

**ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΑΔΑΣ  
ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ  
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ RDF ΑΠΟ ΤΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ  
ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ**

**Δρ. ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΚΩΝΣΤΑΣ  
ΜΕΛΕΤΕΣ “ΚΩΝΣΤΑΣ” ΕΠΕ – Ε.Μ.Π.**

**ΑΘΗΝΑ  
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1999**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>5</b>
1.1 ΑΝΑΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	5
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	5
1.3 ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ .....	5
1.4 ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	5
<b>2. Η ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ - ΚΑΠ (RDF).....</b>	<b>6</b>
2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΚΑΠ (RDF).....	6
2.1.1 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	7
2.1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΚΑΠ.....	7
2.1.3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ.....	8
2.1.4 ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	8
2.1.5 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ .....	8
2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ .....	9
2.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ.....	10
2.3.1 ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΑΠ .....	11
2.3.2 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΤΟΥ ΚΑΠ .....	12
2.4 ΤΟΞΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΤΟ ΚΑΠ.....	14
2.5 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ.....	14
2.5.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΚΑΠ.....	15
2.5.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ ΠΟΥ ΘΑ ΑΞΙΟΠΟΙΕΙΤΑΙ.....	15
2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ.....	15
2.7 ΤΙΜΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ .....	16
<b>3. ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ .....</b>	<b>18</b>
3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ .....	18
3.2 ΚΥΡΙΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	19
3.3 ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΣΧΑΡΕΣ .....	21
3.3.1 ΤΥΠΟΙ ΕΣΧΑΡΩΝ .....	24
3.3.2 ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	24
3.4.1 ΤΥΠΟΙ ΚΛΙΝΩΝ.....	30
3.4.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΥΣΗΣ .....	30
3.5 ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΚΛΙΒΑΝΟ .....	33
<b>4. ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ.....</b>	<b>35</b>
4.1 ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	35
4.2 ΑΛΟΓΟΝΩΜΕΝΕΣ ΔΙΒΕΝΖΟ-ΔΙΟΞΙΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΒΕΝΖΟ-ΦΟΥΡΑΝΙΑ .....	35
4.2.1 ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΔΙΟΞΙΝΩΝ .....	36
<b>5. Ο ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>38</b>
5.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ .....	38
5.2 ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ.....	40
5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ .....	40
5.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ....	46
<b>6. ΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>47</b>
<b>7. ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ - ΠΥΡΟΛΥΣΗ.....</b>	<b>49</b>
7.1 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	50
7.2 ΠΥΡΟΛΥΣΗ.....	53
7.2.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΚΛΙΒΑΝΟ .....	53
7.2.2 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΛΙΝΗ .....	56
7.2.3 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΜΕ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΩΚ ΚΑΙ ΑΕΡΙΟΥ.....	56
7.2.4 Ο ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΕΞΑΕΡΩΣΗΣ-ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ .....	57
7.2.5 ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ.....	57
7.2.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ .....	57
7.3 ΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ- ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ.....	57

<b>8. ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ .....</b>	<b>58</b>
8.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ .....	58
8.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	60
8.2.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ.....	60
8.2.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ-ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΚΑΠ64	
8.3 ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	64
8.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	64
8.4.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	64
8.4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ .....	66
<b>9. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ .....</b>	<b>67</b>
9.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ .....	67
9.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΝΕΡΑ .....	68
9.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΥΠΟΓΕΙΟ ΟΡΙΖΟΝΤΑ .....	69
<b>10. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ .....</b>	<b>70</b>
10.1 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ .....	70
11.2 ΟΠΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ .....	70
11.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ .....	71
11.3.1 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	71
11.3. 2 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	72
<b>12. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΠ .....</b>	<b>73</b>
12.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ .....	73
12.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ .....	77
12.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΥΣΗΣ .....	77
12.2.2 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΥΡΟΛΥΣΗ.....	77
12.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	80
12.4 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ.....	82
12.4.1 ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	82
12.4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....	83
12.4.3 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ .....	83
12.4.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	84
<b>13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>85</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....</b>	<b>87</b>
<b>ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>87</b>
A.1-1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΗ ΜΑΔΡΙΤΗ .....	87
A.2-1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΗ ΒΕΡΟΝΑ .....	91
A.3-1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΟ GREVE-IN-CHIANTI .....	94
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>	<b>96</b>
<b>ΠΡΟΤΑΘΕΙΣΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ (ΚΑΠ).....</b>	<b>96</b>
B.1 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΠ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ TPS.....	96
B.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΠ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ LURGI ENVIRO THERM.....	97
B.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΠ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ LURGI ENVIRO THERM.....	98
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ .....</b>	<b>101</b>

<b>ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ <sup>(36)</sup>.....</b>	<b>101</b>
<i>Περιγραφή σύγχρονων τεχνολογιών αεριοποίησης.....</i>	<i>101</i>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΑΝΑΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα εργασία έχει ανατεθεί από τον Ενιαίο Σύνδεσμο Δήμων και Κοινοτήτων Νομού Αττικής (ΕΣΔΚΝΑ) στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), με θέμα την εκπόνηση της προμελέτης και των τευχών δημοπράτησης για την κατασκευή μιας εγκατάστασης για την θερμική αξιοποίηση του Καυσίμου από Απορρίμματα (ΚΑΠ), γνωστού και με την ονομασία Refuse Derived Fuel (RDF), που θα προκύπτει σε μονάδες μηχανικής διαλογής Αστικών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) οι οποίες θα επεξεργάζονται τα ΑΣΑ της περιοχής του ΕΣΔΚΝΑ, στην περιοχή του Χώρου υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) των Άνω Λιοσίων.

### 1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η αξιοποίηση του ΚΑΠ με θερμική επεξεργασία, με κύριο στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για ιδιοκατανάλωση στο υπό κατασκευή ευρύτερο συγκρότημα επεξεργασίας ΑΣΑ των Άνω Λιοσίων αποτελεί επιλογή του ΕΣΔΚΝΑ.

Στόχος της έρευνας αυτής είναι η αναζήτηση της περιβαλλοντικά και οικονομικά πιο ενδεδειγμένης μεθόδου επεξεργασίας και η σύνταξη της σχετικής προμελέτης που θα επισυναφθεί στα τεύχη δημοπράτησης για την κατασκευή του έργου με το σύστημα μελέτη-κατασκευή.

Αντικείμενο της παρούσης εργασίας αποτελεί η πρώτη φάση της συνολικής εργασίας, δηλαδή η ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ ΚΑΙ Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΙΟ ΕΝΔΕΔΙΓΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.

### 1.3 ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ

Υπεύθυνος για την σύνταξη της μελέτης αυτής είναι ο Δρ. χημικός Στέφανος Κώνστας της εταιρείας “Μελέτες “ΚΩΝΣΤΑΣ” ΕΠΕ” με τη συνεργασία του Ε.Μ.Π.

### 1.4 ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Την επίβλεψη της όλης μελέτης έχει ο κ. Ευάγγελος Καπετάνιος, Διευθυντής του Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.

Στον κ. Καπετάνιο εκφράζονται και από την θέση αυτή θερμές ευχαριστίες για την συνεργασία και τις εποικοδομητικές συμβουλές του.

## 2. Η ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ - ΚΑΠ (RDF)

### 2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΚΑΠ (RDF)

Το ΚΑΠ είναι το Καύσιμο κλάσμα των Αστικών Απορριμμάτων. Η αγγλική του ονομασία είναι RDF, από τα αρχικά του όρου Refuse Derived Fuel, ενώ στα Γερμανικά ονομάζεται BRAM, που σημαίνει Brennstoff aus Muell.

Όπως λέει και το όνομά του, το ΚΑΠ έχει ως κύρια συστατικά τα συστατικά των αστικών απορριμμάτων (ΑΣΑ), που έχουν χαρακτηριστεί ως καύσιμα και είναι κατά κύριο λόγο χαρτί, πλαστικά, ξύλο και ύφασμα.

Ο διαχωρισμός των καυσίμων αυτών συστατικών γίνεται με επεξεργασία του συνολικού μίγματος των απορριμμάτων και η αξιοποίησή τους γίνεται με την παραγωγή ενέργειας <sup>(1)</sup>.

Παλαιότερα, στην δεκαετία του '80, υπήρχαν πολλές εγκαταστάσεις που έκαναν τον διαχωρισμό του ΚΑΠ ύστερα από αερόβια ζύμωση (κομποστοποίηση) του συνολικού μίγματος των ΑΣΑ <sup>(2),(3),(4)</sup>. Η μέθοδος αυτή είχε το πλεονέκτημα ότι κατά την ζύμωση τα ΑΣΑ έχαναν ένα σημαντικό μέρος της υγρασίας τους, με συνέπεια η μηχανική διαλογή να γίνεται ευκολότερα και αποτελεσματικότερα..

Δυστυχώς γρήγορα διαπιστώθηκε ότι κατά την αερόβια ζύμωση των συνολικών ΑΣΑ γινόταν διαλυτοποίηση βαρέων μετάλλων, που παρέμεναν κατά σημαντικό ποσοστό στο κλάσμα του κομπόστ, με συνέπεια να το καθιστούν ακατάλληλο για γεωργικές εφαρμογές.

Έτσι, σήμερα έχει επικρατήσει να γίνεται πρώτα η μηχανική διαλογή, κατά την οποία διαχωρίζονται τα ΑΣΑ σε :

- ζυμώσιμο κλάσμα, που μετά την ζύμωση μπορεί να δώσει αξιοποιήσιμο κομπόστ, εφ' όσον δεν περιέχει επιβλαβείς προσμίξεις.
- καύσιμο κλάσμα, που μπορεί να αξιοποιηθεί θερμικά
- μέταλλα που ανακυκλώνονται
- αδρανή που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ.

Η παραγωγή του ΚΑΠ έχει δηλαδή ως σκοπό την παραγωγή ενός υλικού που, σαν καύσιμο, έχει πολύ καλύτερες ιδιότητες από τα ΑΣΑ.

Η θερμογόνο δύναμη του ΚΑΠ εξαρτάται, φυσικά, από την σύνθεση των ΑΣΑ από τα οποία προέρχεται, που επηρεάζεται άμεσα και από την έκταση της ανάκτησης στην πηγή υλικών όπως το χαρτί και τα πλαστικά. Από τις διάφορες σχετικές δημοσιεύσεις, καθώς και από υπολογισμό με βάση την αναμενόμενη σύνθεσή του, εκτιμάται ότι το ΚΑΠ που θα παράγεται από τις μονάδες του ΕΣΔΚΝΑ στα Ανω Λιόσια θα έχει θερμογόνο δύναμη περί τις 13.500 kJ/kg, που είναι πολύ ικανοποιητική.

Όπως αναφέρθηκε σε τριμερίδα που έλαβε χώρα τον Μάρτιο 1999 στην Δρέσδη, η διαδικασία της μηχανικής διαλογής, παραγωγής κομπόστ και ενέργειας από το ΚΑΠ μειώνει

<sup>6</sup> Αδ. Σκορδίλη, Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων και RDF, ΚΟΣΜΟΣ ΕΠΕ, Αθήνα 1997

γύρω στο 1/10 τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, σε σχέση με τον κλασικό ΧΥΤΑ (<sup>5</sup>).

### 2.1.1 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Σύμφωνα με τα στοιχεία που εδόθησαν από τον ΕΣΔΚΝΑ, η ποσότητα ΚΑΠ που αναμένεται να προκύπτει από την επεξεργασία 2.800 τόννων ΑΣΑ την ημέρα στις εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής των Άνω Λιοσίων ανέρχεται σε 700 περίπου τόννους ανά 24ωρο. Το συγκρότημα θερμικής επεξεργασίας θα πρέπει να μπορεί να επεξεργασθεί 30 τόννους την ώρα ΚΑΠ.

### 2.1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΚΑΠ

Το ΚΑΠ, όπως εξέρχεται από την εγκατάσταση της μηχανικής διαλογής, είναι χύμα και ασυμπιεστο, (fluff), με συνέπεια να έχει πολύ χαμηλό ειδικό βάρος, συνήθως κάτω των 100 kg/m<sup>3</sup>. Η υγρασία του είναι της τάξης του 30%.

Κάτω από τις συνθήκες αυτές, είναι πολύ δύσκολη η αποθήκευση και διακίνησή του, καθώς και η τροφοδοσία του προς οποιαδήποτε επεξεργασία. Για τον λόγο αυτό το ΚΑΠ διακινείται συνήθως σε συμπιεσμένη μορφή.

Τα χαρακτηριστικά του ΚΑΠ στις διάφορες μορφές του είναι(<sup>6</sup>):

ΜΟΡΦΗ	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (kg/m <sup>3</sup> )	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
Χύμα	Καμία	100	30
Δέματα	Συμπίεση, δεματοποίηση	600	25-30
Κύβοι (pellets)	Ξήρανση, συμπίεση σε κύβους	500-600	10-15

Το προϊόν που προορίζεται για αξιοποίηση στο υπό μελέτη συγκρότημα, που θα παράγεται σε δύο γειτονικές εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής ΑΣΑ θα είναι σε μπάλες και θα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Μορφή		Μπάλες (δέματα)		
Διαστάσεις	m	πλάτος 1,1	ύψος 1,1	μήκος 1,5
Όγκος	m <sup>3</sup>			1,815
Πυκνότητα	kg/ m <sup>3</sup>			620
Βάρος μπάλας	kg			1125,3
Μπάλες/ημέρα				640
Μπάλες/ώρα				26,5
Λεπτά ανά μπάλα				2,25

Η τελική επιλογή της παραγωγής ΚΑΠ σε μπάλες αντί των κύβων (pellets), έγινε από τον ΕΣΔΚΝΑ με κύριο στόχο την εξοικονόμηση των δυσανάλογα μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή από το χύμα προϊόν ξηρών συμπιεσμένων κύβων.

### 2.1.3 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ

Τα προβλήματα που προκύπτουν από την αποθήκευση του ΚΑΠ έχουν σχέση με το ειδικό του βάρος και με την τάση που παρουσιάζει να αναπτύξει δυσσομία, λόγω αναερόβιων ζυμώσεων.

Το ειδικό βάρος του ΚΑΠ σε ασυμπίεστη μορφή (fluff), είναι εξαιρετικά χαμηλό, και βρίσκεται κάτω από τα  $100 \text{ kg/m}^3$ . Η τιμή αυτή είναι επόμενο να δημιουργεί πολύ μεγάλα προβλήματα, τόσο για την αποθήκευση όσο και για την μεταφορά του προϊόντος. Για τον λόγο αυτό η διακίνηση του ΚΑΠ γίνεται σε συμπιεσμένη μορφή, είτε σε υγρές μπάλες (δέματα) ειδικού βάρους γύρω στα  $500\text{-}600 \text{ kg/m}^3$  είτε υπό μορφή ξηρών πέλλετς ή μπρικεττών, οπότε το ειδικό βάρος, χύδην, κυμαίνεται επίσης σε αυτές τις τιμές, με συνέπεια να απαιτείται περί τις 15 φορές λιγότερος αποθηκευτικός χώρος για τη ίδια ποσότητα.

Από την άλλη μεριά, η αποθήκευση του ΚΑΠ σε υγρή μορφή, είτε σε δέματα, είτε χύμα, έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ζυμώσεων, με δυσάρεστα αποτελέσματα.

Στο ασυμπίεστο ΚΑΠ οι ζυμώσεις θα είναι αερόβιες και αναερόβιες, ανάλογα με την έκταση στην οποία είναι δυνατή η κυκλοφορία του αέρα. Έτσι εκτός από τον κίνδυνο δυσσομίας, υπάρχει και ο κίνδυνος αυτανάφλεξης, λόγω της απόδοσης της θερμοκρασίας κατά την ζύμωση.

Επί πλέον, ο σωρός του ασυμπίεστου ΚΑΠ αποτελεί μία εύφλεκτη μάζα, που, σε περίπτωση πυρκαϊάς, θα είναι πολύ δύσκολο να κατασβεσθεί.

Στο συμπιεσμένο σε μπάλες ΚΑΠ, επειδή δεν κυκλοφορεί αέρας μέσα στην μάζα, μόνο αναερόβιες ζυμώσεις είναι δυνατόν να αναπτυχθούν, οι οποίες όμως εξελίσσονται με πολύ αργούς ρυθμούς και δυσσομία αναμένεται να εκδηλωθεί μετά πολλών ημερών αποθήκευση.

### 2.1.4 ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Με τον αναμενόμενο ρυθμό παραγωγής των 640 δεμάτων το 24ωρο, προκύπτει ότι θα πρέπει να τροφοδοτούνται στην θερμική επεξεργασία 26 μπάλες την ώρα συνολικού βάρους 30 τόνων περίπου.

Δεδομένου ότι η συνολική απόσταση από τα σημεία παραγωγής ως τη μονάδα θερμικής επεξεργασίας θα είναι περί το ένα χιλιόμετρο, και λαμβάνοντας υπόψη ότι και στις δύο εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής χρησιμοποιούνται ευρύτατα φορτηγά αυτοκίνητα για τις μεταφορές, συνάγεται ότι ο οικονομικότερος τρόπος μεταφοράς θα είναι με φορτηγό αυτοκίνητο, που θα απασχολείται μέρος μόνο (περίπου 2 ώρες/ βάρδια) του χρόνου εργασίας για τον σκοπό αυτό.

Πριν τη θερμική αξιοποίηση, τα δέματα του ΚΑΠ θα αποθηκεύονται προσωρινά. Πριν τη μονάδα(ες) θερμικής αξιοποίησης, θα υπάρχει μηχανήμα που θα διαλύει το δέμα τροφοδοτώντας με σταθερό ρυθμό την εγκατάσταση.

### 2.1.5 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ

Για λόγους ανεξαρτητοποίησης της μονάδας μηχανικής διαλογής από την μονάδα θερμικής αξιοποίησης, θα προβλεφθεί χώρος για την δημιουργία αποθέματος δεμάτων ΚΑΠ, στον χώρο της θερμικής αξιοποίησης, που να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες λειτουργίας 3 ημερών, δηλαδή χωρητικότητας 2.000 δεμάτων περίπου.

Η μετακίνηση του ΚΑΠ στην αποθήκη και η τροφοδοσία της εγκατάστασης μπορεί να γίνεται με την βοήθεια γερανογέφυρας εξοπλισμένης με αρπάγη ανύψωσης και μεταφοράς των δεμάτων.

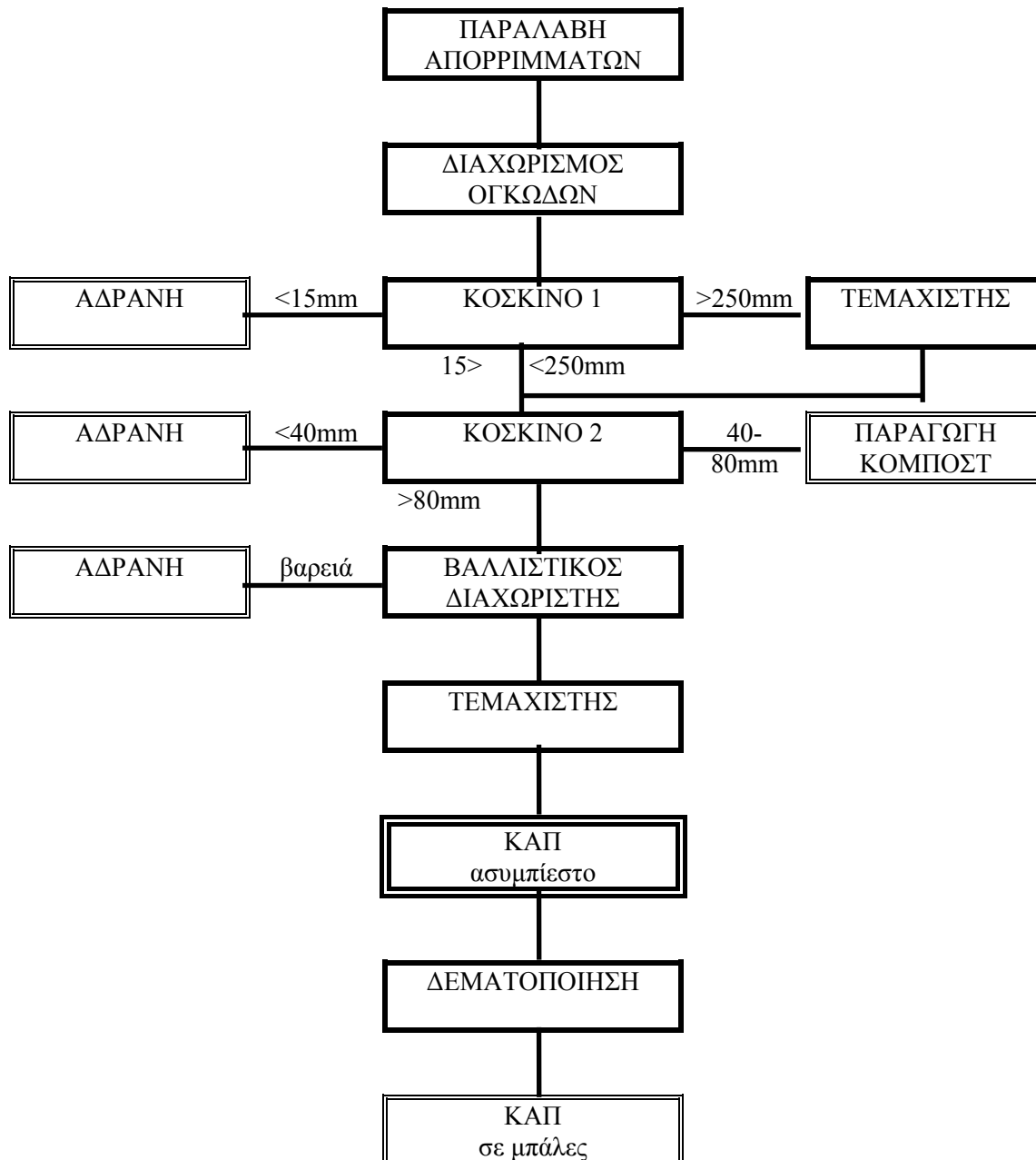
Εάν τα δέματα μπορούν να τοποθετηθούν σε τρία επίπεδα, το ένα επάνω στο άλλο, η αποθήκη αυτή θα πρέπει να έχει επιφάνεια 800-1000 τετρ. μέτρων.



## 2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ

Μία τυπική διάταξη εγκατάστασης μηχανικής διαλογής ΑΣΑ , είναι αυτή που δείχνει το συνοπτικό λειτουργικό διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 2.2.1). Η παραγωγική αυτή διαδικασία εφαρμόζεται στο υπό κατασκευή συγκρότημα του ΕΣΔΚΝΑ στην περιοχή του Δήμου Ανω Λιοσίων, από το οποίο θα προέλθει και το πρώτο μέρος του ΚΑΠ που θα αξιοποιηθεί θερμικά, σύμφωνα με την παρούσα μελέτη.

**Σχήμα 2.2.1:** Διάγραμμα μηχανικής διαλογής ΚΑΠ του πρώτου εργοστασίου του ΕΣΔΚΝΑ στα Ανω Λιόσια



Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.1, ο διαχωρισμός στα κλάσματα : ζυμώσιμα οργανικά, καύσιμο από απορρίμματα (ΚΑΠ -RDF) και αδρανή υπόλοιπα προς ταφή, επιτυγχάνεται με μία σειρά επεξεργασιών άλεσης - κοσκινίσματος-αεροδιαχωρισμού.

Όπως είναι φυσικό, ο πλήρης διαχωρισμός σε κατηγορίες από το μίγμα των απορριμμάτων δεν είναι εφικτός, λόγω της φύσης τους. Πάντως όσο αποτελεσματικότερα γίνεται ο

διαχωρισμός αυτός, τόσο αποτελεσματικότερη είναι η αξιοποίηση των διαχωριζόμενων κλασμάτων. Το καύσιμο κλάσμα που απομένει αποτελείται κατά κύριο λόγο από χαρτιά και πλαστικά, με διάφορες προσμίξεις και με ένα αρκετά υψηλό ποσοστό υγρασίας, της τάξης του 25-30%.

Η σύνθεση του καύσιμου κλάσματος ΚΑΠ, βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την σύνθεση των σύμμικτων απορριμμάτων και διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα. Η εγκατάσταση που κατασκευάζεται έχει δυναμικότητα 1200 τόνων/ημέρα.

Σύμφωνα με τον προγραμματισμό του ΕΣΔΚΝΑ, δίπλα στην υπό ανέγερση εγκατάσταση θα ανεγερθεί δεύτερη μηχανική διαλογή, δυναμικότητας 1600 τόνων/ημέρα. Για τον λόγο αυτό η δυναμικότητα της μονάδας θερμικής επεξεργασίας ορίστηκε τόση όση απαιτείται για την απορρόφηση της παραγωγής σε ΚΑΠ της παρούσας εγκατάστασης και της μελλοντικής εγκατάστασης, που εκτιμάται σε 720 τόνους/ημέρα, δηλαδή 30 τόνους ανά ώρα.

### 2.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ

Όπως είναι φυσικό, η αναλογία στην οποία περιέχονται στο ΚΑΠ τα συστατικά του, εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από την σύνθεση των ΑΣΑ που οδηγούνται στην μηχανική διαλογή καθώς και από τις διεργασίες της μηχανικής διαλογής.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η σύνθεση των ΑΣΑ παρουσιάζει από περιοχή σε περιοχή πολύ έντονες διακυμάνσεις, που είναι συνάρτηση:

- του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων
- των τοπικών συνηθειών
- των προγραμμάτων ανακύκλωσης με διαλογή στην πηγή, που εφαρμόζονται στην περιοχή συλλογής.

Παρουσιάζονται λοιπόν έντονες διαφοροποιήσεις στην σύνθεση των απορριμμάτων από χώρα σε χώρα, αλλά και από πόλη σε πόλη. Εξ ίσου έντονες είναι οι διακυμάνσεις της σύνθεσης στην ίδια περιοχή, με την πάροδο του χρόνου.

Τυπικό παράδειγμα τα απορρίμματα της μείζονος περιοχής της Πρωτεύουσας, όπου η άνοδος του βιοτικού επιπέδου και εξέλιξη των συνηθειών διατροφής και κατανάλωσης γενικά είχαν ως συνέπεια καθοριστικές αλλαγές στην σύνθεση των ΑΣΑ που συλλέγει ο ΕΣΔΚΝΑ.

Τα χαρακτηριστικά και η σύνθεση των απορριμμάτων, σύμφωνα με τις πληροφορίες που περιέχονται στα τεύχη του διαγωνισμού κατασκευής της μονάδας μηχανικής διαλογής, με βάση αναλύσεις που έγιναν κατά την διάρκεια του 1990, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.1.

**Πίνακας 2.3.1:** Σύνθεση απορριμμάτων περιοχής ΕΣΔΚΝΑ κατά το 1990<sup>(7)</sup>

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	% κατά βάρος
Οργανικά	51,0
Χαρτί	22,3
Μέταλλα	4,2
Πλαστικά	10,0
Γυαλί	3,5
Υφάσματα, ξύλα, δέρματα, ελαστικά	3,5
Αδρανή	2,0
Διάφορα υπόλοιπα	3,5
Σύνολο	100

Η Κοινοπραξία στην οποία κατακυρώθηκε η κατασκευή της πρώτης μονάδας, δυναμικότητας 1200 τόνων ΑΣΑ/ ημέρα, προχώρησε σε αναλύσεις και εκτιμήσεις για την οριστικοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, από την οποία προέκυψε η ακόλουθη πρόβλεψη σύνθεσης των ΑΣΑ μετά μία πενταετία:

Σύνθεση απορριμμάτων περιοχής ΕΣΔΚΝΑ το 2004	
ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	% κατά βάρος
Οργανικά	40
Χαρτί	32
Πλαστικά	13
Υφάσματα	3,2
Γυαλί	2,5
Μέταλλα	3,5
Αδρανή	2,5
Διάφορα	3,3
Σύνολο	100

Όπως φαίνεται, σε μία δεκαπενταετία αλλάζει ριζικά η σύνθεση των ΑΣΑ. Έτσι, από τα συστατικά που κυρίως ενδιαφέρουν την παραγωγική διαδικασία της διαλογής, αλλά και την παρούσα μελέτη:

- Τα οργανικά μειώνονται περισσότερο από 20%
- Το χαρτί αυξάνεται σχεδόν 50%
- Το πλαστικό αυξάνεται κατά 30%

Με βάση αυτό το δεδομένο, αλλά και τα στοιχεία που προέρχονται από άλλες χώρες, είναι φυσικό να αναμένεται ότι η σύνθεση των ΑΣΑ και, συνεπώς και του ΚΑΠ που διαχωρίζεται από αυτά με μηχανική διαλογή, θα μεταβάλλεται συνεχώς, κυρίως επηρεαζόμενη από:

- Την εξέλιξη του βιοτικού επιπέδου
- Την εξέλιξη των καταναλωτικών συνηθειών
- Τον βαθμό εφαρμογής των προγραμμάτων διαχωρισμού στην πηγή.
- Την εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας για την ανακύκλωση των υλικών συσκευασίας.

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα στοιχεία αυτά είναι ότι το σύστημα επεξεργασίας που θα επιλεγεί πρέπει να μπορεί να προσαρμοσθεί σε σημαντικές διαφοροποιήσεις της σύνθεσης του ΚΑΠ με το οποίο θα τροφοδοτείται.

### 2.3.1 ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΑΠ

Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του ΚΑΠ εξαρτώνται άμεσα από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των συστατικών του. Μία γενική εικόνα των ιδιοτήτων των συστατικών, που καθορίζουν τις ιδιότητες του μίγματος που συνθέτει το ΚΑΠ δίνει Πίνακας 2.3.1.1.

**Πίνακας 2.3.1.1:** Στοιχειακή ανάλυση και φυσικά - χημικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων και του ΚΑΠ (<sup>8</sup>)

ΥΛΙΚΟ	C	H	O	N	Cl	S	Υγρασία	Τέφρα	Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)

ΑΣΑ (ΗΠΑ)	36,8	3,7	20,6	0,5	0,5	0,8	23,2	23,4	11,1
Κυματοειδές Χαρτί	36,6	5,1	35,4	0,1	0,1	0,2	20,0	2,3	14,6
Εφημερίδες	33,0	4,7	31,8	0,1	0,1	0,2	25,0	1,5	14,4
Περιοδικά	32,4	4,6	32,8	0,1	0,1	0,2	16,0	13,1	12,8
Άλλα χαρτιά	32,4	4,5	29,9	0,3	0,6	0,2	23,0	9,1	12,8
Πλαστικά	56,4	7,8	8,0	0,8	3,0	0,3	15,0	8,6	26,9
Καουτσούκ-Δέρμα	43,1	5,4	11,6	1,3	5,0	1,2	10,0	22,5	19,5
Ξύλο	41,2	5,0	34,6	0,2	0,1	0,1	16,0	2,8	16,0
Υφάσματα	37,2	5,0	27,1	3,1	0,3	0,3	25,0	2,0	15,1
Απορρ. αυλής	23,3	3,0	17,6	0,9	0,1	0,2	45,0	10,1	9,3
Απορρ. τροφών	18,0	2,5	12,8	1,1	0,4	0,1	60,0	5,1	7,7

Πηγή: MSW Factbook, Ver.4.0 USEPA, Washington DC, 1997

### 2.3.2 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΤΟΥ ΚΑΠ

Από τα στοιχεία που αναφέρονται, το σημαντικότερο για τον καθορισμό του τρόπου καύσης και της δυνατότητας αξιοποίησης της εκλυόμενης θερμικής ενέργειας, είναι η θερμογόνος δύναμη.

Ενδεικτικά μπορεί να θεωρηθεί ότι η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων, του ΚΑΠ και του καύσιμου από χαρτί, κυμαίνονται στα ακόλουθα όρια:

ΥΛΙΚΟ	Υγρασία %	Θερμογόνος δύναμη kJ/kg
ΑΣΑ	30	περίπου 8.000
ΚΑΠ	10-25	12.000-18.000
ΚΑΧαρτί	15-30%	10.000-15.000

Περισσότερα στοιχεία για την θερμογόνο δύναμη των συστατικών του ΚΑΠ περιέχει ο Πίνακας 2.3.2.1. Από μία προσεκτική σύγκριση με τον Πίνακα 2.3.1.1 προκύπτει ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ ορισμένων στοιχείων, που οφείλονται, προφανώς, σε διαφορά υγρασίας και σύνθεσης των επί μέρους συστατικών.

**Πίνακας 2.3.2.1:** Θερμογόνος Δύναμη υλικών που συναντώνται σε απορρίμματα kJ / kg <sup>(8)</sup>

Υλικά	Χωρίς Επεξεργασία	Ξηρό κλάσμα	Χωρίς υγρασία και σκόνες
Χαρτί μεικτό	15.818	17.615	18.737
Εφημερίδες	18.548	19.725	20.005
Καφέ Χαρτί	16.878	17.925	18.142
Εμπορικά Περιοδικά	12.222	12.745	16.631
Ραβδωτά Χαρτοκιβώτια	16.384	17.280	18.260
Χαρτί με πλαστική επικάλυψη	17.075	17.916	18.469
Λαχανικά – Φρούτα	4.174	19.235	20.236
Μικτά πλαστικά	32.797	33.421	37.218
Πλαστικό φιλμ	---	32.206	34.589
Πολυαιθυλένιο	45.772	45.894	46.522
Πολυστυρένιο	38.194	---	---
PVC	22.689	22.740	23.263
Υφάσματα	---	18.691	19.306
Δέρμα	18.515	20.587	22.911
Ελαστικά	26.052	26.144	29.309
Αντικείμενα από καθαρισμό οδών	11.209	13.955	18.607

Στο Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας του Ε.Μ.Π. είχαν γίνει προσδιορισμοί των χαρακτηριστικών του ΚΑΠ που είχε παραχθεί από την πειραματική μονάδα του ΕΣΔΚΝΑ στον χώρο απόθεσης των Ανω Λιοσίων. Παρατίθενται οι σχετικοί πίνακες (Πίνακας 2.3.2.2 και Πίνακας 2.3.2.3) με τα αποτελέσματα, παρά το γεγονός ότι η σύνθεση των ΑΣΑ, άρα και του ΚΑΠ, ήταν διαφορετική την δεκαετία του '80.

**Πίνακας 2.3.2.2:** Χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του ΚΑΠ της πειραματικής μονάδας των Αθηνών <sup>(8)</sup>

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
Θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)	20.800	S (ppm)	250.000
Τέφρα % επί ξηρού	11,75	K (ppm)	3.700
N ολικό %	1,67	Na (ppm)	6.400
N (Kjeldahl)	50	Ca (ppm)	17.600
C οργανικός (%)	44,10	Fe (ppm)	1.500
P (ppm)	2100	M (ppm)	3.100
Cl (ppm)	1400	Cr (ppm)	55
F (ppm)	60	Ni (ppm)	40
pH	5,9	Mn (ppm)	100
Αγωγιμότητα (μS)	1030	Cu (ppm)	60
Αλατότητα CaCO <sub>3</sub> (ppm)	480	Zn (ppm)	240
Πτητικά (% επί ξηρού)	88,25	Pb (ppm)	15

**Πίνακας 2.3.2.3:** Φυσικά χαρακτηριστικά του ΚΑΠ χύμα, συμπιεσμένου και σε Pellets <sup>(8)</sup>

Φυσικά χαρακτηριστικά		Χύμα	Συμπιεσμένο	Σκληρά Pellets
Ειδ.βάρος	kg/ m <sup>3</sup>	75,5	485,7	630,00
Υγρασία	% κατά βάρος	22,0	18,0	3,0
Τέφρα	% κατά βάρος	12,4	13,0	18,3
Διάμετρος	mm	-----	20,0	20,0
Μήκος	mm	-----	Περίπου 35,0	Επιλέξιμη

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3.2.3, το ειδικό βάρος του ΚΑΠ σε μορφή χύμα είναι εξαιρετικά χαμηλό. Έτσι, για την αποθήκευση και μεταφορά του απαιτείται η συμπίεσή του.

Με την συμπίεση επιτυγχάνεται, λόγω της αύξησης του ειδικού βάρους, καλύτερη δυνατότητα τροφοδοσίας, καθώς και μείωση των αναγκών σε αποθηκευτικούς χώρους.

Η θερμογόνος δύναμη του ΚΑΠ εξαρτάται κατά μεγάλο ποσοστό από την αποτελεσματικότητα του μηχανικού διαχωρισμού που εφαρμόστηκε για την παραγωγή του. Όσο περισσότερα υπολείμματα κουζίνας και αδρανή απομακρύνονται, τόσο ανεβαίνει η θερμογόνος δύναμη του υπολείμματος, ενώ παράλληλα μειώνεται τόσο η υγρασία όσο και η τέφρα.

Ειδικά για την τέφρα, αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ στα ΑΣΑ κυμαίνεται γύρω στο 25%, στο καλά καθαρισμένο ΚΑΠ μειώνεται έως 10%, με υγρασία ΚΑΠ γύρω στο 25%. Αντίστοιχα μειώνονται και οι προσμίξεις ανεπιθύμητων συστατικών, με αποτέλεσμα να αυξάνει η θερμογόνος δύναμη του προϊόντος, αλλά και να μειώνονται οι ουσίες που δημιουργούν προβλήματα στην διάθεση της των υπολειμμάτων της αποτέφρωσης σε ΧΥΤΑ.

## 2.4 ΤΟΞΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΤΟ ΚΑΠ

Τα ΑΣΑ, καθώς και το από αυτά παραγόμενο ΚΑΠ, περιέχουν ρύπους σε αναλογίες που ποικίλουν, ανάλογα με την προέλευσή τους. Οι ρύποι αυτοί, μετά την καύση, εμφανίζονται είτε στην τέφρα είτε στα απαέρια της επεξεργασίας και, αν δεν ληφθούν τα ενδεδειγμένα μέτρα, είναι δυνατόν να δημιουργήσουν περιβαλλοντικά προβλήματα.

Σημειώνεται, πάντως, ότι η τεχνολογία επιτρέπει σήμερα την αντιμετώπιση των ρύπων αυτών με τρόπο ασφαλή, ώστε να μην υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Στον Πίνακα 2.4.1, δίνεται η συνήθης διακύμανση των κυριότερων ρύπων, τόσο στα ΑΣΑ όσο και στο μηχανικά διαχωρισμένο ΚΑΠ.

**Πίνακας 2.4.1:** Τοξικές ουσίες στα απορρίμματα, το ΚΑΠ και το καύσιμο από χαρτί (ΚΑΧ)

Ρύπος		Συνολικά απορρίμματα	ΚΑΠ	ΚΑΧ
Cl	ppm	1300 - 400	1.050 - 330	110
F	ppm	13 - 4	2.5 - 1.3	3
S	ppm	600 - 70	100 - 60	103
Fe	ppm	6450 - 2150	600 - 100	240
Cr	ppm	40 - 9	6 - 2.5	2
Ni	ppm	17 - 4	3.5 - 1	1
Cu	ppm	170 - 40	60 - 8	8
Zn	ppm	300 - 80	50 - 20	24
Pb	ppm	215 - 65	15 - 8	8
Cd	ppm	3.5 - 0.8	0.5 - 0.15	0.075
Hg	ppm	0.6 - 0.15	0.16 - 0.03	0.015

Πηγή: Αδ. Σκορδύλης

## 2.5 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ

Σύμφωνα με την εντολή του ΕΣΔΚΝΑ, η εγκατάσταση θερμικής αξιοποίησης θα σχεδιαστεί για δύο συγκροτήματα μηχανικής διαλογής, όπως το κατασκευαζόμενο σήμερα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η εκτίμηση της συνολικής ποσότητας ΚΑΠ είναι περίπου 700 τόνοι/ημέρα, σε μορφή συμπιεσμένων δεμάτων διαστάσεων 1,2x1,1x1,5 μέτρων.

### 2.5.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΚΑΠ

Με βάση τα στοιχεία που δόθηκαν από τον ΕΣΔΚΝΑ, η ημερήσια δυναμικότητα επεξεργασίας πρέπει να είναι 720 τόνοι. Συνεπώς η μέση ωριαία δυναμικότητα του συγκροτήματος θα είναι 30 τόνοι.

## 2.5.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ ΠΟΥ ΘΑ ΑΞΙΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Για τον προσδιορισμό της σύνθεσης που αναμένεται να έχει το ΚΑΠ που θα προκύπτει από τις δύο μονάδες μηχανικής διαλογής των Άνω Λιοσίων, έγιναν προσδιορισμοί της παρούσας κατάστασης και προβολή για να εκτιμηθεί η σύνθεση που θα έχει το ΚΑΠ το 2004, οπότε θα λειτουργεί η θερμική αξιοποίηση.

**Πίνακας 2.5.2.1:** Σύνθεση και χαρακτηριστικά του ΚΑΠ, με βάση τις προβλέψεις για το έτος 2004

	Ποσοστό μάζας (%)	tn/ημέρα (δύο μονάδες)	Ποσοστό υγρασίας (%)
Σύνολο παραγόμενου ΚΑΠ από τα εργοστάσια μηχανικής διαλογής	100	706	23,6
Απόδοση επί μικτών απορριμμάτων	29,5		
Οργανικά	0,6	4,22	69,8
Χαρτί	70	495	29,6
Πλαστικό	21,7	153,5	0,9
Μέταλλα	0,08	0,6	0,6
Γυαλί	0,16	1,2	0,7
Υφάσματα, λάστιχα, δερμάτινα, ξύλα	4,2	29,8	24,6
Αδρανή	0,02	0,1	10,7
Διάφορα	3,1	21,7	39,6
Σύνολο	99,86	706,12	
Ειδικό βάρος (kg/m <sup>3</sup> )	0,1		
Όγκος (m <sup>3</sup> /d)	3.530		

Πηγή: ΕΣΔΚΝΑ

## 2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ

Το ΚΑΠ αξιοποιείται μόνον ως καύσιμο, υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων ή και σε συνδυασμό με αυτά, είτε για παραγωγή ενέργειας, είτε στην παραγωγή τσιμέντου.

Επειδή προέρχεται από αξιοποίηση απορριμμάτων, θεωρείται ότι ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και ότι η χρήση του, αντί των συμβατικών καυσίμων, δεν συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Δύο είναι οι κύριες εφαρμογές του ΚΑΠ:

1) Η αξιοποίηση της περιεχόμενης θερμικής ενέργειας (καύση) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε στον τόπο παραγωγής του είτε σε άλλες εγκαταστάσεις. Σε αρκετές περιπτώσεις η καύση γίνεται σε μονάδες όπου τροφοδοτούνται παράλληλα και άλλα, συμβατικά καύσιμα, ώστε να επιτυγχάνονται καλύτερες αποδόσεις, λόγω της υψηλότερης θερμογόνου δύναμης του μίγματος. Στις εγκαταστάσεις αυτές δεν παίζει σημαντικό ρόλο η μορφή του ΚΑΠ (χύμα, δέματα, κύβοι).

2) Η καύση σε κλιβάνους και καμίνους φρύξης. Η μέθοδος έχει σημαντική εφαρμογή στην τσιμεντοβιομηχανία, διότι οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες δεσμεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό των ρύπων. Έχουν εγερθεί ορισμένες αντιρρήσεις κατά του τρόπου αυτού αξιοποίησης, επειδή τα όρια εκπομπών των μονάδων τσιμεντοποιίας είναι ελαστικότερα από ότι για τις εγκαταστάσεις καύσης απορριμμάτων και ΚΑΠ, αλλά η μέθοδος εφαρμόζεται σε όλο και μεγαλύτερη κλίμακα.

Η χρησιμοποίηση των κλιβάνων της τσιμεντοβιομηχανίας για την καύση του ΚΑΠ ευνοείται από μία σειρά λόγων, ως τρόπος φιλικός προς το περιβάλλον. Συγκεκριμένα

- Η καύση γίνεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (1.400 °C) με συνέπεια την καταστροφή όλων των οργανικών ενώσεων.

