



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΗΛΕΨΥΞΗ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ:
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**

ΤΣΙΓΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Δρ. ΠΑΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ ΙΟΥΛΙΟΣ 2017

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την βιωσιμότητα της τηλεψύξης ως λύση ψύξης για τα σύγχρονα αστικά κέντρα και ειδικότερα τις πόλεις αυτές που διαθέτουν ήδη δίκτυο και εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης. Για την αντικειμενική εκτίμηση αυτής της προοπτικής λαμβάνεται υπόψη το σύνολο των ενεργειακών, περιβαλλοντικών, κοινωνικοπολιτικών και οικονομικών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη μια τέτοιας εφαρμογής ή να μεταβληθούν από αυτήν.

Αρχικά γίνεται μια εκτενής αναφορά στις συνθήκες που οδήγησαν στην ανάπτυξη των Κεντρικών Συστημάτων Ενέργειας, κομμάτι των οποίων είναι και η τηλεψύξη, καθώς και στις προοπτικές ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο και ακολουθεί μια τεχνική ανάλυση της τηλεθέρμανσης και της τηλεψύξης. Στη συνέχεια αναλύονται οι διαθέσιμες τεχνολογίες ψύξης που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έχουν τον ελάχιστο δυνατό αντίκτυπο στο περιβάλλον και περιγράφονται τα συστήματα τηλεψύξης 6 Ευρωπαϊκών πόλεων ως παραδείγματα βέλτιστης πρακτικής της χρήσης της τηλεψύξης. Κατόπιν επιχειρείται μια μελέτη πιλοτικής εφαρμογής τηλεψύξης επί του υφιστάμενου δικτύου τηλεθέρμανσης της πόλης της Κοζάνης κάνοντας μια εκτίμηση του ψυκτικού φορτίου και της ενέργειας που καλείται να διαχειριστεί μια τέτοια εγκατάσταση και θέτοντας υπό εξέταση όλα τα παρελκόμενα κόστη και τα αναμενόμενα έσοδα του εγχειρήματος.

Εν κατακλείδι εξάγεται το συμπέρασμα πως η τηλεψύξη είναι βιώσιμη για την Κοζάνη παρέχοντας πολλαπλά οφέλη για την ευρύτερη περιοχή και παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω μελέτη του ζητήματος καθώς και για την ανάπτυξη του έργου πέρα από το πιλοτικό στάδιο.

Abstract

The following dissertation attempts to examine whether district cooling is a sustainable solution for cooling applications in modern urban areas and more specifically cities in which there is already a district heating system installed. Every factor affected by or affecting such a project is taken into consideration in order to make an objective assessment about the aforementioned topic, such as energy, environmental, socio-political or financial issues.

At first, the conditions that led in the development of District Energy Systems (DES), which include district cooling, are cited as well as the prospects of DES development worldwide followed by a technical analysis of district heating and district cooling. Subsequently, all available cooling technologies that can be implemented with renewable energy sources are analyzed and the district cooling systems of 6 European cities are described as best practice examples of district cooling. Then, a feasibility study is conducted concerning the planning and construction of a pilot application of district cooling in the city of Kozani. It includes an estimation of the cooling loads and cooling energy that the district cooling plant will have to manage and an analysis of all costs and any expected fiscal inflows.

In conclusion, district cooling is assessed as a feasible and sustainable choice for Kozani with multiple benefits for the region. Moreover, a variety of suggestions is given for prospective researchers on the topic as well as proposals on the development of the project further than the pilot phase.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνετέλεσαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, η οποία αποτελεί το επιστέγασμα των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Πανάρα Γεώργιο για την άψογη συνεργασία μας από την αρχή μέχρι το τέλος, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος καθώς και για την υποστήριξη του σε όλα τα στάδια της συγγραφής της εργασίας.

Ευχαριστώ το σύνολο του διδακτικού προσωπικού του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας για όσα είχα την τύχη να διδαχθώ αλλά και για τις εμπειρίες που απέκτησα κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους μου και όσους στάθηκαν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που είναι πάντα δίπλα μου και στηρίζει τις επιλογές μου και συνετέλεσε με κάθε τρόπο περισσότερο από οποιονδήποτε στην ολοκλήρωση αυτής της πορείας.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1. Εισαγωγή..... | 1 |
| 1.1. Τηλεθέρμανση..... | 4 |
| 1.1.1. Θέση και εξέλιξη της τηλεθέρμανσης στην παγκόσμια αγορά | 6 |
| 1.2. Τηλεψύξη..... | 8 |
| 1.2.1. Θέση και εξέλιξη της τηλεψύξης στην παγκόσμια αγορά | 10 |
| 2. Τηλεψύξη: Τεχνολογίες και ενσωμάτωση σε άλλα συστήματα | 11 |
| 2.1. Τηλεψύξη και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας..... | 11 |
| 2.1.1. Ψύξη με αξιοποίηση υδάτινων μαζών | 11 |
| 2.1.2. Ψύξη με εποχιακή αποθήκευση ψύχους | 15 |
| 2.1.3. Ψύξη με αξιοποίηση απορριπτόμενου ψύχους | 16 |
| 2.1.4. Ψύξη με αξιοποίηση θερμότητας..... | 17 |
| 2.2. Σχεδιασμός και κατασκευή δικτύου τηλεψύξης..... | 25 |
| 2.2.1. Ένταξη στο αστικό περιβάλλον | 25 |
| 2.2.2. Σύνδεση κτιρίων με το δίκτυο της τηλεψύξης | 25 |
| 2.3. Παραδείγματα εφαρμογών τηλεψύξης | 29 |
| 2.3.1. Παρίσι..... | 29 |
| 2.3.2. Βιέννη..... | 30 |
| 2.3.3. Στοκχόλμη | 30 |
| 2.3.4. Σόλνα και Σούντμπιμπεργκ..... | 31 |
| 2.3.5. Ελσίνκι..... | 31 |
| 2.3.6. Βέξιε | 32 |
| 2.3.7. Σύγκριση συστημάτων | 33 |
| 2.4. Εμπειρία και αποτελέσματα από την κατασκευή και την λειτουργία των εγκαταστάσεων | 33 |
| 2.5. Καταλυτικοί παράγοντες για την εξέλιξη του έργου | 35 |
| 3. Ανάλυση SWOT της τηλεψύξης | 37 |
| 4. Εφαρμογή τηλεψύξης στην πόλη της Κοζάνης..... | 39 |
| 4.1. Περιγραφή υφιστάμενου δικτύου τηλεθέρμανσης..... | 40 |
| 4.2. Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων και ενέργειας | 41 |
| 4.2.1. Τεχνικός εξοπλισμός και περιορισμοί του δικτύου..... | 47 |
| 4.3. Τεχνικοοικονομική μελέτη | 49 |
| 4.3.1. Εκτίμηση κόστους σύνδεσης καταναλωτών στο δίκτυο της τηλεψύξης..... | 53 |
| 4.3.2. Αποτίμηση οικονομικών ωφελειών της ΔΕΗ από την πώληση θερμικής ενέργειας | 55 |

| | |
|---|----|
| 4.3.3. Ανάλυση κόστους και χρηματικών ροών για τη ΔΕΥΑΚ λόγω της κατασκευής και της λειτουργίας του συστήματος τηλεψύξης..... | 55 |
| 4.3.4. Αποτελέσματα οικονομικής μελέτης..... | 57 |
| 5. Συμπεράσματα-Προτάσεις..... | 61 |
| Βιβλιογραφία..... | 63 |

1. Εισαγωγή

Η τηλεθέρμανση και η τηλεψύξη μαζί με τις σχετικές με αυτές τεχνολογίες, αποτελούν το σύνολο που αναφέρεται στην Αγγλική επιστημονική ορολογία ως “District Energy Systems” (DES) που θα μπορούσε να αποδοθεί στα Ελληνικά με τον όρο Κεντρικά Συστήματα Ενέργειας (ΚΣΕ). Δηλαδή τα συστήματα αυτά που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας σε ένα κεντρικό σημείο και την διανομή της μέσω ενός δικτύου προς τους καταναλωτές, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με το σενάριο της αυτόνομης παραγωγής της στα τελικά σημεία κατανάλωσης. Πρόκειται για ένα σύνολο δοκιμασμένων και πολλά υποσχόμενων τεχνολογιών που δύνανται να παρέχουν πολλαπλά οφέλη σε πολλά επίπεδα:

Για το περιβάλλον:

- Δραματική μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της ψύξης και της θέρμανσης
- Βελτίωση της ποιότητας αέρα
- Μείωση της χρήσης χλωροφθορανθράκων (CFCs)
- Αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μίγμα ενέργειας
- Μικρότερη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα

Για την οικονομία και την ενεργειακή στρατηγική:

- Ευελιξία στην επιλογή καυσίμων
- Μείωση του ενεργειακού κόστους

Για την κοινωνία και την τοπική οικονομία:

- Οι τοπικές κοινωνίες αποκτούν τη δυνατότητα να διαχειρίζονται και να αξιοποιούν τους ενεργειακούς πόρους των περιοχών τους
- Η κατασκευή και η λειτουργία τέτοιων εγκαταστάσεων δημιουργεί θέσεις εργασίας
- Οι οικονομικοί πόροι που δαπανώνται για την ενέργεια παραμένουν στην τοπική αγορά

Για τους ιδιοκτήτες ακινήτων και τους ενοίκους:

- Μειωμένα κόστη θέρμανσης ή/και ψύξης
- Μειωμένα λειτουργικά κόστη
- Μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία
- Μειωμένες χωροταξικές απαιτήσεις

Όπως είναι φυσικό, ωστόσο, υπάρχουν και σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την συνολική αξιολόγηση των ΚΣΕ.

- Η τεχνική γνώση και οι τεχνικές δεξιότητες σχετικά με τα ΚΣΕ είναι περιορισμένες
- Απαιτούν μια μεγάλου ύψους αρχική επένδυση
- Η εύρεση της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης (έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση μεταξύ της πηγής και των χρηστών) αποτελεί μεγάλη πρόκληση ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές
- Χωρίς τις κατάλληλες ρυθμίσεις στη νομοθεσία είναι πιθανό να δημιουργηθεί μια μονοπωλιακή κατάσταση υπέρ του κατόχου του δικτύου [1].

Δεδομένων των κοινωνικοπολιτικών συνθηκών των τελευταίων δεκαετιών (π.χ. αστυφιλία, ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας του αέρα), είναι προφανή τα αίτια για τα οποία τα ΚΣΕ προτιμώνται σαν ενεργειακή λύση και αναπτύσσονται σε έναν διαρκώς αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών παγκοσμίως.

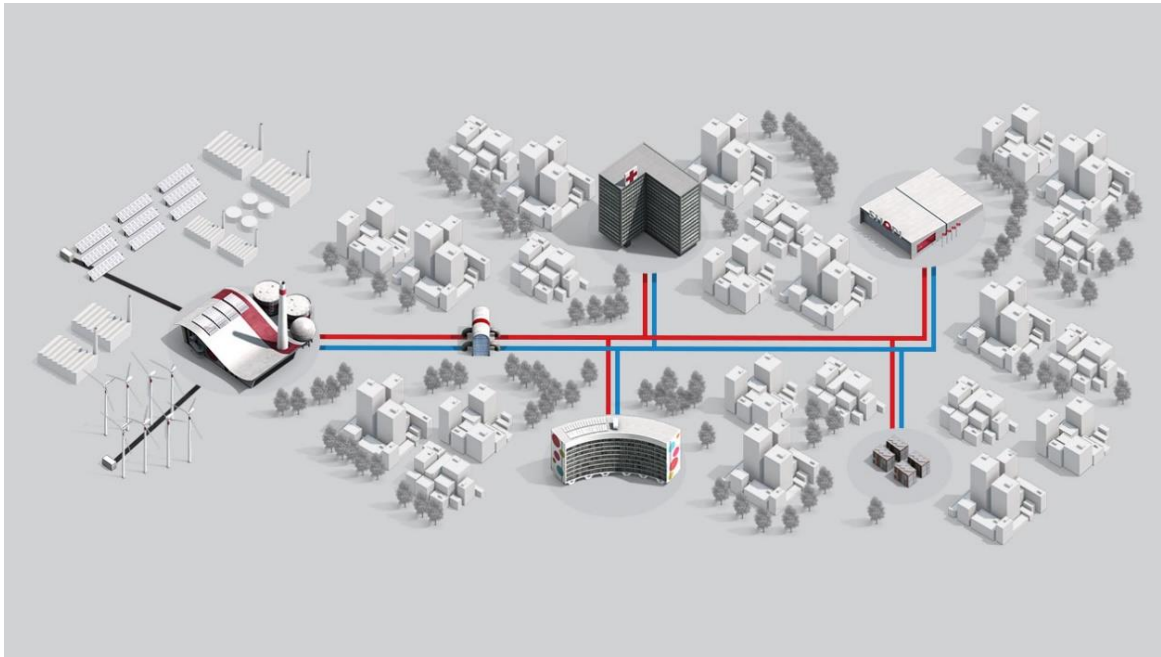
Η τηλεθέρμανση καλύπτει μόλις το 13% της ζήτησης σε θέρμανση στην Ευρώπη, στην Βόρεια Κίνα (όπου βρίσκεται το 98% της συνολικής επιφάνειας κτιρίων της χώρας που θερμαίνονται με τηλεθέρμανση) το ποσοστό αυτό αγγίζει το 55%, και το 50% στην Ρωσία. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής διαθέτουν τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ τηλεψύξης φτάνοντας τα 16 GW_{th} , ακολουθούν τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα με 10 GW_{th} και η Ιαπωνία με 4 GW_{th} [2], [3], [4].

Ωστόσο, παρά τα εντυπωσιακά αυτά μεγέθη, το πλήρες δυναμικό αυτών των τεχνολογιών παραμένει ανεκμετάλλευτο. Συνεπώς υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες για εξέλιξη αναβάθμιση και ανάπτυξη των δικτύων αυτών. Για παράδειγμα το 60% των δικτύων της Ρωσίας χρήζουν επισκευής ή αντικατάστασης και στην Κίνα οι

απαρχαιωμένοι λέβητες λιγνίτη εκσυγχρονίζονται ή αντικαθίστανται από πιο φιλικούς προς το περιβάλλον λέβητες φυσικού αερίου. Στις χώρες του Κόλπου η τηλεψύξη εκτιμάται ότι θα μπορούσε να καλύπτει το 30% των προβλεπόμενων αναγκών σε ψύξη έως το 2030 κάτι που θα ισοδυναμούσε με εξοικονόμηση ενέργειας ισοδύναμης με 200.000 βαρέλια πετρελαίου ημερησίως. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ένα σημαντικό ποσοστό των απορριμάτων αποτεφρώνεται για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, ωστόσο σχεδόν 100 εκατομμύρια τόνοι καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Η Ινδία αποτελεί ένα ακόμη παράδειγμα και συγκεκριμένα το Μουμπάι, όπου το 40% της ζήτησης σε ηλεκτρισμό αφορά την ψύξη με το ποσοστό των κτιρίων που χρησιμοποιούν κλιματισμό να μην ξεπερνά το 16% [3], [4], [5].

Για την αντιμετώπιση αυτών των κενών στην ενεργειακή διαχείριση πολλές χώρες έχουν προσφάτως θέσει στόχους και οδηγίες για περαιτέρω ανάπτυξη των ΚΣΕ. Ως εκ τούτου δημιουργούνται ώριμες συνθήκες για τον εκσυγχρονισμό των τεχνολογιών αυτών και την βελτιστοποίησή τους όχι μόνο από οικονομικής ή περιβαλλοντικής απόψεως αλλά και σε ότι αφορά την δυνατότητα ενσωμάτωσης τους σε διάφορα συστήματα και η συνέργεια με αυτά όπως είναι η ηλεκτροπαραγωγή και η διαχείριση αποβλήτων [1].

1.1. Τηλεθέρμανση



Εικόνα 1.1: Σχεδιάγραμμα ενός τυπικού δικτύου Τηλεθέρμανσης [6]

Η θεμελιώδης ιδέα πίσω από την τηλεθέρμανση (ΤΘ) είναι η χρήση τοπικά παραγόμενης θερμότητας, ή οποία σε διαφορετική περίπτωση θα απορριπτόταν στο περιβάλλον, ώστε να καλυφθούν οι τοπικές ανάγκες σε θέρμανση [7].

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελείται από ένα δίκτυο μονωμένων αγωγών και κατάλληλα εγκατεστημένων με σκοπό τη μεταφορά θερμότητας, υπό τη μορφή θερμού αέρα, νερού ή ατμού χαμηλής πίεσης, από τον σταθμό παραγωγής προς τους τελικούς χρήστες. Επίσης, μια σειρά ειδικών διατάξεων μπορεί να παρεμβάλλεται μεταξύ του σημείου παραγωγής και του σημείου κατανάλωσης (π.χ. αντλιοστάσια, θερμικοί υποσταθμοί, εφεδρικές μονάδες θέρμανσης) ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου. (Εικόνα 1.1)

Το μέγεθος τέτοιων δικτύων ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες μέτρα, για παράδειγμα σε ένα συγκρότημα κατοικιών ή ένα ξενοδοχείο, έως δεκάδες χιλιόμετρα, τροφοδοτώντας ολόκληρες κοινότητες και βιομηχανικές περιοχές. Η εμβέλεια αυτή μπορεί εύκολα να αυξηθεί με την προσθήκη επιπλέον πηγών θερμότητας κατά μήκος του δικτύου.

Με την τηλεθέρμανση καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση πολύτιμης πλεονάζουσας ενέργειας από βιομηχανικά συγκροτήματα ή σταθμούς παραγωγής ενέργειας η οποία συνήθως απορρίπτεται στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια εξαλείφεται η ανάγκη για επιπλέον παραγωγή ενέργειας για θέρμανση. Επίσης, η παραγωγή θερμότητας από μια μεγάλη κεντρική εγκατάσταση επιτρέπει την δημιουργία οικονομιών κλίμακας και ως επί το πλείστον είναι πιο αποδοτική από την παραγωγή ενέργειας από πολλές μικρές μονάδες εγκατεστημένες στο σημείο κατανάλωσης.

Όπως προαναφέρθηκε, βασική αρχή της τηλεθέρμανσης είναι η αξιοποίηση απορριπτόμενης θερμότητας. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα ευέλικτα ως προς την τροφοδοσία τους και δύνανται να αξιοποιήσουν θερμότητα από μια πλειάδα πηγών, όπως:

- Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί
- Σταθμοί καύσης απορριμμάτων
- Βιομηχανικές διεργασίες
- Λέβητες και σταθμοί συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας (ΣΗΘ) βιομάζας ή βιοαερίου
- Σταθμοί ΣΗΘ φυσικού αερίου
- Κυψέλες καυσίμου
- Αντλίες θερμότητας
- Γεωθερμικά πεδία
- Ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις

Η δυνατότητα ενσωμάτωσης πολλαπλών πηγών ενέργειας σημαίνει ότι οι καταναλωτές δεν εξαρτώνται μόνο από ένα καύσιμο. Έτσι εξασφαλίζεται η αξιοπιστία και η αδιάκοπη λειτουργία του δικτύου. Επίσης αποφεύγεται η εμφάνιση μονοπωλιακών πρακτικών στην αγορά καυσίμων.

Η τηλεθέρμανση δίνει την δυνατότητα να εξισορροπείται και να κατανέμεται κατάλληλα η παροχή θερμότητας ανά τοποθεσία και ανά χρονική στιγμή. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, η υψηλότερη ζήτηση για θέρμανση μεταπίπτει από τις κατοικίες στις εμπορικές και βιομηχανικές ζώνες καθώς και στα δημόσια κτίρια και μετά επιστρέφει και πάλι στις κατοικίες. Ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης μπορεί να κατευθύνει και να διαχειριστεί τη ροή ώστε να

καλύπτεται η τρέχουσα ζήτηση και συνάμα να αξιοποιείται αποδοτικότερα η παρεχόμενη στο σύστημα θερμότητα. Υπάρχει δυνατότητα για κάλυψη των αναγκών και σε ψύξη κατά τους θερινούς μήνες, αφού με την συνδρομή κατάλληλων ψυκτών (που παρουσιάζονται παρακάτω) μπορεί το ίδιο δίκτυο να λειτουργεί ως δίκτυο τηλεψύξης [8], [9].

1.1.1. Θέση και εξέλιξη της τηλεθέρμανσης στην παγκόσμια αγορά

Η τηλεθέρμανση εισάγεται εμπορικά για πρώτη φορά τη δεκαετία 1870-1880 στο Lockport και τη Νέα Υόρκη των ΗΠΑ. Ωστόσο, η εμφάνισή της ως τεχνική θα μπορούσε να τοποθετηθεί χρονικά περί το 1334 καθώς στο Chaudes-Aigues της Γαλλίας ήδη από τον μεσαίωνα αξιοποιούσαν μια γεωθερμική πηγή, μέσω ενός πρωτοποριακού για την εποχή συστήματος αγωγών, ώστε να παρέχουν θέρμανση σε ορισμένα κτίρια του χωριού. Τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα εμφανίζονται στην Γερμανία τη δεκαετία του 1920. Ακολουθούν η Σοβιετική Ένωση και η Κίνα τις δεκαετίες του 1930 και του 1950 αντίστοιχα [10], [11].

