



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2017

ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΚΟΝΣΟΛΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και υπεύθυνο της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Κονσολάκη Μιχαήλ, για την άψογη συνεργασία που είχαμε, καθώς και για την δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω το συγκεκριμένο θέμα. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παπαευθυμίου Σπυρίδων, καθώς και τον κ. Κομνίτσα Κωνσταντίνο, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου, Γιάννη και Σοφία, για την απεριόριστη αγάπη και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Επιπλέον, δεν ξεχνώ να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Θοδωρή, για την βοήθειά του και την ψυχολογική του υποστήριξη κατά την ενασχόληση μου με την παρούσα εργασία.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συμφοιτητές μου για την συμπαράσταση και την στήριξή τους όλο το χρονικό διάστημα παραμονής μου στα Χανιά.

Τέλος, ευχαριστώ το Θεό που με κράτησε υγιή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια αποτελεί ένα αναντικατάστατο αγαθό, το οποίο καλύπτει πρωταρχικές ανάγκες της κοινωνίας. Ωστόσο, η εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με τη σοβαρή περιβαλλοντική υποβάθμιση που ενέχει η χρήση τους, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης ενεργειακά αποδοτικών και συνάμα περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών.

Μια μέθοδος εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας αποτελεί η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, η οποία αυξάνει τον συνολικό βαθμό ενεργειακής απόδοσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας στοχεύει στην εκμετάλλευση της αποβαλλόμενης από το σύστημα θερμότητας, χωρίς την τροφοδότηση επιπλέον ποσότητας καυσίμου. Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τη φύση της μη αποδοτική, αφού μετατρέπεται το ένα τρίτο περίπου της ενέργειας των καυσίμων σε ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η εφαρμογή, λοιπόν, της μεθόδου συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας στα συστήματα τηλεθέρμανσης αποτελεί μια λύση εξοικονόμησης ενέργειας με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Με βάση τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να παρουσιάσει τις βασικές αρχές της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και να αναδείξει την σπουδαιότητα της τηλεθέρμανσης, σε όρους περιβαλλοντικής προστασίας και ενεργειακής απόδοσης. Στο πλαίσιο της εργασίας, αρχικά, θα γίνει αναφορά στο ενεργειακό πρόβλημα που βιώνουν οι κοινωνίες στις μέρες μας. Στην συνέχεια, θα παρουσιαστεί η μέθοδος της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με έμφαση στα συστήματα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας. Επιπλέον, θα γίνει αναφορά και σύγκριση με τα συστήματα τηλεθέρμανσης που υπάρχουν στην Ευρώπη. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εν λόγω εργασία καθώς και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα/ανάπτυξη στον τομέα της τηλεθέρμανσης.

ABSTRACT

Energy is an irreplaceable good that meets the primary needs of society. However, the widespread use of fossil fuels in conjunction with the severe environmental degradation associated with their use, push towards the development of energy-efficient and environmentally-friendly technologies.

The cogeneration of electricity and heat, which increases the overall energy efficiency of power plants, is among the most energy-efficient methods. Cogeneration aims to exploit the heat turn out by the system, without supplying additional fuel. On the other hand, the conventional electricity production is an unprofitable task since only about one third of the fuels energy can be converted to useful electricity. Applying the cogeneration method to district heating systems is therefore an energy saving solution with significant environmental benefits.

In light of above, the purpose of the present thesis is to present the basic principles of cogeneration and to give prominence to the importance of district heating in terms of environmental protection and energy efficiency. In the context of the present thesis, the energy problem experienced by societies nowadays will be initially discussed. Then, the method of electricity and heat cogeneration will be presented, with particular emphasis on district heating systems of Western Macedonia. A comparison with the European cogeneration systems is also attempted. The conclusions drawn from the present thesis along with some future directions in the field of district heating will finally be presented.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ/ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	8
2.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου	8
2.2 Ενεργειακή εξάρτηση	10
2.3 Αντιμετώπιση ενεργειακών προβλημάτων.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	15
3.1 Εισαγωγή στην έννοια της Συμπααραγωγής.....	15
3.2 Εγκαταστάσεις ΣΗΘ σε Ελλάδα και Ευρώπη.....	17
3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ΣΗΘ.....	18
3.4 Διάκριση συστημάτων συμπααραγωγής	19
3.5 Τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπααραγωγής	20
3.6 Παρουσίαση σύγχρονων συστημάτων ΣΗΘ.....	21
3.6.1 Συστήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης- Μηχανή Otto και Diesel	21
3.6.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου.....	23
3.6.3 Συστήματα ατμοστρόβιλου.....	26
3.6.4 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου.....	30
3.6.5 Μικροστρόβιλος (microturbine)	31
3.6.6 Μηχανές Stirling.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	34
4.1 Η τηλεθέρμανση στην Πτολεμαΐδα.....	35
4.1.1 Ιστορική αναδρομή	35
4.1.2 Τεχνική Περιγραφή.....	36
4.1.3 Οφέλη από τη λειτουργία της Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας	44
4.2 Η τηλεθέρμανση στην Κοζάνη.....	46
4.2.1 Ιστορική Αναδρομή	46
4.2.2 Τεχνική Περιγραφή.....	47
4.2.3 Οφέλη από τη λειτουργία της τηλεθέρμανσης Κοζάνης	51
4.3 Η τηλεθέρμανση στο Αμύνταιο.....	51
4.3.1 Τεχνική Περιγραφή.....	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	56
5.1 Η περίπτωση της Αυστρίας	56
5.2 Η περίπτωση της Δανίας	57
5.3 Η περίπτωση της Ολλανδίας	59
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ/ΠΙΝΑΚΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ [2].....	9
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΚΑΘΑΡΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2003-2013 [6]. ...	11
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ [9].....	12
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ [10].	16
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ [10].	16
ΕΙΚΟΝΑ 3.3: ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ [10].....	16
ΕΙΚΟΝΑ 3.4: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ [16].	20
ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ [10].	22
ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΗΘ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗ DIESEL [10].....	23
ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ [18].....	24
ΕΙΚΟΝΑ 3.8: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ [18].	26
ΕΙΚΟΝΑ 3.9: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΕΩΣ [17].....	27
ΕΙΚΟΝΑ 3.10: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΕΩΣ [17].....	28
ΕΙΚΟΝΑ 3.11: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΕ ΚΥΚΛΟ ΒΑΣΕΩΣ [17].....	29
ΕΙΚΟΝΑ 3.12: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ [20].	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.13: ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ [21].	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.14: ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ STIRLING [10].	33
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ - ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ [22].	34
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ Δ.Ε.ΤΗ.Π ΣΤΗΝ ΝΟΤΙΑ ΕΙΣΟΔΟ ΤΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ [24].	37
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΑΓΩΓΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ [24].	39
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Α11 [24].	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.5: ΠΡΩΤΕΥΟΝ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΈΜΜΕΣΟ ΣΥΣΤΗΜΑ [24].....	41 41
ΕΙΚΟΝΑ 4.6: ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ Δ.Ε.ΤΗ.Π [24].....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΑΝΤΙ Τ/Θ [23].	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΛΟΓΩ ΤΗΣ Τ/Θ [23].....	45
ΕΙΚΟΝΑ 4.7: ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ [26].	49
ΕΙΚΟΝΑ 4.8: ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ [28].	52
ΕΙΚΟΝΑ 4.9: ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ [28].....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4.10: ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΦΙΛΩΤΑ [28].	54
ΕΙΚΟΝΑ 4.11: ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΕΝΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ [28].....	55
ΕΙΚΟΝΑ 5.1: ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΩ ΒΙΟΜΑΖΑΣ [29].	57
ΕΙΚΟΝΑ 5.2: ΗΛΙΑΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ MARSTAL ΤΗΣ ΔΑΝΙΑΣ [30].	58
ΕΙΚΟΝΑ 5.3: ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ RODERWIJK ΤΗΣ ΟΛΛΑΝΔΙΑΣ [34].....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία μελετώνται τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και παρουσιάζεται η εφαρμογή τους στα συστήματα τηλεθέρμανσης της Δυτικής Μακεδονίας. Σκοπός της εργασίας είναι να δώσει στον αναγνώστη μια εικόνα για το ενεργειακό πρόβλημα που βιώνουν οι κοινωνίες στις μέρες μας, να παρουσιάσει τη μέθοδο της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και να αναφερθούν οι τρόποι τηλεθέρμανσης σε Ελλάδα και Ευρώπη.

Αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στο ενεργειακό πρόβλημα και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τα οποία είναι αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης και εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, προτείνονται ορισμένα μέτρα για την αντιμετώπιση αυτών των ενεργειακών προβλημάτων.

Στο επόμενο κεφάλαιο, εξετάζουμε την έννοια της συμπαραγωγής, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την χρήση της. Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται οι τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής και περιγράφονται τα σύγχρονα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

Στη συνέχεια της εργασίας, γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των συστημάτων τηλεθέρμανσης της Ελλάδος, όπου παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε δικτύου, καθώς και τα οφέλη που επιφέρει στις κοινωνίες η χρήση του. Επιπρόσθετα, στο τελευταίο κεφάλαιο, αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα τηλεθέρμανσης, τα οποία εφαρμόζονται σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες.

Καταληκτικά, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν είναι επίσημοι ιστότοποι εθνικών και μη φορέων, δημοσιεύσεις από έμπειρους στον τομέα της συμπαραγωγής μηχανικούς, διπλωματικές εργασίες και βιβλία.

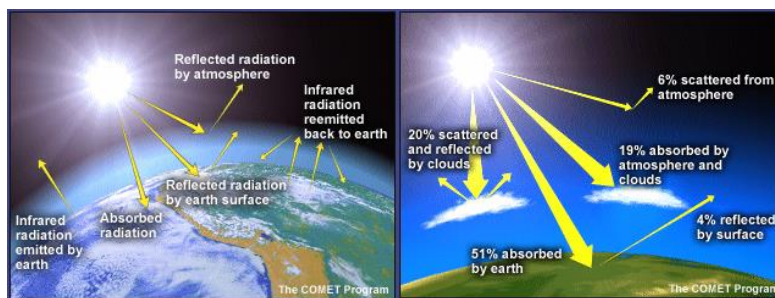
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Στις αρχές της δεκαετίας του '50, έκανε για πρώτη φορά την εμφάνιση του σαν έννοια, το ενεργειακό πρόβλημα, παρόλο που τα εκτιμώμενα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα τότε θεωρούνταν ότι είχαν επάρκεια άνω των 20 χρόνων. Με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης του 1973, άρχισε και η συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος, το οποίο οφείλεται στην αποκλειστική εξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα. Σήμερα περίπου το 80% της ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, το 14% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - ΑΠΕ, και το 6% από πυρηνικούς σταθμούς [1].

Είναι φανερό ότι, η εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με τη σοβαρή περιβαλλοντική υποβάθμιση που ενέχει η χρήση τους, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης ενεργειακά αποδοτικών και συνάμα περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών.

2.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι, κατά βάση, χρήσιμο για τον πλανήτη, διότι διαφορετικά θα υφίστατο πολύ χαμηλή μέση θερμοκρασία στη Γη, η οποία θα την έκανε αφιλόξενη. Ωστόσο, εξ' αιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας, έχουν παραχθεί υπερβολικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου, πράγμα που οδηγεί στο ακριβώς αντίθετο και εξίσου επικίνδυνο φαινόμενο, στην υπερβολική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης. Αυτό συμβαίνει, γιατί τα αέρια του θερμοκηπίου επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέρχεται στην ατμόσφαιρα ελεύθερα, αποτρέπουν, ωστόσο, εν μέρει, την έξοδό της. Αναλυτικότερα, όταν η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια της Γης, ένα μέρος της (που καλείται albedo - το ποσοστό ηλιακής ενέργειας που ανακλάται πίσω από μια επιφάνεια) ανακλάται πίσω στο διάστημα ως υπέρυθρη θερμική ακτινοβολία (Infrared radiation (IR) – Radiant Heat). Τα αέρια του θερμοκηπίου απορροφούν ένα τμήμα αυτής της υπέρυθρης θερμικής ακτινοβολίας και την παγιδεύουν στην ατμόσφαιρα, έχοντας ως συνέπεια την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Σχηματική απεικόνιση φαινομένου του θερμοκηπίου [2].

Τα αέρια του θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη συμμετοχή στο φαινόμενο είναι τα εξής τρία:

- ❖ CO_2 : Διοξείδιο του Άνθρακα
- ❖ CH_4 : Μεθάνιο
- ❖ N_2O : Υποξείδιο του Αζώτου

Τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) [2].

Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, του κατεχοχίν υπεύθυνου αερίου (κατά ~80%) για το φαινόμενο του θερμοκηπίου προέρχονται κατά 94% από την πρωτογενή παραγωγή. Τα ορυκτά καύσιμα ευθύνονται για τις εκπομπές αυτές, ενώ η κατανάλωση προϊόντων πετρελαίου συμβάλλει κατά 50% στις ετήσιες συνολικές εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Παράλληλα, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και του ατμού είναι υπεύθυνη για το 30% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, ενώ ο οικιακός τομέας συμμετέχει με 14%. Η συμμετοχή του ενεργειακού τομέα στις εκπομπές των άλλων αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου, CH_4 , N_2O είναι σχετικά μικρή, 17 και 7% αντίστοιχα [3].

Στην Ελλάδα, οι εκπομπές CO_2 αποτελούν την πλειοψηφία των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αφού ευθύνονταν για το 80.6% περίπου των συνολικών εκπομπών το 2000, ενώ το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου ευθύνονταν για το 7,9% και 8,2% αντίστοιχα. Τέλος, τα F-gases (HFCs, PFCs και SF_6), ευθύνονταν για το υπόλοιπο 3,3% [4].

2.2 Ενεργειακή εξάρτηση

Η μείωση της πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας από λιθάνθρακα, λιγνίτη, αργό πετρέλαιο, φυσικό αέριο και, πιο πρόσφατα, πυρηνική ενέργεια είχε ως αποτέλεσμα την ολοένα μεγαλύτερη εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση, αν και η κατάσταση αυτή σταθεροποιήθηκε στον απόηχο της χρηματοπιστωτικής και οικονομικής κρίσης. Η ενεργειακή εξάρτηση της ΕΕ-28 στην εισαγωγή ενέργειας, αυξήθηκε από 47,4% το 2001 σε 53,3% το 2012. Το ποσοστό εξάρτησης έχει αυξηθεί την τελευταία δεκαετία, με τη μέγιστη τιμή να σημειώνεται το 2008 με ποσοστό 54,7%. Από το 2004 ο μοναδικός καθαρός εξαγωγέας πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ των κρατών μελών, ήταν η Δανία, αλλά, το 2013, οι εισαγωγές ενέργειας της Δανίας υπερέβησαν τις εξαγωγές, έχοντας ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν πλέον κράτη μέλη της ΕΕ που να είναι καθαροί εξαγωγείς ενέργειας (Πίνακας 2.2). Από την άλλη πλευρά, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει μετατραπεί από καθαρό εξαγωγέα ενέργειας το 2001 (-9,3%) σε καθαρό εισαγωγέα ενέργειας το 2012 (42,2%). Επιπρόσθετα, σχετικά μικρά ποσοστά ενεργειακής εξάρτησης (κάτω από 30%) σημειώνονται στη Σουηδία (28,7%), στην Τσεχία (25,2) και στη Ρουμανία (22,7%). Αντιθέτως, οι μεγαλύτεροι καθαροί εισαγωγείς το 2013, σχετικά με το μέγεθος του πληθυσμού τους, ήταν το Λουξεμβούργο, η Μάλτα και το Βέλγιο [5, 6].

Το 2012 στην ΕΕ-28, η υψηλότερη ανάγκη σημειώθηκε για τα προϊόντα πετρελαίου, συγκεκριμένα 24 εκατομμύρια TJ, εκ των οποίων το 93% ήταν εισαγόμενο. Όσον αφορά το φυσικό αέριο, η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση στην ΕΕ-28 το 2012 ήταν 16 εκατομμύρια TJ, 66% του οποίου καλύφθηκε από εισαγωγές. Αυτή η τάση από το 1990, έχει ως στόχο να αυξήσει την εξάρτηση από τις εισαγωγές. Από το 2004 οι καθαρές εισαγωγές ενέργειας στην ΕΕ-28 ήταν υψηλότερες από την πρωτογενή παραγωγή της· με άλλα λόγια, περισσότερο από το ήμισυ της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ-28 καλυπτόταν από καθαρές εισαγωγές [5, 6].

Πίνακας 2.1: Καθαρές εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας κατά το διάστημα 2003-2013 [6].

	(thousand tonnes of oil equivalent)						(tonnes of oil equivalent per inhabitant)					
	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2003	2005	2007	2009	2011	2013
EU-28 (*)	899 740	979 652	983 168	936 466	943 872	908 979	1.83	1.98	1.97	1.86	1.87	1.79
Belgium	52 798	53 396	50 822	48 332	48 955	48 752	5.10	5.11	4.80	4.49	4.45	4.37
Bulgaria	9 007	9 276	10 180	7 980	6 907	6 375	1.15	1.21	1.34	1.07	0.94	0.88
Czech Republic	11 160	12 638	11 617	11 543	12 044	11 788	1.09	1.24	1.13	1.11	1.15	1.12
Denmark	-6 797	-10 126	-5 199	-3 835	-1 072	2 304	-1.26	-1.87	-0.95	-0.70	-0.19	0.41
Germany	208 231	208 112	196 568	195 121	196 832	204 585	2.52	2.52	2.39	2.38	2.41	2.49
Estonia	1 505	1 496	1 576	1 227	761	848	1.09	1.10	1.17	0.92	0.57	0.64
Ireland	13 362	13 765	14 058	13 299	12 568	12 344	3.37	3.35	3.24	2.94	2.75	2.69
Greece	22 648	23 498	24 715	22 348	19 867	16 434	2.06	2.12	2.22	2.00	1.79	1.50
Spain	108 901	123 832	123 159	110 057	104 427	88 734	2.60	2.86	2.75	2.38	2.24	1.90
France (*)	138 517	144 102	137 462	133 445	126 623	125 091	2.24	2.30	2.16	2.07	1.95	1.91
Croatia	4 936	5 208	5 277	4 439	4 650	4 092	1.15	1.21	1.22	1.03	1.08	0.96
Italy	155 577	160 241	158 449	142 596	142 797	124 723	2.72	2.77	2.72	2.42	2.41	2.09
Cyprus	2 682	2 843	2 899	2 921	2 666	2 338	3.76	3.88	3.83	3.67	3.17	2.70
Latvia	2 883	3 097	3 162	2 886	2 747	2 628	1.25	1.38	1.43	1.33	1.32	1.30
Lithuania	4 006	5 026	5 766	4 291	5 839	5 304	1.17	1.50	1.77	1.35	1.91	1.78
Luxembourg (*)	4 167	4 671	4 471	4 253	4 439	4 203	9.29	10.13	9.39	8.62	8.67	7.83
Hungary (*)	16 367	17 421	16 416	14 722	13 015	11 904	1.61	1.73	1.63	1.47	1.30	1.20
Malta	1 813	1 630	1 811	2 001	2 297	2 143	4.56	4.05	4.46	4.87	5.53	5.09
Netherlands	34 879	37 075	36 906	34 077	28 230	24 335	2.15	2.27	2.26	2.07	1.69	1.45
Austria	22 959	24 517	23 414	21 173	23 521	21 038	2.83	2.99	2.83	2.54	2.81	2.49
Poland (*)	12 101	15 932	24 747	29 982	33 855	25 335	0.32	0.42	0.65	0.79	0.89	0.67
Portugal	22 628	24 845	21 718	20 779	18 783	17 101	2.17	2.37	2.06	1.97	1.78	1.63
Romania	10 169	10 840	12 835	7 224	7 896	6 019	0.47	0.51	0.61	0.35	0.39	0.30
Slovenia (*)	3 726	3 855	3 873	3 434	3 521	3 264	1.87	1.93	1.93	1.69	1.72	1.59
Slovakia	12 108	12 428	12 187	11 116	11 133	10 284	2.25	2.31	2.27	2.07	2.06	1.90
Finland	22 235	18 979	19 975	18 351	19 060	16 595	4.27	3.62	3.79	3.45	3.55	3.06
Sweden	22 083	19 460	18 281	17 469	18 596	16 020	2.47	2.16	2.01	1.89	1.98	1.68
United Kingdom	-14 910	31 597	46 022	55 236	72 917	94 400	-0.25	0.53	0.75	0.89	1.16	1.48
Norway	-205 683	-195 956	-187 528	-186 631	-170 205	-159 945	-45.18	-42.54	-40.06	-38.89	-34.59	-31.66
Montenegro	0	435	605	405	408	275	0.00	0.71	0.98	0.66	0.66	0.44
FYR of Macedonia	1 053	1 197	1 402	1 212	1 382	1 317	0.52	0.59	0.69	0.59	0.67	0.64
Albania	1 038	1 122	1 030	961	796	656	0.33	0.36	0.33	0.30	0.28	0.28
Serbia (*)	4 529	5 536	5 933	4 901	4 930	3 535	0.60	0.74	0.80	0.67	0.68	0.49
Turkey	56 680	62 035	75 967	70 635	80 591	87 800	0.81	0.87	1.09	0.99	1.09	1.16

(*) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2011 and 2013: break in series.