- Η διάρκεια παραμονής στην υψηλή θερμοκρασία είναι 8-10 sec. Δηλαδή πολλαπλάσια της απαιτούμενης από τους περιβαλλοντικούς όρους των μονάδων καύσης απορριμμάτων.
- Η μάζα του τσιμέντου απορροφά και δεσμεύει χημικά τους περισσότερους ρύπους του καυσίμου.
- Η έκλυση ρύπων από το σκυρόδεμα είναι πολύ περιορισμένη, αφού το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται και ως τρόπος σταθεροποίησης της τέφρας απορριμμάτων.
- Δεν δημιουργείται πρόβλημα εξεύρεσης τρόπου διάθεσης της τέφρας.

Μειονέκτημα της επιλογής των τσιμεντοβιομηχανιών ως αποδέκτου της διάθεσης του ΚΑΠ αποτελεί το γεγονός ότι, επειδή πρόκειται για περίπτωση ολιγοψώνιου, ως μονοψώνιου, γίνονται ρυθμιστές των όρων απορρόφησης του ΚΑΠ, απαιτώντας ανά τόνο αποζημίωση, που μπορεί να φτάσει και τις 30.000 δρχ/τόνο.

Με βάση την σύμβαση ανάθεσης, στην μελέτη αυτή εξετάζεται μόνο η περίπτωση της αξιοποίησης του ΚΑΠ για παραγωγή ενέργειας με στόχο την αναζήτηση της πιο πρόσφορης μεθόδου.

Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων, είτε χωρίς προεπεξεργασία διαλογής, είτε μετά από μηχανικό διαχωρισμό του καυσίμου κλάσματος ΚΑΠ (RDF), αποτελεί την πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη μέθοδο για την διάθεση απορριμμάτων που δεν έχουν υποστεί διαλογή στην πηγή. Η εξέλιξη αυτή λαμβάνει χώρα και κάτω από την πίεση των περιορισμών των Κοινοτικών οδηγιών, που επιβάλλουν σταδιακή μείωση του ποσοστού των οργανικών συστατικών στα απορρίμματα που επιτρέπεται να οδηγηθούν σε υγειονομική ταφή. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, προβλέπεται μελλοντικά (έως το 2005) να απαγορευθεί η ταφή απορριμμάτων με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη του 3% (καύσιμο κλάσμα). Επίσης, παρατηρείται διεθνώς, μια τάση επιβολής υψηλών φόρων «ταφής απορριμμάτων», οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ενδιαφέροντος για εναλλακτικούς τρόπους αξιοποίησης των οικιακών απορριμμάτων.

Στην περίπτωση που γίνεται προωθημένη διαλογή στην πηγή, γίνεται και εκτεταμένη ανάκτηση υλικών για ανακύκλωση, οπότε το καύσιμο κλάσμα είναι μικρότερο αλλά και φτωχότερο σε χαρτί και πλαστικό.

Με την θερμική αξιοποίηση επιτυγχάνεται απαλλαγή του προς ταφή κλάσματος από οργανικά συστατικά, δραστική μείωση του όγκου και ανάκτηση αξιοποιήσιμης ενέργειας.

## 2.7 ΤΙΜΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΠ

Για να γίνει ένας προσεγγιστικός υπολογισμός της τιμής στην οποία θα μπορεί να διατεθεί το ΚΑΠ, πρέπει να συνεκτιμηθούν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η θερμογόνος δύναμη.
- Η τιμή προμήθειας από την τσιμεντοβιομηχανία ανταγωνιστικών καυσίμων, όπως ο άνθρακας και το κωκ.
- Τα λειτουργικά προβλήματα που ενδέχεται να ανακύψουν από την χρήση του ΚΑΠ, τόσο ως προς την ποιότητα του προϊόντος, όσο και ως προς τις αποδόσεις του εξοπλισμού.
- Τα περιβαλλοντικά προβλήματα τόσο κατά τα στάδια μεταφοράς, αποθήκευσης και τροφοδοσίας, όσο και από την διάθεση των απαερίων.
- Η αστάθεια σύνθεσης.
- Ενδεχόμενα προβλήματα κοινωνικής αποδοχής της χρήσης, παρά το γεγονός ότι δεν θα προκαλούνται δυσμενείς επιπτώσεις.

Όπως αναπτύσσεται σε άλλο σημείο, εκτιμάται ότι η ελάχιστη θερμογόνος δύναμη του ΚΑΠ, βάσει της οποίας γίνεται ο υπολογισμός της αξίας θα κυμαίνεται γύρω στα 13.500



kJ/kg. Στον Πίνακα 2.7.1, γίνεται υπολογισμός της αξίας, με βάση μόνο την αποδιδόμενη θερμότητα, συγκρίνοντας με την αντίστοιχη αξία του άνθρακα και του πετρελαϊκού κωκ.

**Πίνακας 2.7.1:** Συγκριτικός υπολογισμός αξίας ΚΑΠ για κατανάλωση σε τσιμεντοβιομηχανία

ΕΙΔΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	MJ/Mg	\$/Mg	δρχ/Mg	δρχ/MJ	δρχ/kcal
Άνθρακας (CIF)	25200	32	10.240	0,41	1,71
Πετρελαϊκό κωκ (CIF)	32760	16	5.120	0,16	0,66
<b>ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΜΕΓ. ΤΙΜΗΣ ΚΑΠ</b>	13500				
Με βάση τον άνθρακα			5500		
Με βάση το πετρ. κωκ			2110		
Τα στοιχεία κόστους άνθρακα και πετρελαϊκού κωκ ελήφθησαν από πρόσφατες εισαγωγές					

Προκύπτει λοιπόν, ως μέγιστη δυνατή τιμή του ΚΑΠ, περί τις 2.300 δρχ/τόννο. Από την τιμή αυτή θα πρέπει να αφαιρεθούν η απόσβεση των επενδύσεων που θα πρέπει να γίνουν για να μπορεί να γίνει η αποθήκευση και τροφοδοσία του ΚΑΠ, το πρόσθετο κόστος της επεξεργασίας και των προσθέτων εγκαταστάσεων προστασίας περιβάλλοντος.

Πρέπει ακόμη να ληφθεί υπ' όψη ότι, ως ολιγοψώνιο, η τσιμεντοβιομηχανία θα μπορεί να επιβάλλει τους όρους της, απαιτώντας υψηλή αποζημίωση για την απορρόφηση του ΚΑΠ.

Πιστεύουμε ότι η ελάχιστη αποζημίωση που θα καταβληθεί για την απορρόφηση του ΚΑΠ από τσιμεντοβιομηχανία δύσκολα θα είναι χαμηλότερη των 5.000 δρχ. ανά τόνο. Λαμβάνοντας μάλιστα υπ' όψη ότι οι τρέχουσες τιμές στην Κεντρική Ευρώπη κυμαίνονται από 15.000 ως 30.000 δρχ/τόννο, θα αναμέναμε ότι οι τσιμεντοβιομηχανίες, εκμεταλλευόμενες την έλλειψη εναλλακτικού τρόπου διάθεσης, θα έχουν την τάση να αυξήσουν τις απαιτήσεις τους. Αντίστροφα όμως, όταν επιβληθεί ο φόρος επί του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub>, θα αυξηθεί το ενδιαφέρον για την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμα, οπότε η διάθεση του ΚΑΠ θα μπορεί να γίνει με ευνοϊκότερους όρους.

### 3. ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ

#### 3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η καύση των ΑΣΑ σε υπαίθριους σωρούς είναι μία διαδικασία που, δυστυχώς, εξακολουθεί και σήμερα να εφαρμόζεται σε πολλά σημεία της Χώρας μας. Πρόκειται για καύση ανεξέλεγκτη, που άλλοτε ξεκινάει με αυτανάφλεξη λόγω των εξώθερμων ζυμώσεων, άλλοτε πάλι προκαλείται από τους υπαλλήλους των ΟΤΑ, με σκοπό την μείωση του όγκου των ΑΣΑ αλλά και την καταπολέμηση της δυσσομίας.

Πέρα από τους κινδύνους εξάπλωσης δασικών πυρκαϊών, που αποτελούν ένα συχνό φαινόμενο με καταστρεπτικές συνέπειες, κατά την ανεξέλεγκτη καύση γίνεται διασπορά στην ατμόσφαιρα τοξικών ουσιών, προϊόντων ή παραπροϊόντων της ανεξέλεγκτης καύσης, μεταξύ των οποίων και διοξίνες.

Η καύση των ΑΣΑ σε ειδικούς κλιβάνους είναι μία μέθοδος που πρωτοεφαρμόστηκε στα τέλη του περασμένου αιώνα στην Γερμανία και την Μεγάλη Βρετανία. Οι εγκαταστάσεις θύμιζαν κατακόρυφα καμίνια, όπου η τροφοδοσία γινόταν από το επάνω μέρος, ενώ οι στάχτες αφαιρούνταν από θυρίδες στο κάτω μέρος του καμινιού. Φυσικά δεν γινόταν κανενός είδους έλεγχος των συνθηκών καύσης, μια και ο αντικειμενικός σκοπός της διεργασίας ήταν η καταπολέμηση της δυσσομίας και η μείωση του όγκου των ΑΣΑ, χωρίς να γίνεται λόγος για την αέρια ρύπανση, ή την αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας, που έτσι κι αλλιώς ήταν τότε πολύ χαμηλή.

Μετά από ένα σημαντικό διάστημα, όπου ο κύριος τρόπος διάθεσης των ΑΣΑ ήταν η κάποιου είδους ταφή τους, χωρίς άλλη επεξεργασία, η συνεχής αύξηση του όγκου των ΑΣΑ, αλλά και των καύσιμων συστατικών τους, επανέφεραν στο προσκήνιο την καύση, σε πιο εξελιγμένες εγκαταστάσεις, όπου προοδευτικά άρχισε να γίνεται και αξιοποίηση της εκλύομενης κατά την καύση θερμότητας.

Στον Πίνακα 3.1.1 συνοψίζονται οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη θερμική εκμετάλλευση των απορριμμάτων συναρτήσει της θερμοκρασίας. Η καύση του ΚΑΠ γίνεται σε εστίες ανάλογες εκείνων που χρησιμοποιούνται για τα συμβατικά στερεά καύσιμα (ανθρακίτης, λιγνίτης). Η συνηθέστερη εφαρμογή είναι η καύση σε κεκλιμένες σχάρες διαφόρων τύπων, που άρχισε να εφαρμόζεται ήδη από την δεκαετία του '20. Σήμερα λειτουργούν ανά τον Κόσμο πολύ πάνω από 1.000 εγκαταστάσεις του είδους αυτού. Όταν η καύση γίνεται σε σχάρα, τότε, κατά την διαδρομή των απορριμμάτων στην σχάρα, λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες που αναγράφονται σε σκούρο φόντο στον Πίνακα 3.1.1.

Τα τελευταία 25 χρόνια έχει προωθηθεί σημαντικά και η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη, που άρχισε να εφαρμόζεται από το 1970 περίπου σε διάφορες χώρες, με πρωτοπόρο την Ιαπωνία. Ο αριθμός των μονάδων που εφαρμόζουν αυτή την τεχνολογία κυμαίνεται σήμερα πάνω από 500. Θεωρείται συνεπώς, καθιερωμένη και δοκιμασμένη, ειδικά μάλιστα για την αξιοποίηση-διάθεση του ΚΑΠ.

Η καύση σε περιστροφικούς κλιβάνους σπάνια εφαρμόζεται σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπως οι απαιτούμενες για τα ΑΣΑ και βρίσκει εφαρμογή, για ειδικές περιπτώσεις (τοξικά απόβλητα).

Από το 1980 περίπου, άρχισε η αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων για την θερμική επεξεργασία των κάθε είδους απορριμμάτων, οι οποίες συνίστανται στον διαχωρισμό των βασικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεργασία και που είναι πυρόλυση, αεριοποίηση, καύση, ώστε να εξελίσσονται σε χωριστές συσκευές. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός ο πλήρης διαχωρισμός της καύσης και των προϊόντων αεριοποίησης, που είναι δυνατόν να γίνεται σε τελείως διαφορετικό χώρο. Η κατασκευή εγκαταστάσεων της κατηγορίας αυτής άρχισε ουσιαστικά πριν 4-5 χρόνια και σήμερα λειτουργούν περίπου 10 εγκαταστάσεις στον κόσμο. Γενικά η κατηγορία αυτή των διεργασιών βρίσκεται ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης και δεν έχει συγκεντρωθεί αρκετή εμπειρία από τη λειτουργία μεγάλων μονάδων και ειδικότερα μονάδων αεριοποίησης ΚΑΠ.

Πίνακας 3.1.1: Διεργασίες κατά την θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων

Θερμοκρασία σε °C	Αδρανής ατμόσφαιρα	Παρουσία μικρών ποσοτήτων αέρα	Με περίσσεια οξυγόνου
<150	Ξήρανση	Ξήρανση	Ξήρανση
<500	Πυρόλυση σε χαμηλή θερμοκρασία		
500-800	Πυρόλυση		
>800	Πυρόλυση σε υψηλή θερμοκρασία	Αεριοποίηση	Καύση

Πηγή: Vehlou<sup>8</sup>

### 3.2 ΚΥΡΙΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων αποβλέπει στην εξουδετέρωση ενός προβλήματος που έχει ήδη λάβει ανησυχητικές διαστάσεις, λόγω των εκατομμυρίων τόννων απορριμμάτων που παράγονται κάθε μέρα. Οι κυριότεροι στόχοι είναι:

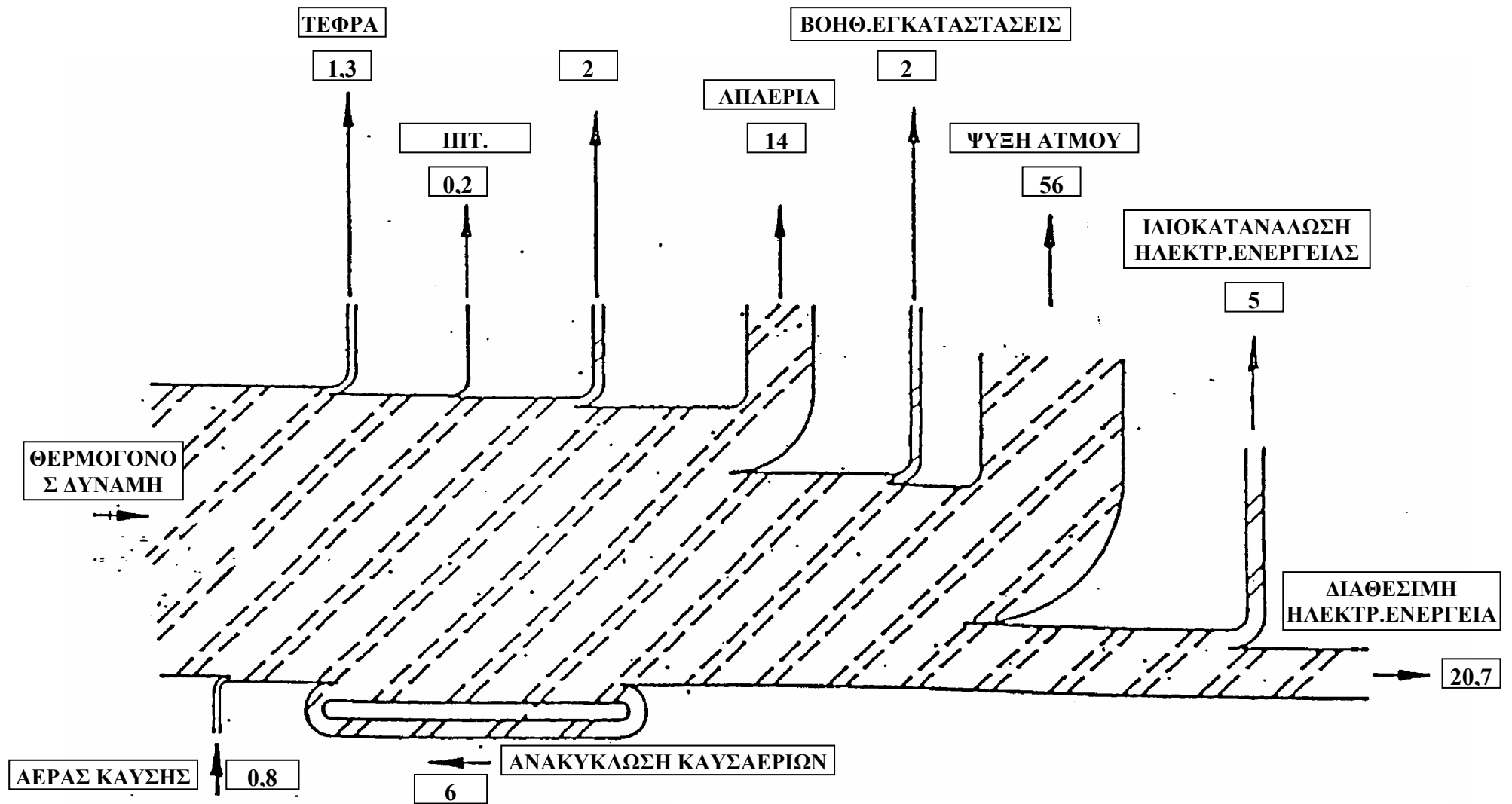
- Η ελαχιστοποίηση του τελικού προς διάθεση όγκου.
- Η πλήρης αδρανοποίηση όλων των καύσιμων συστατικών.
- Η παραγωγή αξιοποιήσιμης ενέργειας και η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης.
- Η παραγωγή αδρανούς τέφρας, ενδεχομένως με δυνατότητα αξιοποίησής της.
- Η τήρηση όλων των νομικών περιορισμών, όσον αφορά τις κάθε είδους εκπομπές.
- Ειδικότερα η αποφυγή δημιουργίας και εκπομπής οργανικών ενώσεων της κατηγορίας των διοξινών.

Επί πλέον ο τύπος εγκατάστασης που θα επιλεγεί πρέπει να εξασφαλίζει:

- Σταθερές συνθήκες λειτουργίας
- Ευχέρεια προσαρμογής σε απότομες αλλαγές της τροφοδοσίας.
- Ευελιξία προσαρμογής στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις της σύνθεσης και των ποσοτήτων του καυσίμου.
- Εξασφάλιση πλήρους ελέγχου των ρυπαντών στις εκπομπές.
- Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας, κυρίως υπό την μορφή της πολυτιμότερης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας.

Όπως φαίνεται σε ένα αντιπροσωπευτικό θερμικό ισοζύγιο που προέκυψε από το αντίστοιχο διάγραμμα της μονάδας θερμικής αξιοποίησης ΚΑΠ της Μαδρίτης, σε συνδυασμό με δεδομένα άλλων δημοσιεύσεων (Σχήμα 3.2.1), η απόδοση σε διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση των απορριμμάτων είναι της τάξης του 25 %. Εάν αφαιρεθεί η ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία του συγκροτήματος θερμικής επεξεργασίας και καθαρισμού των απαερίων, τότε η ωφέλιμη απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται ακόμη περισσότερο.

<sup>8</sup> J. Vehlou. Thermische Verfahren im Vergleich, Graz, 1998



Σχήμα 3.2.1: Ενδεικτικό ισοζύγιο μονάδας καύσης ΚΑΠ σε ρευστοποιημένη κλίνη

### 3.3 ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΣΧΑΡΕΣ

Όπως αναφέρθηκε, η καύση σε σχάρα είναι η παλαιότερη και κατά παράδοση ευρύτερα εφαρμοζόμενη μέθοδος για την θερμική επεξεργασία των κάθε είδους απορριμμάτων.

Τα απορρίμματα (ΑΣΑ ή ΚΑΠ), οδηγούνται σε μία κεκλιμένη σχάρα, όπου συντελούνται οι διαδικασίες που οδηγούν στην πλήρη αποτέφρωση, όπως δείχνει το Σχήμα 3.3.1. Στο σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά η αλληλουχία των διαδικασιών, από ξήρανση ως την τελική σύντηξη της τέφρας, που μπορούν να ελεγχθούν με κατάλληλη προσαρμογή της ροής του πρωτεύοντος αέρα. Ο δευτερεύων αέρας εισάγεται πάνω από την περιοχή της καύσης, πριν τα καυσάερια διοχετευθούν προς διάθεση ή αξιοποίηση.

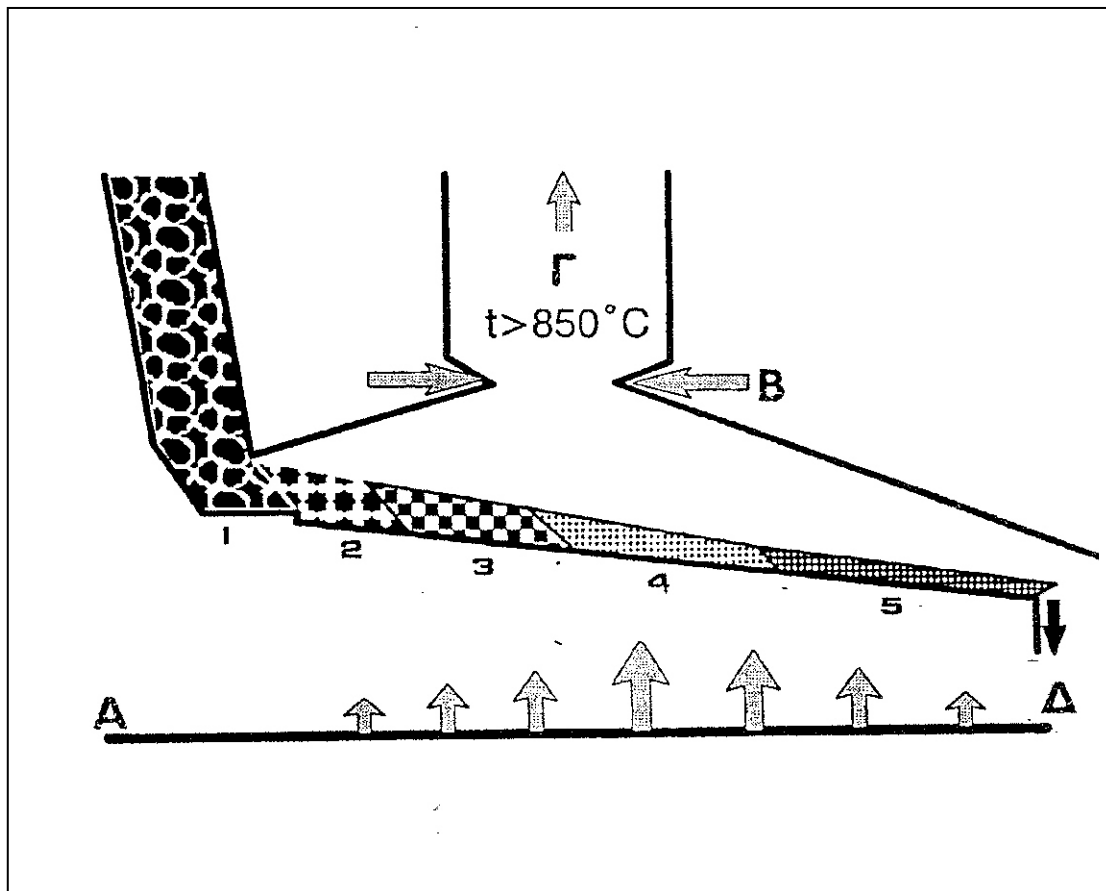
Ο ευρύτερα εφαρμοζόμενος τρόπος αξιοποίησης της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση, είναι η παραγωγή ατμού. Ο ατμός, συνήθως υπέρθερμος, σε θερμοκρασία 450-500 °C και πίεση 40-50 bar, διοχετεύεται σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σημαντικό ρόλο στην οικονομική απόδοση των εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας παίζει η δυνατότητα αξιοποίησης του ατμού μετά τον ατμοστρόβιλο. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την διοχέτευσή του σε γειτονικές βιομηχανικές μονάδες, είτε με την χρησιμοποίησή του για τηλεθέρμανση αστικών κέντρων, όπου οι τοπικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Αν δεν είναι εφικτή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας του ατμού, τότε πρέπει να υγροποιηθεί, ώστε το νερό να μπορεί να ανακυκλωθεί στον ατμολέβητα. Στην περίπτωση αυτή η θερμότητα της υγροποίησης δεν αξιοποιείται, αλλά καταλήγει στο περιβάλλον.

Μετά την διέλευσή τους από τον ατμολέβητα, τα απαέρια διέρχονται από την εγκατάσταση καθαρισμού τους και κατόπιν διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Στα συστήματα καθαρισμού εφαρμόζονται διάφορες τεχνολογίες, με σκοπό την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, των οξέων, των οξειδίων του αζώτου, των διοξινών και άλλων ρύπων.

Μία τυπική εγκατάσταση θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.3.2. Ανάλογη είναι η διάταξη και στην περίπτωση που το καύσιμο δεν είναι ΑΣΑ αλλά ΚΑΠ ή άλλο αντίστοιχο υλικό.

Σχήμα 3.3.1: Τομή σχάρας αποτέφρωσης

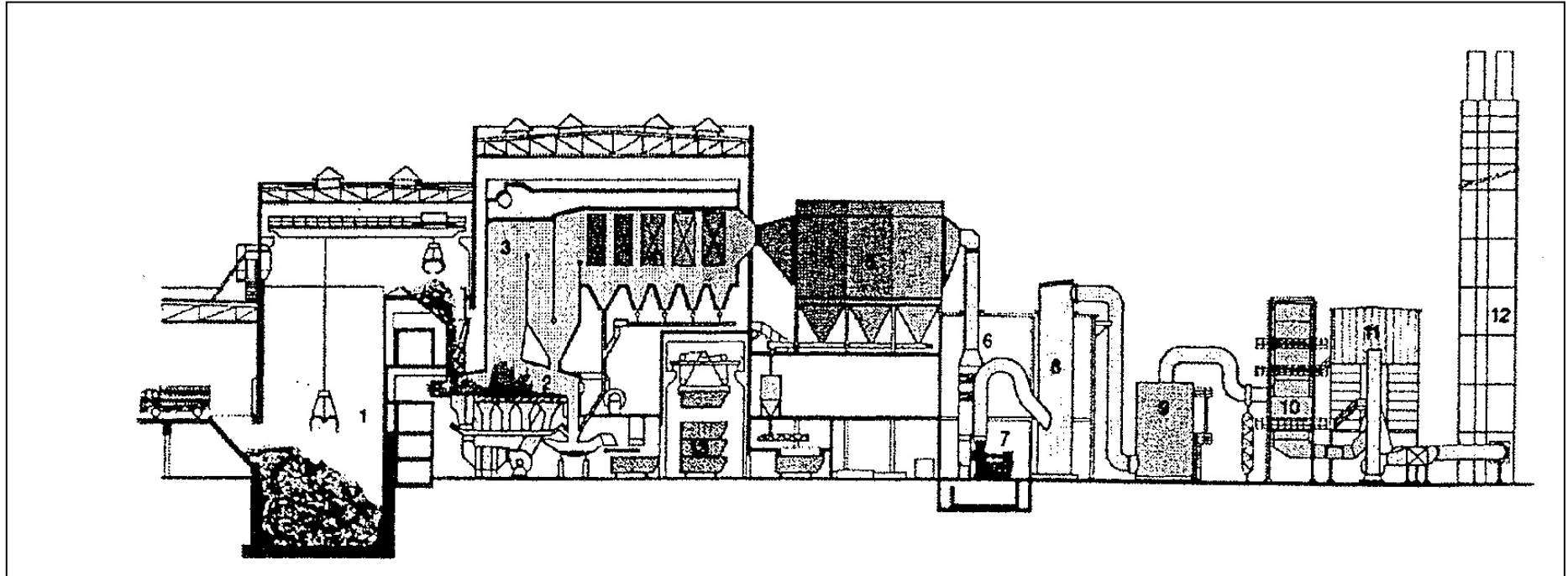


Α: ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΕΡΑ ΚΑΥΣΗΣ  
 Β: ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΕΡΑ ΜΕΤΑΚΑΥΣΗΣ  
 Γ: ΕΞΟΔΟΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ  
 Δ: ΤΕΦΡΑ ΣΧΑΡΑΣ

1: Είσοδος καυσίμου  
 2: Ξήρανση  
 3: Πυρόλυση - αεριοποίηση  
 4: Καύση  
 5: Σύντηξη

Πηγή: Vehlou

Σχήμα 3.3.2: Τυπική διάταξη αποτέφρωσης με σχάρα



- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1: ΑΠΟΘΗΚΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ     | 2: ΕΣΤΙΑ ΜΕ ΣΧΑΡΑ           |
| 3: ΘΑΛΑΜΟΣ ΜΕΤΑΚΑΥΣΗΣ   | 4: ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑΣ              |
| 5: ΗΛΕΚΤΡΟΦΙΛΤΡΟ        | 6: ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ |
| 7: ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑΣ        | 8: ΠΛΥΝΤΡΙΔΑ                |
| 9: ΥΓΡΟ ΗΛΕΚΤΡΟΦΙΛΤΡΟ   | 10: ΜΕΙΩΣΗ NO <sub>x</sub>  |
| 11: ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΔΙΟΞΙΝΩΝ | 12: ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΣ              |
| 13: ΑΠΟΚΟΜΗΔΗ ΤΕΦΡΑΣ    |                             |

Πηγή: Vehlou

### 3.3.1 ΤΥΠΟΙ ΕΣΧΑΡΩΝ

Οι κατασκευαστές προτείνουν διαφόρων τύπων εσχάρες. Η κυριότερες διαφορές μεταξύ τους εστιάζονται στον τρόπο προώθησης του υλικού, από την εισαγωγή του ως την απόρριψη της τέφρας.

Οι βασικές κατηγορίες εσχάρων είναι:

- η περιστροφική, που αποτελείται από οριζόντιους περιστρεφόμενους κυλίνδρους από πυρίμαχο υλικό, που μεταφέρουν το υλικό προοδευτικά από τον ένα στον άλλον, ενώ ανάμεσά τους διέρχεται ο πρωτεύων αέρας καύσης
- η παλινδρομική, που αποτελείται από πλάκες, που με παλινδρομικές κινήσεις προωθούν το υλικό από το σημείο τροφοδοσίας προς την έξοδο της τέφρας.
- η ταλαντευόμενη, που αποτελείται από επιμήκης αλληλοεφαπτόμενους τομείς, που, ταλαντευόμενοι περί άξονα, προωθούν το υλικό προς την έξοδο.

Στην βιβλιογραφία <sup>(10)</sup> δεν αναφέρονται ουσιαστικές διαφορές, σχετικά με την αποδοτικότητα των διαφόρων τύπων εσχάρων.

Η διαδικασία καύσης ακολουθεί τις ακόλουθες φάσεις:

Στο σημείο εισόδου το υλικό θερμαίνεται επιφανειακά και ξηραίνεται από την επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας του χώρου της εστίας.

Στην επόμενη φάση παράγονται αέρια, προερχόμενα είτε από πυρόλυση, αν δεν μπορεί να εισχωρήσει στην μάζα οξυγόνο, είτε από αεριοποίηση, αν διοχετεύεται αέρας. Τα παραγόμενα αέρια καίγονται στην συνέχεια στην αέρια φάση, όταν βρεθούν σε περιοχή πλούσια σε οξυγόνο.

Η τρίτη φάση, που απαιτεί και την μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου, δηλαδή ατμοσφαιρικού αέρα, είναι η καύση της μάζας του υλικού, όπου και απελευθερώνεται η κύρια ποσότητα της θερμογόνου δύναμης.

Στην τέταρτη και τελική φάση γίνεται η θερμική σύντηξη των στερεών που απομένουν στην τέφρα, που, στο τέλος της σχάρας πέφτουν στην ειδική υποδοχή και απομακρύνονται

### 3.3.2 ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι συνθήκες συνθήκες καύσης ΑΣΑ και ΚΑΠ σε σχάρες, με βάση τα στοιχεία που αναφέρονται σε διάφορες δημοσιεύσεις, είναι οι ακόλουθες:

Περίσσεια αέρα	50 - 60%
Περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο	6-8%
Πρωτογενής αέρας	60-70%
Δευτερογενής αέρας	30-40%
Θερμικό φορτίο στην σχάρα	8 - 9 GJ/m <sup>2</sup> .h
Θερμικό φορτίο στον θάλαμο καύσης	450 - 500 MJ/m <sup>3</sup> .h

Ουσιαστικό ρόλο στην εξέλιξη της επεξεργασίας παίζει η περίσσεια αέρα και η κατανομή της στην εστία καύσης, που επηρεάζει και την ελαχιστοποίηση των οργανικών ουσιών στα απαέρια.

Με σωστή ρύθμιση των συνθηκών καύσης επιτυγχάνονται σημαντικές μειώσεις ρύπων στα καυσαέρια. Έτσι, σύμφωνα με δημοσιεύσεις κατασκευαστών (DBA, 1999), μειώνονται:



- το μονοξείδιο του άνθρακα κατά 85%
- τα οξείδια του αζώτου κατά 40%
- οι διοξίνες κατά 95%

Ο σωστός σχεδιασμός και η ρύθμιση της λειτουργίας και της κατανομής των θερμοκρασιών της εστίας, αποτελούν πολύ σημαντικούς παράγοντες μείωσης των εκπομπών των εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ και ΚΑΠ.

Ο Πίνακας 3.3.2.1 παρουσιάζει τεχνικά χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων καύσης ΑΣΑ και ΚΑΠ σε εσχάρες.



Πίνακας 3.3.2.1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εγκαταστάσεων Καύσης σε Εσχάρες Οικιακών Απορριμάτων				
	SELCHP	SPSA	ALKMAAR	POWERGEN
Εταιρεία	CNIM, Onyx Aurora		Von Roll - Schelde	Von Roll - Lurgi
Ετήσια δυναμικότητα	420.000 tn/yr	547.500 tn/yr	385.000 tn/yr	1.200.000 tn/yr
Αριθμός "γραμμών" – δυναμικότητα	2- 29 tn/hr	3 - 20 tn/hr	3 - 18,5 tn/hr	4
Ηλεκτρική ισχύς (ολική) - MWel	32	40	42	144
Ηλεκτρική ισχύς (διαθέσιμη) - MWel	28,5		35	130
Θερμική ισχύς – MWth	50	93	56,5	
Χαρακτηριστικά ατμού	46 bar - 395°C	48 bar - 400 °C	40 bar - 400 °C	45 bar - 450 °C
Παροχή ατμού	144 tn/hr	227 tn/hr	190 tn/hr	
Καύσιμο	MSW	RDF	MSW	MSW
Hu	8.500 kJ/kg		10.000 kJ/kg	
Θερμοκρασία λειτουργίας		980 °C	850-1100 °C	850-1100 °C
Αντιρρυπαντικές συσκευές	Ημι-υγρές πλυντηρίδες διαλύματος ασβέστου, Σακκόφιλτρα	Πλυντηρίδες διαλύματος ασβέστου, Σακκόφιλτρα	Ηλεκτροστατικά φίλτρα, Υγρή πλυντηρίδα, Σακκόφιλτρα, SCR	Απορροφητής όξινων αερίων, Σακκόφιλτρα, SCR
Κόστος εγκατάστασης	85.000.000 UKL		835.000.000 NLG	
Κόστος εγκατάστασης ( δισ. δρχ.)	43,35		125,25	
<i>Εκπομπές (mg/Nm<sup>3</sup>)</i>				
Σωματίδια	1,4		3	10
HCl	13,7		5	10
HF	< 0,01		0,5	1
SO <sub>2</sub>	10,8		30	50
NO <sub>x</sub>	385		70	200
Πτητικά Οργανικά	< 3		5	0,05
CO	9		25	50
PCDD (ng/Nm <sup>3</sup> )	0,02		0,05	0,1
Βαρέα Μέταλλα	0,062		0,25	0,5

### 3.4 ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ

Η μέθοδος είναι αρκετά νεότερη από την καύση σε εσχάρες, αλλά βρίσκεται ήδη σε εφαρμογή επί 25 περίπου χρόνια. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την καύση βιολογικής ύλης, αλλά γρήγορα άρχισε να εφαρμόζεται και στα απορρίμματα. Την ευρύτερη διάδοση έχει η μέθοδος στην Ιαπωνία<sup>(9)</sup>, αλλά υπάρχουν αρκετές εγκαταστάσεις και στην Ευρώπη (όπου λειτουργούν μονάδες θερμικής επεξεργασίας ΚΑΠ σε εμπορική κλίμακα, στην Μαδρίτη και στην Βερόνα). Η καύση αστικών απορριμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίνη θεωρείται πιο αποτελεσματική μέθοδος από την καύση σε συμβατική εστία με εσχάρες.<sup>(12)</sup>

Η διαδικασία της καύσης με την μέθοδο αυτή είναι τελείως διαφορετική από την καύση σε εσχάρες. Στην περίπτωση της κλίνης το καύσιμο τροφοδοτείται σε μία μάζα υλικού (συνήθως πυριτικής άμμου) η οποία βρίσκεται σε μία θερμοκρασία περί τους 850 °C, και στην οποία διοχετεύεται η απαιτούμενη για την καύση ποσότητα αέρα, με τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται ρευστοποίηση του καυσίμου και του αδρανούς υλικού. Η ρευστοποίηση, που επιτυγχάνεται με την κατάλληλη εισαγωγή του αέρα καύσης, επιβάλλει περιορισμούς στο μέγεθος των τεμαχίων υλικού που μπορούν να επεξεργασθούν αποτελεσματικά. Έτσι αν πρόκειται για ΑΣΑ, απαιτείται προηγούμενη άλεση σε τεμάχια μικρότερα των 300 ως, το μέγιστο, 500mm.

Στις εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης, η εστία έχει συνήθως τετραγωνική ή κυκλική διατομή και ο πυθμένας είναι διαμορφωμένος ως δάπεδο διανομής του (πρωτεύοντος) αέρα καύσης. Εντός της κλίνης υπάρχει το αδρανές υλικό (συνήθως πυριτική άμμος) ελεγχόμενης κοκκομετρίας, το οποίο βρίσκεται σε αιώρηση, λόγω της προσαγωγής του αέρα από το κάτω μέρος της εστίας. Το καύσιμο (διάφορες μορφές ΚΑΠ και ύλος) προσάγεται στην κλίνη και καίγεται ευρισκόμενο σε ανάμιξη με το αδρανές υλικό. Σε μερικές εγκαταστάσεις, η καύση ολοκληρώνεται «μετά» την κλίνη (την περιοχή δηλαδή αιώρησης των σωματιδίων) μέσω της προσαγωγής ποσοτήτων δευτερογενούς αέρα καύσης. Στο άνω μέρος της εστίας υπάρχει συνήθως κυκλωνικός διαχωριστής, ο οποίος διαχωρίζει τα σωματίδια του αδρανούς υλικού, τα οποία ανατροφοδοτούνται στην κλίνη. Στην συνέχεια, τα θερμά καυσαέρια διοχετεύονται σε έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας (ατμογεννήτρια), στον οποίο παράγεται ο υπέρθερμος ατμός που εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο (κύκλος Rankine) με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάθε σωματίδιο καυσίμου, περιβάλλεται πρακτικά από αδρανές υλικό και καίγεται σε σχεδόν ιδανικές συνθήκες, αφού λόγω του τυρβώδους χαρακτήρα της κλίνης, η συγκέντρωση του οξυγόνου σε αυτήν είναι πρακτικά σταθερή, με αποτέλεσμα, οι παραγόμενοι ρυπαντές να ελαχιστοποιούνται. Το αδρανές υλικό, λόγω της μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας του, διασφαλίζει τη σταθερότητα της καύσης. Λειτουργεί σαν ένας «θερμικός συσσωρευτής», διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία σε ολόκληρη την κλίνη, εξισορροπώντας τις διαφοροποιήσεις στην ποιότητα του καυσίμου και στην περιεχόμενη σε αυτό υγρασία.

Στην περίπτωση της κλίνης δεν παρατηρείται η σειρά των φυσικοχημικών διεργασιών - ξήρανση, πυρόλυση, αποτέφρωση, σύντηξη- όπως επάνω στην εσχάρα, δεδομένου ότι όλες αυτές οι φάσεις εξελίσσονται συγχρόνως. Ο περιορισμός που ισχύει εδώ είναι ότι δεν πρέπει η θερμοκρασία να ξεπεράσει την θερμοκρασία τήξης του υλικού της κλίνης, που είναι περίπου 920°C. Ο περιορισμός αυτός έχει ως συνέπεια η αεριοποίηση των πιο πτητικών συστατικών να είναι περιορισμένη.

Λόγω της πολύ καλής ανάμιξης του καυσίμου με το αδρανές υλικό της κλίνης και την έντονη τυρβώδη κίνηση των σωματιδίων, η ποιότητα του καυσίμου δεν είναι παράγοντας αποφασιστικής σημασίας για την ποιότητα της καύσης, με αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή να κρίνεται ως «ιδανική» για καύση αστικών απορριμμάτων, τα οποία έχουν πολύ ετερογενή σύσταση.

Συνεπώς, η μέθοδος προσφέρεται ιδιαίτερα για τη θερμική αξιοποίηση ΚΑΠ, που είναι ήδη απαλλαγμένο από μη καύσιμα συστατικά και τεμαχισμένο σε αποδεκτό μέγεθος.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (<sup>11</sup>), η μέθοδος έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, συγκρινόμενη με την καύση σε εσχάρες :

- Λιτότητα σχεδιασμού εγκατάστασης και μικρότερες απαιτήσεις χώρου για την κλίνη, συγκριτικά με τις εστίες με εσχάρες.
- Δυνατότητα καύσης ετερογενών καυσίμων υψηλών ποσοστών υγρασίας, με πολύ καλό βαθμό θερμικής απόδοσης. Με τον έντονο στροβιλισμό, προκαλείται πολύ καλή ανάμιξη του καυσίμου, του αέρα και του αδρανούς υλικού της κλίνης, με αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση των συνθηκών «επαφής» του καυσίμου με το, απαραίτητο για την καύση, οξυγόνο.
- Είναι δυνατόν να καεί μια μεγάλη ποικιλία καυσίμων διαφορετικού σχήματος, μεγέθους, θερμογόνου δύναμης και περιεκτικότητας σε υγρασία.
- Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, λόγω της ανυπαρξίας κινούμενων μερών εντός της κλίνης.
- Πολύ καλή κάλυψη των περιβαλλοντολογικών οδηγιών-περιορισμών. Μερική εξουδετέρωση των οξειδωτικών ουσιών επιτυγχάνεται στην κλίνη με την προσθήκη ανθρακικών ή δολομιτικών ενώσεων. Με την προσθήκη αλκαλικών ενώσεων, δεσμεύονται οι όξινες ενώσεις (HF, SO<sub>2</sub>).
- Η λειτουργία της κλίνης σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 900°C, περιορίζει τη δημιουργία θερμικών οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), ενώ σημαντικά μειωμένες είναι και οι επικαθίσεις τηγμένης τέφρας στις επιφάνειες συναλλαγής, αφού οι θερμοκρασίες τήξης της τέφρας είναι συνήθως μεγαλύτερες των 900°C.
- Υψηλός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας, λόγω της συνεχούς επαφής του αδρανούς υλικού με το καύσιμο. Η μεταφορά θερμότητας γίνεται ταχύτατα, επειδή η διαθέσιμη επιφάνεια των κόκκων της άμμου ανέρχεται σε χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα
- «Γρήγορος» ρυθμός καύσης σε σύγκριση με τα συστήματα καύσης σε εσχάρες. Ελέγχονται και βελτιστοποιούνται αποτελεσματικότερα οι συνθήκες καύσεις, έτσι ώστε να μειώνεται σημαντικά ο σχηματισμός ανεπιθύμητων παραπροϊόντων.
- Η μεγάλη θερμική αδράνεια του συστήματος, επιτρέπει διακοπές στην λειτουργία (shutdowns) της κλίνης για μερικές ώρες ή ακόμα και 1 έως 2 ημέρες και επανεκκίνηση με δυνατότητα παροχής ατμού σε συνθήκες πλήρους φορτίου εντός 1 ώρας, χωρίς απαιτήσεις καύσης βοηθητικών καυσίμων για την εκκίνηση.
- Τα προκύπτοντα άκαυστα καθώς και η ιπτάμενη τέφρα είναι εντελώς ξηρά και αδρανή, και έτσι αποφεύγονται δευτερογενή προβλήματα όπως η έκλυση (leaching).
- Υπάρχει η δυνατότητα καύσης συμπληρωματικών καυσίμων (βιομάζα), σε περίπτωση που η σύσταση ή η παροχή του βασικού καυσίμου (ΚΑΠ) μεταβληθεί (<sup>32</sup>).

