



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Διπλωματική εργασία**

**Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ  
ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΠΕΡΙΟΧΩΝ**

**Συγγραφέας**  
**Αναστασίου Αθανάσιος**  
**04232**

**Επιβλέπων καθηγητής : Αντώνιος Νάζος**

**Επιτροπή Αξιολόγησης :**  
**Μαϊτός Αντώνης**  
**Σακελλαρίου Ευάγγελος**

**Αθήνα, Μάρτιος 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA SCHOOL  
DEPARTMENT**

**Diploma Thesis**

**THE USE OF SEA WATER FOR  
DISTRICT HEATING AND COOLING APPLICATIONS**

**Student name and surname:**

**Anastasiou Athanasios**

**Registration number:04232**

**Supervisor :Antonios Nazos**

**Evaluation committee:**

**Maitos Antonis**

**Evangelos Sakellariou**

**Athens, March 2022**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ**

**Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ**  
**ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΠΕΡΙΟΧΩΝ**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Αναστασίου Αθανάσιος. του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 04232 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο/Η Δηλών/ούσα



## Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η περιγραφή του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται η τηλεθέρμανση και η τηλεψύξη με την αξιοποίηση της θάλασσας, του τεχνολογικού υπόβαθρου που υπάρχει γύρω από αυτήν τη τεχνολογία, του κατά πόσο αποτελεί μια αποδοτική επένδυση για την θέρμανση και τον κλιματισμό χώρων και εγκαταστάσεων σε σχέση με άλλες αντίστοιχες τεχνολογίες καθώς και των περιβαλλοντικών και κοινωνικών οφελών αυτής. Επίσης, παρουσιάζεται μια πιο εκτενής περιγραφή για την χρήση του θαλασσινού νερού ως θερμοαπωγού μέσου, η εμπειρία που υπάρχει σε διεθνές επίπεδο από αυτήν την εφαρμογή με την περιγραφή διαφόρων ανά τον κόσμο παραδειγμάτων καθώς και των αποτελεσμάτων που είχαν τελικά αυτού του είδους οι εφαρμογές με τα συμπεράσματά τους να δείχνουν κατά πόσο υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής της στον Ελλαδικό χώρο.

Λεξείς κλειδιά: Κλιματισμός, Αντλίες θερμότητας, Τηλεθέρμανση, Τηλεψύξη, Χρήση του θαλασσινού νερού,

## Abstract

The purpose of this thesis is to describe the way in which district heating and cooling are carried out using sea water, the technological background that exists around this technology, whether it is an efficient investment for space heating and air conditioning and facilities in relation to other similar technologies as well as the environmental and social benefits of it. Furthermore, there will be a presentation of a more detailed description of the use of seawater as a heat source (or sink), the international experience of this application with the description of various examples around the world, as well as the results that, in the end, had that kind of applications, with their conclusions to show the chance of its import in Greece.

Keywords: Air conditioning, Heat pumps, District heating, district cooling, Sea water use,

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract .....	5
Πίνακας εικόνων και σχημάτων.....	7
Λίστα Πινάκων.....	8
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 2. Αντλίες Θερμότητας.....	11
2.1 Αρχή Λειτουργίας των Αντλιών Θερμότητας .....	12
2.2 Είδη Αντλιών Θερμότητας .....	16
2.2.1 Αντλίες θερμότητας αέρος / αέρος.....	17
2.2.2. Αντλίες θερμότητας αέρος / νερού.....	19
2.2.3. Αντλίες θερμότητας νερού / αέρα .....	21
2.2.4. Αντλίες θερμότητας εδάφους / αέρα (ή νερού) .....	21
2.2.5.Αντλίες θερμότητας νερού / νερού.....	22
Κεφάλαιο 3. Τηλεθέρμανση & Τηλεψύξη .....	26
3.1.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 1ης γενιάς .....	27
3.2.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 2ης γενιάς .....	27
3.3.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 3ης γενιάς .....	28
3.4.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 4ης γενιάς .....	30
3.5.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 5ης γενιάς .....	31
Κεφάλαιο 4. Χρήση των αντλιών θερμότητας για τηλεθέρμανση και τηλεψύξη .....	33
4.1 Πηγές θερμότητας .....	33
4.2. Τύποι αντλιών θερμότητας στην τηλεθέρμανση και ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται .....	37
4.3. Θερμοκρασίες εξόδου .....	38
4.4. Λειτουργία ψύξης .....	39
Κεφάλαιο 5. Διεθνής εμπειρία από την χρήση θαλασσινού νερού για θέρμανση και ψύξη με αντλίες θερμότητας.....	40
5.1. Η ανάπτυξη των πρώτων SWHP στη Δυτική Νορβηγία .....	41
5.1.1. Τεχνικές προδιαγραφές.....	42
5.1.2. Χρήστες του WEPS-Eid.....	49
5.1.3. Επιχειρηματική κερδοφορία.....	50
5.1.4. Υποθέσεις, καθαρή παρούσα αξία και εσωτερικός ρυθμός απόδοσης.....	50
5.1.5. Τελικά αποτελέσματα από την λειτουργία του έργου στην Νορβηγία.....	52
5.2 Το σύστημα τηλεθέρμανσης στη Σουηδία .....	53
5.3. Το σύστημα τηλεθέρμανσης στη Ολλανδία .....	55

Κεφάλαιο 6. Μέθοδος προκαταρκτικού σχεδιασμού και αξιολόγησης συστήματος τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης με θαλασσινό νερό.....	56
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα και προοπτικές χρήσης αντλιών θερμότητας θαλασσινού νερού στον Ελλαδικό χώρο.....	67
8. Βιβλιογραφία .....	70

## Πίνακας εικόνων και σχημάτων

Σχήμα1 - Ψυκτικός Κύκλος .....	12
Σχήμα 2 -Θερμοδυναμικός κύκλος συμπίεσης ατμών για αντλία θερμότητας σε διάγραμμα p-h .....	13
Εικόνα 3-Η ροή ενέργειας σε μία αντλία θερμότητας .....	14
Εικόνα 4 - Αντλίες θερμότητας αέρος/αέρος .....	18
Εικόνα 5 - Αντλίες Θερμότητας αέρος / νερού .....	20
Σχήμα6-Βαθμός αποδοτικότητας αντλίας αέρα-νερού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος σε λειτουργία θέρμανσης (α) και ψύξης (β) και διαφορετική θερμοκρασία νερού θέρμανσης (35/55° C) και ψύξης (18/7° C) [.....	21
Εικόνα 7-Βαθμός αποδοτικότητας αντλίας θερμότητας εδάφους-νερού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία διαλύματος νερού-αντιπηκτικού σε λειτουργία θέρμανσης και διαφορετική θερμοκρασία νερού θέρμανσης (35/55° C) .....	22
Εικόνα 8 - Αντλίες θερμότητας νερού/νερού .....	23
Εικόνα 9-Μέθοδοι εισαγωγής θαλασσινού νερού σε συστήματα αντλιών θερμότητας [18] .....	36
Εικόνα 10-Σωλήνας πρόσληψης θαλασσινού νερού .....	44
Εικόνα 11-Σχηματική απεικόνιση της διάταξης σωληνώσεων "Κέντρου θέρμανσης-Καταναλωτή" .....	46
Εικόνα 12- Σχέδιο της υποδομής SWHP .....	47
Εικόνα 13-Διάγραμμα που δείχνει την επιλογή του τρόπου παροχής ενέργειας για θέρμανση των καταναλωτών στην Σουηδία από το 1960-2015 .....	54
Εικόνα 14-Σύνολο των συνεργαζόμενων μερών μίας εγκατάστασης SWHP .....	58

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1-Τιμές COP αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα σε διάφορες θερμοκρασίες .....	19
Πίνακας 2-Τιμές EER αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα σε διάφορες θερμοκρασίες .....	19
Πίνακας 3-Τιμές COP σε αντλίες θερμότητας νερού-νερού σε διάφορες θερμοκρασίες .....	24
Πίνακας 4-Τιμές EER σε αντλίες θερμότητας νερού-νερού για διάφορες θερμοκρασίες .....	25
Πίνακας 5 - Βασικές αλλαγές των συστημάτων τηλεθέρμανσης ανά γενεές [6]..	32
Πίνακας 6-Πίνακα με ενεργές εγκαταστάσεις SWHP ανά τον κόσμο .....	41
Πίνακας 7-Ποσοστιαίες διαφορές για τον κλιματισμό χώρων της εγκατάστασης SWHP σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης για τις 4 πόλεις .....	65

## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που υπάρχουν σήμερα είναι το ενεργειακό. Οι απαιτήσεις για ενέργεια γίνονται όλο και πιο μεγάλες λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, της βελτίωσης της ποιότητας της ζωής αλλά και του συνεχώς αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού. Αυτό σε συνδυασμό με την συνεχή μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων αλλά και τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα που έχει προκαλέσει η χρήση τους έχει δημιουργήσει το ενεργειακό πρόβλημα. Είναι σαφές ότι χρειάζονται αλλαγές στο πώς παράγουμε αλλά και με ποιον ρυθμό καταναλώνουμε ενέργεια. Ένα μεγάλο ποσοστό καταναλώνεται για τις κτηριακές υποδομές. Συγκεκριμένα στην Ευρώπη η κατανάλωση ενέργειας από κτήρια αντιπροσωπεύει το 40% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτή μοιράζεται για τις διάφορες ανάγκες του κάθε κτηρίου με κυρίαρχες να είναι οι



ανάγκες για θέρμανση, ψύξη και τη λειτουργία όλου του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού. <sup>[1]</sup> Όσον αφορά τα ελληνικά δεδομένα όταν πραγματοποιήθηκε έρευνα για την εύρεση του ποσού κατανάλωσης ενέργειας στον οικιακό τομέα συλλέχθηκαν σημαντικές πληροφορίες που αφορούν τα επίπεδα κατανάλωσης για διαφορετικές χρήσεις, όπως ο κλιματισμός, το μαγείρεμα και ο φωτισμός. Όπως προέκυψε, κάθε νοικοκυριό της χώρας καταναλώνει κατά μέσο όρο 13.994 kWh ετησίως για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Από αυτήν την κατανάλωση για τις ανάγκες ενός νοικοκυριού για θέρμανση χώρων απαιτείται το 63.7% της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας του. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται περισσότερο για τη θέρμανση χώρων, και την παραγωγή ζεστού νερού είναι το πετρέλαιο με ποσοστό 60,3%. Ακολουθούν τα καυσόξυλα με ποσοστό 23,8% και το φυσικό αέριο με ποσοστό 7,4% και ακολουθούν τα υπόλοιπα καύσιμα σε μικρότερα ποσοστά. Σε ότι αφορά την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν τα νοικοκυριά ετησίως, το 4,9% από τις 3750 kWh της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείτε για την ψύξη της κατοικίας. Πιο αναλυτικά όσον αφορά την θέρμανση το 98,9% των κατοικιών διαθέτουν κάποιο σύστημα θέρμανσης. Από αυτά το 50,8% των νοικοκυριών χρησιμοποίησε κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το 48,6% κάποιο ανεξάρτητο (αυτόνομο) σύστημα θέρμανσης και το 0,6% τηλεθέρμανση. Το καύσιμο που καταναλώνεται για το κύριο σύστημα θέρμανσης της κατοικίας είναι σε ποσοστά 63,8% το πετρέλαιο θέρμανσης , 12,4% ηλεκτρική ενέργεια , 12,0% βιομάζα (καυσόξυλα, πελλέτες, μπριγκέτες, γεωργικά και δασικά υπολείμματα) και 8,7% το φυσικό αέριο . Τρία στα δέκα νοικοκυριά χρησιμοποιούν εκτός του κύριου συστήματος θέρμανσης και κάποια συμπληρωματικά συστήματα, τα οποία είναι το τζάκι σε ποσοστό 32.3% , ανεξάρτητες μονάδες κλιματισμού σε ποσοστό 28,2%, φορητές ηλεκτρικές συσκευές, όπως ηλεκτρική σόμπα, αερόθερμο και καλοριφέρ σε ποσοστό 26,5% . Όσον αφορά την ψύξη εξι στα δέκα νοικοκυριά χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα για να ψύχουν την κατοικία τους (ολόκληρη ή τμήμα αυτής) κατά τους ζεστούς μήνες του έτους. Το σύστημα αυτό σε ποσοστό 99,7% αφορά ανεξάρτητες μονάδες κλιματισμού (split units), ενώ κεντρικά συστήματα ψύξης καταγράφονται μόλις για το 0,3 % των νοικοκυριών. <sup>[2]</sup> Αυτά βέβαια τα ποσοστά μεταβάλλονται αρκετά στο χρόνο με μερικά να παρουσιάζουν αύξηση και άλλα μείωση και αυτό συμβαίνει κατά κύριο λόγο εξαιτίας της οικονομικής ελκυστικότητας που παρουσιάζει το κάθε σύστημα θέρμανσης ή ψύξης ως προς την αρχική εγκατάσταση αλλά και τα υπόλοιπα κόστη όπως η συντήρηση. Βασικό βέβαια

λόγο ως προς την επιλογή του εκάστοτε κύριου συστήματος που θα επιλεγεί είναι το κόστος που έχει η καύσιμη ύλη που χρησιμοποιεί ή οποία μπορεί να παρουσιάζει αρκετές και μεγάλες μεταβολές στο χρόνο με βασικό όμως στοιχείο τη σχέση κόστους καυσίμου με την απόδοση που έχει το κάθε σύστημα. Αν σε ένα σύστημα θέρμανσης για παράδειγμα το κόστος του καυσίμου που χρησιμοποιεί είναι χαμηλότερο από κάποιο άλλο καύσιμο, αλλά ταυτόχρονα είναι και πολύ χαμηλότερη η απόδοσή που αυτό θα έχει τότε αν εξετάσουμε μόνο τα απόλυτα οικονομικά στοιχεία δεν θα έχουμε επιλέξει σωστά. Η θέρμανση και η ψύξη καταναλώνουν ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας που συνεχώς αυξάνει και γι αυτόν τον λόγο είναι αναγκαίο να γίνει τροποποίηση τόσο στα μέσα που χρησιμοποιούνται για τον κλιματισμό κτηρίων όσο και στον σχεδιασμό και κατασκευή τους ούτως ώστε να είναι ενεργειακά αποδοτικός και να ελαχιστοποιείται η άσκοπη χρησιμοποίηση ενέργειας. Με τη βελτιωμένη θερμομόνωση των κτιρίων, τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, τα παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τον φυσικό δροσισμό, τη χρήση πιο αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, την εφαρμογή προηγμένων μεθόδων ελέγχου των συστημάτων, την σωστή και σε τακτά διαστήματα συντήρηση και την αλλαγή της συμπεριφοράς των χρηστών μπορεί να εξοικονομηθούν σημαντικά ποσά ενέργειας. Έτσι λοιπόν είναι πλέον αναγκαίο να εξεταστούν συστήματα κλιματισμού που μέχρι πρότινος δεν έδειχναν ελκυστικά ωστόσο με την εξέλιξη τους αλλά και του τρόπου λειτουργίας τους ως προς το αποτέλεσμα που έχουν στην μείωση των περιβαλλοντικών συνεπειών παρουσιάζουν μία καινούργια εικόνα ως προς την σκοπιμότητα ή μη της χρήσης τους. Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν ένα κομμάτι αυτού του είδους συστημάτων για πιο αποδοτικό τρόπο θέρμανσης και ψύξης κτηριακών χώρων εξαιτίας του υψηλού βαθμού απόδοσης που παρουσιάζουν, των μειωμένων εκπομπών ρύπων και της μεγάλης προσαρμοστικότητας που έχουν ως προς το μέσο από το οποίο θα αντλούν θερμική ενέργεια.<sup>[3]</sup> Αν η χρήση αντλιών θερμότητας συνδυαστεί σε πιο μαζική έκταση με συστήματα τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης με χρησιμοποίηση διαφόρων πηγών ενέργειας, είτε αυτό αφορά την πρόσληψη της θερμικής ενέργειας από διάφορες πηγές όπως γεωθερμικές πηγές, νερό λυμάτων και μεγάλες εκτάσεις νερού με σταθερές σχετικά θερμοκρασίες με πιο κοινές τις λίμνες τα ποτάμια και τη θάλασσα και σε συνδυασμό με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται για την λειτουργία τους οι αντλίες θερμότητας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική τότε αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει ένα

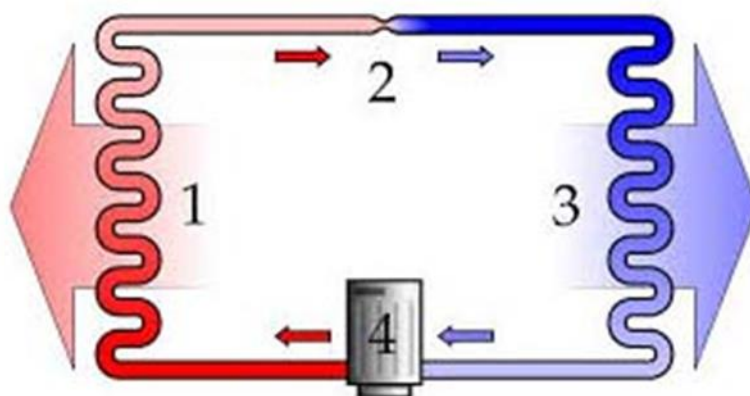
από τα πιο καθαρά συστήματα κλιματισμού εσωτερικών χώρων. Η αξιοποίηση βέβαια αυτού του συνόλου τεχνολογιών μπορεί να μην αποτελεί ακόμα μία οικονομική λύση στο σύνολό της για όλες τις περιοχές που έχουν τα απαραίτητα στοιχεία για να την εκμεταλλευτούν όμως υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις εφαρμογής τους. Σε αυτήν την εργασία θα δούμε ορισμένα παραδείγματα ανά τον κόσμο που χρησιμοποίησαν τα θαλασσινό νερό για άντληση θερμικής ενέργειας και μέσω ενός συστήματος τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης να παρέχουν στους καταναλωτές την ενέργεια που χρειάζονταν για των κλιματισμό των εσωτερικών τους χώρων. Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η αξιοποίηση αυτού του είδους τεχνολογίας σε συνδυασμό με την χρήση θαλασσινού νερού σε χώρες όπως η Νορβηγία<sup>[4]</sup> η Σουηδία<sup>[5]</sup> η Δανία<sup>[6]</sup> είχε πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα για μία πιο εκτενής μελέτη και χρήση αυτού του είδους εγκαταστάσεων και σε άλλες περιοχές.<sup>[3]</sup> Στην Ελλάδα πέρα από κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις ξενοδοχειακών μονάδων δεν υπάρχει τέτοιου είδους εγκατάσταση που να αξιοποιεί την θάλασσα με τη χρήση αντλιών θερμότητας για την θέρμανση κτηριακών χώρων γι αυτόν τον λόγο θα γίνουν κάποιες πρώτες εκτιμήσεις και ως προς την σκοπιμότητα της χρήσης τους.

## **Κεφάλαιο 2. Αντλίες Θερμότητας**

Ως αντλία θερμότητας ορίζουμε μία διάταξη που επιτρέπει την μεταφορά θερμικής ενέργειας από ένα χώρο σε έναν άλλο είτε αυτό αφορά την θέρμανση είτε την ψύξη. Συνήθως αυτή η μεταφορά αφορά έναν κλειστό χώρο που θέλουμε να του μεταβάλλουμε τις εσωτερικές συνθήκες και έναν εξωτερικό που αποτελεί την αποθήκη ενέργειας για να την προσλάβουμε ή να την αποβάλλουμε. Η συνήθης δουλειά των αντλιών θερμότητας είναι η μεταφορά θερμικής ενέργειας αντίθετα με την φυσική ροή και αυτός είναι και ο λόγος που για να λειτουργήσουν χρειάζονται ενέργεια. Ο τρόπος με τον οποίο εναλλάσσουν θερμότητα μεταξύ δύο περιβάλλοντων επιτυγχάνεται μέσω του ψυκτικού κύκλου που θα δούμε παρακάτω. Το μεγάλο πλεονέκτημα των αντλιών θερμότητας είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος και να είναι πολύ αποδοτικές είτε για θέρμανση είτε για ψύξη κάποιου χώρου. Ωστόσο όσο μεγαλύτερες είναι οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ της επιθυμητής θερμοκρασίας ενός εσωτερικού χώρου με τον εξωτερικό που αποτελεί και την αποθήκη ενέργειας τόσο περισσότερο πέφτει η επίδοση του συστήματος.<sup>[7]</sup>

## 2.1 Αρχή Λειτουργίας των Αντλιών Θερμότητας

Η αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο, που είναι ένας αένας κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (εργαζόμενο μέσο) σύμφωνα με το Σχήμα 1. Το ρευστό (ψυκτικό μέσο) που ρέει μέσα στις σωλήνες, στη θέση 1, είναι υγρό σε μεγάλη πίεση και θερμοκρασία, μετά το συμπίεστή. Στη θέση 1, αποβάλλεται η θερμότητα που απέδωσε κατά την συμπίεση ο συμπίεστής. Στη συνέχεια, το ψυκτικό μέσο εκτονώνεται στην εκτονωτική βαλβίδα (2), και εξατμίζεται (λόγω της πτώσης της πίεσης) στον εξατμιστή στη θέση 3, όπου ψύχεται και προσλαμβάνει θερμότητα. Στη συνέχεια το κρύο ψυκτικό μέσο, σε αέρια ακόμη μορφή, συμπιέζεται στον συμπίεστή, υγροποιείται, θερμαίνεται, αποβάλλει θερμότητα σε συνεχή λειτουργία.



Σχήμα1 - Ψυκτικός Κύκλος [7]

Το σημαντικό είναι ότι σε κάθε κύκλο, αποβάλλεται θερμότητα (ενέργεια) στη θέση 1 και προσλαμβάνεται στη θέση 3, άρα εφόσον ο κύκλος είναι διαρκής υπάρχει μια διαρκής μεταφορά θερμότητας από το σημείο 3 στο σημείο 1 και συνεπώς με τον ψυκτικό κύκλο είναι δυνατή η μεταφορά θερμότητας (ενέργειας) μεταξύ δυο σημείων. Από την πλευρά της θερμοδυναμικής ο κύκλος που περιγράφει αυτή την λειτουργία δίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 2 όπου παρουσιάζεται ένα λογαριθμικό ενδεικτικό διάγραμμα p-h (πίεσης-ενθαλπίας) για μία αντλία θερμότητας.



1'-1: Υπερθέρμανση στη γραμμή αναρρόφησης.

