρακτηρίζεται από μικρή κατανάλωση ρεύματος. Διαθέτει ισχυρή μόνωση από σκληρή πολυουρεθάνη 70mm για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών .Παρακάτω βλέπουμε κάποια τυπικά χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός θερμοδοχείου καθώς και τη συνδεσμολογία με το υπόλοιπο ηλιακό θερμικό κύκλωμα .

Χαρακτηριστικά τυπικού θερμοδοχείου

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Μποϊλερ για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και ηλιακής υποστήριξης θέρμανσης.
ΤΥΠΟΣ	Κάθετο δαπέδου.
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	Μποϊλερ: 8 bar / 99°C. Εναλλάκτης: 12 bar / 99°C.
ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	VITROFLEX, κατάλληλο για πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία CE 97/23.
ΜΟΝΩΣΗ	Σκληρή πολυουρεθάνη πάχους 70 mm ($\lambda=0,023$ W/mK).



- 1)Βοηθητική φλάντζα
- 2)Ανόδιο Μαγνησίου
- 3)Εξαγωγή ζεστού νερού
- 4)Είσοδος νερού θέρμανσης
- 5) Υποδοχή θερμοστάτη
- 6)Σύνδεση ανακυκλοφορίας
- 7)Θέση αισθητηρίου εναλλάκτη
- 8)Εξοδος νερού θέρμανσης
- 9)Υποδοχή ηλεκτρικής αντίστασης
- 10)Είσοδος νερού ηλιακών
- 11)Θέση αισθητηρίου εναλλάκτη
- 12)Έξοδος νερού ηλιακών
- 13) Είσοδος κρύου νερού
- 14)Πλευρική φλάντζα

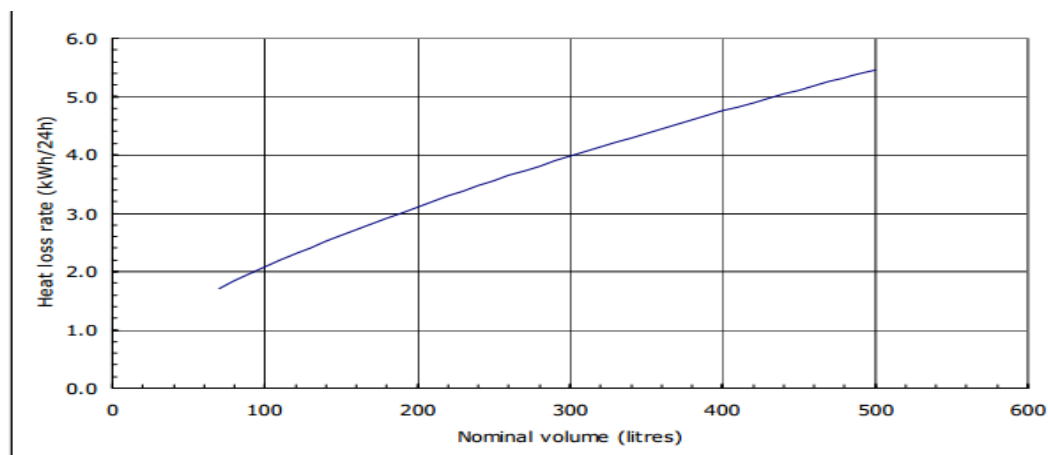
3.6 ΜΟΝΩΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Η μόνωση της δεξαμενής αποθήκευσης είναι απολύτως απαραίτητη προκειμένου να διατηρηθεί η αποθηκευμένη ενέργεια για όσο το δυνατόν περισσότερο. Η ελάχιστη απαιτούμενη μόνωση είναι από 80 μέχρι 120 mm από αλουμίνιο επικαλυμμένο με πετροβαμβάκα . Ειδικότερα έμφαση πρέπει να δοθεί κατά τη διάρκεια της μόνωσης αποθήκευσης, να είναι χωρίς κενά, και οι φλάντζες, οι συνδέσεις σωληνώσεων, το ηλεκτρικό θερμαντικό στοιχείο, κλπ να ενσωματώνονται απρόσκοπτα όσο το δυνατόν περισσότερο. Οι απώλειες σε αυτά τα σημεία σύνδεσης δεν πρέπει να υποτιμηθούν. Στη χειρότερη περίπτωση, μπορεί να είναι πολλές φορές υψηλότερες από τις απώλειες μέσω της μόνωσης. Συνιστάται να επιλέγουμε έτοιμες δεξαμενές αποθήκευσης που έχει ήδη ολοκληρωθεί το στάδιο της μόνωσης με μονωτικό αφρό (fluorocarbon-free) . Μια άλλη πολύ πιο φθηνή δυνατότητα είναι να αγοράσουμε το δοχείο αποθήκευσης, χωρίς μόνωση και να καλυφτεί αυτό μετά την εγκατάσταση με μια μόνωση 120 χιλιοστά από αλουμίνιο επικαλυμμένο με λεπτό πετροβάμβακα .Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο απωλειών θερμότητας ανά 24 ώρες από τη θερμική δεξαμενή σε σχέση με τη χωρητικότητα αποθήκευσης σε λίτρα .

$$Q_{HL-MAX} = 1.6 \times [0.2 + (0.051 \times (V_s)^{2/3})]$$

Όπου Q_{HL-MAX} = Μέγιστο επιτρεπόμενο όριο απωλειών θερμότητας από τη θερμική δεξαμενή σε [kWh/24h]

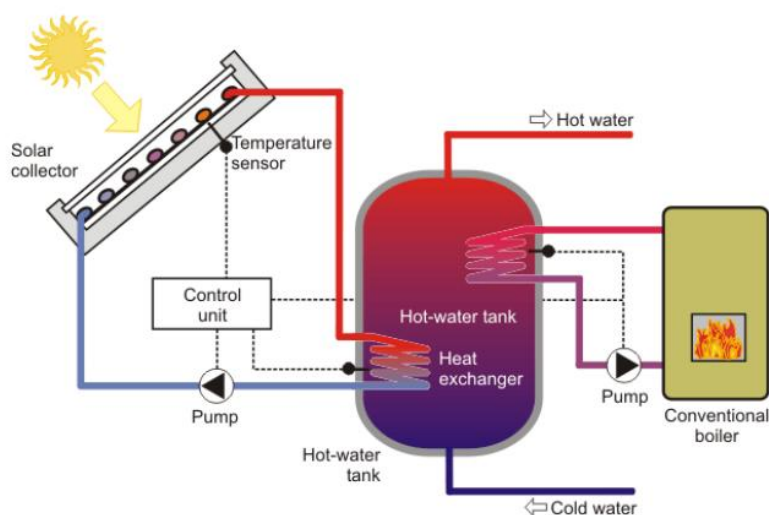
V_s : Χωρητικότητα δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης



Μέγιστο επιτρεπόμενο όριο απωλειών θερμότητας από τη θερμική δεξαμενή [σε kWh/24h]

3.7 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι θερμικοί εναλλάκτες θερμότητας (heat exchangers) είναι συσκευές που γενικά μεταφέρουν τη θερμότητα από ένα μέσο σε ένα άλλο. Στις ηλιακές εφαρμογές, μεταξύ ηλιακών συλλεκτών και θερμικής αποθήκης μεσολαβεί αρκετά συχνά εναλλάκτης. Η προσθήκη αυτή ικανοποιεί την αναγκαιότητα να απομονωθεί το ηλιακό κύκλωμα και να συμπληρωθεί με αντιψυκτικά διαλύματα, ώστε να προστατευθούν οι συλλέκτες νερού από τις χαμηλές θερμοκρασίες. Τέλος, θερμικός εναλλάκτης μπορεί να υπάρχει μεταξύ της αποθήκης και των καταναλώσεων. Σε κάθε εναλλάκτη κυκλοφορούν συνήθως δύο ρευστά, όπου το ένα προσδίδει και το άλλο προσλαμβάνει ενέργεια. Ο λόγος της ενέργειας που προσδίδεται στον εναλλάκτη από ένα ρευστό προς την ενέργεια που προσλαμβάνει από τον εναλλάκτη το άλλο, ονομάζεται συντελεστής αποτελεσματικότητας, ϵ , του θερμικού εναλλάκτη και έχει τιμή 0,95 περίπου για έναν καλό εναλλάκτη.



Αποδεικνύεται ότι ο συνδυασμός συλλέκτη και εναλλάκτη θερμότητας λειτουργεί ακριβώς όπως μόνος του ο συλλέκτης, με μειωμένη όμως την τιμή του FR. Έτσι, εισάγεται ο συντελεστής FR', ο οποίος αποτελεί ένα μέτρο του τμήματος που «πληρώνουμε» στη συμπεριφορά του συλλέκτη, αφού ο εναλλάκτης θερμότητας τον αναγκάζει να λειτουργήσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο συντελεστής αυτός δίδεται από:

$$F'_R = F_R \cdot \frac{1}{1 + \left[\frac{A_c \cdot F_R \cdot U_L}{(\dot{m} \cdot C_p)_c} \right] \cdot \left[\frac{(\dot{m} \cdot C_p)_c}{\varepsilon \cdot (\dot{m} \cdot C_p)_{\min}} - 1 \right]}$$

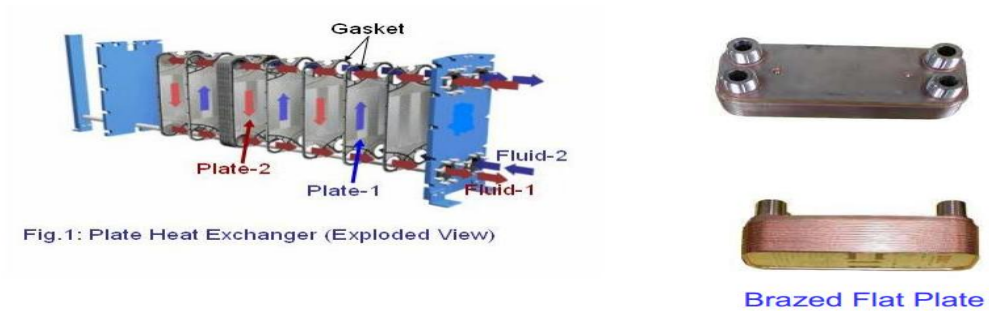
Όπου:

ε : συντελεστής αποτελεσματικότητας ή βαθμός εκμετάλλευσης του εναλλάκτη

$(\dot{m} C_p)_{\min}$ η μικρότερη από τις δύο θερμοχωρητικές παροχές.

Τέλος, να σημειώσουμε ότι ο λόγος

F'_R / F_R εκφράζει την ποσοστιαία αύξηση της επιφάνειας του συλλέκτη που απαιτείται, ώστε μετά την προσθήκη του εναλλάκτη να δώσει την ίδια ενέργεια.



Διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας :επίπεδος και σπειροειδής

3.8 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΗΣ

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗΣ

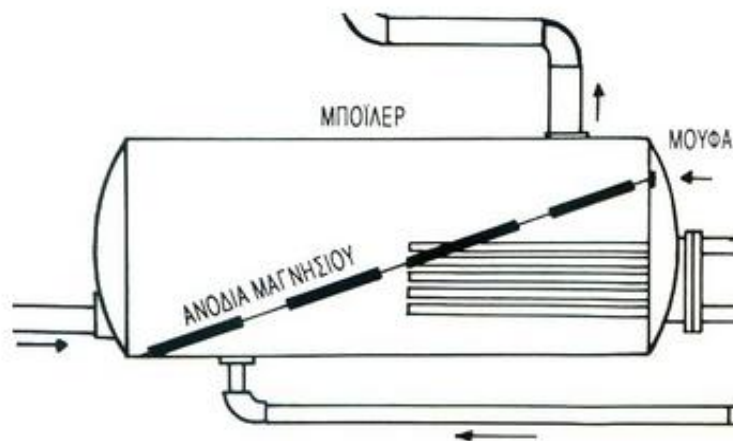
Ηλεκτρόλυση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή με το ίδιο υγρό (ηλεκτρολύτης), με αποτέλεσμα να μετακινείται μάζα από το ηλεκτροθετικότερο μέταλλο (άνοδος) προς το λιγότερο ηλεκτροθετικό (κάθοδος). Μία τυπική εφαρμογή της ηλεκτρόλυσης είναι οι μπαταρίες.

3.8.1 ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Το πιο ηλεκτροθετικό από τα δύο μέταλλα διαβρώνεται σταδιακά. Όταν το μέταλλο αυτό είναι το υλικό κατασκευής τμήματος μίας υδραυλικής εγκατάστασης (π.χ. σίδηρος), τότε το τμήμα αυτό αργά ή γρήγορα θα εξασθενήσει τόσο ώστε να αρχίσουν οι διαρροές λόγω τρυπήματος ή λόγω αδυνατίσματος σε σημεία σύνδεσης. Στην περίπτωση μίας υδραυλικής εγκατάστασης το διακινούμενο υγρό παίζει το ρόλο του ηλεκτρολύτη.

3.8.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΘΟΔΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

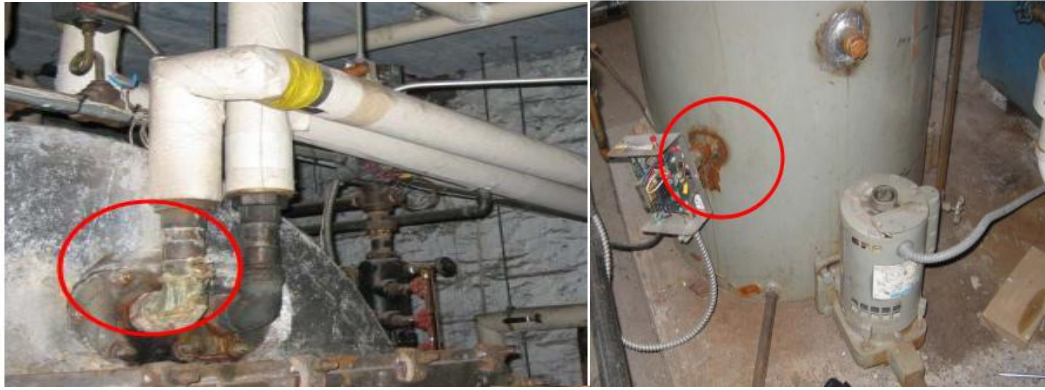
Η λειτουργία της καθοδικής προστασίας βασίζεται στη φιλοσοφία της ελαχιστοποίησης της διαφοράς δυναμικού μεταξύ της ανόδου και της καθόδου αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας ένα ρεύμα στην υπό προστασία κατασκευή από μια εξωτερική πηγή όταν εφαρμόζεται η κατάλληλη ποσότητα ρεύματος ολόκληρη η κατασκευή θα βρίσκεται σε ένα κοινό δυναμικό και έτσι η περιοχή ανόδου και καθόδου δεν θα υπάρχει πλέον. δυο είναι οι τύποι καθοδικής προστασίας 1) μέσω θυσιαζόμενων ανόδων και 2) μέσω εξωτερικής πηγής. Και στις δυο περιπτώσεις υπάρχουν η άνοδος από την οποία ρέει το ρεύμα μέσα στον ηλεκτρολύτη στη περίπτωση των δεξαμενών η δοχείων-θερμοσίφωνα το ρόλο του ηλεκτρολύτη παίζει το υγρό αποθήκευσης (νερό) , μια συνεχής ποσότητα ηλεκτρολύτη που συνδέει την άνοδο με την υπό προστασία κατασκευή και μια εξωτερική αγώγιμη σύνδεση (καλώδιο).



Ανόδια μαγνησίου εμβαπτιζόμενα σε σχήμα ράβδου

3.8.3 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΣΟ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΩΝ ΑΝΟΔΩΝ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ

Άνοδοι μαγνησίου χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε οικιακές συσκευές παραγωγής ζεστού νερού (ηλιακοί-ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες) όταν η εσωτερική επιφάνεια του μεταλλικού δοχείου προστατεύεται παθητικά (σμάλτο ή οργανική επικάλυψη). Σε ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού έχει αποκλεισθεί ο γαλβανισμένος χάλυβας βάσει προδιαγραφών Με την εμβάπτιση μίας ανόδου μαγνησίου σε σχήμα ράβδου μέσα σε ένα μεταλλικό δοχείο νερού, επιτυγχάνεται καθοδική προστασία, δηλαδή προστασία από τη διάβρωση λόγω της ηλεκτρόλυσης, με την προϋπόθεση φυσικά ότι έχει γίνει η σωστή σύνδεση του ανόδου σε σημείο γείωσης. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι οι ράβδοι μαγνησίου που περιέχουν όλοι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες και πολλοί ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες. Στην περίπτωση, όμως, των μεγάλων boilers θέρμανσης του νερού χρήσης, όπως αυτό της φωτογραφίας, μία ράβδος μαγνησίου δεν αρκεί. Γι' αυτό, σε αυτήν την περίπτωση, με τη χρήση των κατάλληλων συνδετικών εξαρτημάτων, δημιουργούμε μία συστοιχία από ράβδους μαγνησίου, που καλύπτουν ολόκληρο το μήκος του boiler, όπως δείχνει η φωτογραφία. Όταν το boiler είναι κατακόρυφο, τότε η συστοιχία κρεμιέται από το πάνω μέρος του boiler. Ανά χρονικά διαστήματα 2 -3 ετών θα πρέπει να ελέγχεται η ράβδος ανόδου μαγνησίου και να αντικαθίσταται με νέα, η ζωή της ανόδου εξαρτάται από την παρουσία αλάτων στο νερό το βαθμό σκληρότητας του τη θερμοκρασία του νερού καθώς και την ποιότητα κατασκευής της δεξαμενής πχ αν έχει παθητική προστασία με ανόργανες επικαλύψεις για τη διάβρωση.

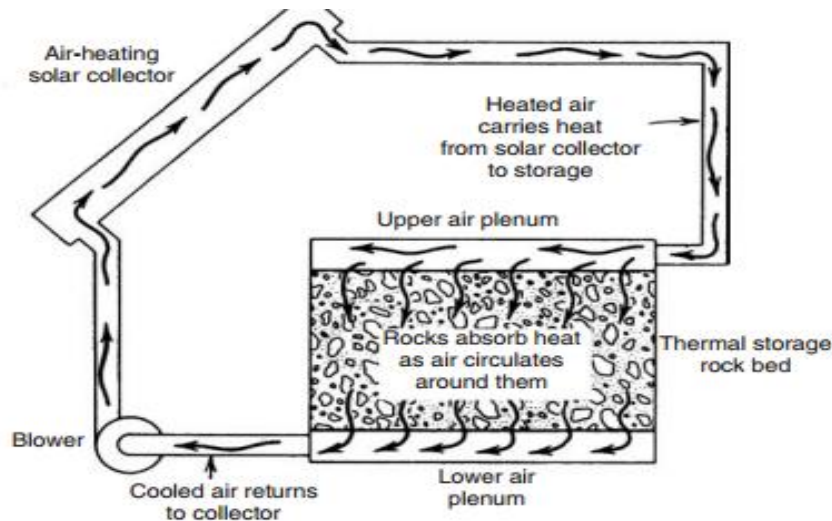


Γαλβανική διάβρωση σε δεξαμενές και σωληνώσεις

3.9 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΛΙΝΗ ΣΤΕΡΕΩΝ (Rock Bed)

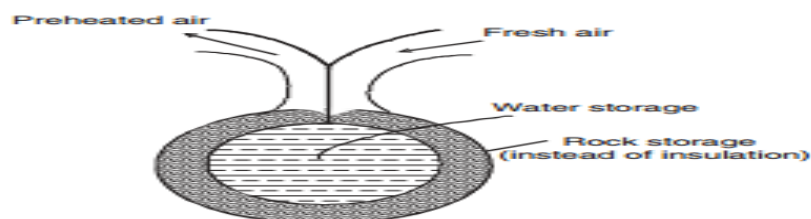
Μια άλλη εφαρμογή αισθητής αποθήκευσης πέρα από τις δεξαμενές νερού, είναι η θερμική κλίνη στερεών. Μια θερμική κλίνη στερεών είναι ένα σύστημα θερμικής αποθήκευσης που αποτελείται από μια επιφάνεια -σώμα από θερμόαπορροφητικά στερεά στα οποία κάποιο ρευστό συνήθως αέρας διέρχεται και μεταφέρει θερμότητα προς το σώμα στερεών (πέτρες, τούβλα, κλπ) και φορτίζει την θερμική αποθήκη. Η πέτρα έχει περίπου το ένα πέμπτο της θερμικής χωρητικότητας του νερού, αλλά όπως το τούβλο και το μετόν, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Η πέτρα, όταν χρησιμοποιείται ως ένα μέσο αποθήκευσης, συνήθως τοποθετείται σε μια μονωμένη κλίνη που συνδέεται με ένα κτίριο. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ένα ηλιακό σύστημα με θερμική κλίνη στερεών με συλλέκτες θέρμανσης αέρα. Όπως μπορεί να φανεί από το σχήμα, ο αέρας από τους συλλέκτες μεταφέρει την αναρροφούμενη ηλιακή θερμότητα στα βράχια. Καθώς ρέει ο θερμαινόμενος αέρας γύρω από τα βράχια, αυτά απορροφούν τη θερμότητα, και ο χαμηλής

Θερμοκρασίας αέρας επιστρέφει προς τους ηλιακούς συλλέκτες για να θερμανθεί και πάλι. Το πλεονέκτημα της χρήσης στερεών υλικών σε αυτές τις εφαρμογές έναντι του νερού είναι η ευκολότερη χρήση τους για θερμοκρασίες άνω των 100ο C.



Σύστημα αποθήκευσης θερμικής κλίνης στερεών Harris et al 1985

Μία άλλη χρήση της θερμικής κλίνης σε συνδυασμό με ένα ηλιακό σύστημα περιγράφεται παρακάτω. Θερμό νερό από τους ηλιακούς συλλέκτες εισάγεται στην κορυφή μιας δεξαμενής νερού, βυθίζεται καθώς κρυώνει και τελικά εξέρχεται από τη δεξαμενή για να εισέλθει και πάλι στους ηλιακούς συλλέκτες. Η δεξαμενή νερού περιβάλλεται από χαλίκια -στερεά σώματα- διαμέσου των οποίων κυκλοφορεί αέρας ο οποίος θερμαίνεται για τη θέρμανση του εκάστοτε χώρου. Η δεξαμενή νερού μαζί με τα χαλίκια που την περιβάλλουν αποτελούν το περιεχόμενο ενός άλλου καλά μονωμένου δοχείου. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου, που είναι γνωστή σαν η μέθοδος του Harry Thomason, είναι η αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας στον αέρα λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας του νερού και της εκτεταμένης επιφάνειας που παρουσιάζει το δοχείο με τα χαλίκια.

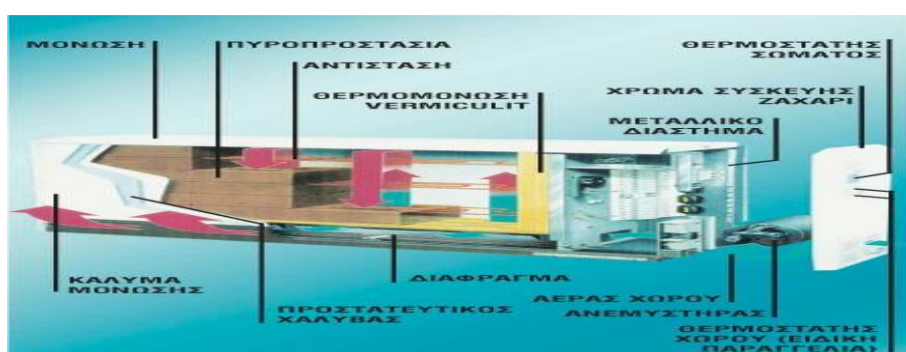


Οι θερμικές κλίνες στερεών, που είναι γνωστές και σαν θερμοσυσσωρευτές, εφαρμόζονται κυρίως σε συστήματα αέρα. Οι βασικές αρχές για την αποτελεσματική λειτουργία τους είναι:

- Ο αέρας θα πρέπει να λειτουργεί στους θερμοσυσσωρευτές κατά την κατακόρυφη διεύθυνση και Κατά τη φάση φόρτισης του συστήματος
- ο αέρας πρέπει να Ρέει προς την κάτω πλευρά του θερμοσυσσωρευτή.

Η τήρηση των αρχών αυτών οδηγεί στη θερμική διαστρωμάτωση εντός του θερμοσυσσωρευτή, με αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης και την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Κάθε θερμική κλίση, ως μέσο που παίρνει ή δίνει θερμότητα, έχει ορισμένα φυσικά και θερμικά χαρακτηριστικά, που βέβαια εξαρτώνται από τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά και από τα υλικά μέσα που τη συγκροτούν. Τα κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά είναι:

- Ο όγκος και το σχήμα της θερμικής κλίνης
- Το μήκος της
- Η διατομή της
- Τα φυσικά χαρακτηριστικά -εκτός των θερμικών- είναι:
- Η ισοδύναμη διάμετρος των στερεών που τη συγκροτούν
- Το ποσοστό του κενού χώρου
- Ο συντελεστής σφαιρικότητας της επιφάνειας των στερεών
- Το μέτρο ροής μάζας του ρευστού
- Η πτώση πίεσης
- Τέλος, τα θερμικά χαρακτηριστικά, που είναι και τα πιο ουσιώδη είναι :
- Ο ογκομετρικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας
- Ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας
- Ο συντελεστής της ενεργού θερμικής αγωγιμότητας της
- Θερμικής κλίνης όταν δε διαρρέεται από ρευστό.



Δυναμικός θερμοσυσσωρευτής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε κάποια συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμικής ενέργειας βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης. Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Υπάρχουν ουσιαστικά δύο μέθοδοι εφαρμογής αποθήκευσης STES για τη δημιουργία μιας καθαρής μηδενικής ενεργειακής κοινότητας: η αποκεντρωμένη εποχιακή θερμική αποθήκευση, όπου οι ξεχωριστές μονάδες θερμικής ενεργειακής αποθήκευσης TES έχουν εγκατασταθεί σε κάθε κτίριο μεμονωμένα και η κεντρική, όπου πολλά κτίρια χρησιμοποιούν ένα κοινό σύστημα θερμικής ενέργειας αποθήκευσης (TES). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των μεγάλων κεντρικών συστημάτων εποχιακής θερμικής αποθήκευσης είναι ότι οι σχετικές απώλειες θερμότητας μειώνονται με την αύξηση του μεγέθους. Οι σχετικές απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον είναι ανάλογες προς τον λόγο της επιφάνειας περιοχής προς όγκο (A/V), όπου η αναλογία είναι σημαντική στην αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Οι κύκλοι φόρτισης για μια δεξαμενή αδράνειας κυμαίνετε 260 με 280 κύκλους/έτος, ενώ σε ένα εποχιακό σύστημα αποθήκευσης είναι 1,2 -1,6 κύκλοι/έτος (ο τέλειος αδιαβατικός κύκλος για ένα σύστημα θα είχε 1 πλήρη κύκλο φόρτισης/εκφόρτισης ανά έτος).

	Κύκλοι φόρτισης / εκφόρτισης ανά έτος	Αναλογία h/d (ύψους/διάμετρου θερμικής αποθήκης)
Θερμική Αποθήκη αδρανείας	260-280	= 3
Εποχιακή θερμική αποθήκη (δεξαμενή ή λάκκο -κοίλωμα)	1,2-1,6	= 1

Τα εποχιακά θερμικά συστήματα αποθήκευσης (STES) έχουν αποδειχθεί ότι είναι σε θέση να παρέχουν σημαντικά οφέλη όσον αφορά την αποτελεσματικότητα και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για παράδειγμα, όταν συνδυάζεται με την ηλιακή θερμική τεχνολογία, σε μια κατοικημένη τοποθεσία, η εποχιακή θερμική αποθήκη STES επιτρέπει την αξιοποίηση του ηλιακού

κλάσματος σε ένα τυπικό εύρος από 50 έως 70 % για τη θέρμανση χώρων και ζεστού νερού. Η έννοια του συνδυασμού της τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας έχει αποδειχθεί στο παρελθόν, ένα πολύ γνωστό έργο που απεικονίζει αυτόν το συνδυασμό είναι η Drake Landing Solar Κοινότητα στην πόλη του Okotoks, Αλμπέρτα, Καναδά. Η Drake Landing ηλιακή κοινότητα συνδυάζει τα ηλιακά θερμικά συστήματα με την εποχιακή γεωθερμική αποθήκευση κατακόρυφου κλειστού βρόγχου και επιτυγχάνει με αυτόν το τρόπο ένα ποσοστό ηλιακής κάλυψης της τάξης του 97%. Θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο. Σε προηγούμενο κεφαλαίο έγινε αναφορά για την αναγκαιότητα της αποθήκης όταν γενικά η καμπύλη ζήτησης της ενέργειας δεν συμπίπτει με την καμπύλη προσφοράς. Για ορισμένες ενεργειακές πηγές, όπως είναι η ηλιακή, τα διαλείμματα μη προσφοράς ενέργειας που μπορεί να υπάρξουν είναι πιθανόν να είναι μεγάλα, ακόμα και μια σειρά πολλών συνεχόμενων ημερών. Σ' αυτή την περίπτωση, η ενεργειακή αποθήκη πρέπει να είναι αρκετά μεγάλης θερμοχωρητικότητας, ώστε να καλύψει την κατά κανόνα καθημερινή ζήτηση ενέργειας. Η προσφορά της ηλιακής ενέργειας κατά τους θερινούς μήνες αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε ετήσια βάση. Αξίζει να αναφερθεί πως το 68% της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας προσφέρεται τους μη χειμερινούς μήνες. Τα συστήματα εποχιακής αποθήκευσης θερμότητας παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία είναι:

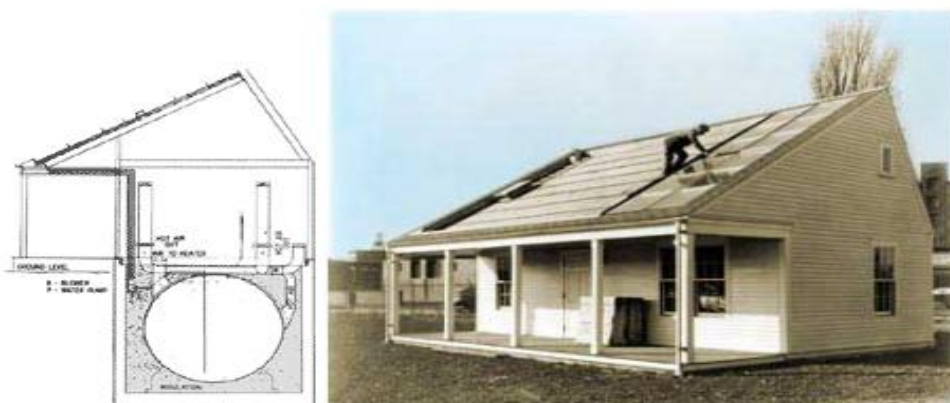
1. Η κάλυψη των θερμικών αναγκών σε μεγάλο ποσοστό
2. Απαιτούν συνήθως μικρότερη επιφάνεια συλλεκτών, για την ίδια απόδοση σε σύγκριση με ηλιακά συστήματα μικρότερων αποθηκών
3. Η μικρή έως ανύπαρκτη επένδυση σε βοηθητική ενέργεια και οι πολύ μικρότερες δαπάνες λειτουργίας του συστήματος από ένα αντίστοιχο συμβατικό σύστημα
4. Η μικρότερη εξάρτηση του χρήστη από τα συμβατικά καύσιμα Ταυτόχρονα όμως τα δύο κύρια χαρακτηριστικά των εποχιακών αποθηκών, δηλαδή η μεγάλη χρονική διάρκεια αποθήκευσης και ο κατά κανόνα μεγάλος όγκος τους, δημιουργούν και τα κύρια προβλήματα τους, τα οποία είναι:

A) Θερμικές απώλειες: Οι θερμικές απώλειες της αποθήκης είναι ανάλογες με την εξωτερική της επιφάνεια, της μόνωσης και φυσικά της διαφοράς της θερμοκρασίας του αποθηκευτικού μέσου μείον τη θερμοκρασία του υλικού που περιβάλλει τη δεξαμενή. Δεν πρέπει να παραλείψουμε το γεγονός ότι η μόνωση είναι κομμάτι και της οικονομικής ανάλυσης. Ισχυρές μονώσεις σημαίνουν και μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και ίσως σε τελική ανάλυση να αποδεικνύονται μη συμφέρουσες.