Τα πιθανά μειονεκτήματα της μεθόδου, είναι συνοπτικά τα εξής :

- Οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης είναι προς το παρόν μικρής ισχύος (εώς 250 MW<sub>th</sub>). Για την αύξηση της ισχύος (αύξηση ειδικής φόρτισης διατομής της κλίνης) απαιτείται η αύξηση της ταχύτητας ρευστοποίησης (ταχύτητα ρεύματος πρωτογενούς αέρα καύσης), με αποτέλεσμα να προκύπτει η ανάγκη χρήσης κλάδου εξωτερικής ανακυκλοφορίας, για την επαναφορά των σωματιδίων αδρανούς υλικού και άκαυστου καυσίμου στην κλίνη.
- Υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας λόγω της ανάγκης ρευστοποίησης.
- Αυξημένες απαιτήσεις προστασίας των επιφανειών συναλλαγής από μηχανική διάβρωση, αφού, λόγω της μεγάλης φόρτισης της ροής σε σωματίδια, οι επιφάνειες συναλλαγής βρίσκονται σε συνθήκες συνεχούς «αμμοβολής» και υφίστανται σημαντική μηχανική φθορά-διάβρωση.
- Προβλήματα με την χρήση, διακίνηση και εναπόθεση της τέφρας και του αδρανούς υλικού.

### 3.4.1 ΤΥΠΟΙ ΚΛΙΝΩΝ

Διακρίνονται δύο βασικές παραλλαγές της μεθόδου:

*Ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία.* Η άμμος παρασύρεται από τα αέρια, βγαίνει από το πάνω μέρος του αντιδραστήρα, συλλέγεται σε κυκλώνα, καθαρίζεται και διαχωρίζεται από την τέφρα και κατόπιν επανατροφοδοτείται στην κλίνη. Το προς καύση υλικό έχει περάσει από προεπεξεργασία, με διαχωρισμό και άλεση και τροφοδοτείται σε τεμάχια που δεν υπερβαίνουν τα 300 mm.

*Ρευστοποιημένη κλίνη με περιδίνηση.* Το περιεχόμενο της κλίνης αποκτά μία περιστροφική κίνηση, που εξασφαλίζει την ανάμιξη και ομοιογένεια. Η απομάκρυνση της τέφρας γίνεται με συνεχή απομάστευση και καθαρισμό ενός ρεύματος της άμμου, που, κατόπιν, επαναδιοχετεύεται στην κλίνη. Και εδώ το προς καύση υλικό έχει περάσει από προεπεξεργασία, με διαχωρισμό και άλεση και τροφοδοτείται σε τεμάχια που μπορούν να φθάνουν τα 500 mm.

Στο Σχήμα 3.4.1.1, παρουσιάζεται τυπικό σύστημα θερμικής επεξεργασίας ΚΑΠ σε ρευστοποιημένη κλίνη.

Σήμερα στην Ευρώπη λειτουργούν δύο εμπορικές μονάδες καύσης ΚΑΠ σε ρευστοποιημένη κλίνη, μια στη Μαδρίτη (Ισπανία) και μια στη Βερόνα (Ιταλία). Στο Παράρτημα Α, γίνεται τεχνο-οικονομική περιγραφή των παραπάνω δύο εγκαταστάσεων. Τέλος στον Πίνακα 3.4.1.1, παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο εμπορικών μονάδων και συγκρίνονται με αντίστοιχες μονάδες στην Ταϊλάνδη και στο Blaberget.

### 3.4.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΥΣΗΣ

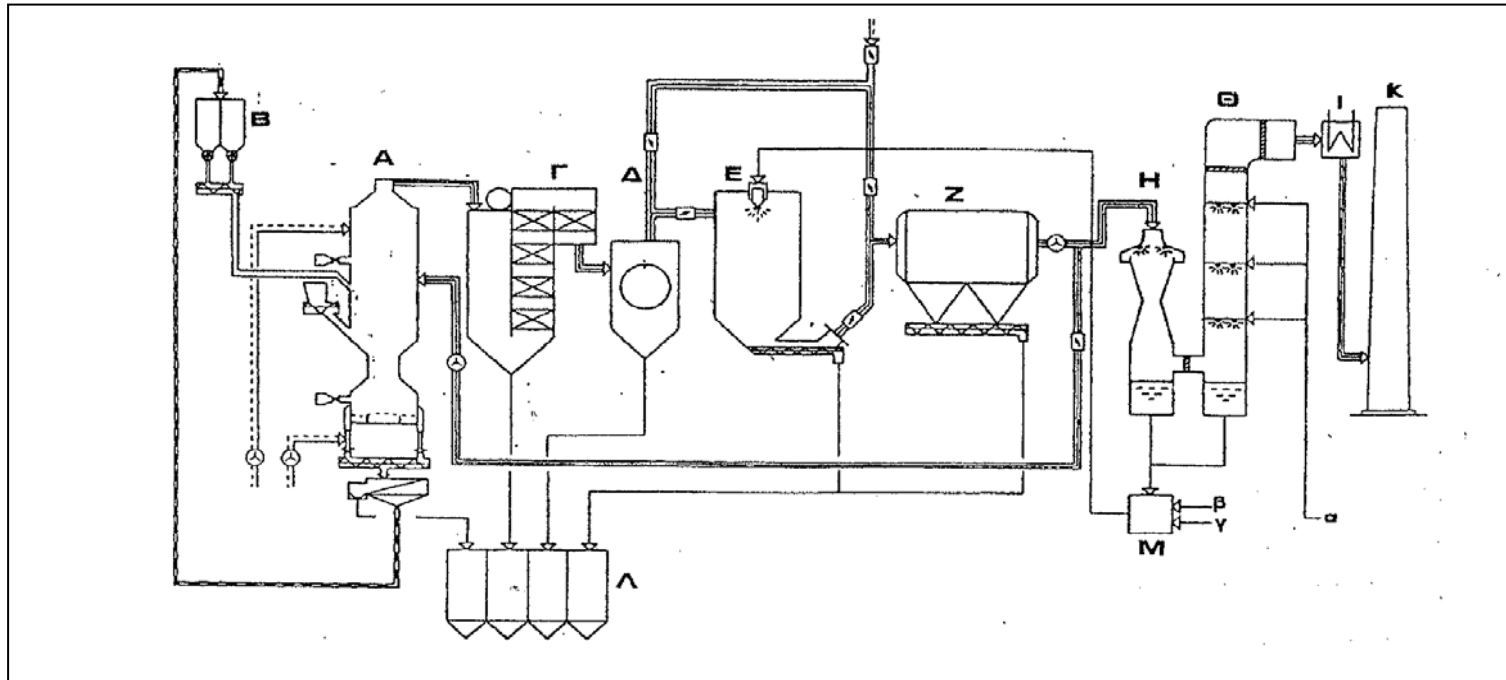
Οι συνήθειες συνθήκες καύσης σε κλίνη είναι ανάλογες εκείνων που εφαρμόζονται στην καύση σε εσχάρες.

Το πλεονέκτημα της καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη είναι η παρουσία της μεγάλης μάζας της θερμής πυριτικής άμμου της κλίνης, που επιτρέπει στα απορρίμματα να φθάσουν πολύ γρήγορα στις υψηλές θερμοκρασίες καύσης. Έτσι δεν παρατηρείται στην κλίνη η σταδιακή μετάβαση από την ξήρανση, στην πυρόλυση, αεριοποίηση και καύση, όπως στις εσχάρες, αλλά όλες οι διαδικασίες εξελίσσονται ταχύτατα στην ομογενή ρευστοποιημένη κλίνη.

Το υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο της κλίνης εξομοιώνει και σταθεροποιεί την θερμοκρασία. Απαιτείται προσοχή, ώστε η θερμοκρασία να μην υπερβεί τους 920 °C που είναι η θερμοκρασία τήξης της πυριτικής άμμου. Ο περιορισμός αυτός ενδέχεται να μην επιτρέπει την επαρκή σύντηξη της τέφρας, με αποτέλεσμα η ταχύτητα έκλουσης των βαρέων μετάλλων να είναι μεγαλύτερη από ότι στην τέφρα από καύση σε σχάρα.

Γενικά οι φυσικο-χημικές διεργασίες στην ρευστοποιημένη κλίνη είναι ανάλογες με εκείνες της καύσης σε σχάρα, με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται αξιόλογες διαφοροποιήσεις των επί μέρους συστατικών της τέφρας.

Σχήμα 3.4.1.1: Τυπικό σύστημα θερμικής επεξεργασίας σε ρευστοποιημένη κλίνη



A: Εστία καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη και μετάκαυσης  
 B: Σιλό άμμου κλίνης και δολομίτη  
 Γ: Ατμολέβητας ανάκτησης θερμότητας  
 Δ: Κυκλώνας συγκράτησης αιωρουμένων  
 E: Πύργος ψύξης-εξάτμισης υγρών πλύσης  
 Z: Σακκόφιλτρο  
 α: Προσθήκη νερού και ασβέστη  
 β: Προσθήκη ασβέστη

H: Πλυντρίδα τύπου Venturi  
 Θ: Πλυντρίδα διξειδίου του θείου  
 I: Εναλλάκτης αναθέρμανσης απαερίων  
 K: Απαγωγός διάθεσης απαερίων  
 Λ: Σιλό στερεών καταλοίπων  
 γ: Προσθήκη κροκιδωτικού

<b>Πίνακας 3.4.1.1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εγκαταστάσεων Καύσης Οικιακών Απορριμάτων σε Ρευστοποιημένη Κλίνη</b>				
	<b>ΜΑΔΡΙΤΗ</b>	<b>ΒΕΡΟΝΑ</b>	<b>ΤΑΪΛΑΝΔΗ</b>	<b>BLABERGET</b>
Τεχνολογία	ROWITEC-TIF (Revolving FBC)	Two-stage	Circulating FBC	Circulating FBC
Εταιρεία	Holter ABT (Γερμανία)	THYSSEN (Γερμανία) - ANSALDO (Ιταλία)	Kvaerner Enviropower (Σουηδία)	Kvaerner Enviropower (Σουηδία)
Ημερήσια Δυναμικότητα	600 tn/day	500 tn/day	480 tn/day	132 tn/day
<b>Εγκατάσταση προ-επεξεργασίας</b>	4 γραμμές - 25 tn/hr		Για ογκώδη και μέταλλα	1 γραμμή – 45.000 tn/yr
<b>Εγκατάσταση καύσης</b>				
• Αριθμός "γραμμών"	3	2	1	1
• Ετήσια λειτουργία	7440 hr/yr	4000 hr/yr	8000 hr/yr	
• Ωριαία δυναμικότητα ανά «γραμμή»	8,5 tn/hr	8-13 tn/hr	20 tn/hr	5,5 tn/hr
• Καύσιμο	RDF 300x300 mm		30% RDF-70% λιγνίτης	RDF
• Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	14,7	8,4-12,6		8-14
• Θερμοκρασία λειτουργίας	950 °C	850 °C	860 °C	
Χαρακτηριστικά ατμού	47 bar - 425 °C	46 bar - 390 °C	43 bar - 450 °C	33 bar – 285oC
Παροχή ατμού		86 tn/hr	98,2 tn/hr	28 tn/hr
Ηλεκτρική ισχύς (ολική)	23 MWel	21,8 Mwel	20 MWel	
<b>Εγκατάσταση καθαρισμού αερίων</b>				
• Ημί-υγρή πλυντηρίδα (απομάκρυνση SO <sub>x</sub> , HCl, HF)	Ψεκάζεται μείγμα αέρα- υδρασβέστου σε σταγόνες των 50 μm (140 °C)	Ψεκάζεται μείγμα νερού-υδρασβέστου	Ψεκασμός υδρασβέστου (HCl, HF, SO <sub>x</sub> ) και ενεργού άνθρακα (PCDD/F)	
• Σακκόφιλτρα	2	2 (Είσοδος: 130 °C)		
• Κυκλώνες	Στην έξοδο των boilers για την ιπτάμενη τέφρα	-	2 "θερμοί" για ανάκτηση του αδρανούς	
Κόστος εγκατάστασης	83.660.000 ECU	43.370.000.000 ITL	69.000.000 USD	
Κόστος εγκατάστασης (δισ. Δρχ.)	27,6	7,4(*)	21,39	
Ολικός βαθμός απόδοσης	22,6 %			

Η μονάδα της Βερόνας εμφανίζεται με ένα κόστος πολύ χαμηλότερο από τις άλλες.



### 3.5 ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΚΛΙΒΑΝΟ

Η αποτέφρωση σε περιστρεφόμενους κλιβάνους, είναι μία αποτελεσματική μέθοδος θερμικής καταστροφής, με περιορισμένη όμως εφαρμογή στην θερμική επεξεργασία αστικών απορριμμάτων.

Το κύριο στοιχείο των περιστροφικών κλιβάνων είναι ένας κύλινδρος με μικρή κλίση, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του. Έτσι επιτυγχάνεται η προώθηση των απορριμμάτων κατά μήκος του κυλίνδρου με παράλληλη καύση. Συνηθισμένες παροχές είναι 0,1-5 Mg/h (Thome, JOMA).

Η κατασκευή μεγάλων μονάδων προσκρούει στην ανάγκη αντίστοιχα μεγάλων τυμπάνων περιστροφικών κλιβάνων, που δημιουργούν προβλήματα τόσο κατασκευαστικά, όσο και λειτουργικά και συντήρησης.

Από την άλλη πλευρά, οι περιστροφικοί κλιβανοί έχουν χαμηλή ευαισθησία ως προς την σύνθεση των απορριμμάτων και μπορούν να αποτεφρώσουν στερεά, υγρά και παστώδη απορρίμματα και για τον λόγο αυτό προσφέρονται για την καταστροφή δύσκολων απορριμμάτων, όπως είναι τα τοξικά και τα νοσοκομειακά.

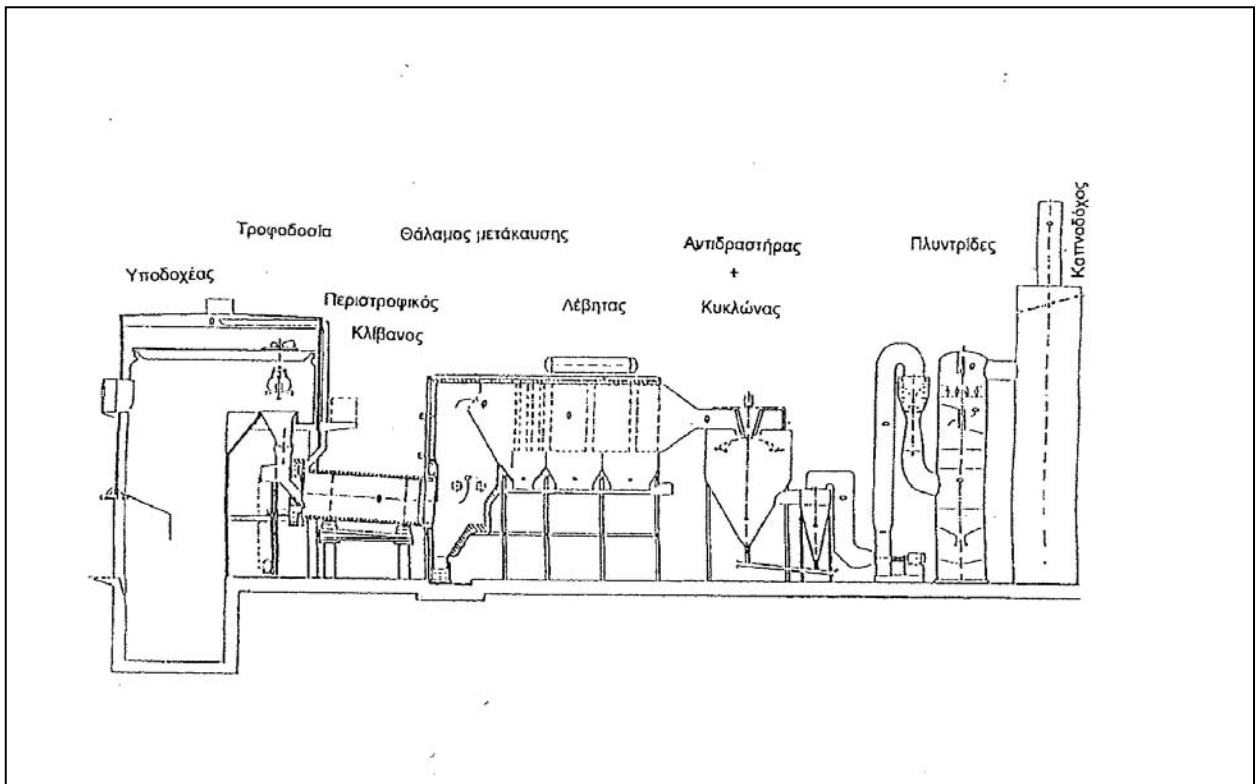
Για την καλή καύση απαιτούν μεγάλη περίσσεια αέρα. Ως προς την απαραίτητη περίσσεια ο Thome—Kozmiensky αναφέρει πως χρειάζεται 1-1,5 με μέγιστο 2 ενώ οι Lucchesi—Uccelli 0,7-1,2.

Ενώ λοιπόν ο περιστρεφόμενος κλιβανός βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε εγκαταστάσεις διάθεσης τοξικών και μολυσματικών απορριμμάτων, δεν βρίσκει πια εφαρμογή στην θερμική αξιοποίηση ΑΣΑ ή ΚΑΠ, για τους εξής λόγους:

- Επειδή η ωριαία δυναμικότητα είναι σχετικά περιορισμένη, απαιτείται μεγάλος αριθμός παράλληλων μονάδων για να αντιμετωπισθούν παροχές των 30 Mg/h, όπως στην εξεταζόμενη περίπτωση.
- Λόγω της ανάγκης μεγάλης περίσσειας αέρα είναι μειωμένη η ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης.
- Έχει υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Στο Σχήμα 3.5.1 απεικονίζεται μία μονάδα καύσης αστικών απορριμμάτων σε περιστροφικό κλιβανό. Η μονάδα είναι παλαιότερης τεχνολογίας, περί το 1970, όπως φαίνεται και από γεγονός ότι το συγκρότημα καθαρισμού των αερίων δεν έχει την απαιτούμενη σύνθεση για την κάλυψη των σημερινών απαιτήσεων καθαρισμού.

Σχήμα 3.5.1: Εγκατάσταση θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων σε περιστροφικό κλίβανο



Πηγή: Thome - Σκορδίλης

## 4. ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Όλες οι οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στο ΚΑΠ καίγονται ουσιαστικά πλήρως και τα κύρια τελικά προϊόντα είναι νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Προκύπτουν επίσης, σε πολύ μικρές ποσότητες, ορισμένα προϊόντα ατελούς καύσης, από τα οποία βρίσκονται στην αέρια φάση το μονοξείδιο του άνθρακα καθώς και οργανικές ενώσεις, μεταξύ των οποίων οι πολυχλωριωμένες διοξίνες και τα διβενζο-φουράνια<sup>(13)</sup>.

Στόχος κάθε καλής καύσης είναι η ελαχιστοποίηση της παραγωγής των ανεπιθύμητων αυτών παραπροϊόντων, με καλή ρύθμιση της κατανομής του αέρα και της θερμοκρασίας.

Το περιεχόμενο χλώριο εμφανίζεται κυρίως με την μορφή του υδροχλωρίου, που, κατά 90% βρίσκεται στην αέρια φάση.

Το θείο εμφανίζεται με την μορφή διοξειδίου του θείου, το οποίο καταλήγει είτε στην τέφρα, υπό μορφή θεικών αλάτων, είτε στα απαέρια. Μπορεί ακόμη να δημιουργηθεί διοξείδιο του θείου από την θερμική διάσπαση θεικών αλάτων, αν αναπτυχθούν ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες στον χώρο της καύσης.

Άλλο παραπροϊόν της θερμικής επεξεργασίας είναι τα οξείδια του αζώτου, που παρουσιάζονται σε κάθε είδους εγκατάσταση καύσης κάθε είδους υλικού.

### 4.1 ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Λόγω της προέλευσής τους, τα ΑΣΑ περιέχουν βαρέα μέταλλα, σε κυμαινόμενα ποσοστά. Ένα μικρό μέρος των βαρέων αυτών μετάλλων παραμένει, μετά την μηχανική διαλογή, στο ΚΑΠ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1.

Η συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων κατά την θερμική επεξεργασία, ποικίλλει ανάλογα με την κινητικότητά τους, σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα τρία σημεία όπου συγκεντρώνονται είναι:

- η τέφρα στην έξοδο της σχάρας
- η ιπτάμενη τέφρα από τον λέβητα και τα φίλτρα
- τα στερεά κατάλοιπα της θερμικής επεξεργασίας

Τυπικό παράδειγμα του διαφορετικού τρόπου των συμπεριφοράς βαρέων μετάλλων, ανάλογα με τις χημικές τους ιδιότητες και την πτητικότητά τους, δίνει το σχήμα που ακολουθεί, όπου δίνεται σχηματικά η κατανομή των τυπικών μετάλλων: μολύβδου, καδμίου, υδραργύρου και σιδήρου στα στερεά κατάλοιπα της επεξεργασίας.

Τα “λιθόφιλα” μέταλλα, όπως ο σίδηρος, δεν σχηματίζουν πτητικές ενώσεις και συγκεντρώνονται, κατά κύριο ποσοστό, στην τέφρα της σχάρας. Αντίθετα, ο πτητικός υδράργυρος, του οποίου όλες σχεδόν οι ενώσεις εξαερώνονται στους 200 °C, βρίσκεται κυρίως στα κατάλοιπα του χημικού καθαρισμού.

Μεταξύ των δύο αυτών ακραίων περιπτώσεων βρίσκονται τα άλλα βαρέα μέταλλα, η κατανομή των οποίων επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία χλωρίου, με το οποίο ενώνονται σχηματίζοντας πτητικά χλωρίδια.

### 4.2 ΑΛΟΓΟΝΩΜΕΝΕΣ ΔΙΒΕΝΖΟ-ΔΙΟΞΙΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΒΕΝΖΟ-ΦΟΥΡΑΝΙΑ

Οι ενώσεις αυτές, των οποίων η σημασία έγινε ευρύτερα γνωστή μετά το ατύχημα στο Seveso, το 1977, ανακαλύφθηκαν στην ιπτάμενη τέφρα των μονάδων θερμικής επεξεργασίας

των απορριμμάτων συντελώντας σημαντικά στην κακή φήμη που έχουν αποκτήσει οι εγκαταστάσεις αυτές.

Διοξίνες σχηματίζονται κατά την καύση, αλλά η μεγαλύτερη ποσότητα δημιουργείται μετά από αυτήν, κατά την ψύξη των απαερίων στο πίσω μέρος του ατμολέβητα, σε θερμοκρασία 200-450 °C . Υπεύθυνα για τον σχηματισμό τους είναι σωματίδια άνθρακα καθώς και χλωρίδια και ενώσεις του χαλκού που δρουν καταλυτικά (<sup>14</sup>). Η έρευνα και η εμπειρία έχουν αποδείξει ότι η αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού μπορεί να γίνει πολύ αποτελεσματικά με πολύ καλή καύση στην εστία, ώστε να γίνει πλήρης καύση του άνθρακα και με καλό καθαρισμό των απαερίων πριν από την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα.

Η σχετική πρόοδος της τεχνολογίας εξασφαλίζει πια με απόλυτη βεβαιότητα την σχεδόν πλήρη εξουδετέρωση των τοξικών αυτών ουσιών στις μονάδες θερμικής επεξεργασίας των ΑΣΑ και του ΚΑΠ.

Χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι δεν αποτελεί πια πρόβλημα η προσαρμογή των εκπομπών διοξινών στα απαέρια αυτά, στις προδιαγραφές της σχετικής Κοινοτικής Οδηγίας, παρά το γεγονός ότι οι προδιαγραφές αυτές είναι πολύ αυστηρότερες για τις μονάδες καύσεις απορριμμάτων, παρά για κάθε άλλη θερμική εγκατάσταση.

Τα σημερινά συστήματα καθαρισμού των απαερίων επιτρέπουν την συγκράτηση, δέσμευση ή μετατροπή σε αβλαβή παράγωγα (<sup>15</sup>):

- του 99,99% των διοξινών και φουρανίων
- άνω του 99% των βαρέων μετάλλων
- άνω του 99% των σωματιδίων
- άνω του 99% του υδροχλωρίου
- άνω του 99% του διοξειδίου του θείου
- του 65% των οξειδίων του αζώτου.

#### 4.2.1 ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΔΙΟΞΙΝΩΝ

Από τον μεγάλο αριθμό ερευνών που έχουν γίνει, έχει προκύψει ότι η τοξικότερη μορφή είναι η 2,3,7,8-TCDD(<sup>16</sup>). Ωστόσο η τοξικότητα παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Έτσι σε πειράματα με ζώα προέκυψε ότι η θανατηφόρος δόση κυμαίνεται από 0,6 ως 5.000 μg/kg βάρους, ενώ αντίστοιχες διακυμάνσεις παρουσιάζει και ο χρόνος υποδιπλασιασμού της συγκέντρωσης στον οργανισμό, που από 17 ημέρες στους αρουραίους φτάνει τα 7 χρόνια στον άνθρωπο.

Κατά την διαρροή στο Seveso εκτιμάται ότι η ποσότητα που διαχύθηκε στην ατμόσφαιρα ήταν περίπου δύο χιλιόγραμμα. Το αποτέλεσμα ήταν να παρατηρηθούν σε 640 ανθρώπους δερματικά εξανθήματα, ενώ ψόφησαν 3.300 ζώα και άλλα 77.000 εσφάγησαν για προληπτικούς λόγους.

Η αποκάλυψη της υψηλής τοξικότητας των διοξινών προκάλεσε πλήθος εργασιών και δημοσιεύσεων σχετικών με το θέμα, που φτάνουν τις 200 περίπου τον χρόνο, ενώ παράλληλα εντάθηκαν τα μέτρα προστασίας με πιο αποτελεσματικούς καθαρισμούς των απαερίων.

Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι σε βιομηχανικές χώρες, όπως η Γερμανία, όπου παράλληλα είναι πολύ διαδεδομένη η καύση των απορριμμάτων, η κυριότερη πηγή διοξινών είναι η μεταλλουργία. Χάρης όμως στα εφαρμοζόμενα μέτρα οι συνολικές εκπομπές σημείωσαν δραματική μείωση την τελευταία δεκαετία. Στον Πίνακα 4.2.1.1, δίνεται η εκτίμηση των συνολικών ετήσιων εκπομπών σε ισοδύναμα γραμμάρια 2,3,7,8-TCDD από τις κυριότερες πηγές.

Πίνακας 4.2.1.1: Εκπομπές διοξινών σε ισοδύναμη 2,3,7,8-TCDD, g/έτος

ΠΗΓΗ	1989-1990	1994-1995	1999-2000
Καύση απορριμμάτων	400	30	<4
Μεταλλουργία	740	240	<40
Θερμοηλεκτρικές μονάδες	5	3	<3
Βιομηχανία	20	15	<10
Θέρμανση κατοικιών	20	15	10
Κρεματόρια	4	2	<1
Συγκοινωνία	10	4	<1
Σύνολο	1199	309	~70

Με βάση τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι η συνολική ποσότητα διοξίνης που διαχέεται στην ατμόσφαιρα είναι ελάχιστη, ενώ η προερχόμενη από καύση απορριμμάτων κάθε είδους αμελητέα.

## 5. Ο ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

### 5.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΠΑΕΡΙΩΝ

Τα απαέρια που προκύπτουν από την θερμικά επεξεργασία ΑΣΑ ή/και ΚΑΠ, περιέχουν, πέρα από τα καθαρά προϊόντα της καύσης (νερό και διοξείδιο του άνθρακα) και σημαντικές ποσότητες ρύπων. Στον Πίνακα 5.1.1, δίνονται ενδεικτικές τιμές, τόσο για την συγκέντρωση των συστατικών στα ακατέργαστα απαέρια, όσο και για την ποσότητα που αντιστοιχεί ανά τόνο καιομένων αστικών απορριμμάτων.

Στοιχεία για τη σύνθεση και ποσότητα απαερίων από καύση ΚΑΠ δεν αναφέρονται στην βιβλιογραφία. Στο Παράρτημα Α (παράγραφος Α.4) γίνεται σύγκριση των εκπομπών των σημαντικότερων ρύπων των εργοστασίων καύσης ΚΑΠ στη Μαδρίτη (ρευστοποιημένη κλίνη), τη Βερόνα (ρευστοποιημένη κλίνη) και το Weisweiler (καύση σε εσχάρα), όπως αυτές μετρήθηκαν κατά την περίοδο δοκιμαστικής λειτουργίας τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των ρύπων εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη επιλογή τεχνολογίας, από τη σύνθεση του ΚΑΠ, η οποία πάλι είναι συνάρτηση τόσο της σύνθεσης των αρχικών ΑΣΑ, όσο και του τρόπου μηχανικής επεξεργασίας-διαλογής που εφαρμόζεται στην συγκεκριμένη εγκατάσταση.

**Πίνακας 5.1.1:** Συγκεντρώσεις στα ακατέργαστα απαέρια καύσης ΑΣΑ

	Συγκέντρωση στα ακατέργαστα απαέρια		Μάζα σε σχέση με τα ΑΣΑ (ενδεικτική τιμή)	
O <sub>2</sub>	g/m <sup>3</sup>	60-120	kg/Mg	500
CO <sub>2</sub>	g/m <sup>3</sup>	150-200	kg/Mg	900
H <sub>2</sub> O	g/m <sup>3</sup>	110-150	kg/Mg	600
Σκόνη	g/m <sup>3</sup>	1-5	kg/Mg	20
HCl	mg/m <sup>3</sup>	500-2000	kg/Mg	6,5
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	150-400	kg/Mg	2
NO	mg/m <sup>3</sup>	100-500	kg/Mg	2
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	5-30	kg/Mg	0,1
CO	mg/m <sup>3</sup>	<10-30	kg/Mg	0,1
TOC	mg/m <sup>3</sup>	1-10	kg/Mg	0,02
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,1-0,5	kg/Mg	0,002
PCDD/F	ng/m <sup>3</sup>	0,5-5	μg/Mg	<5

Πηγή Vehlou

Η συνολική ποσότητα των παραγομένων απαερίων ανά τόνο απορριμμάτων κυμαίνεται, ανάλογα με την σύνθεση του υλικού και την περίσσεια αέρα, γύρω στις 4.000-8.000 Nm<sup>3</sup>. Η εκτίμηση της ποσότητας των καυσαερίων που προκύπτουν από την θερμική επεξεργασία του ΚΑΠ που θα προέλθει από τον μηχανικό διαχωρισμό των ΑΣΑ της περιοχής Πρωτεύουσας, έχει γίνει με βάση τον Πίνακα 5.1.2. Τα απαέρια αυτά, πριν διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα, υποβάλλονται σε καθαρισμό, ώστε να μειωθούν οι ρύποι, στα περιθώρια που επιβάλλει η νομοθεσία.

Πίνακας 5.1.2: Εκτίμηση ποσότητας απαερίων από τη θερμική επεξεργασία ΚΑΠ

Ποσότητα ΚΑΠ		kg/h	30.000
Θερμογόνος δύναμη ΚΑΠ		kJ/kg	13.500
Ολική θερμική ισχύς ΚΑΠ		MJ/h	405.000
Υγρασία ΚΑΠ		%	30,00
Τέφρα επί υγρού		%	8,00
Θεωρητική Ανάγκη σε αέρα		kg/MJ	0,32
Περίσσεια αέρα		%	43
Ωριαία παροχή ξηρού αέρα		kg/h	185.000
Παραγόμενα ξηρά καυσαέρια			
Θεωρητική ποσότητα		kg/MJ	0,32
Με περίσσεια O <sub>2</sub>	6	%	0,46
Παραγόμενα ξηρά καυσαέρια		kg/h	205.714
Νερό καύσης		kg/MJ	0,07
Νερό καύσης		kg/h	28.350
Ξηρό ΚΑΠ		kg/h	21.000
Υγρασία ΚΑΠ		kg/h	9.000
Τέφρα ΚΑΠ		kg/h	2.400
Τέφρα επί ξηρού		%	11,43
Θερμότητα εξάτμισης υγρασίας		kJ/kg	2.514
Θερμότητα εξάτμισης υγρασίας		MJ/h	22.626
Θερμογόνος δύναμη ξηρού		kJ/kg	20300
Υγρασία εισερχόμενου αέρα		%	5,00
Υγρασία εισερχόμενου αέρα		kg/h	9300
Ολική υγρασία καυσαερίων		kg/h	46600
Ολικά καυσαέρια		kg/h	232000
Ειδικό βάρος κατά προσέγγιση		kg/Nm <sup>3</sup>	1,25
Όγκος καυσαερίων /Mg		Nm <sup>3</sup> /Mg	6200
Όγκος καυσαερίων /Mg 200°C		m <sup>3</sup> /Mg	10700
Όγκος ολικών καυσαερίων		Nm <sup>3</sup> /h	185000
Όγκος ολικών καυσαερίων 200°C		m <sup>3</sup> /h	321000

## 5.2 ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η Κοινοτική Οδηγία 94/67/ΕΟΚ, που αφορά αποκλειστικά τις εκπομπές από καύση απορριμμάτων και που ισχύει και στην Ελλάδα, περιέχει τις αυστηρότερες προδιαγραφές εκπομπών που ισχύουν για τις κάθε είδους χημικοτεχνικές διεργασίες, όλων των κατηγοριών βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Όπως δείχνει ο Πίνακας 5.2.1, οι προδιαγραφές αυτές έγιναν πολλαπλάσια αυστηρότερες από ότι ήταν στην αντίστοιχη παλαιότερη Οδηγία 89/369/ΕΟΚ, με σκοπό να υπάρξει πλήρης εξασφάλιση, αλλά και να αντιμετωπισθούν τα (πολύ συχνά υπερβολικά και εξεζητημένα) επιχειρήματα των πολέμιων της μεθόδου.

**Πίνακας 5.2.1:** Όρια εκπομπών από μονάδες θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων, σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές οδηγίες και τη γερμανική νομοθεσία

	ΜΟΝΑΔΕΣ	89/369/ΕΕ	94/67/ΕΟΚ	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	ΟΛΛΑΝΔΙΑ
<b>Σωματίδια</b>	mg/m <sup>3</sup>	30	10	10	5
<b>HCl</b>	mg/m <sup>3</sup>	50	10	10	10
<b>HF</b>	mg/m <sup>3</sup>	2	1	1	1
<b>SO<sub>2</sub></b>	mg/m <sup>3</sup>	300	50	50	40
<b>NO<sub>x</sub> ως NO<sub>2</sub></b>	mg/m <sup>3</sup>	--	--	200	70
<b>CO</b>	mg/m <sup>3</sup>	100	50	50	50
<b>Hg</b>	mg/m <sup>3</sup>	0,2	0,05	0,05	0,05
<b>Cd</b>	mg/m <sup>3</sup>	0,2	0,05	0,05	0,05
<b>TOC</b>	mg/m <sup>3</sup>	20	10	10	10
<b>PCDD/F</b>	ng/m <sup>3</sup>	-	0,1	0,1	0,1

Στην προτελευταία στήλη του Πίνακα 5.2.1 παρατίθενται οι τελευταίοι περιορισμοί, που ετέθησαν σε εφαρμογή στην Γερμανία. Όπως φαίνεται, είναι όμοιοι σε όλα με την Κοινοτική Οδηγία (94/67/ΕΕ), περιέχουν μόνο επιπρόσθετο όριο για τα οξείδια του αζώτου. Επίσης παρουσιάζονται οι αυστηρότεροι περιορισμοί που ισχύουν για εγκαταστάσεις καύσης απορριμμάτων στην Ολλανδία.

Στο Παράρτημα Α γίνεται σύγκριση των αερίων εκπομπών εμπορικών μονάδων καύσης ΚΑΠ (καύση σε εσχάρα, καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη) που βρίσκονται σε λειτουργία, με τα όρια εκπομπών της 94/67/ΕΕ.

Η Ε.Ε. δεν έχει θέσει ως σήμερα περιορισμό ως προς τα οξείδια του αζώτου, διότι η μείωσή τους δεν είναι αναγκαία σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ επιβαρύνει πολύ σημαντικά την λειτουργία της εγκατάστασης. Αναμένεται πάντως ότι στην αναθεώρηση της ισχύουσας οδηγίας, που αναμένεται να εγκριθεί σύντομα, οι προδιαγραφές των καθαρισμένων αερίων θα περιλαμβάνουν και των περιορισμό των NO<sub>x</sub>.

Συνεπώς, το πιθανότερο είναι ότι θα απαιτηθεί σε κάθε περίπτωση η πρόβλεψη μονάδας εξουδετέρωσης των οξειδίων του αζώτου. Η τελική απόφαση εξαρτάται και από το αποτέλεσμα της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, που λαμβάνει υπ' όψη της τις ειδικές τοπικές συνθήκες της περιοχής του έργου.

## 5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Η διαδικασία του καθαρισμού περιλαμβάνει περισσότερες από μία βαθμίδες επεξεργασίας, ενώ υπάρχουν και διαφοροποιήσεις ως προς τις ακολουθούμενες μεθόδους. Οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι διακρίνονται επίσης σε:

- ξηρές
- υγρές χωρίς παραγωγή αποβλήτων



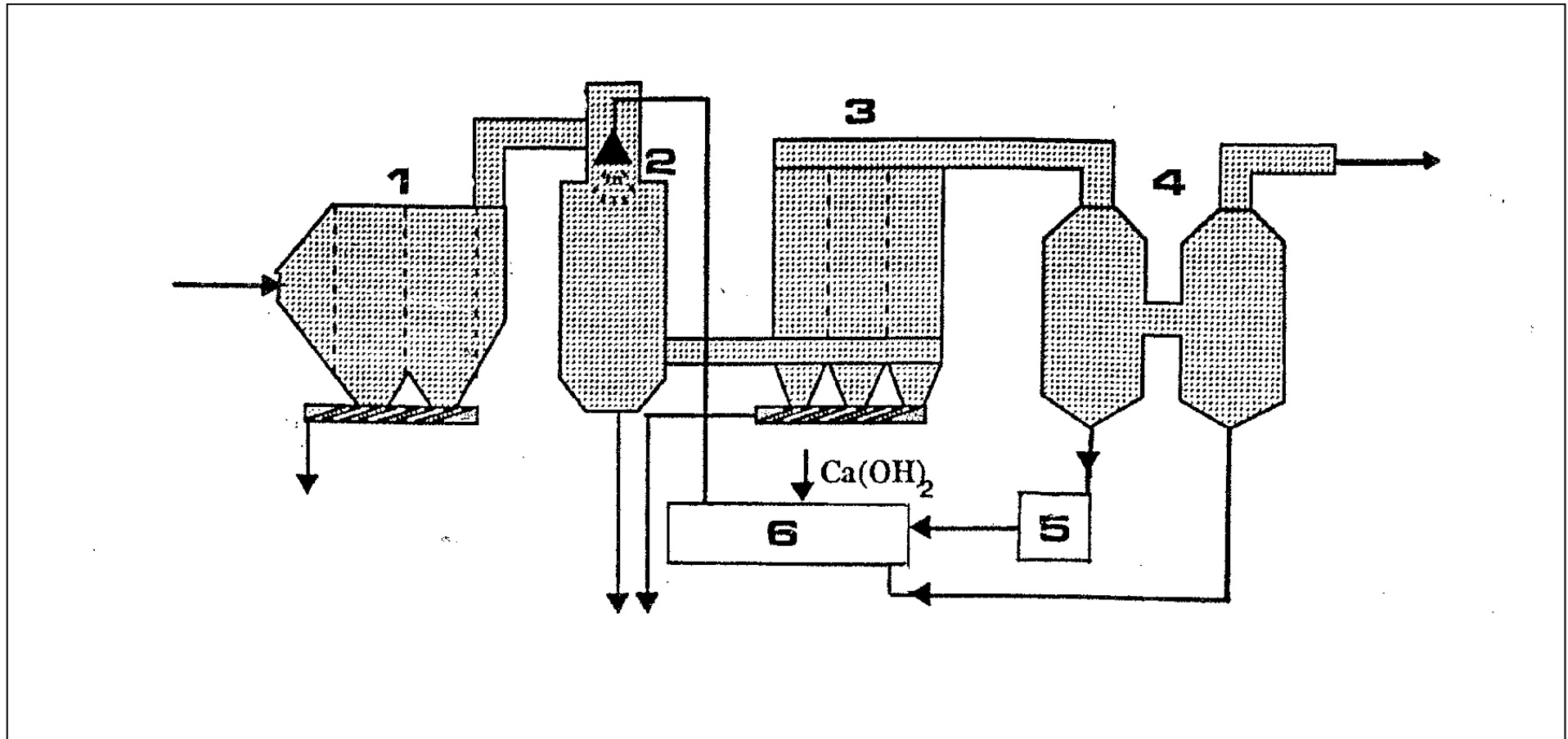
- υγρές με παραγωγή αποβλήτων

Συνήθως, η ιπτάμενη τέφρα συγκρατείται από φίλτρα. Τα όξινα αέρια συγκρατούνται με απορρόφηση σε υγρό ή με προσρόφηση σε κατάλληλα υλικά, από όπου απομακρύνονται με εξουδετέρωση. Ο υδράργυρος συγκρατείται είτε με απορρόφηση σε όξινο περιβάλλον ή με προσρόφηση. Τα οξείδια του αζώτου απομακρύνονται με αναγωγή σε στοιχειακό άζωτο, ενώ οι οργανικές ενώσεις (διοξίνες κλπ.), συγκρατούνται με οξείδωση ή με προσρόφηση. Όπως φαίνεται, ανάλογα με τις απαιτήσεις καθαρισμού και με συνδυασμό των διαφόρων εναλλακτικών δυνατοτήτων, προκύπτει μεγάλη ποικιλία εγκαταστάσεων, με διαφορετικούς βαθμούς συμπλοκότητας.

Η επιλογή αν είναι αποδεκτή ή όχι η δημιουργία υγρών αποβλήτων, είναι συνάρτηση των τοπικών συνθηκών και την σχετική απόφαση πρέπει να πάρει ο φορέας.

Στα Σχήματα 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4 που ακολουθούν, δίνονται ορισμένα παραδείγματα των πιο συνηθισμένων διατάξεων από κάθε κατηγορία μεθόδου. Το Σχήμα 5.3.4 αφορά μία εξαιρετικά σύμπλοκη μονάδα καθαρισμού. Τέτοιες μονάδες έχουν κατασκευαστεί σε ορισμένες εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας, κάτω από την πίεση της κοινωνικής αντίδρασης, θεωρούνται όμως εξαιρετικά πολυδάπανες λύσεις χωρίς πρακτική επίπτωση στην ποιότητα του περιβάλλοντος.

