



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ

“Ενεργειακή απόδοση μονάδων θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων. Η περίπτωση του Πειραιά”

“Energy efficiency of waste thermal treatment plants. A case study for Piraeus”



ΚΑΦΑΝΤΑΡΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, ΑΜ: 43373

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΑΛΕΞΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΔΑ

ΑΘΗΝΑ, 2018

Ευχαριστίες!

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή **Δρ. Αλέξη Γεώργιο** για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη πτυχιακή μου εργασία, καθώς για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια για την ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ τον **κ. Ψωμόπουλο Κωνσταντίνο** για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις που συνέβαλαν στην καλύτερη διαμόρφωση της πτυχιακής εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τον συνεργάτη και φίλο **κ Ευστράτιο Καλογήρου**, Δρ. Χημικό Μηχανικό για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε, αλλά και τα στοιχεία που εμπιστεύτηκε, ώστε να ολοκληρωθεί η πτυχιακή με επιτυχία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.2 ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ Α.Σ.Α.	9
1.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ Α.Σ.Α.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	13
2.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Α.Σ.Α.	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	18
3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ & ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	20
3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	25
3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΥΣΗΣ.....	25
3.3.2 ΥΠΟΔΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	28
3.3.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	28
3.3.4 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	30
3.3.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ – ΕΣΤΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ	32
3.3.5.1 ΕΣΤΙΑ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΣΧΑΡΩΝ.....	33
3.3.5.2 ΕΣΤΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ – ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	38
3.3.5.3 ΕΣΤΙΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ	40
3.3.6 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ (ΛΕΒΗΤΕΣ).....	42
3.3.7 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ.....	47
3.3.7.1 ΕΙΔΗ ΑΤΜΟΣΤΟΒΙΛΩΝ.....	48
3.3.7.2 ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ.....	50
3.3.7.3 ΑΕΡΟΨΥΚΤΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ (ACC).....	51
3.3.7.4 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΑΤΜΟΥ (ΨΥΞΗ)	53
3.3.8 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΛΕΒΗΤΑ.....	54
3.4 ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗ.....	55
3.4.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	55
3.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ WTE	59
3.6 ΦΟΡΜΟΥΛΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ R1 ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΑΥΣΗΣ.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	65
4.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΑ - CASE STUDY ΠΕΙΡΑΙΑ.....	66

4.2 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	69
4.2.1 ΈΣΟΔΑ	69
4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	76
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79
ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

I Εικόνα 1.1: Ποσοστά της ενεργειακής αξιοποίησης, ανακύκλωσης ανα την Ευρώπη ..	12
II Εικόνα 1.2: Χάρτης εργοστασίων Θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων στην Ευρώπη	19
III Εικόνα 3.1 Βασική δομή μονάδας καύσης ΑΣΑ	27
IV Εικόνα 3.2 Φρεάτιο τροφοδοσίας με μορφή χοάνης	30
V Εικόνα 3.3 Γερανός “αρπαγής” αποβλήτων	31
VI Εικόνα 3.4 Τύποι Αποτεφρωτών (α) κινούμενων εσχάρων (β) περιστρεφόμενου κλιβάνου (γ) ρευστοποιημένης κλίνης.....	32
VII Εικόνα 3.5 Χαρακτηριστικά της καύσης απορριμμάτων σε αποτεφρωτή με κινούμενες εσχάρες.....	34
VIII Εικόνα 3.6 Αποτεφρωτής περιστρεφόμενου κλιβάνου.....	39
IX Εικόνα 3.7 Βασικά μέρη σταθερής ρευστοποιημένης κλίνης	40
X Εικόνα 3.8 Ρευστοποιημένη κλίση με ανακυκλοφορία	41
XI Εικόνα 3.9 Πανοραμική άποψη λέβητα: Εξάρτημα υπερθέρμανσης.....	45
XII Εικόνα 3.10 Προβολή λέβητα.....	45
XIII Εικόνα 3.11 Λέβητας κατά τη συντήρηση	46
XIV Εικόνα 3.12 Ενδεικτική ατμοστρόβιλος	49
XV Εικόνα 3.13 Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης	50
XVI Εικόνα 3.14 Ενδεικτικός πύργος ψύξης	51
XVII Εικόνα 3.15 Ενδεικτικό αερόψυκτου συμπυκνωτή	52
XVIII Εικόνα 3.16 Όψη του συμπυκνωτή αέρα	53
XIX Εικόνα 3.17 Μονάδα καύσης ΑΣΑ	54
XX Εικόνα 3.18 Βασικό Ισοζύγιο μάζας για την διαδικασία της καύσης	55
XXI Εικόνα 3.19 Βασικές λειτουργίες μονάδας μαζικής καύσης ΑΣΑ	57
XXII Εικόνα 3.20. Στατιστικά παραγωγής ενέργειας από μονάδες θερμικής επεξεργασίας	60
XXIII Εικόνα 3.21 “Isséane” Plant – Παρίσι	64
XXIV Εικόνα 4.1 Spittelau WTE και ο εντυπωσιακός σχεδιασμός και διακόσμηση της στοίβας.....	68

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποσκοπεί στην καταγραφή υφισταμένων μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων. Κύριος στόχος η βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης (λέβητα και ατμοστροβίλου (τουρμπίνας)/γεννήτριας στα πλαίσια και της ευρωπαϊκής οδηγίας/πλαισίου 2008/98 για τα απόβλητα. Περιγράφεται η διεργασία της θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας καθώς και η απαραίτητη αντιρρυπαντική τεχνολογία.

Έμφαση στα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου ατμού (τυπικά 400°C/40bar. Αναλύεται ειδικότερα η περίπτωση μονάδας θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων ετήσιας δυναμικότητας 200.000 τόνων/χρόνο, η οποία εκτιμάται ότι σε αρμονική συνεργασία με την υφιστάμενη αλλά και την μελλοντική ανακύκλωση των απορριμμάτων, θα συμβάλει στην οριστική επίλυση του προβλήματος διαχείρισης αστικών στερέων αποβλήτων στην ευρύτερη περιοχή του Πειραιά, με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας ως ΑΠΕ λόγω του 50% βιοαποδομήσιμου (βιογενούς) κλασμάτων των Α.Σ.Α.(Αστικά Στερεά Απόβλητα).

Συμπερασματικά, η μονάδα μπορεί να παράγει περίπου 100.000 MWh ετησίως στους 400°C/40bar.

Αυτό συμβάλει ριζικά στην ενίσχυση του ενεργειακού δυναμικού της ΔΕΗ, ειδικότερα σε περιόδους αιχμής όπως είναι το καλοκαίρι. Με σημαντικά Κοινωνικά οφέλη, όπως θέσεις εργασίας για τα επόμενα 28 χρόνια (εκτιμώμενος χρόνος βιωσιμότητας μονάδας) λειτουργίας - βιωσιμότητας της μονάδας.

SUMMARY

The purpose of this thesis is to record existing waste to energy utilization units. The main objective is to optimize the overall efficiency (boiler and turbine / generator) in the framework of the European Waste Directive 2008/98, describing the process of thermal treatment of waste with simultaneous production of energy and the necessary APC (Air Pollution Control) technology.

Emphasis is placed on the thermodynamic characteristics of the produced steam (typically 400°C / 40 bar). In particular, the case of a thermal waste treatment plant with an annual capacity of 200.000 tones / year, estimated to be in synergy with existing and future waste recycling, solving the crucial problem of management of urban solid waste in the wider area of Piraeus, with the simultaneous generation of energy as RES (Renewable Energy Sources) for at least 50% of biodegradable fraction of MSW (Municipal Solid Waste).

In conclusion, the plant can produce approximately 100.000 MWh per year at 400°C / 40bar.

This greatly contributes to strengthening PPC's (Public Power Corporation) energy potential, especially in seasonal peak times such as in the summer. With significant social benefits, such as job creation for the next 28 years (estimated plant lifetime) of operation - viability of the WTE unit.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.) είναι παγκοσμίως ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα, ιδιαίτερα στις οικονομικά ανεπτυγμένες κοινωνίες, οι οποίες παράγουν ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες απορριμμάτων. Οι διαδικασίες και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, πρέπει να είναι αποδεκτές τόσο από τεχνικοοικονομικής, όσο από περιβαλλοντικής και κοινωνικής σκοπιάς (αποδοχή από την κοινωνία).

Κατά την αποτίμηση των τεχνολογιών, ερευνώνται παράγοντες που αφορούν τα βασικά οικονομικά στοιχεία για την εγκατάσταση και λειτουργία μιας μονάδας, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από αυτές, τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων, την κοινωνική αποδοχή για την χωροθέτησή τους καθώς και την εναρμόνιση με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες.

1.2 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από την αρχαιότητα ακόμα η διαχείριση των απορριμμάτων έδειχνε την αρνητική πλευρά των πόλεων. Ο Επαμεινώνδας αποτέλεσε όχι μόνον έναν σημαντικό στρατηγό και ηγέτη της αρχαίας Ελλάδας, αλλά και έναν άνθρωπο που στην πόλη της αρχαίας Θήβας ανέδειξε σε αξίωμα πρώτης γραμμής τα πιο ταπεινά καθήκοντα, αυτά της διαχείρισης των απορριμμάτων και της καθαριότητας, όταν του ανατέθηκαν για λόγους περιορισμού της ισχύος του και υποβιβασμού της αίγλης του.

Λέγεται πως ο Επαμεινώνδας ανέδειξε τόσο καλά αυτό το αξίωμα, ώστε τελικά όσοι έκτοτε ήθελαν να αναδειχθούν στα δρώμενα του δήμου της ίδιας πόλης επιδίωκαν να περάσουν από αυτό το αξίωμα και να διαχειριστούν αυτή την υπηρεσία.

Το περιβάλλον δεν θεωρείται πια για την οικονομία ως άπειρος και ανεξάντλητος πόρος αλλά ως διαρκώς ανανεώσιμος συντελεστής παραγωγής. Από τη θυσία του περιβάλλοντος στο βωμό της ανάπτυξης, αντίληψη που κυριάρχησε κατά τον προηγούμενο αιώνα, περάσαμε σταδιακά στο δίλημμα «Ανάπτυξη ή Περιβάλλον». Το δίλημμα αυτό συνδέεται με μια βασική προκατάληψη: ότι η προστασία του περιβάλλοντος, όχι μόνο δεν έχει οικονομικό όφελος, αλλά σημαίνει απαραίτητα και λιγότερες επενδύσεις, απώλεια θέσεων εργασίας και περιορισμό της ανάπτυξης. Σήμερα ωστόσο οι συνθήκες όχι μόνο επιτρέπουν, αλλά και μας επιβάλλουν να αντιμετωπίσουμε τη σχέση του περιβάλλοντος με την οικονομική δραστηριότητα κάτω από διαφορετικό πρίσμα. Η βαθύτατη οικονομική κρίση την οποία όλοι βιώνουμε, μπορεί να οδηγήσει ορισμένους στη σκέψη ότι τα θέματα της Βιώσιμης Ανάπτυξης μπορεί ν' αναβληθούν. Όμως κάτι τέτοιο όχι μόνο δεν πρέπει να συμβεί, αλλά, αντίθετα, θα πρέπει να κυριαρχούν στην ατζέντα των κυβερνήσεων, των οργανισμών, των επιχειρήσεων και των πολιτών με μεγαλύτερη ακόμη έμφαση. Η υπόθεση της προστασίας και της αναβάθμισης του περιβάλλοντος δε σημαίνει πια μόνο κόστος, αλλά αντίθετα, μπορεί να φέρνει κέρδη, καθώς και νέες θέσεις απασχόλησης. Κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αποβλήτων. Για αυτό και το θέμα της ολοκληρωμένης, ορθολογικής και αποτελεσματικής διαχείρισης τους είναι εξαιρετικά σημαντικό και διαρκώς παρόν.

Απόβλητα μπορούν να θεωρηθούν όλα εκείνα τα προϊόντα που κρίνεται ότι έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο της ζωής του και δεν μπορούν να αξιοποιηθούν παραπέρα (DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL).

Με βάση τη νέα οδηγία πλαίσιο για τα απορρίμματα επιβάλλεται να γίνεται η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων. Για το λόγο αυτό ο προσανατολισμός - σύμφωνα και με τη νέα Οδηγία Πλαίσιο για τα απορρίμματα - πρέπει να είναι:

- Μείωση της ποσότητας των παραγόμενων αποβλήτων
- Αύξηση της επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης των υλικών ή/και ενέργειας
- Ελαχιστοποίηση των υλικών που οδηγούνται προς ταφή

Οι δύο τελευταίες δεκαετίες, έφεραν μια πραγματική επανάσταση στις απόψεις. Η ανάγκη για την αντιμετώπιση των σημαντικών περιβαλλοντικών θεμάτων, η ανάδυση νέων τεχνολογιών και η βελτιστοποίηση υπαρχόντων οδήγησε σε μεγάλες αλλαγές.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια να περιγραφούν οι τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης των αστικών απορριμμάτων, να εντοπισθούν οι παράμετροι που τις επηρεάζουν, να ποσοτικοποιηθούν, ν' αποτιμηθούν και να εξαχθούν συμπεράσματα.

Στόχος είναι να δοθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες και τα αναγκαία μέσα ώστε να είναι δυνατό, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο να αξιολογηθούν συνολικά και συγκριτικά (περιβαλλοντικά, κοινωνικά, οικονομοτεχνικά) οι μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης (θερμικής επεξεργασίας) με γνώμονα την ελληνική πραγματικότητα.

1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ Α.Σ.Α.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που έχουν οδηγήσει στην εξάπλωση των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας Α.Σ.Α., είναι τα ακόλουθα:

- Μείωση του όγκου των Σ.Α.: Με τις τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας επέρχεται σημαντικότερη μείωση του όγκου του προς τελική διάθεση οδηγούμενων Σ.Α. Τα τελικά υπολείμματα ανέρχονται περίπου στο 10% του αρχικού όγκου των Σ.Α.
- Μείωση του βάρους των Σ.Α.: Λόγω της οξειδωσης των ουσιών, και της μετατροπής τους σε αέριες ενώσεις, προκύπτει πολύ μεγάλη μείωση του βάρους των Σ.Α. Τα τελικά υπολείμματα ανέρχονται περίπου στο 20-30% του αρχικού βάρους των Σ.Α.
- Πλήρης απουσία παθογόνων παραγόντων στα προϊόντα: Τα προϊόντα της θερμικής επεξεργασίας, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, χαρακτηρίζονται από πλήρη απουσία παθογόνων παραγόντων. Οι τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας είναι οι μόνες που εξασφαλίζουν τη παράμετρο αυτή, έναντι όλων των άλλων τεχνολογιών διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων
- Απαίτηση μικρών εκτάσεων: Οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας αποτελούν βιομηχανικές εγκαταστάσεις και χαρακτηρίζονται από την απαίτηση μικρών εκτάσεων για την εγκατάστασή τους (4 - 7 εκτάρια).
- Εκμετάλλευση της ενέργειας των Α.Σ.Α.: Μέσω των τεχνολογιών θερμικής επεξεργασίας, γίνεται δυνατή η πληρέστερη εκμετάλλευση της περιεχόμενης στα Σ.Α. ενέργειας. Η διάθεσή της μπορεί να είναι είτε ως ηλεκτρική είτε ως θερμική ενέργεια

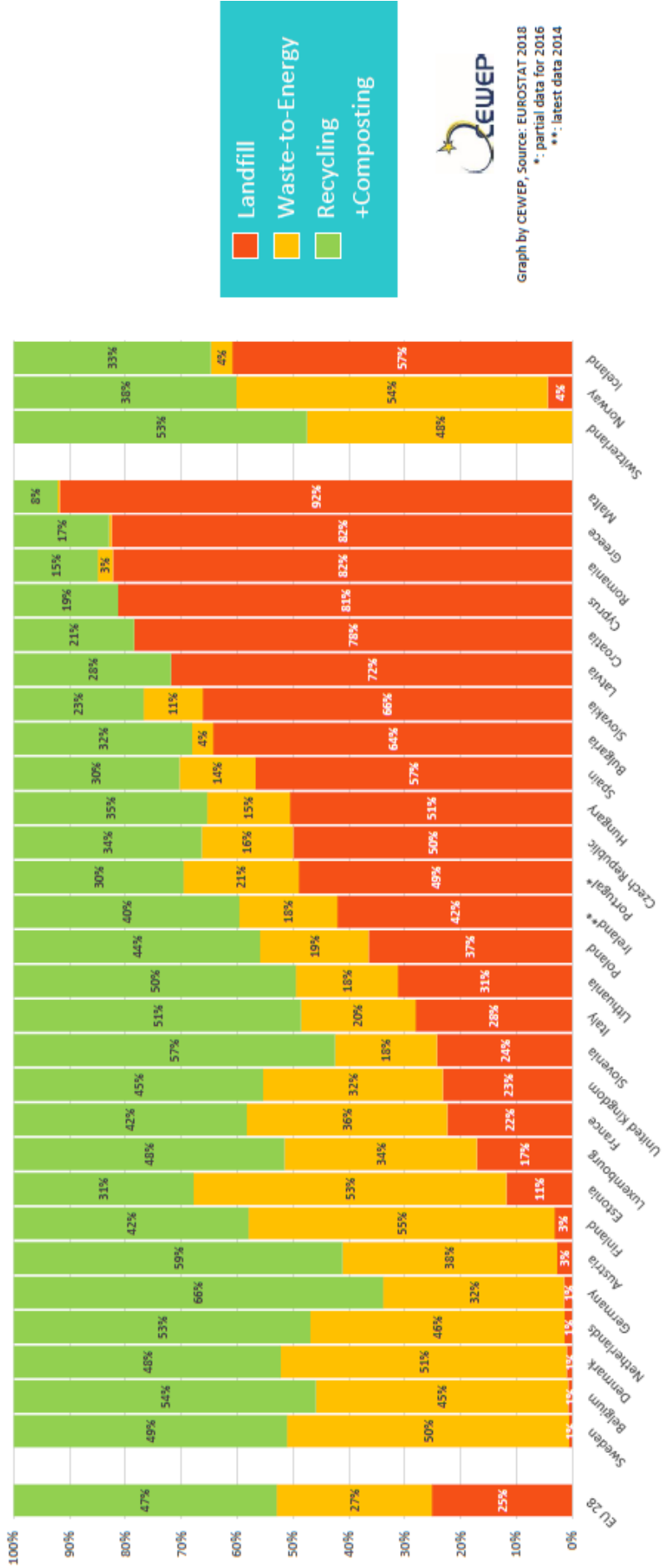
- Εκτός των ανωτέρω κύριων πλεονεκτημάτων, οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας συνοδεύονται και από άλλα δευτερεύοντα πλεονεκτήματα, όπως π.χ. η μείωση των εκπομπών του φαινομένου του θερμοκηπίου κ.λπ., ενώ επιτρέπει και τη μερική ανάκτηση υλικών προς αξιοποίηση.

1.4 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ Α.Σ.Α.

- Αυξημένο κόστος κατασκευής: Οι εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής, το υψηλότερο από τις άλλες τεχνολογίες Δ.Σ.Α (πχ, ΧΥΤΑ, Μηχανική ανακύκλωση και κομποστοποίηση κ.α.). Το 30 - 40% του συνολικού κόστους επένδυσης, στις νέες εγκαταστάσεις, αντιστοιχεί στην τεχνολογία για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Αυξημένο κόστος λειτουργίας: Γενικά, οι τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας χαρακτηρίζονται από μεγάλο κόστος λειτουργίας, συνήθως το μεγαλύτερο από τις άλλες τεχνολογίες Δ.Σ.Α. Παρόλα αυτά, το κόστος διαφέρει πολύ από μονάδα σε μονάδα, ενώ στις σύγχρονες μονάδες, έχει μειωθεί σημαντικά. Το κόστος μειώνεται δραστικά, όσο αυξάνεται η δυναμικότητα της μονάδας.
- Απαιτήση αυξημένων πληθυσμών: Ιδιαίτερα οι μονάδες καύσης, απαιτούν μία ελάχιστη δυναμικότητα ώστε να κρίνονται οικονομικά βιώσιμες. Έτσι δύσκολα μπορεί να εφαρμοσθούν σε μικρές πληθυσμιακές ενότητες. Ένας εκτιμώμενος ελάχιστος εξυπηρετούμενος πληθυσμός για μονάδες καύσης είναι 80.000 κάτοικοι, αλλά μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία.

Σήμερα σε όλο τον κόσμο, διατίθενται με τη μέθοδο της θερμικής επεξεργασίας περίπου 250 εκατομμύρια τόνοι Α.Σ.Α. ετησίως σε περισσότερες από 2000 εγκαταστάσεις. **Από το 1995 η συνολικά παγκόσμια δυναμικότητα των μονάδων θερμικής επεξεργασίας αυξήθηκε κατά 16 εκατομμύρια τόνους Α.Σ.Α. Εγκαταστάσεις Θερμικής Επεξεργασίας υπάρχουν σε 60 χώρες στον κόσμο, από πολύ μεγάλες (Κίνα) έως πολύ μικρές (Βερμούδες).**

Κάθε χρόνο μετά τη δημοσίευση των στοιχείων της Eurostat για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, το CEWEP (Confederation Of European Waste To Energy Plants/ Ευρωπαϊκή Συνομοσπονδία Μονάδων Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων) παράγει πολλά γραφήματα βασισμένα σε αυτά τα δεδομένα προκειμένου να αποτυπώσει την κατάσταση της επεξεργασίας των αποβλήτων στην Ευρώπη.



Ι Εικόνα 1.1: Ποσοστά της ενεργειακής αξιοποίησης, ανακύκλωσης ανά την Ευρώπη (<http://www.cewep.eu/>)

Το συγκεκριμένο γράφημα δείχνει τα ποσοστά της ενεργειακής αξιοποίησης, ανακύκλωσης (συμπεριλαμβανομένης της κομποστοποίησης), σε κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. (συν Ισλανδία, Νορβηγία και Ελβετία).

Το 2016 η ηγετική χώρα για την ανακύκλωση ήταν η Γερμανία, με το 66% των αστικών αποβλήτων να ανακυκλώνονται ή να λιπασματοποιούνται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Α.Σ.Α.

Βάση του νομοθετικού πλαισίου της Ελλάδας αποτελεί ο Νόμος 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος», από τον οποίον απορρέουν διάφορα νομοθετήματα, που αφορούν τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. Τα σπουδαιότερα εξ αυτών παρουσιάζονται παρακάτω:

Με το Νόμο 2939/2001 «Για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων» καθορίζεται το πλαίσιο για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των συσκευασιών και των απορριμμάτων συσκευασίας. Οι ρυθμίσεις του νόμου αυτού εναρμονίζονται με την Οδηγία 94/62/ΕΟΚ «Για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας».

Ένα ακόμη βασικό νομοθέτημα είναι η ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης για την πλήρη συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 91/156/ΕΟΚ». Στην ΚΥΑ αυτή καθορίζονται οι στόχοι και οι αρχές της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Σκοπός είναι ο καθορισμός των κατευθύνσεων, μέτρων και όρων για τη διαχείριση των Α.Σ.Α. και πρόληψης αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία [ΚΥΑ 50910/2727/2003]. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη ΚΥΑ, οι αρχές είναι:

1. Η αρχή της προφύλαξης και της πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων
2. Η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»
3. Η αρχή της εγγύτητος
4. Η αρχή επανόρθωσης ζημίας στο περιβάλλον

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ο στόχος για εκτροπή και παράλληλη μείωση του βιοαποδομήσιμου οργανικού υλικού, που οδηγείται σε ταφή σύμφωνα με την Οδηγία 1999/31/ΕΚ.

1. Μέχρι τις 16 Ιουλίου 2010, τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθούν στο 75% της συνολικής ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων, που είχαν παραχθεί το 1995 ή το τελευταίο έτος προ του 1995, για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα τυποποιημένα στοιχεία της Eurostat.

2. Μέχρι τις 16 Ιουλίου 2013, τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθούν στο 50% της συνολικής ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων, που είχαν παραχθεί το 1995 ή το τελευταίο έτος προ του 1995, για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα τυποποιημένα στοιχεία της Eurostat.

3. Μέχρι τις 16 Ιουλίου 2020, τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθούν στο 35% της συνολικής ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων, που είχαν παραχθεί το 1995 ή το τελευταίο έτος προ του 1995, για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα τυποποιημένα στοιχεία της Eurostat.

Στην ίδια ΚΥΑ αναφέρεται και ο ΕΚΑ. Ο ΕΚΑ είναι ένας εναρμονισμένος, μη εξαντλητικός κατάλογος αποβλήτων, δηλαδή κατάλογος ο οποίος μπορεί σε τακτά χρονικά διαστήματα να αναθεωρείται ή, εάν είναι απαραίτητο, να ανασκευάζεται, καθώς και να προσαρμόζεται στην επιστημονική και τεχνική πρόοδο, σύμφωνα με τη διαδικασία του Άρθρου 18 της Οδηγίας 91/156/ΕΟΚ.

Η ΕΕ με Οδηγία 2008/98/ΕΚ «Για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών» έχει ως μακροπρόθεσμο στόχο τη μετατροπή της Ευρώπης σε μία «κοινωνία ανακύκλωσης», που επιδιώκει την προστασία του περιβάλλοντος εμποδίζοντας ή

μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων, και περιορίζοντας το συνολικό αντίκτυπο της χρήσης των πόρων και βελτιώνοντας την αποδοτικότητά της. Στη συγκεκριμένη οδηγία, ορίζεται μία ιεραρχία για την πολιτική, την πρόληψη και διαχείριση απορριμμάτων.

1. Πρόληψη
2. Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος
3. Ανακύκλωση
4. Άλλου είδους ανάκτηση, πχ ανάκτηση ενέργειας
5. Διάθεση

Επίσης, στη συγκεκριμένη οδηγία παρουσιάζεται ο τύπος **R1**, που αναφέρεται στις μονάδες καύσης Α.Σ.Α. Αποτελεί ένα δείκτη «ενεργειακής απόδοσης», ο οποίος καθορίζει αν η μονάδα χαρακτηρίζεται ως μονάδα ανάκτησης ή διάθεσης απορριμμάτων. Το Φεβρουάριο του 2012 τέθηκε σε εφαρμογή ο Νόμος 4042 «Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής». Ο συγκεκριμένος νόμος, εκτός από την εναρμόνιση με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, έχει ως στόχο τη θέσπιση κυρώσεων μέσω του ποινικού κώδικα για περιπτώσεις ρύπανσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά την καύση απορριμμάτων, η ΕΕ με την Οδηγία 2000/76/ΕΚ έχει θεσπίσει αυστηρά όρια στις εκπομπές των καυσαερίων και θερμοκρασία καύσης, με σκοπό την πρόληψη και τον περιορισμό των αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον. Προβλέπεται χρόνος παραμονής των καυσαερίων 2 δευτερόλεπτα, σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 850°C και περιοριστικά όρια στις εκπομπές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών από εγκαταστάσεις μαζικής καύσης απορριμμάτων [Οδηγία 2000/76/ΕΚ]

Παράμετρος	Ευρωπαϊκά Όρια (mg/Nm ³)
Ολικός Κονιορτός	10
TOC	10
HCl	10
HF	1
SO ₂	50
NO _x	200
Cd+ Tl	0.05
Hg	0.05
Sb	
As	
Pb	
Co	

Cr	0.5 Συνολικά
Cu	
Mn	
Ni	
V	
Διοξίνες και Φουράνια (TEQ)	0.1 ng/Nm ³
CO	50

Παρόλο που η ανάκτηση ενέργειας αποτελεί μία εκ των χείριστων επιλογών στη διαχείριση αποβλήτων, όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/98/ΕΚ, η μαζική καύση με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας αποτελεί μία αξιόπιστη και ευρέως διαδεδομένη λύση διαχείρισης αποβλήτων σήμερα. Σε πολλά ανεπτυγμένα κράτη (Δανία, Γαλλία, Λουξεμβούργο, Σουηδία, Ολλανδία) αποτελεί την πρώτη επιλογή διαχείρισης. Είναι μία διεργασία με σημαντικά προτερήματα (δραματική μείωση όγκου και βάρους, παραγωγή ενέργειας) και φιλική προς το περιβάλλον, σύμφωνα με τα αυστηρά όρια εκπομπών που έχουν θεσπιστεί. Παγκοσμίως, λειτουργούν πάνω από 2000 μονάδες μαζικής καύσης με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ 475 βρίσκονται στην Ευρώπη. Τουλάχιστον 100 από αυτές κατασκευάστηκαν τα τελευταία 10 χρόνια αποδεικνύοντας ότι η συγκεκριμένη μέθοδος επεξεργασίας αποτελεί μία σύγχρονη επιλογή στη διαχείριση απορριμμάτων.

