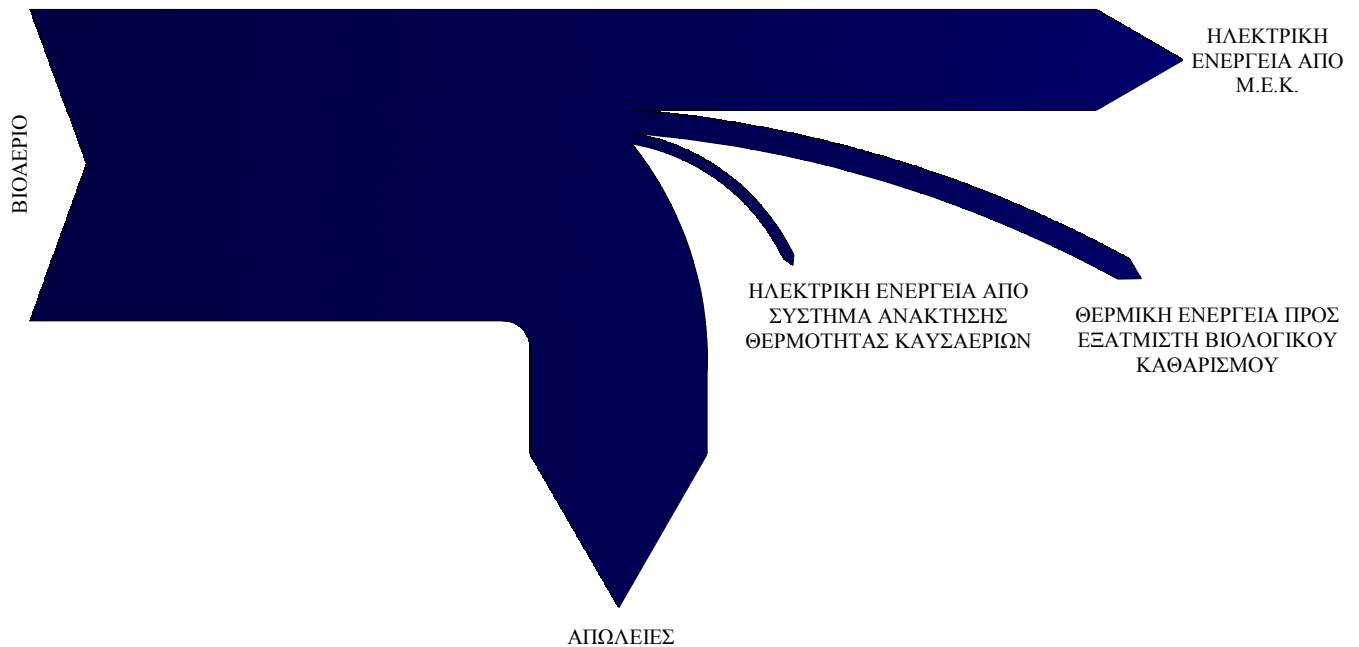


Αξιοποίηση αποβαλλόμενης θερμότητας σε σταθμό ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: **Σιώκος Κωνσταντίνος**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: **Εμμανουήλ Κακαράς**

Αθήνα 2010

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Σωτήριο Καρέλλα, για την εύστοχη καθοδήγηση, τη διαρκή του παρουσία και τη συνολική βοήθεια που μου παρείχε για να ολοκληρώσω τη διπλωματική μου εργασία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Άνθιμο Μπούκη, προϊστάμενο λειτουργίας της εταιρίας ΒΕΑΛ Α.Ε., για τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε, παρόλο το φόρτο εργασίας του, στη συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων που χρειάστηκαν για να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	2
2.1 Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων	2
2.1.1 Κοινωνικό ζήτημα	2
2.1.2 Εδαφική διάθεση και υγειονομική ταφή	3
2.1.3 Σύγχρονοι ΧΥΤΑ	4
2.1.4 Διαχειριστής του ΧΥΤΑ	5
2.1.5 Πλεονεκτήματα της μεθόδου	5
2.1.6 Μειονεκτήματα της μεθόδου	6
2.1.7 Περιορισμοί στη χρήση ΧΥΤΑ από την Ε.Ε.	6
2.1.8 Εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας αποβλήτων	7
2.1.9 Λίγα λόγια για τους ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων και Φυλής	9
2.2 Βασικές διεργασίες στο ΧΥΤΑ – Αναερόβια χώνευση	11
2.2.1 Ιστορικά	11
2.2.2 Περιγραφή των βιολογικών διεργασιών	11
2.2.3 Διάρκεια κάθε φάσης	13
2.3 Βιοαέριο	14
2.3.1 Γενικά	14
2.3.2 Χρήσεις του βιοαερίου	15
3. ΑΝΤΛΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	17
3.1 Κατασκευή δικτύου άντλησης	17
3.1.1 Κάθετα φρεάτια (πηγάδια)	18
3.1.2 Υποσταθμοί και τελικοί σταθμοί	19
3.2 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του δικτύου	21
3.2.1 Περιορισμοί στην άντληση βιοαερίου	21
3.2.2 Επίδραση του χρόνου στην παραγωγή του βιοαερίου	22
3.2.3 Αναγέννηση πηγαδιού εναποθέτοντας στραγγίσματα	23
3.2.4 Βιοαέριο από τα στραγγίσματα	23
3.3 Προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία του δικτύου	24
3.3.1 Οξυγόνο στο δίκτυο	24
3.3.2 Κάλυψη πηγαδιού με στραγγίσματα	26
3.3.3 Καταστροφές σωληνώσεων	26

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ	28
4.1 Γενική περιγραφή	28
4.1.1 Η εταιρία	28
4.1.2 Βιοαέριο	29
4.1.3 Αξιοποίηση θερμότητας – Βιολογικός καθαρισμός & σύστημα τηλεθέρμανσης	30
4.2 Ειδική περιγραφή	30
4.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	31
4.2.2 Σταθμός παραγωγής ενέργειας	34
▶ Τμήμα 1	35
▶ Τμήμα 2	38
5. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	42
5.1 Εισαγωγή	42
5.2 Σύστημα τηλεθέρμανσης	42
5.3 Βιολογικός καθαρισμός – αναλυτική περιγραφή	43
5.3.1 Γενικά	43
5.3.2 Τρόπος λειτουργίας της μονάδας	44
▶ Προεπεξεργασία	44
▶ Μονάδα αντίστροφης όσμωσης	46
▶ Εξατμιστές	49
6. ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ	53
6.1 Εισαγωγή	53
6.2 Παρούσα εγκατάσταση	55
6.3 Εγκατάσταση ORC	60
6.3.1 ORC με ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου	60
▶ οργανικό μέσο πεντάνιο	63
▶ οργανικό μέσο silicon oil (MDM)	66
6.3.2 ORC χωρίς ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου	68
6.3.3 Μία μονάδα ORC για όλες τις μηχανές	72
6.4 Εγκατάσταση λέβητα ανάκτησης θερμότητας με εργαζόμενο μέσο νερό-ατμό	75
6.5 Σύγκριση των διαφόρων συστημάτων ανάκτησης θερμότητας	81
6.6 Εγκατάσταση συστήματος ψύξης	84
6.6.1 Επιλογή κατάλληλου συστήματος ψύξης	85
6.6.2 Ψύξη του μίγματος βιοαερίου-αέρα πριν εισέλθει στη μηχανή	87

6.6.3 Αντικατάσταση υπάρχοντος ψύκτη μηχανικής συμπίεσης ατμού με ψύκτη δια απορροφήσεως	88
7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ORC	91
7.1 Εισαγωγή	91
7.2 Μέθοδος οικονομικής αξιολόγησης	92
7.3 Αξιολόγηση προσφοράς Turboden	93
7.4 Αξιολόγηση προσφοράς Inea	96
7.5 Αξιολόγηση προσφοράς Ormat	99
7.6 Σύγκριση των 3 προσφορών	102
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	108
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας από τη λειτουργία ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Ο σταθμός αυτός βρίσκεται στην περιοχή των Άνω Λιοσίων, δίπλα από τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων των Ά. Λιοσίων και της Φυλής. Για την παραγωγή ενέργειας, ο σταθμός χρησιμοποιεί μηχανές εσωτερικής καύσης των οποίων το καύσιμο είναι βιοαέριο.

Το βιοαέριο παράγεται κατά την ταφή των απορριμμάτων και την αποσύνθεσή τους με την πάροδο του χρόνου. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο το οποίο είναι εξαιρετικά ρυπογόνο και επιβλαβές για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, ενώ είναι 21 φορές πιο δραστικό από το διοξείδιο του άνθρακα και έχει μεγάλη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Δεδομένης της επικινδυνότητας αυτού του αερίου, ο σταθμός, πέρα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, επιτελεί και κοινωνικό έργο καθώς αποτρέπει την απελευθέρωση του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα.

Όπως σε κάθε σταθμό παραγωγής ενέργειας, έτσι και στον συγκεκριμένο, η αποβαλλόμενη θερμότητα, που προκύπτει από τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης κυρίως μέσω των καυσαερίων τους, είναι πολύ σημαντική. Η αξιοποίησή της αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον αντικείμενο έρευνας καθώς όχι μόνο αποτρέπει την αποβολή τόσης θερμότητας στην ατμόσφαιρα, αλλά συγχρόνως συντελεί στην αποφυγή της έκλυσης μεγάλης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα υποκαθιστώντας συμβατικά καύσιμα. Ιδίως στη σημερινή εποχή, όπου όλη η ανθρωπότητα έχει στραφεί στην προστασία του περιβάλλοντος και του πλανήτη, η παραγωγή ωφέλιμης για τον άνθρωπο ενέργειας από κάτι το οποίο θα διαχεόταν στην ατμόσφαιρα και θα διέφευγε ανεκμετάλλευτο, αποτελεί μείζονος σημασίας θέμα.

Στην εργασία που ακολουθεί, ερευνώνται και αξιολογούνται πολλές διαφορετικές τεχνολογίες ανάκτησης της απορριπτόμενης θερμότητας. Για τη μεταξύ τους σύγκριση γίνεται χρήση ενός υπολογιστικού προγράμματος προσομοίωσης που αναπαριστά την πραγματική λειτουργία αυτών των συστημάτων και ποσοτικοποιεί τα οφέλη. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και οικονομική αξιολόγηση μιας τέτοιας εγκατάστασης χρησιμοποιώντας πραγματικές προσφορές που δεχτήκαμε από διάφορες εταιρίες κατασκευής ανάλογων συστημάτων. Από τη σύγκριση των προσφορών αυτών προκύπτει η πιο αποδοτική επένδυση που θα μπορούσε να υιοθετήσει ο σταθμός έτσι ώστε να παράγεται έργο ακόμα και από την αποβαλλόμενη θερμότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ & ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

2.1 ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

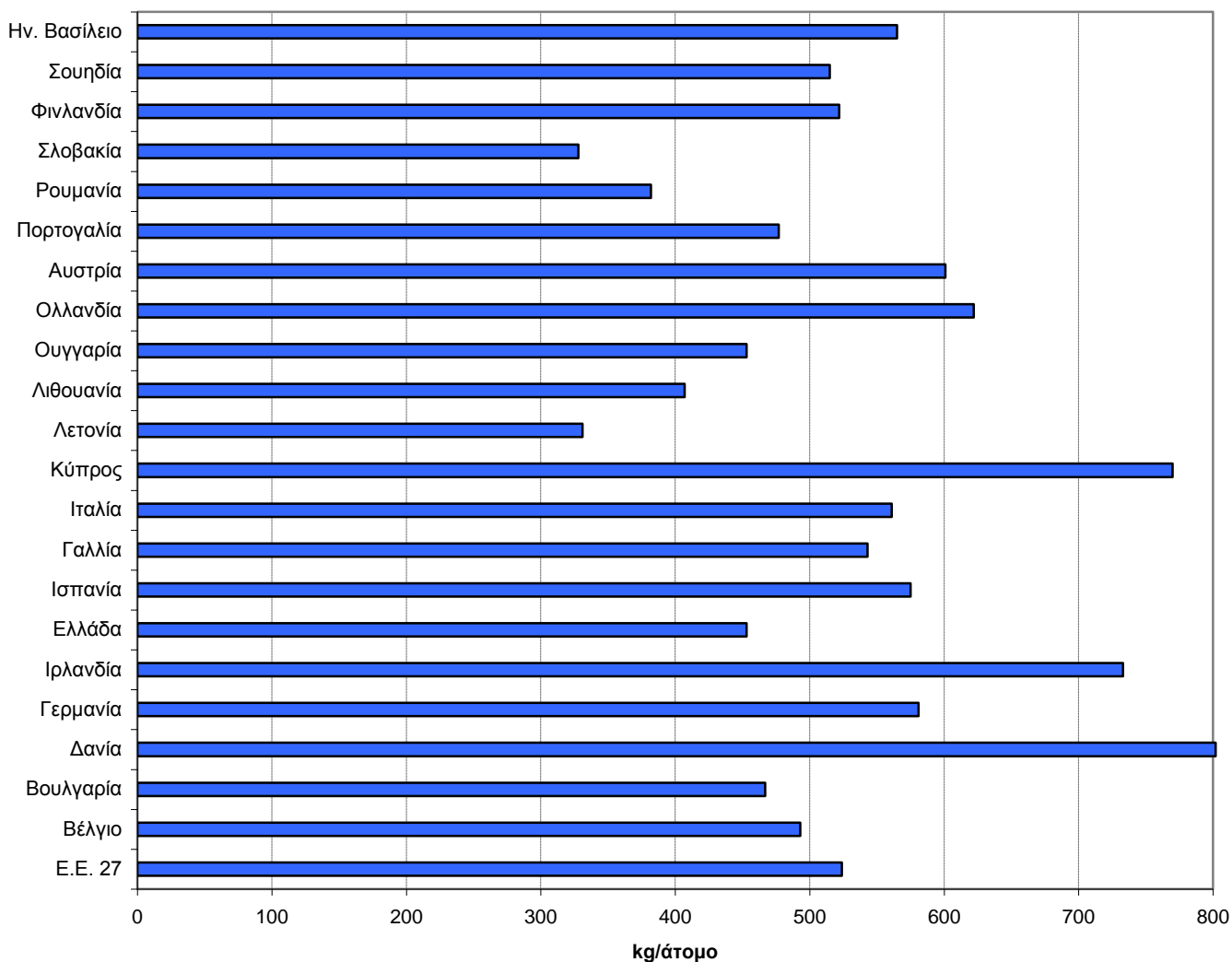
2.1.1 Κοινωνικό ζήτημα

Το ζήτημα των αστικών αποβλήτων αποτελεί ένα σημαντικό, διαχρονικό και παγκόσμιο πρόβλημα. Η ολοένα και μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού στα αστικά κέντρα και οι αυξημένες καταναλωτικές ανάγκες του ανθρώπου εντείνουν το πρόβλημα καθώς παράγονται όλο και περισσότερα απόβλητα σε όλο και λιγότερες περιοχές του χάρτη, ήτοι τις μεγάλες πόλεις.

Στην Ελλάδα, το πρόβλημα αυτό ταλαιπωρεί τις περισσότερες μεγάλες πόλεις καθώς τα βήματα προόδου που γίνονται είναι μικρά, μεμονωμένα και δεν επικεντρώνουν τη λύση στη βάση του προβλήματος. Η ταφή των αποβλήτων υποτίθεται ότι πρέπει να είναι η τελευταία επιλογή από διάφορες εναλλακτικές μεθόδους διάθεσης καθώς ‘παράγει’ αρκετές βλαβερές ουσίες όπως είναι τα στραγγίσματα και το βιοαέριο. Η μείωση των αποβλήτων στην πηγή τους και η επαναχρησιμοποίηση τους μέσω της ανακύκλωσης των υλικών και άρα και της ενέργειας, είναι μερικές από τις διαδικασίες που θα οδηγήσουν στην πραγματική βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των πολιτών. Για να συμβεί όμως αυτό απαιτείται η ευαισθητοποίηση και η επαγρύπνηση των ανθρώπων αναφορικά με το μέλλον του πλανήτη μας. Η μόρφωση, η ενημέρωση και η παρακίνηση των πολιτών είναι ενέργειες απαραίτητες για να πετύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στις εποχές στις οποίες ζούμε όμως, οι ανησυχίες των ανθρώπων για το προς το ζην, δυσχεραίνουν τέτοιες προσπάθειες και έτσι αναγκαστικά ο μόνος εφικτός τρόπος για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από τη διάθεση των αποβλήτων είναι η καλύτερη οργάνωση και αξιοποίηση της ταφής τους.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα δεν εντοπίζεται μόνο στην Ελλάδα αλλά αφορά όλη την Ευρώπη, καθώς στις περισσότερες χώρες παρατηρείται ραγδαία αύξηση των παραγόμενων αποβλήτων. Με βάση τα στοιχεία της Eurostat για το έτος 2008, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα η ετήσια παραγωγή σκουπιδιών από τους πολίτες ορισμένων κρατών-μελών της Ε.Ε. Είναι αξιοσημείωτη η πολύ μεγάλη διαφορά στο μέγεθος της παραγωγής αποβλήτων που παρατηρείται μεταξύ των χωρών. Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορετικές καταναλωτικές συνήθειες που έχουν οι Ευρωπαίοι.

Ετήσια παραγωγή αποβλήτων στην Ε.Ε.



2.1.2 Εδαφική διάθεση και υγειονομική ταφή

Η εδαφική διάθεση ή ταφή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, είναι μέθοδος επεξεργασίας και εναπόθεσης που χρησιμοποιείται και από αρχαίους λαούς μεταξύ των οποίων και οι Έλληνες. Ο όρος 'Υγειονομική ταφή' χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1930 στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, για να περιγράψει μια απλή δραστηριότητα διάστροφης, συμπίεσης και κάλυψης των απορριμμάτων με εδαφικό υλικό σε ημερήσια βάση. Τα κύρια γνωρίσματα, που διαφοροποιούσαν τη διαδικασία αυτή από τις μέχρι τότε συνήθειες διαδικασίες απόρριψης στο έδαφος ήταν η συμπίεση και η ημερήσια κάλυψη.

Το μεγαλύτερο μέρος των σκουπιδιών καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) ή σε πολλές περιοχές της χώρας μας, σε χωματερές και μάλιστα παράνομες. Σήμερα πολλοί από αυτούς τους χώρους υγειονομικής ταφής έχουν γεμίσει και η εύρεση νέων δεν είναι εύκολη, καθώς υπάρχει έντονη αντίδραση από

τους κατοίκους των γειτονικών περιοχών. Η δυσκολία χωροθέτησης νέων ΧΥΤΑ καθώς και το αυξημένο κόστος κατασκευής τους, προκειμένου να διασφαλιστεί η προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, αυξάνουν σημαντικά το κόστος διαχείρισης των απορριμμάτων και μπορεί να αναγκάσουν τους Δήμους σε αύξηση των δημοτικών τελών για την κάλυψη αυτού του κόστους.

Υγειονομική Ταφή είναι η μέθοδος της ελεγχόμενης και οργανωμένης διάθεσης των αποβλήτων στο έδαφος, στους χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων. Οι ΧΥΤΑ δεν θα πρέπει να συγχέονται με τις υπάρχουσες χωματερές όπου δεν υπάρχει κατάλληλη υποδομή και η απόρριψη των αποβλήτων είναι συχνά ανεξέλεγκτη.

2.1.3 Σύγχρονοι ΧΥΤΑ

Ο σχεδιασμός, η τεχνολογία και οι τεχνικές διαχείρισης των ΧΥΤΑ έχουν βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και η εξέλιξη συνεχίζεται. Για την επιλογή του χώρου πρέπει να εξετάζονται τα υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής, ώστε να μη δημιουργηθεί κίνδυνος ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα. Οι σύγχρονοι ΧΥΤΑ πρέπει να έχουν επικάλυψη στον πυθμένα τους από φυσικά ή τεχνητά υλικά για στεγανοποίηση, όπως άργιλος και συνθετικές γεωμεμβράνες, κατάλληλα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων και σύστημα συλλογής του βιοαερίου. Προβλέπεται ένα απόλυτα στεγανό σύστημα συγκέντρωσης των υγρών που προκύπτουν σαν στραγγίσματα από τα απόβλητα. Παρ' όλα αυτά για να αποκλειστεί η παραμικρή πιθανότητα να καταλήξουν στη θάλασσα τα υγρά απόβλητα, απαγορεύεται να εγκατασταθεί εργοστάσιο επεξεργασίας απορριμμάτων σε απόσταση μικρότερη των 5 χιλιομέτρων από τη θάλασσα.

Κατά την υγειονομική ταφή τα απορρίμματα διαστρώνονται, συμπιέζονται, και στο τέλος της ημέρας σκεπάζονται με αδρανές υλικό (χώμα, χαλίκια κλπ). Έτσι, μειώνεται στο ελάχιστο ο κίνδυνος από τη διασπορά των απορριμμάτων ενώ συγχρόνως αποφεύγονται οι δυσάρεστες οσμές.

Επειδή η πιθανότητα αστοχιών στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των ΧΥΤΑ δεν είναι αμελητέα, υπάρχει κίνδυνος αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Τέτοιες πιθανές επιπτώσεις είναι, για παράδειγμα, η δυσοσμία και οι αναφλέξεις λόγω του βιοαερίου καθώς και η μόλυνση των νερών στην ευρύτερη περιοχή από τη διακίνηση των στραγγισμάτων. Εκτιμάται ότι οι ΧΥΤΑ και εν γένει οι χώροι ανεξέλεγκτης απόθεσης είναι η μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή μεθανίου συμβάλλοντας έτσι αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς το μεθάνιο είναι 21 φορές πιο δραστικό από το διοξείδιο του άνθρακα.

Καθοριστικός παράγοντας για την ασφαλή κατασκευή και λειτουργία ενός ΧΥΤΑ είναι το αίσθημα ευθύνης προς την κοινωνία που πρέπει να έχει ο διαχειριστής

του έργου καθώς και ο κάθε ένας εργάτης ξεχωριστά. Όσα μέτρα για την ασφάλεια του περιβάλλοντος κι αν ληφθούν, η σωστή εφαρμογή τους εναπόκειται στη διάθεση των εργατών να τα εφαρμόσουν ή όχι.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αναφορικά με τη λειτουργία των ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων και Φυλής, αποτελεί το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της απόρριψης των αποβλήτων θα πρέπει οι μπουλντόζες και οι εκσκαφείς που διαχειρίζεται ο Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α. να συμπίεζον τα απόβλητα πριν τοποθετηθούν τα επόμενα. Κάτι τέτοιο θα είχε σημαντική επίδραση στη μείωση των παραγόμενων στραγγισμάτων ενώ ταυτόχρονα θα συνέβαλε στη μείωση των πιθανοτήτων καθίζησης του βουνού μετά από χρόνια. Δυστυχώς, η συμπίεση αυτή συνήθως αμελείται από το διαχειριστή του χώρου με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικές καθιζήσεις του βουνού, ενώ τα στραγγίσματα που παράγονται, σε μερικές περιπτώσεις, ξεφεύγουν ακόμα και από το στεγανό υπόβαθρο του ΧΥΤΑ μολύνοντας τη γύρω περιοχή.

2.1.4 Διαχειριστής του ΧΥΤΑ

Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η διάρκεια της περιόδου ευθύνης του διαχειριστή ως προς την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων και την κάλυψη ζημιών από τυχόν αστοχίες. Σύμφωνα με τη νομοθεσία πριν από την έναρξη λειτουργίας καταβάλλεται χρηματοοικονομική ή άλλη ισοδύναμη εγγύηση που καλύπτει περίοδο μέχρι και 30 ετών μετά το 'κλείσιμο', ώστε να εξασφαλίζεται η εκπλήρωση των υποχρεώσεων που συνεπάγεται η άδεια λειτουργίας. Παρόλα αυτά, όμως, ο απαιτούμενος χρόνος για αδρανοποίηση ή σταθεροποίηση εξαρτάται από την αρχική σύνθεση των αποβλήτων και μπορεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, να ξεπεράσει τα 50 χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ.

2.1.5 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Αναφερόμενοι στα πλεονεκτήματα ενός ΧΥΤΑ θα πρέπει να υποθέσουμε μία ιδανική λειτουργία και σχεδίαση. Έτσι, μελετώντας αρχικά την οικονομική σκοπιά, αποδεικνύεται ότι, όπου υπάρχει διαθέσιμη γη, ένας ΧΥΤΑ είναι η πιο οικονομική μέθοδος και απαιτεί τη μικρότερη αρχική επένδυση συγκρινόμενη με άλλες μεθόδους, όπως μείωση του όγκου των απορριμμάτων και ανάκτηση των υλικών. Επίσης είναι και η πιο εύκολα εφαρμόσιμη τεχνική καθώς η απαιτούμενη τεχνογνωσία είναι πολύ μικρή. Η παραγωγή βιοαερίου που λαμβάνει χώρα σε ένα ΧΥΤΑ είναι πολύ σημαντική αν χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή θέρμανση. Παράλληλα, ένας χώρος υγειονομικής ταφής μπορεί να δεχτεί απορρίμματα όλων των τύπων, αρκεί να μην είναι τοξικά, ενώ συγχρόνως η χωρητικότητά του είναι αρκετά 'εύκαμπτη' καθώς μικρές αυξομειώσεις στην εισροή

απορριμμάτων μπορούν να αντιμετωπιστούν με μικρές αλλαγές. Πέραν αυτών, ένας καλοσχεδιασμένος και ιδανικός ΧΥΤΑ δεν αλλοιώνει την ευρύτερη περιοχή, ενώ μετά το κλείσιμό του και αφού αναπλαστεί μπορεί να προσφέρει κατάλληλους χώρους για αθλητικές εγκαταστάσεις, πάρκα, χώρους αναψυχής, parking καθώς και για άλλες χρήσεις.

2.1.6 Μειονεκτήματα της μεθόδου

Όλα αυτά προϋποθέτουν ιδανική κατασκευή, λειτουργία και χρήση του χώρου υγειονομικής ταφής. Στην πραγματικότητα, όμως, ένας ΧΥΤΑ δημιουργεί αρκετά προβλήματα στο περιβάλλον και ιδιαίτερα στην περιοχή που έχει κατασκευαστεί. Σε περίπτωση που το βιοαέριο δεν τεθεί υπό έλεγχο, τότε υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς ή έκρηξης, ενώ συνάμα θα επιβαρύνεται και το περιβάλλον λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι αντιδράσεις των κατοίκων είναι σύνηθες φαινόμενο καθώς κανείς δεν θα ήθελε έναν τέτοιο χώρο κοντά στην κατοικία του (N.I.M.B.Y.-Not In My Back Yard). Οι αντιδράσεις αυτές είναι εύλογες καθώς σε αρκετές περιπτώσεις ΧΥΤΑ παρατηρείται ρύπανση στη γύρω περιοχή, ενώ υπαρκτό είναι και το ενδεχόμενο δυσοσμίας. Επιπρόσθετα, λόγω της φύσης της εγκατάστασης μπορεί να υπάρξει όχληση των κατοίκων λόγω θορύβου, διέλευσης οχημάτων και γενικότερα αισθητικής υποβάθμισης της περιοχής. Πέραν αυτών εάν η μελέτη κατασκευής τους δεν είναι προσεκτική ενδέχεται μετά το κλείσιμο, η γη να είναι ακατάλληλη για κάποιες χρήσεις λόγω ρύπανσης, ενώ τα συχνά φαινόμενα καθιζήσεων απαιτούν έργα υποστήριξης σε περίπτωση μελλοντικών οικοδομήσεων μετά την αποκατάσταση του χώρου.

2.1.7 Περιορισμοί στη χρήση ΧΥΤΑ από την Ε.Ε.

Δεδομένων αυτών των συνθηκών λειτουργίας των ΧΥΤΑ, η Ευρωπαϊκή Ένωση, με μια σειρά από οδηγίες και διατάξεις προς τα κράτη μέλη, προσπαθεί σταδιακά να περιορίσει τη λειτουργία των χώρων υγειονομικής ταφής προς όφελος του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Ήδη από το 1999 έχει εκδώσει τη σχετική οδηγία η οποία αναφέρεται στους περιορισμούς που τίθενται στη λειτουργία των ΧΥΤΑ.

Πιο συγκεκριμένα, αποσκοπεί στη μείωση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που θάβονται κάτω από τη γη. Η οδηγία έδινε περιθώριο 5 χρόνων στα κράτη μέλη να μειώσουν τα βιοαποδομήσιμα υλικά στο 75% του συνολικού όγκου των αντίστοιχων υλικών που είχαν μετρηθεί το 1995, με στόχο σταδιακά αυτή η μείωση να φτάσει μετά από 15 χρόνια στο 35% των υλικών αυτών. Παράλληλα, η οδηγία περιείχε τα απόβλητα τα οποία δεν πρέπει να γίνονται δεκτά σε ένα ΧΥΤΑ,

όπως για παράδειγμα τα υγρά απόβλητα, τα νοσοκομειακά, ολόκληρα μεταχειρισμένα ελαστικά αυτοκινήτων καθώς και υλικά τα οποία σε συνθήκες ταφής είναι εύφλεκτα, εκρηκτικά, διαβρωτικά ή οξειδωτικά. Προβλέπεται επίσης η διαχείριση των στραγγισμάτων και ο έλεγχος των εκλυόμενων αερίων τα οποία αν δεν χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας θα πρέπει να καίγονται. Η συγκεκριμένη οδηγία περιέχει και πολλές άλλες διατάξεις, όπως περιορισμούς στη θέση στην οποία θα μπορεί να κατασκευαστεί ένας ΧΥΤΑ ή ο λεπτομερής έλεγχος και επίβλεψη που θα πρέπει να λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Όλα αυτά έχουν σαν γνώμονα το καλό της ανθρωπότητας.

Η πρακτική εφαρμογή της οδηγίας για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων δεν είναι, όμως, καθόλου ικανοποιητική. Μια δεκαετία περίπου μετά την έκδοση της οδηγίας, δεν έχουν κοινοποιήσει όλα τα κράτη μέλη τη μεταφορά της στην εθνική νομοθεσία και την εφαρμογή του συνόλου των διατάξεών της. Υπάρχει ακόμα μεγάλος αριθμός παράνομων χώρων υγειονομικής ταφής οι οποίοι λειτουργούν χωρίς την άδεια που απαιτεί η νομοθεσία της Ε.Ε. περί αποβλήτων.

Μεγάλο μέρος των κρατών μελών δεν συμμορφώθηκε μέχρι τις 16 Ιουλίου 2009, ημερομηνία κατά την οποία έπρεπε όλοι οι μη ανταποκρινόμενοι στα ισχύοντα πρότυπα χώροι υγειονομικής ταφής που λειτουργούσαν πριν από τη θέσπιση της οδηγίας να πληρούν τις απαιτήσεις. Μόνο εννέα κράτη μέλη ανέφεραν ότι πέτυχαν τους ενδιάμεσους στόχους του 2006 όσον αφορά στην περιορισμένη διοχέτευση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, ενώ η δέσμευση των αερίων των χώρων αυτών δεν θεωρείται επαρκής. Το 2009 εκκρεμούσαν κατά κρατών μελών δεκατρείς υποθέσεις μη συμμόρφωσης καθώς και έντεκα που αφορούσαν στην πλημμελή εφαρμογή της οδηγίας.

2.1.8 Εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων

Αντί της χρησιμοποίησης των χώρων υγειονομικής ταφής, υπάρχουν πιο αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον μέθοδοι για την επεξεργασία των αποβλήτων, όπως είναι η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση. Οι δυτικοευρωπαϊκές χώρες κινούνται προς αυτή την κατεύθυνση ενώ οι ανατολικές χώρες και μαζί και η Ελλάδα υστερούν σε μεγάλο βαθμό σε αυτές τις τεχνολογίες. Πέραν αυτών, ορισμένες χώρες χρησιμοποιούν και την αποτέφρωση των απορριμμάτων ως μέθοδο επεξεργασίας τους. Η Ευρώπη πάντως εξακολουθεί να τηρεί διστακτική στάση απέναντι σε αυτή τη μέθοδο.

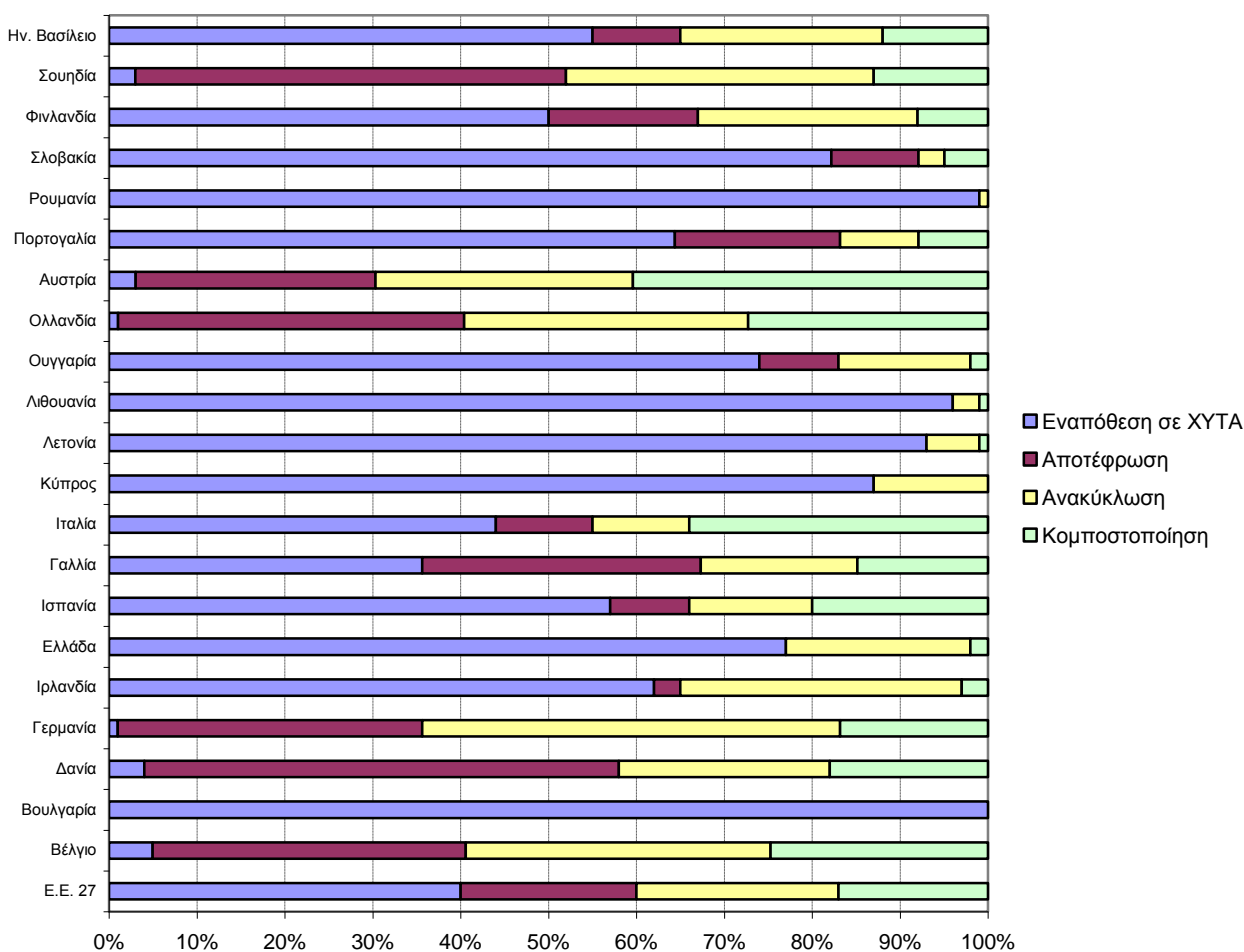
Είναι χαρακτηριστικό ότι σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Eurostat για το έτος 2008, το 77% των οικιακών απορριμμάτων στη χώρα μας καταλήγουν σε ΧΥΤΑ, τη στιγμή που το αντίστοιχο ποσοστό στη Γαλλία είναι 36%, στο Βέλγιο 5% και στη Γερμανία και την Ολλανδία μόλις 1%.

Όπως προκύπτει από άλλα στατιστικά στοιχεία, ο μέσος Ευρωπαίος παράγει 524 κιλά σκουπιδιών ετησίως. Όπως είναι αναμενόμενο, οι δυτικοευρωπαϊκές χώρες έχουν εντυπωσιακές επιδόσεις στην ανακύκλωση και κομποστοποίηση των οικιακών απορριμμάτων τους. Την πιο σωστή διαχείριση απορριμμάτων έχει η Αυστρία, όπου το 70% των σκουπιδιών ανακυκλώνεται ή κομποστοποιείται. Ακολουθεί η Γερμανία (65%), η Ολλανδία (60%) και το Βέλγιο (59%). Όσον αφορά στην αποτέφρωση των απορριμμάτων, τα υψηλότερα ποσοστά παρουσιάζει η Δανία (54%) και η Σουηδία (49%). Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι σε 10 από τις 27 χώρες της Ε.Ε. αποτεφρώνεται λιγότερο από το 1% των απορριμμάτων τη στιγμή που ο μέσος όρος είναι 20%.

Αντίθετα, ο μέσος Έλληνας παράγει 453 κιλά σκουπιδιών ετησίως, εκ των οποίων το 21% ανακυκλώνεται και μόλις το 2% κομποστοποιείται. Σε άλλες χώρες όμως της Ε.Ε. η κατάσταση είναι ακόμα πιο δυσμενής καθώς, για παράδειγμα, στη Βουλγαρία όλα τα απορρίμματα καταλήγουν σε χωματερές, στη Ρουμανία το 99%, στη Μάλτα το 97% και στη Λιθουανία το 96%.

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η συμβολή κάθε μεθόδου στην επεξεργασία των απορριμμάτων ορισμένων κρατών-μελών της Ε.Ε.

Διαχείριση αποβλήτων στην Ε.Ε.



2.1.9 Λίγα λόγια για τη χωματερή και τους ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων και Φυλής

Με την εσωτερική μετανάστευση μεταπολεμικά, την οικονομική ανάπτυξη και τις μεταβολές στις καταναλωτικές συνήθειες όλων των στρωμάτων του πληθυσμού, αυξάνει συνεχώς και η παραγωγή απορριμμάτων στην Αθήνα. Το 1965, η τότε κοινότητα Άνω Λιοσίων, υπό την πίεση της κεντρικής διοίκησης και την ανάγκη εξεύρεσης εσόδων, εκμισθώνει το κοινοτικό κτήμα Σκαλιστήρι, εκτάσεως 405 στρεμμάτων, αρχικά στο Δήμο Αθηναίων και εν συνεχεία στον Ενιαίο Σύνδεσμο Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.), προκειμένου να γίνεται σ' αυτό η εναπόθεση των απορριμμάτων της Αθήνας. Ήδη, από τις αρχές της δεκαετίας του '60, μεταφέρονται στην περιοχή αρκετές οχλούσες δραστηριότητες της πρωτεύουσας. Το 1964 ολοκληρώνεται η διαδικασία απαλλοτρίωσης του στρατοπέδου της ΑΒΥΠ (Αποθήκη Βάσεως Υλικού Πολέμου), το 1970 εγκαθίσταται η μονάδα της Αεροπορίας και στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ο Ο.Δ.Δ.Υ. (Οργανισμός Διαχείρισης Δημοσίου Υλικού). Τέλος, το 1985 ολοκληρώνεται η κατασκευή του αμαξοστασίου του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών. Στην ευρύτερη περιοχή λειτουργούν επίσης πολλά λατομεία, μεταποιητικές επιχειρήσεις και αποθηκευτικοί χώροι.

Τελικά, στην ευρύτερη περιοχή των Άνω Λιοσίων, την τελευταία 15ετία έχουν λειτουργήσει διαδοχικά διάφοροι χώροι εναπόθεσης των σκουπιδιών. Αρχικά λειτουργούσε ο Χώρος Διάθεσης Απορριμμάτων Άνω Λιοσίων και εν συνεχεία οι ΧΥΤΑ 1 και 2 που δέχονταν τα απορρίμματα της πόλης. Πλέον, και οι τρεις χώροι έχουν κλείσει και βρίσκονται στη διαδικασία της ανάπλασης. Πρώτα, χρονικά, έκλεισε ο ΧΔΑ των Άνω Λιοσίων, ακολούθησε ο ΧΥΤΑ 1 και αργότερα ο ΧΥΤΑ 2.

Αυτές οι εξελίξεις δρομολογήθηκαν από το 1996 όταν στα πλαίσια του προγράμματος 'Αττική S.O.S.', με απόφαση του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., προγραμματίστηκε – κατά τις οδηγίες της Ε.Ε. και ύστερα από σχετικές πιέσεις – η αποκατάσταση του τοπίου της περιοχής. Ήδη, άλλωστε, εκείνη την εποχή γίνονταν προσπάθειες για την ανάληψη των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004 και πολλά μεγάλα έργα ήταν σε εξέλιξη (για τις απαιτούμενες επιχωματώσεις θα χρησιμοποιούνταν τα μπάζα από τις εκσκαφές για το Μετρό). Είχε προγραμματιστεί επίσης η δημιουργία πάρκου αναψυχής με εκτεταμένους χώρους πρασίνου, λούνα παρκ με παιχνίδια που θα ηλεκτροδοτούνταν από επιτόπια ηλεκτροπαραγωγή μέσω αξιοποίησης του βιοαερίου, υπαίθριο θέατρο και αναψυκτήρια. Ήδη, από τα τέλη Ιουνίου 1998, έχουν πραγματοποιηθεί τα έργα διαμόρφωσης και στεγανοποίησης της απορριμματικής μάζας, ορισμένα έργα φύτευσης και τα εργοστάσια μηχανικής ανακύκλωσης, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και βιοαερίου, τα οποία διαχειρίζεται ο Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.

Τον Ιούλιο του 2008 εγκαινιάστηκε ο πρώτος Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων στην περιοχή της Φυλής, συνολικής έκτασης 350 στρεμμάτων, που

βρίσκεται ακριβώς δίπλα στον ήδη αποκαταστημένο χώρο. Έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τις αυστηρές προδιαγραφές της Ε.Ε., όπως π.χ. στεγανοποίηση με ειδικές μεμβράνες, βιολογικό καθαρισμό επεξεργασίας στραγγισμάτων και σύστημα διαχείρισης βιοαερίου. Ειδικότερα, ηλεκτρονικά συστήματα παρακολουθούν τη διαδικασία εναπόθεσης των απορριμμάτων έτσι ώστε να αποφεύγεται η είσοδος σκουπιδιών ή άλλων αδρανών υλικών κάτω από το χώμα. Σημαντικό είναι επίσης, ότι στις εισόδους του κυττάρου υπάρχει εγκατεστημένο ειδικό σύστημα, το οποίο έχει τη δυνατότητα ανίχνευσης τοξικών και ραδιενεργών υλικών.



Εικόνα: Η ευρύτερη περιοχή με τους ΧΥΤΑ Φυλής & Α. Λιοσίων

Το έργο έγινε σε δύο φάσεις, καθώς πρώτα έγινε ο ΧΥΤΑ Φυλής 2, ο οποίος πλέον έχει κλείσει και δεν δέχεται άλλα απορρίμματα, και αργότερα κατασκευάστηκε ο ΧΥΤΑ Φυλής 1 ο οποίος λειτουργεί μέχρι σήμερα. Το συγκεκριμένο έργο αποτέλεσε ουσιαστικά την αρχή από μια σειρά ενεργειών που θα ακολουθήσουν έτσι ώστε να εναρμονιστεί και η χώρα μας με τους νέους κανονισμούς που επιβάλλει η Ευρωπαϊκή Ένωση πάνω στη διαχείριση και την έξυπνη εκμετάλλευση των απορριμμάτων.

Έτσι, δίπλα από τα φορτηγά που ξεφορτώνουν στο νέο ΧΥΤΑ τα σκουπίδια του Λεκανοπεδίου, τους εκατοντάδες γλάρους που αναζητούν τροφή και τους εργάτες που δουλεύουν στην περιοχή, βρίσκεται εργοστάσιο και μονάδες επεξεργασίας και ανακύκλωσης απορριμμάτων, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αποτέφρωσης επικίνδυνων νοσοκομειακών αποβλήτων. Για την ώρα εμφανίζεται ένα αστικό τοπίο

που το συνθέτουν όλες οι αντιφάσεις αλλά και οι δυνατότητες της σύγχρονης ελληνικής μητρόπολης. Το άλλοτε φρικτό τοπίο της χωματερής εμφανίζεται μεταμορφωμένο, αλλά ημιτελές. Δίπλα του αναπτύσσεται ένας νέος, εκσυγχρονισμένος ΧΥΤΑ, έργο ιδιαίτερης σημασίας για τις ανάγκες της πόλης, που όμως σηματοδοτεί αρνητικά την γύρω περιοχή.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟ ΧΥΤΑ - ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

2.2.1 Ιστορικά

Η αναερόβια χώνευση είναι μια μέθοδος που συναντάται ήδη από το 6.500π.Χ. για τον καθαρισμό και τη διαχείριση των απόνερων. Η πρώτη, όμως, ιστορική μαρτυρία χρήσης της αναερόβιας χώνευσης για παραγωγή ενέργειας απαντάται στην Ασσυρία το 10π.Χ. όπου την ενέργεια που παρήγαγαν τη χρησιμοποιούσαν για τη θέρμανση των λουτρών. Πολύ αργότερα, το 1764, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος ισχυρίστηκε ότι μπορούσε να βάλει φωτιά σε μία μεγάλη επιφάνεια ρηχής λασπώδους λίμνης στο Νιου Τζέρσεϋ των Η.Π.Α., ενώ το 1776, στην Ιταλία, ο Αλεξάντερ Βόλτα ήταν ο πρώτος που περιέγραψε επιστημονικά το σχηματισμό του βιοαερίου σε έλη και σε ιζήματα λιμνών. Τέλος, ο Buswell χρησιμοποίησε το 1936 ζωικά απόβλητα, σε συνδυασμό με διάφορα άλλα οργανικά απόβλητα, για την παραγωγή βιοαερίου. Γι αυτό το λόγο ο Buswell θεωρείται σήμερα ο πατέρας της αναερόβιας χώνευσης.

2.2.2 Περιγραφή των βιολογικών διεργασιών

Με τον όρο αναερόβια χώνευση εννοούμε τη βιολογική διεργασία κατά την οποία ο οργανικός άνθρακας μέσω διαδοχικών οξειδώσεων και αναγωγών μετατρέπεται στην πιο οξειδωμένη (CO_2) και την πιο ανηγμένη του μορφή (CH_4) υπό την καταλυτική δράση ενός ευρέως φάσματος μικροοργανισμών σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Το προϊόν αυτής της διεργασίας είναι ένα μίγμα αερίων που ονομάζεται βιοαέριο και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο και σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις υδρογόνο, αμμωνία, υδρόθειο και πολλά άλλα αέρια.

Πιο συγκεκριμένα, μελετώντας τις βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα από τη στιγμή της εναπόθεσης των απορριμμάτων, μπορούμε να διακρίνουμε πέντε διαδοχικές φάσεις.

Η αρχική φάση, η οποία είναι φάση προσαρμογής, σχετίζεται με την αρχική τοποθέτηση των στερεών απορριμμάτων και τη συγκέντρωση υγρασίας μέσα στο ΧΥΤΑ. Παρατηρείται μια περίοδος εγκλιματισμού η οποία διαρκεί από μερικές μέρες

μέχρι εβδομάδες έως ότου αναπτυχθούν ικανά επίπεδα υγρασίας για την υποστήριξη μιας μικροβιακής κοινότητας. Η φάση αυτή είναι αερόβια και το οξυγόνο προέρχεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα που εγκλωβίζεται στα διάκενα των απορριμμάτων κατά την εναπόθεσή τους. Κατά τη φάση αυτή συμβαίνουν διάφορες μεταβολές στα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του κελιού, προκειμένου να δημιουργηθούν ευνοϊκές συνθήκες για τη βιοχημική αποσύνθεση των απορριμμάτων.

Η δεύτερη φάση είναι μία μεταβατική φάση καθώς η ποσότητα οξυγόνου του κελιού αρχίζει να μειώνεται και γίνεται μετάβαση από αερόβιο περιβάλλον σε αναερόβιο, σαν αποτέλεσμα της κατανάλωσης του οξυγόνου από τα αερόβια βακτήρια. Τα μέλη της μικροβιακής κοινότητας που είναι υπεύθυνα για τη μετατροπή του οργανικού υλικού των απορριμμάτων σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα ξεκινούν μία διαδικασία τριών βημάτων με μετατροπή των πολύπλοκων οργανικών ενώσεων σε απλούστερες, όπως οργανικά οξέα και ενδιάμεσα παράγωγα. Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα στη διεπιφάνεια μεταξύ στερεού οργανικού υλικού (απορρίμματα) και νερού (είτε ελεύθερο είτε σαν υγρασία). Το στερεό υπόστρωμα των απορριμμάτων αποτελεί την τροφή του μικροβιακού πληθυσμού που ζει στην υδατική φάση.

Στην επόμενη φάση, η οποία ονομάζεται και όξινη, συνεχίζονται οι διεργασίες που περιγράφηκαν προηγουμένως, έχοντας εισέλθει πλέον στη διαδικασία των τριών βημάτων μέχρι τη μεθανογένεση. Το πρώτο βήμα στη διαδικασία αυτή, περιλαμβάνει τον χημικής ή ενζυμικής δράσης μετασχηματισμό (υδρόλυση) των μεγαλομοριακών ενώσεων σε ενώσεις κατάλληλες για κατανάλωση από μικροοργανισμούς ως πηγή ενέργειας και κυτταρικού άνθρακα, όπως είναι τα λιπαρά οξέα, σάκχαρα, αμινοξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία και υδρογόνο. Οι μικροοργανισμοί που σχετίζονται με αυτές τις μετατροπές περιγράφονται σαν μη μεθανογενείς, αποτελούμενοι από αναερόβια βακτήρια, όπως βάκχυλοι, τα κλοστρίδια και τα εντεροβακτήρια.

Κατά το δεύτερο βήμα της διαδικασίας συμβαίνει η οξυγένεση, δηλαδή ο μετασχηματισμός, από μικροοργανισμούς γνωστούς ως οξυγενή βακτήρια, των προϊόντων του πρώτου βήματος σε ενδιάμεσα προϊόντα, κυρίως οξικό οξύ και μικρές συγκεντρώσεις φουλβικών και άλλων πολύπλοκων οξέων. Η διαδικασία αυτή ελέγχεται από την μερική πίεση του υδρογόνου καθώς οι οργανισμοί έχουν να καταλύσουν ενδόθερμες αντιδράσεις κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες σε pH γύρω στο 7. Η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα φτάνει σε πολύ υψηλά ποσοστά (90%), ενώ παράγονται μικρότερες ποσότητες αέριου υδρογόνου. Η μετατροπή των ενδιάμεσων προϊόντων (γαλακτικό οξύ, μεθανόλη) σε απλούστερες ενώσεις, όπως το οξικό οξύ και το διοξείδιο του άνθρακα, που αποτελούν και το πρωταρχικό υπόστρωμα των οξυγενών βακτηρίων, είναι θερμοδυναμικά δυνατή μόνο σε πολύ

χαμηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου. Γι' αυτό και τα οξυγενή βακτήρια λειτουργούν συντροφικά με βακτήρια που καταναλώνουν υδρογόνο.

