



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Τίτλος Εργασίας: « Μελέτη τηλεθέρμανσης Κοζάνης με
εναλλακτικά καύσιμα – Η περίπτωση της βιομάζας »**

Φοιτητής

ΚΑΘΡΕΠΤΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, ΑΕΜ:1029

Επιβλέπων

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΤΟΥΡΛΙΔΑΚΗΣ

ΚΟΖΑΝΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η εναλλακτική τροφοδότηση της τηλεθέρμανσης Κοζάνης, με τη χρήση βιομάζας με σύστημα παραγωγής ζεστού νερού και συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Ειδικότερα, αρχικά γίνεται μια επισκόπηση των τεχνολογιών τηλεθέρμανσης και παρουσιάζετε ο τρόπος λειτουργίας τους, αναφέρονται επιτυχημένα παραδείγματα από το εξωτερικό, από πόλεις όπου λειτουργεί τηλεθέρμανση και παραδείγματα τηλεθέρμανσης από τον Ελλαδικό χώρο, κυρίως από την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Στην συνέχεια, αναλύονται τα είδη και οι πηγές βιομάζας, όπως τα αγροτικά και δασικά υπολείμματα, οι ιδιότητες της βιομάζας καθώς και οι μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης. Αναφορά γίνεται και στην εφοδιαστική αλυσίδα, που αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την επιτυχή εκμετάλλευση της βιομάζας.

Στο επόμενο στάδιο, περιγράφεται η έννοια της συμπαραγωγής και αναδεικνύονται οι πιο διαδεδομένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες συμπαραγωγής. Έπειτα, παρουσιάζεται αναλυτικά και με τεχνικές λεπτομέρειες η τηλεθέρμανση Κοζάνης.

Στο επόμενο κεφάλαιο, επισημαίνονται εναλλακτικές λύσεις για την λειτουργία της τηλεθέρμανσης Κοζάνης, όπου προκρίνονται 3 σενάρια που εξετάζουν καύση βιομάζας τόσο για παραγωγή θερμότητας όσο και για συμπαραγωγή με την τεχνολογία Organic Rankine Cycle (ORC).

Τέλος γίνεται οικονομοτεχνική ανάλυση αυτών των σεναρίων, με την μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης και παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις.

Abstract

In this thesis we examined the alternative supply of district heating of Kozani, using biomass boilers for warm water production system and cogeneration technologies.

Initially, we analyzed in every detail, the concept of district heating and presented the historical evolution, the way it works the energy market as well as the best practices from Europe and Greece, such as cities from Western Macedonia.

Then, we analyzed the types and sources of biomass, such as agricultural and forest residues, the properties of the biomass and the energy recovery methods. Also, we made a reference in the supply chain of biomass, which is a critical parameter for successful exploitation of biomass.

In the next section of this thesis we described the technology of cogeneration and pointed out the most common and widely used co-generation systems. Then, we presented with technical details the district heating system of Kozani.

In the next chapter, we presented three alternative methods for the operation of district heating, including biomass boilers, cogeneration with Organic Rankine Cycle technology and combination of them.

Finally, we conducted feasibility analysis of these three scenarios using the method of Net Present Value and IRR method and we presented the final conclusions.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όσους βοήθησαν τόσο στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλους τον καθηγητή κ. Τουρλιδάκη Αντώνιο για την ανάθεση και την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και για την άψογη συνεργασία και καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθώς και όλους τους διδάσκοντες του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για τις γνώσεις που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, επειδή με την εργασία αυτή ολοκληρώνονται και οι σπουδές μου ως προπτυχιακός φοιτητής, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	2
Ευχαριστίες	3
Πίνακας διαγραμμάτων	9
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 1: Τηλεθέρμανση.....	12
1.1 Γενικά	12
1.2 Τεχνική περιγραφή συστημάτων τηλεθέρμανσης.....	12
1.2.1 Μονάδα παραγωγής θερμότητας.....	12
1.2.2 Βοηθητικές εγκαταστάσεις συστήματος τηλεθέρμανσης	13
1.2.3 Φορέας μεταφοράς θερμικής ενέργειας.....	14
1.2.4 Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας	15
1.2.5 Κατηγορίες δικτύων τηλεθέρμανσης.....	16
1.2.6 Δίκτυο διανομής θερμικής ενέργειας.....	17
1.2.7 Όδευση δικτύων τηλεθέρμανσης	19
1.2.8 Θερμικοί υποσταθμοί κτιρίων	20
1.3 Παράγοντες διείσδυσης τηλεθέρμανσης	21
1.4 Οφέλη της τηλεθέρμανσης	23
1.5 Εφαρμογές τηλεθέρμανσης	25
1.5.1 Ιστορικά στοιχεία	25
1.5.2 Τηλεθέρμανση με ΑΠΕ	25
1.5.3 Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας	31
1.5.4 Τηλεθέρμανση Αμυνταίου	35
1.5.5 Τηλεθέρμανση Μεγαλόπολης.....	38
1.5.6 Τηλεθέρμανση Σερρών	39
Κεφάλαιο 2: Βιομάζα	41
2.1 Εισαγωγή.....	41
2.2 Είδη – Πηγές βιομάζας.....	42
2.2.1 Ενεργειακές καλλιέργειες	42
2.2.2 Αγροτικά υπολείμματα	43
2.2.3 Δασικά υπολείμματα	44
2.2.4 Ζωικά απόβλητα.....	45
2.2.5 Βιομηχανικά απόβλητα.....	46

2.2.6	Δημοτικά απόβλητα	47
2.3	Ιδιότητες βιομάζας.....	47
2.3.1	Θερμογόνος δύναμη	47
2.3.2	Η περιεχόμενη υγρασία	48
2.3.3	Περιεκτικότητα σε τέφρα.....	50
2.3.4	Πυκνότητα μάζας	50
2.3.5	Στοιχειακή ανάλυση	51
2.3.6	Περιεκτικότητα σε πτητική ύλη	51
2.4	Η εφοδιαστική αλυσίδα βιομάζας	52
2.4.1	Τυπική διάταξη.....	52
2.4.2	Ιδιαιτερότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας	54
2.5	Μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας.....	56
2.5.1	Καύση βιομάζας.....	56
2.5.2	Πυρόλυση της βιομάζας.....	58
2.5.3	Αεριοποίηση της βιομάζας	59
2.5.4	Ρευστοποίηση βιομάζας	60
2.5.5	Αερόβια χώνευση.....	60
2.5.6	Αναερόβια χώνευση.....	61
2.5.7	Αλκοολική ζύμωση	62
2.5.8	Φυσικοχημικές διεργασίες	63
Κεφάλαιο 3:	Συστήματα συμπαραγωγής	64
3.1	Η έννοια της συμπαραγωγής	64
3.2	Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής	65
3.3	Ταξινόμηση συστημάτων συμπαραγωγής.....	67
3.4	Είδη τεχνολογιών συμπαραγωγής	67
3.4.1	Συστήματα ατμοστροβίλου.....	68
3.4.2	Συστήματα αεριοστροβίλου.....	70
3.4.3	Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης	72
3.4.4	Συστήματα συνδυασμένου κύκλου	72
3.4.5	Τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής.....	73
3.4.6	Organic Rankine Cycle (ORC).....	74
3.4.7	Κυψέλες καυσίμου	75
3.4.8	Μηχανές Stirling.....	76
3.5	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΣΗΘ.....	77

Κεφάλαιο 4: Τηλεθέρμανση Κοζάνης	79
4.1 Σύντομη ανασκόπηση	79
4.2 Περιγραφή εγκαταστάσεων τηλεθέρμανσης	80
4.3 Περιοχές που εξυπηρετεί η τηλεθέρμανση Κοζάνης.....	83
4.4 Εξέλιξη συνδρομητών τηλεθέρμανσης Κοζάνης.....	83
4.5 Χαρακτηριστικά τηλεθέρμανσης Κοζάνης	84
4.6 Τιμολογιακή πολιτική τηλεθέρμανσης Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης.....	85
Κεφάλαιο 5: Εναλλακτικές λύσεις για την τηλεθέρμανση Κοζάνης	87
5.1 Ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών λύσεων για την τηλεθέρμανση Κοζάνης	87
5.2 Δυναμικό βιομάζας στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Κοζάνης.....	87
5.2.1 Χρήσεις γης	88
5.2.2 Δυναμικό βιομάζας στη Δυτική Μακεδονία	88
5.2.3 Καλλιέργειες και γεωργικά υπολείμματα.....	89
5.2.4 Δασική βιομάζα.....	93
5.3 Κόστος βιομάζας	94
5.4 Τεχνικές παράμετροι.....	96
5.4.1 Επιλογή καυσίμου	96
5.4.2 Αποθήκευση βιομάζας	97
5.4.3 Λέβητας και σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου	98
5.5 Σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με την τεχνολογία Organic Rankine Cycle	99
5.5.1 Θερμοδυναμική προσέγγιση	100
5.5.2 Ενεργειακό ισοζύγιο.....	102
5.5.3 Επιλογή εργαζόμενου μέσου	103
5.5.4 Βελτιωμένοι κύκλοι Rankine	104
5.6 Σενάρια για την τηλεθέρμανση Κοζάνης	106
Κεφάλαιο 6: Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης	108
6.1 Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων	108
6.2 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης	108
6.2.1 Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης (Net present value, NPV)	109
6.2.2 Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal rate of return (IRR))	109
6.3 Παραδοχές σεναρίων.....	110
6.4 Οικονομική ανάλυση	111
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα	120

7.1	Στόχοι που επιτεύχθηκαν.....	120
7.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	120
	Βιβλιογραφία	121

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Μονάδα παραγωγής θερμότητας	13
Εικόνα 2: Δεξαμενές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.....	15
Εικόνα 3: Εναλλακτικοί τρόποι κατασκευής ενός δικτύου διανομής.....	17
Εικόνα 4: Δίκτυο μεταφοράς θερμού μέσου του συστήματος τηλεθέρμανσης	18
Εικόνα 5: Τυπικός θερμικός υποσταθμός καταναλωτή	21
Εικόνα 6: Τηλεθέρμανση με βιομάζα στην πόλη Purmerend στην Ολλανδία.....	30
Εικόνα 7: Κεντρικό Αντλιοστάσιο – Τηλεθέρμανση Αμυνταίου	36
Εικόνα 8: Αντλιοστάσιο – Τηλεθέρμανση Μεγαλόπολης	38
Εικόνα 9: Η μονάδα συμπαραγωγής - Τηλεθέρμανση Σερρών	40
Εικόνα 10: Συγκομιδή αγριαγκινάρας.....	43
Εικόνα 11: Δασικά υπολείμματα	45
Εικόνα 12: Παράδειγμα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας που συνδυάζει την ξυλεία κορμού (κύριο προϊόν) με τα δασικά υπολείμματα όπως ρίζες και κλαδιά.....	54
Εικόνα 13: Συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	65
Εικόνα 14: Σύστημα ατμοστροβίλου [61].....	68
Εικόνα 15: Απομάστευση σε μία βαθμίδα του στροβίλου [57]	69
Εικόνα 16: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου [57]	70
Εικόνα 17: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού τύπου [57].....	71
Εικόνα 18: Τυπικό σύστημα συνδυασμένου κύκλου (Joule –Rankine) (57)	73
Εικόνα 19: Κύρια μέρη διάταξης ORC.....	74
Εικόνα 20: Λειτουργία μηχανής Stirling (57).....	77
Εικόνα 21: Εφεδρικοί λέβητες τηλεθέρμανσης Κοζάνης	81
Εικόνα 22: Θερμοδοχείο εναποθήκευσης τηλεθέρμανσης Κοζάνης	82
Εικόνα 23: Θάλαμος καύσης με κινούμενη εσχάρα.....	99
Εικόνα 24: Απλός κύκλος Rankine	103

Πίνακας διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Εξέλιξη θερμικού φορτίου (Heat Load) – Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδα.....	33
Διάγραμμα 2: Έκπτωση της τηλεθέρμανσης σε σχέση με το κόστος πετρελαίου – Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας.....	34
Διάγραμμα 3: Συνδέσεις καταναλωτών - Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδα.....	34
Διάγραμμα 4: Χαρακτηριστικά εφοδιαστικής αλυσίδας.....	54
Διάγραμμα 5: Διαχρονική εξέλιξη θερμαινόμενη επιφάνειας – συνδεδεμένων οικοδομών.....	84
Διάγραμμα 6: Σχηματική διάταξη και διάγραμμα T-s κύκλου Rankine	100
Διάγραμμα 7:Βελτιωμένος κύκλος Rankine με ανοιχτό δοχείο μίξης.....	105
Διάγραμμα 8: Βελτιωμένος κύκλος Rankine με κλειστό δοχείο ανάμιξης.....	106

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Πωλούμενη θερμική ενέργεια, αντιστοιχία πετρελαίου και εκπομπές ρύπων – Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας.....	35
Πίνακας 2: Αριθμός συνδεδεμένων παροχών – Τηλεθέρμανση Αμυνταίου.....	37
Πίνακας 3: Τυπική ΚΘΔ επιλεγμένων ειδών βιομάζας και καύσιμων υλών.....	48
Πίνακας 4: Περιεκτικότητα σε υγρασία υλικών βιομάζας (37).....	49
Πίνακας 5: Διαμόρφωση της τιμής σύνδεσης που είναι μικρότερη από τη δαπάνη εγκατάστασης συστήματος κεντρικής θέρμανσης με πετρέλαιο (Λέβητας, Καυστήρας, Δεξαμενή πετρελαίου, Καπνοδόχος).....	85
Πίνακας 6: Χρήσεις γης στη Δυτική Μακεδονία.....	88
Πίνακας 7: Χρήσεις γης Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης.....	88
Πίνακας 8: Χρήσεις γης Δήμος Κοζάνης.....	88
Πίνακας 9: Διαθέσιμη βιομάζα Π.Ε. Κοζάνης.....	89
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά βιομάζας (1) – Δυτική Μακεδονία.....	90
Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά βιομάζας (2) - Δυτική Μακεδονία.....	90
Πίνακας 12: Αροτραίες καλλιέργειες - Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης.....	91
Πίνακας 13: Δενδρώδεις καλλιέργειες - Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης.....	91
Πίνακας 14: Αγροτική βιομάζα ανά δημοτική ενότητα – Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης.....	92
Πίνακας 15: Αγροτική βιομάζα – Δήμος Κοζάνης.....	92
Πίνακας 16: Παραγωγή ξυλείας – Δυτική Μακεδονία.....	93
Πίνακας 17: Ιδιοκτησία δασών Π.Ε. Κοζάνης.....	94
Πίνακας 18: Δασοπονικά είδη – Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης.....	94
Πίνακας 19: Κόστος αγροτικής και δασικής βιομάζας.....	95
Πίνακας 20: Κόστη προμήθειας βιομάζας για την Π.Ε. Γρεβενών.....	95
Πίνακας 21: Κόστη βιομάζας για την Π.Ε. Γρεβενών ανά μονάδα ενέργειας (β.α. λέβητα -85%).....	95
Πίνακας 22: Δεδομένα καυσίμου για θρυμματισμένο ξύλο και άχυρο.....	97
Πίνακας 23: Θερμοδυναμικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά διαφόρων οργανικών ρευστών.....	104
Πίνακας 24: Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του Σεναρίου 1.....	106
Πίνακας 25: Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του Σεναρίου 2.....	107
Πίνακας 26: Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του Σεναρίου 3.....	107
Πίνακας 27: Τιμές και ποσοστά έκπτωσης για την τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας.....	110
Πίνακας 28: Ανάλυση σεναρίων για 43,50€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn.....	111
Πίνακας 29: Ανάλυση σεναρίων για 50,33€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn.....	112
Πίνακας 30: Ανάλυση σεναρίων για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn.....	112
Πίνακας 31: Καθαρή παρούσα αξία για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn.....	113
Πίνακας 32: Ανάλυση σεναρίων για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn.....	113
Πίνακας 33: Ανάλυση σεναρίων για 50,33€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.....	114
Πίνακας 34: Ανάλυση σεναρίων για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.....	115
Πίνακας 35: Ανάλυση σεναρίων για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.....	115
Πίνακας 36: Καθαρά Παρούσα Αξία για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.....	116
Πίνακας 37: Ανάλυση σεναρίων για 71,90€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.....	116
Πίνακας 38: Ανάλυση σεναρίων για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 120€/tn.....	117
Πίνακας 39: Ανάλυση σεναρίων για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 120€/tn.....	118
Πίνακας 40: Ανάλυση σεναρίων για 71,90€/MWh και κόστος βιομάζας 120€/tn.....	118

Εισαγωγή

Η τηλεθέρμανση (Τ/Θ) είναι η παροχή θερμικής ενέργειας σε κτίρια και ενίοτε σε παραγωγικές διεργασίες (για παράδειγμα στον αγροτοβιοτεχνικό τομέα) μέσω δικτύου μονωμένων αγωγών που μεταφέρουν ζεστό νερό, το οποίο σε πολλές περιπτώσεις ειδικά στον Ελλαδικό χώρο, θερμαίνεται από τη θερμότητα που παράγεται ως υποπροϊόν της παραγωγής ηλεκτρισμού. Με την χρήση της τηλεθέρμανσης 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.

Η τηλεθέρμανση στην Ελλάδα καλύπτει ένα μικρό μέρος μόνο της τελικής ζήτησης για θέρμανση χώρων και λειτουργεί σε περιοχές κυρίως όπου υπάρχουν θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, όπως στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας. Ωστόσο, η ανάγκη συμμόρφωσης με τις Ευρωπαϊκές περιβαλλοντικές οδηγίες καθιστά αναγκαίο να αναζητηθεί μια διάδοχη λύση για την μεταλιγνιτική εποχή, αλλά και για να αποφευχθούν προβλήματα που ενδεχομένως θα προκύψουν αν για παράδειγμα αλλάξει το ιδιοκτησιακό καθεστώς της Δ.Ε.Η.

Από την άλλη πλευρά, η αξιοποίηση της βιομάζας στην Ελλάδα γίνεται με τον παραδοσιακό τρόπο, κυρίως καύση ξύλων, ενώ υπάρχουν και κάποιες λίγες επιχειρήσεις παραγωγής στερεών και υγρών βιοκαυσίμων. Πρόκειται στην ουσία, για αξιοποίηση της δασικής βιομάζας ενώ ελάχιστα αξιοποιείται η υπολειμματική βιομάζα, τόσο από δένδρα, όσο και από σιτηρά. Η περιοχή της Κοζάνης και της Δυτικής Μακεδονίας ευρύτερα, παρουσιάζει σημαντικό ενεργειακά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό βιομάζας. Ωστόσο, απαιτείται πολυβάθμια οργάνωση για την επιτυχή εκμετάλλευση αυτού του δυναμικού. Τα τελευταία χρόνια, γίνονται προσπάθειες, κυρίως μέσω Ευρωπαϊκών προγραμμάτων, για να μπορέσει να προχωρήσει η ενεργειακή εκμετάλλευση βιομάζας στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Στην παρούσα διπλωματική, εξετάζεται τεχνικοοικονομικά η δυνατότητα αξιοποίησης βιομάζας που θα προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης, με στόχο την τροφοδοσία του συστήματος τηλεθέρμανσης, που έχει ήδη μια επιτυχημένη πορεία 20 και πλέον χρόνων. Η ανάλυση δεν αφορά το πλήρες θερμικό φορτίο που απαιτείται για την πόλη της Κοζάνης, ωστόσο είναι ένα πρώτο και μεγάλο βήμα για την απεξάρτηση από της μονάδες της Δ.Ε.Η..

Κεφάλαιο 1: Τηλεθέρμανση

1.1 Γενικά

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης είναι μια εγκατάσταση που σκοπό έχει να τροφοδοτήσει με θερμική ενέργεια οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές μέσω ενός δικτύου μεταφοράς και διανομής της θερμότητας αυτής, από μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας. Διαφέρει από την κλασική μέθοδο παραγωγής και κατανάλωσης θερμότητας, σύμφωνα με την οποία η εγκατάσταση παραγωγής βρίσκεται στον τόπο κατανάλωσης π.χ. οικιακοί λέβητες. Γι' αυτό και ονομάστηκε τηλεθέρμανση (ο όρος αυτός στη Γερμανική γλώσσα αποδίδεται «Fernwaerme» και στην Αγγλική γλώσσα «district heating»). Ο φορέας θερμότητας μπορεί να ατμός, θερμό νερό (θερμοκρασίας περίπου έως 110°C) ή υπέρθερμο νερό (θερμοκρασίας άνω των 110°C).

Η θερμότητα μπορεί να προορίζεται για θέρμανση χώρων και παρασκευή θερμού νερού χρήσης, οπότε η εγκατάσταση χαρακτηρίζεται ως τηλεθέρμανση πόλεων και οικισμών. Τα συστήματα τηλεθέρμανσης προσαρμόζονται σε μια ευρεία ποικιλία τύπων καυσίμου, δίνοντας την δυνατότητα στον καταναλωτή να προμηθεύεται θερμική ενέργεια σε φθηνές και ανταγωνιστικές τιμές, μειώνοντας ταυτόχρονα την εξάρτηση του από σχετικά σπάνια ή εισαγόμενα καύσιμα. Η τηλεθέρμανση είναι καταλληλότερη για πυκνοκατοικημένες περιοχές, ιδιαίτερα σε σχετικά ψυχρές κλιματικές ζώνες. Σε αυτές τις περιοχές, η θέρμανση μπορεί να διατηρήσει σταθερή και ανταγωνιστική τιμολόγηση.

Αν προορίζεται για βιομηχανική ή γεωργική χρήση, χαρακτηρίζεται αντίστοιχα βιομηχανική και αγροτοβιοτεχνική θερμότητα. Η παραπάνω διάκριση είναι σκόπιμη εξαιτίας της διαφορετικής θερμοκρασίας και του ποσού θερμότητας που απαιτείται. Έτσι τα θερμικά φορτία για θέρμανση χώρων απαιτούν θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 80°C στα δίκτυα της τηλεθέρμανσης.

Τα αγροτοβιοτεχνικά φορτία (θερμοκήπια-ξηραντήρια κλπ.) απαιτούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ τα βιομηχανικά φορτία καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών. [1]

1.2 Τεχνική περιγραφή συστημάτων τηλεθέρμανσης

1.2.1 Μονάδα παραγωγής θερμότητας

Στο σταθμό παραγωγής θερμότητας πραγματοποιείται η απαιτούμενη διαδικασία για την παραγωγή της ζητούμενης ενέργειας. Ενδέχεται να είναι ένας κεντρικός σταθμός, ή και περισσότεροι, που συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους, ανάλογα με τη ζήτηση και το σχεδιασμό του συστήματος. Η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να προέρχεται είτε από απλή παραγωγή θερμότητας, είτε από συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, που είναι και η πιο διαδεδομένη τεχνολογία στις σύγχρονες εφαρμογές τηλεθέρμανσης. Ο σταθμός μπορεί να είναι εγκατεστημένος είτε σε κοντινή είτε σε μακρινή απόσταση από την πόλη ή τον οικισμό για τον οποίο προορίζεται η τηλεθέρμανση.

Εικόνα 1: Μονάδα παραγωγής θερμότητας¹



Στην μονάδα παραγωγής είναι εγκατεστημένος όλος ο απαιτούμενος εξοπλισμός της παραγωγικής διαδικασίας. Η ποσότητα και το είδος του εξοπλισμού που περιλαμβάνει η εγκατάσταση εξαρτάται από την τεχνολογία που εφαρμόζεται και από το μέγεθος και το είδος της παραγωγής και της απαιτούμενης ζήτησης (θέρμανση, ψύξη, θερμό νερό χρήσης). Μπορούν να περιλαμβάνονται δηλαδή οι καυστήρες, οι λέβητες, οι εναλλάκτες θερμότητας, οι στρόβιλοι, οι αντλίες, οι καπνοδόχοι, οι ΜΕΚ, τα συστήματα επεξεργασίας καυσίμου ή νερού, οι χώροι καθαρισμού των απαερίων κ.α. Οι κυριότερες πηγές θερμότητας που χρησιμοποιούνται είναι η παραγωγή ατμού με καύση άνθρακα σε όλες τις δυνατές μορφές όπως λιγνίτης, λιθάνθρακας και τύρφη, φυσικού αερίου ή καυσίμων από βιομάζα (ξύλεια, γεωργικά ή δασικά υπολείμματα, βιομηχανικά απόβλητα, ενεργειακές καλλιέργειες) και η συμπαραγωγή με ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία ή πυρηνική ενέργεια. Για παράδειγμα, σε μία μονάδα παραγωγής σχεδιασμένη για να παρέχει θέρμανση και ψύξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας λέβητας παραγωγής θερμού νερού (ή ατμού) και ένας αεριοστρόβιλος ή ατμοστρόβιλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδεδεμένος με κατάλληλη ψυκτική διάταξη. [2]

1.2.2 Βοηθητικές εγκαταστάσεις συστήματος τηλεθέρμανσης

Προκειμένου μια εγκατάσταση τηλεθέρμανσης να λειτουργεί αποτελεσματικά, αποδοτικά και εύρυθμα πρέπει να υποστηρίζεται από ορισμένα βοηθητικά συστήματα, όπως:

- Συστήματα διατήρησης της πίεσης του ρευστού εντός καθορισμένων ορίων.

¹ Πηγή: <http://www.energia.gr/>

- Εγκατάσταση παραλαβής συστολοδιαστολών των σωληνώσεων λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών του μεταφερόμενου ρευστού.
- Σύστημα επεξεργασίας και φιλτραρίσματος από το μεταφερόμενο ρευστό, στερεών υλών.
- Σύστημα κατεργασίας και ρύθμισης εντός επιθυμητών τιμών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του κυκλοφορούντος ρευστού. [3]

1.2.3 Φορέας μεταφοράς θερμικής ενέργειας

Συνήθως, στην τηλεθέρμανση, ως φορέας μεταφοράς και διανομής της θερμικής ενέργειας επιλέγεται το νερό (θερμό ή υπέρθερμο). Στο παρελθόν έβρισκε μεγαλύτερη εφαρμογή η επιλογή του ατμού, ως μέσο μεταφοράς θερμότητας σε δίκτυα τηλεθέρμανσης, σταδιακά όμως υπερίσχυσε η χρήση νερού έναντι του ατμού για τους ακόλουθους λόγους:

- Με την χρήση νερού αποφεύγονται προβλήματα, κυρίως διαβρώσεων, σχετικά με τα συμπτκνώματα που εμφανίζονται στην περίπτωση του ατμού.
- Η χρονική διακύμανση του θερμικού φορτίου ενός συστήματος τηλεθέρμανσης απαιτεί άμεση και ταχύτατη δυνατότητα ρύθμισης και ελέγχου της παρεχόμενης θερμικής ενέργειας. Η εν λόγω ρύθμιση είναι ευκολότερη στην περίπτωση της χρήσης νερού ως μέσο μεταφοράς θερμότητας.
- Η χρήση θερμού ύδατος επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας σε μεγαλύτερες αποστάσεις, ενώ αντιθέτως η χρήση ατμού σε εκτεταμένες εγκαταστάσεις απαιτεί επιπλέον εγκαταστάσεις (π.χ. αναγέννηση ατμού) που την καθιστούν οικονομικά ασύμφορη και τεχνικά πιο πολύπλοκη.
- Στα συστήματα τηλεθέρμανσης με την χρήση ζεστού ύδατος, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης του ζεστού νερού και κατ' επέκταση της θερμικής ενέργειας, ώστε να διοχετευτεί στο δίκτυο σε άλλη χρονική στιγμή.

Τα συστήματα θερμού νερού χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη θερμοκρασία τους:

- Στα συστήματα «υψηλής θερμοκρασίας», με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 175°C.
- Στα συστήματα «μεσαίας θερμοκρασίας», με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 120°C έως και 175°C.
- Στα συστήματα «χαμηλής θερμοκρασίας», με θερμοκρασίες μέχρι 120°C. Στην περίπτωση που το εργαζόμενο μέσο είναι ατμός, το σύστημα μπορεί να είναι είτε «χαμηλής θερμοκρασίας» (με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 120°C), είτε «υψηλής θερμοκρασίας» (πάνω από 120°C).

Άξιο αναφοράς αποτελεί το γεγονός ότι σε περιπτώσεις εφαρμογής τηλεψύξης – τριτοπαραγωγής δύναται να χρησιμοποιηθεί μόνο νερό ως μέσο μεταφοράς της ψυκτικής ενέργειας. Σε αυτές τις περιπτώσεις το μέσο μεταφοράς είναι ψυχρό νερό με θερμοκρασία προσαγωγής περίπου 4°C – 6°C και θερμοκρασία επιστροφής περίπου 14°C - 17°C. [4]

1.2.4 Σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας

Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα τηλεθέρμανσης και κυρίως αυτά που έχουν ως κεντρική μονάδα παραγωγής θερμότητας εργοστάσιο συμπαραγωγής, περιλαμβάνουν δεξαμενή αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ή αλλιώς θερμοδεξαμενή. Σκοπός της θερμοδεξαμενής είναι η εξισορρόπηση της προσφοράς θερμικής ισχύος σε σχέση με τη ζήτηση, είναι υπεύθυνη δηλαδή να τροφοδοτεί με θερμική ενέργεια το σύστημα σε ώρες αιχμής όπου η ζήτηση είναι αυξημένη. Η λειτουργία της έγκειται στο γεγονός ότι σε ώρες όπου η ζήτηση είναι χαμηλή, η θερμοδεξαμενή μπορεί να φορτίζεται γεμίζοντας και αποθηκεύοντας ζεστό νερό που περισσεύει, οπότε όταν αυξηθεί το απαιτούμενο φορτίο του συστήματος, αποφορτίζεται, αφήνοντας ουσιαστικά ανεπηρέαστη τη λειτουργία της κεντρικής μηχανής. Όπως γίνεται κατανοητό, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση της θερμοδεξαμενής είναι πολλά. Αρχικά, γίνεται ορθολογική διαχείριση της ενέργειας, η οποία αποθηκεύεται αποτελεσματικά χάρη στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού. Επιπλέον, η θερμοδεξαμενή συνεισφέρει στην ομαλοποίηση της λειτουργίας των συμπαραγωγικών μονάδων, αφού δεν απαιτείται πλέον η παρακολούθηση, σε στιγμιαία χρονική βάση, της θερμικής ζήτησης της πόλης ή του οικισμού και εξασφαλίζει τη συνεχή λειτουργία του συστήματος ακόμα και αν παρουσιαστεί κάποια βλάβη. Επίσης, συμβάλει στη διατήρηση της πίεσης στους αγωγούς του συστήματος ισοσταθμίζοντας τις ανάγκες των αντλιών. Συμπερασματικά, με τη χρήση θερμοδεξαμενής επιτυγχάνεται καλύτερη και οικονομικά αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος τηλεθέρμανσης.

Εικόνα 2: Δεξαμενές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας²



² Πηγή: <http://www.tpt.gr/>

Οι θερμοδεξαμενές είναι συνήθως κατασκευασμένες από χάλυβα, βρίσκονται στην ίδια πίεση με το δίκτυο της τηλεθέρμανσης και φέρουν αντιδιαβρωτική προστασία, καθώς επίσης και μόνωση, κατά κύριο λόγο από πολυουρεθάνη. Στο πάνω μέρος τους περιέχουν τον όγκο εκτόνωσης που γεμίζεται με νιτρικό αέριο και λειτουργεί σαν μηχανισμός ασφαλείας σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης, ώστε να τεθεί η πίεση στο επιθυμητό επίπεδο μέσω των βαλβίδων ασφαλείας. Τέλος, διαθέτουν ειδικούς αναδευτήρες ώστε να ανακατεύεται το νερό μέσα στη δεξαμενή για να αποφευχθεί η θερμική διαστρωμάτωση, δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο το νερό που θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία παραμένει στην κορυφή της δεξαμενής αφήνοντας το κρύο νερό στα χαμηλότερα σημεία. [5]

1.2.5 Κατηγορίες δικτύων τηλεθέρμανσης

Τα δίκτυα τηλεθέρμανσης αποτελούνται από σωληνώσεις εντός των οποίων κυκλοφορεί το μέσο μεταφοράς θερμικής ενέργειας, το οποίο είναι συνήθως θερμό νερό. Στο παρελθόν, είχαν ευρεία εφαρμογή τα δίκτυα ατμού. Γενικότερα, ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης διαχωρίζεται σε τρία ανεξάρτητα υδραυλικά δίκτυα.

- Το δίκτυο μεταφοράς υπέρθερμου νερού, αποτελούμενο από δίδυμους προμονωμένους αγωγούς για την προσαγωγή και επιστροφή του νερού από τον σταθμό παραγωγής της θερμικής ενέργειας προς την πόλη και το αντίστροφο. Το εν λόγω δίκτυο περιλαμβάνει αντλιοστάσια αντλιών ανύψωσης πίεσης και διατήρησης πίεσης, εγκαταστάσεις κατεργασίας του νερού κτλ. Από υδραυλικής άποψης, τα δίκτυα μεταφοράς τηλεθέρμανσης χαρακτηρίζονται από υψηλή πίεση λειτουργίας, υψηλή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των αγωγών προσαγωγής και επιστροφής, καθώς και έντονη διακύμανση της παροχής του κυκλοφορούντος ρευστού, σύμφωνα με το ζητούμενο θερμικό φορτίο της εγκατάστασης.
- Το δίκτυο διανομής του ύδατος του εξυπηρετούμενο οικισμού. Το εν λόγω δίκτυο αποτελείται από κεντρικούς αγωγούς, από κλάδους και από διακλαδώσεις και ο ρόλος του είναι η μεταφορά θερμότητας από τους θερμικούς υποσταθμούς στα συστήματα θερμάνσεως των θερμαινόμενων κτιρίων. Ο κύριος εξοπλισμός του δικτύου διανομής αποτελείται από εναλλάκτες θερμότητας, αντλίες ανύψωσης πίεσης και μεγάλο αριθμό συστημάτων αυτοματισμών και ρύθμισης. Το δίκτυο διανομής, υδραυλικά χαρακτηρίζεται από μέση πίεση λειτουργίας (έως 16 bar), μέση θερμοκρασία ρευστού (έως 120°C), μεταβλητή υδραυλική και διαφορική θερμοκρασία έως 40°C.
- Το δίκτυο κατανάλωσης, το οποίο αποτελείται από τα επιμέρους δίκτυα θέρμανσης εντός των κτιρίων – καταναλωτών. Αυτό το τμήμα του δικτύου δεν έχει σταθερά τεχνικά χαρακτηριστικά και αποτελείται από ένα σύνολο υδραυλικών δικτύων με διαφορετική μορφή, μέγεθος και τεχνολογία. Σκοπός ενός καλά ρυθμισμένου συστήματος τηλεθέρμανσης είναι να παρέχει απρόσκοπτα και αξιόπιστα την απαιτούμενη θερμική ενέργεια σε όλα τα επιμέρους δίκτυα κατανάλωσης που συνθέτουν το δίκτυο τηλεθέρμανσης. [6]

1.2.6 Δίκτυο διανομής θερμικής ενέργειας

Ο σχεδιασμός και κατ' επέκταση το κόστος του δικτύου διανομής εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τους ακόλουθους παράγοντες: Πρώτον, τα γεωμορφολογικά και χωροταξικά στοιχεία του προς θέρμανση οικισμού, όπως έκταση οικισμού, γεωγραφική θέση, χωρική κατανομή των καταναλώσεων. Επιπλέον, εξαρτώνται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του κυκλοφορούντος ύδατος (πίεση λειτουργίας δικτύου, θερμοκρασία προσαγωγής και επιστροφής, πιέσεις), από την έκταση, την τοποθεσία και τη συγκέντρωση των καταναλωτικών φορτίων.

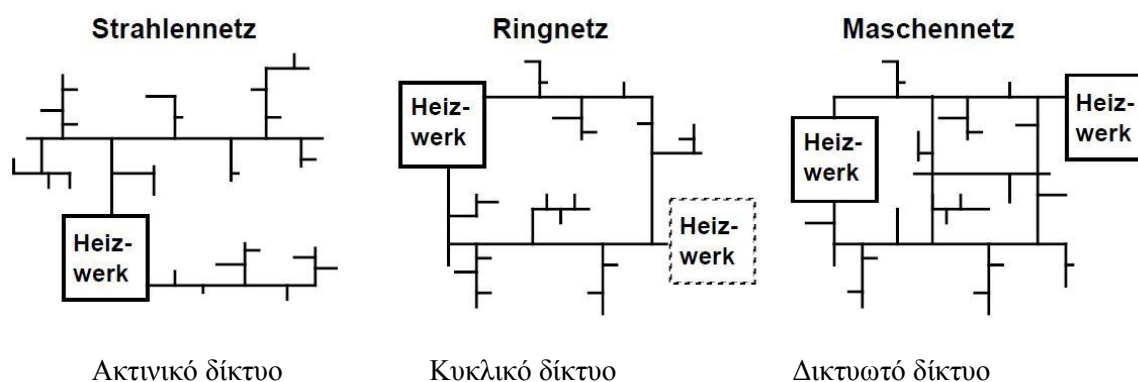
Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του δικτύου διανομής μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: ακτινικά, κυκλικά ή δικτυωτά.

Στο ακτινικό δίκτυο οι χρήστες συνδέονται ανά κλάδο, που τροφοδοτείται με θερμική ενέργεια από ένα μοναδικό σημείο – κόμβο. Αποτελεί την απλούστερη και οικονομικότερη κατασκευαστικά λύση.

Στο κυκλικό δίκτυο οι χρήστες τροφοδοτούνται με θερμική ενέργεια, η τροφοδοσία της οποίας μπορεί να γίνει από περισσότερες κατευθύνσεις. Ο σχεδιασμός αυτός παρέχει πρόσθετη ασφάλεια στην επάρκεια τροφοδοσίας, έχει όμως αυξημένο κόστος κατασκευής.

Το δικτυωτό ή κομβικό δίκτυο αποτελεί βελτίωση του κυκλικού, όπου οι χρήστες μπορούν να τροφοδοτηθούν από περισσότερα σημεία – κόμβους και κλάδους, και οδηγεί σε μεγάλο βαθμό ασφάλειας στην επάρκεια τροφοδοσίας, με ανάλογη όμως αύξηση του κατασκευαστικού κόστους. Σημειώνεται ότι σε μεγάλες πόλεις εφαρμόζεται η κατασκευή περιμετρικού δακτυλίου, ο οποίος τροφοδοτεί επιμέρους ακτινωτά δίκτυα γειτονιάς. [4]

Εικόνα 3: Εναλλακτικοί τρόποι κατασκευής ενός δικτύου διανομής³



Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ζεστού νερού διακρίνονται ανάλογα με τον αριθμό σωληνώσεων που φέρουν σε:

- Μονοσωλήνιο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως σε απομακρυσμένα δίκτυα τηλεθέρμανσης ατμού και όπου η επιστροφή του συμπυκνώματος του ατμού είναι ασύμφορη. Επίσης, σε δίκτυα όπου μετά τον εναλλάκτη βρίσκονται εγκαταστάσεις καταναλωτών που απαιτούν ζεστό νερό χρήσης. Ως πλεονέκτημα του μονοσωλήνιου συστήματος λογίζεται το χαμηλό κόστος εγκατάστασης, δεδομένου ότι δεν υπάρχει

³ Πηγή: <https://enargus.fit.fraunhofer.de/>

δεύτερος αγωγός – αγωγός επιστροφής. Ως μειονέκτημα αναφέρονται η συνεχής παραγωγή κατεργασμένου νερού και οι απαιτούμενοι συχνοί υγειονομικοί έλεγχοι του νερού.

- Δισωλήνιο σύστημα, όπου διακρίνεται σε: Ανοικτό δισωλήνιο σύστημα, με αγωγούς επιστροφής μικρότερης διαμέτρου από τον αγωγό προσαγωγής, ενώ κάποιες ποσότητες θερμού νερού τροφοδοτούνται άμεσα στον καταναλωτή για χρήση όπως και με το μονοσωλήνιο σύστημα. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ανάλογα με αυτά του μονοσωλήνιου.
Κλειστό δισωλήνιο σύστημα, το οποίο είναι το δημοφιλέστερο σύστημα σωληνώσεων τηλεθέρμανσης και χρησιμοποιείται εναλλακτικά είτε για ψύξη είτε για θέρμανση.
- Τρισωλήνιο σύστημα, το οποίο αποτελείται από 2 αγωγούς τροφοδότησης κι έναν κοινό αγωγό επιστροφής. Το τρισωλήνιο σύστημα βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου ταυτόχρονα πρέπει να διοχετεύεται κρύο και ζεστό νερό (τηλεψύξη και τηλεθέρμανση αντίστοιχα).
- Τετρασωλήνιο σύστημα, το οποίο αποτελείται από 2 αγωγούς για την προσαγωγή και την επιστροφή ζεστού νερού και δύο αγωγούς για την προσαγωγή / επιστροφή κρύου νερού. Συγκριτικά, το τρισωλήνιο σύστημα μειονεκτεί στο υψηλότερο κόστος κατασκευής που εμφανίζει, ενώ πλεονεκτεί στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ανάμιξη των επιστρεφόμενων υδάτων των δύο επιμέρους συστημάτων και κατ' επέκταση εμφανίζονται χαμηλότερες ενεργειακές απώλειες. [3]

Εικόνα 4: Δίκτυο μεταφοράς θερμού μέσω του συστήματος τηλεθέρμανσης⁴



Ο κύριος αγωγός, όπου ρέει ο φορέας θερμότητας, μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορα υλικά, όπως χάλυβας, που αποτελεί το πιο διαδεδομένο υλικό, συνθετικό υλικό και υαλονήματα. Η επιλογή του υλικού γίνεται με βάση της θερμοκρασίες λειτουργίας του δικτύου και τις ειδικότερες κατασκευαστικές απαιτήσεις του δικτύου.

⁴ Πηγή: <http://www.deyakozanis.gr/>

Το περίβλημα θερμομόνωσης σε προμονωμένους αγωγούς, κατασκευάζεται εργοστασιακά από ειδικό μίγμα πολυουρεθάνης και καλύπτει το διάκενο μεταξύ του αγωγού και του μανδύα. Σε υπέργεια δίκτυα μπορεί να είναι και κάποιο άλλο θερμομονωτικό υλικό, όπως υαλοβάμβακας, που τοποθετείται επί του ήδη τοποθετημένου αγωγού. Το πάχος της θερμομόνωσης εξαρτάται από τον επιθυμητό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Η επιλογή του συντελεστή αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο κατά τη φάση σχεδιασμού. Μικρές τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας περιορίζουν τις θερμικές απώλειες του δικτύου, εξοικονομούν την πρωτογενώς απαιτούμενη θερμική ενέργεια, οπότε μειώνεται το κόστος λειτουργίας, αλλά και οι εκπεμπόμενοι ρύποι. Από την άλλη αυξάνουν το κόστος κατασκευής, επειδή το κόστος προμήθειας των αγωγών, που αποτελεί συνήθως το μεγαλύτερο κατά την φάση κατασκευής κόστος, εξαρτάται άμεσα από το πάχος θερμομόνωσης.

Ο μανδύας περικλείει τον θερμομονωμένο αγωγό, προκειμένου να προστατευτεί κυρίως η θερμομόνωση από παραμόρφωση, θραύση ή αποκόλληση και από την εισχώρηση υγρασίας. Ανάλογα με τις ειδικότερες απαιτήσεις το υλικό κατασκευής είναι είτε συνθετικό υλικό, όπως πολυαιθυλένιο, είτε μεταλλικό.

Η επιλογή της διατομής και του υλικού κατασκευής των αγωγών του δικτύου διανομής επιλέγεται κατόπιν υδραυλικής μελέτης σε συνδυασμό με τις ειδικότερες συνθήκες στην περιοχή εγκατάστασης. Προτιμούνται προμονωμένοι αγωγοί από χάλυβα που συγκολλούνται και μονώνονται στο σημείο συγκόλλησης επί τόπου του έργου.

Για την επιτήρηση του δικτύου διανομής έναντι διαρροών, ειδικά σε υπόγεια δίκτυα με μεγάλη έκταση, χρησιμοποιούνται ειδικά συστήματα ανίχνευσης διαρροών. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με μέτρηση της ωμικής αντίστασης ή ηλεκτρικών παλμών, που επιτυγχάνεται μέσω της τοποθέτησης καλωδίων εντός της θερμομόνωσης του αγωγού κατά την κατασκευή τους στο εργοστάσιο παραγωγής. Σε περίπτωση διαρροής ή καταστροφής της μόνωσης, μεταβάλλονται τα μετρούμενα ηλεκτρικά μεγέθη, λόγω της υγρασίας που αναπτύσσεται, και ειδοποιείται το κεντρικό σύστημα ελέγχου για την βλάβη, το οποίο παράλληλα εντοπίζει και τη θέση της διαρροής. Η ύπαρξη συστήματος ανίχνευσης διαρροών σε ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος. [7]

1.2.7 Όδευση δικτύων τηλεθέρμανσης

Τα δίκτυα τηλεθέρμανσης, ανάλογα με τον τρόπο όδευσης των σωληνώσεων διακρίνονται σε:

- Υπόγεια συστήματα εντός καναλιού από μπετόν (μη επισκέψιμη σήραγγα). Δίκτυα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνταν παλιότερα κυρίως σε δίκτυα διανομής, ενώ στην σημερινή εποχή, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής, δεν κατασκευάζονται πλέον.
- Υπόγεια συστήματα εντός επισκέψιμης σήραγγας. Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής, αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται αποκλειστικά εκεί όπου απαιτείται η αποφυγή – υπέρβαση τοπικών εμποδίων στα δίκτυα μεταφοράς. Επίσης, χρησιμοποιείται σε δίκτυα διανομής εντός πυκνοκατοικημένων περιοχών των μεγαλουπόλεων, για όδευση, πέρα από των αγωγών τηλεθέρμανσης και άλλων αγωγών (π.χ. ύδρευσης) αλλά και καλωδίων (π.χ. καλώδια διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τηλεφωνικά καλώδια, καλωδιακή τηλεόραση κτλ).

- Υπόγεια συστήματα με προμονωμένους σωλήνες απευθείας εντός του εδάφους. Η εξέλιξη της τεχνολογίας κατασκευής των υπόγειων προμονωμένων σωλήνων έχει συντελέσει στην επικράτηση τους τις τελευταίες δεκαετίες. Ως κύρια πλεονεκτήματα αναφέρονται η τυποποίηση της κατασκευής, το χαμηλό κόστος κατασκευής (σε σύγκριση με τα άλλα υπόγεια συστήματα) και ο μειωμένος χρόνος κατασκευής. Η δυνατότητα ελέγχου των διαρροών όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, σε αυτή την κατηγορία σωληνώσεων προσδίδει αυξημένη αξιοπιστία και ταχύτητα στην αποκατάσταση των σφαλμάτων.
- Υπέργεια συστήματα με σωλήνες επί μεταλλικών πυλώνων. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα ακριβό σύστημα, το οποίο προκαλεί και αισθητική όχληση στις περιοχές όπου εφαρμόζεται. Ως πλεονέκτημα αναφέρεται ότι με το εν λόγω σύστημα και εξαιτίας του ύψους τοποθέτησης των σωληνώσεων, επιτρέπεται η διέλευση, κάτω από τις σωληνώσεις, οχημάτων.
- Υπέργεια συστήματα με σωλήνες επί υπερυψωμένων βάσεων. Ομοίως με το προηγούμενο σύστημα, και σε αυτό εμφανίζεται η προαναφερόμενη αισθητική/οπτική όχληση. Σε σχέση με το προηγούμενο υπέργειο σύστημα σωληνώσεων, εμφανίζει χαμηλότερο κατασκευαστικό κόστος, ενώ συνήθως το ύψος των βάσεων είναι τέτοιο που δεν επιτρέπει την διέλευση, κάτω από αυτές, οχημάτων και προσώπων. Παρόλα αυτά βρίσκει ευρεία εφαρμογή και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η διέλευση από τοπικά εμπόδια της μορφής, ρέματα, ποτάμια κτλ. [8]

1.2.8 Θερμικοί υποσταθμοί κτιρίων

Η θερμική ενέργεια που παράγεται στον κεντρικό σταθμό παραγωγής ενέργειας, μεταφέρεται μέσω του δικτύου διανομής στους καταναλωτές. Η παροχή της θερμότητας στην εγκατάσταση θέρμανσης γίνεται στον υποσταθμό κάθε κτιρίου, είτε απευθείας είτε μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Αν η σύνδεση γίνει απευθείας, τότε μιλάμε για θερμικούς υποσταθμούς άμεσης σύνδεσης, ενώ αν γίνει μέσω εναλλάκτη, για θερμικούς υποσταθμούς έμμεσης σύνδεσης. Οι θερμικοί υποσταθμοί άμεσης σύνδεσης, είναι φθηνότερος τρόπος σύνδεσης από την έμμεση σύνδεση, διότι δεν υπάρχει το επιπλέον κόστος για τον εναλλάκτη θερμότητας και για την επεξεργασία του νερού. Υπάρχει όμως κίνδυνος να προκληθούν βλάβες ή μολύνσεις από την χαμηλή ποιότητα νερού του δικτύου. Πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς η ποιότητα του νερού, ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα. Στους θερμικούς υποσταθμούς έμμεσης σύνδεσης, το θερμό ή υπέρθερμο νερό του δικτύου τηλεθέρμανσης συνδέεται με το κύκλωμα νερού της εγκατάστασης θέρμανσης μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Τα πλεονεκτήματα της έμμεσης σύνδεσης είναι ότι η εγκατάσταση θέρμανσης δεν επηρεάζεται ούτε από την πίεση ούτε από την ποιότητα του νερού του δικτύου τηλεθέρμανσης. Μειονέκτημα είναι το επιπλέον κόστος για τον εναλλάκτη και το δοχείο διαστολής. Για μονοκατοικίες και πολυώροφα κτίρια υπάρχουν προκατασκευασμένοι υποσταθμοί, πλήρως συναρμολογημένοι και με όλα τα απαραίτητα όργανα και συσκευές. Οι υποσταθμοί αυτοί μπορεί να είναι μόνο για θέρμανση, μόνο για παροχή θερμού νερού χρήσης ή με συνδυασμό θέρμανσης και θερμού νερού χρήσης. [2]

Εικόνα 5: Τυπικός θερμικός υποσταθμός καταναλωτή⁵



1.3 Παράγοντες διείσδυσης τηλεθέρμανσης

Ο βαθμός ανάπτυξης της εφαρμογής ενός συστήματος τηλεθέρμανσης ποικίλει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων χωρών αλλά ακόμα και μεταξύ περιοχών της ίδια χώρας. Από τις εμπειρίες εφαρμογής του συστήματος στις διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, προκύπτει ότι στην απόφαση για την εγκατάσταση ενός νέου συστήματος τηλεθέρμανσης παίζουν σημαντικό ρόλο οι εξής παράγοντες:

1. Ο βαθμός ανάπτυξης άλλων ανταγωνιστικών πηγών ενέργειας στην περιοχή

Οι πηγές ενέργειας που ανταγωνίζονται το σύστημα τηλεθέρμανσης σε μια περιοχή, είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, και η ηλεκτρική ενέργεια. Η εμπειρία από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης δείχνει ότι το σύστημα τηλεθέρμανσης αναπτύχθηκε σε περιοχές όπου δεν υπήρχε δίκτυο φυσικού αερίου και όπου η ηλεκτρική ενέργεια ήταν ακριβή. Η Δανία για παράδειγμα που έχει την πιο εκτεταμένη εφαρμογή περιφερειακής θέρμανσης στην Ευρώπη απέκτησε δίκτυο φυσικού αερίου το 1986, ενώ την ηλεκτρική ενέργεια την παρήγαγε από εισαγόμενα καύσιμα. Αντίθετα, στην Νορβηγία η οποία έχει φθηνή ηλεκτρική ενέργεια από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, το σύστημα είναι λιγότερο αναπτυγμένο σε σύγκριση με τις άλλες Σκανδιναβικές χώρες.