Ανατίθεται στην Επιτροπή η εξουσία να εκδίδει κατ' εξουσιοδότηση πράξεις σύμφωνα με το άρθρο 38α για την τροποποίηση της παρούσας οδηγίας επεξηγώντας την εφαρμογή του μαθηματικού τύπου για τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης που αναφέρεται στο παράρτημα ΙΙ **μαθηματικής φόρμουλας R1**. Τοπικές κλιματικές συνθήκες, όπως η δριμύτητα του ψύχους και η ανάγκη θέρμανσης, είναι δυνατόν να λαμβάνονται υπόψη στον βαθμό που επηρεάζουν την ποσότητα ενέργειας που είναι τεχνικά δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ή να παραχθεί υπό μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας, ψύξης ή ατμού. Οι τοπικές συνθήκες των εξόχως απόκεντρων περιοχών, όπως ορίζονται στο τρίτο εδάφιο του άρθρου 349 της Συνθήκης για τη λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των εδαφών που αναφέρονται στο άρθρο 25 της Πράξης Προσχώρησης του 1985, μπορούν επίσης να λαμβάνονται υπόψη.

(νέα οδηγία Ε.Ε. που αλλάζει την 2008/98)

Με την εισαγωγή του τύπου R1, οι μονάδες WTE ταξινομούνται τώρα ως ανάκτηση παρά ως απόρριψη. Ο τύπος R1 θα διευκολύνει τις μονάδες WTE να εξελιχθούν και να ανέβουν στην ιεραρχία των αποβλήτων. Ο τύπος R1 ισχύει μόνο σε ευρωπαϊκές χώρες και δεν πρέπει να μπερδεύεται με τον δείκτη αποδοτικότητας (η) της εγκατάστασης.

Ένας νέος διορθωτικός συντελεστής για τον τύπο R1 τέθηκε σε ισχύ στις 31 Ιουλίου 2016, όπως προβλέπεται από την οδηγία **2015/1127 / ΕΕ**.

Όλα τα κράτη μέλη καλούνται να ευθυγραμμίσουν τη νομοθεσία τους με την ευρωπαϊκή οδηγία από την ημερομηνία αυτή. Ο συντελεστής διόρθωσης κλίματος (CCF) πολλαπλασιάζει την τιμή της ενεργειακής απόδοσης όπως υπολογίζεται στην απαρίθμηση του σημείου R1 του παραρτήματος ΙΙ της οδηγίας 2008/98 / ΕΚ. Η προσθήκη αυτή ήταν αναγκαία για την "επίτευξη ίσων όρων ανταγωνισμού στην ΕΕ" και "την αντιστάθμιση των εγκαταστάσεων WTE που επηρεάζονται από τις επιπτώσεις των τοπικών κλιματικών συνθηκών" στην παραγωγή ενέργειας και, ως εκ τούτου, στην επίτευξη των απαιτήσεων ανάκτησης.

Το CCF υπολογίζεται βάσει της HDD και ο τύπος του διαφέρει ανάλογα με την ημερομηνία έγκρισης. Συνεπώς, οι εγκαταστάσεις που λειτουργούν και εγκρίνονται πριν από την 1η Σεπτεμβρίου 2015 και λειτουργούν σε χαμηλή μέση εποχιακή θερμοκρασία ($HDD \geq 3350$) παρουσιάζουν αύξηση της ενεργειακής τους απόδοσης έως 1,25, ίση με το μέγιστο διορθωτικό συντελεστή (για περαιτέρω πληροφορίες βλ. Οδηγία 2015 / 1127 / ΕΕ).

(οι ανωτέρω δείκτες επεξηγούνται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.6)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

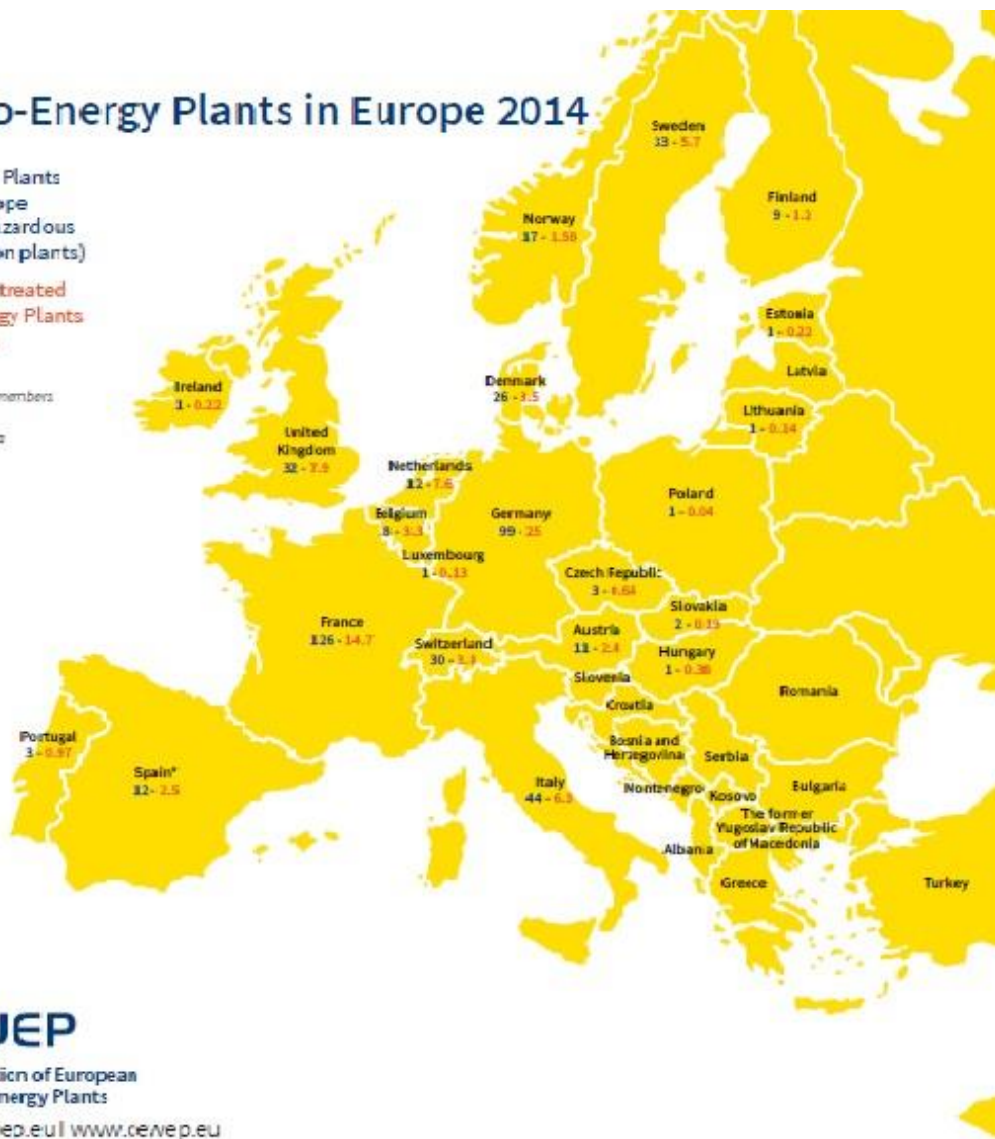
Waste-to-Energy Plants in Europe 2014

Waste-to-Energy Plants
operating in Europe
(not including hazardous
waste incineration plants)

Waste thermally treated
in Waste-to-Energy Plants
in million tonnes

Data supplied by CEWEP members
and national sources

* Includes plant in Aedara



CEWEP

Confederation of European
Waste-to-Energy Plants

info@cewep.eu | www.cewep.eu

|| Εικόνα 1.2: Χάρτης εργοστασίων Θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων στην Ευρώπη. (www.cewep.eu)

3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ & ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Είδη Οικιακών Απορριμμάτων

Τα απορρίμματα που πρόκειται να συλλεχθούν, να μεταφερθούν και να διατεθούν είναι:

- Τα κατάλοιπα κάθε φύσης που περιλαμβάνουν κυρίως οικιακά απορρίμματα, στάχτες, κατάλοιπα γυαλιών, φύλλα, σκουπίσματα, χαρτιά και άλλα που τοποθετούνται μέσα σε πλαστικές ή χάρτινες σακούλες ή δοχεία.
- Απορρίμματα από βιομηχανικές και εμπορικές εγκαταστάσεις, γραφεία, κτίρια διοίκησης, αυλές και κήπους, τοποθετημένα σε δοχεία ή σάκους στις ίδιες συνθήκες με τα οικιακά.
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλείς, προϊόντα από τους καθαρισμούς των δημόσιων οδών, των δημόσιων πάρκων, των νεκροταφείων και βοηθητικών κτιρίων, συγκεντρωμένων σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Τα προϊόντα καθαρισμού και τα κατάλοιπα, χώρων εκθέσεων, αγορών, χώρων δημόσιων εορτών, θέσεων συγκέντρωσης ζώων, συγκεντρωμένων και τοποθετούμενων σε μεγάλα κοντέινερ για την εκκένωσή τους.
- Τα απορρίμματα από σχολεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία, φυλακές και όλα τα δημόσια κτίρια, συγκεντρωμένα σε δοχεία συλλογής σε κατάλληλους χώρους και
- Ογκώδη αντικείμενα εγκαταλελειμμένα σε δημόσιους χώρους ή τοποθετημένα σε καθορισμένες θέσεις, καθώς και τα πτώματα μικρών ζώων.

Στον ορισμό των οικιακών απορριμμάτων δεν περιλαμβάνονται:

- Τα αδρανή και τα κατάλοιπα των δημοσίων έργων και ιδιαίτερα
- Οι βιομηχανικές στάχτες και σκουριές, τα ανατομικά και μολυσματικά απορρίμματα των νοσοκομείων και κλινικών και τα απορρίμματα σφαγείων και
- Ογκώδη απορρίμματα πολύ μεγάλου βάρους ή διαστάσεων ή τέτοιας φύσης, που δεν μπορούν να φορτωθούν σε συνήθη μεταφορικά μέσα.

Σύνθεση Οικιακών Απορριμμάτων

Η σύνθεση και τα χαρακτηριστικά των οικιακών απορριμμάτων επηρεάζονται από πολυάριθμους παράγοντες όπως:

- Ο χαρακτήρας του πολεοδομικού συγκροτήματος: πολεοδομική ζώνη, βιομηχανική κ.λπ.
- Το κλίμα και η εποχή. Το καλοκαίρι περιέχονται πολλά φρούτα και φρέσκα λαχανικά και το χειμώνα στάχτες.
- Ο τύπος της κατοικίας, η στάθμη ζωής, τα υλικά συσκευασίας.

Τα οικιακά απορρίμματα είναι ουσιαδώς ετερογενή. Μπορεί όμως να ομαδοποιηθούν σε ορισμένες κατηγορίες που παρουσιάζουν κάποια ομοιογένεια. Συνήθως είναι η ακόλουθη ταξινόμηση σε 10 κατηγορίες:

1. Λεπτά κατώτερα από 20mm
2. Χαρτιά, χαρτόνια
3. Ράκη
4. Πλαστικά
5. Οστά
6. Θραύσματα καύσιμα μη ταξινομημένα
7. Μέταλλα
8. Γυαλιά
9. Θραύσματα μη καύσιμα μη ταξινομημένα
10. Ζυμώσιμες ύλες

Η ταξινόμηση αυτή είναι συχνά δεκτή στις αναλύσεις που γίνονται για τα οικιακά απορρίμματα.

Πίνακας 3.1 Σύνθεση οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα, % κ.β.

ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Πειραιάς	Θεσ/νίκη	Χανιά	Κώς	Ρόδος	Καλαμάτα
Ζυμώσιμα /Οργανικά	46	26	55	37	41	47
Χαρτί	25	26	19	25	15	25
Ύφασμα, Ξύλο, Δέρμα	4	10	4	5	4	6
Μέταλλα	3	3,5	4	5	10	3,5
Πλαστικά	11	20	8	11	12	7,5
Γυαλί	3	3,5	4	12	16	3
Αδρανή + Λοιπά	8	11	6	5	2	8

Στον Πίνακα 3.1 δίνεται η σύνθεση των οικιακών απορριμμάτων από διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Βασικά χαρακτηριστικά της σύνθεσης των ελληνικών οικιακών απορριμμάτων είναι το υψηλό ποσοστό σε ζυμώσιμα υλικά και πλαστικά. Οι διακυμάνσεις για τις κατηγορίες των υλικών χαρτί, πλαστικά, μέταλλα, γυαλί, ύφασμα – ξύλο – δέρμα, αδρανή και υπόλοιπα δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Αντιθέτως τα ζυμώσιμα υλικά, παρουσιάζουν αυξήσεις κατά τη θερινή περίοδο. Η σύνθεση των απορριμμάτων διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα, εξαρτώμενη από μεγάλη ποικιλία παραγόντων (βιοτικό επίπεδο, διατροφή, πρόγραμμα ανακύκλωσης υλικών, κ.λπ). Η σύνθεση των απορριμμάτων ποικίλλει βέβαια, ανάλογα και με την εποχή του έτους.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται η στοιχειακή ανάλυση των οικιακών απορριμμάτων.

Πίνακας 3.2 Στοιχεία ανάλυσης των συστατικών των απορριμμάτων (% κ.β.)

Υλικά	C	H	O	N	Cl	S	H ₂ O	Τέφρα
Εφημερίδες	36.62	4.66	31.76	0.11	0.11	0.19	25.00	1.55
Βιβλία, Περιοδικά	32.93	4.64	32.85	0.11	0.13	0.21	16.00	13.13
Υπόλοιπα Χαρτιά	32.41	4.51	29.91	0.31	0.61	0.19	23.00	9.06

Πλαστικά	56.43	7.79	8.05	0.85	3.00	0.29	15.00	8.59
Ελαστικά, Δέρμα	43.09	5.37	11.57	1.34	4.97	1.17	10.00	22.49
Ξύλο	41.20	5.03	34.55	0.24	0.09	0.07	16.00	2.82
Υφάσματα	37.23	5.02	27.11	3.11	0.27	0.28	25.00	1.98
Υπολείμματα Κήπων	23.29	2.93	17.54	0.89	0.13	0.15	45.00	10.07
Υπολείμματα Κουζίνας	17.93	2.55	12.85	1.13	0.38	0.06	60.00	5.10
Μέταλλα	4.31	0.60	3.94	0.05	0.07	0.01	5.00	85.97
Γυαλί, Κεραμικά	0.50	0.07	0.35	0.03	0.01	0.00	2.00	97.04

Με βάση τους παραπάνω πίνακες υπολογίζεται η μέση στοιχειακή ανάλυση των οικιακών απορριμμάτων (%κ.β.) του Πειραιά η οποία αναλύεται στον πιο κάτω Πίνακα 3.3:

Πίνακας 3.3 Στοιχειακή ανάλυση των απορριμμάτων (% κ.β.)

Στοιχειακή ανάλυση απορριμμάτων	% κ.β.
C	20
H	3
O	16
N	0,8
Cl	0,6
S	0,1
Υγρασία	40
Τέφρα	19,5

Η ανώτερα θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$H_o = AΘΔ = 80 \cdot 8 \cdot C + 344(H - 1/8 \cdot O) + 25 \cdot S = 1,940 \text{ kcal/kg}$$

όπου: AΘΔ: ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)
C: άνθρακας, %
H: υδρογόνο, %
O: οξυγόνο, %
S: θείο, %

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη υπολογίζεται αφαιρώντας από την ανώτερη θερμογόνο δύναμη τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών:

$$H_u = KΘΔ = H_o - 580(H + W) = 1700 \text{ kcal/kg}$$

όπου: KΘΔ: κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)
H: Κλάσμα μάζας υδρογόνου
W: Κλάσμα μάζας νερού

Συμπερασματικά η μέση κατώτερη θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων του Πειραιά εκτιμάται στα 1820 kcal/kg=7,6 MJ/kg.

Στην κατηγορία των ζυμώσιμων (λαχανικά, φρούτα, τροφές) υπάρχουν κυρίως τα βαρέα μέταλλα Cu, Pb, Zn, Cd, Hg.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί όταν αναμειγνύονται τα οικιακά απορρίμματα με τα κλαδιά και τα φύλλα που προέρχονται από κήπους. Οι μεγαλύτερες ποσότητες Zn (25 %), F (30 %), και S (19 %) βρίσκονται στα απορρίμματα αυτής της κατηγορίας.

Ο βαθμός εκπομπής των επικίνδυνων ουσιών εξαρτάται και από τις συνθήκες κινητικότητάς τους. Οι συνθήκες αυτές μπορούν να προσδιορισθούν εκτός από την σύνθεση των απορριμμάτων και τη θερμοκρασία και από τη λειτουργία της μονάδος.

Σε σύγκριση των επικίνδυνων ουσιών των απορριμμάτων στην Ελλάδα με τα απορρίμματα άλλων χωρών, στα Ελληνικά απορρίμματα παρουσιάζονται χαμηλές τιμές του Pb, Zn και Cu σε αντίθεση με τις υψηλές τιμές στο Cd.

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε μέταλλα διαφόρων συστατικών των απορριμμάτων.

Πίνακας 3.4 Περιεκτικότητα σε μέταλλα (ppm) σε διάφορες κατηγορίες υλικών

Υλικό	Cd	Cu	Fe	Hg	Mn	Na	Pb	Zn
Χαρτί	2	100	2000	0.1	75	1550	125	375
Πλαστικά	14	525	3875	0.4	100	1475	800	975
Ζυμώσιμα	4	575	7025	2	300	3575	900	750
Σκόνες	3	27	12050	0.3	625	2500	550	1125

Με βάση τον Πίνακα 3.4 υπολογίζεται και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5 η μέση περιεκτικότητα σε μέταλλα των απορριμμάτων του Πειραιά.

Πίνακας 3.5 Μέση Περιεκτικότητα σε μέταλλα (ppm) των οικιακών απορριμμάτων του Πειραιά

Μέταλλο	Μέση περιεκτικότητα σε ppm (mg/kg)
Cd	5
Hg	2
Pb	700
Zn	800
Cu	500
Mn	300

3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τύποι εστιών καύσης

Υπάρχουν δύο τύποι συμβατικών μονάδων αποτέφρωσης: οι μονάδες τύπου mass-fired που δεν απαιτούν προεπεξεργασία των απορριμμάτων και οι μονάδες που λειτουργούν με επεξεργασμένο RDF (refuse - derived fuel) ως καύσιμο.

Μονάδες mass-fired

Οι μονάδες τύπου mass-fired είναι και η πλειονότητα (90% των απορριμμάτων) των εγκατεστημένων μονάδων. Πλεονεκτούν λόγω του ότι τα απορρίμματα εισάγονται χωρίς καμία προεπεξεργασία στη μονάδα καύσης, με αποτέλεσμα η λειτουργία της μονάδας να είναι πιο “απλή” (5-18 MJ/kg). Οι διακυμάνσεις του ενεργειακού περιεχομένου των απορριμμάτων είναι τεράστιες στις μονάδες αυτές και εξαρτώνται και από το κλίμα, τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, τη σύσταση των αποβλήτων κ.λπ.

Μονάδες RDF-fired

Τα ανακτώμενα υλικά (γυαλί, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο) διαχωρίζονται από τη μάζα των απορριμμάτων μηχανικά και συλλέγονται για επεξεργασία και μελλοντική πώληση ή διάθεση. Το κλάσμα των υπόλοιπων υλικών (χαρτί, πλαστικό, λοιπά καύσιμα) ονομάζεται Καύσιμο από Σκουπίδια (RDF). Όσον αφορά τις μονάδες τύπου RDF-fired, δηλαδή, αυτές που χρησιμοποιούν αυτό το καύσιμο, παρουσιάζουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα. Εντάσσονται ευκολότερα σε δίκτυο ανάκτησης και διανομής ενέργειας γιατί το RDF έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη (σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα απορρίμματα) και πολύ μικρότερες διακυμάνσεις στο ενεργειακό περιεχόμενο. Επιπλέον, ο έλεγχος μιας μονάδας RDF-fired είναι ευκολότερος και ο χώρος που απαιτείται είναι λιγότερος, σε σχέση με μια μονάδα mass-fired ενώ τέλος, η προεπεξεργασία των απορριμμάτων για την παραγωγή RDF δίνει τη δυνατότητα απομάκρυνσης μιας σειράς κατηγοριών αποβλήτων, όπως το PVC, τα μέταλλα κ.α. τα οποία συνεισφέρουν στη δημιουργία επικίνδυνων ρύπων που μεταφέρονται με τα αέρια της μονάδας αποτέφρωσης. **Ωστόσο, οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται λιγότερο και αυτό γιατί προϋποθέτουν και την ύπαρξη μονάδας παραγωγής του RDF.**

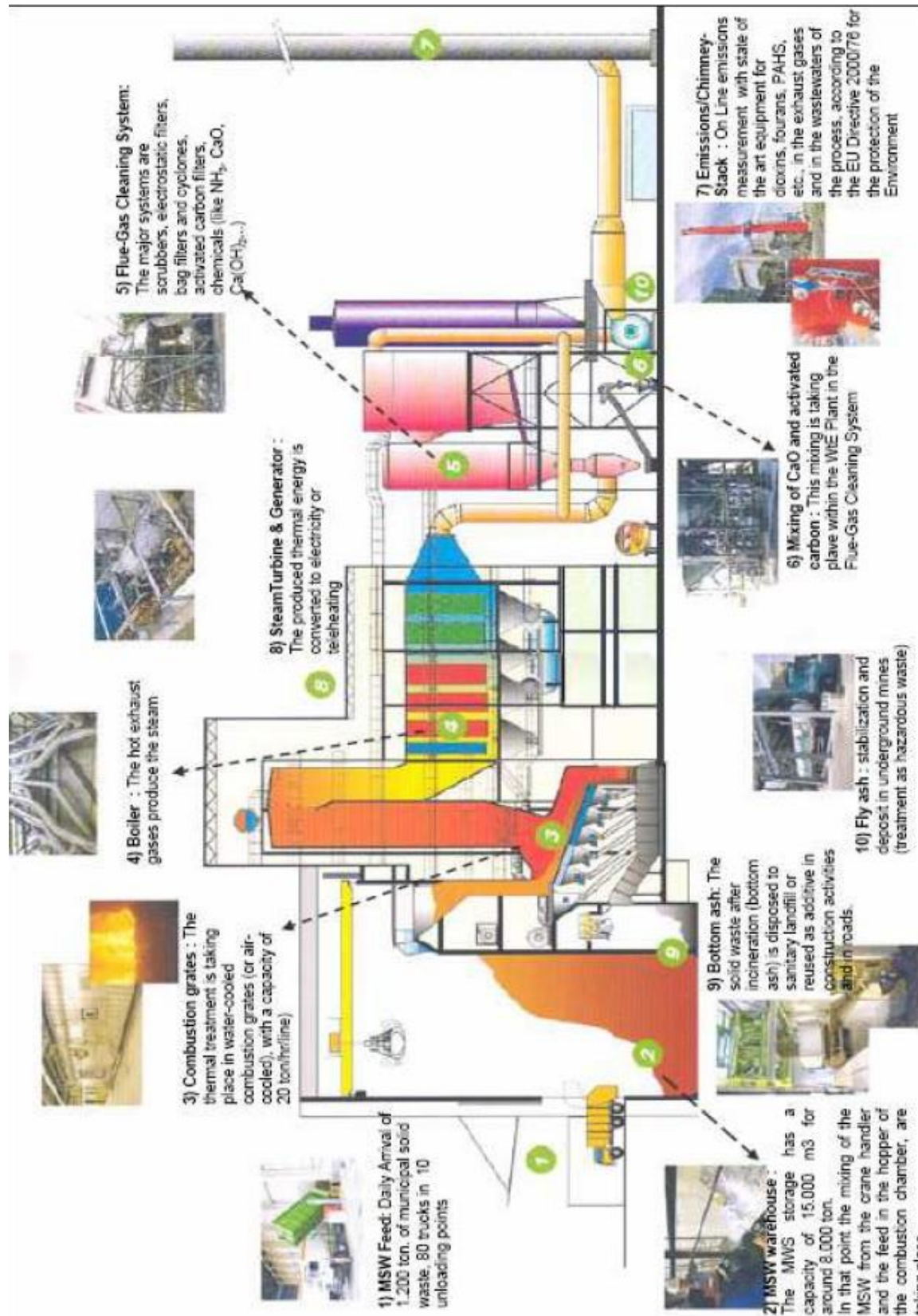
3.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΚΑΥΣΗΣ

Η βασική δομή μιας μονάδας καύσης αποβλήτων περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

1. Υποδοχή εισερχομένων αποβλήτων
2. Αποθήκευση αποβλήτων και πρώτων υλών και προεπεξεργασία, όπου είναι απαραίτητο (επί τόπου ή σε άλλες εγκαταστάσεις)
3. Τροφοδοσία αποβλήτων προς επεξεργασία
4. Θερμική επεξεργασία αποβλήτων
5. Ανάκτηση ενέργειας και μετατροπή (λέβητας)
6. Καθαρισμός καυσαερίων
7. Απομάκρυνση καυσαερίων
8. Παρακολούθηση και έλεγχος των εκπομπών

9. Έλεγχος και επεξεργασία των λυμάτων (προερχόμενα από την επιτόπου αποστράγγιση, την επεξεργασία των καυσαερίων, την αποθήκευση)
10. Διαχείριση και επεξεργασία της προερχόμενης από την καύση τέφρας/τέφρας πυθμένα
11. Απομάκρυνση/διάθεση στερεών υπολειμμάτων.

Κάθε στάδιο από τα παραπάνω, προσαρμόζεται, όσον αφορά το σχεδιασμό, ανάλογα με το είδος των αποβλήτων που θα υποστούν επεξεργασία.



III Εικόνα 3.1 Βασική δομή μονάδας καύσης ΑΣΑ (Ε. Καλογήρου)

3.3.2 ΥΠΟΔΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα απορρίμματα εισέρχονται στην μονάδα καύσης είτε με απορριματοφόρα (ΟΤΑ ή ιδιωτικών φορέων αποκομιδής), είτε μέσα σε containers (οδικώς ή σιδηροδρομικώς) προερχόμενα από σταθμούς μεταφόρτωσης, καθώς επίσης και οδικώς από μεμονωμένους μικροπαραγωγούς (βιοτεχνίες, πολίτες) και κατά κανόνα υπόκεινται σε δειγματοληψία για προσδιορισμό της σύστασής τους. Σε αυτό το στάδιο γίνεται πάντα έλεγχος και καταγραφή των εισερχομένων φορτίων, με το σύστημα ζύγισης των στερεών αποβλήτων να είναι πρακτικό και να ελαχιστοποιεί το χρόνο παραμονής των οχημάτων σε αυτό. Η εναπόθεση γίνεται μέσω ανοιγμάτων ανάμεσα στην περιοχή παράδοσης και των δεξαμενών αποθήκευσης ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθούν για βοήθεια και μεταφορικές ταινίες. Για την αποφυγή της οσμής, του θορύβου και των εκπομπών από τα απόβλητα, η περιφραγή του χώρου παράδοσης μπορεί να είναι ένα αποτελεσματικό μέσο.

➤ Οδική προσαγωγή

Για την εξασφάλιση της ομαλής προσαγωγής ιδίως σε ώρες αιχμής απαιτούνται μία σειρά από κατασκευαστικά μέτρα:

- Χώρος αναμονής οχημάτων πριν τις ζυγαριές.
- Δύο ζυγαριές εισόδου, εφοδιασμένες με ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής.
- Αίθουσα ξεφορτώματος (χώρος υποδοχής), κατά κανόνα με ράμπα προσέγγισης και θερμαινόμενη το χειμώνα. Η είσοδος και η έξοδος οχημάτων ελέγχονται με σηματοδότες και το ύψος της αίθουσας πρέπει να είναι επαρκές (γύρω στα 9,5m).
- Ζυγαριά εξόδου όπως και δεύτερη έξοδος χωρίς ζυγαριά για οχήματα με γνωστό (αποθηκευμένο στο σύστημα καταγραφής) καθαρό βάρος.

Εκτός από τις διαδρομές εισόδου και εξόδου για τα απορριματοφόρα, προβλέπονται και διαδρομές για πυροσβεστικά οχήματα, προμηθευτές ανταλλακτικών, προσωπικό και επισκέπτες.