Κατ' αυτόν τον τρόπο μεταβαίνουμε στην τέταρτη φάση στην οποία και λαμβάνει χώρα το τρίτο βήμα της προαναφερθείσας διαδικασίας. Πρόκειται για αναερόβια, μεθανογενή φάση όπου μία δεύτερη ομάδα μικροοργανισμών γίνεται επικρατέστερη και μετατρέπει το οξικό οξύ και το υδρογόνο σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Ο σχηματισμός του μεθανίου αποτελεί το τρίτο βήμα της διαδικασίας των τριών βημάτων και ονομάζεται μεθανογένεση. Τα βακτήρια που είναι υπεύθυνα γι' αυτό το μετασχηματισμό, είναι αυστηρά αναερόβια και καλούνται μεθανογενή. Στη φάση αυτή, η παραγωγή του μεθανίου και των οξέων προχωράει ταυτόχρονα, παρά το ότι ο ρυθμός παραγωγής οξέων μειώνεται δραστικά.

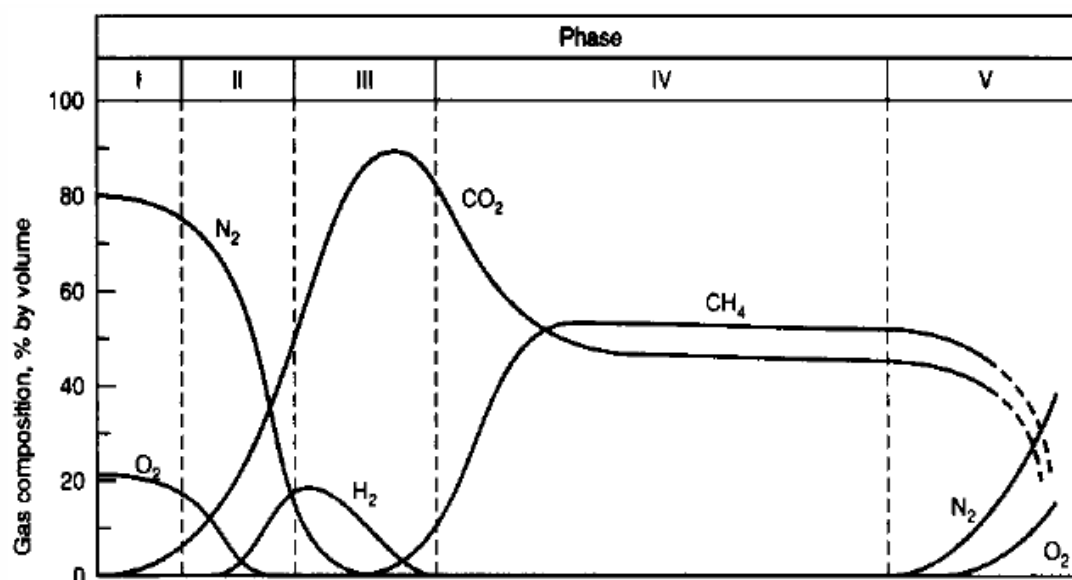
Τέλος, η πέμπτη φάση είναι η ωρίμανση, η οποία έπεται της προηγούμενης μετατροπής των ευκόλως βιοδιασπώμενων οργανικών υλικών των απορριμμάτων σε διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Καθώς η υγρασία συνεχίζει να εξαπλώνεται μέσα στη μάζα των απορριμμάτων, τμήμα από τα βιοδιασπώμενα υλικά, που πριν δεν ήταν διαθέσιμα για αποδόμηση, πλέον αρχίζουν να αποδομούνται. Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου μειώνεται σημαντικά λόγω του ότι τα περισσότερα θρεπτικά συστατικά έχουν απομακρυνθεί με τα εκχυλίσματα κατά τη διάρκεια των προηγούμενων φάσεων και το υπόστρωμα που παραμένει στο ΧΥΤΑ είναι αργά βιοαποδομήσιμο. Ανάλογα με τον τρόπο κλεισίματος του κελιού, υπάρχει πιθανότητα, λόγω εισόδου ατμοσφαιρικού αέρα στο ΧΥΤΑ, να ανιχνευτούν μικρές ποσότητες αζώτου και οξυγόνου στο εκλυόμενο βιοαέριο.

2.2.3 Διάρκεια κάθε φάσης

Η διάρκεια κάθε φάσης εξαρτάται από την κατανομή και το βαθμό τεμαχισμού της οργανικής ύλης στο ΧΥΤΑ, τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, την υγρασία των απορριμμάτων, τη ροή υγρασίας μέσα στα απορρίμματα καθώς και το βαθμό της αρχικής συμπίεσής τους στη φάση της διάστροφης. Μεγάλη συμπίεση σημαίνει μειωμένο ρυθμό παραγωγής αερίων και άρα μεγαλύτερη διάρκεια της ενεργού ζωής. Γενικά, από τις τρεις κύριες ομάδες μικροοργανισμών που εμπλέκονται στην αναερόβια χώνευση (υδρολυτικά, οξυγενή, μεθανογενή), τα μεθανογενή είναι τα πιο αργά και ευαίσθητα σε ό,τι αφορά στις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες βελτιστοποιούν το μεταβολισμό τους. Έτσι η έμφαση για τη βελτιστοποίηση της αναερόβιας χώνευσης δίνεται στις συνθήκες εκείνες που βελτιώνουν το μεταβολισμό των μεθανογενών βακτηρίων.

Σε περίπτωση που οι συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την πορεία του τρίτου βήματος δεν είναι ευνοϊκές, παρατηρείται αδυναμία των μεθανογενών βακτηρίων να μεταβολίσουν το οξικό οξύ που παράγουν τα οξυγενή βακτήρια, τα οποία είναι και

πιο γρήγορα στο μεταβολισμό τους και λιγότερο ευαίσθητα στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Συνέπεια αυτού είναι η αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων με ταυτόχρονη πτώση της τιμής του pH, το οποίο και αναχαιτίζει τη μεθανογενή δράση (ξίνισμα). Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη και σύνθεση του παραγόμενου αερίου.



Σχήμα: Διαχρονική εξέλιξη και σύνθεση του παραγόμενου αερίου

Σε ενεργούς ΧΥΤΑ είναι φυσικό να υπάρχει ταυτόχρονα δραστηριότητα σε όλες τις παραπάνω φάσεις καθώς εισέρχονται συνεχώς νέα απόβλητα. Δηλαδή σε άλλα υλικά των απορριμμάτων εξελίσσεται η πρώτη φάση, σε άλλα η δεύτερη κ.ο.κ. Σε μερικά χρόνια μετά το 'κλείσιμο' επικρατούν αποκλειστικά οι αναερόβιες διαδικασίες μέχρις ότου διασπασθεί όλη η οργανική ύλη. Είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσεγγίσει κανείς αξιόπιστα το χρόνο πλήρους αδρανοποίησης. Ακόμα και δεκάδες χρόνια μετά το κλείσιμο, είναι πιθανό να παράγεται μεθάνιο, αν και σε πολύ μικρές ποσότητες.

2.3 BIOAΕΡΙΟ

2.3.1 Γενικά

Το ενδιαφέρον για την παραγωγή και χρήση βιοαερίου ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '70 σαν αποτέλεσμα των κρίσεων του πετρελαίου. Το βιοαέριο είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας και παράγεται από τη διαδικασία αναερόβιας χώνευσης που παρουσιάστηκε πιο πάνω. Η διαφορά του με τα ορυκτά καύσιμα είναι ότι αποτελεί μία 'καθαρή' μορφή ενέργειας. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται κατά την καύση του

βιοαερίου είναι ισοδύναμο αυτών που απορροφώνται κατά την παραγωγή του, άρα δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα.

Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (40-70%) και διοξείδιο του άνθρακα (30-60%). Επίσης, περιέχει άζωτο καθώς και μικρές ποσότητες άλλων αερίων, όπως οξυγόνο, υδρογόνο, αμμωνία κ.ά., η δε θερμογόνο δύναμή του κυμαίνεται από 15 έως 25 MJ/m³.

2.3.2 Χρήσεις του βιοαερίου

Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών όπως είναι η παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού και εδαφοβελτιωτικών λιπασμάτων, ενώ μετά την επεξεργασία και την αναβάθμισή του μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί ακόμα και ως καύσιμο μεταφορών.

Πιο συγκεκριμένα, η παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης σε λέβητες ή καυστήρες είναι ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου. Μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας είτε επί τόπου είτε να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Για τις εφαρμογές αυτές το βιοαέριο πρέπει να συμπυκνωθεί και να αφαιρεθούν τυχόν σωματίδια προτού συμπιεστεί, ψυχθεί και αφυδατωθεί.

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι τυπική εφαρμογή σε αναπτυγμένες χώρες καθώς αποτελεί μία πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου. Το βιοαέριο σε αυτή την περίπτωση στραγγίζεται και ξηραίνεται. Μία μονάδα συμπαραγωγής που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης, μπορεί να έχει απόδοση έως και 90% εκ των οποίων το 35% περίπου είναι ηλεκτρική ενέργεια και το 55% θερμότητα. Η ηλεκτρική ενέργεια, σε περίπτωση που δεν διοχετευθεί στο δίκτυο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ιδιοκατανάλωση του συγκροτήματος ενώ η θερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί σε βιομηχανικές διεργασίες, γεωργικές δραστηριότητες καθώς και στη θέρμανση κτιρίων. Ο πιο κατάλληλος χρήστης είναι η βιομηχανία δεδομένου ότι η ζήτηση είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Πέραν αυτών, νέοι ορίζοντες ανοίγονται στη χρήση του βιοαερίου τα τελευταία χρόνια στον τομέα των μεταφορών ως καύσιμο των οχημάτων. Σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, όπως είναι η Σουηδία, η Ελβετία, η Γαλλία και η Γερμανία, αξιοποιείται το βιοαέριο στις μεταφορές.



Εικόνα: Χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο οχημάτων

Για να είναι εφικτό, όμως, αυτό θα πρέπει πρώτα το βιοαέριο να ‘καθαριστεί’, δηλαδή να απομακρυνθούν τα σωματίδια H_2S , NH_3 , H_2O , καθώς και να ‘αναβαθμιστεί’, δηλαδή να απομακρυνθεί το CO_2 . Το βιοαέριο θα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 85% μεθάνιο και 14% άζωτο. Αυτή είναι η ελάχιστη αποδεκτή ποιότητα βιοαερίου έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε οχήματα.

Το αναβαθμισμένο βιοαέριο θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα. Παράλληλα, η χρήση του έναντι της βενζίνης ή του ντίζελ έχει το πλεονέκτημα των σημαντικά μειωμένων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, σωματιδίων και αιθάλης, ενώ αξιοσημείωτη μείωση παρατηρείται και στις εκπομπές των NO_x .

Επιπρόσθετα, το αναβαθμισμένο βιοαέριο μπορεί να εγχυθεί και να διανεμηθεί μέσω του δικτύου φυσικού αερίου αφού έχει συμπιεστεί στην πίεση των αγωγών. Σύμφωνα με κανονισμό της Ε.Ε., η πρόσβαση στο δίκτυο του φυσικού αερίου είναι εγγυημένη για όλους τους προμηθευτές βιοαερίου. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς μέσω του δικτύου συνδέεται η περιοχή παραγωγής του βιοαερίου, που συνήθως είναι απομακρυσμένη, με τις πυκνοκατοικημένες περιοχές στις οποίες βρίσκονται και οι περισσότεροι τελικοί χρήστες. Η τεχνολογία αυτή όμως είναι αρκετά νέα και επιδέχεται περαιτέρω ανάπτυξη. Είναι χαρακτηριστικό ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε χώρες με μεγάλη εμπειρία σε θέματα βιοαερίου, όπως είναι η Γερμανία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΤΛΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η άντληση του βιοαερίου γίνεται αφότου έχει τελειώσει η διαδικασία απόρριψης των σκουπιδιών σε ένα ΧΥΤΑ. Υπάρχει ένας προβλεπόμενος όγκος απορριμμάτων για κάθε χώρο και όταν αυτός συμπληρώνεται, ο ΧΥΤΑ κλείνει. Όταν ολοκληρωθεί η χρήση του χώρου τότε διενεργούνται οι κατάλληλες εργασίες έτσι ώστε να προστατευθεί το περιβάλλον από μελλοντικές δυσάρεστες επιπτώσεις.

Όσον αφορά στην περιοχή των Άνω Λιοσίων και της Φυλής, η άντληση του βιοαερίου γίνεται από μία πολύ μεγάλη έκταση η οποία αποτελείται από το Χώρο Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΔΑ) και τους ΧΥΤΑ 1 και 2 των Άνω Λιοσίων καθώς και την αρχική φάση του ΧΥΤΑ Φυλής. Σε όλους αυτούς τους χώρους έχει σταματήσει η εναπόθεση απορριμμάτων, η οποία πλέον λαμβάνει χώρα μόνο στη νέα φάση του ΧΥΤΑ Φυλής.



Εικόνα: Διάθεση απορριμμάτων στο νέο ΧΥΤΑ Φυλής

3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Μετά την ολοκλήρωση της εναπόθεσης των απορριμμάτων, τοποθετούνται στρώσεις από διάφορα υλικά έτσι ώστε να στεγανοποιηθεί ο χώρος. Συγκεκριμένα, τα σκουπίδια, καλύπτονται από στρώσεις χώματος, χαλικιών και μιας ειδικής μεμβράνης πριν τοποθετηθεί το κατάλληλο χώμα στην επιφάνεια έτσι ώστε να είναι γόνιμο το έδαφος για τη δεντροφύτευση. Ο ρόλος της ειδικής μεμβράνης είναι να εμποδίζει το

βιοαέριο να εξέλθει στην επιφάνεια καθώς και να μην επιτρέπει στο οξυγόνο της ατμόσφαιρας να διεισδύσει προς το εσωτερικό του βουνού. Το οξυγόνο, όπως θα εξηγηθεί παρακάτω, είναι ανεπιθύμητο μέσα στο βιοαέριο.



Εικόνα: Στρώσεις χαλικιών και μεμβράνης πάνω από τα απορρίμματα

3.1.1 Κάθετα φρεάτια (πηγάδια)

Αφού στεγανοποιηθεί το βουνό, αρχίζει η διάνοιξη των κάθετων φρεατίων (πηγάδια) από τα οποία αντλείται το βιοαέριο. Τα πηγάδια τοποθετούνται σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να καλύπτουν όλο το βουνό και να επιτελείται η βέλτιστη άντληση του αερίου.

Αρχικά, με ένα γεωτρύπανο ανοίγεται τρύπα μέσα στο βουνό της οποίας το βάθος εξαρτάται από το ύψος των σκουπιδιών και συνήθως κυμαίνεται από 30 έως 40m. Ο σωλήνας ο οποίος τοποθετείται έχει μήκος 30m και μετά τα πρώτα 5m



Εικόνα: Σωλήνας πηγαδιού

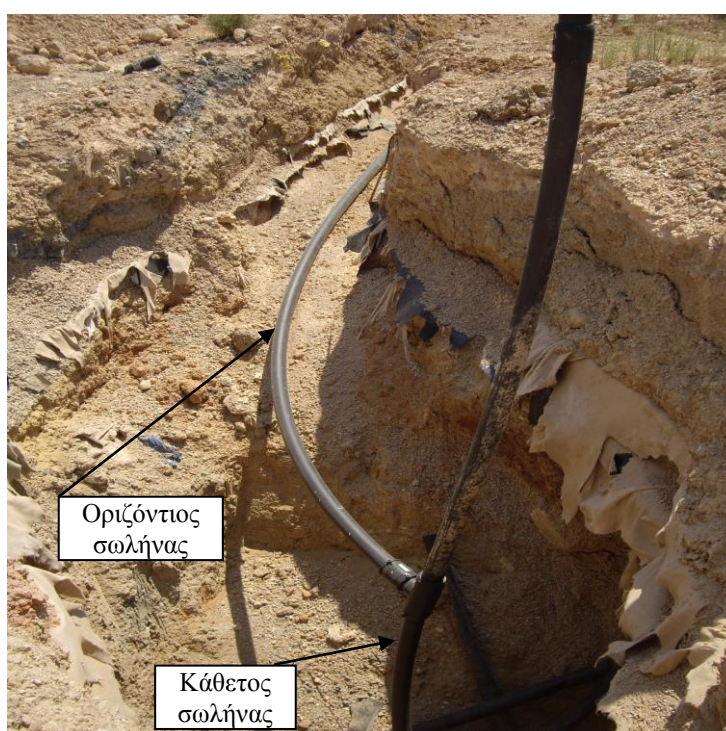
ανοίγονται μικρές οπές για να συλλέγεται το βιοαέριο, όπως φαίνεται στην εικόνα. Η διάμετρός του είναι 160mm ενώ χρησιμοποιούνται πιο σπάνια και σωλήνες διαμέτρου 90mm. Όλοι οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) για να αντέχουν στις υψηλές

θερμοκρασίες, στην ηλιακή ακτινοβολία και στις καταπονήσεις από τη διέλευση βαρέων οχημάτων και τις καθιζήσεις.

Αφού τοποθετηθεί ο σωλήνας, η υπόλοιπη τρύπα καλύπτεται από ειδικό μαύρο χαλίκι που φιλτράρει το αέριο καθώς και από χώμα. Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή του πηγαδιού, το μόνο που φαίνεται στην επιφάνεια είναι η άκρη του σωλήνα η οποία εξέχει περί το ένα μέτρο ώστε να μπορούμε να γνωρίζουμε που είναι το κάθε πηγάδι. Εντυπωσιακό είναι το κόστος κατασκευής ενός τέτοιου πηγαδιού καθώς ανέρχεται περίπου στα 12.000€.

3.1.2 Υποσταθμοί & τελικοί σταθμοί

Το κάθε πηγάδι ενώνεται με κάποιον υποσταθμό απ' όπου ελέγχεται η ροή του αερίου. Για να συνδεθεί το πηγάδι με τον υποσταθμό κατασκευάζεται υπόγειο οριζόντιο δίκτυο σωλήνων. Σε κάποιο σημείο δηλαδή του κάθετου σωλήνα, λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του βουνού, τοποθετείται μία διακλάδωση τύπου T για να συνδεθεί ο οριζόντιος σωλήνας.



Εικόνα: Σύνδεση πηγαδιού με οριζόντιο δίκτυο

Στον κάθε υποσταθμό καταλήγουν τα γειτονικά πηγάδια και από εκεί μπορεί να μετρηθεί και να ελεγχθεί η ποσότητα και η ποιότητα του παραγόμενου αερίου. Οι μετρήσεις γίνονται από ειδικούς τεχνικούς οι οποίοι χρησιμοποιούν κατάλληλα όργανα μέτρησης. Το κάθε πηγάδι καταλήγει σε συγκεκριμένο σημείο του υποσταθμού έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης εποπτεία και γνώση της κατάστασης όλων των πηγαδιών.

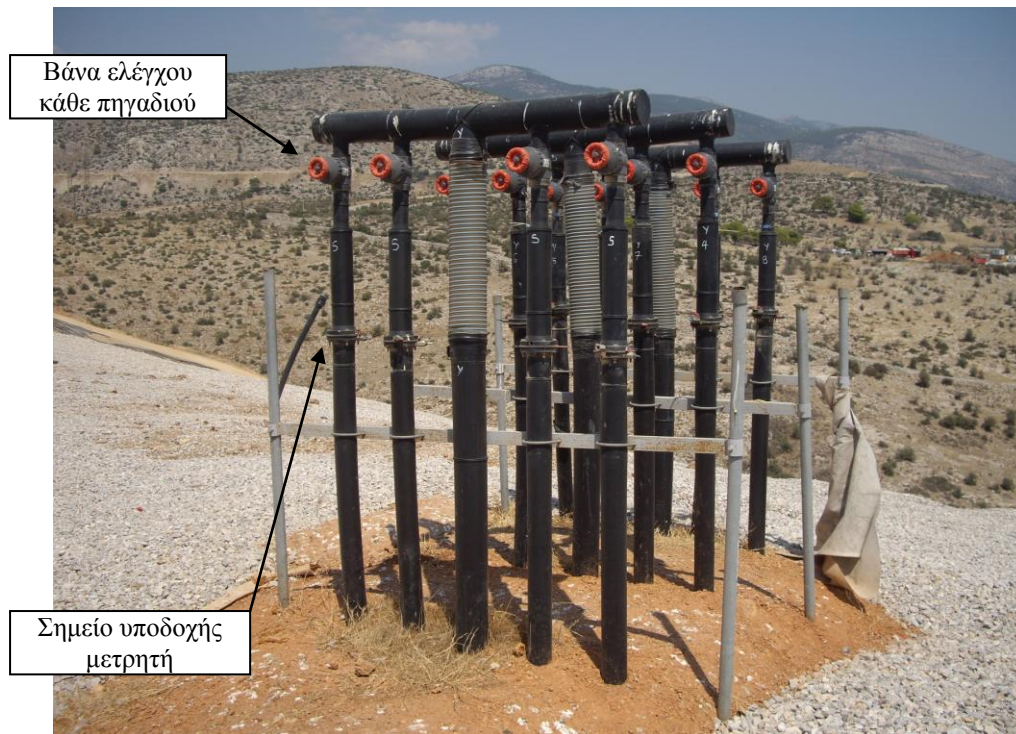
Ο έλεγχος της ροής των πηγαδιών γίνεται στον αντίστοιχο υποσταθμό και πιο συγκεκριμένα στο σωλήνα που αντιστοιχεί στο κάθε πηγάδι. Χρησιμοποιώντας κατάλληλα όργανα μετράται η διαφορά πίεσης πριν και μετά το πηγάδι η οποία είναι υπεύθυνη για τη ροή του βιοαερίου. Τα όργανα αυτά είναι αναλογικά και τοποθετούνται σε ειδικές οπές του σωλήνα. Τελευταία, χρησιμοποιούνται και ψηφιακά όργανα μέτρησης που βοηθούν στην ακριβέστερη ρύθμιση. Ανάλογα με το αν η διαφορά πίεσης είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την επιθυμητή, ο τεχνικός ανοίγει ή κλείνει κατάλληλα τη βάνα κάθε πηγαδιού ώστε να προκύψει η σωστή ροή.

Πέραν του ελέγχου της ροής, γίνεται και έλεγχος της ποιότητας του βιοαερίου. Κατάλληλο όργανο τοποθετείται στον κεντρικό σωλήνα που εγκαταλείπει τον υποσταθμό και μετράει την περιεκτικότητα σε μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι στο σημείο όπου γίνονται οι μετρήσεις διαφοράς πίεσης (φαίνεται στην παρακάτω εικόνα), υπάρχει εσωτερικά του σωλήνα μία στένωση της διατομής του. Αυτή η στένωση είναι ουσιαστικά ένα πρόσθετο εξάρτημα που τοποθετείται μέσα στο σωλήνα και μειώνει τη διατομή του, και άρα και την παροχή βιοαερίου, στο 20% της αρχικής. Ο λόγος ύπαρξης αυτού του λαιμού είναι για να μειώνεται και να περιορίζεται η ανεξέλεγκτη ροή του βιοαερίου έτσι ώστε να διασφαλίζεται η μακροχρόνια παραγωγή βιοαερίου από το βουνό.

Εύλογα προκύπτει η απορία γιατί να μην γινόταν εξ αρχής χρήση μικρότερων σε διάμετρο σωλήνων. Ο λόγος είναι ότι σωλήνες μικρότερης διαμέτρου έχουν πολύ μικρότερη αντοχή σε καταπονήσεις και δεν θα άντεχαν σε ανάλογες συνθήκες. Πέραν αυτού, τέτοιοι σωλήνες θα είχαν προφανώς λιγότερη διαθέσιμη επιφάνεια στην περιφέρεια τους για να ανοιχτούν οι οπές που συλλέγουν το βιοαέριο. Παράλληλα, τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων όταν πλημμυρίσει το πηγάδι (θα εξηγηθεί παρακάτω), είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα για σωλήνες με συγκεκριμένη διάμετρο, η οποία είναι και η χρησιμοποιούμενη. Συνεπώς, δεν είναι εφικτό να τοποθετηθούν σωλήνες μικρότερης διαμέτρου και έτσι η χρήση της στένωσης για τον περιορισμό της ροής αποτελεί τη μόνη εφικτή λύση.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ένας υποσταθμός βιοαερίου. Στον συγκεκριμένο υποσταθμό καταλήγουν 12 πηγάδια. Κάθε ένας κατακόρυφος σωλήνας που φαίνεται στην εικόνα αντιστοιχεί σε ένα πηγάδι. Οι τρεις μεσαίοι σωλήνες (με το πλαστικό συστολής-διαστολής) συγκεντρώνουν το βιοαέριο από τους υπόλοιπους και το οδηγούν προς μία κεντρική βάνα που ελέγχει όλο τον υποσταθμό.



Εικόνα: Υποσταθμός βιοαερίου

Από τον κάθε υποσταθμό το βιοαέριο οδηγείται στους κεντρικούς σταθμούς οι οποίοι αποτελούν και τα τελικά σημεία ελέγχου πριν εισέλθει στην εταιρία για να αξιοποιηθεί. Για τη μεταφορά αυτή χρησιμοποιούνται σωλήνες διαμέτρου 500mm. Οι σταθμοί αυτοί αποτελούνται ουσιαστικά από μία βάνα ελέγχου, ενώ υπάρχει και μία υποδοχή πάνω στο σωλήνα για τα όργανα μέτρησης της παροχής και της ποιότητας του.

Συνολικά, σε όλη την περιοχή αξιοποίησης του βιοαερίου έχουν δημιουργηθεί μέχρι στιγμής 681 πηγάδια. Ο αριθμός αυτός ολοένα και αυξάνει καθώς συνεχώς τίθενται προς αξιοποίηση καινούριοι χώροι στην ευρύτερη περιοχή. Αυτά τα πηγάδια συγκεντρώνονται σε 57 υποσταθμούς. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν 23 υποσταθμοί στο ΧΔΑ, 9 στο ΧΥΤΑ 1 Άνω Λιοσίων, 14 στο ΧΥΤΑ 2 Άνω Λιοσίων και 11 στο ΧΥΤΑ Φυλής. Όλοι αυτοί οι υποσταθμοί, με τη σειρά τους, καταλήγουν σε 8 τελικούς σταθμούς, εκ των οποίων τρεις αφορούν το ΧΔΑ, δύο το ΧΥΤΑ 1, δύο το ΧΥΤΑ 2 και ένας το ΧΥΤΑ Φυλής.

3.2 ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.2.1 Περιορισμοί στην άντληση βιοαερίου

Η άντληση του βιοαερίου δεν μπορεί να γίνεται αλόγιστα και χωρίς περιορισμούς αλλά πρέπει να γίνεται σε 'συνεργασία' με τις ανάγκες του βουνού. Δεν είναι δυνατόν, δηλαδή, να αναρροφούμε όση ποσότητα επιθυμούμε καθώς σε

περίπτωση υπερβολικού ρυθμού κατανάλωσης βιοαερίου, τα μεσόφιλα βακτήρια που είναι υπεύθυνα για τη μεθανογένεση θα καταστραφούν με αποτέλεσμα να ‘νεκρώσει’ το βουνό και να πάψει να παράγει βιοαέριο. Η ορθή χρήση του βουνού ρυθμίζεται από τα επίπεδα της υποπίεσης που δημιουργούν οι αντλίες και σκοπό έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του βιοαερίου επί μακρόν.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης θα μπορούσαν να παράγουν περισσότερη ενέργεια αν αναρροφούσαν περισσότερο καύσιμο. Οι διαχειριστές όμως της εταιρίας, αποφεύγουν να επιβαρύνουν την άντληση του βιοαερίου, λειτουργώντας τις μηχανές σε μερικό φορτίο έτσι ώστε να είναι διαθέσιμο το βιοαέριο για πολλά χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ. Σε αυτό συντελεί και η επέμβαση, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, στους σωλήνες που μεταφέρουν το βιοαέριο, τοποθετώντας κατάλληλη στένωση ούτως ώστε να εμποδίζεται η ανεξέλεγκτη ροή του αερίου.

3.2.2 Επίδραση του χρόνου στην παραγωγή του βιοαερίου

Η ποιότητα καθώς και η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου επηρεάζονται άμεσα από την παλαιότητα του χώρου εναπόθεσης των απορριμμάτων. Όσο πιο καινούριος είναι ένας χώρος, δηλαδή όσο πιο πρόσφατα έχει ξεκινήσει η αξιοποίηση του, τόσο πλουσιότερο είναι το βιοαέριο που παράγεται. Αντίθετα, το βιοαέριο είναι φτωχότερο όταν προέρχεται από χώρους τους οποίους τους αξιοποιούμε εδώ και πολλά χρόνια.

Είναι χαρακτηριστικό ότι παρατηρούνται πολύ μεγάλες διαφορές μεταξύ του βιοαερίου που παράγεται από το ΧΥΤΑ Φυλής, ο οποίος αξιοποιείται τον τελευταίο καιρό, με το βιοαέριο που παράγεται από το ΧΔΑ ο οποίος χρησιμοποιείται εδώ και περίπου 10 χρόνια. Ενδεικτικά, στα περισσότερα πηγάδια του ΧΥΤΑ Φυλής η σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου είναι ιδανική για τη λειτουργία των μηχανών καθώς το μεθάνιο μπορεί να ξεπερνάει το 60%, το διοξείδιο του άνθρακα να είναι λιγότερο από 40% και οι συγκεντρώσεις του οξυγόνου να είναι μηδενικές.

Αντίθετα, σε μετρήσεις που γίνονται σε πηγάδια του ΧΔΑ, το μεθάνιο μπορεί να φτάσει και το 25%, τη στιγμή που τα ποσοστά του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου είναι αυξημένα. Το οξυγόνο, αλλά και το διοξείδιο του άνθρακα όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις, είναι ανεπιθύμητα καθώς μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές καταστροφές στις μηχανές. Γι’ αυτό το λόγο, σε αρκετά πηγάδια του ΧΔΑ που πλέον παράγουν εξαιρετικά φτωχό βιοαέριο, έχουν κλείσει οι στρόφιγγες έτσι ώστε να μη φτάνει αυτό το αέριο, με την επικίνδυνη σύσταση, στις μηχανές.

3.2.3 Αναγέννηση πηγαδιού εναποθέτοντας στραγγίσματα

Τον τελευταίο καιρό χρησιμοποιείται μία πρωτοποριακή μέθοδος για την αναγέννηση πηγαδιών τα οποία έχουν πάψει να παράγουν ικανοποιητική ποσότητα και ποιότητα βιοαερίου. Μέρος των στραγγισμάτων που παράγονται από την εναπόθεση των απορριμμάτων, αντί να οδηγηθεί στο βιολογικό καθαρισμό, επανατοποθετείται στη γειτονική περιοχή του πηγαδιού που έχει 'νεκρώσει'. Καθώς τα στραγγίσματα αυτά περιέχουν διάφορους μικροοργανισμούς και βακτήρια, όταν εναποτίθενται πάλι στο βουνό, ανανεώνουν τη μεθανογένεση και παράγεται εκ νέου αξιοποιήσιμο βιοαέριο. Για να γίνουν εμφανή τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής χρειάζονται περίπου 6 μήνες από τη στιγμή της τοποθέτησης των στραγγισμάτων.

Όπως αντιλαμβάνεται κανείς, η μέθοδος αυτή είναι αρκετά σημαντική καθώς τα στραγγίσματα, τα οποία οδηγούνταν αναξιοποίητα στο βιολογικό καθαρισμό, πλέον παράγουν και αυτά έργο. Είναι σημαντικό όμως η εφαρμογή της μεθόδου να γίνεται με πολύ προσοχή και συνέπεια. Ενδεχόμενη επαναχρησιμοποίηση υπερβολικής ποσότητας στραγγισμάτων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κορεσμού στο δίκτυο συλλογής του ΧΥΤΑ, καθώς ο χώρος είναι σχεδιασμένος να δέχεται και να διαχειρίζεται συγκεκριμένη ποσότητα αποβλήτων.

3.2.4 Βιοαέριο από τα στραγγίσματα

Πέραν της παραπάνω πολύ ενδιαφέρουσας χρήσης των στραγγισμάτων, έχει παρατηρηθεί πως βιοαέριο απελευθερώνεται ακόμα και από τα στραγγίσματα. Από μετρήσεις που έχουν γίνει στα στραγγίσματα καθώς αυτά παράγονται στο βουνό και οδηγούνται στο βιολογικό καθαρισμό, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει έκλυση βιοαερίου με πολύ καλή σύσταση.

Για να συμβεί όμως αυτό, θα πρέπει τα παραγόμενα στραγγίσματα να προέρχονται από χώρους ταφής απορριμμάτων που αξιοποιούνται για μικρό χρονικό διάστημα. Θα πρέπει, δηλαδή, ο χώρος προέλευσης τους να είναι καινούριος. Στην προκειμένη περίπτωση, μόνο τα στραγγίσματα από το ΧΥΤΑ Φυλής μπορούν να αξιοποιηθούν κατά αυτόν τον τρόπο.

Έχει μετρηθεί ότι από τα στραγγίσματα της Φυλής εκλύεται βιοαέριο με περιεκτικότητα σε μεθάνιο περίπου 60%, το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την παραγωγή ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο έχουν ήδη τοποθετηθεί διάτρητες σωλήνες κατά μήκος των καναλιών διέλευσης των στραγγισμάτων της Φυλής ώστε να δεσμεύεται το παραγόμενο βιοαέριο.

3.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.3.1 Οξυγόνο στο δίκτυο

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το οξυγόνο είναι εξαιρετικά επικίνδυνο για τη λειτουργία των μηχανών. Συγκεντρώσεις σε οξυγόνο πάνω από 2,5% είναι απαγορευτικές και γι' αυτό το λόγο λαμβάνονται πολλά μέτρα για την προστασία και τη στεγανότητα του δικτύου από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Σε τυχόν επισκευές όμως του δικτύου, το σύστημα των σωλήνων παύει να είναι κλειστό και αναπόφευκτα εισέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας. Σε αυτή την περίπτωση, κλείνουν οι βάνες του συγκεκριμένου τμήματος έτσι ώστε να μην επιτραπεί στο οξυγόνο να διαρρεύσει σε όλο το δίκτυο. Στο τμήμα στο οποίο γίνεται η επισκευή, όμως, έχει εισρεύσει ατμοσφαιρικός αέρας και τα ποσοστά οξυγόνου είναι αυξημένα. Έτσι, στην επαναλειτουργία του τμήματος αυτού, γίνεται προσεκτικά η επανασύνδεσή του με το δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, οι μηχανικοί ανοίγουν σταδιακά τις βάνες και ελέγχουν αν το εισερχόμενο οξυγόνο που προέρχεται από το τμήμα της επισκευής, κάνει την εμφάνισή του στους μετρητές των μηχανών. Υπάρχει το ενδεχόμενο, ιδίως αν έχει εισέλθει μικρή ποσότητα, να διασκορπιστεί σε όλο το σύστημα σωλήνων και να μην επηρεάσει αρνητικά τις μηχανές. Στην περίπτωση όμως που ανέβουν επικίνδυνα τα ποσοστά του στις μηχανές, τότε κλείνουν και πάλι οι στρόφιγγες και λαμβάνουν δράση οι πυρσοί καύσης οι οποίοι θα κάψουν όλο το βιοαέριο με την περίσσεια οξυγόνου έτσι ώστε να επανέλθει το σύστημα στη φυσιολογική του κατάσταση.



Εικόνα: Πυρσοί καύσης στο ΧΥΤΑ Φυλής

Οι πυρσοί καύσης είναι γενικά εκτός λειτουργίας και τίθενται σε λειτουργία μόνο σε αυτές τις ακραίες περιπτώσεις. Υπάρχουν τρεις πυρσοί καύσης στη μονάδα παραγωγής ενέργειας, δίπλα στις μηχανές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται αν προκύψει κάποιο πρόβλημα στο ΧΔΑ και στους ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων.

Τελευταία κατασκευάστηκαν δύο ακόμα πυρσοί καύσης, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, στο νέο τμήμα του ΧΥΤΑ Φυλής. Ο λόγος που τοποθετήθηκαν εκεί οι πυρσοί είναι ότι ο χώρος της Φυλής είναι πολύ κοντά στη μονάδα παραγωγής ενέργειας και σε περίπτωση που διαρρεύσει οξυγόνο, δεν θα προλάβει να διασκορπιστεί πρώτα σε όλο το δίκτυο, αλλά θα κατευθυνθεί απευθείας στις μηχανές. Για την αποφυγή αυτού του κινδύνου, κατασκευάστηκαν αυτοί οι δύο πυρσοί.

Ένας άλλος ρόλος του πυρσού καύσης είναι να καίει το πλεονάζον βιοαέριο που παράγεται. Εξαιτίας όμως της προσεκτικής διαχείρισης και αξιοποίησης του βουνού, τέτοιο πρόβλημα δεν έχει εμφανιστεί ποτέ. Ο μόνος λόγος για τον οποίο μπορεί να καεί το παραγόμενο βιοαέριο σε πυρσό, είναι αν αντιμετωπίσει πρόβλημα ο υποσταθμός της ΔΕΗ με αποτέλεσμα να αναγκαστούν να κλείσουν όλες οι μηχανές.

Πέραν από τους πυρσούς καύσης που αναφέρθηκαν, υπάρχει ακόμα ένας ο οποίος βρίσκεται στην περιοχή του ΧΔΑ. Ο συγκεκριμένος λειτουργούσε πολύ πριν την κατασκευή της μονάδας αξιοποίησης βιοαερίου. Είχε τοποθετηθεί εκεί από έναν ιδιώτη με σκοπό να καίει όλο το παραγόμενο βιοαέριο της χωματερής. Καθώς τότε δεν υπήρχε κάποια εκμετάλλευση του βιοαερίου, ο πυρσός συντελούσε οικολογικό έργο καθώς δεν άφηνε το εξαιρετικά επιβλαβές βιοαέριο να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Πλέον, αυτός ο πυρσός ουσιαστικά δεν χρησιμοποιείται.



Εικόνα: Πυρσός καύσης στο ΧΔΑ Α. Λιοσίων

3.3.2 Κάλυψη πηγαδιού με στραγγίσματα

Τα στραγγίσματα που παράγονται από την εναπόθεση των απορριμμάτων, ενδέχεται κάποια στιγμή να πλημμυρίσουν το πηγάδι από το οποίο αντλείται το βιοαέριο. Αν αμεληθεί ο έλεγχος του πηγαδιού, υπάρχει περίπτωση να συγκεντρωθεί τόσο μεγάλη ποσότητα στραγγισμάτων μέσα στο κάθετο φρεάτιο που να καλύψει όλες τις οπές του σωλήνα από τις οποίες αντλείται το βιοαέριο. Όταν συμβεί αυτό, το βιοαέριο δεν μπορεί πλέον να αναρροφηθεί και αχρηστεύεται έτσι όλο το πηγάδι. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι διαχειριστές του δικτύου χρησιμοποιούν ειδική αντλία η οποία αναρροφά όλο το υγρό μέσα από τον κάθετο σωλήνα ο οποίος επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

3.3.3 Καταστροφές σωληνώσεων

Πολύ σύνηθες είναι το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές του δικτύου με την καταστροφή σωλήνων. Η καταστροφή μπορεί να οφείλεται σε φυσικά αίτια είτε σε ανθρώπινη απροσεξία. Οι πιο συνήθεις καταστροφές μπορεί να είναι το σπάσιμο κάποιου σωλήνα ή κάποιο τσάκισμα που δεν επιτρέπει τη διέλευση του αερίου.

Οι συνεχείς καθιζήσεις που παρατηρούνται στο βουνό προκαλούν πολλά προβλήματα στις σωληνώσεις. Δεδομένου ότι η καθίζηση εξαρτάται από το είδος των σκουπιδιών που είναι θαμμένα σε κάθε σημείο του βουνού καθώς και από το ποσοστό συμπίεσής τους, είναι προφανές ότι δεν είναι δυνατόν να υπάρχει παντού ομοιόμορφη καθίζηση. Συνεπώς, προκαλούνται πολλές φθορές στους σωλήνες των πηγαδιών αλλά και του οριζόντιου δικτύου με συνέπεια να χρειάζονται επιδιόρθωση ή και αντικατάσταση ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Η παλαιότητα των σωλήνων μπορεί να οδηγήσει και αυτή σε προβλήματα ιδίως αν υπάρχει επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το μεγαλύτερο μέρος των σωληνώσεων όμως είναι κάτω από την επιφάνεια της γης, με συνέπεια ο κίνδυνος της ηλιακής ακτινοβολίας να αφορά μικρό τμήμα του δικτύου. Εξάλλου, το ειδικό πλαστικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες οι σωληνώσεις (HDPE), περιορίζει αρκετά τα προβλήματα που θα μπορούσε να προκαλέσει η παλαιότητά τους.

Τα σημαντικότερα και πιο συνήθη προβλήματα που προκαλούνται στους σωλήνες οφείλονται στην ανθρώπινη αμέλεια. Δεδομένου ότι στην περιοχή κυκλοφορούν πολλά βαρέα οχήματα, όπως απορριμματοφόρα, νταλίκες και μπουλντόζες, παρατηρούνται πολλές καταστροφές σωλήνων από τη διέλευση των οχημάτων αυτών. Σε περιπτώσεις, ιδίως, όπου υπάρχουν υπέργειες σωληνώσεις οι οποίες δεν είναι ευδιάκριτες, είναι πολύ πιθανό κάποιος οδηγός να μην τις προσέξει και να τις καταστρέψει.

Ο εντοπισμός του προβλήματος γίνεται με βάση τις ενδείξεις της πίεσης. Ο τεχνικός, πολλές φορές, δεν μπορεί να ξέρει αν το πρόβλημα οφείλεται στο πηγάδι ή στην οριζόντια σωλήνωση. Έτσι, χρησιμοποιεί τις ενδείξεις της πίεσης, που του παρέχουν τα ειδικά όργανα, σε σωλήνες που ενώνονται μεταξύ τους, ώστε να εντοπίσει το σημείο της φθοράς. Αν η επισκευή του σωλήνα δεν είναι εφικτή, υπάρχει και το ενδεχόμενο δημιουργίας νέου πηγαδιού με καινούριο οριζόντιο σωλήνα σύνδεσης με τον υποσταθμό, ακυρώνοντας έτσι την προηγούμενη κατασκευή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

4.1.1 Η εταιρία

Ο σταθμός συμπαραγωγής της ΒΕΑΛ ΑΕ (Βιοαέριο-Ενέργεια Άνω Λιοσίων) βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της χωματερής Άνω Λιοσίων και του ΧΥΤΑ Φυλής. Αποτελεί μία σύμπραξη της εταιρίας ΗΛΕΚΤΩΡ ΑΕ, που ανήκει στον όμιλο εταιριών Ελληνική Τεχνοδομική ΤΕΒ ΑΕ, και της αυστραλέζικης Energy Developments UK Ltd. Πρόκειται για ένα εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο το βιοαέριο. Το έργο αυτό, το οποίο λειτουργεί με την υποστήριξη του Ενιαίου Συνδέσμου Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.), υλοποιήθηκε σε δύο φάσεις. Η πρώτη έγινε στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας του Υπουργείου Ανάπτυξης (επιχορήγηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση κατά 40%) με έναρξη εμπορικής λειτουργίας το Μάρτιο του 2001. Η δεύτερη φάση που αφορά στην επέκταση του σταθμού συμπαραγωγής πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Ανταγωνιστικότητα" (επιχορήγηση κατά 45% από την Ευρωπαϊκή Ένωση) και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 2006.

Ειδικότερα, η πρώτη φάση κατασκευής του έργου κόστισε 19,4 εκ. ευρώ. Ο σταθμός αυτός, εγκατεστημένης ισχύος 13,8 MW, αποτελείται από 11 μονάδες γεννήτριας, ισχύος 1,255 MW η κάθε μία, οι οποίες βασίζονται στο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος DEUTZ TBG 620 V16 K. Οι μονάδες είναι πλήρως αυτόνομες, τοποθετημένες σε ξεχωριστά container και λειτουργούν, όπως όλος ο σταθμός, αδιάλειπτα 365 μέρες τον χρόνο.

Η δεύτερη φάση κόστισε 15,5 εκ. ευρώ. Η επέκταση στον σταθμό αποτελείται από 4 μονάδες γεννήτριας ισχύος 2,433 MW η κάθε μία, ενώ τοποθετήθηκαν ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη της General Electric Jenbacher (J620 GS). Οι μονάδες αυτές εγκαταστάθηκαν σε κτίριο και όχι σε container όπως είχε γίνει στην πρώτη φάση του έργου. Οι εργασίες κατασκευής, τόσο του σταθμού συμπαραγωγής, όσο και του δικτύου άντλησης του βιοαερίου εκτελέστηκαν από την ΗΛΕΚΤΩΡ ΑΕ και την Energy Developments.

Πρόσφατα, η εταιρία κατασκευής των νέων μηχανών εσωτερικής καύσης, Jenbacher, σε συνεργασία με τη ΒΕΑΛ ΑΕ, βελτίωσαν τη μία από τις 4 μονάδες των 2,43 MW με αποτέλεσμα πλέον το ονομαστικό της φορτίο να ανέρχεται στα 2,73 MW. Η αλλαγή αυτή ήταν αρχικά σε πειραματικό και ερευνητικό επίπεδο αλλά πλέον η μηχανή αυτή έχει συνδεθεί στο δίκτυο με τα νέα της χαρακτηριστικά.

Η λειτουργία του σταθμού είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και ελέγχεται μέσω κατάλληλων συνδέσεων από απόσταση για τη διάγνωση σφαλμάτων και αστοχιών του εξοπλισμού ενώ οι χειριστές του σταθμού συμπαραγωγής και της μονάδας επεξεργασίας στραγγισμάτων ανέρχονται σε 14 άτομα. Ο σταθμός συμπαραγωγής περιλαμβάνει ακόμη κτίρια διοίκησης, αποθήκες, μηχανουργείο και δύο κτίρια ΔΕΗ. Ο εξοπλισμός και τα κτίρια είναι εγκατεστημένα σε οικόπεδο επιφάνειας περίπου 4000 m².

4.1.2 Βιοαέριο

Όπως προανέφερα, η μονάδα αυτή λειτουργεί με καύσιμο το βιοαέριο. Το βιοαέριο βρίσκεται σε αέρια φάση και είναι το προϊόν του αναερόβιου μεταβολισμού από τη μικροβιολογική αποσύνθεση των εναποθημένων απορριμμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στη μάζα των απορριμμάτων μέσα σε ένα χώρο διάθεσης συμβαίνει πλήθος φυσικών και χημικών φαινομένων τα οποία αφορούν στην αποσύνθεση των απορριμμάτων και τη μετατροπή τους σε σταθερές χημικές ενώσεις. Μεταξύ άλλων, παρατηρείται και το φαινόμενο της μεθανογένεσης, δηλ. της δημιουργίας και εκπομπής βιοαερίου με βασικά συστατικά το μεθάνιο (CH₄) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Το βιοαέριο παράγεται με σχετικά σταθερό ρυθμό για περίοδο μεγαλύτερη των δέκα ετών, αν και σημαντικές συγκεντρώσεις μεθανίου έχουν μετρηθεί σε ΧΥΤΑ σαράντα και πλέον χρόνια αφότου έχουν κλείσει. Αναλυτική περιγραφή του τρόπου παραγωγής του βιοαερίου έχει γίνει στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Το αέριο αυτό είναι εξαιρετικά ρυπογόνο και επιβλαβές για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία καθώς το μεθάνιο είναι 21 φορές πιο δραστικό από το διοξείδιο του άνθρακα και έχει μεγάλη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Γι' αυτό το λόγο, στην εγκατάσταση, η οποία επιτελεί και οικολογικό έργο, έχουν τοποθετηθεί τρεις πυρσοί καύσης βιοαερίου δυναμικότητας 4.500, 1.000 και 500 m³/h. Ο κύριος λόγος ύπαρξής τους αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο αλλά, πέραν αυτού, τίθενται σε λειτουργία και όταν για οποιοδήποτε λόγο διακοπεί η δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στον υποσταθμό της ΔΕΗ και σταματήσουν έτσι να λειτουργούν οι μηχανές, γεγονός εξαιρετικά σπάνιο. Με αυτόν τον τρόπο αποτρέπουμε την εκπομπή του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα όταν αυτό δεν χρησιμοποιείται από το σταθμό.

Το 2006 μετρήθηκε η σύσταση του βιοαερίου του συγκεκριμένου ΧΥΤΑ και προέκυψε περιεκτικότητα σε μεθάνιο 47% , σε διοξείδιο του άνθρακα 33%, σε άζωτο 18%, σε οξυγόνο 1,5%, ενώ οι συγκεντρώσεις σε αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο, πεντάνιο, εξάνιο, υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα ήταν μικρότερες του 0,1%. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το συγκεκριμένο βιοαέριο περιέχει ασήμαντες έως και μηδενικές ποσότητες θείου σε οποιαδήποτε ένωση με συνέπεια να μην υπάρχει η

ανάγκη χρησιμοποίησης τεχνολογιών αποθείωσης, όπως συμβαίνει με άλλες μονάδες βιοαερίου. Μετρήθηκε επίσης και η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα του συγκεκριμένου βιοαερίου κατά DIN 51850 και βρέθηκε ίση με $16,92 \text{ MJ/m}^3$ ή $4,7 \text{ kWh/m}^3$. Σήμερα, η ποιότητα του βιοαερίου έχει βελτιωθεί και υπολογίζεται πως η συγκέντρωση σε μεθάνιο είναι πλέον 48 – 48,5%.

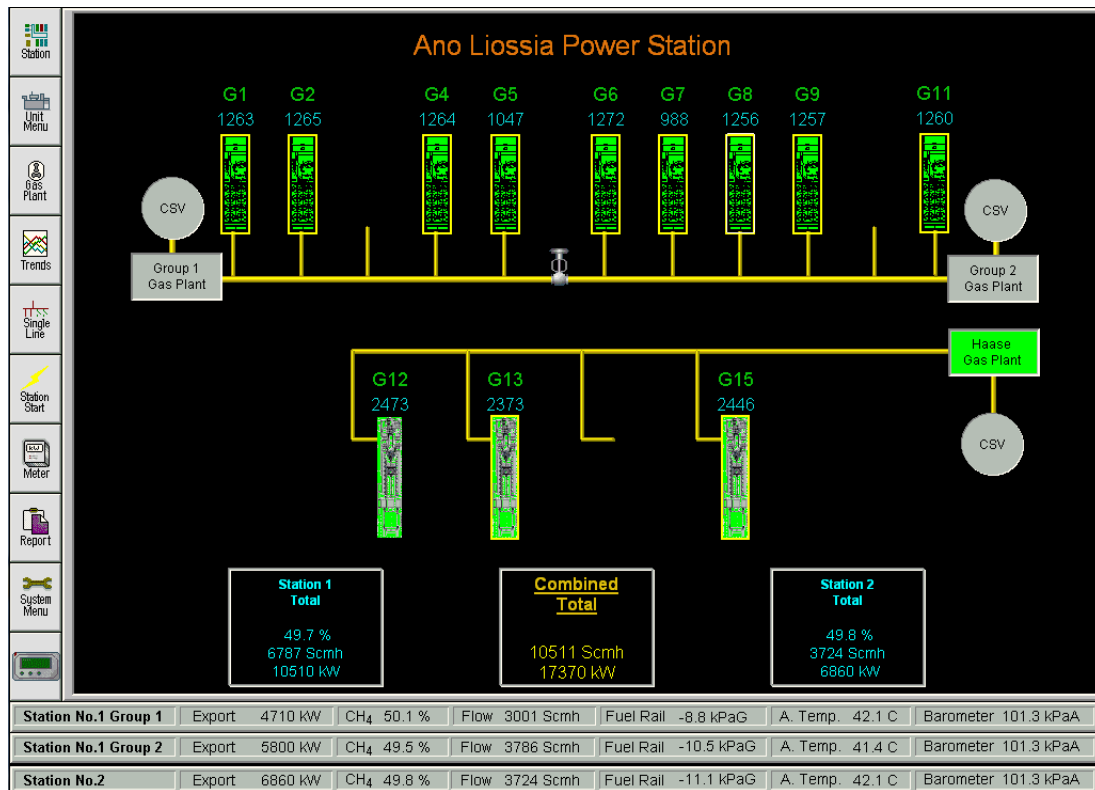
4.1.3 Αξιοποίηση θερμότητας - Βιολογικός καθαρισμός & σύστημα τηλεθέρμανσης

Πέραν του βιοαερίου, στους χώρους εναπόθεσης απορριμμάτων, παράγεται και ένα άλλο πολύ σημαντικό απόβλητο που είναι τα στραγγίσματα των σκουπιδιών. Στο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων αυτά τα στραγγίσματα οδηγούνται στο βιολογικό σταθμό επεξεργασίας που βρίσκεται παρακείμενα της ΒΕΑΛ. Ο σταθμός αυτός χρησιμοποιεί το θερμικό φορτίο από το ζεστό νερό του συστήματος ψύξης των 4 νέων μηχανών εσωτερικής καύσης. Το θερμικό αυτό φορτίο είναι περίπου 4,4 MW και οδηγείται στους εναλλάκτες θερμότητας του εξατμιστή. Με αυτόν τον τρόπο αξιοποιείται ακόμα περισσότερο από το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου ενώ συγχρόνως προσφέρει τη δυνατότητα επεξεργασίας $200-400\text{m}^3$ στραγγισμάτων ημερησίως.