2. Περιβαλλοντικές συνθήκες

Οι κλιματικές συνθήκες είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την τηλεθέρμανση στην Ευρώπη. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος θέρμανσης και ψύξης, τόσο πιο οικονομικά βιώσιμη είναι η εφαρμογή της τηλεθέρμανσης. Οι κλιματικές συνθήκες δεν εξετάζονται μόνο με τη μέθοδο των θερμοημερών αλλά λαμβάνεται υπόψη και η διάρκεια του φορτίου. Ο κρύος και παρατεταμένος χειμώνας αποτελεί ευνοϊκή συνθήκη ανάπτυξης συστήματος τηλεθέρμανσης και συναντάται κυρίως στη βόρεια Ευρώπη και στις ορεινές περιοχές της Κεντρικής και Νότιας Ευρώπης. [9]

3. Πυκνότητα θερμικών φορτίων

Είναι προφανές ότι το κόστος της εγκατάστασης εξαρτάται σημαντικά από την πυκνότητα των θερμικών φορτίων. Απαιτούνται υψηλές πυκνότητες θερμικού φορτίου της τάξεως των

⁵ Πηγή: <http://www.exakm.gr/>

15MWh/km και άνω, για να είναι βιώσιμο ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης. Για να επιτευχθεί υψηλή πυκνότητα θερμότητας, απαιτούνται συνήθως υψηλά ποσοστά σύνδεσης καταναλωτών της περιοχής στο δίκτυο. Γι' αυτό και έχει αναπτυχθεί κυρίως σε μεγάλες και μεσαίου μεγέθους πόλεις. Τα περισσότερα ευρωπαϊκά συστήματα εξυπηρετούν υψηλής πυκνότητας περιοχές κατοικίας. Περίπου το 80% των συστημάτων στη Γαλλία, Γερμανία, Σουηδία και Φιλανδία βρίσκονται στις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Παρ' όλα αυτά, στη Δανία που χρησιμοποιούνται φθηνές τεχνικές μεταφοράς της θερμότητας, μικρές πόλεις ή ακόμα και χωριά εξυπηρετούνται πλέον από συστήματα τηλεθέρμανσης. [10]

4. Οικονομικά χαρακτηριστικά τηλεθέρμανσης

Η τηλεθέρμανση έχει τρία σημαντικά οικονομικά χαρακτηριστικά. Πρώτον, απαιτεί ένα σημαντικό αρχικό κεφάλαιο επένδυσης, συνήθως με μία μακρά περίοδο αποπληρωμής. Αυτό καθιστά την κερδοφορία των συστημάτων τηλεθέρμανσης ευάλωτη στο κόστος του κεφαλαίου. Δεύτερον, η σχετική ελκυστικότητα της τηλεθέρμανσης εξαρτάται από τα κόστη των ανταγωνιστικών πηγών ενέργειας και τα λειτουργικά κόστη του συστήματος. Τα λειτουργικά κόστη μπορούν να αποτελούν περί το 80% του ετήσιου συνολικού κόστους, αλλά μπορούν να μειωθούν σημαντικά με τη συμπαραγωγή. Τέλος, τα κόστη επέκτασης (για την πρόσθεση νέων χρηστών σε περιοχές υψηλής πυκνότητας) είναι σχετικά χαμηλά εφόσον το σύστημα έχει λάβει χώρα, αλλά μόνο όταν το σύστημα λειτουργεί στη μέγιστη απόδοση. Η ύπαρξη πηγών θερμικής ενέργειας με χαμηλό κόστος ενισχύει την ανταγωνιστικότητα του όλου εγχειρήματος. Τέτοιες πηγές είναι η απορριπτόμενη θερμότητα από βιομηχανικές διεργασίες, γεωθερμικές πηγές, θερμότητα από καύση οικιστικών απορριμμάτων και θερμότητα από καύση λιγνίτη.

5. Η δομή των φορέων προσφοράς ενέργειας

Στις ευρωπαϊκές χώρες έχει παρατηρηθεί ότι το σύστημα αναπτύσσεται ευνοϊκότερα όπου η θερμότητα παράγεται και διανέμεται από την ίδια την επιχείρηση που παράγει και διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια. Ευνοϊκή επίδραση έχει επίσης και η εκμετάλλευση των υπογείων δικτύων σωληνώσεων από ενιαίο φορέα (π.χ. δημοτική επιχείρηση εκμεταλλεζόμενη παράλληλα το δίκτυο ύδρευσης και το δίκτυο διανομής θερμότητας). Ενώ ο τύπος της ιδιοκτησίας μπορεί να επηρεάσει την επιτυχία των συστημάτων τηλεθέρμανσης, δεν υπάρχει ένα μοναδικό πρότυπο ιδιοκτησίας στην Ευρώπη. Τα σουηδικά συστήματα αναπτύχθηκαν από τις δημοτικές αρχές. Στη Δανία τα συστήματα τηλεθέρμανσης είναι και δημόσιας και ιδιωτικής ιδιοκτησίας.

6. Ενεργειακή και αναπτυξιακή πολιτική

Ένα από τους σημαντικότερους λόγους που μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση εγκατάστασης ενός συστήματος τηλεθέρμανσης αποτελεί η ενεργειακή και αναπτυξιακή πολιτική. Η ενεργειακή πολιτική βοηθάει άμεσα στην οργάνωση και το σχεδιασμό των συστημάτων τηλεθέρμανσης, ενώ η αναπτυξιακή πολιτική ελέγχει την αστικοποίηση που δημιουργεί την πυκνότητα πληθυσμού που χρειάζεται για την τηλεθέρμανση.

Δημόσιες και ιδιωτικές επιχειρήσεις είναι απασχολημένες με την παραγωγή και τη διανομή της θερμότητας. Στην διανομή δραστηριοποιούνται κυρίως δημόσιες επιχειρήσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα συστήματα αναπτύσσονται από οργανισμούς που δημιουργούνται γι' αυτόν τον σκοπό και συντονίζονται από τους σχεδιαστικούς συντελεστές των τοπικών φορέων.

Εφόσον η τηλεθέρμανση επωφελείται από την πυκνή ανάπτυξη, τα περισσότερα συστήματα αρχίζουν να αναπτύσσονται στα αστικά κέντρα όπου υπάρχουν εμπορικές και οικιστικές μονάδες.

Παρόλα αυτά όσο αυξάνεται η διεισδυτικότητα των συστημάτων τηλεθέρμανσης, ο έλεγχος του σχεδιασμού και της ανάπτυξης διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο.

Οι ευρωπαϊκές τοπικές κυβερνήσεις περιορίζουν τα δικαιώματα της ατομικής ιδιοκτησίας προς όφελος του δημοσίου συμφέροντος. Για παράδειγμα, στη Σκανδιναβία υφίσταται μια μακρά παράδοση δημόσιας ιδιοκτησίας της γης για μελλοντική αστική ανάπτυξη. Αν αυτή η γη πωληθεί, η σύνδεση με το δίκτυο τηλεθέρμανσης θα είναι προϋπόθεση πώλησης. Ελέγχοντας την ανάπτυξη, οι Ευρωπαϊκές χώρες παρήγαγαν συμπαγείς και με καλή ρυμοτομία πόλεις. Η πόλη είναι χωρισμένη σε οικιστικές, βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες. Οι εθνικοί νόμοι σε κάθε χώρα απαιτούν το σχεδιασμό από τις τοπικές κυβερνήσεις για μια ευρεία ποικιλία δημοτικών υπηρεσιών συμπεριλαμβανόμενης και της διαχείρισης ενέργειας. Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, το ισοζύγιο πληρωμών, η εξοικονόμηση ενέργειας, η ασφάλεια παροχής ενέργειας, η προστασία του περιβάλλοντος καθώς και η περιφερειακή ανάπτυξη είναι πλεονεκτήματα που εκτιμώνται και σε εθνικό επίπεδο. [9]

1.4 Οφέλη της τηλεθέρμανσης

Το πιο σημαντικό όφελος που προκύπτει από την λειτουργία της τηλεθέρμανσης είναι η εξοικονόμηση πρωτογενούς ή συμβατικής ενέργειας, με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών ρύπων, που προέρχονται από την καύση συμβατικών καυσίμων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αντικατάστασης μεμονωμένων λεβήτων χαμηλής απόδοσης με μεγάλες εγκαταστάσεις λεβήτων υψηλών αποδόσεων, οι οποίοι συνήθως είναι εξοπλισμένοι με σύγχρονες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες. Με τη χρήση του συστήματος τηλεθέρμανσης ο χρήστης πληρώνει μόνο τη θερμική ενέργεια που έχει ανάγκη, η οποία είναι άμεσα διαθέσιμη αποφεύγοντας έτσι πρόσθετες απώλειες για την αποθήκευση της. Επιπλέον, ένα σημαντικό όφελος της τηλεθέρμανσης σε σχέση με άλλες μεθόδους θέρμανσης είναι η ευελιξία που παρέχει σχετικά με την χρησιμοποίηση διαφορετικών πηγών παραγωγής θερμότητας. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά καύσιμα και να γίνει συνδυασμός αυτών όταν κρίνεται αναγκαίο ή να υπάρξει συνδυασμός διαφορετικών πηγών παραγωγής θερμότητας, αυξάνοντας την ασφάλεια και την αξιοπιστία παροχής θερμικής ενέργειας, κάτι που δεν είναι επιτεύξιμο στα ατομικά συστήματα θέρμανσης. Τα συστήματα τηλεθέρμανσης σχεδιάζονται έτσι ώστε να υπάρχει πάντα εφεδρική παροχή ισχύος σε περίπτωση βλάβης ή αυξημένης ζήτησης και διαθέτει το αναγκαίο προσωπικό για την επισκευή τυχόν βλαβών, πράγμα που αυξάνει ακόμη περισσότερο την αξιοπιστία του συστήματος τηλεθέρμανσης.

Αντικαθιστώντας τον λέβητα με εναλλάκτη θερμότητας δεν δεσμεύεται πλέον ιδιωτικός χώρος για λεβητοστάσιο, δεξαμενές πετρελαίου, καπνοδόχο, με αποτέλεσμα να εξοικονομείται χώρος, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικός ή για άλλες χρήσεις. Επίσης, μειώνεται η πιθανότητα ατυχήματος (για παράδειγμα έκρηξη ή πυρκαγιά), εφόσον δεν υπάρχει πλέον αποθηκευμένο καύσιμο στην κατοικία. Τέλος, η κατάργηση της μεμονωμένης μεταφοράς καυσίμων στα κτίρια αποτρέπει κι από ατυχήματα διαρροών, πυρκαγιάς μειώνοντας και τα κυκλοφοριακά προβλήματα, ειδικά στο κέντρο του αστικού ιστού. [11]

Η δυνατότητα απομάστευσης θερμότητας, καθ' όλο το μήκος του κεντρικού αγωγού τηλεθέρμανσης, επιτρέπει την ανάπτυξη δραστηριοτήτων που μπορούν να αναπτυχθούν και να λειτουργήσουν με μικρό κόστος και με απαίτηση θερμότητας χαμηλής ενθαλπίας και ενισχύουν

την προσφορά της τηλεθέρμανσης στην ανάπτυξη της περιφέρειας. Ενδεικτικά κάποιες δραστηριότητες παρουσιάζονται παρακάτω:

- Θερμοκηπιακές καλλιέργειες: Στις περιοχές που υπάρχει τηλεθέρμανση δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν θερμοκήπια, τα οποία θερμαίνονται με το νερό της τηλεθέρμανσης. Είναι ευνόητο ότι τέτοιου είδους δραστηριότητες μπορούν να αναπτυχθούν στις περιοχές γύρω από τον αγωγό μεταφοράς γιατί το απαιτούμενο κόστος θέρμανσης είναι μικρό. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα θερμοκήπια καταναλώνουν περισσότερη θερμική ενέργεια την διάρκεια της νύχτας, τότε δηλαδή που για θέρμανση συνήθως απαιτείται λιγότερη ενέργεια. Συνεπώς, η ανάπτυξη τέτοιων καλλιιεργειών σε θερμοκήπια μπορεί να δράσει σταθεροποιητικά στην απαιτούμενη θερμότητα εξομαλύνοντας τις μεγάλες διακυμάνσεις στην απαίτηση θερμότητας. Επίσης, είναι φανερό ότι με την ανάπτυξη τέτοιων δραστηριοτήτων θα δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας και θα αναπτυχθούν νέου είδους καλλιέργειες (κυρίως σε υδροπονικά θερμοκήπια), με συνέπεια την αύξηση αλλά και την διαφοροποίηση του εισοδήματος των αγροτών της περιοχής.
- Ξηραντήρια: Παράλληλα με την ανάπτυξη θερμοκηπιακών καλλιιεργειών, μπορούν να δημιουργηθούν με μικρό κόστος και ξηραντήρια γεωργικών προϊόντων (π.χ. μηδικής), τα οποία θα συμβάλλουν στην καλύτερη αξιοποίηση των καλλιιεργειών. Η δραστηριότητα αυτή μπορεί να συνδυαστεί με παράλληλη αναδιάρθρωση καλλιιεργειών έτσι ώστε να αναπτυχθούν καλλιιεργειες με μεγαλύτερη αποδοτικότητα.
- Μονάδες εντατικής κτηνοτροφίας: Η φθινή θερμική ενέργεια, που μπορεί να ληφθεί από την τηλεθέρμανση, ευνοεί την ανάπτυξη κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων με εσταυλισμένα ζώα σε κλιματιζόμενους χώρους. Η απόδοση αυτής της μορφής κτηνοτροφίας είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την συμβατική κτηνοτροφία, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται υψηλό εισόδημα στους κτηνοτρόφους. Επίσης, είναι απόλυτα επιστημονικά τεκμηριωμένο ότι οι χοιροτροφικές και αγελαδοτροφικές μονάδες θα συμβάλλουν στην άμβλυνση του προβλήματος της έλλειψης χοιρινού κρέατος και νωπού γάλακτος, τομείς στους οποίους το ισοζύγιο της χώρας είναι ελλειμματικό.
- Ιχθυογεννητικοί σταθμοί: Από τα καλλιιεργούμενα είδη ψαριών σε γλυκά νερά, υπάρχουν είδη που απαιτούν θερμοκρασίες 25°C χειμώνα – καλοκαίρι (χέλι – κυπρίνος). Τέτοιες συνθήκες μπορούν να δημιουργηθούν σε ιχθυογεννητικούς σταθμούς που θα εκμεταλλεύονται την ενέργεια του νερού επιστροφής της τηλεθέρμανσης. [12]

Τα έργα τηλεθέρμανσης δημιουργούν μόνιμες θέσεις εργασίας κατά τη λειτουργία τους, ενώ ιδιαίτερα μεγάλη είναι η συμβολή τους στην ενίσχυση της απασχόλησης, κατά το στάδιο της κατασκευής, κυρίως εργατοτεχνικού προσωπικού αλλά και μηχανικών. Ιδιαίτερα θετικό αντίκτυπο στην απασχόληση επιφέρουν τα έργα τηλεθέρμανσης που χρησιμοποιούν ως καύσιμο δασική ή γεωργική βιομάζα. Σε αυτές τις περιπτώσεις το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους καυσίμου είναι το κόστος εργασίας, σε αντίθεση με τα συμβατικά υγρά καύσιμα των οποίων η συναλλαγματική επιβάρυνση είναι μεγάλη. [9]

Επιπλέον, η ανάπτυξη της τηλεθέρμανσης σε μια χώρα ή περιοχή ενισχύει την κατασκευαστική βιομηχανία – βιοτεχνία, καθώς δημιουργεί νέες απαιτήσεις για εργατικά χέρια και επιστημονικό προσωπικό και μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση εξαγωγών αυτών των προϊόντων.

Τέλος, η τηλεθέρμανση παρουσιάζει πλήθος κοινωνικών οφελών. Ειδικότερα, με την τηλεθέρμανση παρέχεται η δυνατότητα θέρμανσης όλο το 24ωρο και μάλιστα ομοιόμορφη. Επίσης, βελτιώνεται το επίπεδο εξυπηρέτησης του καταναλωτή καθώς με την τηλεθέρμανση

πρώτα παρέχεται το αγαθό και μετά από τουλάχιστον δύο μήνες πληρώνεται η κατανάλωση, σε αντιδιαστολή με την προπληρωμή του πετρελαίου, που δεσμεύει σημαντικά κεφάλαια για τα νοικοκυριά. Επιπλέον, η λειτουργία της τηλεθέρμανσης συντελεί στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης, κυρίως των ασθενέστερων οικονομικά τάξεων, που με την σειρά της θα συμβάλλει στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού και στη συνέχεια θα προκαλέσει μια σειρά άλλων ευεργετικών αντιδράσεων πολιτιστικού και κοινωνικού χαρακτήρα. [12]

1.5 Εφαρμογές τηλεθέρμανσης

1.5.1 Ιστορικά στοιχεία

Η εφαρμογή της τηλεθέρμανσης έχει τις ρίζες της στα θερμαινόμενα λουτρά και θερμοκήπια της αρχαίας ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Τα συστήματα τηλεθέρμανσης, άρχισαν να εφαρμόζονται στην Ευρώπη κατά το μεσαίωνα και την εποχή της Αναγέννησης, με ένα σύστημα στη Γαλλία σε συνεχή λειτουργία από τον 14^ο αιώνα. Τον 16^ο και 17^ο αιώνα η αποθήκευση καυσίμου, ο περιορισμός του καπνού και η ασφάλεια εφοδιασμού, ήταν οι σημαντικότεροι παράγοντες στο σχεδιασμό των συστημάτων τηλεθέρμανσης στο Λονδίνο το 1623. Ένα Ρωσικό παλάτι, χτισμένο το 1783 είχε ένα σύστημα θερμού νερού βασισμένο σε γαλλική τεχνολογία. Λέβητες και υπόγεια σωλήνωση χρησιμοποιήθηκαν από βρετανικά εργοστάσια το 1790, ενώ από τα 1820 χρησιμοποιήθηκαν ευρέως. Η αποβαλλόμενη θερμότητα από τα εργοστάσια το 1830 χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση δημοσίων λουτρών. Το Crystal Palace στο Λονδίνο είχε τηλεθέρμανση το 1851.

Στην άλλη όχθη του Ατλαντικού ωκεανού, η Αμερικανική Ναυτική Ακαδημία στην Αννάπολη εφάρμοσε λειτουργία τηλεθέρμανσης με ατμό το 1853. Παρόλο που αυτά τα πολυάριθμα συστήματα έχουν λειτουργήσει στην πάροδο των αιώνων, το πρώτο εμπορικά επιτυχημένο σύστημα τηλεθέρμανσης έγινε στο Lockport της Νέα Υόρκης το 1877, από έναν υδραυλικό μηχανικό των Birdsill Holly, που θεωρείται θεμελιωτής της σύγχρονης τηλεθέρμανσης. Ο Holly εγκατάστησε ένα σύστημα ατμού στην πόλη εφαρμόζοντας αρχές από το επιτυχημένο σύστημα προμήθειας νερού άμεσης πίεσης. Η εταιρεία του εγκατάστησε περίπου 50 συστήματα προτού πωληθεί σε μια ομάδα επενδυτών, η οποία πούλησε εκατοντάδες παραπάνω σε όλο τον κόσμο τα επόμενα 80 χρόνια. [1]

1.5.2 Τηλεθέρμανση με ΑΠΕ

Σε διάφορα σημεία του πλανήτη έχουν αναπτυχθεί πρωτοποριακά συστήματα τηλεθέρμανσης υψηλού βαθμού απόδοσης, βασισμένα εξολοκλήρου σε συστήματα συμπαραγωγής με ΑΠΕ, που αναδεικνύουν το μέλλον των συστημάτων αυτών.

- Η πόλη του Güssing στην Αυστρία

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, ο δήμος της πόλης αποφάσισε να λάβει μέτρα με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο κυριότερος

στόχος ήταν η αναθέρμανση και ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας μέσω της αξιοποίησης των δασικών προϊόντων και υπολειμμάτων. Η τοπική οικονομία ωφελήθηκε με δύο τρόπους: Πρώτον, μειώθηκαν οι δαπάνες προμήθειας εισαγόμενων ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενεργειακών προϊόντων, δηλαδή ηλεκτρισμού και θερμότητας, ενώ ταυτόχρονα το κόστος παροχής ενέργειας, προς τους καταναλωτές μέσω του δικτύου τηλεθέρμανσης διατηρήθηκε σχετικά σταθερό και σε αρκετά χαμηλότερο επίπεδο από ότι με τη χρήση πετρελαίου. Δεύτερον, δημιουργήθηκαν περισσότερες από 1.100 νέες θέσεις εργασίας με την αξιοποίηση των δασικών προϊόντων, την εφαρμογή τεχνολογιών λεβήτων και μονάδων συμπαραγωγής βιομάζας και την προσέλκυση επιχειρήσεων και βιομηχανιών, οι οποίες εγκαταστάθηκαν στην περιοχή εξαιτίας των ανταγωνιστικών τιμών παροχής θερμικής ενέργειας.

Το ενεργειακό κέντρο της πόλης για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας αποτελείται από 4 μονάδες θερμότητας και 3 μονάδες ΣΗΘ, οι οποίες καλύπτουν το 71% των ενεργειακών αναγκών της πόλης (ηλεκτρισμό και θερμότητα) σε κατοικίες, δημόσια κτίρια και επιχειρήσεις. Η εγκατάσταση τηλεθέρμανσης της περιοχής χρησιμοποιεί κυρίως τα απόβλητα ξυλείας των εργοστασίων παρκέ που υπάρχουν στο Güssing. Το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από βιομάζα τροφοδοτείται με ροκανίδια από την περιοχή (σε ακτίνα 30-40 χιλιομέτρων από την πόλη) τα οποία παραδίδονται κυρίως από τον τοπικό δασικό συνεταιρισμό.

Η θερμότητα και ο ηλεκτρισμός παράγονται μέσω μονάδας ΣΗΘ με τη χρήση ειδικής τεχνολογίας αεριοποίησης του ξύλου που αναπτύχθηκε από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του παραγόμενου αερίου οδηγούν στην παραγωγή ανθεκτικού φυσικού αερίου (BioSNG) και συνθετικών υγρών καυσίμων όπως η βενζίνη ή το ντίζελ (BTL – Biomass to Liquid) και με τη χρήση κυβελών καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας.

Στην πόλη του Güssing δημιουργήθηκε το Ευρωπαϊκό Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (EEE), το οποίο αναγνωρίζεται ως κορυφαίο ερευνητικό κέντρο στην Ευρώπη στον τομέα της αεριοποίησης του ξύλου και την παραγωγή βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς. Με την υλοποίηση του οράματος της δημοτικής αρχής για την αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας στην περιοχή του Güssing, μέσω της αξιοποίησης της δασικής βιομάζας και των παραπροϊόντων ξυλείας, πραγματοποιήθηκαν επενδύσεις ύψους 35,5 εκατομμυρίων ευρώ, ενώ δημιουργήθηκαν 50 νέες επιχειρήσεις και περισσότερες από 1.100 νέες θέσεις εργασίας. Τέλος, η μείωση των εκπομπών CO₂ ανήλθε σε 14.500 τόνους το έτος. [13]

- Η πόλη του Marstal στη Δανία

Στην πόλη Marstal της Δανίας έχει κατασκευαστεί ένα πρωτοποριακό σύστημα τηλεθέρμανσης, οι ενεργειακές ανάγκες του οποίου στηρίζονται εξ ολοκλήρου σε ΑΠΕ. Η εγκατάσταση αυτή συνδυάζει παραγωγή θερμικής ενέργειας μέσω ηλιακών συλλεκτών, συμπαραγωγή από βιομάζα, αντλία θερμότητας και εναποθήκευση της θερμικής ενέργειας. Το 55% του θερμικού φορτίου καλύπτεται από το ηλιακό σύστημα, το 40% από τα συστήματα βιομάζας, 4% από την αντλία θερμότητας και μόλις 1% από λέβητα πετρελαίου. Η λειτουργία του συστήματος εναλλάσσεται ανάλογα με την εποχή. Την θερινή περίοδο, η παραγόμενη θερμική ενέργεια των συλλεκτών συλλέγεται και αποθηκεύεται σε εναποθηκευτές θερμότητας. Από το τέλος Σεπτεμβρίου, το σύστημα υποστηρίζεται είτε από τον λέβητα βιομάζας, είτε από την αντλία θερμότητας, ενώ τη χειμερινή περίοδο, η παραγωγή θερμικής ενέργειας στηρίζεται στον λέβητα βιομάζας ή/και στην αντλία θερμότητας και υποστηρίζεται από ένα εφεδρικό λεβητοστάσιο καύσης βιοντίζελ. Από το μήνα Φεβρουάριο το σύστημα υποστηρίζεται και πάλι από τους ηλιακούς συλλέκτες. Η ετήσια παραγωγή ανέρχεται σε 32.000 MWh και τροφοδοτεί 1.550 κτίρια, κυρίως μονοκατοικίες. Τα

οφέλη από την εφαρμογή του παραπάνω συστήματος ήταν πολλαπλά αυξάνοντας την οικονομική και ακαδημαϊκή δραστηριότητα, βελτιώνοντας την ενεργειακή αυτονομία με φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες και επιτυγχάνοντας ανταγωνιστικές και σχετικά σταθερές τιμές πώλησης της θερμικής ενέργειας, οι οποίες κυμαίνονται σε επίπεδα 25% φθηνότερα από αυτές του πετρελαίου. [14]

- Η πόλη του Polderwijk στην Ολλανδία

Το 2002 άρχισε να αναπτύσσεται μια νέα κατοικημένη περιοχή στην Ολλανδία το Polderwijk, στην οποία σήμερα υπάρχουν 3.000 νοικοκυριά. Ο δήμος αποφάσισε την κατασκευή ενός ουδέτερου συστήματος τηλεθέρμανσης. Το σύστημα που τελικά επελέγη αποτελείται από αναερόβια συν-χώνευση και λειτουργία σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Η λύση αυτή υλοποιήθηκε αξιοποιώντας ένα αγρόκτημα γαλακτοπαραγωγής στην περιοχή. Ο ιδιοκτήτης του αγροκτήματος ξεκίνησε την κατασκευή της μονάδας παραγωγής βιοαερίου (χωνευτές και δύο μονάδες ΣΗΘ). Μέχρι το τέλος του 2010, σχεδόν 1.000 σπίτια είχαν συνδεθεί με το σύστημα τηλεθέρμανσης.

Περίπου το 25% του βιοαερίου που παράγεται χρησιμοποιείται στο εργοστάσιο ΣΗΘ που βρίσκεται στο αγρόκτημα όπου η θερμότητα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του χωνευτή, τη θέρμανση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και των αγροικιών. Η μονάδα τροφοδοτείται με κοπριά (πάνω από 50%) και επιπλέον από άλλα υποστρώματα όπως καλαμπόκι, γρασίδι και υπολείμματα των αποβλήτων από βιομηχανίες τροφίμων. Οι μονάδες ΣΗΘ βρίσκονται στην κυριότητα του κτηνοτρόφου ο οποίος πωλεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο.

Η ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο καλύπτει το σύνολο της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και περισσότερο από το 75% της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας. Η τιμή της θερμικής ενέργειας προς τους καταναλωτές είναι συσχετισμένη με την τιμή του φυσικού αερίου. Τέλος, η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που επιτυγχάνεται με αυτό το σύστημα είναι 5.100 τόνοι / έτος και οι εκπομπές CO₂ από την κατανάλωση θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας είναι 80% χαμηλότερες σε σχέση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων. [15]

- Η πόλη του Schkolen στην Γερμανία

Οι τοπικές αρχές του Schkolen, μιας μικρής αγροτικής πόλης της πρώην Ανατολικής Γερμανίας, ανέπτυξαν το πρώτο εργοστάσιο τηλεθέρμανσης με καύση άχυρου στη Γερμανία. Οι εγκαταστάσεις αυτές καλύπτουν τις ανάγκες σε θέρμανση και ζεστό νερό 600 κατοικιών που στεγάζουν 1.600 άτομα, 8 δημοσίων κτιρίων και 47 βιομηχανικών κτιρίων, όλο το χρόνο. Το πρώτο βήμα των τοπικών αρχών ήταν να ενημερώσουν σχετικά με τα πλεονεκτήματα του έργου τους αγρότες που θα προμήθευαν το άχυρο, καθώς και τους καταναλωτές που θα χρησιμοποιούσαν την παραγόμενη θερμότητα. Το κλειδί για να εξασφαλιστεί η υποστήριξη των τελευταίων, ήταν να πειστούν ότι το εργοστάσιο έχει τη δυνατότητα να προμηθεύει τη θερμότητα πιο φθηνά από τους οικιακούς λέβητες που καίνε πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, αν ληφθεί υπόψη το συνολικό κόστος. Ο λέβητας των εγκαταστάσεων καίει άχυρο και είναι ισχύος 3,15MW. Ακόμα, για την κάλυψη του φορτίου αιχμής χρησιμοποιείται και ένας πρόσθετος λέβητας 4MW που καίει πετρέλαιο.

Στο εργοστάσιο μεταφέρονται ετησίως 3.500 τόνοι άχυρου, οι οποίοι προέρχονται από 2.000 εκτάρια γεωργικής γης που βρίσκονται σε απόσταση 10 χλμ. από την πόλη. Φτάνοντας στο εργοστάσιο, το άχυρο, αφήνεται να στεγνώσει για πέντε μέρες σε ειδικό χώρο αποθήκευσης και στη συνέχεια μεταφέρεται με γερανό σε έναν υδραυλικό αξονικό προωθητή απ' όπου διοχετεύεται στον λέβητα. Σε πλήρες φορτίο το σύστημα χρησιμοποιεί 900 κιλά άχυρο την ώρα. Η στάχτη του

άχυρου που παράγεται στο εργοστάσιο αναδιανέμεται στους προμηθευτές-γεωργούς, οι οποίοι τη χρησιμοποιούν ως λίπασμα υψηλής ποιότητας. [16]

- Η πόλη του Kungälv στη Σουηδία

Το Kungälv (15.000 κάτοικοι), βρίσκεται στη δυτική ακτή της Σουηδίας στα βόρεια του Goteborg. Η βιομηχανική περιοχή της πόλης έχει προσελκύσει βιομηχανίες αυτοκινήτων, επεξεργασίας καπνών και χημικές βιομηχανίες. Στα μέσα της δεκαετίας του '80, έγινε μια προσπάθεια για εντατική ηλιακή θερμική χρήση, σε συνδυασμό με βιομάζα. Οι εγκαταστάσεις θέρμανσης από βιομάζα περιλαμβάνουν ένα σύστημα ισχύος 13MW, δύο πετρελαιοκίνητους λέβητες 12MW για εφεδρικό σκοπό, καθώς και μια αποθήκη για τη βιομάζα χωρητικότητας 1.000m³. Το χειμώνα, τα ξύλινα τσιπ που παράγονται από τα υπολείμματα δασονομίας παρέχονται καθημερινά σε μια απόσταση 50 ή 60 χιλιομέτρων. Οι ενός έτους συμβάσεις είναι παραχωρημένες στους προμηθευτές βάσει μιας ετήσιας προκήρυξης αναδοχής έργου. Η τέφρα που προκύπτει από την καύση της βιομάζας σκορπίζεται στα περιβάλλοντα δάση.

Η ηλιακή εγκατάσταση είναι εμβαδού 10.000m². Προκειμένου να βελτιωθεί η καταγραφή των ενεργειακών ροών από τους συλλέκτες και τους λέβητες θέρμανσης στη δεξαμενή αποθήκευσης και από εκεί στους καταναλωτές, ένα σύστημα ενεργειακής μέτρησης ιδρύθηκε για τη μέτρηση της τηλεθέρμανσης.

Το τοπικό σύστημα τηλεθέρμανσης παρέχει περίπου το 50% της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση χώρου και θερμού νερού χρήσης. Ειδικότερα, το σύστημα τηλεθέρμανσης εξυπηρετεί - περίπου 200 κατοικίες και 200 περαιτέρω κτίρια συμπεριλαμβανομένων σχολείων, βιομηχανικών κτιρίων και κατοικημένων διαμερισμάτων. Η θερμότητα που παρέχεται με την τοπική τηλεθέρμανση υπολογίζεται σε 84,4 GWh εκ των οποίων το 80% περίπου προήλθαν από ξύλινα τσιπ (βιομάζα), το 16% από τους εφεδρικούς λέβητες πετρελαίου και το 4% περίπου, σε ετήσια βάση από το σύστημα της ηλιακής εγκατάστασης. [17]

- Η πόλη Saint – Chislain στο Βέλγιο

Στην Βελγική πόλη Saint – Chislain, στα πλαίσια ενός αστικού σχήματος τηλεθέρμανσης χρησιμοποιείται γεωθερμική ενέργεια. Στην εγκατάσταση γεωθερμικής εκμετάλλευσης, γίνεται με επιτυχία η άντληση γεωθερμικού ρευστού, μέσω μιας γεώτρησης από το βάθος 2,5 χλμ., όπου βρίσκεται ο γεωθερμικός ταμιευτήρας. Ο γεωθερμικός ταμιευτήρας είναι αρκετά ζεστός (70°C), ώστε να μπορεί να καλύπτει ένα μεγάλο μέρος των θερμικών απαιτήσεων. Μέσω της γεώτρησης, το ρευστό φθάνει στην επιφάνεια απ' όπου οδηγείται σε εναλλάκτες θερμότητας, όπου και αποδίδει τη θερμότητα του σε καθαρό νερό. Το νερό αυτό αποκτά θερμοκρασία 40°C, το οποίο διοχετεύεται στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης, το οποίο καλύπτει τις οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές ανάγκες της πόλης.

Το απορριπτόμενο γεωθερμικό ρευστό από τους εναλλάκτες είναι αρκετά ζεστό (35°C), ώστε να μπορεί να διοχετεύεται σε ένα συγκρότημα θερμοκηπιακής καλλιέργειας οπωροκηπευτικών, τροφοδοτώντας ένα υπεδαφικό σύστημα θέρμανσης από το οποίο, εξερχόμενο στους 30°C, οδηγείται σε ένα εργοστάσιο καθαρισμού. Τέλος, το νερό απορρίπτεται στον τοπικό ποταμό Haine.

Εκτός από τους εναλλάκτες θερμότητας, ο σταθμός τηλεθέρμανσης είναι εξοπλισμένος με συμβατικούς λέβητες που προμηθεύουν θερμότητα όταν η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει κάτω από το σημείο πήξης του νερού. Επίσης, οι λέβητες αυτοί καλύπτουν τις συνολικές απαιτήσεις του δικτύου σε ζεστό νερό όταν γίνονται εργασίες συντήρησης στη γεωθερμική εγκατάσταση. [18]

- Η πόλη του Lack στη Πολωνία

Η μονάδα τηλεθέρμανσης με βιομάζα χτίστηκε το 2004 με σκοπό την παροχή θερμότητας για τα δημοτικά γραφεία, ένα σχολείο πρωτοβάθμιας και ένα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ένα κέντρο υγείας και ένα αθλητικό κέντρο στο δήμο του Lack, που κατέχει την εγκατάσταση. Συνολικά, η μονάδα τηλεθέρμανσης παρέχει θερμότητα για 8.500m². Η βιομάζα συλλέγεται από τα άκρα των δρόμων κατά τη συντήρηση του πρασίνου (δένδρα και θάμνοι) και από ξυλώδη δασικά υπολείμματα. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω προ-μονωμένων σωλήνων. Η μονάδα θέρμανσης αποτελείται από 3 λέβητες βιομάζας, δύο με ισχύ 0,5MW (το καθένα) και ένα λέβητα με ισχύ 0,2MW. Όλοι οι λέβητες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή θερμότητας κατά την διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Η συνολική παραγόμενη ενέργεια από βιομάζα ξεπερνά τις 1.000MWh, ο τύπος καυσίμου βιομάζας είναι θρυμματισμένο ξύλο πιεστηρίου.

Η βιομάζα προμηθεύεται από έναν τοπικό παραγωγό θρυμματισμένου ξύλου. Ο προμηθευτής είναι υπεύθυνος για το σύνολο της αλυσίδας εφοδιασμού. Ο προμηθευτής είναι υπεύθυνος για το σύνολο της αλυσίδας εφοδιασμού και επιλέχθηκε μέσα από δημόσιο διαγωνισμό, η δε διάρκεια της σύμβασης για την προμήθεια της βιομάζας είναι ένα έτος και ανανεώνεται κάθε χρόνο. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης είναι επαρκείς για να διασφαλιστούν 30 έως 45 ημέρες ζήτησης κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την τιμή της βιομάζας είναι η θερμογόνος δύναμη, η υγρασία και το μέγεθος των τεμαχιδίων του θρυμματισμένου ξύλου. Σε περίπτωση μη επαρκούς παράδοσης βιομάζας, η μονάδα θέρμανσης χρησιμοποιεί θρυμματισμένο ξύλο και υπολείμματα ξύλου από τη συντήρηση του πρασίνου της πόλης. Τέλος, οι παράγοντες που καθορίζουν τη σύμβαση προμήθειας ενέργειας, είναι οι πάγιες και μεταβλητές δαπάνες, η παρακολούθηση καθώς και η λειτουργία του εξοπλισμού. [19]

- Η πόλη Purmerend στην Ολλανδία

Η τηλεθέρμανση Purmerend (SVP), βρίσκεται στην Ολλανδική πόλη Purmerend. Από το 2014, η SVP μετατράπηκε από παραδοσιακή εταιρεία διανομής θερμότητας σε μια ολοκληρωμένη εταιρεία τηλεθέρμανσης καθώς έγινε υπεύθυνη για την παραγωγή της θερμότητας. Η SVP είναι μια εταιρεία ολοκληρωμένης αλυσίδας που συμμετέχει στην παραγωγή, διανομή και προμήθεια θερμότητας προς τους πελάτες της. Οι δραστηριότητες αυτές πραγματοποιούνται από χωριστές επιχειρησιακές μονάδες ως μέρος μιας μεγαλύτερης εκμετάλλευσης. Όλα τα μέρη της εκμετάλλευσης υποχρεούνται να ακολουθούν τους κανόνες και τους κανονισμούς που ορίζονται στην ολλανδική νομοθεσία για τη θερμότητα. Εκτός από την εγκατάσταση θερμότητας με βιομάζα, η εταιρεία λειτουργεί δύο βοηθητικούς λέβητες που τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο για την κάλυψη του φορτίου αιχμής. Το σύστημα τηλεθέρμανσης παρέχει θερμότητα με τη μορφή ζεστού νερού για 24.000 νοικοκυριά και 1.000 επιχειρήσεις. Η εγκατάσταση θέρμανσης με βιομάζα αντικαθιστά μια μονάδα παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο ή οποία ήταν παλιά και τώρα αποσυναρμολογείται.

Η εγκατάσταση θερμότητας με βιομάζας έχει εγκατεστημένη ισχύ 44 MW_{th} και χρησιμοποιεί σχεδόν 100.000 τόνους νωπού θρυμματισμένου ξύλου ετησίως για να παράγει περίπου 936.000 GJ θερμότητας. Η πρώτη ύλη του καυσίμου βιομάζας παρέχεται τακτικά από την ολλανδική δασική υπηρεσία (επιτροπή δασών - SBB), που διαχειρίζεται το μεγαλύτερο μέρος των δημόσιων δασών και των φυσικών πόρων στην Ολλανδία. Κατά μέσο όρο, η SVP παράγει θερμότητα κατά 80% από ανανεώσιμες πηγές θερμότητας και 20% από ορυκτά καύσιμα, όμως έχει τη φιλοδοξία να γίνει εντελώς ανεξάρτητη από τα ορυκτά καύσιμα. Οι δύο εφεδρικοί λέβητες φυσικού αερίου έχουν ισχύ 90MW και 35MW.

Εικόνα 6: Τηλεθέρμανση με βιομάζα στην πόλη Purmerend στην Ολλανδία⁶



Τα νωπά υπολείμματα ξυλώδους βιομάζας παρέχονται από την επιτροπή δασών και προέρχονται από τις δραστηριότητες διαχείρισης των δασών που πραγματοποιούνται μεταξύ Ιουλίου και Απριλίου (σύμφωνα με τους κανόνες και τους κανονισμούς που εφαρμόζονται για την προστασία των ενδημικών ειδών πτηνών κατά τη διάρκεια της περιόδου φωτοκίας), πράγμα το οποίο ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό στην περίοδο με τη μεγαλύτερη ζήτηση σε θερμότητα. Κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, το θρυμματισμένο ξύλο λαμβάνεται έξω από τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Το θρυμματισμένο ξύλο παράγεται με τη χρήση βαρέων μηχανημάτων (που χρησιμοποιούν diesel ως καύσιμο) και στη συνέχεια πωλείται άμεσα ή αποθηκεύεται μέχρι την περαιτέρω χρήση. Μια θυγατρική εταιρεία της SBB, είναι υπεύθυνη για την αγορά/πώληση/εμπορία των προϊόντων ξυλώδους βιομάζας, συμπεριλαμβανομένου του θρυμματισμένου ξύλου. Η εταιρεία αυτή προσφέρει μακροπρόθεσμες συμφωνίες στους πελάτες της για να διασφαλιστεί η σταθερή προμήθεια βιομάζας. Για την SBB, είναι σημαντικό να έχει μια σημαντική / σταθερή ζήτηση για θρυμματισμένο ξύλο, πράγμα που διευκολύνει τις ενέργειες σχεδιασμού και εφοδιασμού για τις δραστηριότητες διαχείρισης των δασών. Η απόσταση μεταφοράς των υπολειμμάτων ξυλείας προς την SBB είναι κατά μέσο όρο, περίπου 100 χιλιόμετρα. Το θρυμματισμένο ξύλο αποθηκεύεται υπό χαμηλή πίεση σε κλειστές εγκαταστάσεις αποθήκευσης με αρκετή χωρητικότητα για να εγγυηθεί επτά ημέρες συνεχούς παραγωγής θερμότητας σε ισχύ πλήρους φορτίου. Οι τιμές διαπραγματεύονται σε αμοιβαίες συζητήσεις συνεργασίας, λαμβάνοντας υπόψη, μεταξύ άλλων, απρόσμενα πρόσθετα κόστη όπως υψηλότερο κόστος διαχείρισης ή αποθήκευσης. Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις με την SBB εγγυώνται τη συνεχή προμήθεια της βιομάζας και σε συνδυασμό με τακτικές αμοιβαίες συζητήσεις, οι κίνδυνοι της μη ή ανεπαρκούς παράδοσης βιομάζας μπορεί να μειωθούν σημαντικά. Η SBB έχει επιπρόσθετα επιχειρησιακό και στρατηγικό ενδιαφέρον για την εξασφάλιση μιας σταθερής και σχετικά

⁶ <http://www.pbpsa.com/articles/content/purmerend-district-energy--nl>

προβλέψιμης ζήτησης (δηλαδή ασφάλεια ζήτησης) λόγω των εργασιών διαχείρισης των δασών. Η ιπτάμενη και η επικαθήμενη τέφρα αποτίθενται σε έναν χώρο απόρριψης όπου αναλύεται η ποιότητα της τέφρας. Ανάλογα με την ποιότητα, η τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές. Ερευνητικά προγράμματα, έχουν διερευνήσει τη δυνατότητα να επιστρέψει η τέφρα στο δάσος, το οποίο θα ήταν πολύ ευνοϊκό αναφορικά με τη διαχείριση ανακύκλωσης των ορυκτών. [19]

1.5.3 Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας

Ο Δήμος Πτολεμαΐδας εγκατέστησε τα έτη 1991-1993, με συγχρηματοδότηση από το πρόγραμμα “Valoren”, το σύστημα τηλεθέρμανσης που λειτουργεί από το 1994 η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας (ΔΕ.ΤΗ.Π.), και υπήρξε το πρώτο στην Ελλάδα. Στην χρηματοδότηση επίσης αντλήθηκαν πόροι από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων (ΠΔΕ) καθώς και από τραπεζικό δανεισμό. Μέχρι το 1993 η Πτολεμαΐδα ήταν αποκλειστικά εξαρτημένη από τη θέρμανση με καύσιμο το πετρέλαιο. Η ακολουθούμενη πρακτική ήταν το άμεσο σύστημα τηλεθέρμανσης με κεντρικούς θερμικούς σταθμούς και υποσταθμούς σε διάφορα σημεία της πόλης. Το έργο περιελάμβανε μετασκευές στην μονάδα ΙΙΙ τους ΑΗΣ Πτολεμαΐδας για τη συμπαραγωγή μέσω απομάστευσης ατμού υψηλής πίεσης και μέσης πίεσης θερμικής ισχύος ίση με 50MW_{th}. Επιπλέον, περιελάμβανε δίκτυο μεταφοράς θερμικής ενέργειας μήκους περίπου 8km το οποίο αποτελούνταν από δίδυμους προμονωμένους αγωγούς και δίκτυο διανομής θερμικής ενέργειας εντός του κεντρικού τομέα της πόλης, το οποίο είχε μήκος 40km και αποτελούνταν και αυτό από δίδυμους προμονωμένους αγωγούς. Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία, μετά την ολοκλήρωση των απαραίτητων δοκιμών και τροφοδότησε αρχικά το κέντρο της πόλης.

Ως φορέας διαχείρισης λοιπόν ορίστηκε η ΔΕ.ΤΗ.Π., που είναι μια μεσαία επιχείρηση, νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου και ανήκει κατά 100% στον Δήμο Πτολεμαΐδας. Ιδρύθηκε με σκοπό την διαχείριση του συστήματος τηλεθέρμανσης, την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των αναγκαίων υποδομών και την παροχή θερμικής ενέργειας στους καταναλωτές. Στόχοι της επιχείρησης είναι: Η εξασφάλιση επάρκειας και ασφάλειας τροφοδοσίας θερμότητας χαμηλού κόστους και υψηλής ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιώντας συμπαραγωγή, καθώς και η ολοκλήρωση των έργων σύνδεσης του συνόλου της πόλης και των περιαστικών οικισμών. Ένας ακόμη στόχος της ΔΕ.ΤΗ.Π. είναι η υποστήριξη αναπτυξιακών δράσεων που ευνοούνται από την «καθαρή» και χαμηλού κόστους θερμότητα. Παράδειγμα δράσεων είναι, θερμοκήπια, βαφεία, ξηραντήρια, ασβεστοπαραγωγή, εγκαταστάσεις υγιεινής, υποδομές άθλησης κτλ, μέρος των οποίων μπορεί να ενισχύσει και τον πρωτογενή τομέα της περιοχής με πολλαπλά οφέλη και για την ΔΕ.ΤΗ.Π. Τέλος, η υλοποίηση συστημάτων εναλλακτικών ή και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και η ανάπτυξη συνεργασιών σε περιφερειακό, εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο αποτελούν στόχους της ΔΕ.ΤΗ.Π.

Τα επόμενα έτη, πραγματοποιήθηκαν μεγάλες επεκτάσεις του δικτύου της τηλεθέρμανσης, στην πόλη της Πτολεμαΐδας (Β' και Γ' φάση τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας) με αποτέλεσμα σήμερα σχεδόν όλη η πόλη να καλύπτεται από το δίκτυο της τηλεθέρμανσης και να υπάρχουν 3.851 κτίρια και περίπου 15.000 διαμερίσματα συνδεδεμένα στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης. Ο Δήμος και η ΔΕ.ΤΗ.Π. έχουν επενδύσει περισσότερα από 60 εκ. ευρώ δημόσιων και ιδίων πόρων επιδιώκοντας την περαιτέρω επέκταση του συστήματος, άμεσα στην περιοχή των εργατικών κατοικιών και του οικισμού Νέας Καρδιάς και μελλοντικά και στις υπόλοιπες κοινότητες του Δήμου Εορδαίας.

Το δίκτυο της τηλεθέρμανσης τροφοδοτήθηκε αρχικά (1993) με θερμική ισχύ $50 \text{ MW}_{\text{th}}$ από τη λιγνιτική μονάδα Πτολεμαΐδα III, που διέκοψε την λειτουργία της τον Νοέμβριο του 2014, ύστερα από ισχυρή φωτιά που ξέσπασε τις εγκαταστάσεις της. Το 2004 προστέθηκαν $25 \text{ MW}_{\text{th}}$ από τον ΑΗΣ ΛΚΔΜ, ο οποίος αποσύρθηκε από την ΔΕΗ, ως ασύμφορος, τον Ιούνιο του 2013. Τον Νοέμβριο του 2012, η τηλεθέρμανση συνδέθηκε με τις μονάδες III και IV του ΑΗΣ Καρδιάς, συμβατικής θερμικής ισχύος $100 \text{ MW}_{\text{th}}$ και παραγόμενης ισχύος στην πόλη $80 \text{ MW}_{\text{th}}$. Σήμερα, η παραγωγή θερμότητας γίνεται μόνο στις συμπαραγωγικές εγκαταστάσεις των μονάδων III και IV του ΑΗΣ Καρδιάς και στο λεβητοστάσιο αιχμής – εφεδρείας το οποίο βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του κεντρικού αντλιοστασίου της ΔΕ.ΤΗ.Π., στο χώρο του πρώην αγροκηπίου της Πτολεμαΐδας, με καύσιμο πετρέλαιο και λέβητα ισχύος $25 \text{ MW}_{\text{th}}$. Ο ΑΗΣ Καρδιάς έχει εισέλθει σε καθεστώς παρέκκλισης περιορισμένης διάρκειας λειτουργίας από 1.1.2016 και μπορεί να λειτουργεί το αργότερο ως το 2023, με βάση το άρθρο 33 της Οδηγίας Βιομηχανικών Εκπομπών (2010/75/ΕΕ).