➤ Σιδηροδρομική προσαγωγή

Σχετικά με τη σιδηροδρομική μεταφορά των απορριμμάτων στη μονάδα καύσης, υπάρχουν γενικά δύο κύριες κατηγορίες containers, τα ανοικτά και τα κλειστά (πιεστικά). Τα ανοικτά έχουν δυναμικότητα μέχρι και 8 tn, συνδέονται μέχρι και τρία σε ένα συρμό και μπορούν χωρίς τη βοήθεια γερανού να μεταφερθούν από φορητό σε αμαξοστοιχία και αντίθετα, ενώ η εκκένωσή τους γίνεται με ανατροπή (από φορητό) ή με γερανό (από αμαξοστοιχία). Τα κλειστά γεμίζουν με πρέσα στο σταθμό μεταφόρτωσης, έχουν δυναμικότητα μέχρι και 20 tn, συνδέονται μέχρι και δύο σε ένα συρμό και μπορούν να μεταφερθούν μόνο με γερανό, ενώ για την εκκένωσή τους οδηγούνται στην άκρη της τάφρου σε ειδικά σημεία και εκφορτώνουν υδραυλικά.

3.3.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα απορρίμματα χαρακτηρίζονται από ανομοιογένεια και προσάγονται στην εγκατάσταση αποτέφρωσης σε μη συνεχή βάση, αλλά η καύση τους πρέπει να είναι συνεχής και το καιόμενο υλικό όσο πιο ομοιογενές. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητος ένας χώρος αποθήκευσης και ομογενοποίησης μεταξύ της ασυνεχούς εισαγωγής και της συνεχούς καύσης, ο σχεδιασμός του οποίου γίνεται με προδιαγραφές ώστε να εφασφαλίζονται τα εξής:

- Όσο το δυνατό μικρότερος χρόνος εκφόρτωσης.
- Παραλαβή του συνόλου των προσκομιζόμενων απορριμμάτων.
- Επίτευξη ομοιογένειας των προσκομιζόμενων προς τροφοδοσία απορριμμάτων

- Απρόσκοπτη τροφοδοσία της εγκατάστασης.

Επίσης, ο σχεδιασμός του χώρου πρέπει να βασίζεται στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και γι' αυτό πρέπει:

- Ο πυθμένας του χώρου πρέπει να έχει την κατάλληλη κλίση για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων και των νερών έκπλυσης.
 - Λόγω της δημιουργίας σκόνης πρέπει να προβλέπεται σύστημα απομάκρυνσης και ανανέωσης του αέρα.
 - Για την αποφυγή έκλυσης οσμών πρέπει να αποφεύγεται η παραμονή των στερεών αποβλήτων στο χώρο για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των δύο ημερών.
- Η ομοιογένεια πριν από την καύση είναι απαραίτητη για τους ακόλουθους λόγους:
- Δεν επιτρέπεται να εισέρχονται στην τάφρο υλικά επικίνδυνα για τη λειτουργία της εγκατάστασης (π.χ. εκρηκτικά, ραδιενεργή ύλη).
 - Πρέπει να αποκλείονται συγκεκριμένα υλικά που επιβαρύνουν τα συστήματα κατακράτησης ρύπων και να τυγχάνουν ειδικής επεξεργασίας ως ειδικά απορρίμματα.

Ένας καθολικός έλεγχος συνεπάγεται βέβαια υψηλό κόστος και στην πράξη υποκαθίσταται από δειγματοληπτικό έλεγχο, ο οποίος γίνεται ύστερα από ξεφόρτωμα είτε στο δάπεδο του χώρου είτε σε ειδική κυλιόμενη ταινία ελέγχου.

➤ Δεξαμενές αποθήκευσης (τάφροι) – RUNNER PIT

Οι δεξαμενές αποθήκευσης των απορριμμάτων διαστασιολογούνται για ενδιάμεση αποθήκευση ποσότητας 3-5 ημερών. Η δεξαμενή χωρίζεται στις ακόλουθες επιμέρους ζώνες:

- Ζώνη εκφόρτωσης.
- Ζώνη ανάμιξης.
- Ζώνη στοιβάγματος (κλίση του σωρού: 80-85°).

Υπάρχουν δύο κύριες κατασκευαστικές παραλλαγές της δεξαμενής, η δεξαμενή βάθους(5-7 μέτρα) και η επιφανειακή.

Η δεξαμενή βάθους είναι στενή και ψηλή. Η διαφορά ύψους μεταξύ του επιπέδου εκφόρτωσης και του δαπέδου της τάφρου είναι περίπου 10 m. Πλεονεκτήματά της είναι οι μικρές διαδρομές του γερανού και οι μικρές απαιτήσεις σε επιφάνεια. Μειονεκτήματα αποτελούν η δαπανηρή θεμελίωση (ασφάλιση έναντι ανώσεως στην περίπτωση που η κατασκευή φθάσει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα), ο κίνδυνος αυτανάφλεξης (σε περιπτώσεις μεγάλου στοιβάγματος) και ο περιορισμένος διατιθέμενος χώρος (πλάτος τάφρου) για την ανάμιξη των απορριμμάτων.

Στην επιφανειακή δεξαμενή, η υψομετρική διαφορά μεταξύ επιπέδου εκφόρτωσης και δαπέδου τάφρου είναι 4-5 m. Το πλάτος της τίθεται κοντά στη μέγιστη διαδρομή του γερανού (30 m μείον το πλάτος της χοάνης τροφοδοσίας). Πλεονεκτήματα της παραλλαγής αυτής αποτελούν η φθηνή θεμελίωση και ο επαρκής διαθέσιμος χώρος για ανάμιξη των απορριμμάτων. Στα μειονεκτήματα κατατάσσονται η μεγάλη διαδρομή του γερανού και οι υψηλές απαιτήσεις σε επιφάνεια.

Η ζώνη εκφόρτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί εν μέρει και ως ζώνη στοιβάγματος, με κλειστές τις θύρες των θέσεων εκφόρτωσης, υπό την προϋπόθεση, όμως, ότι πάντοτε θα υπάρχουν τουλάχιστον 4 διαθέσιμες θέσεις. Για την ανάμιξη των απορριμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τμήματα των ζωνών εκφόρτωσης και στοιβάγματος. Από τη ζώνη ανάμιξης τα απορρίμματα μεταφέρονται με το γερανό είτε στη ζώνη στοιβάγματος είτε απευθείας στην εστία καύσης.

➤ Πυροπροστασία στο χώρο της δεξαμενής

Η δεξαμενή έχει αποδειχθεί ως το τμήμα εκείνο της εγκατάστασης καύσης με την υψηλότερη επικινδυνότητα έναντι πυρκαγιών. Ιδιαίτερα προβληματικός είναι ο έγκαιρος εντοπισμός τους, καθώς, κατά τη λειτουργία, το σύνθετο φαινόμενο της δημιουργίας σύννεφων σκόνης καθιστούν δύσκολο τον άμεσο εντοπισμό του καπνού. Μέχρι στιγμής, όλα τα αυτόματα συστήματα πυροπροστασίας έχουν αποδειχθεί αναξίοπιστα, όμως ιδιαίτερα αποτελεσματικό μέτρο αποτελεί

η ανύψωση του καιόμενου πυρήνα με το γερανό, ο οποίος μπορεί κατόπιν να οδηγηθεί απευθείας στην εστία καύσης (αφού εκκενωθεί προηγουμένως το φρεάτιο τροφοδοσίας). Γενικός κανόνας είναι ότι η εστία καύσης πρέπει να διατηρηθεί σε λειτουργία όσο το δυνατόν περισσότερο, καθώς ένα μεγάλο ποσοστό του καπνού αναρροφάται από την δεξαμενή ως πρωτεύων αέρας καύσης.

Κατά το σχεδιασμό του καλύμματος της αίθουσας της δεξαμενής πρέπει να προβλεφθεί ένα άνοιγμα επιφάνειας γύρω στο 15% της συνολικής επιφάνειας του καλύμματος για την απαγωγή του καπνού και της θερμότητας σε περίπτωση πυρκαγιάς.

3.3.4 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

➤ Φρεάτιο τροφοδοσίας



IV Εικόνα 3.2 Φρεάτιο τροφοδοσίας με μορφή χοάνης (ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗ Ι. ΜΑΡΙΑ, 2011)

Τα απόβλητα, από την δεξαμενή, απορρίπτονται μέσω εναέριου γερανού στο φρεάτιο τροφοδοσίας, το οποίο είναι κωνικά διαμορφωμένο σαν χοάνη στο επάνω μέρος και έπειτα, με υδραυλική ράμπα, εισέρχονται στην εστία. Η κωνική διαμόρφωση σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει το περιεχόμενο μίας λήψης του γερανού. Το φρεάτιο έχει πλάτος ίσο με το πλάτος της σχάρας (ή ανάλογα με τον τύπο εστίας καύσης) και ύψος πάνω από ένα μέτρο, ενώ, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, είναι κατασκευασμένο με διπλό υδρόψυκτο κέλυφος, υδρόψυκτες βαλβίδες και επένδυση από πυρίμαχα τούβλα ενώ προβλέπεται η δυνατότητα φραγής του κατά την εκκίνηση/διακοπή μέσω απλών ή διπλών υδραυλικών διαφραγμάτων, τα οποία ρυθμίζουν μια συνεχή ροή απορριμμάτων. Το σύστημα πρέπει να είναι προσαρμοσμένο στο ρυθμό και την ταχύτητα τροφοδοσίας της εγκατάστασης με βασική προϋπόθεση την ισομερή τροφοδοσία της εστίας καύσης ώστε να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη εισροή αέρα μέσα στην εστία.

➤ Γερανός – Αρπάγη

Οι λειτουργίες που επιτελεί ο γερανός, για τον οποίο γίνεται αναφορά και πιο πάνω, είναι:

- Η διαρκής κένωση των θέσεων εκφόρτωσης
- Η ανάμιξη των απορριμμάτων
- Το στοίβαγμα των απορριμμάτων
- Η τροφοδοσία της εστίας καύσης

- Η καταπολέμηση περιπτώσεων πυρκαγιάς

Κατά κανόνα υπάρχουν δύο γερανοί, με τον ένα ως εφεδρικό, οι οποίοι πρέπει να είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας. Η ισχύς προδιαγράφεται έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στο διπλάσιο της τροφοδοσίας κάθε εστίας καύσης.

Η λειτουργία των γερανών επιβλέπεται από τον οδηγό σε μία εξωτερική καμπίνα, η οποία μπορεί να εγκατασταθεί σε διάφορα σημεία όπως στον τοίχο κατά μήκος της δεξαμενής, σε πλευρικό τοίχο ή και στους δύο πλευρικούς τοίχους (έναν για κάθε γερανογέφυρα). Επειδή οι παραπάνω θέσεις δεν είναι εύκολα προσπελάσιμες (χοάνη, θέσεις εκφόρτωσης, ζώνη στοιβάγματος, ζώνη ανάμιξης), εγκαθίστανται κατά περίπτωση κάμερες επίβλεψης.

Κρίσιμο πρόσωπο στην διαλογή είναι ο χειρίστης της αρπάγης, ο οποίος εκτίμα ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα προς Καύση. Ουσιαστικά πραγματοποιεί αντιπροσωπευτική ποσότητα λήψης στη αρπάγη (από 3-6 τόνους ανά ανύψωση).



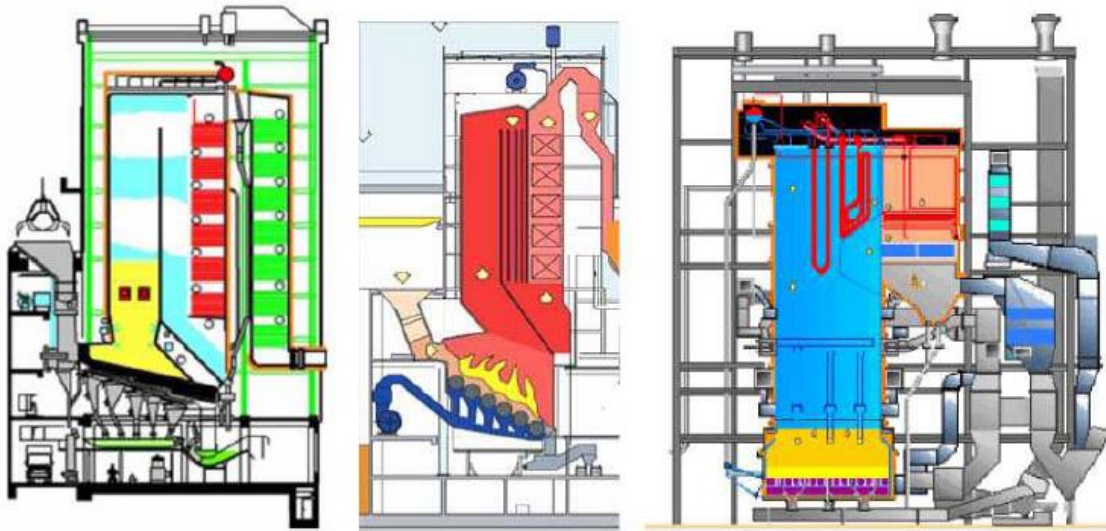
▼ Εικόνα 3.3 Γερανός “αρπάγης” αποβλήτων (kroeger- greifertechnik.de/en)

Στο σχεδιασμό της καμπίνας του οδηγού του γερανού πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα ακόλουθα στοιχεία:

- Κλιματισμός
- Εγκατάσταση πλυσίματος (ή φυσήματος) για καθαρισμό των τζαμιών
- Εξασφαλισμένη οδός διαφυγής σε περίπτωση πυρκαγιάς
- Τουαλέτα

Στην περίπτωση πυρκαγιάς, είναι επιβεβλημένη η ιδιαίτερη προστασία του γερανού και της καμπίνας οδήγησης από τις όποιες επιπτώσεις.

3.3.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ – ΕΣΤΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ



VI Εικόνα 3.4 Τύποι Αποτεφρωτών (α) κινούμενων εσχάρων (β) περιστρεφόμενου κλιβάνου (γ) ρευστοποιημένης κλίνης (Finbioenergy)

Διάφορες τεχνολογίες καύσης μπορεί να εφαρμοστούν ανάλογα με το είδος των προς επεξεργασία αποβλήτων, στην περίπτωση των ΑΣΑ όμως, η όλη διαδικασία της καύσης λαμβάνει χώρα σε ειδικές εστίες καύσης, η ωριαία δυναμικότητα των οποίων κυμαίνεται από 8 έως 25 (t/h) και οι πλέον διαδεδομένοι τύποι αυτών είναι οι:

- εστία κινούμενων εσχάρων
- εστία περιστρεφόμενου κλιβάνου
- εστία ρευστοποιημένης κλίνης

Τα απόβλητα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά, συνεπώς, αυτά απομακρύνονται άμεσα και στην πραγματικότητα ένα μικρό μόνο μέρος της καύσης γίνεται πάνω ή κοντά στον κλίβανο. Η ανάφλεξη των στερεών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις καύσης επιτυγχάνεται με χρήση ειδικού καυστήρα, ο οποίος λειτουργεί με βοηθητικό καύσιμο, κάνει την αρχική ανάφλεξη και εξασφαλίζει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία των καυσαερίων σε περιπτώσεις που απαιτείται.

Η θερμοκρασία των αερίων που εκλύονται κατά την αποτέφρωση των αποβλήτων πρέπει (σύμφωνα και με την ΚΥΑ 22912/1117/2005), να αυξάνεται με ελεγχόμενο και ομοιογενή τρόπο

και ακόμη και υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες στους 850°C, για δύο δευτερόλεπτα (περιεκτικότητα σε οξυγόνο τουλάχιστο 6% για την πλήρη καύση των επικίνδυνων αερίων).

Εάν συναποτεφρώνονται επικίνδυνα απόβλητα που περιέχουν πάνω από 1% αλογονούχων οργανικών ουσιών, εκφρασμένων σε χλώριο, η θερμοκρασία πρέπει να ανέρχεται τουλάχιστον στους 1100°C.

Βασικές παράμετροι για την σωστή λειτουργία των εστιών καύσης είναι:

- Η επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας
- Ο επαρκής χρόνος καύσης
- Η επίτευξη συνθηκών στροβιλισμού/ομοιογενούς καύσης των αποβλήτων

3.3.5.1 ΕΣΤΙΑ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΣΧΑΡΩΝ

Οι σχάρες είναι στερεωμένες στα τοιχώματα της εστίας καύσης πάνω σε φέροντα μηχανισμό και μεταφέρουν τα στερεά απόβλητα, επιτυγχάνουν την ομοιόμορφη παροχή του αέρα, αναμοχλεύουν τα υλικά στη ζώνη κύριας καύσης και τέλος, μεταφέρουν την παραγόμενη τέφρα. Φυσητήρας πρωτεύοντος αέρα καύσης διαχέει τον αέρα μέσω μικρών διακένων ανάμεσα στα επίπεδα των σχαρών, στο στρώμα του καυσίμου και έπειτα, περισσότερος αέρας διαχέεται πάνω από το συνολικό όγκο των αποβλήτων, προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης καύση. Οι εστίες καύσης σχάρας αποτελούνται συνήθως από τα εξής μέρη:

- Φρεάτιο τροφοδότησης
- Μηχανική σχάρα (με ηλεκτρική ή υδραυλική κίνηση) και χοάνη υποδοχής των διαρροών από την εσχάρα.
- Φλογοθάλαμος
- Δοχείο τέφρας
- Σύστημα προσαγωγής αέρα καύσης
- Σύστημα ελέγχου και ρύθμισης
- Βοηθητικοί καυστήρες για την εκκίνηση και διακοπή, όπως επίσης και για την εξασφάλιση μίας ελάχιστης θερμοκρασίας καύσης.

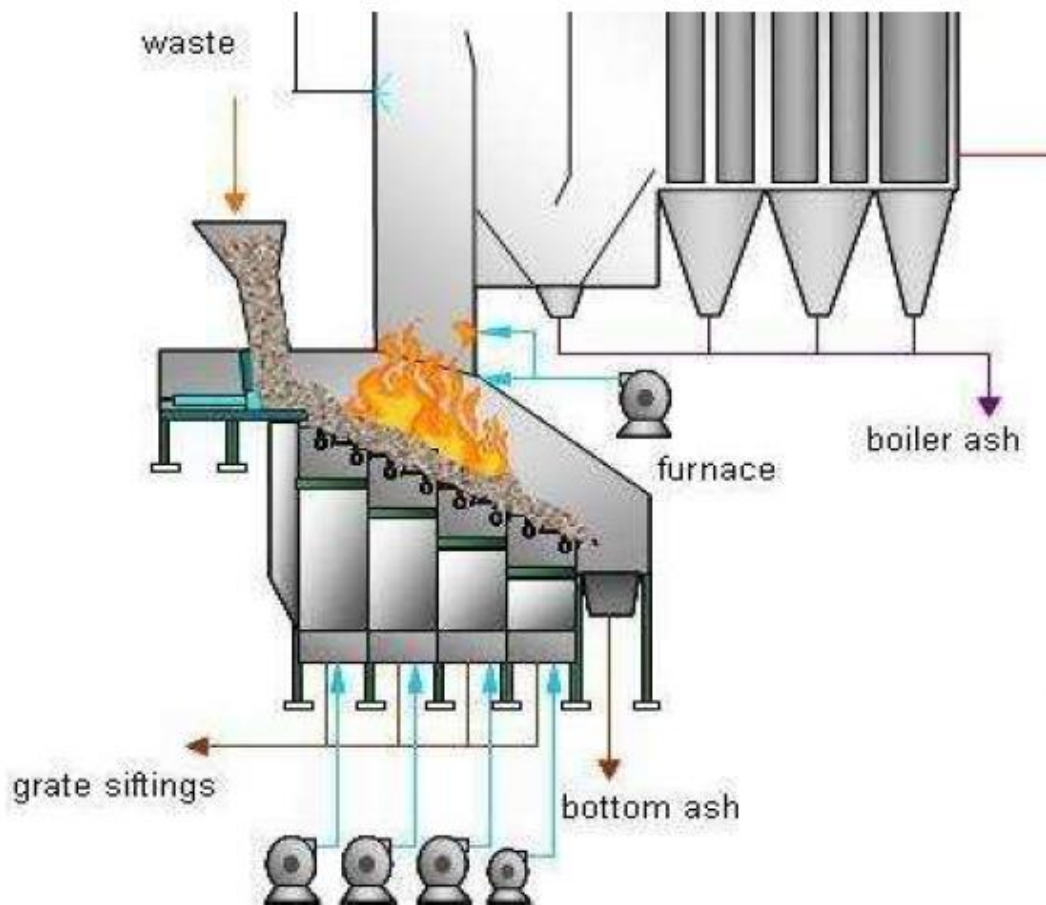
Τα απορρίμματα οδηγούνται στη σχάρα και τα φαινόμενα που συμβαίνουν επάνω σε αυτή διακρίνονται σε έξι επιμέρους ζώνες:

1. Ζώνη ξήρανσης (εκτείνεται στο αρχικό 20% του μήκους της σχάρας): Τα εισερχόμενα απορρίμματα παραλαμβάνουν θερμότητα με ακτινοβολία από τη φλόγα (ακτινοβολία αερίων και σωματιδίων) και με συναγωγή από τον προθερμασμένο πρωτεύοντα αέρα καύσης, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται η περιεχόμενη σε αυτά υγρασία και τα πτητικά συστατικά.
2. Ζώνη πυρόλυσης: Αυξάνοντας τη θερμοκρασία εξατμίζονται διαρκώς περισσότερα πτητικά συστατικά.
3. Ζώνη ανάφλεξης: Η απαραίτητη θερμότητα για την ανάφλεξη του στερεού υλικού προσδίδεται σε αυτό από επάνω με ακτινοβολία (από τη φλόγα και τα εσωτερικά τοιχώματα του φλογοθαλάμου).
4. Ζώνη αεριοποίησης: Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας της πλήρους ανάφλεξης των απορριμμάτων προκαλεί αεριοποίηση μιας ποικιλίας υλικών που περιέχονται σε αυτά.
5. Ζώνη καύσης: Ο εναπομένον άνθρακας οξειδώνεται πλήρως, ενώ στο φλογοθάλαμο καίγονται τα αέρια που παράχθηκαν από τις φάσεις της πυρόλυσης και της εξαερίωσης. Μεγάλη σημασία έχει η επαρκής ψύξη της σχάρας από τον πρωτεύοντα αέρα που τη διαρρέει.
6. Ζώνη ολοκλήρωσης της καύσης: Η ολοκλήρωση της καύσης αποδίδει αρκετά αδραντοποιημένο (ανόργανο) στερεό υπόλειμμα στο τέλος της σχάρας.

Οι προδιαγραφές που πρέπει να τηρούν οι σχάρες των μονάδων καύσης απορριμμάτων είναι:

- Ακριβής ρύθμιση του πρωτογενούς αέρα

- Καμία μεταβολή στις διαστάσεις των διαθέσιμων ανοιγμάτων ροής για τον πρωτογενή αέρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης
- Αποφυγή ανομοιογενειών στον πρωτογενή αέρα
- Μεταβλητότητα της ταχύτητας πρόωσης στις επιμέρους ζώνες
- Καλή ανάμιξη
- Μικρός στροβιλισμός σωματιδίων σκόνης
- Μικρές διαρροές υλικού από τη σχάρα (διαμέσου των ανοιγμάτων ροής αέρα)
- Αποφυγή της επικόλλησης τηγμένων υλικών στη σχάρα, όπως και της οξείδωσης των σχαρών
- Εύκολη αντικατάσταση των σχαρών
- Μακροί χρόνοι ακινησίας (διαστήματα συντήρησης).



VII Εικόνα 3.5 Χαρακτηριστικά της καύσης απορριμμάτων σε αποτεφρωτή με κινούμενες εσχάρες (www.winderickx.pl)

Ο αέρας καύσης αναρροφάται από δύο θέσεις:

- Από την τάφρο απορριμμάτων
- Κάτω από το περίβλημα του λέβητα και διαχωρίζεται στον **πρωτογενή** (που εισάγεται στο κάτω μέρος της σχάρας και τη διαρρέει) και στον **δευτερογενή** (ο οποίος εισάγεται επάνω από

την σχάρα και μέσα στο φλογοθάλαμο με προορισμό την παραγωγή τύρβης και την ολοκλήρωση της καύσης).

➤ Πρωτογενής αέρας καύσης:

- Η αναρρόφηση γίνεται από το χώρο της τάφρου απορριμμάτων της μονάδας (ή εναλλακτικά κάτω από το περίβλημα του λέβητα).
- Αποτελεί περίπου το 75% του συνολικά προσαγόμενου αέρα καύσης.
- Υφίσταται κατά κανόνα διβάθμια προθέρμανση (1η βαθμίδα: μέχρι 120°C, 2^η βαθμίδα: μέχρι 200°C).
- Χρησιμοποιείται φυγοκεντρικός ανεμιστήρας (τυπική περίπτωση: 1500 στροφές/λεπτό, στατική πίεση: 50 mbar (5000 Pa), ο οποίος εγκαθίσταται μέσα στο λεβητοστάσιο.
- Υπάρχει δυνατότητα ρυθμιζόμενης κατανομής στις επιμέρους ζώνες της σχάρας.

➤ Δευτερογενής αέρας καύσης:

- Η αναρρόφηση γίνεται κάτω από το περίβλημα του λέβητα.
- Αποτελεί περίπου το 25% του συνολικά προσαγόμενου αέρα καύσης.
- Ο ανεμιστήρας τοποθετείται κυρίως κάτω από τη χοάνη απορριμμάτων και είναι στατικής πίεσης μέχρι 80 mbar.
- Η προθέρμανση είναι δόκιμη μέχρι τους 100°C (βελτιώνεται η κινητική των χημικών αντιδράσεων του CO και του CH₄).
- Η προσαγωγή γίνεται στη στένωση, στην περιοχή της πρώτης διαδρομής των καυσαερίων στο φλογοθάλαμο (παραγωγή τύρβης για καλή ανάμιξη) και εναλλακτικά στο επάνω μέρος του φλογοθαλάμου.

Οι ακόλουθες απαιτήσεις επηρεάζουν το σχεδιασμό της εστίας καύσης σχαρών:

- Το μέγεθος, το σχήμα και την αρχή λειτουργίας των σχαρών. Το μέγεθος της σχάρας καθορίζει το μέγεθος της διατομής του θαλάμου καύσης
- Ο στροβιλισμός, η ομογενοποίηση, ο χρόνος παραμονής και
- Ο τρόπος ψύξης των καυσαερίων. Η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ανώτατο όριο στην έξοδο της εστίας καύσης ώστε να αποφεύγεται η τήξη της θερμής ιπτάμενης τέφρας στο λέβητα, πράγμα που επιτυγχάνεται με μερική ψύξη.

Για την εξασφάλιση της σωστής καύσης απαιτούνται:

- Καλή κατασκευή των σχαρών
- Βέλτιστη γεωμετρία του φλογοθαλάμου.
- Παρεμβάσεις κατά τη λειτουργία ώστε να επιτευχθεί μείωση της τιμής O₂ σε 8% κ.ό. επί των ξηρών καυσαερίων.

Κύριος προορισμός της σχάρας είναι η μεταφορά του καυσίμου (απορριμμάτων) μέσα στον αντιδραστήρα σε περίπου μία ώρα. Για το σκοπό αυτό πρέπει να σχεδιασθεί έναντι των ακόλουθων φορτίσεων:

- Μηχανική φόρτιση από το βάρος των απορριμμάτων.
- Θερμική φόρτιση από την εκλυόμενη θερμότητα κατά την καύση.
- Χημική φθορά (διάβρωση).
- Μηχανική φόρτιση εξαιτίας της κίνησης.

➤ **Κατηγορίες σχαρών**

Κατηγορίες σχαρών βάσει της κατασκευής φλογοθαλάμου

Υπάρχουν τρεις κατασκευαστικές παραλλαγές φλογοθαλάμων που οδηγούν σε τρεις διαφορετικές εστίες καύσης:

- **Εστία καύσης ομορροής** (μεγάλοι χρόνοι παραμονής σε υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα ομογενής σύσταση καυσαερίων, ευνοϊκά χαμηλές τιμές μονοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου, πιθανά προβλήματα έναυσης σε περίπτωση χαμηλής θερμογόνου δύναμης).
- **Εστία καύσης αντιρροής** (ιδιαίτερα κατάλληλη για απορρίμματα με χαμηλή θερμογόνο δύναμη, συνήθως κατασκευάζεται με εσχάρα οπισθοδρόμησης, το καυσαέριο ρέει πάνω από τη ζώνη ξήρανσης-προκαλεί έντονες ανομοιογένειες).
- **Εστία καύσης μεσορροής** (μέση λύση των δύο παραπάνω-κλίνοντας προς την ομορροή, χαμηλότερες θερμοκρασίες φλογοθαλάμου και μικρότεροι χρόνοι παραμονής από ό,τι στην ομορροή).