Τέλος, η εταιρία ΒΕΑΛ έχει κατασκευάσει και ένα σύστημα τηλεθέρμανσης το οποίο αξιοποιεί τη θερμότητα που προέρχεται από το ζεστό νερό του κυκλώματος ψύξης των 11 παλιών μηχανών εσωτερικής καύσης. Αυτό το κύκλωμα έχει τη δυνατότητα, μέσω εναλλακτών, να θερμαίνει νερό χρήσης για παρακείμενους οικισμούς και κοινότητες ή για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Δεδομένης όμως της τοποθεσίας, το κύκλωμα αυτό δεν έχει βρει μέχρι σήμερα παραλήπτη καθώς δεν υπάρχουν κοντά στο ΧΥΤΑ ούτε σπίτια ούτε άλλες εγκαταστάσεις και έτσι το σύστημα τηλεθέρμανσης παραμένει αναξιοποίητο.

4.2 ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Κατά την παραμονή μου στο σταθμό, πέρα από τις πολλές παραστάσεις και εμπειρίες που αποκόμισα παρακολουθώντας τους μηχανικούς να συντηρούν και να επισκευάζουν τις μηχανές, είχα πρόσβαση και στο σύστημα που παρακολουθεί τη λειτουργία των μηχανών και καταγράφει όλες τις μετρήσεις (SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition). Μέσω αυτού του λογισμικού γίνονται και όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις στη λειτουργία των μηχανών.



Εικόνα: Κεντρική οθόνη του συστήματος SCADA

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει μία πιο ειδική περιγραφή της εγκατάστασης βάσει των μετρήσεων και των δεδομένων που κατέγραψα. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από τη λειτουργία σε πραγματικές συνθήκες. Είναι σημαντικό να τονίσω ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης λειτουργούν συνεχώς σε διαφορετικά σημεία λειτουργίας ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του βιοαερίου, τη ζήτηση από το ΔΕΣΜΗΕ ή τυχόν επισκευές και συντηρήσεις. Συνεπώς, τα στοιχεία που θα παραθέσω στη συνέχεια μεταβάλλονται στιγμιαία με βάση τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας αλλά σε γενικές γραμμές μπορούν να δώσουν μια ικανοποιητική προσέγγιση της εγκατάστασης.

4.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Είναι γεγονός ότι η εταιρία προσπαθεί να διατηρήσει, όσο είναι δυνατόν, σταθερή την ημερήσια παραγωγή ενέργειας. Λόγω των συχνών επισκευών και συντηρήσεων των μηχανών, καθώς και λόγω των περιορισμών στην άντληση του βιοαερίου, ο συντελεστής διαθεσιμότητας της εγκατάστασης κυμαίνεται περίπου στο 80%.

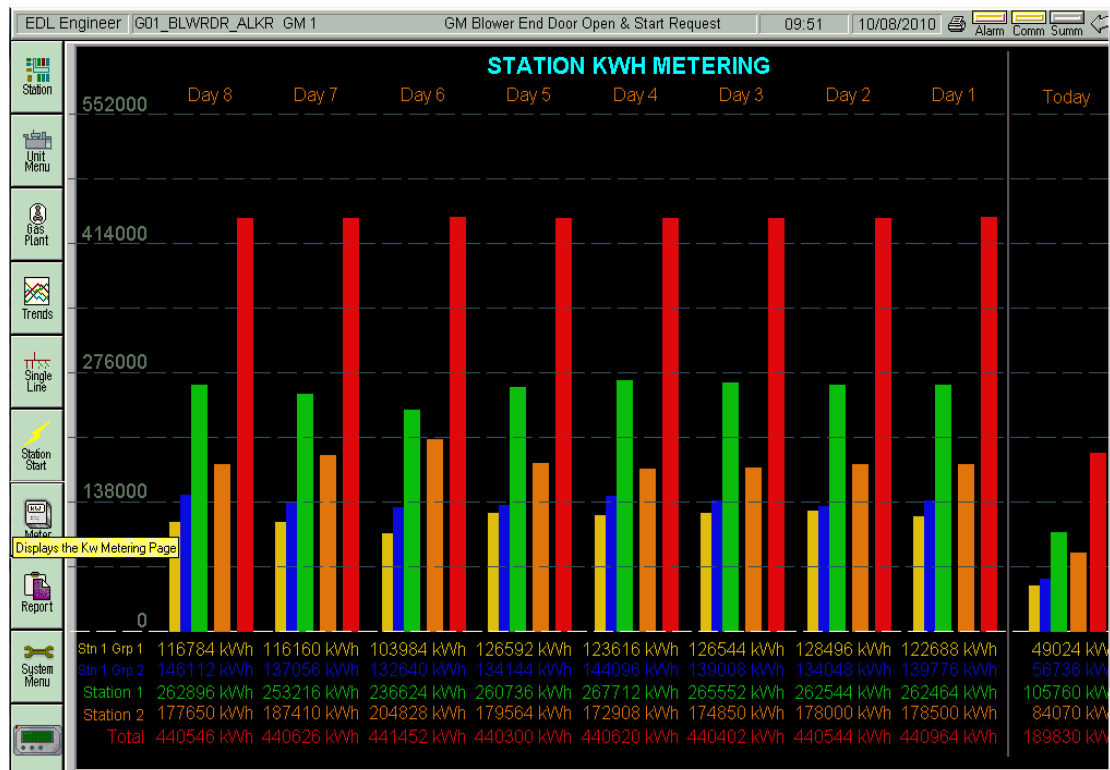
Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονίσουμε την αξία των μηχανικών που επιβλέπουν, συντηρούν, επισκευάζουν και θέτουν σε λειτουργία όλες αυτές τις μηχανές. Οι βλάβες και οι καταστροφές διάφορων εξαρτημάτων της μηχανής είναι

καθημερινό φαινόμενο. Πέραν αυτών, η συντήρηση και ο έλεγχος της ομαλής λειτουργίας κάθε μηχανής, γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να αποφευχθούν τυχόν προβλέψιμες βλάβες. Όλα αυτά απαιτούν την εγρήγορση των μηχανικών έτσι ώστε ο χρόνος αποσύνδεσης της μηχανής από το δίκτυο, και άρα οι απώλειες στην παραγωγή ενέργειας, να είναι οι μικρότερες δυνατές. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αντικατάσταση ενός κατεστραμμένου ζεύγους στροβίλο-συμπίεστή μιας μηχανής Deutz.



Εικόνες: Κατεστραμμένος στροβίλο-υπερπληρωτής μιας Μ.Ε.Κ.

Η ημερήσια, λοιπόν, παραγωγή ενέργειας της εγκατάστασης δεν είναι ίση προφανώς με την ονομαστική αλλά μικρότερη, ανάλογα με τις συνθήκες και τα προβλήματα που προκύπτουν καθημερινά. Σε γενικές γραμμές, η ημερήσια παραγωγή ενέργειας είναι ίση περίπου με 440.000 kWh. Το παρακάτω διάγραμμα έχει ληφθεί από το σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης και παρουσιάζει τα στοιχεία αυτά.



Εικόνα: Ημερήσια παραγωγή ενέργειας στο σύστημα SCADA

- Το κίτρινο χρώμα αναφέρεται στις μηχανές 1-5 του τμήματος 1.
- Το μπλε χρώμα αναφέρεται στις μηχανές 6-11 του τμήματος 1.
- Το πράσινο χρώμα είναι το άθροισμα των δύο πρώτων και παρουσιάζει την παραγωγή ενέργειας όλου του τμήματος 1 της εγκατάστασης.
- Το πορτοκαλί χρώμα αναφέρεται στο τμήμα 2 της εγκατάστασης.
- Το κόκκινο χρώμα παρουσιάζει την ολική ημερήσια παραγωγή που προκύπτει και από τα δύο τμήματα του σταθμού.

Από το διάγραμμα γίνεται φανερή η σταθερή παραγωγή ενέργειας. Να σημειωθεί ότι τους προσεχείς μήνες η ημερήσια παραγωγή ενέργειας θα αυξηθεί περίπου στις 460.000 kWh καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα άντλησης περισσότερου βιοαερίου.

Η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εγκατάσταση ισούται με την ενέργεια που καταναλώνουν 24.500 οικογένειες ετησίως. Πέραν αυτού, η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας, η οποία ανέρχεται περίπου σε 168.000MWh, υποκαθιστώντας την καύση συμβατικών καυσίμων, οδηγεί στην αποφυγή έκλυσης στην ατμόσφαιρα ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα της τάξης των 145.000 τόνων ετησίως. Παράλληλα, η λειτουργία του σταθμού αυτού εξοικονομεί πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια από τη μείωση των απωλειών του δικτύου μεταφοράς, καθώς το απαλλάσσει από την ανάγκη μεταφοράς της αντίστοιχης παραγωγής από απομακρυσμένα σημεία της Βορείου Ελλάδος. Τέλος, όντας

εγκατεστημένος μέσα στη βιομηχανική ζώνη του Ασπροπύργου, ενισχύει την αξιοπιστία του τοπικού δικτύου.

4.2.2 Σταθμός παραγωγής ενέργειας

Ο σταθμός χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το 'τμήμα 1' αφορά τις 11 παλιές μηχανές οι οποίες λειτουργούν από το 2001 και το 'τμήμα 2' αφορά τις 4 καινούριες μηχανές που βρίσκονται σε λειτουργία από το 2006. Η ροή του αερίου από το σημείο που παράγεται μέχρι το σταθμό οφείλεται στη διαφορά πίεσης η οποία δημιουργείται από αντλίες κενού. Στο 'τμήμα 1', κάθε μηχανή έχει από μία αντλία μέσα στο container στο οποίο έχει τοποθετηθεί και έτσι λειτουργεί αυτόνομα. Συνεπώς όταν κλείνει μία μηχανή για συντήρηση, παύει να λειτουργεί και η αντίστοιχη αντλία. Αντίθετα, στο 'τμήμα 2', οι μηχανές λειτουργούν με μία κοινή αντλία η οποία βρίσκεται εκτός του κτιρίου στο οποίο είναι αυτές εγκατεστημένες.

Πιο συγκεκριμένα, οι συνθήκες με τις οποίες εξέρχεται το βιοαέριο από το βουνό είναι θερμοκρασία περίπου 27°C και πίεση -11,3 kPa. Αρχικά, το αέριο διέρχεται από συσκευές διαχωρισμού των συμπυκνωμάτων και των στραγγισμάτων (CSV-Condensate Separator Vessel) και οδηγείται, απουσία υγρασίας, στους ψύκτες που ρίχνουν τη θερμοκρασία του σε ευνοϊκότερα επίπεδα. Από τους ψύκτες αυτούς εξέρχεται με θερμοκρασία 7°C και με την ίδια πίεση (-11,3 kPa). Κατόπιν, αφού διέλθει από μία ακόμη συσκευή η οποία κατακρατεί τα συμπυκνώματα του βιοαερίου που έχουν δημιουργηθεί κατά την ψύξη, καθώς και από μερικά άλλα φίλτρα, οδηγείται μέσα στις μηχανές εσωτερικής καύσης όπου αναμιγνύεται με τον αέρα και καίγεται στους θαλάμους καύσης παράγοντας έτσι την επιθυμητή ενέργεια.

Πριν εισέλθει όμως στις μηχανές, η πίεση του βιοαερίου αυξάνεται αρκετά και από -11,3 kPa γίνεται 12 kPa, καθώς παρεμβάλλεται η αντλία κενού η οποία είναι υπεύθυνη για τη ροή του βιοαερίου. Η αντλία αυτή, δηλαδή, δημιουργεί την απαραίτητη διαφορά πίεσης που χρειάζεται για να οδηγηθεί το βιοαέριο από το βουνό προς την εγκατάσταση. Αυτή η αύξηση της πίεσης προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του βιοαερίου, το οποίο κατά την είσοδό του στη μηχανή βρίσκεται στους 38°C.

Μία ενδεικτική τιμή της παροχής του βιοαερίου είναι 4806 m³/h για λειτουργία των 4 μηχανών του τμήματος 2 και για παραγωγή 8,6 MW. Για πιο λεπτομερή παρουσίαση της υπόλοιπης εγκατάστασης, θα γίνει αναφορά ξεχωριστά για τη λειτουργία των δύο τμημάτων καθώς τα μεγέθη των δύο αυτών περιπτώσεων διαφέρουν μεταξύ τους.

► Τμήμα 1

Όσον αφορά στο ‘τμήμα 1’ με τις 11 μηχανές των 1,26 MW, αυτές είναι εγκατεστημένες σε 11 ξεχωριστά container. Ο προγραμματισμός τους γίνεται από υπολογιστές που βρίσκονται μέσα στο χώρο της μηχανής αλλά και από υπολογιστικά συστήματα που βρίσκονται παρακείμενα σε άλλο container και ελέγχουν όλες τις μηχανές.

Υπάρχουν δύο μονάδες επεξεργασίας και διαχείρισης του βιοαερίου. Η μία αφορά τις μηχανές 1-5 και η άλλη τις μηχανές 6-11. Η κάθε μονάδα αποτελείται από ένα διαχωριστή συμπυκνωμάτων και στραγγισμάτων CSV, ένα ψύκτη, έναν πλακοειδή εναλλάκτη όπου ουσιαστικά γίνεται η ψύξη του βιοαερίου και μία ακόμα συσκευή κατακράτησης των συμπυκνωμάτων που δημιουργούνται κατά την ψύξη. Για τις μηχανές 1-5 λειτουργεί ψύκτης της εταιρίας CIAT και σειράς AQUACIAT2. Για τις μηχανές 6-11 λειτουργεί αντίστοιχος ψύκτης της εταιρίας Carrier.



Εικόνα: Επεξεργασία βιοαερίου για το τμήμα 1 του σταθμού

Μέσα σε κάθε container υπάρχει μία 16-κύλινδρη μηχανή διατάξεως V με στρόβιλο-υπερπλήρωση. Παράλληλα, υπάρχει η αντλία κενού που έλκει το βιοαέριο καθώς και η γεννήτρια με το μετασχηματιστή. Η γεννήτρια παράγει ρεύμα 400V και ο μετασχηματιστής το ανυψώνει στα 20.000V. Για προφανείς λόγους ασφαλείας, ο μετασχηματιστής βρίσκεται στο πίσω μέρος του container μέσα σε μεταλλικό πλέγμα.



Εικόνα: Container που στεγάζει μηχανή του τμήματος 1

Κατά τη λειτουργία της μηχανής ο χώρος παραμένει κλειστός, και έτσι ο αέρας περιβάλλοντος που είναι αναγκαίος για την καύση, εισέρχεται στο container μέσω ανεμιστήρων που αναρροφούν από το περιβάλλον, αφού πρώτα περάσει από τα φίλτρα που κατακρατούν τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Ο χώρος μέσα στο container είναι πολύ ζεστός εξαιτίας της θερμότητας που παράγεται κατά τη λειτουργία της μηχανής και έτσι θερμαίνεται αρκετά και ο αέρας.

Η ένωση του καυσίμου με τον αέρα γίνεται μέσα στη μηχανή με το gas mixer που είναι ουσιαστικά μία βελόνα η οποία ανάλογα με το φορτίο της μηχανής μετακινείται και ανοίγει ή κλείνει τη βαλβίδα από την οποία διέρχεται το βιοαέριο. Έτσι παράγεται το μίγμα καυσίμου-αέρα με την επιθυμητή αναλογία και οδηγείται στο συμπιεστή της μηχανής ο οποίος κινείται από το στρόβιλο καυσαερίων. Τα καυσαέρια, δηλαδή, που εξέρχονται από το θάλαμο καύσης περνούν από το στρόβιλο, αποτονώνονται, κινούν το στρόβιλο και αυτός με τη σειρά του κινεί τον συμπιεστή με τον οποίο είναι συνδεδεμένος, συμπιέζοντας έτσι το μίγμα καυσίμου-αέρα πριν αυτό μπει στο θάλαμο καύσης.

Κατά τη συμπίεση, όμως, αυξάνεται αρκετά και η θερμοκρασία του μίγματος η οποία είναι ήδη σε υψηλά επίπεδα λόγω της θερμοκρασίας και του βιοαερίου αλλά και του αέρα. Δεδομένου ότι στις μηχανές εσωτερικής καύσης απαιτούμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πυκνότητα εισερχόμενου μίγματος, είναι επιτακτική η ύπαρξη ενός ψυγείου. Συνεπώς, το μίγμα πριν μπει στο θάλαμο καύσης διέρχεται από το Intercooler και ψύχεται μέχρι τη θερμοκρασία των 57,5 έως 63°C ανάλογα με τη μηχανή και το φορτίο της.

Το Intercooler λειτουργεί με νερό του οποίου η θερμοκρασία εισόδου στη μηχανή είναι περίπου σταθερή και ίση με 48°C. Αυτό συμβαίνει για να αποφευχθεί η δημιουργία συμπυκνωμάτων βιοαερίου. Είναι γνωστό ότι η δημιουργία συμπυκνωμάτων οφείλεται στις μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας και όχι στην τιμή της απόλυτης θερμοκρασίας. Συνεπώς, παρόλο που θα μπορούσαμε να ψύξουμε περισσότερο το μίγμα καυσίμου αέρα μέσα στο ψυγείο, δεν το επιχειρούμε για να μην δημιουργηθούν συμπυκνώματα και φράξουν τις διόδους του εναλλάκτη. Δεδομένου του γεγονότος αυτού, προκύπτει ότι η ιδανική ψύξη θα ήταν μία πολυβάθμια κλιμακωτή ψύξη έτσι ώστε σε κάθε βαθμίδα της να μην παρατηρούνται μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας.

Ένας ακόμη λόγος που δεν μας επιτρέπει να ψύξουμε περαιτέρω το μίγμα είναι οι αντοχές των υλικών του εναλλάκτη. Μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές θα προκαλούσαν υπερβολική καταπόνηση στα μέταλλα του ψυγείου και ίσως καταστροφή τους.

Το νερό του Intercooler ψύχεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα στην οροφή εξωτερικά του container όπου υπάρχει ένα αερόψυκτο σύστημα ψύξης. Αυτό αποτελείται από εναλλάκτες νερού-αέρα και από 8 ανεμιστήρες οι οποίοι κατευθύνουν την αναγκαία παροχή αέρα με μεγάλη ταχύτητα πάνω στους εναλλάκτες για να επιτευχθεί η απαιτούμενη μετάδοση θερμότητας. Οι ανεμιστήρες ελέγχονται από ρυθμιστή στροφών και στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, δουλεύουν σε μερικό φορτίο εξαιτίας των περιορισμών που επιβάλλουν στην ψύξη οι παράγοντες που αναφέρθηκαν. Στο ίδιο σύστημα ψύξης αποβάλλει τη θερμότητά του και το νερό ψύξης της μηχανής (Jacket water) το οποίο κυκλοφορεί σε ξεχωριστό κύκλωμα. Αυτό εξέρχεται από τη μηχανή με 87,5°C και εισέρχεται αφού έχει ψυχθεί στους 78,5°C.



Εικόνα: Οροφή του container

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχει σχεδιαστεί από την εταιρία κύκλωμα τηλεθέρμανσης που αξιοποιεί τη θερμότητα που φέρει το νερό ψύξης της μηχανής και ζεσταίνει νερό χρήσης που μπορεί να σταλεί σε παρακείμενους οικισμούς.



Εικόνα: Εναλλάκτης αναξιοποίητοι.

Το ζεστό νερό ψύξης, δηλαδή, που εξέρχεται από τη μηχανή, οδηγείται σε πλακοειδείς εναλλάκτες πριν περάσει από τα ψυγεία. Μέσω αυτών των εναλλακτών, θερμαίνει το νερό χρήσης. Η απουσία όμως κατοικημένων περιοχών κοντά στη χωματερή έχει ουσιαστικά νεκρώσει αυτό το κύκλωμα καθώς δεν μπορεί να βρεθεί αποδέκτης. Έτσι, οι σωλήνες τηλεθέρμανσης, όπως και οι εναλλάκτες, είναι κενοί, δεν κυκλοφορεί δηλαδή νερό, και σταματούν στα όρια της εγκατάστασης μένοντας αναξιοποίητοι. Τα καυσαέρια που εξέρχονται από αυτές τις μηχανές έχουν υψηλά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά τα οποία θα μπορούσαν με κατάλληλη μελέτη να αξιοποιηθούν. Στην παρούσα φάση χάνονται στην ατμόσφαιρα από την καμινάδα. Με βάση το φορτίο στο οποίο δουλεύει κάθε μηχανή, διαφέρει και η παροχή καθώς και η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων. Ενδεικτικά, για παραγωγή 1,25 MW εξέρχονται καυσαέρια με παροχή 5.530 Nm³/h,dry (6.057 Nm³/h,wet) και θερμοκρασία περίπου 440°C, ενώ για παραγωγή 1,052 MW εξέρχονται καυσαέρια με παροχή 4.896 Nm³/h,dry (5.468 Nm³/h,wet) με την ίδια θερμοκρασία.

► Τμήμα 2

Αναφορικά με το 'τμήμα 2' της εγκατάστασης και τις 4 μεγαλύτερες μηχανές, αυτές βρίσκονται σε ένα καινούριο μεταλλικό κτίριο επιφανείας περίπου 1200 m² καταλαμβάνοντας από ένα δωμάτιο η κάθε μία. Επίσης, στο ίδιο κτίριο υπάρχει το μηχανουργείο και το γραφείο ελέγχου από το οποίο μπορούν να προγραμματισθούν όλες οι μηχανές. Ο έλεγχος των μηχανών γίνεται είτε από αυτό το κεντρικό υπολογιστικό σύστημα είτε από τους πίνακες ελέγχου που υπάρχουν έξω από κάθε δωμάτιο μηχανής.



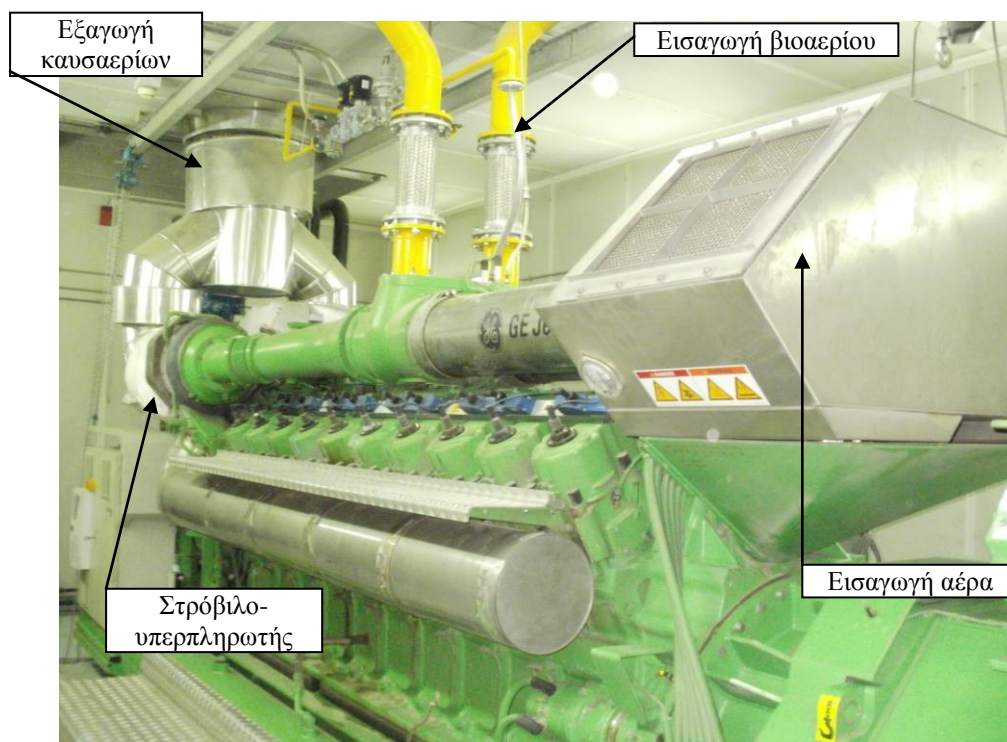
Εικόνα: Κτίριο που στεγάζει τις μηχανές του τμήματος 2

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το καύσιμο εισέρχεται στη μηχανή μέσω μιας αντλίας (blower) η οποία αναρροφά το βιοαέριο από το βουνό. Η αντλία αυτή, αντίθετα από το 'τμήμα 1', βρίσκεται έξω από το κτίριο της εγκατάστασης και τροφοδοτεί και τις 4 μηχανές. Εκεί υπάρχουν και οι ψύκτες που ρίχνουν τη θερμοκρασία του βιοαερίου. Πρόκειται για δύο ψύκτες της εταιρίας Carrier που τροφοδοτούν κυλινδρικούς εναλλάκτες στους οποίους γίνεται η ψύξη του αερίου. Όπως και στην περίπτωση του τμήματος 1, έτσι και εδώ, υπάρχουν οι κατάλληλοι κατακρατητές συμπυκνωμάτων καθώς και τα διάφορα φίλτρα, πριν εισέλθει το καύσιμο στη μηχανή.



Εικόνα: Επεξεργασία βιοαερίου για το τμήμα 2 του σταθμού

Όσον αφορά στις μηχανές, πρόκειται για 20-κύλινδρες μηχανές διατάξεως V με δύο στρόβιλο-υπερπληρωτές, έναν για κάθε σειρά κυλίνδρων. Ο αναγκαίος αέρας για την καύση εισέρχεται στο χώρο της μηχανής από πολύ δυνατούς ανεμιστήρες που βρίσκονται στην οροφή και αναρροφούν αέρα περιβάλλοντος. Αφού περάσει από ειδικά φίλτρα που βρίσκονται στην αναρρόφηση της μηχανής, αναμιγνύεται με το βιοαέριο.



Εικόνα: Μ.Ε.Κ. του τμήματος 2 του σταθμού

Μετά από τη συμπίεση του μίγματος καυσίμου-αέρα ακολουθεί η ψύξη του στο ενδιάμεσο ψυγείο (Intercooler) πριν μπει στο θάλαμο καύσης. Στις συγκεκριμένες μηχανές, το κύκλωμα του νερού για το Intercooler είναι κοινό με το κύκλωμα του νερού ψύξης της μηχανής (Jacket water). Η πίεση του κυκλώματος είναι 1,64 bar. Η θερμοκρασία εισόδου του στη μηχανή είναι περίπου 60°C ενώ εξέρχεται από αυτή έχοντας πάρει το θερμικό φορτίο και με θερμοκρασία 96°C. Το θερμικό αυτό φορτίο που προέρχεται από την ψύξη της μηχανής είναι αρκετά σημαντικό και γι αυτό το λόγο η εταιρία το αξιοποιεί στο βιολογικό καθαρισμό των στραγγισμάτων.

Πιο αναλυτικά, το νερό ψύξης της μηχανής που εξέρχεται από την εγκατάσταση οδηγείται σε μία τρίοδη βάνα. Από εκεί, ένα μέρος του πηγαίνει στο ψυγείο (radiator) όπου και αποβάλλει τη θερμότητα για να επιστρέψει στη μηχανή. Το υπόλοιπο, και μεγαλύτερο τμήμα του νερού, εισέρχεται σε έναν πλακοειδή εναλλάκτη και αποβάλλει τη θερμότητά του σε ξεχωριστό κύκλωμα νερού.



Εικόνα: Αποβολή θερμότητας νερού ψύξης προς εξατμιστή βιολογικού καθαρισμού

Το κλειστό αυτό κύκλωμα, μέσω μιας αντλίας, καταλήγει στον κυλινδρικό εναλλάκτη θερμότητας του εξατμιστή. Μέσω αυτού του εναλλάκτη μεταφέρεται η θερμότητα στην άλμη της όσμωσης και λειτουργεί έτσι ο εξατμιστής του βιολογικού καθαρισμού. Το θερμικό φορτίο που εξέρχεται από κάθε μία από τις 4 μηχανές μέσω του νερού ψύξης είναι της τάξεως των 1,1 MW και είναι αρκετό για να λειτουργούν οι 4 εξατμιστές της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας των στραγγισμάτων χωρίς περαιτέρω καταναλώσεις. Πιο λεπτομερής περιγραφή και παρουσίαση της μονάδας του βιολογικού καθαρισμού θα γίνει σε ειδικό κεφάλαιο.

Τέλος, τα καυσαέρια που εξέρχονται από τους θαλάμους καύσης της μηχανής οδηγούνται στην καμινάδα και διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα αναξιοποίητα. Η θερμότητα που χάνεται είναι μεγάλη και γι αυτό θα προσπαθήσουμε στη συνέχεια να την εκμεταλλευτούμε με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Ενδεικτικά, για λειτουργία της μηχανής και παραγωγή 2,17 MW εξέρχονται καυσαέρια με θερμοκρασία περίπου 480°C και με παροχή 12.185 Nm³/h,dry (13.172 Nm³/h,wet).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εγκατάσταση του σταθμού παραγωγής ενέργειας, ήδη συντελείται αξιοποίηση μέρους της αποβαλλόμενης θερμότητας από τις μηχανές. Παρόλο που η θερμότητα που περιέχεται στα καυσαέρια, η οποία είναι και η σημαντικότερη της εγκατάστασης, παραμένει αναξιοποίητη, η εκλυόμενη θερμότητα από το νερό ψύξης των μηχανών χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς.

Πιο συγκεκριμένα, έχει δημιουργηθεί κύκλωμα τηλεθέρμανσης που αξιοποιεί το θερμικό φορτίο του νερού ψύξης των 11 μηχανών του πρώτου τμήματος της εγκατάστασης. Όσον αφορά στις 4 μηχανές του δεύτερου τμήματος, η θερμότητα του νερού ψύξης τους χρησιμοποιείται στην παρακείμενη μονάδα βιολογικού καθαρισμού που επεξεργάζεται τα στραγγίσματα που παράγονται από την ταφή των απορριμμάτων.

Είναι σημαντικό, σε αυτό το σημείο, να αναγνωρίσουμε τον κοινωνικό και οικολογικό χαρακτήρα αυτής της εγκατάστασης. Πέρα από την καθαρή παραγωγή ενέργειας η οποία συντελείται χωρίς τη χρήση συμβατικού καυσίμου, και άρα χωρίς την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας, η εταιρία μεριμνά και για άλλα κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Γίνεται έτσι πλήρης διαχείριση των προϊόντων της ταφής των απορριμμάτων, καθώς όχι μόνο δεν αφήνεται το βιοαέριο ελεύθερο στην ατμόσφαιρα αλλά λαμβάνει χώρα και επεξεργασία των στραγγισμάτων ώστε να μειωθούν οι αρνητικές τους επιδράσεις. Επιπλέον, ο σχεδιασμός του συστήματος τηλεθέρμανσης παρέχει σε τυχόν παρακείμενους οικισμούς ζεστό νερό χρήσης χωρίς καμία οικονομική επιβάρυνση.

5.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Το σύστημα αυτό έχει κατασκευαστεί με στόχο να προμηθεύει με ζεστό νερό γειτονικές κοινότητες ή άλλες εφαρμογές που το έχουν ανάγκη. Αποτελείται από τους κατάλληλους εναλλάκτες και το δίκτυο σωληνώσεων στο οποίο κυκλοφορεί το ζεστό νερό. Στην οροφή κάθε container που στεγάζει από μία μηχανή, έχει τοποθετηθεί ένας πλακοειδής εναλλάκτης ο οποίος λαμβάνει τη θερμότητα του νερού ψύξης που εξέρχεται από τη μηχανή και τη μεταφέρει στο κύκλωμα του νερού χρήσης. Οι σωλήνες του νερού χρήσης συλλέγουν το ζεστό νερό από κάθε έναν εναλλάκτη και το κατευθύνουν σε έναν κοινό σωλήνα ο οποίος το οδηγεί στον τελικό παραλήπτη. Το

κρύο νερό που έρχεται από τον παραλήπτη οδηγείται με διαφορετικό σωλήνα πάλι πίσω στους εναλλάκτες για να παραλάβει εκ νέου το θερμικό φορτίο.

Για το συγκεκριμένο σύστημα γίνεται μόνο μία απλή αναφορά καθώς, όπως έχει εξηγηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, δεν έχει πρακτική εφαρμογή. Αυτό συμβαίνει διότι μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί κάποιος αποδέκτης αυτού του νερού χρήσης. Είναι λογικό ότι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής γύρω από το ΧΥΤΑ δεν ευνοούν την ανάπτυξη κοινοτήτων και οικισμών. Παράλληλα δεν υπάρχουν και άλλες εγκαταστάσεις που θα μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν, όπως για παράδειγμα θερμοκήπια. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι σωλήνες που μεταφέρουν το νερό από και προς το σταθμό σταματούν στα όρια της μονάδας.

Στο παρελθόν έχουν γίνει αιτήσεις από κάποιους ιδιώτες για τη χρήση του νερού αλλά δεν κατέστη δυνατό καθώς βρίσκονταν πολύ μακριά από την περιοχή των Λιοσίων. Το χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο του νερού αυτού δεν επιτρέπει τη μεταφορά του μακριά από το σταθμό και περιορίζεται μόνο σε γειτονικές εφαρμογές οι οποίες όμως απουσιάζουν. Κατά συνέπεια, το σύστημα, παρά την όλη σχεδίασή του, παραμένει μέχρι στιγμής αναξιοποίητο ακυρώνοντας έτσι τα οφέλη που θα μπορούσαν να προκύψουν από αυτή τη μορφή αποβαλλόμενης θερμότητας της εγκατάστασης.

5.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ – ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

5.3.1 Γενικά

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της εγκατάστασης είναι η αξιοποίηση της θερμότητας του νερού ψύξης των μηχανών στη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού. Το θερμικό φορτίο που περιέχεται στο κύκλωμα του νερού ψύξης χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των εξατμιστών της μονάδας. Οι εξατμιστές είναι μόλις ένα τμήμα από τη συνολική μονάδα βιολογικού καθαρισμού. Γι' αυτό το λόγο, στη συνέχεια θα παρουσιαστεί όλη η εγκατάσταση με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της και τον τρόπο λειτουργίας της, έτσι ώστε να δειχθεί η συμβολή της θερμότητας αυτής που προέρχεται από τις μηχανές.

Στην ευρύτερη περιοχή των Άνω Λιοσίων και της Φυλής λειτουργούν δύο μονάδες βιολογικού καθαρισμού. Η πρώτη είναι η εν λόγω μονάδα η οποία διαχειρίζεται τα στραγγίσματα που προκύπτουν από το ΧΔΑ και τους ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων. Η άλλη μονάδα, η οποία κατασκευάστηκε πρόσφατα, δέχεται τα στραγγίσματα που παράγονται στο ΧΥΤΑ Φυλής. Μόνο στην πρώτη μονάδα, αυτή των Άνω Λιοσίων, γίνεται αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας των μηχανών. Η καινούρια μονάδα είναι αυτόνομη και οι εξατμιστές λειτουργούν καταναλώνοντας συμβατικό καύσιμο.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η λειτουργία της καινούριας μονάδας στη Φυλή είναι πιο επιβαρημένη και παρουσιάζει συχνότερα προβλήματα από αυτή των Λιοσίων μιας και τα στραγγίσματα είναι ‘νέοτερα’. Γενικά, όσο πιο πρόσφατα έχει παραχθεί το στράγγισμα τόσο πιο πυκνό είναι όσον αφορά σωματίδια και βλαβερές ουσίες. Δεδομένου ότι ο ΧΥΤΑ Φυλής είναι πολύ πιο νέος από αυτούς στα Λιόσια, προκύπτει ότι και τα αντίστοιχα στραγγίσματα θα είναι πολύ πιο επιβαρυμένα και άρα και η λειτουργία του σταθμού πολύ προβληματική. Στη συγκεκριμένη ενότητα θα ασχοληθούμε με την περιγραφή μόνο του βιολογικού καθαρισμού Λιοσίων καθώς εκεί γίνεται η εκμετάλλευση της θερμότητας από τις μηχανές.

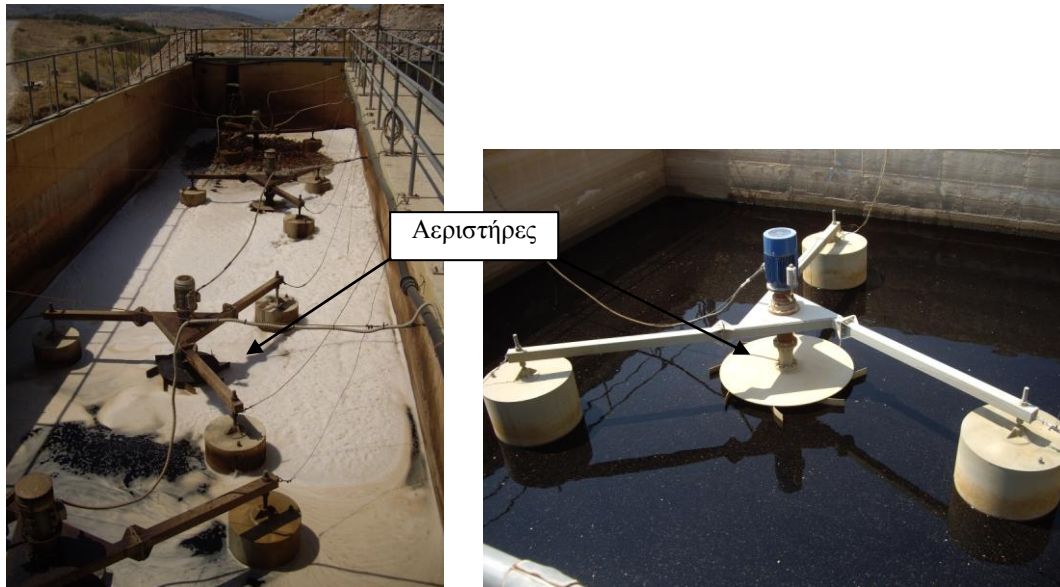
5.3.2 Τρόπος λειτουργίας της μονάδας

Η μέθοδος του βιολογικού καθαρισμού αποτελείται από διάφορα στάδια επεξεργασίας των στραγγισμάτων μέχρι να παραχθεί το τελικό προϊόν. Γενικά, το τελικό προϊόν είναι νερό το οποίο χρησιμοποιείται σε κυκλώματα άρδευσης και πυρόσβεσης. Η υπόλοιπη ποσότητα, η άλμη, λαμβάνεται με βυτιοφόρο και οδηγείται σε ειδικούς χώρους εναπόθεσης.

Η ‘καρδιά’ της μονάδας είναι η αντίστροφη όσμωση. Πριν εισέλθουν όμως τα στραγγίσματα στην όσμωση, διέρχονται από διάφορες δεξαμενές, φίλτρα και κατακρατητές τα οποία όλα μαζί συντελούν στην προεπεξεργασία τους. Ακολούθως, αφού εξέλθει η άλμη και το προϊόν από την όσμωση, οδηγείται η πρώτη στους εξατμιστές για την τελική επεξεργασία της, ενώ το προϊόν είναι έτοιμο προς χρήση. Στους εξατμιστές γίνεται χρήση της θερμότητας που αποβάλλεται από το νερό ψύξης των μηχανών, όπως θα δούμε παρακάτω.

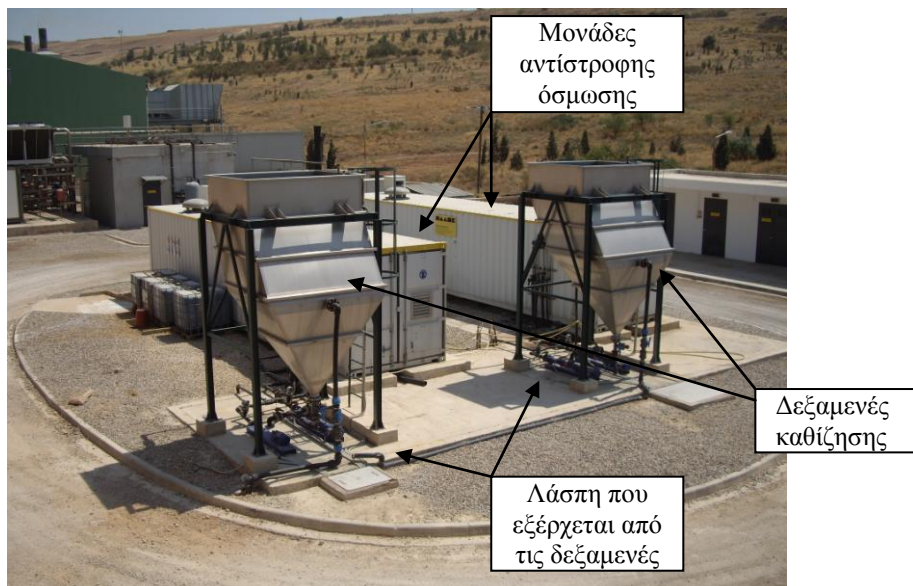
► Προεπεξεργασία

Τα στραγγίσματα που παράγονται στο χώρο εναπόθεσης των απορριμμάτων, οδηγούνται μέσω του αντλιοστασίου σε μία δεξαμενή συλλογής τους. Αυτή η δεξαμενή είναι είτε η δεξαμενή εξισορρόπησης, είτε η δεξαμενή αερισμού. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε το στράγγισμα να διέρχεται πρώτα από τη δεξαμενή εξισορρόπησης και εν συνεχεία από τη δεξαμενή αερισμού. Και οι δύο είναι εφοδιασμένες με αεριστήρες οι οποίοι καθώς λειτουργούν, αναδεύουν το στράγγισμα έτσι ώστε να απομακρυνθεί η αμμωνία. Στην πράξη επιλέγουμε εμείς σε ποια από τις δύο δεξαμενές θα οδηγηθεί το στράγγισμα.



Εικόνες: Δεξαμενές εξισορρόπησης και αερισμού

Κατόπιν, το στράγγισμα, μέσω ειδικών αντλιών, μπαίνει στις δεξαμενές καθίζησης (lamella). Στη μονάδα αυτή λειτουργούν δύο δεξαμενές καθίζησης. Εκεί, διαχωρίζεται το στράγγισμα από τα βαριά σωματίδια τα οποία καθιζάνουν. Η λάσπη που προκύπτει, συλλέγεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής και απομακρύνεται μέσω αντλιών λάσπης. Το υπόλοιπο στράγγισμα εξέρχεται από το πάνω μέρος της δεξαμενής και ειδικές αντλίες το οδηγούν μέσα στη μονάδα αντίστροφης όσμωσης.

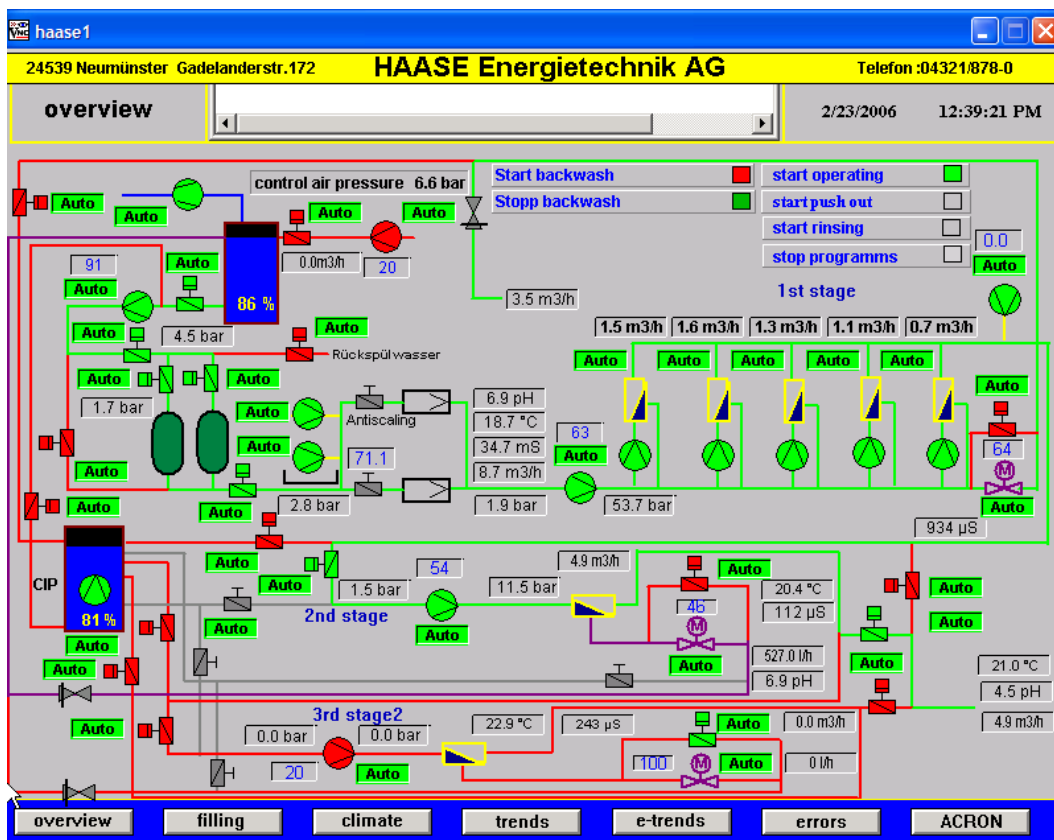


Εικόνα: Δεξαμενές καθίζησης και μονάδες αντίστροφης όσμωσης

► Μονάδα αντίστροφης όσμωσης

Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση υπάρχουν δύο μονάδες αντίστροφης όσμωσης οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ξεχωριστά container. Κάθε μία μονάδα έχει δυναμικότητα 200 m³ στραγγισμάτων ημερησίως.

Οι λειτουργίες της μονάδας ελέγχονται μέσω του προγράμματος ACRON που βρίσκεται εγκατεστημένο στον υπολογιστή του δωματίου ελέγχου. Μέσω του προγράμματος αυτού καθίσταται δυνατός ο έλεγχος και η ρύθμιση όλων των συνθηκών λειτουργίας της μονάδας. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η κεντρική σελίδα του προγράμματος.



Εικόνα: Κεντρική σελίδα προγράμματος ελέγχου της όσμωσης

Το στράγγισμα το οποίο εισέρχεται στη μονάδα της όσμωσης συγκεντρώνεται πρώτα στη δεξαμενή στραγγισμάτων της μονάδας. Κατόπιν, διέρχεται από μία σειρά φίλτρων προτού διέλθει από τις μεμβράνες της όσμωσης.

Πρώτα, εισέρχεται σε δύο φίλτρα άμμου. Εκεί κατακρατούνται κάποια στερεά σωματίδια. Τα φίλτρα αυτά έχουν ανάγκη από συχνό καθαρισμό, καθώς τα σωματίδια με την πάροδο του χρόνου φράζουν τα φίλτρα καθιστώντας αδύνατη τη ροή των στραγγισμάτων. Για να διαλυθούν αυτές οι στρώσεις από σωματίδια που δημιουργούνται, χρησιμοποιείται κιτρικό οξύ και γίνεται έτσι ο χημικός καθαρισμός τους. Η ανάγκη καθαρισμού των φίλτρων διαπιστώνεται από τη διαφορά της πίεσης

πριν και μετά τα φίλτρα η οποία υποδηλώνει αν εμποδίζεται ή όχι η ροή των στραγγισμάτων.

Αφού εγκαταλείψει τα φίλτρα άμμου, το στράγγισμα διέρχεται από έναν σωλήνα όπου προστίθεται αντικαθαλατικό. Η ουσία αυτή βοηθά στο να αποφεύγεται ο σχηματισμός αλάτων που μπορεί να βλάψουν την ομαλή λειτουργία των μεμβρανών. Το αντικαθαλατικό αντλείται από ένα μικρό δοχείο το οποίο πρέπει συνεχώς να συμπληρώνεται.

Πέραν του αντικαθαλατικού, στο στράγγισμα προστίθεται και θειικό οξύ (H_2SO_4) μέσω ειδικής αντλίας, έτσι ώστε η οξύτητά του να φτάσει στην επιθυμητή τιμή που είναι $pH=6,9$. Η οξύτητα του στραγγίσματος είναι πολύ κρίσιμη παράμετρος τόσο λόγω της επικινδυνότητας του οξέος όσο και λόγω του ότι επηρεάζει την ομαλή λειτουργία των μεμβρανών. Για το λόγο αυτό, ολόκληρη η λειτουργία της αντίστροφης όσμωσης εξαρτάται από την τιμή της οξύτητας του στραγγίσματος. Η οξύτητα μετράται σε διάφορα σημεία της διεργασίας με ειδικούς αισθητήρες pH .

Τελευταίο βήμα πριν την είσοδο στις μεμβράνες της όσμωσης είναι η διέλευση του στραγγίσματος από δύο φίλτρα φυσιγγίων (cartridge filters). Αισθητήρες πίεσης πριν και μετά τα φίλτρα αυτά, μετρούν τη διαφορά πίεσης υποδεικνύοντάς μας πότε εμποδίζεται η ροή των στραγγισμάτων και χρειάζονται αλλαγή τα φίλτρα.

Εν συνεχεία ακολουθούν τα τρία στάδια της αντίστροφης όσμωσης, όπως θα περιγραφούν παρακάτω.

1^ο στάδιο:

Το πρώτο στάδιο λειτουργεί σε πίεση περίπου ίση με 50 bar. Αποτελείται από πέντε μεμβρανοδοχεία, ενώ το κάθε μεμβρανοδοχείο περικλείει πέντε μεμβράνες. Αυτό είναι και το πιο ακριβό τμήμα της εγκατάστασης καθώς, ενδεικτικά, η μία μόλις μεμβράνη κοστίζει 1.500€. Μία μεμβράνη μπορεί να λειτουργεί για δύο ή και περισσότερα χρόνια μέχρι να αντικατασταθεί.