Σήμερα συναντάει κανείς συστήματα τηλεθέρμανσης σε πολλές μεγάλες πόλεις του πλανήτη, όπως είναι η Μόσχα, η Αγία Πετρούπολη, το Πεκίνο, η Νέα Υόρκη, το Κίεβο, η Σεούλ, η Βαρσοβία, το Βερολίνο, το Αμβούργο, το Ελσίνκι, η Στοκχόλμη, η Κοπεγχάγη, το Παρίσι, η Πράγα, η Σόφια, το Βουκουρέστι, η Βιέννη και το Μιλάνο. Εκτιμάται ότι ο συνολικός αριθμός τέτοιων εγκαταστάσεων αγγίζει τις 80.000 εκ των οποίων οι 6.000 βρίσκονται στην Ευρώπη [7].

Οι βασικοί καταναλωτές της τηλεθέρμανσης είναι η βιομηχανία και τα κτίρια. Υπολογίζεται ότι ετησίως καταναλώνουν 11,5 EJ θερμότητας από δίκτυα τηλεθέρμανσης. Το 85% αυτής της ενέργειας καταναλώνεται από τη Ρωσία, την Κίνα και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο καταμερισμός της ενέργειας ως προς τους χρήστες είναι: 51% στον κτιριακό τομέα, 45% στην βιομηχανία και 4% σε λοιπούς χρήστες [12].

Η συνολική δαπάνη ενέργειας για θέρμανση φτάνει τα 74 EJ παγκοσμίως και 10 EJ για την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα ορυκτά καύσιμα συμμετέχουν με 43% και

60% αντίστοιχα. Επίσης τόσο σε παγκόσμιο όσο και ευρωπαϊκό επίπεδο η χρήση ηλεκτρισμού για θέρμανση είναι περισσότερο διαδεδομένη από την τηλεθέρμανση. Συνάγεται λοιπόν το συμπέρασμα πως ακόμη η εισχώρηση της τηλεθέρμανσης είναι μικρή κατά μέσο όρο παρότι υπάρχουν περιοχές όπου συμμετέχει με ποσοστά άνω του 50%, όπως είναι η Ισλανδία, η Δανία, η Σουηδία, η Φινλανδία, η Εσθονία, η Λετονία, η Λιθουανία, η Πολωνία, η Ρωσία και η Βόρεια Κίνα [12].

Επίσης σύμφωνα με σχετική μελέτη για την ζήτηση σε θέρμανση των χωρών της Ευρώπης εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ζήτηση είναι αρκούντως υψηλή και για τις χώρες με θερμότερα κλίματα ώστε να είναι βιώσιμη η εγκατάσταση σταθμών τηλεθέρμανσης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές [13].

Στην Ελλάδα η διείσδυση της τηλεθέρμανσης είναι πολύ μικρή. Η σημαντικότερη εγκατάσταση τηλεθέρμανσης λειτουργεί στην πόλη της Κοζάνης με θερμική ισχύ 222 MWth και ακολουθούν η Πτολεμαΐδα, η Φλώρινα, η Μεγαλόπολη, το Αμύνταιο και οι Σέρρες [14].

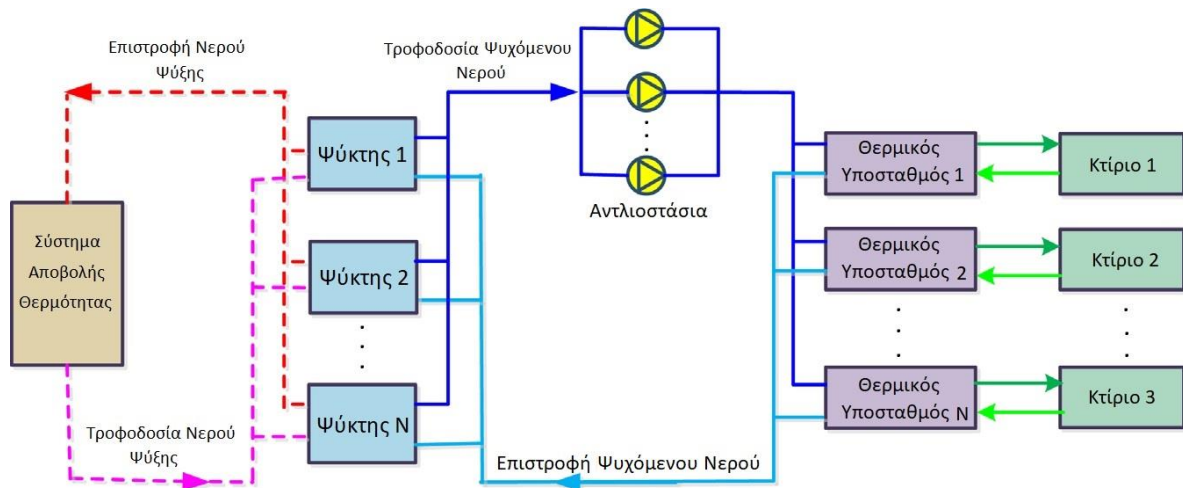
1.2. Τηλεψύξη



Εικόνα 1.2: Σταθμός τηλεψύξης στο Άμπου Ντάμπι [15]

Η τηλεψύξη (ΤΨ) είναι το ισοδύναμο της τηλεθέρμανσης για την ψύξη. Τόσο λειτουργικά όσο και τεχνικά ως διαδικασίες είναι όμοιες, με προφανή διαφορά την κυκλοφορία παγωμένου και όχι θερμού νερού στο δίκτυο. Ουσιαστικά, ένα σύστημα τηλεψύξης, διανέμει ψυκτική ενέργεια υπό τη μορφή κρύου νερού από μια κεντρική πηγή στους τελικούς χρήστες με σκοπό την ψύξη χώρων ή και την αφύγρανση [16], [17].

Συνήθως αποτελείται από 4 τμήματα: το σύστημα αποβολής θερμότητας, την κεντρική μονάδα ψύξης, το σύστημα διανομής και τους τελικούς χρήστες, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.3 [9], [18].



Σχήμα 1.3: Διάγραμμα ενός συστήματος τηλεψύξης [9]

Το νερό που κυκλοφορεί σε ένα δίκτυο τηλεψύξης μπορεί να ψυχθεί με διάφορες μεθόδους. Αυτές μπορεί να είναι συμβατικές (π.χ. μηχανικοί φυγοκεντρικοί ψύκτες, θερμικοί ψύκτες άμεσης ενέργειας) ή ανανεώσιμες. Το ενδιαφέρον γενικότερα αλλά και ειδικότερα της παρούσας εργασίας εστιάζεται στην 2^η κατηγορία η οποία περιλαμβάνει τις εξής μεθόδους:

- Ψύξη με αξιοποίηση μεγάλων υδάτινων μαζών
 - Με αποβολή θερμότητας στην επιφάνεια του νερού
 - Μέσω υπόγειων κοιτασμάτων νερού
 - Με την άντληση νερού από μεγάλα βάθη λιμνών
- Ψύξη με εποχιακή αποθήκευση ψύχους
- Ψύξη μέσω απορριπτόμενου ψύχους (Waste Cold Energy)
- Ψύξη με απορρόφηση ή προσρόφηση (Absorption/Adsorption), δεδομένου ότι η πηγή ενέργειας καλύπτει τα κριτήρια ώστε να χαρακτηριστεί ανανεώσιμη. Τέτοιες είναι:
 - Η γεωθερμική ενέργεια
 - Η ηλιακή ενέργεια
 - Η βιομάζα
 - Η απορριπτόμενη θερμότητα διάφορων διεργασιών, όπως για παράδειγμα η ηλεκτροπαραγωγή [7], [19], [20]

1.2.1. Θέση και εξέλιξη της τηλεψύξης στην παγκόσμια αγορά

Το πρώτο σύστημα τηλεψύξης ξεκίνησε τη λειτουργία του στο Denver από την Colorado Automatic Refrigeration Company το 1889, για την εξυπηρέτηση ίδιων αναγκών της εταιρείας. Στη δεκαετία του '30 συστήματα ΤΨ χρησιμοποιήθηκαν για την ψύξη του Rockefeller Center στη Νέα Υόρκη. Έως το 1996 τουλάχιστον 20 πόλεις των ΗΠΑ απολάμβαναν τα οφέλη της τηλεψύξης [21], [22].

Στην Ευρώπη η πρώτη εγκατάσταση πραγματοποιείται στο Παρίσι το 1978 και στη συνέχεια ξεκινά η ταχεία διάδοσή της στην Γερμανία, την Ιταλία, τη Σουηδία και τη Φινλανδία.

Στην Ιαπωνία η τηλεψύξη εμφανίζεται το 1970 και από τότε αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς καθώς η Ιαπωνική κυβέρνηση προωθεί και δίνει κίνητρα για την χρήση συστημάτων ΤΨ χάριν της υψηλής τους απόδοσης και των χαμηλών εκπομπών ρύπων. Έτσι, το 2005 καταγράφονται περισσότεροι 154 σταθμοί τηλεψύξης στην Ιαπωνία [23].

Το 1999 υλοποιείται ο πρώτος σταθμός στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, μια χώρα που λόγω της γεωγραφικής της θέσης και των κλιματικών συνθηκών έχει πολύ μεγάλες απαιτήσεις ψύξης. Αναμενόμενη λοιπόν η ταχεία διείσδυση της τηλεψύξης στην αγορά ψύξης, με το μερίδιό της σήμερα να ξεπερνά το 10% [24].

Για την Κίνα η τηλεψύξη είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία αφού η πρώτη εγκατάσταση ΤΨ ξεκίνησε τη λειτουργία της το 2004 στο Πεκίνο [25].

2. Τηλεψύξη: Τεχνολογίες και ενσωμάτωση σε άλλα συστήματα

2.1. Τηλεψύξη και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ενσωματώνοντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις διαδικασίες της τηλεψύξης μειώνονται δραματικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, με την εφαρμογή της τηλεψύξης σε έναν σταθμό ΣΗΘ μπορεί να πραγματοποιηθεί η λεγόμενη τρι-παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρισμός, θέρμανση, ψύξη). Έτσι αυξάνεται σημαντικά η αποδοτικότητα του σταθμού και καθώς είναι πλέον εφικτή η αξιοποίηση της πλεονάζουσας θερμότητας του σταθμού και κατά τη θερινή περίοδο για την παροχή ψύξης, θερμότητα η οποία χωρίς την συμβολή της τηλεψύξης συνήθως απορρίπτεται ανεκμετάλλευτη στο περιβάλλον. Επίσης με την συνδρομή συστημάτων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας βοηθά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στις ώρες αιχμής.

Όλα τα παραπάνω τονίζουν τον επίκαιρο χαρακτήρα της τηλεψύξης σε σχέση με τις απαιτήσεις της εποχής που επιτάσσουν μεγάλη αποδοτικότητα στις παραγωγικές διαδικασίες, μείωση ρύπων και ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, οπότε η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε αυτές κυρίως τις τεχνολογίες που καθιστούν την τηλεψύξη όσο γίνεται πιο φιλική προς το περιβάλλον και αποδοτική.

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται οι διαθέσιμες τεχνολογίες ψύξης που επιτρέπουν την εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

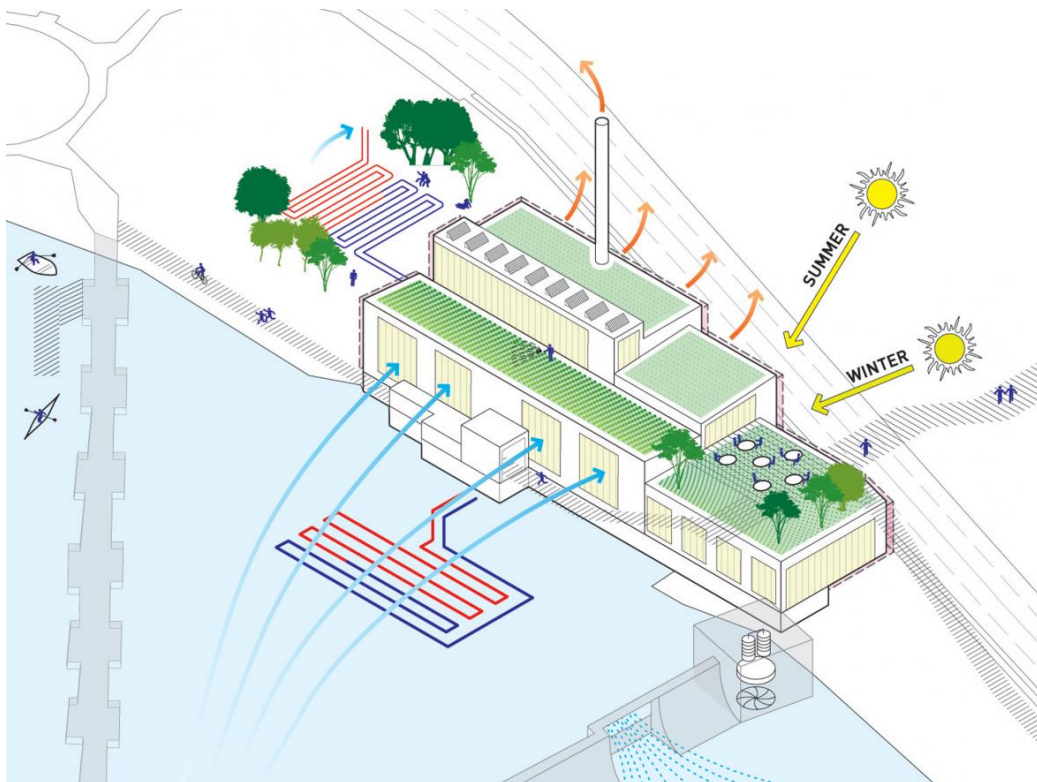
2.1.1. Ψύξη με αξιοποίηση υδάτινων μαζών

Κατά κανόνα η θερμοκρασία του νερού, είτε πρόκειται για θάλασσες, ποτάμια ή λίμνες, είναι σημαντικά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, το νερό ως τον χώρο χαμηλής θερμοκρασίας μιας

αντλίας θερμότητας, αυξάνεται η αποδοτικότητά της. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου η θερμοκρασία του νερού είναι πολύ χαμηλή, αντλείται και διανέμεται απευθείας στο δίκτυο ως ψυκτικό μέσο.

2.1.1.1. Ψύξη με αξιοποίηση ποταμών ή θαλασσών

Πολλές παράκτιες ή παραποτάμιες εγκαταστάσεις τηλεψύξης εκμεταλλεύονται τη χαμηλότερη θερμοκρασία του νερού για την παραγωγή ψύξης (Σχήμα 2.1). Για παράδειγμα, ένας σταθμός στη Βόρεια Κίνα εκμεταλλεύεται την χαμηλότερη θερμοκρασία της θάλασσας (σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος) για την ψύξη των αντλιών θερμότητας του. Το σύστημα αυτό αποδεδειγμένα εμφανίζει χαμηλότερα ετήσια κόστη, σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και περιβαλλοντικά οφέλη σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα τηλεψύξης [26].



Σχήμα 2.1 : Παράδειγμα συστήματος ψύξης με τη χρήση παρακείμενου ποταμού [27]

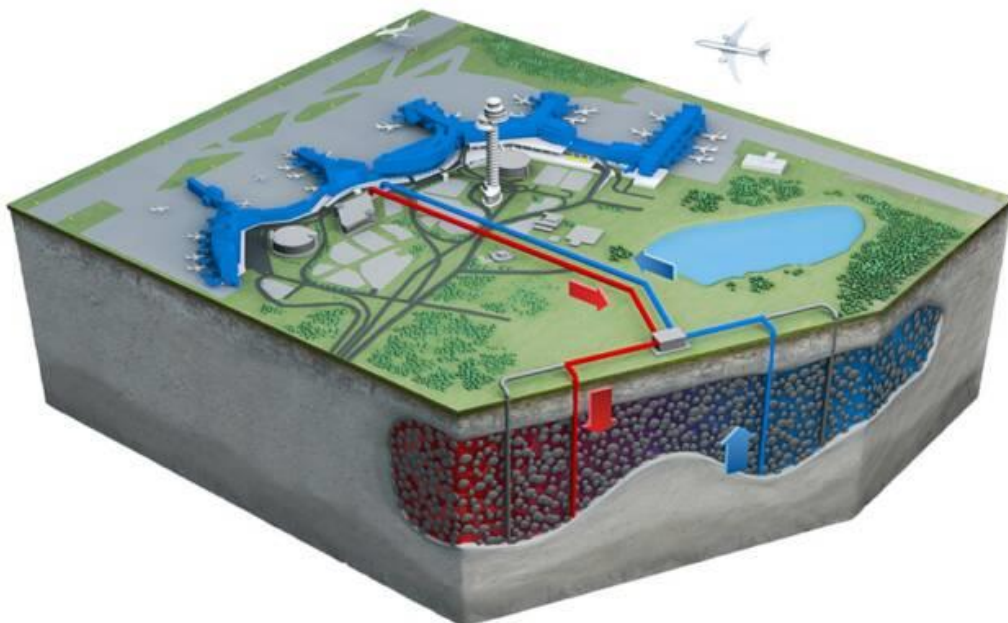
Στην Στοκχόλμη λειτουργεί μια παρόμοια εγκατάσταση η οποία παρεμπιπτόντως είναι μια από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις τηλεψύξης στον κόσμο. Η ταχεία

ανάπτυξη αυτού του έργου οφείλεται κυρίως στους αυστηρούς κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί από την κυβέρνηση σχετικά με τον περιορισμό των CFCs. Κατά βάση, λειτουργεί αντλώντας κρύο νερό από τη Βαλτική Θάλασσα το οποίο τροφοδοτείται σε αντλίες θερμότητας που παρέχουν ψύξη στο δίκτυο [28].

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το νερό απευθείας για την ψύξη του δικτύου, παρακάμπτοντας τους ψύκτες και κατά συνέπεια ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας. Αυτό είναι εφικτό κυρίως σε εφαρμογές κοντά σε ποτάμια όπου συνήθως η θερμοκρασία της επιφάνειας του νερού επιτρέπει κάτι τέτοιο. Σε έναν σταθμό τηλεψύξης στο Παρίσι, για παράδειγμα, όταν η θερμοκρασία του Σηκουάνα πέσει κάτω από τους 8°C τότε τροφοδοτεί το δίκτυο απευθείας με νερό από τον ποταμό [29].

2.1.1.2. Ψύξη με αξιοποίηση υπόγειων κοιτασμάτων νερού

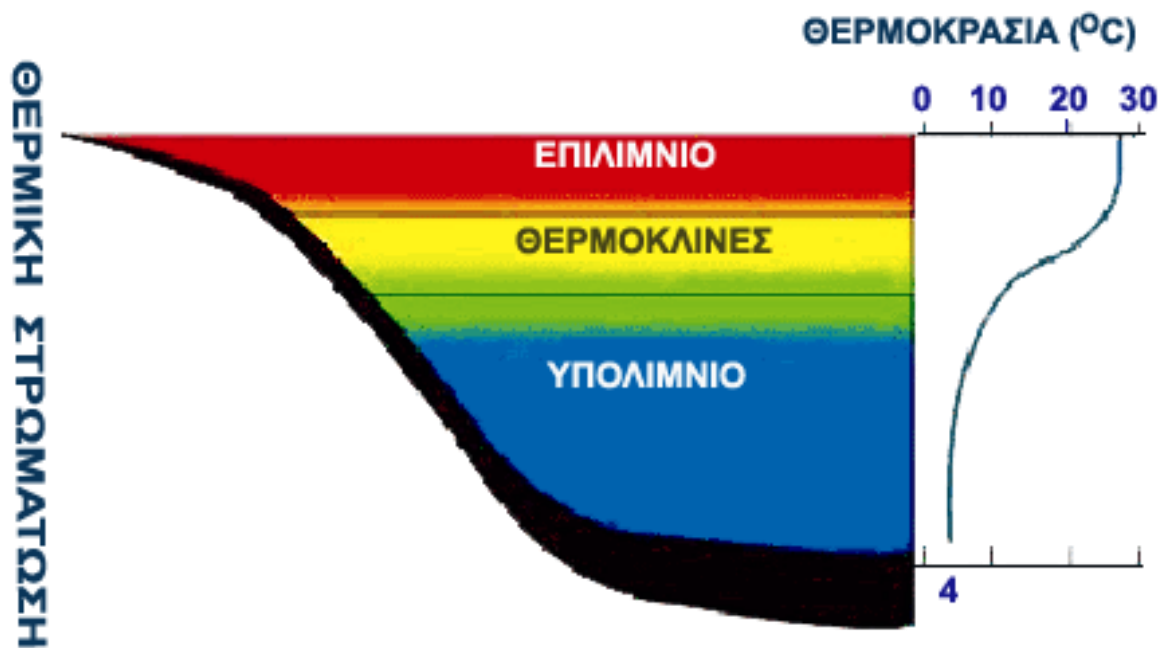
Πολλά συστήματα αξιοποιούν την χαμηλότερη θερμοκρασία του νερού στους υδροφορείς του υπεδάφους για την αύξηση στις αποδοτικότητας. Το νερό είτε αντλείται για να χρησιμοποιηθεί απευθείας για ψύξη είτε τροφοδοτείται σε αντλίες θερμότητας για την αύξηση της αποδοτικότητας τους, ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το νερό στον υδροφορέα και τις απαιτήσεις ψύξης.