Κατηγορίες εσχάρων βάσει του τρόπου τροφοδοσίας

Σχάρες συνεχούς τροφοδοσίας

- **Ατέρμονη - κυλιόμενη σχάρα:** Τα απορρίμματα δεν αναδεύονται αλλά καίγονται στο ίδιο πάντα εσχάριο. Στην αρχή της εσχάρας πραγματοποιείται ξήρανση του φορτίου και στη συνέχεια καίγονται τα πτητικά.
- **Κυλινδρική σχάρα:** Αποτελείται από κυλινδρικά εσχάρια, τα οποία λειτουργούν ανεξάρτητα και έχει κλίση 20-30°.

Σχάρες ασυνεχούς τροφοδοσίας

- **Σχάρα Πρόωσης:** Αποτελούνται από τα εσχάρια τα οποία είναι το ένα τοποθετημένο πάνω στο άλλο σε σχηματισμό σκάλας και οι πρώτες σειρές προωθούν τα απορρίμματα στις επόμενες όπως το έμβολο. Η επιφάνεια της σχάρας χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες. Στην πρώτη γίνεται ξήρανση των απορριμμάτων, στη δεύτερη καίγονται τα πτητικά, στην τρίτη γίνεται η καύση του εξανθρακώματος και στην τελευταία η καύση των υπολοίπων. Η σχάρα πρόωσης διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

(α) σχάρα εμπρόσθιας πρόωσης και

(β) σχάρα οπισθοδρόμησης (τύπου Martin).

- **Σχάρα Αντώσεως:** Έχει μεγάλη κλίση και η κίνηση των εσχάρων επιτυγχάνεται με ωστήριους ράβδους και με έμβολα λαδιού.

➤ Ρύθμιση της εστίας

Καθοριστικά μεγέθη για τη ρύθμιση μίας εστίας καύσης με σχάρα είναι:

- Η ροή μάζας στη σχάρα
- Η ποσότητα αέρα καύσης
- Η κατανομή του αέρα καύσης σε πρωτογενή και δευτερογενή
- Η κατανομή του πρωτογενούς αέρα στις επιμέρους ζώνες της σχάρας
- Η κατανομή του δευτερογενούς αέρα σε διαφορετικά ακροφύσια
- Ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων στην εστία
- Η ανάδευση των απορριμμάτων στην σχάρα
- Το μήκος και μορφή της φλόγας στην σχάρα και στο φλογοθάλαμο ενώ ως κριτήριο καλής καύσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξής παράμετροι:
- Χρονική διακύμανση της παραγωγής ατμού.
- Περιεκτικότητα O₂ στα καυσαέρια.
- Περιεκτικότητα CO στα καυσαέρια.
- Μορφή της φλόγας στο φλογοθάλαμο.

Η ρύθμιση της εστίας δεν είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και εξαρτάται από την πείρα και την τέχνη του προσωπικού.

➤ **Προστασία Σχαρών**

Οι εστίες σχάρας πρέπει να επικαλύπτονται με υλικό υψηλής αντοχής σε μηχανικές καταπονήσεις καθώς και σε θερμικές και χημικές επιδράσεις. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται στην ανθεκτικότητα τους έναντι στο θείο και το χλώριο, τα οποία σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες, δημιουργούν έντονες διαβρωτικές συνθήκες.

➤ **Συνηθισμένοι τύποι σχαρών:**

- **Σχάρα τύπου VKW:** αποτελείται από μία σειρά έξι κοίλων κυλίνδρων που μεταφέρουν προς τα κάτω τα στερεά απόβλητα υπό γωνία 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και επιτυγχάνουν την απαιτούμενη ανάδευση. Κάθε κύλινδρος μπορεί να κινηθεί με διαφορετική ταχύτητα ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης καύση. Οι ταχύτητες αυτές συνήθως κυμαίνονται **από 0,5-5 κύκλους ανά ώρα**.
- **Σχάρα τύπου Martin:** αποτελείται από μία σχάρα που είναι εφοδιασμένη με κατακόρυφους άξονες διαδοχικά ακίνητους και κινητούς. Η κίνηση των αξόνων σπρώχνει το ρεύμα των ΑΣΑ προς τα πάνω υπό γωνία 30° αντίθετα με το νεοεισερχόμενο υλικό, υποβοηθώντας έτσι την ξήρανση και την ανάφλεξή του.
- **Σχάρα τύπου Volund:** αποτελείται από τρία επίπεδα που διαχωρίζονται από ένα φρεάτιο που επιτρέπει στο ρεύμα των ΑΣΑ να πέφτει από το ένα τμήμα στο άλλο. Σε κάθε επίπεδο, το υλικό αναδεύεται με τη βοήθεια υδραυλικών μηχανισμών.
- **Σχάρα τύπου Von Roll (HITACHI ZOSEN INOVA):** Αποτελείται από μία σειρά επικλινών επιπέδων που έχουν τη δυνατότητα να μετακινηθούν με τη βοήθεια υδραυλικών βραχιόνων. Το ρεύμα των ΑΣΑ μετακινείται προς τα κάτω υπό γωνία 15°. Εντοπίζονται κυρίως σε ΗΠΑ και Ιαπωνία.
- **Σχάρα τύπου De Bartolomeis:** Είναι πολυεπίπεδη, με δυνατότητα μεταβολής του αριθμού και της κλίσης των επιπέδων.
- **Σχάρα τύπου Widmer & Ernst:** Η σημαντικότερη διαφορά της με τους άλλους τύπους είναι η δυνατότητά της για διπλή κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις.

➤ **Διαρροές σχάρας**

Συχνά, παρατηρείται διαρροή υλικού από την σχάρα στη συνολική ροή μάζας της τέφρας σε ποσοστό που ανέρχεται στο 1%, συνεπώς, η περιεκτικότητα της τέφρας σε άκαυστα, τα οποία αναμιγνύονται με αυτήν, επηρεάζεται ελάχιστα. Το υλικό αυτό, παρόλα αυτά, ανακτάται κατά την αφαίρεση της τέφρας του πυθμένα ενώ είναι πιθανό να ανακυκλωθεί ώστε να οδηγηθεί και πάλι για καύση ή απλά για διάθεση. Προσοχή πρέπει να δοθεί όταν επανεισαχθεί στη χοάνη, ώστε να μην υπάρξει ανάφλεξη των αποβλήτων που βρίσκονται μέσα σε αυτήν. Ακόμη δεν έχει δοκιμασθεί πειραματικά η επαναοδήγηση των διαρροών σχάρας στην εστία.

➤ **Δοχείο τέφρας πυθμένα**

Χρησιμοποιούνται για την ψύξη και απομάκρυνση των στερεών υπολειμμάτων της καύσης που συσσωρεύονται στην σχάρα για την απομάκρυνση της οποίας ασκείται πίεση από έμβολα γεμάτα με νερό και έτσι σβήνεται η θερμή αυτή τέφρα.

Υπάρχουν δύο τύποι δοχείων για την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας.

I. Δοχείο ωστηρίου, ασυνεχούς λειτουργίας:

Πλεονεκτήματα:

- Μικρό περιεχόμενο σε νερό
- Μικρή μηχανική φθορά λόγω τριβής

Μειονεκτήματα:

- Κάποιος κίνδυνος στόμωσης («φρακαρίσματος»)
- Δυσκολίες κατά την εκκένωση
- Ανάγκη για πρόσθετη διάταξη οδήγησης στην αποθήκη τέφρας

II. Δοχείο κυλιόμενης ταινίας, συνεχούς λειτουργίας:

Πλεονεκτήματα:

- Μικρός κίνδυνος στόμωσης
- Άμεση οδήγηση στην αποθήκη τέφρας

Μειονεκτήματα:

- Μεγάλη μηχανική φθορά λόγω τριβής
- Μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό

Το νερό που χρησιμοποιείται για την ψύξη διαχωρίζεται από την τέφρα της σάρας και μπορεί να επανεισαχθεί στο δοχείο, πράγμα που χρησιμεύει στο να διατηρείται επαρκές το επίπεδο νερού μέσα σε αυτό, καθώς κάποια ποσότητά του απομακρύνεται είτε με την τέφρα είτε λόγω εξάτμισης. Ωστόσο, μια διαρροή είναι απαραίτητη ώστε να μην δημιουργείται συσσώρευση αλάτων. Το δοχείο είναι συνήθως πυρασφαλές και κατασκευασμένο ώστε να μην δημιουργούνται συσσωματώματα της τέφρας πυθμένα.

➤ Εφεδρικοί καυστήρες

Κατά την εκκίνηση, οι εφεδρικοί καυστήρες χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέρμανση του κλιβάνου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, μέσω της οποίας θα περάσουν τα καυσαέρια. Οι εν λόγω καυστήρες ενεργοποιούνται συνήθως αυτόματα, όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από την καθορισμένη για τη λειτουργία του κλιβάνου τιμή.

Κατά την διακοπή της λειτουργίας, χρησιμοποιούνται μόνο αν υπάρχουν ακόμα απόβλητα στο κλίβανο.

3.3.5.2 ΕΣΤΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ – ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Η εστία περιστρεφόμενου κλιβάνου επεξεργάζεται με επιτυχία σχεδόν όλα τα απορρίμματα και τους ρύπους, ανεξαρτήτως είδους ή σύστασης και κυρίως κλινικά και επικίνδυνα απόβλητα, που άλλες τεχνολογίες δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν. Η θερμοκρασία λειτουργίας του κυμαίνεται από 500°C (ως αεριοποιητής) ως 1450°C (ως κλίβανος τήξης τέφρας). Όταν πρόκειται για συμβατική οξειδωτική καύση, η θερμοκρασία είναι γενικά γύρω στους 850°C.

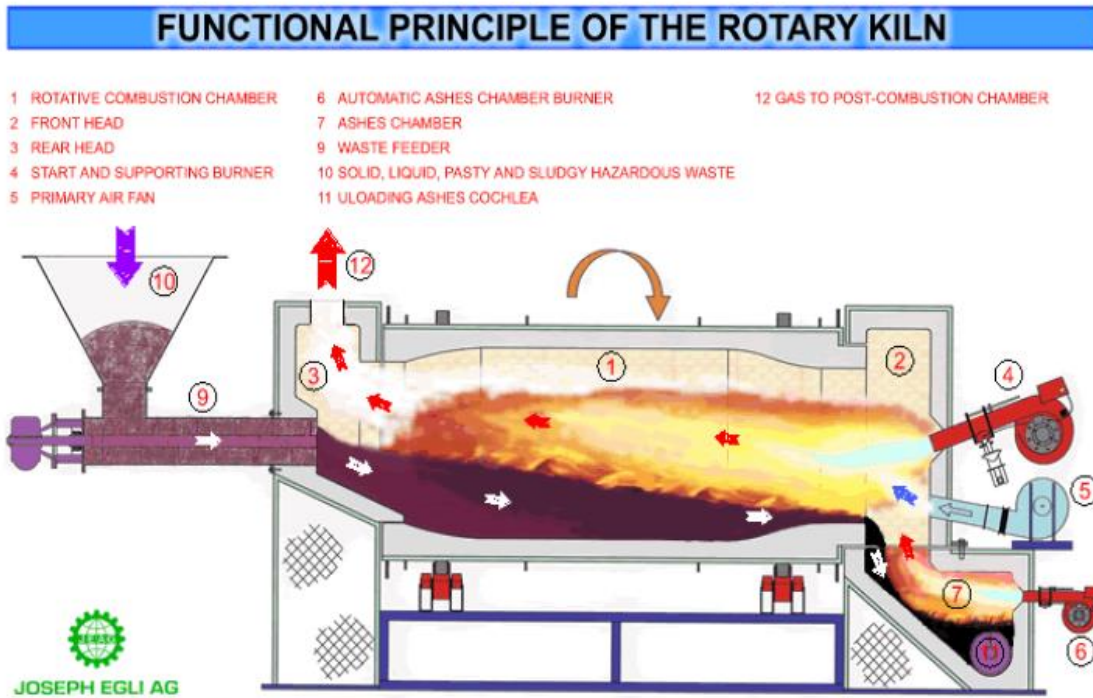
Γενικά, ανάλογα με τα εισαγόμενα απόβλητα, όσο υψηλότερη η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος ζημιάς λόγω της θερμότητας στην πυρίμαχη επένδυση των κλιβάνων.

Το σύστημα περιστρεφόμενου κλιβάνου αποτελείται από:

- Το σύστημα υποδοχής
- Το δοσομετρικό σύστημα
- Τον περιστρεφόμενο κύλινδρο
- Το σύστημα παροχής αέρα
- Τον επιπλέον καυστήρα
- Το θάλαμο μετάκαυσης (τοποθετείται ώστε να διευκολυνθεί η πλήρης καύση των απορριμμάτων, λόγω του ότι ο χρόνος παραμονής τους είναι μικρός)
- Το σύστημα απομάκρυνσης της σκόνης και της σκωρίας

Ορισμένοι έχουν μανδύα ψύξης που λειτουργεί είτε με χρήση νερού είτε αέρα και συμβάλει στην επέκταση της ζωής των πυρίμαχων και συνεπώς, στην επέκταση του χρονικού διαστήματος μεταξύ κάθε παύσης λειτουργίας λόγω συντήρησης.

Στους συμβατικούς περιστρεφόμενους κλιβάνους, ο κύλινδρος είναι οριζόντιος και περιστρέφεται περί του άξονά του. Το υλικό (πρέπει να υπάρχει σταθερή και συνεχής παροχή) αναδεύεται, καίγεται και οδηγείται με την επίδραση της βαρύτητας στο άλλο άκρο λόγω της υπάρχουσας κλίσης ως προς τον οριζόντιο άξονα (2-4%), με αποτέλεσμα να έρχεται εντατικά σε επαφή με τον πρωτογενή αέρα που ρέει μέσα στον κλίβανο.



VIII Εικόνα 3.6 Αποτεφρωτής περιστρεφόμενου κλιβάνου (Joseph Egli AG, 2010)

Η καταστροφή των οργανικών επιτυγχάνεται με συνδυασμό υψηλών θερμοκρασιών και κατάλληλου χρόνου παραμονής. Όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία, τόσο μικρότερος ο χρόνος παραμονής που απαιτείται για την καύση, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η γωνία κλίσης του κυλίνδρου. Γενικά, ο χρόνος κυμαίνεται από 30 ως 90 λεπτά για την ικανοποιητική εξουδετέρωση των αποβλήτων.

Τα στερεά υλικά τροφοδοτούνται στον καυστήρα μέσω μη περιστρεφόμενης χοάνης, τα υγρά διοχετεύονται μέσω ακροφυσίων στο εμπρόσθιο τοίχωμα του κλιβάνου ενώ η ιλύς μέσω υγρόψυκτου σωλήνα.

Ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων καθορίζει το βαθμό ανάμιξής τους εντός του κλιβάνου, δεδομένου ότι αυτός περιστρέφεται, όπως επίσης και το χρόνο επεξεργασίας τους. Η σύσταση των απαερίων καύσης αποτελεί δείκτη απόδοσης του κλιβάνου και δεδομένου ότι λειτουργεί με περίσσεια οξυγόνου, τα απαέρια θα πρέπει να περιέχουν χαμηλές συγκεντρώσεις CO και υδρογονανθράκων και μειωμένες ποσότητες υπολειμμάτων αποτέφρωσης.

Βασικές παράμετροι λειτουργίας ενός τέτοιου είδους αποτεφρωτή είναι:

- η θερμοκρασία εξόδου του περιστροφικού κλιβάνου και του μετακαυστήρα, η οποία πρέπει να οδηγεί σε πλήρη αποτέφρωση των απορριμμάτων,
- η εσωτερική πίεση του κλιβάνου, που πρέπει να είναι αρνητική για την αποφυγή αέριων εκπομπών και σωματιδίων στην ατμόσφαιρα,
- ο ρυθμός παροχής αέρα (οξυγόνου) και των απορριμμάτων, έτσι ώστε οι συνθήκες λειτουργίας του καυστήρα να είναι οι βέλτιστες.

Η μέθοδος πλεονεκτεί επειδή:

- Είναι δυνατό να υποστεί επεξεργασία μία μεγάλη ποικιλία αποβλήτων
- Δεν χρειάζεται προεπεξεργασία των απορριμμάτων

- Ο χρόνος παραμονής τους στον κλίβανο ελέγχεται εύκολα.
- Επιτυγχάνεται αποτελεσματική επαφή με τον αέρα, ενώ τα μειονεκτήματά της είναι τα εξής:
- Λόγω του υψηλού στροβιλισμού και της τριβής που δημιουργείται στον κλίβανο, παράγεται μεγάλη ποσότητα σωματιδίων
- Απαιτείται μεγάλη ποσότητα περίσσειας αέρα (100-150%)
- Μεγάλο μέρος της θερμότητας χάνεται με τη στάχτη
- Συχνά, είναι αναγκαίος ένας θάλαμος μετάκαυσης

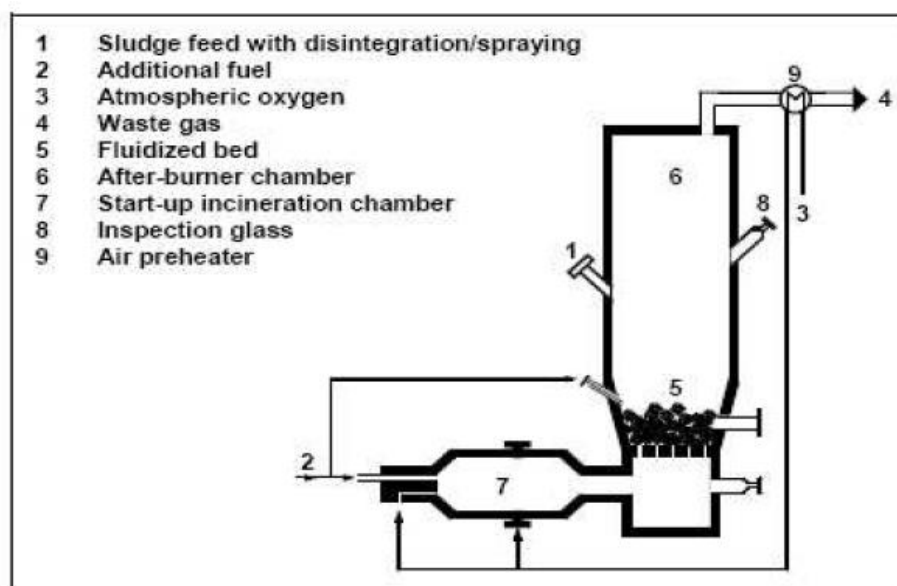
3.3.5.3 ΕΣΤΙΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ

Η εστία ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιεί ένα στρώμα άμμου ή αλουμίνας (κλίνη), πάνω το οποίο εισάγονται τα απορρίμματα. Κάτω από το στρώμα αυτό διοχετεύεται αέρας με τέτοια παροχή, ώστε ολόκληρη η κλίνη να βρίσκεται σε αιώρηση και σε θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία ανάφλεξης των υφιστάμενων ρύπων. Το παρεχόμενο οξυγόνο, οι έντονες συνθήκες ανάμιξης και η αυξημένη θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα την εξάτμιση και την καταστροφή των οργανικών ρύπων.

Η θερμοκρασία αποτελεί τη βασική λειτουργική παράμετρο για το συγκεκριμένο είδος αποτεφρωτών, η οποία ορίζεται σύμφωνα με την τροφοδοσία των απορριμμάτων, των παραγόμενων απαιριών και ενός βοηθητικού υλικού καύσης. Η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 750–880°C, χαμηλότερη σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες αποτέφρωσης, γεγονός που οφείλεται στην καλή ανάμιξη του προς επεξεργασία αποβλήτου. Το απαιτούμενο οξυγόνο καύσης και ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων αποτελούν επίσης σημαντικές παραμέτρους λειτουργίας ενός αποτεφρωτή ρευστοποιημένης κλίνης, οι οποίες καθορίζονται με βάση το ρυθμό τροφοδοσίας των προς επεξεργασία απορριμμάτων.

Οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης διακρίνονται σε τρία είδη:

- **Σταθερή:** Αποτελείται από έναν αδιαβατικό κυλινδρικό θάλαμο καύσης από πυρίμαχο υλικό και μία βαλβίδα σε μορφή δίσκου, μία σταθερή ρευστοποιημένη κλίνη και έναν θάλαμο μετάκαυσης. Στο κάτω μέρος του θαλάμου καύσης, τα απόβλητα αναμιγνύονται ομοιογενώς και διοχετεύονται στην κλίνη.

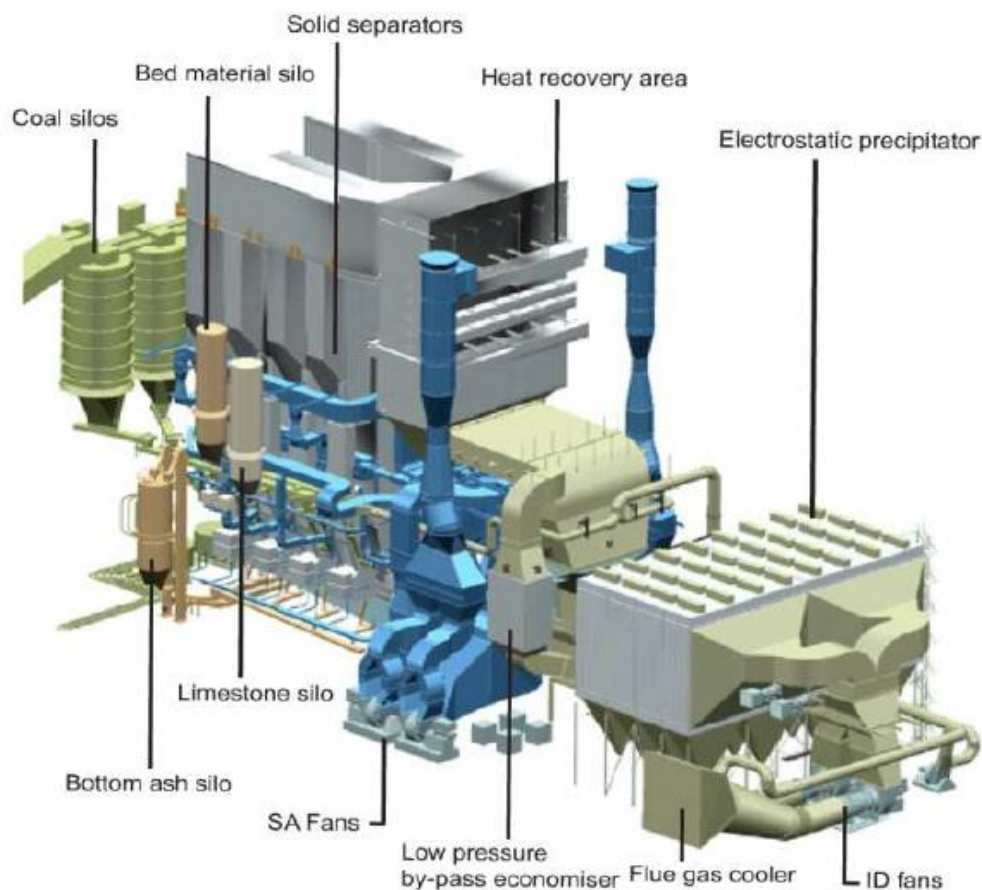


ΙΧ Εικόνα 3.7 Βασικά μέρη σταθερής ρευστοποιημένης κλίνης (European Commission)

- **Περιστροφική:** Ακροφύσιο κεκλιμένων πλακών, πλατιά χοάνη για την απομάκρυνση της τέφρας και μεγάλη παροχή καυσίμου είναι τα ειδικά χαρακτηριστικά που εγγυώνται την αξιόπιστη διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας μέσα στον πυρίμαχο θάλαμο καύσης γίνεται με ανακυκλοφορία των καυσαερίων πράγμα που επιτρέπει την χρήση καυσίμων με ευρύ φάσμα θερμογόνου δύναμης.
- **Με ανακυκλοφορία:** Λειτουργεί με μεγάλες ταχύτητες αερίων που αφαιρούν το μεγαλύτερο μέρος των στερεών σωματιδίων των καυσαερίων που υπάρχουν μέσα στην κλίνη. Τα σωματίδια διαχωρίζονται έπειτα σε έναν κυκλώνα και επανεισέρχονται στον θάλαμο καύσης.

Τα κύρια πλεονεκτήματα μίας εστίας ρευστοποιημένης κλίνης περιλαμβάνουν την αποφυγή εμφάνισης τοπικών διαφορών θερμοκρασίας και επομένως μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων, που είναι αποτέλεσμα ατελούς καύσης που προκαλείται λόγω διαφορών θερμοκρασίας.

Επίσης, έχει την δυνατότητα ενεργειακής αξιοποίησης δύσκολων καυσίμων, με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα και τέλος την αύξηση του βαθμού μετατροπής του καυσίμου και την πιο αποδοτική αξιοποίηση του αέρα καύσης, **γεγονός που οδηγεί σε μικρότερες απαιτήσεις περίσσειας αέρα (στην προκειμένη περίπτωση περίπου 55% έναντι του συνήθους 100%).**



Χ Εικόνα 3.8 Ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (European Commission)

3.3.6 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ (ΛΕΒΗΤΕΣ)

Όλες οι σύγχρονες εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων είναι εξοπλισμένες με συστήματα ανάκτησης θερμότητας τα οποία διαφοροποιούνται ως προς τον σχεδιασμό και τις διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας ατμού, οι λεγόμενοι λέβητες, οι οποίοι βρίσκονται ανάμεσα από τον φλογόθλαμο και το σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων. Σε αυτούς λαμβάνει χώρα η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία από τα καυσαέρια στον κύκλο νερού-ατμού.

Η καύση είναι μία εξώθερμη διεργασία. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που παράγεται (15-40%) μεταφέρεται στα καυσαέρια, μέσω ψύξης των οποίων αυτή ανακτάται και επιπλέον, καθαρίζονται πριν απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.

Στις εγκαταστάσεις καύσης, ο λέβητας επιτελεί δύο αλληλένδετες λειτουργίες:

- την ψύξη των καυσαερίων
- την μεταφορά της θερμότητας από τα καυσαέρια σε άλλο υγρό, συνήθως νερό, το οποίο μετατρέπεται μέσα στον λέβητα σε ατμό.

Η ανάκτηση του ενεργειακού περιεχομένου της καύσιμης ύλης γίνεται μέσω παραγωγής ατμού, τα χαρακτηριστικά του οποίου καθορίζονται από τις τοπικές ενεργειακές απαιτήσεις και τους λειτουργικούς περιορισμούς (συνήθως είναι υπέρθερμος, σε θερμοκρασία 450-500°C και πίεση 40-50 bar) και χρησιμοποιείται είτε ως πηγή θέρμανσης, είτε ως μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση ατμοστρόβιλων και γεννητριών. Η δυνατότητα αξιοποίησης του ατμού παίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομική απόδοση των εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ καθώς είτε διοχετεύεται σε γειτονικές βιομηχανικές μονάδες, είτε χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση αστικών κέντρων, όπου οι τοπικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Αν δεν είναι εφικτή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας του ατμού, τότε πρέπει να υγροποιηθεί, ώστε το νερό να μπορεί να ανακυκλωθεί στον ατμολέβητα. Στην περίπτωση αυτή η θερμότητα της υγροποίησης δεν αξιοποιείται, αλλά καταλήγει στο περιβάλλον.

Για την επίτευξη στεγανοποίησης, την αποφυγή της εισροής αέρα και τη θερμομόνωσή του, φέρει εξωτερική επένδυση και κατασκευάζεται από υλικά που είναι ανθεκτικά [*Inconel* (Το *Inconel* ανήκει στην οικογένεια των ωστενιτικών υπερκραμάτων με βάση το νικέλιο και το χρώμιο.), ενισχυμένο inox] τόσο στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του όσο και στις μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό μέρος της όλης κατασκευής. Επίσης, υπάρχει και δεύτερο εξωτερικό στρώμα μόνωσης για το οποίο δεν απαιτούνται ειδικές αντοχές σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (πυρίμαχα τούβλα, υαλοβάμβακας κλπ).