Το στράγγισμα διατρέχει τη μεμβράνη η οποία είναι με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένη ώστε να το διαχωρίζει σε δύο υγρά. Το ένα είναι το προϊόν ή νερό ή καθαρό (permeate) και το άλλο είναι το συμπύκνωμα ή άλμη (brine ή concentrate). Η μεμβράνη κατακρατά την άλμη κάνοντάς την να ρέει στο εξωτερικό της, ενώ το προϊόν ρέει προς το κέντρο της. Στο τέλος της μεμβράνης υπάρχουν δύο αγωγοί εξαγωγής. Ο ένας, ο οποίος βγαίνει στο πλάι της μεμβράνης, είναι η άλμη ενώ αυτός που βγαίνει από το κέντρο της είναι το προϊόν.

Η άλμη που εξέρχεται από το πρώτο μεμβρανοδοχείο, χωρίζεται σε δύο ρεύματα. Το ένα οδηγεί την άλμη στο δεύτερο μεμβρανοδοχείο, ενώ το άλλο αφού διέλθει από μία αντεπίστροφη βαλβίδα, την επαναδιοχετεύει στο πρώτο μεμβρανοδοχείο. Αφού διέλθει και από τα πέντε μεμβρανοδοχεία, η άλμη εξέρχεται

από το κύκλωμα του πρώτου σταδίου και οδηγείται έξω από τη μονάδα της όσμωσης είτε στη δεξαμενή της άλμης είτε στους εξαμιστές, όπως θα δούμε παρακάτω.

Όσον αφορά στο προϊόν, αφού συγκεντρωθεί σε έναν κοινό αγωγό το προϊόν από όλα τα μεμβρανοδοχεία, διέρχεται από μία βαλβίδα απαερίωσης. Ο αέρας που απομακρύνεται διοχετεύεται πίσω στη δεξαμενή των στραγγισμάτων. Το υπόλοιπο προϊόν οδηγείται στο δεύτερο στάδιο επεξεργασίας.

2^ο στάδιο:

Στο προϊόν, καθώς αυτό εισέρχεται στο δεύτερο στάδιο, προστίθεται περαιτέρω θειικό οξύ με σκοπό τη διατήρηση της οξύτητάς του στα επιθυμητά επίπεδα, που είναι pH=7,0. Ακολούθως διέρχεται από μία αντλία η οποία ρυθμίζει την πίεση στο επίπεδο των 11 bar περίπου. Οι συνθήκες λειτουργίας ελέγχονται από μετρητές πίεσης και pH. Το στάδιο αυτό αποτελείται από ένα μεμβρανοδοχείο, όμοιο των προηγούμενων, το οποίο περιέχει και αυτό πέντε μεμβράνες.

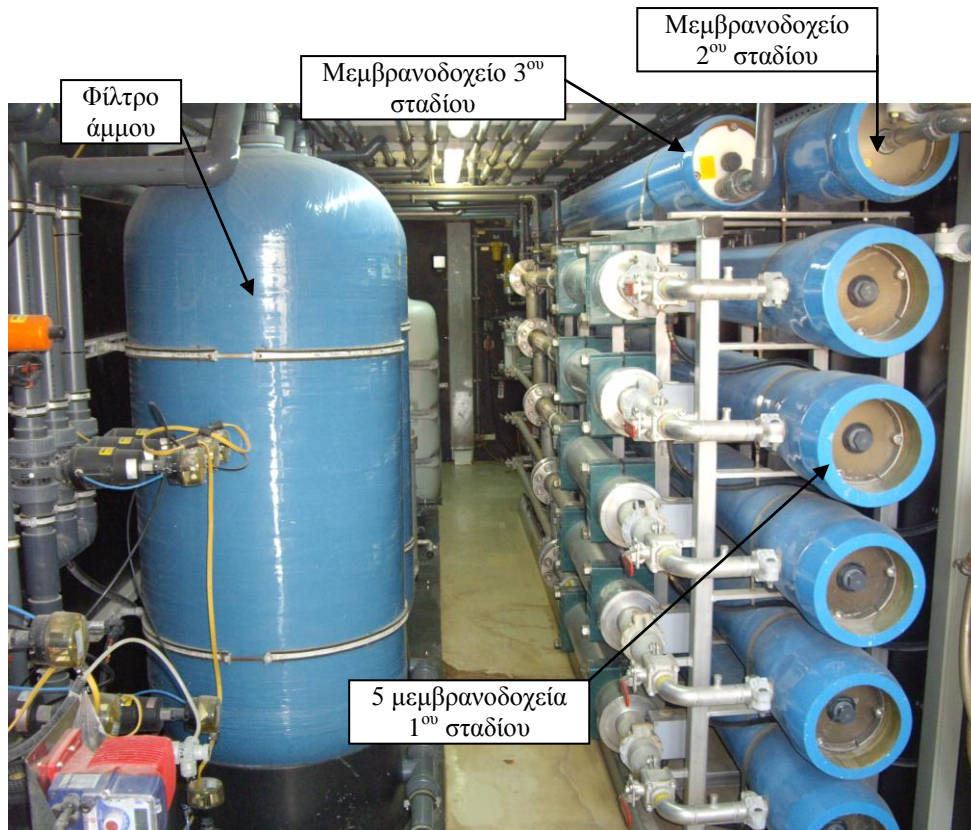
Στην έξοδο του μεμβρανοδοχείου το προϊόν έχει χωριστεί ξανά στο νέο προϊόν και στην άλμη. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως και στο πρώτο στάδιο, με το προϊόν, αφού απαερωθεί, να οδηγείται στο τρίτο στάδιο επεξεργασίας, ενώ η μόνη διαφορά παρατηρείται στο ότι η άλμη διοχετεύεται πίσω στη δεξαμενή των στραγγισμάτων.

3^ο στάδιο:

Το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας είναι ακριβώς όμοιο με το δεύτερο. Αποτελείται και αυτό από ένα μεμβρανοδοχείο καθώς και από τους απαραίτητους μετρητές πίεσης, pH και αντλίες. Λειτουργεί σε χαμηλότερη πίεση απ' ό,τι το δεύτερο στάδιο, με το προϊόν να εξέρχεται τελικά από τη μονάδα και η άλμη να επιστρέφει στη δεξαμενή των στραγγισμάτων. Το προϊόν που έχει παραχθεί μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί σε κυκλώματα άρδευσης και πυρόσβεσης.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το δεύτερο και το τρίτο στάδιο επεξεργασίας δεν λειτουργούν πάντα. Υπάρχει περίπτωση το παραγόμενο προϊόν του πρώτου σταδίου να εξέρχεται από τη μονάδα και να είναι έτοιμο προς χρήση. Η λειτουργία των επόμενων δύο σταδίων βελτιώνει την ποιότητα του προϊόντος αλλά συγχρόνως και την πολυπλοκότητα του συστήματος. Ανάλογα με την αρχική σύνθεση των στραγγισμάτων αποφασίζεται αν θα λειτουργήσουν τα επόμενα στάδια και ρυθμίζονται κατάλληλα οι βάνες που καθορίζουν τη διαδρομή των υγρών. Στην παρούσα φάση, χρησιμοποιούνται μόνο τα δύο πρώτα στάδια επεξεργασίας καθώς η ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος είναι ικανοποιητική.

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται το εσωτερικό του container που στεγάζει τη μονάδα της όσμωσης.



Εικόνα: Μονάδα αντίστροφης όσμωσης

► Εξατμιστές

Οι εξατμιστές αποτελούν το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας του βιολογικού καθαρισμού. Εκεί οδηγείται η άλμη η οποία παράγεται στη μονάδα της αντίστροφης όσμωσης. Επίσης, θα μπορούσαν να επεξεργαστούν απευθείας το στράγγισμα χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία της μονάδας αντίστροφης όσμωσης. Κάτι τέτοιο όμως, όπως είναι φυσικό, θα παρήγαγε προϊόν χαμηλότερης ποιότητας και τα περιβαλλοντικά οφέλη θα ήταν λιγότερα.

Στην παρούσα εγκατάσταση, σκοπός των εξατμιστών είναι η απομάκρυνση της υγρασίας από την άλμη έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος της. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς η άλμη αποτελείται από επιβλαβείς ουσίες γεγονός που καθιστά δύσκολη τη διαχείριση και την εναπόθεση της. Συνεπώς, όσο μικρότερος είναι ο όγκος της τόσο ευκολότερη θα είναι η μετέπειτα μεταφορά και αποθήκευσή της.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για τη λειτουργία των εξατμιστών αξιοποιείται ένα μέρος του θερμικού φορτίου των 4 μηχανών εσωτερικής καύσης της εταιρίας Jenbacher. Το κτίριο στο οποίο στεγάζονται αυτές οι μηχανές βρίσκεται κοντά στη μονάδα του βιολογικού καθαρισμού καθιστώντας έτσι ακόμα πιο εύκολη τη μεταφορά της θερμότητας μέσω ενός κλειστού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η θερμότητα που περιέχεται στο νερό ψύξης της μηχανής, αντί να αποβληθεί στο περιβάλλον, μεταφέρεται μέσω ενός πλακοειδούς εναλλάκτη σε ένα κλειστό κύκλωμα νερού. Αυτό το κύκλωμα αποτελεί τον ενδιάμεσο φορέα θερμότητας μεταξύ

της μηχανής και του εξατμιστή. Η θερμότητά του αποδίδεται στον εξατμιστή μέσω ενός κυλινδρικού εναλλάκτη. Υπολογίζεται ότι η μεταφερόμενη θερμότητα από κάθε μηχανή προς τον αντίστοιχο εξατμιστή είναι της τάξης των 1,1 MW.

Στη μονάδα λειτουργούν 4 εξατμιστές, ένας για κάθε μηχανή. Ομοίως, υπάρχουν και 4 ξεχωριστά κυκλώματα που συνδέουν κάθε μία μηχανή με έναν εξατμιστή. Ο κάθε εξατμιστής βρίσκεται σε ξεχωριστό container. Η επίβλεψη, ο έλεγχος και η ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας γίνεται μέσω ενός ειδικού προγράμματος που είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή του δωματίου ελέγχου της εγκατάστασης.

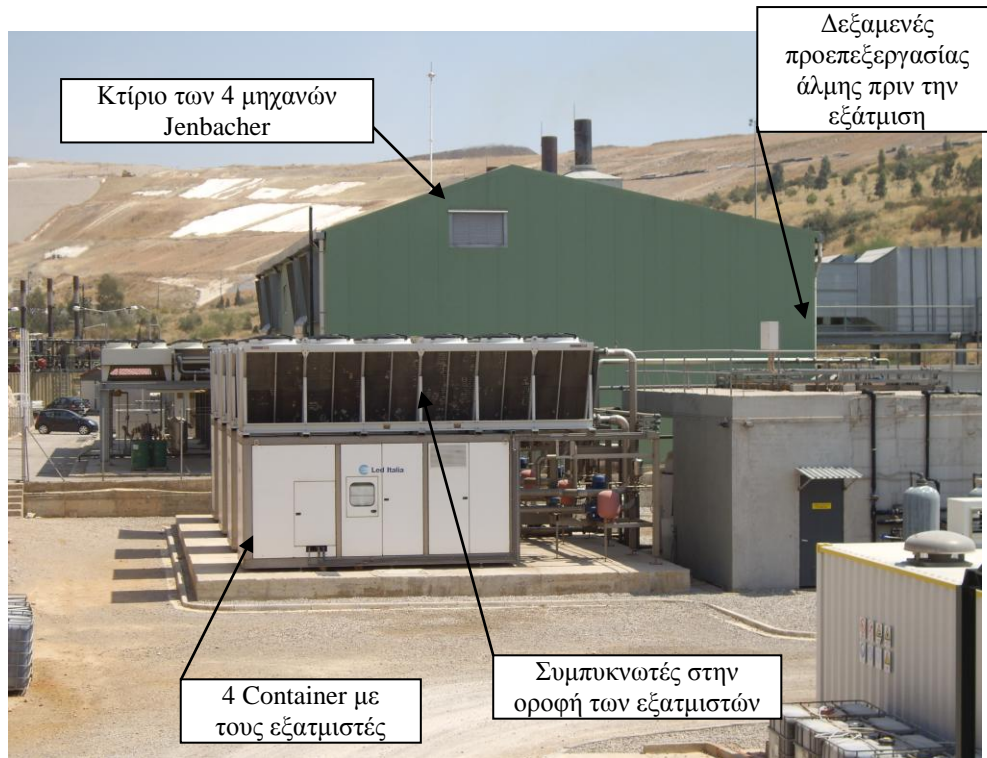
Όσον αφορά στον τρόπο λειτουργίας των εξατμιστών, η άλμη που εξέρχεται από την αντίστροφη όσμωση, οδηγείται σε μία δεξαμενή μεταβλητής στάθμης. Αυτή τροφοδοτεί τρεις συγκοινωνούντες δεξαμενές σταθερής στάθμης στις οποίες γίνεται αερισμός, καθώς διοχετεύεται αέρας μέσω ειδικών αντλιών στον πυθμένα τους.

Παράλληλα, μέσα στις τρεις δεξαμενές προστίθεται υδροχλωρικό οξύ καθώς και αντιαφριστικό. Ο ρόλος του υδροχλωρικού οξέως είναι να ρυθμίζει την οξύτητα της άλμης η οποία πρέπει να βρίσκεται κοντά σε τιμές $pH=7,0$. Τυχόν υψηλές τιμές του pH μπορεί να προκαλέσουν αυξημένες πιέσεις στο βραστήρα του εξατμιστή με αποτέλεσμα την εμφάνιση σφάλματος. Αναφορικά με το αντιαφριστικό, αυτό συντελεί στη μείωση του αφρισμού του υγρού. Σε περίπτωση έλλειψης αντιαφριστικού ενδέχεται, λόγω αφρισμού, να χύνεται άλμη από τη στέψη των δεξαμενών. Στην κανονική λειτουργία της μονάδας προβλέπεται ρίψη αυτών των υγρών στις δεξαμενές που διαρκεί 1 λεπτό με συχνότητα κάθε 20 λεπτά.

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της προεπεξεργασίας, η άλμη οδηγείται μέσα στον εξατμιστή. Εκεί, χρησιμοποιώντας τη θερμότητα από τις μηχανές, ατμοποιείται η υγρασία που περικλείεται στο υγρό και μειώνεται ο όγκος του. Η υγρασία αυτή, η οποία αποτελεί και το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού υγρού, εν συνεχεία, οδηγείται μέσω αντλιών στην οροφή του container όπου υπάρχουν οι συμπυκνωτές, όπως φαίνεται και στην εικόνα. Εκεί συντελείται συμπύκνωση του ατμοποιηθέντος υγρού και παράγεται το προϊόν της μονάδας (νερό) το οποίο είναι αντίστοιχο αυτού που παράγεται στην αντίστροφη όσμωση. Το προϊόν αυτό συλλέγεται σε μία δεξαμενή και αφού ενωθεί με το προϊόν της όσμωσης, διοχετεύεται στα δίκτυα άρδευσης και πυρόσβεσης του βουνού.

Η άλμη που εξέρχεται τελικά από τους εξατμιστές συλλέγεται στη δεξαμενή άλμης και απομακρύνεται από την εγκατάσταση καθημερινά με βυτιοφόρο. Τελικά, αφού έχει μειωθεί ο όγκος της, έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία του αρχικού στραγγίσματος με τον πλέον ενδεδειγμένο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η εν λόγω εγκατάσταση.

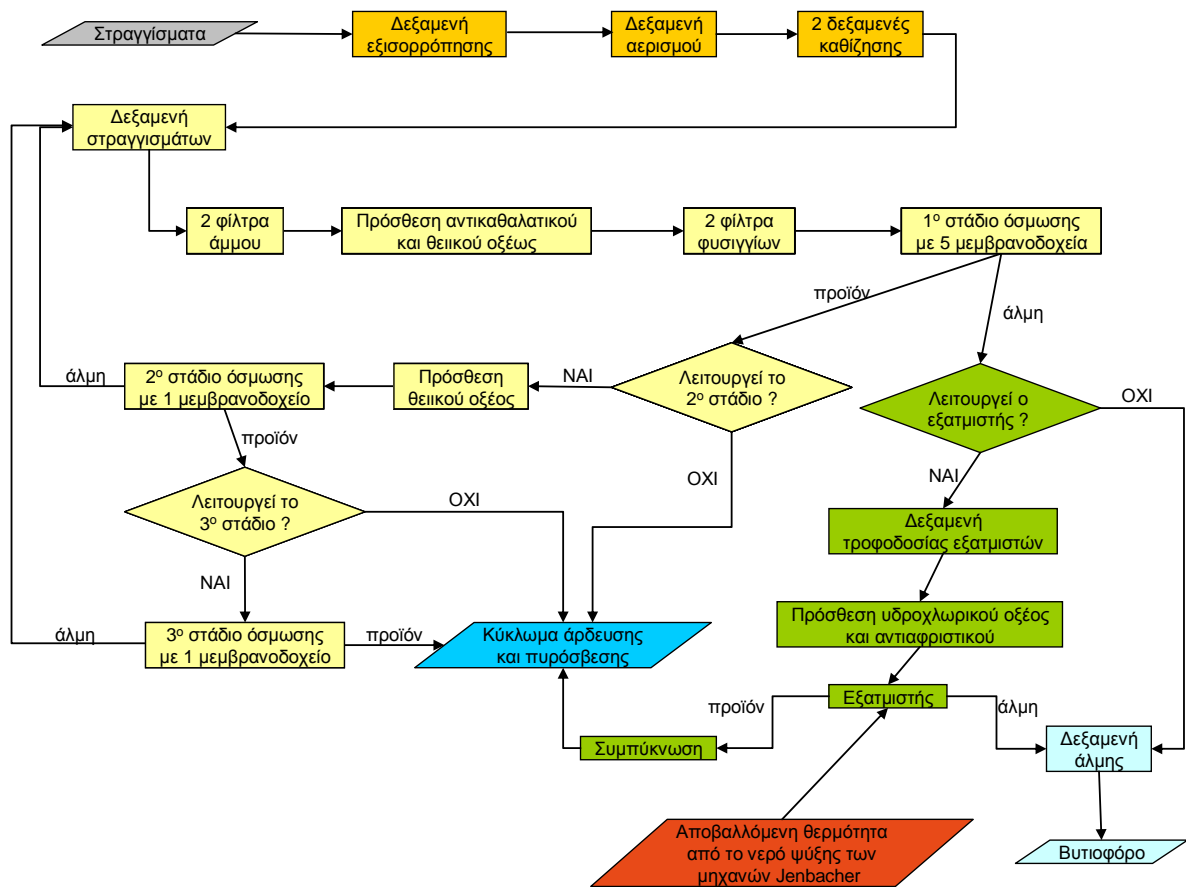


Εικόνα: Εξατμιστές του βιολογικού καθαρισμού

Τέλος, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι εξατμιστές δεν λειτουργούν πάντα. Η αυστηρή εξάρτησή τους από τις μηχανές δημιουργεί και αρκετά προβλήματα. Σε περίπτωση που δεν λειτουργεί μία μηχανή λόγω συντήρησης ή επισκευής, δεν δουλεύει ούτε ο αντίστοιχος εξατμιστής. Ακόμα και αν μία μηχανή λειτουργεί σε μερικό φορτίο, αυτό σημαίνει ότι αποβάλλει λιγότερη θερμότητα προς το κύκλωμα του εξατμιστή με αποτέλεσμα να μειώνεται η δυναμικότητά του. Η περίπτωση αυτή σε συνδυασμό με τυχόν αυξημένο όγκο στραγγισμάτων που εισέρχονται στο βιολογικό καθαρισμό, οδηγεί σε παράκαμψη του συστήματος των εξατμιστών. Το φαινόμενο αυτό είναι συχνό κάτι που σημαίνει ότι αρκετές φορές η άλμη απομακρύνεται από την εγκατάσταση δίχως να περάσει από το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας της.

Σε γενικές γραμμές όμως, η λειτουργία της συνολικής μονάδας του βιολογικού καθαρισμού κρίνεται απολύτως επιτυχημένη. Είναι εναρμονισμένη και σύμφωνη με τις πρόσφατες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τη διαχείριση των απορριμμάτων, ενώ το περιβαλλοντικό έργο που παράγει είναι εξαιρετικά σημαντικό. Πρόκειται για μία πρότυπη μονάδα η οποία θα πρέπει να λειτουργήσει σαν παράδειγμα έτσι ώστε να δημιουργηθούν αντίστοιχες εγκαταστάσεις και στις υπόλοιπες μεγαλουπόλεις της χώρας μας.

Ακολουθεί ένα γενικό διάγραμμα ροής της εγκατάστασης ολόκληρου του βιολογικού καθαρισμού με τις βασικές διεργασίες που ακολουθούνται, όπως αυτές περιγράφηκαν παραπάνω.



Σημία: Συνολική αλληλουχία διεργασιών βιολογικού καθαρισμού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αντίθεση με το νερό ψύξης των μηχανών του οποίου η απορριπτόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται σε παρακείμενες διεργασίες, τα καυσαέρια αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα αναξιοποίητα. Το ποσό θερμότητας που χάνεται μέσω των καυσαερίων είναι πολύ σημαντικό. Χαρακτηριστικά, αν κάποιος επισκεφθεί το σταθμό παραγωγής ενέργειας κάποια από τις κρύες μέρες του χειμώνα θα παρατηρήσει πλήθος γλάρων και άλλων πουλιών που πετούν πάνω από τις καμινάδες των μηχανών, σε πολύ μεγάλο ύψος, αναζητώντας προστασία από το κρύο. Όλη αυτή η θερμότητα θα μπορούσε, με κατάλληλη μελέτη, να αξιοποιηθεί προς όφελος και της εταιρίας αλλά και του περιβάλλοντος.

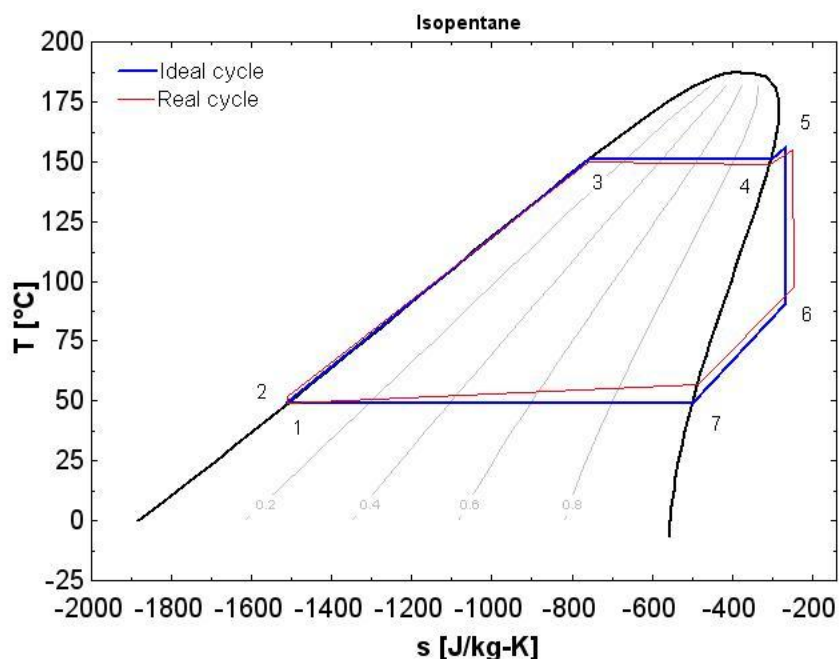
Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τη θερμότητα που περιέχεται στα καυσαέρια. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε αυτή τη θερμική ενέργεια είτε για θέρμανση, είτε για να παράγουμε ψύξη, είτε για να παράγουμε επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με τις ανάγκες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης επιλέγεται η πιο αποδοτική και συμφέρουσα μέθοδος.

Ο πιο απλός τρόπος αξιοποίησης αυτής της θερμότητας είναι η χρήση της για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης καθώς το μόνο που απαιτείται είναι η τοποθέτηση εναλλακτών θερμότητας. Ανάγκες θέρμανσης μπορεί να έχει είτε η ίδια η εγκατάσταση είτε κάποιος παρακείμενος οικισμός. Στην περίπτωσή μας, η εγκατάσταση δεν έχει ιδιαίτερες ανάγκες για θέρμανση που θα δικαιολογούσαν μία τέτοια μετατροπή. Παράλληλα, έχει ήδη εγκατασταθεί σύστημα τηλεθέρμανσης που εκμεταλλεύεται την απορριπτόμενη θερμότητα του νερού ψύξης για να θερμάνει το νερό χρήσης κάποιας παρακείμενης κοινότητας. Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας δίπλα από τη χωματερή δεν είναι ευνοϊκά έτσι ώστε να αναπτυχθεί μία κοινότητα ούτε τώρα ούτε στο μέλλον. Συνεπώς, το σύστημα τηλεθέρμανσης παραμένει ορφανό, ακυρώνοντας τα οφέλη που θα μπορούσαν να προκύψουν από τη χρήση του και αποτρέποντάς μας από τη μελέτη κατασκευής ενός παρόμοιου συστήματος που θα εκμεταλλεύεται τη θερμότητα των καυσαερίων.

Μία άλλη λύση που θα μπορούσε να ήταν συμφέρουσα είναι η παραγωγή ψύξης χρησιμοποιώντας την αποβαλλόμενη θερμότητα των καυσαερίων. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τέτοιες τεχνολογίες τα τελευταία χρόνια. Η ψύξη θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη στην εν λόγω εγκατάσταση καθώς το καύσιμο εισέρχεται στη

μηχανή με υψηλή θερμοκρασία. Μία ενδεχόμενη ψύξη του πριν την είσοδο στη μηχανή, θα αύξανε την πυκνότητά του και άρα και το βαθμό απόδοσης της μηχανής. Παρακάτω, θα εξεταστεί κατά πόσο αυτή η λύση είναι συμφέρουσα και αξίζει να υιοθετηθεί.

Η πιο ώριμη τεχνολογικά και αρκετά δοκιμασμένη μέθοδος αξιοποίησης της θερμότητας των καυσαερίων είναι η παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στο θερμοδυναμικό κύκλο του Rankine ο οποίος μετατρέπει τη θερμότητα σε έργο. Πρόκειται για ένα κλειστό σύστημα στο οποίο το εργαζόμενο μέσο θερμαίνεται, μέχρι ατμοποίησης του, αποκτώντας υψηλά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε διερχόμενο από το στρόβιλο να παράγει την επιθυμητή μηχανική ενέργεια. Ο στρόβιλος είναι συνδεδεμένος με μία γεννήτρια και έτσι παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Για την απόδοση της απαιτούμενης θερμότητας δεν χρησιμοποιούμε κάποιο καύσιμο, όπως συμβαίνει στους ατμοπαραγωγούς, αλλά εκμεταλλευόμαστε τη θερμότητα των καυσαερίων από τις μηχανές. Έτσι, η παραγωγή ενέργειας προκύπτει με μηδενικό λειτουργικό κόστος για την εγκατάσταση καθιστώντας την εξαιρετικά συμφέρουσα. Όσον αφορά στο εργαζόμενο μέσο, αυτό μπορεί να είναι νερό-ατμός ή, συνηθέστερα, κάποιο οργανικό μέσο του οποίου τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για τις



Σχήμα: Κύκλος Clausius-Rankine σε διάγραμμα T-s

εκάστοτε συνθήκες του κύκλου. Σε αυτή την περίπτωση ο κύκλος ονομάζεται Οργανικός Κύκλος Rankine (Organic Rankine Cycle-ORC). Στη συνέχεια, θα μελετηθεί διεξοδικά αυτή η μέθοδος εξετάζοντας τη χρήση είτε νερού-ατμού, είτε διαφόρων οργανικών μέσων, ώστε να καταλήξουμε στην πιο αποδοτική για την υφιστάμενη εγκατάσταση.

Για τη μελέτη αυτή έγινε χρήση ενός υπολογιστικού προγράμματος προσομοίωσης που ονομάζεται IPSEpro. Με αυτό το λογισμικό θα παρουσιαστεί αρχικά η παρούσα εγκατάσταση χρησιμοποιώντας τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, έτσι όπως τις κατέγραψα από την παρουσία μου στο σταθμό, και εν συνεχεία θα προστεθούν τα διάφορα συστήματα αξιοποίησης καυσαερίων.

6.2 ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Αρχικά, έγινε η προσομοίωση του σταθμού όπως είναι τώρα, δηλαδή οι 15 μηχανές εσωτερικής καύσης χωρίς κανένα σύστημα αξιοποίησης των καυσαερίων. Δεδομένου ότι η εγκατάσταση χωρίζεται σε δύο τμήματα, το 'τμήμα 1' με τις 11 μηχανές (Deutz) και το 'τμήμα 2' με τις 4 μηχανές (Jenbacher), το μοντέλο που κατασκευάσα ακολουθεί την ίδια διάταξη. Οι μηχανές που αποτελούν το κάθε τμήμα του σταθμού είναι ίδιες μεταξύ τους και λειτουργούν κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Συνεπώς, για αποφυγή πολυπλοκότητας και για πιο εύκολη επίβλεψη του σχήματος, προσομοίωσα και τις 15 μηχανές σαν να λειτουργούν μόνο δύο. Η μία μηχανή του μοντέλου αντιπροσωπεύει τις 11 μηχανές του τμήματος 1 και η άλλη αντιπροσωπεύει τις 4 μηχανές του τμήματος 2. Αυτή η απλοποίηση δεν εισάγει κανένα σφάλμα καθώς όλες οι κοινές μηχανές είναι ίδιες μεταξύ τους, και άρα αντί για τα χαρακτηριστικά μίας μηχανής, εισάγουμε στο πρόγραμμα το άθροισμα όλων. Από θερμοδυναμική άποψη, το αποτέλεσμα είναι ίδιο με το να γινόταν προσομοίωση κάθε μίας μηχανής ξεχωριστά.

Πέραν αυτού, η κατανομή τους στο χώρο του σταθμού επιτρέπει αυτό το διαχωρισμό, καθώς σε άλλο μέρος βρίσκεται το 'τμήμα 1' και σε άλλο το 'τμήμα 2' του σταθμού. Εξάλλου, για οποιοδήποτε σύστημα αξιοποίησης των καυσαερίων κι αν εξετάσουμε στη συνέχεια, σίγουρα δεν θα είναι συμφέρουσα η τοποθέτηση ενός συστήματος για κάθε μία μηχανή ξεχωριστά, αλλά θα είναι πολύ πιο αποδοτικό αν ομαδοποιήσουμε τα καυσαέρια των όμοιων μηχανών.

Αυτό προκύπτει όχι μόνο από την οικονομική σκοπιά αλλά και από το γεγονός ότι πολύ συχνά οι μεμονωμένες μηχανές τίθενται εκτός λειτουργίας για λόγους επισκευών, κάτι που θα προκαλούσε ασταθή λειτουργία του συστήματος αξιοποίησης καυσαερίων. Κατά αυτόν τον τρόπο όμως εξαρτιόμαστε από τη συνολική παραγωγή των μηχανών η οποία παραμένει σταθερή, επιτρέποντας έτσι μία σταθερή αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας.

Αναφορικά με την κατασκευή του μοντέλου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, έγινε η καταγραφή όλης της διαδικασίας που ακολουθείται από τη στιγμή που το βιοαέριο εξέρχεται από το βουνό μέχρι να αποβληθούν τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα. Και για τα δύο τμήματα του σταθμού η διαδικασία είναι η ίδια.

Πιο συγκεκριμένα, το βιοαέριο αφού οδηγηθεί, μέσω των σωληνώσεων, από το βουνό στο σταθμό, διέρχεται πρώτα από τον ψύκτη. Ο ψύκτης αυτός στο πρόγραμμα παρουσιάζεται σαν ένας εναλλάκτης αντιρροής που χρησιμοποιεί νερό σαν ψυκτικό μέσο. Κατόπιν, διέρχεται από την αντλία η οποία είναι υπεύθυνη για τη ροή του βιοαερίου και η οποία το οδηγεί μέσα στις μηχανές εσωτερικής καύσης.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δεν διέθετε στη βιβλιοθήκη του τη μορφή της μηχανής που χρησιμοποιεί η εγκατάσταση με συνέπεια να χρειαστεί να τη δημιουργήσω. Πρόκειται για στρόβιλο-υπερπληρωμένη μηχανή με ενδιάμεσο ψύκτη όπου πρώτα αναμιγνύεται ο αέρας με το καύσιμο και μετά συμπιέζεται. Έτσι, όπως φαίνεται και στο σχήμα, γίνεται αρχικά η ανάμιξη του βιοαερίου με τον αέρα καύσης χρησιμοποιώντας έναν απλό αναμείκτη αερίων. Εν συνεχεία, το μίγμα συμπιέζεται από το συμπιεστή ο οποίος κινείται από το στρόβιλο καυσαερίων. Πριν μπει στο θάλαμο καύσης, διέρχεται από το ενδιάμεσο ψυγείο (intercooler) το οποίο παρίσταται από έναν εναλλάκτη αντιρροής που χρησιμοποιεί νερό. Τέλος, εισέρχεται στο θάλαμο καύσης και καίγεται παράγοντας την επιθυμητή μηχανική ενέργεια η οποία κινεί τη συνδεδεμένη γεννήτρια.

Στο μοντέλο φαίνεται επίσης το κύκλωμα του νερού ψύξης της μηχανής. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο διαφορετικών μοντέλων μηχανών είναι στο κύκλωμα του νερού ψύξης και του intercooler. Στην πρώτη μηχανή, που αντιπροσωπεύει τις 11 όμοιες μηχανές, το κύκλωμα του νερού ψύξης (jacket water) είναι ξεχωριστό από αυτό του intercooler. Αντίθετα, στη δεύτερη μηχανή, η οποία αναπαριστά τις 4 όμοιες μηχανές, το κύκλωμα είναι κοινό και έτσι αφού το νερό διέλθει από το intercooler στη συνέχεια λειτουργεί και σαν νερό ψύξης της μηχανής πριν αποβάλει τη θερμότητά του για να κλείσει ο κύκλος.

Για να μπορούν, όμως, να ανταποκριθούν στην πραγματικότητα αυτές οι μηχανές δεν αρκεί να θέσουμε όλα τα απαραίτητα στοιχεία στο πρόγραμμα και να το αφήσουμε να 'τρέξει'. Το μοντέλο της μηχανής που περιγράφηκε παραπάνω δεν θα καταλάβαινε τη διαφορά στο βαθμό απόδοσης της μηχανής από την ύπαρξη της στρόβιλο-υπερπλήρωσης και του ενδιάμεσου ψυγείου. Κι αυτό διότι στη συγκεκριμένη 'αυτοσχέδια' μηχανή δεν είναι ορισμένος και σταθερός ο όγκος εμβολισμού και έτσι η συμπίεση και η ψύξη του μίγματος αυξάνει την πυκνότητά του μειώνοντας τον όγκο που καταλαμβάνει. Επιδίωξή μας όμως στις μηχανές εσωτερικής καύσης είναι η όσο το δυνατόν περισσότερη μάζα του μίγματος σε συγκεκριμένο όγκο. Γι αυτό το λόγο, ορίζουμε τον όγκο εμβολισμού τεχνητά, κρατώντας δηλαδή σταθερό τον όγκο του μίγματος πριν αυτό μπει στο θάλαμο καύσης. Έτσι, η επίδραση της υπερπλήρωσης και της ψύξης του μίγματος γίνεται αισθητή στο βαθμό απόδοσης της μηχανής.

Επιδιώκοντας την, κατά το δυνατόν, ακριβέστερη προσομοίωση της πραγματικής λειτουργίας των μηχανών, τα στοιχεία που εισήγαγα στο πρόγραμμα

προέκυψαν από τα πραγματικά στοιχεία που πήρα από το σταθμό. Συνεπώς, η λειτουργία του σταθμού που παρουσιάζεται στο πρόγραμμα δεν αφορά τις ονομαστικές συνθήκες για τις οποίες είναι κατασκευασμένος αλλά τις πραγματικές. Η σημαντικότερη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ο σταθμός λειτουργεί με κάποιο συντελεστή διαθεσιμότητας ο οποίος κυμαίνεται γύρω στο 80%. Αυτός οφείλεται στις συχνές επισκευές και συντηρήσεις των μηχανών, στην εκάστοτε διαθεσιμότητα του βιοαερίου από το βουνό καθώς και σε πιθανές απορρίψεις του παραγόμενου φορτίου από τη ΔΕΗ. Με άλλα λόγια, οι μηχανές δεν λειτουργούν ταυτόχρονα όλες μαζί στο ονομαστικό τους φορτίο.

Όπως έχει εξηγηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιδίωξη της εταιρίας είναι η σταθερή ημερήσια παραγωγή ενέργειας. Η λειτουργία δηλαδή των μηχανών είναι τέτοια ώστε να παράγεται στο σύνολό της η συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας ανεξάρτητα από το ποιες μηχανές δουλεύουν και ποιες όχι. Η θεώρηση, λοιπόν, του σταθμού σαν δύο τμήματα, όπως έγινε στην προσομοίωση, και όχι σαν 15 ξεχωριστές μονάδες ενισχύει τη σταθερότητα της εγκατάστασης και εξαλείφει τις συνεχείς μεταβολές στο φορτίο κάθε μίας μηχανής ξεχωριστά.

Γνωρίζοντας, δηλαδή, την ημερήσια παραγωγή του κάθε τμήματος του σταθμού καθώς και την παροχή βιοαερίου προς κάθε ένα από τα δύο αυτά τμήματα, μελετούμε την εγκατάσταση χωρίς να μας ενδιαφέρει ποιες και πόσες μηχανές λειτουργούν καθημερινά. Έτσι, η λειτουργία της εγκατάστασης χαρακτηρίζεται από σταθερότητα γεγονός που καθιστά εφικτή την αξιοποίηση των καυσαερίων με σταθερό ρυθμό.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζω τα χαρακτηριστικά στοιχεία της εγκατάστασης έτσι όπως τα έχω εισάγει στο πρόγραμμα με σκοπό να προσομοιάσω την πραγματική λειτουργία των μηχανών.

	ΓΚΡΟΥΠ 11 ΜΗΧΑΝΩΝ (DEUTZ)	ΓΚΡΟΥΠ 4 ΜΗΧΑΝΩΝ (JENBACHER)
Θερμοκρασία εξόδου του βιοαερίου από το βουνό	27 °C	27 °C
Πίεση εξόδου του βιοαερίου από το βουνό	0,887 bar	0,887 bar
Παροχή βιοαερίου στην έξοδο από το βουνό	6.350 m ³ /h	4.466 m ³ /h
Θερμοκρασία βιοαερίου μετά τον chiller	7 °C	7 °C
Πίεση βιοαερίου μετά την αντλία κενού	1,08 bar	1,12 bar
Πίεση μίγματος μετά την υπερπλήρωση	2,85 bar	2,85 bar
Θερμοκρασία εισόδου/εξόδου του intercooler water	48 / 53 °C	--
Θερμοκρασία εισόδου/εξόδου του jacket water	78,5 / 87,5 °C	--

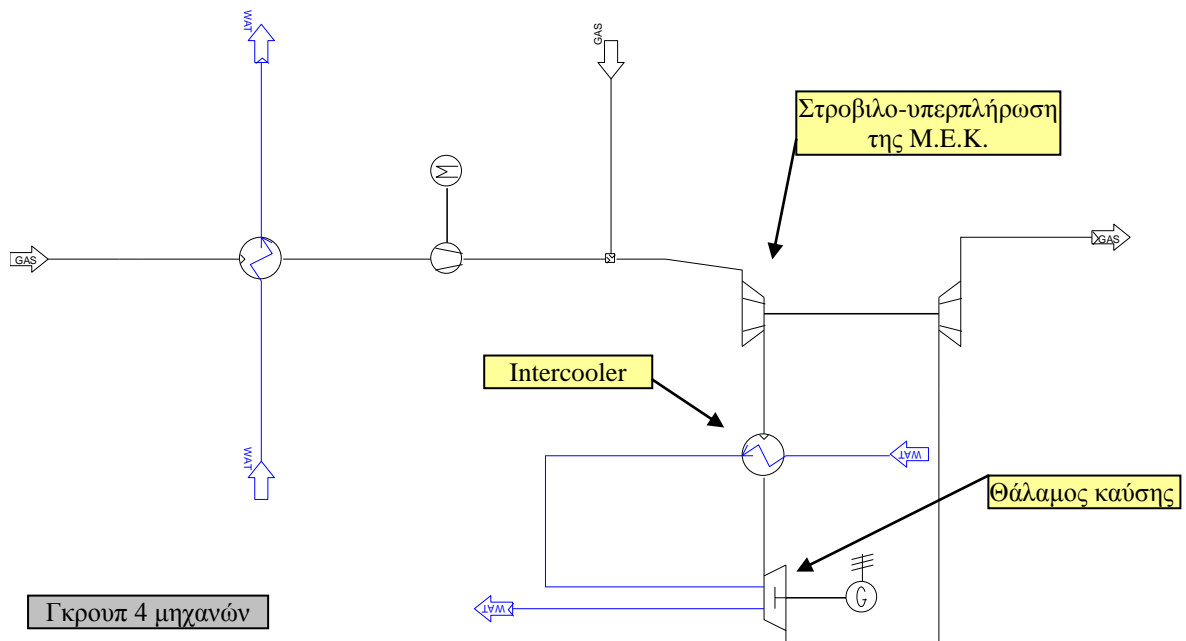
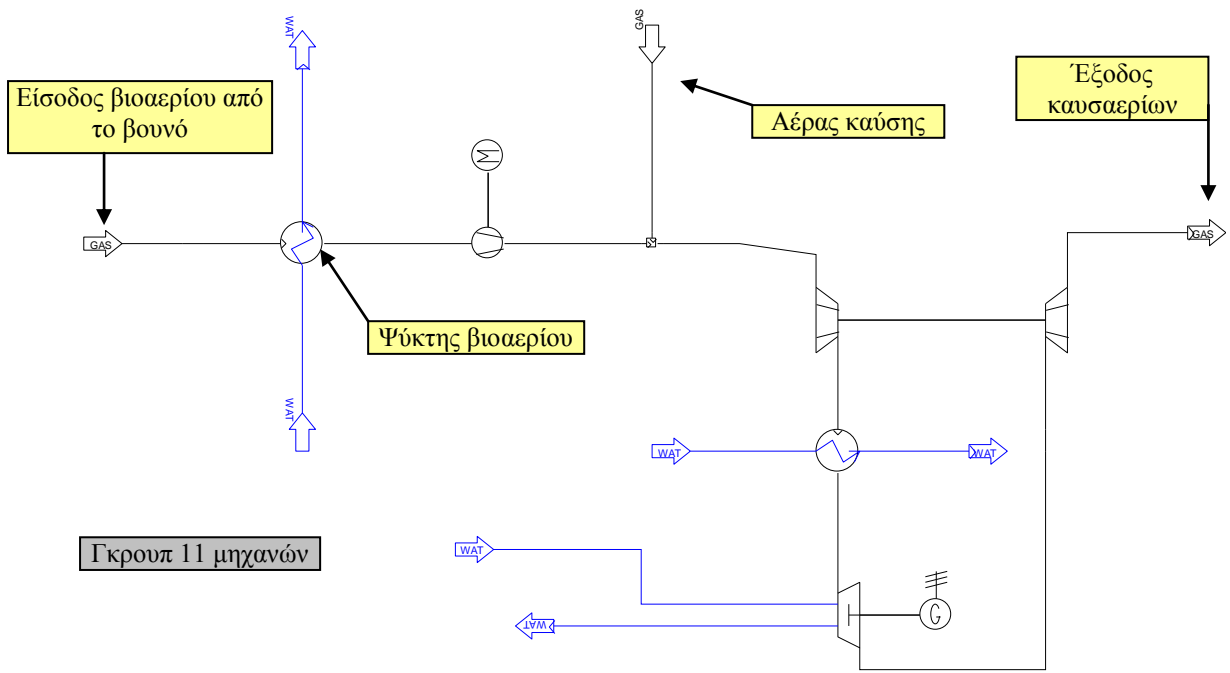
Θερμοκρασία εισόδου/εξόδου όλου του κυκλώματος ψύξης (μόνο για τις Jenbacher)	--	60 / 96 °C
Θερμοκρασία μίγματος πριν την είσοδο στο θάλαμο καύσης	60,7 °C	61,4 °C
Συντελεστής λ της μηχανής	1,73	1,73
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (μετά το στρόβιλο)	443 °C	479 °C
Παροχή καυσαερίων	70.271 kg/h	49.424 kg/h
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια	11.088 kW	7.776 kW

Όπως φαίνεται από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, η εγκατάσταση έχει μοντελοποιηθεί με βάση την πραγματική της λειτουργία. Έτσι, ενώ το ονομαστικό φορτίο όλης της εγκατάστασης είναι 23,88 MW, λόγω του συντελεστή διαθεσιμότητας, η πραγματική παραγωγή είναι μικρότερη.

Όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, η παρούσα ημερήσια παραγωγή ενέργειας είναι 440.000 kWh ενώ το επόμενο δίμηνο αναμένεται να ανέλθει στις 460.000 kWh λόγω άντλησης βιοαερίου από το καινούριο ΧΥΤΑ Φυλής. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έχω θεωρήσει ένα μέσο όρο παραγωγής ενέργειας κοντά στις 450.000 kWh. Έτσι προκύπτει η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που φαίνεται στην τελευταία γραμμή του πίνακα και ισούται με 18,86 MW.

Η προσέγγιση αυτή εισάγει μία απλούστευση στον τρόπο λειτουργίας του σταθμού καθώς θεωρεί σταθερή παραγωγή ενέργειας από τα δύο γκρουπ μηχανών. Στην πράξη, σταθερή παραμένει μόνο η συνολική ημερήσια παραγωγή. Η παραγωγή κάθε τμήματος ξεχωριστά δεν είναι πάντα σταθερή καθώς εξαρτάται από τη συντήρηση και την επισκευή των μηχανών. Καθώς ο παράγοντας της συντήρησης των μηχανών είναι απρόβλεπτος, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να εισαχθεί στο πρόγραμμα, θεωρείται σταθερή παραγωγή ενέργειας από τα δύο γκρουπ των μηχανών γεγονός που σε γενικές γραμμές δεν εισάγει κάποιο σφάλμα.

Ακολουθεί το μοντέλο της εγκατάστασης όπως αυτό σχεδιάστηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα.



Σήμα: Μοντέλο IPSEpro παρούσας εγκατάστασης

6.3 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ORC

Στην παρούσα ενότητα θα μελετήσουμε διεξοδικά την τοποθέτηση ενός συστήματος Οργανικού Κύκλου Rankine ο οποίος θα εκμεταλλεύεται τη θερμότητα των καυσαερίων για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Θα εξεταστούν δύο διαφορετικές περιπτώσεις συστημάτων. Η πρώτη αφορά σύστημα ORC που παίρνει τη θερμότητα από ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου ενώ η δεύτερη αφορά σύστημα ORC που δέχεται τη θερμότητα απευθείας από τα καυσαέρια των μηχανών. Και στις δύο αυτές διαφορετικές μορφές του συστήματος, θα παρουσιαστεί η τοποθέτηση δύο μονάδων ORC, ενός για κάθε γκρουπ μηχανών, ακολουθώντας έτσι την παρούσα διάταξη του σταθμού. Μάλιστα, στην πρώτη περίπτωση θα εξεταστούν δύο διαφορετικά οργανικά μέσα.

Πέραν αυτών, θα μελετηθεί και η εγκατάσταση ενός μόνο συστήματος ORC που θα δέχεται τη θερμότητα των καυσαερίων και των 15 μηχανών. Η περίπτωση αυτή προέκυψε για οικονομικούς λόγους καθώς, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο, είναι σίγουρα οικονομικότερη η τοποθέτηση ενός μεγαλύτερου αντί δύο μικρότερων τέτοιων συστημάτων.

6.3.1 ORC με ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου

Η συγκεκριμένη μορφή του ORC αποτελείται από δύο κλειστά κυκλώματα. Το πρώτο είναι το κύκλωμα του θερμικού ελαίου το οποίο λαμβάνει τη θερμότητα από τα αποβαλλόμενα καυσαέρια της μηχανής την οποία, με τη σειρά του, τη μεταφέρει στο άλλο κύκλωμα της μονάδας, αυτό του οργανικού μέσου.

Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται αυτό το κύκλωμα είναι για να εξομαλύνει τυχόν διακυμάνσεις στην παροχή των καυσαερίων από τις μηχανές. Καθώς ενδέχεται να λάβουν χώρα διάφορες μεταβολές στη ροή και στις θερμοδυναμικές ιδιότητες των καυσαερίων, αυτές δεν πρέπει να γίνονται άμεσα και έντονα αντιληπτές από το κύκλωμα του οργανικού μέσου. Αυτό είναι σημαντικό καθώς το κύκλωμα του οργανικού μέσου είναι υπεύθυνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος. Ουσιαστικά, δηλαδή, αποτρέπουμε τις έντονες διακυμάνσεις στη λειτουργία του συστήματος ORC. Πέραν αυτού, σε περίπτωση που χρησιμοποιείται κάποιο εύφλεκτο οργανικό μέσο, όπως θα δούμε παρακάτω, το κύκλωμα θερμικού ελαίου συμβάλει στη μείωση του κινδύνου ανάφλεξης.

Μία ακόμα σημαντική λειτουργία του ενδιάμεσου κυκλώματος αποτελεί το γεγονός ότι διευκολύνει την ανάκτηση της αποβαλλόμενης θερμότητας των μηχανών σε περιπτώσεις όπου θέλουμε να εκμεταλλευτούμε περισσότερες της μίας μηχανές. Με τη χρήση του κυκλώματος του θερμικού ελαίου, και τοποθετώντας από έναν εναλλάκτη σε κάθε καμινάδα, μπορούμε πολύ εύκολα να συλλέξουμε τη θερμότητα

των καυσαερίων η οποία στη συνέχεια οδηγείται στην κεντρική μονάδα του συστήματος που αποτελείται από το κύκλωμα του οργανικού μέσου και τη στροβιλογεννήτρια.

Αντίθετα, αν δεν υπήρχε το ενδιάμεσο κύκλωμα, όπως θα εξεταστεί παρακάτω, θα έπρεπε να συνέκλιναν όλες οι καμινάδες στο κύκλωμα του οργανικού μέσου για να διέλθουν από τον προθερμαντήρα και τον ατμοποιητή του συστήματος. Κάτι τέτοιο θα αύξανε σημαντικά το κόστος εγκατάστασης της μονάδας ενώ η δεδομένη πολυπλοκότητα αυτού του δικτύου σωληνώσεων θα εισήγαγε πολλές πηγές προβλημάτων στη λειτουργία του σταθμού.

Για να παρουσιαστεί η μετάδοση θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμικό έλαιο, χρησιμοποιώ στο πρόγραμμα έναν εναλλάκτη αντιρροής ο οποίος αντικαθιστά τους εναλλάκτες που θα τοποθετούνταν στην πράξη σε κάθε μία καμινάδα. Σαν εργαζόμενο μέσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε συνθετικό έλαιο το οποίο διατηρεί τα χαρακτηριστικά του στις συγκεκριμένες θερμοκρασίες και πιέσεις. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιώ θερμικό έλαιο Solutia Therminol με αφορμή το γεγονός ότι η εταιρία κατασκευής συστημάτων ORC, Turboden, χρησιμοποιεί το ίδιο. Το έλαιο αυτό είναι αρκετά εμπορικό και αξιόπιστο στη χρήση του.