Σχήμα 5.3.1: Τυπικό σύστημα υγρού καθαρισμού αερίων θερμικής επεξεργασίας



1: ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ

3: ΑΛΚΑΛΙΚΗ ΠΛΥΣΗ

5: ΥΓΡΑ ΠΡΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ Η' ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΑΛΑΤΩΝ ΚΑΙ Hg

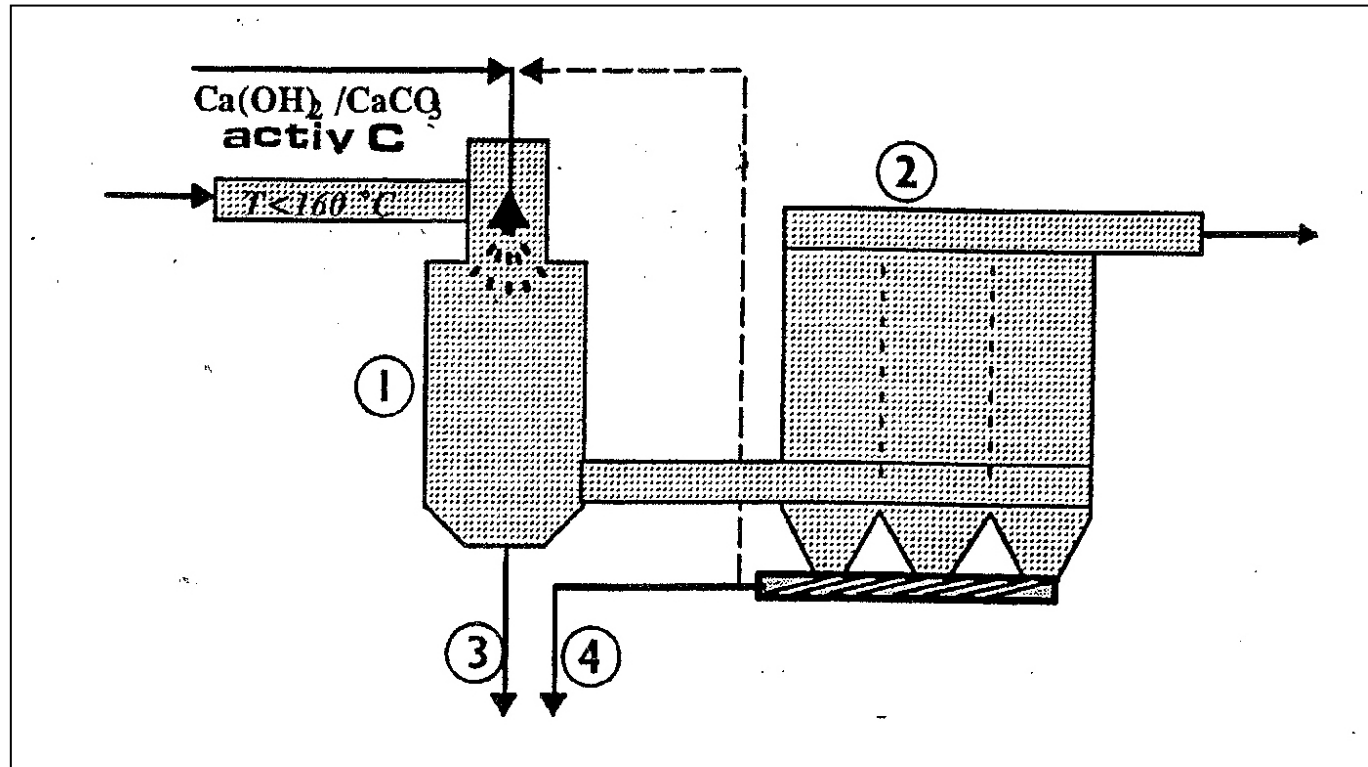
Πηγή Vehlou

2: ΟΞΙΝΗ ΠΛΥΣΗ

4: ΣΤΕΡΕΑ ΠΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ Η' ΧΥΤΑ

6: ΥΓΡΑ ΠΡΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ Η' ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΥΨΟΥ

Σχήμα 5.3.2: Τυπικό σύστημα ξηρού καθαρισμού απαερίων θερμικής επεξεργασίας



1: ΠΥΡΓΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ-ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

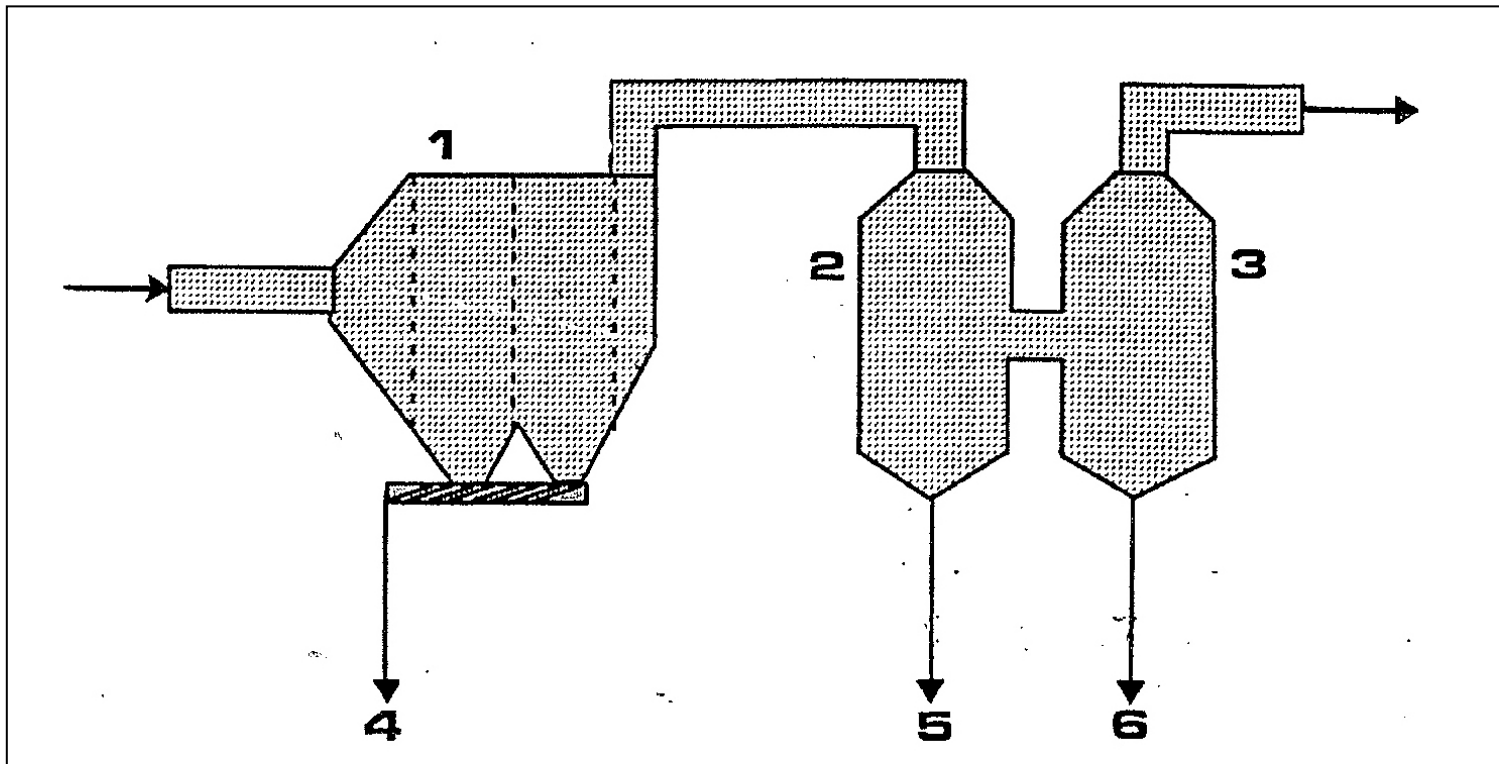
3: ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ-ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Πηγή Vehlow

2: ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΑ

4: ΠΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ + ΑΛΑΤΑ

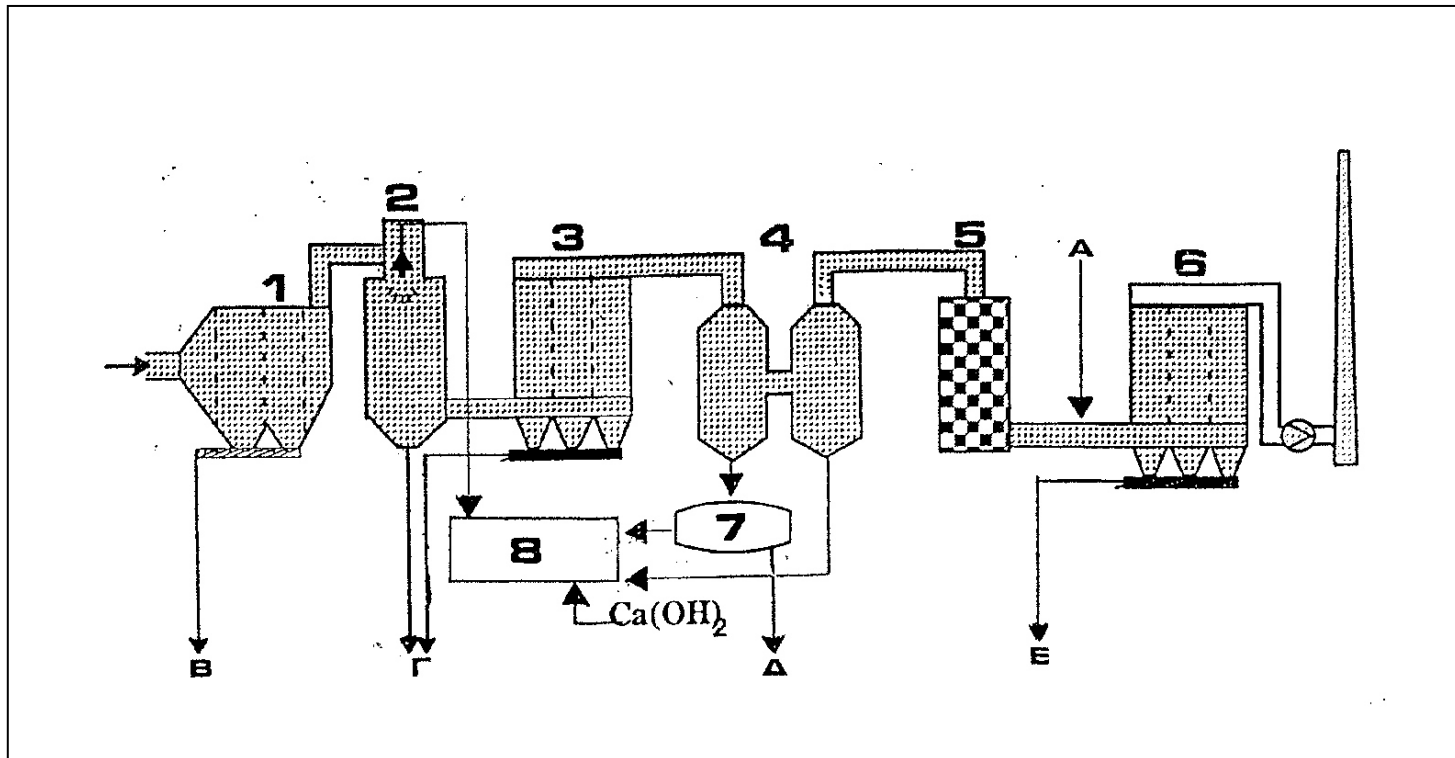
Σχήμα 5.3.3: Τυπικό σύστημα υγρού καθαρισμού απαερίων θερμικής επεξεργασίας χωρίς υγρά απόβλητα



1: ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ  
3: ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΑ  
5: ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΑΛΑΤΩΝ ΚΑΙ Hg  
*Πηγή Vehlou*

2: ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΜΕ ΨΕΚΑΣΜΟ  
4: ΠΛΥΝΤΗΡΙΔΕΣ  
6: ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗ

Σχήμα 5.3.4: Τυπικό σύστημα εκτεταμένου καθαρισμού απαερίων θερμικής επεξεργασίας



1: ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ

3: ΣΑΚΚΟΦΙΛΤΡΟ

5: ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ

7: ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

A: Προσθήκη ενεργού άνθρακα

Πηγή Vehlow

2: ΠΥΡΓΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

4: ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ

6: ΣΑΚΟΦΙΛΤΡΟ

8: ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗ ΑΠΟΝΕΡΩΝ

#### **5.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ**

Κατά την δεκαετία του '80, οπότε άρχισε η γρήγορη εξάπλωση των μονάδων καύσης ΑΣΑ στην Κεντρική Ευρώπη και κυρίως στην Γερμανία, η αντιδράσεις των πολιτών στην σχετικά νέα τεχνολογία ήταν εξαιρετικά έντονες, κυρίως λόγω του φόβου των αερίων εκπομπών. Το αποτέλεσμα ήταν οι προδιαγραφές ποιότητας των απαερίων να γίνονται ολοένα και αυστηρότερες και οι εγκαταστάσεις καθαρισμού πιο σύμπλοκες. Έτσι κατασκευάστηκαν τετραβάθμια συστήματα καθαρισμού, όπως αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 5.3.4, με αποτέλεσμα το κόστος διάθεσης των ΑΣΑ να φτάσει σε απαγορευτικά ύψη, που και αυτά δημιούργησαν νέα προβλήματα στους πολίτες.

Σήμερα η προσπάθεια έχει επικεντρωθεί στην επίτευξη των υψηλών απαιτήσεων καθαρότητας των απαερίων με καλύτερο έλεγχο των συνθηκών καύσης, ώστε να απλοποιηθούν, κατά το δυνατόν οι εγκαταστάσεις καθαρισμού των απαερίων.

Σημαντικό ρόλο στην επιλογή του συστήματος καθαρισμού παίζει και η αναλυτική μελέτη των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τις εκπομπές. Η εφαρμογή των μοντέλων διασποράς με ηλεκτρονικό υπολογιστή έχει επιτρέψει τον ακριβή υπολογισμό των επιπτώσεων της λειτουργίας των μονάδων θερμικής επεξεργασίας στην ποιότητα της ατμόσφαιρας της ευρύτερης περιοχής. Από τα μοντέλα αυτά έχει προκύψει ότι, στις σύγχρονες εγκαταστάσεις, η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από τους εκπεμπόμενους ρύπους είναι πολύ μικρή, ως αμελητέα, αφού και στα σημεία μεγαλύτερης επιβάρυνσης από το πλούμιο των απαερίων, η αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων δεν υπερβαίνει συνήθως το 5% της ήδη υφιστάμενης κατάστασης.

Ειδικότερα στην περίπτωση των διοξινών, που η επιτρεπόμενη συγκέντρωσή τους στα απαέρια της αποτέφρωσης απορριμμάτων είναι πια πολύ κοντά στην συνήθη συγκέντρωσή τους στον ατμοσφαιρικό αέρα, τόσο ώστε να χαρακτηρίζεται από πολλούς υπερβολική απαίτηση και άσκοπη επιβάρυνση του κόστους επεξεργασίας η προδιαγραφή των  $0,05\text{ng/m}^3$  στα απαέρια<sup>(17)</sup>.

## 6. ΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

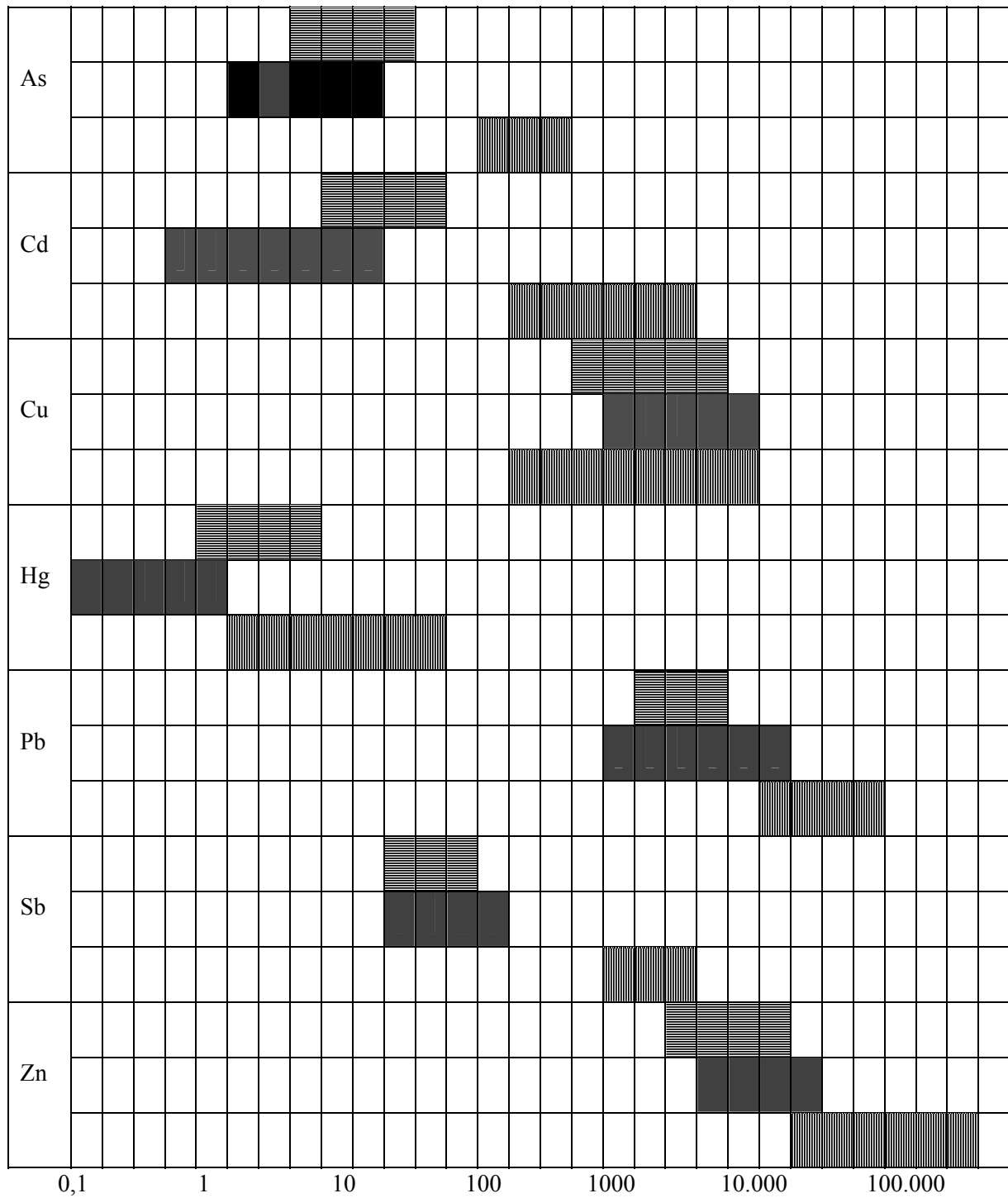
Η ποσότητα της τέφρας που προκύπτει από την καύση ΑΣΑ ή ΚΑΠ, είναι συνάρτηση της ποιότητας της πρώτης ύλης και συνήθως κυμαίνεται γύρω στο 20-30%.

Η απόληψη της τέφρας γίνεται από διάφορα σημεία της εγκατάστασης, με κυριότερη πηγή, στην καύση σε σχάρες, τα κατάλοιπα που πέφτουν στην άκρη της σχάρας. Με πολύ μεγάλη διαφορά ακολουθούν οι ποσότητες που συγκεντρώνονται στον λέβητα και στα φίλτρα, όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

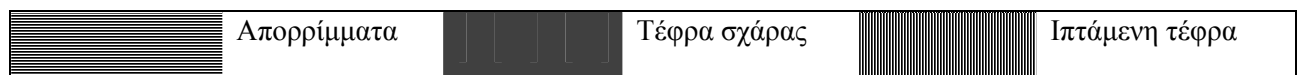
Όταν η καύση γίνεται σε ρευστοποιημένη κλίνη, παρατηρείται μία διαφοροποίηση του τρόπου κατανομής της τέφρας. Επειδή αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες αερίων για να διατηρείται η κλίνη σε αιώρηση, παρασύρονται μεγαλύτερες ποσότητες τέφρας με τα απερχόμενα αέρια. Για τον λόγο αυτό προβλέπεται, εκτός από την μετάκαυση, και ζώνη απόθεσης της παρασυρόμενης τέφρας.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1, η συμπεριφορά των διαφόρων μετάλλων κατά την καύση και η συγκεντρώσεις τους στα στερεά κατάλοιπα, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ανάλογα με την πτητικότητα των ιδίων και των ενώσεών τους και ανάλογα με την τάση τους να προσροφώνται στην τέφρα.

Πίνακας 6.1: Συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα απορρίμματα και την τέφρα



Συγκεντρώσεις σε mg/kg



Εκπομπές ρύπων ανά τόνο καιομένων (πριν τον καθαρισμό των αερίων)

Πηγή : Vehlow



## 7. ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ - ΠΥΡΟΛΥΣΗ

Σε αντίθεση με τις εγκαταστάσεις καύσης, στις μονάδες αεριοποίησης και πυρόλυσης στόχος είναι η παραγωγή ενός καύσιμου αερίου (συνήθως χαμηλής θερμογόνου ικανότητας) από την θερμική διάσπαση των οργανικών ενώσεων. Το αέριο αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί είτε με παραγωγή ατμού, σε ατμολέβητες, είτε για άλλες θερμικές επεξεργασίες, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αεριοστροβίλους ή μηχανές εσωτερικής καύσης ή ακόμη και για χημική σύνθεση, π.χ. μεθανόλης.

Η αεριοποίηση του άνθρακα παρουσία οξυγόνου για την παραγωγή φωταερίου και αερίου σύνθεσης είναι μία διαδικασία γνωστή από παλιά. Την τελευταία δεκαετία άρχισε η προσπάθεια εφαρμογής της μεθόδου και για την θερμική αξιοποίηση των απορριμμάτων, με την αεριοποίηση των οργανικών συστατικών τους.

Το αέριο που προκύπτει συνίσταται κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μικρομοριακές αλειφατικές ενώσεις. Το άζωτο των οργανικών ενώσεων μετατρέπεται κυρίως σε αμμωνία, ενώ το θείο σε υδρόθειο. Τα αλογόνα παρουσιάζονται είτε ως ενώσεις με υδρογόνο (οξέα) στα αέρια, είτε ως τα αντίστοιχα άλατα, στα στερεά κατάλοιπα. Η τελική σύνθεση είναι συνάρτηση της πρώτης ύλης, των συνθηκών αεριοποίησης και της θερμοκρασίας.

Η απαιτούμενη για την αεριοποίηση ενέργεια παρέχεται είτε εξωτερικά, είτε με ελεγχόμενη μερική καύση μέρους των οργανικών ενώσεων, παρουσία οξυγόνου. Στην περίπτωση αυτή στην σύνθεση του αερίου που προκύπτει συμμετέχει και το διοξείδιο του άνθρακα. Η τελική σύνθεση είναι συνεπώς συνάρτηση της πρώτης ύλης, των συνθηκών αεριοποίησης και της θερμοκρασίας.

Υπάρχουν επίσης δοκιμαστικές μονάδες που παράγουν υγρούς υδρογονάνθρακες από την επεξεργασία οργανικών καταλοίπων σε αναγωγικό περιβάλλον ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), με στόχο την παραγωγή υγρών καυσίμων.

Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών στην αξιοποίηση των ΑΣΑ και του ΚΑΠ υπόσχεται να έχει αξιόλογα αποτελέσματα, τόσο από άποψη ενεργειακής απόδοσης, όσο και από άποψη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας<sup>(18)</sup>. Ωστόσο, προς το παρόν πρέπει να θεωρηθεί ότι δεν έχουν ωριμάσει οι μέθοδοι ώστε να τις συστήσει κανείς χωρίς επιφυλάξεις<sup>(19)</sup>.

Την σημαντικότερη εφαρμογή βρίσκουν οι μέθοδοι αυτές στην θερμική αξιοποίηση παραπροϊόντων οργανικής προέλευσης (βιομάζα) που είναι ομοιογενή και παρουσιάζουν σταθερή σύνθεση, όπως π.χ. τα υπολείμματα ξυλείας, όπου υπάρχουν παραδείγματα επιτυχών εφαρμογών.

Οι μέθοδοι θερμικής αξιοποίησης με αεριοποίηση-πυρόλυση των οικιακών απορριμμάτων, παρουσιάζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μεθόδους καύσης :

- Δυνατότητα λειτουργίας σε συνθήκες υψηλής θερμικής φόρτισης ( $\text{MW/m}^2$ )
- Υψηλός βαθμός απόδοσης μετατροπής της ενέργειας. Αν και τα διατιθέμενα βιβλιογραφικά στοιχεία ποικίλλουν στις εκτιμήσεις τους (προβλέψεις με το παρόν τεχνολογικό επίπεδο : 18%-24.1%<sup>(30)</sup>, θεωρητικά μέγιστη τιμή : 30%<sup>(35)</sup>, εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου : 35%<sup>(35)</sup>), γενικά θεωρείται ότι είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλότεροι βαθμοί απόδοσης από ότι στις εγκαταστάσεις καύσης.
- Στερεά κατάλοιπα πλήρως σταθεροποιημένα και αδραντοποιημένα (λόγω των υψηλών θερμοκρασιών). Τα στερεά υπολείμματα, είναι δυνατόν είτε να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές (οδικά έργα κ.α.) είτε να ταφούν με ασφαλή τρόπο.
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης μίγματος διαφορετικών καυσίμων, όπως βιομάζα

- Δυνατότητα χρησιμοποίησης του, χαμηλής θερμογόνου δύναμης παραγόμενου αερίου καυσίμου, ως εναλλακτικό του άνθρακα και του μεθανίου στη βιομηχανία
- Οι εκπομπές ρύπων υπολογίζεται ότι πρόκειται να καλύπτουν τα όρια περιβαλλοντικών εκπομπών που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. (94/67/ΕΟΚ) σχετικά με τις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας οικιακών απορριμμάτων. Σημειώνεται ότι η εφαρμογή συστήματος καθαρισμού του παραγόμενου αερίου, πριν αυτό οδηγηθεί σε εγκατάσταση καύσης, έχει το πλεονέκτημα της επεξεργασίας μικρότερου όγκου αερίων, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κτήσης, εγκατάστασης και λειτουργίας του σχετικού εξοπλισμού<sup>(35)</sup>.
- Οι εξελιγμένες αυτές τεχνολογίες θερμικής μετατροπής είναι συμβατές με προγράμματα ανακύκλωσης, αφού είναι οι πλέον κατάλληλες για την καύση των ομοιογενών καυσίμων (όπως το RDF) που παράγονται από εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας-ανακύκλωσης-διαχωρισμού των οικιακών απορριμμάτων.

Τα βασικότερα μειονεκτήματα των εγκαταστάσεων αεριοποίησης-πυρόλυσης, είναι επιγραμματικά τα εξής :

- Γενικά, τα στοιχεία που αναφέρονται στην βιβλιογραφία και αφορούν τον βαθμό απόδοσης της ενεργειακής μετατροπής, τις εκπομπές ρύπων, τις οικονομικές παραμέτρους κ.α., έχουν προκύψει από θεωρητικές αναλύσεις. Οι εγκαταστάσεις που ήδη λειτουργούν, βρίσκονται σε πειραματικό-πilotικό στάδιο εφαρμογής και τα «πραγματικά» λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, απέχουν αρκετά από τις θεωρητικά μέγιστες προβλεπόμενες τιμές.
- Συνοπτικά, η αεριοποίηση-πυρόλυση των αστικών απορριμμάτων, δεν θεωρείται μια «ώριμη» τεχνολογία, αφού υπάρχει έλλειψη εμπειρίας από την εφαρμογή της σε εμπορικές εγκαταστάσεις.
- Το ειδικό κόστος των εγκαταστάσεων αεριοποίησης-πυρόλυσης (δρχ./tn απορριμμάτων) είναι συγκριτικά μεγαλύτερο από το κόστος των τεχνολογιών καύσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται τόσο στην πολύπλοκη φύση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα, όσο και στον pilotικό χαρακτήρα των υπαρχουσών εγκαταστάσεων. Σημειώνεται ότι το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, εξαρτάται άμεσα από τον αντικειμενικό στόχο της εγκατάστασης. Σε περίπτωση που ο σκοπός της κατασκευής είναι η μείωση του κόστους απόθεσης των απορριμμάτων εντός των ισχυόντων νομοθετικών ορίων περιβαλλοντικών εκπομπών, το συνολικό κόστος είναι μικρότερο από την περίπτωση της κατασκευής με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων.

## 7.1 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Η αεριοποίηση είναι η μετατροπή ενός στερεού ή υγρού τροφοδοτικού καυσίμου σε αέριο, μέσω θερμικής επεξεργασίας. Ουσιαστικά, το καύσιμο υποβάλλεται σε μερική οξείδωση (υποστοιχειομετρικές συνθήκες), η οποία επιτυγχάνεται, μέσω της ρύθμισης της παροχής του οξειδωτικού μέσου. Ενώ οι φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα ποικίλουν σημαντικά, το αέριο σχηματίζεται κατά κύριο λόγο σε θερμοκρασίες άνω των 750°C. Για οργανικά τροφοδοτικά (καύσιμα), όπως είναι τα περισσότερα αστικά απορρίμματα, το τελικό αέριο είναι κυρίως μείγμα αποτελούμενο από μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο, νερό, άζωτο και μικρές ποσότητες υψηλών υδρογονανθράκων.

Το παραγόμενο αέριο έχει συνήθως σχετικά χαμηλή θερμογόνο δύναμη, περίπου 10 MJ/Nm<sup>3</sup> (συγκριτικά, αναφέρεται ότι η θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου είναι περίπου 39 MJ/Nm<sup>3</sup>). Το παραγόμενο αέριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε λέβητες, μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστρόβιλους.

Ως οξειδωτικό μέσο, χρησιμοποιείται είτε ατμοσφαιρικός αέρας, είτε αέρας εμπλουτισμένος με οξυγόνο ή τέλος καθαρό οξυγόνο. Όταν δεν χρησιμοποιείται αέρας, το τελικά παραγόμενο

αέριο, (αέριο σύνθεσης - synthesis gas), έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη (από 10 έως 15 MJ/Nm<sup>3</sup>) σε σύγκριση με αυτό που σχηματίζεται χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικό αέρα.

Για τα περισσότερα τροφοδοτικά καύσιμα που προέρχονται από αστικά απορρίμματα (όπως το ΚΑΠ), το αέριο περιέχει πίσσα και σωματίδια τα οποία πιθανόν να χρειάζεται να αφαιρεθούν ή να προηγηθεί επεξεργασία πριν την καύση του αερίου. Η επεξεργασία του αερίου με σκοπό την αφαίρεση της πίσσας αποτελεί σήμερα τεχνολογία αιχμής και βρίσκεται στο μεταβατικό στάδιο από την έρευνα στην εφαρμογή. Το κόστος του συγκροτήματος κατακράτησης πίσσας αυξάνει σημαντικά το κόστος των μονάδων αεριοποίησης.

Η μέθοδος αεριοποίησης που έχει την μεγαλύτερη εξέλιξη, τα τελευταία 2-3 χρόνια είναι η αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη, από την οποία υπάρχει ήδη σε λειτουργία και η πρώτη παραγωγική μονάδα στο Greve-in-Chianti (Ιταλία).

Το παραγόμενο αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί κατά διάφορους τρόπους, όπως:

- Καύση για παραγωγή ατμού. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζεται, έναντι της καύσης, είναι ότι τα αέρια καθαρίζονται πριν την καύση, δίνοντας έτσι την δυνατότητα λειτουργίας του ατμολέβητα σε υψηλότερες πιέσεις και του υπερθερμαντήρα του ατμού σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ώστε να επιτυγχάνονται και βελτιωμένες αποδόσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, που μπορούν να πλησιάσουν το 30%.
- Τροφοδοσία μηχανής εσωτερικής καύσης που κινεί ηλεκτρογεννήτρια. Η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να ξεπεράσει το 40%, αλλά προϋποθέτει πολύ καλό καθαρισμό των αερίων πριν την τροφοδοσία της μηχανής.
- Κίνηση αεριοστροβίλου και ατμοπαραγωγή σε συνδυασμένο κύκλο. Και η μέθοδος αυτή, που προϋποθέτει επίσης πολύ καλό καθαρισμό των αερίων πριν την τροφοδοσία, μπορεί να οδηγήσει σε αποδόσεις της τάξης του 40% σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Διοχέτευση στο δίκτυο αερίου πόλης. Απαραίτητη προϋπόθεση ο καλός καθαρισμός και η σταθερή ποιότητα.
- Παροχή του αερίου σε βιομηχανία, όπως τσιμεντοβιομηχανία για απ' ευθείας καύση σε εστία. Στην περίπτωση αυτή μειώνονται πολύ σημαντικά οι απαιτήσεις καθαρισμού.
- Παροχή του αερίου σε βιομηχανία όπου χρησιμοποιείται για ατμοπαραγωγή. Οι απαιτήσεις καθαρισμού είναι συνάρτηση των συνθηκών λειτουργίας του ατμολέβητα.

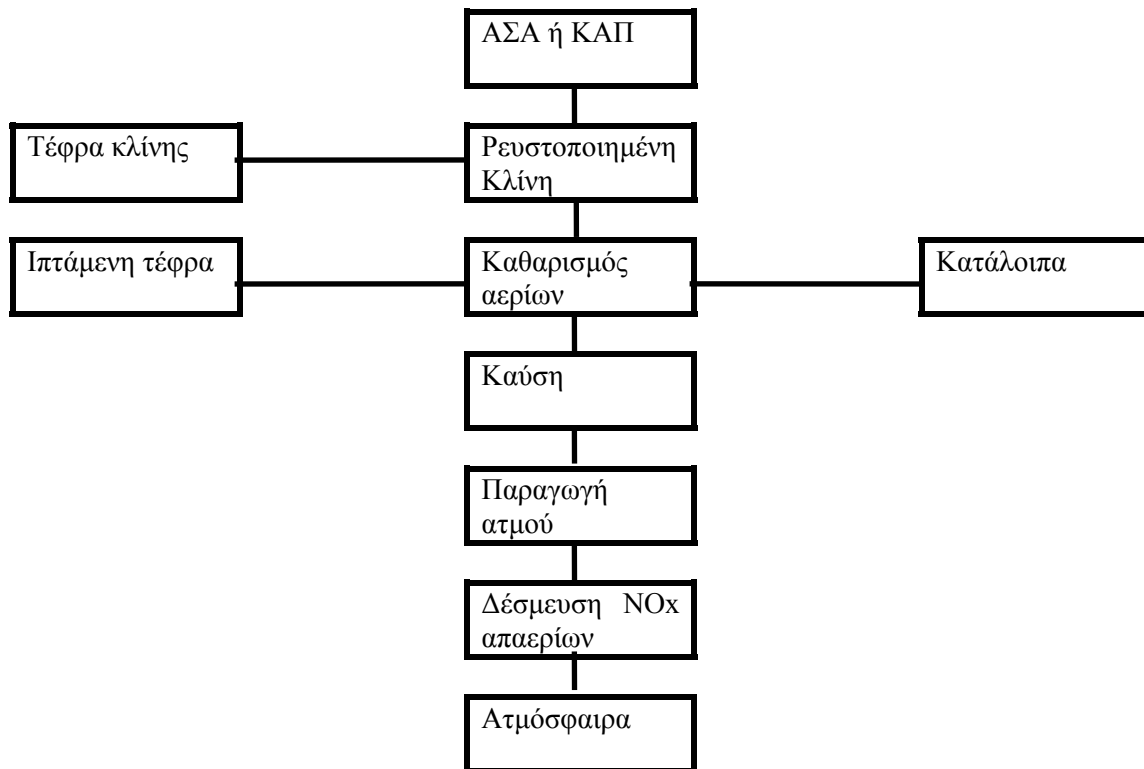
Ειδικά για την περίπτωση του ΚΑΠ, είναι αναμενόμενο η αεριοποίηση να διαδοθεί σημαντικά, όταν θα έχει να επιδείξει κάποιες μονάδες σε ικανοποιητική λειτουργία. Προς το παρόν δεν υπάρχει ακόμη αρκετή εμπειρία και η τυχόν εφαρμογή της αεριοποίησης θα είναι συνδυασμένη με ανάληψη του ρίσκου αντιμετώπισης προβλημάτων, ιδίως κατά την πρώτη περίοδο.

Στο σχήμα 7.1.1 παρουσιάζεται η τυπική παραγωγική διαδικασία μιας εγκατάστασης αεριοποίησης, ενώ το Σχήμα 7.1.2, παρουσιάζει μια τροποποιημένη παραγωγική διαδικασία για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

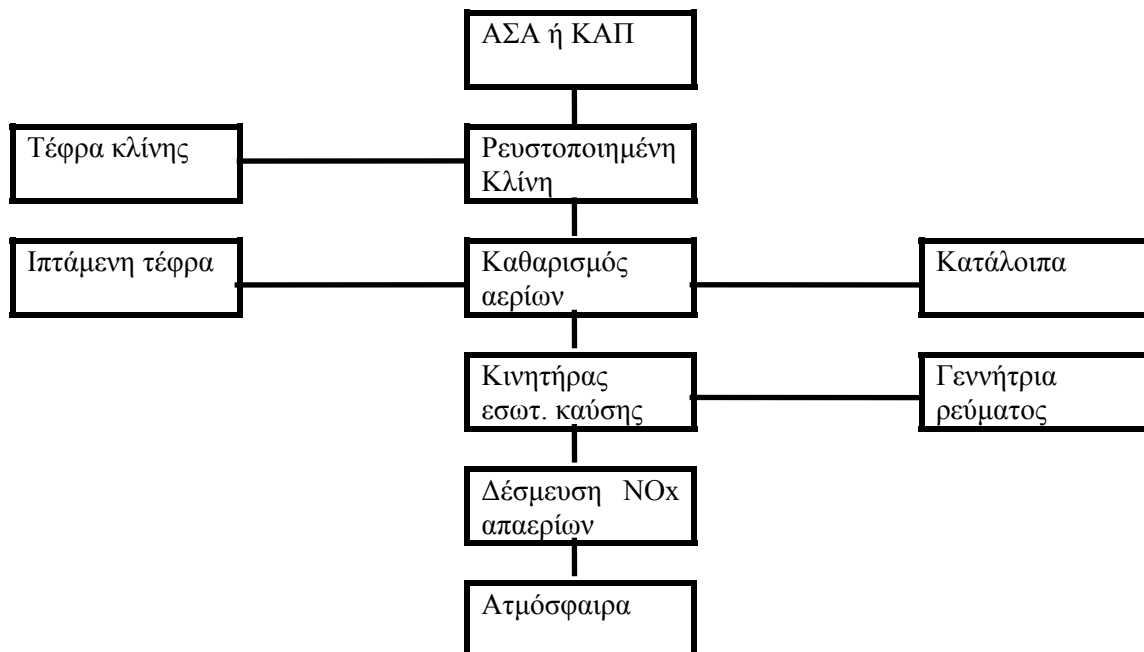
Σε εναλλακτικές διατάξεις, η τέφρα της κλίνης και η ιπτάμενη τέφρα οδηγούνται στην εστία καύσης, όπου τήκονται σε υψηλή θερμοκρασία, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός υαλώδους προϊόντος που δεσμεύει τα βαρέα και τοξικά μέταλλα, περιορίζοντας σημαντικά την δυνατότητα έκλουσής των κατά την απόθεση σε χώρους ταφής<sup>(20)</sup>.

Στο Παράρτημα Α (παράγραφος Α.3-1), γίνεται συνοπτική τεχνική περιγραφή του εργοστασίου αεριοποίησης ΚΑΠ που λειτουργεί στο Greve-in-Chianti. Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται συνοπτικά τρεις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ΚΑΠ, όπως αυτές προτάθηκαν ειδικά για την περιοχή των Άνω Λιοσίων. Τέλος, στο Παράρτημα Γ, γίνεται αναλυτικότερη παρουσίαση των τεχνολογιών αεριοποίησης και πυρόλυσης αστικών απορριμμάτων.

**Σχήμα 7.1.1:** Λειτουργικό διάγραμμα αεριοποίησης σε ρευστοποιημένη κλίνη με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας



**Σχήμα 7.1.2:** Λειτουργικό διάγραμμα αεριοποίησης σε ρευστοποιημένη κλίνη με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ)



## 7.2 ΠΥΡΟΛΥΣΗ

Η πυρόλυση, ορίζεται ως η θερμική αποσύνθεση ενός υλικού σε συνθήκες απουσίας οξειδωτικού μέσου (π.χ αέρα ή οξυγόνου). Στη πράξη, η ολική εξάλειψη του οξυγόνου είναι δύσκολη, γι' αυτό πάντα επικρατούν συνθήκες μερικής οξειδωσης.

Συνήθως η διεργασία της πυρόλυσης λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες 400-800°C και η δράση της διασπά τα πολύπλοκα μόρια σε απλούστερα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αερίου, υγρού και πίσσας. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να έχουν πολλαπλές χρήσεις, η ακριβής φύση των οποίων εξαρτάται από τη φύση του (αρχικού) καυσίμου. Ωστόσο, για καύσιμα βασισμένα σε αστικά απορρίμματα, η πιο συχνή χρήση του παραγόμενου αερίου είναι ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.

Οι σχετικές αναλογίες παραγόμενου αερίου-υγρού-στερεού, εξαρτώνται από την θερμοκρασία στην οποία το υλικό υποβάλλεται, τον χρόνο που εκτίθεται σ' αυτή τη θερμοκρασία και στη φύση του ίδιου του υλικού. Διαρκής έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες μεγιστοποιούν την παραγωγή πίσσας,

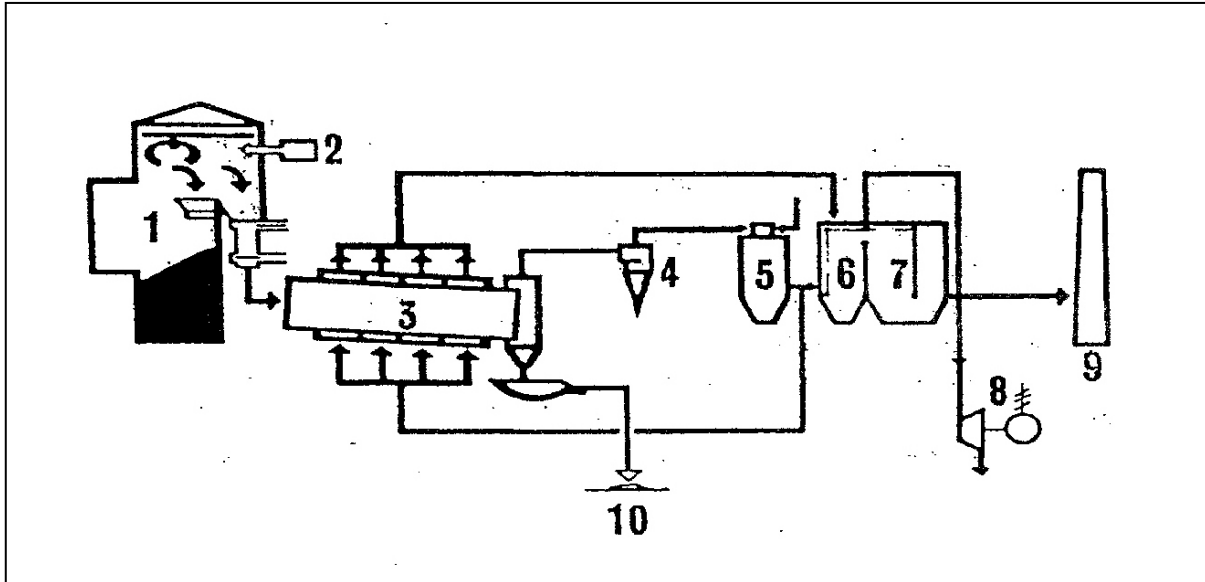
Η διαφορά της πυρόλυσης από την αεριοποίηση, είναι ότι εδώ το αέριο παράγεται με θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων, απουσία αέρα. Εφ' όσον πρόκειται για ΑΣΑ γίνεται σε πρώτη φάση άλεση του υλικού και διαχωρισμός των ανόργανων με κοσκίνισμα και στην πυρόλυση οδηγείται το κλάσμα με διαστάσεις κάτω των 200 mm. Εάν το καύσιμο είναι ΚΑΠ, αυτή η διαδικασία δεν χρειάζεται, δεδομένου ότι έχει ήδη προηγηθεί η άλεση και ο καθαρισμός.