Σχήμα 2.2 : Παράδειγμα συστήματος ψύξης με αξιοποίηση του υπόγειου υδροφορέα [30]

2.1.1.3. Ψύξη με άντληση νερού από μεγάλα βάθη λιμνών

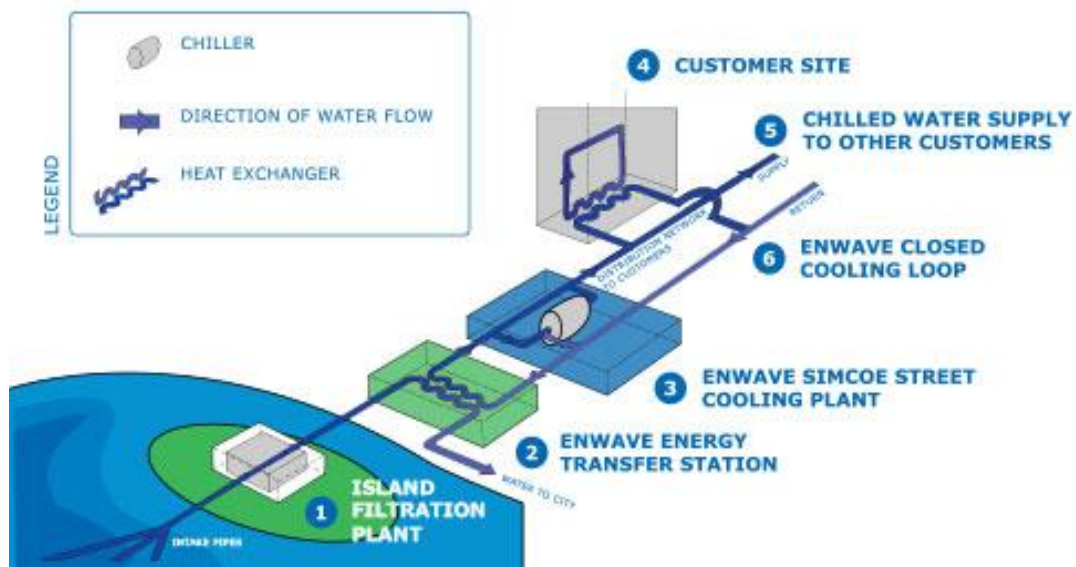
Το νερό έχει τη μοναδική ιδιότητα να φτάνει στη μέγιστη πυκνότητά του στους 4°C και είτε πάνω είτε κάτω από αυτή τη θερμοκρασία η πυκνότητά του μειώνεται. Χάρη σε αυτήν την ιδιότητα, σε μια επαρκώς βαθιά λίμνη όπου η ηλιακή ακτινοβολία δεν μπορεί να φτάσει έως τον πυθμένα, μόνο το ανώτερο στρώμα νερού (γνωστό και ως «επιλίμνιο») επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (Σχήμα 2.3), το οποίο καθώς ψύχεται μεταπίπτει στα κατώτερα στρώματα.



Σχήμα 2.3 : Θερμική στρωμάτωση βαθιάς λίμνης κατά τη θερινή περίοδο [31]

Το αποτέλεσμα είναι (ακόμα και σε περιοχές με εύκρατο κλίμα) να δημιουργείται μια «δεξαμενή» πυκνού νερού θερμοκρασίας 4°C πάνω από την βυθό της λίμνης. Αυτό το κατώτερο τμήμα της λίμνης ονομάζεται «υπολίμνιο» και διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία των 4°C καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου με εξαίρεση 2 περιόδους, την φθινοπωρινή και την εαρινή αναστροφή διάρκειας 1-3 ημέρες έκαστη [31].

Έτσι λοιπόν μια λίμνη με επαρκή όγκο και βάθος μπορεί να αποτελέσει μια ικανή και αξιόπιστη πηγή νερού ψύξης στους 4°C καθώς αυτή η θερμοκρασία είναι παραπάνω από επαρκής για εφαρμογές ψύξης χώρων. Επιπροσθέτως οι μόνες μηχανικές διατάξεις που απαιτούνται είναι τα αντλιοστάσια για την άντληση του νερού από μεγάλο βάθος στα οποία καταναλώνεται και το σύνολο της απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης αφού η ψύξη παράγεται με εντελώς φυσικό τρόπο [32].



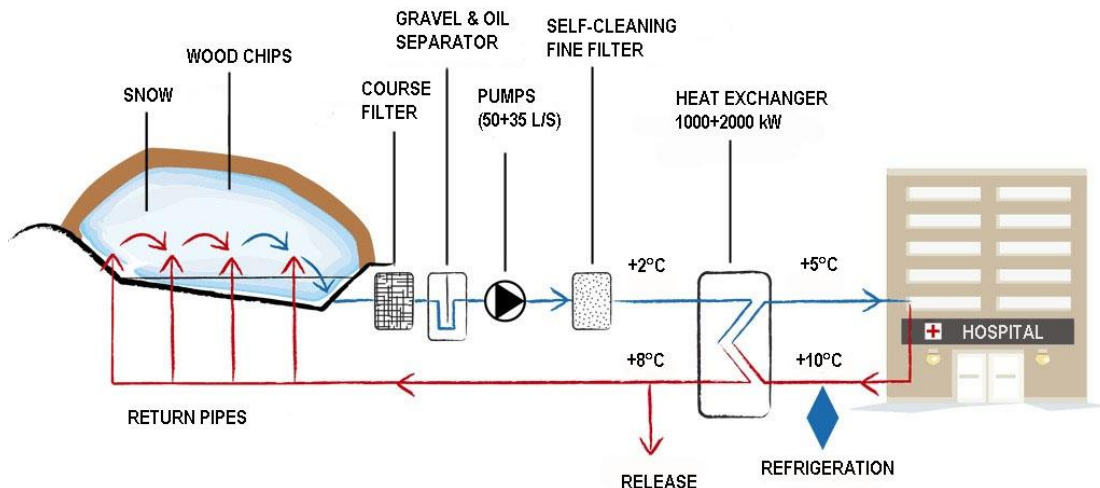
Σχήμα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση της εγκατάστασης τηλεψύξης της Enwave στο Τορόντο του Καναδά [33]

Στο Τορόντο του Καναδά εντοπίζεται η μεγαλύτερη εγκατάσταση αυτού του είδους (Σχήμα 2.4), με ψυκτική ισχύ άνω των 200 MW. Το νερό αντλείται από βάθος 83 μέτρων και αφού φιλτραριστεί οδηγείται σε εναλλάκτες θερμότητας όπου ψύχει το κύκλωμα ψυκτικού νερού της τηλεψύξης και καταλήγει στο δίκτυο πόσιμου νερού της πόλης [34].

2.1.2. Ψύξη με εποχιακή αποθήκευση ψύχους

Μια συνήθης πρακτική ψύξης ήδη από την αρχαιότητα είναι η αποθήκευση ψύχους, με τη μορφή πάγου ή χιονιού, κυρίως για την διατήρηση τροφίμων.

Επίσης ήταν μια αρκετά διαδομένη τεχνική τόσο στην Αμερική όσο και στην Ευρώπη για την ψύξη χώρων, έως ότου αντικαταστάθηκε από τα σύγχρονα κλιματιστικά συστήματα. Κατ' επέκταση, έχουν κάνει την εμφάνισή τους εγκαταστάσεις τηλεψύξης οι οποίες στηρίζονται στην αποθήκευση ψύχους υπό τη μορφή χιονιού ή πάγου. Συνηθέστερα αποθηκεύοντας χιόνι σε υπόγεια και κατάλληλα μονωμένα κοιτάσματα τον χειμώνα και αντλώντας το λιωμένο νερό που συγκεντρώνεται στον πυθμένα κατά τη θερινή περίοδο και τροφοδοτώντας το προς τους εναλλάκτες θερμότητας της εγκατάστασης οι οποίοι με τη σειρά τους ψύχουν το νερό που κυκλοφορεί στο σύστημα ψύξης.



Εικόνα 2.5: Σχηματική αναπαράσταση της εγκατάστασης τηλεψύξης του νοσοκομείου του Sundsvall [35]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ψύξης από αποθήκευση χιονιού αποτελεί ο σταθμός του Sundsvall στη Σουηδία (Εικόνα 2.5) που καλύπτει τις ανάγκες σε ψύξη του νοσοκομείου της πόλης απορροφώντας 1500 MWh ψυκτικών φορτίων ετησίως [36], [37], [38].

2.1.3. Ψύξη με αξιοποίηση απορριπτόμενου ψύχους

Διάφορες βιομηχανικές διεργασίες παράγουν πλεονάζουσα ψυκτική ενέργεια η οποία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί τροφοδοτώντας έναν δίκτυο τηλεψύξης. Η εφαρμογή που ερευνάται περισσότερο είναι οι τερματικοί σταθμοί υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Το LNG πριν μπορέσει να διοχετευτεί στους καταναλωτές

πρέπει να επανέλθει στην αέρια φάση. Καθώς λοιπόν εξατμίζεται βίαια στα δοχεία διαστολής (Εικόνα 2.6) το LNG απορροφά μεγάλα ποσά θερμότητας οπότε συνδέοντας τα δοχεία διαστολής με εναλλάκτες θερμότητας η οποίοι μπορούν να παρέχουν ψύξη σε ένα δίκτυο τηλεψύξης. Η υγροποίηση του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται κατά κόρον στη ναυτιλία για εξοικονόμηση όγκου, καθώς το LNG καταλαμβάνει το 1/600 του όγκου σε σύγκριση με την αέρια φάση του. Ως εκ τούτου αυτοί οι σταθμοί βρίσκονται εντός εμπορικών λιμένων οπότε σχετικά κοντά σε αστικά κέντρα όπου θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η απορριπτόμενη ψυκτική ενέργεια [39].



Εικόνα 2.6: Δοχείο διαστολής LNG [40]

2.1.4. Ψύξη με αξιοποίηση θερμότητας

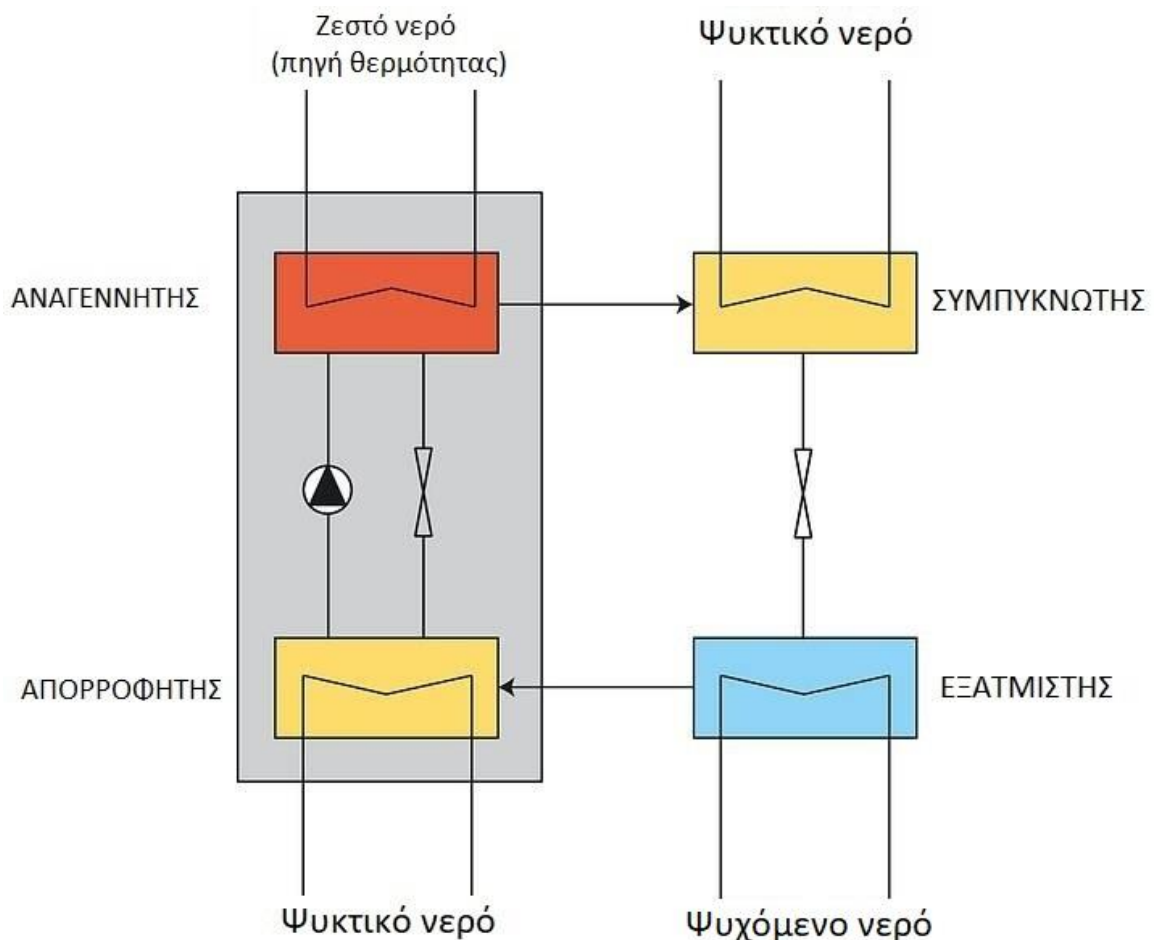
Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες μεθόδους, η συνηθέστερη μορφή ανανεώσιμης ή απορριπτόμενης ενέργειας είναι η θερμότητα. Όπως είναι φυσικό, η θερμότητα μπορεί πολύ εύκολα να αξιοποιηθεί σε εφαρμογές θέρμανσης αλλά δεν ήταν ανέκαθεν δεδομένη η δυνατότητα ψύξης μέσω αυτής. Με την έλευση των θερμικών ψυκτών άνοιξε ο δρόμος προς την αξιοποίηση θερμότητας για την παραγωγή ψύξης. Οι θερμικοί ψύκτες χωρίζονται σε ψύκτες προσρόφησης και ψύκτες απορρόφησης.

2.1.4.1. Ψύξη με απορρόφηση (Absorption cooling)

Με τον όρο απορρόφηση αναφερόμαστε στην διεργασία κατά την οποία μια ουσία διαπερνά την επιφάνεια μιας άλλης ουσίας και σχηματίζουν ένα μίγμα. Η απορρόφηση αντιστρέφεται θερμαίνοντας το μίγμα αυτό [41].

Οι ψύκτες απορρόφησης είναι ο πλέον διαδεδομένος τύπος θερμικών ψυκτών παγκοσμίως. Βασική διαφορά με τους συμβατικούς ψύκτες είναι ότι το ψυκτικό μέσο υφίσταται θερμική συμπίεση μέσω θέρμανσης ενός υγρού διαλύματος ψυκτικού/απορροφητικού μέσου αντικαθιστώντας τον συμβατικό μηχανικό συμπιεστή. Για ψυκτικό νερό άνω των 0°C, που είναι το σύνηθες στον κλιματισμό, χρησιμοποιείται υγρό διάλυμα νερού και βρωμιούχου λιθίου (H₂O/LiBr). Τα βασικά τους πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών ψυκτών είναι η έλλειψη μεγάλων κινούμενων μερών και η δυνατότητα αξιοποίησης οποιασδήποτε πηγής θερμότητας [42].

Οι ψύκτες απορρόφησης είναι ο πλέον διαδεδομένος τύπος θερμικών ψυκτών παγκοσμίως. Βασική διαφορά με τους συμβατικούς ψύκτες είναι ότι το ψυκτικό μέσο υφίσταται θερμική συμπίεση μέσω θέρμανσης του υγρού διαλύματος ψυκτικού/απορροφητικού μέσου αντικαθιστώντας τον συμβατικό μηχανικό συμπιεστή. Για ψυκτικό νερό άνω των 0°C, που είναι το σύνηθες στον κλιματισμό, χρησιμοποιείται υγρό διάλυμα νερού και βρωμιούχου λιθίου (H₂O/LiBr). Τα βασικά τους πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών ψυκτών είναι η έλλειψη μεγάλων κινούμενων μερών και η δυνατότητα αξιοποίησης οποιασδήποτε πηγής θερμότητας [42].



Σχήμα 2.7: Σχηματική αναπαράσταση ενός ψύκτη απορρόφησης [43]

Τα κύρια μέρη ενός ψύκτη απορρόφησης (Σχήμα 2.7) είναι ο αναγεννητής (generator), ο συμπυκνωτής (condenser), ο εξατμιστής (evaporator), και ο απορροφητής (absorber).

Η διαδικασία της ψύξης πραγματοποιείται με τα εξής στάδια:

Αρχικά στον θάλαμο απορρόφησης βρίσκεται μια ποσότητα ασθενούς διαλύματος (60% LiBr) το οποίο με τη βοήθεια μιας αντλίας μεταβαίνει στον θάλαμο αναγέννησης. Εκεί θερμαίνεται και διαχωρίζεται καθώς το νερό βράζει και οδεύει προς τον συμπυκνωτή με τη μορφή ατμού και το ισχυρό πλέον διάλυμα άλατος επιστρέφει στον θάλαμο απορρόφησης όπου συμπυκνώνεται με τη βοήθεια του νερού ψύξης. Στον συμπυκνωτή ο ατμός συμπυκνώνεται καθώς ψύχεται και αυτός από το κύκλωμα ψύξης και μέσω στραγγαλιστικής βαλβίδας περνάει στον εξατμιστή στον οποίο επικρατούν συνθήκες κενού χάρη στις υγροσκοπικές

ιδιότητες του ισχυρού διαλύματος βρωμιούχου λιθίου που όπως προαναφέρθηκε επιστρέφει στον θάλαμο απορρόφησης. Έτσι λοιπόν το νερό εξατμίζεται ακαριαία απορροφώντας θερμότητα από το κύκλωμα ψυκτικού νερού. Κατόπιν απορροφάται από το διάλυμα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται [44].

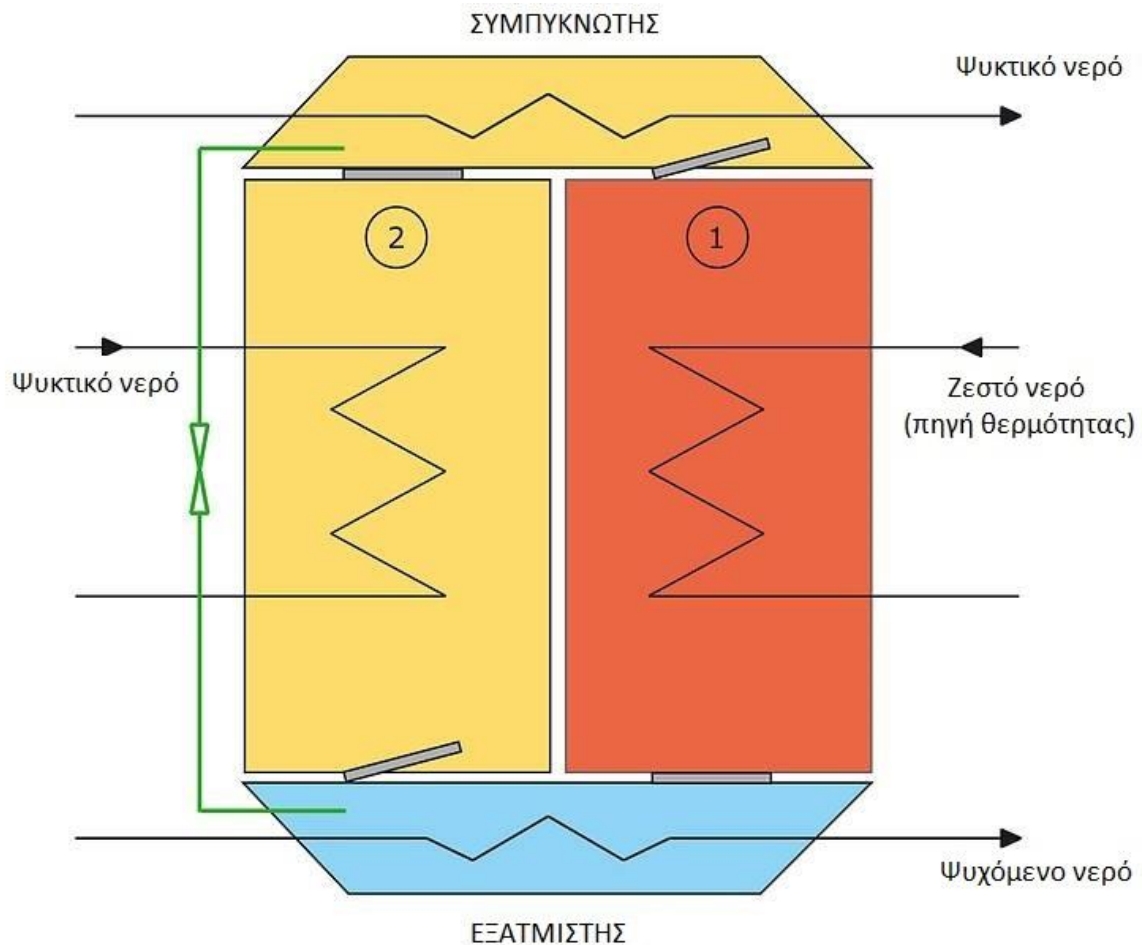
Τρία σημεία όπου τα συστήματα απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή από τεχνικής άποψης, είναι:

1. Το γεγονός ότι λειτουργούν υπό συνθήκες κενού
2. Τα ενδεχόμενα προβλήματα διάβρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες
3. Η κρυστάλλωση του απορροφητικού μέσου σε περίπτωση που η θερμοκρασία του πέσει κάτω από τους 40°C [45]

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εμπορικά διαθέσιμων ψυκτών απορρόφησης με την διαθέσιμη ισχύ ανά συσκευή να κυμαίνεται από 13kW έως 9MW. Κατά κανόνα τροφοδοτούνται με θερμότητα από δίκτυα τηλεθέρμανσης, απορριπτόμενη θερμότητα ή θερμότητα από σταθμούς συμπαραγωγής. Κατά κανόνα η απαιτούμενη θερμοκρασία για μονοβάθμια συστήματα είναι 70-95°C, με αναμενόμενο COP μεταξύ 0.6 και 0.8. Τα διβάθμια συστήματα (δηλαδή με 2 στάδια αναγέννησης) απαιτούν θερμοκρασίες άνω των 120°C αλλά επιτυγχάνουν COP έως και 1.35 [46], [45].

