

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ  
ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΠΥΡΟΛΥΤΙΚΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ

# ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΣΩΤΗΡΙΟΥ  
Α.Μ. : 36429  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΝΙΚΑΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ 2012



ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) είναι παγκοσμίως ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες οικονομικά κοινωνίες οι οποίες παράγουν ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες απορριμμάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται ολοένα και περισσότερο επιτακτική η ανάγκη για την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου των ΑΣΑ, το οποίο λόγω των αλλαγών στις καταναλωτικές συνήθειες των ανθρώπων και την χρήση του πλαστικού και των υλικών συσκευασίας, συνεχώς αυξάνεται.

Αρχικά γίνεται περιγραφή όλων των διαθέσιμων θερμικών μεθόδων επεξεργασίας των ΑΣΑ (αποτέφρωση, πυρόλυση, αεριοποίηση, τεχνική πλάσματος κλπ.) καθώς και της μηχανικής - βιολογικής επεξεργασίας με ιδιαίτερη αναφορά στην μοντελοποίηση του περιστροφικού αποτεφρωτικού κλιβάνου και στα τοποθετούμενα πυράντοχα και θερμομονωτικά υλικά. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η Ευρωπαϊκή κοινοτική οδηγία [2000/76/EK] σχετικά με την αποτέφρωση των αποβλήτων, τις συνθήκες λειτουργίας και τις επιτρεπόμενες οριακές τιμές εκπομπών. Και τέλος γίνεται αναφορά σε μελλοντικές προτάσεις πάνω στην λειτουργία του περιστροφικού κλιβάνου.

## ABSTRACT

The treatment of Municipal Solid Waste (MSW) is one of the most important environmental issues worldwide, especially in economically developed societies which continually tend to produce much larger quantities of wastes. Over the last decades, due to the changes of consumer habits and the larger use of plastic in package materials, the energy content of MSW is continuously increasing. Thus, there is an imperative need for energy recovery from MSW.

At first there is a description of all the available methods of thermal treatment of MSW (incineration, pyrolysis, gasification, plasma technique etc) as well as mechanical - biological treatment with special reference to modeling of a rotary kiln incinerator and the installation of fireproof and insulating materials. Also the European Community Directive [2000/76/EC] is being presented with the incineration of waste, operating conditions and the allowable emission limits. Finally there is a reference to future recommendations on the operation of the rotary kiln.

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	1
ABSTRACT .....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
1.2 Διάρθρωση της πτυχιακής εργασίας .....	8
2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	9
2.1. Εισαγωγή .....	9
2.1.1 Οι σημαντικότεροι στόχοι της Θ.Ε. ....	10
2.1.2 Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της Θ.Ε. ....	10
2.1.3 Τα κυριότερα μειονεκτήματα της Θ.Ε. ....	10
2.1.4 Θερμική επεξεργασία με περιστρεφόμενο κλίβανο .....	11
2.1.5 Αποτέφρωση – Καύση .....	12
2.2 Περιστροφικός κλίβανος .....	18
2.2.1 Εφεδρικοί καυστήρες .....	20
2.2.2 Σύστημα ελέγχου αέριας ρύπανσης .....	20
2.2.3 Απομάκρυνση σωματιδίων .....	21
2.2.4 Κυκλώνες .....	22
2.2.5 Ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (ESP) .....	22
2.2.6 Σακκόφιλτρα .....	23
2.3 Πυρόλυση .....	24
2.4 Θερμόλυση .....	32
2.4.1 Μέθοδος Siemens .....	33
2.4.2 Μέθοδος Thermoselect .....	35
2.4.3 Μέθοδος Noell .....	37

2.4.4 Μέθοδος EDDITH .....	38
2.4.5 Μέθοδος Von Roll .....	39
2.4.6 Διεργασία RCP.....	39
2.4.7 Μέθοδος TPS .....	40
2.4.8 Μέθοδος NKK.....	41
2.4.9 Μέθοδος PKA .....	42
2.4.10 Μέθοδος P.I.T. Pyroflam .....	43
2.4.11 Μέθοδος Nexus .....	44
2.4.12 Μέθοδος Andco Torrax.....	44
2.4.13 Μέθοδος WGT .....	46
2.4.14 Εκπομπές καινοτόμων τεχνολογιών.....	46
2.5 Επίδραση υψηλών θερμοκρασιών στις ιδιότητες των υλικών .....	47
2.5.1 Σκυρόδεμα.....	47
2.5.2 Θερμικές ιδιότητες σκυροδέματος.....	49
2.5.3 Θερμική αγωγιμότητα .....	51
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΠΥΡΟΛΙΠΙΚΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ 54	
3.1 Εισαγωγή.....	54
3.2 Περιγραφή Λειτουργίας .....	63
3.2.1. Αναλυτική Λειτουργία Κλιβάνου .....	65
3.3 Πυρολυτική Λειτουργία-Αποτέφρωση και εκπομπές .....	67
3.3.1 Αποτέφρωση .....	67
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	68
4.1 Υλικά.....	68
4.1.1 Πυράντοχα υλικά.....	68

4.1.2 Θερμομονωτικά υλικά.....	71
4.2 Θερμική Καταπόνηση με την χρήση SolidWorks 2012 Simulation.....	72
4.2.1 Ανάλυση στοιχείων και δημιουργία του πλέγματος ( Mesh ).....	72
4.2.2. Θερμικά Φορτία .....	73
5. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ [2000/76/ΕΚ] ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΡΟΛΗΨΗ	78
5.1 Οδηγία 2000/76/ΕΚ σχετικά με την αποτέφρωση των αποβλήτων .....	78
5.2 Εγκαταστάσεις .....	78
5.3 Συνθήκες λειτουργίας.....	80
5.4 Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών .....	80
5.5 Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης μέχρι το 2013 .....	82
5.6 Ευρωπαϊκά στατιστικά στοιχεία αποτέφρωσης .....	83
Συνολική Αποτέφρωση .....	83
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	86
6.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	87
Βιβλιογραφία.....	89

**Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο-Στέφανο Νίκα, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε στην ανάθεση του θέματος καθώς και για την καθοδήγησή του και την άψογη συνεργασία μας καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Όπως επίσης και την συνεχή βοήθεια και στήριξη του Θείου μου Αντώνη, που με προέτρεψε στην επιλογή του θέματος και με εξόπλισε με σημαντικές πληροφορίες.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σύγχρονος πολιτισμένος κόσμος, μεταξύ των προβλημάτων που έχει να αντιμετωπίσει, επωμίζεται να προστατεύσει το περιβάλλον, το οποίο ο ίδιος, κάθε στιγμή, με τις ανεξέλεγκτες δραστηριότητες του ρυπαίνει, προσπαθώντας στη συνέχεια να αφαιρέσει τους επιβλαβείς ρύπους και τις ουσίες εκείνες που επιβαρύνουν τη φύση, για να έχει το δικαίωμα της επιβίωσης εντός αυτής. Τα οικοσυστήματα εδάφους, αέρα, λιμνών, θαλασσών και ποταμών είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και όποιο από αυτά διαταραχθεί, επιδρά και στα άλλα, ανάλογα με το μέγεθος της ρύπανσης και τον κύκλο της αλυσίδας.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η συγκέντρωση του πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα και η παράλληλη εκβιομηχάνιση, είχαν σαν συνέπεια την ανάγκη οργάνωσης της διαδικασίας απόρριψης τους. Έτσι σταδιακά άρχισαν με την παρέμβαση της πολιτείας, στα μέσα της δεκαετίας του 1960, να διατυπώνονται και να εφαρμόζονται κάποιοι κανόνες διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων (ΑΣΑ). Κύριο γνώρισμα της περιόδου αυτής είναι η έλλειψη σαφούς επίδρασης της κρατικής και δημοτικής παρέμβασης στην υπάρχουσα κατάσταση της διαχείρισης των απορριμμάτων, που θα οδηγούσε στον επανακαθορισμό τους σε μια προσπάθεια βελτίωσης της κατάστασης. Μόλις στα τέλη της δεκαετίας του 1960 η κοινωνία άρχισε να ενδιαφέρεται σοβαρά και να παίρνει υπόψη της τα αποτελέσματα της παρέμβασής της στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ, προσπαθώντας να βελτιστοποιήσει την δράση της. Δυστυχώς στα χρόνια που ακολούθησαν δεν έγινε καμία ουσιαστική προσπάθεια με συγκεκριμένο στόχο και φιλοσοφία και το ζήτημα αντιμετωπίστηκε με ευκαιριακά και πρόχειρα μέτρα που το μόνο αποτέλεσμα που είχαν ήταν η μεγέθυνση του προβλήματος.

Σήμερα, έπειτα από όλα αυτά τα χρόνια αδράνειας από του φορείς τις πολιτείας, το ζήτημα της διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων αποτελεί πρώτη προτεραιότητα για την κοινωνία μας. Η συνεχώς αυξανόμενη ποσότητα των ΑΣΑ, η αλλαγή της φυσικής τους σύνθεσης, με κύριο γνώρισμα την αύξηση του χαρτιού και του πλαστικού έχουν οδηγήσει σε μια ριζική ανατροπή της ήδη διαταραγμένης από την προηγούμενη περίοδο, οικολογικής ισορροπίας που εκφράζεται κυρίως από την δυσκολία του φυσικού περιβάλλοντος να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στο ρόλο του σαν τροφοδότη υλικών (προοπτική εξαντλησιμότητας πολλών πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων) και αποδέκτη αποβλήτων (αδυναμία αφομοίωσης των τεραστίων ποσοτήτων απορριμμάτων, αυξανόμενο ποσοστό τοξικών και μη αποικοδομήσιμων υλικών).

Οι βασικές αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται ο σχεδιασμός της διαχείρισης των απορριμμάτων στην σύγχρονη κοινωνία είναι :

- Μείωση απορριμμάτων στην πηγή τους
- Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων
- Ανάκτηση ενέργειας από ακατέργαστα υλικά
- Διαχείριση απορριμμάτων και
- Διάθεση των υπολειμμάτων από την χρήση και άλλων αναπόφευκτων απορριμμάτων .

Η Ελλάδα καλείται να εφαρμόσει μια σειρά από εθνικές αποφάσεις και οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που είναι να :

- Δεσμεύουν την χώρα σε άμεση εισαγωγή τεχνολογιών επεξεργασίας αποβλήτων.
- Κάνουν πολύ αυστηρότερους τους κανόνες λειτουργίας των ΧΥΤΑ.
- Εισάγουν σημαντικές αλλαγές στην κοστολόγηση των παρεχομένων υπηρεσιών.
- Απαιτούν σημαντική αναβάθμιση και μετασχηματισμό των φορέων διαχείρισης
- Απαιτούν αλλαγές στην διαδικασία σχεδιασμού και αδειοδότησης των έργων .

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι ο σχεδιασμός και βελτιστοποίηση της διαδικασίας πυρόλυσης εντός του περιστροφικού πυρολυτικού κλιβάνου. Η μελέτη σε θερμική καταπόνηση των τοποθετούμενων υλικών εντός του πρωτεύοντα κλιβάνου, καθώς και εκλογή των βέλτιστων μιγμάτων πυρίμαχων και θερμομονωτικών υλικών που να αντέχουν σε υψηλές και διαρκείς θερμοκρασίες . Ο πυρολυτικός κλίβανος είναι στεγανός και έχει σχεδιαστεί για την αποτέφρωση και την αποξήρανση γενικών απορριμμάτων και κυρίως υγρών απορριμμάτων, π.χ. αίμα σφαγείων και απορριμμάτων με μεγάλο ποσοστό υγρών. Χρησιμοποιούνται σε νοσοκομεία, σφαγεία, πτηνοσφαγεία - πτηνοτροφεία, ξηραντήρια, αγροτικές βιομηχανίες, βιομηχανίες τροφίμων κ.λπ. Επιπλέον τέτοιου τύπου κλίβανοι μπορούν να αποτεφρώσουν ή να αποξηράνουν βάρος απορριμμάτων από 100 - 1800 kg/h , με μέγιστο ποσοστό υγρών 100% .



## 1.2 Διάρθρωση της πτυχιακής εργασίας

### Κεφάλαιο 1

Εισαγωγική ιστορική αναδρομή στην διαχείριση των ΑΣΑ και η τωρινή επικρατούσα κατάσταση στο τομέα της διαχείρισης των αποβλήτων.

### Κεφάλαιο 2

Στο θεωρητικό κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων (μέθοδοι διαχείρισης μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας απορριμμάτων με έμφαση στην πυρόλυση και την θερμόλυση). Περιγράφεται η λειτουργία των μονάδων διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων με έμφαση στην λειτουργία του αποτεφρωτικού παραλυτικού κλιβάνου. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα συστήματα ελέγχου αέριας ρύπανσης και απομάκρυνσης σωματιδίων. Και τελικώς παρουσιάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας στις ιδιότητες του σκυροδέματος.

### Κεφάλαιο 3

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο μοντελοποιημένος περιστροφικός κλιβανός στο σχεδιαστικό περιβάλλον Solid Works 2012 [ Dessault Systems ] με αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του και προσομοίωση της θερμικής καταπόνησής του, προσδιορισμό των κατάλληλων υλικών τοποθέτησης (Πυράντοχα και Θερμομονωτικά τσιμεντοκονιάματα).

### Κεφάλαιο 4

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η εκλογή των τοποθετούμενων υλικών εντός του πρωτεύοντα κλιβανού και μελέτη αυτών σε θερμική καταπόνηση μέσω εξομοιωτή σε σχεδιαστικό περιβάλλον SolidWorks.

### Κεφάλαιο 5

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η Ευρωπαϊκή κοινοτική οδηγία [ 2000/76/EK ] σχετικά με την αποτέφρωση των αποβλήτων , τις συνθήκες λειτουργίας και τις επιτρεπόμενες οριακές τιμές εκπομπών.

### Κεφάλαιο 6

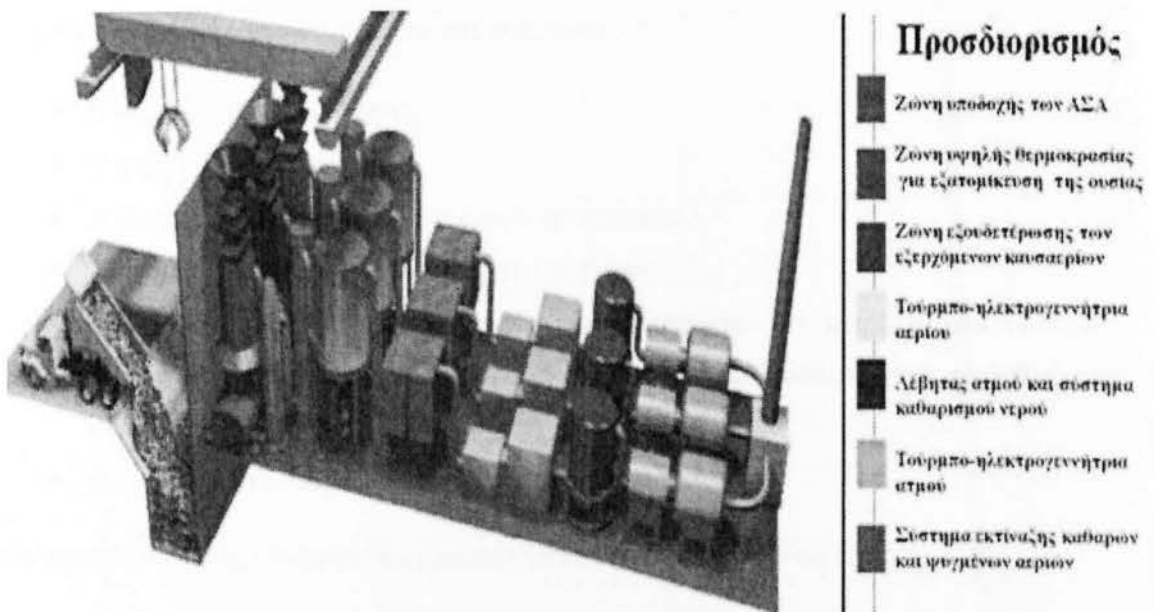
Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές προτάσεις πάνω στην λειτουργία του περιστροφικού κλιβάνου.

## 2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μονάδες διαχείρισης καθώς και στους τρόπους επεξεργασίας των απορριμμάτων και των αποβλήτων. Επίσης γίνεται εισαγωγή στην λειτουργία του αποτεφρωτικού κλιβάνου και την πυρόλυση, στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιοι βασικοί μέθοδοι της θερμόλυσης. Τέλος, παρουσιάζεται η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στις ιδιότητες του σκυροδέματος και των τσιμεντοκονιαμάτων.

### 2.1. Εισαγωγή

Η θερμική επεξεργασία (Θ.Ε.) των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μετατροπής του περιεχομένου τους σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας.



Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα της μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων

**2.1.1 Οι σημαντικότεροι στόχοι της Θ.Ε. είναι :**

- Η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ.
- Η αδρανοποίηση τους (μετατροπή τους σε υλικά λιγότερο επιβλαβή).
- Η εκμετάλλευση της θερμότητας δύναμης τους προς ανάκτηση ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρικό ρεύμα, καύσιμη υλη).
- Η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

**2.1.2 Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της Θ.Ε. :**

- Μειώνει τον όγκο τους σε μεγάλο βαθμό (έως και 90%).
- Μειώνει την μάζα τους έως και 70%.
- Μπορεί να σχεδιαστεί τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες ποσότητες αποβλήτων.
- Επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
- Είναι ανταγωνιστική των συμβατικών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, αέριο) στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

**2.1.3 Τα κυριότερα μειονεκτήματα της Θ.Ε. είναι :**

- Υψηλό κόστος κατασκευής.
- Υψηλό κόστος λειτουργίας.
- Ανάγκη απασχόλησης εξειδικευμένου προσωπικού.
- Μη άμεση αξιοποίηση υλικών από τα απόβλητα.
- Δυσκολία αξιοποίησης της παραγόμενης θερμότητας (ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις).
- Χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της προκαλούμενης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Εκπομπές επικίνδυνων ρύπων μέσω των καυσαερίων.

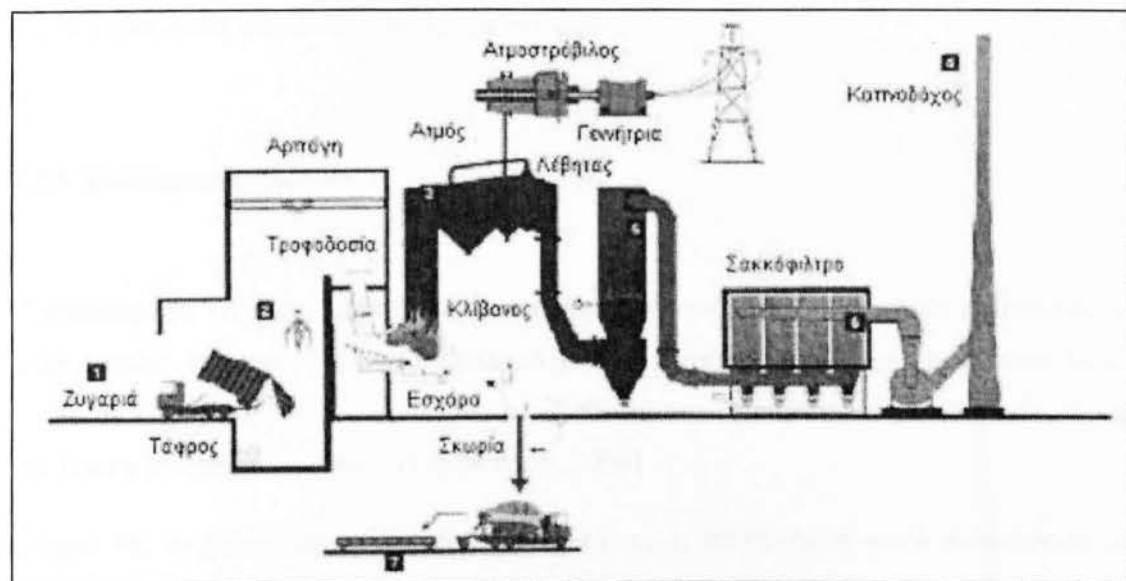
Οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής :

- Αποτέφρωση – Καύση ( Incineration – Combustion )
- Αεριοποίηση (Gasification)
- Πυρόλυση ( pyrolysis )
- Τεχνική πλάσματος ( Plasma Technology)

### 2.1.4 Θερμική επεξεργασία με περιστρεφόμενο κλιβάνο

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.



Σχήμα 2.2 : Εγκατάσταση Θερμικής Επεξεργασίας

Στους συμβατικούς περιστρεφόμενους κλιβάνους, ο κύλινδρος είναι οριζόντιος και περιστρέφεται περί του άξονα του. Το υλικό (πρέπει να υπάρχει σταθερή και συνεχής παροχή) αναδεύεται, καίγεται και οδηγείται στο άλλο άκρο με την κατάλληλη κλίση (2-4%). Η καταστροφή των οργανικών επιτυγχάνεται με συνδυασμό υψηλών θερμοκρασιών και κατάλληλου χρόνου παραμονής. Γενικά, όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία, τόσο μικρότερος ο χρόνος παραμονής που απαιτείται για την καύση.

Τα **πλεονεκτήματα** της μεθόδου είναι τα εξής:

1. Έχει τη δυνατότητα να κάψει μεγάλη ποικιλία αποβλήτων.
2. Τα απορρίμματα δε χρειάζονται προεπεξεργασία.
3. Ελέγχεται εύκολα ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων στον κλίβανο.
4. Επιτυγχάνεται αποτελεσματική επαφή με τον αέρα.

Ενώ στα **μειονεκτήματα** συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

1. Παραγωγή μεγάλης ποσότητας σωματιδίων λόγω υψηλής στροβιλότητας και τριβής που δημιουργείται στον κλίβανο.
2. Απαιτείται μεγάλη ποσότητα περίσσειας αέρα (100-150%).
3. Ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας χάνεται με τη στάχτη.
4. Είναι αναγκαίος συχνά ένας θάλαμος μετάκαυσης.

### 2.1.5 Αποτέφρωση – Καύση

Η αποτέφρωση - καύση των στερεών απορριμμάτων/αποβλήτων ουσιαστικά εκπροσωπεί μια αρκετά παλιά διεργασία , η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών (850°C έως 1500°C), με παρουσία φλόγας για την οξείδωση των επιμέρους στοιχείων αυτών, δηλαδή την ένωση τους με το οξυγόνο . [Γιδαράκος Ε.,2006]

Στόχος της εν λόγω διεργασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση και/ή καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους. [ Γιδαράκος Ε. , Αϊβαλιώτη Μ.,2005]

Τα προϊόντα της διαδικασίας της αποτέφρωσης περιλαμβάνουν αέριες ενώσεις (π.χ. CO<sub>2</sub>, οξείδια αζώτου, όξινα αέρια κ.α.), οι οποίες χρήζουν κατάλληλης επεξεργασίας πριν την έκλυση τους στην ατμόσφαιρα και σχετικά αδρανή στερεά υπολείμματα (τεφρά), τα όποια εκπροσωπούν το 15 - 40% του βάρους της τροφοδοσίας του αποτεφρωτή και ενδέχεται να περιέχουν σημαντικούς ανόργανους ρύπους, όπως βαρέα μέταλλα. Στην περίπτωση της ατελούς καύσης των απορριμμάτων (έλλειψης οξυγόνου), η οποία είναι ανεπιθύμητη, στα παραγόμενα απαέρια συμπεριλαμβάνονται και σημαντικές ποσότητες CO. Ως εκ τούτου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η πλήρης καύση πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις :

- Επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου ( $O_2$ ) στην εστία καύσης,
- Επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης
- Σωστή αναλογία μείγματος (καύσιμης ύλης – οξυγόνου)
- Συνεχής απομάκρυνση των αερίων, τα οποία παράγονται κατά την καύση,
- Συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης.

### 2.1.5.1 Διαφοροποίηση Αποτέφρωσης και Καύσης

Σύμφωνα με το Παράρτημα I του καν. 1774/2002/EK :

Αποτέφρωση (Incineration) είναι η διάθεση ζωικών υποπροϊόντων ή προϊόντων που παράγονται από αυτά σε μονάδα αποτέφρωσης (Incineration plant).

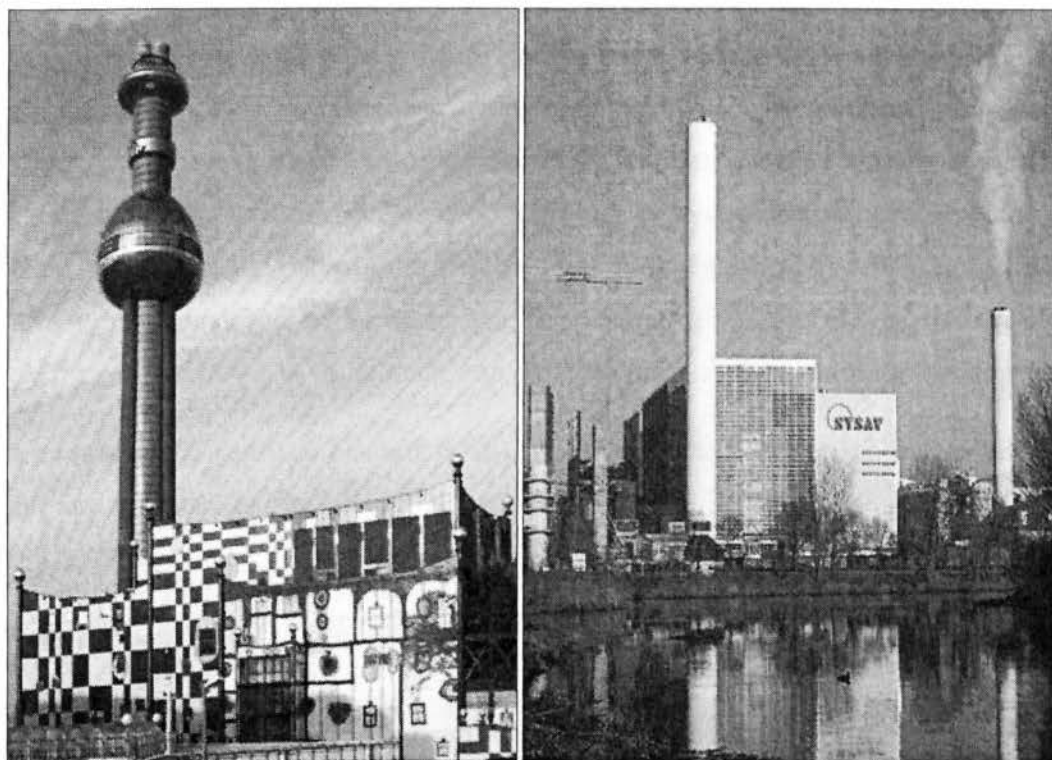
Σύμφωνα με τον «Κώδικα της εφαρμογής της Κοινοτικής νομοθεσίας για τα ζωικά υποπροϊόντα σε σχέση με την υγεία των ζώων τη δημόσια υγεία και τα απόβλητα» SANCO/445/2004 :

Καύση (Burning) είναι μια απλή μέθοδος θερμικής καταστροφής των οργανικών υλικών όπου η φωτιά συντηρείται από το ίδιο το οργανικό υλικό με την προσθήκη στερεού ή υγρού καυσίμου και γίνεται στην ύπαιθρο ή σε απλές κατασκευές.

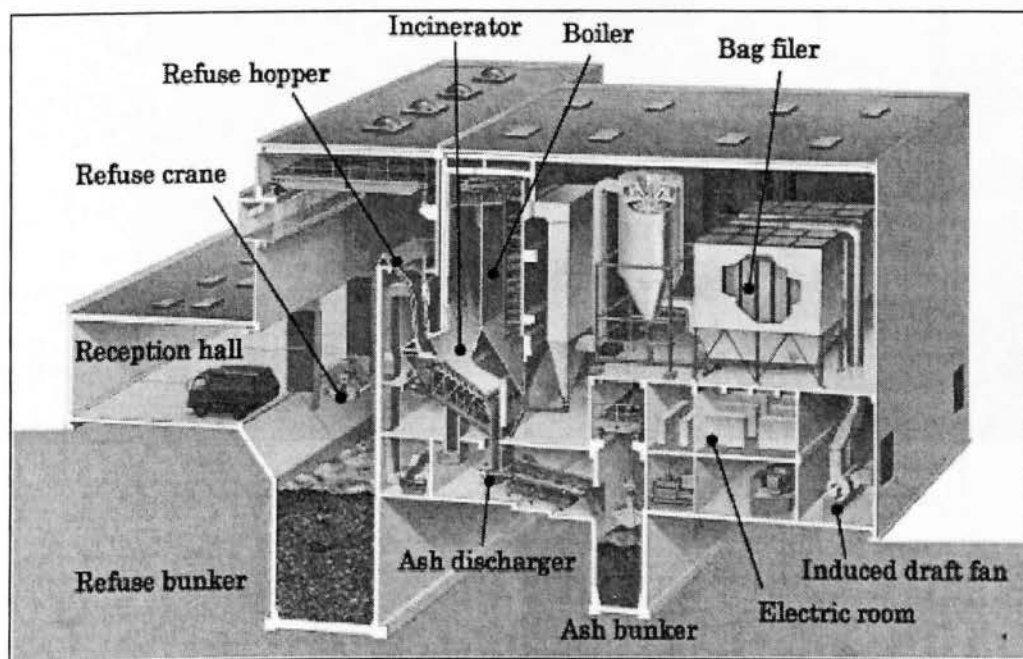
### 2.1.5.2 Μονάδα αποτέφρωσης ( Incineration plant )

Μονάδα αποτέφρωσης (Incineration plant) είναι ο χώρος διάθεσης των υποπροϊόντων, όπως ορίζεται στο άρθρο 3 παράγραφος 4 της οδηγίας 2000/76/EK.

«Μονάδα αποτέφρωσης»: κάθε σταθερή ή κινητή τεχνική μονάδα με τον εξοπλισμό της, που προορίζεται αποκλειστικά για θερμική επεξεργασία αποβλήτων, με ή χωρίς ανάκτηση της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση. Συμπεριλαμβάνονται η αποτέφρωση αποβλήτων με οξείδωση καθώς και άλλες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας όπως η πυρόλυση, η αεριοποίηση ή η τεχνική πλάσματος, εφόσον οι ουσίες που προέρχονται από την επεξεργασία στη συνέχεια αποτεφρώνονται.



Σχήμα 2.3 : (Αριστερά) Μονάδα αποτέφρωσης Spittelau σχεδιασμένη από τον Friedensreich Hundertwasser [Βιέννη-Αυστρία],  
 (Δεξιά) : Μονάδα αποτέφρωσης SYSAV, ικανή να διαχειριστεί 25 τόνους/ώρα [Μαλμό-Σουηδία .]



Σχήμα 2.4: Σύστημα Διαχείρισης

Ο ορισμός αυτός καλύπτει τους χώρους και το σύνολο των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης, όπου συμπεριλαμβάνονται όλες οι γραμμές αποτέφρωσης, οι εγκαταστάσεις παραλαβής, αποθήκευσης και επιτόπιας προεπεξεργασίας των αποβλήτων, τα συστήματα τροφοδότησης της μονάδας με απόβλητα, καύσιμο και αέρα, ο λέβητας, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας των καυσαερίων, οι επί τόπου εγκαταστάσεις επεξεργασίας ή αποθήκευσης των υπολειμμάτων και των λυμάτων, η καπνοδόχος, οι διατάξεις και τα συστήματα για τον έλεγχο των εργασιών αποτέφρωσης και η καταγραφή και διαρκής παρακολούθηση των συνθηκών αποτέφρωσης.

Μονάδα αποτέφρωσης χαμηλού δυναμικού είναι η μονάδα αποτέφρωσης με ρυθμό/ απόδοση μικρότερη των 50 κιλών ζωικών υποπροϊόντων ανά ώρα.

Μονάδα αποτέφρωσης υψηλού δυναμικού είναι η μονάδα αποτέφρωσης διαφορετική από τη μονάδα αποτέφρωσης χαμηλού δυναμικού.