(*) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2013: break in series.

(*) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2009: break in series.

(*) Tonnes of oil equivalent per inhabitant, 2011: break in series.

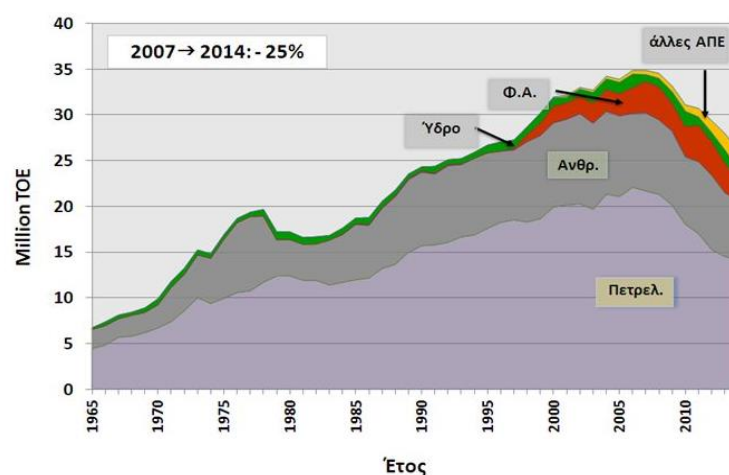
Source: Eurostat (online data codes: nrg_100a and demo_pjan)

Στην Ελλάδα μετά από τις δύο πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του εβδομήντα, οι ενεργειακές πολιτικές που υιοθετήθηκαν, είχαν ως στόχο τη μείωση της εξάρτησης του ενεργειακού συστήματος της χώρας από το πετρέλαιο. Βασικό στοιχείο αυτών των πολιτικών, ήταν η αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, όπως ο λιγνίτης και το υδροδυναμικό, η δημιουργία έργων υποδομής για την παραγωγή ηλεκτρισμού και τη διασύνδεση με τις γειτονικές χώρες και τέλος η διαφοροποίηση της προσφοράς ενέργειας με την εισαγωγή του φυσικού αερίου [4].

Σε εθνικό επίπεδο, το 2006 η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας έφτασε τα 31,5 Mtoe. Το μεγαλύτερο ποσοστό (57,8%) καλύφθηκε από το πετρέλαιο, ενώ ο λιγνίτης κάλυψε το 26,6% της Συνολικής Εγχώριας Κατανάλωσης. Όσον αφορά το φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα ποσοστά τους ήταν 8,7% και 5,5% αντίστοιχα [7].

Παρόλες τις προσπάθειες που έγιναν, η ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας παραμένει υψηλή. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, το 2014 η ενεργειακή εξάρτηση της Ελλάδας -βρισκόταν στο 62,1% έναντι του μέσου όρου της Ε.Ε. με ποσοστό 53,2%. Η Ελλάδα είναι από τις χώρες της Ε.Ε. με τη μεγαλύτερη ενεργειακή εξάρτηση σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο, καθώς καλύπτει σχεδόν το 100% των αναγκών της από εισαγωγές. Η Ρωσία είναι σχεδόν αποκλειστικός προμηθευτής φυσικού αερίου μέσω αγωγών,

καλύπτοντας συνολικά το 65% των ετήσιων αναγκών της χώρας, και παράλληλα ο μεγαλύτερος προμηθευτής πετρελαίου, καλύπτοντας το 2014 το 41% της συνολικής κατανάλωσης. Το 2013 που σταμάτησαν οι παραδόσεις πετρελαίου από τη Λιβύη και το Ιράκ, οι εισαγωγές των δύο ελληνικών διυλιστηρίων (ΕΛΠΕ και Motor Oil) από τη Ρωσία αυξήθηκαν στο 70% [8]. Παρακάτω, η εικόνα 2.3 παρουσιάζει την εξέλιξη της κατανάλωσης της πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα, κατά την περίοδο 1965-2014.



Εικόνα 2.2: Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα [9].

2.3 Αντιμετώπιση ενεργειακών προβλημάτων

Λύση στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα που απορρέουν από την εξάρτηση μας από τα ορυκτά καύσιμα καλείται να δώσει η κινητοποίηση τόσο της διεθνούς όσο και της Ευρωπαϊκής κοινότητας, με τη θέσπιση και την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών και προϊόντων που στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το 1992 υπεγράφη στο Ρίο ντε Τζανέιρο από 154 χώρες, Σύμβαση-Πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές. Η Ελλάδα την επικύρωσε τον Απρίλιο του 1994 με νόμο του κράτους (Ν.2205/94), ενώ μέχρι το 1998, 176 χώρες είχαν επικυρώσει τη Σύμβαση αυτή. Στόχος της σύμβασης ήταν η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η Σύμβαση αναγνωρίζει ότι οι αναπτυγμένες χώρες πρέπει να αναλάβουν τον πρώτο ρόλο στην αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής και έτσι καλούνται :

- ❖ να καταβάλουν κάθε δυνατή προσπάθεια με σκοπό την επαναφορά των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου, μέχρι το έτος 2000, στα επίπεδα του 1990, μεμονωμένα ή σε συνεργασία με άλλες χώρες,
- ❖ να υιοθετήσουν πολιτικές και μέτρα για να μετριάσουν τις κλιματικές αλλαγές και
- ❖ να διασφαλίσουν την μεταφορά τεχνολογίας και οικονομικών πόρων προκειμένου να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες χώρες να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής και να αναπτυχθούν με βάση την προστασία του περιβάλλοντος, στοχεύοντας στη συγκράτηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου [4].

Πέντε χρόνια αργότερα, τον Δεκέμβριο του 1997, ολοκληρώθηκαν οι διαπραγματεύσεις σχετικά με τον καθορισμό ενός νομικού πλαισίου: του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την κλιματική αλλαγή. Το Πρωτόκολλο του Κιότου καθορίζει για πρώτη φορά νομικά δεσμευτικούς στόχους για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και επιβεβαιώνει την ανάγκη συνεργασίας της διεθνούς κοινότητας σε θέματα που αφορούν σε ένα σημαντικότατο περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Πέρα όμως από αυτές τις συμβάσεις, αξίζει να αναφερθούν και κάποιες άλλες κοινοτικές οδηγίες που αποσκοπούν στον περιορισμό της ενεργειακής εξάρτησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου.

Για παράδειγμα, η Οδηγία 2004/8/EK «για την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ», η οποία έχει ως σκοπό της την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και τη βελτίωση της ασφάλειας του εφοδιασμού. Τα παραπάνω καλούνται να επιτευχθούν μέσω της δημιουργίας ενός πλαισίου με το οποίο θα προωθηθεί και θα αναπτυχθεί η υψηλής απόδοσης συμπαραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα βασίζεται στη ζήτηση για χρήσιμη θερμότητα και στην εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας στην εσωτερική αγορά ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις εθνικές ιδιαιτερότητες, ιδίως όσον αφορά τις κλιματικές και οικονομικές συνθήκες.

Επιπλέον, ένας ακόμη σημαντικός νόμος είναι ο Ν.3175/2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις», σκοπός του οποίου αποτελεί η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας, ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, η οποία προωθεί τη βιώσιμη ανάπτυξη και εξυπηρετεί το γενικό συμφέρον.

Εξίσου όμως σημαντικός θεωρείται και ο Ν.3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις», με τις διατάξεις του οποίου αφενός μεταφέρεται στο ελληνικό δίκαιο η Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 2001 για την «προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» και αφ' ετέρου προωθείται, κατά προτεραιότητα, στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με κανόνες και αρχές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και μονάδες Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.).

Παρόλες όμως τις ενέργειες και ρυθμίσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, το ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα συνεχίζεται, εξαιτίας κυρίως της περιορισμένης εφαρμογής νέων και αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών (συμπαράγωγή, τηλεθέρμανση, τεχνολογίες ΑΠΕ, νέες τεχνολογίες καύσης ή/και σύγκαυσης λιγνίτη π.χ. με βιομάζα, συστήματα ενεργειακής διαχείρισης κτιρίων, βιομηχανικών διεργασιών, κ.α.), αλλά και τον ελλιπή έλεγχο της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης των υφιστάμενων ενεργειακών εγκαταστάσεων και της ποιότητας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, ιδίως των πετρελαϊκών [2, 4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών είναι μέσω της αγοράς ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο ή απευθείας μέσω της καύσης κάποιου καυσίμου, για την παραγωγή θερμότητας, ζεστού νερού ή και ατμού. Ωστόσο, η μέση απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 35%, που σημαίνει ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα στο περιβάλλον [10]. Η μεγαλύτερη πηγή απωλειών σ' αυτή τη διεργασία οφείλεται στην αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, μέσω του θερμοδυναμικού κύκλου, στο συγκρότημα παραγωγής (κινητήρας-γεννήτρια) και στην ανάγκη ψύξης με νερό ή αέρα. Συγχρόνως, μια άλλη σημαντική παράμετρος των απωλειών είναι η μεγάλη θερμοκρασία των καυσαερίων. Τέλος, στο παραπάνω ποσοστό απωλειών πρέπει, επίσης, να συνυπολογισθεί ένα πρόσθετο, μικρό ποσοστό απωλειών, το οποίο οφείλεται στην απόσταση που χωρίζει τους καταναλωτές από το σημείο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και οφείλεται στις γραμμές μεταφοράς και διανομής [4].

Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κ.ά.) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα. Η συνολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας – ΣΗΘ (Cogeneration (Combined) Heat and Power, CHP) [10].

Η ιδέα της συμπαράγωγής βασίζεται στην ανάπτυξη τεχνολογιών για την πλήρη ανάκτηση της χαμένης θερμικής ενέργειας, από την παραπάνω διαδικασία, και την περαιτέρω εκμετάλλευσής της. Αποτελεί μια πολύ καλή μέθοδο ενεργειακής μετατροπής, η οποία μας εξασφαλίζει την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα, συνήθως σε συνεργασία με εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης, την εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας [11].

3.1 Εισαγωγή στην έννοια της Συμπαράγωγής

Τα συστήματα Συνδυασμένης παραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ - γνωστή και ως Συμπαράγωγή) παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική (ή/και μηχανική) και θερμική ενέργεια από την ίδια αρχική ενέργεια, στο πλαίσιο μόνο μιας διεργασίας. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την κοινή πρακτική, όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε ένα κεντρικό σταθμό, ενώ χρησιμοποιείται επιτόπιος εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης για την κάλυψη των αναγκών σε μη ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια, η οποία ανακτάται σε ένα σύστημα ΣΗΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ή ψύξη στη βιομηχανία ή τα

κτίρια. Επειδή, όμως, η ΣΗΘ εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που σε άλλη περίπτωση θα χανόταν κατά τη συμβατική διακριτή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, η συνολική απόδοση αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μεμονωμένων συστημάτων. Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της ΣΗΘ με τα ανεξάρτητα συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζουν οι εικόνες 3.1, 3.2 και 3.3 [12, 10].



Εικόνα 3.1: Συμβατικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [10].



Εικόνα 3.2: Συμβατικό σύστημα παραγωγής θερμικής ενέργειας [10].



Εικόνα 3.3: Βαθμός απόδοσης συστήματος ΣΗΘ [10].

Τα συστήματα ΣΗΘ μπορούν να επιτύχουν αποδόσεις έως και 90%.. Αυτό σημαίνει πως παρουσιάζουν περίπου 30-40% μεγαλύτερη απόδοση από τα ανεξάρτητα συστήματα, οδηγώντας έτσι σε μείωση της τάξης του 30-40% στην κατανάλωση πρωτογενών καυσίμων και στις εκπομπές CO₂. Επιπλέον, ελαττώνονται οι απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς τα συστήματα συμπαραγωγής είναι συνήθως αποκεντρωμένα και βρίσκονται πιο κοντά στους καταναλωτές απ' ό,τι οι κεντρικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Η υψηλή αυτή αποδοτικότητα παρέχει μια οικονομικά ελκυστική τεχνολογία για τους ενεργειακούς καταναλωτές, με ταυτόχρονη ζήτηση τόσο για θερμότητα όσο και για ηλεκτρική ενέργεια [10].

3.2 Εγκαταστάσεις ΣΗΘ σε Ελλάδα και Ευρώπη

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο και άνθρακα, ως καύσιμο, όπου πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές.

Στην Ευρώπη, μεγάλη ανάπτυξη ΣΗΘ υπάρχει στη Δανία, τη Φιλανδία, την Ολλανδία κ.α., χώρες οι οποίες παρουσιάζουν υψηλή ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ. Στις χώρες αυτές, όμως, μονάδες ΣΗΘ παρατηρούνται και στον τριτογενή (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κ.α.), αλλά και στον οικιακό τομέα.

Όσον αφορά την Ελλάδα, η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας έκανε την εμφάνισή της στις αρχές του 20^{ου} αιώνα (κεραμοποιεία Τσαλαπάτα στο Βόλο, η οποία λειτούργησε μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1970). Οι πρώτες σύγχρονες τεχνολογίες συνδυασμένης παραγωγής εφαρμόστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '70, σε βιομηχανίες όπου σημαντικές ποσότητες ατμού χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία όπως, π.χ. στη βιομηχανία χαρτιού, την υφαντουργία, τα διυλιστήρια, τη χημική βιομηχανία και την βιομηχανία τροφίμων. Επίσης, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ τροποποιήθηκαν κατάλληλα, ώστε να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες αστικών περιοχών με δίκτυα τηλεθέρμανσης, όπως αυτά της Κοζάνης, της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου και, τη δεκαετία του '90, αυτό της Μεγαλόπολης [10, 13].

3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ΣΗΘ

Η χρήση συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις, οι οποίες ωστόσο διαφοροποιούνται, ή και εξαλείφονται αν πρόκειται για αρνητικές, ανάλογα με το επιλεγόμενο είδος του συστήματος συμπαραγωγής και τον τρόπο λειτουργίας του. Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την αξιοποίηση των τεχνολογιών ΣΗΘ παρουσιάζονται παρακάτω:

- ❖ **Εξοικονόμηση καυσίμου:** Ένας βασικός λόγος που έχει συντελέσει στην ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ, είναι η μειωμένη ανάγκη καυσίμων, σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, κάτι το οποίο εμμέσως συμβάλλει και στην αποφυγή εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, η συμπαραγωγή αποτελεί λύση για την μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από εισαγωγές.
- ❖ **Αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της ενέργειας:** Η ΣΗΘ είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής με την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- ❖ **Μείωση εκπεμπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον:** Ένα από τα πολύ βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα ΣΗΘ, αποτελεί η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών των αέριων ρύπων και ιδιαίτερα του CO₂, του σημαντικότερου αερίου στο οποίο οφείλεται η κλιματική αλλαγή.
- ❖ **Ευελιξία, ελαχιστοποίηση απωλειών, προσαρμοστικότητα σε τοπικές ενεργειακές ανάγκες, συμβολή στο ενεργειακό δυναμικό και στην ασφάλεια εφοδιασμού:** Προωθούνται αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Επιπρόσθετα, μειώνονται οι πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια.
- ❖ **Εξοικονόμηση οικονομικών πόρων:** Τα συστήματα ΣΗΘ παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα σε προσιτές τιμές, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν πρόσθετη ανταγωνιστικότητα στη βιομηχανία και τις εμπορικές επιχειρήσεις.
- ❖ **Νέες θέσεις εργασίας, αύξηση απασχόλησης, τόνωση οικονομικής δραστηριότητας της περιφέρειας:** Η ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας και συμβάλλει στην ανάπτυξη της οικονομικής δραστηριότητας των περιοχών όπου είναι εγκατεστημένα [10, 14].

Ωστόσο, η εγκατάσταση συστημάτων ΣΗΘ πιθανό να εγκυμονεί κινδύνους για το περιβάλλον. Τα μειονεκτήματα της συμπαραγωγής πιστώνονται στις τοπικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, διότι δεν είναι πάντα βέβαιο ότι η ΣΗΘ μειώνει τις συνολικές εκπομπές των αέριων ρύπων. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από την τεχνολογία ΣΗΘ, αλλά και από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανεξάρτητη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας και τα καύσιμα σε αυτές. Είναι πιθανό, δηλαδή, να μειώνεται ένας ρύπος (π.χ. CO₂), αλλά να αυξάνεται ένας άλλος (π.χ. NO_x).

Επιπλέον, όταν πολλές μικρές και διάσπαρτες μονάδες ΣΗΘ αντικαθιστούν μία κεντρική μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα τοπικά είναι αβέβαιη. Η θετική συνεισφορά της ΣΗΘ, όμως, προσμετράται στις προσπάθειες της χώρας για την αντιμετώπιση του παγκόσμιου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής.

Ακόμη ένας κίνδυνος, που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την μελέτη εγκατάστασης μονάδων συμπαραγωγής, αποτελεί η πιθανότητα πρόκλησης θορύβων από τη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής, που ωστόσο μπορούν να εξαλειφθούν με τα κατάλληλα μέτρα αποφυγής θορύβου (ηχοπαγίδες), που αποτελούν μέρος του βασικού εξοπλισμού του συστήματος ΣΗΘ.

Συνεπώς, πέρα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που απολαμβάνουν τα συστήματα ΣΗΘ ως προς το βαθμό επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, η απόφαση για την εγκατάστασή τους, θα πρέπει να στηρίζεται σε ολοκληρωμένη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη δημιουργία προϋποθέσεων για τη φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία τους, λαμβάνοντας μέτρα όπως είναι η τοποθέτηση ηχητικής μόνωσης στο σύστημα, η εγκατάσταση μέσων συλλογής και αποκομιδής των στερεών και υγρών αποβλήτων, η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας με χαμηλές εκπομπές ρύπων, η προσεκτική επιλογή του τόπου εγκατάστασης, η κατασκευή καπνοδόχου υψηλότερης των γειτονικών κτιρίων κ.α. [14, 15].