Β) Το δεύτερο πρόβλημα σχετίζεται με τη θερμική διαδικασία. Το καλοκαίρι η θερμοκρασία της αποθήκης πρέπει να ανεβαίνει όσο ψηλότερα είναι δυνατό, για να έχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή θερμική αποθήκευση. Αυτό όμως σημαίνει ότι, κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα και με τις υψηλές θερμοκρασίες του νερού της αποθήκης και χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, η αποδοτικότητα των συλλεκτών περιορίζεται σε χαμηλά επίπεδα.

4.2 Η ΠΡΩΤΗ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Μία από τις πρώτες σύγχρονες προσπάθειες χρήσεις των εποχιακών θερμικών αποθηκών ήταν το ηλιακό σπίτι του πανεπιστημίου της Μασαχουσέτης MIT # 1, που χτίστηκε το 1940. Αυτό το μικρό σχέδιο περιελάμβανε μια μεγάλη δεξαμενή νερού κάτω από το δάπεδο του σπιτιού, η οποία φόρτιζε θερμικά μέσω των ηλιακών συλλεκτών που ήταν τοποθετημένοι στην οροφή, για να θερμάνει το κτίριο όλο το χρόνο. Ο Givoni πιστώθηκε από το πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης the MIT (Massachusetts Institute of Technology), το σπίτι με τη πρώτη εφαρμογή της εποχικής αποθήκευσης σε μονοκατοικία το 1940. Το σύστημα αποθήκευσης αποτελείτο από 68m³ (περίπου 2 m³/ m² την επιφάνεια του συλλέκτη) ατσάλινης κυλινδρικής μορφής δεξαμενή, μονωμένη και θαμμένη κάτω από το σπίτι. Οι θερμοκρασίες αποθήκευσης έφθασαν τους 90 ° C τον Αύγουστο, καθιστώντας αδύνατη την αποθήκευση ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και στις αρχές του χειμώνα, δεδομένου ότι οι συλλέκτες δεν θα μπορούσαν να παράγουν υψηλότερες θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία αποθήκευσης μειώθηκε σε 55 ° C μέχρι το τέλος του Φεβρουαρίου. Η απόδοση του συστήματος έπασχε επίσης λόγω συμπύκνωσης υγρασίας στη μόνωση της δεξαμενής.



φωτογραφία από την πρώτη προσπάθεια εποχιακής θερμικής αποθήκευσης μικρής κλίμακας

4.3 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ



Σπίτι με ηλιακούς συλλέκτες και εποχιακή δεξαμενή θερμικής ενέργειας

4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά από 3 χρόνια κατασκευής πάνω από 25 επιμέρους παθητικά σπίτια στην Ιρλανδία, η εταιρεία Σκανδιναβικά σπίτια Ltd ερευνούν τη δυνατότητα 100% κάλυψης των ενεργειακών αναγκών για θερμότητα χώρων και ζεστού νερού χρήσης που απαιτείται για ένα οικογενειακό σπίτι με βιοκλιματικές προδιαγραφές. Η εξαιρετικά χαμηλής ζήτησης θερμότητας από ένα παθητικό και εξαιρετικά-παθητικό σπίτι, και το ήπιο κλίμα της Ιρλανδίας προκάλεσε την ιδέα να αγωνιστούν για αυτό το σκοπό.

Το σπίτι(215 m²) είναι κατασκευασμένο με το Passivhaus πρότυπο, βρίσκεται στο Γκάλγουεϊ, Δημοκρατία της Ιρλανδίας. Σύμφωνα με το Passivhaus πρότυπο έχει μια (χαμηλή) προβλεπόμενη ζήτηση για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης για ένα χρόνο περίπου 1832 kWh από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάιο. Για την κάλυψη αυτών των αναγκών 10.8m² ηλιακοί συλλέκτες κενού έχουν εγκατασταθεί με νότιο προσανατολισμό στη στέγη. Αυτοί τροφοδοτούν τη δεξαμενή ζεστού νερού 300 lt, την ενδοδαπέδια θέρμανση, τον κλιματισμό χώρου και την 23 m³ αισθητή εποχιακή αποθήκη θερμότητας που βρίσκεται θαμμένη στον κήπο. Ένα Ηλιακό κλάσμα της τάξης του 72 % για θέρμανση χώρου επιτεύχθηκε για την περίοδο θέρμανσης από Σεπτέμβριος 2010 - Απρίλιος 2011. Η εποχιακή αποθήκη παρείχε σημαντική πηγή θερμότητας 556kWh το 2010, παρά την απώλεια του 50% της αποθηκευμένης ενέργειας της (1111kWh) μέσω απωλειών αισθητής θερμότητας. Η οικονομική ανάλυση δείχνει ότι η άμεση ηλιακή θέρμανση σε συνδυασμό με την εποχιακή αποθήκευση είναι η πιο οικονομική λύση για τη θέρμανση, ιδίως όταν κάποιο προτεινόμενο κίνητρο π.χ κυβερνητικές επιδοτήσεις παρέχονται. Στο πλαίσιο του χρηματοδοτούμενου από την Ε.Ε CERHEUS (Κόστος-Αποτελεσματικά

παθητικά σπίτια ως ευρωπαϊκό πρότυπο) του έργου [iv], 221 οικιστικές μονάδες συμμορφώθηκαν με το πρότυπο Passivhaus ,χτίστηκαν σε πέντε ευρωπαϊκές χώρες και η λειτουργία τους αξιολογήθηκε. Το πρόγραμμα αυτό κατέδειξε ότι η ζήτηση θέρμανσης χώρων μπορεί να μειωθεί σε λιγότερο από 15 kWh / (m2a) με την εφαρμογή του προτύπου Passivhaus. Αυτό αντιπροσωπεύει μια μείωση μεταξύ 80 - 90% σε σύγκριση με τους κανονισμούς -απαιτήσεις των κτιρίων που επικρατούσαν την εποχή εκείνη της μελέτης. Με δεδομένες τις χαμηλές απαιτήσεις θέρμανσης χώρου ενός Passivhaus, ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει σημαντική συμβολή στην επίτευξη των υπολειπόμενων αναγκών θέρμανσης, κυρίως σε εύκρατα κλίματα.

4.3.2 ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκαν δυο δεξαμενές μια βραχυπρόθεσμης και μιας εποχιακής χρήσης

Δεξαμενή 1 : Στο βοηθητικό δωμάτιο μια τυπική δεξαμενή 300 λίτρων με εσωτερικό εναλλάκτη τύπου σπείρας συνδέεται με τους ηλιακούς συλλέκτες κενού στη στέγη.

Δεξαμενή 2 : Μια μεγάλη 23m³ υπόγεια δεξαμενή σκυροδέματος είναι μονωμένη εξωτερικά με 2 x 200mm από διογκωμένη πολυστερίνη και 2 x 100 mm με βάση τη σύγνια PU σπρέι μονωτικό Abbey για την μόνωση των τειχών. Η κορυφή και ο πυθμένας είναι μονωμένα με 2 χ 300 χιλιοστά διογκωμένη πολυστερίνη. Σύνολο μέση τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας $U = 0,059 \text{ W/m}^2\text{C}$. Στις παρακάτω φωτογραφίες βλέπουμε την δεξαμενή 23m³ στα σταδία της θερμομόνωσης .Καθώς και την μικρή δεξαμενή των 300 λίτρων .



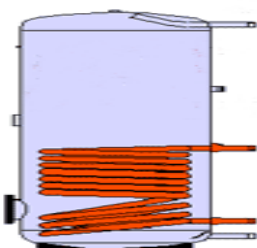
Tank 2 on 600mm insulation



Tank 2 with a total of 600mm insulation

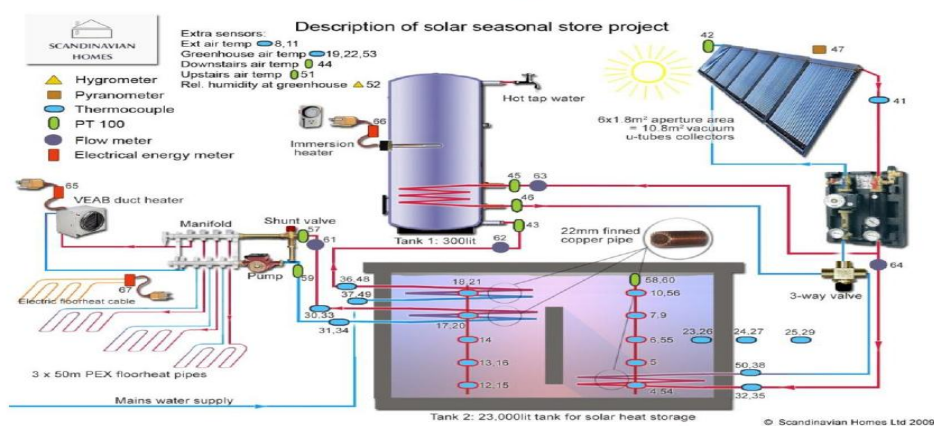


Tank 2 with a wrap of HD polyethylene



Η υπό εδάφια δεξαμενή είναι εξοπλισμένη με ένα διάφραγμα κατασκευασμένο από τσιμεντόλιθους στο κέντρο της δεξαμενής. Η φόρτιση από τους ηλιακούς συλλέκτες κενού γίνεται μέσω εσωτερικού εναλλάκτη που βρίσκεται στο κάτω μέρος από τη μία πλευρά του διαφράγματος. Ενώ δύο κυκλικοί εναλλακτες (σωλήνες χαλκού με πτερύγια Curopi αυτό το είδος των πτερυγίου αυξάνουν την επιφάνεια του σωλήνα κατά ένα συντελεστή 3,6 σε σύγκριση με την ίδια διάσταση σωλήνα με λεία επιφάνεια) βρίσκονται κοντά στην κορυφή στην άλλη πλευρά του διαφράγματος για τη διανομή ΖΝΧ και θέρμανσης. Η διάταξη αυτή αναμένεται να δημιουργήσει μια στρωτή ροή του νερού .

4.3.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

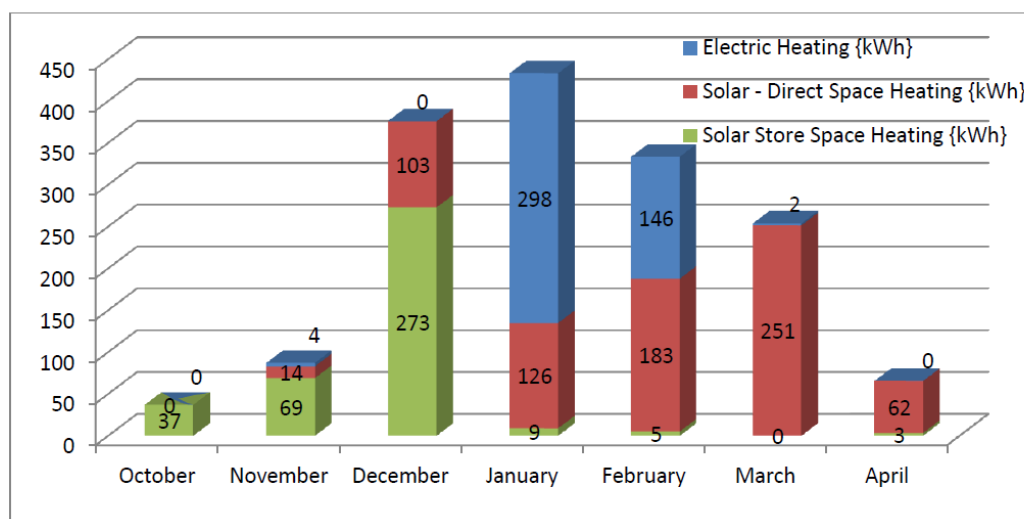


Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος

Το σύστημα δίνει αρχικά προτεραιότητα στη μικρή δεξαμενή νερού χωρητικότητας 300 λίτρων που βρίσκεται μέσα στο κτίριο . Η μεγάλη ποσότητα των συλλεκτών στην οροφή 10,8 m² θα θερμάνει την δεξαμενή (300 lt)πολύ γρήγορα .Μόλις η θερμοκρασία στο εσωτερικό της δεξαμενής φτάσει τους 65 βαθμούς κελσίου τότε μια τρίοδη βαλβίδα ανακατευθύνει την ροή του θερμενόμενου νερού και πλέον οι συλλέκτες προσδίδουν θερμότητα μέσω του εναλλάκτη θερμότητας στην εποχιακή υπόγεια δεξαμενή των 23000 λίτρων. Το νερό στη δεξαμενή δεν κυκλοφορεί και χρησιμοποιείται καθαρά ως μια έμμεση αισθητή αποθήκευση θερμότητας. Η μεγάλη υπόγεια δεξαμενή συνδέεται με το σπίτι μέσω ενός μονωμένου εύκαμπτου σωλήνα 160 χιλιοστών. Στην υπόγεια δεξαμενή καταλήγουν τρεις βρόγχοι :

- Ο βρόγχος των ηλιακών συλλεκτών που θερμαίνουν την αποθήκη στο κάτω μέρος της .
- ο βρόγχος προθέρμανσης του ζεστού νερού χρήσης έχει μήκος 7 μετρά και βρίσκεται κοντά στην κορυφή της δεξαμενής .
- Και τέλος ο βρόγχος της ενδοδαπέδιας θέρμανσης που βρίσκεται στην κορυφή της δεξαμενής (κάτω από των βρόγχο προθέρμανσης ΖΝΧ).

Η μικρή δεξαμενή είναι επίσης εξοπλισμένη με ένα εφεδρικό ηλεκτρικό θερμαντήρα για να καταστεί δυνατόν να θερμάνει το νερό σε πάνω από 65 βαθμούς για να εξαλειφθεί ο κίνδυνος ανάπτυξης βακτηρίων. Η κρίσιμη περίοδος του έτους από άποψη ανάκτησης θερμότητας θεωρείται ο Δεκέμβριος και ιδιαίτερα ο Ιανουάριος, όταν ο ήλιος είναι χαμηλά πάνω από τον ορίζοντα και η θερμότητα που είχε αποθηκευτή από τον ήλιο του καλοκαιριού στη μεγάλη δεξαμενή έχει εξαντληθεί. Τον Φεβρουάριο, η θερμική κάλυψη από τον ήλιο θεωρείται αρκετή για καθημερινή χρήση, και αργότερα την άνοιξη αναμένουμε ότι η μεγάλη θερμική δεξαμενή εποχιακής αποθήκευσης θα αρχίσει σιγά σιγά να φορτίζει και πάλι. Η Ενδοδαπέδια θέρμανση έχει σύνολο 180 μέτρα σωλήνων PEX. Μια αντλία χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης για την κυκλοφορία της ενέργειας είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο καθώς και μια βάνα ανάμιξης σε απευθείας σύνδεση σε ένα κολεκτέρ διανέμουν τη θερμότητα στα τέσσερα κυκλώματα. Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την κατανομή κατανάλωσης της ηλεκτρικής, της άμεσης ηλιακής ενέργειας για ενδοδαπέδια χρήση και την αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια από των Οκτώβρη του 2010 έως τον Απρίλιο του 2011.



Σχήμα Κατανομή Ηλεκτρικής, άμεσης ηλιακής και αποθηκευμένης ηλιακής θέρμανσης χώρου σε μια βάση ανά μήνα, Οκτώβρης 2010 - Απρίλης 2011

Το κόστος του συστήματος φαίνεται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα. Η ηλιακή εγκατάσταση ζεστού νερού (4 m² ηλιακή συστοιχία σε συνδυασμό με τη δεξαμενή 300 L) θεωρείται το βασικό σύστημα. Το επιπλέον κόστος είναι τα 6m² ηλιακών συλλεκτών, ο σπειροειδής εναλλάκτης θερμότητας, και η τρίοδη βαλβίδα, ώστε να παρέχουν άμεση ηλιακή ενδοδαπέδια θέρμανση, και τέλος το κόστος της εποχιακής αποθήκης για την αποθήκευση της πλεονάζουσας θερμότητας.

Item	Solar DHW Total cost	Solar Space Htg Extra Cost	Seasonal Store Extra Cost
Parts	€3057.00	€2269.00	€11822.30
Labour	€1679.30	€559.77	€8956.27
Total	€4736.30	€2828.77	€20778.57

Πίνακας εκτίμηση του κόστους του συστήματος (ευρώ)

4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Υπάρχουν πολλά συστήματα εποχιακής αποθήκευσης στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τα συστήματα εποχιακής αποθήκευσης αισθητής θερμότητας . Ο διαχωρισμός των συστημάτων μπορεί να γίνει είτε βάση του υλικού αποθήκευσης υγρό ή στερεό(νερό ή άμμος, χαλίκι ,πετρώματα εδάφους) ή με βάση τον χώρο της αποθήκευσης υποεδάφεια η υπέργεια. Έτσι τα συστήματα εποχιακής αποθήκευσης αισθητής θερμότητας διακρίνονται σε

- Αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε δεξαμενές (υπέργεια ή υπόεδάφια)
- Αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε λακκο –κούλομα από νερό η συνδιασμο νερού-χαλικιου (PTES)
- Συστήματα ανοιχτού βρόγχου πολλαπλών γεωτρήσεων (ATES)
- Ηλιακή λίμνη (SP)
- Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα αποθήκευσης (BTES)

Η έρευνα για την εποχιακή αποθήκευση θερμικής ηλιακής ενέργειας ξεκίνησε πρώτα από το στρατηγικό σχέδιο δράσης της Σουηδίας στις αρχές της δεκαετίας του 1980 .Δια μέσου της διεθνής συνεργασίας με τον διεθνή οργανισμό ενέργειας (IEA) η εποχιακή θερμική αποθήκευση βρήκε το δρόμο της μέσο ενός τμήματος της Ευρώπης . οι πρώτες πιλοτικές – ερευνητικές εφαρμογές αποθήκευσης δημιουργήθηκαν στη Σουηδία ,τη Δανία ,την Ολλανδία ,την Ελβετία ,την Ιταλία ,την Ελλάδα ,και στη Γερμανία το 1984 , Ενώ στις περισσότερες από τις αναφερθείσες χώρες σταμάτησαν το ερευνητικό πρόγραμμα .Στη Γερμανία το 1993 ανέπτυξε το R & D πρόγραμμα R&D-programme Solarthermie-2000 και το επιτυχημένο Solarthermie2000plus που υλοποιήθηκε από την Ομοσπονδιακό Υπουργείο Περιβάλλοντος, Προστασίας της Φύσης και Πυρηνικής Ασφάλειας (BMU). Με την υποστήριξη από τα προγράμματα αυτά έντεκα ερευνητικές μονάδες επίδειξης με εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας έχουν κατασκευαστεί στη Γερμανία από το 1996 (βλ. πίνακα).

Project	Collector area at present (design value) [m ²]	Type of storage	Volume of storage [m ³]	Volume of storage in water equivalent [m ³]	Max. design temperature [°C]	Start of operation
Hamburg-Bramfeld	3,000	concrete tank with stainless steel liner	4,500	4,500	95	1996
Friedrichshafen-Wiggenshausen	4,050 (5,600)	concrete tank with stainless steel liner	12,000	12,000	95	1996
Hannover-Kronsberg	1,350	concrete tank without liner	2,750	2,750	95	2000
Munich-Ackermannbogen	2,900	concrete tank of prefabricated sections with stainless steel liner	5,700	5,700	95	2007**
Solaris-Chemnitz	540*	pit storage with gravel/water filling and plastic liner	8,000	5,300	85	1997
Steinfurt-Borghorst	510	pit storage with gravel/water filling and doubled plastic liner	1,500	1,000	90	1998
Eggenstein-Leopoldshafen*	1,500	pit storage with water filling and plastic liner	3,000	3,000	90	2007**
Neckarsulm-Amorbach	5,470 (6,000)	borehole thermal energy storage with PB-ducts	63,300	20,000	85	1997
Attenkirchen	800	borehole thermal energy storage with inner concrete tank	10,000	4,000	85	2002
Crailsheim	5,470 (7,300)	borehole thermal energy storage with PEX-ducts***	37,500	10,000	85	2007*
Rostock-Brinckmanshöhe	1,000	shallow aquifer storage	20,000	5,000	50	2000

Πιλοτικά συστήματα εποχιακής αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας στη Γερμανία

4.5 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΤΤΕΣ)

Μια δεξαμενή εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (Thermal Tank Energy Storage) μπορεί να κατασκευαστεί από σπλισμένο σκυρόδεμα χάλυβα ή και πλαστικό fiberglass. Συνήθως είναι εν μέρει θαμμένη στο έδαφος. Σαν αποθηκευτικό θερμικό μέσο χρησιμοποιείται το νερό. Οι πρώτες αποθήκες σε λειτουργία έγιναν πιλοτικά στο Αμβούργο και στο Friedrichshafen το 1996. Οι αποθήκες χτίστηκαν από ενισχυμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι θερμικά μονωμένες μόνο στην οροφή και στα πλευρικά τοιχώματα και είναι επενδυμένες με 1,2 χλιοστά από φύλλα ανοξειδωτού χάλυβα. Η ανάλυση του κόστους έδειξε ότι η ανοξειδωτή επένδυση από χάλυβα είναι αρκετά ακριβή. Με την αποθήκευση στο Ανόβερο-Kronsberg μια νέα κατασκευή ελέγχθηκε για την αποφυγή του χάλυβα ως επένδυση. Το τοίχωμα αποτελείται από υψηλής πυκνότητας σπλισμένο σκυρόδεμα το οποίο εμφανίζει ένα αμελητέο ποσοστό διάχυσης του νερού, ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε σύγκριση με τις πρώτες αποθήκες σε Αμβούργο και Friedrichshafen η αποφυγή του ανοξειδωτού χάλυβα τακτικών γραμμών οδηγεί σε μια ορισμένη μεταφορά υδρατμών μέσω του συγκεκριμένου υλικού. Κατά συνέπεια, η όλη κατασκευή από τον τσιμεντένιο τοίχο προς το περιβάλλον-

έδαφος πρέπει να έχει σημείο ανοικτό για τη διάχυση υδρατμών προκειμένου να αποφευχθεί η συμπύκνωση νερού στη μόνωση. Εξαιτίας αυτού, μεταξύ άλλων, η μόνωση προστατεύεται από το νερό με ένα υδατοστεγή στρώμα πλαστικού. Λόγω του ύψους των αναγκών για σπλισμού στο σκυρόδεμα και σύνθετη αντιμετώπιση του σκυροδέματος υψηλής πυκνότητας η αναμενόμενη εξοικονόμηση κόστους δεν μπορεί να επιτευχθεί στην πράξη.

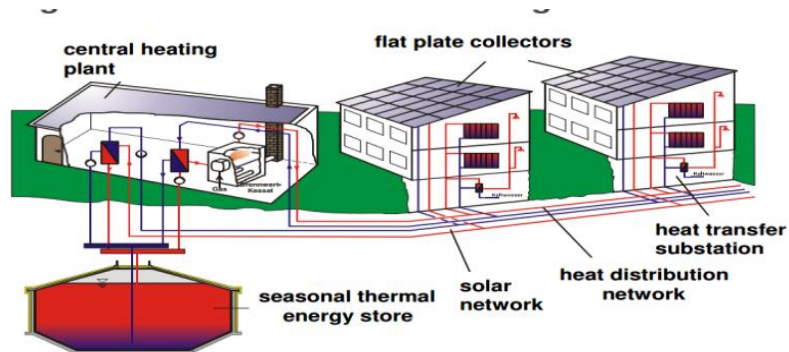
Η αποθήκευση στο Μόναχο πηγαίνει ένα βήμα προς τα εμπρός στο κόστος και την ενεργειακή απόδοση. Στις φωτογραφίες παρακάτω βλέπουμε διάφορα στάδια της κατασκευής της θερμικής αποθήκης, η βάση στο κάτω μέρος κτίστηκε επί τόπου ενώ οι πλευρική τοίχοι και η οροφή χτίστηκαν από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα και έχουν επένδυση από ανοξείδωτο χάλυβα στην εσωτερική επιφάνεια. Τα στοιχεία του τοίχου ήταν προεντεταμένα μέσω συρματόσχοινων από χάλυβα για την εξασφάλιση της στεγανότητας του νερού και του ατμού.



Κατασκευή δεξαμενής εποχιακής αποθήκευσης 5700 m³ στο Μόναχο Γερμανίας έτος 2007

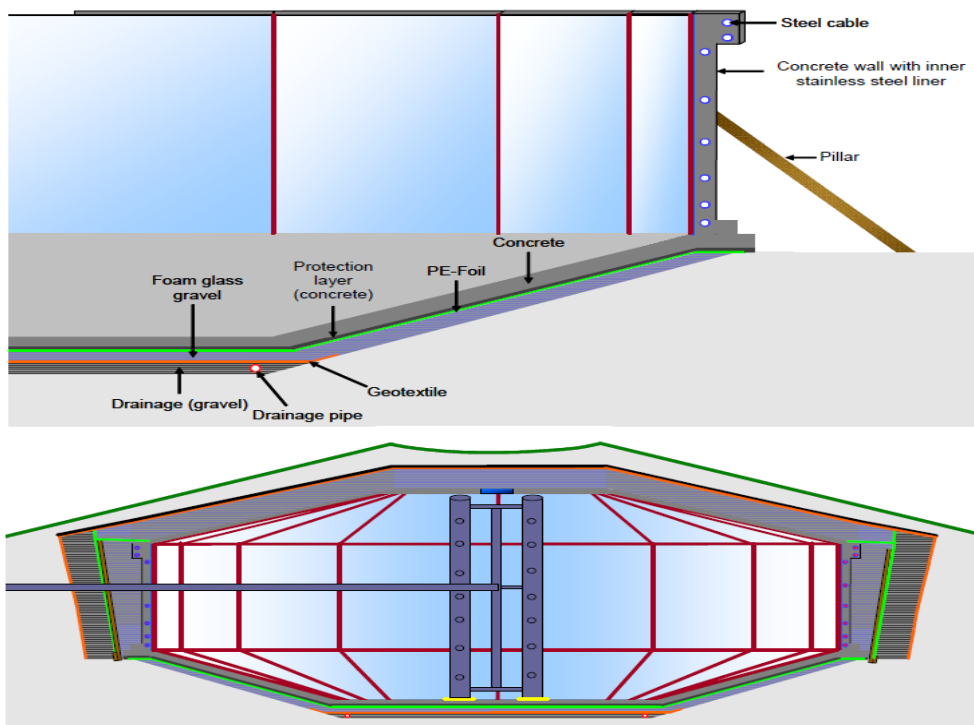
Η δεξαμενή είναι θερμικά μονωμένη στα πλευρικά τοιχώματα και στην κορυφή από διογκωμένους κόκκους γυαλιού με ένα ελάχιστο πάχος 30 cm στο κάτω μέρος και ένα μέγιστο πάχος 70 cm στην κορυφή της δεξαμενής. Μια κάθετη αποστράγγιση προστατεύει τη μόνωση από την υγρασία. Το κάτω μέρος της αποθήκης είναι θερμικά μονωμένο από 20 cm στρώμα από αφρώδες γυαλί - χαλίκι λόγω της υψηλότερης σταθερότητας στη στατική πίεση. Η θερμική δεξαμενή είναι

εξοπλισμένη με μια συσκευή διαστρωμάτωσης, προκειμένου να ενισχυθεί η στρωματοποίηση της θερμοκρασίας μέσα στη δεξαμενή και ως εκ τούτου η χρησιμότητα της συσσωρευμένης θερμότητας. Το ειδικό κόστος της επένδυσης αυτής της κατασκευής αποθήκευσης είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σύγκριση με εκείνο των δεξαμενών αποθήκευσης στα έργα Friedrichshafen, Αμβούργου και στο Ανόβερο, παρά το γεγονός ότι έχει μια βελτιωμένη θερμομόνωση και μια συσκευή διαστρωμάτωσης. Η μείωση του κόστους μπορεί να επιτευχθεί κυρίως λόγω του υλικού αποταμιεύσεις στη συγκεκριμένη κατασκευή και το χαμηλό κόστος τοποθέτησης - στερέωσης στο χώρο με τη χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος. Όταν τελείωσε η κατασκευή της δεξαμενής ήταν ορατή σαν ένα καταπράσινο λόφο που χρησιμεύει ως παιδική χαρά για τα παιδιά. Ένα επιπλέον θετικό είναι ότι δεν δημιουργείτε κάποια οπτική όχληση παρόλο το μεγάλο μέγεθος της αποθήκης. Η δεξαμενή αυτή αποθήκευσης είναι συνδεδεμένη με ένα δίκτυο κεντρικής ηλιακής τηλεθέρμανσης τροφοδοτεί με ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση χώρων και για τις ανάγκες ζεστού νερού χρήσης σε περίπου 320 διαμερίσματα (95m²) σε 12 πολυώροφα κτίρια. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να καλύψει πάνω από το 50% της ετήσιας ζήτησης θερμότητας (δηλ. περίπου 2.000 MWh/έτος) χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται από μια επιφάνεια επίπεδων συλλεκτών 2.761 m². Η συλλεγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται είτε άμεσα ή αποθηκεύεται στην υπόγεια εποχιακή δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού των 36.000 m³. Συμπληρωματική θέρμανση παρέχεται από μία αντλία θερμότητας απορρόφησης συνδεδεμένη στο δίκτυο τηλεθέρμανσης της πόλης χρησιμοποιώντας την εποχιακή αποθήκη σαν δεξαμενή προθέρμανσης (ρεζερβουάρ). Αυτό επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιακής λειτουργίας (10 -70 °C) της αντλίας θερμότητας. Η θερμοκρασία λειτουργίας της παροχής θερμότητας είναι 60 °C και της επιστροφής 30 °C. Η ηλιακή κάλυψη του συστήματος στο δεύτερο έτος λειτουργίας ήταν 45% και μπορεί να φθάσει άνω του 50% μετά από περαιτέρω βελτιστοποίηση.