*Σχήμα 2.5 : Μονάδα αποτέφρωσης υψηλού δυναμικού. [Ρότερνταμ, Ολλανδία]*



Η αποτέφρωση είναι μία περιβαλλοντικά και τεχνικά ανώτερη μέθοδος διάθεσης αποβλήτων, προσφέροντας:

- Αξιοπιστία
- Ασφάλεια
- Αποτελεσματικότητα

Ταυτοχρόνως, είναι εξαιρετικά αμφιλεγόμενη και δαπανηρή. Κατά τις προηγούμενες δεκαετίες, οι χώροι απορρίψεως αποβλήτων χρησιμοποιούνταν κυρίως για τη διάθεση αποβλήτων, επιτρέποντας την φύση να ακολουθήσει την πορεία της και να μειώσει την τοξικότητα του όγκου των αποβλήτων. Ωστόσο, λόγω των ολοένα και αυστηρότερων απαιτήσεων και κανονισμών που αφορούν την ποιότητα του αέρα, τους χώρους υγειονομικής ταφής και της μόλυνσης των υπόγειων υδάτων και επίσης σε συνδυασμό με τη φθίνουσα διαθεσιμότητα γης για την ταφή των αποβλήτων, η αποτέφρωση γίνεται η επιθυμητή μέθοδος διάθεσης για δήμους και βιομηχανίες.

Ωστόσο, ακόμη και η τεχνολογία της αποτέφρωσης υποβάλλονται διαρκώς σε αναθεωρήσεις για την επίτευξη των αυστηρότερων περιβαλλοντικών προδιαγραφών. Αυτές οι νέες τεχνολογίες θα αυξάνουν την αποτελεσματικότητα, καθώς θα χρησιμοποιούν συσκευές ελέγχου εκπομπών.

Η αποτέφρωση αποσυνθέτει θερμικός μέσω της οξείδωσης, μειώνοντας έτσι και ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα καταστρέφοντας την τοξικότητά τους. Μπορεί να εφαρμοστεί σε βιομηχανίες, αστικά κέντρα και στην διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων, στον βαθμό που περιέχουν οργανική ύλη, αφού πρωταρχικά οι οργανικές ουσίες μπορούν να υποβληθούν και να υποστηρίξουν την θερμική αποικοδόμηση.

Μετά την αποτέφρωση, τα απόβλητα μετατρέπονται σε:

- CO
- CO<sub>2</sub>
- Νερό
- Στάχτη

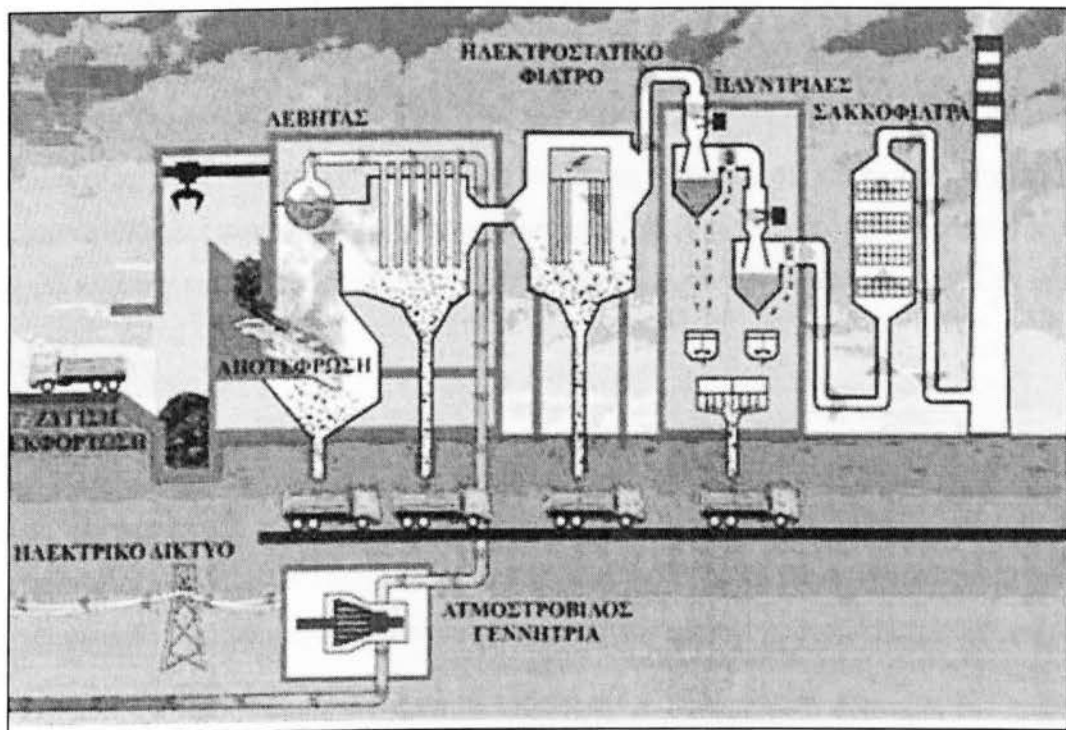
Ανάλογα με τη σύσταση των αρχικών αποβλήτων, μπορούν να παραχθούν ενώσεις που περιέχουν:

- Αλογόνα
- Μέταλλα
- Αζωτούχα
- Θειούχα

Οι ενώσεις αυτές, μαζί με το CO, είναι επιβλαβείς για την ατμόσφαιρα, και πολύ αυστηρά νομοθετημένες. Στις μέρες μας, η αποτελεσματικότητα της καύσης αυτής πρέπει να φτάνει το 99,9999%.

Έτσι, για να πληρούν τους κανονισμούς, οι εγκαταστάσεις καύσης πρέπει να είναι εξοπλισμένες με:

- Μετακαυστήρες
- Πλυντρίδες
- Μονάδες διήθησης
- Μемβράνες



Σχήμα 2.6 : Σχηματικό Σύστημα Διαχείρισης

Για να παρέχουμε επεξεργασία δευτέρου βαθμού για μη ασφαλείς ενώσεις στο περιβάλλον έτσι ώστε να μπορούν να απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα σε κατάλληλα επίπεδα συγκέντρωσης, κατασκευάζονται σήμερα διάφορων τύπων αποτεφρωτήρες.

Η επιλογή ενός αποτεφρωτήρα εξαρτάται από την αναφλεξιμότητα των απόβλητων και ο χαρακτηρισμός τους ως υγρά, στερεά ή αέρια. Τα χαρακτηριστικά των αναφλέξιμων αποβλήτων όπως : η θερμοκρασία ανάφλεξης, το χρονικό σημείο ανάφλεξης και τα όρια ανάφλεξης καθορίζουν τις αναγκαίες θερμοκρασίες λειτουργίας, την συγκέντρωση  $O_2$  και τον χρόνο παραμονής τους, για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Η ορθή επιλογή του είδους αποτεφρωτήρα μπορεί στη συνέχεια να προσδιοριστεί με βάση τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων.

Παρακάτω αναφέρονται κάποιοι τύποι αποτεφρωτήρων όπως :

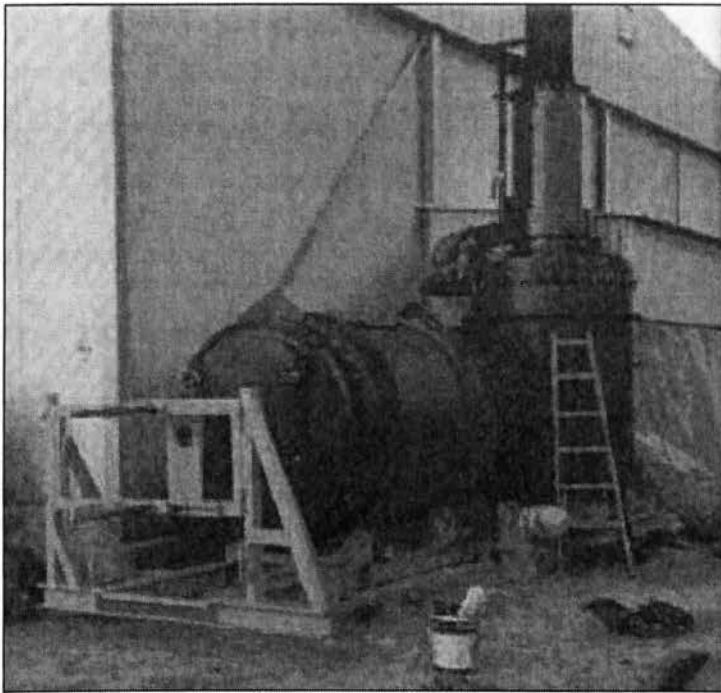
- Περιστροφικοί κλίβανοι
- Ρευστοποιημένη κλίνη
- Έγχυση υγρών
- Πολλαπλών εστιών
- Καταλυτικής καύσης
- Αέρια καύση αποβλήτων
- Άμεσης φλόγας

Από αυτούς, οι περιστροφικοί κλίβανοι, η ρευστοποιημένη κλίνη, και η υγρή έγχυση είναι οι πλέον κατάλληλες που επικρατούν στην βιομηχανία λόγω της δυνατότητας εφαρμογής τους σε ευρεία κλίμακα και της ευελιξίας τους. Κατά συνέπεια, θα επικεντρωθούμε σ' αυτά τα τρία είδη.

## 2.2 Περιστροφικός κλίβανος

Ένας περιστροφικός κλίβανος περιλαμβάνει έναν περιστρεφόμενο φούρνο και μια αίθουσα μεταανάφλεξης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένα για να κάψει χημικά απόβλητα και να χρησιμοποιηθεί ως περιφερειακός αποτεφρωτήρας αποβλήτων υγειονομικής περίθαλψης.

Ο κλίβανος αποτελείται από το σύστημα υποδοχής, το δοσομετρικό σύστημα, τον πρωτεύοντα περιστροφικό κύλινδρο, το σύστημα παροχής αέρα, τον επιπλέον καυστήρα, τον θάλαμο μετάκαυσης και το σύστημα απομάκρυνσης της σκόνης και της τέφρας.



*Σχήμα 2.7: Περιστροφικός κλίβανος*



*Σχήμα 2.8 : Πακέτα κατηγορίας 1 για καύση*

Το απόβλητο εισέρχεται στον κλίβανο όπου αναδεύεται και υφίσταται θερμική επεξεργασία.

Ο κλίβανος πρέπει να είναι επενδεδυμένος με πυρίμαχα υλικά ενώ απαιτείται συνεχής και σταθερή παροχή αποβλήτων, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον κλίβανο κυμαίνεται από 800-1400 °C και η αποτελεσματική καύση επιτυγχάνεται με κατάλληλο συνδυασμό της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής των αποβλήτων. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερος χρόνος παραμονής απαιτείται και αντιστρόφως.

Λόγω του γεγονότος ότι ο χρόνος παραμονής των παραγόμενων αερίων στον κλίβανο είναι μικρός, για να επιτευχθεί πλήρης καύση τους τοποθετείται θάλαμος μετάκαυσης. Τα υπολείμματα του κλιβάνου οδηγούνται μέσω χοάνης στο σύστημα ψύξης, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

### **Χαρακτηριστικά περιστροφικού κλιβάνου:**

- Θερμοκρασίες λειτουργίας από 800 °C - 1400°C
- Έχει την μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
- Μπορεί να παραλάβει υγρά, λάσπη, στερεά ή αέρια σε πολύ μεγάλες ποσότητες
- Μπορεί να λειτουργήσει με λειτουργία δέσμης, που επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία από την συνεχή λειτουργία
- Μπορεί να είναι κινητό για να επιτρέπεται η χρήση του στον απαιτούμενο χώρο
- Δυνατότητα αποδοχής ολόκληρων κομματιών αποβλήτων, ένα μοναδικό χαρακτηριστικό.

### **2.2.1 Εφεδρικοί καυστήρες**

Κάθε εγκατάσταση καύσης στερεών αποβλήτων διαθέτει και εφεδρικούς καυστήρες, που τίθενται αυτομάτως σε λειτουργία όταν σημειωθεί πτώση της θερμοκρασίας των απαερίων κάτω από τους 850 °C.

### **2.2.2 Σύστημα ελέγχου αέριας ρύπανσης**

Οι μονάδες επεξεργασίας των παραγόμενων απαερίων, αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης ΑΣΑ και ένα από τα πιο δαπανηρά στάδια της όλης διαδικασίας. Η απομάκρυνση των ρύπων από τα απαέρια μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ο σχεδιασμός των διαφόρων συστημάτων δεν εξαρτάται τόσο από την ποιότητα των καθαρών αερίων που επιβάλλουν οι κανονισμοί και πρέπει να είναι σχεδόν η ίδια παντού στον κόσμο, όσο από το κόστος της επένδυσης και/ή λειτουργίας, τη χρήση ή την διάθεση των υπολειμμάτων ή τον διαθέσιμο χώρο που υπάρχει στην περίπτωση παλιών εγκαταστάσεων που απαιτούν αναβάθμιση.

Στις μέρες μας στις εγκαταστάσεις που είναι σε πλήρη λειτουργία συναντάμε κάθε είδους τεχνολογία και κάθε είδους συνδυασμό των βελτιωμένων επιλογών που προσφέρονται. Κάθε ένα σύστημα που εγγυάται την εναρμόνιση με τα πιο αυστηρά όρια αερίων εκπομπών που

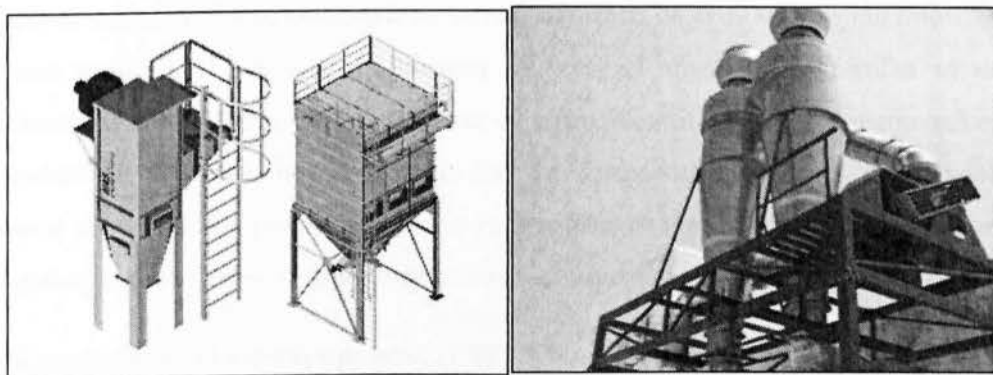
υπάρχουν σήμερα. Η επιλογή της πιο κατάλληλης στρατηγικής καθαρισμού των απαερίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συνθήκες. Σημαντικούς παράγοντες αποτελούν οι διοικητικές ρυθμίσεις (άδειες για υγρά απόβλητα, διάθεση των στερεών υπολειμμάτων) οι επιλογές και οι αγορές για μια ενδεχόμενη ανάκτηση και τέλος το κόστος της επένδυσης και το λειτουργικό κόστος του συνόλου του συστήματος.

Στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες για την απομάκρυνση :

- της ιπτάμενης τέφρας
- των όξινων αερίων
- συγκεκριμένων ρύπων όπως Hg ή PCDD/Fs και
- των οξειδίων του αζώτου

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις ακολουθώντας την τάση να απλοποιούνται οι διαδικασίες καθαρισμού, κάποια από τα στάδια μπορούν να συνδυαστούν.

### 2.2.3 Απομάκρυνση σωματιδίων



*Σχήμα 2.9: Σακκόφιλτρα και κυκλώνες (δεξιά)*

Από τις τρεις κύριες κατηγορίες αερίων ρύπων τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ίσως εκείνα που ελέγχονται ευκολότερα. Ταξινομούνται είτε ανάλογα με το μέγεθος τους, είτε ανάλογα με την προέλευση τους. Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1 μm συνήθως εναποτίθενται στο έδαφος. Τα σωματίδια τέφρας που συναντώνται στα απαέρια ενός λέβητα με διάμετρο 100 μm ή μικρότερη ονομάζονται συνοπτικά ιπτάμενη τέφρα.

Η τεχνολογία για τον έλεγχο των αιωρουμένων σωματιδίων είναι η πρώτη που αναπτύχθηκε. Η απόδοση συλλογής ποικίλει ανάλογα με το σύστημα αλλά συνήθως κυμαίνεται από 50% για

απλά μηχανικά συστήματα, μέχρι και περισσότερο από 99% για τους ηλεκτροστατικούς κατακρημιστές. Οι διαχωριστές αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να βασίζονται στην ξαφνική μείωση της ταχύτητας των αερίων, στην απότομη αλλαγή της διεύθυνσης της ροής, στην πρόσκρουση του αερίου ρεύματος σε μια σειρά από πτερύγια, και στην χρήση κεντρομόλου δύναμης με ανεμιστήρα.

Το πρώτο βήμα στα περισσότερα συστήματα καθαρισμού αερίων είναι η απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω:

- κυκλώνων
- ηλεκτροστατικών φίλτρων ( ESP ) ή
- σακκόφίλτρων

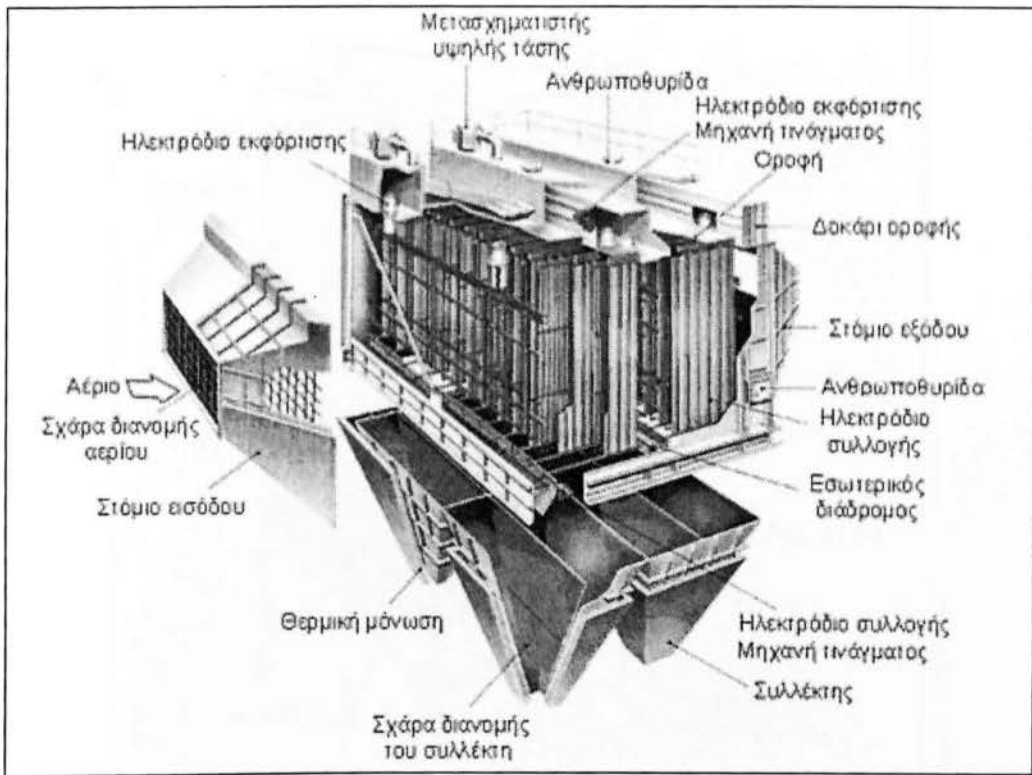
#### 2.2.4 Κυκλώνες

Οι κυκλωνικές διατάξεις στηρίζονται στην αύξηση της φαινόμενης διαφοράς πυκνότητας μεταξύ στερεού και αερίου όταν ασκείται φυγοκεντρική δύναμη (πολλαπλασιασμός της επιτάχυνσης και της βαρύτητας g).

Τα αερίδια εισέρχονται εφαιτομενικά με υψηλή ταχύτητα σε έναν κάθετο κυλινδρικό θάλαμο με κωνικό πυθμένα. Η κεντρομόλος δύναμη που ενεργεί πάνω στα σωματίδια τα κάνει να συγκρούονται στα τοιχώματα του θαλάμου και να κατακάθονται στον πυθμένα του από όπου και απομακρύνονται. Το αέριο διαφεύγει μέσω ενός κεντρικού σωλήνα. Λόγω της περιορισμένης ικανότητας τους στην απομάκρυνση λεπτών σωματιδίων οι κυκλώνεις δεν συναντώνται πλέον σε σύγχρονες εγκαταστάσεις ή χρησιμοποιούνται για την προεπεξεργασία της ιπτάμενης τέφρας.

#### 2.2.5 Ηλεκτροστατικοί κατακρημιστές (ESP)

Λόγω του απλού σχεδιασμού τους, της μικρής απώλειας πίεσης και της εύκολης λειτουργίας τους οι ηλεκτροστατικοί κατακρημιστές (ElectroStatic Precipitator) χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων για τον διαχωρισμό της ιπτάμενης τέφρας όσο και σε άλλες διεργασίες ανάφλεξης όπως σε εργοστάσια καύσης λιγνίτη. Ένας σύγχρονος ηλεκτροστατικός κατακρημιστής (σχήμα) που αποτελείται από δυο και συχνά τρεις τομείς εγγυάται ποσοστά απομάκρυνσης της τέφρας >99% στα σωματίδια με μεγέθη 0,01 και >100 μm. Οι ESP με τρεις τομείς μπορούν να επιτύχουν επίπεδα τέφρας στα καθαρά αέρια της τάξης του 1 mg/m<sup>3</sup>.



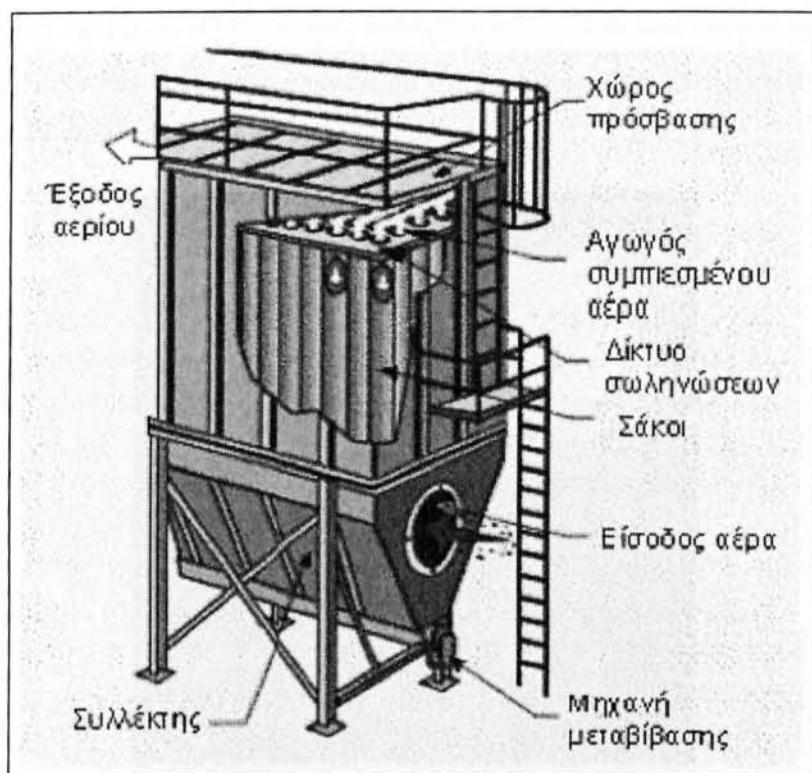
Σχήμα 2.10 : Ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (Vehlow J., 2006).

### 2.2.6 Σακκόφιλτρα

Ακόμα μικρότερες εκπομπές από αυτές των ESP, ειδικότερα για τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια, μπορούν να επιτευχθούν με τα σακκοφίλτρα. Σ' αυτά, τα ακατέργαστα απαέρια περνούν από το εξωτερικό τμήμα προς το εσωτερικό, μέσα από υφασμάτινους σάκους που στηρίζονται σε μεταλλικά πλέγματα. Η ιπτάμενη τέφρα μένει στην εξωτερική επιφάνεια του φίλτρου και απομακρύνεται περιοδικά με την βοήθεια αέρα που φυσάει από το εσωτερικό. Αυτός ο καθαρισμός απελευθερώνει τα σωματίδια, τα οποία πέφτουν σε έναν συλλέκτη. Τα σακκοφίλτρα εγγυώνται συγκεντρώσεις σκόνης στα καθαρά αέρια  $<1 \text{ mg/m}^3$ .

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην περίπτωση των σακκοφίλτρων είναι το υψηλό κόστος συντήρησης, καθώς έχουν διάρκεια ζωής 18-36 μήνες. Για σακκοφίλτρα χρησιμοποιούνται συνήθως είτε σάκοι από Teflon, είτε υφαντά φίλτρα από υαλοβάμβακα με διάφορα επιστρώματα.





Σχήμα 2.11 : Σακκόφιλτρα

### 2.3 Πυρόλυση

Είναι η θέρμανση των απορριμμάτων απουσία οξυγόνου που προκαλεί χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Πρακτικά δεν μπορεί να υπάρξει πλήρης απουσία οξυγόνου (η οξειδωση είναι αναπόφευκτη). Η θερμοκρασία άνω της οποίας πραγματοποιείται η πυρόλυση είναι οι 430°C.

Τα αέρια που παράγονται κατά την πυρόλυση απαιτούν επεξεργασία σε ένα δευτερεύοντα θάλαμο καύσης όπου συμπυκνώνονται μερικώς. Η πυρόλυση διαφοροποιείται από την καύση ως προς τη θερμοκρασία λειτουργίας (είναι χαμηλότερη) και ως προς την ποσότητα οξυγόνου (είναι κατά πολύ μικρότερη).

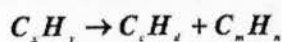
Η πυρόλυση αποτελεί μια σχετικά νέα θερμική κατεργασία οποία αν και αναπτύχθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα, μόλις τα τελευταία 20-30 χρόνια άρχισε να εφαρμόζεται στην επεξεργασία ΑΣΑ . Γενικά, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη επεξεργασία ΑΣΑ, τουλάχιστον στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της. Παρόλα αυτά, μη ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ιαπωνία, διαθέτουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών απορριμμάτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά εδώ και πολλά χρόνια, γεγονός το

οποίο πιθανότατα οφείλεται στις διαφορές των χαρακτηριστικών των απορριμμάτων τους (π.χ. ως προς το ποσοστό του οργανικού κλάσματος και την θερμογόνο δύναμη τους), σε σχέση με εκείνα των ευρωπαϊκών χωρών.



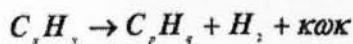
Σχήμα 2.12 : Πυρόλυση στον περιστροφικό κλίβανο

Οι αρχικές αντιδράσεις της πυρόλυσης περιλαμβάνουν κυρίως διασπάσεις, κατά τις οποίες χαμηλής πτητικότητας οργανικά συστατικά μετατρέπονται σε άλλα περισσότερο πτητικά

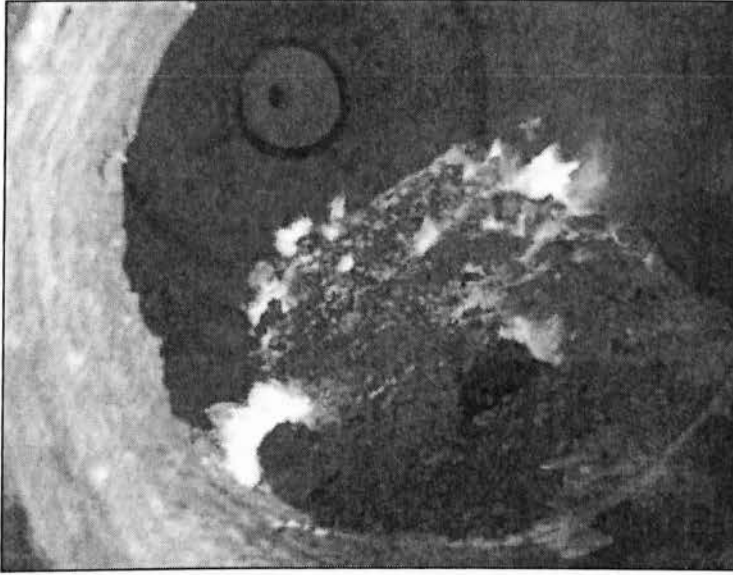


συστατικά :

Επίσης στις αρχικές αντιδράσεις πυρόλυσης περιλαμβάνονται συμπτυκνώσεις, αφυδρογονώσεις και αντιδράσεις σχηματισμού δακτυλίων, οι οποίες προκαλούν την μετατροπή της χαμηλής πτητικότητας οργανικών ενώσεων σε ένα σταθερό ανθρακούχο υπόλειμμα (char-κωκ):

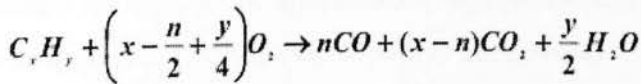


Τα πτητικά συστατικά που δημιουργούνται κατά την διεξαγωγή των παραπάνω αντιδράσεων συμμετέχουν σε δευτερεύοντες αντιδράσεις και μπορούν να μετατραπούν σε ελαφρύτερα προϊόντα, αέρια ή κάρβουνο.

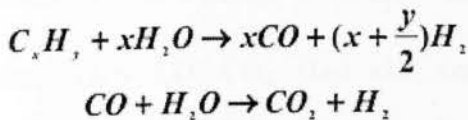


Σχήμα 2.13 : Πυρόλυση στον κλίβανο

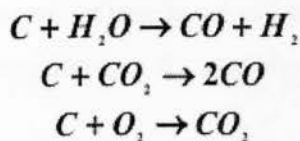
Κατά την διάρκεια της πυρόλυσης λαμβάνουν χώρα και άλλες αντιδράσεις των οργανικών ρύπων. Στην περίπτωση που υπάρχει οξυγόνο πραγματοποιείται σχηματισμός μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση (οξειδωτική πυρόλυση):



Επίσης τα υπάρχοντα οργανικά συστατικά είναι δυνατόν να αλληλεπιδράσουν με το νερό, σύμφωνα με τις εξής αντιδράσεις :

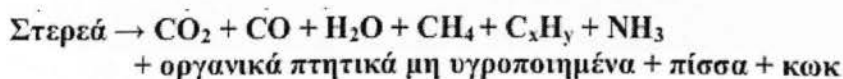


Τέλος, το ανθρακούχο στερεό υπόλειμμα (κωκ) που παράγεται κατά την πυρόλυση μπορεί να εξαερωθεί σε διοξείδιο του άνθρακα ή οξυγόνο, σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:



Οι παραπάνω αντιδράσεις πραγματοποιούνται από όλων των ειδών τους οργανικούς ρύπους, που δύναται να περιέχονται στα προς επεξεργασία απορρίμματα. Ανάλογα με την σύσταση τους, παράγονται και διαφορετικά προϊόντα, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν οξείδια του αζώτου, υδροθείο, υδροχλώριο, υδροκυάνιο και άλλες επικίνδυνες ενώσεις που χρήζουν ειδικής επεξεργασίας πριν απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.

Τυπικά, η πυρόλυση των οξυγονωμένων υδρογονανθράκων σε στερεά μορφή λαμβάνει χώρα σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση :



Στη πυρόλυση των απορριμμάτων κύριο λόγο έχουν τα οργανικά υλικά. Εκτιμάται ότι το ποσοστό των οργανικών στα οικιακά απορρίμματα κυμαίνεται μεταξύ 50% - 60% (χαρτί, υπολείμματα κουζίνας, δέρμα, υφάσματα, ξύλο). Το μεγαλύτερο μέρος των υλικών τα οποία περιέχουν άνθρακα αποτελείται από κυτταρίνη.

Άλλη μια επίσης σπουδαία παράμετρος είναι η υγρασία των απορριμμάτων η οποία στα ελληνικά απορρίμματα είναι μεγαλύτερη του 30%. Κατά την πυρόλυση των απορριμμάτων παράγονται τα προϊόντα κωκ, καύσιμη ύλη, αέριο και νερό. Η ποσότητα και ποιότητα αυτών των προϊόντων εξαρτώνται από την πρώτη ύλη (απορρίμματα), τον αντιδραστήρα και τις συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης.