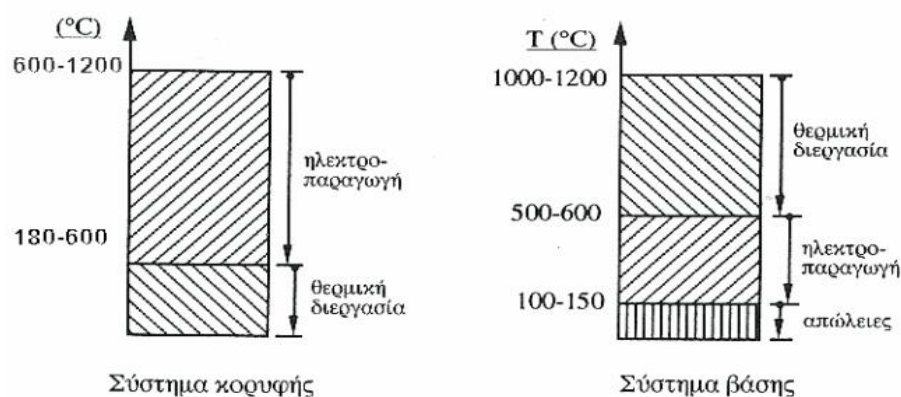
3.4 Διάκριση συστημάτων συμπαραγωγής

Τα συστήματα συμπαραγωγής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα συστήματα “κορυφής” (topping systems) και τα συστήματα “βάσης” (bottoming systems).

Στα **συστήματα κορυφής**, παράγεται πρώτα ηλεκτρική ενέργεια και στη συνέχεια η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται στη θέρμανση χώρων, σε θερμικές διεργασίες κ.λπ.

Στα **συστήματα βάσης**, παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας, όπως συμβαίνει σε εγκαταστάσεις υαλουργείων, στους φούρνους των χαλυβουργιών κ.λπ., και στη συνέχεια η αποβαλλόμενη θερμότητα, χρησιμοποιείται στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [13].

Παρακάτω, ακολουθεί η εικόνα 3.4, η οποία παρουσιάζει τις ενδεικτικές στάθμες θερμοκρασιών για τις δύο κατηγορίες συστημάτων.



Εικόνα 3.4: Ενδεικτικές θερμοκρασιακές στάθμες συστημάτων συμπαραγωγής [16].

3.5 Τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπαραγωγής

Οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας ενός συστήματος συμπαραγωγής, δηλαδή οι τρόποι με τους οποίους ρυθμίζεται η ηλεκτρική και θερμική ισχύς κάθε χρονική στιγμή, είναι οι ακόλουθοι:

α. Παραγωγή θερμότητας ίσης με το θερμικό φορτίο ("heat match"): Έχουμε παραγωγή περισσότερης (ή λιγότερης) ηλεκτρικής ενέργειας από το φορτίο, η περίσσεια (ή το έλλειμμα) πωλείται (ή αγοράζεται) στο (από το) εθνικό δίκτυο.

β. Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο ("electricity match"): Εάν προκύψει ανάγκη, βοηθητικός λέβητας συμπληρώνει τις πρόσθετες ανάγκες σε θερμότητα, ενώ η περίσσεια θερμότητα αποβάλλεται σε ψυγεία.







γ. Μικτός τρόπος: Έχουμε δηλαδή την εμφάνιση είτε της α' περίπτωσης είτε της β'.

δ. Πλήρης κάλυψη του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου σε κάθε χρονική στιγμή: Απαιτείται μεγάλη επάρκεια εφεδρικής ισχύος και επομένως περίπλοκο σύστημα συμπαραγωγής, με αποτέλεσμα την αύξηση του αρχικού κόστους καθιστώντας τον τρόπο αυτό ως τον πιο ακριβό.

Κατά κανόνα, ο πρώτος τρόπος προσφέρει την υψηλότερη ενεργειακή και οικονομική απόδοση για συστήματα στο βιομηχανικό και τον εμπορικό τομέα. Η τελική, επιλογή, όμως, του τρόπου λειτουργίας εξαρτάται από τις ανάγκες του δικτύου, τις διαθέσιμες μονάδες καθώς και τις υποχρεώσεις απέναντι στους καταναλωτές [17].

3.6 Παρουσίαση σύγχρονων συστημάτων ΣΗΘ

Τα πιο σύγχρονα και συνηθέστερα συστήματα ΣΗΘ, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

-  Συστήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης
-  Συστήματα αεριοστρόβιλου
-  Συστήματα ατμοστρόβιλου
-  Συστήματα συνδυασμένου κύκλου
-  Μικροστρόβιλος (microturbine)
-  Μηχανές Stirling

3.6.1 Συστήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης- Μηχανή Otto και Diesel

Οι πιο ευρέως διαδομένες και περισσότερο αποδοτικές διατάξεις ενέργειας για συμπαγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι οι παλινδρομικές μηχανές ή μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Διάφοροι τύποι αυτών των μηχανών είναι εμπορικά διαθέσιμοι, αλλά δύο από αυτούς έχουν περισσότερη σημασία σε στατικές εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής. Αυτοί οι δύο τύποι είναι οι τετράχρονοι μηχανές με σπινθηριστή (κύκλος Otto) και οι μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση (κύκλος Diesel). Τα κύρια μηχανικά μέρη αυτών των μηχανών είναι τα ίδια, καθώς και οι δύο χρησιμοποιούν ένα κυλινδρικό θάλαμο καύσης κατά μήκος του οποίου κινείται ένα κατάλληλα εφαρμοσμένο έμβολο.

Το έμβολο συνδέεται σε έναν στροφαλοφόρο άξονα που μετασχηματίζει τη γραμμική κίνηση του εμβόλου, μέσα στον κύλινδρο, σε περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο άξονα. Οι περισσότερες μηχανές διαθέτουν πολλαπλούς κυλίνδρους που κινούν ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Τόσο οι μηχανές κύκλου Otto, όσο και οι μηχανές Diesel, ολοκληρώνουν έναν κύκλο λειτουργίας σε τέσσερις κινήσεις του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο. Οι κινήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

1. εισαγωγή του αέρα (ή του μίγματος αέρα-καυσίμου) στον κύλινδρο,
2. συμπίεση με καύση του καυσίμου,
3. επιτάχυνση του εμβόλου από τη δύναμη της καύσης (κίνηση ισχύος) και

4. αποβολή των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο [12].

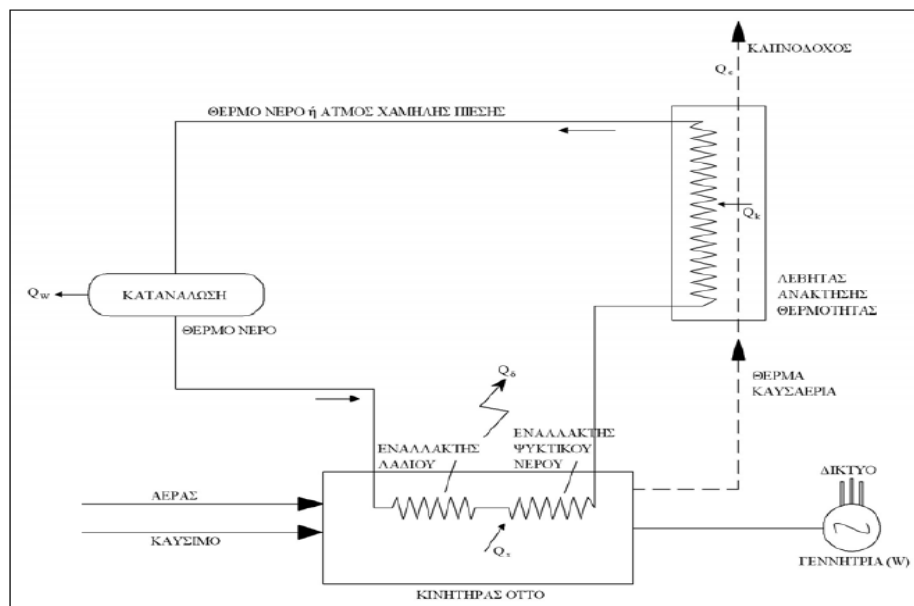
Τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα Otto έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 15 έως 1300 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32-35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80 - 85%,
- ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την παραγόμενη θερμική ισχύ είναι 0,5÷0,8 και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 έτη [10].

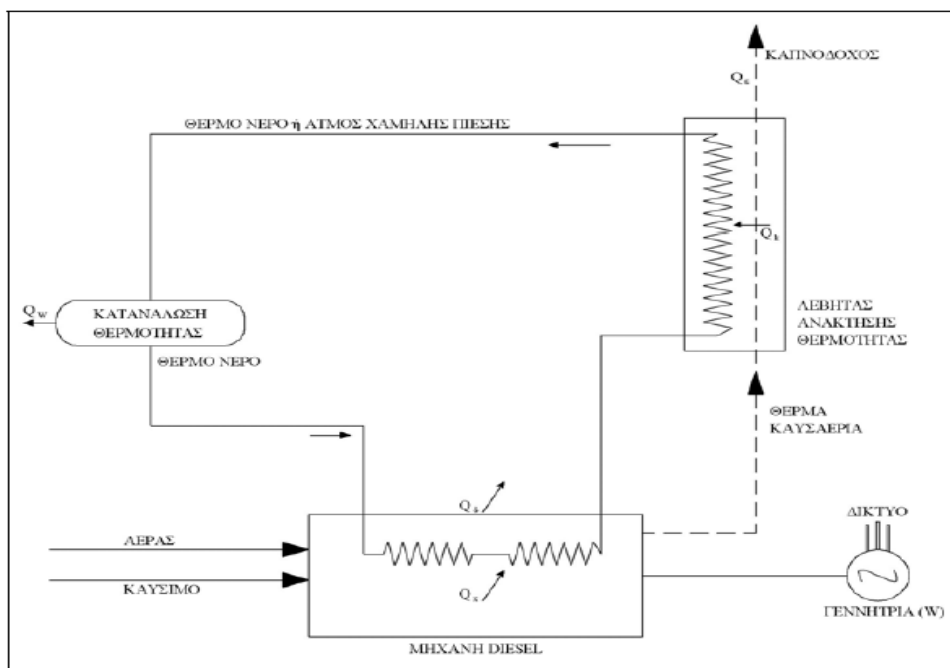
Από την άλλη μεριά, τα συστήματα ΣΗΘ με κινητήρα Diesel:

- κατασκευάζονται για ισχύ από 100 έως και λίγο μεγαλύτερη των 20000 kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% και ολικό βαθμό απόδοσης 70 - 80%,
- ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την παραγόμενη θερμική ισχύ είναι $0,70 \div 0,90$ και
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 - 20 έτη [10].

Στις εικόνες 3.5 και 3.6, απεικονίζονται συστήματα ΣΗΘ με μηχανή Otto και Diesel αντίστοιχα.



Εικόνα 3.5: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Otto [10].



Εικόνα 3.6: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ΣΗΘ με μηχανή Diesel [10].

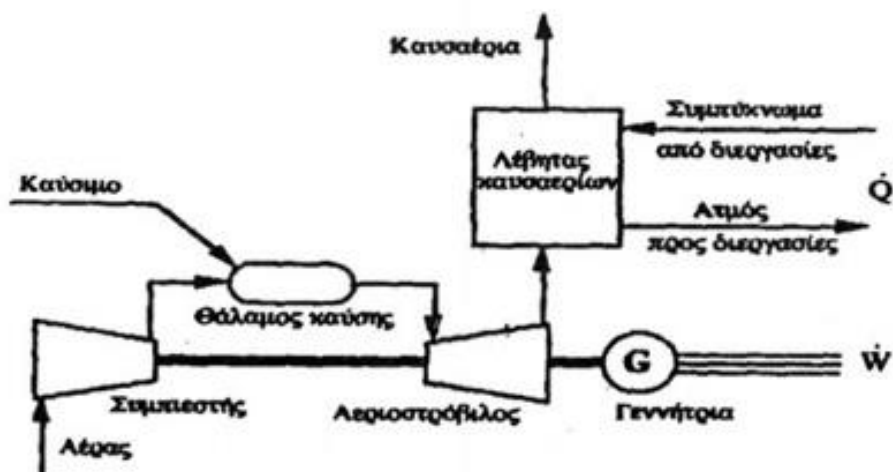
3.6.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου

Διακρίνονται δύο βασικοί τύποι συστημάτων ΣΗΘ με αεριοστρόβιλο, οι ανοιχτού και κλειστού τύπου. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι συνήθως φυσικό αέριο, υγραέριο και ελαφρύ πετρέλαιο.

3.6.2.α Συστήματα συμπαγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού κύκλου

Οι αεριοστρόβιλοι ανοιχτού κύκλου είναι οι κλασικοί αεριοστρόβιλοι. Η αρχή λειτουργίας του ανοικτού κύκλου (Εικόνα 3.7) είναι η εξής: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσεως. Στη συνέχεια, τα καυσαέρια οδηγούνται στον αεριοστρόβιλο, όπου εκτονώνονται, απελευθερώνοντας ενέργεια, με την οποία κινείται η ηλεκτρογεννήτρια, και διαφεύγουν από αυτόν σε θερμοκρασία 300 – 600°C.

Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%). Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για συμπαραγωγή, με αντίστοιχη αύξηση του βαθμού απόδοσης στο 60-80% [18].



Εικόνα 3.7: Σύστημα ΣΗΘ με αεριοστρόβιλο ανοιχτού κύκλου [18].

Η αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας των καυσαερίων σε ένα σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Με άμεση χρήση τους σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση κλπ.).
- Με διοχέτευσή τους σε μονάδες ανακτήσεως θερμότητας, οι οποίες ονομάζονται λέβητες ανάκτησης θερμότητας ή απλώς λέβητες καυσαερίων. Σ' αυτούς παράγεται ατμός υψηλής ενθαλπίας, ο οποίος είναι κατάλληλος για παραγωγικές διεργασίες, όπως θερμικές, αλλά και για κίνηση ατμοστροβίλου, συνδεδεμένου με γεννήτρια ή κάποιο άλλο μηχανήμα. Στην τελευταία περίπτωση, πρόκειται για την κλασική περίπτωση συνδυασμένου κύκλου. Και στους δύο τρόπους, είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού περιεχομένου (δηλ. της θερμοκρασίας) των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, όταν απαιτείται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου, των καυσαερίων. Υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα να λειτουργήσουν καυστήρες τοποθετημένοι μετά τον αεριοστρόβιλο, οι οποίοι θα χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για την καύση πρόσθετου καυσίμου [18, 19].

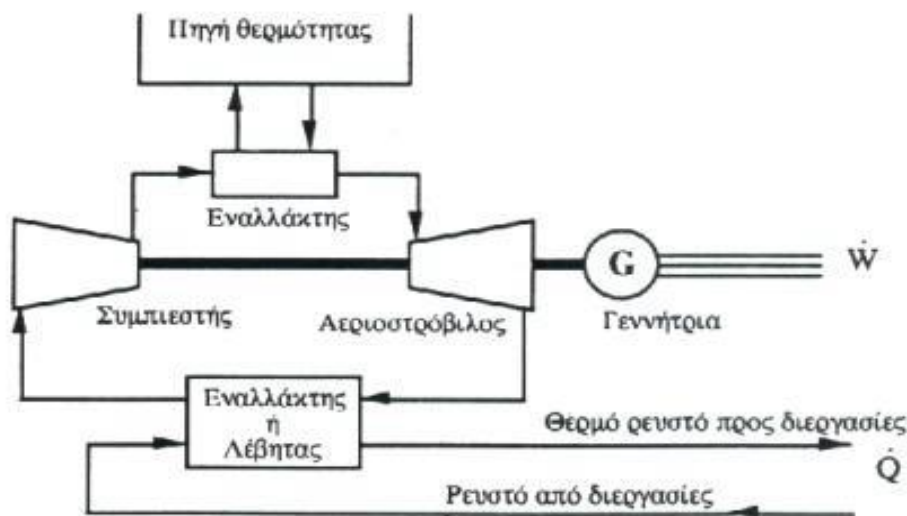
Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο, για εφαρμογές μεσαίου μεγέθους εγκαταστημένης ισχύος (~10MW), συναγωνίζονται τις μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσεως και τους ατμοστρόβιλους. Λειτουργούν, συνήθως, με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel). Μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν αέρια καύσιμα, που παράγονται, π.χ. κατά την καταλυτική πυρόλυση (catalytic cracking) υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου.

Τα συστήματα αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου, έχουν το μειονέκτημα του μικρού βαθμού απόδοσης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (25 – 35%), διότι απαιτείται σημαντική ισχύς για την κίνηση του συμπιεστή, ενώ η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι υψηλή. Λόγω, όμως, αυτής ακριβώς της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων, οι αεριοστρόβιλοι ανοικτού κύκλου καθίστανται ιδανικοί για συμπαραγωγή, καθώς με την συγκεκριμένη διαδικασία ο ολικός βαθμός απόδοσης αυξάνεται στο 70 – 85%.

Τέλος, η ωφέλιμη διάρκεια ζωής ενός συστήματος αεριοστρόβιλου είναι 15 – 20 έτη, υπάρχει, όμως, ο κίνδυνος να μειωθεί δραστικά με τη χρήση καυσίμου κακής ποιότητας ή την ανεπαρκή συντήρηση [19].

3.6.2.6 Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου

Στα συστήματα κλειστού κύκλου, το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν (Εικόνα 3.8). Καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης. Η εξωτερική καύση (πηγή θερμότητας) επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, κ.λπ. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν την πηγή θερμότητας [18].



Εικόνα 3.8: Σύστημα ΣΗΘ με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου [18].

Οι αεριοστρόβιλοι κλειστού κύκλου παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους αεριοστρόβιλους ανοιχτού τύπου, όπως:

- ❖ υψηλότερη διαθεσιμότητα χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντηρήσεως, λόγω της καθαρότητας του εργαζόμενου ρευστού
- ❖ ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δύναται να αυξηθεί με την ύπαρξη αναγεννητικής προθερμάνσεως του εργαζόμενου μέσου [19].

3.6.3 Συστήματα ατμοστρόβιλου

Τα συστήματα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο είναι τα πλέον διαδεδομένα, κατάλληλα για απαιτήσεις ισχύος από 500kW έως 100.000kW. Το συγκριτικό πλεονέκτημα, που εμφανίζουν ως προς τις άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες, είναι η δυνατότητα καύσης οποιουδήποτε καυσίμου, ακόμη και στερεά απόβλητα τα οποία καίγονται σε ειδικούς λέβητες, εφοδιασμένους με συστήματα κατακρατήσεως ή και εξουδετερώσεως ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση.

Ο ολικός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγής με συστήματα ατμοστρόβιλων είναι σχετικά υψηλός και φθάνει το 60 – 85%, ενώ δεν παρουσιάζεται έντονη πτώση κατά την λειτουργία του σε μερικό φορτίο. Στα αρνητικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας των συστημάτων ατμοστρόβιλων είναι ο σχετικά χαμηλός βαθμός απόδοσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ο οποίος διαμορφώνεται στο 15 – 20%, χαρακτηριστικό που οδηγεί σε μικρό λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης

μπορεί να επιτευχθεί μέχρι ενός σημείου με αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του ατμοστρόβιλου.