### 7.2.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΚΛΙΒΑΝΟ

Το προεπεξεργασμένο υλικό οδηγείται στον αντιδραστήρα πυρόλυσης που έχει την μορφή περιστρεφόμενου κυλίνδρου (Σχήμα 7.2.1.1). Εκεί, σε θερμοκρασία γύρω στους 450°C, το οργανικό μέρος διασπάται σε αέρια φάση και σε εξανθράκωμα. Για την θέρμανση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εκτός από το παραγόμενο καύσιμο αέριο, κατά ένα ποσοστό και άλλη πηγή θερμότητας, όπως το φυσικό αέριο.

Κατόπιν το παραγόμενο αέριο, μαζί με το εξανθράκωμα, με διάσταση κόκκου κάτω του 1 mm μεταφέρονται στην εστία καύσης, όπου καίγονται σε υψηλή θερμοκρασία, γύρω στους 1.300°C. Στον ίδιο αντιδραστήρα γίνεται και τήξη των στερεών καταλοίπων, ώστε να προκύψει αδρανής υαλώδης μάζα. Η παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται για την παραγωγή ατμού.

Σχήμα 7.2.1.1: Πυρόλυση σε περιστρεφόμενο κλίβανο



1: ΣΙΛΟ ΥΛΙΚΟΥ

2: ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΣΒΕΣΤΗ

3: ΚΛΙΒΑΝΟΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ

4: ΚΥΚΛΩΝΑΣ

5: ΕΣΤΙΑ ΚΑΥΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ

6: ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑΣ

7: ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ

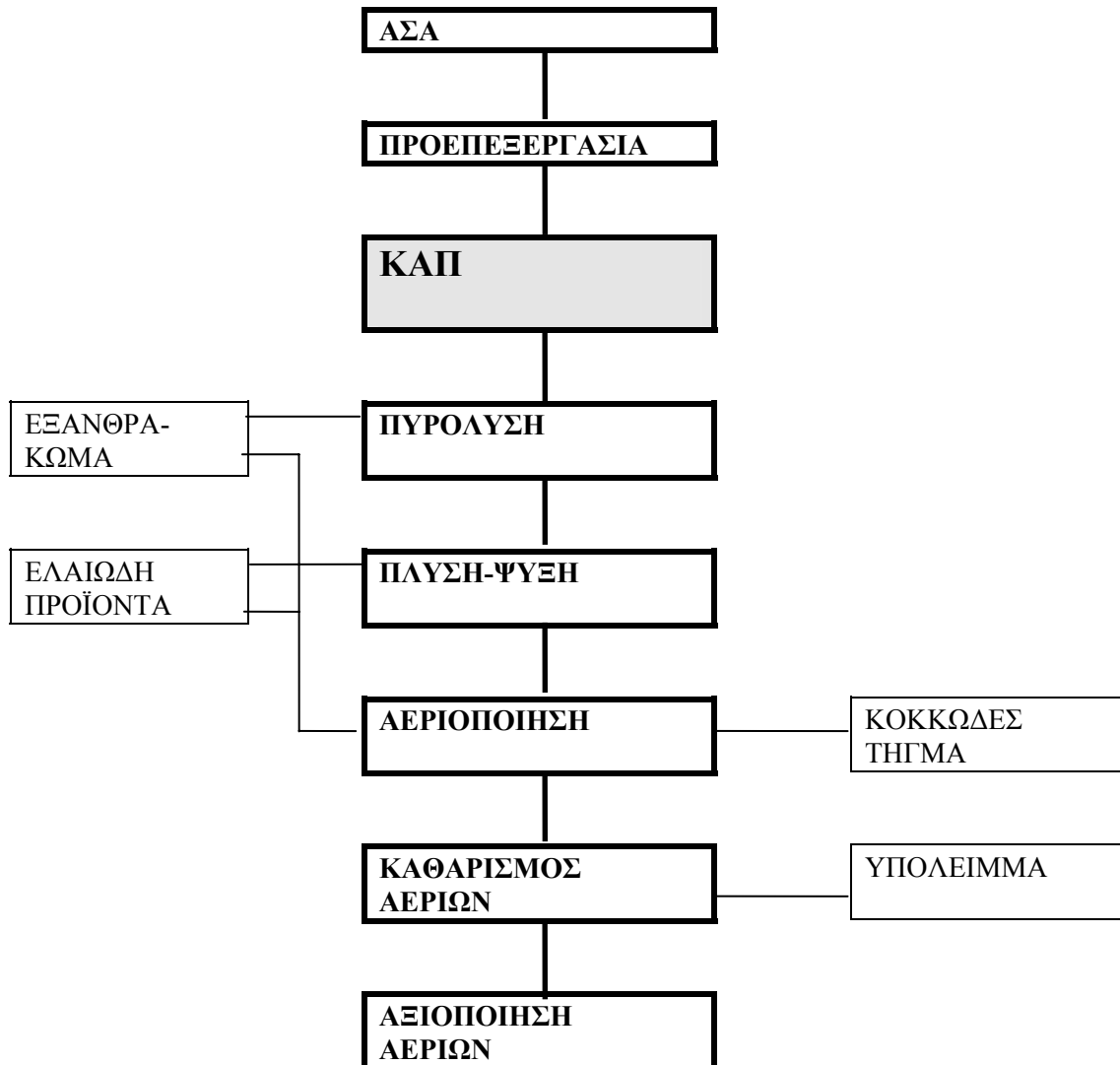
8: ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

9: ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΣ

10: ΚΩΚ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ

Κατά μία άλλη παραλλαγή (Σχήμα 7.2.1.2), που είναι συνδυασμός πυρόλυσης με αεριοποίηση, προτείνεται η πλήρης αεριοποίηση των στερεών εξανθρακωμάτων, με διοχέτευσή τους, μαζί με τα αέρια και υγρά προϊόντα της πυρόλυσης και με νερό, σε αντιδραστήρα, όπου σε υψηλή πίεση, 25 bar και θερμοκρασία 1.500°C, παράγεται ένα καύσιμο αέριο, που μπορεί να αξιοποιηθεί σε αεριοστρόβιλο, ενδεχομένως μαζί με φυσικό αέριο<sup>(21)</sup>.

Σχήμα 7.2.1.2: Παραλλαγή Πυρόλυσης σε περιστρεφόμενο κλίβανο



Η εκτίμηση, ακόμη και των εταιριών που προσφέρουν τον σχετικό εξοπλισμό, είναι ότι οι μονάδες αυτές προσφέρονται κυρίως για την επεξεργασία ομοιογενών υλικών, όπως φλοιοί δένδρων, περιττώματα κοτόπουλων, ελαστικά αυτοκινήτων, ιλύς βιολογικών καθαρισμών, απορρίμματα πλαστικών κ.α. αλλά ότι δεν είναι ακόμη ώριμες για εφαρμογή σε ΑΣΑ ή ΚΑΠ<sup>(21)</sup>.

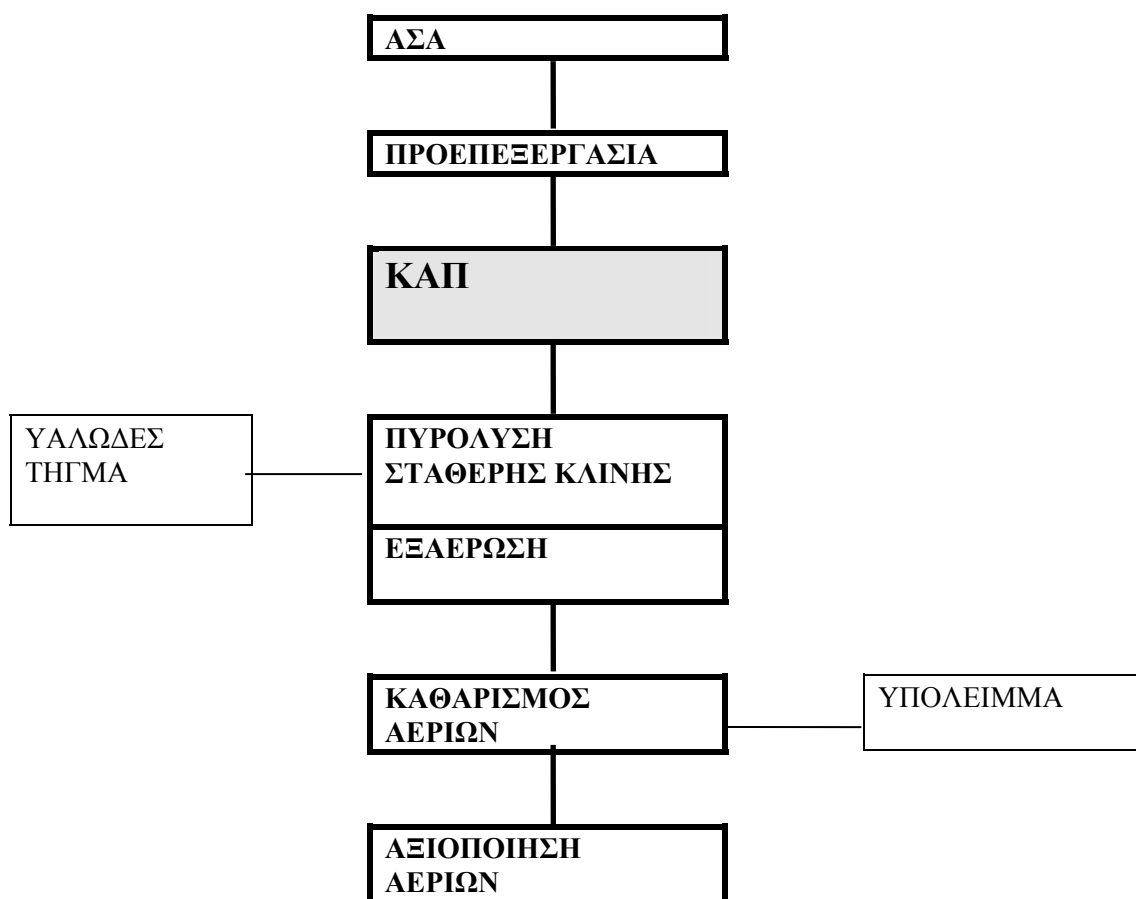
## 7.2.2 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΛΙΝΗ

Τα προεπεξεργασμένα ΑΣΑ ή το ΚΑΠ, αφού συμπιεσθούν, οδηγούνται σε μία πυρολυτική εστία, από την οποία τα αέρια και το εξανθράκωμα περνούν κατόπιν στον εξαερωτή. Η αεριοποίηση γίνεται με καθαρό οξυγόνο<sup>(22)</sup>. Σύμφωνα με την εταιρία που έχει αναπτύξει την μέθοδο, η απόδοση σε διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια είναι 15,7%, ενώ άλλες μελέτες την εκτιμούν σε 12%<sup>(23)</sup>.

Η θερμοκρασία στον πυθμένα του εξαερωτή φτάνει τους 2000 °C, και έτσι η τέφρα που συγκεντρώνεται εκεί αποκτά την μορφή υαλώδους τήγματος. Τα αέρια, που φτάνουν τους 1.200 °C, ψύχονται με νερό και καθαρίζονται, ώστε να είναι κατάλληλα για αξιοποίηση, είτε σε εξωτερική εστία, είτε σε μηχανή εσωτερικής καύσης, είτε σε αεριοστρόβιλο, ή ακόμη με διοχέτευση σε δίκτυο (Σχήμα 7.2.2.1).

Με την μέθοδο αυτή έχει κατασκευαστεί μία μεγάλη εγκατάσταση, που αναμενόταν να τεθεί σε λειτουργία στο τέλος του 1998 και δεν είναι ακόμη γνωστά τα αποτελέσματα.

Σχήμα 7.2.2.1: Πυρόλυση σε σταθερή κλίνη



## 7.2.3 ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΜΕ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΩΚ ΚΑΙ ΑΕΡΙΟΥ

Τον Αύγουστο του 1999 αναμένεται να κατασκευασθεί στην Γερμανία μία εγκατάσταση πυρολυτικής επεξεργασίας βοηθητικών καυσίμων, όπως ΚΑΠ, ΑΣΑ, βιολογική ύλη, παλαιά ξυλεία, υπολείμματα χαρτοποιίας κλπ. προκειμένου να υποκατασταθεί κατά 10% περίπου ο άνθρακας που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη σε μία μεγάλη θερμοηλεκτρική μονάδα <sup>(24)</sup>. Το



βοηθητικό καύσιμο θερμαίνεται, απουσία αέρα, στους 500°C, οπότε παράγεται κώκ και αέριο, τα οποία κατόπιν διοχετεύονται, μαζί με τον άνθρακα στην μονάδα ατμοπαραγωγής.

Η δυναμικότητα της μονάδας πυρόλυσης είναι περίπου 170 τόννοι ανά ημέρα. Από τα στερεά υπολείμματα της πυρόλυσης, μετά τον διαχωρισμό του κώκ, ανακτώνται σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα που ανακυκλώνονται στην παραγωγή και αδρανή, που διατίθενται σε ΧΥΤΑ. Η λειτουργία της εγκατάστασης αναμένεται να αρχίσει τον Μάρτιο του 2.000. Ο καθαρισμός των αερίων θα γίνεται στην ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση του θερμοηλεκτρικού σταθμού με, ενδεχομένως, κάποιες προσθήκες και βελτιώσεις.

#### 7.2.4 Ο ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΕΞΑΕΡΩΣΗΣ-ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ

Εάν τα αέρια που παράγονται από την αεριοποίηση-πυρόλυση διοχετευθούν αμέσως σε εστία καύσης, για αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας με παραγωγή ατμού, τότε τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι αντίστοιχα εκείνων της καύσης.

Σε αρκετές περιπτώσεις των εγκαταστάσεων που λειτουργούν σήμερα, ή που προγραμματίζονται, προβλέπεται να προηγηθεί ο καθαρισμός των αερίων πριν την αξιοποίησή τους, είτε καύσης σε εστία είτε σε αεριοστρόβιλο ή μηχανή εσωτερικής καύσης.

Στην δεύτερη αυτή περίπτωση, όπου τα αέρια καθαρίζονται πριν την αξιοποίηση, ο όγκος τους είναι σημαντικά μειωμένος, με συνέπεια και οι εγκαταστάσεις καθαρισμού να είναι μικρότερες και η αποτελεσματικότητά τους μεγαλύτερη.

#### 7.2.5 ΟΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Στην περίπτωση που τα προϊόντα της αεριοποίησης πυρόλυσης καίγονται επί τόπου για την παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύουν οι ίδιοι περιορισμοί με τις κλασικές μονάδες καύσης απορριμμάτων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην νομοθεσία δεν γίνεται σαφής αναφορά στις περιπτώσεις όπου το παραγόμενο αέριο χρησιμοποιείται για χημική σύνθεση, διοχετεύεται σε δίκτυο αερίου πόλεως, ή κινεί μηχανή εσωτερικής καύσης.

#### 7.2.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Οι ακολουθούμενες διαδικασίες καθαρισμού των αερίων, πριν ή μετά την καύση των προϊόντων αεριοποίησης είναι ανάλογες με τις εφαρμοζόμενες στα απαέρια των συμβατικών καύσεων.

### 7.3 ΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ- ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ

Τα στερεά υπολείμματα των μεθόδων αεριοποίησης - πυρόλυσης, έχουν περίπου την ίδια σύνθεση με τα προκύπτοντα από τις συμβατικές καύσεις. Η πολύ σημαντική διαφοροποίηση που παρουσιάζεται, έγκειται στο γεγονός ότι ορισμένα συστήματα αξιοποιούν μέρος του παραγομένου καυσίμου αερίου για την τήξη της τέφρας και την παραγωγή ενός υαλώδους τήγματος, το οποίο είναι ιδιαίτερα σταθερό, τα εγκλειόμενα βαρέα μέταλλα δεν εκλύονται από το νερό και έτσι, όχι μόνο δεν παρουσιάζει προβλήματα η διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής, αλλά είναι δυνατή και η αξιοποίησή τους, π.χ. στην οδοποιία.

Το μειονέκτημα της παραγωγής του υαλώδους υλικού είναι ότι μειώνεται σημαντικά η αξιοποιήσιμη ενέργεια και αυξάνει η συμπλοκότητα της λειτουργίας της μονάδας. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η σχετικές εμπειρίες είναι, ως σήμερα, πολύ περιορισμένες.

## 8. ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Από την θερμική επεξεργασία του ΚΑΠ, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο, παράγεται ενέργεια υπό τις ακόλουθες μορφές:

1. Ηλεκτρική ενέργεια
2. Θερμική ενέργεια ως ατμός χαμηλής πίεσης ή θερμό νερό
3. Καύσιμο αέριο

Οι δύο πρώτες μορφές προέρχονται από εγκαταστάσεις καύσης δοκιμασμένες σε μεγάλο αριθμό μονάδων. Αντίθετα το καύσιμο αέριο είναι προϊόν εγκαταστάσεων αεριοποίησης-πυρόλυσης, που βρίσκονται ουσιαστικά στο δοκιμαστικό στάδιο, τόσο ως μέθοδοι επεξεργασίας όσο και ως τρόποι αξιοποίησης.

### 8.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η ενέργεια που ανακτάται από την θερμική αξιοποίηση τόσο των ΑΣΑ όσο και του ΚΑΠ, έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με συνέπεια να κυμαίνεται γύρω στο 85% της ενέργειας που παράγεται από την καύση. Η ενέργεια αυτή λαμβάνεται με την μορφή ατμού σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, που κυμαίνονται γύρω στους 500°C και σε 55-60 bar.

Η ενέργεια που ενδιαφέρει περισσότερο επειδή είναι πιο πολύτιμη και άμεσα αξιοποιήσιμη, είναι η ηλεκτρική, που παράγεται με αξιοποίηση μέρους της ενθαλπίας του ατμού, σε αμοστροβίλους συνδεδεμένους με ηλεκτρογεννήτρια.

Όπως φαίνεται και από τα συγκριτικά στοιχεία που ακολουθούν (Πίνακας 8.1.1.), η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αντιστοιχεί περίπου στο 25-30% της συνολικής που ελευθερώνεται κατά την καύση. Από αυτό το ποσοστό πρέπει ακολούθως να αφαιρεθεί η ηλεκτρική ενέργεια που ιδιοκαταναλώνει η εγκατάσταση και που φτάνει περίπου το 20% της παραγόμενης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η διαθέσιμη προς τρίτους ηλεκτρική ενέργεια κυμαίνεται στις μονάδες θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ και ΚΑΠ γύρω στο 20% της εκλυομένης κατά την καύση.

Οι μονάδες από τις οποίες ελήφθησαν τα στοιχεία αυτά είναι οι εξής:

- Μαδρίτη, Ισπανία <sup>(25)</sup>
- Περιφέρεια Τουλόνης, Γαλλία <sup>(26)</sup>
- Νόρφολκ, ΗΠΑ <sup>(27)</sup>
- Τορόντο, Καναδάς <sup>(28)</sup>

Από την επεξεργασία των στοιχείων προέκυψε ο Πίνακας 8.1.1.

Πίνακας 8.1.1: Ενεργειακό Ισοζύγιο από την θερμική αξιοποίηση ΑΣΑ και ΚΑΠ σε σχάρα ή ρευστοποιημένη κλίνη

			ΜΑΔΡΙΤΗ	ΤΟΡΟΝΤΟ	ΤΟΥΛΟΝΗ	ΝΟΡΦΟΛΚ
Καύσιμο			ΚΑΠ	ΑΣΑ	ΑΣΑ	ΚΑΠ
Ημερήσια ποσότητα		Mg/d	612	45	504	1.500
Ετήσια ποσότητα		Mg/y	223.380	16.425	184.000	547.500
Ωριαία ποσότητα		Mg/h	26	2	21	63
Θερμογόνος δύναμη		kJ/kg	<b>15.000</b>	<b>10.000</b>	<b>9.000</b>	<b>15.000</b>
Παραγόμενη θερμότητα		MJ/h	382.500	18.750	189.041	937.500
Ποσοστό μετατροπής σε ατμό		%	85	85	85	85
Ενέργεια που μετατρέπεται σε ατμό		MJ/h	325.125	15.938	160.685	796.875
Μετατροπή θερμικής σε ηλεκτρική ενέργεια		%	<b>27,50</b>	<b>23,00</b>	<b>27,00</b>	<b>23,00</b>
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια		kWh/h	24.836	1.018	12.051	50.911
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια		MJ/h	89.409	3.666	43.385	183.281
Ποσοστό ολικής		%	23	20	23	20
Ηλεκτρική ισχύς		MW	24,84	1,02	12,05	50,91
Μη αξιοποιούμενη ενέργεια του ατμού		%	73	77	73	77
Ιδιοκατανάλ. εργοστασίου σε ηλ. ενέργεια %	20	kWh/h	4.967	204	2.410	10.182
Περίσσεια ηλ. ενέργειας προς διάθεση		kWh/h	19.869	815	9.641	40.729
Περίσσεια ηλ. ενέργειας προς διάθεση		MWh/y	158.950	6.517	77.129	325.833
Περίσσεια ηλ. ενέργειας προς διάθεση		% ολικής	<b>18,70</b>	<b>15,64</b>	<b>18,36</b>	<b>15,64</b>

Τα αντίστοιχα στοιχεία που υπάρχουν για τις άλλες μεθόδους επεξεργασίας αφορούν μόνο την πυρόλυση σε σταθερή κλίνη και προέρχονται από τον κατασκευαστή της μεθόδου. Σύμφωνα με αυτά<sup>(29)</sup>, η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια ανέρχεται στο 28% της θερμότητας καύσης, ενώ η διαθέσιμη προς τρίτους, μετά την ιδιοκατανάλωση, ενέργεια είναι μόνον το 15,7% της ολικής.

Εκτός από τις δημοσιεύσεις αυτές, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μία μελέτη της Ολλανδικής εταιρίας NOVEM, με θέμα την συγκριτική αξιολόγηση 5 μεθόδων θερμικής αξιοποίησης ΑΣΑ<sup>(30)</sup>. Οι συντάκτες της μελέτης δεν αρκέστηκαν στα στοιχεία που δίνουν οι κατασκευαστές, αλλά προχώρησαν σε νέους υπολογισμούς των αποδόσεων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών, που παρατίθενται στον Πίνακα 8.1.2, συμφωνούν περίπου με αυτά που προέκυψαν από την επεξεργασία δημοσιεύσεων, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, και που αναφέρονται στον Πίνακα 8.1.1.

Στοιχεία αποδόσεων θερμοηλεκτρικών εγκαταστάσεων που λειτουργούν με αξιοποίηση βιομάζας και απορριμμάτων περιέχει επίσης η κοινή μελέτη των VIT ENERGY Φινλανδία, C.A.R.M.E.N. Γερμανία και Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης, που χρηματοδοτήθηκε από την Ε.Κ. και κυκλοφόρησε σε CD-Rom, όπου αναφέρονται αντίστοιχες αποδόσεις των εγκαταστάσεων σε ηλεκτρική ενέργεια<sup>(31)</sup>.

**Πίνακας 8.1.2:** Υπολογισμός αποδόσεων σε ηλεκτρική ενέργεια με διάφορες μεθόδους

ΤΕΧΝΙΚΗ	Ολική ηλ.ενέργεια (MW)	Ιδιοκαταν. ηλ.ενέργεια (MW)	Διαθέσιμη ηλ.ενέργεια (MW)	Διαθέσιμη ηλ.ενέργεια (%)
Καύση σε σχάρα	34,5	6,6	27,9	21,4
Καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη	35,6	8,4	27,2	20,8
Αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη	37,8	6,3	31,5	24,1
Πυρόλυση με καύση και Παραγωγή ατμού	36,6	13,1	23,5	18
Πυρόλυση καύση με Παραγωγή αερίου και	42,4	18,3	24,1	18,5
Πυρόλυση σε σταθερή κλίνη με κινητήρα εσωτερ. Καύσης	23,4	7,7	15,7	12

(Με βάση 55tons/h και θερμική απόδοση του καυσίμου 8,5 MJ/kg, η συνολική ισχύς είναι 131 MW) Πηγή: NOVEM

## 8.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 8.2.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ

Από τα στοιχεία που παρατίθενται στους Πίνακες 8.1.1 και 8.1.2, προκύπτει ότι τα ενεργειακά ισοζύγια των μεθόδων καύσης σε σχάρα ή σε ρευστοποιημένη κλίνη είναι ουσιαστικά ταυτόσημα και δεν μπορούν να αποτελέσουν κριτήριο διαφοροποίησης των μεθόδων.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία και πίεση του ατμού στην έξοδο του αμμοστροβίλου. Η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται όταν η έξοδος είναι υπό κενό. Στην περίπτωση αυτή βέβαια δεν μπορεί να γίνει λόγος για αξιοποίηση θερμικής ενέργειας υπό μορφή ατμού, δεδομένου ότι η θερμοκρασία εξόδου βρίσκεται γύρω στους 50 °C.

Για να δοθεί πληρέστερη εικόνα της ενεργειακής, αλλά και της οικονομικής απόδοσης της σχεδιαζόμενης μονάδας, κρίθηκε σκόπιμο να γίνουν συγκριτικοί υπολογισμοί της απόδοσης της εγκατάστασης, με δύο σενάρια.

1. Με παραγωγή μόνο ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μάλιστα θα καταναλώνεται μέσα στον χώρο του ΕΣΔΚΝΑ για την λειτουργία των δύο συγκροτημάτων μηχανικής διαλογής.
2. Με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα καταναλώνεται μέσα στον χώρο του ΕΣΔΚΝΑ για την λειτουργία των δύο συγκροτημάτων μηχανικής διαλογής, καθώς και ατμού 12 bar προς διάθεση.

Η αξία της ηλεκτρικής ενέργειας θεωρήθηκε ίση με αυτήν που χρεώνει η ΔΕΗ σε πελάτες μέσης τάσης, ενώ η αξία του ατμού θεωρήθηκε ίση με την αξία του εξοικονομούμενου βαρέως πετρελαίου, χωρίς τους δασμούς.

Για να είναι δυνατή η παραγωγή αξιοποιήσιμου ατμού, πρέπει η πίεση στην έξοδο του αμοστροβίλου να κυμαίνεται γύρω στα 12 bar, γεγονός που συνεπάγεται δραστική μείωση της ποσότητας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στον Πίνακα 8.2.1 γίνεται σύγκριση των αποδόσεων σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια από την καύση 30 τόννων/ώρα ΚΑΠ, με μεταβαλλόμενη την πίεση και την θερμοκρασία εξόδου του ατμού από τον αμοστροβίλο. Φαίνεται καθαρά πόσο αυξάνει η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια με την μείωση της πίεσης εξόδου, που συνεπάγεται όμως, παράλληλα, δραστικό περιορισμό, ως μηδενισμό, των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας. Για τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνταξη του Πίνακα 8.2.1 σημειώνονται τα εξής:

- Η ημερήσια επεξεργασία ΚΑΠ ανέρχεται σε 720 τόννους
- Η θερμογόνος δύναμη εκτιμάται σε 15.000 kJ/kg (περίπου 3600 kCal/kg)
- Η ενεργειακή απόδοση και η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει υπολογιστικά έχει διασταυρωθεί με πλήθος δημοσιεύσεων στην διεθνή βιβλιογραφία.
- Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για καταναλωτές μέσης τάσης είναι, με βάση το τιμολόγιο της ΔΕΗ, 18.000 δρχ/kWh και η πληρωμή της ΔΕΗ σε παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκε με βάση τον Ν.2244 στο 70% της χρέωσης, θεωρώντας ότι το ΚΑΠ θα έχει την ίδια αντιμετώπιση με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας..

Πίνακας 8.2.1: Ενεργειακό ισοζύγιο από τη θερμική αξιοποίηση του Κ.Α.Π.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΠ							
σε διάφορες πιέσεις και θερμοκρασίες ατμού υψηλής και χαμηλής πίεσης							
		ΣΕΝΑΡΙΟ 1 (α-γ)-χαμηλή 1 bar			ΣΕΝΑΡΙΟ 2 (α-γ) χαμηλή 0,05 bar		
		1α	1β	1γ	2α	2β	2γ
Ημερήσια ποσότητα ΚΑΠ	Mg/d	720	720	720	720	720	720
Ετήσια ποσότητα ΚΑΠ	Mg/y	262,800	262,800	262,800	262,800	262,800	262,800
Ωριαία ποσότητα ΚΑΠ	Mg/h	30	30	30	30	30	30
Θερμογόνος δύναμη	kJ/kg	<b>13,500</b>	<b>13,500</b>	<b>13,500</b>	<b>13,500</b>	<b>13,500</b>	<b>13,500</b>
Παραγόμενη θερμότητα	MJ/h	405,000	405,000	405,000	405,000	405,000	405,000
Ποσοστό μετατροπής σε ατμό	%	90	90	90	90	90	90
Ενέργεια που μετατρέπεται σε ατμό	MJ/h	364,500	364,500	364,500	364,500	364,500	364,500
Συνθήκες ατμού υψηλής πίεσεως	bar/°C	60/450	70/550	80/650	60/450	70/550	80/650
Ενthalπία ατμού υψηλής πίεσεως	Kcal/kg	795	844	899	795	844	899
Ενthalπία νερού τροφοδοσίας 80 οC	kCal/kg	80	80	80	80	80	80
Διαφορά ενthalπίας ατμού-νερού τροφοδοσίας	kCal/kg	715	764	819	715	764	819
	kJ/kg	2,982	3,186	3,415	2,982	3,186	3,415
Παραγωγή ατμού	kg/h	122,252	114,411	106,728	122,252	114,411	106,728
Ολική ενέργεια του ατμού	kJ/h	408,198,923	405,564,428	402,982,844	408,198,923	405,564,428	402,982,844
Συνθήκες ατμού χαμηλής πίεσεως	bar/°C	1/100	1/100	1/100	0,05/32,6	0,05/32,6	0,05/32,6
Ενthalπία ατμού χαμηλής πίεσεως	Kcal/kg	638	638	638	612	612	612
Διαφορά ενthalπίας ατμού υψηλής-χαμηλής	Kcal/kg	157	206	261	184	233	288
Αξιοποιήσιμη ενέργεια διαφοράς ενthalπίας ατμού	kJ/h	80,612,869	98,988,474	116,995,019	94,219,500	111,722,428	128,873,824
Ποσοστό αξιοποιήσιμης επί ολικής ενέργειας ατμού	%	<b>19.75</b>	<b>24.41</b>	<b>29.03</b>	<b>23.08</b>	<b>27.55</b>	<b>31.98</b>
Ποσοστό μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια	%	90	90	90	90	90	90
% μετατροπής ενθ. ατμού σε ηλ. ενέργεια	%	<b>17.77</b>	<b>21.97</b>	<b>26.13</b>	<b>20.77</b>	<b>24.79</b>	<b>28.78</b>
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	kWh/h	17,996	22,241	26,456	21,033	25,103	29,142
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	MJ/h	64,785	80,069	95,240	75,720	90,369	104,910
Ποσοστό επί της ολικής θερμικής	%	16.00	19.77	23.52	18.70	22.31	25.90
Ηλεκτρική ισχύς	MW	<b>18.00</b>	<b>22.24</b>	<b>26.46</b>	<b>21.03</b>	<b>25.10</b>	<b>29.14</b>
Μη αξιοποιούμενη ενέργεια του ατμού	%	82	78	74	79	75	71
Μη αξιοποιούμενη ενέργεια του ατμού	MJ/h	299,715	284,431	269,260	288,780	274,131	259,590
	kCal/h	71,874,169	68,208,855	64,570,666	69,251,866	65,738,795	62,251,723

Ιδιοκατανάλ. εργοστασίου σε ηλ.ενέργεια με αερόψυκτους εναλλάκτες	20 %	kWh/h	3,599	4,448	5,291	4,207	5,021	5,828
Αξιοποιήσιμη ηλ. ενέργεια ωριαία		kWh/h	<b>14,397</b>	<b>17,793</b>	<b>21,165</b>	<b>16,827</b>	<b>20,082</b>	<b>23,313</b>
Αξιοποιήσιμη ηλ. ενέργεια ετήσια		MWh/y	115,173	142,345	169,316	134,613	160,656	186,507
Περίσσεια ηλ. ενέργειας ποσοστιαία		% θερμικής	<b>12.80</b>	<b>15.82</b>	<b>18.81</b>	<b>14.96</b>	<b>17.85</b>	<b>20.72</b>
Αξία ηλ. ενέργειας για ιδιοκατανεως (1)	20	δρχ/MWh	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
(για την κάλυψη των 2 μονάδων μηχαν. διαλογής)		χιλ.δρχ/έτος	2,073,111	2,880,000	2,880,000	2,423,031	2,880,000	2,880,000
Καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος		MW	14.40	17.79	21.16	16.83	20.08	23.31
Ποσότητα ατμού 12 bar προς διάθεση		kg/h	0	0	0	0	0	0
Εγκατεστημένη ισχύς 1ης μονάδας μηχαν. διαλογής		MW	12	12	12	12	12	12
Εγκατεστημένη ισχύς 2ης μονάδας μηχαν. διαλογής		MW	16	16	16	16	16	16
Απορροφ. ισχύς 1+2ης μονάδας μηχαν. διαλογής (2)		MW	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60
Περίσσεια ισχύος προς ΔΕΗ		MW	-5	-1.81	2	-3	0	4
Τιμή αγοράς περίσσειας από την ΔΕΗ με συντελεστή	0.7	δρχ/MWh	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600
Ετήσια είσπραξη από ΔΕΗ		χιλ.δρχ/έτος	-524,502	-182,133	157,703	-279,558	48,591	374,311
Ολικά έσοδα ηλεκτροπαραγωγής		χιλ.δρχ/έτος	2,073,111	2,697,867	3,037,703	2,423,031	2,928,591	3,254,311
Ετήσιο κόστος λειτουργίας, χωρίς διάθεση καταλ.(3)		χιλ.δρχ/έτος	2,270,000	2,270,000	2,270,000	2,270,000	2,270,000	2,270,000
Οικονομικό αποτέλεσμα λειτουργίας, χωρίς αποσβέσεις και διάθεση καταλοίπων		χιλ.δρχ/έτος	<b>-196,889</b>	<b>427,867</b>	<b>767,703</b>	<b>153,031</b>	<b>658,591</b>	<b>984,311</b>
Ετήσιο κόστος λειτουργίας, με διάθ.καταλ.		χιλ.δρχ/έτος	3,584,000	3,584,000	3,584,000	3,584,000	3,584,000	3,584,000
Οικονομικό αποτέλεσμα λειτουργίας, χωρίς αποσβέσεις με διάθεση καταλοίπων (4)		χιλ.δρχ/έτος	<b>-1,510,889</b>	<b>-886,133</b>	<b>-546,297</b>	<b>-1,160,969</b>	<b>-655,409</b>	<b>-329,689</b>

## Σημειώσεις

(1) Η αξία του ατμού είναι όση η χρέωση της ΔΕΗ σε καταναλωτή μέσης τάσης

(2) Με συντελεστή 0,7 επί της εγκατεστημένης ισχύος

(3) Τα κατάλοιπα θα διατίθενται σε ειδική εγκατάσταση που προβλέπει να κατασκευάσει ο ΕΣΔΚΝΑ

(4) Εναλλακτικά το αποτέλεσμα με κόστος μεταφοράς-διάθεσης των καταλοίπων σε ειδικό χώρο 50.000 δρχ/τόνο

## 8.2.2 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ-ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΚΑΠ

Από τις μεθόδους αεριοποίησης και πυρόλυσης δεν έχουν δημοσιευθεί αρκετά στοιχεία που να επιτρέπουν την σύνταξη ισοζυγίου.

### 8.3 ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας από φορείς άλλους, εκτός της ΔΕΗ, ρυθμίζεται από τον Ν.2244 της 7.10.1994 (ΦΕΚ 168Α'). Σύμφωνα με τον Νόμο αυτό (άρθρο 1 παράγραφος 10) “η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς που συνδέονται με τα δίκτυα της ΔΕΗ και ανήκουν σε ανεξάρτητους παραγωγούς, επιτρέπεται με χρήση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας ή ενέργειας από την θάλασσα και με όρια ισχύος μέχρι 50 MW...”. Παρατηρείται εδώ ότι ο Νόμος δεν αναφέρει ρητά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα απορρίμματα ή από προϊόντα επεξεργασίας των απορριμμάτων, όπως είναι το ΚΑΠ. Δεδομένου όμως ότι στην παράγραφο αυτή αναφέρονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στις οποίες ανήκουν τόσο τα ΑΣΑ όσο και το ΚΑΠ, θα πρέπει να θεωρηθεί ότι τα υλικά αυτά εντάσσονται στην ευρύτερη έννοια της “βιομάζας”.

Ο αποδοτικότερος τρόπος αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ιδιοκατανάλωση, διότι με αυτό τον τρόπο αντικαθίσταται ενέργεια που θα αγοραζόταν από την ΔΕΗ, με κόστος περίπου 18 δρχ/kWh στην περίπτωση καταναλωτή μέσης τάσης. Σύμφωνα με το άρθρο 2, παράγραφος 3 του 2244/94, “τα τιμολόγια αυτοπαραγωγών για πλεόνασμα ενέργειας, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσδιορίζονται σε 70% του εκάστοτε τιμολογίου γενικής χρήσης στην μέση τάση”.

Στην περίπτωση του ΕΣΔΚΝΑ υπάρχει ήδη ο αποδέκτης της ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι οι εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής από τις οποίες θα προκύπτει το καύσιμο.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις δύο μονάδες θα είναι της τάξης των 25 MW, που, με ένα συντελεστή λειτουργίας περί το 70% σημαίνουν κατανάλωση 17,5 MW. Η διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύς από την θερμική αξιοποίηση θα κυμαίνεται, αναλόγως της μεθόδου, περί τα 20 MW, που αποτελεί μία πολύ καλή αντιστοιχία, που επιτρέπει μεγιστοποίηση του οφέλους από την ηλεκτροπαραγωγή.

### 8.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

1. Η θερμική ενέργεια που περιέχεται στον ατμό χαμηλής πίεσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αμμοστρόβιλους.
2. Η θερμική ενέργεια από την ψύξη μηχανών ηλεκτροπαραγωγής με κινητήρες εσωτερικής καύσης αερίου.

#### 8.4.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η ηλεκτροπαραγωγή μέσω παραγωγής ατμού και αμμοστρόβιλου είναι ο καθιερωμένος τρόπος αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας καύσης των “συμβατικών” μονάδων καύσης σε εσχάρα ή ρευστοποιημένη κλίνη, καθώς και σε ορισμένες προτάσεις κατασκευαστών για μονάδες αεριοποίησης.

Από την ενέργεια του παραγόμενου ατμού, μόνο το ένα τρίτο περίπου είναι εφικτό να μετατραπεί σε θερμική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο παραμένει με την μορφή ενθαλπίας του ατμού χαμηλής πίεσης. Πρόκειται δηλαδή για μία πολύ σημαντική ποσότητα ενέργειας, που, αν αξιοποιηθεί, θα μειώσει σημαντικά τις δαπάνες λειτουργίας της μονάδας θερμικής αξιοποίησης.

Οι τρόποι με τους οποίους είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια του ατμού χαμηλής πίεσης, μετά τον αμμοστρόβιλο, είναι:



- με διάθεση του ατμού αυτού, σε σχετικά υψηλή πίεση, περί τα 10 bar, σε γειτονικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις και
- με δημιουργία εγκαταστάσεων τηλεθέρμανσης αστικών κέντρων, οπότε είναι δυνατή η αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας ατμού χαμηλής πίεσης, εφόσον όμως υπάρχει ανάγκη και δυνατότητα εφαρμογής του συστήματος.

#### 8.4.1.1 Διάθεση σε βιομηχανίες

Η διάθεση του ατμού σε τρίτο ή τρίτους δημιουργεί και άλλα σοβαρά προβλήματα που πρέπει να αποτιμηθούν, όπως:

1. Η ανάγκη εξεύρεσης καταναλωτή-πελάτη για τον ατμό που θα τον καταναλώνει σε 24ωρη βάση, 7 ημέρες την εβδομάδα, όλο τον χρόνο.
2. Ο πελάτης πρέπει να μπορεί να απορροφήσει, κατά το δυνατόν, όλο τον παραγόμενο ατμό, που ανέρχεται περίπου σε 100 τόννους την ώρα.
3. Ο πελάτης πρέπει να βρίσκεται σε σχετικά μικρή απόσταση και να είναι δυνατή η κατασκευή του δικτύου μεταφοράς ατμού προς τον πελάτη και επιστροφής των συμπυκνωμάτων στην μονάδα.
4. Επειδή η παραγωγή του υψηλών απαιτήσεων νερού τροφοδοσίας, για την λειτουργία του λεβητοστασίου στην υψηλή πίεση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αλατούχων απόνερων, που θα είναι δύσκολη η διάθεσή τους, πρέπει τα συμπυκνώματα να ανακτώνται κατά το δυνατόν ποσοτικά από τον πελάτη, χωρίς να αναμιγνύονται με άλλα χαμηλότερης ποιότητας.
5. Στις περιπτώσεις που ο πελάτης δεν θα μπορεί να απορροφήσει τον παραγόμενο ατμό, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα συμπύκνωσής του στην μονάδα ηλεκτροπαραγωγής.
6. Ο πελάτης θα πρέπει να διατηρεί σε ετοιμότητα την δική του εγκατάσταση ατμοπαραγωγής, για να αντιμετωπίσει τις περιπτώσεις όπου, λόγω βλάβης ή άλλης αιτίας, δεν θα είναι δυνατή η τροφοδοσία του από την μονάδα.

Δεδομένου ότι η ποσότητα του διαθέσιμου ατμού είναι περί τους 100 τόννους ανά ώρα, συνάγεται ότι η καλύτερη λύση είναι να βρεθεί ένας μεγάλος καταναλωτής, που να μπορεί να αξιοποιήσει την μεγάλη αυτή παροχή και μάλιστα σε 24ωρη βάση. Στην περιοχή του προβλεπόμενου χώρου εγκατάστασης, μόνος υποψήφιος πελάτης που να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές αυτές είναι τα διωλιστήρια πετρελαίου του Ασπροπύργου (ΕΛΔΑ), που βρίσκονται σε απόσταση 6 περίπου χιλιομέτρων.

Σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην Μ.Π.Ε. των ΕΛΔΑ, η μέση ωριαία κατανάλωση του διωλιστηρίου σε ατμό είναι της τάξης των 75 τόννων. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για την κατανομή της ποσότητας αυτής στα διάφορα είδη ατμού (π.χ. υψηλής ή χαμηλής πίεσης), ώστε να εκτιμηθεί το ποσοστό των αναγκών που θα μπορούσε να καλύψει ατμός χαμηλής πίεσης από την μονάδα του ΚΑΠ, είναι προφανές ότι τα ΕΛΔΑ θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα καλό και σταθερό πελάτη-συνεργάτη του ΕΣΔΚΝΑ για ένα σημαντικό ποσοστό του ατμού χαμηλής πίεσης. Η πραγματοποίηση μιας τέτοιας συνεργασίας προϋποθέτει λεπτομερή συμφωνία μεταξύ των συμβαλλομένων, δεδομένου ότι θα δημιουργηθεί μία σχέση στενής αλληλοεξάρτησης και από τις δύο πλευρές.

Το γεγονός όμως ότι τα ΕΛΔΑ απέχουν περί τα 6 χιλιόμετρα και ότι η χάραξη της γραμμής μεταφοράς ενδέχεται να προσκρούσει σε ανυπέρβλητα προβλήματα διέλευσης, αποτελεί πολύ σοβαρό ανασταλτικό παράγοντα για μία τέτοια λύση. Το ύψος της απαιτούμενης επένδυσης εκτιμάται τελειώς προσεγγιστικά στα 500 εκατ. Δρχ., αλλά είναι ενδεχόμενο να υπάρξουν μεγάλες διακυμάνσεις του κόστους.