Η πίσσα περιέχει πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, ενώ το κωκ δεν αποτελείται από καθαρό άνθρακα αλλά περιέχει και υδρογόνο και οξυγόνο.

Οι περισσότερες οργανικές ουσίες στα απορρίμματα πυρολύονται κατά 75 - 90% σε πτητικά και 10 - 25% σε κωκ. Λόγω όμως της παρουσίας υγρασίας και ανόργανων ουσιών η ποσότητα των πτητικών κυμαίνεται από 60 - 70% και του κωκ από 30 - 40%.

Εκτός των βασικών αερίων CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O κλπ, υπάρχουν ακόμη αμίνες, αλογονούχοι υδρογονάνθρακες καθώς ρίζες υδροξειδίων κ.α.

Στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την πυρόλυση των ΑΣΑ, οι οποίες κυμαίνονται από 100°C έως 900°C, έχουμε την απομάκρυνση των πτητικών ενώσεων και την διάσπαση πολύπλοκων υδρογονανθράκων σε απλούστερες ενώσεις. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται και ανθρακοποίηση χαμηλής θερμότητας ή καταστρεπτική διύλιση. Στον Πίνακα 2.1

παρουσιάζονται οι επιμέρους αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την πυρολυτική αποδόμηση οργανικών ενώσεων.

Τα παραγόμενα προϊόντα διαφέρουν στη σύνθεσή τους και εξαρτώνται από τη θερμοκρασία της αντίδρασης, την πίεση στον αντιδραστήρα και την ποσότητα του αέρα η οποία εισέρχεται στον αντιδραστήρα.

*Πίνακας 2.1: Χημικές αντιδράσεις ανάλογα της θερμοκρασίας*

Θερμοκρασία (°C)	Χημική αντίδραση
100 έως 120	Θερμική ξήρανση, αφυδάτωση
250	Αναγωγή, αποθείωση, μοριακή διάσπαση H <sub>2</sub> O και CO <sub>2</sub> , διάσπαση πολυμερισμένων μορίων, έναρξη διαχωρισμού H <sub>2</sub> S
340	Διάσπαση δεσμών αλειφατικών ενώσεων, έναρξη διάσπασης μεθανίου και άλλων αλειφατικών ενώσεων
380	Φάση ανθρακοποίησης ,συγκέντρωση άνθρακα στα υπολείμματα
400	Διάσπαση δεσμών άνθρακα - οξυγόνου και άνθρακα - αζώτου
400 έως 600	Αποσύνθεση ασφαλούχων υλικών προς σχηματισμό χαμηλής θερμοκρασίας ελαιώδους φάσης και πίσσας
600	Διάσπαση ασφαλούχων υλικών προς θερμοανθεκτικά υλικά (αέρια, μικρής αλυσίδας υδρογονάνθρακες ),σχηματισμός αρωματικών ενώσεων (προϊόντων βενζολίου)
>600	Διαμερισμός ολεφινών (αιθυλενίου) σε βουτυλένιο , αφυδρογόνωση προς σχηματισμό βουταδιένιου, αντίδραση αιθυλενίου προς σχηματισμό κυκλοεξανίου, θερμική αρωματοποίηση προς σχηματισμό βενζολίου και αρωματικών ενώσεων υψηλής πυκνότητας

Και κατά την πυρόλυση ή οποιαδήποτε άλλη θερμική επεξεργασία π.χ. πλάσμα κλπ. ισχύουν οι οριακές τιμές εκ πομπών της καύσης.

Ο έλεγχος των μονάδων θερμικής επεξεργασίας επιτυγχάνεται κυρίως:

α) με διορθωτικό σύστημα ( η διόρθωση βασίζεται στις μετρήσεις) και

β) με προχωρημένο σύστημα (ο έλεγχος προσαρμόζεται στα εισαγόμενα απορρίμματα).

Ένα αποτελεσματικό σύστημα ελέγχου πρέπει να προλαμβάνει και να αποκλείει τις αρνητικές

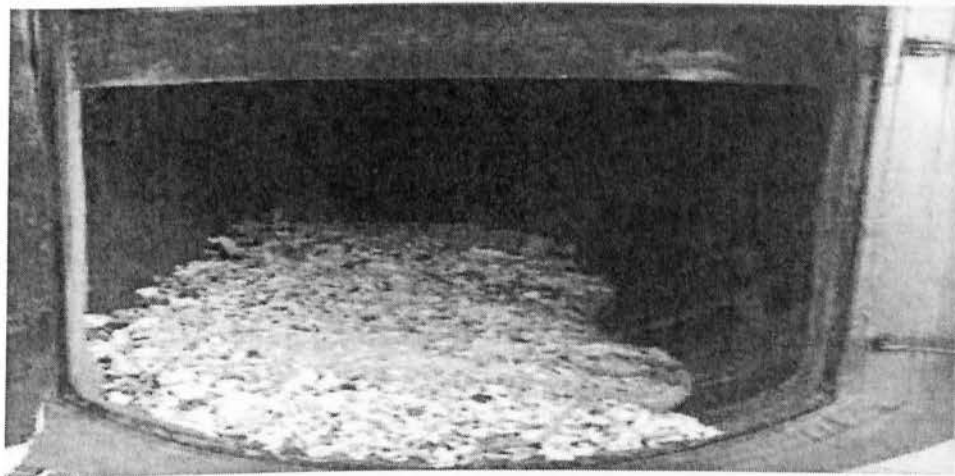
συνέπειες από την αρχή, δηλαδή πριν φθάσουν τα απορρίμματα στο σύστημα τροφοδοσίας των εσχάρων οι βασικές αποκλίσεις προέρχονται κυρίως από τη θερμογόνο τιμή, την υγρασία των απορριμμάτων κλπ.

Σε κάθε έλεγχο λειτουργίας της εγκατάστασης προσδιορίζονται οι εξής παράμετροι:

1. Ροή αέρα και ατμού
2. Πίεση ατμού και αερίων
3. Θερμοκρασίες στην εστία καύσης
4. Τροφοδοσία και κατανομή του αέρα στον λέβητα
5. Σύνθεση καπναερίων
6. Θερμοκρασίες καπναερίων
7. Τροφοδοσία χημικών για το σύστημα καθαρισμού αερίου

Με την πυρόλυση των στερεών απορριμμάτων σχηματίζονται τα εξής προϊόντα :

- Αέρια : κυρίως υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, κ.α. ανάλογα με την σύσταση των απορριμμάτων
- Υγρά : ελαιώδες κλάσμα με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες, που περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη), καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες
- Στερεά : σχεδόν καθαρός άνθρακας (κωκ) και αδρανή υλικά (γυαλί, μέταλλα, κ.α.), που υπάρχουν στα απορρίμματα.



Σχήμα 2.14 : Φωτογραφία μετά την πυρόλυση

Στον ακόλουθο Πίνακα 2.2 φαίνεται το ισοζύγιο των υλικών πυρόλυσης.

*Πίνακας 2.2: Ισοζύγιο υλικών πυρόλυσης*

Θερμοκρασία (°C)	Απορρίμματα (kg)	Αέρια (kg)	Οξέα και πίσσες (kg)	Υπόλειμμα (kg)	Τελική μάζα (kg)
480	100	12,33	61,08	24,71	98,12
650	100	18,64	59,18	21,80	99,62
800	100	23,69	59,67	17,24	100,59
900	100	24,36	58,70	17,67	100,73

Με περαιτέρω επεξεργασία τα υγρά προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνθετικό κάψιμο, καθώς το ενεργειακό περιεχόμενο τους εκτιμάται γύρω στα 1,6 MJ/kg. Το ενεργειακό περιεχόμενο των παραγόμενων απαερίων, ανάλογα με το υλικό εισόδου, κυμαίνεται μεταξύ 12.500 και 46.000kJ/Nm<sup>3</sup>.

Επιπλέον, τα παραγόμενα στερεά μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω για την ανάκτηση υλικών.

Αν η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε χαμηλές θερμοκρασίες (~500°C), τότε στα απαέρια υπάρχουν και αρωματικές ενώσεις και φαινόλες. Για τον λόγο αυτό, τις περισσότερες φορές η πυρόλυση συνδυάζεται με την διεργασία της αποτέφρωσης των παραγομένων απαερίων σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η αναλογία των προαναφερόμενων προϊόντων εξαρτάται σημαντικά από τις κάτωθι παραμέτρους:

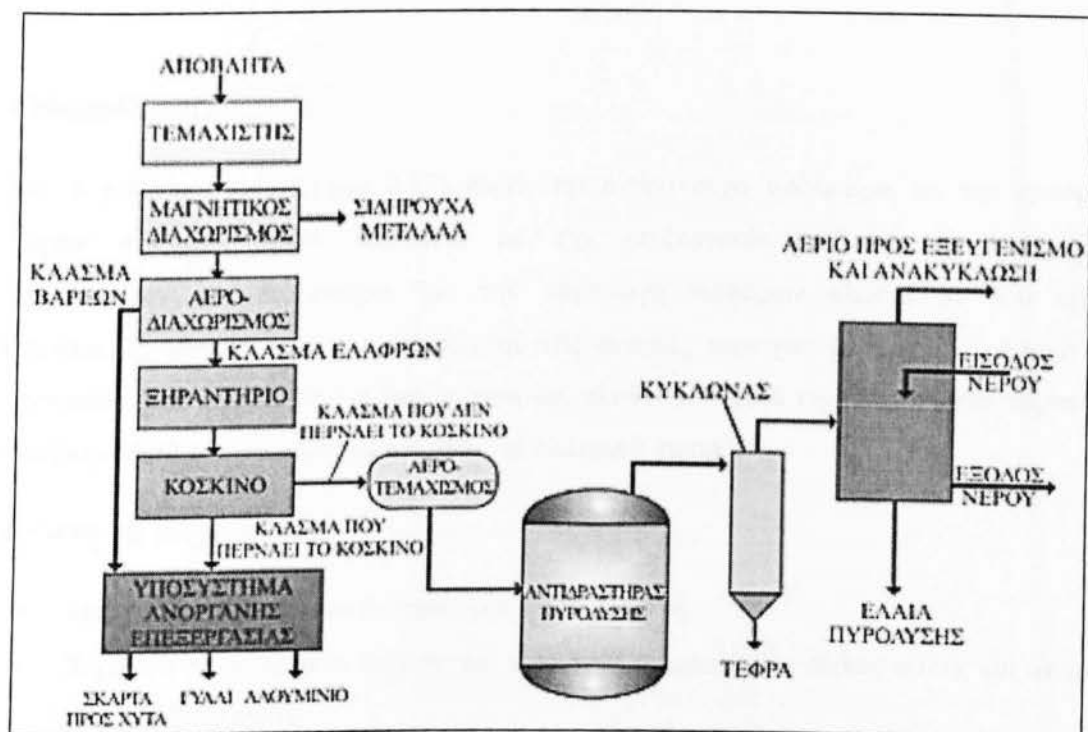
- τη σύστασή του απόβλητου
- τις συνθήκες θέρμανσης
- τη θερμοκρασία πυρόλυσης
- τον χρόνο αντίδρασης

Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει αισθητά το στερεό υπόλειμμα, ελαττώνει το υγρό κλάσμα και αυξάνει τα αέρια προϊόντα. Στον παρακάτω Πίνακα 2.3 εμφανίζεται η σύνθεση αερίων πυρόλυσης σε σχέση με την θερμοκρασία.

Πίνακας 2.3 : Ποσοστά αερίων σε σχέση με την θερμοκρασία

Αέρια (% κατά όγκο)	500°C	650°C	800°C	900°C
H	5,56	16,58	28,55	32,48
CH <sub>4</sub>	12,43	15,91	13,73	10,45
CO	33,50	30,49	34,12	35,25
CO <sub>2</sub>	44,77	31,78	20,59	18,31
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,45	2,18	2,24	2,43
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,03	3,06	0,77	1,07
Σύνολο	99,74	100,00	100,00	99,99

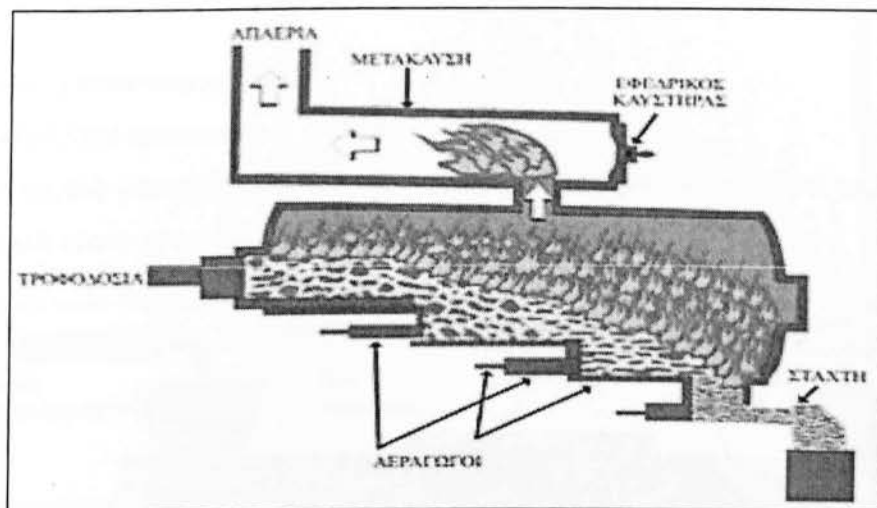
Για την εφαρμογή της διεργασίας της πυρόλυσης απαιτείται προ επεξεργασία των απορριμμάτων (απομάκρυνση μετάλλων, γυαλιού κ.α.) (Σχήμα 2.15), έτσι ώστε στο θάλαμο πυρόλυσης να οδηγείται μόνο το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων.



Σχήμα 2.15 : Διάγραμμα ροής της διεργασίας πυρόλυσης



Η πυρόλυση συνήθως λαμβάνει χώρα σε κοινούς αποτεφρωτήρες, όπου απλά αναπτύσσονται χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την αποτέφρωση, διαθέτοντας όμως τις ίδιες δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας και παράλληλα παραγωγής « καυσίμων » (αερίων και υγρών). Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας τυπικός πυρολυτικός αντιδραστήρας.



Σχήμα 2.16 : Πυρολυτικός αντιδραστήρας με ελεγχόμενη παροχή οξυγόνου [Γιδαράκος Ε. 2006]

## 2.4 Θερμόλυση

Κατά τη μέθοδο αυτή (Σχήμα 2.17) παράγεται ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία «carbor». Είναι παρόμοια με την επεξεργασία δύλισης (cracking) που χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια για την παραγωγή διαφόρων κλασμάτων του αργού πετρελαίου. Η τεχνική αυτή ανταποκρίνεται στις ανάγκες περιοχών με μικρό πληθυσμό και τουριστικών περιοχών με έντονη διακύμανση του πληθυσμού. Από την άποψη αυτή συζητιέται η καταλληλότητά της για περιπτώσεις όπως τα Ελληνικά νησιά.

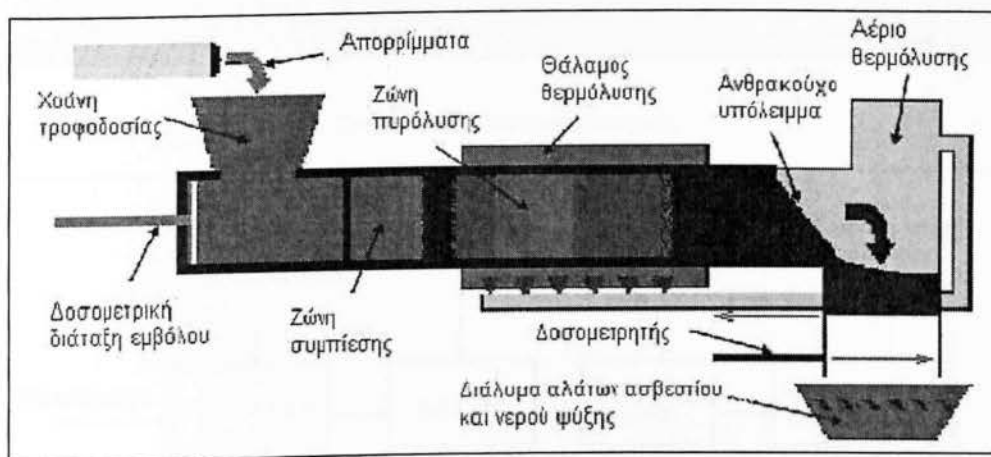
Τα στάδια της μεθόδου είναι:

- Μηχανική επεξεργασία- διαχωρισμός -αποθήκευση.
- Ξήρανση σε εναλλάκτη θερμότητας αναρροής (διαχωρισμός αέριας φάσης και στερεάς προς αντιδραστήρα).
- Θερμόλυση της στερεάς φάσης στο θάλαμο (αποικοδόμηση στους 5000 °C).

- Επεξεργασία στερεών προϊόντων (αδρανών).
- Επεξεργασία της υλός.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:

- Η ανάκτηση των μετάλλων για επαναχρησιμοποίηση (αν δεν έχουν φτάσει στο σημείο τήξης).
- Η μικρή κατανάλωση ύδατος.
- Η παραγωγή εμπορεύσιμου Carbor.
- Το χαμηλό ρυπαντικό φορτίο των παραγόμενων υγρών και αερίων αποβλήτων. Τα χαμηλά κόστη κατασκευής και επεξεργασίας.

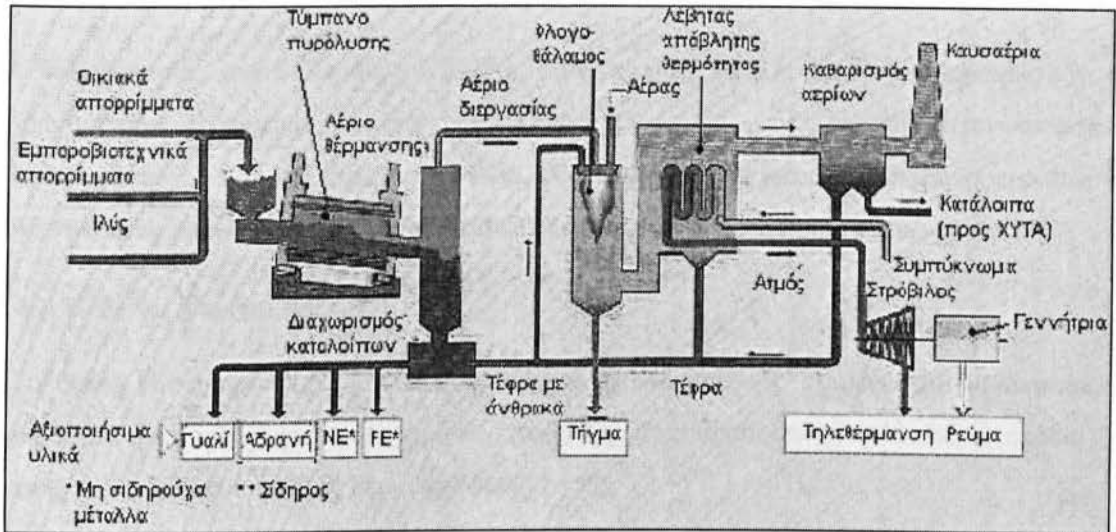


Σχήμα 2.17 : Η μέθοδος της θερμόλυσης [Μουσιόπουλος Ν.-Καραγιαννίδης Α.2002]

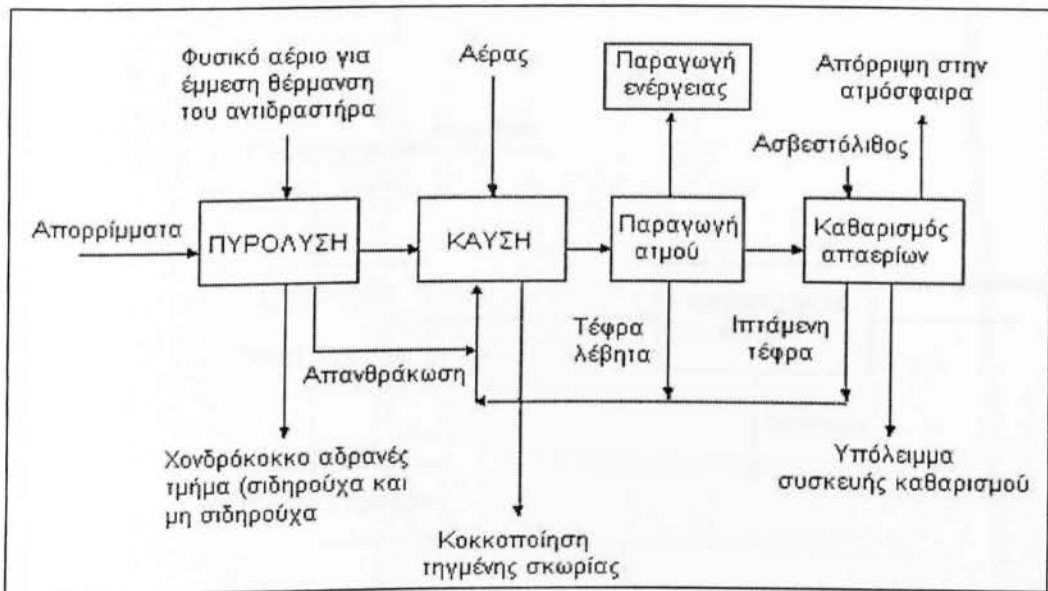
Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του CARBOR μοιάζουν με αυτά του λιγνίτη ενώ συγκρινόμενο με συμβατικά βιομηχανικά καύσιμα, παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα της χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε κλιβάνους (τσιμεντοβιομηχανία, πλινθοποιία), χωρίς ιδιαίτερες επενδύσεις για την αποθήκευσή του.

#### 2.4.1 Μέθοδος Siemens

Η Siemens από τα μέσα της δεκαετίας του '90 ξεκίνησε στην Ευρώπη τη διεργασία της Θερμικής Ανακύκλωσης Αποβλήτων (Thermal Waste Recycling Process). Είναι μια διαδικασία κατάλληλη για την επεξεργασία αστικών απορριμμάτων, αστικών λυμάτων και υλός και αυτή τη στιγμή στην Ιαπωνία υπάρχουν 7 νεόδμητες εγκαταστάσεις σε λειτουργία που επεξεργάζονται από 150 έως 450 τόνους ΑΣΑ την ημέρα.



Σχήμα 2.18 : Μονάδα Siemens



Σχήμα 2.19 : Διάγραμμα ροής μεθόδου Siemens

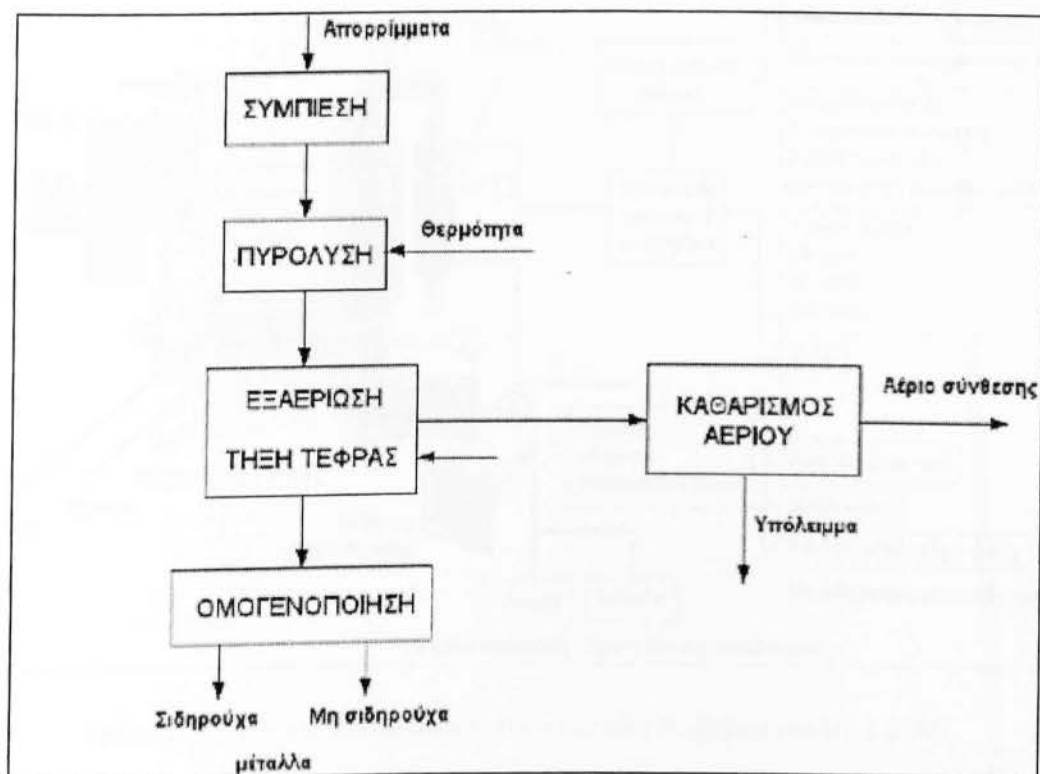
Η διεργασία αυτή απαιτεί προεπεξεργασία των απορριμμάτων με περιστροφικό κόπτη και αποτελεί ένα συνδυασμό της πυρόλυσης και της αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν οριζόντιο αντιδραστήρα μέσα στον οποίο τα απόβλητα πυρολύονται σε θερμοκρασία 450°C για περίπου μια ώρα. Στη συνέχεια τα παραχθέντα αέρια της πυρόλυσης καίγονται μαζί με την τέφρα της πυρόλυσης σε ένα θάλαμο αποτέφρωσης που λειτουργεί σε

θερμοκρασία 1300 °C. Η παραγόμενη ενέργεια στο θάλαμο ανάφλεξης χρησιμοποιείται για την αύξηση του ρεύματος στους 400°C για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήματα 2.18-2.19).

Οι θερμοκρασίες του θαλάμου ανάφλεξης είναι αρκετά υψηλές ώστε να μετατρέψουν την αδρανή τέφρα σε σκωρία η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή οδοστρωμάτων. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι το σύστημα μπορεί να παράγει περίπου 405 kWh ανά τόνο αποβλήτων, κάτι που αντιστοιχεί σε ποσοστό απόδοσης της τάξης του 17% .

#### 2.4.2 Μέθοδος Thermoselect

Η μέθοδος Thermoselect (Σχήμα 2.20) πρωτοεμφανίστηκε το 1989 και είναι μια διαδικασία που συνδυάζει ήπια πυρόλυση (στο πρώτο στάδιο) με αεριοποίηση (στο δεύτερο στάδιο) με προσαγωγή οξυγόνου υψηλής θερμοκρασίας.

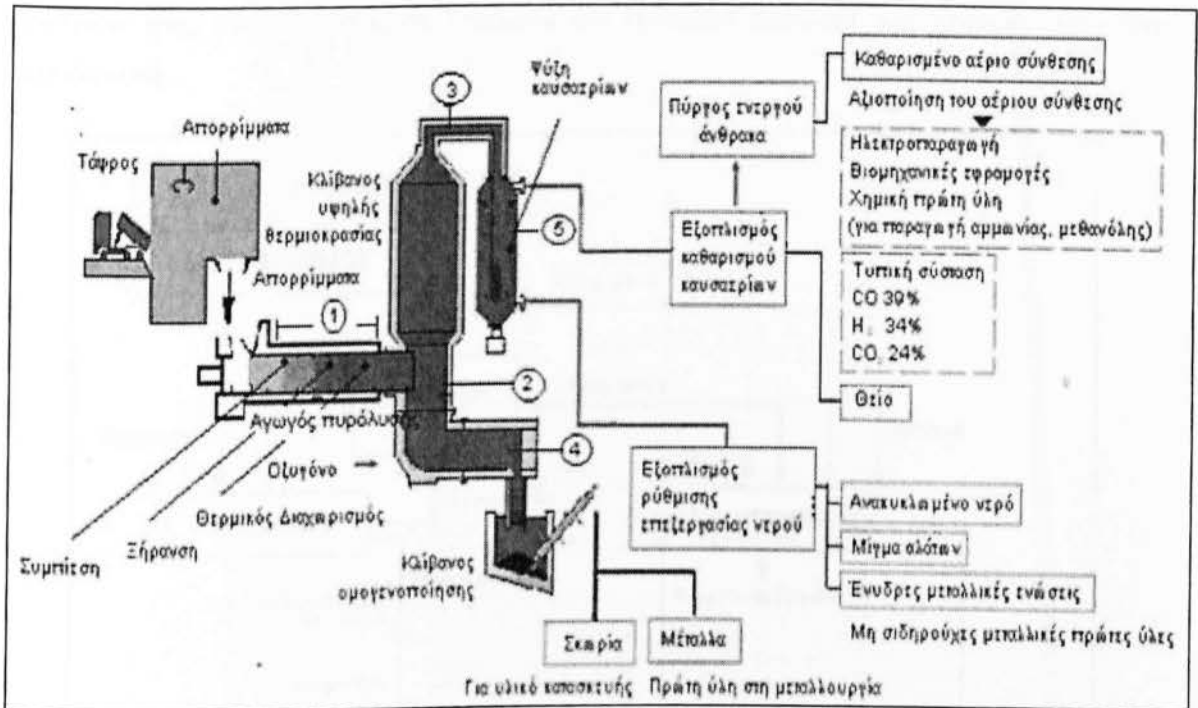


Σχήμα 2.20 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου Thermoselect

Ένα από τα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι απαιτείται ελάχιστη ή μηδενική προεπεξεργασία των αποβλήτων. Στη διεργασία αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΑΣΑ χωρίς καμιά διαλογή. Τα απόβλητα τοποθετούνται σε ένα θάλαμο, όπου μέσω υδραυλικής πίεσης συμπιέζονται στο ένα πέμπτο του αρχικού τους όγκου. Στη συνέχεια διέρχονται διαμέσου ενός

θερμαινόμενου κυλινδρικού καναλιού θερμοκρασίας 300°C όπου λαμβάνει χώρα η ξήρανσή τους και η πυρόλυση.

Στο τέλος του οριζώντιου αυτού σωληνωτού αντιδραστήρα, τα στερεά υλικά εισέρχονται σε έναν υψηλής θερμοκρασίας οξυγόνου αεριοποιητή. Τα αέρια και τα στερεά πυρολυτικά προϊόντα αεριοποιούνται στη συνέχεια σε θερμοκρασία 1200 °C στην κορυφή του αεριοποιητή και υαλοποιούνται σε θερμοκρασίες 2000 °C στο κάτω μέρος του αεριοποιητή. Το μίγμα των αερίων εξέρχεται από τον αντιδραστήρα με θερμοκρασία 1200°C και ψύχεται απότομα με τη χρήση νερού σε θερμοκρασία κάτω των 70°C σε λιγότερο από ένα τρίτο του δευτερολέπτου. Τα αέρια στη συνέχεια καθαρίζονται με τη χρήση ενός συνδυασμού φίλτρων και ενεργού άνθρακα και ψύχονται περαιτέρω για την μείωση της υγρασίας τους (Σχήμα 2.21).