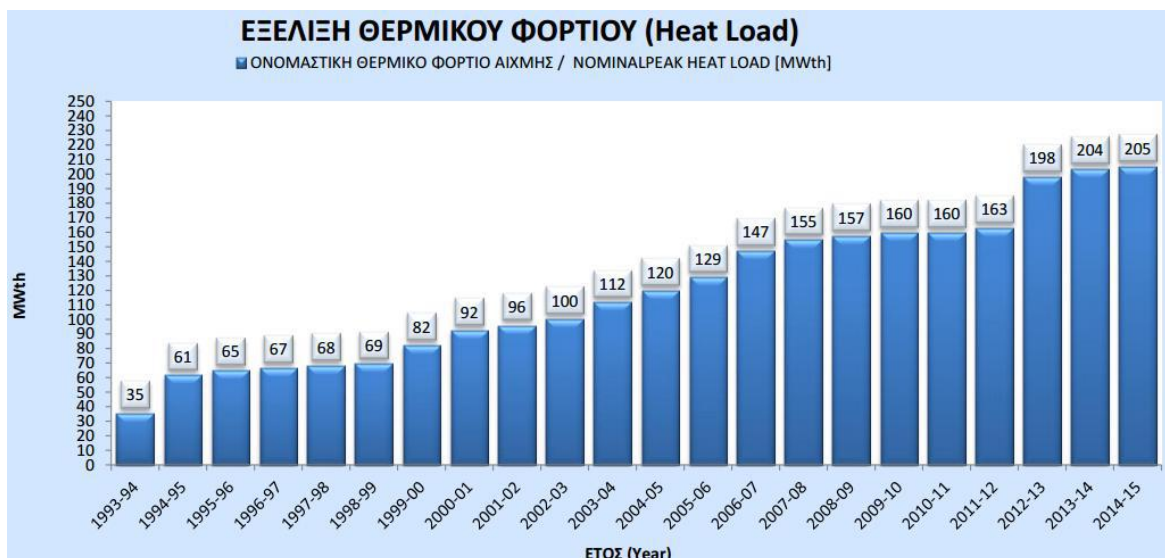
Το σύστημα τηλεθέρμανσης περιλαμβάνει τρεις κατακόρυφες κυλινδρικές δεξαμενές αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με συνολική χωρητικότητα 1.800 m^3 , στις οποίες η θερμική ενέργεια με τη μορφή θερμού νερού αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί όταν αυτό απαιτηθεί. Οι θερμικοί εναποθηκευτές είναι εγκαταστημένοι εντός του αυλείου χώρου του κεντρικού αντλιοστασίου της ΔΕ.ΤΗ.Π. Στις δεξαμενές αποθηκεύεται θερμική ενέργεια κυρίως τις νυχτερινές ώρες, όταν η ζήτηση φορτίου της πόλης είναι μικρή, για να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας, καλύπτοντας την πρωινή και απογευματινή αιχμή της ζήτησης θερμικού φορτίου. Έτσι, με την χρήση εναποθηκευτών, επιτυγχάνεται ορθολογική διαχείριση ενέργειας, ομαλοποίηση της λειτουργίας των συμπαραγωγικών μονάδων, εφόσον δεν είναι πλέον αναγκαία η παρακολούθηση, σε στιγμιαία χρονικά βάση της θερμικής ζήτησης της πόλης. Επιπρόσθετα, με την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας ελαχιστοποιείται και η λειτουργία του λεβητοστασίου αιχμής, ενισχύοντας τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη της λειτουργίας της τηλεθέρμανσης. [20]

Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται με την μορφή υπέρθερμου νερού από τον ΑΗΣ Καρδιάς προς την πόλη και τους καταναλωτές, με δίκτυο δίδυμων προμονωμένων αγωγών. Συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου διαρροών εφαρμόζονται σε όλη την εγκατάσταση και στα κτίρια που συνδέονται με την τηλεθέρμανση, προκειμένου να εντοπιστούν και να μειωθούν οι διαρροές.

Η σύνδεση των κτιρίων στην Πτολεμαΐδα με το σύστημα τηλεθέρμανσης γίνεται με την υπογραφή συμβολαίου, στο οποίο καθορίζεται το αντίστοιχο τέλος σύνδεσης ανά μικτό τετραγωνικό μέτρο προς τη σύνδεση χώρου. Η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας καθορίζεται από το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης. Με βάση το συμβόλαιο σύνδεσης δεν μπορεί να υπερβεί η τιμή αυτό το 70% του αντίστοιχου κόστους πετρελαίου θέρμανσης ενώ μπορεί να φτάσει τόσο χαμηλά όσο το 30% του αντίστοιχου κόστους. Λόγω της ελκυστικής τιμολογιακής πολιτικής η ΔΕ.ΤΗ.Π. κατάφερε να εξασφαλίσει γρήγορα την αποδοχή της τηλεθέρμανσης από τους πολίτες της Πτολεμαΐδας. Η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας προς τους καταναλωτές για το 2014-2015 ήταν $37,74 \text{ €/MWh}$, ενώ η τιμή προμήθειας της θερμικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. το 2012 ήταν $9,87 \text{ €/MWh}$. Συνεπώς, προκύπτει ότι το κόστος προμήθειας θερμικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό λίγο πάνω από το 25% του κόστους πώλησης προς τους καταναλωτές, ενώ το υπόλοιπο 75% είναι κατά κύριο λόγο το λειτουργικό κόστος του δικτύου τηλεθέρμανσης, δηλαδή δαπάνες προσωπικού, δαπάνες συντήρησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, αποσβέσεις και επενδύσεις. Την χειμερινή περίοδο 2014-2015, ο αριθμός των συνδεδεμένων κτιρίων ανέρχονταν σε 3.860 ενώ τα θερμαινόμενα διαμερίσματα ήταν σχεδόν 15.000, μεταξύ των οποίων και 55 δημόσια κτίρια εμβαδού περίπου 100.000 m^2 . Κατά την περίοδο 2013-2014, το συνολικό ετήσιο τιμολογημένο φορτίο ανήλθε σε 159.131 MWh , ενώ την περίοδο

2014-2015 αυξήθηκε στις 183.360MWh. Αντίστοιχα, η ετήσια προμήθεια θερμικής ενέργειας από την Δ.Ε.Η. και την καύση πετρελαίου στο εφεδρικό λέβητα, την περίοδο 2013-2014 ήταν 208.273 MWh και 234.165 MWh την περίοδο 2014-2015. [21]

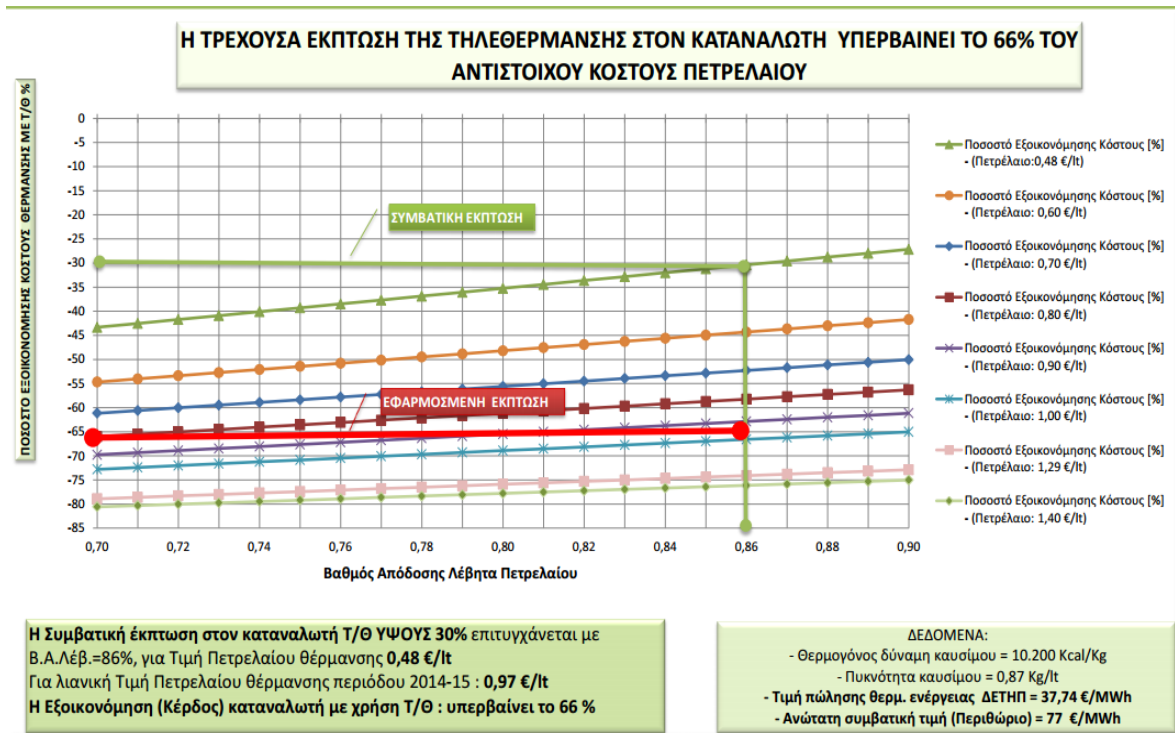
Διάγραμμα 1: Εξέλιξη θερμικού φορτίου (Heat Load) – Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδα⁷



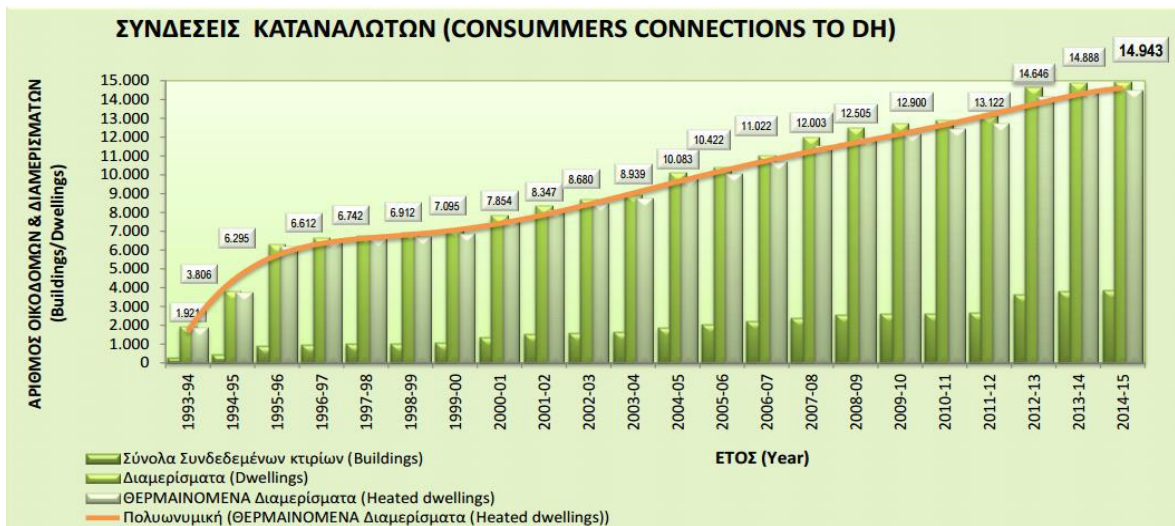
Τα οφέλη από την λειτουργία του συστήματος της τηλεθέρμανσης στην Πτολεμαΐδα είναι τόσο άμεσα, δηλαδή μετρήσιμα, όσο και έμμεσα τα οποία όμως είναι εξίσου σημαντικά καθώς βελτιώνουν την γενικότερη εικόνα του. Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, σημαντικό είναι το γεγονός ότι εξασφαλίζονται σε ετήσια βάση χιλιάδες τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου, εξοικονομώντας και τα αντίστοιχα χρήματα που πιστώνονται στην τοπική και εθνική οικονομία. Επίσης, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση και ορθολογική χρήση της ενέργειας που υπερβαίνει το 30%, καθώς η συμπαράγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού αυξάνει τον βαθμό απόδοσης των μονάδων της Δ.Ε.Η. και μειώνει τις εκπομπές ρύπων. Αξίζει να τονιστεί ότι κάθε MWh συμπαράγωγής μειώνει κατά 160kg έως 500kg τις εκπομπές CO₂. Επίσης, στην πόλη της Πτολεμαΐδας η τηλεθέρμανση έχει συντελέσει στην κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση, καθώς μειώνεται η κίνηση των βυτιοφόρων (για την Πτολεμαΐδα υπολογίζονται παραπάνω από 500 βυτιοφόρα την ημέρα). Τέλος, εξίσου σημαντική είναι η συμβολή της τηλεθέρμανσης στην μείωση του ποσοστού ανεργίας στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, καθώς στην ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας της περιοχής. Οι νέες θέσεις εργασίας που δημιουργούνται κατά την κατασκευή και λειτουργία του συστήματος τηλεθέρμανσης, απευθύνονται κυρίως σε εργατοτεχνικό και επιστημονικό δυναμικό. [20]

⁷ Πηγή: http://www.tpt.gr/images/stories/teuxos/2-load_2015.pdf

Διάγραμμα 2: Έκπτωση της τηλεθέρμανσης σε σχέση με το κόστος πετρελαίου – Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας⁸



Διάγραμμα 3: Συνδέσεις καταναλωτών - Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδα⁹



⁸ Πηγή: <http://www.tpt.gr/images/stories/teuxos/ekptosh-14-15.pdf>

⁹ Πηγή: <http://tpt.gr/images/stories/teuxos/1-consummers connections to dh.pdf>

Πίνακας 1: Πωλούμενη θερμική ενέργεια, αντιστοιχία πετρελαίου και εκπομπές ρύπων – Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας¹⁰

Πωλούμενη Θερμική Ενέργεια και αντιστοιχία πετρελαίου

Ετος	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15
Πωλούμενη Θερμική Ενέργεια [MWh/yr]	150.117	157.269	141.233	154.204	158.094	150.768	157.029	183.583
ΤΟΝΟΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (ΤΟΕ) [ΤΝ]	14.644	15.342	13.777	15.043	15.422	14.707	15.318	17.908

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΛΕΒΗΤΩΝ ΟΙΚΟΔΟΜΩΝ ΑΝΤΙ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ [tn/έτος]

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ [ΤΟΝΟΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ]	ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂	SO ₂	CO	NO _x	HC	ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ
Ειδικός συντελεστής εκπομπής αερίου ρύπου [g/kg καυσίμου]	[ΤΝ/ΕΤΟΣ]	3.142	0,7	0,572	2,384	0,191	0,286
2007-08	14.644	46.010,84	10,25	8,38	34,91	2,80	4,19
2008-09	15.342	48.203,00	10,74	8,78	36,57	2,93	4,39
2009-10	13.777	43.287,92	9,64	7,88	32,84	2,63	3,94
2010-11	15.043	47.263,66	10,53	8,60	35,86	2,87	4,30
2011-12	15.422	48.455,99	10,80	8,82	36,77	2,95	4,41
2012-13	14.707	46.210,65	10,30	8,41	35,06	2,81	4,21
2013-14	15.318	48.129,39	10,72	8,76	36,52	2,93	4,38
2014-15	17.908	56.268,31	12,54	10,24	42,69	3,42	5,12

Παραδοχές :

1. Ειδικός συντελεστής εκπομπής αερίου ρύπου [g/kg καυσίμου] και Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη Καυσίμου Diesel : 11,92 KWh/kg, από
2. Μέσος Βαθμός Απόδοσης Λεβήτων : 0,86 (COM 2008/781)

1.5.4 Τηλεθέρμανση Αμυνταίου

Η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Ευρύτερης Περιοχής Αμυνταίου (ΔΕΤΕΠΑ) συστάθηκε το 1997 από τη συνεργασία του τότε Δήμου Αμυνταίου (6.500 κάτοικοι) με τις κοινότητες Λεβαΐας (1.100 κάτοικοι) και Φιλώτα (2.200 κάτοικοι), ως διαδημοτική επιχείρηση, με σκοπό την εγκατάσταση και λειτουργία συστήματος τηλεθέρμανσης, με τη συμπαραγωγή θερμότητας από τον ΑΗΣ Αμυνταίου – Φιλώτα. Η τηλεθέρμανση ευρύτερης περιοχής Αμυνταίου αποτελεί έργο που κατασκευάστηκε σε τρεις φάσεις, η πρώτη φάση την περίοδο 2000-2004, λειτουργεί από το 2005, η δεύτερη φάση την περίοδο 2008-2009 και η τρίτη φάση την περίοδο 2014-2015, τροφοδοτώντας με θερμική ενέργεια τα κτίρια των οικισμών Αμυνταίου, Λεβαΐας και Φιλώτα. Το έργο της τηλεθέρμανσης έχει κοστίσει περίπου 25 εκατομμύρια €, μέχρι σήμερα, και η χρηματοδότηση του περιλαμβάνει εθνικούς πόρους (αναπτυξιακός νόμος, τοπικός πόρος ανάπτυξης-ΕΑΠ, ΠΔΕ), Ευρωπαϊκούς πόρους (ΕΤΠΑ) καθώς και ίδια κεφάλαια της επιχείρησης (δανεισμό από το Τ.Π & Δ. και Εμπορική τράπεζα) με την εγγύηση του Δήμου. Η πρώτη φάση κατασκευής του έργου προέβλεπε την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού για τη λειτουργία της τηλεθέρμανσης σε θερμικά φορτία μέχρι 25 MW_{th} όση και η αρχική ικανότητα του ΑΗΣ, με την εγκατάσταση, σταδιακά, 1.350 περίπου παροχών καταναλωτών. Σύμφωνα με την μελέτη εφαρμογής του έργου, η ισχύς αιχμής της εγκατάστασης θα ανέλθει στα 34MW_{th}, εφόσον συνδεθούν στο σύστημα το 100% των κτιρίων των τριών οικισμών, που αντιστοιχεί σε 1900 περίπου συνδέσεις.

¹⁰ Πηγή: http://www.tpt.gr/images/stories/teuxos/meiosh_ekpompon_co2_2015.pdf

Το συνολικό έργο «Τηλεθέρμανση Ευρύτερης Περιοχής Αμυνταίου» αποτελείται από τα παρακάτω υποέργα:

- Μετασκευές στον ΑΗΣ/Δ.Ε.Η. Αμυνταίου – Φιλώτα (25MW)
- 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 (1.200m³)

Εικόνα 7: Κεντρικό Αντλιοστάσιο – Τηλεθέρμανση Αμυνταίου¹¹



Η θερμική ενέργεια του συστήματος λαμβάνεται από τον ΑΗΣ Αμυνταίου – Φιλώτα μέσω διβάθμιας απομάστευσης ατμού των στροβίλων. Το σύστημα τηλεθέρμανσης είναι συνδεδεμένο και με τις δύο μονάδες του ΑΗΣ, σε 100% εφεδρεία. Σήμερα έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί η μία απομάστευση από κάθε στρόβιλο, με ονομαστική θερμική ισχύ 25MW_{th}. Η θερμοκρασία υπολογισμού των εγκαταστάσεων θέρμανσης είναι αυτή των -12°C. Η περίοδος θέρμανσης, ανέρχεται σε 5.000 h/έτος περίπου, ενώ οι αρνητικές θερμοκρασίες εμφανίζονται περίπου 600 ώρες/έτος. Τα δίκτυα διανομής στους 3 οικισμούς είναι δισωλήνια σε ακτινική – δενδροειδή διάταξη, υπόγεια, αποτελούμενα από αγωγούς κατάλληλους για τη μεταφορά του θερμού νερού. Οι αγωγοί φέρουν μόνωση από πολυουρεθάνη και προστατευτικό περίβλημα από πολυαιθυλένιο και είναι κατασκευασμένοι και εγκαταστημένοι σύμφωνα με τους σχετικούς Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς. Το σύστημα μεταφοράς αποτελείται από υπόγειους δίδυμους προμονωμένους αγωγούς, μήκους 9.900 μέτρων έκαστος, που ξεκινάνε από το κεντρικό αντλιοστάσιο και καταλήγουν στα χωριά. Το κεντρικό αντλιοστάσιο εξυπηρετεί την κυκλοφορία του νερού στα δίκτυα διανομής με ικανότητα 620 m³/h και περιλαμβάνει σύστημα διατήρησης πίεσης και

¹¹ Πηγή: <http://www.detepa.gr/texnika-stoixeia.html>

συμπλήρωσης νερού. Για την καλύτερη κατανομή των πιέσεων στα δίκτυα διανομής των τριών οικισμών, έχει κατασκευαστεί ένα ακόμα αντλιοστάσιο στην είσοδο του χωριού Φιλώτα, για την μείωση των πιέσεων μέσω υδραυλικού διαχωρισμού με εναλλάκτη θερμότητας, ισχύος 13MW_{th} .

Ολόκληρο το δίκτυο διαθέτει κατάλληλο σύστημα ανίχνευσης διαρροών – εισροών υγρασίας, ικανό να εντοπίζει την ελάχιστη εμφάνιση υγρασίας στη μόνωση των σωλήνων καθώς και το ακριβές σημείο όπου εμφανίζεται το σφάλμα, σε κωδικοποιημένο χάρτη του δικτύου. Το συνολικό σύστημα τηλεθέρμανσης είναι σχεδιασμένο ώστε να εξυπηρετεί τις καταναλώσεις με θερμοκρασίες του θερμού νερού προσαγωγής, οι οποίες κυμαίνονται εποχιακά μεταξύ 80°C και 120°C . Οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης των κτιρίων επιτρέπουν θερμοκρασίες επιστροφής κυμαινόμενες εποχιακά μεταξύ 40°C και 65°C . Οι θερμικοί υποσταθμοί έμμεσου συστήματος των κτιρίων διαθέτουν εναλλάκτη τύπου πλακών (branded plate heat exchanger) του οποίου το ένα ρεύμα συνδέεται στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης και το άλλο στην εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης του κτιρίου. Η ρύθμιση του αποδιδόμενου θερμικού φορτίου στο κτίριο γίνεται μέσω κατάλληλης ηλεκτροκίνητης βαλβίδας, η οποία εντέλλεται από τον προγραμματιστή λειτουργίας του θερμικού υποσταθμού.

Για την περίοδο θέρμανσης 2014-2015, η συνολική αγορά θερμικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. ανήλθε στις $42.731,12\text{MWh}$ με μέσο κόστος αγοράς $7,16\text{€/MWh}$. Η τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας προς τους καταναλωτές αντίστοιχα ανήλθε σε $41,26\text{€/MWh}$ προ Φ.Π.Α. Στην παρούσα φάση επικρατεί προβληματισμός και αναζητούνται εναλλακτικές λύσεις σχετικά με την τροφοδοσία του δικτύου τηλεθέρμανσης από τους σταθμούς της Δ.Ε.Η. λόγω του ότι ο ΑΗΣ Αμυνταίου, όπως και ο ΑΗΣ Καρδιάς, που αναφέρθηκε παραπάνω, από 1.1.2016 βρίσκεται σε καθεστώς παρέκκλισης περιορισμένης διάρκειας λειτουργίας, με βάση το άρθρο 33 της Οδηγίας Βιομηχανικών Εκπομπών (2010/75/ΕΕ) και μπορεί να λειτουργεί το αργότερο ως το 2023. [22]

Πίνακας 2: Αριθμός συνδεδεμένων παροχών – Τηλεθέρμανση Αμυνταίου¹²

ΕΤΟΣ	Συνδεδεμένες παροχές	Συνδέσεις παροχών ανά έτος	Κατασκευασμένες παροχές	Νοικοκυριά
2005	409	409	870	905
2006	687	278	870	1002
2007	721	34	870	1060
2008	743	22	870	1093
2009	903	160	1290	1093
2010	1109	206	1290	1505
2011	1173	64	1340	1740
2012	1193	20	1340	1811
2013	1206	13	1341	1847
2014	1207	1	1343	1851
2015	1650		1873	← εκτίμηση

¹² Πηγή: <http://www.detepa.gr/texnika-stoixeia.html>

1.5.5 Τηλεθέρμανση Μεγαλόπολης

Η τηλεθέρμανση της Μεγαλόπολης λειτουργεί με συμπαραγωγή από την παρακείμενη μονάδα III του ΑΗΣ Δ.Ε.Η. Μεγαλόπολης εκμεταλλευόμενη ενέργεια από ανάκτηση και απομάστευση απορριπτόμενης θερμότητας στον πύργο ψύξης του σταθμού. Η εγκατάσταση της τηλεθέρμανσης απαρτίζεται από τις ακόλουθες κύριες ενότητες:

- Εναλλάκτες θερμότητας ατμού/νερού τηλεθέρμανσης που έχουν εγκατασταθεί στην III μονάδα του ΑΗΣ Μεγαλόπολης.
- Δίκτυο μεταφοράς θερμότητας διδύμων προμονωμένων αγωγών για την μεταφορά του νερού από τον ατμοηλεκτρικό σταθμό στο αντλιοστάσιο.
- Αντλιοστάσιο που εξασφαλίζει την κυκλοφορία του θερμού νερού από και προς την πόλη.
- Λεβητοστάσιο με λέβητες αιχμής – υποστήριξης με καύση βιομάζας που θα λειτουργούν το σύστημα με τις κατάλληλες προσθήκες και μετατροπές και μετά την εξάντληση των λιγνιτικών κοιτασμάτων της περιοχής.
- Θερμοδοχείο που μεταθέτει τις ώρες αιχμής της τηλεθέρμανσης εκτός αιχμών της Δ.Ε.Η. και ελαττώνει τις απαιτήσεις εγκαταστάσεων υποστήριξης και αυξάνει την αξιοπιστία σε περίπτωση βλάβης του συστήματος.
- Δίκτυο διανομής το οποίο είναι εγκαταστημένο μέσα στην πόλη με κεντρικούς άξονες, κλάδους και διακλαδώσεις παροχής θερμότητας στους καταναλωτές.
- Σταθμοί καταναλωτών – εναλλάκτες στα κτίρια της πόλης, που υποκαθιστούν τους λέβητες κεντρικής θέρμανσης για παροχή θερμού νερού θέρμανσης και χρήσης 90°C.

Εικόνα 8: Αντλιοστάσιο – Τηλεθέρμανση Μεγαλόπολης¹³



¹³ Πηγή: <https://www.megalopoli.gov.gr/2015-03-26-13-05-52/128-dimotikes-epixeiriseis/649-tilethermans-i-megalopolis-anonymi-etairia-ota>

Την διαχείριση του συστήματος τηλεθέρμανσης της Μεγαλόπολης την έχει η Τηλεθέρμανση Μεγαλόπολης Ανώνυμη Εταιρεία ΟΤΑ, η οποία συστήθηκε το 2011 ως διάδοχο σχήμα της μετατραπέιας αμιγούς Δημοτικής Επιχείρησης Παροχής Υπηρεσιών Προστασίας Περιβάλλοντος & Ανάπτυξης Μεγαλόπολης. Βασικός σκοπός της εταιρείας είναι η μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, εκμετάλλευση, διοίκηση και λειτουργία της τηλεθέρμανσης Μεγαλόπολης. Η ανάπτυξη παράλληλων ενεργειακών δράσεων, όπως καλλιέργεια και παραγωγή φυτικής βιομάζας και άλλες δράσεις που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελούν επίσης σκοπούς της εταιρείας.

Η λειτουργία της τηλεθέρμανσης Μεγαλόπολης παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, όπως είναι ο περιορισμός των αερίων ρύπων από πετρέλαιο θέρμανσης, αφού η θερμότητα της τηλεθέρμανσης προέρχεται από ανάκτηση ενέργειας από τον ατμοηλεκτρικό σταθμό, η ελάττωση της εξάτμισης στο πύργο ψύξης του ΑΗΣ, που έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της κατανάλωσης νερού ψύξης επιβραδύνοντας έως τον υποβιβασμό της στάθμης των υπόγειων υδάτων, τη μηδενική επιβάρυνση σε CO₂. Τέλος, η κατά 40% χαμηλότερη τιμή της τηλεθέρμανσης σε σχέση με το πετρέλαιο θέρμανσης, ενισχύει τα περίπου 900 νοικοκυριά που εξυπηρετούνται. [23]

1.5.6 Τηλεθέρμανση Σερρών

Η Techem το 2006, μέσω της θυγατρικής της Techem Hellas Ε.Π.Ε., εξαγοράζει το 50,24% του μετοχικού κεφαλαίου της ΘΕΡΜΗ ΣΕΡΡΩΝ Α.Ε. προκειμένου, σε συνεργασία με τον όμιλο εταιρειών ΙΤΑ Group, να υλοποιήσει το έργο της ανέγερσης σύγχρονης εργοστασιακής μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τηλεθέρμανση στις Σέρρες.

Η ΘΕΡΜΗ ΣΕΡΡΩΝ Α.Ε. έχοντας εμπιστοσύνη στην αξιοπιστία και την εμπειρία της Techem σε ζητήματα διαχείρισης ενέργειας και εξοικονόμησης πόρων, της αναθέτει την παροχή υπηρεσιών οικιακής θέρμανσης με την πιο σύγχρονη και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο, την τηλεθέρμανση. Από το 2007, έως σήμερα, η Techem Energy Contracting Hellas είναι αποκλειστικός πάροχος ενεργειακών υπηρεσιών της τηλεθέρμανσης Σερρών, έχοντας ως βασικά καθήκοντα την εμπορική διαχείριση του έργου της τηλεθέρμανσης, την εξυπηρέτηση των καταναλωτών της, τη μέτρηση και τον έλεγχο των οικιακών καταναλώσεων καθώς και την έκδοση και είσπραξη των εκδοθέντων τιμολογίων κατανάλωσης ενέργειας.

Από τον Οκτώβριο του 2007, η πόλη των Σερρών απολαμβάνει τα οφέλη της τηλεθέρμανσης. Η επένδυση της ΘΕΡΜΗ ΣΕΡΡΩΝ Α.Ε., αποτελείται από το εργοστάσιο συμπαραγωγής και το δίκτυο τηλεθέρμανσης. Η συνολική ισχύς του σταθμού είναι 16 MW_e και 92 MW_{th}, η οποία παράγεται από 4 εμβολοφόρες μηχανές με ισχύ 4 MW_e και 4.24 MW_{th} η καθεμία και 5 λέβητες με καυστήρα διπλού καυσίμου (φυσικό αέριο και πετρέλαιο), συνολικής ισχύος 75 MW_{th}.

Το δίκτυο της τηλεθέρμανσης, συνολικού μήκους 95 χιλιομέτρων περίπου περιλαμβάνει το υπόγειο δίκτυο (πρωτεύον και δευτερεύον) καθώς και τις συνδέσεις των καταναλωτών. Οι σωληνώσεις είναι προμονωμένοι χαλύβδινοι αγωγοί με εξωτερική προστατευτική επένδυση και χωρίς κενό αέρα ανάμεσα στο θερμομονωτικό υλικό και το εξωτερικό περίβλημα, αλλά έχουν μια ειδική προστασία (φύλλο πολυουρεθάνης) που εμποδίζει την υγρασία να μπει μέσα στο θερμομονωτικό υλικό. Σε κάθε κτίριο που συνδέεται με το δίκτυο της τηλεθέρμανσης, εγκαθίσταται ένας θερμικός υποσταθμός με εναλλάκτη θερμότητας και θερμοδομετρητή μέσω του

οποίου ζεσταίνεται το νερό του δικτύου κεντρικής θέρμανσης του κτιρίου και επομένως ζεσταίνεται κάθε διαμέρισμα αλλά και το δίκτυο ζεστού νερού που προορίζεται για χρήση από τους ενοίκους.

Εικόνα 9: Η μονάδα συμπαραγωγής - Τηλεθέρμανση Σερρών¹⁴



Η ΘΕΡΜΗ ΣΕΡΡΩΝ Α.Ε. θερμαίνει περισσότερα από 700 κτίρια και έχει εγκατεστημένους 800 θερμικούς υποσταθμούς εξυπηρετώντας πάνω από 10.000 διαμερίσματα, με συνολική θερμαινόμενη επιφάνεια 750.000m². Η κατάργηση της θέρμανσης με λέβητες πετρελαίου μειώνει τους ρύπους έως και 14.000 τόνους CO₂ κάθε έτος και 40 τόνους SO₂ ανά έτος. [24]

¹⁴ Πηγή: <http://ita-sa.gr/%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B1-%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BD%CE%B4%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CF%84%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%88%CF%8D%CE%BE%CE%B7>

Κεφάλαιο 2: Βιομάζα

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον ορισμό της Οδηγίας 2009/28/EK, « η βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων βιολογικής προέλευσης από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και ζωικών ουσιών), τη δασοπονία και τις συναφείς τους βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων της αλιείας και των υδατοκαλλιεργειών, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων». [25]

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή για την κάλυψη πολλών ενεργειακών αναγκών. Η «βιοενέργεια», δηλαδή η ενέργεια από βιομάζα, είναι αποθηκευμένη χημική ενέργεια και περιλαμβάνει κάθε στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο, οποιαδήποτε ποσότητα ηλεκτρισμού ή ωφέλιμο χημικό παράγωγο, που προέρχονται είτε κατευθείαν από τα φυτά, είτε έμμεσα από φυτικής προέλευσης βιομηχανικά, εμπορικά ή αστικά απόβλητα, ή από γεωργικά και δασικά υπολείμματα. [26]

Η βιομάζα είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Η ενέργεια της βιομάζας ή αλλιώς βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια αποτελεί τη δευτερογενής ηλιακή ενέργεια καθώς οι φυτικοί οργανισμοί, με τη βοήθεια του ήλιου και των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και το νερό σε σάκχαρα και οξυγόνο. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Επομένως, κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης σχηματίζονται οργανικές ενώσεις (υδρογονάνθρακες), δηλαδή η βιομάζα. Από τη στιγμή που η βιομάζα έχει σχηματιστεί, μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε ως πηγή ενέργειας. Θεωρείται μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί είναι μια αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που έχει δεσμευτεί από τα φυτά κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Ακόμα και σήμερα, υπάρχουν λαοί στην Αφρική, στην Ινδία και αλλού που για να καλύψουν τις βασικές τους ανάγκες χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.α.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.α.).

Γενικότερα για όσα υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.α.) των πόλεων και των βιομηχανιών, υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας και μετατροπής σε ενέργεια. Εξαιτίας του αυξημένου ενδιαφέροντος προς την πράσινη ενέργεια και των οικονομικών ενισχύσεων που δίνονται από την Ε.Ε., η αγορά βιομάζας αναμένεται να αναπτυχθεί περαιτέρω τα επόμενα χρόνια. Με την αναμόρφωση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) της Ε.Ε. ευνοείται η καλλιέργεια συγκεκριμένων αγροτικών προϊόντων για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Τέλος, η χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο), ενώ παράλληλα συντελεί στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας, μέσω της εξασφάλισης εργασίας και της συγκράτησης των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και άλλες αγροτικές περιοχές. [27]

2.2 Είδη – Πηγές βιομάζας

Οι πιθανές πηγές βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενεργειακή μετατροπή καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα υλικών. Η χρήση της βιομάζας μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες, τη σύγχρονη και την παραδοσιακή βιομάζα. Η σύγχρονη βιομάζα αναφέρεται σε μεγάλης κλίμακας χρήση και στόχο έχει να υποκαταστήσει τα παραδοσιακά καύσιμα. Περιλαμβάνει δασική ξυλεία και αγροτικά υπολείμματα, αστικά απόβλητα και ενεργειακές φυτείες. Η παραδοσιακή βιομάζα περιορίζεται σε μικρής κλίμακας χρήσεις και σε αναπτυσσόμενες περιοχές και κράτη. Περιλαμβάνει ξυλεία και ξυλοκάρβουνα για οικιακή χρήση, υπολείμματα κλαδεμάτων, καθώς και απόβλητα ζώων. Μια άλλη διάκριση στους τύπους βιομάζας γίνεται με βάση την προέλευση. Πρώτον, υπάρχει η βιομάζα η οποία παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες και δεύτερον, υπάρχουν οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα, ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα). Ορισμένα υδατικά είδη βιομάζας θεωρούνται επίσης κατάλληλα για ενεργειακές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένου του φυτοπλαγκτόν, των μονοκυτταρικών και πολυκυτταρικών φυτών, φυτών γλυκού νερού και θαλασσίων ειδών. Όμως, οι πληροφορίες οι οποίες είναι διαθέσιμες για τα είδη αυτά είναι πολύ λίγες και οι συνθήκες στη Νότια Ευρώπη δεν είναι ευνοϊκές για την παραγωγή τους. [28]

2.2.1 Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα, ως κύριο προϊόν, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, όπως παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων κ.α.

Οι παραδοσιακές καλλιέργειες των οποίων το τελικό προϊόν θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων θεωρούνται ενεργειακές καλλιέργειες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα κι ο ηλίανθος, όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλης και βιοντίζελ).

Οι «νέες» ενεργειακές καλλιέργειες είναι είδη με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης κι αναφέρονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις γεωργικές και τις δασικές. Οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται περαιτέρω σε ετήσιες και πολυετείς.

Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες

- Δύο είδη ευκαλύπτων
- Ψευδακακία

Γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

-Πολυετείς

- Καλάμι
- Μίσχανθος
- Αγριαγκινάρα

- Switchgrass

-Ετήσιες

- Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο
- Κενάφ
- Ελαιοκράμβη
- Ηλίανθος

Εικόνα 10: Συγκομιδή αγριαγκινάρας¹⁵



Οι ενεργειακές καλλιέργειες επιλέγονται προσεχτικά ώστε να αναπτύσσονται ταχέως, να είναι ανθεκτικές στην ξηρασία και τα παράσιτα και να έχουν εύκολη συγκομιδή προκειμένου να επιτρέπουν ανταγωνιστικές τιμές όταν χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. Πέρα από την αξία τους ως καύσιμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον έλεγχο της διάβρωσης, την αναβάθμιση του εδάφους, αλλά και ως φυσικά φίλτρα για την παρεμπόδιση της διαφυγής των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος προς τους υδροφόρους ορίζοντες. Τέλος, αναπτύσσονται σε αγροτικές εκτάσεις που δεν χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια τροφών, ζωοτροφών ή ινών. Τέτοιες εκτάσεις μπορεί να είναι γαίες που αποσύρονται από τη χρήση για λόγους ελέγχου των τιμών ή εκτάσεις όπου η καλλιέργεια των τροφών είναι οικονομικά ασύμφορη. Συγκριτικά με τις παραδοσιακές γεωργικές καλλιέργειες, οι ενεργειακές απαιτούν λιγότερη συντήρηση και αγωγή με λιπάσματα και παρασιτοκτόνα. [29]

2.2.2 Αγροτικά υπολείμματα

Τα αγροτικά υπολείμματα, τα οποία παράγονται στον αγρό διαχωρίζονται μεταξύ (α) υπολειμμάτων, τα οποία παραμένουν στον αγρό μετά την ετήσια συγκομιδή της σοδειάς, όπως

¹⁵ Πηγή: <http://agrosimvoulos.gr/>

φύλλα, στελέχη, καρποί κτλ. Οι κυριότερες ετήσιες καλλιέργειες είναι τα χειμερινά δημητριακά, το ρύζι, ο αραβόσιτος, το βαμβάκι, ο καπνός και τα ζαχαρότευτλα και (β) υπολείμματα από πολυετή φυτά μετά το κλάδεμα δένδρων και αμπελιών, όπως κλαδέματα ελιάς, πορτοκαλιάς, αμυγδαλιάς, ροδακινιάς, αμπέλου κλπ.

Τα υπολείμματα καλλιέργειας είναι όλα τα μη βρώσιμα τμήματα των φυτών, τα οποία εγκαταλείπονται στους αγρούς μετά τη συγκομιδή και τα υπολείμματα, τα οποία δημιουργούνται στις μονάδες συσκευασίας ή απορρίπτονται κατά την επεξεργασία της σοδειάς. Τα υπολείμματα της καλλιέργειας είναι συνήθως ογκώδη και η μεταφορά τους γίνεται με δυσκολία. Κατά συνέπεια, δεν είναι πρακτικό να μεταφέρονται μακριά από το σημείο παραγωγής τους. Τα υπολείμματα είναι μόνο διαθέσιμα για ένα περιορισμένο διάστημα του έτους. Για να είναι διαθέσιμα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, απαιτούνται εγκαταστάσεις αποθήκευσης μεγάλων διαστάσεων. Δεν είναι δυνατόν να συλλεχθούν όλα τα υπολείμματα, ενώ ορισμένα πρέπει να παραμείνουν στη γη για την αποφυγή διάβρωσης των εδαφών και κατ' αυτόν τον τρόπο να εξασφαλίσουν τη μακροπρόθεσμη παραγωγικότητα. Το παγκόσμιο δυναμικό των αγροτικών υπολειμμάτων έχει εκτιμηθεί σε 3-4 δις τόνους ετησίως.

Η γεωργική πρακτική είναι συνήθως τα υπολείμματα αυτά, να επιστρέφονται στο χώμα, να καίγονται, να αφήνονται να αποσυντίθεται ή να αποτελούν απόθεμα βοσκής. Ωστόσο, σειρά μελετών για τη γεωργία και τη βιομάζα έχουν καταλήξει στο ότι είναι δυνατό να αφαιρείται και να αξιοποιείται ένα μέρος των γεωργικών υπολειμμάτων για παραγωγή ενέργειας, παρέχοντας μεγάλους όγκους υλικού χαμηλού κόστους. Τα υπολείμματα αυτά θα μπορούσαν να καούν / αεριοποιηθούν για την παραγωγή θερμότητας ή και ηλεκτρισμού. [30]

2.2.3 Δασικά υπολείμματα

Η βιομάζα δασικής προέλευσης, που μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα κανσόξυλα, τα υπολείμματα υλοτομίας, υπό τη μορφή φλοιών, κορυφών δένδρων, κλαδιών, φύλλων και βελόνων κωνοφόρων, τα οποία παραμένουν στο έδαφος του δάσους, στα υπολείμματα από αραιώσεις νεαρών δένδρων και σε υλικό προερχόμενο από την απομάκρυνση της υπο – ορόφου βλάστησης για προστασία ενάντια στις δασικές πυρκαγιές.

Οι υπολειμματικές μορφές ξύλου, οι οποίες λαμβάνονται από την ορθή διαχείριση του δάσους, δεν απομειώνουν τη δασική πρώτη ύλη. Με τη χρήση συντηρήσιμων πρακτικών, είτε τα δένδρα ξαναφυτεύονται, είτε δασική πηγή υπόκειται σε διαχείριση με στόχο την αναγέννηση, για τη βελτίωση της υγείας και της μελλοντικής παραγωγικότητας της.

Όσοι έχουν προσπαθήσει να εκτιμήσουν την ακριβή ποσότητα των δασικών υπολειμμάτων, τα οποία μπορούν, ρεαλιστικά, να συλλεχθούν και να χρησιμοποιηθούν σαν υπολειμματική βιομάζα σε μια χώρα, έχουν αντιμετωπίσει σημαντικές δυσκολίες. Η βιομάζα δασικής προέλευσης αντιπροσωπεύει μακροπρόθεσμα την περισσότερο σημαντική πηγή βιομάζας στην Ελλάδα, υπό την προϋπόθεση του ότι θα ξεπεραστούν τα τεχνικά και μη τεχνικά εμπόδια, τα οποία επηρεάζουν τη διαχείριση του δάσους. Τα δάση, τα οποία δεν σχετίζονται με κάποια βιομηχανική παραγωγή, καλύπτουν το 25% της συνολικής έκτασης της χώρας (3,2 εκατομμύρια εκτάρια). Τα υπολείμματα υλοτομίας, προκύπτουν από τις διεργασίες συγκομιδής και εγκαταλείπονται στο έδαφος του δάσους. Το δυναμικό των υπολειμμάτων υλοτομίας εκτιμάται σε περίπου 1,7 εκατομμύρια τόνους, όμως μόνο ένα τμήμα από αυτά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς, μετά

την εφαρμογή μιας σύγχρονης τεχνολογίας συγκομιδής. Τα υπολείμματα υλοτομίας, μπορούν να ανακτηθούν εύκολα μετά την εμπορική εσοδεία και τις διεργασίες καθαρισμού του εδάφους. Τα υπολείμματα των κλαδεμάτων για παραγωγή καύσιμης ξυλείας, μπορούν να ανακτηθούν επίσης, σε συνδυασμό με τις προσπάθειες για τη μείωση των κινδύνων πυρκαγιάς στα δάση. [31]

Εικόνα 11: Δασικά υπολείμματα¹⁶



2.2.4 Ζωικά απόβλητα

Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωικής προέλευσης περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία. Τα ζώα τα οποία παράγουν μεγάλες και τοπικά συγκεντρωμένες ποσότητες περιττωμάτων, είναι τα πρόβατα, τα ερίφια, οι αγελάδες, τα μοσχάρια, οι χοίροι, τα κοτόπουλα πτηνοτροφείου και τα πουλερικά εν γένει. Στην Ελλάδα, η εκτροφή προβάτων και εριφίων είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη και η κοπριά βρίσκεται σκορπισμένη σε όλη την έκταση των βοσκοτόπων. Μεγάλες ποσότητες συγκεντρωμένης κοπριάς παράγονται στα εκτροφεία αγελάδων, χοίρων και πουλερικών.

Η χρησιμοποίηση κοπριάς από εκτρεφόμενα ζώα και πουλερικά ως πηγή απόβλητης βιομάζας για παραγωγή ενέργειας θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση της ρύπανσης και ταυτόχρονα να ανοίξει νέες αγορές. Διαισθητικά, μεγάλοι πληθυσμοί συγκεκριμένων ζώων θα μπορούσαν να αποτελέσουν την καλύτερη πηγή απόβλητης βιομάζας, καθώς θα μεγιστοποιούσαν την παραγωγή αποβλήτων. Όμως, οι ποσότητες και τα συστατικά της απόβλητης βιομάζας διαφέρουν ανάλογα με το είδος των ζώων, τη γεωγραφική περιοχή, την ποσότητα τροφής, η οποία καταναλώνεται από τα ζώα, και τον τύπο των φυτών στην περιοχή, όπου τα ζώα μεγαλώνουν. Στην Ελλάδα, τα ζώα παράγουν μία σημαντική ποσότητα αποβλήτων, καθώς η κτηνοτροφία είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη. Η διαθέσιμη ποσότητα υπολειμμάτων κοπριάς εξαρτάται από τον αριθμό των ζώων και τις απαιτήσεις για χρησιμοποίηση της σαν λίπασμα. [32]

Η οργανική ύλη των ζωικών αποβλήτων περιέχει ενέργεια δεσμευμένη στα μόρια της, όπου το μεγαλύτερο μέρος της μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους μικροοργανισμούς για τις

¹⁶ Πηγή: <http://www.agroenergy.gr/>

ανάγκες του μεταβολισμού τους. Αν οι συνθήκες δράσεις είναι αναερόβιες, παράγεται βιοαέριο, δηλαδή αέριο μείγμα πλούσιο σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, και συνεπώς με ενεργειακό ενδιαφέρον. Ελεγχόμενες αναερόβιες συνθήκες επιτυγχάνονται σε κατάλληλους αντιδραστήρες. Η παραγωγή βιοαερίου παρέχει ένα φθινό και εύχρηστο καύσιμο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή να καεί άμεσα για θέρμανση χώρων ή νερού. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στη σημερινή εποχή η διάθεση των ζωικών αποβλήτων αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα, παρέχονται επιπλέον κίνητρα για τη μετατροπή τους σε ενέργεια. [33]

2.2.5 Βιομηχανικά απόβλητα

Τα βασικά αγροτο-βιομηχανικά υπολείμματα υπό μορφή φλοιών, κελυφών, πυρήνων κλπ. προέρχονται από γεωργικές βιομηχανίες, όπως αλευροβιομηχανίες, βιομηχανίες ρυζιού, βιομηχανίες αραβόσιτου, εκκοκκιστήρια βάμβακος, βιομηχανίες επεξεργασίας φρούτων, οينوποιεία, σπορελαιουργεία, βιομηχανίες παραγωγής ελαιολάδου και πυρηνελαιουργεία.

Η βιομηχανία προϊόντων ξύλου, η οποία περιλαμβάνει τις μονάδες παραγωγής χάρτου, τα πριονιστήρια και τις μονάδες κατασκευής επίπλων, παράγει μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων ξύλου. Μια άλλη πηγή είναι το απόβλητο ξύλο από αστικές κατασκευαστικές εργασίες και από κατεδαφίσεις, καθώς και από συσκευασίες ξύλου. Τα πριονιστήρια, μαζί με τις μονάδες παραγωγής καπλαμά, μοριοσανίδας και κοντραπλακέ, σε συνδυασμό με αναβάθμιση για παραγωγή καυσίμου, προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες ολοκλήρωσης, εκμεταλλεζόμενες τα πλεονεκτήματα που θα προσέδιδε η χρήση κοινών εγκαταστάσεων επεξεργασίας υπολειμμάτων και μεγιστοποιώντας το όφελος, το οποίο απορρέει από τη χρήση των υπολειμμάτων ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία και ως καυσίμων.

Όπως επεξεργάζονται τα απόβλητα από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες με τον ίδιο τρόπο, μέσω της αναερόβιας χώνευσης, επεξεργάζονται και τα απόβλητα των βιομηχανιών παραγωγής τροφίμων που αναφέρθηκαν παραπάνω, είτε βρίσκονται σε στερεά είτε σε υγρή μορφή. Αυτή η μέθοδος βοηθά στη μείωση της έντονης ρύπανσης που προκαλούνταν από τα υγρά απόβλητα (π.χ. τυρόγαλα, κατσίγαρος, απόβλητα σφαγείων, απόβλητα χυμοποιείων, ζυθοποιείων και βιομηχανιών επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών), πλέον μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια και προκύπτουν πολλαπλά οφέλη, όπως ότι διακόπτεται η περιβαλλοντική υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών από την λειτουργία των ρυπογόνων βιομηχανιών με τρόπο που όχι μόνο δεν κοστίζει στον παραγωγό του αποβλήτου, αλλά του προσφέρει επιπλέον έσοδα από την πώληση της εναλλακτικής ενέργειας και την αποφυγή των υψηλών προστίμων που οφείλει να πληρώνει για την ακατάλληλη διάθεση των αποβλήτων του. Αντιστοίχως, για τα στερεά οργανικά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων υπάρχουν αποτελεσματικές τεχνολογίες χρήσης τους για την παραγωγή βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Για την εγκατάσταση μιας τεχνολογικά άρτιας μονάδας παραγωγής βιοενέργειας είναι, συνήθως, αναγκαία η συνεργασία των παραγωγών των ζωικών αποβλήτων με εκείνους των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων για την κατασκευή μονάδας συνδυασμένης αναερόβιας χώνευσης. [34]

2.2.6 Δημοτικά απόβλητα

Τα δημοτικά απόβλητα, τα οποία προσφέρουν ευκαιρίες για συνδυασμένη αποκομιδή απορριμμάτων και ανάκτηση ενέργειας, περιλαμβάνουν τα δημοτικά στερεά απόβλητα (αστικά απορρίμματα και σκουπίδια) και τα βιο-στερεά (λύματα, λάσπη).

Τα δημοτικά απορρίμματα με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι το χαρτί και το χαρτόνι, τα πλαστικά, τα σκουπίδια από τις αυλές, το ξύλο και τα υπολείμματα τροφών. Τα απόβλητα ύδατα από οικιακές πηγές, τη βιομηχανία, τη διήθηση των επιγείων υδάτων και την απορροή των υδάτων των καταιγίδων περιέχουν τα κύρια βιο-στερεά (στερεά τα οποία είτε καθιζάνουν, είτε αιωρούνται).

Τα αστικά στερεά απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια με άμεση καύση ή μέσω φυσικής αναερόβιας χώνευσης στο χώρο ταφής τους (παραγωγή βιοαερίου). Στους χώρους ταφής, το παραγόμενο αέριο από τη φυσική αποσύνθεση των αστικών στερεών απορριμμάτων (περίπου 50% μεθάνιο και 50% διοξείδιο του άνθρακα) συλλέγεται από συσσωρευμένα υλικά και καθαρίζεται πριν την τροφοδοσία των μηχανών εσωτερικής καύσης ή των αεριοστρόβιλων για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Ως πηγή ενέργειας, τα αστικά λύματα παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τα ζωικά απόβλητα, με τη μόνη διαφορά ότι αυτά υφίστανται επεξεργασία εδώ και πολλά χρόνια στις αναπτυγμένες χώρες. Η ενεργειακή αξιοποίηση των αστικών λυμάτων επιτυγχάνεται μέσω της αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή βιοαερίου. Η παραμένουσα λάσπη μπορεί στη συνέχεια να αποτεφρωθεί ή να υποστεί πυρόλυση, ώστε να παραχθεί περισσότερο βιοαέριο και βιοέλαιο. [28]

2.3 Ιδιότητες βιομάζας

2.3.1 Θερμογόνος δύναμη

Η καταλληλότητα της βιομάζας ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας σε διεργασίες καύσης βασίζεται στο ενυπάρχον ενεργειακό περιεχόμενο των στοιχειακών συστατικών, της πυκνότητας και της περιεκτικότητας σε υγρασία του υλικού. Ένα σύνηθες μέτρο της ενυπάρχουσας ενέργειας ενός καυσίμου είναι η θερμογόνος δύναμη, που αποτελεί μέτρο της ενέργειας που απελευθερώνεται από μία μονάδα μάζας καυσίμου κατά την πλήρη καύση. Η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου είναι ένας δείκτης της χημικής ενέργειας που είναι δεσμευμένη στο καύσιμο, αναφερόμενος σε καθορισμένο περιβάλλον, το οποίο περιλαμβάνει τη θερμοκρασία, την κατάσταση του νερού (αέριο ή υγρό) και τα προϊόντα καύσης (CO_2 , H_2O κτλ.)

Η θερμογόνος δύναμη εκφράζει την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου σε συγκεκριμένες συνθήκες και αποτελεί τη βάση προσδιορισμού της απόδοσης του ενεργειακού συστήματος. Διακρίνεται σε ανώτερη (HHV – Higher Heating Value) και σε κατώτερη θερμογόνος δύναμη (LHV – Lower Heating Value). Στην ανώτερη θερμογόνος δύναμη συμπεριλαμβάνεται η λανθάνουσα θερμότητα του νερού, κάτι το οποίο δεν ισχύει για την κατώτερη θερμογόνος δύναμη, όπου έχει αφαιρεθεί η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του περιεχόμενου νερού. Συνήθεις τιμές της ανώτερης θερμογόνος δύναμης των διαφόρων ειδών

βιομάζας είναι της τάξης των 14-23 MJ/Kg. Οι διαφορές οφείλονται στο διαφορετικό περιεχόμενο άνθρακα (κύρια πηγή ενέργειας) και στη διαφορετική περιεκτικότητα σε τέφρα (μη καύσιμη ύλη).

Η θερμογόνο δύναμη των καυσίμων μετράται συνήθως με θερμιδόμετρα οξυγόνου (θερμιδομετρία κατανάλωσης οξυγόνου). Η αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος αυτή είναι ότι η θερμότητα που απελευθερώνεται ανά μονάδα καταναλισκόμενου οξυγόνου είναι σχετικά σταθερή, για ένα μεγάλο εύρος οργανικών υλικών. Η θερμοαντική αξία για ξυλεία είναι περίπου 20MJ/kg, ενώ οι φλούδες έχουν παρόμοια θερμοαντική αξία. Και τα δύο υλικά παρουσιάζουν, ανάλογα με το είδος, μια απόκλιση περίπου 10% από το μέσο όρο. Αυτή η απόκλιση οφείλεται στα διαφορετικά χημικά συστατικά που υπάρχουν στα διάφορα είδη. Η θερμοαντική αξία διάφορων συστατικών της βιομάζας παρουσιάζεται στον πίνακα 3. [35]

Πίνακας 3:Τυπική ΚΘΔ επιλεγμένων ειδών βιομάζας και καυσίμων υλών

Είδος	ΚΘΔ (MJ/ξηρού kg)
ΔΕΝΔΡΑ	
Βελανιδιά	19,20
Μπαμπού	19,23
Σημύδα	20,03
Οξιά	20,07
Φλοιός βελανιδιάς	20,36
Πεύκο	21,03
ΦΥΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	
Υπολείμματα εκχύλισης σακχάρου	19,25
Κέλυφος φαγόπυρου (είδος δημητριακού)	19,63
Φλούδα καρύδας	20,21
ΧΛΩΡΗ ΑΛΓΗ	
Chlorella	26,98
ΕΛΑΙΑ ΣΠΟΡΩΝ	
Λιναρόσπορος	39,50
Κράμβη	39,77
Βαμβακόσπορος	39,77
Άμορφος άνθρακας	33,80
Παραφινικοί υδρογονάνθρακες	43,30
Αργό πετρέλαιο	48,20

2.3.2 Η περιεχόμενη υγρασία

Η περιεκτικότητα σε υγρασία ορίζεται ως η ποσότητα νερού που βρίσκεται στη βιομάζα και μετράται ως ποσοστό επί του βάρους του υλικού. Η περιεχόμενη υγρασία της βιομάζας αποτελείται από:

- Τη φυσική υγρασία: είναι η υγρασία που περιέχεται στην πρώτη ύλη και είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες.
- Την εξωγενή υγρασία: είναι το ποσό της υγρασίας που προστίθεται στη φυσική υγρασία κατά τη διάρκεια της συλλογής της βιομάζας κι εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν την περίοδο εκείνη.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία έχει πολύ βασική επίδραση στην ενεργειακή μετατροπή της βιομάζας, είτε πρόκειται για θερμοχημική μετατροπή (π.χ. καύση) ή για βιοχημική (π.χ. ζύμωση). Για να γίνει αντιληπτή η επίδραση της συγκεκριμένης ιδιότητας στην ποιότητα της βιομάζας, σημειώνεται ότι η αύξηση της από το 0% μέχρι το 40% μειώνει τη θερμογόνο δύναμή της κατά 66%. Η υγρασία μπορεί να κυμαίνεται από λιγότερο του 10%, για κάποια αγροτικά υπολείμματα όπως το άχυρο και τα τσόφλια, μέχρι πάνω από 60% π.χ. για την βαγάσση. Το ξύλο, το οποίο είναι βασική πηγή μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας, έχει κατά μέσο όρο υγρασία μεταξύ 40-50%. Η βιομάζα που προέρχεται από κτηνοτροφικά απόβλητα (π.χ. κοπριά) ή από οργανικά υγρά απόβλητα (π.χ. τυρόγαλα) έχει γενικά πολύ υψηλή υγρασία, γεγονός που την καθιστά ευκολότερη στην μεταφορά της μέσω αντλιών. Η σύγχυση στη χρήση της περιεκτικότητας σε υγρασία προέρχεται από τους διαφορετικούς τρόπους που μπορεί να εκφραστεί είτε σε υγρή βάση είτε σε ξηρή βάση. Καθώς η υγρασία επιδρά σημαντικά στις διεργασίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας, η βάση επί της οποίας μετράται πρέπει να δηλώνεται πάντα ξεκάθαρα. Ο συχνότερος τρόπος έκφρασης της υγρασίας της βιομάζας είναι σε υγρή βάση.

Οι βιοχημικές διεργασίες (π.χ. αναερόβια χώνευση) απαιτούν υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία ώστε να επιτύχουν την αποδοτική μετατροπή τους σε ενέργεια, σε αντίθεση με τις θερμοχημικές (π.χ. καύση) όπου η υψηλή υγρασία έχει αρνητική επίδραση στην ενεργειακή τους απόδοση. Η αεριοποίηση, αν και κατατάσσεται στις θερμοχημικές διεργασίες, απαιτεί κάποια υγρασία από την πρώτη ύλη, καθώς με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η περιεκτικότητα του υδρογόνου στο τελικό προϊόν (αέριο σύνθεσης). Καθώς το υδρογόνο εκλύει σημαντική ενέργεια κατά την καύση του, είναι επιθυμητό σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αναλογία στο αέριο σύνθεσης. Εκτιμάται ότι η βιομάζα με περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 30%, αυξάνει ελάχιστα, μόνο την συνολική απόδοση. Αναφορικά με τη βιομάζα που λαμβάνεται από τη γεωργία (είτε αυτούσια ή ως παραπροϊόν), η περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο συλλογής της. [36]

Πίνακας 4: Περιεκτικότητα σε υγρασία υλικών βιομάζας (37)

Είδος βιομάζας	Ξηρή βάση (%)	Υγρή βάση (%)
Κωνοφόρα (καρδιά δένδρου)	55	35
Κωνοφόρα (σομόφο ξύλο)	150	60
Δυτικά Κωνοφόρα (καρδιά δέντρου)	33-100	25-50
Δυτικά Κωνοφόρα (σομόφο ξύλο)	110-200	52-67
Φυλλοβόλα (καρδιά δέντρου)	60	38
Φυλλοβόλα (σομόφο ξύλο)	100	50
Κλαδέματα δέντρων	54-122	35-55
Άχυρο ρυζιού	100-400	50-80
Κύρια υπολείμματα ξυλείας	17	15
Απορρίμματα μαντρών	12	55

2.3.3 Περιεκτικότητα σε τέφρα

Τα ανόργανα συστατικά (περιεκτικότητα σε τέφρα), μπορούν να εκφραστούν με τον ίδιο τρόπο με την περιεκτικότητα σε υγρασία – σε υγρή, ξηρή, ή ξηρή και απαλλαγμένη από τέφρα βάση. Γενικά εκφράζεται σε υγρή βάση. Η ποσότητα και η σύσταση της τέφρας στη βιομάζα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η προέλευση της βιομάζας, οι συνθήκες καλλιέργειας και συλλογής της, το είδος της λίπανσης της καλλιέργειας, η αποθήκευση και οι συνθήκες μεταφοράς της. Η τέφρα συνίσταται κατά κύριο λόγο από τις ενώσεις SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO , P_2O_5 και TiO_2 και κυμαίνεται από 0,5% κ.β. (περίπτωση ξύλου) έως και 30-40% κ.β. (περίπτωση φλοιού ρυζιού).

Σημαντικός είναι ο ρόλος της προεπεξεργασίας της βιομάζας πριν την εισαγωγή της στη διεργασία μετατροπής της σε καύσιμα ή ενέργεια. Η πλειονοψηφία των παραπάνω παραγόντων είναι διαχειρίσιμη, οπότε είναι πιθανή η μείωση υψηλών τιμών τέφρας σε αποδεκτό επίπεδο. Η περιεκτικότητα σε τέφρα μπορεί να είναι χαρακτηριστική είτε της ίδιας της βιομάζας είτε να μεταβάλλεται κατά την συλλογή, μεταφορά, αποθήκευση και επεξεργασία της. Συνεπώς, η τιμή της περιεκτικότητας σε τέφρα μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά από την μια πηγή βιομάζας στην άλλη. Η υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα έχει αρνητική επίπτωση στην ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.

Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο είναι επιθυμητή η λιγότερη τέφρα έχει να κάνει με την επίδραση της στο ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας. Σε αναντιστοιχία με την υγρασία, καθώς η τέφρα είναι ένας τρόπος εκτίμησης της μη καύσιμης ανόργανης ύλης της βιομάζας, επιδρά σημαντικά στο ενεργειακό περιεχόμενο της. Βασικά αυτές οι δύο παράμετροι ευθύνονται περισσότερο για τις διαφοροποιήσεις της ενέργειας κάθε βιομάζας: Εάν τέφρα και υγρασία δεν ληφθούν υπόψη, τότε οι περισσότερες πηγές βιομάζας θα έχουν παραπλήσιο ενεργειακό περιεχόμενο.

Σε πολλές διεργασίες ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας, δεν είναι μόνο η ποσότητας της τέφρας που έχει σημασία, αλλά, επίσης, και η χημική της σύσταση, καθώς η τέφρα συνεπάγεται την παραγωγή αποβλήτου που πρέπει να επεξεργαστεί και να απομακρυνθεί. Η σύσταση της τέφρας επηρεάζει τις θερμοχημικές διεργασίες μετατροπής (π.χ. καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση) εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Η τηγμένη τέφρα, που μπορεί να προκύψει αναλόγως της χημικής σύστασης της τέφρας, απομακρύνεται και συλλέγεται δύσκολα και μπορεί να δημιουργήσει επικαθίσεις σε τμήματα του μηχανολογικού εξοπλισμού, αυξάνοντας τα κόστη συντήρησης, το κόστος λειτουργίας και τελικά ολόκληρη την επένδυση. Μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες και για επιλεγμένες πρώτες ύλες μπορεί να προκύψει τέφρα ικανή να χρησιμοποιηθεί ως χρήσιμο παραπροϊόν και να έχει εμπορική αξία. Σε διεργασίες βιοχημικής μετατροπής οι μηχανισμοί επίδρασης της τέφρας δεν έχουν ξεκαθαρισθεί πλήρως. Εντούτοις, έχει αποδειχθεί ότι ανόργανα συστατικά μπορούν να δράσουν ανασταλτικά στη ζύμωση της βιομάζας καθώς και στην αναερόβια χώνευση αποβλήτων. [38]

2.3.4 Πυκνότητα μάζας

Η πυκνότητα μάζας αναφέρεται στο βάρος του υλικού ανά μονάδα όγκου. Για τη βιομάζα συνήθως εκφράζεται ως προς το βάρος σε ξηρή βάση (περιεκτικότητα σε υγρασία 0%) ή

αναφέροντας την ένδειξη της περιεκτικότητας σε υγρασία. Ομοίως, με την περιεκτικότητα σε υγρασία, η πυκνότητα βιομάζας παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις από χαμηλές τιμές (150-200 kg/m³) για άχυρα δημητριακών και σιτηρών, μέχρι υψηλές τιμές (600-900 kg/m³) για ξυλεία από δένδρα.

Η πυκνότητα μάζας έχει σημασία για τις μεθόδους χρήσης και διάθεσης της βιομάζας, καθώς επηρεάζει άμεσα το κόστος μεταφοράς. Η πυκνότητα μάζας, εκτός του ότι είναι χαρακτηριστικό της πυκνότητας του υλικού, καθορίζει και το πώς μπορεί το υλικό να συσκευαστεί. Στρογγυλή ξυλεία ανόμοιου σχήματος συσκευάζεται δύσκολα και έχει μεγάλο ποσοστό κενού χώρου ανάμεσα στο υλικό (μέχρι και 70% του ολικού όγκου), ενώ επίπεδη κατασκευαστική ξυλεία μπορεί να συσκευαστεί με μικρά κενά, οπότε και έχει μεγαλύτερη πυκνότητα μάζας. Τα άχυρα σιτηρών και δημητριακών μπορούν πιο εύκολα να συσκευαστούν μαζικά σε μπάλες ή κύβους, διευκολύνοντας τη μεταφορά.

Η επίδραση της μείωσης του μεγέθους στη πυκνότητα μάζας ποικίλλει, αλλά αν η μείωση του μεγέθους συνοδεύεται από συμπίεση έχουμε μια αποτελεσματική μέθοδο για να αυξήσουμε την πυκνότητα μάζας υλικών βιομάζας. Για παράδειγμα, η πυκνότητα μάζας ρινισμάτων ξύλου είναι περίπου 200 kg/m³ ενώ η πυκνότητα μάζας ξύλου που έχει κονιοποιηθεί και συμπιεστεί σε δεμάτια είναι περίπου τριπλάσια (600 kg/m³).

Η πυκνότητα μάζας μπορεί να υποστεί βιο-επιδείνωση. Για παράδειγμα, αν ξύλο είναι σε επαφή με νερό στο έδαφος, ξεκινά διεργασία αποσύνθεσης. Γενικά, ξύλο που έχει υποστεί σήψη έχει μικρή αξία για περαιτέρω εκμετάλλευση. Αν όμως αποσυντεθημένο ξύλο υποστεί ξήρανση και συμπίκνωση, μπορεί να έχει ακόμα αξία ως υλικό καύσης. Αυτή η διεργασία ουσιαστικά αποσκοπεί στην αύξηση της πυκνότητας μάζας του υλικού. [28]

2.3.5 Στοιχειακή ανάλυση

Στη στοιχειακή ανάλυση προσδιορίζεται η κατά βάρος σύσταση της βιομάζας σε άνθρακα (C), υδρογόνο (H), άζωτο (N) και θείο (S). Επιπλέον, συνηθίζεται και η μέτρηση της περιεκτικότητας σε χλώριο (Cl). Το οργανικό περιεχόμενο των διαφόρων πηγών βιομάζας έχει σε γενικές γραμμές παρόμοια στοιχειακή ανάλυση. Γενικά, στα καύσιμα βιομάζας εμφανίζονται οι εξής τυπικές τιμές στοιχειακής ανάλυσης (% κ.β. ξηρής βάσης):

- Ο άνθρακας (C) κυμαίνεται μεταξύ 44-51%.
- Το υδρογόνο (H) από 5,5 – 6,7%.
- Το οξυγόνο (O) από 41-50%.
- Το άζωτο (N) από 0,12-0,60%.
- Το θείο (S) είναι αμελητέο (από 0-0,2%).
- Το χλώριο (Cl) είναι συνήθως μικρότερο του 0,4%. [36]

2.3.6 Περιεκτικότητα σε πτητική ύλη

Με την έννοια «πτητική ύλη» αναφερόμαστε στο μέρος της βιομάζας που ελευθερώνεται όταν η βιομάζα θερμαίνεται (σε 400-500°C). Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, η βιομάζα διασπάται σε

πητικα αερια και στερεο εξανθρακωμα. Συνηθως, η βιομαζα εχει υψηλη περιεκτικοτητα σε πτητικα (μεχρι και 80%), ενω ο γαιανθρακας εχει χαμηλη περιεκτικοτητα σε πτητικα (λιγοτερο απο 40%) η, στην περιπτωση του ανθρακιτη, αμελητα. Η γνωση της περιεκτικότητας σε πτητικα ειναι σκοπιμη κατα τον σχεδιασμο του συστηματος καυσης, καθως αυξημενη περιεκτικοτητα δημιουργει προβληματα επικαθισεων στους καυστηρες. [35]

2.4 Η εφοδιαστική αλυσίδα βιομάζας

Η εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας αποτελείται από ένα σύνολο διαφορετικών δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την προετοιμασία του εδάφους και την σπορά/φύτευση, την καλλιέργεια, τη συλλογή/συγκομιδή, τον χειρισμό/επεξεργασία, την αποθήκευση, τη μεταφορά εντός του αγρού/δάσους, την μεταφορά της βιομάζας στη μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης και τέλος, την ενεργειακή αξιοποίησή της. Δεδομένου ότι οι τυπικές τοποθεσίες ύπαρξης της βιομάζας είναι τα χωράφια ή τα δάση, μοναδική διαθέσιμη επιλογή τρόπου μεταφοράς είναι η μεταφορά με τροχοφόρα οχήματα, χρησιμοποιώντας το υπάρχον οδικό δίκτυο της περιοχής. Επιπλέον, παράγοντες που ενισχύουν την οδική μεταφορά ως την πλέον κατάλληλη για μεταφορά της βιομάζας είναι οι σχετικά μικρές αποστάσεις μεταφοράς (συνήθως είναι μικρότερες των 50 χιλιομέτρων) και η μεγαλύτερη ευελιξία που προσφέρει σε σχέση με άλλες μεθόδους μεταφοράς. [39]

Η αποδοτική διαχείριση των εφοδιαστικών αλυσίδων βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας περιλαμβάνει μια πολύπλοκη διαδικασία λήψης αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα απαιτεί αποκεντρωμένο σύστημα παραγωγής και την υπέρβαση τεχνικών, θεσμικών και κοινωνικών εμποδίων. Επιπλέον, αν η εφοδιαστική αλυσίδα δεν εφαρμοστεί και λειτουργήσει κατάλληλα, η παραγωγή ενέργειας μπορεί να έχει σε σύντομο διάστημα αντίξοες τοπικές επιπτώσεις όπως η αλλαγή του τοπίου και η χρήση γης και η υπερβολική ζήτηση σε υδάτινους πόρους. Τα πλεονεκτήματα από την άλλη πλευρά, όπως ο περιορισμός των αερίων του θερμοκηπίου, διαχέονται παγκόσμια και μακροπρόθεσμα και επομένως δεν έχουν σαφείς επιπτώσεις και αντίκτυπο στη λήψη αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο. Ένα από τα πιο σημαντικά εμπόδια στην αυξημένη χρήση βιομάζας στον ενεργειακό εφοδιασμό είναι το κόστος της αντίστοιχης αλυσίδας εφοδιασμού και η τεχνολογία για τη μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμες μορφές ενέργειας. [40]

2.4.1 Τυπική διάταξη

Η ολοκληρωμένη διαχείριση της βιομάζας προϋποθέτει βέλτιστα σχεδιασμένα συστήματα παραγωγής – συλλογής – διάθεσης της βιομάζας που εγγυώνται την ικανοποίηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της, όπως αυτά απαιτούνται από τις τεχνολογίες μετατροπής της και τα τελικά προϊόντα. Παράλληλα, είναι απαραίτητα και τα οργανωμένα συστήματα συλλογής και διάθεσης, τα οποία προσαρμόζονται στα αγροτικά και δασικά υπολείμματα που θα συντελέσουν στην οικονομική αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας. [40]

Μια τυπική διάταξη μιας εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας περιλαμβάνει πολλές διακριτές διαδικασίες. Τα βασικά μέρη είναι η παραγωγή βιομάζας (σε μία ή πολλαπλές τοποθεσίες), η

προεπεξεργασία (σε ένα ή περισσότερα στάδια), η αποθήκευση (σε ένα ή περισσότερα σημεία), η μεταφορά (χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα μέσα) και η ενεργειακή μετατροπή.

Συλλογή ή ανάκτηση είναι το στάδιο του «μαζέματος» της βιομάζας. Μπορεί να είναι μια απλή διεργασία συλλογής υλικού που παράγεται ως υπόλειμμα μιας κύριας δραστηριότητας (π.χ. παραγωγή ξυλείας) ή ως το κύριο προϊόν της διεργασίας (π.χ. αραίωση, ενεργειακές καλλιέργειες, κτλ).

Η απομάκρυνση είναι απαραίτητη όταν η βιομάζα συλλέγεται σε δασικές συστάδες ή σε αγροτεμάχια, όπου η προσβασιμότητα είναι κακή και το υλικό βρίσκεται διάσπαρτο σε όλη την περιοχή. Με το στάδιο αυτό, η πρώτη ύλη συγκεντρώνεται στην άκρη του δρόμου ή σε κάποιο άλλο εύκολα προσβάσιμο μέρος (άνοιγμα, κτλ).

Η μετατροπή χρειάζεται εν γένει για τη διευκόλυνση του χειρισμού, της μεταφοράς, της αποθήκευσης και της ποιότητας της βιομάζας. Συνήθως, περιλαμβάνει συμπίεση των υπολειμμάτων (π.χ. δεματοποίηση, μείωση μεγέθους, επεξεργασία, κτλ) και σε μερικές περιπτώσεις απομάκρυνση μη επιθυμητών τμημάτων (για παράδειγμα όταν αφαιρούνται τα κλαδιά από δένδρα για την παραγωγή βιομάζας υψηλής ποιότητας).

Η μείωση μεγέθους είναι απλά μια μορφή μετασχηματισμού και είναι η μόνη διεργασία που θα πραγματοποιηθεί σίγουρα σε κάποιο σημείο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Πράγματι, όλες πρακτικά οι διεργασίες ενεργειακής μετατροπής τροφοδοτούνται τελικά με τεμαχισμένη/θρυμματισμένη βιομάζα.

Η μεταφορά στη μονάδα ή στο χώρο αποθήκευσης μπορεί να επιτευχθεί με ένα πλήθος μέσων (τρακτέρ και καρότσα, φορτηγό, τρένο, κτλ). Μπορεί να συνεισφέρει σε μεγάλο μέρος του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας (άνω του 50%) και πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά. Το στάδιο της μετατροπής είναι απαραίτητο σε πολλές περιπτώσεις ώστε το σύστημα μεταφοράς να είναι οικονομικά αποδοτικό. Όταν η απόσταση είναι μικρή, η απομάκρυνση και η μεταφορά μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα βήμα.

Η αποθήκευση χρειάζεται εν γένει για την εξασφάλιση της προμήθειας του καυσίμου στην ενεργειακή μονάδα, για τη βελτίωση της ποιότητας της βιομάζας (π.χ. για να επιτευχθεί η φυσική ξήρανση) και για τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η αποθήκευση είναι αναπόφευκτη όταν η βιομάζα είναι διαθέσιμη σε διαφορετική εποχή από αυτή της κατανάλωσης της, όπου η ξυλεία συλλέγεται το καλοκαίρι ενώ τα δίκτυα τηλεθέρμανσης για παράδειγμα λειτουργούν – προφανώς – το χειμώνα.

Πολλοί διαφορετικοί παράγοντες πρέπει να εξεταστούν όταν αναλύονται οι δυνατές εφοδιαστικές αλυσίδες καύσιμης βιομάζας μιας δεδομένης περιοχής. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι σε μια περιοχή μπορεί να συνυπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη πρώτων υλών, αλλά κάθε ένα από αυτά πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά ώστε να γίνει καλύτερα κατανοητό το δυναμικό τους και τα ειδικά χαρακτηριστικά τους. [41]

Εικόνα 12: Παράδειγμα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας που συνδυάζει την ξυλεία κορμού (κύριο προϊόν) με τα δασικά υπολείμματα όπως ρίζες και κλαδιά¹⁷



2.4.2 Ιδιαιτερότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα της βιομάζας, παρόλο που ομοιάζει με πολλές άλλες αναφορικά με τα μέρη που την απαρτίζουν, παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες, οι οποίες είναι εμφανείς σε διάφορα στάδια της. Αρχικά, η εφοδιαστική αλυσίδα των περισσότερων ειδών βιομάζας χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα. Αυτό, γιατί τα περισσότερα είδη, όπως το σιτάρι, ο αραβόσιτος, και άλλα, παράγονται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κάθε χρόνο, το οποίο είναι αρκετά περιορισμένο. Αυτό οδηγεί στη συγκέντρωση πολύ μεγάλων ποσοτήτων πρώτης ύλης σε μικρό χρονικό διάστημα. Οι συνέπειες αυτού του γεγονότος έχουν αντίκτυπο τόσο στη συλλογή του, όσο και στην αποθήκευσή του. Αναφορικά με τη συλλογή, απαιτείται πολύ μεγάλος όγκος εργασίας για μικρή χρονική περίοδο, και άρα το κόστος των απαιτούμενων πόρων (μηχανήματα, μεταφορικά μέσα κα.) και της ανθρώπινης εργασίας είναι αυξημένο, λόγω της εποχικής και όχι μακροχρόνιας σύμβασης εργασίας. Επίσης, η συλλογή της βιομάζας απαιτεί εξειδικευμένο, αλλά και ακριβό εξοπλισμό, ο οποίος δεν αφθονεί τις περισσότερες φορές. Άρα, απαιτείται κατάλληλος προγραμματισμός, ώστε να συλλεχθεί όλη η απαιτούμενη ποσότητα. Ταυτόχρονα, απαιτούνται μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι, κάτι που συνεπάγεται υψηλό κόστος σύστασης, οι οποίοι καθ' όλη τη διάρκεια του υπόλοιπου χρόνου έχουν υψηλά επίπεδα αποθέματος.

Διάγραμμα 4: Χαρακτηριστικά εφοδιαστικής αλυσίδας

Στάδια εφοδιαστικής αλυσίδας	Επιλογές	Βασικές μεταβλητές
Παραγωγή βιομάζας	Δασικά υπολείμματα Ενεργειακές καλλιέργειες	Περίοδος συγκομιδής Κόστος παραγωγής (εξαρτάται από την

¹⁷ Πηγή: <http://bisoplan.bioenarea.eu/html-files-gr/03-01.html>

	Αγροτο-βιομηχανικά οργανικά απόβλητα	τοποθεσία)
Επεξεργασία	Αποθήκευση Μείωση μεγέθους Ξήρανση Πελλετοποίηση Δεματοποίηση	Δυναμικότητα εξοπλισμού Αρχικό κεφάλαιο και κόστος λειτουργίας και συντήρησης Κατανάλωση ενέργειας Απώλεια μάζας Απώλεια υγρασίας
Μεταφορά	Φορτηγά Τρένα Πλοία	Απόσταση, ταχύτητα Δυναμικότητα, βάρος και όγκος προϊόντων Αρχικό κεφάλαιο & κόστος συντήρησης Κατανάλωση καυσίμου Χρόνος και κόστος μεταφοράς
Μετατροπή σε ενέργεια	Ενέργεια Μεθανόλη Πυρόλυση	Βαθμός απόδοσης Αρχικό κεφάλαιο & κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Παράλληλα, η συλλεγόμενη βιομάζα αποτελεί ένα υλικό πολύ χαμηλής πυκνότητας, το οποίο αν συνδυαστεί με τη χαμηλή θερμογόνο ικανότητα του, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, οδηγεί στη συλλογή μεγάλου όγκου, κάτι που έχει τις ανάλογες συνέπειες για το χειρισμό, τη μεταφορά και την αποθήκευση του, καθώς οδηγεί σε πολύ μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα μεταφερόμενης ενέργειας. [42]

Ακόμα, η βιομάζα αποτελεί ένα πολύ ευαίσθητο προϊόν, όσον αφορά στην επίδραση που δέχεται από τα καιρικά φαινόμενα. Η βροχή επηρεάζει τα επίπεδα υγρασίας της βιομάζας και άρα μεταβάλλει την πυκνότητά της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απαίτηση περισσότερης πρώτης ύλης για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας, επιβαρύνοντας έτσι το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς.

Τέλος, μια πολύ μεγάλη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά τη φάση του σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας, είναι η αδυναμία πρόβλεψης της διαθεσιμότητας των πρώτων υλών. Καθώς πρόκειται για αγροτικό και δασικό προϊόν, η παραγωγή του και η τελική ποσότητα της διαθέσιμης πρώτης ύλης, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τους αγρότες, τη διεθνή ζήτηση, αλλά και την τιμή του κυρίου προϊόντος. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες οδηγούν σε αύξηση του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή τηλεθέρμανσης από βιομάζα, προκειμένου να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομική απόδοση ολόκληρου του συστήματος. [43]

2.5 Μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας

Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας έχει ως σκοπό την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού ή καυσίμων κίνησης (βιοκαύσιμα μεταφορών). Ανάλογα με την πρώτη ύλη που είναι διαθέσιμη κάθε φορά, επιλέγεται και η κατάλληλη διεργασία για τη βέλτιστη ενεργειακή της αξιοποίηση. Οι διεργασίες που είναι διαθέσιμες για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τις θερμοχημικές, τις βιοχημικές και τις φυσικό-χημικές. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την καύση, την αεριοποίηση, την πυρόλυση και την ρευστοποίηση. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την αερόβια και αναερόβια χώνευση και την αλκοολική ζύμωση, ενώ η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει την μετεστεροποίηση, την συμπύεση και την έκθλιψη.

Η παλαιότερη κατηγορία αξιοποίησης της βιομάζας είναι εκείνη των αγροχημικών (χημικών) μεθόδων με τις οποίες παράγονται κυρίως φυτικά έλαια από σπόρους και καρπούς ελαιούχων φυτών και δένδρων, τα οποία μετατρέπονται στη συνέχεια, με χημική επεξεργασία σε βιοντίζελ. Οι θερμοχημικές μέθοδοι δίνουν ένα μεγάλο εύρος παραγόμενων καυσίμων, που περιλαμβάνει κάρβουνο, βιοϋδρογόνο, βιοέλαια, βιομεθανόλη, syngas και φυσικά προσφέρουν θερμότητα, ψύξη και ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, οι βιοχημικές μέθοδοι έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαιθανόλης, βιοαερίου και βιοϋδρογόνου.

Ως μια γενικευμένη διατύπωση, θεωρείται ότι οι θερμοχημικές διεργασίες ακολουθούνται για τους τύπους βιομάζας, όπου η αναλογία C/N είναι μεγαλύτερη από 30 και η περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 50% κατά βάρος. Οι βιοχημικές διεργασίες αφορούν τους τύπους βιομάζας όπου η αναλογία C/N είναι μικρότερη από 30 και η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι μεγαλύτερη από 50%.

Οι ενεργειακές εφαρμογές της βιομάζας ποικίλουν σε μέγεθος εγκατάστασης και ένταση επένδυσης. Κυμαίνονται από μικρούς λέβητες, μερικών εκατοντάδων ευρώ, που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση των κατοικιών, σε λέβητες αυτόματης τροφοδοσίας για τη θέρμανση μεγάλων κτιρίων όπως σχολεία και νοσοκομεία, κόστους χιλιάδων ευρώ, μέχρι την παραγωγή ή συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρισμού, επενδυτικού κόστους εκατομμυρίων ευρώ.

Εξαιρετικά αποδοτικές είναι οι επενδύσεις όταν η ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα συνδυάζεται με συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP), γιατί επιτυγχάνονται υψηλοί βαθμοί απόδοσης, της τάξεως του 80-90% (απόδοση σε ηλεκτρισμό 30-34%). Τα συστήματα συμπαραγωγής ή τριπαραγωγής, όπως ονομάζονται οι μονάδες που εκτός από ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα παράγουν και ψύξη, χρησιμοποιούνται σε μικρής δυναμικότητας μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (1-100MW), διεσπαρμένες σε αγροτικές περιοχές και σε περιοχές με υψηλό δυναμικό δασικής βιομάζας, δηλαδή σε κοντινή απόσταση από την πρώτη ύλη. [44]

2.5.1 Καύση βιομάζας

Η καύση είναι μια αερόβια διαδικασία από την οποία προκύπτουν ποικίλα ενεργειακά προϊόντα μετασχηματίζοντας τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην οργανική ύλη σε θερμότητα, ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια (υπέρθερμος ατμός) με τη χρήση διαφόρων ειδών εξοπλισμού όπως κλίβανους, φούρνους, ατμοστροβίλους, στροβιλοκινητήρες κ.α. Από την καύση της βιομάζας παράγονται θερμά αέρια σε θερμοκρασίες γύρω στους 800-1000°C. Η καύση προτιμάται για

προϊόντα των οποίων η περιεκτικότητα σε υγρασία δεν ξεπερνά το 50%, εκτός και αν η βιομάζα έχει προ-ξηραθεί. Βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία αποτελεί καταλληλότερο υπόστρωμα για εφαρμογή βιοχημικών διαδικασιών μετατροπής.

Πολλές φορές η φυτική βιομάζα που προορίζεται για καύση, μετασχηματίζεται πριν χρησιμοποιηθεί. Έτσι, η βιομάζα απαντάται σε μορφή μπρικετών (briquettes), πελετών (pellets) και πλακιδίων ξύλου (wood chips). Οι πλίνθοι ή μπρικέτες, παράγονται με έκθλιψη μέσω συμπίεσης, μικρών ποσοτήτων βιομάζας, ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία που περιέχεται σε αυτές και να σπάσουν οι ελαστικές της ίνες. Η παραγωγή των πελετών, είναι μια διαδικασία συμπίκνωσης με διέλαση (extrusion) που έχει ως τελικό προϊόν μικρούς κυλίνδρους διαμέτρου < 25mm (συνήθως 6-12mm), ύψους 10-12mm και μειωμένης υγρασίας (6-8%). Τα πλακίδια ξύλου είναι μικρά κομμάτια ξύλου που κόβονται από ειδικούς «μύλους» σε μέγεθος σπιρτόκουτου. Η πρώτη ύλη είναι, είτε άχρηστα κομμάτια ξύλου, ακατάλληλα για άλλες χρήσεις, προερχόμενα από εργοστάσια παραγωγής ξυλείας, είτε από δένδρα και τμήματα δένδρων που προέρχονται από υλοτομία δασών διανοίξεις δρόμων κλπ. [45]

Το μέγεθος των μονάδων καύσης ποικίλει από πολύ μικρές (οικιακή χρήση) μέχρι μεγάλο μεγέθους μονάδες της τάξεως των 100-300 MW. Η χρήση της βιομάζας ως συμπληρωματικό καύσιμο σε μονάδες που καίνε άνθρακα είναι μια ιδιαίτερα ελκυστική πρακτική εξαιτίας της υψηλής απόδοσης μετασχηματισμού που επιτυγχάνεται στις μονάδες αυτές. Γενικά, η καθαρή απόδοση για μονάδες καύσης βιομάζας κυμαίνεται από 20% έως 40%. Οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται στα συστήματα ισχύος άνω των 100 MW_e ή όταν πρόκειται για τεχνολογίες συνδυασμένης καύσης βιομάζας με άλλα καύσιμα. [46]

Ο μηχανισμός καύσης της βιομάζας μπορεί να διακριθεί σε τρία στάδια που διεξάγονται ταυτόχρονα στο θάλαμο καύσης. Αυτά είναι:

- Η ξήρανση και αποπτητικοποίηση της βιομάζας.
- Η καύση στην αέρια φάση.
- Η οξειδωση του εξανθρακώματος.

Η καύση, εφόσον είναι ατελής, μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες εκπομπές σωματιδιακής ύλης και μερικά οξειδωμένων παραγώγων, κάποια από τα οποία είναι τοξικά. Για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών πρέπει να χρησιμοποιείται ένας βέλτιστος λόγος περίσσειας αέρα. Στην αποδοτικότητα της καύσης της βιομάζας επιδρούν κυρίως:

- Η περιεκτικότητα σε υγρασία: Υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να οδηγήσει σε ατελή καύση, σε χαμηλή θερμική αποδοτικότητα, σε υπερβολικά υψηλές εκπομπές μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα και στο σχηματισμό προϊόντων που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος, όπως η πίσσα.
- Η περιεκτικότητα σε τέφρα: Η ανόργανη ύλη στη βιομάζα είναι πολύ σημαντική στη διαδικασία της καύσης, καθώς, όχι μόνο συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στις εκπομπές των καπνοδόχων, αλλά δημιουργεί προβλήματα όπως η μείωση της μεταφοράς θερμότητας στον κλίβανο και η τροποποίηση της ροής των καυσαερίων, ενώ επικάθεται στις επιφάνειες του συστήματος καύσης. Οι εναποθέσεις τέφρας επηρεάζουν τόσο την καθαρή αποδοτικότητα όσο και την λειτουργία των λεβήτων.
- Το μέγεθος των προς καύση σωματιδίων: Όπως είναι αναμενόμενο, όσο μικρότερα είναι τα προς καύση σωματίδια, τόσο μειώνεται ο απαιτούμενος για την καύση τους χρόνος. [47]

Ο πιο συνήθης εξοπλισμός καύσης βιομάζας εν ισχύ είναι ο λέβητας διασποράς τροφοδοσίας (spreader stoker boiler) που ενσωματώνει αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου και διανομή της βιομάζας πάνω από μετακινούμενη σχάρα, στον όροφο της οποίας το καύσιμο καίγεται χρησιμοποιώντας αέρα από ένα θάλαμο τοποθετημένο κάτω από τη σχάρα. Ως εναλλακτικές τεχνολογίες απευθείας καύσης αναφέρονται αυτές που περιλαμβάνουν:

- Καυστήρες τροφοδοσίας σωρού (Pile burners).
- Λέβητες όπου η καύση γίνεται με την καύσιμη ύλη σε αιώρηση (Suspension-fired boilers).
- Καυστήρες κυκλοφορούμενης ρευστοποιημένης κλίνης (Circulating fluidized bed combustors – CFBC).
- Καυστήρες κοχλάζουσας ρευστοποιημένης κλίνης (Bubbling fluidized bed combustors – BFBC).

Ωστόσο, η απευθείας καύση βιομάζας παρουσιάζει κάποια προβλήματα. Οι κυριότερες επιφυλάξεις αναφέρονται στα επιβλαβή συστατικά που υπάρχουν στα απαέρια, καθώς και στα διαχειριστικά προβλήματα από τα στερεά κατάλοιπα που παράγονται. Η θέσπιση περιβαλλοντικών προτύπων για τα χαρακτηριστικά των απαερίων από μονάδες καύσης καθιστά αναγκαία την εγκατάσταση συστημάτων καθαρισμού, επιβαρύνοντας το κόστος λειτουργίας τους. Επίσης, η βιομάζα ως στερεό καύσιμο είναι πολύ ογκώδης και είναι δύσκολο να μεταφερθεί, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Έτσι συχνά, προτιμάται να γίνεται μετατροπή του στερεού σε αέριο καύσιμο με άλλες θερμικές διαδικασίες. Το πλεονέκτημα των αερίων καυσίμων είναι ότι καίγονται χωρίς κατάλοιπα, διανέμονται ευκολότερα και μετατρέπονται εύκολα σε υγρά ή χημικά προϊόντα. [48]

2.5.2 Πυρόλυση της βιομάζας

Η πυρόλυση της βιομάζας μπορεί να περιγραφεί ως η άμεση θερμική αποσύνθεση της οργανικής μήτρας, χωρίς την παρουσία οξυγόνου, ώστε να παραχθεί μια σειρά από στερεά (ξυλάνθρακας), υγρά (βιο-έλαιο) και αέρια προϊόντα. Η ταχεία πυρόλυση (πυρόλυση με μικρούς χρόνους παραγωγής της βιομάζας σε μέτριες θερμοκρασίες), μπορεί να παράγει μέχρι και 70% υγρά προϊόντα.

Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης, συντελούνται διάφορες αντιδράσεις και αναδιατάξεις, όπως αποβολές υγρασίας, διάσπαση, ισομερισμός, αφυδρογόνωση, σχηματισμός αρωματικών ενώσεων, οπτανθρακοποίηση και συμπύκνωση. Τα προϊόντα είναι: νερό, οξείδια του άνθρακα, άλλα αέρια, ξυλάνθρακας, οργανικές ενώσεις, πίσσα και πολυμερή.

Όταν η κυτταρίνη θερμαίνεται αργά, σε θερμοκρασία 250°C, παράγεται μια μεγάλη ποσότητα αερίου, η οποία αποτελείται κυρίως από CO και CO₂. Αρχικά, παράγονται μικρές ποσότητες υδρογόνου και αερίων υδρογονανθράκων. Οι ποσότητες αυτές αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, έως ότου το υδρογόνο να καταστεί το κύριο προϊόν. Τα οξείδια του άνθρακα και τα περισσότερα άλλα προϊόντα οφείλουν το σχηματισμό τους σε δευτεροταγείς και άλλες αντιδράσεις.

Από την πυρόλυση της βιομάζας παράγονται εξανθρακώματα, αέρια, ελαφρά και βαρέα υγρά και νερό σε διάφορες ποσότητες. Η απόδοση σε κάθε είδος προϊόντος εξαρτάται από τη σύνθεση της

τροφοδοσίας, τις διαστάσεις των σωματιδίων της τροφοδοσίας, το ρυθμό παροχής θερμότητας, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια της αντίδρασης.

Η εφαρμογή της μεθόδου της πυρόλυσεως για την ενεργειακή αξιοποίηση διαθέσιμης προς επεξεργασία βιομάζας, προϋποθέτει την συλλογή ικανών ποσοτήτων οργανικού υλικού, ώστε να είναι οικονομικά αποδεκτή. Εν δυνάμει περιοχές που μπορεί να αποτελέσουν πηγή προέλευσης μεγάλων ποσοτήτων απορριπτόμενης βιομάζας κατάλληλων για επεξεργασία με τη μέθοδο της πυρόλυσεως είναι όσες βρίσκονται κοντά σε μεγάλα εργοστάσια παραγωγής οργανικών αποβλήτων, μεγάλες πόλεις, μονάδες εκτροφής ζώων και εργοστάσια κοπής ξύλου. [49]

2.5.3 Αεριοποίηση της βιομάζας

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι η παραγωγή αερίου καυσίμου μέσα από κάποιες διεργασίες. Οι κύριες διεργασίες της αεριοποίησης είναι δύο. Η πυρόλυση είναι η πρώτη διεργασία κατά την οποία σε θερμοκρασία κάτω από 600°C, με διάφορες αντιδράσεις απελευθερώνονται οι πτητικές ουσίες του καυσίμου. Αυτές οι ουσίες είναι υδρογονάνθρακες, υδρογόνο, πίσσα, υδρατμοί, μονοξείδιο του άνθρακα. Ο άνθρακας περιέχει 30% πτητικές ουσίες ενώ η βιομάζα περιέχει 70% έως 86% πτητικές ουσίες. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η πυρόλυση είναι σημαντική διεργασία για τη βιομάζα. Το κάρβουνο που αποτελείται από τέφρα και στερεό άνθρακα είναι υποπροϊόν της πυρόλυσης και δεν αεριοποιείται.

Μετά την πυρόλυση, ακολουθεί η δεύτερη διεργασία της αεριοποίησης κατά την οποία ο άνθρακας που μένει ως υποπροϊόν αεριοποιείται με την κλασική αεριοποίηση δηλαδή γίνεται η αντίδραση του με ατμό. Η βιομάζα έχει μεγάλη αντιδραστικότητα και μετατρέπεται στα προϊόντα της αεριοποίησης με ένα πέρασμα από τη διάταξη του αεριοποιητή. Οι παραπάνω αντιδράσεις μπορούν να γίνουν σε έναν αντιδραστήρα ή σε περισσότερους. Οι αντιδράσεις της πυρόλυσης, της αεριοποίησης και της καύσης γίνονται μέσα σε έναν αντιδραστήρα στους άμεσους αεριοποιητές. Στους έμμεσους αεριοποιητές η πυρόλυση και η αεριοποίηση γίνονται μαζί και η καύση ξεχωριστά.

Οι αεριοποιητές βιομάζας μπορούν να διακριθούν σε:

- Αεριοποιητές σταθερής κλίνης, που περιλαμβάνουν τους αεριοποιητές ανοδικής ροής, καθοδικής ροής, διασταυρούμενης ροής και ανοιχτού πυρήνα.
- Αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης, που περιλαμβάνουν τους αεριοποιητές που λειτουργούν υπό ατμοσφαιρική πίεση κι εκείνους που λειτουργούν υπό υψηλή πίεση.
- Αεριοποιητές παρασυρόμενης κλίνης.

Επιπλέον, στη διεργασία της αεριοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντιδραστήρες περιστρεφόμενης καμίνου, αντιδραστήρες τύπου κυκλώνα και αντιδραστήρες τύπου δίνης. [50]

Γενικά, τα φυσικά χαρακτηριστικά της βιομάζας επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της αεριοποίησης. Έχει διαπιστωθεί ότι, αν η υγρασία της πρώτης ύλης ξεπερνά το 20%, η θερμική αποδοτικότητα, η θερμογόνο δύναμη του παραγόμενου αερίου, η απόδοση σε αέριο και η αναλογία των καυσίμων συστατικών του αερίου μειώνονται. Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο για την ποιότητα του παραγόμενου αερίου είναι η περιεκτικότητα της βιομάζας σε τέφρα. Η τέφρα δημιουργεί προβλήματα στους αντιδραστήρες και είναι δυνατό να υποβαθμίσει την ποιότητα του

τελικού προϊόντος. Επιπλέον, βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο ή χλώριο, ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα στη διαδικασία. Αυτά μπορεί να σχετίζονται με τη δημιουργία ανεπιθύμητων εκπομπών που σχηματίζουν οξέα-στην περίπτωση του θείου-ή με το μετασχηματισμό σε τοξικά χλωριούχα παράγωγα-όσον αφορά το χλώριο. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της βιομάζας που μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι το μέγεθος των σωματιδίων της. Σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου των 80mm, μπορεί να δημιουργήσουν συσσωματώματα, ενώ αν το μέγεθος είναι μικρότερο των 20mm, ενδέχεται τα σωματίδια να φράσουν τα διαθέσιμα κενά μεταξύ τους, με αρνητικά αποτελέσματα για τη διαδικασία. [28]

2.5.4 Ρευστοποίηση βιομάζας

Με τη ρευστοποίηση μεγάλες ποσότητες στερεής οργανικής ύλης δύναται να μετατραπούν σε αέρια ή υγρά καύσιμα. Η διαδικασία της ρευστοποίησης περιλαμβάνει αντιδράσεις με υδρογόνο (ή μίγμα υδρογόνου) και μονοξείδιο του άνθρακα. Για αυτό, εναλλακτικά ονομάζεται και υδρογόνωση. Κατά κύριο λόγο, αναπτύχθηκε και αρχικά εφαρμόστηκε για την παραγωγή πετρελαίου ή αερίου καυσίμου από κάρβουνο. Στην συνέχεια, όμως, η τεχνολογία εξελίχθηκε και εφαρμόστηκε επιτυχώς σε πειράματα για την παραγωγή ίδιων καυσίμων και από οργανικά απόβλητα.

Στη ρευστοποίηση, η διαθέσιμη οργανική ύλη οδηγείται στον αντιδραστήρα όπου και θερμαίνεται στους 380°C με μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και ατμό υπό πίεση. Υπολογίζεται ότι περίπου το 99% του άνθρακα που περιέχεται στην απορριπτόμενη βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε βιοέλαιο. Η χημική σύνθεση και η ποιότητα του παραγόμενου καυσίμου ποικίλει αναλόγως με τη σύνθεση του υποστρώματος τροφοδοσίας και την ακολουθούμενη διαδικασία επεξεργασίας. Το καύσιμο που εξάγεται με τη ρευστοποίηση περιέχει περισσότερο οξυγόνο από ότι το ακατέργαστο πετρέλαιο και απαιτεί εκτεταμένη επεξεργασία, εκτός και αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μόνο για άμεση καύση.

Το ενδιαφέρον για τη ρευστοποίηση παραμένει έως και σήμερα μικρό, κυρίως επειδή οι αντιδραστήρες και τα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου είναι και πιο πολύπλοκα αλλά και ακριβότερα από εκείνα που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες επεξεργασίας βιομάζας με πυρόλυση. Έτσι, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων όταν επιλέγεται να εφαρμοστεί μια θερμοχημική μέθοδος ενεργειακής αξιοποίησης της απορριπτόμενης βιομάζας, μεταξύ της πυρόλυσης και της ρευστοποίησης προτιμάται η πρώτη. [46]

2.5.5 Αερόβια χώνευση

Η αερόβια χώνευση είναι βιολογική διεργασία και πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει αποικοδόμηση στη θερμοφιλή περιοχή (περιοχή θερμοκρασίας 55-60°C), για χρονικό διάστημα μερικών εβδομάδων. Σε αυτό το στάδιο απαιτείται η παροχή μεγάλης ποσότητας οξυγόνου, με αποτέλεσμα, την παραγωγή ενός σταθερού οργανικού λιπάσματος, το οποίο, γενικά, δεν περιέχει δυσάρεστες οσμές.

Το δεύτερο στάδιο, η ωρίμανση του οργανικού λιπάσματος, το οποίο συνεχίζει την περαιτέρω διάσπαση του πρώτου σταδίου, αλλά σε πολύ αργότερους ρυθμούς και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η συνολική διεργασία της αερόβιας διάσπασης επιτελείται μέσω αερόβιων μικροοργανισμών, πρωτογενών βακτηριδίων, ακτινομυκήτων, πρωτόζωων, καθώς επίσης και από μεγαλύτερους οργανισμούς, όπως σκουλήκια ή έντομα.

Κατά τη διεργασία της αερόβιας χώνευσης, οι κύριες παράμετροι που πρέπει να ελεγχθούν, αφορούν τον λόγο C/N, την υγρασία, το ποσοστό αερισμού και την θερμοκρασία. Η διεργασία αυτή, με απώτερο στόχο την παραγωγή οργανικού λιπάσματος, μπορεί να γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Με μηχανική αναμόχλευση σε ανοικτούς χώρους.
- Με εξαναγκασμένη τροφοδοσία αέρα σε στατικούς σωρούς.
- Με μηχανική αναμόχλευση σε σειρά τάφρων. [51]

2.5.6 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μια πολύπλοκη βιολογική διεργασία, κατά την οποία μικροοργανισμοί, απουσία οξυγόνου, βιοαποδομούν το οργανικό κλάσμα της βιομάζας. Τα προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης είναι το βιοαέριο και ένα υδαρές υπόλειμμα.

Η αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα σε τέσσερα στάδια: Στο πρώτο στάδιο (υδρόλυση) τα οργανικά μακρομόρια διασπώνται σε απλούστερες ενώσεις, οι οποίες στο επόμενο στάδιο (οξεογένηση) μετατρέπονται σε διάφορα προϊόντα, όπως υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα, πτητικά λιπαρά οξέα κ.α. Στη συνέχεια, τα προϊόντα αυτά μετατρέπονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (οξικογένηση), τα οποία στο επόμενο και τελευταίο στάδιο μετατρέπονται σε μεθάνιο (μεθανογένηση). Η απόδοση της διεργασίας καθορίζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως ο λόγος C/N, το pH, η θερμοκρασία, τα θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φώσφορος), η πιθανή παρουσία τοξικών ουσιών στη βιομάζα για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς κ.α. [52]

Ανάλογα με την περιεκτικότητα της βιομάζας σε στερεά, οι τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες: (1) Αναερόβια χώνευση υγρού υποστρώματος, όπου η περιεκτικότητα σε στερεά φθάνει μέχρι 15% και (2) αναερόβια χώνευση ξηρού υποστρώματος, όπου η περιεκτικότητα σε στερεά φθάνει μέχρι 65%. Οι τεχνολογίες αυτές ταξινομούνται περαιτέρω με βάση (α) τον τρόπο λειτουργίας-τροφοδοσίας των αντιδραστήρων (συνεχούς ή ασυνεχούς λειτουργίας), (β) τη θερμοκρασία (μεσόφιλες-περίπου 37°C ή θεμόφιλες περίπου 55°C συνθήκες) και (γ) τον αριθμό των αντιδραστήρων. Πιο συγκεκριμένα, κατά την αναερόβια χώνευση ενός σταδίου όλα τα στάδια της διεργασίας πραγματοποιούνται σε έναν αντιδραστήρα, ενώ κατά την αναερόβια χώνευση δύο σταδίων η διεργασία ολοκληρώνεται με τη χρήση δύο αντιδραστήρων. Στην περίπτωση αυτή, στον πρώτο αντιδραστήρα λαμβάνει χώρα η υδρόλυση και η οξεογένηση, ενώ στον δεύτερο αντιδραστήρα η οξικογένηση και η μεθανογένηση.

Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου μπορεί να χρησιμοποιηθούν ζωικά περιττώματα, υπολείμματα καλλιεργειών, οργανικά απόβλητα από την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, απόβλητα από βιομηχανίες τροφίμων, αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, ιλύς από βιολογικούς

καθαρισμούς, το οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών απορριμμάτων, οργανικά απόβλητα από νοικοκυριά καθώς και ενεργειακές καλλιέργειες.

Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (55-70% κ.ο.) και διοξείδιο του άνθρακα (30-45% κ.ο.) και σε μικρότερο ποσοστό από υδρόθειο, αμμωνία και άζωτο. Το βιοαέριο, μετά από κατάλληλη επεξεργασία (όπως αποθείωση, απομάκρυνση υγρασίας), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας σε λέβητες, για την ταυτόχρονη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας σε συστήματα συμπαραγωγής καθώς και ως καύσιμο σε διάφορα μεταφορικά μέσα. [53]

2.5.7 Αλκοολική ζύμωση

Μια από τις παλαιότερες βιοχημικές μεθόδους μετατροπής της βιομάζας, είναι η αλκοολική ζύμωση, η οποία έχει αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια λόγω της όξυνσης του ενεργειακού προβλήματος.

Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε ύλη που περιέχει σε σημαντικές ποσότητες σάκχαρα, άμυλο ή κυτταρίνη. Οι πρώτες ύλες ταξινομούνται σε 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς: Τα είδη της βιομάζας που περιέχουν σάκχαρα, όπως το ζαχαροκάλαμο, τα ζαχαρότευτλα, το γλυκό σόργο καθώς και τα είδη της βιομάζας που περιέχουν άμυλο, όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, οι σπόροι σόργου, η κασάβα καθώς και οι πατάτες, ανήκουν στις πρώτες ύλες 1^{ης} γενιάς, όπου ένα μικρό μέρος μόνο του φυτού είναι εκμεταλλεύσιμη. Στις πρώτες ύλες 2^{ης} γενιάς, όπου χρησιμοποιείται όλο το φυτό, ανήκουν κυτταρινούχα είδη βιομάζας, όπως δασικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες (λεύκες, ιτιές, Switchgrass), γεωργικά απόβλητα (άχυρο, βαγάσση, μίσχοι καλαμποκιού), αστικά απόβλητα. [54]

Η διεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Υδρόλυση της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης σε απλά σάκχαρα.
- Μετατροπή των σακχάρων σε αλκοόλη (αλκοολική ζύμωση).
- Ανάκτηση του παραγόμενου προϊόντος με απόσταξη.

Η υδρόλυση της βιομάζας μπορεί να πραγματοποιηθεί, είτε με τη χρήση ενζύμων (ενζυμική υδρόλυση) είτε με τη χρήση χημικών μέσων (π.χ. όξινη υδρόλυση, αλκαλική υδρόλυση). Η ενζυμική υδρόλυση πλεονεκτεί έναντι της χημικής, λόγω των ηπιότερων συνθηκών και κατ'επέκταση των χαμηλότερων απαιτήσεων σε ενέργεια. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται η προεπεξεργασία της βιομάζας, ώστε να αυξηθεί η απόδοση της υδρόλυσης και ιδιαίτερα της ενζυμικής υδρόλυσης. Η καλύτερη πρώτη ύλη είναι τα σακχαροκάλαμα και τα υπολείμματα αποχύμωσης τους και εν γένει όλα τα υλικά με αυξημένη περιεκτικότητα σε λιγνίνη και κυτταρίνη. Καλλιέργειες που περιέχουν άμυλο σαν κύριο συστατικό, όπως οι πατάτες και το καλαμπόκι πρέπει να υδρολυθούν, ώστε να μετατραπεί το άμυλο σε σάκχαρο. [55]

Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης σε κινητήρες οχημάτων, ως έχει ή σε πρόσμιξη με βενζίνη. Το στερεό υπόλειμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αγελαδοτροφή ή στην περίπτωση της βαγάσσης να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη σε εργοστάσιο αεριοποίησης. [54]

2.5.8 Φυσικοχημικές διεργασίες

Ως η μόνη ώριμη διεργασία θεωρείται, στην αγορά, η παραγωγή φυτικού ελαίου από λάδι καρπών που ακολουθείται συνήθως από διαεστεροποίηση του φυτικού λαδιού σε ένα λιπαρό οξικό μεθυλικό εστέρα, κυρίως βιοντίζελ, το οποίο υποκαθιστά το ντίζελ.

Η παραγωγή ελαίων μπορεί να γίνει από διάφορους καρπούς δέντρων. Οι περισσότερες γεωργικές φυτείες παράγουν 30-80 kg ελαίου/εκτάριο, υπάρχουν όμως και δέντρα όπως ο αφρικανικός φοίνικας, που έχουν πολύ μεγαλύτερη απόδοση, της τάξης των 300 kg ελαίου/εκτάριο περίπου. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καύσιμου ελαίου, είναι παρόμοια με την τεχνολογία λήψης του βρώσιμου λαδιού.

Στη συλλογή των ελαίων των καρπών χρησιμοποιούνται δύο είδη τεχνολογιών. Η πρώτη, αφορά την μηχανική συμπίεση των καρπών για τη λήψη των ελαίων και η δεύτερη την εκχύλιση του ελαίου από τους καρπούς με κάποιο διαλύτη, συνήθως εξάνιο. Η πρώτη μπορεί να γίνει σε δύο στάδια ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη απόδοση, ενώ, για να ληφθούν οι λιγότερες ποσότητες λαδιού που παραμένουν στο υπόλειμμα, πραγματοποιείται εκχύλιση. Για την δεύτερη, πρέπει να προηγηθεί αφαίρεση της υγρασίας του καρπού, ενώ τα υπολείμματά της περιέχουν πολύ μικρές ποσότητες λαδιού. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί πως η εφαρμογή της δεύτερης τεχνολογίας, απαιτεί μονάδες με μεγαλύτερη δυναμικότητα από αυτές της πρώτης, ενώ και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι πιο πολύπλοκη.

Η μετεστεροποίηση ή αλκοόλυση είναι η διαδικασία μετατροπής των τριγλυκεριδίων του λαδιού σε μεθυλεστέρες και επιτυγχάνεται με την προσθήκη μεθανόλης καταλύτη. Η επιτυχής πραγματοποίηση της αντίδρασης μετεστεροποίησης και η αποδοτική παραγωγή βιοντίζελ, βασίζεται στον πλήρη έλεγχο των τιμών βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτοί είναι η επίδραση της υγρασίας και των ελεύθερων λιπαρών οξέων, η επίδραση της μοριακής αναλογίας, η επίδραση του καταλύτη, η επίδραση του χρόνου αντίδρασης καθώς και επίδραση της θερμοκρασίας αντίδρασης. [56]

Κεφάλαιο 3: Συστήματα συμπαραγωγής

3.1 Η έννοια της συμπαραγωγής

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή (ή μιας ομάδας καταναλωτών) είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο, κλπ.) για την παραγωγή θερμότητας. Η ολική κατανάλωση καυσίμων μπορεί να περιοριστεί σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η Συμπαραγωγή (στα αγγλικά Cogeneration ή Combined Heat and Power, CHP).

Συμπαραγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια πηγή ενέργειας. Διευκρινίζεται ότι η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη ή κλιματισμό. Η ψύξη ή ο κλιματισμός επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό.

Κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού, μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωμάτων ατμού, πύργων ψύξης, ψυγείων νερού κινητήρων Diesel, κ.λπ.) είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστρόβιλων, κινητήρων Diesel, κινητήρων Otto, κ.λπ.). Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία και σχολεία. [57]

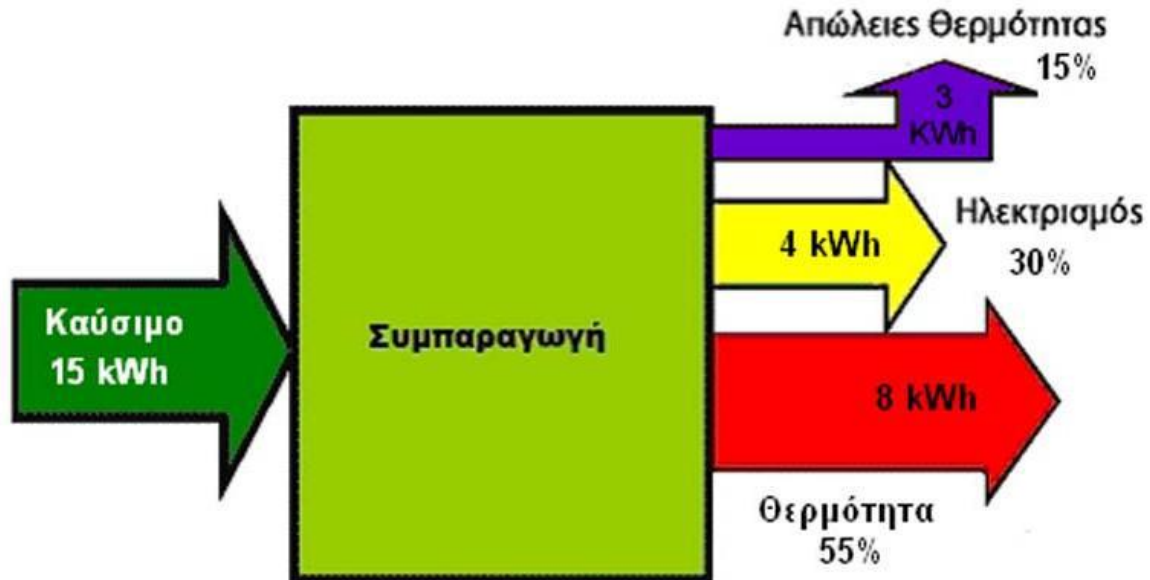
Ένα σύστημα συμπαραγωγής αποτελείται κυρίως από τέσσερα στοιχεία:

- Τον κινητήρα (prime mover): Ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδυασμένου κύκλου, κυψέλες καυσίμου, μηχανή Stirling ή μικροτουρμπίνα. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια.
- Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας: Σύστημα που ανακτά την απορριπτόμενη θερμότητα από τα ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής (με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας) και από τα καυσαέρια (με λέβητα ανάκτησης θερμότητας που αποκαλείται και λέβητας καυσαερίων).
- Τη γεννήτρια: Σύγχρονη, ασύγχρονη ή αυτοδιεγερόμενη ασύγχρονη. Παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- Το σύστημα ελέγχου: Μέσω αυτού διασφαλίζεται η ασφαλής και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος συμπαραγωγής. Το σύστημα ελέγχου είναι το πιο βασικό τμήμα, αφού ουσιαστικά ρυθμίζει την όλη διαδικασία της συμπαραγωγής.

Συνεπώς, ένα τέτοιο σύστημα απαιτεί λιγότερη πρωτογενή ενέργεια από ότι ένα σύστημα ξεχωριστής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Στα συστήματα ΣΗΘ ο βαθμός απόδοσης, φθάνει το 80-85%, με δυνατότητες να φτάσει ή ακόμα και να ξεπεράσει το 90%, εξοικονομώντας ενέργεια κατά 15-40%, σε σύγκριση με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, όπου ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 30% με 45%. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης μεγάλων ποσών θερμότητας που, διαφορετικά, θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον υπό μορφή απωλειών ενέργειας. Ως ενεργειακή πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε καύσιμο. Ωστόσο, σήμερα, στο πλαίσιο της προσπάθειας εξοικονόμησης ενέργειας, φυσικών πόρων και προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

(ΑΠΕ), κρίνεται αποδοτικότερη και συμφέρουσα η χρήση καυσίμων φιλικότερων στο περιβάλλον, όπως είναι η βιομάζα και το φυσικό αέριο. [58]

Εικόνα 13: Συμπαράγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας¹⁸



3.2 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαράγωγής

Ο τρόπος λειτουργίας χαρακτηρίζεται από το κριτήριο στο οποίο βασίζεται η ρύθμιση της παραγωγής του ηλεκτρισμού και της ωφέλιμης θερμότητας ενός συστήματος συμπαράγωγής. Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τρόποι λειτουργίας, οι πιο συνηθισμένοι από αυτούς παρατίθενται στη συνέχεια. Οι μέθοδοι αυτοί λαμβάνονται υπόψη στην τελική επιλογή σε συνδυασμό με τις δυνατότητες του δικτύου αλλά και με τις ανάγκες χρήσης της κάθε εγκατάστασης.

- Κάλυψη του θερμικού φορτίου ("heat match"): Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος συμπαράγωγής είναι ίση με το θερμικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος). Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ εάν είναι μικρότερη η συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.
- Κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης: Σε αυτή τη περίπτωση, το σύστημα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την εγκατάσταση. Εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων που ζήτηση θερμότητας είναι υψηλότερη. Ο κύριος κινητήρας της μονάδας λειτουργεί πάντα υπό πλήρες φορτίο. Εάν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης υπερβαίνει αυτήν που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, εάν το επιτρέπουν οι

¹⁸ Πηγή: <http://iene.gr/>

ισχύοντες νόμοι, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στην/στις εταιρία/ες ηλεκτρισμού.

- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου («electricity match»): Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος ΣΗΘ). Εάν η συμπαραγόμενη θερμότητα είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο, ένας βοηθητικός λέβητας υποβοηθά στην κάλυψη των αναγκών, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη, η πλεονάζουσα θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον, μέσω συσκευών ψύξης ή μέσω των καυσαερίων.
- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης: Σε αυτήν τη διάταξη, η μονάδα ΣΗΘ διαστασιοποιείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των ιστορικών αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα συμπαραγωγής μόνο ή με πρόσθετους λέβητες. Εάν η θερμική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης υπερβαίνει τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.
- Μικτή κάλυψη: Σε ορισμένες χρονικές περιόδους, ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του θερμικού φορτίου, ενώ σε άλλες περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.
- Αυτόνομη λειτουργία: Υφίσταται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος απαιτεί να διαθέτει το σύστημα ηλεκτρική και θερμική δυναμικότητα εφεδρείας, έτσι ώστε στην περίπτωση που μια μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο, οι υπόλοιπες μονάδες να είναι σε θέση να καλύψουν το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Αυτή είναι και η πιο δαπανηρή στρατηγική, τουλάχιστον από την άποψη του αρχικού κόστους του συστήματος. [59]

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου (λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων-FESR) και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση της συμπαραγωγής, τόσο στο βιομηχανικό όσο και στον κτιριακό τομέα. Στον τομέα των εταιριών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από το συνολικό φορτίο του δικτύου, τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και τις υποχρεώσεις της εταιρίας προς τους πελάτες της, όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων ΣΗΘ (ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος, τη διαμόρφωση), ενώ η σχεδίαση ενός συστήματος συμπαραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη και έχει επιπτώσεις στους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του, και το αντίστροφο. Εξάλλου, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μπορεί να μεταβάλλονται οι διάφορες τεχνικές και οικονομικές παράμετροι με την ημέρα και τη χρονική στιγμή.

Όλες αυτές οι πτυχές καθιστούν αναγκαία τη λήψη αποφάσεων όχι βάσει γενικών κανόνων μόνο, αλλά με τη χρήση συστηματικών διαδικασιών βελτιστοποίησης που βασίζονται στο μαθηματικό προγραμματισμό, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη λειτουργία του συστήματος. Για τη λειτουργία των συστημάτων συμπαραγωγής, ειδικότερα, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές. Αυτά παρέχουν τη δυνατότητα τα διάφορα συστήματα ΣΗΘ να λειτουργούν για την κάλυψη κάποιου φορτίου βάσης, να παρακολουθούν τα ηλεκτρικά ή τα

θερμικά φορτία, είτε να λειτουργούν κατά ένα οικονομοτεχνικά βέλτιστο τρόπο (τρόπος μικτής κάλυψης). Στην τελευταία περίπτωση, ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη της απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής, περιλαμβανομένων:

- Του βαθμού απόδοσης του συστήματος και του ποσού της διαθέσιμης ωφέλιμης θερμότητας.
- Των ηλεκτρικών και των θερμικών αναγκών του χρήστη, της ποσότητας της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποδοθεί στο δίκτυο και του ποσού της θερμότητας που πρέπει να απορριφθεί στο περιβάλλον.
- Του κόστους της αγοραζόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της αξίας των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι αυτά μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την ημέρα τη εβδομάδας ή την εποχή.

Η χρήση των συστημάτων ελέγχου παίζει μεγάλο ρόλο στην συνολική λειτουργία της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό και η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος χρήζει προσεκτικής μελέτης. [59]

3.3 Ταξινόμηση συστημάτων συμπαραγωγής

Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: Στα συστήματα «κορυφής» (topping systems) και στα συστήματα «βάσης» (bottoming systems).

Ειδικότερα, στα συστήματα «κορυφής», παράγεται ηλεκτρισμός από ένα κύριο κινητήρα χρησιμοποιώντας ρευστό υψηλής θερμοκρασίας. Η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα «βάσης», παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ. σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλουργείων, εργοστασίων τσιμέντου κ.λπ.) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί ατμοστρόβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό τα θερμά αέρια να διοχετευτούν σε αεριοστρόβιλο, που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια χωρίς την παρεμβολή λέβητα. Είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένα από τα συστήματα αιχμής και απαντώνται σε βαριές βιομηχανίες. Το καύσιμο καίγεται πρώτα κατά την παραγωγική διαδικασία και έτσι δεν απαιτείται καμία πρόσθετη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [57]

3.4 Είδη τεχνολογιών συμπαραγωγής

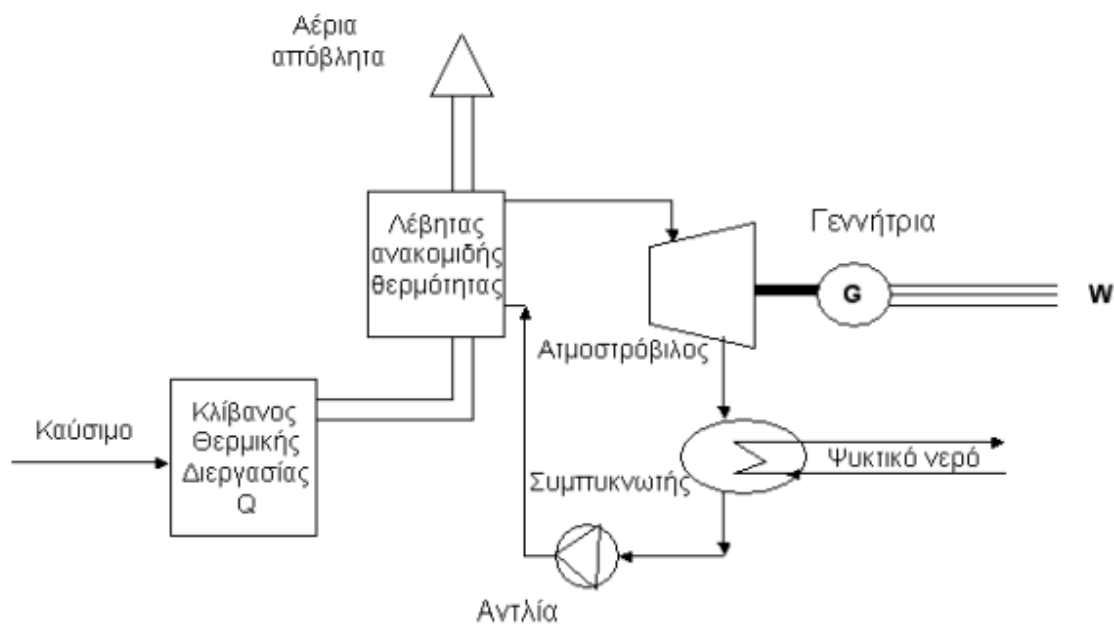
Τα διάφορα συστήματα συμπαραγωγής μπορεί να περιλαμβάνουν πλήρη κάλυψη του θερμικού φορτίου ζήτησης, είτε πλήρη κάλυψη της ηλεκτρικής ζήτησης και χρήση πρόσθετων βοηθητικών λεβήτων για τα θερμικά φορτία αιχμής ή ακόμα και πλήρη κάλυψη και των δύο φορτίων, σε πιο πολύπλοκα συστήματα. Τα κυριότερα σύγχρονα συστήματα συμπαραγωγής είναι τα συστήματα ατμοστρόβιλου, αεριοστρόβιλου, μηχανών εσωτερικής καύσης και συνδυασμένου κύκλου.

Επιπλέον, υπάρχουν και τεχνολογίες με χαμηλότερη εμπορική εφαρμογή μέχρι στιγμής όπως είναι οι κυψέλες καυσίμου και οι μηχανές Stirling. [60]

3.4.1 Συστήματα ατμοστροβίλου

Το σύστημα ατμοστροβίλου είναι το πιο συχνά εμφανιζόμενο σύστημα, καθώς παρουσιάζει υψηλή αξιοπιστία και μεγάλο εύρος εφαρμογών (500kW έως και 100MW). Ο ατμοστροβίλος απαιτεί μία πηγή ατμού υψηλής πίεσης που παράγεται σε κάποιο λέβητα από την καύση διαφόρων ειδών καυσίμων, είτε ορυκτών (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.α.), είτε ανανεώσιμων (βιοκαύσιμα και κάθε σχεδόν είδος βιομάζας), ακόμα και στερεά απόβλητα μπορούν να καούν σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών που δημιουργούνται κατά την καύση. Ο παραγόμενος ατμός ρέει μέσα από τις βαθμίδες του στροβίλου και παράγει μηχανική ισχύ, ή μέσω μιας κατάλληλης γεννήτριας, ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια επιστρέφει στο λέβητα, αφού συμπυκνωθεί μέσω ενός ψυγείου (συμπυκνωτής), για να ολοκληρωθεί ο κύκλος και να ξεκινήσει ένας νέος.

Εικόνα 14: Σύστημα ατμοστροβίλου [61]



Ο κύριος θερμοδυναμικός κύκλος του ατμοστροβίλου μέσω του οποίου το εργαζόμενο μέσο (νερό) μετατρέπεται σε ατμό υψηλής πίεσης, είναι ο κύκλος Rankine που χρησιμοποιείται και στους περισσότερους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και άλλοι κύκλοι, όπως οι κύκλοι αναθέρμανσης και αναγέννησης και ο συνδυασμένος κύκλος.

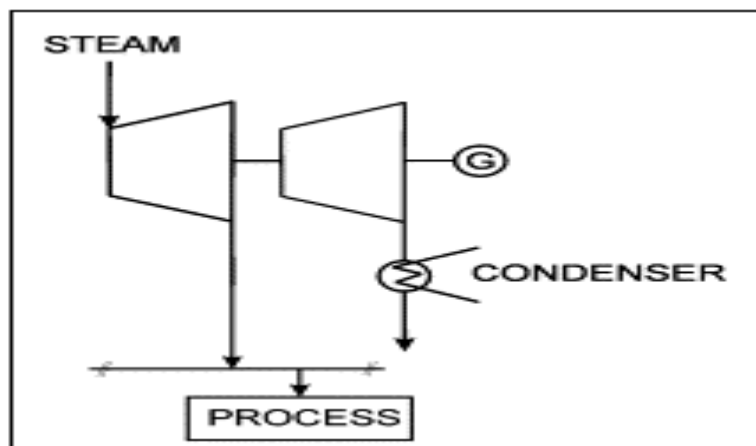
Τα συστήματα συμπαραγωγής ατμοστροβίλου έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη) και μεγάλη διαθεσιμότητα (90-95%). Ο βαθμός απόδοσης ενός συστήματος κυμαίνεται από 60 έως 85%, αλλά λόγω του ατμού υψηλών πιέσεων που απαιτείται υπάρχει περιορισμός στην παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με την παραγόμενη θερμότητα. Συνεπώς, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται από 15 έως 20%. [61]

Τα κυριότερα είδη των συστημάτων αμμοστροβίλου είναι:

- Ο αμμοστροβίλος αντίθλιψης, ο οποίος έχει την απλούστερη μορφή και τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Τροφοδοτείται με ατμό πίεσης 20 έως 100bar και θερμοκρασίας 480 έως 540°C και εξερχόμενος από το στροβίλο, έχει πίεση αντίθλιψης μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική (3 έως 20 bar). Αν και έχει υψηλές αποδόσεις, έχει καθορισμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αυτή είναι στενά συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Απομάστευση (δηλ. εξαγωγή) μέρους του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις είναι επίσης δυνατή. Σε σύγκριση με το σύστημα απομάστευσης, το οποίο περιγράφεται παρακάτω, το σύστημα αντίθλιψης, έχει τα εξής πλεονεκτήματα: Απλή μορφή, μικρότερο κόστος, μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη ψυκτικού νερού, υψηλότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 85%), κυρίως διότι δεν αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον μέσω ψυγείου. Σημαντικό μειονέκτημα του, όμως είναι ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι στενά συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα. Έτσι, είναι αδύνατη η ανεξάρτητη λειτουργία του αμμοηλεκτρικού 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 της πιθανής περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας. [62]
- Ο αμμοστροβίλος απομάστευσης, ο οποίος έχει μικρότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 80%), σε σύγκριση με το σύστημα αμμοστροβίλου αντίθλιψης, ωστόσο, έχει τη δυνατότητα ρύθμισης του λόγου της ηλεκτρικής και της θερμικής παραγόμενης ισχύος μέχρι κάποιο εύρος, ανάλογα με τις ανάγκες. Ο όρος «απομάστευση» προκύπτει από το γεγονός ότι ένα μέρος του ατμού απομαστεύεται (εξέρχεται) από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου και χρησιμοποιείται για άλλες θερμικές διεργασίες. Η υπόλοιπη διάταξη παραμένει η ίδια.

Εικόνα 15: Απομάστευση σε μία βαθμίδα του στροβίλου [57]



- Ο αμμοστροβίλος σε κύκλο βάσεως έχει παρόμοια διάταξη με τα άλλα συστήματα αμμοστροβίλου. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιεί αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας από διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές (δυλιστήρια, εργοστάσια τσιμέντου, αλουμινίου κ.α.) για την παραγωγή του απαιτούμενου ατμού. Ωστόσο, ο ηλεκτρικός βαθμός του συστήματος είναι χαμηλός (5-15%). [62]

3.4.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου

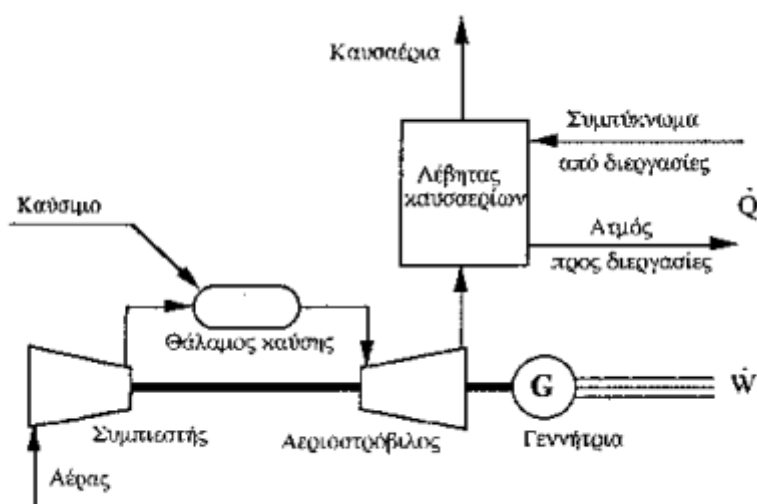
Τα συστήματα αεριοστρόβιλου είναι τα πιο διαδεδομένα για μεσαίες και μεγαλύτερες τιμές ισχύος κατά τη ΣΗΘ. Υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις: Ανοικτού και κλειστού τύπου, και το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι συνήθως αέριο, υγραέριο και ελαφρύ πετρέλαιο.

Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού κύκλου

Οι περισσότερες αεριοστροβλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου: Αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο βγαίνουν σε θεοκρασία 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, γεγονός που αυξάνει τον βαθμό απόδοσης στο 60-80%. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων:

- Άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση, κλπ.).
- Διοχέτευση των καυσαερίων σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας (λέγεται και λέβητας καυσαερίων). Εκεί παράγεται ατμός υψηλών χαρακτηριστικών, που είναι κατάλληλος όχι μόνο για θερμικές διεργασίες, αλλά και για την κίνηση ατμοστροβίλου συνδεδεμένου με γεννήτρια ή άλλο μηχάνημα (σύστημα συνδυασμένου κύκλου).

Εικόνα 16: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοιχτού κύκλου [57]



Στις προαναφερθείσες τεχνικές αξιοποίησης της απορριπτόμενης θερμότητας είναι δυνατή η αύξηση της ειδικής ενθαλπίας των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε οξυγόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμβολή ενός θαλάμου καύσης ανάμεσα στον αεριοστρόβιλο και στο λέβητα ανακτήσεως θερμότητας, όπου, με την τροφοδοσία επιπλέον καυσίμου ολοκληρώνεται η δέσμευση της περισσειας του οξυγόνου, δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες καύσεως και βελτιώνοντας την ολική απόδοση του συστήματος.

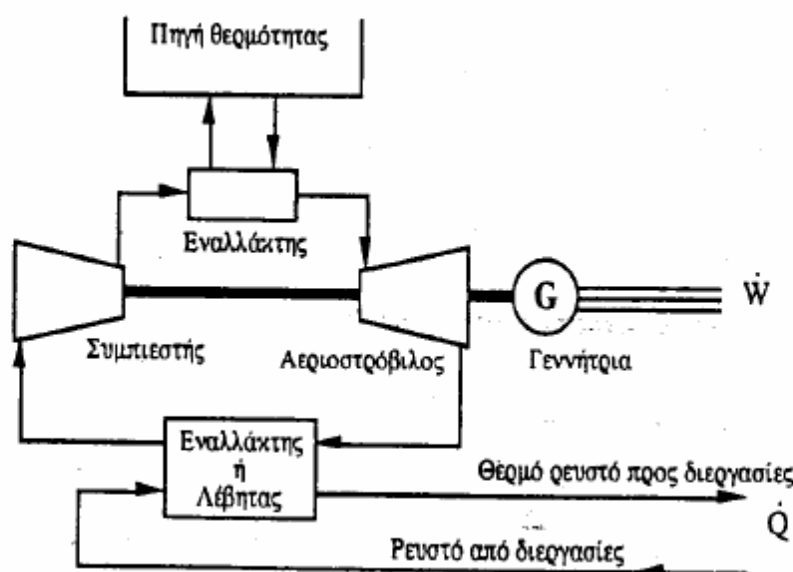
Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100kW-100MW. Λειτουργούν, συνήθως, με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel), ενώ παρουσιάζονται και προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαερωμένη μορφή. Γενικά, πάντως, απαιτείται προσοχή στην επιλογή της καύσιμης ύλης γιατί τα πτερύγια του αεριοστρόβιλου, που είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσης, μπορούν να διαβρωθούν από συστατικά όπως το νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, θείο κλπ. Επίσης, τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια.

Συστήματα αεριοστρόβιλου 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 την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδο του από αυτόν. Καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης.

Η εξωτερική καύση 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 πηγή θερμότητας. Μετά την απόκτηση αρκετής εμπειρίας προκύπτει ότι η αξιοπιστία των συστημάτων κλειστού κύκλου προβλέπεται ότι θα είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη των συστημάτων ανοικτού κύκλου, ενώ η διαθεσιμότητα θα είναι υψηλότερη χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης, που οφείλονται στην καθαρότητα του εργαζόμενου ρευστού. Ο βαθμός απόδοσης και ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητας βρίσκονται περίπου στα ίδια επίπεδα με εκείνα των συστημάτων ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα κλειστού κύκλου έχουν το πλεονέκτημα ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης δεν μειώνεται σε μερικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης σε μερικό φορτίο εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό απόδοσης της πηγής θερμότητας. [60]

Εικόνα 17: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού τύπου [57]



3.4.3 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15-1.000 kW) ή κινητήρα Diesel (75-1.000 kW).
- Συστήματα μέσης ισχύος (1.000-6.000 kW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel.
- Συστήματα μεγάλης ισχύος (άνω των 6.000 kW) με κινητήρα Diesel.

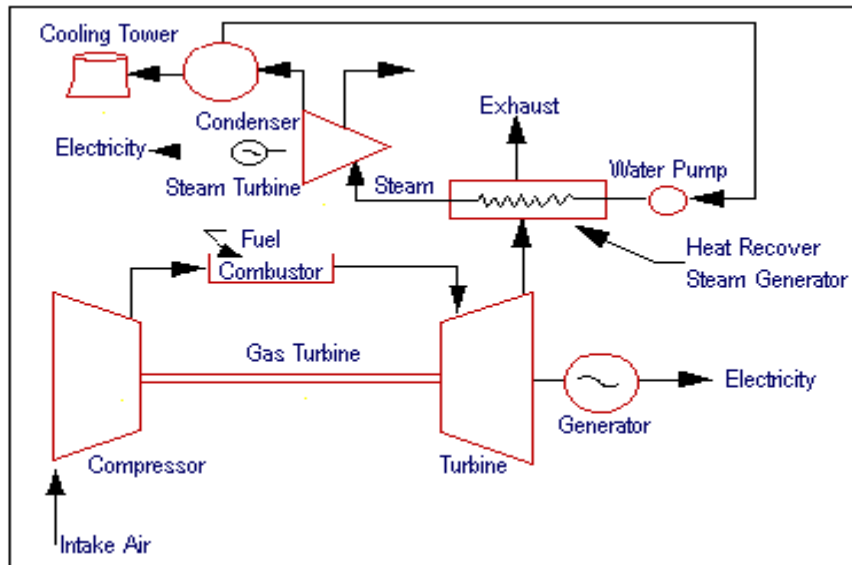
Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή, στην οποία καίγεται ένα καύσιμο παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο καύσης και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με το οξυγόνο του αέρα δημιουργούνται θερμά αέρια. Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης ή εκτόνωσης της πίεσης των αερίων που παράγονται, ασκεί δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως στα έμβολα ή στα πτερύγια.

Αεριομηχανές (Gas engines) ονομάζονται οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με αέριο καύσιμο, π.χ. φυσικό αέριο, βιοαέριο, κ.λπ. Όπως και στην περίπτωση των αεριοστρόβιλων, τα καυσαέρια των κινητήρων βρίσκουν είτε άμεση είτε έμμεση χρήση. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 300-400°C, δηλαδή αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του αεριοστρόβιλου, γι' αυτό και κάνει πιο συχνή την ανάγκη για συμπληρωματική θερμότητα. Αυτή αποκτάται είτε με τοποθέτηση καυστήρα και προσαγωγή αέρα για καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων, είτε με εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα. Οι μεγάλοι κινητήρες προσφέρουν τη δυνατότητα συνδυασμένου κύκλου. [61]

3.4.4 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου συνίσταται από δύο επιμέρους συστήματα διαφορετικής τεχνολογίας με διαφορετικό θερμοδυναμικό κύκλο και θερμοκρασίες στα οποία ρέει το ίδιο εργαζόμενο μέσο. Το σύστημα κορυφής, που έχει την υψηλότερη θερμοκρασία, αποβάλλει θερμότητα προς το άλλο σύστημα (σύστημα βάσης) το οποίο την ανακτά και τη χρησιμοποιεί για να αυξήσει το βαθμό απόδοσής του. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστρόβιλου – ατμοστρόβιλου (κύκλοι Joule και Rankine). Σε αυτές τις διατάξεις τα θερμά καυσαέρια στην έξοδο του αεριοστρόβιλου χρησιμοποιούνται για την αύξηση του ενεργειακού περιεχομένου του ατμού ο οποίος τροφοδοτεί τον ατμοπαραγωγό και παράγει πρόσθετη ηλεκτρική ισχύ, αυξάνοντας τους βαθμούς απόδοσης. Άλλη διάταξη που εφαρμόζεται είναι ο συνδυασμός κύκλων Diesel-Rankine, δηλαδή στον κύκλο του ατμοστρόβιλου προστίθεται μια μηχανή εσωτερικής καύσης diesel.

Εικόνα 18: Τυπικό σύστημα συνδυασμένου κύκλου (Joule –Rankine) (57)



Λόγω και της πολυπλοκότητας των εφαρμογών συνδυασμένων κύκλων, η διαθεσιμότητα τους είναι μικρότερη (75-85%), οι μονάδες τους πιο δαπανηρές ενώ και η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 15 έως 25 έτη. Ωστόσο, η συμπαραγωγή συνδυασμένου κύκλου εμφανίζει αισθητά μεγαλύτερους ολικούς βαθμούς απόδοσης (70-85%) και ειδικότερα σε μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις (από 5 έως 400MW). [62]

3.4.5 Τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής

Μεγάλη ώθηση στη διάδοση της συμπαραγωγής αναμένεται ότι θα δώσει η μαζική παραγωγή τυποποιημένων μονάδων σε μορφή πακέτου με ηλεκτρική ισχύ 10-100kW , που έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος,
- Μικρό όγκο,
- Εύκολη εγκατάσταση (το μόνο που χρειάζεται είναι η σύνδεσή τους με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά δίκτυα).
- Αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Οι μονάδες αυτές συνήθως έχουν κινητήρα Diesel. Σε μικρότερες των 100kW είναι δυνατή η χρήση αεριοστρόβιλου. Μπορούν να λειτουργούν με υγρό ή αέριο καύσιμο. Το φυσικό αέριο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο καύσιμο για τις μονάδες αυτές χάρη στην καθαρότητα, την έλλειψη ανάγκης αποθήκευσης και τη χαμηλή τιμή του.

Στις τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα. Επομένως, ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι 0,5-0,7, ενώ ο ολικός βαθμός απόδοσης φτάνει το 80%. Μικροεπεξεργαστές, εγκατεστημένοι στο χώρο όπου βρίσκεται η μονάδα, παρακολουθούν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και μεταβιβάζουν τις σχετικές πληροφορίες, μέσω αποκλειστικής τηλεφωνικής γραμμής, σε κεντρικό

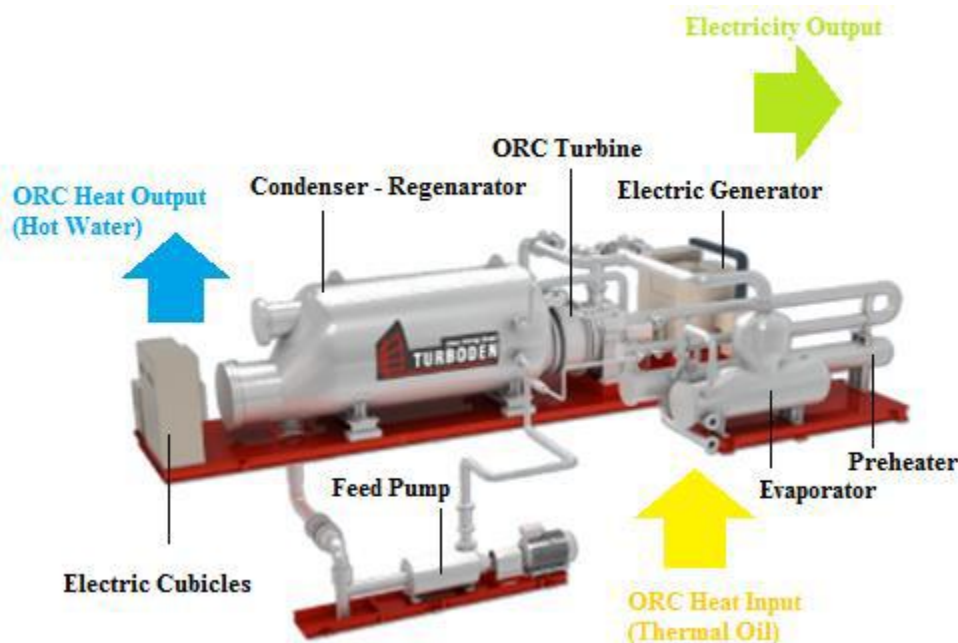
υπολογιστή. Όταν η εξέλιξη των τιμών ορισμένων παραμέτρων δείχνει επερχόμενη βλάβη, ειδοποιείται η ομάδα συντήρησης, που επεμβαίνει πριν ακόμη η βλάβη εκδηλωθεί. [60]

3.4.6 Organic Rankine Cycle (ORC)

Το σύστημα ORC είναι παρόμοιο με το συμβατικό σύστημα ατμοστροβίλου, ακολουθεί τη διεργασία κύκλου Rankine, με τη διαφορά ότι το υγρό που εισέρχεται στο στρόβιλο είναι οργανικό ρευστό υψηλής μοριακής μάζας (π.χ. τολουένιο). Το ρευστό επιτρέπει την αποδοτική αξιοποίηση πηγής θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε ένα μεγάλο εύρος εξερχόμενης ισχύος (από λίγα kW έως 3MW ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα).

Το οργανικό ρευστό προθερμαίνεται και εξατμίζεται χρησιμοποιώντας την θερμότητα θερμής πηγής στον συμπυκνωτή. Οι ατμοί εκτονώνονται στον στρόβιλο και στη συνέχεια συμπυκνώνονται χρησιμοποιώντας κρύο νερό στον εναλλάκτη θερμότητας «shell – and- tube» (εναλλακτικά, ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψύξη). Οι υδρατμοί μεταφέρονται με αντλία πίσω στον συμπυκνωτή, όπου αποκτάνε την ανάλογη πίεση κλείνοντας έτσι τον θερμοδυναμικό κύκλο. Η συμπύκνωση του εργαζόμενου μέσου γίνεται σε τέτοια επίπεδα θερμοκρασίας, ώστε η θερμότητα που ανακτάται μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν θερμότητα άμεσα για άλλες διεργασίες (το ζεστό νερό π.χ. δίνει θερμοκρασίες 80-100°C). Οι πηγές θερμότητας και ψύξης δεν είναι σε άμεση επαφή με το εργαζόμενο ρευστό ή με τον στρόβιλο. Σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας (π.χ. συμπαραγωγή με φυτική βιομάζα) χρησιμοποιείται θερμαντικό έλαιο υψηλής θερμοκρασίας (thermal oil) για τη μεταφορά θερμότητας, ενώ τοποθετείται σύστημα ανάκτησης θερμότητας (regenerator) κατάντη του στρόβιλου, για περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης του κύκλου. [63]

Εικόνα 19: Κύρια μέρη διάταξης ORC¹⁹



¹⁹ Πηγή: <http://www.turboden.eu/en/home/index.php>

Για να επιτευχθεί υψηλή ηλεκτρική απόδοση πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η θερμοκρασία που απαιτείται για απευθείας θέρμανση στον συμπυκνωτή (περίπου 80°C θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας). Αυτό επιτυγχάνεται με τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και τον έλεγχο του δικτύου άμεσης θέρμανσης (ώστε η απαραίτητη θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας να είναι στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα), καθώς και με τη βελτιστοποίηση της υδραυλικής ενοποίησης του ORC με το δίκτυο άμεσης θέρμανσης. Για να γίνει αυτό, το ORC πρέπει να συνδέεται απευθείας με την επιστροφή του δικτύου απευθείας θέρμανσης, ενώ η χαμηλή θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας επιτυγχάνεται με την χωροθέτηση του συστήματος παροχής ζεστού νερού κατάντη του ORC. Με αυτό τον τρόπο, το ORC μπορεί να λειτουργεί με την ελάχιστη θερμοκρασία (80°C) νερού τροφοδοσίας όλο το έτος, σε αντίθεση με τους 90-95°C που απαιτείται συνήθως το χειμώνα. [64]

Τέτοια συστήματα έχουν εφαρμογή σε γεωθερμικές μονάδες χαμηλής ενθαλπίας, (μέχρι 3MW ανά μονάδα), μονάδες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα ισχύος 400-1.500kW, ηλιακές εφαρμογές και εφαρμογές ανάκτησης θερμότητας (400-1.500 kW). Τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι:

- Υψηλή απόδοση κύκλου.
- Πολύ υψηλή απόδοση στροβίλου (μέχρι 85%).
- Χαμηλή μηχανική πίεση του στροβίλου λόγω της χαμηλής περιφερειακής ταχύτητας.
- Χαμηλή περιστροφή/λεπτό του στροβίλου που επιτρέπει την άμεση κίνηση της ηλεκτρικής γεννήτριας.
- Έλλειψη διάβρωσης των πτερυγίων, λόγω της έλλειψης υγρασίας στα ακροφύσια υδρατμών.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας, καθώς δεν υπάρχουν απώλειες στο εργαζόμενο μέσο, λόγω του κλειστού κύκλου.
- Δεν απαιτείται χειριστής.

Άλλα πλεονεκτήματα είναι η απλή λειτουργία έναρξης-λήξης (start-stop), χαμηλός θόρυβος, καλή λειτουργία με μερικό φορτίο, ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Σε γεωθερμικές εφαρμογές, η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι πάνω από είκοσι χρόνια, ενώ το εργαζόμενο μέσο (silicon oil) μπορεί να διαρκέσει όσο λειτουργεί το σύστημα, καθώς δεν υφίσταται σχετική γήρανση. [63]

3.4.7 Κυψέλες καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου (fuel cell) είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή, που μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς τη μεσολάβηση καύσης. Στη βασική της μορφή λειτουργεί ως εξής: Υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν με την παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως μεθάνιο (CH₄), που αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Ορισμένοι τύποι κυψελών μπορούν να λειτουργήσουν επίσης και με διοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για συμπαραγωγή στον βιομηχανικό και εμπορικό-κτιριακό τομέα (ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο). Κύρια πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα:

- Αρθρωτή (modular) δομή, που διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ.
- Διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο (δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού).
- Ευκολία αυτοματισμού.
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων.
- Χαμηλή στάθμη θορύβου.

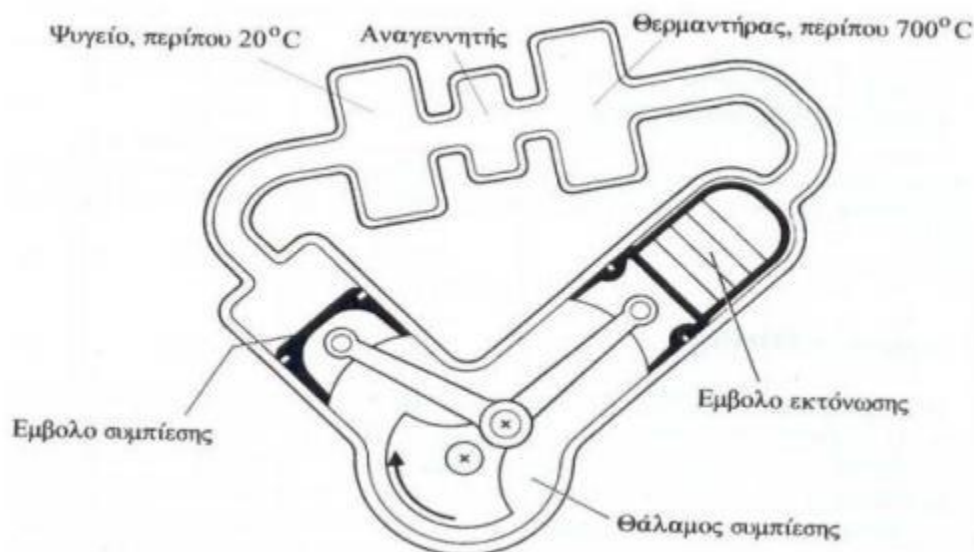
Χάρη στον υψηλό βαθμό απόδοσης και τα καθαρά καύσιμα που χρησιμοποιούνται, οι εκπομπές CO₂ και SO₂ είναι κατά 10-100 φορές χαμηλότερες από εκείνες των άλλων συστημάτων. Ειδικότερα, επειδή οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι (σημαντικά μικρότερες από εκείνες της καύσης, οι εκπομπές NO_x είναι μικρότερες κατά μία τάξη μεγέθους από τις εκπομπές των συστημάτων που στηρίζονται στην καύση). Οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου κάνουν τις κυψέλες καυσίμου πιο κατάλληλες από άλλα συστήματα για εγκατάσταση και λειτουργία σε κατοικημένες περιοχές και σε κτίρια όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία κ.λπ. μειονεκτήματα, που εμποδίζουν προς το παρόν την πλατιά διάδοσή τους, είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής τους. [60]

3.4.8 Μηχανές Stirling

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι επίσης δυνατή με μηχανές Stirling. Η τεχνική αυτή δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί και διαδοθεί αρκετά, αλλά το ενδιαφέρον για την ανάπτυξή της έχει αυξηθεί τελευταία, χάρη στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει, σε σύγκριση με συστήματα κινητήρων Diesel, αεριοστρόβιλων ή ατμοστρόβιλων: Δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης, μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου, καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλές εκπομπές ρύπων, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

Ο κινητήρας Stirling ονομάζεται και μηχανή εξωτερικής καύσης. Παρακάτω φαίνεται η λειτουργία μιας μηχανής Stirling. Συγκεκριμένα, αέριο συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου-δύο εμβόλων με αποτέλεσμα την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Το αέριο θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας χωρίς να συμμετέχει στην καύση. Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling, επιτρέπει τη χρήση διάφορων καυσίμων, π.χ. υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα, ακόμα και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. [64]

Εικόνα 20: Λειτουργία μηχανής Stirling (57)



3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΣΗΘ

Τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας εμφανίζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σχέση με την αποτίμηση της επιρροής τους στο περιβάλλον, την οικονομία και την τοπική κοινωνία, όπως και στο θέμα της εξοικονόμησης καυσίμου. Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής, η θέση και το είδος του συστήματος μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις. Η εξειδικευμένη μελέτη ώστε να επιλεγθεί κάθε φορά το ιδανικότερο σύστημα, φέρνει τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των ΣΗΘ συνοψίζονται παρακάτω:

- Τα συστήματα συμπαραγωγής εκμεταλλεύονται αποδοτικότερα την χρησιμοποιούμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.
- Λόγω της καλύτερης αξιοποίησης των καυσίμων, υπάρχει μικρότερη κατανάλωση, από αυτή που θα είχαμε σε περίπτωση που θα χρησιμοποιούσαμε αν είχαμε δύο ανεξάρτητα συστήματα παραγωγής. Αυτό οδηγεί σε μειωμένες εκπομπές αέριων ρύπων (CO₂, CO, SO₂). Εάν δε χρησιμοποιηθεί και ανανεώσιμο καύσιμο, οι αέριοι ρύποι, μπορούν να τείνουν στο μηδέν.
- Απαιτείται σύντομος χρόνος για την κατασκευή τους, το μέγεθος τους είναι μικρό και αυτό καθιστά τα συστήματα ευέλικτα, με αποτέλεσμα να μπορούν να ικανοποιήσουν τους τοπικούς καταναλωτές καλύτερα σε σχέση με τις μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.
- Η δυνατότητα τοποθέτησης των μονάδων συμπαραγωγής, σε θέση κοντά στους καταναλωτές, μειώνει σε μεγάλο βαθμό τις απώλειες μεταφοράς. Γεγονός που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τις κλασικές μεγάλες μονάδες.
- Η μεταβολή στη ζήτηση που μπορεί να υπάρχει μακροπρόθεσμα μπορεί να καλυφθεί πιο εύκολα, διότι λόγω του μικρού μεγέθους των μονάδων υπάρχει ευελιξία και αυτό τις καθιστά πιο αξιόπιστες.

- Το συγκριτικά χαμηλότερο κόστος συμβάλει στη δημιουργία αύξησης της ανταγωνιστικότητας.
- Με τα καινούρια συστήματα δημιουργούνται σύγχρονες καινοτόμες εφαρμογές αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στη χώρα μας είναι η τηλεθέρμανση.
- Υπάρχουν μικρότερες απαιτήσεις για εισαγωγή καυσίμων, διότι απαιτούνται λιγότερα καύσιμα ανά μονάδα παραγόμενης ισχύος. Γεγονός ιδιαίτερα ωφέλιμο για την οικονομία.
- Η δυνατότητα να δημιουργηθούν νέες επενδύσεις με την κατασκευή μικρών μονάδων συμπαραγωγής, συνδράμουν στην αύξηση της απασχόλησης στο βιομηχανικό τομέα σε γεωγραφική διασπορά. Δηλαδή δεν έχουμε συσσώρευση της απασχόλησης στις μεγάλες βιομηχανικές ζώνες.

Εκτός όμως από τα θετικά αποτελέσματα της χρήσης των μονάδων συμπαραγωγής, υπάρχουν και αρνητικές συνέπειες από την εφαρμογή τους και αναφέρονται κυρίως οι ακόλουθες:

- Η χρήση συμβατικών καυσίμων στα συστήματα συμπαραγωγής, δεν βελτιώνει την εκπομπή ρυπογόνων ουσιών. Συνεπώς, η ρύπανση εξακολουθεί να είναι αυξημένη.
- Στην περίπτωση που οι μονάδες συμπαραγωγής κατασκευαστούν κοντά σε αστικά κέντρα, η ρύπανση που θα επιφέρουν στο αστικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερη από τις κλασικές μεγάλες μονάδες, διότι οι μεγάλοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά κανόνα βρίσκονται μακριά από τα αστικά κέντρα.
- Υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί πρόβλημα στην ευστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου, εάν ο ρυθμός της ζήτησης δεν είναι ανάλογος με το ρυθμό παραγωγής. Ειδικότερα, η δημιουργία πολλών μικρών μονάδων μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη παραγωγή από τη ζήτηση.
- Η τεχνολογία των νέων μονάδων που δημιουργούνται, ενδέχεται να προκαλέσει αισθητική επιβάρυνση, ηχορύπανση ή ακόμα και ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων από τα κατάλοιπα της καύσης. [65]

Κεφάλαιο 4: Τηλεθέρμανση Κοζάνης

4.1 Σύντομη ανασκόπηση

Η Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης ιδρύθηκε το 1985 και άρχισε να λειτουργεί το 1988, με αντικείμενο την εκμετάλλευση, λειτουργία, συντήρηση, κατασκευή και διοίκηση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης της πόλης της Κοζάνης, που μέχρι τότε ήταν αρμοδιότητα του Δήμου Κοζάνης. Το 1995 το αντικείμενο της επιχείρησης διευρύνθηκε με την προσθήκη περισσότερων αρμοδιοτήτων όπως μελέτη, κατασκευή, συντήρηση, εκμετάλλευση, διοίκηση και λειτουργία του δικτύου τηλεθέρμανσης. Το 1995 και το 1999 η Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης διευρύνεται με την εθελούσια συνένωση του Δήμου Κοζάνης με τα Δ.Δ. Ν. Νικόπολης και Αργίλου καθώς και με τα 18 ακόμη Δ.Δ. αντίστοιχα, που αποτελούν τον Καποδιστριακό Δήμο Κοζάνης. Από 1^η Ιανουαρίου 2011, με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης, γίνεται μεγαλύτερη συνένωση δήμων και κοινοτήτων με τον δήμο Κοζάνης. Το σύνολο των επενδύσεων ανήλθε σε συνολικά 135.000.000 €, με ποσοστό 54% (73.014.483,02 €) στην τηλεθέρμανσης, ποσοστό 26% (35.169.922,34 €) στην ύδρευση και ποσοστό 20% (26.811.899,91 €) στην αποχέτευση.

Η υφιστάμενη εγκατάσταση τηλεθέρμανσης Κοζάνης λειτουργεί και τροφοδοτεί την πόλη της Κοζάνης καθώς και τους οικισμούς Νέας Χαραυγής και ΖΕΠ του Δήμου Κοζάνης, με θερμότητα για θέρμανση χώρων και παρασκευή θερμού νερού χρήσης, όπου αυτό απαιτηθεί. Κατά τη λειτουργία της τηλεθέρμανσης εντοπίζονται, διερευνώνται και επιλύονται διάφορα ζητήματα που αφορούν σε λειτουργικές βελτιώσεις, αλλά και σε βελτιώσεις-επεκτάσεις των υποδομών του έργου.

Το 1989 ανατέθηκε στην ANKO A.E., με προγραμματική σύμβαση στα πλαίσια του έργου VALOREN, η εκπόνηση της μελέτης του έργου, η οποία περιελάμβανε την Α' φάση (Οκτώβριος 1990) με αντικείμενο τον προσδιορισμό των βασικών επιλογών της μελέτης και τη Β' φάση (Νοέμβριος 1991), την οριστική μελέτη εφαρμογής του έργου με επιμέρους τμήματα τα α) τη μελέτη του έργου μεταφοράς θερμικής ενέργειας, β) τη μελέτη των αντλιοστασίων μεταφοράς και διανομής, γ) τη μελέτη του δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας & δ) τη μελέτη του λεβητοστασίου αιχμής. Το 1991, υπογράφεται η σύμβαση μεταξύ του Δήμου Κοζάνης-Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης για την ανάθεση του έργου «Τηλεθέρμανση Κοζάνης». Το 1992 πραγματοποιήθηκε η δημοπράτηση του έργου «Τηλεθέρμανση Κοζάνης φάση Α'». Η Α' φάση περιελάμβανε α) το δίκτυο διανομής και τους θερμικούς υποσταθμούς στο ευρύτερο κέντρο της πόλης (Ζώνη Α') β) το λεβητοστάσιο αιχμής και γ) τα αντλιοστάσια διανομής και μεταφοράς Α1 και Α2. Το 1993 έγινε δημοπράτηση του έργου «Τηλεθέρμανση Κοζάνης φάση Β'». Αυτή η φάση που περιλάμβανε τον αγωγό μεταφοράς από τον Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου και το αντλιοστάσιο μεταφοράς Α3. Ταυτόχρονα, η Δ.Ε.Η. αναλαμβάνει τις απαραίτητες μετασκευές στις μονάδες ΙΙΙ και ΙV του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου για την απόδοση στην τηλεθέρμανση του απαραίτητου θερμικού φορτίου. Μέσα στο ίδιο έτος ολοκληρώθηκε το δίκτυο διανομής της Α' ζώνης. Το 1994 έγινε η διασύνδεση με τις εγκαταστάσεις της Δ.Ε.Η. στον Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου και επέκταση του δικτύου (ζώνες Β' και Γ'). Το 1995 έγινε η νομοθετική διευρυνση των αρμοδιοτήτων των Δ.Ε.Υ.Α. με την αρμοδιότητα των δικτύων τηλεθέρμανσης. Τέλος του έτους 1995 υπογράφηκε η σύμβαση του έργου «Τηλεθέρμανση Κοζάνης Δίκτυο Διανομής Ζωνών Β' και Γ'» (επέκταση του δικτύου διανομής σε όλες τις περιοχές του σχεδίου της πόλης). Το 1996 ολοκληρώθηκε η κατασκευή της επέκτασης θερμικής ισχύος από τις μονάδες ΙΙΙ και ΙV του Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου (αύξηση από 40

MW_{th} σε $67 MW_{th}$). Το 1997 υπογράφηκε συμπληρωματική σύμβαση με την Δ.Ε.Η. για την παροχή επιπλέον $70 MW_{th}$ από την μονάδα V του Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου. Αρχές του 1999 ολοκληρώθηκε η επέκταση των εγκαταστάσεων της τηλεθέρμανσης στο αντλιοστάσιο Α1 και στο λεβητοστάσιο αιχμής με την προσθήκη 4^{ου} λέβητα ισχύος $27,5 MW_{th}$, ενώ στο τέλος του ίδιου έτους ολοκληρώθηκε η κατασκευή του νότιου περιμετρικού αγωγού μεταφοράς (Φ 450 mm). Το 2002 εγκαταστάθηκε ο 5^{ος} λέβητας ισχύος $27,5 MW_{th}$ ενώ το 2005 ολοκληρώθηκε και είχαμε την έναρξη λειτουργίας του 2^{ου} αγωγού μεταφοράς DN600mm, ο οποίος ανέβασε την ικανότητα μεταφοράς του συστήματος στα $140MW_{th}$ από τον Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου. Το 2006 ολοκληρώθηκε το έργο των μετασκευών στα αντλιοστάσια Α1,Α2 και Α3 της τηλεθέρμανσης & το έργο του νέου αυτοματισμού λειτουργίας όλων των εγκαταστάσεων της τηλεθέρμανσης. Το 2007 ολοκληρώθηκε το έργο της εναποθήκευσης θερμότητας. Το 2008, είχαμε την ολοκλήρωση του έργου επέκτασης στο 100% της πόλης της Κοζάνης, του οικισμού της Ν. Χαραυγής και στη ζώνη ενεργού πολεοδομίας Κοζάνης. Τον Νοέμβριο του 2008 ολοκληρώνεται το έργο κατασκευής βοηθητικού αντλιοστασίου Αγ. Νικάνορα, τον Δεκέμβριο του 2009 το έργο κατασκευής του βοηθητικού αντλιοστασίου Αγ. Παρασκευής και τον Μάρτιο του 2011 το έργο κατασκευής βοηθητικού αντλιοστασίου Μοναστηρίου. [66]

4.2 Περιγραφή εγκαταστάσεων τηλεθέρμανσης

Η θερμική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της εγκατάστασης τηλεθέρμανσης Κοζάνης, λαμβάνεται κατά κύριο λόγο από τις μονάδες III,II και V του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου, με την βοήθεια θερμικών εναλλακτών και την απομάστευση ατμού από την μεσαία και χαμηλή βαθμίδα των υφιστάμενων στροβίλων. Η συνολική απολαβή θερμικής ισχύος ανέρχεται σε $137 MW_{th}$. Το μέσο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας είναι υπέρθερμο νερό. Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται μέσω δισωλήνιου υπόγειου συστήματος προμονωμένων αγωγών μεταφοράς μήκους ~ 17.140 m στην πόλη της Κοζάνης στο κύριο αντλιοστάσιο διανομής Α1, με τη βοήθεια του οποίου διανέμεται στα κτίρια της πόλης μέσω δισωλήνιου υπόγειου προμονωμένου δικτύου διανομής. Στους διασυνδεδεμένους οικισμούς η διανομή στο εσωτερικό δίκτυο αυτών γίνεται με την βοήθεια ξεχωριστών αντλιοστασίων.

Η απόδοση της θερμικής ενέργειας στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης των κτιρίων γίνεται μέσω θερμικών υποσταθμών (εναλλακτών) κτιρίων. Οι θερμικοί υποσταθμοί καταναλωτών είναι τύπου καθαρής αντιρροής μη διαιρούμενου τύπου επάλληλων συγκολλημένων πλακών (Brazed Plate Heat Exchanger). Οι θερμοκρασίες εισαγωγής / επιστροφής είναι για πρωτεύουν $115^{\circ}C/65^{\circ}C$ και για το δευτερεύον $60^{\circ}C/80^{\circ}C$. Οι θερμικοί υποσταθμοί στην πόλη της Κοζάνης είναι ονομαστικής πίεσης PN 25 bar και μέγιστης θερμοκρασίας λειτουργίας $130^{\circ}C$ τύπου επάλληλων πλακών αντιρροής. Στον οικισμό Νέας Χαραυγής του Δήμου Κοζάνης οι θερμικοί υποσταθμοί είναι ονομαστικής πίεσης 16 bar, λόγω των διαφορετικών πιέσεων λειτουργίας του δικτύου. Η κυκλοφορία του νερού στο κλειστό δίκτυο διανομής της τηλεθέρμανσης Κοζάνης επιτυγχάνεται αφενός με τη βοήθεια των κύριων αντλιών κυκλοφορίας των αντλιοστασίων και αφετέρου με τα επί μέρους αντλιοστάσια διαχωρισμού, για τις περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο των 740m λόγω του έντονου ανάγλυφου του εδάφους της πόλης.

Για την ενίσχυση του συστήματος σε περιόδους αιχμής ζήτησης, αλλά και για εφεδρεία, και με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας της εγκατάστασης, υπάρχει εφεδρικό λεβητοστάσιο. Η θέση των λεβήτων αιχμής/εφεδρείας βρίσκεται στην περιοχή Κασλάς της πόλης της Κοζάνης. Οι

εγκαταστάσεις συμπεριλαμβάνουν 3 λέβητες υπέρθερμου νερού τύπου IVAR ονομαστικής θερμικής ισχύος $10 \text{ MW}_{\text{th}}$ και δύο λέβητες τύπου LOOS ονομαστικής θερμικής ισχύος $27,5 \text{ MW}_{\text{th}}$. Η συνολική λαμβανόμενη θερμική ισχύς των λέβητων αιχμής ανέρχεται σε $85 \text{ MW}_{\text{th}}$. Οι λέβητες είναι φλογοαυλωτοί, τριπλής διαδρομής και ο καθένας φέρει δύο καυστήρες που λειτουργούν με πετρέλαιο και υγραέριο (LPG). Επιδίωξη της Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης είναι να διαθέτει πάντοτε εφεδρική ισχύ στο λεβητοστάσιο μεγαλύτερη από το 50% της μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος αιχμής.

Εικόνα 21: Εφεδρικοί λέβητες τηλεθέρμανσης Κοζάνης²⁰



Για τη μεγιστοποίηση του βαθμού εκμετάλλευσης της ανακτώμενης από τον Α.Η.Σ. θερμικής ενέργειας με συμπαραγωγή, αλλά και γενικότερα, για την εξομάλυνση της λειτουργίας του συστήματος μεταφοράς, υφίσταται σήμερα σύστημα εναποθήκευσης θερμικής ενέργειας, που αποτελείται από ένα θερμοδοχείο όγκου εναποθήκευσης 1.650 m^3 έμμεσα συνδεδεμένο στο σύστημα το οποίο βρίσκεται στην περιοχή που είναι και το λεβητοστάσιο αιχμής/εφεδρείας. Η δυνατότητα εναποθήκευσης του συστήματος ανέρχεται σε $70 \text{ MW}_{\text{th}}$, ενώ η ονομαστική του στιγμιαία αποδιδόμενη θερμική ισχύς προσεγγίζει τα $15 \text{ MW}_{\text{th}}$.

Σύστημα υφιστάμενων αγωγών μεταφοράς

Το σύστημα αγωγών συνδέει το σταθμό του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου με τις εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης Κοζάνης στην πόλη. Ειδικότερα, περιλαμβάνει έναν υπόγειο προμονωμένο χαλύβδινο αγωγό προσαγωγής ονομαστικής διαμέτρου $\text{DN}600 \text{ mm}$, μέγιστης θερμοκρασίας λειτουργίας 140°C και πίεσης 25 bar , μέγιστης μεταφορικής ικανότητας $155 \text{ MW}_{\text{th}}$ θερμικής ισχύος. Επιπλέον, περιλαμβάνει το σύστημα αγωγών επιστροφής του υπέρθερμου νερού στο κύκλωμα εναλλακτών του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου για αναθέρμανση. Αποτελείται από 2 υπόγειους προμονωμένους αγωγούς ονομαστικής διαμέτρου $\text{DN}450 \text{ mm/PN}25 \text{ bar}$. Το μήκος ορύγματος των αγωγών αυτών (single run) είναι 16.140 m

²⁰ Πηγή: http://www.deyakozanis.gr/?page_id=7

Εικόνα 22: Θερμοδοχείο εναποθήκευσης τηλεθέρμανσης Κοζάνης²¹



Αντλιοστάσια μεταφοράς θερμικής ενέργειας

Τα αντλιοστάσια μεταφοράς και διανομής θερμικής ενέργειας διαχωρίζονται σε αυτά που είναι κύρια και σε αυτά που είναι βοηθητικά. Το κύριο αντλιοστάσιο θερμικής ενέργειας Α1, βρίσκεται στην περιοχή Κασλάς της πόλης και περιλαμβάνει 3 αντλητικά συγκροτήματα ονομαστικής ισχύος 710kW παράλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους με ονομαστική παροχή 1.750m³/h το κάθε ένα, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν είτε μεμονωμένα, είτε σε παράλληλο συνδυασμό μεταξύ τους. Το αντλιοστάσιο αποσκοπεί στην διανομή του υπέρθερμου νερού προς την πόλη και τους επιμέρους υφιστάμενους θερμικούς υποσταθμούς. Τα κύρια αντλιοστάσια θερμικής ενέργειας Α2/Α3 επιτυγχάνουν με την εν σειρά λειτουργία τους, την μεταφορά του υπέρθερμου νερού. Το αντλιοστάσιο Α2 είναι χωροθετημένο στην περιοχή τη Κοζάνης και περιλαμβάνει 3 παράλληλα συνδεδεμένα αντλητικά συγκροτήματα με ονομαστική παροχή 1.750m³. Περιλαμβάνει το νερό από το δίκτυο διανομής και το καταθλίβει προς τον Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου Κοζάνης. Το αντλιοστάσιο Α3 είναι χωροθετημένο στο όριο του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου Κοζάνης και περιλαμβάνει 2 παράλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους αντλητικά συγκροτήματα αντιστοίχων χαρακτηριστικών. Το αντλιοστάσιο Α3 καταθλίβει το υπέρθερμο νερό, διαμέσου του συστήματος αγωγών μεταφοράς, στον συλλέκτη αναρρόφησης του Α1. Επιπλέον, υπάρχουν τα βοηθητικά αντλιοστάσια εντός της πόλης της Κοζάνης (3 αντλιοστάσια), υπάρχει το αντλιοστάσιο στην περιοχή της Ζώνης Ενεργού Πολεοδομίας (Ζ.Ε.Π.) καθώς και το αντλιοστάσιο του οικισμού Δ.Δ. Νέας Χαραυγής Δήμου Κοζάνης. [67]

²¹ Πηγή: http://www.deyakozanis.gr/?page_id=7

4.3 Περιοχές που εξυπηρετεί η τηλεθέρμανση Κοζάνης

Η θερμική ενέργεια παρέχεται σε τρίτους (φυσικά και νομικά πρόσωπα ιδιωτικού και δημόσιου δικαίου) μέσω ιδιόκτητου δικτύου κοινής ωφελείας για την θέρμανση εσωτερικών χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Η περιοχή ανάπτυξης του δικτύου καθορίζεται από τα διοικητικά όρια του Δήμου Κοζάνης.

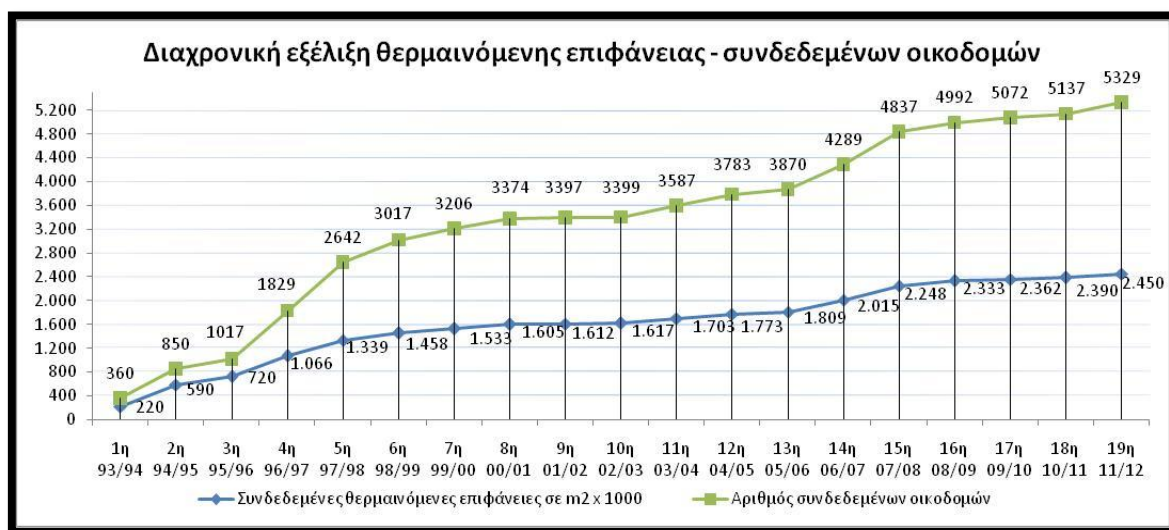
Η υφιστάμενη εγκατάσταση τηλεθέρμανσης τροφοδοτεί την πόλη της Κοζάνης, που κατοικείται σήμερα περίπου από 60.000 άτομα, με θερμότητα για την θέρμανση χώρων αλλά και για την παρασκευή ζεστού νερού χρήσης. Η κάλυψη εντός των ορίων του εγκεκριμένου γενικού πολεοδομικού σχεδίου αγγίζει το 100%. Σήμερα είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο περίπου 5.500 κτίρια και η θερμαινόμενη επιφάνεια τους προσεγγίζει τα 2.450.000 m². Περίπου 5.000 κτίρια από αυτά βρίσκονται στην πόλη της Κοζάνης, ενώ σημαντικός αριθμός κτιρίων είναι συνδεδεμένα στον οικισμό της Νέας Χαραυγής του Δ. Κοζάνης (περίπου 270). Ο συνολικός αριθμός των εξυπηρετούμενων διαμερισμάτων ανέρχεται σε 27.500 περίπου. Τόσο στον οικισμό Νέας Χαραυγής Δήμου Κοζάνης όσο και στον πρότυπο οικισμό της Ζώνης Ενεργού Πολεοδομίας, το γεωγραφικό ποσοστό κάλυψης του δικτύου διανομής είναι 100%. [67]

4.4 Εξέλιξη συνδρομητών τηλεθέρμανσης Κοζάνης

Η Α' φάση της τηλεθέρμανσης ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 1993 και λειτούργησε μέχρι τον Μάιο του 1994 με τους πρώτους 360 συνδρομητές (οικοδομές), που αντιστοιχούν σε 2.450 περίπου διαμερίσματα και καταλαμβάνουν συνδεδεμένη θερμαινόμενη επιφάνεια 220.000m². Είχε κατασκευαστεί δίκτυο διανομής 27 km διπλού σωλήνα. Η παροχή θερμικής ενέργειας για την πρώτη περίοδο λειτουργίας 1993-1994 δόθηκε από τη λειτουργία του λεβητοστασίου αιχμής. Η Β' φάση της τηλεθέρμανσης ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο 1993 (16 km διπλού σωλήνα αγωγού μεταφοράς) όπως επίσης και η διασύνδεση με τη Δ.Ε.Η. (μονάδες III και IV του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου) και λειτούργησε την δεύτερη περίοδο λειτουργίας 1994-1995 με συνδεδεμένους 850 συνδρομητές (οικοδομές) που αντιστοιχούν σε 6.550 περίπου διαμερίσματα (συνδεδεμένη θερμαινόμενη επιφάνεια 590.000 m²).

Από εκείνη την χρονιά και μετά η εξέλιξη στις συνδεδεμένες επιφάνειες είναι ραγδαία, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5 που ακολουθεί. Σημαντική άνοδος στον ρυθμό πρόσκτησης νέων επιφανειών υπάρχει και πριν την έναρξη λειτουργίας της περιόδου 2007-2008, αφού τότε ολοκληρώνεται η επέκταση του δικτύου της τηλεθέρμανσης. [67]

Διάγραμμα 5: Διαχρονική εξέλιξη θερμαινόμενη επιφάνειας – συνδεδεμένων οικοδομών



4.5 Χαρακτηριστικά τηλεθέρμανσης Κοζάνης

Το φορτίο αιχμής για την περίοδο Σεπτέμβριος 2011 έως Μάιος 2012, όπου έχουμε και τα πιο πρόσφατα στοιχεία ανέρχεται σε 162,54 MW_{th}. Συμπεριλαμβανομένου των απωλειών, το φορτίο ανέρχεται σε 170,67 MW_{th}.

Συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά της υφιστάμενης εγκατάστασης της τηλεθέρμανσης Κοζάνης σήμερα είναι:

- Φορτίο αιχμής: 162,54 MW_{th}.
- Συντελεστής απωλειών δικτύου αγωγών: 5%.
- Φορτίο αιχμής (με θερμικές απώλειες): 170,67 MW_{th}.
- Εγκατεστημένη θερμική ισχύς καταναλωτών: 379,87 MW_{th}.
- Απαιτούμενη θερμική ισχύς καταναλωτών: 287,44 MW_{th}.
- Συντελεστής ετεροχρονισμού: 0,60.
- Ονομαστική ικανότητα παραγωγής / απολαβή θερμικής ισχύος εγκατάστασης τηλεθέρμανσης: 222 MW_{th} (Μονάδα III, IV και λεβητοστάσιο αιχμής/εφεδρείας).
- Συμβολαιοποιημένη ικανότητα απολαβής θερμικής ισχύος με συμπαραγωγή από Δ.Ε.Η.: 137 MW_{th}
- Τεχνικά εφικτή ονομαστική ικανότητα απολαβής θερμικής ισχύος από Δ.Ε.Η. (συμπαραγωγή): 204 MW_{th} (Μονάδα III, IV και V).
- Ονομαστική ικανότητα παραγωγής θερμικής ισχύος από λεβητοστάσιο: 85 MW_{th}.

Η εγκατάσταση λειτουργίας της τηλεθέρμανσης ξεκινάει τη λειτουργία της στις 15 Οκτωβρίου και η περίοδο θέρμανσης διαρκεί περίπου 8 μήνες μέχρι της 31 Μαΐου. Οι συνολικές ώρες λειτουργίας της εγκατάστασης είναι 5.400h (225 ημέρες * 24 h). Η τυπική καμπύλη 24ώρου της θερμικής ισχύος λειτουργίας του δικτύου διανομής εμφανίζει δύο χρονικές περιόδους αιχμής. Η πρώτη μεταξύ 05:00 έως 08:00 και η δεύτερη μεταξύ 16:00 έως 20:00.

Οι συμπαραγωγικές μονάδες του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου καλύπτουν τη βάση της ζήτησης του δικτύου διανομής. Η ισχύς κατά τη διάρκεια των αιχμών υπολείπεται της παρεχόμενης προς το δίκτυο διανομής ισχύος. Η κάλυψη της διαφοράς μεταξύ παραγωγής και ζήτησης γίνεται μέσω του εγκατεστημένου συστήματος αποθήκευσης, το οποίο αποτελείται από την δεξαμενή χωρητικότητας 1.650m³.

Η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια, αποδίδεται στο δίκτυο στις περιόδους αιχμής δηλ. το πρωί και το απόγευμα, με μέγιστη θερμική ισχύ 15 MW_{th}. Η φόρτιση της δεξαμενής γίνεται κυρίως τις νυχτερινές ώρες και δευτερευόντως το μεσημέρι. Σε περιπτώσεις ζήτησης υψηλών θερμικών φορτίων ή/και αδυναμίας μέγιστης παραγωγής από τις μονάδες στις Δ.Ε.Η., εισέρχονται στο σύστημα και οι λέβητες αιχμής. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συμμετοχή του λεβητοστασίου αιχμής-εφεδρείας είναι μόλις σε ποσοστό 2% στο σύστημα τηλεθέρμανσης. [67]

4.6 Τιμολογιακή πολιτική τηλεθέρμανσης Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης

Δύο από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετώπισε Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης στην λειτουργία του έργου ήταν ο καθορισμός της τιμής σύνδεσης των καταναλωτών στο δίκτυο διανομής της τηλεθέρμανσης, καθώς και η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας. Η τιμολογιακή πολιτική έπρεπε να λαμβάνει υπόψη τον κοινωνικό χαρακτήρα του έργου και να στοχεύει στη βιωσιμότητα του. Είχε διαχρονικά ως βασικούς της στόχους την προσέλκυση νέων καταναλωτών και την κάλυψη των χρηματοοικονομικών και λειτουργικών αναγκών της. Η χρέωση της σύνδεσης είναι το άθροισμα της τιμής χρέωσης του θερμικού υποσταθμού και του γινόμενου των μικτών τετραγωνικών της οικοδομής επί της σημερινής τιμής 3,5 €/m² πλέον Φ.Π.Α.

Πίνακας 5: Διαμόρφωση της τιμής σύνδεσης που είναι μικρότερη από τη δαπάνη εγκατάστασης συστήματος κεντρικής θέρμανσης με πετρέλαιο (Λέβητας, Καυστήρας, Δεξαμενή πετρελαίου, Καπνοδόχος)²²

Μέσο εμβαδόν οικοδομής (m ²)	Μέγεθος εναλλάκτη (Mcal)	Χρέωση εναλλάκτη (χωρίς Φ.Π.Α.)	Χρέωση 3,5€ οικοδομής (χωρίς Φ.Π.Α.) m ²	Συνολική χρέωση οικοδομής	Χρέωση τυπικού διαμερίσματος €/m ²
150	20	3.630,00	525,00	4.155,00	27,70
250	40	4.060,00	875,00	4.935,00	19,74
500	60	4.750,00	1.750,00	6.500,00	13,00
1.000	80	5.570,00	3.500,00	9.070,00	9,07
1.300	100	6.020,00	4.550,00	10.570,00	8,13
2.000	150	6.720,00	7.000,00	13.720,00	6,86
2.700	200	7.870,00	9.450,00	17.320,00	6,41
3.600	250	8.650,00	12.600,00	21.250,00	5,90
4.500	300	9.750,00	15.750,00	25.500,00	5,67
5.500	360	10.500,00	19.250,00	29.750,00	5,41

Οι παραπάνω τιμές επιβαρύνονται με Φ.Π.Α. Η πληρωμή της σύνδεσης με την Τηλεθέρμανση γίνεται για μεγέθη 20 & 40 Mcal σε έξι μηνιαίες δόσεις ή εφάπαξ με έκπτωση 5%, ενώ για τα υπόλοιπα μεγέθη εφάπαξ.

²² Πηγή: http://www.deyakoanis.gr/?page_id=29

Η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας καθορίστηκε αρχικά στα 0,02521 €/kWh ενώ σήμερα είναι 0,04350 €/kWh πλέον Φ.Π.Α. Η απόσβεση της εγκατάστασης τηλεθέρμανσης από την διαφορά του λειτουργικού κόστους με πετρέλαιο γίνεται ανάλογα με το μέγεθος της οικοδομής. Για μονοκατοικίες, η απόσβεση επιτυγχάνεται στα 4 χρόνια, ενώ στις μεγάλες οικοδομές μόλις τον 2^ο χρόνο λειτουργίας της. Με την τιμολογιακή πολιτική της Δ.Ε.Υ.Α., έγινε δυνατή η κρίσιμη για την βιωσιμότητα του έργου, διείσδυση της τηλεθέρμανσης στα πρώτα δύο χρόνια λειτουργία της. Οι καταναλωτές αισθάνθηκαν όλα τα πλεονεκτήματα του νέου τρόπου θέρμανσης με αποτέλεσμα να γίνουν οι καλύτεροι διαφημιστές της στους συμπολίτες τους. Η Δ.Ε.Υ.Α. είναι υποχρεωμένη να διατηρεί σε κάθε περίπτωση ανατίμησης του τιμολογίου χρέωσης την αρχή της αναλογίας κόστους θέρμανσης με τηλεθέρμανση προς κόστος θέρμανσης με πετρέλαιο θέρμανσης ίσης το πολύ με 75% (συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α.) με τις ίδιες συνθήκες θέρμανσης. [66]

Κεφάλαιο 5: Εναλλακτικές λύσεις για την τηλεθέρμανση Κοζάνης

5.1 Ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών λύσεων για την τηλεθέρμανση Κοζάνης

Το δίκτυο τηλεθέρμανσης στην Κοζάνη, όπως και τα περισσότερα στην Ελλάδα είναι εξαρτημένο από τη λειτουργία των λιγνιτικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής της Δ.Ε.Η., όπως αναφέρθηκε παραπάνω η τηλεθέρμανση Κοζάνης τροφοδοτείται από την μονάδα του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου. Λόγω όμως των πρόσφατων εξελίξεων στην Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία, που έχουν σημαντική επίδραση και στην Ελληνική νομοθεσία, η λιγνιτική παραγωγή τα τελευταία χρόνια βαίνει, και θα συνεχίσει να βαίνει, μειούμενη. Από 01.01.2013 όλες οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα είναι αναγκασμένες να πληρώνουν για κάθε τόνο CO₂ που εκπέμπουν. Επιπλέον, οι αλλαγές στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΕΔΕ), που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού ενεργειακού και κλιματικού πακέτου για το 2030, το οποίο οριστικοποιήθηκε το 2014, προβλέπεται να οδηγήσουν σε εκτόξευση της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ περίπου από 7,5 €/tn το 2014 σε 30 €/tn μεταξύ των ετών 2025-2030. Η εξέλιξη αυτή θα επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό το κόστος λειτουργίας των λιγνιτικών μονάδων της χώρας, με δεδομένο την χαμηλή ποιότητα των κοιτασμάτων του ελληνικού λιγνίτη.

Από 1.1.2016 τέθηκε σε ισχύ η οδηγία Βιομηχανικών Εκπομπών (2010/75/Ε.Ε.) η οποία βάζει πολύ αυστηρότερα όρια στους υπόλοιπους αέριους ρύπους (διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, σωματίδια κλπ). Στο πλαίσιο συμμόρφωσης με αυτή την οδηγία, οι 5 μονάδες του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου, εντάχθηκαν στο μεταβατικό Εθνικό σχέδιο μείωσης εκπομπών και είναι αναγκασμένες να δεχθούν εκτεταμένες και ακριβές αναβαθμίσεις το αργότερο έως το 2020. Οι μονάδες I-IV του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου προβλέπεται να αποσυρθούν λόγω μεγάλης ηλικίας μεταξύ 2025-2030, γεγονός το οποίο θα επηρεάσει την κάλυψη των θερμικών αναγκών της Κοζάνης.

Με βάση αυτές τις εξελίξεις αλλά και την πρόοδο της τεχνολογίας που καθιστά την καθαρή ενέργεια ανταγωνιστική με τον λιγνίτη, το μέλλον της συμμετοχής λιγνίτη στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής διαγράφεται αβέβαιο. Επομένως, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών είναι αναγκαίο να εξεταστούν λύσεις που δεν θα βασίζονται στην συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με καύσιμο τον λιγνίτη. Σε αυτή την κατεύθυνση παρατίθενται προτάσεις για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με διάφορους τρόπους, που έχουν ως βάση την βιομάζα. [68]

5.2 Δυναμικό βιομάζας στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Κοζάνης

Ο βασικός παράγοντας για την εγκατάσταση και λειτουργία ενός συστήματος τηλεθέρμανσης με βιομάζα είναι η ύπαρξη καυσίμου στην περιοχή του έργου. Στις ακόλουθες παραγράφους δίδονται στοιχεία για το δυναμικό βιομάζας στην ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης, και διερευνάται η δυνατότητα αξιοποίησης της βιομάζας για το σύστημα τηλεθέρμανσης.

5.2.1 Χρήσεις γης

Η πόλη της Κοζάνης ανήκει στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, η οποία κατοικείται από 280.000 περίπου κατοίκους, εμφανίζει χαμηλή πυκνότητα κατοίκων (30 κάτοικοι ανά km², όταν ο εθνικός μέσος όρος είναι 80 κάτοικοι ανά km²). Το 82% της συνολικής επιφάνειας είναι ορεινές και ημιορεινές περιοχές, και το 56% του πληθυσμού της ζει σε αγροτικές περιοχές. Οι πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουν τις χρήσεις γης στην Δυτική Μακεδονία, την Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης και τον Δήμο Κοζάνης.

Πίνακας 6: Χρήσεις γης στη Δυτική Μακεδονία

Χρήσεις γης	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό
Δάση και δασικές εκτάσεις	2.436.606	25,93%
Θαμνώδεις εκτάσεις	885.667	9,43%
Βοσκότοποι	3.014.635	32,08%
Άγωνα, αστική γη και ύδατα	564.054	6%
Καλλιεργήσιμη γη	2.495.211	26,55%
Σύνολο	9.936.183	100%

Πίνακας 7: Χρήσεις γης Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης

Χρήσεις γης	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό
Δάση και δασικές εκτάσεις	488.900	13,91%
Θαμνώδεις εκτάσεις	637.100	18,12%
Βοσκότοποι	705.500	20,06%
Άγωνα, αστική γη και ύδατα	337.300	9,59%
Καλλιεργήσιμη γη	1.347.200	38,32%
Σύνολο	3.516.000	100%

Πίνακας 8: Χρήσεις γης Δήμος Κοζάνης²³

Χρήσεις γης	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό
Δάση και δασικές εκτάσεις	62.100	5,80%
Θαμνώδεις εκτάσεις	127.300	11,87%
Βοσκότοποι	329.700	30,79%
Άγωνα, αστική γη και ύδατα	122.200	11,41%
Καλλιεργήσιμη γη	429.700,	40,13%
Σύνολο	1.071.000%	100%

5.2.2 Δυναμικό βιομάζας στη Δυτική Μακεδονία

Για την εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας στην Δυτική Μακεδονία και ιδιαίτερα στις περιοχές ενδιαφέροντος των δικτύων τηλεθέρμανσης έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες. Σύμφωνα με τη Δημόσια Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας (Δ.Ε.ΤΗ.Π.), το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας της Δυτικής Μακεδονίας προέρχεται κυρίως από δασική βιομάζα (125.000 τόνοι/έτος)

²³ <http://www.geodm.gr/dataset/uxcwr101>

και αγροτικά υπολείμματα (201.000 τόνοι/έτος) με αντίστοιχο θερμικό περιεχόμενο 1.630 GWh/έτος. Για την Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης, οι διαθέσιμες ποσότητες βιομάζας ανέρχονται σε περίπου 279.000 τόνους/έτος με θερμικό περιεχόμενο 1.435GWh/έτος.

Πίνακας 9: Διαθέσιμη βιομάζα Π.Ε. Κοζάνης

Βιομάζα	Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης			
	Τόνοι/έτος	Μέση Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη Καλλιεργειών (MJ/Kg)	MJ/έτος	GWh/έτος
Αροτραίες	216.136	18,5	3.998.516.000	1.110,79
Δενδρώδεις	24.467	19,95	488.116.650	135,60
Δασικά	10.491	18,57	194.817.870	54,12
Ενεργειακές	6.000	18,96	113.760.000	31,60
Αγροτοβιομηχανικές	21.640	17,2	372.208.000	103,40
Σύνολο	278.734	-	5.167.418.520	1.435,51

Παρότι, η εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας παρουσιάζει κάποιες διαφορές μεταξύ των μελετών που έχουν γίνει, είτε αυτές αναφέρονται ευρύτερα στη Δυτική Μακεδονία, είτε στην Περιφερειακή Ενότητα, είτε στον Δήμο Κοζάνης, η ποσότητα της βιομάζας είναι αξιόλογη και επιτρέπει την ανάπτυξη δικτύων τηλεθέρμανσης με καύσιμο την βιομάζα. Αναμφίβολα, σημαντική παράμετρος είναι η χωροθέτηση αυτών των μονάδων για την βελτιστοποίηση του κόστους. Εξάλλου, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, η δυνατότητα ανάπτυξης ενεργειακών καλλιεργειών, προκειμένου να υπάρξει σταθερή τροφοδοσία των μονάδων που πρόκειται να κατασκευαστούν. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η καλλιέργεια αγριαγκινάρας, ειδικά στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας με δεδομένο ότι έχει γίνει ευρέως γνωστή λόγω παλιότερης αξιοποίησης της για σύγκausη σε ατμοηλεκτρικό σταθμό. [69]

5.2.3 Καλλιέργειες και γεωργικά υπολείμματα

Στις πεδινές εκτάσεις της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας καλλιεργούνται κυρίως σιτηρά σε ποσοστό περίπου 80% της συνολικά καλλιεργούμενης έκτασης. Στους πίνακες που ακολουθούν, τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούν στα κάτωθι: Το είδος των καλλιεργειών (αν είναι αροτραίες ή δενδρώδεις), το είδος/τύπο του παραγόμενου προϊόντος (αν είναι σκληρό σιτάρι, σίκαλη, αμπέλι κτλ), την συνολική έκταση των καλλιεργειών με στοιχεία του 2014 προερχόμενα από τον Ο.Π.Ε.Κ.Ε.Π.Ε., την συνολική ετήσια παραγωγή που προκύπτει βάσει των διαθέσιμων εκτάσεων, το διαθέσιμο ξηρό υπόλειμμα που προκύπτει ανά έτος καθώς και το ενεργειακό περιεχόμενο του διαθέσιμου ξηρού υπολείμματος. Το συνολικό δυναμικό βιομάζας υπολογίστηκε, λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση της κάθε καλλιέργειας, τον λόγο υπολείμματος προς κύριο προϊόν, την υγρασία και την διαθεσιμότητα. [70]

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά βιομάζας (1) –Δυτική Μακεδονία

Είδος	Προϊόν	Έκταση (ha)	Παραγωγή (wet tn/ha)	Απόδοση (wet tn/ha)	Υπόλειμμα (dry tn/ha)
Αροτραίες	Σκληρό σιτάρι	31.375	63.692	2,0	54.138
	Μαλακό σιτάρι	39.184	122.253	3,1	103.915
	Βρώμη	1.596	3.368	2,1	2.262
	Κριθάρι	13.692	36.969	2,7	25.453
	Σίκαλη	9.924	23.816	2,4	11.432
	Λοιπά σιτηρά	3.457	8.547	2,5	6.538
	Αραβόσιτος	11.033	105.693	9,6	79.269
	Καπνός	641	2.398	3,7	54
	Ζαχαρότευτλο	884	29.754	33,7	2.380
	Ελαιοκράμβη	112	135	1,2	40
	Βαμβάκι	16	4	0,2	2
	Ηλίανθος	2.700	3.294	1,2	3.953
	Αμπέλια	1.610	11.478	7,1	5.716
Δενδρόδεις	Ελαιόδεντρα	197	85	0,4	52
	Αχλαδιές	79	485	6,1	233
	Μηλιές	2.256	8.259	3,7	4.113
	Κερασιές	438	1.603	3,7	481
	Καρυδιές	1.127	6.313	5,6	7.197
	Καστανιές	269	754	2,8	860
	Ροδακινιές	1.637	49.397	30,2	7.113
	Αμυγδαλιές	220	957	4,4	2.039
	Νεκταρινιές	66	1.589	24,2	191
	Φουντουκιές	1	2	1,4	2
	Άλλα	511	4.208	8,2	3.506
Σύνολο		123.025	485.050	-	320.938

Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά βιομάζας (2) - Δυτική Μακεδονία

Είδος	Προϊόν	Διαθεσιμότητα	Διαθέσιμο υπόλειμμα (dry tn/ha)	Κ.Θ.Α. (MJ/kg dry/yr)	Ενέργεια περιεχόμενη στη βιομάζα (GJ/yr)
Αροτραίες	Σκληρό σιτάρι	50%	27.069	16,4	443.930
	Μαλακό σιτάρι	50%	51.958	16,4	852.106
	Βρώμη	50%	1.131	17,5	19.789
	Κριθάρι	50%	12.726	17,1	217.623
	Σίκαλη	50%	5.716	16,2	92.598
	Λοιπά σιτηρά	50%	3.269	16,4	53.615
	Αραβόσιτος	60%	47.562	16,5	784.768
	Καπνός	60%	32	12,6	408
	Ζαχαρότευτλο	50%	1.190	14,6	17.317
	Ελαιοκράμβη	60%	24	18,7	453
	Βαμβάκι	60%	1	15,8	20
	Ηλίανθος	60%	2.372	14,2	33.749
	Αμπέλια	80%	4.573	13,5	61.733

Δενδρώδεις	Ελαιόδεντρα	80%	41	18,0	745
	Αχλαδιές	80%	186	16,0	2.978
	Μηλιές	80%	3.290	15,8	51.986
	Κερασιές	80%	385	17,1	6.580
	Καρυδιές	80%	5.757	16,4	94.420
	Καστανιές	80%	688	16,8	11.553
	Ροδακινιές	80%	5.690	18,8	107.152
	Αμυγδαλιές	80%	1.631	16,4	26.749
	Νυκτερινές	80%	153	18,8	2.873
	Φουντουκιές	80%	2	16,8	27
	Άλλα	80%	2.805	16,8	47.009
Σύνολο	-	178.251	-	2.930.180	

Στην περιφερειακή ενότητα Κοζάνης, όπως και σε όλη την περιφέρεια οι καλλιέργειες που κυριαρχούν είναι τα σιτηρά και κυρίως το σκληρό σιτάρι, ενώ ακολουθούν τα υπόλοιπα σιτηρά και ο αραβόσιτος. Μικρό ποσοστό καταλαμβάνουν οι δενδρώδεις καλλιέργειες. Στους πίνακες 12 και 13 παρουσιάζεται η προέλευση των μεγαλύτερων ποσοτήτων για τις αροτραίες και δενδρώδεις καλλιέργειες στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης. [71]

Πίνακας 12: Αροτραίες καλλιέργειες - Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης

Περιγραφή καλλιέργειας	Καλλιεργούμενη έκταση (ha)	Υπολείμματα (tn)
Σιτάρι (σκληρό)	11.846,08	9.566
Λοιπά σιτηρά	6.882,61	2.065
Αραβόσιτος ποτιστικός	3.246,07	204.503
	Σύνολο (tn)	216.134

Πίνακας 13: Δενδρώδεις καλλιέργειες - Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης

Περιγραφή καλλιέργειας	Καλλιεργούμενη έκταση (ha)	Υπολείμματα (ξ,tn)
Δενδρώδεις καλλιέργειες	894,11	22.651
Ροδάκινα και αχλάδια προς μεταποίηση	3,39	43
Κεράσια	200	2.773
	Σύνολο (tn)	25.467

Στον πίνακα 14 παρουσιάζεται το διαθέσιμο ξηρό υπόλειμμα σε τόνους/έτος καθώς και το ενεργειακό δυναμικό (GJ/έτος) της αγροτικής βιομάζας στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης που κατανέμεται ανά δημοτική ενότητα. Η πληροφορία αυτή θα βοηθήσει μελλοντικές έρευνες για τον βέλτιστο σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας, καθώς από τον πίνακα προκύπτει σε ποιες περιοχές υπάρχει η μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας. Για τον υπολογισμό του ενεργειακού περιεχομένου του διαθέσιμου δυναμικού των αγροτικών υπολειμμάτων, ελήφθησαν υπόψη οι αροτραίες (δημητριακά, βαμβάκι, ηλιανθος, ζαχαρότευτλα, αραβόσιτος κτλ.) καθώς και οι δενδρώδεις καλλιέργειες (αμπέλια, ελιές, μηλιές, καστανιές, ροδακινιές, αμυγδαλιές και λοιπά δένδρα). Δεν ελήφθησαν υπόψη άλλες καλλιέργειες /εκτάσεις με πολύ μικρό υπόλειμμα, όπως βοσκότοποι, δάσωση γεωργικών εκτάσεων, ακαλλιέργητα, κηπευτικά, αρωματικά φυτά κ.α.) [70]

Πίνακας 14: Αγροτική βιομάζα ανά δημοτική ενότητα – Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης

Δημοτική Ενότητα	Αγροτική Βιομάζα	
	Διαθέσιμο ξηρό υπόλειμμα (tn/year)	Ενεργειακό Δυναμικό (GJ/έτος)
Αγίας Παρασκευής	3.146	51.376
Αιανής	3.353	55.049
Ασκίου	2.949	48.624
Βελβεντού	2.870	51.722
Βερμίου	14.361	229.855
Δ. Υψηλάντη	3.690	60.225
Ελίμειας	3.690	60.225
Ελλησπόντου	11.960	196.220
Καμβουνίων	2.484	40.924
Κοζάνης	8.869	145.885
Μουρικού	7.931	128.635
Νεάπολης	7.011	115.557
Πτολεμαΐδας	19.549	317.221
Σερβίων	9.888	163.561
Σιάτιστας	2.214	35.940
Τσοτλίου	4.303	70.429
Βλάστης	289	4.763
Λιβαδερού	912	14.879
Πενταλόφου	11	178
Σύνολο	109.479	1.791.267

Ο Πίνακας 15 παρουσιάζει το δυναμικό βιομάζας στον Δήμο Κοζάνης που προέρχεται από αροτραίες καλλιέργειες, θερμοκηπιακά προϊόντα και δενδρώδεις καλλιέργειες. [72]

Πίνακας 15: Αγροτική βιομάζα – Δήμος Κοζάνης

	Θεωρ. (tn)	Θεωρ. (GJ)	Διαθ. (tn)	Διαθ. (GJ)	Παραγωγή (kg)
Αροτραίες καλλιέργειες	43.009,85	759.624,64	21.756,08	384.442,71	97.857.405
Θερμοκηπιακά προϊόντα	3,68	35,28	1,84	17,64	24.500
Δενδρώδεις καλλιέργειες	817,14	24.573,31	651,65	10.949,05	779.732
Σύνολο	43.830,67	784.233,23	22.409,57	395.409,40	98.661.637

Γεωργικά υπολείμματα – διαχειριστικές πρακτικές

Ένα σημαντικό μέρος των υπολειμμάτων από την καλλιέργεια σιτηρών στην Π.Ε. Κοζάνης, που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, τις περισσότερες φορές, απαιτούν ειδικούς χειρισμούς από τους αγρότες για την καταστροφή τους (καύση καλαμιάς και σιτηρών), ώστε να μην παρεμβάλλουν εμπόδια στις διάφορες καλλιεργητικές εργασίες, με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια σημαντικής ποσότητας βιομάζας, αξιοποιήσιμης ενεργειακά, αλλά και επιβάρυνση του

περιβάλλοντος. Αν εξαιρέσουμε τη συλλογή του άχυρου, του σιταριού και του κριθαριού, η συλλογή των υπόλοιπων αγροτικών υπολειμμάτων δεν αποτελεί συνήθη γεωργική πρακτική. Η έλλειψη αυτής της απαιτούμενης εμπειρίας από τους παραγωγούς, καθώς επίσης και η μη ανάπτυξη ειδικών συλλεκτικών μηχανών, μειώνει πολύ την αποτελεσματικότητα της συλλογής, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά διαθεσιμότητα αυτών.

5.2.4 Δασική βιομάζα

Η βιομάζα των δασών και των δασικών εκτάσεων διακρίνεται σε βιομάζα:

- Δασών και υπορόφου δασών
- Θαμνώνων αειφυλλων-πλατύφυλλων και φρύγανων, και
- Ποολίβαδων

Η βιομάζα των δασών διακρίνεται σε βιομάζα ξύλου (κυρίως κορμού), φλοιού, κλάδων, φυλλώματος, πρεμνών και ριζών καθώς και λοιπή βιομάζα, στην οποία περιλαμβάνονται θάμνοι, αρτίφυτρα και άλλη υπόροφη βλάστηση. Το ξύλο παράγεται υπό μορφή αυξητικών μανδύων (αυξητικών δακτυλίων), που τοποθετούνται αναπόσπαστα κάθε χρόνο (κάθε αυξητική περίοδο) επάνω στους προηγούμενους. Ωστόσο, δεν απολαμβάνεται κατ' έτος το σύνολο της αντίστοιχης προσάυξης αλλά πολύ λιγότερο, εξαιτίας της προσπάθειας που γίνεται για βελτίωση της κακής κατάστασης στην οποία βρίσκεται η πλειοψηφία των δασών. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται ταυτόχρονα συνέχεια παραγωγής και εμπλουτισμός του δάσους με κύριο σκοπό την επίτευξη της αρχής της αειφορίας, η οποία αποτελεί θεμελιώδη στόχο. [73]

Η παραγωγή ξυλείας στο σύνολο δημοσίων και μη δημοσίων δασών, με έτος αναφοράς το 2012, για την περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, παρατηθείτε στον πίνακα που ακολουθεί. Τα στοιχεία προέρχονται από τα 5 δασαρχεία της Δυτικής Μακεδονίας και αναφέρονται σε κωνοφόρα και πλατύφυλλα. [70]

Πίνακας 16: Παραγωγή ξυλείας – Δυτική Μακεδονία

Παραγωγή ξυλείας – Σύνολο Δημοσίων & Μη Δημοσίων Δασών			
Δασαρχείο	Σύνολο	Κωνοφόρα	Πλατύφυλλα
Γρεβενά	42.178	22.714	19.464
Καστοριά	68.159	31.502	36.658
Κοζάνη	16.896	3.758	13.138
Τσοτόλι	14.462	2.290	12.171
Φλώρινα	56.938	1.630	55.308
Σύνολο (m³)	198.633	61.895	136.738
Συντελεστής μετατροπής m ³ σε τόνους	-	0,67	0,83
Μάζα ως έχει (tn)	154.962	41.469	113.493
Υγρασία	-	0,45	0,45
Μάζα επί ξηρού (tn)	-	22.808	62.421

Η ιδιοκτησία των δασών στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί, από όπου προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δασών ανήκουν στο δημόσιο, ενώ μεγάλο ποσοστό είναι δημοτικά. Σχεδόν, μηδενικό ποσοστό κατέχει η εκκλησία στα δάση της Περιφερειακής Ενότητας Κοζάνης, ενώ είναι αξιοσημείωτο το ποσοστό ιδιωτικών δασών.

Πίνακας 17: Ιδιοκτησία δασών Π.Ε. Κοζάνης

	Δάση	Μ.Δ.Εκτ.	Χορτ/δα	Άγονες	Αγροί	Σύνολο	(%)
Δημόσιο	11.018	4.502	4.459	1.943	725	22.647	50,58%
Δημοτικά	5.006,40	1.937	1.130	120	392	8.585,4	19,17%
Εκκλησιαστικά	70	0	0	0	0	70	0,16%
Συνιδιόκτητα	3.421	372	2.464,50	168,5	862	7.288	16,28%
Ιδιωτικά	3.704,60	1.547	887,50	49	0	6.188,10	13,82%
Σύνολο	23.220	8.358	8.941,00	2.280,50	1.979	44.778,50	100,00%
(ποσοστό)	51,86%	18,67%	19,97%	5,09%	4,42%	100,00%	

Στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης, εντοπίζονται τα ακόλουθα δασικά συμπλέγματα, Βοίου, Καταφυγίου, Βερμίου, Βλάστης-Εμπορίου, Μηλοχωρίου και Αναρράχης. Τα κυριότερα δασοπονικά είδη που φύονται στην Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης είναι η οξιά, η δρυ και η μαύρη πεύκη. [74]

Πίνακας 18: Δασοπονικά είδη – Περιφερειακή Ενότητα Κοζάνης

Δασικό Σύμπλεγμα	Δασοπονικό είδος σε Ha							Σύνολο σε Ha
	Οξιά	Δρυς	Μαύρη Πεύκη	Δασική Πεύκη	Ελάτη	Καστανιά	Λοιπά Πλατύφυλλα	
Βοίου	2.818	1.737	833			364		5.752
Καταφυγίου			2.041	1.711	70		260	4.082
Βερμίου	580	598	716				154	2.048
Βλάστης Εμπορίου	1.009	584	123		10	14		1.740
Μηλοχωρίου	333	447						780
Αναρράχης	175	243						418
Σύνολο	4.915	3.609	3.713	1.711	80	378	414	14.820

Από τα στοιχεία που υπάρχουν το θεωρητικό υπόλειμμα δασικής βιομάζας στον Δήμο Κοζάνης ανέρχεται σε 1.265,30 τόνους, ενώ η θεωρητική ενέργεια που περιέχει αυτή η βιομάζα είναι 24.573,31GJ. Η διαθέσιμη βιομάζα είναι 1.266,38 τόνους, ενώ η διαθέσιμη ενέργεια είναι 24.594,46 GJ. [72]

5.3 Κόστος βιομάζας

Το κόστος προμήθειας βιομάζας αντιπροσωπεύει τη σημαντικότερη παράμετρο λειτουργικού κόστους, για τις τεχνολογίες που θα αναλυθούν παρακάτω (Λέβητες βιομάζας, τεχνολογία ΣΗΘ ORC). Η τιμή της βιομάζας επηρεάζεται από τον τρόπο συγκομιδής, δεματοποίησης και μεταφοράς της. Για το λόγο αυτό παρατίθεται τα στοιχεία του πίνακα 19, που αποτυπώνουν τα κόστη της βιομάζας, όπως είχαν υπολογιστεί στα πλαίσια του προγράμματος Interegg. [74]

Πίνακας 19: Κόστος αγροτικής και δασικής βιομάζας

Τύπος βιομάζας	Τιμή (€/τόνο)
Άχυρο – Σιτάρι (σε μπάλες των 35-40 κιλών)	80-90
Άχυρο – Σιτάρι για χρήση σε ενεργειακή μονάδα (δεματοποίηση με παραγωγή μπάλας 500kg, διαστάσεων 2,4 x 0,9 x 0,9 m)	31-45
Ιτιά	40-45
Άχυρο Καλαμποκιού	30-55
Στελέχη Βαμβακιού	90-110
Τριφύλλι	100-110
Μεγάλα κλαδιά δέντρων	40-70
Switch grass	50-80
Σόργο για ενσίρωμα (Χόρτο)	55
Σόργο για βιοενέργεια (Χόρτο)	40-47
Κλαδέματα ελιάς, κομμένα στη μονάδα επεξεργασίας (χωρίς κόστος μεταφοράς)	37
Κλαδέματα ελιάς, κομμένα κατευθείαν στο χωράφι με αυτοματοποιημένα μηχανήματα (χωρίς κόστος μεταφοράς)	42
Κλαδέματα ελιάς, κομμένα κατευθείαν στο χωράφι χειροκίνητα (χωρίς κόστος μεταφοράς)	47
Κλαδέματα ελιάς, κομμένα κατευθείαν στο χωράφι με μηχανήματα υψηλής απόδοσης (χωρίς κόστος μεταφοράς)	31
Δασικά υπολείμματα (χωρίς κόστος μεταφοράς)	30-60

Στην μελέτη που έγινε για την τηλεθέρμανση Γρεβενών, τα κόστη της βιομάζας αναλύθηκαν όπως αποτυπώνονται στον πίνακα 20, ενώ στο πίνακα 21 αποτυπώνονται τα κόστη βιομάζας ανά μονάδα ενέργειας. [75]

Πίνακας 20: Κόστη προμήθειας βιομάζας για την Π.Ε. Γρεβενών

Είδος βιομάζας	Κόστος (€/tn) (με μεταφορικά, χωρίς Φ.Π.Α.)
Pellet	200,00
Υπολείμματα σιτηρών	60,00
Υπολείμματα καλαμποκιού	40,00
Δασική βιομάζα (χωρίς θρυμματισμό)	75-81,00

Πίνακας 21: Κόστη βιομάζας για την Π.Ε. Γρεβενών ανά μονάδα ενέργειας (β.α. λέβητα -85%)

Είδος βιομάζας	Κόστος (€/MWh) (με μεταφορικά, χωρίς Φ.Π.Α.)
Pellet	56,14
Υπολείμματα σιτηρών (μέγιστη τιμή)	24,00
Υπολείμματα καλαμποκιού	17,00
Δασική βιομάζα (με θρυμματισμό) – μέγιστη τιμή	23,00-24,50

Στους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν, το κόστος προμήθειας βιομάζας αντιμετωπίστηκε ως παράμετρος και πραγματοποιήθηκε σχετική ανάλυση ευαισθησίας με εύρος 90-120 €/tn. Το κάτω όριο με βάση τις προσφορές που υποβλήθηκαν στη Δ.Ε.ΤΗ.Π. για την προμήθεια 2.700 τόνων αγροτικών υπολειμμάτων (άχυρο) σε μορφή μπάλας κυμαινόταν μεταξύ 70-75 €/tn. Ως τιμή

αναφοράς για το μοναδιαίο κόστος προμήθειας βιομάζας επιλέχθηκαν τα 90€/tn, καθώς σε αυτά τα επίπεδα κυμαίνονται οι προσφορές που υποβλήθηκαν στη ΔΕ.ΤΗ.Π. για την προμήθεια 16.000 τόνων ξύλου σε μορφή θρυμματισμένων τεμαχιδίων (wood chips). Επίσης, η ανώτατη τιμή των 120€/tn μας δίνει ένα περιθώριο στην αύξηση της τιμής της βιομάζας. [76]

5.4 Τεχνικές παράμετροι

Η αποτελεσματική και πλήρης καύση αποτελεί προϋπόθεση για τη χρήση της βιομάζας ως καυσίμου φιλικού προς το περιβάλλον. Για να εξασφαλιστεί ένα υψηλό ποσοστό ενεργειακής απόδοσης και να αποφευχθεί ο σχηματισμός επιβλαβών για το περιβάλλον ενώσεων, όπως άκαυστα αέρια και σωματίδια άνθρακα, απαιτείται η πλήρης καύση του καυσίμου. Ένα σωστό μίγμα βιομάζας και αέρα καύσης με έμφαση στο οξυγόνο του αέρα καύσης, είναι απαραίτητο. Η αναλογία του πραγματικού προς το θεωρητικό αέρα καύσης που απαιτείται-το Λάμδα δηλαδή πρέπει να είναι 1,4. Με άλλα λόγια, απαιτείται 40% περισσότερος αέρας καύσης από τη στοιχειομετρική σχέση καυσίμου – η οποία θεωρητικά εξασφαλίζει μια πλήρη καύση.

Τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων αποτελούνται από έναν κυκλώνα και ένα σακκόφιλτρο/πλυντρίδα. Ο κυκλώνας συγκρατεί τα μεγαλύτερα σωματίδια των καυσαερίων και τις σπίθες από τη διαδικασία της καύσης. Για την καύση του άχυρου χρησιμοποιούνται συνήθως σακκόφιλτρα επειδή καθαρίζουν τα πολύ λεπτά σωματίδια που παράγονται. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται επίσης ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESP). Στην καύση του ξύλου χρησιμοποιείται και πλυντρίδα αλλά ένας συμπυκνωτής καυσαερίων είναι πιο οικονομικός όταν επανακτάται η ενέργεια που υπάρχει στους υδρατμούς που προκαλούνται από τη θερμότητα κατά τη διαδικασία της καύσης. Αυτό μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα και την θερμότητα στην μονάδα κατά 20%.

Η δεξαμενή αποθήκευσης της θερμότητας χρησιμοποιείται κυρίως σε μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, επειδή η ζήτηση για θερμότητα δεν ταυτίζεται πάντα με τη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια. Μερικές μονάδες τηλεθέρμανσης χρησιμοποιούν δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας, επειδή γίνεται ευκολότερο το κλείσιμο των μονάδων τα Σαββατοκύριακα, το καλοκαίρι ή για συντήρηση, ενώ η απόδοση το λέβητα μπορεί δυνητικά να αυξηθεί, όταν η θερμότητα μπορεί να διαχειριστεί σε μια αποθήκη.

Τα συστήματα διαχείρισης μεταφέρουν την τέφρα από την εσχάρα και τα φίλτρα σε έναν κάδο μεταφοράς. Υπάρχουν σε χρήση υγρά και ξηρά συστήματα. Η τέφρα πρέπει να εναποτίθεται ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και άλλα απαγορευμένα ή ανεπιθύμητα συστατικά. Η χρήση και η διάθεση της τέφρας υπόκεινται στην νομοθεσία.

5.4.1 Επιλογή καυσίμου

Το ξύλο έχει τα καλύτερα χαρακτηριστικά καύσης σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη βιομάζας και είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο είδος για ενεργειακή μετατροπή/παραγωγή. Το άχυρο από την παραγωγή σιτηρών ακολουθεί. Η ποιότητα του καυσίμου ξύλου παίζει σημαντικό ρόλο στο

σχεδιασμό του συστήματος καύσης και στην αποτελεσματικότητα των μονάδων. Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν είναι οι εξής:

- Περιεχόμενη υγρασία
- Διαστάσεις των θρυμμάτων
- Πηγή του θρυμματισμένου ξύλου
- Περιεχόμενη τέφρα (19)

Η αυτοτελής καύση του άχυρου, παρουσιάζει ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα τα οποία οφείλονται στη χαμηλή, σχετικά, θερμοκρασία ρευστοποίησης της παραγόμενης στάχτης. Στις συνήθεις θερμοκρασίες καύσης (1.000-1.500°C) η στάχτη που παράγεται από την καύση του άχυρου λιώνει και δημιουργεί ρευστή ή ημίρρευστη μάζα η οποία τελικά στερεοποιείται. Η μάζα αυτή είναι διαβρωτική και κολλώδης και τελικά αποφράζει το θάλαμο καύσης. Από την άλλη μεριά, η καύση του άχυρου σε χαμηλές θερμοκρασίες (μικρότερες από 750°C) δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επομένως, η θερμοκρασία λειτουργίας του λέβητα πρέπει να κυμαίνεται από 750-950°C. Στην ανάλυση που γίνεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα θεωρήσουμε ένα μείγμα καυσίμου που αποτελείται από 80% τεμαχίδια ξύλου (wood chips) και 20% άχυρο. [19]

Πίνακας 22: Δεδομένα καυσίμου για θρυμματισμένο ξύλο και άχυρο.

Ξύλο/άχυρο		Θρυμματισμένο ξύλο	Άχυρο σιταριού
Ανθρακας	C % της ΞΟ	50	47,4
Υδρογόνο	H % της ΞΟ	6,2	6
Οξυγόνο	O % της ΗΟ	43	40
Άζωτο	N % της ΞΟ	0,3	0,6
Θείο	S % της ΞΟ	0,05	0,12
Χλώριο	Cl % της ΞΟ	0,02	0,4
Τέφρα	α % της ΞΟ	1	4,8
Πτητικά	% της ΞΟ	81	81
Θερμογόνος δύναμη	MJ/kg της ΞΟ	19,4	17,9
Τυπική περιεκτικότητα σε νερό	%	35-45	10-15
Πραγματική θερμογόνος δύναμη	MJ/Kg	9,7-11,7	14,8-15,8

5.4.2 Αποθήκευση βιομάζας

Το μέγεθος της αποθήκευσης καυσίμου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, κυρίως από τη σύμβαση παροχής καυσίμου που γίνεται με τον προμηθευτή. Ωστόσο, η χωρητικότητα της αποθήκης για θρυμματισμένο ξύλο πρέπει να είναι ίση με την κατανάλωση, κατ' ελάχιστο 5 ημερών παραγωγής θερμότητας σε μέγιστη ισχύ. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη λειτουργία κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου και παρέχει ένα υψηλής ασφάλειας καθεστώς εφοδιασμού κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών συνθηκών. Οι περισσότερες μονάδες εφαρμόζουν μια λύση εσωτερικής αποθήκευσης, αναθέτοντας έτσι τη διαχείριση μεγαλύτερων όγκων αποθήκευσης στους προμηθευτές θρυμματισμένου ξύλου. Λόγω του κινδύνου της αυτανάφλεξης, το θρυμματισμένο ξύλο συγκεντρώνεται σε σορούς με μέγιστο ύψος 7-8 μέτρα.

Στις μονάδες καύσης άχυρου, η αποθήκευση απαιτεί περισσότερο χώρο. Κατά μέσο όρο, οι μονάδες διαθέτουν εγκαταστάσεις αποθήκευσης με χωρητικότητα που εξασφαλίζει λειτουργία 8 ημερών πλήρους φορτίου. Οι αγρότες (προμηθευτές άχυρου) παραδίδουν το άχυρο στη μονάδα με φορτηγά ή ρυμουλκούμενα συρόμενα από τρακτέρ. Οι μονάδες λαμβάνουν άχυρο με έως και περίπου 20% περιεκτικότητα σε νερό. Τα δέματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό επιστρέφονται, αφού η καύση με αυτό τον τρόπο είναι πολύ ανομοιογενής, ειδικά σε λειτουργία μερικού φορτίου. [19]

5.4.3 Λέβητας και σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Ως προτεινόμενη τεχνολογία, προτείνεται η επιλογή της καύσης σε λέβητα με εσχάρα, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει και είναι τα ακόλουθα: [73]

- Αποτελεί μία δοκιμασμένη σε διεθνές επίπεδο μέθοδο.
- Είναι αρκετά διαδεδομένη στη χώρα μας.
- Ο αντίστοιχος εξοπλισμός κατασκευάζεται στην Ελλάδα.
- Η λειτουργία και η συντήρηση της μονάδας είναι απλούστερες συγκριτικά με άλλες επιλογές.

Λέβητας ξύλου

Το θρυμματισμένο ξύλο καίγεται σε εσχάρα στο θάλαμο καύσης. Ο πιο κοινός τύπος εσχάρας, στα συστήματα καύσης θρυμματισμένου ξύλου σε μονάδες τηλεθέρμανσης, είναι η βαθμιδωτή/ή κεκλιμένη εσχάρα. Ένας άλλος τύπος είναι η λεγόμενη αλυσιδωτή/ή και μετακινούμενη εσχάρα. Και στους δύο τύπους, ο πρωτεύων αέρας καύσης παρέχεται κάτω από την εσχάρα και περνά μέσα από το δάπεδο της. Εάν καίγεται υγρή βιομάζα, όπως θρυμματισμένο ξύλο με εύρος υγρασίας από 30-55%, ο θάλαμος καύσης πρέπει να έχει πυρίμαχες επενδύσεις στην εισαγωγή του καυσίμου και στο κάτω μέρος του θαλάμου καύσης κατά μήκος της εσχάρας το οποίο εξασφαλίζει ότι το καύσιμο στεγνώνει κατά την είσοδο στο λέβητα, το καύσιμο αναφλέγεται από την θερμική ακτινοβολία των πυρίμαχων υλικών και εξασφαλίζει υψηλή θερμοκρασία καύσης. Χωρίς υλικά πυρίμαχης επένδυσης στον λέβητα δεν είναι δυνατόν να καεί αποτελεσματικά η υγρή βιομάζα.

Λέβητας άχυρου

Η εσχάρα για καύση άχυρου είναι συνήθως επικλινής υδρόψυκτη με δόνηση και συχνά χωρίζεται σε διάφορες ζώνες καύσης αφήνοντας πρωτεύοντα αέρα για την καύση να μεταφέρεται μέσα από αυτή. Η ροή του αέρα μπορεί να ελέγχεται σε κάθε ζώνη, προκειμένου να εξασφαλίζεται η πλήρης καύση του άχυρου. Βασική προϋπόθεση για να διασφαλιστεί η πλήρης καύση είναι μια σωστή κατανομή του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αέρα στη σωστή πίεση αέρα και μέσω ακροφυσίων αέρα. Ο πρωτεύων αέρας που τροφοδοτείται διαμέσου της εσχάρας, βοηθά την ξήρανση του καυσίμου του άνθρακα. Ο δευτερεύων αέρας πρέπει να διανεμηθεί μέσω πολλών ακροφυσίων, που εγκαθίσταται στα τοιχώματα του λέβητα, ώστε να καούν τα πτητικά αέρια. [19]

Εικόνα 23: Θάλαμος καύσης με κινούμενη εσχάρα²⁴



Στα σενάρια που παρουσιάζονται στη συνέχεια, θεωρούμε ότι η απόδοση της καύσης είναι 85%. Το ανηγμένο κόστος επένδυσης του προτεινόμενου συστήματος, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, γης, αποθήκευσης, κλπ. ανέρχεται σε περίπου 300.000€/MW_{th} και τα μέσο ετήσιο κόστος συντήρησης του συστήματος ανέρχεται στο 4% του κόστους επένδυσης. [77]

5.5 Σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με την τεχνολογία Organic Rankine Cycle

Για την μετατροπή της θερμικής ενέργειας από βιομάζα, σε ηλεκτροπαραγωγή και θερμότητα διερευνήθηκε η χρήση του οργανικού κύκλου Rankine (ORC), που βασίζονται σε χρήση διαθερμικού ελαίου. Η γεννήτρια χρησιμοποιεί την θερμοκρασία από το διαθερμικό λάδι για να προθερμάνει και να ατμοποιήσει ένα ειδικό υγρό μέσα στον εξατμιστή. Το ειδικό οργανικό υγρό κινεί την τουρμπίνα η οποία είναι απευθείας συνδεδεμένη με ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, ενώ ο ατμός περνάει μέσα από εναλλάκτη όπου θερμαίνει το οργανικό υγρό. Η μονάδα ORC επιτυγχάνει σχέση ηλεκτρικής προς θερμική ισχύς 1 προς 4, διαθεσιμότητα άνω του 98%, εύκολη αυξομείωση λειτουργίας της μηχανής από 10 έως 100% και υψηλό βαθμό απόδοσης ακόμα και σε μερικό φορτίο.

²⁴ Πηγή: <http://www.nphilippopoulos.gr/gr/>

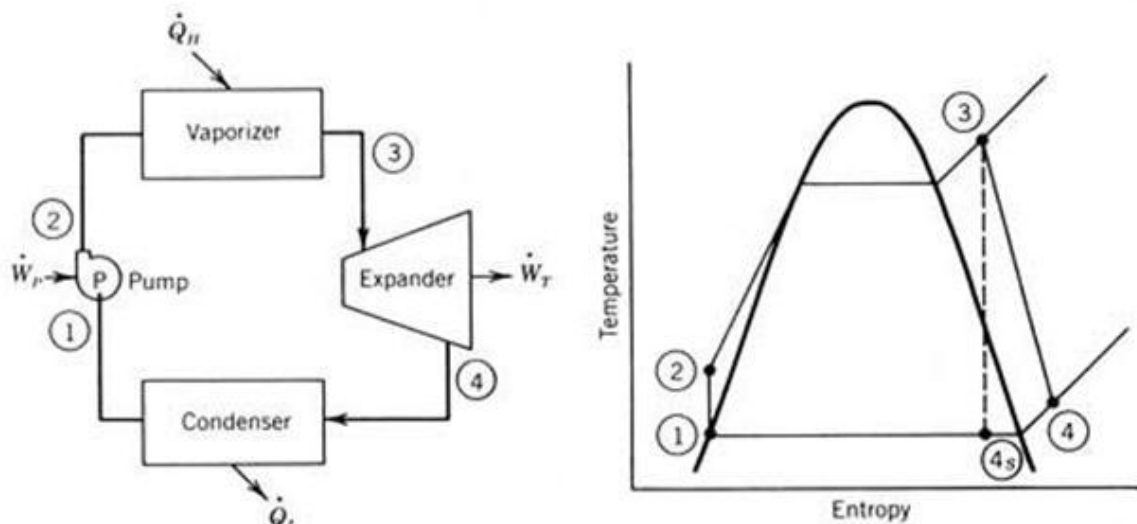
Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής, θεωρήσαμε ότι το ανηγμένο κόστος επένδυσης (ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός, αποθήκες, συστήματα μεταφοράς και διαχείρισης καυσίμου, κλπ.) της μονάδας Σ.Η.Θ. ανέρχεται σε περίπου 4.750.000 €/MW. Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας(εκτός από το κόστος καυσίμου) με βάση την βιβλιογραφία και τους κατασκευαστές ανέρχεται σε περίπου 4% επί της πάγιας επένδυσης. [78]

5.5.1 Θερμοδυναμική προσέγγιση

Ο ιδανικός κύκλος Rankine αποτελείται από τις τέσσερις ακόλουθες διεργασίες:

- 1-2: Ισεντροπική συμπίεση στην αντλία.
- 2-3: Προσθήκη θερμότητας στον ατμοποιητή υπό σταθερή πίεση (P_3).
- 3-4: Ισεντροπική εκτόνωση στο στρόβιλο.
- 4-1: Απόρριψη θερμότητας στο συμπυκνωτή υπό σταθερή πίεση (P_1).

Διάγραμμα 6: Σχηματική διάταξη και διάγραμμα T-s κύκλου Rankine



Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται στην αντλία στην κατάσταση 1 με τη μορφή κορεσμένου υγρού και συμπιέζεται ισεντροπικά στην υψηλή πίεση του κύκλου. Η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου, κατά τη διάρκεια αυτής της ισεντροπικής συμπίεσης αυξάνεται λίγο εξαιτίας της ελαφριάς μείωσης του ειδικού όγκου του εργαζόμενου μέσου.

Το εργαζόμενο μέσο εισέρχεται στον ατμοποιητή στην κατάσταση 2 ως συμπιεσμένο υγρό και εξέρχεται στην κατάσταση 3 ως υπέρθερος ατμός. Ο ατμοποιητής είναι βασικά ένας μεγάλο εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο η θερμότητα μεταδίδεται στο εργαζόμενο μέσο ουσιαστικά υπό σταθερή πίεση.

Στην κατάσταση 3, ο υπέρθερος ατμός εισέρχεται στο στρόβιλο στον οποίο εκτονώνεται ισεντροπικά και παράγει έργο. Κατά τη διάρκεια αυτή, η πίεση και η θερμοκρασία των ατμών μειώνονται στις τιμές της κατάστασης 4 στην οποία οι ατμοί εισέρχονται στο συμπυκνωτή. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε σταθερή πίεση στο συμπυκνωτή, ο οποίος είναι βασικά ένας μεγάλος

εναλλάκτης θερμότητας, απορρίπτοντας τη θερμότητα σ' ένα ψυκτικό μέσο. Ο ατμός φεύγει από το συμπυκνωτή με τη μορφή κορεσμένου υγρού και εισέρχεται στην αντλία, ολοκληρώνοντας έτσι τον κύκλο. [79]

Μια διάταξη κλειστού κύκλου Rankine, αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

Αντλία-συμπιεστής

Συμπιέζει τον αέρα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του θερμοδυναμικού κύκλου. Μπορεί να είναι είτε αξονικός, είτε φυγοκεντρικός, είτε παλινδρομικός. Συνήθως, χρησιμοποιούνται οι δύο πρώτοι τύποι, καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερη απόδοση, είναι πιο συμπαγείς και είναι επίσης πιο οικονομικοί. Επιτρέπουν την αναρρόφηση μεγάλων ποσοτήτων αέρα, ενώ οι τυπικές τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης είναι $0.7 \leq \eta_c \leq 0.9$. Οι λόγοι πίεσης είναι συνήθως 1.1-1.25 ανά βαθμίδα. Οι αντλίες πρέπει να είναι σε θέση να παρέχουν τη μέγιστη παροχή εργαζόμενου μέσου στον εναλλάκτη. Στις τροφοδοτικές αντλίες συνήθως διαφέρουν το σημείο υπολογισμού από το σημείο βέλτιστου βαθμού απόδοσης, δεδομένου ότι το περισσότερο χρονικό διάστημα η αντλία δουλεύει σε φορτίο μικρότερου του μεγίστου. Από την τροφοδοτική αντλία έχουμε τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Να έχει όσο το δυνατόν καλύτερο βαθμό απόδοσης σε όσο το δυνατό ευρύτερη περιοχή φορτίου.
- Να είναι σε θέση να κάνει γρήγορη εκκίνηση από ψυχρή σε θερμή κατάσταση.
- Να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ασφάλεια λειτουργίας.

Ατμοποιητής

Είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμοποιείται με σκοπό να εξατμίσει το κορεσμένο υγρό που εξέρχεται από την αντλία με υψηλή πίεση έτσι ώστε στη συνέχεια να εκτονωθεί στο στρόβιλο. Ο ατμοποιητής προσδίδει δηλαδή, θερμότητα από το περιβάλλον στο θερμικό μέσο με τη βοήθεια θερμικού ελαίου.

Στρόβιλος

Ο στρόβιλος είναι το εξάρτημα όπου παράγεται μηχανική ισχύς λόγω της εκτόνωσης των καυσαερίων μέχρι την επιθυμητή πίεση εισαγωγής του εργαζόμενου μέσου στον συμπυκνωτή. Είναι σπανίως φυγοκεντρικός και συνήθως αξονικός. Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του είναι της τάξης $0.75 \leq \eta_t \leq 0.93$, για αξονικές βαθμίδες. Συνήθως συνδέεται με το συμπιεστή με κοινό άξονα. Είναι αναγκαίο επομένως να ρυθμιστούν κατάλληλα οι συνθήκες λειτουργίας του συμπιεστή και του στρόβιλου ώστε να λειτουργούν στην ίδια γωνιακή ταχύτητα. Η εκτόνωση μέσα στη διφασική περιοχή είναι μη επιθυμητή γιατί τα σταγονίδια νερού τείνουν να διαβρώσουν τα πτερύγια του στρόβιλου.

Συμπυκνωτής

Ο συμπυκνωτής χρησιμεύει για τη συμπύκνωση του ατμού που εξέρχεται από τον στρόβιλο δηλαδή είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, όπου ατμός υπό χαμηλή πίεση και θερμοκρασία συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού μέσου που μπορεί να είναι αέρας ή νερό. Όσο χαμηλότερη είναι η πίεση ατμού στο συμπυκνωτή τόσο αυξάνει ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος, αφού αυξάνει η διαθέσιμη ενθαλπική πτώση στο στρόβιλο, επομένως ο συμπυκνωτής είναι βασικό τμήμα του συστήματος αλλά και ο φορέας μέγιστης θερμικής απώλειας. Από ένα συμπυκνωτή υπάρχουν οι παρακάτω απαιτήσεις:

- Ο βαθμός καθαρότητας του ατμού πρέπει να διατηρείται και στο συμπύκνωμα.
- Η θερμοκρασία του συμπυκνώματος δεν πρέπει να είναι μικρότερη της θερμοκρασίας κορεσμού που αντιστοιχεί στην πίεση του ατμού για να αποφευχθεί μία επιπλέον απώλεια και εμπλουτισμός του συμπυκνώματος σε οξυγόνο.
- Το συμπύκνωμα πρέπει να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερο οξυγόνο για να αποφεύγονται οι διαβρώσεις.
- Αέρας που εισέρχεται στον συμπυκνωτή καθώς και αέρας που περιέχεται στον ατμό πρέπει να απομακρύνονται.

Το εργαζόμενο μέσο εξέρχεται από τον συμπυκνωτή ως κορεσμένο υγρό, ανεξάρτητα από την κατάσταση στην οποία εισέρχεται, ενώ η πίεση συμπύκνωσης μπορεί να είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Στην περίπτωση αυτή υπεισέρχονται δύο παράγοντες:

- Μεγάλη υποπίεση προϋποθέτει καλή στεγανοποίηση, για να μην εισέλθει στο συμπυκνωτή του συστήματος αέρας από το περιβάλλον.
- Με δεδομένο ότι η θερμοκρασία συμπύκνωσης μειώνεται με την ελάττωση της πίεσης συμπύκνωσης, πρέπει να επιλεγεί τέτοια τιμή για τη δεύτερη ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά θερμότητας. Για το λόγο αυτό και για να αποφευχθεί υπερβολικά μεγάλο μέγεθος συμπυκνωτή η θερμοκρασία συμπύκνωσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 20°C υψηλότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μείωση της πίεσης συμπύκνωσης είναι επιθυμητή από την πλευρά του στρόβιλου καθώς αυξάνεται ο λόγος πιέσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ωφέλιμης ισχύος. [80]

5.5.2 Ενεργειακό ισοζύγιο

Παρακάτω αναλύεται το ενεργειακό ισοζύγιο του οργανικού κύκλου Rankine (ORC). [81]

Απλός κύκλος Rankine

- Αντλία. Το έργο που απαιτείται για τη συμπίεση του εργαζόμενου μέσου, ισούται με:

$$-W_p = h_2 - h_1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (1)$$

- Εξατμιστής. Η θερμική ενέργεια που εισάγεται στο σύστημα από τον εξατμιστή ισούται με:

$$Q_h = h_3 - h_2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (2)$$

- Στρόβιλος. Το έργο που δίνει ο στρόβιλος στον άξονα της γεννήτριας ισούται με:

$$-W_t = h_4 - h_3 \Rightarrow W_t = h_3 - h_4 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (3)$$

- Συμπυκνωτής. Η θερμική ενέργεια που απάγεται από το σύστημα μέσω του συμπυκνωτή ισούται με:

$$Q_h + Q_c = W_t + W_p \Rightarrow Q_c = W_t + W_p - Q_h \text{ [kJ/kg]} \quad (4)$$

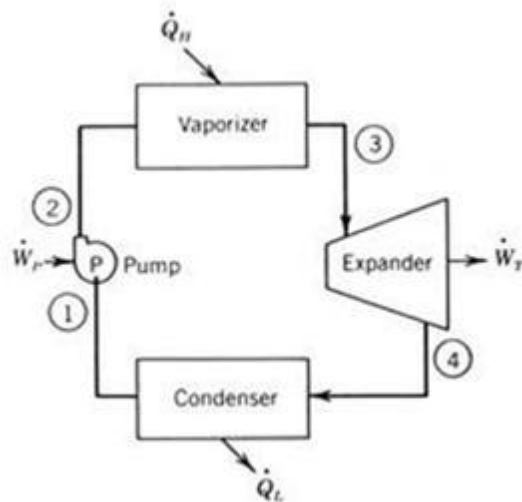
Το συνολικό έργο ισούται με:

$$W_{\text{nett}} = W_p + W_t \text{ [kJ/kg]}$$

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης θα ισούται με:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{nett}}}{Q_h}$$

Εικόνα 24: Απλός κύκλος Rankine



5.5.3 Επιλογή εργαζόμενου μέσου

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στη χρήση ενός οργανικού κύκλου Rankine είναι η κατάλληλη επιλογή του εργαζόμενου μέσου για να επιτευχθεί ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του κύκλου. Παρόλα αυτά, τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά δεν είναι τα μόνα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, μία διεθνής συνθήκη για την προστασία του στρώματος του όζοντος, και η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2037/2000 απαγορεύουν τη χρήση ουσιών που καταστρέφουν το όζον και επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα χαρακτηριστικά ενός οργανικού ρευστού που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

1. Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες, όπως η θερμοκρασία βρασμού που πρέπει να είναι χαμηλή, η θερμοκρασία αυτανάφλεξης, όπου η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου θα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή, η θερμοκρασία τήξης, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη της

- θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ώστε σε περίπτωση μη λειτουργίας της εγκατάστασης να στερεοποιηθεί το ρευστό.
2. Οι αποδεκτές πιέσεις (οι υψηλές πιέσεις τείνουν να έχουν αρνητική επίδραση στην σταθερότητα του κύκλου).
 3. Η σταθερότητα του ρευστού και συμβατότητα με τα υλικά κατά την επαφή με αυτά (μη διαβρωτικό).
 4. Παράμετροι ασφάλειας, υγείας και περιβάλλοντος όπως το όριο αναφλεξιμότητας και το να είναι μη τοξικό.
 5. Η διαθεσιμότητα και το κόστος.

Στον πίνακα 23 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά ορισμένων οργανικών ρευστών. Τα μεγέθη GWP (Global Warming Potential) και ODP (Ozone Depletion Potential) αναφέρονται στο ποσοστό συνεισφοράς του ρευστού στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στο ποσοστό υποβάθμισης που μπορούν να προκαλέσουν στο στρώμα του όζοντος. [82]

Πίνακας 23: Θερμοδυναμικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά διαφόρων οργανικών ρευστών

Ρευστό	T _c (°C)	P _c (bar)	Σημείο ζέσης (°C)	GWP	ODP
R143a	72,73	37,64	-47,60	Μέσο	Όχι
R134a	101,40	40,60	-26,10	Μέσο	Όχι
R227ea	101,70	29,30	-16,50	Υψηλό	Όχι
R236fa	124,90	32,00	-1,40	Υψηλό	Όχι
R236ea	139,00	35,00	-	Μέσο	Όχι
R245fa	154,10	36,40	15,10	Μέσο	Όχι
R123	184,00	36,60	27,80	Πολύ χαμηλό	Πολύ χαμηλό
R601	196,50	33,70	37,00	-	-
R113	241,10	33,90	47,60	Υψηλό	Υψηλό
Ισοβουτάνιο	134,66	36,23	-159,60	Μέσο	Όχι
Πεντάνιο	196,60	33,70	36,1	Μέσο	Όχι
Τολουένιο	318	41,26	-93	Μέσο	Όχι

5.5.4 Βελτιωμένοι κύκλοι Rankine

Κύκλος Rankine με υπερθέρμανση

Η λειτουργία και η απόδοση των συσκευών παραγωγής ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των εργαζόμενων μέσων (θερμοκρασία, πυκνότητα ατμού, ενθαλπία κτλ.) Ρευστά με υψηλή πυκνότητα και ενθαλπία είναι καταλληλότερα. Τα εργαζόμενα μέσα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: Σε υγρά (wet) τα οποία έχουν ψηλό σημείο βρασμού (boiling point) και αρνητική κλίση ($dT/ds < 0$) στη καμπύλη κορεσμένου ατμού (νερό, αμμωνία), στα ισεντροπικά (isentropic) τα οποία έχουν άπειρη κλίση και τα ξηρά (dry) τα οποία έχουν θετική κλίση καμπύλης κορεσμένου ατμού. Υπερθερμαίνοντας ένα υγρό μέσο αυξάνεται η θερμοκρασία ατμοποίησης και ο βαθμός απόδοσης του κύκλου, ενώ παράλληλα μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης σταγονιδίων στην εκτόνωση τα οποία προκαλούν διάβρωση. Η υπερθέρμανση μετατοπίζει το σημείο ατμοποίησης προς τα δεξιά της καμπύλης T-s και έτσι παράγεται περισσότερη ενέργεια. Τα ξηρά εργαζόμενα μέσα δε χρειάζονται υπερθέρμανση επειδή η εκτόνωση γίνεται στην περιοχή υπέρθερμου ατμού.

Κύκλος Rankine με ενδιάμεση αναθέρμανση

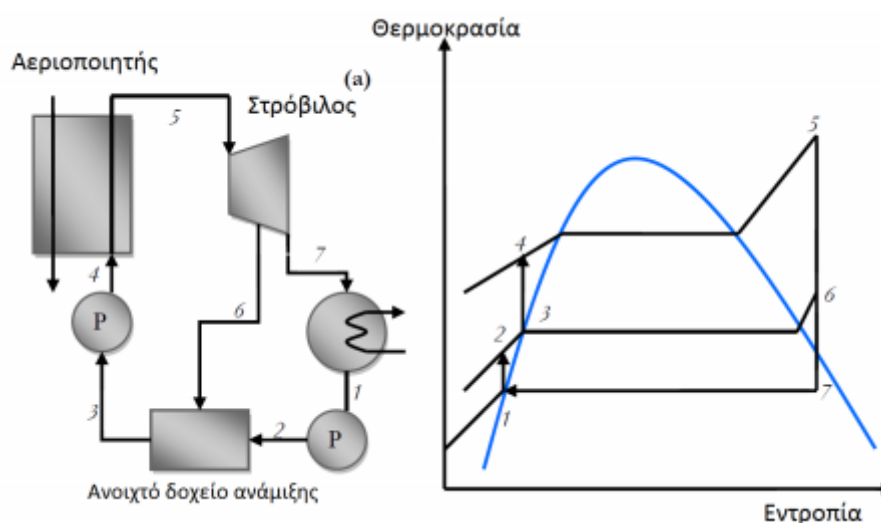
Ξηρά οργανικά μέσα που έχουν θετική κλίση στη καμπύλη κορεσμένου ατμού, είναι κατάλληλα για ασφαλή λειτουργία σε συστήματα κύκλων Rankine. Χρησιμοποιώντας ξηρά μέσα η εκτόνωση τελειώνει στη ζώνη του υπέρθερμου ατμού. Ένας ενδιάμεσος εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να προστεθεί στο σύστημα, αυξάνοντας την θερμοκρασία του ρευστού πριν αυτό εισέλθει στον αεριοποιητή με αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης του κύκλου. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει η θερμοκρασία του ρευστού μετά την εκτόνωση να είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του ρευστού που εξέρχεται από την αντλία. Συνήθως ρευστά όπως pentane, butane, toluene, R141b, R245fa, R113, R123 και HFE7100 μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κύκλους με ενδιάμεση αναθέρμανση.

Κύκλος με προθέρμανση τροφοδοτικού μέσου με χρήση ανοιχτού δοχείου

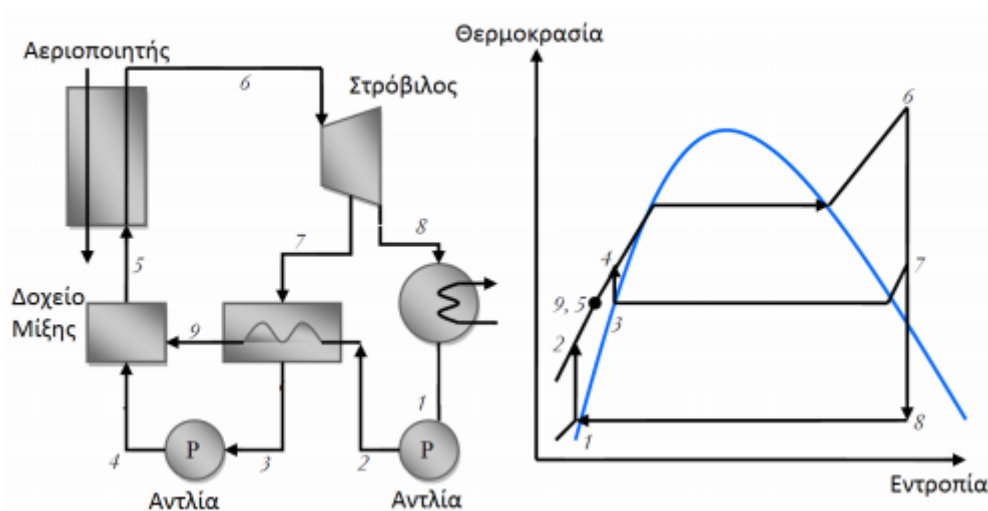
Η αύξηση του βαθμού απόδοσης του κύκλου είναι συνδεδεμένη με τη μέση θερμοκρασία αεριοποίησης του αεριοποιητή. Ένας τρόπος αύξησης αυτής της θερμοκρασίας είναι η πρόσθεση ειδικών τύπων εναλλακτών θερμότητας όπως είναι τα δοχεία (feedliquid heaters).

Υπάρχουν ανοιχτά και κλειστά δοχεία ανάμιξης. Σε ένα ανοιχτό δοχείο ανάμιξης γίνεται ανάμιξη του ρεύματος που αφήνει την αντλία, με ρεύμα εργαζόμενου μέσου το οποίο απομαστεύεται από την εκτόνωση. Σε ένα κλειστό δοχείο προθέρμανσης τα δύο ρεύματα δεν αναμιγνύονται καθόλου παρά μόνο πριν εισέλθουν στον αεριοποιητή. Τα συστήματα αυτά όχι μόνο αυξάνουν τον βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης αλλά συμβάλλουν και στην εξαέρωση του συστήματος όπως επίσης και στον έλεγχο της παροχής του εργαζόμενου μέσου. Επίσης με τη χρήση τέτοιων δοχείων αυξάνεται ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος και η θερμοδυναμική του συμπεριφορά. [81]

Διάγραμμα 7:Βελτιωμένος κύκλος Rankine με ανοιχτό δοχείο μίξης



Διάγραμμα 8: Βελτιωμένος κύκλος Rankine με κλειστό δοχείο ανάμιξης



5.6 Σενάρια για την τηλεθέρμανση Κοζάνης

Με βάση την μελέτη που διενήργησε το Ε.Κ.Ε.Τ.Α. θα απαιτηθούν εγκαταστάσεις για να καλύψουν τα φορτία που δεν θα μπορούν είναι απολήψιμα από την συμπαραγωγή στον Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται 3 σενάρια που μπορούν να καλύψουν το θερμικό φορτίο 180 GWh, με τεχνολογίες βιομάζας, θεωρώντας ότι η τηλεθέρμανση λειτουργεί από Οκτώβριο μέχρι Μάιο. Το φορτίο αυτό υπολείπεται του θερμικού φορτίου που απομαστεύεται από τον Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου, ωστόσο μπορεί να λειτουργήσει πιλοτικά, και να αποτελέσει οδηγό για την επόμενη μονάδα που θα χρειαστεί να γίνει.