Τα τελευταία χρόνια έχουν διατεθεί στην αγορά μικροί μονοβάθμιοι ψύκτες απορρόφησης με ισχύ κάτω από 50kW, οι οποίοι ενσωματώνονται κατά κόρον σε εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού. Επίσης έχει παρουσιαστεί ένα συγκεκριμένο προϊόν, ειδικά εξελιγμένο για εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος, το οποίο δύναται να λειτουργεί υπό μερικό φορτίο με θερμοκρασία λειτουργίας 65°C και COP ~0.7, μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για ηλιακές εφαρμογές. Γίνεται εύκολα αντιληπτό λοιπόν ότι υπάρχουν μεγάλα περιθώρια τεχνολογικής εξέλιξης σε ότι αφορά την απόδοση των ψυκτών απορρόφησης [17], [47].

2.1.4.2. Ψύξη με προσρόφηση (Adsorption cooling)



Σχήμα 2.8: Σχηματική αναπαράσταση ενός ψύκτη προσρόφησης [48]

Προσρόφηση είναι η διεργασία κατά την οποία μόρια μιας αέριας ή υγρής ουσίας ή ενός υγρού διαλύματος προσκολλώνται σε μια επιφάνεια. Σε αντίθεση λοιπόν με την απορρόφηση, η προσρόφηση είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο και το προσροφητικό μέσο στερεό [49].

Οι ψύκτες προσρόφησης χρησιμοποιούν στερεά προσροφητικά υλικά αντί υγρών διαλυμάτων. Τα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο και πυριτική γέλη (silica gel) ως προσροφητικό μέσο. Τελευταία έχει κάνει την εμφάνιση του και ο ζεόλιθος στη θέση του silica gel [50].

Μια τέτοια διάταξη (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.8) αποτελείται από 2 θαλάμους: έναν θάλαμο εκρόφησης (1) και έναν θάλαμο προσρόφησης (2) που

περιέχουν το προσροφητικό μέσο, έναν εξατμιστή κι έναν συμπυκνωτή. Στον πρώτο θάλαμο ανακτάται το προσροφητικό υλικό με τη χρήση ζεστού νερού από την εξωτερική πηγή θερμότητας, ενώ στον δεύτερο θάλαμο το προσροφητικό υλικό προσροφά τον υδρατμό που εξέρχεται από τον εξατμιστή. Ο δεύτερος θάλαμος πρέπει να ψύχεται ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχής προσρόφηση. Ομοίως με τους ψύκτες απορρόφησης, οι προσροφητικές ιδιότητες του silica gel δημιουργούν συνθήκες κενού στον χώρο του εξατμιστή οπότε το ψυκτικό μέσο μεταπίπτει στην αέρια φάση αντλώντας θερμότητα από το κύκλωμα ψυχρού νερού και ως εκ τούτου παρέχοντας την ζητούμενη ψύξη. Μόλις το προσροφητικό υλικό κορεστεί σε έναν ορισμένο βαθμό στον θάλαμο προσρόφησης τότε οι δύο θάλαμοι εναλλάσσονται μηχανικά και αντιστρέφονται οι ρόλοι τους [50], [51].

Υπό κανονικές συνθήκες και θερμοκρασία θερμού νερού 80°C, τέτοια συστήματα επιτυγχάνουν COP έως και 0.6, ωστόσο είναι δυνατό να λειτουργήσουν και στους 60°C. Η ψυκτική ικανότητα τους ποικίλλει από 5.5kW έως 1180kW ψυκτικής ισχύος [50], [52].

Πλεονεκτήματα έναντι των ψυκτών απορρόφησης

- Διαθέτουν υψηλή αξιοπιστία και αντοχή στον χρόνο χάρη στην απλουστευμένη μηχανικά κατασκευή τους.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος κρυστάλλωσης, διάβρωσης, επιβλαβών διαρροών ή ζητήματα διαχείρισης χημικών αποβλήτων.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και μηδαμινές απαιτήσεις συντήρησης (κάθε 3 χρόνια)
- Δεν υπάρχει αντλία για την κυκλοφορία του διαλύματος συνεπώς ελαχιστοποιείται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Λειτουργούν αθόρυβα και χωρίς κραδασμούς.
- Αποδίδουν ικανοποιητικά σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

Μειονεκτήματα έναντι των ψυκτών απορρόφησης

- Διαθέτουν συγκριτικά μεγάλο όγκο και βάρος σε σχέση με την ψυκτική τους ικανότητα κάτι που αποδίδεται στη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του μέσου προσρόφησης.

- Είναι ακριβοί λόγω της περιορισμένης παραγωγής
- Μη σταθερός ρυθμός προσρόφησης, λόγω της στερεάς κατάστασης του μέσου προσρόφησης
- Η εναλλαγή των τμημάτων της μηχανής είναι μια χρονοβόρα διαδικασία με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του ψύκτη.

Μελλοντικά, αναμένεται να βελτιωθούν κατασκευαστικά τα τμήματα των εναλλακτών θερμότητας και των θαλάμων προσρόφησης χάριν της ελάττωσης του όγκου και του βάρους των διατάξεων αυτών. Επίσης καθώς θα προτιμώνται περισσότερο και θα παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες, το κόστος τους θα μειωθεί [45], [51], [53].

2.2. Σχεδιασμός και κατασκευή δικτύου τηλεψύξης

2.2.1. Ένταξη στο αστικό περιβάλλον



Εικόνα 2.9: Εργασίες εγκατάστασης προμονωμένων αγωγών τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης [54]

Σε επίπεδο δικτύου διανομής η τηλεψύξη δεν διαφέρει σε τίποτα από την τηλεθέρμανση σε ότι αφορά τον τεχνικό εξοπλισμό. Ως εκ τούτου, σε ένα πολεοδομικό συγκρότημα που διαθέτει δίκτυο τηλεθέρμανσης, η ενσωμάτωση των διαδικασιών της τηλεψύξης δεν απαιτεί καμία τροποποίηση ή προσθήκη στο υφιστάμενο δίκτυο. Στην αντίθετη περίπτωση χρειάζεται να γίνουν μεγάλης έκτασης παρεμβάσεις με σημαντικότερες την διέλευση των υπόγειων προμονωμένων αγωγών νερού (Εικόνα 2.9) και την εγκατάσταση των αντλιοστασίων. Απαιτείται επομένως προσεκτικός σχεδιασμός ώστε να εξασφαλιστεί η όσο το δυνατόν μικρότερη όχληση του αστικού περιβάλλοντος και των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα σε αυτό, τόσο κατά τη διάρκεια των εργασιών όσο και μετά την ολοκλήρωσή τους [55].

2.2.2. Σύνδεση κτιρίων με το δίκτυο της τηλεψύξης

Για την σύνδεση ενός κτιρίου με το δίκτυο της τηλεθέρμανσης απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός και συγκεκριμένες προφυλάξεις.

Για ένα κτίριο που δεν είναι συνδεδεμένο με κάποιο δίκτυο τηλεθέρμανσης υπάρχουν οι εξής απαιτήσεις:

- Εγκατάσταση τοπικού θερμικού υποσταθμού για την ψύξη του νερού του εσωτερικού κυκλώματος του κτιρίου.
- Σχεδιασμός και εγκατάσταση δικτύου διανομής νερού (με κατάλληλες τροποποιήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί τυχόν υφιστάμενο δίκτυο θέρμανσης).
- Εγκατάσταση κατάλληλων τερματικών εναλλακτών νερού-αέρα για την ψύξη των χώρων (fan-coils).
- Διάφορα ηλεκτρομηχανικά συστήματα ελέγχου (πίνακες ελέγχου, βαλβίδες, κλπ.).

Σε ένα κτίριο που διαθέτει ήδη σύνδεση με δίκτυο τηλεθέρμανσης οι απαιτούμενες μετατροπές για την σύνδεση με τηλεψύξη περιορίζονται στην αντικατάσταση των θερμαντικών σωμάτων ακτινοβολίας (καλοριφέρ) με fan-coils και στον επαναπρογραμματισμό των ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου ώστε να ανταποκρίνονται σε λειτουργία ψύξης.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπάρξει μέριμνα για την μόνωση των εκτεθειμένων στον ατμοσφαιρικό αέρα αγωγών νερού ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα συμπύκνωσης υδρατμών και διάβρωσης [55].

2.3. Παραδείγματα εφαρμογών τηλεψύξης

Όπως είναι φυσικό, τα πολλαπλά πλεονεκτήματα της τηλεψύξης την καθιστούν μια ιδιαίτερα ελκυστική λύση. Ήδη από το 1889 παρατηρείται η πρώτη εφαρμογή τηλεψύξης στο Ντένβερ του Κολοράντο και από τότε μέχρι σήμερα τυγχάνει μεγάλης αποδοχής σε μια πλειάδα εφαρμογών ψύξης σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, αυτό που έχει περισσότερο ενδιαφέρον είναι η δυνατότητα της τηλεψύξης να συνδυάζεται και να ενσωματώνεται σε ενεργειακά συστήματα που στηρίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αυτό εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Παρακάτω αναφέρονται τα 6 σημαντικότερα παραδείγματα εφαρμογής βέλτιστης πρακτικής της τηλεψύξης στην Ευρώπη, τα στοιχεία και τα μεγέθη των εγκαταστάσεων καθώς και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την κατασκευή και τη λειτουργία τους [56].

2.3.1. Παρίσι

Η πρώτη διάταξη τηλεψύξης στην Ευρώπη εμφανίζεται το στο Παρίσι 1978, εξυπηρετώντας το εμπορικό κέντρο της Αγοράς του Αλ και το Λούβρο.

Κατόπιν σύμβασης με την πόλη του Παρισιού, η Climespace από το 1991 αναπτύσσει και διαχειρίζεται σύστημα τηλεψύξης το οποίο πλέον διαθέτει 10 σημεία παραγωγής και 3 σημεία αποθήκευσης ενέργειας με συνολική ονομαστική ψυκτική ικανότητα 290MW και ετήσια παροχή ψύξης 400GWh σε πάνω από 550 κτίρια.

Το δίκτυο της Climespace έχει αναπτυχθεί σημαντικά κατά τα 20 χρόνια λειτουργίας του, με αύξηση της συνδρομητικής ισχύος κατά 15 MW ετησίως καθώς και με την κατασκευή νέων σταθμών τηλεψύξης. Για παράδειγμα το 2013 και το 2014 προστέθηκαν 2 νέες εγκαταστάσεις συνολικής ονομαστικής ισχύος 10 MW.

Κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί φυγοκεντρικοί ψύκτες για την παραγωγή ψύξης. Σε 3 από τους σταθμούς χρησιμοποιείται νερό από τον ποταμό Σηκουάνα και σε άλλους 5 έχουν εγκατασταθεί πύργοι ψύξης, Τέλος σε έναν από

αυτούς υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής ψύξης και θέρμανσης μέσω αντλιών θερμότητας που εκμεταλλεύονται γεωθερμική ενέργεια [57].

2.3.2. Βιέννη

Ανάδοχος του έργου είναι η Wien Energie. Η τηλεψύξη της Βιέννης αρχικά λειτουργούσε με έναν μικρό αριθμό πελατών, επιτρέποντάς τους να χρησιμοποιούν την θερμότητα από το δίκτυο τηλεθέρμανσης για τη λειτουργία των δικών τους ψυκτών απορρόφησης.

Επί πολλά έτη δεν υπήρχε καμία πρόοδος μέχρι που μια μελέτη βιωσιμότητας για την προοπτική δημιουργίας δικτύου τηλεψύξης στην Βιέννη ανέδειξε τα πλεονεκτήματα της κεντρικής και συγκεντρωμένης παραγωγής ψύξης και έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη της τηλεψύξης στην πόλη, προτείνοντας μάλιστα και την αξιοποίηση νερού από τον Δούναβη. Το πρώτο σύστημα τηλεψύξης μεγάλης κλίμακας τέθηκε σε λειτουργία το 2009 χρησιμοποιώντας ψύκτες απορρόφησης.

Η αρχική εγκατάσταση είχε ψυκτική ικανότητα 17 MW. Στη 2^η φάση εξέλιξης κατασκευάστηκαν επιπλέον σταθμοί ισχύος 50 MW. Η Wien Energie Fernwärme έχει θέσει ως στόχο τα 200 MW έως το 2020 κάτι που μεταφράζεται σε μερίδιο αγοράς περίπου 50% για την τηλεψύξη της Βιέννης.

Οι ψύκτες τροφοδοτούνται κατ' αποκλειστικότητα με θερμότητα από καύση απορριμμάτων, γεωθερμία και απορριπτόμενη θερμότητα σταθμών συμπαραγωγής. Δεδομένης λοιπόν της μεγάλης εξάρτησης της Αυστρίας από ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ιδιαίτερα για τις θερινές περιόδους αιχμής, η μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων μπορεί να κυμανθεί από 75% έως 90% [58].

2.3.3. Στοκχόλμη

Αν και η Στοκχόλμη διαθέτει δίκτυο τηλεψύξης ήδη από το 1953, η ανάπτυξη του δικτύου τηλεψύξης ξεκίνησε το 1995. Ιδιοκτήτης και διαχειριστής των δικτύων, τόσο της τηλεθέρμανσης όσο και της τηλεψύξης, είναι η Fortum Värme. Η

εξοικείωση του κοινού με την τηλεθέρμανση βοήθησε σημαντικά στην ανάπτυξη της τηλεψύξης.

Όταν τέθηκε για πρώτη φορά σε λειτουργία το δίκτυο τηλεψύξης της Στοκχόλμης ο στόχος για την Fortum Värme ήταν τα 70 MW ψυκτικής ισχύος. Ωστόσο η ανταπόκριση του κοινού ξεπέρασε τις προσδοκίες και για 2 χρόνια (2000-2001) δεν γίνονταν νέες συνδέσεις στο δίκτυο καθώς η εγκατεστημένη ισχύς δεν επαρκούσε για νέους πελάτες. Κατόπιν το δίκτυο αναπτύχθηκε και ενισχύθηκε ξεπερνώντας σήμερα τα 280 MW ισχύος.

Η παραγωγή ψύξης γίνεται με έναν συνδυασμό DSWC, αντλιών θερμότητας και ψυκτών. Επίσης γίνεται αποθήκευση ενέργειας σε υπόγειο υδροφορέα [59].

2.3.4. Σόλνα και Σούντμπυμπεργκ

Η δήμοι της Σόλνα και της Σούντμπυμπεργκ είναι 2 περιοχές στα βόρεια της Στοκχόλμης όπου η Norrenergi έχει εγκαταστήσει και λειτουργεί δίκτυο τηλεψύξης.

Σχεδιάστηκε μαζί με την τηλεψύξη της Στοκχόλμης το 1994. Η αρχική προσέγγιση ήταν να χρησιμοποιούνται αντλίες θερμότητας οι οποίες θα εκμεταλλεύονταν την απορριπτόμενη θερμότητα του δικτύου αποχέτευσης σε συνδυασμό με ηλεκτρικούς φυγοκεντρικούς ψύκτες. Στη συνέχεια, καθώς το δίκτυο επεκτάθηκε σε περιοχές γραφείων και εμπορικών καταστημάτων, η αυξημένη ζήτηση κατέστησε βιώσιμη την ψύξη με την αξιοποίηση της θάλασσας.

Πλέον η εγκατάσταση διαθέτει σύστημα αποθήκευσης ψυχρού νερού και ηλεκτρικούς ψύκτες για εφεδρεία και για κάλυψη των φορτίων αιχμής [60].

2.3.5. Ελσίνκι

Το Ελσίνκι έχει μακρά ιστορία σχετικά με τα ΚΣΕ καθώς η πρώτη υλοποίηση τηλεθέρμανσης στην πόλη λειτούργησε το 1953 με μεγάλη επιτυχία από την πρώτη στιγμή. Η τηλεψύξη εμφανίστηκε το 1998 και χάρη στην πρότερη εμπειρία, που αποκτήθηκε από τα 45 χρόνια λειτουργίας της τηλεθέρμανσης, η ενσωμάτωση και η ανάπτυξη της ολοκληρώθηκαν με ταχείς ρυθμούς. Το δίκτυο λειτουργεί υπό την διαχείριση της Helsinki Energia (HELEN).

Αξίζει να γίνει ειδική αναφορά στο εργοστάσιο Katri Vala που είναι το μεγαλύτερο του είδους του στον κόσμο, με 90 MW θερμική ισχύ και 60 MW ψυκτική ικανότητα. Λειτουργεί με αντλίες θερμότητας οι οποίες εκμεταλλεύονται τα απόβλητα της αποχέτευσης ή το νερό της θάλασσας για παραγωγή θέρμανσης ή ψύξης αντίστοιχα. Το πετρώδες και σταθερό υπέδαφος του Ελσίνκι επιτρέπει την υπόγεια κατασκευή εγκαταστάσεων και δικτύων. Έτσι, ο συγκεκριμένος σταθμός είναι εγκατεστημένος υπογείως κάτω από το πάρκο Katri Vala.

Η παραγωγή ψύξης πραγματοποιείται με ελεύθερη ψύξη μέσω της θάλασσας, ψύκτες απορρόφησης και αντλίες θερμότητας. Πάνω από το 80% της καταναλισκόμενης ενέργειας αφορά απορριπτόμενη ενέργεια [61].

2.3.6. Βέξιε

Η Växjö Energi ξεκίνησε την κατασκευή του πρώτου της δικτύου τηλεθέρμανσης το 1970. Αρχικά η παραγωγή θερμότητας στηριζόταν στο πετρέλαιο. Σήμερα η βιομάζα (κυρίως απόβλητα από την υλοτομία) έχει υποκαταστήσει πλήρως το πετρέλαιο.

Οι πρώτες μελέτες για την εγκατάσταση τηλεψύξης ολοκληρώθηκαν το 2006 και το 2007 λειτούργησε η πρώτη πιλοτική μονάδα απορρόφησης ισχύος 300 kW. Το 2010 ολοκληρώθηκε η πρώτη φάση του έργου. Ψύκτες απορρόφησης αναλαμβάνουν να διαχειριστούν τα ψυκτικά φορτία της πόλης αξιοποιώντας θερμότητα από τους σταθμούς ΣΗΘ βιομάζας.

Τμήμα του δικτύου αγωγών διέρχεται μέσα από λίμνες, περιορίζοντας έτσι την όχληση και τις παρεμβάσεις στο αστικό περιβάλλον.

Ο στόχος που έχει τεθεί είναι τα 25 MW συνολικής ψυκτικής ισχύος μέσα στα επόμενα χρόνια με δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης έως τα 35 MW.

Στην παραγωγή ψύξης συμμετέχουν φυγοκεντρικοί ψύκτες, ψύκτες απορρόφησης και συστήματα ελεύθερης ψύξης με ποσοστά 24%, 32% και 44% αντίστοιχα [62].