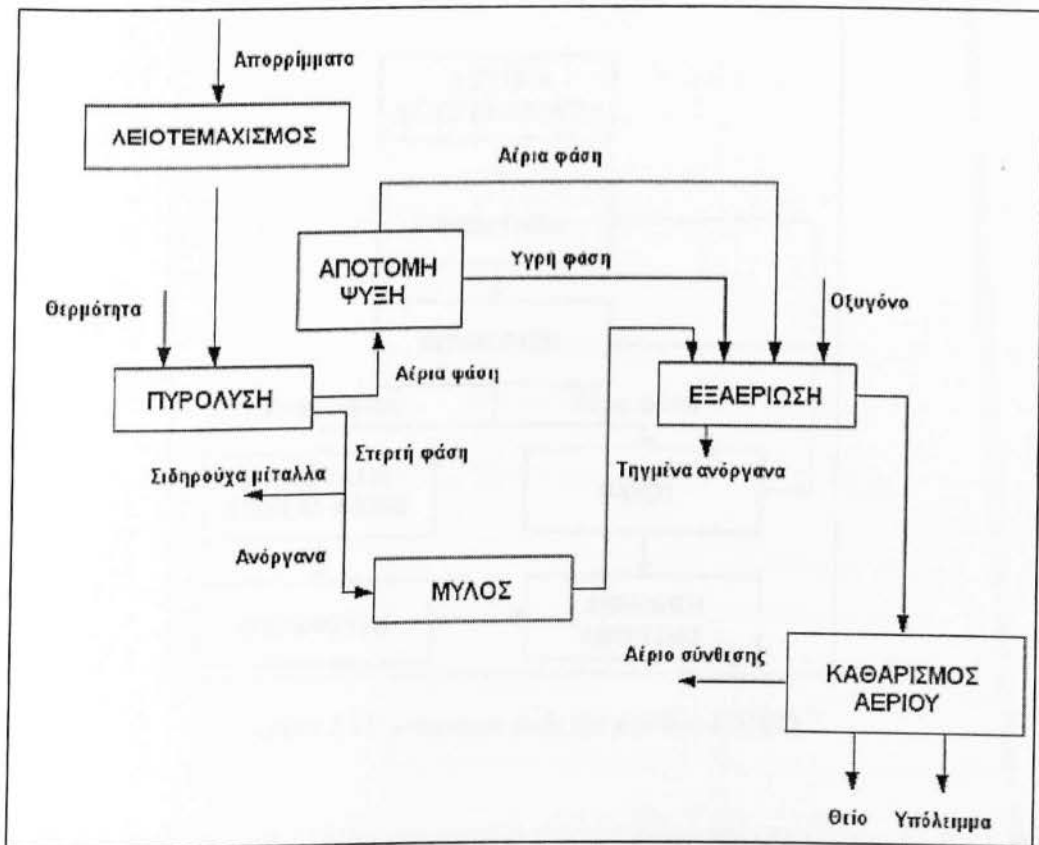
Σχήμα 2.21 : Μονάδα Thermoselect [Μουσιόπουλος Ν.-Καραγιαννίδης Α.2002]

Το παραγόμενο μίγμα αερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έρευνες έχουν δείξει [Malkow, 2004] ότι το σύστημα μπορεί να έχει απόδοση, που κυμαίνεται από 11 - 40 % εξαρτώμενη από τον κύκλο παραγωγής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί. Σε ένα από τα εργοστάσια που χρησιμοποιείται στην Ιταλία παράγεται ενέργεια 200-500 kWh ανά τόνο αποβλήτων με κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 12 MJ/kg.

### 2.4.3 Μέθοδος Noell

Η μέθοδος NOELL είναι μια θερμική διεργασία δύο βημάτων όπου τα απόβλητα αρχικά πυρολύονται μέσα σε έναν εξωτερικά θερμαινόμενο περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία περίπου 550°C, για περίπου μια ώρα και στη συνέχεια αεριοποιούνται με τη χρήση οξυγόνου σε θερμοκρασίες 1400-2000°C και πιέσεις 2-50 ατμοσφαιρών (Σχήμα 2.22).

Εκτός από ΑΣΑ η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για βιομηχανικά όσο και για επικίνδυνα απόβλητα. Το παραγόμενο αέριο είναι μέσης θερμικής αξίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα αέρια. Ένα μέρος του αερίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του περιστρεφόμενου κλιβάνου. Η απόδοση του συστήματος φτάνει το 13% που είναι ένα καλό ποσοστό για μικρού μεγέθους εφαρμογές. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τρεις εγκαταστάσεις σε Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο που χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή.



Σχήμα 2.22 : Το διάγραμμα ροής της μεθόδου Noell

#### 2.4.4 Μέθοδος EDDITH

Η μέθοδος EDDITH (Σχήμα) βασίζεται σε μια διάταξη πυρολυτικού περιστρεφόμενου τυμπάνου. Μετά τη διαλογή και την ξήρανή τους, τα απόβλητα εισέρχονται στο περιστρεφόμενο πυρολυτικό τύμπανο όπου και πυρολύονται σε θερμοκρασία 450 - 550°C με χρόνο παραμονής περίπου τριάντα λεπτά. Το παραγόμενο αέριο καίγεται σε θερμοκρασία 1100°C ώστε να δώσει την απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανή του ατμού.

Η μέθοδος αποτελείται από τα παρακάτω τρία βασικά στάδια:

- (α) Επεξεργασία απορριμμάτων.
- (β) Θερμόλυση.
- (γ) Επεξεργασία και αποθήκευση στερεού καυσίμου.



Σχήμα 2.23: Διάγραμμα ροής της μεθόδου EDDITH

Η εταιρία που εφαρμόζει τη μέθοδο υποστηρίζει ότι το ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία carbor μπορεί να καθαριστεί και να διαχωριστεί από μέταλλα, άλλα αδρανή και διαλυτά άλατα και να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο. Ακόμα όμως και αν ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικός φαίνεται ότι αυτό θα γίνει με μεγάλο οικονομικό και ενεργειακό κόστος, κάτι που το καθιστά μη ενδεδειγμένη λύση.

Σήμερα, υπάρχουν δύο εργοστάσια που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία στη Γαλλία και τρία στην Ιαπωνία.

#### 2.4.5 Μέθοδος Von Roll

Η εταιρία Von Roll έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους επεξεργασίας για μια μεγάλη ποικιλία αποβλήτων (Σχήμα 2.24). Ακολουθώς παρουσιάζεται μία από αυτές .



Σχήμα 2.24 : Τεχνολογίες Δ.Α. από την εταιρεία Van Roll

#### 2.4.6 Διεργασία RCP

Η διεργασία RCP (Recycled Clean Product) είναι μια διεργασία κινούμενων εσχαρών και τήξεως και έχει εφαρμογή στην επεξεργασία ΑΣΑ, υπολειπόμενων απορριμμάτων από ανακύκλωση και τεμαχισμένα υπολείμματα αυτοκινήτων. Η μέθοδος αυτή αποτελείται ουσιαστικά από τρία βήματα τα οποία περιλαμβάνουν ένα θάλαμο πυρόλυσης με σχάρες που λειτουργεί σε θερμοκρασία περίπου 500°C, έναν οξειδοαναγωγικό κλίβανο τήξεως και έναν περιστρεφόμενο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης.

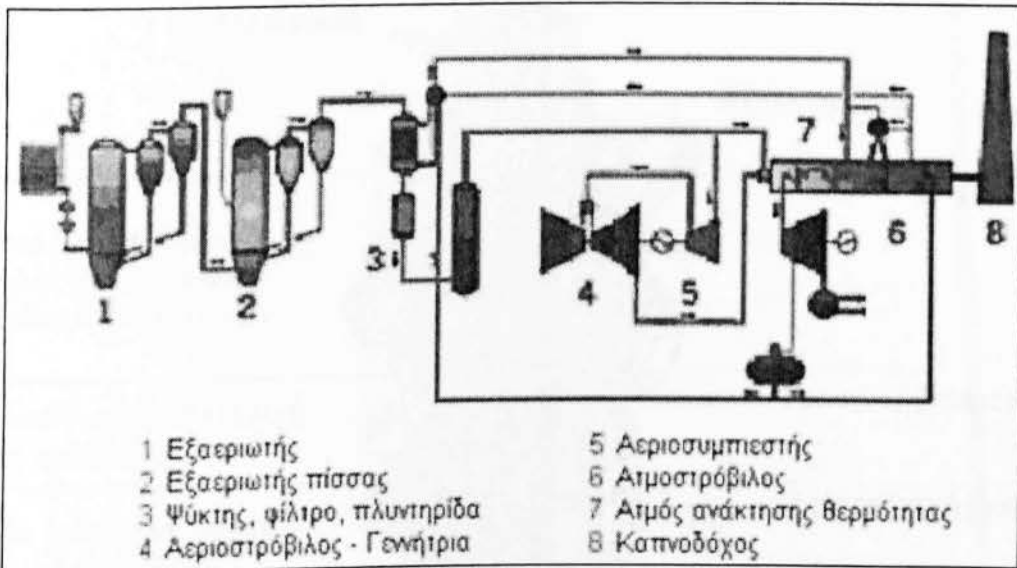
Αρχικά λαμβάνει χώρα η πυρόλυση και στη συνέχεια το πυρολυτικό κωκ και τα όποια μη χρησιμοποιημένα πυρολυτικά αέρια εισέρχονται στον κλίβανο τήξεως όπου οι υψηλές



θερμοκρασίες και το προστιθέμενο οξυγόνο προκαλούν την τήξη όλων των στερεών υλικών. Τα υπολειπόμενα αέρια από τον κλίβανο αναφλέγονται μετέπειτα στον περιστρεφόμενο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης σε θερμοκρασίες  $<1000^{\circ}\text{C}$ . Η μέθοδος στοχεύει στην αξιοποίηση της σκωρίας από τη τσιμεντοβιομηχανία και για αυτό προσανατολίζεται κυρίως στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων. Αν και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή είναι γνωστές ο συνδυασμός τους οδηγεί στην αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Στη Γερμανία αυτή τη στιγμή λειτουργεί μια μικρή εγκατάσταση που χρησιμοποιεί τη μέθοδο αυτή πιλοτικά.

#### 2.4.7 Μέθοδος TPS

Η τεχνολογία TPS (Terminska Processor) (Σχήμα 2.25) χρησιμοποιεί μια διαδικασία αεριοποίησης με τη βοήθεια ενός συνδυασμού αφρίζοντα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης και περιστρεφόμενου αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης που λειτουργούν σε θερμοκρασία  $850^{\circ}\text{C}$ , κάτω από το όριο τήξεως της τέφρας, και κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση. Οι αντιδραστήρες αυτοί τροφοδοτούνται με θερμό αέρα, τεμαχισμένα ΑΣΑ και πελλέτες RDF.



Σχήμα 2.25: Η διαδικασία αεριοποίησης TPS [Μουσιόπουλος Ν., Καραγιαννίδης Α., 2002].

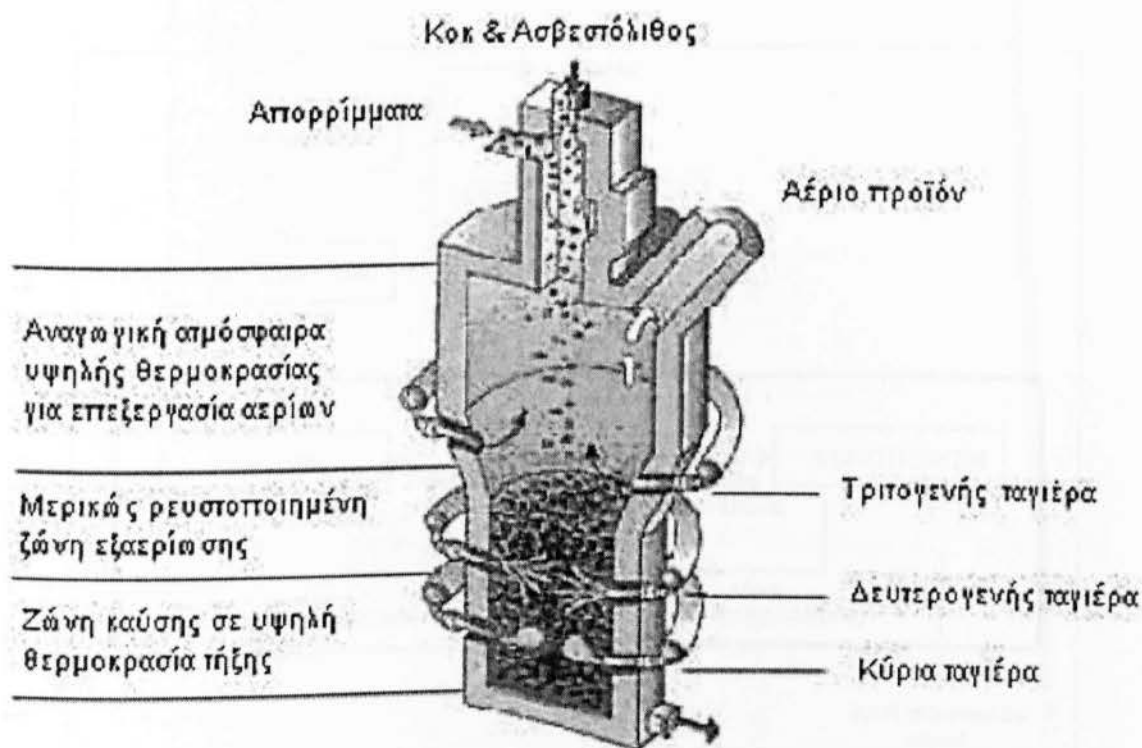
Ο αέρας χρησιμοποιείται ως παράγοντας αεριοποίησης/ρευστοποίησης. Ένα μέρος του αέρα εισέρχεται στον αεριοποιητή διαμέσου του κάτω μέρους του και το υπόλοιπο διαμέσου του πάνω μέρους του. Αυτός ο τρόπος διανομής του αέρα προκαλεί διαφορά πυκνότητας μέσα στο δοχείο. Στο κάτω τμήμα τα βαρύτερα τεμάχια έχουν αρκετό χρόνο παραμονής ώστε να αεριοποιηθούν ενώ στο πάνω μέρος τα ελαφρύτερα- μικρότερα τεμάχια μεταφέρονται στη ροή

του αερίου. Το αέριο και τα διαχωρισμένα αυτά στερεά στη συνέχεια οδηγούνται σε ένα θερμό κυκλώνα όπου τα στερεά απομακρύνονται και οδηγούνται εκ νέου στην ρευστοποιημένη κλίνη. Το αέριο εισέρχεται σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο ρευστοποιημένης κλίνης μέσα στον οποίο γίνεται το σπάσιμο της πίσσας και των υδρογονανθράκων. Το θερμό αέριο καθαρίζεται και αναφλέγεται σε ένα βραστήρα ή οδηγείται σε μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιλοτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν στην Ιταλία, τη Σουηδία και τη Βραζιλία.

#### 2.4.8 Μέθοδος NKK

Η NKK είναι μια μεγάλη ιαπωνική εταιρία που έχει αναπτύξει μια τεχνολογία τήξεως των απορριμμάτων χρησιμοποιώντας την αεριοποίηση. Η εγκατάσταση που λειτουργεί στηριζόμενη στη μέθοδο NKK (Σχήμα 2.26), αποτελείται από τρεις μονάδες αεριοποίησης και τήξης υψηλής θερμοκρασίας. Τα απορρίμματα αεριοποιούνται σε θερμοκρασίες  $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  και στη συνέχεια τήκονται σε κλίβανο.



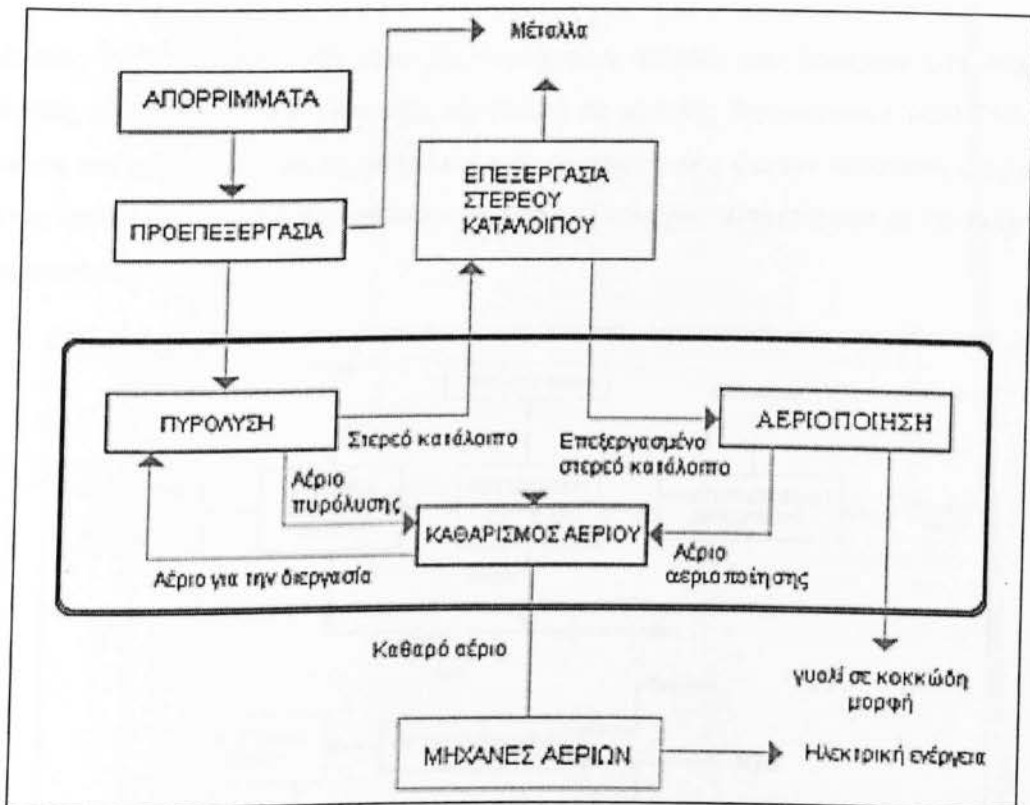
Σχήμα 2.26: Σχηματική παράσταση της μεθόδου NKK

Η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να επεξεργασθεί όχι μόνο οικιακά απορρίμματα αλλά και άλλα υλικά όπως κεραμικά και γυαλί και με τη πλήρη τήξη τους να προκύψει ανακυκλώσιμη τηγμένη λάσπη χωρίς μεταλλικά στοιχεία.

Στην Ιαπωνία λειτουργεί πιλοτικά μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο και επεξεργάζεται 1 τόνο ΑΣΑ / ώρα.

#### 2.4.9 Μέθοδος ΡΚΑ

Η μέθοδος ΡΚΑ (Pyrolyse Kraft Anlagen) είναι ένας συνδυασμός πυρόλυσης, αεριοποίησης, και τήξεως (Σχήμα). Τα ΑΣΑ προ επεξεργάζονται ώστε να αφαιρεθούν υλικά όπως γυαλί, μέταλλα και άλλα που μπορούν να ανακυκλωθούν. Η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία 500°C και χρόνο παραμονής περίπου μια ώρα. Μέρος του αερίου που παράγεται από τη διαδικασία χρησιμοποιείται για την εξωτερική θέρμανση του κλιβάνου. Το πυρολυτικό αέριο που περιέχει πίσσα στη συνέχεια αεριοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες 1200-1300 °C με την προσθήκη οξυγόνου και στη συνέχεια ψύχεται και καθαρίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της τελικής χρήσης. Από το πυρολυτικό στερεό κατάλοιπο μπορεί να γίνει ανάκτηση μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών.



Σχήμα 2.27: Διάγραμμα ροής της μεθόδου ΡΚΑ.

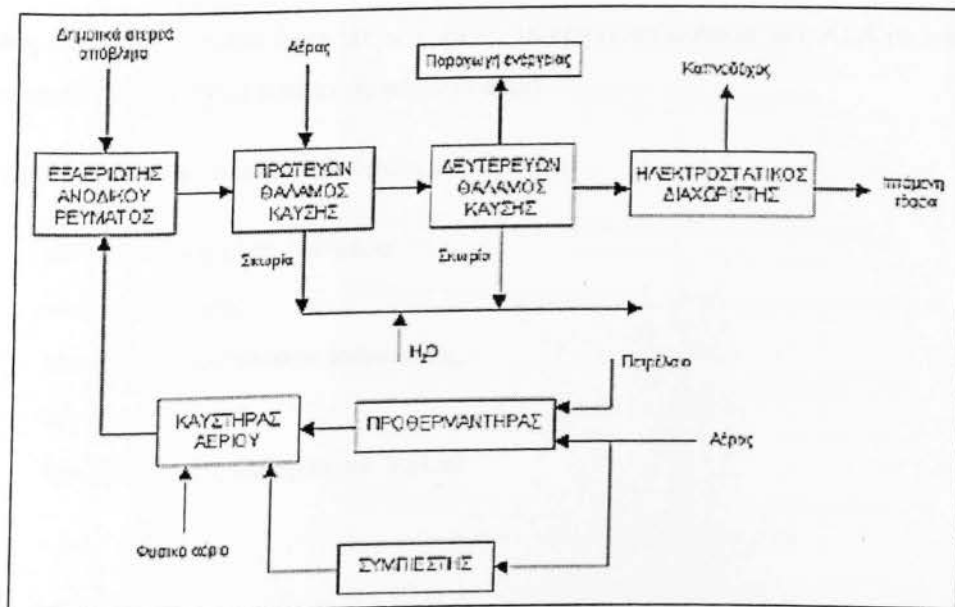
Η μέθοδος είναι κατάλληλη για την επεξεργασία των παρακάτω αποβλήτων:

- Χρησιμοποιημένα λάστιχα.
- Απόβλητα τεμαχισμού αυτοκινήτων.
- Υλικά συσκευασίας.
- Επικίνδυνα απόβλητα.
- Οικιακά απόβλητα.
- Απόβλητα βιολογικού καθαρισμού.

Η εταιρία Gibros PEC που ανέπτυξε την μέθοδο υποστηρίζει ότι η διεργασία έχει σχεδόν μηδενικές εκπομπές : όλα τα ρεύματα εξόδου ( παραγόμενο αέριο, μέταλλα, αδρανή) μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε προς πώληση είτε προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα υπάρχουν δύο συστήματα PKA εγκατεστημένα στη Γερμανία τα επεξεργάζονται περίπου 30.000 τόνους απορριμμάτων / έτος.

#### 2.4.10 Μέθοδος P.I.T. Pyroflam

Η μέθοδος P.I.T. (Σχήμα 2.28) είναι μία πυρολυτική μέθοδος που βασίζεται στη θέρμανση ποσότητας υδρογονανθράκων (απουσία οξυγόνου) σε χαμηλές θερμοκρασίες (450-750 C). Η θέρμανση των οργανικών έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπασή τους και την παραγωγή ενός αερίου και ενός υπολείμματος πλούσιου σε άνθρακα που στη συνέχεια μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο με αεριοποίηση.



Σχήμα 2.28: Διάγραμμα ροής της μεθόδου P.I.T.

Η μέθοδος στηρίζεται στην πυρόλυση υπό κενό και αναπτύχθηκε αρχικά με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας από χρησιμοποιημένα ελαστικά και ξύλο. Σήμερα, χρησιμοποιείται και για την επεξεργασία των δημοτικών και βιομηχανικών ΣΑ.

#### 2.4.11 Μέθοδος Nexus

Η διεργασία χρησιμοποιεί έναν περιστρεφόμενο κλίβανο και μπορεί να επεξεργαστεί ΑΣΑ, λάστιχα και μη επικίνδυνα απορρίμματα. Αρχικά, τα ΑΣΑ προ επεξεργάζονται για να ομογενοποιηθούν και στη συνέχεια εισέρχονται στον κλίβανο απουσία οξυγόνου. όπου πυρολύονται σε θερμοκρασία 650°C και πίεση 700 mbar. Ο χρόνος παραμονής στον κλίβανο κυμαίνεται ανάλογα με την υγρασία των απορριμμάτων και μπορεί να φτάσει έως τις οκτώ ώρες. Τέλος, ακολουθεί η ψύξη του στερεού υπολείμματος. Το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων μετατρέπεται μέσω της διαδικασίας αυτής σε ανθρακούχο υπόλειμμα πυρόλυσης, αέρια καύσης και υγρούς υδρογονάνθρακες.

Αυτή τη στιγμή στη Γαλλία λειτουργεί πιλοτικά ένα εργοστάσιο που επεξεργάζεται 5.500 τόνους ΑΣΑΙ έτος ενώ σχεδιάζεται ένα ακόμη δυναμικότητας 33.000 τόνων ΑΣΑ / έτος.

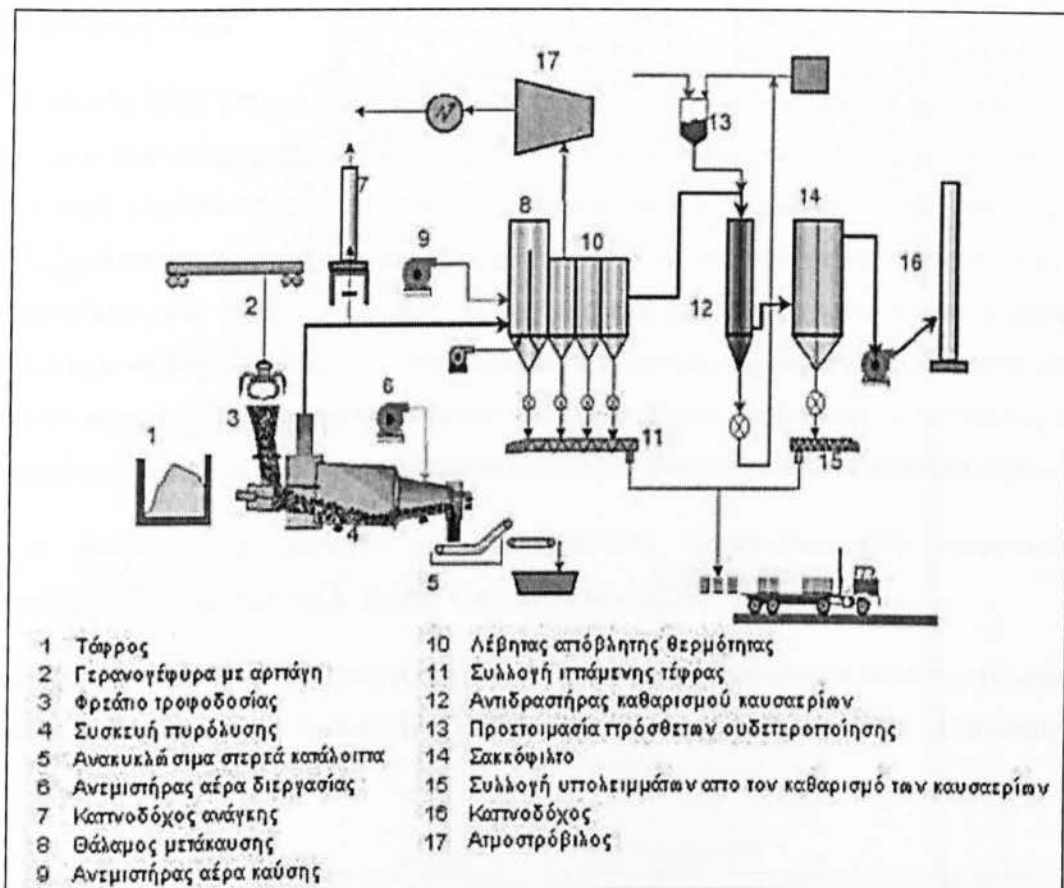
#### 2.4.12 Μέθοδος Andco Torrax

Η μέθοδος Andco Torrax (Σχήμα) αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ το 1968 από την εταιρία Touax Systems και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας μιας ποικιλίας αποβλήτων (δημοτικά, νοσοκομειακά, βιομηχανικά).

Η μέθοδος αυτή σχεδιάστηκε ώστε να μετατρέπει το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ σε αναφλέξιμο αέριο το οποίο στη συνέχεια μπορεί να παράγει ατμό.

Το σύστημα αποτελείται από πέντε κύριους παράγοντες:

- τον προθερμαντήρα του αέρα,
- τον αεριοποιητή,
- τον δευτερεύον θάλαμο ανάφλεξης,
- τον βραστήρα και
- τον εξοπλισμό καθαρισμού αερίων.



Σχήμα 2.29 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου Andco Torrax [Μουσιόπουλος Ν., Καραγιαννίδης Α., 2002]

Τα ΑΣΑ οδηγούνται στον αεριοποιητή ο οποίος είναι μια κυλινδρική στήλη με 12 έως 15 μέτρα ύψος και 1.8 έως 2.7 μέτρα διάμετρο. Τα απορρίμματα αρχικά ξηραίνονται, πυρολύονται σε θερμοκρασία έως 1100°C και μετατρέπονται σε αναφλέξιμα αέρια. Τα πυρολυτικά αέρια στη συνέχεια εγκαταλείπουν τον αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 400-500°C και εισέρχονται στον δευτερεύοντα θάλαμο ανάφλεξης όπου αναμιγνύονται με αέρα και καίγονται.

Τα αέρια που δημιουργούνται στη συνέχεια οδηγούνται στο βραστήρα για την παραγωγή ατμού. Ο ατμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα απαέρια οδηγούνται στα συστήματα καθαρισμού τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από ηλεκτροστατικούς κατακρημιστές.

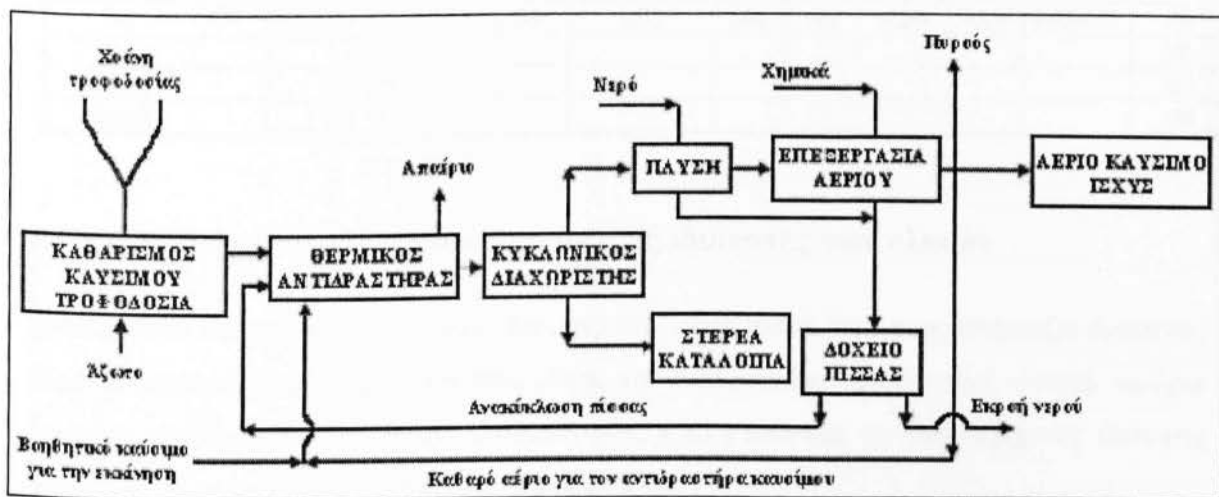
Σήμερα λειτουργούν 5 εργοστάσια σε Ευρώπη και ΗΠΑ στα οποία επιτυγχάνεται μείωση του όγκου των απορριμμάτων κατά 80-85% ενώ η ανάκτηση της ενέργειας σε θέρμανση και ηλεκτρισμό ανέρχεται στο 62-68%.

### 2.4.13 Μέθοδος WGT

Με τη μέθοδο WGT (Waste Gas Technology) (Σχήμα 2.30) επιτυγχάνεται η αεριοποίηση των συστατικών των απορριμμάτων που είναι πλούσια σε άνθρακα και η παραγωγή αερίου που διασπάται σε υδρογονάνθρακες μικρότερου μοριακού βάρους και υδρογόνο. Τα απορρίμματα αρχικά ξηραίνονται, προ επεξεργάζονται μηχανικά ώστε να αφαιρεθούν τα άκαυστα υλικά και κοκκοποιούνται στο βέλτιστο μέγεθος. Η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα σε ένα κυλινδρικό αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 700 - 900°C απουσία οξυγόνου. Τα αέρια από τον αντιδραστήρα πλένονται ώστε να απομακρυνθούν οι ρύποι και στη συνέχεια οδηγούνται σε γεννήτριες προς παραγωγή ενέργειας. Τα στερεά υπολείμματα αναφλέγονται επίσης σε ένα βραστήρα ατμού.

Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να επεξεργαστούν διαφορετικά ήδη απορριμμάτων συμπεριλαμβανομένων των ΑΣΑ, ιλύων, πλαστικών και ΔΞΥΛ.

Σήμερα στη Μεγάλη Βρετανία υπάρχει μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτή την τεχνολογία πιλοτικά [Evaluation of Conversion Technology Processes and Products. University of California, 2004].



Σχήμα 2.30 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου WGT (Waste Gas Technology).