Τυπική διάταξη μιας κεντρικής ηλιακής μονάδας θέρμανσης με εποχιακή θερμική αποθήκευση ενέργειας

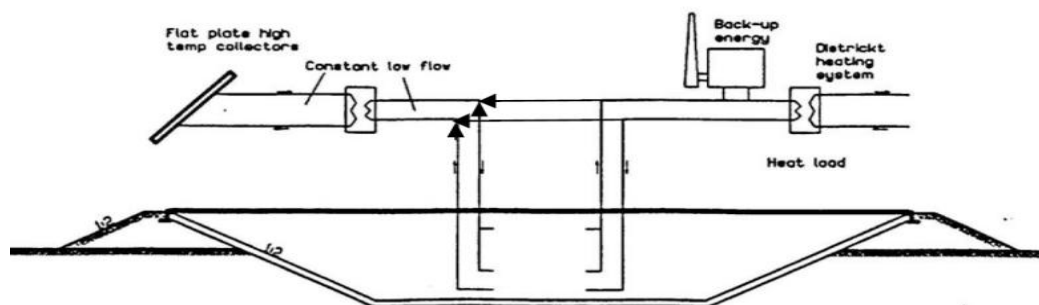
Μια άλλη ιδέα για τη δεξαμενή αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι μια κυλινδρική δεξαμενή κατασκευασμένη από ενισχυμένο πλαστικό (fiberglass). Το υλικό του τείχους της δεξαμενής αποτελείται από εξωτερικά πλαστικό ενισχυμένο με επενδύσεις με ενσωματωμένη θερμομόνωση. Η τεχνολογία κατασκευής αναπτύχθηκε υπό την καθοδήγηση του Πολυτεχνείου Ilmenau.



Καθετη τομή της εποχιακής θερμικής δεξαμενής του Μόναχου

4.6 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΛΑΚΚΟ (Pit Thermal Energy Storage)

4.6.1 ΓΕΝΙΚΑ



Τυπική σχηματική λειτουργία ενός PTES

Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε λάκκο –κοίλωμα (PTES) βρίσκονται σε όλη τη Δανία, και τη Γερμανία σε συνδυασμό με τα ηλιακά συστήματα τηλεθέρμανσης ως μια μέθοδος αντιμετώπισης της εποχιακής αναντιστοιχίας μεταξύ μέγιστης ηλιακής θερμικής παραγωγής (το καλοκαίρι) και τη μέγιστης ζήτησης θερμότητας (το χειμώνα). Η θερμική ενέργεια εξάγεται από την αντλία θερμότητας για να χρησιμοποιηθεί στο δίκτυο τηλεθέρμανσης το χειμώνα. Δεν υπάρχει καμία ειδική νομοθεσία ή εγκρίσεις που απαιτούνται για την κατασκευή ενός συστήματος εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε λάκκο –κοίλωμα PTE, μειώνοντας έτσι περαιτέρω το κόστος κατασκευής. Ένα από τα μεγαλύτερα παραδείγματα αυτού είναι η Marstal Fjernvarme (Marstal εταιρεία τηλεθέρμανσης) στο νησί Aero Δανία, η οποία έχει μια υπέργεια δεξαμενή νερού 10.000 m³ σαν αποθήκη προσωρινής αποθήκευσης, και 75.000 m³ νερό σαν εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενεργειας σε λάκκο-κοίλωμα. Η χρηματοδότηση του έργου σε ποσοστιαία κατανομή ήταν 40% αυτοχρηματοδότηση 23% από δάνεια τραπεζών 37% από επιδοτήση. Το κόστος της ηλιακων συλλεκτων 7.333.000 ευρώ. Το κόστος λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ήταν το Κόστος ενέργειας για την άντληση 48.000 ευρώ και το κόστος παρακολούθησης του συστηματος 6.500 ευρώ.



Marstal ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΛΑΚΚΟ –ΚΟΙΛΩΜΑ

4.6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε λάκκο –κοίλωμα κατασκευάζεται χωρίς κάποια στατική κατασκευή. Μέσο της τοποθέτησης μόνωσης και μιας επένδυσης σε ένα λάκκο. Η σχεδίαση του καπακιού εξαρτάται από το αποθηκευτικό μέσο τη γεωμετρία του συστήματος. Ενώ σε περίπτωση που έχουμε χαλίκι ή χώμα-νερό σαν αποθηκευτικό μέσο το κάλυμμα μπορεί να κατασκευαστεί όπως τα τοιχώματα του λάκκου. Το κοίλωμα είναι συνήθως σκαμμένο στο έδαφος, και είναι εξοπλισμένο με μια επένδυση από ένα αδιαπέραστο πλαστικομονωτικό υλικό μεμβράνη(πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας HDPE) αφού γεμίσει με νερό ή συνδυασμό νερό –χαλίκι καλύπτεται από τη μονωμένη στέγη.Υπάρχουν δύο είδη καλυμμάτων ,το πλωτό κάλυμμα και το στατικό .Το νερό θερμαίνεται με έναν εναλλάκτη θερμότητας από μια πηγή θερμότητας που θερμαίνει το νερό (ηλιακοί συλλέκτες). Σωστά μονωμένα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε κοίλωμα- λάκκο είναι ικανά να διατηρήσουν την ανυψωμένη θερμοκρασία από εποχή σε εποχή. Αυτό λειτουργεί με την αρχή , ότι η αύξηση του όγκου μειώνει αναλογικά την επιφάνεια και έτσι μειώνει τις θερμικές απώλειες (Sillman, Baylin, & Sanford, 1980). Η μέγιστη θερμοκρασία αποθήκευσης είναι 80-90 βαθμούς κελσίου .Η εξαγωγή του ζεστού νερού από το λάκκο διαρέει μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Εάν απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες, η θερμότητα μπορεί στη συνέχεια να αναβαθμιστεί με μια αντλία θερμότητας (Sørensen, Holm, & Jensen, 2008). Τα συστήματα μπορεί να είναι πολύ αποδοτικά και απλά στην κατασκευή. Η μόνη εξαίρεση είναι η κατασκευή του μονωτικού καλύμματος, το οποίο μπορεί να είναι σημαντική, ανάλογα με το μέγεθος και τη γεωμετρία του λάκκου (Ellehaug & Pedersen, 2007). Η κατασκευή ενός καλύμματος ενός PTES συστήματος νερού απαιτεί σημαντική προσπάθεια και είναι το πιο ακριβό μέρος της θερμικής αποθήκης. Τυπικά δεν υποστηρίζεται από κάτω με μια κατασκευή, αλλά επιπλέει στην επιφάνεια του νερού . Λόγω του γεγονότος ότι η κατασκευή της στέγης είναι δύσκολη και μπορεί να είναι αρκετά δαπανηρή, οι πρώτες αποθήκες πληρώθηκαν με ένα μίγμα από χαλίκι –νερό ως μέσο αποθήκευσης. Θερμότητα τροφοδοτείται μέσα και έξω από την αποθήκη από άμεση ανταλλαγή νερού ή έμμεσα, μέσω πλαστικών σωλήνων.

4.6.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

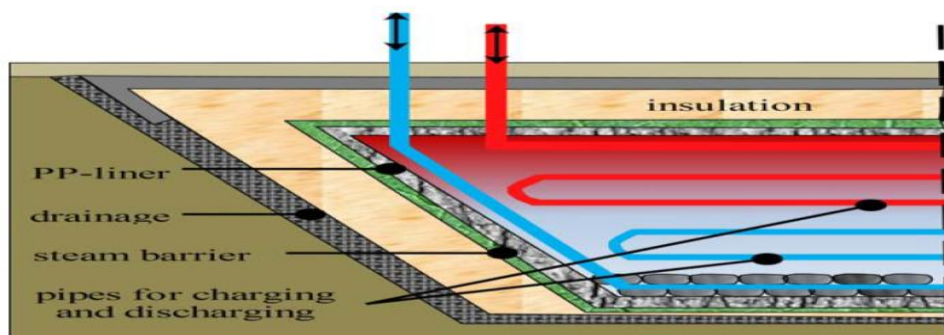
Με βάση τα ικανοποιητικά αποτελέσματα της πρώτης πιλοτικής μονάδας των 1.000 m³ που χτίστηκε στο ITW από το Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης το 1984, το σχέδιο για αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε λάκκο –κοίλωμα εφαρμόστηκε για την κατασκευή μιας αποθήκης 8.000 m³ από την εταιρεία Solaris στο Chemnitz. Η αποθήκη ολοκληρώθηκε το 1996, ωστόσο, η εγκατάσταση θέρμανσης δεν ήταν έτοιμη για λειτουργία μέχρι το 1999 όπου 540 m² ηλιακών συλλεκτών κενού εγκαταστάθηκαν επιτυχώς (στη πρώτη φάση κατασκευής). Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας είναι 85 C και η φόρτιση και εκφόρτιση της αποθήκης γίνεται από μια άμεση εναλλαγή νερού. Η εποχιακή αποθήκευση θερμότητας στο Chemnitz είχε προγραμματιστεί για την ένταξη της σε ένα κτιριακό συγκρότημα που αποτελούνταν από ξενοδοχείο, κτίρια γραφείων και εμπορικά κέντρα. Το ηλιακό κλάσμα στη πρώτη Κατασκευή έφθασε το 30% της συνολικής ετήσιας ζήτησης θερμότητας ενώ στη δεύτερη Κατασκευή είχε προγραμματιστεί να φτάσει στο 42%.



Chemnitz ,Γερμανία 1996

Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής τέθηκε σε λειτουργία τον Αύγουστο του 1998. Βρίσκεται στο πρώτο ηλιακό χωριό Steinfurt της Γερμανίας Βόρεια Ρηνανία-Βεστφαλία. Το σύστημα εποχιακής αποθήκευσης θερμότητας σε λάκκο- κοίλωμα με χαλίκι -νερό είναι ενσωματωμένο για την κεντρική, ηλιακά υποβοηθούμενη παροχή θερμότητας σε 42 νέα διαμερίσματα. Η φόρτιση και εκφόρτιση γίνεται μέσω σωλήνων οριζόντιων εναλλακτών θερμότητας. Το σύστημα αποτελείται από 510 m² ηλιακών συλλεκτών τοποθετημένα στην οροφή των κτιρίων, ο όγκος της εποχιακής αποθήκευσης σε λάκκο είναι 1500 m³ νερού-χαλικιού. Η ολική ετήσια ζήτηση θερμότητας είναι 325 MWh/year, αλλά η ηλιακή θερμότητα παρέχει 110 MWh/year. Άρα η ηλιακή κάλυψη αγγίζει το 34%. Τα σπίτια είναι εξοπλισμένα με ενδοδαπέδια θέρμανση έτσι ώστε να επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί με χαμηλές θερμοκρασίες στο δίκτυο τηλεθέρμανσης. κατά τη διάρκεια του χειμώνα το δίκτυο παρέχει σε χαμηλή σχετικά θερμοκρασία στο επίπεδο της ενδοδαπέδιας θέρμανσης ώστε να έχουμε μείωση των απωλειών του δικτύου και πετυχαίνοντας όσο το δυνατό χαμηλότερη θερμοκρασία επιστροφής στο δίκτυο. Αν υψηλότερες

Θερμοκρασίες απαιτηθούν για το ζεστό νερό χρήσης στα διασυνδεδεμένα κτίρια αυτό επιτυγχάνετε αυτόνομα με χρήση ηλεκτρικού θερμοσίφωνα σε κάθε σπίτι ξεχωριστά. Στην αποθήκη εφαρμόστηκε ένα νέο σχέδιο ,διπλασιάστηκε το πλαστικό κάλυμμα και ο χώρος μεταξύ των δυο στρωμάτων εκκενώθηκε(δημιουργώντας μια υποπίεση της τάξης των 0,5 bar) για να έχουν ένα μόνιμο έλεγχο στη στεγανότητα κατά τη διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας της εγκατάστασης(του λάκκου). Σε περίπτωση κάποιας διαρροής η πίεση αυξάνετε και ένα ηχητικό σήμα προειδοποίησης θέτετε σε λειτουργία. Ως θερμομονωτικό υλικό διογκωμένοι κόκκοι γυαλιού χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά σε εποχιακές θερμικές αποθήκες. Ένα ηλιακό κλάσμα της συνολικής ετήσιας ζήτησης θερμότητας έως και 36% είχε επιτευχθεί.



Τομή θερμικής αποθήκης (Pit) Steinfurt Γερμανία



Αριστερά τα κτίρια με τους ηλιακούς συλλέκτες στην κεκλιμένη οροφή ,δεξιά η αποθήκη σε λάκκο κατά την κατασκευή ,Steinfurt 1998

Η πιο πρόσφατη θερμική αποθήκη σε λάκκο (pit) χτίστηκε στο Eggenstein το 2007, Στη περιοχή Eggenstein ένα σχολείο ένα αθλητικό κέντρο και η τοπική πυροσβεστική υπηρεσία είναι συνδεδεμένα σε ένα κεντρικό, ηλιακό δίκτυο τηλεθέρμανσης .Η περιοχή εκτίνετε σε 12.000 m² μέτρα , το δίκτυο αποτελείτε από 1600 m² ηλιοθερμικών και 4500 m³ ολοκληρωμένης αποθήκης χαλικιού - νερού . Η μονάδα είναι σχεδιασμένη για ένα ηλιακό κλάσμα 37% της συνολικής ετήσιας ζήτησης θερμότητας. Μια εφεδρική μονάδα θέρμανσης 600 Kw λέβητας

φυσικού αερίου ,και μια δεξαμενή αδρανείας 30 m³ είναι διαθέσιμη καθώς και μια αντλία θερμότητας 60 Kw .

Όσο αφορά την κατασκευή της θερμικής αποθήκης σε λάκκο η θερμομόνωση προστατεύετε από την διείσδυση των υπόγειων υδάτων με μια εξωτερική επένδυση μεμβράνης πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας HDPE .Το σύστημα αποθήκευσης με χαλίκι-νερό προτιμήθηκε έναντι του σκέτου νερού .Η γεωμετρία της θερμικής αποθήκης αποτελείτε από δυο περικομενους κώνους .βλέπε εικόνα . Τα 2/3 του όγκου της αποθήκης βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους είναι γεμάτα από 10-32 mm χαλίκι σε ύψος 2,5 m .Στον εναπομείναντα όγκο το χαλίκι /άμμο από την εκσκαφή του λάκκου χρησιμοποιείτε για το γέμισμα της αποθήκης για να μειωθεί το κατασκευαστικό κόστος. Το υπόλοιπο ανώτερο τμήμα (1/3) της αποθήκης διαμορφώνεται σαν περικομμένος κώνος με βρεγμένα χαλίκια πάχους 16-32 mm .Η φόρτιση και εκφόρτιση του συστήματος πραγματοποιείται από δυο κάθετα φρεάτια το ένα είναι ενσωματωμένο στο πάτο του στρώματος χαλικιού ενώ το άλλο στη κορυφή του στρώματος χαλικιού. Η τελική μορφή της θερμικής αποθήκης ήταν ένας ανεστραμμένος κομμένος κώνος με ύψος 7 μέτρα και διάμετρο 35 μέτρα.Η μέγιστη δυνατή κλίση στο χώμα/άμμου και χαλικιού είναι 35 μοίρες μετά την εγκατάσταση της επένδυσης και της θερμομόνωσης .Η αποθήκη γεμίζεται από το χώμα εκσκαφής . Ο δεύτερος περικομενος κώνος διαμορφώθηκε πάνω από την επιφάνεια του εδάφους με βρεγμένα χαλίκια σε ύψος των 2 μέτρα και κλίση 26 μοίρες .Η εσωτερική επένδυση αποτελείτε από HDPE μεμβράνη πολυαιθυλενίου με φράγμα υδρατμών, η επένδυση αλουμινίου εμποδίζει τη διάχυση υδρατμών και αυτό προστατεύει τη θερμική μόνωση από την υγρασία κατά την περίοδο λειτουργιάς της πάνω από 30 χρόνια . Λόγο της κατάστασης ότι η στάθμη των υπόγειων υδάτων είναι μόνο μερικά εκατοστά κάτω από την αποθήκη ειδική προσοχή στο σχεδιασμό της αποθήκης με έμφαση στο είδος μόνωσης και το πάχος πρέπει να προσεχτεί. Προσομοιώσεις που διεξήχθησαν στο πανεπιστήμιο ITW και το Solites έδειξαν ότι ένα αυξημένο πάχος στη μόνωση του πυθμένα είναι υποχρεωτικό .Έτσι στον πάτο και στα πλευρικά τοιχώματα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους 50 cm διογκωμένων κόκκων γυαλιού τοποθετήθηκε . Πάνω από την επιφάνεια του εδάφους 90 cm μόνωσης από αφρώδες μορφή γυαλιού ,χαλικιού προστέθηκε στα πλευρικά τοιχώματα και στη κορυφή της αποθήκης .Τόσο το αφρώδες χαλίκι όσο και το διογκωμένο σε κόκκους γυαλί έχουν αντοχή στην πίεση στο απαιτούμενο εύρος .Το αφρώδες γυαλί προτιμάτε έναντι του διογκωμένου για τα ανώτερα τμήματα γιατί είναι εύπλαστο λόγω της σχετικά υψηλής γωνίας τριβής. Τα αποτελέσματα των διαστάσεων της μόνωσης εξαρτάται από το οικονομικά βέλτιστο υλικό και το κόστος της εγκατάστασης ως προς τα όρια του προϋπολογισμού .Προκειμένου να προστατέψουν τη μόνωση από το να

βραχύ μια εξωτερική επένδυση για τα υπόγεια ύδατα εγκαταστάθηκε .Η εξωτερική και εσωτερική επένδυση φραγής είναι κολλημένες μαζί ώστε να δημιουργούν ένα σύνολο 30 θαλάμων οι οποίοι γεμίζονται με μονωτικό υλικό βασισμένη σε μια μέθοδο του πιλοτικού προγράμματος steinfurt-borghorst .



Κατασκευή της εποχιακής θερμικής αποθήκης χαλικιού –νερού σε λάκκο στο Eggenstein το 2007

4.6.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ PTES

Κάποια από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα είναι τα εξής .Δεν υπάρχει κάποια γεωγραφική δέσμευση μπορεί να αναπτυχθεί σε οποιαδήποτε περιοχή με αρκετό χώρο. Άλλα πλεονεκτήματα των PTES συστημάτων είναι η απλότητα της τεχνολογίας και η ευκολία της κατασκευής με άμεσα διαθέσιμα υλικά. Το κύριο μειονέκτημα είναι η απαίτηση χώρου, καθιστώντας τα συστήματα PTES ακατάλληλα για τις περισσότερες αστικές περιοχές .Στόν παρακάτω πίνακα γίνεται μια σύγκριση ως προς το μέσο αποθήκευσης (νερό και χαλίκι/άμμο) σε ένα σύστημα εποχιακής αποθήκευσης σε λάκκο –κοίλωμα .

Hot water pit thermal energy storage	Gravel / sand / soil water pit thermal energy storage
<ul style="list-style-type: none"> +θερμοχωρητικότητα +χαρακτηριστικά λειτουργίας + διαστρωμάτωση + Συντήρησης / επισκευής 	<ul style="list-style-type: none"> + Χαμηλές στατικές απαιτήσεις (σκέπαστρο) + Απλό κάλυμμα
<ul style="list-style-type: none"> - Περίπλοκο και ακριβό κάλυμμα - Χαμηλή στατικό φορτίο κάλυψη - Δαπάνες για την υγειονομική ταφή των χωμάτων εκσκαφής (εάν ισχύει) 	<ul style="list-style-type: none"> - Θερμοχωρητικότητα - σύστημα φόρτισης - Επιπλέον προσωρινή αποθήκευση(δεξαμενή- εάν ισχύει) - Τη συντήρηση / επισκευή - κόστος για Χαλίκι

Όπως βλέπουμε και απ τον παραπάνω πίνακα η αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε κοίλωμα με αποθηκευτικό μέσο το νερό είναι καταρχήν πιο αποδοτική ,το νερό σαν μέσο αποθήκευσης έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα σε σχέση με αυτή του χαλικιού –αμμου ,επίσης έχει καλύτερη θερμική κατακόρυφη διαστρωμάτωση άρα λιγότερες θερμικές απώλειες από το θερμικό λάκκο . Απο την άλλη όμως το σύστημα με νερό έχει περίπλοκο και ακριβό κάλυμμα.

4.7 ΥΠΟΕΔΑΦΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η γη προσφέρει μία σταθερή και απίστευτα μεγάλη πηγή θερμότητας, δεξαμενή θερμότητας και αποθήκη θερμότητας για θερμικές ενεργειακές χρήσεις, όπως είναι τα συστήματα γεωεναλλακτών σε συνδυασμό με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Η πρώτη γεωθερμική αντλία θερμότητας εγκαταστάθηκε στην Ινδιανάπολις σε ένα σπίτι του Ρόμπερτ Γουεμπερ του διευθυντή της τοπικής επιχείρησης παραγωγής ηλεκτρισμού. Η ισχύς της ήταν 2,2 KW. Η εγκατάσταση έγινε 1/10/1945 και είναι η πρώτη μέρα λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας που έχει καταχωρηθεί στην βιβλιογραφία. Είναι ευρύτατα γνωστό ότι η φυσική ροή της θερμότητας γίνεται από τις υψηλότερες στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η αντλία θερμότητας είναι μία μηχανή η οποία προκαλεί τη ροή θερμότητας προς την αντίθετη κατεύθυνση από τη φυσική της ροή, από τις χαμηλότερες δηλαδή προς τις ανώτερες θερμοκρασίες. Ένα γεωθερμικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από μια μονάδα εντός του κτιρίου και ένα θαμμένο γεωεναλλάκτη, αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες του υπεδάφους για να δεσμεύσει την "ελεύθερη" ενέργεια. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και την φέρνει στη μονάδα εσωτερικά του κτιρίου. Η μονάδα αντλεί τη θερμότητα σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο. Το καλοκαίρι, το σύστημα αντιστρέφεται, απάγει τη θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη. Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, τα συστήματα γεωεναλλακτών δεν καίνε ορυκτά καύσιμα για να παράγουν θερμότητα. Απλά μεταφέρουν τη θερμότητα από και προς τη γη για να παρέχουν την αποδοτική, προσιτή και φιλική προς το περιβάλλον θέρμανση και ψύξη. Ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την λειτουργία του συστήματος δηλαδή του συμπιεστή και των κυκλοφορητών. Το σύστημα αποτελείται από τρία κύρια μέρη τα οποία θα περιγραφούν αναλυτικά παρακάτω:

1)Γεωεναλλάκτης(heat exchangers).Πρόκειται για ένα σύστημα ανταλλαγής θερμότητας με το έδαφος. Διακρίνονται σε:

- Συστήματα κλειστού βρόγχου τα οποία εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς. BTES
- Ανοιχτά συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται την παρουσία υπόγειου νερού ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα. ATES,

2)Γεωθερμική αντλία θερμότητας (Heat pump)

3)Εσωτερικό σύστημα διανομής θερμότητας στο κτίριο

Ένα σύστημα Γεωεναλλάκτη είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όπως όλοι οι άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας, βαθμονομούνται σύμφωνα με το συντελεστή απόδοσης (COP). Είναι ο επιστημονικός τρόπος προσδιορισμού της ενέργειας που το σύστημα παράγει σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί. Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν COPs 3~5. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μία μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το σύστημα, 3~5 μονάδες παρέχονται ως θερμότητα. Δηλαδή ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300% -500%. Γενικά θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα το γεγονός ότι πέρα από την αποδοτικότητά τους, τα γεωθερμικά συστήματα λειτουργούν σε συνεργασία με τη φύση και όχι ενάντια σε αυτήν. Δεν εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου, τα οποία έχουν συνδεθεί με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, την όξινη βροχή και άλλους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τα μηχανήματα της WFI χρησιμοποιούν το R410A, ένα ψυκτικό υγρό υψηλής απόδοσης που δεν θα βλάψει το στρώμα του όζοντος στη ατμόσφαιρα. Η διαδικασία της ανύψωσης της θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας σε άνω των 30°C και μεταφορά στον εσωτερικό χώρο περιλαμβάνει έναν κύκλο εξάτμισης, συμπύεσης, συμπύκνωσης και εκτόνωσης. Το ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας που κυκλοφορεί μέσα στην αντλία θερμότητας. Το γεγονός ότι μια γεωθερμική αντλία θερμότητας μπορεί να προσφέρει θέρμανση και ψύξη την κάνει ιδιαίτερα ελκυστική. Με ένα απλό γύρισμα του διακόπτη στον εσωτερικό θερμοστάτη μπορείτε να περάσετε από την μία λειτουργία στην άλλη. Κατά τη διάρκεια της ψύξης η γεωθερμική αντλία θερμότητας απάγει την θερμότητα από τους εσωτερικούς χώρους και τη μεταφέρει στη δροσερή γη μέσω του γεωεναλλάκτη, ανοικτού ή κλειστού κυκλώματος. Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης η διαδικασία αντιστρέφεται.

4.7.2 ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ

Χρησιμοποιώντας το έδαφος σαν πηγή ή δεξαμενή θερμότητας είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί σύνδεση μεταξύ του αντικειμένου το οποίο πρόκειται να θερμανθεί ή να ψυχθεί (κτίριο, κατοικία κλπ) και του εδάφους. Το ρόλο αυτό αναλαμβάνουν οι λεγόμενοι γεωεναλλάκτες. Πρόκειται για υπόγειους αγωγούς τοποθετημένους σε υπόγειες τάφρους σε βάθος έως 3 μέτρα από την επιφάνεια, μέσα από τους οποίους διέρχεται το ρευστό, το οποίο ανάλογα το είδος του συστήματος μπορεί να είναι νερό, ψυκτικό υγρό ή και αέρας. Η σύνδεση αυτή με το έδαφος καλείται κύκλωμα ή βρόγχος. Οι γεωθερμικές αυτές συνδέσεις με το έδαφος μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες ,όπως προαναφέρθηκε:

- Γεωεναλλάκτες κλειστού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς.
- Γεωεναλλάκτες ανοιχτού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται την παρουσία υπόγειου νερού ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.

Οι παράγοντες σχεδιασμού που επηρεάζουν το είδος του κυκλώματος που θα εφαρμοσθεί είναι:

- οι γεωλογικές συνθήκες (τα θερμικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους),
- οι τεχνικές παράμετροι όπως είναι το μήκος η διάμετρος και το υλικό του αγωγού που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και το είδος και η ποιότητα του υλικού εμποτισμού των αγωγών
- το απαιτούμενο θερμικό και ψυκτικό φορτίο
- το εμβαδό του κτιρίου που πρόκειται να θερμανθεί/ψυχθεί, καθώς και η διαθέσιμη επιφάνεια του οικοπέδου
- η θερμοκρασία του εδάφους Το κύριο πλεονέκτημα ενός γεωθερμικού συστήματος κλειστού κυκλώματος έναντι του ανοιχτού είναι το γεγονός ότι το πρώτο είναι ανεξάρτητο από υπάρχοντες υδροφορείς και το είδος του νερού που κυκλοφορεί σε αυτούς. Τουναντίον, γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα μετάδοσης θερμότητας από γεωτρήσεις σε σύγκριση με κάθετα συστήματα κλειστού βρόγχου.

4.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (ATES)

4.8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Υδροφόρος αποθήκευση θερμικής ενέργειας ή αλλιώς τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου χρησιμοποιούν τα φυσικά, αυτόνομα υπόγεια νερά ενός υδροφόρου ορίζοντα για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας για μεταγενέστερη χρήση. Με τις αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη, η εφαρμογή αυτή λαμβάνει εκ νέου την προσοχή ως ένα βιώσιμο μέσο για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων. Αυτό το αυξανόμενο ενδιαφέρον αντανακλάται στην επιτάχυνση των ερευνητικών δραστηριοτήτων σε χώρες της βόρειας Ευρώπης και τον Καναδά. Η Ολλανδία είναι πρωτοπόρος στην Ευρώπη σε αριθμό εγκατεστημένων εφαρμογών αποθηκεύσεις θερμικής ενέργειας σε υδροφόρους ορίζοντες (περίπου 700) για μικρής και μεγάλης κλίμακας (δίκτυο τηλεθέρμανσης) συστήματα. Το υλικό σε ένα υδροφορέα είναι ιδιαίτερα διαπερατό νερό και το οριακό στρώμα αποτελείται από περισσότερα αδιαπέραστα υλικά όπως άργιλο ή βράχο. Υδροφορείς βρίσκονται σε όλο τον κόσμο, έχουν συχνά μεγάλες ποσότητες, συχνά υπερβαίνουν εκατομμύρια κυβικά μέτρα, και δεδομένου ότι αποτελούνται από περίπου 25% νερό έχουν υψηλή χωρητικότητα. Ένα σύστημα αποθήκευσης σε φυσικά υδροφόρα στρώματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιόδους αποθήκευσης που κυμαίνονται από μεγάλη σε μικρή αποθήκευση, συμπεριλαμβανομένης ημερήσιας, εβδομαδιαίας, αλλά κυρίως εποχιακής αποθήκευσης.

4.8.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στη πιο συνηθισμένη της μορφή, η τεχνική περιλαμβάνει την αποθήκευση της περίσσειας θερμότητας σε ένα υδροφόρο ορίζοντα και την ανάκτηση της αργότερα σε περιόδους ζήτησης θερμότητας. Ο υδροφορέας μπορεί να αξιοποιηθεί με τη γεώτρηση τουλάχιστον δύο πηγαδιών. Το λεγόμενο "εν ψυχρώ" πηγάδι αντλείται και θερμαίνεται από ένα ηλιακό κύκλο ή άλλη πηγή θερμότητας και στη συνέχεια, το θερμαινόμενο νερό επιστρέφει στο θερμό φρεάτιο έγχυσης, στην άλλη πλευρά του υδροφόρου ορίζοντα. Με τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας το ζεστό νερό ανακτάται από το θερμό πηγάδι –φρεάτιο για να εκπληρώσει τις ανάγκες για θέρμανση τη χειμερινή περίοδο. Η ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα υδροφορέα εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες του υπεδάφους, όπως

- επιτρεπόμενη μεταβολή της θερμοκρασίας
- τη θερμική αγωγιμότητα και την
- φυσική ροή των υπογείων υδάτων.