2.3.7. Σύγκριση συστημάτων

| | Ονομαστική ψυκτική ικανότητα (MW) | Ετήσια παραγωγή ψύξης (GWh) | Μήκος δικτύου (km) | Συνολική εξυπηρετούμενη επιφάνεια (m ²) | Τεχνολογίες ψύξης |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|---|--|
| Παρίσι | 290 | 410 | 71 | 5.000.000 | Ηλεκτρικοί ψύκτες, Άντληση νερού από ποταμό, Αντλίες θερμότητας |
| Βιέννη | 67 | 72 | 4,8 | 1.100.000 | Ηλεκτρικοί ψύκτες, Ψύκτες απορρόφησης, Άντληση νερού από ποταμό |
| Στοκχόλμη | 280 | 426 | 200 | 7.000.000 | Ηλεκτρικοί ψύκτες, Αξιοποίηση του θαλασσινού νερού, Αντλίες θερμότητας |
| Σόλνα/ Σούντμπυμπεργκ | 43 | 60 | 32 | - | Ηλεκτρικοί ψύκτες, Αντλίες θερμότητας |
| Ελσίνκι | 180 | 130 | 65 | 1.400.000 | Ηλεκτρικοί ψύκτες, Ψύκτες απορρόφησης, Αξιοποίηση του θαλασσινού νερού, Αντλίες θερμότητας |
| Βέξιε | 13 | 11 | 13 | - | Ηλεκτρικοί ψύκτες, Ψύκτες απορρόφησης, Άντληση νερού από λίμνη |

Πίνακας 2.10: Σύγκριση εγκαταστάσεων τηλεψύξης Παρισιού, Βιέννης, Στοκχόλμης, Σόλνα/Σούντμπυμπεργκ, Ελσίνκι, Βέξιε [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62]

2.4. Εμπειρία και αποτελέσματα από την κατασκευή και την λειτουργία των εγκαταστάσεων

Για μια τεχνολογία καινοτόμο και πολύπλοκη όπως είναι η τηλεψύξη, η πρότερη εμπειρία από υφιστάμενες εγκαταστάσεις θέτει τις καθοδηγητικές γραμμές για τις επόμενες υλοποιήσεις ώστε να αποφευχθούν λάθη και παραλείψεις. Επίσης είναι σημαντικό να εξετάζονται και οι συνθήκες υπό τις οποίες αναπτύχθηκε ένα τέτοιο

έργο. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την πολυετή λειτουργία των προαναφερθέντων συστημάτων καθώς και οι παράγοντες που συνετέλεσαν στην ανάπτυξή τους.

Σε ό,τι αφορά την διαχείριση ενέργειας, παρατηρώντας τα πρακτικά οφέλη των τεχνολογιών ελεύθερης ψύξης (όπως είναι η ψύξη μέσω υδάτινων μαζών) αναπτύχθηκαν μοντέλα ενεργειακής διαχείρισης που δίνουν προτεραιότητα στην παραγωγή ψύξης από αυτές της ηπιότερες μορφές ενέργειας έναντι των συμβατικών διατάξεων του δικτύου (π.χ. φυγοκεντρικοί ψύκτες). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής και την συνακόλουθη ενίσχυση της αξιοπιστίας και της σταθερότητας του δικτύου ηλεκτρισμού. Η μείωση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια (που αγγίζει το 80%) επιτρέπει την εξοικονόμηση πόρων λόγω της αποφυγής επιπλέον επενδύσεων για την αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου.

Η αντικατάσταση των συμβατικών κλιματιστικών με μεθόδους τηλεψύξης, πέρα από την προφανή εξάλειψη των εκπομπών CFCs, HFCs και CHFCs, έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι είναι ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος και για την μείωση των εκπομπών CO₂ του κτιριακού τομέα, επαληθεύοντας το περιβαλλοντικό πλεονέκτημα της τηλεψύξης.

Είναι αναμενόμενο, βάσει των οικονομιών κλίμακας, ότι μεγαλύτερα συστήματα οδηγούν σε καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα. Αυτή είναι και η βασική αρχή των ΚΣΕ. Ωστόσο θα πρέπει να γίνεται ακριβής εκτίμηση των αναγκών και των δυνατοτήτων της αγοράς ώστε να υπάρξει όσο γίνεται αποτελεσματικότερος αρχικός σχεδιασμός και να αποφευχθεί η υπερδιαστασιολόγηση της εγκατάστασης. Ένας τρόπος για την εξασφάλιση της παράλληλης ανάπτυξης προσφοράς και ζήτησης είναι η σύναψη συμφωνιών με τους μελλοντικούς καταναλωτές πριν τον σχεδιασμό της επέκτασης του δικτύου. Βασική προϋπόθεση είναι η εξασφάλιση της ανταγωνιστικότητας της τηλεψύξης έναντι των ανταγωνιστικών μεθόδων ψύξης, καθώς σε μια ελεύθερη αγορά οι καταναλωτές έχουν ανά πάσα στιγμή τη δυνατότητα να επιλέξουν τον τρόπο με τον οποίο θα ψύχουν τα ακίνητά τους.

Επίσης, καθώς τα ΚΣΕ (όπως και η τηλεψύξη) αφορούν ολόκληρες κοινότητες ή πόλεις οι οποίες θα ωφεληθούν από την χρήση της αλλά και θα επιβαρυνθούν

κατά την κατασκευή του έργου, θα πρέπει να υπάρχει στενή συνεργασία των τοπικών φορέων με τον διαχειριστή του δικτύου [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62].

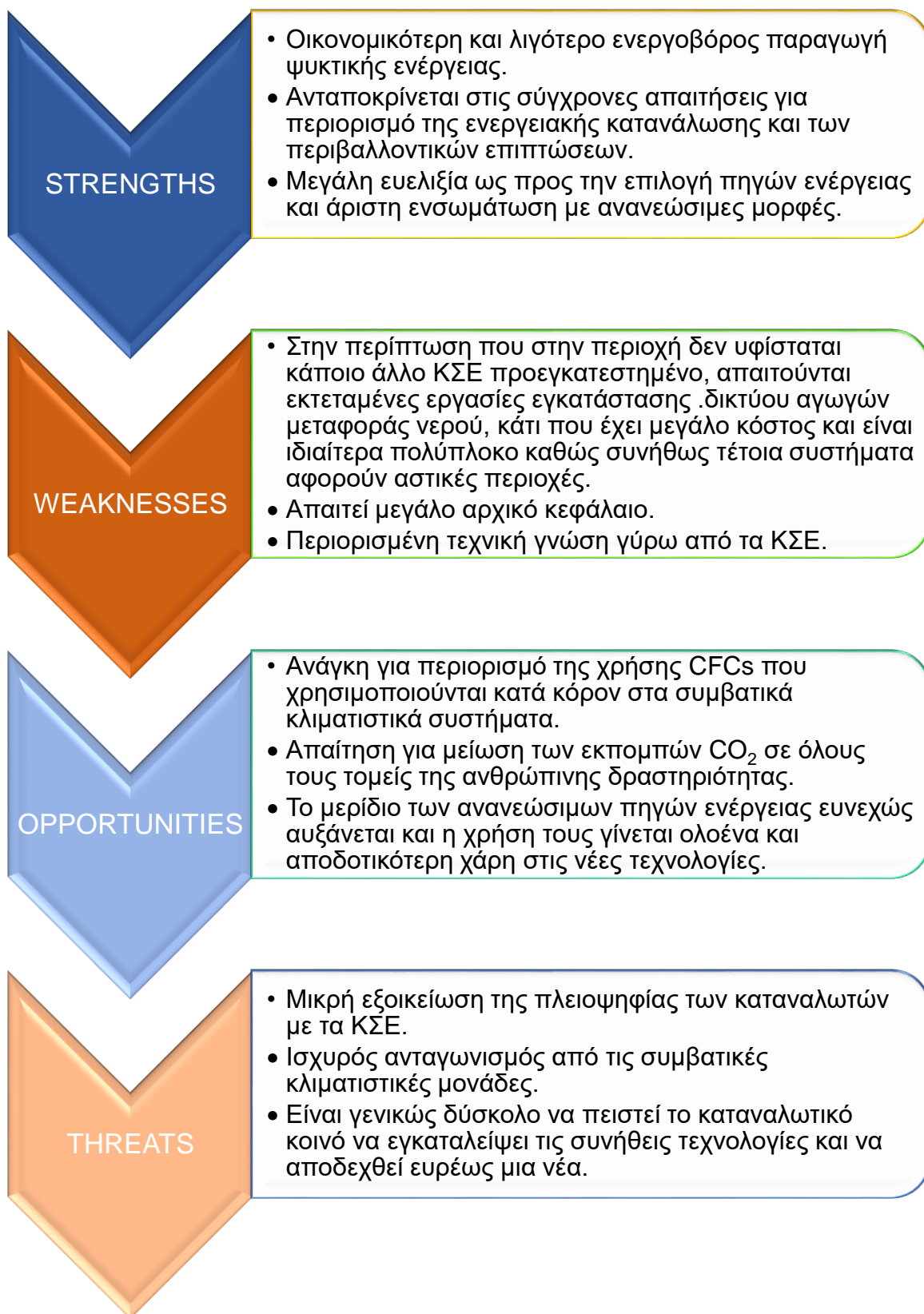
2.5. Καταλυτικοί παράγοντες για την εξέλιξη του έργου

Και στις 6 πόλεις λειτουργούσε για πολλά χρόνια δίκτυο τηλεθέρμανσης πριν την πρώτη εγκατάσταση τηλεψύξης, οπότε αφενός το καταναλωτικό κοινό ήταν εξοικειωμένο με τα ΚΣΕ και αφετέρου υπήρχε επαρκής σχετική εμπειρία και τεχνογνωσία. Επίσης, στον βαθμό που αυτό είναι εφικτό, η αξιοποίηση του υφιστάμενου δικτύου της τηλεθέρμανσης για την λειτουργία της τηλεψύξης μειώνει σημαντικά το αρχικό κόστος και την πολυπλοκότητα της ανάπτυξης του έργου.

Σε κάθε περίπτωση έγιναν εκτεταμένες μελέτες και εν τέλει τα συστήματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη αξιοποίηση των τοπικών πόρων, η ελαχιστοποίηση του μήκους του δικτύου και η ελαχιστοποίηση των παρεμβάσεων στο αστικό και περιαστικό περιβάλλον.

Οι ευρωπαϊκές οδηγίες για τον περιορισμό της χρήσης CFCs, HFCs και HCFCs επηρέασαν θετικά τους καταναλωτές οι οποίοι στράφηκαν στην τηλεψύξη έναντι των συμβατικών κλιματιστικών. Και η πολιτεία από την πλευρά της, δεδομένης και της ανάγκης για μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, στήριξε οικονομικά την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων [56], [57], [58], [59], [60], [61], [62].

3. Ανάλυση SWOT της τηλεψύξης



4. Εφαρμογή τηλεψύξης στην πόλη της Κοζάνης

Η λειτουργία της τηλεθέρμανσης στην περιοχή της Κοζάνης ξεκινά το 1960, παρέχοντας θέρμανση σε έναν μικρό οικισμό της ΔΕΗ, ενώ λειτουργεί σε μεγάλη κλίμακα για πρώτη φορά τον Δεκέμβριο του 1993-1994 με τη σύνδεση των πρώτων 360 κτιρίων. Το 2012 φτάνει να εξυπηρετεί 5329 κτίρια με συνολική θερμαινόμενη επιφάνεια 2.450.252 m². Διαχειριστής του δικτύου της τηλεθέρμανσης της Κοζάνης είναι η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Κοζάνης (ΔΕΥΑΚ) [14].

Χάρης στους σταθμούς της ΔΕΗ που λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή, η Κοζάνη διαθέτει οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον θέρμανση. Συγκεκριμένα, η θερμότητα λαμβάνεται μέσω απομάστευσης ατμού από την μεσαία και χαμηλή βαθμίδα των ατμοστροβίλων και διοχετεύεται στο δίκτυο τηλεθέρμανσης. Υπάρχει σχεδιασμός για την προσθήκη εναλλακτών καυσαερίων ώστε να μειωθεί η απομάστευση και κατά κύριο λόγο να αξιοποιείται θερμότητα που σε διαφορετική περίπτωση θα απορριπτόταν ανεκμετάλλευτη στο περιβάλλον και ταυτόχρονα αυξάνεται η συνολική αποδοτικότητα του ΑΗΣ [14].

Ωστόσο κατά τη θερινή περίοδο η τηλεθέρμανση διακόπτει τη λειτουργία της. Αυτός ο νεκρός χρόνος θα μπορούσε να ελαχιστοποιηθεί με την εγκατάσταση ψυκτών απορρόφησης, οι οποίοι θα εκμεταλλεύονται την θερμότητα από τους εναλλάκτες καυσαερίων του σταθμού και το καλοκαίρι, και θα παρέχουν ψυχρό νερό για το δίκτυο τηλεψύξης της Κοζάνης.

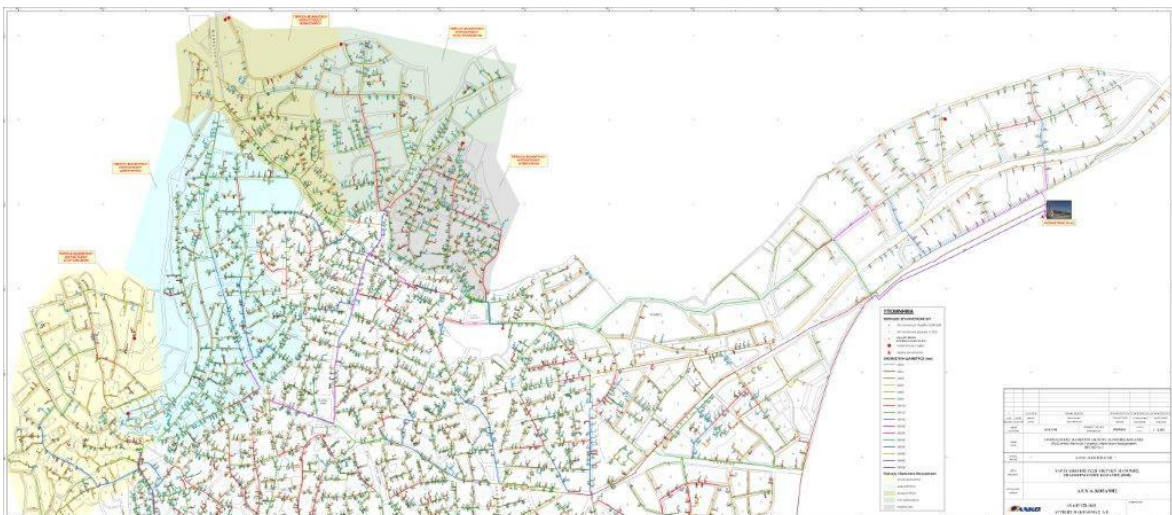
Παρακάτω επιχειρείται μια μελέτη βιωσιμότητας της συγκεκριμένης εφαρμογής, αξιοποιώντας το δίκτυο διανομής της τηλεθέρμανσης, για ήδη συνδεδεμένες κατοικίες και κτίρια γραφείων.

4.1. Περιγραφή υφιστάμενου δικτύου τηλεθέρμανσης

Η συνολική θερμική ισχύς του συστήματος φτάνει τα 222MW_{th} εκ των οποίων τα 137MW_{th} παρέχονται από τις μονάδες III, IV και V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου και τα υπόλοιπα 85MW_{th} από το λεβητοστάσιο αιχμής. Επιπρόσθετα, για την αύξηση του βαθμού εκμετάλλευσης της ανακτώμενης θερμικής ενέργειας έχουν τοποθετηθεί 2 θερμοδοχεία χωρητικότητας 1650 m³ έκαστο. Η συνολική θερμαινόμενη επιφάνεια αγγίζει τα 2.450.252 m² και μοιράζεται σε 5329 συνδεδεμένα κτίρια [14], [63].

Η θερμική ενέργεια διανέμεται μέσω υπόγειου δικτύου προμονωμένων αγωγών και συστήματος αντλιοστασίων. Το κεντρικό αντλιοστάσιο έχει ικανότητα μέγιστης παροχής 3600m³/h. Έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί επιπλέον 5 βοηθητικά αντλιοστάσια διαχωρισμού για την εξυπηρέτηση των περιοχών που βρίσκονται σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή υδροστατική πίεση στο πρωτεύον κύκλωμα [14], [63].

Η θερμοκρασία προσαγωγής στο πρωτεύον κύκλωμα (Εικόνα 4.1: λευκή περιοχή) είναι 120°C και η θερμοκρασία επιστροφής 70°C. Οι αντίστοιχες τιμές για το δευτερεύον κύκλωμα (μετά τα βοηθητικά αντλιοστάσια, Εικόνα 4.1: περιοχές επισημασμένες με χρώμα) είναι 115°C και 65°C.



Εικόνα 4.1: Χάρτης των περιοχών που εξυπηρετεί κάθε αντλιοστάσιο. Με λευκό χρώμα η περιοχή που εξυπηρετεί το κύριο αντλιοστάσιο [63]

4.2. Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων και ενέργειας

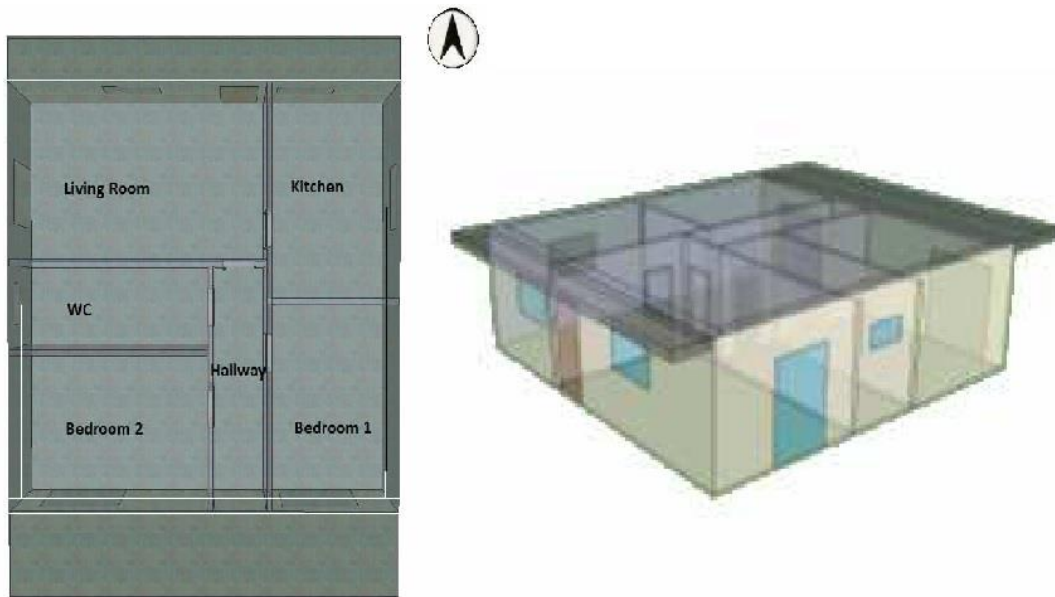
Για τους υπολογισμούς και την κατάστρωση των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε ένα κτίριο με χαρακτηριστικά τέτοια ώστε να αντιπροσωπεύει όσο γίνεται καλύτερα τον μέσο όρο των κατοικιών της Κοζάνης. Σύμφωνα με στοιχεία και την απογραφή του 2011 της ΕΛΣΤΑΤ, το 68% των κτιρίων κατοικιών στην Κοζάνη έχει κατασκευαστεί πριν το 1990 και ο ρυθμός ανανέωσης κτιρίων κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2% [64].

Η επιλογή μιας κατοικίας αντιπροσωπευτικής του συνόλου των κατοικιών ήταν ομολογουμένως μια πρόκληση η οποία ωστόσο ξεπεράστηκε με τη βοήθεια μιας μελέτης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την θερμομόνωση των κτιρίων και τις επιπτώσεις της σε Αθήνα και Κοζάνη [74] και με την διασταύρωση των επιλογών της μελέτης βάσει των επίσημων στοιχείων της ΕΛΣΤΑΤ που αναφέρονται παραπάνω.

Υιοθετήθηκε λοιπόν ένα διαμέρισμα επιφάνειας 100m² με 1 καθιστικό, 1 κουζίνα, 2 υπνοδωμάτια, 1 WC. Διαθέτει ανοίγματα σε όλες τις πλευρές του, με το μεγαλύτερο μέρος των ανοιγμάτων να βρίσκεται στο Νότο. Το εξωτερικό χρώμα είναι λευκό. Επικρατούν αδιαβατικές συνθήκες σε οροφή και δάπεδο, δηλαδή πρόκειται για ένα διαμέρισμα ενδιάμεσου ορόφου σε κάποια πολυκατοικία. Διαθέτει φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και διπλή τοιχοποιία από οπτόπλινθους με διάκενο αέρα. Τα κουφώματα έχουν αντικατασταθεί από νέου τύπου, συνθετικά, ανοιγόμενα παράθυρα και πόρτες με διπλό τζάμι [65].

