

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΛΕΨΥΞΗΣ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ ΑΠΟ ΚΑΥΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ”

ΚΑΡΟΥΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ - ΕΛΕΝΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
ΓΚΕΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΤΣΟΥΤΣΟΣ ΘΕΟΧΑΡΗΣ
ΚΑΤΣΑΟΥΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2007

Ευχαριστήριο σημείωμα

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Βασίλη Γκέκα που όλον αυτό τον καιρό ήταν πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει, αλλά και για την πολύτιμη εμπειρία που μου χάρισε μεσολαβώντας να κάνω την πρακτική μου άσκηση στη Δανία. Ακόμα, τον κ. Γεράσιμο Βασιλάτο, μηχανολόγο μηχανικό, για τις γνώσεις που με μετέδωσε και το χρόνο που μου αφιέρωσε. Επίσης, τον κ. Νίκο Κωτσούλα, υπεύθυνο της τηλεθέρμανσης Κοζάνης, για την προθυμία που έδειξε να με ξεναγήσει τόσο στο εργοστάσιο της ΔΕΗ στον Αγ. Δημήτριο Κοζάνης, αλλά και σε υποσταθμούς του δικτύου τηλεθέρμανσης της πόλης. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, πάντα παρούσα στις επιτυχίες και αποτυχίες μου.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μου εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και η συλλογή στοιχείων για την εκπόνησή της ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 2007 η οποία και ολοκληρώθηκε με τη σύνταξη του παρόντος κειμένου, υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Β. Γκέκα.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση αρχικά της ιδέας δημιουργίας ενός αποτεφρωτήρα στα Χανιά ως μια λύση για τη διαχείριση των ΑΣΑ και της βιομάζας δεδομένου ότι η σημερινή λύση της υγειονομικής ταφής δεν αποτελεί πανάκεια, ειδικά σε μία χώρα όπως η Ελλάδα που χαρακτηρίζεται από έντονη τουριστική κίνηση και θερμό κλίμα και η ανεξέλεγκτη καύση της βιομάζας είναι απαράδεκτη. Επίσης, καθώς η απλή καύση δεν είναι πλέον νομοθετικά αποδεκτή, προτείνεται η δημιουργία δικτύου τηλεθέρμανσης /τηλεψύξης με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και τις μικρότερες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Υπόψη πρέπει να ληφθεί και το γεγονός ότι από την ΕΕ έχει επιβληθεί η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ να φτάσει μέχρι το 2010 το 12% (Λευκή Βίβλος, EU Directive for implementation of Renewable Energies) ώστε να συμφωνεί με το λεγόμενο «Πρωτόκολλο του Κιότο».

Ίσως όμως ο σημαντικότερος στόχος της είναι να πείσει ότι η καύση απορριμμάτων (με συμπαραγωγή) αποτελεί μία από τις ιδανικότερες λύσεις για τη διαχείριση των ΑΣΑ παρόλο που για κάποιους λόγους έχει αργήσει η εφαρμογή της στη χώρα μας.

Αναφέρεται λοιπόν εκτενώς, σε θεωρία περί καύσης των ΑΣΑ και καθαρισμό των αερίων από αυτή. Αναλύεται το πρόβλημα των Χανίων και περιέχονται δεδομένα για τα ΑΣΑ του νομού καθώς και συγκεκριμένες ποσότητες αυτών που θα μπορούσαν να οδηγηθούν προς καύση. Δίνεται έτσι μια προτεινόμενη λύση στο πρόβλημα αυτό και γίνεται περιγραφή μιας μονάδας καύσης.

Η ιδέα για την ενασχόλησή μου με το θέμα αυτό ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στη Δανία, όπου και επισκέφτηκα από κοντά μια μονάδα καύσης ΑΣΑ. Οι γνώσεις μου εκεί διευρύνθηκαν και έννοιες όπως εναλλάκτης θερμότητας, δίκτυο τηλεθέρμανσης που φάνταζαν άγνωστες ως τότε, κατέληξε να φαίνονται ιδιαίτερα ελκυστικές.

Η ιδέα της τηλεψύξης στα Χανιά

Με αφορμή μια προηγούμενή μου εργασία σχετικά με τη δημιουργία μονάδας καύσης απορριμμάτων στα Χανιά και την εκδήλωση ενδιαφέροντος τόσο από τη ΔΕΔΙΣΑ όσο και από την ΔΕΥΑΧ, συνεχίζω τη μελέτη ένα βήμα πιο πέρα. Στην αξιοποίηση της ενέργειας από την καύση

και τη δημιουργία συστήματος τηλεψύξης στα Χανιά, σε ένα νησί όπου λόγω κλίματος και τουριστικής υποδομής, ο κλιματισμός άνεσης είναι μια σημαντική παράμετρος για τη ζωή σε αυτό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή προβλήματος	4
1.2 Διαχείριση των ΑΣΑ	6
1.3 Διαχείριση των ΑΣΑ στην Ελλάδα	7
1.4 Το πρόβλημα στις νησιωτικές – τουριστικές περιοχές	8
1.5 Το πρόβλημα της πόλης των Χανίων	11
1.6 Αξιοποίηση της ενέργειας που περιέχεται σε ΑΣΑ/βιομάζα	12
1.7 Απορρίμματα/βιομάζα για κλιματισμό	13

Κεφάλαιο 2 ΑΠΕ και Συμπαγωγή

2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	14
2.2 Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας	17
2.2.1 Η Συμπαγωγή ΗΘ στην Ευρώπη	18
2.2.2 Η Συμπαγωγή ΗΘ στην Ελλάδα	19
2.2.3 Νομοθεσία και ΣΗΘ	19

Κεφάλαιο 3 Η μέθοδος της καύσης

3.1	Γενικά
.....
.....	21

3.2	Πώς	ορίζεται	η	καύση	24
3.3	Καύση απορριμμάτων:	ένας αποτελεσματικός τρόπος διαχείρισής τους			25
3.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καύσης απορριμμάτων				26
3.5	Προβλήματα	κατά	την	καύση	27
3.6	Συστήματα	ελέγχου	απαερίων	καύσης	28
3.6.1	Συμβατικό σύστημα συνδυασμού τεχνολογιών για τον έλεγχο απαερίων				
3.6.2	Προχωρημένη τεχνολογία καταλυτικής διήθησης				

Κεφάλαιο 4 Τηλεθέρμανση και Τηλεψύξη

4.1	Τηλεθέρμανση	32
4.1.1	Διαχωρισμός των εγκαταστάσεων τηλεθέρμανσης	
4.1.2	Τηλεθέρμανση υπέρθερμου νερού (θερμοκρασίες πάνω από 110 °C)	
4.1.3	Συστήματα σωληνώσεων	
4.1.4	Θερμοκρασίες τροφοδότησης και επιστροφής	
4.1.5	Κυκλοφορητές	
4.1.6	Θέση σταθμού	
4.1.7	Δίκτυα θέρμανσης	
4.1.8	Πλεονεκτήματα της τηλεθέρμανσης έναντι της συμβατικής θέρμανσης κατοικιών	
4.1.9	Η τηλεθέρμανση στην Ελλάδα	

4.2.1 Οφέλη από τη χρήση τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης σε οικήματα

4.2.2 Ελεγχόμενη χρήση χημικών

Κεφάλαιο 5 Θεωρητική προσέγγιση των μεθόδων ψύξης και αναλυτική περιγραφή των συστημάτων ψύξης με απορρόφηση

5.1 Ιστορική αναδρομή

..... 44

5.2 Η ψύξη από θερμοδυναμική άποψη

..... 45

5.3 Είδη

ψύξης

.....

... 46

5.4 Επιδιώξεις

του

κλιματισμού

..... 46

5.5 Ψύξη και περιβάλλον

..... 47

5.6 Σύγχρονες

εφαρμογές

της

ψύξης

..... 48

5.7 Κύκλοι

ψύξης

.....

49

5.7.1 Γενικά

5.7.2 Θεωρητικοί Βασικοί Κανόνες

5.7.3 Ψυκτικός κύκλος

5.7.4 Βαθμός απόδοσης (αποτελεσματικότητας)

5.7.5 Συστήματα παραγωγής ψύξης

5.7.6 Μηχανικός κύκλος συμπίεσης

5.7.7 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης

5.7.7.1 Γενικά

- 5.7.7.2 Ιστορική εξέλιξη του κύκλου απορρόφησης
- 5.7.7.3 Η ανακάλυψη του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης
- 5.7.7.4 Λειτουργία του κύκλου απορρόφησης
- 5.7.7.5 Σύγκριση μεταξύ των απορροφητικών συστημάτων $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ και $\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$
- 5.7.7.6 Περιγραφή της λειτουργίας του βασικού απορροφητικού συστήματος
- 5.7.7.7 Εφαρμογή ψυκτικής δράσης
- 5.7.7.8 Τα πρώτα πειράματα του Faraday με απορρόφηση και εξάτμιση αμμωνίας
- 5.7.7.9 Διάδοση των ψυκτικών μονάδων απορρόφησης

Κεφάλαιο 6 Μελέτη για τα Χανιά – Προτεινόμενη λύση

6.1	Παραγόμενες	ποσότητες	ΑΣΑ
			72
6.2	Ποσότητες προς καύση		73
6.3	Υπολογισμός Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης		75
6.4	Υπολογισμός παραγόμενης και ωφέλιμης ισχύος από την καύση.....	76	
6.5	Περιγραφή της προτεινόμενης μονάδας καύσης	ΑΣΑ	79
6.6	Σύστημα καθαρισμού	απαερίων	82
6.7	Μονάδα επεξεργασίας	νερού	86
6.8	Σύστημα απομάκρυνσης των στερεών υπολειμμάτων		88
6.9		Τηλεψύξη	90

6.9.1

Ψύκτης

απορρόφησης

92

Επίλογος

96

Βιβλιογραφία

97

1.1 Περιγραφή προβλήματος

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, δεδομένου ότι ο πληθυσμός της Γης αυξάνεται, παρατηρείται μια τεράστια διόγκωση των αποβλήτων, με αποτέλεσμα η διαχείριση τους να αποτελεί όχι μόνο περιβαλλοντικό πρόβλημα για τις αρχές διαχείρισης, αλλά και ζήτημα εθνικής και παγκόσμιας σπουδαιότητας. Ένα πρόβλημα που προκαλεί το έντονο ενδιαφέρον και τη δραστηριοποίηση πολιτών και κυβερνήσεων. Η διαχείριση των αποβλήτων, τόσο σε περιφερειακό όσο και σε τοπικό επίπεδο, περιλαμβάνει προβλήματα σχεδιασμού εντελώς διαφορετικά από αυτά του μακρινού αλλά και του σχετικά πρόσφατου παρελθόντος.

Η αυξανόμενη συνειδητοποίηση για τα περιβαλλοντικά προβλήματα έχει αναγκάσει τις εθνικές κυβερνήσεις αλλά και τις τοπικές αρχές στην αναζήτηση νέων τεχνικών και οργανωτικών λύσεων για μελλοντικά συστήματα διαχείρισης αποβλήτων. Ανάμεσα στα διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα που καλείται να λύσει ο άνθρωπος προκειμένου να 'σώσει' τον πλανήτη είναι και το ενεργειακό που συνδέεται με την εξάντληση φυσικών πόρων και τη μόλυνση του περιβάλλοντος το οποίο μπορεί να βρει διέξοδο χάρη στην αξιοποίηση ανεξάντλητων πηγών ενέργειας (ηλιακή, αιολική, βιομάζα, υδραυλική, γεωθερμία κτλ).

Η κατανάλωση ενέργειας κάθε χρόνο αυξάνεται, άσχετα εάν είναι από πετρέλαιο, γαιάνθρακες, φυσικό αέριο ή ηλεκτρική ενέργεια. Βέβαια, ο βασικότερος πρωτογενής ενεργειακός πόρος που καταναλώνει η Ελλάδα είναι το πετρέλαιο και κάθε χρόνο παρατηρείται αύξηση στην κατανάλωσή του. Αυτή η ετήσια ποσοστιαία αύξηση παραμένει σχεδόν σταθερή από το 1980.

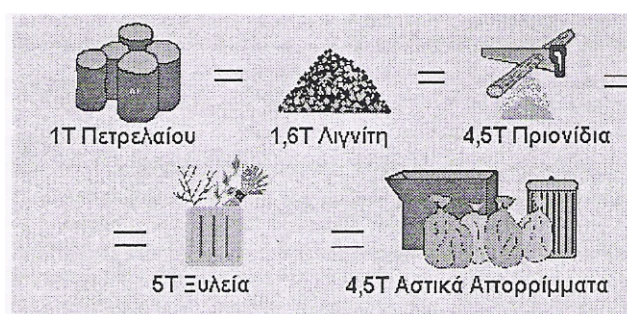


Έγινε μάλιστα πρόσφατα η αποκάλυψη ότι λόγω των 'σπάταλων' κτιρίων στην Ελλάδα και των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών σε ενέργεια, στη χώρα μας δαπανούνται διπλάσια ποσά για τη θέρμανση σε σχέση με τη Δανία, κυρίως λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας από τα κλιματιστικά.

Και δεν είναι μόνο εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού, των οχημάτων ή άλλων μηχανισμών που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια ή αέρια καύσιμα. Έχουμε και το φαινόμενο της αστυφιλίας με τις πολυώροφες κατοικίες που δεν μπορούν να θερμάνουν το χώρο με καυσόξυλα ούτε με ξυλοκάρβουνα όπως παλαιότερα. Ακόμη και στα χωριά έχουν εγκαταλειφθεί τα τζάκια και οι σόμπες και τη θέση τους παίρνουν τα καλοριφέρ. Αυτό όμως έως ένα σημείο. Όταν θα εξαντληθούν τα αέρια και υγρά καύσιμα τότε το πρόβλημα θέρμανσης θα παρουσιαστεί στις πολυκατοικίες. Εάν ελπίσουμε ότι ο επόμενος φορέας ενέργειας θα είναι το υδρογόνο, δεν θα είναι εύκολη η θέρμανση κάθε κατοικίας χωριστά.

Έχουμε και το άλλο φαινόμενο της υπερκατανάλωσης, των διαφημίσεων και του τρόπου ζωής γενικά, που αυξάνει τα απορρίμματα και πριν από όλα το χαρτί. Η βιομάζα παρουσιάζει και αυτή μια αύξηση και οφείλεται περισσότερο στο ότι δεν καταναλώνεται για θέρμανση χώρου άρα μειώνεται η κατανάλωσή της χρόνο με το χρόνο και παράλληλα έχουμε άφθονα πριονίδια και ροκανίδια.

Η καύση λοιπόν των απορριμμάτων και της βιομάζας και η ενεργειακή τους αξιοποίηση είναι ένας τρόπος διαχείρισης που συμβαδίζει με τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά της εποχής.



Ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ των πηγών ενέργειας

1.2 Διαχείριση των ΑΣΑ

Οι βασικές αρχές στις οποίες βασίζεται πλέον η νομοθεσία της ΕΕ είναι:

- Η μείωση αποβλήτων, παράγοντας-κλειδί σε κάθε στρατηγική διαχείρισης αποβλήτων. Η βελτίωση των μεθόδων κατασκευής καθώς και η στροφή των καταναλωτών στην αγορά βιολογικών και μειωμένης απαίτησης συσκευασίας προϊόντων οδηγούν δραστικά στην επίτευξη της αρχής αυτής.
- Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση που λαμβάνει χώρα όταν η παραγωγή απορριμμάτων δεν μπορεί να αποφευχθεί. Η ανακύκλωση αφορά υλικά συσκευασίας, μπαταρίες καθώς και ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα. Πολλές χώρες της ΕΕ έχουν ήδη καταφέρει να ανακυκλώνουν πάνω από το 50% των υλικών συσκευασίας.
- Η θερμική επεξεργασία και ως τελευταία λύση η υγειονομική ταφή που πρέπει να υφίστανται τα απόβλητα που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν ούτε να επαναχρησιμοποιηθούν. Και οι δύο μέθοδοι

απαιτούν συνεχή έλεγχο και βελτίωση λόγω της πιθανότητας να προκαλέσουν σοβαρή περιβαλλοντική καταστροφή. Επακόλουθο αυτού ήταν η μείωση των ορίων εκπομπών από τους αποτεφρωτήρες και η απαγόρευση καύσης ορισμένων τύπων αποβλήτων.

Παρακάτω απεικονίζεται η ιεραρχία των αρχών αυτών.



Οι κυριότερες μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων είναι οι εξής:

- Υγειονομική ταφή
- Λιπασματοποίηση
- Πυρόλυση
- Υδρόλυση
- Καύση των απορριμμάτων

Ολική καύση

Ανακύκλωση

Αξιοποίηση των απορριμμάτων για ενεργειακούς σκοπούς.

1.3 Διαχείριση των ΑΣΑ στην Ελλάδα

Η διαχείριση των απορριμμάτων έχει δημιουργήσει στη χώρα μας ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που μπορεί με την πάροδο του χρόνου να εξελιχθεί και σε κοινωνικό πρόβλημα. Υπάρχουν πολλά κενά, σχετικά τόσο με το σχεδιασμό για ενιαία αντιμετώπιση της διαχείρισης σε επίπεδο Περιφέρειας ή νομού, όσο και με την οργάνωση, χρηματοδότηση και λήψη αποφάσεων. Υπάρχει έλλειψη σαφούς πολιτικής και συντονισμού των αρμόδιων φορέων στη διαχείριση του περιβάλλοντος καθώς επίσης και το μεγάλο πρόβλημα της μη κοινωνικής αποδοχής.

Συνέπεια αυτών είναι η ύπαρξη τεραστίων προβλημάτων που σχετίζονται με κίνδυνο για την υγεία, κίνδυνο για τη ρύπανση των εδαφών και των νερών, αντιαισθητική θέα που δημιουργείται από την ανεξέλεγκτη απόρριψη απορριμμάτων, κίνδυνος για πυρκαγιές κ.ά.

Δυστυχώς, ακόμα και σήμερα, επικρατεί η άποψη ότι ο μόνος τρόπος διάθεσης είναι η υγειονομική ταφή. Βέβαια, ούτε υγειονομική ταφή μπορεί να χαρακτηριστεί ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζονται τα απορρίμματα στη χώρα μας (κυρίως στην επαρχία), αφού αυτά απλά εναποτίθενται είτε σε ακατάλληλο χώρο ή σε κατάλληλο αλλά χωρίς υποδομή χώρο. Οι πιο σύγχρονες τεχνικές συγκλίνουν σε έναν συνδυασμό διαλογής στην πηγή και υγειονομικής ταφής με τη χρήση των τελευταίων μεθοδολογιών και τεχνολογιών έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση στο περιβάλλον.

Παρόλο που η αξιοποίηση των απορριμμάτων για ενεργειακούς σκοπούς είναι γνωστή στο Αμβούργο από το 1894 ήταν δύσκολο στη χώρα μας να γίνει κατανοητό "ότι τα σκουπίδια δεν είναι για πέταμα" αλλά ενέργεια αξιοποιήσιμη. Χρειάστηκε αρκετή δουλειά στον τύπο και στα συνέδρια για να γίνει κατανοητό ότι ειδικά για τη χώρα μας με τον τουρισμό και το θερμό κλίμα δεν προσφέρεται η υγειονομική ταφή. Η ταφή των απορριμμάτων

αποτελεί μια παλιά μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο για την προστασία της υγείας του όταν ακόμη δεν υπήρχε η έννοια προστασίας του περιβάλλοντος. Είναι γνωστή η ρύπανση στις χωματερές, με τα ζώα, τα πτηνά και τα βακτήρια (μερικά από αυτά παθογόνα) που προκαλούν ασθένειες στους ανθρώπους και μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα.

1.4 Το πρόβλημα στις νησιωτικές-τουριστικές περιοχές

Η πολιτική της διαχείρισης των απορριμμάτων αποτελεί ένα μέρος της γενικής πολιτικής του περιβάλλοντος αλλά και ένα βασικό παράγοντα για τη σωστή ανάπτυξη μιας τουριστικής περιοχής. Ιδιαίτερα όμως προβλήματα δημιουργούνται στις νησιωτικές τουριστικές περιοχές λόγω ιδιοτεροτήτων όπως διακυμάνσεις ποσοτήτων, διαφορετική σύνθεση απορριμμάτων, αξία γης κτλ. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός και προγραμματισμός για τη διαχείριση των απορριμμάτων γίνεται ακόμα πιο δύσκολος. Ο πληθυσμός το καλοκαίρι διπλασιάζεται, άρα στο σχεδιασμό θα πρέπει να προβλεφθεί η αιχμή - κι αυτό σημαίνει ότι θα υπολειμатурεί η μονάδα μέχρι την τουριστική περίοδο. Επίσης, σε πολύ μεγάλο βαθμό αλλάζει η σύνθεση των απορριμμάτων μεταξύ των πολύ και λιγότερο τουριστικών περιοχών.

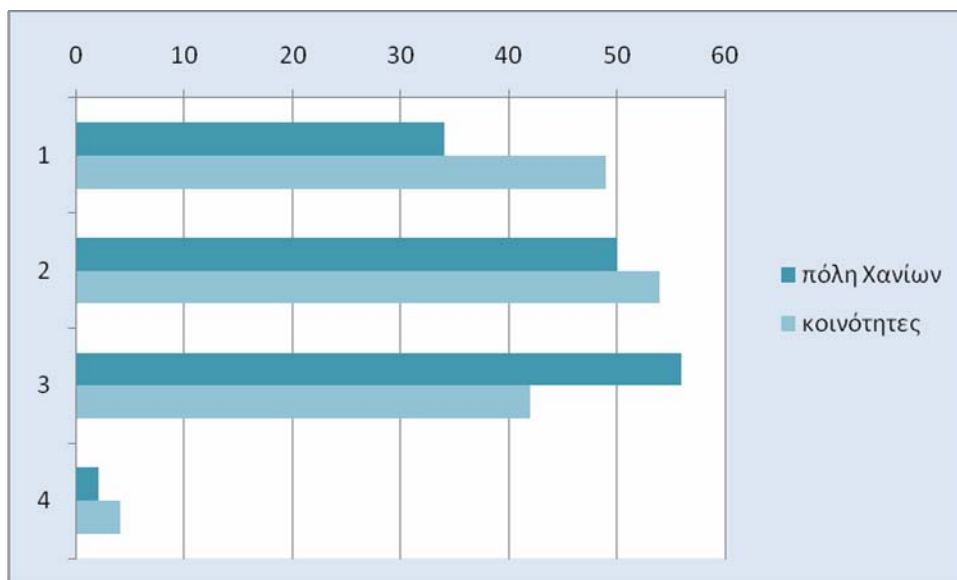
Η πολιτική για τη διαχείριση των απορριμμάτων σε αυτές τις περιοχές πρέπει να έχει τέσσερις βασικούς στόχους:

1. Την εξάλειψη της ανεξέλεγκτης απόρριψης
2. Την εξυγίανση αυτών των χώρων αυτών και τον καθαρισμό τους (που είναι πάρα πολλοί)
3. Την ανακύκλωση υλικών
4. Την τελική επεξεργασία και διάθεση των απορριμμάτων

Μια σκέψη για τα (μεγάλα) νησιά είναι η δημιουργία μονάδων καύσης, ώστε τα υπολείμματα να μειωθούν στο 25-30% κι έτσι θα χρειαζόταν πολύ μικρότερος χώρος για την εναπόθεση αυτών των υπολειμμάτων. Εναλλακτική λύση για τα νησιά, που δεν φημίζονται για τη βλάστησή τους, αποτελεί η λιπασματοποίηση των υπολειμμάτων και η χρήση του παραγόμενου εδαφοβελτιωτικού σε έργα αναδάσωσης και στις διάφορες καλλιέργειες. Το υπόλειμμα αυτής της διαδικασίας (30-40% του αρχικού) θα μπορούσε να διατεθεί σε ΧΥΤΑ.

Για μια αποτελεσματική όμως διαχείριση, χρειάζεται αλλαγή του θεσμικού πλαισίου και σαφώς κοινωνική αποδοχή. Η διαδικασία της ενημέρωσης, πληροφόρησης, συμμετοχής του κοινού στο σχεδιασμό ξεκινά από την πρώτη φάση του. Οι φορείς οφείλουν να γνωρίζουν ή να κάνουν ανάλυση των προβλημάτων, των αναγκών και επιθυμιών των κατοίκων της περιοχής στην οποία γίνεται ο σχεδιασμός. Από την άλλη, αντιδράσεις και κινητοποιήσεις των κατοίκων που έχουν ως αποτέλεσμα την μη υλοποίηση των έργων, είναι καταστάσεις μη προσδόκιμες, με την προϋπόθεση βέβαια ότι η μελέτη των έργων αυτών είναι άρτια, η χωροθέτηση είναι εφικτή μόνο στο συγκεκριμένο σημείο και έχουν μελετηθεί διεξοδικά οι τυχόν επιπτώσεις στη γύρω περιοχή και τους κατοίκους. Αντιδράσεις στείρες, αβάσιμες και μεμονωμένες είναι λυπηρό να ακυρώνουν ή να καθυστερούν ολόκληρα έργα (χαρακτηριστικό παράδειγμα η εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού βορείου άξονα του νομού Χανίων). Τα κύρια αίτια που προξενούν τέτοιες αντιδράσεις είναι αφενός η λανθασμένη πολιτική πληροφόρηση του κοινού και αφετέρου η αναξιοπιστία που προκαλούν τόσο οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις, η λειτουργία των οποίων δεν είναι η πρέπει, όσο και οι χειρισμοί που γίνονται από τους εκάστοτε αρμοδίους στο σχεδιασμό των έργων. Επίσης, η επικοινωνία μεταξύ των φορέων και του κοινού μειώνεται συνεχώς, σε βαθμό που να αμφισβητείται πλέον κάθε απόφαση για τέτοιου είδους εργασίες, καθώς επίσης μειώνεται και η εκπροσώπηση των πολιτών και κοινωνικών ομάδων γενικότερα, στη λήψη αποφάσεων. Η μη τήρηση των αναγκών, νομοθετικά υποχρεωτικών διαδικασιών είναι ακόμα ένας παράγοντας που δημιουργεί αντιδράσεις αλλά και πολλές φορές υποβοηθά άλλου είδους σκοπιμότητες.

Από τη μελέτη [13] φαίνεται ξεκάθαρα η έλλειψη εμπιστοσύνης στην οποία προαναφερθήκαμε.



Οι λόγοι που προκαλούν την αντίδραση των κατοίκων:

- 1 → έλλειψη εμπιστοσύνης στην επιστημονική ορθότητα των μελετών
- 2 → έλλειψη εμπιστοσύνης για την ορθή εφαρμογή της μελέτης από την πολιτεία
- 3 → έλλειψη σωστής ενημέρωσης
- 4 → άλλο

1.5 Το πρόβλημα της πόλης των Χανίων

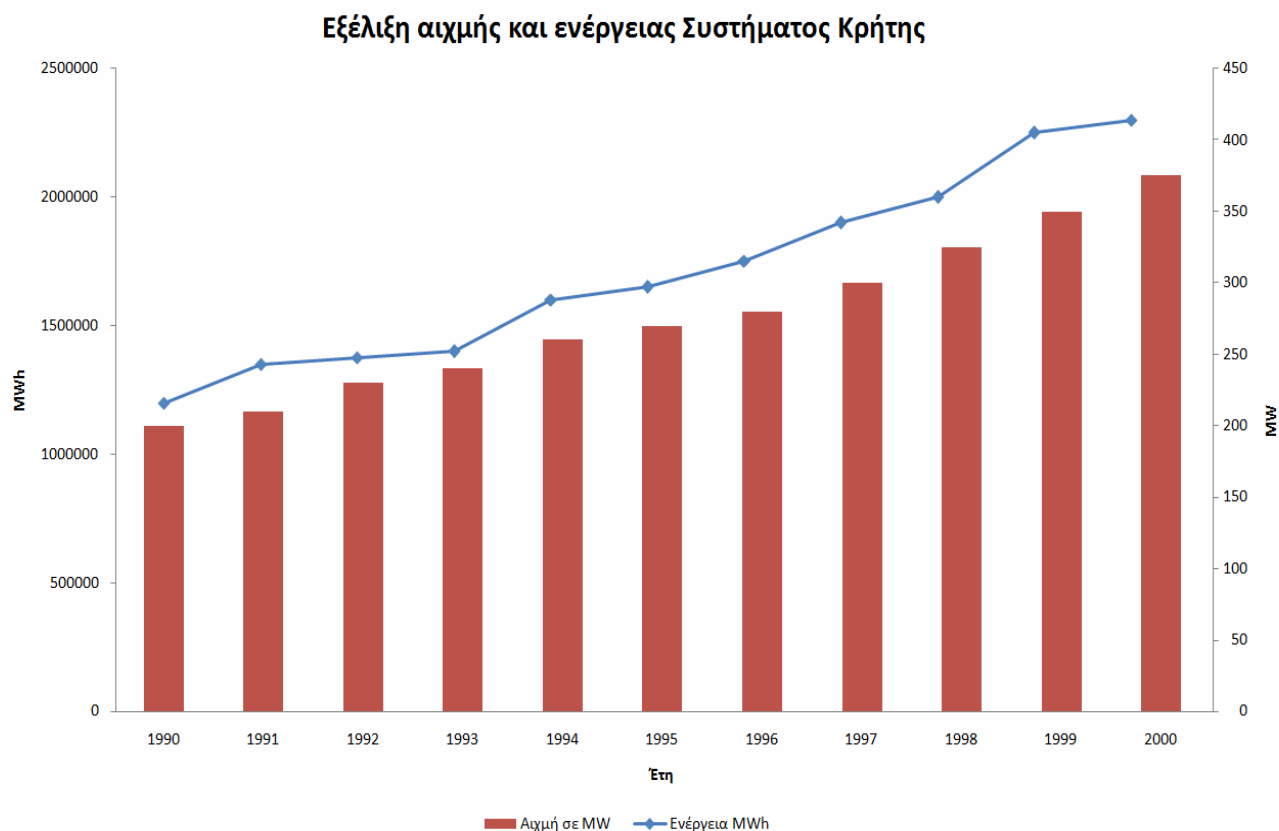
Στα Χανιά, όπως δυστυχώς και σε πολλές ακόμα περιοχές της Ελλάδας, η ορθολογική διαχείριση των απορριμμάτων είναι ένας όρος που εισήχθη τα τελευταία μόλις χρόνια. Μέχρι το 2001, τα απορριμματοφόρα άδειάζαν το φορτίο τους στη χαράδρα του Κουρουπητού (θέση Κορακιά), με αποτέλεσμα, λόγω της έντονης ακτινοβολίας και των εύφλεκτων υλικών στα απορρίμματα, να καίει μια φωτιά που δεν έσβηνε ποτέ. Να σημειωθεί ότι η τοποθεσία είναι παραθαλάσσια, οπότε τα στραγγίσματα κατέληγαν

στη θάλασσα. Για τον Κουρουπητό βέβαια, η Ελλάδα έχει πάρει χρηματικό πρόστιμο μεγάλου ύψους από την ΕΕ. Εφόσον το πρόστιμο δεν αποφεύχθηκε, οι αρμόδιοι αναγκάστηκαν να κλείσουν την ‘πληγή’ του Κορουπητού. Μέχρι να κατασκευαστεί όμως το κύτταρο του ΧΥΤΑ, η λύση που δόθηκε ήταν η συμπίεση των απορριμμάτων, η δεματοποίησή τους με πλαστικό φιλμ και τελικά η αποθήκευσή τους σε υπαίθριο χώρο.