Τα γεωθερμικά συστήματα Ανοιχτού βρόγχου, τυπικά συμπεριλαμβάνουν ένα ή περισσότερα φρεάτια άντλησης και ένα ή περισσότερα φρεάτια επαναφόρτισης. Στα συστήματα ανοιχτού βρόγχου, το υπόγειο νερό αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα μέσω του φρεατίου άντλησης και εισάγεται στην αντλία θερμότητας, η οποία δρα ως πηγή/δεξαμενή θερμότητας στην διαδικασία θέρμανσης ψύξης. Αφού το νερό διέλθει την αντλία θερμότητας επιστρέφεται στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω του φρεατίου φόρτισης. Η μόνη διαφορά ανάμεσα στο αντλούμενο και στο επιστρεφόμενο νερό είναι η θερμοκρασία. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε συνδυασμό με την μακρόχρονη εμπειρία εφαρμογής του συγκεκριμένου συστήματος, δείχνουν ότι η απαραίτητη ικανότητα του συστήματος για αποτελεσματική εναλλαγή θερμότητας είναι γύρω 8 κε 11 l/(min t). Η αποτελεσματικότητα του κόστους ενισχύεται όταν έχουμε συνδυασμό παροχής θερμικής και ψυκτικής ενέργειας. Από τη στιγμή που η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή, τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου, αποτελούν δημοφιλή επιλογή σε περιοχές που επιτρέπεται η εγκατάστασή τους. Παρόλο βέβαια που χρησιμοποιούνται λιγότερο απ' ό,τι τα κλειστού κυκλώματος, μπορεί να αποδειχθούν αρκετά πιο αποδοτικά στον τομέα του κόστους υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι το νερό υπάρχει σε αφθονία. Περιοριστικό βέβαια ρόλο στην εφαρμογή και εγκατάστασή τους έχουν και οι τοπικές περιβαλλοντικές αρχές με τους θεσπισμένους νόμους, κώδικες, διατάγματα καθώς και τις απαιτήσεις αδειοδότησης. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί το γεγονός ότι νερό φτωχό σε ποιότητα μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Για το λόγο αυτό συνίσταται να προηγούνται έλεγχοι του διαθέσιμου νερού σε σκληρότητα, οξύτητα, περιεκτικότητα σε σίδηρο πριν την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας. Ταυτόχρονα θα πρέπει να επισημανθεί ότι από την σωστή εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος δεν προκύπτει καμία περιβαλλοντική ζημιά δεδομένου ότι το νερό που αντλείται επιστρέφεται στον υδροφόρο. Η μόνη διαφορά που προκύπτει είναι μία μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του χρησιμοποιούμενου νερού από το φρεάτιο άντλησης στο φρεάτιο φόρτισης. Σημαντικό επίσης παράγοντα για την λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος ανοιχτού βρόγχου αποτελεί η απόσταση μεταξύ των φρεατίων άντλησης και επαναφόρτισης. Τα πηγάδια-φρεάτια έχουν μια κρίσιμη απόσταση μεταξύ τους για να εξασφαλίζεται ότι η θερμή και η ψυχρή αποθήκη παραμένουν χωριστά και ότι δεν θα έχουμε ροή θερμότητας μεταξύ τους από εποχή σε εποχή. Αυτή η κρίσιμη απόσταση είναι κατά κύριο λόγο συναρτημένη των συντελεστών παραγωγής καλών πηγαδιών, του πάχους του υδροφόρου ορίζοντα και από τις υδραυλικές και θερμικές

ιδιότητες του υδροφορέα που ελέγχουν τον όγκο αποθήκευσης. Εάν δεν ληφθεί η απαραίτητη προσοχή στο συγκεκριμένο παράγοντα σχεδιασμού, τότε μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφορέα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών. Η ελάχιστη απόσταση των πηγαδιών είναι 30 μέτρα και αποστάσεις των 100-200 μέτρων είναι συνηθισμένη για εφαρμογές σε εμπορικά κτίρια. Όσον αφορά τις διαστάσεις του φρεατίου αυτό θα πρέπει να είναι μήκους 85 με 200 περίπου μέτρα ανάλογα βέβαια το μέγιστο ψυκτικό ή θερμικό φορτίο του συστήματος, την τυπική διάρκεια του μέγιστου φορτίου καθώς και από το πάχος και τη φυσική ροή του υδροφορέα. Το σύστημα είναι ικανό να διατηρεί θερμοκρασίες αποθήκευσης μεταξύ 4 και 90 °C. Η χρήση περισσότερων πηγαδιών σε γκρουπ είναι επιτακτική όταν μεγάλες ποσότητες νερού απαιτούνται και σε συστήματα που η απόδοση των μεμονωμένων πηγαδιών είναι χαμηλή. Εφαρμογές με μονό φρεάτιο -πηγάδι έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχουν πολλαπλοί υδροφορείς, χρησιμοποιούνται κάθετη διαχωρισμοί για τη χρήση του ζεστού και κρύου υποεδάφιου νερού.

4.8.3 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Οι πηγές θερμότητας για τα πολλά υποσχόμενα συστήματα αποθήκευσης σε υπόγεια υδροφόρα στρώματα μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες ομάδες:

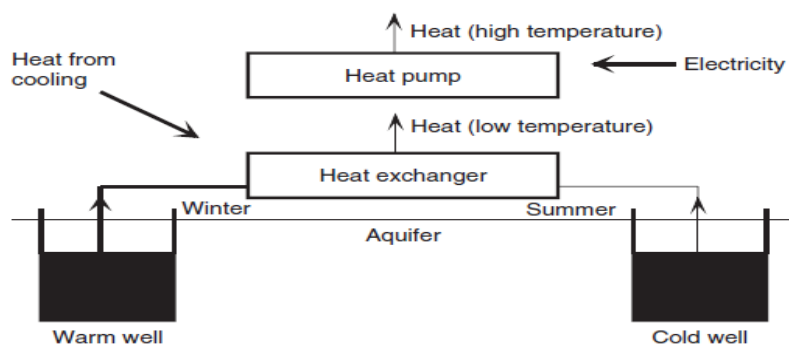
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η Ηλιακή θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ATES, για να παρέχει θερμότητα σε δίκτυα τηλεθέρμανσης, μαζί με βοηθητικά συστήματα θέρμανσης. Ηλιακή θερμότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με τις αντλίες θερμότητας, αποφεύγοντας έτσι την ανάγκη για βοηθητική θέρμανση(συμβατικών καυσίμων). Μια άλλη χρήση μπορεί να είναι για τη γεωθερμική θέρμανση, επιτρέπει την αποθήκευση της πλεονάζουσας παραγωγής το καλοκαίρι για να καλύψει τις αιχμές τον χειμώνα, ή για την αποθήκευση της θερμότητας αποβλήτων από γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.

- Τα απόβλητα (απώλειες θερμότητας) ή η πλεονάζουσα θερμότητα.

Η αποθήκευση της θερμότητας που εκλύεται από συμπαραγωγή ή βιομηχανικές διεργασίες μπορεί να χρειαστεί σε εποχιακή αποθήκευση ή άλλο κύκλο. Τα υδροφόρα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ATES μπορούν επίσης να εφαρμοστούν ως μια μονάδα εφεδρείας – ασφαλείας για τις διαδικασίες που χρησιμοποιούν βιομηχανικά απορριπτόμενη θερμότητα, για την κάλυψη των θερμικών φορτίων κατά τη διάρκεια περιόδων, όταν η βιομηχανική διαδικασία έχει

διακοπεί (για διαλείμματα παραγωγής, επισκευές, κλπ.). Ομοίως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν φορτίο ισοστάθμισης στο σύστημα τηλεθέρμανσης, όπου η θερμική αποθήκη(υδροφόρα στρώματα) είναι πάντα φορτισμένη σε περιόδους χαμηλής θερμότητας.



Ένα σύστημα ATES με συνδυασμένη χρήση αντλίας θερμότητας

4.8.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα σύστημα ATES συνήθως μειώνει το κόστος ψύξης κατά 80% και το κόστος θέρμανσης κατά 40% -50% ή και περισσότερο, ενώ θα μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και των καταστροφικών για το όζον ουσιών. Η κλιματικές συνθήκες στην βόρεια Ευρώπη συνιστούν την χρήση αντλιών θερμότητας. Για μια σωστή ψύξη συνήθως λειτουργεί σε ένα εύρος θερμοκρασίας 5-8 βαθμούς κελσίου στην κρύα πλευρά του υδροφορέα και 12-18 βαθμούς στην ζεστή πλευρά. Τα συστήματα συχνά σχεδιάζονται για να καλύψουν την ολική ψυκτική ζήτηση του κτιρίου ενώ η παραγωγή θερμότητας για θέρμανση φυσιολογικά καλύπτει το 50% του φορτίου. Ο εποχιακός βαθμός απόδοσης (SPF) για αυτά τα συστήματα κυμαίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις 5-7 για συνδυασμένη ψύξη και θέρμανση. Η ψύξη από μόνη της συχνά έχει τιμές SPF 30 και 40. Ενώ ένα συμβατικό σύστημα ψύξης έχει COP 2.5-3.5 σε ένα εύρος λειτουργίας 6/12 ° C. Συνολικά τα συστήματα αυτά είναι ένα από τα πιο ενεργειακά αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Το κόστος της επένδυσης εξαρτάται έντονα από την ισχύ του συστήματος, Ένα γεωθερμικό σύστημα αποθήκευσης ανοιχτού βρόγχου (ATES) έχει κόστος μεταξύ 500 € / kW για τα μεγαλύτερα συστήματα και 800 € / kW για μικρότερα συστήματα. Αυτό το ποσό καλύπτει το σύνολο της εγκατάστασης του συστήματος, συμπεριλαμβανομένου τις γεωτρήσεις, τα φίλτρα, τον εναλλάκτη θερμότητας , τις σωληνώσεις, κλπ. Στο συγκεκριμένο κόστος δεν περιλαμβάνεται η αντλία θερμότητας που κυμαίνεται από 175-250 € / kWh . Το σύστημα ATES έχει προσδόκιμο ζωής περίπου 20-30

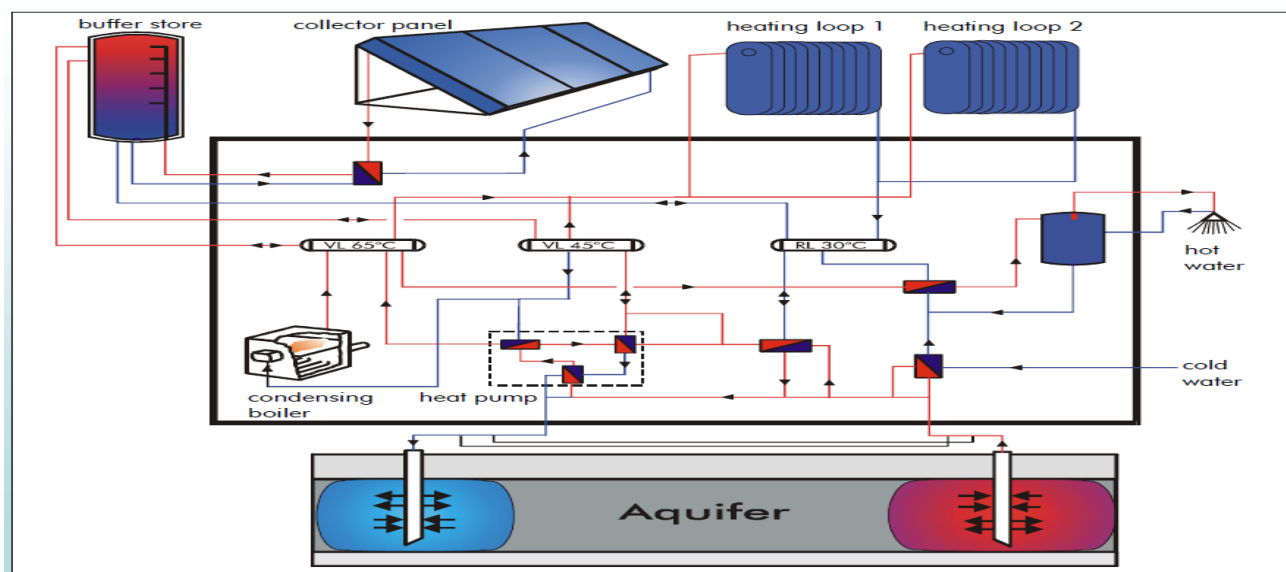
χρόνια και το κόστος συντήρησης εκτιμάται σε 2% της συνολικής επένδυσης. Η αξιολόγηση σε κτήρια του τριτογενούς τομέα στην Ολλανδία αποκάλυψε ότι η επιστροφή του χρόνου επένδυσης είναι γενικά κάτω από 6 ετών. Προφανώς, η οικονομική σκοπιμότητα των συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τρέχουσες τιμές της ενέργειας και τις κυβερνητικές επιδοτήσεις. Τα συστήματα αποθηκεύσεις θερμικής ενέργειας σε υδροφόρα στρώματα ή (Τα γεωθερμικά συστήματα Ανοιχτού βρόγχου) μπορούν να εφαρμοστούν σε νέες και υφιστάμενες εγκαταστάσεις συστημάτων θέρμανσης και ψύξης , όπως σε δημόσια κτίρια, επιχειρηματικά πάρκα, συγκροτήματα κατοικιών, εκπαιδευτικά ιδρύματα, νοσοκομεία, βιομηχανικά συγκροτήματα και. Επιπλέον, τα συστήματα υπογείων υδάτων μπορούν να ενσωματωθούν σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις διεργασιών, όπως βιομηχανίες χαρτιού , εργοστάσια κλωστοϋφαντουργίας, παρασκευή φαρμάκων, και σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων. Οι πρόσφατες έρευνες οι οποίες εστιάζουν την χρήση του υδροφορέα στην κοινότητα δείχνουν ότι η χρήση του υδροφορέα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας πιθανόν να ενσωματωθεί με άλλες κοινοτικές υπηρεσίες όπως η παροχή πόσιμου νερού ή η αποκατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα θα οδηγήσει σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές αξιοποίησης των υδροφοριών.

Η βιωσιμότητα και η αποτελεσματικότητα του κόστους του συστήματος ATES ,εξαρτάται από το μηχανικό σχεδιασμό και την θερμοδυναμική απόδοση της εγκατάστασης, (αντλίες θερμότητας κλπ) καθώς και με τις φυσικές, χημικές, και βιολογικές διεργασίες εντός του υδροφόρου ορίζοντα. Οι χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, όπως καθώς και η συνολική ενέργεια, έχουν βρεθεί να είναι κρίσιμοι παράγοντες στον προσδιορισμό της απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος .Επίσης φυσικές διεργασίες που επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας μέσα στα υδροφόρα στρώματα αποθήκευσης περιλαμβάνουν μεταγωγή, διασπορά, και διάχυση. Η διάχυση της θερμότητας εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα και θερμική χωρητικότητα της “υδροθερμικής αποθήκης”.

4.8.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ένα παράδειγμα εφαρμογής μεγάλης κλίμακας εποχιακής αποθηκεύσεις με συνδυασμένη λειτουργία ,ηλιακών συλλεκτών , αντλιών θερμότητας ,δεξαμενής αδρανείας , είναι αυτό της ηλιακής υποβοηθούμενης μονάδας τηλεθέρμανσης του πιλοτικού προγράμματος στο Rostock Γερμανίας .Μια περιοχή με 11 κτίρια στα όποια τα 980 m² ηλιακών συλλεκτών φορτίζουν την εποχιακή αποθήκη μέσο ενός

φρεατίου βάθους 30 m (λόγω του μικρού μεγέθους της μονάδας συνεπάγεται μικρό βάθος φρεατίων). Τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα χρησιμοποιούνται ως μέσο για εποχιακή αποθήκευση χαμηλής θερμοκρασίας, ο όγκος τους είναι περίπου 20.000 m³. Το σύστημα λειτουργεί σε ένα εύρος θερμοκρασίας μεταξύ 10 °C και 50 °C. Ένα μέγιστο κλάσμα της αποθηκευμένης ηλιακής θερμότητας μπορεί να ανακτάται με μια αντλία θερμότητας. Το 2003 αυτή η πιλοτική μονάδα ήταν το πρώτο από όλα τα αντίστοιχα εργοστάσια της Γερμανίας που έφτασε το στρατηγικό ηλιακό κλάσμα 50% της ετήσιας ζήτησης θερμότητας.



Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης ηλιακής υποβοηθούμενης μονάδας τηλεθέρμανσης του πιλοτικού προγράμματος στο Rostock (Γερμανία)

Στην ουσία, η αντλία θερμότητας συνδυάζεται συνήθως με το σύστημα γεωθερμικού ανοιχτού βρόγχου (ATES) για να αυξήσει την αποτελεσματικότητα ολόκληρου του συστήματος. Η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα να ανακτά από των υδροφόρο ορίζοντα τη θερμοκρασία αποθήκευσης σε υψηλότερη θερμοκρασία και έτσι έχουμε μια αύξηση του συντελεστή απόδοσης (COP). Έτσι τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου γεωτρήσεων (ATES) έχουν τη δυνατότητα να κρατήσουν το νερό αποθήκευσης σε σχετικά χαμηλότερη θερμοκρασία, με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας, έτσι ώστε οι απώλειες θερμότητας να μείνουν σε χαμηλά επίπεδα. Όπως είδαμε στην αναφορά που κάναμε παραπάνω τα ενεργειακά συστήματα υπόγειων υδάτων παρέχουν μια αποτελεσματική και αξιόπιστη παροχή χαμηλού κόστους ενέργειας που μπορεί να συμπληρώνουν τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Περαιτέρω, τα συστήματα υπογείων υδάτων είναι μια περιβαλλοντικός καλοήγη τεχνολογία και μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

4.9 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΚΛΕΙΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (BTES)

4.9.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αντίθεση με τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε υδροφορεα (κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου). Οι εφαρμογές κατακόρυφου κλειστού γεωθερμικού συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας περιλαμβάνει την χρήση γεωτρήσεων αλλά είναι λειτουργικά σε κλειστό σύστημα (δεν υπάρχει καμία επαφή ανάμεσα στα φυσικά υπόγεια ύδατα και στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη θερμότητας) . Τυπικά ένα σύστημα περιλαμβάνει μια ή περισσότερες γεωτρήσεις εξοπλισμένες με γεωεναλλάκτες σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (3 γενιάς HDPE) τύπου U διαμέσου από τους οποίους η αποβαλλόμενη θερμότητα ή η ενέργεια ψύχους κυκλοφορεί και μεταφέρεται στο υπέδαφος για αποθήκευση για μεταγενέστερη χρήση. Τα κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα κλειστού τύπου έχουν αναπτυχθεί με αυξητικό ρυθμό. Από τις κύριες τρέχουσες εφαρμογές είναι η αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας το καλοκαίρι σε ένα σχετικά υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας, 80 έως 90 ° C, για άμεση χρήση της ηλιακής θερμότητας για θέρμανση χώρου κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Για αυτή την εφαρμογή, ένα χωριστό θερμομονωτικό στρώμα είναι εγκατεστημένο στην κορυφή της αποθήκευσης, για να μειώσει τη απώλειες θερμότητας προς την ατμόσφαιρα. Μία άλλη σημαντική εφαρμογή είναι ο συνδυασμός της αποθήκευσης και των δύο θερμότητας και ψύχους χαμηλής θερμοκρασίας για την ψύξη και τη θέρμανση των κτιρίων. Με την εφαρμογή αυτή το αποθηκευμένο ψύχος χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν άμεσα, χωρίς την εφαρμογή μιας αντλίας θερμότητας. Για συνομογραφία θα αναφέρουμε τα κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα σαν (BTES – Borehole Thermal Energy Storage) . Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά κάποιων μεγάλων μονάδων επίδειξης κεντρικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης με εποχιακή γεωθερμική αποθήκευση που βρίσκονται στη Γερμανία ,Σουηδία και Καναδά. Για την εφαρμογή που βρίσκεται στο Okotoks στον Καναδά θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο .

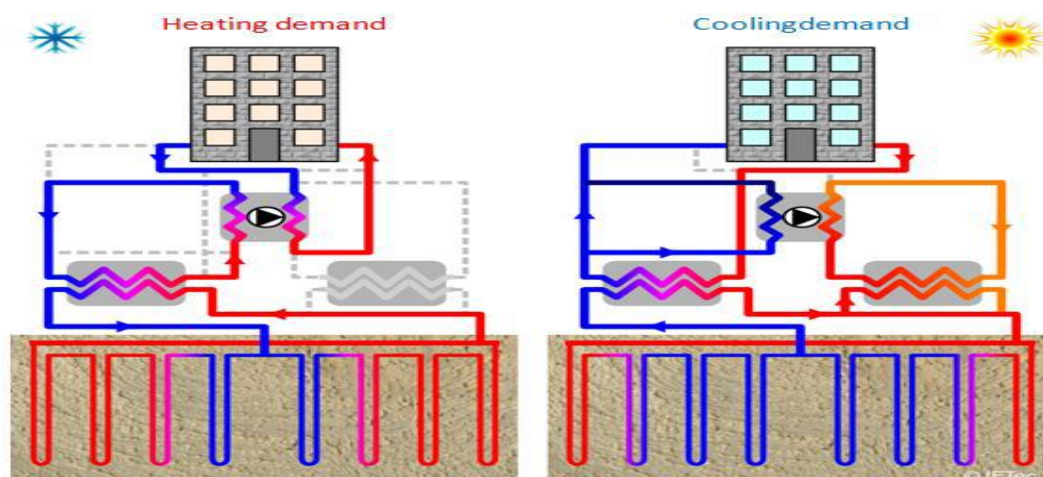
CSHPSS	Heated living area	Total heat demand, GJ/a	Solar collector area, m ²	Storage volume, m ³	Solar fraction, %	Maximum design storage temperature, °C	Solar heat cost at analysis date, MWh _t
Neckarsulm, DE	20000 m ²	1663	5000	63400	50*	85	172 EUR
Crailsheim, DE	260 houses, school and gymnasium	14760	7300	37500	50*	85	190 EUR
Attenkirchen, DE	6200 m ²	1753	800	10000	55*	85	170 EUR
Anneberg, SE	9000 m ²	3888	3000	60000	60*	45	1000 SEK
Okotoks, CA	52 houses	1900	2293	35000	90*	80	

CA = Canada, DE = Germany, SE = Sweden. * Calculated values for long-time operation

Πίνακας με τεχνικά χαρακτηριστικά ορισμένων μονάδων επίδειξης κεντρικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης με εποχιακή γεωθερμική αποθήκευση

4.9.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

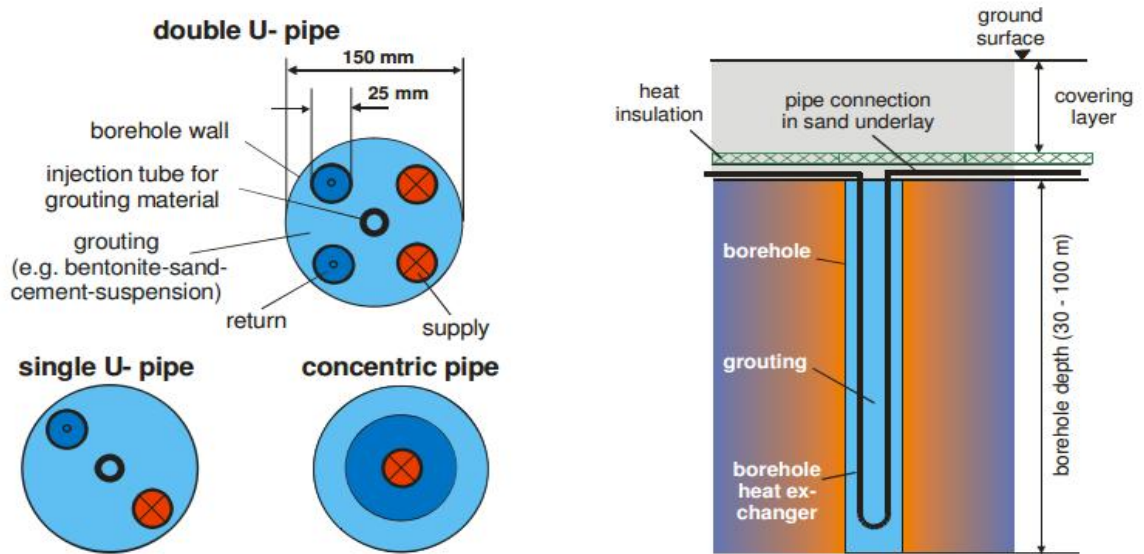
Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ο γεώεναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται για την εξαγωγή της θερμότητας από το έδαφος, π.χ. ως πηγή θερμότητας για μια αντλία θερμότητας. Ενώ το ρευστό του κυκλώματος περνάει μέσω της αντλίας θερμότητας, η θερμοκρασία του μειώνεται. Το μειωμένης θερμοκρασίας ρευστό (ψυχρό νερό) του κυκλώματος επιστρέφει στο γεώεναλλάκτη θερμότητας και η «ψυχρή ενέργεια» αποθηκεύεται στο έδαφος. Στο τέλος της περιόδου θέρμανσης, η θερμοκρασία της υπόγειας αποθήκης είναι συνήθως γύρω στους 0°C . Το καλοκαίρι η ροή στο σύστημα BTES αντιστρέφεται. Το αποθηκευμένο ψύχος εκχυλίζεται και διέρχεται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για την παροχή άμεσης ψύξης. Όταν είναι απαραίτητο, η (αναστρέψιμη) αντλία θερμότητας μπορεί να τεθεί σε χρήση ως ψυκτικό φορτίο αιχμής, όπως για υποστήριξη σε περιόδους με μέγιστη ζήτηση ψύξης. Το κύκλωμα του ρευστού μεταφοράς θερμότητας θα απάγει την ενέργεια από το κτίριο με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία του ρευστού, Αυτό το νερό, η θερμοκρασία του οποίου είναι υψηλότερη από ό, τι η θερμοκρασία του εδάφους, θα πρέπει να επιστραφεί μέσω του γεωεναλλάκτη θερμότητας όπου η «θερμή ενέργεια» αποθηκεύεται στο έδαφος γύρω από τις γεωτρήσεις για την επόμενη περίοδο θέρμανσης.



Αρχή λειτουργίας κλειστού κατακόρυφου γεωθερμικού συστήματος αποθήκευσης (BTES)

Στην περίπτωση της αποθήκευσης θερμότητας η ροή του ρευστού μεταφοράς θερμότητας το καλοκαίρι είναι από το κέντρο προς την άκρη της αποθήκευσης. Με αυτό τον τρόπο η θερμότητα μεταφέρεται με θερμική αγωγιμότητα στο περιβάλλοντα έδαφος. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η κατεύθυνση της ροής αντιστρέφεται και το ρευστό ρέει μέσω των βρόχων από την άκρη προς το κέντρο της αποθήκευσης. Με αυτό τον τρόπο η θερμότητα από το περιβάλλον έδαφος

μεταφέρεται και πάλι στο ρευστό. Η μεταφορά της θερμότητας / ψύξης στο υπέδαφος γίνεται κατά κύριο λόγο με αγωγιμότητα και οδηγείται από την θερμοκρασιακή βαθμιδωση της θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού μεταφοράς θερμότητας που ρέει στον γεωεναλλάκτη και του εδάφους. Σε σύγκριση με ATES, η ταχύτητα της μεταφοράς θερμότητας μέσω του υπεδάφους είναι αργή. Για αυτό το λόγω τα BTES συστήματα είναι ευαίσθητα κατά τη διάρκεια πολλών ωρών διαδοχικά στο φορτίο αιχμής του συστήματος. Το ποσό της θερμικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί εξαρτάται από το βάθος των γεωτρήσεων, την απόσταση μεταξύ των διατρήσεων και τη θερμοχωρητικότητα του υπογείου.



Αριστερά οι σύνθετες τύποι γεωεναλλακτών μονού ή διπλού U τύπου και δεξιά κάθετη τομή ενός κλειστού γεωθερμικού συστήματος αποθήκευσης

4.9.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Τα κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα (BTES –Borehole Thermal Energy Storage) είναι μια μέθοδος για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας στο υπέδαφος. Η θερμική ενέργεια παρέχεται και εξάγεται από το υπέδαφος μέσω κάθετων εναλλακτών θερμότητας που τοποθετούνται στις γεωτρήσεις. Αυτοί οι εναλλάκτες θερμότητας ή γεωεναλλάκτες συνδέονται σε ένα κλειστό υδραυλικό κύκλωμα (κλειστό βρόγχο) που φέρει το ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Με την ενσωμάτωση πολλαπλών γεωτρήσεων και εναλλακτών θερμότητας μια μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης μπορεί να δημιουργηθεί για εποχιακή χρήση. Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται διάνοξη κάθετων γεωτρήσεων, με τη χρήση γεωτρύπανου, μήκους 50 έως 150 μέτρα, ακολουθεί τοποθέτηση μονών ή

πολλαπλών αγωγών (γεωεναλλάκτες) σχήματος U στον πυθμένα της γεώτρησης και τέλος ακολουθεί εγκιβωτισμός των αγωγών με θερμικά υλικά αρμολόγησης (π.χ. μπετονίτης) με θερμική αγωγιμότητα 2 W / m K . Η άνω επιφάνεια της αποθήκευσης είναι μονωμένη θερμικά. Κάθε κατακόρυφος αγωγός συνδέεται εν συνεχεία με οριζόντιο υπόγειο αγωγό(βρόγχο) μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το ρευστό από και προς την εσωτερική μονάδα εναλλαγής θερμότητας. Οι τυπικές απαιτήσεις αγωγών ποικίλλουν από 150 έως 200 μέτρα μήκους γεώτρησης ανά τόνο θερμικού ψυκτικού συστήματος, εξαρτώμενο πάντα από τις ιδιότητες του εδάφους καθώς και τη θερμοκρασιακές συνθήκες αυτού. Η διάμετρος των γεωτρήσεων ποικίλη από 100 -150 mm , Σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού αποτελεί η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων, η απόσταση πρέπει να είναι πάνω από 2-5 μετρά μακριά ώστε να αποφεύγετε η μεταφορά θερμότητας με αγωγή από το ένα φρεάτιο στο άλλο .Η ταχύτητα του ρευστού μεταφοράς θερμότητας στους σωλήνες (γεωεναλλακτες) είναι χαμηλή και κυμαίνεται από 0,5 έως 1 ,5m/s . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλές φορές στην αργή απόκριση του συστήματος κατά την διάρκεια των αιχμών ζήτησης με αποτέλεσμα να παρεμβάλλεται μια δεξαμενή βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης στο σύστημα εποχιακής αποθήκευσης για την κάλυψη των αναγκών για θέρμανση ή ψύξη .Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος είναι 90 βαθμοί κελσίου .Τέλος μια τυπική τιμή για τη μέση χωρητικότητα ανά μέτρο μήκους γεώτρησης (εξαρτώμενη βεβαία άμεσα από τις ιδιότητες του εδάφους) κυμαίνεται από 20 -50 W/m .