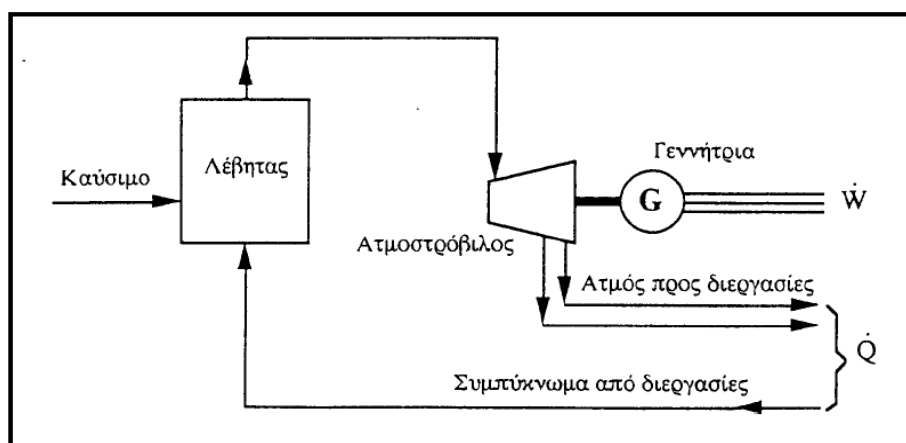
Τα συστήματα ατμοστρόβιλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φθάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα, της τάξεως του 90 – 95% και μεγάλη διάρκεια ζωής (25 – 35 έτη). Ως αξιοπιστία ορίζεται η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικώς ένα σύστημα για δεδομένο χρονικό διάστημα και με προκαθορισμένες συνθήκες. Αντίστοιχα, με τον όρο διαθεσιμότητα ορίζεται η πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικώς ένα σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή εντός μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (π.χ. ετήσια) [17].

Οι τρεις βασικές διατάξεις ατμοστρόβιλων είναι οι ακόλουθες:

- ✚ Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης
- ✚ Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως
- ✚ Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης [17].

3.6.3.α Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Σε ένα σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης, ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (20-100 bar και 480-540°C) παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστρόβιλου, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια (Εικόνα 3.9). Ο ατμός εξέρχεται από το στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος «αντίθλιψη» οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20 bar). Επιπλέον, είναι δυνατή η απομάστευση (εξαγωγή) μέρους του ατμού στις επιθυμητές πιέσεις, από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου [20].



Εικόνα 3.9: Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης [17].

Τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντιθλίψεως παρουσιάζουν, σε σχέση με αυτά του ατμοστροβίλου απομαστεύσεως που θα παρουσιαστούν παρακάτω, τα εξής πλεονεκτήματα:

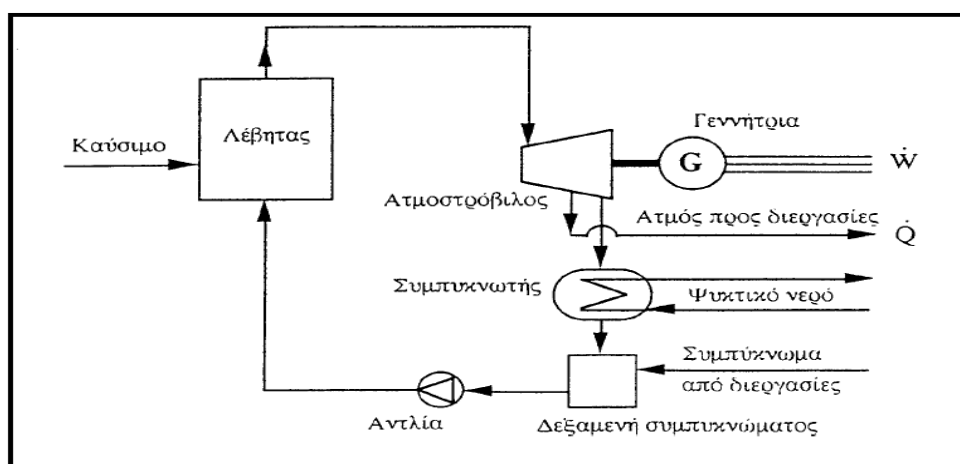
- απλή μορφή,
- μικρότερο κόστος κατασκευής και εγκατάστασης,
- μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη σε ψυκτικό υγρό ,
- υψηλότερο ολικό βαθμό απόδοσης (περίπου 85%), κυρίως λόγω του ότι δεν αποβάλλεται θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυκτών [19].

Από την άλλη μεριά, παρουσιάζουν το σημαντικό μειονέκτημα ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Κατά συνέπεια:

- είναι αδύνατη η ανεξάρτητη λειτουργία του ατμοηλεκτρικού σταθμού από το δίκτυο θέρμανσης και
- είναι αναγκαία η αμφίδρομη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού για την κάλυψη πρόσθετων αναγκών ή για τη διοχέτευση περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμή του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα παραμένει περίπου σταθερή κατά τη μεταβολή του φορτίου [17].

3.6.3.8 Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως

Σε ένα σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης, μέρος του ατμού απομαστεύεται (εξάγεται) από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου, η οποία χρησιμεύει για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού και, συγχρόνως, παρέχεται θερμική ισχύς στον εναλλάκτη, ενώ ο υπόλοιπος ατμός εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή της τάξης των 0,05 – 0,10 bar (Εικόνα 3.10) [19].

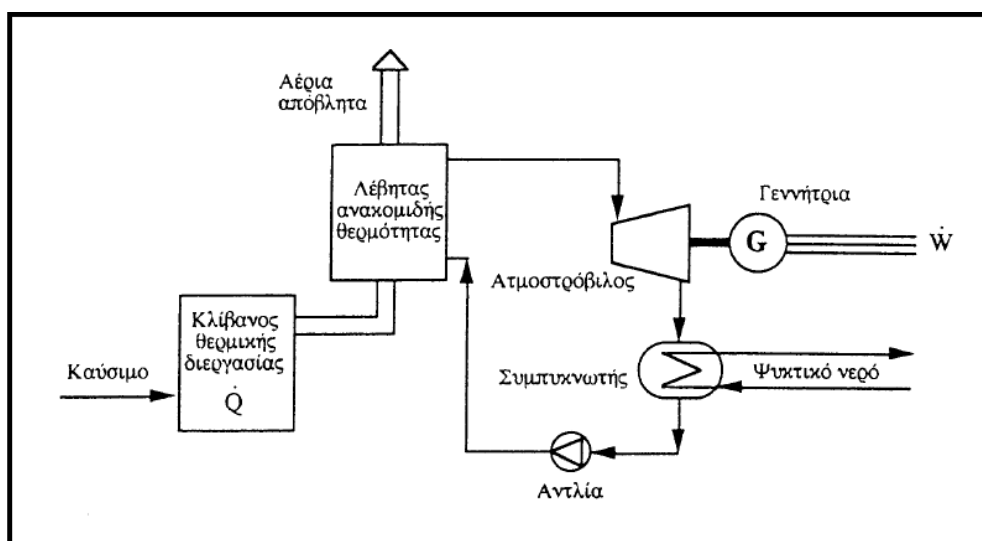


Εικόνα 3.10: Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομαστεύσεως [17].

Τα συστήματα απομαστεύσεως μειονεκτούν σε σχέση με τα συστήματα αντίθλιψης στο ότι είναι ακριβότερα και έχουν μικρότερο ολικό βαθμό απόδοσης (περίπου 80 %), λόγω της αποβολής θερμότητας στο συμπυκνωτή ατμού. Από την άλλη μεριά, εμφανίζουν συγκριτικό πλεονέκτημα λόγω της δυνατότητας ανεξάρτητης (εντός ορισμένων ορίων) ρυθμίσεως της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος και, συνεπώς, της μεταβλητής τιμής του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της ολικής παροχής ατμού και, συνεπώς, της παροχής ατμού προς το συμπυκνωτή [19].

3.6.3.γ Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο θάσεως

Τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης προέκυψαν από τις βιομηχανίες (π.χ. χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια τσιμέντου, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου, κ.λπ.) που παράγουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας. Μετά τη θερμική διεργασία, τα αέρια αυτά μπορούν να περάσουν μέσα από λέβητα ανακομιδής θερμότητας (recuperator), όπου παράγεται ατμός που κινεί μια ατμοστροβιλογεννήτρια. Έτσι, η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού (Εικόνα 3.11) [20].

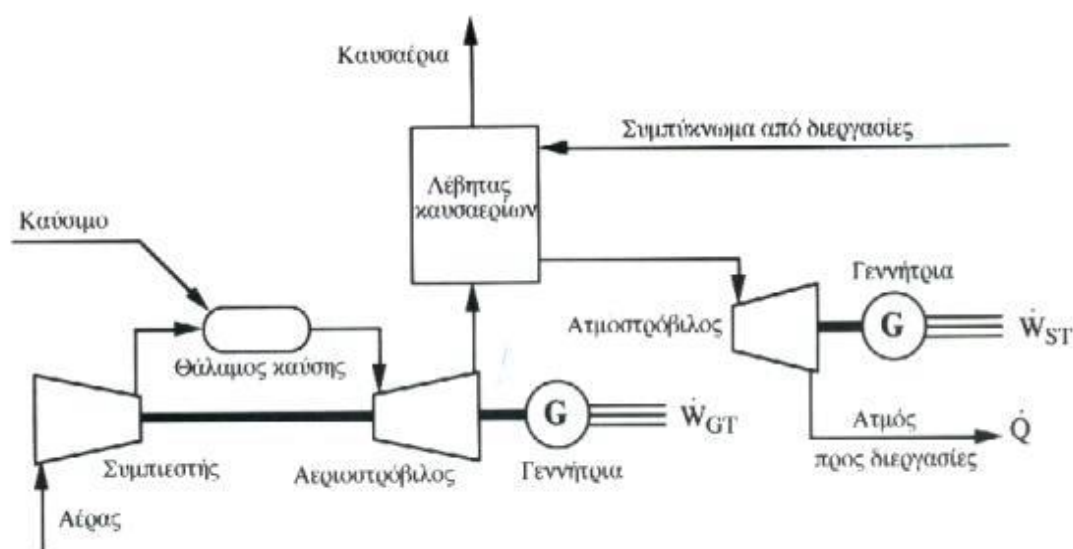


Εικόνα 3.11: Σύστημα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο θάσεως [17].

Τυπική περιοχή τιμών του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης είναι 5 - 15%, ο οποίος είναι αρκετά μικρός. Επισημαίνεται, όμως, ότι ο παραγόμενος ηλεκτρισμός προέρχεται από θερμότητα που διαφορετικά θα χανόταν, κι επομένως δεν συνεπάγεται πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου [17].

3.6.4 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Ο όρος «συνδυασμένος κύκλος» αναφέρεται σε συστήματα με δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστρόβιλου - ατμοστρόβιλου (κύκλοι Joule - Rankine). Στην Εικόνα 3.12 απεικονίζονται τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος [18].



Εικόνα 3.12: Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου [20].

Η τεχνική συμπαραγωγής με το σύστημα συνδυασμένου κύκλου, αποτελεί μία παραλλαγή αυτής του αεριοστρόβιλου, που βρίσκει εφαρμογή στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διαφορά της συνίσταται στο ότι ο ατμός που παράγεται στη μονάδα ανακτήσεως τροφοδοτείται σε ατμοστρόβιλο και με τον τρόπο αυτόν παράγεται επιπρόσθετη ηλεκτρική ισχύς, ενώ τα θερμικά φορτία που απομένουν, στην έξοδο του ατμοστρόβιλου, και τα οποία

βρίσκονται με τη μορφή ατμού χαμηλής πίεσεως, είναι κατάλληλα για ορισμένες διεργασίες.

Η ολική απόδοση των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου υπερέχει αισθητά των αποδόσεων των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν συμβατικές τεχνολογίες, καθώς η ισχύς τους κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 20 - 400 MW. Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι 70 - 85%, ενώ ο ηλεκτρικός βρίσκεται συνήθως στην περιοχή του 35 - 45%.

Η λειτουργία σε μερικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση στο βαθμό απόδοσης του συστήματος. Η υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου (~ 17%) επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στο λέβητα καυσαερίων, εάν κριθεί αναγκαία, για την αύξηση της ισχύος του συστήματος. Η συμπληρωματική καύση αυξάνει το βαθμό ισχύος του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο, αλλά κάνει την εγκατάσταση σημαντικά πιο περίπλοκη.

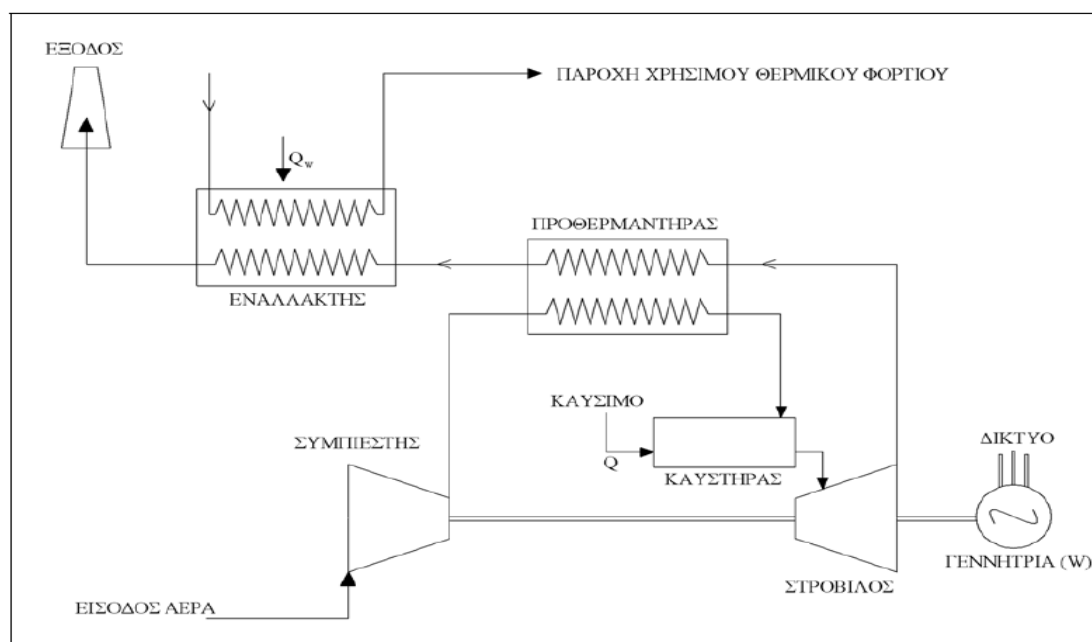
Ο χρόνος εγκατάστασης ενός συστήματος συνδυασμένου κύκλου είναι 2-3 έτη. Η ολοκλήρωση της εγκατάστασης είναι δυνατή σε δύο πεδία: Αρχικά, εγκαθίσταται η μονάδα αεριοστρόβιλου, η οποία μπορεί να είναι έτοιμη για λειτουργία σε 12-18 μήνες, και ενώ αυτή λειτουργεί, το σύστημα μπορεί να συμπληρωθεί με τη μονάδα του ατμοστρόβιλου. Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80-85%, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77- 85% και ο οικονομικός χρόνος ζωής 15-25 έτη [17].

3.6.5 Μικροστρόβιλος (microturbine)

Το σύστημα ΣΗΘ με μικροστρόβιλο είναι κατά κανόνα μονάδα μικρού μεγέθους, υψηλής ταχύτητας και συμπεριλαμβάνει τον αεριοστρόβιλο (gas turbine), το συμπιεστή (compressor), τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο. Τυπικά, λειτουργεί με καύσιμο το φυσικό αέριο, αλλά δέχεται για τη λειτουργία της και άλλα βιομηχανικά καύσιμα, όπως προπάνιο, ελαφρύ πετρέλαιο (diesel) και κηροζίνη.

Κατά τη λειτουργία της μηχανής, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή και μετά από τη συμπίεσή του διέρχεται από τον προθερμαντήρα, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται από τα καυσαέρια εκτόνωσης. Στη συνέχεια, ο αέρας εισέρχεται στον καυστήρα, όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο, το οποίο αναφλέγεται και καίγεται. Ο αναφλεκτήρας (ignitor) χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και κατόπιν η φλόγα είναι αυτοσυντηρούμενη. Τα αέρια μετά την καύση διέρχονται από το στρόβιλο μετατρέποντας

τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Τα αέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο διέρχονται από τον αναθερμαντήρα και στη συνέχεια στον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντική στήλη) για την πρόσδοση θερμότητας και τη θέρμανση νερού. Στην εικόνα 3.13 απεικονίζεται η διάταξη και ο τρόπος λειτουργίας ενός μικροστρόβιλου [21].



Εικόνα 3.13: Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστρόβιλου [21].

Τα συστήματα μικροστρόβιλων έχουν ηλεκτρική απόδοση γύρω στο 30%, έχουν μικρά επίπεδα εκπομπών και δυνατότητα για ανάκτηση θερμότητας, ενώ δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση (χρειάζεται όμως καταρτισμένο τεχνικό προσωπικό). Για τα συστήματα ΣΗΘ μπορούν να εξασφαλίσουν απόδοση πάνω από 80%. Η ισχύς τους κυμαίνεται από 25-80kW, δυναμικότητα που μπορεί να καλύψει άνετα τις ανάγκες μιας κατοικίας, ή ενός συγκροτήματος κτιρίων. Γίνονται επίσης έρευνες για ανάπτυξη συστημάτων ισχύος μικρότερης από 25kW. Στις μικρότερης κλίμακας ισχύος όμως, οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση.

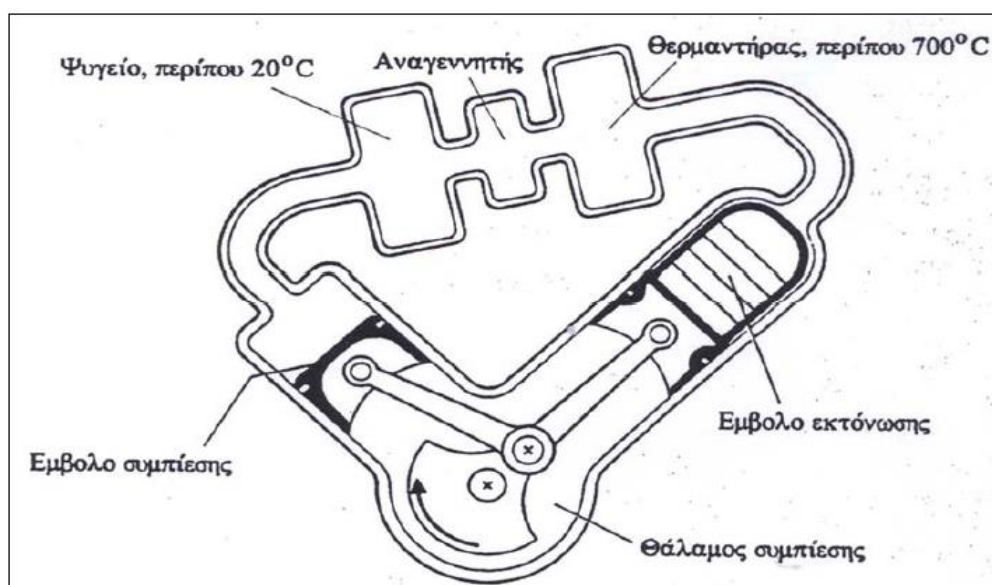
Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι μικροστρόβιλοι, έχουν να κάνουν με το μικρό τους μέγεθος και βάρος, το μικρό αριθμό κινούμενων μερών, και τη χαμηλή στάθμη θορύβου κατά τη λειτουργία [20].

3.6.6 Μηχανές Stirling

Στις μηχανές Stirling, η καύση του καυσίμου γίνεται εξωτερικά σε ξεχωριστό θάλαμο καύσης και γι' αυτό το λόγο ονομάζονται και μηχανές εξωτερικής καύσης. Το

εργαζόμενο μέσο, το οποίο μπορεί να είναι ήλιο ή άζωτο, συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου δύο εμβόλων, με αποτέλεσμα την περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα. Το αέριο θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας χωρίς να συμμετέχει στην καύση [10].