Το ενεργειακό ισοζύγιο με βάση τις παραπάνω μεταβολές διαμορφώνεται ως εξής:

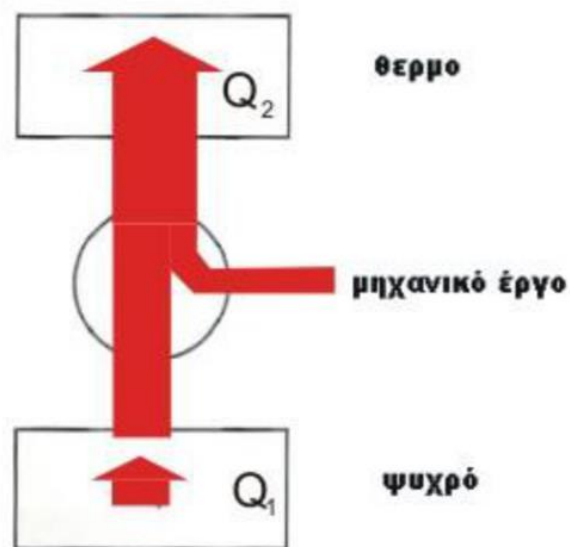
$$W = \Delta h = h_2 - h_1 \quad (2.1)$$

$$Q_1 = \Delta h = h_1 - h_4 \quad (2.2)$$

$$Q_2 = \Delta h = h_2 - h_3 \quad (2.3)$$

### Βαθμός απόδοσης αντλιών θερμότητας

Η ροή ενέργειας σε μια αντλία θερμότητας που λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα στην Εικόνα 3:



Εικόνα 3-Η ροή ενέργειας σε μία αντλία θερμότητας[7]

Η αντλία αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον μια ποσότητα θερμότητας (ενέργειας)  $Q_1$ , προσθέτει μηχανικό έργο ( $W$ ) στο συμπιεστή, και αποδίδει ποσό ενέργειας  $Q_2$  στον ψυχρό χώρο. Όταν η αντλία λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, το "θερμό" είναι ο χώρος, το "ψυχρό" το περιβάλλον, και το ζητούμενο είναι το  $Q_2$ , ενώ όταν αυτή λειτουργεί σε κατάσταση ψύξης, το "ψυχρό" είναι ο χώρος, το "θερμό" είναι το

περιβάλλον και το ζητούμενο είναι το Q1. Ο ενεργειακός ισολογισμός στο σχήμα, απαιτεί:

$$Q2=Q1+W \quad (2.4)$$

### **Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία θέρμανσης**

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ( $Q2 / W$  σε θέρμανση), ονομάζεται συντελεστής λειτουργίας Σ.Λ. ή συντελεστής απόδοσης της αντλίας (COP, Coefficient of Performance). <sup>[7]</sup>

$$COP = Q2 / W = (h2-h3) / (h2-h1) \quad (2.5)$$

### **Βαθμός απόδοσης σε λειτουργία ψύξης**

Ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο ( $Q1 / W$  σε ψύξη), ονομάζεται λόγος ενεργειακής απόδοσης της αντλίας (EER, Energy Efficiency Ratio).

$$EER = Q1 / W = (h1-h4) / (h2-h1) \quad (2.6)$$

Τόσο ο συντελεστής λειτουργίας **COP** όσο και ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης **EER** εξαρτώνται:

- από τη θερμοκρασία της "πηγής" (TQ1),
- από τη θερμοκρασία του "αποδέκτη" (TQ2),
- από τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας,
- από τις ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου.

και μεταβάλλονται διαρκώς, αφού τόσο η θερμοκρασία του ψυχρού (περιβάλλοντος στη θέρμανση - χώρου στην ψύξη) όσο και η θερμοκρασία θερμού (χώρου στη θέρμανση - περιβάλλοντος στην ψύξη) δεν είναι σταθερές, αλλά διαρκώς μεταβάλλονται. Για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης των αντλιών θερμότητας έχει καθιερωθεί η μέτρηση του COP και του EER σε τυποποιημένες συνθήκες (συνθήκες Eurovent) που είναι:

### **Για τη θέρμανση:**

- Θερμοκρασία θερμού = 20°C
- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7°C / 6°C WB (ψυχρού)

### **Για την ψύξη:**

- Θερμοκρασία ψυχρού = 27°C/ 19°C WB
- Θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 35°C

Οι βαθμοί απόδοσης σε συνθήκες Eurovent χαρακτηρίζουν την ποιότητα κατασκευής μιας αντλίας θερμότητας, αφού ο υπολογισμός τους αναφέρεται στις ίδιες συνθήκες για όλες τις αντλίες. Επειδή όμως, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας οι θερμοκρασίες δεν ισούνται με τις θερμοκρασίες που καθορίζονται στο πρότυπο Eurovent, ορίζεται και ο μέσος ή ετήσιος ειδικό βαθμός απόδοσης SCOP (για την θέρμανση) και το μέσο ή ετήσιο βαθμό ενεργειακής απόδοσης SEER (για λειτουργία ψύξης) οι οποίοι είναι στην ουσία οι μέσοι βαθμοί απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας σε ετήσια λειτουργία και αποτελούν το καλύτερο κριτήριο αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας.<sup>[6]</sup> Οι βαθμοί ετήσιας απόδοσης αντανακλούν την πραγματική κατανάλωση ενέργειας μιας αντλίας θερμότητας, με βάση την ενεργειακή της απόδοση για ένα ολόκληρο έτος. Οι δείκτες SEER και SCOP μετρούν την ετήσια κατανάλωση ενέργειας και την απόδοση κατά τη συνήθη καθημερινή χρήση. Μακροπρόθεσμα, λαμβάνουν υπ' όψιν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τις περιόδους αδράνειας και δίνουν μια σαφή και αξιόπιστη ένδειξη για την τυπική ενεργειακή απόδοση καθ' όλη την περίοδο θέρμανσης ή ψύξης.<sup>[8]</sup> Στις σύγχρονες αντλίες θερμότητας συναντώνται τιμές COP και EER μεγαλύτερες του 3.0, γεγονός που τις κατατάσσει στις συσκευές αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών.<sup>[7]</sup>

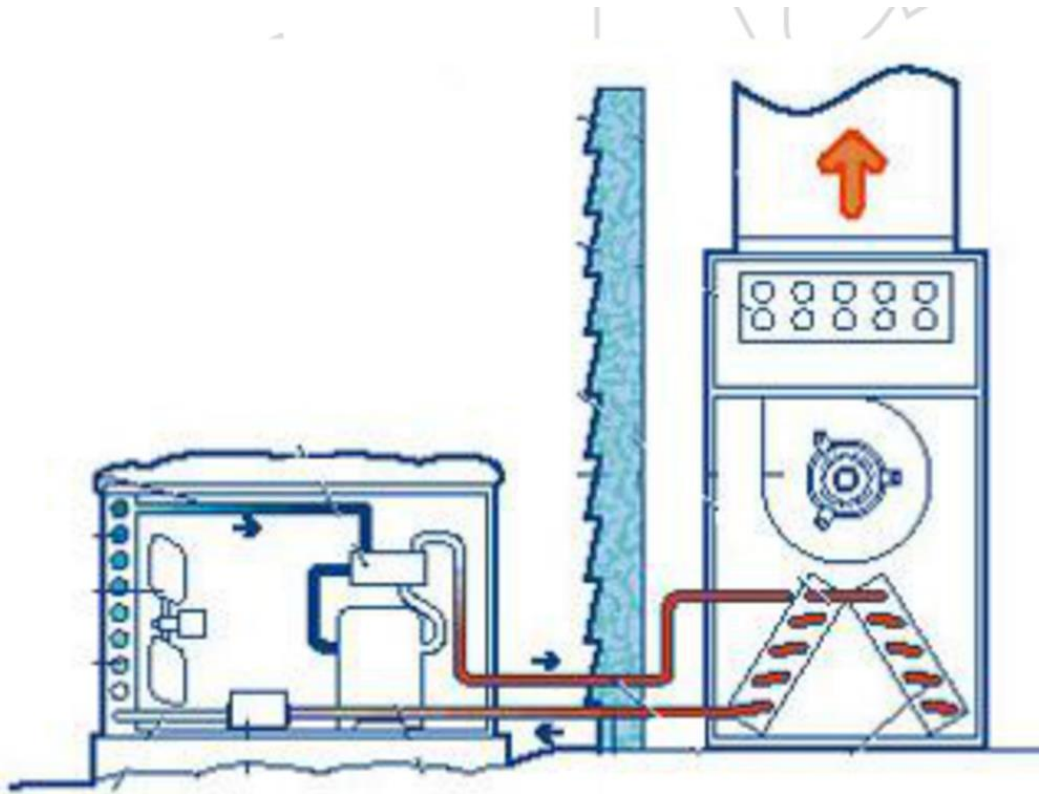
## **2.2 Είδη Αντλιών Θερμότητας**

Ανάλογα με το ρευστό στο οποίο αποβάλλει (ή από το οποίο προσλαμβάνει) την ενέργεια η αντλία στα σημεία (1) και (3) του ψυκτικού κύκλου, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται σε:



### 2.2.1 Αντλίες θερμότητας αέρα / αέρος

Οι αντλίες θερμότητας αέρα/αέρα αποτελούν το πιο ευρέως χρησιμοποιήσιμο είδος αντλιών θερμότητας για μεικτή χρήση θέρμανσης και ψύξης στον οικιακό τομέα, σε εργασιακούς χώρους και καταστήματα. Στις αντλίες θερμότητας αέρα/αέρα το ρευστό που προσδίδει και το ρευστό που προσλαμβάνει θερμότητα είναι ο αέρας. Σε λειτουργία θέρμανσης, πηγή θερμότητας είναι ο αέρας του περιβάλλοντος και η θερμική ισχύς αποδίδεται σε αέρα που κυκλοφορεί στο κτήριο. Μία κατηγορία αυτών των αντλιών θερμότητας είναι τα γνωστά κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου (split type), στα οποία το ένα στοιχείο (εναλλάκτης) βρίσκεται μέσα στο κτήριο και το άλλο βρίσκεται μαζί με το συμπιεστή έξω από το κτήριο. Είναι δυνατόν, βέβαια, να είναι και οι δύο εναλλάκτες μαζί με το συμπιεστή σε εξωτερικό χώρο, οπότε υπάρχει δίκτυο αεραγωγών που κυκλοφορεί τον επεξεργασμένο αέρα, κρύο ή ζεστό, ανάλογα με τη λειτουργία, εντός του κλιματιζόμενου κτηρίου. Σπανιότερος είναι ο τύπος στον οποίο εναλλάσσεται η διεύθυνση της ροής του κυκλοφορούντος εξωτερικού και εσωτερικού αέρα μέσω αεροδιαφραγμάτων (dampers). Στην περίπτωση αυτή οι θέσεις του συμπυκνωτή και του εξατμιστή παραμένουν σταθερές, αλλά ο κλιματιζόμενος αέρας που θα προσαχθεί στο χώρο περνά από τον εξατμιστή το καλοκαίρι και από το συμπυκνωτή το χειμώνα.<sup>[7]</sup>



Εικόνα 4 - Αντλίες θερμότητας αέρος/αέρος [7]

Η απόδοση αυτού του συστήματος εξαρτάται είτε για την θέρμανση είτε για την ψύξη από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του εξωτερικού αέρα και τον αέρα εντός του κτιρίου καθώς και την επιθυμητή θερμοκρασία που θέλουμε να πετύχουμε εντός του κτηρίου δηλαδή κατά πόσο αυτή είναι υψηλότερη η χαμηλότερη από την ήδη υπάρχουσα. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας και στις δύο περιπτώσεις τόσο αντίστοιχα μειώνεται και ο δείκτης COP κατά την θέρμανση και ο δείκτης EER κατά την ψύξη. Στους Πίνακες 1 και 2 παρατίθενται μερικές ενδεικτικές τιμές για την απόδοση αντλιών θερμότητας αέρα-αέρα σε λειτουργία θέρμανσης (Πίνακας 1) και λειτουργία ψύξης (Πίνακας 2) για διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος συναρτήσει διαφόρων τιμών θερμοκρασίας επιστροφής του αέρα.

Πίνακας 1-Τιμές COP αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα σε διάφορες θερμοκρασίες [9]

Εξωτερική θερμοκρασία αέρα °C (ξηρού βολβού)	Θερμοκρασία επιστροφή αέρα °C (ξηρού βολβού)	COP
-5	20	4.54
-5	22	4.63
-5	26	5.01
0	20	4.21
0	22	4.32
0	26	4.74
2	20	4.19
2	22	4.32
2	26	4.77
7	20	4.42
7	22	4.60
7	26	5.22
12	20	5.18
12	22	5.48
12	26	6.56

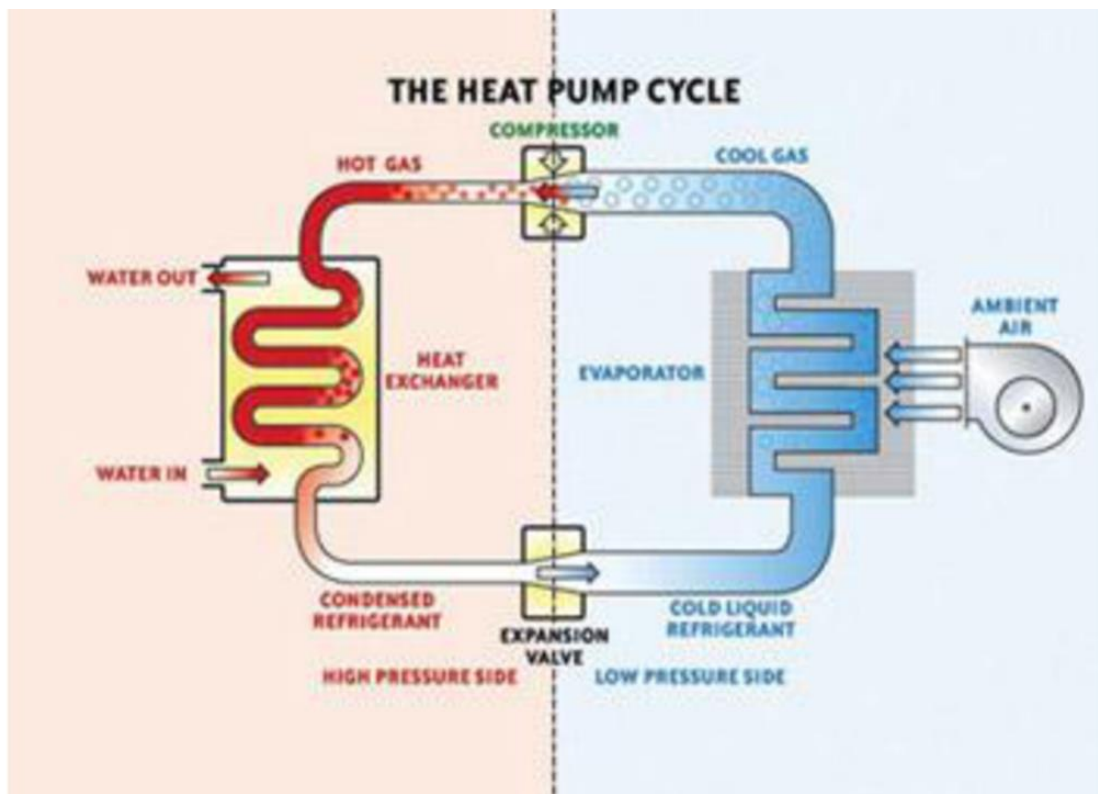
Πίνακας 2-Τιμές EER αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα σε διάφορες θερμοκρασίες [9]

Εξωτερική θερμοκρασία αέρα °C (ξηρού βολβού)	Θερμοκρασία επιστροφή αέρα °C (ξηρού βολβού)	EER
28	20	6.5
28	22	5.6
28	26	4.6
32	20	4.2
32	22	4.1
32	26	3.3
40	20	3.1
40	22	2.9
40	26	2.6

### 2.2.2. Αντλίες θερμότητας αέρος / νερού

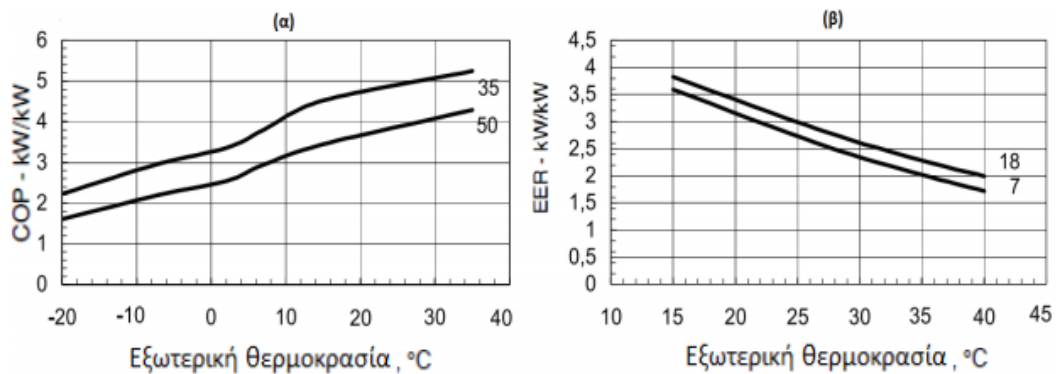
Οι αντλίες θερμότητας αέρος/νερού χρησιμοποιούνται συνήθως σαν κεντρικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης εσωτερικών χώρων που κατά βάση είναι μεγάλα κτηριακά σύνολα επαγγελματικού χαρακτήρα όπως γραφεία ή κτίρια βιομηχανικού τομέα. Οι συγκεκριμένες αντλίες στην μια πλευρά αντί για στοιχείο έχουν εναλλάκτη

ψυκτικού μέσου / νερού και αφαιρούν θερμότητα (ψύχουν) νερό αντί για αέρα. Με τις αντλίες αυτές δηλαδή, υπάρχει η δυνατότητα άντλησης θερμότητας από τον εξωτερικό αέρα και μεταφοράς του στο νερό και κατά την ψύξη το νερό απορροφά θερμότητα και την αποβάλλει στο περιβάλλον όπως γίνεται και στα κλιματιστικά μηχανήματα της προηγούμενης κατηγορίας. Ο τρόπος με τον οποίο η θερμική ενέργεια από το κύκλωμα της αντλίας θερμότητας στους υπόλοιπους εσωτερικούς χώρους είναι μέσω εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος είναι κομμάτι του κυκλώματος σωληνώσεων που μεταφέρουν το θερμό ή το ψυχρό νερό σε θερμαντικά σώματα συνήθως. Ο βαθμός απόδοσης και σε αυτήν την περίπτωση αντλιών θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού χώρου αλλά και την θερμοκρασιακή διαφορά που θέλουμε να πετύχουμε στις εσωτερικές συνθήκες. [7]



Εικόνα 5 - Αντλίες Θερμότητας αέρα / νερού [7]

Στο Σχήμα 6 βλέπουμε 2 ενδεικτικά διαγράμματα αποδοτικότητας αντλιών θερμότητας αέρα-νερού για σταθερές τιμές θερμοκρασίας για θέρμανση και ψύξη συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα.



Σχήμα6-Βαθμός αποδοτικότητας αντλίας αέρα-νερού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος σε λειτουργία θέρμανσης (α) και ψύξης (β) και διαφορετική θερμοκρασία νερού θέρμανσης (35/55° C) και ψύξης (18/7° C) [10]

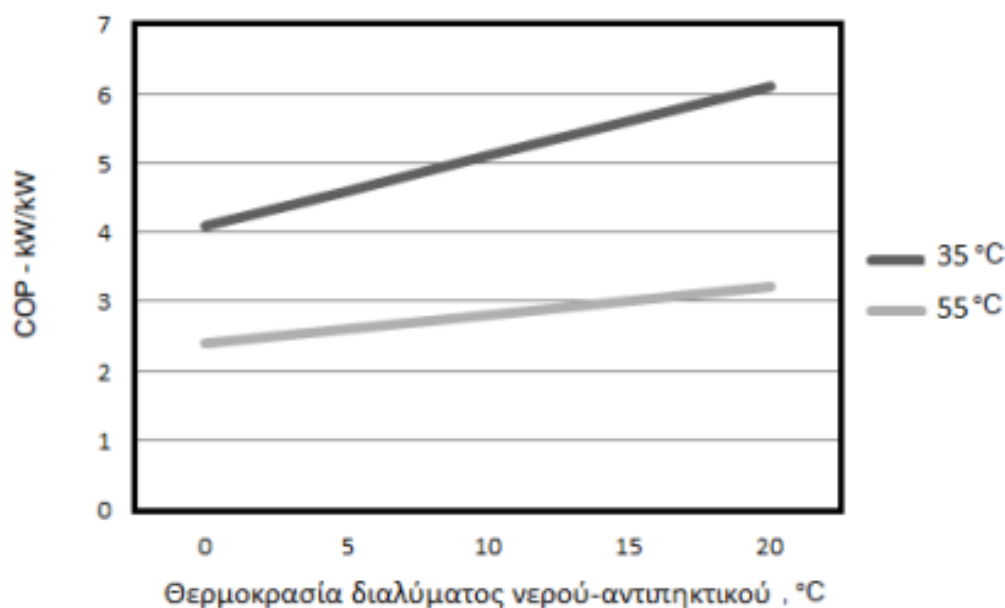
### 2.2.3. Αντλίες θερμότητας νερού / αέρα

Στις αντλίες θερμότητας νερού/αέρα το μέσο που μεταβάλλει τις εσωτερικές θερμοκρασίες ενός χώρου είναι ο αέρας. Από την άλλη το μέσο που προσδίδει ή απάγει θερμότητα είναι το νερό. Για να γίνει αυτό πρέπει να υπάρχει πηγή νερού θεωρητικά σταθερής θερμοκρασίας. Έτσι, ως μέσο άντλησης ή απόρριψης της θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιφανειακά ύδατα (νερό λίμνης, ποταμού) ή υπόγεια ύδατα μέσω γεωτρήσεων ή ίδια η θάλασσα. [7]

### 2.2.4. Αντλίες θερμότητας εδάφους / αέρα (ή νερού)

Αυτή η κατηγορία αντλιών θερμότητας χρησιμοποιεί ως αποθήκη ενέργειας το έδαφος για να αντλήσει η να απορρίψει θερμική ενέργεια. Λειτουργεί με ένα κλειστό σύστημα σωληνώσεων που κυκλοφορεί νερό (με αντιπηκτικό) το οποίο τοποθετείται μέσα στο έδαφος σε βάθη από 3m έως και 100m και εναλλάσσει θερμότητα μέσω του εδάφους. Στην συνέχεια λειτουργεί όπως και οι υπόλοιπες αντλίες θερμότητας αφού ο άλλος εναλλάκτης του συστήματος είναι το νερό η ο αέρας που μεταβάλλει τις εσωτερικές θερμοκρασίες ενός χώρου. Αυτό το είδος αντλιών θερμότητας επηρεάζεται πολύ από την κατασκευή του γεωεναλλάκτη γιατί ανάλογα με την σύσταση του εδάφους στο οποίο έχουν τοποθετηθεί οι σωληνώσεις με το νερό που κυκλοφορεί επηρεάζεται και η μετάδοση θερμότητας που θα γίνει με αυτό. Επίσης αποτελεί και ένα ακριβό είδος επένδυσης μιας και τα υλικά που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και να μπουν στο έδαφος θα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή στην

διάβρωση. Αυτό από μόνο του δεν κάνει ακριβό μόνο το κόστος εγκατάστασης αλλά και το κόστος συντήρησης. [7] Στο Σχήμα 7 βλέπουμε ένα ενδεικτικό διάγραμμα αποδοτικότητας αντλιών θερμότητας εδάφους-νερού για σταθερές τιμές θερμοκρασίας για θέρμανση συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας του εδάφους.