Το 2003 λειτούργησε πια ο πρώτος ΧΥΤΑ στο νομό, κοντά στην προαναφερθείσα χαράδρα, του οποίου η πλήρωση έγινε το καλοκαίρι του 2007 οπότε και άρχισε να λειτουργεί το δεύτερο κύτταρο του ΧΥΤΑ. Από το 2005 λειτουργεί και εργοστάσιο μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης, γεγονός που έχει περιορίσει πάρα πολύ τις ποσότητες που καταλήγουν σε αυτόν (30% των στερεών απορριμμάτων εκτρέπεται από το ΧΥΤΑ, αξιοποιείται και ξαναγυρίζει με διάφορους τρόπους στην κατανάλωση). Να σημειωθεί ότι στο εργοστάσιο αυτό φτάνουν ανακυκλώσιμα προϊόντα από το σύνολο σχεδόν του νομού, αλλά και πρόσφατα από δήμους του Ν. Ρεθύμνης.

Παρόλες της προσπάθειας ανακύκλωσης όμως, ήδη άρχισε να συζητιέται η ανεύρεση πόρων για κατασκευή νέου ΧΥΤΑ το οποίο πρέπει να είναι έτοιμο σε διάστημα 5-7 χρόνων.

Όσο για τις ανάγκες σε ενέργεια ολόκληρου του νησιού, αυτές έχουν αυξητικές τάσεις όπως συνήθως συμβαίνει λόγω του σημερινού τρόπου ζωής. Άλλωστε, μια πόλη όπως τα Χανιά, με έντονη τουριστική κίνηση, έχει μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις -κυρίως το καλοκαίρι- λόγω της συνεχούς χρήσης κλιματιστικών μονάδων.



Εκμεταλλεούμενοι λοιπόν τα δύο αυτά γεγονότα, δηλαδή τη συνεχή αύξηση της απορριμματικής μάζας αλλά και τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες της πόλης, προτείνεται η κατασκευή μονάδας αποτέφρωσης και η δημιουργία ενός δικτύου τηλεψύξης που θα τροφοδοτεί το Νοσοκομείο Χανίων (πιθανώς αργότερα και περισσότερα κτίρια) για την αποσυμφόρηση του δικτύου της ΔΕΗ.

1.6 Αξιοποίηση της ενέργειας που περιέχεται σε ΑΣΑ/βιομάζα

Από έρευνες που έχουν γίνει, αποδεικνύεται ότι η ενέργεια που περιέχουν τα απορρίμματα και η βιομάζα η οποία δεν αξιοποιείται είναι πολύ περισσότερη από την ενέργεια που καταναλώνεται κάθε χρόνο για θέρμανση χώρου και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Τόσο τα απορρίμματα όσο και η βιομάζα είναι ανεξάντλητα, αφού παράγονται καθημερινώς και αδιαλείπτως. Ωστόσο, η θερμογόνος δύναμη των ΑΣΑ παρουσιάζει τα τελευταία 20 έτη μια συνεχή αύξηση γύρω στο 2% λόγω της χρήσης πλαστικών. Όσο για τη βιομάζα, είναι ένα αξιόλογο καύσιμο με σημαντική θερμογόνο ικανότητα συγκρίσιμη ή μεγαλύτερη από εκείνη των καυσόξυλων και τα ενεργειακά της οφέλη είναι σημαντικότερα λόγω της πληθώρας των οργανικών ουσιών που εμπερικλείονται σε αυτή. Υπολογίζεται ότι η θερμογόνος ικανότητα της βιομάζας του βαμβακιού είναι περίπου 15000KJ/Kg δηλαδή μια αρκετά ικανοποιητική τιμή (~1/3 της βενζίνης). Έτσι καθίσταται μια εναλλακτική μορφή παραγωγής ενέργειας, η οποία είναι διαρκώς ανανεώσιμη μας και ο κύκλος ζωής της είναι ετήσιος και έτσι υπάρχει πάντα επάρκεια. Μειώνεται με τον τρόπο αυτό η εξάρτηση από τις παραδοσιακές μορφές καυσίμων, με όλα τα επακόλουθα για την οικονομία και τη συνέχιση της ζωής.

Παρόλα αυτά, δεν είναι εύκολο να καθορίσουμε τις ποσότητες βιομάζας που διαθέτουμε στη χώρα μας. Τη συναντάμε σε διάφορες μορφές (κλαδιά, χόρτα, ξύλο, άχυρα, πριονίδια, ροκανίδια κτλ). Με την αξιοποίηση του πετρελαίου και των αερίων καυσίμων, η βιομάζα παραμένει στα δάση και σαπίζει ή την καίνε στους αγρούς.

Το κύριο αίτιο που δεν αξιοποιούνται είτε αξιοποιούνται αμυδρά στη χώρα μας τα απορρίμματα και η βιομάζα είναι αρκετά περίπλοκο. Ένα βασικό θέμα είναι ότι για να γίνει επικερδής η αξιοποίηση, πρέπει να πάρει μαζικό χαρακτήρα, δηλαδή να αποφασίσει η πολιτεία για μεγάλα έργα τα οποία είναι και προς όφελος της Εθνικής Οικονομίας. Ασφαλώς δεν γίνεται να θερμαίνουμε κάθε κατοικία χωριστά μα ούτε και συμφέρει. Το άλλο είναι ο μεγάλος ανταγωνισμός με το πετρέλαιο και τα αέρια καύσιμα. Είναι πολύ πιο εύκολος ο χειρισμός θέρμανσης με πετρέλαιο από τη βιομάζα. Όμως, τα μεγάλα συμφέροντα, ακόμη και η γραφειοκρατία της Ε.Ε στέκουν πολλές φορές εμπόδιο στην πραγματοποίηση ενός ωφέλιμου συστήματος συμπαραγωγής.

1.7 Απορρίμματα/βιομάζα για κλιματισμό

Η απειλή της ανθρωπότητας από τις έντονες κλιματικές αλλαγές σε συνδυασμό με την συνεχή αύξηση των τιμών του πετρελαίου, αποτελούν

δύο σημαντικές αφορμές για να έρθουν στο προσκήνιο εναλλακτικές τεχνολογίες που θα είναι φιλικές προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα οικονομικά βιώσιμες. Στο πλαίσιο αυτό, η χρήση της ενέργειας από απορρίμματα/βιομάζα για κλιματισμό αποτελεί μία ερευνητική περιοχή έντονου ενδιαφέροντος που μπορεί να προσφέρει εναλλακτικές λύσεις στα ανυπέρβλητα περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα τα οποία δημιουργεί η χρήση των συμβατικών κλιματιστικών μονάδων.

2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

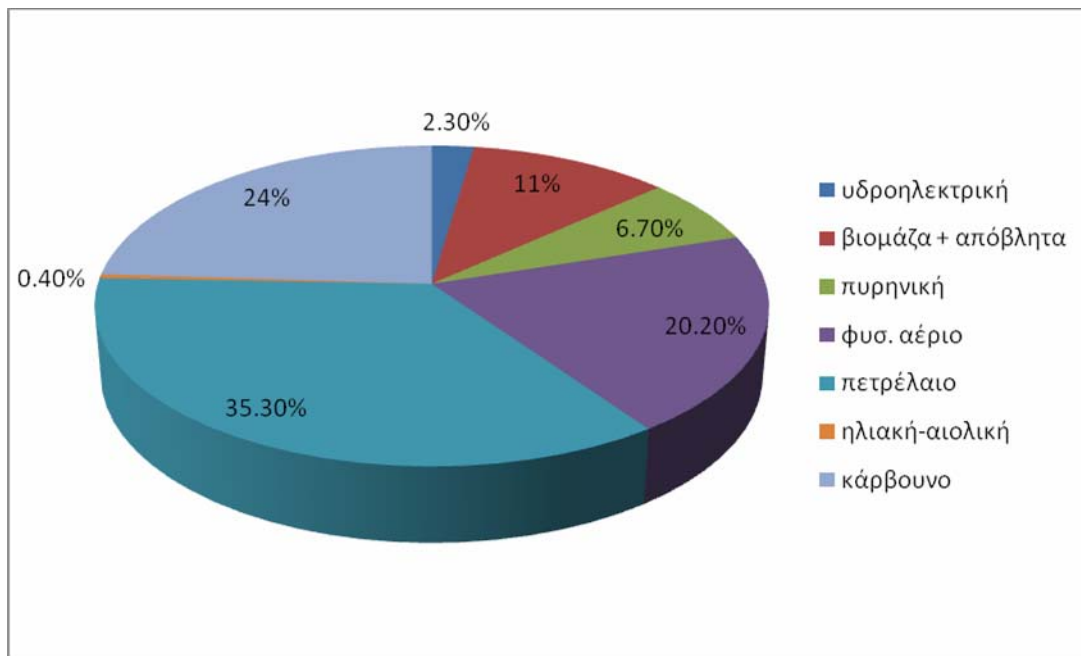
Μετά το 1973 και την πρώτη ενεργειακή κρίση, αναθερμάνθηκε το ενδιαφέρον για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Το ενδιαφέρον άρχισε να γίνεται εντονότερο μετά τη Διάσκεψη του Ρίο αλλά και τη διακήρυξη του Κιότο για τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων ούτως ώστε να αντιμετωπιστούν οι δυσμενείς συνέπειες από τη φωτοχημική ρύπανση στο περιβάλλον και να περιοριστούν οι επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η Ελλάδα, όπως και άλλες χώρες του κόσμου, έχουν δεσμευτεί από τη συνθήκη του Κιότο για μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων και ιδίως για τη μείωση των συγκεντρώσεων των CO₂, SO₂ και NO_x. Στη χώρα μας, κυριότερη πηγή αυτών των ρύπων είναι τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (λιγνίτη). Παρόλη τη χαμηλή θερμογόνο του δύναμη, τα κοιτάσματα του λιγνίτη έχουν συνεισφέρει σημαντικότητα στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας. Αναγκαστικά όμως, λόγω του ότι η χώρα μας είναι φτωχή σε φυσικές πρώτες ύλες, γίνονται και εισαγωγές σε πετρέλαιο και τα τελευταία χρόνια και σε φυσικό αέριο, των οποίων όμως οι τιμές παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με τις παγκόσμιες συγκυρίες.

Η έλλειψη πρώτων υλών είναι ακόμα σημαντικότερη στα πολυάριθμα νησιά της χώρας, τα περισσότερα εκ των οποίων, λόγω της σημαντικής απόστασης από το δίκτυο κορμού της ηπειρωτικής Ελλάδας δεν έχουν διασυνδεθεί με το υπόλοιπο σύστημα. Γι' αυτό το λόγο, η παραγωγή γίνεται τοπικά με μηχανές εσωτερικής καύσης (diesel) ή αεριοστροβίλους, ενώ σε μεγαλύτερα νησιά (Κρήτη, Ρόδος) και με τη βοήθεια ατμοστροβίλων. Αυτό έχει ως συνέπεια την εξάρτηση των ενεργειακών αναγκών των νησιών από εισαγόμενη ύλη (μαζούτ ή ελαφρύ πετρέλαιο), του οποίου η τιμή είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την τιμή του λιγνίτη που χρησιμοποιείται στην ηπειρωτική Ελλάδα.

Από την άλλη μεριά, έχει επιβληθεί από την ΕΕ η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ να φτάσει μέχρι το 2010 το 12% (Λευκή Βίβλος, EU Directive for implementation of Renewable Energies) ώστε να συμφωνεί

με το «Πρωτόκολλο του Κιότο». Παρόλα αυτά, το πετρέλαιο εξακολουθεί ακόμα να είναι η κύρια πηγή ενέργειας σύμφωνα με την παρακάτω πίτα:



Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αναλυμένη στις διάφορες μορφές

Θα μπορούσε να λεχθεί ότι η εξέλιξη των ΑΠΕ βρίσκεται σε ένα κομβικό σημείο το οποίο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Σε τεχνολογικό επίπεδο, υπάρχουν κατηγορίες ΑΠΕ που φαίνεται ότι έχουν αγγίξει τα τεχνολογικά τους όρια (π.χ. η αιολική), τουλάχιστον όσον αναφορά τη μείωση του κόστους παραγωγής που ήταν ραγδαία την τελευταία δεκαετία και άλλες (π.χ. φωτοβολταϊκή) που η μειωμένη έρευνα και η μη εμπορευματοποίηση σε ευρεία κλίμακα διατηρεί το κόστος σε υψηλό επίπεδο.

Υπάρχουν χώρες (κυρίως ευρωπαϊκές) που η διείσδυση των ΑΠΕ είναι εντυπωσιακή (π.χ. Δανία, Γερμανία, Νορβηγία) και έχουν αρχίσει να συζητούν ακόμα και την επιβράδυνση των πολιτικών ενίσχυσής τους, και υπάρχουν τεράστιες περιφέρειες (π.χ. Αφρική, Εγγύς Ανατολή) που η

ανάπτυξη των ΑΠΕ έχει τα χαρακτηριστικά των πρώιμων οικονομιών (καυσόξυλα κτλ).

Η ασυμμετρία αυτή στοιχειοθετεί την ανάγκη πρότασης και εφαρμογής πολιτικών προώθησης με τεχνολογική και γεωγραφική διαφοροποίηση. Σε κάθε περίπτωση όμως, αναγνωρίζεται ότι -τουλάχιστον για τις ανεπτυγμένες κοινωνίες- υπάρχει μια τριάδα θεμελιωδών προβλημάτων που εμποδίζουν σήμερα την πλήρη ανάπτυξη των ΑΠΕ:

1. ανεξάρτητα από το είδος της ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή κτλ) ένα σημαντικό εμπόδιο είναι η ίδια η δομή και φύση του αναπτυξιακού μας μοντέλου. Το οικονομικό και κοινωνικό μας σύστημα βασίζεται σε κεντρική (centralized) ανάπτυξη συμβατικών ενεργειακών μορφών και κυρίως ηλεκτροπαραγωγή.
2. το σημαντικότερο όμως πρόβλημα για τις ΑΠΕ είναι οικονομικό-χρηματοδοτικό. Πρόκειται για επενδύσεις έντασης και υψηλού ρίσκου.
3. τέλος, ένα σημαντικό πρόβλημα πολιτικής είναι η προσαρμογή των χωροταξικών σχεδίων και διατάξεων χρήσης γης ώστε να δίνεται σαφή προτεραιότητα στην εγκατάσταση έργων ΑΠΕ.

Όσον αναφορά το πρώτο πρόβλημα, φαίνεται ότι η ανάγκη ανάπτυξης αποκεντρωμένων συστημάτων παραγωγής που υπαγορεύεται κυρίως από τις απαιτήσεις ασφαλείας αλλά και πιθανά από τις στρεβλώσεις των απελευθερωμένων αγορών, πιθανά να ευνοήσει την ανάπτυξη των ΑΠΕ δίπλα στις συμβατικές αποκεντρωμένες μονάδες.

Ως προς το δεύτερο πρόβλημα, υπάρχει μια διαρκής και έντονη διαδικασία διαλόγου - κυρίως σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης - για την επιλογή αποτελεσματικών μηχανισμών ενίσχυσης των ΑΠΕ στα πλαίσια της εσωτερικής αγοράς ενέργειας. Ο κυριότερος λόγος που οδηγεί στο πρόβλημα αυτό είναι το επίπεδο της έρευνας που έχει επιτευχθεί. Οι προτεινόμενες τεχνολογίες αναπτύσσονται με γραμμικό ρυθμό μικρής κλίσης ενώ η οικονομική τους απόδοση εξαρτάται άμεσα από την αρνητική ψυχολογία των επενδυτών. Από την άλλη, είναι πολύ δύσκολο να γίνουν ανταγωνιστικά τα τεχνικά μέσα που υποστηρίζουν την παραγωγή

ενέργειας από ΑΠΕ, διότι άνευ κινήτρων, οι πιθανοί επενδυτές συγκλίνουν πάντα προς τις τεχνικά δοκιμασμένες και φτηνές λύσεις των συμβατικών καυσίμων. Τα κίνητρα από τις κυβερνήσεις δεν έχουν διαφανεί ακόμα. Μέχρι την ουσιαστική πρόοδο των τεχνολογιών και της εφαρμοσιμότητάς τους δεν διαφαίνεται κάτι ενθαρρυντικό στο τομέα των πολιτικών αποφάσεων. Ίσως το μόνο αντικίνητρο χρήσης συμβατικών καυσίμων που θα εφαρμοστεί σε λίγα χρόνια στην Ευρώπη είναι ο λεγόμενος φόρος διοξειδίου (CO_2 tax). Σύμφωνα με αυτόν, και όταν εφαρμοστεί, κάθε παραγωγός ενέργειας από συμβατικές πηγές θα πληρώνει σαν φόρο έως και 40% από τα έσοδα πώλησης της ενέργειας. Με την αύξηση του αριθμού τέτοιων επενδύσεων είναι δυνατή η αύξηση της ανταγωνιστικότητας των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας και αυτό που πρέπει να γίνει κατανοητό είναι πως οι σημερινοί πρωτοπόροι στον τομέα αυτό θα είναι οι πραγματικά κερδισμένοι στο μέλλον.

Τέλος, όσον αναφορά τη χωροταξία, είναι σαφές ότι η ένταση των περιβαλλοντικών προβλημάτων επιβάλλει την εισαγωγή εθνικών και παγκοσμίων κριτηρίων στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό που αυτή τη στιγμή αντιμετωπίζεται μάλλον σε τοπικό επίπεδο.

2.2 Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)

Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ή/και μηχανικής ενέργειας, στο πλαίσιο μιας μόνο διαδικασίας (κοινοτική οδηγία 2004/8/ΕΚ). Η ενέργεια από συμπαραγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τηλεθέρμανση/τηλεψύξη όσο και για βιομηχανικές ανάγκες.

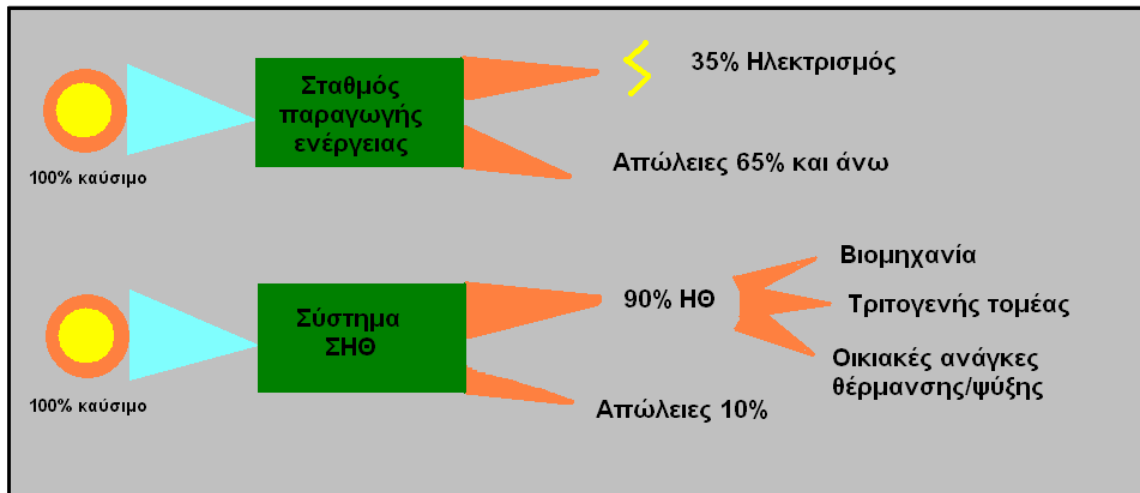
Η ΣΗΘ είναι μια από τις σημαντικότερες τεχνικές εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας που συμβάλλει στη:

- Αυξημένη απόδοση της μετατροπής και χρήσης της ενέργειας. Η Συμπαραγωγή είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής αλλά και παραγωγής θερμότητας.
- Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων και ιδιαίτερα του CO_2 .

- Μείωση του κόστους κάλυψης των ενεργειακών αναγκών.
- Σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων.
- Αύξηση της αξιοπιστίας ηλεκτροδότησης.
- Αποκέντρωση της ηλεκτροπαραγωγής με αποτέλεσμα την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη σε τοπικό επίπεδο.

Για τους λόγους αυτούς, η ΣΗΘ αποτελεί πλέον, μαζί με τις ΑΠΕ και την Εξοικονόμηση Ενέργειας, τα αποτελεσματικότερα μέσα στα οποία στηρίζεται η ΕΕ για την επίτευξη των στόχων του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την προστασία του περιβάλλοντος.

Στις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, είτε αυτές ανήκουν στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μιας χώρας, είτε είναι εγκατεστημένες σε βιομηχανικές ή άλλες εγκαταστάσεις, μόνο το 30-40% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται στο περιβάλλον ως θερμότητα, σπαταλώντας έτσι ενεργειακούς πόρους. Όμως, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα για βιομηχανικές διεργασίες ή για τη θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιεργειών, κολυμβητηρίων κτλ, αυξάνοντας έτσι το βαθμό εκμετάλλευσης της ενέργειας του καυσίμου στο 80-90%.



2.2.1 Η Συμπαράγωγή ΗΘ στην Ευρώπη

Σε πολλές χώρες της Ευρώπης, η συμβολή της ΣΗΘ στο ενεργειακό σύστημα μιας χώρας είναι σημαντική, όπως στη Δανία (50%), στην Ολλανδία (40%), στη Φιλανδία (35%), στην Αυστρία (28%), στη Γερμανία (20%), στην Ιταλία (18%). Σε άλλες χώρες όμως, η ΣΗΘ δεν έχει διαδοθεί ακόμα στο βαθμό που θα έπρεπε, λόγω πολλών εμποδίων που εξακολουθούν να υπάρχουν. Παράδειγμα το Βέλγιο, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΣΗΘ είναι 4%, η Ελλάδα (2,5%), η Γαλλία (2%), η Ιρλανδία (1%). Ο μέσο όρος της ΕΕ είναι στο 10%.

2.2.2 Η Συμπαράγωγή ΗΘ στην Ελλάδα

Οι πρώτες μονάδες ΣΗΘ εγκαταστάθηκαν στις ελληνικές βιομηχανίες υψηλής ενεργειακής έντασης, στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Σήμερα, λειτουργούν μονάδες ΣΗΘ σε αρκετές βιομηχανίες όπως τροφίμων, χαρτιού, μετάλλου, λιπασμάτων, διυλιστήρια πετρελαίου κ.ά.

Το σύνολο της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος από συστήματα ΣΗΘ είναι 218 MW περίπου, ενώ η ετήσια ολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες αυτές είναι 872 GWh περίπου (2004).

Υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα τηλεθέρμανσης στην Β. Ελλάδα (Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Αμύνταιο) αλλά και στην Πελοπόννησο (Μεγαλόπολη) σε συνδυασμό με τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ. Επίσης, βρίσκονται σε φάση υλοποίησης ή λειτουργίας ιδιωτικής πρωτοβουλίας εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης ή/και τηλεψύξης, που βασίζονται αποκλειστικά σε αυτόνομα συστήματα ΣΗΘ, σε διάφορες πόλεις της Β. Ελλάδας.

Οι εγκαταστάσεις ΣΗΘ τη δεκαετία του 1990 επιδοτήθηκαν από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ) στα πλαίσια του Β' ΚΠΣ. Σήμερα, εγκαταστάσεις ΣΗΘ επιδοτούνται τόσο από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας (ΕΠΑΝ) στα πλαίσια του Γ'ΚΠΣ, όσο και από τον Αναπτυξιακό Νόμο.

Εκτιμάται ότι υπάρχει σημαντικό δυναμικό για εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ, ιδιαίτερα στον τριτογενή τομέα (νοσοκομεία, κλινικές, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κτήρια του εμπορικού τομέα κτλ) αλλά και τον οικιακό τομέα, με τη χρήση συστημάτων μικρής και πολύ μικρής Συμπαράγωγής (έως 50 kW_e και έως 1 MW_e αντίστοιχα).

2.2.3 Νομοθεσία και ΣΗΘ

Λόγω της σπουδαιότητας της ΣΗΘ, τόσο για τα τεχνολογικά όσο και για τα περιβαλλοντικά οφέλη, υιοθετήθηκε από Ε.Ε. το Φεβρουάριο του 2004, η Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ για την 'Προώθηση της ΣΗΘ, βάση της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας.

Νωρίτερα στην Ελλάδα, το Σεπτέμβριο του 1994, ο Ν. 2244/94:

- Απλούστευε τη διαδικασία για χορήγηση άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων ΣΗΘ.
- Επέτρεπε τη ΣΗΘ σε μη βιομηχανικές επιχειρήσεις.
- Ενσωμάτωνε τις αρχές τιμολογιακής πολιτικής στις βασικές διατάξεις.
- Βελτίωνε τα σχετικά τιμολόγια.

Το Δεκέμβριο του 1999, ο Ν. 2773/99 για απελευθέρωση της Αγοράς Ενέργειας βελτίωνε ακόμα περισσότερο τη θέση της ΣΗΘ αφού:

- Η ΔΕΗ υποχρεούται να αγοράζει τον παραγόμενο ηλεκτρισμό από ΣΗΘ.
- Για εγκαταστάσεις Αυτοπαραγωγών έως 50 MW συστημάτων ΣΗΘ, δίνεται το δικαίωμα προτεραιότητας στο δίκτυο.
- Στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο (νησιά), η ΔΕΗ υποχρεούται να απορροφά την ηλεκτρική ενέργεια από συστήματα ΣΗΘ.

Όμως, η τιμολόγηση της παραγόμενης ΗΕ από συμβατικές πηγές ήταν χαμηλότερη της αντίστοιχης από ΑΕΠ, θέμα που θεωρείτο εμπόδιο για την περαιτέρω ανάπτυξη της ΣΗΘ στην Ελλάδα. Ο Ν. 3468/06 που ψηφίστηκε τον Ιανουάριο του 2006, εξομάλυνε τις τιμές αυτές, δίνοντας ικανοποιητικό τιμολόγιο για την παραγόμενη ΗΕ από ΣΗΘ. Την περίοδο αυτή, στο ΥΠΑΝ έχει συγκροτηθεί επιτροπή, με τη συμμετοχή του ΕΣΣΗΘ, για την εναρμόνιση της Κ.Ο. 2004/8/ΕΚ στο ελληνικό νομικό πλαίσιο.

3.1 Γενικά

Στη σύγχρονη διαχείριση των απορριμμάτων, η καύση ή η πυρόλυση επεξεργάζεται τα μη δυνάμενα να επαναχρησιμοποιηθούν απορρίμματα, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αδρανοποιηθούν, με παράλληλη μείωση του όγκου τους και χρήση της θερμογόνου τιμής τους. Είναι φανερό ότι τα απορρίμματα δεν αποτελούν μια εύκολη καύσιμη ύλη αν λάβει κανείς υπόψη του την ανομοιογενή και όχι σταθερή σύνθεση τους από οργανική και ανόργανη ύλη. Είναι όμως μια δοκιμασμένη μέθοδος διάθεσης των απορριμμάτων και εφαρμόζεται ως επί το πλείστον σε χώρες οι οποίες αντιμετωπίζουν πρόβλημα χώρου (γης). Σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι η ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων, η μετατροπή τους σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία και η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στα απορρίμματα ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο υλικό.

Επειδή τα αστικά στερεά απόβλητα (αυτ)αναφλέγονται, η αποτέφρωση τους αποτελεί μια παλιά πρακτική στην Ευρώπη. Οι πρώτοι αποτεφρωτήρες αποβλήτων χτίστηκαν περίπου το 1876 στο Νότιγχαμ της Αγγλίας, στο Αμβούργο της Γερμανίας και στο λιμάνι της Νέας Υόρκης ώστε να μειωθεί ο όγκος των αποβλήτων και να αποφευχθούν τα επιβλαβή αποτελέσματα από το αποδομημένο οργανικό υλικό. Κατά την περίοδο 1920 -1950 υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη στο σχεδιασμό συστημάτων καύσης στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ.

Σήμερα, η αποτέφρωση των αποβλήτων έχει προχωρήσει αρκετά, αλλά στην ιεραρχία που καθορίζεται από την ευρωπαϊκή στρατηγική για τα απόβλητα, κατατάσσεται (ακόμη και με την ενεργειακή ανάκτηση) χαμηλότερα από την μείωση και την ανακύκλωση υλικών. Γίνεται έτσι φανερό ότι η αποτέφρωση (συμπεριλαμβανομένης της καύσης, της αεριοποίησης και της πυρόλυσης) είναι μόνο ένα κομμάτι των επιλογών για τη διάθεση και την ανάκτηση των αποβλήτων.

Σχεδόν σε κάθε χώρα που υπάρχουν αποτεφρωτήρες, ανακτάται ένα ποσό ενέργειας. Γενικά, υπάρχουν δύο τρόποι χρησιμοποίησης της ανακτημένης ενέργειας. Οι σκανδιναβικές χώρες χρησιμοποιούν ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας αυτής για τη θέρμανση νερού και τη διάθεση του στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης. Οι υπόλοιπες χώρες

τη χρησιμοποιούν για παραγωγή ηλεκτρισμού με τη βοήθεια ατμού. Για την περίπτωση των μεσογειακών χωρών, η ανάκτηση ενέργειας αφορά στην παραγωγή ηλεκτρισμού και στην ενέργεια για ψύξη (district cooling).