Κατασκευαστικές παραλλαγές

Οι λέβητες μονάδων καύσης απορριμμάτων κατασκευάζονται κατά κανόνα ως λέβητες φυσικής κυκλοφορίας. Μπορεί να γίνουν οι ακόλουθες διακρίσεις:

Ανάλογα με το μέσο παραλαβής θερμότητας:

- Λέβητας θερμού νερού.
- Λέβητας κορεσμένου ατμού.
- Λέβητας υπέρθερμου ατμού.

Ανάλογα με τη διάταξη των διαδρομών των καυσαερίων (μετάδοση θερμότητας με συναγωγή):

- Λέβητας κατακόρυφων διαδρομών.
- Λέβητας οριζοντίων διαδρομών.

Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών των καυσαερίων:

- Λέβητας τριών διαδρομών.
- Λέβητας τεσσάρων διαδρομών.
- Λέβητας πέντε διαδρομών.

Ανάλογα με την αρχή κατασκευής:

- Κρεμάμενος λέβητας.
- Εδρασμένος λέβητας.

Ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης των καυσαερίων:

- Αεραυλωτός.
- Υδραυλωτός (συνηθέστερος).

Ανάλογα με τη διεύθυνση περιρροής των αυλών:

- Οριζόντιος.
- Κατακόρυφος

Λέβητας ατμού υψηλής πίεσης

Ο λέβητας ατμού απαιτεί περισσότερη προσοχή στο σχεδιασμό από τον λέβητα ατμού που παράγει ζεστό νερό ή χαμηλής πίεσης εξαιτίας της υψηλής διαβρωτικής φύσης του καυσαερίου. Χρειάζεται επίσης περισσότερη προσοχή για τη λειτουργία του και περισσότερο χώρο.

Ο λέβητας ατμού χωρίζεται σε ένα έως τρία ανοικτά περάσματα ακτινοβολίας και ένα τμήμα μεταφοράς. Το τμήμα ακτινοβολίας περιλαμβάνει το στοιχείο ατμοποίησης όπου παράγεται κορεσμένος ατμός. Αφού περάσουν το τμήμα ακτινοβολίας, τα καυσαέρια εισέρχονται στις επιφάνειες θέρμανσης με καύση. Εκεί, μεταφέρουν πρώτα τη θερμότητα στους υπερθερμαντήρες και στη συνέχεια στους οικονομιοτήρες (economizers) και μετά περνούν στο σύστημα καθαρισμού καυσαερίων.

Ο υπερθερμαντήρας στοχεύει στην αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνωμένου ατμού που προέρχεται από το στοιχείο ατμοποίησης. Η θερμοκρασία των καυσαερίων που οδηγούν στον υπερθερμαντήρα δεν υπερβαίνει τους 630°C. Η επιφάνεια θέρμανσης του υπερθερμαντήρα χωρίζεται σε τρία τμήματα με ενδιάμεση έγχυση νερού μεταξύ των σταδίων (desuperheaters) προκειμένου να ελέγχεται η θερμοκρασία του ατμού (max 400°C). Το τελευταίο τμήμα του εξοικονομητήρα στοχεύει στην προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας πριν από την είσοδο στο τύμπανο ατμού του λέβητα, αλλά και στη μείωση της θερμοκρασίας του αερίου στους 160-220°C.

Το τμήμα ακτινοβολίας του λέβητα απαιτεί χώρο ύψους μέχρι 30-40 μέτρα. Το τμήμα μεταφοράς του λέβητα μπορεί να τοποθετηθεί είτε οριζόντια είτε κάθετα. Η οριζόντια διάταξη καταλαμβάνει περίπου 20 μέτρα περισσότερο χώρο από την κατακόρυφη διάταξη κατά τη διαμήκη κατεύθυνση. Η διάταξη του τμήματος μεταφοράς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το κόστος κτιρίου και πρέπει να καθοριστεί το συντομότερο δυνατό.

Η μονάδα παραγωγής αποβλήτων δεν μπορεί να σχεδιαστεί με παραμέτρους ατμού παρόμοιες με εκείνες των παραδοσιακών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτούνται με άνθρακα, αέριο ή πετρέλαιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα απόβλητα διαφέρουν από τα ορυκτά καύσιμα, ιδίως όσον αφορά την περιεκτικότητα σε χλώριο, η οποία - σε συνδυασμό με το θείο - μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες, ακόμη και σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Ο κίνδυνος διάβρωσης μπορεί να μειωθεί με την τήρηση ορισμένων ειδικών κριτηρίων σχεδιασμού και με το σχεδιασμό του λέβητα για μέτριες παραμέτρους ατμού (πίεση και θερμοκρασία).

Τα κύρια χαρακτηριστικά για την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης και της διάβρωσης είναι τα εξής:

1. Βελτιστοποιημένες διαστάσεις του θαλάμου καύσης και χαμηλή ταχύτητα αερίου για τη μείωση της παρασυρόμενης τέφρας

2. Μεγάλος χρόνος παραμονής αερίου στη διέλευση της ακτινοβολίας πριν από την είσοδο στον αγωγό
3. Οριζόντια, τα καυσαέρια ρέουν στο αγωγό μεταφοράς, που έχει υψηλότερη θερμική απόδοση
4. Ηλεκτρονικά συστήματα καθαρισμού στο μεταφορικό πέρασμα από μηχανικές συσκευές ραπίσματος και όχι από φυσητήρες αιθάλης
5. Ευρεία απόσταση σωλήνων στην οριζόντια διεύθυνση, συμπεριλαμβανομένου ελεύθερου χώρου για επιπρόσθετη επιφάνεια θέρμανσης

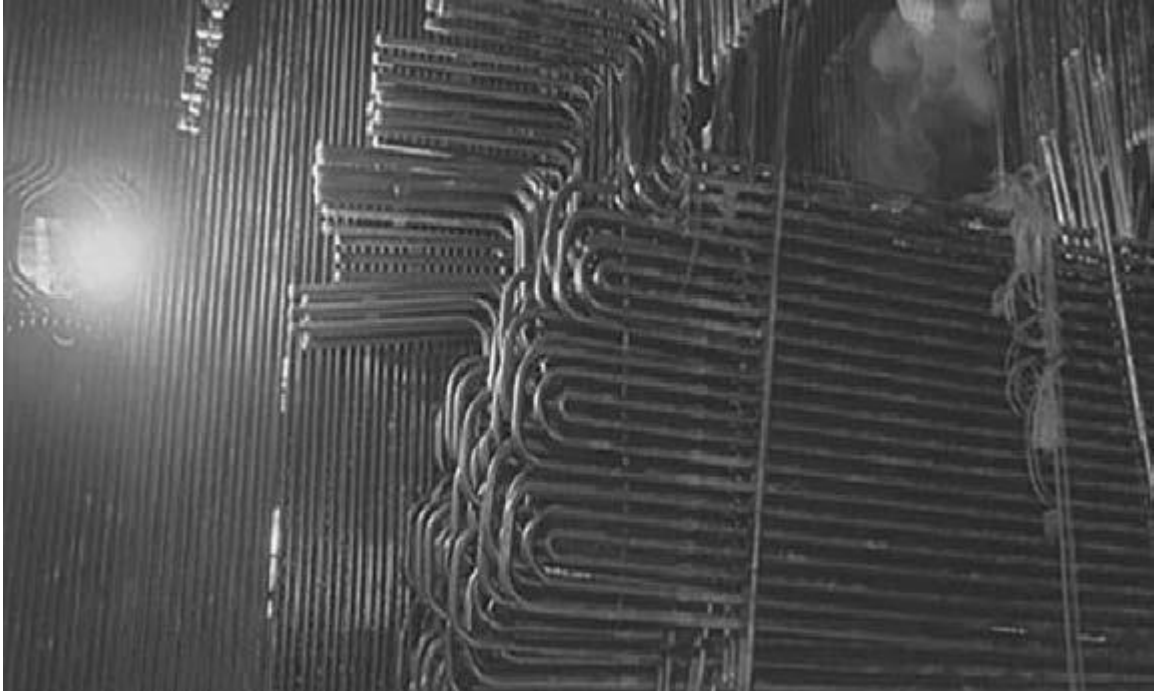
Ορισμένες διαδικασίες καύσης ενδέχεται, επιπλέον, να διατρέχουν κίνδυνο διάβρωσης από CO. Η διαβρωτική φύση των καυσαερίων από την καύση αποβλήτων συνήθως περιορίζει τις παραμέτρους ατμού σε μέγιστη θερμοκρασία περίπου 400°C και πίεση περίπου 40 bar. Η θερμοκρασία του νερού που επιστρέφει στον λέβητα (νερό τροφοδοσίας) διατηρείται τουλάχιστον στους 125-130°C για να περιοριστεί ο κίνδυνος διάβρωσης σε χαμηλές θερμοκρασίες στο ψυχρότερο μέρος του λέβητα.

Συλλέκτες εγκαθίστανται κάτω από τα κατακόρυφα και οριζόντια περάσματα για τη συλλογή της τέφρας του λέβητα. Η συλλεγμένη σκόνη απορρίπτεται με μηχανικούς μεταφορείς στα σιλό τέφρας. Η στάχτη λέβητα θεωρείται ότι αποτελεί μέρος της παραγόμενης ιπτάμενης τέφρας.

Η ανάκτηση ενέργειας από ένα λέβητα παραγωγής ατμού είναι συμβατικά γνωστή ως η διαδικασία Rankine. Η διαδικασία Rankine επιτρέπει την παραγωγή ενέργειας με τη μορφή ενέργειας, ατμού και συνδυασμούς ισχύος, ατμού και ζεστού νερού.

Η ενέργεια από τα καυτά καυσαέρια ανακτάται μέσω του λέβητα και περνά στο εσωτερικό κύκλωμα ατμού. Η ενέργεια του ατμού μπορεί να μετατραπεί σε ισχύ από στρόβιλο και γεννήτρια. Ο υπερθερμασμένος ατμός υψηλής πίεσης του λέβητα επεκτείνεται στον αμοστρόβιλο, ο οποίος μετατρέπει το ενεργειακό περιεχόμενο του ατμού σε κινηματική ενέργεια, η οποία μετασχηματίζεται περαιτέρω στη ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια. Η περίσσεια θερμότητας του ατμού χαμηλής πίεσης μετατρέπεται σε ζεστό νερό εντός του εναλλάκτη θερμότητας (συμπυκνωτής) και είτε μεταφέρεται σε δίκτυο τηλεθέρμανσης είτε ψύχεται.

Το συμπύκνωμα από τον συμπυκνωτή επιστρέφει στη δεξαμενή νερού τροφοδοσίας και στον απαερωτή, για να έχει κατάλληλη θέρμανση και απαερίωση. Η δεξαμενή νερού τροφοδοσίας και η εξαεριστική δεξαμενή κατασκευάζονται από ένα κυλινδρικό οριζόντιο δοχείο αποθήκευσης. Είναι εξοπλισμένο με διαφράγματα και ακροφύσια κατανομής ατμού στον πυθμένα και θόλο στο πάνω μέρος της δεξαμενής εξοπλισμένο με ακροφύσια ψεκασμού. Για λόγους εξασφάλισης της απαιτούμενης θερμοκρασίας του λέβητα, το απιονισμένο νερό μεταφέρεται σε κάθε δεξαμενή νερού τροφοδοσίας μέσω κατάλληλων αντλιών νερού. Το νερό του λέβητα τροφοδοτείται στο λέβητα από τη δεξαμενή νερού τροφοδοσίας και αντλίες νερού υψηλής πίεσης. Χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται για την αύξηση των επιπέδων του pH



XI Εικόνα 3.9 Πανοραμική άποψη λέβητα: Εξάρτημα υπερθέρμανσης (Ε. Καλογιρου, 2017)



XII Εικόνα 3.10 Προβολή λέβητα. (Ε. Καλογιρου, 2017)

Για την πρόληψη της διάβρωσης του λέβητα χρησιμοποιείται ένας αποξειδωτικός (deoxidizer) καταλύτης, ο οποίος μειώνει το διαλυμένο οξυγόνο. Μέρος του υπερθερμαντήρα στο λέβητα φαίνεται στην Εικόνα 3.8. Μια άλλη άποψη του λέβητα παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.10. Τέλος, η Εικόνα 3.11 δείχνει ενδεικτικό λέβητα κατά τη διάρκεια της συντήρησης.



XIII Εικόνα 3.11 Λέβητας κατά τη συντήρηση (Ε. Kalogirou, 2017)

3.3.7 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

Στις μονάδες WTE, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μέσω ενός σετ γεννήτριας ατμοστρόβιλων. Κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι δυνατή η ανάκτηση μόνο έως και 35% της διαθέσιμης ενέργειας στα απόβλητα ως ισχύ. Η πλεονάζουσα θερμότητα πρέπει να ψύχεται σε έναν συμπυκνωτή ή σε έναν πύργο ψύξης. Αυτή η επιλογή είναι ελκυστική εάν η εγκατάσταση βρίσκεται μακριά από τους καταναλωτές που χρειάζονται θερμότητα. Όταν παράγεται μόνο ισχύς, χρησιμοποιείται ένας πλήρως συμπυκνωμένος στρόβιλος. Η περίσσεια θερμότητας παράγεται σε μια τόσο χαμηλή θερμοκρασία σε αυτόν τον συμπυκνωτή ώστε να μην είναι ελκυστική για ανάκτηση.

Ο ατμοστρόβιλος είναι ένας περιστροφικός τύπος ατμομηχανής που αποτελείται από ένα ακίνητο σετ πτερυγίων (λεγόμενα ακροφύσια) και ένα κινούμενο σύνολο παρακείμενων λεπίδων (που ονομάζονται κάδοι ή λεπίδες στροφέα) εγκατεστημένα μέσα σε ένα περίβλημα. Ο ατμός από ακροφύσια ή διόδους οδηγού κατευθύνεται συνεχώς έναντι των δύο σετ λεπίδων κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο ατμός να στρέφει τον άξονα του στροβίλου και το συνδεδεμένο φορτίο (δηλ. τη γεννήτρια). Τα ακίνητα ακροφύσια εκτονώνουν τον ατμό σε χαμηλότερη πίεση, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της ταχύτητας του ατμού. Ένας περιστρεφόμενος δίσκος με πτερύγια αλλάζει την κατεύθυνση της ροής του ατμού, δημιουργώντας έτσι μια δύναμη στις λεπίδες που, λόγω της γεωμετρίας με τροχούς, εκδηλώνεται ως ροπή στρέψης στον άξονα στον οποίο είναι τοποθετημένος ο τροχός με πτερύγια. Ο συνδυασμός ροπής και ταχύτητας είναι η ισχύς εξόδου του στροβίλου.

Ο άξονας του στροβίλου συνδέεται με μια γεννήτρια έτσι ώστε η γεννήτρια να περιστρέφεται γύρω από τα πτερύγια του στροβίλου. Καθώς περιστρέφεται, η γεννήτρια μετατρέπει την κινητική ενέργεια από τον στρόβιλο σε ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιώντας ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

Η διαφορά στους διάφορους τύπους ατμοστρόβιλων οφείλεται σε διαφορετικές μεθόδους χρήσης του ατμού, ανάλογα με την κατασκευή και τη διάταξη των ακροφυσίων, των διόδων ατμού.

Οι ατμοστρόβιλοι δράσεως εκμεταλλεύονται την ταχύτητα του ατμού και μόνο, για την παραγωγή έργου. Ο ατμός φθάνοντας στο στρόβιλο δράσεως πριν από την είσοδο του στα ακροφύσια, έχει μεγάλη πίεση, μεγάλη θερμοκρασία και ασήμαντη ταχύτητα. Εξερχόμενος από τα ακροφύσια έχει μικρή πίεση, χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη ταχύτητα και κατάλληλη διεύθυνση. Από την στιγμή που ο ατμός εξέρχεται από τα ακροφύσια μέχρις ότου φθάσει στο ψυγείο, η πίεση δεν μεταβάλλεται άλλα μόνο η ταχύτητα μειώνεται προς παραγωγή έργου.

Στους ατμοστρόβιλους αντιδράσεως το έργο παράγεται και με την πίεση και με την ταχύτητα. Ο ατμός πριν εισέλθει στα ακροφύσια, έχει μεγάλη πίεση, μεγάλη θερμοκρασία και σημαντική ταχύτητα. Εξερχόμενος από τα ακροφύσια έχει μικρότερη πίεση, χαμηλότερη θερμοκρασία, αρκετή ταχύτητα και κατάλληλη διεύθυνση. Εντός των κινητών πτερυγίων ο ατμός δίνει την ταχύτητα του για την παραγωγή έργου, συγχρόνως όμως, λόγω του σχήματος των πτερυγίων, χάνει και το υπόλοιπο της διαθέσιμης πίεσης και θερμοκρασίας του για την παραγωγή επιπλέον έργου.

Η αρχική κατάσταση του ατμού και η τελική είναι η ίδια και στους δυο τύπους στροβίλων, διαφέρει μόνο ο τρόπος κατά τον οποίο εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια του ατμού για την παραγωγή έργου.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος για τον ατμοστρόβιλο είναι ο κύκλος Rankine. Ο κύκλος είναι η βάση για τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας και αποτελείται από μια πηγή

θερμότητας (λέβητα) που μετατρέπει το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης. Στον κύκλο του ατμού, το νερό αντλείται πρώτα σε αυξημένη πίεση, η οποία είναι μέτριας έως υψηλής πίεσης ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας και τη θερμοκρασία στην οποία τελικά θερμαίνεται ο ατμός. Στη συνέχεια θερμαίνεται στη θερμοκρασία ατμοποίησης που αντιστοιχεί στην πίεση, (θερμαίνεται από υγρό σε ατμό) και στη συνέχεια συχνότερα υπερθερμαίνεται (θερμαίνεται σε θερμοκρασία πάνω από την θερμοκρασία κορεσμένου ατμού). Ο ατμός υπό πίεση εκτονώνεται σε χαμηλότερη πίεση σε πολυβάθμιο στρόβιλο και έπειτα εξάγεται είτε σε συμπυκνωτή υπό συνθήκες κενού είτε σε σύστημα διανομής ατμού ενδιάμεσης θερμοκρασίας που παραδίδει τον ατμό στη βιομηχανική ή εμπορική εφαρμογή. Το συμπύκνωμα από τον συμπυκνωτή ή από το σύστημα βιομηχανικής χρήσης ατμού επιστρέφεται στην αντλία νερού τροφοδοσίας για συνέχιση του κύκλου.

3.3.7.1 ΕΙΔΗ ΑΤΜΟΣΤΟΒΙΛΩΝ

Οι ατμοστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται συμπυκνωτικοί στρόβιλοι, ενώ οι ατμοστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται για συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP) μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικούς τύπους: χωρίς συμπύκνωση και εξαγωγή.

- Συμπύκνωση τουρμπίνας: Ο κύριος τύπος τουρμπίνας που χρησιμοποιείται για την κεντρική παραγωγή ενέργειας είναι ο συμπυκνωμένος στρόβιλος. Αυτοί οι στρόβιλοι κοινής ωφέλειας εξάγονται απευθείας στους συμπυκνωτές οι οποίοι διατηρούν συνθήκες κενού κατά την εκκένωση του στρόβιλου. Μια σειρά από σωλήνες, που ψύχονται από το νερό του ποταμού, της λίμνης ή του πύργου ψύξης, συμπυκνώνουν τον ατμό στο (υγρό) νερό. Το κενό του συμπυκνωτή προκαλείται από την απαγωγή θερμότητας από το υγρό ψύξης που δημιουργεί τη συμπύκνωση του εξερχόμενου ατμού του ατμοστρόβιλου στον συμπυκνωτή.

Οι διαδικασίες συμπύκνωσης του στρόβιλου έχουν ως αποτέλεσμα τη μέγιστη ισχύ και την ηλεκτρική απόδοση παραγωγής από την παροχή ατμού και το καύσιμο του λέβητα. Η απόδοση ισχύος των στρόβιλων συμπύκνωσης είναι ευαίσθητη στις συνθήκες περιβάλλοντος.

- Τουρμπίνα χωρίς συμπύκνωση: Ο στρόβιλος αντίθλιψης εξαντλεί ολόκληρη τη ροή του ατμού στη βιομηχανική διαδικασία ή στο δίκτυο ατμού της εγκατάστασης σε συνθήκες κοντά στις απαιτήσεις θερμικής επεξεργασίας.

Συνήθως, ο ατμός που αποστέλλεται στο δίκτυο δεν είναι πολύ πάνω από τη θερμοκρασία κορεσμού. Ο όρος "αντίθλιψη" αναφέρεται σε στρόβιλους που εξάγουν ατμό σε ατμοσφαιρικές πιέσεις και πάνω. Η πίεση εκφόρτισης δημιουργείται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή CHP. Η χαμηλότερη πίεση χρησιμοποιείται συχνότερα σε μικρά και μεγάλα συστήματα τηλεθέρμανσης και η υψηλότερη πίεση χρησιμοποιείται συχνότερα για την παροχή ατμού σε βιομηχανικές διεργασίες. Σημαντική ικανότητα δημιουργίας ισχύος θυσιάζεται όταν ο ατμός χρησιμοποιείται σε αισθητή πίεση αντί να επεκταθεί σε κενό σε έναν συμπυκνωτή.

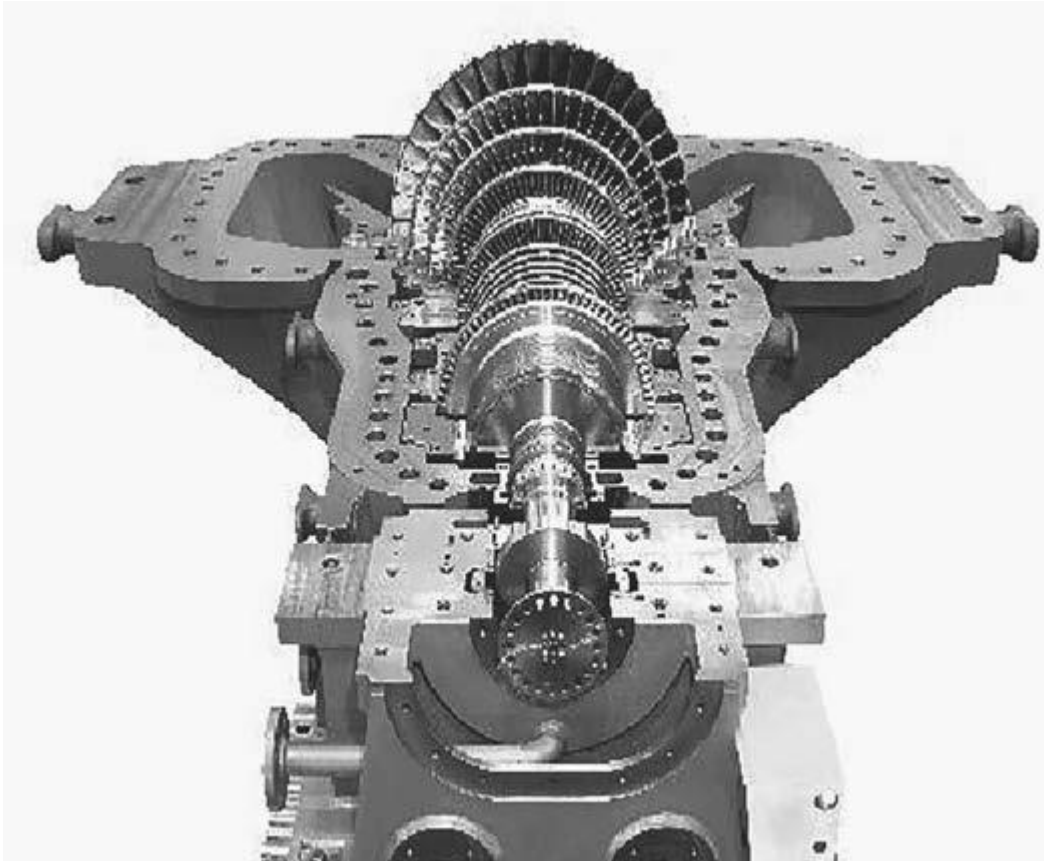
- Στρόβιλος απομάστευσης: Ο στρόβιλος εξαγωγής έχει ανοίγματα στο περίβλημα του για την εξαγωγή ενός μέρους του ατμού σε κάποια ενδιάμεση πίεση. Ο εξαγόμενος ατμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς επεξεργασίας σε εγκατάσταση CHP ή για θέρμανση ύδατος τροφοδοσίας όπως συμβαίνει στις περισσότερες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής. Ο υπόλοιπος ατμός συμπυκνώνεται.

Η πίεση εξαγωγής ατμού μπορεί να ρυθμιστεί αυτόματα ή όχι, ανάλογα με το σχεδιασμό του στρόβιλου. Η ρυθμιζόμενη εξαγωγή επιτρέπει περισσότερο ατμό να ρέει μέσω του στρόβιλου

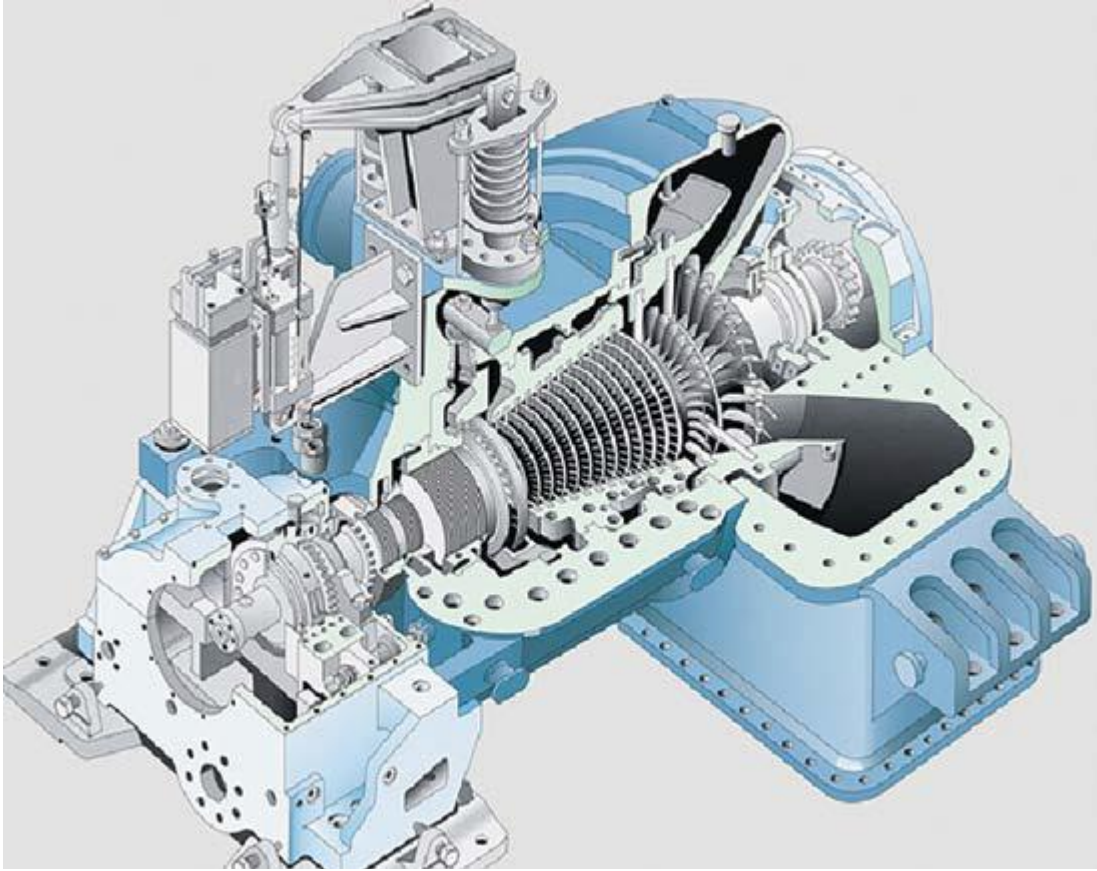
για να παράγει επιπλέον ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής θερμικής ζήτησης από το σύστημα CHP. Στους αμοστροβίλους απομάστευσης, δύναται να υπάρχουν πολλά σημεία εξαγωγής, καθένα σε διαφορετική πίεση που αντιστοιχεί σε διαφορετική θερμοκρασία στην οποία απαιτείται θερμότητα στον θερμοδυναμικό κύκλο.