### 2.4.14 Εκπομπές καινοτόμων τεχνολογιών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι εκπομπές διάφορων ρύπων από εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν κάποιες από τις προαναφερθέντες καινοτόμες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, σε σύγκριση με τα όρια που ισχύουν στις ΗΠΑ και στη Γερμανία. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται η απόδοσή τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

Από τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι οι μέθοδοι PKA, PIT και Thermoselect πληρούν όλα τα όρια τόσο του Γερμανικού όσο και του κανονισμού των Η.Π.Α για τις αέριες εκπομπές. Η μέθοδος Thide-Eddith υπερβαίνει τα όρια για τις εκπομπές NOx, SO2, και HCl ενώ η TPS υπερβαίνει μόνο το όριο για τις εκπομπές των NOx. Από πλευράς ενέργειας η απόδοση των διαφόρων διεργασιών κυμαίνεται από 250-700 kWh/Mg με μια μέση τιμή περίπου 450 kWh/Mg. Την καλύτερη απόδοση εμφανίζουν οι μέθοδοι Thermoselect και TPS. Σε κάθε περίπτωση η απόδοση μπορεί να αυξηθεί αν γίνει κατάλληλη προ επεξεργασία των απορριμμάτων και απομάκρυνση των ανόργανων υλικών ( Πίνακας 2.4).

**Πίνακας 2.4 :** Αποτελέσματα εκπομπών για εγκαταστάσεις διάφορων καινοτόμων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας και απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας

	PM mg/m <sup>3</sup>	NOx mg/m <sup>3</sup>	CO mg/m <sup>3</sup>	TOC mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup>	Dioxins/ furan (ng/ m <sup>3</sup> )	HCl mg/m <sup>3</sup>	HF mg/m <sup>3</sup>	Cd mg/m <sup>3</sup>	Pb mg/m <sup>3</sup>	Hg mg/m <sup>3</sup>	Ενέργεια kWh/Mg
Όρια US EPA	18,4	219,8	89,2		61,2		29,1		0,01533	0,1533	0,0613	
Όρια German (17thBImSchV)	10	200	50		50	0,10	10		0,03	0,50	0,03	
PKA	2,3	54	38	2,3	7,7	0,02	2,3	0,15	0,002		0,002	280
P.I.T.	4,2-5,2	61-189	0,5-2,5	0,2-0,5	0,0-5,6	0,002	1,7-5	<0,1			0,05	
Thermoselect	0,84	21,76	2,95		0,16	0,0007-0,0011			0,001	0,013	0,0018	450
Thide-Eddith		470	50	<15	<200		30	<1				
TPS	3-7	200-300	2,5-5		5-15	0,013	0,6-2	<0,1	<0,004	0,005	0,008-0,05	550
Nexus												390
Siemens												410
Von roll												380

## 2.5 Επίδραση υψηλών θερμοκρασιών στις ιδιότητες των υλικών

Είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στα υλικά δομήσεως επηρεάζει δυσμενώς τόσο τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους (όπως την θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, τα όρια διαρροής και θραύσεως, το μετρό ελαστικότητας κ.τ.λ.) όσο και τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους (αλλαγή της κρυσταλλικής δομής, πορώδες κ.λ.π.)

Συνέπεια αυτών των μεταβολών είναι αντίστοιχες μειώσεις στην φέρουσα ικανότητα των δομικών μελών, αύξηση των παραμορφώσεων τους υπό σταθερό φορτίο, ανακατανομές εντάσεως κ.λ.π.

### 2.5.1 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα δεν καίγεται, έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα, ενώ παρουσιάζει ενδόθερμες αντιδράσεις στον τσιμεντοπολιτό. Κατά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, παρουσιάζεται το φαινόμενο της αποφλοίωσης του σκυροδέματος λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής.



Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω :

- Αύξησης της πίεσης των πόρων που προκαλείται από τους υδρατμούς
- Θερμικής διαστολής των αδρανών

Η έκταση της αποφλοιώσης εξαρτάται από:

- Το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας
- Την ταχύτητα της θέρμανσης
- Το πορώδες και την περατότητα του επιφανειακού τμήματος του σκυροδέματος.

Η έκταση της αποφλοιώσης μειώνεται με :

- Την προσθήκη ινών προπυλενίων
- Τον ψεκασμό της επιφάνειας με υλικά που επιβραδύνουν την μετάδοση της θερμότητας
- Τοποθέτηση επιφανειακής μονωτικής επίστρωσης

Σε ότι αφορά τα ειδικά σκυροδέματα αναφέρεται ότι :

1. Το ελαφροσκυρόδεμα σε γενικές γραμμές παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά από το σύννηθες σκυρόδεμα.
2. Τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής παρουσιάζουν εντονότερη αποφλοιώση και μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση της αντοχής έναντι των συνήθων σκυροδεμάτων.
3. Το προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι πιο ευάλωτο λόγω :
  - Της μεγαλύτερης ευαισθησίας των χαλύβων προέντασης σε υψηλές θερμοκρασίες
  - Της απώλειας συνάφειας στις περιπτώσεις προεντεταμένης κλίνης (προκατασκευασμένα στοιχεία).
4. Στην περίπτωση των ινωπλισμένων σκυροδεμάτων : η αντοχή των επιφανειακών υφασμάτων έναντι πυρκαγιάς είναι πρακτικώς μηδενική, αλλά η παραμένουσα αντοχή της υπόλοιπης διατομής είναι συνήθως επαρκής.

## 2.5.2 Θερμικές ιδιότητες σκυροδέματος

Ειδική θερμότητα σκυροδέματος

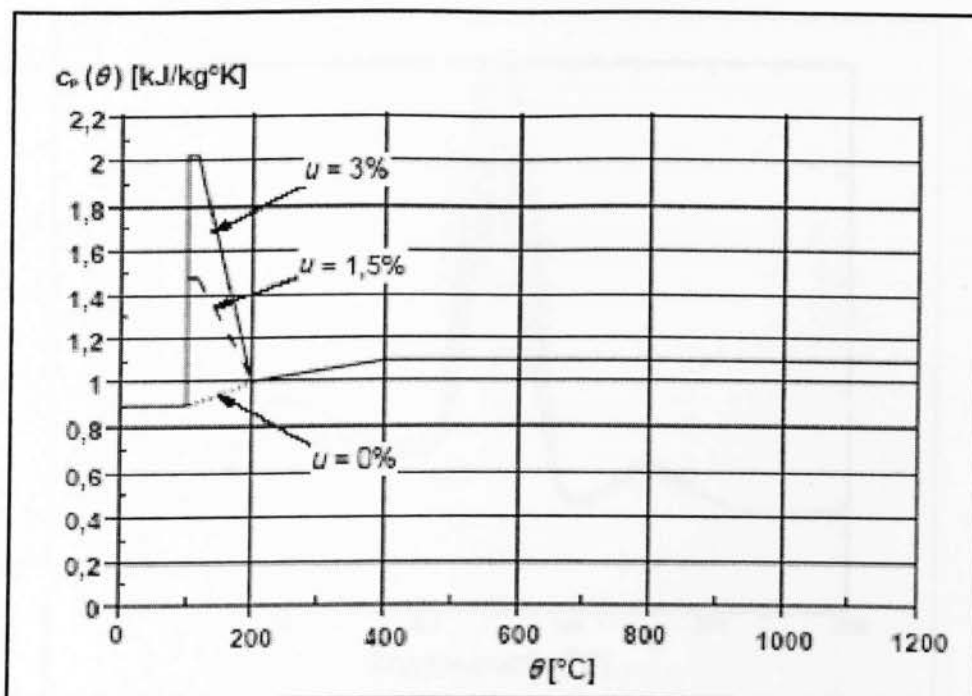
Ειδική θερμότητα σκυροδέματος  $c_p(\theta)$ , είναι το ποσό της θερμικής ενέργειας που απαιτείται για να ανέβει η θερμοκρασία του σκυροδέματος μάζας 1 kg κατά ένα βαθμό. Η ειδική θερμότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία  $\theta$ , αλλά και από την περιεχόμενη υγρασία  $u$ , ιδιαίτερα στην περιοχή των θερμοκρασιών από 100°C έως 200 °C λόγω του βρασμού και εξάτμισης του ύδατος.

Κατά τον Ευρωκώδικα 2, η ειδική θερμότητα μπορεί να λαμβάνεται (όταν  $u = 0\%$ )

$c_p(\theta) = 900 \text{ (J/kg K)}$	για $20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$	(1)
$c_p(\theta) = 900 + (\theta - 100) \text{ (J/kg K)}$	για $100^\circ\text{C} \leq \theta \leq 200^\circ\text{C}$	(2)
$c_p(\theta) = 1000 + (\theta - 200)/2 \text{ (J/kg K)}$	για $200^\circ\text{C} \leq \theta \leq 400^\circ\text{C}$	(3)
$c_p(\theta) = 1100 \text{ (J/kg K)}$	για $400^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$	(4)

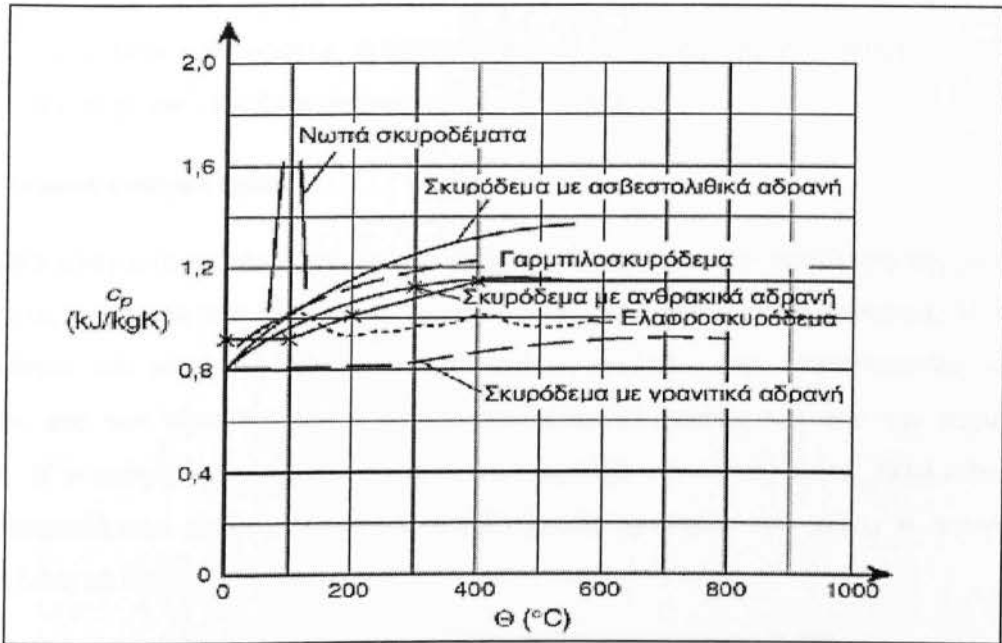
όπου:  $\theta$  είναι η θερμοκρασία του σκυροδέματος σε ( $^\circ\text{C}$ ).

Η γραφική παράσταση της  $c_p(\theta)$  σε (kJ/kgK) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

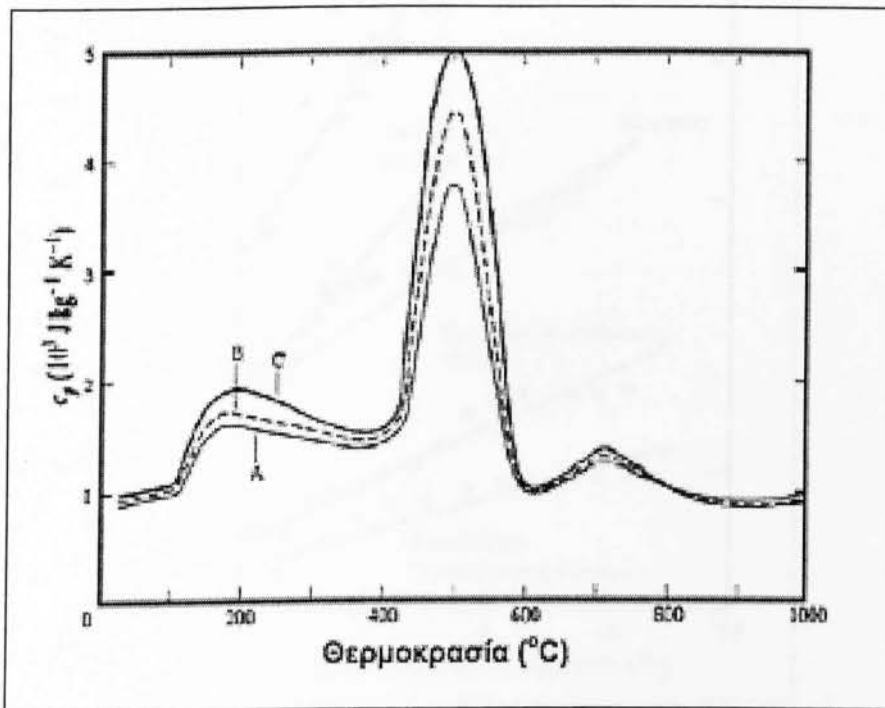


Σχήμα 2.31 : Μεταβολή της ειδικής θερμότητας,  $c_p(\theta)$  συναρτήσει της θερμοκρασίας,  $\theta$ , για τρία διαφορετικά ποσοστά της περιεχομένης υγρασίας ( $u=3\%$ ,  $1.5\%$  και  $0\%$ ) κατά τον Ευρωκώδικα 2.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή της ειδικής θερμότητας για διάφορους τύπους σκυροδεμάτων όπως έχει προκύψει από δοκιμές. Είναι και εδώ φανερό ότι η περιεχόμενη υγρασία επιδρά στην περιοχή των θερμοκρασιών από 100°C έως 200 °C.



Σχήμα 2.32: Μεταβολή της ειδικής θερμότητας,  $c_p(\theta)$ , του σκυροδέματος συναρτήσει της θερμοκρασίας,  $\theta$ , για διάφορους τύπους σκυροδεμάτων κατά Schneider

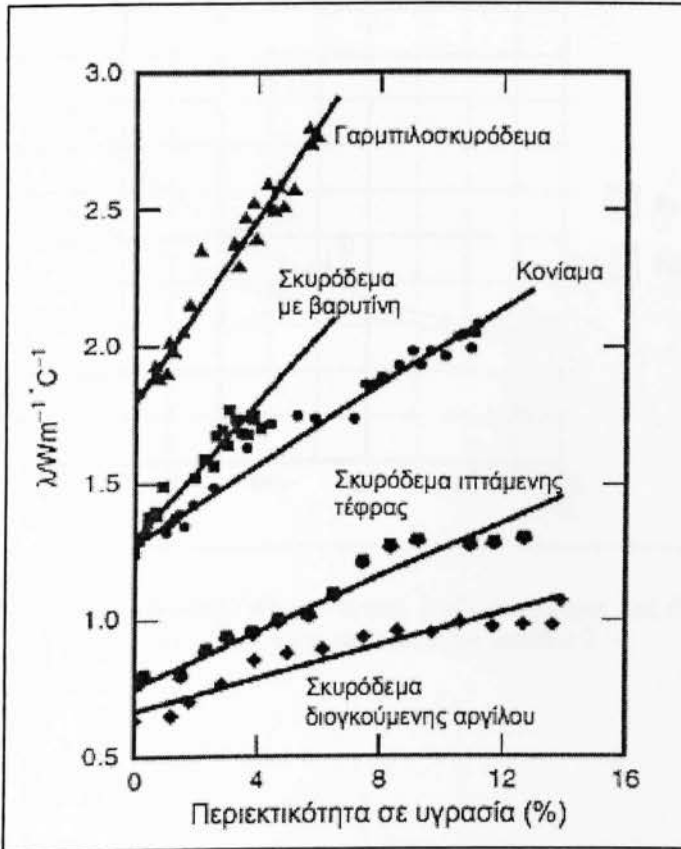


Σχήμα 2.33: Μεταβολή της ειδικής θερμότητας,  $c_p(\theta)$  συναρτήσει της θερμοκρασίας,  $\theta$ , τριών διαφορετικών τσιμεντοκονιαμάτων. (Harmathy, 1970)

Ο Harmathy (1970) έχει μελετήσει την μεταβολή της ειδικής θερμότητας του τσιμεντοκονιάματος. Οι αιχμές κοντά στους 500°C, αντιστοιχούν στην απελευθέρωση του δεσμευμένου ύδατος. Το πλάτος και το ύψος τέτοιων αιχμών εξαρτώνται σημαντικά από τον ρυθμό θέρμανσης. Ειδικώς για συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οι Fu και Chung μέτρησαν την ειδική θερμότητα τσιμεντοκονίας με αναλογία νερού / τσιμέντου 0.45 και πυκνότητα 1.99 gr/cm<sup>3</sup>, και βρήκαν τιμή περίπου 0.7 J/grK .

### 2.5.3 Θερμική αγωγιμότητα

Η θερμική αγωγιμότητα είναι μια βασική θερμική ιδιότητα για την πρόβλεψη της μεταφοράς θερμότητας δια μέσω της μάζας του σκυροδέματος που εκτίθεται σε πυρκαγιά. Η θερμική αγωγιμότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από το πορώδες της τσιμεντοκονίας και των αδρανών, από τον τύπο και την ποσότητα των αδρανών, καθώς και από την περιεχομένη υγρασία. Η πυκνότητα γενικώς δεν φαίνεται να επηρεάζει την αγωγιμότητα, αλλά ειδικώς στα ελαφροσκυροδέματα (λόγω της μικρής θερμικής αγωγιμότητας του αέρα) η αγωγιμότητα μεταβάλλεται με την πυκνότητα.



Σχήμα 2.34 : Η θερμική αγωγιμότητα σκυροδεμάτων συναρτήσει της περιεκτικότητας τους σε υγρασία

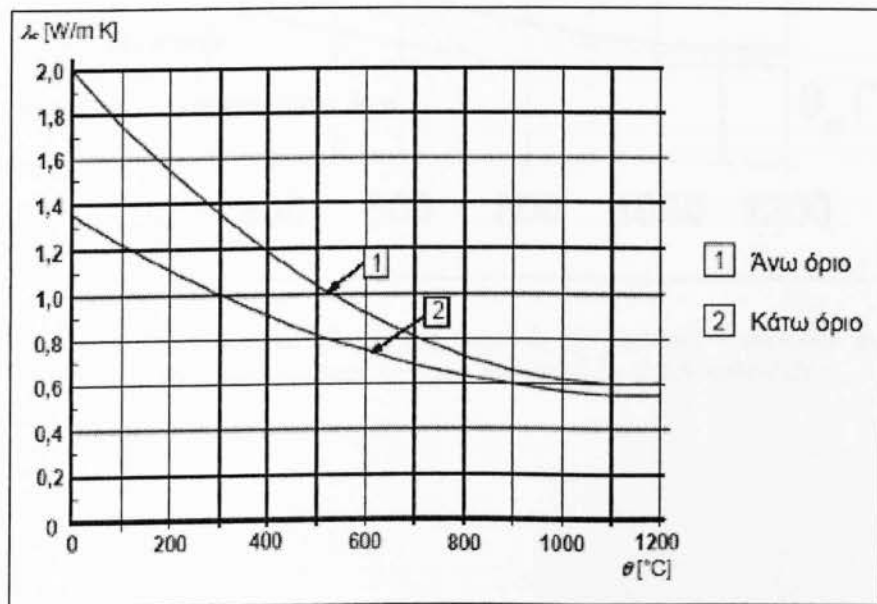
Η θερμική αγωγιμότητα σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την θερμική αγωγιμότητα σκυροδεμάτων συνήθους αντοχής.

Στο Σχήμα 2.34 παρουσιάζεται η επίδραση της υγρασίας στην θερμική αγωγιμότητα σε θερμοκρασία δωματίου. Προφανώς, αυτή η επίδραση θα ήταν πολύ μικρότερη σε υψηλές θερμοκρασίες, μιας και με την αύξηση της θερμοκρασίας αποβάλλεται μέρος του ύδατος. Επισημαίνεται ότι είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν τιμές της θερμικής αγωγιμότητας χωρίς να συμβεί μεταβολή της υγρασίας ή/και στέγνωμα.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, και καθώς αποβάλλεται μέρος του ύδατος δημιουργούνται μικρορωγμές, η θερμική αγωγιμότητα του σκυροδέματος μειώνεται και δίνει την σχέση (5) σαν ανώτερο όριο και την σχέση (6) για το κατώτατο όριο.

$$\text{Άνω όριο: } \lambda_c = 2 - 0,2451 (\theta_c / 100) + 0,0107 (\theta_c / 100)^2 \quad (5)$$

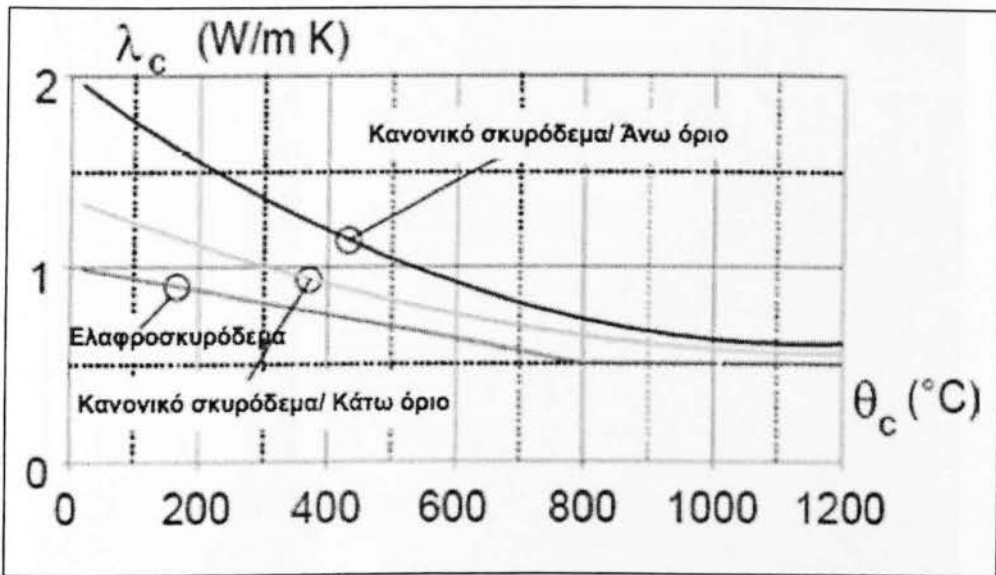
$$\text{Κάτω όριο: } \lambda_c = 1,36 - 0,136 (\theta_c / 100) + 0,0057 (\theta_c / 100) \quad (6)$$



Σχήμα 2.35: Μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας,  $\lambda_c(\theta)$  συναρτήσεως της θερμοκρασίας,  $\theta_c$ , (άνω και κάτω όριο) κατά τον Ευρωκώδικα 2

Η θερμική αγωγιμότητα των ελαφροσκυροδεμάτων μπορεί να θεωρηθεί ότι μειώνεται γραμμικά μέχρι την θερμοκρασία των 800°C και μετά παραμένει σταθερή. Κατά τον Ευρωκώδικα 4 (EN 1994-1-2) ισχύουν τα εξής :

$20^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 800^{\circ}\text{C}$	$\lambda_c = 1 - \theta_c / 1600$
$800^{\circ}\text{C} \leq \theta_c$	$\lambda_c = 0.5$

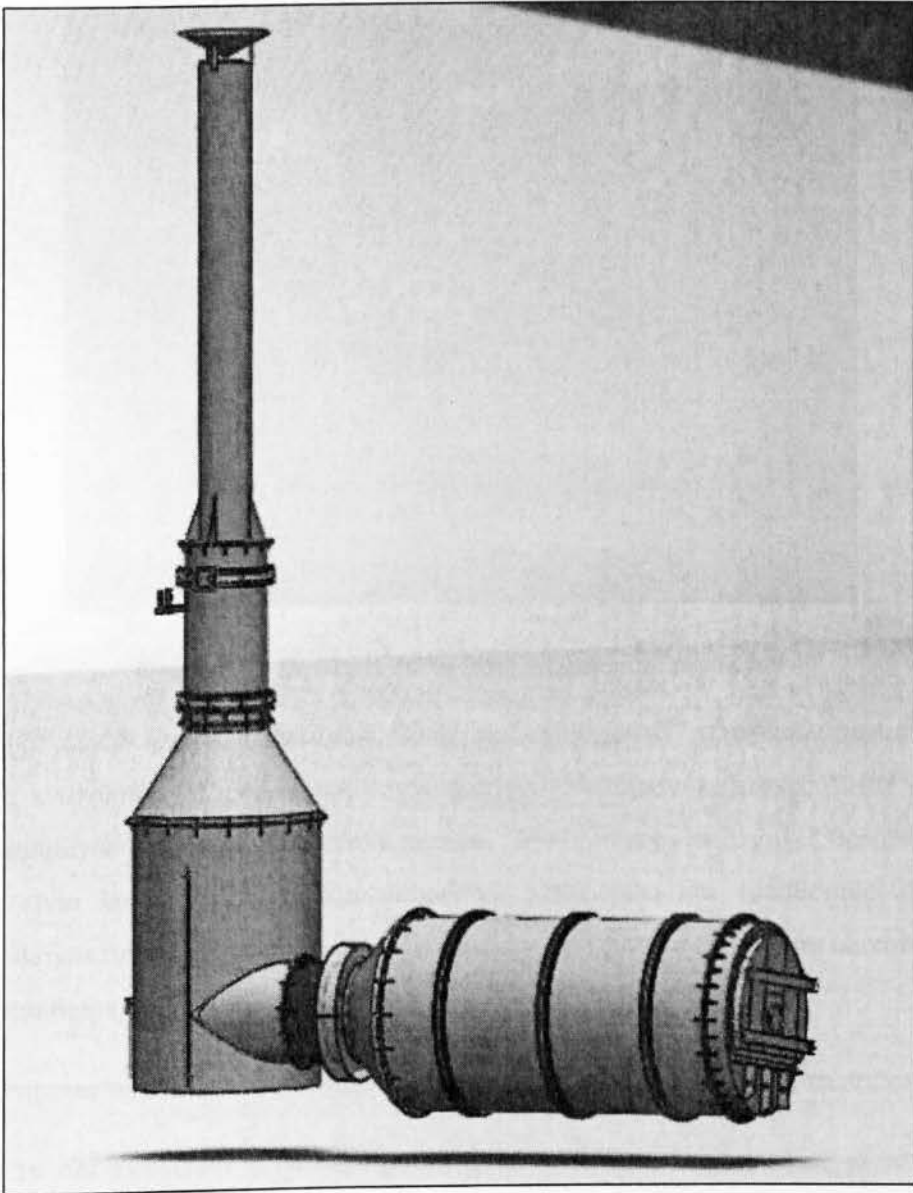


Σχήμα 2.36: Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της θερμικής αγωγιμότητας κανονικών σκυροδεμάτων και ελαφροσκυροδεμάτων κατά τον Ευρωκώδικα 4 (EN 1994-1-2)

### 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΠΥΡΟΛΙΤΙΚΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά σχέδια της κατασκευής και της μοντελοποίησης του περιστροφικού κλιβάνου. Γίνεται περιγραφή των λειτουργιών και επιλογή των τοποθετούμενων πυράντοχων και θερμομονωτικών υλικών.

#### 3.1 Εισαγωγή



Σχήμα 3.1 : Μοντέλο κλιβάνου σε περιβάλλον Solid works 2012

Οι πυρολιθικοί κλίβανοι είναι στεγανοί για την αποτέφρωση ή αποξηράνση απορριμμάτων αλλά κυρίως υγρών απορριμμάτων, π.χ. αίμα σφαγείων και απορριμμάτων με μεγάλο ποσοστό υγρών. Η ανάδευση των απορριμμάτων μέσα στον κλίβανο επιτυγχάνεται με την περιστροφή και την ειδική διαμόρφωση του θαλάμου καύσης, με συνέπεια, πρώτα το στέγνωμα αυτών, στη συνέχεια, την απομάκρυνση του εξωτερικού αποτεφρωμένου στρώματος των απορριμμάτων, και κατόπιν, την εύκολη και πλήρη αποτέφρωση αυτών.



*Σχήμα 3.2 : Περιστρεφόμενα απορρίμματα κατά την καύση*

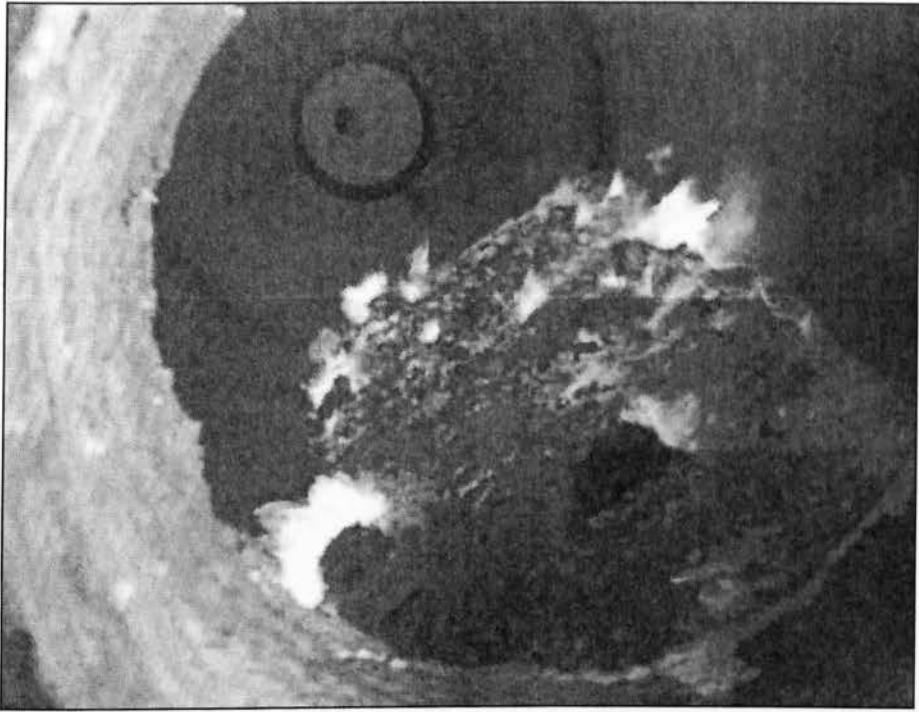
Το εξωτερικό περίβλημα των θαλάμων, είναι από ενισχυμένα χαλυβδοελάσματα 5mm με κατάλληλες ενισχύσεις. Η εσωτερική επιφάνεια των θαλάμων κατασκευάζεται από ειδικά μείγματα πυρίμαχων και θερμομονωτικών υλικών, που αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Η κατασκευή είναι λυόμενου τύπου και μπορεί να μεταφερθεί και τοποθετηθεί εύκολα. Το κυλινδρικό σχήμα του κλιβάνου εξασφαλίζει την μεγάλη ζωή του πυρίμαχου υλικού ακόμη και σε υψηλές και διαρκείς θερμοκρασίες.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των κλιβάνων έναντι των στατών-σταθερών, είναι τα παρακάτω:

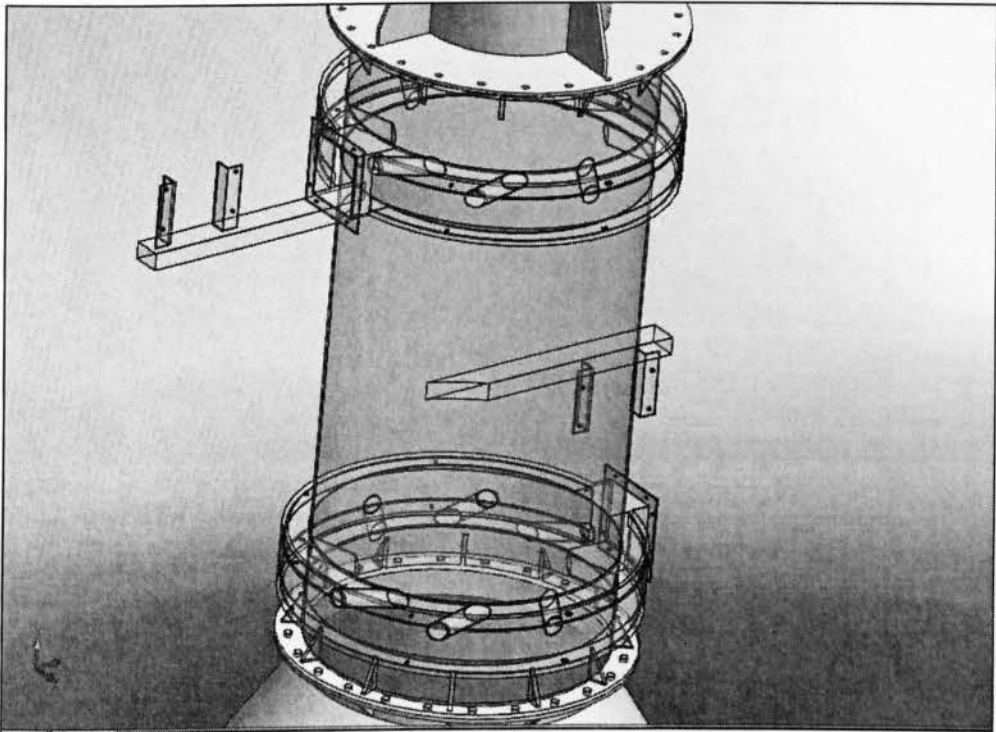
- Μπορούν να αποτεφρώσουν ή να αποξηράνουν, οποιοδήποτε απόρριμμα με μέγιστο ποσοστό υγρών 100% - δηλαδή καθαρά υγρά – π.χ υγρά απόβλητα, αίμα κ.ά..