Για να γίνει η μετάδοση θερμότητας από το κύκλωμα του θερμικού ελαίου σε αυτό του οργανικού μέσου υπάρχουν δύο εναλλάκτες θερμότητας, ένας προθερμαντήρας και ένας ατμοποιητής. Στο πρόγραμμα έχει οριστεί μετά τον προθερμαντήρα το οργανικό μέσο να είναι κορεσμένο υγρό. Ο ατμοποιητής αλλάζει φάση στο οργανικό μέσο και το μεταφέρει οριακά στην υπέρθερμη κατάσταση.

Το θερμικό έλαιο αφού έχει αποδώσει την απαιτούμενη θερμότητα στο οργανικό μέσο επιστρέφει στον αρχικό εναλλάκτη καυσαερίων για να κλείσει τον κύκλο του. Δεδομένου όμως ότι μετά τη διέλευση από τον κάθε εναλλάκτη συντελείται μία μικρή πτώση πίεσης στο κύκλωμα, παρεμβάλλεται μία αντλία η οποία ανυψώνει ξανά την πίεση στα αρχικά επίπεδα και διατηρεί αμετάβλητη τη ροή του υγρού.

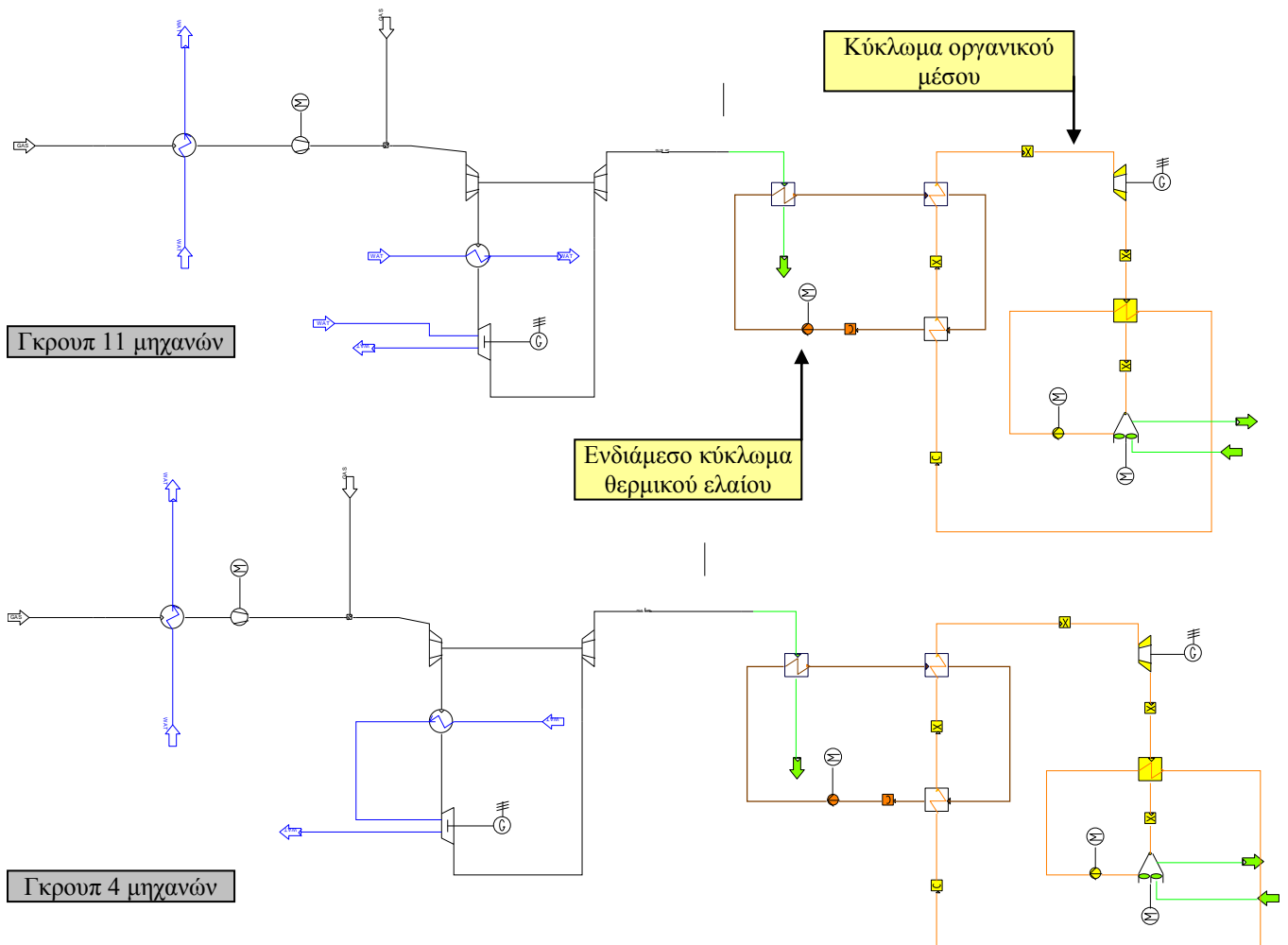
Όσον αφορά στο κύκλωμα του οργανικού μέσου, αφού αυτό διέλθει από τους δύο εναλλάκτες και ατμοποιηθεί, εν συνεχεία οδηγείται στον στρόβιλο όπου αποτονώνεται. Για το στρόβιλο έχω ορίσει ισεντροπικό βαθμό απόδοσης ίσο με 0,78 για να προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματικότητα. Ο στρόβιλος συνδέεται με μία γεννήτρια η οποία παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.

Το οργανικό μέσο που εξέρχεται από το στρόβιλο βρίσκεται ακόμα στην υπέρθερμη περιοχή και έτσι η θερμότητά του χρησιμοποιείται σε έναν ανακομιστή θερμότητας που προθερμαίνει το οργανικό μέσο πριν αυτό οδηγηθεί στους εναλλάκτες θερμικού ελαίου. Η απόδοση θερμότητας του ατμοποιημένου οργανικού μέσου προς το υγρό οργανικό μέσο συντελεί και άλλον ένα ρόλο, καθώς σε περίπτωση που δεν υπήρχε ο ανακομιστής, η συμπύκνωση του οργανικού μέσου θα

ήταν πολύ δυσκολότερη και θα απαιτούσε μεγαλύτερο συμπυκνωτή. Έτσι, μετά τον ανακομιστή θερμότητας, συμπυκνώνεται και διέρχεται από την αντλία η οποία το ανυψώνει πάλι στην πίεση λειτουργίας για να κλείσει ο κύκλος λειτουργίας.

Ο συμπυκνωτής που έχει εγκατασταθεί, χρησιμοποιεί αέρα για να αποβάλει τη θερμότητα. Ο λόγος που χρησιμοποιώ συμπυκνωτή αέρα είναι ότι στην περιοχή που είναι τοποθετημένος ο σταθμός δεν υπάρχει κάποιο ποτάμι ή κάποια λίμνη που θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν δεξαμενή νερού για το συμπυκνωτή. Παρόλο που το νερό έχει σαφή πλεονεκτήματα έναντι του αέρα ως φορέας θερμότητας, κυρίως λόγω της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητας και της σταθερής πυκνότητάς του, θεωρώ πως στην περίπτωση μας δεν συμφέρει η τοποθέτηση συμπυκνωτή νερού.

Ακολουθεί το σχήμα της εγκατάστασης με τα δύο συστήματα ORC, για τις 11 και τις 4 μηχανές αντίστοιχα, όπως προκύπτει από την προσομοίωση στο υπολογιστικό πρόγραμμα.



Σχήμα: Μοντέλο IPSEpro για ORC με ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου

Μέχρι στιγμής δεν έγινε καμία αναφορά στο οργανικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε. Για τη συγκεκριμένη μορφή του συστήματος ORC έγινε η μελέτη

με δύο ξεχωριστά οργανικά μέσα που αντιπροσωπεύουν δύο μεγάλες ομάδες μέσων. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το πεντάνιο που ανήκει στην κατηγορία των υδρογονανθράκων και εν συνεχεία ένα σιλοξάνιο με μεγάλη εμπορική εφαρμογή, το silicon oil (MDM). Τα δύο αυτά οργανικά μέσα παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στις ιδιότητες τους κάτι που φαίνεται και από τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

► Οργανικό μέσο πεντάνιο

Το πεντάνιο έχει πολύ καλές θερμικές ιδιότητες για τον κύκλο Rankine και τα αποτελέσματα που παράγει είναι πολύ ελκυστικά. Έχει όμως ένα σημαντικό μειονέκτημα. Το πεντάνιο, όπως και τα υπόλοιπα οργανικά μέσα της ίδιας κατηγορίας, είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο με συνέπεια να υπάρχει ο κίνδυνος ανάφλεξης.

Εδώ υπεισέρχεται ο ρόλος του θερμικού ελαίου που αναφέρθηκε πριν. Σε περίπτωση που δεν υπήρχε αυτό το κύκλωμα, οι εναλλάκτες καυσαερίων-οργανικού μέσου που θα υπήρχαν, θα έθεταν σε κίνδυνο τη λειτουργία της μονάδας καθώς μία ενδεχόμενη διαρροή του οργανικού μέσου προς την πλευρά των καυσαερίων, τα οποία είναι πολύ θερμά και περιέχουν και οξυγόνο, θα μπορούσε να προκαλέσει ανάφλεξη και έκρηξη. Με την παρουσία του ενδιάμεσου κυκλώματος θερμικού ελαίου, το οποίο δεν είναι εύφλεκτο, αποφεύγεται αυτός ο κίνδυνος.

Στο σχεδιασμό του κύκλου, μεταβάλλοντας τα διάφορα χαρακτηριστικά, όπως θερμοκρασίες, πιέσεις και παροχή του οργανικού μέσου και παρατηρώντας κάθε φορά τις αλλαγές που προκύπτουν, επιδιώχθηκε να δημιουργηθεί ο πιο αποδοτικός κύκλος ο οποίος θα ήταν και τεχνολογικά πραγματοποιήσιμος. Βασικοί παράμετροι που ελήφθησαν υπόψη στο σχεδιασμό, πέραν προφανώς των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του πεντανίου, ήταν η δυνατότητα συμπύκνωσης σε ένα ζεστό περιβάλλον καθώς και το μέγεθος των εναλλακτών, το οποίο δεν θα πρέπει να είναι αλόγιστα μεγάλο για οικονομικούς και πρακτικούς λόγους. Όλα αυτά με γνώμονα πάντα την, κατά το δυνατόν, μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια.

Σχετικά με τη συμπύκνωση, όπως εξηγήθηκε νωρίτερα, χρησιμοποιείται ο αέρας σαν μέσο απόρριψης της θερμότητας του πεντανίου. Στις συνθήκες εισόδου του αέρα στο συμπυκνωτή, ελήφθησαν υπόψη οι υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, καθώς η εγκατάσταση θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Το χειμώνα, οι συνθήκες συμπύκνωσης είναι προφανώς ευνοϊκότερες. Χαρακτηριστικά, θεωρήθηκε αέρας θερμοκρασίας 30 °C και πίεσης 1 bar για τη συμπύκνωση, με παροχή που διαφοροποιείται κατάλληλα για τα δύο συστήματα ORC κάθε γκρουπ μηχανών.

Για τον περιορισμό του μεγέθους των εναλλακτών σε φυσιολογικά πλαίσια, ελέγχθηκε η κατάσταση του παραγόμενου ατμού και επιχειρήθηκε να παραχθεί ατμός με τη μικρότερη δυνατή υπερθέρμανση. Τυχόν υψηλές συνθήκες υπερθέρμανσης θα

οδηγούσαν σε ασύμφορους και μεγάλους εναλλάκτες. Παράλληλα, δεν είναι τεχνικά εύκολο να πραγματοποιηθεί στην πράξη η υπερβολική υπερθέρμανση του πεντανίου, όπως επίσης και των λοιπών οργανικών μέσων.

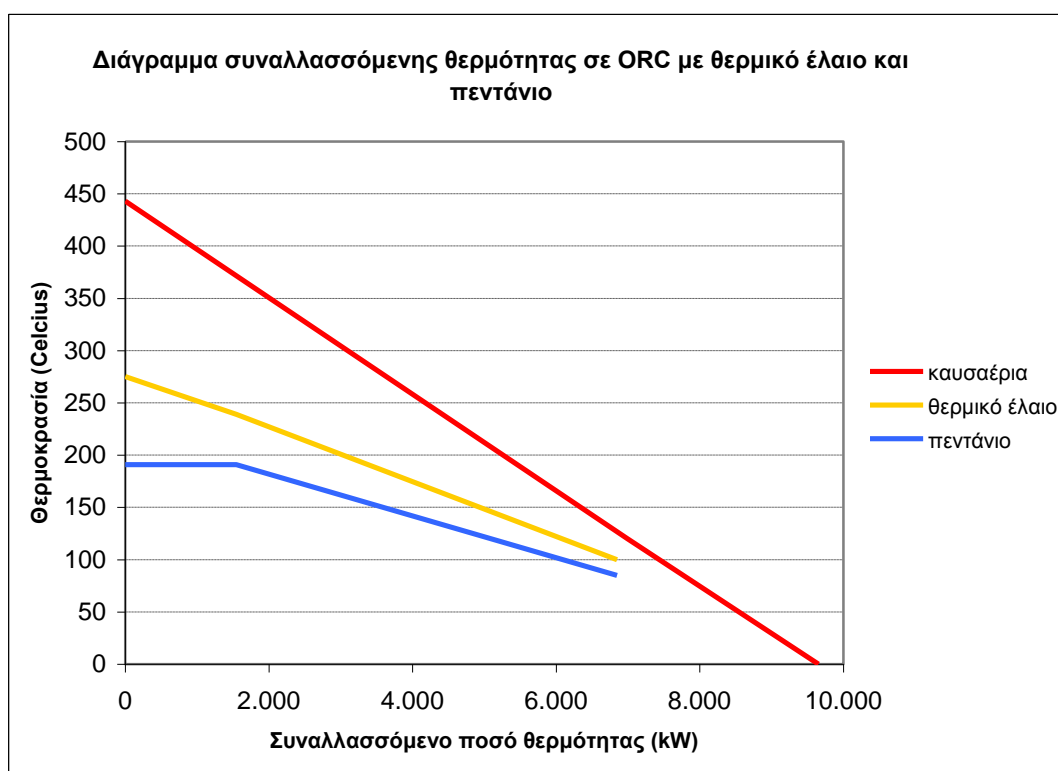
Μεταβάλλοντας όλα αυτά τα χαρακτηριστικά που αφορούν στο κύκλωμα του οργανικού μέσου, επηρεάζεται προφανώς και το κύκλωμα του θερμικού ελαίου. Το κάθε θερμικό έλαιο έχει τις δικές του θερμοδυναμικές ιδιότητες, και έτσι πέρα από τη ρύθμιση των επιμέρους θερμοκρασιών και πιέσεών του, γίνεται και επιλογή του συγκεκριμένου τύπου λαδιού με βάση τις εκάστοτε ανάγκες του κυκλώματος.

Με στόχο λοιπόν τη βελτιστοποίηση του αποτελέσματος, και με βάση τους παραπάνω περιορισμούς, το πρόγραμμα εκτελέστηκε διαδοχικές φορές μέχρι να καταλήξω στην τελική του μορφή. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κύκλου των δύο συστημάτων ORC για τα δύο γκρουπ μηχανών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΕΝΤΑΝΙΟ	ΓΚΡΟΥΠ 11 ΜΗΧΑΝΩΝ	ΓΚΡΟΥΠ 4 ΜΗΧΑΝΩΝ
Τελική θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων	120 °C	120 °C
Απώλειες θερμότητας εναλλακτών	2%	2%
Τύπος θερμικού ελαίου	Solutia Therminol 59	Solutia Therminol 59
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας εναλλάκτη καυσαερίων- θερμικού ελαίου	6.989 kW	5.486 kW
Πίεση θερμικού ελαίου	3 bar	3 bar
Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία θερμικού ελαίου	275/100 °C	250/95 °C
Παροχή θερμικού ελαίου	17,9 kg/sec	16,2 kg/sec
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας προθερμαντήρα οργανικού μέσου	5.303 kW	4.101 kW
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ατμοποιητή οργανικού μέσου	1.546 kW	1.276 kW
Παροχή οργανικού μέσου	15,5 kg/sec	11,9 kg/sec
Πίεση οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	31 bar	30 bar
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	192 °C	189 °C
Πίεση οργανικού μέσου μετά το στρόβιλο	1,5 bar	1,5 bar
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ανακομιστή	1.580 kW	1.174 kW
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν τον προθερμαντήρα	85 °C	80 °C
Παροχή αέρα συμπυκνώσεως	350 kg/sec	280 kg/sec
Ιδιοκαταναλώσεις	140 kW	106 kW
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια	1.286 kW	976 kW

Είναι σημαντικό να τονίσω ξανά ότι τα χαρακτηριστικά αυτών των κύκλων έχουν υπολογισθεί με βάση την πραγματική λειτουργία των μηχανών και όχι την ονομαστική. Σε περίπτωση που μεταβληθεί ο συντελεστής διαθεσιμότητας και άρα μεταβληθεί και η ποσότητα των καυσαερίων από τις μηχανές, είναι πολύ εύκολο να προσαρμοστεί και το σύστημα ORC μεταβάλλοντας μόνο την παροχή του οργανικού μέσου και του θερμικού ελαίου.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα Q-T για το σύστημα ORC που αφορά το γκρουπ των 11 μηχανών, όπου παρουσιάζεται η μεταφορά θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμικό έλαιο και ακολούθως στο οργανικό μέσο.

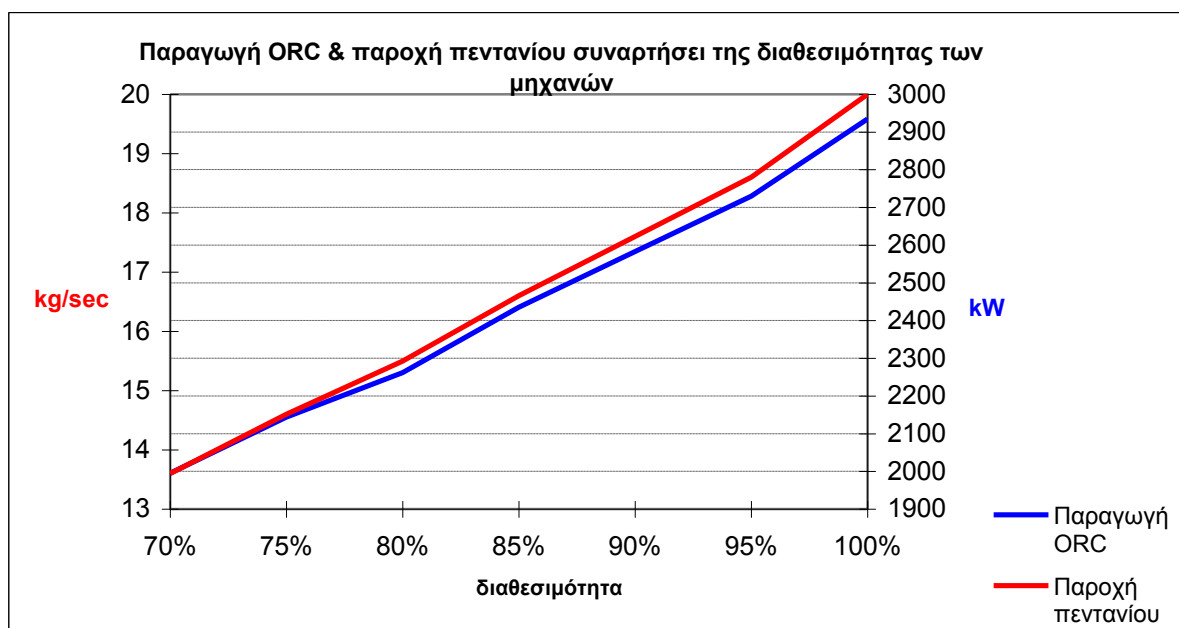


Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει το ποσοστό αξιοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας από το σύστημα ORC. Προφανώς, όσο πιο πολύ μπορέσουμε να προσεγγίσουμε την ευθεία που παριστάνει τη μεταβολή των καυσαερίων και όσο περισσότερο ψύξουμε τα καυσαέρια πριν εξέλθουν στην ατμόσφαιρα, τόσο περισσότερο θα εκμεταλλευτούμε την αποβαλλόμενη ενέργεια.

Ο βαθμός απόδοσης της ανάκτησης θερμότητας ισούται με το πηλίκο της μεταφερθείσας στο θερμικό έλαιο και στο οργανικό μέσο θερμότητας προς τη συνολική θερμότητα που περικλείεται στα καυσαέρια. Ο βαθμός απόδοσης δηλαδή, εξαρτάται από το πόσο καταφέραμε να ψύξουμε τα καυσαέρια και δεν εκφράζει το κατά πόσο προσεγγίσαμε την ευθεία των καυσαερίων στο διάγραμμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

$$\eta = 71\%$$

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το διάγραμμα που εμφανίζει την εξάρτηση μεταξύ της διαθεσιμότητας των μηχανών του σταθμού και της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις δύο μονάδες ORC που τοποθετήθηκαν. Στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται και η μεταβολή της παροχής του οργανικού μέσου (ενδεικτικά για τη μονάδα ORC του πρώτου γκρουπ μηχανών) για τις διάφορες τιμές της διαθεσιμότητας των μηχανών του σταθμού.



► Οργανικό μέσο silicon oil (MDM)

Το δεύτερο οργανικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο σύστημα είναι ένα σιλοξάνιο που ονομάζεται MDM ή αλλιώς silicon oil. Βασικό πλεονέκτημα αυτού του μέσου σε σύγκριση με το πεντάνιο αποτελεί το γεγονός ότι δεν είναι εύφλεκτο. Έτσι, με αυτό το οργανικό μέσο δεν διατρέχουμε ιδιαίτερο κίνδυνο ανάφλεξης του συστήματος σε ενδεχόμενη αστοχία κάποιου εναλλάκτη. Γι' αυτό το λόγο το silicon oil επιλέγεται από πολλές μεγάλες εταιρίες κατασκευής τέτοιων συστημάτων.

Στην πράξη όμως, συνήθως χρησιμοποιείται μίγμα διαφόρων σιλοξανίων σαν οργανικό μέσο και όχι τα καθαρά σιλοξάνια, όπως είναι το MDM. Αυτό συμβαίνει διότι έχει αποδειχθεί πως η ένωση διαφόρων συστατικών της ίδιας οικογενείας, όπως είναι τα MM, MDM και MD₂M, προσφέρει καλύτερα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά για τη χρήση σε ORC. Επιπρόσθετα, το μίγμα αυτό παρουσιάζει εξαιρετική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, ακόμα μεγαλύτερη απ' ό,τι κάθε ένα συστατικό ξεχωριστά.

Συνεπώς, το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε σαν οργανικό μέσο το MDM και όχι ένα μίγμα διαφόρων συστατικών, αιτιολογεί εν μέρει την αισθητά μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το πεντάνιο, όπως θα φανεί στον παρακάτω πίνακα. Είναι αλήθεια πως, με βάση τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των δύο διαφορετικών κατηγοριών οργανικών μέσων, έτσι κι αλλιώς αναμέναμε μικρότερη απόδοση συγκριτικά με το πεντάνιο. Στην προκειμένη περίπτωση όμως, η μεγάλη διαφορά που παρατηρείται στην απόδοση οφείλεται κατά κύριο λόγο στη χρησιμοποίηση απλού σιλοξανίου και όχι ειδικού μίγματος.

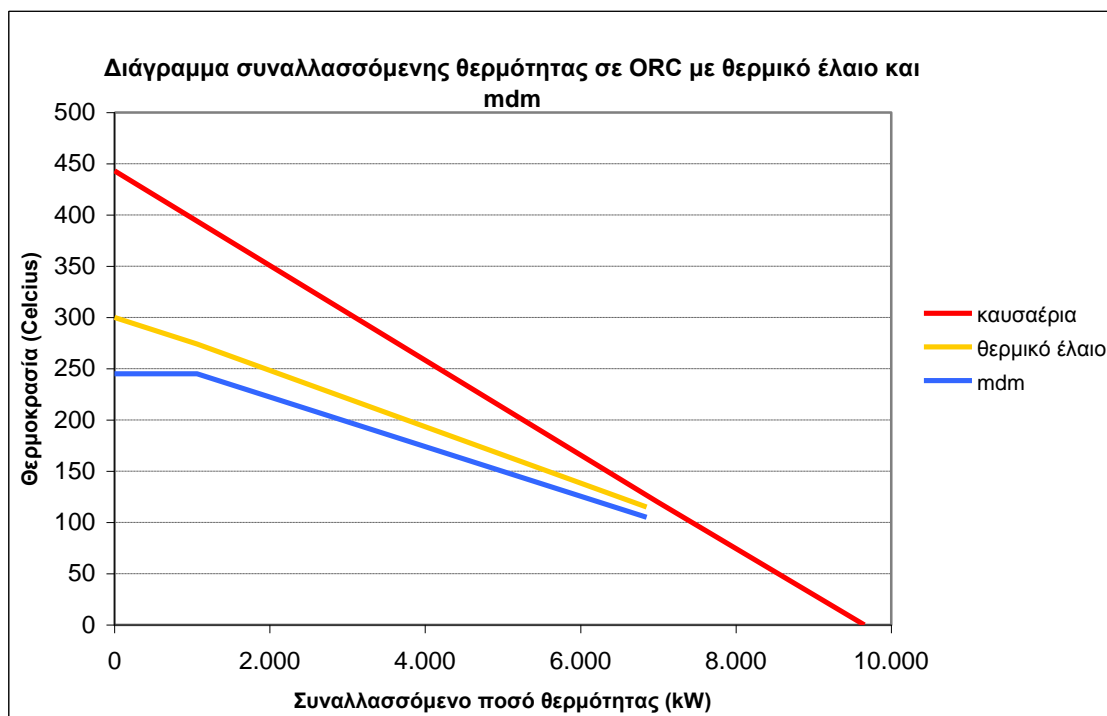
Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι ακριβώς ίδια με αυτή του πεντανίου, όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Δηλαδή, βασική επιδίωξη της βελτιστοποίησης που έγινε ήταν η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας. Προφανώς, υπήρχαν αρκετοί λειτουργικοί και πρακτικοί περιορισμοί, όπως είναι τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του MDM και του θερμικού ελαίου, οι προσφερόμενες στο σύστημα συνθήκες συμπύκνωσης (θεωρήθηκαν δυσμενείς συνθήκες, 30 °C και 1 bar) καθώς και η αποφυγή χρήσης εξαιρετικά μεγάλων εναλλακτών. Το πρόγραμμα εκτελέστηκε διαδοχικές φορές, μεταβάλλοντας τις παροχές, τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις λειτουργίας μέχρι να καταλήξουμε στη βέλτιστη λύση.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κύκλου των δύο συστημάτων ORC που προκύπτουν για χρήση MDM.

MDM	ΓΚΡΟΥΠ 11 ΜΗΧΑΝΩΝ	ΓΚΡΟΥΠ 4 ΜΗΧΑΝΩΝ
Τελική θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων	120 °C	120 °C
Απώλειες θερμότητας εναλλακτών	2%	2%
Τύπος θερμικού ελαίου	Solutia Therminol 72	Solutia Therminol 72
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας εναλλάκτη καυσαερίων- θερμικού ελαίου	6.989 kW	5.486 kW
Πίεση θερμικού ελαίου	3 bar	3 bar
Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία θερμικού ελαίου	300/115 °C	350/110 °C
Παροχή θερμικού ελαίου	18,3 kg/sec	10,8 kg/sec
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας προθερμαντήρα οργανικού μέσου	5.787 kW	4.171 kW
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ατμοποιητή οργανικού μέσου	1.063 kW	1.206 kW
Παροχή οργανικού μέσου	20 kg/sec	13,5 kg/sec
Πίεση οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	7 bar	8 bar
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	245 °C	254 °C
Πίεση οργανικού μέσου μετά το στρόβιλο	0,2 bar	0,2 bar

Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ανακομιστή	327 kW	220 kW
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν τον προθερμαντήρα	105 °C	105 °C
Παροχή αέρα συμπυκνώσεως	150 kg/sec	150 kg/sec
Ιδιοκαταναλώσεις	41 kW	35 kW
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια	768 kW	587 kW

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η συναλλαγή θερμότητας μεταξύ των καυσαερίων, του θερμικού ελαίου και του οργανικού μέσου για το σύστημα ORC του πρώτου γκρουπ μηχανών του σταθμού. Παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης της ανάκτησης θερμότητας ισούται με αυτόν της προηγούμενης περίπτωσης ($\eta = 71\%$), καθώς και στα δύο σενάρια τα καυσαέρια ψύχονται μέχρι τη θερμοκρασία των 120°C.



6.3.2 ORC χωρίς ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου

Στη μορφή αυτή του συστήματος δεν γίνεται χρήση του ενδιάμεσου κυκλώματος θερμικού ελαίου. Έτσι, η θερμότητα των καυσαερίων μεταφέρεται απευθείας στο κύκλωμα του οργανικού μέσου που είναι υπεύθυνο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό, σε σύγκριση με το προηγούμενο, παρουσιάζει πλεονεκτήματα στην απόδοση ενώ τα κύρια μειονεκτήματά του είναι κυρίως λειτουργικά.

Πιο συγκεκριμένα, με την απουσία του κυκλώματος θερμικού ελαίου μειώνονται οι απώλειες από τη μετάδοση της θερμότητας των καυσαερίων. Αυτό

συμβαίνει διότι πλέον υπάρχουν λιγότεροι εναλλάκτες με αποτέλεσμα να υπάρχει αμεσότερη απόδοση της θερμότητας στο κύκλωμα που είναι υπεύθυνο για την παραγωγή ενέργειας, το οποίο πλέον έχει υψηλότερα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας από το στρόβιλο και άρα και από τη γεννήτρια, γεγονός που καθιστά το σύστημα αποδοτικότερο.

Αντίθετα, η απουσία του ενδιάμεσου κυκλώματος γεννά σημαντικά προβλήματα στο σύστημα τα οποία έχουν να κάνουν με τη λειτουργία και την ασφάλειά του. Είναι τα χαρακτηριστικά αυτά που στην προηγούμενη ενότητα είχαν παρουσιαστεί ως πλεονεκτήματα εκείνου του συστήματος.

Το σημαντικότερο ίσως πρόβλημα αφορά στη χρήση κάποιου εύφλεκτου οργανικού μέσου. Καθώς δεν υπάρχει το ενδιάμεσο κύκλωμα μεταφοράς της θερμότητας, οι εναλλάκτες που θα χρησιμοποιηθούν θα μεταδίδουν τη θερμότητα από τα καυσαέρια απευθείας στο οργανικό μέσο. Σε περίπτωση που παρουσιαστεί κάποια αστοχία στον εναλλάκτη και έρθουν σε επαφή τα καυσαέρια με το εύφλεκτο οργανικό μέσο, οι πιθανότητες να αναφλεχθεί το μέσο είναι πολύ αυξημένες.

Είναι αλήθεια, βέβαια, πως τα σύγχρονα συστήματα ORC διαθέτουν δικλίδες ασφαλείας που μπορεί να αποτρέψουν μία τέτοια εξέλιξη. Με μετρητές πίεσης και παροχής σε διάφορα σημεία του κυκλώματος, ελέγχουν τη ροή και σε περίπτωση που υπάρξει απώλεια πίεσης, δηλαδή κάποια διαρροή, αυτομάτως κλείνει η παροχή οργανικού μέσου για να αποφευχθούν τα χειρότερα. Με τέτοια συστήματα ασφαλείας μειώνεται αισθητά ο κίνδυνος από τη χρήση εύφλεκτου οργανικού μέσου και καθιστά τα συστήματα αυτά πιο ελκυστικά για πρακτική χρήση.

Ένα άλλο ζήτημα που προκύπτει είναι η αμεσότερη εξάρτηση της παραγωγής ενέργειας από την παροχή καυσαερίων. Οι μηχανές από τις οποίες εξέρχονται τα καυσαέρια, δεν λειτουργούν πάντοτε στις ίδιες συνθήκες και πολύ συχνά αλλάζει το φορτίο τους. Αυτό προκαλεί συχνές μεταβολές στα χαρακτηριστικά των καυσαερίων, όπως είναι η θερμοκρασία και η παροχή τους. Εάν υπήρχε το ενδιάμεσο κύκλωμα θα εξομάλυνε αυτές τις διακυμάνσεις και η μεταβολή στην παραγωγή ενέργειας θα ήταν ομαλότερη. Απουσία όμως αυτού του κυκλώματος, οι μεταβολές επηρεάζουν απευθείας το οργανικό μέσο και παρατηρείται έτσι αστάθεια στην παραγωγή ενέργειας.

Πέραν αυτών, απόντος του ενδιάμεσου κυκλώματος του θερμικού ελαίου δεν υπάρχει πλέον κάποιος φορέας θερμότητας ο οποίος θα μεταφέρει τη θερμική ενέργεια των καυσαερίων στο κύκλωμα του οργανικού μέσου και του στρόβιλου. Έτσι, θα πρέπει οι καμινάδες όλων των μηχανών, μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων, να συγκλίνουν στη μονάδα του ORC για να διέλθουν από τον προθερμαντήρα και τον ατμοποιητή του οργανικού μέσου. Κάτι τέτοιο ενισχύει την πολυπλοκότητα και το κόστος της μονάδας και δυσκολεύει την πρακτική της

εφαρμογή. Παράλληλα είναι δεδομένο ότι αποκλείει τη χρήση ενός ενιαίου συστήματος ORC που θα εκμεταλλευόταν τη θερμότητα και των 15 μηχανών, όπως θα εξεταστεί στην επόμενη ενότητα, καθώς θα προέκυπτε ακόμα πιο πολύπλοκη κατασκευή.

Συνεπώς, γίνεται χρήση δύο μονάδων ORC, μία για κάθε γκρουπ μηχανών. Αυτό προκύπτει από την κατανομή των μηχανών στο σταθμό, καθώς οι μηχανές του πρώτου τμήματος είναι σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους αλλά αρκετά μακριά από το κτίριο που στεγάζει τις υπόλοιπες μηχανές του δεύτερου τμήματος του σταθμού.

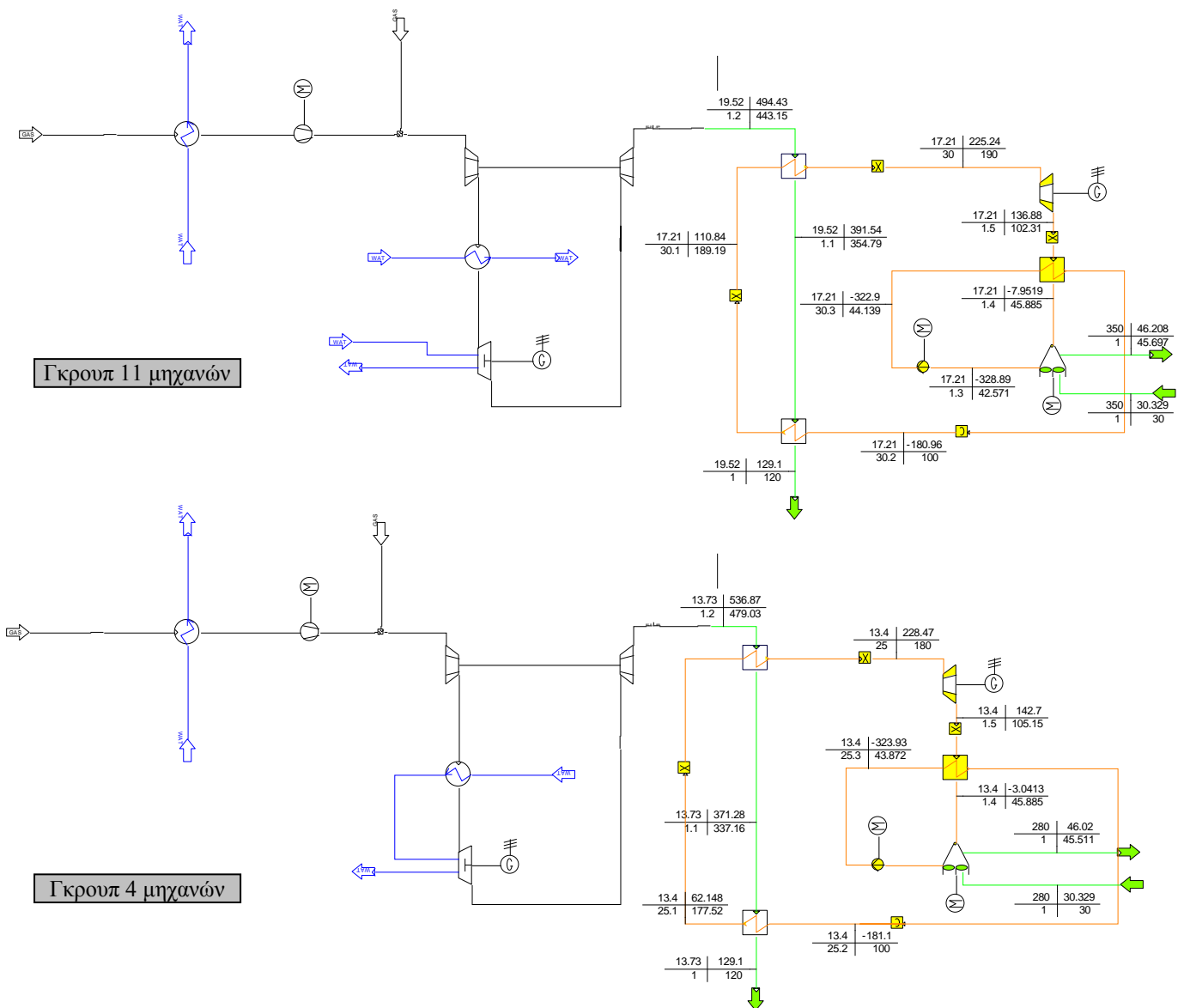
Για τη δημιουργία του συστήματος στο υπολογιστικό πρόγραμμα ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εναλλάκτες καυσαερίων-οργανικού μέσου. Ο ένας προθερμαίνει το οργανικό μέσο και ο άλλος το ατμοποιεί. Το ατμοποιημένο οργανικό μέσο διέρχεται δια του στροβίλου ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τη γεννήτρια. Κατά την έξοδο από το στρόβιλο, το μέσο έχει ακόμη αξιοποιήσιμα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά και έτσι προθερμαίνει, μέσω του ανακομιστή θερμότητας, το συμπύκνωμα που οδηγείται στον προθερμαντήρα. Εν συνεχεία, αφού συμπυκνωθεί διέρχεται από την αντλία για να κλείσει ο κύκλος του.

Το οργανικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε είναι το πεντάνιο. Παρόλο που το πεντάνιο είναι εύφλεκτο, θεωρούμε ότι στη μονάδα μας υπάρχουν τα κατάλληλα συστήματα ασφαλείας και ελέγχου του κύκλου τα οποία είναι σε θέση να προλάβουν τις επιπτώσεις μίας πιθανής βλάβης των εναλλακτών. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε το πεντάνιο είναι ότι στο προηγούμενο μοντέλο παρήγαγε καλύτερα αποτελέσματα απ' ό,τι το MDM. Συνεπώς, η σύγκριση των χαρακτηριστικών αυτού του κύκλου θα πρέπει να γίνει με εκείνα του προηγούμενου κύκλου που προέκυψαν από τη χρήση πεντανίου.

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και εδώ, για να καταλήξουμε στα τελικά χαρακτηριστικά του συστήματος έγινε βελτιστοποίηση διαφόρων παραμέτρων, όπως παροχή, θερμοκρασίες και πιέσεις σε διάφορα σημεία του κύκλου.

Επίσης, επιδιώχθηκε να γίνει χρήση αέρα για τη συμπύκνωση καθώς, όπως έχει εξηγηθεί, δεν διατίθεται, στην περιοχή αυτή, νερό που θα μπορούσε να αποτελέσει καταβόθρα θερμότητας για τη συμπύκνωση του μέσου. Παράλληλα, τα χαρακτηριστικά του αέρα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αρκετά δυσμενή (30 °C και 1 bar) έτσι ώστε να είμαστε εξασφαλισμένοι για τη λειτουργία του κάτω από όλες τις συνθήκες. Τέλος, έγινε προσπάθεια διατήρησης των συναλλασσόμενων ποσών θερμότητας στους εναλλάκτες σε φυσιολογικά πλαίσια, έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν και στην πράξη.

Παρακάτω φαίνεται το μοντέλο του κύκλου, όπως αυτό δημιουργήθηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα. Διακρίνονται τα δύο συστήματα ORC πίσω από τα δύο γκρουπ μηχανών του σταθμού.



Σχήμα: Μοντέλο IPSEpro για ORC χωρίς ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου

Ακολουθούν τα τελικά χαρακτηριστικά του κύκλου και για τις δύο μονάδες ORC που προέκυψαν από την παραμετρική βελτιστοποίησή του με στόχο τη μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή ενέργειας και με βάση συγκεκριμένους λειτουργικούς περιορισμούς.

ΠΕΝΤΑΝΙΟ	ΓΚΡΟΥΠ 11 ΜΗΧΑΝΩΝ	ΓΚΡΟΥΠ 4 ΜΗΧΑΝΩΝ
Τελική θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων	120 °C	120 °C
Απώλειες θερμότητας εναλλακτών	2%	2%
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας προθερμαντήρα οργανικού μέσου	5.021 kW	3.258 kW

Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ατμοποιητή οργανικού μέσου	1.968 kW	2.228 kW
Παροχή οργανικού μέσου	17,2 kg/sec	13,4 kg/sec
Πίεση οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	30 bar	25 bar
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	190 °C	180 °C
Πίεση οργανικού μέσου μετά το στρόβιλο	1,5 bar	1,5 bar
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ανακομιστή	2.442 kW	1.913 kW
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν τον προθερμαντήρα	100 °C	100 °C
Παροχή αέρα συμπυκνώσεως	350 kg/sec	280 kg/sec
Ιδιοκαταναλώσεις	147 kW	101 kW
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια	1.431 kW	1.081 kW

6.3.3 *Μία μονάδα ORC για όλες τις μηχανές*

Στις προηγούμενες ενότητες έγινε μελέτη των διαφορετικών συστημάτων ORC με βάση την τοποθέτηση δύο μονάδων για το σύνολο των μηχανών. Με βάση τη διάταξη του σταθμού και τα χαρακτηριστικά των μηχανών θεωρήθηκε ως τώρα η χρήση δύο μονάδων ανάκτησης θερμότητας από τα καυσαέρια, μία μονάδα για το ‘τμήμα 1’ και μία μονάδα για το ‘τμήμα 2’ της εγκατάστασης.

Σε αυτή την παράγραφο θα μοντελοποιήσουμε στο πρόγραμμα την τοποθέτηση ενός μόνο συστήματος το οποίο θα αξιοποιεί τη θερμότητα και από τα δύο γκρουπ μηχανών. Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτή τη σκέψη είναι καθαρά οικονομικοί, καθώς όπως θα αποδειχθεί παρακάτω στην οικονομική αξιολόγηση των επενδύσεων, το κόστος της τοποθέτησης ενός μεγαλύτερου συστήματος στη θέση των δύο μικρότερων είναι αισθητά μειωμένο. Το σύστημα που θα τοποθετηθεί, ουσιαστικά θα αντικαθιστά τα άλλα δύο, και τα αποτελέσματα που θα προκύπτουν θα είναι παρόμοια.

Το μόνο μειονέκτημα αυτής της περίπτωσης προκύπτει όταν η μονάδα θα αναγκάζεται να τίθεται εκτός λειτουργίας για συντήρηση και επισκευές. Όταν χρησιμοποιούμε μία μεγάλη μονάδα, η διακοπή λειτουργίας της σημαίνει την πλήρη διακοπή παραγωγής ενέργειας από την ανάκτηση θερμότητας των μηχανών. Αντίθετα, αν χρησιμοποιούμε δύο μικρότερες μονάδες, η μη λειτουργία της μίας επηρεάζει λιγότερο τη συνολική παραγωγή ενέργειας καθώς θα λειτουργεί η δεύτερη. Συνεπώς, οι διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας θα είναι μικρότερες αν το σύστημα εξαρτάται από δύο μονάδες ανάκτησης θερμότητας απ’ ό,τι αν εξαρτάται από μία. Δεδομένου ότι ο σταθμός επιθυμεί την κατά το δυνατόν σταθερή παραγωγή

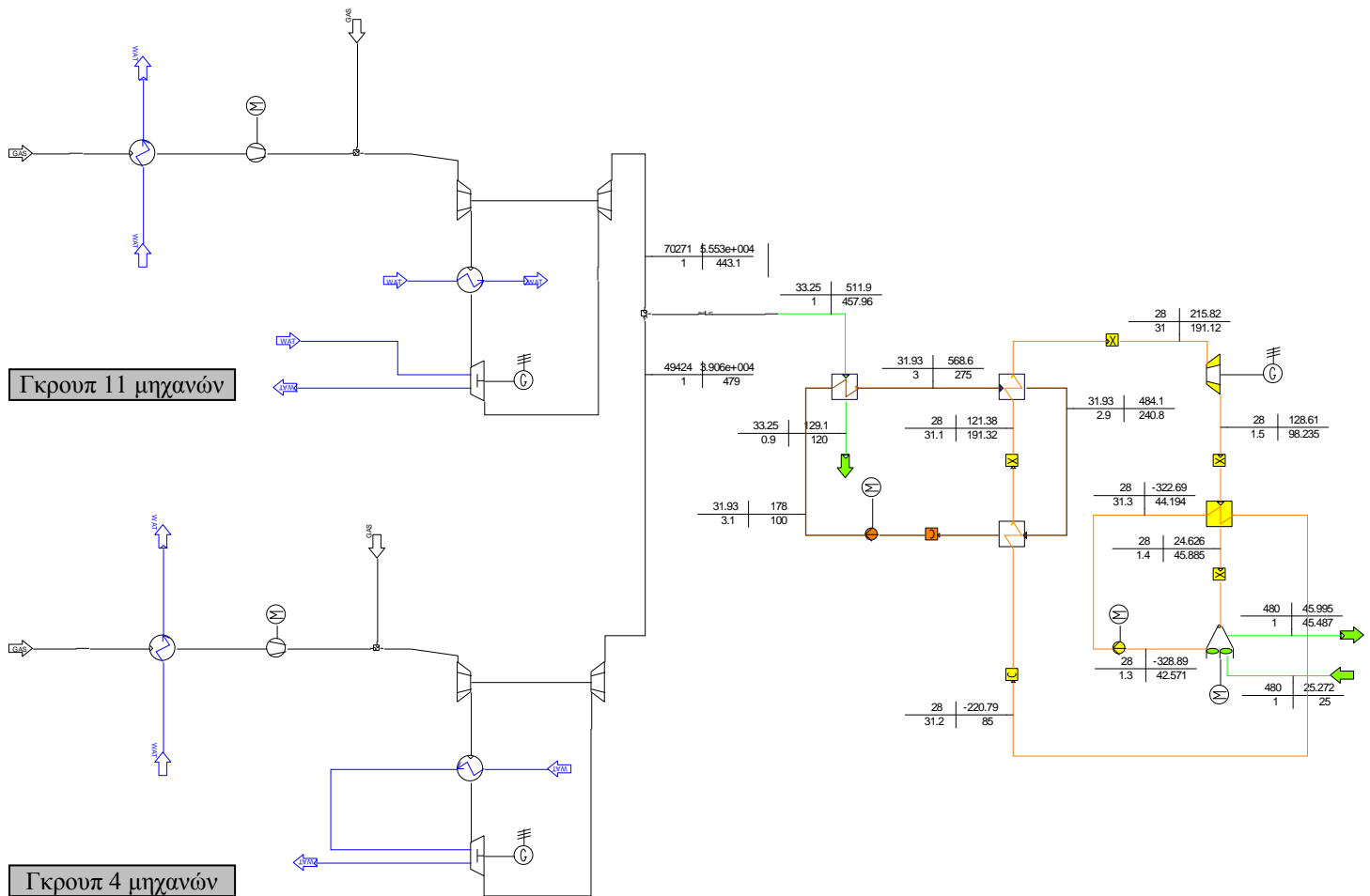
ενέργειας, το γεγονός αυτό ενδεχομένως να προκαλούσε προβλήματα στην ομαλή λειτουργία του.

Είναι αλήθεια βέβαια πως τα σύγχρονα συστήματα ORC είναι αρκετά εξελιγμένα και ο συντελεστής διαθεσιμότητάς τους είναι πολύ υψηλός. Χαρακτηριστικά, ο συντελεστής διαθεσιμότητας υπολογίζεται γύρω στο 97% για προσεκτικά μελετημένες μονάδες, αλλά εξαρτάται πάντα από την ποιότητα κατασκευής του κάθε συστήματος. Αυτή η υψηλή διαθεσιμότητα φανερώνει πως είναι πολύ μικρό το χρονικό διάστημα πλήρους διακοπής της λειτουργίας της μονάδας και έτσι οι διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας δεν θα είναι εκτεταμένες.

Το ενιαίο σύστημα ORC που επιλέχθηκε να τοποθετηθεί πίσω από τα δύο γκρουπ μηχανών λειτουργεί με ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου το οποίο συγκεντρώνει τη θερμότητα των καυσαερίων όλων των μηχανών και την οδηγεί στο κύκλωμα του οργανικού μέσου. Αυτή είναι και η πιο συχνά εμφανιζόμενη μορφή συστήματος ORC στην αγορά.

Το οργανικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε στη μοντελοποίηση είναι το πεντάνιο. Το πεντάνιο προτιμήθηκε καθώς τα θερμοδυναμικά του χαρακτηριστικά είναι ιδανικά για τον κύκλο αυτό. Η υψηλή επικινδυνότητα αυτού του μέσου για ανάφλεξη αντισταθμίζεται με τη χρήση του ενδιάμεσου κυκλώματος θερμικού ελαίου καθώς και με την τοποθέτηση στο σύστημα δικλείδων ασφαλείας που μπορούν να εντοπίσουν αποκλίσεις από την ομαλή λειτουργία.

Στην εικόνα φαίνεται το εν λόγω σύστημα που αξιοποιεί τη θερμότητα όλων των μηχανών του σταθμού.