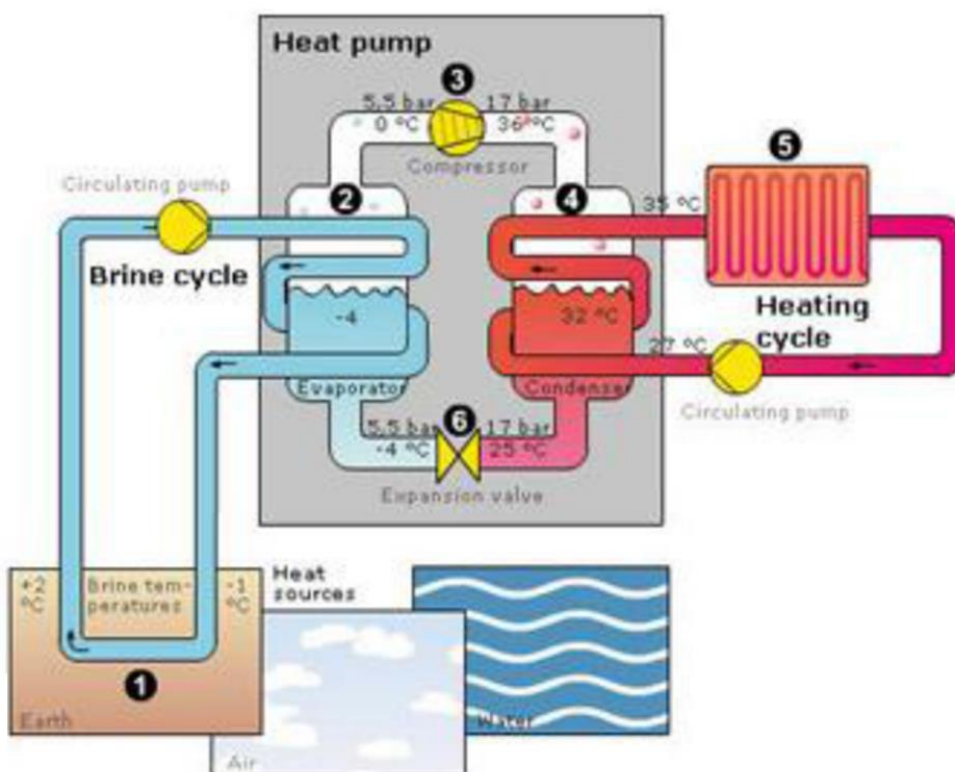


Εικόνα 7-Βαθμός αποδοτικότητας αντλίας θερμότητας εδάφους-νερού σε συνάρτηση με την θερμοκρασία διαλύματος νερού-αντιπηκτικού σε λειτουργία θέρμανσης και διαφορετική θερμοκρασία νερού θέρμανσης (35/55°C) [10]

### 2.2.5. Αντλίες θερμότητας νερού / νερού

Στις αντλίες αυτές και οι δύο εναλλάκτες είναι εναλλάκτες νερού. Οι αντλίες θερμότητας νερού / νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις με γεωεναλλάκτη (γεωθερμικές) ή σε εγκαταστάσεις που εναλλάσσουν θερμότητα με υδάτινους αποδέκτες όπως είναι η θάλασσα, οι λίμνες και τα πηγάδια. Αυτές οι περιπτώσεις αποτελούν ένα κλασσικό παράδειγμα χρήσης τέτοιου είδους αντλιών θερμότητας. Το πρωτεύον κύκλωμα αντλεί θερμική ενέργεια από την εκάστοτε πηγή μέσω σωληνώσεων ενώ το δευτερεύον κύκλωμα που είναι στο εσωτερικό του κτιρίου μεταφέρει την θερμική ενέργεια στο σύστημα που έχει εγκατασταθεί ως μέσω θέρμανσης με τα πιο συνηθισμένα τις μονάδες fan-coil και τα καλοριφέρ. Οι εγκαταστάσεις αυτές που αντλούν την θερμική τους ενέργεια από το υδάτινο περιβάλλον είτε αυτή είναι γεωθερμική πηγή που χρησιμοποιείτε για θέρμανση

συνήθως, είτε μία μεγάλη έκταση νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση και για ψύξη έχουν ένα μεγάλο πλεονέκτημα σε σχέση με συστήματα που αντλούν την θερμική τους ενέργεια από το αέρα. Αυτό το πλεονέκτημα αφορά τον δείκτη απόδοσης και οφείλετε καθαρά στο ότι οι μεγάλες υδάτινες επιφάνειες έχουν πολύ πιο αργή μεταβολή των θερμοκρασιών τους σε σχέση με τον αέρα και μικρότερα πλάτος ως προς τις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες που φτάνουν μέσα σε ένα κύκλο εποχών. Αυτό βέβαια προϋποθέτει ότι οι θερμοκρασίες αυτές είναι εκμεταλλεύσιμες και αποδοτικές ώστε να εγκατασταθεί ένα σύστημα αντλιών θερμότητας νερού/νερού. Ωστόσο ένα από τα βασικά μειονεκτήματα αυτού του είδους των εγκαταστάσεων είναι ότι αποτελούν ένα ακριβό είδος επένδυσης μιας και τα υλικά που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και να μπουν στο υδάτινο περιβάλλον θα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή στην διάβρωση καθώς επίσης και δύσκολη και με μεγάλο κόστος συντήρηση.<sup>[7]</sup>



Εικόνα 8 - Αντλίες θερμότητας νερού/νερού<sup>[7]</sup>

Στους Πίνακες 3 και 4 παρατίθενται μερικές ενδεικτικές τιμές για την απόδοση αντλιών θερμότητας νερού-νερού σε λειτουργία θέρμανσης (Πίνακας 3) και λειτουργία ψύξης (Πίνακας 4) για διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες νερού συναρτήσει διαφόρων τιμών θερμοκρασίας επιστροφής του νερού.

Πίνακας 3-Τιμές COP σε αντλίες θερμότητας νερού-νερού σε διάφορες θερμοκρασίες  
[9]

Θερμοκρασία εισόδου νερού °C	Θερμοκρασία εξόδου νερού °C	COP
6	1.8	5.91
10	7.4	6.53
15	12.4	7.38
18	13.6	7.93
20	17.3	8.31
6	1.5	5.32
8	5.2	5.60
12	9.2	6.19
15	12.3	6.62
20	17.2	7.46
5	0.9	3.97
6	1.9	4.09
10	7.4	4.56
18	15.3	5.61
20	17.3	5.90
8	6.1	3.84
13	8.3	3.90
10	10.9	4.35
15	12.8	4.56
18	15.8	4.90
20	17.7	5.13



Πίνακας 4-Τιμές EER σε αντλίες θερμότητας νερού-νερού για διάφορες θερμοκρασίες [9]

Θερμοκρασία εισόδου νερού °C	Θερμοκρασία εξόδου νερού °C	EER
20	24.50	5.71
25	29.49	4.57
30	34.61	3.73
35	39.82	3.07
40	45.06	2.55
45	50.35	2.11
20	24.38	5.93
25	29.53	4.80
30	34.70	3.94
35	39.89	3.27
40	45.12	2.73
45	50.39	2.28
20	24.49	6.50
25	29.62	5.32
30	34.77	4.43
35	39.93	3.72
40	45.12	3.15
45	50.34	2.68
20	24.47	6.81
25	29.60	5.62
30	34.73	4.70
35	40.02	4.02
40	44.95	3.43
45	50.01	2.94
20	24.44	7.11
25	29.55	5.90
30	34.68	4.96
35	39.81	4.22
40	44.98	3.62
45	50.16	3.11

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και με άλλες 2 παραμέτρους. Η 1<sup>η</sup> παράμετρος αφορά στον σχεδιασμό του και στο πως είναι τοποθετημένα τα

δομικά τους στοιχεία. Σε αυτήν την παράμετρο έχουμε 2 περιπτώσεις. Η 1<sup>η</sup> περίπτωση αφορά τις ενιαίες αντλίες θερμότητας (Compact) κατά τις οποίες όλα τα δομικά στοιχεία που τις αποτελούν είναι τοποθετημένα σε μία ενιαία κατασκευή. Η 2<sup>η</sup> περίπτωση αφορά τις διαιρούμενες αντλίες θερμότητας (Split units) στις οποίες ο ατμοποιητής ή ο συμπυκνωτής δεν εδράζονται στο ίδιο σύνολο με τα υπόλοιπα μέρη της αντλίας θερμότητας. Δεύτερη παράμετρος που τις κατηγοριοποιεί είναι ως προς το τι μηχανισμό χρησιμοποιούν για να λειτουργήσουν με τους πιο συνήθεις τρόπους να είναι με μηχανές εσωτερικής καύσης ή χρήση ηλεκτροκινητήρων.<sup>[7]</sup>

### **Κεφάλαιο 3. Τηλεθέρμανση & Τηλεψύξη**

Η τηλεθέρμανση είναι ένα σύστημα διανομής θερμότητας που παράγεται σε κεντρική τοποθεσία και μεταφέρεται μέσω ενός συστήματος μονωμένων σωλήνων για οικιακές και εμπορικές απαιτήσεις θέρμανσης όπως θέρμανση χώρου και θέρμανση νερού. Η θερμότητα λαμβάνεται συχνά από μια μονάδα συμπαραγωγής που καίει ορυκτά καύσιμα ή βιομάζα, αλλά χρησιμοποιούνται και γεωθερμικές πηγές, αντλίες θερμότητας και κεντρική ηλιακή θέρμανση και μονάδες πυρηνικής ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης μπορούν να παρέχουν υψηλότερη απόδοση και καλύτερο έλεγχο της ρύπανσης από τους διάσπαρτους τοπικούς λέβητες. Η τηλεθέρμανση με συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας είναι η φθηνότερη μέθοδος μείωσης των εκπομπών άνθρακα και έχει ένα από τα χαμηλότερα αποτυπώματα άνθρακα από όλες τις μονάδες παραγωγής. Τα σύγχρονα δίκτυα τηλεθέρμανσης δεν χρησιμοποιούν καύση επί τόπου και έχουν μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>. Χρησιμοποιούν μεταφορά θερμότητας, η οποία χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή από απομακρυσμένους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα.<sup>[10]</sup> Η τηλεψύξη είναι το ισοδύναμο ψύξης της τηλεθέρμανσης. Εργαζόμενη σε γενικά παρόμοιες αρχές με την τηλεθέρμανση, η τηλεψύξη παρέχει κρύο νερό σε κτίρια όπως γραφεία και εργοστάσια που χρειάζονται ψύξη. Το χειμώνα, η πηγή ψύξης μπορεί συχνά να είναι θαλασσινό νερό που χρησιμοποιείται άμεσα, επομένως είναι ένας φθηνότερος πόρος από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία συμπιεστών για ψύξη. Εναλλακτικά, η τηλεψύξη μπορεί να παρέχεται από ένα δίκτυο διανομής θερμότητας που επιτρέπει σε κάθε κτίριο στο κύκλωμα να χρησιμοποιεί μια αντλία θερμότητας για να απορρίπτει τη θερμότητα σε ένα κύκλωμα θερμοκρασίας

περιβάλλοντος. Υπάρχουν επίσης συστήματα τηλεθέρμανσης και ψύξης 5ης γενιάς που είναι σε θέση να παρέχουν ταυτόχρονα θέρμανση και ψύξη. Σε αυτά τα συστήματα η απόβλητη θερμότητα από ψυκτικά συγκροτήματα μπορεί να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρου ή παραγωγή ζεστού νερού.

[12]

### **3.1.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 1ης γενιάς**

Η πρώτη γενιά συστημάτων τηλεθέρμανσης ήταν ένα σύστημα με ατμό που τροφοδοτούνταν από άνθρακα και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στις ΗΠΑ το 1880 και έγινε δημοφιλής και σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες. Ήταν προηγμένης τεχνολογίας μέχρι τη δεκαετία του 1930 και χρησιμοποίησε αγωγούς από σκυρόδεμα, λειτουργούσε με πολύ υψηλές θερμοκρασίες και επομένως δεν ήταν πολύ αποτελεσματική. Υπήρχαν επίσης προβλήματα αξιοπιστίας και ασφάλειας λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης ατμών. Σήμερα, αυτή η γενιά είναι τεχνολογικά ξεπερασμένη. Ωστόσο, ορισμένα από αυτά τα συστήματα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα στη Νέα Υόρκη και στο Παρίσι. Άλλα συστήματα που κατασκευάστηκαν αρχικά μετατράπηκαν σε συστήματα μεταγενέστερων γενιών.

[13]

### **3.2.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 2ης γενιάς**

Η δεύτερη γενιά συστημάτων τηλεθέρμανσης αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1930 και εφαρμόστηκε μέχρι τη δεκαετία του 1970. Χρησιμοποιούσε ως καύσιμο άνθρακα και πετρέλαιο και η ενέργεια μεταφερόταν μέσω θερμού νερού υπό πίεση ως φορέα θερμότητας. Τα συστήματα είχαν συνήθως θερμοκρασίες τροφοδοσίας άνω των 100 °C, χρησιμοποιώντας χαλύβδινους σωλήνες νερού σε αγωγούς από σκυρόδεμα, κυρίως συναρμολογημένους επί τόπου με βαρύ εξοπλισμό. Ένας κύριος λόγος χρήσης για αυτά τα συστήματα ήταν η εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία προέκυπτε από τη χρήση συνδυασμένων μονάδων θερμότητας και παραγωγής ενέργειας (CHP).<sup>[14]</sup> Οι μονάδες συμπαραγωγής είναι εγκαταστάσεις που αξιοποιούν την απορριπτόμενη θερμότητα από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα εργοστάσια συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (CHP) όπως ονομάζονται ανακτούν την απορριπτόμενη θερμική ενέργεια με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση. Αυτό ονομάζεται επίσης συνδυασμένη θέρμανση.<sup>[15]</sup> Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος τηλεθέρμανσης (DH ή district heating) 2ης γενιάς σε σύγκριση με το

σύστημα τηλεθέρμανσης (DH) 1ης γενιάς είναι η αυξημένη ενεργειακή απόδοση λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας και ο μειωμένος κίνδυνος και συνεπειών σε περίπτωση διαρροών. Επιπλέον, οι προκλήσεις που σχετίζονται με τη διάβρωση που υπήρχαν στην 1η γενιά εξαλείφθηκαν. <sup>[14]</sup>

### 3.3.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 3ης γενιάς

Το κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων τηλεθέρμανσης (DH) 3ης γενιάς είναι τα υλικά και τα εξαρτήματα που εφαρμόζονται σε συνδυασμό με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες μεταφοράς του νερού. Τα εξαρτήματα αποτελούνται από προμονωμένους σωλήνες που θάβονται απευθείας στο έδαφος που συνδέονται με προκατασκευασμένους υποσταθμούς οι οποίοι διανέμουν τη θερμική ενέργεια. Τα συστήματα τηλεθέρμανσης 3ης γενιάς αναφέρονται επίσης ως τεχνολογία σκανδιναβικής τηλεθέρμανσης, καθώς η ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση έγινε κυρίως από προμηθευτές που εδρεύουν στη Σκανδιναβία. Η κύρια περίοδος της 3ης γενιάς ξεκίνησε το 1980 και σήμερα βρίσκεται στο στάδιο μετάβασης για την 4ης γενιά. Το υπό πίεση νερό χρησιμοποιείται ως φορέας θερμότητας, σχεδιασμένο να λειτουργεί σε θερμοκρασίες κάτω από 110 °C αλλά στην πραγματικότητα λειτουργεί σε θερμοκρασίες κάτω από 100 °C. Η τηλεθέρμανση 3ης γενιάς εισήχθη στη δεκαετία του 1970 και έχει εφαρμοστεί σε όλα σχεδόν τα νέα σχέδια και έργα ανακαίνισης περίπου από το 1980. Το κίνητρο για αυτή την αλλαγή ήταν η αυξημένη εστίαση στο χαμηλότερο κόστος κατασκευής και στην μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση του συστήματος. Ακόμα ένας παράγοντας ήταν η επάρκεια καύσιμης ύλης που εξαιτίας της κρίσης του πετρελαίου, έπρεπε να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις για την λειτουργία του συστήματος. Αυτό περιελάμβανε την καύση βιομάζας και αποβλήτων. Ως άμεση συνέπεια της πετρελαϊκής κρίσης η κατασκευή μονάδας συμπαραγωγής (CHP) κατέστη υποχρεωτική και εφαρμόστηκε σε πολλές χώρες. Αυτό ενίσχυσε σημαντικά την ανάπτυξη του συστήματος τηλεθέρμανσης σε αυτήν την περίοδο. Η ανάπτυξη της τηλεθέρμανσης 3ης γενιάς οδήγησε σε πολλά οφέλη σε σύγκριση με τη 2η γενιά συστημάτων τηλεθέρμανσης. <sup>[16]</sup> Τα οφέλη είναι:

- Μείωση των επιπέδων θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα εξοικονόμηση θερμικών απωλειών διανομής και καλύτερη απόδοση. Οι γενικά χαμηλότερες θερμοκρασίες άνοιξαν την ευκαιρία για χρήση άλλων χαμηλού κόστους υλικών κατασκευής και ανανεώσιμων πηγών θερμότητας.

- Αύξηση της θερμικής αντίστασης της μόνωσης, με αποτέλεσμα εξοικονόμηση θερμικών απωλειών διανομής.
- Προ-μονωμένοι σωλήνες, που οδηγούν σε μεγάλη διάρκεια ζωής και μειωμένο χρόνο εγκατάστασης.
- Συστήματα ανίχνευσης διαρροών για τους σωλήνες.
- Χρήση μετρητών ενέργειας για χρέωση σύμφωνα με την πραγματική κατανάλωση.
- Εξαρτήματα και συστήματα υψηλότερης ποιότητας και αποτελεσματικότητας.
- Συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης για τη βέλτιστη λειτουργία και αποστολή φορτίων μεγαλύτερων συστημάτων.
- Μείωση του επενδυτικού κόστους με προ-μονωμένους σωλήνες θαμμένους απευθείας στο έδαφος χωρίς αρμούς διαστολής.
- Προκατασκευασμένοι υποσταθμοί.
- Βελτιωμένες μέθοδοι κατασκευής σωλήνων DH εμπνευσμένες από την τεχνολογία σωληνώσεων αερίου.
- Μέθοδοι χωρίς σκάψιμο.
- Καμπύλοι σωλήνες
- Προκατασκευασμένες αρθρώσεις.
- Πιο οικονομικά αποδοτικές και μεγαλύτερες δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας χωρίς πίεση

Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος DH 3ης γενιάς σε σύγκριση με το σύστημα DH 2ης γενιάς είναι η αυξημένη ενεργειακή απόδοση λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών λειτουργίας και του μειωμένου κόστους επένδυσης και λειτουργίας λόγω περισσότερων προκατασκευών, προ-εγκατάστασης και προ-μόνωσης στο εργοστάσιο . Επίσης, το μείγμα καυσίμου έχει αλλάξει τροφοδοτώντας πιο πράσινες και ανανεώσιμες πηγές, με αποτέλεσμα χαμηλότερες εκπομπές. Η 3η γενιά έχει συμβάλει πολύ και εξακολουθεί να έχει μεγάλες δυνατότητες για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων. <sup>[16]</sup>

### 3.4.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 4ης γενιάς

Επί του παρόντος τηλεθέρμανση αναπτύσσεται, με τη μετάβαση στην 4η γενιά που βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη στη Δανία. Η 4η γενιά έχει σχεδιαστεί για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την ενσωμάτωση υψηλών μεριδίων μεταβλητής ανανεώσιμης ενέργειας στην τηλεθέρμανση παρέχοντας υψηλή ευελιξία στο ηλεκτρικό σύστημα. Αυτά τα συστήματα πρέπει να έχουν τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Δυνατότητα παροχής τηλεθέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση χώρου και ζεστό νερό οικιακής χρήσης (DHW) σε υπάρχοντα κτίρια, ανακαινισμένα κτίρια και νέα κτίρια χαμηλής ενέργειας.
- Ικανότητα διανομής θερμότητας σε δίκτυα με χαμηλές απώλειες δικτύου.
- Δυνατότητα ανακύκλωσης θερμότητας από πηγές χαμηλής θερμοκρασίας και ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών θερμότητας, όπως η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια.
- Δυνατότητα να είναι ένα ολοκληρωμένο μέρος των συστημάτων έξυπνης ενέργειας (δηλαδή ολοκληρωμένου έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου, αερίου, ρευστών και θερμικών δικτύων) συμπεριλαμβανομένου του ολοκληρωμένου μέρους των συστημάτων τηλεψύξης 4ης γενιάς.
- Δυνατότητα διασφάλισης κατάλληλων δομών σχεδιασμού, κόστους και κινήτρων σε σχέση με τη λειτουργία καθώς και με στρατηγικές επενδύσεις που σχετίζονται με τη μετατροπή σε μελλοντικά συστήματα βιώσιμης ενέργειας.

Σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές, τα επίπεδα θερμοκρασίας μειώθηκαν για να αυξήσουν την ενεργειακή απόδοση του συστήματος, με θερμοκρασίες από πλευράς τροφοδοσίας 70 ° C και χαμηλότερες. Πιθανές πηγές θερμότητας είναι η απορριπτόμενη θερμότητα από τη βιομηχανία, τα εργοστάσια παραγωγής καυσίμων, τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, η γεωθερμική και ηλιακή θερμική ενέργεια (κεντρική ηλιακή θέρμανση), οι αντλίες θερμότητας μεγάλης κλίμακας και αυτό γίνεται όταν σε αυτές της μονάδες προστεθεί μία μονάδα Συμπαραγωγής (CHP) ώστε να εκμεταλλευτεί όσο το δυνατόν περισσότερη από την απορριπτόμενη

θερμότητα αυτών των εγκαταστάσεων. Με αυτές τις πηγές ενέργειας και αποθήκευση θερμικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας, συμπεριλαμβανομένης της εποχικής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, τα συστήματα τηλεθέρμανσης 4ης γενιάς αναμένεται να παρέχουν ευελιξία για την εξισορρόπηση της παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας αντλίες θερμότητας για να ενσωματώσουν την πλεονάζουσα ισχύ ως θερμότητα όταν υπάρχει πολύ αιολική ενέργεια ή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες βιομάζας όταν απαιτείται εφεδρική ισχύς. Επομένως, οι αντλίες θερμότητας μεγάλης κλίμακας θεωρούνται βασική τεχνολογία για έξυπνα ενεργειακά συστήματα με υψηλά ποσοστά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως 100% και προηγμένα συστήματα τηλεθέρμανσης 4ης γενιάς. <sup>[13]</sup>

### **3.5.Συστήματα τηλεθέρμανσης & ψύξης 5ης γενιάς**

Ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης και ψύξης 5ης γενιάς διανέμει θερμότητα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος κοντά στο έδαφος. Αυτό ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας στο έδαφος και μειώνει την ανάγκη για εκτεταμένη μόνωση. Κάθε κτίριο στο δίκτυο χρησιμοποιεί μια αντλία θερμότητας στο δικό της δωμάτιο εγκατάστασης για να εξαγάγει θερμότητα από το κύκλωμα περιβάλλοντος όταν χρειάζεται θερμότητα και χρησιμοποιεί την ίδια αντλία θερμότητας αντίστροφα για να απορρίψει τη θερμότητα όταν χρειάζεται ψύξη. Αυτό επιτρέπει την ανακύκλωση της απορριπτόμενης θερμότητας από την ψύξη σε εκείνα τα κτίρια που χρειάζονται θέρμανση σε ένα "δίκτυο διανομής θερμότητας". Η συνολική θερμοκρασία εντός του κυκλώματος περιβάλλοντος ελέγχεται από την ανταλλαγή θερμότητας με έναν υδροφορέα ή άλλη πηγή νερού για να παραμείνει εντός θερμοκρασίας από 10 ° C έως 25 ° C. Ένα σύγχρονο κτίριο με εσωτερικό σύστημα διανομής θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να εγκαταστήσει μια αποτελεσματική αντλία θερμότητας που παρέχει θερμότητα στους 45 ° C. Ένα παλαιότερο κτίριο με σύστημα εσωτερικής διανομής υψηλότερης θερμοκρασίας, όπως το καλοριφέρ, θα απαιτήσει αντλία θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας για την παροχή θερμότητας. Οι σωληνώσεις δικτύου για δίκτυα θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι λιγότερο δαπανηρές από τις προηγούμενες γενιές, καθώς δεν χρειάζεται βαριά μόνωση για τα κυκλώματα σωληνώσεων και ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας στο έδαφος. Όλα τα κτίρια στο δίκτυο πρέπει να εγκαταστήσουν και να συντηρήσουν μεμονωμένα συστήματα αντλίας θερμότητας, για να καλύψουν τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, το καθένα

με χωρητικότητα να ικανοποιήσει τη δική του μέγιστη ζήτηση. Επειδή τα συστήματα τηλεθέρμανσης και ψύξης 5ης γενιάς λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη. Ο ψυχρός δακτύλιος που τροφοδοτεί τις αντλίες θερμότητας μπορεί να τροφοδοτείται από διάφορες (χαμηλής θερμοκρασίας) πηγές θερμότητας, όπως θερμότητα περιβάλλοντος, νερό περιβάλλοντος από ποτάμια, λίμνες, θάλασσα ή λιμνοθάλασσες και η απορριπτόμενη θερμότητα από βιομηχανικές ή εμπορικές πηγές. <sup>[16]</sup>

Πίνακας 5 - Βασικές αλλαγές των συστημάτων τηλεθέρμανσης ανά γενεές [6]

Συστήματα τηλεθέρμανσης (DH)	Μέσο μεταφοράς θερμότητας	Τρόπος μεταφοράς θερμότητας	Θερμοκρασία τροφοδοσίας	Πηγές ενέργειας	Σκοπός
<b>1<sup>ης</sup> γενιάς</b>	Ατμός	Χαλύβδινοι σωλήνες σε αγωγούς από σκυρόδεμα	Ατμός >100 °C	Άνθρακας	Θέρμανση
<b>2<sup>ης</sup> γενιάς</b>	Νερό	Χαλύβδινοι σωλήνες σε αγωγούς από σκυρόδεμα	Νερό >100 °C	Άνθρακας και πετρέλαιο	θέρμανση
<b>3<sup>ης</sup> γενιάς</b>	Νερό	Προ-μονωμένοι σωλήνες	Νερό <100 °C	Πετρέλαιο, Καύση βιομάζας και αποβλήτων	θέρμανση
<b>4<sup>ης</sup> γενιάς</b>	Νερό	Προ-μονωμένοι σωλήνες	Νερό < 70 °C	Απορριπτόμενη θερμότητα εγκαταστάσεων, ΑΠΕ	θέρμανση
<b>5<sup>ης</sup> γενιάς</b>	Νερό	Ελάχιστα ή και καθόλου μονωμένοι σωλήνες	Νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος	Θάλασσα, λίμνες, γεωθερμικές πηγές	Θέρμανση και ψύξη

Τα αποτελέσματα σχετικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διαφόρων γενεών συστημάτων τηλεθέρμανσης, συνοψίζονται παραπάνω στον Πίνακα 1.