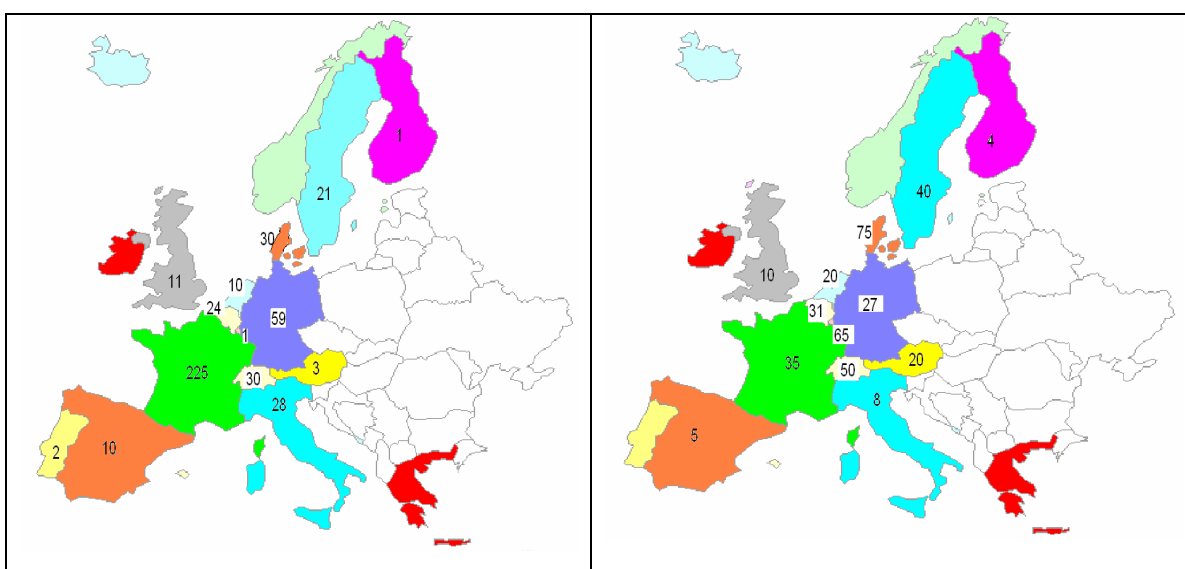
Σήμερα, η ικανότητα αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων σε όλη την ΕΕ υπολογίζεται σε 45 εκατομμύρια τόνους/έτος. Παρόλα αυτά, αναμένεται αύξηση στη χρήση της αποτέφρωσης και της συναποτέφρωσης (καύσης αποβλήτων σε συνδυασμό με άλλα καύσιμα) λόγω των προσεχών ρυθμιστικών περιορισμών για την υγειονομική ταφή και των στόχων ανάκτησης υλικών.

Όπως φαίνεται και από τους χάρτες που ακολουθούν, η αποτέφρωση αποτελεί μια συνήθη πρακτική για τις χώρες της βόρειας Ευρώπης. Τα ποσοστά χρησιμοποίησης της αποτέφρωσης είναι:

- > 40% για Ελβετία, Δανία, Λουξεμβούργο
- 21-40% για Αυστρία, Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία και Σουηδία
- 10-20% για Αυστρία, Ολλανδία και Βρετανία (χαμηλό ποσοστό για χώρα της Β.Ευρώπης)
- <10% για Ιταλία, Ισπανία, Φιλανδία

**αριθμός αποτεφρωτήρων
αποτεφρώνεται**

% που



Τα οφέλη της αποτέφρωσης φαίνεται να εκμεταλλεύονται στο έπακρο η Ελβετία και η Δανία, ενώ η Ολλανδία, η Αυστρία και η Πορτογαλία στηρίζονται αρκετά και στην κομποστοποίηση. Δυστυχώς, Ελλάδα, Ιρλανδία, Ιταλία, Βρετανία και Πορτογαλία κατέχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά υγειονομικής ταφής.

Τα ΑΣΑ και τα μη-επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο όγκο των κατάλληλων προς καύση αποβλήτων και η αποτέφρωση παραμένει μια έγκυρη μέθοδος για τη διάθεσή τους. Αν και τα μη-επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα αποτελούν καλύτερο καύσιμο σε σχέση με τα ΑΣΑ, τα τελευταία αποτελούν την κατηγορία που έχει καεί πιο πολύ στο παρελθόν. Επιπλέον, πέρα από τα ΑΣΑ, πολλά ρεύματα αποβλήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές ενέργειας: τα γενικά βιομηχανικά απόβλητα, τα απόβλητα νοσοκομείων, χρησιμοποιημένα φίλτρα πετρελαίου αυτοκινήτων κ.α. Όμως, πολλά από αυτά τα απόβλητα είναι επικίνδυνα. Προέρχονται από πολύ διαφορετικές πηγές και έχουν πολύ συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Κατά συνέπεια, πρέπει να αποτεφρώνονται σε ειδικές εγκαταστάσεις διαφορετικές από εκείνες για τα ΑΣΑ. Λόγω αυτής της ποικιλομορφίας, περιεκτικές στατιστικές όσον αφορά την αποτέφρωση επιβλαβών αποβλήτων είναι πολύ δύσκολο να καταγραφούν.

Παρόλα αυτά, η αποτέφρωση των αποβλήτων είναι ένα σύνθετο ζήτημα και το επιστημονικό υπόβαθρο πίσω από αυτή παραμένει ασαφές. Χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες σε όλο τον κόσμο, οι οποίες έχουν και πολυάριθμες παραλλαγές προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι εκάστοτε διαδικασίες. Κάθε μια από τις τεχνολογίες αυτές έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, όμως λόγω του εμπορικού ανταγωνισμού και της ρυθμιστικής πίεσης, επιβάλλεται η συνεχής βελτίωση των περιβαλλοντικών σχεδιαγραμμάτων και της αποδοτικότητας ανάκτησης. Διάφοροι τύποι αποτεφρωτήρων κατασκευάζονται αυτήν την περίοδο. Η επιλογή της τεχνολογίας εξαρτάται από την ικανότητα καύσης και το χαρακτηρισμό των αποβλήτων ως υγρά ή στερεά. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κάθε τεχνολογία με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, η προεπεξεργασία των αποβλήτων είναι πολύ σημαντική. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία αποβλήτων θεωρεί την εκλεκτική αποκομιδή των αποβλήτων ευεργετική για την επόμενη φάση στη διαχείριση των αποβλήτων, είτε μέσω της

αποτέφρωσης είτε με άλλα μέσα. Η επεξεργασία αποβλήτων στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα των ευρωπαϊκών στρατηγικών για τα δημοτικά στερεά απόβλητα προκειμένου να εκπληρωθούν οι στόχοι της οδηγίας για τους ΧΥΤΑ (1999/31/ΕΚ). Όλες οι νέες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης που χτίζονται μπορούν να ανακτήσουν την ενέργεια που παράγεται από τη διαδικασία αποτέφρωσης. Η ανάκτηση θερμικής καθώς επίσης και ηλεκτρικής ενέργειας είναι η καλύτερη λύση τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική άποψη.

Από οικονομική τέλος σκοπιά, το κόστος της αποτέφρωσης σε ολόκληρη την ΕΕ είναι ακόμα πολύ μεταβλητό λόγω των ολοένα και πιο αυστηρών απαιτήσεων στα όρια εκπομπής, για τις νέες εγκαταστάσεις όμως οι δαπάνες παρουσιάζουν σταθερότητα. Σε μερικές ευρωπαϊκές χώρες, έχει προκύψει μια αναπτυσσόμενη αγορά για την αποτέφρωση των αποβλήτων. Συνολικά, παρατηρείται μια κίνηση προς την μεγιστοποίηση της ανάκτησης της ενέργειας σε όλες τις μορφές αποτέφρωσης αποβλήτων, γεγονός που αυξάνει το κέρδος. Επειδή η διαχείριση των αποβλήτων έχει σημαντικό κόστος, η μείωσή τους είναι πάντα επιθυμητή και η επιτυχία ενός επαρκούς συστήματος διαχείρισης αποβλήτων απαιτεί μακροπρόθεσμη οικονομική και νομική σταθερότητα.

3.2 Πώς ορίζεται η καύση

Γενικά, ως καύση ορίζεται η χημική αντίδραση μιας ουσίας με το οξυγόνο, κατά την οποία λαμβάνουν χώρα οι εξής φυσικές και χημικές διεργασίες:

- Ξήρανση του υλικού, σε θερμοκρασίες $> 100^{\circ}\text{C}$ (εξάτμιση νερού)
- Εξαερίωση, σε θερμοκρασίες $> 250^{\circ}\text{C}$ (απομάκρυνση των πτητικών υλών)
- Έναυση, σε θερμοκρασίες $500 - 600^{\circ}\text{C}$, ενίοτε με προσθήκη πετρελαίου (ο άνθρακας μετατρέπεται σε αέρια προϊόντα). Το πετρέλαιο μπορεί να είναι αναγκαίο και για διατήρηση της καύσης, αν η θερμογόνο δύναμη των ΑΣΑ δεν επαρκεί.
- Αποτέφρωση, σε θερμοκρασίες $800 - 1100^{\circ}\text{C}$, όπου τα αέρια των προηγούμενων φάσεων οξειδώνονται πλήρως. (Σε

Θερμοκρασίες > 990°C, ελαχιστοποιείται η έκλυση διοξινών, φουρανίων και άλλων εν δυνάμει επικίνδυνων ενώσεων).

Τα προϊόντα της καύσης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- ο *Αέριες εκπομπές* που περιέχουν τα εξής: Μη όξινα αέρια (μονοξείδιο του άνθρακα και ατμούς), όξινα αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου, υδροθείο, υδροχλώριο) και άλλες επιβλαβείς ουσίες όπως υδροφθόριο, διοξίνες και άλλους υδρογονάνθρακες (τοξικοί ρύποι), βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, κάδμιο, υδράργυρος, κτλ.), καπνό και σκόνη (ιπτάμενη τέφρα: στερεά ανόργανα σωματίδια μεγέθους < 1 μ)
- ο *Στερεά υπολείμματα* (τέφρα των λεβήτων, σκωρίες, σκόνη των φίλτρων, υπολείμματα καθαρισμού των καπναερίων), που περιέχουν βαρέα μέταλλα και άλλες τοξικές ουσίες.

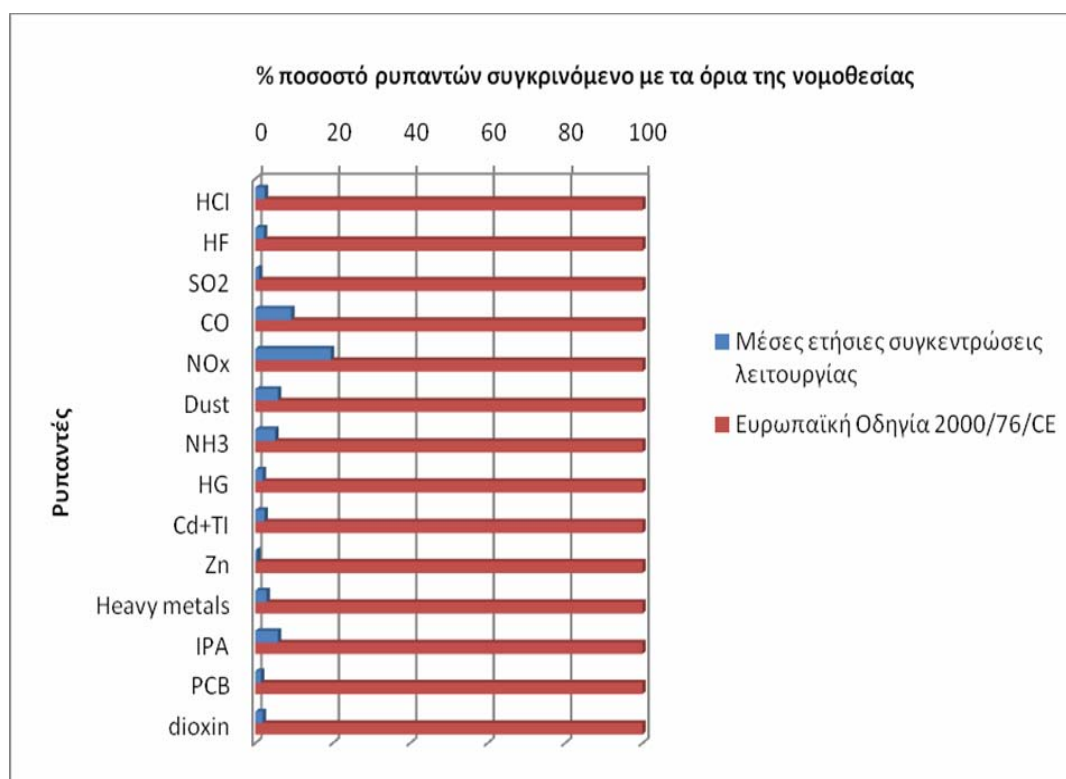
Οι εκπομπές αυτές, πριν αποβληθούν στην ατμόσφαιρα ή στο έδαφος, υφίστανται επεξεργασία έτσι ώστε να ικανοποιούνται τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών.

3.3 Καύση απορριμμάτων: ένας αποτελεσματικός τρόπος διαχείρισής τους

Οι αποτεφρωτήρες είναι ειδικά σχεδιασμένοι κλίβανοι για την καύση των ΑΣΑ. Στις εγκαταστάσεις αυτές (waste-to-energy facilities) καίγονται απορρίμματα και ανακτάται θερμική ενέργεια για χρήσεις όπως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ατμού. Στις παλαιότερες εγκαταστάσεις, δεν γινόταν ανάκτηση αυτής της ενέργειας, με αποτέλεσμα η θερμότητα να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.

Μέσω της διαδικασίας καύσης, ο όγκος των ΑΣΑ μειώνεται κατά περίπου 90% ενώ το βάρος τους κατά περίπου 75% (ακριβή ποσοστά μπορεί να διαφέρουν από εγκατάσταση σε εγκατάσταση).

Στην ερώτηση αν οι εγκαταστάσεις καύσης ΑΣΑ δημιουργούν αέρια ρύπανση, η απάντηση που πρέπει να δίνεται είναι αρνητική κι αυτό γιατί οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν πολύ υψηλά standards και συμμορφώνονται απόλυτα στις νομοθετικές ρυθμίσεις. Χαρακτηριστικό είναι το παρακάτω διάγραμμα από τη μονάδα καύσης NoyVallesina στην Ιταλία, η οποία όχι μόνο συμμορφώνεται στις νομοθετικές ρυθμίσεις, αλλά βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από αυτές:



Η καύση των απορριμμάτων, εκτός του ότι αποτελεί ένα αποτελεσματικό τρόπο διαχείρισής τους με έναν ελεγχόμενο τρόπο και παρουσιάζει πλεονεκτήματα συγκρινόμενο με την υγειονομική ταφή, δίνει τη δυνατότητα αύξησης του χρόνου ζωής των ενεργειακών συστημάτων με τη μελλοντική και πλήρη αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων.

Αποτελεί επίσης διεθνώς μια καθιερωμένη και περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδο και κατέχει σήμερα παγκοσμίως την δεύτερη θέση στην διάθεση των απορριμμάτων.

3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της καύσης απορριμμάτων

Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων διαθέτει, τρία βασικά πλεονεκτήματα:

1. Ελαττώνει κατά πολύ τον όγκο και την μάζα των απορριμμάτων
2. Μπορεί να σχεδιασθεί τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες ποσότητες και
3. Επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.

Από την άλλη μεριά, τα μειονεκτήματα της είναι:

1. Τα υψηλά κόστη κατασκευής και λειτουργίας και η απασχόληση εξειδικευμένου προσωπικού
2. Η μη χρησιμοποίηση (αξιοποίηση) υλικών από τα απορρίμματα
3. Η δυσκολία χρήσης της παραγόμενης θερμότητας, ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις καθώς και
4. Η χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Πάντως, η πρόκληση είναι να βρεθεί ο σωστός συνδυασμός επιλογών για κάθε περίπτωση, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ανάκτηση και να ελαχιστοποιηθούν οι δυσμενείς επιδράσεις. Ο συνδυασμός αυτός είναι απόρροια πολλών παραγόντων όπως οι διάφοροι τύποι αποβλήτων, οι διαθέσιμες τεχνολογίες επεξεργασίας, η προθυμία να χωριστούν τα απόβλητα και πολλοί άλλοι. Στο μέλλον, η διαχείριση των αποβλήτων θα απαιτήσει πιθανώς πιο προηγμένες τεχνολογικές λύσεις από εκείνες που υπάρχουν σήμερα, και επομένως θα υπάρξουν μεγαλύτερες απαιτήσεις στη ταξινόμηση και στην αποκομιδή.

3.5 Προβλήματα κατά την καύση

Διοξίνες-Φουράνια

Ο σχηματισμός των παραπάνω χλωριωμένων πολυκυκλικών αρωματικών ενώσεων είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που εμφανίζονται κατά την καύση αστικών απορριμμάτων. Οι διοξίνες ειδικά, θεωρούνται από τις πλέον τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες που μπορεί να διατηρούνται για εκατοντάδες χρόνια. Οι κύριοι τρόποι σχηματισμού τους είναι:

- Γένεση από πρόδρομες ενώσεις, όπως χλωριωμένες φαινόλες και PVC.
- Θερμική σύνθεση από μη συγγενείς ενώσεις και ανόργανο χλώριο.

Το πρόβλημα θεωρείται σοβαρό, αλλά αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά αν προσεχθούν δύο σημεία:

i. Αποφυγή σχηματισμού στον θάλαμο καύσης. Αυτό είναι δυνατό να επιτευχθεί σε σημαντικό βαθμό με τον έλεγχο της διεργασίας της καύσης ως προς τρεις βασικούς παράγοντες, οι οποίοι είναι: η θερμοκρασία του θαλάμου καύσης ($>870\text{ }^{\circ}\text{C}$), ο χρόνος παραμονής των απαερίων στην παραπάνω θερμοκρασία (2 sec) και η τυρβώδης ανάμιξη των απαερίων με επαρκή περίσσεια αέρα καύσης (αρχή 3T: Temperature-Time-Turbulence).

ii. Αποφυγή ανασύνθεσης από πρόδρομες ενώσεις -post formation- σε θερμοκρασίες $250 < T < 350^{\circ}\text{C}$ στον προθερμαντήρα αέρα. Γι' αυτό το λόγο επιβάλλεται ο συχνός καθαρισμός των τοιχωμάτων του προθερμαντήρα αέρα από τις επικαθήσεις, οι οποίες δρουν ως καταλύτες σχηματισμού διοξινών (μεγάλοι χρόνοι παραμονής από την προσρόφηση των σωματιδίων στα τοιχώματα των αγωγών ή την παραμονή τους στην επιφάνεια).

Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις, η παραγωγή διοξινών έχει περιοριστεί δραστικά (μέχρι και 99,5% σε σχέση με τις εγκαταστάσεις προ του 1990).

Είναι σαφές ότι ο εξοπλισμός ελέγχου αέριας ρύπανσης είναι πολύ σύνθετος και εξεζητημένος και μπορεί να ποικίλλει από εγκατάσταση σε εγκατάσταση. Περιλαμβάνει συνήθως σακόφιλτρο ή ηλεκτροστατικό φίλτρο, πλυντηρίδες, καταλύτη, συστήματα ενεργού άνθρακα για τις διοξίνες κ.ά.

Βαρέα μέταλλα

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στην καύση αστικών στερεών απορριμμάτων είναι σημαντική και είναι αναγκαίος ο έλεγχος των εκπομπών τους με τη χρήση συστημάτων καθαρισμού καθώς και συσκευών απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων. Είναι επίσης απαραίτητη η ελεγχόμενη απόθεση των υπολειμμάτων από τον κύριο θάλαμο καύσης (slug) και κυρίως της ιπτάμενης τέφρας (fly ash) που συλλέγεται από τη συσκευή διαχωρισμού (ηλεκτρόφιλτρο ή σακκόφιλτρο). Είναι πάντως διαπιστωμένο ότι η απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων είναι δυνατή σε πολύ υψηλά ποσοστά.

Διαχείριση υπολειμμάτων καύσης

Η κύρια μέριμνα που λαμβάνεται στην διαχείριση των υπολειμμάτων καύσης είναι η αποφυγή δημιουργίας εκπλυμάτων στον χώρο απόθεσης που ενέχουν τον κίνδυνο μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής. Ο κίνδυνος αυτός περιορίζεται σημαντικά με την εφαρμογή μιας από τις πολλές μεθόδους κατεργασίας που έχουν αναπτυχθεί. Ενδεικτικά, αξίζει να σημειωθεί ότι η στερεοποίηση υπολειμμάτων με προσθήκη 10% τσιμέντου Portland μειώνει την δυνατότητα έκπλυσης κατά τρεις τάξεις μεγέθους, χωρίς ιδιαίτερα μεγάλη οικονομική επιβάρυνση.

3.6 Συστήματα ελέγχου απαερίων καύσης

Οι προδιαγραφές ποιότητας, οι οποίες ορίζονται από την κοινοτική νομοθεσία, καθορίζουν το μέγεθος, την τεχνολογία, την περιπλοκότητα

και το κόστος του εκάστοτε συστήματος ελέγχου αερίων εκπομπών στις μονάδες καύσης στερεών αποβλήτων. Οι διαφορετικές τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια ρυθμίζουν τα επίπεδα στα οποία μπορούμε να καταφέρουμε να απομακρύνουμε όλο το φάσμα των παραγόμενων αερίων ρύπων με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Η απαλλαγή από τις εκπομπές είναι δυνατή είτε με συμβατικά συστήματα συνδυασμού σακκόφιλτρων, ηλεκτρόφιλτρων, πλυντηρίδων ξηρής/υγρής πλύσης, είτε με προχωρημένο σύστημα καταλυτικής διήθησης, όπου ο καταλύτης έχει αναπτυχθεί και σχεδιαστεί έτσι ώστε να μετατρέπει και τις παραγόμενες τυχόν διοξίνες στα απαέρια.

3.6.1 Συμβατικό σύστημα συνδυασμού τεχνολογιών για τον έλεγχο απαερίων

Το συμβατικό σύστημα συνδυασμού τεχνολογιών ελέγχου απαερίων που χρησιμοποιείται σε μεγάλο εύρος μονάδων καύσης παγκόσμια, απαρτίζεται από τα υποσυστήματα όπως διακρίνονται στο σχήμα 3.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	ΗΛΕΚΤΡΟΦΙΛΤΡΟ/ ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΑ/ ΠΛΥΝΤΡΙΔΑ ΥΓΡΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	ΥΓΡΗ ΠΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ & NaHCO_3 / ΞΗΡΗ ΠΛΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ CaO	ΠΡΟΣΘΗΚΗ NH_3 ΣΤΟ ΡΕΥΜΑ ΑΠΑΕΡΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΩΝ NO_x ΣΕ ΑΕΡΙΟ N_2	ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (guide filter)
ΡΥΠΟΣ- ΣΤΟΧΟΣ	ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ & ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ [1]	ΟΞΙΝΑ ΑΕΡΙΑ (SO_2 , HCl , HF)	NO_x	ΔΙΟΞΙΝΕΣ & ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΣ

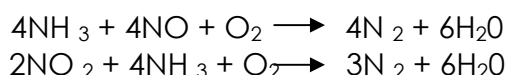
Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESP), τα σακκόφιλτρα (FF) και οι πλυντηρίδες υγρού καθαρισμού (wet scrubber) αποτελούν τις πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες ελέγχου σωματιδιακών ρύπων καθώς και βαρέων μετάλλων που είναι προσροφημένα στα σωματίδια. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλές αποδόσεις,

αλλά είναι δαπανηρά και καθόλου ευέλικτα στις συνθήκες λειτουργίας [2] της διεργασίας. Συντελεστές AP-42 της EPA, στην περίπτωση εφαρμογής ηλεκτροστατικού φίλτρου, δείχνουν ότι οι εκπομπές διοξινών και φουρανίων αυξάνονται με την προσθήκη ηλεκτροστατικού φίλτρου (AP-42, Vol. I, CH 2.1: Refuse combustion, Solid Waste Disposal, 1996). Τα σακκόφιλτρα μπορούν να αντικαταστήσουν τα ESP σε περίπτωση που η θερμοκρασία των αερίων είναι χαμηλή και υπάρχει σοβαρός κίνδυνος διάβρωσης των μεταλλικών μερών του ESP. Τα σακκόφιλτρα είναι αποδοτικά, αλλά περιορίζονται σε ξηρές, χαμηλής θερμοκρασίας συνθήκες. Τέλος, οι πλυντηρίδες υγρού καθαρισμού αν και είναι πολύ αποδοτικές με ταυτόχρονη απομάκρυνση και άλλων αέριων ρύπων πέραν των σωματιδιακών, παράγουν υγρά απόβλητα τα οποία μπορούν να απαιτήσουν επιπρόσθετο κόστος επεξεργασίας.

Οι εκπομπές όξινων αερίων (SO_2 , HCl , HF) αντιμετωπίζονται με τεχνολογίες ελέγχου όξινων αερίων, όπως υγρή ή ξηρή πλύση (washing/scrubbing) με απορροφητικό μέσο, αλκαλικά διαλύματα (καυστική σόδα (NaOH) ή σκόνη σόδας (Na_2CO_3) ή υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2). Και τα τρία παραπάνω αλκάλια αντιδρούν σε στοιχειομετρική αναλογία. Γενικά, τα συστήματα υγρής πλύσης εξασφαλίζουν καλύτερο έλεγχο στα όξινα αέρια, όμως παρέχουν μειωμένες αποδόσεις στην απομάκρυνση των σωματιδιακών φορτίων.

Οι τεχνικές απομάκρυνσης SO_2 & SO_3 αντιμετωπίζονται με υγρή πλύση με ασβεστόλιθο ή άσβεστο ή με ξηρό ψεκασμό άσβεστού (υγρή/ξηρή διεργασία). Στον καθαρισμό με ασβεστόλιθο (limestone scrubbing), το SO_2 απορροφάται και οξειδώνεται μερικά σε γύψο (90 %). Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί άσβεστος (Ca(OH)_2) (lime scrubbing), έχουμε μεγαλύτερη απόδοση απομάκρυνσης του SO_2 (95 %) γιατί ο ασβέστης είναι πολύ περισσότερο ενεργός από τον ασβεστόλιθο. Ο ξηρός ψεκασμός με άσβεστο γίνεται με ψεκασμό του αέριου ρεύματος με αραιή λάσπη άσβεστού σε πύργο απορρόφησης. Ωστόσο ο λόγος υγρού προς αέριο είναι τέτοιος που το νερό εξατμίζεται πριν οι σταγόνες φθάσουν στον πυθμένα του πύργου. Τα ξηρά σωματίδια μεταφέρονται έξω με το αέριο και συλλέγονται σε σακκόφιλτρα/ηλεκτρόφιλτρα μαζί με την ιπτάμενη τέφρα.

Οι εκπομπές NO_x αντιμετωπίζονται με αναγωγή των NO_x σε N_2 μέσω αέριου ρεύματος NH_3 , σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Το σύστημα ενεργού άνθρακα χρησιμοποιείται για την προσρόφηση Hg και διοξινών. Η ποσότητα και ο τύπος του άνθρακα, ο χρόνος επαφής, η θερμοκρασία των απαερίων παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση. Εάν η θερμοκρασία δεν πέσει κάτω από 200 °C η διεργασία χάνει την αποδοτικότητά της. Οι διοξίνες και τα φουράνια απομακρύνονται σε ποσοστό 77- 80 % από τα απαέρια.

Τονίζεται ότι στην περίπτωση εφαρμογής συστήματος υγρής πλύσης, είναι απαραίτητη η μετέπειτα διαχείριση των παραγόμενων υγρών αποβλήτων με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος επεξεργασίας της μονάδας γι' αυτό και υπάρχει μια στροφή προς την ξηρή πλύση στις εγκαταστάσεις καύσης αστικών στερεών αποβλήτων

3.6.2 Προχωρημένη τεχνολογία καταλυτικής διήθησης

Η προχωρημένη τεχνολογία της καταλυτικής διήθησης σε κεραμικό φίλτρο, που συνδυάζει καταλύτη πάνω σε κεραμικό φίλτρο, κατατάσσεται στις πλέον βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές ελέγχου αέριας ρύπανσης στην αγορά τεχνολογιών ελέγχου αέριας ρύπανσης. Τα πλεονεκτήματά της είναι:

- ✓ υψηλή απόδοση ελέγχου φάσματος αέριων εκπομπών. Επιτυγχάνει εκπομπές μικρότερες από 2 mg/m³. Προσομοιώνεται ως τετραπλός αντιδραστήρας ελέγχου αέριων εκπομπών, απομακρύνοντας ταυτόχρονα σωματιδιακό φορτίο (και βαρέα μέταλλα), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), NOx, διοξίνες & Hg,
- ✓ παρουσιάζει θερμοκρασιακή αντοχή μέχρι 900 °C.
- ✓ Εκλεκτική καταλυτική αναγωγή των NOx με προσθήκη NH₃ σε N₂.
- ✓ Ο καταλύτης επιτυγχάνει καταστροφή αέριων ρύπων [3] ακόμα και σε θερμοκρασίες 200-400°C, περιορίζοντας τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας καύσης.

Η απόδοση καταστροφής των αέριων ρύπων του κεραμικού καταλυτικού φίλτρου, εξαρτάται από την πυκνότητα ροής διαμέσου του φίλτρου και την εφαρμόζουσα θερμοκρασία. Η ιδανική θερμοκρασία λειτουργίας του είναι 300°C με απομακρύνσεις 99,95 % σε VOC και διοξίνες και 90-95 % σε NOx με προσθήκη κατ' αντιρροή NH₃. Η διάρκεια ζωής του φίλτρου είναι κατ' ελάχιστο 5 χρόνια για θερμοκρασία λειτουργίας κάτω από 300 °C. Τα SOx δύναται να περιορίσουν τη διάρκεια ζωής του φίλτρου, όμως το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με προσθήκη ασβέστου ή ανθρακικού νατρίου ανάντη της μονάδας καταλυτικής διήθησης. Από την άλλη, η συνδυασμένη τεχνολογία

κεραμικού φίλτρου & καταλύτη εμποδίζει την εύκολη ανενεργοποίηση του καταλύτη από το σωματιδιακό φορτίο.