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	100 -150 mm
ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	30-200 m
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	3-8 m
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	2-4 W/mK
ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΟΥΣ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ	
ΜΕΣΗ ΧΩΡΙΤΗΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑ ΜΕΤΡΟ ΜΗΚΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	20-50 W/m
ΤΥΠΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	50 -80 Ε/ m

Τυπικές τιμές κατασκευαστικών στοιχείων μιας γεώτρησης κλειστού κυκλώματος

4.9.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα ο συντελεστής απόδοσης (COP) ενός κατακόρυφου κλειστού γεωθερμικού συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας BTES είναι παρόμοιο με αυτό του ανοιχτού γεωθερμικού συστήματος ATES, είναι συνήθως 20-40 για φυσικό δροσισμό. Σε συνδυασμό με μια αντλία θερμότητας, οι εγκαταστάσεις αυτές φθάνουν σε COP 4-6 για θέρμανση. Συνολικά, τα συστήματα αυτά είναι μεταξύ των πλέον ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων για θέρμανση και ψύξη.

Λόγω του σχετικά μεγάλου ποσού των γεωτρήσεων σε σύγκριση με τα συστήματα αποθήκευσης κατακόρυφου γεωθερμικού ανοιχτού βρόχου ATES, το κόστος διάτρησης ενός συστήματος BTES είναι σημαντικά υψηλότερο, πράγμα που οδηγεί σε μια σχετικά ισχυρή αύξηση του κόστους εγκατάστασης. Με βάση διάφορες μελέτες, η αρχική επένδυση για ένα σύστημα BTES (με εξαίρεση την αντλία θερμότητας) μπορεί να φθάσει περίπου 800-1200 € / kW. Και πάλι, η οικονομική σκοπιμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τρέχουσες τιμές της ενέργειας και των κυβερνητικών επιδοτήσεων.

4.10 ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

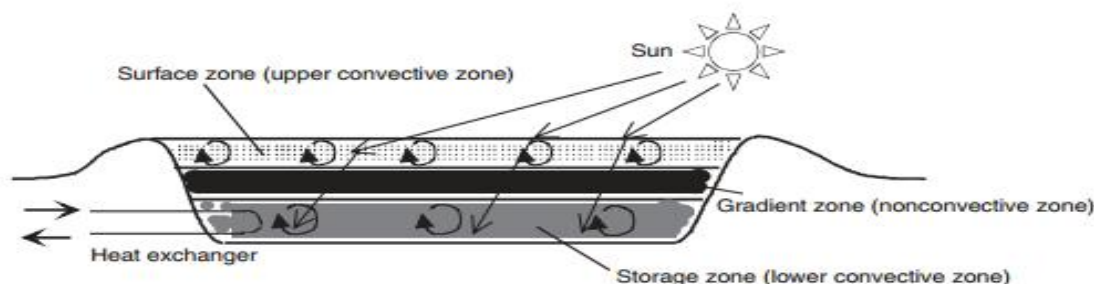
Και τα δυο συστήματα χρησιμοποιούν το υπέδαφος σαν θερμική αποθήκη, όμως τα ανοιχτού βρόχου γεωθερμικά συστήματα χρησιμοποιούν τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και άρα έχουν μια καλύτερη ογκομετρική θερμοχωρητικότητα (λόγω του νερού σαν μέσο εναποθήκευσης θερμότητας 30 με 60 kWh / m³), ενώ τα κλειστά γεωθερμικά συστήματα έχουν περίπου 15 με 30 kWh / m³. Το ετήσιο ποσό της θερμότητας που διαχέεται στο υπέδαφος (αποθηκευμένη θερμότητα) θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι σε θερμική ισορροπία με το ετήσιο ποσό της θερμότητας εξαγωγής (φυλάσσονται σε ψυχρό περιβάλλον). Θερμική ισορροπία στο υπέδαφος είναι ευνοϊκή για την απόδοση του συστήματος, τόσο για τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα αποθήκευσης (ATES) όσο και για τα κλειστά γεωθερμικά συστήματα (BTES). Για τα ATES μπορεί επίσης να είναι σημαντικές για νομικούς λόγους, καθώς ενεργειακό ισοζύγιο απαιτείται συχνά στα υπόγεια ύδατα άδεια εκχύλισης / έγχυσης. Αμφότερα και τα δυο συστήματα ATES, BTES σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζονται σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας για να παρέχουν σε γενικές γραμμές μόνο ένα μέρος της ζήτησης ενέργειας για θέρμανση ή / και ψύξη φορτίου. Το υπόλοιπο φορτίο για να καλυφτεί είναι εφοδιασμένο με συμβατικό εξοπλισμό, όπως λέβητες αερίου και ψείκτες. Η συνολική απόδοση του ενεργειακού συστήματος δεν εξαρτάται μόνο από την απόδοση των ATES / BTES

συστήματος αλλά επίσης και για την απαιτούμενη παροχή του κτιρίου και της θερμοκρασίας επιστροφής. Για να αυξηθεί η δυνατότητα της άμεσης ψύξης και να επιτύχει υψηλότερη εξοικονόμηση ενέργειας, μέτριες θερμοκρασίες ψύξης και ένα μεγάλο ΔT συνιστώνται (π.χ. $10^\circ\text{C}/16^\circ\text{C}$ ή ακόμα καλύτερα $12^\circ\text{C}/20^\circ\text{C}$). Για τη θέρμανση η θερμοκρασία παροχής θα πρέπει να είναι κατ'ανώτατο όριο 50°C . Σε περίπτωση καλής λειτουργίας στο ATES σύστημα, η θερμοκρασία παροχής από τα φρεάτια είναι σχετικά σταθερή, ενώ η θερμοκρασία παροχής από ένα σύστημα BTES θα αυξήσει / μειώσει 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 στα συστήματα κλειστού βρόγχου .

4.11 ΗΛΙΑΚΗ ΛΥΜΝΗ

4.11.1 ΓΕΝΙΚΑ

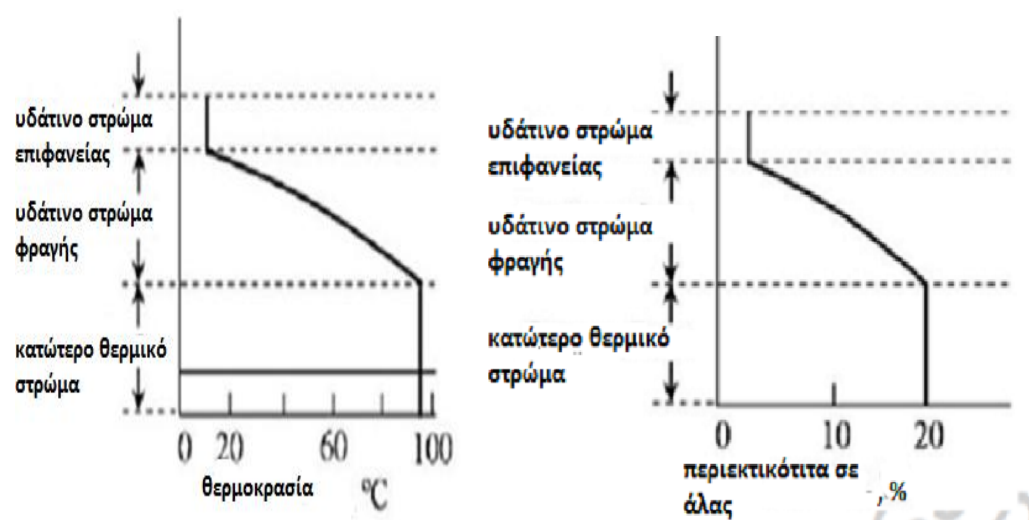
Μία ακόμη μέθοδος για μεγάλης διάρκειας αποθήκευση θερμικής ενέργειας με τη μορφή αισθητής θερμότητας είναι η ηλιακή λίμνη. Ηλιακή λίμνη καλείται μια αβαθής τεχνητή λίμνη, με προοδευτικά από την επιφάνεια προς το βυθό αύξηση της περιεκτικότητάς της σε άλας NaCl ή $\text{NaCl}+\text{MgCl}_2$ και συνήθως ηλιοαπορροφητικό βυθό. Ένας πιο γενικευμένος ορισμός θεωρεί την ηλιακή λίμνη ως ένα ρηχό υδατινό σώμα, που μπορεί να παγιδεύσει αποτελεσματικά την ηλιακή ακτινοβολία. Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα άλατα είναι χλωριούχο νάτριο (NaCl) και χλωριούχο μαγνήσιο (MgCl) . Κάποια άλλα άλατα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν, όπως φυσική άλμη ,αλλά το χλωριούχο νάτριο (NaCl) εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα από ό, τι τα περισσότερα άλλα άλατα . Παρακάτω βλέπουμε ένα σχηματικό διάγραμμα μιας ηλιακής λίμνης.



Από το Σχήμα μπορούμε να δούμε ότι η ηλιακή λίμνη μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ζώνες ή στρώματα: άνω ζώνη συναγωγής (UCZ), ζώνη φραγμού (NCZ) και κατώτερη ζώνη συναγωγής (LCZ).

Σε ορισμένες φυσικές λίμνες με υψηλή περιεκτικότητα σε αλμυρό νερό (π.χ. Νεκρά Θάλασσα), παρατηρείται ότι οι βαθμίδες θερμοκρασίας αντιστρέφεται σε σύγκριση με άλλες τυπικές λύσεις αποθήκευσης νερού. Η κανονική θερμοκρασιακή κλιμάκωση στη δεξαμενή αποθήκευσης νερού είναι ότι η θερμοκρασία στην

κορυφή της δεξαμενής είναι υψηλότερη από εκείνη του πυθμένα, ενώ οι βαθμίδες θερμοκρασίας στην αλμυρή φυσική λίμνη έχει θερμοκρασία υψηλότερη στο κάτω μέρος της λίμνης από την κορυφή διότι ο πυθμένας της λίμνης έχει υψηλότερη πυκνότητα και συγκέντρωση αλάτων από την κορυφή. Στις συνηθισμένες λίμνες, αντίθετα, μόλις θερμανθεί μια περιοχή του πυθμένα από οποιαδήποτε αιτία, αποκτά μικρότερη πυκνότητα από τα υπερκείμενα στρώματα και το νερό της περιοχής αυτής ανεβαίνει προς τα πάνω. Έτσι, υπάρχουν ρεύματα που μεταφέρουν τυχόν θερμές μάζες νερού προς την επιφάνεια, όπου ψύχονται γρήγορα με τους γνωστούς μηχανισμούς (εξάτμιση, μεταφορά, ακτινοβολία, αγωγή). Το σημαντικό, αυτό είδος της υψηλής αλατότητας λιμνών έχει την ικανότητα να αποθηκεύει ηλιακή θερμική ενέργεια σε μακροπρόθεσμη βάση. Έτσι, μιμείται τα χαρακτηριστικά της υψηλής αλατότητας που έχουν οι φυσικές λίμνες, ένα ιδιαίτερο είδος θερμικού συστήματος αποθηκεύσεις αλμυρού νερού ή καλύτερα "ηλιακή λίμνη" έχει προταθεί και έχει τεθεί σε εφαρμογή ως μια εποχιακή λύση θερμικής αποθήκευσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταφορά θερμότητας στο νερό με αγωγή είναι αρκετά μικρή. Το νερό είναι επίσης αδιαφανές στη θερμική ακτινοβολία και η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία είναι αδύνατη μέσα στη μάζα του νερού. Το βάθος μια ηλιακής λίμνης κυμαίνεται από 1-3m, μπορούμε δε να διακρίνουμε τρία στρώματα νερού. Το **υδάτινο στρώμα επιφανείας**, όπως λέγεται, το οποίο έχει τη μικρότερη αλατότητα και συνήθως αποτελείται από φυσικό νερό. Το **υδάτινο στρώμα φραγής**, που έχει μια προοδευτικά αυξανόμενη ανάλογα με το βάθος-αλατότητα και προφυλάσσει από τις θερμικές απώλειες προς τον αέρα το κατώτερο στρώμα. Τέλος, το **κατώτερο θερμικό στρώμα**, που έχει μεγαλύτερη αλατότητα-και μεγαλύτερο ειδικό βάρος-από το προηγούμενο και αποτελεί την κύρια αποθήκη της ηλιακής ενέργειας που δεσμεύεται. Αυτή η στρωμάτωση του νερού, ιδίως του στρώματος φραγής ανάλογα με την αλατότητα επιτυγχάνεται, κατά την κατασκευή της ηλιακής λίμνης με προσαγωγή του νερού με μικρή ταχύτητα και σε μικρά στρώματα πάχους 10-20 cm προοδευτικά ελαττωμένης αλατότητας.



Προφίλ ηλιακής λίμνης σε σχέση με τη θερμοκρασία και την περιεκτικότητα σε αλάτι

Για να διατηρείται η σταθερότητα της λίμνης πρέπει να απομακρύνεται από την επιφάνειά της αλμυρό νερό και να αντικαθίσταται από γλυκό. Επειδή δεν υπάρχει φυσική κυκλοφορία η μεταφορά άλατος από κάτω προς την επιφάνεια γίνεται με διάχυση. Αυτή είναι μια αρκετά αργή διαδικασία. Ο βυθός της ηλιακής λίμνης είναι, συνήθως, βαμμένος μαύρος για να απορροφά και να αποδίδει την ηλιακή ενέργεια που φτάνει εκεί, στο θερμικό στρώμα. Ο βυθός και οι παράπλευρες επιφάνειες της λίμνης πρέπει να αποτελούνται από υλικά μη διαβρεκτά, που να παρουσιάζουν δηλαδή τις λιγότερες δυνατές διαρροές. Για να εμποδίσουμε τη διαρροή θερμότητας προς τη γη, ο βυθός μονώνεται όταν μετρηθούν κάτω από αυτόν μεγάλες ταχύτητες κίνησης των υπόγειων υδάτων. Οι ταχύτητες αυτές κυμαίνονται συνήθως από 1 cm/έτος μέχρι 1m/ημέρα και έτσι η απόφαση για τη μόνωση του βυθού εξαρτάται και από το μέγεθος της ηλιακής λίμνης. Αν η κίνηση των υπογείων υδάτων είναι μικρή, ο βυθός δεν μονώνεται και θερμότητα μεταδίδεται και αποθηκεύεται και στο έδαφος κάτω από το βυθό. Η επιφάνεια της λίμνης σκεπάζεται με ένα πλαστικό δίχτυ. Έτσι, αποφεύγεται ο κυματισμός σε περίπτωση ισχυρών ανέμων που αφενός καταστρέφει τη στρωμάτωση της λίμνης και αφετέρου μειώνει το ποσοστό της αναρροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας λόγω μεγαλύτερης ανακλαστικότητας που παρουσιάζουν οι κυματισμοί στην ηλιακή ακτινοβολία. Η ανύψωση της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται μπορεί να φτάσει στους 90 °C. Όπως προαναφέρθηκε, το κατώτερο θερμικό στρώμα χρησιμοποιείται για την αποθήκευση θερμότητας. Συνεπώς, το μέγεθος του στρώματος αυτού εξαρτάται από τη χρήση για την οποία προορίζεται η λίμνη, ενώ το μέγεθος του στρώματος φραγής από την ανάγκη να υπάρχει μια μονωτική επιφάνεια. Η άριστη επιλογή των δύο μεγεθών εξαρτάται από τη θερμοκρασία λειτουργίας (θερμοκρασία του κατώτερου θερμικού στρώματος), από το κλίμα, την τοποθεσία και το κόστος των υλικών και κατασκευής. Η ακτινοβολία που περνά το 1 m είναι περίπου το 35% της συνολικής ακτινοβολίας. Αυτό είναι και το ανώτερο φράγμα στη θεωρητική απόδοση μιας ηλιακής λίμνης. Ο λόγος που αυτό το είδος αποθήκευσης νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση της ηλιακής θερμικής ενέργειας καθορίζεται από τα θερμικά χαρακτηριστικά αυτών των τριών στρωμάτων, ιδιαίτερα από το στρώμα φραγμού (NCZ). Η μεγάλη βαθμίδα συγκέντρωσης στην NCZ καταστέλλει σημαντικά τη διαδικασία μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή σε αυτό το στρώμα. Επιπλέον, η εξαιρετικά χαμηλή μετάδοση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το στρώμα νερού μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας θερμικής ενέργειας που εκπέμπεται από το θερμό στρώμα LCZ (αυτό το χαρακτηριστικό καθορίζει επίσης ότι LCZ απορροφά κυρίως τα μέρη της ηλιακής ακτινοβολίας που έχουν μήκος κύματος μικρότερο από το υπέρυθρο). Ως εκ τούτου, η κύρια διαδικασία της μεταφοράς θερμότητας στο NCZ είναι με μεταφορά θερμότητας με αγωγή που προφανώς οδηγεί σε υψηλότερη θερμική αντίσταση, σχηματίζοντας ένα επιθυμητή θερμομονωτική στρώση για το LCZ .

4.11.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ

Οι ηλιακές λίμνες έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών μπορούν να λειτουργήσουν για την παράγωγη θερμότητας και διανομή της σε απομονωμένα οικιστικά σύνολα (κατοικίες, εμπορικά κτίρια) είτε σε κεντρικές εγκατάστασης θέρμανσης με δίκτυο τηλεθέρμανσης. Ένας άλλος τομέας είναι οι βιομηχανικές και γεωργικές εφαρμογές θερμικών διεργασιών χαμηλής θερμοκρασίας ή για προθέρμανση για υψηλότερης θερμοκρασίας βιομηχανικές διαδικασίες. Πέρα από την παράγωγη θερμότητας η ηλιακή λίμνη μπορεί να λειτουργήσει και σαν "ηλεκτρικός σταθμός παράγωγης ενέργειας". Η πρώτη ηλιακή λίμνη στον κόσμο κατασκευάστηκε στο Bhuj, στην Ινδία το 1983 (Σχήμα), και από τότε πολλά σχέδια λειτουργούν σε όλο τον κόσμο.



Η Πρώτη ηλιακή λίμνη στον κόσμο στο Bhuj στην Ινδία

Η ηλιακή λίμνη στο Bhuj σχεδιάστηκε ως ένα πρόγραμμα έρευνας και ανάπτυξης της Tata Energy Research Institute (TERI), η οποία έλαβε πάνω από εννέα χρόνια για να δημιουργήσει, και να αποδειχθεί η σκοπιμότητα της χρήσης μιας λίμνης άλατος για τη θέρμανση βιομηχανικών διεργασιών. Η διαστάσεις της λίμνης είναι 100 μέτρα μήκος, επί 60 μέτρα πλάτος και 3,5 μέτρα βάθος. Η λίμνη γεμίζεται με νερό και 4000 τόνους μαλακού άλας για τη δημιουργία πυκνής άλμης. Η 6000 τετραγωνικών μέτρων ηλιακή λίμνη ήταν, η πρώτη μεγάλης κλίμακας λίμνη σε βιομηχανικό περιβάλλον που ανταποκρίθηκε στις πραγματικές ανάγκες παροχής θερμότητας προς το βιομηχανικό χρήστη, Μπορεί να παράγει 80.000 λίτρα ζεστό νερό ημερησίως στο γαλακτοκομείο σε μια μέση θερμοκρασία 75 ° C από το Σεπτέμβριο 1993 έως και τον Απρίλιο του 1995. Μια άλλη εφαρμογή ηλιακής λίμνης χτίστηκε στο En Boqeq (Ισραήλ) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η έκτασή της είναι 7000 m² και το βάθος της είναι περίπου 2, 5 m. Η ηλιακή λίμνη λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα κύκλο Rankine και μια γεννήτρια 150 kW εναλλασσόμενου ρεύματος. Η λίμνη μπορεί να φτάσει τη θερμοκρασία των 90 ° C, αλλά συνήθως λειτουργεί μεταξύ 70 και 80 ° C. Πολλές οργανώσεις των ΗΠΑ, σε συνεργασία με τους Ισραηλινούς που είναι τεχνολογικά ηγέτες στον τομέα της ηλιακής λίμνης κατασκεύασαν μια ηλιακή λίμνη 3,200 m² για λογαριασμό της

βιομηχανίας τροφίμων κονσερβοποιίας στο Ελ Πάσο, του Τέξας. Η πρώτη εφαρμογή της λίμνης ήταν για την παραγωγή θερμότητας για τη λειτουργία κονσερβοποίησης. Η λίμνη ξεκίνησε την παραγωγή θερμότητας με αυτόν τον τρόπο από το καλοκαίρι του 1986. Το σύστημα λειτουργεί στους 86 ° C περίπου για την δημιουργία 300kW θερμικής ενέργειας. Τον Ιούλιο του 1986, οι φορείς εκμετάλλευσης πρόσθεσαν μια θερμική μηχανή Κύκλου Rankine στο σύστημα. Τον Σεπτέμβριο, έγινε η πρώτη ηλιακή λίμνη στις Ηνωμένες Πολιτείες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έως και 70 kW. Τον Μάιο του 1987, οι φορείς εκμετάλλευσης πρόσθεσαν μια χαμηλής θερμοκρασίας μονάδα αφαλάτωσης. Τον Ιούνιο, άρχισε να παράγει περίπου 4.600 λίτρα αφαλατωμένου νερού την ημέρα. Το 1992, η εγκατάσταση έκλεισε λόγω της αποτυχίας της αρχικής XR-5 επένδυσης (μονωτικό στρώμα). Η λίμνη ανακατασκευάστηκε με γεωσυνθετικής στεγάνωσης πηλό και συνέχισε ξανά τη λειτουργία της .



Ηλιακή λίμνη στο Ελ Πάσο, στο Τέξας.

4.11.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΛΙΜΝΩΝ

Συνοπτικά, τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται στις τεχνητές λίμνες είναι τα εξής:

- Αέρας. Ο αέρας προκαλεί κυματισμό στην επιφάνεια που μερικές φορές συμβάλλει στην ανάπτυξη ενός, μη επιθυμητού στρώματος μεταφοράς 30-50 cm στην επιφάνεια της λίμνης. Αυτό αποφεύγεται με τη χρησιμοποίηση ειδικών επιπλεόντων κατασκευών (wave dumpers). Αυτά κατασκευάζονται από κενούς σωλήνες σχήματος τετραγώνου και συνδέονται μεταξύ τους.
- Τα ίδια περίπου φαινόμενα είναι δυνατόν να προκαλέσει και πολύ δυνατή βροχή. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού είναι ίδια με αυτή των εσωτερικών στρωμάτων μεταφοράς.

- Ξένες ύλες. Διάφορα ξένα αντικείμενα (φύλλα, χαρτιά, κ.λ.π.) είναι δυνατόν να πέσουν στη λίμνη. Αυτά, συνήθως, αιωρούνται σε βάθος που ταιριάζει με την πυκνότητά τους και προκαλούν μείωση της οπτικής διαπερατότητας της λίμνης και επομένως και της απόδοσής της. Είναι δυνατόν να ληφθούν προστατευτικά μέτρα (περίφραξη με λεπτό σύρμα). Επιπλέον, σκόνη πάντα πέφτει στη λίμνη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, έχουν προταθεί διαφανή καλύμματα σε επαφή με το νερό της επιφάνειας, αλλά αποδείχτηκε ότι, στην πράξη, προκαλούν περισσότερα προβλήματα.
- Ανάπτυξη μικροοργανισμών. Έχει παρατηρηθεί η ανάπτυξη φωτοσυνθετικών μικροοργανισμών (algae) μέσα στη λίμνη. Αυτοί απορροφούν στο ορατό μέρος του φάσματος και ελαττώνουν σημαντικά την οπτική διαπερατότητα της λίμνης. Διάφορες τεχνικές έχουν εφαρμοστεί για την καταπολέμησή τους. Ωστόσο, η μέθοδος πρέπει να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες.
- Μεγάλη εξάτμιση. Έχει παρατηρηθεί ότι, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, το στρώμα επιφάνειας ελαττώνεται λόγω εξάτμισης και για το λόγο αυτό, πρέπει να αναπληρώνεται.
- Η μείξη των δύο κατώτερων υδάτινων στρωμάτων - του στρώματος φραγής και του θερμικού στρώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας του τελευταίου. Το φαινόμενο αυτό αποφεύγεται με προσαγωγή στα δύο κατώτερα στρώματα νερού κατάλληλης αλατότητας.

4.11.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετοί οικονομικοί υπολογισμοί για τις ηλιακές λίμνες. Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας είναι πολύ χαμηλό. Είναι χαμηλότερο από αυτό των κοινών ηλιακών συλλεκτών. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στον πυθμένα της ηλιακής λίμνης είναι μεταξύ 15 -25% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκρίνοντας αυτή την τιμή με την αντίστοιχη ενός ηλιακού συλλέκτη είναι χαμηλότερη ωστόσο το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της τεχνολογίας ισοσταθμίζει αυτή τη διαφορά στην απόδοση του συστήματος και το καθιστά βιώσιμη εναλλακτική για παράγωγη και αποθήκευση θερμότητας. Από το συνολικό κόστος, το 50% περίπου είναι το κόστος του άλατος, 25% της πλαστικής επένδυσης και το υπόλοιπο είναι κόστος εκσκαφής, εργατικά, σωληνώσεις και όργανα ελέγχου. Εμπορικώς αυτή η τεχνολογία δεν είναι τόσο διαδεδομένη, αλλά έχουν πολλά πειράματα διεξαχθεί. Θα μπορούσε να είναι μια ενδιαφέρουσα λύση για το άμεσο μέλλον λόγω του γεγονότος της αύξησης της τιμής της συμβατικής ενέργειας καυσίμων (πετρελαίου / αερίου). Πιθανές βιομηχανίες που ίσως ενδιαφέρονται για την τεχνολογία είναι εκείνες που χρειάζονται τη θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία (45-80 ° C), όπως : Γαλακτοβιομηχανίες , βιομηχανίες σιτηρών και ζήρασης φυτικών προϊόντων ,και βιομηχανίες νερού (για την αφαλάτωση).

4.11.5 ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

Η ηλιακή λίμνη είναι ελκυστική, αν

- η χρησιμότητα είναι σε μια ερημική περιοχή, μακριά από το δίκτυο του φυσικού αερίου και το κόστος για την παροχή της ενέργειας είναι ακριβό.
- Η απαιτούμενη θερμοκρασία είναι μεταξύ 40 και 80 ° C.
- Είναι διαθέσιμη μια επίπεδη φθινή άγονη περιοχή.
- ο ετήσιος μέσος όρος ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής είναι αρκετά υψηλός.
- είναι δυνατόν να έχουμε μια μεγάλη ποσότητα αλατιού φτηνά.

4.12 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΠΟΧΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Η ικανότητα των ενεργειακών συστημάτων να αποθηκεύουν ενέργεια δημιουργεί εποχικά μια ευκαιρία για μια μείωση των λειτουργικών δαπανών, σε σύγκριση με τα συστήματα χωρίς αποθήκευση. Κατά την εξέταση των οικονομικών στοιχείων της εποχιακής αποθήκευσης για μια κοινότητα και ένα αποκεντρωμένο μεμονωμένο κτίριο, οι οικονομίες κλίμακας είναι σημαντικές. Τα μεγαλύτερα συστήματα κυρίως επωφελοούνται έναντι των αποκεντρωμένων κτιρίων. Ο Fisch διαπίστωσε ότι η εποχιακή αποθήκευση, όταν συνδυάζεται με ηλιακά θερμικά συστήματα ενέργειας, το κόστος επένδυσης ανά τετραγωνικό συλλεκτικής επιφάνειας για μεγαλύτερα συστήματα είναι μεταξύ 20% και 30% του κόστους για μονοκατοικίες.

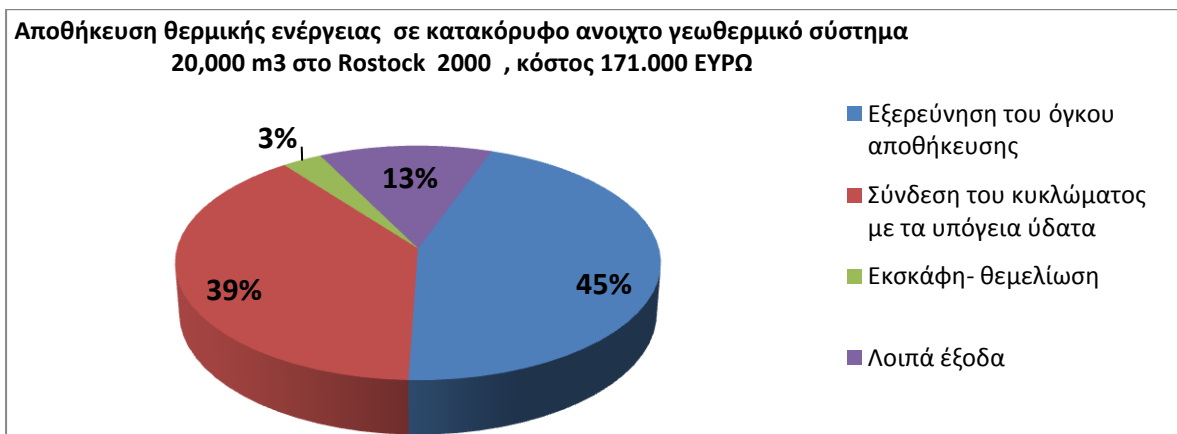
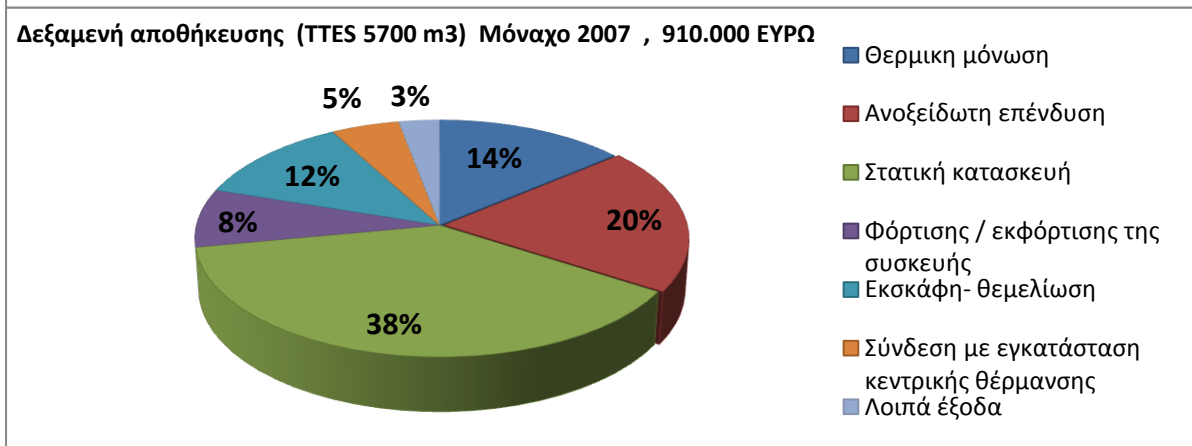
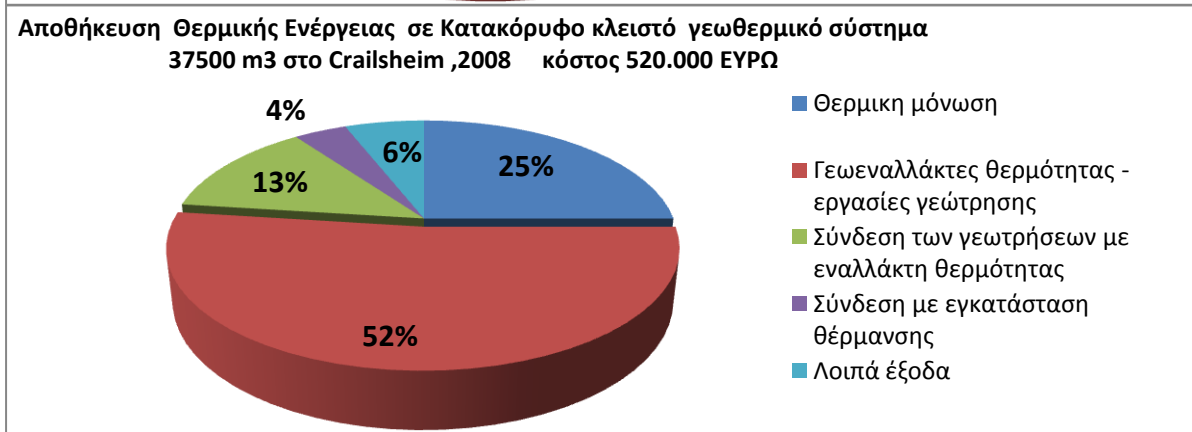
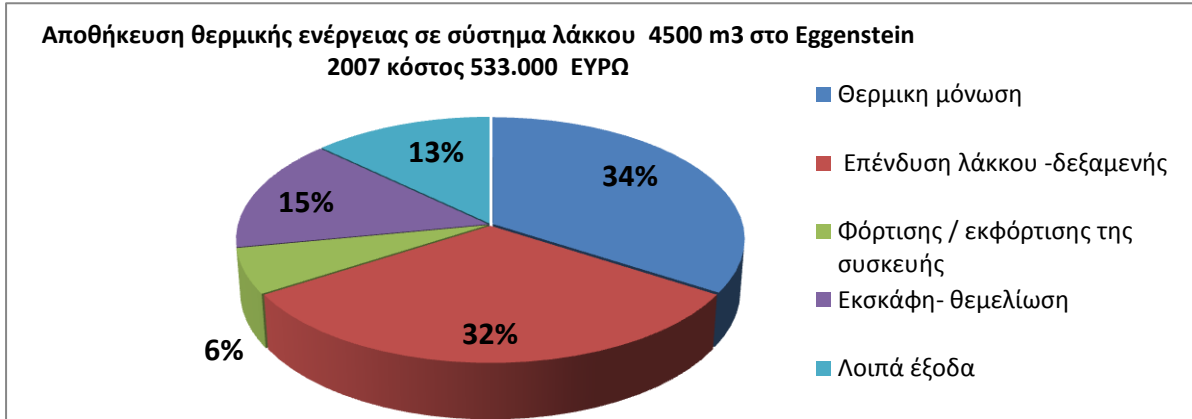
Καλοσχεδιασμένα μεγάλα συστήματα αποθήκευσης αισθητής θερμότητας είναι γενικά πιο αποδοτικά από ό, τι τα μικρότερα (αποκεντρωμένα κτίρια) της ίδιας ενεργειακής πυκνότητας δεδομένου ότι τα μεγαλύτερα μεγέθη έχουν σαν αποτέλεσμα μικρότερη αναλογία της επιφάνειας αποθήκευσης προς τον όγκο αποθήκευσης και συνεπώς χαμηλότερες σχετικές απώλειες θερμότητας, όπως τόνισε ο Kozlowski et al.