## Κεφάλαιο 4. Χρήση των αντλιών θερμότητας για τηλεθέρμανση και τηλεψύξη

Από μελέτη που διεξήχθη στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει καταστεί σαφές ότι η τηλεθέρμανση θα πρέπει να καλύψει πόσα ζήτησης ενέργειας σε ένα ποσοστό κάλυψης του 50% της συνολικής ζήτησης στα επόμενα χρόνια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι ο συνδυασμός των αντλιών θερμότητας μικρής, μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας με το σύστημα μεταφοράς της ενέργειας είναι το κλειδί για ακόμα πιο αποδοτικά συστήματα θέρμανσης σε συνδυασμό με ψύξη αυτού του είδους. Ο λόγος είναι ότι οι αντλίες θερμότητας μπορούν να έχουν ως πηγή ανταλλαγής ενέργειας μια μεγάλη ποσότητα διαφορετικών στοιχείων τα οποία υπάρχουν σε μεγάλη ποσότητα και χωρίς επιπτώσεις από την χρήση τους. Επιπλέον λόγοι που κάνουν αυτού του είδους τις εγκαταστάσεις πολύ ελκυστικές είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης που παρουσιάζουν σε σχέση με την καταναλισκόμενη ενέργεια, οι μειωμένες εκπομπές ρύπων που επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά και η δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης του ίδιου δικτύου παροχής ενέργεια για θέρμανση και ψύξη.<sup>[3]</sup>

### 4.1 Πηγές θερμότητας

Στις εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι τύποι πηγών ενέργειας:

**Βιομηχανική θερμότητα αποβλήτων** - Αυτός ο τύπος πηγής θερμότητας παράγεται από διάφορες βιομηχανικές διεργασίες και έχει εύρος θερμοκρασίας της πηγής θερμότητας μεταξύ 12 και 46 ° C.

**Γεωθερμικό νερό**— Αποτελούν έναν κοινό τρόπο άντλησης θερμότητας με μεγάλο εύρος θερμοκρασίας για την πηγή θερμότητας, μεταξύ 9 και 55 ° C.

**Καπναέρια** —Τα Καπναέρια έχουν ένα εύρος θερμοκρασίας στην πηγή θερμότητας μεταξύ 34 και 60 ° C.

**Ηλιακή αποθήκευση θερμότητας** - Όλες οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο πηγής ηλιακής θερμότητας βρίσκονται στη Δανία. Αυτές είναι τρεις μονάδες και όλες έχουν χωρητικότητα 4 MW η κάθε μία, με μέση ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 MW. Τα εύρη θερμοκρασίας για τις πηγές θερμότητας είναι μεταξύ 10 και 35 ° C.

[15]

**Νερό λυμάτων** –Αποτελεί την πιο συχνή πηγή θερμότητας και χρησιμοποιείται από το 1981 με εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 10 και 20 ° C.

**Νερό περιβάλλοντος** –Το νερό περιβάλλοντος αποτελείται από το νερό της θάλασσας, της λίμνης και των ποταμών και έχει εύρος θερμοκρασίας της πηγής θερμότητας από 2 έως 15 ° C.<sup>[2]</sup> Σημαντικές παράμετροι για την αξιολόγηση του θαλασσινού νερού για μια επιτυχημένη εφαρμογή αντλίας θερμότητας είναι η θερμοκρασία του, τι ποσοστό σε άλατα έχει και η βιοσύνθεση που αυτό έχει καθώς επηρεάζουν την μέθοδο αλλά και τα υλικά κατασκευής που θα εφαρμοστούν για την πρόσληψη του. <sup>[3]</sup>

### **Θερμοκρασία θαλασσινού νερού**

Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού είναι η πρώτη παράμετρος αφού είναι η πηγή θερμότητας για εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας που το χρησιμοποιούν ως θερμοαπαγωγό μέσο. Σε λειτουργία θέρμανσης κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με δεδομένη θερμοκρασία κτιρίου σε εσωτερικό χώρο, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού, τόσο υψηλότερο είναι το COP που μπορεί να επιτύχει μία εγκατάσταση SWHP. Το σύστημα SWHP ανταλλάσσει συνήθως θερμότητα με θαλασσινό νερό που έρχεται από συγκεκριμένο βάθος της θάλασσας και τα σημεία εισροής κυμαίνονται από 10 έως 20 μέτρα στην εφαρμογή μικρού βάθους. Σε αυτό το βάθος, το θαλασσινό νερό έχει λιγότερη ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας σε σύγκριση με το νερό της επιφάνειας της θάλασσας, το οποίο επηρεάζεται στιγμιαία από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία του αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία και τον άνεμο.<sup>[18]</sup>

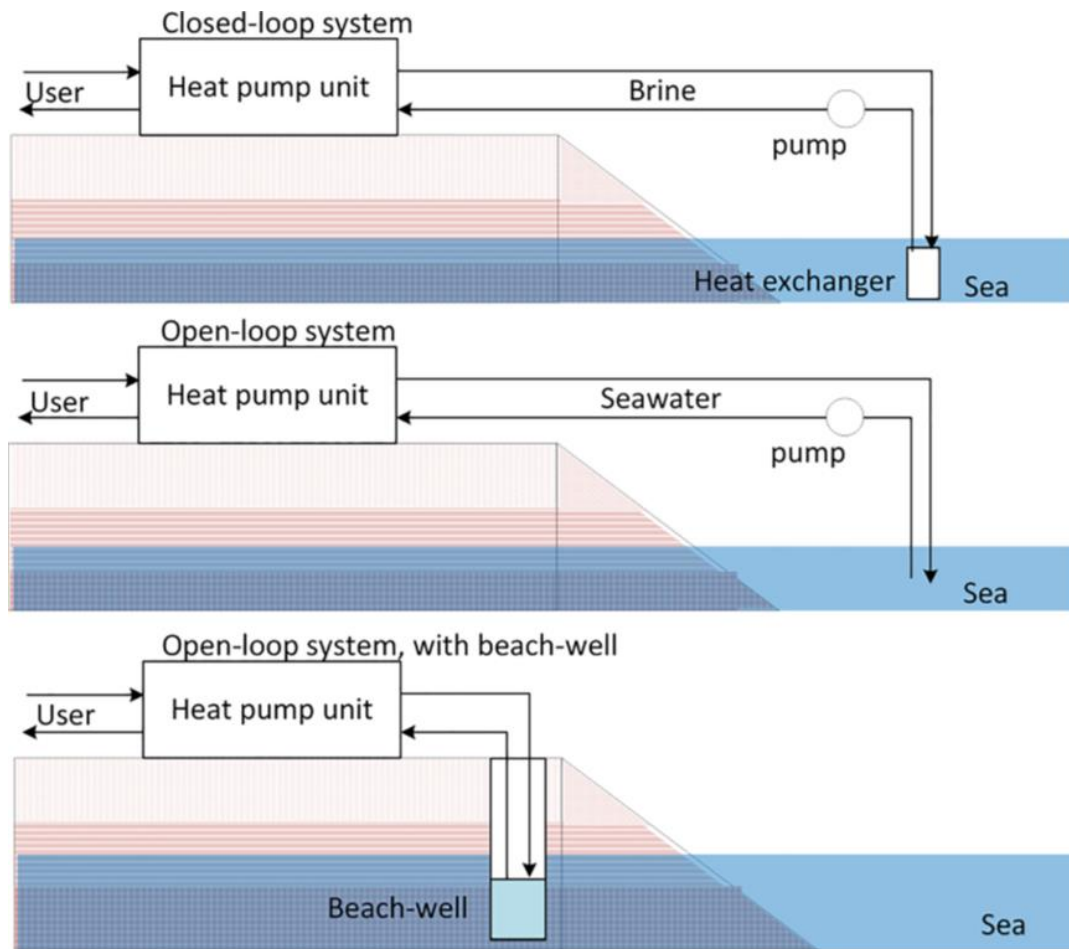
### **Σύσταση θαλασσινού νερού**

Το θαλασσινό νερό είναι μια σύνθεση νερού με άλατα. Η παρουσία αλατιού είναι ο κύριος λόγος διάβρωσης μέσω της διαδικασίας της ηλεκτροχημικής διάβρωσης. Μεταλλικά εξαρτήματα που έχουν επαφή και κατευθύνουν το θαλασσινό νερό, όπως εναλλάκτες θερμότητας, αγωγοί υγρού με υγρό καθώς και οι αντλίες πρέπει να κατασκευάζονται από ανθεκτικά στη διάβρωση υλικά όπως τιτάνιο, κράματα με βάση το νικέλιο ή κράματα από ανοξείδωτο χάλυβα. Ωστόσο, λόγω του υψηλού κόστους τέτοιων υλικών, καθίσταται αναγκαία η χρήση μη μεταλλικά υλικών, όπως

θερμοπλαστικά, για να αντικαταστήσουν τα μεταλλικά στους εναλλάκτες θερμότητας θαλασσινού νερού. Συνήθως χρησιμοποιείται εναλλάκτης θερμότητας τιτανίου, ο οποίος μπορεί να είναι 2 έως 3 φορές ακριβότερος από εναλλάκτες κατασκευασμένους από άλλα μεταλλικά υλικά. Οι δοκιμές έχουν δείξει ότι το ποσοστό σε άλατα του θαλασσινού νερού έχει πολύ περιορισμένη επίδραση στο ιξώδες και την επακόλουθη ισχύ άντλησης. Έρευνα απέδειξε ότι όταν το ποσοστό σε άλατα του θαλασσινού νερού κυμαίνεται από 0,0% έως 3,5%, οι αλλαγές στο ιξώδες είναι μικρότερες από 5%, επομένως δεν επιφέρει σημαντική αύξηση της ισχύος άντλησης. <sup>[18]</sup>

### **Μέθοδος πρόσληψης θαλασσινού νερού**

Η μέθοδος πρόσληψης θαλασσινού νερού μπορεί να κατηγοριοποιείται σε σύστημα ανοιχτού βρόχου ή κλειστού βρόχου. Το σύστημα ανοιχτού βρόχου μεταφέρει φρέσκο θαλασσινό νερό σε εναλλάκτες θερμότητας και έπειτα το απορρίπτει πίσω στη θάλασσα. Για το σύστημα κλειστού βρόχου, ένας κλειστός βρόχος άλμης παρεμβάλλεται μεταξύ της θάλασσας και της μονάδας αντλίας θερμότητας, έτσι ώστε η μονάδα αντλίας θερμότητας ανταλλάσσει θερμότητα με άλμη. Μερικές φορές μπορεί να διανοιχθεί ένα πηγάδι στην παραλία και να χρησιμοποιείται διηθημένο θαλασσινό νερό. Βρέθηκε ότι με μια τέτοια προσθήκη το σύστημα SWHP έχει υψηλότερη τιμή COP, δεδομένου ότι η θερμοκρασία του διηθημένου νερού είναι 2°C πιο υψηλή από το θαλασσινό νερό το χειμώνα και 2°C χαμηλότερη από το θαλασσινό νερό το καλοκαίρι. Στο σχήμα της εικόνας9 εμφανίζονται διάφορες διαμορφώσεις των μεθόδων πρόσληψης θαλασσινού νερού. <sup>[18]</sup>



Εικόνα 9-Μέθοδοι εισαγωγής θαλασσινού νερού σε συστήματα αντλιών θερμότητας

[18]

### Μικροοργανισμοί θαλασσινού νερού

Κατά την λειτουργία αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό, ειδικά στη λειτουργία ψύξης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού μπορεί να φτάσει τους 25 ° C ή και να τους ξεπεράσει, το οποίο σημαίνει ότι παρέχονται οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την αναπαραγωγή και αύξηση των θαλάσσιων οργανισμών. Οι πλαγκτονικοί μικροοργανισμοί μπορούν να αναπτύξουν ένα βιοφίλμ συνδεδεμένο στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό τοίχωμα των αγωγών ή στους εναλλάκτες θερμότητας που έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, που κατά συνέπεια οδηγούν σε βιορύπανση. Σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στα συστήματα SWHP's από το "Biofouling" περιλαμβάνει την απόφραξη χωρίς ροή νερού και επακόλουθη μηχανική ζημιά στις αντλίες, φράξιμο του νερού στους σωλήνες καθώς και μείωση της αποτελεσματικότητας μεταφοράς θερμότητας. Επιπλέον, η ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών μπορεί να οδηγήσει στη

μικροβιολογικά επηρεασμένη διάβρωση στις μεταλλικές επιφάνειες λόγω της αλλαγής των ηλεκτροχημικών ιδιοτήτων του νερού. Για μια επιτυχημένη εφαρμογή, θα πρέπει να αποφεύγεται η βιοσύνθεση. Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως φυσικός έλεγχος, φυσικός καθαρισμός και χημική δοσολογία βιοκτόνων. Ο φυσικός έλεγχος αναφέρεται στη χρήση υψηλής πίεσης ροής νερού για απομάκρυνση των μακροφάγων ή τους οικισμούς μικροοργανισμών από τους αγωγούς και τους εναλλάκτες θερμότητας. Για τον φυσικό καθαρισμό μπορεί να γίνει η χρήση σπόγγων από καουτσούκ για την αφαίρεση βιοφίλμ. Εκτός από τον φυσικό καθαρισμό, απαιτούνται σχετικές χημικές διεργασίες όπως η χρήση βιοκτόνων. Επί του παρόντος, η χλωρίωση εξακολουθεί να είναι το πιο κοινό βιοκτόνο για τον έλεγχο της βιορύπανσης. Όμως η χλωρίωση έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία λόγω των υποπροϊόντων χλωρίωσης. Πρέπει λοιπόν να γίνουν επεξεργασίες χλωρίωσης ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα προκειμένου να διατηρηθούν τα υπολείμματα χλωρίου σε χαμηλά επίπεδα μεταξύ 0,3-0,5 ppm. <sup>[18]</sup>

#### **4.2. Τύποι αντλιών θερμότητας στην τηλεθέρμανση και ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται**

Οι τύποι αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούνται στην τηλεθέρμανση είναι συνήθως νερού-νερού ή νερού-αέρα και μπορεί να είναι από μερικά kW στις μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις έως αρκετά MW στις μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας δεν αλλάζουν ιδιαίτερα και είναι αυτά που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2 αυτής της εργασίας. Ένα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό των αντλιών θερμότητας ανάλογα με τον σκοπό στον οποίο έχουν να αντεπεξέλθουν είναι τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούν. Τα ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούν οι αντλίες θερμότητας χωρίζονται στα φυσικά και στα συνθετικά. Στα φυσικά κατατάσσονται η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ενώ στα συνθετικά κατατάσσονται οι υδρογονάνθρακες (HFC). Τα φυσικά ψυκτικά έχουν το πολύ μεγάλο πλεονέκτημα του ότι δεν επιβαρύνουν κατά την χρήση τους με εκπομπές το φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP) και της τρύπας του όζοντος (ODP) πράγμα που έχει μεγάλη βαρύτητα.

Φυσικά ψυκτικά:

Αμμωνία (NH<sub>3</sub>): Η αμμωνία σαν ψυκτικό μέσω χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις μεσαίας και μεγάλης κλίμακας. Οι θερμοκρασίες που μπορεί να λειτουργήσει φτάνουν τους 90°C και επιτυγχάνουν COP μεγαλύτερο του 3. Κατά την χρήση της θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ασφαλείας μιας και είναι ένα μερικός εύφλεκτο και τοξικό ψυκτικό. Η χρήση της γίνεται μόνο σε αντλίες θερμότητας που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για λειτουργία με αμμωνία λόγω των διαβρωτικών ιδιοτήτων που έχει.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>): Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί ένα ψυκτικό μέσο που δεν είναι τοξικό, διαβρωτικό και εύφλεκτο και η λήψη του γίνεται ως απόβλητο προϊόν πράγμα που το κατατάσσει στα χαμηλού κόστους ψυκτικά. Το μόνο μειονέκτημα είναι οι υψηλές πιέσεις στις οποίες πρέπει να λειτουργεί κάνοντάς το μη ιδανικό σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας άνω του 1 με 2 MW.

Συνθετικά ψυκτικά:

R-134a: Είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος υδροφθοράνθρακας ως ψυκτικό μέσο. Έχει μηδενικό ODP καθώς δεν περιέχει το άτομο του χλωρίου και παρουσιάζει καλές ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας παρέχοντας ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας. Είναι μη εύφλεκτο, μη τοξικό και είναι ιδανικό για χρήση σε μετασκευή παλαιών αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούσας R-12 και R-22

R-152: Είναι ένας υδροφθοράνθρακας που παρουσιάζει παρόμοιες θερμοδυναμικές ιδιότητες με το R-134a αποδίδοντας ακόμη και υψηλότερο COP. Η χρήση του γίνεται συνήθως σε μείγματα με άλλα ψυκτικά λόγω της μεγάλης αναφλεξιμότητάς του.

R-245fa: Είναι ένας υδροφθοράνθρακας που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας. Είναι μέτρια τοξικός με κρίσιμη θερμοκρασία κοντά στους 150°C και πιέσεις λειτουργίας παρόμοιες με το R-134a.<sup>[3]</sup>

### 4.3. Θερμοκρασίες εξόδου

Οι θερμοκρασίες στις οποίες πρέπει να λειτουργούν οι αντλίες θερμότητας καθορίζονται από τις απαιτήσεις κάθε δικτύου DH, και αυτό θεωρήθηκε ως εμπόδιο για την επέκταση της τεχνολογίας. Οι θερμοκρασίες ταξινομούνται ως εξής:

Θερμοκρασία <70°C - Επιτυγχάνεται στα προηγμένα δίκτυα DH χαμηλής θερμοκρασίας με χρήση ψυκτικών ουσιών NH<sub>3</sub> και R-134a και γενικά κατασκευάστηκε μετά το έτος 2006, όταν αυξήθηκε η ανάγκη για τέτοιου είδους θερμοκρασίες DH. Ο μέσος όρος COP αυτών των αντλιών θερμότητας είναι 4,5.

Θερμοκρασία μεταξύ 70 και 80°C –Αποτελεί το πιο κοινό εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας στα συστήματα DH μέχρι αυτήν την στιγμή. Αυτές οι θερμοκρασίες επιτεύχθηκαν από τη δεκαετία του 1980 και έχουν ευρεία χρήση μέχρι σήμερα.

Θερμοκρασία > 80°C — Αυτή η κατηγορία θερμοκρασιών λειτουργίας αντιπροσωπεύεται από μερικές από τις πιο βελτιστοποιημένες αντλίες θερμότητας, οι οποίες γενικά έχουν υψηλή αύξηση θερμοκρασίας επιτυγχάνοντας και υψηλούς βαθμούς απόδοσης.<sup>[3]</sup>

#### **4.4. Λειτουργία ψύξης**

Εκτός από τις ανάγκες θέρμανσής τους, ορισμένα κτίρια έχουν και απαιτήσεις ψύξης. Πολλά από τα υπάρχοντα δίκτυα τηλεψύξης βρίσκονται στις σκανδιναβικές χώρες, όπου η τηλεψύξη έλαβε αυξανόμενο ενδιαφέρον, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης τοπικών επιχειρήσεων, της φιλικότητας προς το περιβάλλον, της ενεργειακής απόδοσης και της ευκαιρίας βελτίωσης της κερδοφορίας ενός εργοστασίου. Αυτά τα δίκτυα ψύξης είναι μικρότερα από τα θερμαντικά και συνήθως παρέχουν στους τομείς των υπηρεσιών και της βιομηχανίας. Το κρύο νερό διανέμεται στους πελάτες με παρόμοιο τρόπο όπως το ζεστό νερό. Η τεχνολογία αποτελείται γενικά από απορρόφηση ή μηχανικούς ψύκτες, αλλά και από φυσική ψύξη, χρησιμοποιώντας το νερό από τις κρύες λίμνες και την θάλασσα. Οι ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας μεγάλης κλίμακας έχουν την ικανότητα να καλύπτουν τόσο τις ανάγκες θέρμανσης όσο και τις ανάγκες ψύξης.<sup>[14]</sup> Ως μέρος της λειτουργίας των αντλιών θερμότητας, η ψύξη μπορεί επίσης να προσφέρει λειτουργικά οφέλη. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το κύριο πλεονέκτημα ενός τέτοιου δικτύου είναι τα οικονομικά κέρδη που μπορεί να επιτύχει, που αντιπροσωπεύεται από το κοινό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος, καθώς δεν μπορούν όλοι να εγκαταστήσουν και να λειτουργήσουν ένα μεμονωμένο σύστημα ψύξης. Ο χώρος που απελευθερώνεται από την αντικατάσταση συμβατικών μονάδων ψύξης με τηλεψύξη μπορεί να είναι ένα πλεονέκτημα, καθώς και η μείωση του θορύβου από τις ψυκτικές μηχανές. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μεμονωμένα συστήματα κλιματισμού μπορούν

να ασκήσουν πρόσθετη πίεση στα τοπικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ένα δίκτυο ψύξης με θερμοκρασίες που έχει το νερό του περιβάλλοντος μπορεί να αποτελέσει λύση. Ωστόσο, ένα ζήτημα με αυτό το σύστημα είναι όσον αφορά τις θερμοκρασίες επιστροφής του νερού, οι οποίες είναι συχνά κάτω από 10 ° C, οπότε οι σωληνώσεις πρέπει να είναι μεγαλύτερες για τη μεταφορά του ίδιου αποτελέσματος. Κατά συνέπεια, αυτό θα μπορούσε να καταστήσει ένα δίκτυο τηλεψύξης ακριβότερο από ένα δίκτυο DH για το ίδιο μήκος σωληνώσεων. <sup>[3]</sup>

## **Κεφάλαιο 5. Διεθνής εμπειρία από την χρήση θαλασσινού νερού για θέρμανση και ψύξη με αντλίες θερμότητας**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε και θα σχολιάσουμε διεθνή παραδείγματα στα οποία έχει γίνει χρήση αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης και ψύξης. Μέσα από αυτά τα παραδείγματα θα φανούν τα χαρακτηρίστηκα λειτουργίας σε ορισμένες από αυτές τις μονάδες , η σκοπιμότητα της χρήσης αυτού του είδους τεχνολογίας, καθώς και τα πιθανά πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα που προέκυψαν κατά την κατασκευή ή κατά την λειτουργία σε αυτού του είδους τις εγκαταστάσεις. Στον πίνακα 6 φαίνονται οι ενεργές εγκαταστάσεις SWHP που υπάρχουν σήμερα ανά τον κόσμο.