Οι ειδικές ανάγκες της εγκατάστασης για ατμό και ισχύ συναρτήσει του χρόνου καθορίζουν την έκταση στην οποία ο ατμός σε έναν στρόβιλο εκχύλισης θα εξάγεται για χρήση στη διαδικασία ή θα επεκταθεί σε συνθήκες κενού και θα συμπυκνωθεί σε συμπυκνωτή.

Ένας ενδεικτικός αμοστροβίλος φαίνεται στην Εικόνα 3.12. Η Εικόνα 3.13 δείχνει έναν αμοστροβίλο αντίθλιψης.



XIV Εικόνα 3.12 Ενδεικτική αμοστροβίλος (Ε. Kalogirou, 2017)

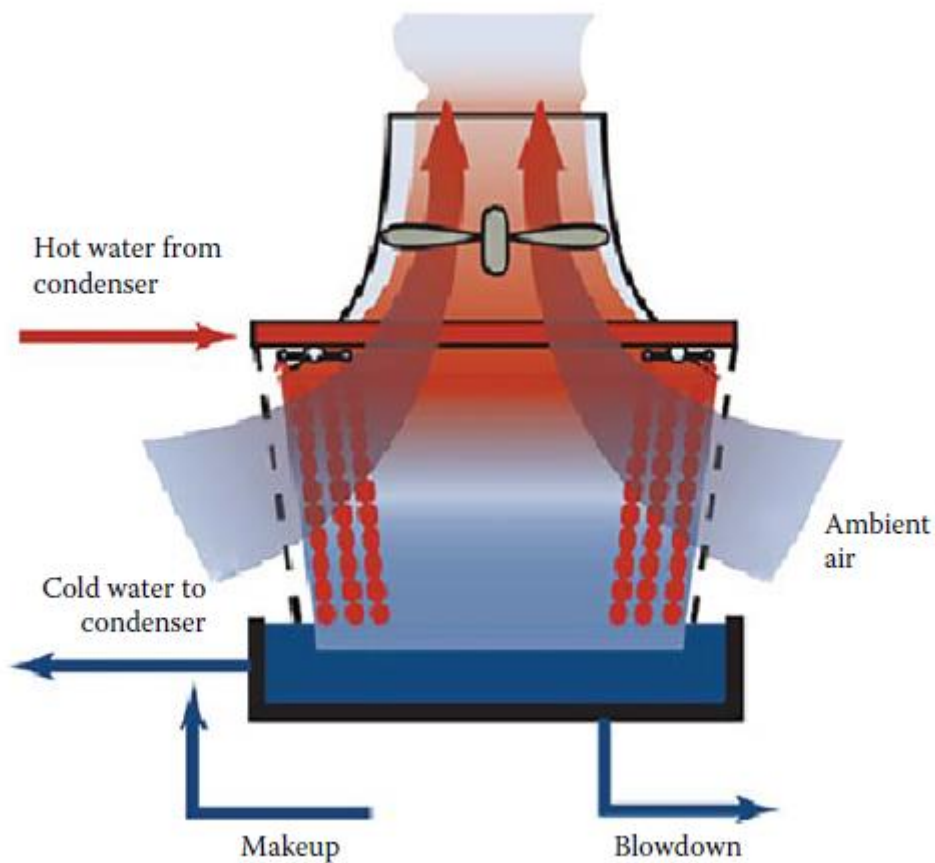


XV Εικόνα 3.13 Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης (Ε. Kalogirou, 2017)

3.3.7.2 ΠΥΡΓΟΙ ΨΥΞΗΣ

Οι πύργοι ψύξης χρησιμοποιούνται για την απόρριψη της θερμότητας μέσω της φυσικής διαδικασίας εξάτμισης. Ζεστό νερό επανακυκλοφορίας αποστέλλεται στον πύργο ψύξης όπου ένα μέρος του νερού εξατμίζεται στον αέρα που διέρχεται από τον πύργο. Καθώς το νερό εξατμίζεται, ο αέρας απορροφά θερμότητα, που μειώνει τη θερμοκρασία του υπόλοιπου νερού. Η ποσότητα θερμότητας που απορρίπτεται από το νερό στον αέρα συνδέεται άμεσα με τη σχετική υγρασία του αέρα. Ο αέρας με χαμηλότερη σχετική υγρασία έχει μεγαλύτερη ικανότητα να απορροφά το νερό μέσω της εξάτμισης από τον αέρα με υψηλότερη σχετική υγρασία, απλώς και μόνο επειδή υπάρχει λιγότερο νερό στον αέρα. Για παράδειγμα, εξετάστε τους πύργους ψύξης σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες: μία στη βόρεια Ευρώπη και μία στη νότια Ευρώπη. Η θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος σε αυτές τις δύο θέσεις μπορεί να είναι παρόμοια, αλλά η σχετική υγρασία στη Νότια Ευρώπη είναι κατά μέσο όρο πολύ χαμηλότερη από αυτή της βόρειας Ευρώπης. Ως εκ τούτου, ο πύργος ψύξης στη νότια Ευρώπη θα είναι σε θέση να εξαγει περισσότερη θερμότητα της διαδικασίας και θα λειτουργεί σε πιο χαμηλή θερμοκρασία, επειδή ο ξηρός αέρας έχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης του ζεστού νερού.

Μια ενδεικτική απεικόνιση της λειτουργίας ενός πύργου ψύξης παρουσιάζεται στο Εικόνα 3.14



XVI Εικόνα 3.14 Ενδεικτικός πύργος ψύξης (Ε. Kalogirou, 2017)

Οι πύργοι ψύξης μπορούν να χωριστούν σε δύο διαφορετικές κατηγορίες: συστήματα ανοικτού κυκλώματος (άμεση επαφή) και κλειστού κυκλώματος (έμμεσα). Σε συστήματα ανοικτού κυκλώματος, το νερό επανακυκλοφορεί επιστρέφει στον πύργο μετά τη συλλογή θερμότητας και κατανέμεται στον πύργο, όπου το νερό βρίσκεται σε άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα καθώς ανακυκλώνεται κατά μήκος της δομής του πύργου. Τα κλειστά συστήματα κυκλωμάτων διαφέρουν στην κυκλοφορία του ρευστού επιστροφής (συχνά νερό ή μερικές φορές νερό αναμεμιγμένο με γλυκόλη). Το τελευταίο κυκλοφορεί μέσω της δομής του πύργου σε ένα πηνίο, ενώ το ψυκτικό νερό του πύργου ανακυκλώνεται μόνο στην ίδια την κατασκευή του πύργου. Στην περίπτωση αυτή, το ρευστό επιστροφής δεν εκτίθεται απευθείας στον αέρα.

3.3.7.3 ΑΕΡΟΨΥΚΤΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ (ACC)

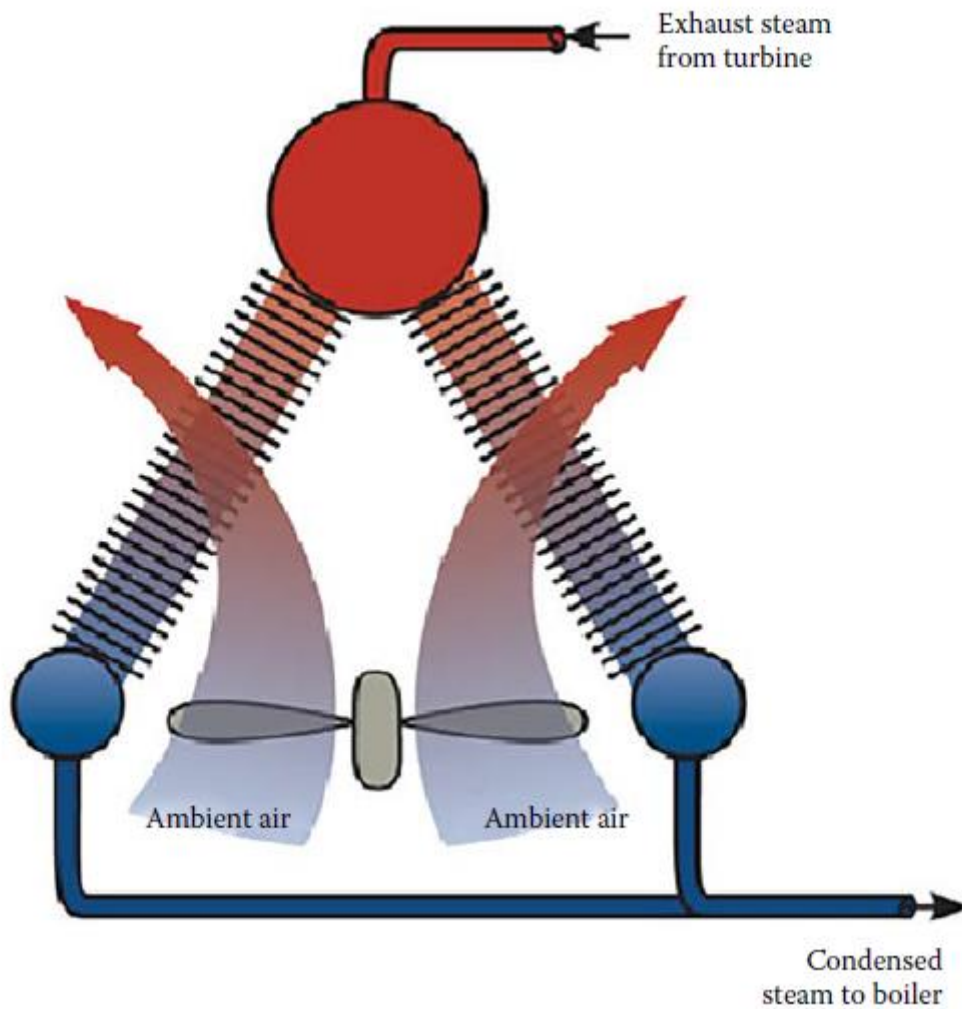
Στην περίπτωση των συμπυκνωτών που ψύχονται με αέρα, το σύστημα συμπύκνωσης αποτελείται από εναλλάκτες θερμότητας κενού που ψύχονται από τη ροή αέρα περιβάλλοντος. Ο ατμός εξαγωγής από τον στρόβιλο τροφοδοτείται κατευθείαν στο δίκτυο σωληνώσεων του εναλλάκτη θερμότητας του αερόψυκτου συμπυκνωτή. Ο ατμοσφαιρικός αέρας που διέρχεται από τους σωλήνες του συμπυκνωτή λειτουργεί ως ο μέσος όρος ψύξης που απορροφά την

λανθάνουσα θερμότητα από τον ατμό και τον μεταφέρει στο περιβάλλον. Το συμπυκνωμένο νερό ρέει με βαρύτητα στη δεξαμενή συμπυκνωμάτων που βρίσκεται από κάτω, στη συνέχεια τροφοδοτείται στον απαεριωτή με αντλίες συμπυκνωμάτων.

Να σημειωθεί, ότι οι ACC απαιτούν 1/8 λιγότερο νερό σε σχέση με τους υδρόψυκτους πύργους ψύξης.

Μια ενδεικτική απεικόνιση της λειτουργίας ενός αερόψυκτου συμπυκνωτή φαίνεται στην Εικόνα 3.15.

Ο αερόψυκτος συμπυκνωτής είναι μια πολυκλωνική μονάδα, όπου κάθε κυψελίδα περιλαμβάνει δέσμες σωλήνων τοποθετημένες σε μια ανεστραμμένη διάταξη "V" και έναν ανεμιστήρα ψύξης τοποθετημένο οριζόντια κάτω από την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας για να παρέχει εκκένωση αέρα με εξαναγκασμένο τράβηγμα πάνω από τις εκτεταμένες τράπεζες επιφανειακών σωλήνων.



XVII Εικόνα 3.15 Ενδεικτικό αερόψυκτου συμπυκνωτή (E. Kalogirou, 2017)



XVIII Εικόνα 3.16 Όψη του συμπυκνωτή αέρα (Ε. Kalogirou, 2017)

Η διάμετρος και η ταχύτητα των ανεμιστήρων ψύξης επιλέγονται ειδικά για να παρέχουν χαμηλά επίπεδα θορύβου λειτουργίας. Ένας αερόψυκτος συμπυκνωτής αποτελείται από δομοστοιχεία διατεταγμένα σε παράλληλες σειρές. Κάθε δομοστοιχείο περιέχει μια σειρά από δέσμες σωλήνων με πτερύγια. Ένας αξονικός ροής, ανεμιστήρας εξαναγκασμένης ροής που βρίσκεται σε κάθε δομοστοιχείο, ωθεί τον αέρα ψύξης κατά μήκος της περιοχής ανταλλαγής θερμότητας των πτερυγίων.

3.3.7.4 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΑΤΜΟΥ (ΨΥΞΗ)

Ο συμπυκνωτής ατμού είναι μια συσκευή στην οποία συμπυκνώνεται ο ατμός εξαγωγής από τον ατμοστρόβιλο μέσω νερού ψύξης. Ο κύριος σκοπός ενός συμπυκνωτή ατμού στον στρόβιλο είναι να διατηρήσει χαμηλή αντίθλιψη στην πλευρά εξαγωγής της ατμοστρόβιλου. Το νερό ψύξης απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα ατμού που απελευθερώνεται κατά τη συμπύκνωση. Το συμπυκνωμένο νερό επιστρέφει στον λέβητα (μέσω του απαερωτήρα) για την αναπαραγωγή ατμού, ενώ το νερό ψύξης κατευθύνεται στους πύργους ψύξης για την απελευθέρωση της απορροφούμενης θερμότητας στο περιβάλλον. Ένας πύργος ψύξης χρησιμοποιεί νερό ως ψυκτικό μέσο. Αν δεν υπάρχει διαθέσιμο νερό ψύξης, ένας ψύκτης αέρα τοποθετημένος στον ανεμιστήρα μπορεί να εξυπηρετήσει τον σκοπό, αν και είναι λιγότερο

ενεργειακά αποδοτικός. Επιπλέον, ένας ψύκτης αέρα είναι λιγότερο κατάλληλος σε ζεστά περιβάλλοντα καθώς οι ψυχρότερες διαστάσεις αυξάνονται με τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος.

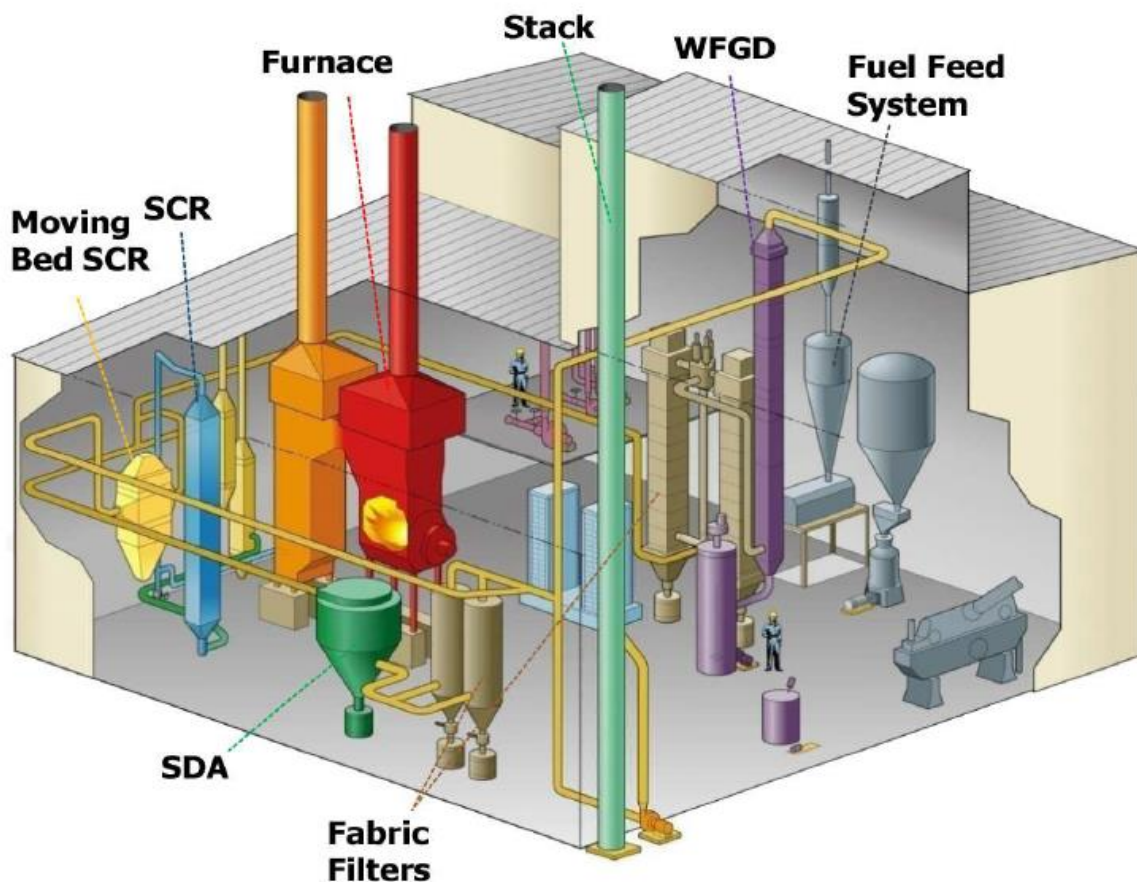
3.3.8 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΛΕΒΗΤΑ

Οι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της ενέργειας είναι:

- το είδος και η φύση των απορριμμάτων
- οι επιλογές τοποθεσίας της μονάδας

Η υψηλότερη απόδοση της ενεργειακής χρήσης των αποβλήτων μπορεί να επιτευχθεί όταν η θερμότητα που ανακτάται από τη διαδικασία αποτέφρωσης τροφοδοτείται συνεχώς και άμεσα ως τηλεθέρμανση, ατμός για την παραγωγική διαδικασία κλπ., ή σε συνδυασμό με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την τοποθεσία του εργοστασίου, με την πιθανότητα να αυξάνεται η συνολική απόδοση όταν η μονάδα να βρίσκεται σε βολική θέση.

- οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό του κύκλου ενέργειας
- Τέτοιοι είναι οι: τροφοδοσία των αποβλήτων, οι δυνατότητες πώλησης της ενέργειας, οι τοπικές συνθήκες που επικρατούν.



XIX Εικόνα 3.17 Μονάδα καύσης ΑΣΑ (ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗ Ι. ΜΑΡΙΑ, 2011)

3.4 ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗ

3.4.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

Επεξεργασία και έλεγχος στερεών υπολειμμάτων

Τα υπολείμματα που παράγονται από την αποτέφρωση, αντιστοιχούν στο 20-40% του βάρους των εισερχομένων απορριμμάτων και δημιουργούνται κυρίως στην σχάρα, απ' όπου απάγονται με ειδικό σύστημα και στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων, απ' όπου συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα και μεταφέρονται για ψύξη. Στα συστήματα καθαρισμού εφαρμόζονται διάφορες, δοκιμασμένες και ασφαλείς τεχνολογίες με σκοπό την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, των οξέων, των οξειδίων του αζώτου, των διοξεινίων και άλλων που περιέχονται στα καυσαέρια.

Είδη υπολειμμάτων

Τα υπολείμματα μπορούν να διακριθούν σε αυτά που προέκυψαν από τη διαδικασία της καύσης και σε αυτά που προέκυψαν από τα συστήματα επεξεργασίας των καυσαερίων. Τα δεύτερα μπορεί να είναι ιπτάμενη τέφρα ή/και προϊόντα αντίδρασης και πρόσθετα που δεν έχουν αντιδράσει κατά την επεξεργασία των καυσαερίων.

Τα υπολείμματα που προκύπτουν από την καύση είναι:

- η τέφρα από τον πυθμένα της εστίας καύσης: περιέχει βαρέα μέταλλα, άλατα, κ.α.
- η τέφρα από τον λέβητα
- η ιπτάμενη τέφρα



XX Εικόνα 3.18 Βασικό Ισοζύγιο μάζας για την διαδικασία της καύσης (Ε. Καλογήρου)

Τα υπολείμματα που προκύπτουν από το σύστημα επεξεργασίας καυσαερίων είναι:

- υπολείμματα από υγρή και ημι-υγρή επεξεργασία καυσαερίων. Πρόκειται για μίγματα ασβεστίου ή/και αλάτων νατρίου, κυρίως ως χλωριούχα και θειώδη/θειούχα άλατα και λιγότερο φθοριούχα καθώς και ιπτάμενη τέφρα που δεν απομακρύνθηκε σε προηγούμενο στάδιο. Συνεπώς, μπορεί να εντοπιστούν και βαρέα μέταλλα και διοξίνες-φουράνια.
- λάσπη από την φυσικοχημική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων
- γύψος
- άλατα από την εξάτμιση των υδατικών αποβλήτων
- υπολείμματα από το φιλτράρισμα των λυμάτων

Επεξεργασία υπολειμμάτων από την καύση και την επεξεργασία των Καυσαερίων

Όσον αφορά τα υπολείμματα από την καύση, η μέθοδος επεξεργασίας τους έχει σκοπό την βελτίωση των παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα της παραγόμενης τέφρας ώστε να μιμηθεί την ποιότητα πρωτογενών υλικών κατασκευής καθώς, λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε ανόργανα στοιχεία, καθιστώνται κατάλληλα για χρήση ως οδικά ή κατασκευαστικά υλικά. Λόγω του μεγάλου όγκου παραγωγής τους και της χαμηλής επικινδυνότητάς τους, ανακύκλωση εφαρμόζεται κυρίως για την επεξεργασία της τέφρας πυθμένα από ΑΣΑ.

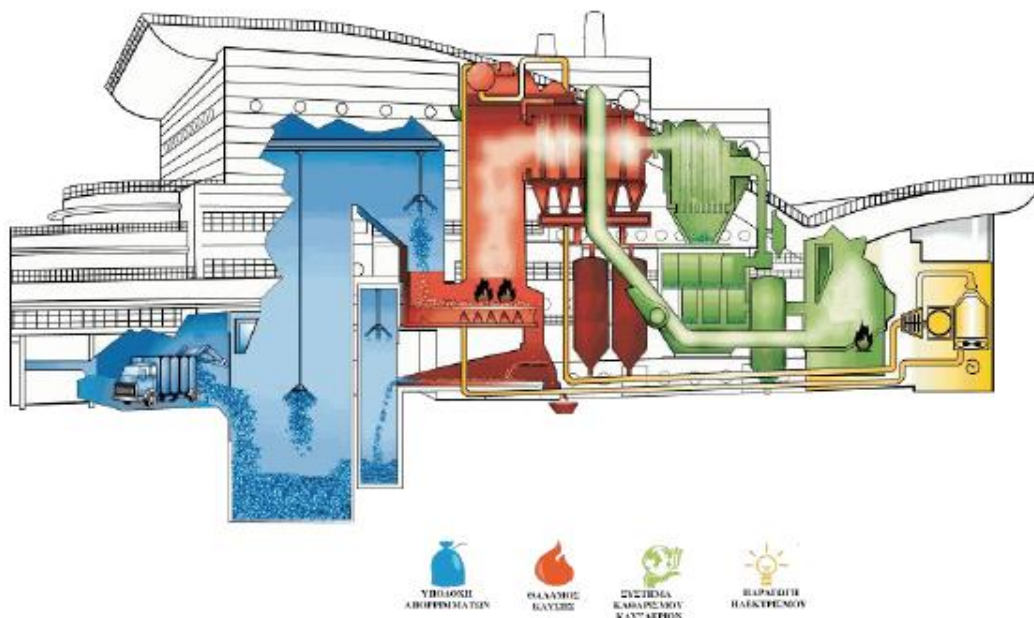
Τα πρωτογενή μέτρα που λαμβάνονται για τον έλεγχο εκροής των υπολειμμάτων περιλαμβάνουν βελτιστοποίηση του ελέγχου της διεργασίας της καύσης έτσι ώστε:

- να εγγυάται την τέλεια καύση των ενώσεων άνθρακα
- να ενισχύσει την εξάτμιση των βαρέων μετάλλων, όπως Hg (Υδράργυρος) και Cd (Κάδμιο)

Για την επεξεργασία των στερεών υπολειμμάτων, ακολουθούνται οι παρακάτω τεχνικές:

- *Στερεοποίηση και χημική σταθεροποίηση.* Στόχος της στερεοποίησης είναι η κινητικότητα ορισμένων ρύπων. Το στερεοποιημένο υλικό πρέπει να πληρεί κάποια κριτήρια όπως καμία χημική αντίδραση με το νερό, μηχανική, χημική και βιοχημική σταθερότητα, καμία μόλυνση σε περίπτωση διάβρωσης.
- *Διαχωρισμός μετάλλων.* Στόχος είναι η απομάκρυνση των σιδηρούχων μετάλλων, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη χρήση μαγνητικών διαχωριστών.
- *Διεργασίες έκπλυσης.* Στόχος είναι η απομάκρυνση των ευδιάλυτων ρύπων, όπως τα χλωριούχα, τα θειικά άλατα και τα βαρέα μέταλλα και γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά, η τέφρα αναμιγνύεται στο νερό, επιτυγχάνοντας pH 9-12 και τα στερεά διαχωρίζονται από το διάλυμα με φίλτρο υπό κενό. Έπειτα, τα ευδιάλυτα βαρέα μέταλλα απομακρύνονται με χρήση του οξέος νερού έκπλυσης που βγαίνει από την πλυντρίδα επεξεργασίας καυσαερίων. Το νερό αυτό καθαρίζεται περαιτέρω στα συστήματα επεξεργασίας των υδατικών αποβλήτων και η επεξεργασμένη τέφρα υφίσταται, έπειτα, θερμική επεξεργασία.
- *Θερμική επεξεργασία.* Στόχος είναι η μείωση του όγκου των υπολειμμάτων και του περιεχομένου σε οργανικές ενώσεις και βαρέα μέταλλα. Υπάρχουν τρεις τρόποι θερμικής επεξεργασίας, η διαφορά των οποίων έγκειται στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος: υαλοποίηση, τήξη, συσσωμάτωση.

Έλεγχος αέριας ρύπανσης (APC)



XXI Εικόνα 3.19 Βασικές λειτουργίες μονάδας μαζικής καύσης ΑΣΑ (Ε. Kalogirou, 2017)

Ο έλεγχος αέριας ρύπανσης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τμήματα μίας μονάδας μαζικής καύσης. Η ανεξέλεγκτη καύση είναι πλέον ευρέως διαδεδομένο ότι έχει καταστρεπτικές συνέπειες για το περιβάλλον και δημόσια υγιεινή. Η ΕΕ με την Οδηγία 2000/76/ΕΚ έχει θέσει, εκτός από την ελάχιστη θερμοκρασία καύσης, και αυστηρά όρια εκπομπών για την αποτέφρωση απορριμμάτων. Ο κατάλληλος εξοπλισμός για την επεξεργασία των καυσαερίων και των προϊόντων καύσης αποτελεί επιτακτική ανάγκη και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σφαιρικά ως μία φυσικοχημική επεξεργασία. Το αντιρρυπαντικό σύστημα αποτελείται συνήθως από τον ακόλουθο εξοπλισμό:

1. Σύστημα αποθήκευσης και δΟΣολογίας ασβέστου (quick lime), με σκοπό την προετοιμασία και τον ψεκάσμο οξειδίου του ασβεστίου στις ξηρές πλυντρίδες (dry scrubber είναι η προτεινόμενη μέθοδος)
2. Σύστημα αποθήκευσης και δΟΣολογίας σκόνης υδρασβέστου στις ξηρές πλυντρίδες
3. Αντιδραστήρα, που αποτελείται από ξηρές πλυντρίδες με σκοπό την απομάκρυνση αλογόνων (HF, HCL, HBr), υδραργύρου και διοξείδιο του θείου
4. Αντιδραστήρα συμπαρασυρόμενου αιωρήματος, για την απομάκρυνση των όξινων αερίων
5. Σύστημα αποθήκευσης και δΟΣολογίας ενεργού άνθρακα, με σκοπό την απομάκρυνση παραγόντων μικρο-ρύπανσης, όπως είναι διοξίνες, υδράργυρος, κ.λπ.