Τα χαρακτηριστικά της μόνωσης του κτιρίου αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος των κτιρίων κατοικίας της Κοζάνης με τους συντελεστές μόνωσης να έχουν υπολογιστεί ως εξής:

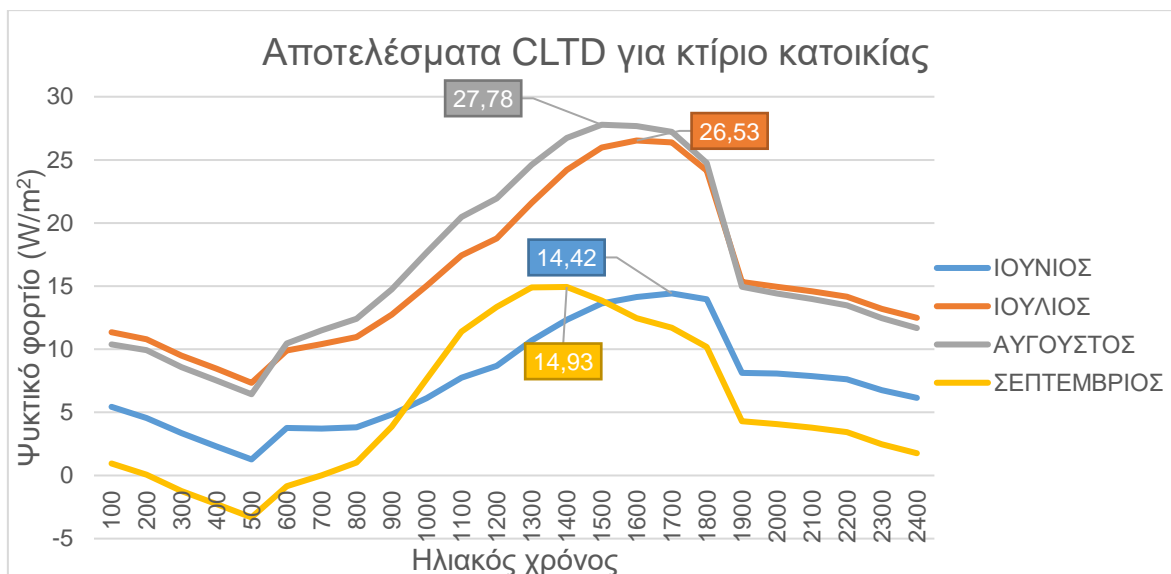
- Σοβάς / Τούβλο / Διάκενο αέρα / Τούβλο / Σοβάς: $1,262 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
- Σοβάς / Οπλισμένο σκυρόδεμα / Σοβάς: $3,125 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
- Μονωμένα κουφώματα αλουμινίου με διπλούς υαλοπίνακες: $1,38 \frac{W}{m^2 \cdot K}$



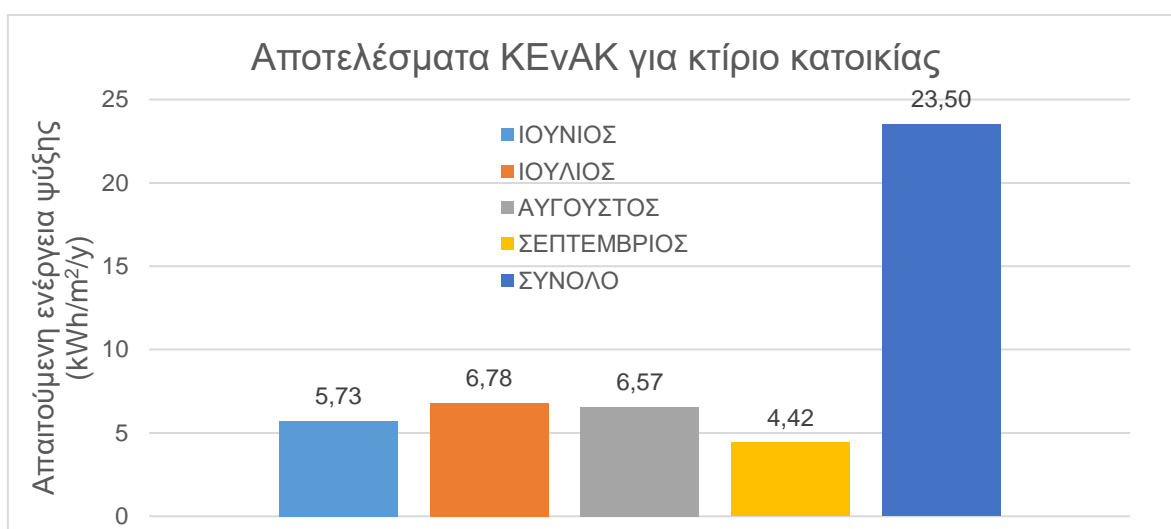
Εικόνα 4.2: Οπτική αναπαράσταση της κατοικίας που επιλέχθηκε [65]

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία εφαρμόστηκε η μέθοδος CLTD [66] για τον υπολογισμό του ψυκτικού φορτίου και η μέθοδος ημι-σταθερής κατάστασης του ΚΕνΑΚ που βασίζεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 13790 E2 (2009) [67] για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης (Διάγραμμα 4.4). Δεδομένου ότι μελετώνται φορτία ψύξης, και οι δύο μέθοδοι δίνουν ιδιαίτερη βαρύτητα στον υπολογισμό των θερμικών κερδών, ηλιακών και άλλων, αποτέλεσαν σημαντικό εργαλείο ώστε να ξεπεραστεί το πρόβλημα της προσέγγισης ενός τόσο πολύπλευρου ζητήματος.

Εφαρμόζοντας την μέθοδο CLTD (Διάγραμμα 4.3), το μέγιστο ψυκτικό φορτίο εντοπίζεται τον Αύγουστο και υπολογίστηκε στα $27,78 \text{ W/m}^2$. Η συνολική ετήσια κατανάλωση της κατοικίας για ψύξη σε ανηγμένη τιμή ανά μονάδα επιφανείας εκτιμήθηκε με τη μέθοδο του ΚΕνΑΚ (Διάγραμμα 4.4) στις $23,5 \text{ kWh/m}^2/\text{y}$.



Διάγραμμα 4.3: Ψυκτικό φορτίο κατοικίας στην πόλη της Κοζάνης



Διάγραμμα 4.4: Συνολική ετήσια απαιτούμενη ενέργεια ψύξης κατοικίας στην πόλη της Κοζάνης

Στη συνέχεια τα ίδια μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων και της ετήσιας απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη σε ένα κτίριο γραφείων. Από ένα δείγμα 3 χαρακτηριστικών κτιρίων γραφείων της πόλης παρατηρήθηκε ότι διαθέτουν μεγαλύτερα και περισσότερα ανοίγματα σε σχέση με τα κτίρια κατοικίας και σε γενικές γραμμές κοινή μορφολογία μεταξύ τους.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες των κύριων όψεων των κτιρίων αυτών. Συγκεκριμένα πρόκειται για το Κτίριο της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης

(Εικόνα 4.5), το κτίριο της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (Εικόνα 4.6) και το κτίριο που στεγάζει τις υπηρεσίες της ΔΕΥΑΚ (Εικόνες 4.7 - 4.8).



Εικόνα 4.5: Το κτίριο της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης



Εικόνα 4.6: Το κτίριο της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας



Εικόνα 4.7: Το κτίριο της ΔΕΥΑΚ (Νότια Όψη)

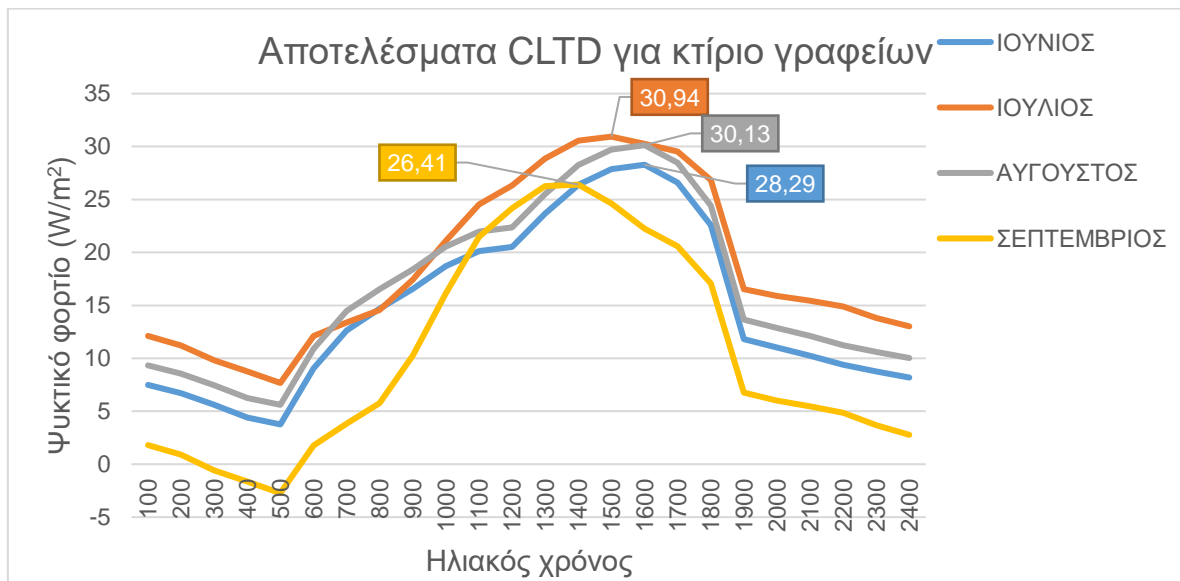


Εικόνα 4.8: Το κτίριο της ΔΕΥΑΚ (Νοτιοδυτική Όψη)

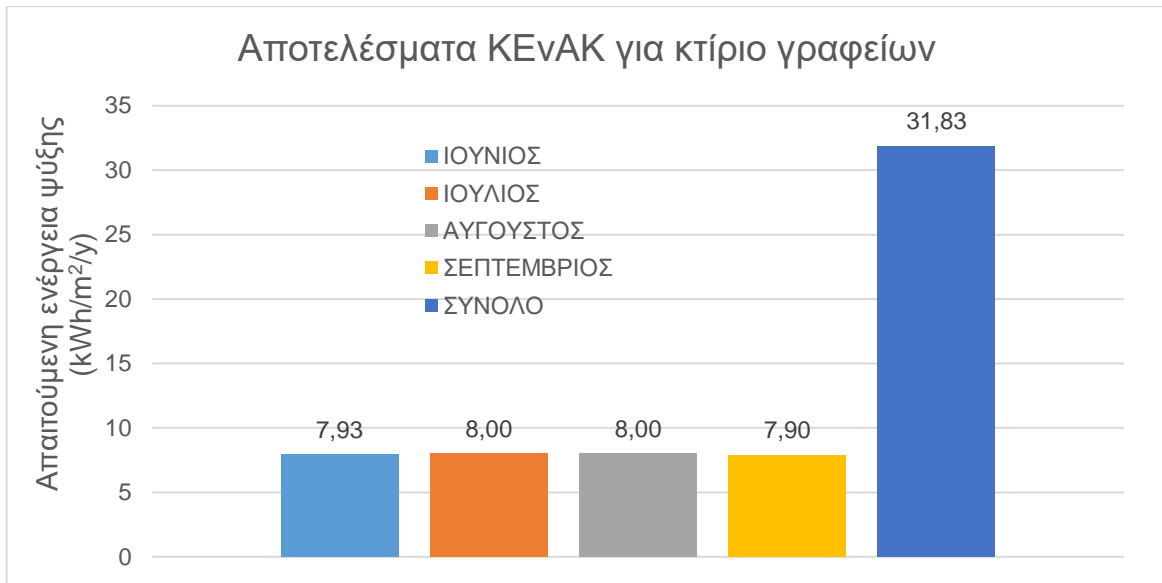
Για τις ανάγκες της μελέτης χρησιμοποιήθηκε το κτίριο της ΔΕΥΑΚ. Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου υπολογίστηκε στα 1200m², ο προσανατολισμός του είναι νότιος και διαθέτει κινητά σκίαστρα στα 2/3 των νότιων ανοιγμάτων και στο 1/2 των δυτικών ανοιγμάτων. Η ανατολική του όψη σκιάζεται σε ένα ποσοστό από γειτονικό κτίριο. Επίσης ελήφθησαν υπόψη όλοι οι περιορισμοί και οι παράμετροι των μοντέλων για κτίρια αυτού του μεγέθους που χρησιμοποιούνται ως γραφεία.

Χρησιμοποιώντας τα υπολογιστικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν και στην περίπτωση της κατοικίας με τις κατάλληλες τροποποιήσεις βάσει των μορφολογικών και δομικών διαφορών, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Το μέγιστο ψυκτικό φορτίο είναι 30,94 W/m² σύμφωνα με τη μέθοδο CLTD (Διάγραμμα 4.9) ενώ εφαρμόζοντας την μέθοδο του ΚΕνΑΚ (Διάγραμμα 4.10) για την ενέργεια προκύπτει συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη 31,83 kWh/m²/y.



Διάγραμμα 4.9: Ψυκτικό φορτίο κτιρίου γραφείων στην πόλη της Κοζάνης



Διάγραμμα 4.10: Συνολική ετήσια απαιτούμενη ενέργεια ψύξης κτιρίου γραφείων στην πόλη της Κοζάνης

Οι κατοικίες αποτελούν το 83,68% του συνολικού κτιριακού αποθέματος, ενώ τα γραφεία το 3,1%. Θεωρώντας ότι η εγκατάσταση αφορά μόνο κατοικίες και γραφεία τα παραπάνω ποσοστά γίνονται 96,4% και 3,6% αντίστοιχα. Έτσι λοιπόν τα σταθμισμένα αποτελέσματα είναι:

Ψυκτικό φορτίο

$$27,78 \frac{W}{m^2} \cdot 0,964 + 30,94 \frac{W}{m^2} \cdot 0,036 = 27,89 \frac{W}{m^2}$$

Συνολική ετήσια απαιτούμενη ενέργεια ψύξης

$$23,5 \frac{kWh}{m^2 \cdot y} \cdot 0,964 + 31,83 \frac{kWh}{m^2 \cdot y} \cdot 0,036 = 23,8 \frac{kWh}{m^2 \cdot y}$$

4.2.1. Τεχνικός εξοπλισμός και περιορισμοί του δικτύου

Από τον ψύκτη μέχρι τον τελικό καταναλωτή παρεμβάλλονται 2 διατάξεις εναλλαγής θερμότητας (για τις περιοχές που δεν εξυπηρετούνται από τα βοηθητικά αντλιοστάσια):

- Ο εναλλάκτης του τοπικού θερμικού υποσταθμού του κτιρίου, $n_f = 0,95$ [67]
- Το fan coil, του οποίου ο συντελεστής απόδοσης για διακοπτόμενη λειτουργία σε υδραυλικά εξισορροπημένη εγκατάσταση είναι:
 $n_{em} = 0,96$ [67]

Ολικός συντελεστής απόδοσης:

$$n_f \cdot n_{em} = 0,95 \cdot 0,96 = \mathbf{0,912}$$

Οπότε το φορτίο και η ενέργεια που υπολογίστηκαν παραπάνω (ενότητα 4.2) αναπροσαρμόζονται ως εξής:

Ψυκτικό φορτίο

$$27,89 \frac{W}{m^2} \div 0,912 = \mathbf{30,58 W/m^2}$$

Πραγματική ετήσια απαιτούμενη ενέργεια ψύξης

$$23,8 \frac{kWh}{m^2 \cdot y} \div 0,912 = \mathbf{26,1 \frac{kWh}{m^2 \cdot y}}$$

Ετήσια χρεωστέα στους καταναλωτές ενέργεια ψύξης

$$23,8 \frac{kWh}{m^2 \cdot y} \div 0,96 = \mathbf{24,79 \frac{kWh}{m^2 \cdot y}}$$

Ο βασικός υδραυλικός περιορισμός έχει να κάνει με την μέγιστη παροχή του κύριου αντλιοστασίου διανομής θερμικής ενέργειας του υφιστάμενου δικτύου της τηλεθέρμανσης. Η μέγιστη τιμή της είναι 3600 m³/h και δεδομένου ότι οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ψύκτη είναι 12°C και 7°C αντίστοιχα, το μέγιστο ψυκτικό φορτίο που μπορεί να διαχειριστεί το δίκτυο είναι:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T = (3600 \div 3.6) \cdot 4,2 \cdot (12 - 7) = \mathbf{21MW}$$

4.3. Τεχνικοοικονομική μελέτη

Αρχικά πρέπει να οριστεί το υπό εξέταση σενάριο. Αυτό περιλαμβάνει την πιλοτική εγκατάσταση ενός ψύκτη απορρόφησης και τη σύνδεση ενός αριθμού συνδρομητών στο δίκτυο ο οποίος θα καθοριστεί βάσει των τεχνικών περιορισμών και προς την κατεύθυνση της οικονομικής αποδοτικότητας. Οι συνδρομητές αυτοί είναι ήδη συνδεδεμένοι στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης οπότε οι παρεμβάσεις αφορούν την εντός του κτιρίου εγκατάσταση. Στην περίπτωση των κατοικιών, επιβάλλεται η αντικατάσταση των θερμαντικών σωμάτων ακτινοβολίας (καλοριφέρ) με fan coils και μικρές προσθήκες στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Τα κτίρια γραφείων διαθέτουν στη συντριπτική τους πλειοψηφία fan coils ή/και κεντρικά συστήματα ψύξης.

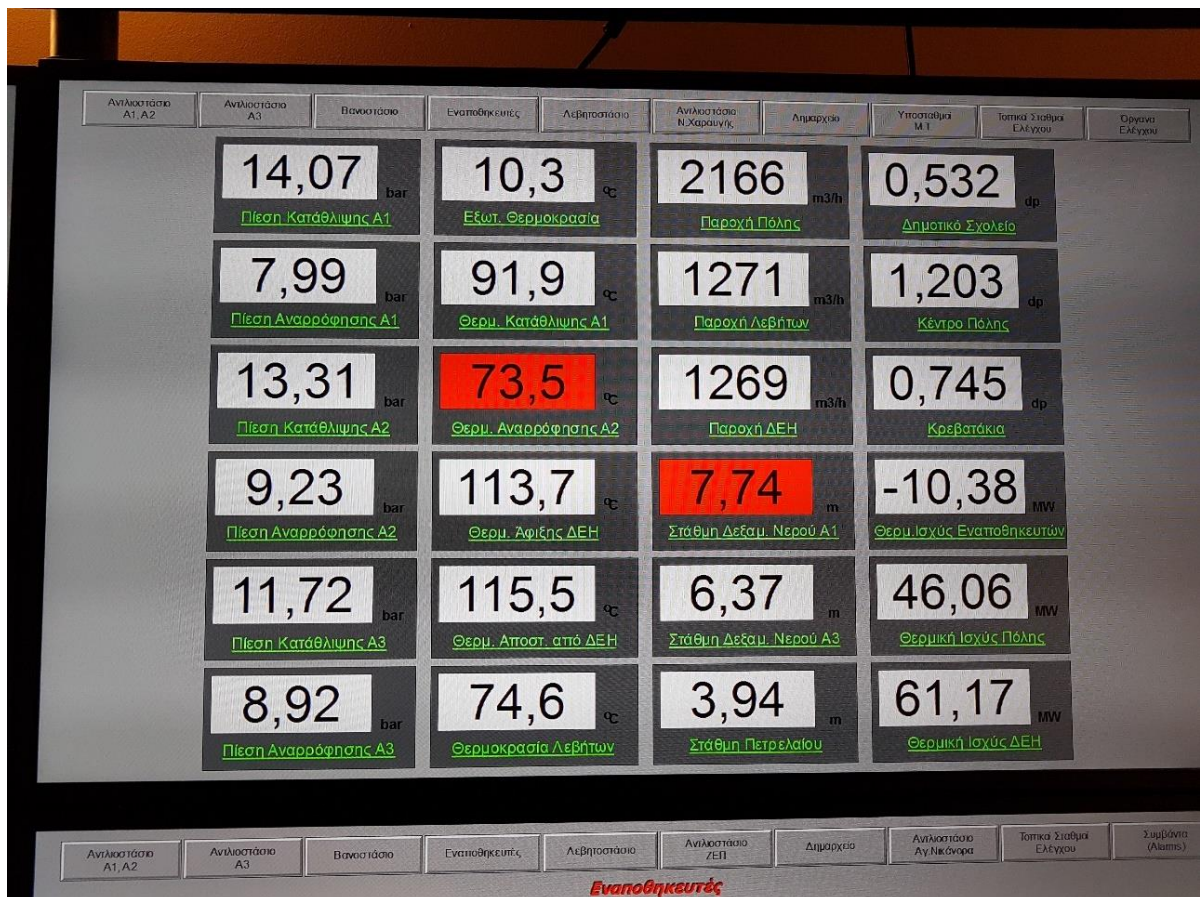
Ως τόπος εγκατάστασης των ψυκτών ορίζεται ο χώρος του λεβητοστασίου αιχμής της ΔΕΥΑΚ (Εικόνα 4.11). Η ΔΕΥΑΚ θα αναλάβει την αγορά, την εγκατάσταση και την συντήρηση της μονάδας απορρόφησης η οποία θα τροφοδοτείται με θερμότητα που θα αγοράζεται από τη ΔΕΗ με όρους όμοιους με αυτούς της σύμβασης της τηλεθέρμανσης.



Εικόνα 4.11: Τοποθεσία του λεβητοστασίου αιχμής της Τηλεθέρμανσης Κοζάνης

Επίσης γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος συντήρησης του δικτύου καθώς η ΔΕΥΑΚ πολλές φορές θέτει σε λειτουργία το δίκτυο ακόμα και όταν δεν λειτουργεί η τηλεθέρμανση για την μείωση του ποσοστού οξυγόνου και την παράταση του χρόνου ζωής του δικτύου. Προτιμάται δηλαδή το επιπλέον κόστος της «νεκρής» λειτουργίας του δικτύου σε σχέση με την αύξηση της διάβρωσης. Οπότε πλέον θα λειτουργεί αποφέροντας έσοδα στην επιχείρηση.
- Θα εξασφαλιστεί επιδότηση 35% για την κατασκευή της μονάδας ψύξης που είναι το ελάχιστο που προβλέπεται από τρέχοντα χρηματοδοτικά προγράμματα για τέτοιου είδους επενδύσεις [68].
- Για τον δανεισμό το επιτόκιο έχει οριστεί στο 6,5%. [69]
- Ο φορολογικός συντελεστής είναι 29%.
- Η μέση τιμή του πληθωρισμού για τα επόμενα 20 έτη έχει οριστεί στο 1,5%. [70]
- Οι απώλειες θερμότητας στο δίκτυο θεωρούνται αμελητέες. Ενδεικτικά παρατίθεται στιγμιότυπο από το σύστημα επιτήρησης και τηλεμετρίας (SCADA) της τηλεθέρμανσης Κοζάνης (Εικόνα 4.12).
- Θεωρείται ότι όλοι οι υποψήφιοι συνδρομητές βρίσκονται στην περιοχή που εξυπηρετείται από το κύριο αντλιοστάσιο (Εικόνα 4.1) και θα είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο από την πρώτη στιγμή της λειτουργίας του.