Πίνακας 6-Πίνακα με ενεργές εγκαταστάσεις SWHPανά τον κόσμο [6]

Country	Project location	Refrigerant	Total capacity (MW)	Heat pump unit	COP	Source water temp (°C)	Supply water temp (°C)	Cooling	Operation since
Norway	Horten	NH <sub>3</sub>	2.4	2	3.00	5	68	Yes	2012
	Drammen	NH <sub>3</sub>	13.2	3	3.05	8	90	No	2010
	Oslo	R134a	6.9	1	3.06	5	75	Yes	2006
	Oslo (Fornebu)	R134a	6.8	1	3.06	5	75	Yes	2001
	Oslo (Fornebu)	R1234ze	16	2	4.40		75		2012
	Oslo (Lysaker)	R134a	4.6	1	2.80		75	Yes	2012
	Oslo (Lysaker)	R134a	4.6	1	2.80		75	Yes	1999
	Trondheim	R134a	1.2	1	4.03	11	55	Yes	
Sweden	Stockholm (Ropsten)	R134a	108	4	3.21	3	80	Yes	1986
	Stockholm (Ropsten)	R134a	48	2	2.86	3	80	Yes	1986
	Stockholm (Ropsten)	R134a	100	4	2.68	3	80	Yes	1986
	Åkersberga	R134a	6	2	3.20	7 to 18	83	Yes	1985
	Visby	R134a	11.5	1				No	1983
Denmark	Copenhagen	NH <sub>3</sub>	5.2					Yes	2018
	Augustenborg		2					Yes	2016
Finland	Helsinki (Kartri Vala)		85	5		10	62	Yes	2006
Italy	Divette (Cherbourg)	R134a	2.2	2	3.00	11	63	No	2013
Netherland	Hague	NH <sub>3</sub>	2.7			4 to 20	50 to 65	Yes	2014
UK	Anglesey				2.82		55	Yes	2014
	Portsmouth					6	50	Yes	
USA	Alaska	R134a	0.6	2	3	3 to 13	49		
Canada	Vancouver							Yes	
China	Dalian (Xiaopingdao)		68						2007
	Dalian (Xinghai)	R134a	25	3	3.35	3	65	Yes	2007
	Dalian (Xinghai)		10	1	3.52			Yes	
	Weihai		0.92	2	2.68	6	45	Yes	2010

### 5.1. Η ανάπτυξη των πρώτων SWHP στη Δυτική Νορβηγία

Οι πρώτες προσπάθειες να χρησιμοποιηθούν τα φιόρδ ως πηγή ενέργειας στο νομό Sogn og Fjordane άρχισαν κατά την δεκαετία του 1970 όπου δύο SWHP χτίστηκαν στο δήμο Sogndal και αποδείχτηκε με το πέρασμα περισσότερων από δέκα χρόνων λειτουργίας ότι αποτελεί μία κερδοφόρα επένδυση και οδηγεί σε ένα όφελος για τις επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά που είναι πρόθυμα να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες εξαγωγής φθηνής ενέργεια από τα φιόρδ. Στην αρχή, αυτές οι μικρές εγκαταστάσεις

SWHPείχαν σχεδιαστεί μόνο για ένα ή δύο νοικοκυριά που βρίσκονται ακριβώς δίπλα στην παραλία όμως στην συνέχεια λόγω της απόδοσης του συστήματος αυτού έγινε χρήση του και από άλλα δημόσια και ιδιωτικά κτήρια τα οποία εγκατέστησαν από ένα SWHP που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη με πολύ οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Τα φιόρντ στη δυτική Νορβηγία έχουν βάθος αρκετών εκατοντάδων μέτρων με μικρές εποχιακές μεταβολές θερμοκρασίας. Στο Eid σε βάθος 50 μέτρων, η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 8 και 12 C περίπου το έτος. Αυτή η σταθερότητα στη θερμοκρασία έκανε τους τοπικούς μηχανικούς να πιστεύουν ότι ήταν δυνατό να εξαχθεί θερμική ενέργεια από το φιόρντ και να χρησιμοποιηθεί για ψύξη και θέρμανση. Οι σχεδιαστές στο Eid συνειδητοποίησαν νωρίς ότι ήταν απαραίτητο να χτιστεί ένα μεγάλο εργοστάσιο. Λόγω του υψηλού επενδυτικού κόστους, μια εγκατάσταση SWHP έχει υψηλό σταθερό κόστος, αλλά πολύ χαμηλό μεταβλητό κόστος. Μία τέτοια επένδυση μικρής κλίμακας θα μπορούσε συνεπώς να αντιμετωπίζει οικονομικό έλλειμμα παρά τα θετικά κοινωνικά οφέλη. <sup>[4]</sup>

### 5.1.1. Τεχνικές προδιαγραφές

Ένα SWHP βασίζεται στην ακόλουθη αρχή: Αντλείται νερό από τη θάλασσα ή από μια λίμνη σε μια μονάδα ανταλλαγής θερμότητας που βρίσκεται σε μία μικρή εγκατάσταση στην ακτή. Σε αυτή τη μονάδα, η θερμότητα από το θαλασσινό νερό μεταφέρεται με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας σε κλειστό βρόχο γλυκού νερού (βλέπε τα σχήματα εικόνες 10 και 11). Στη συνέχεια, το θερμαινόμενο γλυκό νερό αντλείται από τη μονάδα ανταλλαγής θερμότητας σε ένα θερμικό σταθμό. Από αυτό το κέντρο θερμότητας, το ζεστό νερό διανέμεται στη συνέχεια σε πελάτες, όπως νοικοκυριά, ιδρύματα και εταιρείες, μέσω ενός μικρού δικτύου αγωγών. Η ενέργεια αποθηκεύεται στο νερό που θερμάνθηκε και στην συνέχεια μεταφέρεται στους τελικούς χρήστες μέσω μεμονωμένων μονάδων ανταλλαγής θερμότητας και επιστρέφει κρύο νερό πίσω στη μονάδα ανταλλαγής. Το SWHP μπορεί να λειτουργεί για θέρμανση ή για ψύξη. Οι θερμοκρασίες όταν είναι σε λειτουργία θέρμανσης ή ψύξης δίνονται παρακάτω. Οι θερμοκρασίες μπορεί να διαφέρουν λίγο από αυτές τις τιμές κατά τη διάρκεια του έτους. Στο WEPS-Eid όπως είναι η ονομασία αυτής της εγκατάστασης, οι θερμοκρασίες του νερού από τον εναλλάκτη θερμότητας στον πελάτη είναι πάντα 1,5 C χαμηλότερες από τη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού.

### **Ροή θερμοκρασίας νερού σε λειτουργία θέρμανσης**

- Νερό από τη θάλασσα στον εναλλάκτη θερμότητας 8 °C
- Νερό από τον εναλλάκτη θερμότητας στον πελάτη 6,5 °C
- Νερό από τον πελάτη στον εναλλάκτη θερμότητας 1,5 °C

Οι θερμοκρασίες του νερού όταν το SWHP βρίσκεται σε κατάσταση ψύξης μπορεί να διαφέρουν λίγο από αυτά κατά τη διάρκεια του έτους. Τον Αύγουστο ή τον Σεπτέμβριο, η θερμοκρασία της θάλασσας μπορεί να είναι 10 °C, ενώ είναι συνήθως περίπου 8 °C τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Η μέγιστη διαφορά και στις δύο πλευρές της θερμοκρασίας του νερού στον πελάτη είναι 1,5 °C.

### **Ροή θερμοκρασίας νερού σε λειτουργία ψύξης**

- Νερό από τη θάλασσα στον εναλλάκτη θερμότητας 8 °C
- Νερό από τον εναλλάκτη θερμότητας στον πελάτη 9,5 °C
- Νερό από τον πελάτη στον εναλλάκτη θερμότητας 11 °C

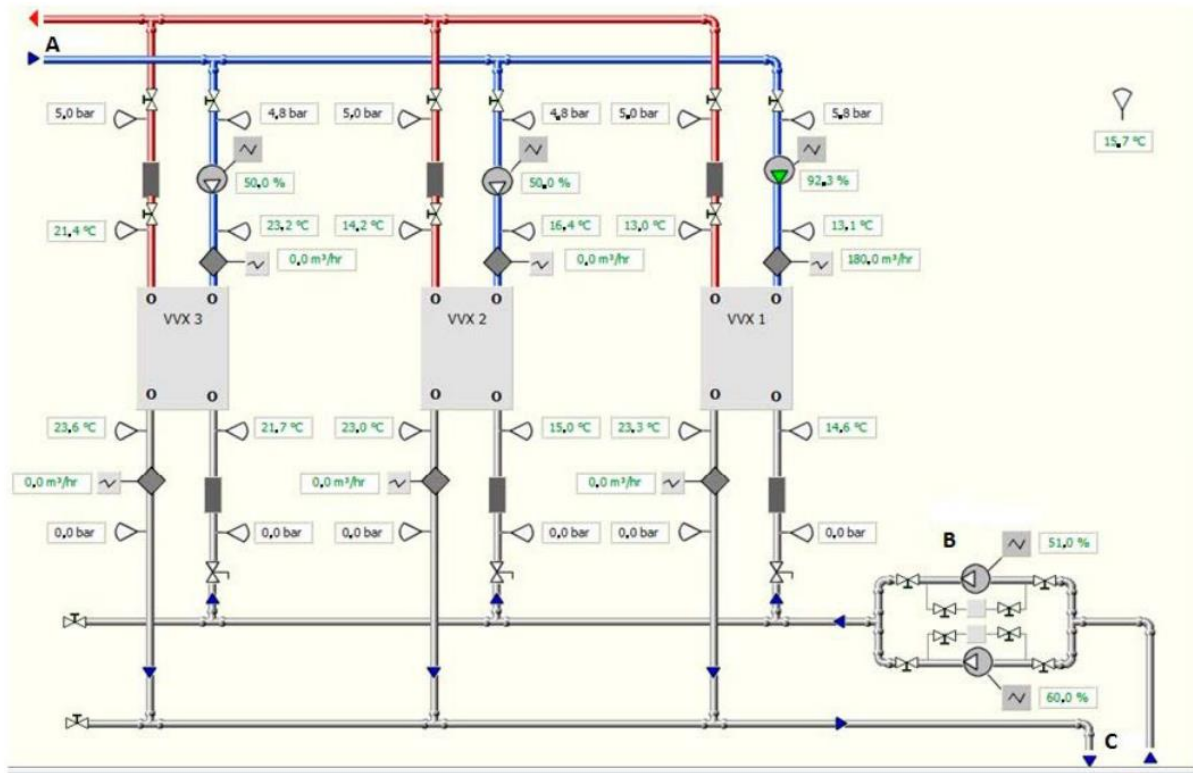
Όταν βρίσκεται σε λειτουργία ψύξης, το φιόρδ χρησιμοποιείται ως ψήκτρα. Ωστόσο, το ερώτημα που προκύπτει είναι για ποιο λόγο να εγκατασταθεί ένας εναλλάκτης θερμότητας όταν το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ψύξης και δεν χρησιμοποιείται άμεσα το κρύο νερό των φιόρδ. Ο λόγος είναι ότι το αλμυρό νερό των φιόρδ θα προκαλέσει προβλήματα διαβρώσεις καθώς και θα υπάρξουν και προβλήματα με τα φύκια και τους μικροοργανισμούς.



Εικόνα 10-Σωλήνας πρόσληψης θαλασσινού νερού [4]

Το WEPS-Eid παίρνει θαλασσινό νερό από το φιόρδ σε βάθος περίπου 50 μέτρων. Η πρόσληψη θαλασσινού νερού γίνεται από έναν σωλήνα PVC. Η εικόνα 10 τραβήχτηκε κατά την περίοδο κατασκευής και δείχνει τον εύκαμπτο σωλήνα πριν αυτός γεμίσει με θαλασσινό νερό και βυθιστεί στον βυθό. Για σταθεροποιητικούς σκοπούς, τα βάρη από σκυρόδεμα ήταν προσαρτημένα στον εύκαμπτο σωλήνα. Αυτή η εικόνα είναι από ένα SWHP που χτίστηκε στο δήμο Sogndal το 2014. Προκειμένου η σωλήνωση να διατηρηθεί σταθερή στο βυθό, συνδέθηκαν μπλοκ από σκυρόδεμα. Η διάμετρος του σωλήνα είναι περίπου 60 cm. Το πλήρως λειτουργικό WEPS-Eid αντλεί 546 m<sup>3</sup> νερού ανά ώρα από τη θάλασσα για ανταλλαγή θερμότητας με την μονάδα στην ακτή. Η μονάδα ανταλλαγής θερμότητας βρίσκεται σε ένα μικρό κτίριο με διαστάσεις περίπου 50 m<sup>2</sup>. Άλλη δυνατή τοποθέτηση του εναλλάκτη θα ήταν υπόγεια, αλλά αυτό δεν έγινε το Eid. Το σχήμα στην εικόνα 11 δείχνει το σύστημα ανταλλαγής

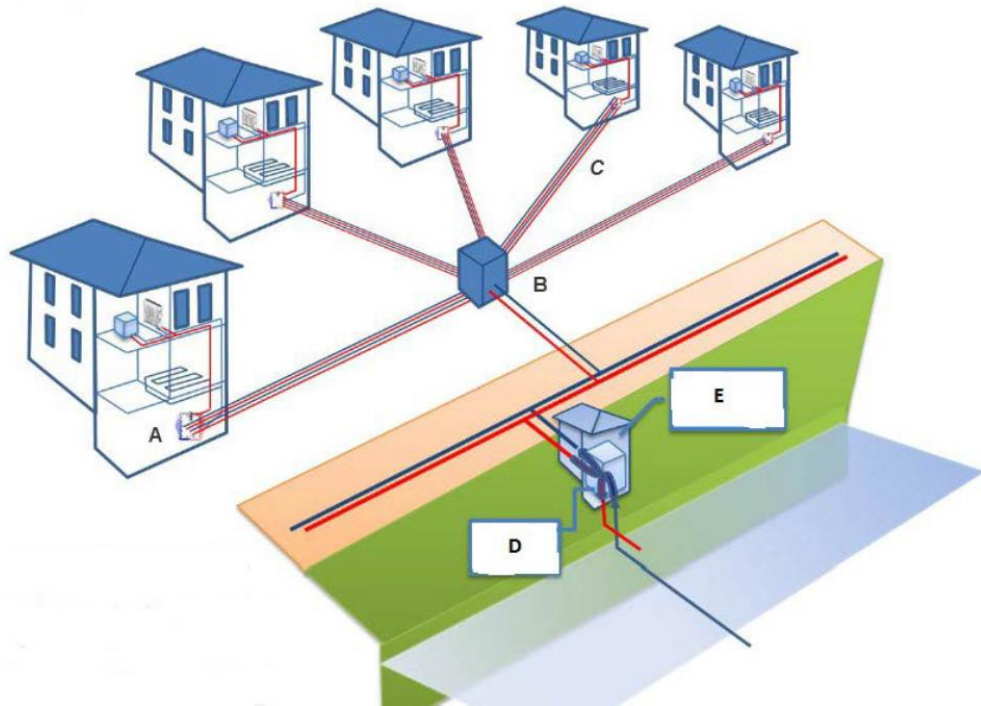
θερμότητας. Το θαλασσίνο νερό μεταδίδει θερμότητα σε κλειστό κύκλωμα με γλυκό νερό που κυκλοφορεί σε πλέγμα στην ξηρά. Οι σωλήνες στην ξηρά που μεταφέρουν γλυκό νερό από τις μονάδες ανταλλαγής θερμότητας έχουν μέγιστη διάμετρο 315 mm. Αυτοί οι σωλήνες θάβονται 100 εκατοστά κάτω από το έδαφος. Το σύστημα γλυκού νερού είναι ένας κλειστός βρόχος, οπότε ακόμη και αν οι πελάτες και η μονάδα ανταλλαγής θερμότητας βρίσκονται σε διαφορετικά υψόμετρα, η δύναμη της βαρύτητας θα βοηθήσει στην κυκλοφορία του νερού. Χρειάζεται μόνο ενέργεια για να ξεπεραστεί η τριβή του σωλήνα για να κυκλοφορήσει το νερό. Το συνολικό μήκος του σωλήνα στο σύστημα της περιοχής Eid είναι 18 km. Εάν αυτοί οι σωλήνες τοποθετηθούν στην ίδια τάφρο με σωλήνες πόσιμου νερού, υπόνομοι, καλώδια ινών και ηλεκτρικού ρεύματος, το κόστος επένδυσης σε εγκαταστάσεις WEPS θα μειωθεί σημαντικά. Αυτό είναι ένα βασικό ζήτημα για το σχεδιασμό τους για νέα ή βελτιωμένη υποδομή. Στο σχήμα της Εικόνας 11 βλέπουμε το σύστημα ανταλλαγής θερμότητας στην ακτή. Στο κάτω μέρος του σχήματος (γκρίζοι σωλήνες), θαλασσίνο νερό αντλείται από το φιόρδ στις μονάδες ανταλλαγής θερμότητας (VVX 1, VVX 2 και VVX 3 στην εικόνα) και πίσω στη θάλασσα. Το κρύο νερό (2-3-3) προέρχεται από τους καταναλωτές (μπλε σωλήνες). Ζεστό νερό με μια θερμοκρασία 6-8 C (κόκκινοι σωλήνες) αντλείται στον σταθμό θέρμανσης κοντά στους καταναλωτές (A στην εικόνα 11). Το σχήμα προέρχεται από ένα SWHP που δημιουργήθηκε στο Sogndal το 2014. <sup>[3]</sup> Λόγω χαμηλών θερμοκρασιών (6-8 C) στο γλυκό νερό που κυκλοφορεί από τις μονάδες ανταλλαγής θερμότητας στην ακτή της θάλασσας στο κέντρο θέρμανσης κοντά στους πελάτες, δεν υπάρχει απώλεια ενέργειας παρά το ότι οι αγωγοί δεν είναι μονωμένοι. Η θερμοκρασία στο νερό που κυκλοφορεί μεταξύ του εναλλάκτη θερμότητας και των καταναλωτών διατηρείται σε θερμοκρασία 6-8 C ανάλογα με την εποχή. Δεδομένου ότι οι σωλήνες είναι τουλάχιστον 100 cm κάτω από το έδαφος, και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του νερού στους σωλήνες και το περιβάλλον θα ήταν πολύ μικρή (ώστε η απώλεια θερμότητας θα ήταν πρακτικά ασήμαντη), χρησιμοποιήθηκαν μη μονωμένοι σωλήνες, καθώς αυτό μείωνε το κόστος επένδυσης (όμως, η επιλογή αυτή δεν έχει επιβεβαιωθεί καθώς η απώλεια θερμότητας λόγω των μη μονωμένων σωλήνων δεν έχει μετρηθεί ή υπολογιστεί).



Εικόνα 11-Σχηματική απεικόνιση της διάταξης σωληνώσεων "Κέντρου θέρμανσης-Καταναλωτή [4]

Στο Eid, κάθε καταναλωτής έχει τη δική του αντλία θερμότητας. Η αντλία θερμότητας εξάγει θερμότητα από ζεστό νερό που απελευθερώνεται από τον εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια, το κρύο νερό επιστρέφει από τον καταναλωτή στον εναλλάκτη. Ο καταναλωτής μπορεί να χρησιμοποιήσει αντλία θερμότητας νερού-αέρα και να θερμαίνει τον αέρα μέσα στο σπίτι ή μπορεί να χρησιμοποιήσει αντλία θερμότητας από νερό σε νερό. Στο Sogndal, όλες οι αντλίες θερμότητας βρίσκονται σε ένα κέντρο θερμότητας, και μόνο ζεστό νερό (71° C) διανέμεται στους πελάτες. Το ζεστό νερό χρησιμοποιείται στα καλοριφέρ σε γραφεία και άλλα δωμάτια, και μερικά από αυτά χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του αέρα από το σύστημα εξαερισμού που τον μεταφέρει στα δωμάτια των κτιρίων. Στο Eid δεν υπάρχει κεντρικός σταθμός θέρμανσης, ενώ στο Sogndal υπάρχει. Το κέντρο θερμότητας στο Sogndal φαίνεται στο σχήμα της εικόνας 12. Από εμπειρική γνώση έχει φανεί ότι η λύση του κεντρικού σταθμού θέρμανσης είναι πιο αποδοτική από πλευράς κόστους. Το σχήμα της Εικόνας 12δίνει ένα χονδρικό σχεδιάγραμμα ενός SWHP με κεντρικό σταθμό θέρμανσης. Οι αντλίες θερμότητας βρίσκονται στο κέντρο θερμότητας (B). Από το κέντρο θερμότητας, υπάρχουν δύο μονωμένοι και δύο

αμόνωτοι σωλήνες σε κάθε πελάτη (C). Κάθε πελάτης διαθέτει μια απλή μονάδα ανταλλαγής θερμότητας με μετρητή ενέργειας (A). (E) είναι ο οικίσκος όπου βρίσκεται ο εναλλάκτης θερμότητας θαλασσινού νερού (D).