6. Σακκόφιλτρα, με σκοπό την συγκράτηση των προϊόντων των αντιδράσεων και της ιπτάμενης τέφρας από τα απαέρια, την απομάκρυνση σωματιδίων και τη μείωση των όξινων αερίων. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτροστατικοί κατακρημιστές (Electrostatic Precipitator, ESP) ή κυκλώνες. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι η αποτελεσματικότερη τεχνολογία μείωσης εκπομπών, ειδικότερα για μικρότερου μεγέθους σωματίδια, είναι τα σακκόφιλτρα

7. Βελτιωμένο σύστημα μείωσης εκπομπών οξειδίων του αζώτου με την τεχνολογία της Εκλεκτικής μη Καταλυτικής Αναγωγής Αζωτοξειδίων (SNCR). Πραγματοποιείται με την έγχυση αμμωνίας ή κάποιου αντιδραστήριου που παράγει αμμωνία στα καυσαέρια, σε θερμοκρασίες κοντά στους 1000°C. Χωρίς καταλύτη, η αμμωνία και τα οξείδια του αζώτου σχηματίζουν νερό και άζωτο

Μονάδες διαχείρισης τέφρας

Τέλος ένα εξίσου σημαντικό κομμάτι είναι και η διαχείριση των στερεών υπολειμμάτων καύσεως. Γενικά, μπορούμε να τα ταξινομήσουμε σε δύο κατηγορίες:

1. Αυτά που προέρχονται από τη διεργασία της καύσης:

- Τέφρα στον πυθμένα και σκωρίες
- Τέφρα – σκόνη από λέβητες
- Ιπτάμενη τέφρα

2. Υπολείμματα επεξεργασίας των καυσαερίων

Η τέφρα του καυστήρα θεωρείται αδρανές ή μη επικίνδυνο απόβλητο και περιέχει σημαντικές ποσότητες μετάλλων, γυαλιού και άκαυστων οργανικών. Η διαχείριση της τέφρας του πυθμένα μπορεί να περιλαμβάνει:

- Ανάκτηση μετάλλων
- Υποκατάσταση υλικών κατασκευών
- Υποκατάσταση υλικών κατασκευής τσιμέντου
- Εδαφική διάθεση

Η ιπτάμενη τέφρα, όπως και τα υπολείμματα επεξεργασίας των καυσαερίων, ταξινομούνται ως δυνητικά επικίνδυνα απόβλητα και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία, αποφεύγοντας έτσι δυσμενείς επιπτώσεις για το περιβάλλον. Στην περίπτωση της ιπτάμενης τέφρας, γίνεται απόθεση σε ειδικούς χώρους ταφής, ενώ για τα προϊόντα από τον καθαρισμό των καυσαερίων (κυρίως ιλύς που παράγεται από τις πλυντρίδες για απομάκρυνση SO₂) απαιτεί ξήρανση και διάθεση του στερεού σε κατάλληλο χώρο απόθεσης και επεξεργασία του υγρού ως απόβλητο.

3.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ WTE

Πρακτικά στα περισσότερα εργοστάσια σε παγκόσμια κλίμακα επιτυγχάνεται ο παρακάτω ολικός βαθμός απόδοσης.

1) Απόδοση λέβητα (Boiler Efficiency) 80-85%

2) Απόδοση γεννήτριας 98%

3) Απόδοση στροβίλου 32-34%

Ο πολλαπλασιασμός των παραπάνω τριών αποδόσεων παρέχει τη συνολική μεικτή απόδοση της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας WTE. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να είναι 26,25%, μεικτή ηλεκτρική απόδοση.

Για παράδειγμα, στην Lomellina Italy CFB WTE Plant, η μεικτή-ολική (gross) απόδοση είναι 26,9% και η καθαρή (net) απόδοση 23%

Ποιο αναλυτικά στοιχεία δίνονται στο κεφάλαιο 4.

3.6 ΦΟΡΜΟΥΛΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ R1 ΜΟΝΑΔΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

Οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης σύμμεικτων απορριμμάτων είτε υπολειμμάτων ανακύκλωσης στην πηγή, πέραν της διαχείρισης των αποβλήτων, έχουν ως στόχο την παραγωγή ενέργειας και μέσω αυτού την αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων (λιγνίτη, πετρέλαιο κ.α.). Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με σκοπό τη χρησιμοποίηση των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών (Best Available Techniques/BAT) σε τέτοιου είδους μονάδες, θέσπισε μία φόρμουλα ενεργειακής απόδοσης R1 στην κοινοτική οδηγία 2008/98, προκειμένου να αυξήσει τον βαθμό απόδοσης των νέων μονάδων, ώστε αυτές να θεωρούνται μονάδες ανάκτησης ενέργειας και όχι διάθεσης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα παράγει ικανή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, ώστε να εξυπηρετεί τους κατοίκους όλων των ανεπτυγμένων και περιβαλλοντικά ευαίσθητοποιημένων μητροπολιτικών πρωτευουσών. Ειδικότερα, πάνω από το 50% της ενέργειας που παράγεται από Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ), προέρχεται από βιομάζα (το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των ΑΣΑ) και άρα θεωρείται Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας.

Μάλιστα, σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Συνομοσπονδίας των Μονάδων Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων (CEWER), το 2016 οδηγήθηκαν στην Ευρώπη προς ενεργειακή αξιοποίηση 90 εκατομμύρια τόνοι ΑΣΑ παράγοντας 38 εκατομμύρια MWh ηλεκτρισμό, τροφοδοτώντας αντίστοιχα 17 εκατομμύρια κατοίκους από Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας, υποκαθιστώντας ορυκτά καύσιμα.

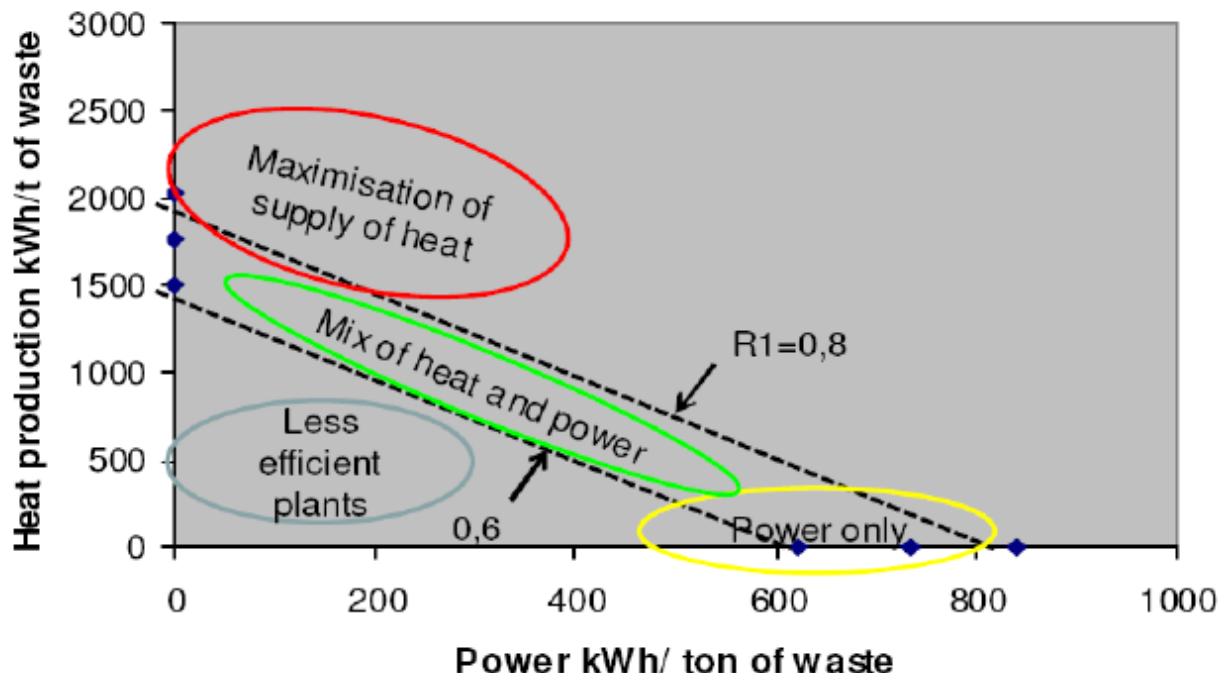
Σύμφωνα με την μαθηματική φόρμουλα R1, η οποία πρέπει εδώ να σημειώσουμε πως δεν αποτελεί βαθμό απόδοσης της μονάδας, οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας και ενεργειακής αξιοποίησης στερεών αποβλήτων οφείλουν να υπερτερούν των ορίων που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση, ώστε η διεργασία που εκτελούν να θεωρείται ανάκτηση ενέργειας και όχι διάθεση. Τα όρια του R1 τα οποία έχει θέσει η Ε.Ε. είναι 0,60 για τις ήδη κατασκευασμένες μονάδες μέχρι την 31/12/2008 και 0,65 για τις κατασκευασμένες μονάδες μετά την 1/1/2009. Σε αυτό το σημείο παραθέτουμε τη φόρμουλα της ενεργειακής απόδοσης R1 την οποία πρότεινε η Ε.Ε. μέσω της κοινοτικής οδηγίας 2008/98 (Παράρτημα II), στην εξίσωση 4:

$$R1 = \frac{E_P - E_F - E_I}{0.97 \cdot (E_F + E_W)}$$

- E_P , είναι η ενέργεια που παράγεται ετησίως υπό μορφή θερμότητας ή ηλεκτρισμού. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρισμού με 2,6 και την θερμότητα που παράγεται για εμπορική χρήση με 1,1 (GJ/έτος).
- E_F , είναι η ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται ετησίως το σύστημα από καύσιμα που συμβάλλουν στην παραγωγή ατμού (GJ/έτος).
- E_W , είναι η ετήσια ενέργεια που περιέχεται στα κατεργασμένα απόβλητα και υπολογίζεται με χρήση της καθαρής θερμογόνου δύναμης των αποβλήτων (GJ/έτος).
- E_I , είναι η ετήσια ενέργεια που εισάγεται εκτός από την E_W και την E_F (GJ/έτος).
- 0,97, είναι ένας συντελεστής που αντιπροσωπεύει τις ενεργειακές απώλειες λόγω τέρφρας πυθμένα και ακτινοβολίας

Με βάση την Ευρωπαϊκή οδηγία, τα παραπάνω όρια δεν είναι απόλυτα δεσμευτικά, καθώς θα λαμβάνονται υπόψη οι εκάστοτε τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ενεργειακή απόδοση των μονάδων.

Οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρισμό, ατμό (για διανομή μέσω δικτύων τηλεθέρμανσης ή πώληση σε βιομηχανικούς καταναλωτές) ή και τα δύο μαζί (συμπαράγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας). Όλες οι παραπάνω τεχνολογίες είναι ικανές να επιτύχουν τα όρια του $R1$ που θέτει η Ε.Ε. (ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε καινούριες μονάδες), όπως φαίνεται στην εικόνα 3.20.



XXII Εικόνα 3.20. Στατιστικά παραγωγής ενέργειας από μονάδες θερμικής επεξεργασίας (Ε. Καλογήρου, 2007)

Ακολουθεί παρακάτω ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα υπολογισμού της φόρμουλας ενεργειακής απόδοσης R1:

- Θεωρώντας μια τυπική μονάδα καύσης με χαρακτηριστικά δυναμικότητας 300.000 tpa (τυπική δυναμικότητα μέσης μονάδας καύσης) και θερμογόνο δύναμη απορριμμάτων 9 MJ/kg (σύνηθες εύρος 8-12 MJ/kg, ενώ η τιμή 9 MJ/kg αντιπροσωπεύει τα απορρίμματα της Ελλάδας) υπολογίζεται το E_w :

$$E_w = 300.000 \frac{\text{tons}}{\text{year}} \cdot 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \cdot 9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{1}{1.000} \frac{\text{GJ}}{\text{MJ}} \Rightarrow$$

$$E_w = 2.700.000 \frac{\text{GJ}}{\text{year}}$$

- Η χρήση βοηθητικού καυσίμου diesel στις μονάδες καύσης είναι 0,96 lt/ton απορριμμάτων, με πυκνότητα του diesel είναι 0,84 kg/l και θερμογόνο δύναμη του diesel είναι 43 MJ/kg, συνεπώς για τον υπολογισμό του E_f έχουμε:

$$E_f = 0,96 \frac{\text{lt}}{\text{tons}} \cdot 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} \cdot 43 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 300.000 \frac{\text{tons}}{\text{year}} \cdot \frac{1}{1.000} \frac{\text{GJ}}{\text{MJ}} \Rightarrow$$

$$E_f = 10.402,56 \frac{\text{GJ}}{\text{year}}$$

- Το εύρος μικτού βαθμού απόδοσης μονάδων καύσης απορριμμάτων κυμαίνεται από 25% έως 30%, θεωρώντας το κάτω δυνατό όριο υπολογίζεται το E_p ως εξής:

$$E_p = 2,6 \cdot \left[25\% \cdot (E_w + E_f) \right] = 2,6 \cdot \left[25\% \cdot \left(2.700.000 \frac{\text{GJ}}{\text{year}} + 10.402,56 \frac{\text{GJ}}{\text{year}} \right) \right] \Rightarrow$$

$$E_p = 1.761.761,60 \frac{\text{GJ}}{\text{year}}$$

- Το E_i είναι η ετήσια ενεργειακή ανάγκη που χρειάζεται η μονάδα από το δίκτυο - όχι η εσωτερική κατανάλωση- και κυμαίνεται σε 1-2% της παραγόμενης ενέργειας το μέγιστο (συνήθως είναι μικρότερο από 0,5%)

$$E_I = 2\% \cdot E_P = 2\% \cdot 1.761.761,6 \frac{GJ}{year} = 35.235,23 \frac{GJ}{year}$$

- Έτσι για τον τελικό υπολογισμό R1 έχουμε:

$$R1 = \frac{E_P - E_F - E_I}{0,97 \cdot (E_F + E_W)} = \frac{1.761.761,60 - 10.402,56 - 35.235,23}{0,97 \cdot (10.402,56 + 2.700.000)} \Rightarrow$$

$$R1 = \frac{1.716.807,10}{2.629.090,40} = 0,653$$

Άρα σε μια τέτοια μονάδα, βάση της προαναφερθείσας νομοθεσίας, χαρακτηρίζεται μονάδα «ανάκτησης» ενέργειας και όχι «διάθεσης» ΑΣΑ

Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως οι παραπάνω υπολογισμοί αποτελούν το χειρίστο σενάριο, καθώς ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των σύγχρονων μονάδων καύσης είναι μεγαλύτερος από 26%, με αποτέλεσμα το R1 να είναι μεγαλύτερο του 0,69.

Η φόρμουλα ενεργειακής απόδοσης R1 αυξάνεται στην περίπτωση παραγωγής θερμικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω συνθήκες ανά περίπτωση:

- Οι χώρες της βόρειας Ευρώπης έχουν περίπου για όλο το χρόνο διαθέσιμους πελάτες για κατανάλωση θερμικής ενέργειας (τηλεθέρμανση).

- Στην κεντρική Ευρώπη θα συμβαίνει περίπου το ίδιο για τον μισό χρόνο και συνεπώς θα πρέπει αυτές οι χώρες να στραφούν στην ανεύρεση βιομηχανικών καταναλωτών θερμικής ενέργειας για τον υπόλοιπο χρόνο.

- Οι χώρες της νότιας Ευρώπης θα δυσκολευτούν να βρουν οικιακούς καταναλωτές για ένα σημαντικό μέρος του χρόνου και άρα θα πρέπει να οδηγηθούν σε βιομηχανικούς καταναλωτές ή στον συνδυασμό τηλεθέρμανσης (τον χειμώνα) και τηλεψύξης (το καλοκαίρι), μειώνοντας έτσι σημαντικά την χρήση οικιακών καυστήρων και κλιματιστικών.

Με τις σύγχρονες τεχνολογίες αλλά και τον τρόπο που υπολογίζεται το R1 (πολλαπλασιαστές 2,6 για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και 1,1 για παραγωγή ατμού) είναι απόλυτα εφικτό, κάθε καινούριο εργοστάσιο οποιασδήποτε τεχνολογίας κατασκευαστεί, να επιτύχει εύκολα τα εν λόγω θεσμοθετημένα όρια, όπως έχει αποδείξει η εμπειρία των νέων εργοστασίων από την 1/1/2009, **ακόμα και στις περιπτώσεις αποκλειστικής ηλεκτροπαραγωγής**. Μάλιστα, σύμφωνα με διαθέσιμα στοιχεία της CEWEP (σχετική έρευνα από 230 εργοστάσια), ο μέσος όρος R1 των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ που παράγουν μόνο ηλεκτρισμό ανέρχεται στο 0,71.

Συνεπώς η Ελλάδα έχει την ευκαιρία να μεταβάλλει την θέση της στην Ευρωπαϊκή Ένωση και να προωθηθεί από την προτελευταία θέση, μεταξύ των πρώτων, υιοθετώντας σύγχρονες μεθόδους ενεργειακής αξιοποίησης των υπολειμμάτων ανακύκλωσης. Η λειτουργία οποιουδήποτε νέου ΧΥΤΑ πλέον αποτελεί προσωρινή λύση μέχρι την κατασκευή σύγχρονων μονάδων θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας / WTE, με βάση την δοκιμασμένη εμπειρία 2000 μονάδων παγκοσμίως .

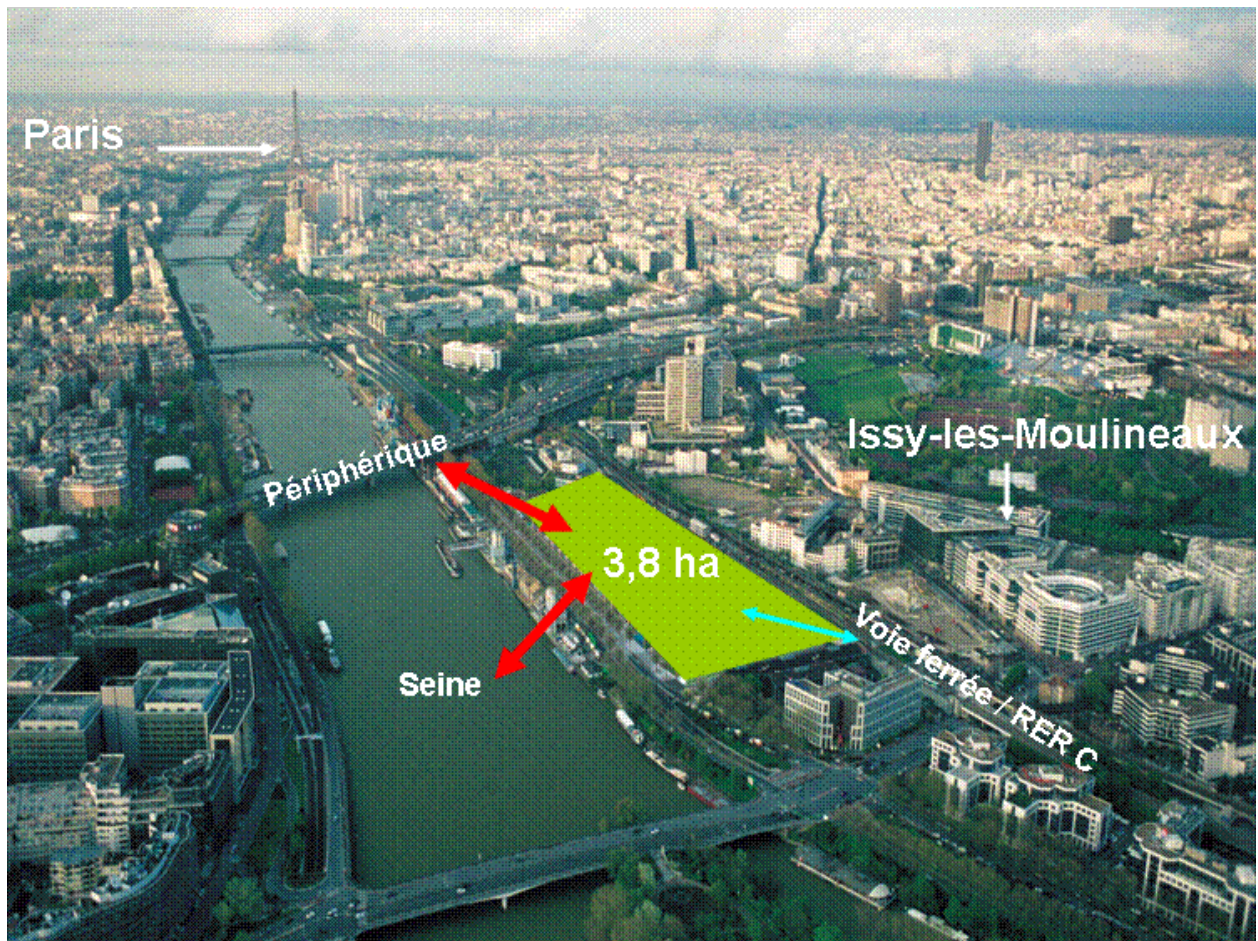
Αξίζει να σημειωθεί, ότι στη τιμή του R1 μεγάλο ρόλο παίρνουν και τα παρακάτω ζητήματα:

- **Κλίμα:** Η χρήση της θερμότητας αντί της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει σημαντικά την τιμή R1 που επιτυγχάνεται. Η ικανότητα μιας εγκατάστασης να χρησιμοποιεί την παραγόμενη θερμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα.
- **Τοποθεσία:** Μια εγκατάσταση που βρίσκεται σε μια αγροτική περιοχή είναι απίθανο να βρει αποτελεσματική χρήση για την παραγόμενη θερμότητα. Ωστόσο, οι εκβιομηχανισμένες περιοχές είναι αναπόφευκτα καταναλωτές θερμότητας, επομένως οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε αστικές ή βιομηχανικές περιοχές έχουν πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα να βρουν έναν πελάτη θερμότητας και να βελτιώσουν την τιμή του R1 τους.
- **Μέγεθος:** Οι μεγαλύτερες μονάδες συχνά είναι πιο αποτελεσματικές λόγω της οικονομικής κλίμακας.

Εντούτοις, το άρθρο 38.1 της ΟΠΥ ορίζει ότι όσον αφορά τον τύπο R1, μπορούν να λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, όπως η σοβαρότητα του κλίματος και η ανάγκη θέρμανσης, στο βαθμό που επηρεάζουν τις ποσοτήτες ενέργειας που μπορεί να είναι με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης, ψύξης ή ατμού επεξεργασίας.

Ένας νέος διορθωτικός συντελεστής για τον τύπο R1 τέθηκε σε ισχύ στις 31 Ιουλίου 2016, όπως προβλέπεται από την οδηγία 2015/1127 / ΕΕ.

Όλα τα κράτη μέλη καλούνται να ευθυγραμμίσουν τη νομοθεσία τους με την ευρωπαϊκή οδηγία από την ημερομηνία αυτή. Ο συντελεστής διόρθωσης κλίματος (CCF) πολλαπλασιάζει την τιμή της ενεργειακής απόδοσης όπως υπολογίζεται στην απαρίθμηση του σημείου R1 του παραρτήματος II της οδηγίας 2008/98 / ΕΚ. Η προσθήκη αυτή ήταν απαραίτητη για την "επίτευξη ίσων όρων ανταγωνισμού στην Ένωση" και "την αντιστάθμιση των εγκαταστάσεων WTE που επηρεάζονται από τις επιπτώσεις των τοπικών κλιματικών συνθηκών" στην παραγωγή ενέργειας και, ως εκ τούτου, στην επίτευξη των απαιτήσεων ανάκτησης ενέργειας.



XXIII Εικόνα 3.21 “Isséane” Plant – Παρίσι (Ε. Καλογήρου, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΑ - CASE STUDY ΠΕΙΡΑΙΑ

Αξιολόγηση επενδύσεων σε απόβλητα προς ενέργεια (WTE TOOL)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εγκαταστάσεις αποβλήτων προς ενέργεια (WTE), όσον αφορά τη χρηματοδότηση, είναι επενδύσεις που απαιτούν λεπτομερή σχεδιασμό πριν από την εφαρμογή. Σε σύγκριση με τη μηχανική βιολογική επεξεργασία (MBT), οι οποίες είναι επενδύσεις έντασης εργασίας, οι εγκαταστάσεις WTE είναι εντατικές σε κεφάλαιο, συνεπώς η συγκέντρωση κεφαλαίων είναι η πιο σημαντική πτυχή που πρέπει να εξεταστεί. Ως αποτέλεσμα, κάθε αναθέτουσα αρχή που σχεδιάζει να υλοποιήσει μια μονάδα WTE χρειάζεται μια σταθερή βάση και ρεαλιστικό επιχειρηματικό σχέδιο που αναφέρει ότι μια τέτοια επένδυση θα ήταν επικερδής και θα εξασφάλιζε εγγυημένη απόδοση.

Η δομή ενός συγκεκριμένου επιχειρηματικού σχεδίου σημαίνει ότι, πρώτον, κάποιος θα πρέπει να αξιολογήσει το αρχικό κόστος κεφαλαίου (CAPEX) που απαιτείται για ένα τέτοιο έργο. Ως επόμενο βήμα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα αναμενόμενα έσοδα και τα εκτιμώμενα λειτουργικά έξοδα (OPEX), έτσι μπορούν να υπολογιστούν τα αναμενόμενα κέρδη. Τέλος, αφού προσδιοριστούν οι αναμενόμενες ταμειακές ροές μιας τέτοιας επένδυσης και λαμβάνοντας υπόψη και τη δομή χρηματοδότησης του περιουσιακού στοιχείου, υπολογίζεται η βιωσιμότητα και το κόστος κερδοφορίας του έργου. Πέρα από ένα σταθερό επιχειρηματικό μοντέλο με εκτιμώμενα ποσοστά επιστροφής κεφαλαίων, σύνδρομο NIMBY (NOT IN MY BACK YARD) τα περισσότερα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και μεμονωμένοι επενδυτές ενδιαφέρονται περισσότερο για άλλες, πιο ποιοτικά, στοιχεία. Οι σημαντικότερες εκτιμήσεις μιας επένδυσης είναι η εμπιστοσύνη και η σταθερότητα. Με άλλα λόγια, ο επενδυτής θα πρέπει να πεισθεί τουλάχιστον για τα ακόλουθα γεγονότα:

- Η κυβέρνηση και οι πολίτες επιθυμούν να διαθέτουν εργοστάσιο WTE στην επικράτειά τους, που σημαίνει κοινωνική αποδοχή
- Υπάρχει και θα υπάρξει ελάχιστη ροή / δυναμικότητα αποβλήτων για τα επόμενα χρόνια που εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα του έργου
- Ο πελάτης (κυβέρνηση ή δήμος) μπορεί να αντέξει το συμφωνημένο τέλος εισόδου απορριμμάτων (gate fee)
- Υπάρχει αγορά πώλησης ενέργειας (ηλεκτρισμός ή / και θέρμανση / ψύξη)
- Υπάρχει ένα σταθερό οικονομικό περιβάλλον για τις επιχειρήσεις και η πεποίθηση ότι είναι θα παραμείνει έτσι

Λάβετε υπόψη ότι ένα επιχειρηματικό σχέδιο πρέπει να συνοδεύεται από δικαιολογητικά έγγραφα επαλήθευσης της σχετικής τοπικής νομοθεσίας μιας χώρας, ιστορικά δεδομένα για την παραγωγή αποβλήτων ανάλυση της σύνθεσης απορριμμάτων και ούτω καθεξής. Ωστόσο, το πιο σημαντικό έγγραφο που θα κάνει τον επενδυτή να αισθάνεται σίγουρος ότι η υλοποίηση ενός έργου είναι ένα μακροπρόθεσμο μνημόνιο συμφωνίας μεταξύ των κύριων ενδιαφερομένων και / ή μια επιστολή προθέσεων από την αναθέτουσα αρχή ή την κυβέρνηση / δήμο σχετικά με το υπό συζήτηση σχέδιο, δηλώνοντας ότι είναι υπέρ ένα τέτοιο σχέδιο. Αυτό το συνοδευτικό έγγραφο ονομάζεται Χρηματοδοτικό Πληροφοριακό Μνημόνιο (ή συνοπτικά ένα Πληροφοριακό Υπόμνημα) και περιγράφει τα έργα, τους ενδιαφερόμενους και τις σημαντικότερες λεπτομέρειες. Η τυπική δομή ενός ενημερωτικού σημειώματος είναι:

1. Συνοπτική παρουσίαση, παρέχοντας μια σύντομη αλλά περιεκτική περιγραφή του έργου
2. Πεδίο εφαρμογής, με λεπτομέρειες

3. Τα συμβαλλόμενα μέρη, περιγράφοντας το προφίλ και τη δομή της αναδόχου κοινοπραξίας, καθώς και τους συμβούλους του
 4. Βασικές εκτιμήσεις δανεισμού, που παρουσιάζουν πιθανούς κινδύνους για τα ιδρύματα χρηματοδότησης
 5. Η τεχνική περιγραφή του έργου, η οποία αναφέρει ιστορικά στοιχεία αποβλήτων, προηγούμενες τεχνολογίες επεξεργασίας και η οποία θα ήταν η καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία (BAT) για την εφαρμογή
 6. Βασικά οικονομικά του έργου, παρουσιάζοντας στοιχεία για το οικονομικό μοντέλο της επιχείρησης
- Σε ορισμένες παγκόσμιες εγκαταστάσεις WTE, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του έργου, καθώς αντικατοπτρίζει την αντίληψη του κοινού. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.1



XXIV Εικόνα 4.1 Spittelau WTE και ο εντυπωσιακός σχεδιασμός της καπνοδόχου (Ε. Καλογιρου, 2017)

4.2 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Καταρτίζεται ένα οικονομικό μοντέλο για την αξιολόγηση της απόδοσης μιας επένδυσης. είναι ένα εργαλείο που παράγει αποτελέσματα ανάλογα με τις τιμές εισόδου που δίνει ο χρήστης. Ως εκ τούτου, είναι κρίσιμο να κατανοήσουμε ότι ένα εργαλείο όπως ένα οικονομικό μοντέλο παράγει την ίδια ποιότητα αποτελεσμάτων με την ποιότητα των εισροών. **Με αυτή την έννοια, πριν από τη δομή ενός οικονομικού μοντέλου, είναι σημαντικό να ανακτηθούν στερεά ιστορικά δεδομένα σχετικά με την ετήσια ποσότητα / ποιότητα και τη σύνθεση των αποβλήτων και ότι οι πληροφορίες αυτές θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό όλων των απαιτούμενων τεχνικών εισροών για το μοντέλο.**

Στις περισσότερες περιπτώσεις ένα χρηματοοικονομικό μοντέλο χρησιμοποιεί την ανάλυση των προεξοφλημένων ταμειακών ροών για την πρόβλεψη της αξίας και της απόδοσης του έργου, μέσω αξιολόγησης της αναμενόμενης μελλοντικής ταμειακής ροής σε σχέση με το ποσό της αρχικής επένδυσης. Ο στόχος είναι να βρεθούν έργα που αξίζουν περισσότερο για τους χορηγούς από τα έργα κόστους που έχουν θετική καθαρή παρούσα αξία (**NPV**).