Η ικανοποίηση, εξ άλλου, των άλλων προϋποθέσεων που ήδη αναφέρθηκαν, δεν αναμένεται να είναι εφικτή, διότι το διωλιστήριο πετρελαίου είναι μία εξαιρετικά σύμπλοκη εγκατάσταση, που δεν είναι εύκολο να δεχθεί περιορισμούς στον τρόπο διαχείρισης του ατμού.

Εναλλακτική λύση είναι η πώληση του ατμού σε διάφορες μικρότερες βιομηχανίες που υπάρχουν ή πρόκειται να ιδρυθούν στην περιοχή. Σοβαρά μειονεκτήματα στην περίπτωση

αυτήν είναι οι αναπόφευκτες έντονες διακυμάνσεις στην ζήτηση κατά την διάρκεια της ημέρας και η μηδενική κατανάλωση κατά την νύκτα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, θα πρέπει να γίνονται συνεχώς τροποποιήσεις του τρόπου λειτουργίας της εγκατάστασης, ώστε να αντιμετωπίζονται άλλοτε αιχμές στην ζήτηση και άλλοτε η συμπίκνωση του συνόλου του παραγόμενου ατμού. Το αποτέλεσμα θα είναι να αποβεί ασύμφορος αυτός ο τρόπος λειτουργίας, αφού δεν θα επιτρέπει την εξάντληση της ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ατμό, ενώ η διάθεση του ατμού θα είναι κυμαινόμενη και αμφίβολη.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σοβαρό ανασταλτικό παράγοντα για την διάθεσης ατμού εκτός της εγκατάστασης αποτελεί το γεγονός ότι θα χάνεται σημαντικό μέρος των συμπυκνωμάτων και θα χρειάζεται συνεχής αναπλήρωση με νέες ποσότητες νερού για την τροφοδοσία του λέβητα. Η παραγωγή όμως νερού των αυστηρών προδιαγραφών που απαιτούνται για την λειτουργία ατιμολέβητα τόσο υψηλής πίεσης, προϋποθέτει δαπανηρές εγκαταστάσεις, καθώς και την δημιουργία αποβλήτων του καθαρισμού με υψηλή αλατότητα, που δεν θα μπορούν να διατεθούν στους αποδέκτες της περιοχής.

Με τα δεδομένα αυτά, δεν φαίνεται ότι θα είναι σκόπιμο να αντιμετωπισθεί η παραγωγή ατμού προς διάθεση.

#### 8.4.1.2 Τηλεθέρμανση

Η τηλεθέρμανση εφαρμόζεται ευρέως σε χώρες με ψυχρά κλίματα, όπου η ανάγκη θέρμανσης των κατοικιών εκτείνεται σχεδόν σε όλο τον χρόνο. Στην Αττική, όπου η θέρμανση των κατοικιών λειτουργεί τακτικά επί 4-5 μήνες και μάλιστα όχι όλο το εικοσιτετράωρο, δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι αποτελεί διέξοδο για την διάθεση της θερμικής ενέργειας που θα παράγεται όλο το 24ωρο, σε ετήσια βάση. Για τον ίδιο λόγο δεν είναι δυνατόν να στηριχθεί η οικονομικότητα του έργου στην θέρμανση θερμοκηπίων ή άλλων εγκαταστάσεων με εποχιακή λειτουργία

#### 8.4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Παρά το γεγονός ότι η αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας, μετά την ηλεκτροπαραγωγή, μπορεί να αποτελέσει αξιόλογη σχετικά πηγή πρόσθετων εσόδων, η πραγματοποίησή της δεν φαίνεται εφικτή, αλλά και η ομαλή λειτουργία της είναι ενδεχόμενο να συναντήσει σοβαρά εμπόδια. Για τον λόγο αυτό κρίνεται ότι η δυνατότητα αυτή δεν πρέπει να ληφθεί υπ' όψη κατά τον σχεδιασμό του έργου, που πρέπει να μπορεί να λειτουργεί τελείως ανεξάρτητα, και να σχεδιαστεί με στόχο την μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Εάν στο μέλλον, ανακύψουν ευνοϊκοί όροι αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας, τότε θα εξετασθεί η δυνατότητα τροποποίησης των συνθηκών λειτουργίας και ενσωμάτωσης ενδεχομένων τροποποιήσεων, εφόσον εξακριβωθεί ότι έτσι θα προκύψουν πρόσθετα οφέλη για το συγκρότημα.

## 9. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Στα επόμενα κεφάλαια δίνεται η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα διάφορα συστήματα θερμικής επεξεργασίας.

### 9.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
Καύση σε εσχάρα ή ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	Παράγονται περί τις 10.000 m <sup>3</sup> καυσαερίων ανά τόνο ΚΑΠ. Τα καυσαέρια έχουν υποβληθεί σε καθαρισμό ώστε να ανταποκρίνονται στις αυστηρές προδιαγραφές εκπομπών από εγκαταστάσεις καύσης απορριμμάτων. Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων καθαρισμού είναι τόση ώστε οι διοξίνες να μηδενίζονται ουσιαστικά, ενώ και οι άλλοι ρύποι ελαχιστοποιούνται, μειωνόμενοι πολύ κάτω από τα όρια επικινδυνότητας. Εφ' όσον δεν γίνεται αξιοποίηση του ατμού χαμηλής πίεσης, εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα και η θερμότητα υγροποίησης του ατμού.
Αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	Οι εκπομπές θα είναι περίπου αντίστοιχες με της καύσης.
Αεριοποίηση-πυρόλυση με αξιοποίηση των αερίων για την κίνηση αεριοστροβίλου ή μηχανής εσωτερικής καύσης και παραγωγή ενέργειας	Οι εκπομπές θα είναι περίπου αντίστοιχες με της καύσης.
Αεριοποίηση-πυρόλυση με διάθεση του παραγομένου αερίου σε δίκτυο ή άλλη βιομηχανία για αξιοποίηση	Οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα είναι αμελητέες εφόσον το πρόβλημα ουσιαστικά μεταφέρεται στο τελικό χώρο καύσης του παραγομένου αερίου. Οι θερμικές εκπομπές πολύ περιορισμένες, προερχόμενες κυρίως από την θερμική επεξεργασία (τήξη) των στερεών καταλοίπων.

**9.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΝΕΡΑ**

<b>ΜΕΘΟΔΟΣ</b>	<b>ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ</b>
Καύση σε σχάρα ή ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	<p>Η μόνη πηγή υγρών αποβλήτων είναι το σύστημα καθαρισμού των απαερίων.</p> <p>Στην προκειμένη περίπτωση θα είναι απαίτηση των προδιαγραφών να μην υπάρχουν υγρά απόβλητα από τον καθαρισμό των απαερίων.</p> <p>Τα μόνα υγρά απόβλητα θα προκύπτουν και θα πρέπει να διατεθούν, θα προέρχονται από την αφαλάτωση και επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας του ατμολέβητα και από τις προβολές (στρατσώνες) του ατμολέβητα, που περιέχουν μόνο διαλυμένα ανόργανα άλατα.</p>
Αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	<p>Η μόνη πηγή υγρών αποβλήτων είναι το σύστημα καθαρισμού των απαερίων.</p> <p>Στην προκειμένη περίπτωση θα είναι απαίτηση των προδιαγραφών να μην υπάρχουν υγρά απόβλητα από τον καθαρισμό των απαερίων.</p> <p>Τα μόνα υγρά απόβλητα θα προκύπτουν από την αφαλάτωση και επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας του ατμολέβητα και από τις προβολές (στρατσώνες) του ατμολέβητα, που περιέχουν μόνο διαλυμένα ανόργανα άλατα.</p>
Αεριοποίηση-πυρόλυση με αξιοποίηση των αερίων για την κίνηση αεριοστροβίλου ή μηχανής εσωτερικής καύσης και παραγωγή ενέργειας	<p>Η μόνη πηγή υγρών αποβλήτων είναι το σύστημα καθαρισμού των αερίων πριν την εκμετάλλευσή τους.</p> <p>Στην προκειμένη περίπτωση θα είναι απαίτηση των προδιαγραφών να μην υπάρχουν υγρά απόβλητα.</p>
Αεριοποίηση-πυρόλυση με διάθεση του παραγομένου αερίου σε δίκτυο ή άλλη βιομηχανία για αξιοποίηση	<p>Η μόνη πηγή υγρών αποβλήτων είναι το σύστημα καθαρισμού των αερίων πριν την εκμετάλλευσή τους.</p> <p>Στην προκειμένη περίπτωση θα είναι απαίτηση των προδιαγραφών να μην υπάρχουν υγρά απόβλητα.</p>

**9.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΥΠΟΓΕΙΟ ΟΡΙΖΟΝΤΑ**

<b>ΜΕΘΟΔΟΣ</b>	<b>ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ</b>
Καύση σε σχάρα ή ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	Η τέφρα που προκύπτει περιέχει βαρέα μέταλλα τα οποία είναι δυνατόν να εκλουσθούν εάν γίνει απλή υγειονομική ταφή και να προκαλέσουν ρύπανση. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με σταθεροποίηση της τέφρας, π.χ. με τσιμέντο, για την δημιουργία ογκολίθων.
Αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	Η τέφρα που προκύπτει περιέχει βαρέα μέταλλα τα οποία είναι δυνατόν να εκλουσθούν εάν γίνει απλή υγειονομική ταφή και να προκαλέσουν ρύπανση. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με σταθεροποίηση της τέφρας, π.χ. με τσιμέντο, για την δημιουργία ογκολίθων.
Αεριοποίηση-πυρόλυση με αξιοποίηση των αερίων για την κίνηση αεριοστροβίλου ή μηχανής εσωτερικής καύσης και παραγωγή ενέργειας	Τα στερεά κατάλοιπα που προκύπτουν περιέχουν βαρέα μέταλλα τα οποία είναι δυνατόν να εκλουσθούν εάν γίνει απλή υγειονομική ταφή και να προκαλέσουν ρύπανση. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με σταθεροποίηση, π.χ. με τσιμέντο, για την δημιουργία ογκολίθων. Ορισμένες τεχνολογίες προβλέπουν την παραγωγή από τα κατάλοιπα τήγματος υαλώδους μορφής, από το οποίο είναι αδύνατη η έκλυση των βαρέων μετάλλων, που είναι κατάλληλο για εφαρμογές σε διάφορες κατασκευές.
Αεριοποίηση-πυρόλυση με διάθεση του παραγομένου αερίου σε δίκτυο ή άλλη βιομηχανία για αξιοποίηση	Τα στερεά κατάλοιπα που προκύπτουν περιέχουν βαρέα μέταλλα τα οποία είναι δυνατόν να εκλουσθούν εάν γίνει απλή υγειονομική ταφή και να προκαλέσουν ρύπανση. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με σταθεροποίηση, π.χ. με τσιμέντο, για την δημιουργία ογκολίθων. Ορισμένες τεχνολογίες προβλέπουν την παραγωγή από τα κατάλοιπα τήγματος υαλώδους μορφής, από το οποίο είναι αδύνατη η έκλυση των βαρέων μετάλλων, που είναι κατάλληλο για εφαρμογές σε διάφορες κατασκευές.

**10. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ****10.1 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ**

<b>ΜΕΘΟΔΟΣ</b>	<b>ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ</b>
----------------	-------------------

Καύση σε σχάρα ή ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	Η επιφάνεια που απαιτείται για την μονάδα καύσης-παραγωγής ατμού-καθαρισμού αερίων είναι της τάξης των 5.000 m <sup>2</sup> , Αν προστεθεί η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι βοηθητικές εγκαταστάσεις και τα κτίρια καθώς και το οδικό δίκτυο και οι πρασιές, εκτιμάται ότι η συνολική επιφάνεια θα φτάσει τα 15-20.000 m <sup>2</sup> .
Αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη, με παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας	Η επιφάνεια που απαιτείται για την μονάδα καύσης-παραγωγής ατμού-καθαρισμού αερίων είναι της τάξης των 5.000 m <sup>2</sup> , Αν προστεθεί η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι βοηθητικές εγκαταστάσεις και τα κτίρια καθώς και το οδικό δίκτυο και οι πρασιές, εκτιμάται ότι η συνολική επιφάνεια θα φτάσει τα 15-20.000 m <sup>2</sup> .
Αεριοποίηση-πυρόλυση με αξιοποίηση των αερίων για την κίνηση αεριοστροβίλου ή μηχανής εσωτερικής καύσης και παραγωγή ενέργειας	Η επιφάνεια που απαιτείται για την μονάδα αεριοποίησης-καθαρισμού των αερίων είναι της τάξης των 3.000 m <sup>2</sup> . Αν προστεθεί η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι βοηθητικές εγκαταστάσεις και τα κτίρια καθώς και το οδικό δίκτυο και οι πρασιές, εκτιμάται ότι η συνολική επιφάνεια θα φτάσει τα 15.000 m <sup>2</sup> .
Αεριοποίηση-πυρόλυση με διάθεση του παραγομένου αερίου σε δίκτυο ή άλλη βιομηχανία για αξιοποίηση	Η επιφάνεια που απαιτείται για την μονάδα πυρόλυσης-καθαρισμού των αερίων είναι της τάξης των 3.000 m <sup>2</sup> . Αν προστεθούν οι βοηθητικές εγκαταστάσεις και τα κτίρια καθώς και το οδικό δίκτυο και οι πρασιές, εκτιμάται ότι η συνολική επιφάνεια θα φτάσει τα 10.000 m <sup>2</sup> .

## 11.2 ΟΠΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ

Η οπτική όχληση από τις κατασκευές οφείλεται στο ύψος τους και, φυσικά, στην αρχιτεκτονικής τους διαρρύθμιση. Η προσπάθεια που καταβάλλεται σε όλες τις εγκαταστάσεις που δεν είναι συμπαθείς στους πολίτες είναι:

- είτε να βρίσκονται σε θέση που δεν είναι εύκολα ορατή,
- είτε να έχουν μία ευχάριστη εμφάνιση, που να μην παραπέμπει στον σκοπό της λειτουργίας τους.

Οι εγκαταστάσεις καύσης και τα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων έχουν ένα σημαντικό ύψος, που κυμαίνεται γύρω στα 35 μέτρα. Επειδή η εγκατάσταση θα κατασκευασθεί σε πλαγιά με απότομη κλίση, εάν χωροθετηθεί σωστά δεν αναμένεται να δημιουργεί οπτική όχληση.

Ορατή από μακριά θα είναι οπωσδήποτε η καπνοδόχος, που είναι συνήθως πολύ ψηλότερη, για να επιτυγχάνεται ευρύτερη διασπορά. Το τελικό ύψος της προκύπτει από την μελέτη της διασποράς των καυσαερίων.

Προβλήματα οπτικής όχλησης ενδέχεται να δημιουργηθούν στην περίπτωση που η θερμότητα υγροποίησης του ατμού χαμηλής πίεσης, μετά τον αμοστροβίλο γίνει με ψύξη με νερό σε συνδυασμό με πύργο ψύξης, που θα απορροφά και διαχέει στην ατμόσφαιρα, υπό μορφή ατμού, την θερμότητα της υγροποίησης, με αποτέλεσμα την εμφάνιση και του αντίστοιχου νέφους υδρατμών. Ο πύργος ψύξης θα είναι ορατός από μεγάλη απόσταση και

λόγω του όγκου του και λόγω του νέφους υδρατμών που θα προκύπτει, που, φυσικά, θα διαλύεται πολύ γρήγορα.

Ουσιαστική διαφοροποίηση στα ύψη των κατασκευών προκύπτει μόνο για τις μονάδες αεριοποίησης-πυρόλυσης, με διοχέτευση των αερίων σε δίκτυο για αξιοποίηση σε άλλους χώρους ή με την λειτουργία αεριοστροβίλου. Οι μέθοδοι αυτές όμως δεν μπορούν ακόμη να θεωρηθούν δόκιμες για εφαρμογή σε τόσο μεγάλη εγκατάσταση.

### 11.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

Είναι γεγονός ότι, σε πλήθος περιπτώσεων, οι προσπάθειες χωροθέτησης εγκαταστάσεων διάθεσης αστικών απορριμμάτων, προσκρούουν σε σοβαρές κοινωνικές αντιδράσεις των κατοίκων της περιοχής. Οι αντιδράσεις αυτές προέρχονται από την γενική διάθεση αποφυγής της δημιουργίας μονάδων που είναι ενδεχόμενο, εάν δεν λειτουργούν σωστά, να υποβαθμίσουν μία γύρω περιοχή, με συνέπεια την επιβάρυνση της ζωής των κατοίκων και την μείωση της αξίας της γης και γενικά της περιουσίας τους.

Ειδικότερα σε ότι αφορά την διάθεση των απορριμμάτων, οι αντιδράσεις είναι ακόμη εντονότερες, τόσο επειδή τα "σκουπίδια" από την φύση τους δημιουργούν απωθητικούς συνειρμούς, όσο και για τον λόγο ότι οι εμπειρίες από "χωματερές" και θέσεις ανεξέλεγκτης διάθεσης και καύσης, είναι πολύ δυσάρεστες.

Φυσικά, στην προκειμένη περίπτωση δεν γίνεται καύση απορριμμάτων, αλλά ενός εξευγενισμένου κλάσματος που προήλθε από την μηχανική τους επεξεργασία και που αποτελείται κυρίως από χαρτί και πλαστικό των συσκευασιών και που θεωρείται διεθνώς σαν καύσιμο κατάλληλο για βιομηχανική εφαρμογή. Το γεγονός αυτό, κατάλληλα προβαλλόμενο, θα συμβάλλει σημαντικά στην βελτίωση της γενικής εικόνας του έργου και στην αύξηση της κοινωνικής αποδοχής.

Η λύση που θα επιλεγεί, είναι απαραίτητο να παρουσιαστεί σωστά, με τεκμηριωμένα επιχειρήματα και παραδείγματα από αντίστοιχες μονάδες, ώστε να μπορεί να πειστεί ο πληθυσμός που πιστεύει ότι θίγεται, ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος, της υγείας των κατοίκων και της ασφαλούς διαβίωσης στην περιοχή.

#### 11.3.1 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το κυριότερο επιχείρημα μιας πολεμικής εναντίον της ανέγερσης της εγκατάστασης θερμικής αξιοποίησης του ΚΑΠ, θα είναι ο φόβος για την διασπορά τοξικών αερίων, διοξινών, καπνού κλπ.

Η επί δεκαετίες λειτουργία των χωματερών στον χώρο αυτό, έχει μεν εξοικειώσει τους περιοίκους με το αντικείμενο, έχει όμως δημιουργήσει, παράλληλα, μία αρνητική εικόνα από τα μέχρι σήμερα μέτρα προστασίας.

Είναι αναμφίβολο ότι θα ήταν ευκολότερο να γίνει γενικά αποδεκτή μία "μη συμβατική" εγκατάσταση π.χ. πυρόλυση με διάθεση του αερίου σε άλλους χρήστες, ή ακόμη με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Είναι συνεπώς αναμενόμενο ότι θα υπάρξουν απόψεις που να υποστηρίζουν αυτήν την λύση, παρά το γεγονός ότι η μέχρι σήμερα διεθνής εμπειρία δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι παρέχει την απαιτούμενη εξασφάλιση για την καλή και αποδοτική λειτουργία αυτών των εγκαταστάσεων.

Η πείρα από τέτοιου είδους αντιδράσεις έχει διδάξει ότι τα επιχειρήματα που αντικρούονται δυσκολότερα είναι τα κακόπιστα και παραπλανητικά. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να γίνει μία σωστή και αναλυτική ενημέρωση όλων των ενδιαφερομένων, πολιτών και φορέων στην οποία να αναπτυχθούν:

- Οι εμπειρίες από άλλες χώρες, όπου εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας με καύση βρίσκονται μέσα στον πολεοδομικό ιστό (π.χ. Βιέννη).
- Οι επιταγές της Ευρωπαϊκής-Ελληνικής νομοθεσίας σχετικά με τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος.
- Τα ειδικά μέτρα που θα λάβει ο φορέας στην συγκεκριμένη περίπτωση.

- Η βούληση του φορέα να τηρούνται σχολαστικά όλα τα μέτρα προστασίας, να λειτουργούν σωστά όλες οι εγκαταστάσεις και να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα προστασίας, όπου η πείρα αποδειξεί ότι τα ληφθέντα δεν είναι απολύτως επαρκή.

Η ενημέρωση αυτή κρίνεται απαραίτητο να αρχίσει πριν την εκδήλωση αντιδράσεων, διότι τότε θα εκτιμηθεί περισσότερο, θα θεωρηθεί αξιόπιστη και θα γίνει ευκολότερα πιστευτή.

### 11.3. 2 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Αντιδράσεις είναι δυνατόν να εκδηλωθούν και μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Και στην περίπτωση αυτή φρονούμε ότι ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης είναι η συνεχής συνεργασία με όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς και η συνεχής ενημέρωσή τους

- για τα μέτρα ασφαλείας που έχουν ληφθεί
- για τις εφαρμοζόμενες μεθόδους ελέγχου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- για τις μετρήσεις ποιότητας του περιβάλλοντος στην περιοχή

Πολύ σημαντικό ρόλο στην αποδοχή της εγκατάστασης θα έπαιζε και η πιστοποίηση της λειτουργίας της κατά EMAS, ή ISO 14.000.



## 12. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΠ

Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να γίνει αξιολόγηση όλων των μεθόδων θερμικής αξιοποίησης του ΚΑΠ που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, ώστε να διαφανεί ποιες είναι εκείνες που ικανοποιούν τα κριτήρια καταλληλότητας για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Για την προσέγγιση όλων των παραμέτρων που συμβάλλουν στην αξιολόγηση των μεθόδων, αναζητήθηκαν τα κριτήρια επιλογής, ορίστηκε η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου και έγινε η βαθμολογία με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία για κάθε μέθοδο.

### 12.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

1. **Εμπειρία εφαρμογών σε διεθνές επίπεδο.** Αξιολογείται με βάση τον αριθμό και το είδος των εγκαταστάσεων που λειτουργούν και την διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου. Εκτιμάται επίσης η εξειδικευμένη εφαρμογή σε ΚΑΠ.
2. **Ασφάλεια και ελαστικότητα λειτουργίας,** όπου εκτιμάται κατά πόσον στην χρησιμοποιούμενη εγκατάσταση υπάρχουν τμήματα των οποίων η λειτουργία παρουσιάζει κίνδυνο για το περιβάλλον και τους εργαζόμενους, σε περίπτωση έκτακτων γεγονότων ή λάθους.
3. **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την λειτουργία** και τα παραπροϊόντα, στον αέρα, τα νερά και το έδαφος.
4. **Κοινωνική αποδοχή,** όπου αξιολογείται η ευκολία με την οποία θα γίνει κοινωνικά αποδεκτή η ίδρυση της εγκατάστασης.
5. **Οικονομικά στοιχεία.** Αξιολογούνται το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, καθώς και η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια, που αποτελεί το κύριο επιδιωκόμενο προϊόν.

Στον Πίνακα 12.1.1. αναλύονται τα κριτήρια και τα αντίστοιχα υποκριτήρια και δίνεται η εκτίμηση του μελετητή για την βαρύτητα που πρέπει να έχουν τα κριτήρια αυτά για την βαθμολόγηση της καταλληλότητας της μεθόδου

Όπως φαίνεται, βασικό κριτήριο, με βαρύτητα 30% θεωρείται η μειωμένη επίπτωση της λειτουργίας της εγκατάστασης στο περιβάλλον. Εδώ, στους επί μέρους δείκτες, δίνεται η μεγαλύτερη βαρύτητα (10), στα απαέρια και τα υγρά απόβλητα. αλλά και στα προβλήματα που μπορεί να προκληθούν από την μέθοδο στην κοινωνική αποδοχή του έργου.

Με 25%, ακολουθεί η εμπειρία των εφαρμογών διότι εξασφαλίζει ότι πρόκειται για μία δοκιμασμένη εγκατάσταση, που δεν θα παρουσιάσει εκπλήξεις στην κατασκευή και λειτουργία.

Στον τομέα της εμπειρίας δίνεται βαρύτητα (βαθμός 10) στην ύπαρξη σε παραγωγική λειτουργία, ικανού αριθμού μονάδων με παραπλήσια δυναμικότητα. Γίνεται διάκριση μεταξύ μονάδων όπου αξιοποιούνται ακατέργαστα αστικά απορρίμματα και εκείνων όπου το υλικό τροφοδοσίας είναι "τυποποιημένο" ΚΑΠ, το οποίο έχει σταθερότερη σύνθεση και συμπεριφορά.

Ελαφρά μειωμένη βαρύτητα, 20%, αποδίδεται στα οικονομικά στοιχεία της μονάδας. Η διαφοροποίηση αυτή είναι μικρής σχετικά σημασίας, διότι από τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν προκύπτει ότι το μέν κόστος κατασκευής, ανεξάρτητα από την μέθοδο, είναι της τάξης των 25-30 δισ. δραχμών, ενώ το κόστος λειτουργίας, περιλαμβανομένων των χρηματοοικονομικών δαπανών, κυμαίνεται γύρω στις 35.000 δραχμές ανά τόνο καυσίμου.

Την υψηλότερη βαθμολογία στο οικονομικό κριτήριο παίρνει η ποσοστιαία αξιοποίηση της θερμογόνου δύναμης για τη παραγωγή διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας (9). Εδώ χρειάζεται μία διευκρίνιση: μερικοί κατασκευαστές συγχέουν την παραγόμενη από την εγκατάσταση ηλεκτρική ενέργεια, με εκείνη που μπορεί να διατεθεί προς τρίτους, μετά την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ίδιας της εγκατάστασης. Δεδομένου ότι για την κάλυψη των

εσωτερικών αναγκών καταναλίσκεται ποσοστό γύρω στο 20% της συνολικά παραγόμενης, είναι καθοριστικό να διευκρινίζεται με σαφήνεια το σημείο αυτό.

Η ελαστικότητα στην οποία δίνεται βαρύτητα 15% θα επιτρέψει την απρόσκοπτη λειτουργία, ακόμη και με μεταβαλλόμενη σύνθεση του τροφοδοτούμενου ΚΑΠ. Στην ελαστικότητα λειτουργίας καθοριστικοί παράγοντες, βαθμολογούμενοι με 10, είναι η δυνατότητα αντιμετώπισης αιφνίδιων διακοπών λειτουργίας, η δυνατότητα απορρόφησης έντονων διακυμάνσεων στην σύνθεση και ποσότητα του καυσίμου, καθώς και η δυνατότητα διατήρησης των απαραίτητων σταθερών συνθηκών λειτουργίας, με κατά το δυνατόν μικρότερη επέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα.

Με βαρύτητα 10% τέλος, βαθμολογείται το κατά πόσον η εγκατάσταση καλύπτει τις προϋποθέσεις κοινωνικής αποδοχής. Σε κάθε περίπτωση θεωρείται δεδομένο ότι η εγκατάσταση, ανεξαρτήτως τύπου, θα έχει σχεδιαστεί και θα λειτουργεί με τρόπο που να εξασφαλίζει ότι δεν θα υπάρχουν δυσμενείς εκπομπές. Η διαφοροποίηση στην βαθμολογία προέρχεται από το γεγονός ότι οι μονάδες καύσης συνδυάζονται, κακώς, με τις δυσάρεστες εμπειρίες που έχουν δημιουργηθεί από χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης με καύση, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερη προσπάθεια να πειστούν οι πολίτες να δεχτούν την σύγχρονη μονάδα.

Πίνακας 12.1.1: Κριτήρια Επιλογής Μεθόδου Θερμικής Επεξεργασίας

	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Εμπειρία εφαρμογών	Θεωρείται κρίσιμο στοιχείο επιλογής, διότι δίνει σημαντική εξασφάλιση ότι δεν θα δημιουργηθούν απρόοπτες δυσκολίες από έλλειψη εμπειρίας
Εμπορικές μονάδες ΑΣΑ	Αριθμός εμπορικών εγκαταστάσεων που λειτουργούν ήδη με ΑΣΑ. Είναι σημαντικό στοιχείο, αλλά όχι επαρκές, διότι υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ ΑΣΑ και ΚΑΠ
Εμπορικές μονάδες ΚΑΠ	Αριθμός εμπορικών εγκαταστάσεων που λειτουργούν ήδη με ΚΑΠ. Το στοιχείο αυτό είναι καθοριστικό διότι εξασφαλίζει τις απαραίτητες εγγυήσεις εμπειρίας.
Μέγ.δυναμ γραμμής Mg/h	Μέγ. Δυναμικότητα εμπορικών εγκαταστάσεων. Είναι απαραίτητο να υπάρχει πρακτική εμπειρία σε μονάδες ΚΑΠ με δυναμικότητα παραπλήσια της ζητούμενης.
Επίπεδο ανάπτυξης	Πιλοτική, επίδειξης ή εμπορική μονάδα. Εμπειρία σε μονάδες επίδειξης ή πιλοτικές δεν θεωρείται επαρκής. Εμπορικές μονάδες για τις οποίες δεν υπάρχουν δημοσιευμένα υπεύθυνα στοιχεία δεν λαμβάνονται υπ' όψη.
Ασφάλεια και ελαστικότητα λειτουργίας	Είναι πολύ σημαντικό στοιχείο επιλογής διότι εξασφαλίζει σταθερές συνθήκες λειτουργίας
Επικινδυνότητα λειτουργίας	Κίνδυνοι εκρήξεων ή αναφλέξεων από τις επί μέρους εγκαταστάσεις. Εμφανίζονται όπου παράγονται εκρηκτικά αέρια
Συμπλοκότητα εγκατάστασης	Βαθμός συμπλοκότητας της κεντρικής και των βοηθητικών εγκαταστάσεων. Είναι συνάρτηση των διεργασιών που απαιτούνται.
Ευχέρεια διακοπών λειτουργίας	Αξιολόγηση των επιπτώσεων από τυχόν απρόβλεπτες ή και προγραμματισμένες διακοπές
Ευαισθησία λειτουργίας	Δυνατότητα απορρόφησης έντονων διακυμάνσεων στην ποιότητα και ποσότητα τροφοδοσίας
Ευχέρεια ρύθμισης και ελέγχου συνθηκών καύσης	Δυνατότητα ελέγχου και ρύθμισης από τον θάλαμο ελέγχου και ευχερής διατήρηση σταθερών συνθηκών λειτουργίας και σταθερής σύνθεσης αερίων

<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις</b>	<b>Αποτελούν, μαζί με την εμπειρία, το ουσιαστικότερο κριτήριο επιλογής, για να υπάρχει η μέγιστη δυνατή προστασία του περιβάλλοντος και να διευκολυνθεί η κοινωνική αποδοχή</b>
Απαέρια προς καθαρ. Nm <sup>3</sup> /Mg	Υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση κυρίως στις μονάδες αεριοποίησης και διάθεσης του αερίου σε άλλους χρήστες, που δεν αντιμετωπίζονται για το έργο αυτό
Σταθερότητα σύνθεσης απαερίων	Οι σταθερές συνθήκες λειτουργίας εξασφαλίζουν ομοιόμορφη σύνθεση απαερίων πράγμα που διευκολύνει σημαντικά τον καθαρισμό τους και περιορίζει ανεπιθύμητες εκπομπές
Μορφή τέφρας	Αξιολογείται εάν μπορεί να διατεθεί χωρίς κινδύνους έκλυσης βαρέων μετάλλων, οπότε αρκεί απλώς ΧΥΤΑ
Υγρά απόβλητα	Κριτήριο χωρίς σημασία, εφ' όσον τίθεται ο όρος ότι δεν πρέπει να υπάρχουν υγρά απόβλητα, πλην των μη ρυπασμένων νερών από το λεβητοστάσιο.
Απαιτούμενη έκταση	Περιορισμένης βαρύτητας, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις, που να επηρεάζουν την επιλογή του χώρου
Οπτική όχληση	Σημαντικός παράγων κοινωνικής αποδοχής της λειτουργίας. Διαφοροποιούνται κυρίως οι μονάδες αεριοποίησης και διάθεσης του αερίου σε άλλους χρήστες, που δεν αντιμετωπίζονται για το έργο αυτό
<b>Κοινωνική αποδοχή</b>	Είναι κατά κύριο λόγο συνάρτηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αλλά επηρεάζεται και από αρνητική πληροφόρηση και αρνητικές εμπειρίες απο την λειτουργία παλαιότερων εγκαταστάσεων
Προϋποθέσεις κοινωνικής αποδοχής	Αφορά κυρίως το στάδιο της παροχής προέγκρισης χωροθέτησης, αλλά και την εγκριση της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι συνάρτηση κυρίως των 2.1, 3.1 και 3.6
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>	<b>Η οικονομικότητα στην κατασκευή και λειτουργία είναι ένας παράγων που λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, χωρίς όμως να είναι καθοριστικός για την επιλογή της μεθόδου.</b>
Απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια %	Οι διαφορές παρατηρούνται κυρίως στις μεθόδους αεριοποίησης-πυρόλυσης, για τις οποίες αναφέρονται αποδόσεις έως 35%, χωρίς να διευκρινίζεται πόση είναι η καθαρή απόδοση και χωρίς να υπάρχουν δεδομένα από εμπορικές μονάδες.
Απόδοση σε θερμική ενέργεια %	Περιορισμένης σημασίας, δεδομένου ότι δεν είναι εύκολη η διάθεση της θερμικής ενέργειας στην συγκεκριμένη περίπτωση.
Κόστος εγκατάστασης σε ΕΥΡΩ	Με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία, οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων δεν είναι τόσο σημαντικές ώστε να αποτελέσει το κόστος κατασκευής βασικό κριτήριο επιλογής ή αποκλεισμού μεθόδου. Για τον λόγο αυτό δεν περιλαμβάνονται στα κριτήρια επιλογής.
Κόστος λειτουργ. ΕΥΡΩ/Mg	Οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων εμφανίζονται πολύ μικρές για να αποτελέσουν βάση επιλογής

## 12.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Τις εξεταζόμενες μεθόδους μπορούμε να κατατάξουμε σε δύο κύριες κατηγορίες

1. μεθόδους καύσης
2. μεθόδους αεριοποίησης-πυρόλυσης

### 12.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΥΣΗΣ

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι εγκαταστάσεις όπου το καύσιμο υλικό, σε επαφή με περίσσεια αέρα και σε υψηλή θερμοκρασία καίγεται προς αέρια προϊόντα αφήνοντας κατάλοιπο τέφρα.

Η παλαιότερη και πιο δοκιμασμένη μέθοδος καύσης είναι εκείνη όπου το καύσιμο υλικό τροφοδοτείται επάνω σε σχάρα, που με παλινδρόμηση ή περιστροφή το προωθεί στο βάθος της εστίας. Τα αέρια προϊόντα απάγονται προς την μονάδα ανάκτησης της θερμότητας, που είναι κατά κανόνα ένας ατμολέβητας υψηλής πίεσης.

Οι σχάρες έχουν την μεγαλύτερη ελαστικότητα υποδοχής διαφόρων τύπων καυσίμων. Χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την καύση διαφόρων τύπων άνθρακα και αργότερα προσαρμόστηκαν για να δέχονται και άλλα καύσιμα, όπως τα αστικά απορρίμματα. Εξ ορισμού λοιπόν, οι σχάρες είναι κατάλληλες και για την καύση ΚΑΠ, ενώ μπορούν να δεχθούν κάθε είδους στερεά καύσιμα. Στο κεφάλαιο 3.3 έγινε αναλυτική παρουσίαση των συστημάτων καύσης σε σχάρες.

Η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, αρκετά πρόσφατη τεχνολογία, που έχει σημαντικά προσόντα, όταν το καύσιμο υλικό παρουσιάζει σχετική ομοιογένεια, όπως είναι το τυποποιημένο ΚΑΠ.

Παρά το ότι οι μονάδες καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη είναι, σε όλο τον κόσμο, λιγότερες από τις μονάδες καύσης σε σχάρα, εν τούτοις έχουν ουσιαστικά καθιερωθεί για την ενεργειακή αξιοποίηση του ΚΑΠ, για τους λόγους που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 3.4.

Δεδομένου ότι οι διαφορές στην τεχνολογία μεταξύ των κατασκευαστών είναι περιορισμένες, στη συγκριτική παρουσίαση διακρίνεται σαν ενιαίο σύνολο η μέθοδος της εσχάρας, ενώ η μέθοδος ρευστοποιημένης κλίνης διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο κυκλοφορίας της άμμου.

### 12.2.2 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΥΡΟΛΥΣΗ

Παρά το γεγονός ότι οι μέθοδοι αυτές βρίσκονται ουσιαστικά στα πρώτα στάδια ανάπτυξης και υπάρχουν ακόμη αρκετά προβλήματα προς επίλυση, γενική είναι η εντύπωση ότι αποτελούν τεχνολογίες του προσεχούς μέλλοντος, δεδομένου ότι συνδυάζουν την, κατά κανόνα, σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή αξιοποίηση, ιδίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η δυνατότητα αξιοποίησης των παραγομένων αερίων για την απ' ευθείας κίνηση αεριοστροβίλου, χωρίς την παρεμβολή ατμοπαραγωγού μονάδας, αποτελεί ένα πρόσθετο, πολλαπλά χρήσιμο, πλεονέκτημα. Μερικοί μελετητές θεωρούν ότι, ορισμένες τουλάχιστον παραλλαγές των μεθόδων αυτών, είναι ήδη ώριμες για ευρεία εμπορική εφαρμογή, αρκεί να είναι κανείς προετοιμασμένος να αναλάβει κάποια ρίσκα, που οφείλονται στην έλλειψη πείρας των κατασκευαστών. Γεγονός είναι ότι στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές παρουσιάσεις μεθόδων, χωρίς πουθενά να δίνονται αναλυτικά στοιχεία λειτουργίας εμπορικών μονάδων.

Επειδή οι τεχνολογίες που έχουν παρουσιασθεί έχουν αρκετά σημαντικές λειτουργικές διαφορές, έχουν διαχωριστεί, για την παρουσίαση, σε τρεις κατηγορίες:

1. αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίνη,
2. πυρόλυση σε περιστρεφόμενο κλίβανο,
3. πυρόλυση σταθερής κλίνης.

Δεδομένου ότι υπάρχει η δυνατότητα να αξιοποιηθούν τα παραγόμενα αέρια είτε με καύση για ατμοπαραγωγή, είτε για την κίνηση αεριοστροβίλου ή μηχανής εσωτερικής καύσης, έγινε

απόπειρα συγκριτικής παρουσίασης και των δύο αυτών παραλλαγών. Επειδή τα ως τώρα δημοσιευμένα στοιχεία είναι περιορισμένα, η παρουσίαση αυτή παρουσιάζει αρκετά κενά, που δεν επηρεάζουν όμως την γενική εικόνα.

Είναι σαφές ότι, παρά την χαμηλή βαθμολογία των κριτηρίων εμπειρίας, οι μέθοδοι αεριοποίησης-πυρόλυσης παρουσιάζουν μικρή, σχετικά, διαφορά βαθμολογίας από τις μεθόδους καύσης. Η διαφορά αυτή φαίνεται ότι γρήγορα θα υπερκαλυφθεί, όταν επεκταθεί η εμπορική εφαρμογή των νέων μεθόδων.

## ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΠ

ΤΡΟΠΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΣΧΑΡΑ	ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΔ. ΚΛΙΝ	ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΑΝΑΚ. ΚΛΙΝΗ	ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΡΕΥΣΤ. ΚΛΙΝΗ		ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡ. ΚΛΙΒΑΝΟ		ΠΥΡΟΛΥΣΗ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΛΙΝΗΣ + ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ	
	Ατμολέβ.-γεννήτρια	Ατμολέβ.-γεννήτρια	Ατμολέβ.-γεννήτρια	Ατμολέβ.-γεννήτρια	Αεριοστρ.ή εσ.καύση	Ατμολέβ.-γεννήτρια	Αεριοστρ.ή εσ.καύση	Ατμολέβ.-γεννήτρια	Αεριοστρ.ή εσ.καύση
Λειτουργικά και άλλα στοιχεία για τις μονάδες	Τυπική μονάδα με σχάρα δυναμικ. 1200t/d ΑΣΑ	Λειτουργεί και σε ΚΑΠ (Τύπου Μαδρίτης)	Kvaerner Enviropower	TPS (Greve) Wikonex το αέριο καίγεται στους 1600 οC	LURGI Eco-gas μέρος του αερίου καίγεται για την τήξη	Schwel Brenn (Siemens) περιστρ.τύμπανο	Noell πυρόλυση σε τύμπανο-εξαέρωση υπό πίεση	Thermoselect Εξαέρωση παρουσία οξυγόνου	Thermoselect Εξαέρωση παρουσία οξυγόνου
<b>Εμπειρία εφαρμογών</b>									
Εμπορικές μονάδες ΑΣΑ	άνω των 1.000	Κάτω των 100 μονάδων και οι 2 μέθοδοι μαζί	:::	Καμία	1 (Fuerth)	Καμία	1 Karlsruhe	1 Ansbach	
Εμπορικές μονάδες ΚΑΠ	Άγνωστο	>2 (Μαδρίτη, Βερόνα κ.α)	::	1	Καμία	Καμία	Καμία	Καμία	Καμία
Μέγ.δυναμ γραμμής (tn/h)	40	15-20 ΚΑΠ	::	4,2 ΚΑΠ <sup>(2)</sup>	20 <sup>(8)</sup>	10 <sup>(8)</sup>	15 <sup>(8)</sup>	10 ΑΣΑ	::
Επίπεδο ανάπτυξης	Υψηλό	Υψηλό	Υψηλό	Μέτριο	::	Χαμηλό	::	Χαμηλό	Χαμηλό
<b>Ασφάλεια και ελαστικότητα λειτουργίας</b>									
Επικινδυνότητα λειτουργίας	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	Περιορισμένη	Σχετική	Σχετική	σχετική	σχετική	σχετική
Συμπλοκότητα εγκατάστασης	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Υψηλή	υψηλή	υψηλή	υψηλή
Ευχέρια διακοπών λειτουργίας	Μέτρια	Καλή	Καλή	Καλή	Καλή	Περιορισμένη	Περιορισμένη	περιορισμένη	περιορισμένη
Ευαισθησία λειτουργίας	Μέτρια	Καλή	Καλή	Καλή	Καλή	Μέτρια	Μέτρια	μέτρια	Μέτρια
Ευχέρεια ρύθμισης και ελέγχου	Μέτρια	Καλή	Καλή	Καλή	Καλή	Μέτρια	Μέτρια	μέτρια	Μέτρια
<b>Περιβαλλοντ.επιπτώσεις</b>									
Απαέρια προς καθαρ. Nm <sup>3</sup> /Mg	Από καύση σε εστία	Από καύση σε εστία	Από καύση σε εστία	Από καύση σε εστία	Από καύση	Από καύση σε εστία	Από καύση	Από καύση σε εστία	Από καύση
Εκπομπές διοξεινών (ng/Nm <sup>3</sup> )	0,02 <sup>(3)</sup> - 0,05 <sup>(5)</sup>	0,2 <sup>(6)</sup>						0,002 <sup>(7)</sup>	0,002 <sup>(7)</sup>
Σταθερότ. Σύνθεσης αερίων	Μέτρια	Καλή	Καλή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	μέτρια
Μορφή τέφρας	Sintered+σκόνη	Sintered+σκόνη	Sintered+σκόνη	Sintered+σκόνη	Τήγμα	Τήγμα	Τήγμα	τήγμα	τήγμα
Υγρά απόβλητα	Λεβητοστασίου	Λεβητοστασίου	Λεβητοστασίου	Λεβητοστασίου	Ναι	Λεβητοστασίου	-----	Λεβητοστασίου	-----
Απαιτούμενη έκταση	15-20 στρ.	15-20 στρ.	15-20 στρ.	15-20 στρ.	15 στρ.	15-20 στρ.	15 στρ.	15-20 στρ.	15 στρ.
Οπτική όχληση	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος	Κτίσματα +καπνοδόχος
<b>Κοινωνική αποδοχή</b>									
Προϋποθέσεις Κοινων. Αποδοχής	Στοιχεία που να αντικρούουν υπάρχουσες προκαταλήψεις κατά της καύσης και να αποδεικνύουν την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, και την αξιοπιστία της λειτουργίας των εγκαταστάσεων, στηριζόμενα σε αντίστοιχες εμπειρίες από άλλες χώρες.								
<b>Οικονομικά στοιχεία</b>									
Διαθέσιμη ηλεκτρ. Ενέργεια %	21	20,8 <sup>(1)</sup> - 22,6 <sup>(6)</sup>	21	24,1 <sup>(1)</sup>	15 <sup>(8)</sup>	15 <sup>(8)</sup> - 18 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(8)</sup> - 18,5 <sup>(1)</sup>	12 <sup>(1)</sup>	9 <sup>(8)</sup>
Ειδική παραγωγή ηλεκ. Εν. ανά γραμμή (kWh/tn)	350 <sup>(4)</sup> -755 <sup>(5)</sup>	320 <sup>(6)</sup>		398,8 <sup>(2)</sup>					
Απόδοση σε θερμική ενέργ. %	Κυμαίνεται περί το 50-60% για μονάδες με ατμολέβητα. Στις άλλες η περίσσεια θερμότητας είναι δυσκολότερα αξιοποιήσιμη								
Κόστος παραγωγ. ΕΥΡΩ/tn	110	105 - 129 <sup>(1)</sup>	105 - 129 <sup>(1)</sup>	100	101 - 134 <sup>(1)</sup>	102 - 128 <sup>(1)</sup>	103 - 140 <sup>(1)</sup>	107- 138 <sup>(1)</sup>	107- 138 <sup>(1)</sup>

(1) : Novem

(2) : ANSALDO E.E.C Contract BM 437/89/IT

(3) : SELCHP Brochure

(4) : SIT TOMAT France, G. Vincent

(5) : Modern Power Systems, Feb. 1996

(6) : DRAGADOS - Thermie

(7) : CHEMTECH, Oct. 1998

(8) : 20<sup>th</sup> World Gas Conference, 1997

### 12.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Με βάση τα όσα ήδη αναπτύχθηκαν, στην συγκριτική αξιολόγηση υποβλήθηκαν οι μέθοδοι

1. καύσης σε σχάρα,
2. καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη,
3. αεριοποίησης,
4. πυρόλυσης.