Εικόνα 12- Σχέδιο της υποδομής SWHP [4]

Η εγκατάσταση χρησιμοποιείται τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη. Για την πρόληψη της ανάπτυξης βακτηρίων στους σωλήνες και τη μείωση λειτουργικού κόστους, έχει αφαιρεθεί το οξυγόνο από το γλυκό νερό που κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα της ξηράς. Η απομάκρυνση του οξυγόνου γίνεται με μια μέθοδο που ονομάζεται καταλυτική μείωση του οξυγόνου στο νερό με υδρογόνο ως αναγωγικός παράγοντας. Πρόκειται για μια «διαδικασία υγρής καύσης» που παρουσιάστηκε ήδη το 1967 σε ένα επιστημονικό συνέδριο στο Έσσεν της Γερμανίας. Εάν ορισμένοι πελάτες βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από 50 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, πρέπει να εγκατασταθούν επιπλέον αντλίες για να αυξήσουν την πίεση του νερού. Αυτό αυξάνει επιπλέον το επενδυτικό κόστος. Στο Eid, βρίσκονται όλοι οι πελάτες σε πολύ χαμηλό υψόμετρο, μόλις λίγα μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, και δεν ήταν απαραίτητο να εγκατασταθούν επιπλέον ζώνες πίεσης. Ούτε

στο Eid ούτε στο Sogndal έχουν εμπειρία με ζώνες πίεσης. Ένα σημαντικό μέρος της υποδομής SWHP θάβεται στο έδαφος και τυλίγεται σε άμμο ή χαλίκι, προστατευμένο από ακραίες καιρικές συνθήκες. Οι σωλήνες είναι επίσης εξαιρετικά εύκαμπτοι και, σύμφωνα με τους μηχανικούς είναι σε θέση να αντέξουν έναν μεγάλο σεισμό. Στο παράδειγμα στο Σχήμα 12 το σύστημα SWHP έχει δύο αντλίες θερμότητας (A και B στο σχήμα) και δύο εναλλάκτες θερμότητας (LV6 και LV7 στο σχήμα). Με τη χρήση δύο αντλιών θερμότητας, μπορεί να γίνει συντήρηση στην μία χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία της άλλης. Το θαλασσινό νερό αντλείται μέσω του εναλλάκτη θερμότητας (LV6 ή LV7, μπλε σωλήνες), όπου θερμότητα μεταφέρεται σε μη αλμυρό νερό. Το νερό αντλείται από τους εναλλάκτες θερμότητας (LV6 ή LV7, ανοιχτό μπλε σωλήνες) στις αντλίες θερμότητας (A ή B). Στις αντλίες θερμότητας, η θερμότητα του νερού μεταφέρεται και αναβαθμίζεται. Το νερό που διανέμεται στους πελάτες (κόκκινοι σωλήνες) διατηρεί θερμοκρασία περίπου 71 C. Οι πελάτες χρησιμοποιούν το ζεστό νερό σε καλοριφέρ.<sup>[4]</sup> Στο σχήμα 12 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός SWHP. Η αντλία (E στην εικόνα 12) μπορεί εναλλακτικά να βρίσκεται υπόγεια και επομένως να μην φαίνεται. Οι ιδιωτικές μονάδες των πελατών για ανταλλαγής θερμότητας μικρής κλίμακας των πελατών δεν είναι πανομοιότυπες με τις παραδοσιακές, μερικές φορές μη αισθητικές και θορυβώδεις αντλίες θερμότητας που συνδέονται με εξωτερικούς χώρους στους τοίχους σπιτιών. Οι συνδεδεμένες με το SWHP μονάδες των πελατών για ανταλλαγή θερμότητας μικρής κλίμακας βρίσκονται σε εσωτερικό χώρο, και επομένως ολόκληρη η υποδομή είναι προστατευμένη από τις κακές καιρικές συνθήκες, κάτι που συνεπάγεται χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Σε μια κατασκευή SWHP που περιλαμβάνει ένα κέντρο διανομής ζεστού νερού στους πελάτες (κέντρο θερμότητας), ο παραγωγός ενέργειας είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του κέντρου θερμότητας. Η εμπειρία από την εγκατάσταση στο Eid έδειξε ότι πολλοί πελάτες επίσης δεν είχαν τις απαραίτητες γνώσεις για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας. Ένα κέντρο θερμότητας μείωνε το μοναδιαίο κόστος της παραγόμενης ενέργειας, και οι πελάτες θα είχαν χαμηλότερα επενδυτικά και λειτουργικά έξοδα επειδή δεν χρειαζόταν να αγοράσουν και να λειτουργήσουν τις δικές τους αντλίες θερμότητας. Αναφορικά με το Σχήμα της εικόνας 12, από το κέντρο θερμότητας (B), υπάρχουν δύο μονωμένοι και δύο μη μονωμένοι σωλήνες σε κάθε πελάτη (C). Κάποιος μπορεί να αμφισβητήσει την αποτελεσματικότητα αυτής της λύσης. Ίσως είναι πιο αποτελεσματικό να μονωθούν όλοι οι σωλήνες και όχι μόνο δύο. Όσο υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του



νερού με τον περιβάλλοντα χώρο, θα υπάρξει μεταφορά θερμότητας και απώλεια ενέργειας. Αυτή η απώλεια δεν έχει υπολογιστεί. Απαιτείται περισσότερη έρευνα για να αποδειχθεί ποια λύση είναι η πιο κερδοφόρα. Όπου υπάρχει μικρή απόσταση μεταξύ των πελατών, η κατάλληλη λύση είναι να χτιστεί μια υποδομή που περιλαμβάνει ένα κέντρο θερμότητας. Διαφορετικά, οι πελάτες πρέπει να είναι διαδοχικά διασυνδεδεμένοι. Αυτό συμβαίνει στο Eid, λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ μερικών πελατών. Ωστόσο, οι μηχανικοί ισχυρίζονται ότι τα πολλά χρόνια εμπειρίας έχουν δείξει ότι η εγκατάσταση SWHP με κεντρικό σταθμό θερμότητας είναι πιο αποδοτική ενεργειακά από ότι χωρίς αυτόν. Στις κατασκευές που περιλαμβάνουν κεντρικό σταθμό θερμότητας, οι πελάτες χρησιμοποιούν ιδιωτικές μονάδες ανταλλαγής θερμότητας μικρής κλίμακας που συνδέονται με τοπικούς, εσωτερικούς αγωγούς σε δάπεδα, καλοριφέρ ή συσκευές θέρμανσης. <sup>[4]</sup>

### 5.1.2. Χρήστες του WEPS-Eid

Η εγκατάσταση αντλίας θερμότητας θαλασσινού νερού στο Eid λειτουργεί για πάνω από 11 χρόνια. Η δυναμικότητα αυξήθηκε την άνοιξη του 2017 και παρέχει ενέργεια σε 53 αντλίες θερμότητας. Περισσότερα από 90.000 m<sup>2</sup> κτιριακών εγκαταστάσεων θερμαίνονται όπως η Όπερα, το δευτεροβάθμιο σχολείο Eid, ένα λουτρό που συνδέεται με το ξενοδοχείο Nordfjord, 15 δημόσια δομικά κτήρια, 15 εμπορικά συγκροτήματα και 25 οικιστικές εγκαταστάσεις με συνολικά 121 από αυτά κατοικημένα. Το καλοκαίρι, η εγκατάσταση χρησιμοποιείται για ψύξη. Η εγκατάσταση SWHP στο Eid καλύπτει περίπου το 90% της ανάγκης των πελατών για ενέργεια με σκοπό την θέρμανση και την ψύξη. Το υπόλοιπο 10% πρέπει να παρέχεται από συμβατικές πηγές ενέργειας. Κατά τη διάρκεια των χρόνων λειτουργίας του, οι πελάτες έχουν μειώσει περίπου τις δαπάνες τους για ενέργεια θέρμανσης 30-50 % σε σύγκριση με τη θέρμανση που χρησιμοποιεί ως πηγή υδροηλεκτρική ενέργεια. Οι δύο μεγαλύτεροι πελάτες στο Eid, το γυμνάσιο και η Όπερα Nordfjord, αγοράζουν έναν ετήσιο μέσο όρο 98 kWh ανά m<sup>2</sup>. Η μέση, ετήσια κατανάλωση ενέργειας για παρόμοια κτίρια στη Νορβηγία είναι 140 kWh ανά m<sup>2</sup>. Αυτό σημαίνει ότι μεγάλα δημόσια κτίρια που χρησιμοποιούν τεχνολογία SWHP όπως αυτή που αναπτύχθηκε στο Eid θα μπορούσαν να επιτύχουν μείωση του ενεργειακού κόστους για θέρμανση κατά 30-50%. Σύμφωνα με στοιχεία το σχολείο και η Όπερα Nordfjord στο Eid με την χρήση του συστήματος για σκοπούς ψύξης έχει ασήμαντο μεταβλητό κόστος. Τέτοιες εργασίες μπορούν ουσιαστικά να

εκτελεστούν δωρεάν. Η ανάπτυξη και οι εμπειρίες που προέρχονται από το Eid έχουν προκαλέσει εντύπωση τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές επίπεδο. Τον Αύγουστο του 2017, περισσότερες από δέκα εγκαταστάσεις SWHP λειτουργούσαν ή ήταν υπό κατασκευή στη Νορβηγία. <sup>[4]</sup>

### **5.1.3. Επιχειρηματική κερδοφορία**

Για την εκτίμηση της επιχειρηματικής αποδοτικότητας του έργου στο Eid, πρέπει να υπολογιστεί η παρούσα αξία του έργου με βάση τις μελλοντικές ταμειακές ροές. Το SWHP στο Eid δεν έχει ακόμα πλήρη δυναμικότητα και μόλις το 58,3% της δυναμικότητάς του χρησιμοποιείται. Λόγω της μερικής χρησιμοποίησής του, έγιναν δύο εκτιμήσεις για την κερδοφορία: μία εκτίμηση υποθέτοντας ότι στο μέλλον η χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων της επένδυσης θα είναι ίση με την τρέχουσα (58,3%) και μια άλλη υπόθεση ότι είναι ότι η εγκατάσταση στο Eid θα είναι σε πλήρη λειτουργία. Το σύνολο των επενδύσεων περιλαμβάνει όλα τα έξοδα επιχειρηματικής επένδυσης σε υποδομές, όπως η μονάδα ανταλλαγής θερμότητας, αγωγοί και οικοδομικές κατασκευαστικές εργασίες που σχετίζονται με αυτές τις δραστηριότητες. Περιλαμβάνεται στο επενδυτικό κόστος και η επένδυση των καταναλωτών σε τοπικές υποδομές δικτύου, δηλαδή τους αγωγούς από το κέντρο θερμότητας στους κατοίκους και ολόκληρη την οικιακή υποδομή, εσωτερικούς αγωγούς ή άλλα εξαρτήματα θέρμανσης και μεμονωμένες αντλίες θερμότητας. Το οριακό κόστος ήταν ιδιαίτερα χαμηλό για την επένδυση στο Eid επειδή ήταν μια κοινοπραξία με την τοπική διοίκηση, τήλε-εταιρείες και επιχειρήσεις ΤΠΕ. Το τοπικό συμβούλιο κατάφερε να συνδυάσει το σκάψιμο για τους αγωγούς με την παράλληλη τοποθέτηση με τήλε-καλώδια, καλώδια ινών, αγωγούς πόσιμου νερού και αποχέτευση. <sup>[4]</sup>

### **5.1.4. Υποθέσεις, καθαρή παρούσα αξία και εσωτερικός ρυθμός απόδοσης**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πραγματοποιούνται δύο υπολογισμοί: ένας όπου υποτίθεται ότι η παρούσα παραγωγική ικανότητα του 58,3% είναι η πλήρης παραγωγική ικανότητα της εγκατάστασης και δεν αυξάνεται και ο άλλος κατά τον οποίο η εγκατάσταση παράγει με ονομαστική λειτουργία στο 100%. Ο Δήμος Eid ίδρυσε δύο θυγατρικές εταιρείες, την Eid Fjordvarmet KF και την Fjordvarme AS, η οποία επένδυσε 2.178.000 εκατομμύρια ευρώ στο Eid, ενώ οι πελάτες έχουν επενδύσει 1.247.400 εκατομμύρια ευρώ. Η συνολική επένδυση είναι 3.425.400 εκατομμύρια ευρώ. Εάν η χρησιμοποίηση της χωρητικότητας αυξάνεται από 58,3%

σε 100% εκατό, αυτό συνεπάγεται πρόσθετο επενδυτικό κόστος για τον Δήμο του Eid 79.200 χιλιάδες ευρώ, ενώ οι νέοι πελάτες θα πρέπει να επενδύσουν 930.600 χιλιάδες ευρώ σε εγχώριες υποδομές. Αυτή η εκτίμηση βασίζεται στις τρέχουσες τιμές με αύξηση σε αυτές τις τιμές κατά 30 τοις εκατό για το μέλλον με την πρόοδο της τεχνολογίας και την αύξηση των πραγματικών μισθών και των τιμών κεφαλαίου. Η συνολική επένδυση για το Eid που λειτουργεί με πλήρη χωρητικότητα θα είναι τότε 4.435.200 εκατομμύρια ευρώ που συμπεριλαμβάνεται η αύξηση 30% της τιμής. Έχουν γίνει κάποιες υποθέσεις σχετικά με τη διάρκεια ζωής του έργου. Επειδή οι ταμειακές ροές λαμβάνονται ή πληρώνονται σε μελλοντικές περιόδους πρέπει να προεξοφληθούν στις τρέχουσες αξίες. Γι αυτό, πρέπει να δημιουργηθεί ένα χρονοδιάγραμμα για τις ροές των χρημάτων και ορισμένες παραδοχές σχετικά με το χρονικό διάστημα του έργου. Ακόμα κι αν η κατασκευή μπορεί να έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής, η διάρκεια ζωής καθενός από τα συστατικά της είναι περιορισμένη. Εμπειρική απόδειξη υποδεικνύει για παράδειγμα ότι οι αντλίες θερμότητας έχουν διάρκεια ζωής περίπου 20 χρόνια. Γίνεται μια υπόθεση για περιορισμένη διάρκεια ζωής της κατασκευής που είναι 40 χρόνια εάν το ετήσιο κόστος επανεπένδυσης ισούται με 128.700 χιλιάδες ευρώ. Αυτή η εκτίμηση βασίζεται στο ετήσιο κόστος επανεπένδυσης στο έργο από την αρχή του μέχρι σήμερα. Το κόστος επανεπένδυσης θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητο από τη μελλοντική ικανότητα χρησιμοποίησης. Το υπολογιζόμενο ποσό των 128.700 χιλιάδων ευρώ είναι το ετήσιο ποσό που είναι απαραίτητο για επένδυση προκειμένου η κατασκευή να έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής. Για τον υπολογισμό των ταμειακών ροών, πρέπει να βρεθεί το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και συμπεριλαμβάνονται όλοι οι μισθοί και οι πληρωμές που σχετίζονται με τη λειτουργία και συντήρηση καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του SWHP. Αυτό ισχύει τόσο για την εταιρεία Fjordvarme AS όσο και για τους πελάτες. Με βάση τα λειτουργικά στοιχεία από το Eid, υπάρχει μια καλή βάση για την παροχή μιας αξιόπιστης εκτίμησης αυτών των δαπανών. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης συνδέεται πλήρως με το έργο στο Eid και όταν η λειτουργία θα είναι 100% εκτιμάται σε 616.275 χιλιάδες ευρώ. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης το 2012 ήταν 386.100 χιλιάδες ευρώ στο 58,3% της πλήρους λειτουργίας και υπολογίζεται ότι αυτό θα είναι το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης στο μέλλον εάν η χωρητικότητα είναι αμετάβλητη. Για να υπολογιστεί το εισόδημα, πρέπει να είναι γνωστή η παραγωγή ενέργειας και οι τιμές. Η παραγωγή ενέργειας στο Eid ισούται με 10,5 GWh ετησίως. Σε πλήρη δυναμικότητα, το επίπεδο

παραγωγής θα είναι περίπου 18 GWh. Λόγω της σταθερής θερμοκρασίας στο φιόρδ από έτος σε έτος, υπάρχει μόνο οριακή αβεβαιότητα σχετικά με τα επίπεδα παραγωγής. Τα ακαθάριστα ετήσια έσοδα από το SWHP ισούνται με την παραγωγή ενέργειας που αποτιμάται στην αγοραία τιμή συμπεριλαμβανομένων των δαπανών δικτύου. Αυτό είναι το ποσό που θα έπρεπε να πληρώσουν οι πελάτες για ενέργεια από άλλες πηγές αν δεν υπήρχε το SWHP. Με βάση το τρέχον κόστος δικτύου στη δυτική Νορβηγία, υπολογίζεται ότι το μελλοντικό κόστος είναι 0,0396 ευρώ ανά kWh. Η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος ήταν χαμηλή από το 2012. Έτσι, τα ετήσια ακαθάριστα έσοδα από το Eid στην παρούσα παραγωγή των 10,5 GWh εκτιμάται ότι είναι 779.625 χιλιάδες ευρώ. Εάν η παραγωγή φτάσει στο 100% της παραγωγικής της ικανότητας, το ετήσιο εισόδημα θα είναι 1.336.500 εκατομμύρια ευρώ. Λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής μίας τέτοιας εγκατάστασης πρέπει να γίνει μια υπόθεση σχετικά με τον αναμενόμενο ρυθμός πληθωρισμού. Εκτός από την υπόθεση για αύξηση 30% στο κόστος των επενδύσεων, εάν η εγκατάσταση λειτουργεί στο 100% των δυνατοτήτων της, όλες οι μελλοντικές ταμειακές ροές υπολογίζονται σε πραγματικούς όρους (προσαρμοσμένος πληθωρισμός). Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πραγματικό, όχι ονομαστικό, προεξοφλητικό επιτόκιο. Κατά την πρόβλεψη των μελλοντικών ταμειακών ροών με βάση εκ των υστέρων στοιχεία και αρκετά χρόνια εμπειρίας, το μη συστηματικό στοιχείο κινδύνου στις συγκεκριμένες αναλύσεις θα μειωθεί σημαντικά.<sup>[4]</sup>

#### **5.1.5. Τελικά αποτελέσματα από την λειτουργία του έργου στην Νορβηγία**

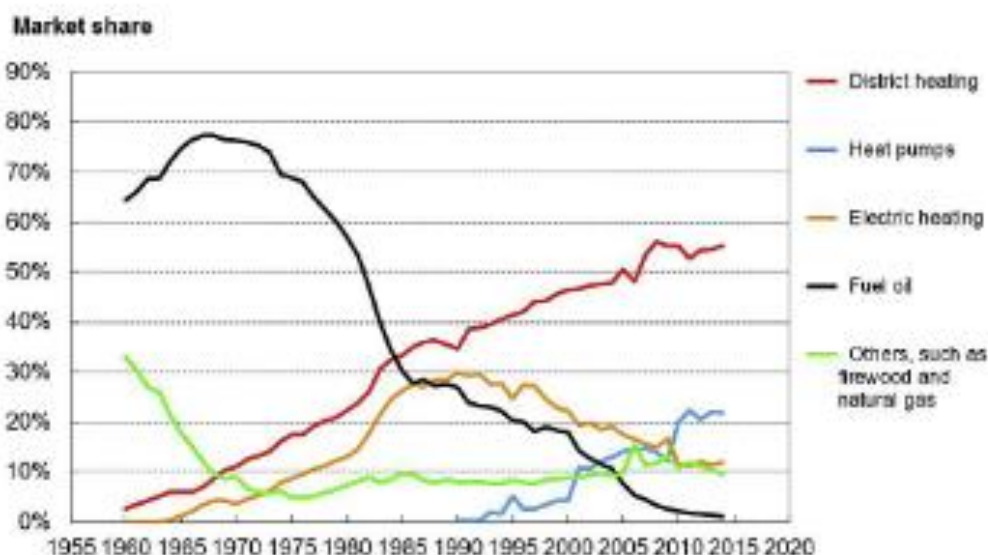
Το αποτέλεσμα της διεθνούς εμπειρίας δείχνει ότι το έργο στο Eid αποδείχθηκε μια κερδοφόρα επιχειρηματική επένδυση για τους ιδιοκτήτες και λόγω των λιγότερο ευμετάβλητων τιμών ενέργειας, οι πελάτες πέτυχαν καλύτερη οικονομική αποδοτικότητα σε σύγκριση με πελάτες που αγοράζουν ενέργεια από εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές, όπως η υδροηλεκτρική ενέργεια ή ενέργεια από ανεμογεννήτριες. Οι ανεπιθύμητες παρενέργειες στην κοινότητα εκτός από τους ιδιοκτήτες και τους καταναλωτές είναι ασήμαντες, πράγμα που σημαίνει ότι το SWHP έχει ελάχιστα αρνητικά εξωτερικά αποτελέσματα. Μία οικονομικά αποδοτική επένδυση, όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση, βασίζεται σε μία πλήρως ανεπτυγμένη και δοκιμασμένη τεχνολογία. Αυτό σημαίνει υψηλή αξιοπιστία και σταθερότητα όσον αφορά τον ενεργειακό εφοδιασμό στους καταναλωτές και υψηλός βαθμός προβλεπτικότητας σχετικά με το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Αυτό σημαίνει ότι η

μεταβλητότητα του ενεργειακού κόστους των πελατών μειώνεται σε σύγκριση με την καθαρή ηλεκτρική θέρμανση όπου το ετήσιο κόστος μπορεί να κυμαίνεται με τις αλλαγές στον καιρό. Σημαίνει επίσης ότι ο οικονομικός κίνδυνος που συνδέεται με μια επένδυση σε μια εγκατάσταση SWHP θα είναι χαμηλός. Σύμφωνα με την τυπική οικονομική θεωρία, η αναμενόμενη θετική αποδοτικότητα θα ενθαρρύνει τους ιδιώτες επενδυτές να επενδύσουν σε ένα τέτοιο έργο. Ωστόσο υπάρχουν δύο κύριοι παράγοντες που εμποδίζουν την ανάπτυξη τέτοιου είδους επενδύσεων. Πρώτα απ' όλα, υπάρχει έλλειψη σχετικών επιχειρησιακών πληροφοριών που βρίσκονται σε λίγες εγκαταστάσεις, χωρίς εμπειρικά στοιχεία σχετικά με την τεχνολογία και το κόστος συντήρησης, και δεύτερον, η έλλειψη συντονιστικής ομάδας. Η κατασκευή ενός τέτοιου έργου απαιτεί μεγάλες χρηματοοικονομικές επενδύσεις σε σκάψιμο μεγάλων τάφρων για ένα σύστημα αγωγών καθώς και χρόνο και προσπάθεια που δαπανάται για την απόκτηση των αδειών για χρήση γης που απαιτείται για την εκτέλεση αυτής της εργασίας. <sup>[4]</sup>

## **5.2 Το σύστημα τηλεθέρμανσης στη Σουηδία**

Η Στοκχόλμη είναι Πρωτεύουσα της Σουηδίας και αποτελεί ένα από τα καλύτερα παραδείγματα για παραγωγή και χρήση ενέργειας σε συνδυασμό με τη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος. Η τηλεθέρμανση αποτελεί ένα βασικό κομμάτι στον τρόπο θέρμανσης αφού σχεδόν το 60% του συνολικού αριθμού των πελατών της Στοκχόλμης την έχουν επιλέξει. Αυτό αντιστοιχεί σε περίπου 5.700 GWh που διατίθενται σε περισσότερους από 6.000 πελάτες στους οποίους συμπεριλαμβάνονται και 250 GWh για πελάτες από γειτονικούς δήμους σε ένα συνολικό δίκτυο διανομής μήκους 765 km. Η Στοκχόλμη δεν έχει δίκτυο παροχής φυσικού αερίου, γι αυτόν το λόγο η τηλεθέρμανση πρέπει να είναι ανταγωνιστικός τρόπος θέρμανσης μόνο με τις ατομικές μονάδες λέβητα πετρελαίου και τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας για θέρμανση. Το σύστημα παροχής θερμότητας χρησιμοποιεί αρκετές μορφές πηγών ενέργειας όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα, τα βιοκαύσιμα, τα λύματα, το θαλασσινό νερό και ηλεκτρική ενέργεια για την ίδια την λειτουργία των αντλιών θερμότητας. Με συνολική ισχύ 180 MW, η μεγαλύτερη εγκατάσταση παραγωγής θερμότητας με χρήση αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό εγκαταστάθηκε στο εργοστάσιο Värtan Ropsten. Οι 6 μονάδες αντλίας θερμότητας που το αποτελούν τέθηκαν σε λειτουργία μεταξύ 1984 και 1986. Αρχικά, όλες οι μονάδες λειτουργούσαν

με ψυκτικό υγρό R22. Ένα μόνιμα ενεργό σύστημα λαδιού στεγανοποίησης αποτρέπει την απώλεια ψυκτικού κατά τη λειτουργία και την ακινησία. Με την εξέλιξη του συστήματος το 2003 η μία μονάδα άρχισε να χρησιμοποιεί ως ψυκτικό υγρό το R134a. Για την εισαγωγή του θαλασσινού νερού έχουν επιλεγεί 2 τρόποι. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας είναι υψηλότερη λόγω της μεγαλύτερης ηλιοφάνειας τότε και η εισαγωγή στο σύστημα γίνεται από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες η εισαγωγή γίνεται από βάθος 15mπου έχει μια σταθερή θερμοκρασία κοντά στους 3°C. Το σύνολο της εγκατάστασης καλύπτει τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης κατά τους μήνες της άνοιξης και τους πρώτους μήνες του φθινοπώρου ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες καλύπτει τα φορτία βάσης και συνδυάζεται και με τους υπόλοιπους τρόπους θέρμανσης για να καλύψει και τα φορτία αιχμής. <sup>[5]</sup> Σήμερα όλες οι πόλεις στη Σουηδία διαθέτουν σύστημα τηλεθέρμανσης. Περίπου 500 εγκαταστάσεις είναι σε λειτουργία συμπεριλαμβανομένων και των εγκαταστάσεων που είναι σε μικρές πόλεις και χωριά. Αποτελεί το σύστημα θέρμανσης με την μεγαλύτερη προτίμηση σήμερα σε σχέση με τους υπόλοιπους τρόπους που υπάρχουν. Ένα διάγραμμα που δείχνει το ποσοστό αύξησης του μεριδίου των καταναλωτών που επιλέγουν τηλεθέρμανση δίνεται παρακάτω.