Η αξιολόγηση ενός χορηγού από ένα προτεινόμενο σχέδιο είναι παρόμοια με την επενδυτική απόφαση ενός ατόμου. Τα βήματα είναι τα ίδια:

1. Εκτίμηση των αναμενόμενων μελλοντικών ταμειακών ροών από το έργο
2. Αξιολόγηση του κίνδυνου και καθορισμός του απαιτούμενου ποσοστού απόδοσης (κόστος κεφαλαίου) για προεξόφληση των αναμενόμενων μελλοντικών ταμειακών ροών (**εσωτερικός συντελεστής απόδοσης [IRR], πρέπει το $IRR > 11-12\%$, βάση διεθνούς εμπειρίας**).
3. Υπολογισμός της παρούσας αξίας των αναμενόμενων μελλοντικών ταμειακών ροών
4. Προσδιορισμός του κόστους του έργου και σύγκριση του με το έργο αν αξίζει: αν το έργο αξίζει περισσότερο από το κόστος - εάν έχει ένα θετικό NPV- αξίζει την ανάληψη

Προκειμένου να φθάσουμε στις αναμενόμενες μελλοντικές ταμειακές ροές, κάποιος πρέπει να αναλάβει ρεαλιστικές εισροές των τιμών, οι οποίες αναλύονται κατωτέρω, ειδικά όσον αφορά την εγκατάσταση WTE.

4.2.1 ΕΣΟΔΑ

Τα έσοδα σε μια εγκατάσταση WTE προέρχονται κυρίως από δύο πηγές. Η πρώτη πηγή εισοδήματος είναι η λεγόμενη αμοιβή πύλης (γνωστή επίσης ως τέλος χρέωσης). Το τέλος της πύλης είναι το ποσό των χρημάτων που καταβάλλονται, συνήθως ανά τόνο αποβλήτων, προκειμένου τα απόβλητα να περάσουν από την "πύλη" και να υποβληθούν σε επεξεργασία στη μονάδα WTE. Σκεφτείτε ένα τέλος πύλης ανάλογο με τα διόδια σε ένα αυτοκινητόδρομο, εισιτήριο για παράσταση ή υπηρεσία. Τα τέλη πυλών καταβάλλουν οι παραγωγοί αποβλήτων, οι οποίοι είναι κατά κύριο λόγο δήμοι (που παρέχουν αστικά στερεά απόβλητα [MSW]) και δευτερευόντως μεγάλοι παραγωγοί (όπως εργοστάσια, εμπορικά πάρκα, αεροδρόμια κ.λπ.) που υποχρεούνται να χειρίζονται τα δικά τους απόβλητα (βιομηχανικά ή εμπορικά απόβλητα παρόμοια με τα ΑΣΑ) με δικά τους έξοδα σύμφωνα με την αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει". Οι τιμές εισόδου που απαιτούνται για τους ετήσιους υπολογισμούς ροών εσόδων είναι:

- Προμήθεια πύλης στο νόμισμα ανά μονάδα ποσότητας (π.χ. EURO / τόνο)
- Ετήσια χωρητικότητα σε ποσότητα ανά μονάδα ανά έτος (π.χ. τόνους / έτος)

Η τιμή των gate fees είναι στην πραγματικότητα η μόνη τιμή που λειτουργεί ταυτόχρονα με την τιμή εισόδου και εξόδου. Εάν καθορίσουμε την τιμή εισόδου ως τιμή εισόδου (αν υποθεθεί ότι

υπάρχει μέγιστο όριο από τον δήμο), τότε οι τιμές εξόδου θα είναι οι δείκτες επένδυσης (NPV, IRR κ.λπ.). Από την άλλη πλευρά, αν θέσουμε μια ελάχιστη αξία απόδοσης που απαιτείται από τον επενδυτή, τότε τα τέλη θυρίδας λειτουργούν ως προϊόν, πράγμα που σημαίνει ότι αυτή είναι η τιμή που ζητά ο επενδυτής για αυτό το έργο.

Όσον αφορά την ετήσια χωρητικότητα, πρέπει να εφαρμοστούν δύο εναλλακτικές λύσεις. Το πρώτο και απλούστερο είναι να επιλέγετε μια παραγωγή σταθερών αποβλήτων ετησίως για τη διάρκεια του έργου, αλλά να έχετε κατά νου ότι σε μια τέτοια περίπτωση είναι ξεκάθαρο ότι ο επενδυτής θα ζητήσει εγγυήσεις για μια ελάχιστη ποσότητα, η οποία θα θεωρείται η βάση περίπτωση του επιχειρηματικού μοντέλου (τονίζοντας έτσι τις απαιτούμενες επιστροφές ακόμη περισσότερο). Η άλλη προσέγγιση είναι να δημιουργηθεί μια ετήσια πρόβλεψη ποσών με βάση τα ιστορικά και δημογραφικά στοιχεία, τα οποία θα ήταν πιο ρεαλιστικά και εύλογα δικαιολογημένα. Σε κάθε περίπτωση, είναι συνήθως πρακτική για έναν επενδυτή να ζητήσει ελάχιστη **εγγυημένη ποσότητα αποβλήτων**, πράγμα που σημαίνει ότι ακόμη και αν ο "πελάτης" δεν παράγει την προβλεπόμενη ποσότητα αποβλήτων, ο επενδυτής θα καταβληθεί για αυτή την ελάχιστη ποσότητα σαν να ήταν παραδόθηκε ως αποβλήτων εισροών στη μονάδα WTE.

Η δεύτερη πιο σημαντική εισροή εσόδων είναι οι πωλήσεις ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις WTE, όπως έχουν ήδη περιγραφεί στο Κεφάλαιο 3, παράγουν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια (ζεστό νερό ή ατμό) ή μόνο ηλεκτρική ενέργεια. Λίγα υφιστάμενες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων (WTE), οι οποίες παράγουν μόνο θερμική ενέργεια. Αυτά τα δύο "προϊόντα", παρόλο που φαίνονται παρόμοια, είναι στην πραγματικότητα αρκετά διαφορετικά. Η πώληση ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ πιο εύκολη, από την άποψη της υποδομής, από την πώληση θερμικής ενέργειας, λόγω του γεγονότος ότι υπάρχουν ήδη δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας με συνδεδεμένους πελάτες. Από την άλλη πλευρά, ένα δίκτυο θερμικής ενέργειας απαιτεί ένα σύστημα σωληνώσεων τηλεθέρμανσης που είναι κυριολεκτικά δικό του έργο (τηλεθέρμανση και, ενίοτε, κεντρική ψύξη).

Η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από εγκαταστάσεις WTE σε πολλές χώρες θεωρείται, εν όλω ή εν μέρει, μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ). Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι τα ΑΣΑ αποτελούνται από βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα (κυρίως οργανικά και χαρτί) 45%-60% σε βάρος, πράγμα που είναι στην πραγματικότητα βιομάζα. Αυτό είναι πολύ ενδιαφέρουσα για τις επιχειρήσεις, επειδή οι τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αυξηθούν σε σχέση με την οριακή τιμή του συστήματος και σε ορισμένες χώρες οι παραγωγοί ΑΠΕ έχουν προτεραιότητα στην παροχή ενέργειας στο δίκτυο. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις στις οποίες μια εγκατάσταση WTE παρέχει ατμό σε παρακείμενες βιομηχανικές μονάδες, η οποία δεν απαιτεί σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου στο δίκτυο σωληνώσεων.

Οι εισροές που απαιτούνται για τον υπολογισμό των εσόδων από πωλήσεις ενέργειας έχουν ως εξής:

- Τιμές πώλησης ενέργειας σε νόμισμα ανά ενεργειακή μονάδα (π.χ. EURO / kWh)
- Ποσότητα ενέργειας που παράγεται σε μονάδες ενέργειας ανά έτος (π.χ. kWh / έτος)

Οι τιμές πώλησης ενέργειας διαφέρουν για την ηλεκτρική ενέργεια και τη θερμική ενέργεια. Αυτές οι τιμές είναι συγκεκριμένες για την ηλεκτρική ενέργεια, αν και υπάρχει ένα τυπικό εύρος τιμών. Οι τιμές για τη θερμική ενέργεια είναι συγκεκριμένες, δεδομένου ότι το προϊόν πωλείται σε ολιγοπώλιο και όχι στην αγορά. Κατά συνέπεια, οι τιμές πώλησης ενέργειας πρέπει να διερευνηθούν κατά περίπτωση.

Η ετήσια ποσότητα ενέργειας που παράγεται είναι μια τιμή που πρέπει να υπολογιστεί. Υπάρχουν ποσοστά υπολογισμένα, 550-750 kWh / τόνο αποβλήτων (ανάλογα με τη χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη και άλλες παραμέτρους) στην αποκλειστική παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας, ωστόσο είναι προτιμότερο να ζητείται από έναν πάροχο τεχνολογίας να παρέχει συγκεκριμένες τιμές παραγωγής. Συγκεκριμένα στις περιπτώσεις όπου σχεδιάζεται μια συνδυασμένη εγκατάσταση θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP), η ισορροπία της παραγωγής ενέργειας μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης χρειάζεται περαιτέρω διεξοδική μελέτη.

Άλλες ροές εσόδων που μπορούν να αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 3% του ετήσιου κύκλου εργασιών προέρχονται από πωλήσεις υποπροϊόντων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα μέταλλα που ανακτώνται από την τέφρα πυθμένα είναι 100% πωλήσιμα, με αποτέλεσμα να παράγεται ένα βραχύ αλλά σταθερό εισόδημα. Υπάρχουν επίσης συνηθέστερες περιπτώσεις στις οποίες η τέφρα πυθμένα πωλείται ως αδρανές υλικό για κατασκευαστικά έργα, αλλά συνιστάται να μην ληφθεί αυτό υπόψη κατά τον υπολογισμό των εσόδων για ένα σχέδιο χρηματοδότησης, εκτός εάν υπάρχει σύμβαση με αγοραστή για αυτό το παραπροϊόν.

Τέλος, οι πιστώσεις άνθρακα (carbon credits) ενδέχεται να αυξήσουν τα έσοδα λόγω του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αποβλήτων σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, αλλά αυτό πρέπει να αξιολογείται ανά χώρα.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

CASE STUDY ΠΕΙΡΑΙΑ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΨΤΕ ΠΕΙΡΑΙΑ	
ΜΕΣΕΣ ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ	
Ετήσια ποσότητα απορριμμάτων (t/χρόνο)	200,000
Ωρες λειτουργίας με μέγιστο φορτίο (h/χρόνο)	8,000
Ποσότητα καύσεως (t/h)	25.0000
Παροχή Μάζας (kg/sec)	6.9444
Θερμογόνος Δύναμη απορριμμάτων (kcal/kg)	1,820
Θερμογόνος Δύναμη απορριμμάτων (MJ/kg)	7.620
$H_o = A\Theta\Delta = 80 \cdot 8 \cdot C + 344 (H - 1/8 \cdot O) + 25 \cdot S = 1940 \text{ kcal/kg}$	
$H_u = K\Theta\Delta = H_o - 580 (H + W) = 1700 \text{ kcal/kg}$	
$(H_o + H_u)/2 = 1820 \text{ kcal/kg}$	
$1820 \cdot 4.1868/1000 = 7.260 \text{ MJ/kg}$	
Τέφρα (%)	28
Τέφρα (t/h)	7.00000
Ποσοστό περιεχ. μετάλλων (%)	3%
Ποσότητα μετάλλων (t/h)	0.00750
Ετήσια Ποσότητα μετάλλων (t/χρόνο)	6000.00
Κόστος απόθεσης υπολειμμάτων (€/t)	60 €
Κόστος απόθεσης υπολειμμάτων (€/χρόνο)	420 €
Θερμ. ισχύς (MW)**	52.917
Βαθμός απόδοσης λέβητα (%)	82
Παραγόμενη ισχύς (MW)	43.392
Ίδια κατανάλωση ατμού (MWth)	2
Ατμός για παραγόμενη ενέργεια (MW)	41.392

**** $7,620 \text{ MJ/kg} \cdot 6,9444 \text{ kg/s} = 52.917 \text{ MW}$**

Για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας :	
Βαθμός αποδ. στροβίλου (%)	34
Ισχύς στροβίλου (MW)	14.073
Ίδια κατανάλωση μονάδας (MW)	2
Παραγόμενη προς πώληση ενέργεια (MW)	12.073
Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	96584.9616
Πώληση ηλεκτρ.ενέργειας (€/MWh)	60.00 €
Έσοδα από ηλεκτρική ενέργεια	5,795,097.70 €

Κόστος Επένδυσης (δαπάνες) :	€/χρόνο
Θάλαμος καύσεως, Λέβητας, χημικός καθαρισμός καυσαερίων, Στρόβιλος, προθερμαντ., συμπυκν., συμπυκνωτής αέρος, αντλίες	95,000,000.00 €
Έργα πολιτικού μηχανικού	25,000,000.00 €
Οικόπεδο, περιβάλλον χώρος	5,000,000.00 €
Απρόβλεπτα	3,000,000.00 €
Άδειες & μελέτες	3,000,000.00 €
Ανταλλακτικά, εξοπλισμός	5,000,000.00 €
Σύνολο επένδυσης	136,000,000.00 €

Κόστος κεφαλαίου :	
Επιδότηση (%)	70.00
Δάνειο	95,200,000.00 €
Επιτόκιο (%)	5.50
Χρόνια Δανεισμού	25
Κόστος δανεισμού ανηγμένο ανά έτος:	7,097,098.40 €

Ετήσιο κόστος λειτουργίας :	€/χρόνο
Χημικά και άλλα υλικά €/χρόνο *	879,850.00 €
Συντήρηση & επισκ.κτιρ.εγκ. (1,5% του αντίστ. κόστους επένδ.)	450,000.00 €
Ανταλλακτ. & εργασ.επισκ.συντηρ.(5% του αντίστ. κόστους επένδ.)	1,900,000.00 €
Ασφάλιστρα (0,3 % της συνολ. επένδ.)	408,000.00 €
Απόθεση υπολειμμάτων (συμπεριλ. Ιπτάμ. Τέφρας)	3,360,000 €
Απρόβλεπτα (1%)	950,000.00 €
Συνολικά κόστη ανα χρόνο:	7,947,850.00 €

Ετήσιο κόστος μισθοδοσίας και διοίκησης :	
Μηνιαίος Μισθός ανά άτομο (Μ.Ο.)	2,500.00 €
Ετήσιος Μισθός ανά άτομο (Μ.Ο.)	35,000.00 €
Αριθμός Προσωπικού (Άτομα)	40
Ετήσια μισθοδοσία:	1,400,000.00 €
Συνολικά κόστη ανα χρόνο & ετήσια μισθοδοσία:	9,347,850.00 €
Συνολικό ετήσιο κόστος :	16,444,948.40 €

Ετήσια έσοδα :	
Gate Fee Μονάδας (€/t)	75.00 €
Gate Fee (€/χρόνο)	15,000,000.00 €
Πώληση μετάλλων (€/t)	50.00 €
Πώληση μετάλλων (€/χρόνο)	300,000.00 €
Πώληση ηλεκτρ. ενέργειας (€/MWh) [Μέση τιμή Πώλησης]	60.00 €
Πώληση ηλεκτρ. ενέργειας (€/έτος)	5,795,097.70 €
ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ	21,095,097.70 €
ΙΣΟΖΥΓΙΟ	4,650,149.30 €

IRR***	12.09%
NPV	€ 34,341,744.00
R1	0.65203

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{\text{Ταμειακές Εισροές}}{(1+r)^t} - \text{Αρχική Επένδυση}$$

t = Χρονική περίοδος
N = Χρονική διάρκεια της επένδυσης
r = Προεξοφλητικό επιτόκιο

$$NPV = (4.650.149,30 / (1+0,55)^1) + (4.650.149,30 / (1+0,55)^2) + (4.650.149,30 / (1+0,55)^3) + \dots$$

$$\dots + (4.650.149,30 / (1+0,55)^{25}) - 136.000.000 \Rightarrow NPV = 34.341.744 \text{ Euro}$$

$$R1 = \frac{E_P - E_F - E_I}{0.97 \cdot (E_F + E_W)}$$

$E_W = 200000 \text{ t/χρόνο} \cdot 1000 \text{ kg/t} \cdot 7,62 \text{ MJ/kg} \cdot 1/1000 \Rightarrow E_W = 1.524.000 \text{ GJ/χρόνο}$
 $E_F = 0,96 \text{ lt/τόνο} \cdot 0,84 \text{ kg/lt} \cdot 43 \text{ MJ/kg} \cdot 200000 \text{ t/χρόνο} \Rightarrow E_F = 6.935,04 \text{ GJ/ Χρόνο}$
 $E_P = 2,6 \cdot [25\% \cdot (1.524.000 \text{ GJ/y} + 6.935,04 \text{ GJ/y})] \Rightarrow E_P = 995.107,78 \text{ GJ/ Χρόνο}$
 $E_I = 2\% \cdot 995.107,78 \Rightarrow E_I = 19.902,16 \text{ GJ/ χρόνο}$
 $R1 = 0,65203$

$$IRR = NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 = 0$$

*** Η τιμή του IRR είναι 12,09%, είναι το ποσοστό για την τιμή που μας μηδενίζει το NPV. Το 12,09% των 136.000.000€ είναι περίπου 16.444.000€, όσα δηλαδή και τα συνολικά ετήσια κόστη της μονάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΑ

Κριτήρια Αποτίμησης

Η καταλληλότητα των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ως πρωταρχική επιλογή για την διαχείριση ΑΣΑ σε μία χώρα εξαρτάται από πολλές παραμέτρους διαφορετικής φύσεως. Τα πιο βασικά κριτήρια έχουν ομαδοποιηθεί όπως φαίνεται παρακάτω:

-Οικονομικά κριτήρια: Γενικά, αφορούν το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος. Το τελικό κόστος επεξεργασίας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τους εξής παράγοντες:

- τη δυναμικότητα και το βαθμό απόδοσης της μονάδας
- τη σύσταση και την αναγκαία επεξεργασία των παραγόμενων αποβλήτων
- τις γενικότερες οικονομικές παραμέτρους (κόστος γης, εργατικό κόστος, κόστος πρώτων υλών, κ.τ.λ.)
- τις επενδυτικές δαπάνες για τις υποδομές, το κόστος συλλογής, μεταφοράς, προεπεξεργασίας, επεξεργασίας και ελέγχου περιβαλλοντικής μόλυνσης καθώς και της μεταφοράς των προϊόντων και των υπολειμμάτων
- τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής) και τη δυνατότητα ανάκτησης και πώλησης υλικών
- τους περιορισμούς και στόχους, που θέτει η εκάστοτε ισχύουσα νομοθεσία.

-Περιβαλλοντικά κριτήρια: Συμπεριλαμβάνονται τα επίπεδα παραγωγής αερίων ρύπων, υγρών αποβλήτων, στερεών υπολειμμάτων, οι δυνατότητες και συνθήκες δέσμευσης ή συλλογής αυτών, οι εκπομπές από την τροφοδοσία των απορριμμάτων λόγω της απόστασης από την πόλη, η δυνατότητα χρήσης των προϊόντων (ενέργεια και τα υποπροϊόντα). Επιπλέον, αφορούν και την ηχορύπανση, την αισθητική όχληση και το επίπεδο ασφάλειας προς αποφυγήν ατυχήματος.

-Τεχνικά κριτήρια: Αφορούν το σχέδιο ανάπτυξης της υπό μελέτη περιοχής και τα σχετικά σχέδια διαχείρισης των αποβλήτων, την ίδια την περιοχή και τις δυνατότητες επενδύσεων, την υπάρχουσα υποδομή, την απόσταση από τα κέντρα πόλεων, τη δυνατότητα ομαλής και απλής λειτουργίας της μονάδας, την ευκολία στη συντήρησή της καθώς και την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής αυτής, συνυπολογίζοντας την αντοχή στο χρόνο και τις φυσικές φθορές που μπορεί να υποστεί. Λαμβάνεται, επίσης, υπόψιν και η απαίτηση σε προσωπικό και η εξειδίκευση αυτού.

-Κοινωνικά - Θεσμικά κριτήρια: Πρόκειται για την κοινωνική αποδοχή και την πιθανότητα εμφάνισης κοινωνικών συγκρούσεων λόγω των κατοίκων της υπό μελέτη περιοχής, οι ευρύτερες πολιτικές συνθήκες καθώς και η συμφωνία με το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο.

Συνοπτικά Αποτελέσματα Μελέτης (case study)

Στην παραπάνω μελέτη, για την περίπτωση του Πειραιά, για την προαναφερθείσα δυναμικότητα (200.000 t/χρόνο), με μέση θερμογόνο δύναμη 7,62MJ/Kg (για αποκλειστική παραγωγή ενέργειας): με gate fee στα 75 €/τόνο, η μονάδα παράγει ετησίως περίπου 100GWh (100.000 MWh/χρόνο).

Ειδικότερα:

- A) Κόστος Επένδυσης : **136.000.000€**
- B) Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας: **7.947.850€**
- Γ) Ετήσιο Κόστος Δανεισμού: **7.079.099€**
- Δ) Έσοδα Gate Fee: **15.000.000€**
- E) Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας: **5.795.098€**
- ΣΤ) NPV **34.341.744 €**
- Z) IRR: **12.09%**

Η συγκεκριμένη μονάδα μπορεί να χαρακτηριστεί, μονάδα ανάκτησης ενέργειας (διότι ο $R1 > 0,65$) και να δώσει οριστική λύση στο χρόνιο πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας ως Α.Π.Ε., ενισχύοντας το ενεργειακό ισοζύγιο και ταυτόχρονα να αντικαταστήσει τα ΧΥΤΑ που αποτελούν την κύρια πηγή εκπομπής του ανεπιθύμητου μεθανίου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον και μάλιστα με ένα gate fee 75€/τόνο, πολύ κοντά στο αντίστοιχο 60€/τόνο στο ΧΥΤΑ Φυλής.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Athanasiou, C.J., Tsalkidis, D.A., Kalogirou, E., Voudrias, E.A., 2015, Feasibility analysis of municipal solid waste mass burning in the region of east Macedonia–Thrace in Greece. *Waste Management and Research*.
2. European Commission, 2000, Directive 2000/76/EC on the incineration of waste. Official Journal of the European Union.
3. European Commission, 2008, Directive 2008/1/EC on integrated pollution prevention and control (IPPC Directive). Official Journal of the European Union.
4. European Commission, 2008, Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive). Official Journal of the European Union.
5. European Commission, 2010, Directive 2010/75/EC on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). Official Journal of the European Union.
6. Eurostat, 2014, Municipal waste. Available:
http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en.
7. Kalogirou, E., Themelis, N., 2011, The Global WTERT Council and its role in advancing WTE technologies. *Waste Management*. Copyright retained by TK Verlag - Fachverlag für Kreislaufwirtschaft.
8. Kalogirou, E., Bourtsalas, A., Klados, M., Themelis, N., 2012, *Waste management in Greece and potential for waste to energy*. In *Waste to Energy, Opportunities and Challenges for Developing and Transition Economies*, Springer-Verlag, Brussels.
9. Kalogirou, E., Themelis, N., Samaras, P., Karagiannidis, A., Kontogianni, St., 2010, Fly ash characteristics from waste-to-energy facilities and processes for ash stabilization. ISWA World Congress, 2010, Hamburg.
10. CEWEP, 2018, <http://www.cewep.eu/information/healthandenvironment/index.html>
11. Gohlke, O., 2009, Efficiency of energy recovery from municipal solid waste and the resultant effect on the greenhouse gas balance. *Waste Management and Research*.
12. ISWA, 2016, *A roadmap for closing waste dumpsites*. ISWA: Vienna, Austria.
13. Kalogirou, E., Bourtsalas, A., Klados, M., Themelis, N., 2012, Waste management in Greece and potential for waste to energy. In *Waste To Energy, Opportunities and Challenges for Developing and Transition Economies*, Karagiannidis, A. (Ed.), Springer-Verlag: London.
14. Psomopoulos, C.S., Bourka, A., Themelis, N.J., 2009, Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management (Elsevier)*.
15. Karagiannidis, A., Kalogirou, E., Psomopoulos, K., Themelis, N., 2010, Waste-to-Energy in United States of America: An analysis on the current situation. *Technic Annals, Technical Chamber of Greece*, March–April, New York.
16. SEVEDE, 2007, *Annual Report 2007*, Paris, France.

17. Kalogirou, E., Klados, M., 2016, *Waste To Energy Tool*, available upon request.
18. Psomopoulos, C.S., Bourka, A., Themelis, N.J., 2009, Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management (Elsevier)*.
19. Chaliki, P., Psomopoulos, C.S., Themelis, N.J., 2016, WTE plants installed in European cities. A review of success stories. *Management of Environmental Quality: An International Journal*.
20. Karagiannidis, A., Kalogirou, E., Psomopoulos, K., Themelis, N., 2010, Waste-to-Energy in United States of America—An analysis on the current situation. *Technic Annals, Technical Chamber of Greece*, March–April 2010.
21. Psomopoulos, C.S., Papadiotis, A.D., Themelis, N.J., 2013, Evaluating the potential for energy recovery from wastes on Greek Islands. *Fresenius Environmental Bulletin*.
22. Psomopoulos, C.S., Stavroulakis, C., Stavropoulos, V., Themelis, N.J., 2013, Greenhouse gases emission reduction potential in Greece by implementing WTE facilities in strategically selected urban areas. *Fresenius Environmental Bulletin*.
23. Psomopoulos, C.S., Themelis, N.J., 2015, The combustion of as-received and pre-processed (RDF/SRF) municipal solid wastes as fuel for the power sector. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*.
24. Psomopoulos, C.S., Bourka, A., Themelis, N.J., 2009, Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management (Elsevier)*.
25. E. N. Kalogirou, 2017, *Waste-to-Energy Technologies and Global Applications*, CRC Press, Boca Raton, USA.
26. Αθανασιάδη Ι. Μαρία, ΑΘΗΝΑ 2011, ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ, Ελλάδα.
27. Δήμος Α. Τσαλκίδης, ΞΑΝΘΗ 2013, *Καύση Αστικών Στερεών Αποβλήτων για Παραγωγή Ενέργειας: Εφαρμογή στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης*, ΔΠΘ, Ελλάδα.

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

- www.wtert.eu
- www.epp.eurostat.ec.europa.eu/
- www.cewep.eu
- www.wtert.org
- www.winderickx.pl
- www.kroeger-greifertechnik.de/en