Οι Schmidt και Mangold αξιολόγησαν 65 ηλιακές εγκαταστάσεις θέρμανσης στην Ευρώπη, η μελέτη αφορούσε συστήματα μεγάλης κλίμακας πάνω από 500 m² εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών που συγκεντρώνεται κυρίως στη Γερμανία, την Αυστρία, τη Δανία και τη Σουηδία. Ο Schmidt et al., εισήγαγε το επενδυτικό κόστος, ανά ισοδύναμο όγκο αποθήκευσης νερού, για τα εποχιακά συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας για τέσσερις διαφορετικές μεθόδους αποθήκευσης. Η τάση που προκύπτει είναι ότι τα μεγαλύτερα συστήματα κοστίζουν λιγότερο ανά ισοδύναμη χωρητικότητα νερού αποθήκευσης, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι μεγάλες κεντρικές μονάδες θερμικής αποθήκευσης ενέργειας είναι οικονομικά συμφέρουσες. Μια σημαντική πρόκληση για την εποχιακή αποθήκευση είναι συνήθως το υψηλό κόστος κεφαλαίου που συνδέεται με την κατασκευή του συστήματος και την εγκατάσταση. Τα εποχιακά θερμικά συστήματα

αποθήκευσης απαιτούν βελτιωμένα σχέδια και μεγάλο εξοπλισμό, τα οποία οδηγούν σε υψηλό κόστος κεφαλαίου. Η πρόσβαση σε κεφάλαια δεν αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την τεχνολογία θερμικής αποθήκευσης, αλλά απτήν άλλη και οι προβλεπόμενες προθεσμίες αποπληρωμής συχνά δεν είναι ελκυστικές. Όταν εξετάζεται η εγκατάσταση ενός αποκεντρωμένου συστήματος εποχιακής θερμικής αποθήκευσης σε ένα κτίριο ο ιδιοκτήτης του κτιρίου θα είναι πιθανότατα ο κύριος χρηματοδότης και αυτό από μόνο του είναι ένα μειονέκτημα ως προς την εύρεση χρηματοδότησης του προγράμματος. Με την εγκατάσταση μιας κεντρικής μεγάλης κλίμακας ηλιακή εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας το κόστος του κεφαλαίου συνήθως διαμοιράζεται μεταξύ πολυάριθμων μελών (μιας κοινότητας). Μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις προσφέρουν μερικές φορές την ευκαιρία για μια οικονομική κοινοπραξία. Τέτοιες κοινοπραξίες μπορεί να περιλαμβάνουν τοπικές, επαρχιακές και ομοσπονδιακές αρχές, (ενέργειας), από τις οποίες μπορούν να λάβουν χρηματοδότηση. Οι τελικοί χρήστες μπορούν επίσης να συμβάλουν κεφάλαια μέσω εφαρμογής των τελών χρήσης για θερμικές υπηρεσίες ενεργειακού εφοδιασμού όπως συμβαίνει στην Drake Landing Solar Κοινότητα στον Καναδά.

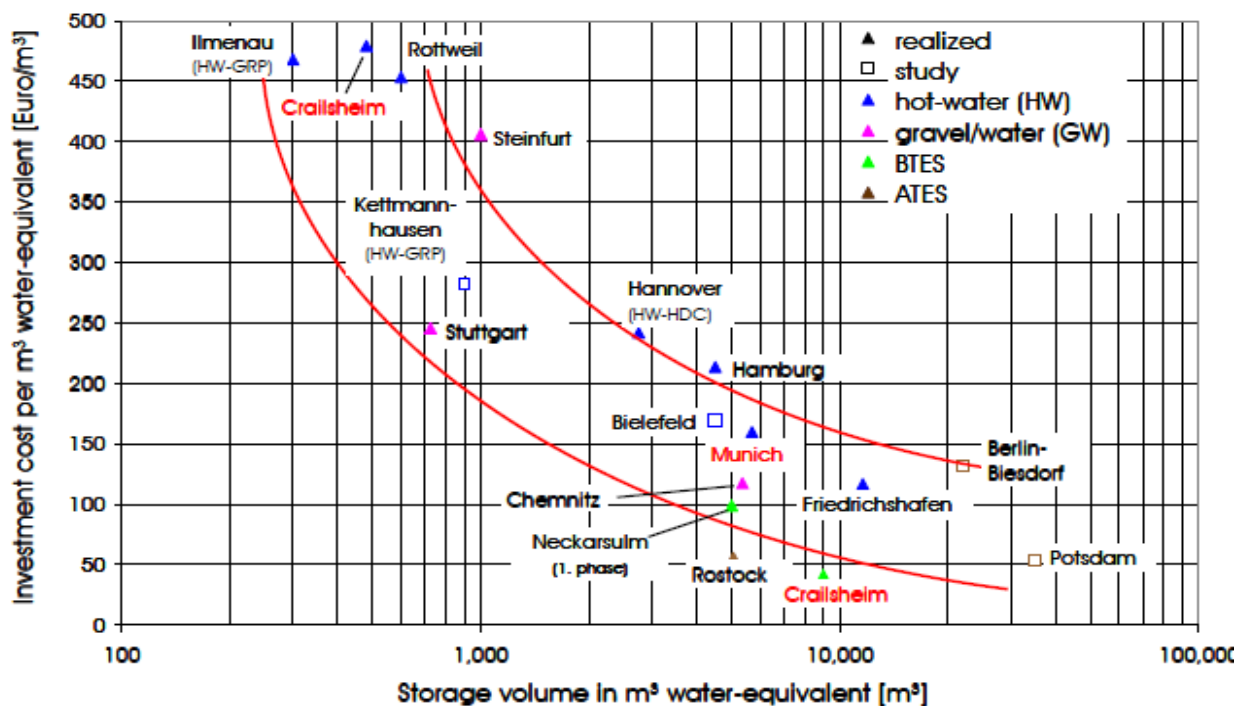
Τα κίνητρα και οι επιδοτήσεις σε εθνικό, περιφερειακό και δημοτικό επίπεδο μπορούν να μειώσουν το αρχικό κόστος ενός συστήματος εποχιακής αποθήκευσης. Μια ανασκόπηση των τρεχουσών και των προηγούμενων εθνικών προγραμμάτων παροχής κινήτρων στον Καναδά δείχνει ότι υπάρχουν πολυάριθμα κίνητρα για μεσαία και μεγάλα έργα κλίμακας που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και την προώθηση της χρήσης φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών και πρακτικών. Παραδείγματα τέτοιων προγραμμάτων που περιλαμβάνουν τεχνολογικά μέτρα έγκαιρης δράσης είναι το (TEAM) πρόγραμμα, η βιώσιμη Τεχνολογία Ταμείου Ανάπτυξης, το Πράσινο Ταμείο υποδομής και το Πράσινο Δημοτικό Ταμείο. Για τα προγράμματα αυτά, τα επιλέξιμα έργα είναι μεγάλης κλίμακας και προσφέρουν ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη. Με δεδομένη την ευρεία επιλεκτικότητα των εν λόγω προγραμμάτων, τα κεντρικά έργα κοινότητας για εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας (STES) συχνά έχουν υψηλό δυναμικό για τη λήψη χρηματοδότησης. Κίνητρα υπάρχουν επίσης για έργα που αφορούν μεμονωμένα κτίρια μικρής κλίμακας.

Το κόστος κατασκευής των τεσσάρων συστημάτων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε εποχιακή βάση διαφέρουν σημαντικά. Ωστόσο, δεν υπάρχει ένα βέλτιστο σύστημα αποθήκευσης για όλες τις εφαρμογές και όπως είναι κατανοητό δεν μπορεί το κάθε σύστημα αποθήκευσης εποχιακής θερμικής ενέργειας να κατασκευαστεί παντού π.χ τα ανοιχτού τύπου κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όπου υπάρχουν Κατάλληλα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Στα παρακάτω γραφήματα (πίτες) βλέπουμε από ένα παράδειγμα ανάλυσης του κόστους για κάθε σύστημα εποχιακής θερμικής αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας. Τα συστήματα που αναφέρονται είναι από το πιλοτικό ερευνητικό πρόγραμμα της Γερμανίας που κατά κύριο λόγο έχουν ενσωματωθεί σε κεντρικό σύστημα ηλιακής θέρμανσης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία κόστους της κατασκευής των τεσσάρων εγκαταστάσεων.



Σύγκριση 4 διαφορετικών συστημάτων εποχιακής αποθήκευσης

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα διάφορα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και τα μέσα αποθήκευσης, το ειδικό κόστος αποθήκευσης συσχετίζεται με τον ισοδύναμο όγκο νερού αποθήκευσης. Λόγω της χαμηλότερης ειδικής θερμοχωρητικότητας του εδάφους και του χαλικιού, ο όγκος αποθήκευσης των υποεδάφινων συστημάτων αποθήκευσης (κοίλωμα –λάκκος χαλικιού / νερού - Κατακόρυφου κλειστού και ανοιχτού γεωθερμικού συστήματος αποθήκευσης) πρέπει να προσαυξάνεται κατά έναν συντελεστή από 1,3 έως 1,5. Ο ακριβής συντελεστής προσαύξησης εξαρτάται από τους γεωλογικούς παραμέτρους του συγκεκριμένου μέρους και τις ειδικές απαιτήσεις της εφαρμογής (επίπεδα θερμοκρασίας που απαιτούνται και ποσοστά χωρητικότητας). Ο όγκος των υδροφόρων συστημάτων αποθήκευσης δεν μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς. Η αντίστοιχη ποσότητα σύγκρισης είναι η μέγιστη θερμική ικανότητα των φρεατίων για την φόρτιση και αποφόρτιση της αποθήκης.



GRP: glass-fiber reinforced plastic; HDC: high-density concrete;
 ATES: Aquifer Thermal Energy Storage; BTES: Borehole Thermal Energy Storage
 Διάγραμμα με το κόστος επένδυσης ανα κυβικό ισοδύναμο νερού (E/m³) σε σχέση με τον όγκο αποθήκευσης σε κυβικά ισοδύναμο νερού (m³) μιας εποχιακής θερμικής αποθήκης

Το παραπάνω διαγραμμα μας δείχνει την ισχυρή μείωση του κόστους με την αύξηση του όγκου αποθήκευσης. Στο κόστος αποθήκευσης περιλαμβάνουν το κόστος της φόρτισης συσκευών, σωλήνες σύνδεσης από τον αποθηκευτικό χώρο με την κεντρική θέρμανση, και το κόστος σχεδιασμού. Επιπλέον, οι δαπάνες του συστήματος, όπως το κόστος για τις αντλίες θερμότητας δεν περιλαμβάνεται. Πρόσθετο κόστος προκύπτει ειδικά για τις αποθήκες κατακόρυφου κλειστού και ανοιχτού γεωθερμικού συστήματος για την εξερεύνηση του υπεδάφους με

ερευνητικές γεωτρήσεις ως προς την ικανότητα ή μη για αποθεματοποίηση θερμικής ενέργειας. Υψηλότερο κόστος συντήρησης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για την επεξεργασία του νερού στις αποθήκες υδροφορέα εάν είναι απαραίτητο. Κατάλληλα μεγέθη για εποχιακή αποθήκευση κυμαίνονται μεταξύ 2000 και 20,000 κυβικών ισοδύναμου νερού. Εντός της περιοχής αυτής το κόστος της επένδυσης κυμαίνεται μεταξύ 40 και 250 ευρώ / m³. Γενικά οι δεξαμενές αποθήκευσης θερμού νερού είναι πιο δαπανηρές. Από την άλλη πλευρά, έχουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τη θερμοδυναμική συμπεριφορά τους και μπορούν να κατασκευαστούν σχεδόν οπουδήποτε. Το χαμηλότερο κόστος μπορεί να επιτευχθεί με κατακορυφου κλειστου (BTES) και ανοιχτου γεωθερμικού συστήματος αποθήκευση (ATES). Ωστόσο, συχνά χρειάζονται επιπλέον εξοπλισμό για τη λειτουργία τους, όπως π.χ. εγκαταστάσεις τελικής αποθήκευσης ή επεξεργασίας νερού και έχουν τις υψηλότερες απαιτήσεις σχετικά με τις γεωλογικές συνθήκες του υπεδάφους. Η οικονομία του συστήματος αποθήκευσης δεν εξαρτάται μόνο από το κόστος αποθήκευσης, αλλά και από τη θερμική απόδοση της αποθήκευσης και του συνδεδεμένου συστήματος. Συνεπώς κάθε σύστημα πρέπει να εξεταστεί χωριστά. Σημαντικοί παράμετροι σε αυτό το πλαίσιο είναι οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες λειτουργίας των εγκαταστάσεων αποθήκευσης και του δικτύου τηλεθέρμανσης. Προφανώς η θερμότητα της αποθήκευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για όσο διάστημα η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία επιστροφής του συστήματος θέρμανσης. Αυτό το κατώτερο όριο θερμοκρασίας μπορεί να επεκταθεί με την ενσωμάτωση μίας αντλίας θερμότητας στο σύστημα. Για τον προσδιορισμό της οικονομίας της αποθήκευσης, το κόστος επένδυσης, συντήρησής και το λειτουργικό κόστος της αποθήκευσης πρέπει να σχετίζονται με την θερμική απόδοση της. Το κόστος θέρμανσης ανά kWh αποθηκευμένης θερμότητας δεν μπορεί να δοθεί σε γενικές γραμμές, διότι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή και το συνδεδεμένο σύστημα. Για τα παραπάνω συστήματα κεντρικών ηλιακών εγκαταστάσεων θέρμανσης με εποχιακή αποθήκευση θερμότητας το ηλιακό κόστος θέρμανσης για ένα ποσοστό ηλιακής κάλυψης που κυμαίνεται στο 50% είναι μεταξύ 0,19 - 0,50 ευρώ / kWh (χωρίς επιδοτήσεις). Τα στοιχεία ισχύουν για τη Γερμανική αγορά (χωρίς ΦΠΑ, επιτόκιο 6%). Οι δαπάνες αυτές δεν μπορούν να ανταγωνιστούν το κόστος των συμβατικών συστημάτων τηλεθέρμανσης ή των αποκεντρωμένων συστημάτων μέχρι σήμερα. Εκτός αν υπάρχει κάποια επιδότηση όπως αναφέραμε στην αρχή της παραγράφου. Ωστόσο, η περαιτέρω μείωση του κόστους σε συνδυασμό με την αύξηση της αποτελεσματικότητας, καθώς και η αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων, θα κατευθύνουν τα συστήματα αυτά σε κερδοφορία στο μεσοπρόθεσμο μέλλον.

Παρακάτω κάνουμε μια γενική σύγκριση των συστημάτων θερμικής αποθήκευσης (και με τρεις μορφές αποθήκευσης : αισθητή, λανθάνουσα ,και με θερμό -χημικές διεργασίες συστήματα). Τα συστήματα που βασίζονται στην αισθητή αποθήκευση θερμικής ενέργειας προσφέρουν μια χωρητικότητα αποθήκευσης που κυμαίνεται 10-50 kWh / t αποθήκευσης και μεταξύ 50-90%, αποδόσεις αποθήκευσης, ανάλογα με την ειδική θερμότητα του μέσου αποθήκευσης και την τεχνολογία θερμικής μόνωσης . Τα υλικά αλλαγής φάσης (PCMs) μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης (3 έως 5 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την αισθητή αποθήκευση θερμότητας)και αποδόσεις αποθήκευσης 75-90%. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αποθήκευση βασίζεται σε μία στερεού / υγρού αλλαγή φάσης με πυκνότητα ενέργειας της τάξης των 100 kWh /m³ (π.χ. πάγος). Τα συστήματα θερμό-χημικής αποθήκευσης (TCS) μπορούν να φτάσουν τις δυνατότητες αποθήκευσης μέχρι 250 kWh / t με θερμοκρασίες λειτουργίας άνω των 300 ° C και αποδόσεις αποθήκευσης από 75% σε σχεδόν 100%. Το κόστος ενός πλήρους συστήματος αισθητής αποθήκευσης θερμότητας κυμαίνεται μεταξύ € 0.1-10/kWh, ανάλογα με το μέγεθος, την εφαρμογή και την τεχνολογία θερμικής μόνωσης. Το κόστος αποθήκευσης με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας με υλικά αλλαγής φάσης PCM και θερμό-χημικών διεργασιών TCS συστήματα είναι σε γενικές γραμμές υψηλότερο. Σε αυτά τα συστήματα, συνδέονται σημαντικές δαπάνες στη τεχνολογία της μεταφοράς θερμότητας(και μάζας), η οποία πρέπει να εγκατασταθεί και να επιτύχει έναν επαρκή κύκλο φόρτισης / εκφόρτισης ενέργειας. Το κόστος των συστημάτων αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας που βασίζονται σε PCMs(υλικά αλλαγής φάσης) κυμαίνονται μεταξύ 10-50 €/kWh, ενώ το κόστος των θερμό-χημικών συστημάτων αποθήκευσης TCS εκτιμάται ότι θα κυμανθούν από € 8-100/kWh. Η οικονομική βιωσιμότητα μιας θερμικής ενεργειακής αποθήκης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό σχετικά με την εφαρμογή και τη λειτουργία των αναγκών της, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού και της συχνότητας των κύκλων αποθήκευσης .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΒΡΑΒΕΥΜΕΝΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΟΚΟΤΟΚΣ ΚΑΝΑΔΑ



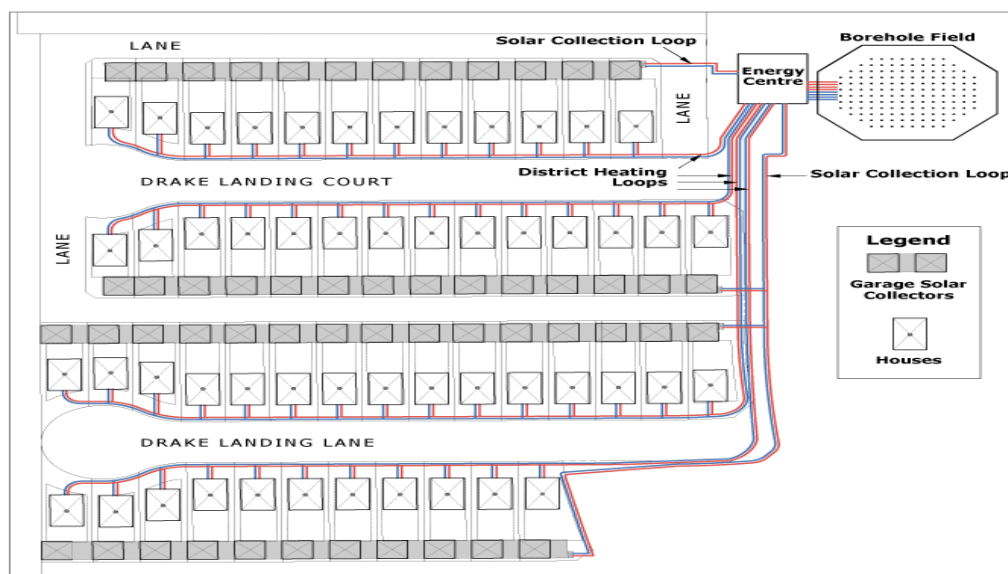
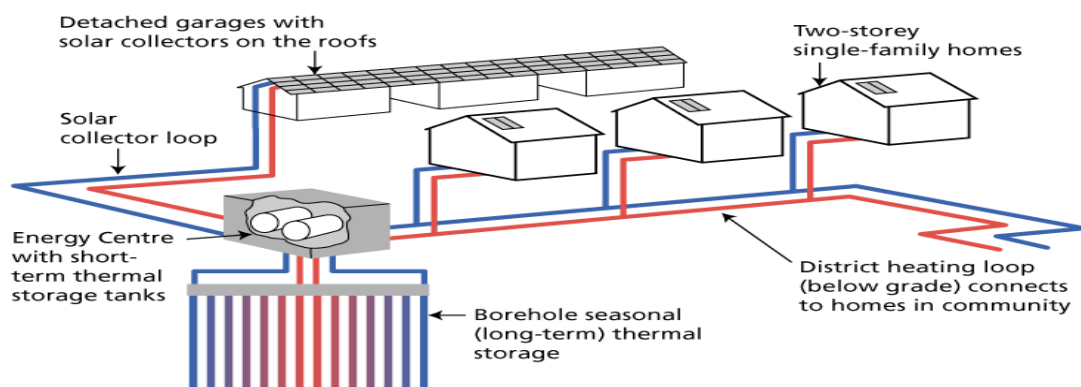
Αεροφωτογραφία κοινότητας Okotoks Καναδά

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Drake Landing Solar, Κοινότητα Okotoks, βρίσκεται νότια του Κάλγκαρι, στον Καναδά. Στη κοινότητα αυτή εφαρμόστηκε για πρώτη φορά ένα κεντρικό σύστημα ηλιακής εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Η εφαρμογή της για κεντρική διεποχική αποθήκευση μεγάλης κλίμακας ηλιακού συστήματος με Κατακόρυφο κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποθήκευσης (BTES). Το έργο ξεκίνησε το 2005, και οι πρώτες ακτίνες της ηλιακής ενέργειας άρχισαν να ρέουν στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας τον Ιούνιο του 2007. Η κοινότητα αποτελείται από 52 ηλιακά θερμαινόμενες κατοικίες. Το κοινοτικό αυτό σχέδιο ξεκίνησε από το υπουργείο Φυσικών Πόρων του Καναδά, το οποίο εξακολουθεί να είναι ο κεντρικός συντονιστής του έργου, μαζί με καινοτόμες εταιρίες έχοντας επενδύσει περίπου 3 εκατομμύρια δολάρια για το έργο. Η Drake Landing Solar Κοινότητα έλαβε το αναγνωρισμένου κύρους βραβείο Energy Globe World για την Αειφορία το 2011, δίνοντας στην κοινότητα παγκόσμια αναγνώριση. Επιλέχθηκε για την καινοτόμο υπεροχή του να παράγει το 97 τοις εκατό των αναγκών θέρμανσης χώρου σε όλη τη κοινότητα μέσω ηλιακής ενέργειας. Το έργο περιλαμβάνει ένα βρόχο τηλεθέρμανσης που χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια για την παροχή

θέρμανσης χώρου σε 52 σπίτια. Το έργο εκτιμάται ότι θα μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από πέντε τόνους ετησίως ανά κατοικία και συνολικά 260 τόνους ετησίως για ολόκληρη την κοινότητα από τα συνδυασμένα οφέλη της ηλιακής και της ενεργειακής απόδοσης. Εκτός από το ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου, κάθε σπίτι περιλαμβάνει ένα ανεξάρτητο, ηλιοθερμικό σύστημα ζεστού νερού χρήσης με δύο πάνελ, που πληροί το 60 τοις εκατό των εγχώριων αναγκών σε ζεστό νερό. Κάθε σπίτι έχει πιστοποιηθεί με πρότυπα R-2000 και καταχωρήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Green™ στο επίπεδο Gold, (υψηλότερα πρότυπα της). Μερικές από τις ενεργειακά αποδοτικές καινοτομίες περιλαμβάνουν ανώτερη μόνωση και αεροστεγανότητα, χαμηλή ροή των υδραυλικών εγκαταστάσεων, προηγμένες συσκευές και χαμηλές επιπτώσεις εξωραϊσμού του τοπίου (οπτική όχληση).

Συνδυασμός της εποχικής και της βραχυπρόθεσμης θερμικής αποθήκευσης (STTS) διευκολύνει τη συλλογή και την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι για χρήση σε θέρμανση το χειμώνα.