[1] Pb, Cd, Tl, As, Co, Ni, Se, Te, Sb, Cr, Cu, Mn, & V.

[2] Η παραδεκτή θερμοκρασία εισόδου στο ESP κυμαίνεται μεταξύ 200-400 °C. Στις χαμηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνεται συμπύκνωση των οξέων και επίδραση επί των μετάλλων με κίνδυνο διάβρωσης.

[3] Η θερμική διάσπαση των VOC παραδοσιακά πραγματοποιείται στους 800-900°C.

4.1 Τηλεθέρμανση

Στην τηλεθέρμανση υπάρχει μόνο μία κεντρική εγκατάσταση παραγωγής θερμότητας για ένα μεγάλο ή μικρό σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό ή μία συνοικία, νοσοκομειακές εγκαταστάσεις, στρατόπεδα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κτλ. Η θερμότητα αυτή -που μπορεί να παρέχεται από εργοστάσια συμπαραγωγής, γεωθερμία, απορριπτόμενη θερμότητα από βιομηχανίες κ.ά.- μεταφέρεται με σωληνώσεις προς τα επιμέρους θερμαινόμενα κτίρια.



Οι τηλεθερμάνσεις αποτελούνται από τα παρακάτω μέρη:

- Μονάδες και εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας
- Σύστημα μεταφοράς θερμότητας για τη μεταφορά της σε μορφή ατμού, θερμού ή υπέρθερμου νερού (συνήθως υπέρθερμου νερού) και του νερού επιστροφής από τα κτίρια που θερμαίνουν.
- Αντλιοστάσια, που εξασφαλίζουν την πίεση κυκλοφορίας του θερμού νερού από και προς την πόλη.

- Δίκτυο διανομής, το οποίο εγκαθίσταται μέσα στην πόλη με κεντρικούς άξονες, κλάδους και διακλαδώσεις παροχής θερμότητας στους καταναλωτές, κατοικίες και κτίρια.
- Αποσυμπιεστές
- Εγκαταστάσεις σε κατοικίες και κτίρια, δηλαδή εξοπλισμός που υποκαθιστά τους λέβητες κεντρικής θέρμανσης για παροχή ζεστού νερού θέρμανσης και χρήσης.

4.1.1 Διαχωρισμός των εγκαταστάσεων τηλεθέρμανσης

- κατά το φορέα
 - εγκαταστάσεις θερμού νερού (ως 110 °C)
 - εγκαταστάσεις υπέρθερμου νερού (άνω των 110 °C)
 - εγκαταστάσεις ατμού
- κατά τον τρόπο παροχής
 - απευθείας: ο φορέας θερμότητας κυκλοφορεί και στις σωληνώσεις του καταναλωτή
 - έμμεσες: ξεχωριστός φορέας θερμότητας για τον καταναλωτή, με ενδιάμεσο εναλλάκτη θερμότητας
- κατά το μέγεθος
 - 3 έως 2000 MW
- κατά το πλήθος των θερμαινόμενων κατοικιών
- κατά το είδος των θερμαινόμενων κτιρίων
 - θέρμανση οικοδομικών τετραγώνων (μέγεθος από 3 ως 8 MW, θερμοκρασίες ως 110 °C)
 - θέρμανση εργοστασίων,
 - θέρμανση πόλεων (μέγεθος από 20 ως 2000 MW, θερμοκρασίες 130-180 °C)

4.1.2 Τηλεθέρμανση υπέρθερμου νερού (θερμοκρασίες πάνω από 110 °C)

Οι τηλεθερμάνσεις υπέρθερμου ατμού είναι κλειστές εγκαταστάσεις, με φορέα νερό θερμοκρασίας πάνω από 110 °C. Πρόδρομος αυτής της θέρμανσης είναι η αρκετά παλαιότερη θέρμανση Perkins. Η τελειοποίηση της ιδέας της μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας με φορέα το υπέρθερμο νερό, βασίστηκε στην επιθυμία να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς με ατμό και με νερό. Το αποτέλεσμα ήταν το είδος αυτό της μεταφοράς θερμότητας, όπου το υπέρθερμο νερό λαμβάνεται από ένα λέβητα ατμού οποιασδήποτε πίεσης ή και από ειδική εγκατάσταση παραγωγής υπέρθερμου νερού και κυκλοφορείται με

αντλίες στις σωληνώσεις του δικτύου. Η θέρμανση αυτή, έχοντας τα περισσότερα πλεονεκτήματα, περιόρισε τη θέρμανση με ατμό υψηλής πίεσης σε ειδικές μόνο εφαρμογές.

Πλεονεκτήματα του υπέρθερμου νερού σε σχέση με τον ατμό:

- Κατάργηση της συμπύκνωσης του νερού και των σχετικών απωλειών
- Απλούστευση των σωληνώσεων
- Σε συνδυασμό με μεγαλύτερη έκταση θερμοκρασίας, μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς θερμότητας στο δίκτυο
- Εύκολη κεντρική και τοπική ρύθμιση
- Λιγότερη συντήρηση
- Απλούστερη ταμίευση θερμότητας
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής

Μειονεκτήματα

- Μεγαλύτερο κόστος για τους εναλλάκτες στους κτιριακούς υποσταθμούς
- Μεγαλύτερο κόστος για τις διατάξεις ασφαλείας στο κεντρικό εργοστάσιο
- Διάρκης κατανάλωση ρεύματος για τις αντλίες
- Περισσότερες θερμικές απώλειες

4.1.3 Συστήματα σωληνώσεων

Για τη διανομή της θερμότητας χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα σωληνώσεων:

Στο δισωλήνιο σύστημα χρησιμοποιείται ένας αγωγός τροφοδότησης και ένας επιστροφής. Είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα.

Το τρισωλήνιο σύστημα διαθέτει και δεύτερο αγωγό τροφοδότησης για βιομηχανική θερμότητα. Το τετρασωλήνιο σύστημα διαθέτει επιπλέον και ιδιαίτερο αγωγό επιστροφής για τη βιομηχανική θερμότητα. Η εκλογή του συστήματος εξαρτάται από τη σχέση θερμότητας για θέρμανση προς βιομηχανική θερμότητα.

4.1.4 Θερμοκρασίες τροφοδότησης και επιστροφής

Η εκλογή της θερμοκρασίας τροφοδότησης εξαρτάται σε βιομηχανικές περιοχές από τις ανάγκες των καταναλωτών, π.χ. για πλυντήρια 130-160°C, σε εργοστάσια ελαστικού και καλωδίων 155-160 °C κτλ. Αν είναι εφικτό, δεν πρέπει να ξεπερνιέται η θερμοκρασία των 170-180 °C για να μπορούν να χρησιμοποιούνται χυτοσιδηρές διατάξεις στο δίκτυο οι οποίες επιτρέπονται για πιέσεις έως 16bar. Σε ειδικές περιπτώσεις πάντως έχουν χρησιμοποιηθεί και θερμοκρασίες ως 300 °C. Στα δίκτυα μόνο για θέρμανση, η θερμοκρασία τροφοδότησης ρυθμίζεται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία σε μεγάλη κλίμακα, π.χ. από 170 °C για ημέρες μεγάλης παγωνιάς ως 95 °C για μέση χειμωνιάτικη θερμοκρασία. Η ρύθμιση είναι κεντρική. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις πάντως δουλεύουν με μέγιστες θερμοκρασίες 120-140 °C. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τροφοδότηση και επιστροφής είναι διαφορετική για κάθε εγκατάσταση, π.χ. 160/80 °C ή 150/90 °C. Σε εγκαταστάσεις μόνο για θέρμανση, συχνά 130/70 °C. Καταρχάς πρέπει να επιζητείται μεγάλη έκταση θερμοκρασίας για οικονομικότερο προϋπολογισμό του δικτύου και χαμηλότερη κατανάλωση των κυκλοφορητών.

4.1.5 Κυκλοφορητές

Οι κυκλοφορητές υπέρθερμου νερού είναι ειδικές κατασκευές με υδρόψυκτα κουζινέτα. Η τοποθέτησή τους είναι δυνατή στην τροφοδότηση ή στην επιστροφή. Πρέπει να εξεταστούν οι συνθήκες πιέσεων στο δίκτυο. Σε κανένα σημείο η πίεση δεν πρέπει να κατεβαίνει κάτω από την πίεση κορεσμού της συγκεκριμένης θερμοκρασίας λειτουργίας, αλλιώς θα δημιουργηθεί ατμός και υδραυλικές κρούσεις.

Για την κίνηση χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά ηλεκτρικοί κινητήρες αλλά μερικές φορές, όταν υπάρχει διαθέσιμος ατμός, και ανεμοστρόβιλοι. Χρειάζονται εφεδρικοί κυκλοφορητές. Όταν οι ανάγκες για θέρμανση είναι μικρές, π.χ. στις μεταβατικές περιόδους, χρησιμοποιούνται μικρότεροι κυκλοφορητές.

Η τοποθέτηση του κυκλοφορητή στο κύκλωμα τροφοδότησης αυξάνει την πίεση του δικτύου, στο κύκλωμα επιστροφής την μειώνει. Μεγάλες εγκαταστάσεις έχουν κυκλοφορητές και στην τροφοδότηση και στην επιστροφή.

4.1.6 Θέση σταθμού

Η οικονομικότερη θέση είναι πάντα κοντά στον καταναλωτή (κέντρο βάρους θερμότητας). Συχνά όμως ο τόπος επιλέγεται μακρύτερα για

λόγους όπως δυσκολίες στην προσαγωγή του καυσίμου, αποκομιδή καταλοίπων (στάχτη), εξεύρεση νερού, πύργος ψύξης, εξασφάλιση γηπέδου αλλά και για αισθητικούς λόγους και για την προστασία του περιβάλλοντος (καπνοδόχος, καυσαέρια, σκόνη). Στις παρυφές των πόλεων συχνά μπορούν να εξυπηρετηθούν αρκετά εργοστάσια.

Για την οικονομική λειτουργία του σταθμού χρειάζεται μια συγκεκριμένη πυκνότητα θερμότητας. Σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις η πυκνότητα αυτή είναι πολύ διαφορετική, από 15 έως πάνω από 100MW/km². Τη μεγαλύτερη πυκνότητα έχουν τα κέντρα των πόλεων (πάνω από 200W/km²), τη μικρότερη οι κηπουπόλεις (<20W/km²) και περιοχές μονοκατοικιών. Επίσης, συνήθως δίνεται ένα δικτύου 5-10 MWh ανά τρέχον μέτρο και έτος και ένα κατώτατο όριο 1500-2500 κατοικιών. Σκόπιμη είναι η εγκατάσταση διατάξεων αιχμής (καυστήρας πετρελαίου, ταμιευτήρας θερμότητας κλπ) για την αντιμετώπιση των αιχμών στη ζήτηση, γιατί έτσι μειώνεται το συνολικό κόστος.

4.1.7 Δίκτυα θέρμανσης

Ανάλογα με το είδος και τη θέση των καταναλωτών, υπάρχουν διάφοροι τύποι δικτύων:

1. Ακτινωτό δίκτυο. Όλοι οι καταναλωτές συνδέονται με μία σωλήνωση που ξεκινάει από το σταθμό. Δυσκολίες στις επισκευές οι θραύσεις των σωλήνων. Κατάλληλο για μικρούς σταθμούς.
2. Δακτυλιοειδές δίκτυο. Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, ιδίως με δύο σταθμούς. Μεγάλη αξιοπιστία σε περίπτωση βλαβών.
3. Βροχοειδές δίκτυο. Διάταξη με πολλές διαφορετικές σωληνώσεις. Μέγιστη αξιοπιστία, κάθε καταναλωτής έχει τουλάχιστον δύο οδούς προσπέλασης. Πολύ ακριβό σύστημα, κατάλληλο για μεγάλους σταθμούς.

Το δίκτυο μπορεί να κατασκευαστεί κατά το μονοσωλήνιο, δισωλήνιο, τρισωλήνιο ή τετρασωλήνιο σύστημα.

Μονοσωλήνιο σύστημα με ατμό και χωρίς επιστροφή συμπυκνώματος. Πολύ διαδεδομένο στις ΗΠΑ. Χαμηλό κόστος δικτύου, λιγότερη συντήρηση αλλά μεγάλες θερμικές απώλειες και μεγάλη κατανάλωση παρασκευασμένου νερού.

Δισωλήνιο σύστημα για ατμό ή για νερό. Στη Γερμανία η πιο συχνή κατασκευή.

Τρισωλήνιο σύστημα, για νερό. Μια κεντρικά ρυθμιζόμενη προσαγωγή για θέρμανση, μια προσαγωγή σταθερής θερμοκρασίας για νερό χρήσης, βιομηχανική θερμότητα κλπ και μια κοινή επιστροφή.

Τετρασωλήνιο σύστημα, με ξεχωριστές επιστροφές. Σπάνια εφαρμογή, κυρίως όταν η προσαγωγή βιομηχανικής θερμότητας έχει μεγάλη θερμοκρασία.

4.1.8 Πλεονεκτήματα της τηλεθέρμανσης έναντι της συμβατικής θέρμανσης κατοικιών

1. κατάργηση της μεμονωμένης μεταφοράς καυσίμων στα κτίρια (κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση)
2. χρησιμοποίηση φτηνών καυσίμων
3. μεγάλος βαθμός εκμετάλλευσης του καυσίμου
4. αξιοπιστία παροχής από την ύπαρξη εφεδρικών λεβήτων
5. εξοικονόμηση χώρου στα κτίρια από την κατάργηση μηχανοστασίου, δεξαμενής καυσίμου, καπνοδόχου.
6. ελάχιστο προσωπικό, μεγάλη πυρασφάλεια.
7. λιγότερα καυσάερια και διοξείδιο του άνθρακα και θείου.
8. σημαντική μείωση του κόστους θέρμανσης
9. απεξάρτηση από το πετρέλαιο

4.1.9 Η τηλεθέρμανση στην Ελλάδα

Ο δήμος Πτολεμαΐδας ήταν ο πρώτος που κίνησε τη διαδικασία μελέτης εγκατάστασης τηλεθέρμανσης το 1988. Οι δυσκολίες ήταν πολύ μεγάλες και οφείλονταν:

1. στην δυσκολία εύρεσης οικονομικών πόρων,
2. στην δυσκολία συνεργασίας με τη Δ.Ε.Η. και
3. στην δυσπιστία των κατοίκων και των κρατικών φορέων.

Τελικά ο Δήμος Πτολεμαΐδας κατάφερε να πραγματοποιήσει το έργο της τηλεθέρμανσης με χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (55%), της Ελλάδας (25%) και του Δήμου (20%).

Τα τελικά αποτελέσματα, της εφαρμογής της τηλεθέρμανσης στην Πτολεμαΐδα, σε συνδυασμό με τη βελτίωση λειτουργίας του εργοστασίου της Δ.Ε.Η. (φίλτρα), είναι:

1. Μείωση των ρύπων του αέρα

Κάπνα \longrightarrow κατά 80 tn/έτος

NO₃ \longrightarrow κατά 30 tn/έτος

CO- CO₂ \longrightarrow κατά 48000 tn/έτος

2. Αναβάθμιση της ζωής των κατοίκων λόγω της καλύτερης θέρμανσης των χώρων και της συνεχούς παροχής θερμού νερού.

3. Καλύτερη εκμετάλλευση του λιγνίτη μιας και δεν χρησιμοποιείται για την παραγωγή μόνο ηλεκτρικής αλλά και θερμικής ενέργειας.

Ακολούθησε ο Δήμος Κοζάνης, ο οποίος απέφυγε τα λάθη του Δήμου Πτολεμαΐδας και κατόρθωσε την αποπεράτωση του έργου κατασκευής της τηλεθέρμανσης σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (2 - 3 έτη), την καλύτερη οργάνωση λειτουργίας του έργου και το μειωμένο κόστος λειτουργίας (Δήμος Πτολεμαΐδας 70% - Δήμος Κοζάνης 7%). Αυτή τη στιγμή ο Δήμος Κοζάνης θερμαίνει με τηλεθέρμανση 19.000 διαμερίσματα (4000 κτίρια), με το κόστος της θέρμανσης μειωμένο κατά 45%.

Όσον αφορά τους ρύπους, σε σχέση με την κανονική θέρμανση διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Μείωση του καπνού κατά 75%
- Μείωση του SO₂ κατά 95%

Όμως ένα σημαντικό μειονέκτημα το οποίο αφορά μελλοντικά δίκτυα, είναι ότι το κόστος για τους κατοίκους και τους Δήμους όπου θα εξαπλωθεί το δίκτυο, θα είναι μεγάλο και επιχορήγηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρείται απαραίτητη για να ολοκληρωθεί ένα τέτοιο έργο. Μία λύση θα ήταν η εκμετάλλευση του δικτύου και κατά την

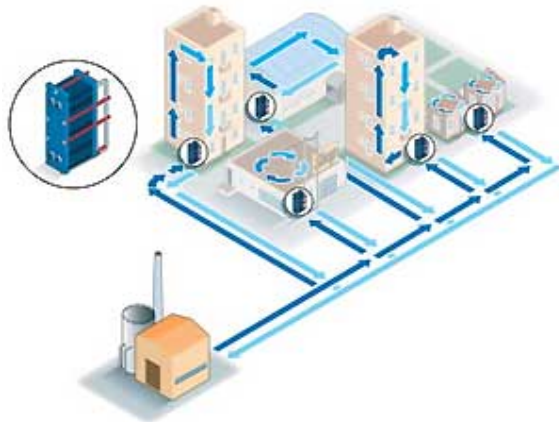
καλοκαιρινή περίοδο, ώστε το δίκτυο να μην χάνει τη θερμότητά του, με την επιλογή της τηλεψύξης, λύση που θα μειώσει πολύ το κόστος λειτουργίας.

4.2 Τηλεψύξη

Σε όλη την Ευρώπη, η ζήτηση για κλιματισμό άνεσης έχει αυξηθεί δραματικά την τελευταία δεκαετία. Αποτέλεσμα, οι συνεχείς υπερφορτώσεις του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και οι συχνές πτώσεις αυτού, αλλά και η υποβάθμιση του μικροκλίματος της περιοχής αλλά και ολόκληρου του πλανήτη, λόγω της απελευθέρωσης CFC/HCFC και της θερμότητας από τα κλιματιστικά μηχανήματα.

Η τηλεψύξη μπορεί να δώσει λύση στα προβλήματα αυτά, και έχοντας ανανεώσιμες δυνατότητες, μπορεί να καλύψει τη ζήτηση για άνεση με ένα καινοτόμο τρόπο.

Το σύστημα τηλεψύξης βασίζεται στις ίδιες βασικές αρχές με εκείνο της τηλεθέρμανσης- μια κεντρική μονάδα παραγωγής και **ένα δίκτυο μέσω του οποίου κρύο** (θερμό στην περίπτωση της τηλεθέρμανσης) **νερό στέλνεται στους καταναλωτές**. Δηλαδή με τον όρο τηλεψύξη εννοούμε την συγκεντρωτική παραγωγή και διανομή ενέργειας για ψύξη. Αλλά το σύστημα της τηλεψύξης μπορεί να είναι ένα σύστημα όπου **θερμό νερό παράγεται κεντρικά και στη συνέχεια διανέμεται σε αποκεντρωμένους ψύκτες που λειτουργούν με θερμότητα, οι οποίοι παράγουν κρύο νερό για έναν αριθμό καταναλωτών**.



Οι ψύκτες απορρόφησης έχουν την παρακάτω μορφή:



Όμως, η διανομή κρύου νερού από τη κεντρική μονάδα παραγωγής στους καταναλωτές, απαιτεί πολύ μεγαλύτερες παροχές σε σχέση με την διανομή θερμού νερού κι αυτό γιατί:

Το θερμό νερό ξεκινάει από τη μονάδα σε θερμοκρασία **100 °C** και επιστρέφει μετά τη θέρμανση των χώρων σε θερμοκρασία **80 °C**, δηλαδή $\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Η διανομή κρύου νερού από τη μονάδα θα γίνεται π.χ. σε **3 °C** και η επιστροφή του νερού αυτού μετά τη ψύξη των χώρων θα είναι σε θερμοκρασία **8 °C**, δηλαδή $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$.

Αυτό δείχνει ότι η παροχή κρύου νερού πρέπει να είναι 4πλάσια σε σχέση με εκείνη του θερμού (**$m_{\psi}=4m_{\theta}$**), άρα απαιτούνται μεγαλύτερες διατομές αγωγών, μεγαλύτερη δεξαμενή αποθήκευσης κ.ο.κ. Οικονομικότερο λοιπόν σύστημα είναι η διανομή θερμού νερού και η χρησιμοποίηση ψυκτών απορρόφησης (βλ. επόμενο κεφάλαιο) κοντά στις κατοικίες για μετατροπή του σε κρύο για τις ανάγκες κλιματισμού τους.

Η παραγωγή ενέργειας μαζικά παρά κατανεμημένα είναι περισσότερο φιλοπεριβαλλοντική και οικονομική, αφού η αποδοτικότητα της

ενέργειας που χρησιμοποιείται αλλά και των διαδικασιών μπορεί να βελτιωθεί αισθητά, συγκεντρώνοντας την παραγωγή ενέργειας για ψύξη σε μεγαλύτερες μονάδες.

Ο κλιματισμός των κτιρίων αρχίζει και κερδίζει έδαφος ακόμα και σε χώρες όπως η Φιλανδία, κυρίως για τα μεσημέρια του καλοκαιριού. Σε όλο και περισσότερα κτίρια απαιτείται εγκατάσταση κλιματισμού ακόμα και το χειμώνα, αφού η θερμότητα από τα φώτα, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και την ηλιακή ακτινοβολία που μπαίνει στο χώρο από τα μεγάλα ανοίγματα ανεβάζει πολύ τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα. Σε μερικές δηλαδή περιπτώσεις, η ζήτηση για τηλεψύξη μπορεί να είναι για όλο το χρόνο.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση παροτρύνει όλα τα κράτη-μέλη να χρησιμοποιήσουν νομοθεσία και φορολογία προκειμένου να υπάρξει ταχεία ανάπτυξη της συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και συστημάτων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης. Η τηλεψύξη μπορεί να αυξήσει ακόμα περισσότερο την ενεργειακή απόδοση της συμπαραγωγής.

4.2.1 Οφέλη από τη χρήση τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης σε οικήματα

Τα συστήματα αυτά προσφέρουν κάποια βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη και τεχνικά πλεονεκτήματα, εξαλείφοντας ή μειώνοντας κατά πολύ πολλά από τα έξοδα λειτουργίας, συντήρησης, εξοπλισμού και αρχικού κεφαλαίου που συνδέονται με λέβητες και ψύκτες σε μεμονωμένα κτίρια.

1. Χαμηλότερο αρχικό κόστος

Το κόστος που αφορά αγορά και εγκατάσταση καινούριου λέβητα και ψύκτη εξαλείφεται. Τα μόνα αρχικά κόστη για τα κτίρια που συνδέονται στο δίκτυο είναι η αγορά εναλλάκτη θερμότητας και οι σχετικές βαλβίδες και σωλήνες.

2. Χαμηλότερο ενεργειακό κόστος

Συνδεδεμένο στο κεντρικό σύστημα ψύξης – θέρμανσης, το κτίριο αγοράζει μόνο την ενέργεια που χρειάζεται για να καλύψει τις απαιτήσεις

του. Οι απομονωμένοι ψύκτες, για να καλύψουν πιθανή μέγιστη ζήτηση υπερδιαστασιολογούνται με αποτέλεσμα να πετυχαίνουν μικρότερη εποχική αποδοτικότητα σε σχέση με έναν κεντρικό που είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί με τη μεγαλύτερη δυνατή εποχική δυναμικότητα.

3. Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Το κτίριο έχει λιγότερη ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό για τη συντήρηση και λειτουργία. Έξοδα λειτουργίας του λέβητα και του ψύκτη (ηλεκτρισμός, χημικά για την επεξεργασία νερού, αντιψυκτικά) επίσης εξαλείφονται.

4. Σταθερά ανταγωνιστικές τιμές ενέργειας

Τα κεντρικά αυτά συστήματα, χρησιμοποιώντας τα λιγότερο δαπανηρά και περισσότερο διαθέσιμα καύσιμα (απορριπτόμενη θερμότητα από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενέργεια από καύση απορριμμάτων), μπορούν να πετύχουν μεγάλη οικονομία.

5. Περισσότερος χώρος στο κτίριο

Πολύτιμος χώρος μέσα στο κτίριο και αύξηση αρχιτεκτονικής ευελιξίας εξασφαλίζεται με την εξάλειψη των λεβήτων από το κτίριο. Επίσης, μειώνονται οι δονήσεις και οι θόρυβοι κι έτσι μειώνονται οι ανάγκες ηχομόνωσης του κτιρίου.

6. Αξιοπιστία

Τα κεντρικά συστήματα συντηρούνται και λειτουργούν συνήθως καλύτερα σε σχέση με τα συστήματα των κτιρίων. Είναι επανδρωμένα όλο το 24ωρο με εξειδικευμένους χειριστές, συντηρούνται τακτικά και έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με διαφορετικό καύσιμο, ανάλογα με τις συνθήκες. Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα εφεδρικής δυναμικότητας και περίσσειας ενέργειας, χωρίς την ανάγκη για εφεδρικό λέβητα σε επίπεδο κτιρίου.

7. Ευκολία

Το σύστημα τηλεψύξης είναι ένα σύστημα που χαρίζει στους χρήστες ευκολία και ξεγνοιασιά, προσφέροντας ανά πάσα στιγμή την

απαραίτητη ενέργεια για τον κλιματισμό των χώρων τους. Τα σημερινά κλιματιστικά που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια εξαρτώνται από την αξιοπιστία ηλεκτροδότησης.

8. Χαμηλότερο κόστος από την επέκταση του δικτύου

Όσοι περισσότεροι καταναλωτές συνδέονται στο δίκτυο, τα πάγια αρχικά και λειτουργικά κόστη κατανέμονται σε μεγαλύτερο αριθμό κατοικιών κι έτσι οι λογαριασμοί ενέργειας ανά κατοικία μειώνονται ή σταθεροποιούνται.

9. Μεγαλύτερος χρόνος ζωής

Ο χρόνος ζωής ενός συστήματος τηλεψύξης είναι τα 30-50 χρόνια, δηλαδή πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με ενός υπάρχοντος συστήματος κλιματισμού σε επίπεδο οικίας που φτάνει τα 15-20 χρόνια. Ο χρόνος ζωής ενός δικτύου σωληνώσεων για τηλεψύξη είναι μεγαλύτερος από 200 χρόνια.

10. Καθαρότερο περιβάλλον

Τα κεντρικά συστήματα ψύξης-θέρμανσης μειώνουν προβλήματα που σχετίζονται με μεταφορά καυσίμων, διαθεσιμότητα και αποθήκευση αυτών, αλλά και πολλές ακόμη ευθύνες σχετικές με τη λειτουργία και συντήρηση. Επίσης, μειώνονται οι καπνοδόχοι μιας πόλης και προστατεύεται η ποιότητα του αέρα της με αυστηρούς ελέγχους στις μονάδες παραγωγής θερμικής ενέργειας. Η αυξημένη χρήση ορυκτών καυσίμων στην π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξήσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ενώ τα υπάρχοντα συστήματα κλιματισμού στα κτίρια λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Η υιοθέτηση λοιπόν συστημάτων τηλεψύξης θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό χώρων μέχρι και 90%. Η μείωση αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα και την αποφυγή υπερφόρτωσης των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας τις ζεστές μέρες.

4.2.2 Ελεγχόμενη χρήση χημικών

Στην διαδικασία παραγωγής ενέργειας για ψύξη γίνεται χρήση ορισμένων χημικών:

Η Hydrazine (H_4N_2) χρησιμοποιείται για να απομακρύνει το οξυγόνο από το νερό της τηλεψύξης ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση των σωλήνων. Η συγκέντρωση αυτού του χημικού που κυκλοφορεί στο νερό μέσω του δικτύου σωληνώσεων είναι μικρότερη του 0,0002%. Η Hydrazine (H_4N_2) αντιδρά με το οξυγόνο και διασπάται σε νερό και άζωτο διαλυμένο σε νερό.

Η Pyranine, που προστίθεται στο νερό της τηλεθέρμανσης και της τηλεψύξης επίσης σε πολύ μικρές ποσότητες, είναι ένα φθορίζον χημικό. Με τη βοήθεια του φωτός, το χημικό αυτό χρωματίζει το νερό ανοιχτό πράσινο κι έτσι είναι εύκολο να βρεθεί μια διαρροή στο σύστημα σωληνώσεων. Η ίδια ουσία χρησιμοποιείται και στα φαγητά και τα γλυκά.

Ένα μίγμα χλωριούχου λιθίου και νερού (ή αμμωνίας και νερού) χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο στη διαδικασία απορρόφησης. Σε αντίθεση με τα CFC και HCFC που χρησιμοποιούνται στην υπάρχουσα τεχνολογία ψύξης, καμία επικίνδυνη ουσία δεν εξατμίζεται από αυτό το διάλυμα.

5.1 Ιστορική αναδρομή

Στα παλιότερα χρόνια, η βασική χρήση της ψύξης ήταν η συντήρηση των τροφίμων. Ήδη από το 1200 π.Χ. οι Κινέζοι είχαν παρατηρήσει ότι τα τρόφιμα και τα κρασιά διατηρούνται καλύτερα μέσα σε πάγο. Αργότερα το πρόβλημα μετακίνησε στη διατήρηση του πάγου για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Πρόβλημα το οποίο έλυσαν οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι βάζοντας τον πάγο σε ειδικούς χώρους που τους σκέπαζαν με ψάθες ή άλλα υλικά τα οποία δεν επέτρεπαν στη θερμότητα να περνά μέσα στο χώρο και να λιώνει τον πάγο. Τα υλικά αυτά ονομάστηκαν μονωτικά και σήμερα αποτελούν βασικό τομέα της βιομηχανίας της ψύξης.