Στις μηχανές Stirling υπάρχει μεγάλη ευελιξία στο καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (και χρησιμοποιούνται υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακας, καύσιμα από βιομάζα ή απορρίμματα) λόγω της καύσης του σε ξεχωριστό θάλαμο. Η συνεχής φύση της καύσης οδηγεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα ρύπων. Στην εικόνα 3.14, παρουσιάζεται η απλοποιημένη λειτουργική διάταξη ενός κινητήρα Stirling [21].



Εικόνα 3.14: Κινητήρας Stirling [10].

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ΣΗΘ με μηχανές Stirling είναι:

- κατασκευάζονται συνήθως για ισχύ από 3 έως 100kW,
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80-85%,
- ο λόγος συμπαραγόμενης ηλεκτρικής προς θερμική ενέργειας (C) είναι $0,5 \div 0,8$,
- αν και ακριβότεροι από τις Μ.Ε.Κ. είναι λιγότερο ρυπογόνοι. Η ηχορύπανση και η χημική ρύπανση που προκαλούν είναι αισθητά μικρότερη και έτσι συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος,
- απαιτούν συντήρηση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να λειτουργούν αρκετές χιλιάδες ώρες συνεχώς [21].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η πιο κοινή πρακτική θέρμανσης στην Ελλάδα είναι η μεμονωμένη κεντρική θέρμανση. Κάθε σύστημα θέρμανσης εξυπηρετεί μόνο ένα κτίριο και στην πλειοψηφία των κτιρίων χρησιμοποιείται πετρέλαιο θέρμανσης. Οι απαιτήσεις θέρμανσης στην Ελλάδα καλύπτονται, κυρίως, από την χρήση πετρελαίου diesel. Επιπρόσθετα, τα τελευταία χρόνια άρχισε να προωθείται η χρήση του φυσικού αερίου στις μεγάλες πόλεις που βρίσκονται κοντά στην κύρια γραμμή των σωληνώσεων διανομής (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Κομοτηνή) με σκοπό τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και των διοικητικών εξόδων.

Το 1960 ξεκίνησε στην Πτολεμαΐδα, από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, η πρώτη μικρού μεγέθους εγκατάσταση τηλεθέρμανσης για τις ανάγκες θέρμανσης του οικισμού της ΔΕΗ στο Προάστιο Εορδαίας [4]. Η τηλεθέρμανση (Τ/Θ) είναι η παροχή θερμικής ενέργειας σε κτίρια και ενίοτε σε παραγωγικές μονάδες, μέσω δικτύου μονωμένων αγωγών που μεταφέρουν ζεστό νερό, το οποίο συνήθως θερμαίνεται από τη θερμότητα που παράγεται ως υποπροϊόν της παραγωγής ηλεκτρισμού. Με την τηλεθέρμανση αποφεύγεται η εγκατάσταση επιμέρους συστημάτων παραγωγής θερμικής ενέργειας, καθώς αυτή παράγεται και παρέχεται κεντρικά και αποδίδεται στους τελικούς χρήστες με την εγκατάσταση τερματικών σταθμών (συλλέκτες) εντός των κτιρίων.



Εικόνα 4.1: Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας - Σύνδεση με τον ΑΗΣ Καρδιάς [22].

Η επιτυχία του πιλοτικού συστήματος Τ/Θ στην Πτολεμαΐδα αποτέλεσε το έναυσμα για την επέκταση της εν λόγω τεχνολογίας και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Την εγκατάσταση του συστήματος Τ/Θ Πτολεμαΐδας ακολούθησε η πόλη της Κοζάνης, που έθεσε σε λειτουργία το δικό της σύστημα το 1993, όπως και η πόλη και οι κοινότητες της περιοχής

Αμυνταίου που λειτούργησαν το δικό τους σύστημα Τ/Θ για πρώτη φορά τον χειμώνα του 2004-05. Επιπλέον, εγκαταστάσεις Τ/Θ διαθέτει και η πόλη της Μεγαλόπολης, ενώ ετοιμάζονται εγκαταστάσεις συστημάτων τηλεθέρμανσης σε πόλεις της Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, οι οποίες θα αξιοποιήσουν τους αγωγούς φυσικού αερίου που διέρχονται από την περιοχή [22].

4.1 Η τηλεθέρμανση στην Πτολεμαΐδα

Στα υψίπεδα της Δυτικής Μακεδονίας βρίσκεται η πόλη, όπου χτυπάει η ενεργειακή καρδιά της Ελλάδας. Με έκταση 2.179 τετραγωνικών χιλιομέτρων και πληθυσμό 32.142 κατοίκων, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ο Δήμος Πτολεμαΐδας είναι σήμερα ο δεύτερος μεγαλύτερος σε μέγεθος στην περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας. Η πόλη είναι εγκατεστημένη στο κέντρο της λιγνιτικής λεκάνης της Δυτικής Μακεδονίας και περιβάλλεται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ, που παράγουν το 56% του ισοζυγίου της ΔΕΗ και το 45% της ηλεκτροπαραγωγής της χώρας, ενώ παράλληλα υπάρχει ετήσια εξόρυξη λιγνίτη της τάξεως των 45 εκ. τόνων. Η Πτολεμαΐδα, λοιπόν, ως το μεγαλύτερο ενεργειακό κέντρο της χώρας επί 60 και πλέον χρόνια, δίκαια αποκαλείται «Ενεργειακή πρωτεύουσα της Ελλάδας» [23].

4.1.1 Ιστορική αναδρομή

Στα πλαίσια της αξιοποίησης του δυναμικού συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, που υπήρχε λόγω της κατασκευής των ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) στην Πτολεμαΐδα και με δεδομένα την εγγύτητα στην πόλη, το χαμηλό κόστος παραγωγής της θερμικής ενέργειας, τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, την ικανοποιητική δόμηση της πόλης καθώς και την χρηματοδότηση από το πρόγραμμα της Ε.Ε. VALOREN, ο Δήμος Πτολεμαΐδας (σήμερα Δήμος Εορδαίας) αποφάσισε και υλοποίησε το πρώτο μεγάλης κλίμακας σύστημα τηλεθέρμανσης στην Ελλάδα.

Το σύστημα της Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας τέθηκε σε λειτουργία τον Δεκέμβριο του 1993 και από το 1994 την διαχείριση του έχει αναλάβει η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας [Δ.Ε.ΤΗ.Π.], η οποία είναι η πρώτη αμιγώς δημοτική επιχείρηση στην Ελλάδα, με αρμοδιότητα την εξασφάλιση θερμικής ενέργειας στην πόλη της Πτολεμαΐδας [22, 24].

Αρχικά, η τηλεθέρμανση αναπτύχθηκε στο κεντρικό τμήμα της πόλης (Α' Φάση) και περιέλαβε τα εξής υποσυστήματα:

- ❖ τις εγκαταστάσεις απομάστευσης ατμού και μετάδοσης θερμότητας στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας,
- ❖ τον δίκτυο μεταφοράς θερμικής ενέργειας από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας προς την πόλη,
- ❖ τα αντλιοστάσια μεταφοράς και διανομής,
- ❖ το δίκτυο διανομής στο ευρύτερο κέντρο της πόλης (Ζώνη Α) και
- ❖ τους θερμικούς υποσταθμούς σύνδεσης των κτιρίων (καταναλωτών).

Στη συνέχεια, η τηλεθέρμανση αναπτύχθηκε, λόγω τόσο του καινοτόμου χαρακτήρα του έργου όσο και της απαίτησης υψηλών κεφαλαίων επένδυσης. Μέχρι το 1995, βελτιστοποιήθηκε το αρχικό δίκτυο διανομής της Α' Φάσης και μέσα στην επόμενη πενταετία κατασκευάστηκε η πρώτη μεγάλη επέκταση του δικτύου διανομής της πόλης (Β' Φάση), η οποία τέθηκε σε λειτουργία ταυτόχρονα με το λεβητοστάσιο αιχμής - εφεδρείας και το πρόσθετο αντλιοστάσιο διανομής. Μέσα στον επόμενο χρόνο, αυτοματοποιήθηκε πλήρως η λειτουργία των αντλιοστασίων της τηλεθέρμανσης, ενώ μέχρι το 2004 ενισχύθηκε το σύστημα με θερμική ενέργεια 25MWth από τον ΑΗΣ ΛΚΔΜ, ο οποίος στην συνέχεια αποσύρθηκε το φθινόπωρο του 2013. Το 2006, εγκαταστάθηκαν οι δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας (105MWth), οι οποίες συμβάλλουν στην κάλυψη του θερμικού φορτίου αιχμής και στην ομαλή παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η επέκταση του δικτύου διανομής (Γ' Φάση) κατασκευάστηκε το 2007 και περιέλαβε τον περιμετρικό δακτύλιο της πόλης, τμήματα εκατέρωθεν αυτού και ταυτόχρονα συνδέθηκε και το Μποδοσάκειο Νοσοκομείο Πτολεμαΐδας. Τέλος, το 2011 κατασκευάστηκε ο αγωγός μεταφοράς ΑΗΣ Καρδιάς – Πτολεμαΐδα, ενώ μέχρι το 2013 ολοκληρώθηκε και η δεύτερη μεγάλη επέκταση του δικτύου διανομής της πόλης (Δ' Φάση) [24].

4.1.2 Τεχνική Περιγραφή

Με το σύστημα της τηλεθέρμανσης, η πόλη της Πτολεμαΐδας τροφοδοτείται με θερμότητα κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου (Οκτώβριος- Μάιος). Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται η τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας, τα οποία θα περιγραφούν και παρακάτω σύμφωνα με το ενημερωτικό τεύχος της Δ.Ε.ΤΗ.Π. με τίτλο «Τεχνική περιγραφή του συστήματος τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας», είναι τα εξής:

- ❖ Εγκαταστάσεις παραγωγής θερμικής ενέργειας.
- ❖ Δίκτυο Μεταφοράς και Αντλιοστάσια Μεταφοράς θερμικής ενέργειας.
- ❖ Δίκτυο Διανομής και Αντλιοστάσια Διανομής θερμικής ενέργειας.

- ❖ Θερμικοί Υποσταθμοί και Αντλιοστάσια υποπεριοχών της πόλης.
- ❖ Εγκατάσταση Αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.
- ❖ Θερμικοί Υποσταθμοί και δίκτυα καταναλωτών.

4.1.2.α Εγκαταστάσεις παραγωγής θερμικής ενέργειας

Η παραγωγή της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω της καύσης λιγνίτη στις συμπαραγωγικές ατμοηλεκτρικές μονάδες της ΔΕΗ και πιο συγκεκριμένα στις μονάδες III και IV του ΑΗΣ Καρδιάς, οι οποίες έχουν θερμική ισχύ 100MWth. Οι ανάγκες αιχμής του θερμικού φορτίου και εφεδρείας, καλύπτονται μέσω της καύσης πετρελαίου στο λεβητοστάσιο αιχμής – εφεδρείας, το οποίο έχει ισχύ 25MWth και βρίσκεται στις κεντρικές εγκαταστάσεις της Δ.Ε.ΤΗ.Π. (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Κεντρικό Αντλιοστάσιο Δ.Ε.ΤΗ.Π στην νότια είσοδο της Πτολεμαΐδας [24].

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας του ΑΗΣ Καρδιάς, γίνεται με απομάστευση ατμού από τις βαθμίδες της μέσης και χαμηλής πίεσης των ατμοστρόβιλων των λιγνιτικών μονάδων. Στην συνέχεια, ο ατμός ψύχεται και συμπυκνώνεται σε κατάλληλους εναλλάκτες ατμού - νερού, με την βοήθεια των οποίων γίνεται η μετάδοση θερμότητας, θερμαίνοντας το νερό της τηλεθέρμανσης που επιστρέφει από την πόλη, από τους 65-70°C στους 115-120°C.

Όσον αφορά τον λέβητα εφεδρείας-αιχμής, πρόκειται για έναν αυτόνομο, χαλύβδινο λέβητα υπέρθερμου νερού, σκοπός του οποίου είναι η παραγωγή θερμότητας

εφεδρείας-αιχμής. Η ονομαστική του ισχύς είναι 24,71MWth και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- είναι τριπλής διαδρομής καυσαερίων,
- διαθέτει δύο καυστήρες και δύο ανεξάρτητους φλογοθαλάμους,
- έχει την δυνατότητα καύσης εναλλακτικά πετρελαίου, υγραερίου/φυσικού αερίου ή μαζούτ,
- παράγει θερμό νερό 120°C,
- είναι ονομαστικής πίεσης PN 16 bar,
- έχει πιστοποιημένο βαθμό απόδοσης 93,1% και διαθέτει οικονομητήρα (economizer) για βελτίωση του βαθμού απόδοσης [24].

Το σύστημα περιλαμβάνει, ακόμη, τρεις κατακόρυφες κυλινδρικές, δεξαμενές αποθήκευσης, συνολικής χωρητικότητας 1.800 m³, στις οποίες θερμική ενέργεια με τη μορφή θερμού νερού αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Πιο συγκεκριμένα, στις δεξαμενές αποθηκεύεται θερμική ενέργεια κατά τις νυχτερινές ώρες, όταν η ζήτηση του φορτίου της πόλης είναι μικρή, για να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας, καλύπτοντας έτσι την υψηλή ζήτηση που σημειώνεται κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται :

- α) ορθολογική διαχείριση της ενέργειας,
- β) ομαλοποίηση της λειτουργίας των συμπαραγωγικών μονάδων, αφού δεν απαιτείται πλέον η παρακολούθηση, σε στιγμιαία χρονικά βάση, της θερμικής ζήτησης της πόλης και
- γ) ελαχιστοποίηση της λειτουργίας του λεβητοστασίου αιχμής με αποτέλεσμα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη κατά την λειτουργία της τηλεθέρμανσης [22].

4.1.2.6 Δίκτυο μεταφοράς και αντλιοστάσια μεταφοράς

Στις μονάδες του ΑΗΣ Καρδιάς παράγεται υπέρθερμο νερό θερμοκρασίας 115-120°C, το οποίο οδηγείται μέσω των αγωγών μεταφοράς στο κεντρικό αντλιοστάσιο της Δ.Ε.ΤΗ.Π., το οποίο βρίσκεται στο 0,5 χλμ. ΕΟ Πτολεμαΐδας – Κοζάνης, και στη συνέχεια διανέμεται στην πόλη μέσω των αγωγών διανομής, μεταδίδοντας την θερμότητα στους καταναλωτές, όπου και ψύχεται και επιστρέφει μέσω των αγωγών επιστροφής για επαναθέρμανση στις μονάδες του ΑΗΣ. Το δίκτυο μεταφοράς τηλεθέρμανσης αποτελείται από δίδυμους υπόγειους χαλύβδινους προμονωμένους αγωγούς, τον αγωγό προσαγωγής και τον αγωγό επιστροφής, ονομαστικής διαμέτρου DN 500mm έκαστος, οι οποίοι είναι

τοποθετημένοι παράλληλα, σε μήκος 16,7km και συνδέουν τις Μονάδες III και IV του ΑΗΣ Καρδιάς με την πόλη της Πτολεμαΐδας (Εικόνα 4.3).

Ο αγωγός προσαγωγής μεταφέρει το υπέρθερμο νερό θερμοκρασίας 120°C, μέσω του αντλιοστασίου αποστολής ΑΚ1, στα αντλιοστάσια διανομής Α1, Α11 και Α4, ενώ ο αγωγός επιστροφής επιστρέφει, μέσω του αντλιοστασίου ΑΚ2, στον ΑΗΣ Καρδιάς το ψυχρό νερό που μετέφερε στην πόλη τη θερμική του ενέργεια, προκειμένου να επαναθερμανθεί.

Η κυκλοφορία του υπέρθερμου νερού στο θερμικό κλειστό κύκλωμα ΑΗΣ Καρδιάς, αγωγός προσαγωγής, κεντρικό αντλιοστάσιο και αγωγός επιστροφής στον ΑΗΣ, πραγματοποιείται με τα εγκατεστημένα αντλιοστάσια ΑΚ1 και ΑΚ2. Τα αντλιοστάσια Α4, Α1, Α11 είναι υδραυλικά διαχωρισμένα από τα αντλιοστάσια ΑΚ1 και ΑΚ2 μέσω εναλλακτών θερμότητας και οδηγούν το υπέρθερμο νερό προς το δίκτυο διανομής της πόλης.

Τα αντλιοστάσια ΑΚ2 και Α4, είναι εγκατεστημένα σε κοινό κτίριο στην είσοδο της πόλης, όπου βρίσκονται και τα αντλιοστάσια Α1, Α11 και Α2 καθώς και το λεβητοστάσιο, ενώ το αντλιοστάσιο ΑΚ1 είναι εγκατεστημένο σε κτίριο που βρίσκεται στο προαύλιο του ΑΗΣ Καρδιάς [24].



Εικόνα 4.3: Αγωγοί Μεταφοράς ΑΗΣ Καρδιάς [24].

4.1.2.γ Δίκτυο διανομής και αντλιοστάσια διανομής θερμικών υποσταθμών και υποπεριοχών

Το δίκτυο διανομής της πόλης είναι υπόγειο και αποτελείται και αυτό από προμονωμένους χαλύβδινους σωλήνες ίδιων χαρακτηριστικών με το δίκτυο μεταφοράς και

διακρίνεται σε **πρωτεύον** και **δευτερεύον**. Το πρωτεύον δίκτυο διανομής λειτουργεί με θερμοκρασίες προσαγωγής – επιστροφής 115-65°C, ενώ το δευτερεύον δίκτυο διανομής με ονομαστικές θερμοκρασίες προσαγωγής – επιστροφής 80-60°C.

Τα αντλιοστάσια διανομής A1, A11 (Εικόνα 4.4) και A4 από το κεντρικό αντλιοστάσιο, καταθλίβουν το υπέρθερμο νερό θερμοκρασίας 115-120°C στο πρωτεύον δίκτυο διανομής, το οποίο τροφοδοτεί :

α. δέκα κύριους θερμικούς υποσταθμούς υποπεριοχής, που βρίσκονται σε επιλεγμένα σημεία της πόλης, και

β. απευθείας τα κτίρια μέσω θερμικών υποσταθμών καταναλωτών.



Εικόνα 4.4: Αντλιοστάσιο Διανομής A11 [24].

Πιο συγκεκριμένα, στους υποσταθμούς υποπεριοχής μεταδίδεται η θερμότητα στο δευτερεύον δίκτυο διανομής της πόλης, μέσω πλακοειδών εναλλακτών θερμότητας νερού – νερού, με μείωση της θερμοκρασίας από τους 115°C στους 80-90°C. Οι συγκεκριμένοι υποσταθμοί ανακυκλοφορούν το θερμό νερό στο δευτερεύον δίκτυο διανομής και τροφοδοτούν απευθείας τα εσωτερικά δίκτυα των καταναλωτών (κτιρίων). Η ρύθμιση των θερμικών φορτίων στα δίκτυα των καταναλωτών επιτυγχάνεται με τους θερμικούς υποσταθμούς καταναλωτών, οι οποίοι δεν διαθέτουν εναλλάκτες θερμότητας. Το συγκεκριμένο σύστημα σύνδεσης των καταναλωτών με την τηλεθέρμανση ονομάζεται **άμεσο**, διότι δεν παρεμβάλλεται εναλλάκτης στο κτίριο μεταξύ καταναλωτή και τηλεθέρμανσης, και κατασκευάσθηκε στην Α' Φάση.