Σχέδιο δίκτυα εγκατάστασης του συστήματος θερμικής αποθήκευσης

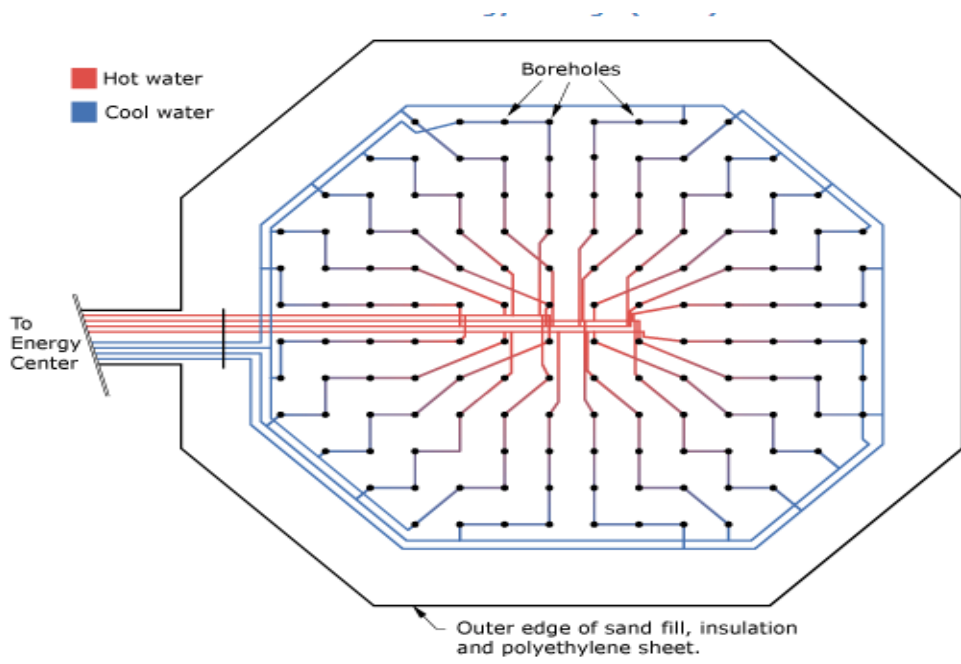
5.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η DLSC αποτελείται από 52 σπίτια που βρίσκονται στο Okotoks, Αλμπέρτα. Η κοινότητα βρίσκεται σε υψόμετρο 1084 μέτρα και οι τυπικές τιμές θερμοκρασίας το χειμώνα είναι -33 C και το καλοκαίρι 28,3 C. Κάθε σπίτι έχει ένα ανεξάρτητο γκαράζ πίσω από το σπίτι, με θέα στο δρόμο. Κάθε γκαράζ έχει ενωθεί με το επόμενο γκαράζ από την οροφή στο σκεπαστό διάδρομο, δημιουργώντας 4 «οροφές» συνεχείς που υποστηρίζουν 2.293 m² ηλιακών συλλεκτών. Στο Σχήμα 1 βλέπουμε μία εναέρια φωτογραφία της κοινότητας. Ένα Κατακόρυφο κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποθήκευσης (BTEs) χρησιμοποιείται για την εποχιακή αποθήκευση της θερμότητας που συλλέγεται την άνοιξη, και το καλοκαίρι από τους ηλιακούς συλλέκτες για τη χρησιμοποίηση της τον επόμενο χειμώνα. Το σύστημα αποτελείται από 144 γεωτρήσεις με βάθος 35 μέτρα, και είναι τοποθετημένες σε 24 παράλληλα κυκλώματα με την κάθε σειρά να έχει 6 γεωτρήσεις. Το πεδίο των γεωτρήσεων είναι εγκατεστημένο σε μια γωνία του πάρκου της γειτονιάς της κοινότητας και καλύπτεται με ένα στρώμα μόνωσης κάτω από το χώμα. Κάθε σειρά συνδέεται με τέτοιο τρόπο ώστε το νερό να ρέει από το κέντρο προς την εξωτερική άκρη του κυκλώματος BTEs, κατά την αποθήκευση θερμότητας, και από την άκρη προς το κέντρο όταν έχουμε ανάκτηση θερμότητας, με αυτό το τρόπο οι υψηλότερες θερμοκρασίες θα είναι πάντα στο κέντρο του κυκλώματος γεωτρήσεων, με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας προς το έδαφος. Η Θέρμανση χώρου παρέχεται στις 52 ενεργειακά αποδοτικές μονοκατοικίες από το σύστημα τηλεθέρμανσης που είναι συνδεδεμένο με τις βραχυπρόθεσμες δεξαμενές μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας, πλαστική, μονωμένη, υπόγεια σωλήνωση χρησιμοποιείται για τη διανομή του θερμαινόμενου νερού από τις εγκαταστάσεις του Ενεργειακού Κέντρου (στεγάζονται οι βραχυπρόθεσμες δεξαμενές εκεί) της κοινότητας πίσω στα σπίτια. Το ζεστό νερό που κυκλοφορεί μέσα από αυτούς τους σωλήνες είναι συνήθως 40 - 50 °. Το σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελείται από τέσσερις παράλληλους κλάδους, οι δυο κλάδοι είναι οι σωληνώσεις που βρίσκονται κάτω από το έδαφος για τη διανομή της θερμότητας στα σπίτια και επιστροφή πίσω στις βραχυπρόθεσμες δεξαμενές (εισαγωγή ζεστού νερού για χρήση θέρμανσης, επιστροφή κρύου νερού) και τέλος οι άλλοι δυο κλάδοι αφορούν το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών με της δυο δεξαμενές βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης (240 m³) για την φόρτιση τους. Οι δυο βραχυπρόθεσμες δεξαμενές (STTS) στεγάζονται μέσα στο κεντρικό κτίριο διαχείρισης ενέργειας. Στο ίδιο κτήριο βρίσκεται και ο υπόλοιπος μηχανολογικός εξοπλισμός, εναλλάκτες θερμότητας, αντλίες τηλεθέρμανσης του ενεργειακού συστήματος, μονάδες έλεγχου, βοηθητικοί λέβητες φυσικού αερίου, κλπ. Οι βραχυπρόθεσμες δεξαμενές ενεργούν ως ενδιάμεσος ρυθμιστής μεταξύ του βρόχου συλλέκτη, του βρόχου περιοχής-τηλεθέρμανσης, καθώς και στον τομέα της

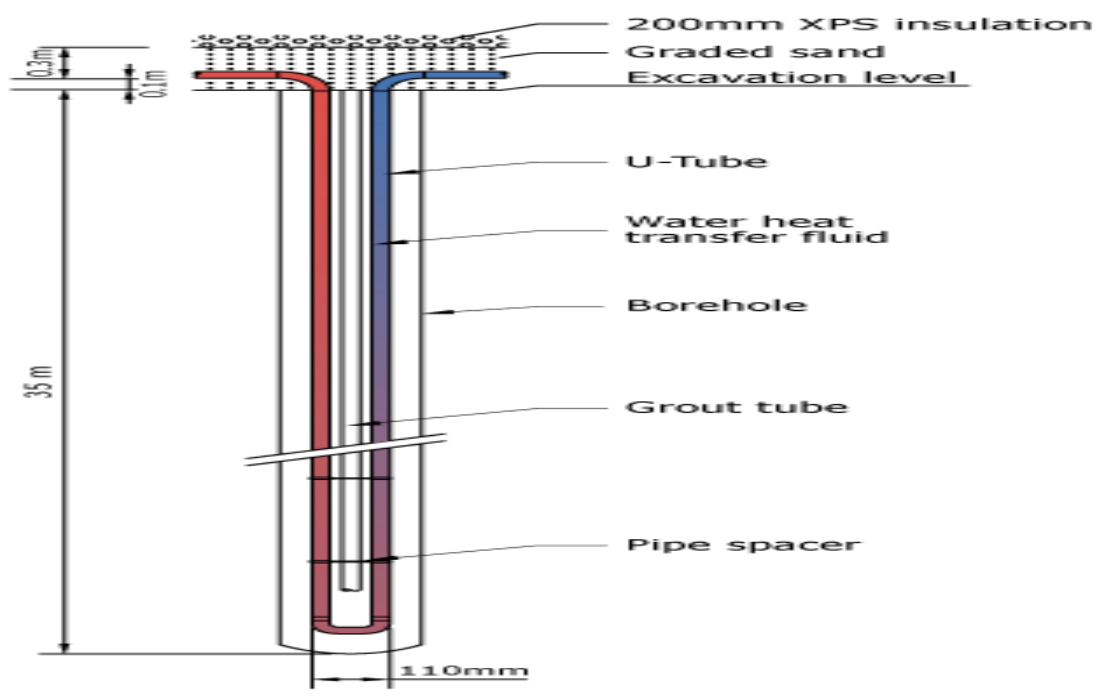
εποχιακής αποθήκευσης ενέργειας δηλαδή με τον Κατακόρυφο κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποθήκευσης (BTEs) , δέχεται και διανείμει θερμική ενέργεια, όπως απαιτείται. Οι δεξαμενές βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης STTS είναι ζωτικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος, επειδή μπορούν να δεχθούν και να διανέμουν τη θερμότητα σε πολύ υψηλότερο ρυθμό σε σχέση με την αποθήκευση στο κατακόρυφο κλειστό γεωθερμικό σύστημα BTEs(μακροπρόθεσμη αποθήκευση).Οι απαιτήσεις ζεστού νερού χρήσης καλύπτονται κατά 60 τις εκατό σε κάθε σπίτι αυτόνομα από ένα ξεχωριστό ηλιοθερμικό σύστημα αποτελούμενο από δυο συλλέκτες , που υποστηρίζεται με θερμοσίφωνα με ενσωματωμένο καυστήρα φυσικού αερίου υψηλής απόδοσης .

5.1.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, το θερμαινόμενο νερό διανέμεται από τη βραχυπρόθεσμη δεξαμενή αποθήκευσης στο κατακόρυφο κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (BTEs)μέσω μιας σειράς σωλήνων(γεωσυλλεκτες). Οι σωλήνες που "κυκλοφορούν" μέσα από μια συλλογή από 144 τρύπες, που εκτείνονται σε τριανταπέντε μέτρα κάτω από το έδαφος και καλύπτουν μια έκταση τριάντα πέντε μέτρα σε διάμετρο. Καθώς το θερμαινόμενο νερό ταξιδεύει μέσω του γεωεναλλάκτη , θερμότητα μεταφέρεται στον περιβάλλοντα χώμα . Η θερμοκρασία της γης θα φθάσει 80 βαθμούς Κελσίου μέχρι το τέλος του καλοκαιριού .Για να κρατήσει τη θερμότητα, το γεωθερμικό σύστημα BTEs καλύπτεται με άμμο, υψηλής πυκνότητας, R-40 μόνωση, με αδιάβροχη μεμβράνη, πηλό και άλλα υλικά εξωραϊσμού. Το νερό ολοκληρώνει τη διαδρομή του συστήματος γεώτρησης και επιστρέφει στις βραχυπρόθεσμες δεξαμενές αποθήκευσης στο Ενεργειακό Κέντρο για να θερμανθεί ξανά και να επαναληφτεί η όλη διαδικασία.



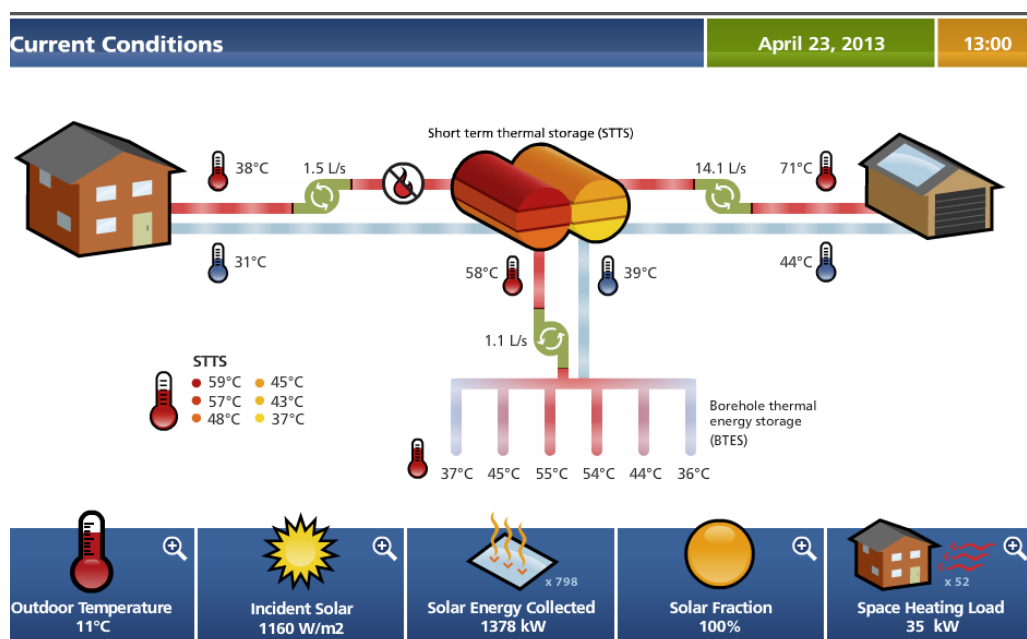
Σχήμα Κάτοψη γεωτρήσεων (144 οπές)



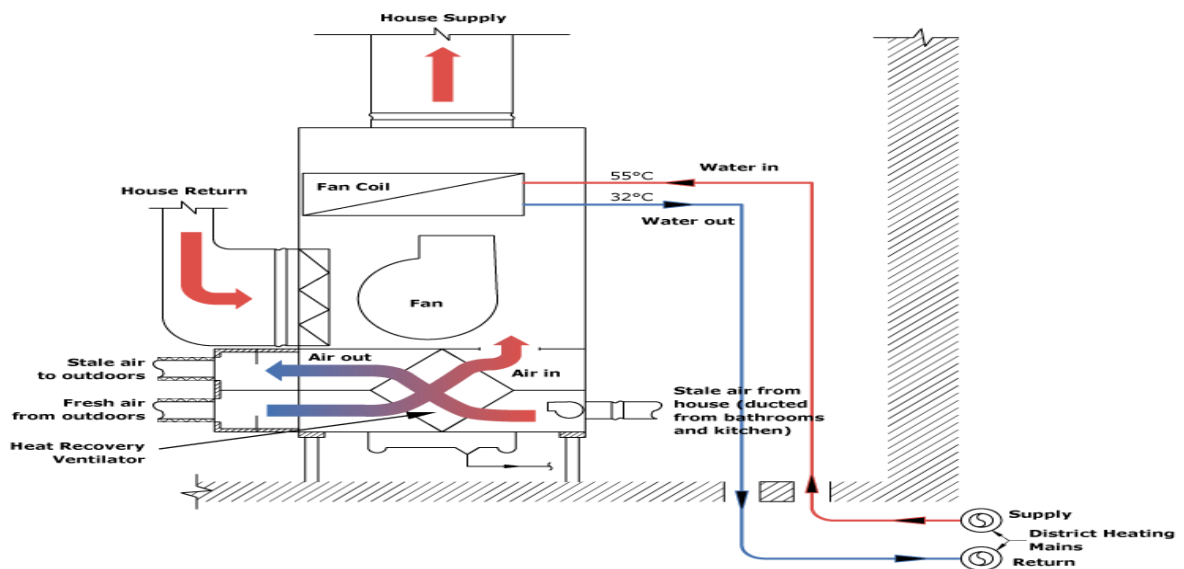
Σχήμα Γεώτρηση με σωλήνα τύπου U

5.1.3 ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Με την έλευση του χειμώνα τα σπίτια χρειάζονται θέρμανση χώρου, το θερμαινόμενο νερό από το σύστημα μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ΒΤΕs περνά στην βραχυπρόθεσμες δεξαμενές αποθήκευσης του Ενεργειακού Κέντρου και στη συνέχεια διανέμεται στα σπίτια μέσα από το βρόχο τηλεθέρμανσης φτάνοντας σε κάθε κατοικία. Το θερμαινόμενο νερό περνά μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας μέσα σε ένα ειδικά σχεδιασμένο, χαμηλής θερμοκρασίας μονάδα χειρισμού αέρα που βρίσκεται στο υπόγειο. Η θερμότητα μεταφέρεται από το νερό στον αέρα και στη συνέχεια διανέμονται σε όλο το σπίτι μέσω αεραγωγών του σπιτιού με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα, επίσης, εντός της μονάδας. Όταν η θερμοκρασία του θερμοστάτη του σπιτιού ικανοποιείται, μία αυτόματη βαλβίδα στο υπόγειο διακόπτει την μεταφορά θερμότητας μεταξύ του βρόχου τηλεθέρμανσης και τη μονάδα χειρισμού αέρα. Η μονάδα είναι ειδικά σχεδιασμένη για χρήση σε χαμηλή θερμοκρασία θέρμανσης. Αποτελείται από μια μεγάλη επιφάνεια εναλλάκτη θερμότητας, ένα ολοκληρωμένο σύστημα εξαερισμού ανάκτησης θερμότητας (HRV), και ένα υψηλής απόδοσης, μεταβλητής ταχύτητας, ηλεκτρονικής μεταγωγής κινητήρα (ECM™) που οδηγεί τόσο τον κύριο ανεμιστήρα και τον αποροφητήρα. Ο ανεμιστήρας ανάκτησης θερμότητας απάγει το ζεστό, υγρό, μπαγιάτικο αέρα μέσα από τα υγρά δωμάτια του σπιτιού προς τα έξω, και προθερμαίνει δροσερό, φρέσκο εισερχόμενο αέρα.



Στιγμιαία κατάσταση λειτουργίας του συστήματος 23/4/2013



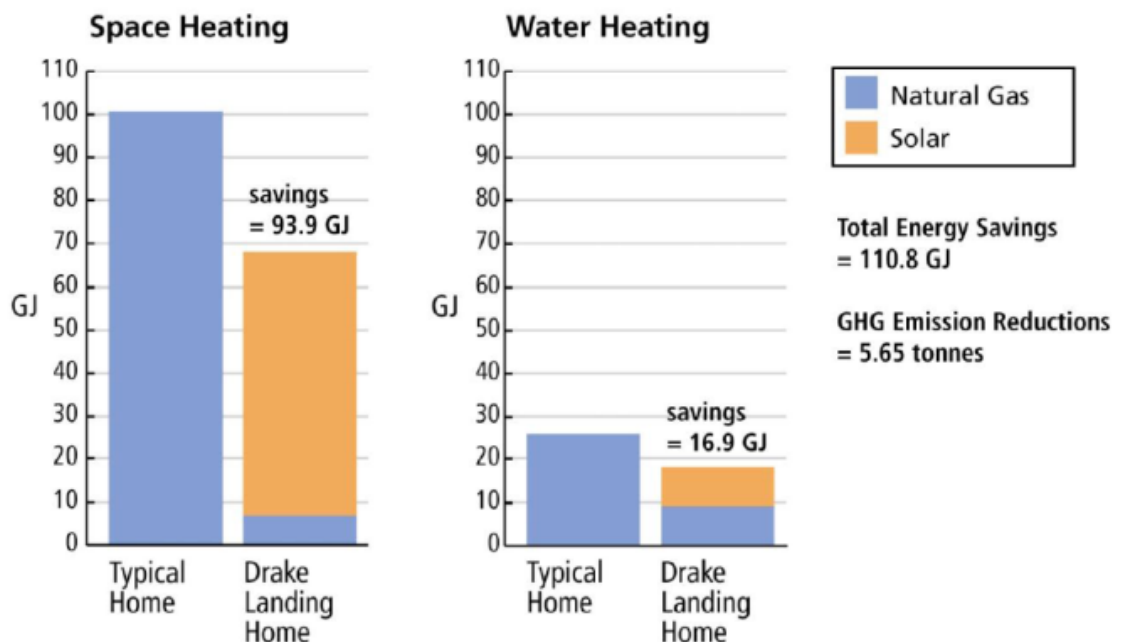
Σχήμα μονάδα HRV εναλλάκτης θερμότητας

5.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το κόστος της επένδυσης για την ολοκλήρωση του έργου είχε αρχικό κεφάλαιο εκκίνησης 7 εκατομμύρια δολάρια (Καναδά), συμπεριλαμβανομένων των 2000000 δολαρίων από τις ομοσπονδιακές κυβερνητικές υπηρεσίες, \$ 2,9 εκατομμύρια από το Πράσινο Δημοτικό Ταμείο επενδύσεων της Ομοσπονδίας των καναδικών Δήμων και \$ 625,000 από πρόγραμμα Καινοτομίας της κυβέρνησης της Αλμπέρτα. Αλλά το κόστος για να επαναληφτεί αυτό το έργο εκτιμάται ότι θα είναι 4.000.000 δολάρια, διότι στα \$ 7.000.000 κόστος του έργου περιλαμβάνεται ένα σημαντικό ποσό εφάπαξ έξοδα έρευνας και ανάπτυξης που δεν θα ήταν αναγκαία αν το έργο αναπαραχθεί σε άλλη κοινότητα. Το βέλτιστο μέγεθος για μια τέτοια κοινότητα έχει υπολογιστεί με βάση οικονομικών στοιχείων για το 2008 πρέπει να είναι τουλάχιστον 200 έως 300 σπίτια. Το σύστημα θα ήταν το ίδιο εκτός από το ότι περισσότερες γεωτρήσεις θα απαιτηθούν. Σημειώνεται ότι η χρήση ενός συστήματος ζεστού νερού χαμηλής θερμοκρασίας επιβάλετε ώστε να έχουμε μια μείωση στο κόστος κεφαλαίου των σωληνώσεων. Τα σπίτια της κοινότητας πωλούνται κατά μέσο όρο \$ 380.000 (σε δολάρια Καναδά). Οι ιδιοκτήτες ακινήτων πληρώνουν μηνιαία ηλιακό λογαριασμό υπηρεσιών κοινής ωφελείας για τη θέρμανση κατοικίας κατά 60 δολάρια κατά μέσο όρο.

5.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ

Για τα σπίτια στη κοινότητα DLSC, το 97% της θέρμανσης και το 60% των αναγκών σε ζεστό νερό είναι σχεδιασμένα να πληρούνται με τη χρήση ηλιακής ενέργειας-εποχιακής αποθήκευσης. Κάθε χρόνο, κάθε σπίτι χρησιμοποιεί περίπου 110,8 GJ λιγότερη ενέργεια και εκπέμπει περίπου 5.65 τόνους λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα συμβατικό Καναδέζικο σπίτι. Έτσι, η DLSC αποφεύγει περίπου 260 τόνους των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ετησίως. Κάθε σπίτι DLSC είναι περίπου 30% πιο αποδοτικό σε σύγκριση με ένα συμβατικό σπίτι και αναμένεται να χρησιμοποιήσει 65-70% λιγότερο φυσικό αέριο για τη θέρμανση του νερού.



Εξοικονόμηση ενέργειας της Drake landing κοινότητας σε σχέση με ένα σύμβατικό σπίτι στον Καναδά

Σημειώστε ότι μεγάλα εποχιακά συστήματα TES απαιτούν ένα σημαντικό χρονικό διάστημα για να φορτίσει από την αποθήκευση μέσο πρέπει να θερμανθεί μέχρι μία ελάχιστη θερμοκρασία πριν από οποιαδήποτε θερμότητα μπορεί να εξαχθεί. Ως εκ τούτου, Αναμένεται ότι μέχρι το πέμπτο έτος λειτουργίας του, το σύστημα θα φθάσει το 90% ποσοστό ηλιακής κάλυψης, που ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας της ενέργειας που παρέχεται από τις ηλιακές τεχνολογίες που απαιτούνται για τη συνολική ενέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΧΟΥΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την χρήση παγολεκάνων γίνεται μετατόπιση των ψυκτικών φορτίων από ώρες υψηλής ζήτησης, σε ώρες χαμηλής ζήτησης. Με αυτό το τρόπο μειώνεται αισθητά το μέγιστο της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας στις ώρες αιχμής. Όμως η αγορά των παγολεκάνων έχει μεγάλο κόστος και για να πειστεί ο ιδιώτης και οι βιομηχανίες να τις εγκαταστήσουν πρέπει να υπάρχουν κάποια κίνητρα από την εταιρεία παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πιο σημαντικό από όλα τα κίνητρα είναι η προσφορά μειωμένου τιμολογίου κατά τις βραδυνές ώρες λειτουργίας των παγολεκάνων .

6.2 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΞΗΣ

Η λειτουργία των συστημάτων αποθήκευσης ψύχους βασίζεται στην πρόσκαιρη αποθήκευση θερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, κατά την διάρκεια των εκτός αιχμής ωρών και την απόδοσή της σε ώρες αιχμής, όταν και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πιο υψηλή. Με αυτό τον τρόπο μειώνουμε το κόστος εκμετάλλευσης και μετατοπίζουμε το ηλεκτρικό φορτίο. Αν παρατηρήσουμε ένα τυπικό ημερήσιο προφίλ ψυκτικών φορτίων, για παράδειγμα σε ένα κτίριο γραφείων, θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχει διακύμανση, ενώ το μέγιστο φορτίο συνήθως παρατηρείται μόνο για κάποιες ώρες μεταξύ 1-4 μ.μ., όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι μέγιστη. Η επιλογή του ψύκτη γίνεται βάσει του μέγιστου ψυκτικού φορτίου, οπότε ο ψύκτης θα λειτουργεί στην ονομαστική ισχύ μόνο για 1-2 ώρες από τις συνολικές ώρες λειτουργίας του, που συνήθως είναι 10-12 την ημέρα. Τις υπόλοιπες ώρες θα αποδίδει μικρότερη ισχύ από την ονομαστική. Γίνεται φανερό ότι δεν εκμεταλλευόμαστε τον ψύκτη με τον καλύτερο τρόπο καθώς λειτουργεί μόνο για 10- 12 ώρες το 24ωρο, κατά τις οποίες μάλιστα λειτουργεί σε μικρότερη ισχύ από την ονομαστική. Ένας τρόπος καλύτερης εκμετάλλευσης του ψύκτη σε μία εγκατάσταση κλιματισμού είναι η χρησιμοποίηση συστήματος αποθήκευσης ψύχους. Αντί λοιπόν να έχουμε έναν ψύκτη μεγάλης ισχύος που θα λειτουργεί 10-12 ώρες την ημέρα, χρησιμοποιούμε έναν μικρότερης ισχύος ο οποίος θα λειτουργεί ως εξής : Κατά την περίοδο της ημέρας όπου υπάρχει ευνοϊκό τιμολόγιο της ηλεκτρικής ενέργειας (βραδυνές ώρες), θα αποθηκεύουμε ψυκτική ενέργεια την οποία θα χρησιμοποιούμε τις ώρες λειτουργίας του κτιρίου για να καλύψουμε το ψυκτικό φορτίο. Δηλαδή μετατοπίζουμε μέρος ή ολόκληρο το ηλεκτρικό φορτίο από τις ώρες αιχμής σε ώρες χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής

ενέργειας. Ο νέος ψύκτης σε σχέση με την συμβατική περίπτωση θα λειτουργεί περισσότερες ώρες την ημέρα και με μικρότερη ισχύς η οποία όμως θα είναι κοντά στην ονομαστική του. Άρα ο ψύκτης θα έχει καλύτερη απόδοση. Ο ψύκτης όταν φτιάχνει πάγο λειτουργεί υπό διαφορετικές συνθήκες (χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος) σε σχέση με την περίπτωση που καλύπτει απευθείας τα ψυκτικά φορτία. Δηλαδή, όταν ο νέος ψύκτης λειτουργεί με σκοπό να αποθηκεύσει ψυκτική ενέργεια (θερμοκρασία περιβάλλοντος 25ο C) θα έχει μειωμένη ισχύ κατά 20 – 30 C σε σχέση με τον αντίστοιχο ψύκτη νερού που καλύπτει απευθείας τα ψυκτικά φορτία στη συμβατική περίπτωση (θερμοκρασία περιβάλλοντος 35 C). Όσο αφορά τον βαθμό απόδοσης, η αποθήκευση ψυκτικής ενέργειας γίνεται τις νυχτερινές ώρες όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι αρκετά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία της ημέρας, οπότε ο βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος. Όμως λόγω της προσθήκης γλυκόλης ο βαθμός απόδοσης πέφτει, επομένως ο βαθμός απόδοσης είναι λίγο μεγαλύτερος από την συμβατική περίπτωση.

6.3 ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην παράγραφο αυτή θα μελετήσουμε τους διάφορους τρόπους αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας. Ως μέσο αποθήκευσης ψυκτικής ενέργειας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ψυχρό νερό, πάγο ή διάφορα μίγματα εκτός από το νερό. Πολλά υλικά έχουν μελετηθεί στα εργαστήρια για αυτό τον σκοπό αλλά χωρίς ιδιαίτερη επιτυχία. Για εγκαταστάσεις κλιματισμού το νερό είναι το επικρατέστερο μέσο αποθήκευσης. Η ψυκτική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με τους εξής τρόπους:

- Αποθήκευση ψυχρού ύδατος.
- Παγολεκάνες
- Εύτηκτα Άλατα

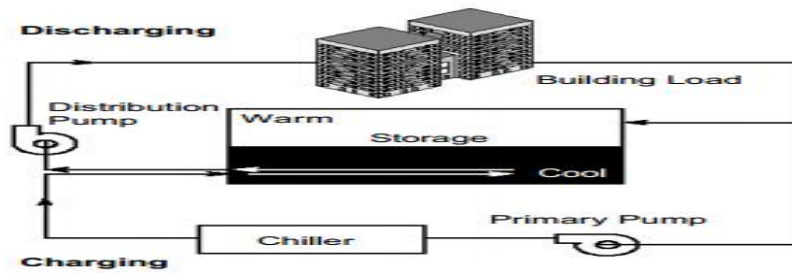
6.4 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΨΥΧΡΟΥ ΥΔΑΤΟΣ

Τα συστήματα αποθήκευσης ψυχρού ύδατος χρησιμοποιούν την αισθητή ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού ($4.18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{oC}^{-1}$), τη μεγαλύτερη μεταξύ των κοινών υλικών, προκειμένου να αποθηκεύσουν ενέργεια. Αυτή η τεχνολογία γίνεται σημαντικά αποδοτικότερη όσον αφορά το κόστος, με τη χρήση μεγαλύτερου μεγέθους δεξαμενών. Περισσότερο οικονομική γίνεται η αποθήκευση ψυχρού ύδατος για εφαρμογές που απαιτούν αποθήκευση περισσότερων από 7000 kWh , ή περίπου 760 m³. Ένα σύστημα αποθήκευσης ψυχρού ύδατος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αποθήκη νερού για πυροπροστασία και επίσης σαν δεξαμενή θερμού ύδατος το χειμώνα. Το κρίσιμο θέμα γι' αυτήν την τεχνολογία είναι το γεγονός ότι το ποσό της αποθηκευμένης ψυκτικής ενέργειας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ψυχρού ύδατος που είναι αποθηκευμένο στη δεξαμενή και του θερμού ύδατος επιστροφής από το φορτίο. Η διαφοροποίηση μεγιστοποιείται, μεγιστοποιώντας τη θερμοκρασία του νερού επιστροφής, ελαχιστοποιώντας τη θερμοκρασία αποθήκευσης (του νερού) και εμποδίζοντας το θερμό νερό επιστροφής να αναμιχθεί με το ψυχρό(κρύο) αποθηκευμένο νερό. Τα συστήματα αποθήκευσης επιτυγχάνουν αυτόν το διαχωρισμό με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

6.4.1 ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΧΡΟΥ ΥΔΑΤΟΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ

(Natural stratified chilled water storage tanks)

Είναι τα συστήματα τα οποία βασίζονται στη φυσική τάση του νερού να δημιουργεί οριζόντια στρώματα ή θερμοκρασιακές ζώνες με βάση την πυκνότητά του. Καθώς το νερό ψύχεται κάτω από αυτό το σημείο, γίνεται λιγότερο πυκνό, μέχρι να παγώσει. Κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτισης, κρύο νερό από τον ψύκτη εισέρχεται στη δεξαμενή μέσω διαχυτήρων από το κάτω μέρος της δεξαμενής ενώ θερμό νερό εξέρχεται από τη δεξαμενή από το πάνω μέρος. Η ροή του νερού αντιστρέφεται κατά τη διάρκεια της αποφόρτισης. Με έναν κατάλληλα σχεδιασμένο ραντιστήρα το νερό εισέρχεται και εξέρχεται από τη δεξαμενή. Καλά σχεδιασμένα συστήματα μπορούν να μεταφέρουν το 85 με 95% της αποθηκευμένης ενέργειας σαν ωφέλιμη ψύξη. Η αποθήκευση ψυχρού ύδατος με φυσική στρωμάτωση αναγνωρίζεται γενικά, ως ο απλούστερος, περισσότερο αποδοτικός, και πιο οικονομικός τρόπος αποθήκευσης ψυχρού ύδατος



Σύστημα θερμικής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με στρωματοποίηση ψυχρού νερού

6.4.2 ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ Η ΑΔΕΙΑΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ (Multy tank or empty tank)

Τα συστήματα αυτά διαχωρίζουν το θερμό και το ψυχρό νερό αποθηκεύοντας το καθένα σε ξεχωριστές δεξαμενές. Ο σχεδόν ολοκληρωτικός διαχωρισμός επιτρέπει στο αποθηκευμένο νερό να μεταφέρεται στο φορτίο σε μια σταθερή, ομοιόμορφη θερμοκρασία. Ένα άδειο σύστημα δεξαμενών αποτελείται από δύο ή περισσότερες δεξαμενές, μία από τις οποίες είναι πάντοτε άδεια στην αρχή του κύκλου φόρτισης. Κατά τη διάρκεια της αποφόρτισης, αποσύρεται αποθηκευμένο ψυχρό νερό, προκειμένου να καλύψει το ψυκτικό φορτίο και θερμό νερό επιστροφής προωθείται με αντλία στην άδεια δεξαμενή.

6.4.3 ΜΕΜΒΡΑΝΗ Η ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Η διάταξη αυτή χρησιμοποιεί μια άκαμπτη μεμβράνη ή ένα άκαμπτο μετακινούμενο διάφραγμα τοποθετημένο μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης προκειμένου να διατηρήσει το διαχωρισμό χωρίς ανάμιξη του ψυχρού και του θερμού νερού, χωρίς τη χρήση ραντιστών. Η μεμβράνη ή το διάφραγμα μετακινείται πάνω και κάτω καθώς η δεξαμενή γεμίζει ή αδειάζει.

6.4.4 ΛΑΒΥΡΙΝΘΟΙ ΚΑΙ ΚΑΘΡΕΦΤΕΣ (Labyrinth and Baffle)

Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν το διαχωρισμό του χώρου αποθήκευσης σε πολλαπλά τμήματα, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με μερικά τοιχώματα.