-Δυνατότητα ρύθμισης αποτέφρωσης, με ανάλογη ρύθμιση των στροφών του κλιβάνου.





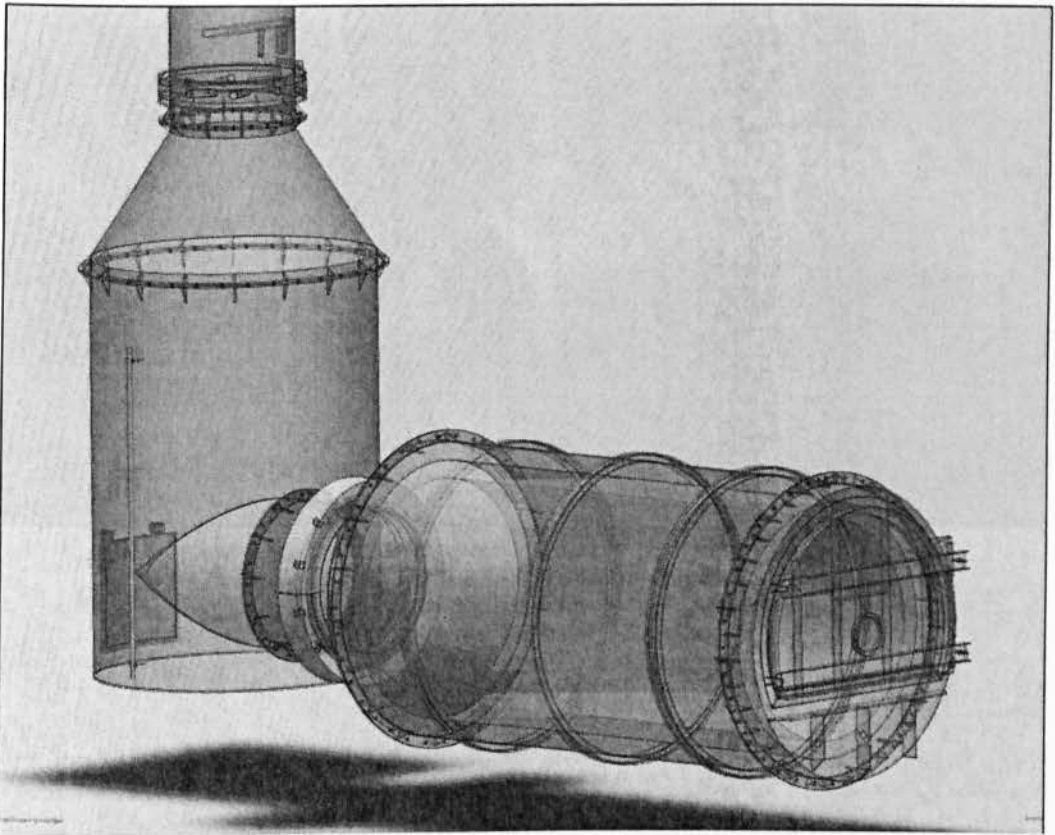
Σχήμα 3.3 : Θερμομονωτικό και πυράντοχο τσιμεντοκονίαμα.



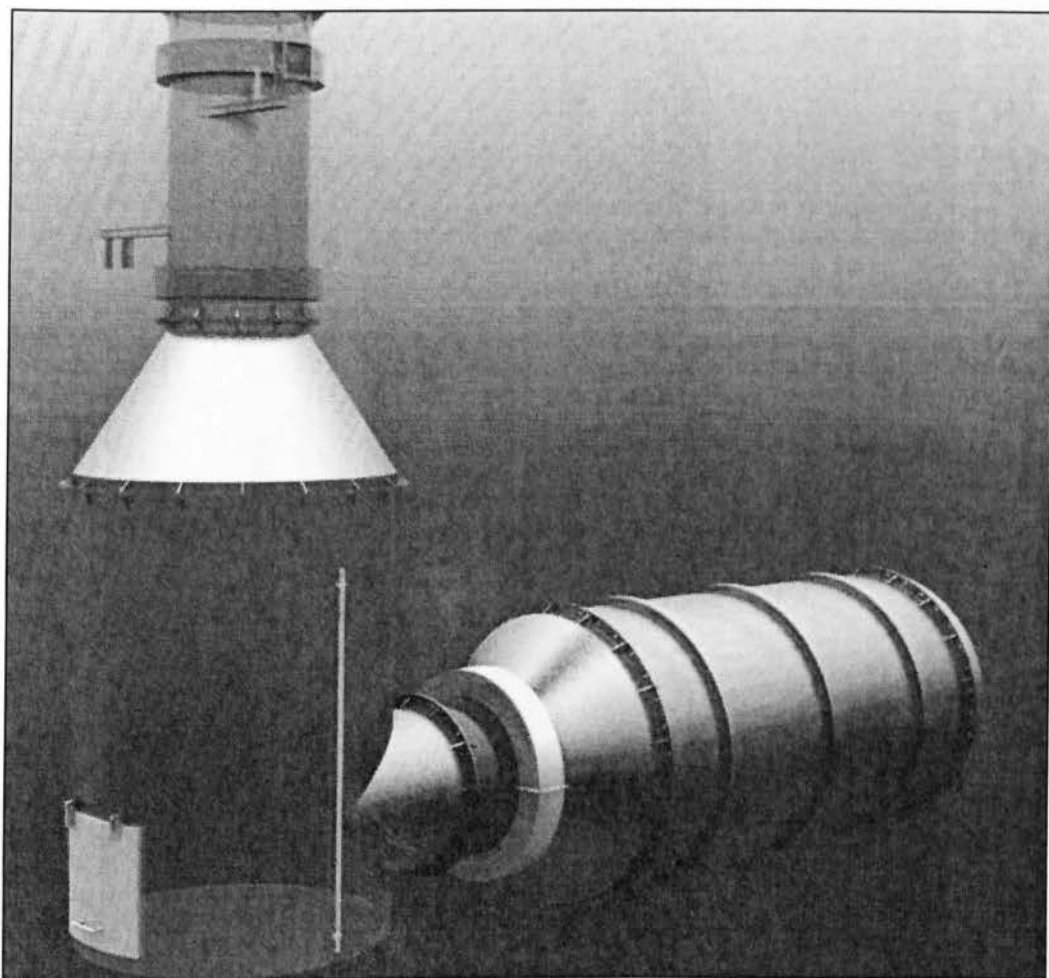
Σχήμα 3.4 : Μοντέλο στροβιλιστή αερίων για την ταχύτερη ψύξη .Σχεδιαστικό περιβάλλον Solid works 2012

Στην καπνοδόχο κατά την έξοδο υπάρχει σύστημα απότομης ψύξης των καυσαερίων ώστε να φεύγουν στο περιβάλλον με μικρότερη θερμοκρασία και να αποφεύγονται οι υγροποιήσεις και η δημιουργία επιβλαβών ενώσεων.

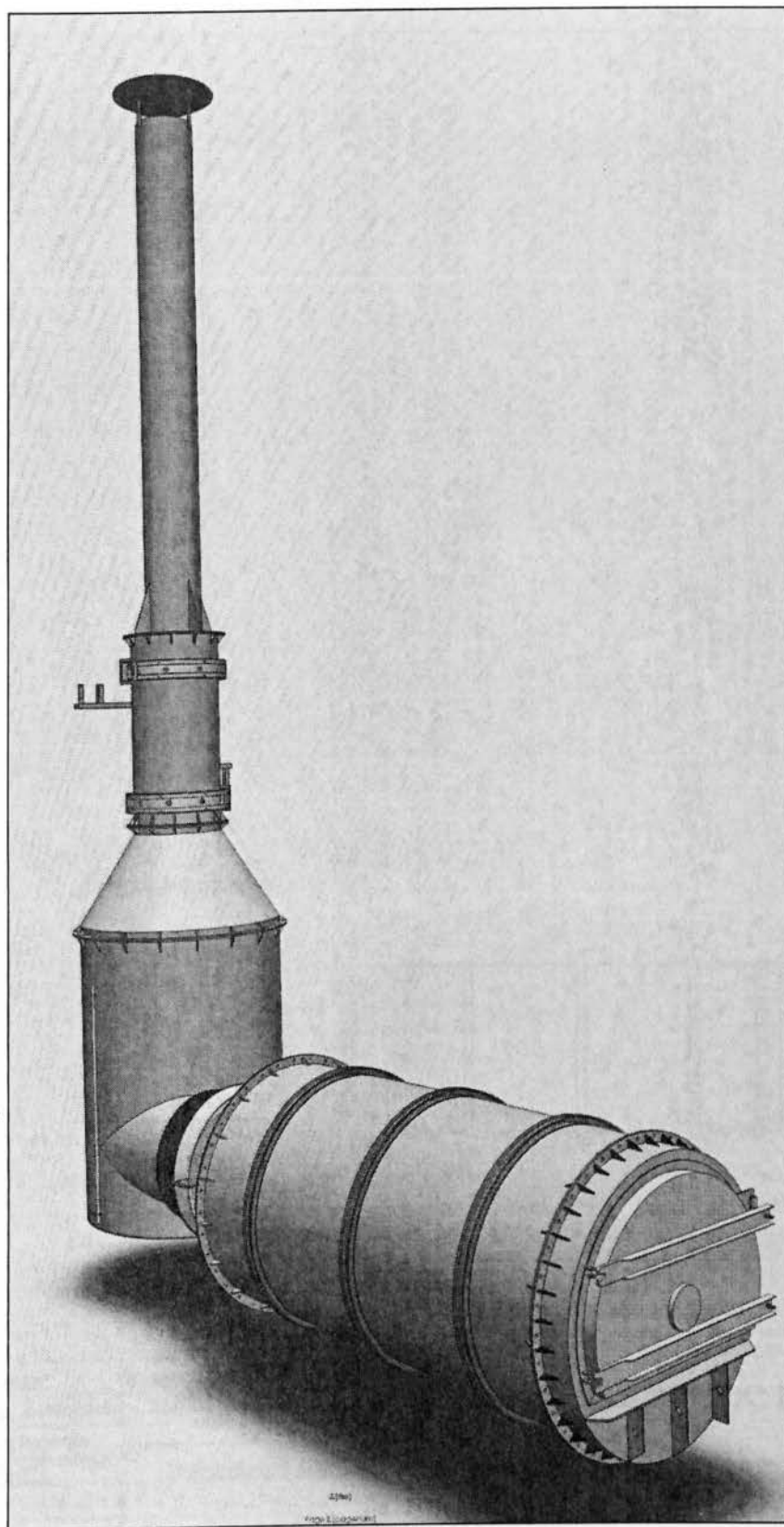
Όλος ο κύκλος των προγραμμάτων αποτέφρωσης-αποξήρανσης, ελέγχεται αυτόματα μέσω PLC εντός του ηλεκτρικού πίνακα και αυτό εξασφαλίζει πλήρη αποτέφρωση ή αποξήρανση, με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος.



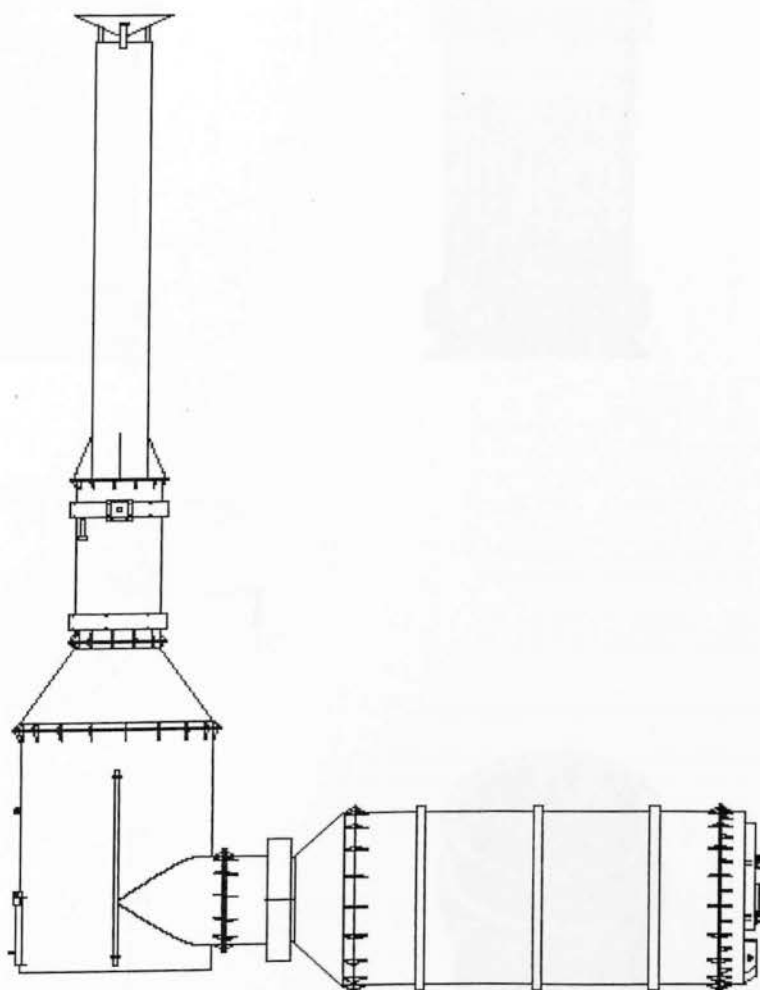
Σχήμα 3.5 : Πρωτεύον και δευτερεύον κλίβανος μετάκαωσης (Solid works 2012)



Σχήμα 3.6 : Rendered image μοντέλου

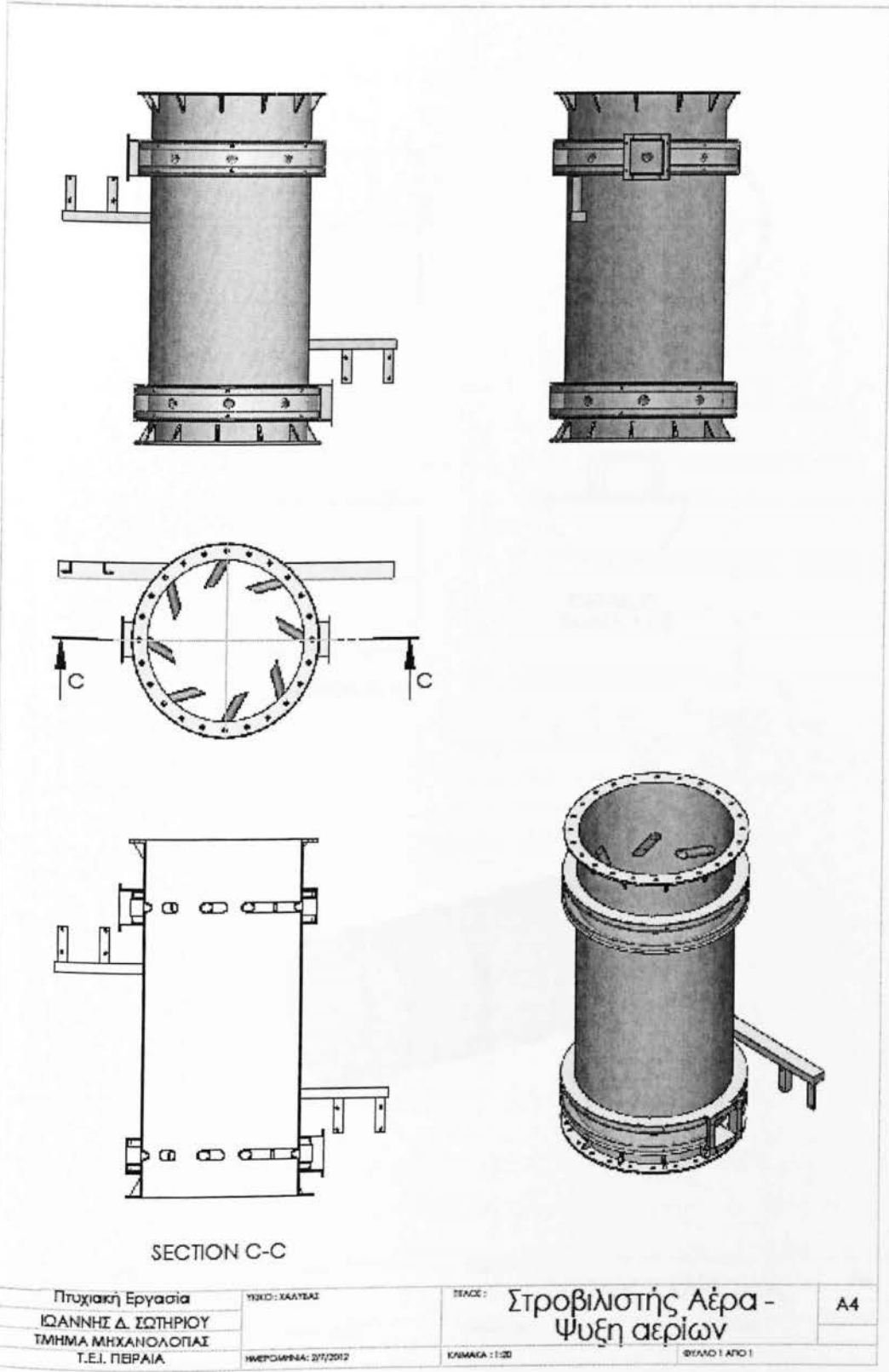


*Σχήμα 3.7 : Πόρτα εισαγωγής αποβλήτων (δεξιά) που περιστρέφεται με τον πρωτεύοντα κλίβανο αποτέφρωσης.*

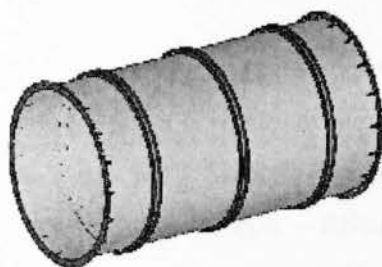
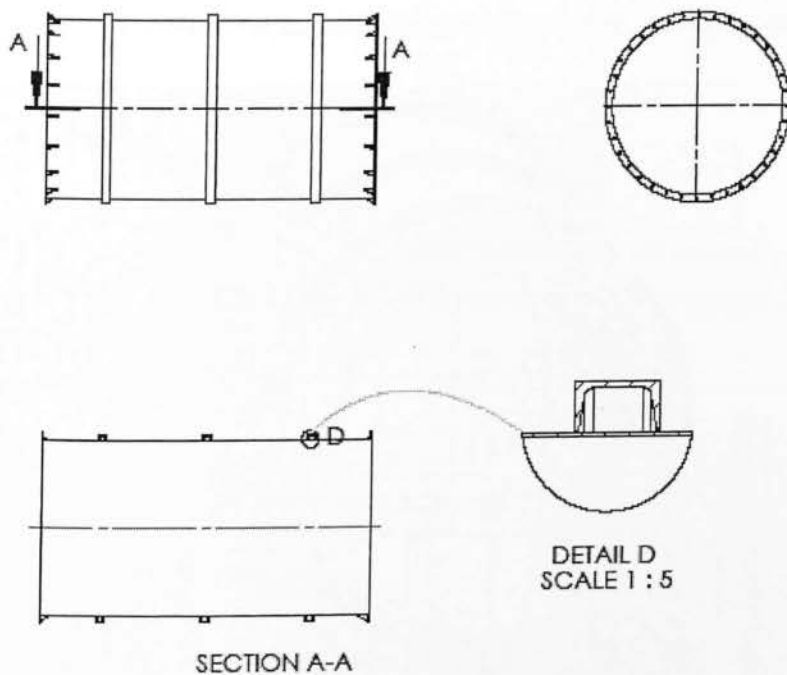


	ΟΝΟΜΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	A.M.	TITLE	
DRAWN	Ιωάννης Σωτηρίου	15/7/2012	36429	Περιστροφικός κλιβανος	
	Πτυχιακή Εργασία Τμήμα Μηχανολογίας ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ	MATERIAL:	Mostly SS Ferritic	DWG NO.	
				PyroRot_Assembly	A4
				SCALE:1:200	SHEET 1 OF 1

Σχήμα 3.8 : Η συναρμολογημένη όψη σε 2D Σχέδιο



Σχήμα 3.9 : Στροβιλιστής αέρα με βραχίονες τοποθέτησης ανεμιστήρων για δυνατή ροή

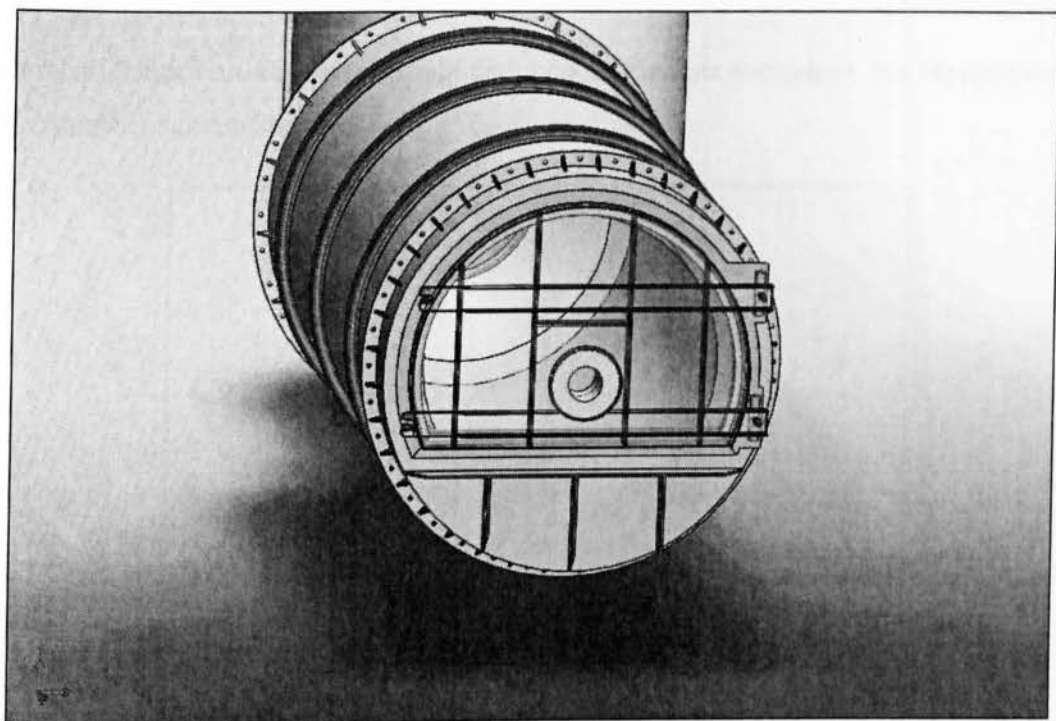


Πτυχιακή Εργασία	ΥΠΩΧΟ : ΣΑΛΥΣΑΣ	ΤΕΛΟΣ :	<p>Πρωτεύον κλίβανος</p> <p>A4</p>
ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΣΩΤΗΡΙΟΥ			
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΡΙΑ: 27/7/2012	ΚΛΑΜΑΚΑ : 1:50	ΦΥΛΛΟ 1 ΑΠΟ 1
Τ.Ε.Ι. ΠΕΡΑΙΑ			

Σχέδιο 3.10 : Περιστρεφόμενος Κλίβανος με 3 ζωνάρια κόλλησης

### 3.2 Περιγραφή Λειτουργίας

Ο κλίβανος αποτέφρωσης ή αποξηράνσης, περιστροφικού πυρολιτικού τύπου μπορεί να έχει δυναμικότητα από 100kg έως 1800kg υγρών και στερεών απορριμμάτων την ώρα καθώς και ολόκληρων πτωμάτων ζώων. Οι κλίβανοι κατασκευάζονται από χαλυβδοελάσματα 3 έως 5mm.



*Σχήμα 3.11 : Κόρια είσοδος αποβλήτων-Πόρτα πρωτεύοντος κλιβάνου*

Έχει (2) δύο θαλάμους, (3) τρεις καυστήρες- (1 στον κύριο θάλαμο και 2 στον δευτερεύοντα, βάσει της Οδηγίας 1069/2009/ΕΚ) - (3) τρεις ανεμιστήρες, (4) τέσσερα θερμοστοιχεία δημιουργώντας συνθήκες για μια πολύ αποτελεσματική και σωστή αποτέφρωση των παθολογικών απορριμμάτων. Στον πρώτο θάλαμο - θάλαμος αποτέφρωσης ή αποξηράνσης- γίνεται ελεγχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, μέχρι 900°C.

Κατόπιν τα καπναέρια καίγονται στον δευτερεύοντα θάλαμο - θάλαμος μετάκαυσης - με περίσσεια νωπού αέρα, ο οποίος προσάγεται μέσω ανεμιστήρων, σε θερμοκρασία μέχρι 1200°C και με αυτή την πυρολυτική μετάκαυση, επιτυγχάνεται ο καθαρισμός της εκπομπής των καπναερίων και η διοχέτευσή τους στο περιβάλλον πλήρως ακίνδυνα και άοσμα.

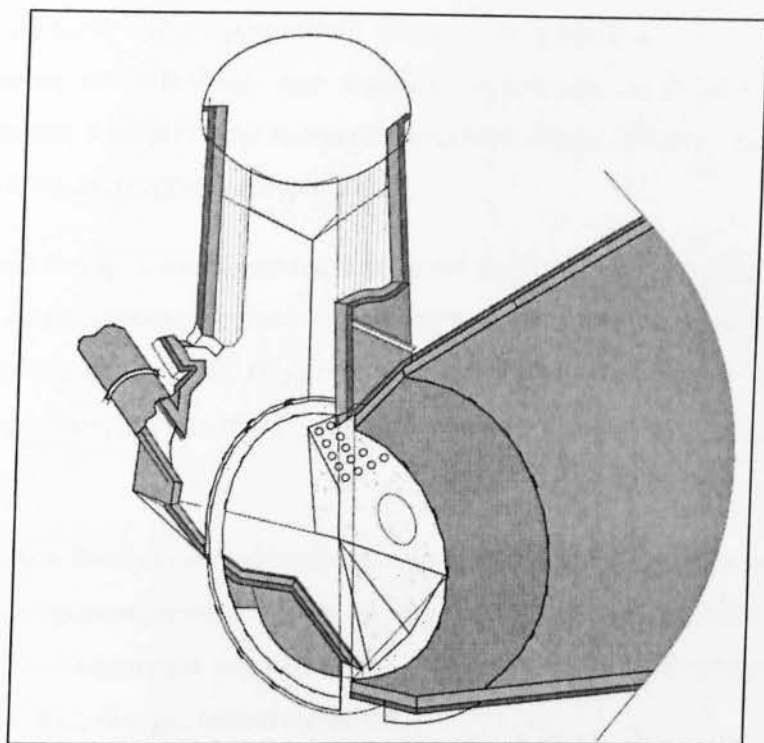
Ο θάλαμος μετάκαυσης έχει (2) δύο καυστήρες και (3) τρεις ανεμιστήρες προσαγωγής νωπού αέρα. Στην καμινάδα κατά την έξοδο υπάρχει σύστημα απότομης ψύξης των καπναερίων ώστε





να εκλύονται αυτά στο περιβάλλον με μικρότερη θερμοκρασία και να αποφεύγονται έτσι οι υγραποιήσεις και η δημιουργία επιβλαβών ενώσεων.

Ο πρώτος κυλινδρικός θάλαμος – θάλαμος αποτέφρωσης ή αποξήρανσης- περιστρέφεται περιοδικά και κατόπιν συνεχώς, ελεγχόμενος από το πρόγραμμα του PLC του ηλεκτρολογικού πίνακα.

Η εσωτερική επιφάνεια κατασκευάστηκε από ειδικά μείγματα πυρίμαχων και θερμομονωτικών υλικών, πάχους περίπου 200 mm.



	(INSULATING LINING)	MAT 125 / MAT 125 G
	(REFRACTORY LINING)	MAT PLUS 60 M / MAT PLUS 60 A / MAT PLUS 25 ZR MAT PLUS 30 SIC / MAT 30 ZR-G

*Σχήμα 3.12 : Πυράντοχη (κίτρινο) και θερμομονωτική (μπλε) επίστρωση*

Όλος ο κύκλος καύσης ελέγχεται μέσω του PLC του ηλεκτρολογικού πίνακα, αυτόματα και αυτό εξασφαλίζει πλήρη αποτέφρωση ή αποξήρανση, με ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος.

Η φόρτωση του κλιβάνου γίνεται από την πόρτα και από την ίδια πόρτα απομακρύνουμε την στάχτη ή το αποξηραμένο υλικό.

### 3.2.1. Αναλυτική Λειτουργία Κλιβάνου

Τα απορρίμματα φορτώνονται στον θάλαμο αποτέφρωσης **1** από την πόρτα **2**. Η φόρτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί χειροκίνητα ή με τη χρήση ανυψωτικού μέσου (κλάρκ) ή με τη χρήση ταινίας μεταφοράς ή αυτόματα, με τη χρήση προωθητικού εμβόλου σε συνδυασμό με την μηχανοκίνητη και αυτόματη λειτουργία ανοίγματος της πόρτας **2**.