Από το αποτέλεσμα που προέκυψε, που φαίνεται στον Πίνακα 12.3.1, προκύπτει ότι οι δύο μέθοδοι καύσης έχουν σαφές προβάδισμα αυτή την στιγμή, οφειλόμενο, φυσικά, στην ήδη ευρεία εμπορική τους εφαρμογή.

Μεταξύ των δύο μεθόδων καύσης, η μέθοδος της ρευστοποιημένης κλίνης παρουσιάζει ελαφρό αλλά σαφές προβάδισμα.

Σύμφωνα με όσα στοιχεία αναπτύχθηκαν στα διάφορα κεφάλαια της μελέτης αυτής, αποφασίζεται η προμελέτη της εγκατάστασης θερμικής αξιοποίησης του ΚΑΠ να γίνει με βάση την καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη.

Κατά τον μειοδοτικό διαγωνισμό ο ΕΣΔΚΝΑ είναι δυνατόν να αποφασίσει να γίνουν δεκτές και προτάσεις που περιλαμβάνουν αεριοποίηση. Σημειώνεται πάντως ότι πριν απορριφθούν λύσεις με αεριοποίηση ή πυρόλυση, εκλήθησαν οι ειδικευμένοι κατασκευαστές να ενημερώσουν, τεκμηριωμένα, την ομάδα των μελετητών επί τυχόν νέων εξελίξεων, που δεν έχουν ακόμη δημοσιοποιηθεί. Από την ενημέρωση αυτή δεν προέκυψαν στοιχεία που να επηρεάζουν το σκεπτικό που έχει αναπτυχθεί.



Πίνακας 12.3.1: Συγκριτική Αξιολόγηση Των Βασικών Μεθόδων Θερμικής Επεξεργασίας ΚΑΠ

	ΤΡΟΠΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	Συντελεστής βαρύτητας(*)	ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΣΧΑΡΑ		ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠ. ΚΛΙΝΗ		ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ		ΠΥΡΟΥΛΥΣΗ	
				Βαθμ.		βαθμ.		Βαθμ.		βαθμ.
<b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ</b>										
<b>1.</b>	<b>Εμπειρία εφαρμογών</b>	<b>25%</b>								
	Εμπορικές μονάδες ΑΣΑ	10	>1000	10	>500	9		4		2
	Εμπορικές μονάδες ΚΑΠ	10		8		10		4		2
	Μέγιστη δυναμικότητα γραμμής (tn/h)	9		10	15 ΚΑΠ	10		7		5
	Επίπεδο ανάπτυξης	10		10		10		6		5
<b>2.</b>	<b>Ασφάλεια και ελαστικότητα</b>	<b>15%</b>								
	Μη επικινδυνότητα λειτουργίας	8		9		9		7		5
	Μη συμπλοκότητα εγκατάστασης	7		9		10		8		7
	Ευχέρεια διακοπών λειτουργ.	10		7		9		9		5
	Μη ευαισθησία λειτουργίας	10		8		10		8		8
	Ευχέρεια ρύθμισης-ελέγχου συνθηκών	10		8		10		7		6
<b>3.</b>	<b>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις</b>	<b>30%</b>								
	Όγκος απαερίων (Nm <sup>3</sup> /tn ΚΑΠ)	8		7		7		9		9
	Σταθερότητα σύνθεσης απαερίων	10		7		10		7		7
	Μορφή τέφρας	5		7		7		7	τήγμα	10
	Υγρά απόβλητα	10		8		8		8		8
	Απαιτούμενη έκταση	6		8		8		7		7
	Οπτική όχληση	8		6		6		8		8
<b>4.</b>	<b>Κοινωνική αποδοχή</b>	<b>10%</b>								
	Προϋποθέσεις κοινωνικής αποδοχής	10		6		7		8		7
<b>5.</b>	<b>Οικονομικά στοιχεία</b>	<b>20%</b>								
	Απόδοση ηλ.ενέργειας %	9	21	7	21	7	24	8	18	6,5
	Απόδοση σε θερμική ενέργεια %	6		7		7		7		7
	Λειτουργικό κόστος (ΕΥΡΩ/tn ΚΑΠ)	8	110	8	115	7,5	115	7,5	115	7,5
	<b>ΣΥΝΟΛΟ ΒΑΘΜΩΝ</b>			<b>288</b>		<b>310</b>		<b>255</b>		<b>229</b>
(*) Το ποσοστό % εκφράζει την συμμετοχή του κάθε κριτηρίου στην γενική βαθμολογία, ενώ ο βαθμός αξιολογεί τα υποκριτήρια										

## **12.4 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ**

### **12.4.1 ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ**

Η τεχνολογία της καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εξεταζόμενες τεχνολογίες θερμικής αξιοποίησης ΚΑΠ, έχει φτάσει σε ένα αρκετά «ώριμο» τεχνολογικό επίπεδο ανάπτυξης, αποκτώντας το προβάδισμα στην σχετική συγκριτική βαθμολογία.

Παρά το γεγονός ότι υπάρχει μια πολυπληθέστατη «βάση» εγκατεστημένων μονάδων καύσης σε σχάρες, οι μονάδες αυτές αφορούν κατά κύριο λόγο την καύση ΑΣΑ και όχι ΚΑΠ (η καύση του οποίου παρουσιάζει αρκετές διαφοροποιήσεις), με αποτέλεσμα, η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη να αποτελεί σήμερα την βέλτιστη, τεχνικά, λύση για την καύση ΚΑΠ (ήδη, στον Ευρωπαϊκό χώρο, βρίσκονται σε λειτουργία αρκετές εμπορικές μονάδες, η απρόσκοπτη λειτουργία των οποίων, εξασφαλίζει τις απαραίτητες εγγυήσεις εμπειρίας). Η τεχνολογία της αεριοποίησης, αν και αρκετά υποσχόμενη, έχει να επιδείξει την λειτουργία ελαχίστων πειραματικών μονάδων και μόνο μιας εμπορικής (μονάδα αεριοποίησης ΚΑΠ στο Greve-in-Chianti). Η τεχνολογία της πυρόλυσης βρίσκεται επίσης ουσιαστικά σε στάδιο πειραματισμών και ανάπτυξης. Μια μέθοδος μόνο έχει φτάσει στην κατασκευή μεγάλης εμπορικής εγκατάστασης, για την οποία όμως δεν έχουν δοθεί στην δημοσιότητα λειτουργικά αποτελέσματα. Το μόνο που έγινε γνωστό είναι ότι αυτή η πρώτη μονάδα παρουσίασε σοβαρά λειτουργικά προβλήματα, που επέβαλαν διακοπή της λειτουργίας της, για την διενέργεια εκτεταμένων επισκευών. Ως εκ τούτου, οι τεχνολογίες της αεριοποίησης και της πυρόλυσης χαρακτηρίζονται ως τεχνικά μη-ώριμες, με αποτέλεσμα η υιοθέτηση μιας εξ αυτών, να εμπεριέχει αρκετά μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας, δεδομένης της ελάχιστης εμπειρίας που υπάρχει τόσο στον τομέα της κατασκευής όσο και στον τομέα λειτουργίας εμπορικών μονάδων.

Επίσης, η κλίμακα των μέχρι σήμερα εφαρμογών συνηγορεί υπέρ της τεχνολογίας της ρευστοποιημένης κλίνης, με βάση το γεγονός πως οι εμπορικές εγκαταστάσεις καύσης του ΚΑΠ σε ρευστοποιημένη κλίνη στη Μαδρίτη και στη Βερόνα, είναι της ίδιας περίπου δυναμικότητας με την υπό εξέταση εγκατάσταση στα Νέα Λιόσια (700 tn/day), σε αντίθεση με την εγκατάσταση αεριοποίησης/καύσης στο Greve-in-Chianti (200 tn/day).

Σε ότι αφορά την επικινδυνότητα των συνθηκών λειτουργίας, οι τεχνολογίες καύσης σε σχάρες και ρευστοποιημένη κλίνη βρίσκονται σε σαφώς καλύτερη θέση από τις εγκαταστάσεις αεριοποίησης και πυρόλυσης, στις οποίες τα παραγόμενα αέρια μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση του κινδύνου αναφλέξεων και εκρήξεων στις επιμέρους εγκαταστάσεις. Οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης παρουσιάζουν και τον μικρότερο βαθμό «πολυπλοκότητας», δεδομένου ότι στο εσωτερικό της ρευστοποιημένης κλίνης δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη (όπως για παράδειγμα υπάρχουν στις εγκαταστάσεις καύσης σε σχάρες). Ο βαθμός πολυπλοκότητας των εγκαταστάσεων αεριοποίησης και πυρόλυσης είναι σχετικά αυξημένος, λόγω του αριθμού των επιμέρους διεργασιών που απαιτούνται για την λειτουργία τους.

Επίσης, σχετικά με τον τομέα της ευαισθησίας στην αλλαγή των λειτουργικών συνθηκών, η υπεροχή των εγκαταστάσεων ρευστοποιημένης κλίνης είναι ιδιαίτερα εμφανής, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη του αδρανούς υλικού, το οποίο «δρα» ως μέσο αποθήκευσης της θερμότητας, «απορροφώντας» έτσι με τον ομαλότερο και ασφαλέστερο τρόπο τις όποιες διακυμάνσεις εμφανίζονται στις συνθήκες λειτουργίας (διαφορές στην ποιότητα και ποσότητα του καυσίμου τροφοδοσίας, αλλαγές στο ηλεκτρικό φορτίο κ.α.). Η ύπαρξη του αδρανούς υλικού, δημιουργεί επίσης το πλεονέκτημα της εύκολης σβέσης και επανεκκίνησης

της εγκατάστασης, χαρακτηριστικό το οποίο διαθέτουν σε μικρότερο βαθμό οι υπόλοιπες τεχνολογίες.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί η υπεροχή της τεχνολογίας ρευστοποιημένης κλίνης έναντι των άλλων, στον τομέα της ευχέρειας της ρύθμισης και του ελέγχου των συνθηκών καύσης από τον θάλαμο ελέγχου της εγκατάστασης. Η αρχή λειτουργίας στην οποία βασίζονται οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης, παρέχει στον χειριστή τα κατάλληλα μέσα (ρύθμιση της παροχής του αέρα ρευστοποίησης καθώς και του ποσοστού ανακυκλοφορίας του αδρανούς υλικού) ώστε να διατηρούνται χωρίς κόπο σταθερές τόσο οι συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης όσο και η σύνθεση των απαερίων της.

#### 12.4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Στον τομέα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η τεχνολογία καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τις τεχνολογίες αεριοποίησης και πυρόλυσης, ενώ και οι τρεις, υπερτερούν σαφώς της τεχνολογίας καύσης σε σχάρες. Σε ότι αφορά τον συνολικό όγκο των παραγόμενων απαερίων, ενώ οι τεχνολογίες αεριοποίησης και πυρόλυσης παρουσιάζουν μικρότερες τιμές του μεγέθους αυτού, το πλεονέκτημά τους είναι εν πολλοίς πλασματικό, δεδομένου ότι σε αυτού του είδους τις εγκαταστάσεις απαιτείται συνήθως ένα στάδιο προ-επεξεργασίας (conditioning) των παραγόμενων αερίων (πριν αυτά οδηγηθούν σε καύση), γεγονός το οποίο μειώνει αισθητά το συγκριτικό τους πλεονέκτημα (απαιτούνται επιπλέον αντιρρυπαντικές εγκαταστάσεις).

Σε ότι αφορά στην σταθερότητα της σύνθεσης των απαερίων, η τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης υπερέχει αισθητά, αφού, όπως προαναφέρθηκε, διαθέτει το μεγάλο πλεονέκτημα της μεγαλύτερης ευκολίας ρυθμίσεων και ελέγχου των λειτουργικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Ως εκ τούτου, οι τυχαίες διακυμάνσεις στην ποσότητα και την ποιότητα του καυσίμου, έχουν μικρή επίδραση στην σύσταση των αποβαλλόμενων απαερίων.

Σχετικά με τα απόβλητα των προτεινόμενων τεχνολογιών, η συμπεριφορά τους είναι σχεδόν πανομοιότυπη. Έτσι, ενώ παράγουν τις ίδιες ακριβώς ποσότητες υγρών αποβλήτων (προερχόμενα κυρίως από το λεβητοστάσιο), στα στερεά απόβλητα η τεχνολογία της πυρόλυσης εμφανίζεται να παρουσιάζει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα, δεδομένου ότι παρέχει τη δυνατότητα τήξης της τέφρας και παραγωγής ενός υαλώδους τήγματος, το οποίο είναι ιδιαίτερα σταθερό, αποκλείοντας την πιθανότητα έκλυσης των εγκλεισμένων βαρέων μετάλλων, δημιουργώντας ευχερέστερες συνθήκες διάθεσης της τέφρας. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μειώνεται σημαντικά η αξιοποιήσιμη ενέργεια (δεδομένου ότι για την τήξη της τέφρας αξιοποιείται μέρος του παραγόμενου καυσίμου αερίου) ενώ παράλληλα αυξάνεται σημαντικά η πολυπλοκότητα της εγκατάστασης.

Τέλος, αναφορικά με την απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση των μονάδων, οι τεχνολογίες καύσης σε σχάρες και ρευστοποιημένη κλίνη βρίσκονται σε καλύτερη θέση από τις αντίστοιχες τεχνολογίες αεριοποίησης και πυρόλυσης, δεδομένου ότι οι τελευταίες είναι πολυπλοκότερες και ως εκ τούτου απαιτούνται περισσότερα υποσυστήματα τα οποία καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο.

#### 12.4.3 ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ

Η λύση που θα επιλεγεί, είναι απαραίτητο να παρουσιαστεί σωστά, με τεκμηριωμένα επιχειρήματα και παραδείγματα από αντίστοιχες μονάδες, ώστε να μπορεί να πειστεί ο πληθυσμός που πιστεύει ότι θίγεται, ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος, της υγείας των κατοίκων και της ασφαλούς διαβίωσης στην περιοχή.

Παρά το γεγονός ότι η καύση σε σχάρες σε μία σύγχρονη εγκατάσταση δεν έχει καμμία σχέση με την ανεξέλεγκτη καύση στο ύπαιθρο που εφαρμόζουν πολλοί ΟΤΑ, ακόμα και στην Αττική, θα πρέπει να καταβληθεί ιδιαίτερη προσπάθεια ενημέρωσης, ώστε να πεισθούν οι πολίτες και οι φορείς ότι οι εγκαταστάσεις καύσης είναι τόσο ασφαλείς σήμερα, που ορισμένες έχουν ενταχθεί μέσα ή πολύ κοντά στον πολεοδομικό ιστό ευρωπαϊκών μεγαλουπόλεων, όπως το Duesseldorf στην Γερμανία και η Βιέννη στην Αυστρία.

Η τεχνολογία της καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη αναμένεται να είναι ευκολότερο να γίνει κοινωνικά αποδεκτή, δεδομένου ότι δεν πρόκειται για μία κλασική εστία καύσης, αλλά για καύση μέσα σε κλειστό αντιδραστήρα, σε στρώμα ρευστοποιημένης πυρακτωμένης άμμου, κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες.

Οι τεχνολογίες της αεριοποίησης και της πυρόλυσης, όταν θα είναι ώριμες για ευρεία εφαρμογή σε μεγάλες εγκαταστάσεις, θα αποτελούν μια πιο σύγχρονη λύση θερμικής επεξεργασίας, που θα απέχει πια σημαντικά από την καύση και θα μπορεί να τύχει ευνοϊκότερης κοινωνικής αποδοχής.

#### 12.4.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Όπως ήδη τονίστηκε, η οικονομικότητα λειτουργίας μιας εγκατάστασης διάθεσης απορριμμάτων, παρά το γεγονός ότι είναι ένας σημαντικός παράγοντας επιλογής, έρχεται σε δεύτερη μοίρα, αν συγκριθεί με την ασφάλεια και αξιοπιστία της λειτουργίας και με την προστασία του περιβάλλοντος.

Όπως προέκυψε από την σχετική τεχνικο-οικονομική διερεύνηση, η ηλεκτρική ενέργεια είναι το μόνο αξιοποιήσιμο προϊόν της θερμικής επεξεργασίας, δεδομένου ότι οι τοπικές συνθήκες δεν προσφέρονται για την αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας του ατμού χαμηλής πίεσης. Ο βαθμός απόδοσης σε ηλεκτρική ενέργεια, μετά και την αφαίρεση της ιδιοκατανάλωσης της εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας, είναι σχετικά χαμηλός για όλους τους τύπους εγκαταστάσεων.

Οι τεχνολογίες καύσης σε σχάρες και σε ρευστοποιημένη κλίνη δεν αναμένεται να έχουν ολικό βαθμό απόδοσης σε ηλεκτρική ενέργεια μεγαλύτερο του 20-21%, δεδομένου μάλιστα ότι η υγροποίηση του ατμού χαμηλής πίεσης θα γίνεται σε αερόψυκτα ψυγεία, αφού η ενεργειακά οικονομικότερη λύση του πύργου ψύξης έχει απορριφθεί για περιβαλλοντικούς λόγους. Σε ότι αφορά στην τεχνολογία της αεριοποίησης, από τα δημοσιευμένα στοιχεία, προκύπτει ότι, με βάση την σημερινή τεχνολογία μπορεί να αναμένεται μία απόδοση της τάξης του 24%, σε διαθέσιμη ενέργεια, χωρίς όμως να πλησιάζει ποσοστά άνω του 30%, όπως υποστηρίζεται σε ορισμένες περιπτώσεις, χωρίς να τεκμηριώνεται. Η μέθοδος της πυρόλυσης, με το υπάρχον τεχνολογικό επίπεδο ανάπτυξης, μπορεί να επιτύχει βαθμό απόδοσης σε διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια της τάξης του 18%, μέγεθος το οποίο μειώνεται σημαντικά αν γίνει αδρανοποίηση με υαλοποίηση των στερεών υπολειμμάτων.

Η θερμική ενέργεια δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί προς το παρόν ενώ δεν αναμένεται να παρουσιάζει αξιόλογες διακυμάνσεις μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στις διάφορες δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις σχετικά με το κόστος λειτουργίας, είναι γενικά δύσκολο να συγκριθούν μεταξύ τους, διότι δεν δίνονται σαφείς πληροφορίες για τον τρόπο υπολογισμού τους. Σε κάθε περίπτωση, οι διαφοροποιήσεις φαίνεται ότι είναι μικρές με ελαφρά χαμηλότερο κόστος για την καύση σε σχάρα.

### 13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ακολουθούν οι βιβλιογραφικές πηγές στις οποίες στηρίχθηκε η μελέτη αυτή και που επίσης αναφέρονται στις υποσημειώσεις των αντίστοιχων σελίδων:

1. Thome-Kozmiensky, Gewinnung und Verwertung von Brennstoff aus Muell, Recycling International, EF-Verlag, Berlin 1984.
2. ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΩΝΣΤΑΣ ΕΠΕ, Αξιολόγηση του δυναμικού των απορριμμάτων στην Ελλάδα, Αθήνα 1987.
3. Thome-Kozmiensky, Kompostierung und Brennstoffgewinnung, E.FREITAG, Berlin 1983.
4. Municipal SW Management, UNEP Environmental Technology Center, 1999.
5. Αδ. Σκορδίλη, Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων και RDF, ΚΟΣΜΟΣ ΕΠΕ, Αθήνα 1997.
6. Μετρήσεις ΕΣΔΚΝΑ, 1990.
7. MSW Factbook, Ver.4.0 USEPA, Washington DC, 1997.
8. Αδ. Σκορδίλη, Η θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων και RDF, ΚΟΣΜΟΣ ΕΠΕ, Αθήνα, 1997.
9. Vehlow. Thermische Verfahren im Vergleich, Graz, 1998.
10. K.Thome-Kozmiensky, Verbrennung von Abfaellen, EF-Verlag, Berlin 1985.
11. Nuphaus, G. Dehoust, Comparison of different technologies for the incineration of solid wastes, THERMIE, European Workshop, Athens 1993.
12. Buckle, HOLTER.ABT, Fluidised bed combustion, a key role in sustainable waste management strategy.
13. Jensen, Dioxins, Danish Environmental Protection Agency, 1997.
14. Seifert, J. Vehlow, Kostenguenstige Dioxinminderungsstrategien, Wastec, Tokyo, 1998.
15. Municipal SW Management, UNEP Environmental Technology Center, 1999.
16. Koeser, Dioxine, eine Aufgabe fuer die Umwelttechnik, Chemie Ingenieur Technik 12/98, σελ. 1517.
17. Vehlow, Waste management in industrialized and developing countries, ENREN '98, 1998.
18. Buekens, A.Bridgewater, G-L Ferrero, K.Maniatis, Commercial and marketing aspects of gasifiers, Commission of European Communities, 1990.
19. Schwager, Will gasification and pyrolysis displace incineration for waste disposal? WME, 1998, σελ.8.
20. Vehlow Schadstoffsenske Thermische Abfallbehandlung FDBR-Konferenz, Duesseldorf 1995.
21. Dumbleton, Powerful waste, WME April 1998, σελ.20.
22. Calaminus, R. Stahlberg, Thermal waste treatment, a better approach, ChemTech Oct. 1998, σελ.40.
23. NOVEM, Thermal treatment of household waste,. An evaluation of five techniques, 1995.
24. Pyrolyse gekoppelt, UmweltMagazin Juni 1999, σελ.38.
25. Integrated recycling plant 1.200MT daily capacity and energy recovery in Madrid.

26. Vincent, Valorisation by incineration of urban refuse, Πρόγραμμα THERMIE.
27. Southeastern Public Service Authority, 1999.
28. Energy Fact Sheet, Ontario, 1993.
29. Thermal waste treatment, a better approach, CHEMTECH, October 1998, σελ. 40.
30. Novem, Thermal treatment of MSW, an evaluation of five techniques, 1995 .
31. VIT ENERGY Φινλανδία, C.A.R.M.E.N. Γερμανία, Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης. LIOR e.e.i.g. 1999, Brussels, Belgium.
32. KVAERNER PULPING – Power Division : Circulating Fluidized Bed Boilers – Reference List
33. Erik Rensfelt, TPS – IEA Biomass Agreement, Sub-task 6 : Gasification of Waste.
34. Thermoselect High-temperature recycling, Leaflet.
35. IEA Bioenergy, Advanced Thermal Conversion Technologies for Energy from Solid Wastes, 1998.
36. Reimert Rainer, Gasification of Waste – an old Art Applied to a new Feedstock, 20<sup>th</sup> World Gas Conference, Kobenhavn 1997.
37. Schweitzer, F. : Thermoselect-Verfahren zur Ent- und Vergasung von Abfaellen, EF-Verlag fuer Energie- und Umwelttechnik, Berlin 1994.
38. Carl J., Fritz P., NOELL-Konversionsverfahren zur Verwertung und Entsorgung von Abfaellen, EF Verlag, Berlin 1994.
39. Anton F., Das KWU-Schwelbrennverfahren, VDI Verlag Duesseldorf, 1995.
40. Lurgi Energie und Umwelt GmbH, Brochure No. 950031B: Das Lurgi-WIKONEX Verfahren, Frankfurt, June 1995.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### **ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ**

#### **A.1-1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΗ ΜΑΔΡΙΤΗ**

##### **Γενικά Στοιχεία :**

Το εργοστάσιο καύσης ΚΑΠ στη Μαδρίτη, επεξεργάζεται το 25% των αστικών απορριμμάτων της πόλης (1200 tn/ημέρα). Αποτέλεσμα της επεξεργασίας, είναι η μείωση του όγκου των προς ταφή απορριμμάτων κατά 95% και η παραγωγή 19 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Στην κατασκευή του, συμμετείχε μια κοινοπραξία εταιρειών, αποτελούμενη από τις : DRAGADOS (Ισπανία), Holter ABT (Γερμανία) και INTESCA (Ισπανία). Το εργοστάσιο αποτελείται από 3 βασικά μέρη: το τμήμα προ-επεξεργασίας και διαχωρισμού των απορριμμάτων, την εγκατάσταση καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη και την εγκατάσταση καθαρισμού των απαερίων.

##### **Εγκατάσταση προ-επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων**

Στην εγκατάσταση αυτή γίνεται ο διαχωρισμός των απορριμμάτων και η παραγωγή του καυσίμου ΚΑΠ. Τα απορρίμματα αρχικά αποθηκεύονται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης χωρητικότητας 1200 m<sup>3</sup> και στη συνέχεια τροφοδοτούνται σε 4 γραμμές επεξεργασίας, δυναμικότητας 25 tn/hr. Στις γραμμές αυτές, τα απορρίμματα διαχωρίζονται, τόσο αυτόματα, όσο και «χειρωνακτικά», με αποτέλεσμα να απομακρύνονται οι οργανικές ύλες (23% της συνολικής μάζας των απορριμμάτων), τα σιδηρούχα (1,7%) και μη-σιδηρούχα (0,2%) μέταλλα, καθώς και τα πλαστικά, χαρτιά (3,7%) και γυαλιά (2,3%). Το υλικό που απομένει, αποτελεί το ΚΑΠ και οδηγείται στη δεξαμενή αποθήκευσης της εγκατάστασης καύσης. Η δυναμικότητα της εγκατάστασης προ-επεξεργασίας είναι 1800 tn/ημέρα, αλλά συνήθως υποβάλλονται σε επεξεργασία 1200 tn/ημέρα ή 360.000 tn/έτος. Συνολικά, από τα προς επεξεργασία απορρίμματα που εισέρχονται στην εγκατάσταση, το 58% οδηγείται προς ανακύκλωση και το 42% αποτελεί το καύσιμο ΚΑΠ, το οποίο οδηγείται στις εγκαταστάσεις καύσης.

##### **Εγκατάσταση καύσης ΚΑΠ σε ρευστοποιημένη κλίνη**

Η εγκατάσταση καύσης ΚΑΠ, αποτελείται από 3 όμοιες «γραμμές» καύσης, συνολικής δυναμικότητας 600 tn/ημέρα, η κάθε μια εκ των οποίων διαθέτει έναν φούρνο ρευστοποιημένης κλίνης τύπου ROWITEC-TIF (Revolving Fluidized Bed), έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας (boiler), καθώς και μια γραμμή καθαρισμού των απαερίων. Στην ρευστοποιημένη κλίνη τύπου ROWITEC, το καύσιμο (ΚΑΠ μεγέθους 300x300 mm), τα απαέρια και το αδρανές υλικό της κλίνης, κινούνται περιστροφικά σε ελλειπτικές τροχιές οι οποίες συγκλίνουν στην κεντρική περιοχή. Η ελεγχόμενη αυτή «περιδίνηση», δημιουργείται με την παροχή διαφορετικών ποσοτήτων αέρα μέσω των ακροφυσίων που είναι τοποθετημένα σε διάφορες θέσεις της κλίνης, καθώς και μέσω ενός κεκλιμένου διανομέα. Αποτέλεσμα αυτής της διάταξης είναι η επίτευξη βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης κατά το εγκάρσιο επίπεδο, καθώς και η αύξηση της τύρβης, η οποία ευνοεί την αποδοτικότητα της καύσης.

Για την αποφυγή δυσάρεστων οσμών, ο αέρας καύσης αναρροφάται από την δεξαμενή αποθήκευσης των απορριμμάτων. Ο πρωτεύων αέρας καύσης, ο οποίος διασφαλίζει την «ρευστοποίηση» της κλίνης σε όλο το φάσμα των συνθηκών λειτουργίας, τροφοδοτείται

στους διανομείς αέρα του πυθμένα της κλίνης, ενώ ο δευτερεύων αέρας καύσης εισάγεται στην περιοχή «πάνω» από την κλίνη (freeboard), με σκοπό την αύξηση της τύρβης καθώς και την διασφάλιση συνθηκών πλήρους καύσης. Η τροφοδοσία του καυσίμου σε κάθε φούρνο, γίνεται «πάνω» από την κλίνη, μέσω συστήματος γερανού - διδύμων κοχλιών. Για την βελτίωση της δυνατότητας ελέγχου της θερμοκρασίας εντός της κλίνης στα επιθυμητά επίπεδα (950°C), υπάρχει και σύστημα ανακυκλοφορίας των καυσαερίων, το οποίο λειτουργεί αυτόματα. Στον πυθμένα της κλίνης, απομακρύνονται τα άκαυστα και τροφοδοτούνται σε εγκατάσταση μαγνητικού διαχωρισμού, όπου τα προκύπτοντα μέταλλα οδηγούνται προς ανακύκλωση, ενώ το αδρανές υλικό επιστρέφει στην κλίνη. Η θερμότητα του αδρανούς υλικού ανακτάται μέσω ενός εναλλάκτη προθέρμανσης του δευτερογενούς αέρα.

Τα απαέρια οδηγούνται αμέσως μετά τον φούρνο, στον λέβητα ανάκτησης θερμότητας (boiler). Ο λέβητας αυτός είναι υδραυλωτός, φυσικής κυκλοφορίας και είναι σχεδιασμένος ειδικά για καυσαέρια τα οποία προέρχονται από καύση ΚΑΠ. Ο παραγόμενος ατμός (σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας 50 bar και 425°C), συγκεντρώνεται και από τις 3 «γραμμές» καύσης και εκτονώνεται σε έναν αμοστρόβιλο ο οποίος κινεί μια γεννήτρια ονομαστικής ισχύος 23 MW. Η ηλεκτρική ενέργεια η οποία διατίθεται τελικά στο δίκτυο, εάν αφαιρεθούν οι ιδιοκαταναλώσεις είναι 19 MW και ο συνολικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης είναι 22,6%. Το κύκλωμα ατμού συμπληρώνεται από έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή, ο οποίος υπάρχει στην έξοδο του αμοστρόβιλου. Τα καυσαέρια εγκαταλείπουν τον λέβητα σε θερμοκρασία περίπου 200°C και οδηγούνται σε κυκλωνικούς διαχωριστές όπου απομακρύνεται η ιπτάμενη τέφρα, ενώ ακολουθεί η εγκατάσταση καθαρισμού.

### **Εγκατάσταση καθαρισμού των απαερίων**

Το πρώτο στάδιο καθαρισμού γίνεται στους ξηραντές ψεκασμού (spray dryers), στους οποίους η είσοδος των απαερίων γίνεται στην άνω πλευρά, όπου και ψεκάζεται με μικρή ταχύτητα μείγμα αέρα και διαλύματος ασβέστου (lime). Λόγω της ειδικής διαμόρφωσης του ακροφυσίου και του θαλάμου ανάμιξης, το υγρό διάλυμα διασκορπίζεται σε σταγονίδια μεγέθους 50 μm. Τα απαέρια απορροφούν τα σταγονίδια και ψύχονται από τους 200°C στους 140°C, όπου οι αντιδράσεις απορρόφησης του S και του HCl είναι ιδιαίτερα αποδοτικές, ενώ τα περισσότερα μέταλλα βρίσκονται σε στερεά μορφή. Το τελικό στάδιο επεξεργασίας των απαερίων, είναι η απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων στα σακκόφιλτρα που ακολουθούν τους ξηραντές. Μετά τα σακκόφιλτρα, τα απαέρια οδηγούνται στην ατμόσφαιρα μέσω της καπνοδόχου. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι εκπομπές των σημαντικότερων ρύπων της εγκατάστασης, όπως αυτές μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής της λειτουργίας.



**A.1-2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΗ ΜΑΔΡΙΤΗ**

	(1 Pt = 1,991 Δρχ) (MPts)	(ΜΔρχ)
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΥΣΗΣ :</b>		
Γερανογέφυρες	80	159
Φούρνοι	990	1.971
Λέβητες ανάκτησης θερμότητας (boilers)	980	1.951
Επεξεργασία τέφρας	80	159
Αντιρρυπαντικές εγκαταστάσεις	1.150	2.290
Ατμοστρόβιλος - Γεννήτρια	802	1.597
Ηλεκτρονικά ελέγχου	890	1.772
Αερόψυκτος συμπυκνωτής	360	717
Επεξεργασία νερού	80	159
Καπνοδόχος	85	169
Διάφορα - Βοηθητικά	70	139
Έγερση - Δοκιμές	560	1.115
Σχεδιασμός (engineering)	520	1.035
Διοίκηση - Επίβλεψη	500	996
Έργα πολιτικού μηχανικού	650	1.294
Κτίρια	500	996
Follow-up	53	106
	<b>ΣΥΝΟΛΟ : 8.350</b>	<b>16.625</b>
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ &amp; ΔΙΑΛΟΓΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ :</b>		
Γερανοί	70	139
Τύμπανα (Trommels)	110	219
Μεταφορικά	300	597
Μαγνητικοί διαχωριστές	80	159
Πυκνομετρικές τράπεζες (densimetric tables)	70	139
Οικοδομικές εργασίες	160	319
Ηλεκτρονικά ελέγχου	225	448
Έργα πολιτικού μηχανικού	420	836
Κτίρια	215	428
Ανέγερση	340	677
Σχεδιασμός (engineering)	110	219
Διοίκηση - Επίβλεψη	200	398
	<b>ΣΥΝΟΛΟ : 2.300</b>	<b>4.579</b>
<b>ΠΛΗΡΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ :</b>		

Σχεδιασμός	630	1.254
Έργα πολιτικού μηχανικού	1.870	3.723
Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	6.497	12.936
Ανέγερση κτιρίων	900	1.792
Εκκίνηση λειτουργίας	753	1.499
	<b>ΣΥΝΟΛΟ : 10.650</b>	<b>21.204</b>
<b>ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ :</b>		
Εργατικά	100	199
Αναλώσιμα	140	279
Συντήρηση	105	209
Ασφάλεια	49	98
	<b>ΣΥΝΟΛΟ : 394</b>	<b>784</b>

## **A.2-1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΗ ΒΕΡΟΝΑ**

### **Γενικά Στοιχεία :**

Το εργοστάσιο καύσης ΚΑΠ στη Βερόνα, σχεδιάστηκε για την επεξεργασία 500 tn/ημέρα αστικών απορριμμάτων. Στην κατασκευή του, συμμετείχε μια κοινοπραξία εταιρειών, αποτελούμενη από τις : AERIMPIANTI (Ιταλία), THYSSEN (Γερμανία) και ANSALDO (Ιταλία). Η εγκατάσταση καύσης λειτουργεί μόνο κατά την χειμερινή περίοδο (4000 hr/έτος), έτσι ώστε η διαθέσιμη θερμική ενέργεια ( $46,5 \text{ MW}_{th}$ ) να διοχετεύεται στο δίκτυο τηλεθέρμανσης της πόλης, ενώ κατά την θερινή περίοδο το ΚΑΠ και η ιλύς που παράγονται αποθηκεύονται σε συνθήκες ελάχιστης υγρασίας. Κατά συνέπεια, ενώ κατά την θερινή περίοδο το ΚΑΠ και η ιλύς υπόκεινται σε ξήρανση (επίπεδα υγρασίας 7-10% περίπου) προκειμένου να αποθηκευθούν, κατά την χειμερινή περίοδο δεν «σπαταλάται» ενέργεια κατ' αυτόν τον τρόπο, δεδομένου ότι η καύση γίνεται άμεσα (υγρασία κατά την χειμερινή περίοδο: fluff ΚΑΠ : 25-35% και ιλύς: 50-80%). Τα κυριότερα τμήματα του εργοστασίου είναι τα εξής :

- Σταθμός παραλαβής αστικών απορριμμάτων, αυτόματου διαχωρισμού και απομάκρυνσης των οργανικών και των σιδηρούχων μετάλλων. Σε σύνολο 500 tn που εισέρχονται ημερησίως στην εγκατάσταση, οι 15 tn αποτελούν τα σιδηρούχα μέταλλα τα οποία πωλούνται για ανακύκλωση, οι 211 tn είναι οργανική ύλη που διοχετεύεται στις εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης, οι 106 tn είναι η «καύσιμη ύλη» από την οποία παράγεται το ΚΑΠ και 168 tn είναι αδρανή υλικά που στέλνονται προς ταφή.
- Τμήμα επεξεργασίας και εξευγενισμού της «καύσιμης ύλης» για την παραγωγή ΚΑΠ. Στο τμήμα αυτό παράγονται 2 είδη ΚΑΠ: σε μορφή πελλετών (pelletised ΚΑΠ) κατά την θερινή περίοδο και σε «συμπυκνωμένη» μορφή (densified ΚΑΠ) κατά την χειμερινή περίοδο.
- Τμήμα αναερόβιας χώνευσης των οργανικών για την παραγωγή βιοαερίου. Το τμήμα αυτό, αποτελείται από 4 μονάδες χώνευσης, συνολικής χωρητικότητας  $8000 \text{ m}^3$ .
- Τμήμα μηχανικής αφύγρανσης και θερμικής ξήρανσης της ιλύος που προέρχεται από την διεργασία αναερόβιας χώνευσης, καθώς και από την μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Η ιλύς, παράγεται σε ποικίλες μορφές, διαφορετικής σύστασης σε στερεή ύλη (25%, 50% ή 90%).
- Τμήμα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, το οποίο αποτελείται από 3 μηχανές εσωτερικής καύσης (ισχύος 1 MW η κάθε μια), οι οποίες χρησιμοποιούν ως καύσιμο είτε το βιοαέριο που παράγεται στις εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης είτε εναλλακτικά μεθάνιο. Η θερμική ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των «χωνευτήρων» και για τη θέρμανση του αέρα ξήρανσης της ιλύος.
- Τμήμα αποθήκευσης του ΚΑΠ και της ξηρής ιλύος που παράγονται κατά την θερινή περίοδο.
- Εγκατάσταση καύσης αποτελούμενη από 2 φούρνους ρευστοποιημένης κλίνης ισχύος 36 MW ο καθένας. Στους φούρνους αυτούς καίγονται σε κατάλληλη αναλογία το ΚΑΠ και η ξηρή ιλύς που έχουν αποθηκευθεί από την θερινή περίοδο καθώς και το συμπυκνωμένο (densified) ΚΑΠ και η αφυγρασμένη ιλύς που παράγονται κατά την χειμερινή περίοδο. Η δυναμικότητα κάθε φούρνου είναι 13 tn ΚΑΠ/hr.
- Τμήμα συμπαραγωγής αποτελούμενο από έναν αεριοστρόβιλο ισχύος  $12,9 \text{ MW}_{el}$  τροφοδοτούμενο με μεθάνιο, καθώς και από έναν ατμοστρόβιλο ισχύος  $21,8 \text{ MW}_{el}$ . Ο ατμοστρόβιλος τροφοδοτείται με υπέρθερμο ατμό ( $86 \text{ tn/hr}$ , 54 bar,  $450^\circ\text{C}$ ), ο οποίος παράγεται στον λέβητα ανάκτησης θερμότητας (boiler) που βρίσκεται μετά τον φούρνο ρευστοποιημένης κλίνης. Ο ατμός αναθερμαίνεται σε εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας κατάντι του αεριοστροβίλου.

- Τμήμα απορρύπανσης των καυσαερίων, το οποίο αποτελείται από 2 «γραμμές», εκ των οποίων η κάθε μια περιλαμβάνει έναν φυγοκεντρικό προ-διαχωριστή σωματιδίων, μια ημι-υγρή πλυντηρίδα (semi-dry scrubber), όπου ψεκάζεται μείγμα νερού και διαλύματος ασβέστη με σκοπό την κατακράτηση των SO<sub>x</sub> και του HCl και ένα σακκόφιλτρο για την απομάκρυνση των σωματιδίων.
- Εγκατάσταση επεξεργασίας και απιονισμού του νερού για το κύκλωμα νερού-ατμού.

### Εγκατάσταση καύσης ΚΑΠ 2-σταδίων σε ρευστοποιημένη κλίνη και θάλαμο μετά-καύσης

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της εγκατάστασης καύσης του εργοστασίου αυτού, είναι η χρήση ενός θαλάμου μετά-καύσης, ο οποίος βοηθά στην επίτευξη των ορίων που θέτει η ιταλική νομοθεσία για τις εγκαταστάσεις καύσης αστικών απορριμμάτων. Η καύση στην ρευστοποιημένη κλίνη ολοκληρώνεται σε 2 στάδια : κατά το 1<sup>ο</sup> στάδιο, πραγματοποιείται μερική οξειδωση του καυσίμου εντός της ρευστοποιημένης κλίνης, ενώ στο 2<sup>ο</sup> στάδιο η καύση ολοκληρώνεται σε θερμοκρασίες έως και 850°C με την προσαγωγή δευτερεύοντος αέρα στην περιοχή «πάνω» από την κλίνη (freeboard). Με τη ρύθμιση της παροχής του δευτερεύοντος αέρα, είναι δυνατή η ρύθμιση της θερμοκρασίας των καυσαερίων που εξέρχονται από την κλίνη και οδηγούνται στον θάλαμο μετά-καύσης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η κατανάλωση μεθανίου στους βοηθητικούς καυστήρες του θαλάμου αυτού.

Ο πρωτεύων αέρας καύσης εισέρχεται στην κλίνη μέσω ενός δισκοειδούς διανομέα, ο οποίος διαθέτει περίπου 1400 ακροφύσια παροχής, σχεδιασμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται ομοιομορφία στην διανομή του πρωτεύοντος αέρα. Η κλίνη διαθέτει υδραυλούς, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με το τύμπανο του λέβητα ανάκτησης θερμότητας (boiler), βοηθώντας στην διατήρηση της θερμοκρασίας στην κλίνη σε βέλτιστα επίπεδα (800-900°C), έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η παραγωγή CO καθώς και να αποφεύγεται η τήξη της τέφρας. Ο δευτερεύων αέρας εισάγεται στον χώρο «άνω» της κλίνης (freeboard) προκειμένου να αυξηθεί η τύρβη και κατά συνέπεια να οξειδωθούν πλήρως τα ημι-άκαυστα σωματίδια καυσίμου.