Το πρωτεύον δίκτυο όμως, τροφοδοτεί και απευθείας τα κτίρια μέσω θερμικών υποσταθμών καταναλωτών, στους οποίους υπάρχουν πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας νερού- νερού. Η θερμότητα μεταδίδεται μέσω αυτών των εναλλακτών στα κτίρια των καταναλωτών και εξαιτίας της ύπαρξης εναλλάκτη μεταξύ καταναλωτή (κτίριο) και τηλεθέρμανσης, το παραπάνω σύστημα σύνδεσης ονομάζεται **έμμεσο** (Εικόνα 4.5). Σε αυτό το σύστημα σύνδεσης υπάρχει υδραυλικός διαχωρισμός μεταξύ του



Εικόνα 4.5: Πρωτεύον Δίκτυο Διανομής

-Έμμεσο σύστημα [24].

πρωτεύοντος δικτύου διανομής τηλεθέρμανσης και της εσωτερικής εγκατάστασης καταναλωτή, κάτι που δεν συμβαίνει στο άμεσο σύστημα. Επιπλέον, το έμμεσο σύστημα σύνδεσης κατασκευάστηκε μετά την Α' Φάση της τηλεθέρμανσης.

Το υπέρθερμο νερό του πρωτεύοντος δικτύου διανομής, μετά την μετάδοση της θερμικής του ενέργειας στους δέκα υποσταθμούς υποπεριοχών (άμεσο σύστημα), στους υποσταθμούς καταναλωτών (έμμεσο σύστημα) και την μείωση της θερμοκρασίας του στους 65°C, επιστρέφει στο κεντρικό αντλιοστάσιο και στον ΑΗΣ Καρδιάς για επαναθέρμανση [24].

4.1.2.δ Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας

Το 2006 ξεκίνησε τη λειτουργία του το πρώτο μεγάλης κλίμακας σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας για τηλεθερμάνσεις στην Ελλάδα. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει δεξαμενές υπό πίεση, κατάλληλης χωρητικότητας, στις οποίες αποθηκεύεται θερμική ενέργεια με μορφή θερμού νερού, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί όταν κριθεί αναγκαίο.

Το σύστημα περιλαμβάνει τρεις κατακόρυφες, κυλινδρικές, δεξαμενές αποθήκευσης, συνολικής χωρητικότητας 1.800 m³, ονομαστικής πίεσης PN 6,5 bar, ύψους 15,7 m και διαμέτρου 7,66 m. Είναι κατασκευασμένες από χαλυβδοελάσματα, στηρίζονται

σε σκυρόδεμα και έχουν θερμομόνωση από πετροβάμβακα. Οι δεξαμενές αυτές βρίσκονται στον προαύλιο χώρο του κεντρικού αντλιοστασίου της Δ.Ε.ΤΗ.Π. (Εικόνα 4.6) [24].



Εικόνα 4.6: Δεξαμενές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας - Κεντρικό αντλιοστάσιο Δ.Ε.ΤΗ.Π [24].

4.1.2.ε Δίκτυο προμονωμένων αγωγών τηλεθέρμανσης

Το δίκτυο της τηλεθέρμανσης στην πόλη της Πτολεμαΐδας (αγωγοί μεταφοράς, διανομής, καταναλωτών) έχει κατασκευαστεί με προμονωμένους χαλύβδινους αγωγούς, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι υπόγεια στο έδαφος.

Το περίβλημα των αγωγών είναι κατασκευασμένο από σκληρό πολυαιθυλένιο (HDPE) και η θερμική μόνωση, η οποία είναι τοποθετημένη ανάμεσα στον εσωτερικό χαλύβδινο αγωγό και στο περίβλημα αποτελείται από στερεό αφρό πολυουρεθάνης (PURE). Για να συνδεθούν οι προμονωμένοι αγωγοί, χρησιμοποιούνται ειδικοί μονωτικοί σύνδεσμοι (μούφες), ενώ για τις αλλαγές κατεύθυνσης και διατομών, ειδικά προμονωμένα ή επί τόπου μονωμένα εξαρτήματα καμπυλών, διακλαδώσεων και συστολών.

Το υπόγειο δίκτυο τηλεθέρμανσης διαθέτει τα παρακάτω συστήματα:

- ❖ **Σύστημα Ανίχνευσης Διαρροών (ΣΑΔ):** Σκοπός του είναι ο έγκαιρος εντοπισμός υγρασίας στην μόνωση των σωλήνων, που μπορεί να οφείλεται είτε σε αστοχία του χαλυβδοσωλήνα είτε σε εισροή υγρασίας από το έδαφος. Σύμφωνα με το σύστημα ανίχνευσης διαρροών, κάθε σωλήνας περιέχει στη μόνωσή του δύο χάλκινα καλώδια, εκ των οποίων το ένα εντοπίζει το πρόβλημα και το άλλο χρησιμεύει για τη μεταφορά ή επιστροφή σημάτων. Η λειτουργία του συστήματος πραγματοποιείται με εκπομπή παλμών υψηλής ταχύτητας από τη συσκευή εντοπισμού προς τα κανάλια ελέγχου. Όταν δεν υπάρχει σε κανένα σημείο του σωλήνα που ελέγχεται, υγρασία ή άλλο πρόβλημα, τότε οι παλμοί μεταφέρονται και επιστρέφουν σταθερά. Αντιθέτως, εάν εντοπιστεί

οποιοδήποτε πρόβλημα στο σύστημα (π.χ. υγρασία), τότε ο παλμός ανακλάται στο σημείο αυτό και η συσκευή ελέγχου εμφανίζει το είδος του προβλήματος και την ακριβή του θέση (Εικόνα 4.7).

- ❖ **Απομόνωση, εκκένωση, εξαερισμός ανακυκλοφορία δικτύου:** Για την απομόνωση, την εκκένωση, τον εξαερισμό και την ανακυκλοφορία του νερού της τηλεθέρμανσης έχουν τοποθετηθεί σε κατάλληλα σημεία του δικτύου, αντίστοιχες χαλύβδινες δικλείδες, οι οποίες είναι κατάλληλες για λειτουργία με το νερό της τηλεθέρμανσης.
- ❖ **Παραλαβή θερμικών συστολοδιαστολών:** Για την αντιμετώπιση των θερμικών συστολοδιαστολών του δικτύου εφαρμόζονται δύο μέθοδοι - τεχνικές :
 - i. Τα ευθύγραμμα τμήματα (με εξαίρεση το δίκτυο της Α' Φάσης) του δικτύου εγκαταστάθηκαν με θερμική προένταση, σκοπός της οποίας είναι να επιτρέπει την ύπαρξη εντατικών συνθηκών στους υπόγειους σωλήνες, προκειμένου οι θερμικές συστολοδιαστολές που οφείλονται στις καταπονήσεις να είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Η θερμική προένταση πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών εξαρτημάτων των αντισταθμιστών εκκίνησης (startup compensators).
 - ii. Τα ευθύγραμμα τμήματα του δικτύου της Α' Φάσης, καθώς επίσης και οι περιοχές των κόμβων και των ακραίων τμημάτων, εγκαταστάθηκαν με σωλήνες σε μορφή «L», «U» και «Z». Οι συγκεκριμένες διαμορφώσεις προλαμβάνουν τις συστολοδιαστολές και περιορίζουν τις καταπονήσεις των σωλήνων εντός των ορίων [24].

4.1.2.στ Αυτοματοποιημένη λειτουργία τηλεθέρμανσης

Η τηλεθέρμανσης έχει αυτοματοποιημένη λειτουργία και ελέγχεται από τον θάλαμο ελέγχου (control room) του κεντρικού αντλιοστασίου. Κύριες παράμετροι λειτουργίας του συστήματος τηλεθέρμανσης είναι:

- Η παροχή όγκου του νερού.
- Η διαφορική πίεση σε υδραυλικά απομακρυσμένους κόμβους του δικτύου.
- Οι θερμοκρασίες του νερού στο πρωτεύον και δευτερεύον δίκτυο της τ/θ.
- Η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα.
- Η σχετική πίεση του νερού.
- Η διαθεσιμότητα των μονάδων της ΔΕΗ και του λέβητα της Δ.Ε.ΤΗ.Π.

Όσον αφορά το αυτοματοποιημένο σύστημα, περιλαμβάνει:

- Προγραμματιζόμενους ελεγκτές - PLC και λογισμικό προγραμματισμού PLC.
- Λογισμικό SCADA.
- Υπολογιστές και εκτυπωτές.
- Μονάδες αδιάλειπτης τάσης UPS.
- Ρυθμιστές στροφών (inverters) των αντλιών μεταφοράς και διανομής.
- Μεταδότες πίεσης και θερμοκρασίας.
- Εξοπλισμό ασύρματης επικοινωνίας [24].

4.1.3 Οφέλη από τη λειτουργία της Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας

Η τηλεθέρμανση προσφέρει στην πόλη της Πτολεμαΐδας περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Αρχικά, οι καταναλωτές της τηλεθέρμανσης ανέρχονται στα 3.851 συνδεδεμένα κτίρια (άμεσο και έμμεσο σύστημα) και 14.943 συνδεδεμένα διαμερίσματα. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της λειτουργίας της τηλεθέρμανσης, όπως αναφέρονται σε ενημερωτικό έντυπο της Δ.Ε.ΤΗ.Π του Μαΐου 2015, είναι τα παρακάτω:

- **Εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμου**, λόγω συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.
- **Μείωση της αστικής ρύπανσης**, λόγω υποκατάστασης του πετρελαίου για την ατομική θέρμανση των κτιρίων (Πίνακας 4.1).
- **Μείωση συνολικών εκπομπών CO₂**, λόγω συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Πίνακας 4.2).
- **Φθηνή θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης**: η μείωση κόστους στα νοικοκυριά κυμαίνεται από 30-75%, αναλόγως των τιμών πετρελαίου, λόγω του κοινωφελούς χαρακτήρα της Δ.Ε.ΤΗ.Π.
- **Ανεξαρτησία από εισαγόμενα καύσιμα** (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) λόγω της χρήσης εγχώριου λιγνίτη στην συμπαραγωγή. Περισσότεροι από **16.000 τόνοι πετρελαίου ετησίως δεν καταναλώνονται** στην Πτολεμαΐδα λόγω της Τηλεθέρμανσης.
- **Εξοικονόμηση συναλλάγματος και τοπική αναδιανομή εισοδήματος**, λόγω υποκατάστασης πετρελαίου, ύψους 12.000.000 € ετησίως.
- **Αναβάθμιση της ποιότητας ζωής** των κατοίκων.

- **Ασφάλεια, υψηλές προδιαγραφές εγκαταστάσεων, κεντρικός έλεγχος και μείωση του συνολικού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης των εγκαταστάσεων θέρμανσης.**
- **Νέες θέσεις εργασίας και εξειδίκευση του ανθρώπινου δυναμικού** στη μελέτη, εγκατάσταση, λειτουργία και διοίκηση των καινοτόμων ενεργειακών συστημάτων.
- **Υποστήριξη της καινοτόμου, αειφόρου Περιφερειακής και τοπικής ανάπτυξης.**
- **Εφαρμογή νέων τεχνολογιών**, με φιλικά προς το περιβάλλον ενεργειακά συστήματα, εξοικονόμηση ενέργειας, ανανεώσιμη ενέργεια.
- **Ανάπτυξη της κοινωνικής ευαισθησίας και πρωτοβουλιών** σε θέματα περιβάλλοντος, ενέργειας, επιχειρηματικότητας, νέων, φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών [23].

Πίνακας 4.1: Εκπομπές κατανάλωσης πετρελαίου αντί τ/θ [23].

	CO ₂	SO ₂	CO	NO _x	HC	Dust
Ειδικός συντελεστής εκπομπών [g/kg καυσίμου]	3.142	0,7	0,572	2,384	0,191	0,286
Έτος 2011	52.090	11,61	9,48	39,52	3,17	4,74
Έτος 2012	49.676	11,07	9,04	37,69	3,02	4,52
Έτος 2013	51.739	11,53	9,42	39,26	3,15	4,71

Πίνακας 4.2: Συνολική μείωση εκπομπών CO₂ λόγω της τ/θ [23].

	2012-2013	2013-2014
Συνολικές εκπομπές CO ₂ για αναπλήρωση του ηλεκτρισμού- Περίπτωση λιγνίτη %	-7,39%	-5,03%
Συνολικές εκπομπές CO ₂ για αναπλήρωση του ηλεκτρισμού- Περίπτωση εθνικού ενεργειακού μίγματος %	-20,54%	-17,89%
Συνολικές εκπομπές CO ₂ για αναπλήρωση του ηλεκτρισμού- Περίπτωση φυσικού αερίου %	-50,82%	-47,50%

4.2 Η τηλεθέρμανση στην Κοζάνη

Η Κοζάνη είναι η πρωτεύουσα του νομού Κοζάνης και ο πληθυσμός της σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ανέρχεται στους 41.066 κατοίκους [25]. Πρόκειται για μια μεγάλη εμπορική και βιοτεχνική πόλη και περιβάλλεται από τα μεγαλύτερα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας, τα οποία είναι τόσο λιγνιτικά όσο και υδροηλεκτρικά.

Η συνεχής θέρμανση της Κοζάνης πολλούς μήνες το χρόνο, είναι απόρροια του πολύ ψυχρού της κλίματος. Πριν την ίδρυση της τηλεθέρμανσης, η θέρμανση πραγματοποιούνταν με καύση πετρελαίου ή με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, και οι δυο επιλογές ήταν ιδιαίτερα δαπανηρές.

Η κάλυψη, λοιπόν, της θέρμανσης της πόλης, αποφασίστηκε να γίνει με πολύ φθηνότερη ενέργεια, η οποία προκύπτει με τη μέθοδο της συμπαραγωγής, από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, ο οποίος βρίσκεται 18 χλμ. έξω από την πόλη της Κοζάνης [4].

4.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Το δίκτυο τηλεθέρμανσης της Κοζάνης κατασκευάστηκε και λειτουργεί από την Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Κοζάνης (ΔΕΥΑΚ). Το δίκτυο, εκτός από την πόλη της Κοζάνης, εξυπηρετεί τους οικισμούς της Νέας Χαραυγής και τη Ζώνη Ενεργού Πτολεμαΐδας.

Πιο συγκεκριμένα, από το 1992 μέχρι σήμερα έχουν επενδυθεί περίπου 110 εκατομμύρια ευρώ στην τηλεθέρμανση Κοζάνης, η οποία λειτουργεί με απόλυτη επιτυχία από το 1993 θερμαίνοντας περίπου 25.000 διαμερίσματα, σε ένα σύνολο περίπου 4.900 κτιρίων [26].

Η χρηματοδότηση των επενδύσεων προήλθε από ευρωπαϊκά προγράμματα, το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων (ΠΔΕ) και ίδιους πόρους της ΔΕΥΑΚ και απέφερε:

- Τις εγκαταστάσεις ατμοληψίας από τις μονάδες III, IV και V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου της ΔΕΗ, ισχύος 137 MWth που παράγουν το 70% του θερμικού φορτίου αιχμής με συμμετοχή 95% στην ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- Το λεβητοστάσιο αιχμής με 3 λέβητες των 10MW και δυο λέβητες των 27,5 MW. Οι λέβητες έχουν συνολική ισχύ 85 MWth και παράγουν το 40% του θερμικού φορτίου αιχμής με συμμετοχή 5% στην ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας.

- Τον εναποθηκευτή θερμικής ενέργειας χωρητικότητας 1.650 m^3 και ικανότητας 80 MWth.
- Τα αντλιοστάσια μεταφοράς και διανομής.
- Το δίκτυο τροφοδότησης και διανομής, συνολικού μήκους σωλήνων πάνω από 450 χιλιόμετρα [22].

Πιο συγκεκριμένα, τον Οκτώβριο του 1991, ανατέθηκε στην Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Κοζάνης (Δ.Ε.Υ.Α.Κ) η υλοποίηση του έργου της Τηλεθέρμανσης στα πλαίσια του Κοινοτικού προγράμματος Valoren.

Τον Μάρτιο του 1992 δημοπρατήθηκε το έργο «Τηλεθέρμανση Κοζάνης φάση Α΄» που περιλάμβανε:

- 1) Το δίκτυο διανομής και τους θερμικούς υποσταθμούς στο ευρύτερο κέντρο της πόλης (Ζώνη Α΄)
- 2) Το λεβητοστάσιο αιχμής
- 3) Τα αντλιοστάσια διανομής και μεταφοράς Α1 και Α2.

Τον επόμενο χρόνο, δημοπρατήθηκε το έργο «Τηλεθέρμανση Κοζάνης φάση Β΄» που περιλάμβανε:

- 1) Τον αγωγό μεταφοράς από τον ΑΗΣ/ΔΕΗ Αγ. Δημητρίου
- 2) Το αντλιοστάσιο μεταφοράς Α3

Στην συνέχεια, τον Δεκέμβριο του 1995 υπογράφηκε η σύμβαση του έργου «Τηλεθέρμανση Κοζάνης Δίκτυο Διανομής ζωνών Β΄ και Γ΄» που περιλάμβανε την επέκταση του Δικτύου Διανομής σε όλες τις περιοχές της πόλης, με σκοπό την κάλυψη του 95% των κτιρίων μέχρι τον Φεβρουάριο του 1998. Το φθινόπωρο του 1996 ολοκληρώθηκε η κατασκευή που αύξησε την παρεχόμενη θερμική ισχύ από τις μονάδες ΙΙΙ και ΙV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου (αύξηση από 40 MWth σε 67 MWth) και την επόμενη χρονιά, συμφωνήθηκε η παροχή 70 MWth από την μονάδα V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου. Τον Ιανουάριο του 1999, η συνολική ικανότητα μεταφοράς του συστήματος ανερχόταν στις 140 MWth. Τέλος, τον Οκτώβριο του 2006 αποφασίστηκε η κατασκευή δισωλήνιου συστήματος διανομής και παροχής θερμικής ενέργειας, το οποίο αποτελεί επέκταση του υφιστάμενου δικτύου διανομής τηλεθέρμανσης της πόλης και τροφοδοτείται από το ήδη κατασκευασμένο δίκτυο διανομής [4].




4.2.2 Τεχνική Περιγραφή

Η θερμική ενέργεια, η οποία παράγεται με συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις μονάδες της ΔΕΗ του Αγίου Δημητρίου, μεταφέρεται και διανέμεται ως υπέρθερμο νερό

(120°C) με σκοπό την θέρμανση των κατοικιών στην πόλη της Κοζάνης. Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή των επιμέρους στοιχείων του συστήματος τηλεθέρμανσης.

4.2.2.α Συστήματα παραγωγής θερμικής ενέργειας

Το σύστημα παραγωγής θερμικής ενέργειας περιλαμβάνει τα εξής:

-  **Μονάδα παραγωγής βάσεως:** Η μονάδα ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι προκατασκευασμένη, έτσι ώστε να επιτρέπεται η συμπαραγωγή θερμικής ενέργειας μέχρι 60 Gcal/h, χωρίς να υπάρχει κάποια επίπτωση στην ισχύ της στροβιλογεννήτριας.
-  **Εφεδρική μονάδα παραγωγής φορτίου βάσεως:** Πρόκειται για άλλη μονάδα του ίδιου ΑΗΣ, με ενδεχόμενες κατασκευές ατμοστροβίλου, οι οποίες επιτρέπουν μία συμπαραγωγή του ίδιου ποσού θερμικής ενέργειας.
-  **Λεβητοστάσιο αιχμής:** Είναι απαραίτητο για την κάλυψη των θερμικών φορτίων αιχμής που υπερβαίνουν την τιμή των 60 Gcal/h. Στο λεβητοστάσιο αιχμής είναι εγκατεστημένοι 3 λέβητες υπέρθερμου νερού ονομαστικής θερμικής ισχύος 10 MW και 2 λέβητες ονομαστική ισχύος 27,5 MW [27].