Η ψύξη μέσω εξάτμισης φαίνεται ότι ξεκίνησε από την Ινδία όπου χρησιμοποιούσαν βρεμένες ψάθες κρεμασμένες πάνω από ανοίγματα προς τη μεριά του ανέμου. Με αυτήν την πατέντα κατάφεραν να κατεβάζουν τη θερμοκρασία από 11 ως 17°C.

Τον 17^ο-18^ο αιώνα χρησιμοποιήθηκε ο φυσικός πάγος από τα βουνά και τις λίμνες, ο οποίος αποθηκευόταν το χειμώνα μέσα στη γη ώστε να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Το πρώτο βήμα προόδου έγινε το 1858 όταν οι μηχανικοί κατάφεραν να παράγουν πάγο με τεχνητό τρόπο. Συγκεκριμένα, ο γάλλος μηχανικός Carre κατασκεύασε ένα ψυγείο για παγάκια του οποίου η λειτουργία βασιζόταν στη συμπίεση των ατμών της αμμωνίας σε ένα συμπιεστή (compressor). Στη συνέχεια, η υγρή αμμωνία εξατμιζόταν στον εξατμιστή.

Το δεύτερο μεγάλο βήμα έγινε το 1918 με την κατασκευή του οικιακού ψυγείου. Η πρώτη εταιρία που κατασκεύασε ψυγείο για σπίτια ήταν η αμερικάνικη Kelvinator. Το σπουδαίο επίτευγμα εκείνου του ψυγείου ήταν ότι ο συμπιεστής του λειτουργούσε με το ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου μέσω ηλεκτροκινητήρα μικρής ισχύος (μικρότερη από 1 HP). Έτσι, άνοιξε ένα νέο κεφάλαιο για τη βιομηχανία της ψύξης, η οποία αναπτύχθηκε τόσο ραγδαία ώστε μετά από 10 χρόνια να πωλούνται περίπου 800,000 ψυγεία στις ΗΠΑ κάθε χρόνο.

Την ίδια εποχή (δεκαετία 1920-30) κατασκευάστηκαν οι πρώτοι ψυκτικοί θάλαμοι για παγωτό (καταψύκτες), οι οποίοι διέθεταν συμπιεστή και

συμπυκνωτή, συσκευή όπου το αέριο ψυκτικό μέσο αλλάζει φάση και μετατρέπεται σε υγρό. Η συσκευή αυτή υλοποιήθηκε από το μηχανικό Nzer.

Ο όρος κλιματισμός ανήκει στον Stuart W. Cramer ο οποίος τον χρησιμοποίησε το 1907 σε μια διάλεξή του για τον έλεγχο της υγρασίας στην υφαντουργία. Το 1911 τέθηκαν οι επιστημονικές βάσεις του κλιματισμού όταν ο Willis Carrier δημοσίευσε τα αποτελέσματα πολυετών σχετικών ερευνών του.

Οι πρώτες εφαρμογές του κλιματισμού εξυπηρετούσαν τη βιομηχανία. Ο κλιματισμός για την άνεση του ανθρώπου άρχισε να αναπτύσσεται μετά το 1920 και αφορούσε κυρίως μεγάλα καταστήματα, θέατρα και κτίρια γραφείων.

Η βιομηχανία της ψύξης γιγαντώθηκε σε μερικές μόλις δεκαετίες. Αυτή η εκρηκτική ανάπτυξη οφείλεται σε συγκεκριμένες αιτίες, όπως:

- ✓ Την εξέλιξη των μεθόδων των μηχανουργικών κατεργασιών, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα παραγωγής μικρότερων και αποτελεσματικότερων εξαρτημάτων (π.χ. εξατμιστές, βαλβίδες κτλ)
- ✓ Την ανακάλυψη των 'ασφαλών' ψυκτικών μέσων και
- ✓ Την ανακάλυψη του ηλεκτροκινητήρα με ισχύ μικρότερη από ένα ίππο (1 HP)

Σήμερα, με εξαίρεση τους ανθρώπους που εργάζονται στη βιομηχανία της ψύξης, λίγοι έχουν καταλάβει αφενός τον τεράστιο ρόλο της ψύξης στην τεχνολογική ανάπτυξη του κόσμου και αφετέρου πόσο πολύ στηρίζεται η σημερινή κοινωνία στην ψύξη.

5.2 Η ψύξη από θερμοδυναμική άποψη

Ψύξη είναι η διαδικασία αφαίρεσης της θερμότητας από τη μάζα ενός σώματος ή κλειστού χώρου, με σκοπό τη μείωση ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας του.

Στη θερμοδυναμική, με την έννοια 'ψύξη' εννοείται η μεταφορά θερμότητας από θερμοδοχείο με χαμηλή θερμοκρασία σε άλλο όπου επικρατεί

υψηλότερη. Η μεταφορά αυτή της θερμότητας δεν μπορεί να γίνει αυθόρμητα παρά μόνο αν δοθεί έργο, σύμφωνα με το 2^ο θερμοδυναμικό νόμο. Έτσι, ως ψύξη χώρου νοείται η 'άντληση' θερμότητας από το χώρο και η απόρριψή της σε χώρο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αν η όλη αυτή διαδικασία γίνει με χρήση μηχανικού έργου, τότε πρόκειται για ψυκτική μηχανή στην οποία προσφέρεται μηχανικό έργο W για την άντληση της θερμότητας από το ψυχρότερο θερμοδοχείο προς το θερμότερο.

Η θερμότητα είναι μια 'κρυφή' μορφή ενέργειας, η οποία φανερώνεται από τα αποτελέσματα που προκαλεί κατά τη μεταφορά της από ένα θερμό σώμα προς ένα ψυχρότερο. Για παράδειγμα, ο αέρας ενός δωματίου περιέχει θερμότητα την οποία αντιλαμβανόμαστε όμως μόνο αν αφήσουμε π.χ. ένα παγάκι να λιώσει. Επειδή η θερμότητα είναι ενέργεια, μετριέται όπως και οι άλλες μορφές ενέργειας σε Joule (J) ή KJ, αλλά και σε cal και Kcal, ενώ στις αγγλοσαξονικές χώρες εξακολουθούν να τη μετρούν σε Btu (1 Btu=1055J).

5.3 Είδη ψύξης

Υπάρχουν 2 είδη ψύξης, η μηχανική και η φυσική.

Κατά τη μηχανική ψύξη χρησιμοποιούνται μηχανικά μέσα προκειμένου να μειωθεί η θερμοκρασία ενός χώρου (οικιακά και επαγγελματικά ψυγεία, κλιματισμός κτλ.) ενώ κατά τη φυσική, η αφαίρεση θερμότητας από ένα χώρο ή υλικό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση μη μηχανικών μέσων (π.χ. ψύξη μιας ποσότητας νερού αφού τοποθετηθεί μέσα στο δοχείο τεμάχιο πάγου).

5.4 Επιδιώξεις του κλιματισμού

Με τον κλιματισμό επιδιώκουμε τη διατήρηση (μέσα σε επιθυμητά όρια απαραίτητα για την ανθρώπινη άνεση ή τη διεξαγωγή κάποιας παραγωγικής διαδικασίας ή τη διατήρηση κάποιου προϊόντος) των συνθηκών εσωτερικού ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Οι συνθήκες αυτές προσδιορίζονται από τους παρακάτω παράγοντες που αφορούν τον αέρα ενός χώρου:

- Θερμοκρασία

- Υγρασία
- Κίνηση και διανομή αέρα
- Καθαρότητα αέρα
- Ηλεκτρική φόρτιση αέρα

Για τον έλεγχο των παραπάνω μεταβλητών του περιβάλλοντος εγκαθιστούμε τα κατάλληλα μηχανήματα, τις συσκευές ελέγχου και τα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας έτσι ώστε να μην αυξάνονται οι θόρυβοι του περιβάλλοντος. Η κλιματιστική εγκατάσταση είναι ένας συνδυασμός τέτοιων μηχανημάτων, συσκευών ελέγχου και δικτύων μεταφοράς ενέργειας. Όσο περισσότερες από τις μεταβλητές του αέρα ελέγχονται και όσο πιο αυστηρός είναι ο έλεγχος αυτός, τόσο πιο πολύπλοκος είναι ο συνδυασμός αυτός.

Οι πιο γνωστές εφαρμογές της ψύξης αφορούν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα (εφαρμογές άνεσης) καθώς και την κατάψυξη, συντήρηση, αποθήκευση, μεταφορά και επίδειξη των προϊόντων στα καταστήματα. Ωστόσο, ο κατάλογος των διεργασιών που πραγματοποιούνται ή βελτιώνονται με χρήση της ψύξης σήμερα είναι σχεδόν ατέλειωτος.

5.5 Ψύξη και περιβάλλον

Οι βασικοί συντελεστές των εφαρμογών ψύξης που επηρεάζουν σημαντικά το περιβάλλον παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι πρώτες παρατηρήσεις με οικολογική βαρύτητα αφορούν την εξέλιξη των μεγεθών του παγκόσμιου πληθυσμού, την εξέλιξη της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα του πλανήτη και την εξέλιξη της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του. Ο ρυθμός της αύξησης αυτής παρουσιάζει σημαντικά αυξητικές τάσεις, ενώ οι προβλέψεις για τα επόμενα 50 χρόνια είναι ιδιαίτερα ανησυχητικές και οφείλονται σε μεγάλο ποσοστό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Δύο είναι οι συνιστώσες που επηρεάζουν άμεσα το περιβάλλον από τη συνεχή εξάπλωση των συστημάτων ψύξης. Η πρώτη αφορά την

καταστροφή της στιβάδας του όζοντος και η δεύτερη το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αναφορικά με την πρώτη συνιστώσα, οι επιδράσεις των ψυκτικών ρευστών που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα είχαν αναμφίβολα σημαντικές επιδράσεις στο φαινόμενο αυτό.

5.6 Σύγχρονες εφαρμογές της ψύξης

Σε πολλές δραστηριότητες της καθημερινής ζωής είναι απαραίτητη η αφαίρεση θερμότητας από ορισμένους χώρους έτσι ώστε αυτοί να αποκτούν χαμηλές θερμοκρασίες. Για τον κλιματισμό χώρων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι απαραίτητη η ύπαρξη ψυχρού μέσου για την αφαίρεση θερμότητας από τους χώρους που μας ενδιαφέρουν, ενώ το ίδιο θερμαίνεται. Οι εφαρμογές ψύξης διακρίνονται στις εξής:

- Ψύξη στη βιομηχανία
- Ψύξη στις μεταφορές
- Ψύξη στις κατοικίες – εμπόριο

Με μία διαφορετική κατάταξη, ως κατηγορίες ψύξης μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

- Ψύξη για κλιματισμό άνεσης

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται οι εγκαταστάσεις κλιματισμού αέρα που ελέγχουν τις συνθήκες αέρα κάποιου χώρου, ώστε οι κάτοικοί του να αισθάνονται πιο άνετα (π.χ. νοσοκομεία, κατοικίες, καταστήματα, γραφεία, σχολεία, οχήματα, αεροσκάφη, πλοία)

- *Ψύξη για βιομηχανικό κλιματισμό*

Με τον όρο αυτό εννοείται η χρήση ελεγχόμενου κλιματολογικού περιβάλλοντος του χώρου για το όφελος των βιομηχανικών προϊόντων ή των μεθόδων παραγωγής ή επεξεργασίας τους (π.χ. χώροι αποθήκευσης τροφίμων, βιομηχανίες ευαίσθητων οπτικών οργάνων, πλαστικών, υφαντουργεία, τυπογραφεία κ.ά).

- *Βιομηχανική ψύξη*

Σε αυτό το είδος κατατάσσονται εκείνες οι εγκαταστάσεις όπου η θερμότητα αφαιρείται από τα μέσα άμεσα και χωρίς τη μεσολάβηση αέρα περιβάλλοντος (π.χ. χημικές βιομηχανίες, παραγωγή πάγου, ψύξη οπλισμένου σκυροδέματος κατά τη στρώση).

5.7 Κύκλοι ψύξης

5.7.1 Γενικά

Κύκλος ψύξης καλείται μια σειρά διαδοχικών φάσεων από τις οποίες πρέπει να περάσει το ψυκτικό μέσο (ψυκτικό υγρό) προκειμένου να αφαιρέσει θερμότητα από το ψυχόμενο χώρο και στη συνέχεια, αφού αποβάλλει τη θερμότητα αυτή προς το μέσο συμπύκνωσης, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πάλι στο κύκλωμα.

Σχεδόν όλες οι εγκαταστάσεις κλιματισμού χρειάζονται εκτός από ένα θερμαντικό μέσον για τη θέρμανση του αέρα το χειμώνα, και ένα ψυκτικό μέσο για την ψύξη και την αφύγρανση του αέρα το καλοκαίρι.

Ενώ παλαιότερα χρησιμοποιείτο συχνά πάγος, νερό δικτύου ή πηγών, σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά ψυκτικές μηχανές. Ο τρόπος λειτουργίας των μηχανών αυτών βασίζεται στο ότι με την προσαγωγή ενέργειας αφαιρείται θερμότητα από τον αέρα που πρόκειται να ψυχθεί και μάλιστα είτε άμεσα μέσω της ψυκτικής μηχανής είτε με παρεμβολή ενός κυκλώματος ψυχρού νερού που ψύχεται μέσω της ψυκτικής μηχανής.

Το σύνολο της αφαιρούμενης θερμότητας και της απαιτούμενης ενέργειας για το σκοπό αυτό πρέπει να μπορεί να αποδοθεί από την ψυκτική μηχανή στο νερό ψύξης ή τον αέρα ψύξης. Μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιηθεί υπό ορισμένες συνθήκες συγχρόνως σαν ωφέλιμη θερμότητα (αντλία θερμότητας).

Έχουν κατασκευασθεί πάρα πολλοί τύποι ψυκτικών μηχανών για πολύ μικρές μέχρι πάρα πολύ μεγάλες ισχύς, ειδικά για τον κλιματισμό.

5.7.2 Θεωρητικοί Βασικοί Κανόνες

Η έννοια ψυκτική μηχανή είναι κανονικά λανθασμένη, γιατί καμία μηχανή δεν μπορεί να παράγει ψύξη, αφού αν δούμε το θέμα υπό το πρίσμα της φυσικής δεν υπάρχει ψύξη. Η φυσική ορίζει τη θερμότητα σαν μια μοριακή κινητική κατάσταση της ύλης που παύει στο απόλυτο μηδέν δηλ. $T = 0 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ή $t = -273.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Για να ψύξουμε λοιπόν, πρέπει να απάγουμε θερμική ενέργεια από ένα χώρο. Επειδή όμως η ενέργεια δεν μπορεί να εξαφανιστεί πρέπει η απαγόμενη ποσότητα θερμότητας να αποδοθεί πάλι σε αντίστοιχα υψηλότερη θερμοκρασία σε ένα διατιθέμενο ψυκτικό μέσο. Η ποσότητα θερμότητας πρέπει λοιπόν να αντληθεί από τη χαμηλότερη θερμοκρασιακή στάθμη της επιθυμητής απαγωγής θερμότητας σε μία υψηλότερη θερμοκρασιακή στάθμη για την απόδοση θερμότητας. Αυτό σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα δε μπορεί να γίνει από μόνο του, αλλά μόνο με κατανάλωση ενέργειας από την «αντλία».

Μία μηχανή ή εγκατάσταση, που εκτελεί ένα τέτοιο θερμοδυναμικό καταστατικό κύκλο, ονομάζουμε ανάλογα με το επιθυμητό ωφέλιμο αποτέλεσμα:

Ψυκτική Μηχανή (ψυκτική εγκατάσταση) εάν η ποσότητα θερμότητας που αφαιρείται στη χαμηλή θερμοκρασία, η οποία είναι η ψυκτική ισχύς, αποτελεί το επιθυμητό όφελος.

Αντλία Θερμότητας, εάν η αποδιδόμενη σε υψηλότερη θερμοκρασία, η οποία είναι η απόδοση θερμότητας, αποτελεί το επιθυμητό όφελος ή ακόμη εάν και οι δύο ποσότητες θερμότητας είναι ολόκληρες η εν μέρει ωφέλιμη ισχύς.

Ένα πράγμα που έχει σημασία είναι το γεγονός ότι όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο ο βαθμός απόδοσης (δηλ. η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με το απολαμβανόμενο ποσό θερμότητας) βελτιώνεται σημαντικά. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας λόγω του ήπιου χειμώνα με τις υψηλές σχετικά θερμοκρασίες εξωτερικού χώρου, αλλά και λόγω της δυνατότητας χρησιμοποίησης της ηλιακής θερμότητας στην αντλία θερμότητας κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

5.7.3 Ψυκτικός κύκλος

Ο ψυκτικός κύκλος περιλαμβάνει τέσσερα στάδια:

1. Απορρόφηση θερμότητας κατά την εξάτμιση του υγρού ψυκτικού μέσου

Κατά το στάδιο της ατμοποίησης, το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται στον εξατμιστή με τη θερμοκρασία και πίεση που έχει μετά την εκτόνωσή του, αρχίζει να εξατμίζεται απορροφώντας θερμότητα από τον ψυχόμενο χώρο

(όπου είναι τοποθετημένος ο εξατμιστής) έως ότου εξατμιστεί όλο μέχρι την έξοδό του (από τον εξατμιστή).

2. Συμπύεση του αέριου ψυκτικού μέσου και μετατροπή του σε υψηλής πίεσης - υψηλής θερμοκρασίας αέριο

Κατά το στάδιο της συμπίεσης, το αναρροφούμενο από το συμπιεστή ψυκτικό αέριο (χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης) συμπιέζεται εντός του και αυξάνεται η θερμοκρασία και η πίεσή του.

3. Απόδοση θερμότητας κατά την υγροποίηση του αέριου ψυκτικού μέσου

Κατά το στάδιο της συμπύκνωσης, το υπέρθερμο ψυκτικό αέριο (υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας) εξερχόμενο από το συμπιεστή, οδηγείται, με τη γραμμή κατάθλιψης, εντός του συμπυκνωτή όπου αποβάλλοντας τη θερμότητα προς το μέσο συμπύκνωσης (αέρας, νερό ή και τα δύο) υγροποιείται.

4. Ελάττωση της πίεσης του υγρού ψυκτικού μέσου στο επίπεδο εξατμισής του και επανάληψη του κύκλου

Κατά το στάδιο της εκτόνωσης, το υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας ψυκτικό υγρό, εισέρχεται εντός της εκτονωτικής βαλβίδας όπου εκτονούμενο μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του στα επίπεδα πίεσης και θερμοκρασίας του εξατμιστή (ατμοποιητή).

5.7.4 Βαθμός απόδοσης (αποτελεσματικότητας)

Ο συντελεστής απόδοσης COP είναι ένα μέτρο της αποδοτικότητας με την οποία ο ψύκτης μετασχηματίζει τη θερμότητα σε ψύξη. Το COP ορίζεται ως το κλάσμα ωφέλιμης προς καταναλισκόμενης ενέργειας:

$$\text{COP} = \text{αποδιδόμενη ψύξη} / \text{καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια}$$

ή αλλιώς το πηλίκο της ισχύος εξόδου (κέρδος) προς την ισχύ εισόδου (κατανάλωσης). Ισχύς εξόδου είναι η ολική θερμική ικανότητα που μας δίνει ο συμπυκνωτής και είναι προφανώς μεγαλύτερη από την ψυκτική ικανότητα. Ισχύς εισόδου είναι η ισχύς του συμπιεστή.

5.7.5 Συστήματα παραγωγής ψύξης

Για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος χρησιμοποιούνται δύο βασικά συστήματα:

1. Το σύστημα παραγωγής ψύξης με συμπίεση του ψυκτικού μέσου (Ψ.Μ)
(κύκλος ψύξης με συμπίεση)
2. Το σύστημα παραγωγής ψύξης με απορρόφηση του ψυκτικού μέσου
(κύκλος ψύξης με απορρόφηση)

Οι κύκλοι λειτουργίας των δύο συστημάτων, δηλαδή ο κύκλος μηχανικής συμπίεσης και ο κύκλος απορρόφησης, έχουν κοινά σημεία την εξάτμιση και τη συμπύκνωση ενός ψυκτικού ρευστού. Οι δύο αυτές αλλαγές καταστάσεως του ψυκτικού ρευστού συμβαίνουν σε δύο διαφορετικά επίπεδα πίεσεως στον κύκλο. Οι δύο κύκλοι διαφέρουν στο ότι ο κύκλος απορρόφησης για να δημιουργήσει αυτή τη διαφορά πίεσεως χρησιμοποιεί **θερμογεννήτρια**, ενώ ο κύκλος μηχανικής συμπίεσεως χρησιμοποιεί **συμπιεστή**. Δηλαδή ο κύκλος απορρόφησης χρησιμοποιεί **φυσικοχημικές διαδικασίες**, ενώ ο κύκλος συμπίεσης χρησιμοποιεί καθαρά **μηχανικές διαδικασίες**. Πάντως και οι δύο κύκλοι χρησιμοποιούν ενέργεια που είναι μηχανική για τον κύκλο συμπίεσης και θερμική για τον κύκλο απορρόφησης.

Τα τμήματα μηχανής παραγωγής ψύξεως είναι τα εξής:

- Συμπυκνωτής (condenser) : αποβάλλει θερμότητα (υγροποιεί το Ψ.Μ)
- Εξατμιστής (evaporator): απορροφά θερμότητα, δηλαδή παράγει ψύξη (εξατμίζει το Ψ.Μ)
- Σύστημα ανύψωσης πίεσης και θερμοκρασίας



- Εκτονωτική βαλβίδα (expansion valve) : ρίχνει την πίεση

Οι δύο κύκλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα μεγέθη εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας για ψύξη.

5.7.6 Μηχανικός κύκλος συμπίεσης

Το σύστημα με συμπίεση του ψυκτικού μέσου είναι γνωστό από τις εφαρμογές στα οικιακά και επαγγελματικά ψυγεία, στη βιομηχανική ψύξη και στον κλιματισμό.

Ο κύκλος ψύξης με συμπίεση διαιρείται σε δυο τμήματα (πλευρές), όσον αφορά τις πιέσεις που επικρατούν στο ψυκτικό κύκλωμα.

1. Τμήμα χαμηλής πίεσης ή χαμηλής πλευράς, το οποίο περιλαμβάνει τα εξής βασικά εξαρτήματα της ψυκτικής εγκατάστασης:

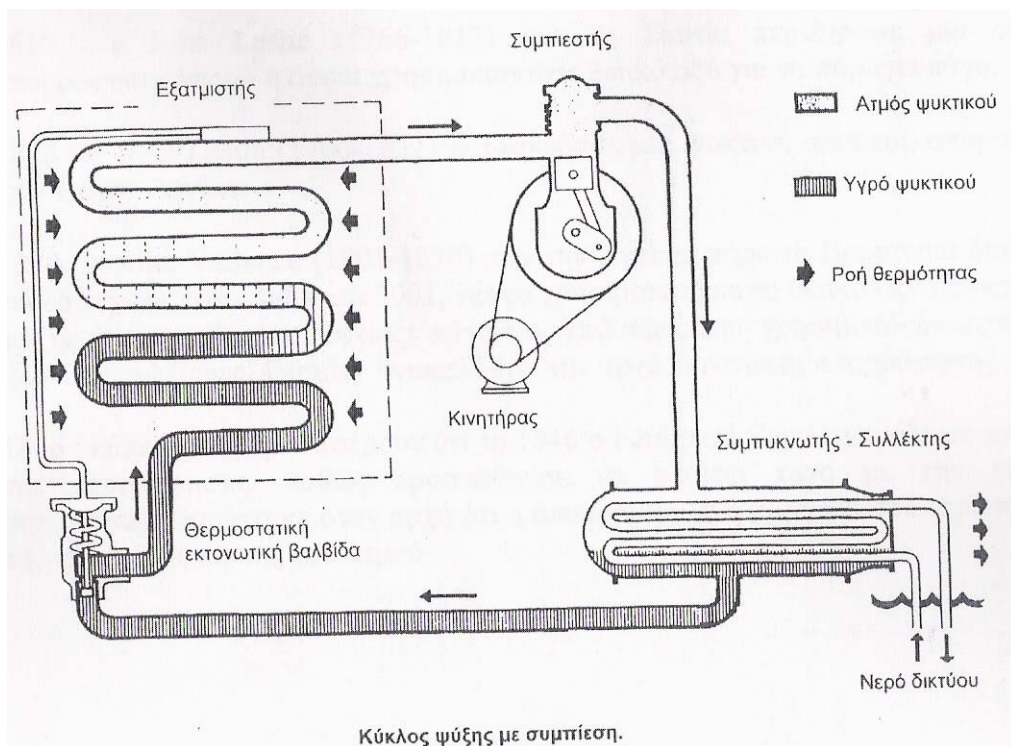
- Εκτονωτική βαλβίδα κατά το ήμισυ (από τη μέση και προς τον εξατμιστή).
- Εξατμιστής

- Γραμμή αναρρόφησης
- Πρεσοστάτης χαμηλής
- Συμπιεστής (κατά το ήμισυ)

2. Τμήμα υψηλής πίεσης ή υψηλής πλευράς, το οποίο περιλαμβάνει τα εξής βασικά

εξαρτήματα της ψυκτικής εγκατάστασης:

- Συμπιεστής (κατά το άλλο ήμισυ)
- Γραμμή καταθλίψεως
- Συμπυκνωτής
- Γραμμή ψυκτικού υγρού



5.7.7 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης

5.7.7.1 Γενικά

Ο ψυκτικός κύκλος απορρόφησης επινοήθηκε στο δεύτερο ήμισυ του 18ου αιώνα, δηλαδή πολύ πριν από τον κύκλο συμπίεσης. Αν και υπήρξαν πρακτικές εφαρμογές πριν από αυτές των μηχανημάτων συμπίεσης, για διάφορους λόγους οι ψυκτικές μονάδες απορρόφησης άρχισαν να διαδίδονται μόνο μετά το 1950. Το σύστημα αυτό είναι οικονομικά ελκυστικό όταν υπάρχει κάποια πηγή φτηνής θερμικής ενέργειας στο θερμοκρασιακό διάστημα 100 έως 200 °C, όπως είναι η γεωθερμική, η ηλιακή, η θερμότητα που χάνεται από διεργασίες συμπαραγωγής ή τις μονάδες διεργασίας υδρατμού. Χρησιμοποιείται επίσης και σε μικρά οικιακά ψυγεία, όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή. Όπως υποδηλώνει και η ονομασία της, η ψύξη με απορρόφηση συνεπάγεται την απορρόφηση ενός ψυκτικού μέσου από ένα μέσο μεταφοράς.

Ο λόγος για τον οποίο το απορροφητικό σύστημα δεν είχε την ίδια εξάπλωση με το σύστημα συμπίεσης είναι ο μικρός συντελεστής COP που έχει σε σύγκριση με το σύστημα συμπίεσης του ψυκτικού μέσου, όταν χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό, φλόγα πετρελαίου ή υγραερίου για τη θέρμανση του κυκλοφορούντος διαλύματος, δηλαδή είναι αντισυμβατικό σύστημα. Σήμερα όμως, άρχισε να παρουσιάζει οικονομικό ενδιαφέρον η χρησιμοποίησή του λόγω της εντατικοποίησης του ρυθμού εκμετάλλευσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας, παρά το μικρό βαθμό συμπεριφοράς του συστήματος.

Συγκεκριμένα, ο συντελεστής συμπεριφοράς των απορροφητικών συστημάτων είναι 0,55 έως 0,80 έναντι 3 έως 4 των συστημάτων

συμπίεσης (στον κλιματισμό) που σημαίνει ότι στον απορροφητικό κύκλο ψύξης δίνουμε 1 Watt θερμική ισχύ και παίρνουμε 3 έως 4 W ψυκτική ισχύ, πράγμα που σημαίνει ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς του απορροφητικού συστήματος είναι το $(0,55/3)=18\%$ του βαθμού συμπεριφοράς του συστήματος συμπίεσης.

Όμως θα ήταν λάθος να συγκρίνουμε τις αποδόσεις των δύο συστημάτων πάνω στην προαναφερθείσα βάση, διότι ναι μεν το απορροφητικό σύστημα έχει μικρότερο COP από εκείνο του συστήματος συμπίεσης, αλλά δεν καταναλίσκει την ηλεκτρική ενέργεια του συμπιεστή αφενός και αφετέρου έχει καλύτερο βαθμό μηχανικής απόδοσης.

Επομένως, αν πολλαπλασιασθεί το COP του συστήματος συμπίεσης με το ποσοστό της θερμότητας του έργου συμπίεσης και με το βαθμό απόδοσης του συμπιεστή, τότε διαπιστώνουμε ότι η διαφορά των δύο συστημάτων είναι μικρή:

$COP \text{ κύκλου συμπίεσης} = 3 \cdot 0,25 \cdot 0,80 = 0,6$ έναντι του 0,55 του COP απορρόφησης απλής βαθμίδας.

Σε σύγκριση με τα συστήματα συμπίεσης ατμού, τα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα: συμπιέζεται υγρό και όχι ατμός. Το έργο σταθεροποιημένης ροής είναι ανάλογο του ειδικού όγκου και άρα το έργο εισόδου για συστήματα υψηλής απορρόφησης είναι πολύ μικρό (της τάξης του 1 % της θερμότητας που προμηθεύεται στη γεννήτρια) και συχνά θεωρείται αμελητέο στην ανάλυση του κύκλου.