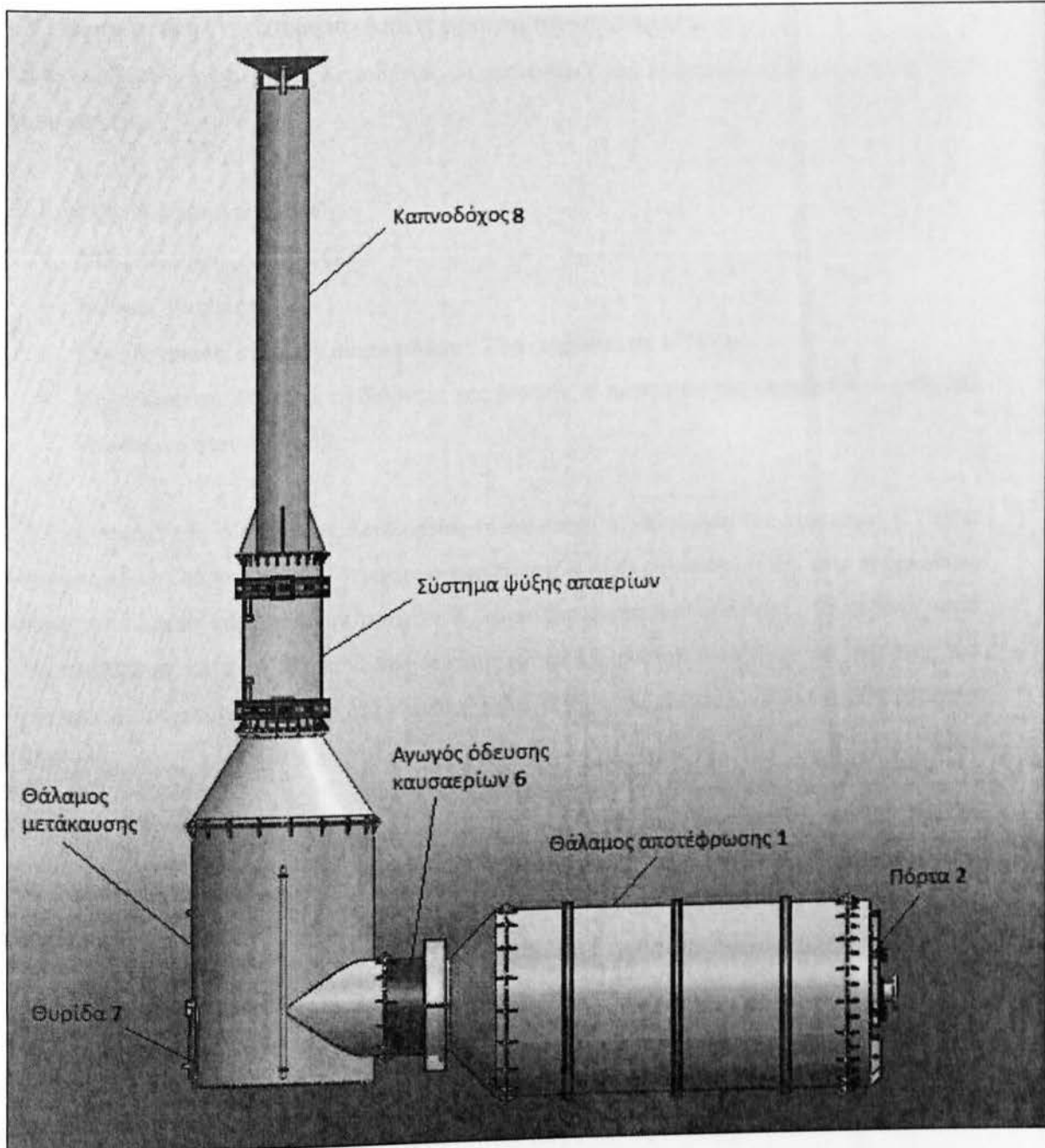
Μετά από την φόρτωση των απορριμμάτων, εκκινούν οι καυστήρες **5** και **9** – δύο καυστήρες, βάσει της Οδηγίας 1069/2009/EK- του θαλάμου μετάκαυσης **4**. Όταν η θερμοκρασία του θαλάμου μετάκαυσης **4** φθάσει στην προγραμματισμένη ένδειξη, εκκινεί ο κύριος καυστήρας **3** και αρχίζει η ροή του επιλεγμένου προγράμματος.

Τα καυσαέρια του θαλάμου αποτέφρωσης **1** οδεύουν προς τον θάλαμο μετάκαυσης **4** από τον αγωγό **6**, στον οποίο επανακαίγονται - μετάκαυση - σε υψηλότερες θερμοκρασίες και με περίσσεια αέρος, έως και 1200°C. Ο χρόνος παραμονής των στον θάλαμο μετάκαυσης είναι περίπου 4 sec – η εθνική και κοινοτική νομοθεσία απαιτούν χρόνο μετάκαυσης μεγαλύτερο των 2 sec.

Οι θερμοκρασίες των θαλάμων ανιχνεύονται από τα θερμοστοιχεία που είναι τοποθετημένα επί των θαλάμων και ενημερώνουν το PLC του ηλεκτρολογικού πίνακα, το οποίο με τη σειρά του ελέγχει την συνολική λειτουργία του κλιβάνου – εκκίνηση ή παύση καυστήρων, περιστροφή θαλάμου αποτέφρωσης, έλεγχος ανεμιστήρων κ.ά.

Τα καυσαέρια, στο άνω μέρος του θαλάμου μετάκαυσης, ψύχονται απότομα, με την είσοδο αέρα θερμοκρασίας περιβάλλοντος, μέσω των ανεμιστήρων και οδεύουν, χωρίς οσμές και καθαρά, στο περιβάλλον, από την καπνοδόχο **8**.

Η στάχτη αφαιρείται από την πόρτα **2**, του θαλάμου καύσης, όπου είναι τοποθετημένος ο καυστήρας **3**, και τα κατάλοιπα των καπναερίων αφαιρούνται από την θυρίδα **7**, του θαλάμου μετάκαυσης.



Σχήμα 3.13 : Μέρη του κλιβάνου

### 3.3 Πυρολυτική Λειτουργία-Αποτέφρωση και εκπομπές

Για το στάδιο της πυρολυτικής λειτουργίας, οι μέσες τιμές των εκπομπών ανοιγμένες σε 17% O<sub>2</sub> έχουν ως εξής:

- **CO** : 3.4 ppm σε 17% O<sub>2</sub>.
- **NO** : 33.5 ppm σε 17% O<sub>2</sub>.
- **Βαθμός Bacharach** : 0 - 1
- **Συγκέντρωση στερεών σωματιδίων** : 72.6 (mg/Nm) σε 17% O<sub>2</sub> .
- **Σημειώνεται**: ότι κατά τη διάρκεια της δοκιμής η μέση τιμή της συγκέντρωσης O<sub>2</sub> στο καυσαέριο ήταν 13.06 %.

Κατά το στάδιο της πυρολυτικής λειτουργίας (στην οποία η λειτουργία του καυστήρα K1 είναι εναλλασσόμενη) παρατηρήθηκε ότι όταν ο καυστήρας K1 λειτουργούσε (ON) τότε σημειώθηκε αύξηση του δείκτη αιθάλης στην τιμή 2 - 3, λόγω της στιγμιαίας φόρτισης. Το γεγονός αυτό αντιμετωπίστηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής με ρύθμιση στον καυστήρα της παροχής του αέρα καύσης, με αποτέλεσμα και όταν λειτουργούσε ο K1 να κυμαίνεται ο δείκτης αιθάλης στην τιμή 0 - 1.

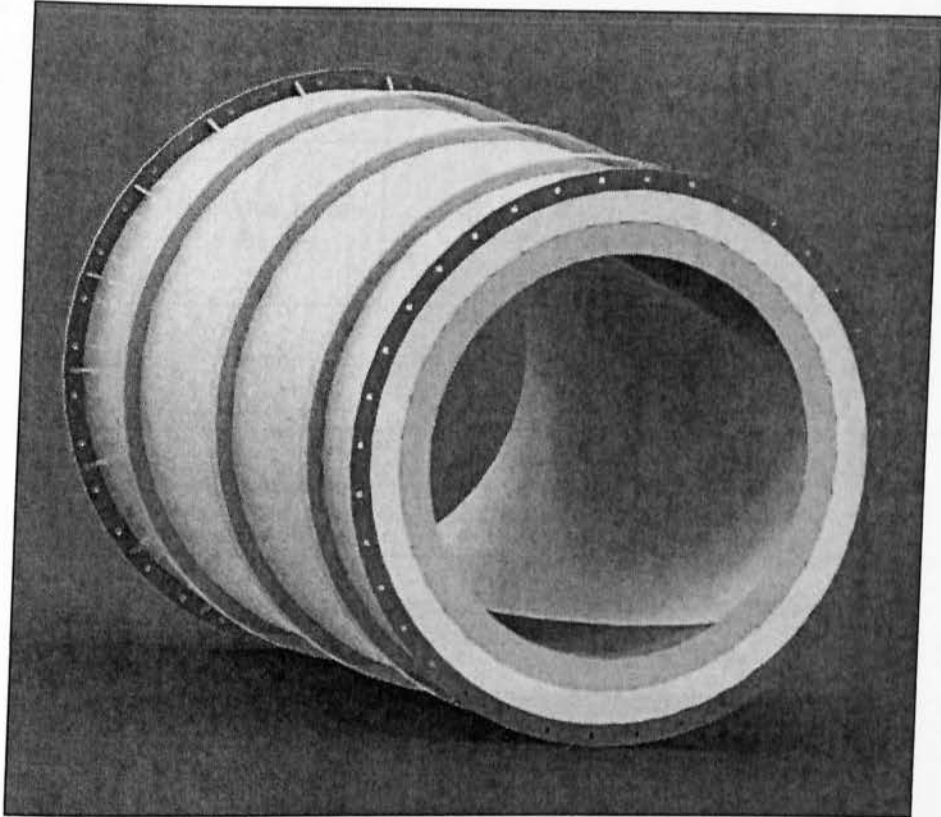
#### 3.3.1 Αποτέφρωση

Για το στάδιο της αποτέφρωσης οι μέσες τιμές των εκπομπών ανοιγμένες σε 17% O<sub>2</sub> έχουν ως εξής:

- **CO** : 2.9 ppm σε 17% O<sub>2</sub>.
- **NO** : 25.6 ppm σε 17% O<sub>2</sub>.
- **Βαθμός Bacharach** : 0
- **Συγκέντρωση στερεών σωματιδίων** : 16.6 (mg/Nm) σε 17% O<sub>2</sub> .
- **Σημειώνεται**: ότι κατά τη διάρκεια της δοκιμής η μέση τιμή της συγκέντρωσης O<sub>2</sub> στο καυσαέριο ήταν 14.06 %.

## 4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

### 4.1 Υλικά



Σχήμα 4.1 : Πυράντοχο τσιμεντοκονίαμα (πράσινο) και Θερμομονωτικό τσιμεντοκονίαμα (κίτρινο)

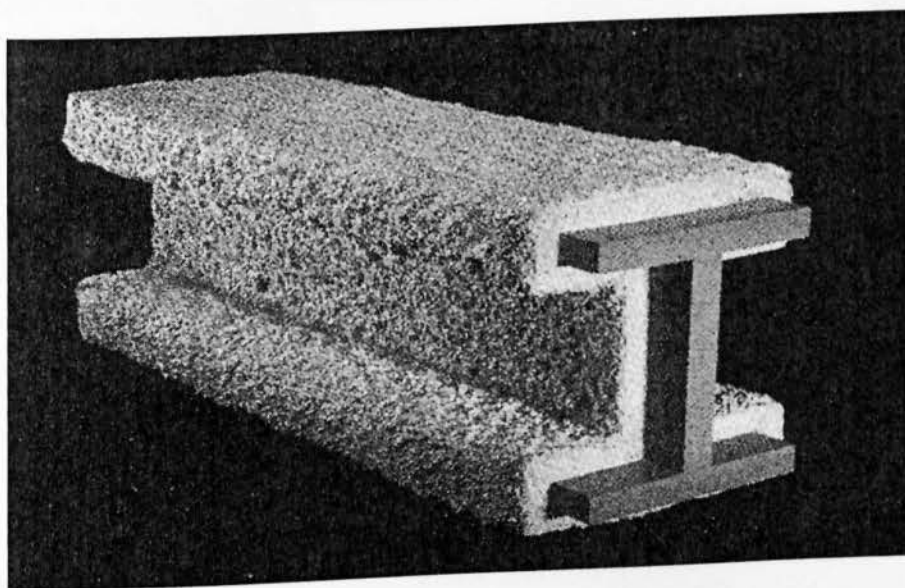
#### 4.1.1 Πυράντοχα υλικά

Τα πυράντοχα υλικά τοποθετούνται στο εσωτερικό του πρωτεύοντα και του δευτερεύοντα κλιβάνου καθώς και σε σημεία που υπάρχει θερμοκρασιακή απαίτηση. Η ύπαρξή τους είναι καίριας σημασίας καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται φτάνουν τους 1400°C.

Κάποια από τα πυράντοχα και ευρέως χρησιμοποιούμενα μίγματα αναφέρονται παρακάτω:

Θερμοκρασιακή ή Κατάταξη (EN 1402-1)	Βάση	Χημική ανάλυση (%)				Πυκνότητα στους 110°C
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	
1300	Chamotte	>32	<53	<1,1	8,9	2.08
1500	High Alumina raw materials	>50	<41	<1,4	7,3	2.20
1620	Bauxite	>80	<8,5	<1,6	4,6	2.55
1800	Tabular Alumina	>95	<0,12	<0,1	4,4	2.87

Πίνακας 4.1 : Χρήση μιγμάτων πυράντοχων υλικών ανάλογο με την θερμοκρασία



Σχήμα 4.2 : Επίστρωση πυράντοχου τσιμεντοκονιάματος σε δοκό

Οι ιδιότητες του τοποθετούμενου πυράντοχου υλικού :

Θερμοκρασιακή κατάταξη:	1620°C
Κύρια πρώτη υλη (βάση):	Βωξίτης (Bauxite)
Τύπος προϊόντος:	Μονωτικό (Regular Castable)
Μέθοδος τοποθέτησης:	Χτίσιμο (Trowelling) , Χύτευση (Casting)
Πυκνότητα στους 110°C : (EN 1402-6)	2.55 g/cm <sup>3</sup>
Αντοχή σε θλίψη (N/mm <sup>2</sup> ) (EN 1402-6):	
110°C:	4.2 N/mm <sup>2</sup>
800°C	3.0 N/mm <sup>2</sup>
1100°C	2.4 N/mm <sup>2</sup>
Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK) ( EN993-14):	
800°C:	1.30 W/mK
Μέγεθος κόκκου (mm) (EN 1402-6):	6 mm
Αντιστρεπτή θερμική διαστολή (%) (EN 1402-6):	
110°C	-0.05 %
1000°C	-0.25 %
Απαιτούμενο υλικό (kg/m <sup>3</sup> ):	2600 kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 4.2 : Στοιχεία Πυράντοχου υλικού

## 4.1.2 Θερμομονωτικά υλικά

Επίσης κάποια από τα θερμομονωτικά που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:

Θερμοκρασιακή Κατάταξη (EN 1402-1)	Βάση	Χημική ανάλυση (%)				Πυκνότητα στους 110°C
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	
1000	Perlite	>38	<32.5	2.0	22.5	0.60
1100	Vermiculite & Expanded Clay	>36	<33.5	5.0	18.5	0.95
1250	Lightweight Chamotte	>35.5	<48	2.4	9.0	1.40
1350	Lightweight Chamotte	>38	<45.5	2.7	8.9	1.75

Πίνακας 4.3 : Χρήση μιγμάτων θερμομονωτικών υλικών ανάλογο με την θερμοκρασία

Στον μοντελοποιημένο κλίβανο έχουν επιλεγεί τα παρακάτω πυράντοχα και θερμομονωτικά μίγματα τα οποία έχουν τις μέγιστες απαιτούμενες αντοχές. Η επιλογή τους γίνεται με βάση τον όγκο του πρωτεύοντα κλίβανου καύσης, καθώς και με τον δευτερεύοντα της μετάκαυσης.

Οι ιδιότητες του τοποθετούμενου θερμομονωτικού υλικού :

Θερμοκρασιακή κατάταξη:	1100°C
Κύρια πρώτη υλη (βάση):	Βερμικουλίτης (Vermiculite) Διογκωμένος άργιλος (Expanded Clay)
Τύπος προϊόντος:	Μονωτικό (Insulating Castable)
Μέθοδος τοποθέτησης:	Δονούμενο (Vibration) , Χύτευση (Casting)
Πυκνότητα στους 110°C : (EN 1402-6)	0.95 g/cm <sup>3</sup>
Αντοχή σε θλίψη (N/mm <sup>2</sup> ) (EN 1402-6):	
110°C:	5.2 N/mm <sup>2</sup>
800°C	4.0 N/mm <sup>2</sup>



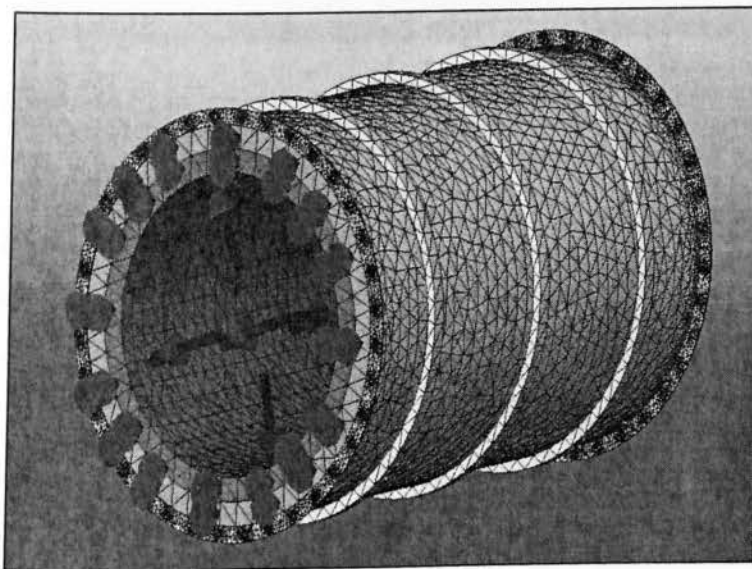
1100°C	3.0 N/mm <sup>2</sup>
<b>Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK) ( EN993-14):</b>	
600°C:	0.25 W/mK
800°C:	0.26 W/mK
1000°C:	0.28 W/mK
<b>Μέγεθος κόκκου (mm) (EN 1402-6):</b>	6 mm
<b>Αντιστρεπτή θερμική διαστολή 1000°C (%):</b>	-0.70 %
<b>Απαιτούμενο υλικό (kg/m<sup>3</sup>):</b>	1000 kg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 4.4 : Στοιχεία Θερμομονωτικού υλικού

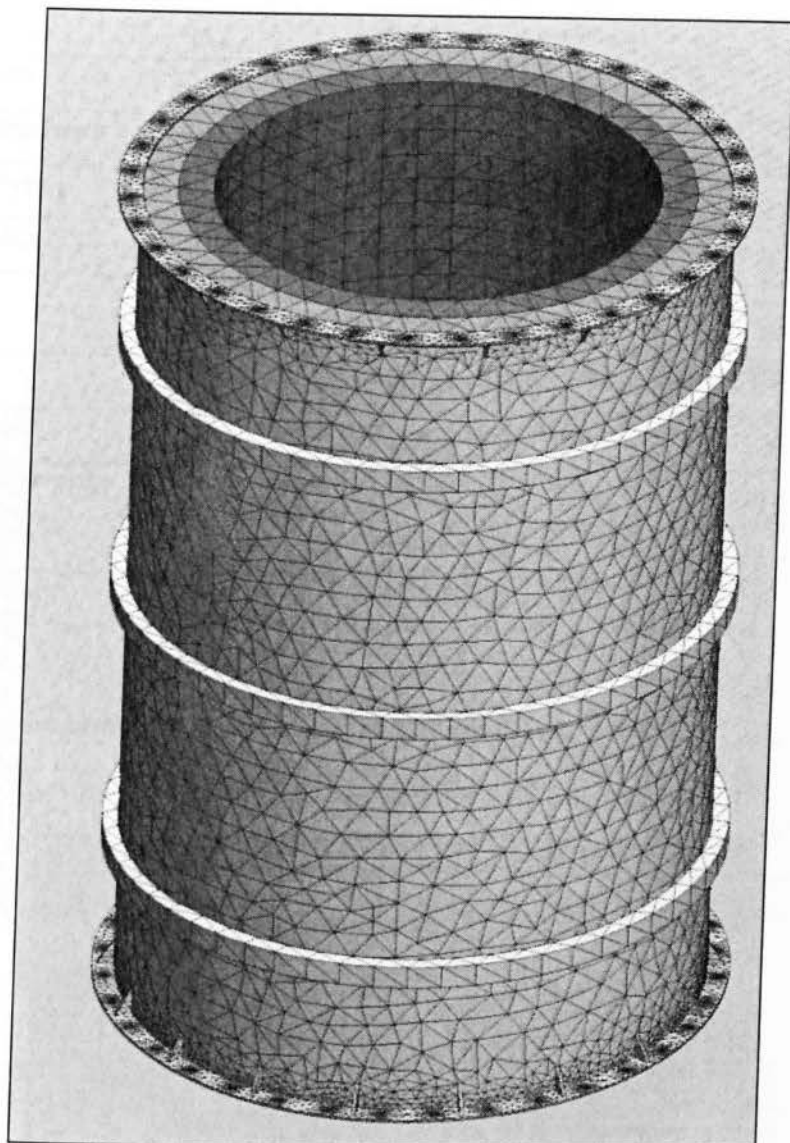
## 4.2 Θερμική Καταπόνηση με την χρήση SolidWorks 2012 Simulation

### 4.2.1 Ανάλυση στοιχείων και δημιουργία του πλέγματος ( Mesh )

Στον πρωτεύοντα κλιβάνο τοποθετούνται δύο επιστρώσεις τσιμεντοκονιάματος, συνολικού πάχους 200mm. Ορίζουμε τα παραπάνω πυράντοχα και θερμομονωτικά υλικά στο πρόγραμμα για να ξεκινήσει η δημιουργία του πλέγματος και να συνεχίσουμε με την ανάλυση των επιμέρους σημείων του κλιβάνου.



Σχήμα 4.3 : Αναλυση πρωτεύοντα κλιβάνου με δημιουργία πλέγματος για την εφαρμογή των θερμικών φορτίων σε όλο το φάσμα.



Σχήμα 4.4 : Το πλέγμα (mesh) και τα θερμικά φορτία (Thermal Loads)

#### 4.2.2. Θερμικά Φορτία

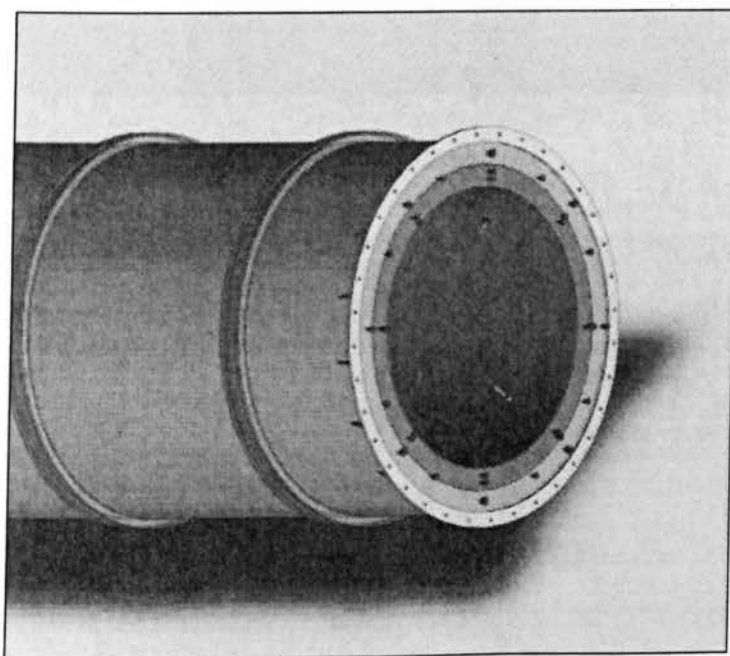
##### Ιδιότητες Υλικών

Όνομασία :	Πυράντοχο κονίαμα
Τύπος Μοντέλου:	Linear Elastic Isotropic
Θερμική Αγωγιμότητα :	1.30 W/(m.K)
Ειδική θερμότητα :	877.96 J/(kg.K)
Πυκνότητα Μάζας :	2550 kg/m <sup>3</sup>

Όνομασία :	Θερμομονωτικό κονίαμα
Τύπος Μοντέλου:	Linear Elastic Isotropic
Θερμική Αγωγιμότητα :	0.28 W/(m.K)
Ειδική θερμότητα :	737.98 J/(kg.K)
Πυκνότητα Μάζας :	960 kg/m <sup>3</sup>

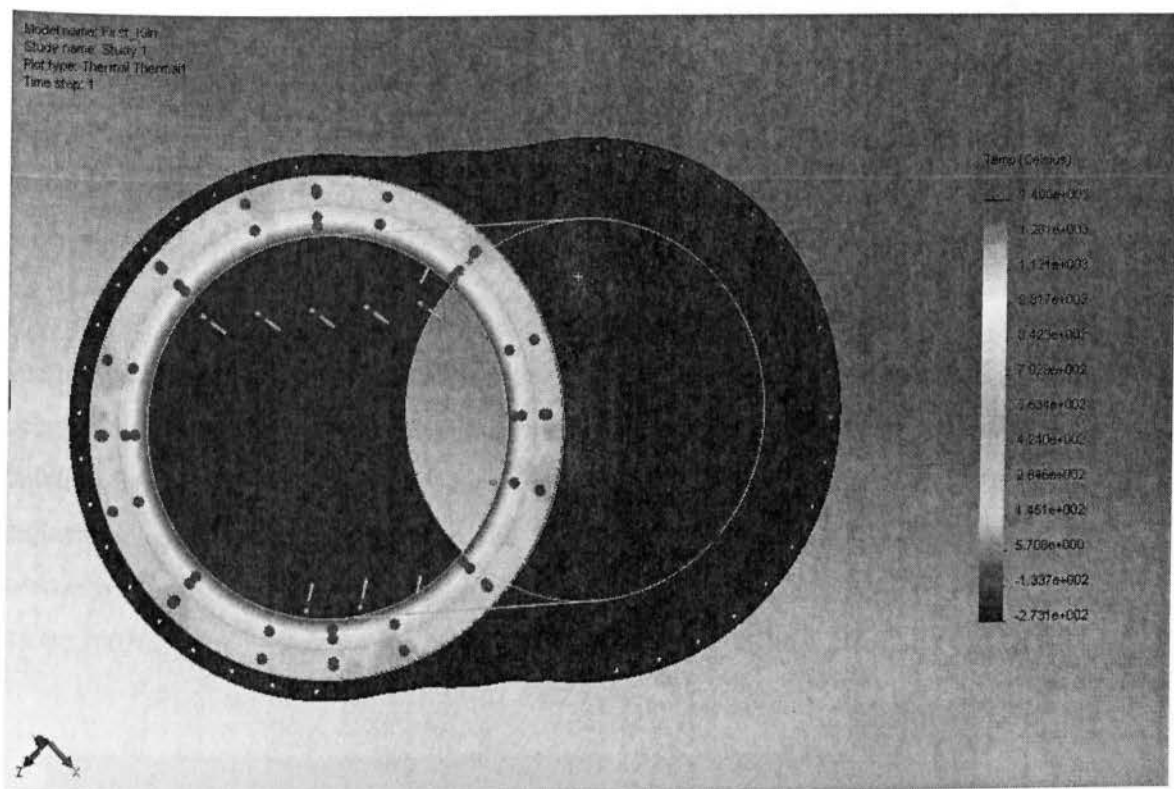
Όνομασία :	AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)
Τύπος Μοντέλου:	Linear Elastic Isotropic
Θερμική Αγωγιμότητα :	16.3 W/(m.K)
Ειδική θερμότητα :	500 J/(kg.K)
Πυκνότητα Μάζας :	8000 kg/m <sup>3</sup>

Φορτίο 1 : Θερμοκρασία στο εσωτερικό του κλιβάνου είναι 1400°C

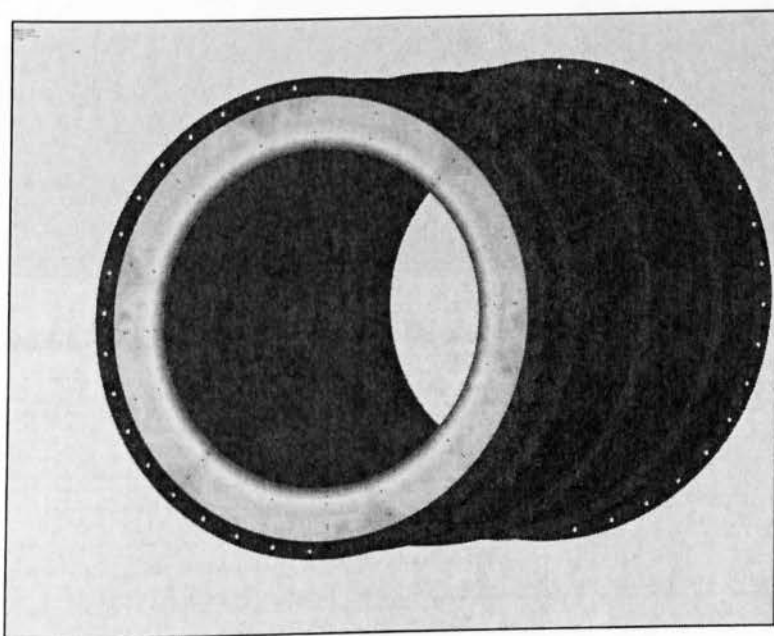


Σχήμα 4.5 : Θερμοκρασία

**Φορτίο 2 : Η Συναγωγή παίρνει την τιμή 500 (W/m<sup>2</sup>)/K με εξωτερική θερμοκρασία (Bulk Ambient Temperature ): 295 K**



Σχήμα 4.6 :Τα Θερμικά φορτία

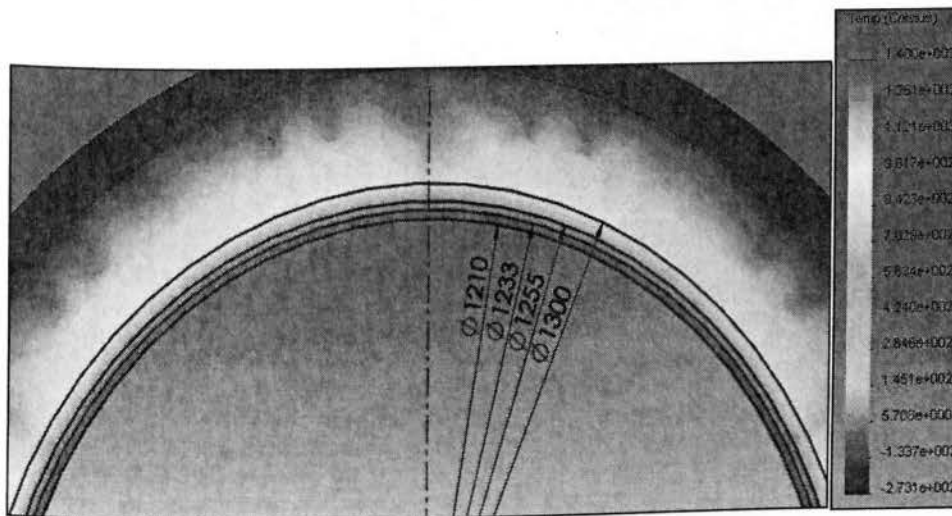


Σχήμα 4.7 : Θερμοκρασιακές ζώνες και τα Θερμικά φορτία

Η λύση του πλέγματος μας δείχνει την θερμοκρασιακή διαβάθμιση ή τις θερμοκρασιακές ζώνες στα τοιχώματα. Έχουμε την δυνατότητα προσδιορισμού της διαμέτρου κάθε ζώνης και να καταλήξουμε σε συμπεράσματα λαμβάνοντας υπόψη τα τοποθετούμενα υλικά.

Επίσης παρατηρούμε πως το πυράντοχο τοίχωμα συγκρατεί και απορροφά ένα μεγάλο ποσοστό μεταδιδόμενης θερμότητας μόλις μέσα σε λίγα εκατοστά πυράντοχου υλικού.

Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε μεγάλη απορρόφηση της θερμότητας από το πυράντοχο υλικό, όπου στα πρώτα 23mm έχουμε μια πτώση της θερμοκρασίας της τάξεως των 140°C με αρχική θερμοκρασία 1400°C. Στην συνέχεια η επόμενη βαθμίδα βρίσκεται στα 45mm από το πρόσωπο της εκτιθέμενης επιφάνειας, όπου παρατηρούμε μείωση της τάξεως των 120°C. Τελικώς στην περιοχή εναλλαγής του υλικού από το πυράντοχο στο θερμομονωτικό, η θερμοκρασία έχει πλέον πέσει στους 700°C.



Σχήμα 4.8 : Θερμοκρασιακή κλίμακα – Απορρόφηση θερμότητας από τα υλικά

Συμπεραίνουμε τελικά πως η συνολική απορρόφηση του πυράντοχου υλικού ανέρχεται στο μισό της αρχικής θερμοκρασίας των 1400°C. Από εκεί και έπειτα το θερμομονωτικό απορροφά ποσά θερμότητας έως ότου η θερμοκρασία να φτάσει στους 40°C στην επιφάνεια που βρίσκει το μεταλλικό περίβλημα του κλιβάνου. Βλέπουμε πως η επιλογή των υλικών είναι η ενδεδειγμένη, καθώς σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή κοινοτική οδηγία η θερμοκρασία στο εξωτερικό μέρος του κλιβάνου δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 45°C.

Η εκλογή του υλικού έγινε βάσει θερμοκρασιακών κατηγοριοποιήσεων της ( EN 1402- 1), την κύρια πρώτη ύλη, την μέθοδο τοποθέτησης, την πυκνότητα μετρούμενη στους 110 °C και την θερμική αγωγιμότητά τους.