Εικόνα 13-Διάγραμμα που δείχνει την επιλογή του τρόπου παροχής ενέργειας για θέρμανση των καταναλωτών στην Σουηδία από το 1960-2015 [19]

Όλο και περισσότερο γίνεται επιλογή από τους καταναλωτές να εγκαταστήσουν μεμονωμένες ανά κτήριο αντλίες θερμότητας για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών. Οι κύριοι καταναλωτές είναι οι πολυκατοικίες και οι δημόσιες ή ιδιωτικές υπηρεσίες και σε αυτούς συμπληρώνονται οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μονοκατοικίες καθώς και τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται με σκοπό την αποφυγή χιονοκάλυψης και πάγου. Όσον αφορά την τηλεψύξη αν και δεν έχει δείξει τον ίδιο βαθμό αύξησης με την τηλεθέρμανση ωστόσο έχει και αυτή αυξητική τάση. Ένας από τους λόγους για τους οποίους έχει γίνει αυτό είναι τα σύγχρονα ενεργειακά αποδοτικά κτήρια. Αυτό συμβαίνει γιατί η κύρια σχεδίαση αυτών των κτηρίων είναι να έχουν μηδενικές απώλειες θερμότητας το χειμώνα που όμως για τους θερμούς μήνες είναι αρνητικό και έτσι καθίσταται αναγκαία η προσθήκη στο σχεδιασμό ενός συστήματος ψύξης. Έτσι με την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας μπορεί το σύστημα να λειτουργεί και για θέρμανση και για ψύξη που είναι μια πολύ αποδοτική λύση.<sup>[19]</sup>

### **5.3. Το σύστημα τηλεθέρμανσης στη Ολλανδία**

Η πόλη της Χάγης έχει αναπτύξει μια καινοτόμο ενεργειακή ιδέα που αποτελείται από μια κεντρική μονάδα παροχής θαλασσινού νερού με έναν εναλλάκτη θερμότητας και μια μονάδα αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιεί την κοντινή θάλασσα ως πηγή θερμότητας. Η Χάγη και η Vestia Housing Corporation συνεργάστηκαν με την Deerns για την υλοποίηση αυτής της πηγής ενέργειας στην ανακατασκευή 750 από τις 3.000 κατοικίες που βρίσκονται στο Duindorp. Το Duindorp βρίσκεται κατά μήκος της ακτής της Βόρειας Θάλασσας και αποτελείται κυρίως από μικρά οικογενειακά σπίτια που χτίστηκαν μεταξύ του 1915 και του 1931, τα οποία παλαιότερα κατείχαν ψαράδες. Η κεντρική μονάδα τροφοδοσίας θαλασσινού νερού συνδέεται μέσω ενός δικτύου διανομής στις μεμονωμένες κατοικίες. Κάθε μονάδα περιβλήματος θα διαθέτει ατομική αντλία θερμότητας για περαιτέρω θέρμανση. Ένα σύστημα που εξάγει το θαλασσινό νερό και στη συνέχεια επεξεργάζεται το θαλασσινό νερό είτε μέσω εναλλάκτη θερμότητας είτε αντλίας θερμότητας (ανάλογα με την εποχή του έτους) για να παρέχει σε μια ολόκληρη κατοικημένη περιοχή θέρμανση χώρου και ζεστό νερό. Μια κεντρική μονάδα βρίσκεται κοντά στο λιμάνι που περιέχει τόσο τον κεντρικό εναλλάκτη θερμότητας όσο και την αντλία θερμότητας. Μικρότερες μεμονωμένες αντλίες θερμότητας είναι εγκατεστημένες σε

κάθε σπίτι για περαιτέρω θέρμανση. Η ενεργειακή επίδοση που παράγεται από την άντληση θερμότητας από τη θάλασσα είναι 1.100% και αυτό με την σειρά του οδηγεί σε μείωση κατά 50% των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Οι τελικοί χρήστες δεν πληρώνουν περισσότερα για αυτό το σύστημα από ένα συμβατικό σύστημα. Το εργοστάσιο θαλασσινού νερού αποτελείται από εναλλάκτη θερμότητας και αντλία θερμότητας. Στο τέλος ενός δικτύου διανομής, εγκαθίστανται μεμονωμένες αντλίες θερμότητας σε κάθε σπίτι για να παρέχουν θέρμανση χώρου, ζεστό νερό οικιακής χρήσης και θέρμανση δαπέδου. Το θαλασσινό νερό εξάγεται στο λιμάνι από μια κεντρική μονάδα και στη συνέχεια υποβάλλεται σε επεξεργασία με έναν από τους δύο τρόπους:

Εναλλάκτης θερμότητας:

Το καλοκαίρι, όταν η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού υπερβαίνει τους 11 ° C, χρησιμοποιείται μόνο ο εναλλάκτης θερμότητας. Ο εναλλάκτης θερμότητας τροφοδοτεί θερμό νερό στο τοπικό δίκτυο, αντλώντας αρκετή θερμότητα από το θαλασσινό νερό για να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων.

Αντλία θερμότητας:

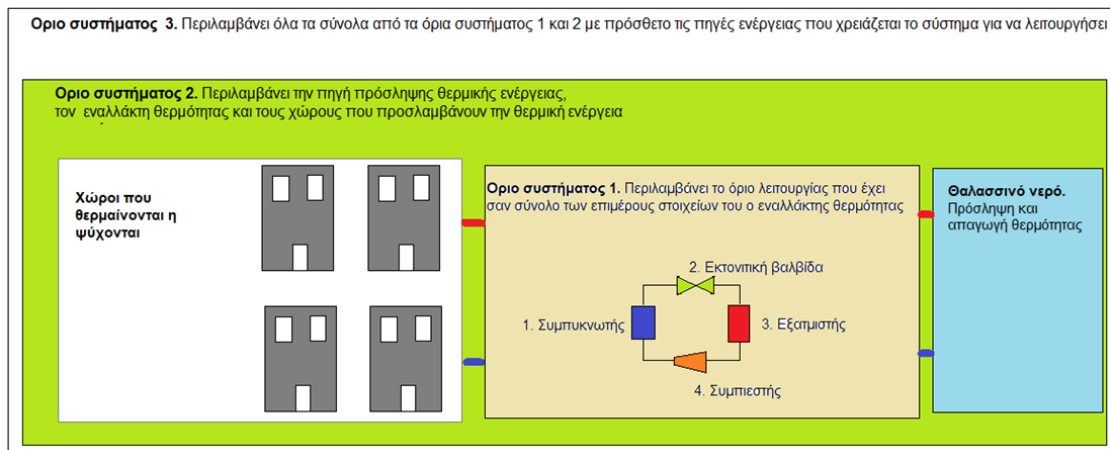
Το χειμώνα, όταν η θερμοκρασία του νερού είναι μικρότερη από 4 ° C, χρησιμοποιείται η αντλία θερμότητας. Χρησιμοποιώντας ηλεκτρισμό, η αντλία θερμότητας λειτουργεί για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας από μια κρύα πηγή σε μια θερμότερη ψήκτρα. Η αντλία θερμότητας αμμωνίας έχει ισχύ 2,7 MW και θερμαίνει το νερό στους περίπου 11 ° C, το οποίο στη συνέχεια τροφοδοτείται στο τοπικό δίκτυο. Μόλις φτάσει σε κάθε νοικοκυριό, το νερό θερμαίνεται περαιτέρω από την αντλία θερμότητας κάθε σπιτιού στους 65 ° C για ζεστό νερό και στους 45 ° C για θέρμανση.<sup>[6]</sup>

## **Κεφάλαιο 6. Μέθοδος προκαταρκτικού σχεδιασμού και αξιολόγησης συστήματος τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης με θαλασσινό νερό**

Όπως συμβαίνει σε οποιαδήποτε μελέτη για την επένδυση σε ένα έργο, έτσι και για την μελέτη όσον αφορά την θέρμανση και την ψύξη κτηριακών χώρων απαιτείται ένα σύστημα αξιολόγησης με σκοπό την εύρεση της πιο αποδοτικής λύσης. Για την μελέτη αυτή γίνεται σύγκριση μίας εγκατάστασης SWHP με άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες που ήδη χρησιμοποιούνται. Για να μπορέσει να γίνει η αξιολόγηση μίας



SWHP (sea water heat pump) εγκατάστασης είναι απαραίτητο να καθοριστούν τα τεχνικά και λειτουργικά όρια του συστήματος. Το Σχήμα 6 εμφανίζει το σύστημα SWHP που χωρίζεται σε τρία διαφορετικά επίπεδα ορίων συστήματος. Το όριο συστήματος 1 αντιπροσωπεύει τον θερμοδυναμικό κύκλο της SWHP μονάδας. Το όριο συστήματος 2 επεκτείνεται από μονάδα SWHP σε άλλη μονάδα SWHP που συνδυάζεται περαιτέρω με την πηγή θέρμανσης / ψύξης και το χώρο πρόσδοσης/πρόσληψης της θερμικής ενέργειας για θέρμανση / ψύξη. Εδώ, η πηγή θέρμανσης / ψύξης είναι το θαλασσινό νερό. Το όριο συστήματος 3 είναι η πηγή ενέργειας από την οποία τροφοδοτείται το σύστημα για την λειτουργία του, λαμβάνοντας υπόψη και την παροχή πρωτογενούς ενέργειας. Τόσο τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος SWHP όσο και τα χαρακτηριστικά ζήτησης θέρμανσης ή ψύξης κτιρίου είναι σημαντικά. Για παράδειγμα, στο όριο του συστήματος 2, το θαλασσινό νερό ως ενεργειακή πηγή σε διάφορες παράκτιες πόλεις θα πρέπει να διερευνηθεί για τις θερμοκρασίες που αυτό έχει και τις εποχιακές μεταβολές του όσο και για την ποιότητα που έχει. Η εκμετάλλευση της ενέργειας του θαλασσινού νερού χρησιμοποιώντας εγκαταστάσεις SWHP σχετίζεται με πολλά χωρικά δεδομένα όπως θερμοκρασία θαλασσινού νερού, αλατότητα θαλασσινού νερού, ιδιότητες κτηρίων κ.λπ., τα οποία απαιτούν ανάλυση χωρικών δεδομένων.<sup>[11]</sup> Η ανάλυση χωρικών δεδομένων αφορά τις καταστάσεις στις οποίες είναι διαθέσιμα δεδομένα παρατήρησης για κάποιο φαινόμενο που συμβαίνει σε κάποιο γεωγραφικό χώρο και εξετάζει μοντέλα, μεθόδους και τεχνικές για να περιγράψει ή να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά αυτού του φαινομένου και της πιθανής του σχέσης με άλλα χωρικά φαινόμενα.<sup>[18]</sup>



Εικόνα 14-Σύνολο των συνεργαζόμενων μερών μίας εγκατάστασης SWHP

Συνήθως σχετίζεται με τοπολογικές, γεωμετρικές ή γεωγραφικές ιδιότητες. Με την χρήση της ανάλυσης χωρικών δεδομένων, η συστηματική μέθοδος αξιολόγησης μπορεί να παρέχει πληροφορίες της σκοπιμότητας SWHP σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες με σκοπό την πιθανή επένδυση μιας τέτοιας εγκατάστασης. Σε αυτή τη μελέτη, αναλύοντας χωρικά δεδομένα της πηγής (θαλασσίνο νερό), του χώρου πρόσληψης(κτίρια) του ενεργειακού συστήματος καθώς και τα τεχνοοικονομικά-περιβαλλοντικά δεδομένα και τη γεωγραφική σκοπιμότητα των SWHP's τότε μπορούν να συγκριθούν με τις status-quo τεχνολογίες θέρμανσης και ψύξης χώρου. Ως status-quo τεχνολογίες ορίζονται αυτές που μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν έχοντας γνωστά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανά περιοχή. Για να μπορέσουν να συγκριθούν ποσοτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των SWHP's έναντι των εναλλακτικών λύσεων προτείνεται η χρήση έξι (6) δεικτών KPI(key performance indicator), που είναι η αποδοτικότητα της τεχνολογίας, η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας PEU(annual primary energy use) με μονάδα μέτρησης kgce/m<sup>2</sup>, η περίοδος αποπληρωμής με προεξόφληση DPP(discounted payback period) με μονάδα μέτρησης τα χρόνια, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR(internal rate of return) μετρούμενο σε ποσοστό %, η εξοικονόμηση εκπομπών CO<sub>2</sub> και η εξοικονόμηση εκπομπών PM<sub>2,5</sub> (σωματίδια 2,5). <sup>[18]</sup>

#### Συλλογή & Ανάλυση Χωρικών Δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων περιλαμβάνει δεδομένα των πηγών (θαλασσίνο νερό), δεδομένα χώρων πρόσληψης της ενέργειας (κτίρια), ηλεκτρικά δεδομένα για την λειτουργία της SWHP εγκατάστασης καθώς και ενεργειακά δεδομένα συστήματος όπως τοπική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας. <sup>[18]</sup>

## Επιλογή αντλίας θερμότητας θαλασσινού νερού

Για να γίνει η επιλογή κατάλληλης αντλίας θερμότητας για την χρήση SWHP θα πρέπει να έχει προηγηθεί μελέτη ώστε να είναι γνωστές οι απαιτήσεις που αυτή θα πρέπει να καλύπτει. Τέτοιες απαιτήσεις είναι το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά, τα φορτία που θα πρέπει αυτή να καλύπτει ανάλογα με τις κτηριακές μονάδες που εξυπηρετεί και οι διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις που έχει το κάθε κτήριο. Αυτά είναι τα βασικά στοιχεία για την επιλογή αντλίας θερμότητας κατάλληλου μεγέθους και τρόπου λειτουργίας που αυτή χρησιμοποιεί. Το επόμενο στάδιο μελέτης αποτελείται από την μονάδα αντλίας θερμότητας θαλασσινού νερού (SWHP) σε συνδυασμό με τον χώρο που γίνεται η πρόσληψη θερμικής ενέργειας (θαλασσινό νερό) και η παροχή αυτής της θερμικής ενέργειας (κτήρια). Έτσι λοιπόν η επιλογή της εκάστοτε αντλίας θερμότητας βασίζεται και στην ανάλυση χωρικών δεδομένων ώστε τα στοιχεία λειτουργίας της να είναι ανάλογα και με την τοποθεσία στην οποία θα λειτουργήσει πέραν των ενεργειακών αναγκών που αυτή θα έχει να καλύψει.<sup>[18]</sup>

Ενεργειακές απαιτήσεις για την λειτουργία του συστήματος.

Για την παροχή ενέργειας στο σύστημα, επιλέγεται η ηλεκτρική ενέργεια για τα συστήματα SWHP συμπίεσης ατμών. Η επιλογή ως πηγή ενέργειας να είναι η ηλεκτρική είναι σημαντική, διότι επηρεάζει στην εξοικονόμηση εκπομπών που θα έχει το SWHP.<sup>[18]</sup>

Επιλογή κτιρίων προς κλιματισμό.

Η ζήτηση για θέρμανση και ψύξη των χώρων ενός κτιρίου εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις ιδιότητες σχεδιασμού των κτιρίων, οι οποίες ποικίλλουν επίσης χωρικά οπότε είναι αναγκαία η επιλογή ενός κτηρίου αναφοράς με δεδομένες διαστάσεις και ενεργειακές ανάγκες. Στη συνέχεια, ένα SWHP έχει ανάλογο μέγεθος για να καλύψει τη μέγιστη ζήτηση θέρμανσης και ψύξης. Επιλογές κτιρίου, υλικά κατασκευής, παράθυρα κ.λπ. βασίζονται στον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζονται τα τοπικά κτίρια στην κάθε πόλη μελέτης περίπτωσης. Για τον σχεδιασμό, η επιλογή της εσωτερικής θερμοκρασίας για θέρμανση είναι 18 ° C, ενώ ο σχεδιασμός της εσωτερικής θερμοκρασίας για ψύξη ορίζεται στους 26 ° C.<sup>[18]</sup>

Τεχνικοί βασικοί δείκτες απόδοσης

Η απόδοση του συστήματος αντλιών θερμότητας κατά τη διάρκεια ολόκληρης της σεζόν θέρμανσης και ψύξης αξιολογείται από τον εποχικό συντελεστή επίδοσης (SCOP). Αυτός είναι ο δείκτης που έχει σημασία κατά τη σύγκριση διαφορετικών τύπων αντλιών θερμότητας ή κατά τη σύγκριση αντλιών θερμότητας με εναλλακτικές τεχνολογίες θέρμανσης και ψύξης κτιρίων.

Σε αυτή την εργασία το SCOP υπολογίζεται από την Εξίσωση 6.1.

$$SCOP = \sum_{i=1}^{8760} h_i * (6.1)$$

Όπου:

- **SCOP**: Εποχιακός συντελεστής επίδοσης
- **h<sub>i</sub>**: Ο αριθμός ωρών για κάθε θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος T<sub>i</sub>
- **i**: Επακόλουθος αριθμός ωρών σε κάθε θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος
- **Q(T<sub>i</sub>)**: Το φορτίο θέρμανσης / ψύξης κτιρίου σε κάθε θερμοκρασία περιβάλλοντος T<sub>i</sub>, kw
- **Sup(T<sub>i</sub>)**: Η συμπληρωματική θέρμανση / ψύξη που παρέχεται από εφεδρικές συσκευές, Kw
- **COP<sub>bin</sub>(T<sub>i</sub>)**: Συντελεστής λειτουργίας μερικής απόδοσης της αντλίας θερμότητας σε κάθε θερμοκρασία περιβάλλοντος T<sub>i</sub>

Σε αυτή τη μελέτη, τόσο το SWHP όσο και το ASHP θεωρείται ότι καλύπτουν πλήρως το φορτίο θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, οπότε δεν υπάρχει επιπλέον παροχή θέρμανσης και ψύξης, που σημαίνει ότι το sup (T<sub>i</sub>) = 0. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την αντλία κυκλοφορίας θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο 25% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος αντλίας θερμότητας. Για λέβητες άνθρακα, θεωρείται η αποδοτικότητα του συστήματος να είναι 0,75. Η χρήση πρωτογενούς ενέργειας από ορυκτά καύσιμα στις αντλίες θερμότητας υπολογίζεται με την Εξίσωση 6.2.

$$PEU_{HPfossil} = \frac{f*Q}{SCOP*n_{tran}*n_{neg}*A} \quad (6.2)$$

Όπου:

- **PEU<sub>HPfossil</sub>**: Ετήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας, kgce / m<sup>2</sup>
- **f**: Ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας ορυκτών καυσίμων στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
- **Q**: Ετήσια ζήτηση ενέργειας θέρμανσης / ψύξης κτιρίων, kWh
- **SCOP**: Εποχιακός συντελεστής απόδοσης
- **n<sub>tran</sub>**: Απόδοση μεταφοράς ηλεκτρικού δικτύου
- **n<sub>gen</sub>**: Αποδοτικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- **A**: Συνολικό εμβαδόν κατοικιών, m<sup>2</sup>

Οικονομικοί βασικοί δείκτες απόδοσης

Για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος υπάρχουν οι δείκτες DPP και IRR. Το DPP μπορεί να παρέχει μια αξιολόγηση του χρόνου αποπληρωμής μιας συγκεκριμένης επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική αξία των επενδυτικών χρημάτων. Το IRR μπορεί να δείξει πόσο κερδοφόρα μπορεί να είναι μια επένδυση με μια συγκεκριμένη τεχνολογία βάση του κύκλου ζωής της. Η Εξίσωση 6.3 και η Εξίσωση 6.4 χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των DPP και IRR.

$$DPP = \frac{\ln(B-C) - \ln(B-C - ir * C_{capital})}{\ln(1+ir)} \quad (6.3)$$

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{Bi - Ci}{(1-IRR)^i} - C_{capital} = 0 \quad (6.4)$$

Όπου

- **DPP**: προεξοφλημένη περίοδος αποπληρωμής, έτη
- **B**: Τεχνολογικό ετήσιο όφελος
- **C**: ετήσιο κόστος τεχνολογίας
- **ir**: προεξοφλητικό επιτόκιο, %
- **C<sub>capital</sub>**: κόστος κεφαλαίου της τεχνολογίας
- **NVP**: καθαρά παρούσα αξία
- **IRR**: εσωτερικός βαθμός απόδοσης

Περιβαλλοντικοί βασικοί δείκτες απόδοσης

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες περιλαμβάνουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και τις εκπομπές PM<sub>2.5</sub>. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> συνδέονται με τις εθνικά καθορισμένες συνεισφορές εκάστοτε χώρας προς τους στόχους αειφόρου ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών. Οι εκπομπές PM<sub>2.5</sub> αντανakλούν το δυναμικό των SWHP's στην καταπολέμηση των προβλημάτων ρύπανσης του αέρα κατά τα επόμενα χρόνια. Η μέθοδος υπολογισμού αναφέρεται στον υπολογισμό εκπομπών με την μέθοδο IPCC. Εκπομπές CO<sub>2</sub> και εκπομπές PM<sub>2.5</sub> για λειτουργία με διαφορετικές τεχνολογίες καθορίζονται με τις Εξισώσεις 6.5 και 6.6.

$$ECO_2 = \frac{EFCO_2 - PEU}{A} \quad (6.5)$$

$$EPM_{2.5} = \frac{EPM_{2.5} * PEU * (1 - nre)}{A} \quad (6.6)$$

Όπου:

**ECO<sub>2</sub>**: Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα ανά τετραγωνικό μέτρο εμβαδού κατοικημένου δαπέδου, kgCO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>

**EFCO<sub>2</sub>**: Συντελεστής εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται από την αντλία θερμότητας νερού, kgCO<sub>2</sub> / kgce

**EPM<sub>2.5</sub>**: Σωματιδιακή εκπομπή PM<sub>2,5</sub> ανά τετραγωνικό μέτρο κατοικημένης επιφάνεια δαπέδου, gPM<sub>2,5</sub> / m<sup>2</sup>

**EFPM<sub>2.5</sub>**: Συντελεστής εκπομπής PM<sub>2,5</sub> σωματιδίων από χρήση πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται από την αντλία θερμότητας θαλασσινού νερού, kgPM<sub>2,5</sub> / kgce

**nre**: αποτελεσματική απομάκρυνση των τεχνολογιών ελέγχου εκπομπών<sup>[18]</sup>

Κόστος και οφέλη της επένδυσης

Για να προσδιοριστεί η κερδοφορία οποιουδήποτε έργου πρέπει να εξεταστεί από επιχειρηματική ή από κοινωνική άποψη. Η εξίσωση 6.7 παρακάτω αντιπροσωπεύει τη συνάρτηση κέρδους της κοινωνίας ενός SWHP:

$$ps = pp + pcd(ki)e(x) + b \quad (6.7)$$

όπου

- $ps$  = το οικονομικό πλεόνασμα για την κοινωνία
- $pp$  = το πλεόνασμα καταναλωτή της παραγόμενης ποσότητας ενέργειας
- $pc$  = το πλεόνασμα του παραγωγού
- $d(ki)$  = οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μετριοούνται σε χρήμα
- $e(x)$  = άλλα αρνητικά εξωτερικά αποτελέσματα που μετριοούνται σε χρήμα
- $b$  = θετικά αποτελέσματα αντικατάστασης μετρημένα σε χρήμα