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων βασίζεται στη μεταφορά θερμότητας από μια εξωτερική πηγή. Κατά συνέπεια, τα συστήματα ψύξης-απορρόφησης συχνά ομαδοποιούνται ως *θερμοκαθοδηγούμενα συστήματα*. Τα συστήματα αυτά έχουν όμως και μειονεκτήματα: είναι ογκώδη, πολύπλοκα και σαφώς ακριβά. Είναι οικονομικά ανταγωνιστικά, μόνο όταν υπάρχει μια διαθέσιμη πηγή ενέργειας, που σε διαφορετική περίπτωση θα πήγαινε χαμένη. Χρησιμοποιούνται γενικά σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Τα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης είναι πολύ πιο ακριβά από τα ψυκτικά συστήματα με συμπίεση ατμών. Είναι πιο πολύπλοκα, πιο ογκώδη και λιγότερο αποδοτικά με αποτέλεσμα να απαιτούν πολύ μεγαλύτερους πύργους ψύξης για να αποβάλλουν τη θερμότητα. Η συντήρησή τους είναι δύσκολη, επειδή τα μηχανήματα αυτά δε συναντώνται συχνά. Για όλους αυτούς τους λόγους η πιθανότητα εγκατάστασης ενός ψυκτικού συστήματος απορρόφησης θα πρέπει να εξετάζεται, μόνο όταν το κόστος της θερμικής ενέργειας είναι μικρό και πρόκειται παραμείνει μικρό σε σύγκριση με το κόστος του ηλεκτρισμού. Τα ψυκτικά συστήματα απορρόφησης χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλες εμπορικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Τα βασικότερα απορροφητικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό είναι τα δύο παρακάτω:

- ο **νερό-αμμωνία**, όπου σαν απορροφητικό μέσο χρησιμοποιείται το διάλυμα $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ και σαν ψυκτικό μέσο η εξατμιζόμενη αμμωνία μέσα στο ψυκτικό στοιχείο. Γενικά χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος και
- ο **νερό-βρωμιούχο λίθιο**, όπου σαν απορροφητικό μέσο χρησιμοποιείται το διάλυμα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ και σαν ψυκτικό μέσο το εξατμιζόμενο νερό μέσα στο ψυκτικό στοιχείο. Χρησιμοποιείται για όλο το φάσμα ισχύων.

Σπανιότερα χρησιμοποιείται και το σύστημα νερού-χλωριούχου λιθίου.

Και τα διαλύματα δεν προξενούν ζημιές στο περιβάλλον ούτε στο όζον της στρατόσφαιρας.

5.7.7.2 Ιστορική εξέλιξη του κύκλου απορρόφησης

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι ημερομηνίες με τις ανακαλύψεις καθώς και χρήσεις του συστήματος της απορρόφησης.

1774 : ο Joseph Priestley απομόνωσε την αμμωνία και παρατήρησε την σπουδαία της «έλξη» για το νερό.

1777 : ο Edward Narne (1726-1806) από τη Σκωτία συνεργάστηκε με τον William Cullen στα πειράματα απορρόφησης του θειικού οξέος και απέδειξαν τη μείωση του συνολικού όγκου κατά την ανάμιξη νερού και θειικού οξέος. Ωστόσο το έτος αυτό ανακαλύπτονται και οι αρχές της απορρόφησης.

1787 : ο Martinus van Marum υγροποίησε την αμμωνία με συμπίεση.

1799: ο Fourcroy και ο Vauquelin υγροποίησαν την αμμωνία σε ατμοσφαιρική πίεση (πείραμα που επαναλήφθη από τον Guyton de Morveau το 1804).

1810 : ο John Leslie (1766-1832) από τη Σκωτία περιέγραψε μια συσκευή απορρόφησης νερού η οποία χρησιμοποιούσε θειικό οξύ για να παράγει πάγο.

1823 : ο John Leslie (1766-1832) κατασκεύασε μια ψυκτική συσκευή απορρόφησης κενού στην Αγγλία.

1824 : ο John Vallance (1801-1850) από την Αγγλία πήρε τα Βρετανικά διπλώματα ευρεσιτεχνίας No. 4884 και 5001, για να χρησιμοποιήσει το θειικό οξύ σε διαδικασία ψύξης με απορρόφηση. Έφτιαξε πάγο στις επιδείξεις του χρησιμοποιώντας κενό. Το ίδιο έτος, ο Michael Faraday ανακαλύπτει την αρχή του ψύκτη απορρόφησης.

1846: κάποιες πηγές αναφέρουν ότι το 1846 ο Ferdinand Carre ανακάλυψε τον κύκλο της απορρόφησης, καθώς προσπαθούσε να φτιάξει πάγο με την εισαγωγή θερμότητας. Βασίστηκε στην αρχή ότι η απορροφούμενη αμμωνία στο νερό προκαλεί την πτώση της πίεσης του ατμού.

1850 : Ο Edmund Carre (1822-1890) από τη Γαλλία εγκαινίασε μια εμπορική μηχανή απορρόφησης θειικού οξέος χρησιμοποιώντας την

αρχή του Leslie. Την εγκατέστησε σε εστιατόρια και ξενοδοχεία της Γαλλίας, της Αγγλίας και της Αυστραλίας, κάποιες σαν μονάδες απορρόφησης και κάποιες σαν μονάδες μηχανικής συμπίεσης. Ωστόσο το ίδιο έτος είχε κατασκευασθεί η πρώτη επιτυχημένη συνεχόμενης λειτουργίας μονάδα απορρόφησης, με την αμμωνία ως ψυκτικό και το νερό ως απορροφητικό.

1855 : Ένας Γερμανός μηχανικός κατασκεύασε την πρώτη μονάδα ψύξης με απορρόφηση.

1859 : Ο Ferdinand P.E. Carre (1824-1894) από τη Γαλλία απέκτησε το Βρετανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας No. 2503 χρησιμοποιώντας την αμμωνία ως ψυκτικό και το νερό ως απορροφητικό. Εγκαινίασε την πρώτη μονάδα απορρόφησης με αμμωνία, η οποία έγινε πρότυπο για πολλούς Αμερικανικής κατασκευής ψύκτες τέτοιου είδους για την αποθήκευση τροφίμων και τη δημιουργία πάγου. Το Αμερικάνικο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του είχε No.30201 χρονολογημένο το 1860.

1865 : Ο Daniel Livingstone Holden (1837-1924) από τις Η.Π.Α., ξανασχεδίασε στο San Antonio (Τέξας) τη μηχανή απορρόφησης της αμμωνίας του Carre εξοπλίζοντάς τη με σπείρες ατμού και χρησιμοποίησε απεσταγμένο νερό για να παράγει «καθαρό» πάγο. Έτσι αντικατέστησε τις μηχανές του Carre σε εμπορική βάση. Οι μηχανές του Carre είχαν εγκατασταθεί και λειτουργούσαν στο Shreveport (1866) και στο San Antonio (1865-66). Ωστόσο το 1869 είχε εγκατασταθεί μια μηχανή ψυκτικής ισχύος 60 ton στη Ν.Ορλεάνη.

1869 : Ο John Beath (1831-1917) και ο Samuel Martin από τις Η.Π.Α. κατασκεύασαν μηχανήματα συμπίεσης στο Λος Άντζελες, στο Σαν Φρανσίσκο και στο Πόρτλαντ (Όρεγκον) και κατοχύρωσαν το Αμερικάνικο Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας No. 127180 το 1872. Ο Beath ανεξάρτητα κατοχύρωσε τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας το 1873 και εγκατέστησε ψύκτες σε Chattanooga, Atlanta, New Orleans και Galveston. Μετά τη συνεργασία Beath & Martin το 1872, ο Beath ειδικεύτηκε στα συστήματα απορρόφησης.

1872 : Ο David Boyle σχεδιάζει την αυθεντική ψυκτική μονάδα συμπίεσης με αμμωνία.

1876 : Ο Harrison D. Stratton (1847-1928) από τις Η.Π.Α., αναθεώρησε την εφαρμογή της μηχανής απορρόφησης του Carre στην Augusta κατά τη χρήση της για παραγωγή πάγου σε νοσοκομείο.

1878: Το πρώτο ψυχόμενο νεκροτομείο (Παρίσι - μονάδα απορρόφησης Carre).

1922: Οι σπουδαστές Baltzar von Platen και Carl Munters του Royal Institute of Technology στη Στοκχόλμη (Σουηδία) ανακάλυψαν τον ψύκτη απορρόφησης και το 1923 ξεκίνησε η εμπορική παραγωγή του από τη νέα εταιρεία με την επωνυμία «AB Arctic», η οποία αγοράστηκε το 1925 από την Electrolux.

1926 - 1927 : Οικιακός ψύκτης απορρόφησης (αερίου) προωθήθηκε από την «A.B. Electrolux» στη Σουηδία.

1932: Ο G. Maiuri κατασκεύασε την πολυβάθμια μονάδα απορρόφησης με αμμωνία.

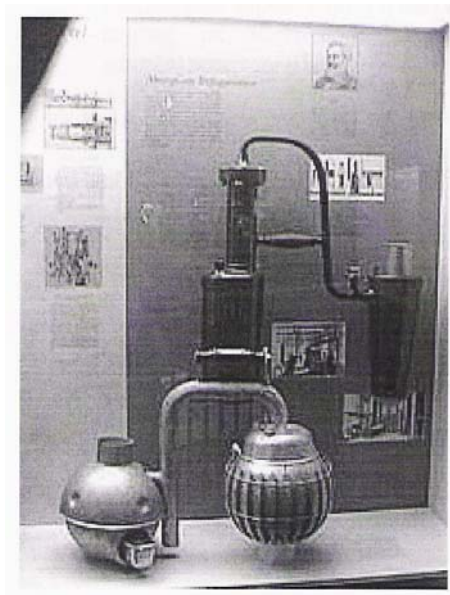
1937: Ο A.A. Berestneff - 'Kathabar' εισήγαγε στον κύκλο απορρόφησης το δεύτερο ζεύγος εργασίας, νερό και βρωμιούχο λίθιο.

1940 : Ο Servel και ο Carrier εγκαινίασαν μια μονάδα απορρόφησης με απορροφητικό το βρωμιούχο λίθιο και ψυκτικό το νερό, με χωρητικότητα 15-35 ton.

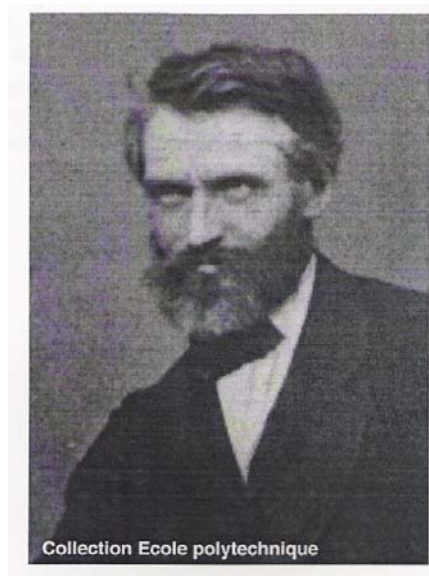
1945 : Ο Carrier εγκαινιάζει τους πρώτους μεγάλους ψύκτες απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου, χωρητικότητας 100 - 700ton., οι οποίοι χρησιμοποιούσαν ατμό χαμηλής πίεσης σα πηγή θερμότητας.

5.7.7.3 Η ανακάλυψη του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης

Ο Ferdinand Carre ανακάλυψε τον ψυκτικό κύκλο απορρόφησης στα μέσα του 1800. Περίπου το 1858 προώθησε τη μαύρη συσκευή που φαίνεται στη φωτογραφία σαν συσκευή παραγωγής πάγου. Ο κύκλος απορρόφησης του Carre ήταν αποτέλεσμα των παρατηρήσεων του Michael Faraday (1823) για τις ψυκτικές ικανότητες της αμμωνίας και διάφορων χλωριδίων, εσώκλειστων σε ένα λυγισμένο γυάλινο σωλήνα. Τέλος, ο αδερφός του Ferdinand Carre, Edmond, ανακάλυψε ότι η χρήση «δυνατών» οξέων υπό κενό ήταν πολύ πιο πρακτική (από το Ίδρυμα Smithsonian/Εθνικό Μουσείο Αμερικανικής Ιστορίας στην Ουάσινγκτον).



Οικιακή κλιματιστική συσκευή του
Carre Ferdinand Carre



Ferdinand
(1824- 1894)

5.7.7.4 Λειτουργία του κύκλου απορρόφησης

Ο κύκλος απορρόφησης χρησιμοποιεί για τη λειτουργία του θερμότητα που παρέχεται από το εξωτερικό και για το λόγο αυτό τα μηχανήματα είναι κατά βάση στατικά, αν εξαιρεθούν μερικές αντλίες και, για όσες είναι αερόψυκτες, οι αεριστήρες. Όπως στον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης, έτσι και στον κύκλο απορρόφησης, υπάρχει ένα ψυκτικό που αφαιρεί θερμότητα από ένα σημείο και την παροχετεύει σε κάποιο άλλο, αλλά αυτό δεν κυκλοφορεί εξαιτίας της λειτουργίας ενός συμπιεστή, αλλά λόγω της θερμότητας που χορηγείται από το εξωτερικό περιβάλλον. Στη θέση του συμπιεστή υπάρχουν δύο όργανα: ο απορροφητής και η γεννήτρια ή βραστήρας του διαλύματος. Ο τελευταίος, για τη λειτουργία του απαιτεί θερμότητα που μπορεί να χορηγηθεί με τη μορφή υπέρθερμου νερού, ατμού ή από καυστήρα αερίου.

Ένας ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί την εξάτμιση και τη συμπύκνωση ενός ρευστού ψυκτικών ουσιών για να μεταφέρει τη θερμότητα από μια κρύα ουσία σε μια θερμή ουσία, αλλά αντί της άντλησης του ατμού ψυκτικών ουσιών που χρησιμοποιεί ένας συμπιεστής, αντλεί ένα υγρό μίγμα ψυκτικής ουσίας (π.χ. νερό) και ενός ρευστού μεταφοράς (π.χ. βρωμιούχο λίθιο). Αυτό είναι επιθυμητό διότι απαιτείται πολύ λιγότερη εργασία για να αντληθεί ένα υγρό απ' ό,τι ένα αέριο.

Όπως αναφέρθηκε, ο ψυκτικός κύκλος απορρόφησης κατασκευάζεται με δύο διαφορετικά συστήματα ανάλογα με το διάλυμα.

- Διάλυμα νερού-αμμωνίας: το ψυκτικό αποτελείται από την αμμωνία και το απορροφητικό από αμμωνία σε υδάτινο διάλυμα. Οι ψυκτικές μηχανές που λειτουργούν με νερό-αμμωνία έχουν ατμοσφαιρικό καυστήρα αερίου, μικρής ισχύος και συναντώνται κυρίως σε εφαρμογές ψύξης με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης κάτω των 0°C (έως και -40°C).

Λόγω όμως της τοξικότητας της αμμωνίας (NH₃), τα μηχανήματα απορρόφησης που τη χρησιμοποιούν οδηγούνται σε εξωτερική εγκατάσταση. Χρησιμοποιείται σε διάλυμα 65-84% κ.β.

- Διάλυμα νερού-βρωμιούχου λίθιου : το ψυκτικό αποτελείται από το νερό και το απορροφητικό από βρωμιούχο λίθιο σε υδατικό διάλυμα. Οι ψυκτικές μηχανές που λειτουργούν με νερό-βρωμιούχο λίθιο, μεσαίας και μεγάλης ισχύος, μπορούν να είναι απλής ή διπλής ενέργειας και σε αυτές η θερμότητα χορηγείται με μορφή υπέρθερμου νερού, ατμού ή από καυστήρα αερίου. Το ζεύγος αυτό χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα κλιματισμού όπου δεν απαιτούνται θερμοκρασίες χαμηλότερες των 0°C.

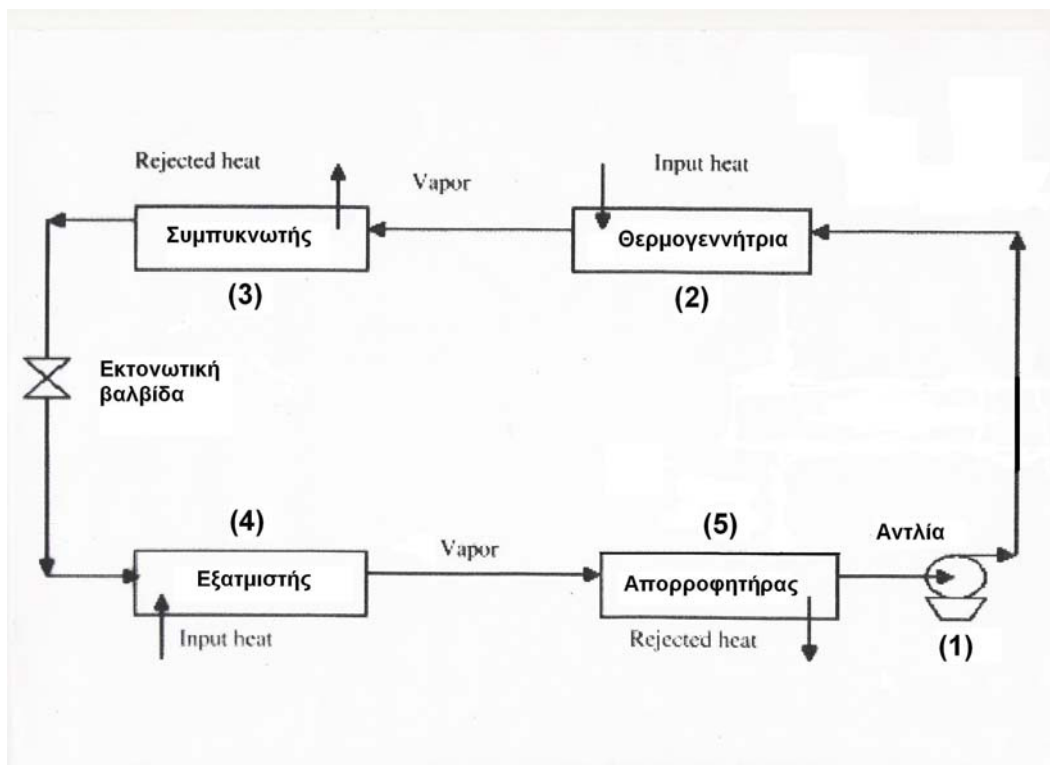
Το βρωμιούχο λίθιο (LiBr) είναι ένα απορροφητικό άλας που παρουσιάζει μεγάλη συγγένεια με τον υδρατμό και χρησιμοποιείται σε συγκεντρώσεις 60-64% κ.β. Είναι μια άχρωμη, ακίνδυνη, κρυσταλλική ένωση περίπου σαν το αλάτι που χρησιμοποιούμε στο φαγητό, μη τοξική, μη πτητική, που δεν αλλοιώνεται, δεν αποσυντίθεται αλλά διαλύεται πολύ εύκολα στο νερό. Είναι εξαιρετικά υγροσκοπική ουσία (διαλύεται πολύ εύκολα στο νερό) και παρόλο που δεν είναι τοξική, ερεθίζει το δέρμα και τα μάτια, και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις τυχαίας επαφής, είναι αναγκαίο να γίνει πλύση κατευθείαν με νερό. Στη χρήση επιβραδύνεται με νιτρικό λίθιο σε αναλογία 0,4% για να περιοριστούν τα διαβρωτικά αποτελέσματα όταν υπάρχει αέρας στο κύκλωμα.

5.7.7.5 Σύγκριση μεταξύ των απορροφητικών συστημάτων $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ και $\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$

- ❖ Το σύστημα $\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$ χρησιμοποιείται στις μικρές εγκαταστάσεις ισχύος από 30000 Btu/h έως 50000 Btu/h, ενώ το σύστημα $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ χρησιμοποιείται στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις.
- ❖ Στο απορροφητικό σύστημα $\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$ το ψυκτικό μέσο είναι η εξατμιζόμενη αμμωνία ενώ στο σύστημα $\text{LiBr}-\text{H}_2\text{O}$ είναι το εξατμιζόμενο νερό.

- ❖ Το σύστημα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ δεν μπορεί να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία εξάτμισης από τους 0°C , διότι το νερό στερεοποιείται, ενώ η αμμωνία δεν έχει κανένα περιορισμό στο σημείο αυτό.
- ❖ Τα επίπεδα πίεσης στις συσκευές αμμωνίας/νερού είναι συνήθως άνω της ατμοσφαιρικής ενώ τα συστήματα με νερό/ LiBr λειτουργούν κάτω από μερικό κενό.
- ❖ Το σύστημα $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ απαιτεί μεγαλύτερη θερμοκρασία της θερμογεννήτριας ($120\text{-}150^\circ\text{C}$) σε σχέση με το σύστημα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ που λειτουργεί ικανοποιητικά με θερμοκρασία θερμογεννήτριας $90\text{-}95^\circ\text{C}$.
- ❖ Το σύστημα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ έχει μεγαλύτερο COP από το σύστημα $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$.

5.7.7.6 Περιγραφή της λειτουργίας του βασικού απορροφητικού συστήματος



Το απορροφητικό διάλυμα ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ή $\text{LiBr-H}_2\text{O}$) αναρροφάται στην αντλία (1) του σχήματος και καταθλίβεται μέσα στη θερμογεννήτρια (2).

Εκεί, το διάλυμα θερμαίνεται από μια θερμαντική πηγή (ήλιος, ηλεκτρικές αντιστάσεις, ατμός, καυσαέρια κτλ) για να διαχωριστεί αφενός και για να υψωθεί η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου αφετέρου.

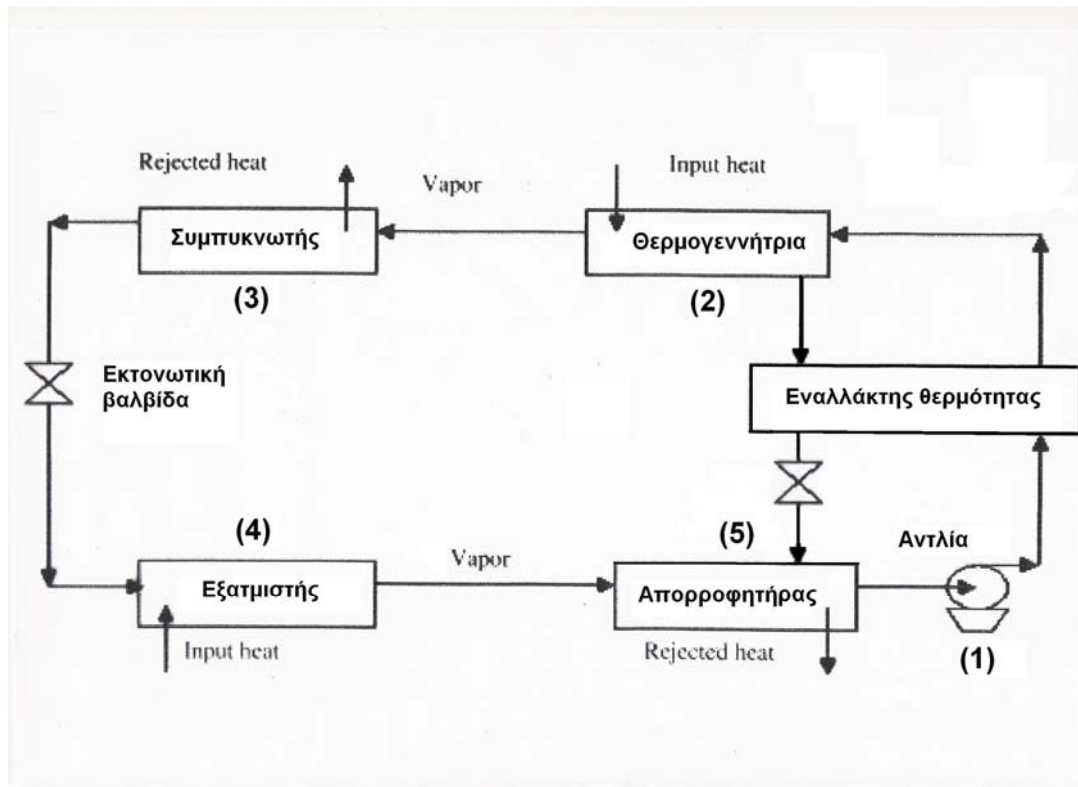
Στη συνέχεια, το ψυκτικό μέσο (ατμοί αμμωνίας ή ατμοί νερού) μπαίνει στο συμπυκνωτή (3) και συμπυκνώνεται αποδίδοντας θερμότητα.

Εξερχόμενο το ψυκτικό μέσο από το συμπυκνωτή, σε υγρή φάση, περνάει από την εκτονωτική βαλβίδα όπου εκτονούμενο πέφτει η πίεση και η θερμοκρασία του στα επίπεδα λειτουργίας του εξατμιστή.

Με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία λοιπόν, το ψυκτικό μέσο μπαίνει στον εξατμιστή (4) και εξατμίζεται απορροφώντας θερμότητα και παράγοντας ψύξη.

Τέλος, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου κατευθύνονται προς τον απορροφητήρα (5) όπου αναμιγνυόμενοι είτε με το νερό είτε με το βρωμιούχο λίθιο, σχηματίζουν το αρχικό απορροφητικό διάλυμα, το οποίο αναρροφώμενο πάλι από την αντλία (1) καταθλίβεται μέσα στη θερμογεννήτρια για να ξαναρχίσει ένας νέος κύκλος ψύξης.

Στο παρακάτω σχήμα προστίθεται ο **εναλλάκτης θερμότητας** για βελτίωση της απόδοσης:



Αναλυτικά η λειτουργία της μηχανής (για διάλυμα $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$):

Ατμός αμμωνίας εξέρχεται από τον εξατμιστή και εισέρχεται στον απορροφητή όπου διαλύεται και αντιδρά χημικά με το νερό για να σχηματίσει $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Αυτή είναι μια εξώθερμη αντίδραση με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια αυτής της διεργασίας να απελευθερώνεται θερμότητα. Η ποσότητα της αμμωνίας που μπορεί να διαλυθεί σε H_2O είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη θερμοκρασία. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να ψύχεται ο απορροφητής, ώστε η θερμοκρασία του να διατηρείται όσο το δυνατό χαμηλότερη, με αποτέλεσμα να μεγιστοποιείται το ποσό αμμωνίας που διαλύεται στο νερό.

Στη συνέχεια, το υγρό διάλυμα αμμωνίας και νερού ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$) που είναι πλούσιο σε αμμωνία αντλείται στη γεννήτρια. Στο διάλυμα αυτό

μεταφέρεται θερμότητα, από μια πηγή, για να εξατμιστεί ένα μέρος του. Ο υψηλής πίεσης ατμός της αμμωνίας συνεχίζει έπειτα τη διαδρομή του στο υπόλοιπο του κύκλου. Το ζεστό διάλυμα $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ που περιέχει λίγη αμμωνία, περνά κατόπιν μέσα από τον εναλλάκτη μεταφέροντας κάποιο ποσό θερμότητας στο πλούσιο διάλυμα που αφήνει την αντλία και στραγγαλίζεται στην πίεση του απορροφητή.

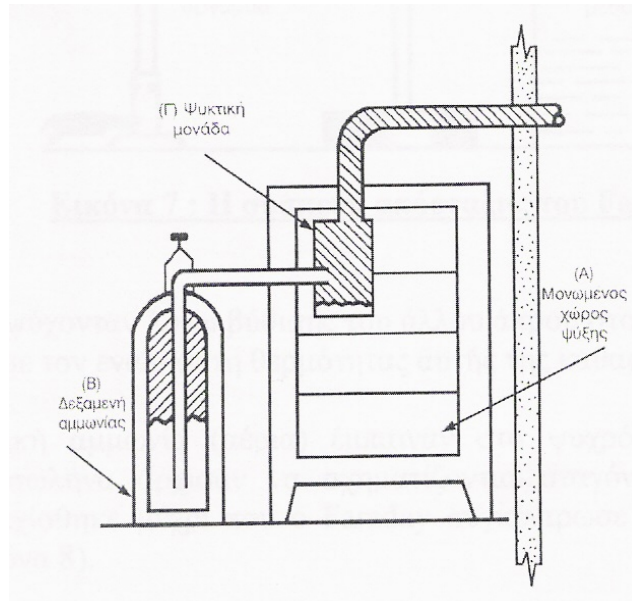
Το ψυκτικό μέσο από τον απορροφητήρα οδηγείται στη θερμογεννήτρια για να ανυψωθεί η θερμοκρασία του. Το βοηθητικό ψυκτικό μέσο από τη θερμογεννήτρια οδηγείται στον απορροφητήρα. Θέλοντας να μειωθεί η θερμοκρασία του, τοποθετούμε τον εναλλάκτη κι έτσι το βοηθητικό ΨΜ (υψηλής θερμοκρασίας) αποδίδει (θερμαίνει) το ΨΜ που οδηγείται στη θερμογεννήτρια.

Στη συνέχεια, το βοηθητικό ΨΜ διέρχεται από την εκτονωτική βαλβίδα όπου πέφτει η πίεσή του και συνεπώς και η θερμοκρασία του.

5.7.7.7 Εφαρμογή ψυκτικής δράσης

Ένας από τους απλούστερους τρόπους όπου η ψυκτική δράση έχει εφαρμογή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η ψυκτική μονάδα αποτελείται από ένα απομονωμένο κουτί ψύξης (Α), μια δεξαμενή με το υγρό υπό πίεση (Β) και ένα χώρο ψύξης (Γ). Ο χώρος ψύξης απορροφά θερμότητα από την εξάτμιση της αμμωνίας σε ατμοσφαιρική πίεση. Ένα τέτοιο σύστημα δεν μπορεί να έχει πρακτική εφαρμογή λόγω κόστους της αμμωνίας, και λόγω επικίνδυνων καυσαερίων που θα πρέπει να οδηγηθούν έξω με ασφάλεια. Αυτό που χρειάζεται είναι το ψυκτικό μέσο να επανέρχεται στην υγρή μορφή και να φυλάσσεται. Στην υγρή κατάσταση

το ψυκτικό μέσο είναι πάλι έτοιμο να μετατραπεί σε αέριο και να απορροφήσει περισσότερη θερμότητα.



Πρωταρχική ψυκτική μονάδα

Υπάρχουν 2 αρχικές μέθοδοι όπου το ψυκτικό μέσο μπορεί να ανακυκλωθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί στον ψυκτικό κύκλο. Η πρώτη απ' αυτές βασίζεται στην ανακάλυψη πάνω από έναν αιώνα πριν του Michael Faraday.