## 5. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ [2000/76/ΕΚ] ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΡΟΛΗΨΗ

### 5.1 Οδηγία 2000/76/ΕΚ σχετικά με την αποτέφρωση των αποβλήτων

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) λαμβάνει μέτρα για την πρόληψη ή τον περιορισμό της ρύπανσης του αέρα, του νερού και του εδάφους, η οποία προέρχεται από την αποτέφρωση και τη συναποτέφρωση αποβλήτων, καθώς και των συνεπαγόμενων κινδύνων για την υγεία του ανθρώπου. Τα μέτρα αυτά επιβάλλουν ιδίως την έκδοση αδείας για τις μονάδες αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης, καθώς και τον καθορισμό οριακών τιμών για τις εκπομπές για ορισμένους ρύπους, οι οποίοι απορρίπτονται στην ατμόσφαιρα και το νερό.

#### 5.1.1 Σύνοψη

Η αποτέφρωση επικίνδυνων και μη επικίνδυνων αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει εκπομπές ουσιών που ρυπαίνουν τον αέρα, το νερό και το έδαφος και οι οποίες έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Για τον περιορισμό των κινδύνων αυτών, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) επιβάλλει αυστηρές συνθήκες λειτουργίας και τεχνικές απαιτήσεις για τις μονάδες που αποτεφρώνουν ή συναποτεφρώνουν απόβλητα.

### 5.2 Εγκαταστάσεις

Η παρούσα οδηγία εφαρμόζεται όχι μόνο στις μονάδες αποτέφρωσης των στερεών ή υγρών απόβλητων, αλλά και στις μονάδες συναποτέφρωσης.

Αποκλείονται από το πεδίο εφαρμογής της οδηγίας οι πειραματικές μονάδες που στοχεύουν στη βελτίωση της μεθόδου αποτέφρωσης και οι οποίες επεξεργάζονται λιγότερο από 50 τόνους αποβλήτων ετησίως, καθώς και οι μονάδες επεξεργασίας μόνο των ακόλουθων αποβλήτων:

- φυτικών αποβλήτων της γεωργίας και της δασοκομίας·
- φυτικών αποβλήτων της βιομηχανίας τροφίμων, εφόσον ανακτάται η εκλυόμενη θερμότητα·

- ορισμένων ινωδών φυτικών αποβλήτων από την παραγωγή χαρτοπολλτού και από την παραγωγή χάρτου, εφόσον για τα απόβλητα αυτά εφαρμόζεται διαδικασία συναποτέφρωσης στον τόπο παραγωγής και η εκλυόμενη θερμότητα ανακτάται
- ορισμένων απόβλητων ξύλου·
- αποβλήτων φελλού·
- ραδιενεργών αποβλήτων·
- σφαγίων ζώων·
- αποβλήτων της εκμετάλλευσης κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα οποία αποτεφρώνονται σε εγκαταστάσεις ανοικτής θάλασσας.

### 5.2.1 Άδειες

Όλες οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης πρέπει να κατέχουν άδεια για να ασκούν τις δραστηριότητές τους. Η άδεια αυτή χορηγείται από αρμόδια αρχή, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, οι οποίες ορίζονται από την παρούσα οδηγία. Η άδεια διευκρινίζει τα είδη και τις ποσότητες των αποβλήτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία, τη δυναμικότητα αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης των εγκαταστάσεων και τις διαδικασίες δειγματοληψίας και μέτρησης των ρύπων της ατμόσφαιρας και του νερού που θα χρησιμοποιηθούν.

### 5.2.2 Παράδοση και παραλαβή των αποβλήτων

Κατά την παράδοση και παραλαβή των αποβλήτων, ο φορέας εκμετάλλευσης της μονάδας αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης λαμβάνει όλες τις απαραίτητες προφυλάξεις για την πρόληψη ή τον περιορισμό των αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον και των κινδύνων για τον άνθρωπο.

Εξάλλου, ο φορέας εκμετάλλευσης, πριν δεχθεί τα απόβλητα στην εγκατάσταση αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης, πρέπει να έχει στη διάθεσή του τις διοικητικές πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία παραγωγής, με τη φυσική και χημική σύσταση των αποβλήτων, καθώς και με τους συναφείς με τα απόβλητα κινδύνους.



### 5.3 Συνθήκες λειτουργίας

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η πλήρης ολοκλήρωση της καύσης των αποβλήτων, η οδηγία προβλέπει, για όλες τις εγκαταστάσεις, υποχρέωση διατήρησης των αερίων καύσεως που προκύπτουν από την αποτέφρωση ή τη συνδυασμένη αποτέφρωση, σε ελάχιστη θερμοκρασία 850 °C τουλάχιστον για 2 δευτερόλεπτα. Στην περίπτωση επικίνδυνων αποβλήτων με περιεκτικότητα σε αλογονούχες οργανικές ενώσεις άνω του 1 %, εκφρασμένη σε χλώριο, η θερμοκρασία πρέπει να φέρεται στους 1.100 °C τουλάχιστον για 2 δευτερόλεπτα.

Η θερμότητα που παράγεται κατά τη διαδικασία αποτέφρωσης πρέπει να ανακτάται στον μέγιστο δυνατό βαθμό.

### 5.4 Οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών

Οι οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών για τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης καθορίζονται στο παράρτημα V της οδηγίας και αφορούν τα βαρέα μέταλλα, τις διοξίνες και τα φουράνια, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη), τον ολικό οργανικό άνθρακα (OOA), το υδροχλώριο (HCl), το υδροφθόριο (HF), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το οξείδιο του αζώτου (NO και NO<sub>2</sub>).

Ο προσδιορισμός των οριακών τιμών ατμοσφαιρικών εκπομπών για τις εγκαταστάσεις συναποτέφρωσης αναφέρεται στο παράρτημα II. Σε αυτό επίσης καθορίζονται ειδικές διατάξεις σχετικά με τις τσιμεντοκάμινους και τις εγκαταστάσεις συναποτέφρωσης αποβλήτων.

#### 5.4.1 Απορρίψεις λυμάτων προερχόμενων από τον καθαρισμό των αερίων καύσεως

Οι μονάδες αποτέφρωσης και συναποτέφρωσης πρέπει να διαθέτουν άδεια που τους επιτρέπει απορρίψεις λυμάτων που προέρχονται από τον καθαρισμό των αερίων καύσεως. Η εν λόγω άδεια πρέπει να εξασφαλίζει την τήρηση των οριακών τιμών εκπομπών του παραρτήματος IV της οδηγίας.

#### 5.4.2 Κατάλοιπα

Τα κατάλοιπα της διαδικασίας αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης πρέπει να περιορίζονται στο ελάχιστο και να ανακυκλώνονται στο μέτρο του δυνατού. Κατά τη μεταφορά των ξηρών καταλοίπων πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις για την αποφυγή της διασποράς τους στο

περιβάλλον. Πρέπει να πραγματοποιούνται αναλύσεις για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των καταλοίπων, καθώς και του ρυπογόνου δυναμικού τους.

#### **5.4.3 Έλεγχος και παρακολούθηση**

Η οδηγία προβλέπει την υποχρεωτική εγκατάσταση συστημάτων μέτρησης για την παρακολούθηση των σχετικών παραμέτρων εκμετάλλευσης και εκπομπών. Οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα και στα ύδατα υπολογίζονται συνεχώς ή περιοδικά σύμφωνα με το άρθρο 11 και το παράρτημα III της οδηγίας.

#### **5.4.4 Πρόσβαση στην πληροφόρηση και συμμετοχή του κοινού**

Οι αιτήσεις χορήγησης αδειάς για νέες εγκαταστάσεις θα τεθούν στη διάθεση του κοινού, ούτως ώστε το τελευταίο να προβεί σε σχόλια προτού η αρμόδια αρχή λάβει την εκάστοτε απόφαση.

Οι εγκαταστάσεις με ονομαστική δυναμικότητα μεγαλύτερη ή ίση των δύο τόνων ανά ώρα πρέπει να θέτουν στη διάθεση της αρμόδιας αρχής και του κοινού ετήσια έκθεση σχετικά με τη λειτουργία και παρακολούθησή τους. Ο κατάλογος των εγκαταστάσεων δυναμικότητας κάτω των δύο τόνων καταρτίζεται και δημοσιοποιείται από την αρμόδια αρχή.

#### **5.4.5 Υποβολή εκθέσεων εφαρμογής**

Πριν από τις 31 Δεκεμβρίου 2008 η Επιτροπή καλείται να υποβάλει στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο και στο Κοινοβούλιο έκθεση σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας, τις προόδους ελέγχου των εκπομπών και την πείρα από τη διαχείριση των αποβλήτων. Η έκθεση αυτή έχει συμπεριληφθεί στην ανακοίνωση COM(2007) 843 τελικό.

Θα καταρτιστούν επίσης άλλες εκθέσεις σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας.

#### **5.4.6 Πλαίσιο**

Η παρούσα οδηγία έχει ως στόχο να ενσωματώσει στην υφιστάμενη νομοθεσία την τεχνική πρόοδο σε θέματα ελέγχου εκπομπών από τις διαδικασίες αποτέφρωσης και να εξασφαλίζει την τήρηση των διεθνών δεσμεύσεων που έχει αναλάβει η Κοινότητα όσον αφορά τη μείωση της ρύπανσης, ιδίως των δεσμεύσεων που αφορούν τον καθορισμό οριακών τιμών για τις εκπομπές διοξινών, υδράργυρου και κονιορτού που δημιουργούνται από την αποτέφρωση αποβλήτων. Η

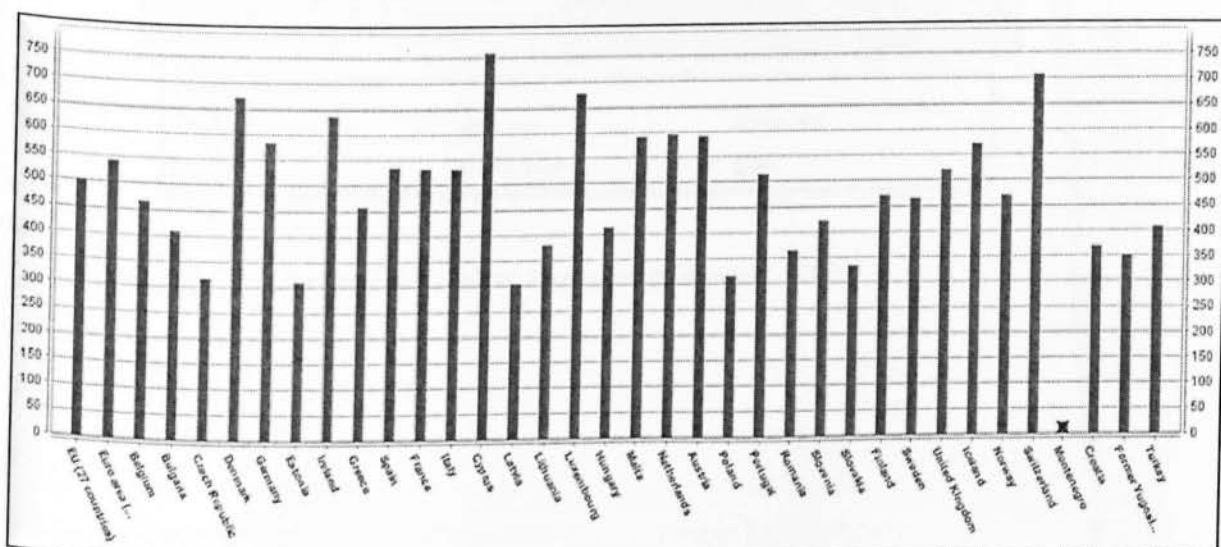
οδηγία βασίζεται σε ολοκληρωμένη προσέγγιση: στις επικαιροποιημένες οριακές τιμές για τις ατμοσφαιρικές τιμές προστίθενται τα όρια σχετικά με τις απορρίψεις νερού.

## 5.5 Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης μέχρι το 2013

Οδηγία 2008/1/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 15ης Ιανουαρίου 2008, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) ορίζει τις υποχρεώσεις που πρέπει να τηρούνται στο πλαίσιο βιομηχανικών και γεωργικών δραστηριοτήτων υψηλού δυναμικού ρύπανσης, θεσπίζει μια διαδικασία έκδοσης άδειας για τέτοιες δραστηριότητες και προσδιορίζει ελάχιστες απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να καλύπτει κάθε άδεια, σε ότι κυρίως αφορά την απόρριψη ουσιών που ρυπαίνουν. Στόχος είναι η μη ρύπανση ή η ελαχιστοποίηση των ρύπων στον αέρα, το νερό και το έδαφος, καθώς και των αποβλήτων που προέρχονται από βιομηχανικές και γεωργικές εγκαταστάσεις με σκοπό να επιτευχθεί μια υψηλής στάθμης προστασία του περιβάλλοντος.

Η οδηγία (η λεγόμενη "οδηγία IPPC") θεσπίζει την έκδοση άδειας για βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες υψηλού δυναμικού ρύπανσης. Για την έκδοση αυτής της άδειας προϋποτίθεται η τήρηση ορισμένων περιβαλλοντικών απαιτήσεων, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις να αναλαμβάνουν οι ίδιες την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης που ενδεχομένως θα προξενήσουν.

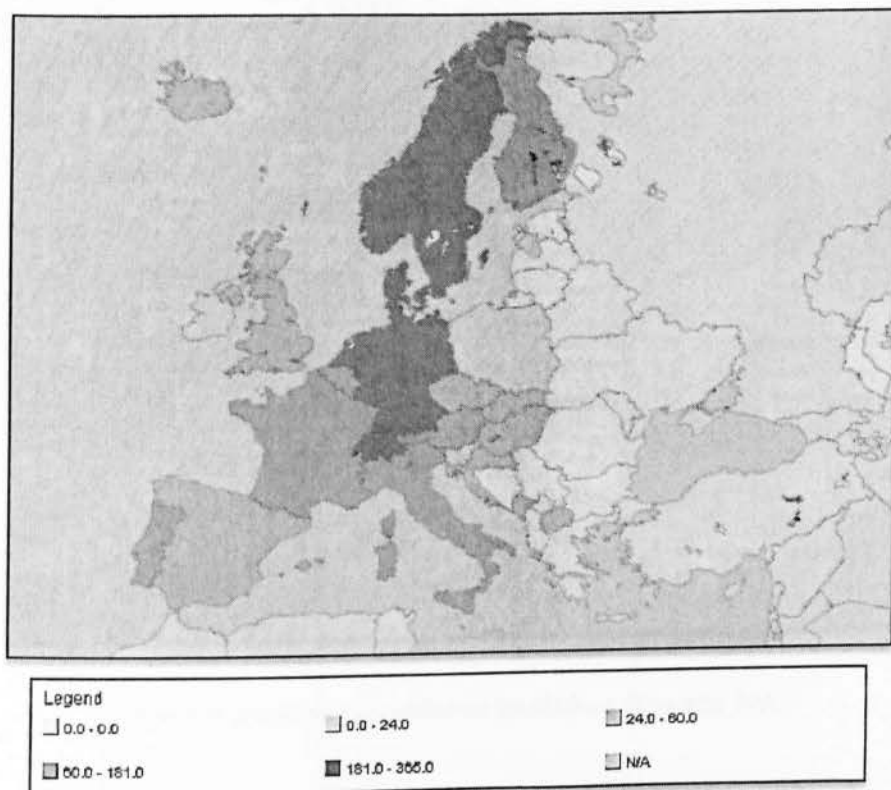


Σχήμα 5.1: Στατιστικά Αποτέφρωσης

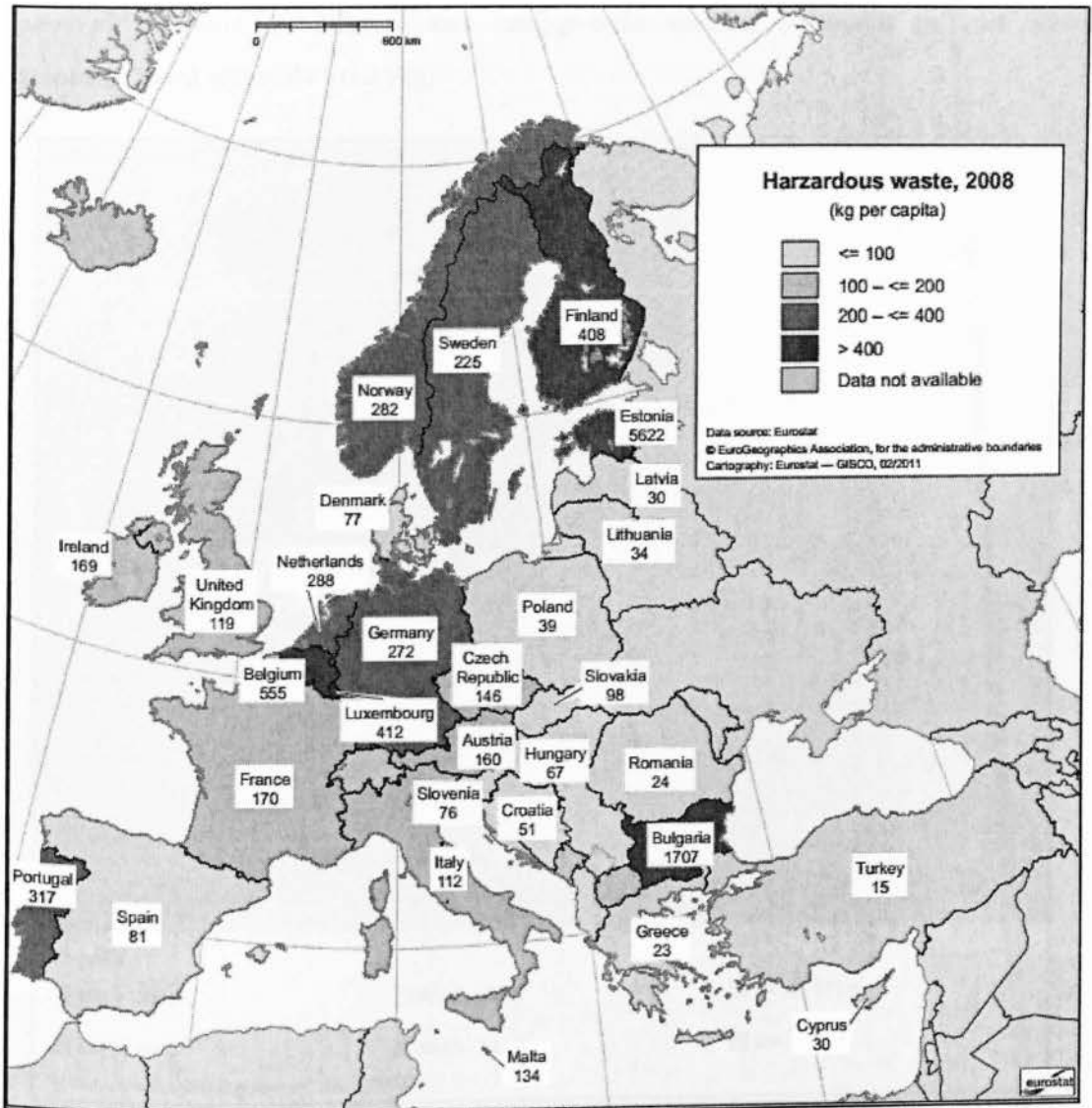
Η ολοκληρωμένη πρόληψη και ο έλεγχος της ρύπανσης αφορούν βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες, νέες ή ήδη υπάρχουσες, υψηλού δυναμικού ρύπανσης, όπως αυτές ορίζονται στο παράρτημα Ι της οδηγίας (ενεργειακές βιομηχανίες, παραγωγή και μεταποίηση μετάλλων, εξορυκτική βιομηχανία, χημική βιομηχανία, διαχείριση των αποβλήτων).

## 5.6 Ευρωπαϊκά στατιστικά στοιχεία αποτέφρωσης

### Συνολική Αποτέφρωση

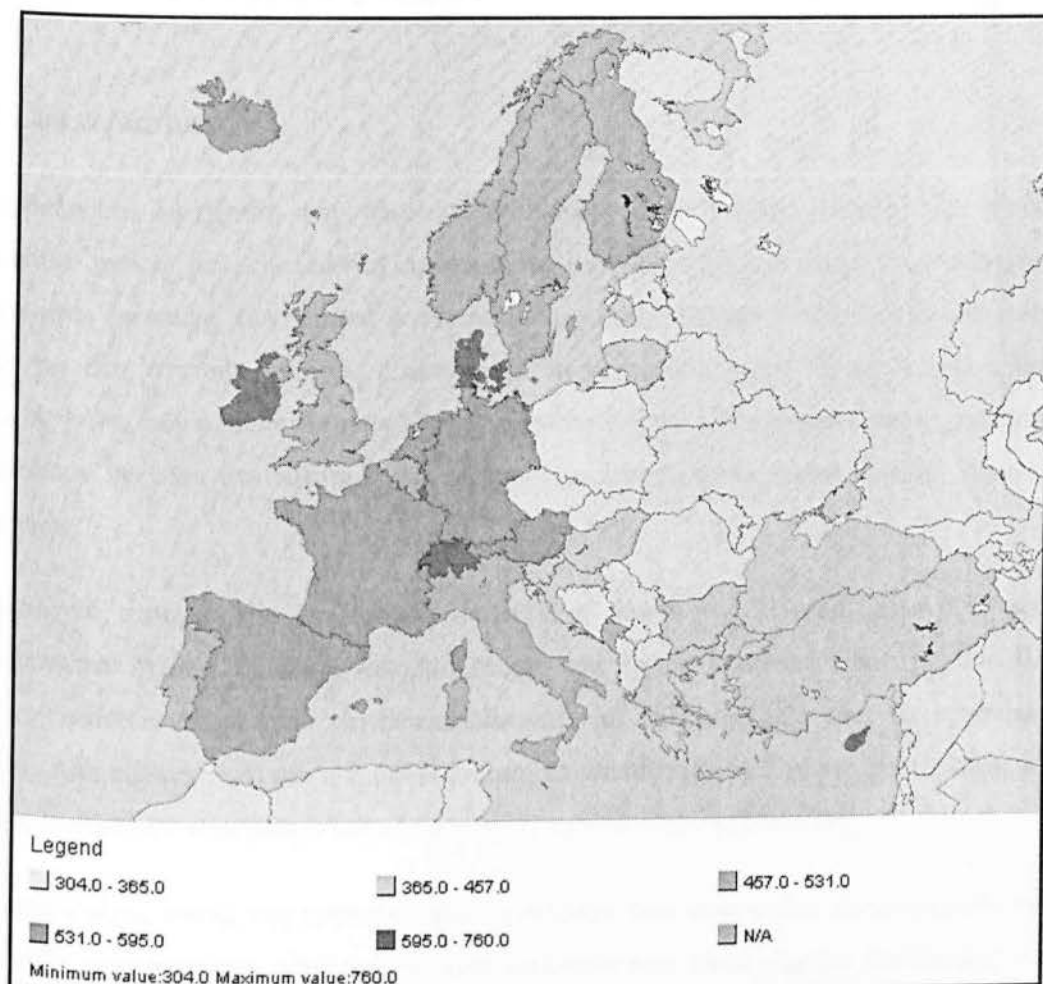


Σχήμα 5.2: Συνολική Αποτέφρωση [Eurostat – 2010]



Σχήμα 5.3: Διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων [Eurostat 2010]

Παραγωγή αστικών αποβλήτων και επεξεργασία αυτών, σύμφωνα με την μέθοδο διαχείρισης κατά κεφαλήν κιλά (kg)



Σχήμα 5.4: Παραγόμενα απόβλητα [Eurostat 2010]

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### 6.1 Συμπεράσματα

Η ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα παρόλη την πρόοδο τα τελευταία χρόνια δεν έχει ακόμη προχωρήσει σε ικανοποιητικό βαθμό ενώ συγχρόνως η πιθανότητα επίτευξης των νομικά δεσμευτικών σχετικών στόχων εντός των προθεσμιών που ορίζονται στις σχετικές Οδηγίες εξακολουθεί να παραμένει μικρή. Έτσι, διάφορες βασικές επιλογές βάσει των οποίων διαμορφώθηκαν στρατηγικές και επιλέχθηκαν δράσεις θα πρέπει να εξετασθούν εκ νέου στο πλαίσιο νέων δεδομένων τεχνολογικών, οικονομικών, νομικών και πολιτικών.

Πρωταρχικό στοιχείο του σχεδιασμού αποτελεί η παύση της λειτουργίας ανεξέλεγκτων ή ακατάλληλων χώρων διάθεσης απορριμμάτων που έχουν ρυπανθεί από την ανεξέλεγκτη διάθεση αστικών αποβλήτων και δεν επιλέγονται για τη μετεξέλιξή τους σε οργανωμένους ΧΥΤΑ. Απαραίτητη είναι και η περιβαλλοντική αποκατάσταση των χώρων με τη λήψη μέτρων για τον ουσιαστικό περιορισμό έως εξάλειψη της προκαλούμενης ρύπανσης.

**Βασικός στόχος αυτής της εργασίας ήταν η παροχή των αναγκαίων πληροφοριών για την ανάπτυξη ενός πλαισίου αξιολόγησης των επιλογών που είναι σήμερα διαθέσιμες για την αντιμετώπιση του προβλήματος της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, μέσω:**

- περιγραφής τεχνολογιών
- ανάλυσης της λειτουργίας του περιστροφικού κλιβάνου
- εκτίμησης μεγεθών και
- συγκέντρωσης τεχνικών στοιχείων.

Όλες οι εκτιμήσεις, τόσο από προηγούμενες μελέτες όσο και από αυτές στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, καταδεικνύουν την συνεχιζόμενη τάση αύξησης της ποσότητας των αποβλήτων και μάλιστα με σχετικά μεγάλα ποσοστά, της τάξης του 2.2-3% ετησίως για τα επόμενα 20 χρόνια, σε αντίθεση με μειωτικές τάσεις σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Αποτέλεσμα

της τάσης αυτής είναι μέχρι το 2020 να έχουμε, σε σχέση με σήμερα, μια αύξηση της ετήσιας παραγόμενης ποσότητας κατά περισσότερο από 45%. Αυτό βέβαια υπογραμμίζει την ανάγκη άμεσης επιλογής και εφαρμογής μεθόδων για την βέλτιστη διαχείριση και κατά το δυνατόν βέλτιστη αξιοποίηση των αστικών αποβλήτων.

Αναμφισβήτητα, όλες οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και μάλιστα πολλές φορές, σημαντικά. Είναι δεδομένο λοιπόν ότι η οποιαδήποτε στρατηγική αντιμετώπισης του προβλήματος δεν μπορεί παρά να περιλαμβάνει αναγκαστικά μέτρα μείωσης της παραγωγής στην πηγή.

**Υπάρχουν ώριμες και αποδεδειγμένες τεχνολογίες για την ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων προς παραγωγή ενέργειας** και καθώς υπάρχει η ανάληψη υποχρεωτικού στόχου παραγωγής 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας από ΑΠΕ, η συνεισφορά από την ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων ή παραγώγων τους, θα είναι τριπλή :

- άμεση παραγωγή ηλεκτρισμού από καύση,
- βοήθεια στην επίτευξη του στόχου των ΑΠΕ αφού αυξάνεται η σημασία και
- αξιοποίηση βιομάζας και ο μείωση εκπομπών μεθανίου που είναι 21 φορές περισσότερο επιβαρυντικό από το CO<sub>2</sub>.

Με την θερμική καταπόνηση του μοντελοποιημένου κλιβάνου γίνεται η ορθή επιλογή των τοποθετούμενων υλικών με βάση την χημική τους σύσταση – Θερμική τους αγωγιμότητα κ.α.

Συμπεραίνουμε ότι τα καταλληλότερα τσιμεντοκονιάματα είναι αυτά που αναφέρθηκαν στους παραπάνω πίνακες, και με βάση αυτά έγινε η προσομοίωση με αποτελέσματα ικανά για να ανθίστανται στις μεγάλης διάρκειας θερμοκρασιακές καταπονήσεις .

## 6.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

- Οι καυστήρες του κλιβάνου μπορούν να λειτουργούν με ποικιλία καυσίμων, όπως υγραέριο (LPG), αέριο, πετρέλαιο κ.ά.
- Η ποιότητα αποτέφρωσης μπορεί να φτάσει
  - MAX. 3% του αρχικού όγκου των απορριμμάτων.
  - MAX. 10% του αρχικού βάρους (γυαλιά, μέταλλα, πορσελάνες).



- MAX. 3% του αρχικού βάρους από άκαυστα ανόργανα.
- Εκμετάλλευση θερμότητας με μεγάλη απόδοση λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων, μέσω κατάλληλου συστήματος εκμετάλλευσης θερμότητας με την μορφή θερμού ύδατος και υπερθερμασμένου ύδατος.
- Χρήση περιστροφικών κλιβάνων σε νοσοκομεία, σφαγεία ,πτηνοσφαγεία-πτηνοτροφεία, ξηραντήρια, αγροτικές βιομηχανίες, βιομηχανίες τροφίμων κ.λ.π. Μπορούν να αποτεφρώσουν ή να αποξηράνουν, βάρος απορριμμάτων, από **100-1800 kg/h**, με μέγιστο ποσοστό υγρών **100%**.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μέσα από τη μελέτη αυτή αποδεικνύεται, ότι τα απορρίμματα μπορούν, με την κατάλληλη διαχείριση, να αποτελέσουν σημαντική πηγή ενέργειας και έτσι πρέπει να αντιμετωπίζονται. Στη σύγχρονη κοινωνία όπου ο ρυθμός εξάντλησης των φυσικών πόρων αυξάνεται συνεχώς, τα απορρίμματα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας μπορούμε πλέον να κερδίσουμε ενέργεια από κάτι που μέχρι πρότινος θεωρούσαμε άχρηστο.

## Βιβλιογραφία

- Γιδαράκος Ε., Αϊβαλιώτη Μ. (2007) «Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων».
- Γιδαράκος Ε. (2006) «Διαχείριση και Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων», Σημειώσεις Μαθήματος "Ειδικά θέματα περιβάλλοντος και Υγείας", Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Μουσιόπουλος Ν., Καραγιαννίδης Α., (2002) «Διαχείριση Απορριμμάτων» Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ.
- Τ.Ε.Ε. (2006) «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα / Η περίπτωση της Αττικής».
- Ανδρεαδάκης Α. (2001) «Θερμική Επεξεργασία Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (Α.Σ.Α.) και Ιλύων», Σημειώσεις Μαθήματος "Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και Ιλύος".
- Φάττα Δ. (2006) «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων», Σημειώσεις Μαθήματος "Διαχείριση Στερεών και Επικίνδυνων Αποβλήτων", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου.
- Καραγιαννίδης Α., Σημειώσεις «Θερμική επεξεργασία και ενεργειακή αξιοποίηση στερεών αποβλήτων – μύθοι και πραγματικότητα». Τμήμα μηχανολόγων μηχανικών, Α.Π.Θ.
- DEFRA (2005) Advanced Biological Treatment of Municipal Solid Waste. Prepared by Enviros Consulting Ltd as part of the New Technologies Supporter Programme, DEFRA, UK
- Bilitewski B. (2006<sup>b</sup>) «Pyrolysis, Gasification and Plasma Technologies», Proceedings Venice 2006: Biomass and Waste to Energy Symposium, Organized by (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Center (ESEC).
- LaGrega, M.D., Buckingham P.L., Evans D.C. (2001) «Hazardous Waste Management», McGraw-Hill.
- Themelis N. (2003) «An Overview of the Global Waste-to-Energy Industry», Waste Management World, 2003-2004 Review Issue,.
- Themelis N. (2006) «The Role of Waste-to-Energy in the U.S.A.» 3rd Congress of the Confederation of European WTE Plants (CEWEP), Vienna, May 2006.

- Eurostat (2012) «Παραγωγή και επεξεργασία αποβλήτων στα κράτη της Ευρώπης».
- Ε.Ε.Δ.Σ.Α. (2012), Επιστημονικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός συμβολής στη βιώσιμη ανάπτυξη.
- I.S.W.A. Reports from International solid waste association
- Τ.Ε.Ε. Κεντρικής Μακεδονίας (2010) «Ενεργειακή αξιοποίηση αστικών στερεών αποβλήτων και προοπτικές της περιφέρειας »