4.2.2.β Μεταφορά θερμότητας-Σύστημα διανομής

Υπέρθερμο νερό μεταφέρεται με μέγιστη θερμοκρασία 120°C, μέσω ενός προμονωμένου χαλύβδινου αγωγού, ο οποίος είναι εγκατεστημένος απευθείας μέσα στο έδαφος. Όσον αφορά το σύστημα διανομής, πρόκειται για ένα ακτινωτό σύστημα δενδροειδούς σχήματος, το οποίο δεν διαθέτει βρόγχους αλλά δημιουργεί δισωλήνιο υπόγειο δίκτυο. Το σύστημα σύνδεσης με τους καταναλωτές είναι έμμεσο καθώς παρεμβάλλονται εναλλάκτες ανάμεσα στο δίκτυο και τους καταναλωτές. Τέλος, το δίκτυο είναι κατασκευασμένο υπόγεια από προμονωμένους σωλήνες, οι οποίοι έχουν μόνωση από πολυουρεθάνη και εξωτερική επικάλυψη από πολυαιθυλένιο [4].

4.2.2.γ Αντλιοστάσια

Στο κλειστό δίκτυο της τηλεθέρμανσης Κοζάνης, για την κυκλοφορία του νερού έχουν επιλεγεί τρία αντλιοστάσια. Το αντλιοστάσιο μεταφοράς (αποστολής Α3) υπέρθερμου νερού (120°C), το οποίο είναι εγκατεστημένο στο προαύλιο του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, το αντλιοστάσιο διανομής (Α1) θερμικής ενέργειας και το αντλιοστάσιο μεταφοράς (Α2) επιστροφής του νερού (65°C) στον ΑΗΣ για επαναθέρμανση, τα οποία είναι εγκατεστημένα στην νοτιοανατολική είσοδο της πόλης.

Οι αντλίες του αντλιοστασίου Α3, το οποίο καλύπτει τις απώλειες στον αγωγό προσαγωγής, έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

α) Ονομαστική παροχή υπέρθερμου νερού: $386 \text{ m}^3/\text{h}$

β) Μανομετρικό ύψος σε ονομαστική παροχή: 132 Μ.Σ.Υ (Μέτρα Στήλης Υδραργύρου)

Στο αντλιοστάσιο Α3 έχει εγκατασταθεί επίσης και ο παρακάτω εξοπλισμός:

α) Τρεις αντλίες για την διατήρηση της πίεσης του δικτύου της τηλεθέρμανσης,

β) Δύο αντλίες για την ρύθμιση της στάθμης του νερού της δεξαμενής απαέρωσής του,

γ) Μία δεξαμενή απαέρωσης 40 κυβικών μέτρων και δύο δεξαμενές 80 κυβικών μέτρων συμπληρωματικού νερού και

δ) Εγκατάσταση χημικών, προσθέτων για την βελτίωση της ποιότητας του νερού.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αντλιών του αντλιοστασίου Α1, το οποίο καλύπτει τις απώλειες στο δίκτυο διανομής, είναι τα εξής:

α) Ονομαστική παροχή υπέρθερμου νερού : $396 \text{ m}^3/\text{h}$

β) Μανομετρικό ύψος: 120 Μ.Σ.Υ(Μέτρα Στήλης Υδραργύρου)

Τέλος, οι αντλίες του αντλιοστασίου μεταφοράς-επιστροφής Α2, το οποίο καλύπτει τις απώλειες στον αγωγό επιστροφής έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

α) Ονομαστική Παροχή υπέρθερμου νερού: $386 \text{ m}^3/\text{h}$

β) Μανομετρικό ύψος: 132 Μ.Σ.Υ. (Μέτρα Στήλης Υδραργύρου) [27].

Παρακάτω, ακολουθεί εικόνα από κάποιο αντλιοστάσιο της τηλεθέρμανσης Κοζάνης (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.7: Αντλιοστάσιο [26].

4.2.2.δ Λεβητοστάσιο αιχμής

Το λεβητοστάσιο αιχμής, σκοπός του οποίου είναι να καλύπτει την επιπλέον θερμική ζήτηση στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, αποτελείται από τρεις λέβητες παραγωγής υπέρθερμου νερού, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι παράλληλα. Οι λέβητες αυτοί έχουν ονομαστική ισχύ 10 MW, όμως υπάρχουν και άλλοι δύο λέβητες με ονομαστική ισχύ 27,5 MW. Η εγκατάσταση των τριών όμοιων λεβήτων έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική ισχύς λέβητα: 10 MW
- Ονομαστική θερμοκρασία υπέρθερμου νερού εισαγωγής: 90-120°C
- Επιτρεπόμενες θερμοκρασίες επιστροφής: 65°C
- Ονομαστική πίεση: 25 bar
- Καύσιμο: Πετρέλαιο Diesel
- Ελάχιστος βαθμός απόδοσης: 88%

Οι λέβητες είναι φλογοαύλωτοι και διαθέτουν δυο καυστήρες πετρελαίου και υγραερίου συνολικής ισχύος 85 MW [27].

4.2.2.ε Δίκτυο διανομής

Το δίκτυο διανομής μεταφέρει στους καταναλωτές το υπέρθερμο νερό, το οποίο προέρχεται από το αντλιοστάσιο Α1, και στη συνέχεια το συλλέγει από την έξοδο του κάθε καταναλωτή με σκοπό να οδηγηθεί στην είσοδο του αντλιοστασίου μεταφοράς Α2, απ' όπου θα επιστραφεί για επαναθέρμανση στον ΑΗΣ. Ο κάθε κλάδος του δικτύου διανομής αποτελείται από δύο παράλληλους προμονωμένους χαλύβδινους αγωγούς. Η ονομαστική πίεση του δικτύου είναι 25 bar και αποτελείται από έναν αγωγό προσαγωγής και δύο αγωγούς επιστροφής. Το δίκτυο διανομής, επίσης, περιλαμβάνει αυτόματες διατάξεις ανακυκλοφορίας [27].

4.2.2.στ Συστήματα αυτοματισμού

Σε ειδικό χώρο του κοινού αντλιοστασίου Α1 και Α2, είναι εγκατεστημένο το σύστημα αυτοματισμού, ενώ το αντίστοιχο σύστημα του αντλιοστασίου Α3, βρίσκεται στον ελεύθερο χώρο μεταξύ του θαλάμου ελέγχου και του χώρου των πινάκων χαμηλής τάσης. Τα δύο συστήματα αυτοματισμού συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια και αποτελούνται από προγραμματιζόμενες μονάδες αυτοματισμού (PLC). Κάθε μονάδα PLC αποτελείται από ηλεκτροδοτούμενο τροφοδοτικό με τάση 220V, μονάδα CPU, μονάδα εισόδων-εξόδων, μνήμη EPROM, οθόνη LC και πληκτρολόγιο [27].

4.2.3 Οφέλη από τη λειτουργία της τηλεθέρμανσης Κοζάνης

Η λειτουργία της τηλεθέρμανσης ωφελεί τόσο την Κοζάνη και τους κατοίκους της, όσο και την εθνική μας οικονομία, διότι όπως αναφέρει και η Δ.Ε.Υ.Α.Κ.:

- ❖ Αναβαθμίστηκε η ποιότητα ζωής των κατοίκων, οι οποίοι απολαμβάνουν ένα καθαρότερο περιβάλλον, απαλλαγμένο από τις καμινάδες των κεντρικών θερμάνσεων που λειτουργούσαν με μαζούτ και πετρέλαιο και επιβάρυναν την ήδη επιβαρυσμένη, από τις δραστηριότητες της ΔΕΗ, ατμόσφαιρα.
- ❖ Οι κάτοικοι της Κοζάνης δαπανούν για τη θέρμανση τους 65 εκατομμύρια ευρώ λιγότερα, αυξάνοντας ανάλογα το διαθέσιμο εισόδημα τους. Στο μέλλον και κάθε χρόνο το ποσό αυτό θα είναι 10 εκατ. ευρώ, περίπου.
- ❖ Εξοικονομήθηκε συνάλλαγμα λόγω μη κατανάλωσης 380.000 τόνων πετρελαίου θέρμανσης. Κάθε χρόνο θα εξοικονομούνται 32.000 τόνοι πετρελαίου θέρμανσης.
- ❖ Δημιουργήθηκαν νέες θέσεις εργασίας και δόθηκε νέα ώθηση στην εμπορική και βιοτεχνική δραστηριότητα της πόλης.
- ❖ Από το 1994 απασχολούνται σαράντα εργαζόμενοι για τη λειτουργία του συστήματος και υπολογίζεται ότι στην κατασκευή του έργου, από το 1993 μέχρι σήμερα, απασχολούνται πάνω από 100 άτομα, ανά έτος.
- ❖ Υπάρχει η δυνατότητα της περαιτέρω ανάπτυξης της περιοχής με πολλαπλές δραστηριότητες, στον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα, όπως είναι τα θερμοκήπια, τα ξηραντήρια κ.α. [26].

4.3 Η τηλεθέρμανση στο Αμύνταιο

Η τηλεθέρμανση της ευρύτερης περιοχής Αμυνταίου (Εικόνα 4.9), αποτελεί έργο που κατασκευάστηκε (Α' φάση) την περίοδο 2000-2004. Η λειτουργία του ξεκίνησε το 2005 και επεκτάθηκε την περίοδο 2008-2009 (Β' φάση) & 2014-2015 (Γ' φάση), τροφοδοτώντας με θερμική ενέργεια τα κτίρια των οικισμών Αμυνταίου, Λεβαίας και Φιλώτα. Το συνολικό έργο «Τηλεθέρμανση Ευρύτερης Περιοχής Αμυνταίου» αποτελείται από τα παρακάτω υποέργα:

- ❖ Μετασκευές στον ΑΗΣ Αμύνταιου-Φιλώτα (25 MW)
- ❖ Αγωγοί Μεταφοράς
- ❖ Δίκτυα Διανομής

- ❖ Κύριο Αντλιοστάσιο
- ❖ Προμήθεια Θερμικών Υποσταθμών
- ❖ Τοποθέτηση Θερμικών Υποσταθμών
- ❖ Επεκτάσεις του Δικτύου Διανομής
- ❖ Αντλιοστάσιο/Σταθμός Υδραυλικού Διαχωρισμού Φιλώτα
- ❖ Θερμοδοχεία αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (1200 m³)

Η θερμική ενέργεια του συστήματος λαμβάνεται από τον ΑΗΣ Αμυνταίου μέσω διβάθμιας απομάστευσης ατμού των στροβίλων. Το σύστημα τηλεθέρμανσης είναι συνδεδεμένο και με τις δύο μονάδες του ΑΗΣ, σε 100% εφεδρεία, ενώ σήμερα, έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί η μία απομάστευση από κάθε στρόβιλο, με ονομαστική θερμική ισχύ 25 MWth. Όταν συνδεθεί και η επόμενη απομάστευση από κάθε στρόβιλο, η ονομαστική ισχύς του συστήματος της τηλεθέρμανσης μπορεί να ανέλθει στις 40 MWth. Η πρώτη φάση κατασκευής του έργου προέβλεπε, για την εξοικονόμηση πόρων, τη λειτουργία της τηλεθέρμανσης σε θερμικά φορτία μέχρι 25MWth, προκειμένου να υπάρξει η σταδιακή εγκατάσταση 1.350 περίπου παροχών καταναλωτών. Σύμφωνα με τη μελέτη εφαρμογής του έργου, η ισχύς αιχμής της εγκατάστασης θα ανέλθει στα 34 MWth, όταν συνδεθούν στο σύστημα το 100% των κτιρίων των τριών οικισμών, που αντιστοιχεί σε 1.900 περίπου συνδέσεις [28].



Εικόνα 4.8: Τηλεθέρμανση Αμυνταίου [28].

4.3.1 Τεχνική Περιγραφή

Το δίκτυο μεταφοράς (Εικόνα 4.10) αποτελείται από υπόγειους δίδυμους προμονωμένους αγωγούς μήκους 9.900m ο καθένας, οι οποίοι ξεκινούν από το κεντρικό αντλιοστάσιο και καταλήγουν στους οικισμούς Αμυνταίου, Φιλώτα και Λεβαΐας.



Εικόνα 4.9: Δίκτυο μεταφοράς [28].

Όσον αφορά το δίκτυο διανομής, αποτελείται και αυτό από δίδυμους προμονωμένους αγωγούς, οι οποίοι είναι χαλύβδινοι και έχουν μόνωση πολυουρεθάνης. Το μήκος του δικτύου στην Α' Φάση ήταν 33.420m, στη Β' Φάση 16.000m και στη Γ' Φάση 27.500m.

Το κεντρικό αντλιοστάσιο, το οποίο βρίσκεται πλησίον του ΑΗΣ Αμυνταίου, διαθέτει θερμικό φορτίο 34MWth. Τα βοηθητικά του συστήματα διακρίνονται σε:

1. Σύστημα κατεργασίας του νερού τροφοδοσίας
2. Κατεργασία του νερού κυκλοφορίας
3. Διατήρηση πίεσης – συμπλήρωση νερού

Ωστόσο, για την καλύτερη κατανομή πιέσεων στα δίκτυα διανομής των τριών οικισμών (Φιλώτα, Λεβαΐα και Αμύνταιο), έχει προβλεφθεί η κατασκευή αντλιοστασίου στην είσοδο του οικισμού του Φιλώτα, για τη μείωση των πιέσεων στον οικισμό διαμέσου υδραυλικού διαχωρισμού με εναλλάκτη θερμότητας, ισχύος περίπου 13MWth. Έτσι, τοποθετήθηκαν δύο πλακοειδείς εναλλάκτες, ισχύος 7MW ο καθένας, που φαίνονται στη παρακάτω φωτογραφία αριστερά (Εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.10: Υποσταθμός Φιλώτα [28].

Το θερμό νερό, το οποίο ξεκινά από το αντλιοστάσιο, μεταφέρεται μέσω του δικτύου στις αναμονές κάθε κτιρίου και εκεί μέσω του εγκατεστημένου θερμικού υποσταθμού και πιο συγκεκριμένα του εναλλάκτη θερμότητας, θερμαίνεται χωρίς να αναμιγνύεται το νερό που κυκλοφορεί στο δίκτυο κεντρικής θέρμανσης.

Επιπλέον, το σύστημα τηλεθέρμανσης Αμυνταίου περιλαμβάνει και 2 δεξαμενές εναποθήκευσης θερμότητας (Εικόνα 4.12) χωρητικότητας 1.200m^3 και ικανότητας τροφοδοσίας θερμικής ενέργειας 9MWth [28]. Τέλος, η λειτουργία της εγκατάστασης τηλεθέρμανσης στην ευρύτερη περιοχή του Αμυνταίου παρουσιάζει αντίστοιχα οφέλη με αυτά των εγκαταστάσεων Κοζάνης και Πτολεμαΐδας.



Εικόνα 4.11: Δεξαμενές εναποθήκευσης θερμότητας [28].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η τηλεθέρμανση χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, αρκετές δεκαετίες τώρα, ως μια τεχνολογία που σκοπό έχει την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους θέρμανσης και ψύξης, αλλά και την ενεργειακή ανεξαρτησία από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Οι χώρες, οι οποίες παραδοσιακά εφαρμόζουν την τηλεθέρμανση και έχουν επιτύχει σημαντικά ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, είναι τόσο οι σκανδιναβικές όσο και οι χώρες της κεντρικής Ευρώπης. Τα δίκτυα τηλεθέρμανσης αυτών των χωρών, αξιοποιούν συστήματα συμπαραγωγής, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βιομάζας και θερμικών ηλιακών τεχνολογιών, ήδη από το 1990. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα, να αναπτύσσονται νέες επιχειρηματικές δραστηριότητες, οι οποίες παρέχουν νέες θέσεις εργασίας, δίνοντας ζωή στις τοπικές κοινότητες. Αξιοπρόσεκτα παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων, τα οποία θα εξεταστούν παρακάτω, είναι η Αυστρία, η Δανία και η Ολλανδία [4, 22].

5.1 Η περίπτωση της Αυστρίας

Τη δεκαετία του 1990, ο δήμαρχος της αυστριακής πόλης Güssing μελετώντας το δίκτυο αποχέτευσης και βιολογικού καθαρισμού της πόλης, αποφάσισε την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την αξιοποίηση των εγχώριων ενεργειακών πηγών καθώς και των δασικών προϊόντων, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

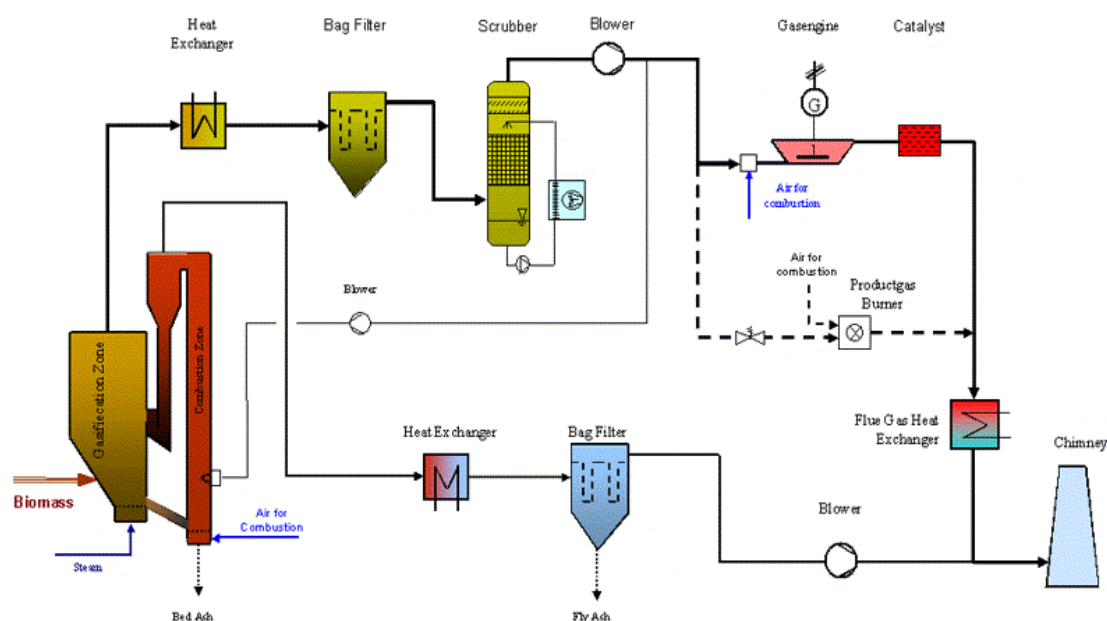
Οι ενέργειες αυτές είχαν σαν αποτέλεσμα την μείωση της εξάρτησης από εισαγωγή ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, αλλά και τη μείωση του κόστους τηλεθέρμανσης συγκριτικά με τη χρήση πετρελαίου. Επιπρόσθετα, ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα, υπήρξε η δημιουργία 1.100 νέων θέσεων εργασίας, οι οποίες προέκυψαν από την αξιοποίηση των δασικών προϊόντων και την δημιουργία λεβήτων συμπαραγωγής βιομάζας.

Η εγκατάσταση τηλεθέρμανσης της πόλης χρησιμοποιεί ως καύσιμο τα απόβλητα ξυλείας, τα οποία προέρχονται από τα εργοστάσια παρκέ, ενώ το εργοστάσιο που παράγει ενέργεια μέσω βιομάζας (Εικόνα 5.1), εφοδιάζεται με ροκανίδια από το δάσος της ευρύτερης περιοχής.