5.7.7.8 Τα πρώτα πειράματα του Faraday με απορρόφηση και εξάτμιση αμμωνίας

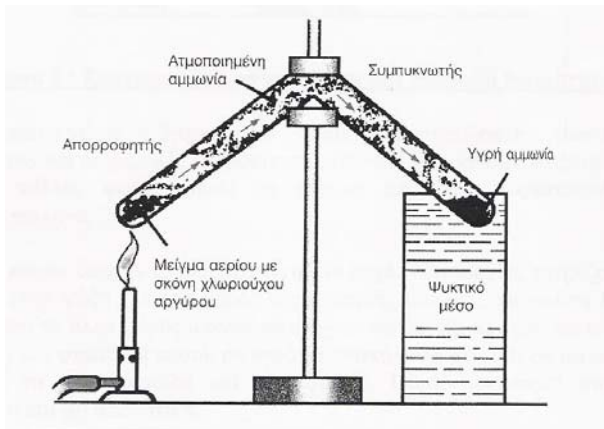
Οι επιστήμονες της εποχής του Faraday ήξεραν ότι τα αέρια μπορούν να μετατραπούν σε υγρά κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Με τον περιορισμένο εξοπλισμό και τις τεχνικές που διέθεταν δεν ήταν σε θέση να υγροποιήσουν τα τότε γνωστά αέρια. Ένα από τα πιο δύσκολα σε υγροποίηση αέρια ήταν τότε η αμμωνία. Ο

Faraday ήξερε από την εμπειρία του στο εργαστήριο ότι ο χλωριούχος άργυρος είχε μια ιδιότητα απορρόφησης αέριας αμμωνίας. Έτσι, ένα από τα πρώτα ψυκτικά μέσα ήταν η αμμωνία.

Όταν η καθαρή αμμωνία τοποθετηθεί σε ανοικτό δοχείο, τότε εξατμίζεται τόσο γρήγορα ώστε κοχλάζει. Η αμμωνία απάγει θερμότητα πολύ πιο γρήγορα από ότι το οινόπνευμα και κατά τη διεργασία της εξάτμισης μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Όταν η αμμωνία κοχλάζει σε ατμοσφαιρική πίεση φτάνει τους -35°C (-28°F). Η περιοχή δε όπου κοχλάζει είναι πολύ ψυχρή.

Ο Faraday έριξε σκόνη χλωριούχου αργύρου σε αέρια αμμωνία μέχρι να απορροφηθεί όση ήταν δυνατόν. Αυτή η εμπλουτισμένη σκόνη κλείσθηκε σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα.

Ο δοκιμαστικός σωλήνας είχε σχήμα V και απετέλεσε την πρώτη συσκευή απόσταξης του Faraday. Δίνοντας θερμότητα στη σκόνη, τα αέρια της αμμωνίας ξεχώριζαν από τον χλωριούχο άργυρο.

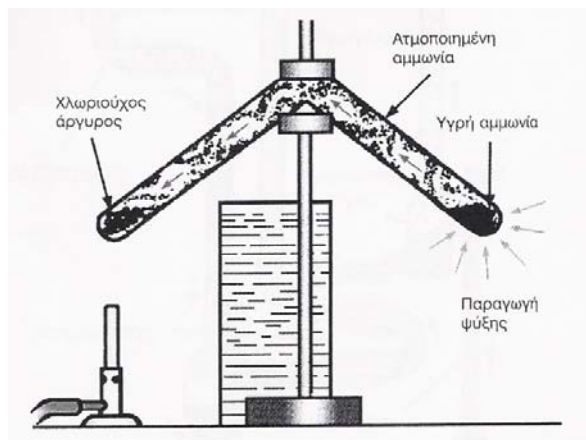


Η συσκευή απόσταξης του Faraday

Τα αέρια αυτά ψύχονταν λόγω βύθισης του άλλου άκρου στον σωλήνα V σε νερό. Το νερό αποτελούσε τον εναλλάκτη θερμότητας αυτής της καθαρής απόσταξης.

Όπως η θερμική αμμωνία (αέρια) έμπαιναν στο ψυχρό μέρος στο τέλος του δοκιμαστικού σωλήνα, άρχισαν να σχηματίζονται σταγόνες υγρής

αμμωνίας. Η διεργασία συνεχίσθηκε μέχρι που ο Faraday συγκέντρωσε αρκετή ποσότητα υγρής αμμωνίας.



Εξάτμιση από απορρόφηση και αποβολή θερμότητας

Ο θερμαντήρας και ο ψύκτης μετατοπίσθηκαν και ο Faraday μελέτησε τα χαρακτηριστικά αυτής της νέας ουσίας. Ήταν η πρώτη φορά που η αμμωνία είχε μετατραπεί από αέριο σε υγρό.

Όμως τότε συνέβη ένα περίεργο φαινόμενο. Σχεδόν αμέσως η αμμωνία άρχισε να βράζει και να μετατρέπεται πάλι σε ατμό. Είχε απορροφηθεί θερμότητα η οποία μεταφερόταν κατά τη διεργασία. Ξανά η ατμοποιημένη αμμωνία απορροφήθηκε από την σκόνη του χλωριούχου αργύρου. Όταν ο Faraday ακούμπησε το τέλος του σωλήνα είδε ότι ήταν πολύ κρύος. Το πιο εντυπωσιακό ήταν όμως ότι η ψύξη παραγόταν από το υγρό που έβραζε χωρίς ορατή πηγή θέρμανσης.

Κάθε φορά που γινόταν η διεργασία ο Faraday παρατηρούσε την ίδια αλλαγή. Το σημαντικό ήταν ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες (πάγου) μπορούσαν να επιτευχθούν στο εργαστήριο πολλές φορές χωρίς να έχουμε απώλειες συστατικών από τον δοκιμαστικό σωλήνα.

Όσο αρχαίο και αν δείχνει το πείραμα αυτές οι αρχές λειτουργίας στηρίζονται ακόμη και σήμερα στην ψύξη. Το ένα μέρος της ψυκτικής μονάδας μπορεί να θερμαίνεται την στιγμή που το άλλο μέρος μπορεί να

ψύχεται σε δοχείο με νερό ώστε να αλλάξει η κατάσταση του ψυκτικού μέσου σε υγρό.

5.7.7.9 Διάδοση των ψυκτικών μονάδων απορρόφησης

Η διάδοση των ψυκτικών μονάδων απορρόφησης τα τελευταία χρόνια είχε πολλές εναλλαγές που οφείλονται σε μερικούς οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες. Είναι γι' αυτό ενδιαφέρον να εξετάσουμε σύντομα την ιστορία. Οι μονάδες απορρόφησης, αφού αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά γύρω στο 1945 για εφαρμογές κλιματισμού του αέρα, είχαν μία σταδιακή περίοδο ανάπτυξης και τελειοποίησης που διήρκεσε μέχρι τη δεκαετία του '60. Την εποχή εκείνη η προσφορά στην αγορά αφορούσε δύο κατηγορίες προϊόντων: μονάδες νερού-αμμωνίας με άμεση φλόγωση μικρής ισχύος, έως 17 kW, για οικιακές και εμπορικές χρήσεις και μονάδες με βρωμιούχο λίθιο, απλής ενέργειας, μεσαίας και μεγάλης ικανότητας, τροφοδοτούμενες με υπέρθερμο νερό ή ατμό. Από τη δεκαετία του '60 και μετά, η αγορά των μονάδων απορρόφησης μεγάλης ικανότητας υφίσταται σημαντικές μεταβολές. Στην εικόνα 16 φαίνεται η πορεία των πωλήσεων αυτών των μηχανημάτων από το 1960 έως το 2002. Μπορούν να εντοπιστούν τέσσερις διαφορετικές περίοδοι που επηρέασαν τη δυναμική του.

- Πρώτη περίοδος 1960-1965

Οικονομικοί παράγοντες ευνοούσαν τις μονάδες απορρόφησης: εκείνα τα χρόνια το κόστος του πετρελαίου και του ατμού ήταν χαμηλό.

Επίσης, η απόδοση των ψυκτικών μονάδων συμπίεσης ήταν χαμηλότερη κατά 10-30% από τις σημερινές μονάδες. Οι δύο αυτές συνθήκες ευνοούσαν τη ζήτηση των μονάδων απορρόφησης.

- Δεύτερη περίοδος 1970 – 1985

Υπήρξε μια πτώση των μονάδων απορρόφησης λόγω ποικίλων αιτιών, αλλά κυρίως από το εμπάργκο πετρελαίου τη δεκαετία του '70. Είχαν επίσης παρουσιαστεί προβλήματα αξιοπιστίας των μηχανημάτων, εξαιτίας κυρίως της αποκρυστάλλωσης και το κόστος συντήρησης ήταν υψηλό. Ταυτόχρονα, είχε αυξηθεί και το κόστος παραγωγής. Το ελάχιστο των

πωλήσεων των μηχανημάτων απορρόφησης ήταν το 1983, όταν προβλεπόταν η εξαφάνισή τους από την αγορά.

- Τρίτη περίοδος 1987- 1993

Αρχίζει μία βαθμιαία ανάκαμψη, που οφείλεται πάντα σε διάφορες αιτίες. Υπάρχει αύξηση κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος και ταυτόχρονη μείωση της διαθεσιμότητάς του, ενώ υπάρχει αφθονία φυσικού αερίου. Από την πλευρά τους οι εταιρίες διανομής αερίου αρχίζουν μία πολιτική κινήτρων για τη θερινή κατανάλωση προσφέροντας ιδιαίτερα τιμολόγια και κεφάλαια για την εγκατάσταση συσκευών απορρόφησης. Εν τω μεταξύ, τα μηχανήματα υπέστησαν σημαντικές βελτιώσεις και αυξήθηκε η απόδοσή τους χάρη στη δημιουργία συστημάτων διπλής ενέργειας. Η ανάπτυξη μηχανημάτων άμεσης φλόγωσης, τροφοδοτούμενα με αέριο, αποτέλεσε ένα περαιτέρω κίνητρο. Σ' αυτά προστίθεται η εμφάνιση των προβλημάτων των ψυκτικών ρευστών (CFC) που ευνοεί τη χρήση λύσεων με βρωμιούχο λίθιο, που είναι αβλαβές για το περιβάλλον.

- Τέταρτη περίοδος 1994 - 2005

Συνεχής αύξηση της αγοράς αυτών των μηχανημάτων για τους παρακάτω λόγους όπως προβλεπόταν λόγω της μείωσης της διαθεσιμότητας ηλεκτρικής ενέργειας που επηρέασε αρνητικά τα ψυκτικά μηχανήματα συμπίεσης με ηλεκτρικούς κινητήρες. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε συνεπώς περισσότερο από εκείνο του αερίου. Επίσης, οι εταιρίες διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και του αερίου, προωθούν νέες πολιτικές κινήτρων για τη χρήση των μηχανημάτων απορρόφησης με άμεση φλόγωση και χρήση αερίου.

Η κατανομή της αγοράς των μηχανημάτων απορρόφησης μεγάλης ισχύος, πάνω από 350 kW, αλλάζει πολύ από χώρα σε χώρα. Στην Ιαπωνία κυριαρχούν στην αγορά με ένα ποσοστό 85% περίπου ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες αντιπροσωπεύουν ακόμα ένα μικρό ποσοστό της αγοράς από 10-15%. Στην Ευρώπη θα πρέπει να υπάρχει μία κατάσταση ανάλογη με εκείνη των Ηνωμένων Πολιτειών.

Για τα επόμενα χρόνια η αγορά των μηχανημάτων απορρόφησης στις δυτικές χώρες πιθανώς να παραμείνει ένα μικρό κομμάτι εκείνης των κλασικών ψυκτικών μονάδων συμπίεσης.

Στην εισαγωγή περιγράφηκε το πρόβλημα της αυξημένης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και της μεγάλης απορριμματικής μάζας που φτάνει στο ΧΥΤΑ από το σύνολο του νομού (πλην ορισμένων δήμων και κοινοτήτων). Εκμεταλλευόμενοι λοιπόν τα δύο αυτά γεγονότα, προτείνεται η κατασκευή μονάδας αποτέφρωσης απορριμμάτων και η δημιουργία ενός δικτύου τηλεψύξης που θα τροφοδοτεί το Νοσοκομείο Χανίων (πιθανώς αργότερα και περισσότερα κτίρια) για την αποσυμφόρηση του δικτύου της ΔΕΗ.

Η μελέτη της εφαρμογής του συστήματος τηλεψύξης γίνεται για την πόλη των Χανίων, λόγω της εγγύτητάς μας στην περιοχή αλλά και του γεγονότος ότι η ΔΕΔΙΣΑ (Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων) είναι από τις λίγες επιχειρήσεις στην Ελλάδα που μπορούν να μας δώσουν πραγματικά μετρήσιμα μεγέθη απορριπτόμενων σκουπιδιών (η συγκεκριμένη, για το νομό Χανίων).

Δεδομένου επίσης ότι η ΔΕΥΑΧ (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης Χανίων) αναζητά ήδη τρόπους διάθεσης της λυματολάσπης και έχει δηλώσει ενδιαφέρον να συμπεριληφθεί σε τυχόν μελέτες που αφορούν την καύση αυτής, μελετάμε την περίπτωση συναποτέφρωσης (co-combustion) των ΑΣΑ με λυματολάσπη. Ακόμα, στη μονάδα αποτέφρωσης μπορούν να φτάνουν και μολυσματικά-νοσοκομειακά απόβλητα.

Να σημειωθεί ότι στην παρούσα φάση, το σύνολο των παραγόμενων ΑΣΑ (πλην των ανακτηθέντων) και της λυματολάσπης καταλήγουν σε ΧΥΤΑ.

6.1 Παραγόμενες ποσότητες ΑΣΑ

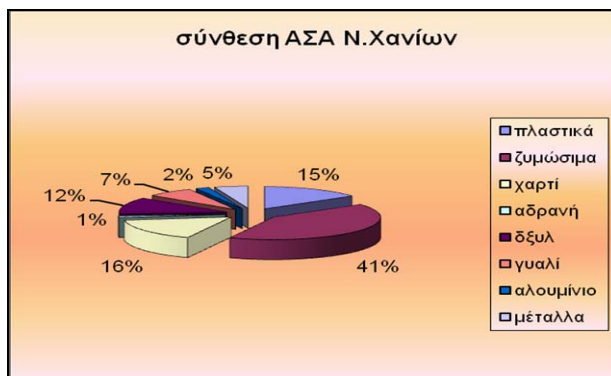
Για να υπολογίσουμε τις αναμενόμενες ποσότητες ανά υλικό που θα φτάνουν στην εγκατάσταση προς αποτέφρωση, λαμβάνουμε υπόψη στοιχεία από τη ΔΕΔΙΣΑ για τη συνολική παραγωγή απορριμμάτων στο νομό (στοιχεία 2005).

Μήνες	Πράσινος κάδος (tn)	Μπλε κάδος * (tn)
Ιανουάριος	5237.659	277.83
Φεβρουάριος	4995.244	299.47
Μάρτιος	5693.831	337.65
Απρίλιος	6304.505	345.48
Μάιος	6965.267	442.72
Ιούνιος	7246.476	379.21
Ιούλιος	8301.679	539.36
Αύγουστος	8786.993	563.55
Σεπτέμβριος	7085.43	611.81
Οκτώβριος	6731.61	671.36
Νοέμβριος	5387.23	578.12
Δεκέμβριος	5223.14	558.24
Σύνολο	77959.064	5604.8
tn/year	83564	
tn/day	229	

* Στον μπλε κάδο καταλήγουν χαρτί, αλουμίνιο, σίδηρο, πλαστικό ως απόβλητα συσκευασίας.

Υπολογίζουμε δηλαδή τελικά ότι 229 tn απορριμμάτων παράγονται κάθε μέρα, όπου μέρος αυτών ανακτάται και τα υπόλοιπα καταλήγουν στο ΧΥΤΑ.

Στοιχεία για τη σύνθεση των ΑΣΑ του νομού παίρνουμε από τη μελέτη της Μύρκου (2006), τα οποία απεικονίζονται στο παρακάτω πίνα:



6.2 Ποσότητες προς καύση

Επιδιώκουμε να έχουμε προς καύση τα παρακάτω υλικά:

- Ζυμώσιμα
- Πλαστικά
- Χαρτί
- ΔΞΥ (δέρμα- ξύλο- ύφασμα)

Το γυαλί, τα μέταλλα και το αλουμίνιο δημιουργούν προβλήματα κατά την καύση τους και είναι ανεπιθύμητα. Υπάρχουν βέβαια και καυστήρες στους οποίους μπορεί να εφαρμοστεί μαζική καύση και τα μέταλλα δεν δημιουργούν προβλήματα. Παραμένουν όμως ως υπόλειμμα καύσης χωρίς να είναι ιδιαίτερα αξιοποιήσιμα. Γι' αυτό ως ολοκληρωμένη διαχείριση προτείνεται η ανακύκλωσή τους. Υποθέτοντας λοιπόν ότι τα ανεπιθύμητα δεν συλλέγονται μαζί με τα προς αποτέφρωση υλικά, οι αναμενόμενες ποσότητες αυτών – και δεδομένων των ποσοστών από τη μελέτη της Μύρκου- είναι:

➤ Ζυμώσιμα

Τα ζυμώσιμα αποτελούν το 41% κ.β. των ΑΣΑ δηλαδή 94 tn/day. Λόγω της υψηλής τους υγρασίας πιστεύεται ότι είναι σκόπιμο να καίγεται το 30% αυτών, δηλαδή **28,2 tn/day** για να μην έχουμε πολύ χαμηλή θερμογόνο δύναμη και να μην χρειάζεται πολύ ενέργεια και χρόνος για τη ξήρανσή τους.

➤ Πλαστικά

Τα πλαστικά αποτελούν το 15% κ.β. των ΑΣΑ δηλαδή 34,35 tn/day. Λόγω της υψηλής θερμογόνου τιμής τους προσδοκούμε να καίμε ένα μεγάλο

μέρος αυτής της ποσότητας. Θα κινηθούμε όμως και μέσα στα όρια της νομοθεσίας (στόχος ανακύκλωσης για το 2011 το 22,5%) οπότε θεωρούμε ότι το 50% της συνολικής ποσότητας θα μπορούσε να οδηγηθεί προς αποτέφρωση, δηλαδή **17.2 tn/day**.

➤ **Χαρτί**

Το χαρτί αποτελεί το 16% κ.β. των ΑΣΑ δηλαδή 36.64 tn/day. Παραμένοντας πάλι πιστοί στους στόχους της ανακύκλωσης (60% μέχρι το 2011), προτείνουμε να καίγεται όλο το υπόλοιπο, δηλαδή **14.6 tn/day**, δεδομένου ότι το χαρτί έχει σημαντική θερμογόνο τιμή.

➤ **ΔΞΥ**

Τα ΔΞΥΛ αποτελούν το 12% κ.β. των ΑΣΑ δηλαδή 27,48 tn/day. Η νομοθεσία όμως απαγορεύει την καύση του λάστιχου γι' αυτό και θα καίμε μόνο ΔΞΥ. Σύμφωνα με τα στοιχεία που μας δόθηκαν, 421 tn ελαστικών το χρόνο (1,17 tn/day) απορρίπτονται στο νομό και πρέπει να αφαιρεθούν από τους 27,48 tn/day και φτάνουμε έτσι τους 26,3 tn/day. Αναμένεται να καίγεται το 70% αυτών, δηλαδή **18.4 tn/day**.

➤ **Λυματολάσπη**

Σύμφωνα με στοιχεία της Δ.Ε.Υ.Α.Χ, παράγονται 27 m³/day λυματολάσπης (θεωρούμε 27 tn/day), από τα οποία οι 19 tn/day είναι αχώνευτη αφυδατωμένη ιλύς με ποσοστό υγρασίας 80-85% και οι 8 tn/day είναι χωνευμένη αφυδατωμένη ιλύς με ποσοστό υγρασίας 70%. Αποφασίζουμε ότι θα καίμε μόνο το 1/3 της λυματολάσπης, δηλαδή τους **8 tn/day** που θα είναι χωνευμένα. Το υψηλό ποσοστό υγρασίας της καθιστά αδύνατη την καύση μεγαλύτερων ποσοτήτων (ένα ποσοστό 5% επί του συνόλου των ΑΣΑ θεωρείται βέλτιστο αφού δεν προκαλεί σημαντικές αλλαγές της θερμοκρασίας καύσης, ούτε συμβάλλει σε αύξηση των εκπομπών). Ακόμα και η χωνευμένη ιλύς πρέπει να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία ώστε το ποσοστό υγρασίας της να πέσει στο 65%. Κατόπιν τούτου, μπορεί να καεί. Να σημειωθεί ότι προσομοιάζουμε την ιλύ με τα οργανικά υπολείμματα (ζυμώσιμα) και έτσι οι τελικοί υπολογισμοί λαμβάνουν τα οργανικά ως το άθροισμα οργανικών και λυματολάσπης.

➤ **Μολυσματικά – νοσοκομειακά**

Τα στοιχεία που μας δόθηκαν από το Γενικό Νοσοκομείο Χανίων, αναφέρουν ότι παράγονται 0,8tn/day μολυσματικών νοσοκομειακών. Καλύτερη μέθοδος διαχείρισής τους θεωρείται η αποτέφρωση, οπότε θα καίμε όλη την παραγόμενη ποσότητα. Τα απορρίμματα αυτά αποτελούνται κυρίως από πλαστικά (θεωρούμε σε ποσοστό 45%), χαρτί (35%) και οργανικά (20%). Άρα οι επιμέρους ποσότητες είναι οι εξής:

- ο Πλαστικά 0,36 tn/day
- ο Χαρτί 0,28 tn/day
- ο Οργανικά 0,26 tn/day

Οι ποσότητες αυτές ενσωματώνονται στις παραπάνω, οπότε ο συγκεντρωτικός πίνακας ποσοτήτων Στερεών Απορριμμάτων προς αποτέφρωση είναι ο εξής:

Κατηγορία υλικού	Ποσότητα (tn/day)
Οργανικά	36.5
Χαρτί	15
Πλαστικά	17.6
ΔΞΥ	18.4
Σύνολο	87.5

6.3 Υπολογισμός Κατώτερης Θερμογόνου Δύναμης

Από τις ποσότητες αυτές θα υπολογίσω το **LHV** (Lower Heating Value) των απορριμμάτων που θα οδηγούνται προς καύση στην εγκατάσταση. Να σημειωθεί ότι πρέπει $LHV > 12 \text{ MJ/Kg}$, ώστε η ενέργεια από την καύση να είναι αξιοποιήσιμη.

	Θερμογόνες Τιμές	υγρασία(%)
Οργανικά + ιλύς	5 MJ/Kg	65
Χαρτί	16,5 MJ/Kg	5,5
Πλαστικά	32 MJ/Kg	0
ΔΞΥ	20 MJ/Kg	7,86

Το LHV υπολογίζεται λοιπόν ως εξής:

$$LHV = \frac{34300 \text{ kg} \cdot \frac{37 \text{ MJ}}{\text{kg}} + 13000 \text{ kg} \cdot \frac{16.5 \text{ MJ}}{\text{kg}} + 17600 \text{ kg} \cdot \frac{32 \text{ MJ}}{\text{kg}} + 18400 \text{ kg} \cdot \frac{20 \text{ MJ}}{\text{kg}}}{87300 \text{ kg}} = 15.5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Το LHV που υπολογίστηκε παραπάνω είναι για τα ΑΣΑ με υγρασία και είναι ικανοποιητικό, αλλά εφαρμόζοντας προξήρανση πριν την καύση τους, πετυχαίνουμε μεγαλύτερες αποδόσεις. Έτσι, αναζητούμε το LHV για ΑΣΑ μειωμένης υγρασίας.

Από τα παραπάνω δεδομένα, θα υπολογίσουμε αρχικά το ποσοστό υγρασίας επί του συνόλου των απορριμμάτων, στη συνέχεια το HHV (Higher Heating Value) και τελικά το LHV για ΑΣΑ μειωμένης υγρασίας. Υγρασία περιέχουν μόνο τα οργανικά, το χαρτί και τα ΔΞΥ και όχι τα πλαστικά.

$$\text{Ποσοστό υγρασίας στο σύνολο των ΑΣΑ} = 0.65 \cdot \frac{96.8 \text{ tn}}{97.8 \text{ tn}} + 0.05 \cdot \frac{19 \text{ tn}}{97.8 \text{ tn}} + 0.0786 \cdot \frac{19.4 \text{ tn}}{97.8 \text{ tn}} = 30\%$$

$$LHV = HHV - (\text{Ποσοστό υγρασίας στο σύνολο των ΑΣΑ}) \cdot 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = HHV - 0.30 \cdot 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$LHV = HHV - 750 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow HHV = 15500 + 750 = 16250 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 16.25 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

$$*\text{λανθάνουσα θερμότητα ΑΣΑ} = 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Το LHV (για ΑΣΑ με μειωμένη υγρασία) ισούται λοιπόν με:

$$LHV = 16250 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0.15 \cdot 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 15875 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 15.9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

* το 0,15 είναι το θεωρητικά βέλτιστο ποσοστό υγρασίας που πρέπει να έχουν τα ΑΣΑ πριν την καύση τους.

6.4 Υπολογισμός παραγόμενης και ωφέλιμης ισχύος από την καύση

Η παραγόμενη ισχύς από την καύση είναι ίση με:

$$Q_{\text{tot}} = \dot{m}_f \cdot h_f = Q_{\text{air}} + Q_{\text{ωφέλιμ}} + Q_{\text{απώλ}} = 87.5 \frac{\text{tn}}{\text{day}} \cdot \frac{1 \text{ day}}{86400 \text{ sec}} \cdot 15.9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tn}} = 16 \text{ MW}$$

Η παροχή αέρα (q_{air}) θα χρησιμοποιηθεί για την προξήρανση των απορριμμάτων (q_{drying}) αλλά και του αέρα που θα διοχετεύεται μέσα στον καυστήρα για την καλύτερη και πλήρη καύση τους ($q_{incinerator}$).

Το q_{drying} με τη σειρά του χωρίζεται στη λανθάνουσα και αισθητή θερμότητα.

Για τη λανθάνουσα, υπολογίζω πρώτα τη διαφορά $LHV_{15\%}-LHV_{28\%}$ που ισούται με $(15,9-15,5)=0,4 \text{ MJ/Kg}$, κι έτσι $q_{\text{λανθάνουσας}}=0,4$

$$\frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} \cdot \frac{87800\text{Kg}}{86400\text{sec}} = 0,4\text{MW}.$$

Για την αισθητή στο στάδιο της προξήρανσης,

$$q_{\text{αισθητής}} = \dot{m}_f \cdot C_{p \text{ απορ/των}} \cdot \Delta T = \frac{87800\text{Kg}}{86400\text{sec}} \cdot 2,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 50^\circ\text{C} = 0,11 \text{ MW}$$

όπου $C_{p \text{ απορ/των}} = 2,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$ και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού με τον θερμαινόμενο από τα καυσαέρια αέρα που παρέχεται για την προξήρανση, δηλαδή $\Delta T=80^\circ\text{C}-30^\circ\text{C}=50^\circ\text{C}$.

δηλαδή $q_{\text{total προξήρανσης}}=0,51\text{MW}$.

Η $q_{\text{incinerator}}$ υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$q_{\text{incinerator}} = \dot{m}_f (1+a) C_{p \text{ αέρα}} \Delta T$$

όπου ο συντελεστής $a=20$ (από βιβλιογραφία ο απαιτούμενος αέρας για την καύση πρέπει να είναι 20πλάσιος της μάζας των ΑΣΑ), $C_{p \text{ αέρα}} = 1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$

και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού με τον θερμαινόμενο από τα καυσαέρια αέρα που παρέχεται στον καυστήρα, δηλαδή $\Delta T=80^\circ\text{C}-30^\circ\text{C}=50^\circ\text{C}$.

$$\text{Έτσι, } q_{\text{incinerator}} = \frac{87800\text{Kg}}{86400\text{sec}} (1+20) \cdot 1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot 50^\circ\text{C} \cdot \frac{1\text{day}}{86400\text{sec}} \cdot \frac{1\text{MJ}}{1000\text{KJ}} = 1,06\text{MW}$$

$$\text{Άρα, } q_{\text{air}} = q_{\text{drying}} + q_{\text{incinerator}} = 0,51 + 1,06 = 1,57 \text{ MW}$$

Τέλος, το $q_{\text{απωλ.}}$ υπολογίζεται ως το 10% του q_{tot} , δηλαδή 1,6MW.

Τελικά το ισοζύγιο γράφεται ως εξής:

$$q_{\text{tot}} = q_{\text{air}} + q_{\text{ωφέλιμ}} + q_{\text{απωλ}} \rightarrow 16 = 1,57 + q_{\text{ωφέλιμ}} + 1,6 \rightarrow$$

$$q_{\text{ωφέλιμ}} = 13\text{MW}$$

Η ισχύς που μπορούμε τελικά να επωφεληθούμε από την καύση των 87,5tn/d είναι **13MW** που ισούνται με **11187940 Kcal/hr** (1 MW=860610 Kcal/hr) και αντιστοιχούν σε **223710 m³** χώρου που μπορούμε να θερμάνουμε/ψύξουμε.

Ο όγκος των σκουπιδιών, εφόσον λάβαμε υπόψη και τους στόχους της ανακύκλωσης για το 2011, δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλος με αποτέλεσμα να παίρνουμε σχετικά μικρή ισχύ. Λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η μεταφορά απορριμμάτων από άλλους νομούς, όπως γίνεται άλλωστε ήδη με τα προς ανακύκλωση υλικά. Ακόμα, δεν έχει ληφθεί υπόψη η ενέργεια από πιθανή καύση βιομάζας, που θα αυξήσει δραστικά την ωφέλιμη ισχύ που υπολογίσαμε παραπάνω αλλά και το γεγονός της συνεχούς αύξηση των απορριμμάτων που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στις σημερινές κοινωνίες.

Με τα υπάρχοντα όμως δεδομένα, το σίγουρο είναι ότι δεν μπορεί μια τέτοια μονάδα να τροφοδοτήσει με ζεστό νερό πολλά σπίτια και άρα ένα σύστημα τηλεθέρμανσης/τηλεψύξης θα μπορούσε να θεωρηθεί ασύμφορο. Αυτό προκύπτει ως εξής: έχοντας υπολογίσει ότι περίπου 220000m³ μπορούν να θερμανθούν/ψυχθούν και θεωρώντας μέσο ύψος κατοικίας τα 3μ. και μέση επιφάνεια τα 100 m², ο αριθμός των σπιτιών που μπορεί να εξυπηρετηθεί είναι $\frac{220000}{300} = 730$ σπίτια.

Διαφορετικά, θα μπορούσαμε να κάνουμε την πράξη $\frac{220000\text{m}^3}{3\text{m}} = 73000\text{m}^2$ και να υπολογίσουμε τη συνολική επιφάνεια που θα μπορούσαμε να θερμάνουμε/ψύξουμε.