Σχήμα: Μοντέλο IPSEpro για μία κοινή μονάδα ORC

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι ίδια με αυτή που αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες. Τα τελικά χαρακτηριστικά του κύκλου προέκυψαν μετά από διαδοχικές εκτελέσεις του προγράμματος μέχρι να βρεθούν οι ιδανικές συνθήκες λειτουργίας και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΕΝΤΑΝΙΟ	ΟΛΕΣ ΟΙ ΜΗΧΑΝΕΣ
Τελική θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων	120 °C
Απώλειες θερμότητας εναλλακτών	2%
Τύπος θερμικού ελαίου	Solutia Therminol 59
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας εναλλάκτη καυσαερίων- θερμικού ελαίου	12.473 kW
Πίεση θερμικού ελαίου	3 bar
Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία θερμικού ελαίου	275/100 °C
Παροχή θερμικού ελαίου	31,9 kg/sec
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας προθερμαντήρα οργανικού μέσου	9.581kW

Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ατμοποιητή οργανικού μέσου	2.644 kW
Παροχή οργανικού μέσου	28 kg/sec
Πίεση οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	31 bar
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν το στρόβιλο	192 °C
Πίεση οργανικού μέσου μετά το στρόβιλο	1,5 bar
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ανακομιστή	2.853 kW
Θερμοκρασία οργανικού μέσου πριν τον προθερμαντήρα	85 °C
Παροχή αέρα συμπυκνώσεως	480 kg/sec
Ιδιοκαταναλώσεις	237 kW
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια	2.298 kW

Όπως παρατηρούμε από τα στοιχεία του πίνακα, αν εξαιρέσουμε προφανώς τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις που εξαρτώνται κυρίως από το είδος του οργανικού μέσου, όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά είναι περίπου ίσα με το άθροισμα των αντίστοιχων μεγεθών των δύο μικρότερων μονάδων που μελετήθηκαν στην πρώτη ενότητα. Πρόκειται δηλαδή για μία πολύ μεγαλύτερη μονάδα από τις άλλες η οποία όμως συντελεί το ίδιο συνολικό έργο.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται πολύ υψηλότερα ποσά μεταφερόμενης θερμότητας στους εναλλάκτες. Αυτό είναι λογικό καθώς πλέον όλα τα καυσαέρια οδηγούνται σε μία μονάδα. Για αποφυγή πολυπλοκότητας του σχήματος επελέγη η τοποθέτηση ενός μόνο εναλλάκτη. Τα αποτελέσματα όμως που προκύπτουν είναι ακριβώς ίδια με αυτά που θα προέκυπταν από τη χρήση περισσότερων και μικρότερων εναλλακτών.

Στην πραγματικότητα, σε πιθανή πρακτική εφαρμογή αυτής της μονάδας, θα τοποθετηθούν περισσότεροι εναλλάκτες, για παράδειγμα ένας εναλλάκτης για κάθε μία από τις 15 καμινάδες, οι οποίοι στο σύνολό τους θα συντελούν το ίδιο έργο με τον μοναδικό εναλλάκτη που φαίνεται στο μοντέλο.

6.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΒΗΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΜΕΣΟ ΝΕΡΟ – ΑΤΜΟ

Μία διαφορετική προσέγγιση για την αξιοποίηση της θερμότητας των καυσαερίων αποτελεί η χρήση του νερού-ατμού σαν εργαζόμενο μέσο στο θερμοδυναμικό κύκλο Clausius-Rankine. Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτή του Οργανικού Κύκλου Rankine καθώς μεταφέρεται μέσω εναλλακτών η θερμική

ενέργεια των καυσαερίων στο εργαζόμενο μέσο το οποίο με τη σειρά του, διερχόμενο από το στρόβιλο, αποδίδει το ζητούμενο έργο. Η διαφορά έγκειται στη χρήση νερού-ατμού καθώς πλέον εισάγονται νέα στοιχεία στον κύκλο, όπως είναι το τύμπανο και ο απαεριωτής. Παρακάτω θα γίνει λεπτομερής παρουσίαση του κύκλου και του τρόπου με τον οποίο προσομοιάστηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται.

Τα καυσαέρια καθώς εγκαταλείπουν τις μηχανές εσωτερικής καύσης διέρχονται από διάφορες βαθμίδες εναλλακτών όπου μετατρέπουν σταδιακά το νερό σε υπέρθερμο ατμό έτσι ώστε να μπορεί αυτός να αξιοποιηθεί από το στρόβιλο. Τα καυσαέρια συναντούν κατά σειρά, πρώτα τον υπερθερμαντήρα, ακολούθως τον ατμοποιητή και μετά τον προθερμαντήρα. Τέλος, πριν εξέλθουν στην ατμόσφαιρα, διέρχονται από τον τελευταίο εναλλάκτη ο οποίος θερμαίνει τον ατμό που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο απαεριωτής. Όλες αυτές οι βαθμίδες μετάδοσης θερμότητας παριστάνονται στο υπολογιστικό πρόγραμμα από εναλλάκτες αντιρροής όμοιους μεταξύ τους.

Μία κατασκευαστική δυσκολία αυτού του συστήματος αποτελεί το γεγονός ότι θα πρέπει οι καμινάδες όλων των μηχανών να συγκλίνουν, μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων, στο λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Είναι ουσιαστικά το ίδιο πρόβλημα που παρουσιάζεται και στο σύστημα ORC χωρίς ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου. Συνεπώς, είναι υποχρεωτική η χρήση δύο λεβήτων ανάκτησης θερμότητας, ενός για κάθε γκρουπ μηχανών, έτσι ώστε να περιοριστεί, όσο είναι δυνατόν, η πολυπλοκότητα του δικτύου σωληνώσεων.

Όσον αφορά στο κλειστό κύκλωμα του εργαζόμενου μέσου, ο παραγόμενος υπέρθερμος ατμός που εγκαταλείπει τον υπερθερμαντήρα, οδηγείται στο στρόβιλο της μονάδας. Εκεί αποτονώνεται παράγοντας τη μηχανική ενέργεια που κινεί τη γεννήτρια. Για να προσομοιάσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματική λειτουργία, έχει ληφθεί ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του στρόβιλου ίσος με 0,6.

Το εργαζόμενο μέσο, εξερχόμενο από το στρόβιλο οδηγείται στο συμπυκνωτή. Αντίθετα από τα προηγούμενα σενάρια, στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήσαμε υδρόψυκτο συμπυκνωτή καθώς ο αερόψυκτος δεν ήταν δυνατόν να συμπυκνώσει το μέσο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν υπάρχει κοντά στην εγκατάσταση κάποια φυσική δεξαμενή νερού όπως ποτάμι, λίμνη ή θάλασσα για τη λειτουργία του συμπυκνωτή, γεγονός που καθιστά πιο δύσκολη τη χρήση αυτού του συστήματος. Παρόλα αυτά, στο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε νερό σε συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που συνήθως εντοπίζονται στη φύση (25°C, 1 bar).

Εν συνεχεία, το συμπύκνωμα οδηγείται στον απαεριωτή και την τροφοδοτική δεξαμενή. Προτού όμως γίνει η απαερίωση, διέρχεται από μία αντλία η οποία ανεβάζει την πίεση στα επίπεδα λειτουργίας του απαεριωτή. Όπως γίνεται συνήθως στην πράξη, έτσι και στο πρόγραμμα, ο απαεριωτής και η τροφοδοτική δεξαμενή αποτελούν ένα ενιαίο στοιχείο της μονάδας. Ο ρόλος του απαεριωτή είναι να

απομακρύνει από το νερό ορισμένα διαλυμένα αέρια τα οποία προκαλούν διαβρώσεις στους σωλήνες. Τα αέρια αυτά είναι κυρίως το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα.

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο ότι η διαλυτότητα των αερίων στο νερό ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει διότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας, αυξάνει η πίεση του υδρατμού και άρα μειώνονται οι μερικές πιέσεις των αερίων οι οποίες είναι ανάλογες με τη διαλυτότητα των αερίων στο νερό. Έτσι, στο σημείο βρασμού η πίεση του υδρατμού είναι τόσο υψηλή που οι μερικές πιέσεις των διαλυμένων αερίων είναι μηδενικές. Για να συμβεί αυτό, ο απαεριωτής χρειάζεται έναν φορέα θερμότητας ο οποίος θα θερμάνει το νερό μέχρι τη θερμοκρασία βρασμού έτσι ώστε να μηδενιστεί η διαλυτότητα των αερίων για να μπορούν να απομακρυνθούν τα αέρια αυτά από το νερό.

Σαν φορέας θερμότητας στον απαεριωτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία απομάστευση ατμού από κάποιο σημείο του στρόβιλου. Κατά αυτόν τον τρόπο όμως θα επηρεαζόταν η παραγωγή ενέργειας καθώς ο απομαστευόμενος ατμός δεν θα μπορούσε να παράγει έργο στο στρόβιλο και έτσι θα μειωνόταν η απόδοση του συστήματος. Αντί αυτού επιλέχθηκε να σχεδιαστεί στην έξοδο της τροφοδοτικής δεξαμενής μία ανακυκλοφορία εργαζόμενου μέσου η οποία θα προσδίδει την απαιτούμενη θερμότητα στον απαεριωτή.

Πιο συγκεκριμένα, το νερό που εξέρχεται από τη δεξαμενή διαχωρίζεται σε αυτό που συνεχίζει στον κύκλο νερού-ατμού με σκοπό να υπερθερμανθεί και να αποτονωθεί στο στρόβιλο, και σε μία μικρή ποσότητα που ανακυκλοφορεί στον απαεριωτή. Το νερό αυτό, διέρχεται από την τελευταία βαθμίδα των εναλλακτών και ατμοποιείται δεχόμενο τη θερμότητα των καυσαερίων. Στο κύκλωμα της ανακυκλοφορίας υπάρχει επίσης μία αντλία ανάκτησης πίεσης καθώς και στον απαεριωτή αλλά και στον εναλλάκτη συντελείται μικρή πτώση πίεσης.

Το υπόλοιπο νερό, που αποτελεί και τη μεγαλύτερη ποσότητα, διέρχεται από άλλη αντλία στην οποία αυξάνεται η πίεσή του στα κατάλληλα επίπεδα για να εισέλθει στο λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Αρχικά συναντάει τον προθερμαντήρα όπου λαμβάνει χώρα η πρώτη αύξηση της θερμοκρασίας του και μετατρέπεται από υπόψυκτο σε κορεσμένο νερό. Ακολούθως εισέρχεται στο τύμπανο της μονάδας απ' όπου εξέρχεται μία ποσότητα του νερού για να αλλάξει φάση στον ατμοποιητή. Από τον ατμοποιητή προκύπτει κορεσμένος ατμός ο οποίος επιστρέφει στο τύμπανο. Τέλος, από το τύμπανο εξέρχεται ατμός και οδηγείται στον υπερθερμαντήρα του λέβητα όπου παράγεται υπέρθερμος ατμός υψηλών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών. Ο υπέρθερμος ατμός αποτονώνεται στο στρόβιλο αποδίδοντας την ενέργειά του για να ολοκληρωθεί έτσι ο κύκλος του.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι πρόκειται ουσιαστικά για ατμοπαραγωγό εξαναγκασμένης ροής, καθώς η ποσότητα του νερού που εξέρχεται από το τύμπανο και οδηγείται στον ατμοποιητή ισούται με την ποσότητα του ατμού που επιστρέφει σε

αυτό. Έτσι, από θεωρητική σκοπιά, και με βάση το γεγονός ότι έχουμε μονοβάθμια πίεση ατμού, το τύμπανο δεν είναι υποχρεωτικό για τη λειτουργία του λέβητα. Στην πράξη όμως, η χρήση του τυμπάνου είναι υποχρεωτική καθώς αποτελεί μία αποθήκη νερού που προστατεύει για ορισμένο χρονικό διάστημα το σύστημα ατμοποίησης σε περίπτωση διακοπής της παροχής του τροφοδοτικού νερού, ενώ συγχρόνως διευκολύνει την εκκίνηση του λέβητα. Πέραν αυτών, το αποθηκευμένο νερό και ο ατμός στο τύμπανο προφυλάσσουν, σε ένα βαθμό, την ομαλή λειτουργία του συστήματος από τυχόν μικρές μεταβολές του φορτίου των μηχανών εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούν με καυσαέρια το λέβητα.

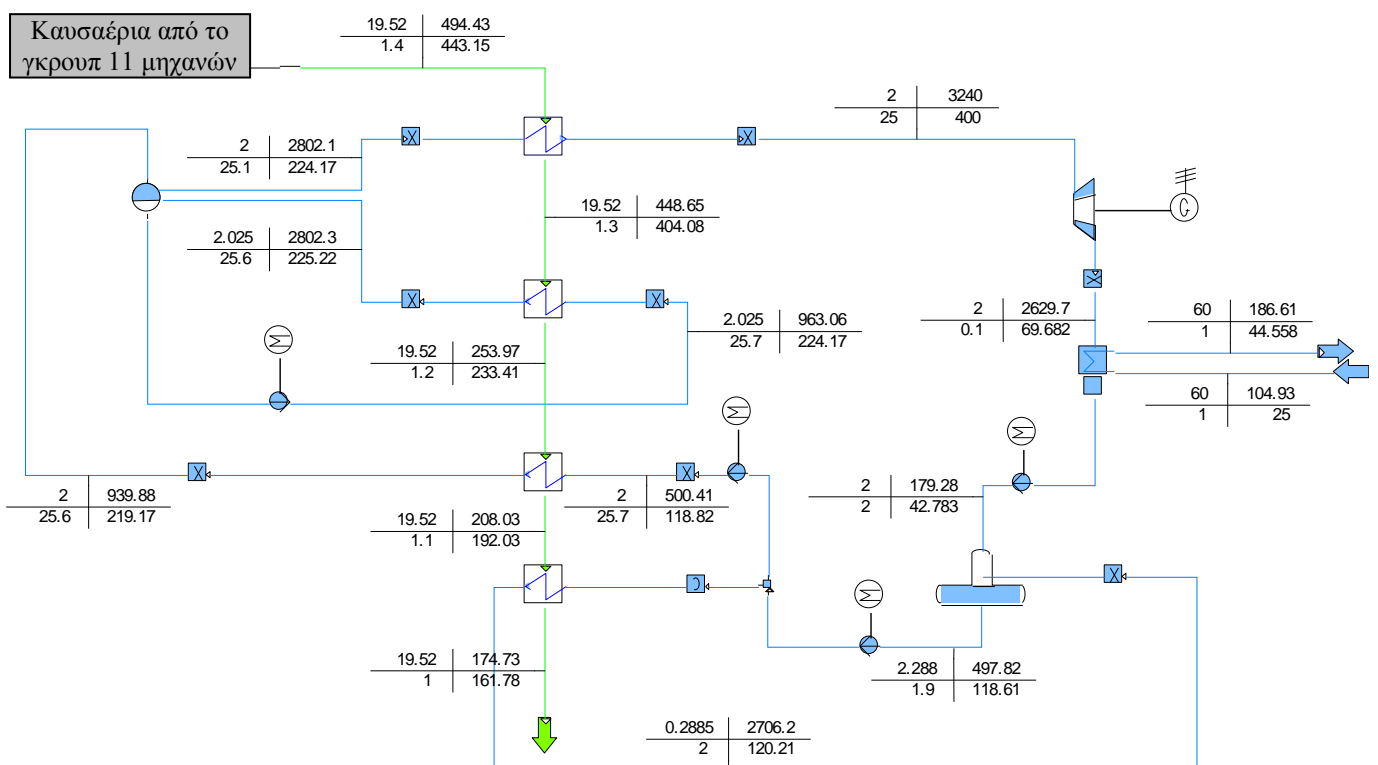
Κατά το σχεδιασμό του κύκλου στο υπολογιστικό πρόγραμμα και με σκοπό να βρεθούν τα ιδανικότερα χαρακτηριστικά για την παραγωγή ενέργειας, το πρόγραμμα εκτελέστηκε διαδοχικές φορές μέχρι να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση. Βασικός στόχος ήταν η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία όμως να μπορεί να είναι πρακτικά και τεχνολογικά επιτεύξιμη. Χαρακτηριστικοί περιορισμοί που ελήφθησαν υπόψη ήταν το μέγεθος των εναλλακτών που θα πρέπει να κυμαίνεται σε φυσιολογικά πλαίσια, οι πτώσεις πίεσης στα διάφορα στοιχεία του κύκλου, οι συνθήκες του νερού συμπύκνωσης, τα χαρακτηριστικά του στρόβιλου και οι συνθήκες του υπέρθερμου ατμού.

Έτσι, μεταβάλλοντας κάθε φορά τις παροχές, τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις του εργαζόμενου μέσου σε διάφορες θέσεις του κύκλου, προέκυψε η τελική μορφή του συγκεκριμένου συστήματος ανάκτησης της θερμότητας των καυσαερίων. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του κύκλου των δύο συστημάτων με το Λ.Α.Θ. πίσω από κάθε γκρουπ μηχανών.

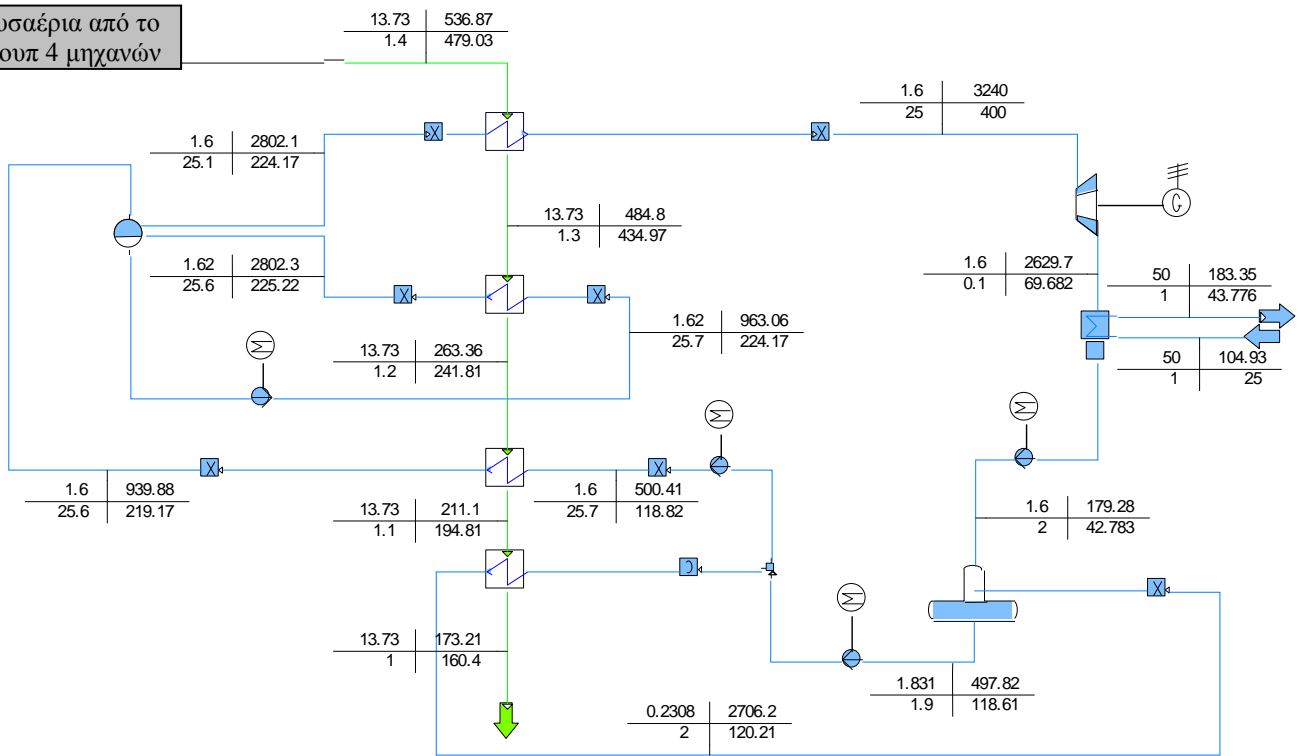
ΝΕΡΟ-ΑΤΜΟΣ	ΓΚΡΟΥΠ 11 ΜΗΧΑΝΩΝ	ΓΚΡΟΥΠ 4 ΜΗΧΑΝΩΝ
Τελική θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων	162°C	160 °C
Απώλειες θερμότητας εναλλακτών	2%	2%
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας εναλλάκτη ανακυκλοφορίας	637 KW	510 KW
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας προθερμαντήρα	879 KW	703 KW
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας ατμοποιητή	3.724 KW	2.979 KW
Μεταφερόμενο ποσό θερμότητας υπερθερμαντήρα	876 KW	701 KW
Παροχή υπέρθερμου ατμού πριν το στρόβιλο	2 kg/s	1,6 kg/s
Πίεση υπέρθερμου ατμού πριν το στρόβιλο	25 bar	25 bar
Θερμοκρασία υπέρθερμου ατμού πριν το στρόβιλο	400 °C	400 °C
Πίεση ατμού μετά το στρόβιλο	0,1 bar	0,1 bar

Παροχή νερού για τη συμπύκνωση	60 kg/s	50 kg/s
Θερμοκρασία εισόδου/εξόδου νερού για τη συμπύκνωση	25/45 °C	25/44 °C
Πίεση λειτουργίας απαιριωτή και τροφοδοτικής δεξαμενής	2 bar	2 bar
Παροχή ατμού ανακυκλοφορίας για την απαερίωση	0,29 kg/s	0,23 kg/s
Πτώση πίεσης στον απαιριωτή και την τροφοδοτική δεξαμενή	0,1 bar	0,1 bar
Θερμοκρασία νερού μετά την τροφοδοτική δεξαμενή	119 °C	119 °C
Θερμοκρασία νερού μετά τον προθερμαντήρα	219 °C	219 °C
Πτώση πίεσης τυμπάνου	0,5 bar	0,5 bar
Ιδιοκαταναλώσεις	6 KW	5 KW
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια	1.149 KW	919 KW

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κύκλος όπως αυτός σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του μοντέλου, παρουσιάζεται ξεχωριστά για κάθε γκρουπ μηχανών μόνο το σύστημα ανάκτησης θερμότητας καθώς το μοντέλο των μηχανών έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενη ενότητα.

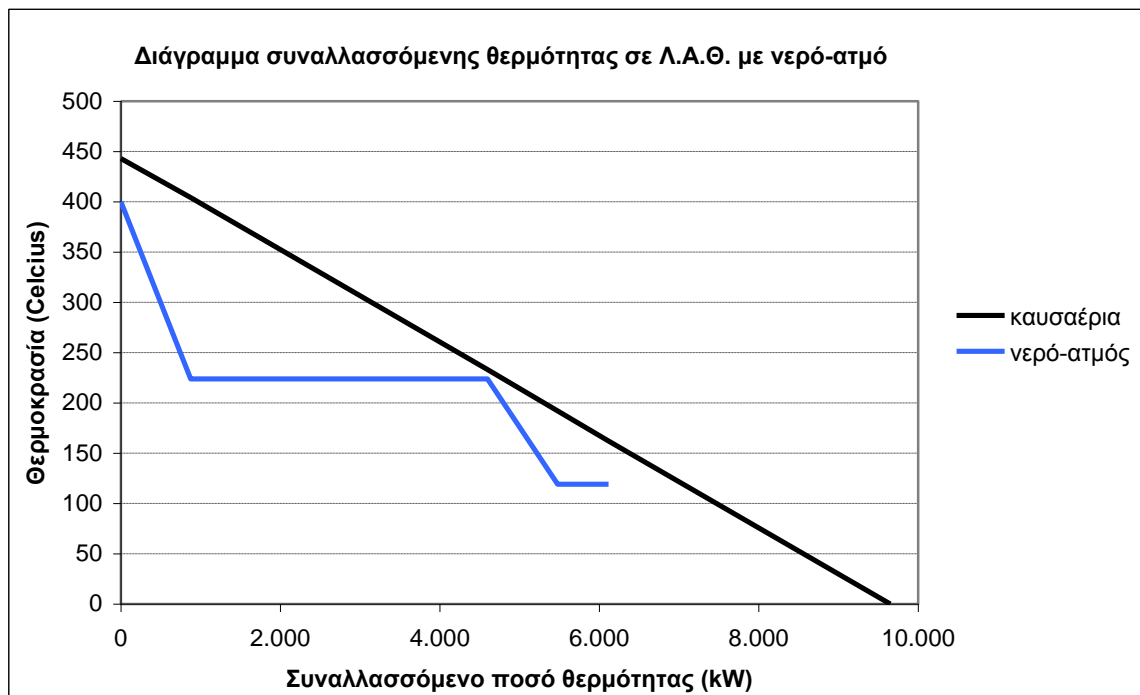


Καυσαέρια από το γκρουπ 4 μηχανών



Σχήμα: Μοντέλο IPSEpro για λέβητα ανάκτησης θερμότητας

Ακολουθεί το διάγραμμα που παρουσιάζει τη μετάδοση θερμότητας από τα καυσαέρια στο εργαζόμενο μέσο για το λέβητα ανάκτησης θερμότητας του πρώτου γκρουπ μηχανών του σταθμού.



Είναι προφανές ότι όσο καλύτερα προσεγγίζουμε την ευθεία που παριστάνει τη μεταβολή των καυσαερίων και όσο περισσότερο ψύχουμε τα καυσαέρια, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό ανάκτησης θερμότητας θα επιτύχουμε.

Για να προσεγγίσουμε ακόμα καλύτερα την ευθεία των καυσαερίων μειώνοντας τις απώλειες, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε διβάθμια πίεση ατμού με ένα τύμπανο υψηλής και ένα τύμπανο χαμηλής πίεσης. Έτσι θα είχαμε πολύ καλύτερη αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας και πολύ μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Αυτή η περίπτωση αποτελεί μία πιθανή εξέλιξη της παρούσας μελέτης.

Στην προκειμένη περίπτωση, ο βαθμός απόδοσης του λέβητα ανάκτησης θερμότητας προκύπτει από το διάγραμμα ως το πηλίκο της μεταφερθείσας στο εργαζόμενο μέσο θερμότητας προς τη συνολική θερμότητα που περικλείεται στα καυσαέρια. Ο βαθμός απόδοσης δηλαδή εξαρτάται από την τελική θερμοκρασία στην οποία ψύξαμε τα καυσαέρια και δεν αντικατοπτρίζει το κατά πόσο καταφέραμε να προσεγγίσουμε την ευθεία των καυσαερίων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι:

$$\eta = 63,3\%$$

6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Έχοντας ολοκληρώσει τη μελέτη των διαφόρων συστημάτων αξιοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, διαπιστώνουμε ότι τα οφέλη που μπορούμε να αποκομίσουμε από τη χρήση τους είναι πολύ σημαντικά. Έτσι, ανακεφαλαιώνοντας την ανάλυση που προηγήθηκε, παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στους παρακάτω πίνακες η σύγκριση των βασικών παραμέτρων λειτουργίας με βάση τις οποίες επιλέγεται η μορφή της μεθόδου ανάκτησης θερμότητας.

Οργανικός Κύκλος Rankine ή λέβητας ανάκτησης θερμότητας με νερό-ατμό;

Οργανικός Κύκλος Rankine (ORC)	Λ.Α.Θ. με νερό-ατμό
<ul style="list-style-type: none"> • Αρκετά εμπορευματοποιημένη και δοκιμασμένη μέθοδος. Υπάρχουν πολλές κατασκευαστικές εταιρίες τέτοιων συστημάτων και άρα πολλές διαφορετικές επιλογές. • Υψηλή απόδοση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. • Εύκολη συλλογή της αποβαλλόμενης θερμότητας με χρήση ενδιάμεσου κυκλώματος. • Κίνδυνος σε περίπτωση χρήσης εύφλεκτου οργανικού μέσου. 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν υπάρχουν εταιρίες που παραδίδουν ολοκληρωμένα τέτοια συστήματα με αποτέλεσμα να απαιτείται η συνεργασία πολλών για την κατασκευή τους. Έτσι είναι πιο δύσκολο για έναν σταθμό, όπως αυτός της ΒΕΑΛ, να υιοθετήσει τέτοια μονάδα. • Εξίσου υψηλή απόδοση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. • Δυνατότητα πολύ καλύτερης αξιοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας αν χρησιμοποιηθεί διβάθμια πίεση ατμού. • Ανάγκη σύγκλισης όλων των καμινάδων στο σημείο που θα εγκατασταθεί ο λέβητας. Άρα προκύπτει πολύπλοκο και δαπανηρό δίκτυο σωληνώσεων. • Ακίνδυνο και φτηνό οργανικό μέσο.

Σε περίπτωση επιλογής συστήματος ORC:

Με ή χωρίς ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου;

Με ενδιάμεσο κύκλωμα	Χωρίς ενδιάμεσο κύκλωμα
<ul style="list-style-type: none"> • Εύκολη συλλογή της αποβαλλόμενης θερμότητας με έναν μικρό εναλλάκτη σε κάθε καμινάδα. • Εξομάλυνση των επιπτώσεων της μεταβολής φορτίου στις μηχανές και άρα και στην παροχή καυσαερίων. • Μείωση κινδύνου σε περίπτωση χρήσης εύφλεκτου οργανικού μέσου. 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω άμεσης μετάδοσης της θερμότητας στο κύκλωμα του οργανικού μέσου. • Ανάγκη σύγκλισης όλων των καμινάδων στο σημείο που θα εγκατασταθεί η μονάδα. Άρα προκύπτει πολύπλοκο και δαπανηρό δίκτυο σωληνώσεων. • Αμεσότερη εξάρτηση από τις συνθήκες εξόδου των καυσαερίων από τις μηχανές. • Κίνδυνος σε περίπτωση χρήσης εύφλεκτου οργανικού μέσου.

Πεντάνιο ή mdm για οργανικό μέσο;

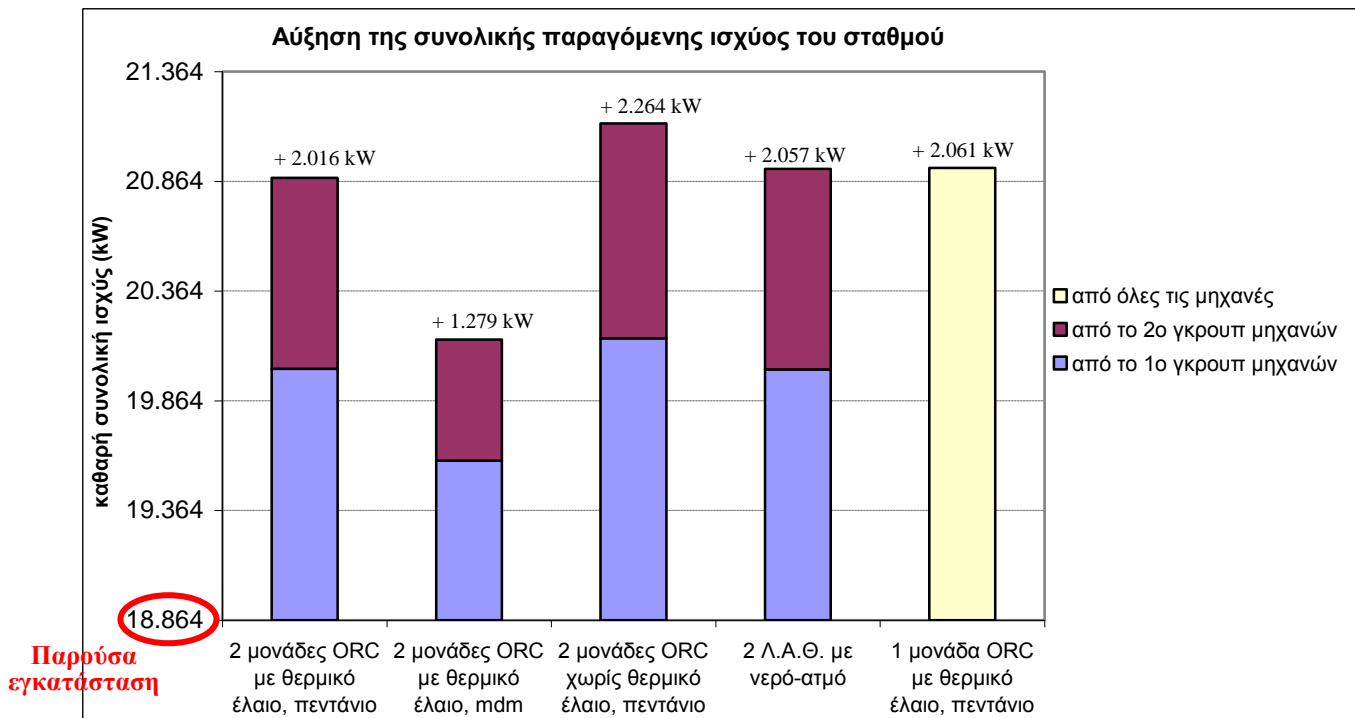
Πεντάνιο	mdm
<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ καλές θερμικές ιδιότητες. • Εύφλεκτο. 	<ul style="list-style-type: none"> • Μέτριες θερμικές ιδιότητες. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται στην πράξη μίγμα διαφόρων σιλοξανίων (silicon oil) που έχει καλύτερα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά και όχι απλό σιλοξάνιο όπως είναι το mdm. • Δεν είναι εύφλεκτο. • Χρησιμοποιείται από πολλές κατασκευαστικές εταιρίες.

Ένα ORC για κάθε γκρουπ μηχανών ή μία ενιαία μονάδα για όλες τις μηχανές;

2 μονάδες ORC	1 μονάδα ORC
<ul style="list-style-type: none"> • Όταν δεν λειτουργεί η μία μονάδα (λόγω συντήρησης ή επισκευής), δεν διακόπτεται όλη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα καυσάερια καθώς λειτουργεί η άλλη μονάδα. • Υψηλό το κόστος εγκατάστασης των δύο διαφορετικών μονάδων. • Σημαντικές πηγές προβλημάτων καθώς τοποθετούνται δύο νέα συστήματα. 	<ul style="list-style-type: none"> • Όταν παύει η λειτουργία της (λόγω συντήρησης ή επισκευής), μηδενίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα καυσάερια. Με συντελεστή διαθεσιμότητας όμως της τάξης του 97% το πρόβλημα αυτό δεν είναι συχνό. • Σημαντικά χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης. • Λιγότερες πηγές προβλημάτων και βλαβών καθώς τοποθετείται μόνο ένα σύστημα.

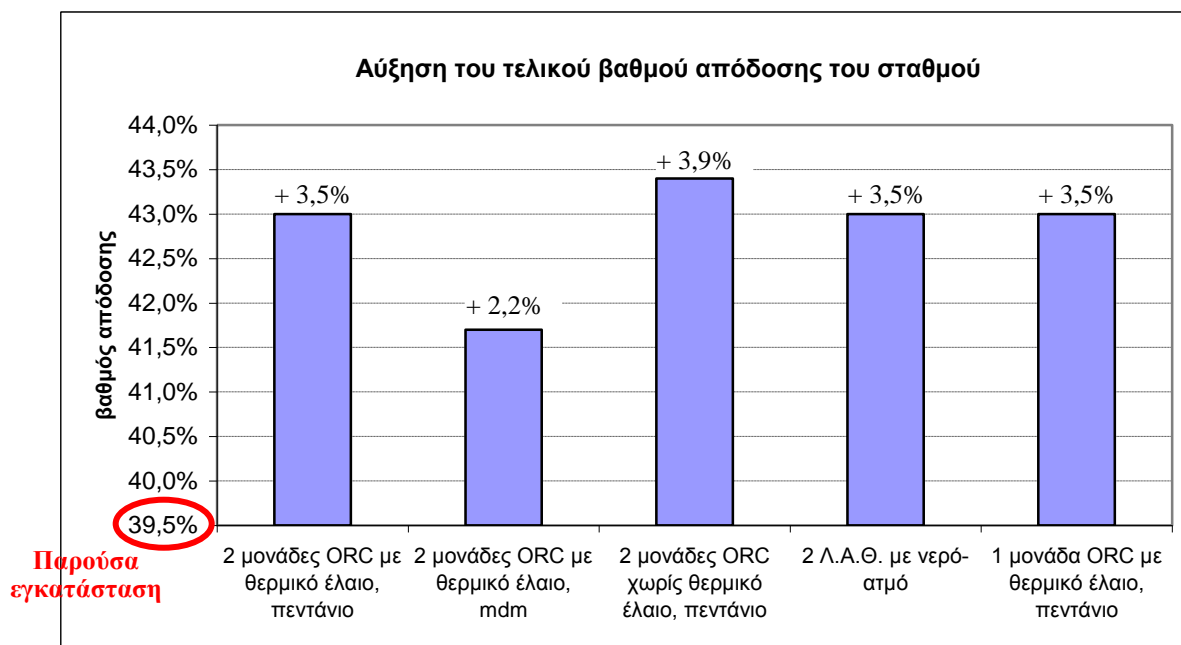
Παράλληλα, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας στην πρακτική εφαρμογή των συστημάτων αυτών στο συγκεκριμένο σταθμό, παραθέτουμε στο επόμενο διάγραμμα την αύξηση που προκαλείται στη συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ του σταθμού από την τοποθέτηση και λειτουργία καθενός από τα ανωτέρω συστήματα. Στο διάγραμμα γίνεται διάκριση της ισχύος που παράγεται από κάθε μονάδα ORC με βάση το γκρουπ των μηχανών με το οποίο συνδέεται.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ξανά ότι όλη η μελέτη έχει γίνει με βάση την πραγματική λειτουργία του σταθμού, λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη το συντελεστή διαθεσιμότητας των μηχανών. Έτσι, στην παρούσα εγκατάσταση, χωρίς την τοποθέτηση κάποιου συστήματος ανάκτησης θερμότητας, η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς του σταθμού έχει ληφθεί ίση με 18.864 kW.



Τέλος, παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα η βελτίωση στο συνολικό βαθμό απόδοσης του σταθμού από την τοποθέτηση των ανωτέρω συστημάτων. Για

τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης της παρούσας εγκατάστασης, συνυπολογίστηκε στην παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ και το θερμικό φορτίο που αξιοποιείται στο βιολογικό καθαρισμό. Δεδομένων και των ιδιοκαταναλώσεων όλης της μονάδας, που σύμφωνα με τα στοιχεία της εταιρίας ανέρχονται στο 0,88% της συνολικής παραγόμενης ισχύος, ο βαθμός απόδοσης προέκυψε ίσος με 39,5%.



6.6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΥΞΗΣ

Πέραν των υπολοίπων συστημάτων που μελετήθηκαν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη θερμότητα των καυσαερίων, στην ενότητα αυτή θα διερευνηθεί η δυνατότητα επιπλέον αξιοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας των μηχανών με την τοποθέτηση ενός συστήματος ψύξης πίσω από ένα από τα ήδη μελετημένα συστήματα των προηγούμενων ενοτήτων. Έτσι θα είναι δυνατόν να αξιοποιήσουμε ακόμη περισσότερο τα καυσαέρια και να ικανοποιήσουμε και άλλες ανάγκες του σταθμού. Παράλληλα θα γίνει αναφορά και στη μελέτη τοποθέτησης συστήματος ψύξης κατευθείαν πίσω από τις μηχανές εσωτερικής καύσης με σκοπό την ψύξη του μίγματος βιοαερίου-αέρα.

Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας που μελετήθηκαν είναι 120 °C ή και ακόμα μεγαλύτερη. Δεδομένου ότι στο καύσιμο δεν περιέχεται θείο, δηλαδή δεν έχουμε περιορισμούς από το όξινο σημείο δρόσου, θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε ακόμη περισσότερη ενέργεια από τα καυσαέρια για διαφορετικές λειτουργίες.

6.6.1 *Επιλογή κατάλληλου συστήματος ψύξης*

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παραγωγή ψύξης χρησιμοποιώντας τη θερμότητα των καυσαερίων. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι παραγωγής ψύξης από θερμική ενέργεια, οι κυριότερες των οποίων είναι οι ψύκτες απορρόφησης (absorption chillers), οι ψύκτες προσρόφησης (adsorption chillers) και οι ψύκτες με συμπίεση δια δέσμης ρευστού (steam jet ejectors). Όλες αυτές οι μέθοδοι αφορούν κυρίως στον τρόπο μετάβασης από τη χαμηλή πίεση ατμοποίησης στην υψηλή πίεση συμπύκνωσης χωρίς να χρησιμοποιηθεί μία κοινή αντλία η οποία καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια. Όλες οι υπόλοιπες διαδικασίες του ψυκτικού κύκλου είναι ίδιες με τη συμβατική ψύξη.

Καθώς αναφερόμαστε σε μία πραγματική εγκατάσταση και σε λειτουργία ενός υπάρχοντος σταθμού, θα επιλέξουμε μία τεχνολογία η οποία είναι αρκετά δοκιμασμένη στην πράξη και η οποία είναι εμπορικά διαθέσιμη. Είναι επίσης σημαντικό η τεχνολογία αυτή να μπορεί να ανταποκριθεί στη λειτουργία μιας πραγματικής μονάδας η οποία εμπεριέχει αρκετές διακυμάνσεις φορτίου.

Σαν αποτέλεσμα αυτών απορρίπτεται η χρήση ψυκτών δια προσροφήσεως καθώς η λειτουργία τους είναι διακοπτόμενη, ενώ για να γίνει συνεχής απαιτεί πολύπλοκο σύστημα. Πέραν αυτού, λόγω της περιορισμένης εφαρμογής της και του μικρού αριθμού κατασκευαστών, παραμένει μία σχετικά ακριβή τεχνολογία.

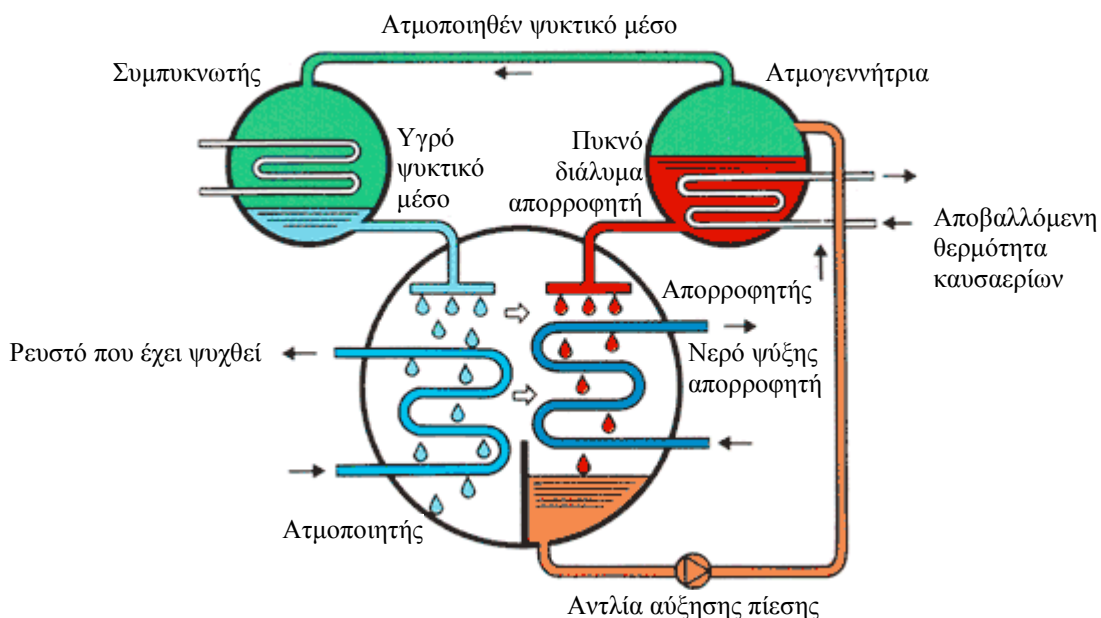
Όσον αφορά στη μέθοδο της ψύξης με συμπίεση δια δέσμης ρευστού, είναι αρκετά οικονομική, αξιόπιστη και εύκολη στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση. Αποτελείται από ένα μόνο στοιχείο το οποίο δεν έχει καθόλου κινούμενα μέρη, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα οικονομική και στην εγκατάσταση και στη συντήρηση. Βασικό της μειονέκτημα είναι ότι λειτουργεί αποδοτικά μόνο σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας. Τυχόν αποκλίσεις από το σημείο σχεδιασμού οδηγούν σε δραματική μείωση της απόδοσης της μεθόδου. Όπως είναι φυσικό η πραγματική λειτουργία ενός σταθμού εμπεριέχει πολλές διακυμάνσεις στο φορτίο και στις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρέπει να πραγματοποιηθεί η ψύξη. Γι' αυτό το λόγο δεν επιλέγεται ούτε αυτή η μέθοδος ψύξης.

Τελικά, επιλέγουμε τη μέθοδο της ψύξης δια απορροφήσεως καθώς συγκεντρώνει τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά που επιζητούμε. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά αξιόπιστη και αποδοτική, και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι αποτελείται από λίγα κινούμενα μέρη έχει μειωμένες ανάγκες συντήρησης. Παράλληλα, είναι μια εμπορικά διαθέσιμη και δοκιμασμένη τεχνολογία η οποία έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές. Το μειονέκτημα έγκειται στο αυξημένο μέγεθος ενός τέτοιου ψύκτη αλλά και στο κόστος αυτής της μεθόδου το οποίο είναι μεγαλύτερο από αυτό της ψύξης με συμπίεση δια δέσμης ρευστού.

Η μέθοδος της ψύξης δια απορροφήσεως βασίζεται στο φαινόμενο της ατμοποίησης. Το ψυκτικό μέσο μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια φάση

λαμβάνοντας την απαιτούμενη θερμότητα ατμοποίησης. Τη θερμότητα αυτή την προσφέρει το ρευστό το οποίο θέλουμε να ψύξουμε. Ακολούθως το ίδιο ψυκτικό μέσο συμπυκνώνεται έτσι ώστε να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για την ψύξη και το σύστημα να είναι συνεχές. Η θερμότητα συμπύκνωσης απορρίπτεται στο περιβάλλον. Για να είναι εφικτή η συμπύκνωση θα πρέπει η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για να συμβεί αυτό αυξάνουμε την πίεση του μέσου πριν οδηγηθεί στο συμπυκνωτή.

Στη συγκεκριμένη τεχνολογία, για τη μετάβαση από τη χαμηλή πίεση της ατμοποίησης στην υψηλή πίεση της συμπύκνωσης χρησιμοποιείται το φαινόμενο της απορρόφησης. Το ατμοποιηθέν ψυκτικό μέσο απορροφάται από το μέσο απορρόφησης και έτσι προκύπτει υγρό διάλυμα. Συνεπώς, η μετάβαση στην υψηλή πίεση συμπύκνωσης γίνεται με αντλία η οποία όμως απαιτεί πολύ λίγη έως και μηδενική ενέργεια συγκριτικά με την αντλία μηχανικής συμπίεσης ατμού. Για τον εκ νέου διαχωρισμό του ψυκτικού μέσου από το μέσο απορρόφησης χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων. Με τη χρήση της θερμότητας αυτής, βράζουμε το μίγμα και μέσω κλασματικής απόσταξης επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός. Έτσι, προκύπτει το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο που οδηγείται στο συμπυκνωτή καθώς και το μέσο απορρόφησης, που αποτελεί και τη μεγαλύτερη ποσότητα, το οποίο διοχετεύεται στον απορροφητή για να ολοκληρωθεί ο κύκλος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται παραστατικά η συνολική διεργασία.



Σχήμα: Διεργασίες μέσα στον ψύκτη δια απορροφήσεως

6.6.2 *Ψύξη του μίγματος βιοαερίου-αέρα πριν εισέλθει στη μηχανή*

Αρχικά μελετήθηκε η δυνατότητα ψύξης του μίγματος που εισέρχεται στη μηχανή εσωτερικής καύσης. Όπως είναι γνωστό, βασική επιδίωξη στις μηχανές είναι η μεγάλη πυκνότητα πριν το θάλαμο καύσης. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει ο συμπιεστής που αυξάνει την πίεση του εισερχομένου στο θάλαμο καύσης μίγματος και ακολούθως το ενδιάμεσο ψυγείο (intercooler) που ψύχει το μίγμα. Όλα αποσκοπούν στην αύξηση της πυκνότητας γιατί με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η απόδοση της μηχανής.

Στην παρούσα λειτουργία των μηχανών, η θερμοκρασία του μίγματος βιοαερίου-αέρα πριν αυτό εισέλθει στο συμπιεστή της μηχανής είναι σχετικά υψηλή. Πιο συγκεκριμένα, το βιοαέριο που έρχεται από το βουνό είναι συνήθως αρκετά θερμό και γι' αυτό το λόγο οδηγείται στους ψύκτες της μονάδας πριν εισέλθει στο χώρο της μηχανής και αναμιχθεί με τον αέρα καύσης. Ο αέρας καύσης όμως είναι αρκετά θερμός καθώς μέσα στο θάλαμο της μηχανής επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Δεδομένου ότι η ποσότητα του αέρα που απαιτείται για την καύση είναι πολλαπλάσια αυτής του βιοαερίου, η υψηλή θερμοκρασία του αέρα επικρατεί της θερμοκρασίας του βιοαερίου και έτσι το μίγμα έχει αρκετά χαμηλή πυκνότητα.

Μία ενδεχόμενη λύση θα ήταν να ψύξουμε το μίγμα πριν οδηγηθεί στο συμπιεστή. Αναφέρομαι στο μίγμα διότι θα ήταν ανούσιο να ψύξουμε μόνο το βιοαέριο καθώς όταν θα ακολουθούσε η ανάμιξη με το ζεστό αέρα, τα οφέλη της ψύξης θα μειώνονταν αισθητά.

Για τη μελέτη της περίπτωσης αυτής δημιουργήθηκε αντίστοιχο μοντέλο στο υπολογιστικό πρόγραμμα για να ποσοτικοποιήσουμε τα οφέλη. Χρησιμοποιήθηκε, για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω, ψύξη δια απορροφήσεως, με νερό και διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (LiBr), που εκμεταλλεύεται την αποβαλλόμενη θερμότητα των καυσαερίων. Το σύστημα τοποθετήθηκε κατευθείαν μετά τις μηχανές χωρίς να προηγείται άλλο σύστημα ανάκτησης θερμότητας.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην αύξηση της παραγόμενης ισχύος δεν ήταν τόσο ενθαρρυντικά. Ενδεικτικά, για το πρώτο γκρουπ μηχανών, η αύξηση της παραγόμενης ισχύος από τις 11 μηχανές, εξαιτίας των βελτιωμένων συνθηκών εισόδου του μίγματος στο θάλαμο καύσης, ήταν της τάξης των 400 KW. Αυτή η αύξηση δεν είναι αμελητέα αλλά συγκριτικά με τα οφέλη που αποκομίζουμε από τις άλλες μεθόδους ανάκτησης θερμότητας που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες ενότητες, είναι αρκετά μικρή. Πέραν αυτού, το κόστος αυτής της τεχνολογίας είναι αρκετά υψηλό αναλογικά με τα οφέλη που προσφέρει, συγκρινόμενο πάντα με τις άλλες μεθόδους (ORC και Λ.Α.Θ.).

Επιπρόσθετα, για να πραγματοποιηθεί αυτή η ψύξη σε σημείο της μηχανής μετά την ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα καύσης σημαίνει ότι θα έπρεπε να τοποθετήσουμε τον ατμοποιητή της μεθόδου μέσα στη μηχανή εσωτερικής καύσης.

Όμως, από την παραμονή μου στο σταθμό και από την άμεση επαφή με τη λειτουργία των μηχανών, διαπίστωσα πως κάτι τέτοιο θα ήταν πολύ δύσκολο έως και αδύνατον να γίνει χωρίς να χρειαστεί να σταματήσει η λειτουργία της μηχανής για μεγάλο χρονικό διάστημα. Όπως φάνηκε και στις ανάλογες εικόνες σε προηγούμενο κεφάλαιο, η κατασκευή των μηχανών είναι πολύ συμπαγής και αυστηρά δομημένη, με αποτέλεσμα να είναι απαγορευτική η παρέμβαση για την τοποθέτηση ενός επιπλέον στοιχείου μέσα στις ήδη υπάρχουσες σωληνώσεις. Γι' αυτούς τους λόγους, το ενδεχόμενο τοποθέτησης συστήματος ψύξης για το μίγμα βιοαερίου-αέρα μέσα στη μηχανή εγκαταλείφθηκε.