Εικόνα 4.12: Στιγμιότυπο από το SCADA της τηλεθέρμανσης Κοζάνης (Θερμοκρασία Αποστολής από ΔΕΗ: 115,5°C / Θερμοκρασία Αφίξης από ΔΕΗ: 113,7°C)

Εν προκειμένω έχει επιλεγεί, κατόπιν έρευνας αγοράς, ένας ψύκτης απορρόφησης κατάλληλων χαρακτηριστικών ώστε να ταιριάζει στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα αναλυτικά τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.10.

| | Μονάδες | Τιμή |
|--------------------------------|-------------------|--------|
| Ψυκτική Ικανότητα (±3%) | kW | 7331 |
| Κύκλωμα Ψυχόμενου Νερού | | |
| Θερμοκρασία Εισόδου | °C | 12 |
| Θερμοκρασία Εξόδου | °C | 7 |
| Παροχή | m ³ /h | 1258,1 |
| Κύκλωμα Νερού Ψύξης | | |

| | | |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|
| Αποβολή Θερμότητας | kW | 17347 |
| Θερμοκρασία Εισόδου | °C | 25 |
| Θερμοκρασία Εξόδου | °C | 33,1 |
| Παροχή | m ³ /h | 1258 |
| Κύκλωμα Θερμού Νερού | | |
| Εισροή Θερμότητας | kW | 10014 |
| Θερμοκρασία Εισόδου | °C | 120 |
| Θερμοκρασία Εξόδου | °C | 100 |
| Παροχή (±3%) | m ³ /h | 454 |
| COP | | 0.732 |
| Ηλεκτρικά Στοιχεία | | |
| Τροφοδοσία | V, Hz | 415 (±10%), 50 (±5%) |
| Αντλία απορροφητικού μέσου | kW (A) | 9 (27,0) |
| Αντλία ψυκτικού | kW (A) | 1,5 (5,0) |
| Αντλία κενού | kW (A) | 0,75 (1,8) |
| Κατανάλωση ρεύματος | kVA | 25,2 |
| Διαστάσεις (±10%) | | |
| Μήκος | mm | 9650 |
| Πλάτος | mm | 3600 |
| Ύψος | mm | 4900 |
| Βάρος (κενό) | kg | 37500 |
| Βάρος (σε λειτουργία) | kg | 52700 |

Πίνακας 6.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά ψύκτη απορρόφησης Thermax HS 80D [71]

Επίσης θα αξιοποιηθούν τα δύο θερμοδοχεία αποθήκευσης ενέργειας του λεβητοστασίου αιχμής της τηλεθέρμανσης. Το καθένα έχει χωρητικότητα 1650 m³ κάτι που μεταφράζεται σε συνολική αποθήκευση ψυκτικής ενέργειας 7 MWh_c και στιγμιαία αποδιδόμενη ψυκτική ισχύ 1,5 MW_c. Η μέγιστη ψυκτική ικανότητα του ψύκτη και των θερμοδοχείων αγγίζει τα 10,3 MW_c, αρκετά χαμηλότερα από τον υδραυλικό περιορισμό των 21 MW.

Από παραδείγματα άλλων εγκαταστάσεων τηλεψύξης σε τοποθεσίες με παρόμοιο κλίμα, παρατηρήθηκε ότι η εγκατεστημένη ισχύς επιλέγεται στο 80% του συνδεδεμένου μέγιστου φορτίου [57].

Εν προκειμένω η μέγιστη ισχύς που μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο, δεδομένου ότι η μέγιστη ισχύς της εγκατάστασης είναι 10,3 MW, θα είναι:

$$10,3 \text{ MW} \div 0,8 = \mathbf{12,87 \text{ MW}}$$

Αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη συνολική επιφάνεια κτιρίων που μπορούν να εξυπηρετηθούν μέσω του υπάρχοντος δικτύου είναι:

$$A_{max} = 12,87 \cdot 10^6 \text{ W} \div 30,58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \mathbf{420.863 \text{ m}^2}$$

Είναι αυτονόητο ότι το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται εξαντλώντας τις δυνατότητες του τεχνικού εξοπλισμού, οπότε βασική επιδίωξη θα είναι να συνδεθούν 420.863m² κτιρίων.

Έτσι θα έχουμε συνολική ετήσια πραγματική καταναλισκόμενη ενέργεια ίση με:

$$420.863 \text{ m}^2 \cdot 26,1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} = \mathbf{10,98 \text{ GWh/y}}$$

Και συνολική ετήσια χρεωστέα ενέργεια:

$$420.863 \text{ m}^2 \cdot 24,79 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} = \mathbf{10,43 \text{ GWh/y}}$$

4.3.1. Εκτίμηση κόστους σύνδεσης καταναλωτών στο δίκτυο της τηλεψύξης

Παίρνοντας ως παράδειγμα την κατοικία που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς των ψυκτικών φορτίων και της ψυκτικής ενέργειας, και καλύπτοντας το 50% του ψυκτικού φορτίου [67] προκύπτουν τα εξής κόστη [72] :

- Αντικατάσταση 3 εκ των 6 καλοριφέρ με 3 fan-coils δαπέδου: 3×230€ + 100€ εργασία/υλικά συναρμολόγησης = 790€

- Εγκατάσταση θερμοστάτη ψύξης-θέρμανσης: 35€ + 15€ εργασία = 50€
- Εργασίες μόνωσης εκτεθειμένων σωληνώσεων για την αποφυγή συμπυκνωμάτων: 100€

ΣΥΝΟΛΟ: 940€

Δεδομένου ότι οι παραπάνω τιμές αφορούν μια κατοικία 100 m² με αναγωγή ανα μονάδα επιφάνειας το κόστος σύνδεσης είναι:

$$940 \text{ €} \div 100 \text{ m}^2 = 9,4 \text{ €/m}^2$$

Είναι βασικό η τηλεψύξη να αποτελεί ανταγωνιστική εναλλακτική σε σχέση με την ψύξη μέσω συμβατικών κλιματιστικών μονάδων. Ένα κοινό κλιματιστικό για να αποδώσει 1kWh ψύξης καταναλώνει 0,5kWh ηλεκτρικού ρεύματος (EER = 2, για συστήματα 10-ετίας [77]) με κόστος 0,18 €/kWh_{el} δηλαδή 0,09 €/kWh_c.

Άρα όσο η τιμή της τηλεψύξης διατηρείται κάτω από τα 0,09 €/kWh_c, αποτελεί μια δελεαστική οικονομικά επιλογή έναντι των συμβατικών κλιματιστικών σε ότι αφορά το κόστος λειτουργίας. Όταν όμως υφίσταται εγκατάσταση κλιματισμού και απαιτείται κατάργηση του υπάρχοντος εξοπλισμού, ο οποίος εξυπηρετεί ήδη επαρκώς το κτίριο, και αγορά νέου, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρόνος απόσβεσης σε σχέση με το κόστος ψύξης των κοινών κλιματιστικών.

Για να υπάρχει απόσβεση, σε εύλογο χρονικό διάστημα (ορίζεται στα 6 έτη), του κόστους παρεμβάσεων θα πρέπει να εξοικονομούνται ετησίως:

$$9,4 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \div 6 = 1,57 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}}$$

Το κόστος ψύξης με συμβατική αερόψυκτη κλιματιστική μονάδα και με βάση τα ενεργειακά μεγέθη που υπολογίστηκαν παραπάνω (ενότητα 4.2), είναι:

$$23,8 \frac{\text{kWh}_c}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \cdot 0,09 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_c} = 2,142 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}}$$

Έτσι λοιπόν η ανώτατη τιμή πώλησης ενέργειας στους καταναλωτές ώστε να υφίσταται οικονομικό δέλεαρ για όσους χρησιμοποιούν ήδη συμβατικά κλιματιστικά για την ψύξη διαμορφώνεται ως εξής:

$$24,79 \frac{\text{kWh}_c}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \cdot x \frac{\text{€}}{\text{kWh}_c} = 2,142 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} - 1,57 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}}$$

$$x = 0,572 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} \div 24,79 \frac{\text{kWh}_c}{\text{m}^2 \cdot \text{y}} = \mathbf{0,023 \text{ €/kWh}_c}$$

Οπότε η τιμή πώλησης της μονάδας ψυκτικής ενέργειας θα πρέπει να είναι ίση ή μικρότερη από 0,023 €/kWh_c ώστε ο χρόνος απόσβεσης του κόστους για τη σύνδεση με την τηλεψύξη να παραμένει κάτω από τα 6 έτη και να υπάρχει κίνητρο από τη σκοπιά των καταναλωτών για την αντικατάσταση των συμβατικών κλιματιστικών.

4.3.2. Αποτίμηση οικονομικών ωφελειών της ΔΕΗ από την πώληση θερμικής ενέργειας

Ευθύνη της ΔΕΗ είναι να παρέχει την απαραίτητη θερμική ενέργεια για τη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης. Η τρέχουσα τιμή για την τηλεθέρμανση είναι 5 €/MWh_{th}.

Αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ εξασφαλίζει επιπλέον 75000€ έσοδα για τους 4 μήνες λειτουργίας της τηλεψύξης:

$$10,98 \text{ GWh} \div 0,732 \text{ (COP)} \cdot 5000 \frac{\text{€}}{\text{GWh}} = 75.000 \text{ €}$$

Επιπροσθέτως, με την προϋπόθεση ότι θα τεθούν σε πλήρη λειτουργία οι εναλλάκτες καυσαερίων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, θα αυξηθεί ο συνολικός θερμικός βαθμός απόδοσης του σταθμού αξιοποιώντας την πλεονάζουσα θερμότητα και κατά την περίοδο ψύξης.

4.3.3. Ανάλυση κόστους και χρηματικών ροών για τη ΔΕΥΑΚ λόγω της κατασκευής και της λειτουργίας του συστήματος τηλεψύξης

Η ΔΕΥΑΚ θα επιβαρυνθεί με το αρχικό κόστος αγοράς του εξοπλισμού και τις εργασίες εγκατάστασης. Επιπλέον θα αναλάβει τη λειτουργία και τη συντήρηση του δικτύου.

Αναλυτικά τα έξοδα αυτά αφορούν την αγορά του ψύκτη και των παρελκομένων του, την αγορά και εγκατάσταση του απαιτούμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, την κατασκευή μεταλλικού κτίσματος για τη στέγαση της εγκατάστασης καθώς και διάφορα άλλα έξοδα (π.χ. μελέτες). Οι τιμές καθορίστηκαν από σχετικές αναφορές στη βιβλιογραφία καθώς και προσωπική επικοινωνία με εταιρίες που εμπορεύονται ψύκτες απορρόφησης [71], [73].

Πέρα από τα αρχικά εφάπαξ κόστη, ένα τέτοιο σύστημα έχει και πάγια έξοδα που αφορούν τη συντήρηση και τη λειτουργία του όπως είναι το κόστος συντήρησης του ψύκτη και οι καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος τόσο για την αντλία του ψύκτη όσο και για τα αντλιοστάσια του δικτύου. Το κόστος συντήρησης ελήφθη από τη σχετική βιβλιογραφία [64], η κατανάλωση της αντλίας του ψύκτη με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ψύκτη [66] και η κατανάλωση των αντλιοστασίων σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΥΑΚ για την κατανάλωση κατά την περίοδο της λειτουργίας της τηλεθέρμανσης η οποία είναι $10 \text{ kWh}_{el} / 1 \text{ MWh}_{th}$ [75]. Η τιμή αυτή ανάγεται για την ψύξη σε $1 \text{ kWh}_{el} / 10 \text{ kWh}_c$.

Τα κόστη αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 6.11:

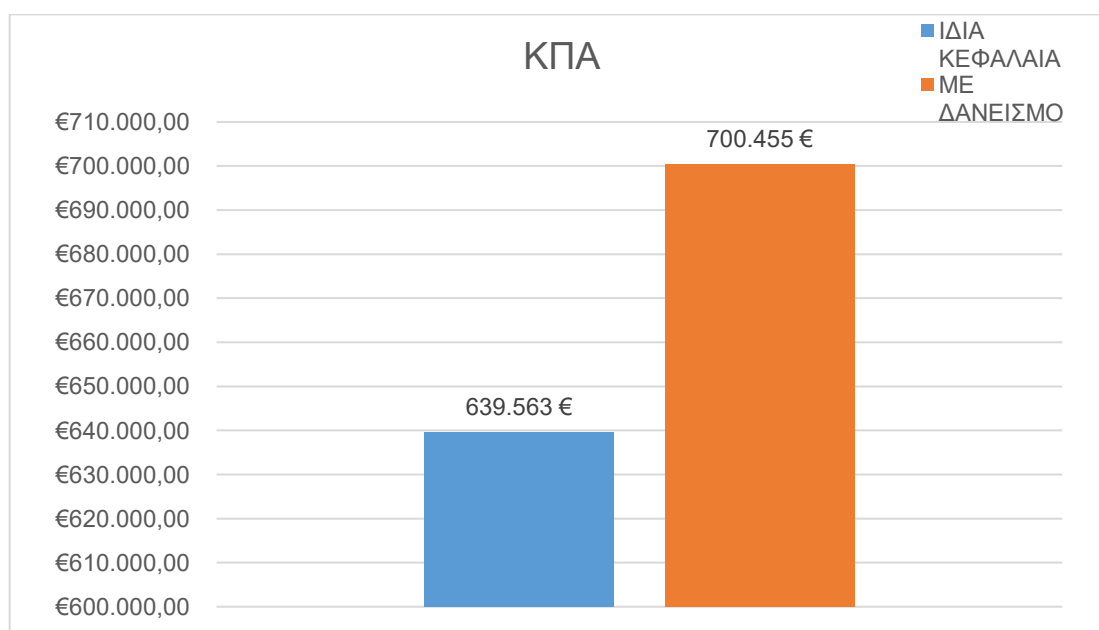
| Εφάπαξ έξοδα | |
|---|--|
| Ψύκτης απορρόφησης (με έξοδα μεταφοράς και παρελκόμενα) | 800.000€ |
| Ήλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός | 100.000€ |
| Κτιριακές εγκαταστάσεις | 50.000 € |
| Λοιπά έξοδα | 30.000 € |
| Πάγια έξοδα | |
| Έλεγχος και συντήρηση | 12000 €/έτος |
| Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος αντλίας ψύκτη | 4820 €/έτος (Τιμολόγιο ΔΕΗ Β1Β για Μέση Τάση) |
| Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος αντλιοστασίων | 44.160,36 €/έτος |
| Επιπλέον παράμετροι | |
| Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής εγκατάστασης | 20 έτη |
| Τιμή αγοράς θερμικής ενέργειας από τη | 0,005 €/kWh |

| | |
|---|-------------|
| ΔΕΗ | |
| Τιμή πώλησης ψυκτικής ενέργειας στους καταναλωτές | 0,023 €/kWh |

Πίνακας 6.11: Κόστος κατασκευής και λειτουργίας εγκατάστασης τηλεψύξης [71], [73]

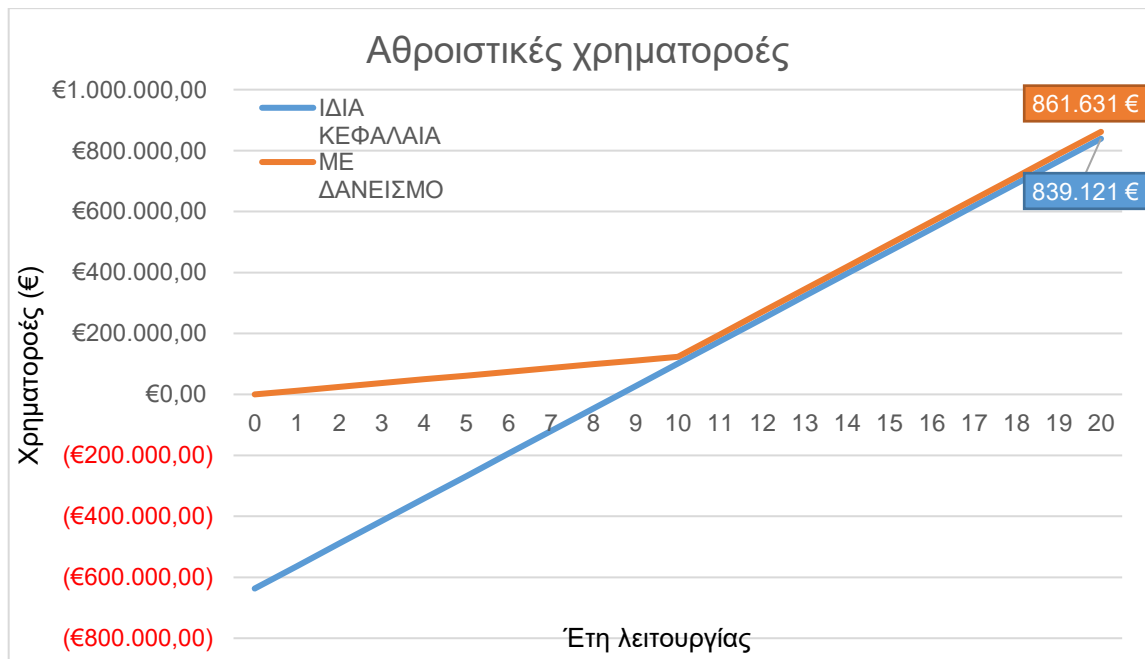
4.3.4. Αποτελέσματα οικονομικής μελέτης

Με βάση τα στοιχεία που καθορίστηκαν, εκτιμήθηκαν η Καθαρή Παρούσα Αξία (Διάγραμμα 4.13) και οι αθροιστικές χρηματοροές της επένδυσης (Διάγραμμα 4.14) με ίδια κεφάλαια και με 10-ετή δανεισμό:



Διάγραμμα 4.13: ΚΠΑ επένδυσης

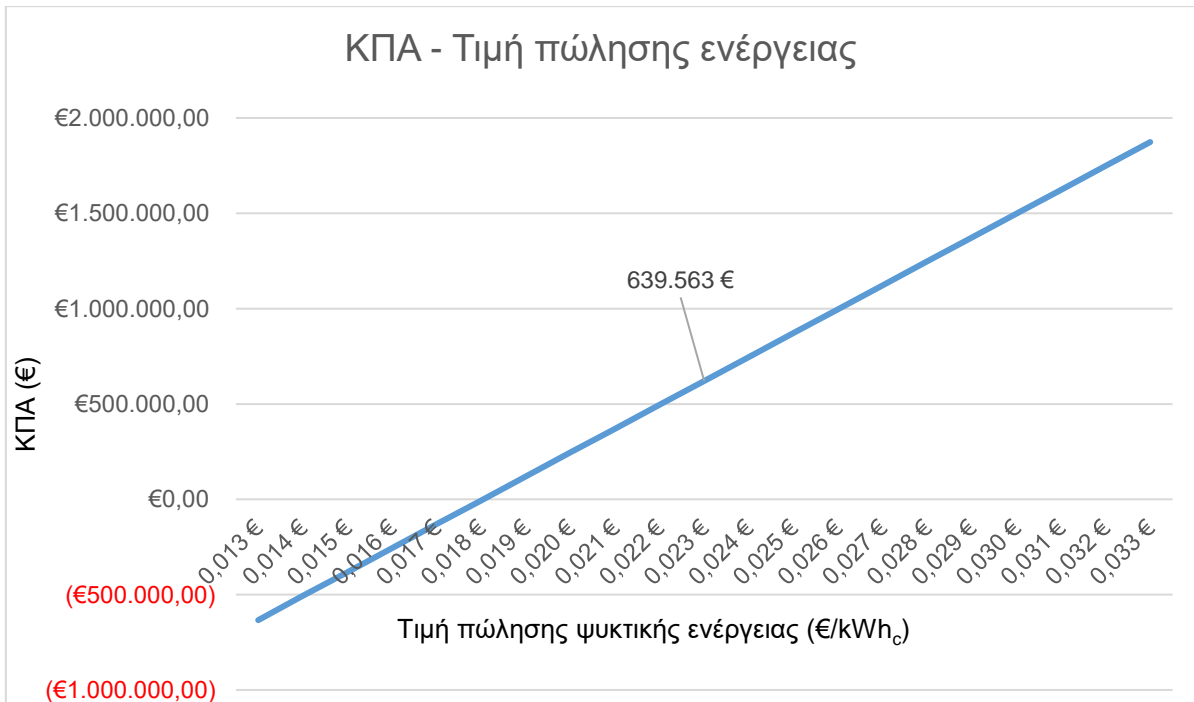
Στην περίπτωση που η επένδυση γίνει με ίδια κεφάλαια, ο χρόνος απόσβεσης είναι τα 8,5 έτη, η ΚΠΑ για τη διάρκεια ζωής του έργου είναι 639.563,32 € και ο δείκτης IRR είναι 11,43%. Μεγέθη τα οποία αποδεικνύουν την βιωσιμότητα του εγχειρήματος της εγκατάστασης και λειτουργίας συστήματος τηλεψύξης στην πόλη της Κοζάνης.