Τα εξωτερικά χαρακτηριστικά ορίζονται ως οφέλη ή κόστος που δημιουργείται ως ένα ακούσιο υποπροϊόν μίας οικονομικής δραστηριότητας που δεν αποδίδεται στα μέρη που συμμετέχουν στη δραστηριότητα και συμβαίνει όπου δεν υπάρχει αποζημίωση. Ένα εξωτερικό χαρακτηριστικό είναι θετικό εάν η συμπεριφορά κάποιου στοιχείου κάνει ένα άλλο στοιχείο καλύτερο και αρνητικό εάν αυτή η συμπεριφορά κάνει έναν άλλο παράγοντα χειρότερο. Είναι δύσκολο να βρεθεί παραγωγή ενέργειας που να μην έχει ακούσιες παρενέργειες. Αρνητικές εξωτερικές, περιβαλλοντικές επιπτώσεις συμβαίνουν όταν η παραγωγή ενέργειας παράγει απόβλητα σε στερεή ή υγρή μορφή ή εκπομπές επιβλαβών αέριων ουσιών ή όταν οι δραστηριότητες επεξεργασίας προκαλούν θόρυβο και άλλα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα η σκίαση που παράγουν οι ανεμογεννήτριες. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως μία ηλιακή μονάδα παραγωγής ενέργειας και ένα αιολικό πάρκο που εγκατασταίνεται σε μία περιοχή ενδέχεται να συμπιέσουν τις υπόλοιπες επιχειρήσεις, εγκαταστάσεις και καταστήματα σε αυτήν την περιοχή ή να καταστρέψουν το βιότοπο των πουλιών και των ζώων. Οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί επίσης να σχετίζονται στη μεταφορά και άλλη χρήση ορυκτών καυσίμων. Ένα παράδειγμα του τελευταίου είναι η κακή ποιότητα του αέρα σε ορισμένες πόλεις στον κόσμο λόγω της εκτεταμένης χρήσης άνθρακα για θέρμανση. Παρόμοια με όλες τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, ένα SWHP έχει κάποια αρνητικά εξωτερικά αποτελέσματα. Ωστόσο, αυτά τα φαινόμενα εμφανίζονται κατά τη φάση κατασκευής όταν οι αγωγοί πρέπει να τοποθετηθούν υπόγεια και έτσι σκάβεται το έδαφος ή και όταν η μονάδα ανταλλαγής θερμότητας είναι υπό κατασκευή. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί θόρυβο, κλειστούς δρόμους και

σκόνη. Στη φάση λειτουργίας, ένα WEPS δεν εκπέμπει θόρυβο ή μυρωδιές, και εκτός από το σπίτι όπου βρίσκεται η μονάδα ανταλλαγής θερμότητας, ολόκληρη η εγκατάσταση WEPS δεν είναι εμφανής. Το μοναδικό εξωτερικό αποτέλεσμα από τις εγκαταστάσεις SWHP που είναι εμφανές κατά τη λειτουργία είναι η κατάληψη του χώρου από το σημείο που γίνεται η πρόσληψη του θαλασσινού νερού. Αυτή η περιοχή θα μπορούσε εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί ως αγκυροβόλιο για μεγάλα πλοία. Έτσι λοιπόν γίνεται εμφανές ότι από μία εγκατάσταση SWHP ορισμένες ομάδες ή άτομα θα κερδίσουν από αυτό, όπως οι επενδυτές και οι πελάτες, αλλά το κυριότερο είναι ότι κανένας δεν θα βγει ζημιωμένος. Με βάση τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα εξωτερικά αποτελέσματα ενός SWHP είναι ελάχιστα και γι αυτόν τον λόγο μπορεί να απλοποιηθεί η συνάρτηση κοινωνικού κέρδους που δίνεται στην Εξίσωση 6.7 και να γραφεί ως εξής:

$$ps = pp + pc + b \quad (6.8)$$

Εδώ, ο όρος  $b$  είναι τα θετικά αποτελέσματα αντικατάστασης που μετριούνται σε οικονομικούς όρους. Εάν το SWHP, για παράδειγμα, οδηγεί σε μειωμένη παραγωγή άνθρακα, αυτό θα μειώσει την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα επόμενος ο δείκτης  $b$  αυξάνεται και δείχνει το όφελος για την κοινωνία από αυτήν τη μείωση των εκπομπών που μετράται σε οικονομικούς όρους. <sup>[3]</sup> Η Κίνα παρουσίασε μία μελέτη σκοπιμότητας για τέσσερις πόλεις με βάση την μέθοδο αξιολόγησης που παρουσιάστηκε. Τονίζουμε ότι αποτελεί έρευνα και όχι τελειωμένο έργο ή έργο κατά την κατασκευή και χρησιμοποιείτε για να δούμε κατά πόσο αποτελεί ελκυστική λύση ως τρόπος θέρμανσης και κλιματισμού για τέσσερις πόλεις με διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος και διαφορετικές χρησιμοποιούμενες μεθόδους θέρμανσης και ψύξης χώρων. Τα αποτελέσματα των τεχνικών βελτιώσεων KPI των SWHPs σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα παρατίθενται και συγκρίνονται στον πίνακα 7.



Πίνακας 7-Ποσοστιαίες διαφορές για τον κλιματισμό χώρων της εγκατάστασης SWHP σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης για τις 4 πόλεις

Πόλεις	Tianjin		Qingdao		Shanghai		Ningbo	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη
Ποσοστιαία διαφορά σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους κλιματισμού %	165%	89%	182%	26%	13%	2%	17%	-5%
Ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ύλης %	18%	43%	19%	20%	11%	2%	14%	-6%

Από τον πίνακα 7 προκύπτει ότι για τις πόλεις Tianjin και Qingdao, η σύγκριση για τη θέρμανση χώρου με λέβητα άνθρακα, η απόδοση (SCOP) του SWHP είναι 165% και 182% υψηλότερη από τον λέβητα. Συγκρίνοντας το SWHP με το σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα AC στην ψύξη του χώρου, το SWHP είναι 89% και 26% πιο αποτελεσματικό. Στη νότια Κίνα στις πόλεις της Shanghai και του Ningbo, σε σύγκριση με το σύστημα αντλίας θερμότητας αέρα για θέρμανση, το SCOP του SWHP είναι 13% και 17% υψηλότερο από αυτό του ASHP. Σε λειτουργία ψύξης, το SCOP του SWHP είναι 2% υψηλότερο από το SCOP του ASHP στη Shanghai, αλλά το SWHP SCOP είναι 5% χαμηλότερο από το ASHP SCOP στο Ningbo. Αυτό δείχνει ότι η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού στο Ningbo είναι ένα μειονέκτημα για την εφαρμογή SWHP στην ψύξη του χώρων. Για τις πόλεις Tianjin και Qingdao στη θέρμανση χώρων, το ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ύλης που είναι ο άνθρακας με τη χρήση SWHP αντί του λέβητα άνθρακα είναι 18% και 19% αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα SWHP έχει πολύ υψηλότερη απόδοση συστήματος σε σύγκριση με τον λέβητα άνθρακα στη θέρμανση χώρων η οποία αντικατοπτρίζεται στην εξοικονόμηση πρωτογενούς άνθρακα αλλά στην περίπτωση αυτή, μπορεί να μην έχει την ίδια κλίμακα. Για τη Shanghai και το Ningbo, όπου η ηλεκτρική ενέργεια για το SWHP και το ASHP προέρχεται από το ίδιο δίκτυο, η εξοικονόμηση PEU της SWHP σε σύγκριση με το ASHP εξαρτάται κυρίως από το SCOP της SWHP. Καθώς το SCOP της SWHP είναι περίπου 13% καλύτερο από την ASHP στη Σαγκάη, η εξοικονόμηση PEU στην ASHP είναι περίπου 11%. Για την ψύξη του χώρου στο Ningbo, όπου το SCOP του SWHP είναι χαμηλότερο από το ASHP, η εξοικονόμηση είναι αρνητική. Σε γενικές γραμμές, η

SWHP παρουσιάζει υψηλότερο τεχνικό δυναμικό σε Tianjin και Qingdao από τη Shanghai και το Ningbo σε σύγκριση με το αντίστοιχο κλασσικό σύστημα υπό την τρέχουσα κατάσταση. Όσον αφορά το οικονομικό δυναμικό της αντλίας θερμότητας θαλασσινού νερού τα αποτελέσματα του DPP της Tianjin και του Qingdao είναι 12,9 ετών και 3,7 ετών αντίστοιχα. Ο IRR των Tianjin και Qingdao είναι 5% και 28% αντίστοιχα. Το DPP της Shanghai είναι 11,4 έτος και το DPP του Ningbo είναι περισσότερο από 15 χρόνια, οπότε ο αντίστοιχος IRR είναι 6% και αρνητική τιμή. Αυτό δείχνει ότι το σύστημα SWHP είναι πιο οικονομικά ελκυστικό στο Qingdao σε σύγκριση με τα κλασσικά συστήματα κλιματισμού της περιοχής, όπου το λειτουργικό κόστος της SWHP είναι πολύ χαμηλότερο από τον λέβητα και τα κλιματιστικά. Ωστόσο, στην Tianjin, τη Shanghai και το Ningbo, η SWHP δεν παρουσιάζει οικονομική ελκυστικότητα σε σύγκριση με τα κλασσικά συστήματα κλιματισμού αυτών των περιοχών, καθώς το κόστος λειτουργίας του συστήματος SWHP δεν είναι σημαντικά φθηνότερο. Μέσω ανάλυσης ευαισθησίας, μπορεί να διαπιστωθεί ότι στην Tianjin και το Qingdao όταν η SWHP συγκρίνεται με τον λέβητα άνθρακα και τα κλιματιστικά, η μείωση του κόστους SWHP δεν μειώνει αποτελεσματικά το DPP της. Αντίθετα, στη Shanghai και το Ningbo όταν η SWHP συγκρίνεται με την ASHP, η μείωση του κόστους SWHP μπορεί να μειώσει σημαντικά το DPP της. Για παράδειγμα στη Shanghai, όταν το κόστος κεφαλαίου SWHP μειώνεται κατά 5%, το DPP μειώνει από 11,4 έτος σε 5,6 έτος. Εάν το κόστος κεφαλαίου SWHP μειωθεί περαιτέρω κατά 10%, τα DPP μπορούν ακόμη και να φτάσουν το 1,8 έτος και ο αντίστοιχος IRR είναι 59%. Δείχνει ότι η επίδραση του κόστους του SWHP από οικονομικής άποψης είναι πιο εμφανής στη Shanghai και το Ningbo της νότιας Κίνας. Ως εκ τούτου, στο μέλλον, όταν η τεχνολογία SWHP αναπτυχθεί περαιτέρω και το κόστος της μειωθεί, η SWHP θα έχει περισσότερες οικονομικές δυνατότητες στη Shanghai και το Ningbo σε σύγκριση με την Tianjin. Τα αποτελέσματα των εκπομπών CO<sub>2</sub> και των εκπομπών σωματιδίων αποκαλύπτουν ότι το σύστημα SWHP μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 26%, 20%, 7% και 4% αντίστοιχα σε σύγκριση με το σύστημα status-quo στην Tianjin, το Qingdao, τη Shanghai και το Ningbo. Ως εκ τούτου, το σύστημα SWHP μπορεί να μετριάσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν για τις εκπομπές σωματιδίων. Από τα αποτελέσματα των περιπτώσεων που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι από τεχνική άποψη, το σύστημα SWHP είναι πιο εφικτό σε βόρειες πόλεις όπως η Tianjin και η Qingdao. Σε σύγκριση με το

σύστημα θέρμανσης του λέβητα άνθρακα, η θέρμανση SWHP μπορεί να εξοικονομήσει έως και 19% χρήση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Σε σύγκριση με τα κλιματιστικά, η ψύξη χώρου με σύστημα SWHP μπορεί να εξοικονομήσει έως και 43% πρωτογενή χρήση ενέργειας. Στη λειτουργία ψύξης, η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού στη βόρεια Κίνα ευνοεί την απόδοση SWHP, καθώς κατά τη διάρκεια των περιόδων που απαιτείται ψύξη των χώρων, η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού είναι πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, η οποία μειώνει τη θερμοκρασία συμπίκνωσης SWHP σε σύγκριση με τα κλιματιστικά. Κατά συνέπεια μια υψηλότερη απόδοση κατά την ψύξη μπορεί να επιτευχθεί. Η αύξηση του μεριδίου μηδενικού άνθρακα στο μείγμα δικτύου, καθώς και η βελτίωση του SWHP SCOP μπορούν να αυξήσουν την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας από ορυκτά καύσιμα της SWHP.<sup>[18]</sup>

## **Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα και προοπτικές χρήσης αντλιών θερμότητας θαλασσινού νερού στον Ελλαδικό χώρο**

Καθώς η κλιματική αλλαγή και η υπερθέρμανση του πλανήτη επιδεινώνονται, η άνοδος των η θερμοκρασία του νερού θα αλλάξει τα παράκτια θαλάσσια συστήματα. Η άνοδος της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού, από τη μία πλευρά, θα ευνοήσει τη λειτουργία SWHP το χειμώνα για θέρμανση χώρου, αλλά θα μειώσει την απόδοση SWHP για ψύξη χώρου το καλοκαίρι. Οι σχετικές αλλαγές της σύνθεσης του θαλασσινού νερού μπορούν να αλλάξουν την αλατότητα θαλασσινού νερού και τον ρυθμό αύξησης στους θαλάσσιους οργανισμούς γεγονός που θα ενισχύσει τη διάβρωση και τη βιοαποικίωση σε εφαρμογές SWHP. Μακροπρόθεσμα η χωρική ανάλυση θα πρέπει να διερευνήσει την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, ιδίως της αύξησης της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού και της αλλαγής της σύστασης της θάλασσας σε διάφορες παράκτιες πόλεις, για τον ποσοτικό προσδιορισμό του μακροπρόθεσμου δυναμικού εφαρμογής των SWHP στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Οσον αφορά τα μεσογειακά δεδομένα η Ελλάδα είναι χώρα η οποία καταλαμβάνει το ΝΑ άκρο της Ευρώπης. Αποτελεί μέρος και κατάληξη της Βαλκανικής Χερσονήσου. Ανήκει στο Βόρειο ημισφαίριο της γης, μεταξύ του 34ου και 41ου παραλλήλου. Το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας της Ελλάδος ανέρχεται σε 131.944 τ. χλμ. από τα οποία τα 106.777 τ. χλμ. είναι το ηπειρωτικό τμήμα της και τα υπόλοιπα 25.167 τ. χλμ. το νησιωτικό. Η ακτογραμμή της να φθάνει τα 13.676

χιλιόμετρα. Η Ελλάδα ανήκει στην Εύκρατη ζώνη και το κλίμα της είναι εύκρατο μεσογειακό το οποίο αποτελείτε κατά βάση από ήπιους και υγρούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Λεπτομερέστερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου αφού υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι καθώς και λόγω εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Το κυρίαρχο σύστημα για την θέρμανση χώρων είναι ο κεντρικός λέβητας πετρελαίου όμως σημαντικό ποσοστό κατέχουν και τα υπόλοιπα είδη όπως λέβητας αερίου, ενεργειακά τζάκια και αντλίες θερμότητας. Όσον αφορά την ψύξη των εσωτερικών χώρων το κυρίαρχο σύστημα είναι τα κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου. Η Ελλάδα όπως είπαμε έχει ένα μεγάλο σύνολο ακτογραμμών και πολλές από τις κατοικημένες περιοχές βρίσκονται κοντά στην θάλασσα. Αυτό είναι ένα πολύ βασικό στοιχείο για να εξετάσουμε αν στην χώρα μας υπάρχει η αποδοτική δυνατότητα της χρήσης αντλιών θερμότητας με άντληση θερμικής ενέργειας από την θάλασσα. Αν και μία συστηματική μελέτη απαιτεί αριθμητικές προσομοιώσεις και υπολογιστικά μοντέλα που δεν είναι δυνατό να γίνουν στην παρούσα εργασία λόγω έλλειψης δεδομένων ωστόσο θα κάνουμε ορισμένες παρατηρήσεις για ποιον λόγο θα ήταν άξιο μελέτης αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις σε περιοχές της Ελλάδας. Αρχικά πολλές από τις μεγάλες πόλεις όπως η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη η Πάτρα και πολλές ακόμα έχουν άμεση πρόσβαση στην θάλασσα και μάλιστα έχουν και μεγάλα λιμάνια που όπως είδαμε και από την διεθνή εμπειρία είναι πολύ σημαντικό τόσο όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης των αγωγών λόγω εκσκαφής και υλικών όσο και στο που θα καταλήγουν οι αγωγοί ώστε να μην επιφέρουν αισθητικά ή λειτουργικά προβλήματα. Ο πιο βασικός παράγοντας ωστόσο είναι η ίδια η θάλασσα και για την ακρίβεια η θερμοκρασίες που αυτήν έχει. Όπως είδαμε και από την μελέτη που διεξήχθη στις πόλεις της Κίνας όταν η θερμοκρασία της θάλασσας είναι σε σχετικά υψηλά επίπεδα κατά τους χειμερινούς μήνες άνω των 10°C τότε έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα SWHP να πετυχαίνει υψηλούς βαθμούς απόδοσης και να αποτελεί έναν αξιόλογο προς μελέτη τρόπο θέρμανσης ωστόσο αυτό αποτελεί πρόβλημα κατά τους μήνες που απαιτείτε ψύξη των εσωτερικών χώρων λόγω των χαμηλών επιδόσεων που θα έχει το σύστημα. Ένας παράγοντας που θα έχει πολύ σημαντικό αντίκτυπο στα αποτελέσματα όσον αφορά

τα οικονομικά δεδομένα αν συγκριθεί το σύστημα SWHP με σύστημα κεντρικής θέρμανσης λέβητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου θα είναι η συνεχής αύξηση στην τιμή τους που αν συγκριθεί με τον σχετικά χαμηλό δείκτη απόδοσης που κατά μέσο όρο είναι γύρω στο 75% σε σχέση πάντα με την αντλία θερμότητας θαλασσινού νερού θα έχει ενδιαφέρον όσον αφορά το κόστος της αγοράς πετρελαίου σε σχέση με την ηλεκτρική ενέργεια. Κατά την προσωπική μου άποψη η χρήση αντλιών θερμότητας που εκμαιοταλεύονται την θάλασσα για άντληση θερμικής ενέργειας και την παρέχουν μέσω αγωγών τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης στους καταναλωτές τους αποτελεί μία ελκυστική επιλογή που οστώσο δεν είναι ακόμα έτοιμη να εισχωρήσει στον ελλαδικό χώρο σε συστηματική χρήση. Ο λόγος αφορά το υψηλό κόστος εγκατάστασης που έχει ένα δίκτυο σωληνώσεων τέτοιου είδους καθώς και την εκσκαφή που θα πρέπει να γίνει μέσα σε κατοικημένες περιοχές εκ νέου για την τοποθέτησή τους πράγμα που θα προκαλεί μεγάλη όχληση και δυσκολία κατά την μετακοίνηση των κατοίκων εντός της περιοχής. Βέβαια αυτό αποτελεί ένα πρόβλημα που δεν έχει μεγάλη χρονική διάρκεια αν βέβαια τα αποτελέσματα είναι προς όφελος των κατοίκων. Έτσι λοιπόν αν το κράτος μελλοντικά μπορέσει να επιδοτήσει πιο αποδοτικά τέτοιου είδους επενδύσεις τότε το πρόβλημα του κόστους θα μπορέσει να εξομαλυνθεί. Σε επόμενο στάδιο και με την εξέλιξη αυτού του είδους της τεχνολογίας που μπορεί να έχει ακόμα μεγαλύτερη απόδοση σε συνδιασμό του ότι μπορεί να χρησιμοποιήσει για την λειτουργία της ηλεκτρική ενέργεια που θα προέρχεται κατά μεγάλο ποσοστό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τότε εισέρχονται στο σύστημα και τα περιβαλλοντικά ζητήματα που ήδη απασχολούν πολύ αλλά κατά το μέλλον θα αποτελούν ίσως το πρώτο κριτήριο για την επιλογή όχι μόνο τρόπου κλιματισμού εσωτερικών χώρων αλλά και οποιουδήποτε συστήματος παράγει ή καταναλώνει ενέργεια. Έτσι λοιπόν σαν τελικό συμπέρασμα θα αναφέρω ότι αν και για την ώρα αυτού του είδους η τεχνολογία έχει ορισμένα εμπόδια για την συστηματική εφαρμογή της πιθανός στο μέλλον να την δούμε να κατέχει σημαντικό κομμάτι στην αγορά για τον κλιματισμό εσωτερικών χώρων.

## 8. Βιβλιογραφία

- [1] Παπακώστας, Κ. Τ., ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: [http://library.tee.gr/digital/kma/kma\\_m1429/kma\\_m1429\\_papakostas.pdf](http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1429/kma_m1429_papakostas.pdf)
- [2] ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, Β. Γ., 2016. *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΗΡΙΩΝ: ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ*. [Ηλεκτρονικό] Available at: [http://oceanis.lib.tepir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2777/auto\\_34404\\_3410\\_0.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://oceanis.lib.tepir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2777/auto_34404_3410_0.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] Andrei David, B. V. M. A. W. L., 2017. *Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems*. [Ηλεκτρονικό] Available at: [https://www.researchgate.net/publication/316444699\\_Heat\\_Roadmap\\_Europe\\_Large-Scale\\_Electric\\_Heat\\_Pumps\\_in\\_District\\_Heating\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/316444699_Heat_Roadmap_Europe_Large-Scale_Electric_Heat_Pumps_in_District_Heating_Systems)
- [4] Johannes Idsø- Torbjørn Årethun., 2017. Water-Thermal Energy Production System: A Case Study from Norway [Ηλεκτρονική πηγή] Available at : <https://www.semanticscholar.org/paper/Water-Thermal-Energy-Production-System>
- [5] Anon., n.d. Värtan Ropsten – The largest sea water heat pump facility. [Ηλεκτρονικό] Available at: [https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/vaertan\\_e008\\_uk.pdf](https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/vaertan_e008_uk.pdf)
- [6] Anon., 2011. *The Hague Uses Seawater to Heat Homes*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.c40.org/case-studies/the-hague-uses-seawater-to-heat-homes>
- [7] Δημήτριος Κατσαπρακάκης, Μ. Μ., 2015. Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.openbook.gr/thermansip-syksi-klimatismos/>
- [8] Anon., n.d. *Τι είναι η εποχιακή απόδοση; (SCOP και SEER)*. [Ηλεκτρονικό] Available at: [https://www.daikin.gr/el\\_gr/faq/what-is-seasonal-efficiency--scop-and-seer-.html](https://www.daikin.gr/el_gr/faq/what-is-seasonal-efficiency--scop-and-seer-.html)
- [9] Antonella Priarone \*, F. S. a. M. F., 2020. *Modelling Heat Pumps with Variable EER and COP*. [Ηλεκτρονικό] Available at: [https://www.researchgate.net/publication/339196181\\_Modelling\\_Heat\\_Pumps\\_with\\_Variable\\_EER\\_and\\_COP\\_in\\_EnergyPlus\\_A\\_Case\\_Study\\_Applied\\_to\\_Ground\\_Source\\_and\\_Heat\\_Recovery\\_Heat\\_Pump\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/339196181_Modelling_Heat_Pumps_with_Variable_EER_and_COP_in_EnergyPlus_A_Case_Study_Applied_to_Ground_Source_and_Heat_Recovery_Heat_Pump_Systems)
- [10] ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Γ., 2014. *ΝΤΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://ikee.lib.auth.gr/record/281504/files/%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%9B%>

CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%A4%CE%97%CE%A4%CE%91%CE%A3%20%CE%A3%CE%95%20%CE%A3%CE%A5%CE%A3%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20%CE%98%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%91

[11] Partners, W. O. – O., 2009. Carbon footprints of various sources of heat – biomass combustion and CHPDH comes out lowest " – William Orchard.. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://claverton-energy.com/carbon-footprints-of-various-sources-of-heat-chpdh-comes-out-lowest.html>

[12] Jan Erik Nielsen-Per Alex Sørensen., 2016. Renewable district heating and cooling technologies with and without seasonal storage. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782422136000096>

[13] Anon., 2014. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544214002369?via%3Di%3Dhub>

[14] Gudmundsson, O., 2016. Distribution of district heating: 2nd Generation. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-2nd-generation-oddgeir-gudmundsson>

[15] Anon., 2017. CHP and heat pumps to balance renewable power production: Lessons from the district heating network in Stockholm. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421730124X?via%3Di%3Dhub>

[16] Gudmundsson, O., 2016. Distribution of district heating: 3rd Generation. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-3rd-generation-oddgeir-gudmundsson>

[17] Anon., 2019. 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118308608?via%3Di%3Dhub#!>

[18] Chang Su-Hatef-Madania-Hua Liub-Ruzhu Wang- cBjörn Palma., 2020. Seawater heat pumps in China, a spatial analysis. [Ηλεκτρονική πηγή] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890419312464>

[19] Sven Werner. 2017. *District heating and cooling in Sweden*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217304140>