6.6.3 Αντικατάσταση υπάρχοντος ψύκτη μηχανικής συμπίεσης ατμού με ψύκτη δια απορροφήσεως

Όπως έχει ήδη περιγραφεί, το βιοαέριο καθώς εξέρχεται από το βουνό και οδηγείται μέσω σωληνώσεων στο σταθμό, εισέρχεται σε ψύκτες όπου μειώνεται η θερμοκρασία του περίπου από τους 27°C (ανάλογα με την εποχή του χρόνου) στους 7°C. Αυτοί οι ψύκτες λειτουργούν με μηχανική συμπίεση του ατμοποιηθέντος ψυκτικού μέσου αυξάνοντας την ιδιοκατανάλωση του σταθμού.

Στην παρούσα ενότητα γίνεται μελέτη ενδεχόμενης αντικατάστασης των ψυκτών αυτών με ψύκτες δια απορροφήσεως οι οποίοι θα λειτουργούν εκμεταλλευόμενοι την αποβαλλόμενη θερμότητα των καυσαερίων χωρίς να επιβαρύνουν την ιδιοκατανάλωση του σταθμού.

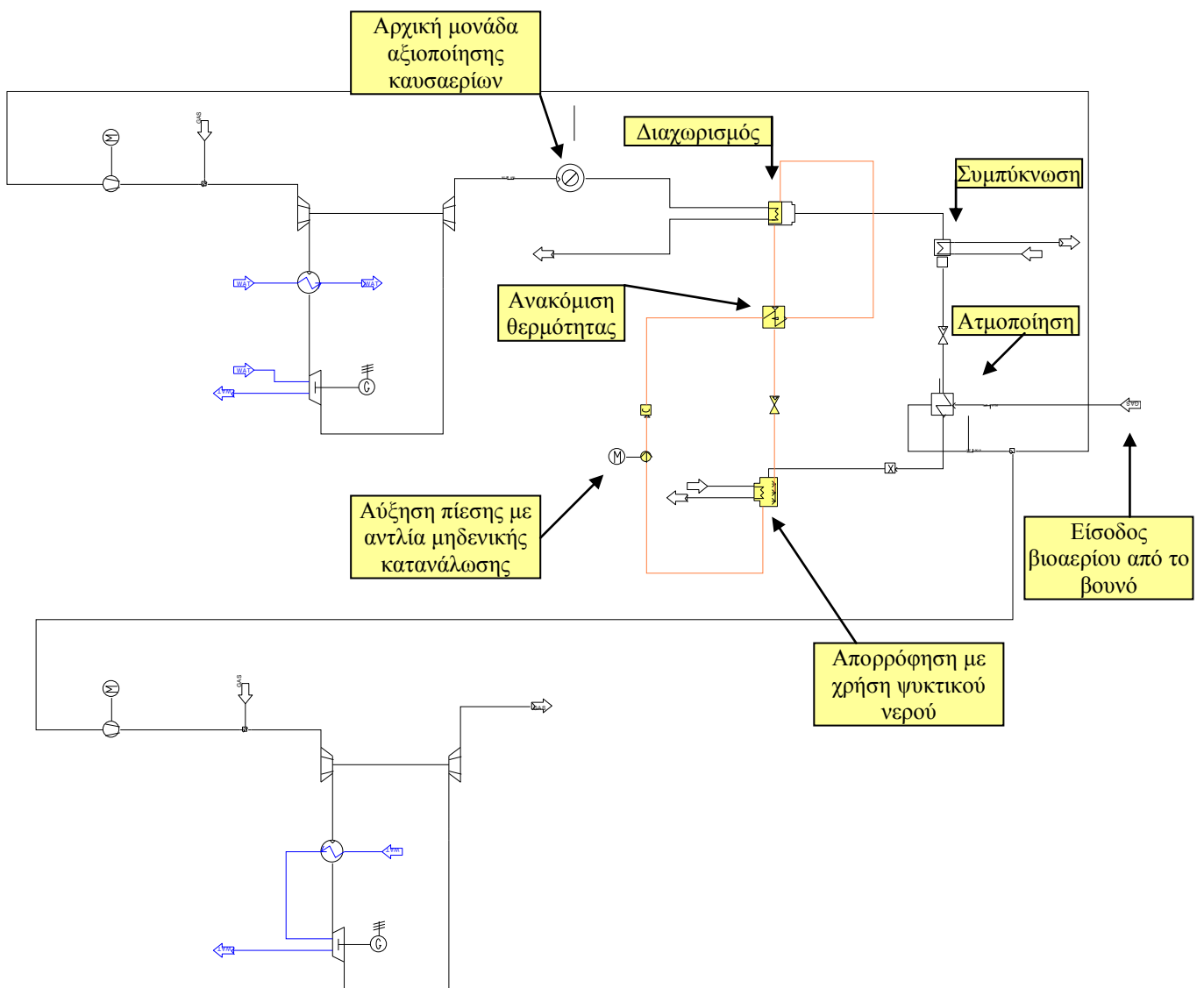
Για τη διερεύνηση αυτού του σεναρίου γίνεται χρήση του υπολογιστικού προγράμματος. Τοποθετείται και πάλι σύστημα ψύξης δια απορροφήσεως με νερό και διάλυμα βρωμιούχου λιθίου. Αυτή τη φορά η μονάδα τοποθετείται πίσω από ένα άλλο σύστημα ανάκτησης θερμότητας των καυσαερίων. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι οποιοδήποτε εξ αυτών που μελετήσαμε ανωτέρω (οποιαδήποτε μορφή ORC ή λέβητα ανάκτησης θερμότητας).

Καθώς στην περίπτωση αυτή δεν ενδιαφερόμαστε για το αρχικό σύστημα ανάκτησης θερμότητας αλλά μόνο για την ψυκτική μονάδα, για αποφυγή πολυπλοκότητας του σχήματος, η μονάδα ORC ή Λ.Α.Θ. παρουσιάζεται στο μοντέλο απλά σαν μία καταβόθρα θερμότητας όπου το μόνο που μας ενδιαφέρει είναι η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από αυτή. Θα θεωρήσουμε μία θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από την καταβόθρα ίση με 120°C μιας και αυτή είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε στην έξοδο αυτών των συστημάτων με βάση την προηγούμενη μελέτη.

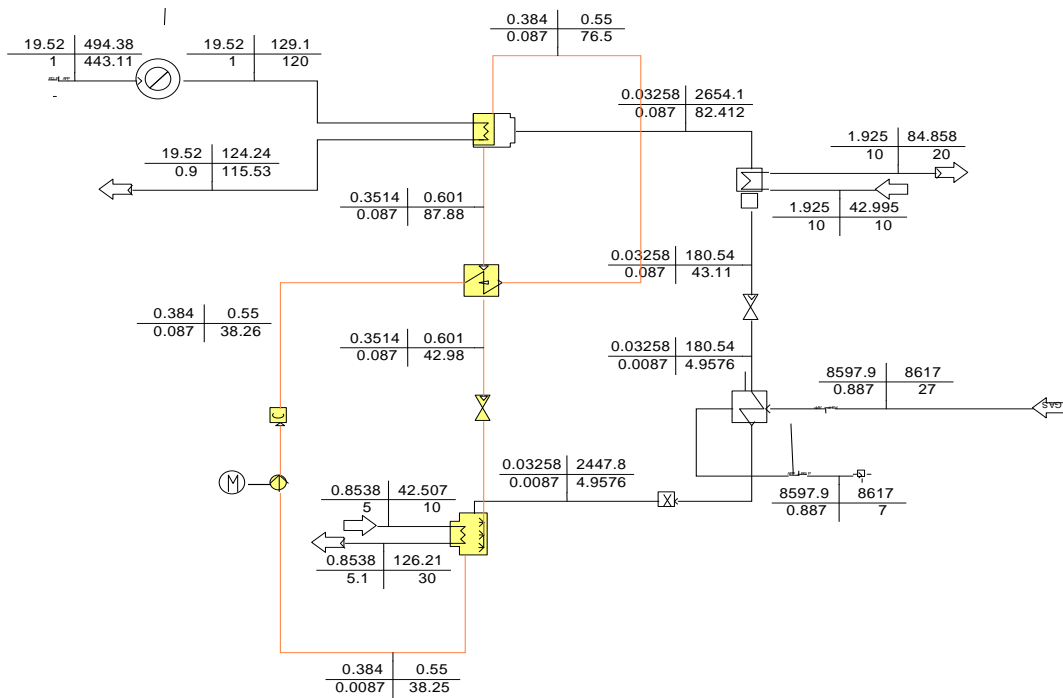
Εξαιτίας της μεγάλης ενεργειακής συγκέντρωσης που παρουσιάζουν τα καυσαέρια, παρατηρούμε ότι αρκεί ένα μόνο τέτοιο σύστημα ψύξης για να τροφοδοτήσει και τα δύο τμήματα του σταθμού. Έτσι, όλοι οι ψύκτες που έχουν

τοποθετηθεί στο σταθμό αντικαθίστανται από έναν ψύκτη δια απορροφήσεως που τοποθετείται μετά από το σύστημα ανάκτησης θερμότητας του πρώτου γκρουπ των μηχανών. Το βιοαέριο δηλαδή που έρχεται από το βουνό οδηγείται πλέον πρώτα στον ενιαίο ψύκτη και ακολούθως διακλαδίζεται για να τροφοδοτήσει τα δύο τμήματα του σταθμού. Το ψυκτικό έργο που παράγει το νέο σύστημα είναι το ίδιο με αυτό του ήδη υπάρχοντος αλλά πλέον έχει μηδενιστεί η ιδιοκατανάλωση.

Ακολουθεί η γενική μορφή του μοντέλου όπως αυτό σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιείται, και εν συνεχεία παρουσιάζεται μόνο το σύστημα της ψύξης με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του.



Σχήμα: Μοντέλο IPSEpro για ψύξη δια απορροφήσεως



Σχήμα: Αποτελέσματα μοντέλου IPSEpro για ψύξη δια απορροφήσεως

Στην παρούσα φάση, οι ήδη εγκατεστημένοι ψύκτες βιοαερίου και των δύο τμημάτων του σταθμού, καταναλώνουν συνολικά περίπου 120 kW ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η χρέωση του ηλεκτρικού ρεύματος για το σταθμό είναι 0,094 €/kWh. Με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας, αντικαθιστώντας τους υπάρχοντες ψύκτες, μειώνουμε τα έξοδα του σταθμού κατά το κόστος της συγκεκριμένης ιδιοκατανάλωσης ως εξής:

Ιδιοκατανάλωση ήδη εγκατεστημένων ψυκτών	Χρέωση ηλεκτρικού ρεύματος για το σταθμό	Ετήσιο όφελος από την αντικατάσταση των ψυκτών
120 kW	0,094 €/kWh	98.813 €/έτος

Είναι αλήθεια όμως πως μία τέτοια αλλαγή είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί στην πράξη. Κι αυτό διότι οι ψύκτες είναι ήδη εγκατεστημένοι και λειτουργούν αυτή τη στιγμή στο σταθμό, οπότε δεν είναι συμφέρον για την εταιρία να τους απομακρύνει για να τοποθετήσει τον καινούριο. Εξάλλου, το όφελος που προκύπτει δεν είναι τόσο μεγάλο, συγκριτικά με τα υπόλοιπα έσοδα της εταιρίας, που να δικαιολογεί μία τέτοια αλλαγή. Πέραν αυτού, το κόστος του ψύκτη δια απορροφήσεως είναι αρκετά υψηλό και εναπόκειται στην εταιρία αν είναι διατεθειμένη να το καταβάλει καθώς ο χρόνος αποπληρωμής του είναι σημαντικός.

Αντίθετα, σε περίπτωση που ο σταθμός ήταν στη φάση του σχεδιασμού και της κατασκευής, ένα τέτοιο σύστημα θα φάνταζε πιο ελκυστικό και αποδοτικό καθώς σε βάθος χρόνου θα απέδιδε υπολογίσιμα οικονομικά οφέλη στην εταιρία, ενώ συγχρόνως θα ενίσχυε τον περιβαλλοντικό χαρακτήρα του σταθμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ORC

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση που προηγήθηκε για την αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας των καυσαερίων, έγινε σε θεωρητική βάση χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό πρόγραμμα προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, όπως φάνηκε, ήταν εξαιρετικά ενδιαφέροντα και ελκυστικά για όλες τις διαφορετικές τεχνολογίες που μελετήσαμε. Έτσι κρίνεται σκόπιμο να προχωρήσουμε σε περαιτέρω έρευνα ενδεχόμενης πραγματικής εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων στο σταθμό.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει οικονομική αξιολόγηση μιας πιθανής εγκατάστασης συστήματος ORC που θα εκμεταλλεύεται τα καυσαέρια των μηχανών του σταθμού. Ο λόγος που τελικά επιλέχθηκε να μελετηθεί περαιτέρω η τεχνολογία του ORC είναι η αυξημένη απόδοση και οι πολλές επιλογές εμπορικής διάθεσης τέτοιων συστημάτων που υπάρχουν από κατασκευαστικές εταιρίες ανά τον κόσμο. Τα συστήματα ψύξης δια απορρόφησης που παρουσιάστηκαν έχουν σαφώς μειωμένη απόδοση και τα οφέλη από τη χρήση τους είναι πολύ μικρότερα. Αντίθετα, η τεχνολογία του κύκλου Clausius Rankine νερού-ατμού παρέχει εξίσου υψηλή απόδοση με τα συστήματα ORC. Το βασικό της μειονέκτημα έγκειται στο ότι δεν είναι τόσο εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία όσο το ORC γεγονός που καθιστά δυσκολότερη και ίσως και ακριβότερη την κατασκευή μιας τέτοιας μονάδας.

Για την ανεύρεση πραγματικών προσφορών εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος, επικοινωνήσαμε με πολλές κατασκευαστικές εταιρίες από την Ευρώπη και την Αμερική. Το μέγεθος του υπάρχοντος σταθμού και τα υψηλά ποσά αποβαλλόμενης θερμότητας επιβάλλουν τη χρήση μεγάλων μονάδων ORC της τάξης των ενός ή δύο MW. Έτσι, μερικές από τις εταιρίες στις οποίες απευθυνθήκαμε (όπως η ElectraTherm και η Triogen), αδυνατούσαν να μας εξυπηρετήσουν εξαιτίας των απαιτήσεων για μεγάλα συστήματα ORC. Εν τέλει, καταλήξαμε στη συνεργασία με τρεις εταιρίες η οποίες και παρέδωσαν από μία αρχική προσφορά για την προκαταρκτική μελέτη μιας τέτοιας επένδυσης. Οι τρεις αυτές εταιρίες είναι η ιταλική Turboden, η σλοβένικη Inea (ευρωπαϊκός συνεργάτης της Calnetix) και η αμερικάνικη Ormat.

Παρακάτω, παρουσιάζονται εν συντομία τα κύρια χαρακτηριστικά κάθε προσφοράς και γίνεται οικονομική αξιολόγησή τους. Η αναλυτική προσφορά κάθε εταιρίας, όπως ακριβώς εστάλη, παρουσιάζεται στο παράρτημα. Μετά τη σύγκριση των συντελεστών οικονομικής αποδοτικότητας κάθε μιας θα καταλήξουμε στην πιο συμφέρουσα λύση για το σταθμό.

7.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Για την οικονομική ανάλυση των προσφορών χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένοι συντελεστές οικονομικής αποδοτικότητας όπως η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value – NPV) και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (Internal Rate of Return – IRR).

Η καθαρή παρούσα αξία προκύπτει ως η διαφορά των προβλεπόμενων εισόδων από τα προβλεπόμενα έξοδα της λειτουργίας της επένδυσης, τα οποία όμως είναι ανηγμένα σε σημερινές τιμές με βάση κάποιο επιτόκιο αναγωγής. Το επιτόκιο αυτό εξαρτάται από την εμπειρία του κάθε επενδυτή και είναι υποκειμενικό. Ουσιαστικά αντανακλά το κόστος μιας ασφαλούς επένδυσης προσαυξημένο κατά ένα συντελεστή ασφαλείας που αντιπροσωπεύει το ρίσκο της πραγματικής επένδυσης. Αυτή την εποχή τα γερμανικά ομόλογα 20ετίας έχουν απόδοση 6,25%. Έτσι, θεωρώντας και μία μικρή προσαύξηση λόγω του ρίσκου, θα χρησιμοποιήσω για τη βασική αξιολόγηση επιτόκιο αναγωγής ίσο με 6,5%. Η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα αν η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική.

Αναφορικά με τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης, ορίζεται ουσιαστικά ως το επιτόκιο αναγωγής που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία και καθιστά την επένδυση οριακά συμφέρουσα. Αν ο συντελεστής αυτός είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής τότε η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα.

Η οικονομική ανάλυση των προσφορών πραγματοποιήθηκε σε βάθος 20ετίας. Με βάση τη νομοθεσία, ο ΔΕΣΜΗΕ αγοράζει την ηλεκτρική ενέργεια από το σταθμό με συγκεκριμένο και σταθερό τιμολόγιο ίσο με 99,45 €/MWh. Η φορολογία καθώς και τα υπόλοιπα δικαιώματα χρήσης του βιοαερίου και της γης που πληρώνει ο σταθμός στο Δήμο Άνω Λιοσίων και στο διαχειριστή του χώρου (Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.), ελήφθησαν ίσα με το 35% των κερδών.

Δεδομένου ότι το αρχικό κόστος της επένδυσης είναι υψηλό, δεν θα καλυφθεί εξ ολοκλήρου από ίδια κεφάλαια αλλά θα χρησιμοποιηθεί δάνειο. Στη μελέτη που ακολουθεί θεωρήθηκε ποσοστό δανειοδότησης 50%. Η αποπληρωμή του δανείου πραγματοποιείται με σταθερά τοκοχρεολύσια, διαρκεί 10 έτη και η πληρωμή γίνεται μία φορά κάθε χρόνο. Το ετήσιο επιτόκιο προεξόφλησης του δανείου κυμαίνεται από 4,5% έως 8%, ανάλογα με το ύψος του κεφαλαίου και την πιστοληπτική ικανότητα του επενδυτή. Συνεπώς προκύπτει μετά από συμφωνία μεταξύ της τράπεζας και της εταιρίας και δεν μπορεί να εκτιμηθεί εξ αρχής με μεγάλη βεβαιότητα. Στην παρούσα μελέτη θεωρείται ίσο με 6% αν και είναι πολύ πιθανόν η συγκεκριμένη εταιρία να πετύχει ακόμα μικρότερο επιτόκιο προεξόφλησης.

Για τους υπολογισμούς που ακολουθούν δημιουργήθηκε κατάλληλο πρόγραμμα στο Excel, ενώ ο υπολογισμός της αποπληρωμής του δανείου έγινε με βάση το έτοιμο πρότυπο του Excel, 'Διαχείριση δανείου'.

7.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ TURBODEN

Η Turboden πρόκειται για μία από τις μεγαλύτερες εταιρίες κατασκευής συστημάτων ORC στον κόσμο με πολλές υλοποιημένες εφαρμογές. Η εταιρία προσφέρει μια σειρά από τυποποιημένες μονάδες ανάλογα με το μέγεθος της προσφερόμενης προς αξιοποίηση θερμότητας και τις προσαρμόζει σε κάθε διαφορετική περίπτωση.

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή πρότεινε δύο διαφορετικούς τρόπους αξιοποίησης των καυσαερίων από τις μηχανές του σταθμού. Οι δύο εναλλακτικές επιλογές αφορούσαν στην τοποθέτηση ενός ή δύο συστημάτων ORC. Στην περίπτωση τοποθέτησης δύο τέτοιων μονάδων, η πρώτη θα αφορούσε το 'τμήμα 1' του σταθμού και η άλλη το 'τμήμα 2' του σταθμού. Κατ' αυτόν τον τρόπο η αξιοποίηση της θερμότητας του ενός γκρουπ μηχανών και η λειτουργία της μίας μονάδας ORC θα ήταν ανεξάρτητη από τη λειτουργία της δεύτερης μονάδας και την αξιοποίηση των απωλειών των υπολοίπων μηχανών. Έτσι, σε περίπτωση βλάβης ή κατά τη διάρκεια της συντήρησης της μίας μονάδας, η δεύτερη θα συνέχιζε να λειτουργεί και να παράγει έργο.

Προκύπτει όμως ότι είναι εξαιρετικά οικονομικότερη η τοποθέτηση ενός ενιαίου συστήματος ανάκτησης θερμότητας από όλες τις μηχανές του σταθμού. Παρόλο που κατά την επισκευή της μονάδας θα χάνεται όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την αξιοποίηση των καυσαερίων, η μεγάλη διαφορά στο κόστος εγκατάστασης επιβάλλει την τοποθέτηση μίας ενιαίας μονάδας αντί δύο μικρότερων. Γι' αυτό στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με την αξιολόγηση της δεύτερης πρότασης της εταιρίας, δηλαδή την τοποθέτηση μίας μεγαλύτερης μονάδας ORC που θα αφορά και τα δύο τμήματα του σταθμού.

Το σύστημα ORC που κατασκευάζει η εταιρία αποτελείται από το ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου που λαμβάνει τη θερμότητα των καυσαερίων και το κύκλωμα του οργανικού μέσου που αποτονώνεται στο στρόβιλο και παράγει το ζητούμενο έργο. Η συμπύκνωση μπορεί να γίνει είτε με υδρόψυκτο είτε με αερόψυκτο συμπυκνωτή. Στην περίπτωση μας προτιμούμε τον αερόψυκτο για τους λόγους που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το οργανικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι silicon oil το οποίο δεν είναι εύφλεκτο, ενώ το θερμικό έλαιο είναι οποιοδήποτε έλαιο που είναι εμπορικά διαθέσιμο και ικανοποιεί τις ανάγκες της εγκατάστασης. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται Therminol 62.

Με βάση την προκαταρκτική πρόταση της εταιρίας, η εκτιμώμενη παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανέρχεται στα 1801 kW_{el}. Το κόστος αυτής της μονάδας είναι 1.655.000 €. Παράλληλα το κόστος της τοποθέτησης της μονάδας στο σταθμό είναι 60.000 € και η θερμική μόνωση 31.000 €. Σε αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται το κόστος του ψυκτικού συστήματος και των σχετικών αντλιών και σωληνώσεων που

κυμαίνεται περίπου στα 650.000 €, το κόστος της σύνδεσης στο δίκτυο με τους μετασχηματιστές που υπολογίζεται σε 100.000 € και το κόστος των έργων πολιτικού μηχανικού, δηλαδή τα απαιτούμενα δωμάτια στα οποία θα τοποθετηθεί η μονάδα, που είναι περίπου 100.000 €. Πέραν αυτών, δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος του κυκλώματος θερμικού ελαίου το οποίο εξαρτάται από το πλήθος των εναλλακτών που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και από τη διάταξη του σταθμού, δηλαδή την απόσταση του ORC από το κάθε γκρουπ μηχανών. Σε γενικές γραμμές και για μία πρώτη προσέγγιση, η κατασκευάστρια εταιρία υποστηρίζει ότι το συνολικό κόστος όλης της επένδυσης ισούται με το διπλάσιο του κόστους της βασικής μονάδας, δηλαδή είναι περίπου ίσο με 3.200.000 €. Τα κόστη μεταφοράς είναι πολύ μικρά συγκριτικά με το συνολικό και άρα δεν τα λαμβάνουμε υπόψη.

Είναι σημαντικό επίσης να τονιστεί ότι στον εκτελωνισμό του προϊόντος δεν επιβάλλονται επιπλέον δασμοί καθώς η κατασκευάστρια εταιρία προέρχεται από κράτος-μέλος της Ε.Ε.

Το κόστος συντήρησης μιας τέτοιας μονάδας κυμαίνεται από 7.500 € έως 15.000 € ετησίως. Καθώς το σύστημα αποτελείται από πολύ λίγα κινούμενα μέρη, οι βλάβες είναι σπάνιες και έτσι το κόστος αφορά κυρίως μικρές επιδιορθώσεις και συντηρήσεις. Εκτιμάται ότι για τη συντήρηση της μονάδας, απαιτούνται 3 έως 5 ώρες εβδομαδιαίως. Ακολουθούν συγκεντρωτικά τα βασικά στοιχεία της επένδυσης:

TURBODEN	
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (MW)	1,801
Τιμή πώλησης ρεύματος στο ΔΕΣΜΗΕ (€/MWh)	99,45
Ετήσια έσοδα (€)	1.522.430
Φορολογία, κτλ	35%
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)	3.200.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	15.000
Ποσοστό δανειοδότησης	50%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου (έτη)	10
Επιτόκιο προεξόφλησης δανείου	6%
Επιτόκιο αναγωγής	6,5%

Σε αυτή την περίπτωση, το δάνειο που θα ληφθεί, το οποίο ισούται με το μισό της αρχικής επένδυσης, ανέρχεται σε 1.600.000 €. Η αποπληρωμή του δανείου, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί, υπολογίστηκε έτσι ώστε να έχει ολοκληρωθεί σε μία 10ετία και με επιτόκιο προεξόφλησης 6%, όπως εξηγήθηκε παραπάνω:

Αριθμός πληρωμής	Συνολική πληρωμή	Αρχικό κεφάλαιο	Τόκος	Τελικό υπόλοιπο
1	217.389	121.389	96.000	1.478.611
2	217.389	128.672	88.717	1.349.939
3	217.389	136.392	80.996	1.213.547
4	217.389	144.576	72.813	1.068.971
5	217.389	153.250	64.138	915.720
6	217.389	162.446	54.943	753.275
7	217.389	172.192	45.196	581.083
8	217.389	182.524	34.865	398.559
9	217.389	193.475	23.914	205.084
10	205.084	192.779	12.305	0

Οι προβλεπόμενες ταμειακές ροές της επιχείρησης υπολογίσθηκαν αφού έγινε η αναγωγή σε σημερινή αξία των εσόδων και των εξόδων. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η ανάλυση σε βάθος 20ετίας.

Έτος	Έσοδα	Ανηγγμένα έσοδα	Έξοδα	Αποπληρωμή δανείου	Ανηγγμένα έξοδα	Ανηγγμένα κέρδη προ φόρων	Ανηγγμένα καθαρά κέρδη
0	0	0	1.600.000	0	1.600.000	-1.600.000	-1.600.000
1	1.522.430	1.429.512	15.000	217.389	218.205	1.211.307	787.349
2	1.522.430	1.342.265	15.000	217.389	204.888	1.137.377	739.295
3	1.522.430	1.260.343	15.000	217.389	192.383	1.067.960	694.174
4	1.522.430	1.183.420	15.000	217.389	180.641	1.002.779	651.806
5	1.522.430	1.111.193	15.000	217.389	169.616	941.577	612.025
6	1.522.430	1.043.373	15.000	217.389	159.264	884.110	574.671
7	1.522.430	979.693	15.000	217.389	149.544	830.150	539.597
8	1.522.430	919.900	15.000	217.389	140.417	779.483	506.664
9	1.522.430	863.756	15.000	217.389	131.846	731.909	475.741
10	1.522.430	811.038	15.000	205.084	117.244	693.794	450.966
11	1.522.430	761.538	15.000	0	7.503	754.035	490.123
12	1.522.430	715.059	15.000	0	7.045	708.014	460.209
13	1.522.430	671.417	15.000	0	6.615	664.802	432.121
14	1.522.430	630.439	15.000	0	6.212	624.227	405.748
15	1.522.430	591.961	15.000	0	5.832	586.129	380.984
16	1.522.430	555.832	15.000	0	5.476	550.356	357.731
17	1.522.430	521.908	15.000	0	5.142	516.766	335.898
18	1.522.430	490.055	15.000	0	4.828	485.226	315.397
19	1.522.430	460.145	15.000	0	4.534	455.612	296.147
20	1.522.430	432.061	15.000	0	4.257	427.804	278.073

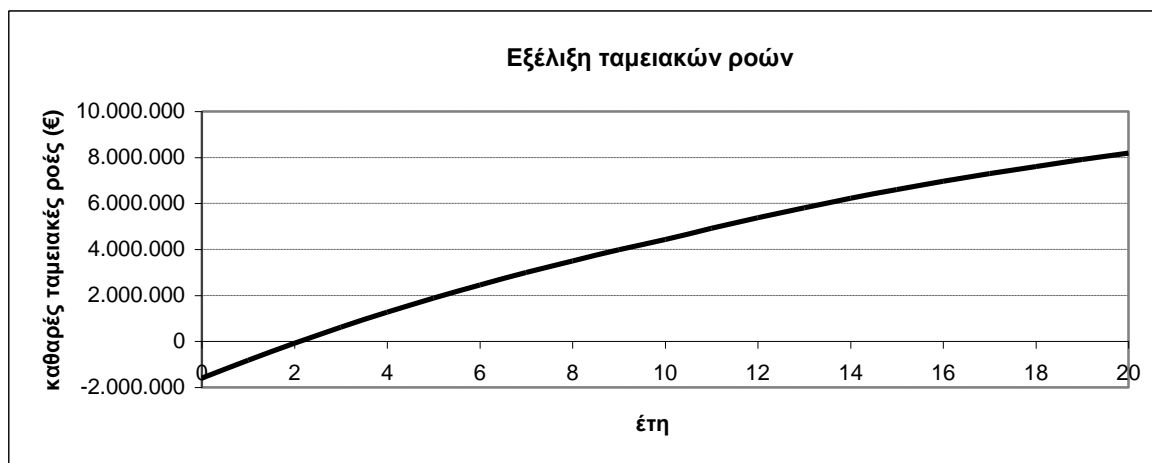
Από την ανάλυση αυτή προκύπτουν οι ζητούμενοι συντελεστές αποδοτικότητας:

$$NPV = 8.184.721 \text{ €}$$

$$IRR = 43\%$$

Είναι εμφανές ότι η επένδυση, με βάση τη συγκεκριμένη προσφορά, είναι πολύ αποδοτική και συμφέρουσα για την εταιρία.

Παρουσιάζονται επίσης στο ακόλουθο διάγραμμα οι αθροιστικές καθαρές ταμειακές ροές κατά τη διάρκεια της 20ετίας όπου φαίνεται ότι η περίοδος αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου (το οποίο όμως ισούται με το μισό του κόστους της επένδυσης αφού το άλλο μισό δανειοδοτείται) είναι περίπου 2 έτη.



7.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ INEA

Η σλοβένικη εταιρία INEA, όντας μικρότερης δυναμικότητας από τις άλλες δύο, δεν διαθέτει μεγάλα συστήματα ORC. Γι' αυτό στην προσφορά της χρησιμοποίησε πολλές μικρότερες μονάδες για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του σταθμού. Όπως θα φανεί παρακάτω, η τελική παραγωγή ενέργειας φτάνει περίπου στο μισό των δύο άλλων προσφορών και έτσι τα οικονομικά αποτελέσματα δεν είναι τόσο εντυπωσιακά όπως στις άλλες εκδοχές.

Πιο συγκεκριμένα, η προσφορά συνίσταται στην τοποθέτηση 9 συστημάτων ORC ονομαστικής ισχύος 125 kW_{el} το καθένα. Η κάθε μονάδα θα βρίσκεται σε ξεχωριστό container. Το σύστημα αποτελείται από το ενδιάμεσο κύκλωμα μεταφοράς θερμότητας και το κύκλωμα του οργανικού μέσου το οποίο αποτονώνεται στο στρόβιλο και παράγει το ζητούμενο έργο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν χρησιμοποιείται θερμικό έλαιο στο ενδιάμεσο κύκλωμα αλλά νερό, καθώς το μέγεθος της μεταφερόμενης θερμότητας είναι μικρότερο. Το οργανικό μέσο είναι R245fa το οποίο δεν είναι εύφλεκτο και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Τέλος, η συμπύκνωση του οργανικού μέσου πραγματοποιείται με αερόψυκτο συμπυκνωτή ο οποίος θα είναι τοποθετημένος στην οροφή του container.

Η κατασκευαστική εταιρία αναλαμβάνει την κατασκευή, τοποθέτηση και παράδοση του συστήματος των 9 μονάδων με συνολικό κόστος 4.185.000 €. Σε αυτά θα πρέπει να συμπεριληφθούν τα έξοδα κατασκευής μιας απλής τιμεντένιας βάσης πάνω στην οποία θα είναι τοποθετημένα τα container καθώς και τα έξοδα για τη

σύνδεση των μονάδων στο δίκτυο. Έτσι, το συνολικό κόστος της εγκατάστασης εκτιμάται περίπου στα 4.300.000 €, καθώς ούτε σε αυτή την περίπτωση επιβάλλεται τελωνειακός δασμός μιας και η εταιρία προέρχεται από τη Σλοβενία.

Το κόστος συντήρησης κάθε μίας μονάδας ανέρχεται σύμφωνα με την εταιρία στα 8.000 € ετησίως, ενώ το διάστημα που απαιτείται για τη συντήρηση των μηχανών εκτιμάται ίδιο με την προηγούμενη περίπτωση, δηλαδή 5 ώρες εβδομαδιαίως.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η κάθε μονάδα παράγει 125 kW_{el} στο ονομαστικό της φορτίο. Στην πράξη η παραγωγή είναι μικρότερη και ισούται με 101,87 kW_{el} σύμφωνα με την εταιρία. Συνεπώς, η συνολική παραγόμενη ισχύς και των 9 μονάδων είναι περίπου 917 kW_{el}.

Ακολουθούν συγκεντρωτικά τα βασικά στοιχεία της επένδυσης:

INEA	
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (MW)	0,917
Τιμή πώλησης ρεύματος στο ΔΕΣΜΗΕ (€/MWh)	99,45
Ετήσια έσοδα (€)	775.163
Φορολογία, κτλ	35%
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)	4.300.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	72.000
Ποσοστό δανειοδότησης	50%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου (έτη)	10
Επιτόκιο προεξόφλησης δανείου	6%
Επιτόκιο αναγωγής	6,5%

Το ύψος του δανείου ανέρχεται σε 2.150.000 €. Η αποπληρωμή του υπολογίστηκε όπως και στην προηγούμενη περίπτωση:

Αριθμός πληρωμής	Συνολική πληρωμή	Αρχικό κεφάλαιο	Τόκος	Τελικό υπόλοιπο
1	292.116	163.116	129.000	1.986.884
2	292.116	172.903	119.213	1.813.981
3	292.116	183.277	108.839	1.630.704
4	292.116	194.274	97.842	1.436.430
5	292.116	205.930	86.186	1.230.499
6	292.116	218.286	73.830	1.012.213
7	292.116	231.383	60.733	780.830
8	292.116	245.266	46.850	535.564
9	292.116	259.982	32.134	275.581
10	275.581	259.046	16.535	0

Οι προβλεπόμενες ταμειακές ροές της επιχείρησης υπολογίστηκαν αφού έγινε η αναγωγή σε σημερινή αξία των εσόδων και των εξόδων. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η ανάλυση σε βάθος 20ετίας.

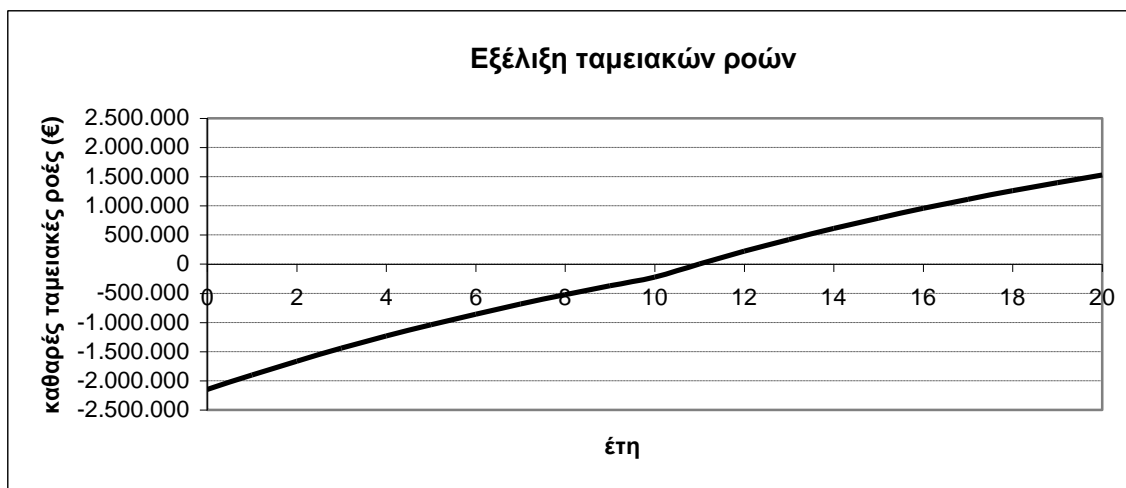
Έτος	Έσοδα	Ανηγμένα έσοδα	Έξοδα	Αποπληρωμή δανείου	Ανηγμένα έξοδα	Ανηγμένα κέρδη προ φόρων	Ανηγμένα καθαρά κέρδη
0	0	0	2.150.000	0	2.150.000	-2.150.000	-2.150.000
1	775.163	727.853	72.000	292.116	341.893	385.960	250.874
2	775.163	683.430	72.000	292.116	321.026	362.403	235.562
3	775.163	641.718	72.000	292.116	301.433	340.285	221.185
4	775.163	602.552	72.000	292.116	283.036	319.516	207.686
5	775.163	565.777	72.000	292.116	265.761	300.015	195.010
6	775.163	531.246	72.000	292.116	249.541	281.704	183.108
7	775.163	498.822	72.000	292.116	234.311	264.511	171.932
8	775.163	468.378	72.000	292.116	220.010	248.367	161.439
9	775.163	439.791	72.000	292.116	206.582	233.209	151.586
10	775.163	412.950	72.000	275.581	185.166	227.784	148.060
11	775.163	387.746	72.000	0	36.015	351.731	228.625
12	775.163	364.081	72.000	0	33.817	330.264	214.671
13	775.163	341.860	72.000	0	31.753	310.107	201.569
14	775.163	320.995	72.000	0	29.815	291.180	189.267
15	775.163	301.404	72.000	0	27.996	273.408	177.715
16	775.163	283.008	72.000	0	26.287	256.722	166.869
17	775.163	265.736	72.000	0	24.683	241.053	156.685
18	775.163	249.517	72.000	0	23.176	226.341	147.122
19	775.163	234.288	72.000	0	21.762	212.527	138.142
20	775.163	219.989	72.000	0	20.433	199.556	129.711

Από την ανάλυση αυτή προκύπτουν οι ζητούμενοι συντελεστές αποδοτικότητας: $NPV = 1.526.818 \text{ €}$

$IRR = 6\%$

Η συγκεκριμένη προσφορά έχει οριακή αποδοτικότητα. Αυτό οφείλεται στο ότι ο συντελεστής της καθαρής παρούσας αξίας είναι θετικός, δηλαδή η επένδυση είναι συμφέρουσα, τη στιγμή που ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι λίγο μικρότερος από το θεωρηθέν επιτόκιο αναγωγής, που σημαίνει ότι η επένδυση δεν είναι ελκυστική. Σε αυτή την περίπτωση εναπόκειται στην κρίση του επενδυτή αν τελικά θα επιλέξει να διαθέσει το κεφάλαιο του για αυτό το σκοπό. Δεδομένου όμως ότι υπάρχουν οι άλλες δύο προσφορές οι οποίες φαίνονται πολύ πιο ελκυστικές και αποδοτικές, είναι μάλλον απίθανο να εγκριθεί η συγκεκριμένη επένδυση.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι αθροιστικές καθαρές ταμειακές ροές κατά τη διάρκεια της 20ετίας όπου φαίνεται ότι η περίοδος αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου (το οποίο όμως ισούται με το μισό του κόστους της επένδυσης αφού το άλλο μισό δανειοδοτείται) είναι περίπου 11 έτη.



7.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ORMAT

Η εταιρία ORMAT είναι μία από τις μεγαλύτερες κατασκευαστικές εταιρίες διεθνώς με πολύ μεγάλη εμπειρία σε θέματα που σχετίζονται με την αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας. Σε αντίθεση με την Turboden, δεν προσφέρει τυποποιημένα συστήματα ORC αλλά σχεδιάζει εξ αρχής το κάθε σύστημα με βάση τις ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά κάθε εφαρμογής.

Δεδομένου ότι σκοπός της μελέτης μας είναι η προκαταρκτική έρευνα για μια πρώτη αξιολόγηση της επένδυσης, δεν ήταν εφικτό η εταιρία να διενεργήσει πλήρη μελέτη και σχεδιασμό της μονάδας ORC για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Με βάση όμως τα χαρακτηριστικά της αποβαλλόμενης θερμότητας που παρείχαμε στην εταιρία, έγινε μία πρώτη προσέγγιση της απόδοσης και του κόστους της μονάδας που θα μπορούσε να τοποθετηθεί στο σταθμό. Η επικοινωνία με την κατασκευαστική εταιρία έγινε μέσω της ελληνικής εταιρίας Electroimpex Hellas η οποία την αντιπροσωπεύει στη χώρα μας.

Έτσι, σύμφωνα με την ORMAT, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς ανέρχεται περίπου στα 2.000 kW_{el} και το κόστος της μονάδας είναι περίπου 3.200.000 \$. Καθώς η τωρινή αναλογία ευρώ/δολαρίου είναι περίπου 1,38, προκύπτει το κόστος της μονάδας ίσο με 2.320.000 €.

Στο κόστος συμπεριλαμβάνεται όλο το βασικό σύστημα ORC, δηλαδή το ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου και το κύκλωμα του οργανικού μέσου (χρησιμοποιείται πεντάνιο) μαζί με όλα τα απαραίτητα μηχανικά μέρη που είναι ο στρόβιλος, η γεννήτρια, ο αερόψυκτος συμπυκνωτής και οι αντλίες. Στην τιμή δεν συμπεριλαμβάνεται η σύνδεση στο δίκτυο, που θεωρείται ότι κοστίζει 100.000 € καθώς και οι εναλλάκτες καυσαερίου-θερμικού ελαίου. Όσον αφορά στους εναλλάκτες, σύμφωνα με την εταιρία, είναι σκόπιμο να τοποθετηθεί ένας μικρός

εναλλάκτης για κάθε καμινάδα. Το κύκλωμα θερμικού ελαίου θα λαμβάνει τη θερμότητα και από τους 15 εναλλάκτες και θα την οδηγεί στο κύκλωμα του οργανικού μέσου. Με αυτό τον τρόπο θα χρησιμοποιηθούν μικροί εναλλάκτες, της τάξεως των 150 kW οι οποίοι δεν κοστίζουν ιδιαίτερα ακριβά.

Οι μονάδες αυτές κατασκευάζονται στο Ισραήλ και μεταφέρονται με πλοία στην εκάστοτε χώρα. Όταν το πλοίο φτάσει στον προορισμό του, τα container με τα οποία μεταφέρεται ο εξοπλισμός, τοποθετούνται σε κατάλληλα φορτηγά και οδηγούνται στον τελικό αποδέκτη. Έτσι, το κόστος μεταφοράς δεν είναι σημαντικό, συγκριτικά με το συνολικό, καθώς υπολογίζεται λιγότερο των 20.000 €.

Παράλληλα, το γεγονός ότι οι μονάδες αυτές κατασκευάζονται στο Ισραήλ, μας γλιτώνει από τελωνειακούς δασμούς παρόλο που η έδρα της κατασκευάστριας εταιρίας βρίσκεται στις Η.Π.Α.

Επίσης, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η μονάδα τοποθετείται μέσα σε container και έτσι δεν υπεισέρχεται το επιπλέον έξοδο της κατασκευής ειδικού δωματίου που θα τη στεγάζει. Το μόνο που χρειάζεται είναι μία τσιμεντένια βάση πάνω στην οποία θα εδράσει το σύστημα. Το δωμάτιο ελέγχου της μονάδας τοποθετείται και αυτό μέσα σε ξεχωριστό container.

Τελικά, γίνεται η εκτίμηση ότι το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 3.000.000 €. Το κόστος λειτουργίας υπολογίζεται ίδιο με την πρώτη περίπτωση. Στοιχίζει δηλαδή περίπου 15.000 € ετησίως η συντήρηση της μονάδας, η οποία θα αναγκάζεται να τίθεται εκτός λειτουργίας περίπου 5 ώρες εβδομαδιαίως.

Ακολουθούν συγκεντρωτικά τα βασικά στοιχεία της επένδυσης:

ORMAT	
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (MW)	2
Τιμή πώλησης ρεύματος στο ΔΕΣΜΗΕ (€/MWh)	99,45
Ετήσια έσοδα (€)	1.690.650
Φορολογία, κτλ	35%
Αρχικό κόστος επένδυσης (€)	3.000.000
Ετήσιο κόστος συντήρησης (€)	15.000
Ποσοστό δανειοδότησης	50%
Διάρκεια αποπληρωμής δανείου (έτη)	10
Επιτόκιο προεξόφλησης δανείου	6%
Επιτόκιο αναγωγής	6,5%

Το ύψος του δανείου ανέρχεται σε 1.500.000 €. Η αποπληρωμή του, η οποία υπολογίστηκε όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, είναι η εξής:

Αριθμός πληρωμής	Συνολική πληρωμή	Αρχικό κεφάλαιο	Τόκος	Τελικό υπόλοιπο
1	203.802	113.802	90.000	1.386.198
2	203.802	120.630	83.172	1.265.568
3	203.802	127.868	75.934	1.137.700
4	203.802	135.540	68.262	1.002.160
5	203.802	143.672	60.130	858.488
6	203.802	152.293	51.509	706.195
7	203.802	161.430	42.372	544.765
8	203.802	171.116	32.686	373.649
9	203.802	181.383	22.419	192.266
10	192.266	180.730	11.536	0

Οι προβλεπόμενες ταμειακές ροές της επιχείρησης υπολογίστηκαν αφού έγινε η αναγωγή σε σημερινή αξία των εσόδων και των εξόδων. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η ανάλυση σε βάθος 20ετίας.

Έτος	Έσοδα	Ανηγμένα έσοδα	Έξοδα	Αποπληρωμή δανείου	Ανηγμένα έξοδα	Ανηγμένα κέρδη προ φόρων	Ανηγμένα καθαρά κέρδη
0	0	0	1.500.000	0	1.500.000	-1.500.000	-1.500.000
1	1.690.650	1.587.465	15.000	203.802	205.448	1.382.017	898.311
2	1.690.650	1.490.577	15.000	203.802	192.909	1.297.669	843.485
3	1.690.650	1.399.603	15.000	203.802	181.135	1.218.468	792.004
4	1.690.650	1.314.181	15.000	203.802	170.080	1.144.101	743.666
5	1.690.650	1.233.973	15.000	203.802	159.699	1.074.274	698.278
6	1.690.650	1.158.660	15.000	203.802	149.952	1.008.708	655.660
7	1.690.650	1.087.944	15.000	203.802	140.800	947.143	615.643
8	1.690.650	1.021.543	15.000	203.802	132.207	889.337	578.069
9	1.690.650	959.196	15.000	203.802	124.138	835.058	542.788
10	1.690.650	900.653	15.000	192.266	110.416	790.237	513.654
11	1.690.650	845.684	15.000	0	7.503	838.181	544.817
12	1.690.650	794.069	15.000	0	7.045	787.024	511.566
13	1.690.650	745.605	15.000	0	6.615	738.990	480.343
14	1.690.650	700.099	15.000	0	6.212	693.887	451.027
15	1.690.650	657.370	15.000	0	5.832	651.537	423.499
16	1.690.650	617.248	15.000	0	5.476	611.772	397.652
17	1.690.650	579.576	15.000	0	5.142	574.434	373.382
18	1.690.650	544.203	15.000	0	4.828	539.374	350.593
19	1.690.650	510.989	15.000	0	4.534	506.455	329.196
20	1.690.650	479.801	15.000	0	4.257	475.544	309.104

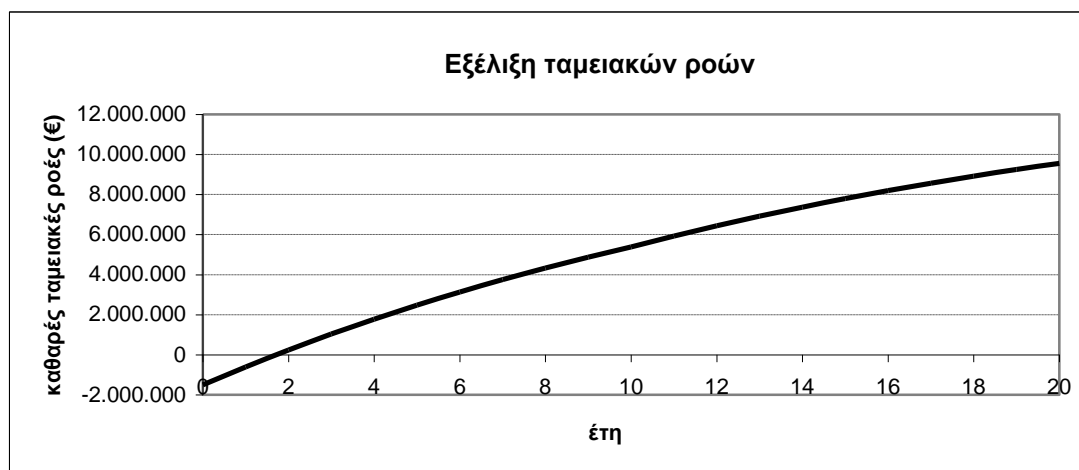
Από την ανάλυση αυτή προκύπτουν οι ζητούμενοι συντελεστές αποδοτικότητας:

$$NPV = 9.552.736 \text{ €}$$

$$IRR = 54\%$$

Όπως φαίνεται από τους συντελεστές αποδοτικότητας, η επένδυση αυτή κρίνεται εξαιρετικά συμφέρουσα καθώς η απόδοση και τα κέρδη που προκύπτουν είναι πολύ

σημαντικά. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι αθροιστικές καθαρές ταμειακές ροές κατά τη διάρκεια της 20ετίας όπου φαίνεται ότι η περίοδος αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου (το οποίο όμως ισούται με το μισό του κόστους της επένδυσης αφού το άλλο μισό δανειοδοτείται) είναι λιγότερη από δύο έτη.