Θα μπορούσαμε όμως να τροφοδοτήσουμε τα δημόσια κτίρια ή το νοσοκομείο, εξυπηρετώντας έτσι κοινωφελείς σκοπούς. Άλλωστε, λαμβάνοντας μέσο ύψος του νοσοκομείου τα 4μ., η επιφάνεια μειώνεται στα 55000m², επιφάνεια που επαρκεί για τις ανάγκες του νοσοκομείου που καλύπτει 50000m² 'ωφέλιμα' και περισσεύει για να καλύψει ανάγκες παρακείμενων σε αυτό σπιτιών.

Όπως προαναφέρθηκε, για τις δεδομένες ποσότητες απορριμμάτων, δυνατή είναι η εξυπηρέτηση ενός μικρού αριθμού καταναλωτών. Παράγοντες όμως που αναφέρθηκαν ανωτέρω μπορούν μελλοντικά να καταστήσουν ένα σύστημα τηλεθέρμανσης – τηλεψύξης στα Χανιά οικονομικά πραγματοποιήσιμο, ίσως και επιβαλλόμενο. Κι αυτό αφορά κυρίως τη βιομάζα, η οποία καίγεται ανεξέλεγκτα σε κήπους και αγρούς, αποτελώντας πληγή για το περιβάλλον. Έτσι, πέραν του νοσοκομείου, θα μπορούσαν να τροφοδοτηθούν και οι γύρω περιοχές οι οποίες είναι αποκεντρωμένες και όπου η κατασκευή ενός υπόγειου δικτύου σωληνώσεων θα ήταν εύκολα ολοκληρώσιμη. Αν αυξηθεί αισθητά η ωφέλιμη ισχύς, θα είναι δυνατή και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με όλα τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που αυτό συνεπάγεται. Μόνο που τότε θα πρέπει να υπάρξουν τροποποιήσεις στη μονάδα, όπως το να παράγεται υπέρθερμος ατμός, ο οποίος εκτονούμενος να κινεί μια τουρμπίνα. Η κινητική ενέργεια αυτής να μεταφέρεται σε γεννήτρια η οποία θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ο ατμός από τη τουρμπίνα μέσω εναλλακτών θερμότητας θα παρέχει την εναπομένουσα θερμική ενέργεια του στο σύστημα τηλεθέρμανσης και θα επανατροφοδοτεί το λέβητα μέσω αντλίας.

Με δεδομένο λοιπόν ότι η ωφέλιμη ισχύς από τη μονάδα καύσης επαρκεί για τις ανάγκες θέρμανσης/ψύξης του νοσοκομείου, σχεδιάστηκε το σύστημα που περιγράφεται παρακάτω.

6.5 Περιγραφή της προτεινόμενης μονάδας καύσης ΑΣΑ

Επιγραμματικά στην αρχή, να αναφέρουμε τα τμήματα από τα οποία αποτελείται μια μονάδα καύσης:

-  Παραλαβής των απορριμμάτων (Χώρος Υποδοχής)
-  Προεπεξεργασίας (Προξήρανσης)
-  Τροφοδοσίας
-  Εστίας Καύσης

 Λέβητα - αξιοποίησης θερμότητας Απομάκρυνσης υπολειμμάτων (Σκωρίας) Καθαρισμού αερίων – Καπνοδόχου

Τα απορρίμματα φτάνουν στην εγκατάσταση με τη βοήθεια απορριμματοφόρων, τα οποία ζυγίζονται τόσο για να μετρηθεί η ποσότητα όσο και για να προσδιοριστεί το κόστος διάθεσής τους. Ένας αριθμός από αυτά, θα πρέπει να περάσει από έλεγχο ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχουν ακατάλληλα προς αποτέφρωση υλικά (κυρίως μέταλλα) στη μάζα των απορριμμάτων. Η περαιτέρω διαδικασία απεικονίζεται λεπτομερώς στο σχήμα που ακολουθεί.

Τα απορρίμματα από τα απορριμματοφόρα καταλήγουν σε μια μεγάλη δεξαμενή αποθήκευσης και από εκεί μεταφέρονται με ειδικούς ανυψωτήρες-δαγκάνες στην εστία καύσης, αφού πρώτα περάσουν από το τούνελ της προξήρανσης όπου διοχετεύεται θερμός αέρας θερμοκρασίας περίπου 80 °C.

Θερμός αέρας διοχετεύεται όμως και μέσα στο θάλαμο καύσης (κάτω από τις εσχάρες) για αύξηση της απόδοσης, αλλά και επειδή θέλουμε η θερμική επεξεργασία να γίνεται παρουσία περίσσειας οξυγόνου και να μην καταλήξει σε πυρόλυση. Ο αέρας αυτός είναι ατμοσφαιρικός, ο οποίος όμως θερμαίνεται από τα καυσαέρια (ο κόκκινος σωλήνας στο σχήμα).



Η καύση γίνεται περίπου στους 1000°C με περίσσεια αέρα.



Τα καυσαέρια στη συνέχεια, θερμαίνουν ένα κλειστό κύκλωμα νερού, το οποίο με τη σειρά του θερμαίνει το νερό της τηλεθέρμανσης. Η θερμότητα μεταξύ των δύο υγρών εναλλάσσεται μέσα σε μία θερμομονωμένη δεξαμενή. Τα καυσαέρια συνεχίζουν την πορεία τους μέσα από το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων.

6.6 Σύστημα καθαρισμού απαερίων

Τα απορρίμματα περιέχουν διάφορες ουσίες, οι οποίες μπορεί να αντιδράσουν μεταξύ τους κατά τις διεργασίες της καύσης και να δημιουργήσουν καινούριες ουσίες. Για το λόγο αυτό ο καθαρισμός των απαερίων είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της όλης διαδικασίας. Περιλαμβάνει μια πολύ περίπλοκη διαδικασία καθαρισμού γιατί οι πολλές διαφορετικές ουσίες πρέπει να διαχωριστούν από τα απαέρια, ενώ πρέπει να χρησιμοποιείται η τελευταία λέξη της τεχνολογίας ώστε να τηρούνται οι αυστηρές απαιτήσεις της ευρωπαϊκής ή κυβερνητικής νομοθεσίας.

- Ηλεκτροστατικό φίλτρο (ESP)

Τα ζεστά απαέρια συνεχίζουν από τον καυστήρα στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας καθαρισμού, το ηλεκτροστατικό φίλτρο. Ο αέρας με το ρυπαντικό φορτίο ρέει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και ιονίζεται. Αυτό αφαιρεί την περισσότερη τέφρα από τα απαέρια, αφού η τέφρα καθίσταται αρνητικά φορτισμένη λόγω των μεγάλων μεταλλικών πλακών που είναι θετικά φορτισμένες και εναποτίθεται σε αυτές. Οι πλάκες τινάζονται κατά διαστήματα και η τέφρα πέφτει σε ένα δοχείο και από εκεί μεταφέρεται σε silo. Όταν τα απαέρια περάσουν το ηλεκτροστατικό φίλτρο, η περισσότερη από την τέφρα έχει απομακρυνθεί και η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι μικρότερη από $20\text{mg}/\text{m}^3$. Το ESP είναι μοναδικό ανάμεσα στις άλλες συσκευές ελέγχου αέριας ρύπανσης στο ότι οι δυνάμεις συλλογής δρουν μόνο στα σωματίδια και όχι σε ολόκληρο το ρεύμα του αέρα. Αυτό το φαινόμενο τυπικά έχει μια υψηλή απόδοση συλλογής με μια πολύ χαμηλή πτώση πίεσης του αέρα. Ένα 20-30% των απαερίων επιστρέφουν στο λέβητα με σκοπό να μειωθούν τα οξείδια του αζώτου.

- Πλυντηρίδες (Scrubber)

Το υγρό κομμάτι της διαδικασίας καθαρισμού αποτελείται από 3 πλυντηρίδες. Δύο πλυντηρίδες καθαρισμού και μία συμπύκνωσης, όπου οι ουσίες ξεπλένονται μία- μία.

Μετά το ηλεκτροστατικό φίλτρο, η θερμοκρασία των απαερίων είναι ακόμα σχετικά υψηλή. Πριν μπουν στην πλυντηρίδα, η θερμοκρασία τους πρέπει να μειωθεί, πρώτα στους 120°C με ένα εναλλάκτη

Θερμότητας και στη συνέχεια στους περίπου 60-70°C με τη βοήθεια ταχυψύκτη (quencher). Τα απαέρια βρέχονται στις πλυντηρίδες, όπου νερό ψεκάζεται από κεραμικά ακροφύσια κατά μήκος όλης της επιφάνειας και το οποίο παρασύρει τις διάφορες ουσίες. Διαφορετικά χημικά τα οποία αντιδρούν με διαφορετικές ουσίες στα απαέρια προστίθενται στο νερό στις 3 πλυντηρίδες. Το νερό αντικαθίσταται στα ενδιάμεσα στάδια και οδηγείται στη μονάδα επεξεργασίας νερού.

Πρώτη πλυντηρίδα (acid scrubber)

Στην πρώτη πλυντηρίδα, τα απαέρια απαλλάσσονται από τις όξινες ουσίες όπως το υδροχλωρικό οξύ και το υδροφθόριο, αλλά και τον υδράργυρο, άλλα βαρέα μέταλλα και τέφρα. Οι μολυσματικές αυτές ουσίες διαλύονται στο νερό, καθιστώντας το όμως πολύ όξινο. Για να αποφευχθεί αυτό (και να αυξηθεί τιμή του pH), προστίθεται στο νερό ασβεστόλιθος. Πριν τα απαέρια οδηγηθούν στην επόμενη πλυντηρίδα, διέρχονται μέσα από μια συσκευή διαχωρισμού η οποία κατακρατά όλα τα σταγονίδια νερού που βρίσκονται σε αυτά και που σε αντίθετη περίπτωση θα επηρέαζαν τη διαδικασία στην επόμενη πλυντηρίδα.

Δεύτερη πλυντηρίδα (basic scrubber)

Στη δεύτερη πλυντηρίδα προστίθεται ασβεστόλιθος σε μορφή εγχύσιμου διαλύματος γύψου. Εδώ κατακρατείται το SO₂. Το θείο και το ασβέστιο σχηματίζουν θειούχο ασβέστιο (ή αλλιώς γύψο) το οποίο συλλέγεται και στεγνώνεται σε ένα φίλτρο κενού (περίπου 100kg/h). Πριν τα απαέρια οδηγηθούν στην επόμενη πλυντηρίδα, διέρχονται μέσα από μια συσκευή διαχωρισμού η οποία κατακρατά όλα τα σταγονίδια νερού που βρίσκονται σε αυτά.

Τρίτη πλυντηρίδα (condensing scrubber)

Η τρίτη πλυντηρίδα είναι μια πλυντηρίδα συμπύκνωσης στην οποία, εκτός του ότι γίνεται περαιτέρω καθαρισμός των απαερίων, συμπυκνώνονται οι υδρατμοί που υπάρχουν στα απαέρια, παράγοντας ενέργεια. Με σκοπό να πετύχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής μεταξύ των απαερίων και του νερού της διαδικασίας, χρησιμοποιείται ένα στρώμα γεμίσματος στο εσωτερικό της πλυντηρίδας. Οι διοξίνες που μεταφέρονται με την τέφρα στα απαέρια, ξεχωρίζονται προσθέτοντας σκόνη λιγνίτη (κωκ). Τα ψήγματα διοξίνης διαλύονται στο νερό και απορροφώνται σε σωματίδια άνθρακα. Το νερό της διαδικασίας που περιέχει διοξίνες και κωκ οδηγείται πίσω για την καταστροφή τους και την παραγωγή ενέργειας. Προσθέτοντας υδροξείδιο του θείου, τα επίπεδα SO₂ μειώνονται ακόμα περισσότερο. Οι υδρατμοί στα απαέρια συμπυκνώνονται στο γέμισμα. Θερμότητα εξάγεται από το συμπυκνωμένο νερό με 2 αντλίες θερμότητας, οι οποίες προθερμαίνουν το επιστρέφον από το σύστημα τηλεθέρμανσης νερό.

- Ηλεκτρο-Venturi

Το επόμενο στάδιο της διεργασίας είναι ένα ηλεκτρο- Venturi φίλτρο. Το φίλτρο αυτό λειτουργεί με τον ίδιο σχεδόν τρόπο με το ηλεκτροστατικό αλλά σε υγρό περιβάλλον. Εκεί, η τυχόν εναπομένουσα τέφρα στα απαέρια απομακρύνεται. Το Venturi αποτελείται από 24 'σωλήνες' που στενεύουν αισθητά στα άκρα ώστε να αυξηθεί η ροή των απαερίων. Ένα ηλεκτρόδιο φορτίζει αρνητικά την τέφρα και όταν έρθει σε επαφή με το θετικά φορτισμένο νερό, αφομοιώνεται. Το νερό με την περιεχόμενη σε αυτό τέφρα οδηγείται μέσω της πρώτης πλυντηρίδας στην μονάδα επεξεργασίας νερού. Η ποσότητα της τέφρας στα απαέρια έχει μειωθεί περίπου στο $1\text{mg}/\text{m}^3$.

- Καταλύτης

Το τελικό στάδιο της διεργασίας καθαρισμού των απαερίων είναι ένας καταλύτης. Αλλά πριν τα απαέρια περάσουν από αυτόν πρέπει να ξαναζεσταθούν. Αυτό γίνεται μέσω του ίδιου εναλλάκτη θερμότητας από τον οποίο πέρασαν τα απαέρια πριν την πρώτη πλυντηρίδα. Η θερμοκρασία των απαερίων αυξάνει από τους περίπου 30 στους 120 °C. Ένας συμπληρωματικός εναλλάκτης θερμότητας αυξάνει την θερμοκρασία στους 240 °C.

Στον καταλύτη, τα απαέρια περνούν μέσω ενός πορώδους κεραμικού υλικού και γίνεται έγχυση αμμωνίας /νερού. Τα εναπομείναντα νιτρικά οξέα αντιδρούν με την αμμωνία και διασπώνται σε N και ατμό. Τα απαέρια στη συνέχεια ψύχονται από τους 140 °C στους 70 °C με το νερό από την τηλεθέρμανση με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη και η θερμότητα που παράγεται καταλήγει στο σύστημα τηλεθέρμανσης. Τέλος, με τη βοήθεια ανεμιστήρα, τα απαέρια στέλνονται στον αέρα μέσω μιας καπνοδόχου.

Η όλη διαδικασία καθαρισμού απαερίων απεικονίζεται στην επόμενη σελίδα.

6.7 Μονάδα επεξεργασίας νερού

Τον καθαρισμό των καυσαερίων ακολουθεί η επεξεργασία του νερού που χρειάστηκε για τη διαδικασία αυτή. Άλλωστε, η διαδικασία καθαρισμού δεν μπορεί να θεωρηθεί ολοκληρωμένη μέχρι να επεξεργαστεί και αυτό το νερό.

Για την επεξεργασία του πολύ όξινου νερού από τις πλυντηρίδες και το ηλεκτρο-Venturi, αυτό περνά από 4 δεξαμενές όπου προστίθενται διαφορετικές χημικές ουσίες.

Δεξαμενή ουδετεροποίησης (I)

Για να ανέβει το pH στην τιμή 2-3, γίνεται πρώτα μια πρόχειρη ουδετεροποίηση χρησιμοποιώντας ασβεστόλιθο.

Δεξαμενή ουδετεροποίησης (II)

Για περαιτέρω αύξηση του pH στην τιμή 9-10, προστίθεται καυστική σόδα και σιδηρούχο χλώριο, με αποτέλεσμα τα βαρέα μέταλλα να κατακρημνίζονται ως υδροξείδια.

Δεξαμενή κατακρήμνισης

Εδώ προστίθεται TMT 15 και ουσίες παρόμοιες με σουλφίδια κατακρημνίζονται.

Δεξαμενή κροκίδωσης

Στη δεξαμενή αυτή προστίθεται ένα πολυμερές, με αποτέλεσμα το κατακρήμνισμα να κροκιδώνεται σχηματίζοντας μεγάλα μόρια.

Στην επόμενη δεξαμενή (decanter) το κατακρήμνισμα συγκεντρώνεται στον πάτο της ως λάσπη. Η λάσπη αυτή αντλείται και ανακατεύεται στη συνέχεια με την τέφρα από το silo κι έτσι δημιουργείται ένα σταθεροποιημένο υπολειμματικό προϊόν (Bamberg cake) το οποίο είναι σταθερό στη διήθηση. Τα cake αυτά μπορούν να αποτεθούν σε ειδικά σχεδιασμένους χώρους ταφής και το διήθημα καταλήγει στην εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού της περιοχής για περαιτέρω επεξεργασία.

Η διαδικασία καθαρισμού του νερού συνεχίζεται και ολοκληρώνεται με μια δεξαμενή ουδετεροποίησης και ακολουθεί ένα αμμόφιλτρο και ένα φίλτρο ενεργού άνθρακα.

Η διαδικασία επεξεργασίας του νερού απεικονίζεται στην επόμενη σελίδα.

6.8 Σύστημα απομάκρυνσης των στερεών υπολειμμάτων

αντιστοιχούν στο 20-30% του βάρους τους. Η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από την σύνθεση των απορριμμάτων όσο και από τις συνθήκες λειτουργίας στην εγκατάσταση και τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες.

Τα υπολείμματα της καύσης των ΑΣΑ είναι τέφρα, η οποία διαχωρίζεται σε αυτήν που απομένει στις εσχάρες καύσης (bottom ash) και σε εκείνη που κατακρατείται από τα καυσαέρια με τη βοήθεια του εξοπλισμού ελέγχου αέριας ρύπανσης (fly ash). Τα δύο είδη τέφρας συνήθως επεξεργάζονται από κοινού σε μια εγκατάσταση. Οι μεγαλύτερες ποσότητες υφίστανται υγειονομική ταφή σε ΧΥΤΑ για ΑΣΑ ή σε χώρους σχεδιασμένους να δέχονται μόνο τέφρα. Ορισμένες ποσότητες τέφρας χρησιμοποιούνται στην κατασκευή δρόμων, αφού πρώτα έχει περάσει τα τεστ τοξικότητας.



Το γενικό διάγραμμα της μονάδας καύσης φαίνεται στην επόμενη σελίδα.

6.9 Τηλεψύξη

Υπολογίσαμε ότι με την παραγόμενη ισχύ από τη μονάδα αποτέφρωσης μπορούμε με τα σημερινά δεδομένα να τροφοδοτήσουμε με ζεστό νερό (και όχι κρύο για το λόγο που αναφέρεται στο κεφ.4) το Νοσοκομείο Χανίων. Πέραν αυτής της δικαιολόγησης, το νοσοκομείο είναι ένα κτίριο που χρειάζεται ζεστό νερό χρήσης χειμώνα – καλοκαίρι.

Οπότε, προτείνεται η δημιουργία ενός συστήματος τηλεψύξης όπου θερμό νερό θα παράγεται κεντρικά από τη μονάδα καύσης απορριμμάτων/βιομάζας και θα οδηγείται με συνεχή ροή σε μια θερμομονωμένη δεξαμενή όπου και θα θερμαίνει το νερό του δικτύου που θα διέρχεται από το εσωτερικό της.

Ένα μέρος του θερμού πια νερού του δικτύου θα χρησιμοποιείται για ζεστό νερό χρήσης, οπότε θα έχει μόνιμη ροή προς το νοσοκομείο, όπου με έναν εναλλάκτη θερμότητας θα θερμαίνει το νερό προς χρήση και θα επιστρέφει στη δεξαμενή για να αναθερμανθεί.

Το άλλο μέρος του νερού της τηλεψύξης θα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ή ψύξη των χώρων και ανάλογα με την εποχή, θα ανοίγει η αντίστοιχη βαλβίδα. Το χειμώνα, το θερμό νερό του δικτύου τηλεψύξης(θέρμανσης) θα διέρχεται μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας και θα θερμαίνει το νερό που διέρχεται μέσα από τα θερμαντικά σώματα, θερμαίνοντας έτσι τους χώρους του νοσοκομείου και θα επιστρέφει στη δεξαμενή για να αναθερμανθεί. Το καλοκαίρι, το θερμό νερό του δικτύου θα διέρχεται μέσα από ένα ψύκτη απορρόφησης, ο οποίος απορροφώντας τη θερμότητα από το νερό αυτό και με τη βοήθεια του ψυκτικού κύκλου, αποδίδει κρύο νερό, το οποίο με τη σειρά του, διερχόμενο από fancoils, αποδίδει κρύο αέρα για την ψύξη των χώρων. Το θερμό νερό που 'οδηγεί' τον ψυκτικό κύκλο επιστρέφει στη δεξαμενή για να αναθερμανθεί.

Να σημειωθεί ότι το νερό του δικτύου στην επιστροφή του θα θερμαίνεται και από 2 εναλλάκτες που υπάγονται στο τμήμα καθαρισμού των απερίων (βλ. κεφ. 6.6)

Όλο αυτό το σύστημα αποδίδεται γραφικά στην παρακάτω εικόνα:

Παρατίθενται εικόνες μηχανολογικού εξοπλισμού που αναφέρθηκε παραπάνω:



Θερμικός υποσταθμός



Εναλλάκτες θερμότητας



μονάδα fancoil

6.9.1 Ψύκτης απορρόφησης

Η λειτουργία του κύκλου ψύξης αναλύεται εκτενώς στο κεφάλαιο 5. Το παρακάτω σχήμα παρατίθεται λόγω του ότι συμπεριλαμβάνεται στο παραπάνω γενικό σχήμα. Έστω ότι θα χρησιμοποιηθεί απορροφητικό διάλυμα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ (έχει μεγαλύτερο COP) το οποίο αναρροφάται στην αντλία και καταθλίβεται μέσα στη θερμογεννήτρια.

Εκεί, το διάλυμα θερμαίνεται από το νερό της τηλεθέρμανσης και ανυψώνεται η θερμοκρασία του. Ύστερα διαχωρίζεται στο διαχωριστή και οι ατμοί νερού (ΨΜ) μπαίνουν στο συμπυκνωτή και συμπυκνώνονται αποδίδοντας θερμότητα.

Εξερχόμενο το ψυκτικό μέσο από το συμπυκνωτή, σε υγρή φάση, περνάει από την εκτονωτική βαλβίδα όπου εκτονούμενο πέφτει η πίεση και η θερμοκρασία του στα επίπεδα λειτουργίας του εξατμιστή. Με

χαμηλή πίεση και θερμοκρασία λοιπόν, το ψυκτικό μέσο μπαίνει στον εξατμιστή και εξατμίζεται απορροφώντας θερμότητα και παράγοντας ψύξη (αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας το νερό τηλεψύξης).

Τέλος, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου κατευθύνονται προς τον απορροφητή όπου αναμιγνύονται με το συμπυκνωμένο διάλυμα βρωμιούχου λιθίου, σχηματίζουν το αρχικό απορροφητικό διάλυμα με μια εξώθερμη αντίδραση. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να ψύχεται ο απορροφητής.

Στη συνέχεια, το υγρό διάλυμα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ αντλείται στη γεννήτρια, όπου θερμαίνεται από το νερό της τηλεθέρμανσης και εξατμίζεται ένα μέρος του. Οι υψηλής πίεσης υδρατμοί συνεχίζουν έπειτα τη διαδρομή τους στο υπόλοιπο του κύκλου.

Το ζεστό αραιό διάλυμα $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ περνά κατόπιν μέσα από τον εναλλάκτη μεταφέροντας κάποιο ποσό θερμότητας στο συμπυκνωμένο διάλυμα που αφήνει την αντλία και στραγγαλίζεται στην πίεση του απορροφητή κι έτσι προθερμαίνει το ψυκτικό μέσο που οδηγείται στη θερμογεννήτρια.

Ένα άλλο κλειστό κύκλωμα νερού (κίτρινο στο σχήμα) διέρχεται από τον απορροφητή και στη συνέχεια από το συμπυκνωτή με σκοπό να απάγει τη θερμότητα που παράγεται από τις διαδικασίες της απορρόφησης και της συμπύκνωσης.

Ακολουθεί το διάγραμμα του ψυκτικού κύκλου, καθώς και ένα ανακεφαλαιωτικό που απεικονίζει όλα όσα προαναφέρθηκαν.

Παρά την έμφαση που δίνεται στην ελαχιστοποίηση και την ανακύκλωση των απορριμμάτων, αναγνωρίζεται ότι η κοινωνία θα συνεχίσει να παράγει απορρίμματα που απαιτούν είτε αποτέφρωση είτε υγειονομική ταφή. Σαν αποτέλεσμα, η χρήση της αποτέφρωσης με εξοικονόμηση ενέργειας, αναμένεται να αυξηθεί σε πολλές χώρες την επομένη δεκαετία, ειδικά ως αποτέλεσμα κανονισμών που περιορίζουν το οργανικό περιεχόμενο των απορριμμάτων που προορίζονται για υγειονομική ταφή. Άλλωστε, η οδηγία από την ΕΕ για τον περιορισμό των ΧΥΤΑ και το κλείσιμο των χωματερών μέχρι το 2008 ήταν σαφής. Κι όμως στην Ελλάδα, εξακολουθούμε να συζητάμε για τη δημιουργία νέων ΧΥΤΑ ως μοναδικό τρόπο τελικής διάθεσης των απορριμμάτων.

Η καύση των απορριμμάτων, εκτός του ότι αποτελεί ένα αποτελεσματικό τρόπο διαχείρισής τους με έναν ελεγχόμενο τρόπο και παρουσιάζει πλεονεκτήματα συγκρινόμενο με την υγειονομική ταφή, δίνει τη δυνατότητα αύξησης του χρόνου ζωής των ενεργειακών συστημάτων με τη μελλοντική και πλήρη αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Αποτελεί επίσης διεθνώς μια καθιερωμένη και περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδο και κατέχει σήμερα παγκοσμίως την δεύτερη θέση στην διάθεση των απορριμμάτων. Το ζητούμενο είναι βέβαια η κατά το δυνατόν αποτελεσματικότερη μετατροπή των απορριμμάτων σε μη επιβλαβή υλικά και όχι μόνο η ανάκτηση ενέργειας.

Κλείνοντας, θα ήθελα να αναφέρω ότι ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση των επιμέρους τμημάτων και κύριων στοιχείων του εξοπλισμού και κατ' επέκτασιν η λεπτομερής εκτίμηση του κόστους της πάγιας επένδυσης καθώς και των δαπανών λειτουργίας τόσο μιας μονάδας καύσης όσο και ενός δικτύου τηλεθέρμανσης/ τηλεψύξης κρίνονται πεδία μιας περαιτέρω μελέτης. Αλλά όσο ακριβή κι αν φαντάζει η μέθοδος της καύσης των ΑΣΑ έναντι της υγειονομικής ταφής, η επιφανειακή εκτίμηση δεν συνυπολογίζει το περιβαλλοντικό κόστος της μίας μεθόδου έναντι της άλλης. Η τεχνολογία της καύσης είναι τόσο δαπανηρή, ακριβώς επειδή αυτό περιορίζεται στο ελάχιστο.

Βιβλιογραφία

1. 'Έλεγχος αέριας ρύπανσης'-Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας, David Cooper-Alley, εκδ. Τζιόλα, 2004
2. 'Wastewater Engineering Treatment & Reuse', Metcalf & Eddy, McGraw-Hill Companies Inc.
3. 'Επικίνδυνα Απόβλητα, Ευαγ. Γιδαράκος, εκδ. Ζυγός
4. 'Σχεδιασμός και Οικονομική Μελέτη Εγκαταστάσεων για Μηχανικούς, Max S. Peters-Klaus D. Timmerhaus'
5. Danish Board of District Heating (DBDH), 3/2006
6. Noy Vallesina brochure
7. Οπτικοακουστικό υλικό από το εργοστάσιο της SYSAV στο Malmö της Σουηδίας
8. Εισήγηση της Χαλκουτσάκη Έλενας, «Ενέργεια από την καύση απορριμμάτων», 1ο συνέδριο για ήπιες μορφές ενέργειας (Θεσ/κη 20-22/10/82)
9. Εισήγηση του Γ. Βασιλάτου, 1ο συνέδριο για ήπιες μορφές ενέργειας (Θεσ/κη 20-22/10/82)
10. Εισήγηση του Δ. Διακουλάκη, 'Δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης των οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα', 2ο συνέδριο για ήπιες μορφές ενέργειας (Θεσ/κη 6-8/11/85)
11. Εισήγηση των Νταμπεγλιώτη, Τοπάλη, Καράμπελα, 'Καύση αστικών απορριμμάτων. Μελέτη Μονάδας με ενεργειακή αποδοτικότητα και περιβαλλοντική ασφάλεια, 5ο συνέδριο για ήπιες μορφές ενέργειας (Αθήνα 6-8/11/1996)
12. Εισηγήσεις από το 7ο συνέδριο για ήπιες μορφές ενέργειας (Πάτρα 6-8/11/2002)
13. Εισηγήσεις από το συνέδριο 'Τουρισμός και Περιβάλλον στις νησιωτικές περιφέρειες' (Ηράκλειο Κρήτης 17-19/3/1995) των Διαμαντόπουλου-Αμπατζόπουλου και Σκορδίλη
14. Εισήγηση του Δρ. Π. Παπασταματίου με τίτλο «Πολιτικές για τις ΑΠΕ σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο» στο παγκόσμιο συνέδριο 'Ενέργεια 2002'
15. Υλικό από τη Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Κοζάνης

Και από το διαδίκτυο:

16. www.hachp.gr (Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας)
17. www.dedisa.gr
18. <http://www.austinenergy.com/Commercial/Other%20Services/On-Site%20Energy%20Systems/districtcooling.htm>
19. http://www.utilities.cornell.edu/utl_districtcooling.html
20. <http://www.nccc.gov.sg/building/dcs.shtm>
21. <http://www.dbdh.dk/pdf/cooling.html>
22. <http://app.nea.gov.sg/cms/htdocs/article.asp?pid=1190>
23. <http://www.helsinginenergia.fi/kaukojaahdytys/en/>
24. <http://www.fredcon.com/cooling.htm>
25. <http://www.euroheat.org/>
26. <http://www.alfalaval.com>
27. <http://www.energy.rochester.edu/dc/>
28. <http://www.diva-portal.org/kth/theses/abstract.xsql?dbid=1784>
29. <http://www.energy.rochester.edu/idea/cooling/1995/stockholm.htm>
30. www.norrenergi.se