Τοποθετημένος αμέσως μετά την κλίνη είναι ο θάλαμος μετά-καύσης, ο οποίος έχει ως σκοπό να διασφαλίζει την επίτευξη των εξής (επιβαλλόμενων από την Ιταλική νομοθεσία) συνθηκών :

- Θερμοκρασία των καυσαερίων μετά τον θάλαμο μετά-καύσης : **> 950°C**
- Περιεχόμενο ελεύθερο O<sub>2</sub> στα καυσαέρια : **> 6% κατ' όγκον**
- Ταχύτητα εισόδου των καυσαερίων στον θάλαμο μετά-καύσης : **> 10 m/sec**
- Χρόνος παραμονής των καυσαερίων στον θάλαμο μετά-καύσης : **> 2 sec**

Ο θάλαμος μετάκαυσης, αποτελείται από ένα κυλινδρικό μεταλλικό τμήμα, το οποίο στην κατώτερη πλευρά του φέρει 2 καυστήρες μεθανίου των 3,5 MW έκαστος, οι οποίοι διασφαλίζουν την επίτευξη της απαιτούμενης θερμοκρασίας των 950°C.

**A.2-2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΥΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΗ ΒΕΡΟΝΑ**

	(1 Lt = 0,17112 Δρχ) (MLts)	(ΜΔρχ)
<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΥΣΗΣ :</b>		
Προανάμιξη καυσίμου	710	121
Ομογενοποίηση – Τροφοδοσία	1.980	339
Εστίες	3.340	572
Λέβητες ανάκτησης θερμότητας (boilers)	4.320	739
Επεξεργασία τέφρας	830	142
Αντιρρυπαντικές εγκαταστάσεις	4.400	753
Ατμοστρόβιλος - Γεννήτρια	2.540	435
Ηλεκτρονικά ελέγχου	3.110	532
Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις	2.050	351
Επεξεργασία νερού	4.250	727
Καπνοδόχοι	500	86
Διάφορα - Βοηθητικά	1.850	317
Αγωγοί - Σωληνώσεις	500	86
Εγκατάσταση - Επίβλεψη	4.400	753
Έργα πολιτικού μηχανικού	2.450	419
	<b>ΣΥΝΟΛΟ : 37.230</b>	<b>6.371</b>
<b>ΠΛΗΡΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ:</b>		
Σχεδιασμός	2.800	479
Κατασκευή - Ανέγερση	37.220	6.369
Μετρήσεις - Ανάλυση	2.050	351
Εκκίνηση λειτουργίας	1.300	222
	<b>ΣΥΝΟΛΟ : 43.370</b>	<b>7.421</b>
<b>ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ :</b>		
Εργατικά	477	82
Αναλώσιμα	170	29
Συντήρηση	744	127
Επεξεργασία και απόρριψη τέφρας	1.078	184
	<b>ΣΥΝΟΛΟ : 2.469</b>	<b>422</b>

### **A.3-1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΠ ΣΤΟ GREVE-IN-CHIANTI**

#### **Γενικά στοιχεία**

Το εργοστάσιο αεριοποίησης ΚΑΠ στο GREVE σχεδιάστηκε για να επεξεργάζεται 200 τόνους πελλετοποιημένου ΚΑΠ την ημέρα με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, λειτουργώντας συνεχόμενα με 2 ξεχωριστές παράλληλες γραμμές αεριοποίησης. Αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι η μείωση του όγκου των προς ταφή απορριμμάτων και η παραγωγή 3.35 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Στην κατασκευή της μονάδας συμμετείχαν δυο Ιταλικές και μια Σουηδική εταιρία, η Aerimpianti, η Technitalia και η TPS αντίστοιχα.

#### **Τα κυριότερα τμήματα του εργοστασίου**

- 2 Αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης, ο καθένας ισχύος 8 KW<sub>th</sub>.
- 1 γραμμή καύσης και ανάκτησης θερμότητας αποτελούμενες από :
  - πρωτεύοντα θάλαμο καύσης προσαρμοσμένο με διπλό καυστήρα αερίων
  - θάλαμο μετάκαυσης
  - τμήμα ανάκτησης θερμότητας για παραγωγή ατμού
- 1 γραμμή επεξεργασίας των απαερίων
- 1 στροβιλογεννήτρια με δυναμικότητα 6.7 MWh
- 1 "Therma" πολυλειτουργικό πακέτο
- 1 γραμμή σταθεροποίησης της στάχτης με περιστρεφόμενο κλίβανο (kiln) με θάλαμο μετάκαυσης και με γραμμή επεξεργασίας των απαερίων.
- 1 σταθμό αποθήκευσης και μεταφοράς του ΚΑΠ
- Γενικές βοηθητικές εγκαταστάσεις και υπηρεσίες για το συνολικό εργοστάσιο

#### **Περιγραφή της διεργασίας**

Οι αντιδράσεις της αεριοποίησης πραγματοποιούνται στη ρευστοποιημένη κλίνη του αντιδραστήρα όπου εισάγεται αέρας σε υποστοιχειομετρικές αναλογίες, ο οποίος χρησιμοποιείται ως μέσο ρευστοποίησης. Το καύσιμο αναμιγνύεται και αντιδρά αμέσως στην κλίνη. Κάθε ένας από τους αεριοποιητές συγκροτείται από ένα κύριο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης και δύο εξωτερικά συστήματα ανακύκλωσης σε συνδυασμό με κυκλωνικούς διαχωριστές, έτσι ώστε να πραγματοποιείται ανακύκλωση της σκόνης και του στερεού υλικού μέσα στον κύριο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης.

Το εισερχόμενο καύσιμο στον αντιδραστήρα αεριοποίησης έρχεται σε άμεση επαφή με το αδρανές υλικό της κλίνης και ως εκ τούτου υφίσταται κατά σειρά ξήρανση και εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας, ενώ κατόπιν σταδιακά οξειδώνεται (μερικώς) και αεριοποιείται. Η θερμοκρασία στην κλίνη εξασφαλίζεται με την ελεγχόμενη καύση και ρυθμίζεται από την αναλογία αέρα / καυσίμου.

Η αεριοποίηση παράγει ένα αέριο χαμηλής θερμογόνου ικανότητας το οποίο οδηγείται στο πρωτεύοντα θάλαμο καύσης του συστήματος ανάκτησης θερμότητας, όπου με την προσθήκη δευτερεύοντα αέρα, εξασφαλίζεται η ολοκλήρωση της καύσης. Στη συνέχεια τα απαέρια εισέρχονται στο θάλαμο μετά-καυσης ο οποίος είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τα όρια που θέτει η Ιταλική νομοθεσία για τις εγκαταστάσεις καύσης αστικών απορριμμάτων.

Ο αεριοποιητής ρευστοποιημένης κλίνης ανακυκλοφορίας λειτουργεί σε πίεση λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Το καύσιμο αέριο που παράγεται σε θερμοκρασία των 850-870°C είναι 3.900-8.400 Nm<sup>3</sup>/h με καθαρή θερμογόνο δύναμη 6500-9000 kJ/Nm<sup>3</sup>. Κάθε αεριοποιητής διαθέτει 5 βοηθητικούς καυστήρες μεθανίου για την έναυση, οι οποίοι παύουν να λειτουργούν όταν η καύση σταθεροποιείται. Το αέριο εξέρχεται από τον αεριοποιητή στους 840°C και εισέρχεται στον καυστήρα του βασικού θαλάμου καύσης. Ο καυστήρας λειτουργεί σε περίσσεια αέρα έτσι ώστε το εξερχόμενο αέριο να φτάνει σε θερμοκρασίες 1.150-1.250°C ανάλογα με τη σύσταση του ΚΑΠ. Στην συνέχεια, τα απαέρια οδηγούνται στον θάλαμο μετά-καύσης, όπου και παραμένουν επί 2 sec σε μια θερμοκρασία 950°C με περιεκτικότητα σε O<sub>2</sub> άνω του 6%.

Τα απαέρια στη συνέχεια εισέρχονται στο λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου και τελικά στη θερμοκρασία των 200°C αποστέλλονται για "ημι-συμπύκνωση" στο σύστημα επεξεργασίας των απαερίων. Οι εκπομπές ρύπων παρακολουθούνται διαρκώς, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η τήρηση των ορίων εκπομπών της Ιταλικής νομοθεσίας.

#### A.4 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ

Στον Πίνακα A.4.1 παρουσιάζονται οι εκπομπές των σημαντικότερων ρύπων των παραπάνω εγκαταστάσεων, όπως αυτές μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των περιόδων δοκιμαστικής λειτουργίας τους. Επίσης αναφέρονται τα όρια εκπομπών για εργοστάσια θερμικής επεξεργασίας οικιακών απορριμμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ ενδεικτικά παρουσιάζονται και οι εκπομπές ρύπων ενός εργοστασίου καύσης ΑΣΑ σε εσχάρες, το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο στο Weisweiler της Γερμανίας και διαθέτει ιδιαίτερα εξελιγμένο σύστημα καθαρισμού των απαερίων (κατασκευαστής: Deutsche Babcock Anlagen).

**Πίνακας A.4.1:** Σύγκριση εκπομπών σημαντικότερων ρύπων σε εμπορικές μονάδες θερμικής αξιοποίησης ΚΑΠ

Ρύποι (mg/Nm <sup>3</sup> )	Μαδρίτη	Βερόνα	Greve-in-Chianti	Weisweiler	Όρια εκπομπών (94/67/ΕΕ)
Σωματίδια	5	30	1-6	3	10
SO <sub>2</sub>	3,88	200	<20	13	50
HCl	23	50	4-25	0,1	10
HF	<0,02	<3		0,04	1
NO <sub>x</sub>	200	<200	180-365	72	-
Οργανικά	18	<5		0,28	-
CO	50	100	50	3	50
Διοξίνες-Φουράνια	0,2	<4		0,003*10 <sup>-6</sup>	0,1*10 <sup>-6</sup>
Βαρέα μέταλλα	0,02	<5		0,03	0,05

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### ΠΡΟΤΑΘΕΙΣΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ (ΚΑΠ)

Ο μεγαλύτερος χώρος εναπόθεσης απορριμμάτων σε λειτουργία στην Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκεται στην περιοχή των Άνω Λιοσίων της Αθήνας. Αυτή η περιοχή, η οποία εξυπηρετεί τις ανάγκες ολόκληρου του πληθυσμού της Αττικής (περίπου πέντε εκατομμυρίων ατόμων), υποδέχεται 3.600 τόνους απορριμμάτων κάθε μέρα και καλύπτει επιφάνεια της τάξεως των 500.000 m<sup>2</sup>. Στο παράρτημα αυτό, παρουσιάζονται 3 εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας καύσης/αεριοποίησης ΚΑΠ, οι οποίες αφορούν το παραγόμενο ΚΑΠ (720 tn/ημέρα) από τις εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής που βρίσκονται υπό κατασκευή στην περιοχή των Άνω Λιοσίων και προτείνονται από τις εταιρείες TPS, Lurgi και Foster-Wheeler.

### **B.1 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΠ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ TPS**

*ΠΗΓΗ: Electricity production from solid waste fuels using advanced gasification technology (Presented at Swana's Wastecon 1998/ISWA World Congress, 26-29 Οκτωβρίου 1998).*

Η σχετική μελέτη έγινε κατά το έτος 1998 και αφορούσε την πλήρη εγκατάσταση μηχανικής διαλογής και θερμικής επεξεργασίας. Το προτεινόμενο σχέδιο (Σχήμα Β1.1) είναι ένα εξελιγμένο σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων το οποίο περιλαμβάνει διαχωρισμό των απορριμμάτων, ανακύκλωση, αερόβια συμπύκνωση, αναερόβια χώνευση και αεριοποίηση. Στόχος είναι η κατασκευή ενός εργοστασίου αεριοποίησης (ηλεκτρικής ισχύος 27 MWe) το οποίο θα χρησιμοποιεί ως καύσιμο ΚΑΠ (23.8 t/h σε 24% υγρασία). Το παραγόμενο αέριο στο εργοστάσιο θα καίγεται μέσα σε λέβητα. Η μελέτη θα επιδεικνύει την τεχνολογία αεριοποίησης σε ρευστοποιημένη κλίνη της εταιρείας TPS ως ανταγωνιστική μέθοδο αντικατάστασης των αποτεφρωτικών κλιβάνων. Το εργοστάσιο θα είναι η πρώτη εγκατάσταση θερμοχημικής μετατροπής των απορριμμάτων στην Ελλάδα και θα περιλαμβάνει καταλυτικούς μετατροπείς ρευστοποιημένης κλίνης (CFB) για τον καθαρισμό του παραγόμενου αερίου. Ο καθαρός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης θα είναι της τάξης του 31% (Πίνακας Β1.1) με ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 191520 MWh/y και θεωρητικό κεφάλαιο επένδυσης 2180 Euro/kWe. Οι κύριες τεχνικές λεπτομέρειες της προτεινόμενης εγκατάστασης δίνονται στον πίνακα Β1. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση αεριοποίησης προβλέπεται να μειώσει το ποσό των προς ταφή απορριμμάτων κατά 70.000 τόνους το χρόνο. Ταυτόχρονα θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στους περιβαλλοντολογικούς κανονισμούς σχετικά με τις εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα. Η μελέτη υποστηρίζεται από το πρόγραμμα "Thermie" της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Thermie BM/00123/98).

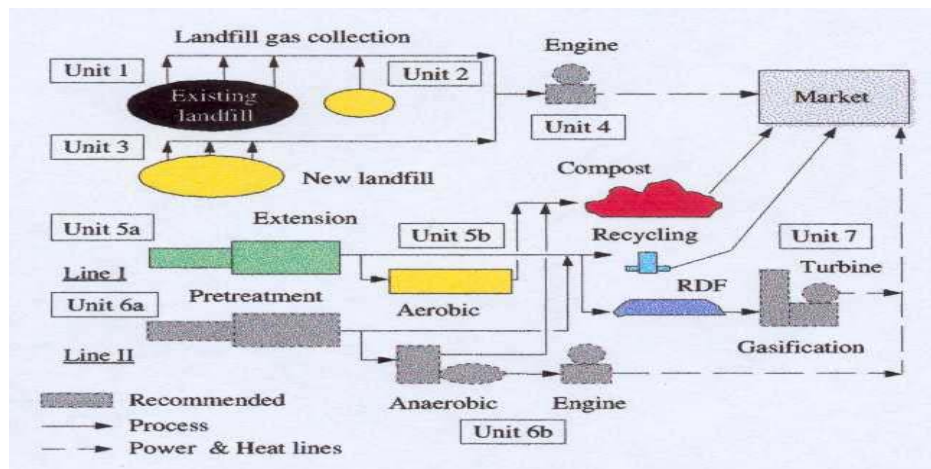
Η εταιρεία TPS, έχει κατασκευάσει μια μονάδα αεριοποίησης ΚΑΠ στο Greve-in-Chianti (Ιταλία), θερμικής ισχύος 15 MWth, η οποία βρίσκεται σε εμπορική λειτουργία από το 1988. Αυτή την περίοδο, η εταιρεία προωθεί την τεχνολογία της καταλυτικής διάσπασης των πισσωδών ουσιών (catalytic cracking) που περιέχονται στο παραγόμενο αέριο, με τη χρήση ρευστοποιημένης κλίνης (CFB), συμμετέχοντας στην κατασκευή δυο πιλοτικών μονάδων ολοκληρωμένου συστήματος αεριοποίησης σε συνδυασμένο κύκλο (IGCC) με καύσιμη ύλη βιομάζα, η οποία όμως μπορεί να αντικατασταθεί και από ΚΑΠ (Σχήμα Β1.2).

**Πίνακας Β1.1:** Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης εγκατάστασης από την εταιρεία TPS

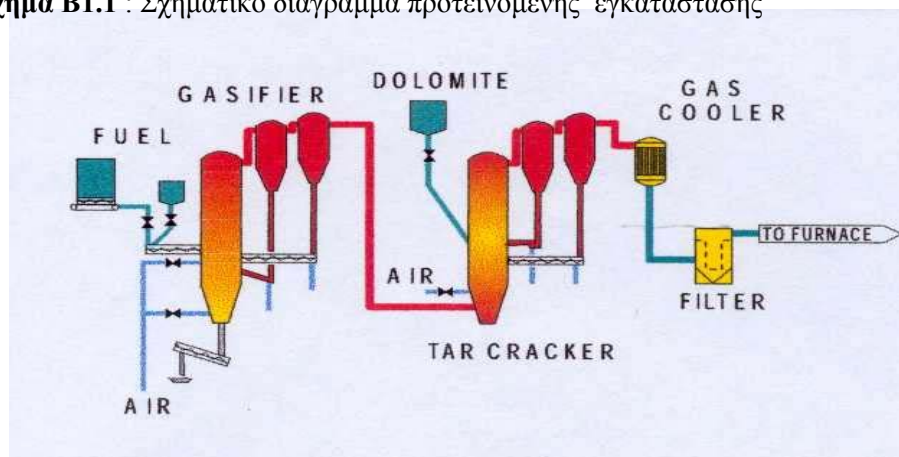
Δυναμικότητα εγκατάστασης (ΚΑΠ με 24% υγρασία)	575	tn / ημέρα
Πίεση ατμού	60	Bar
Θερμοκρασία ατμού	510	°C
Πίεση ανάθερμου ατμού	20	Bar



Ονομαστική ηλεκτρική ισχύς	26.5	MW
Ολικός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	31	%



Σχήμα Β1.1 : Σχηματικό διάγραμμα προτεινόμενης εγκατάστασης



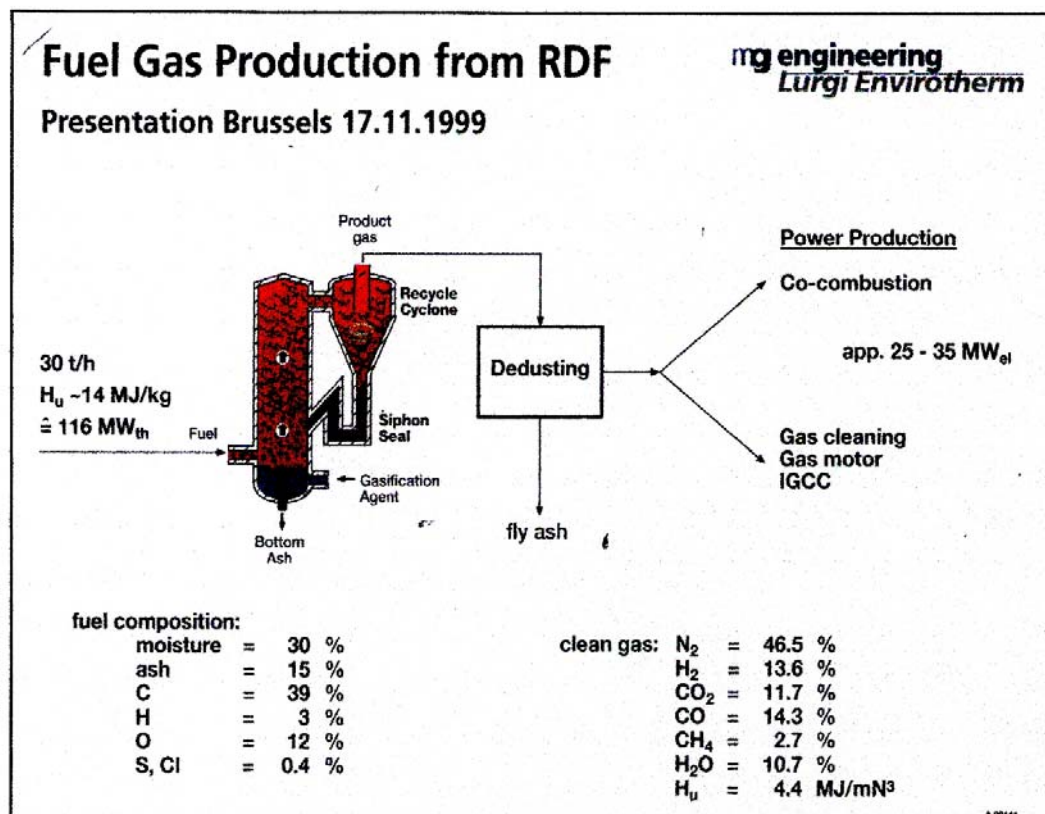
Σχήμα Β1.2 : Σχηματικό διάγραμμα μονάδας αεριοποίησης ΚΑΠ της εταιρείας TPS

## B.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΠ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ LURGI ENVIRO THERM

Η εταιρεία Lurgi έχει αναπτύξει τεχνολογίες αεριοποίησης και καύσης βιομάζας και απορριμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίνη και έχει εγκαταστήσει αρκετές μονάδες πανευρωπαϊκά (με καύσιμο βιομάζα), οι οποίες λειτουργούν εμπορικά.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης εγκατάστασης (λειτουργικό διάγραμμα, σύσταση καυσίμου – ΚΑΠ, σύσταση παραγόμενου αερίου), δίνονται στο σχήμα Β2.1. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί έναν αεριοποιητή ρευστοποιημένης κλίνης ανακυκλοφορίας (CFB) σε συνδυασμό με εγκατάσταση καθαρισμού του αερίου από τα ιπτάμενα σωματίδια. Το παραγόμενο αέριο, μπορεί στη συνέχεια να οδηγηθεί σε συστήματα περαιτέρω καθαρισμού (απομάκρυνση  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $HCN$  κλπ), σε εγκαταστάσεις συνδυασμένης καύσης με συμβατικά καύσιμα ή σε αεριομηχανές.

Σχήμα Β2.1 : Προτεινόμενη εγκατάσταση αεριοποίησης ΚΑΠ από την εταιρεία Lurgi



Πίνακας Β3.1: Λειτουργικά χαρακτηριστικά προτεινόμενης εγκατάστασης αεριοποίησης από την εταιρεία Foster-Wheeler

## TGAS for gasification calculations

Reference temperature 25 °C

## Output data

Athens

## Fuel REF III (100%)

Moisture	28.50 %
C	52.90 % in d.s.
H	7.30 % in d.s.
S	0.13 % in d.s.
O	29.46 % in d.s.
N	0.71 % in d.s.
Ash	9.50 % in d.s.
LHV	21.5 MJ/kg in d.s.
Feed flow rate	3 kg/s d.s.
Feed flow rate	4.196 kg/s

## Bed material

Feed flow rate	0.18 kg/s
MgCO3	1.00 %
CaCO3	60.00 %
Sand	

## Temperatures

Fuel in	25 °C
Steam in	200 °C
Air in	220 °C
Gasification	920 °C

## Miscellaneous

Steam flow rate	0.000 kg/s
Ungasified carbon	0.032 kg/s
Total ash	2.248 kg/s
Carbon conversion	98.00 %
Fuel-air ratio	0.54 kg/kg
Gas molar weight	26.15 g/mol
Tars in the gas	11.694 g/m3n (dry gas)
Betzene	13.848 g/m3n (dry gas)
Ammonia	0.019424 kg/s
Ammonia	1.140526 mol/s
Ammonia	0.025137 m3n/s
Ammonia	2518 ppm vol
Comb. Heat of ammonia	361 kW
Fly ash and char out	0.448

## CxHy

CH4	3.212 % in wet gas
C2Hy	0.918 % in wet gas
C3-C5Hy	0.020 % in wet gas
BTX	10.877 g/m3n (wet gas)
Light tars (mol.weight 79-128)	4.834 g/m3n (wet gas)
Naftalene (mol.weight 128-129)	2.417 g/m3n (wet gas)
Heavy tars (mol.weight over 129)	1.934 g/m3n (wet gas)

## Gas flow rates

Air flow rate	6.046 m3n/s	
	7.815 kg/s	
Product gas flow rate	9.985 m3n/s	0.446649 kmol/s
	11.652 kg/s	

## Product gas composition

CO2	11.51 %, wet	14.66 %, dry
H2O	21.46 %, wet	0.00 %, dry
SO2	0.00 %, wet	0.00 %, dry
O2	0.00 %, wet	0.00 %, dry
N2r	47.91 %, wet	61.00 %, dry
CO	8.13 %, wet	10.34 %, dry
H2	5.41 %, wet	6.88 %, dry
CxHy	5.56 %, wet	7.08 %, dry
COS	0.00 %, wet	0.00 %, dry
H2S	0.03 %, wet	0.03 %, dry

## Heating value

	4.52 MJ/m3n
--	-------------

## Energy balance

Fuel, rec. flyash and BM sensible	122 kW		
Fuel chemical	61579 kW		
Air sensible	1547 kW		
Steam sensible	0 kW		
TOTAL IN	63247 kW		
Product gas chemical	45082 kW	45082	3868.982
Product gas sensible	14715 kW	59797	4515.049
C loss in ash	1047 kW		
Ash sensible	1703 kW		
Radiation and convection	500 kW		
Bed calcination	200 kW		
TOTAL OUT	63247 kW	0	

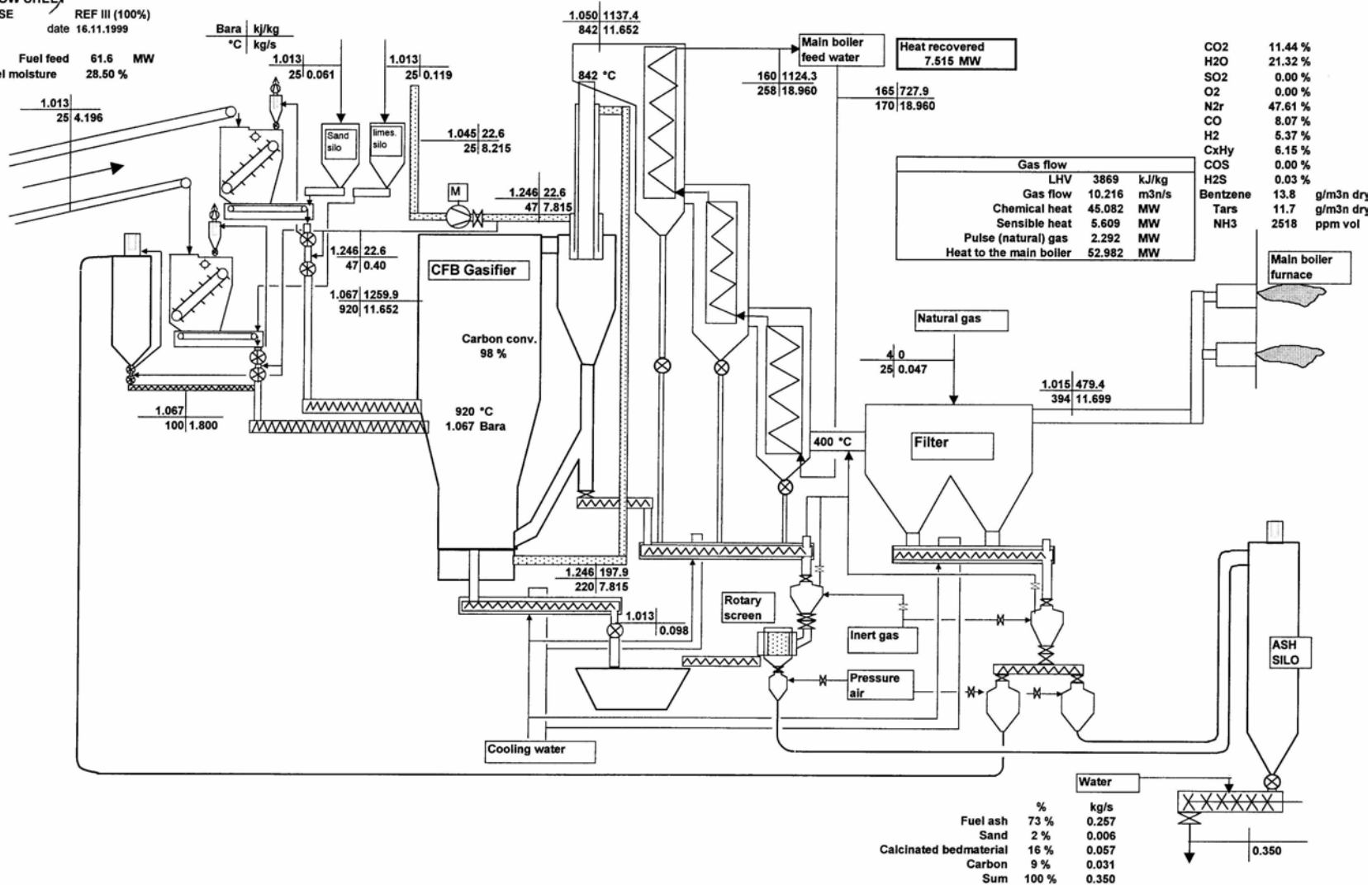
REF GASIFICATION PLANT

ATHENS

FLOW SHEET

CASE REF III (100%)  
date 16.11.1999

Fuel feed 61.6 MW  
Fuel moisture 28.50 %



Σχήμα Β3.2 : Διάγραμμα προτεινόμενης εγκατάστασης από την εταιρεία Foster-Wheeler

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

### ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ <sup>(36)</sup>

Στην συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι σημαντικότερες σύγχρονες τεχνολογίες αεριοποίησης και πυρόλυσης οικιακών απορριμμάτων, οι οποίες αναπτύσσονται τα τελευταία χρόνια, από τις εταιρείες Noell, Thermoselect, Siemens και Lurgi.

Οι βασικές διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στις εγκαταστάσεις αεριοποίησης είναι κατά σειρά οι εξής : Ξήρανση, Πυρόλυση, Ανάφλεξη των πτητικών, Αεριοποίηση, Καύση των στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων (char) και Καύση του παραγόμενου αερίου. Οι περιγραφόμενες τεχνολογίες, διαφέρουν ουσιαστικά στην επιλογή των σημείων όπου πραγματοποιείται ο διαχωρισμός στην διαδοχή των διεργασιών, όπως φαίνεται στον πίνακα Γ1.

Ο πρώτος διαχωρισμός πραγματοποιείται έπειτα από την πυρόλυση (Siemens, Noell, Thermoselect) ή την αεριοποίηση (Lurgi). Και τα δύο βήματα της διαδικασίας παράγουν κάποια ποσότητα στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων, τα οποία καίγονται σχετικά εύκολα, εφόσον προηγηθεί μια σχετική επεξεργασία (π.χ. κονιοποίηση). Ταυτόχρονα, παράγεται ένα αέριο καύσιμο το οποίο μπορεί επίσης εύκολα να καεί, σε συνδυασμό μάλιστα με την καύση των στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων.

Η πυρόλυση συνήθως επιτυγχάνεται είτε σε ένα θερμαινόμενο εξωτερικά, αντιδραστήρα περιστρεφόμενου τυμπάνου (Siemens), είτε σε ένα οριζόντιο κανάλι (Thermoselect) το οποίο επίσης θερμαίνεται εξωτερικά. Στην μέθοδο Lurgi, η αεριοποίηση πραγματοποιείται σε αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Όταν διακόπτεται η διαδικασία κατάντι της πυρόλυσης, το παραγόμενο αέριο περιέχει μεγάλο ποσό υδρογονανθράκων υψηλής τάξης, το οποίο έχει την τάση να συμπυκνώνεται όταν το αέριο ψύχεται κάτω των 300°C. Σε όλες τις μεθόδους, η ψύξη αποφεύγεται, με εξαίρεση την μέθοδο Noell. Στη περίπτωση της αεριοποίησης, το παραγόμενο αέριο περιέχει μικρότερο ποσοστό υδρογονανθράκων υψηλής τάξης. Παρόλα αυτά η ψύξη επίσης αποφεύγεται έτσι ώστε να αυξηθεί ο θερμοκός βαθμός απόδοσης.

#### **Περιγραφή σύγχρονων τεχνολογιών αεριοποίησης**

Από τα διαγράμματα ροής των παρουσιαζόμενων τεχνολογιών (σχήματα Γ2-Γ5), φαίνεται η επιπλέον επεξεργασία των προϊόντων της θερμικής προετοιμασίας. Ενώ στις μεθόδους της Siemens και της Lurgi το αέριο καίγεται ταυτόχρονα με τα στερεά ανθρακούχα υπολείμματα, η Noell και η Thermoselect παράγουν ένα καθαρό αέριο καύσιμο, το οποίο μπορεί να μεταφερθεί μέσω συμβατικών δικτύων αγωγών, αν και στις περισσότερες εφαρμογές, προβλέπεται η χρήση του αερίου καυσίμου είτε σε αεριοστρόβιλους είτε σε αεριομηχανές, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με την τεχνολογία που ακολουθεί η εταιρεία Thermoselect (σχήμα Γ2), η μετατροπή των πρωτευόντων προϊόντων της πυρόλυσης σε αέριο καύσιμο πραγματοποιείται σε ένα αντιδραστήρα κάθετου άξονα, όπου τόσο τα αέρια όσο και τα στερεά υπολείμματα αεριοποιούνται με τη προσθήκη οξυγόνου, χωρίς να υπόκεινται σε καμιά προεπεξεργασία. Η αεριοποίηση των στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων πραγματοποιείται στο κάτω τμήμα του αντιδραστήρα, όπου λαμβάνει χώρα και η τήξη της τέφρας. Στο άνω τμήμα του αντιδραστήρα το αέριο που προέρχεται από τη πυρόλυση μετατρέπεται ταυτόχρονα με το αέριο από το κάτω τμήμα του αντιδραστήρα, με την προσθήκη μιας μικρής ποσότητας οξυγόνου.

Αντίθετα, στη διαδικασία της Noell (σχήμα Γ3), τα στερεά ανθρακούχα υπολείμματα εισέρχονται μαζί με το αέριο της πυρόλυσης σε ένα αντιδραστήρα αεριοποίησης τύπου

αναρρόφησης. Και σε αυτήν την περίπτωση, το καύσιμο τροφοδοσίας μετατρέπεται σε αέριο καύσιμο με την προσθήκη οξυγόνου. Ο αεριοποιητής της Noell, λειτουργεί σε υπερπίεση (περίπου 25 bar), απαιτώντας εγκαταστάσεις συμπίεσης των διαφόρων «ρευμάτων».

Τέλος, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οι εταιρείες Siemens (σχήμα Γ4) και Lurgi (σχήμα Γ5), κάνουν χρήση αντιδραστήρα αναρρόφησης, στον οποίο όμως λαμβάνει χώρα καύση. Τα στερεά υπολείμματα που παράγονται από την πυρόλυση και την αεριοποίηση, αναμιγνύονται στον καυστήρα με τα αέρια που προέρχονται από το ανάντι τμήμα της διαδικασίας.

Με εξαίρεση την τεχνολογία της Thermoselect, σε όλες τις άλλες μεθόδους απαιτείται μηχανική προεπεξεργασία των απορριμμάτων, ειδικά στην περίπτωση της Noell, όπου απαιτείται τόσο η μείωση του μεγέθους στα 50 mm, όσο και ένα στάδιο προ-ξήρανσης. Στην περίπτωση της Siemens, για την αεριοποίηση σε ρευστοποιημένη κλίση και πυρόλυση σε περιστρεφόμενο τύμπανο απαιτείται μείωση του μεγέθους των απορριμμάτων σε 100 mm και 200 mm αντίστοιχα.

Εκτός από το συνολικό κόστος, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες επιλογής μιας τεχνολογίας, είναι ο ολικός βαθμός απόδοσης αυτής (σχήμα Γ6). Οι τεχνολογίες που ακολουθούνται από την Thermoselect και την Noell, εμφανίζουν ιδιαίτερα χαμηλό βαθμό απόδοσης, λόγω της ύπαρξης ενός σταδίου ψύξης μετά την αεριοποίηση και πυρόλυση αντίστοιχα.

Βοηθητικό καύσιμο (φυσικό αέριο ή πετρέλαιο), απαιτείται σε όλες τις εγκαταστάσεις κατά τις διαδικασίες εκκίνησης, όπως επίσης και για :

- τη θέρμανση του αντιδραστήρα πυρόλυσης (Siemens, Thermoselect)
- τη σταθεροποίηση της καύσης/αεριοποίησης (Lurgi, Noell)
- τη διατήρηση της υψηλής απαιτούμενης θερμοκρασίας (Thermoselect).

**Πίνακας Γ1:** Διαχωρισμός διεργασιών σε 4 σύγχρονες τεχνολογίες πυρόλυσης – αεριοποίησης <sup>(36)</sup>**SIEMENS**

Ξήρανση	Πυρόλυση
---------	----------

*Περιστρεφόμενος κλίβανος*

Ανάφλεξη	Αεριοποίηση	Καύση στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων	Καύση αερίου
----------	-------------	--	-----------------

*Καυστήρας σε υψηλή θερμοκρασία  
με γρήγη απομάκρυνση τέφρας*

**LURGI**

Ξήρανση	Πυρόλυση	Ανάφλεξη	Αεριοποίηση
---------	----------	----------	-------------

*Ρευστοποιημένη κλίνη ανακυκλοφορίας*

Καύση στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων	Καύση αερίου
--	-----------------

*Καυστήρας σε υψηλή  
θερμοκρασία με γρήγη  
απομάκρυνση τέφρας*

**NOELL**

Ξήρανση	Πυρόλυση
---------	----------

*Περιστρεφόμενος κλίβανος*

Ανάφλεξη	Αεριοποίηση	Καύση στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων	Καύση αερίου
----------	-------------	--	-----------------

*Αεριοποιητής τύπου αναρρόφησης με γρήγη  
απομάκρυνση τέφρας*

**THERMOSELECT**

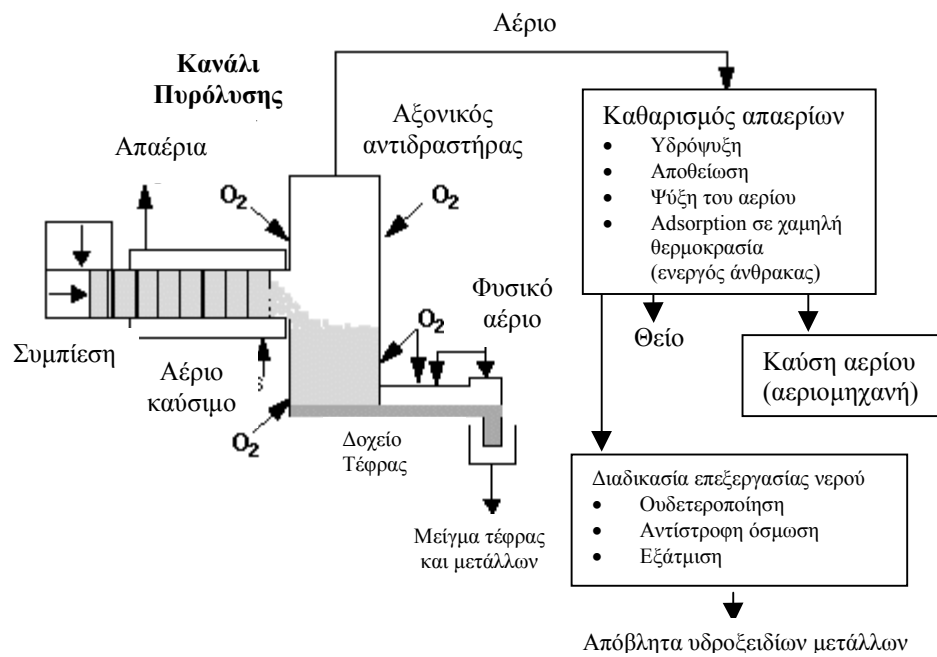
Ξήρανση	Πυρόλυση
---------	----------

*Κανάλι Πυρόλυσης*

Ανάφλεξη	Αεριοποίηση	Καύση στερεών ανθρακούχων υπολειμμάτων	Καύση αερίου
----------	-------------	--	-----------------

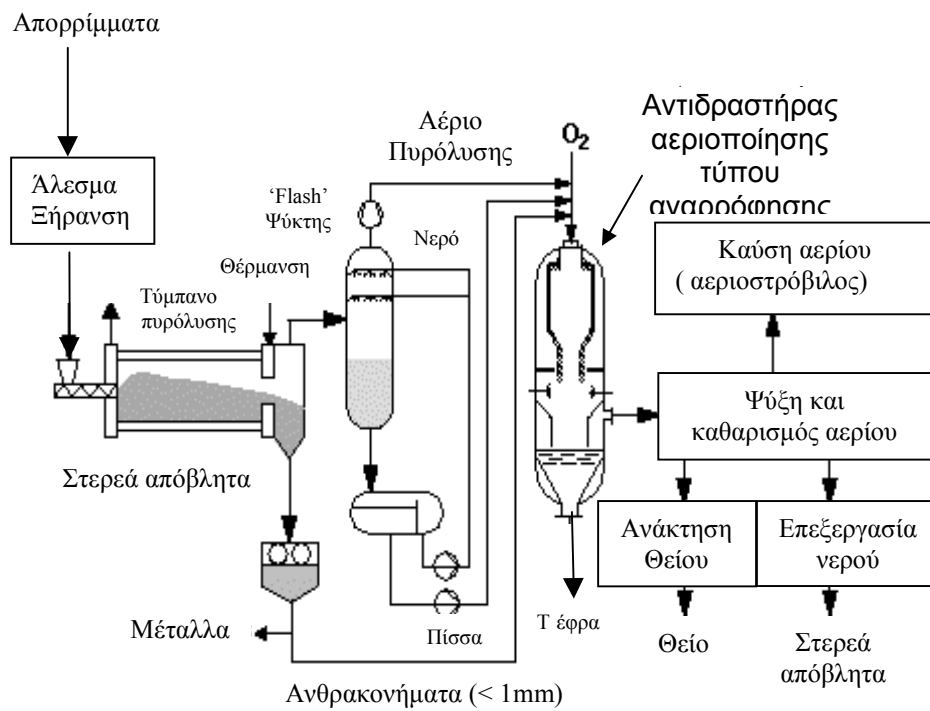
*Αξονικός αντιδραστήρας με γρήγη  
απομάκρυνση τέφρας*

*Αεριομηχανή*

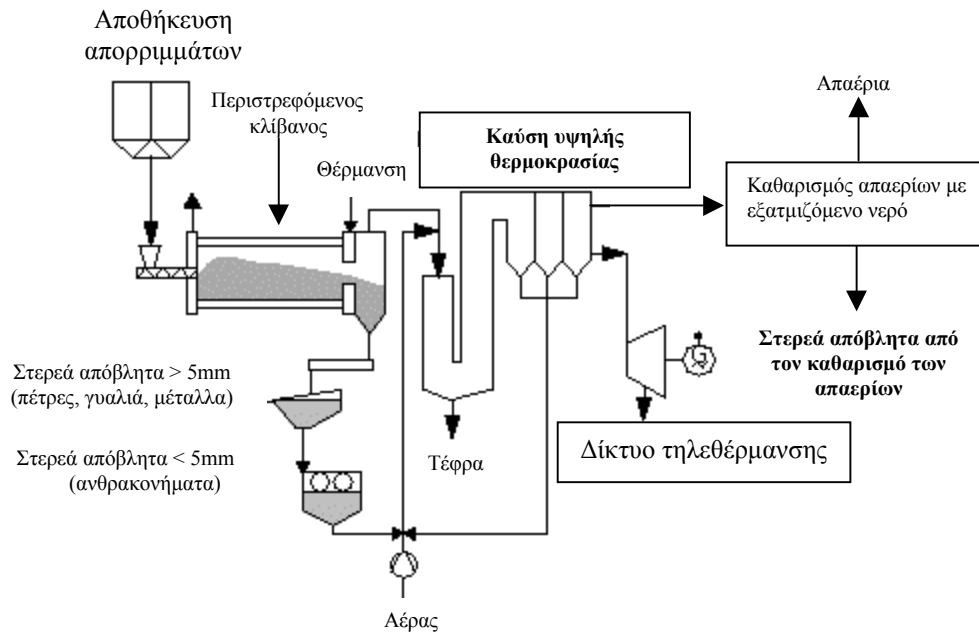


**Σχήμα Γ2:** Τεχνολογία καύσης ΑΣΑ πολλαπλών βημάτων της Thermoselect <sup>(37)</sup>





Σχήμα Γ3: Τεχνολογία καύσης ΑΣΑ πολλαπλών βημάτων της Noell (<sup>38</sup>)



Σχήμα Γ4: Τεχνολογία καύσης ΑΣΑ δύο βημάτων της Siemens <sup>(39)</sup>