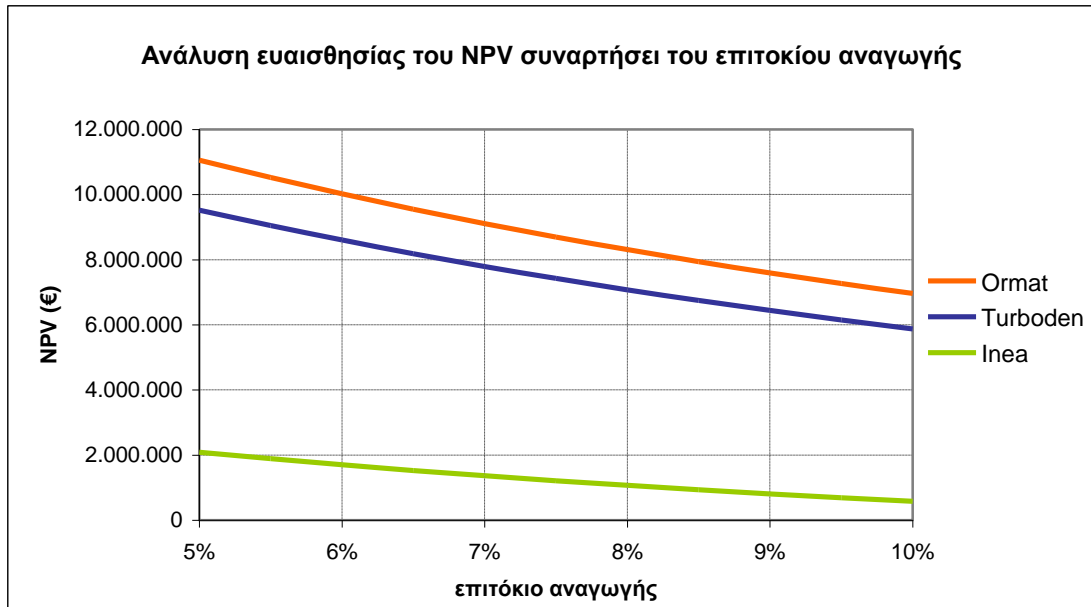


7.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ 3 ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ

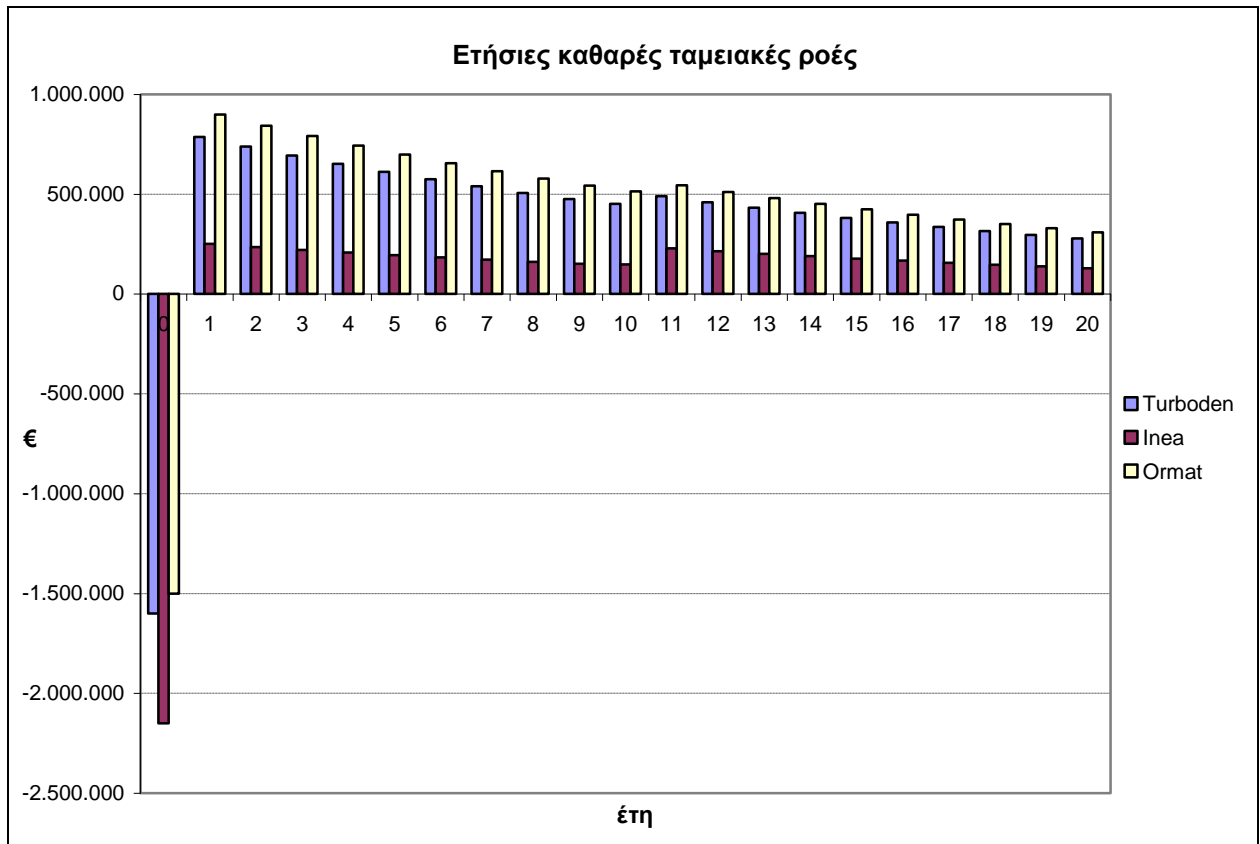
Έχοντας ολοκληρώσει την οικονομική αξιολόγηση όλων των προσφορών μπορούμε να αποφανθούμε πλέον με βεβαιότητα για την οικονομική αποδοτικότητα κάθε μιας. Για το σκοπό αυτό συγκεντρώνουμε τους βασικούς οικονομικούς δείκτες που υπολογίσαμε παραπάνω στον ακόλουθο πίνακα:

	Turboden	Inea	Ormat
NPV (€)	8.184.721	1.526.818	9.552.736
IRR	43%	6%	54%
Περίοδος αποπληρωμής	Περίπου 2 έτη	Περίπου 11 έτη	Λιγότερο από 2 έτη

Τα μεγέθη αυτά έχουν υπολογιστεί με βάση ένα συγκεκριμένο επιτόκιο αναγωγής το οποίο σύμφωνα με τις σημερινές συνθήκες της αγοράς έχει εκτιμηθεί ίσο με 6,5%, όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Σε περίπτωση θεώρησης διαφορετικού επιτοκίου αναγωγής, τα αποτελέσματα μεταβάλλονται αισθητά, αλλά όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα, οι δύο από τις τρεις προσφορές εξακολουθούν να είναι εξαιρετικά αποδοτικές.



Επιπλέον, παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα οι ετήσιες καθαρές ταμειακές ροές κάθε μιας προσφοράς κατά την 20ετία, οι οποίες προκύπτουν με βάση την ανάλυση που έγινε με επιτόκιο αναγωγής 6,5%.



Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι δύο από τις τρεις προσφορές είναι εξαιρετικά κερδοφόρες, ενώ η τρίτη έχει οριακή αποδοτικότητα και δεν είναι εξασφαλισμένη η κερδοφορία της.
- Είναι προφανές ότι η προσφορά της Ormat είναι η αποδοτικότερη. Αυτό προκύπτει και από τους τρεις δείκτες οικονομικής αποδοτικότητας, καθώς έχει τη μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία, τον μεγαλύτερο εσωτερικό συντελεστή απόδοσης και το μικρότερο χρόνο αποπληρωμής κεφαλαίου. Μάλιστα, οι οικονομικοί δείκτες που την αξιολογούν παραμένουν εξαιρετικά ελκυστικοί ακόμα και αν θεωρήσουμε ακραίο επιτόκιο αναγωγής της τάξης του 10%.
- Από το τελευταίο διάγραμμα φαίνεται επίσης ότι η προσφορά της Ormat απαιτεί το μικρότερο αρχικό κεφάλαιο ενώ συγχρόνως παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ετήσια κέρδη.
- Δεύτερη πιο αποδοτική αλλά και εξαιρετικά συμφέρουσα είναι η προσφορά της Turboden. Έχει πολύ υψηλή καθαρή παρούσα αξία, υψηλό εσωτερικό συντελεστή απόδοσης και πολύ μικρό χρόνο αποπληρωμής κεφαλαίου.
- Μεγάλο πλεονέκτημα όσον αφορά την προσφορά της Ormat συγκριτικά με την προσφορά της Turboden, αποτελεί το γεγονός ότι αυτή την εποχή το ευρώ υπερτερεί έναντι του δολαρίου. Δεδομένου ότι η Ormat είναι αμερικάνικη και η αναλογία ευρώ/δολαρίου κυμαίνεται περίπου στο 1,38, η αμοιβή που ζητάει η εταιρία για την κατασκευή του συστήματος μειώνεται αισθητά όταν γίνει η μετατροπή στο δικό μας νόμισμα. Αυτό το πλεονέκτημα θα διευρύνεται όσο το ευρώ ενισχύεται έναντι του δολαρίου. Σε περίπτωση που αλλάξουν άρδην οι οικονομικές ισορροπίες του πλανήτη και ενισχυθεί σημαντικά το δολάριο έναντι του ευρώ, τότε τα οφέλη της προσφοράς της Ormat θα μειωθούν αισθητά καθώς θα αυξηθεί το αρχικό κόστος της επένδυσης. Σε μία τέτοια περίπτωση, η προσφορά της Turboden θα φαντάζει ακόμα πιο ελκυστική.
- Μία πολύ σημαντική παράμετρος που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι ότι η Ormat κατασκευάζει το σύστημα ORC αποκλειστικά για τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά κάθε εφαρμογής, σε αντίθεση με την Turboden η οποία προσαρμόζει ορισμένα τυποποιημένα συστήματα σε κάθε εφαρμογή. Με αυτό τον τρόπο είναι πολύ πιθανό να γίνει καλύτερη αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας σε ένα σύστημα που είναι σχεδιασμένο

αποκλειστικά για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση απ' ό,τι σε ένα σύστημα το οποίο προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες.

- Όσον αφορά στην προσφορά της Inea, προκύπτει ότι είναι οριακά αποδοτική καθώς ο ένας δείκτης τη χαρακτηρίζει συμφέρουσα και ο άλλος δείκτης μη συμφέρουσα. Η καθαρή παρούσα αξία είναι θετική αλλά το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο είναι αρκετά υψηλό, και σε συνδυασμό με τη μειωμένη ηλεκτροπαραγωγή, ο χρόνος αποπληρωμής ανέρχεται στα 11 έτη, γεγονός που καθιστά πολύ δύσκολη την αποδοχή της από τον επενδυτή. Αυτή η μεγάλη απόκλιση από τις άλλες δύο προσφορές οφείλεται στο ότι πρωταρχικός σκοπός της εταιρίας είναι η αξιοποίηση της αποβαλλόμενης θερμότητας μικρότερων εγκαταστάσεων και για ηλεκτροπαραγωγή σε πολύ μικρότερα μεγέθη, της τάξεως δηλαδή των kW και όχι των MW. Έτσι, η συγκεκριμένη προσφορά με τις 9 μονάδες ORC, είναι αναμενόμενο να μην μπορεί να συγκριθεί με τις άλλες δύο που χρησιμοποιούν ένα ενιαίο σύστημα.

Συμπερασματικά, είναι ξεκάθαρο ότι με βάση τις παρούσες συνθήκες της αγοράς και σύμφωνα με τη μελέτη που προηγήθηκε, η πιο συμφέρουσα επένδυση για την εταιρία είναι η προσφορά της εταιρίας Ormat. Συγκεντρώνοντας λοιπόν τα στοιχεία της οικονομικής ανάλυσης για την προσφορά αυτή προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

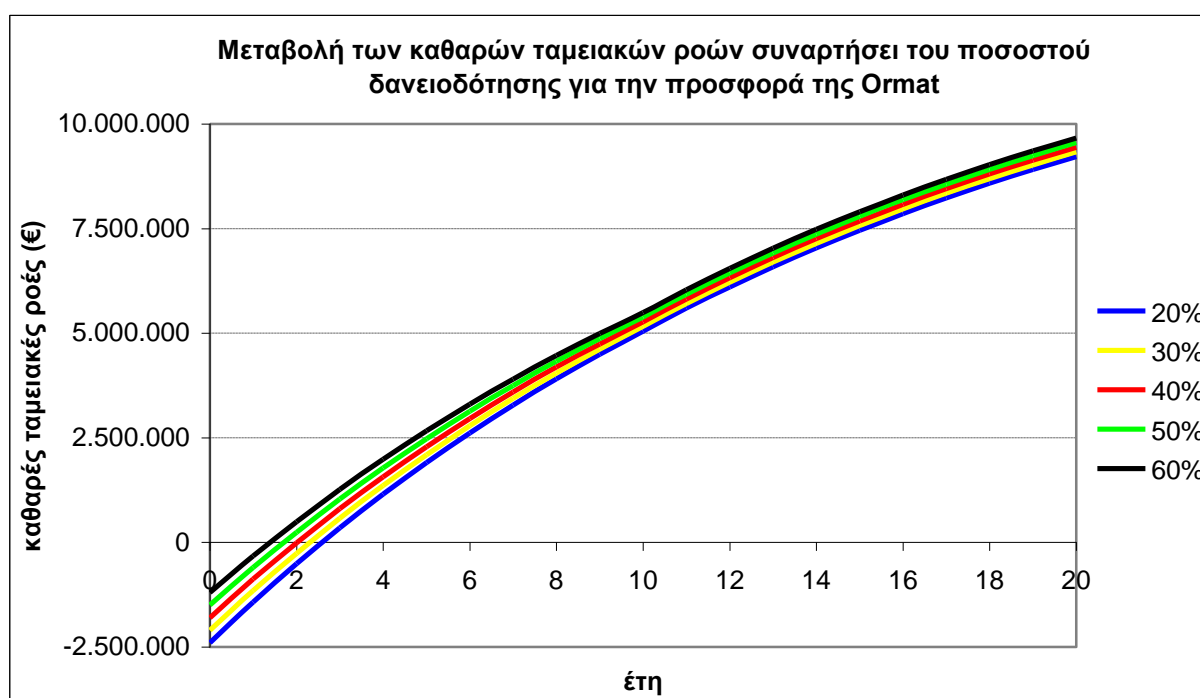
→ Επενδύοντας ένα αρχικό κεφάλαιο 1.500.000 €, η επένδυση θα αποδώσει, ύστερα από 20 χρόνια, περίπου 9.500.000 € σε σημερινή αξία χρημάτων. Το όφελος και η απόδοση των χρημάτων σε αυτή την επένδυση είναι αξιοσημείωτα.

→ Το ρίσκο που θα λάβει η εταιρία είναι αρκετά μικρό συγκριτικά με άλλες επενδύσεις. Αυτό συμβαίνει διότι η παραγωγή βιοαερίου και η λειτουργία των μηχανών είναι εξασφαλισμένη για πολλά χρόνια ακόμη. Παρόλο που το βιοαέριο που προέρχεται από το ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων σε μερικά χρόνια θα εξασθενήσει, ο καινούριος ΧΥΤΑ στη Φυλή, ο οποίος ακόμα λειτουργεί, εγγυάται μακροχρόνια παραγωγή βιοαερίου. Είναι γεγονός ότι όσο συνεχίζουν να κατασκευάζονται καινούριοι ΧΥΤΑ στην ευρύτερη περιοχή για να υποδέχονται τα απορρίμματα της Αθήνας, τόσο περισσότερο παρατείνεται η εύρυθμη λειτουργία του συγκεκριμένου σταθμού. Πέραν αυτού, η εταιρία υπογράφει δεσμευτική σύμβαση με το ΔΕΣΜΗΕ που εξασφαλίζει ότι η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας θα παραμείνει σταθερή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, εξασφαλίζοντας κατά ένα μεγάλο βαθμό τα ετήσια έσοδα.

→ Τροχοπέδη σε αυτή την επένδυση αποτελεί το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος για την εγκατάσταση της μονάδας. Ιδίως σε καιρούς όπου επικρατεί οικονομική αβεβαιότητα και ανασφάλεια, είναι δύσκολη η απόφαση για την καταβολή ενός τόσο μεγάλου ποσού. Δεδομένου όμως ότι ο σταθμός της ΒΕΑΛ αποτελεί μία σύμπραξη των εταιριών ΗΛΕΚΤΩΡ ΑΕ. και της αυστραλέζικης Energy Developments, τα έξοδα αλλά και τα έσοδα που προκύπτουν από τη λειτουργία του σταθμού, αφορούν και τις δύο εταιρίες. Συνεπώς, το αρχικό κόστος της εγκατάστασης μοιράζεται στις δύο εταιρίες καθιστώντας ακόμα πιο εύκολη την υλοποίηση της.

→ Παράλληλα, το γεγονός ότι η αποπληρωμή του αρχικού κεφαλαίου διαρκεί μόλις δύο χρόνια, εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό τον επενδυτή ότι θα του επιστραφεί πολύ σύντομα το καταβληθέν κεφάλαιο.

→ Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί η σημασία της δανειοδότησης. Όλα τα ανωτέρω προϋποθέτουν δανειοδότηση του 50% του αρχικού κεφαλαίου και αποπληρωμή του σε 10 έτη. Είναι δεδομένο ότι ο επενδυτής θα προβεί σε λήψη δανείου για την κάλυψη μέρους του αρχικού κεφαλαίου καθώς κανείς δεν είναι διατεθειμένος να πληρώσει ένα υπέρογκο ποσό σε μία δόση κατά την αγορά του προϊόντος, αλλά είναι πολύ πιο συμφέρον να διαμοιραστεί το κόστος σε διαδοχικές χρονικές περιόδους. Η απόφαση για το ύψος του δανείου είναι πολύ σημαντική καθώς επηρεάζει την απόδοση όλης της επένδυσης. Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή στις ετήσιες ταμειακές ροές για διαφορετικά ποσοστά δανειοδότησης για την κάλυψη του αρχικού κόστους.



Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η δανειοδότηση τόσο μικρότερο είναι το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο. Αν και οι διαφορές στις ταμειακές ροές είναι πολύ μικρές, παρατηρούμε ότι, για υψηλά ποσοστά δανειοδότησης, δηλαδή όσο περισσότερο μοιράζονται τα έξοδα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους στο μέλλον, τόσο μεγαλύτερη είναι η τελική απόδοση της επένδυσης.

Βέβαια υπάρχει και κάποιο όριο στο ύψος του δανείου, καθώς όσο υψηλότερο είναι το δάνειο τόσο αυξάνει και ο τόκος που θα αναγκαστεί να πληρώσει η εταιρία κατά την επιστροφή του κεφαλαίου. Δεδομένου ότι ο τόκος αυτός καταβάλλεται από τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της μονάδας, όπου η επιχείρηση δεν έχει ακόμα αποκομίσει όλα τα οφέλη της επένδυσης, είναι σημαντικό να μην υπάρχουν πολύ μεγάλες οφειλές προς το δανειστή. Έτσι, το θεωρηθέν ποσοστό δανειοδότησης (50%) παρέχει υψηλή τελική απόδοση της επένδυσης, σημαντικά μειωμένο αρχικό κόστος εγκατάστασης αλλά και σχετικά χαμηλά τοκοχρεολύσια αναλογικά με το μέγεθος των εσόδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας ολοκληρώσει τη μελέτη αξιοποίησης της αποβαλλόμενης θερμότητας των μηχανών εσωτερικής καύσης που λειτουργούν στο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής της ΒΕΑΛ στα Α. Λιόσια, είμαστε σε θέση να αποφανθούμε για τη σημασία, τη σπουδαιότητα και τα οφέλη μιας τέτοιας επένδυσης.

Στην προκειμένη περίπτωση, ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής της ΒΕΑΛ έχει φροντίσει ήδη να αξιοποιήσει μέρος της αποβαλλόμενης θερμότητας που προκύπτει από τη λειτουργία του. Έτσι, η θερμότητα που προέρχεται από το νερό ψύξης των μηχανών του 'τμήματος 2' του σταθμού οδηγείται στον εξατμιστή της μονάδας του βιολογικού καθαρισμού. Εκεί χρησιμοποιείται για να εξατμίσει το νερό που περιέχεται στην άλμη, το οποίο ακολούθως συμπυκνώνεται για να τροφοδοτηθεί σε δίκτυα άρδευσης και πυρόσβεσης.

Πέραν αυτού, στο 'τμήμα 1' του σταθμού, έχει σχεδιαστεί κύκλωμα με κατάλληλους εναλλάκτες και σωληνώσεις έτσι ώστε να αξιοποιεί την απορριπτόμενη θερμότητα από το νερό ψύξης των 11 μηχανών για να θερμάνει σημαντική ποσότητα νερού χρήσης. Το νερό αυτό μπορεί να διοχετευθεί σε παρακείμενους οικισμούς και κοινότητες. Λόγω όμως της ιδιαίτερης τοποθεσίας στην οποία βρίσκεται ο σταθμός, δίπλα από το χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων, δεν υπάρχουν ούτε και πρόκειται να αναπτυχθούν κοινότητες πολιτών οι οποίοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το νερό αυτό. Έτσι, το σύστημα τηλεθέρμανσης παραμένει ορφανό και τα κοινωνικά και οικολογικά οφέλη που θα μπορούσε να προσφέρει έχουν εκμηδενιστεί.

Όπως είναι προφανές, ο συγκεκριμένος σταθμός έχει ήδη προβλέψει και σχεδιάσει την αξιοποίηση μέρους της απορριπτόμενης ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του σε θερμότητα. Συνεπώς, η μελέτη μας επικεντρώθηκε στην αξιοποίηση των καυσαερίων, που αποτελούν τη μεγαλύτερη και σημαντικότερη πηγή απωλειών.

Από την ανάλυση που προηγήθηκε, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες με τις οποίες μπορούμε να αξιοποιήσουμε τα καυσαέρια που εκλύονται από τις μηχανές του σταθμού. Μελετώντας την παραγωγή ψύξης από θερμότητα, προέκυψε ότι θα ήταν δυνατόν να αντικαταστήσουμε τους ήδη υπάρχοντες ψύκτες μηχανικής συμπίεσης ατμού, με ψύκτες δια απορροφήσεως. Τα οφέλη που προκύπτουν είναι υπολογίσιμα αλλά όχι και τόσο εντυπωσιακά, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο και ίσως ασύμφορο να αχρηστευθούν οι ήδη εγκατεστημένοι ψύκτες για να τοποθετηθούν οι καινούριοι. Ενδεχομένως να ήταν πολύ αποδοτικότερο, αν ο σταθμός βρισκόταν στη φάση του σχεδιασμού και της κατασκευής, να επένδυε η εταιρία σε ένα τέτοιο σύστημα το οποίο σε βάθος χρόνου θα απέδιδε σημαντικά οφέλη.

Η σημαντικότερη και αποδοτικότερη αξιοποίηση των καυσαερίων προκύπτει ότι είναι η παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση διαφόρων τεχνολογιών. Μελετήθηκε η εγκατάσταση συστήματος Οργανικού Κύκλου Rankine με ή χωρίς ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου, με οργανικό μέσο είτε πεντάνιο είτε mdm. Επίσης, ερευνήθηκε αν είναι αποδοτικότερη η τοποθέτηση ενός συστήματος για κάθε τμήμα του σταθμού, ή ένα ενιαίο σύστημα που θα αξιοποιεί όλες τις μηχανές του σταθμού. Πέραν αυτών, εξετάστηκε η τοποθέτηση λέβητα ανάκτησης θερμότητας με εργαζόμενο μέσο νερό-ατμό.

Όλα αυτά τα συστήματα είναι πολύ αποδοτικά και προσοδοφόρα και η τελική επιλογή λαμβάνεται αφού αξιολογηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σταθμού. Έτσι, με βάση τη μοντελοποίηση που πραγματοποιήθηκε στο υπολογιστικό πρόγραμμα IPSEpro, προκύπτει ότι η απόδοση του ORC είναι παρόμοια με αυτή του Λ.Α.Θ. ενώ συγχρόνως το σύστημα ORC είναι εμπορικά διαθέσιμο από πολλές κατασκευαστικές εταιρίες, τη στιγμή που ο λέβητας ανάκτησης θερμότητας απαιτεί τη συνεργασία πολλών εταιριών για να δημιουργηθεί. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, καθώς πρόκειται για μία πρακτική και πραγματική εφαρμογή, συμφέρει περισσότερο να επικεντρωθούμε στην εγκατάσταση μονάδας ORC μιας και οι πιθανοί προμηθευτές είναι περισσότεροι.

Με βάση την οικονομοτεχνική ανάλυση που έγινε, και σύμφωνα με τα στοιχεία που λάβαμε από κατασκευάστριες εταιρίες τέτοιων συστημάτων, προέκυψε ότι είναι σαφώς οικονομικότερη η τοποθέτηση ενός ενιαίου συστήματος ORC που θα αξιοποιεί τη θερμότητα όλων των μηχανών απ' ό,τι η τοποθέτηση ενός συστήματος για κάθε ένα τμήμα του σταθμού. Το μόνο μειονέκτημα αυτής της επιλογής αποτελεί το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της συντήρησης ή της επισκευής της μονάδας, θα μηδενίζεται η παραγόμενη ενέργεια από τα καυσαέρια δημιουργώντας αστάθεια στη συνολική παραγωγή του σταθμού. Αντίθετα, αν τοποθετούνταν δύο μονάδες, κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας της μίας, θα λειτουργούσε η άλλη, με αποτέλεσμα η απώλεια στην παραγόμενη ενέργεια να μειώνεται στο μισό. Είναι γεγονός όμως, ότι τα συστήματα αυτά έχουν συντελεστή διαθεσιμότητας μεγαλύτερο του 97%, κι έτσι το πρόβλημα αυτό περιορίζεται κατά πολύ.

Δεδομένου ότι στην παρούσα εφαρμογή επιθυμούμε να αξιοποιήσουμε την αποβαλλόμενη θερμότητα πολλών μηχανών, και με βάση την κατανομή των μηχανών αυτών στο σταθμό, προκύπτει ότι είναι υποχρεωτική η χρήση ενός ενδιάμεσου κυκλώματος που θα συλλέγει τη θερμότητα για να τη μεταφέρει στη μονάδα παραγωγής ενέργειας. Τη λειτουργία αυτή την αναλαμβάνει το ενδιάμεσο κύκλωμα θερμικού ελαίου το οποίο είναι ουσιαστικά ένα κλειστό κύκλωμα που θα εκτείνεται σε όλο το σταθμό, και με μικρούς εναλλάκτες σε κάθε καμινάδα, θα λαμβάνει την απορριπτόμενη θερμότητα των μηχανών. Σε περίπτωση απουσίας του κυκλώματος

αυτού, θα έπρεπε όλες οι καμινάδες να συγκλίνουν στη μονάδα του ORC, με συνέπεια το προκύπτον δίκτυο σωληνώσεων να είναι πολύπλοκο και ακριβό.

Τέλος, αναφορικά με το οργανικό μέσο, δεν υπάρχει μία δεδομένη λύση που να αποφέρει σημαντικά οφέλη έναντι των υπολοίπων. Αυτό προκύπτει και από το γεγονός ότι κάθε εταιρία κατασκευής τέτοιων συστημάτων χρησιμοποιεί και διαφορετικό οργανικό μέσο. Στην παρούσα μελέτη έγινε σύγκριση μεταξύ του πεντανίου, που είναι υδρογονάνθρακας, και του mdm, που είναι σιλοξάνιο. Το πεντάνιο έχει πολύ καλύτερες θερμικές ιδιότητες από το mdm και είναι πολύ πιο αποδοτικό. Έχει όμως το μειονέκτημα ότι είναι εύφλεκτο. Εν τέλει, καταλήξαμε στην επιλογή του πεντανίου, βασιζόμενοι στη χρήση του ενδιάμεσου κυκλώματος με το οποίο μειώνουμε αισθητά τον κίνδυνο της ανάφλεξης. Είναι γεγονός βέβαια, ότι στην πράξη, τα συστήματα αυτά έχουν πολλές δικλείδες ασφαλείας που ελέγχουν και διακόπτουν τη λειτουργία αν παρουσιαστεί κάποια βλάβη. Επίσης, στην αγορά κυκλοφορούν πολλών ειδών οργανικά μέσα, όπως μίγμα διαφόρων σιλοξανίων κ.ά., τα οποία προσεγγίζουν τις ιδιότητες του πεντανίου, και γενικότερα των υδρογονανθράκων, ενώ συγχρόνως δεν είναι εύφλεκτα. Εναπόκειται όμως στην κάθε εταιρία η επιλογή του οργανικού μέσου.

Για την ολοκλήρωση της μελέτης, πραγματοποιήθηκε οικονομική αξιολόγηση αυτής της επένδυσης. Αφού επικοινωνήσαμε με πολλές εταιρίες κατασκευής συστημάτων ORC ανά τον κόσμο, λάβαμε τελικά τρεις προσφορές από διαφορετικές εταιρίες. Με βάση την αξιολόγηση των προσφορών, προέκυψαν εξαιρετικά αποδοτικές οι προσφορές της Ormat και της Turboden, οι οποίες παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλή καθαρή παρούσα αξία και εσωτερικό συντελεστή απόδοσης, ενώ ο χρόνος αποπληρωμής του αρχικού κεφαλαίου είναι περίπου δύο χρόνια. Αντίθετα, η προσφορά της Inea, αν και οριακά αποδοτική, υστερούσε σημαντικά έναντι των υπολοίπων. Μεταξύ των δύο πρώτων επιλέχθηκε τελικά αυτή της Ormat καθώς απαιτούσε μικρότερο αρχικό κεφάλαιο (3.000.000€ αντί 3.200.000€) ενώ συγχρόνως παρείχε μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (2MW αντί 1,8MW). Αναλογιζόμενοι και το γεγονός ότι η Ormat κατασκευάζει το σύστημα αποκλειστικά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, αντίθετα από την Turboden η οποία παρέχει τυποποιημένα συστήματα, καταλήγουμε προφανώς στην πρώτη προσφορά.

Η υιοθέτηση από την εταιρία μιας ανάλογης προσφοράς θα ήταν πολύ σημαντική και αποδοτική. Τα οφέλη που προκύπτουν δεν είναι μόνο οικονομικά, αλλά και περιβαλλοντικά. Ιδίως στην εποχή που ζούμε, όπου όλοι έχουμε στραφεί στην προστασία του περιβάλλοντος και του πλανήτη μας, μία τέτοια τεχνολογία όχι μόνο θα απέτρεπε την αποβολή τόσης θερμότητας στην ατμόσφαιρα, αλλά θα συντελούσε στην αποφυγή της έκλυσης σημαντικής ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, υποκαθιστώντας την καύση συμβατικών καυσίμων.

Όσον αφορά στην εξέλιξη της έρευνας, υπάρχουν αρκετές δυνατότητες βελτίωσης της παρούσας μελέτης μελλοντικά. Αρχικά, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί εξεργειακή ανάλυση η οποία θα ποσοτικοποιούσε καλύτερα την απόδοση αυτών των συστημάτων ενώ συγχρόνως θα εμφάνιζε τις απώλειες στη μεταφορά της ενέργειας από τα καυσαέρια στα συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού.

Πέραν αυτού, αναφορικά με το λέβητα ανάκτησης θερμότητας, ο οποίος απορρίφθηκε καθώς είχε την ίδια απόδοση με το ORC, θα μπορούσε να μελετηθεί η τοποθέτηση διβάθμιας πίεσης ατμού με χρήση δύο τυμπάνων, ένα υψηλής και ένα χαμηλής πίεσης. Με αυτό τον τρόπο θα αξιοποιούσαμε πολύ καλύτερα τη θερμότητα των καυσαερίων και ενδέχεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να ήταν σημαντικά αυξημένη.

Τέλος, σχετικά με την εγκατάσταση και τη λειτουργία του σταθμού, υπάρχει η δυνατότητα να αξιοποιηθεί, στα ίδια συστήματα ανάκτησης θερμότητας που μελετήθηκαν, η αποβαλλόμενη θερμότητα από το νερό ψύξης των 11 μηχανών του τμήματος 1 του σταθμού. Δεδομένου ότι, όπως εξηγήθηκε, η τηλεθέρμανση παραμένει ανεκμετάλλευτη, θα μπορούσε να αφαιρεθεί το υπάρχον κύκλωμα που δεν χρησιμοποιείται και να αξιοποιηθεί η θερμότητα αυτή για ακόμα μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς το ποσό αυτής της αποβαλλόμενης θερμότητας είναι αρκετά υψηλό, θα ήταν πολύ ενδιαφέρουσα η μελέτη αξιοποίησής του, μιας και τα αποτελέσματα αναμένεται να είναι ακόμα πιο εντυπωσιακά.

Ολοκληρώνοντας την εργασία, θα ήθελα να τονίσω ότι υπάρχουν πολλοί τρόποι και αρκετές τεχνικές με τις οποίες θα μπορούσαμε να αξιοποιήσουμε αποτελεσματικά και αποδοτικά αυτή την αποβαλλόμενη ενέργεια. Με αφορμή τη συγκεκριμένη εργασία και σε συνδυασμό με τις πολύ αποδοτικές προσφορές που προέκυψαν για την αγορά ενός τέτοιου συστήματος ανάκτησης θερμότητας, θα ήταν πολύ σημαντικό για το περιβάλλον, τον άνθρωπο αλλά και την εταιρία να μελετούσε ενδελεχώς και να αξιολογούσε την πιθανότητα τοποθέτησής του στο σταθμό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



<i>Doc. :</i>	10414521	<i>Date:</i>	24/08/2010	<i>Page:</i>	1 / 7
<i>Subject:</i>	Preliminary Proposal for Heat recovery Systems based on Turboden ORC modules				
<i>Author:</i>	Nicola Rossetti				

To Mr. Konstantinos Siokos

Subject: Preliminary Proposal for Turboden ORC modules

Internal reference: 10J06791

1 Index

1	Index	1
2	Turboden Srl - Company profile and ORC advantages	2
3	Heat Recovery system from exhaust gas: working principle	3
4	Hot source data	4
5	Turboden ORC module	5
6	Scope of delivery	6
7	Price	6
9	O&M	7
10	Delivery times	7



<i>Doc. :</i>	10414521	<i>Date:</i>	24/08/2010	<i>Page:</i>	2 / 7
<i>Subject:</i>	Preliminary Proposal for Heat recovery Systems based on Turboden ORC modules				
<i>Author:</i>	Nicola Rossetti				

2 Turboden Srl - Company profile and ORC advantages

Since 1980 Turboden develops, designs and produces ORC plants. This long experience in the production of prototype plants made possible, since 1992, the production and commercialization of standard modules with high performances as well as high reliability and availability together with low maintenance and operational costs.

There are currently more than 110 Turboden ORC plants in operation and further 30 plants are under construction. The availability of the plants currently in operation exceeds 98% and more than 2.000.000 operating hours have been reached.

When compared to alternative technologies of comparable sizes (from 0.2 to 2 MWeI production), Turboden ORC plants demonstrate the following advantages:

- o Very high turbine efficiency (up to 85 %)
- o Low mechanical stress of the turbine, due to the low peripheral speed
- o Low RPM of the turbine allowing the direct drive of the electric generator without reduction gear
- o No erosion of blades, due to the absence of moisture in the vapour nozzles
- o High cycle efficiency
- o Long life

Our technology shows many other advantages, such as simple start-stop procedures, quiet operation, minimum maintenance requirements, good performances at partial load (operations at 10 % of the nominal load are obtainable without incurring in any problem). The time required for the operation and supervision of the unit might be estimated in three to five hours per week.

Note: Our modules can be operated with good efficiency at partial load by simply changing the feeding conditions (thermal oil flow or temperature). All Turboden ORC plants can, without any problems, be automatically operated with values that differ from the nominal values for the thermal oil and hot water temperatures. The operation of the plant either with higher hot water outlet temperatures or lower thermal oil inlet temperatures leads to a decrease of the electric efficiency and therefore to less electricity generation of the ORC plant.

<i>Doc. :</i>	10414521	<i>Date:</i>	24/08/2010	<i>Page:</i>	3 / 7
<i>Subject:</i>	Preliminary Proposal for Heat recovery Systems based on Turboden ORC modules				
<i>Author:</i>	Nicola Rossetti				

3 Heat Recovery system from exhaust gas: working principle

The heat contained in the exhaust gas is transferred indirectly -via a thermal oil circuit- or directly to the ORC plant.

The ORC plant produces electricity and low-temperature heat through a closed thermodynamic cycle which follows the principle of the Organic Rankine Cycle (ORC).

In the ORC process, designed as a closed cycle, the organic working medium is pre-heated in a regenerator and in a pre-heater, then vaporized through heat exchange with the hot source. The generated vapour is expanded in a turbine that drives an asynchronous generator. Leaving the turbine, the organic working medium (still in the vapour phase) passes through the regenerator that is used to pre-heat the organic liquid before vaporizing, therefore, increasing the electric efficiency through internal heat recovery. The organic vapour then condenses and delivers heat to the cooling water circuit. After the condenser, the working medium is brought back to the pressure level required (for turbine operation) by the working fluid pump and then preheated by internal heat exchange in the regenerator.

The low-temperature heat is normally discharged to a thermal user or to the atmosphere through air cooled radiators inserted in a closed cooling water circuit (evaporative cooling towers can also be employed).

The operation of the ORC plant is fully automatic in normal operating conditions as well as in shut down procedures without any need of supervision personnel. In case of faulty conditions, the ORC plant will be switched off automatically and separated from the thermal oil circuit and from the electrical grid.

The ORC module is designed to automatically adjust itself to the actual operating conditions: variations on exhaust gas temperatures and flows (in reasonable span times) will not affect the functionality of the system (but just the power output).

<i>Doc. :</i>	10414521	<i>Date:</i>	24/08/2010	<i>Page:</i>	4 / 7
<i>Subject:</i>	Preliminary Proposal for Heat recovery Systems based on Turboden ORC modules				
<i>Author:</i>	Nicola Rossetti				

4 Hot source data

The following table lists the main characteristics of the hot sources.

Two different options of heat recovery were considered:

1. Heat recovery from the mixture of the exhaust gases coming from all engines by means of one thermal oil heat exchanger and one ORC unit;
2. Maintain two separate fluxes, one for the 4 Jenbacher 620 GS and one for the 11 DEUTZ TBG 620 V16 K exhaust (by means of two thermal oil heat exchangers and two ORCs).

	SOLUTION 1		SOLUTION 2		
Hot source characteristics	Exhaust gas		Mixture of exhaust gases		Source
Engine	11 X DEUTZ TBG 620 V16K	4 X Jenbacher 620GS	All engines		
Average exhaust gas temperature	440	480	456 (*)	°C	By Client
Exhaust gas flow rate	70.000	49.500	119.500	Kg/h	By Client
Exhaust gas SHC	1,11	1,11	1,11	Kj/kg K	Assumed by Turboden
Exhaust gas cooled down to	200	200	200	°C	Assumed by Turboden
Operating conditions (load percentage)	80%		80%		By Client
Number of engines	11	4	15		By Client
Thermal power recoverable (considering 2% heat transfer losses)	5.082	4.211	9.307	kWt	Calculated by Turboden

(*)Calculated by Turboden from Client data by the rules of the mixture.

Table 1: Hot sources characteristics

Considering the thermal power available it is possible to employ two different solutions:

- 1- Two different modules: a Turboden 7-HR for recovery from the 4 engines Jenbacher 620 GS and a Turboden 10-HR for recovery from the 11 engines DEUTZ TBG 620 V16 K, which characteristics are reported in table 2.
- 2- A Turboden 18-HR which characteristics are reported in table 2.

Doc. :	10414521	Date:	24/08/2010	Page:	5 / 7
Subject:	Preliminary Proposal for Heat recovery Systems based on Turboden ORC modules				
Author:	Nicola Rossetti				

5 Turboden ORC module

In the following table the characteristics of the ORC modules Turboden 10-HR and Turboden 18-HR are reported.

	SOLUTION 1		SOLUTION 2	
ORC unit	TURBODEN 10-HR	TURBODEN 7-HR	TURBODEN 18-HR	
Engine	11 X DEUTZ TBG 620 V16K	4 X Jenbacher 620GS	All engines	
ORC hot source	Thermal Oil	Thermal Oil	Thermal Oil	
ORC thermal power input	5.082	4.211	9.307	kWt
Hot source nominal temperature in/out	280/153	280/159	280/152	°C
Cooling water temperature in/out	25/39	28/41	25/42	°C
Thermal power to cooling water	4002	3342	6777	kWt
Gross ORC active electric power output	1042	836	1866	kWe
ORC captive consumption (*)	44	42	65	kWe
Net ORC active electric power output	998	794	1801	kWe
Electric generator	Asynchronous, 3 phases, LV	Asynchronous, 3 phases, LV	Asynchronous, 3 phases, LV	

Table 2: ORC modules characteristics

(*) Net of ORC internal consumption (mainly feed pump). No external consumptions are included (i.e. thermal oil system, heat dissipation system, etc.)

Doc. :	10414521	Date:	24/08/2010	Page:	6 / 7
Subject:	Preliminary Proposal for Heat recovery Systems based on Turboden ORC modules				
Author:	Nicola Rossetti				

6 Scope of delivery

The scope of supply of the ORC module has its main interface points represented by the thermal oil and cooling water inlet-outlet flanges and the switch gear. The prices indicated are valid for ExW supply of units designed and approved according to EU rules (the unit is CE stamped). Please note that erection on site, transport and thermal insulation are not included.

7 Price

In the following table the prices of the ORC module and optional are reported.

	SOLUTION 1		SOLUTION 2
ORC Modules	TURBODEN 10-HR	TURBODEN 7-HR	TURBODEN 18-HR
Engine	11 X DEUTZ TBG 620 V16K	4 X Jenbacher 620GS	All engines
ORC characteristics	Rif. Table 2	Rif. Table 2	Rif. Table 2
ORC scope of supply	Rif. Paragraph 6	Rif. Paragraph 6	Rif. Paragraph 6
ORC gross electric power	1042	836	1801
ORC Price (ExW Delivery)	€ 1.180.000,-	€ 1.030.000,-	€ 1.655.000,-
<u>Optional</u>			
Erection on site	€ 28.000,-	€ 25.000,-	€ 60.000,-
Thermal insulation	€ 31.000,-	€ 31.000,-	€ 31.000,-

Table 3: ORC module price

Note: this offer is not binding for Turboden and is being submitted for information only.



<i>Doc. :</i>	10414521	<i>Date:</i>	24/08/2010	<i>Page:</i>	7 / 7
<i>Subject:</i>	Preliminary Proposal for Heat recovery Systems based on Turboden ORC modules				
<i>Author:</i>	Nicola Rossetti				

8 O&M

The system proposed is completely automatic. The time required for its operations can be estimated in 3 to 5 hrs/week. Turboden can offer standard after sale packages starting from 7.500 / 15.000,-€/year/unit.

9 Delivery times

ExW Delivery: ca. 10-12 months from order depending on the production load at the moment of order.

Heat exchanger thermal oil / hot source, thermal oil circuit: not included

Heat dissipation system: not included

MV Electric connection with the grid: not included

Civil works: not included

Nicola Rossetti

Turboden S.r.l.
Via Cernaia, 10
25124 Brescia – Italy
Tel. +39.030.3552001 Fax. +39.030.3552011

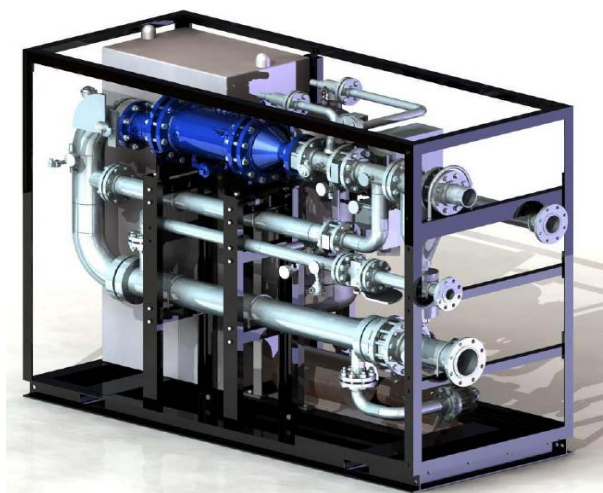
In hand to:	Konstantinos Siokos	Sender:	Samo MARC
Company:		Company:	INEA d.o.o.
TEL:		TEL:	+386 1 513 81 11
FAX:		FAX:	+386 1 513 81 10
Mail:		Mail:	samo.marc@inea.si
Date:	22.09.2010		

SUBJECT: OFFER FOR 9 x WASTE HEATH GENERATOR WHG 125 ORC

Dear Sirs!

In accordance and on base of your inquiry we are sending you offer for 9 x systems WHG 125 ORC

OFFER SM/UG 3186/10



1.0 Subject of the offer: Design, Supply, Installation and Comissioning of **9 x system WHG 125 ORC**.

2.0 Price: Price for 9 x system WHG125ORC as per offer SM/UG 3186/10 : **4.185.000,00 €**

3.0 Payment Terms:

- 30% of price paid as advanced payment
- 20% of price paid 2 months after order
- 20% of price paid 4 months after order
- 20% of price paid 5 months after order
- 10% of price paid within 14 days after the day of signing the taking over protocol (after succesfull comissioning of systems).

The customer shall submit bank guarantee by first rate bank in the amount of 80% of total contract price as payment security for all payments.

All payments shall be effectuated to INEA`s account: SI5602303-0012279583 at Ljubljanska banka.

4.0 Delivery dates: delivery dates for design, supply, installation of waste heat generators WHG 125 ORC are 6 months after order. Comissioning of each unit will take 1 week after installation

NOTES: Offered price includes design, supply, assembly, installation (required mechanical works) and comissioning of 9 x waste heat generator WHG 125 ORC. The whole offered

package includes all of the necessary equipment, controls, piping, ventilation, starters and relays, disconnects, and convenience lighting and receptacles. INEA will also provide the waste heat exchanger and the condenser. Scope of this offer includes engineering of the entire project with the exception of civil requirements such as building permissions and all other permissions necessary for operating the WHG 125 ORC system. All permissions should be secured on behalf and costs of customer. Scope of offer also does not include fundamentals for 40` containers (each fully equipped container will weight 23t). Customer should provide suitable place for 9 x 40` containers and suitable connectors for connection to the waste heat source. Location for each container must be within 10-15 meters from existing CHP`s. *Customer guarantee that exhaust gases from CHP`s has following thermal power: 4 xJenbacher J420 engines allows us to utilize 49500m3/h of exhaust gases with temperature level of 480°C; 11 x Deutz engines allows us to utilize 70000m3/h of exhaust gases with temperature level of 440°C .*

5.0 System description and installation:

	UNIT OF MEASUREMENT	
THERMAL INPUT*		
waste heat	°C	150/130
Thermal input	kW	1050
PERFORMANCES WHG 125 ORC	UNIT OF MEASUREMENT	WHG 125 ORC
Gross electric power	kW	125
Net electric power	kW	101,87**
Gross efficiency		0,14**

*: minimal requirements

** :values are for information purposes only and may vary depending on the specifics of the project

Each system WHG 125 ORC is designed to convert heat energy into electrical power using the Organic Ranking Cycle. For optimal operation of system WHG 125 ORC are minimal requirements regarding waste heat inlet 130 °C and thermal power of the heat 1050 kW.

Offered project for 9 x WHG125 ORC system is designed to exploit waste heat from exhaust gases from *11 Deutz CHP`s and 4 Jenbacher J420 CHP`s.*

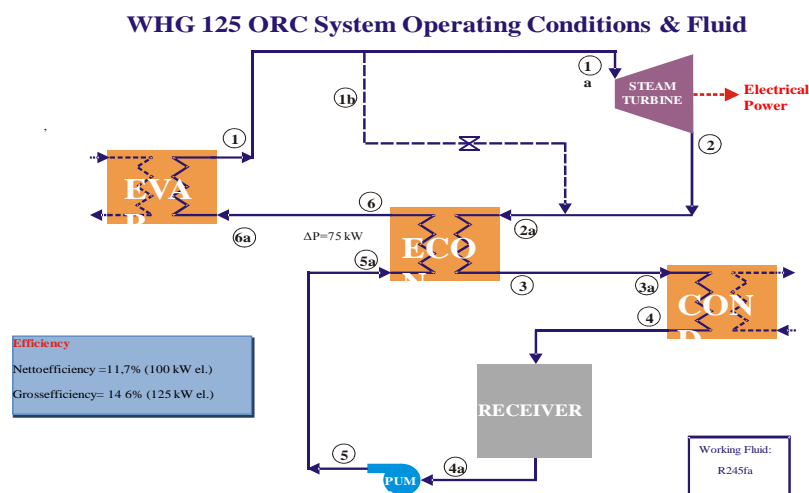
Major components of 9 x WHG 125 ORC system are following:

- 9 x 40` Container



- 9 x Genset turbine – generator. Vaporized operating medium at high pressure drives turbine and turbine drives generator. Set turbine – generator uses magnetic bearings which results in low maintenance costs and ensures long life service. Set turbine – generator is along with other equipment (high pressure pump, control valve, water drops separator, condensate reservoir, power electronics, control box, PLC controller) build in steel frame;
- 15 x Heat Exchanger exhaust gas / hot water which utilize exhaust heat for production of hot water at 150-130°C;
- 9 x Evaporator for evaporating operating medium R 245 fa. Operating medium R 245 fa is non-flammable and Ozone friendly;
- 9 x air condenser – to condense vaporized R 245 fa;
- 9 x High pressure pump – to drive R 245 fa in to evaporator;
- 9 x Economiser – to preheat the R 245 fa after it is pressurized and before it is sent to the evaporator;
- 9 x Power electronics which synchronize electricity power at 400 V 50 Hz;
- Control cabinet – PLC controller monitor operating parameters of system. In addition with regulating valves, frequency regulator and other assemblies PLC controller provide proper functioning of the system;
- 9 x water cooler for cooling cycle of power electronics
- Required piping equipments

Plant scheme:



Installation of system:

Each system WHG 125 ORC will be installed in it's own 40` container. 40` container will be located on concrete fundaments (provided by customer). Waste heat generator WHG125ORC will be along with other equipment (high pressure pump, control valve, water drops separator, condensate reservoir, power electronics, control box, PLC controller, evaporator, set turbine - generator) installed inside 40`. Near WHG 125 ORC system will be installed heat exchanger

exhaust gas / hot water which will be connected to the existing exhaust gases with proper piping. Air condensers will be mounted on roof of each 40` container

Produced electricity will be delivered to the grid through suitable control cabinet (with measurement set) which will be connected to existing transformer station.

Details of system description its major components or installation can be changed due to unknown conditions or other project specifics.

With best regards,

Samo Marc
Area sales manager

Simon Smolnikar
Marketing and Sales manager

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Εμμανουήλ Κακαράς, ‘Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί’, εκδ. Φούντας, Β΄ έκδοση, 2003
- Δημήτριος Χ. Παναγιωτακόπουλος, ‘Συστημική Μεθοδολογία και Τεχνική Οικονομική’, εκδ. Ζυγός, 2005
- Κωνσταντίνος Αραβώσης, ‘Κατάρτιση & Αξιολόγηση Επενδυτικών Σχεδίων & Προγραμμάτων’, Νομική Βιβλιοθήκη, 2003
- Δ. Καλιαμπάκος, Δ. Δαμίγος, ‘Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων’, 2004
- Χρήστος Ζαφείρης, ‘Ενεργειακή Αξιοποίηση του Βιοαερίου: Τάσεις και Προοπτικές’
- Οδηγία 1999/31/ΕΚ του συμβουλίου της 26^{ης} Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων
- Daniela Gewald, Andreas Schuster, Hartmut Spliethoff, Nikolaus König, ‘Comparative Study of Water-Steam and Organic Rankine Cycles as bottoming Cycles for Heavy-Duty Diesel Engines by means of Exergetic and Economic Analysis’, ecos 14-17 June 2010, Lausanne, Switzerland
- A. Schuster, S. Karellas, E. Kakaras, H. Spliethoff, ‘Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications’, Applied Thermal Engineering, 2008
- Iacopo Vaja, Agostino Gambarotta, ‘Internal Combustion Engine bottoming with Organic Rankine Cycles’, Energy, 2009
- Gianfranco Angelino, Piero Colonna di Paliano, ‘Organic Rankine Cycles for Energy Recovery from Molten Carbonate Fuel Cells’
- Shenyi Wu, ‘Investigation of Ejector Re-Compression Absorption Refrigeration Cycle’, University of Nottingham

- Hisham El-Dessouky *, Hisham Ettouney, Imad Alatiqi, Ghada Al-Nuwaibit, Evaluation of Steam Jet Ejectors, Chemical Engineering and Processing, 2001
- <http://ec.europa.eu/eurostat>
- http://europa.eu/legislation_summaries
- www.gulfcoastcleanenergy.org
- www.deutz.de
- www.gejenbacher.com
- www.biofuels.gr
- www.econ3.gr
- www.minenv.gr
- www.liosia.gr
- www.greekscapes.gr