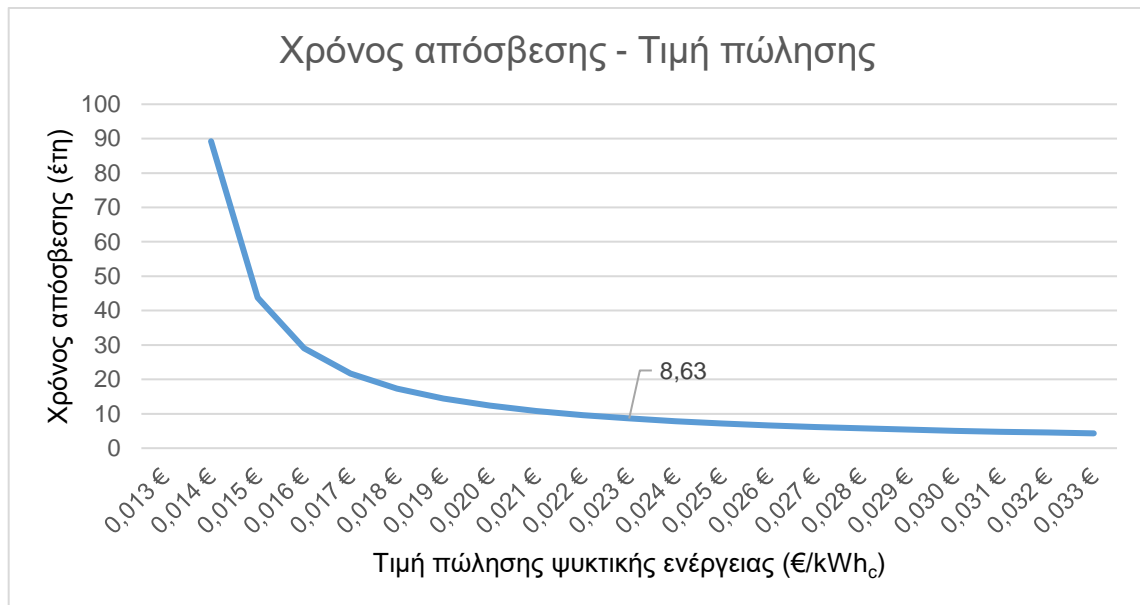
Διάγραμμα 4.14: Αθροιστικές χρηματοροές επένδυσης

Παρατηρείται ότι η λύση του δανεισμού είναι περισσότερο αποδοτική και συνάμα περισσότερο ρεαλιστική αφού δεν απαιτεί την εξεύρεση και τη δέσμευση μεγάλου αρχικού κεφαλαίου.

Ωστόσο τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχουν περιθώρια για περαιτέρω μείωση της τιμής πώλησης, διατηρώντας την επένδυση ανταγωνιστική. Για τον λόγο αυτό επιχειρήθηκε μια ανάλυση ευαισθησίας της ΚΠΑ (Διάγραμμα 4.15) και του χρόνου απόσβεσης (Διάγραμμα 4.16) της επένδυσης για την περίπτωση που αυτή γίνει με ίδια κεφάλαια και για τιμές πώλησης από 0,013 €/kWh έως 0,033 €/kWh.



Διάγραμμα 4.15: ΚΠΑ επένδυσης σε σχέση με την τιμή πώλησης ενέργειας



Διάγραμμα 4.16: Χρόνος απόσβεσης αρχικού κεφαλαίου σε σχέση με την τιμή πώλησης ενέργειας

Προφανώς και μειώνοντας την τιμή πώλησης, αυξάνεται ο χρόνος απόσβεσης του αρχικού κεφαλαίου, ωστόσο ακόμα και για χρόνο απόσβεσης από 10 έως 12 έτη η επένδυση μπορεί να θεωρηθεί αποδοτική, οπότε θα μπορούσε αντίστοιχα η τιμή πώλησης να κυμανθεί από 0,019 €/kWh_c έως 0,021 €/kWh_c.

Εν κατακλείδι, προστίθεται στα προτερήματα της λύσης της τηλεψύξης και η οικονομική βιωσιμότητα σε όλα τα επίπεδα καθώς ωφελούνται όλοι οι εμπλεκόμενοι:

- Οι καταναλωτές επωφελούνται εξοικονομώντας χρήματα χάρη στην οικονομικότερη λειτουργία της τηλεψύξης
- Η ΔΕΗ εξασφαλίζει επιπλέον έσοδα
- Η ΔΕΥΑΚ λαμβάνει οικονομικά οφέλη μέσω των κερδών που θα αποφέρει η επένδυση

5. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Εν τέλει η τηλεψύξη είναι μια δοκιμασμένη και αξιόπιστη τεχνολογία που μπορεί να αντικαταστήσει τον συμβατικό κλιματισμό υπό τις κατάλληλες συνθήκες και μάλιστα με οικονομικά επωφελή τρόπο. Επιπλέον συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών CO₂, την αυτονόητη μείωση της χρήσης CFCs λόγω της κατάργησης των αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων και στην εξοικονόμηση σημαντικής ποσότητας πρωτογενούς ενέργειας.

Συγκεκριμένα εξετάστηκε η κατασκευή συστήματος τηλεψύξης με απορρόφηση συνολικής ψυκτικής ικανότητας 10,3 MW_c, συμπεριλαμβανομένης της εφεδρείας, για την κάλυψη των αναγκών σε ψύξη κτιρίων συνολικής ψυχόμενης επιφάνειας 420.863 m² με ένα αρχικό κόστος επένδυσης 637.000 € (980.000 € με 35% επιδότηση). Η θερμική ενέργεια για τη λειτουργία του ψύκτη παρέχεται από τη ΔΕΗ. Η τιμή πώλησης της ψυκτικής ενέργειας καθορίστηκε στο ανώτατο όριο των 0,023 €/kWh_c με κριτήριο το οικονομικό κίνητρο προς τους καταναλωτές συνυπολογίζοντας την σύντομη απόσβεση για τους καταναλωτές του επιπλέον κόστους του εξοπλισμού που απαιτείται για την σύνδεση με το δίκτυο τηλεψύξης. Λαμβάνοντας υπόψη και την πρόβλεψη για τον πληθωρισμό (1,5%) και τον φορολογικό συντελεστή (29%) καταλήγουμε σε Καθαρή Παρούσα Αξία 639.563 € μετά από 20 έτη και IRR = 11,43%. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα είναι αρκούτως ενθαρρυντικά καθώς αποδεικνύεται πως το εξεταζόμενο πλάνο είναι εφικτό και οικονομικά αποδοτικό.

Επιπροσθέτως η πιλοτική της εφαρμογή στην Κοζάνη αναμένεται να έχει θετικό αντίκτυπο στην περιοχή με πολλαπλά οφέλη, όπως:

- Η αύξηση της διάρκειας ζωής του δικτύου της τηλεθέρμανσης (έως και διπλασιασμός αυτής) με την συνεχή κυκλοφορία του νερού σε αυτό και κατά τη θερινή περίοδο και την ελαχιστοποίηση της παρουσίας οξυγόνου στους αγωγούς.
- Η διοχέτευση και αξιοποίηση της θερμότητας των εναλλακτών καυσαερίων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και κατά τη θερινή περίοδο και η συνεπαγόμενη αύξηση της απόδοσης του ΑΗΣ.

- Ανακούφιση του ηλεκτρικού δικτύου το καλοκαίρι και εξασφάλιση μεγαλύτερης σταθερότητας στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.
- Δημιουργία θέσεων εργασίας υψηλού επιπέδου κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου.

Για τυχόν μελλοντική μελέτη προτείνεται να εξεταστεί η προοπτική επέκτασης του δικτύου ώστε να μπορεί να καλύψει το σύνολο της πόλης της Κοζάνης. τόσο από την άποψη των υποδομών (αντλιοστάσια, αγωγοί μεταφοράς, κλπ.) όσο και των πηγών (π.χ. με άντληση νερού από τη λίμνη Πολυφύτου, ηλιακή ψύξη, γεωθερμία, κλπ.).

Η βασική πρόκληση αυτού του εγχειρήματος έχει να κάνει με την ικανότητα υποστήριξης του υδραυλικού δικτύου του συνολικού φορτίου ψύξης της πόλης. Λόγω της μικρότερης θερμοκρασιακής διαφοράς προσαγωγής – επιστροφής στην τηλεψύξη (7°C – 12°C) σε σύγκριση με την τηλεθέρμανση (70°C - 120°C), χρειάζεται 10-πλάσια παροχή νερού για την κάλυψη του ίδιου φορτίου. Ωστόσο τα ψυκτικά φορτία της καλοκαιρινής περιόδου είναι σημαντικά μικρότερα από τις θερμικές απώλειες τη χειμερινή περίοδο στην Κοζάνη οπότε μένει να ερευνηθεί με ποιον τρόπο και σε ποιο βαθμό θα μπορούσε να αναβαθμιστεί το υφιστάμενο δίκτυο ώστε να μπορεί να στηρίξει μια εγκατάσταση τηλεψύξης πλήρους κλίμακας.

Σε ότι αφορά τις πηγές ενέργειας, αν και η θερμική απολαβή από τη ΔΕΗ ($137\text{MW}_{\text{th}} \times 0,732 \text{ COP} = 100,3 \text{ MW}_c$) επαρκεί για την κάλυψη του θεωρητικού φορτίου της πόλης ($2.450.252 \text{ m}^2 \times 30,58 \text{ W/m}^2 = 74,93 \text{ MW}_c$) δεδομένου ότι επιλέγεται και πάλι η μέθοδος της ψύξης με απορρόφηση, ωστόσο ίσως θα ήταν βέλτιστο να χρησιμοποιηθεί ένα μίγμα πηγών ενέργειας, αξιοποιώντας κι άλλες πιο «πράσινες» μορφές ενέργειας. Για παράδειγμα η λίμνη Πολυφύτου έχει ικανό όγκο και βάθος για να αποτελέσει μια αξιόπιστη πηγή τηλεψύξης.

Βιβλιογραφία

1. MacRae M., Ιούνιος 1992, Realizing the benefits of community integrated energy systems, Canadian Energy Research Institute, 41-43, 70-71, 73-78
2. David Connolly, Henrik Lund, Brian Vad Mathiesen, Bernd Moeller, Poul A. Ostergaard, Steffen Nielsen, Sven Werner, Urban Persson, Daniel Trier, The role of district heating in decarbonizing the EU energy system and a comparison with existing strategies, 2012
3. Euroheat & Power, Ιστότοπος, <https://www.euroheat.org/> , 2017
4. International Energy Agency, Ιστότοπος, <http://www.iea-dhc.org/home.html> , 2017
5. Dr. Walid Fayad, George Sarraf, Tarek El Sayed, Simon-Pierre Monette, “Unlocking the potential of district cooling: The need for GCC governments to take action”, Strategy& (πρώην Booz & Company), 2012
6. Danfoss District Energy, ιστότοπος, <http://districtenergy.danfoss.com/#/map>
7. Fredericksen S., Werner S., District heating and cooling, Lund Studentlitteratur, Lund, 2013
8. Wood J., Local energy: distributed generation of heat and power, United Kingdom: The Institute of Engineering and Technology, London, 2008
9. Rezaie B., Rosen M. A., 2012, District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements, Applied Energy Journal, 93, 2-10
10. Collins J., The history of district heating, Dist Heat 1959
11. Raynal P., Gilbert J., Barthomeuf C, 1992, Chaudes-Aigues: historique des utilisations de la geothermie. Reseaux Chaleur, 16, 67-75
12. International Energy Agency, World energy balances until 2014, 2016
13. Werner S. The new European heating index, 10th International District Heating and Cooling Symposium, Hannover, 2016
14. Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης/ Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ), Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας – Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων Έρευνας (ΕΛΚΕ -Π.Δ.Μ), Προκαταρκτική μελέτη για την αναβάθμιση και επέκταση της εγκατάστασης τηλεθέρμανσης Κοζάνης με εναλλακτικές πηγές ενέργειας, Απρίλιος 2013

15. Trans Gulf, Ιστότοπος,
http://transgulfem.com/Projects_DistrictCoolingPlants_DCP3-EMAAR.aspx
16. ASHRAE, District Cooling Guide, 2013
17. Danfoss, What is District Cooling, <http://heating.danfoss.com/building-types/district-heating-networks/what-is-district-cooling/#/>
18. International District Energy Association, District Cooling,
<http://www.districtenergy.org/topics/district-cooling>
19. Dincer I., 2000, Renewable energy and sustainable development: a crucial review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4(2), 157-175
20. Panwar N., Kaushik S., Kothari S., 2011, Role of renewable energy sources in environmental protection: a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3), 1513-1524
21. Empower, History of District Cooling, <http://www.empower.ae/php/what-is-district-cooling.php?id=2>
22. Sealey R. District cooling gets hot, July 1996, Mechanical Engineering, 118(7), 82-84
23. Ma, H.Q., Long, W.D., 2009, Present status and prospects of district cooling system, HV&AC, 39(10), 52-59
24. Hilotin, Jay B., District cooling: Cool discomfort, Gulf News, 2011,
<http://gulfnews.com/news/uae/general/district-cooling-cool-discomfort-1.796929>
25. Energyland District Cooling, Επίσημος Ιστότοπος,
http://www.energyland.emsd.gov.hk/en/building/district_cooling_sys/index.html
26. Li Z., Duanmu L., Shu H., Shuang J., Zhu Y., 2007, District cooling and heating with sea-water as heat source and sink in Dalian, China, Renew Energy, 32(15), 2603-2616
27. Studio Gang, Beloit College Powerhouse,
<http://studiogang.com/project/beloit-college-powerhouse>
28. Showcase of district cooling systems in Europe – Stockholm, IEA District Heating and Cooling, http://www.iea-dhc.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=1246&q=3&t=1507593264&hash=c6283e0034bd5bf28cfd7841d94fbc47dc6b71e&file=fileadmin/document/s/DHC_CHP_Case_Studies/Showcases_District_Cooling_Stockholm.pdf

29. Climespace, Επίσημος ιστότοπος, <http://www.climespace.fr/en/>
30. ATES – Aquifer Thermal Energy Storage, Underground Energy LLC, <http://www.underground-energy.com/ATES.html>
31. Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς, Λιμνολογία, <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/temperature.htm>
32. Department of Geology, Grand Valley State University, Seasonal lake stratification, <http://faculty.gvsu.edu/videticp/stratification.htm>
33. Kate Kunkell, “A chilling effect”, Valve magazine, <http://www.valvemagazine.com/magazine/sections/water-works/5370-a-chilling-effect.html>
34. Enwave Energy Corporation Toronto, Επίσημος ιστότοπος, <http://enwavetoronto.com/>
35. Advantage Environment, Stored snow for summer cooling, Ιστότοπος, <http://advantage-environment.com/buildings/stored-snow-for-summer-cooling/>
36. Taylor T., Ice Ponds, AIP Conference Proceedings, 1985
37. McCracken C., Silvetti, B. Charging and discharging long-term ice storage, ASHRAE, 1987
38. Snowpower SE, The Sundsvall snowcooling plant – large scale snowcooling, Ιστότοπος της Snowpower SE, http://www.snowpower.se/sundsvalls-kylanlaggning_en.asp
39. Peters T., The best use of waste cold from LNG re-gasification – Liquid air as an energy factor, Strategic Energy Technologies Information System, 2016
40. Ebara International Corporation Cryodynamics Division, Επίσημος ιστότοπος, <http://www.ebaracryo.com/>
41. ASHRAE, Handbook of fundamentals, 2013
42. Park Y., Kim J., Lee H., 1997 , Physical properties of the lithium bromide + 1,3-propanediol + water system, International Journal of Refrigeration, 42(2), 371-373
43. SOLAIR, Absorption chillers, <http://www.solair-project.eu/143.0.html>
44. Florides G., Kalogirou S., Tassou S., Wrobel L., 2001, Modelling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus, Solar Energy, 72

45. Πανάρας Γ., Μαθιουλάκης Ε., Μπελεσιώτης Β., Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια με τη χρήση τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού – Προβλήματα και προοπτικές, Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων, ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»
46. Gordon J., Ng K., Cool thermodynamics: The Engineering And Physics Of Predictive, Diagnostic, And Optimization Methods For Cooling Systems, Cambridge International Science Publishing, Cambridge, 2000
47. CIBSE, Datasheet 07, Absorption Cooling, Φεβρουάριος 2012
48. SOLAIR, Adsorption chillers, <http://www.solair-project.eu/142.0.html>
49. The Brownfields and Land Revitalization Technology Support Center, Glossary, <https://brownfieldstsc.org/glossary.cfm?q=1>
50. B. Saha, S. Koyama, J. Lee, K. Kuwahara, K. Alam, Y. Hamamomoto, A. Akisawa, T. Kashiwagi, “Performance evaluation of a low-temperature waste heat driven multi-bed adsorption chiller”, International Journal of Multiphase Flow 29, 2003
51. Wang K., Ph.D., Edward A. Vineyard P.E., Σεπτέμβριος 2011, Adsorption Refrigeration, ASHRAE Journal, 14-24
52. Rahman AFMM., Miyazaki T., Ueda Y., Saha BB., Akisawa A., 2013, Performance comparison of three-bed adsorption cooling system with optimal cycle time setting, Heat Transfer Engineering Vol. 34
53. Bry-Air, Επίσημος ιστότοπος της εταιρείας, <http://www.bryair.com/>
54. WSP, Επίσημος ιστότοπος, <http://www.wsp-pb.com/en/WSP-Sweden/What-we-do/Serviceareas/Services-A-Z/Energiproduktion--och-distribution/Distribution-and-use-of-district-heating-and-district-cooling/>
55. Bard Skagestad, Peter Mildenstein, District Heating and Cooling Connection Handbook, International Energy Agency District Heating and Cooling, 2002
56. Achim Steiner, Kandeh K. Yumkella, Joan Clos, Gino Van Begin, District Energy in Cities: Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy, UNEP, 2015
57. Climespace District Cooling, Επίσημος ιστότοπος, <http://www.climespace.fr/en/district-cooling/>

58. Wien Energie Fernkälte, Επίσημος ιστότοπος,
<https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do/pageTypeId/67823/channelId/-47780>
59. Fortum Värme District Cooling, Επίσημος ιστότοπος,
<https://www.fortumvarme.se/fjarrkyla/#>
60. Norrenergi Fjärrvärme & Fjärrkyla, Επίσημος ιστότοπος,
<http://www.norrenergi.se/fjarrvarme-fjarrkyla/>
61. Helsinki Energia District Cooling, Επίσημος ιστότοπος,
<https://www.helen.fi/en/cooling/>
62. Växjö Energi Fjärrkyla, Επίσημος ιστότοπος,
<http://www.veab.se/foretag/fjarrkyla/>
63. Επικοινωνία με τον κ. Κυπριτίδη Ελευθέριο, Διπλ. Μηχανολόγο Μηχανικό,
Δ/ντη Τεχνικής Υπηρεσίας Τηλεθέρμανσης
64. ΕΛΣΤΑΤ, Απογραφή 2011: Χαρακτηριστικά κατοικιών/νοικοκυριών,
<http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM05/2011>
65. Μ. Φούντη, Δ. Κολαίτης, Δ. Κατσουρίνης, Δ. Κοντογεώργος, Εμ.
Μαλλιωτάκης, Ι. Μανδηλαράς, Κέρδη από Θερμική Μόνωση σε Υφιστάμενα
Κτίρια: Μια Αξιολόγηση για τις Ελληνικές Κλιματικές Συνθήκες, Εθνικό
Μετσόβιο Πολυτεχνείο
66. Spitler, Jeffrey D., Load calculation applications manual, ASHRAE, Atlanta,
2014
67. ΤΕΕ, 2010, Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ 20701-1: Αναλυτικές εθνικές
προδιαγραφές παραμέτρων για το υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης
κτιρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης
68. Κοιλάκος Δ., Σταθερά ανοδική η πορεία του βιοαερίου – Αναμένονται
χρηματοδοτήσεις 30 εκατ. € από το νέο ΕΣΠΑ, 24 Αυγούστου 2017,
<https://energypress.gr/news/stathera-anodiki-i-poreia-toy-vioaerioy-anamenontai-hrimatodotiseis-30-ekat-apo-neo-esp>
69. ΕΛΣΤΑΤ, Δείκτης Τιμών Καταναλωτή, <https://www.statistics.gr/statistics/-/publication/DKT87/->
70. ΕΛΣΤΑΤ, Απογραφή 2011: Χαρακτηριστικά κατοικιών/νοικοκυριών,
<http://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM05/2011>
71. Προσωπική επικοινωνία με Trane Ελλάς ΑΕ

72. Προσωπική έρευνα αγοράς

73. Κοντονάσιος Βασίλειος, Συστήματα απορρόφησης και οικονομική προσέγγιση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο