



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Τεχνοοικονομική ανάλυση για την
διαστασιολόγηση μικρών αποκεντρωμένων
συστημάτων τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή»*

Της Φοιτήτριας

Φωτεινής – Ραφαέλας Τσαούση

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Επίκουρος Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Απρίλιος 2014

*«I've been a puppet, a pauper, a pirate,
a poet, a pawn and a king.
I've been up and down and over and out
And I know one thing:
Each time I find myself flat on my face,
I pick myself up and get back in the race»*

“That’s life” - Frank Sinatra



Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013 – 2014 στο εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων της σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας υπήρξε η μελέτη και διερεύνηση μικρών συστημάτων τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Σωτήριο Καρέλλα για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το θέμα αυτό, την άψογη συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια του στην εκπόνηση της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Γεώργιο Αγερίδη για την πολύτιμη βοήθειά του και συνεχή υποστήριξη. Ευχαριστίες οφείλω επίσης στους κ. Πέτρο Αρβανιτάκη, Λέκτορα κ. Νικόλα Αρετάκη και κ. Χρήστο Φιλιππή για την βοήθεια τους και το χρόνο που αφιέρωσαν για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.



Περίληψη

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η μελέτη της ανάπτυξης μικρών αποκεντρωμένων συστημάτων τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή. Τα μικρά αποκεντρωμένα συστήματα τηλεθέρμανσης αποτελούν σημαντική καινοτομία στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής καθώς δίνουν την δυνατότητα της αποκεντροποίησης αυτής και της αποδοτικότερης ενεργειακής κάλυψης φέρνοντας τις κοινωνίες ένα βήμα πιο κοντά στην αειφόρο ανάπτυξη. Η επιλογή της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας ως μέσο παραγωγής της ενέργειας των συστημάτων αυτών καθιστά πιο δυνατή την επίτευξη του παραπάνω στόχου. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν, αναπτύχθηκε υπολογιστικό εργαλείο διαστασιολόγησης και οικονομικής αξιολόγησης τέτοιων συστημάτων. Η βάση δεδομένων του υπολογιστικού αυτού εργαλείου περιλαμβάνει δεδομένα θερμικών καταναλώσεων για τρεις διαφορετικούς τύπους κτιρίων σε δέκα διαφορετικές ελληνικές πόλεις όπως επίσης λίστες εμπορικών μοντέλων με τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους για κάθε τεχνολογικό στοιχείο του συστήματος τηλεθέρμανσης. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιείται για κάθε τεχνολογικό στοιχείο συμπεριλαμβανομένων της μονάδας συμπαραγωγής, του συστήματος σωληνώσεων, των εναλλακτών θερμότητας των υποσταθμών, της θερμοδεξαμενής και του λέβητα αιχμής μέσω ανάλογης υπολογιστικής διαδικασίας. Ακολούθως πραγματοποιείται ο υπολογισμός των ρύπων, η ανάλυση κόστους και στην συνέχεια η οικονομική αξιολόγηση της εν λόγω επένδυσης. Μελετήθηκε έτσι η οικονομική τους βιωσιμότητα και ανταγωνιστικότητα έναντι της συμβατικής περίπτωσης σύνδεσης του πελάτη κατευθείαν με το δίκτυο φυσικού αερίου και επομένως κατά πόσο τέτοιου είδους επενδύσεις μπορούν να ευημερήσουν στον ελλαδικό χώρο. Επιπλέον, από τη μελέτη όλων των σεναρίων, έγινε μια εκτενέστατη έρευνα της επίδρασης της μεταβολής διάφορων σχεδιαστικών παραμέτρων των συστημάτων τηλεθέρμανσης – συμπαραγωγής μικρής κλίμακας στην επιτυχή λειτουργία του συστήματος και την κερδοφορία αυτού. Έτσι, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της πιθανής ενσωμάτωσης τους σε εθνικά ηλεκτρικά δίκτυα με σκοπό την αποφόρτιση της κεντρικής ηλεκτροπαραγωγής. Τέλος, για τα συστήματα τηλεθέρμανσης-συμπαραγωγής που εξετάστηκαν, αναπτύχθηκε υπολογιστικό εργαλείο που συμβάλλει στη διερεύνηση και εξαγωγή συμπερασμάτων, σχετικά με την ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα, προσαρμοζόμενο στις εκάστοτε επιθυμητές συνθήκες.



Abstract

The aim of this Diploma Thesis is studying the development of small decentralized district heating cogeneration systems. Small decentralized district heating systems render a great innovation in the energy sector because they enable the decentralization of power production and the more efficient coverage of energy demands, bringing communities one step closer to sustainable development. The selection of cogeneration of heat and electricity as the means of energy production of these systems renders the above goal more easily achieved. For the purposes mentioned, a computational tool was developed which is used for the dimensioning and the economic evaluation of these systems. The data base of this computational tool includes data for the thermal consumption of three different types of buildings in ten different Greek cities as well as lists of commercial models for all the basic technological elements of the district heating system. The dimensioning is performed for each technological element including the chp unit, the pipeline system, the heat exchangers of the substations, the storage tank and the backup boiler through the respective computational process. What is more, the emissions' calculation and the cost analysis of the system are performed followed by the economic evaluation of the investment. Thus, the economic viability and competitiveness of these systems over the conventional case of direct connection of customers to the natural gas grid were examined and as a result whether such investments can prosper in Greece. Furthermore, the analysis of all studied scenarios enabled the extensive investigation of the effect of the variation of different design parameters of small district heating systems to their successful operation and profitability. Therefore, an investigation was performed, of the possible integration of these systems to the national electricity grid in order to discharge central power production. In conclusion, for the district heating chp systems that were tested, a computational tool was developed that contributes into investigating and arriving in conclusions on the energy and economic efficiency of such systems, being able to adjust to the different desired conditions.



Περιεχόμενα

Πρόλογος	5
Περίληψη	7
Abstract	9
Περιεχόμενα	11
Περιεχόμενα Εικόνων	15
Περιεχόμενα Πινάκων	17
Περιεχόμενα Διαγραμμάτων.....	19
1. Εισαγωγή.....	21
1.1. Αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα	21
1.1.1. Ορισμός.....	21
1.2. Συμπαραγωγή	27
1.2.1. Ορισμός.....	27
1.3. Τηλεθέρμανση	32
1.3.1. Ορισμός.....	32
1.3.2. Βασικές Παράμετροι βιωσιμότητας συστημάτων τηλεθέρμανσης	36
1.4. Αντικειμενοστραφής Προγραμματισμός σε γλώσσα C#	40
2. Διαμόρφωση πλαισίου σεναρίων.....	43
2.1. Σταθερές και παραδοχές κώδικα	43
2.1.1. Διαθέσιμοι τύποι κτιρίων	43
2.1.2. Χρονικό διάστημα μελέτης.....	43
2.1.3. Αριθμός κτιρίων που συνιστούν το οικιστικό σύστημα.....	44
2.1.4. Υπολογισμός καμπύλης διάρκειας.....	44
2.2. Διάταξη συστήματος	46
2.3. Θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής	48
2.4. Περιγραφή συστήματος	55
2.4.1. Διασύνδεση χρήστη.....	56
2.4.2. Εναλλάκτες θερμότητας	58
2.4.3. Ζεστό νερό χρήσης	60
2.4.4. Σύστημα σωληνώσεων	61
2.4.5. Κεντρική Μηχανή	65
2.4.6. Θερμοδεξαμενή	68



2.4.7.	Τεχνολογία Αιχμής.....	73
2.5.	Διαστασιολόγηση συστήματος	73
2.5.1.	Εναλλάκτες θερμότητας.....	74
2.5.2.	Σωληνώσεις.....	75
2.5.3.	Κεντρική Μηχανή.....	77
2.5.4.	Θερμοδεξαμενή.....	78
2.5.5.	Τεχνολογία Αιχμής.....	80
2.6.	Κοστολόγηση	81
2.6.1.	Υπολογισμός ετήσιας λειτουργίας συστήματος.....	81
2.6.2.	Αρχικό κόστος.....	84
2.6.2.1.	Τιμή κεντρικής μηχανής.....	84
2.6.2.2.	Τιμή λέβητα αιχμής.....	84
2.6.2.3.	Τιμή θερμοδεξαμενής.....	84
2.6.2.4.	Τιμή αγοράς και τοποθέτησης των σωλήνων μεταφοράς και διανομής.....	84
2.6.2.5.	Τιμή μετατροπής κατοικιών.....	86
2.6.3.	Λειτουργικό κόστος.....	87
2.6.3.1.	Λειτουργία & Συντήρηση κεντρικής μηχανής & λέβητα αιχμής.....	87
2.6.3.2.	Λειτουργία σωληνώσεων.....	87
2.6.3.3.	Προσωπικό.....	87
2.6.4.	Ετήσια Έσοδα.....	88
2.6.4.1.	Έσοδα από την πώληση της θερμικής ενέργειας στους καταναλωτές.....	88
2.6.4.2.	Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας.....	88
2.7.	Αξιολόγηση Επένδυσης	90
2.7.1.	Συντελεστές απόσβεσης.....	92
2.7.2.	Φορολογικός συντελεστής και θεωρούμενο επιτόκιο αναγωγής.....	92
2.7.3.	Διαδικασία υπολογισμού.....	92
2.8.	Υπολογισμός εκπομπών	94
2.9.	Δομή εφαρμογής	96
3.	Αποτελέσματα επιλεγμένων σεναρίων – Κριτική αποτελεσμάτων.....	107
3.1.	Θεωρούμενα Σενάρια	107
3.1.1.	Σενάριο 1: Εννέα διώροφες πολυκατοικίες σε πυκνοκατοικημένη περιοχή της Αθήνας χωρίς την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Φεβρουάριο.....	107
3.1.2.	Σενάριο 2: Παραλλαγή του Σεναρίου 1 με αλλαγές στις σχεδιαστικές παραμέτρους...	112
3.1.3.	Σενάριο 3: Εννέα διώροφες πολυκατοικίες σε πυκνοκατοικημένη περιοχή της Αθήνας με την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Φεβρουάριο.....	114



3.1.4.	Σενάριο 4: Υποθετικό σενάριο 9 τριώροφων πολυκατοικιών θεωρώντας πυκνοκατοικημένη περιοχή με την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Απρίλιο	116
3.1.5.	Σενάριο 5: Υποθετικό σενάριο 9 τριώροφων πολυκατοικιών θεωρώντας πυκνοκατοικημένη περιοχή χωρίς την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Απρίλιο	121
3.2.	Μεταβολή του χρονικού διαστήματος ενεργειακής κάλυψης από το σύστημα	122
3.3.	Μεταβολή του θερμικού φορτίου διαστασιολόγησης της κεντρικής μηχανής	124
3.4.	Ύπαρξη ή όχι θερμοδεξαμενής	129
3.5.	Μεταβολή της ακτίνας έκτασης της θεωρούμενης περιοχής	131
3.6.	Μεταβολή τιμών κοστολόγησης	137
3.6.1.	Μεταβολή της τιμής πώλησης της θερμικής ενέργειας από το σύστημα.....	137
3.6.2.	Μεταβολή της τιμής αγοράς φυσικού αερίου.....	138
3.6.3.	Μεταβολή της μέσης Μηνιαίας Τιμής Φυσικού Αερίου (ΜΤΦΑ).....	140
3.7.	Μεταβολή της πόλης εφαρμογής του σεναρίου	142
3.8.	Εκπομπές ρύπων ανά πόλη	144
3.9.	Νέο σχέδιο νόμου περί της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο	147
4.	Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές ενέργειες.....	151
4.1.	Συμπεράσματα	151
4.2.	Προτάσεις για μελλοντικές ενέργειες	152
5.	Βιβλιογραφία.....	155
6.	Παράρτημα.....	159
6.1.	Αρχεία δεδομένων εφαρμογής	159
6.1.1.	Θερμικά και ηλεκτρικά φορτία κτιρίων και πόλεων.....	159
6.1.2.	Κατασκευαστές και μοντέλα.....	163



Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Βασική ιδέα αποκεντρωμένης ενέργειας	22
Εικόνα 2. Σύγκριση συμβατικού συστήματος με σύστημα συμπαραγωγής	28
Εικόνα 3. Ηλεκτρική ισχύς παραγόμενη από συμπαραγωγή σε περίπτωση διείσδυσης αυτής κατά 10% στο ηλεκτρικό δίκτυο με ισχύ 5 KWel σε νοικοκυριά στην Ευρώπη	31
Εικόνα 4. Βασική ιδέα τηλεθέρμανσης	34
Εικόνα 5. Καμπύλη Διάρκειας και χρήση της για διαστασιολόγηση τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή	46
Εικόνα 6. Καμπύλη θερμοκρασιών παροχής και επιστροφής συστήματος τηλεθέρμανσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος	52
Εικόνα 7. Καμπύλη θερμοκρασίας παροχής συστήματος τηλεθέρμανσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος για συστήματα υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας.....	53
Εικόνα 8. Αναπαράσταση συστήματος τηλεθέρμανσης με προτεινόμενες θερμοκρασίες	55
Εικόνα 9. Αναπαράσταση έμμεσης διασύνδεσης χρήστη	57
Εικόνα 10. Αναπαράσταση άμεσης διασύνδεση χρήστη	58
Εικόνα 11. Διάγραμμα πίεσης για το δίκτυο σωληνώσεων παροχής και επιστροφής συστήματος τηλεθέρμανσης συναρτήσει της απόστασης από το σημείο παραγωγής ενέργειας	62
Εικόνα 12. Τηλεθέρμανση και συμπαραγωγή με: αριστερά: ΜΕΚ, δεξιά: Αεριοστρόβιλο	66
Εικόνα 13. Τηλεθέρμανση και συμπαραγωγή με: αριστερά: Συνδυασμένο Κύκλο Αεριοστρόβιλου, δεξιά: λέβητα Ενεργειακών αποβλήτων ή βιομάζας και Αεριοστρόβιλο.....	66
Εικόνα 14. Φόρτιση και αποφόρτιση θερμοδεξαμενής σε πλήρη και μερική απασχόληση	70
Εικόνα 15. Απλό σχεδιάγραμμα μιας θερμοδεξαμενής.....	71
Εικόνα 16. Καμπύλη Διάρκειας από επιλεγμένο σενάριο.....	78
Εικόνα 17. Ημερήσια καμπύλη θερμικών φορτίων από επιλεγμένο σενάριο	79
Εικόνα 18. Σενάριο 4: Παράδειγμα Οικονομικής Αξιολόγησης - Ιωάννινα.....	93
Εικόνα 19. Επιλογή αρχικών δεδομένων συστήματος τηλεθέρμανσης	96
Εικόνα 20. Επιλογή τύπου κτιρίων και εισαγωγή συντεταγμένων κτιρίων και κεντρικής μονάδας.....	96
Εικόνα 21. Διαμόρφωση δικτύου σωληνώσεων του συστήματος τηλεθέρμανσης.....	97
Εικόνα 22. Διαστασιολόγηση εναλλακτών θερμότητας	98
Εικόνα 23. Διαστασιολόγηση σωληνώσεων μεταφοράς και διανομής.....	98
Εικόνα 24. Υπολογισμός βασικού φορτίου, φορτίου αιχμής και άλλων βασικών στοιχείων του συστήματος	99
Εικόνα 25. Σχεδίαση της καμπύλης διάρκειας.....	99
Εικόνα 26. Επιλογή τύπου τεχνολογίας και αντίστοιχου μοντέλου.....	100



Εικόνα 27. Διαστασιολόγηση θερμοδεξαμενής	101
Εικόνα 28. Διαστασιολόγηση τεχνολογίας κάλυψης φορτίου αιχμής.....	102
Εικόνα 29. Υπολογισμός ετήσιας λειτουργίας	102
Εικόνα 30. Ετήσια δεδομένα συστήματος.....	103
Εικόνα 31. Εισαγωγή οικονομικών δεδομένων συστήματος	104
Εικόνα 32. Κοστολόγηση συστήματος	105
Εικόνα 33. Οικονομική αξιολόγηση συστήματος	105
Εικόνα 34. Θεωρούμενη περιοχή Σεναρίου 1	108
Εικόνα 35. Σενάριο 1: Καμπύλη διάρκειας.....	111
Εικόνα 36. Σενάριο 3: Καμπύλη ημερήσιων θερμικών φορτίων για τον μήνα Ιανουάριο	115
Εικόνα 37. Σενάριο4: Θεωρούμενη περιοχή	116
Εικόνα 38. Σενάριο 4: Καμπύλη διάρκειας.....	119
Εικόνα 39. Σενάριο 4: Καμπύλη ημερήσιας κατανάλωσης για τον μήνα Ιανουάριο.....	120
Εικόνα 40. Θεωρούμενη περιοχή. Αριστερά : υποσενάριο 4.1, δεξιά: υποσενάριο 4.2	132
Εικόνα 41. Θεωρούμενη περιοχή. Αριστερά : υποσενάριο 4.3, δεξιά: υποσενάριο 4.4	132
Εικόνα 42. Θεωρούμενη περιοχή υποσενάριο 4.5	132



Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Βασικές τεχνολογίες (ορυκτά ή ανανεώσιμα) που χρησιμοποιούνται στα αποκεντρωμένα συστήματα	23
Πίνακας 2. Βασικές τεχνολογίες (ανανεώσιμα) που χρησιμοποιούνται στα αποκεντρωμένα συστήματα	24
Πίνακας 3. Πρότυπα Σχεδίασης συστήματος τηλεθέρμανσης	38
Πίνακας 4. Τύποι κτιρίων και χαρακτηριστικά	43
Πίνακας 5. Τιμές θερμοκρασιών παροχής και επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος σε διάφορες χώρες	48
Πίνακας 6. Τυπικές τιμές λειτουργίας συστήματος τηλεθέρμανσης.....	49
Πίνακας 7. Εκτιμώμενη, ρεαλιστική και ιδανική τιμή θερμοκρασιών παροχής και επιστροφής πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ρεύματος	50
Πίνακας 8. Προτεινόμενες τιμές λειτουργίας για συστήματα τηλεθέρμανσης	54
Πίνακας 9. Θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής στον εναλλάκτη	61
Πίνακας 10. Κόστος αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων (€/m) ανά διάμετρο	85
Πίνακας 11. Συντελεστές εκπομπών	94
Πίνακας 12. Σενάριο 1: Συντεταγμένες κτιρίων συνδεδεμένων στο σύστημα τηλεθέρμανσης.....	109
Πίνακας 13. Σενάριο 1: Συντεταγμένες κεντρικής μονάδας	109
Πίνακας 14. Σενάριο 1: Συντεταγμένες τελικού σημείου σωλήνων μεταφοράς.....	109
Πίνακας 15. Σενάριο 1: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	110
Πίνακας 16. Σενάριο 1: Κεντρική μονάδα	110
Πίνακας 17. Σενάριο 1: Τεχνολογία αιχμής.....	110
Πίνακας 18. Σενάριο 1: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης.....	111
Πίνακας 19. Σενάριο 2: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	112
Πίνακας 20. Σενάριο 2: Κεντρική μονάδα	112
Πίνακας 21. Σενάριο 2: Τεχνολογία αιχμής	113
Πίνακας 22. Σενάριο 2: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης.....	113
Πίνακας 23. Σενάριο 3: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	114
Πίνακας 24. Σενάριο 3: Κεντρική μονάδα	114
Πίνακας 25. Σενάριο 3: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης.....	115
Πίνακας 26. Σενάριο 4: Συντεταγμένες κτιρίων συνδεδεμένων στο σύστημα τηλεθέρμανσης.....	117
Πίνακας 27. Σενάριο 4: Συντεταγμένες κεντρικής μονάδας	117
Πίνακας 28. Σενάριο 4: Συντεταγμένες τελικού σημείου σωλήνων μεταφοράς.....	118
Πίνακας 29. Σενάριο 4: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	118



Πίνακας 30. Σενάριο 4: Κεντρική μονάδα	118
Πίνακας 31. Σενάριο 4: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης.....	119
Πίνακας 32. Σενάριο 5: Κεντρική μονάδα	121
Πίνακας 33. Σενάριο 5: Τεχνολογία αιχμής	121
Πίνακας 34. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του θεωρούμενου χρονικού διαστήματος	122
Πίνακας 35. Ακτίνα, εμβαδό περιοχής και συνολικό μήκος σωληνώσεων για τα υποσενάρια 4.1 έως 4.5	133
Πίνακας 36. Ενεργειακή πυκνότητα, φορτίο γραμμής και προκύπτων IRR για τα υποσενάρια 4.1 έως 4.5.....	133
Πίνακας 37. Δείκτες εκπομπών διασυνδεδεμένου συστήματος (2010)	146
Πίνακας 38. Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO ₂ και αντίστοιχα IRR και αποπληρωμή βάσει νέου σχεδίου νόμου.....	148
Πίνακας 39. Κοστολόγηση σεναρίου 4 για τον ισχύοντα νόμο και το νέο σχέδιο νόμου.....	149



Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του θεωρούμενου χρονικού διαστήματος.....	123
Διάγραμμα 2. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης θερμικής ισχύος ανεξαρτήτως εταιρείας.....	125
Διάγραμμα 3. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης ηλεκτρικής ισχύος ανεξαρτήτως εταιρείας.....	126
Διάγραμμα 4. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας SOKATHERM.....	127
Διάγραμμα 5. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας OET.....	127
Διάγραμμα 6. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας EAW	128
Διάγραμμα 7. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας Bosch	129
Διάγραμμα 8. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του φορτίου διαστασιολόγησης για ύπαρξη και μη θερμοδεξαμενής (Σενάρια 2 και 3).....	130
Διάγραμμα 9. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του φορτίου διαστασιολόγησης για ύπαρξη και μη θερμοδεξαμενής (Σενάρια 4 και 5).....	131
Διάγραμμα 10. Ενεργειακή πυκνότητα συναρτήσει της ακτίνας περιοχής.....	134
Διάγραμμα 11. Φορτίο γραμμής συναρτήσει της ακτίνας της περιοχής.....	135
Διάγραμμα 12. Ποσοστιαία μεταβολή IRR συναρτήσει ποσοστιαίας συσσωρευτικής μεταβολής ενεργειακής πυκνότητας και φορτίου γραμμής.....	136
Διάγραμμα 13. IRR συναρτήσει της τιμής πώλησης της θερμικής ενέργειας στους χρήστες	137
Διάγραμμα 14. IRR συναρτήσει της τιμής αγοράς του Φ.Α./μήνα.....	139
Διάγραμμα 15. Σχέση τιμής Φ.Α. - IRR.....	140
Διάγραμμα 16. IRR συναρτήσει του ΜΤΦΑ /μήνα	141
Διάγραμμα 17. Σχέση ΜΤΦΑ με IRR.....	142
Διάγραμμα 18. Μεταβολή IRR συναρτήσει πόλης.....	143
Διάγραμμα 19. Εκπομπές CO ₂ (kg)	144
Διάγραμμα 20. Εκπομπές NO _x (kg).....	145
Διάγραμμα 21. Σύγκριση εκπομπών CO ₂ συστήματος τηλεθέρμανσης και συμβατικής περίπτωσης.	146
Διάγραμμα 22. Σύγκριση εκπομπών NO _x συστήματος τηλεθέρμανσης και συμβατικής περίπτωσης.	147
Διάγραμμα 23. IRR συναρτήσει της Μέσης Τιμής Δικαιωμάτων CO ₂ σύμφωνα με τον νέο νόμο (Μάρτιος 2014)	149
Διάγραμμα 24. Σύγκριση χρόνου αποπληρωμής σεναρίου 4 με τον ισχύοντα νόμο και το νέο σχέδιο νόμου.....	150



1. Εισαγωγή

1.1. Αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα

1.1.1. Ορισμός

Η WADE (World Alliance for Decentralized Energy) ορίζει την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας (ΑΕ) ως την παραγωγή ηλεκτρισμού στο σημείο ή κοντά στο σημείο της κατανάλωσης, ανεξάρτητα από το μέγεθος, το καύσιμο ή την τεχνολογία. Τα αποκεντρωμένα ή διανεμημένα συστήματα ενέργειας (decentralized or distributed energy systems) επομένως αποτελούν συστήματα παραγωγής συνήθως μικρού ή μεσαίου μεγέθους, τοποθετημένα κοντά στους καταναλωτές που πολλές φορές τροφοδοτούν με ποικίλες μορφές ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρισμός) γεγονός που καλείται και «πολυπαραγωγή» («polygeneration»). Αντίθετα, στην κεντρική ηλεκτροπαραγωγή, οι σταθμοί είναι συνήθως μεγαλύτερου μεγέθους και η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, εξυπηρετεί την κατανάλωση μιας περιοχής πολύ μεγάλης σε έκταση καθώς και κατανάλωση που τοποθετείται σε πολύ μεγάλη απόσταση από τον ίδιο τον σταθμό. Τα αποκεντρωμένα συστήματα έχουν την δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο αλλά και πλήρους ανεξάρτητης λειτουργίας όπου τροφοδοτούν αποκλειστικά την τοπική κατανάλωση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν επομένως για την ενεργειακή κάλυψη του φορτίου αιχμής του δικτύου, προσφέροντας μεγαλύτερη αξιοπιστία αλλά και για την κάλυψη απομακρυσμένων αγροτικών οικισμών ή πυκνοκατοικημένων περιοχών δημιουργώντας τα λεγόμενα «minigrids». Στην εικόνα 1 σκιαγραφείται η βασική ιδέα της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας [1].



η μείωση του κόστους εγκατάστασης των κυψελών καυσίμου και η διασφάλιση της ασφαλούς αποθήκευσης του υδρογόνου. Στους πίνακες 1 και 2 που ακολουθούν διαφαίνονται οι βασικές τεχνολογίες αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας [3].

Πίνακας 1. Βασικές τεχνολογίες (ορυκτά ή ανανεώσιμα) που χρησιμοποιούνται στα αποκεντρωμένα συστήματα

ΟΡΥΚΤΑ Ή ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΑ							
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Μικροί Ατμο-στρόβιλοι	Αεριο-στρόβιλοι	Μικρο - στρόβιλοι	ΜΕΚ	Μηχανές Stirling	Κυψέλες καυσίμου (Υψηλών θερμοκρ.)	Κυψέλες καυσίμου (Χαμηλών θερμοκρ.)
Τύπος καυσίμου	Αέριο, άνθρακας, βιομάζα	αέριο	αέριο	Diesel, πετρέλαιο, βιοκαύσιμο, αέριο	Αέριο, ηλιακή	Αέριο, υδρογόνο	Αέριο, υδρογόνο
Εύρος ισχύος	0.5 – 10+	0.5 – 10+	0.03-0.5	0.5 – 10+	<0.01-1+	1-10+	<0.1-3+
Κατάσταση	Εμπορική	Εμπορική	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική	Εμπορική	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική
Οικονομικά	€	€	€€	€	€€€€	€€€	€€€
Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά	α/αα	α/αα	αα	α/ααα	αα	αα/ααα	αα/ααα
Κοινωνική κινητοποίηση	●	●●	●●	●	●●/●●●	●●●	●●●
Πραγματική ανάπτυξη	Υψηλή	Υψηλή	Μικρή, αυξανόμενη	Υψηλή	Μικρή	Μικρή, αυξανόμενη	Μικρή, αυξανόμενη
Βιομηχανική	●●●	●●●	●	●●●	●	●●●	●●
Εμπορική	●	●●	●●	●●●	●●●	●	●●●
Οικιστική	-	-	●●●	●●	●●/●●●	-	●●●

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΕΦΑΡΜΟ



ΚΟΣΤΗ	Πιθανή για Συμπαραγωγή	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
	Αρχικό κόστος [€kW]	550-1250	550-1100	1000-2000	350-1000	1500-8000	3500-10000	2000-8000
	Εγκατάσταση [€kW]	100-200	65-150	50-200	60-120	40-200	500-850	500-850
	Κόστος ηλεκτροπαραγωγής [€/ct/kW]	3-7	3-5	8-15	4-7	9-15	15-35	10-25
	Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής	20	20	20	20	15	10	10

Πίνακας 2. Βασικές τεχνολογίες (ανανεώσιμα) που χρησιμοποιούνται στα αποκεντρωμένα συστήματα

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΑ							
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Φωτοβολταϊκά	Μικρά Υδροηλεκτρικά	Αιολικά πάρκα (onshore)	Αιολικά πάρκα (offshore)	Γεωθερμία	Ηλιακή Θερμική Ενέργεια	
ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Τύπος καυσίμου	Ηλιακή Ενέργεια	νερό	άνεμος	άνεμος	Εσωτερική θερμότητα γης	Ηλιακή Ενέργεια
	Εύρος ισχύος	<0.001-5	0.05-1	0.5-6+	5-10+	0.5-3+	<0.001-2
	Κατάσταση	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική	Εμπορική	Εμπορική	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική	Αναπτυσσόμενη/Εμπορική
	Οικονομικά	€€€	€€€	€€€	€€€	€€	€€€
	Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά	ααα	ααα	ααα	ααα	ααα	ααα
	Κοινωνική κινητοποίηση	●●●	●●●	●●●	●●●	●●	●●●
Πραγματική ανάπτυξη	Μικρή, ραγδαία αυξανόμεν	Μέτρια	Μέτρια	Μικρή, ραγδαία αυξανόμε	Μικρή	Μικρή	



	η			νη			
ΕΦΑΡΜΟΓΗ	Βιομηχανική	•	••	••	-	-	-
	Εμπορική	••	•	•	-	-	-
	Οικιστική	•••	-	-	-	-	-
	Πιθανή για Συμπαραγωγή	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
ΚΟΣΤΗ	Αρχικό κόστος [€kW]	4000-8000	1400-5000	800-2000	1200-3000	800-4000	1500-2000
	Εγκατάσταση [€kW]	40-150	100-200	100-200	600-800	200-400	100-200
	Κόστος ηλεκτροπαραγωγής [€/kW]	20-40	6-14	6-10	8-15	NA	NA
	Εκτιμώμενη διάρκεια ζωής	20	60	20	20	20	20

Η ανάγκη για την υποστήριξη και ανάπτυξη της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας αναπτύχθηκε κυρίως λόγω της αυξημένης αναγκαιότητας για ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού και προστασίας του περιβάλλοντος. Ανησυχίες σχετικά με την μελλοντική ύπαρξη επαρκούς εφοδιασμού πετρελαίου ή φυσικού αερίου μπορεί να οδηγήσουν στην ανάπτυξη μονάδων low-carbon, μονάδων που θα βασίζονται σε πυρηνική ενέργεια, ανανεώσιμες πηγές και σε τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης του άνθρακα. Επιπλέον, είναι πιθανό να οδηγήσουν σε αύξηση της χρήσης άνθρακα σε κράτη με μεγάλα αποθέματα με σκοπό την ενεργειακή τους εξασφάλιση. Όσον αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν με την αξιοποίηση καθαρών τεχνολογιών (ΑΠΕ) και την ανάπτυξη νέων, όπως η δέσμευση άνθρακα στις διαδικασίες καύσης. Η ενσωμάτωση της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιεί τοπικές ενεργειακές πηγές σε δίκτυα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί προς την επίτευξη των παραπάνω στόχων καθώς προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία, έχει πολύ μικρότερο χρόνο κατασκευής και μεγαλύτερη αποδοτικότητα καθώς σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας [4]. Η αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας τείνει να μειώνει το κόστος την ηλεκτρικής ενέργειας, την μόλυνση και την παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου. Η



αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας δεν αναμένεται να αντικαταστήσει ολοκληρωτικά την κεντρική ηλεκτροπαραγωγή αλλά προβλέπεται να καταλάβει ένα μεγάλο μερίδιο με σημαντικά οφέλη για την αγορά ενέργειας, τους καταναλωτές και το περιβάλλον. Τα αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα προσφέρουν πολλά οφέλη μεταξύ των οποίων την αποφυγή γραμμών μεταφοράς μεγάλου μήκους με τα συνεπαγόμενα κόστη κατασκευής και τις σημαντικές απώλειες ηλεκτρικής ισχύος, αυξημένη εξισορρόπηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας καθώς γειτνιάζουν με την ζήτηση. Ωστόσο, και στα αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα τίθενται θέματα αξιοπιστίας, περιορισμών ισχύος και εξόδων.

Σύμφωνα με αναφορά που δημοσίευσε η WADE το 2005, στα τέλη του 2004 μόνο το 7.2% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής προερχόταν από αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα, με συνολική ισχύ τα 281.9 GWel. Η συνολική ικανότητα ισχύος των αποκεντρωμένων ενεργειακών συστημάτων επεκτάθηκε κατά 11.4 % μεταξύ του 2002 και του 2004, με το μεγαλύτερο ποσοστό να χρησιμοποιεί ως ενεργειακή πηγή μονάδες συμπαραγωγής με φυσικό αέριο ή βιοαέριο για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ψύξης χώρου και ζεστού νερού χρήσης σε βιομηχανικά ή οικιστικά κτίρια. Η Ινδία έχει ήδη ενσωματώσει την αποκεντρωμένη ενέργεια στο σύστημα της για να αυξήσει την αξιοπιστία, ενώ η Βραζιλία, η Αυστραλία και άλλες χώρες ενσωματώνουν μονάδες συμπαραγωγής που χρησιμοποιούν αγροτικά υπολείμματα, όπως ζαχαροκάλαμου και άλλα. Η Βραζιλία έχει την δυνατότητα να παράγει το 11 % της ηλεκτρικής ενέργειας από αυτή την πηγή. Η Κίνα προσθέτει επίσης αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε κάποιες από τις μεγαλύτερες πόλεις έχοντας συνολική ισχύ 50 GWel το 2004. Το 2005, το 24% της παγκόσμιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις καινούργιες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, προερχόταν από αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα. Η Ευρωπαϊκή αγορά αναμένεται να επεκταθεί επίσης ακολουθώντας τις Οδηγίες του 2003 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την συμπαραγωγή και την ενεργειακή αποδοτικότητα. Η Ευρώπη ξεκινά την μεταβολή από ένα συγκεντρωτικό και βασισμένο σε ορυκτά καύσιμα και πυρηνική τεχνολογία σύστημα σε ένα πιο αποκεντρωτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο θα στηρίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό στην παραγωγή μικρής κλίμακας (ανάλογα με την διαθεσιμότητα της πηγής) από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μονάδες συμπαραγωγής, επιτρέποντας την μεγαλύτερη ενεργή συμμετοχή των καταναλωτών μετατρέποντάς τους και σε παραγωγούς (prosumers). Η μεταβολή αυτή υπαγορεύεται από πολλούς παράγοντες όπως η ανάγκη καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής με την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με τα



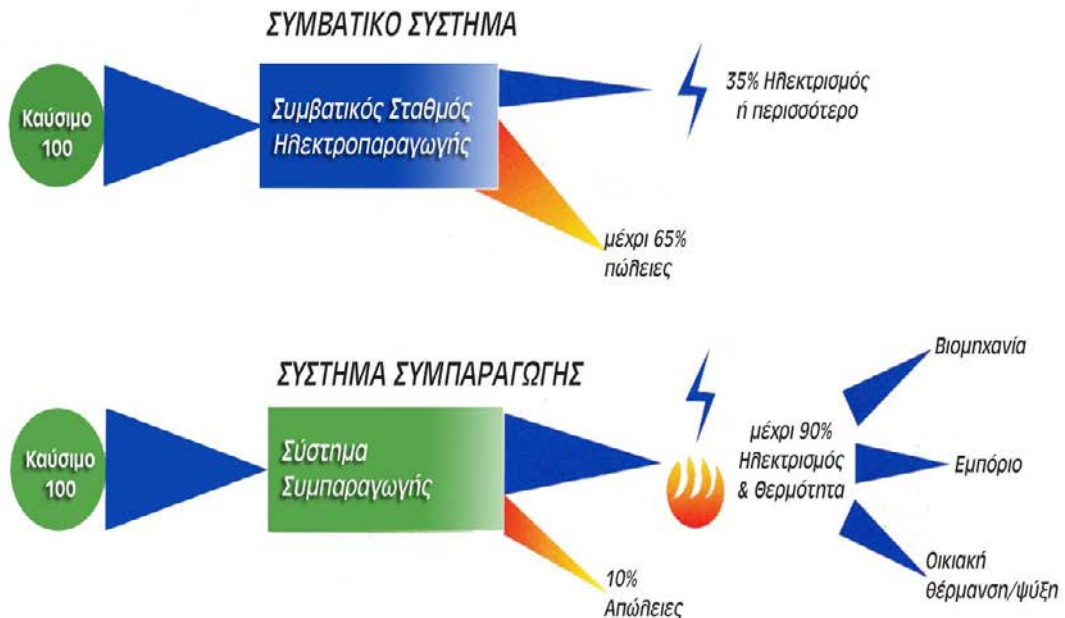
επίπεδα του 1999 έως το 2020, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βάσει του στόχου της επίτευξης ενός μεριδίου 20% του ενεργειακού μίγματος έως το 2020, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20% έως το 2020 σε σχέση με τις προβλέψεις του σεναρίου αναφοράς (business as usual), η όλο και μεγαλύτερη ανησυχία για την διασφάλιση της ενεργειακής τροφοδοσίας λόγω των γεωπολιτικών εξελίξεων και η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις ευρωπαϊκές χώρες. Οι παραπάνω στόχοι αφορούν όλο το σύστημα το οποίο έχει από μόνο του μικρούς βαθμούς ευελιξίας καθώς αποτελείται από μακροπρόθεσμες επενδύσεις. Υπάρχουν ακόμα υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε λειτουργία εδώ και πολλές δεκαετίες και μονάδες πυρηνικής τεχνολογίας που βρίσκονταν υπό κατασκευή κατά το 2010 και ίσως βρίσκονται ακόμα (παραδείγματα χωρών αποτελούν η Γαλλία και η Φιλανδία) τα οποία θα λειτουργούν για τα επόμενα 60 χρόνια. Έτσι, η ανάπτυξη των συνθηκών προσδιορισμού και διαμόρφωσης της μελλοντικής εικόνας του συστήματος πρέπει να τεθεί από πολλά χρόνια πριν, γεγονός που αφορά άμεσα την διαχείριση της διείσδυσης των αποκεντρωμένων ενεργειακών συστημάτων στο ευρωπαϊκό δίκτυο. Η πανευρωπαϊκή μακροπρόθεσμη προσπάθεια για την εφαρμογή και τον συντονισμό αυτής της αναγκαίας αλλαγής αποτελεί δύσκολο στόχο για την Ευρώπη καθώς περιλαμβάνει ευρεία θέματα τεχνολογίας, νομοθεσίας, πολιτικής και επενδύσεων.

1.2. Συμπαραγωγή

1.2.1. Ορισμός

Ως συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ή ΣΗΘ ορίζεται η ταυτόχρονη παραγωγή από μια μονάδα και στα πλαίσια μιας διαδικασίας, δύο ή περισσότερων μορφών χρήσιμης ενέργειας. Στις μονάδες συμπαραγωγής η χημική ενέργεια του καύσιμου μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική ενέργεια. Η μηχανική ενέργεια γίνεται ηλεκτρική, ενώ η θερμική αξιοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές ή για την θέρμανση χώρων, ζεστού νερού ή ατμού. Οι μονάδες συμπαραγωγής έχουν καλύτερη ενεργειακή απόδοση καθώς αξιοποιούν μεγαλύτερο μέρος του ενεργειακού περιεχομένου, αξιοποιώντας την αλλιώς απορριπτόμενη θερμότητα της διεργασίας παραγωγής μηχανικής ή ηλεκτρικής ισχύος. Επομένως, το βασικό προϊόν των περισσότερων μονάδων συμπαραγωγής αποτελεί η θερμική ισχύς που αξιοποιείται συνήθως μέσω εναλλακτών θερμότητας και παραπροϊόν της διεργασίας αποτελεί η ηλεκτρική ενέργεια. Στην εικόνα 2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση ανάμεσα σε ένα συμβατικό σύστημα

με ξεχωριστές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με μια μονάδα συμπαραγωγής.



Εικόνα 2. Σύγκριση συμβατικού συστήματος με σύστημα συμπαραγωγής.

Είναι γεγονός ότι τα θερμικά ενεργειακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύς με λιγνίτη σε εθνικό επίπεδο, σπάνια επιτυγχάνουν βαθμούς απόδοσης μεγαλύτερους του 33 - 35%, ενώ οι απλοί σταθμοί φυσικού αερίου και συνδυασμένου κύκλου έχουν βαθμούς απόδοσης από 40 μέχρι 50%. Αντίθετα, οι μονάδες συμπαραγωγής και ειδικά αυτές υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ), λόγω της ανακύκλωσης της αλλιώς απορριπτόμενης θερμότητας επιτυγχάνουν ολικούς βαθμούς απόδοσης μέχρι και 85% [2]. Επομένως, η συμπαραγωγή αποτελεί σημαντικότερη τεχνολογική δυνατότητα για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας. Στην συμβατική παραγωγή ενέργειας, περίπου τα 2/3 της αρχικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος χάνεται υπό την μορφή απορριπτόμενης θερμότητας. Με τον βαθμό απόδοσης που επιτυγχάνουν οι σύγχρονες μονάδες συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης, συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, στην εξυπηρέτηση ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας, στην μείωση του κόστους και στην μείωση των εκπομπών διοξειδίου άνθρακα ανά παραγόμενη ηλεκτρική κιλοβατώρα.



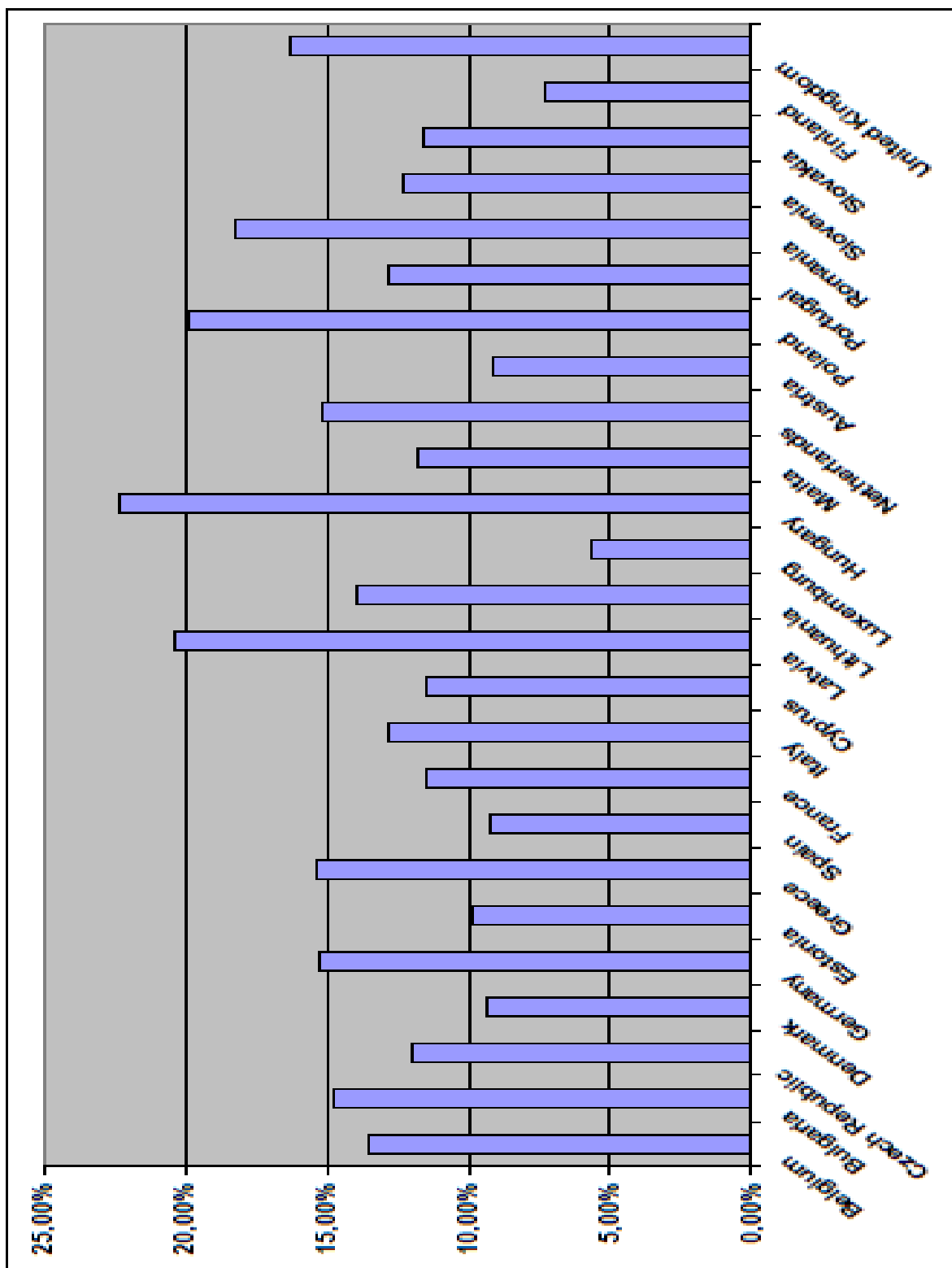
Τα συστήματα συμπαραγωγής περιλαμβάνουν μια ποικιλία από διαφορετικές τεχνολογίες και μεγέθη. Όσον αφορά το μέγεθος κυμαίνονται σε ισχύεις μικρότερες των 5 KWeI από μικροστροβίλους, κυψέλες καυσίμου, μηχανές Stirling μέχρι και 300 MWeI ή και μεγαλύτερα. Όσον αφορά στις τεχνολογίες ως συμπαραγωγική μονάδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ατμοστρόβιλοι αντίθλιψης, ατμοστρόβιλοι συμπύκνωσης – απομάστευσης, αεριοστρόβιλοι με ανάκτηση θερμότητας, MEK, μικροστρόβιλοι, μηχανές Stirling, κυψέλες καυσίμου, ατμομηχανές, οργανικός κύκλος Rankine, συνδυασμένος κύκλος αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας και οποιοσδήποτε τύπος τεχνολογίας ή συνδυασμός τύπων που μπορεί να θεωρηθεί ως συμπαραγωγή βάσει ορισμού [5]. Μια μονάδα συμπαραγωγής μπορεί να τροφοδοτηθεί με μια ποικιλία καυσίμων όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιοαέριο, βιομάζα ή ακόμα και πολλά είδη καυσίμων από τα παραπάνω μαζί.

Σύμφωνα με τον Νόμο 3734 ως «συμπαραγωγή μικρής κλίμακας» ορίζονται οι μονάδες συμπαραγωγής με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ ίση ή μικρότερη του 1 MWeI. Ως «συμπαραγωγή πολύ μικρής κλίμακας» ορίζονται μονάδες με μέγιστη ηλεκτρική ισχύ ίση ή μικρότερη από 50 kWeI. Η μικρής κλίμακας συμπαραγωγή έχει αρχίσει να αναπτύσσεται ραγδαία λόγω της μεγάλης αγοράς στην οποία απευθύνεται· αυτή των οικιστικών και των εμπορικών κτιρίων για μονάδες ισχύος των 100 KWeI και άνω. Η συμπαραγωγή πολύ μικρής κλίμακας, ειδικά σε ισχύ 20 KWeI αποτελεί επίσης τεχνολογία που απευθύνεται σε μεγάλη αγορά καθώς μπορεί να αντικαταστάσει τους συμβατικούς λέβητες κάθε νοικοκυριού, προσφέροντας ένα αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα την παραγωγή και ηλεκτρικής ισχύος προς όφελος του ιδιοκτήτη (είτε μέσω της χρήσης αυτής είτε μέσω της πώλησης για χρήση στο δίκτυο). Οι εφαρμογές συμπαραγωγής αυτού του μεγέθους στην Ευρώπη χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης καθώς αποτελούν δοκιμασμένη τεχνολογία με χαμηλό αρχικό κόστος και μεγάλες δυνατότητες συντήρησης σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες συμπαραγωγής. Οι μικροστρόβιλοι, οι μηχανές Stirling και οι κυψέλες καυσίμου έχουν μεγάλο αρχικό κόστος και δεν συνιστώνται ειδικά σε εφαρμογές μικρής κλίμακας όπου η ζήτηση είναι περιορισμένη.

Το 2006 η εγκατεστημένη ισχύς συμπαραγωγής στην Ευρώπη των 27 ανέρχονταν στα 95000 MWeI, παρέχοντας περίπου το 11% (366 TWh) της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με εκτίμηση της EU-DEEP (European Distributed Energy Partnership) του 2009, περίπου το 50% της συνολικής παραγωγής από συμπαραγωγή προερχόταν από μονάδες μικρότερες των 10 MWeI. Μικρότερες μονάδες συμπαραγωγής που βασίζονται σε τοπικές



ενεργειακές πηγές (βιομάζα, ανανεώσιμες πηγές κτλ) έχουν γίνει ανταγωνιστικές τα τελευταία χρόνια λόγω της τεχνολογικής προόδου και της διαθέσιμης χρηματικής υποστήριξης. Η Δανία με ποσοστό 44% αποτελούσε το 2007 την ευρωπαϊκή χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό σε συμπαραγωγή ως ποσοστό της πρωτογενούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ακολουθούμενη από την Λετονία με ποσοστό 41% και την Φιλανδία με ποσοστό 34% [3]. Ειδικότερα, στην Φιλανδία η πλειονότητα της παραγωγής από συμπαραγωγή (συνολική ισχύς μεγαλύτερη από 25 TWh) προέρχεται από μονάδες μεγαλύτερες των 10 MWeI. Επιπρόσθετα, περίπου το 75% της τηλεθέρμανσης στην Φιλανδία παρέχεται από μονάδες συμπαραγωγής με τυπικούς ολικούς βαθμούς απόδοσης ετησίως 85 – 90%. Στην εικόνα 3 που ακολουθεί φαίνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από συμπαραγωγή σε σύγκριση με την συνολική εγκατεστημένη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ του δικτύου, στην περίπτωση της διείσδυσης στην αγορά ενός 10% σε μονάδες συμπαραγωγής με ισχύ 5 KWeI σε νοικοκυριά στην Ευρώπη [3].



Εικόνα 3. Ηλεκτρική ισχύς παραγόμενη από συμπαραγωγή σε περίπτωση διείσδυσης αυτής κατά 10% στο ηλεκτρικό δίκτυο με ισχύ 5 KWel σε νοικοκυριά στην Ευρώπη



Σύμφωνα με το Canadian Industrial Energy End- Use Data and Analysis Center, το 2012 ο Καναδάς διαθέτει 200 μονάδες συμπαραγωγής με συνολική ισχύ 6.5 GW. Συγκεκριμένα, η περιοχή της Alberta διαθέτει 2.3 GW, ακολουθούμενη από την περιοχή Ontario με 2.1 GW. Συνολικά, οι δύο αυτές περιοχές αποτελούν το 67% της συνολικής ισχύς από συμπαραγωγή όλου του Καναδά [6].

1.3. Τηλεθέρμανση

1.3.1. Ορισμός

Η βασική λειτουργία ενός συστήματος τηλεθέρμανσης είναι η εξυπηρέτηση των θερμικών ενεργειακών αναγκών των χρηστών οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν θέρμανση χώρου ή/και ζεστό νερό χρήσης. Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης μπορεί να εξυπηρετεί τόσο οικιστικά όσο και εμπορικά κτίρια και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να καλύπτει και χαμηλής θερμοκρασίας βιομηχανικές θερμικές ανάγκες. Η τηλεθέρμανση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη ψυκτικών φορτίων μέσω της χρήσης ψυκτών απορρόφησης και φορτίων άλλων οικιακών συσκευών. Σε ένα σύστημα τηλεθέρμανσης, βασικό στόχο αποτελεί η οργάνωση της θερμικής παραγωγής με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελεί πιο αποδοτική επιλογή από την ατομική θερμική παραγωγή. Η αποδοτικότητα του συστήματος κρίνεται αρχικά βάσει σύγκρισης με την ατομική παραγωγή αλλά εν συνεχεία κρίνεται και βάσει του ποσοστού στο οποίο εξυπηρετεί τις ανάγκες του κάθε χρήστη, ο οποίος χαρακτηρίζεται από διαφορετική καταναλωτική συμπεριφορά.

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Παραγωγή
- Μεταφορά και Διανομή
- Εγκαταστάσεις χρηστών

Όλα τα στοιχεία του συστήματος αλληλεπιδρούν. Το σύστημα κατασκευάζεται με κριτήριο την κάλυψη των θερμικών καταναλώσεων. Οι θερμικές καταναλώσεις του κάθε κτιρίου καθορίζουν την διαστασιολόγηση του κάθε υποσταθμού, ο υποσταθμός καθορίζει την διαστασιολόγηση του συστήματος των σωληνώσεων και τέλος το σύστημα σωληνώσεων θέτει τις παραμέτρους για την διαστασιολόγηση της κεντρικής μηχανής. Στο σύστημα

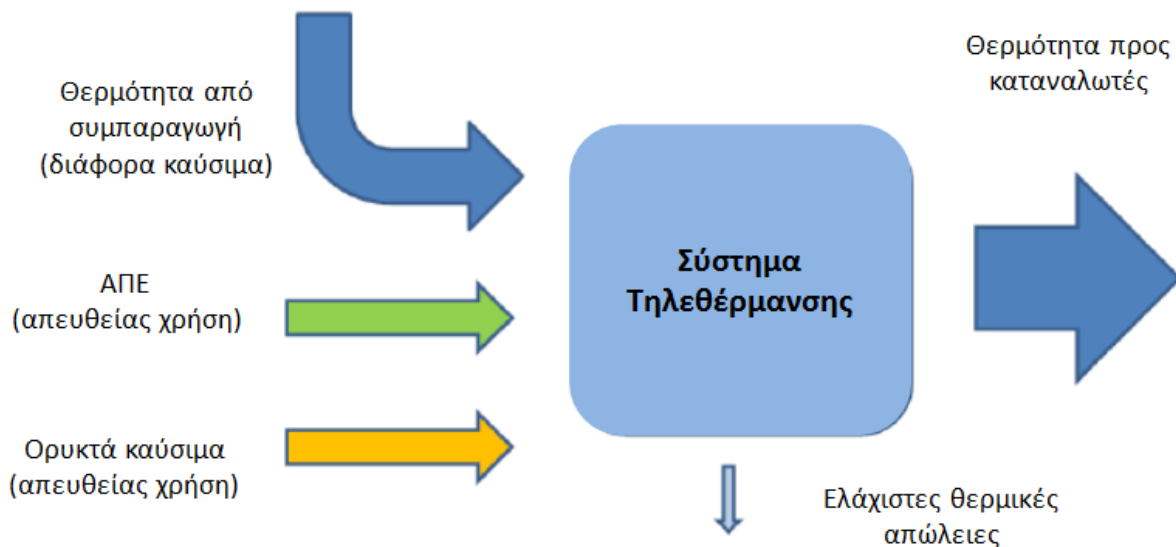


τηλεθέρμανσης το κάθε μέρος είναι απλό εφόσον διαστασιολογηθεί, κατασκευαστεί και εγκατασταθεί σωστά. Απαραίτητο στοιχείο αποτελεί επίσης το σύστημα ελέγχου για τον συνεχή έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος [7].

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης χρησιμοποιεί τις τοπικές ενεργειακές πηγές για την παραγωγή ενέργειας που θα καλύψει την τοπική ζήτηση. Γενικά, τα συστήματα τηλεθέρμανσης μπορούν να κατασκευαστούν για μια μεγάλη ποικιλία καυσίμων. Αυτή η ευελιξία είναι εξαιρετικά ωφέλιμη για τους καταναλωτές αλλά και σε εθνικό επίπεδο καθώς παρέχεται θερμική ενέργεια σε σταθερές και ανταγωνιστικές τιμές από εγχώρια καύσιμα μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα. Όσον αφορά στα συστήματα τηλεθέρμανσης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, τις πηγές ενέργειας συνήθως αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα και κυρίως το φυσικό αέριο, για αυτό και η εφαρμογή συμπαραγωγής και όχι κάποιας ανανεώσιμης πηγής είναι η συνήθης περίπτωση χωρίς να αποκλείεται σε ορισμένες περιπτώσεις η χρήση βιομάζας.

Το βασικό στοιχείο της δομής του συστήματος που διαφέρει από την ατομική θερμική παραγωγή και που επιτρέπει τη χρήση αυτών των πηγών θερμότητας είναι καλά μονωμένα δίκτυα σωληνώσεων. Η ενέργεια διανέμεται σε κάθε κτίριο-χρήστη από το κεντρικό σταθμό και μέσω του συστήματος σωληνώσεων υπό την μορφή ατμού ή ζεστού και κρύου νερού. Η ειδική εγκατάσταση στο κάθε κτίριο επιτρέπει την μεταφορά της θερμότητας από το δίκτυο του συστήματος στο δίκτυο νερού του κτιρίου.

Η τηλεθέρμανση στην Ευρώπη βασίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό της στην συμπαραγωγή και στην ανακύκλωση ενέργειας από βιομηχανικές διεργασίες. Τα υπόλοιπα συστήματα τηλεθέρμανσης χρησιμοποιούν γεωθερμική ενέργεια, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και χρησιμοποιούνται κυρίως για την κάλυψη των φορτίων αιχμής. Στην εικόνα 4 σκιαγραφείται η βασική ιδέα της λειτουργίας των συστημάτων τηλεθέρμανσης [7].



Εικόνα 4. Βασική ιδέα τηλεθέρμανσης

Η τηλεθέρμανση δεν αποτελεί καινούργια μορφή τεχνολογίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι η πρώτη εμπορική εφαρμογή τηλεθέρμανσης πραγματοποιήθηκε στις Η.Π.Α. το 1877. Παρόλα αυτά, αποτελεί μια τεχνολογία που δύσκολα υιοθετείται σήμερα λόγω οικονομικών μεγεθών, ενώ η εικόνα θα μπορούσε να αλλάξει εάν στις εγκαταστάσεις εσωτερικευθούν τα εξωτερικά κόστη. Περιοχές όπου η τηλεθέρμανση αποτελεί ίσως και την πιο ταιριαστή μορφή κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, είναι οι περιοχές με μεγάλη **ενεργειακή πυκνότητα** και σε σχετικά ψυχρότερες κλιματικές ζώνες [8].

Οφέλη της τηλεθέρμανσης

Σε σύγκριση με την λειτουργία ενός συμβατικού λέβητα, η σύνδεση ενός κτιρίου σε δίκτυο τηλεθέρμανσης μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη για τον χρήστη μέσω της αυξημένης αξιοπιστίας, και άνεσης, της μικρότερης επένδυσης, της εξοικονόμησης σε λειτουργικά έξοδα, της αυξημένης ενεργειακής απόδοσης και της μεγαλύτερης ευελιξίας στο καύσιμο.

Όσον αφορά στην **αξιοπιστία**, τα συστήματα τηλεθέρμανσης σχεδιάζονται έτσι ώστε να υπάρχει πάντα εφεδρική παροχή ισχύος ώστε να εξασφαλίζεται ότι θα καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες του καταναλωτή. Τα συστήματα μεγαλύτερης κλίμακας διαθέτουν τις περισσότερες φορές εφεδρική μηχανή παραγωγής ενέργειας για επιπρόσθετη αξιοπιστία. Επιπρόσθετα, το σύστημα τηλεθέρμανσης διαθέτει το απαραίτητο προσωπικό και τις



απαραίτητες πηγές για την άμεση επιδιόρθωση τυχόν βλαβών στο δίκτυο των σωληνώσεων, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις επιδιορθώνονται εντός 24 ωρών. Κατά αυτή την έννοια, ένα σύστημα τηλεθέρμανσης παρέχει μεγάλη αξιοπιστία στον καταναλωτή, η οποία δεν επιτυγχάνεται ποτέ σε ατομικά συστήματα θέρμανσης. Η **άνεση** του χρήστη ενός κτιρίου έγκειται στο κατά πόσον ο χρήστης είναι ικανοποιημένος από τις παροχές θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης (ή/και ψύξης) που παρέχονται από το σύστημα. Λόγω του συστήματος ελέγχου των συστημάτων τηλεθέρμανσης η εξυπηρέτηση του χρήστη είναι πιο άμεση ειδικά σε σύγκριση με παλαιότερα συστήματα ατομικής θέρμανσης. Η **μειωμένη επένδυση** που καλείται να κάνει ο χρήστης αποτελεί ένα ακόμα όφελος της τηλεθέρμανσης έναντι της ατομικής θέρμανσης. Σε ένα καινούργιο κτίριο, ο ιδιοκτήτης μπορεί να αποφύγει το κόστος της αγοράς ενός λέβητα και όλων των σχετικών εξαρτημάτων. Σε ήδη υπάρχοντα κτίρια, το κόστος μετατροπής του κτιρίου μπορεί επίσης να αποφευχθεί καθώς μπορεί να αναληφθεί πλήρως ή μερικώς από την εταιρεία της τηλεθέρμανσης. Επιπρόσθετα, ο κτιριακός χώρος που απασχολείτο προηγουμένως για τον λέβητα μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς καθώς ο εναλλάκτης θερμότητας που αντικαθιστά τον λέβητα απαιτεί περίπου το 10% του χώρου που απαιτεί ένας λέβητας. Τα **λειτουργικά έξοδα** ενός κτιρίου μειώνονται καθώς πλέον αφορούν το σύστημα τηλεθέρμανσης. Ο χρήστης αγοράζει την ενέργεια από το σύστημα και επομένως τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης αναλαμβάνονται ακόμα και για τον υποσταθμό του κάθε κτιρίου από το σύστημα τηλεθέρμανσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οικονομική εξοικονόμηση για τον χρήστη ειδικά σε περιπτώσεις κτιρίων που απασχολούνται ως εμπορικά κτίρια ή γραφεία όπου αποφεύγεται η απασχόληση ειδικού προσωπικού, διοικητικού προσωπικού καθώς και τα κόστη προμήθειας. Η **ενεργειακή απόδοση** ενός συστήματος τηλεθέρμανσης είναι πολύ μεγαλύτερη του συμβατικού συστήματος με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Ο χρήστης πληρώνει μόνο την θερμική ενέργεια που έχει ανάγκη σε αντίθεση με τον συμβατικό λέβητα ο οποίος μπορεί να λειτουργεί σε χαμηλή απόδοση με αποτέλεσμα ο χρήστης να πληρώνει για την κατανάλωση καυσίμου που δεν παρείχε ουσιαστική ενεργειακή κάλυψη. Παρόλο που οι συμβατικοί λέβητες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα θέρμανσης μπορεί να έχουν θεωρητικό βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο του 80%, ετησίως και λόγω της λειτουργίας σε μερικά φορτία ο βαθμός αυτός απόδοσης είναι αρκετά μικρότερος και μπορεί να φτάσει και ως 45 – 65%. Επιπρόσθετα, ζεστό νερό χρήσης μπορεί να υπάρχει στιγμιαία διαθέσιμο μέσω του εναλλάκτη θερμότητας, αποφεύγοντας έτσι και τις απώλειες αποθήκευσης του και εξαλείφοντας την



χρονοκαθυστέρηση στην αναπαραγωγή (regeneration). Τα σύγχρονα συστήματα τηλεθέρμανσης βασίζονται πολλές φορές στην χρήση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ποσού θερμότητας χωρίς να εξαρτώνται από καύσιμα όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Τοπικά απορρίμματα και βιοαέριο αποτελούν τέτοια παραδείγματα. Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση συμπαραγωγής μειώνει την κατανάλωση καυσίμου καθώς μόνο ένα πολύ μικρό ποσό ενέργειας δεν αξιοποιείται. Η **ευελιξία στο καύσιμο** παρέχει την δυνατότητα ειδικά σε μεγαλύτερης κλίμακας συστήματα να χρησιμοποιούν ποικιλία καυσίμων αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία και λειτουργώντας πιο οικονομικά καθώς το σύστημα έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί το καύσιμο που είναι πιο οικονομικό την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αυτή η ευελιξία αυξάνει την ασφάλεια παροχής και δεν είναι επιτεύξιμη από ατομικά συστήματα θέρμανσης. Τέλος, όσον αφορά την **αισθητική και το περιβάλλον**, με το σύστημα τηλεθέρμανσης βελτιώνεται η εμφάνιση ενός κτιρίου αλλά και μειώνονται οι εκπομπές ρύπων καθώς χρησιμοποιούνται εναλλακτικές πηγές ενέργειας και υπεύθυνος της παραγωγής αυτής είναι ο συντονιστής του συστήματος και όχι ο ιδιοκτήτης κάθε κτιρίου ξεχωριστά. Η διασύνδεση ενός κτιρίου με το σύστημα δεν απαιτεί εγκαταστάσεις αερισμού ή πυροπροστασίας. Επιπρόσθετα, λόγω της ευελιξίας του συστήματος όσον αφορά στην τεχνολογία παραγωγής ενέργειας και το χρησιμοποιούμενο καύσιμο η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη και επομένως και ο χρήστης αλλά και η κάθε τοπική κοινότητα επωφελούνται από την μειωμένη εκπομπή ρύπων [9].

1.3.2. Βασικές Παράμετροι βιωσιμότητας συστημάτων τηλεθέρμανσης

Η βιωσιμότητα ενός συστήματος τηλεθέρμανσης μπορεί να αξιολογηθεί με την ανάλυση δύο βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν σημαντικά την ενεργειακή και οικονομική απόδοση ενός συστήματος τηλεθέρμανσης. Αυτές οι παράμετροι είναι:

- Η ενεργειακή πυκνότητα της περιοχής (energy density)
- Το φορτίο γραμμής (line load)

Η **ενεργειακή πυκνότητα** της περιοχής που θα εξυπηρετεί το σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελεί τον λόγο των ετήσιων ενεργειακών θερμικών αναγκών της περιοχής σε MWh προς το φυσικό, γεωγραφικό μέγεθος της περιοχής. Για παράδειγμα, μια κατοικημένη περιοχή με έκταση 1.5 km^2 και ετήσια θερμική κατανάλωση των 5 GWh, η ενεργειακή πυκνότητα θα



είναι $\frac{5}{1.5} GWh/km^2$ δηλαδή $3.33 GWh/km^2$ ή αλλιώς $3.33 KWh/m^2$. Ανάλογα με την χώρα και την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει η εν λόγω περιοχή το προηγούμενο νούμερο μπορεί να θεωρηθεί είτε χαμηλό είτε υψηλό. Για την Σουηδία, για παράδειγμα, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα λόγω κλιματικής ζώνης και επομένως μεγάλων ενεργειακών αναγκών το παραπάνω νούμερο θεωρείται χαμηλό καθώς στην εν λόγω χώρα η ενεργειακή πυκνότητα κυμαίνεται συνήθως από $5 KWh/m^2$ και πάνω. Η ενεργειακή πυκνότητα όμως εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό όχι αλλά από την έκταση της γεωγραφικής περιοχής που μελετάται αλλά από την σχεδίαση του συστήματος. Για την ίδια έκταση γεωγραφικής περιοχής, μπορεί η ενεργειακή πυκνότητα να αλλάζει καθώς εξαρτάται από τα ενεργειακά φορτία που παρουσιάζονται, το βαθμό κατοίκησης (πυκνοκατοικημένη ή αραιοκατοικημένη περιοχή) και το είδος των κτιρίων που φιλοξενεί (εμπορικά κτίρια, νοσοκομεία, νοικοκυριά).

Το **φορτίο γραμμής** είναι ανάλογο μέγεθος με την ενεργειακή πυκνότητα το οποίο σχετίζεται με το δίκτυο των σωληνώσεων του συστήματος και αποτελεί τον λόγο της συνολικής ενέργειας που διανέμεται στο δίκτυο ετησίως προς το συνολικό μήκος των σωληνώσεων. Χαμηλή τιμή του φορτίου γραμμής σημαίνει ότι οι ενεργειακές απώλειες του δικτύου των σωληνώσεων είναι πολύ μεγάλες και επομένως το σύστημα δεν θα είναι βιώσιμο. Σε γενικές γραμμές για να θεωρείται το σύστημα βιώσιμο το φορτίο γραμμής πρέπει να κυμαίνεται σε τιμές μεγαλύτερες των $200 KWh/m$ το έτος. Το φορτίο γραμμής δεν αποτελεί μια προκαθορισμένη τιμή αλλά ένα σχεδιαστικό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την φάση σχεδιασμού του συστήματος.

Σχεδιαστικά Πρότυπα

Στον πίνακα 3 απεικονίζονται βασικά πρότυπα των παραμέτρων σχεδίασης ενός συστήματος τηλεθέρμανσης όπως αυτά προκύπτουν για συστήματα τηλεθέρμανσης με δίκτυο σωληνώσεων από προ-μονωμένους χαλύβδινους σωλήνες και σύμφωνα με το εγχειρίδιο τηλεθέρμανσης για την πόλη του Λονδίνου [10].



Πίνακας 3. Πρότυπα Σχεδίασης συστήματος τηλεθέρμανσης

	Παράμετρος Δικτύου	Σχεδιαστικό πρότυπο
Πιέσεις και θερμοκρασίες	1 Διάρκεια ζωής	Ελάχιστο 30 έτη Μέγιστο 50 έτη
	2 Πιέσεις	16 bar (μέγιστη μανομετρική πίεση σχεδιασμού)
	3 Θερμοκρασίες	140°C (μέγιστη θερμοκρασία σχεδιασμού) 120°C (μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας) 110°C (προτεινόμενη θερμοκρασία λειτουργίας)
	4 Θερμοκρασία παροχής και επιστροφής	110°C/55°C με ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά τις 50 °C
	5 Εξωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού	-5°C (θερμοκρασία σχεδιασμού αέρα) Η θερμοκρασία σχεδιασμού εδάφους ποικίλλει ανάλογα με το έδαφος και το βάθος
Σωληνώσεις	6 Υλικό σωληνώσεων	Χάλυβας (για πρωτεύον, δευτερεύον ρεύμα και διασύνδεση καταναλωτών) Ποιότητα χάλυβα P235TR1 για τις τις σωληνώσεις, ή αλλιώς P235GH για σωληνώσεις των DN300 mm και πάνω
Παροχή Θερμότητας	7 Οδηγία για την πτώση πίεσης κατά τον σχεδιασμό (κεντρικές και μη κεντρικές σωληνώσεις)	100 Pa/m για της κεντρικές σωληνώσεις 250 Pa/m για της μη κεντρικές σωληνώσεις
	8 Έλεγχος παροχής όγκου	Ποικίλει ανάλογα με τον έλεγχο της διαφοράς πίεσης
Μεταφορά Θερμότητας	9 «Ένταση» άνθρακα της παροχής θερμότητας	Μέγιστο όριο: 0.216 kg CO ₂ e/kWh
	10 Θερμοκρασία παροχής	Η θερμοκρασία παροχής πρέπει να μεταβάλλεται ακολουθώντας την καμπύλη θερμοκρασίας παροχής συναρτήσει εξωτερικής θερμοκρασίας
	11 Μέτρηση θερμότητας	Προτεινόμενο σύστημα : AMR



Παρακολούθηση και Συντήρηση	12	Μονάδες διασύνδεσης θερμότητας	Θέρμανση χώρου (νέα εγκατάσταση) Πρωτεύον ρεύμα παροχή 110°C έως 80°C; επιστροφή 55°C Δευτερεύον ρεύμα παροχή 70°C έως 80°C; επιστροφή 40°C έως 50°C Θέρμανση χώρου (υπάρχουσα εγκατάσταση) Πρωτεύον ρεύμα παροχή 110°C έως 80°C; επιστροφή 55°C Δευτερεύον ρεύμα παροχή 80°C; επιστροφή 60°C Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX) Πρωτεύον ρεύμα παροχή 70°C; Επιστροφή μέγιστο 25°C Δευτερεύον ρεύμα παροχή 55°C; Επιστροφή 10°C
	13	Ανίχνευση και παρακολούθηση διαρροών	Το δίκτυο σωληνώσεων πρέπει να είναι εφοδιασμένο με σύστημα ανίχνευσης διαρροών το οποίο είτε θα συνδέεται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου είτε θα ελέγχεται τοπικά
	14	Ποιότητα νερού	pH 9-10 Αλκαλικότητα <60 HCO ₃ /l (mg/l) Επίπεδα O ₂ < 20 μg/kg Συνολικός Fe < 0.1 mg/kg Συνολικό Χλώριο < 50 Cl mg/l Συνολική Σκληρότητα < 0.1 dH
Θερμική Αποθήκευση	15	Θερμική αποθήκευση	Σχεδιασμένη να βελτιστοποιεί την χρήση θερμότητας χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα μέσα στα πλαίσια την θερμικής ζήτησης, της παροχής και των απαιτήσεων της τοποθεσίας.



1.4. Αντικειμενοστραφής Προγραμματισμός σε γλώσσα C#

Αντικειμενοστραφής προγραμματισμός

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός (object – oriented programming ή OOP) καθιερώθηκε τη δεκαετία του 1990 (η γλώσσα που συνεισέφερε αρκετά σε αυτό ήταν η Java). Ο OOP είναι ένας τρόπος οργάνωσης των προγραμμάτων που γράφουμε. Ο τρόπος αυτός οργάνωσης, δεν είναι φυσικά ούτε μοναδικός, ούτε καν ο βέλτιστος. Άλλοι τρόποι οργάνωσης είναι ο διαδικαστικός (procedural ή imperative) και ο συναρτησιακός (functional). Η επιλογή του τρόπου που θα χρησιμοποιήσουμε εξαρτάται από το πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να επιλύσουμε, αλλά και από τη γλώσσα προγραμματισμού την οποία χρησιμοποιούμε. Δεν επιτρέπουν όλες οι γλώσσες προγραμματισμού τη χρήση όλων των παραπάνω τρόπων. Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός γεννήθηκε και άρχισε να αναπτύσσεται όταν πλέον ήταν φανερό ότι οι παραδοσιακές προσεγγίσεις στον προγραμματισμό δεν μπορούσαν να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις ανάπτυξης προγραμμάτων. Επιπλέον, καθώς τα προγράμματα μεγάλωναν, γίνονταν υπερβολικά πολύπλοκα. Διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν αδυναμίες με τη χρήση διαδικαστικών γλωσσών προγραμματισμού (PASCAL, C, κλπ.). Η κυριότερη αιτία είναι ότι οι διαδικαστικές γλώσσες δίνουν έμφαση στις ενέργειες που πρέπει να εκτελέσει ένα πρόγραμμα. Η αντικειμενοστραφής σχεδίαση εκλαμβάνει σαν πρωτεύοντα δομικά στοιχεία ενός προγράμματος τα δεδομένα από τα οποία δημιουργούνται με κατάλληλη μορφοποίηση τα **αντικείμενα** (objects). Αυτή η σχεδίαση αποδείχθηκε ότι επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα, αφού τα προγράμματα που δημιουργούνται είναι περισσότερο ευέλικτα, επαναχρησιμοποιήσιμα και φιλικά. Το βασικό επομένως στοιχείο του προγράμματος είναι το αντικείμενο (object) που χαρακτηρίζεται από κάποιες ιδιότητες και κάποιες ενέργειες οι οποίες επενεργούν σε αυτές τις ιδιότητες αλλάζοντας τα δεδομένα τους. Ένα αντικείμενο αποτελείται δηλαδή από ένα σύνολο χαρακτηριστικών που προσδιορίζουν τη φυσική του υπόσταση. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίζονται από τις τιμές των επιμέρους ιδιοτήτων του αντικειμένου. Το αντικείμενο είναι η ομαδοποίηση κώδικα και δεδομένων, τα οποία χειριζόμαστε ενιαία. Τα δεδομένα αποτελούν τα χαρακτηριστικά και οι ενέργειες καθορίζουν τη συμπεριφορά ενός αντικειμένου. Οι ενέργειες αυτές καλούνται και **μέθοδοι** (methods). Το αντικείμενο αποτελεί δεσμευμένο κομμάτι της μνήμης (και συγκεκριμένα του σωρού) και καλείται και **στιγμιότυπο** (instance), ενός σύνθετου **τύπου δεδομένων** (data type) που καλείται **κλάση** (class). Η κλάση είναι μία αυτοτελής και αφαιρετική αναπαράσταση κάποιας κατηγορίας αντικειμένων, είτε φυσικών αντικειμένων του πραγματικού κόσμου είτε νοητών, εννοιολογικών αντικειμένων και



στην ουσία αποτελεί την προδιαγραφή των δεδομένων και των ενεργειών που επιδρούν πάνω σε αυτά. Όλα τα αντικείμενα δημιουργούνται ως ακριβή αντίγραφα της κλάσης τους. Σε ένα αντικειμενοστραφές προγραμματιστικό περιβάλλον η υποστήριξη κλάσεων αποτελεί κυρίαρχο στοιχείο [11].

Το πλαίσιο λογισμικού .NET Framework

Το .NET Framework είναι ένα πλαίσιο λογισμικού (software framework) που προορίζεται για την πλατφόρμα των Windows. Αποτελείται από μια μεγάλη βιβλιοθήκη κλάσεων και υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού με τη δυνατότητα η μια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την άλλη. Η γλώσσα C# είναι μια από τις γλώσσες που υποστηρίζει το .NET. Ο μεταγλωττιστής της C# στοχεύει ειδικά στο .NET κάτι που σημαίνει ότι τα προγράμματα γραμμένα σε C# θα τρέχουν πάντα στο .NET Framework.

Γλώσσα προγραμματισμού C#

Η C# είναι μια σχετικά καινούργια γλώσσα, ενώ έχει γίνει μια από τις πιο διαδεδομένες αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού. Είναι κατά κύριο λόγο μια αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού που ενσωματώνει ωστόσο μερικά χαρακτηριστικά διαφόρων προγραμματιστικών προτύπων. Η C# είναι σχεδιασμένη για την δημιουργία λογισμικού σε .NET Framework στο οποίο τις βιβλιοθήκες κλάσεων παρέχει άμεση πρόσβαση. Αναπτύχθηκε στη Microsoft, από μια ομάδα κάτω από την ηγεσία του Anders Hejlsberg, σαν μέρος του .NET Framework. Η C# είναι μια συνεχώς εξελισσόμενη γλώσσα και με κάθε νέα της έκδοση προστίθενται νέα χαρακτηριστικά και συντακτικό. Η πρώτη έκδοση της C# ήταν το 2000 και από τότε έχει εξελιχθεί αρκετά λόγω κυρίως της ενασχόλησης πολλών προγραμματιστών και της προτίμησης τους έναντι άλλων γλωσσών του .NET Framework.

Το Visual Studio

Το Visual Studio είναι το Integrated Development Environment της Microsoft για την ανάπτυξη εφαρμογών που στοχεύουν στο .NET Framework και άλλες πλατφόρμες της Microsoft: από εφαρμογές κονσόλας (console applications) μέχρι web services και εγγενή κώδικα (native code). Το Visual Studio περιλαμβάνει πλήθος εργαλείων για την υποστήριξη της ανάπτυξης εφαρμογών από τα πρώτα στάδια μέχρι και τα τελικά. Περιλαμβάνει έναν



επεξεργαστή κώδικα (code editor) με αυτόματη συμπλήρωση, που επιταχύνει το γράψιμο και ενσωματώνει έναν debugger για τον άμεσο εντοπισμό σφαλμάτων. Άλλα εργαλεία περιλαμβάνουν την σχεδίαση παραθυρικών εφαρμογών και τη σχεδίαση κλάσεων και βάσεων δεδομένων, ενώ μπορεί να επεκταθεί με τα διάφορα επιπρόσθετα εργαλεία που κυκλοφορούν από τη Microsoft ή τρίτους παρόχους [12].



2. Διαμόρφωση πλαισίου σεναρίων

2.1. Σταθερές και παραδοχές κώδικα

2.1.1. Διαθέσιμοι τύποι κτιρίων

Στο πρόγραμμα συμπεριλαμβάνονται συγκεκριμένοι τύποι κτιρίων για τους οποίους υπήρχαν τα απαραίτητα ενεργειακά δεδομένα. Επομένως, για κάθε διαθέσιμο τύπο κτιρίου είναι γνωστά τα ενεργειακά φορτία για κάθε μήνα του χρόνου από Οκτώβριο έως Απρίλιο και για 10 διαφορετικές ελληνικές πόλεις. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε αυτές τις 10 ελληνικές πόλεις, για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα θερμικών και ηλεκτρικών καταναλώσεων. Αυτές είναι: Αθήνα, Αλεξανδρούπολη, Άργος, Βόλος, Θεσσαλονίκη, Θήβα, Ιωάννινα, Καβάλα, Κόρινθος, Λαμία. Τα θερμικά και ηλεκτρικά φορτία των κτιρίων πάρθηκαν από προηγούμενη διπλωματική εργασία [13]. Οι διαθέσιμοι τύποι κτιρίων με τα χαρακτηριστικά τους παρατίθενται στον πίνακα 4 που ακολουθεί [13].

Πίνακας 4. Τύποι κτιρίων και χαρακτηριστικά

Τύπος κτιρίου	Εμβαδό (m ²)
Μονοκατοικία	98.2
Διώροφη πολυκατοικία	400
Τριώροφη πολυκατοικία	600

Λόγω της δυναμικότητας της εφαρμογής, σε αυτή μπορούν να συμπεριληφθούν και άλλοι τύποι κτιρίων αρκεί να είναι διαθέσιμα τα θερμικά φορτία και στην συνέχεια να παρατεθούν στην κατάλληλη μορφή (αρχείο excel, δομή της εφαρμογής).

2.1.2. Χρονικό διάστημα μελέτης

Το χρονικό διάστημα που μελετάται κάθε φορά εξαρτάται από τον χρήστη και τα διαθέσιμα ενεργειακά δεδομένα. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διαλέξει τους μήνες του έτους για τα ενεργειακά φορτία των οποίων θα πραγματοποιηθεί στην συνέχεια η μελέτη. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν οι μήνες για τους οποίους ήταν διαθέσιμα και τα ενεργειακά δεδομένα. Εάν ο χρήστης διαθέτει περισσότερα ή ανανεωμένα και πιο ακριβή δεδομένα για τα



ενεργειακά φορτία μπορεί μετά από κατάλληλη αλλαγή της μορφής τους σε αρχείο τύπου xml και βάσει των επιταγών της εφαρμογής, να τα χρησιμοποιήσει για να πραγματοποιήσει την μελέτη που επιθυμεί.

2.1.3. Αριθμός κτιρίων που συνιστούν το οικιστικό σύστημα

Ο αριθμός των κτιρίων από τα οποία θα συνιστάται το αποκεντρωμένο ενεργειακό σύστημα υπό μελέτη μπορεί να εκτείνεται από 2 έως 20 σπίτια βάσει της δομής της εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να δουλέψει με απεριόριστο αριθμό κτιρίων εάν φυσικά διατίθενται και τα απαραίτητα δεδομένα εναλλακτών, μηχανών συμπαραγωγής κτλ που θα καλύπτουν την υψηλότερη ενεργειακή ανάγκη.

2.1.4. Υπολογισμός καμπύλης διάρκειας

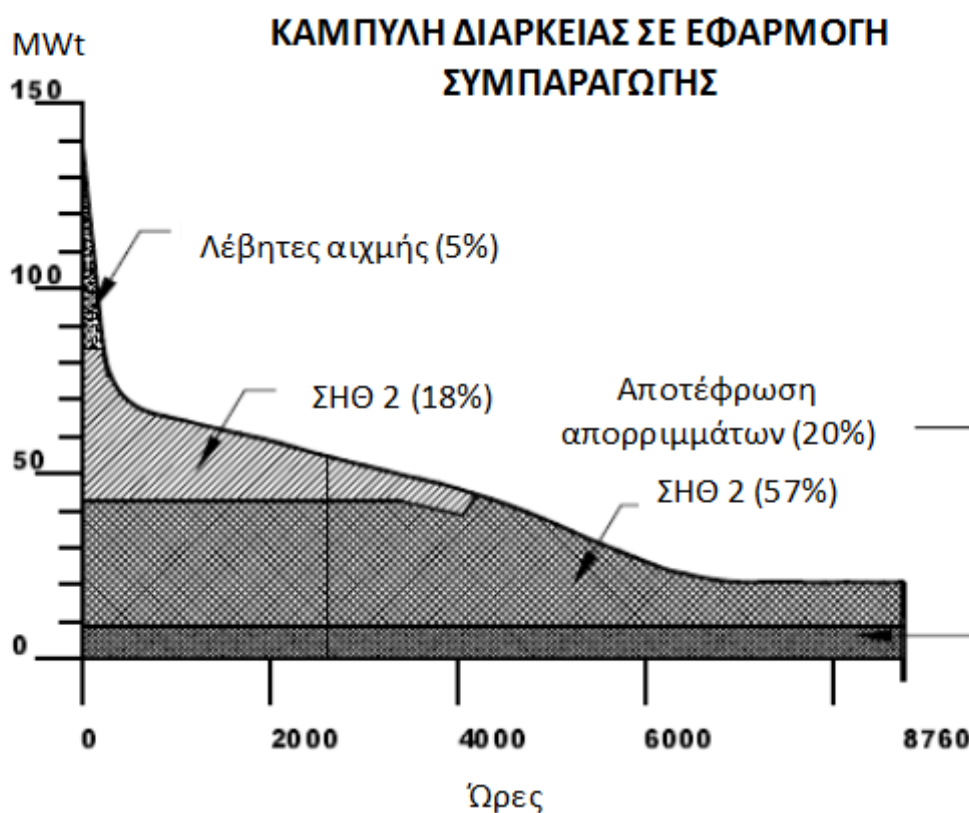
Σε κάθε περίπτωση όπου χρειάστηκε η χαρτογράφηση της θερμικής φόρτισης λόγω καταναλώσεων οποιουδήποτε κτιρίου ή και ολόκληρου του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καμπύλης διάρκειας η οποία πραγματοποιήθηκε προγραμματιστικά. (με εξαίρεση την διαστασιολόγηση της θερμοδεξαμενής). Τα απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό αυτό είναι οι ανάγκες σε KW κάθε ώρα κάθε μήνα θεωρώντας την ημέρα ίδια, για κάθε τύπο κτιρίου που περιλαμβάνεται στο σύστημα. Στη παρούσα εργασία διαθέσιμα ενεργειακά δεδομένα τέθηκαν υπό επεξεργασία για 7 μήνες του έτους από Οκτώβριο έως Απρίλιο δηλαδή για τις 5088 ώρες του έτους όπου οι ανάγκες θέρμανσης στον ελλαδικό χώρο είναι εντονότερες. Η διαδικασία κατασκευής της καμπύλης διάρκειας είναι η εξής:

Αρχικά προσδιορίζεται η μέγιστη εμφανιζόμενη τιμή μέσα στο εύρος των δεδομένων καθώς και η ελάχιστη. Στην συνέχεια, με δεδομένο αριθμό διακριτών τιμών ίσο με 60 προκύπτει το βήμα διακριτοποίησης ίσο με βήμα:
$$\text{Βήμα} = \frac{\text{μέγιστη τιμή} - \text{ελάχιστη τιμή}}{60}$$
 σε KW. Εάν επιθυμείται η αύξηση της ακρίβειας ο αριθμός των διακριτών μπορεί να αυξηθεί. Ξεκινώντας από την μέγιστη και βαίνοντας προς την ελάχιστη τιμή με βήμα το ευρεθέν παραπάνω προσδιορίζονται διακριτά σημεία της καμπύλης διάρκειας καθώς και το αντίστοιχο θερμικό φορτίο. Στην συνέχεια, υπολογίζεται για κάθε σημείο και αντίστοιχο θερμικό φορτίο η συχνότητα εμφάνισης καθώς και το ποσοστό της συχνότητας εμφάνισης κάθε φορτίου σε σχέση με την μέγιστη συχνότητα εμφάνισης. Έτσι προσδιορίζονται οι ώρες ανά έτος εμφάνισης κάθε θερμικού φορτίου. Επομένως, κάθε καμπύλη μετατρέπεται προγραμματιστικά



σε έναν πίνακα με τρεις στήλες. Στην πρώτη στήλη αποθηκεύεται το εύρος των θερμικών KW δηλαδή ο άξονας y της καμπύλης διάρκειας. Στην δεύτερη στήλη αποθηκεύεται το χρονικό εύρος δηλαδή οι ώρες ανά έτος που αποτελούν ουσιαστικά τον άξονα x της καμπύλης. Τέλος, στην τρίτη στήλη αποθηκεύεται το εμβαδό της καμπύλης που σχηματίζεται από τις αντιστοιχιζόμενες τιμές KW και ωρών ανά έτος και υπολογίζεται προσεγγιστικά από τον πολλαπλασιασμό του κάθε θερμικού φορτίου με τις αντίστοιχες ώρες εμφάνισης. Επομένως κάθε ζεύγος τιμών (x,y) χαρακτηρίζεται από ένα εμβαδό. Για κάθε τύπο κτιρίου σε κάθε περιοχή και για κάθε σύστημα, μπορεί να παραχθεί ένας τέτοιος πίνακας και να αποθηκευτεί στην βάση δεδομένων του προγράμματος. Στην περίπτωση του κεντρικού συστήματος οι πίνακες όλων των επιλεγμένων κτιρίων, προστίθενται επαναληπτικά και προκύπτει ο αντίστοιχος πίνακας ολόκληρου του συστήματος [14].

Η καμπύλη διάρκειας είναι ένα πιο βολικό υπολογιστικό εργαλείο σε σύγκριση με την απλή καμπύλη φορτίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σχεδιασμό συστημάτων, οικονομική αξιολόγηση και αξιολόγηση αξιοπιστίας. Παράδειγμα της μορφής μιας καμπύλης διάρκειας και της εφαρμογής της σε συστήματα τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή φαίνεται στην εικόνα 5 [9].



Εικόνα 5. Καμπύλη Διάρκειας και χρήση της για διαστασιολόγηση τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή

2.2. Διάταξη συστήματος

Ο χρήστης ύστερα από την επιλογή του αριθμού των κτιρίων και των τύπων τους, ζητείται να συμπληρώσει τις συντεταγμένες του κάθε κτιρίου αλλά και του σημείου που επιθυμεί την τοποθέτηση του σταθμού παραγωγής (κεντρική μηχανή) σε δεκαδική μορφή γεωγραφικού πλάτους και μήκους, και με ακρίβεια έξι δεκαδικών ψηφίων. Οι συντεταγμένες αυτές μπορούν πολύ εύκολα να προσδιοριστούν μέσω του (google.com) και είναι απαραίτητες για την δόμηση της διάταξης του οικιστικού συστήματος.

Στην συνέχεια ζητείται η επιλογή τύπου διάταξης ανάμεσα σε αστεροειδή και σε άλλη («custom»), πλήρως καθοριζόμενη από τον ίδιο τον χρήστη. Λόγω διευκόλυνσης προγραμματιστικών υπολογισμών, για την αστεροειδή διάταξη υπολογίζεται αυτόματα το μήκος κάθε σωλήνα. Αντίθετα, στην επιλογή «custom» ο χρήστης πρέπει να εισάγει ως δεδομένο και το μήκος κάθε στοιχείου σωλήνωσης.



Οι σωληνώσεις αντιμετωπίζονται ως κεντρικές και μη κεντρικές. Μια κεντρική σωλήνωση είναι εκείνη που ξεκινά από τον κεντρικό σταθμό παραγωγής μέχρι το σημείο διακλάδωσής της σε περισσότερες σωληνώσεις παροχής για κάθε κτίριο. Αντίστοιχα, μια μη κεντρική σωλήνωση είναι εκείνη η οποία αποτελεί διακλάδωση της κεντρικής και πάροχο συγκεκριμένου κτιρίου.

Όσον αφορά στην αστεροειδή διάταξη συστήματος, οι μη κεντρικές σωληνώσεις θεωρούνται ήδη γνωστές λόγω της μορφής της διάταξης αλλά και της αντιστοίχισης τους με τα επιλεγμένα από τον χρήστη κτίρια. Οι κεντρικές σωληνώσεις, εάν υπάρχουν, συμπληρώνονται από τον χρήστη. Για κάθε κεντρική σωλήνωση ως σημείο εκκίνησης θεωρούνται οι συντεταγμένες του σταθμού παραγωγής και το σημείο λήξης εισάγεται από τον χρήστη πάλι σε μορφή δεκαδικών συντεταγμένων. Αντίστοιχα, για κάθε μη κεντρική σωλήνωση, ως σημείο λήξης αντιστοιχίζεται ένα από τα επιλεγμένα κτίρια του συστήματος και ως σημείο εκκίνησης το σημείο λήξης ενός εκ των κεντρικών σωλήνων.

Βάσει των παραπάνω δεδομένων θέσης μπορεί να προσδιοριστεί το μήκος κάθε σωλήνα χρησιμοποιώντας σφαιρική τριγωνομετρία και τον νόμο σφαιρικό νόμο των συνημίτονων [15], [16].

Επομένως, η απόσταση δύο σημείων για τα οποία είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$distance = R \cos(\sin \varphi_1 * \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 * \cos \varphi_2 * \cos \Delta\lambda)$$

Όπου: $\varphi_{1,2}$ το γεωγραφικό πλάτος των σημείων 1 και 2 αντίστοιχα ,

$\Delta\lambda$, η διαφορά γεωγραφικού μήκους μεταξύ των δύο σημείων

R, η ακτίνα της γης σε χιλιόμετρα

Όσον αφορά την «custom» διάταξη, στο υπολογιστικό εργαλείο που αναπτύχθηκε έχει συμπεριληφθεί επιλογή τέτοια ώστε να μπορεί ο χρήστης να μοντελοποιήσει την διάταξη του υπό-μελέτη δικτύου όπως εκείνος επιθυμεί εισάγοντας όμως ο ίδιος το μήκος των σωληνώσεων. Η επιλογή αυτή δεν αναπτύχθηκε προγραμματιστικά μέχρι τέλους αλλά αποτελεί μελλοντική ενέργεια εξέλιξης της παρούσας μελέτης.



2.3. Θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής

Η θερμοκρασία προσαγωγής καθώς και η επιθυμητή θερμοκρασία επιστροφής του πρωτεύοντος δικτύου (δίκτυο συστήματος τηλεθέρμανσης) επηρεάζουν σημαντικά τις θερμικές απώλειες του συστήματος, το βαθμό απόδοσης της κεντρικής μηχανής, την απόδοση και το κόστος κατασκευής των σωληνώσεων και την απόδοση των αντλιών. Τα συστήματα θέρμανσης των κτιρίων ακολουθούν εθνικούς κώδικες και αρχές. Αυτές οι αρχές διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Στον πίνακα 5 φαίνονται οι τιμές για τις σχεδιαστικές θερμοκρασιακές παραμέτρους μερικών χωρών όπως διαμορφώνονται για τον σχεδιασμό κεντρικών εγκαταστάσεων θέρμανσης [9].

Πίνακας 5. Τιμές θερμοκρασιών παροχής και επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος σε διάφορες χώρες

Χώρα	Θερμοκρασία παροχής	Θερμοκρασία επιστροφής	Ζεστό νερό
Δανία	70	40	<60
Φιλανδία	70	40	55
Κορέα	70	50	55
Ρουμανία	95	75	
Ρωσία	95	75	50
Ηνωμένο Βασίλειο	82	70	65
Πολωνία	85	71	55
Γερμανία	80	60	55

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης θα πρέπει να υπακούουν στις συνθήκες λειτουργίας που υπαγορεύονται από τις αρχές κάθε κράτους και αυτές να λειτουργούν ως το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού. Με το πέρασμα του χρόνου, πολλά συστήματα τηλεθέρμανσης έχουν επιτύχει να λειτουργούν με πολύ πιο αποδοτικές συνθήκες δηλαδή με πολύ μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ προσαγωγής και επιστροφής και με πολύ πιο χαμηλές τιμές των θερμοκρασιών αυτών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την βελτίωση της μόνωσης, την



χρησιμοποίηση καλύτερου εξοπλισμού ελέγχου των συνθηκών λειτουργίας του δικτύου και άλλους τρόπους. Στον πίνακα 6 φαίνονται τυπικές τιμές των συνθηκών λειτουργίας ενός δικτύου [10].

Πίνακας 6. Τυπικές τιμές λειτουργίας συστήματος τηλεθέρμανσης

Θερμοκρασίες σχεδιασμού °C	Πρωτεύον ρεύμα		Δευτερεύον ρεύμα	
	Παροχή	Επιστροφή	Παροχή	Επιστροφή
Θέρμανση χώρου	110 – 80	55	70 – 80	40- 50
<ul style="list-style-type: none">• Νέα εγκατάσταση• Υπάρχουσα εγκατάσταση			80	60
Ζεστό νερό χρήσης	70	Μέγιστο 25	55	10

Ανεξαρτήτως όμως των θερμοκρασιών σχεδιασμού και διαστασιολόγησης του συστήματος είναι επιθυμητό κατά την λειτουργία του να παρέχονται όσο το δυνατόν μειωμένες τιμές θερμοκρασιών προσαγωγής καθώς αυτό είναι ευεργετικό για την κεντρική μηχανή εφόσον φυσικά καλύπτεται αποτελεσματικά η θερμική ζήτηση, ειδικά στις περιόδους μικρότερης ζήτησης (άνοιξη, καλοκαίρι).

Ανά τα χρόνια έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί διάφορες θεωρίες για την ισορροπία του συστήματος, με σκοπό την επίτευξη της όσο τον δυνατόν μεγαλύτερης απόδοσης. Η κύρια αρχή για τον σχεδιασμό του συστήματος τηλεθέρμανσης ώστε να καλύπτει τις καταναλωτικές ανάγκες είναι η δυνατότητα να ελέγχεται η θερμοκρασία προσαγωγής ζεστού νερού βάσει της μεταβλητής παροχής και μεταβλητής θερμοκρασίας που υπαγορεύονται κάθε φορά από το θερμικό φορτίο που «ζητά» ο καταναλωτής. Βάσει της παραπάνω αρχής, έχει αποδειχθεί η υψηλή οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος κατά την διάρκεια ζωής του, μέσω ενός συνδυασμού μείωσης θερμικών απωλειών, αύξησης της ενεργειακής απόδοσης των αντλιών και ελαχιστοποίησης των απαιτούμενων σωληνώσεων. Τέτοιες, για παράδειγμα, είναι η υψηλής-παροχής (high flow principle) και η χαμηλής-παροχής (low-flow principle) θεωρίες που αποτελούν τρόπους επίτευξης της επιθυμητής αποδοτικότητας του συστήματος σε συνδυασμό με την επίτευξη της κατάλληλης ψύξης της κεντρικής μηχανής [17]. Ιδανικά, ο



συντονιστής του συστήματος τηλεθέρμανσης επιθυμεί να λαμβάνει την όσο το δυνατό χαμηλότερη θερμοκρασία επιστροφής, στην πραγματικότητα όμως η τιμή αυτής καθορίζεται από τις θερμοκρασίες δευτερεύοντος ρεύματος που με την σειρά τους καθορίζονται από την επίδοση των συστημάτων των κτιρίων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο. Έτσι η τιμή της θερμοκρασίας επιστροφής αποκλίνει συνήθως από την επιθυμητή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Οι ιδανικές θερμοκρασιακές συνθήκες λειτουργίας αποτελούν βασικό και σημαντικό στόχο των συστημάτων τηλεθέρμανσης καθώς συμβάλλουν στην μείωση του λειτουργικού κόστους και της χρήσης ενέργειας για την εταιρεία της τηλεθέρμανσης. Στον πίνακα 7 παρουσιάζονται οι τιμές των θερμοκρασιών ενός συστήματος τηλεθέρμανσης όπως εκτιμώνται, επιτυγχάνονται και όπως ιδανικά θα έπρεπε να διαμορφώνονται [9].

Πίνακας 7. Εκτιμώμενη, ρεαλιστική και ιδανική τιμή θερμοκρασιών παροχής και επιστροφής πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ρεύματος

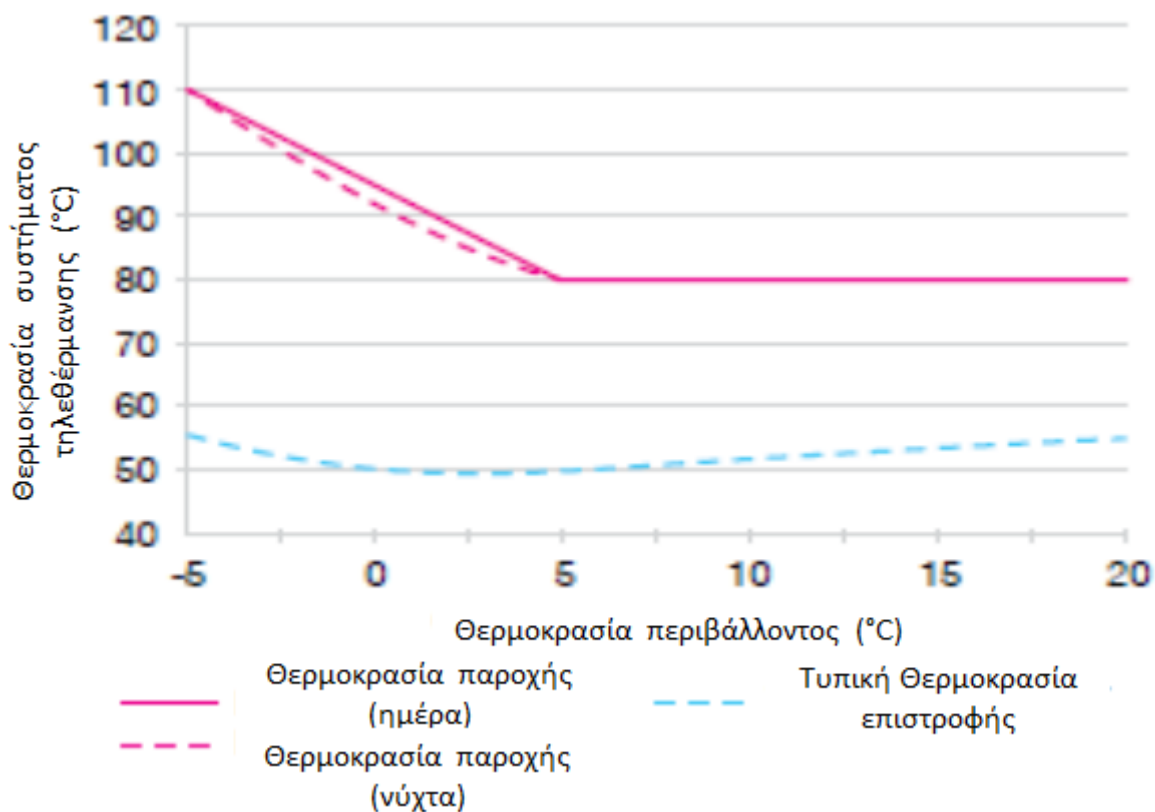
	Εκτιμώμενη	Ρεαλιστική	Ιδανική
Θερμοκρασία παροχής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	105	105	105
Θερμοκρασία επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	73	67	42
Θερμοκρασία παροχής δευτερεύοντος ρεύματος (°C)	82	85	70
Θερμοκρασία επιστροφής δευτερεύοντος ρεύματος (°C)	71	65	40

Σε γενικές γραμμές όταν το σύστημα τίθεται κατά τον σχεδιασμό σε χαμηλή θερμοκρασία προσαγωγής και επιστροφής οι θερμικές απώλειες του συστήματος μειώνονται. Παρόλα αυτά, χαμηλή θερμοκρασία προσαγωγής οδηγεί στην ανάγκη για μεγαλύτερο αριθμό σωληνώσεων και μεγαλύτερης εμβέλειας αντλίες. Αντίθετα, μια χαμηλή θερμοκρασία επιστροφής έχει ευεργετικά αποτελέσματα για το σύστημα τηλεθέρμανσης καθώς βοηθά στην αύξηση της αποδοτικότητας όλου του συστήματος και στην καλύτερη ψύξη της κεντρικής μηχανής. Το μοναδικό μειονέκτημα μιας χαμηλής θερμοκρασίας επιστροφής είναι ότι απαιτεί την



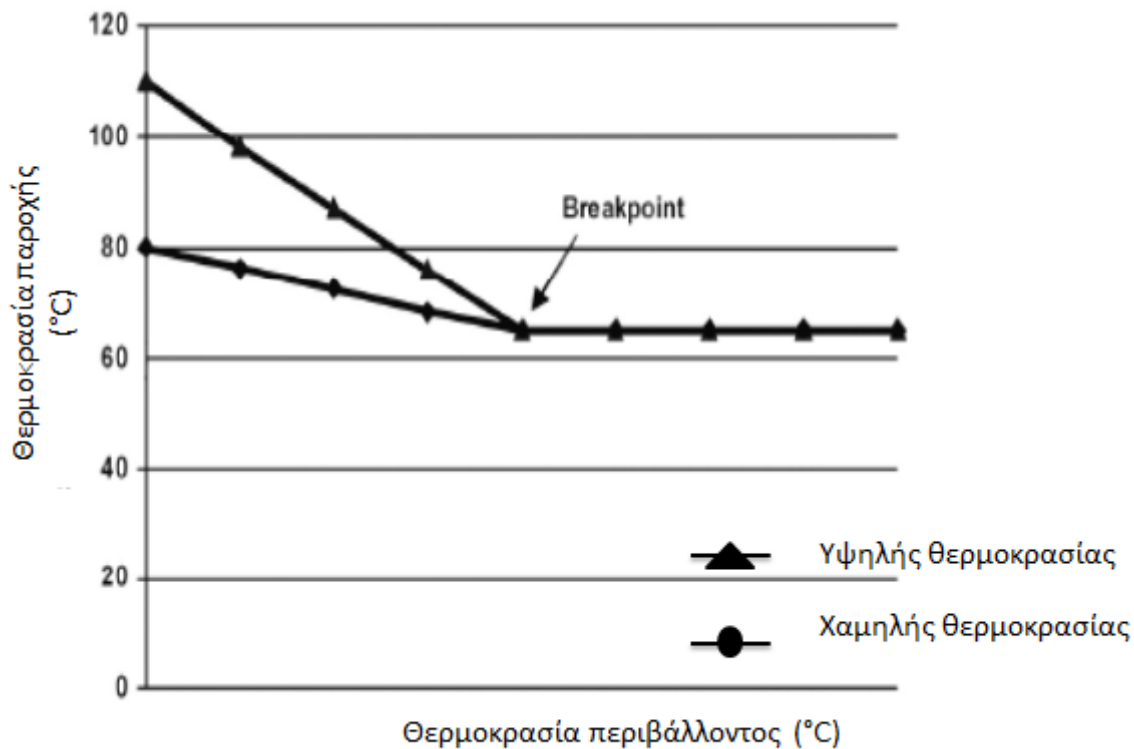
εγκατάσταση στον υποσταθμό εναλλάκτη με μεγαλύτερη επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας. Η ποσότητα της θερμότητας που χρησιμοποιείται από το νερό του συστήματος τηλεθέρμανσης εξαρτάται κυρίως από το σχεδιασμό και την προσαρμογή των εσωτερικών συστημάτων θέρμανσης των κτιρίων των χρηστών, αλλά και από την απόδοση και την κατάσταση του υποσταθμού κάθε κτιρίου. Η καλή επίδοση του συστήματος του υποσταθμού κάθε κτιρίου σημαίνει ότι μεγαλύτερο ποσό θερμότητας αποσπάται από το νερό του συστήματος με αποτέλεσμα η θερμοκρασία επιστροφής να είναι χαμηλότερη άρα και πιο αποδοτικότερη η λειτουργία όλου του συστήματος. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας παροχής συναρτήσει της θερμοκρασίας επιστροφής μπορεί να επιτευχθεί μεταβάλλοντας το άνοιγμα της πρωτογενούς αντλίας ελέγχου. Όταν η θερμική ζήτηση του συστήματος μειώνεται, η θερμοκρασία επιστροφής αρχίζει να αυξάνεται και ο συντονιστής του συστήματος τηλεθέρμανσης ενημερώνεται μέσω των αισθητήρων θερμοκρασίας στον αγωγό επιστροφής. Μεταβάλλοντας το άνοιγμα της βαλβίδας ελέγχου μπορεί να ρυθμίσει την θερμοκρασία παροχής και να βελτιώσει έτσι την απόδοση του συστήματος, όταν η θερμοκρασία επιστροφής ξεπερνά το επιτρεπόμενο όριο. Τα τελευταία χρόνια λόγω των βελτιώσεων στα υλικά και την τεχνολογία των κτιριακών έργων οι ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων που κατασκευάζονται έχουν μειωθεί. Αυτό κάνει ακόμα πιο σημαντική τη μείωση της θερμοκρασίας επιστροφής γιατί η μικρότερη κατανάλωση οδηγεί σε μικρότερους εναλλάκτες θερμότητας. Σε καινούργιες μονοκατοικίες το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η θερμοκρασιακή διαφορά παροχής – επιστροφής καθώς συνδράμει στην μείωση της διαμέτρου του σωλήνα διανομής της μονοκατοικίας επομένως και στην μείωση του κόστους κατασκευής και των θερμικών απωλειών.

Η θερμοκρασία προσαγωγής επίσης διαμορφώνεται ώστε να ακολουθεί μια προκαθορισμένη καμπύλη θερμοκρασίας προσαγωγής που είναι συνδεδεμένη με την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η παροχή νερού είναι μεταβλητή ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας επιστροφής του συστήματος, εξασφαλίζοντας ότι το κόστος άντλησης θα ελαχιστοποιηθεί [10]. Στην εικόνα 6 φαίνεται το διάγραμμα εξάρτησης των θερμοκρασιών προσαγωγής και επιστροφής από την θερμοκρασία περιβάλλοντος [10]. Σε συστήματα που δεν καλύπτουν την ανάγκη για ζεστό νερό χρήσης η τιμή της θερμοκρασίας παροχής σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο.



Εικόνα 6. Καμπύλη θερμοκρασιών παροχής και επιστροφής συστήματος τηλεθέρμανσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στην εικόνα 7 φαίνεται επίσης η καμπύλη που ακολουθεί η θερμοκρασία παροχής συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για κάθε είδος συστήματος (υψηλής θερμοκρασίας, χαμηλής θερμοκρασίας) που μπορεί να εξυπηρετεί [17]. Για να διασφαλιστεί ότι ένας υποσταθμός δεν τροφοδοτείται με θερμοκρασία μικρότερη των 65 °C σε χαμηλό φορτίο, η θερμοκρασία παροχής από την κεντρική μηχανή πρέπει να είναι περίπου 10 °C μεγαλύτερη. Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, το σημείο ισότητας των τιμών θερμοκρασίας παροχής και για τα δύο συστήματα μπορεί να κυμαίνεται σε ένα εύρος από - 5 °C έως + 10 °C. Κάθε εταιρεία πρέπει να παρέχει τα στοιχεία αυτά στον πελάτη.



Εικόνα 7. Καμπύλη θερμοκρασίας παροχής συστήματος τηλεθέρμανσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος για συστήματα υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας

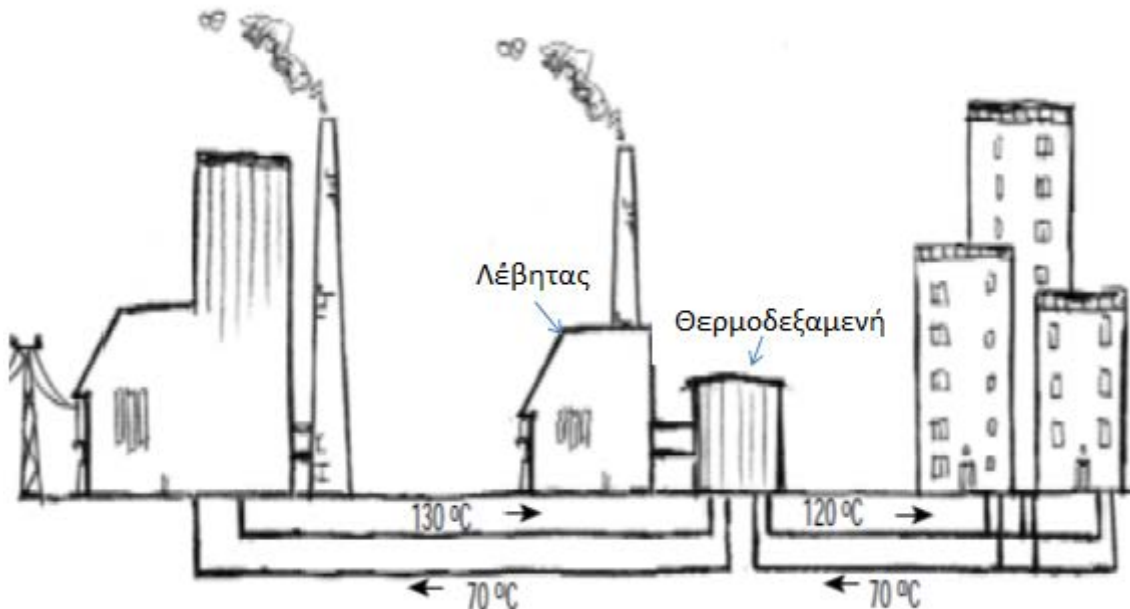
Οι προτεινόμενες τιμές λειτουργίας σύμφωνα με τις οδηγίες της Euroheat&Power για όλα τα νέα συστήματα τηλεθέρμανσης περιλαμβάνοντας και την ανακαίνιση μέρους παλιών συστημάτων φαίνονται στον πίνακα 8 [17]:



Πίνακας 8. Προτεινόμενες τιμές λειτουργίας για συστήματα τηλεθέρμανσης

Σύστημα τηλεθέρμανσης	Δεδομένα λειτουργίας	Δεδομένα Σχεδιασμού
Σύστημα υψηλής θερμοκρασίας	100°C; 1.6 MPa Πτώση πίεσης 0.8 – 0.10 Mpa	110°C; 1.6 MPa
Σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας	Μέγιστο 85°C; 0.6 MPa Πτώση πίεσης 0.35 – 0.3 Mpa	90°C; 0.6 MPa

Άλλος παράγοντας που επηρεάζει τις θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής είναι ο τρόπος διασύνδεσης του χρήστη. Στα άμεσα συστήματα που αποτελούν συνήθως μικρότερης κλίμακας συστήματα οι θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής κυμαίνονται σε ένα εύρος 68 – 85 °C και 34 – 65 °C αντίστοιχα ενώ στα συστήματα με έμμεση διασύνδεση οι θερμοκρασίες αυτές κυμαίνονται σε ένα εύρος υψηλότερο και μπορεί να φτάσουν και 140 και 75 °C αντίστοιχα. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της παροχής και της επιστροφής τόσο μειώνεται η παροχή νερού που απαιτείται. Στην εικόνα 8 φαίνεται μια ακόμα προτεινόμενη θεώρηση των θερμοκρασιών παροχής και επιστροφής για κάθε τμήμα του συστήματος.



Εικόνα 8. Αναπαράσταση συστήματος τηλεθέρμανσης με προτεινόμενες θερμοκρασίες

Προκύπτει επομένως από τα παραπάνω ότι η επιλογή της ιδανικής θερμοκρασίας επιστροφής του συστήματος είναι αποτέλεσμα πολλών παραμέτρων για ανάλυση και συμβιβασμών προκειμένου να βρεθεί το ιδανικότερο σημείο λειτουργίας του συστήματος.

Για τους προαναφερθέντες λόγους, στην παρούσα εργασία, η επιλογή των σχεδιαστικών τιμών των θερμοκρασιών προσαγωγής και επιστροφής του πρωτεύοντος συστήματος σε κάθε κτίριο αφήνεται στην δικαιοδοσία του χρήστη για την επίτευξη μιας καλύτερης προσέγγισης των απαιτήσεων του εκάστοτε σεναρίου.

2.4. Περιγραφή συστήματος

Τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν ένα σύστημα τηλεθέρμανσης είναι τα εξής:

- Η πηγή θέρμανσης και ο εξοπλισμός διασύνδεσης αυτής με το σύστημα.
- Το σύστημα μεταφοράς και διανομής
- Ο υποσταθμός κάθε χρήστη και ο εξοπλισμός διασύνδεσης του χρήστη με το δίκτυο.



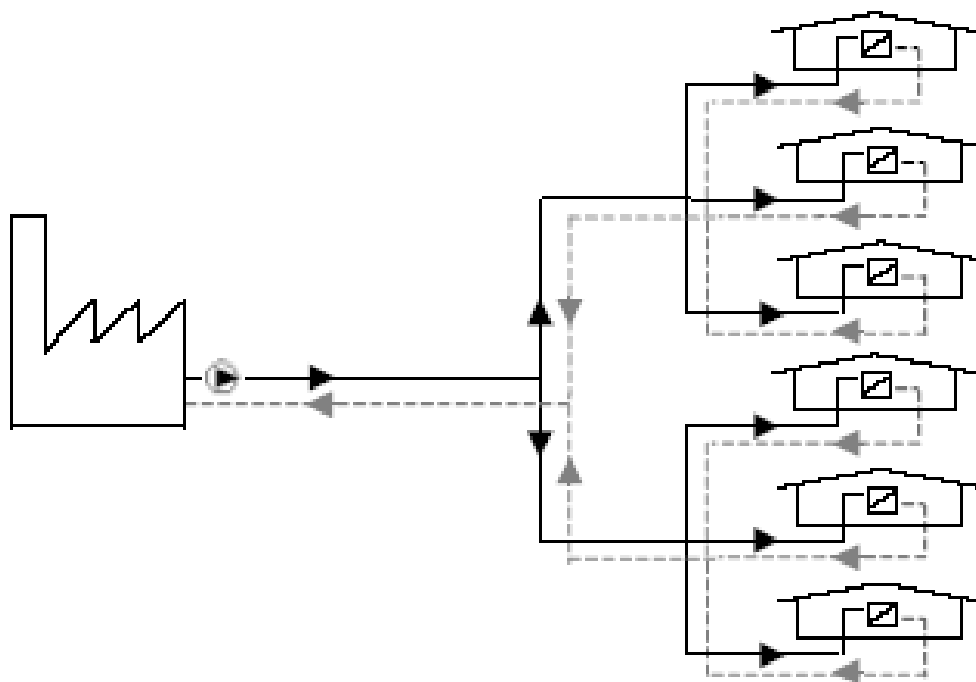
2.4.1. Διασύνδεση χρήστη

Βασικό σχεδιαστικό στοιχείο ενός συστήματος τηλεθέρμανσης αποτελεί ο τρόπος διασύνδεσης του καταναλωτή με το πρωτεύων δίκτυο. Για το λόγο αυτό, τα περισσότερα συστήματα τηλεθέρμανσης σχεδιάζονται βάσει συγκεκριμένων κατευθυντήριων γραμμών οι οποίες περιλαμβάνουν τους πλέον συνιστώμενους τρόπους διασύνδεσης. Αυτές οι βασικές αρχές διασύνδεσης έχουν ως στόχο την διασφάλιση της ασφαλούς και αξιόπιστης χρήσης, την διατήρηση της καλής ποιότητας του συστήματος τηλεθέρμανσης, την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης, την απλοποίηση του σχεδιασμού και την αξιοποίηση των πιο αποδοτικών από άποψη κόστους λύσεων [17].

Οι αρχές διασύνδεσης περιλαμβάνουν τις ελάχιστες προδιαγραφές που ο κάθε υποσταθμός καλείται να πληροί. Είναι πιθανό να προστεθούν περισσότερες λειτουργίες και στοιχεία εάν το επιθυμεί ο καταναλωτής ή υπαγορεύεται από ειδικές συνθήκες. Υπάρχουν δύο βασικές αρχές διασύνδεσης όσον αφορά την σύνδεση του δικτύου διανομής του συστήματος τηλεθέρμανσης και του καταναλωτή οι οποίες είναι:

- **Έμμεση σύνδεση του δικτύου θέρμανσης του καταναλωτή με το πρωτεύων δίκτυο διανομής.**

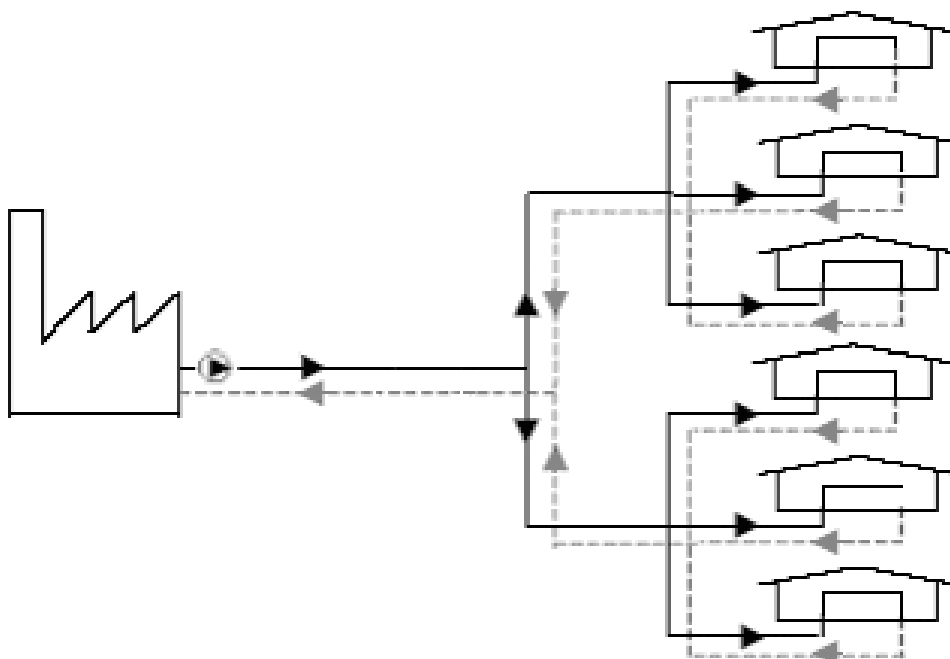
Αυτός ο τρόπος διασύνδεσης είναι και ο πιο συχνός στα σύγχρονα συστήματα τηλεθέρμανσης. Περιλαμβάνει έναν εναλλάκτη θερμότητας για τον υδραυλικό διαχωρισμό των δύο ρευμάτων των δικτύων. Με τον τρόπο αυτό το νερό του πρωτεύοντος δικτύου της τηλεθέρμανσης δεν εμπλέκεται σε κανένα σημείο με αυτό του δευτερεύοντος δικτύου (δίκτυο κτιρίου). Η διάταξη του εναλλάκτη, των βαλβίδων, των αντλιών και του συστήματος ελέγχου αποτελούν τον λεγόμενο υποσταθμό και συνήθως εγκαθίστανται σε ειδικό δωμάτιο σε κάθε κτίριο [10]. Στην εικόνα 9 παρουσιάζεται σχεδιαστικά η έμμεση διασύνδεση χρήστη [10].



Εικόνα 9. Αναπαράσταση έμμεσης διασύνδεσης χρήστη

- **Άμεση σύνδεση του δικτύου θέρμανσης του καταναλωτή με το πρωτεύων δίκτυο διανομής.**

Αυτός ο τρόπος διασύνδεσης δεν περιλαμβάνει εναλλάκτη θερμότητας επομένως το νερό του πρωτεύοντος δικτύου είναι αυτό που κυκλοφορεί και στο δευτερεύων δίκτυο κάθε κτιρίου (σώματα θέρμανσης κτλ). Αυτού του τύπου τα διασυνδεόμενα συστήματα διαθέτουν συνήθως σύστημα συναγερμού σε περίπτωση διαρροής. Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται σχεδιαστικά η άμεση διασύνδεση χρήστη [10].



Εικόνα 10. Αναπαράσταση άμεσης διασύνδεση χρήστη

Στην παρούσα εργασία, θεωρήθηκε έμμεση διασύνδεση καταναλωτή – δικτύου σε όλες τις περιπτώσεις.

2.4.2. Εναλλάκτες θερμότητας

Όπως προαναφέρθηκε, σε ένα σύστημα τηλεθέρμανσης το οποίο έχει έμμεση διασύνδεση με τον καταναλωτή, ο υποσταθμός κάθε κτιρίου είναι εφοδιασμένος με έναν εναλλάκτη θερμότητας για την μεταφορά της θερμικής ενέργειας από το πρωτεύον δίκτυο (δίκτυο τηλεθέρμανσης) στο δευτερεύων (εσωτερικό δίκτυο κτιρίου). Υπάρχουν διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας σχεδιασμένων συγκεκριμένα για χρήση σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Οι πλακοειδείς εναλλάκτες έχουν γενικά πλεονέκτημα κόστους σε σχέση με άλλους τύπους και απαιτούν λιγότερο χώρο σε σύγκριση με τους περισσότερους τυπικούς σωληνωτούς εναλλάκτες. Απαιτούν επίσης πολύ μικρότερη επιφάνεια συναλλαγής για την επίτευξη των ίδιων συνθηκών λειτουργίας σε σχέση με τους άλλους δύο προαναφερθέντες τύπους καθώς διαθέτουν πολύ υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας. Με την χρήση πλακοειδών εναλλακτών, η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας επιστροφής του



πρωτεύοντος δικτύου και της θερμοκρασίας επιστροφής του δευτερεύοντος δικτύου είναι μικρότερη και ίση περίπου με $1 - 2 \text{ }^\circ\text{C}$ σε σύγκριση με τους εναλλάκτες κελύφους και σωλήνα όπου η διαφορά αγγίζει τους $6 - 7 \text{ }^\circ\text{C}$. [9]

Βάσει των παραπάνω, οι πλακοειδείς εναλλάκτες συναντιούνται πολύ πιο συχνά σε εφαρμογές τηλεθέρμανσης σε σχέση με τους άλλους δύο αναφερθέντες τύπους. Οι πλακοειδής εναλλάκτες διαθέτουν δύο επιλογές :

- *Κολλητοί (Brazed)*
- *Παρεμβύσματος (Gasket)*

Οι συνήθεις τύποι εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται είναι οι brazed plate πλακοειδείς εναλλάκτες. [17].

Στην παρούσα εργασία συμπεριλήφθηκαν μοντέλα *brazed plate* εναλλακτών θερμότητας των κατασκευαστικών εταιριών *Danfoss* και *BPX* τα στοιχεία των οποίων συλλέχθηκαν από τα τεχνικά φυλλάδια των εταιρειών [18], [17], [19].

Πρωτεύον και δευτερεύον σύστημα σωληνώσεων: Ως πρωτεύον σύστημα σωληνώσεων ορίζεται εκείνο που ανήκει στο δίκτυο τηλεθέρμανσης. Το δευτερεύον σύστημα σωληνώσεων είναι εκείνο που είναι εγκατεστημένο σε κάθε κτίριο και τροφοδοτεί τα σώματα θέρμανσης ή/και δίνει το ζεστό νερό χρήσης.

Επομένως, στο σημείο διασύνδεσης του χρήστη με το δίκτυο συναντώνται δύο ρεύματα, το πρωτεύων και το δευτερεύων το καθένα από τα οποία διαθέτει δύο κατευθύνσεις ροής, την παροχή και την επιστροφή. Συμβολικά και για την εξυπηρέτηση των υπολογισμών οι αντίστοιχες σε κάθε ροή και ρεύμα θερμοκρασίες χαρακτηρίζονται με τους ανάλογους συμβολισμούς. Οι συμβολισμοί αυτοί είναι:

- $T_{primary}$: Χαρακτηρίζει θερμοκρασία πρωτεύοντος ρεύματος
- $T_{secondary}$: Χαρακτηρίζει θερμοκρασία δευτερεύοντος ρεύματος
- T_{supply} : Χαρακτηρίζει θερμοκρασία παροχής
- T_{return} : Χαρακτηρίζει θερμοκρασία επιστροφής

Επομένως για την περιγραφή της θερμοκρασίας παροχής πρωτεύοντος ρεύματος θα χρησιμοποιηθεί ο συμβολισμός $T_{primary_supply}$.



Λόγω της διασύνδεσης του χρήστη με εναλλάκτη θερμότητας για την καλύτερη αποδοτικότητα του συστήματος ορίζεται ότι η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην θερμοκρασία επιστροφής του πρωτεύοντος ρεύματος και την θερμοκρασία επιστροφής του δευτερεύοντος ρεύματος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τους 3 °C κατά τον σχεδιασμό. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες αυτή η θερμοκρασιακή διαφορά πρέπει να είναι αναλογικά μικρότερη.

2.4.3. Ζεστό νερό χρήσης

Τα συστήματα που καλύπτουν την κατανάλωση για ζεστό νερό χρήσης είναι ιδανικά για μετατροπή σε συστήματα τηλεθέρμανσης. Η απλότητα του σχεδιασμού τους που συνήθως περιλαμβάνει μονό κύκλωμα θέρμανσης, σώματα θέρμανσης και την δεξαμενή ζεστού νερού χρήσης σημαίνει ότι οι τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν είναι ελάχιστες. Τα περισσότερα κτίρια που διαθέτουν ήδη σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρησιμοποιούν δεξαμενή. Όταν πραγματοποιείται σύνδεση με δίκτυο τηλεθέρμανσης θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι η δεξαμενή αυτή είναι επαρκώς διαστασιολογημένη ώστε να φροντίσει την ευοίωνη λειτουργία του συστήματος σε περιπτώσεις αλλαγών στις θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής καθώς η περίοδος αναπαραγωγής μπορεί να επηρεαστεί. Με αυτό τον τρόπο, το ήδη υπάρχον σύστημα παραμένει με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος της επένδυσης. Παρόλα αυτά συνήθως αποδεικνύεται πιο οικονομική σε βάθος χρόνου η αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος με ένα σύστημα σχεδιασμένο ειδικά για το σύστημα τηλεθέρμανσης επομένως να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες θερμοκρασιακές συνθήκες.

Η δεξαμενή του ζεστού νερού χρήσης μπορεί να αντικατασταθεί από εναλλάκτη θερμότητας. Ο εναλλάκτης θερμότητας παρέχει στους ενοίκους μια πιο ευέλικτη μέθοδο παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και σε πολυκατοικίες που φιλοξενούν έναν αριθμό ενοίκων παρέχει απεριόριστες ποσότητες ζεστού νερού χρήσης (δεν υπάρχει χρόνος αναπαραγωγής), ελαχιστοποιεί τις ανάγκες σε χώρο και τις απώλειες αναμονής και μειώνει το κόστος. Επίσης, ένας εναλλάκτης θερμότητας διασφαλίζει χαμηλές θερμοκρασίες επιστροφής του νερού.

Το ζεστό νερό χρήσης παρουσιάζει ζήτηση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και επομένως ο εναλλάκτης θερμότητας πρέπει να διαστασιολογηθεί έτσι ώστε να διασφαλίζει ότι θα παράγεται ζεστό νερό χρήσης ακόμα και την περίοδο όπου η θερμοκρασίας του συστήματος



τηλεθέρμανσης θα φτάνει σε πολύ χαμηλά επίπεδα δηλαδή κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Η θερμοκρασία του κρύου νερού διαφέρει από χώρα σε χώρα και ανάλογα με την χρονική περίοδο. Τους θερμότερους μήνες, ο χειριστής του συστήματος τηλεθέρμανσης οφείλει να μειώσει την θερμοκρασία παροχής σε ένα επίπεδο το οποίο να επαρκεί για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, για παράδειγμα 85 °C. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μια θερμοκρασία παροχής των 70 °C είναι επαρκής και έτσι αποτελεί πιθανώς την χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία για τους καλοκαιρινούς μήνες. Υποθέτοντας λοιπόν θερμοκρασία κρύου νερού ίση με 8 – 11 °C οι θερμοκρασίες του παροχής του νερού δίνονται προσεγγιστικά στον πίνακα 9 [9]:

Πίνακας 9. Θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής στον εναλλάκτη

Θερμοκρασίες (°C) παροχής και επιστροφής στον εναλλάκτη	
Θερμοκρασία παροχής πρωτεύοντος ρεύματος	85
Θερμοκρασία επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος	25
Θερμοκρασία παροχής ζεστού νερού	55 – 65
Θερμοκρασία κρύου νερού	10

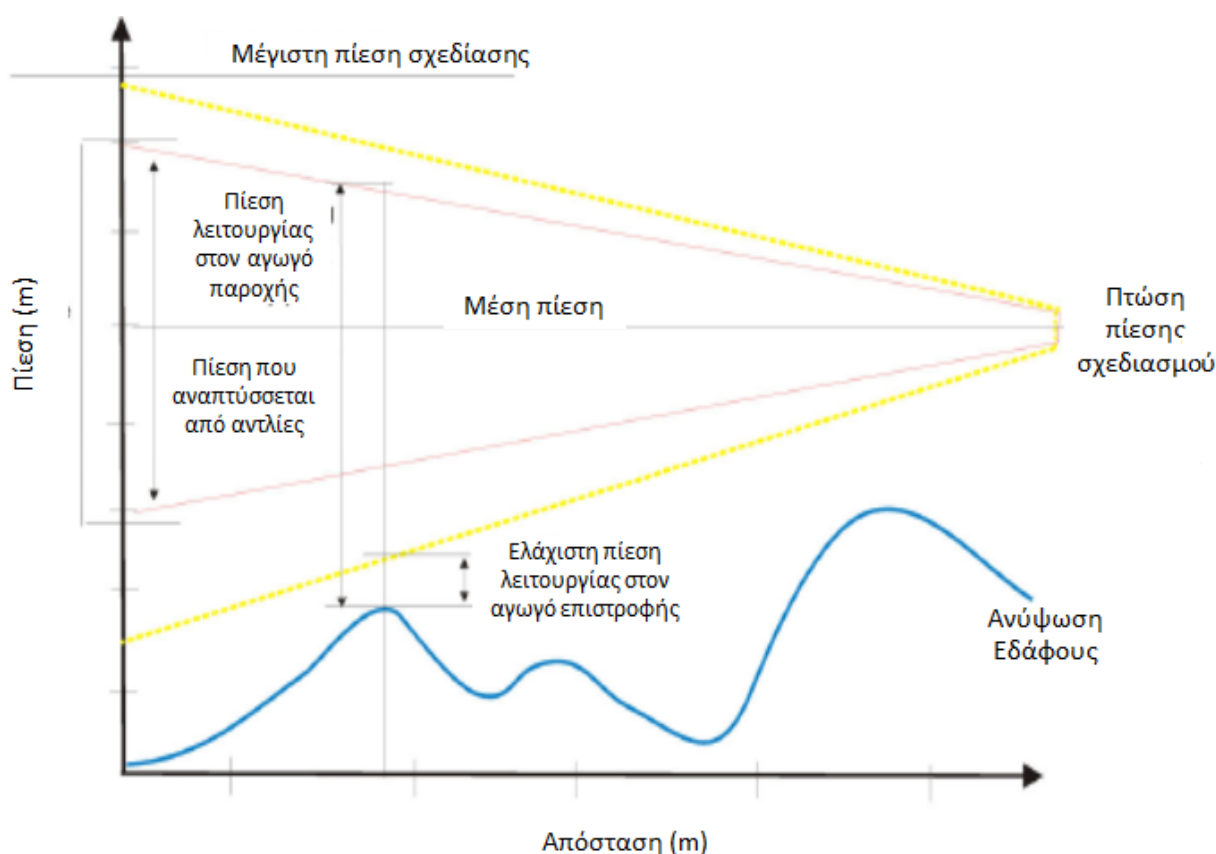
Για την επιτυχία των απαιτήσεων σε άνεση αλλά και των απαιτήσεων για την υγεία του συστήματος ζεστού νερού χρήσης, θα πρέπει να ελέγχονται τα θερμοκρασιακά επίπεδα στο δευτερεύον ρεύμα καθώς επίσης η θερμοκρασία παροχής και επιστροφής του συστήματος [17].

2.4.4. Σύστημα σωληνώσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε ένα σύστημα τηλεθέρμανσης, το νερό μεταφέρεται από το σημείο παραγωγής και την κεντρική μηχανή στον καταναλωτή μέσω του συστήματος σωληνώσεων παροχής και επιστρέφει αφότου έχει εξαχθεί η θερμική ενέργεια. Η κυκλοφορία του νερού επιτυγχάνεται μέσω αντλιών που δημιουργούν την κατάλληλη διαφορά πίεσης ανάμεσα στους σωλήνες παροχής και επιστροφής. Οι αντλίες χρησιμοποιούνται επίσης για να



υπερβαίνουν την αντίσταση της ροής στο σύστημα των σωληνώσεων αλλά και την διαφορά πίεσης που δημιουργείται στο σημείο διασύνδεσης του χρήστη που αποτελεί υδραυλικά το πιο μακρινό σημείο από το σημείο της κεντρικής μηχανής. Είναι λογικό ότι για την επίτευξη των παραπάνω στόχων σπαταλιέται επιπλέον ενέργεια η οποία ελαχιστοποιείται με την χρήση μεταβλητής ταχύτητας ροής για τον έλεγχο των αντλιών [9]. Στο σύστημα των σωληνώσεων περιλαμβάνονται επίσης «γωνίες» σωλήνων των 45° και 90° , βαλβίδες, αεραγωγοί συσκευές εκτόνωσης. Πολλά συστήματα σωληνώσεων περιλαμβάνουν επίσης (εντός της μόνωσης) σύστημα ανίχνευσης το οποίο συνεχώς ελέγχει την ύπαρξη υγρασίας. Στην παρακάτω εικόνα αναπαρίστανται το διάγραμμα πίεσης ενός δικτύου τηλεθέρμανσης όπως αυτό διαμορφώνεται για το ρεύμα παροχής και επιστροφής των σωληνώσεων και συναρτήσει της απόστασης από το σημείο παραγωγής της ενέργειας [9].



Εικόνα 11. Διάγραμμα πίεσης για το δίκτυο σωληνώσεων παροχής και επιστροφής συστήματος τηλεθέρμανσης συναρτήσει της απόστασης από το σημείο παραγωγής ενέργειας



Η θερμοκρασία παροχής του δικτύου επηρεάζεται και συχνά περιορίζεται από το είδος και το υλικό των σωλήνων που χρησιμοποιούνται γεγονός που επηρεάζει ολόκληρο το δίκτυο καθώς και το κόστος αυτού. Στα περισσότερα δίκτυα τηλεθέρμανσης χρησιμοποιούνται σωλήνες οι οποίοι έχουν μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 140 °C. Παρόλα αυτά το πιο συνηθισμένο είναι η λειτουργία σε θερμοκρασίες μικρότερες των 120 °C και ακόμα και κάτω από 80 °C (στις χρονικές περιόδους χαμηλής ενεργειακής ζήτησης).

Η πίεση των σωληνώσεων συνήθως κυμαίνεται κοντά στα 16 bar αν και μπορεί να φτάσει ως τα 25 bar ιδιαίτερα όσον αφορά τους σωλήνες μεταφοράς.

Θερμικές Απώλειες

Οι θερμικές απώλειες στα σύγχρονα δίκτυα εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως το μήκος των σωλήνων σε σχέση με το θερμικό φορτίο, η μόνωση αυτών και τα θερμοκρασιακά επίπεδα. Συνήθως, οι θερμικές απώλειες κυμαίνονται στο 5 – 20 % ετησίως. Για τον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών των σωληνώσεων και εφόσον ο υπολογισμός αυτών ξεφευγε από τα όρια της παρούσας εργασίας, οι θερμικές απώλειες υπολογίστηκαν μέσω του υπολογιστικού εργαλείου της εταιρείας Logstor (βλέπε κεφάλαιο [2.5.2]).

Υλικά και χαρακτηριστικά των σωλήνων που χρησιμοποιούνται

Η συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων τηλεθέρμανσης είναι βασισμένα σε προ-μονωμένους χαλύβδινους σωλήνες παρόλο που διατίθενται στην αγορά πολλοί διαφορετικοί τύποι υλικών σωληνώσεων. Πρακτικά όλοι οι διαθέσιμοι τύποι σωληνώσεων ανήκουν στον τύπο των προ-μονωμένων σωλήνων που αποτελούνται από έναν χαλύβδινο φέροντα σωλήνα με μονωτικό αφρό πολουρεθάνης. Η σωληνώση μαζί με την μόνωση «σφραγίζονται» με την χρήση εξωτερικής θήκης πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας που προστατεύει τις σωληνώσεις από τις εξωτερικές συνθήκες. Σε μικρότερα μεγέθη και διαστάσεις, δύναται να χρησιμοποιηθούν σωλήνες από δύσκαμπτο ή εύκαμπτο πλαστικό ειδικά κατασκευασμένο για την χρήση αυτή. Οι πλαστικοί σωλήνες λειτουργούν σε χαμηλότερες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που κυμαίνονται περίπου σε θερμοκρασίες μικρότερες των 90 °C και πίεση στα 9 bar και επομένως έχουν μικρότερη ευελιξία στην λειτουργία τους. Όσο μειώνονται οι ενεργειακές ανάγκες του συστήματος και επομένως οι θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής,



οι σωλήνες από πλαστικό χρησιμοποιούνται σε συστήματα άμεσης διασύνδεσης του καταναλωτή και συνήθως αποτελούν τους σωλήνες διανομή παρά μεταφοράς.

Σε γενικές γραμμές οι τύποι των σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται είναι οι ίδιοι σε μικρά και σε μεγάλα δίκτυα τηλεθέρμανσης αν και συνήθως στα μικρά δίκτυα δεν χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι σωλήνες αλλά διαφορετικά υλικά ιδίως για τους σωλήνες διανομής. Εκτός του πλαστικού που ήδη αναφέρθηκε μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαλκός και αλουμίνιο κυρίως λόγω της ιδιότητας τους να μη διαβρώνουν. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από σωλήνες μικρής διαμέτρου με την μέγιστη να κυμαίνεται στα 90 mm περίπου [9].

Στο παρελθόν οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνταν κατασκευάζονταν από ένα είδος σκυροδέματος στο εσωτερικό του οποίου τοποθετούνταν με το χέρι μονωμένοι σωλήνες. Η αξιοπιστία των σωληνώσεων αυτών είναι μικρότερη από ότι των προ-μονωμένων σωληνών που συζητήθηκαν πιο πάνω και για το λόγο αυτό έχουν πάψει να χρησιμοποιούνται και αντικαθίστανται σε όσα συστήματα αυτό είναι δυνατό.

Στην παρούσα εργασία όλοι οι σωλήνες έχουν συμπεριληφθεί μοντέλα προ-μονωμένων σωληνών από χάλυβα και χαλκό.

Συνήθη μεγέθη σωληνώσεων τηλεθέρμανσης

Το μέγεθος των σωληνώσεων στα δίκτυα τηλεθέρμανσης κυμαίνεται συνήθως από ονομαστική διάμετρο DN 25 ως DN 1000 mm και παρέχονται σε προκατασκευασμένα μήκη των 6, 12 και 16 m, τα όποια συγκολλούνται μεταξύ τους για να κατασκευαστεί το δίκτυο. Σε γενικές γραμμές, η ύπαρξη υψηλής παροχής στους προ-μονωμένους σωλήνες είναι σημαντική καθώς επιφέρει μικρότερες διαστάσεις σωληνών και άρα μικρότερο κόστος και λιγότερες θερμικές απώλειες. Όταν η παροχή υποδιπλασιάζεται, η διαφορά θερμοκρασίας σε μια καθορισμένη απόσταση διπλασιάζεται [20].

Κατασκευάστριες Εταιρείες

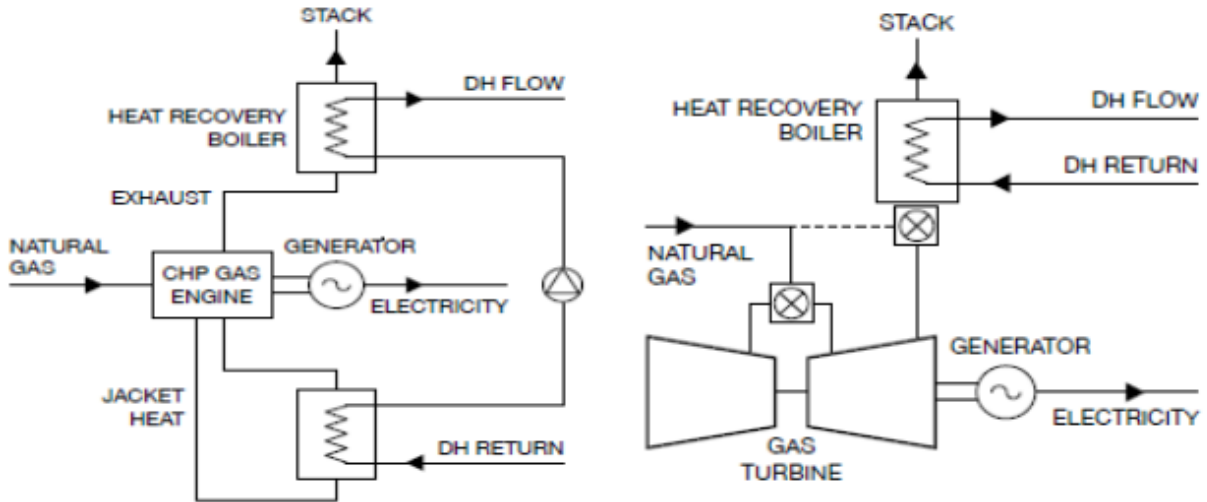
Υπάρχουν πολλές κατασκευάστριες εταιρείες που παρέχουν σωληνώσεις ειδικά για εφαρμογές τηλεθέρμανσης. Οι σωληνώσεις αυτές παρέχονται σε όλες τις ονομαστικές διαμέτρους και επομένως προσαρμόζονται στις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής όσον αφορά στην διαστασιολόγηση τους. Στην παρούσα εργασία συμπεριλήφθησαν στην βάση δεδομένων



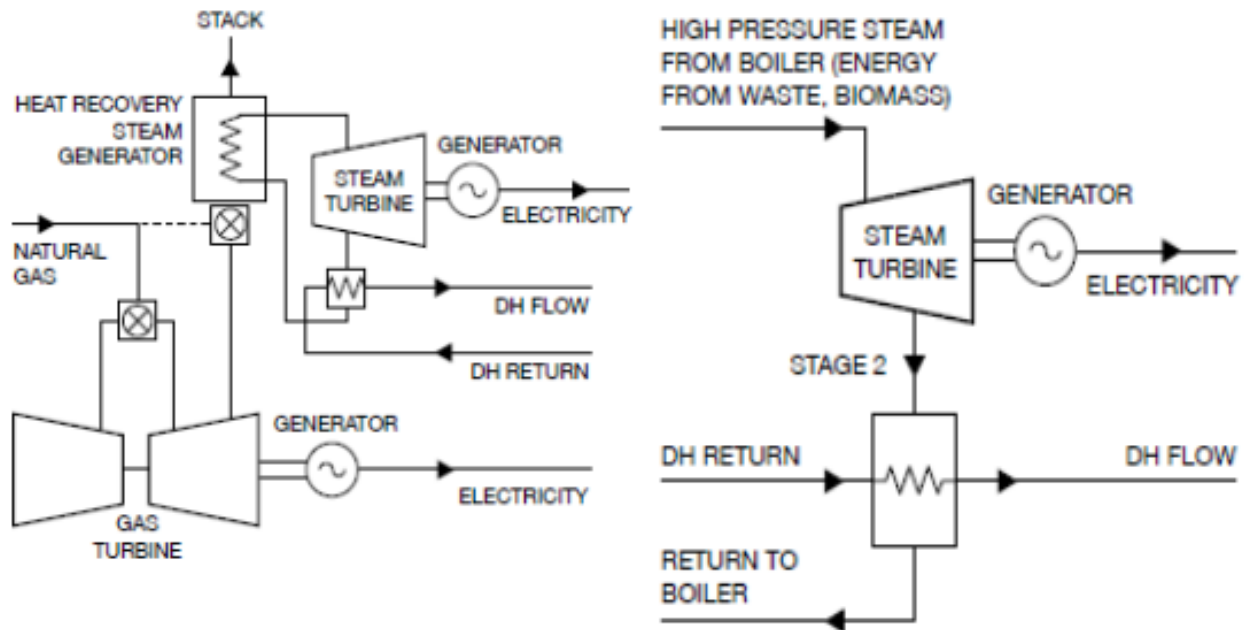
του προγράμματος οι κατασκευάστριες εταιρείες CASAFLEX και COLCOPPER αλλά υπάρχει η δυνατότητα να εμπλουτιστεί η βάση δεδομένων με μοντέλα και άλλων εταιρειών [21], [22], [23].

2.4.5. Κεντρική Μηχανή

Στα συστήματα τηλεθέρμανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι ενεργειακών πηγών για την ενεργειακή κάλυψη του συστήματος. Τέτοιες πηγές είναι η γεωθερμική ενέργεια, θερμότητα από βιομηχανικά απόβλητα, βιομάζα, ηλιακά συστήματα και αντλίες θερμότητας και φυσικά οι λέβητες και οι μηχανές συμπαραγωγής. Ως μηχανές συμπαραγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ), Αεριοστρόβιλοι, Ατμοστρόβιλοι, Κυψέλες καυσίμου, Μηχανές Stirling, καθώς επίσης και εφαρμογές συνδυασμένου κύκλου. Η τεχνολογία που μπορεί και συμφέρει να χρησιμοποιηθεί σε ένα δίκτυο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του δικτύου και το ύψος των ενεργειακών αναγκών. Η χρήση συμπαραγωγής έχει ως αποτέλεσμα την χρήση καυσίμου με πολύ υψηλή απόδοση, δηλαδή βαθμό απόδοσης της τάξης του 80 – 90 % εξοικονομώντας πρωτογενή ενέργεια ως 30 – 45 % σε σύγκριση με το συμβατικό τρόπο για την επίτευξη της ίδιας ποσότητας θερμότητας και ηλεκτρικής ισχύος. Χάρη στην αποδοτικότητα της συμπαραγωγής, οι εκπομπές στο περιβάλλον είναι 30 % μικρότερες σε σύγκριση με τον συμβατικό τρόπο παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας χωριστά. Στις παρακάτω εικόνες 12 και 13 φαίνονται διάφορα συστήματα συμπαραγωγής [10]:



Εικόνα 12. Τηλεθέρμανση και συμπαραγωγή με: αριστερά: ΜΕΚ, δεξιά: Αεριοστρόβιλο



Εικόνα 13. Τηλεθέρμανση και συμπαραγωγή με: αριστερά: Συνδυασμένο Κύκλο Αεριοστρόβιλου, δεξιά: λέβητα Ενεργειακών αποβλήτων ή βιομάζας και Αεριοστρόβιλο



Επιρροή των θερμοκρασιακών επιπέδων στην κεντρική μηχανή

Οποιαδήποτε ενεργειακή πηγή και να χρησιμοποιείται, βασικός παράγοντας της λειτουργίας αυτής είναι η θερμοκρασία επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος. Όταν η θερμοκρασία αυτή είναι χαμηλή επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση ενεργειακών πηγών χαμηλής σχετικά ποιότητας καθώς το νερό επιστροφής, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας, μπορεί να απορροφήσει περισσότερη θερμική ενέργεια από την πηγή και να την μεταφέρει στον καταναλωτή. Επομένως, για την αποτελεσματική λειτουργία της κεντρικής μηχανής είναι επιθυμητό η θερμοκρασία επιστροφής του συστήματος να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Σε γενικές γραμμές, τα θερμοκρασιακά επίπεδα του συστήματος εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, κανόνες και αρχές λειτουργίας (βλέπε επίσης κεφάλαιο [2.3]) οι οποίοι ποικίλλουν από χώρα σε χώρα. Έχει παρατηρηθεί ότι το εύρος των θερμοκρασιακών αυτών επιπέδων είναι αρκετά μεγάλο από 80 έως 30 °C. Ειδικά σε συστήματα συμπαραγωγής τα θερμοκρασιακά επίπεδα είναι μεγάλης σημασίας. Κύρια αιτία αποτελεί το γεγονός ότι σε συστήματα συμπαραγωγής που εξυπηρετούν δίκτυο τηλεθέρμανσης το νερό επιστροφής λειτουργεί και ως ψυκτικό νερό της μηχανής. Επομένως όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία επιστροφής τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απόδοση του συστήματος συμπαραγωγής. Σε ένα σύστημα τηλεθέρμανσης η μηχανή συμπαραγωγής χρησιμοποιείται για την κάλυψη του βασικού φορτίου και σε περιόδους που η ενεργειακή ανάγκη ξεπερνάει το βασικό φορτίο χρησιμοποιούνται άλλες, πιο ακριβές τεχνολογίες όπως συμβατικός λέβητας που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ή πετρέλαιο (τεχνολογία αιχμής).

Τρόπος διασύνδεσης κεντρικής μηχανής

Η διασύνδεση της κεντρικής μηχανής με το δίκτυο μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους όπως και η διασύνδεση του χρήστη: άμεσα ή έμμεσα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η διασύνδεση είναι έμμεση και ο απαιτούμενος εναλλάκτης συμπεριλαμβάνεται στην μηχανή συμπαραγωγής όπως αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή. Η έμμεση διασύνδεση δίνει την δυνατότητα στην κεντρική μηχανή να λειτουργεί ως ξεχωριστό σύστημα από το δίκτυο με διαφορετική θερμοκρασία και πίεση, προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία. Άμεση διασύνδεση χρησιμοποιείται μόνο στις περιπτώσεις όπου το μέσο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας στο δίκτυο είναι το νερό και το νερό αυτό πλήρη τις απαιτήσεις σε



πίεση και ποιότητα της κεντρικής μηχανής και ταυτόχρονα του δευτερεύοντος ρεύματος των κτιρίων του συστήματος [9], [10].

Κατασκευάστριες Εταιρείες

Υπάρχουν πολλές κατασκευάστριες εταιρείες που παρέχουν μονάδες συμπαραγωγής έτοιμες για εγκατάσταση. Στην βάση δεδομένων του προγράμματος όπως έχει διαμορφωθεί μέχρι αυτή την στιγμή περιλαμβάνονται μοντέλα από τις εξής κατασκευάστριες εταιρείες [24], [13]:

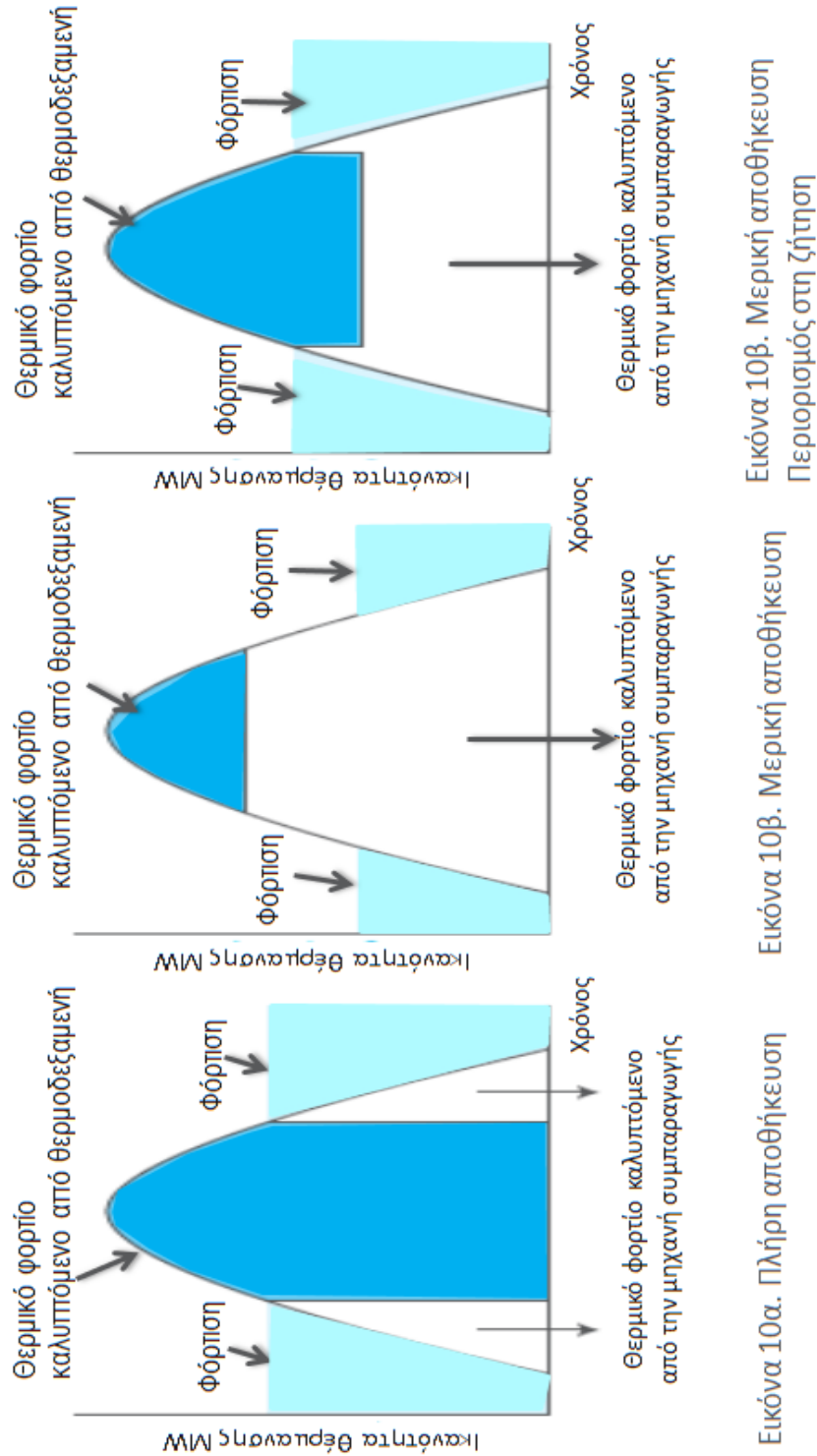
- *MEK*: Ecopower, Giese, Senertec, OET, Aisin, Tedom, KW Energie, EC Power, Kraftwerk, EAW Energieanlagenbau, Bosch Thermotechnik, Höfler, SOKRATHERM, IET Energy GmbH
- *Αεριοστρόβιλοι*: Capstone, Turbec
- *Κυψέλες καυσίμου*: PureCell
- *Μηχανές Stirling*: Whispergen, Cleanergy

2.4.6. Θερμοδεξαμενή

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης είναι στις περισσότερες περιπτώσεις εφοδιασμένα με μια θερμοδεξαμενή. Η θερμοδεξαμενή λειτουργεί ως ο τρόπος αποθήκευσης περισσευούμενης θερμικής ενέργειας με την μορφή ζεστού νερού για μελλοντική χρήση. Η υψηλή θερμοχωρητικότητα του νερού σε συνδυασμό με την χαμηλή θερμική αγωγιμότητα κάνει την αποθήκευση της ενέργειας πιο αποδοτική. Ο τύπος και η χωρητικότητα της θερμοδεξαμενής που εξοπλίζει ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η κλίμακα μεγέθους του συστήματος, τον τρόπο διανομής του νερού και άλλους. Οι τέσσερις βασικοί τύποι θερμοδεξαμενών είναι οι υδροπνευματικές δεξαμενές, οι δεξαμενές στο επίπεδο του εδάφους, οι υπερυψωμένες και οι θαμμένες δεξαμενές. Ο σκοπός ύπαρξης της θερμοδεξαμενής είναι να εξισορροπεί την προσφορά ενέργειας με τη ζήτηση, αυξάνει την ευελιξία λειτουργίας, να εκτονώνει το σύστημα διανομής, να ισοσταθμίσει τις ανάγκες των αντλιών των συστημάτων, να μειώνει το κόστος παραγωγής ενέργειας, να παρέχει ζεστό νερό σε περιόδους βλάβης της κεντρικής μηχανής ή του συστήματος αντλιών. Μια θερμοδεξαμενή «φορτίζεται»



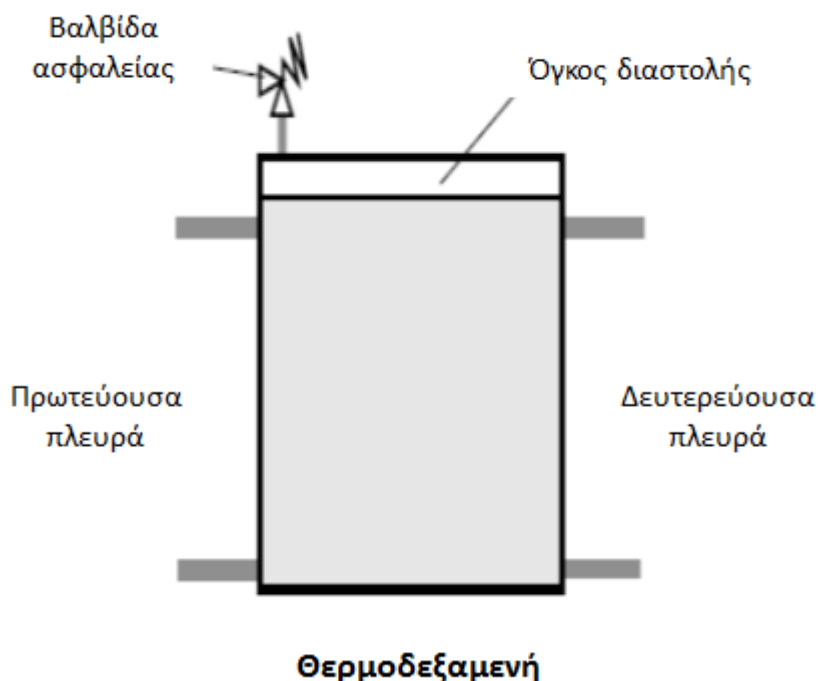
κατά τις ώρες της ημέρας όπου υπάρχει υπερβάλλον προσφορά θερμικής ενέργειας από την κεντρική μηχανή και «αποφορτίζεται» όταν υπάρχει υπερβάλλον ζήτηση από το σύστημα. Έτσι, η ύπαρξη μιας θερμοδεξαμενής μπορεί να βελτιώσει την οικονομική αποδοτικότητα ενός συστήματος τηλεθέρμανσης. Στην εικόνα 14 διαφαίνεται ο τρόπος λειτουργίας της θερμοδεξαμενής (φόρτιση και αποφόρτιση) στις περιπτώσεις πλήρης και μερικής αποθήκευσης. Η χρήση της θερμοδεξαμενής, όπως είναι φυσικό, ποικίλλει ανάλογα με τις αλλαγές που επιφέρονται λόγω εποχιακής ενεργειακής κατανάλωσης [10].



Εικόνα 14. Φόρτιση και αποφόρτιση θερμοδεξαμενής σε πλήρη και μερική απασχόληση



Σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις όπου το σύστημα παροχής καυσίμου διακοπεί ολοκληρωτικά μια θερμοδεξαμενή μπορεί να εξασφαλίσει την εξυπηρέτηση του συστήματος για κάποιες ώρες έως ότου να επανέλθει το σύστημα. Ειδικά σε συστήματα μέχρι μερικά MW, μια θερμοδεξαμενή μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα σε απότομες αλλαγές της ζήτησης. Εάν για παράδειγμα επέλθει ξαφνική μείωση της ζήτησης την χειμωνιάτικη περίοδο λόγω μιας ανέλπιστα ηλιόλουστης μέρας, χωρίς την θερμοδεξαμενή το σύστημα αντιδρά με αρκετή χρόνο-καθυστέρηση. Αν και το δίκτυο διανομής μπορεί να απορροφήσει ένα ποσοστό υπερβάλλουσας ενέργειας, κάτι τέτοιο τείνει να αυξάνει τις θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής, αυξάνοντας επίσης τις θερμικές απώλειες του δίκτυο και μειώνοντας εν τέλει την αποδοτικότητα. Με την ύπαρξη της θερμοδεξαμενής κάτι τέτοιο αποφεύγεται και το σύστημα λειτουργεί καλύτερα. Αντίστοιχα η ύπαρξη της θερμοδεξαμενής λειτουργεί προς όφελος του συστήματος και στην περίπτωση ξαφνικής αύξησης της ζήτησης [25], [26]. Στην εικόνα 15 διαφαίνεται ένα απλό σχεδιάγραμμα μιας θερμοδεξαμενής.



Εικόνα 15. Απλό σχεδιάγραμμα μιας θερμοδεξαμενής



Κατασκευή και υλικό θερμοδεξαμενής

Μια θερμοδεξαμενή χαρακτηρίζεται από πολύπλοκο σχεδιασμό και σημαντικά θέματα που αφορούν στον έλεγχο θερμοκρασιών και πιέσεων. Ο σωστός σχεδιασμός και εύρεση χωρητικότητας εξαρτώνται άμεσα από κάθε περίπτωση ξεχωριστά και αναλαμβάνονται από έμπειρο σχεδιαστή συστημάτων τηλεθέρμανσης για την εγκατάστασή τους. Ο όγκος εκτόνωσης γεμίζεται με νιτρικό αέριο και η πίεση τίθεται στο απαραίτητο επίπεδο. Η θερμοδεξαμενή είναι επίσης εφοδιασμένη με βαλβίδες ασφαλείας με κατάλληλη χωρητικότητα οι οποίες ανοίγουν σε περίπτωση που η θερμοδεξαμενή φτάσει στην μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας.

Η θερμοδεξαμενή είναι συνήθως κατασκευασμένη από χάλυβα με την ίδια πίεση λειτουργίας όπως και το δίκτυο διανομής του συστήματος τηλεθέρμανσης. Διαθέτει προστασία από την διάβρωση και εξωτερικά αλλά και εσωτερικά καθώς επίσης και μόνωση, πολλές φορές από πολυουρεθάνη [10], [20].

Ένα συχνό και σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι θερμοδεξαμενές των συστημάτων τηλεθέρμανσης είναι η θερμική διαστρωμάτωση. Στις περισσότερες θερμοδεξαμενές η διασωλήνωσης εισόδου και εξόδου του νερού βρίσκεται στο κάτω μέρος. Κατά την διάρκεια της ημέρας, καθώς η θερμοδεξαμενή «φορτίζει» το νερό που βρίσκεται στην κορυφή αρχίζει και ζεσταίνεται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και τείνει να παραμείνει στο πάνω μέρος της θερμοδεξαμενής αφήνοντας το πιο κρύο από κάτω. Κατά την διάρκεια της αποφόρτισης λόγω της θέσης της σωλήνωσης εξόδου του νερού το νερό που τροφοδοτεί το δίκτυο είναι το πιο κρύο που μαζεύεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Τελικά, μετά την επανάληψη του φαινομένου για αρκετές μέρες δημιουργείται θερμική διαστρωμάτωση μέσα στην δεξαμενή με το πάνω στρώμα νερού να αποτελεί ζεστό νερό που δεν έχει ανανεωθεί και είναι κακής ποιότητας και το κάτω στρώμα με το κρύο φρέσκο νερό. Έτσι, την στιγμή που η ζήτηση του δικτύου θα φτάσει να «τραβήξει» και το πρώτο στρώμα το νερό που θα χρησιμοποιηθεί θα προκαλέσει την αντίδραση των καταναλωτών αλλά μπορεί επίσης να δημιουργήσει και προβλήματα στο ίδιο το δίκτυο. Έτσι, χρησιμοποιούνται ειδικοί αναδευτήρες οι οποίοι αναμειγνύουν το νερό για να αποφεύγεται η δημιουργία θερμικής διαστρωμάτωσης μέσα στην θερμοδεξαμενή [27].



Κατασκευάστριες Εταιρείες

Στην παρούσα εργασία συμπεριλήφθησαν μοντέλα υπερυψωμένων θερμοδεξαμενών των εταιρειών Cadwell, A.O.Smith και CB&I. Ταυτόχρονα συμπεριλήφθησαν διάφοροι τύποι θερμοδεξαμενών όσον αφορά το σχήμα όπως Composite, Water spheroid, Pedosphere, Fluted-Column, Multi-Column, Hydro pillar και μοντέλα που κατηγοριοποιούνται γενικά ως υπερυψωμένες θερμοδεξαμενές [28], [29], [30].

2.4.7. Τεχνολογία Αιχμής

Στις περιπτώσεις όπου η ενεργειακή ζήτηση ξεπερνά την ονομαστική ισχύ της μηχανής, χρησιμοποιείται η τεχνολογία αιχμής. Η τεχνολογία αιχμής υπάρχει στα συστήματα τηλεθέρμανσης για δύο κυρίως λόγους: α) για να καλύπτει το θερμικό φορτίο που μένει ακάλυπτο από την κεντρική μηχανή β) για να λειτουργεί ως «back up plant» δηλαδή να λειτουργεί σε περιόδους που η κεντρική μηχανή αποτυγχάνει να λειτουργήσει ή βρίσκεται υπό συντήρηση. Στην δεύτερη περίπτωση ο κατασκευαστής του συστήματος έχει εξασφαλίσει ότι το σύστημα η ζήτηση του συστήματος θα καλύπτεται πάντα γεγονός που προσφέρει στο σύστημα μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και αξιοπιστία. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ως τεχνολογία αιχμής χρησιμοποιούνται λέβητες φυσικού αερίου αν και οποιαδήποτε ενεργειακή πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τεχνολογία αιχμής αρκεί όμως να είναι δεδομένο ότι τα ελάχιστα επίπεδα κάλυψης θα παρέχονται.

Κατασκευάστριες Εταιρείες

Στην βάση δεδομένων του συστήματος συμπεριλήφθησαν λέβητες κυρίως φυσικού αερίου της εταιρείας De Dietrich [31].

2.5. Διαστασιολόγηση συστήματος

Μετά την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης της διάταξης του συστήματος, ακολουθεί η διαστασιολόγηση του, η οποία πραγματοποιήθηκε για κάθε βασικό στοιχείο του συστήματος ξεχωριστά δηλαδή για τον εναλλάκτη θερμότητας του υποσταθμού κάθε σπιτιού, για κάθε στοιχείο του συστήματος των σωληνώσεων, για την κεντρική μηχανή, την θερμοδεξαμενή και τέλος το σύστημα κάλυψης φορτίων αιχμής. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε ξεκινώντας από τους υποσταθμούς των εναλλακτών και καταλήγοντας στην κεντρική μηχανή καθώς οι



ενεργειακές απώλειες κυρίως των σωληνώσεων αλλά και των άλλων στοιχείων του συστήματος που παρεμβάλλουν μεταξύ ζητούμενου θερμικού φορτίου καταναλωτή και κεντρικής μηχανής, παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαστασιολόγηση της τελευταίας [9].

2.5.1. Εναλλάκτες θερμότητας

Η διαστασιολόγηση των εναλλακτών θερμότητας πραγματοποιήθηκε βάσει του απαιτούμενου θερμικού φορτίου αιχμής στο μελετώμενο και επιλεγμένο από τον χρήστη χρονικό διάστημα για κάθε κτίριο [9]. Το φορτίο αυτό προσδιορίστηκε υπολογίζοντας την καμπύλη διάρκειας των θερμικών φορτίων κάθε κτιρίου και εντοπίζοντας έτσι το φορτίο αιχμής. Ο χρήστης στη συνέχεια μπορεί να επιλέξει από τις διαθέσιμες τεχνολογίες εναλλακτών θερμότητας που συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές τηλεθέρμανσης και πολλών διαθέσιμων μοντέλων της αγοράς. Για τα μοντέλα αυτά γνωστά είναι: το μέγιστο θερμικό φορτίο που αποδίδουν, η μέγιστη θερμοκρασία και η μέγιστη πίεση λειτουργίας. Η διαστασιολόγηση προκύπτει από την σύγκριση του μέγιστου φορτίου κάθε εναλλάκτη με το φορτίο αιχμής προσαυξημένο κατά ένα συντελεστή ασφαλείας επιλεγόμενο από τον χρήστη. Περιπτώσεις υπερδιαστασιολόγησης του εναλλάκτη εάν και υπό κάποιες συνθήκες μπορούν να θεωρηθούν θεμιτές λόγω πιθανότητας μελλοντικής αύξησης των θερμικών αναγκών ενός σπιτιού, εναπόκειται υπό την ευθύνη του χρήστη. Υπό την παρούσα εργασία και τα μελετώμενα σενάρια εφαρμογής αποφεύχθηκε κάθε τέτοια πιθανότητα.

Κατά την διαστασιολόγηση των εναλλακτών, ο χρήστης ζητείται να εισάγει επίσης τις θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής του πρωτεύοντος συστήματος κάθε κτιρίου. Η δυνατότητα να επιλέγει ο χρήστης τις θερμοκρασίες που θα «στέλνει» το σύστημα τηλεθέρμανσης σε κάθε καταναλωτή προστέθηκε καθώς σε μια πραγματική εφαρμογή, η ανάγκη κάθε καταναλωτή για θέρμανση δεν εξαρτάται μόνο από ποσοτικά μετρήσιμα δεδομένα όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, ο τύπος του κτιρίου κτλ αλλά και από την καταναλωτική συμπεριφορά και τις ανάγκες κάθε καταναλωτή (αριθμός ατόμων που συμβιώνουν, χρόνος παραμονής μέσα στο σπίτι κτλ). Επομένως, μια τέτοια επιλογή θεωρήθηκε πιο κατάλληλη έτσι ώστε η ευθύνη για το ποσοστό κατά το οποίο οι θερμοκρασίες αυτές ανταποκρίνονται στις πραγματικές ανάγκες κάθε κτιρίου, να εναπόκειται στο χρήστη. Σε κάθε περίπτωση, στα σενάρια εφαρμογής που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, οι



επιλεγόμενες κάθε φορά τιμές θερμοκρασιών ήταν ρεαλιστικές και πλήρως εναρμονισμένες με το κάθε υπό-μελέτη σενάριο.

2.5.2. Σωληνώσεις

Η διαστασιολόγηση των σωληνώσεων πραγματοποιήθηκε βάσει επαναληπτικής διαδικασίας για την εύρεση της διαμέτρου κάθε στοιχείου σωλήνωσης και σε κάθε περίπτωση με γνώμονα το φορτίο αιχμής [32]. Για την υλοποίηση της επαναληπτικής διαδικασίας και τον προσδιορισμό της διαμέτρου κάθε στοιχείου σωλήνωσης απαραίτητα δεδομένα αποτελούν η παροχή, η διάταξη και η διαθέσιμη πτώση πίεσης σε κάθε σωληνογραμμή. Ο προσδιορισμός της παροχής μάζας για κάθε σωληνογραμμή επιτυγχάνεται βάσει της σχέσης:

$$m \left(\frac{kg}{s} \right) = \frac{Q (KW)}{c_p \left(\frac{KJ}{kg * K} \right) * (T_{supply} - T_{return})(K)}$$

Όπου Q το θερμικό φορτίο αιχμής, c_p η θερμοχωρητικότητα του νερού και T_{supply} , T_{return} οι θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής του πρωτεύοντος συστήματος κάθε κτιρίου [33], [34].

Η διάταξη του συστήματος είναι ήδη γνωστή και η διαθέσιμη πτώση πίεσης εισάγεται από τον χρήστη, βάσει εμπειρικά γνωστών τιμών. Στα υπό-μελέτη σενάρια της παρούσας εργασίας, η πτώση πίεσης Δp θεωρήθηκε 100 Pa/m για κεντρικές σωληνώσεις και 250 Pa/m για μη κεντρικές σωληνώσεις [10], [20].

Με γνωστά τα παραπάνω υλοποιείται προγραμματιστικά η επαναληπτική διαδικασία. Εκλέγεται μια αρχική τιμή του συντελεστή τριβής λ στην περιοχή τιμών 0.01 – 0.02. Βάσει της τιμής αυτής προκύπτει μια πρώτη εκτίμηση της διαμέτρου μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\Delta p = \lambda * \left(\frac{8}{\pi^2} \right) * \left(\frac{L * \rho}{D^5} \right) * V^2$$

Όπου L το μήκος της σωληνογραμμής σε m, D η διάμετρος σε m, ρ η πυκνότητα του νερού σε kg/m^3 , V η παροχή όγκου σε m^3/s . Βάσει της τιμής αυτής της διαμέτρου επιλέγεται η πλησιέστερη τυποποιημένη διάμετρος από κατάλληλο αρχείο στην βάση δεδομένων της εφαρμογής και υπολογίζονται η ταχύτητα της ροής και ο αριθμός Reynolds από τις σχέσεις:



$$u = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{A(m^2)} = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad \text{και} \quad Re = \frac{u \left(\frac{m}{s} \right) * D(m)}{v(Pas)}$$

Όπου u η ταχύτητα της ροής, A η διατομή του σωλήνα και v η κινηματική συνεκτικότητα του νερού.

Στην συνέχεια υπολογίζεται η νέα τιμή του συντελεστή τριβής λ βάσει του τύπου Jain:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.14 - 2 * \log \left(\frac{21.25}{Re^{0.9}} + \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

Όπου ε η απόλυτη τραχύτητα του σωλήνα, η τιμή της οποίας λαμβάνεται ίση με 0.05 mm.

Βάσει της νέας τιμής υπολογίζονται οι απώλειες μηχανικής ενέργειας ως εξής:

$$\delta p_f = \lambda * \left(\frac{L}{D} \right) * \frac{1}{2} * \rho * u^2$$

Η τιμή των μηχανικών απωλειών συγκρίνεται με την δοσμένη από τον χρήστη πτώση πίεσης. Εάν είναι μεγαλύτερη, εκλέγεται η αμέσως επόμενη τυποποιημένη διάμετρος και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. *En τέλει, επιλέγεται η μικρότερη δυνατή τυποποιημένη διάμετρος για την οποία οι απώλειες θα παραμένουν μικρότερες από το διαθέσιμο ύψος.*

Παραδοχές για την πραγματοποίηση της διαστασιολόγησης

- Οι τυποποιημένες διαμέτροι DN του πίνακα της βάσης δεδομένων λήφθηκαν από πίνακα για χαλύβδινους σωλήνες [32].
- Η απόλυτη τραχύτητα ε του σωλήνα λαμβάνεται βάσει παραδοχής για χαλύβδινους σωλήνες που ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής έχουν ένα εύρος $\varepsilon = 0.01-1.6$ mm. Θεωρήθηκε χαλύβδινος σφυρήλατος σωλήνας (του εμπορίου) και επομένως $\varepsilon=0.05$ mm [32].
- Η θερμική αγωγιμότητα του νερού θεωρήθηκε για μια θερμοκρασία των $T= 60$ °C ως $c_p = 4.186 \frac{KJ}{kg * K}$, η πυκνότητα του νερού θεωρήθηκε για μια θερμοκρασία των $T= 85 - 90$ °C



ως $\rho = 967.5 \frac{Kg}{m^3}$. Επιπρόσθετα, η δυναμική συνεκτικότητα θεωρήθηκε για $T = 80 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ως $\mu = 0.000325 \frac{N*s}{m^2}$ και επομένως η κινηματική συνεκτικότητα ως $\nu = \frac{\mu}{\rho} = 0.000000355 \frac{m^2}{s}$ [35], [36].

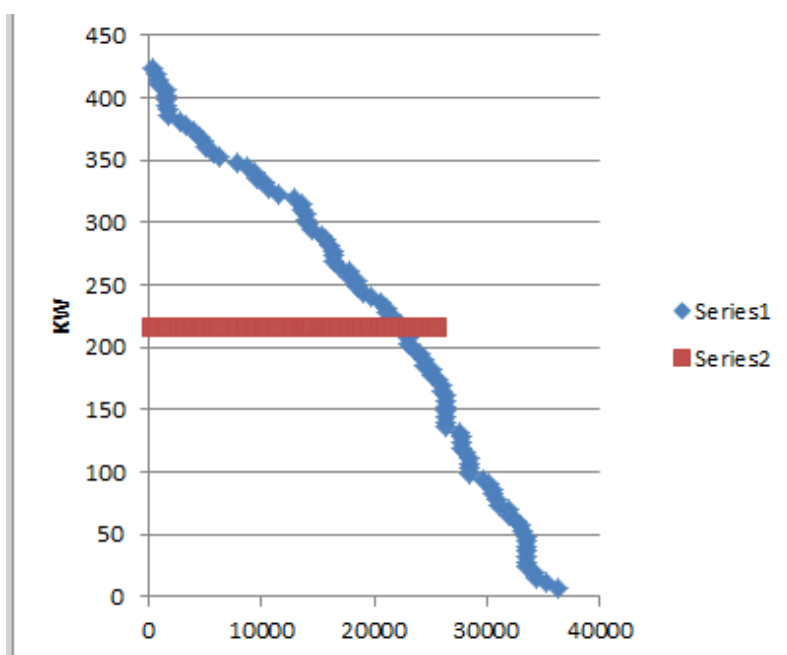
Υπολογισμός των θερμικών απωλειών των σωληνώσεων

Για των υπολογισμό των θερμικών απωλειών των σωληνώσεων και στην συνέχεια των συνυπολογισμό τους στο προς κάλυψη φορτίο χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό εργαλείο της εταιρείας Logstor [37]. Βάσει αυτού και εισάγοντας τα ζητούμενα στοιχεία όπως θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής και διάμετρο σωληνώσεων έγινε δυνατός ο υπολογισμός των αντίστοιχων θερμικών απωλειών.

2.5.3. Κεντρική Μηχανή

Η διαστασιολόγηση της κεντρικής μηχανής γίνεται στο βασικό θερμικό φορτίο και σύμφωνα με την καμπύλη διάρκειας των θερμικών φορτίων του καθορισμένου συστήματος τηλεθέρμανσης. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται το βασικό σημείο λειτουργίας του συστήματος σε KW, το φορτίο αιχμής και το εναπομείναν φορτίο το οποίο απομένει να καλυφθεί από την τεχνολογία αιχμής. Η καμπύλη διάρκειας εμφανίζεται σε κατάλληλο διάγραμμα στον χρήστη για την διευκόλυνση των περαιτέρω επιλογών κατάστρωσης του συστήματος τηλεθέρμανσης [9].

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται υπολογισμός του νέου βασικού φορτίου (σημείο διαστασιολόγησης κεντρικής μηχανής) το οποίο προκύπτει από τον συνυπολογισμό των θερμικών απωλειών του δικτύου των σωληνώσεων. Μια καμπύλη διάρκειας θερμικών φορτίων έχει την μορφή που φαίνεται στην εικόνα 16:

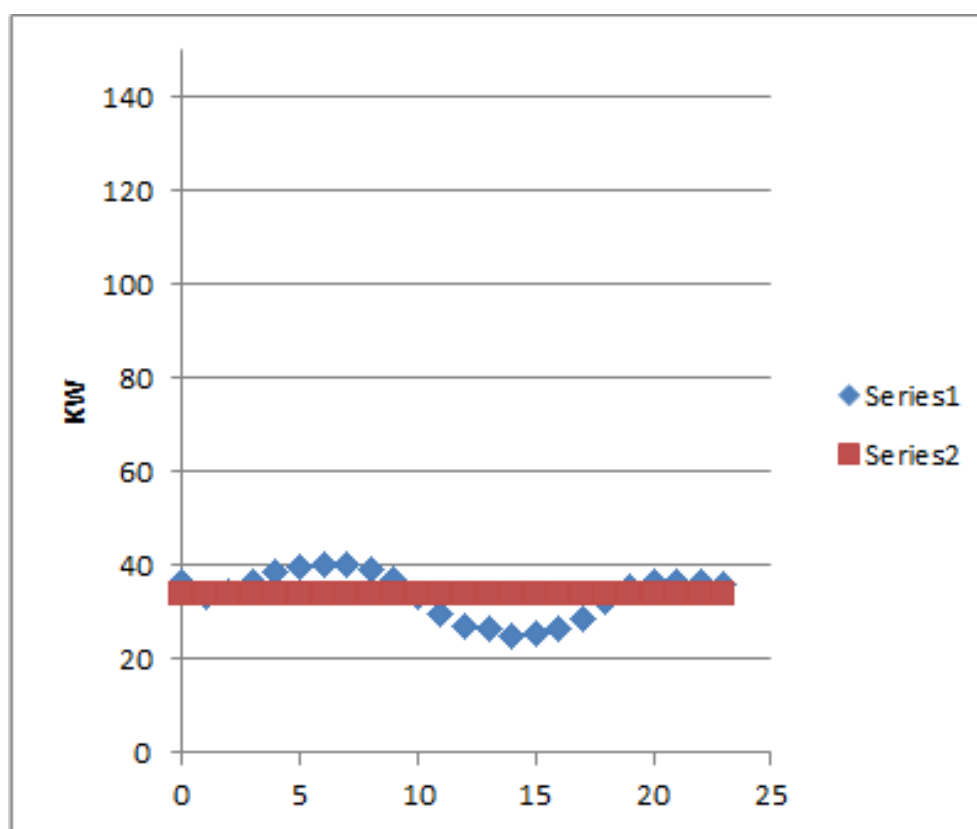


Εικόνα 16. Καμπύλη Διάρκειας από επιλεγμένο σενάριο

Μετά τον προσδιορισμό του θερμικού φορτίου που πρέπει να καλυφθεί γίνεται από τον χρήστη η επιλογή του τύπου τεχνολογίας που θέλει να χρησιμοποιήσει καθώς και του συγκεκριμένου μοντέλου μέσα από την βάση δεδομένων του προγράμματος. Για τα διαθέσιμα μοντέλα και επομένως τους κατασκευαστές που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στο κεφάλαιο [2.4.5] και αναλυτικότερα στο παράρτημα [6.1.2].

2.5.4. Θερμοδεξαμενή

Η διαστασιολόγηση της θερμοδεξαμενής πραγματοποιείται βάσει της καμπύλης ημερήσιων θερμικών φορτίων όπως αυτή προκύπτει τη χειρότερη καιρικά ημέρα του επιλεγμένου χρονικού διαστήματος, δηλαδή την ημέρα με τις υψηλότερες θερμικές καταναλώσεις. Η καμπύλη αυτή υπολογίζεται και απεικονίζεται προγραμματιστικά και με τον συνυπολογισμό των θερμικών απωλειών λόγω του δικτύου των σωληνώσεων. Το διάγραμμα απεικόνισης των παραπάνω όπως προκύπτει προγραμματιστικά φαίνεται στην εικόνα 18:



Εικόνα 17. Ημερήσια καμπύλη θερμικών φορτίων από επιλεγμένο σενάριο

Θεωρώντας κάθε σημείο της παραπάνω καμπύλης Q μπορεί να υπολογιστεί η διαφορά του θερμικού φορτίου κάθε ώρας με την θερμική ισχύ της μηχανής ως

$$\Delta Q = Q - Q_{chp}$$

Βάσει της διαφοράς ΔQ μπορεί να υπολογιστεί το θερμικό φορτίο της θερμοδεξαμενής Q_{tank} ως το άθροισμα όλων των αρνητικών διαφορών ΔQ που προέκυψαν. Το άθροισμα αυτό συμβολίζει και την θερμική ισχύ εκείνη για την οποία η θερμοδεξαμενή θα γεμίζει πλήρως. Επομένως, πολύ σημαντικό στοιχείο στην διαστασιολόγηση της θερμοδεξαμενής αποτελεί το σημείο διαστασιολόγησης της κεντρικής μηχανής. Έτσι, γνωρίζοντας πλέον την θερμική ισχύ Q_{tank} μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος V_{tank} της θερμοδεξαμενής ως:



$$V_{tank}(m^3) = \frac{Q_{tank}}{(T_{pri_supply_max} - T_{pri_return_min}) * \rho * c_p}$$

Όπου $T_{pri_supply_max}$: η μέγιστη των θερμοκρασιών παροχής πρωτεύοντος ρεύματος,
 $T_{pri_return_min}$: η ελάχιστη των θερμοκρασιών επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος, ρ : η πυκνότητα του νερού και c_p : η θερμική αγωγιμότητα του νερού όπως θεωρήθηκαν στο Κεφάλαιο [2.4.4].

Με γνωστό τον απαιτούμενο όγκο της θερμοδεξαμενής γίνεται επιλογή του κατάλληλου μοντέλου από τους κατασκευαστές και τους τύπους θερμοδεξαμενών που είναι διαθέσιμα μέσω της βάσης δεδομένων του προγράμματος.

2.5.5. Τεχνολογία Αιχμής

Η διαστασιολόγηση της τεχνολογίας αιχμής η οποία όπως έχει αναφερθεί συνιστάται σε λέβητα φυσικού αερίου ή πετρελαίου γίνεται βάσει του *εναπομείναντος φορτίου*, δηλαδή του φορτίου που προκύπτει από την αφαίρεση της ονομαστικής θερμικής ισχύος της επιλεγμένης κεντρικής μηχανής από το θερμικό φορτίο αιχμής. Ο χρήστης έχει την επιλογή εφόσον το κρίνει θεμιτό να επιλέξει την μη κάλυψη του εναπομείναντος φορτίου και οι περαιτέρω υπολογισμοί πραγματοποιούνται με γνώμονα αυτή την επιλογή. Τέτοια επιλογή μπορεί να συντελεστεί σε περιπτώσεις σκόπιμης υπερδιαστασιολόγησης της κεντρικής μηχανής όπου το εναπομείναν φορτίο είναι πολύ μικρό ή μηδενικό. Δύναται επίσης η ταυτόχρονη χρήση θερμοδεξαμενής και τεχνολογίας αιχμής όπου η τεχνολογία αιχμής διαστασιολογείται συνυπολογίζοντας και την θερμοδεξαμενή επομένως το θερμικό φορτίο που καλείται να καλύψει είναι μικρότερο ή μπορεί και μηδενικό. Αφού υπολογιστεί το εναπομείναν φορτίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει λέβητα είτε φυσικού αερίου είτε πετρελαίου από την βάση δεδομένων του συστήματος. Αναφορά των μοντέλων των λεβήτων που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία γίνεται στο Κεφάλαιο [2.4.7] και αναλυτικότερα το παράρτημα [6.1.2].



2.6. Κοστολόγηση

Μετά την ολοκλήρωση της διαστασιολόγησης των βασικών στοιχείων του συστήματος τηλεθέρμανσης πραγματοποιείται η εκτίμηση του αρχικού κόστους καθώς επίσης και του ετήσιου λειτουργικού κόστους και των ετήσιων εσόδων με απώτερο σκοπό την αξιολόγηση της επένδυσης.

2.6.1. Υπολογισμός ετήσιας λειτουργίας συστήματος

Για τον υπολογισμό των ετήσιων κοστών και εσόδων απαιτείται η εκτίμηση των μεγεθών που χαρακτηρίζουν την ετήσια λειτουργία βάσει της δεδομένης ωριαίας θερμικής κατανάλωσης κάθε μηνός (έχοντας θεωρήσει την ημέρα ίδια). Έτσι για κάθε ώρα, κάθε μήνα του επιλεγμένου χρονικού διαστήματος υπολογίζονται τα εξής μεγέθη:

- Θερμική παραγωγή κεντρικής μηχανής συμπαραγωγής (σε KWhth)
- Ώρες λειτουργίας κεντρικής μηχανής συμπαραγωγής
- Κατανάλωση καυσίμου κεντρικής μηχανής συμπαραγωγής (σε l)
- Καταναλισκόμενη ενέργεια κεντρικής μηχανής συμπαραγωγής (σε KWh)
- Ηλεκτρική παραγωγή κεντρικής μηχανής συμπαραγωγής (σε KWhel)
- Θερμική ισχύς προς κάλυψη από την θερμοδεξαμενή (σε kWth)
- Θερμική ισχύς προς αποθήκευση στην θερμοδεξαμενή (σε kWth)
- Θερμική παραγωγή λέβητα αιχμής (σε KWhth)
- Ώρες λειτουργίας λέβητα αιχμής
- Κατανάλωση καυσίμου λέβητα αιχμής (σε l)
- Καταναλισκόμενη ενέργεια λέβητα αιχμής (σε KWh)

Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζονται σε ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση (ετήσια για το επιλεγμένο χρονικό διάστημα), όπως παρατίθεται συνοπτικά:

Ωριαίες τιμές

Λειτουργία μηχανής

✓ Ωριαία Θερμική Κατανάλωση = Ωριαίο θερμικό φορτίο + Συνολικές θερμικές απώλειες σωληνώσεων

¹ περίπτωση: Θερμική κατανάλωση > Θερμική Ισχύς μηχανής

✓ Θερμική Παραγωγή μηχανής = Θερμική Ισχύς μηχανής

✓ Ώρες λειτουργίας = 1



- ✓ Κατανάλωση καύσιμου = Θερμική Παραγωγή μηχανής/ (Θερμική απόδοση μηχανής * ΑΘΔ καυσίμου)

2^η περίπτωση: Θερμική κατανάλωση < Θερμική Ισχύς μηχανής

- ✓ Θερμική Παραγωγή μηχανής = Ωριαία Θερμική Κατανάλωση
- ✓ Ωρες λειτουργίας = Θερμική παραγωγή/ Θερμική Ισχύς μηχανής
- ✓ Κατανάλωση καυσίμου = Θερμική παραγωγή μηχανής/ (Θερμική απόδοση * ΑΘΔ καυσίμου)
- ✓ Ωριαία ηλεκτρική παραγωγή μηχανής = Κατανάλωση καυσίμου μηχανής * ηλεκτρική απόδοση * ΑΘΔ καυσίμου

Λειτουργία Θερμοδεξαμενής

Για όλους τους μήνες θεωρείται αρχικά γεμάτη θερμοδεξαμενή

1^η περίπτωση: Θερμική κατανάλωση > Θερμική Ισχύς μηχανής

- ✓ Φορτίο που πρέπει να καλυφθεί από θερμοδεξαμενή = Ωριαία Θερμική κατανάλωση – Θερμική Ισχύς μηχανής

α περίπτωση: Φορτίο που πρέπει να καλυφθεί από θερμοδεξαμενή < Διαθέσιμο φορτίο στην θερμοδεξαμενή

- ✓ Φορτίο που παραδίδεται τελικά = Φορτίο που πρέπει να καλυφθεί από θερμοδεξαμενή

β περίπτωση: Φορτίο που πρέπει να καλυφθεί από θερμοδεξαμενή > Διαθέσιμο φορτίο στην θερμοδεξαμενή

- ✓ Φορτίο που παραδίδεται τελικά = Διαθέσιμο φορτίο στην θερμοδεξαμενή

2^η περίπτωση: Θερμική κατανάλωση < Θερμική Ισχύς μηχανής

- ✓ Φορτίο που μένει για την θερμοδεξαμενή = Θερμική Ισχύς μηχανής - Ωριαία Θερμική κατανάλωση
- ✓ Διαθέσιμη χωρητικότητα θερμοδεξαμενής = Συνολική χωρητικότητα – Ήδη απασχολούμενη χωρητικότητα

α περίπτωση: Φορτίο που μένει για την θερμοδεξαμενή < Ήδη απασχολούμενη χωρητικότητα

- ✓ Φορτίο που καταλήγει τελικά στην θερμοδεξαμενή = Φορτίο που μένει για την θερμοδεξαμενή

β περίπτωση: Φορτίο που πρέπει να καλυφθεί από θερμοδεξαμενή > Διαθέσιμο φορτίο στην θερμοδεξαμενή

- ✓ Φορτίο που καταλήγει τελικά στην θερμοδεξαμενή = Διαθέσιμη χωρητικότητα θερμοδεξαμενής



Λειτουργία Λέβητα

1^η περίπτωση: Θερμική κατανάλωση > Θερμική Ισχύς μηχανής

α περίπτωση: Μη ύπαρξη λέβητα και μη ύπαρξη θερμοδεξαμενή

- ✓ Ωριαία θερμική παραγωγή = 0
- ✓ Ωρες λειτουργίας = 0
- ✓ Κατανάλωση καυσίμου = 0

β περίπτωση: Ύπαρξη λέβητα και ύπαρξη θερμοδεξαμενής

- ✓ Ωριαία θερμική παραγωγή λέβητα = Μέγιστη Θερμική κατανάλωση χειρότερης μέρας του χρόνου – (Θερμική ισχύς μηχανής + Θερμική ισχύς θερμοδεξαμενής)
- ✓ Ωρες λειτουργίας = Ωριαία θερμική παραγωγή / Θερμική ισχύς λέβητα
- ✓ Κατανάλωση καυσίμου = Ωριαία θερμική παραγωγή / (Θερμική απόδοση* ΑΘΔ καυσίμου)

γ περίπτωση: Ύπαρξη λέβητα χωρίς θερμοδεξαμενή

- ✓ Ωριαία θερμική παραγωγή λέβητα = Ωριαία θερμική κατανάλωση – Θερμική ισχύς μηχανής
- ✓ Ωρες λειτουργίας = Θερμική παραγωγή λέβητα / Θερμική ισχύς λέβητα
- ✓ Κατανάλωση καυσίμου λέβητα = Θερμική παραγωγή λέβητα / (Θερμική απόδοση* ΑΘΔ καυσίμου)

2^η περίπτωση: Θερμική κατανάλωση < Θερμική Ισχύς μηχανής

- ✓ Ωριαία θερμική παραγωγή = 0
- ✓ Ωρες λειτουργίας = 0
- ✓ Κατανάλωση καυσίμου = 0

Ημερήσιες τιμές

Οι ημερήσιες τιμές προκύπτουν ύστερα από άθροιση των ωριαίων για κάθε μήνα.

Μηνιαίες τιμές

Οι μηνιαίες τιμές προκύπτουν ως το γινόμενο των ημερήσιων τιμών επί τον αριθμό των μερών του κάθε μήνα.

Ετήσιες τιμές (για το θεωρούμενο χρονικό διάστημα κάλυψης)

Οι τιμές αυτές προέκυψαν ως το άθροισμα των μηνιαίων τιμών για κάθε μέγεθος.

Λειτουργία σε μερικό φορτίο

Για την καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής λειτουργίας ενός συστήματος όπως αυτά που αναπτύσσονται στην παρούσα εργασία, θεωρήθηκε η λειτουργία σε μερικό φορτίο και λήφθηκε υπόψη στους υπολογισμούς του ανεπτυγμένου υπολογιστικού εργαλείου. Θεωρήθηκε



επομένως για λειτουργία της κεντρικής μονάδας συμπαραγωγής *σε φορτίο μικρότερο του 70%* του ονομαστικού *πτώση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης αυτής της τάξεως του 3%*.

2.6.2. Αρχικό κόστος

Το αρχικό κόστος της επένδυσης θεωρείται ότι αποτελείται από τα εξής έξοδα:

2.6.2.1. Τιμή κεντρικής μηχανής

Η τιμή αυτή έχει θεωρηθεί για κάθε μοντέλο βάσει ανάλογων εκτιμήσεων από δημοσιεύσεις [24], [13].

2.6.2.2. Τιμή λέβητα αιχμής

Η τιμή αυτή έχει θεωρηθεί για κάθε μοντέλο βάσει δημοσιευμένων τιμών [31], [13].

2.6.2.3. Τιμή θερμοδεξαμενής

Η τιμή της θερμοδεξαμενής λαμβάνεται σταθερή και ίση με 7000 € (συμπεριλαμβανομένων όλων των παράπλευρων εξαρτημάτων της θερμοδεξαμενής).

2.6.2.4. Τιμή αγοράς και τοποθέτησης των σωλήνων μεταφοράς και διανομής

Το κόστος αγοράς και τοποθέτησης των σωληνώσεων μεταφοράς και διανομής αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού κόστους ενός συστήματος τηλεθέρμανσης, επομένως ο προσεκτικός σχεδιασμός των σωληνώσεων ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος τους έχει επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος τηλεθέρμανσης. Σε κάθε περίπτωση είναι προτιμότερο η κεντρική μηχανή να είναι τοποθετημένη κοντά στους καταναλωτές ώστε να μειώνεται το μήκος και άρα το γενικά υψηλό κόστος των σωλήνων μεταφοράς. Επιπρόσθετα, το κόστος των σωλήνων διανομής ελαχιστοποιείται εάν ο αριθμός και το μήκος των σωλήνων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Το ελάχιστο κόστος επιτυγχάνεται στην βέλτιστη περίπτωση για μικρό αριθμό καταναλωτών, τοποθετημένους σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και χρησιμοποιώντας ο καθένας μεγάλα ποσά θερμότητας. Όσο οι καταναλωτές που συνδέονται τείνουν να καταναλώνουν μικρότερα ποσά ενέργειας και να απομακρύνονται σε απόσταση μεταξύ τους, η ενεργειακή πυκνότητα της περιοχής του συστήματος μειώνεται με αποτέλεσμα να αυξάνει δραματικά το κόστος των σωλήνων διανομής. Επιπρόσθετα, το μέγεθος του συστήματος επιδρά σημαντικά στο ανά



μονάδα κόστος. Στην περίπτωση που η διάμετρος των σωλήνων διπλασιαστεί, θεωρώντας τους άλλους παράγοντες σταθερούς, η ικανότητα του συστήματος αυξάνεται, το κόστος περίπου διπλασιάζεται έτσι το κόστος ανά παραδιδόμενη μονάδα μειώνεται 1/3 του αρχικού. Παρόλα αυτά, το κόστος εγκατάστασης των σωλήνων είναι 5 φορές περίπου μεγαλύτερο από το κόστος αγοράς και μπορεί να φτάσει ως και 10 φορές το κόστος αγοράς ανάλογα με την τοπολογία και τις τοπικές συνθήκες του συστήματος [8].

Η τιμή αγοράς των σωλήνων μεταφοράς εξαρτάται κυρίως από την διάμετρο, το μήκος, το υλικό και τον τύπο της σωλήνωσης. Στην παρούσα εργασία και εφόσον μελετώνται περιπτώσεις μικρών συστημάτων τηλεθέρμανσης, με χαμηλές ενεργειακές θερμικές ανάγκες θεωρείται ότι η διάμετρος των σωληνώσεων δεν ξεπερνάει τα 250 mm. Επιπρόσθετα, η τιμή τοποθέτησης των σωλήνων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται κυρίως με την γεωλογική διαμόρφωση της υπό μελέτη περιοχής και την διάταξη του συστήματος. Στην παρούσα εργασία, λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των διαμέτρων που υπαγορεύεται από το μέγεθος του συστήματος και τις δημοσιευμένες εκτιμώμενες τιμές για τοποθέτηση σωληνώσεων σε συστήματα τηλεθέρμανσης θεωρήθηκε:

Τιμή αγοράς και τοποθέτησης των σωλήνων = 40 – 100 €/m

Η παραπάνω θεώρηση αποτελεί την μία εναλλακτική καθώς άλλη εκτίμηση υπαγορεύει ότι το κόστος των σωλήνων μεταφοράς διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον πίνακα 10 όπως αυτή προέκυψε από έρευνα στην ελληνική αγορά:

Πίνακας 10. Κόστος αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων (€/m) ανά διάμετρο

DN 25 TWIN	120 €
DN 32 TWIN	140 €
DN 40 TWIN	140 €
DN 50 TWIN	160 €
DN 65 TWIN	170 €
DN 80 TWIN	190 €
DN 100 TWIN	280 €
DN 125 TWIN	340 €
DN 150 TWIN	410 €



Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν σενάρια και για τις δύο εναλλακτικές που παρατέθηκαν.

2.6.2.5. Τιμή μετατροπής κατοικιών

Το κόστος μετατροπής των κατοικιών αφορά στο κόστος τοποθέτησης των υποσταθμών των εναλλακτών θερμότητας και αντικατάστασης των προηγούμενων συστημάτων θέρμανσης στα σπίτια των καταναλωτών. Το κόστος αυτό είναι σημαντικό εφόσον αναφέρεται σε ήδη υπάρχουσες κατοικίες που έχουν ήδη άλλου τύπου συστήματα θέρμανσης. Αντίθετα, όταν οι κατοικίες είναι νεόκτιστες το κόστος αυτό μειώνεται σημαντικά [38]. Σε γενικές γραμμές το κόστος μετατροπής των κτιρίων είναι ελάχιστο για χρήστες που χαρακτηρίζονται από υψηλή κατανάλωση και μέγιστο για χρήστες που χαρακτηρίζονται από μικρή κατανάλωση. Επίσης, το κόστος μετατροπής των κατοικιών των καταναλωτών όσον αφορά σε μεγάλα συστήματα τηλεθέρμανσης, αναλαμβάνεται συνήθως από τους ίδιους τους καταναλωτές ή σε πολλές περιπτώσεις μοιράζεται μεταξύ του συστήματος τηλεθέρμανσης και του καταναλωτή, κίνηση που αποτελεί καλή στρατηγική μάρκετινγκ για την προσέγγιση περισσότερων πελατών. Γενικά, το κόστος αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα του αρχικού κόστους καθώς είναι δύσκολο διαχειρίσιμο και δύναται να αποτελέσει εμπόδιο στην προσέγγιση πελατών. Όσον αφορά σε συστήματα τηλεθέρμανσης μεγάλου μεγέθους όσο το μέγεθος της θερμικής κατανάλωσης των χρηστών πέφτει ή η δυσκολία μετατροπής των κατοικιών τους λόγω του προϋπάρχοντος συστήματος θέρμανσης αυξάνεται τόσο πιο αντί-οικονομικό είναι για το σύστημα να αναλάβει το κόστος μετατροπής. Παρόλα αυτά, στην παρούσα εργασία, και εφόσον μιλάμε για συστήματα τηλεθέρμανσης μικρού μεγέθους (οικισμοί έως 20 κατοικίες, οικοδομικά τετράγωνα και μικρής κατανάλωσης καταναλωτές) το κόστος μετατροπής είναι υψηλό αλλά λόγω του χαμηλού κόστους των σωληνώσεων μπορεί να αναληφθεί από το σύστημα τηλεθέρμανσης εξ ολοκλήρου. Συνεπώς, βάσει των παραπάνω και των αντίστοιχων ευρεθέντων εκτιμήσεων θεωρείται το εύρος της τιμής κόστους μετατροπής των κατοικιών των χρηστών ως:

$$\text{Τιμή μετατροπής κτιρίων} = 7,542 - 22,622 \text{ €/MWh}$$



2.6.3. Λειτουργικό κόστος

Το λειτουργικό ετήσιο κόστος του συστήματος τηλεθέρμανσης αποτελείται κυρίως από τα εξής στοιχεία:

2.6.3.1. Λειτουργία & Συντήρηση κεντρικής μηχανής & λέβητα αιχμής

Το λειτουργικό κόστος της κεντρικής μηχανής και του λέβητα αιχμής εξαρτάται από το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Στην παρούσα εργασία, η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει κυρίως μοντέλα φυσικού αερίου και κάποια πετρελαίου.

Περίπτωση φυσικού αερίου: Στην περίπτωση αυτή το λειτουργικό κόστος υπολογίζεται ως το γινόμενο της καταναλισκόμενης ενέργειας της κεντρικής μηχανής (όπως αυτή έχει υπολογιστεί προγραμματιστικά) επί την τιμή του φυσικού αερίου (€/MWhth) όπως αυτή διαμορφώνεται για βιομηχανικό πελάτη και συνυπολογίζοντας χρέωση ενέργειας, χρέωση ισχύος, ΦΠΑ, ΕΦΚ (Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης) και ΔΕΤΕ (Δικαιώματα Εκτέλεσης Τελωνειακών Εργασιών) [39].

Περίπτωση πετρελαίου: Στην περίπτωση αυτή το λειτουργικό κόστος υπολογίζεται ως το γινόμενο της κατανάλωσης καυσίμου επί την τιμή του πετρελαίου θέρμανσης (€/ λίτρο) [40].

Το λειτουργικό κόστος συντήρησης υπολογίζεται ως το 3% του κόστους λειτουργίας για την κεντρική μηχανή και ως το 1% του λειτουργικού κόστους για τον λέβητα αιχμής [13].

2.6.3.2. Λειτουργία σωληνώσεων

Βάσει εκτιμήσεων από οδηγούς σχεδιασμού συστημάτων τηλεθέρμανσης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των σωληνώσεων ανέρχεται στο 1% του αρχικού κόστους αυτών σύμφωνα με εμπειρική γνώση βασισμένη σε αντίστοιχες εφαρμογές στην Δανία και την Σουηδία [38].

2.6.3.3. Προσωπικό

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης υποχρεούνται πλέον βάσει νόμου να απασχολούν εξειδικευμένο προσωπικό δηλαδή έμπειρους σε θέματα τηλεθέρμανσης μηχανικούς όταν οι λέβητες υψηλής πίεσης είναι σε λειτουργία και όχι καθ' όλη την διάρκεια της λειτουργίας τους όπως παλιότερα. Σε γενικές γραμμές, η ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό είναι ελάχιστη λόγω της ύπαρξης του συστήματος ελέγχου του δικτύου [41]. Έτσι, και λόγω του μικρού



μεγέθους των μελετώμενων στην παρούσα εργασία σεναρίων τηλεθέρμανσης το κόστος πληρωμής του προσωπικού θεωρήθηκε ίσο με 5€MWhth ετησίως.

2.6.4. Ετήσια Έσοδα

2.6.4.1. Έσοδα από την πώληση της θερμικής ενέργειας στους καταναλωτές

Τα έσοδα αυτά προκύπτουν ως το γινόμενο της παραγόμενης θερμικής ενέργειας του συστήματος επί την τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας η οποία καθορίζεται από το ίδιο το σύστημα. Η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας στους καταναλωτές είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες οικονομικής βιωσιμότητας του συστήματος τηλεθέρμανσης. Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης για να αποτελεί μια οικονομικά συμφέρουσα επένδυση θα πρέπει να προσφέρει στον χρήστη τιμή διασύνδεσης ανταγωνιστική σε σχέση με τον υπάρχοντα τρόπο θέρμανσης του καταναλωτή. Στην παρούσα εργασία, η τιμή διαμορφώνεται ύστερα από σύγκριση με την τιμή που προσφέρεται στους καταναλωτές για σύνδεση τους στο δίκτυο φυσικού αερίου όπως αυτή διαμορφώνεται για τον οικιακό καταναλωτή [39]. Βάσει των παραπάνω και με γνώμονα ταυτόχρονα την όσο το δυνατόν αύξηση των εσόδων, το εύρος της τιμής πώλησης της θερμικής ενέργειας θεωρήθηκε:

Ενδεικτική τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας = 65 – 80 €MWhth.

2.6.4.2. Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας

Τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτουν ως το γινόμενο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της κεντρικής μηχανής επί της τιμής πώλησης που τίθεται βάσει νομοθεσίας.

Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο ορίζεται σύμφωνα με την αντίστοιχη νομοθεσία για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α [42]. Έτσι ορίζεται:

$$\text{Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWhth}} \right) = 87,85 * \Sigma P$$

Στον παραπάνω τύπο ορίζεται: $\Sigma P = \frac{1+(MT\Phi A-26)}{100*\eta_{el}}$



Όπου ΜΤΦΑ: η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) στους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα.

η_{el} : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης Σ.Η.Θ.Υ.Α. επί ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) φυσικού αερίου, ο οποίος ορίζεται σε 0,33 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. $\leq 1\text{MWe}$.

Επιδότηση: Στην περίπτωση όπου οι επενδύσεις υλοποιούνται χωρίς τη χρήση δημόσιας επιχορήγησης οι παραπάνω τιμή προσαυξάνεται κατά 15%. Στην παρούσα εργασία υπάρχει μέσω του προγράμματος η δυνατότητα ο χρήστης να εισάγει το χρηματικό ποσό της επιδότησης εάν αυτή υπάρχει. Αλλιώς, υπολογίζεται η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας λαμβανομένου υπόψη και του ποσοστού προσαύξησης. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για τα μελετώμενα σενάρια θεωρήθηκε ότι η επένδυση πραγματοποιείται χωρίς επιδότηση.

Ύστερα από την έκδοση σχετικού σχεδίου νόμου τον Μάρτιο του 2014, ο νέος τρόπος θέσπισης της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α μικρότερες του 1 MW που χρησιμοποιούν τεχνολογίες εκτός συνδυασμένου κύκλου αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας και ατμοστρόβιλου συμπύκνωσης – απομάστευσης έχει ως εξής [43]:

- Για την περίπτωση ύπαρξης δημόσιας επιδότησης:

$$\text{Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = 100 + \Sigma P$$

- Για την περίπτωση μη ύπαρξης δημόσιας επιδότησης:

$$\text{Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = 100 + \Sigma P$$

Όπου ΣΡ: ο συντελεστής ρήτρας φυσικού αερίου ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$\Sigma P = \left(1 - \frac{(\eta - \eta_e)}{\eta_{hr}} \right) * (MT\Phi A_t - 26)$$



Όπου $\eta_e = 33\%$: ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής, η_h : ο θερμικός βαθμός απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής, $\eta = \eta_e + \eta_h = 67\%$: ο ολικός βαθμός απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής, $\eta_{hr} = 81\%$: η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή, ΜΤΦΑ_ι : η ανά μήνα μέση μοναδιαία μικτή τιμή του φυσικού αερίου η οποία περιλαμβάνει την τιμή πώλησης με το κόστος μεταφοράς και τον ειδικό φόρο κατανάλωσης (ΜΤΦΑ_μ ή ΜΤΦΑ_η) στην οποία προστίθεται και το μέσο κόστος CO₂ που αντιστοιχεί στην ηλεκτροπαραγωγή θερμικής ενέργειας.

Όσον αφορά στην ανά μήνα μέση μοναδιαία μικτή τιμή του φυσικού αερίου ΜΤΦΑ_μ αποτελεί την ανά μήνα μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (ΑΘΔ) στους χρήστες φυσικού αερίου στην Ελλάδα, εξαιρούμενων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής.

Αντίστοιχα, η ανά μήνα μέση μοναδιαία μικτή τιμή του φυσικού αερίου ΜΤΦΑ_η αποτελεί την ανά μήνα μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (ΑΘΔ) στους χρήστες ΦΑ στην Ελλάδα οι οποίοι είναι πελάτες ηλεκτροπαραγωγής.

Τέλος το μέσο κόστος CO₂ δίνεται από την σχέση που ακολουθεί:

$$\text{Μέσο Κόστος CO}_2 \text{ (€/Mwh)} = 0.37 * \text{Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO}_2 \text{ (€/tn)} * \eta_e$$

Όπου η Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO₂ είναι η ανά μήνα μέση τιμή των δικαιωμάτων CO₂ σε €/tn

2.7. Αξιολόγηση Επένδυσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το βασικό κόστος των συστημάτων τηλεθέρμανσης είναι το αρχικό κόστος. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα τηλεθέρμανσης λειτουργούν με 80% αρχικό κόστος και 20% λειτουργικό κόστος. Αυτό αποτελεί ακριβώς το αντίθετο από ότι ισχύει για τους παρόχους φυσικού αερίου που αποτελούν βασικό ανταγωνιστή των συστημάτων τηλεθέρμανσης. Επομένως, για να επιτευχθεί η διατήρηση του συνολικού κόστους σε λογικά και βιώσιμα για το έργο πλαίσια είναι σημαντικό να επιδιώκεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση του λειτουργικού κόστους και η διαστασιολόγηση του για μεγάλο



χρονικό ορίζοντα. Επίσης, η ποιότητα των σωληνώσεων και η ευελιξία καυσίμου είναι παράμετροι υψίστης σημασίας κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του έργου. Άλλος παράγοντας που συνδράμει στην επιτυχία του συστήματος είναι η ανάγκη του συστήματος να αποκτά καταναλωτές οι οποίοι θα υπογράφουν συμβόλαια μακράς διάρκειας, για παράδειγμα των 20 χρόνων, που αποτελούν δεσμεύσεις «take or pay», τακτική που ακολουθείται βάσει δημόσιας πολιτικής στην Δανία. Κάτι τέτοιο όμως είναι δύσκολο να εφαρμοστεί και σε άλλες χώρες καθώς μπορεί να θεωρηθεί νομικά ως «ενέχυρο επί ακινήτου». Εκτός λοιπόν του γεγονότος ότι η νομική ισχύς των δεσμεύσεων αυτών δεν έχει δοκιμαστεί, η απαίτηση αυτή άσκοπα περιπλέκει ήδη δύσκολες θεσμικές ρυθμίσεις και αυξάνει τον χρόνο ανάπτυξης του συστήματος [44], [8].

Μετά τον προσδιορισμό του αρχικού κόστους και του ετήσιου κόστους και εσόδων πραγματοποιείται η αξιολόγηση της επένδυσης με την μέθοδο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Eng.NPV) και του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (Eng.IRR).

Η Καθαρή παρούσα αξία NPV 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, ανηγμένη συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι η τιμή του επιτοκίου αγοράς, IRR, που κάνει την παρούσα αξία μιας σειράς πληρωμών και εισπράξεων ίση με το μηδέν. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης συγκρίνεται με το επιτόκιο αναγωγής για τον χαρακτηρισμό της επένδυσης ως βιώσιμης ή μη. Συγκεκριμένα, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- $IRR < \text{επιτόκιο αναγωγής}$. Η επένδυση είναι αντιοικονομική
- $IRR > \text{επιτόκιο αναγωγής}$. Η επένδυση είναι βιώσιμη

Είναι φυσικό ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης από το επιτόκιο αναγωγής τόσο πιο συμφέρουσα χαρακτηρίζεται η επένδυση.

Αρχικά ορίζεται από τον χρήστη ο χρονικός ορίζοντας. Όσον αφορά τις επενδύσεις σε συστήματα τηλεθέρμανσης ο χρονικός ορίζοντας επιλέγεται συνήθως μεγάλος καθώς τα συστήματα τηλεθέρμανσης αργούν να αποσβέσουν και να επιφέρουν ετήσια κέρδη. Εν συνεχεία ο χρήστης εισάγει τυχόν επιπρόσθετα έξοδα και πραγματοποιείται ο υπολογισμός των παραγόντων NPV και IRR ώστε να αξιολογηθεί η επικείμενη επένδυση.



2.7.1. Συντελεστές απόσβεσης

Ο συντελεστής απόσβεσης για τον μηχανολογικό εξοπλισμό τίθεται στο 10%. Επιπρόσθετα, καθώς οι σωληνώσεις του συστήματος θεωρούνται τμήμα της κτιριακής εγκατάστασης ο συντελεστής απόσβεσης τίθεται στο 4%.

2.7.2. Φορολογικός συντελεστής και θεωρούμενο επιτόκιο αναγωγής

Θεωρείται φορολογικός συντελεστής 26% όπως αυτός διαμορφώνεται για την φορολογία των κερδών των Α.Ε. και των Ε.Π.Ε [45].

Θεωρείται επίσης επιτόκιο αναγωγής 9%. (Στην Ελλάδα το επιτόκιο αναγωγής κυμαίνεται από 7 – 9%). Το επιτόκιο αυτό συγκρίνεται με το προκύπτον κάθε φορά IRR και αξιολογείται η αποδοτικότητα της επένδυσης.

2.7.3. Διαδικασία υπολογισμού

Ο παρακάτω πίνακας αποτελεί ένα παράδειγμα της διαδικασίας που ακολουθείται για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της επένδυσης και όλα τα ενδιάμεσα μεγέθη που υπολογίζονται.



Year	Outflow	Inflow	OperationCosts	MixedResults	Amortization	NetBeforeTax	Tax	NetProfit	RemainingValue	NetFlow	Repayment
0	803962,2	0	0	0	0	0	0	-803962,2	0	-803962,2	-803962,2011
1	0	0	0	0	70705,53319	-70705,53319	0	0	0	0	-803962,2011
2	0	0	0	0	70705,53319	-70705,53319	0	0	0	0	-803962,2011
3	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	70705,53319	101411,4953	26366,98877	145750,04	0	145750	-658212,1614
4	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	70705,53319	101411,4953	26366,98877	145750,04	0	145750	-512462,1217
5	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	70705,53319	101411,4953	26366,98877	145750,04	0	145750	-366712,082
6	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	70705,53319	101411,4953	26366,98877	145750,04	0	145750	-220962,0423
7	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	70705,53319	101411,4953	26366,98877	145750,04	0	145750	-75212,00262
8	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	70705,53319	101411,4953	26366,98877	145750,04	0	145750	70538,03707
9	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	70705,53319	101411,4953	26366,98877	145750,04	0	145750	216288,0768
10	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	345213,0636
11	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	474138,0504
12	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	603063,0372
13	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	731988,0239
14	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	860913,0107
15	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	989837,9975
16	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	1118762,984
17	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	1247687,971
18	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	1376612,958
19	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	1505537,945
20	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	1634462,932
21	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	1763387,918
22	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	1892312,905
23	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	2021237,892
24	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	5993,791278	166123,2372	43192,04167	128924,987	0	128925	2150162,879
25	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	2E-25	172117,0285	44750,4274	127366,601	0	127366,6	2277529,48
26	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	2E-25	172117,0285	44750,4274	127366,601	0	127366,6	2404896,081
27	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	2E-25	172117,0285	44750,4274	127366,601	0	127366,6	2532262,682
28	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	2E-25	172117,0285	44750,4274	127366,601	0	127366,6	2659629,283
29	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	2E-25	172117,0285	44750,4274	127366,601	0	127366,6	2786995,884
30	0	644939,6248	472822,5963	172117,0285	2E-25	172117,0285	44750,4274	127366,601	77705,53319	205072,1	2992068,018

Εικόνα 18. Σενάριο 4: Παράδειγμα Οικονομικής Αξιολόγησης - Ιωάννινα



Βάσει των παραπάνω υπολογίζεται το IRR και συγκρίνεται με το επιτόκιο αναγωγής από το οποίο πρέπει να είναι επαρκώς μεγαλύτερο ώστε να θεωρηθεί η επένδυση επωφελής και κερδοφόρα.

2.8. Υπολογισμός εκπομπών

Για τον υπολογισμό των εκπομπών χρησιμοποιείται η μέθοδος των συντελεστών εκπομπών χρησιμοποιώντας τις τιμές των συντελεστών όπως αυτές αναγράφονται στη βιβλιογραφία [46]. Υπολογίζονται επομένως οι εκπομπές βάσει της δυναμικότητας της μονάδας παραγωγής ενέργειας είτε σε όρους πρώτης ύλης είτε σε όρους προϊόντος. Οι συντελεστές που λήφθηκαν υπόψη παρατίθενται στον πίνακα 11 [13]:

Πίνακας 11. Συντελεστές εκπομπών

Εκπεμπόμενος ρύπος	Συντελεστές σε kg/kWh		
	Φυσικό αέριο (kg/KWh)	Πετρέλαιο Θέρμανσης	Ηλεκτρικό δίκτυο (βάσει της κατάστασης του ενεργειακού μίγματος)
CO ₂	0.202	0.267	1
SO ₂	0	0.0004	0.0083
NO _x	0.0002	0.0004	0.0017
PM	0	0.00002	0.0007

Εκπομπές από την μονάδα συμπαραγωγής

Οι εκπομπές για κάθε ρύπο από την μονάδα συμπαραγωγής υπολογίζονται ως εξής:

$$e_i = ConsumedEnergy_{chp} * f_{i_j} + ElectricalProduction_{chp} * f_{i_j} \\ - ElectricalProduction_{chp} * f_{i_{electrical\ grid}}$$



Όπου i : ο εκάστοτε ρύπος, j : το εκάστοτε καύσιμο ή η τιμή για το ηλεκτρικό δίκτυο, f_{ij} : ο εκάστοτε συντελεστής εκπομπών και e_i : οι εκπομπές σε kg.

Εκπομπές από τον λέβητα

Οι εκπομπές για κάθε ρύπο από λέβητα υπολογίζονται ως εξής:

$$e_i = ConsumedEnergy_{chp} * f_{ij}$$

Όπου i : ο εκάστοτε ρύπος, j : το εκάστοτε καύσιμο ή η τιμή για το ηλεκτρικό δίκτυο, f_{ij} : ο εκάστοτε συντελεστής εκπομπών και e_i : οι εκπομπές σε kg.

Οι τελικές εκπομπές της μονάδας αποτελούν το άθροισμα των εκπομπών από την μονάδα συμπαραγωγής και τον λέβητα.



2.9. Δομή εφαρμογής

Η δομή της εφαρμογής – υπολογιστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε παρατίθεται με την βοήθεια των εικόνων που ακολουθούν. Αρχικά υλοποιείται μέσω των επιλογών του χρήστη η βασική σχεδίαση του συστήματος που θα μελετηθεί. Στη εικόνα 19 που ακολουθεί φαίνονται τα σημεία επιλογής πόλης, χρονικού διαστήματος και αριθμού κτιρίων από τον χρήστη της εφαρμογής.

The screenshot shows a user interface with three main selection areas: a dropdown menu for 'Choose a region', a 'Period of time' section with two 'Insert month' dropdowns and a 'to' label, and another dropdown menu for 'Choose number of buildings'.

Εικόνα 19. Επιλογή αρχικών δεδομένων συστήματος τηλεθέρμανσης

Στην συνέχεια πραγματοποιείται η επιλογή τύπου κτιρίου για κάθε κτίριο που συμμετέχει στο σύστημα τηλεθέρμανσης καθώς επίσης και η εισαγωγή των συντεταγμένων κάθε κτιρίου από τον χρήστη σε μορφή δεκαδικών μοιρών. Τα παραπάνω διαφαίνονται στη εικόνα 20 που ακολουθεί:

The screenshot shows the 'System Arrangement' section of the application. It features a title 'DECENTRALIZED ENERGY SYSTEMS' and three selection options: 'Athens' for the region, 'October to March' for the time period, and '3' for the number of buildings. Below these is a table with columns for 'Buildings' and 'Chp'. The 'Buildings' column contains three rows of data, each with a 'Type' dropdown and two 'Coordinates' input fields. The 'Chp' column contains two 'Coordinates' input fields.

Buildings		Chp	
Type	Coordinates	Coordinates	
Two floors house	38,090977 38,090917	38,090927 38,090967	
Three floors house	38,090907 38,090947		
Three floors house	38,090937 38,090957		

Εικόνα 20. Επιλογή τύπου κτιρίων και εισαγωγή συντεταγμένων κτιρίων και κεντρικής μονάδας



Μετά την επιλογή των βασικών στοιχείων του συστήματος ακολουθεί η διαμόρφωση της διάταξης του δικτύου των σωληνώσεων του συστήματος. Όπως φαίνεται στην εικόνα 21, ο χρήστης ορίζει επιθυμητή διάταξη ανάμεσα σε δύο επιλογές την αστεροειδή και την προσαρμοσμένη διάταξη. Στην συνέχεια, εισάγονται οι επιθυμητές σωληνώσεις μεταφοράς με τις συντεταγμένες τους και επιλέγονται τα σημεία διασύνδεσης των σωληνώσεων μεταφοράς με τις αντίστοιχες διανομής. Μέσω των παραπάνω διαδικασιών υπολογίζεται αυτόματα για την αστεροειδή διάταξη το μήκος κάθε σωλήνωσης.

PipeNo	Type	Starting Point	Ending Point	Length(km)
1	Not Central	Central Pipe No1	Two floors house	0,001326
2	Not Central	Central Pipe No1	Three floors house	0,006888
3	Not Central	Central Pipe No1	Three floors house	0,004387
4	Central	Power Station	38,090966 38,090923	0,0058

Εικόνα 21. Διαμόρφωση δικτύου σωληνώσεων του συστήματος τηλεθέρμανσης

Μετά την διαμόρφωση της διάταξης του δικτύου των σωληνώσεων του συστήματος ακολουθεί η διαστασιολόγηση του ξεκινώντας από τους εναλλάκτες θερμότητας των κτιρίων του συστήματος. Η διαστασιολόγηση αυτή πραγματοποιείται όπως φαίνεται στην εικόνα 22, αφού εισάγονται από τον χρήστη οι θερμοκρασίες παροχής και επιστροφής και ο συντελεστής ασφαλείας και υπολογίζεται το φορτίο αιχμής. Στην συνέχεια ο χρήστης επιλέγει τεχνολογία εναλλακτών και μετά μοντέλο εναλλάκτη για κάθε κτίριο και πραγματοποιείται το πρώτο βήμα της διαστασιολόγησης.



Dimensioning

HE Substations Reset

BuildingNo	Tpri_supply	Tpri_return	Safety factor(%)	Openk Calculation	HE Technology	HE Model	Dimension
1	90	60	10	46,98119	Brazed	BPX BP400-40	<input checked="" type="checkbox"/> Model BPX BP411-20 2
2	90	60	10	68,80171	Brazed	BPX BP411-20 2	<input type="checkbox"/> Qmax(KW)= 80,59
3	90	60	10	68,80171	Brazed	Danfoss B3012 Danfoss B3014 Danfoss B3018 Danfoss B3020 Danfoss B3027 BPX BP400-40 BPX BP400-40 2 BPX BP411-20 BPX BP411-20 2 BPX BP411-20 3 BPX BP411-20 4 BPX BP411-30 BPX BP411-30 2 BPX BP411-30 3 BPX BP422-40 Danfoss B3052 BPX BP422-50 BPX BP422-60 BPX BP422-80 BPX BP422-80 2 BPX BP422-80 3 BPX BP422-100 BPX BP422-100 Danfoss B3095	<input type="checkbox"/> Tdesign(Celcius)= 232 <input type="checkbox"/> p_highdesign(bar)= 29,9922

Εικόνα 22. Διαστασιολόγηση εναλλακτών θερμότητας

Στην εικόνα 23 φαίνεται το δεύτερο βήμα της διαστασιολόγησης το οποίο περιλαμβάνει την διαστασιολόγηση του δικτύου σωληνώσεων με τον υπολογισμό της παροχής μάζας κάθε σωλήνωσης, την εισαγωγή της πτώσης πίεσης ανά μέτρο σε κάθε σωλήνωση καθώς επίσης και των θερμικών απωλειών κάθε σωλήνωσης. Υπολογίζεται επομένως προγραμματιστικά η διάμετρος κάθε σωλήνωσης.

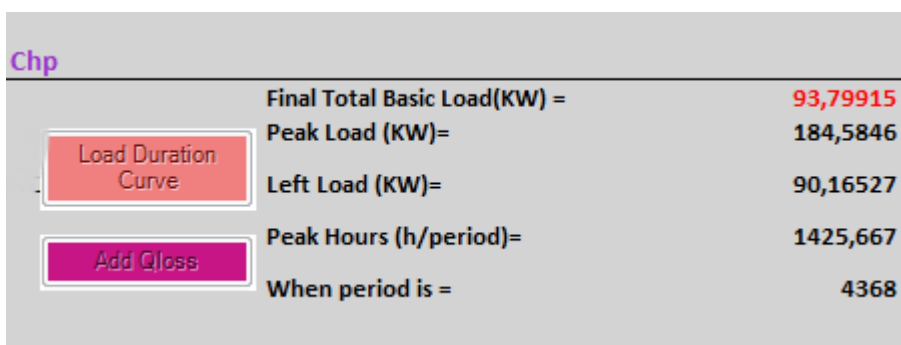
Pipelines

PipeNo	Type	Calculate primary mass flow	$\Delta p(\text{Pa/m})$	Calculate diameter	Qloss(KW/m)	PipeModel	Dimension
1	Not Central	0,374114	200	65	0,02125	CCO DUO 18+18	<input checked="" type="checkbox"/> Model CCO DUO 18+18/91
2	Not Central	0,547872	200	65	0,02125		<input type="checkbox"/> Tmax(Celcius)= 120
3	Not Central	0,547872	200	65	0,02125	CASAFLEX 22+22/11 CCO DUO 18+18/91 CASAFLEX 30+30/12 CASAFLEX 39+39/14 CASAFLEX 48+48/16 CASAFLEX 60+60/18	<input type="checkbox"/> pmax(bar)= 16
1	Central	1,469857	100	100	0,02714		

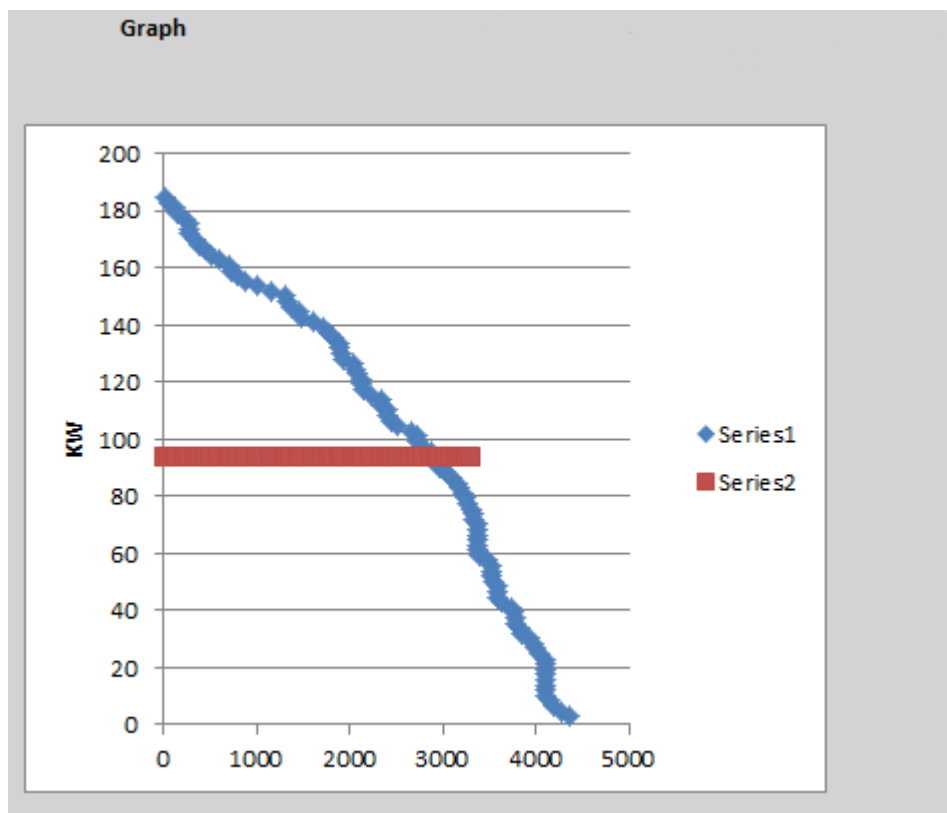
Εικόνα 23. Διαστασιολόγηση σωληνώσεων μεταφοράς και διανομής



Η διαστασιολόγηση της κεντρικής μηχανής που ακολουθεί περιλαμβάνει αρχικά την σχεδίαση προγραμματιστικά της καμπύλης διάρκειας του συστήματος, τον υπολογισμό του βασικού φορτίου, του φορτίου αιχμής και των αντίστοιχων ωρών προς κάλυψη όπως φαίνεται στις εικόνες 24 και 25:



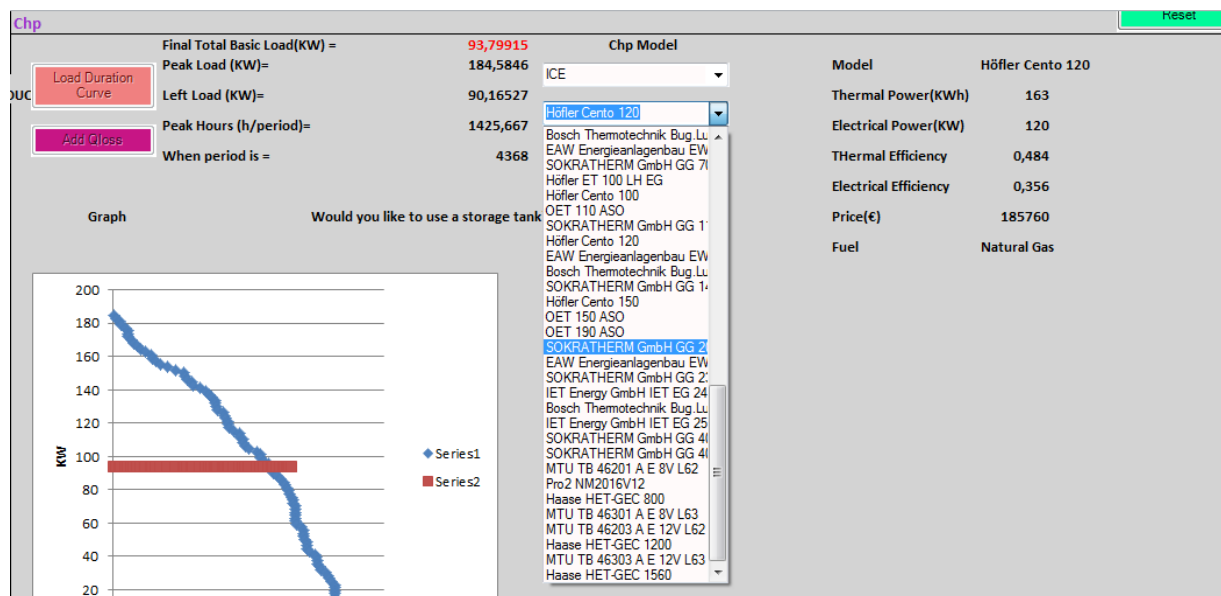
Εικόνα 24. Υπολογισμός βασικού φορτίου, φορτίου αιχμής και άλλων βασικών στοιχείων του συστήματος



Εικόνα 25. Σχεδίαση της καμπύλης διάρκειας

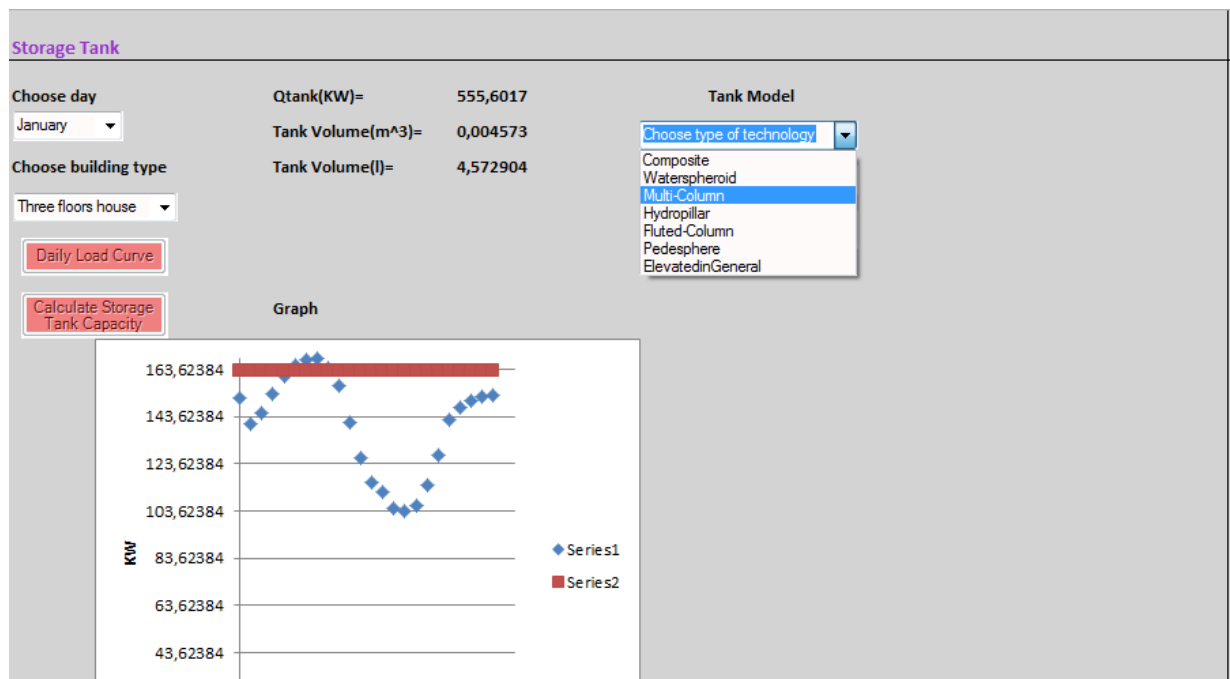


Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας ο χρήστης επιλέγει διαθέσιμη τεχνολογία για την κεντρική μηχανή καθώς επίσης μοντέλο τεχνολογίας. Στην εικόνα 26 φαίνεται η επιλογή του τύπου τεχνολογίας και του αντίστοιχου μοντέλου καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε μοντέλου όπως εμφανίζονται κατά την διαδικασία διαστασιολόγησης από την εφαρμογή.



Εικόνα 26. Επιλογή τύπου τεχνολογίας και αντίστοιχου μοντέλου

Ακολουθεί η διαστασιολόγηση της θερμοδεξαμενής, όπως φαίνεται στην εικόνα 27, όταν αυτή έχει επιλεχτεί να υπάρχει στο σύστημα, με την σχεδίαση από το υπολογιστικό εργαλείο της καμπύλης ημερήσιων φορτίων και τον υπολογισμό του απαιτούμενου όγκου.



Εικόνα 27. Διαστασιολόγηση θερμοδεξαμενής

Το τελευταίο στάδιο της διαστασιολόγησης αφορά στην διαστασιολόγηση της τεχνολογίας κάλυψης της αιχμής όταν αυτή συμπεριλαμβάνεται στο σύστημα και πραγματοποιείται όπως φαίνεται στην εικόνα 28, με την επιλογή από τον χρήστη του τύπου λέβητα και του αντίστοιχου μοντέλου.



Peak Technology Would you like to cover the peak load? Yes ▾

Boiler Load (KW)= **-541,944** Add Qloss

Peak Model

Boiler with Natural Gas ▾

De Dietrich DTG 230 ▾

Dimension Peak Technology

Model	De Dietrich DTG 230
Thermal Power(KW)	71
Thermal Efficiency	0,96
Price(€)	3585,45

Εικόνα 28. Διαστασιολόγηση τεχνολογίας κάλυψης φορτίου αιχμής

Μετά την διαστασιολόγηση του συστήματος πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ετήσιας λειτουργίας αυτού ώστε να πραγματοποιηθεί στην συνέχεια η κοστολόγηση της λειτουργίας του και η οικονομική αξιολόγηση. Στην εικόνα 29 φαίνονται τα βασικά ετήσια στοιχεία λειτουργίας που υπολογίζονται αυτόματα.

DECENTRALIZED ENERGY SYSTEMS						
DH Completed System						
	Thermal Load(KWhth)	Chp Thermal Production(KWhth)	Chp Hours Of Operation(h)	Chp Fuel Consumption(l)	Chp Electrical Production(KWhel)	Tank Filling(KWhth)
October	42,34276	42,34276	0,259772	7,607395	27,58335	120,6572
0:00-1:00	33,58244	33,58244	0,206027	6,033496	21,87661	129,4176
1:00-2:00	40,02581	40,02581	0,245557	7,191127	26,07402	122,9742
2:00-3:00	49,76413	49,76413	0,305301	8,940734	32,41785	113,2359
3:00-4:00	57,21374	57,21374	0,351005	10,27915	37,27075	69,31685
4:00-5:00	59,41614	59,41614	0,364516	10,67484	38,70546	0
5:00-6:00	57,60158	57,60158	0,353384	10,34883	37,5234	0
6:00-7:00	51,70685	51,70685	0,31722	9,289769	33,6834	0
7:00-8:00	41,38768	41,38768	0,253912	7,435803	26,96118	0
8:00-9:00	27,23409	27,23409	0,16708	4,892938	17,74111	0
9:00-10:00	9,029252	9,029252	0,055394	1,622216	5,881927	0
10:00-11:00	6,020291	6,020291	0,036934	1,081619	3,921799	0
11:00-12:00	5,199665	5,199665	0,0319	0,934183	3,387218	0
12:00-13:00	7,524771	7,524771	0,046164	1,351917	4,901863	0
13:00-14:00	4,51581	4,51581	0,027704	0,81132	2,941734	0
14:00-15:00	3,695184	3,695184	0,02267	0,663885	2,407154	0
15:00-16:00	3,011329	3,011329	0,018474	0,541022	1,96167	0
16:00-17:00	5,199665	5,199665	0,0319	0,934183	3,387218	0
17:00-18:00	9,029252	9,029252	0,055394	1,622216	5,881927	0
18:00-19:00	23,19108	23,19108	0,142277	4,166561	15,10737	0
19:00-20:00	31,06748	31,06748	0,190598	5,581653	20,23829	0
20:00-21:00	35,51066	35,51066	0,217857	6,379925	23,13272	0
21:00-22:00	38,48182	38,48182	0,236085	6,91373	25,06822	0
22:00-23:00	41,55067	41,55067	0,254912	7,465087	27,06736	0
23:00-0:00						

Εικόνα 29. Υπολογισμός ετήσιας λειτουργίας



Ταυτόχρονα υπολογίζονται τέλος και τα ετήσια στοιχεία λειτουργίας τα οποία φαίνονται στην εικόνα 30:

Yearly Operation Results	
Chp Thermal Production(KWh _{th})=	470902,6
Chp Electrical Production(KWh _{el})=	306760,2
Chp Hours Of Operation(h)=	2888,973
Chp Consumed Energy(KWh)=	972939,3
Chp Fuel Consumption(l)=	84603,42
Boiler Thermal Production(KWh _{th})=	0
Boiler Hours Of Operation(h)=	0
Boiler Consumed Energy(KWh)=	0
Boiler Fuel Consumption(l)=	0
Emissions (kg)	
CO ₂	258499,3
SO ₂	25,59399
NO _x	191,9549
PM	0

Εικόνα 30. Ετήσια δεδομένα συστήματος

Ακολουθεί η κοστολόγηση του συστήματος με την εισαγωγή από τον χρήστη όλων των απαραίτητων οικονομικών δεδομένων και τον προγραμματιστικό υπολογισμό των βασικών εξόδων και εσόδων όπως φαίνεται στις εικόνες 31 και 32 αντίστοιχα.



Prices of Energy	
Power Production	
	loose law
	Former Law
	NewDeal Ma
Price for Natural Gas Energy(€/MWh)	
Price for Natural Gas Power(€/MWh)	263,3
Price for Oil(€/l)	1,29118
Power Distribution	
Price for Transmission Pipes(€/m)	<input type="text"/>
Price for Distribution Pipes(€/MWhth)	<input type="text"/>
Power Delivery	
Price of Heat Offered to customers(€/MWhth)	<input type="text"/>
Price for Buildings Retrofitting(€/MWhth)	<input type="text"/>
MTFA Price(€/MWh)	<input type="text"/>
Average CO2 Rights Price(€/tn)	<input type="text"/>
Subsidy	<input type="text"/>

Εικόνα 31. Εισαγωγή οικονομικών δεδομένων συστήματος



Costs(€)		Non Capital Costs	
Capital Costs		Chp Plant Operation	60678,32
Chp Plant	185760	Chp Plant Maintenance	9202,805
Boiler	3585,45	Chp Fuel Consumption	0
Tank	7000	Boiler Operation	0
Transmission Pipes	1159,921	Boiler Maintenance	0
Distribution Pipes	70682,49	Boiler Fuel Consumption	0
Buildings Retrofit	14503,8	Pipes Operation	718,4241
NG Connection&Guarantee		Personnel	4864,697
TOTAL	282691,7	TOTAL	75464,25
		Revenues	
		Electricity Sales	60630,08
		Heat Sales	35553,15
		TOTAL	96183,23

Εικόνα 32. Κοστολόγηση συστήματος

Τέλος, όπως φαίνεται στην εικόνα 33 που ακολουθεί, πραγματοποιείται προγραμματιστικά η οικονομική αξιολόγηση του επιλεγμένου συστήματος τηλεθέρμανσης ύστερα από επιλογή του χρονικού ορίζοντα μελέτης.

DECENTRALIZED ENERGY SYSTEMS											
Economic Evaluation											NPV
											IRR
											Payback(years)
Year	Outflows	Inflows	Operation Costs	Mixed Results	Depreciation	Net Before Tax	Tax	Net Profit	Remaining Value	Net flows	Repayment
0	282691,7	0	0	0	0	0	0	-282692	0	-282692	-282692
1	0	0	0	0	23258,62	-23258,6	0	0	0	0	-282692
2	0	0	0	0	23258,62	-23258,6	0	0	0	0	-282692
3	0	96183,23	75464,25	20718,98	23258,62	-2539,64	0	20718,98	0	20718,98	-261973
4	0	96183,23	75464,25	20718,98	23258,62	-2539,64	0	20718,98	0	20718,98	-241254
5	0	96183,23	75464,25	20718,98	23258,62	-2539,64	0	20718,98	0	20718,98	-220535
6	0	96183,23	75464,25	20718,98	23258,62	-2539,64	0	20718,98	0	20718,98	-199816
7	0	96183,23	75464,25	20718,98	23258,62	-2539,64	0	20718,98	0	20718,98	-179097
8	0	96183,23	75464,25	20718,98	23258,62	-2539,64	0	20718,98	0	20718,98	-158378
9	0	96183,23	75464,25	20718,98	23258,62	-2539,64	0	20718,98	0	20718,98	-137659
10	0	96183,23	75464,25	20718,98	2873,696	17845,28	4639,774	16079,21	0	16079,21	-121580
11	0	96183,23	75464,25	20718,98	2873,696	17845,28	4639,774	16079,21	0	16079,21	-105500
12	0	96183,23	75464,25	20718,98	2873,696	17845,28	4639,774	16079,21	0	16079,21	-89421,2

Εικόνα 33. Οικονομική αξιολόγηση συστήματος



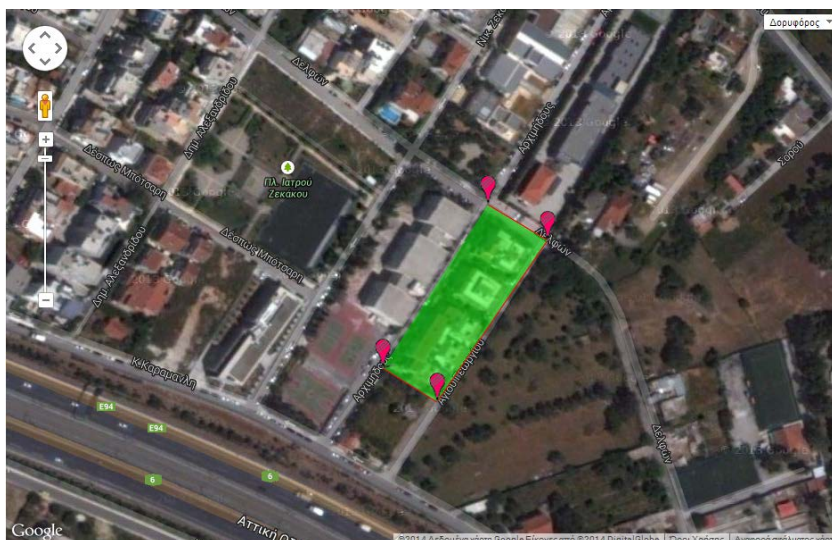
3. Αποτελέσματα επιλεγμένων σεναρίων – Κριτική αποτελεσμάτων

Βάσει όσων αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, αναπτύχθηκαν διάφορα σενάρια μικρών αποκεντρωμένων συστημάτων τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή τα οποία παρατίθενται στην ενότητα αυτή. Μέσω των εν λόγω σεναρίων μελετάται η βιωσιμότητα τέτοιων συστημάτων, η επιτυχία της επένδυσης καθώς και η επίδραση των διαφόρων σχεδιαστικών και οικονομικών παραμέτρων στην έκβαση της επένδυσης και της βιωσιμότητας του συστήματος. Για κάθε σενάριο που αναπτύχθηκε, προέκυψαν πολλά διαφορετικά υποσενάρια ώστε να μελετηθεί η επίδραση της μεταβολής διαφόρων παραμέτρων στην οικονομική έκβαση τέτοιων συστημάτων. Για την ανάπτυξη του υπολογιστικού εργαλείου γράφτηκαν περίπου 4000 γραμμές κώδικα και μελετήθηκαν μέσω αυτού περίπου 245 σενάρια και υποσενάρια.

3.1. Θεωρούμενα Σενάρια

3.1.1. Σενάριο 1: Εννέα διώροφες πολυκατοικίες σε πυκνοκατοικημένη περιοχή της Αθήνας χωρίς την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Φεβρουάριο

Το πρώτο σενάριο που θεωρήθηκε αφορά σε εννέα διώροφες πολυκατοικίες σε πυκνοκατοικημένη περιοχή της Αθήνας η οποία για λόγους υπολογισμού της ενεργειακής πυκνότητας και του φορτίου αιχμής θεωρήθηκε ότι είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 19 [47], [48]:



Εικόνα 34. Θεωρούμενη περιοχή Σεναρίου 1

Το αρχικό χρονικό διάστημα επιλέχθηκε να είναι 5 μηνών από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο. Θεωρήθηκαν επίσης δύο σωληνώσεις μεταφοράς με την πρώτη να τροφοδοτεί την διανομή 6 κτιρίων και την δεύτερη των υπόλοιπων 3 κτιρίων του συστήματος και διάταξη συστήματος σωληνώσεων αστεροειδής. Για την ανάπτυξη του σεναρίου και κυρίως την εύρεση του μήκους των σωλήνων που αποτελούν το συγκεκριμένο σύστημα θεωρήθηκαν οι συντεταγμένες του κάθε κτιρίου καθώς επίσης και του θεωρούμενου σημείου τοποθέτησης της μονάδας παραγωγής ενέργειας. Θεωρήθηκαν επίσης τα απαραίτητα σημεία σύνδεσης των σωληνώσεων διανομής με τις σωληνώσεις μεταφοράς. Οι εν λόγω συντεταγμένες παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:



Πίνακας 12. Σενάριο 1: Συντεταγμένες κτιρίων συνδεδεμένων στο σύστημα τηλεθέρμανσης

Κτίρια	Γεωγραφικό πλάτος (σε δεκαδικές μοίρες)	Γεωγραφικό μήκος (σε δεκαδικές μοίρες)
1	38.03942	23.81522
2	38.03955	23.81533
3	38.03967	23.81545
4	38.0398	23.81553
5	38.03998	23.81565
6	38.0391	23.81477
7	38.0395	23.81513
8	38.0396	23.81523
9	38.0397	23.81527

Πίνακας 13. Σενάριο 1: Συντεταγμένες κεντρικής μονάδας

Κεντρική Μονάδα	Γεωγραφικό πλάτος (σε δεκαδικές μοίρες)	Γεωγραφικό μήκος (σε δεκαδικές μοίρες)
1	38.03957	23.81613

Πίνακας 14. Σενάριο 1: Συντεταγμένες τελικού σημείου σωλήνων μεταφοράς

Σημείο Τέλους Σωλήνων Μεταφοράς	Γεωγραφικό πλάτος (σε δεκαδικές μοίρες)	Γεωγραφικό μήκος (σε δεκαδικές μοίρες)
1	38.03963	23.81563
2	38.04022	23.81552

Επιπρόσθετα, οι τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν για το «τρέξιμο» του βασικού σεναρίου» καταγράφονται στους ακόλουθους πίνακες:



Πίνακας 15. Σενάριο 1: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας

Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	
Θερμοκρασία παροχής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	90
Θερμοκρασία επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	50
Πτώση πίεσης στους σωλήνες μεταφοράς (Pa/m)	100
Πτώση πίεσης στους σωλήνες διανομής (Pa/m)	250

Πίνακας 16. Σενάριο 1: Κεντρική μονάδα

Μονάδα Συμπαραγωγής	
Μοντέλο	SOKRATHERM GmbH GG 140 S
Θερμική Ισχύς (kWhth)	216
Ηλεκτρική Ισχύς (kWhel)	142
Θερμική απόδοση	0.551
Ηλεκτρική απόδοση	0.362
Τιμή (€)	167276
Καύσιμο	Φυσικό αέριο

Πίνακας 17. Σενάριο 1: Τεχνολογία αιχμής

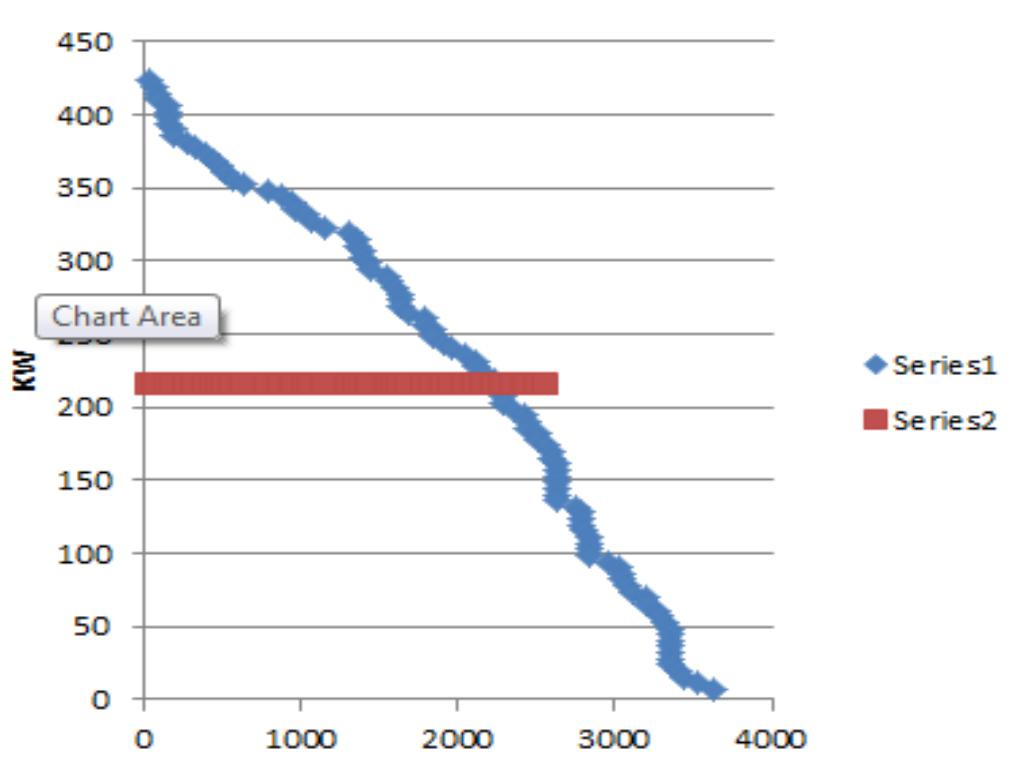
Μονάδα λέβητα	
Μοντέλο	De Dietrich DTG 330 4
Θερμική Ισχύς (kWhth)	220
Θερμική απόδοση	0.96
Τιμή (€)	8647.67
Καύσιμο	Φυσικό αέριο



Πίνακας 18. Σενάριο 1: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης

Θεωρούμενες τιμές και παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης	
ΜΤΦΑ (€MWh)	57.56
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€ MWhel)	197.65
Τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας (€MWhth)	70.1
Τιμή ενέργειας φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€ MWh)	55.1
Τιμή ισχύος φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€ MWh)	263.3
Τιμή πετρελαίου (€ l)	1.29
Τιμή μετατροπής των συνδεδεμένων κτιρίων (€MWh)	30.8
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων μεταφοράς (€ m)	90.1
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων διανομής (€ MWh)	150
Χρονικός Ορίζοντας Αξιολόγησης (έτη)	30
Επιδότηση (€)	0
Άλλα έξοδα (€)	0

Η προκύπτουσα καμπύλη διάρκειας του σεναρίου μαζί με το ευρεθέν βασικό φορτίο φαίνεται στην εικόνα 20:



Εικόνα 35. Σενάριο 1: Καμπύλη διάρκειας



Βάσει των παραπάνω δεδομένων και συναρτήσει των υπολογιζόμενων τιμών από το πρόγραμμα το συγκεκριμένο βασικό σενάριο καταλήγει σε υπολογιζόμενο **IRR = 8.4927 %** και χρόνο αποπληρωμής τα **11 έτη**.

Στην συνέχεια μελετώνται διάφορα υποσενάρια αλλαγής κάποιων σχεδιαστικών παραμέτρων για το συγκεκριμένο σενάριο.

3.1.2. Σενάριο 2: Παραλλαγή του Σεναρίου 1 με αλλαγές στις σχεδιαστικές παραμέτρους

Το Σενάριο 2 αποτελεί παραλλαγή του Σεναρίου 1 με αλλαγές στις σχεδιαστικές παραμέτρους που φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 19. Σενάριο 2: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας

Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	
Θερμοκρασία παροχής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	90
Θερμοκρασία επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	60
Πτώση πίεσης στους σωλήνες μεταφοράς (Pa/m)	100
Πτώση πίεσης στους σωλήνες διανομής (Pa/m)	200

Λόγω των ανωτέρω αλλαγών το μοντέλο διαστασιολόγησης αλλάζει:

Πίνακας 20. Σενάριο 2: Κεντρική μονάδα

Μονάδα Συμπαραγωγής	
Μοντέλο	OET 190 ASO
Θερμική Ισχύς (kWh _{th})	260
Ηλεκτρική Ισχύς (kWh _{el})	190
Θερμική απόδοση	0.52
Ηλεκτρική απόδοση	0.36
Τιμή (€)	313025
Καύσιμο	Φυσικό αέριο



Πίνακας 21. Σενάριο 2: Τεχνολογία αιχμής

Μονάδα λέβητα	
Μοντέλο	De Dietrich DTG 330 4
Θερμική Ισχύς (kW _{th})	220
Θερμική απόδοση	0.96
Τιμή (€)	8647.67
Καύσιμο	Φυσικό αέριο

Πίνακας 22. Σενάριο 2: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης

Θεωρούμενες τιμές και παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης	
ΜΤΦΑ (€/MWh)	57.56
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/ MWh _{el})	197.65
Τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας (€/MWh _{th})	70.1
Τιμή ενέργειας φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€/ MWh)	55.1
Τιμή ισχύος φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€/ MWh)	263.3
Τιμή πετρελαίου (€/ l)	1.29
Τιμή μετατροπής των συνδεόμενων κτιρίων (€/MWh)	30.8
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων μεταφοράς (€/ m)	200
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων διανομής (€/ MWh)	150
Χρονικός Ορίζοντας Αξιολόγησης (έτη)	30
Επιδότηση (€)	0
Άλλα έξοδα (€)	0

Η προκύπτουσα καμπύλη διάρκειας του σεναρίου παραμένει η ίδια. Το βασικό φορτίο αλλάζει ελάχιστα λόγω των αυξημένων θερμικών απωλειών που προέκυψαν λόγω της αυξημένης διαμέτρου. Η αυξημένη διάμετρος είναι αποτέλεσμα της αύξησης της τιμής της θερμοκρασίας επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος καθώς και της μείωσης της θεωρούμενης πτώσης πίεσης στους σωλήνες διανομής. Ως αποτέλεσμα επιλέγεται το αμέσως επόμενο μοντέλο συμπαραγωγής για την διαστασιολόγηση.

Με τις αλλαγές αυτές, και κυρίως λόγω της δραματικής αύξησης στην τιμή αγοράς και εγκατάστασης των σωλήνων διανομής παρατηρείται δραματική μείωση στην τιμή του IRR το οποίο προκύπτει ως **IRR = 3,75 %** και ο χρόνος αποπληρωμής είναι τα **18 έτη**.

Στην συνέχεια μελετώνται διάφορα υποσενάρια αλλαγής κάποιων σχεδιαστικών παραμέτρων για το συγκεκριμένο σενάριο.



3.1.3. Σενάριο 3: Εννέα διώροφες πολυκατοικίες σε πυκνοκατοικημένη περιοχή της Αθήνας με την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Φεβρουάριο

Το Σενάριο 3 αφορά την ίδια περιοχή και τον ίδιο αριθμό και τύπο κτιρίων με τα Σενάρια 2 και 1. Οι συντεταγμένες των κτιρίων, της κεντρικής μονάδας και των σωληνώσεων παραμένουν ίδιες. Διαφορά αποτελεί η χρήση θερμοδεξαμενής και η διαστασιολόγηση την κεντρικής μονάδας σε τέτοια φορτία ώστε να εξυπηρετείται το σύστημα με την χρήση του συνδυασμού κεντρικής μονάδας – θερμοδεξαμενής, και όχι σύμφωνα με την καμπύλη διάρκειας και το βασικό φορτίο. Ο λέβητας αιχμής συνεχίζει να υφίσταται σε αρκετά υποσενάρια αλλά διαθέτει μειωμένα λειτουργικά έξοδα καθώς καλύπτει μικρότερο ποσοστό των ζητούμενων θερμικών φορτίων. Οι σχεδιαστικές παράμετροι είναι ίδιες με αυτές στο Σενάριο 2.

Πίνακας 23. Σενάριο 3: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας

Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	
Θερμοκρασία παροχής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	90
Θερμοκρασία επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	60
Πτώση πίεσης στους σωλήνες μεταφοράς (Pa/m)	100
Πτώση πίεσης στους σωλήνες διανομής (Pa/m)	200

Πίνακας 24. Σενάριο 3: Κεντρική μονάδα

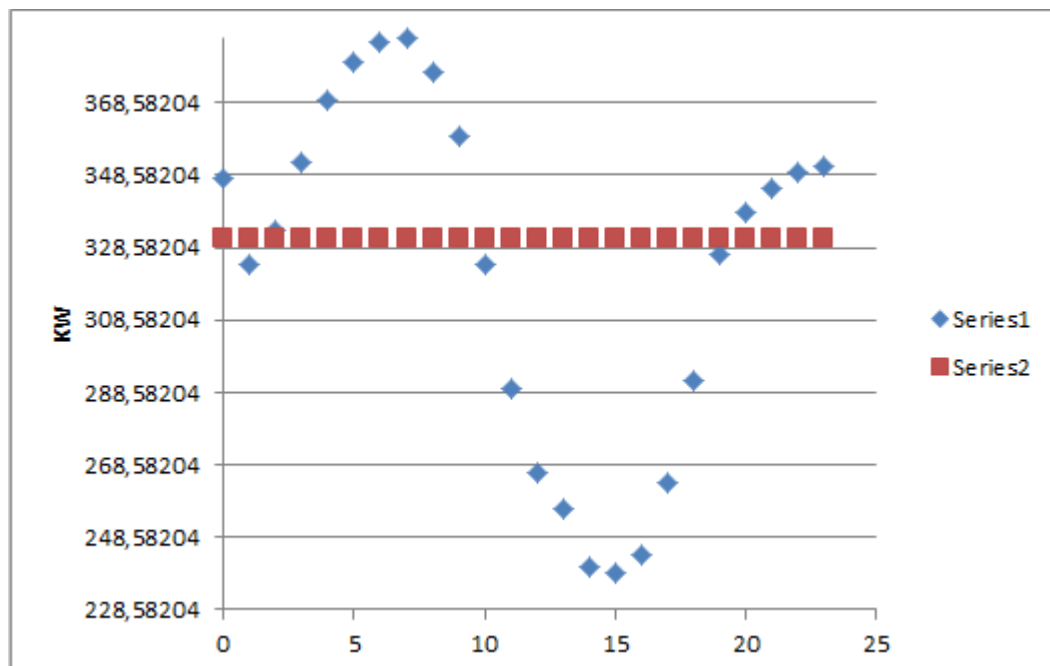
Μονάδα Συμπαραγωγής	
Μοντέλο	SOKRATHERM GmbH GG 201 S
Θερμική Ισχύς (kWh _{th})	331
Ηλεκτρική Ισχύς (kWh _{el})	205
Θερμική απόδοση	0.559
Ηλεκτρική απόδοση	0.346
Τιμή (€)	241490
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	



Πίνακας 25. Σενάριο 3: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης

Θεωρούμενες τιμές και παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης	
ΜΤΦΑ (€/MWh)	57.56
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/ MWhel)	197.65
Τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας (€/MWhth)	70.1
Τιμή ενέργειας φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€/ MWh)	55.1
Τιμή ισχύος φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€/ MWh)	263.3
Τιμή πετρελαίου (€/ l)	1.29
Τιμή μετατροπής των συνδεδεμένων κτιρίων (€/MWh)	30.8
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων μεταφοράς (€/ m)	200
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων διανομής (€/ MWh)	150
Χρονικός Ορίζοντας Αξιολόγησης (έτη)	30
Επιδότηση (€)	0
Άλλα έξοδα (€)	0

Η προκύπτουσα καμπύλη διάρκειας του σεναρίου είναι προφανώς ίδια με των προηγούμενων σεναρίων 1 και 2 όμως λόγω της χρήσης θερμοδεξαμενής είναι γνωστή και η καμπύλη ημερήσιων θερμικών φορτίων η οποία επιλέχθηκε να σχεδιαστεί για τον μήνα Ιανουάριο και φαίνεται στην συνέχεια:



Εικόνα 36. Σενάριο 3: Καμπύλη ημερήσιων θερμικών φορτίων για τον μήνα Ιανουάριο



Βάσει των παραπάνω δεδομένων και συναρτήσει των υπολογιζόμενων τιμών από το πρόγραμμα το συγκεκριμένο βασικό σενάριο καταλήγει σε υπολογιζόμενο **IRR = 6.91%** και χρόνο αποπληρωμής τα **13 έτη**.

Στην συνέχεια μελετώνται διάφορα υποσενάρια αλλαγής κάποιων σχεδιαστικών παραμέτρων για το συγκεκριμένο.

3.1.4. Σενάριο 4: Υποθετικό σενάριο 9 τριώροφων πολυκατοικιών θεωρώντας πυκνοκατοικημένη περιοχή με την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Απρίλιο

Το Σενάριο 4 που θεωρήθηκε αφορά σε εννέα τριώροφες πολυκατοικίες σε υποθετική πυκνοκατοικημένη περιοχή της Αθήνας η οποία για λόγους υπολογισμού της ενεργειακής πυκνότητας και του φορτίου αιχμής θεωρήθηκε ότι είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 22 [47], [48]:



Εικόνα 37. Σενάριο4: Θεωρούμενη περιοχή



Το χρονικό διάστημα επιλέχθηκε να είναι 7 μηνών από Οκτώβριο έως Απρίλιο. Θεωρήθηκε επίσης μια σωλήνωση μεταφοράς η οποία τροφοδοτεί την διανομή όλων των κτιρίων του συστήματος και διάταξη συστήματος σωληνώσεων αστεροειδής. Για την ανάπτυξη του σεναρίου και κυρίως την εύρεση του μήκους των σωλήνων που αποτελούν το συγκεκριμένο σύστημα θεωρήθηκαν οι συντεταγμένες του κάθε κτιρίου καθώς επίσης και του θεωρούμενου σημείου τοποθέτησης της μονάδας παραγωγής ενέργειας. Θεωρήθηκαν επίσης τα απαραίτητα σημεία σύνδεσης των σωληνώσεων διανομής με τις σωληνώσεις μεταφοράς. Οι εν λόγω συντεταγμένες παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 26. Σενάριο 4: Συντεταγμένες κτιρίων συνδεδεμένων στο σύστημα τηλεθέρμανσης

Κτίρια	Γεωγραφικό πλάτος (σε δεκαδικές μοίρες)	Γεωγραφικό μήκος (σε δεκαδικές μοίρες)
1	38.110134	23.786731
2	38.110283	23.786832
3	38.110427	23.787038
4	38.110475	23.787504
5	38.110427	23.787656
6	38.110308	23.787870
7	38.110080	23.788007
8	38.109913	23.788037
9	38.109679	23.787923

Πίνακας 27. Σενάριο 4: Συντεταγμένες κεντρικής μονάδας

Κεντρική Μονάδα	Γεωγραφικό πλάτος (σε δεκαδικές μοίρες)	Γεωγραφικό μήκος (σε δεκαδικές μοίρες)
1	38.109885	23.787245



Πίνακας 28. Σενάριο 4: Συντεταγμένες τελικού σημείου σωλήνων μεταφοράς

Σημείο Τέλους Σωλήνων Μεταφοράς	Γεωγραφικό πλάτος (σε δεκαδικές μοίρες)	Γεωγραφικό μήκος (σε δεκαδικές μοίρες)
1	38.109995	23.787401

Επιπρόσθετα, οι τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν για το «τρέξιμο» του βασικού σεναρίου» καταγράφονται στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 29. Σενάριο 4: Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας

Παράμετροι πίεσης και θερμοκρασίας	
Θερμοκρασία παροχής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	90
Θερμοκρασία επιστροφής πρωτεύοντος ρεύματος (°C)	50
Πτώση πίεσης στους σωλήνες μεταφοράς (Pa/m)	100
Πτώση πίεσης στους σωλήνες διανομής (Pa/m)	200

Πίνακας 30. Σενάριο 4: Κεντρική μονάδα

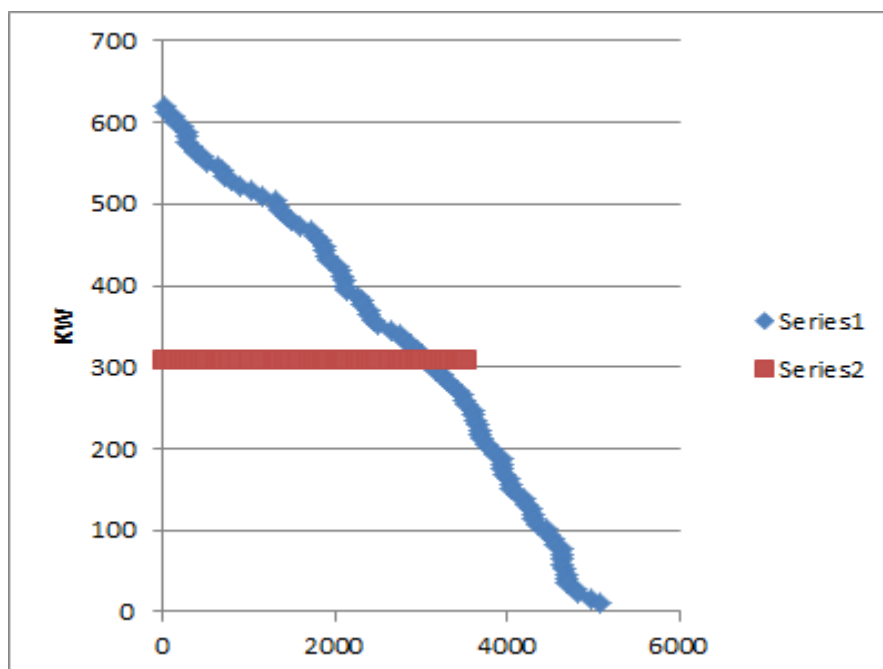
Μονάδα Συμπαραγωγής	
Μοντέλο	SOKRATHERM GmbH GG 402S(GK70)
Θερμική Ισχύς (kWhth)	495
Ηλεκτρική Ισχύς (kWhel)	366
Θερμική απόδοση	0.518
Ηλεκτρική απόδοση	0.383
Τιμή (€)	431148
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	



Πίνακας 31. Σενάριο 4: Παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης

Θεωρούμενες τιμές και παράμετροι οικονομικής αξιολόγησης	
ΜΤΦΑ (€/MWh)	57.56
Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (€/ MWhel)	197.65
Τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας (€/MWhth)	75.5
Τιμή ενέργειας φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€/ MWh)	55.1
Τιμή ισχύος φυσικού αερίου (για βιομηχανικό πελάτη) (€/ MWh)	263.3
Τιμή πετρελαίου (€/ l)	1.29
Τιμή μετατροπής των συνδεδεμένων κτιρίων (€/MWh)	30.8
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων μεταφοράς (€/ m)	200
Τιμή αγοράς και εγκατάστασης σωλήνων διανομής (€/ MWh)	150
Χρονικός Ορίζοντας Αξιολόγησης (έτη)	30
Επιδότηση (€)	0
Άλλα έξοδα (€)	0

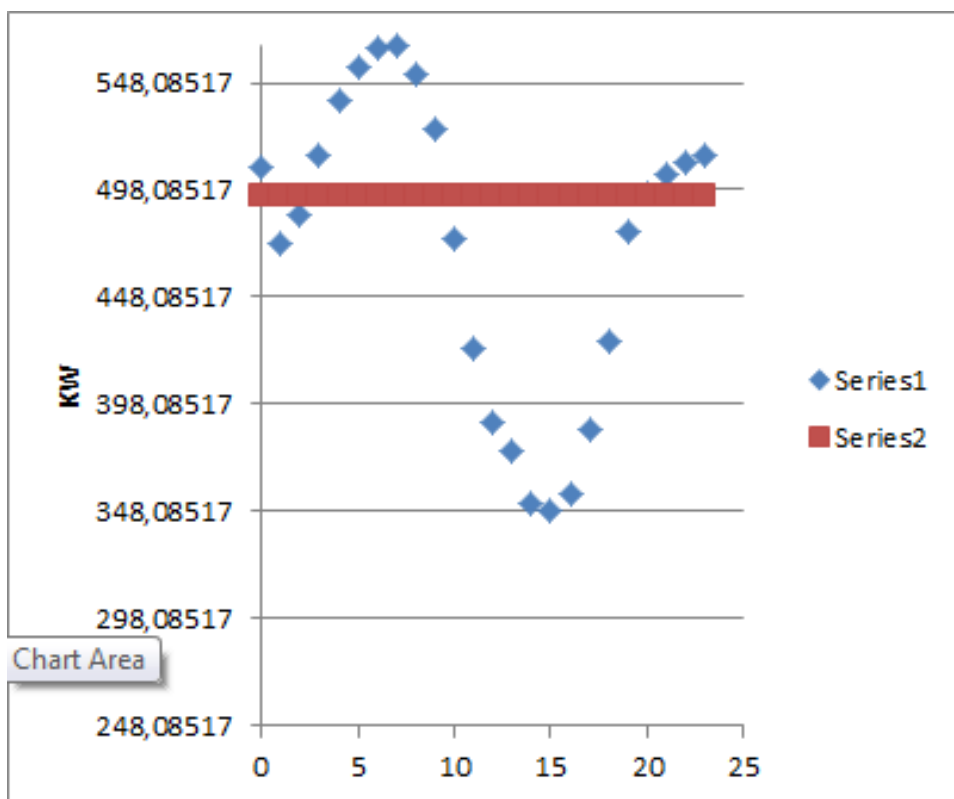
Η προκύπτουσα καμπύλη διάρκειας του σεναρίου μαζί με το ευρεθέν βασικό φορτίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 38. Σενάριο 4: Καμπύλη διάρκειας



Επιπρόσθετα, η καμπύλη ημερήσιας θερμικής κατανάλωσης όπως προκύπτει για τον μήνα Ιανουάριο φαίνεται στην εικόνα 24:



Εικόνα 39. Σενάριο 4: Καμπύλη ημερήσιας κατανάλωσης για τον μήνα Ιανουάριο

Βάσει των παραπάνω δεδομένων και συναρτήσει των υπολογιζόμενων τιμών από το πρόγραμμα το συγκεκριμένο βασικό σενάριο καταλήγει σε υπολογιζόμενο **IRR = 10.01%** και χρόνο αποπληρωμής τα **10 έτη**.

Στην συνέχεια μελετώνται διάφορα υποσενάρια αλλαγής κάποιων σχεδιαστικών παραμέτρων για το συγκεκριμένο.



3.1.5. Σενάριο 5: Υποθετικό σενάριο 9 τριώροφων πολυκατοικιών θεωρώντας πυκνοκατοικημένη περιοχή χωρίς την χρήση θερμοδεξαμενής το χρονικό διάστημα Οκτώβριος με Απρίλιο

Το Σενάριο 5 αφορά την ίδια περιοχή και τον ίδιο αριθμό και τύπο κτιρίων με το Σενάριο 4. Οι συντεταγμένες των κτιρίων, της κεντρικής μονάδας και των σωληνώσεων παραμένουν ίδιες. Διαφορά αποτελεί η έλλειψη θερμοδεξαμενής και η διαστασιολόγηση την κεντρικής μονάδας στο βασικό φορτίο καθώς και η χρήση λέβητα.

Πίνακας 32. Σενάριο 5: Κεντρική μονάδα

Μονάδα Συμπαραγωγής	
Μοντέλο	SOKRATHERM GmbH GG 402S(GK70)
Θερμική Ισχύς (kWhth)	495
Ηλεκτρική Ισχύς (kWhel)	366
Θερμική απόδοση	0.518
Ηλεκτρική απόδοση	0.383
Τιμή (€)	431148
Καύσιμο	Φυσικό αέριο

Πίνακας 33. Σενάριο 5: Τεχνολογία αιχμής

Μονάδα λέβητα	
Μοντέλο	De Dietrich DTG 330 3
Θερμική Ισχύς (kWhth)	200
Θερμική απόδοση	0.96
Τιμή (€)	7609.09
Καύσιμο	Φυσικό αέριο

Βάσει των παραπάνω δεδομένων και συναρτήσεως των υπολογιζόμενων τιμών από το πρόγραμμα το συγκεκριμένο βασικό σενάριο καταλήγει σε υπολογιζόμενο **IRR = 9.94%** και χρόνο αποπληρωμής τα **10 έτη**.

Στην συνέχεια μελετώνται διάφορα υποσενάρια αλλαγής κάποιων σχεδιαστικών παραμέτρων.



3.2. Μεταβολή του χρονικού διαστήματος ενεργειακής κάλυψης από το σύστημα

Για την μελέτη της επίδρασης του χρονικού διαστήματος στην έκβαση του IRR θεωρήθηκαν διάφορα σενάρια βάσει του σεναρίου 1. Το αρχικό χρονικό διάστημα του σεναρίου θεωρήθηκε ίσο με 5 μήνες από Οκτώβριο ως Φεβρουάριο. Στην συνέχεια, μελετήθηκε η επιρροή του χρονικού διαστήματος κάλυψης στην τιμή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης IRR θεωρώντας διαφορετικά χρονικά διαστήματα κάλυψης. Λόγω της μεταβολής του χρονικού διαστήματος είναι λογικό να αλλάζει και το συνολικό φορτίο κάλυψης καθώς επίσης το σημείο διαστασιολόγησης της κεντρικής μηχανής. Στον πίνακα 34 καταγράφονται τα διαφορετικά χρονικά διαστήματα, τα αντίστοιχα φορτία διαστασιολόγησης και ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR.

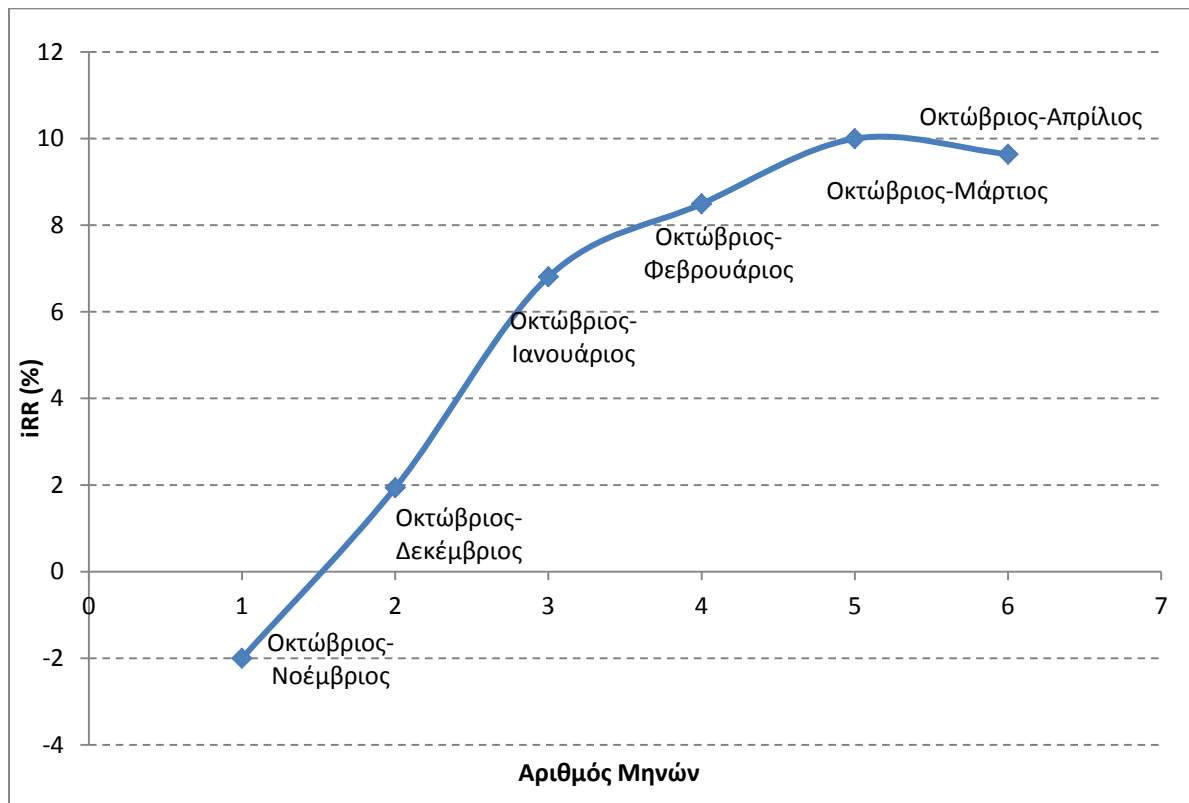
Πίνακας 34. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του θεωρούμενου χρονικού διαστήματος

Χρονικό διάστημα κάλυψης	Φορτίο Διαστασιολόγησης (kW)	IRR (%)
Οκτώβριος – Νοέμβριος	140	-2
Οκτώβριος – Δεκέμβριος	180	1.937
Οκτώβριος – Ιανουάριος	216	6.807
Οκτώβριος – Φεβρουάριος	216	8.4934
Οκτώβριος – Μάρτιος	216	9.9965
Οκτώβριος – Απρίλιος	212	9.6411

Η μεταβολή του IRR συναρτήσει του χρονικού διαστήματος απεικονίζεται στο διάγραμμα 1:



Διάγραμμα 1. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του θεωρούμενου χρονικού διαστήματος



Παρατηρείται ότι η τιμή του IRR βαίνει αυξανόμενη καθώς αυξάνεται το χρονικό διάστημα των μηνών που καλείται να καλύψει το σύστημα τηλεθέρμανσης, όπως αναμενόταν. Παρόλα αυτά, η μέγιστη τιμή του IRR δεν επιτυγχάνεται για το μέγιστο διάστημα αλλά για το χρονικό διάστημα από Οκτώβριο έως Μάρτιο. Είναι γεγονός πως η απόδοση του συστήματος πέφτει όταν καλείται να καλύψει και μήνες με χαμηλή κατανάλωση καθώς η κεντρική μηχανή αναγκάζεται να λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μερικό φορτίο και με χαμηλή απόδοση. Συμπεραίνεται επομένως, ότι για το συγκεκριμένο σενάριο και για την περιοχή της Αθήνας, οι θερμικές καταναλώσεις του Απριλίου είναι χαμηλές και δεν συμφέρει να ληφθούν υπόψη στην διαστασιολόγηση του συστήματος.

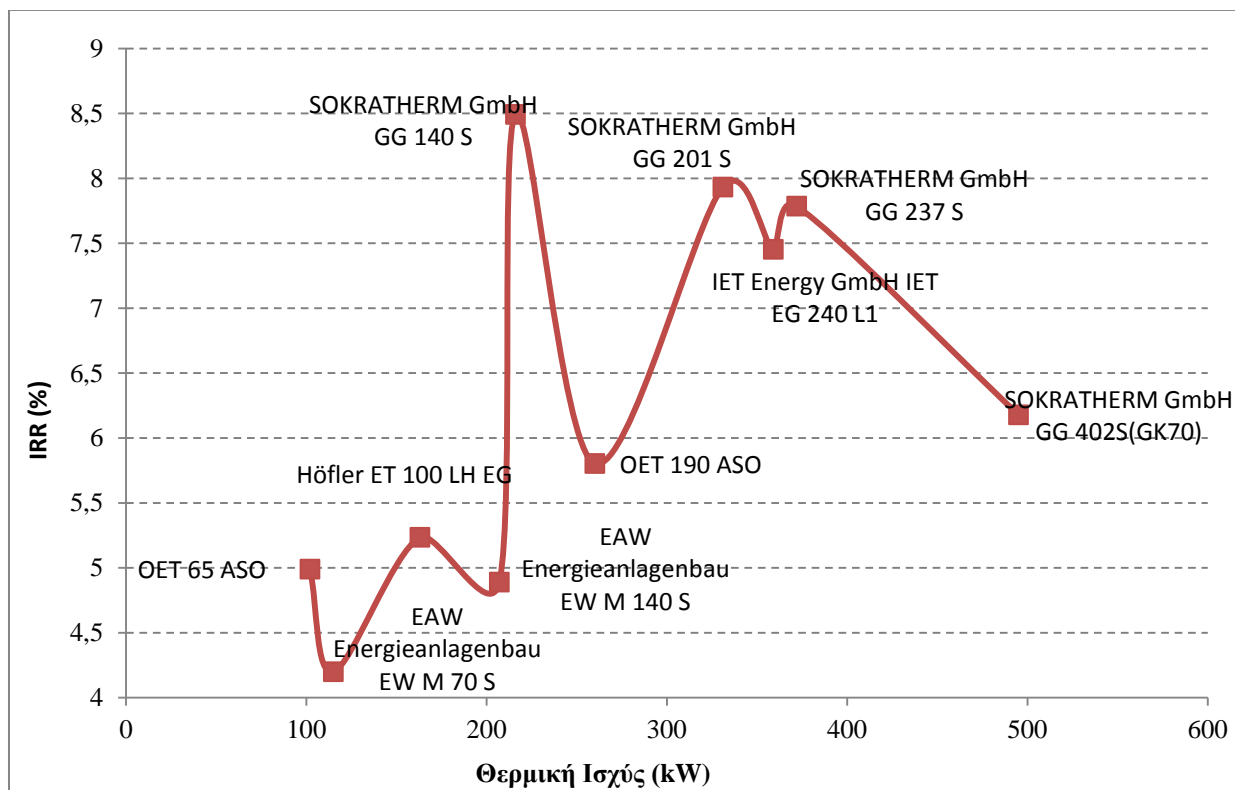


3.3. Μεταβολή του θερμικού φορτίου διαστασιολόγησης της κεντρικής μηχανής

Η μεταβολή του θερμικού φορτίου διαστασιολόγησης επηρεάζει κυρίως το αρχικό κόστος της επένδυσης καθώς η τιμή της μονάδας συμπαραγωγής εξαρτάται από την επιλεγμένη τεχνολογία και τη θερμική ισχύ αυτής αλλά και τα ετήσια έσοδα καθώς αλλάζει και η ηλεκτρική ισχύς της συμπαραγωγής και επομένως τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υποσενάρια που μελετήθηκαν για την εύρεση της επιρροής της κεντρικής μηχανής που επιλέγεται στον IRR και την οικονομική έκβαση του βασικού σεναρίου πραγματοποιήθηκαν αρχικά με σταδιακή αύξηση του θερμικού φορτίου διαστασιολόγησης ανεξαρτήτως εταιρείας για την ίδια τεχνολογία και στην συνέχεια με την επιλογή μοντέλων της ίδιας εταιρείας καθώς επίσης και για επιλογή διαφορετικής τεχνολογίας. **Επιπρόσθετα, η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε για το βασικό σενάριο 1.** Τα κατασκευαστικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν εξετάστηκαν υπό τις θεωρούμενες και εκτιμώμενες συνθήκες του εκάστοτε σεναρίου. Προέκυψαν επομένως τα παρακάτω:

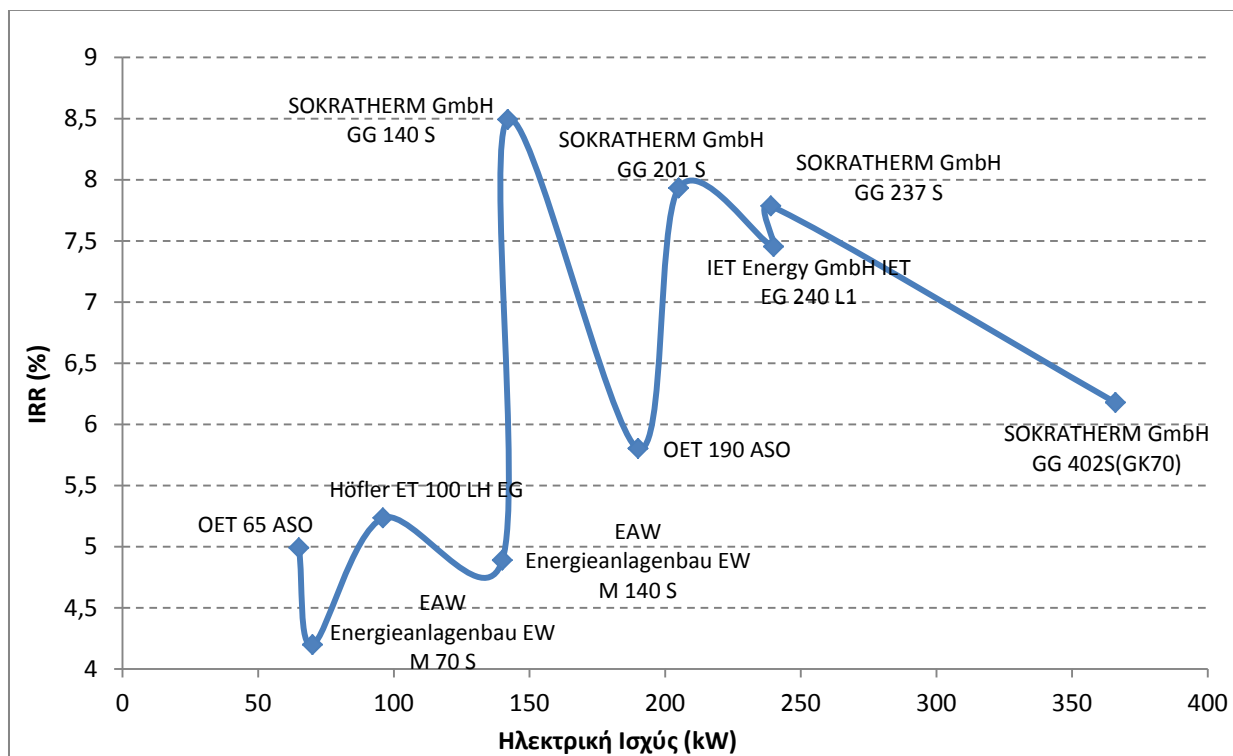


Διάγραμμα 2. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης θερμικής ισχύος
ανεξαρτήτως εταιρείας



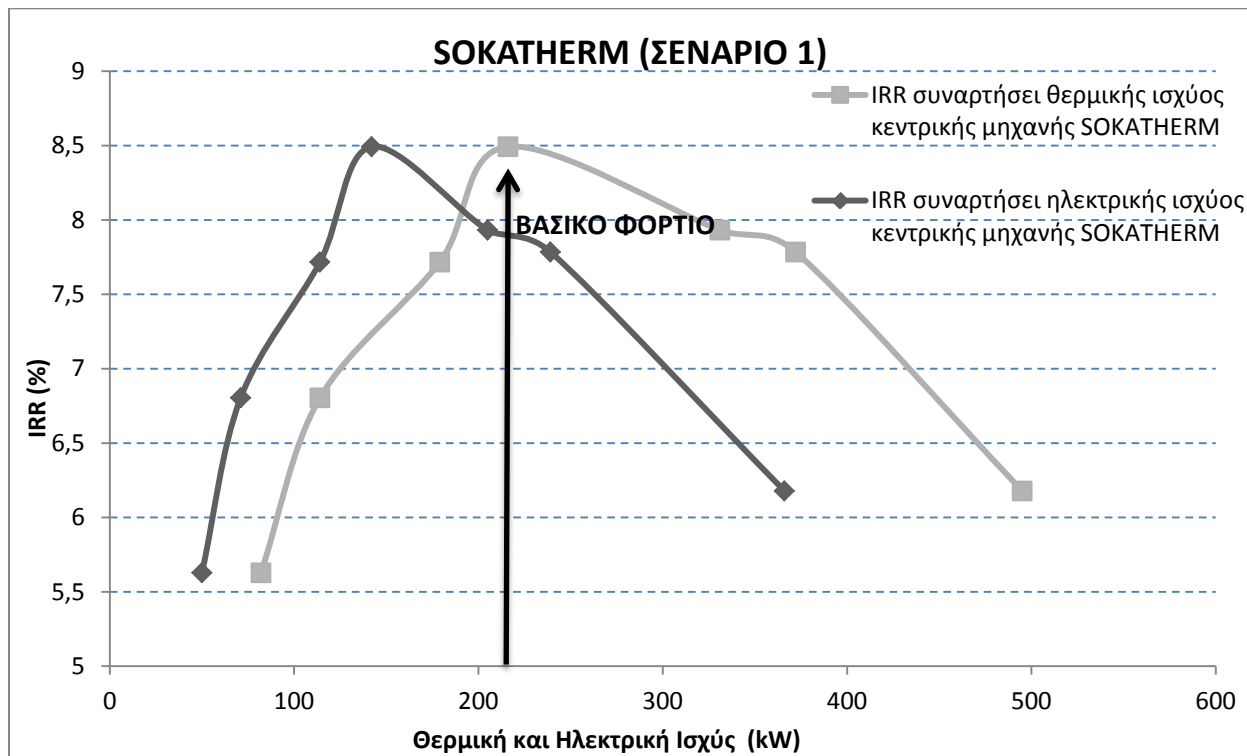


Διάγραμμα 3. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης ηλεκτρικής ισχύος
ανεξαρτήτως εταιρείας

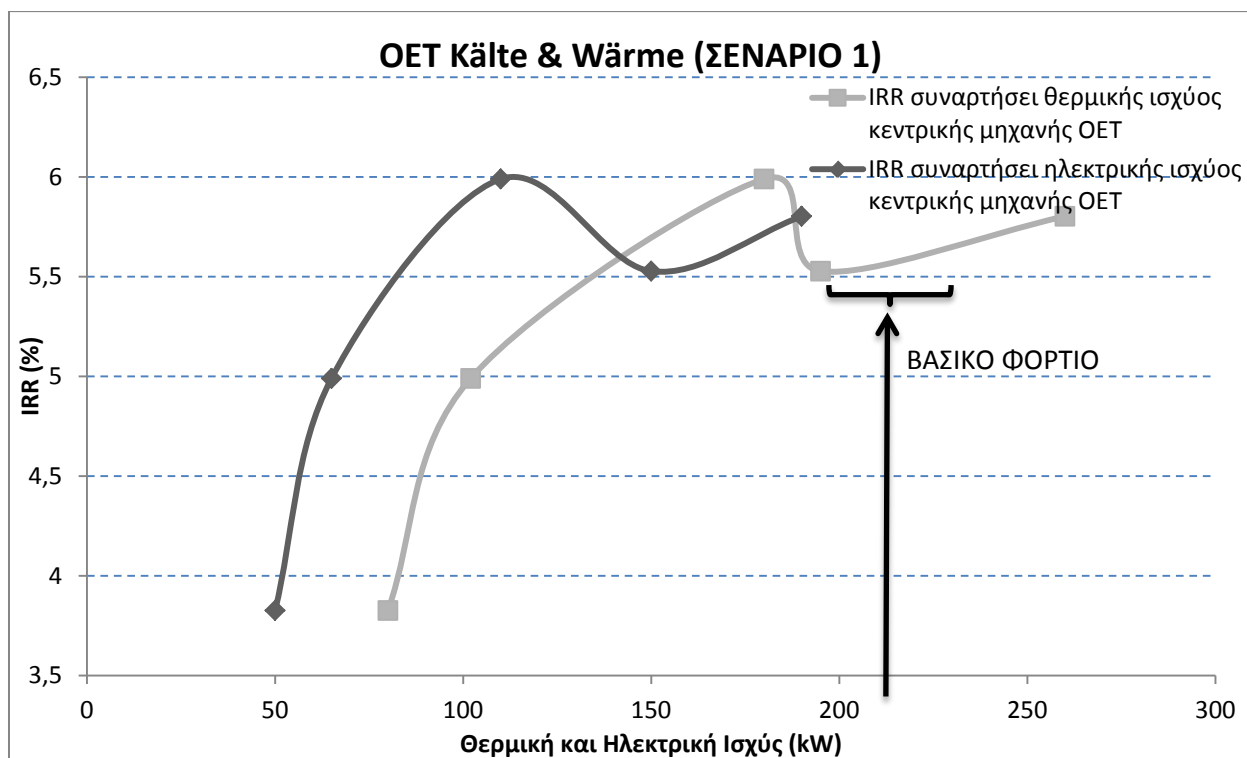




Διάγραμμα 4. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας SOKATHERM

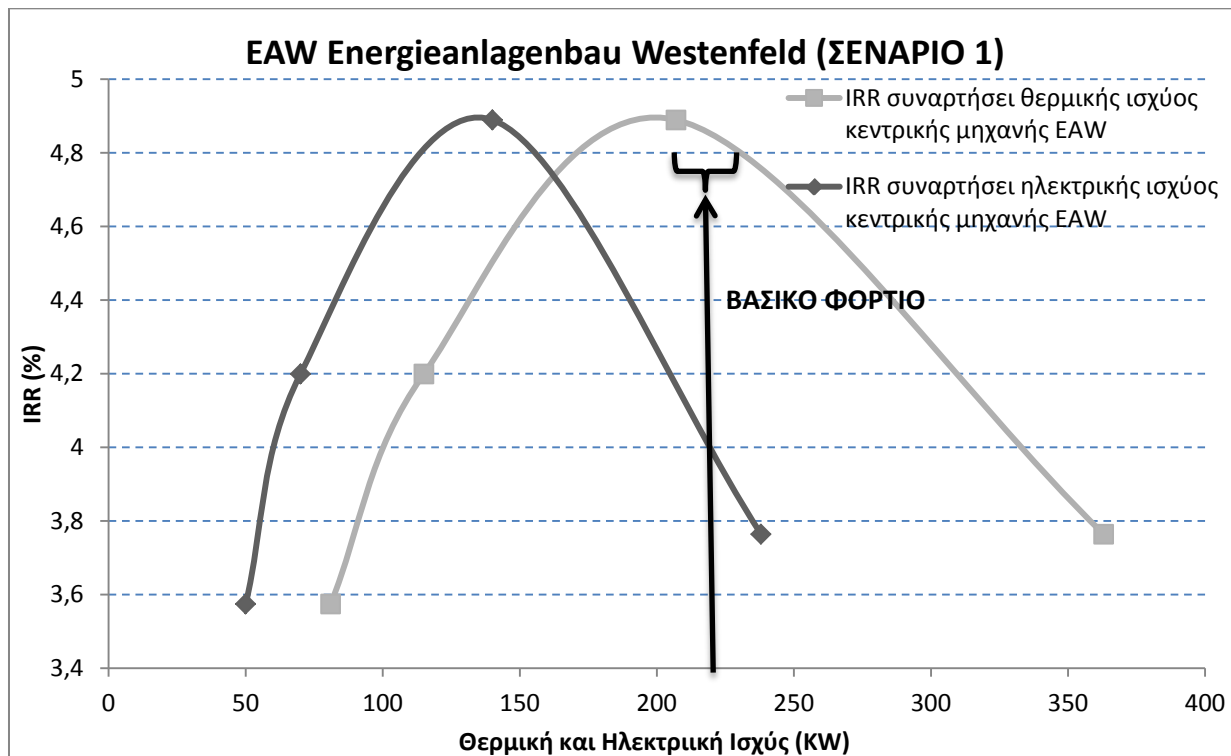


Διάγραμμα 5. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας OET



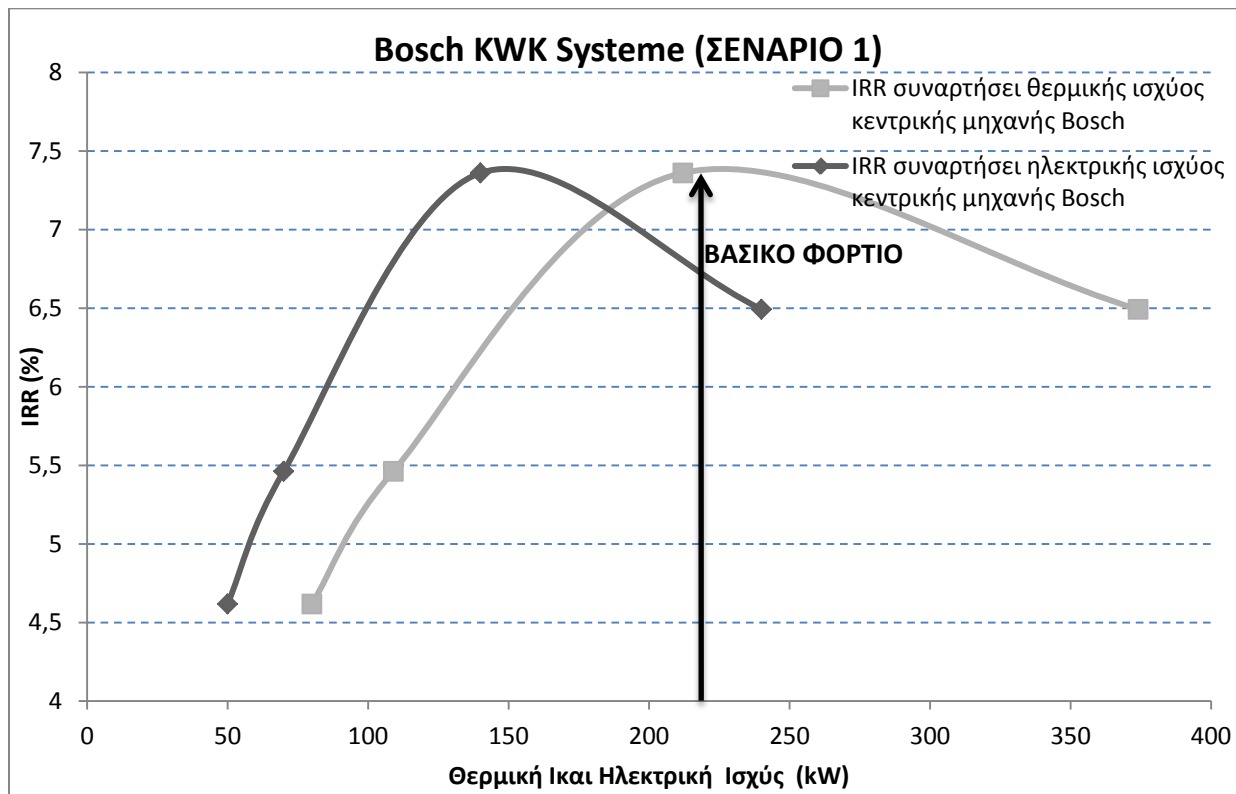


Διάγραμμα 6. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας EAW





Διάγραμμα 7. Μεταβολή IRR συναρτήσει φορτίου διαστασιολόγησης εταιρείας Bosch



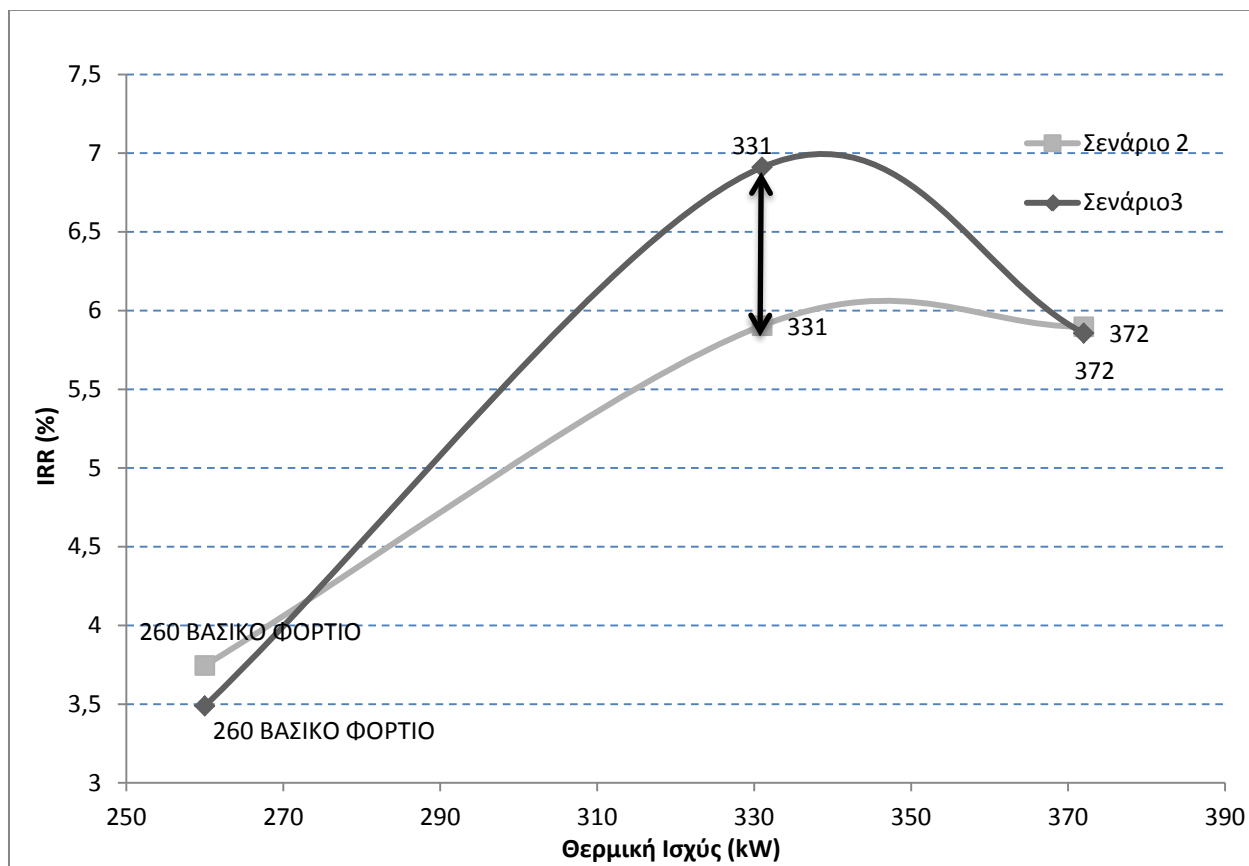
Παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα ότι η διαστασιολόγηση της κεντρικής μηχανής δεν συμφέρει πάντα να γίνεται στο βασικό φορτίο. Επίσης φαίνεται πως για κάθε κατασκευάστρια εταιρεία υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο διαστασιολόγησης όπου μεγιστοποιείται ο IRR.

3.4. Ύπαρξη ή όχι θερμοδεξαμενής

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε επίσης η επίδραση που έχει η ύπαρξη ή όχι θερμοδεξαμενής για μερικά από τα θεωρούμενα σενάρια (Σενάρια 2,3,4,5). Έτσι προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα τα οποία συγκρίνουν τις ίδιες περιπτώσεις σε διάφορα σημεία διαστασιολόγησης της κεντρικής μηχανής.



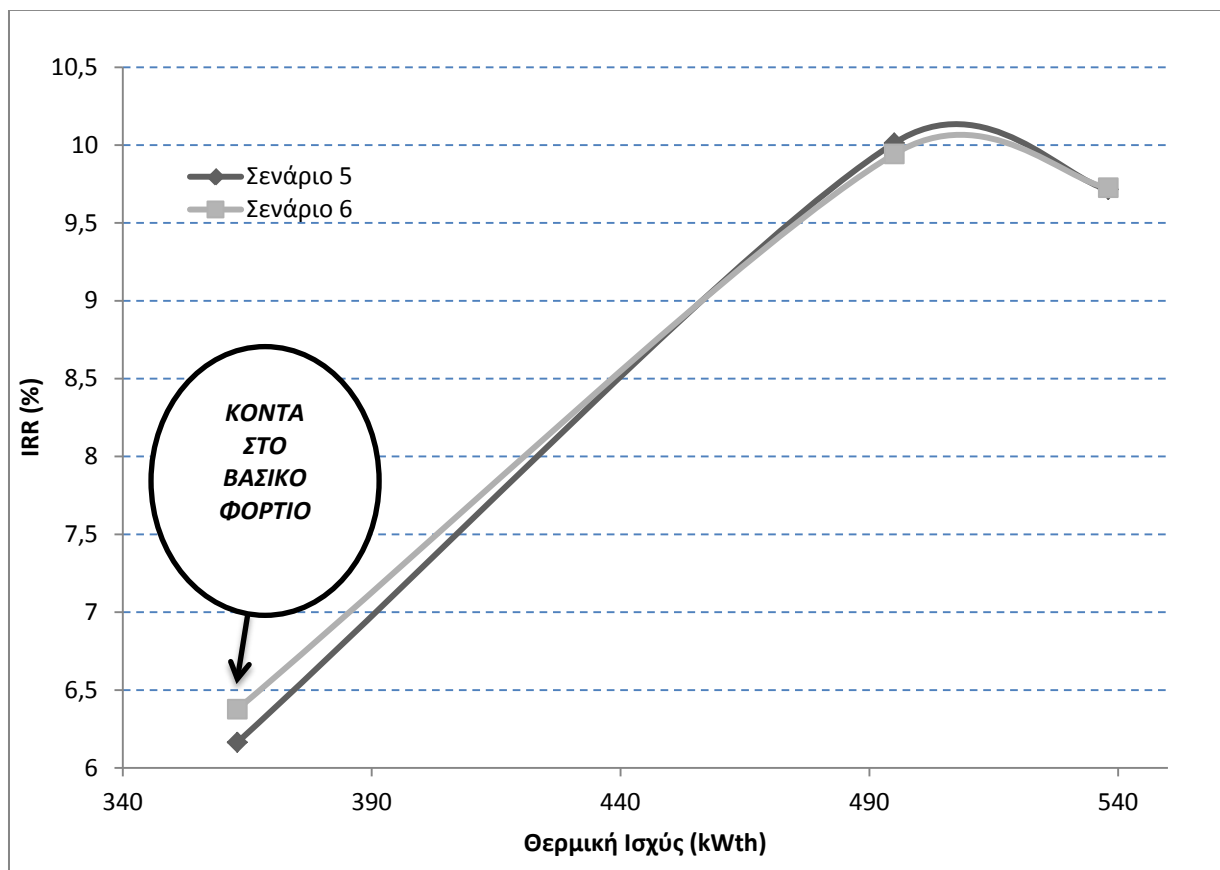
Διάγραμμα 8. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του φορτίου διαστασιολόγησης για ύπαρξη και μη θερμοδεξαμενής (Σενάρια 2 και 3)



Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι ο IRR μεγιστοποιείται και για τις δύο περιπτώσεις όταν το σύστημα διαστασιολογείται στα 331 kWth. Στο σημείο αυτό φαίνεται επίσης βελτίωση του IRR ως και 1 περίπου μονάδα λόγω της ύπαρξης θερμοδεξαμενής. Όσον αφορά τις άλλες περιπτώσεις φαίνεται ότι η περίπτωση χωρίς θερμοδεξαμενή έχει ελαφρώς καλύτερο IRR.



Διάγραμμα 9. Μεταβολή του IRR συναρτήσει του φορτίου διαστασιολόγησης για ύπαρξη και μη θερμοδεξαμενής (Σενάρια 4 και 5)



Το παραπάνω διάγραμμα το οποίο αφορά στα σενάρια 4 και 5 δείχνει ότι η ύπαρξη θερμοδεξαμενής επιφέρει και πάλι μια ελαφριά βελτίωση του IRR η οποία όμως είναι πολύ μικρή. Και εδώ, το βέλτιστο σημείο διαστασιολόγησης δεν είναι κοντά στο βασικό φορτίο.

3.5. Μεταβολή της ακτίνας έκτασης της θεωρούμενης περιοχής

Θεωρώντας το υποθετικό σενάριο 4 όπου το σύστημα θεωρείται ότι αποτελείται από κτίρια που πρόκειται να κατασκευαστούν σε μια ανεκμετάλλευτη έως τώρα περιοχή έγινε δυνατή η μελέτη της επίδρασης της μεταβολής της έκτασης της περιοχής (κρατώντας σταθερό το ζητούμενο θερμικό φορτίο) στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR. Οι θεωρούμενες περιοχές φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες:



Εικόνα 40. Θεωρούμενη περιοχή. Αριστερά : υποσενάριο 4.1, δεξιά: υποσενάριο 4.2



Εικόνα 41. Θεωρούμενη περιοχή. Αριστερά : υποσενάριο 4.3, δεξιά: υποσενάριο 4.4



Εικόνα 42. Θεωρούμενη περιοχή υποσενάριο 4.5

Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία όλων των υποσεναρίων φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες:



Πίνακας 35. Ακτίνα, εμβαδό περιοχής και συνολικό μήκος σωληνώσεων για τα υποσενάρια 4.1 έως 4.5

Υποσενάριο	Ακτίνα περιοχής (m)	Εμβαδό περιοχής (m ²)	Συνολικό μήκος σωλήνων (m)
4.1	60	5990.42	524.49
4.2	100	13663.23	860.86
4.3	150	27747.14	1179.41
4.4	200	72426.32	1847.9
4.5	300	194290	2848.34

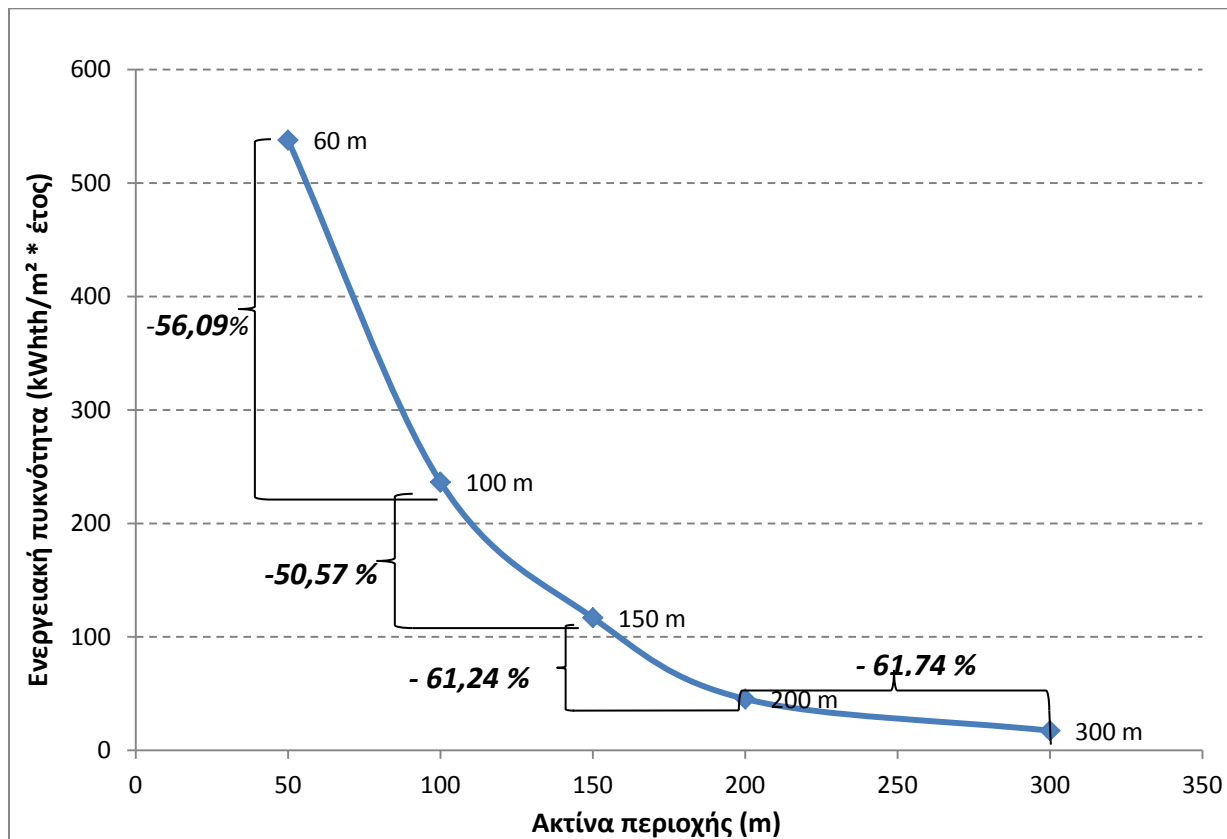
Πίνακας 36. Ενεργειακή πυκνότητα, φορτίο γραμμής και προκύπτον IRR για τα υποσενάρια 4.1 έως 4.5

Υποσενάριο	Ενεργειακή πυκνότητα ($\frac{kWhth}{m^2 \cdot \acute{\epsilon}τος}$)	Φορτίο γραμμής ($\frac{kWhth}{m \cdot \acute{\epsilon}τος}$)	IRR (%)
4.1	537.79	6142.28	10.01
4.2	236.42	3752.36	10.03
4.3	116.86	2749.29	10.06
4.4	45.29	1775.15	10.01
4.5	17.33	1182.10	10.03

Βάσει των παραπάνω στοιχείων κατασκευάστηκαν αρχικά τα διαγράμματα που αναπαριστούν την ποσοστιαία μεταβολή της ενεργειακής πυκνότητας και του φορτίου γραμμής συναρτήσει της αύξησης της ακτίνας τα οποία ακολουθούν.



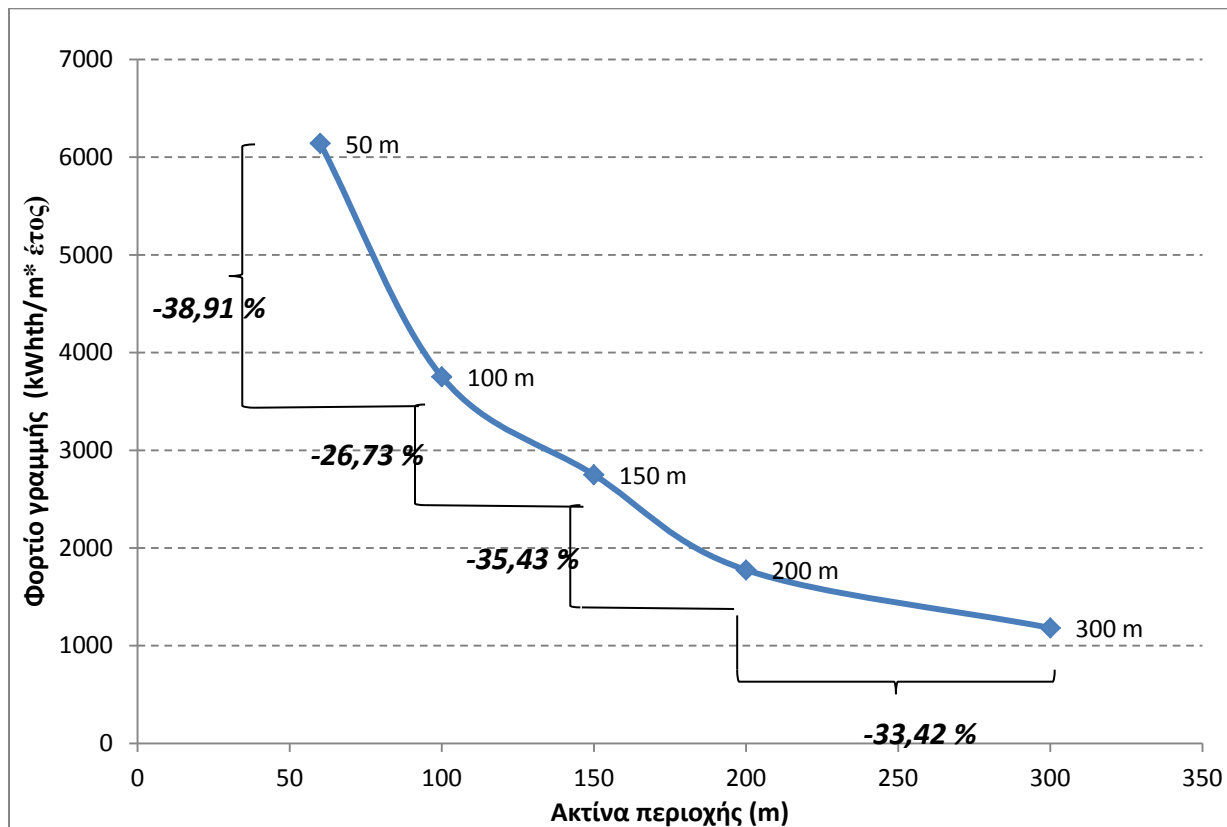
Διάγραμμα 10. Ενεργειακή πυκνότητα συναρτήσει της ακτίνας περιοχής



Στο διάγραμμα 10 φαίνεται ότι με αύξηση της ακτίνας της περιοχής κατά 50 m περίπου η ποσοστιαία μείωση της ενεργειακής πυκνότητας είναι 50 – 60 %. Επιπρόσθετα, και στην τελευταία περίπτωση της αύξησης της ακτίνας κατά 100 m η ενεργειακή πυκνότητα μειώθηκε κατά 62% περίπου. Συμπεραίνεται επομένως η μεγάλη εξάρτηση του μεγέθους της ενεργειακής πυκνότητας από την ακτίνα της περιοχής (έχοντας θεωρήσει εμβαδό ημικυκλίου).



Διάγραμμα 11. Φορτίο γραμμής συναρτήσει της ακτίνας της περιοχής

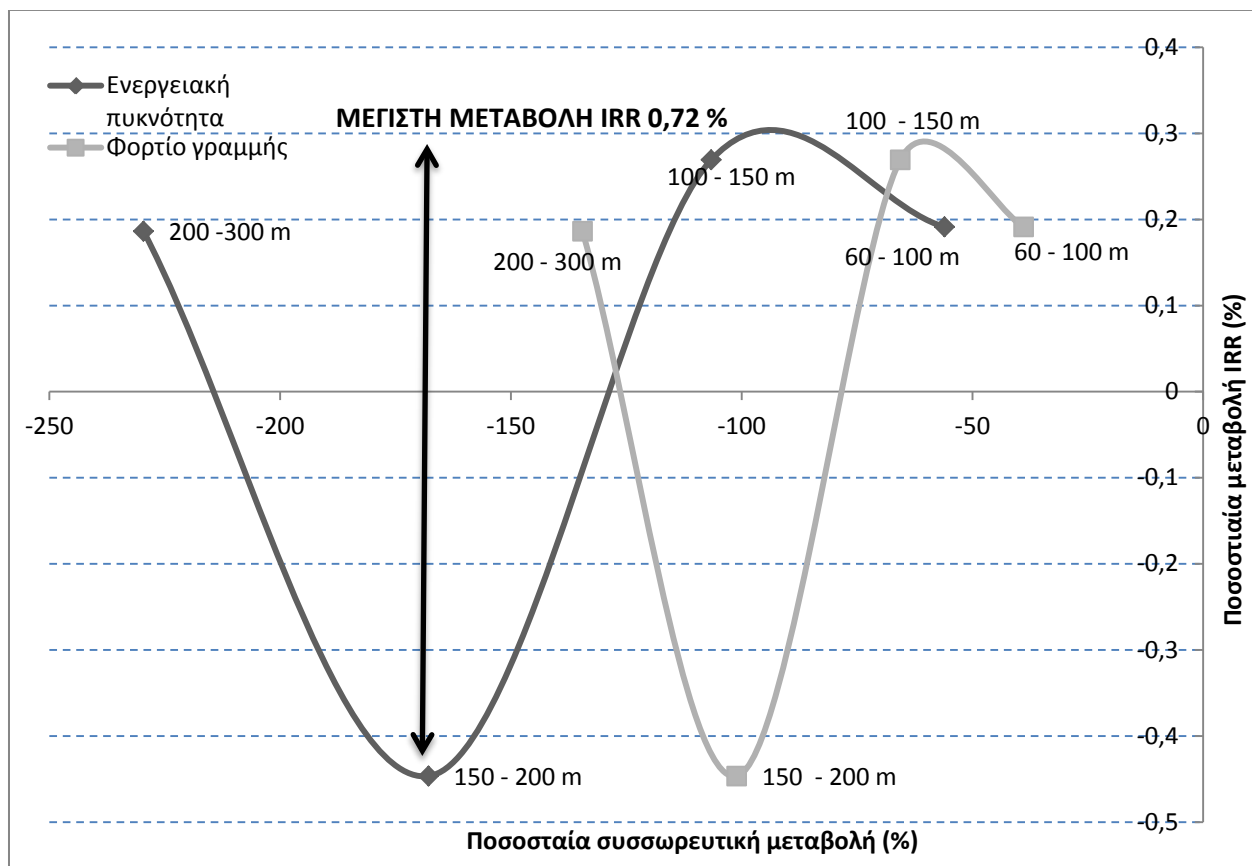


Όπως και στην περίπτωση της ενεργειακής πυκνότητας, έτσι και το φορτίο γραμμής μειώνεται αισθητά με την αύξηση της ακτίνας της θεωρούμενης περιοχής. Η μείωση αυτή κυμαίνεται από 27 – 38% όπως φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα.

Βάσει των παραπάνω στοιχείων μπορεί να μελετηθεί η επίδραση της μεταβολής στην ενεργειακή πυκνότητα και το φορτίο γραμμής στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR. Προκύπτει επομένως το διάγραμμα 12:



Διάγραμμα 12. Ποσοστιαία μεταβολή IRR συναρτήσει ποσοστιαίας συσσωρευτικής μεταβολής ενεργειακής πυκνότητας και φορτίου γραμμής



Στο διάγραμμα 12 αναπαρίσταται η ποσοστιαία μεταβολή του IRR συναρτήσει της συσσωρευτικής ποσοστιαίας μεταβολής της ενεργειακής πυκνότητας και του φορτίου γραμμής. Φαίνεται πως οι καμπύλες που χαρακτηρίζουν την συμπεριφορά του IRR συναρτήσει των δύο μεγεθών έχουν την ίδια μορφή άρα οι σχέσεις που συνδέουν τον IRR με το κάθε μέγεθος ξεχωριστά είναι ίδιες. Σημαντικό συμπέρασμα αποτελεί ότι η μέγιστη παρατηρούμενη μείωση του IRR είναι μόλις 0.72% δηλαδή μηδαμινή για μια μεταβολή της τάξεως του 250% . Συμπεραίνεται επομένως ότι για τα μικρά αποκεντρωμένα συστήματα τηλεθέρμανσης η μεταβολή στην ενεργειακή πυκνότητα και το φορτίο γραμμής δεν επιδρά ή επιδρά ελάχιστα στον IRR εφόσον φυσικά βρίσκονται εξ αρχής στα απαιτούμενα όρια.

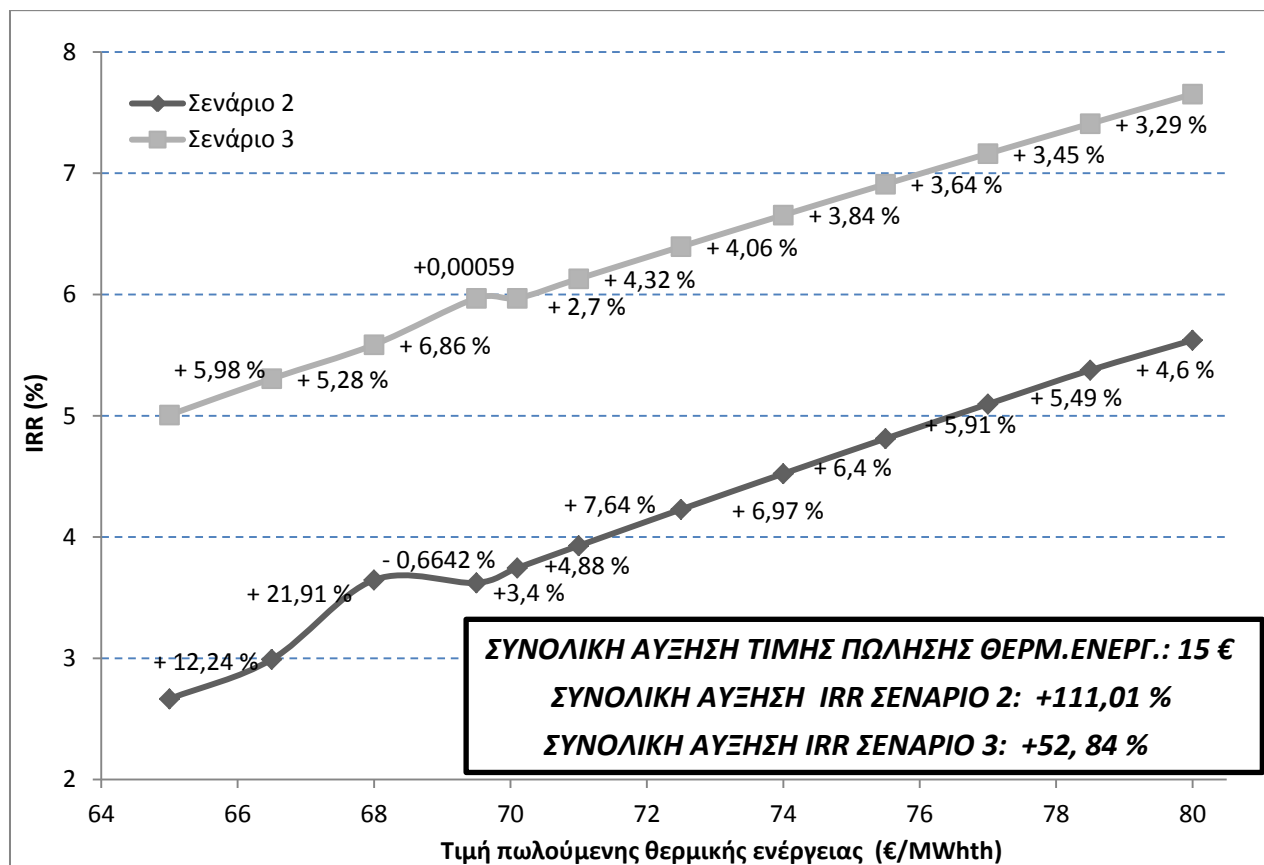


3.6. Μεταβολή τιμών κοστολόγησης

3.6.1. Μεταβολή της τιμής πώλησης της θερμικής ενέργειας από το σύστημα

Η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας από τον κάτοχο του αποκεντρωμένου συστήματος στα συνδεδεμένα κτίρια αποτελεί βασική παράμετρο της οικονομικής έκβασης του μελετώμενου σεναρίου καθώς έχει άμεση επίδραση στα ετήσια έσοδα και επομένως στον IRR. Κατά την επιλογή του εύρους των τιμών που μελετήθηκαν λήφθηκε υπόψη η ανάγκη το σύστημα να είναι ανταγωνιστικό για τον καταναλωτή έναντι οποιασδήποτε άλλης διαθέσιμης τεχνολογίας. Οι επιλεγμένες τιμές επομένως είναι όλες μικρότερες της μέσης τιμής αγοράς φυσικού αερίου στην περίπτωση που ο κάθε καταναλωτής συνδεόταν ατομικά με το δίκτυο φυσικού αερίου. Η σχέση της τιμής πώλησης και του IRR προκύπτει, όπως αναμενόταν, γραμμική και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο διάγραμμα 13.

Διάγραμμα 13. IRR συναρτήσει της τιμής πώλησης της θερμικής ενέργειας στους χρήστες





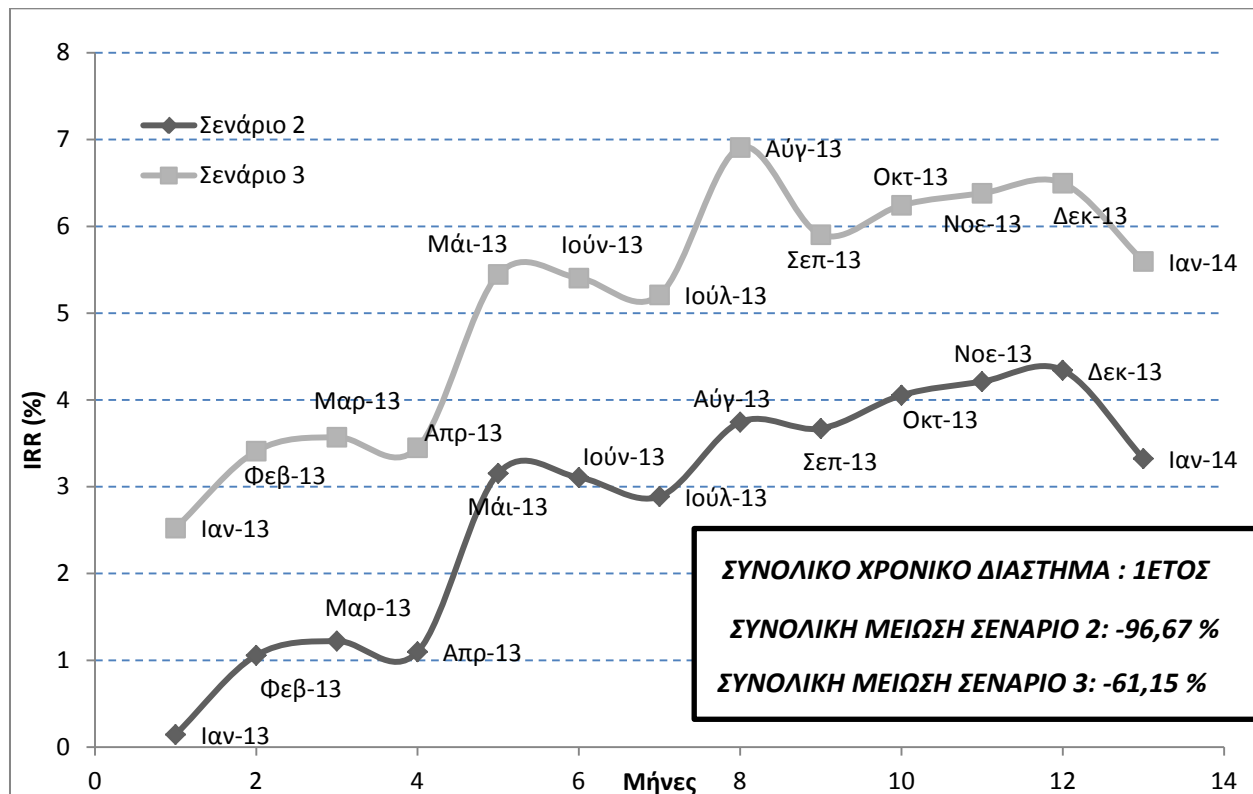
Στο διάγραμμα 13 φαίνεται ότι για η επίδραση της τιμής πώλησης της θερμικής ενέργειας από τον κάτοχο του συστήματος στον καταναλωτή ασκεί μεγάλη επίδραση στην τιμή του IRR. Φαίνεται λοιπόν πως για μια συνολική αύξηση των 15 € / MWhth η τιμή του IRR στο Σενάριο 2 αυξάνεται κατά 111% δηλαδή διπλασιάζεται (Σενάριο χωρίς τη χρήση θερμοδεξαμενής). Αντίστοιχα, η τιμή του IRR για το Σενάριο 3 με την ίδια μέγιστη αύξηση της τιμής πώλησης θερμικής ενέργειας αυξάνεται κατά 53% (Σενάριο με χρήση θερμοδεξαμενής). Παρατηρείται εδώ ότι η ύπαρξη της θερμοδεξαμενής είναι πιθανό να μειώνει κατά πολύ την εξάρτηση του IRR από την τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας. Η μέγιστη αύξηση της τιμής θερμικής ενέργειας αν και ιδιαίτερος μεγάλη θεωρείται ακόμα ανταγωνιστική με την τιμή που θα πλήρωνε ο καταναλωτής σε περίπτωση άμεσης σύνδεσης με το δίκτυο του φυσικού αερίου, λαμβάνοντας υπόψη και όλα τα θετικά από την χρήση της τηλεθέρμανσης και την έλλειψη ατομικής θέρμανσης για τον καταναλωτή. Τέλος, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, η σχέση IRR – τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας είναι γραμμική και τα δύο μελετημένα σενάρια παρουσιάζουν αναλογική διαφορά.

3.6.2. Μεταβολή της τιμής αγοράς φυσικού αερίου

Η τιμή αγοράς του φυσικού αερίου από τον κάτοχο του συστήματος αποτελεί επίσης σημαντική οικονομική παράμετρο του συστήματος με επιρροή στα ετήσια λειτουργικά έξοδα. Η επίδραση στον IRR είναι μεγάλη και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



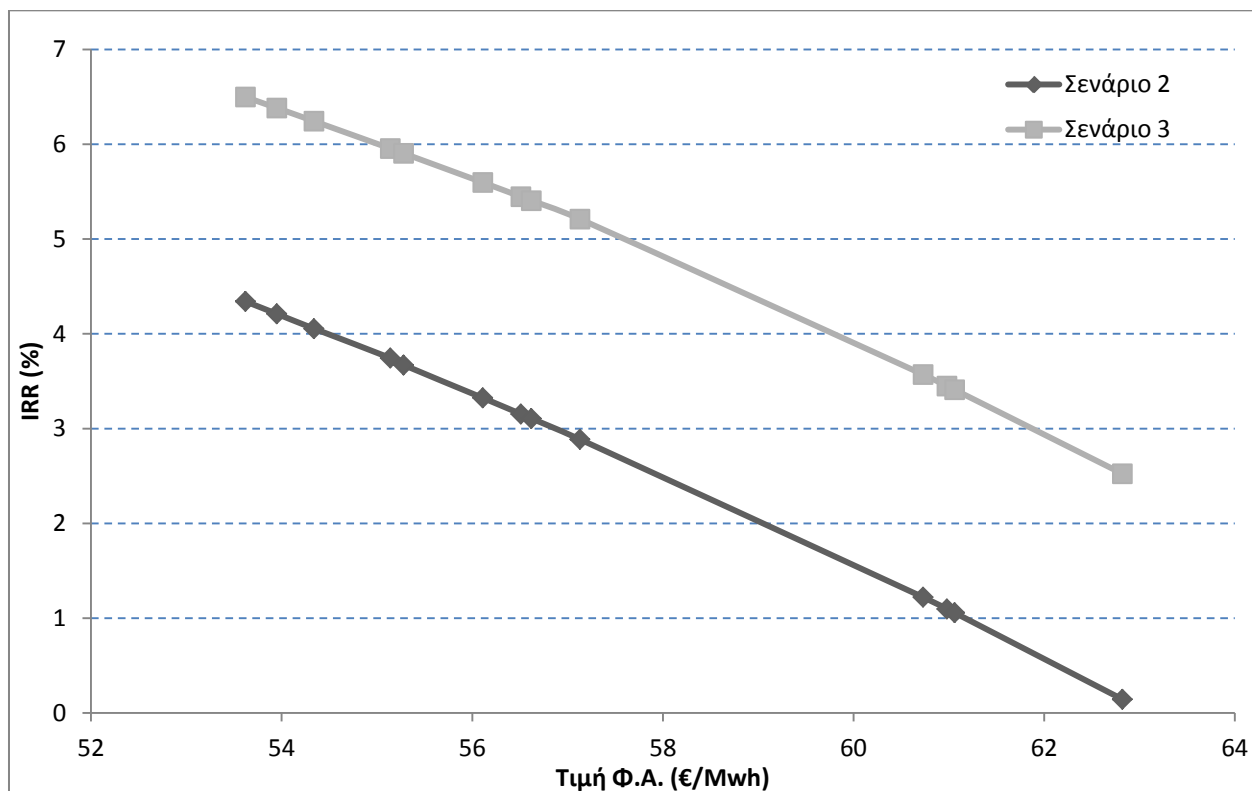
Διάγραμμα 14. IRR συναρτήσει της τιμής αγοράς του Φ.Α./μήνα



Το διάγραμμα 14 αναπαριστά την μεταβολή του IRR συναρτήσει της τιμής του φυσικού αερίου όπως αυτή διαμορφώθηκε από τον Ιανουάριο του 2013 έως τον Ιανουάριο του 2014. Φαίνεται ότι η τιμή του φυσικού αερίου μεταβάλλεται πολύ στην διάρκεια ενός χρόνου μεταβάλλοντας το IRR ως και 4 - 5 μονάδες για το ίδιο σενάριο. Αυτό σημαίνει πως ο ενδιαφερόμενος κάτοχος ενός συστήματος τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή πρέπει να εξασφαλίσει μια πιο σταθερή και ευνοϊκή τιμή προκειμένου να είναι σίγουρος ότι η επένδυση του δεν θα αποδειχθεί αντικοινομική. Τέλος, και εδώ τα δύο μελετημένα σενάρια παρουσιάζουν αναλογική σχέση.



Διάγραμμα 15. Σχέση τιμής Φ.Α. - IRR



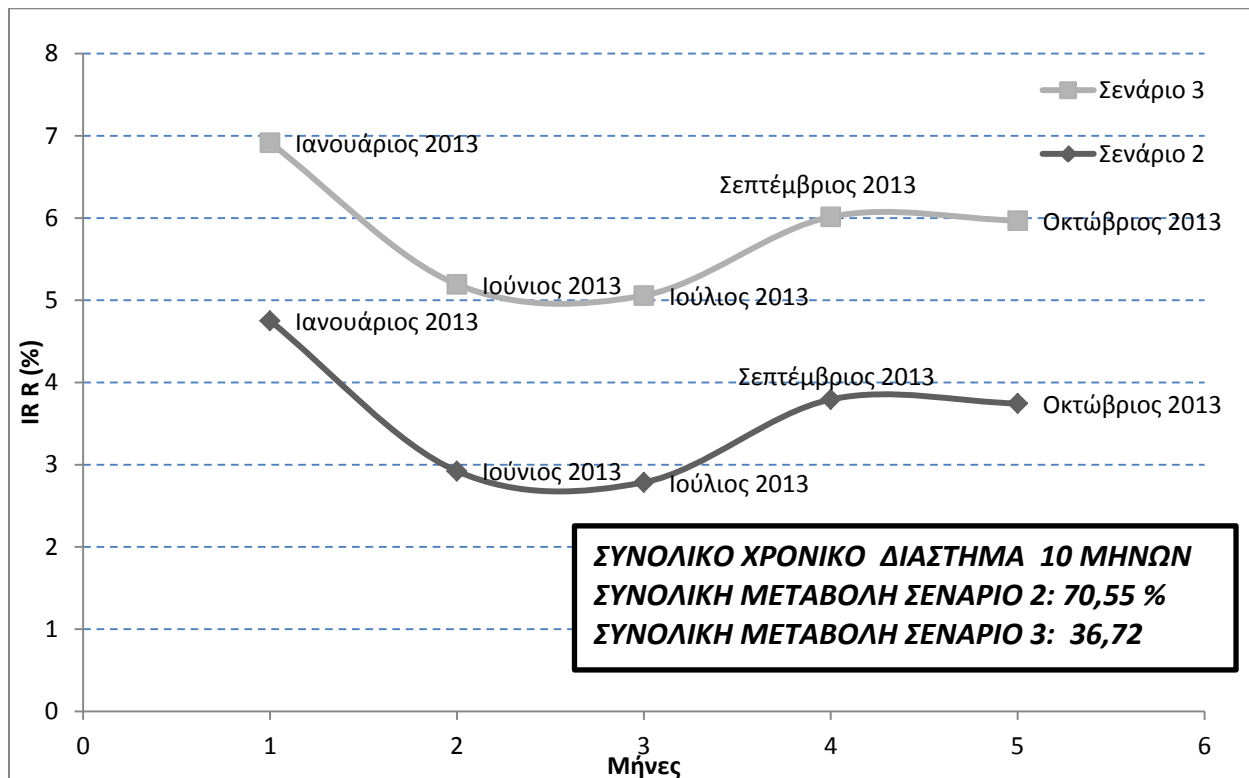
Το διάγραμμα 15 αναπαριστά την σχέση μεταξύ της τιμής του φυσικού αερίου ανά MWh η οποία όπως φαίνεται είναι γραμμική. Επιπρόσθετα, και εδώ παρατηρείται αναλογική σχέση μεταξύ των δύο μελετημένων σεναρίων.

3.6.3. Μεταβολή της μέσης Μηνιαίας Τιμής Φυσικού Αερίου (ΜΤΦΑ)

Η τιμή ΜΤΦΑ αποτελεί σημαντικό οικονομικό παράγοντα για συστήματα τηλεθέρμανσης στην Ελλάδα καθώς μεταβάλλεται ανά τρίμηνο και επηρεάζει τα ετήσια έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Βάσει των τιμών που είναι γνωστές από επίσημες πηγές προσδιορίστηκε η επίδραση στην οικονομική έκβαση του μελετώμενου σεναρίου και απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

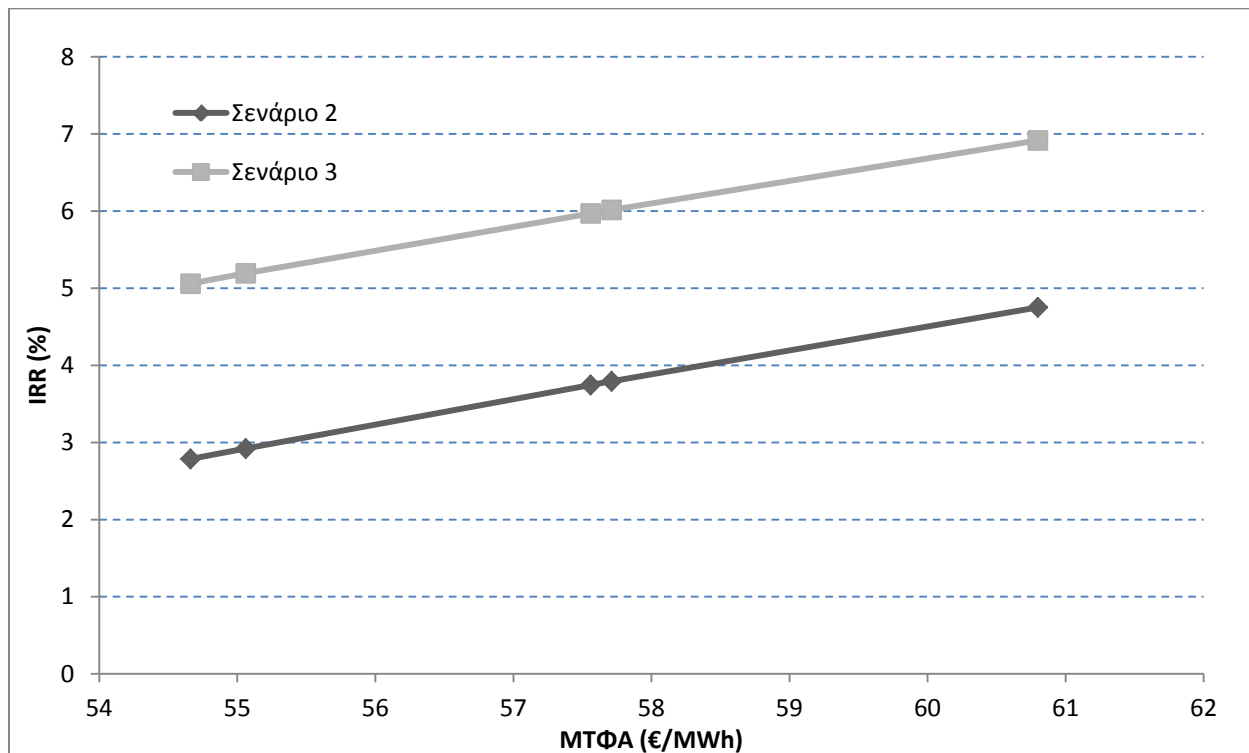


Διάγραμμα 16. IRR συναρτήσει του ΜΤΦΑ /μήνα





Διάγραμμα 17. Σχέση ΜΤΦΑ με IRR

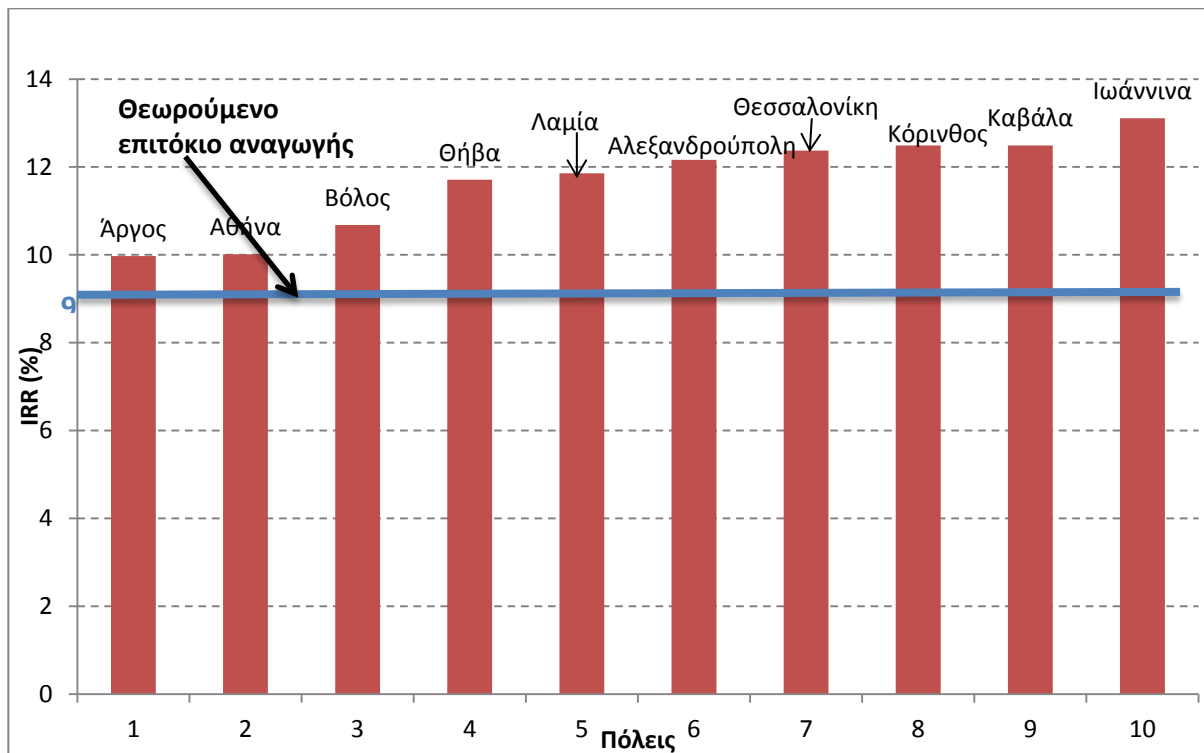


3.7. Μεταβολή της πόλης εφαρμογής του σεναρίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ήταν διαθέσιμες οι θερμικές καταναλώσεις για δέκα διαφορετικές ελληνικές πόλεις. Για την μελέτη της μεταβολής του IRR συναρτήσει της πόλης επιλέχθηκε το Σενάριο 4 (Κεφάλαιο [3.1.4]) το οποίο «έτρεξε» για κάθε μια από τις διαθέσιμες πόλεις και πραγματοποιήθηκε η διαστασιολόγηση και η οικονομική αξιολόγηση κάθε υποσεναρίου. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η εκτιμώμενη τιμή του φυσικού αερίου θεωρήθηκε ίδια σε όλα τα σενάρια ώστε να είναι δυνατή η αντικειμενική σύγκριση παρόλο που η τιμή αυτή διαφέρει αρκετά ανά περιοχή. Θεωρήθηκε έτσι μια τιμή ρεαλιστική και ίδια για όλες τις πόλεις. Προέκυψε επομένως το διάγραμμα 18:



Διάγραμμα 18. Μεταβολή IRR συναρτήσει πόλης



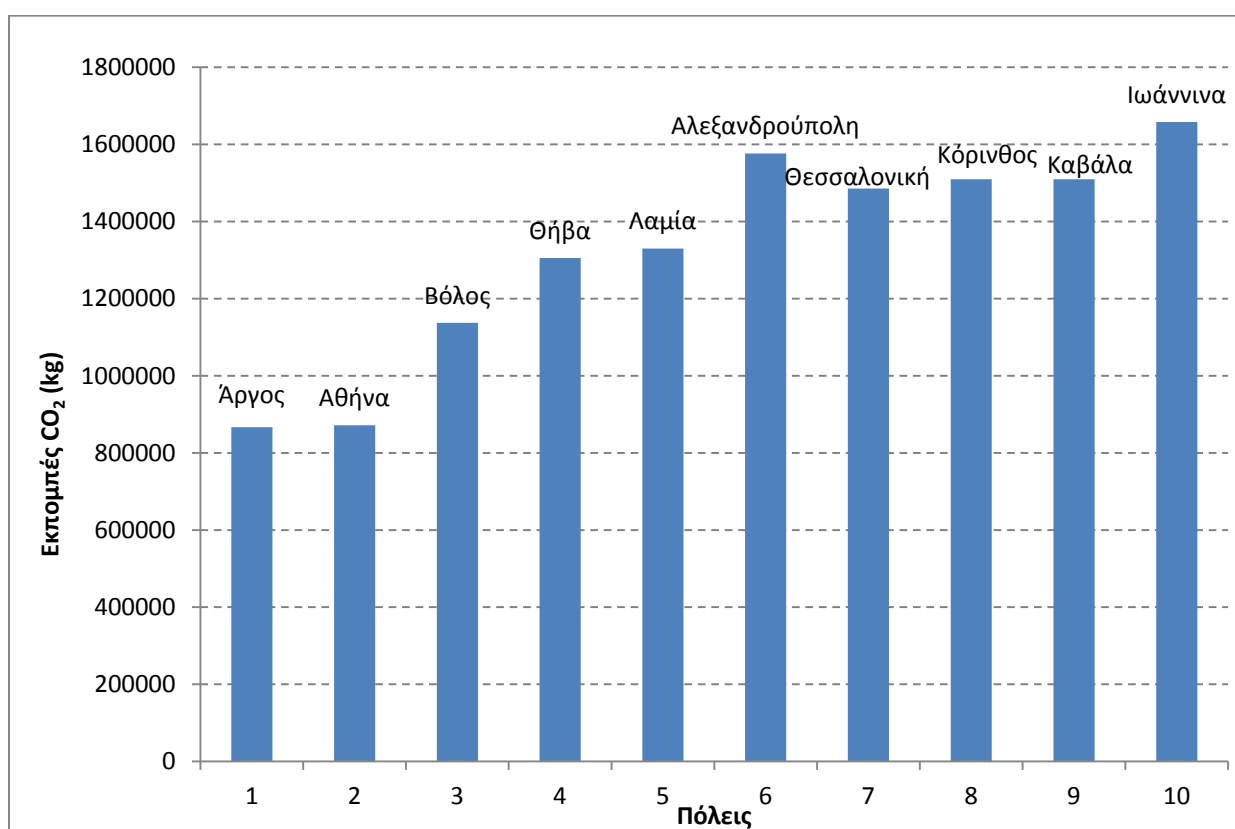
Όπως ήταν αναμενόμενο, πόλεις με μεγαλύτερες θερμικές καταναλώσεις εμφανίζουν καλύτερο εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR για το ίδιο σενάριο. Παρόλα αυτά, λόγω της διαφορετικής κεντρικής μηχανής που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε σενάριο (διαφορετικό σημείο διαστασιολόγησης λόγω διαφορετικών θερμικών καταναλώσεων κάθε συστήματος) το παραπάνω δεν ακολουθείται επακριβώς. Επιπρόσθετα, η βάση δεδομένων του συστήματος περιέχει πολλά μοντέλα μονάδων συμπαραγωγής αλλά δυστυχώς για κάποια σενάρια δεν μπόρεσε να ερευνηθεί η περίπτωση διαστασιολόγησης σε θερμικό σημείο που ίσως καταλήγει σε καλύτερο IRR καθώς δεν υπήρχε διαθέσιμο μοντέλο με την ζητούμενη τιμή θερμικής ισχύος στην βάση δεδομένων. Παρόλα αυτά, και τα εν λόγω σενάρια εμφάνισαν ικανοποιητικές τιμές του IRR.



3.8. Εκπομπές ρύπων ανά πόλη

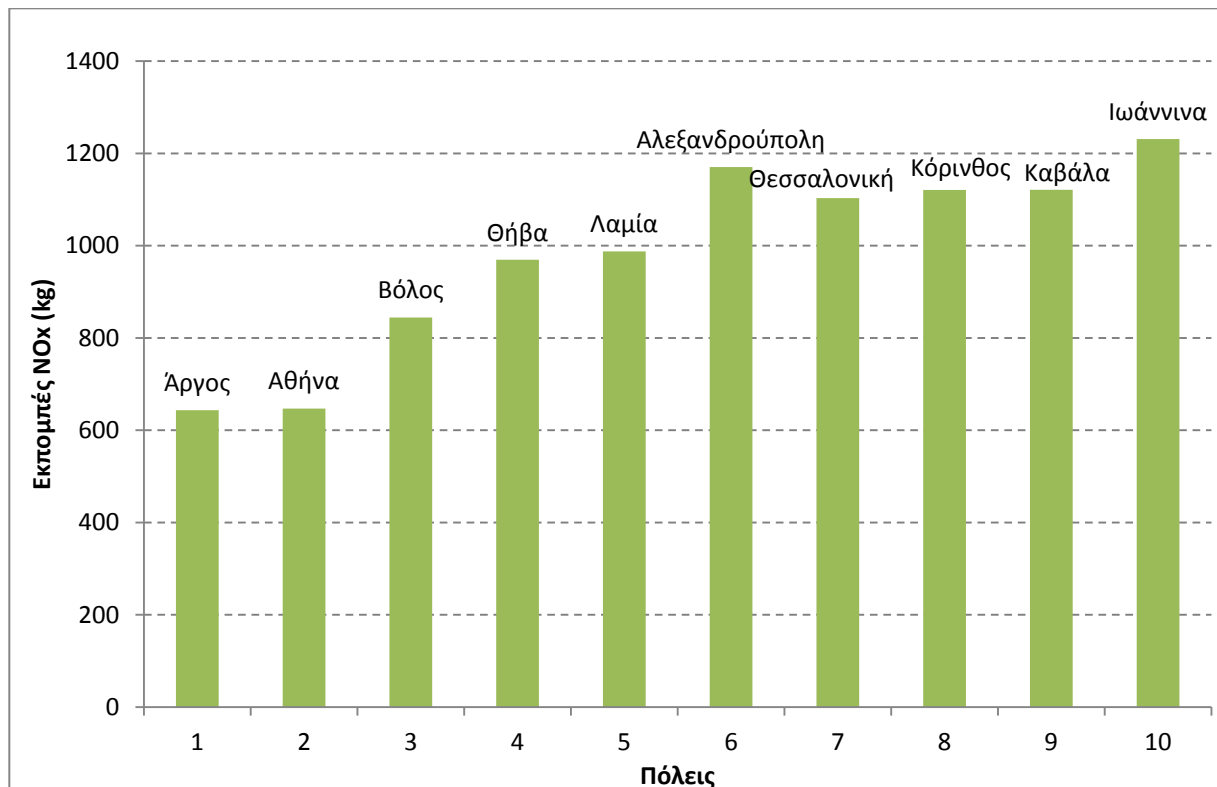
Οι εκπομπές ρύπων είναι υπολογισμένες για όλα τα μελετώμενα σενάρια και υποσενάρια. Στο παρών υποκεφάλαιο παρατίθενται συγκριτικά οι εκπομπές των CO₂ και NO_x για τις δέκα διαφορετικές ελληνικές πόλεις και την περίπτωση του Σεναρίου 4 (Κεφάλαιο [3.1.4]).

Διάγραμμα 19. Εκπομπές CO₂ (kg)





Διάγραμμα 20. Εκπομπές NO_x (kg)



Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα, οι εκπομπές ρύπων είναι ανάλογες της θερμικής κατανάλωσης του αντίστοιχου συστήματος. Καθώς αυξάνονται για συστήματα με μεγαλύτερη θερμική κατανάλωση. Η ύπαρξη θερμοδεξαμενής μειώνει τις εκπομπές καθώς η θερμική κατανάλωση μειώνεται λόγω της έλλειψης λέβητα.

Σύγκριση εκπομπών ρύπων συστήματος τηλεθέρμανσης με την συμβατική περίπτωση

Οι ευρεθείσες εκπομπές ρύπων του συστήματος τηλεθέρμανσης όπως αυτό αναπτύχθηκε για το βασικό σενάριο 4 συγκρίθηκαν με εκείνες της συμβατικής περίπτωσης ύπαρξης λέβητα σε κάθε κτίριο του σεναρίου 4 με τυπικό βαθμό απόδοσης 92% και παραγωγής από το ενεργειακό μίγμα της χώρας της ηλεκτρικής ενέργειας που αλλιώς παράγεται από την μονάδα συμπαραγωγής του μελετώμενου συστήματος τηλεθέρμανσης. Οι συντελεστές εκπομπών για το ενεργειακό μίγμα της χώρας θεωρήθηκαν όπως διαφαίνονται στον πίνακα 37 που ακολουθεί [46]:

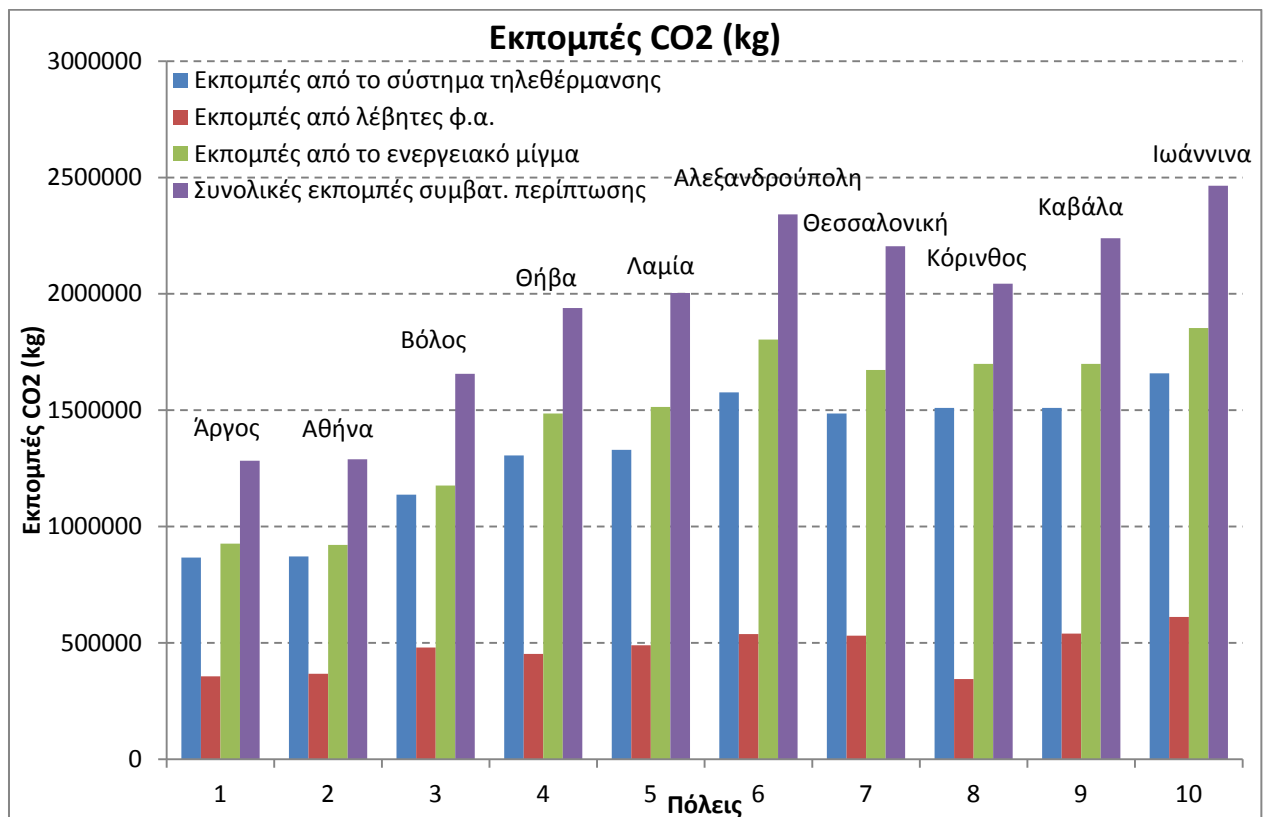


Πίνακας 37. Δείκτες εκπομπών διασυνδεδεμένου συστήματος (2010)

Εκπεμπόμενος τύπος	CO ₂	NO _x	SO _x	PM
Δείκτες εκπομπών (g/kWhel)	848	0.939	2.829	0.223

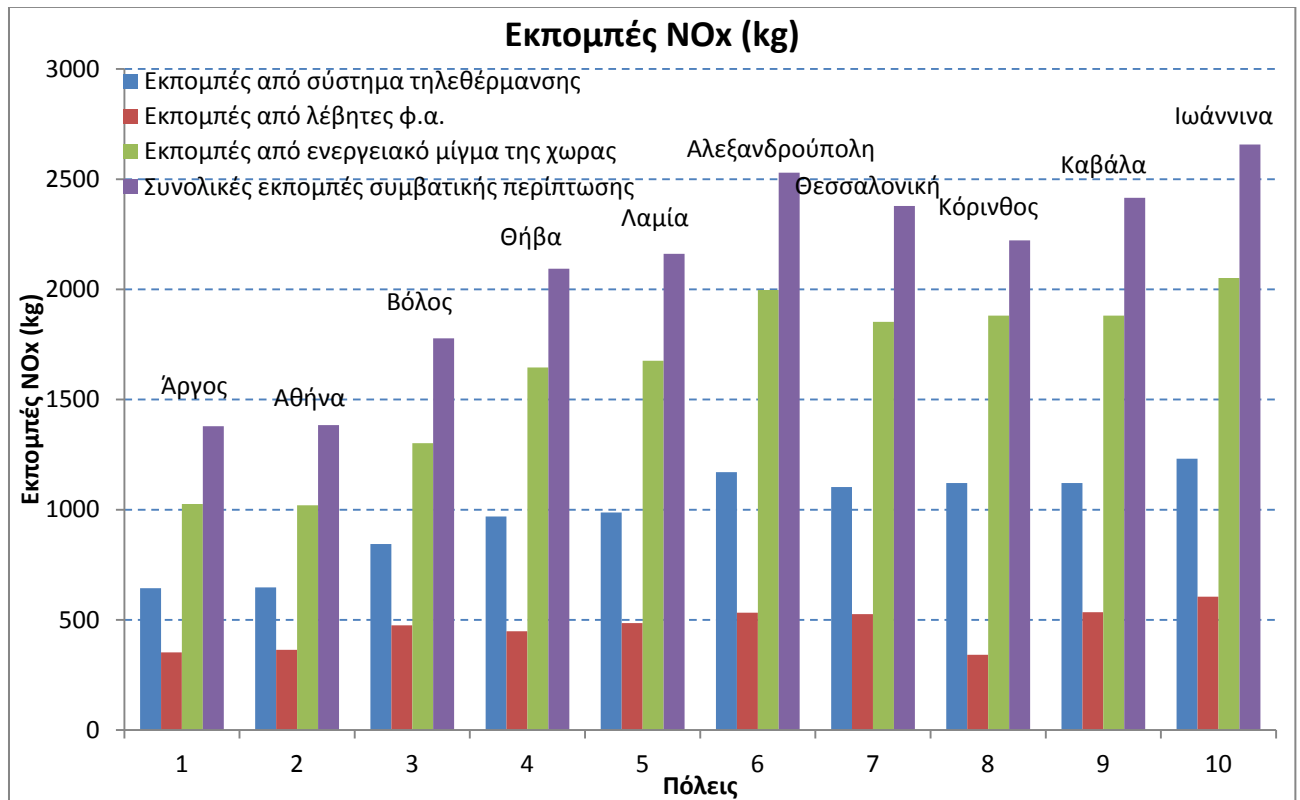
Πρόεκυψαν επομένως τα διαγράμματα και που ακολουθούν στα οποία διαφαίνεται καθαρά η μείωση των εκπομπών για κάθε πόλη λόγω της ύπαρξης του συστήματος τηλεθέρμανσης.

Διάγραμμα 21. Σύγκριση εκπομπών CO₂ συστήματος τηλεθέρμανσης και συμβατικής περίπτωσης





Διάγραμμα 22. Σύγκριση εκπομπών NO_x συστήματος τηλεθέρμανσης και συμβατικής περίπτωσης



Όσον αφορά τις εκπομπές SO_x και σωματιδίων, η σύγκριση δεν παρουσιάζεται καθώς η μείωση τους λόγω χρήσης του συστήματος τηλεθέρμανσης θεωρείται δεδομένη εφόσον χρησιμοποιείται φυσικό αέριο.

3.9. Νέο σχέδιο νόμου περί της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο

Λόγω της έκδοσης του σχεδίου νόμου περί της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο τον Μάρτιο του 2014, μελετήθηκε σενάριο στο οποίο η ηλεκτρική ενέργεια κοστολογήθηκε βάσει του νέου νόμου. Επιπρόσθετα, στο υπολογιστικό εργαλείο που αναπτύχθηκε, προστέθηκε η δυνατότητα επιλογής του τρόπου κοστολόγησης (παλιός ή νέος νόμος) ώστε να προσφέρεται στον χρήστη μεγαλύτερη ευελιξία. Για την μελέτη λοιπόν της επίδρασης της αλλαγής του νόμου στην οικονομική βιωσιμότητα ενός σεναρίου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Σεναρίου 4 και μελετήθηκαν υποσενάρια για 4



διαφορετικές τιμές της μέσης τιμής δικαιωμάτων CO₂. Οι τιμές που θεωρήθηκαν μαζί με τον αντίστοιχο εσωτερικό βαθμό απόδοσης αναγράφονται στον πίνακα 37:

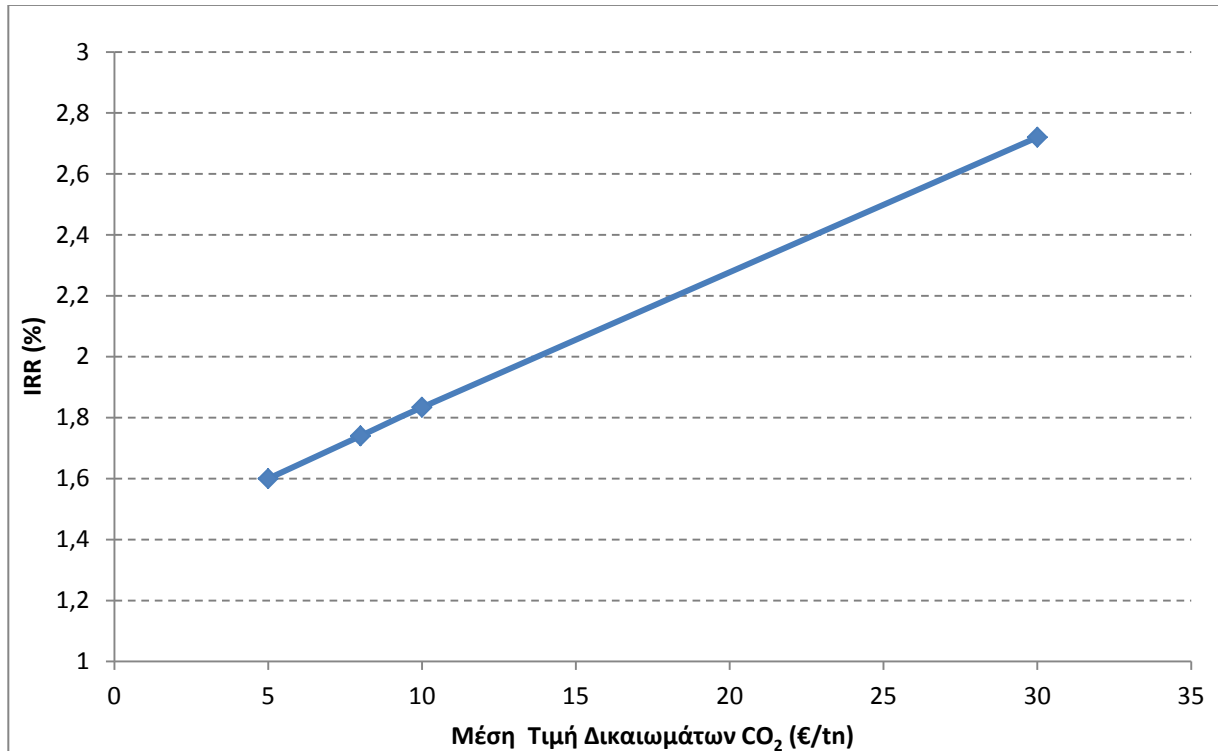
Πίνακας 38. Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO₂ και αντίστοιχα IRR και αποπληρωμή βάσει νέου σχεδίου νόμου

Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO ₂ (€ tn)	IRR (%)	Αποπληρωμή (έτη)
5	1.6	25
8	1.74	25
10	1.83	25
30	2.72	21

Βάσει του νόμου που ίσχυε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας το Σενάριο 4 παρουσίαζε IRR ίσο με 10.01% και αποπληρωμή στα 10 έτη. Λόγω του νέου σχεδίου νόμου και με μέση τιμή δικαιωμάτων CO₂ ίση με 10 € ανά τόνο η τιμή αυτή πέφτει δραματικά στο 1.8% με αποπληρωμή στα 21 έτη, γεγονός που **καθιστά την προηγούμενως βιώσιμη επένδυση πλήρως αντικοινωνική**. Από τις παραπάνω τιμές του πίνακα 37 προκύπτει το διάγραμμα 22 που ακολουθεί και σκιαγραφεί την γραμμική σχέση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης IRR με την Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO₂ καθώς και την επίδραση αυτής στον IRR. Η αύξηση της μέσης τιμής δικαιωμάτων CO₂ από 10 σε 30 € ανά τόνο αύξησε κατά μια μονάδα τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης και μείωσε τον χρόνο αποπληρωμής κατά 4 έτη.



Διάγραμμα 23. IRR συναρτήσει της Μέσης Τιμής Δικαιωμάτων CO₂ σύμφωνα με τον νέο νόμο (Μάρτιος 2014)



Σύγκριση για το ίδιο σενάριο (σενάριο 4) μεταξύ των δύο περιπτώσεων νομοθετικής ρύθμισης οδηγεί στα αποτελέσματα που καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 38). Για το νέο σχέδιο νόμου έχει θεωρηθεί μέση τιμή δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ 10 € ανά τόνο.

Πίνακας 39. Κοστολόγηση σεναρίου 4 για τον ισχύοντα νόμο και το νέο σχέδιο νόμου

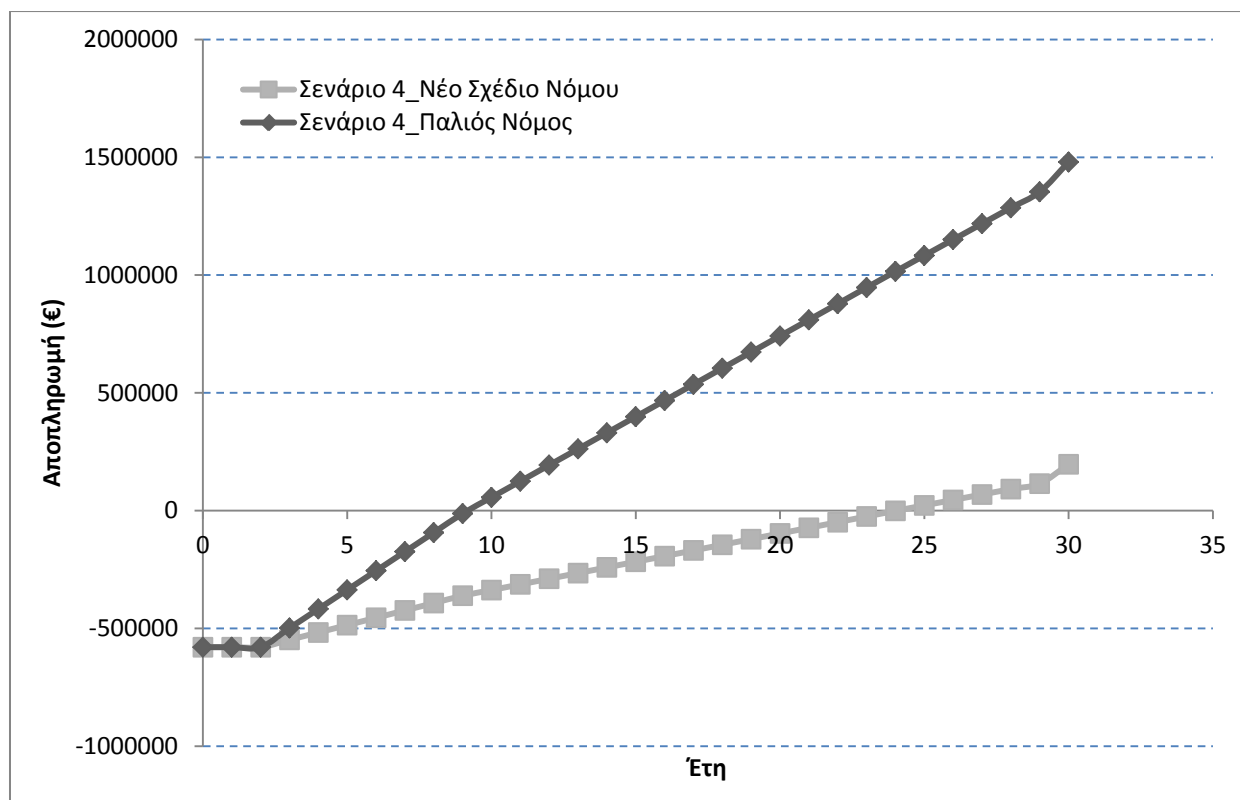
ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	ΣΕΝΑΡΙΟ 4 ΠΑΛΙΟΣ ΝΟΜΟΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ 4 ΝΕΟ ΣΧΕΔΙΟ ΝΟΜΟΥ
Μονάδα Συμπαραγωγής	431148	431148
Λέβητας Φυσικού Αερίου	0	0
Θερμοδεξαμενή	7000	7000
Σωληνώσεις Μεταφοράς	3665.49	3665.49
Σωληνώσεις Διανομής	86442.88	86439.19
Μετατροπή Κτιρίων	51398.47	51396.28
Σύνολο	579654.84	579648.96
ΕΤΗΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)		
Λειτουργία Μονάδας Συμπαραγωγής	200869.93	200861.364



Συντήρηση Μονάδας Συμπαραγωγής	32783.32	32781.92
Λειτουργία Λέβητα Φυσικού Αερίου	0	0
Συντήρηση Λέβητα Φυσικού Αερίου	0	0
Λειτουργία και Συντήρηση Σωληνώσεων	901.08	901,047
Προσωπικό	16107.93	16107.24
Σύνολο	250662.26	250651.571
ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ (€)		
Πώληση θερμικής ενέργειας στους χρήστες τηλεθέρμανσης	125993.01	125987.62
Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο	215983.65	155866.69
Σύνολο	341976.66	281854.31

Στο διάγραμμα 22 φαίνεται η σύγκριση των οικονομικών αποτελεσμάτων του σεναρίου 4 όπως αυτό διαμορφώνεται με τον ισχύοντα νόμο και του ίδιου σεναρίου λαμβάνοντας υπόψη το νέο σχέδιο νόμου.

Διάγραμμα 24. Σύγκριση χρόνου αποπληρωμής σεναρίου 4 με τον ισχύοντα νόμο και το νέο σχέδιο νόμου





4. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντικές ενέργειες

4.1. Συμπεράσματα

Ύστερα από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία προκύπτουν συνοπτικά τα εξής συμπεράσματα:

- Η αύξηση του χρονικού διαστήματος κάλυψης επιδρά θετικά στην οικονομική απόδοση του συστήματος εφόσον το προσμετρούμενο κάθε φορά χρονικό διάστημα αφορά σε υψηλές θερμικές καταναλώσεις.
- Η επίδραση του σημείου διαστασιολόγησης της κεντρικής μηχανής επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος
- Το βέλτιστο σημείο διαστασιολόγησης δεν συμπίπτει απαραίτητως με το βασικό φορτίο.
- Η ύπαρξη ή μη θερμοδεξαμενής επιδρά στην οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος αλλά ο βαθμός επίδρασης εξαρτάται από το κάθε σύστημα ξεχωριστά. Αδιαμφισβήτητα, η ύπαρξη θερμοδεξαμενής μειώνει τα λειτουργικά έξοδα και σε περιπτώσεις όπου η μηχανή έχει διαστασιολογηθεί βέλτιστα, βελτιώνει την οικονομική έκβαση του συστήματος. Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου η διαστασιολόγηση πραγματοποιείται σε φορτία όχι ιδανικά από άποψη οικονομικής απόδοσης, η ύπαρξη θερμοδεξαμενής εμφανίζει μειονέκτημα έναντι της χρήσης λέβητα
- Η μεταβολή στην ενεργειακή πυκνότητα και το φορτίο γραμμής των μικρών αποκεντρωμένων ενεργειακών συστημάτων έχει ελάχιστη επίδραση στην οικονομική τους απόδοση.
- Οι τιμές κοστολόγησης επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την οικονομική απόδοση του συστήματος και συνδέονται με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR με γραμμική σχέση.
- Η ύπαρξη θερμοδεξαμενής σε ένα σύστημα μειώνει την εξάρτηση της οικονομικής απόδοσης από τις τιμές κοστολόγησης και μάλιστα διατηρώντας σταθερή αναλογία με την μεταβολή της εκάστοτε τιμής.
- Η μεταβολή της πόλης εφαρμογής του εκάστοτε σεναρίου επιδρά είτε θετικά είτε αρνητικά στην οικονομική απόδοση του συστήματος καθώς διαμορφώνει το θερμικό



φορτίο προς κάλυψη. Μεγαλύτερη απόδοση παρουσιάζουν οι ψυχρότερες περιοχές έναντι των θερμότερων με μέγιστη διαφορά ως και 3 μονάδες στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης IRR.

- Οι εκπομπές ρύπων είναι μειωμένες όπου είναι μειωμένη η καταναλισκόμενη ενέργεια για την λειτουργία του συστήματος επομένως οι θερμότερες περιοχές υπερτερούν έναντι των ψυχρότερων. Η ύπαρξη θερμοδεξαμενής μειώνει τις εκπομπές καθώς αποφεύγεται η κατανάλωση καυσίμου από μονάδα λέβητα για την κάλυψη της αιχμής.
- Όσον αφορά στην ενσωμάτωση μικρών αποκεντρωμένων συστημάτων τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο, μια τέτοια ενέργεια θεωρείται πιθανή καθώς μελετήθηκαν σενάρια τα οποία παρουσίασαν πολύ καλή οικονομική απόδοση με την προϋπόθεση της ισχύος του παλιού νόμου περί της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν, αξιολογήθηκαν οικονομικά για την πραγματοποίησή τους χωρίς την ύπαρξη κάποιας δημόσιας επιδότησης. Τέτοια συστήματα πραγματοποιούνται τις περισσότερες φορές με επιδότηση γεγονός που μπορεί να βελτιώσει ακόμα περισσότερο της οικονομική τους απόδοση.

4.2. Προτάσεις για μελλοντικές ενέργειες

Λόγω της προγραμματιστικής ανάπτυξης της παρούσας εργασίας, οι δυνατότητες για περαιτέρω μελέτη και διεύρυνση των περιπτώσεων και των υπό μελέτη σεναρίων είναι άφθονες όχι μόνο με την αλλαγή των εισαγόμενων παραμέτρων αλλά και με την περαιτέρω ανάπτυξη. Το υπολογιστικό εργαλείο που αναπτύχθηκε έχει πολλές δυνατότητες μελέτης πολλών παραμέτρων, και συνδυασμών παραμέτρων – σενάρια, πέρα αυτών που εξετάστηκαν. Όπως είναι φυσικό, δεν είναι δυνατό να εξεταστούν όλοι οι συνδυασμοί αλλά σε περίπτωση εμπορικής χρήσης ο εκάστοτε μελετητής μπορεί να βάλει τα συγκεκριμένα μεγέθη που επιθυμεί για να καλύψει συγκεκριμένες πραγματικές καταστάσεις.

Είναι επίσης δυνατή η σύγκριση διαφορετικών καυσίμων, πηγών ενέργειας τεχνολογιών, και συνδυασμών τους για προσδιορισμό εγκαταστάσεων από άποψη ενεργειακής απόδοσης, κόστους και φιλικότητας προς το περιβάλλον.

Επιπρόσθετα, όλα τα τμήματα του υπολογιστικού εργαλείου δύναται να παραμετροποιηθούν περαιτέρω ώστε να μελετηθούν και άλλες παράμετροι όχι μόνο



διαστασιολόγησης και οικονομικής αξιολόγησης αλλά και κατασκευαστικές και εξειδικευμένες τεχνικές παράμετροι..



5. Βιβλιογραφία

- [1] ΕΣΣΗΘ, «Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας,» 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: www.hachp.gr.
- [2] WADE, Guide to Decentralized Energy Technologies, Edinburgh: WADE, 2003.
- [3] M. Altmann, A. Brenninkmeijer, J.-C. Lanoix, D. Ellison, A. Crisan, A. Hugyec, G. Koreneff και S. Hänninen, DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES, POLICY DEPARTMENT A: ECONOMIC AND SCIENTIFIC POLICY, INDUSTRY, RESEARCH AND ENERGY, Decentralized Energy Systems, Brussels: European Parliament, 2010.
- [4] IPCC Working Group III, Climate Change 2007: Mitigation, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Ελληνική Δημοκρατία, «ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3734,» *ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ*, τόμ. Πρώτο, αρ. 8, pp. 100-121, 2009.
- [6] Canadian Electricity Association, «Know Your Power - Cogeneration,» Canadian Electricity Association.
- [7] Euroheat & Power Task Force Customer Installations, District Heating in Buildings, Brussels: Euroheat & Power, 2011.
- [8] P. Ulloa, Potential for CHP and District Heating and Cooling from Wasteto-Energy facilities in the US, Columbia University, 2007.
- [9] IEA, «Programme of Research, Development and Demonstration on District Heating and Cooling,» International Energy Agency, 2011.
- [10] Greater London Authority, District Heating Manual for London, London: Greater London Authority, 2013.
- [11] Ε. Γ. Ούτσιος, Αντικειμενοστραφής Προγραμματισμός, Σέρρες: ΤΕΙ Σερρών, 2004.
- [12] Β. Κόλιας, Εισαγωγή στη C# και το .NET 4.0.
- [13] Β. Παναγιώτου, Τεχνο-οικονομική μελέτη συστημάτων μικρο-συμπαραγωγής στον οικιακό τομέα, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
- [14] Ρ. Τσαούση, «Υδροηλεκτρική Ενέργεια- Θέμα 1, Επεξεργασία Υδρολογικών Δεδομένων,» Αθήνα, 2011.
- [15] «www.movable-type.co.uk,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.movable->



- type.co.uk/scripts/latlong.html. [Πρόσβαση 5 October 2012].
- [16] «krysstal.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.krysstal.com/sphertrig.html>. [Πρόσβαση 10 2012].
- [17] Euroheat & Power Board, «Guidelines for District Heating Substations,» Euroheat & Power, 2008.
- [18] Danfoss, «Braze Plate Heat Exchanger,» 2009.
- [19] BPX, «Braze Plate Heat Exchangers for Residential Applications,» 2006.
- [20] Danfoss, «Instructions for designing district heating systems,» Danfoss, pp. 89-112.
- [21] Casaflex, «Casaflex Technical Sheet,» 2010.
- [22] Calcopper, «Calcopper Technical Sheet,» Calcopper, 2009.
- [23] «BRUGG,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.pipesystems.com/site/index.cfm/id_art/25050/vsprache/EN. [Πρόσβαση 11 2013].
- [24] ASUE, «BHKW-Kenndaten 2011,» 2011.
- [25] B. Sorensen, «Chapter 5.2 Energy Storage,» σε *Renewable Energy*, Academic Press.
- [26] American Water Works Assosiation, «Chapter 3 Water Storage,» σε *Water Transmission And Distribution (4th edition)*, American Water Works Association.
- [27] Pax Water Technologies, Σκηνοθέτης, *Thermal Stratification in Water Storage Tanks*. [Φιλμ]. 2012.
- [28] A. S. Corporation, «Commerzial Storage Tanks Technical Sheet,» A.O. Smith Corporation, Ashland City, 2010.
- [29] CB&I, «CB&I,» 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.cbi.com/markets/water-wastewater/elevated-storage-tanks>. [Πρόσβαση 16 11 2013].
- [30] Cadwell, «Cadwell,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.caldwellwatertanks.com/water-tank-guide.html>. [Πρόσβαση 16 11 2013].
- [31] «<http://www.ecopowermarket.gr/>,» [Ηλεκτρονικό]. [Πρόσβαση December 2013].
- [32] Δ. Μαθιουλάκης, Ι. Αναγνωστόπουλος και Δ. Τουζόπουλος, Βιομηχανική Ρευστομηχανική, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2006.
- [33] «Logstor,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.logstor.com/EN/Service-and-support/E-services/Pages/LOGSTOR%20Calculator.aspx>. [Πρόσβαση 20 10 2012].
- [34] «Casaflex,» [Ηλεκτρονικό]. Available:



- http://www.pipesystems.com/site/index.cfm?id_art=24957&actMenuItemID=14192&vsprache/EN/CASAFLEX___Downloadcenter___cfm. [Πρόσβαση 20 July 2012].
- [35] «TheEngineeringToolBox Water - Thermal Properties,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html. [Πρόσβαση 30 10 2013].
- [36] «TheEngineeringToolBox Water - Dynamic and Kinematic Viscosity,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html. [Πρόσβαση 30 10 2013].
- [37] «Logstor,» 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://calc.logstor.com/login.aspx?ReturnUrl=%2f>. [Πρόσβαση 11 2013].
- [38] Princeton University, «Prospects for District Heating».
- [39] «Φυσικό αέριο Αττικής,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.aerioattikis.gr/default.aspx?pid=46&la=1&artid=49>. [Πρόσβαση Ιανουάριος 2014].
- [40] «Υπ. Ανάπτυξης, Ανταγωνιστικότητας, Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.fuelprices.gr/price_stats_ng.view?prodclass=5&order_by=4&time=1. [Πρόσβαση 20 Φεβρουάριος 2014].
- [41] Λασποπούλου, Μελέτη τηλεθέρμανσης της πόλης των Γρεβενών, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008.
- [42] «Νόμος 3851,» *ΦΕΚ*, 2010.
- [43] Ελληνική Δημοκρατία, «Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής. Διαδουκτιακός Τόπος Διαβουλεύσεων,» 7 Μάρτιος 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.opengov.gr/minenv/?p=5729&cpage=19#comments>. [Πρόσβαση 2 Απρίλιος 2014].
- [44] Linnaeus University, «Introduction to small-scale district heating,» σε *Forest Handbook-District Heating*, Intelligent Energy Europe, pp. 1-7.
- [45] «Επαγγελματικό επιμελητήριο Αθηνών,» 08 01 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.eea.gr/gr/el/articles/prosoxi-ti-isxyei-apo-112014-sti-forologia>. [Πρόσβαση 01 02 2014].
- [46] Ε. Κακαράς, Σ. Καρέλλας, Π. Βουρλιώτης, Δ. Γιαννακόπουλος, Π. Γραμμέλης, Π. Πάλλης και Ε. Καραμπίνης, «Δείκτες εκπομπών ανά τύπο καυσίμου & τεχνολογία θέρμανσης,» Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2013.
- [47] «Daft Logic,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.daftlogic.com/projects-google-maps-area->



calculator-tool.htm. [Πρόσβαση 01 2014].

[48] «google.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.google.com/maps/preview>.



6. Παράρτημα

6.1. Αρχεία δεδομένων εφαρμογής

6.1.1. Θερμικά και ηλεκτρικά φορτία κτιρίων και πόλεων

Παρατίθενται τα ενεργειακά δεδομένα όπως αυτά λήφθηκαν για την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας για την πόλη της Αθήνας. Αντίστοιχα δεδομένα υπήρξαν και για τις υπόλοιπες εννέα ελληνικές πόλεις που συμπεριλήφθηκαν στην μελέτη, τα οποία για λόγους συντομίας δεν παρατίθενται.

Θερμικό Φορτίο ΑΘΗΝΑΣ (KWhth)				
Μήνας	Ωριαίο Εύρος	Διώροφης πολυκατοικίας	Τριώροφης πολυκατοικίας	Μονοκατοικίας
Οκτώβριος	0:00-1:00	10.8	15.8	2.3
	1:00-2:00	8.5	12.5	1.8
	2:00-3:00	10.2	14.9	2.2
	3:00-4:00	12.7	18.5	2.7
	4:00-5:00	14.6	21.3	3.1
	5:00-6:00	15.1	22.1	3.2
	6:00-7:00	14.7	21.5	3.2
	7:00-8:00	13.1	19.3	2.9
	8:00-9:00	10.5	15.4	2.3
	9:00-10:00	6.9	10.2	1.6
	10:00-11:00	2.3	3.4	0.6
	11:00-12:00	1.5	2.3	0.4
	12:00-13:00	1.3	1.9	0.3
	13:00-14:00	1.9	2.8	0.5
	14:00-15:00	1.1	1.7	0.3
	15:00-16:00	0.9	1.4	0.2
	16:00-17:00	0.8	1.1	0.2
	17:00-18:00	1.3	1.9	0.3
	18:00-19:00	2.3	3.4	0.6
	19:00-20:00	5.8	8.7	1.4
	20:00-21:00	7.9	11.6	1.8
	21:00-22:00	9	13.3	2
	22:00-23:00	9.8	14.4	2.2
	23:00-0:00	10.6	15.5	2.3
Νοέμβριος	0:00-1:00	20.4	29.8	4.4
	1:00-2:00	18.1	26.5	3.9



	2:00-3:00	19.7	28.9	4.2
	3:00-4:00	22.2	32.5	4.8
	4:00-5:00	24.2	35.5	5.2
	5:00-6:00	25.1	36.8	5.4
	6:00-7:00	25.2	36.8	5.4
	7:00-8:00	24.3	35.6	5.3
	8:00-9:00	22.4	32.9	4.9
	9:00-10:00	19.5	28.6	4.3
	10:00-11:00	15	22.1	3.3
	11:00-12:00	10.9	16	2.4
	12:00-13:00	8.1	11.9	1.8
	13:00-14:00	7.2	10.6	1.6
	14:00-15:00	6	8.8	1.3
	15:00-16:00	6.4	9.5	1.4
	16:00-17:00	7.9	11.7	1.7
	17:00-18:00	10.9	16	2.4
	18:00-19:00	14.7	21.6	3.2
	19:00-20:00	18.9	27.9	4.2
	20:00-21:00	20.6	30.4	4.6
	21:00-22:00	21.4	31.4	4.7
	22:00-23:00	21.7	31.8	4.7
	23:00-0:00	21.6	31.7	4.7
Δεκέμβριος	0:00-1:00	35.7	52.3	7.7
	1:00-2:00	32.5	47.6	7
	2:00-3:00	33.5	49	7.2
	3:00-4:00	35.7	52.3	7.7
	4:00-5:00	37.8	55.4	8.1
	5:00-6:00	39	57.2	8.4
	6:00-7:00	39.7	58.1	8.5
	7:00-8:00	39.6	58	8.6
	8:00-9:00	38.5	56.5	8.4
	9:00-10:00	36.4	53.4	7.9
	10:00-11:00	32.6	47.8	7.1
	11:00-12:00	29	42.5	6.3
	12:00-13:00	26.5	38.9	5.8
	13:00-14:00	25.8	37.9	5.6
	14:00-15:00	24.5	35.9	5.3
	15:00-16:00	24.7	36.2	5.3
	16:00-17:00	25.8	37.8	5.6
Ιανουάριος	17:00-18:00	28.2	41.4	6.1
Φεβρουάριος	18:00-19:00	31.4	46.1	6.8



19:00-20:00	35	51.4	7.7
20:00-21:00	36	52.8	7.9
21:00-22:00	36	52.8	7.8
22:00-23:00	35.6	52.2	7.7
23:00-0:00	35.1	51.4	7.6
0:00-1:00	38.5	56.5	8.3
1:00-2:00	35.9	52.5	7.7
2:00-3:00	36.9	54	7.9
3:00-4:00	39	57.1	8.4
4:00-5:00	40.9	59.9	8.8
5:00-6:00	42.1	61.6	9
6:00-7:00	42.7	62.6	9.2
7:00-8:00	42.8	62.7	9.2
8:00-9:00	41.8	61.3	9.1
9:00-10:00	39.8	58.4	8.7
10:00-11:00	35.9	52.7	7.8
11:00-12:00	32.1	47.1	7
12:00-13:00	29.5	43.2	6.4
13:00-14:00	28.4	41.7	6.2
14:00-15:00	26.6	39	5.8
15:00-16:00	26.4	38.6	5.7
16:00-17:00	27	39.5	15.8
17:00-18:00	29.2	42.8	6.3
18:00-19:00	32.3	47.4	7
19:00-20:00	36.2	53.1	7.9
20:00-21:00	37.5	55.1	8.2
21:00-22:00	38.2	56.1	8.3
22:00-23:00	38.7	56.7	8.4
23:00-0:00	38.9	57	8.4
0:00-1:00	41.5	60.8	8.9
1:00-2:00	39.5	57.8	8.5
2:00-3:00	41	60.1	8.8
3:00-4:00	43.4	63.5	9.3
4:00-5:00	45.4	66.5	9.8
5:00-6:00	46.5	68.1	10
6:00-7:00	47	68.8	10.1
7:00-8:00	46.7	68.4	10.1
8:00-9:00	45.3	66.5	9.8
9:00-10:00	42.8	62.8	9.3
10:00-11:00	38.4	56.4	8.3
11:00-12:00	34.1	50	7.4



Τεχνοοικονομική ανάλυση για την διαστασιολόγηση μικρών αποκεντρωμένων συστημάτων
τηλεθέρμανσης με συμπαραγωγή
Παράρτημα

	12:00-13:00	30.9	45.3	6.7
	13:00-14:00	29.4	43.1	6.4
	14:00-15:00	27.2	39.8	5.9
	15:00-16:00	26.7	39.1	5.8
	16:00-17:00	27.2	39.9	5.9
	17:00-18:00	29.5	43.2	6.4
	18:00-19:00	32.9	48.2	7.2
	19:00-20:00	37.1	54.5	8.1
	20:00-21:00	39	57.3	8.5
	21:00-22:00	40.4	59.2	8.8
	22:00-23:00	41.4	60.7	9
	23:00-0:00	42	61.5	9.1
Μάρτιος	0:00-1:00	41.5	60.8	8.9
	1:00-2:00	39.4	57.7	8.5
	2:00-3:00	41	60.1	8.8
	3:00-4:00	43.5	63.7	9.3
	4:00-5:00	45.4	66.5	9.8
	5:00-6:00	46.2	67.6	9.9
	6:00-7:00	46	67.4	9.9
	7:00-8:00	45	66	9.7
	8:00-9:00	42.8	62.8	9.3
	9:00-10:00	39.5	58	8.6
	10:00-11:00	34.5	50.5	7.5
	11:00-12:00	29.7	43.5	6.4
	12:00-13:00	26.2	38.4	5.7
	13:00-14:00	24.7	36.2	5.4
	14:00-15:00	22.7	33.3	4.9
	15:00-16:00	22.6	33.1	4.9
	16:00-17:00	23.6	34.6	5.1
	17:00-18:00	26.4	38.7	5.7
	18:00-19:00	30.2	44.3	6.6
	19:00-20:00	34.8	51	7.6
	20:00-21:00	36.8	54	8
	21:00-22:00	38.2	56	8.3
	22:00-23:00	39.2	57.5	8.5
	23:00-0:00	40.2	58.8	8.7
Απρίλιος	0:00-1:00	20.3	29.7	4.4
	1:00-2:00	19	27.8	4.1
	2:00-3:00	21.1	30.8	4.5
	3:00-4:00	23.6	34.6	5.1
	4:00-5:00	25.5	37.3	5.5



	5:00-6:00	25.9	37.9	5.6
	6:00-7:00	25.3	37	5.5
	7:00-8:00	23.7	34.8	5.2
	8:00-9:00	21	30.9	4.6
	9:00-10:00	17.3	25.5	3.8
	10:00-11:00	12	17.7	2.7
	11:00-12:00	7.1	10.5	1.6
	12:00-13:00	3.6	5.3	0.8
	13:00-14:00	2.2	3.2	0.5
	14:00-15:00	1.3	1.9	0.3
	15:00-16:00	1.1	1.6	0.3
	16:00-17:00	1.6	2.4	0.4
	17:00-18:00	4.4	6.5	1
	18:00-19:00	8.2	12.1	1.9
	19:00-20:00	12.6	18.6	2.9
	20:00-21:00	14.5	21.3	3.2
	21:00-22:00	15.6	22.9	3.4
	22:00-23:00	16.3	24	3.6
	23:00-0:00	17.1	25.1	3.7

6.1.2. Κατασκευαστές και μοντέλα

ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΕΚ						
Μοντέλο	Ηλεκτρική Ισχύς (kW _{el})	Θερμική Ισχύς (kW _{th})	ηλεκτρικός β.α.	θερμικός β.α.	Τιμή (€)	Καύσιμο
Ecopower e 3.0	3	8	0.25	0.65	16500	Φυσικό αέριο
Giese GB 4 - 8	4	8.7	0.261	0.569	17000	Πετρέλαιο
Ecopower e 4.7	4.7	12.5	0.25	0.65	16500	Φυσικό αέριο
Senertec Dachs HKA G5 LowNox	5	12.3	0.255	0.628	16020	Φυσικό αέριο
Senertec G 5.0 Low NOx	5	12.3	0.26	0.63	27857	Φυσικό αέριο
OET 5 ASO	5	13	0.26	0.64	8237.5	Φυσικό αέριο
Senertec G 5.0 Low NOx Condensing	5	14.6	0.26	0.74	29711	Φυσικό αέριο
Giese GB 6-12	5.5	12	0.262	0.571	17400	Πετρέλαιο
Senertec G 5.5	5.5	12.5	0.27	0.61	27441	Φυσικό αέριο
Senertec G5.5 Condensing	5.5	14.8	0.27	0.72	29295	Φυσικό αέριο



Senertec Dachs HKA G5.5	6	12.5	0.268	0.61	19224	Φυσικό αέριο
Aisin GECC60A1N	6	13.5	0.265	0.595	18000	Φυσικό αέριο
Tedom Micro T7 AP	7	18	0.259	0.667	17000	Φυσικό αέριο
Giese GB 7.5-15	7.5	15	0.274	0.548	20700	Πετρέλαιο
KW Energie KWE 7.5G-4AP	8	19	0.254	0.644	16748	Φυσικό αέριο
OET 8 ASO	8	19	0.26	0.64	13180	Φυσικό αέριο
KW Energie KWE 12G-4AP	12	27	0.279	0.628	25122	Φυσικό αέριο
OET 12 ASO	12	26	0.27	0.63	19770	Φυσικό αέριο
OET 15 ASO	15	30	0.29	0.6	24712.5	Φυσικό αέριο
EC Power XRGI 15	15	30	0.3	0.62	32000	Φυσικό αέριο
Kraftwerk MEPHISTO G16+	16	35.5	0.315	0.695	27752	Φυσικό αέριο
EAW Energieanlagenbau EWF 17 S	17	32	0.321	0.604	37570	Φυσικό αέριο
Bosch Thermotechnik Bug.Luganova EN20	19	34	0.339	0.607	27920.5	Φυσικό αέριο
Kraftwerk MEPHISTO G20+	20	46.7	0.315	0.735	34690	Φυσικό αέριο
KW Energie GmbH KWE 20G-4 AP	20	42	0.294	0.618	41870	Φυσικό αέριο
KW Energie GmbH KWE 20G-4 SPN	20	40	0.294	0.588	41870	Φυσικό αέριο
Kraftwerk MEPHISTO G26	24	55	0.3	0.7	41628	Φυσικό αέριο
OET 30 ASO	30	61	0.29	0.6	49425	Φυσικό αέριο
Höfler Micro T 30	30	61	0.309	0.629	46440	Φυσικό αέριο
EAW Energieanlagenbau EW 30 S	30	65	0.294	0.647	66300	Φυσικό αέριο
KW Energie GmbH KWE 30G-4 AP	30	68	0.283	0.642	75000	Φυσικό αέριο
Kraftwerk MEPHISTO G34	34	78	0.315	0.723	58973	Φυσικό αέριο
KW Energie GmbH KWE 48G-4 SPN	48	77	0.343	0.55	100488	Φυσικό αέριο
Bosch	50	80	0.338	0.541	73475	Φυσικό



Thermotechnik Bug.Luganova EN50						αέριο
OET 50 ASO	50	80	0.33	0.53	82375	Φυσικό αέριο
EAW Energieanlagenbau EW M 50 S	50	81	0.345	0.559	110500	Φυσικό αέριο
SOKRATHERM GmbH GG 50 A	50	82	0.342	0.562	58900	Φυσικό αέριο
Höfler ET 50 LH EG	50	88	0.321	0.564	77400	Φυσικό αέριο
KW Energie GmbH KWE 50G-4 AP	50	95	0.342	0.651	104675	Φυσικό αέριο
OET 65 ASO	65	102	0.34	0.57	107087.5	Φυσικό αέριο
Bosch Thermotechnik Bug.Luganova DN70	70	109	0.343	0.534	102865	Φυσικό αέριο
EAW Energieanlagenbau EW M 70 S	70	115	0.343	0.564	154700	Φυσικό αέριο
SOKRATHERM GmbH GG 70 S	71	114	0.348	0.559	83638	Φυσικό αέριο
Höfler ET 100 LH EG	96	163	0.336	0.57	183936	Φυσικό αέριο
Höfler Cento 100	100	140	0.355	0.496	154800	Φυσικό αέριο
OET 110 ASO	110	180	0.34	0.56	181225	Φυσικό αέριο
SOKRATHERM GmbH GG 113 S	114	179	0.349	0.547	134292	Φυσικό αέριο
Höfler Cento 120	120	163	0.356	0.484	185760	Φυσικό αέριο
EAW Energieanlagenbau EW M 140 S	140	207	0.365	0.539	309400	Φυσικό αέριο
Bosch Thermotechnik Bug.Luganova EN140	140	212	0.365	0.552	205730	Φυσικό αέριο
SOKRATHERM GmbH GG 140 S	142	216	0.362	0.551	167276	Φυσικό αέριο
Höfler Cento 150	150	193	0.377	0.485	232200	Φυσικό αέριο
OET 150 ASO	150	195	0.36	0.52	247125	Φυσικό αέριο
OET 190 ASO	190	260	0.36	0.52	313025	Φυσικό αέριο
SOKRATHERM	205	331	0.346	0.559	241490	Φυσικό



GmbH GG 201 S							αέριο
EAW Energieanlagenbau EW M 238 S	238	363	0.357	0.544	525980		Φυσικό αέριο
SOKRATHERM GmbH GG 237 S	239	372	0.357	0.556	281542		Φυσικό αέριο
IET Energy GmbH IET EG 240 L1	240	359	0.359	0.537	294960		Φυσικό αέριο
Bosch Thermotechnik Bug.Luganova EN240	240	374	0.359	0.559	352680		Φυσικό αέριο
IET Energy GmbH IET EG 250 V02-80	250	338	0.374	0.506	307250		Φυσικό αέριο
SOKRATHERM GmbH GG 402S(GK70)	366	495	0.383	0.518	431148		Φυσικό αέριο
SOKRATHERM GmbH GG 402S(GK40)	405	538	0.388	0.515	477090		Φυσικό αέριο
MTU TB 46201 A E 8V L62	772	434	0.41	0.23	873132		Φυσικό αέριο
Pro2 NM2016V12	600	654	0.42	0.457	547200		Φυσικό αέριο
Haase HET-GEC 800	800	855	0.423	0.452	628000		Φυσικό αέριο
MTU TB 46301 A E 8V L63	849	483	0.413	0.235	960219		Φυσικό αέριο
MTU TB 46203 A E 12V L62	1166	660	0.413	0.234	1318746		Φυσικό αέριο
Haase HET-GEC 1200	1200	1197	0.436	0.435	942000		Φυσικό αέριο
MTU TB 46303 A E 12V L63	1286	729	0.416	0.236	1454466		Φυσικό αέριο
Haase HET-GEC 1560	1560	1586	0.433	0.44	1224600		Φυσικό αέριο

ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΩΝ						
Μοντέλο	Ηλεκτρική Ισχύς (kWel)	Θερμική Ισχύς (kWth)	ηλεκτρικός β.α.	θερμικός β.α.	Τιμή (€)	Καύσιμο
Capstone C65 ICHP Microturbine	65	120	0.29	0.53	28511	Φυσικό αέριο
Capstone C65 CARB Microturbine	65	120	0.28	0.52	28511	Φυσικό αέριο
Turbec T100	100	155	0.3	0.47	36552	Φυσικό αέριο



ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ						
Μοντέλο	Ηλεκτρική Ισχύς (kWel)	Θερμική Ισχύς (kWth)	ηλεκτρικός β.α.	θερμικός β.α.	Τιμή (€)	Καύσιμο
PureCell Model 400	400	264	0.42	0.48	2924160	Φυσικό αέριο
PureCell Model 5	5	6.2	0.4	0.6	43862	Φυσικό αέριο

ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΗΧΑΝΩΝ STIRLING						
Μοντέλο	Ηλεκτρική Ισχύς (kWel)	Θερμική Ισχύς (kWth)	ηλεκτρικός β.α.	θερμικός β.α.	Τιμή (€)	Καύσιμο
Whispergen	1	12	0.12	0.8	8000	Φυσικό αέριο
Cleanergy	9	26	0.25	0.71	34000	Φυσικό αέριο

ΜΟΝΤΕΛΑ ΛΕΒΗΤΩΝ							
Μοντέλο	Θερμική ισχύς (kW)	Θερμική απόδοση	HHV φ.α./πετρ. (kWh/m ³)	LHV φ.α./πετρ. (kWh/m ³)	Πυκνότητα φ.α./πετρ. (kg/m ³)	Τιμή (€)	Καύσιμο
De Dietrich GT 224	40	0.92	11.5	10.4	0.55	2560	Φυσικό αέριο
De Dietrich DTG 230	71	0.96	11.5	10.4	0.55	3585.45	Φυσικό αέριο
De Dietrich INNOVENS PRO MCA 90 iSystem	90	0.979	11.5	10.4	0.55	5250	Φυσικό αέριο
De Dietrich INNOVENS PRO MCA 115 iSystem	114	0.966	11.5	10.4	0.55	6100	Φυσικό αέριο
De Dietrich DTG 330 3	200	0.96	11.5	10.4	0.55	7609.09	Φυσικό αέριο
De Dietrich DTG 330 4	220	0.96	11.5	10.4	0.55	8647.67	Φυσικό αέριο
De Dietrich DTG 330 2	340	0.96	11.5	10.4	0.55	11716.5	Φυσικό αέριο
De Dietrich DTG 330	380	0.96	11.5	10.4	0.55	12427.6	Φυσικό αέριο
test4	400	0.92	11.5	10.4	0.55	13000	Φυσικό αέριο
test5	500	0.92	11.5	10.4	0.55	15000	Φυσικό αέριο
Viessman_Vitorond 100	40	0.93	10.5	-	0.823	3220	Πετρέλαιο



ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ			
Μοντέλο	Μέγιστη Θερμική Ισχύς (kW)	Θερμοκρασία σχεδιασμού (Celsius)	Υψηλή πίεση σχεδιασμού (bar)
Danfoss B3012	12	200	30
Danfoss B3014	15	200	45
Danfoss B3018	20	200	45
Danfoss B3020	30	200	40
Danfoss B3027	45	225	45
BPX BP400-40	58.6	232	29.9922
BPX BP400-40 2	65.9	232	29.9922
BPX BP411-20	73.26	232	29.9922
BPX BP411-20 2	80.59	232	29.9922
BPX BP411-20 3	87.9	232	29.9922
BPX BP411-20 4	102.57	232	29.9922
BPX BP411-30	117.23	232	29.9922
BPX BP411-30 2	131.88	232	29.9922
BPX BP411-30 3	146.54	232	29.9922
BPX BP422-40	175.84	232	29.9922
Danfoss B3052	200	200	45
BPX BP422-50	205.15	232	29.9922
BPX BP422-60	234.46	232	29.9922
BPX BP422-80	263.76	232	29.9922
BPX BP422-80 2	293.07	232	29.9922
BPX BP422-80 3	322.378	232	29.9922
BPX BP422-100	351.69	232	29.9922
BPX BP422-100	395.65	232	29.9922
Danfoss B3095	600	200	45