6.5 ΠΑΓΟΛΕΚΑΝΕΣ

Η αποθήκευση ψυκτικής ενέργειας σε μορφή πάγου, κάνει χρήση της λανθάνουσας θερμότητας τήξης του νερού, 335 kJ/kg στους 00C. Μπορεί να επιτευχθεί μείωση του όγκου αποθήκευσης μέχρι και 25% σε σύγκριση με εκείνου που απαιτείται αν χρησιμοποιηθεί αποθήκευση ψυχρού νερού για το ίδιο ποσό ενέργειας που αποθηκεύεται. Προκειμένου να αποθηκευθεί η ενέργεια, ο εξοπλισμός(η εγκατάσταση) ψύξης θα πρέπει να διαθέτει ψυκτικό υγρό σε θερμοκρασίες από -12 ως -5 οC. Το ρευστό μετάδοσης της θερμότητας που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του πάγου, θα μπορούσε να είναι ένα ψυκτικό ή ένα δευτερεύον ψυκτικό υγρό, όπως η γλυκόλη ή κάποιο άλλο αντι-ψυκτικό διάλυμα. Στις εφαρμογές αποθήκευσης πάγου συνήθως χρησιμοποιείται διάλυμα 25% αιθυλενογλυκόλης (ethylene glycol) σε νερό. Το κύκλωμα της γλυκόλης, (glycol loop) μπορεί να σταματήσει με τη χρήση ενός εναλλάκτη, ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του συστήματος κλιματισμού, ο οποίος εμποδίζει την κυκλοφορία της γλυκόλης σε ολόκληρο το σύστημα διανομής. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης μπορούν να χωρισθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

6.5.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΗΞΗ ΠΑΓΟΥ ΣΕ ΣΕΡΠΑΝΤΙΝΑ (External melt ice-on-coil):

ο πάγος δημιουργείται πάνω σε εμβαπτισμένους σωλήνες ή αυλούς, μέσα στους οποίους ένα ψυκτικό υγρό κυκλοφορεί. Η ψύξη αποδίδεται με την κυκλοφορία του νερού που περιβάλλει τους σωλήνες πάγου, λιώνοντας τον πάγο από την εξωτερική του επιφάνεια. Ένας αναπνευστήρας αυξάνει τη μετάδοση θερμότητας.

6.5.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΗΞΗ ΠΑΓΟΥ ΣΕ ΣΕΡΠΑΝΤΙΝΑ (Internal melt ice-on-coil):

ο πάγος δημιουργείται σε εμβαπτισμένους σωλήνες ή αυλούς όμοιους με αυτούς του συστήματος εξωτερικής τήξης. Η ψύξη αποδίδεται μέσω της κυκλοφορίας ψυκτικού υγρού μέσα από τους σωλήνες, τήκοντας έτσι τον πάγο από την εσωτερική του επιφάνεια.

6.5.3 ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΟΣ ΠΑΓΟΣ (Encapsulated Ice):

Νερό, μέσα σε πλαστικά εμβαπτισμένα δοχεία(σφαιρικά ή ορθογώνια) παγώνει καθώς κρύο ψυκτικό κυκλοφορεί μέσα στη δεξαμενή που περιέχει τα δοχεία. Όταν χρησιμοποιούνται ανοικτές δεξαμενές, απαιτείται κάποια εσχάρα ή ένα φράγμα συγκράτησης, το οποίο να διατηρεί βυθισμένα τα παγωμένα δοχεία.

6.5.4 ΘΡΥΜΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΓΟΥ :

ο πάγος δημιουργείται πάνω στην επιφάνεια ενός εξατμιστή και περιοδικά αποδεσμεύεται σε μια δεξαμενή γεμάτη με νερό. Απαιτείται αρκετός ελεύθερος χώρος πάνω από τη δεξαμενή ώστε να τοποθετηθεί το συγκρότημα του εξατμιστή.

6.5.5 ΠΑΓΟ-ΠΟΛΤΟΣ (ice slurry):

Σε αυτό το σύστημα ένα διφασικό διάλυμα γλυκόλης και νερού κυκλοφορεί μέσα από έναν εξατμιστή. Ένας πολτός κρυστάλλων ή πάγου σχηματίζεται στον εξατμιστή και προωθείται με αντλία για αποθήκευση. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των 16συστημάτων παγοπολτού (slurry) είναι ότι το σημείο πήξης του υγρού είναι ενδεικτικό της ποσότητας του πάγου που έχει αποθηκευτεί. Καθώς περισσότερος πάγος σχηματίζεται, η συγκέντρωση της γλυκόλης στο υπόλοιπο υγρό αυξάνει, ελαττώνοντας το σημείο πήξης. Υπάρχουν διεθνώς μόνο λίγες τέτοιες εγκαταστάσεις.

6.6 ΕΥΤΗΚΤΑ ΑΛΑΤΑ (Eutectic Salts)

Τα υλικά αυτά, τα οποία περιλαμβάνονται σε μια ομάδα ουσιών, καλούνται γενικά ΥΜΦ (υλικά μεταβαλλόμενης φάσης) και αποτελούν ένα τμήμα της διαδικασίας λανθάνουσας θερμότητας τήξης. Τα εύτηκτα άλατα λιώνουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο τήξης και διατηρούν την ίδια σύνθεση στη στερεά και στην υγρή φάση. Το υλικό εγκλωβίζεται μέσα σε ορθογώνια πλαστικά δοχεία, τα οποία στοιβάζονται μέσα σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός είναι ένα μείγμα από ανόργανα άλατα (ιδίως θειούχο νάτριο), νερό και καταλύτες σύζευξης και σταθεροποίησης, το οποίο τήκεται και ψύχεται σε μια σταθερή θερμοκρασία γύρω στους 8,3oC (τροποποιημένο εύτηκτο άλας του Glaubert). Το υλικό αυτό δε διογκώνετε, δε συστέλλεται ούτε επιπλέει ή μετατοπίζεται όταν αλλάζει φάση και καθώς το υλικό δεν επιπλέει γιατί η πυκνότητά του είναι 1,5 φορά αυτή του νερού, οι μονάδες εύτηκτου άλατος δεν μετακινούνται ή μετατοπίζονται μέσα στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της πήξης και της τήξης. Με αυτή την τεχνολογία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί συμβατικός εξοπλισμός ψύξης σε τυποποιημένες θερμοκρασίες και νερό σαν δευτερεύον ψυκτικό. Η πιο συνηθισμένη προσέγγιση είναι αυτή όπου το υλικό που υφίσταται την αλλαγή φάσης βρίσκεται μέσα σε εμβαπτισμένα δοχεία, όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση της τεχνολογίας εγκλωβισμένου πάγου. Ο όγκος αποθήκευσης είναι 33% του αντίστοιχου στην αποθήκευση ψυχρού ύδατος για την ίδια ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας, αλλά είναι μεγαλύτερος από το χώρο που χρειάζεται στην αποθήκευση πάγου.



Σύστημα εύτηκτου άλατος

6.7 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Οι πιθανοί τρόποι λειτουργίας για μια ψυκτική μονάδα με ένα σύστημα αποθήκευσης είναι οι

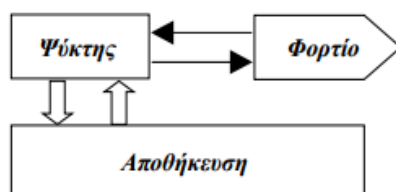
ακόλουθοι πέντε:

- 1) Φόρτιση Συστήματος αποθήκευσης: στο οποίο οι ψύκτες παράγουν ψύξη μόνο για το σύστημα αποθήκευσης, λειτουργώντας στην ονομαστική τους ισχύ κατά τη διάρκεια των εκτός-αιχμής ωρών του συστήματος τιμολόγησης ηλεκτρισμού.



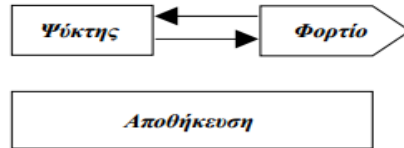
Σύστημα αποθήκευσης φόρτισης

- 2) Ταυτόχρονη φόρτιση αποθήκευσης και ψύξη υπάρχοντος φορτίου: η ισχύς που παράγεται από τους ψύκτες χρησιμοποιείται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες ψύξης του κτιρίου και η εναπομένουσα ψυκτική ισχύ χρησιμοποιείται στη φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης.



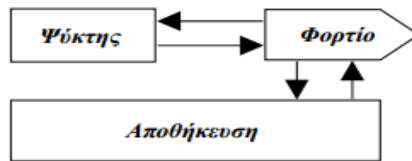
Σύστημα φόρτιση αποθήκευσης και ψύξη υπάρχοντος φορτίου

- 3) Ψύξη υπάρχοντος φορτίου: οι ψύκτες λειτουργούν μόνο προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες ψύξης του κτιρίου.



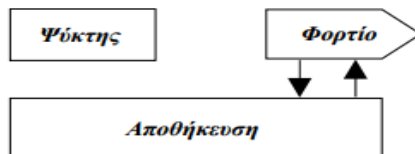
ψύξη υπάρχοντος φορτίου

- 4) Αποφόρτιση συστήματος αποθήκευσης και ψύξη υπάρχοντος φορτίου: γενικότερα συμβαίνει κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής στη λειτουργία του κτιρίου, όπου απαιτείται να λειτουργούν και τα δύο συστήματα, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες ψύξης.



Αποφόρτιση συστήματος αποθήκευσης και ψύξη υπάρχοντος φορτίου

- 5) Αποφόρτιση αποθήκευσης: κατάσταση στην οποία οι ανάγκες ψύξης του κτιρίου ικανοποιούνται αποκλειστικά από το σύστημα αποθήκευσης



Αποφόρτιση συστήματος αποθήκευσης

6.8 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΨΥΧΟΥΣ

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας, χάρη στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της και τους τρόπους λειτουργίας της, παρουσιάζει γι' αυτόν που την εφαρμόζει πολλά πλεονεκτήματα, τα σημαντικότερα των οποίων αναφέρονται παρακάτω :

- 1) Αύξηση της απόδοσης του ψύκτη που οφείλεται στην επιλεκτική λειτουργία του σε ονομαστικά επίπεδα ισχύος, κάτι το οποίο συνεισφέρει επίσης, στη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης. Επιλεκτική λειτουργία των ψυκτών κατά τη διάρκεια της νύχτας επιφέρει μια αύξηση του συντελεστή απόδοσης. Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί ανάλογα με τη βελτιστοποίηση της εγκατάστασης και του είδους της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται. Παρόλα αυτά όμως, βλέπε επίσης και το πρώτο μειονέκτημα.
- 2) Μείωση της παραγωγής ψυκτικής ισχύος και του συντελεστή ταυτοχρονισμού με τον υπόλοιπο εξοπλισμό, που οδηγεί στη μείωση της συνολικής ζήτησης (ηλεκτρικής) ισχύος της εγκατάστασης.
- 3) Η πιθανότητα χρήσης μεγάλου ΔΤ - όταν χρησιμοποιηθούν οι παγολεκάνες- επιτρέποντας μικρότερες παροχές και επομένως μικρότερες απώλειες τριβής, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για μικρότερης διαμέτρου σωληνώσεις και υδραυλικά. Επιπροσθέτως, μπορεί να γίνει εκμετάλλευση του ψυχρού αέρα διανομής.
- 4) Μικρότερο λειτουργικό κόστος από τη μείωση των εξόδων ηλεκτρικού ρεύματος τόσο όσον αφορά το κομμάτι της ζήτησης όσο και της ποσότητας της ενέργειας. Καθώς η ζήτηση ισχύος μικραίνει, μικραίνει και η συνημμένη ισχύς. Οι τιμές κόστους μειώνονται περαιτέρω από το γεγονός ότι οι ανάγκες ηλεκτρισμού μπορούν να προγραμματισθούν για φθηνότερες, εκτός αιχμής, ώρες.
- 5) Μείωση της επίδρασης του θορύβου από τη σταθερότητα της λειτουργίας.
- 6) Συνεισφορά σε συνθήκες καλύτερης εκμετάλλευσης του εθνικού συστήματος ηλεκτρισμού από βελτίωση της καμπύλης κατανομής του φορτίου.
- 7) Οι δεξαμενές ψυχρού ύδατος μπορούν να αποτελέσουν μια χρήσιμη αποθήκη νερού σε περίπτωση πυρκαϊάς.
- 8) Τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να τεθούν σε λειτουργία σε συνδυασμό με μια ποικιλία άλλων συστημάτων, όπως η συμπαραγωγή, η απορρόφηση, η μετάδοση κίνησης στους ψύκτες από μηχανές αερίου, επιτρέποντας έτσι την αποδοτικότερη χρήση τους και την εφαρμογή μεθόδων ανάκτησης ενέργειας παράλληλα με μια συνολική βελτιστοποίηση ολόκληρης της μονάδας.

Από την άλλη πλευρά, η χρήση τέτοιων συστημάτων δυσχεραίνεται από αρκετούς παράγοντες :

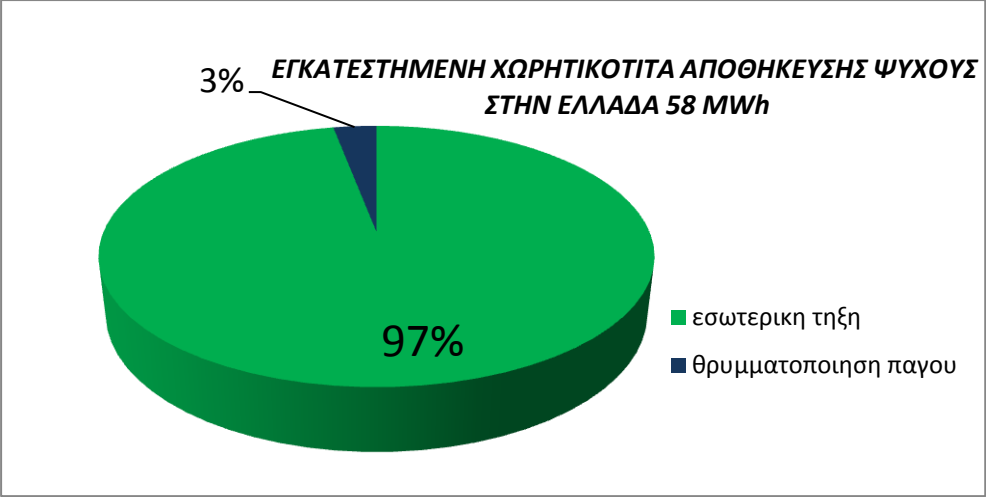
- 1) Δυσκολίες στη σχεδίαση και τον προγραμματισμό που προκύπτουν από την ανάγκη να υπάρχει πρόβλεψη των διαγραμμάτων των ημερήσιων ψυκτικών αναγκών για τις διάφορες χαρακτηριστικές περιόδους κατά τη διάρκεια του χρόνου, αποκλίνοντας έτσι από την απλή εύρεση του συνηθισμένου μέγιστου ψυκτικού φορτίου.
- 2) Μείωση στην απόδοση του ψύκτη από τη λειτουργία του συμπυκνωτή σε μια μικρότερη θερμοκρασία, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας φόρτισης (συστήματα αποθήκευσης πάγου).
- 3) Αν οι πλήρεις δυνατότητες του συστήματος – για παράδειγμα τα υψηλά ΔT χαρακτηριστικά των διαλυμάτων που περιέχουν πάγο – δεν τύχουν πλήρους εκμετάλλευσης, κάτι που σπάνια γίνεται, τότε το αρχικό κόστος τείνει να γίνει μεγαλύτερο από αυτό των συμβατικών λύσεων, δεδομένου ότι το κόστος των δεξαμενών, των αντλιών, του πιθανού εναλλάκτη θερμότητας και των σχετικών κυκλωμάτων νερού-γλυκόλης συνήθως υπερβαίνει την εξοικονόμηση που προκύπτει από τη μείωση του μεγέθους των ψυκτών.
- 4) Ο φυσικός όγκος των δεξαμενών, ιδιαίτερα στη περίπτωση της αποθήκευσης ψυχρού ύδατος, μπορεί να αποτελέσει έναν αρνητικό παράγοντα στην υιοθέτηση αυτού του είδους του συστήματος, δεδομένων των υψηλών τιμών της γής και του κόστους κατασκευής σε ορισμένες αστικές περιοχές. Υπάρχει όμως ένας αριθμός από βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις γι' αυτό το πρόβλημα, π.χ. η τοποθέτηση των αποθηκών κάτω από τις εξωτερικές περιοχές στάθμευσης αυτοκινήτων, η χρήση υπαρχόντων πρώην δεξαμενών καυσίμου, αποθηκών νερού πυροπροστασίας και η εγκατάσταση των δεξαμενών στους ορόφους των κτιρίων.

6.9 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο ρυθμός διείσδυσης των συστημάτων κλιματισμού (HVAC) στην Ελλάδα είναι αρκετά υψηλός. Η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες της Νότιας Ευρώπης με μια περισσότερο διαδεδομένη χρήση των συστημάτων κλιματισμού HVAC. Οι ετήσιες πωλήσεις φθάνουν, σχεδόν, τις 120.000 διμερείς (splits) και τις 10000 κεντρικές μονάδες, αντιστοιχώντας σε μια αύξηση της εγκατεστημένης χωρητικότητας σε, περίπου, 325 MW. Μια σημαντική ιδιαιτερότητα της ελληνικής αγοράς κλιματισμού είναι η πολύ μεγάλη επέκταση των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας σε μεγάλο προς μετρίου μεγέθους κτίρια. Αυτό κατέστησε ζωτική την ανάγκη υιοθέτησης Μεθόδων Διαχείρισης από την πλευρά της Ζήτησης (Demand-Side Management, DSM), ένα από τα οποία είναι και η αποθήκευση ψύξης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αναφορικά με τις τεχνολογίες αποθήκευσης ψύξης, τα πρώτα προγράμματα σε Ελληνικά κτίρια (Αθήνα και Θεσσαλονίκη) αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1930 – με βάση, κυρίως, την τεχνολογία εξωτερικής τήξης. Οι περισσότερες από τις εγκαταστάσεις αυτές αποσύρθηκαν σταδιακά κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960.

Κτίριο	Είδος	Χωρητικότητα αποθήκης (kWh)	Ισχύς σχεδίασης/εγκατεστημένη ισχύ (Kw)	Τύπος αποθήκευσης	Η/ν	Προμηθευτής
Ολυμπιακό Αθλητικό Συγκρότημα	Αθλητικό Συγκρότημα	36000	22000 / 9100	Εσωτερική τήξη	1993	Trane/ Calmac
Μουσείο Γουλανδρή	Μουσείο	1600	950 / 700	Παγολεκάνες	-----	
Anax SA	Γραφεία	700	180 / 130	Εσωτερική τήξη	1996	Trane/ Calmac
Αθλητικό Μέγαρο Θεσσαλονίκης	Αθλητικό Συγκρότημα	19500	10500 / 5700	Εσωτερική τήξη	-----	Trane/ Calmac

Κτίρια με συστήματα αποθήκευσης ψύξης στην Ελλάδα



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενέργεια παίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομική ευημερία και την τεχνολογική ανταγωνιστικότητα ενός έθνους. Επειδή η πρόβλεψη της μελλοντικής διαθεσιμότητας, της ζήτησης και των τιμών των μορφών ενέργειας είναι στην καλύτερη προσέγγιση ασαφείς, είναι σημαντικό να έχουμε ένα ευρύ φάσμα των διαθέσιμων τεχνολογιών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του μέλλοντος. Επιπλέον, οι τεχνολογίες που αναπτύσσονται πρέπει να είναι αυτές που θα εξασφαλίζουν την ενεργειακή ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα του περιβάλλοντος για ένα έθνος. Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι μια τέτοια τεχνολογία, και αυτό προωθούν επειδή μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, με αποτέλεσμα τη διατήρηση των εγχώριων ορυκτών καύσιμων και τη μείωση των δαπανηρών εισαγωγών πετρελαίου. Τα τεχνικά και οικονομικά προβλήματα και οι κίνδυνοι έχουν μειωθεί λόγω της αποδεδειγμένης απόδοσης τους. Τα συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας αναμένεται να γίνουν μια ελκυστική επιλογή στο βιομηχανικό και κτηριακό τομέα, που θα οδηγήσει, μεταξύ άλλων παροχών, στην αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των θερμικών συστημάτων και σε περιβαλλοντικά οφέλη.

Τα θερμικά ενεργειακά συστήματα μπορούν γενικά να ταξινομηθούν χρησιμοποιώντας κυρίως :την αισθητή ή την λανθάνουσα αποθήκευση θερμότητας. Η Αισθητή αποθήκευση θερμότητας βασίζεται στην ανύψωση της θερμοκρασίας του μέσου αποθήκευσης, όπως πέτρες ή νερό. Το πλεονέκτημα της αισθητής θερμότητας είναι η διαθεσιμότητα των μέσων, η αντλησιμότητα, και μια απλή σχεδίαση του εναλλάκτη θερμότητας. Το νερό σαν αποθηκευτικό μέσο λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που έχει όπως της μεγάλης θερμοχωρητικότητας, αλλά και του φτηνού κόστους απόκτησης του έχει εδραιωθεί καιρό τώρα σε ηλιοθεμικά συστήματα για ΖΝΧ ή συνδιασμένης παραγωγής ΖΝΧ και θέρμανσης χώρων για βραχυπρόθεσμες εφαρμογές με μια κάλυψη 50-70 % για ΖΝΧ και 20-50 % για κάλυψη αναγκών θέρμανσης. Σε αντίθεση οι θερμικές αποθήκες στερεών, π.χ οι πέτρες σαν μέσο αποθήκευσης έχουν μικρή θερμοχωρητικότητα (1/5 του νερού) και καταλαμβάνουν 3 φορές περισσότερο όγκο σε σχέση με μια υδάτινη θερμική αποθήκη για το ίδιο ποσό αποθηκευμένης ενέργειας. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα υλικά αλλαγής φάσης, με την αποθήκευση λανθάνουσας θερμικής ενέργειας. Δεν αναφερθηκαμε σε τέτοιες εφαρμογές καθώς θεωρούνται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης και της έρευνας. Το μειονέκτημα της λανθάνουσας αποθήκευσης θερμότητας είναι τυπικά στην αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος: επειδή το PCM δεν μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα ρευστό εναλλάκτη θερμότητας, ένας πρόσθετος βρόγχος πρέπει να εγκατασταθεί. Επιπλέον, τα PCM είναι πιο ακριβά από το απλό νερό, και οι αλλαγές φάσης μπορεί να συνοδεύονται από σημαντικές μεταβολές όγκου, τα οποία απαιτούν πιο σύνθετο σχεδιασμό της θερμικής αποθήκης. Αρκετές μελέτες έγιναν για την σωστή εναρμόνιση και ένταξη των υλικών αλλαγής φάσης pcm στην παθητική λειτουργία του κτιρίου, όπως σε

τοίχο ,γυψοσανίδα εμποτισμένη με υγρό pcπ, σωλήνες, ράβδοι, φιάλες και μεταλλικά κουτιά που περιέχουν PCM, που λιώνει στο εύρος της θερμοκρασίας δωματίου, έχουν μελετηθεί με ποικίλους βαθμούς επιτυχίας. Οι περισσότεροι αποδείχθηκαν μη οικονομικοί.

Στα συστήματα εποχιακής θερμικής αποθήκευσης είδαμε ότι τα κεντρικά συστήματα έναντι των αποκεντρωμένων υπερτερούν σε πολλούς τομείς όπως το κόστος, την ποιότητα αποθήκευσης, και τις απώλειες του συστήματος.

Ένα αποκεντρωμένο - απομονωμένο κτίριο όπως είδαμε και στο παράδειγμα εφαρμογής της Ιρλανδίας ,θα πρέπει να εφαρμοστεί βιοκλιματικός σχεδιασμός με πολύ καλή παθητική θωράκιση του κτιρίου για τη μείωση των απωλειών θερμότητας. Με αυτό το τρόπο ο όγκος της θερμικής αποθήκης μειώνεται αφού μειώνεται η ανάγκη κάλυψης μεγάλων θερμικών φορτίων ζήτησης ,για θέρμανση ,ξέρου και η δεξιάμενη 23 m³ εποχιακής αποθήκευσης που σε ανάλογη εφαρμογή αλλά για συμβατικό σπίτι ο όγκος της δεξαμενής θα έφτανε περίπου 60m³ νερού.

Όσο αναφορά τα κεντρικά εποχιακά συστήματα αποθήκευσης είδαμε ότι οι υπόγειες δεξαμενές εποχιακής κεντρικής αποθήκευσης έχουν μεγάλη ογκομετρική χωρικότητα 60 -80 kWh / m³ αλλά το κύριο κόστος της κατασκευής είναι η επένδυση ανοξείδωτου χάλυβα στο εσωτερικό της δεξαμενής , η μόνωση και η στατική κατασκευή από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα . Η Αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε λάκκο – κοίλωμα είναι λιγότερο αποδοτική αλλά έχει μικρότερο κόστος κατασκευής .Το σημαντικότερο κόστος κατασκευής είναι των γεωσυνθετικών μεμβράνων στεγανοποίησης και μόνωσης της αποθήκης .Τα γεωθερμικά συστήματα όπως είδαμε έχουν πολλά πλεονεκτήματα ειδικά σε συνδιασμό με μία αντλία θερμότητας ,γρήγορη αποπληρωμή της επένδυσης 5-7 χρόνια , εφόσον πληρούνται οι γεωλογικές προϋποθέσεις για την κατασκευή τους.Εάν υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας κατω από το υπέδαφος προτιμάτε το σύστημα ανοιχτού γεωθερμικού βρόγχου λόγω της καλύτερης ογκομετρικής απόδοσης του συστήματος 30-60 kWh/m³ έναντι του κλειστού γεωθερμικού συστήματος 15-30 kWh/m³.

Η Τεχνητή ηλιακή λίμνη είναι ένα σύστημα με μια ενδιαφέρουσα προοπτική για αποθήκευση θερμοκρασίας μέχρι 90 βαθμούς κελσίου .Η χρήση της ενδείκνυται κυρίως για βιομηχανικές διεργασίες π.χ κονσερβοποίηση ,παστερίωση γάλακτος κλπ .Επίσης με τη σύνδεση ενός κύκλου RANKIE είναι ικανή για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού .Το μεγάλο μειονέκτημα της είναι η μεγάλη έκταση που απαιτείται για την εγκατάσταση της ηλιακής λίμνης με αποτέλεσμα να βρίσκεται εφαρμογή εκτός αστικής περιοχής .

Το υβριδικό σύστημα μεγάλης κλίμακας εποχιακής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στη κοινότητα Okotoks του Καναδά έγινε το πρώτο στο κόσμο σύστημα εποχιακής αποθήκευσης που πέτυχε ένα ηλιακό κλάσμα της τάξης του 97%. Πάνω από το 90% της ζήτησης για θέρμανση χώρου και το 50% της ζήτησης ζεστού νερού χρήσης , επιτυγχάνεται μέσω της ηλιακής ενέργειας .Αυτή συλλέγεται μέσα από ένα πλέγμα ηλιακών συλλεκτών, και αποθηκεύεται σε κάθετες γεωτρήσεις που με τη βοήθεια του δικτύου τηλεθέρμανσης διανέμεται στην ηλιακή κοινότητα . Κάθε χρόνο, κάθε σπίτι χρησιμοποιεί περίπου 110,8 GJ λιγότερη ενέργεια και εκπέμπει περίπου 5.65 τόνους λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα συμβατικό Καναδέζικο σπίτι .Στο τελευταίο κεφάλαιο κάναμε μια σύντομη περιγραφή των

τεχνολογιών αποθηκεύσεις ψύχους για κλιματισμό .Η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σταθερή: κατά τη διάρκεια της ημέρας, η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από ό, τι κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ως εκ τούτου, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερο κατά τη διάρκεια της νύχτας από ό, τι στη διάρκεια της ημέρας. Η θερμική ενέργεια μπορεί να παραχθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας και να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας: μια τυπική εφαρμογή είναι η παραγωγή πάγου κατά τη διάρκεια της νύχτας και να το χρησιμοποιήσει για την ψύξη του αέρα για χρήση κλιματισμού. Εφαρμογές τέτοιων συστημάτων συναντάμε σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπου η ανάγκη για ψύξη και κλιματισμό – δροσισμό είναι επιτακτική .Το κόστος τέτοιων συστημάτων είναι υψηλό και θα πρέπει να χορηγείτε κάποια κρατική επιδότηση εγκατάστασης ή έστω ακόμα καλύτερη προνομιακή τιμή του νυχτερινού τιμολογίου της Δ.Ε.Η .

Συνοψίζοντας από όλα τα παραπάνω το συμπέρασμα από την θεωρητική διερεύνηση είναι ότι η αποθήκευση θερμικής ενέργειας είναι ένα κρίσιμο συστατικό για την ευρύτερη ανάπτυξη και αξιοποίηση της ενέργειας. Αν η ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ένα θείο δώρο τότε η αποθήκευση θερμικής ενέργειας είναι το δισκοπότηρο των Α.Π.Ε .Ας γίνουμε λοιπόν όλοι κοινωνοί των συστημάτων θερμικής αποθήκευσης για ένα καλύτερο ενεργειακό και φιλικό προς τον άνθρωπο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ibrahim Dincer and Marc A. Rosen, 'Thermal energy storage systems and applications', John Wiley & Sons 2nd Edition , United Kingdom 2011
- 2) High solar fraction heating and cooling systems with combination of innovative components and methods, project co-funded by the European commission within the sixth framework Programme (2002 -2006)
- 3) Thermal Energy Storage Technology Brief IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E17 – January 2013
- 4) Georgi K., Pavlov, Bjarne W., Olesen , Seasonal Ground Solar Thermal Energy Storage– Review of Systems And Applications ICIEE Department of Civil Engineering/Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby (Denmark)
- 5) Cynthia A. Cruickshank, Ian Beausoleil-Morrison, Adam Wills, " A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications " , , Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Carleton University, Elsevier 2011
- 6) *Thermal Energy Storage Strategies for Commercial HVAC Systems*, ASHRAE 1994
- 7) Bruce Sibbitta, Doug McClenahana, Reda Djebbara, 'The Performance of a High Solar Fraction Seasonal Storage District Heating System – Five Years of Operation ' ,Elsevier 2012
- 8) Καράγιωργας Μ., " Προώθηση της χρήσης συστημάτων αποθήκευσης ψύξης " ΚΑΠΕ 1996
- 9) Status of Solar Thermal Seasonal Storage in Germany T. Schmidt, D. Mangold Solites
- 10) Marcel Hendrik, Aart Snijders, Nick Boid Underground Thermal Energy Storage for Efficient Heating and Cooling of Buildings
- 11) Colclough M., Griffiths P. ,Hewitt J., 'A year in the life of a Passive House with Solar Energy Store' Centre for Sustainable Technologies, University of Ulster, Newtownabbey, UK 2011
- 12) ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment ,2008
- 13) EIC Climate Change Technology Conference , Review and Comparison of Centralized and Decentralized Seasonal Thermal Energy Storage within Net-

zero Energy Communities, Paper Number 1569695611 University of Ontario
Institute of Technology, Ontario, Canada 2013

14) SOLAR ENERGY CONVERSION AND PHOTOENERGY SYSTEMS – Vol I –Solar
ponds – Aliakbar Akbarzadeh, John Adrews and Peter Golding

15) Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, Seasonal Sensible
Thermal Energy Storage Solutions, Issue 19, p. 49-68 , December 2011

16) www.dlsc.ca

17) www.el.wikipedia.org

18) www.sts.gr

19) www.cres.gr