Η παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού επιτυγχάνεται μέσω 4 μονάδων θερμότητας και 3 μονάδων ΣΗΘ, οι οποίες καλύπτουν το 71% των ενεργειακών αναγκών της πόλης. Οι μονάδες ΣΗΘ λειτουργούν με την αεριοποίηση ξύλου, η οποία αποτελεί μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης. Το

παραγόμενο αέριο έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός συνθετικού φυσικού αερίου, καθώς και συνθετικών υγρών καυσίμων, όπως είναι η βενζίνη.

Στις μέρες μας, στην πόλη Güssing εφαρμόζονται πληθώρα τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά, παραγωγή βιοαερίου κ.ά., ενώ με την αξιοποίηση της βιομάζας, η οποία προέρχεται από τις δασικές περιοχές, καθώς και των προϊόντων ξυλείας, οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 14.500 τόνους ανά έτος [22].



Εικόνα 5.1: Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω βιομάζας [29].

5.2 Η περίπτωση της Δανίας

Η τηλεθέρμανση στην Δανία έχει εδραιωθεί εδώ και πολλά χρόνια ως τρόπος θέρμανσης των κτιρίων. Αρχικά, η ανάγκη θέρμανσης ενός νοσοκομείου, οδήγησε στη δημιουργία μιας εγκατάστασης αποτέφρωσης απορριμμάτων, μέσω της οποίας παρέχόταν η απαιτούμενη θερμότητα. Ωστόσο, αρκετά χρόνια αργότερα, η θερμότητα προερχόταν από ντιζελομηχανές συμπαράγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Η ενεργειακή κρίση των δυτικών χωρών το 1973, κατέστησε αναγκαία την απεξάρτηση από το πετρέλαιο και αυτό είχε ως αποτέλεσμα η κυβέρνηση της Δανίας να επινοήσει τρόπους για την διατήρηση των καυσίμων της. Ένας από αυτούς τους τρόπους, ήταν η όσο το δυνατόν μέγιστη συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, η οποία θα εξασφάλιζε τον ανεφοδιασμό θερμότητας και ηλεκτρισμού σε όλες τις περιοχές. Για να επιτευχθεί το παραπάνω σχέδιο, πολλοί σταθμοί ενέργειας μετατράπηκαν σε σταθμούς καύσης άνθρακα και εφαρμόστηκε η συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Ακόμη

ένας τρόπος που εφαρμόστηκε για μειωθεί η εξάρτηση της Δανίας από το πετρέλαιο, ήταν να χρησιμοποιηθούν ξύλα και άχυρα στις εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης, καθώς επίσης και βιοαέριο.

Στην σύγχρονη εποχή, περίπου δέκα μεγάλες πόλεις της χώρας εξασφαλίζουν την θέρμανσή τους μέσω εγκαταστάσεων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με καύση άνθρακα ή αποτέφρωση αποβλήτων. Ωστόσο, υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό των πιο αραιοκατοικημένων περιοχών, οι οποίες χρησιμοποιούν για την θέρμανσή τους φυσικό αέριο [4].

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουν καταφέρει να γίνουν σημαντική πηγή καυσίμων τηλεθέρμανσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πόλη Marstal της Δανίας, η οποία έχει καταφέρει να καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες εξ' ολοκλήρου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται είναι :

- ✚ Θερμικά ηλιακά συστήματα έκτασης 33.360m^2 (Εικόνα 5.2),
- ✚ Δεξαμενή διεποχικής αποθήκευσης χωρητικότητας 75.000m^3 ,
- ✚ Λέβητας βιομάζας ισχύος 4 MWth,
- ✚ Μονάδα ΣΗΘ τεχνολογίας ORC (Organic Rankine Cycle) με καύσιμο βιομάζα ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος 0,75 MW και 3,25 MW, αντίστοιχα
- ✚ Αντλία θερμότητας υψηλών θερμοκρασιών ισχύος 1,5 MW.



Εικόνα 5.2: Ηλιακή μονάδα τηλεθέρμανσης στην πόλη Marstal της Δανίας [30].

Το θερμικό φορτίο της πόλης καλύπτεται κατά 50% από το ηλιακό σύστημα, κατά 40% από τα συστήματα βιομάζας, κατά 4% από την αντλία θερμότητας και κατά μόλις 1% από λέβητα πετρελαίου. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως η ηλιακή μονάδα τηλεθέρμανσης της πόλης Marstal είναι η μεγαλύτερη της Ευρώπης.

Η εφαρμογή των παραπάνω τεχνολογιών, πέρα από την ενεργειακή αυτονομία που προσφέρουν, παρέχουν θερμότητα χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον, αλλά και την οικονομική κατάσταση των κατοίκων. Κάτι τέτοιο είναι απόρροια, της χαμηλής τιμής πώλησης της παρεχόμενης ενέργειας σε σχέση με το πετρέλαιο [22, 30].

5.3 Η περίπτωση της Ολλανδίας

Στην Ολλανδία, η παροχή θερμότητας από τα συστήματα τηλεθέρμανσης αντιπροσωπεύει ένα σχετικά μικρό ποσοστό της συνολικής παροχής θερμότητας. Το 2013, περίπου το 4,4% των κατοικιών συνδεόταν σε ένα από τα 400 συστήματα τηλεθέρμανσης. Ωστόσο, το συνολικό μερίδιο της τηλεθέρμανσης, σημειώνει αύξηση λόγω της αναγνώρισης της θετικής συμβολής τόσο της ίδιας, όσο και της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων [31].

Παρόλες τις θετικές επιδράσεις που μπορεί να έχει η τηλεθέρμανση, η χρήση της είναι περιορισμένη εξαιτίας των μεγάλων αποθεμάτων φυσικού αερίου που διαθέτει η χώρα. Βέβαια το 2016, ο Ολλανδός υπουργός Οικονομικών Υποθέσεων περιόρισε την παραγωγή φυσικού αερίου στο Groningen, εξαιτίας των σεισμών που σημειώνονται στην συγκεκριμένη περιοχή. Γι' αυτό το λόγο, πρότεινε τα δίκτυα φυσικού αερίου να αντικατασταθούν από δίκτυα τηλεθέρμανσης [32].

Ακόμα και η Vattenfall, η οποία είναι ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς ηλεκτρισμού και θερμότητας στην Ευρώπη, αποφάσισε να στραφεί σε ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, κάτι που θα έχει ως αποτέλεσμα οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα είτε να σταματήσουν την λειτουργία τους είτε να αντικαταστήσουν εν μέρει τον άνθρακα με βιομάζα [33].

Ένας ακόμα φιλικός τρόπος θέρμανσης των κατοικιών για το περιβάλλον, που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια, συναντάται στην πόλη Polderwijk της Ολλανδίας. Εκεί έχει κατασκευαστεί ένα περιβαλλοντικά ουδέτερο σύστημα, το οποίο αποτελείται από αναερόβια συγχώνευση και από σταθμούς συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Το σύστημα αυτό πραγματοποιήθηκε από μια εταιρεία ενέργειας, η οποία αξιοποίησε ένα αγρόκτημα γαλακτοπαραγωγής, ο ιδιοκτήτης του οποίου ξεκίνησε να κατασκευάζει το 2007 μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου (Εικόνα 5.3) . Τον ίδιο χρόνο περίπου 300 κατοικίες είχαν συνδεθεί με το σύστημα τηλεθέρμανσης, ενώ μέχρι το τέλος του 2010 οι συνδέσεις ανήλθαν στις 1.000. Πιο αναλυτικά, το έργο περιλάμβανε:

- ✚ Δύο χωνευτές και μια μικρή μονάδα ΣΗΘ 250 kW_{el} με δυνατότητα διαχείρισης 30.000 m³ κοπριάς και οργανικών υλών ανά έτος,
- ✚ Έναν αγωγό βιοαερίου μεταξύ της μονάδας και της πόλης,
- ✚ Μια μεγάλη μονάδα ΣΗΘ βιοαερίου στις παρυφές της πόλης,
- ✚ Δύο βοηθητικούς λέβητες φυσικού αερίου, για εφεδρική λειτουργία σε ώρες αιχμής του συστήματος θέρμανσης και
- ✚ Ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης.



Εικόνα 5.3: Εργοστάσιο βιοαερίου στο Poderwijk της Ολλανδίας [34].

Από το βιοαέριο που παράγεται, περίπου το 25% χρησιμοποιείται στο εργοστάσιο ΣΗΘ του αγροκτήματος, ενώ η παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται στην θέρμανση του χωνευτή, των γεωργικών εργασιών και των αγροικιών. Επιπρόσθετα, η μονάδα χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της κοπριά, καλαμπόκι, γρασίδι αλλά και απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων.

Η θετική επίδραση της λειτουργίας αυτού του συστήματος αντανακλάται στην μείωση των εκπομπών CO₂, οι οποίες είναι 80% μικρότερες σε σχέση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων [34].

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η χρήση συστημάτων συμπαραγωγής είναι δυνατό να έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις. Ωστόσο, οι αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να εξαλειφθούν ανάλογα με το επιλεγόμενο είδος του συστήματος και τον τρόπο λειτουργίας του.

Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία στις μέρες μας είναι το γεγονός ότι τα συστήματα συμπαραγωγής προσφέρουν εξοικονόμηση καυσίμων, κάτι το οποίο συντελεί στην αποφυγή εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και στον περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον. Επιπλέον, αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι πως τα συστήματα συμπαραγωγής, παρέχοντας ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε προσιτές τιμές, τονώνουν την εθνική οικονομία της χώρας μας.

Η περίπτωση της Δυτικής Μακεδονίας, στην οποία εφαρμόζεται η τηλεθέρμανση, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των θετικών συνεπειών της χρήσης της συμπαραγωγής. Η τηλεθέρμανση επιτυγχάνει φθηνότερη θέρμανση και φθινό ζεστό νερό, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει ανεξαρτησία από τα ακριβά εισαγόμενα καύσιμα, καθώς η θερμική ενέργεια της τηλεθέρμανσης είναι αποτέλεσμα της καύσης του εγχώριου λιγνίτη.

Ωστόσο, η πρόοδος της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την ανάγκη για υιοθέτηση φιλικότερων προς το περιβάλλον μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, καθιστούν το μέλλον του λιγνίτη δυσοίωνο. Συνεπώς, θα πρέπει να εξεταστούν άλλοι τρόποι κάλυψης των θερμικών αναγκών της Δυτικής Μακεδονίας, οι οποίοι δεν θα εξαρτώνται από την συμπαραγωγή με καύση λιγνίτη. Τα τελευταία χρόνια γίνονται μελέτες προκειμένου να αντικατασταθεί η συμπαραγωγή με καύση λιγνίτη από συμπαραγωγή με χρήση βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται τρόποι αντικατάστασης της θερμικής ενέργειας που παρέχει η τηλεθέρμανση Κοζάνης, με εναλλακτικούς, όπως είναι οι λέβητες βιομάζας, το φυσικό αέριο και η συμπαραγωγή με καύση βιομάζας. Η πιο συμφέρουσα επιλογή, η οποία μάλιστα έχει και τιμές πώλησης κοντά στις σημερινές, είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με βιομάζα. Κάτι αντίστοιχο μπορεί να πραγματοποιηθεί, σύμφωνα με το ΚΑΠΕ, και με την τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας, καθώς η αντικατάσταση του λέβητα εφεδρείας, ο οποίος λειτουργεί με πετρέλαιο, είναι εφικτό να μετατραπεί σε μονάδα συμπαραγωγής με καύσιμο τη βιομάζα.

Καταλήγοντας, είναι φανερό πως παρόλες τις αρνητικές επιπτώσεις που επιφέρει η καύση λιγνίτη, η αξιοποίηση της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας καταφέρνει να τις περιορίσει ως ένα βαθμό. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να γίνουν πιο εντατικές μελέτες

με κατεύθυνση την συμπαραγωγή με βιομάζα ή οποιοδήποτε άλλο τρόπο, ο οποίος δεν θα βασίζεται στην καύση λιγνίτη, καθώς μελλοντικά η χρήση του είναι αμφίβολη και επιβλαβής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Χατζής, Κ. «Το ενεργειακό πρόβλημα και η λύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας- Παράδειγμα δημιουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 100kW στο αεροδρόμιο της Ν. Αγχιάλου», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος, (2008)
- [2] Βερναρδάκης, Ι. « Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τρόποι μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ηλεκτροπαραγωγή- Εφαρμογές στη ΔΕΗ», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μ.Π.Δ., Χανιά, (2005)
- [3] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, « Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε οικιστικά σύνολα», URL: <http://www.cres.gr/kape/education/Apeoikistika.pdf> (προσπέλαση: 18/12/2016)
- [4] Γιαννοπούλου, Σ. «Ανασκόπηση Μεθόδων Τηλεθέρμανσης σε Ελλάδα και Ευρώπη», Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα ΜΗ.ΠΕΡ., Χανιά, (2008)
- [5] European Commission, «Energy, transport and environment indicators», URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3930297/6613266/KS-DK-14-001-EN-N.pdf>, (προσπέλαση: 19/12/2016)
- [6] European Commission, «Energy production and imports», URL: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports, (2016), (προσπέλαση: 19/12/2016)
- [7] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, « Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα», URL: http://www.cres.gr/kape/pdf/download/Energy_Outlook_2009_EL%20.pdf, (προσπέλαση: 20/12/2016)
- [8] Η Καθημερινή, «Ποιοι και πώς δίνουν ενέργεια στην Ελλάδα», URL: <http://www.kathimerini.gr/837097/article/epikairothta/politikh/poioi-kai-pws-dinoyn-energeia-sthn-ellada>, (2015), (προσπέλαση: 20/12/2016)
- [9] ΠΕΓΑ Πηγών Ενέργειας, Σύγχρονες Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας & Αντιρρύπανσης, «Ενέργεια και Περιβάλλον: Εισαγωγή», URL: <http://slideplayer.gr/slide/11550802/>, (προσπέλαση: 20/12/2016)
- [10] Δαούτης, Λ., Διαλυνάς, Ε., Θεοφύλακτος, Κ., Μαλαχίας, Γ., Μοίρας, Δ., Μουμτζής, Δ., Σωφρόνης, Η., Τόσιος, Α., Φραγκόπουλος, Α. Χ., Κουτσογιάννη, Ο. « Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας & ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια», ΤΕΕ, Αθήνα, (2014)
- [11] Industrial Commercial Technical Co. SA, URL: <http://www.exakm.gr/DHW/dhsubstations.html>, (προσπέλαση: 23/12/2016)

- [12] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, « Οδηγός συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας», URL: http://www.cres.gr/kape/education/CHP_gr.pdf, (προσπέλαση: 01/03/2017)
- [13] Βουρνάς, Κ., Παπαδιάς, Κ. Β., Ντελκής, Κ. « Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας- Έλεγχος και Ευστάθεια Ενέργειας», Εκδόσεις Συμμετρία, 2011, Αθήνα
- [14] Καμπύλη, Α. «Ενσωμάτωση της Κοινοτικής Οδηγίας 2004/8/ΕΚ στην Ελληνική Ενεργειακή νομοθεσία», Τελική Εργασία, Εθνική σχολή δημόσιας διοίκησης, Τμήμα Γενικής Διοίκησης, Αθήνα, 2004
- [15] Υπουργείο περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής, «Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας- Πλεονεκτήματα Μειονεκτήματα», URL: <http://www.ypeka.gr/rescampaign2008/sith-pleonekthmata.html>, (2008), (προσπέλαση: 03/03/2017)
- [16] Μουζακίτη, Ι.Π. «Μελέτη σκοπιμότητας εγκατάστασης Συστήματος Συμπαραγωγής στο νοσοκομείο ΚΑΤ», Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π, Τμήμα Η.Μ.Μ.Υ, Αθήνα, (2005)
- [17] Κεφάλαιο 7, «Συμπαραγωγή θερμότητας- ηλεκτρισμού», URL: <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE7.pdf>, (προσπέλαση: 03/03/2017)
- [18] Παντελάκης, Χ.Δ. « Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση συστήματος καταναεμμένης παραγωγής με μικροστρόβιλο και ανεμογεννήτρια», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, (2012)
- [19] Κατσαπρακάκης, Δ. «Σύνθεση ενεργειακών συστημάτων», Εκδόσεις Κάλλιπος, (2015)
- [20] Μουφλουζέλλης, Ε. «Καταναεμμένη Παραγωγή Ενέργειας: Ανάπτυξη Πλαισίου και Εφαρμογή», Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη, (2005)
- [21] Διαμαντόπουλος, Α. «Προσομοίωση λειτουργίας και παραμετρική μελέτη μονάδων μικρο-συμπαραγωγής στις Ελληνικές κλιματικές ζώνες», Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, (2012)
- [22] WWF, «Εναλλακτικές λύσεις για την τηλεθέρμανση στη Δ. Μακεδονία», URL: https://www.wwf.gr/images/pdfs/H_Ptolemaida.pdf, (2016), (προσπέλαση: 10/03/2017)
- [23] ΔΕΤΗΠ, «Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας Δήμου Εορδαίας», URL: http://www.tpt.gr/images/stories/teuxos/dhcp_brief%20profile_may%202015%20en_gr.pdf, (2015), (προσπέλαση: 10/03/2017)
- [24] ΔΕΤΗΠ, «Τεχνική περιγραφή συστήματος τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας», URL: http://www.tpt.gr/1/parousiaseis/enimerootiko_teuxos_dethp_june_2014.pdf, (2014), (προσπέλαση: 10/03/2017)

- [25] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CE%B6%CE%AC%CE%BD%CE%B7>, (προσπέλαση: 17/03/2017)
- [26] ΔΕΥΑΚ, « Τηλεθέρμανση», URL: http://www.deyakozanis.gr/?page_id=7 , (προσπέλαση: 17/03/2017)
- [27] Λαμπρόπουλος, Α. « Διερεύνηση συστήματος τηλεθέρμανσης της πόλης της Κοζάνης- Δυνατότητα εναλλακτικής λειτουργίας του συστήματος μετά το τέλος τω εξορυκτικών δραστηριοτήτων», Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ, Τμήμα Πολιτικών μηχανικών, Θεσσαλονίκη, (2015)
- [28] ΔΕΤΕΠΑ, «Τεχνικά στοιχεία», URL: <http://www.detepa.gr/tehnika-stoixeia.html>, (προσπέλαση: 20/03/2017)
- [29] Reinhard Rauch, «Fluidised bed gasification and synthetic biofuels, the Güssing plant», European conference on biorefinery research, Helsinki, 19-20 October 2006, URL: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/gp/gp_events/biorefinery/bs3_03_rauch_en.pdf, (προσπέλαση: 20/04/2017)
- [30] Euroheat and power, «Success factors in solar district heating», URL: http://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/SDHtake-off_SDH_Success_Factors.pdf, (2010), (προσπέλαση: 21/04/2017)
- [31] Euroheat and power, « District energy in the Netherlands», URL: <https://www.euroheat.org/knowledge-centre/district-energy-netherlands/>, (2015), (προσπέλαση: 23/04/2017)
- [32] Decentralized Energy, « Times are changing for district heating», URL: <http://www.decentralized-energy.com/articles/print/volume-17/issue-1/features/times-are-changing-for-district-heating.html>, (2016), (προσπέλαση: 23/04/2017)
- [33] Vattenfall, « Coal at Vattenfall», URL: <https://corporate.vattenfall.com/about-energy/non-renewable-energy-sources/coal/coal-at-vattenfall/>, (2016), (προσπέλαση: 23/04/2017)
- [34] Biogas heat, « Good practice examples for efficient use of heat from biogas plants», URL: http://www.biogasheat.org/wp-content/uploads/2012/11/2012-11-13_D.2.2_WIP_EN_Good-practise-examples.pdf, (2012), (προσπέλαση: 24/04/2017)