Ειδικότερα τα σενάρια είναι:

α) Παραγωγή θερμότητας από λέβητες βιομάζας (50MW_{th}).

β) Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με την τεχνολογία Organic Rankine Cycle ($5\text{MW}_e + 20\text{MW}_{\text{th}}$) και λέβητες βιομάζας (30MW_{th}).

γ) Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με την τεχνολογία Organic Rankine Cycle ($8,75\text{MW}_e + 35\text{MW}_{\text{th}}$)

Σενάριο 1^ο: Παραγωγή θερμότητας από λέβητες βιομάζας (50MW_{th})

Πίνακας 24: Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του Σεναρίου 1

Λέβητες Βιομάζας	Ισχύς εγκατάστασης μονάδας	50MW_{th}
Κατανάλωση καυσίμων	Καύσιμο βιομάζα	66.883 τόνοι/έτος
Παραγωγή ενέργειας	Πωλούμενη θερμότητα	180 GWh / έτος
Δαπάνες	Κόστος εγκατάστασης	15.000.000 €

	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (εκτός του κόστους βιομάζας)	και 600.000 €
--	--	---------------

Σενάριο 2^ο: Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με την τεχνολογία Organic Rankine Cycle (5MW_e+20MW_{th}) και λέβητες βιομάζας (30MW_{th}).

Πίνακας 25: Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του Σεναρίου 2

ΣΗΘ - ORC με βιομάζα	Ισχύς εγκατάστασης μονάδας	5 MW _{el} και 20 MW _{th}
	Πωλούμενος ηλεκτρισμός	40 GWh/ έτος
	Παραγόμενη θερμότητα	156,80 GWh/έτος
	Πωλούμενη θερμότητα	117,60 GWh/έτος
Λέβητες βιομάζας	Ισχύς εγκατάστασης μονάδας	30 MW _{th}
	Πωλούμενη θερμότητα	62,40 GWh / έτος
Κατανάλωση καυσίμου	Καύσιμο βιομάζα	89.413 τόνοι/έτος
Παραγωγή Ενέργειας	Πωλούμενος ηλεκτρισμός	40 GWh/έτος
	Πωλούμενη θερμότητα	180 GWh/έτος
Δαπάνες	Κόστος εγκατάστασης	32.750.000 €
	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (εκτός του κόστους βιομάζας)	1.310.000 €/έτος

Σενάριο 3^ο: Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με την τεχνολογία Organic Rankine Cycle (8,75MWe + 35 MW_{th})

Πίνακας 26: Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του Σεναρίου 3

ΣΗΘ – ORC με βιομάζα	Ισχύς εγκατάστασης μονάδας	8,75 MW _e και 35MW _{th}
Κατανάλωση καυσίμων	Καύσιμο βιομάζα	116.070 τόνοι/έτος
Παραγωγή ενέργειας	Πωλούμενος ηλεκτρισμός	70 GWh/έτος
	Παραγόμενη θερμότητα	274,40 GWh/έτος
	Πωλούμενη θερμότητα	180,00 GWh/έτος
Δαπάνες	Κόστος εγκατάστασης	41.562.500 €
	Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (εκτός του κόστους βιομάζας)	1.662.500 €/έτος

Κεφάλαιο 6: Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης

Η οικονομική σκοπιμότητα των επενδύσεων σε ενεργειακά συστήματα εξετάζεται με σύγκριση των βαθμών μακροπρόθεσμης οικονομικής απόδοσης των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων (επενδύσεων) για την παραγωγή ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων για ίδια κατανάλωση και εμπορική διάθεση. Οι επενδύσεις σε ενεργειακά συστήματα είναι επομένως οικονομικά σκόπιμες, εάν η μείωση των λειτουργικών δαπανών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να αποσβέσει το αρχικό κεφάλαιο σε εύλογο χρονικό διάστημα ή αν τα έσοδα από τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας οδηγούν σε κέρδη ικανά να ικανοποιήσουν τους επιχειρηματικούς στόχους του επενδυτή. Για την αξιολόγηση των σεναρίων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες παράμετροι, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

6.1 Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων

Τόκος και επιτόκιο (d)

Επιτόκιο είναι ο τόκος ανά μονάδα χρόνου και κεφαλαίου. Συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό ανά έτος. Υπάρχουν δύο όψεις του επιτοκίου: Το επιτόκιο δανεισμού, που ο δανειζόμενος καταβάλλει χρήματα για το ποσό που δανείσθηκε και επομένως αποτελεί δαπάνη και το επιτόκιο αγοράς (market interest rate) που κερδίζει κάποιος όταν δανείζει ή επενδύει χρήματα. Το επιτόκιο αγοράς μπορεί να είναι επίσης ο επιθυμητός ή αναμενόμενος βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης.

Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης

Ως οικονομικός κύκλος ζωής μιας επένδυσης θεωρείται η χρονική περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας ανακτάται το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο καθώς και η επιθυμητή απόδοση αυτού. Ο οικονομικός κύκλος ζωής πρέπει να είναι ίσος ή μικρότερος της πραγματικής ζωής του βασικού εξοπλισμού της επένδυσης.

Πληθωρισμός

Πληθωρισμός είναι η αύξηση του κόστους των αγαθών και υπηρεσιών ανά μονάδα χρόνου. Ο πληθωρισμός των επιμέρους συνιστωσών κόστους μιας επένδυσης μπορεί να διαφέρει από συνιστώσα σε συνιστώσα και από έτος σε έτος. Για λόγους ευκολίας, συνηθίζεται ο πληθωρισμός να αναφέρεται σε ένα έτος και σε συγκεκριμένη ομάδα δαπανών, π.χ. μισθοδοσία, καύσιμα, ανταλλακτικά.

6.2 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης

Διάφοροι οικονομικοί δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση επενδύσεων παραγωγής θερμότητας και συμπαραγωγής: Καθαρή παρούσα αξία, απόδοση κεφαλαίου, λόγος οφέλους κόστους, έντοκη περίοδος αποπληρωμής κλπ. Ορίζονται στη συνέχεια οι δείκτες αυτοί. Στην περίπτωση κάποιων δεικτών, απαιτείται η ύπαρξη ενός συστήματος αναφοράς με το οποίο να συγκρίνεται το εξεταζόμενο ενεργειακό σύστημα. Ως σύστημα αναφοράς κατά κανόνα θεωρείται ο

συμβατικός τρόπος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, όπως είναι η αγορά ή παραγωγή ηλεκτρισμούς από τη Δ.Ε.Η., η παραγωγή θερμότητας με λέβητα πετρελαίου κ.ο.κ.

6.2.1 Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης (Net present value, NPV)

Καθαρή παρούσα αξία είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένα συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος. Η καθαρή παρούσα αξία προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+d)^t} + \frac{SV_n}{(1+d)^n}$$

Όπου

C_0 : Αρχική επένδυση.

F_t : Ετήσιο καθαρό όφελος.

n : Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης.

d : Επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου).

SV_n : Αξία εκποίησης (απομένουσα αξία) της επένδυσης στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής n .

Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- $NPV > 0$: Η επένδυση είναι βιώσιμη κάτω από τις δεδομένες συνθήκες (οικονομικός κύκλος ζωής n , και επιθυμητός βαθμός απόδοσης της επένδυσης, d).
- $NPV = 0$: Η επένδυση είναι βιώσιμη με μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με d .
- $NPV < 0$: Η επένδυση είναι αντικοινομική.

6.2.2 Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal rate of return (IRR))

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (internal rate of return (IRR)) ορίζεται ως το προεξοφλητικό επιτόκιο που εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών μετά από φόρους ενός προγράμματος, με το αρχικό του κόστος, δηλαδή το επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος. Δηλαδή ο IRR φανερώνει την απόδοση ενός προγράμματος. Ο μαθηματικός τύπος που δίνει τον IRR είναι:

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \Rightarrow \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t}$$

Όπου: CF_t η πρόσθετη ετήσια ταμειακή ροή (θετική ή αρνητική) μετά από φόρους του έτους $t=0,1,2,\dots,n$. [83]

6.3 Παραδοχές σεναρίων

Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών που ακολουθούν έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

- Ο ετήσιος συντελεστής φορολόγησης λαμβάνεται ίσος με 29%.
- Το επιτόκιο δανεισμού θεωρείται ότι είναι 5%.
- Το κόστος ευκαιρίας (discount rate) λαμβάνεται και αυτό 5%.
- Η λογιστική απόσβεση είναι σταθερή σε βάθος 10ετίας.
- Στο σενάριο 2 αξιοποιείται πρώτα όλο το θερμικό φορτίο από την συμπαραγωγή και μετά από τους λέβητες βιομάζας.
- Η τιμή βιομάζας κυμαίνεται 90€/tn, που είναι μια λογική τιμή για το μείγμα που θα χρησιμοποιηθεί, με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί και παραπάνω.
- Το συνολικό θερμικό φορτίο που θέλουμε να καλύψουμε είναι 180GWh.
- Οι εγγυημένες τιμές για την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτές που ισχύουν σύμφωνα με τον νόμο 4254/2014 και συγκεκριμένα για μονάδες βιομάζας από 1 έως 5MW_e είναι 170€/MWh και για μονάδες βιομάζας μεγαλύτερες από 5MW είναι 148€/MWh.

Η τηλεθέρμανση Κοζάνης όπως αναφέρθηκε έχει υποχρέωση για να διατηρήσει τον κοινωνικό της χαρακτήρα, το κόστος της να μην ξεπερνά το 75% του αντίστοιχου κόστους θέρμανσης από πετρέλαιο. Με βάση τις τιμές που έχουν διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια, θεωρούμε ότι η τιμή ανά MWh για την θέρμανση με πετρέλαιο είναι 143,80€/MWh. Στο πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ποσοστά έκπτωσης για την τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας.

Πίνακας 27: Τιμές και ποσοστά έκπτωσης για την τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας²⁵

Ποσοστό έκπτωσης	Τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας (€/MWh)
25%	107,85
30%	100,66
35%	93,47
40%	86,28
45%	79,09
50%	71,90
55%	64,71
60%	57,52
65%	50,33
69,75%	43,50

²⁵ Πηγή: <http://deyakozanis.gr/>

6.4 Οικονομική ανάλυση

Με την τιμή της MWh στα σημερινά επίπεδα (43,50€/MWh) και την τιμή βιομάζας στα 90€/τόνο για 4 χρηματοδοτικά σενάρια ανά περίπτωση προέκυψαν τα εξής δεδομένα:

Πίνακας 28: Ανάλυση σεναρίων για 43,50€/MWh και κόστος βιομάζας 90€ /tn.

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR		5%	5%
		NPV	-10.457.264,14€	319.405,99€	1.116.612,14€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR		5%	
		NPV	-9.928.359,56€	1.474.180,99€	-3.503.199,80€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR		6%	
		NPV	-9.085.686,73€	3.314.016,57€	-1.168.293,83€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR		6%	
		NPV	-9.663.907,27€	2.051.568,49€	-2.770.446,59€

Παρατηρούμαι από τον πίνακα 28, ότι το σενάριο ένα δηλαδή η λέβητες βιομάζας, με όλα τα χρηματοδοτικά σενάρια εξακολουθεί να είναι ασύμφορο. Το σενάριο 2 (συμπαγωγή με ORC και λέβητες βιομάζας) αντίθετα, παρουσιάζει θετικές τιμές καθαρής παρούσας αξίας, ωστόσο ο χαμηλός εσωτερικός βαθμός απόδοσης δεν το καθιστά ελκυστικό. Το σενάριο 3 (συμπαγωγή με ORC) μόνο με το χρηματοδοτικό σχήμα Α παρουσιάζει θετική καθαρή παρούσα αξία, ωστόσο το χαμηλό IRR, δεν αποτελεί δελεαστικό παράγοντα για την υλοποίηση του. Άρα προκύπτει από την ανάλυση των τριών σεναρίων, ότι είναι σχεδόν ανέφικτο, με την προϋπόθεση ότι η τιμή της βιομάζας θα είναι 90€/tn και η τιμή της μεγαβατώρας στα σημερινά επίπεδα να μπορέσει να γίνει η επένδυση και να τροφοδοτηθεί μόνο με βιομάζα.

Στον πίνακα 29 παρουσιάζεται η ανάλυση της καθαρής παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης, αυτή τη φορά με αυξημένη την τιμή της MWh κατά 11,50%, δηλαδή με έκπτωση 65% σε σχέση με την τιμή της MWh από το πετρέλαιο θέρμανσης, στην τιμή των 50,33€/MWh και την τιμή της βιομάζας να διατηρείται σταθερή στα 90€/τόνο.

Πίνακας 29: Ανάλυση σεναρίων για 50,33€/MWh και κόστος βιομάζας 90€ /tn.

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	5%	8%	8%
		NPV	365.434,95€	11.142.105,08€	11.989.311,12€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	5%	9%	7%
		NPV	894.339,53€	12.296.880,80€	7.319.499,28€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR	6%	9%	7%
		NPV	1.737.012,36€	14.136.715,76€	9.654.405,25€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	5%	9%	7%
		NPV	1.158.791,82€	12.874.267,58€	8.052.252,50€

Από τον πίνακα 29, προκύπτει ότι την μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία την έχει η συμπαραγωγή ORC σε συνδυασμό με λέβητες βιομάζας, υπό το χρηματοδοτικό σχήμα Γ, δηλαδή 50% επιχορήγηση, 30% ίδια κεφάλαια και 20% τραπεζικό δανεισμός. Το σενάριο αυτό έχει θετικό βαθμό απόδοσης, καθώς είναι μεγαλύτερος από το προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξεως του 5% που έχει τεθεί. Την χειρότερη οικονομική επίδοση παρουσιάζει το σενάριο με λέβητες βιομάζας, παρόλο που έχει ελαφρώς θετική τιμή η καθαρή παρούσα αξία, ο θετικός βαθμός απόδοσης μετά βίας αγγίζει το προεξοφλητικό επιτόκιο.

Στον πίνακα 30 η τιμή της MWh αυξάνεται και άλλο και φτάνει τα 57,52€, έχοντας μια αύξηση της τάξεως του 32% και αντίστοιχα 60% έκπτωση από την αντίστοιχη τιμή της MWh που προέρχεται από πετρέλαιο.

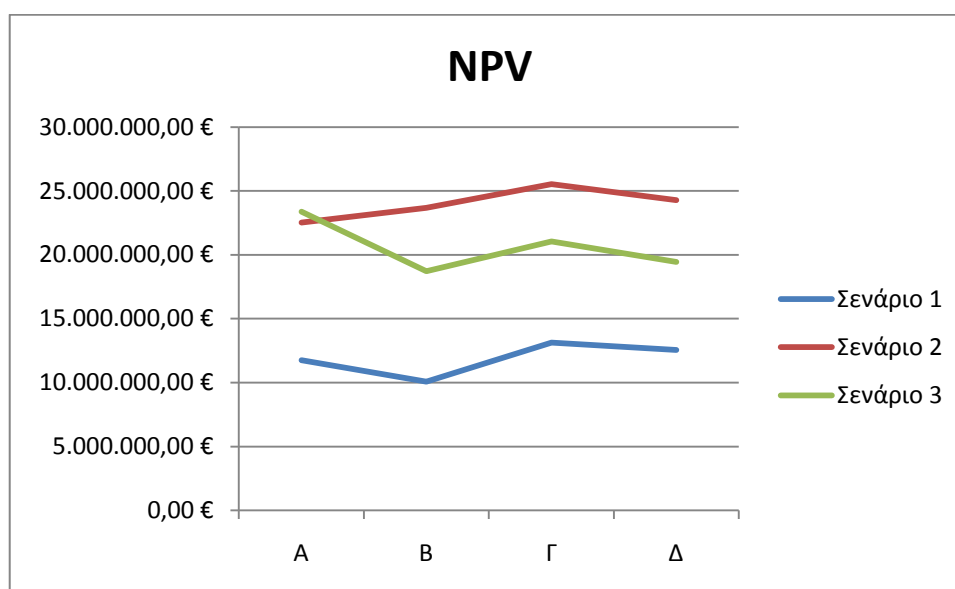
Πίνακας 30: Ανάλυση σεναρίων για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn.

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	12%	12%	11%
		NPV	11.758.583,77€	22.535.253,90€	23.382.460,40€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	11%	12%	9%
		NPV	10.073.238,10€	23.690.028,90€	18.712.648,10€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			

Επιχορήγηση	50%	IRR	14%	13%	10%
		NPV	13.130.161,18€	25.529.864,58€	21.047.554,07€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	13%	12%	10%
		NPV	12.551.940,64€	24.267.416,39€	19.445.401,32€

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 30, σε όλα τα χρηματοδοτικά σχήματα για όλα τα σενάρια η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική, την μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία μαζί με το μεγαλύτερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης (13%) εμφανίζει το σενάριο 2 στο χρηματοδοτικό σχήμα Γ. Όπως και πρέπει βλέπουμε ότι το αυξημένο ποσοστό επιχορήγησης (50%) ενισχύει την κερδοφορία της επένδυσης. Στον πίνακα 31, αποτυπώνονται οι NPV όλο των σεναρίων, όπως βλέπουμε την χαμηλότερη NPV την έχει το σενάριο 1, στο σχήμα Β.

Πίνακας 31: Καθαρή παρούσα αξία για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn.



Στον πίνακα 32, η τιμή της MWh είναι 64,71€ αυξημένη κατά 21,21€ σε σχέση με την σημερινή τιμή της. Η αύξηση κατά 50% της τιμής της θερμικής ενέργειας, είναι αποτρεπτικός παράγοντας για την ολοκλήρωση της επένδυσης. Ωστόσο η έκπτωση διατηρείται στο 55% σε σχέση με το κόστος από το πετρέλαιο.

Πίνακας 32: Ανάλυση σεναρίων για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 90€/tn

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	19%	15%	13%
		NPV	23.151.732,59€	33.928.402,72€	34.775.608,86€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			

Επιχορήγηση	40%	IRR	19%	15%	12%
		NPV	23.680.637,17€	35.083.177,71€	30.105.796,92€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR	20%	16%	13%
		NPV	24.523.310,00€	36.923.013,40€	32.440.702,89€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	20%	15%	12%
		NPV	23.945.089,45€	35.660.565,21€	30.838.550,14€

Σε αυτή την περίπτωση την μεγαλύτερη NPV την έχει το σενάριο 2 στο χρηματοδοτικό σχήμα Γ, φτάνοντας σχεδόν το ποσό των 37.000.000€. Ωστόσο και το σενάριο 1 έχει υψηλούς εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης που αγγίζουν ακόμα και το 20%, καθιστώντας και αυτή την επιλογή συμφέρουσα.

Επειδή με την υπάρχουσα τιμή της MWh (43.5€) και την τιμή της βιομάζας αυξημένη κατά 15€ τον τόνο, που είναι μια λογική τιμή η επένδυση ήταν ασύμφορη με όλα τα σενάρια και τα χρηματοδοτικά σχήματα, εξετάστηκε στον πίνακα 33 η επένδυση με αυξημένη τιμή της MWh στα 50,33€/MWh και την τιμή βιομάζας στα 105€/tn.

Πίνακας 33: Ανάλυση σεναρίων για 50,33€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR			
		NPV	-8.466.368,16€	-664.751,84€	-3.337.563,87€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR		5%	
		NPV	-7.937.463,58€	490.023,15	-8.007.375,82€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR		6%	
		NPV	-7.094.790,75€	2.329.858,84€	-5.672.469,84€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR		5%	
		NPV	-7.673.011,29	1.067.410,65€	-7.274.622,60€

Στον πίνακα 33, παρατηρούμε ότι το Σενάριο 1 είναι τελείως ασύμφορο καθώς η NPV είναι παντού αρνητική, όπως και στο Σενάριο 3. Από το σενάριο 2, τα χρηματοδοτικά σχήματα Β,Γ,Δ εμφανίζουν θετικές τιμές στην καθαρή παρούσα αξία, ωστόσο είναι χαμηλός και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης που προσεγγίζει ή ξεπερνά ελαφρώς το ετήσιο προεξοφλητικό

επιτόκιο. Επομένως με την τιμή βιομάζας στα 105€ και την τιμή της MWh στα 50,33€, φαντάζει απίθανο να γίνει βιώσιμη η επένδυση.

Στον πίνακα 34, η τιμή της βιομάζας παραμένει σταθερή στα 105€/tn και αυξάνεται η τιμή της MWh στα 57,52€.

Πίνακας 34: Ανάλυση σεναρίων για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	7%	8%	
		NPV	2.926.780,66€	10.728.369,97€	-3.337.568,87€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	7%	9%	6%
		NPV	3.455.685,24€	11.883.171,97€	3.385.773,00€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR	8%	9%	6%
		NPV	4.298.358,07€	13.723.007,66€	5.720.678,97€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	8%	9%	6%
		NPV	3.720.137,52€	12.460.559,47€	4.118.526,22€

Ο πίνακας 34 παρουσιάζει παντού θετική καθαρή παρούσα αξία, εκτός της περίπτωσης του σεναρίου 3 (συμπαγωγή με ORC) στο χρηματοδοτικό σχήμα Α. Αυτό συμβαίνει λόγω του υψηλού δανεισμού στο χρηματοδοτικό σχήμα Α. Ωστόσο, όπως και παραπάνω η πιο συμφέρουσα επενδυτική επιλογή είναι το Σενάριο 2 στο χρηματοδοτικό σχήμα Γ.

Στον πίνακα 35, η τιμή της MWh υπολογίζεται στα 64,71€ και η τιμή της βιομάζας παραμένει σταθερή στα 105€/tn.

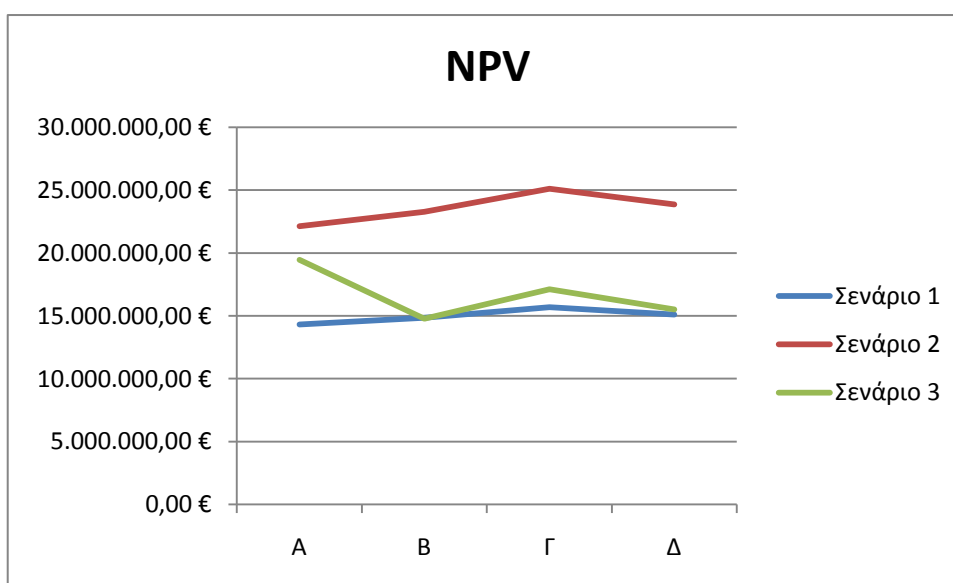
Πίνακας 35: Ανάλυση σεναρίων για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	14%	11%	10%
		NPV	14.319.929,47€	22.121.545,79€	19.448.733,77€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	14%	12%	9%
		NPV	14.848.834,05€	23.276.320,79€	14.778.921,82€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				

Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR	15%	13%	9%
		NPV	15.691.506,89€	25.116.156,47€	17.113.827,79€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	15%	12%	9%
		NPV	15.113.286,34€	23.853.708,29€	15.511.675,04€

Εδώ παρατηρούμε, ότι εμφανίζεται παντού θετική καθαρή παρούσα αξία, και επίσης θετικοί εσωτερικοί ρυθμοί απόδοσης, που φτάνουν και το 15% στο σενάριο 1 υπό τα χρηματοδοτικά σχήματα Γ και Δ.

Πίνακας 36: Καθαρά Παρούσα Αξία για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.



Όπως διαπιστώνουμε από τον πίνακα 36, το σενάριο 1(λέβητες βιομάζας) και το σενάριο 3(Σ.Η.Θ.) με ORC εμφανίζουν σχεδόν ίδιες τιμές NPV για τα χρηματοδοτικά σχήματα Β και Δ.

Η ανάλυση που έγινε στον πίνακα 37, χρησιμοποιεί ως τιμή της θερμικής ενέργειας τα 71,90€/MWh, αυξημένη κατά 65% με την σημερινή τιμή που είναι 43,50€/MWh. Σε αυτή την περίπτωση, η καθαρή παρούσα αξία φτάνει ακόμα και τα 36.500.000€, ενώ ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης στο Σενάριο 1 υπό το χρηματοδοτικό σχήμα Γ, αγγίζει το 22%. Από αυτά διαπιστώνουμε ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα με όλα τα Σενάρια και μάλιστα πολύ αποδοτική, ωστόσο η μεγάλη αύξηση στην τιμή της MWh είναι δύσκολα αποδεκτή από τους πελάτες της τηλεθέρμανσης και πιθανό να οδηγήσει σε μειωμένες καταναλώσεις είτε αποχώρηση από το δίκτυο της τηλεθέρμανσης.

Πίνακας 37: Ανάλυση σεναρίων για 71,90€/MWh και κόστος βιομάζας 105€/tn.

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			

Επιχορήγηση	40%	IRR	20%	15%	12%
		NPV	25.713.078,29€	33.514.694,61€	30.841.882,58€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	21%	15%	11%
		NPV	26.241.982,87€	34.669.469,91€	26.172.070,64€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR	22%	16%	12%
		NPV	27.084.655,70€	36.509.305,29€	28.506.976,61€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	21%	15%	11%
		NPV	26.506.435,16€	35.246.857,11€	26.904.823,56€

Στον πίνακα 38, χρησιμοποιείται ως δεδομένο η τιμή της βιομάζας στα 120€/tn, ενώ για να είναι οριακά αποδοτική η επένδυση απαιτεί η τιμή της θερμικής ενέργειας να είναι 57,52€/MWh. Η αύξηση της τιμής της βιομάζας είναι της τάξεως του 33,33%, και αν επέλθει θα είναι κυρίως λόγω της μεγάλης αύξησης της τιμής της δασικής βιομάζας καθώς το μείγμα καυσίμου που θεωρούμε ότι χρησιμοποιείται είναι 80% wood chips και 20% άχυρο.

Πίνακας 38: Ανάλυση σεναρίων για 57,52€/MWh και κόστος βιομάζας 120€/tn.

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR			
		NPV	-5.905.022,46€	-1.078.459,95€	-7.271.290,15€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR		5%	
		NPV	-5.376.117,88€	76.315,05€	-11.941.102,09€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR		6%	
		NPV	-4.533.445,04€	1.916.150,73€	-9.606.196,12€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR		5%	
		NPV	-5.111.665,59€	653.702,55€	-11.208.348,87€

Όπως διαπιστώνουμε από τον πίνακα 38, τα Σενάριο 1 και 3 έχουν σε όλα τα χρηματοδοτικά σχήματα αρνητική Καθαρά Παρούσα Αξία, γεγονός καθιστά τις επενδύσεις τελείως ασύμφωρες. Στο σενάριο 2 στο χρηματοδοτικό σχήμα Γ εμφανίζεται η μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία

ύψους περίπου 2.000.000€, ενώ εσωτερικό βαθμό απόδοσης μόλις 1% πάνω από το προεξοφλητικό επιτόκιο που έχουμε ορίσει, με αποτέλεσμα να μην είναι και τόσο ελκυστική ως επένδυση.

Στον πίνακα 39, χρησιμοποιείται η τιμή 64,71€/MWh με την τιμή της βιομάζας στα 120€/tn. Όπως παρατηρούμε το Σενάριο 1 έχει υψηλότερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης που φτάνει και το 10%, υπό το χρηματοδοτικό σχήμα Γ. Ωστόσο την μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία την έχουμε στο Σενάριο 2, με όλα τα χρηματοδοτικά σχήματα. Τέλος, το Σενάριο 3 παρόλο που έχει θετικές τιμές καθαρής παρούσας αξίας δεν είναι ιδιαίτερα ελκυστικό.

Πίνακας 39: Ανάλυση σεναρίων για 64,71€/MWh και κόστος βιομάζας 120€/tn

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	9%	8%	6%
		NPV	5.488.126,36€	10.314.688,87€	4.121.858,67€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	9%	9%	
		NPV	6.017.030,94€	11.469.463,87€	-547.953,28€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	50%	IRR	10%	9%	5%
		NPV	6.859.703,77€	13.309.299,55€	1.786.952,70€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	9%	9%	5%
		NPV	6.281.483,23€	12.046.851,37€	184.799,94€

Στον πίνακα 40, χρησιμοποιείται η τιμή 71,90€/MWh, που όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι αρκετά πιο αυξημένη από τις σημερινές τιμές, με την τιμή της βιομάζας να κυμαίνεται στα 120€/τόνο.

Πίνακας 40: Ανάλυση σεναρίων για 71,90€/MWh και κόστος βιομάζας 120€/tn

Χρηματοδοτικό σενάριο Α			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	20%				
Δανεισμός	40%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	15%	11%	9%
		NPV	16.881.275,18€	21.707.837,69€	15.515.007,49€
Χρηματοδοτικό σενάριο Β			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	40%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	16%	12%	8%
		NPV	17.410.179,76€	22.862.612,69€	10.845.195,54€
Χρηματοδοτικό σενάριο Γ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	30%				
Δανεισμός	20%	10 έτη			

Επιχορήγηση	50%	IRR	17%	12%	8%
		NPV	18.252.852,59€	24.702.448,37€	13.180.101,51€
Χρηματοδοτικό σενάριο Δ			Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ίδια κεφάλαια	50%				
Δανεισμός	10%	10 έτη			
Επιχορήγηση	40%	IRR	16%	12%	8%
		NPV	17.674.632,05€	23.440.000,19€	11.577.948,76€

Όπως διαπιστώνουμε με αυτές τις τιμές που δόθηκαν η επένδυση είναι πολύ αποδοτική και εμφανίζει υψηλές τιμές καθαρής παρούσας αξίας, όπως και εσωτερικούς βαθμούς απόδοσης. Ο μεγαλύτερος εσωτερικός βαθμός απόδοσης εμφανίζεται στο Σενάριο 1 υπό το Γ χρηματοδοτικό σχήμα και είναι 17% ενώ ο μικρότερος εσωτερικός βαθμός απόδοσης εμφανίζεται στο Σενάριο 3 υπό τα χρηματοδοτικά σχήματα Β,Γ,Δ (8%). Τέλος, η μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία εμφανίζεται στο Σενάριο 2 υπό το χρηματοδοτικό σχήμα Γ και προσεγγίζει τα 25.000.000€.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

7.1 Στόχοι που επιτεύχθηκαν

Με την παρούσα Διπλωματική Εργασία, έγινε μια μελέτη για την εναλλακτική λειτουργία της τηλεθέρμανσης Κοζάνης με καύσιμο την βιομάζα. Παρουσιάστηκε το δυναμικό βιομάζας της περιοχής, σε επίπεδο Περιφέρειας, Περιφερειακής Ενότητας και Δήμου, που επαρκεί θεωρητικά να καλύψει τα φορτία που θέσαμε ως σενάριο αναφοράς. Στην συνέχεια σχεδιάστηκαν 3 σενάρια, το πρώτο με χρήση μόνο λεβήτων βιομάζας, το δεύτερο με συμπαραγωγή 5MW_e αξιοποιώντας την τεχνολογία Organic Rankine Cycle και την υψηλή τιμή ηλεκτρικής ενέργειας που δίνει ο νομοθέτης για αυτού του είδους της επενδύσεις συνδυαζόμενα με λέβητες βιομάζας για το υπόλοιπο φορτίο. Τέλος, το τρίτο σενάριο περιλάμβανε συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας $8,75\text{MW}_e$. Για την διαμόρφωση των σεναρίων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα πιθανά χρηματοδοτικά σχήματα με τρεις πηγές χρηματοδότησης (ίδια κεφάλαια, δανεισμός και επιχορήγηση) τα οποία συμμετείχαν σε διάφορα ποσοστά.

Από την τεχνοοικονομική ανάλυση, προέκυψε ότι η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι το δεύτερο σενάριο δηλαδή η συμπαραγωγή με ORC σε συνδυασμό με λέβητες βιομάζας, καθώς εμφάνισε την μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία. Σε αυτό το σενάριο υπάρχει δυνατότητα κατασκευής των μονάδων και σε διαφορετικά σημεία, με στόχο την βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας ή ακόμα και την τμηματική τους κατασκευή μιας που η μονάδα συμπαραγωγής φαίνεται να προσδίδει μεγάλη κερδοφορία κατά την λειτουργία της. Επίσης, μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω η αποδοτικότητα της μονάδας αν τους υπόλοιπους μήνες, όπου δεν λειτουργεί η τηλεθέρμανση πωλείται θερμική ενέργεια (π.χ. σε ένα ξηραντήριο μηδικής).

Το σενάριο 1, παρόλο που δεν είχε την οικονομική απόδοση του σεναρίου 2, φαίνεται εύκολα υλοποιήσιμο λόγω της μικρότερης ποσότητας βιομάζας που απαιτείται προκειμένου να λειτουργήσει. Στο πρώιμο στάδιο που βρίσκεται τώρα η εφοδιαστική αλυσίδα βιομάζας, είναι πιο εύκολο να εξασφαλιστούν μικρότερες ποσότητες βιομάζας.

Το σενάριο 3, απαιτεί υψηλότερες ποσότητες βιομάζας, ωστόσο για να μπορέσει να υλοποιηθεί θα απαιτηθούν μακροχρόνιες συνεργασίες με τους προμηθευτές βιομάζας.

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Αρχικά, μια πρόταση για μελλοντική μελέτη είναι η τεχνοοικονομική ανάλυση αξιοποίησης βιομάζας και λιγνίτη, ή η μελέτη της καύσης βιομάζας και ξηρού λιγνίτη, με δεδομένο ότι ο λιγνίτης χρησιμοποιείται κατά κόρων στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας.

Επιπλέον, μπορούν να μελετηθούν σεναρία αξιοποίησης της θερμότητας στον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα που είναι αναπτυγμένος στην περιοχή, με στόχο την μέγιστη αξιοποίηση της βιομάζας και της θερμότητας που παράγεται από αυτήν. Έτσι, θα προκύψουν και σημαντικά οφέλη για την τοπική οικονομία και για την περιφερειακή ανάπτυξη.

Βιβλιογραφία

- [1] **International District Heating Association** . " *District Heating Handbook*". Washington : International District Heating Association , 1983. Fourth Edition.
- [2] **Παπακώστας Κ.** Εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης. *Τεχνικό περιοδικό "Κτίριο"*. 2005, 173.
- [3] **ASHRAE.** *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - District heating*. Atlanta : ASHRAE, 1996.
- [4] **Persson U., Werner S.,** Heat distribution and the future competitiveness of district heation. *Applied Energy*. 2011, Τόμ. 88.
- [5] **Martin M., Thornley P.,** *The potential for thermal storage to reduce the overall carbon emissions from district heating systems*. s.l. : Tyndall Centre for Climate Change Research, 2013.
- [6] **Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J., Hvelplund F., Mathiesen B.,** 4th Generation District Heating(4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems . *Energy* . 2014.
- [7] **Bartsch D., Eisenhauer G.,** Fernheizungen und Heizkraftwirtschaft, in Recknagel. *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. Oldenburg Verlag, 1999.
- [8] **ISOPLUS.** *Τοποθεσία Web της ISOPLUS*. [Ηλεκτρονικό] 2011. [Παραπομπή: 15 Φεβρουάριος 2017.] <http://www.isoplus.de/de/download/planungshandbuch/>.
- [9] **Ζαχαριάς Χ.** "Περιφερειακή θέρμανση πόλεων". *Τεχνικά Χρονικά*. Ιούλιος - Αύγουστος, 1989, 7-8.
- [10] **Cooling", "Committee on District Heating and.** " *District Heating And Cooling In the United States - Prospects And Issues*". s.l. : National Research Council, 1985.
- [11] **Τσικαρδάνη Ε.** *Διπλωματική Εργασία: "Περιβαλλοντική και Οικονομική Προσέγγιση της Τηλεθέρμανσης Οικισμών της Ευρύτερης Περιοχής Κοζάνης - Πτολεμαΐδας με Χρήση Ξηρού Κονιοποιημένου Λιγνίτη"*. Πάτρα : ΕΑΠ - Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, 2004.
- [12] **Δελίδης Κ.** "Τηλεθέρμανση και περιφερειακή ανάπτυξη". Αθήνα : s.n., 1988.
- [13] **Christian Keglovits.** *Güssing - An example for a sustainable energy supply*. Güssing : European Center for Renewable Energy Güssing, 2015.
- [14] **FJERNVARME, MARSTAL.** *Τοποθεσία Web της MARSTAL FJERNVARME*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://www.solarmarstal.dk/>.
- [15] **WIP Renewable Energies** . *BIOGAS HEAT: Good Practice Examples for Efficient Use of Heat from Biogas Plants* . Munich : WIP Renewable Energies, 2012.
- [16] **Opinion of the Committee of the Regions on 'Environment policy in cities and towns'**. *Τοποθεσία Web της EUR - Lex*. [Ηλεκτρονικό] 11 Ιούνιος 1998. [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:51997IR0393&from=EN>.

- [17] **Τοποθεσία Web της Swedish Environmental Protection Agency.** [Ηλεκτρονικό] Μάιος 2009.
[Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.]
<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-8399-1.pdf?pid=4082>.
- [18] **Loveless S., Hoes H., Peticlerc E., Licour L., Laenen B.,.** *Country Update for Belgium* .
Melbourne : World Geothermal Congress 2015, 2015.
- [19] **Bioenergy for Business.** *Τοποθεσία Web του Bioenergy for Business.* [Ηλεκτρονικό] 2016.
[Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://www.bioenergy4business.eu/>.
- [20] **Αραπίδης Σ.** *Πτυχιακή Εργασία: Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας - Μια Καινοτόμος Επιχείρηση Παροχής Θερμικής Ενέργειας Μέσω Λιγνιτικών Θερμοηλεκτρικών Εργοστασίων* . Καβάλα : Τ.Ε.Ι. Καβάλας - Τμήμα Μηχανολογίας, 2013.
- [21] **ΔΕ.ΤΗ.Π.** *Τοποθεσία Web της Δημοτικής Επιχείρησης Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας - ΔΕ.ΤΗ.Π.*
[Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://www.tpt.gr/>.
- [22] **ΔΕΤΕΠΑ.** *Τοποθεσία Web της Δημοτικής Επιχείρησης Τηλεθέρμανσης Ευρύτερης Περιοχής Αμυνταίου - Τεχνικά Στοιχεία.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.]
<http://www.detepa.gr/tecnica-stoixeia.html>.
- [23] **Τηλεθέρμανση Μεγαλόπολης - Ανώνυμη Εταιρεία ΟΤΑ** . *Τοποθεσία Web του Δήμου Μεγαλόπολης.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.]
<https://www.megalopolis.gov.gr/2015-03-26-13-05-52/128-dimotikes-epixeiriseis/649-tilethermanshi-megalopolis-anonymi-etairaia-ota>.
- [24] **ΘΕΡΜΗ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ.** *Τοποθεσία Web της ΘΕΡΜΗ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ Α.Ε.* [Ηλεκτρονικό]
[Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://thermie.gr/>.
- [25] **ENER SUPPLY.** *Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.* Αθήνα : s.n., 2012.
- [26] **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).** *Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.* Αθήνα : ΚΑΠΕ, 2001.
- [27] **Κατσιρή Α.** *"Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογίας - Ενέργεια από Βιομάζα"*. Αθήνα : ΕΜΠ - Σχολή Πολιτικών Μηχανικών - Τομέας Υδάτινων Πόρων και Περιβάλλοντος, 2011.
- [28] **Klass D.L.** *Biomass for renewable energy, fuels and chemicals.* *Academic Press.* 1998.
- [29] **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).** *Ενεργειακές Καλλιέργειες για την Παραγωγή Υγρών και Στερεών Βιοκαυσίμων στην Ελλάδα.* 2006.
- [30] **Ericsson K., Nilsson L.J.,** *Assessment of the potential biomass supply Europe using a resource - focused approach* . *Biomass and Bioenergy.* 2006, 30.
- [31] **Easterly J.E., Burnham M.,** *Overview of biomass and waste fuel resources for power production.* *Biomass and Bioenergy* . 1996, 10.
- [32] **Nielsen J.B.H., Oleskwicz-Popiel P., Al Seadi T.,** *Energy crop potentials for bioenergy in EU-27.* Berlin : *Proceedings of the 15th European Biomass Conference and Exhibition,* 2007.

- [33] **Γεωργιάκης Δ.** *Η Ενεργειακή Αξιοποίηση Ζωικών Αποβλήτων*. Αθήνα : Επιθέωση Αγροτικών Μελετών, 1982.
- [34] **Δαβόρας Β.** *Διπλωματική Εργασία: "Βιοκαύσιμα - Βιοαιθανόλη συμβάλλουν στη βιώσιμη λύση του ενεργειακού προβλήματος"*. Θεσσαλονίκη : ΑΠΘ- Τμήμα Χημείας, 2009.
- [35] **Φούντη Μ.** *Θεωρία και Συστήματα Κάυσης*. Αθήνα : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2005.
- [36] **Γιαννόπουλος Δ., Φούντη Μ.,** *Εισαγωγή στη Βιομάζα - Πηγές, Ιδιότητες, Βιοκαύσιμα*. Αθήνα : ΕΜΠ , 2005.
- [37] **Shelly J.R., Beall F.C., Mockus Lubin D.E.,** *"Utilization Options for Woody Biomass"*. California : University of California Forest Products Laboratory, 2000.
- [38] **Quaak P., Knoef H., Stassen H.,** *Energy from biomass -a review of combustion and gasification technologies. World Bank technical paper . Energy Series, 1999.*
- [39] **Ρεντιζέλας Α.** *Διδακτορική Διατριβή - Μοντέλα Βελτιστοποίησης Εφοδιαστικών Αλυσίδων: Εφαρμογή στην Περίπτωση της Ενεργειακής Αξιοποίησης Πολλαπλών Ειδών Βιομάζας*. Αθήνα : ΕΜΠ - Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2007.
- [40] **Παπαϊκονόμου Α.** *Διπλωματική Εργασία - "Διαχείριση Δικτύων Εφοδιαστικών Αλυσίδων για τη Παραγωγή Ενέργειας από Βιομάζα"*. Θεσσαλονίκη : Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2010.
- [41] **Οδηγός BISYPLAN.** *Τοποθεσία Web του Οδηγού BISYPLAN*. [Ηλεκτρονικό] 2012.
[Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://bisypplan.bioenarea.eu/html-files-gr/Handbook-intro.html>.
- [42] **Ιακονου Ε., Karagiannidis Α., Vlachos D., Toka Α., Malamakis Α.,** *Waste biomass - to- energy supply chain management: A critical synthesis. Waste management . 2010.*
- [43] **Rentizelas Α., Tolis Α., Tatsiopoulos Ι.,** *"Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain"*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, 13.
- [44] **Δ., Χαραλαμπόπουλος.** *Διδακτικές Σημειώσεις από το μάθημα "Βιομάζα"*. Μυτιλήνη : Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2005.
- [45] **Bridgwater Α.V., Toft Α.J.,Brammer J.G.** *A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2002.
- [46] **McKendry P.** *Energy production from biomass: Conversion technologies. Bioresource Technology*. 2002.
- [47] **Van Loo S., Koppejan J.,** *Handbook of biomass combustion and co-firing, IEA Bioenergy*. Enschede : Twente University Press, 2002.
- [48] **Obernberger Ι.** *Decentralized biomass combustion: State of the art and future development. Biomass and Bioenergy*. 1998.

- [49] **Brackmann C., Alden M., Bengtsson P., Davidsson K.O., Pettersson J.B.C.,** Optical and mass spectrometric study of the pyrolysis gas of wood particles. *Applied Spectroscopy*. 2003, 57.
- [50] **Basu P.** " *Biomass Gasification and Pyrolysis*", *Practical Design and Theory* . Oxford : Elsevier Inc. Kidlington, 2010.
- [51] **Κατσιγιάννης Π.** *Διπλωματική εργασία:Τεχνο-οικονομική Ανάλυση Συστήματος Συμπαραγωγής Μικτού Καυσίμου*. Ξάνθη : Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης - Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών , 2000.
- [52] **Λυμπεράτος Γ.** *Παραγωγή ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης στερεών αποβλήτων και υπολειμμάτων - Ημερίδα ΤΕΕ*. Πάτρα : ΤΕΕ-Τμήμα Δυτικής Ελλάδας, 2010.
- [53] **Verma S.** *Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes*. New York : Columbia University , 2002.
- [54] **A., Κατσιρή.** *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία - Ενέργεια από Βιομάζα*. Αθήνα : ΕΜΠ - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών , 2010.
- [55] **Sanchez O.J., Cardona C.A.,** Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks . *Bioresource Technology*. 2008, 99.
- [56] **Murphy J., Power N.,** A technical, economic and environmental comparison of composting and anaerobic digestion of biodegradable municipal waste. *Journal of Environmental Science and Health*. 2006.
- [57] **Φραγκόπουλος Χ., Καρυδογιάννης Η., Καραλής Γ.,** *Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας*. Αθήνα : Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας (ΕΛΚΕΠΑ), 1994.
- [58] **Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ).** *Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια.Τεχνική οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας,ΤΟΤΕΕ*. Αθήνα : s.n., 2010.
- [59] **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.** Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας. *Τοποθεσία Web Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - ΚΑΠΕ*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] http://www.cres.gr/kape/education/CHP_gr.pdf.
- [60] **Δ., Κατσαπρακάκης.** *Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων*. Χανιά : ΤΕΙ Κρήτης - Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., 2015.
- [61] **Μιχόπουλος Α.** " *Τεχνολογίες Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας-Ψύξης*". Αθήνα : Τεχνικό Περιοδικό Κτίριο, 2012.
- [62] **Μπότσαρης Π.** *Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού - Θερμότητας*. s.l. : Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.
- [63] **Bini R., Manciana E.,** " *Organic Rankine Cycle turbogenerators for combined heat and power production from biomass*". Munich : s.n., 1996.

- [64] **Obernberger I., Carlsen H., Biedermann F.,** " *State-of-the art and future developments regarding small-scale biomass CHP systems with a special focus on ORC and Stirling engine technologies*". s.l. : International Nordic Bioenergy Conference , 2003.
- [65] **Ρογκάκου Σ.** *Διπλωματική Εργασία: "Αξιοποίηση βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας και δυνατότητα ανατροφοδότησης στο δίκτυο φυσικού αερίου"*. Χανιά : Πολυτεχνείο Κρήτης - Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, 2012.
- [66] **Δεληγιάννης Ε.** *Διπλωματική Εργασία: Επέκταση Δικτύου Τηλεθέρμανσης Κοζάνης στον Οικισμό Κρόκου*. Πάτρα : Ε.Α.Π., 2016.
- [67] **Ε.Κ.Ε.Τ.Α. - Π.Δ.Μ.** "Προκαταρκτική μελέτη για την αναβάθμιση και επέκταση της εγκατάστασης τηλεθέρμανσης Κοζάνης με εναλλακτικές πηγές ενέργειας". Κοζάνη : s.n., 2013.
- [68] **EUR-Lex.** *Τοποθεσία Web της EUR-Lex - Πρόσβαση στο Δίκαιο της Ευρώπης*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 2017 Ιανουάριος 2017.] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:en:PDF>.
- [69] **Α., Ζαμπανιώτου.** "Μελέτη διαθεσιμότητας βιομάζας στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας". Θεσσαλονίκη : LIFE08ENVGR576, 2010.
- [70] **Γ.Α.Β.Ε.** *Περιφερειακό Σημείο Δικτύωσης Βιομάζας*. s.l. : Ε.Κ.Ε.Τ.Α., 2015.
- [71] **Σκούλου Β., Ζαμπανιώτου Α.,** *Δυνατότητα Ενεργειακής Αξιοποίησης Βιομάζας στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας*. Θεσσαλονίκη : LIFE08ENVGR576, 2010.
- [72] **Δήμος Κοζάνης.** *Σχέδιο Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια του Δήμου Κοζάνης*. Κοζάνη : Δήμος Κοζάνης, 2013.
- [73] **Γιαγκόζογλου Ε.** *Διπλωματική Εργασία: Αξιοποίηση Βιομάζας σε Δίκτυα Τηλεθέρμανσης - Η περίπτωση των Γρεβενών*. Πάτρα : Ε.Α.Π.- Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, 2007.
- [74] **BIO-EN-AREA.** *Χρηματοοικονομική Μελέτη πιλοτικής εφαρμογής μιας μονάδας παραγωγής πελλετών δυναμικότητας 30.000 τον. από δασικά και γεωργικά υπολείμματα στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας*. Κοζάνη : ANKO-Π.Δ.Μ., 2012.
- [75] **Ντάβος Ν.** *Διερεύνηση δυνατότητας υλοποίησης τηλεθέρμανσης με βιομάζα στην πόλη των Γρεβενών*. Γρεβενά : ΤΕΕ Τμήμα Δυτικής Μακεδονίας - Δήμος Γρεβενών, 2016.
- [76] "Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας - Μονάδα συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας με κύσιμο Βιομάζα". **Πετρίδης Ν.** Αμύνταιο : ΔΕΤΗΠ, 2015.
- [77] **National Boiler Service.** *Τοποθεσία Web της National Boiler Service*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://www.nationalboiler.com/biomass-boilers>.
- [78] **Turboden.** *Τοποθεσία Web της Turboden*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 31 Ιανουάριος 2017.] <http://www.turboden.eu/en/about/about-company.php>.
- [79] **Μαθιουδάκης Κ.** *Λειτουργία Αεριοστροβίλων και Ατμοστροβίλων*. Αθήνα : Πανεπιστημικές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2008.

- [80] **Quoilin S., Van Den Broek M., Declaye S., Dewallef P., Lemort V.,** Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013.
- [81] **Wei D., Lu X., Lu z., Gu J.,** Performance analysis and optimization of Organic Rankine Cycle (ORC) for waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*. 2007.
- [82] **Dresher U., Bruggemann D.,** Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. *Applied Thermal Engineering*. 2007.
- [83] **Ι., Χαραλαμπίδης.** Αξιολόγηση Επενδύσεων. Σάμος : Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2015.